

VIII プラズマ

VIII-1 ガンマ10グループ

教授	谷津 潔、玉野輝男、長 照二
助教授	石井亀男、北條仁士、斉藤輝雄
講師	板倉昭慶、中嶋洋輔、近藤（平田）真史、立松芳典
助手	吉川正志、小波蔵純子
技術主任	平田久子
技術専門職員	大川和夫
大学院生	（34名）

共同研究者

助教授	間瀬 淳、際本泰士、市村 真、片沼伊佐夫（以上 物理工学系）
講師（研究機関研究員）	KUBOTA, Shigeyuki、濱田稔
準研究員	BRUSKIN, Leonid
技官	杉山昭彦、和所保規、遠藤洋一、嶋 頼子
大学院生	（9名）

【1】 序論

研究面では、前年度に引き続いて電位閉じ込めの改善を目標として実験を進めた結果、電位閉じ込めによりプラズマ密度とエネルギーが倍増するショットが得られ、目標を達成することができた。この達成には、実験の習熟による運転条件の最適化が寄与しているが、それと同時にアンカートランジション部に設置されたアンカープレートも有効に働いたものと考えられる。アンカープレートは、アンカートランジション部の、磁束が扇形に広がった部分で、プラズマに近接して設置した導体板で、アンカー部からプラブ・バリアー部においてプラズマ中の電場に乱れがあった場合大きな径方向損失が生ずると考えられ、そのような電場を軽減するために、プラズマ境界における電位を一様に固定することを目的としたものである。更に、プラズマ閉じ込め電位と、電位閉じ込めによる密度上昇率の、マイクロ波電力依存性が測定され、マイクロ波電力140kWまでにおいて、閉じ込め電位と密度上昇率ともマイクロ波電力とともに上昇する結果が得られた。この電位閉じ込めの維持時間は0.05秒であったが、維持時間を倍増する0.1秒の実験も開始されている。

教育においては、物理学研究科大学院生21名、理工学研究科大学院生13名、自然科学類4年の卒業研究生12名、その他これらの学生と緊密な教育研究に関連を保ちながら、工学研究科大学院生9名、基礎工学類4年の卒業研究生2名の研究指導にあたり、教育においても大きな役割をはたした。

国際交流においては、学術交流に関する協定を、昨年度のロシア連邦ブドカー研究所に続いて、モスクワのクルチャトフ研究所と1998年8月に締結した。これ等2研究所との学術交流は既に開始されているが、今後更に活発に進めて行く予定である。その一端として、7月末にノボシビルスクのブドカー研究所で開催された開放磁場系プラズマ閉じ込め国際会議では、プラズマ研究センターからの発表が大きな役割を果たすとともに、本センターからの出席者とロシアの研究者の間で、研究連絡が行われた。

【2】 タンデムミラー・ガンマ10におけるプラズマの電位閉じ込め

電位閉じ込めによるプラズマ密度の上昇は、平成9年度の50%が達成された。また、アンカートランジション部にアンカープレートも設置された。これまでの実験と、アンカープレート設置の基に、更に良好なプラズマ閉じ込めを目指し、プラズマの密度上昇率100%を目標として。実験を進めた。その結果、電位閉じ込めによるプラズマ密度とエネルギーが倍増するショットが得られ、目標を達成することができた(図1) [1]。密度とエネルギーが倍増したショットにおいて、プラズマ密度は $2.7 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ 、軸上イオン温度は4.5 keVであった。電位形成時の閉じ込め電位は0.6 kVで閉じ込め時間は40 msであった。これは単一ミラーの閉じ込め時間の一桁の改善にあたる。閉じ込め電位はプラズマ密度の上昇とともに減少し、マイクロ波後半での閉じ込め時間は15 msに減少する。閉じ込め電位と密度の依存性は今後の研究課題である。この実験で閉じ込め電位形成時間は50 msであったが、タンデムミラーの一つの特長である定常閉じ込めの研究を行うためには、電位形成時間を今後1秒程度を目標に延長する必要がある。図2は密度上昇率と閉じ込め電位のマイクロ波電力依存性である[1]。今後運転条件を更に最適化するとともに、更に高いマイクロ波電力で実験を行い、閉じ込め電位1 kV以上の生成を目標としている。

[1] K.Yatsu, et al., 17th IAEA Fusion Energy Conference, Yokohama, Japan, 19-24 October 1998, Paper IAEA-CN-69/EX4/6.

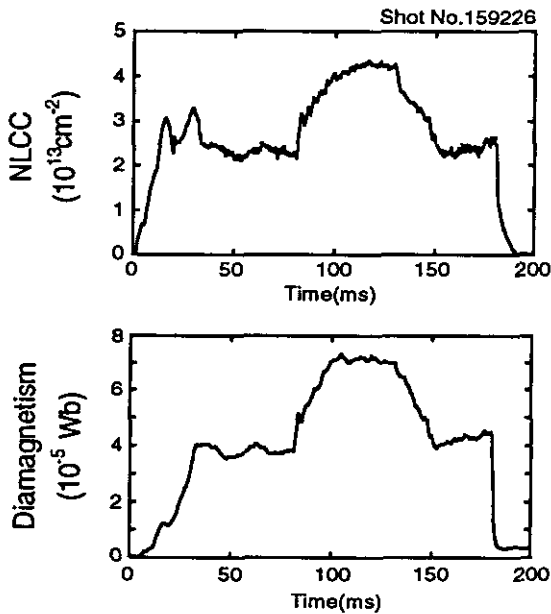


図1 Central-cell line density (a) and diamagnetic signal (b) for a shot when they are doubled by formation of a plug potential at ECRH power of 140 kW in each plug region. The plasma density on the axis at the peak line density is $2.2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$.

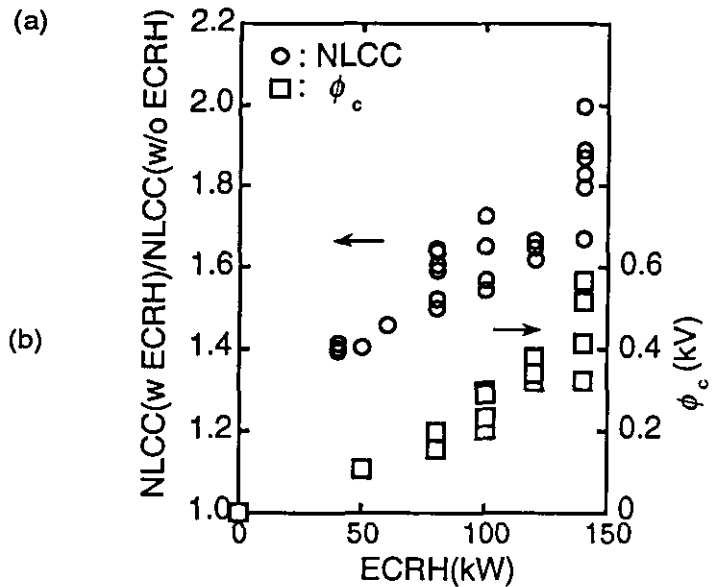


図2 Increment of the central-cell line density and the confining potential as a function of the ECRH power in each plug region.

【3】 ガンマ10のプラズマ閉じ込め電位の生成機構と比例則の研究

タンデム・ミラー型プラズマ閉じ込め装置を特徴づける、電位によるプラズマ閉じ込め・制御に関して、将来の指針を得るべく、比例則、並びに物理機構を研究している。このために(1)ガンマ10装置の主要な二つのプラズマ生成・加熱運転モードである、(i)電子サイクロトロン加熱(ECH)をプラズマ生成・立ち上げに用い、kVオーダーのより高電位生成をその特徴とする、所謂「高電位生成モード」[1]と、(ii)10 keVの高イオン温度を生成し重水素-重水素核融合反応に基づくニュートロン発生を伴うが、閉じ込め電位は0.5 kV程度の、所謂「高温イオン・モード」[2]の、両者に共通する基礎物理機構、並びに比例則を調べ、将来の両モードを統合し、高いプラズマ閉じ込め電位を持ち且つ高イオン温度を持つ、両モードの優れた特長を両立させた更なるプラズマ生成・閉じ込めへの進展への物理的基盤を得る事を目指している。先ず、それぞれのモードの電位生成機構として、少なくとも「高電位生成モード」でその成立が証明された「強いECH理論」の一般性の検証を基盤として、「電子温度と生成電位間の関係」を導入し、加えて、生成電位と入射ECH加熱電力の相関を求める。即ち、我々がプラズマ外部から制御可能なECH電力に比例則のパラメータを演繹する事により、将来のプラズマ・パラメータ向上への方向性を探ろうというものである。両者の電位生成機構の研究点として、「統一的に強いECH理論で説明できる」か否かを先ずその出発点とする。

上記の目的を達成するための、具体的計測手段としては、我々は、これらの基盤を与える、詳細で正確なデータを収集すべく、新型計測器開発から始め、上述の物理機構解明・比例則確立のための一連の研究成果を纏めた。[3]

さて、プラグ部に生成された電位 ϕ_p は、以下のガンマ10のオリジナルのアイデアに基づき設計・製作した新型イオン・エネルギー・スペクトル計測器を用いた。[4] 本新型計測器は、多重グリッド付きファラデー・カップである「従来型の静電エネルギー分析器」の問題点であった、数10 keVの入射電子がイオン計測時にコレクターに流入し、イオン計測に対し、大きなノイズ成分となっていた点を抜本的に改善すべく、イオンと電子の詳細な軌道計算に基づき両者を弁別する静電場配位を求め、実際に計測器の設計・開発・イオン源を用いた基礎特性検証実験を行い、その設計性能を実証した。[4] また、イオン・エネルギー・スペクトルのプラズマ半径方向分布を単一ショットで測定することのできる、新型計測器アレイを開発し[5]、加えて、半導体イオン検出器を端損失イオン計測に適用し [6]、より高感度の測定ができることを示した。

一方、電子温度計測に、新開発半導体検出器を用いた新X線計測器 [7]、並びに新X線計測法 [8,9] に拠り、セントラル部電子温度 T_{ec} を計測し、バリア部のサーマルバリア電位 ϕ_b との相関を、プラグ部並びにセントラル部密度 n_p, n_c をパラメータとして求めた。即ち、高電位モード、高温イオン・モード夫々に対し、単位をkV表示により、夫々以下の関係式(1),(2)を得た。

$$T_{ec} = 0.23 \phi_b + 0.03 \quad (\text{for } n_p/n_c = 0.4-0.5) \quad (1)$$

$$T_{ec} = 0.16 \phi_b + 0.01 \quad (\text{for } n_p/n_c = 0.13-0.07) \quad (2)$$

この時に強いECH理論より予想される電位、電子温度、及び密度の関係式は、

$$\phi_c = T_{ec} [0.665 (n_p/n_c) \exp(1.19 \phi_b / T_{ec})]^{2/3} - \phi_b \quad (3)$$

次に、この様な新型計測器の開発に基づき、サーマルバリア電位 ϕ_b と、入射プラグ部ECH電力 P_{ECH} の相関を示す。ここでは、敢えて、両者が比較的弱い相関を示す高イオン(温度)・モード時の依存性を例示する。

第3式に第1, 2式を代入すると、 $\phi_b, \phi_c, (n_p/n_c)$ の3つのパラメータで、電位に関するスケール則を記述できる。

更に、第1図を用いると ϕ_b をプラグ部ECH電力 P_{ECH} で置換できる。従って、イオン閉じ込

め電位 ϕ_c は、 (n_p/n_c) をパラメータとして、 P_{ECH} で記述でき、少なくとも現在の密度領域において第2図に示す、電位生成に関する、ECH電力のスケール則が得られる。

尚、高電位モードでは、例えば、 P_{ECH} と ϕ_b の値のペアとして、50 kW, 100 kW, 150 kWで、0.3 kV, 0.5 kV, 1 kVを得ており、高イオン・モード時に比べて、はるかに強い相関と、大きな電位が得られている。従って、高電位モードのスケール則としては、第2図の表示では、同じECH電力で、更に大きな電位が得られることになる。

第2図では、安全サイド（生成電位が最小値側）のスケール則を用いて、将来の電位生成について、本研究より予想される必要最大限のECH電力に相当している。例えば n_p/n_c が0.4だとすると、1 MWのECH電力で、約8 kVのイオン閉じ込め電位の生成が可能であることがわかる。このことは、第1図のような、かなり緩やかな「高温イオン・モード」のような電位生成の比例則を用いたとしても、1 MWのECH電力で、10 kVに迫る閉じ込め電位生成が可能であることが予想され、将来のタンデム・ミラーの方向性の一つの道標を示している。因に、現在のジャイロトロン開発技術では、28 GHz に対し2 MWも容易に製作できる技術水準にある。

この後の指針として、我々は、密度に対する依存性を更に調べ、運転パラメータ領域の拡張と、この点も含めた比例則の伸長に向けて、現在データ・ベースを更に体系化する計画である。

- [1] T. Cho et al., Phys. Rev. Lett. **64**, 1373 (1990).; Phys. Rev. A **45**, 2532 (1992).
- [2] Y. Kiwamoto et al., Physics of Plasma **3**, 578 (1996).
- [3] T. Cho et al., Transactions of Fusion Technology **35**, 151 (1999)
- [4] Y. Sakamoto et al., Rev. Sci. Instrum. **66**, 4928 (1995).
- [5] Y. Sakamoto et al., Fusion Engineering and Design **34-35**, 543 (1997).
- [6] T. Cho et al., Rev. Sci. Instrum. **68**, 324 (1997).
- [7] J. Kohagura et al., Rev. Sci. Instrum. **70**, 633 (1999).
- [8] J. Kohagura et al., Phys. Rev. E **56**, 5884 (1997).
- [9] T. Cho et al., Phys. Rev. A **46**, 3024 (1992); Nucl. Instrum. Methods A **348**, 475 (1994).

