

GAMMA10における加熱ICRF波動 とAIC波動に関する研究

池添竜也, 市村 真, 他 筑波大

福山 淳 京大

熊沢隆平, 他 NIFS

平成23年度 合同研究会

筑波大学プラズマ研究センターシンポジウム

プラズマ物理クラスター スクレープオフ層とダイバー タ物理サブクラスター(第1回会合)

炉工学クラスター ブランケット サブクラスター(第2回会合)

双方向型共同研究会合「ガンマ10装置における炉壁材料の損耗・再堆積の研究とそのダイバータ開発戦略における位置づけ」

平成23年7月20 - 22日 @つくばサイエンスインフォメーションセンター

はじめに



- 他のダイバータ模擬実験装置と比較した場合のGAMMA10の特徴として、

- ICRF加熱を用いたプラズマの生成・加熱
- タンデムミラーによる高エネルギーイオン ($T_i > \text{keV}$) の閉じ込め

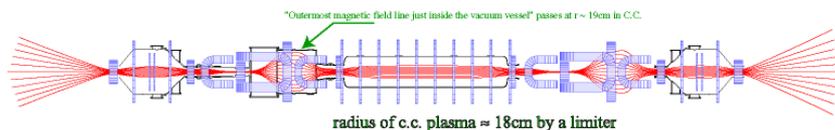
が挙げられる。

→ 今後実施される本格的なダイバータ模擬実験において、GAMMA10の特徴を活かすために、ICRF加熱を用いてプラズマパラメータを広い範囲で制御できることが重要。

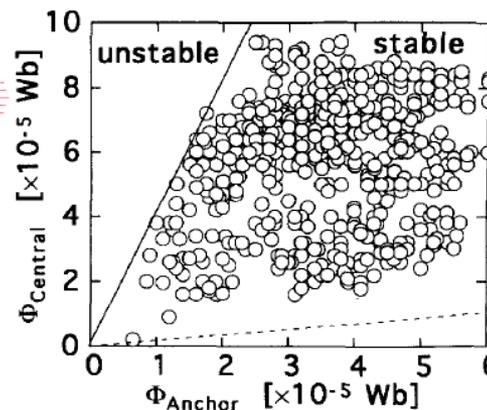
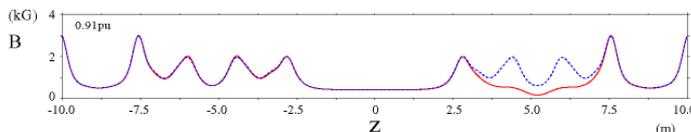
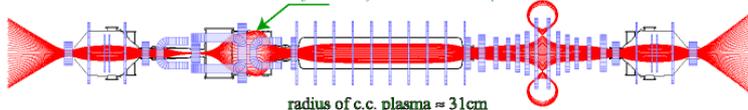
- A-divertor計画では、片側のアンカー部(極小磁場配位)が置換されることにより、MHD安定性が劣化する。

