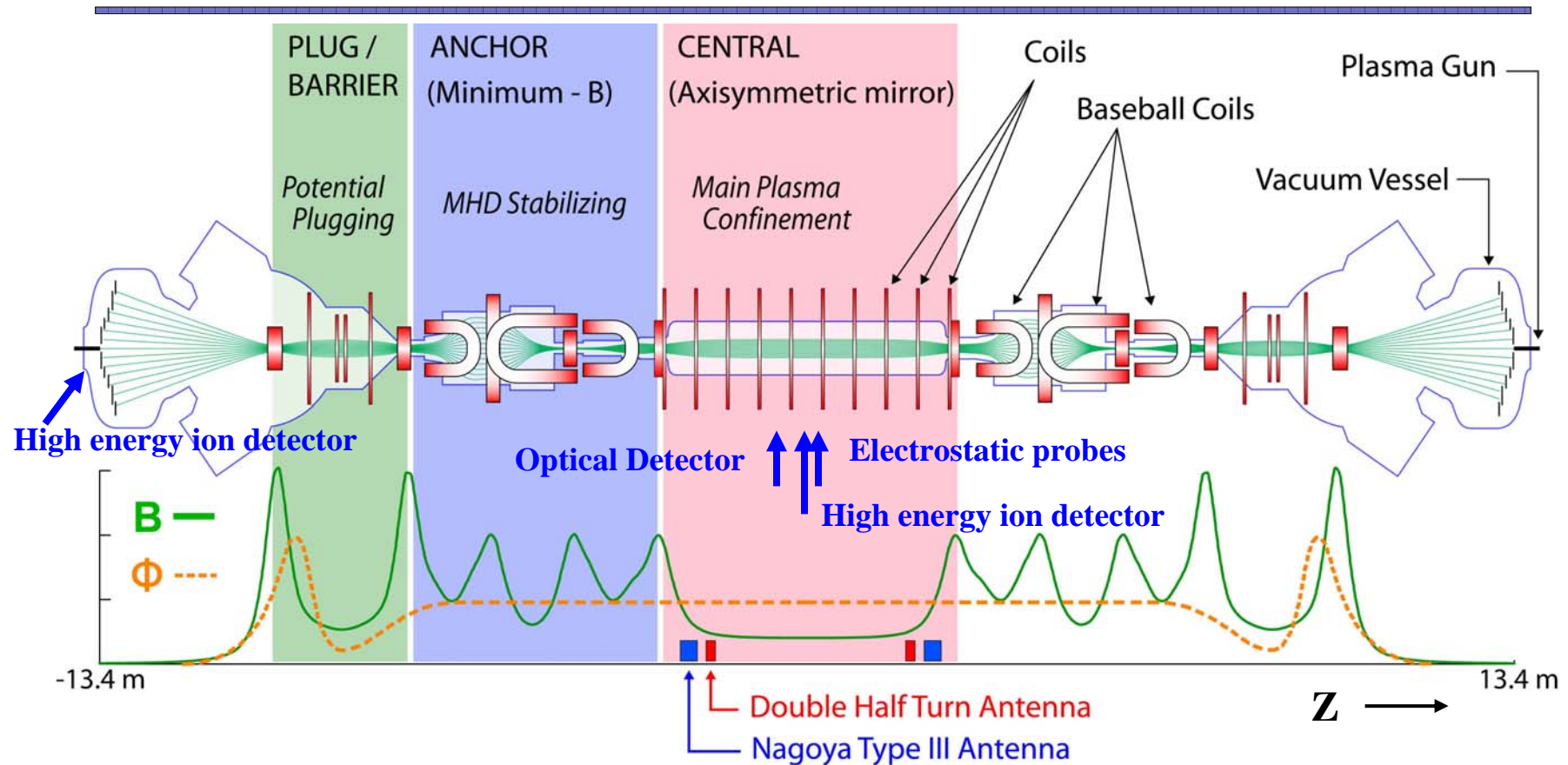


GAMMA 10 におけるICRF波動を用いたプラズマ生成, 加熱, 制御
Plasma Production, Heating, and Control with ICRF Waves
on the GAMMA 10 Tandem Mirror

筑波大学 プラズマ研究センター
山口裕資, 室大志, ICRF Group

- GAMMA 10 における高周波を用いたプラズマ生成
- 密度飽和の観測
- アンテナ-プラズマ結合解析
- アンテナ間位相制御による, 波動励起の最適化
- まとめ