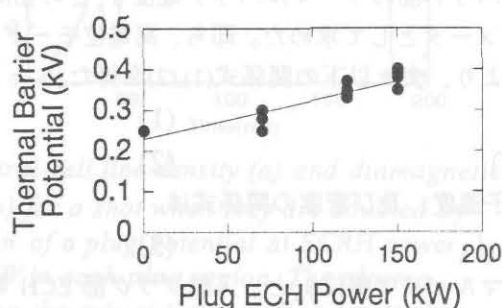


Fig. 1 A scaling of the thermal-barrier potentials ϕ_b with plug ECH powers for studying the future potential formation

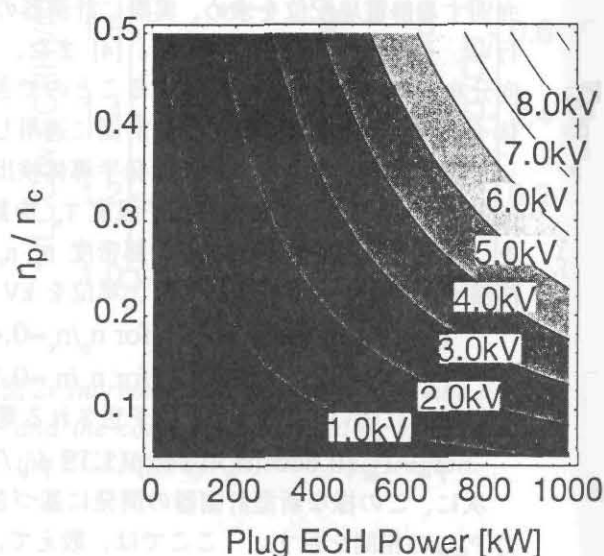


Fig. 2 Ion confining potentials on the surface of the ratio of plug to central-cell densities vs. plug ECH powers.

【4】 ガンマ10プラズマへの固体水素ペレット入射

ガンマ10においてプラズマ中心部への粒子補給を目指して固体水素ペレット（氷の弾）入射を計画し、ペレット入射によって供給された粒子の電位閉じ込めが可能かどうかの実証実験を開始した。これまで通常使用されてきたガスパフ方式ではプラズマの周辺での電離が主となり、中心部への粒子補給は困難であった。核融合プラズマへのペレット入射は、トカマク等のトーラス系プラズマ装置では一般的に行われてきたが、磁力線方向に供給した粒子が損失しやすい開放端系プラズマ閉じ込め装置では、これまで行われていなかった。しかし、軸方向閉じ込め電位を形成するタンデムミラーガンマ10では、磁力線方向の粒子閉じ込めが行われるため、ペレット入射による粒子密度の上昇が見込めることになる。そこで、米国のオークリッジ国立研究所（ORNL）の協力を得て、ATF ステラレータで使用していた8チャンネルパイプガン方式ペレット入射器に改造を加えて、ガンマ10に設置した。ATFで使用していたときには、直径1mm程度のペレットまでしか作ることができなかったが、ガンマ10ではプラズマ密度が低いことから直径0.3mm程度までの微小なペレットを作成するためにペレットを作るパイプの径を細く改造している。このペレット入射器をガンマ10本体の地下に設置し、ペレット輸送のためのガイドとして内径4mm、長さ6.5mのテフロンチューブを介してガンマ10プラズマ内に入射することにした。図1にペレット入射器とガイドチューブを示す。核融合プラズマへのペレット入射に関しては、ペレット入射器からプラズマへのガイドの方法、ガイド内でのペレットの蒸発、プラズマ内でのペレットの挙動、ペレットの溶接機構、粒子輸送などが重要な研究課題となっている。ガンマ10でも、テフロンチューブによるペレットのプラズマ入射へのガイドを行っており、このガイド内での蒸発、スピードの変化について測定を行っている。プラズマ入射実験に先立ち、ペレット生成、ガイド内の通過割合を測定した結果、ほぼ9割のペレットがガイドを通過可能であることが分かった。そこで、ガンマ10プラズマへ直径約0.5mmのペレット（図2：典型的固体水素ペレットのシャドウグラフ）入射実験を行った。その結果、次のことが明らかとなった。まず、ペレットはガイド内において射出直後の速度から約8%程度減速してガンマ10まで到達していることが分かった。また、入射したペレットはプラズマ内で少し加速されていることを示唆する結果が得られている。これは、ペレットの溶接時に起こるロケット効果によると考えられる。次に、ペレットによって供給された粒子は、端損失イオン計測器による測定でプラズマ中心軸付近に多く供給されていることが推測された。これは、ペレット入射によるプラズマ中心付近への粒子補給が行われていることを示している。今後、タンデムミラーにおけるペレットによる粒子供給及びその閉じ込めについてより詳しく調べていく。

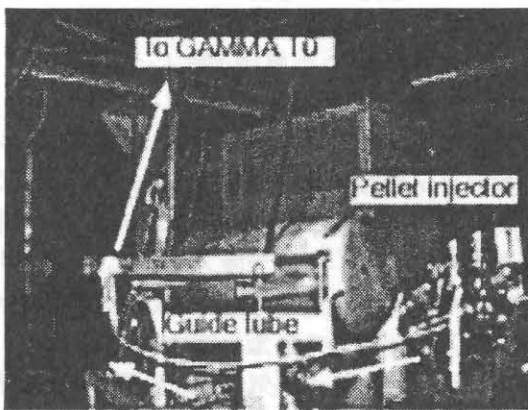


図1：ペレット入射器とガイド

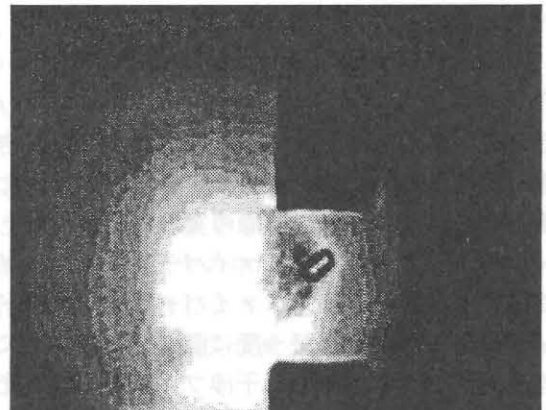
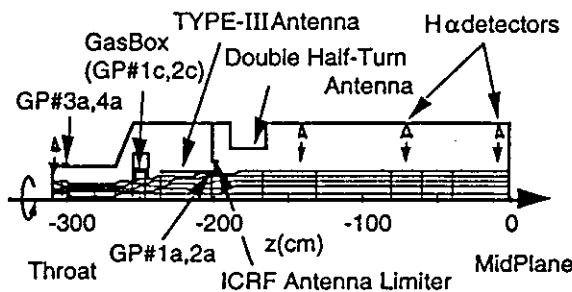


図2：典型的ペレット写真

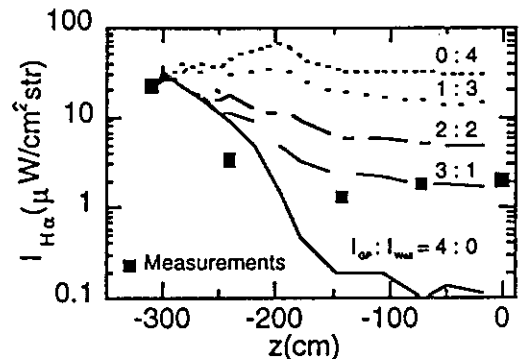
【5】 ガンマ10セントラル部における中性粒子輸送の検討

磁場閉じ込め装置において、粒子閉じ込めを詳細に解明する上で、ガスバフ・NBI等の外部からの粒子供給のみならず、水素リサイクリングによる粒子供給を定量的に評価することは非常に重要である。またタンデムミラー型の閉じ込め装置では、粒子供給量を評価する上で、中性粒子密度の径方向分布、及び磁力線に沿った軸方向分布の詳細な解析が必要である。従来よりガンマ10では、DEGASコード[1]を用いた中性粒子輸送シミュレーションが行われてきた。[2,3] また、 $H\alpha$ 線検出器がセントラル部において設置されており、ミッドプレーン付近における径方向分布、および磁力線に沿った軸方向分布が測定されてきた。[4] しかしながら両者を比較したところ、ミッドプレーン付近において実測がシミュレーションより高く、その原因として高温イオン(数keV)の荷電交換中性粒子に起因する、強い水素リサイクリングの影響が考えられている。

今までのシミュレーションでは、DEGASコードに実際の実験条件に即した粒子の反射・放出が考慮出来る様に改良を加え、その初期的な計算を行ってきた。[5,6] 今回、DEGASコードを用いて、ガスバフ及びリサイクリングによる粒子供給のバランスを定量的に評価することを目的とした計算を行った。第1図は、DEGASコードで用いたプラズマメッシュモデルであり、軸方向に設置した $H\alpha$ 線検出器と対応する様に改良されている。第2図は、ガスバフからの局所的なテスト粒子の導入量(I_{GP})と壁からの一様な導入量(I_{wall})のそれぞれの割合を変化させ、計算した結果である。なお、計算結果は $H\alpha$ 線放射輝度に換算し、スロート部の実測値で規格化している。 I_{GP} に対する I_{wall} の割合を大きくすることで、ミッドプレーン付近における $H\alpha$ 線放射輝度の上昇が認められた。また、壁コンディショニング期のプラズマパラメータを用いてシミュレーションを行った結果、定性的には壁コンディショニングの進行に伴う壁からのリサイクリング量の減少を示唆する結果を得ることが出来た。



第1図

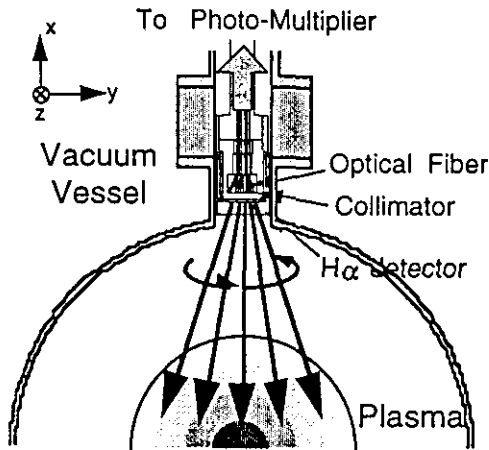


第2図

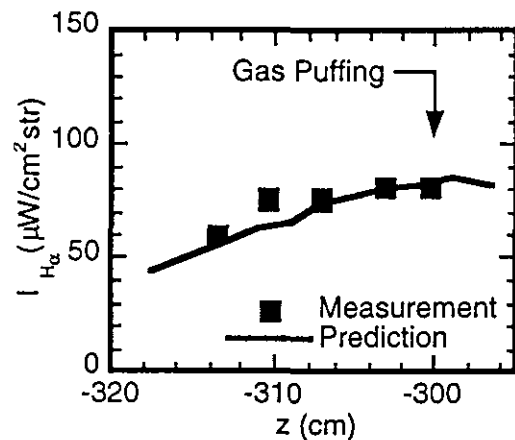
上述したように、ミラーズロート部において中性水素の局在化が観測されており、この領域での中性粒子輸送を詳細に調べる必要があるため、新たに小型の $H\alpha$ 線検出器を製作・設置した。第3図は本検出器の模式図、及び実際の実験状態のセットアップを示している。本検出器は、ステンレス製ビューポート、アルミ製光ファイバーアレイヘッド、伝送用の光ファイバ、干渉フィルタ、光電子増倍管で構成されている。光ファイバーアレイヘッド内には5本の光ファイバーが挿入してあり、5点の $H\alpha$ 線強度の空間分布が一度に測定できるようになっている。ヘッドで受光した $H\alpha$ 線輻射は、10m程度の光ファイバーで、干渉フィルタを経て光電子増倍管に導かれ、電気信号に変換される。検出器は、アレイヘッドの入ったビューポート全体を回転させることにより、 $H\alpha$ 発光の2次元分布を測定することが可能になっている。検出器は既に標準光源を用いた感度校正実験を行っており、空間分解能についても設計値をほぼ満たしている事が確認されている。