高い加熱の自由度

Present GAMMA10 standard magnetic field



GAMMA10 A-divertor

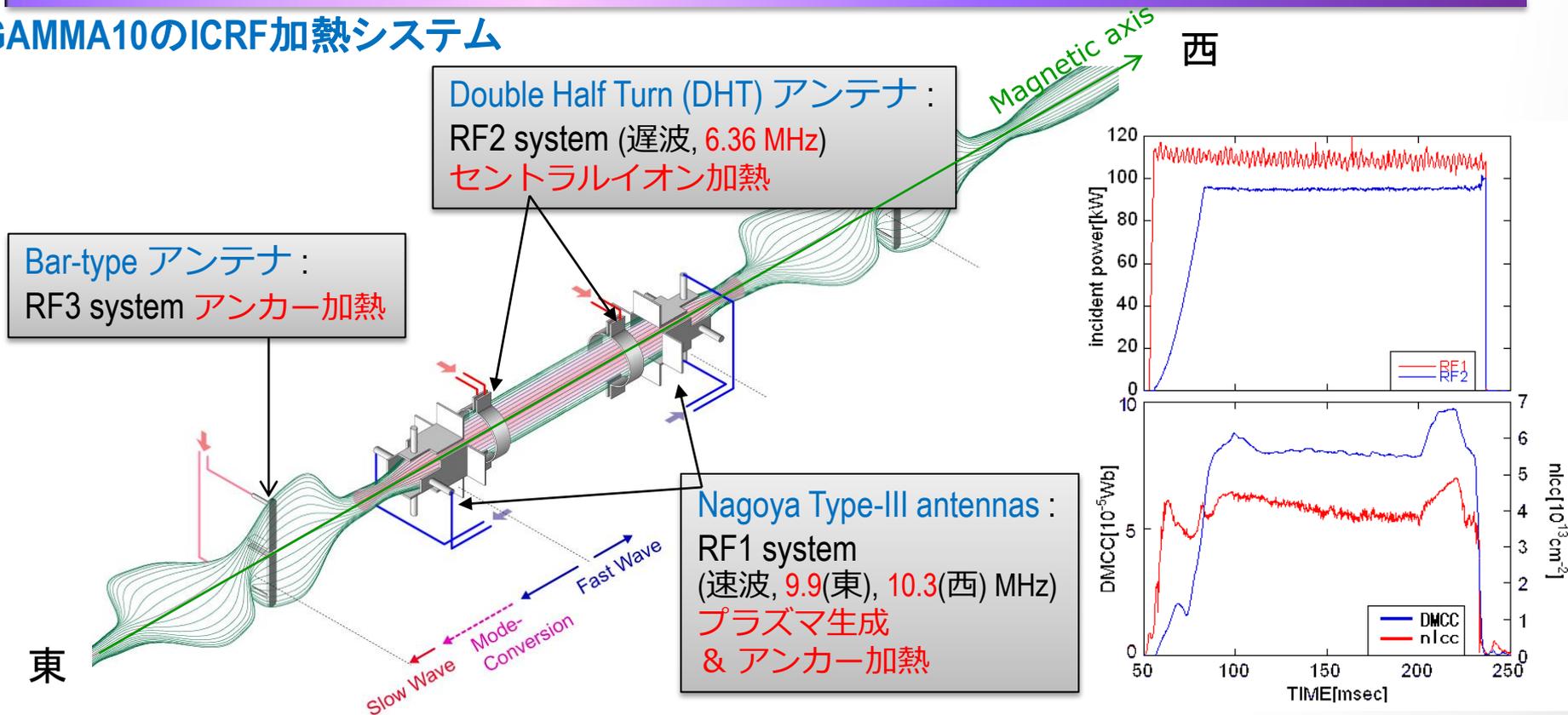


→ 残るアンカー部の加熱増強により補う必要がある。

高い加熱の自由度検証のための実験



GAMMA10のICRF加熱システム



ダイバータ模擬実験で必要とされる加熱の制御性を獲得するために、以下の実験を進行させている。

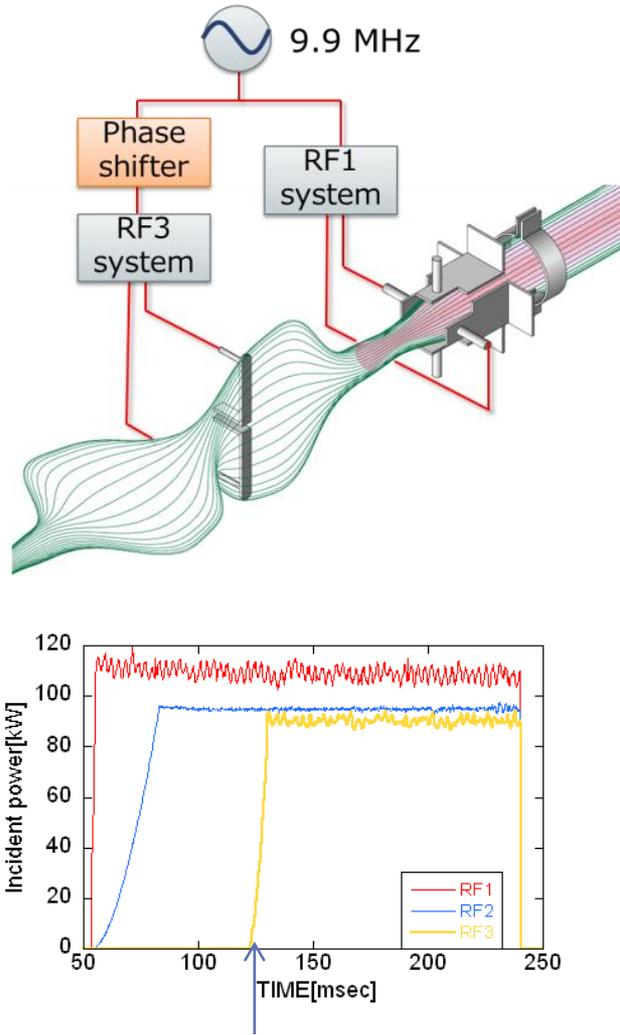
1. 二つのアンテナ(東Bar-type & 東Type-III)を用いた位相制御によるICRF加熱の制御
2. 3次元波動解析コードを用いたアンカー部アンテナの最適化
3. エネルギー輸送に大きな影響を及ぼす自発励起波動(AIC波動)の研究

Part 1

...