複合ミラー装置 GAMMA 10

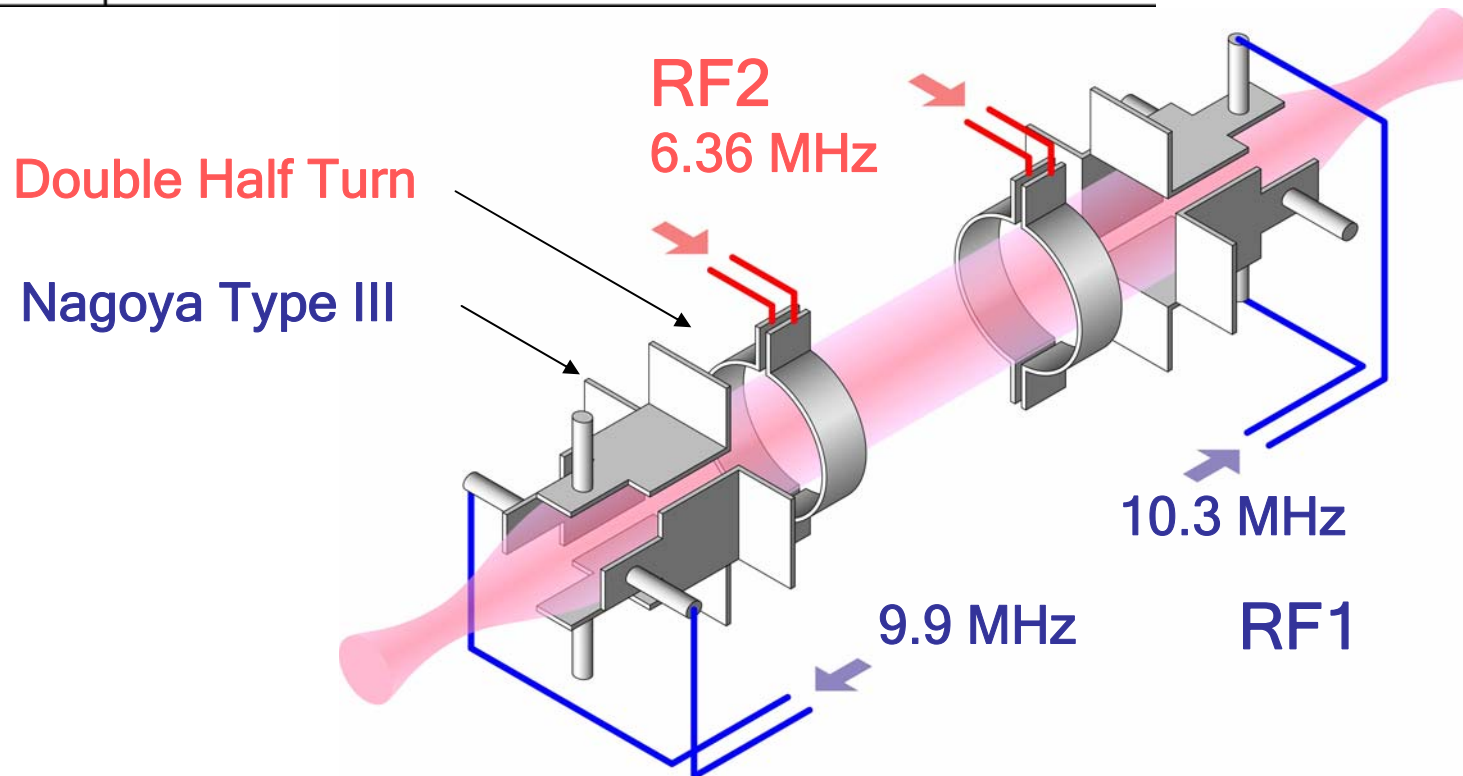


標準的なICRF実験

- 装置端部から、MPDプラズマ銃を用いてアークジェットを入射し、放電開始。
- 周辺部より水素ガスを供給しつつ、アンテナに高周波を入射。
- 高周波アンテナは、全てセントラル部に配置(2種類, 4系統)。
- アンテナと結合した各種の波動が、目標の場所へ伝播, 吸収することを狙う。

高周波発振器と高周波アンテナの接続

	Max. Power	Max. Duration	Frequency Range
RF1	300 kW x 2	500 ms	7.5 - 15 MHz
RF2	300 kW x 2	500 ms	4.4 - 9.6 MHz

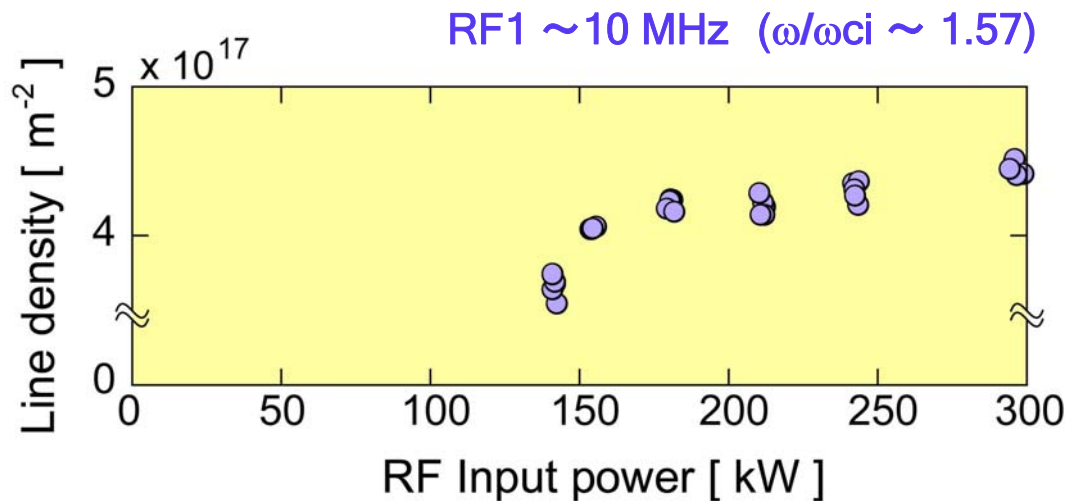


RF1 : セントラル部でのAlfvén速波によるプラズマ生成.

RF2 : セントラル部でのイオンの遅波加熱.