第4図にミラーズロート部において初めて測定された空間分布の一例を示す。図中の□印は測定結果、実線はDEGASコードを用いた中性粒子輸送シミュレーションの結果を示している。ミラーズロートに設置されているガスバフ ($z=-300$ cm) 直下の測定値が最も高く、離れるに従って徐々に低下していることが分かる。DEGASを用いたスロート付近のシミュレーションを行い、図に示すように、両者が

概ね一致していることが判明した。以上述べたように、本計測システムを用いて、今後プラズマの粒子源等の解析を行う上で重要な実験データを提供できる見通しが立った。



第 3 図



第 4 図

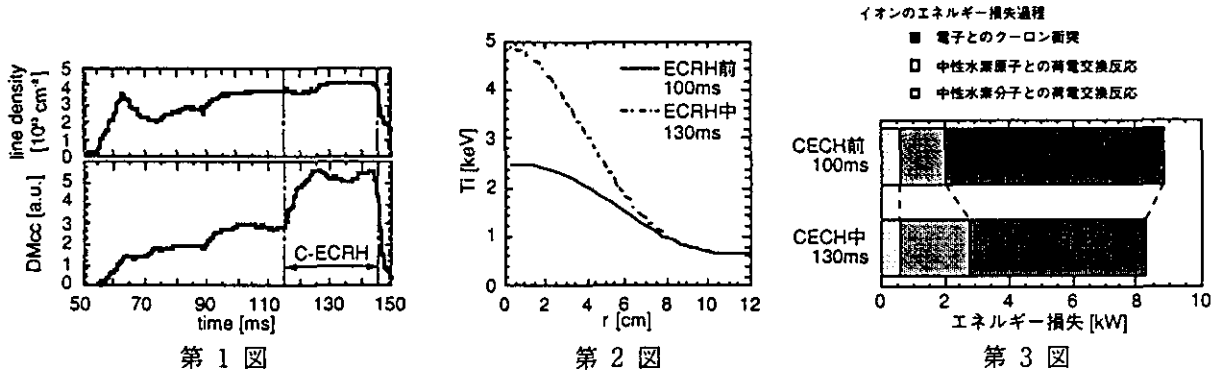
- [1] D.B.Heifetz, et al., J. Comp. Phys. 46 (1982) 309.
- [2] 中嶋洋輔 他、プラズマ・核融合学会 第 12 回年会予稿集 23aC1, p.261.
- [3] Y.Nakashima, N.Yamaguchi, K.Yatsu, et al., J. Nucl. Mater. 220-222 (1995) 580.
- [4] Y.Nakashima, M.Shoji, K.Yatsu, et al., J. Nucl. Mater. 241-243 (1997) 1011.
- [5] 小林進二 他、プラズマ・核融合学会 第 35 回年会予稿集 2aB14p, p.181.
- [6] S.Kobayashi, Y.Nakashima, et al., J. Nucl. Mater. 266-269 (1999) 566.

【6】 ガンマ 10 プラズマにおけるイオンのエネルギー収支の検討

ガンマ 10 では、プラズマの主閉じ込め領域であるセントラル部において、ICRF 加熱により生成・加熱したプラズマに対して、ECRH を重畳する実験 (C-ECRH 実験) を行った。本実験では、第 1 図に示すように、セントラル部 ECRH の印加によって、反磁性量が 2 倍程度に増加していることが分かった。一方、セントラル部の中央付近には荷電交換中性粒子分析器 (CX-NPA) が設置されており、イオン温度計測を行っている。本実験における CX-NPA の測定によって、ECRH 印加中に高エネルギー側と低エネルギー側とからなる折れ曲がったエネルギースペクトルが測定され、第 2 図に示すようなイオン温度の大幅な増加が認められた。[1] 一方、軟 X 線計測の測定結果から、ECRH により電子温度が 55eV から 145eV に上昇したことが分かっている。これらの解析結果をもとに、ECRH 前後の定常状態について、イオンのエネルギー損失を検討した。第 3 図はプラズマの中心部 ($r \leq 10\text{cm}$) におけるイオンの各種エネルギー損失量を表している。以上の結果から、ECRH によって電子温度が上昇したことにより、イオンと電子とのクーロン衝突によるイオンのエネルギー損失が減少し、イオンの全エネルギー損失量が減少したことが分かった。

また、イオンのエネルギー損失における ECRH 重畳の効果を、より詳細に評価するために、イオンのエネルギーバランスを時間的に追跡する数値計算を行った。使用した数値計算コードは、定常状態におけるイオンのエネルギー損失量の和から、プラズマへの入力パワーを求め、Runge-Kutta 法によりイオンのエネルギーバランスを時間追跡する。[2,3] このコードでは、イオン温度の径方向分布、反磁性量、エネルギー閉じ込め時間等の時間変化を求めることができ、計算結果と実測結果とを比較検討することにより、イオンのエネルギーバランスを定量的に考察することができる。ここでは反磁性量の時間変化に注目し、計算結果と実測値との比較検討を行った。その結果、セントラル部 ECRH 実験

において、ECRHによる電子温度上昇に伴い、中心イオン温度が上昇することが確認された。また、入力パワーの空間分布を ECRH 中のイオンのエネルギー損失量の空間分布に、時間的に緩やかに移行させることにより、イオン温度および反磁性量の時間変化を測定誤差の範囲内で再現することができた。以上のことから、この実験では古典的エネルギー損失過程のみ考慮することで、イオンのエネルギーバランスを説明できることが分かった。[4]



- [1] 長谷川陽子、中嶋洋輔 他、プラズマ・核融合学会第13回秋季講演会 lpA18
- [2] 庄司 主、中嶋洋輔 他、プラズマ・核融合学会第10回年会 26aD7
- [3] Y. Nakashima, M. Shoji, et al., Fusion Eng. Design 34-35 (1997) 555-559.
- [4] Y. Nakashima, Y. Hasegawa, M. Shoji, et al., Rev. Sci. Instrum. 70 No.1 (1999) 849.

【7】 炭素材を用いた中性水素排気に関する研究

高温プラズマを生成する際に影響を与える水素リサイクリングを制御することは、プラズマの閉じ込め性能を向上するために欠かすことはできない。我々は、主にトカマク等のトーラス型プラズマ閉じ込め装置における第一壁として使用されているカーボン材を使って、水素リサイクリングを低減する実験及び評価を行っている。[1,2]

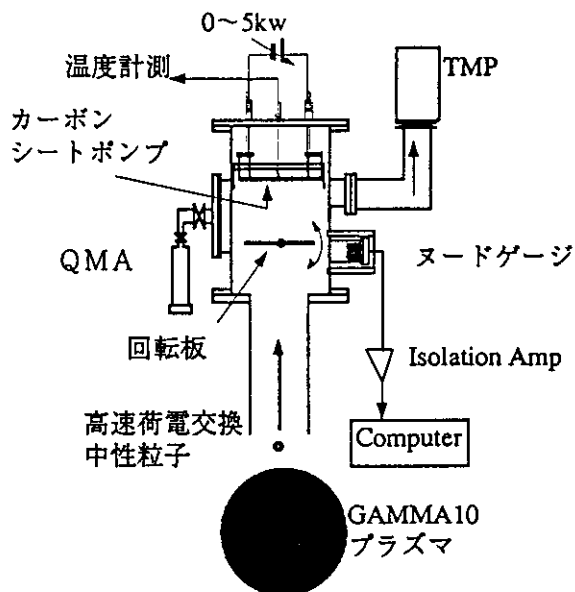
実験では、ガンマ10のセントラル部で生成された数 keV の高速荷電交換中性粒子を、延長ダクトを介して直径170mm、厚さ1.5mmのCFC材 (CX-260) でできたカーボンシート[3]に照射する。カーボンシートを設置したテストモジュールは、プラズマ中心から約1.5m離れたところに配置した。カーボンシート前面には、回転式の邪魔板 (SUS316 製) が設置されており、ショット・バイ・ショットにてシート面への中性粒子の照射を on-off することで、プラズマ放電時のチャンパー内の圧力変化をヌードゲージにより測定することによって排気性能を評価している。[4]

捕捉された高速荷電交換中性粒子は、カーボンシートへの直接通電による昇温脱離実験をすることにより放出される。しかし、これまでの研究から昇温脱離時の圧力上昇の割合が、真空容器内のベース真空度、及び昇温脱離実験の時間間隔に依存するという結果が得られている。このため昇温脱離時の圧力上昇から、カーボンシートへの捕捉量を評価することが困難であった。今回、これらの状況を改善するため、ターボ分子ポンプをチャンパー近傍に配置することにより、チャンパー内ベース真空度の改善を試みた。

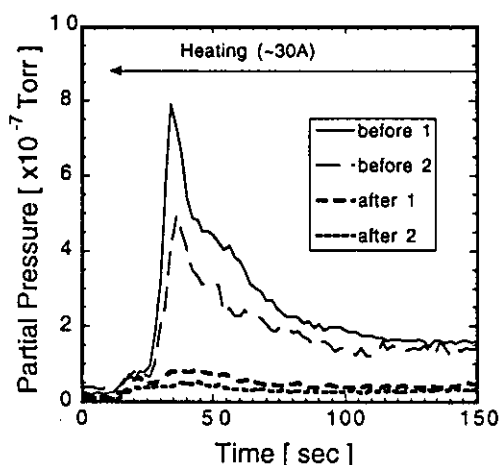
第1図に概略図を示す。今回の改善の結果、ベース真空度を数十倍程度、向上することができ、昇温脱離時においてCSPの on-off での脱ガス量に、有意な差を見出すことができた。更に昇温時の脱離ガスの質量分析から水素とメタンを確認することができ、核融合科学研究所における実験結果[3]と一致する事が初めて認められた。また、プラズマ放電中のCSPチャンパー内の残留ガス分析を行い、CSPの on-off で比較した結果から、荷電交換中性粒子が入射した際にカーボンシートにおいて生成される不純物は、現在の状態では観測できない程度に少ないことがわかった。

また、これまでの実験の結果から、カーボンシートポンプの排気効果の確認はされているが、カーボンシートに吸着している水素ガス分子が多いことが示唆されている。これは、カーボンシートポンプの排気効率を評価する上で不都合であるので、プラズマショット中の際、ガンマ10とポンプモジュール間のゲートバルブを開くように粒子導入系に改良を行った。

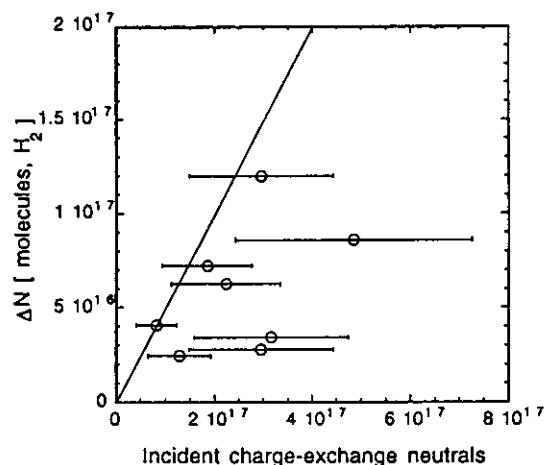
常にゲートバルブが開いている状態とプラズマショット中のみゲートバルブを開いた状態での昇温脱離実験の水素分子 ($m/e=2$) の圧力の時間変化に大きな差が認められた。第2図にゲートバルブを設置する前後での昇温脱離実験時の水素分圧の時間変化を示す。図から数分の1程度に減少していることがわかる。カーボンシートに入射した荷電交換中性粒子数は、ゲートバルブの状態に関わらず同じと考えられるから、表面に吸着している水素ガスを大幅に低減したと言える。この状態で、カーボンシートが捕捉した水素の量を見積もった。第3図に昇温脱離実験からの水素分子の量と荷電交換中性粒子計測で見積もった入射粒子数の関係を示す。この図から、入射粒子数に対して脱離粒子数がほぼ線形に増加していることがわかる。今後は、カーボンシートの温度をベーキング程度の温度に保ち、吸着しているガス分子数をさらに減らした状態での排気効率の正確な評価を行い、荷電交換中性粒子によるリサイクリングの評価を行っていく。



第1図



第2図



第3図

- [1] 中嶋洋輔 他、プラズマ・核融合学会第13回年会予稿集、21pE.P.156 (1996)
- [2] 森脇武之 他、プラズマ・核融合学会第13回秋期講演会予稿集、3pA12 P.200 (1996)
- [3] A.Sagara, et al., J.Nucl. Mater. 220-222 (1995) 627.
- [4] Y. Nakashima, A. Sagara, et al., J. Nucl. Mater. 266-269 (1999) 901.