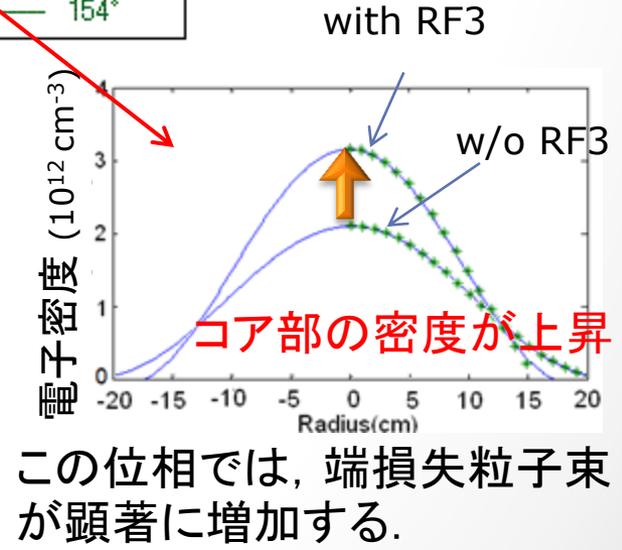
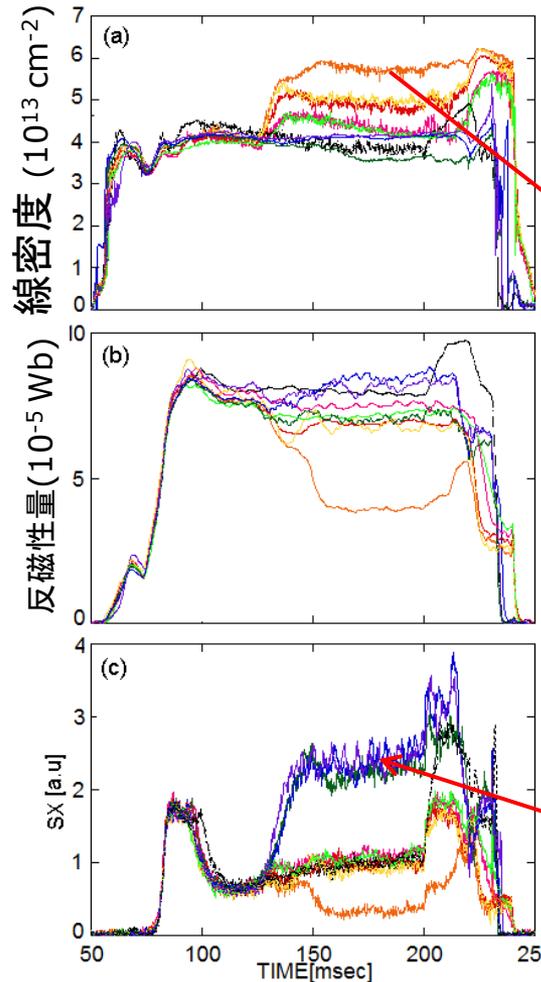
二つのアンテナ(東Bar-type & 東Type-III)を用いた
位相制御によるICRF加熱の制御

位相制御がグローバルパラメータに与える顕著な効果



120 msよりRF3を重畳

セントラル部におけるnl, DM, SX信号



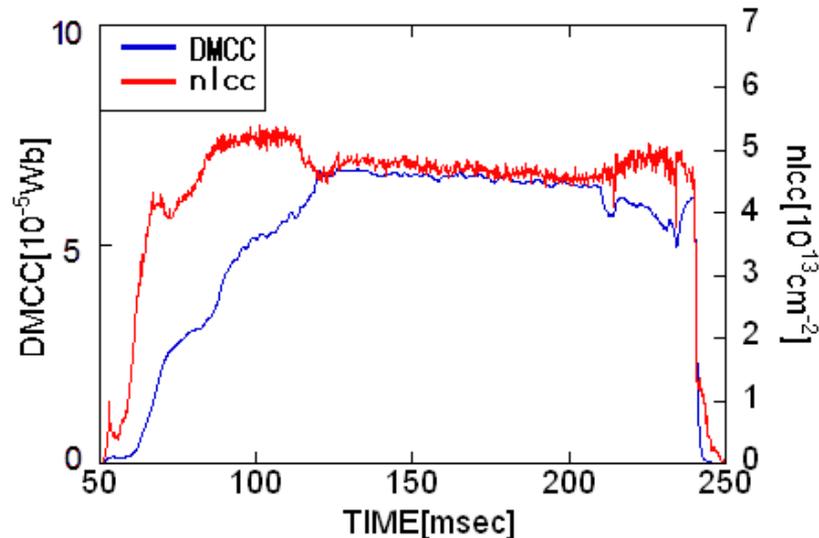
SX強度上昇

位相差の違いにより、顕著な差異が観測された。

東側ICRFシステムのみによるプラズマ生成 “片アンカー配位の予備実験”



西側RF1なし, つまり西側RF1によるプラズマ生成・西側アンカー加熱によるMHD安定性が期待できない状態でプラズマ生成を試みた.



- 位相制御を利用した加熱により, 模擬的片アンカー配位において初めて高いプラズマパラメータの達成に成功した.
(DMccは通常の約8割, nlccは通常と同じ)

Part 2

...

3次元波動解析コードを用いたアンカー部アンテナの最適化

アンカー部アンテナの波動励起効率の改善

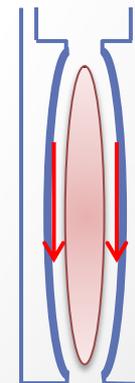
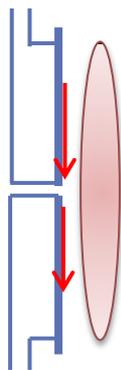


京大福山先生との双方向型共同研究により, TASK/WFコード(3次元波動解析)を用いて, アンカー部アンテナの波動励起効率を計算した.

→ 従来のBar-type アンテナの波動励起効率は極めて低いことが判明.