現在の課題： 密度飽和への対策

プラズマ生成用高周波(RF1)の電力増大時に、密度の飽和が観測されている。



損失の観点より

揺動励起に起因する損失の増大が候補の一つ。

同定と抑制、制御が不可避の課題。

プラズマ中への波動励起の観点より

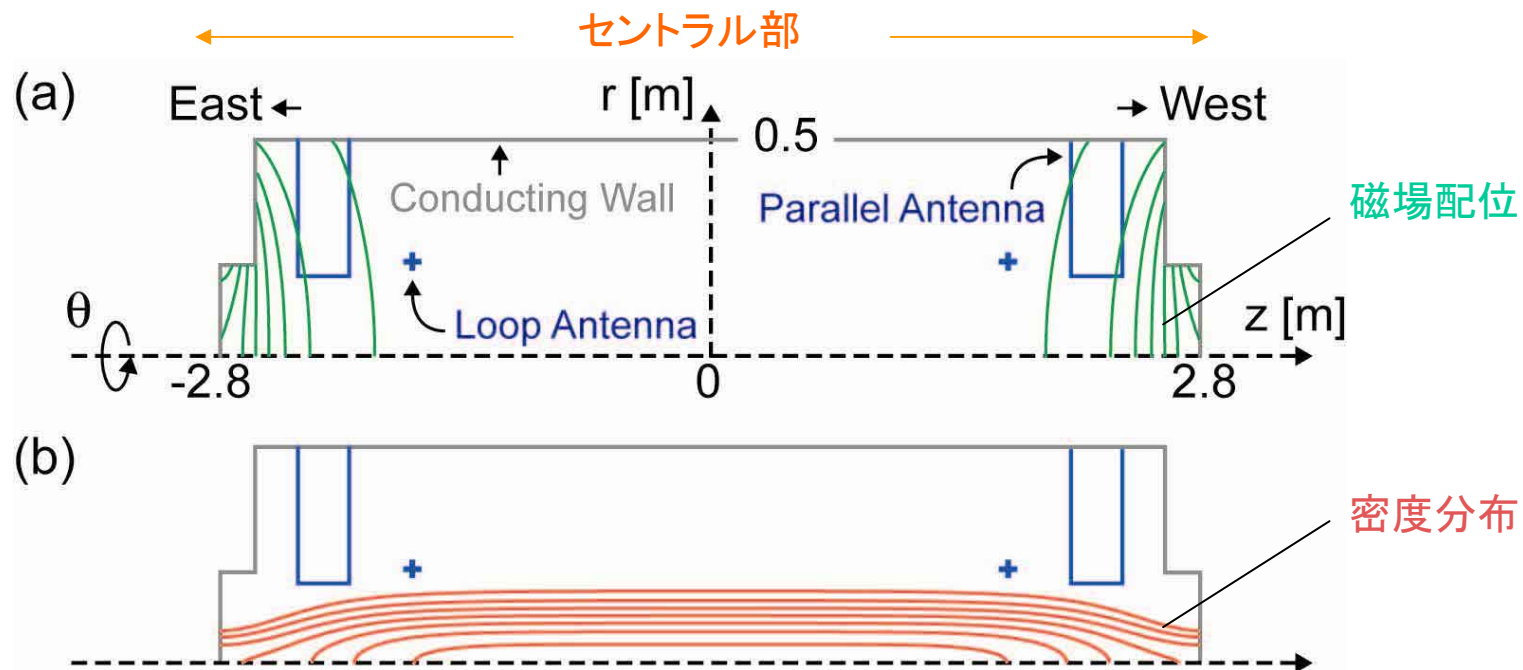
現状では、プラズマの特性長が波長と同程度であり、波動励起は境界条件に起因して形成される固有モードに影響を受ける。