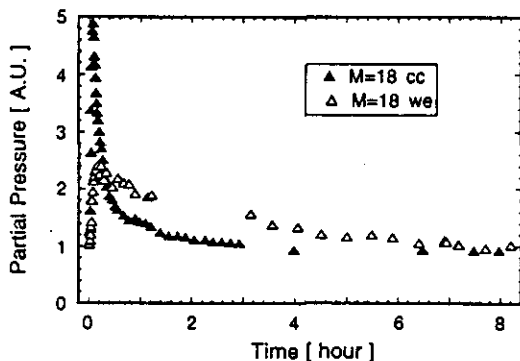
【8】 ガンマ10におけるプラズマポンピングによる磁力線方向の不純物輸送

タンデムミラー型プラズマ閉じ込め装置ガンマ10において、高温・高密度プラズマの生成及び閉じ込めには、清浄な真空容器壁の状態を必要とする。そのため、水素リサイクリングや、ミラー型閉じ込め装置の特有の現象であるプラズマポンピングについての情報は重要である。プラズマポンピングとは周囲のセントラル部プラズマが周囲のガスをイオン化し、セントラル部からエンド部へ流れていく現象である。

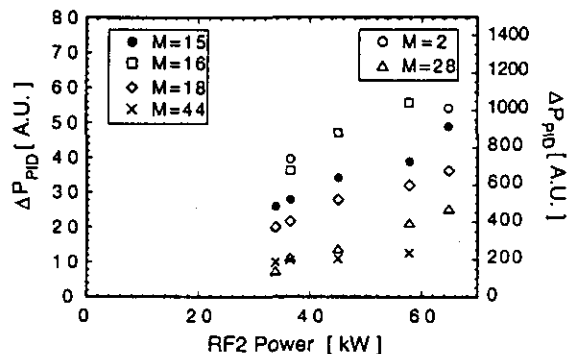
本研究の目的は、真空容器壁の状態の評価手段の一つであるプラズマ衝撃脱離(Plasma Impact Desorption: PID)計測システムを用いてプラズマポンピングの機構を解明することである。そのために、セントラル部に設置してあるPID計測システムと同様の計測システムを西エンド部に構築し、計測を開始した。スウィープジェネレータを用いて四重極質量分析器(QMA)を高速掃引し、QMAからのデータをA/Dコンバータによって高速サンプリング行う。取り込んだデータは、パーソナルコンピュータによって解析している。これにより西エンド部におけるプラズマと真空容器壁の相互作用の分析が可能となるだけでなく、セントラル部のPID計測システムと同時計測を行うことによって、プラズマ生成中、プラズマ生成前後の様々なガスの輸送が解析できる。以前にプラズマ生成の為の水素ガスの輸送は、ガス輸送数値計算コードを用いた詳細な検討がされている。この研究の特色は、従来はバルクの水素ガスについてしか行われていなかったガス粒子の輸送をQMAを用いることで、ガスの成分ごとの輸送に拡張し、より詳細な輸送のメカニズムを解析できる点である。実際の計測は、本実験の前に行う壁コンディショニングのための電子サイクロトロン共鳴放電洗浄(Electron Cyclotron Resonance Discharge Cleaning: ECR-DC)時の各質量数別の分圧計測、及び本実験のプラズマを用いたコンディショニングショット時の分圧の時間変化を測定した。また、ガス分圧のプラズマパラメータ依存性として、イオン加熱用の高周波発振器の入力電圧依存性とプラズマパルス幅依存性についても実験を行った。

ECR-DC時の $m/e=18(\text{H}_2\text{O})$ の時間変化を第1図に示す。この図からセントラルセルにおける H_2O の減少は、西エンド部に比べて早いことがわかる。両部では、同程度の排気速度を持つターボ分子いる。従って、セントラル部の H_2O 分子は、プラズマにより、水素と酸素に解離、電離してイオンとなりプラズマ流としてセントラル部から両エンド部に運ばれ、そこで再びガス化して検出されたものと考えられる。他の質量数についてもセントラル部と西エンド部における時間変化はほぼ同じ傾向があった。

また、プラズマパラメータ依存性からも、同じ様なプラズマポンピングがおこっていることがわかった。第2図に西エンド部におけるガス分圧のイオン加熱用の高周波発振器の入力電圧依存性を示す。入射電力が脱離ガス量とともに増加する傾向がある。これは入射電力が増えることにより、プラズマポンピングの量が増えること、及び真空容器に入射する粒子が増えることにより脱離ガス量が増加することが原因と考えられる。今後は、QMAの絶対感度較正を行い、ガス輸送数値計算コードを用いて、プラズマポンピングによる粒子輸送の定量評価を行う。



第 1 図



第 2 図

【9】 ガンマ10 極小磁場部における導体壁の効果と周辺プラズマ及び熱流の計測

ガンマ10 アンカー部の両端には、軸対称プラズマの生成されているセントラル部とプラグバリア部に磁力線を連結させる極小磁場変換部が存在する。この領域の磁場構造は非軸対称性が強く、ここでのプラズマの挙動については、未解明の部分が多い。また変換部のプラズマは、その扁平率が非常に高いため、短軸方向のプラズマ径は数cm程度となる。従って、プラズマ外部からこの方向での中性粒子の浸透が容易で、非軸対称な中性粒子密度分布が予想される。また、この領域は長軸方向にプラズマの寸法が一番大きくなる場所で、真空容器壁との距離は極めて近く、強いプラズマと壁との相互作用が生じている可能性もあり、非常に興味深い研究対象である。

平成10年の春に、軸方向閉じ込め電位形成並びに径方向損失の制御によるプラズマ閉じ込めの改善を目的として、極小磁場アンカー部に導体壁 (SUS 電極板) が設置された。[1] 本研究では、導体壁がプラズマ閉じ込めに与える効果並びに、電位形成に伴うプラズマ閉じ込め特性と径方向へのエネルギー・粒子損失の評価に関し、極小磁場アンカー外側変換部において行ったプラズマからの熱流及び周辺プラズマ計測等の結果に基づいて行っている。

第1図は電極板の概略図である。電極は、東西のアンカー部においてプラズマ断面が扁平となっている各々内側・外側変換部に分割して、計4箇所プラズマを挟み込むように設置されている。各々の電極板は、さらに軸方向に対し直角に4分割されており、全てが独立に浮遊・バイアス・接地状態にする事が可能となっている。また外側変換部の側面電極には静電プローブとカロリメータのアレイが設置されており、周辺プラズマの計測が可能になっている。

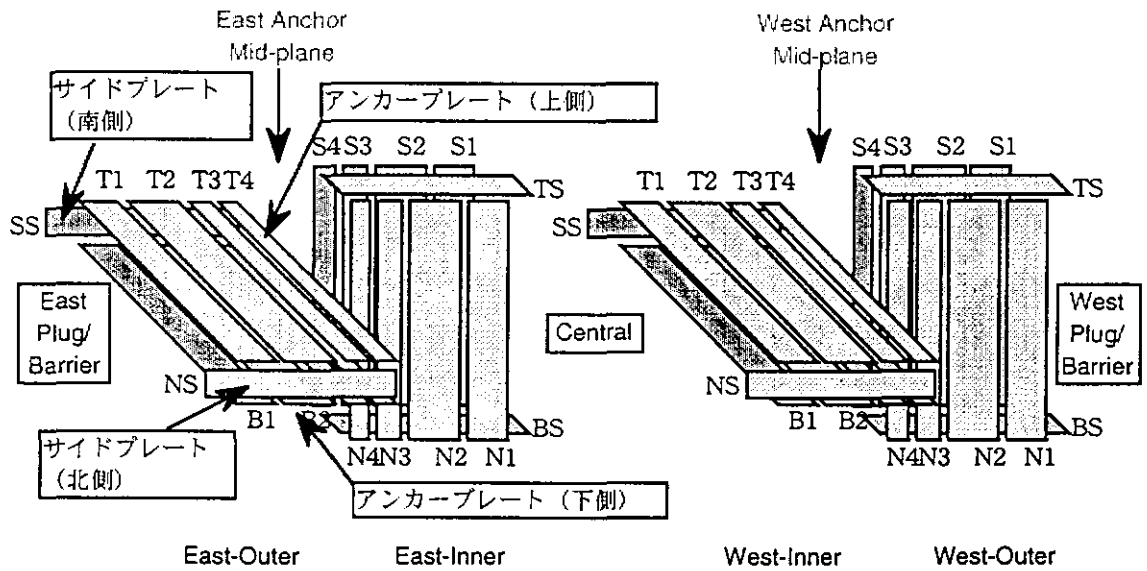
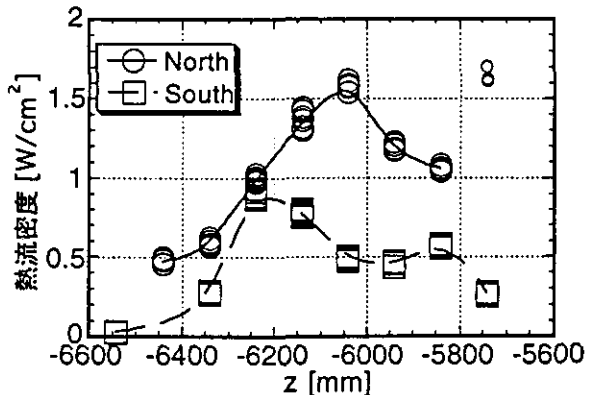


図1 アンカー電極板の概略図

サイドプレートに設置されている熱電対を用いた計測によって、そこに到達する熱流密度のz方向の分布を作成し、アンカープレート設置前後の熱流密度分布を比較した。(このとき、真空容器壁が接地電位であることを考慮して、アンカープレート設置後のデータはプレート電位が接地であるときものを用いた。) 第2図、第3図に示す通り、アンカープレート設置の前後では、絶対値にそれほど変化は見られないものの、分布形状に大きな変化が見られた。第3図から、設置後の分布形状が、計測点付近における磁場配位に対応する



第2図

ようになっていることが判明した。アンカープレート設置前では、熱流密度の分布が磁場形状と一致しなかったことから、アンカープレート設置により、磁場に沿って運動する粒子以外の、径方向損失の原因と考えられる粒子が抑制されたと推測できる。

アンカープレートの電位を接地電位から、プラズマ浮遊電位に変更した際に得られた各プレートの浮遊電位は、アンカープレートが400 Vから150 V程度で正であり、サイドプレートの電位は-100 V程度で負であった。この電位の違いは、プレートに到達する電子とイオンの数の違いであり、アンカープレートには主にイオンが、サイドプレートには主に電子が到達していると考えられる。この時、サイドプレートに到達する熱流密度の分布を比較してみると、第3図に示す通り、絶対値に大きな変化が見られた。浮遊電位の時の北側の熱流密度が、接地電位の時の70%程度に減少し、南北の非対称性が解消されている。このことから、径方向損失の抑制と、プラズマ閉じ込めの改善が確認できた。

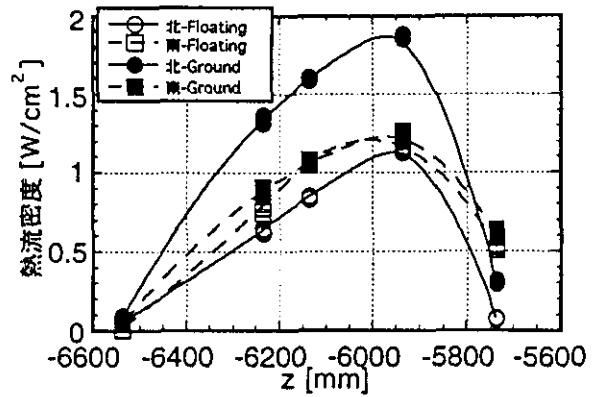
アンカープレート設置により、プラズマ閉じ込め領域であるセントラル部のプラズマ線密度において、電子サイクロトロン共鳴加熱 (ECRH) の効果が顕著になった。ECRH 印加によるプラズマ線密度の増加率は、アンカープレート設置前では、50%程度であったのに対し、アンカープレート設置により、100%近い増加が得られた。このことから、アンカープレートによりプラズマの閉じ込めが改善されたことが確認できた。

東外側変換部に可動式プローブを挿入し、垂直方向 (x 方向) の飽和電流分布を測定した。飽和電流は水平面 (x=0) で対称になると予想されたが、第4図に示すように、x 座標マイナス側に大きいという非対称な分布が得られた。この結果は、ECRH の有無、ICRF パワー等によらず同一方向へのシフトを示している。しかし、アンカープレート電位を Ground から Floating に変更すると、その非対称性がある程度解消される傾向が見られた。

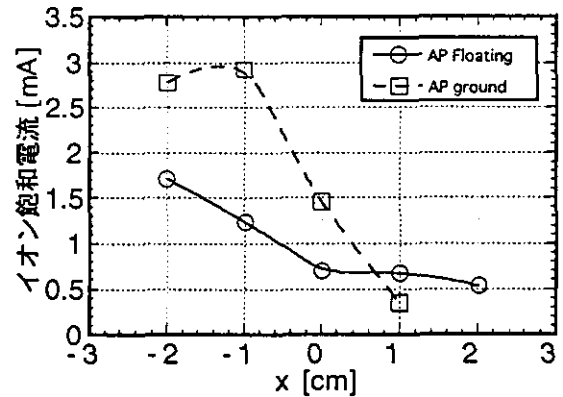
以上の結果をまとめると、

1. アンカープレートの設置により、プラズマ閉じ込めの改善、径方向損失の抑制を確認することが出来た。
2. プレート電位を浮遊電位にすることで、より高い効果が得られることがわかった。
3. アンカープレートには主にイオンが、サイドプレート方向には主に電子が到達していることが推測される。

となる。今後はこれらを踏まえ、アンカープレート上にも計測装置を設置し、非対称性などのようなプラズマの挙動、径方向損失の機構についてさらに検討を進めて行く。



第3図



第4図

[1] 中嶋洋輔 他、第2回核融合エネルギー連合講演会予稿集 1998年6月、A38 pp.80
 [2] 谷津 潔 他、J. Plasma Fusion Research 74. No.8 (1998) 844.
 [3] ISLAM Md. Khairul 他、物理学会 1998年秋の分科会講演概要集 27pE11, p.970.
 [4] 中嶋洋輔 他、物理学会 1998年秋の分科会講演概要集 27pE12, p.970.
 [5] 佐藤大輔 他、プラズマ・核融合学会 第35回年会予稿集 3aA2p, p.224.
 [6] ISLAM Md. Khairul 他、プラズマ・核融合学会 第35回年会予稿集 3aA3p, p.225.