春の大気解放時に新アンテナ(DHT)を設置した. (東側)

1. z方向位置を共鳴層側へ数cm移動. → 効率2倍以上
2. アンテナ形状をプラズマ形状に沿わす. → 計算中
3. アンテナをプラズマを挟むように設置. → 計算中



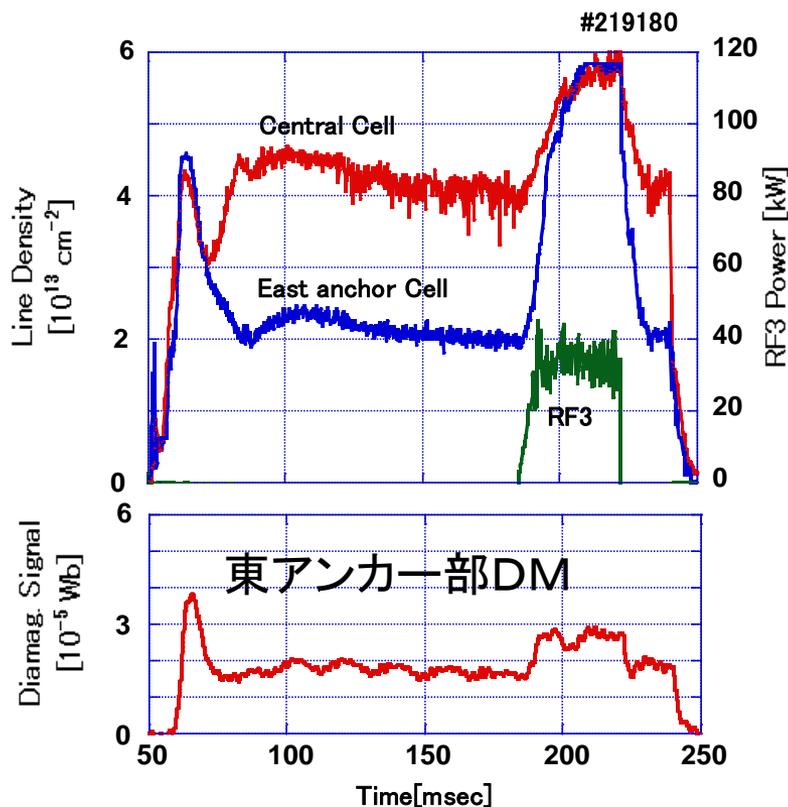
新アンテナを用いたICRF加熱による プラズマパラメータの向上



本年の総合運転試験期間に、新アンテナを用いた加熱実験を試みた。

RF3システムにより**9.7MHz**の高周波電流を駆動。

うまく整合できた放電を数ショット得た。(加熱電力: **~35kW**)



従来のアンテナよりも明瞭な加熱効果(特に東アンカー部反磁性量の増加)が得られた。

アンテナのエイジング、プラズマのコンディショニングが進むにつれて、さらなるプラズマパラメータの向上が期待される。

→ 次期実験で新アンテナの効果調べる。

Part 3

...

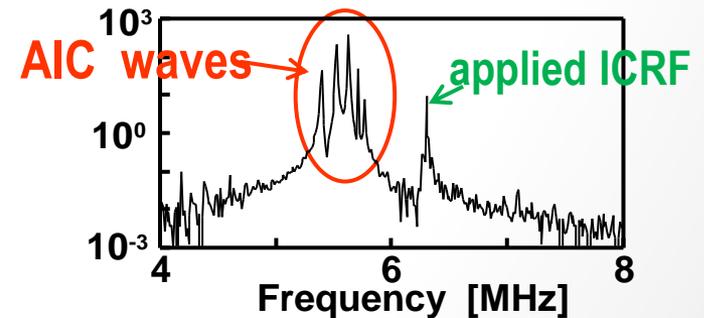
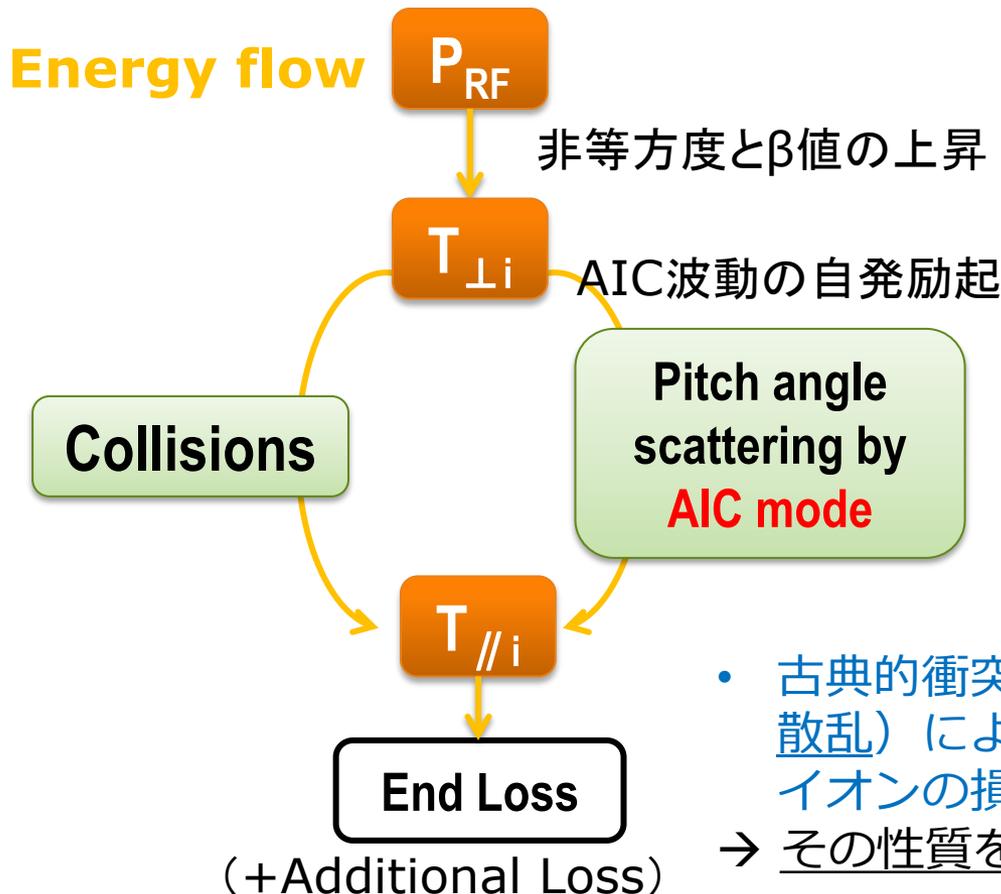
エネルギー輸送に大きな影響を及ぼす
自発励起波動（AIC波動）の研究