密度上昇に対して波動を強励起し続けるために、固有モード形成の制御を試みた。

数値解析による波動励起の最適化の検討

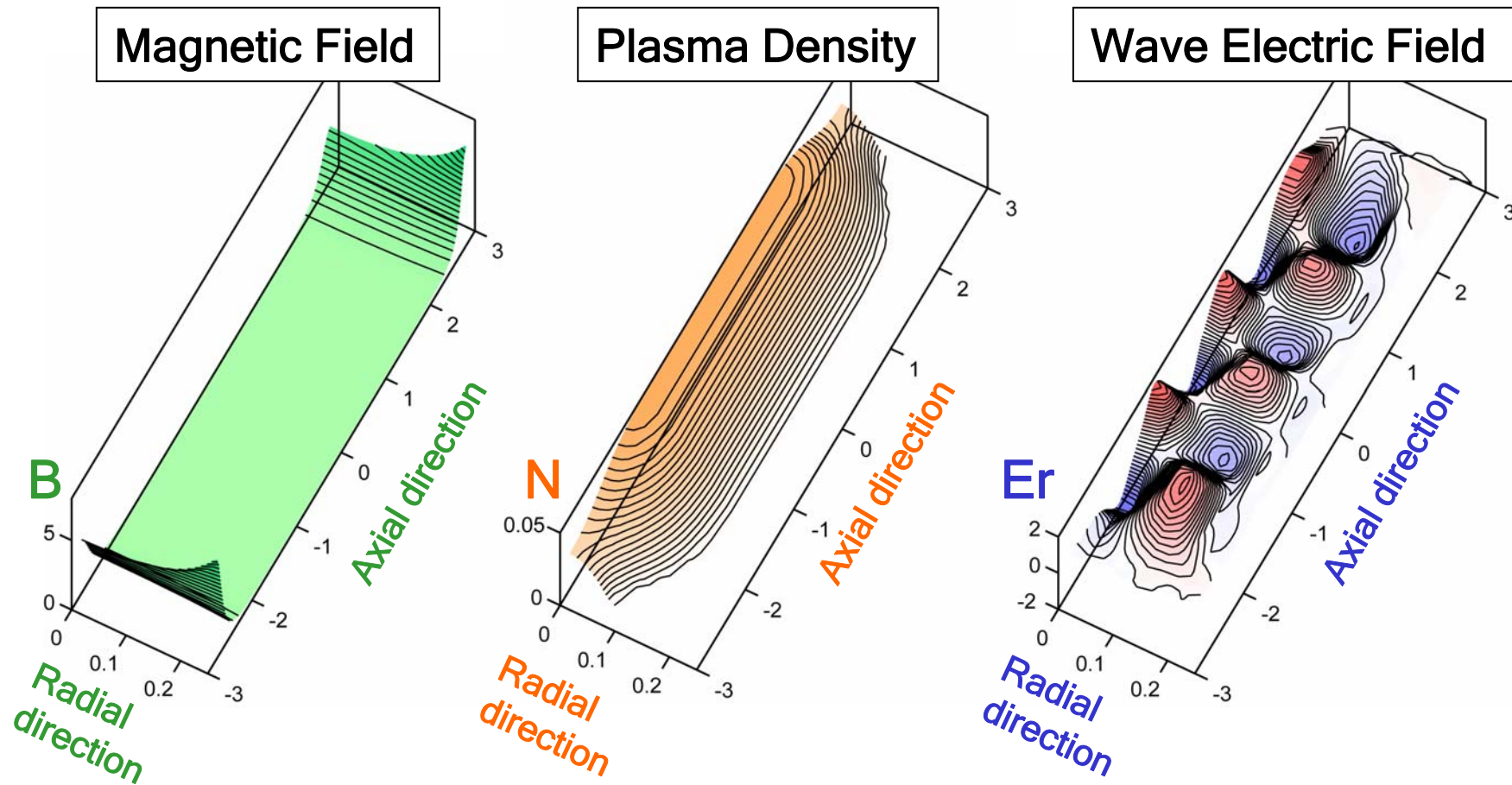
本研究では、RF1を二つのアンテナから入射しアンテナ間の位相差を調節することで、固有モード形成を制御できないかを調べた。

有限要素法による二次元波動伝播解析コード(PAF/WF)を利用(京都大, 福山淳教授との共同研究), 既存のアンテナから最適な組を模索した。



波動解析では、各々磁力線方向、方位角方向に高周波電流を生ずる
並列アンテナ(Nagoya Type III アンテナを模擬),
ループアンテナ(Double Half Turn アンテナを模擬)を用いた。