【10】 高周波加熱プラズマの巨視的安定性

ガンマ10では、プラズマが巨視的に安定に存在できる領域と存在できない領域を分ける安定境界の存在が実験的に確認されている。この安定境界は、セントラル部とアンカー部のベータ値の比や閉じ込め電位形成に伴う径方向電場の存在に強く依存する。不安定時に発生する低周波密度揺動の測定は、ガンマ10各部に設置した静電プローブを用いて行なっている。これまでに、閉じ込め電位形成を目的としたプラグ電子加熱(ECRH)印加時に観測される揺動は、フルートタイプの揺動であり、強い径方向電場の発生に起因するフルートE×B回転駆動不安定性である事が明らかとなっている。

平成10年度においては、従来よりプラズマを安定に維持する為に外側変換部の周辺部に挿入されている導体板(可動リミター)の安定化機構を明らかにすることを目的として実験を行った。予想される機構の一つである、方位角方向に発生する揺動電場を打消す line tying 効果の有無を調べる為に、新しく方位角方向に分割し、電氣的に絶縁可能な分割型可動リミターを製作して従来の可動リミターの5cmセントラル部よりに設置した。従来の可動リミターと同じ磁力線上に位置し、分割部を電氣的に接続した時には、従来と同じ働きをする。図1に分割型可動リミターの概略図を示す。11枚の素片からなり、各々を絶縁できるが、プラズマから見た時は、従来と同じ形に見える構造である。図2に分割型可動リミターを周辺部に挿入し、分割部を電氣的に接続した場合と絶縁した場合の周辺部で観測される静電プローブによるイオン飽和電流波形(a)(b)、その強度の比較(c)、セントラル部の反磁性量(d)波形を示す。ECRH印加時の密度揺動に大きな変化が現われている。プラズマに対する幾何学的形状を変えずに、電氣的な接続のみを変えたことにより、周辺部で観測されるフルート交換型不安定性の強度に著しい変化がでる。

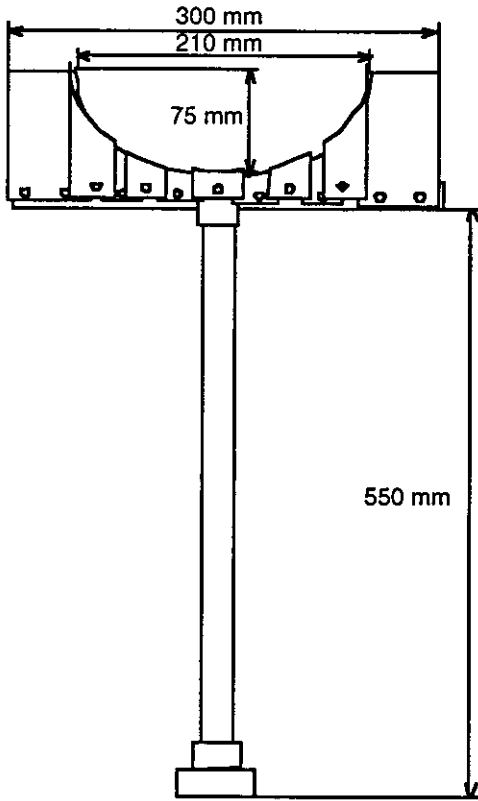


図1

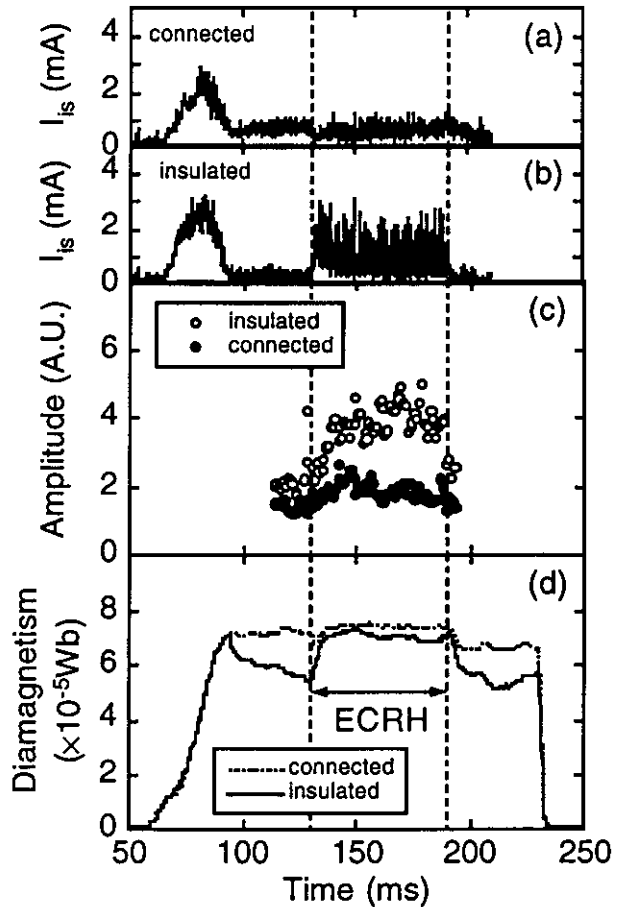


図2

【11】 イオンサイクロトロン周波数近傍のICRF波動入射によるプラズマの応答

プラズマ中に低電力のイオンサイクロトロン(ICRF)領域の波動を入射し、プラズマに影響を与えずにパラメタ等を推定する計測法の開発を行っている。プラズマ中の波動伝搬や幾何学的境界条件で決まる固有モード励起の情報が、アンテナ負荷抵抗や磁気プローブによる検出波動の形として観測される。

平成10年度においては、9年度に引き続き、アンカー部におけるAICモード励起条件に着目して実験を行った。アンカー部においては、高周波を用いたイオン加熱により、セントラル部と同程度のイオンのベータ値と強い温度非等方性が存在すると考えられる。しかし現在のところ、この温度非等方性に起因して駆動されるAIC波動は、実験的に観測されていない。アンカー部に設置されている高周波アンテナに、100Wレベルの低電力高周波を入射して、励起される波動の計測を磁気プローブを用いて行った。入射する高周波の周波数は、時間的に固定して7.6~8.8MHzの範囲で行った。アンテナから放射された電力は、発振器からの入射電力、反射電力、アンテナに流れる電流を測定して求めた。図3は、磁気プローブで測定された信号強度を放射電力で規格化したもので、各周波数毎の時間変化を示している。計測される信号強度が周波数依存性を持っていることを示している。又、各周波数の信号が時間的に変化し、80msec近傍でピークを持っているが、アンカー部の線密度はこの時間帯では一定であり、この原因については現在のところ不明である。放電初期に見られるピークは、低い放射電力に起因する誤差と考えている。図4は、同じく放射電力で規格化したプローブ信号強度を周波数に対してプロットしたものである。8.4MHz付近に鋭いピークがあり、共鳴的に波動が励起されていることを示唆している。この周波数領域は、ガンマ10アンカー部において、AIC波動が正の成長率を持つ領域にあり、励起条件と境界条件を満たす時に固有モードが強く励起されると考えられる。

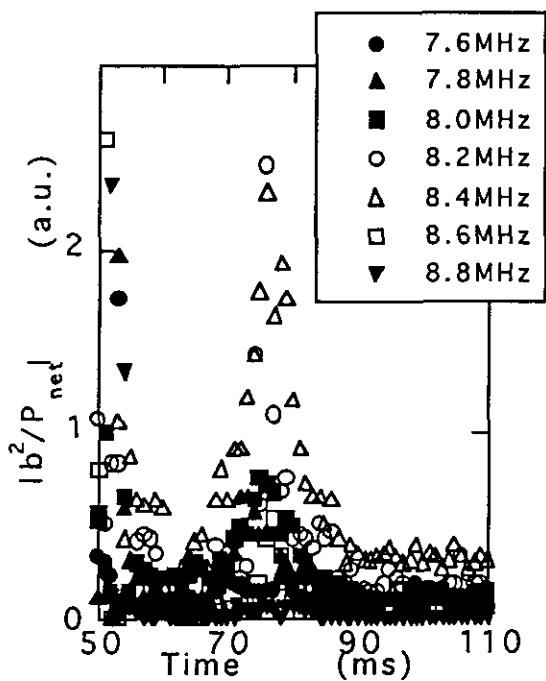


図3

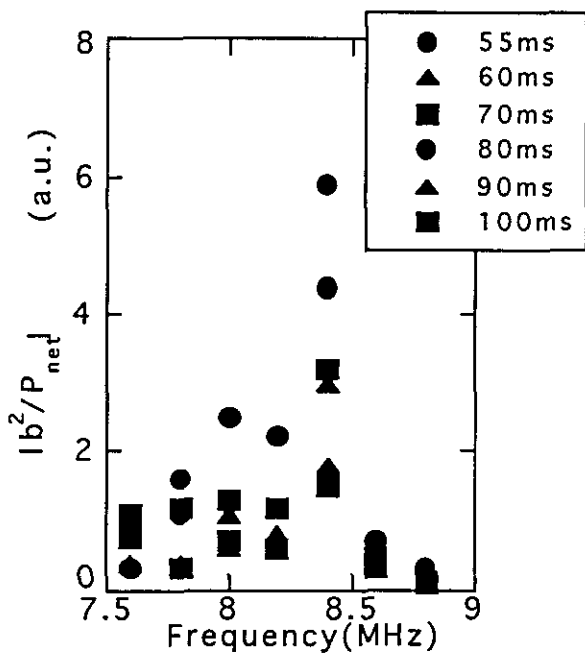


図4

【12】 アンカー部イオン温度の軸方向分布計測

タンデムミラー型装置においては、磁力線に沿ったプラズマの圧力分布は、全体の巨視的振舞、又、微視的安定性に大きな影響を与える。高ベータプラズマを閉じ込めるセントラル部では、イオンサイクロトロン共鳴加熱により中央でピークを持ち軸方向に不均一な圧力分布となっている。ガンマ10では、プラズマに対して負の曲率を持つ磁力線部は、セントラルの両端部付近に局在する。従って、この不均一性は、ガンマ10全体に安定に蓄積されるエネルギー量を左右し、実験的にも確認されている。又、磁力線に沿った圧力の不均一は、速度空間の分布関数の非等方性からくるものであり、ガンマ10においては非等方度が10を越すプラズマが形成されている。高ベータで非等方性の強いプラズマでは、微視的不安定性であるアルペンイオンサイクロトロン(AIC)波動が自発的に励起される。AIC波動は、高エネルギーイオンのピッチ角散乱を引起し、閉じ込めを劣下させることが示唆されており高ベータプラズマ閉じ込めに影響を与える。これまで、セントラル部における圧力分布、非等方性の測定は詳しくなされて来たが、アンカー部における測定はほとんどなされていない。

平成10年度において、西側アンカー部に飛行時間型中性粒子エネルギー分析器(TOF)を設置し、アンカー部のイオン温度の測定とその軸方向分布測定に着手した。図5に、典型的なTOFの信号を示す。最初の光の信号に引続いて観測される信号が粒子であり、約4keVの水素原子の飛行時間に対応するところにピークを持っている。これまで、反磁性量測定から予測していたセントラル部と同程度の高エネルギーイオンの存在が確認された。図6にアンカー中心部付近からセントラル部側にTOFの視点を移動した時の、粒子の飛行時間波形の変化を示す。中心から離れるに従いピークが低エネルギー側に移り、又、その強度が減衰することがわかる。このことは、アンカー部においても、セントラル部と同じく非等方性に起因した軸方向圧力の不均一が存在することを示している。