GAMMA10におけるAIC波動の自発励起



プラズマ圧力とその非等方性を自由エネルギー源とするICRF波動, アルベンイオンサイクロトロン (AIC) 波動, がGAMMA10セントラルにおいて自発的に励起される。

イオン温度: 数keV \gg 電子温度: $< 100\text{eV}$
温度非等方度: $T_{\perp}/T_{\parallel} > 10$



- 古典的衝突以外の効果 (AIC波動によるピッチ角散乱) により温度非等方度の緩和, 高エネルギーイオンの損失増大がもたらされる。
- その性質を知ることが端損失の正確な理解に重要。

内部領域におけるAIC波動の計測



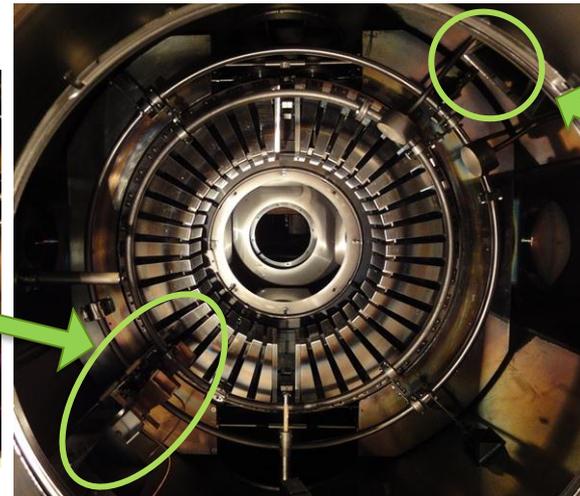
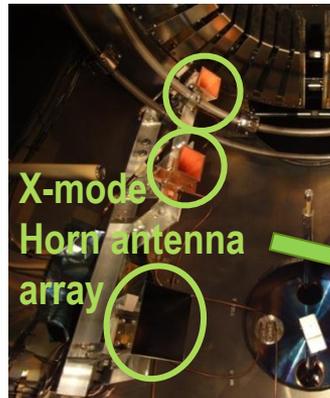
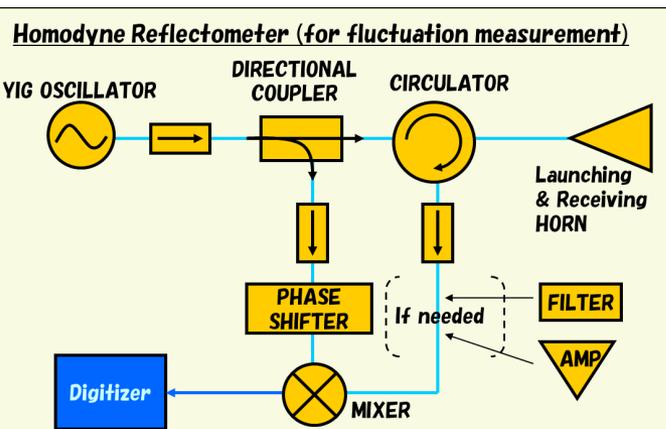
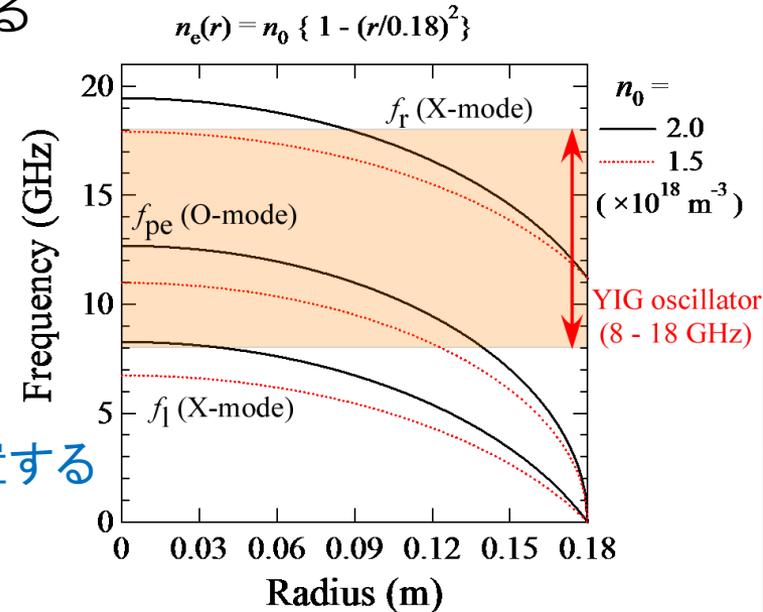
詳細な空間構造を調べるには, プラズマ内部における計測が重要.