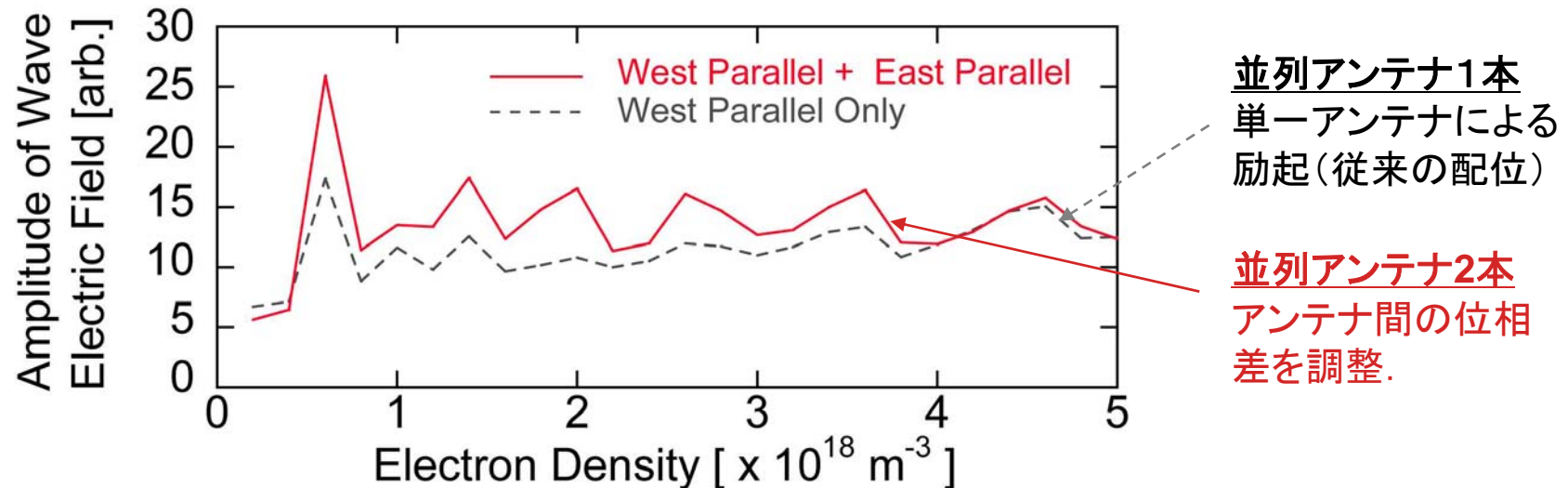
セントラル部プラズマにおける固有モード形成の例



固有モードは、プラズマ密度の変化に対して離散的に形成され、プラズマ生成に影響を与える。

単一アンテナと複数アンテナの比較

プラズマ中心部での、励起波動振幅の密度依存性

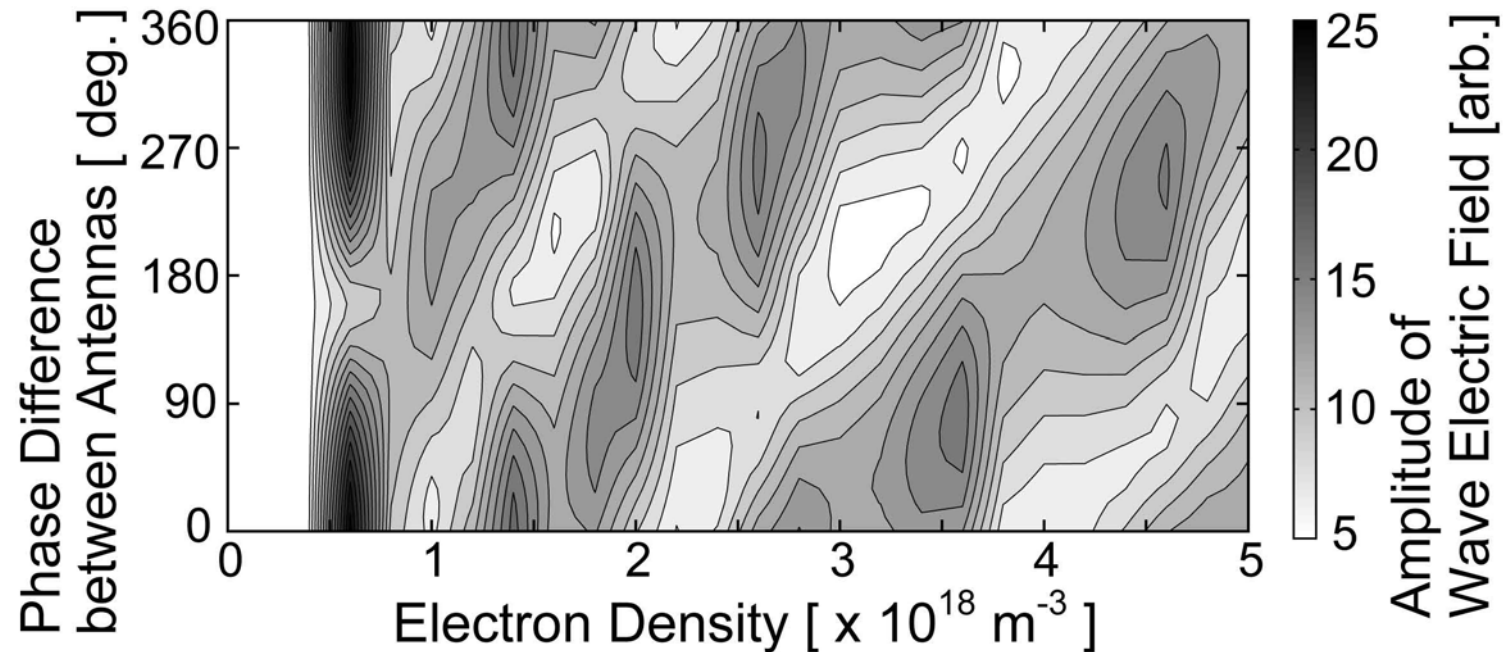


プラズマ中心部における波動電界の振幅を、単一アンテナで放射した場合(従来の配位)と複数アンテナの場合で比較した。