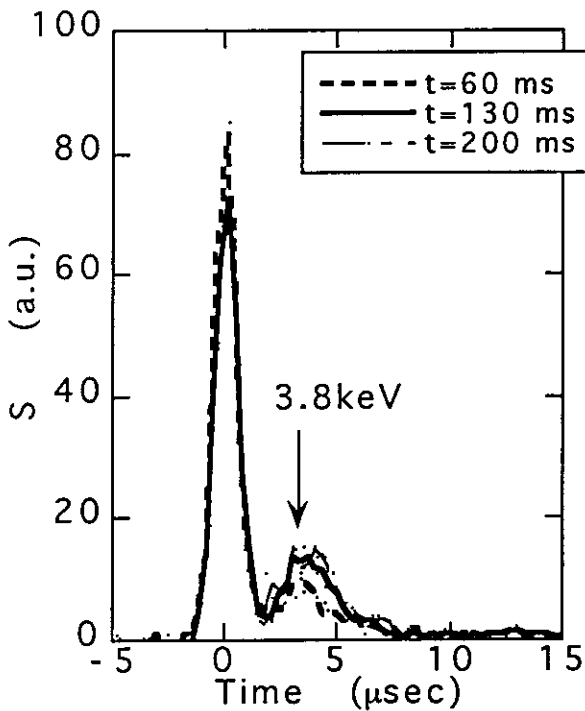


図5

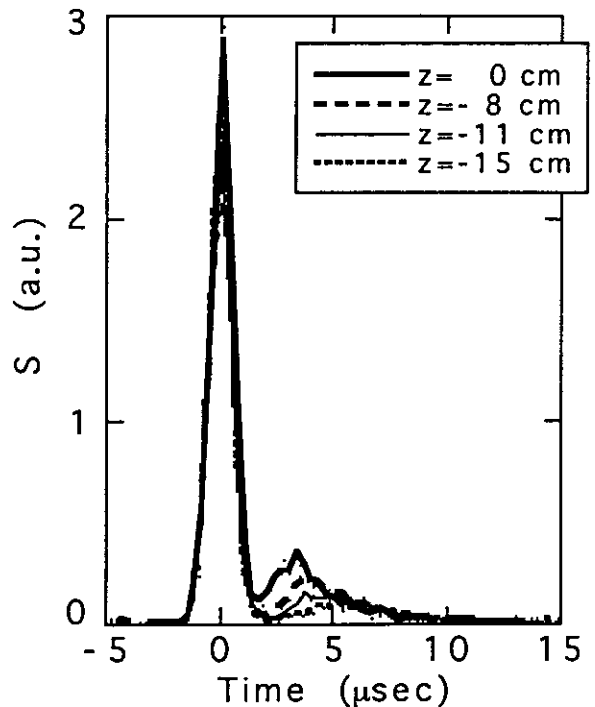


図6

【13】 AIC 波動のランダウ減衰による電子の軸方向加速

ガンマ10では、中央部でイオンサイクロトロン共鳴加熱による強いイオン加熱により、数 keV のイオン温度が得られている。生成されたイオンは磁力線に垂直方向の温度が非常に高く、強い温度非等方性を持っているので、Alfven Ion Cyclotron (AIC) 波動が励起される。このAIC波動がプラズマに与える影響は、これまで主として、イオンの散乱、温度非等方性の緩和等、イオンとの相互作用が調べられ、電子との相互作用は調べられてこなかった。しかし、トカマク装置での実験にも見られるように、イオン波動による電子加速も重要なプロセスである。電子との相互作用で可能性のある機構は電子ランダウ減衰である。実際、ガンマ10のパラメーターでは、AIC波動の軸方向の位相速度と電子の熱速度がほぼ等しく、電子ランダウ減衰が起きる可能性が高い。このとき電子は軸方向に強く加速されるので、端損失電子束の増大として観測されるはずである。

これを実際に観測したのが図1に示す波形である。信号は上から順に、中央部の線密度、イオン加熱の指標である反磁性量、マイクロ波反射計で測定されたAIC波動信号（信号は下向き）及び端損失電子束（信号は下向き）である。これを見てわかるように、イオン加熱の進行に伴いAIC波動が励起され、これに同期して、端損失電子束の顕著な増大が見られる。このときの波動の位相速度と電子の熱速度はほぼ等しいので、これはランダウ減衰による電子加速が観測されたものと考えられる。AIC波動の電子ランダウ減衰を実験的に観測したのは、これが初めてである。

この軸方向電子加速の強さを見るために、端損失電子が装置端に運ぶ熱流と高温イオンによる電子加熱（電子ドラッグ）量を比較したのが図2である。図の白丸で示すAIC波動が励起されている時間帯では、電子ドラッグの2~3倍の電子加熱が起きている。これは、別に測定されるAIC波動に伴う磁場揺動の振幅から評価されるAIC波動による加熱の強さにほぼ等しい。しかしこの加熱量はある時間で最高となり、それ以後は次第に弱くなる。これは、AIC波動の波長がイオン加熱と共に短くなる、電子との共鳴相互作用の条件を満たさなくなるためと考えられる。そして時間の後半では、AIC波動による電子加速はほとんどなくなり、電子の加熱源は再び電子ドラッグのみとなる。

[1] T. Saito, M. Ichimura, Y. Kiwamoto, A. Mase, Y. Tatematsu, et al., Phys. Rev. Letters 82 (1999) 1169-1172.

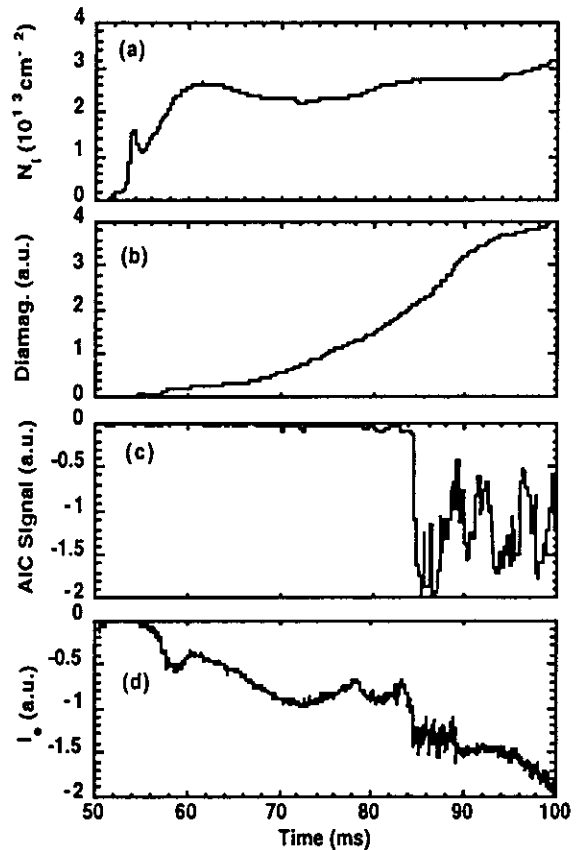


図1 AIC波動による端損失電子束の増大

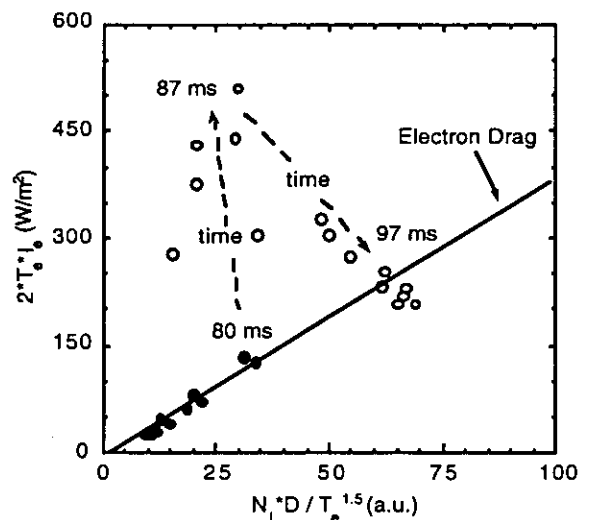


図2 電子ドラッグとAIC波動による電子加熱の比較

【14】 ガンマ10 プラグ部電子加熱の軸対称化

ガンマ10では、装置端の軸対称ミラー磁場の磁場勾配のある $B=1$ T部（プラグ部）に周波数28 GHzのマイクロ波を入射し、電子サイクロトロン共鳴加熱で電子を選択的に加熱（プラグECRH）する事によりその電位を高くして、軸方向のイオン閉じ込め電位を形成している。これまでの実験で、1 kV以上の閉じ込め電位が形成され、軸方向に流出するイオン束を大きく軽減できることがわかっている。しかし、イオン閉じ込め電位形成時に、プラズマの密度が顕著に増大することがなかった。これはイオンの軸方向閉じ込めが改善される一方で、プラグECRH入射に伴い、プラズマの半径方向損失が増大しているためであるとも考えられる。また、プラグECRHはプラグ部電位だけでなく、プラズマ全体の電位を大きく変えることもわかっているため、これらの結果をあわせて考えると、プラグECRH入射によりプラズマ内に形成される電位の軸対称性が崩れて、プラズマの径方向損失につながっている可能性がある。

実際、図1の左図に示すように、これまで使用していたプラグECRH用アンテナから放射されるマイクロ波の、プラグ部での共鳴層に射影したパターンは、上下方向に縦長の非軸対称形であった。これは電位分布を非軸対称にしていると考えられる。そこで、この改善を試みた。具体的には、照射パターンの水平方向が狭すぎるので、アンテナを遠ざけてこの方向を広げると共に、このままではさらに広がる上下方向広がり制限するため、途中に円筒反射板を挿入した。この変更後のプラグ部共鳴層に射影したパターンの測定結果を図1右図に示す。変更前に比べ、照射パターンの軸対称性が非常によくになっていることがわかる。

変更後のアンテナ系を用いて実験すると、プラズマ電位の軸対称性が大きく改善された。図2に測定例を示す。これは、プラグ部に隣接するバリア部で測定された電位の2次元分布から、軸対称度を評価した物である。

図のReflector Angleが0度の時、中心軸上で電子加熱が生じている。このとき、電位はほぼ軸対称化されている。Reflector Angleを0度から上下どちらにずらしても、電位の径方向分布は軸対称から大きく崩れる。これらのことは、軸対称電位分布を得るためには、マイクロ波の照射分布と、加熱位置の両方を制御する必要があることを示している。

このアンテナ系を用いて閉じ込め実験を行ったところ、ガンマ10中央部の電子線密度が50%以上上昇した。これは、プラグ電位形成による軸方向閉じ込めの改善と、径方向のプラズマ損失の軽減が同時に実現されたためと考えることが出来る。今後、さらに総合的な閉じ込め性能の改善を目指す。