マイクロ波反射計を用いることにより, カットオフ層近傍におけるAIC波動に起因する密度揺動を計測することができる.

径方向の情報 → 入射周波数を変える

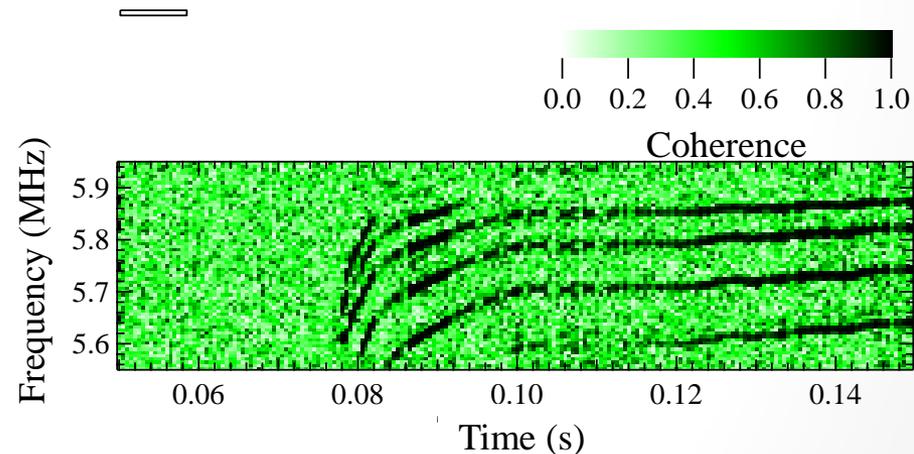
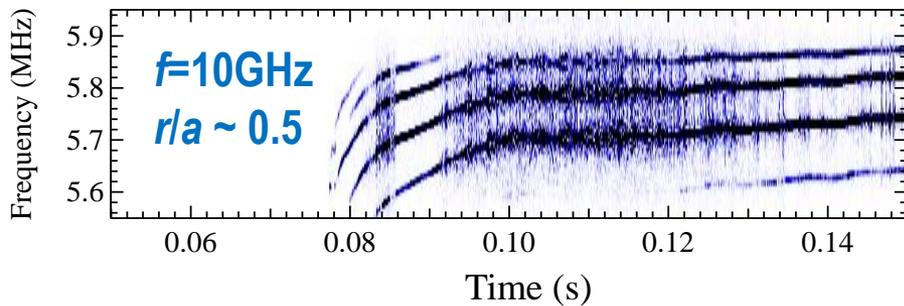
軸方向の情報 → 異なる軸方向位置にアンテナを設置する



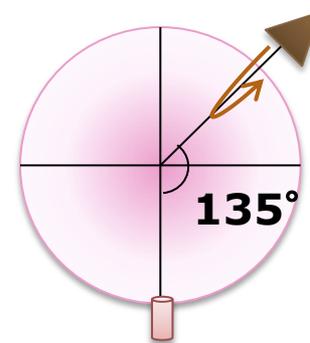
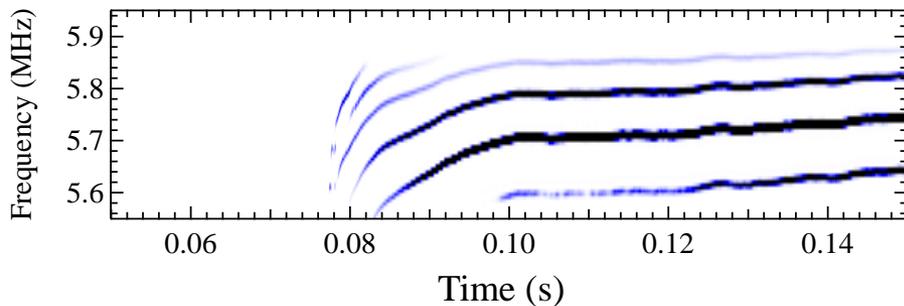