放射電力の総和を一定とした場合、1つのアンテナよりも、複数アンテナに位相を調節しつつ給電した方が、固有モードを強く励起できることがわかった。

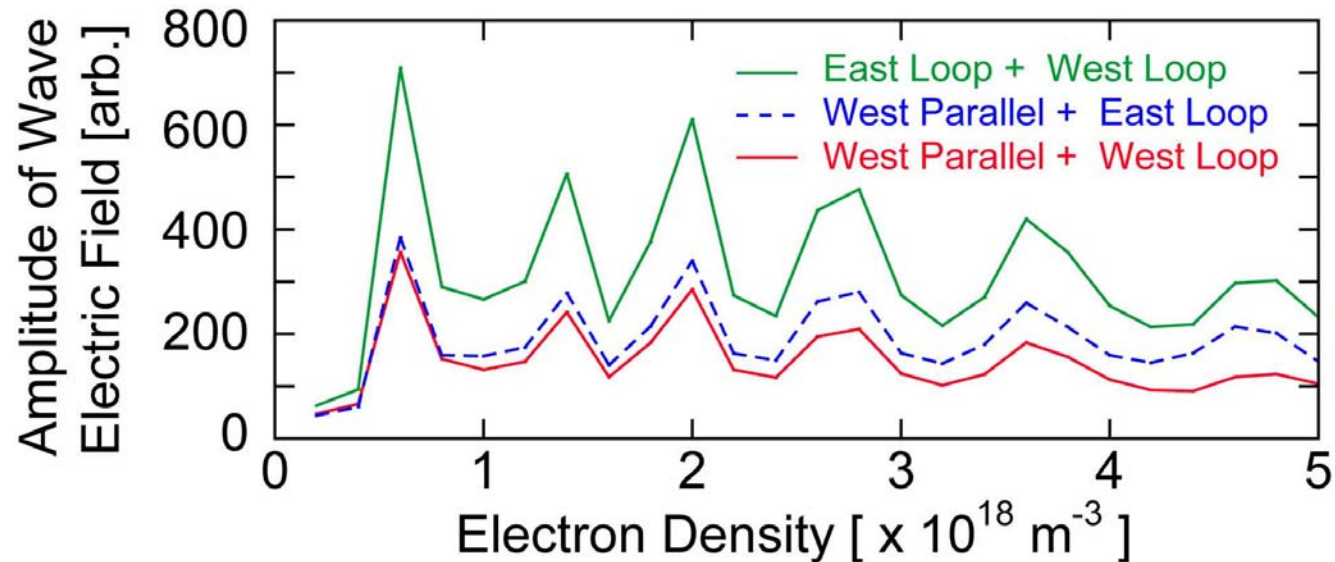
励起波動振幅のアンテナ間位相差に対する依存性

プラズマ中心部での、励起波動振幅の密度依存性



複数アンテナ間の位相差には、プラズマ密度に対して最適値が存在する。実験では、密度上昇に伴い、アンテナ間の位相を調節する必要がある。

現状における最適なアンテナの組み合わせ

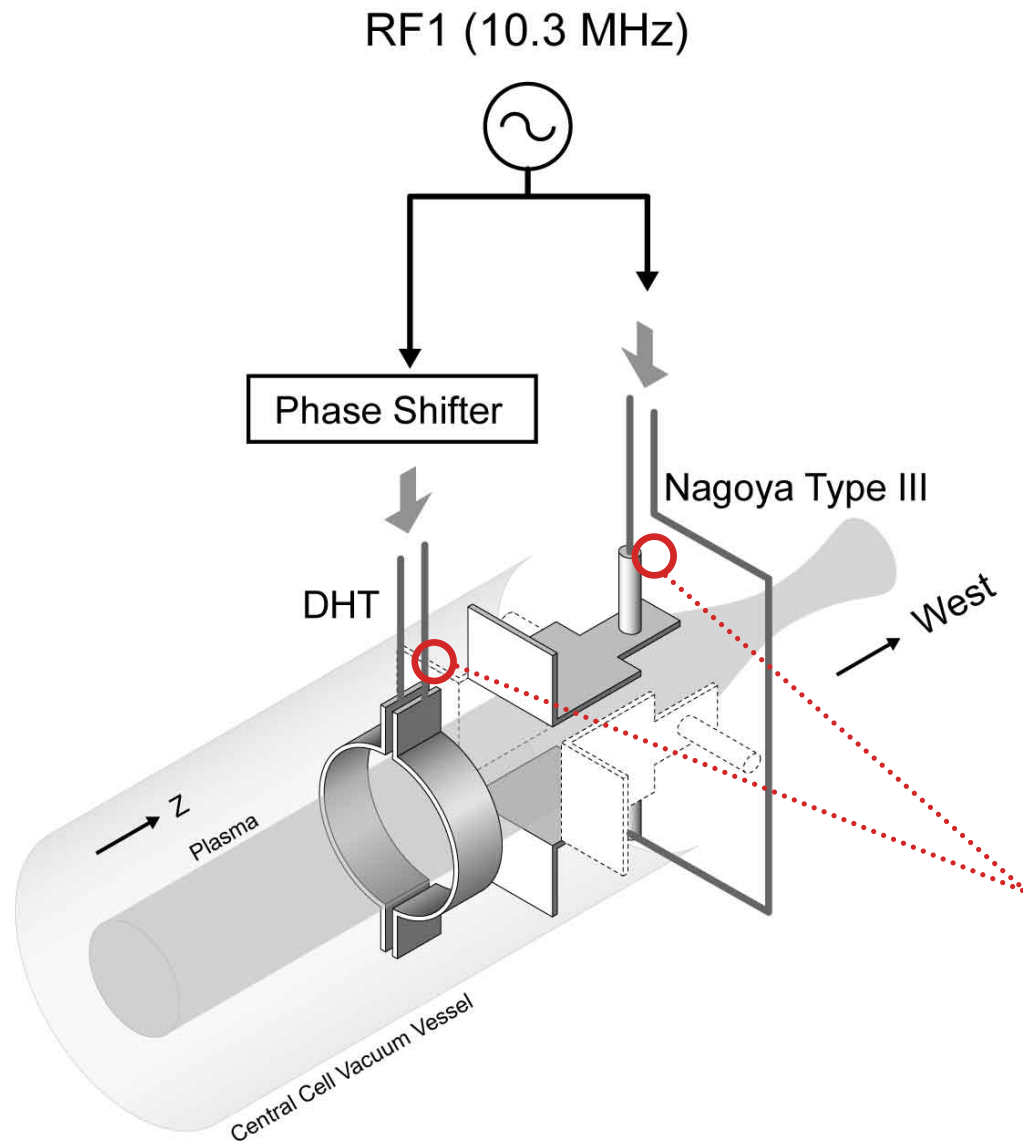


それぞれの密度において波動振幅が最大となるアンテナ間位相を抽出.