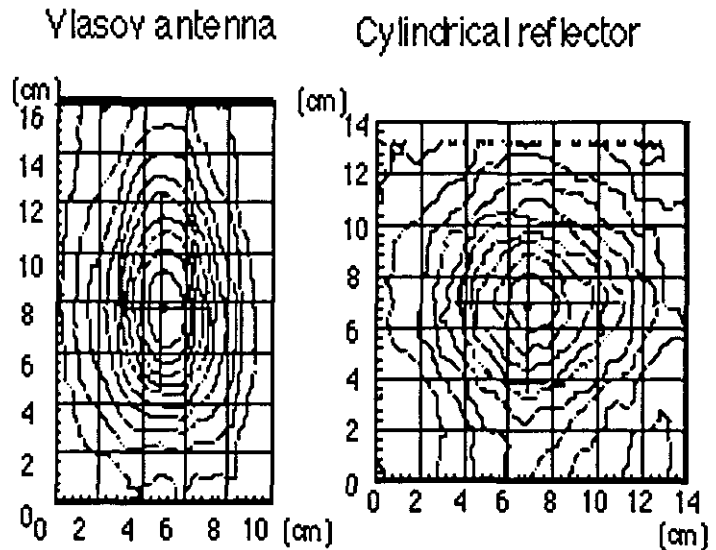


図1 システム変更前後の照射パターン

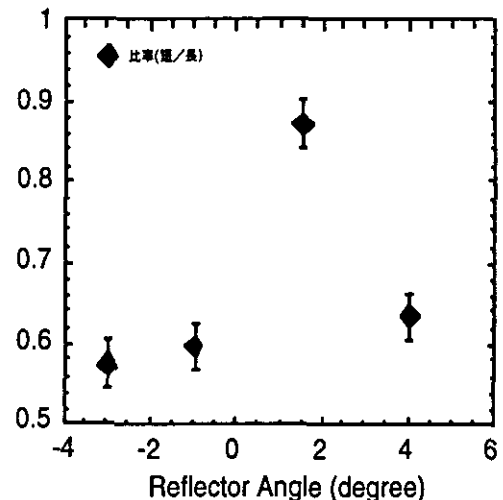


図2 バリア部電位の軸対称度

【15】 ガンマ10のプラグバリア部における熱流計測

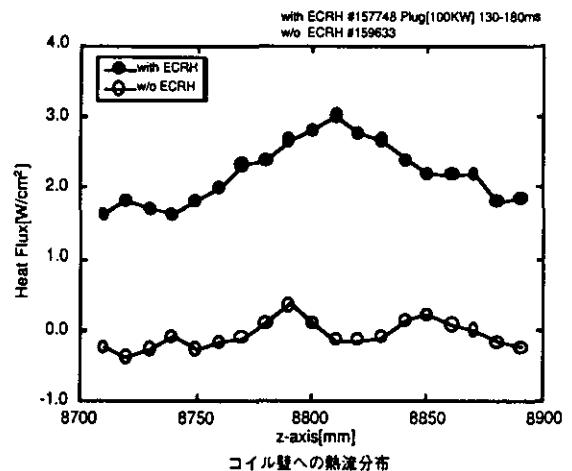
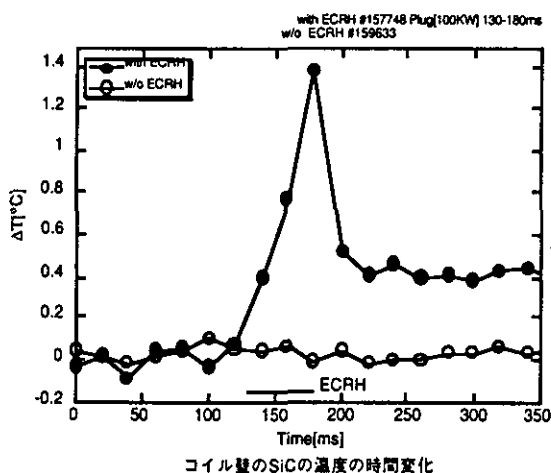
タンデムミラー装置ガンマ10では、適切な電位分布を形成する事により、軸方向のプラズマ粒子及びエネルギーの閉じ込めの改善を目指している。電位形成は電子の局所加熱により行い、電子サイクロトロン共鳴加熱(ECRH)を介してプラズマにエネルギーを注入する。共鳴加熱された電子の多くは、磁気捕捉を逃れて磁力線に沿って装置端に達する。また、一部は磁力線を横切る運動も行い、径方向へのエネルギー輸送(径方向熱流)も発生すると考えられる。ガンマ10のこれまでの研究は、軸方向閉じ込めの物理機構の理解と改善に主眼がおかれており、ECRHに伴って生じる軸方向への熱流については、熱電対・赤外線カメラを用いて、装置端にあるエンドプレートの温度上昇を高時間、高空間分解能で測定することにより、詳細に調べられた。その結果、ECRH印加中、入射パワーの約2割がエンドプレートへの熱流として観測された。

一方、径方向の輸送には大きな注意が払われてこなかったが、最近になって、径方向の粒子損失が無視出来ない程存在し、プラズマの閉じ込めを悪くしていることが指摘されるようになった。粒子はエネルギーを持って逃げるため、粒子損失は熱流を伴う。したがって、径方向熱流の空間分布及び流出の物理機構を知り、プラズマに吸収されたエネルギーの流れを明らかにすることは、タンデムミラー全体の性能を向上する上で重要な鍵となる。

このような問題意識の下に、物理パラメータとの相関や熱流の総量など、径方向熱流の詳細な知見を得るべく、ガンマ10のプラグ/バリア部に熱電対を設置し、熱流計測を開始した。まず、予備的な測定を行ったところ、プラグ・バリア部の障害物の内、最も内側で磁力線と交差する内部コイル壁において、大きな熱流が観測された。この結果をふまえて、内部コイル壁内面に赤外線放射率の良いSiC板を設置し、時間分解能20msで広域的な観測が出来る赤外線カメラを用いて、SiC板の温度変化を観測した。さらに内部コイル壁と、その近くの反磁性ループ上の周方向に熱電対を複数増設した。赤外線カメラにより径方向熱流の発生時期、時間変化に加え軸方向分布が計測され、さらに熱電対の増設により、方位角方向の分布計測が可能となった。

SiC板の温度変化の時間変化・空間分布の一例を図に示す。プラグ/バリア部における径方向熱流は、ECRH印加中のみ発生し、流出する熱流の大きさは時間的にほぼ一定であることが分かった。また、内部コイル壁上の熱流分布の観測からコイルに流れ込む総熱流束を計算したところ、エンドプレートで観測された軸方向流出熱量の半分程度の熱流量が内部コイル壁に流出しているという結果を得た。またバリア部の電子密度と径方向熱流量の間に相関があることが分かった。

熱流の径方向輸送過程が拡散によるとしたときの拡散係数を、内部コイル壁への熱流の空間分布をもとに算出したところ、内部コイルを切る磁力線の付近では $20\text{m}^2/\text{s}$ 程度であった。

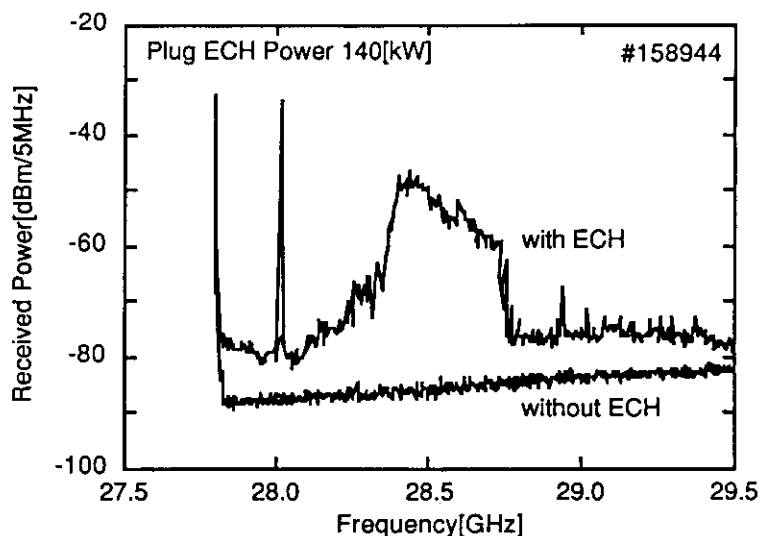


電子サイクロトロン共鳴加熱 (ECRH) は核融合・プラズマ物理の広い分野で利用されている。しかし加熱波のサイクロトロン共鳴磁場近傍での振る舞いは必ずしも解明されていない。プラズマからは広い周波数範囲にわたって電磁波が放出されており、それぞれがプラズマ内部の微視的・巨視的構造を反映している。電子サイクロトロン加熱の素過程を解明するために、この放射波を利用する。注目する放射過程は電子からのサイクロトロン放射である。磁力線の回りに旋回運動する電子はサイクロトロン放射をし、そのスペクトルは電子の速度分布を反映する。電子が熱平衡状態にあれば放射スペクトルは熱的な広がりを持つ。しかし、加熱により電子の速度分布に非熱的な成分が加われば、放射にも非熱的成分に対応するスペクトル構造が反映されるはずである。強力な加熱波の電場に同期して、集団的に加速・減速される電子からのサイクロトロン放射は、互いに位相がそろった放射となるため、非常に強力な放射として観測される可能性がある。この放射は共鳴周波数近傍において、特徴的なスペクトル構造として観測されると考えられる。これ以外にも、加熱波と上記の過程からプラズマ中に立った波がプラズマの非線形性を介して相互作用することにより、新たな波が発生する可能性もある。これらは共鳴周波数の高調波として現れると期待される。

このような動機の下に、プラズマ中でサイクロトロン共鳴条件を満たす振動数を持つ大電力マイクロ波を入射して、共鳴層でプラズマから再放射される波動を周波数分析することにより、サイクロトロン共鳴相互作用における波と粒子の応答を調べた。そのために、プラズマから放射される基本波帯 (28 GHz帯)、第二高調波帯 (56 GHz帯) のマイクロ波を検出し、周波数解析を行なうための計測装置を製作した。計測装置は受信アンテナ、ヘテロダイン型の周波数通減系、掃引型のスペクトラム・アナライザから構成されており、高精度で周波数解析を行なう事ができる。また、この計測装置の較正を行い、放射マイクロ波の電力の絶対値を評価することを可能にした。

この計測装置をタンデムミラーガンマ10のプラグ部に設置した。プラグ部ではジャイロトロンにより発生した28 GHzの高電界強度 (500 V/cm程度) のマイクロ波をプラズマ中へ入射することにより、1 T磁場面の近傍で基本波によるECRHを行なっている。基本波帯、第二高調波帯においてプラズマからの放射スペクトルを検出した。基本波帯で観測されたプラズマからの放射スペクトルの例を図に示す。ECRH印加中に、共鳴周波数近傍の広い周波数領域で、ECRH印加前に比べて10 dB程度高い強度を持つ広帯域の放射成分と、共鳴周波数より少し高い周波数領域で、ECRH印加前に比べて約40 dB強い狭帯域の放射成分が観測された。この特徴的なスペクトル構造がどのような物理過程に起因するのかを確認するために、受信アンテナの位置、加熱電力、加熱波のプラズマに対する入射角度、外部磁場分布を変化させ、これらに対するスペクトル形状の依存性を調べた。これより、狭帯域の放射成分は磁気ミラー効果により共鳴点近傍に局在する高エネルギー電子からの放射であると結論できた。さらに、加熱による位相集群で放射が強められている可能性がある。

[1] K. Ito, Y. Kiwamoto, T. Saito, Y. Tatematsu, et al., 9th Int Toki Conf., December 8 - 11, 1998, Toki, Japan



プラグ部からの放射スペクトル

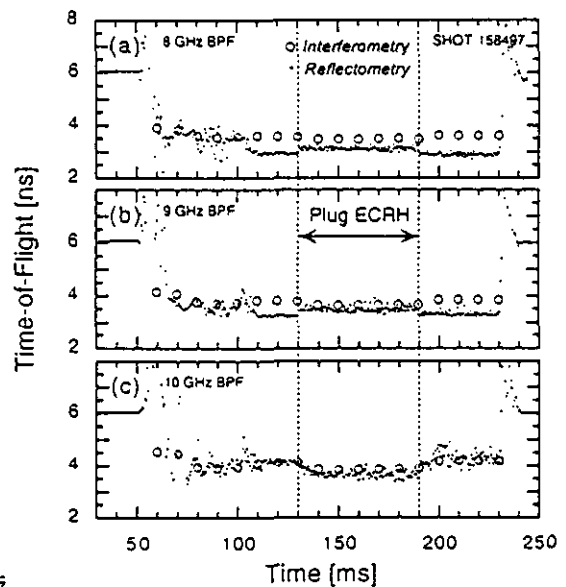
【17】 マイクロ波によるプラズマ計測

電子密度分布計測、揺動計測を目的として反射計、クロスポーラリゼーション散乱法に、電子温度に着目したものとして電子サイクロトロン放射 (ECE) イメージングに進展が見られた。

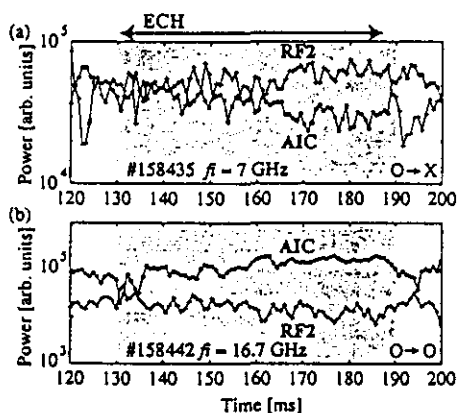
超短パルス反射法は半値幅 65ps のインパルス光源としたパルスレーダー法で、入射波が広帯域の周波数スペクトルを持つことが特徴である。従って、多数の固定周波数発振器を用いたことに相当し、1ショットで分布を求めることが出来る。GAMMA 10 中央部ではこの波のプラズマの遮断層からの反射波をいくつかの周波数成分に分けて検出し、夫々の飛行時間を測定して電子密度分布、揺動計測を行う。測定した飛行時間及び従来の干渉計から得られた密度分布から計算した結果との比較を第1図に示す。

電磁波がプラズマ中の遮断層で反射される時、完全に反射されるのではなく一部は偏波面を変えて透過する。この現象を利用したものがクロスポーラリゼーション散乱 (CPS) 法であり、内部磁場の揺動の計測が可能な方法として研究されている。今年度はデュアルポーラリゼーションホーンを用いて偏波面の変換された波、変換されない波を同時に検出できる様にした。その結果を第2図に示す。RF2はプラズマのイオンサイクロトロン周波数帯で印加した加熱用高周波により励起された波、AICはアルフベニオンサイクロトロン波である。