AIC周波数帯の内部密度揺動と周辺磁場揺動との相関

反射計で計測した内部密度揺動



磁気プローブで計測した周辺磁場揺動

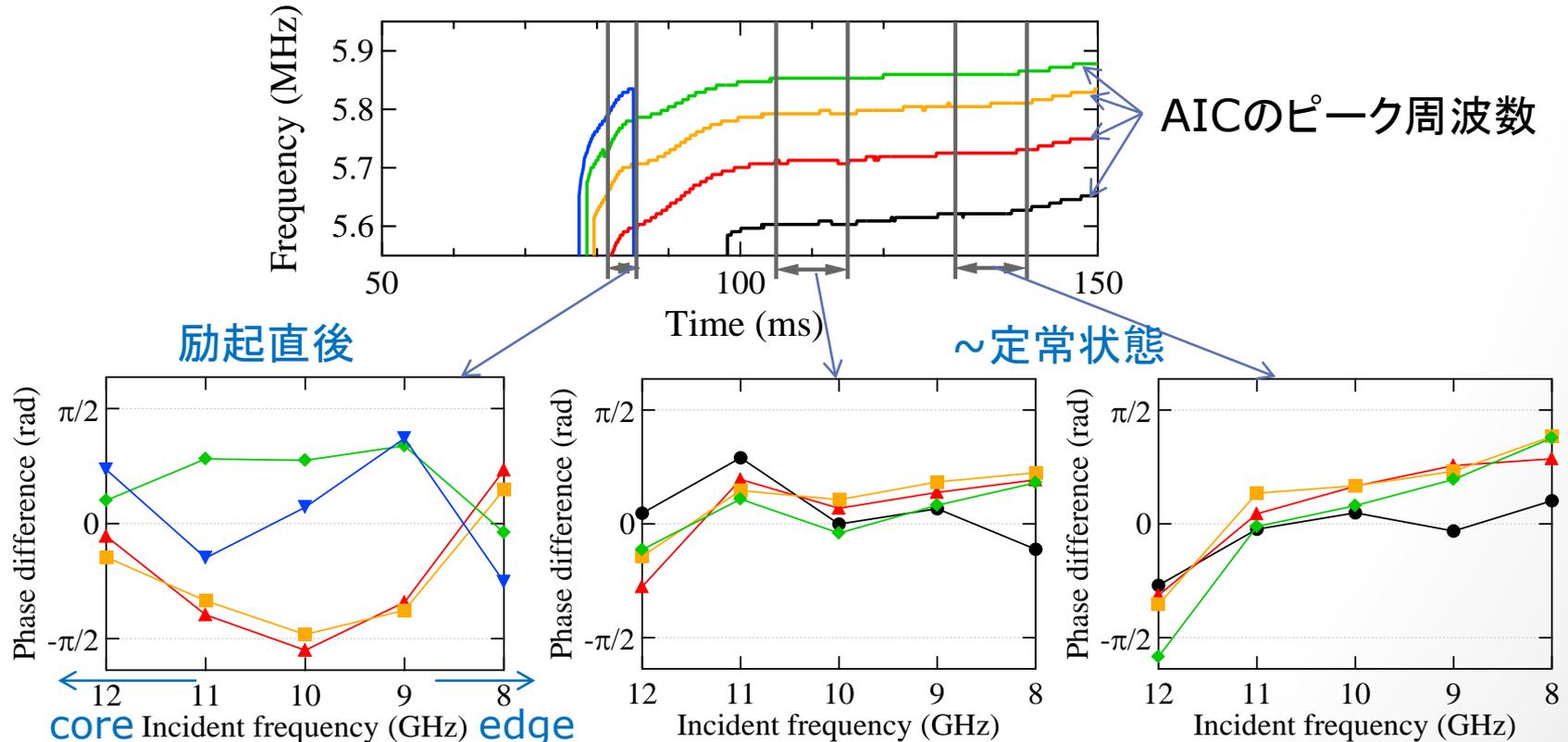


- 反射計を用いてAICに起因する密度揺動の計測に成功した。
- AICのピーク周波数において、周辺磁場揺動との間に強い相関が得られた。

AIC波動の径方向空間構造の時間発展



異なる時間帯における内部密度揺動と周辺磁場揺動との間の位相差の径方向分布 (AIC波動の複数のピーク周波数成分に対して)



- 複数のピークは励起直後、ピーク毎に異なる位相差の径方向分布を有するが、定常状態ではそれらの位相差が揃い径方向に同じ構造を持つ。
- 複数のAIC波動は径方向には同じ境界条件で決まる同一の固有モードとして成長することを示唆。

まとめ



ダイバータ模擬実験で必要とされる高い加熱の自由度を獲得するために、下記の実験を実施した。

Part 1. “二つのアンテナ(東Bar-type & 東Type-III)を用いた位相制御によるICRF加熱の制御”

以下の可能性が見出された。;