複数アンテナの組み合わせにループアンテナを含めると、
励起波動の振幅が非常に大きくなるのがわかる。

▶ Double Half Turn アンテナを含む組合せを用いて、
位相差制御実験を行った。

アンテナ間位相差制御実験



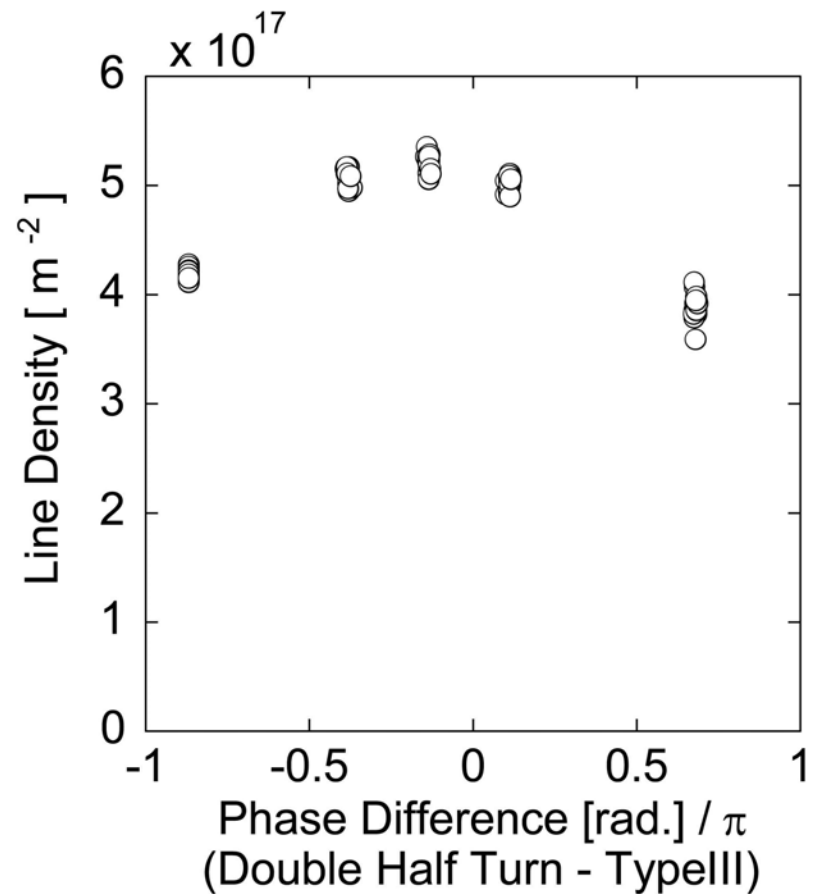
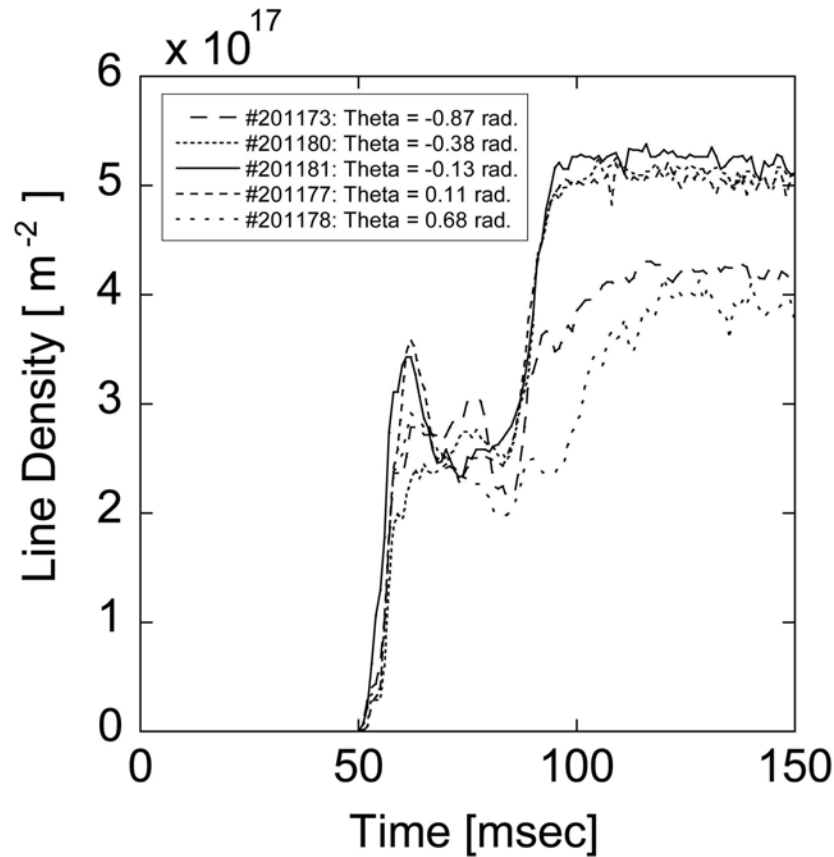
実験には、西側**DHT**—**Nagoya Type III**アンテナペアを採用.

西側DHTに対して、RF1の周波数**10.3MHz**に**インピーダンス整合**を取った.

移相器によりアンテナ間位相を調整しつつ、給電.