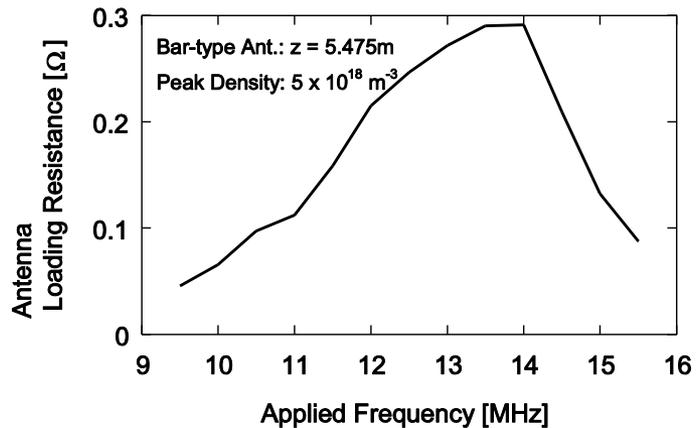
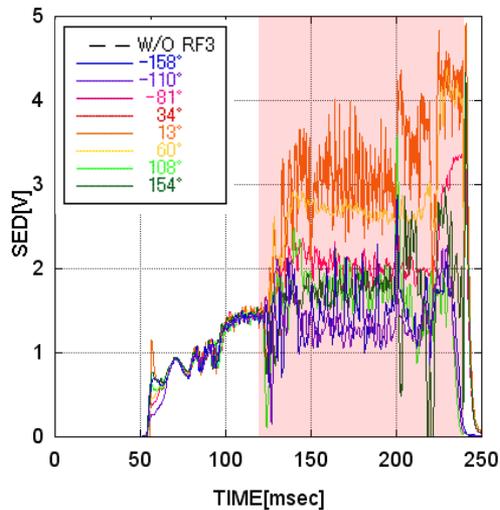
- 高効率なアンカー加熱，中心密度の上昇，電子加熱の新しいノード。
→ これらの機構を明らかにするために，今後セントラル以外の場所における計測器の拡充を行う。
- 東側のICRF加熱システムのみを用いた，通常運転に近いプラズマパラメータの達成。

Part 2. “3次元波動解析コード(TASK/WF)を用いたアンカー部アンテナの最適化”

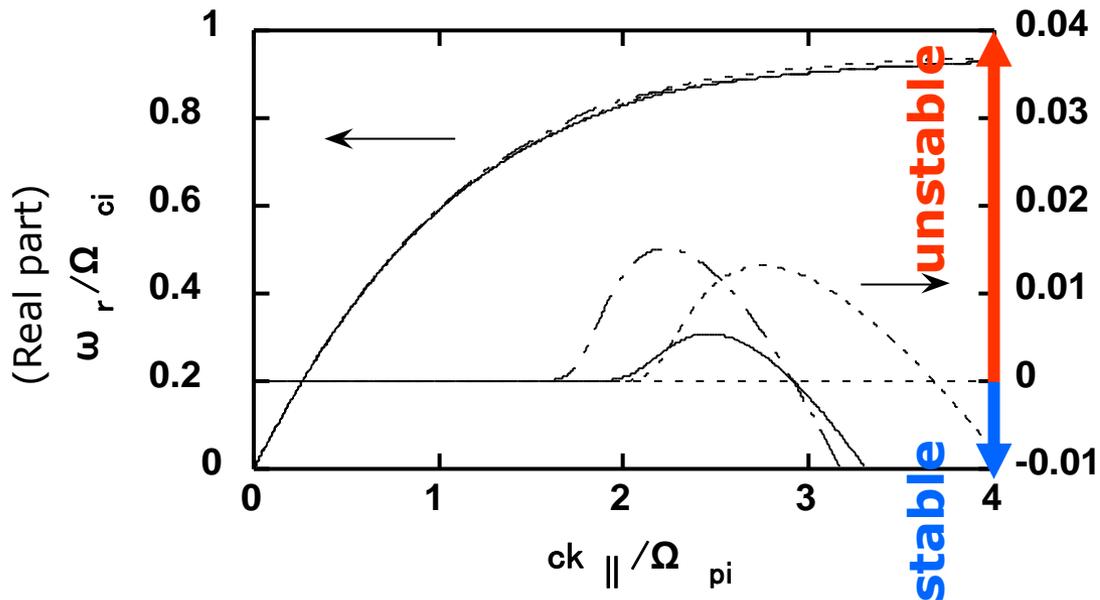
- 計算結果を反映させてアンテナの改造を行い，アンテナの波動励起効率の上昇を示唆する初期結果を得た。
→ 次期実験で，新アンテナを用いてプラズマパラメータの向上を目指す。

Part 3. “エネルギー輸送に大きな影響を及ぼす自発励起波動(AIC波動)の研究”

- マイクロ波反射計を組立て，プラズマ内部におけるAIC波動に起因する密度揺動を計測し，その空間構造を調べた。
- 同時計測した周辺部磁場揺動との間の位相差を評価することにより，複数励起されるAIC波動のブランチは励起直後は径方向に異なる構造を持つが，定常状態では同じ構造を持つ(同じ固有モードとして励起)ことが判明した。
→ 軸方向に異なる位置での計測を行い，AIC波動の時空間発展を明らかにする。



AIC 分散関係



(Imaginary part)