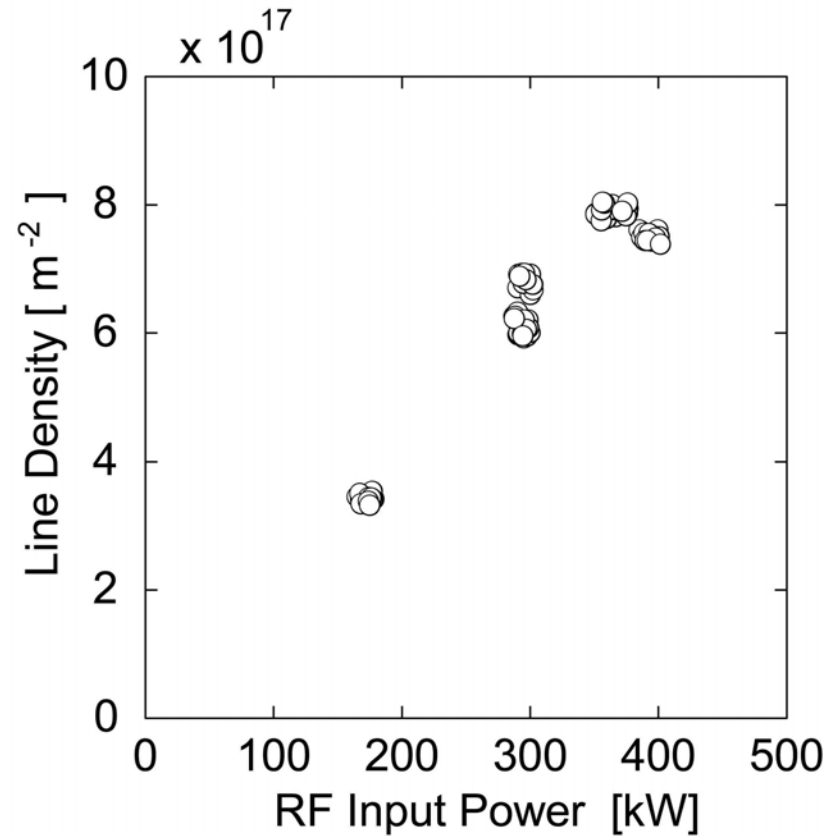
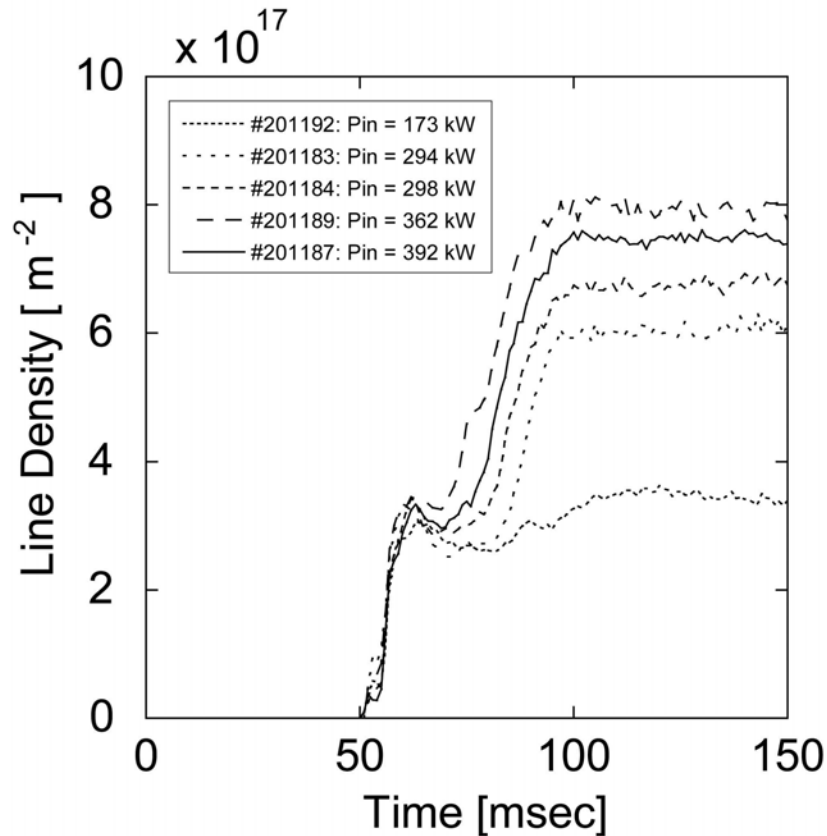
アンテナ近傍に設置した電流検出Pick Upコイルを用いて、アンテナ間の位相差を測定.

実験結果(プラズマ密度のアンテナ間位相差依存性)



アンテナ間の位相差には、最適値が存在する。位相差が最適値から離れると、プラズマ放電を維持できないことがある。

実験結果(プラズマ密度の入射電力依存性)



アンテナ間の位相差を最適値に設定. 密度は, 高周波入射電力の増大に伴って大きく増加した. この配位において密度飽和は観測されておらず, 入射電力の増大により更なる密度上昇を期待できる.

まとめ

高周波の電力増大時に密度飽和が観測される問題に対して、波動励起の観点から改善を試みた。

現状における速波励起の最適化として、複数アンテナ間の位相差を調節する実験を行った。

- アンテナ間の位相には、プラズマ密度に対して最適値が存在する。
- 複数アンテナの組み合わせにDouble Half Turn アンテナを含めると、励起波動の振幅が非常に大きくなることが、計算により明らかとなった。
- 西側のDouble Half Turn, Nagoya Type III アンテナを用いた位相制御実験により、最適なアンテナ間位相が存在すること、更なる高密度化が可能であることを示した。