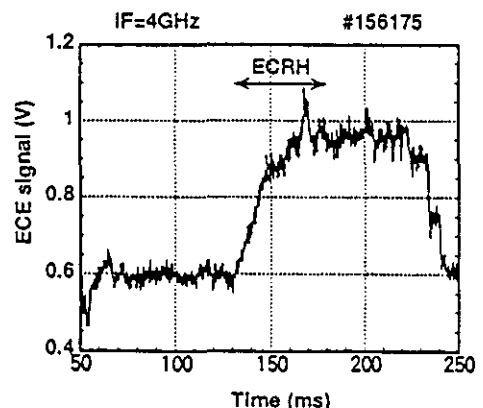
ECE イメージング法は電子温度分布の計測法として注目されている。従来用いられてきたハイブリッド型アンテナアレイ検出器では広帯域特性が得られなかった。モノリシック型検出器はアンテナアレイ、ダイオード、プリアンプを一体化した集積回路で広帯域特性が得られ、核融合科学研究所及び(株)テラテックとの共同研究で開発された。これを用いてGAMMA 10 プラグ部にて96GHz帯で観測した結果を第3図に示す。



第1図 干渉計のデータから計算した飛行時間との比較



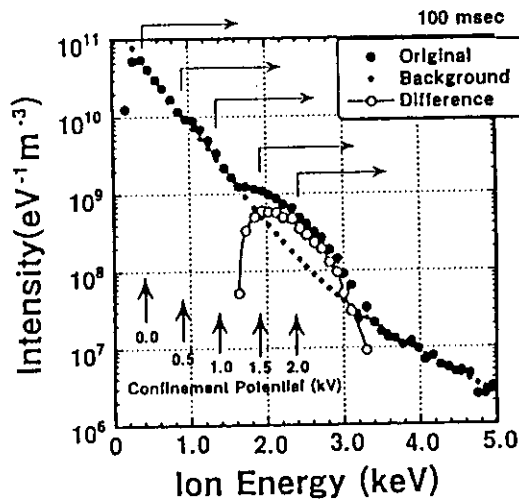
第2図 (a) モード変換信号
(b) モード非変換信号



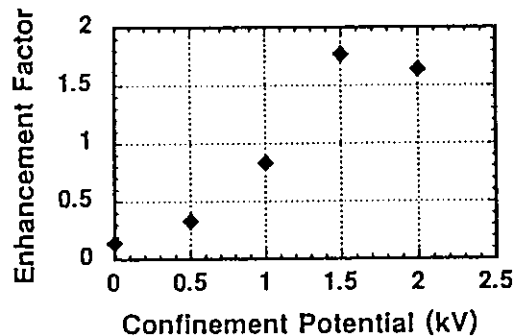
第3図 ECE 時間変化

【18】 揺動による損失領域へのイオン拡散と閉じ込め

ミラー型磁場閉じ込め装置のプラズマ閉じ込めを研究する上において、プラズマ粒子の速度空間内に存在する損失領域境界及び損失領域内のイオン分布の知見は、重要な役割を果たす。プラズマ内に電位の壁を生成する事により損失境界を高エネルギー側に移行させ、閉じ込め改善を図る研究が進められているが、より高エネルギーを持つイオンが捕捉領域から損失領域に移動する何らかの機構が存在すると、閉じ込めを減ずる要因となる。端損失イオン速度分布関数の時間発展を測定した結果、イオン分布に微細構造が現れるのを観測し、エネルギースペクトルは単純ではなく幾多のハンプ構造が生ずることを見出した。エネルギースペクトル内の構造は大きく分けて3領域（低エネルギー部： $0 \leq \epsilon \leq 1 \text{ keV}$ 、中間エネルギー部： $1 \sim 5 \text{ keV}$ 、高エネルギー部： $\geq 5 \text{ keV}$ ）に分類する事ができる。低エネルギー部は、主としてプラグ・バリア両スロート部の2重損失境界の形成、及びICRF高周波による損失捕捉両領域間のイオン輸送に関係し、中間エネルギー部はAIC（アルヴェン・イオンサイクロトロン）モード揺動によるイオン輸送に起因することが知れた。高エネルギー部にはテイルが発生し、他の生成機構が有ると考えられる。閉じ込め電位を越えるエネルギーを持ちイオン閉じ込めに大きな影響を与えるのは中間エネルギー領域である。高周波を入射しICRF加熱により非等方にイオンを加熱する結果、セントラル部にAICモードの揺動が励起し、捕捉イオンが損失領域に流出するのを促進させる現象が観測されている。この現象に注目し、閉じ込め電位を仮定して流出するエネルギー流束の促進係数を算出し、AICモードの揺動励起が強く起こる時は注意を要することを指摘した。[1,2]



INFLUENCE OF POTENTIAL ON ENHANCED ENERGY FLUX



$$\text{Energy Flux} = F_{e, \text{loss}} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{m}} \int d\epsilon \sqrt{\epsilon^3} f_e(\epsilon)$$

$$\text{Enhancement Factor} = \frac{F_{e, \text{loss}}(\text{difference: } 1.6 \sim 3.2 \text{ keV})}{F_{e, \text{loss}}(\text{background})}$$

参考文献

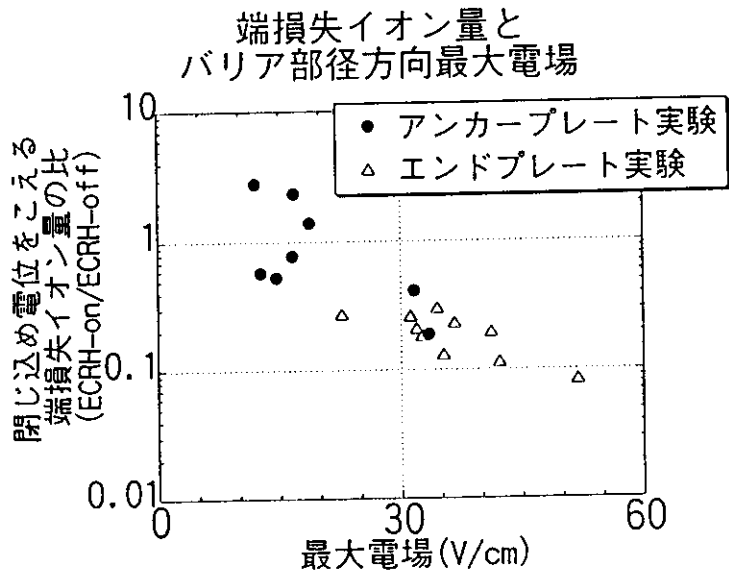
[1] International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement, (Novosibirsk, Russia, 1998) K. Ishii, T. Goto, N. Goi et al.

[2] 第15回プラズマ・核融合学会 (1998年) 1 p B 11 石井、後藤、五井、他

【19】 コアプラズマ径方向電位平坦化によるプラズマ閉じ込めの改善

コアプラズマの径方向電位分布の知見及び制御は、プラズマの径方向輸送の問題を含めプラズマをより良く閉じ込める上で重要である。エンドプレートセグメントに接続してある抵抗値を変化させ、またアンカープレートセグメントに接続してある抵抗値を変えて、コアプラズマの径方向電位分布を制御した。プラズマ内の径方向電位分布の測定は、サーマルバリア（熱障壁）部及び中央ソレノイド部に設置された、金の中性粒子を用いたビームプローブ法によりなされた。タンデムミラープラズマの端損失イオンを測定すると、閉じ込め電位形成時に閉じ込め電位を超えたエネルギーを持つイオンも大きく減少することが観測されている。この現象は、イオンの径方向輸送が原因と考えられ、コアプラズマの径方向電位分布との関連性が調べられた。

タンデムミラー装置は磁力線が開いているため、磁力線に沿って流出したプラズマは両端部に取り付けられたエンドプレートに到達しガス化する。エンドプレートは磁力線を通してプラズマと繋がっており、閉じ込め電位形成時は通常電子サイクロトロン共鳴により加熱された電子が流入するため、エンドプレートの浮遊電位は大きく負となる。半径方向に分割されたセグメントに異なる接地抵抗を接続し、周囲に比べ中心部が高い電位となる場合、及び中心部が低い電位になる場合に対し測定した結果、コアプラズマの径方向電位分布が平坦化すると径方向輸送が減少することが見出された。極小磁場配位部では、磁力管が極めて扁平になり僅かな磁場を横切る拡散でも多大な影響を与えるため、プラズマ外周の電位を安定化させるためにアンカープレートが設けられた。コアプラズマ内の粒子がアンカープレートと何らかの相互作用を行うと、アンカープレートの電位がコアプラズマの電位形成に影響を与える。アンカープレートの電位変化に対し、径方向のイオン輸送と電位分布との関連を調べた結果、エンドプレートの場合と同傾向が得られた。⁽¹⁾ 右図に最大電場に対する閉じ込め電位を超える端損失イオン量の比を示す。



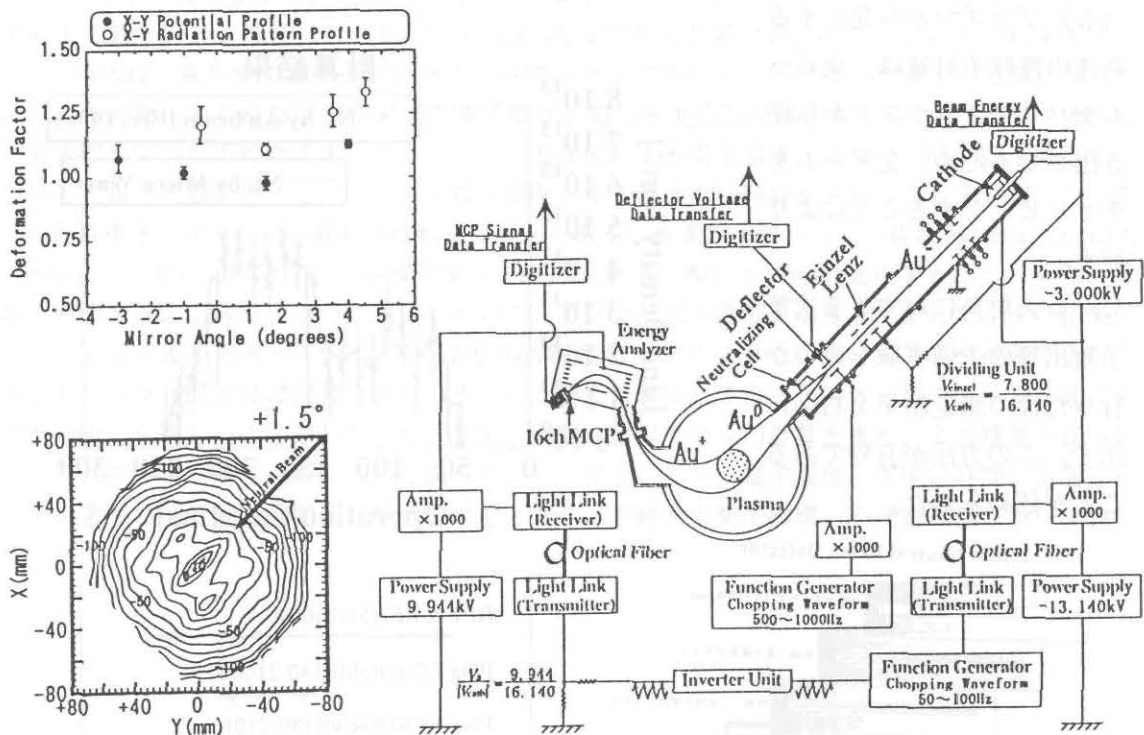
参考文献

[1] 第15回プラズマ・核融合学会年会（1998年）2 a A 7 p 山梨、石井、菊野、他

【20】 高速2次元電位測定によるマイクロ波入射パターンの変化

タンデムミラー装置は、プラグ部にマイクロ波を入射し閉じ込め電位を形成している。閉じ込め電位は装置の両端部近傍に生成し、閉じ込められるべきイオンは中央ソレノイド部でICRF高周波により加熱される。互いに異なるミラーセルで加熱を行うため、効果的な閉じ込めを実現するためには、プラズマ断面における各加熱パターンの軸の一致及び軸対称性が必要である。プラグ部への適切なマイクロ波入射に対してアンテナの角度調整が行われ、調整の妥当性が、サーマルバリア部に設置されたビームプローブの2次元電位分布直接測定により評価された。

バリア部ビームプローブシステムを下図に示す。ビーム入射にほぼ直角な方向への掃引は0.5msecで、ビーム入射方向への掃引は約4msecで行われた。この制約は現時点のデータ取り込み系のデジタル化回路の制限によるものである。ブラソフアンテナから放射されたマイクロ波は金属の鏡により反射されプラズマに入射される。反射鏡の角度変化に対し、プラズマ断面の2次元電位分布が測定され、等電位線のゆがみ度から従来考えられていた角とは異なる適切な角度が求められた。^[1]以前ECRHスタートアップ実験において観測された電位分布の等電位線のゆがみに比べ、著しい円形度の改善が認められた。



参考文献

- [1] 第15回プラズマ・核融合学会年会 (1998年) 4 p D 2 菊野、石井、石橋、他

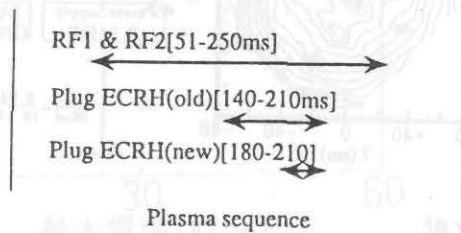
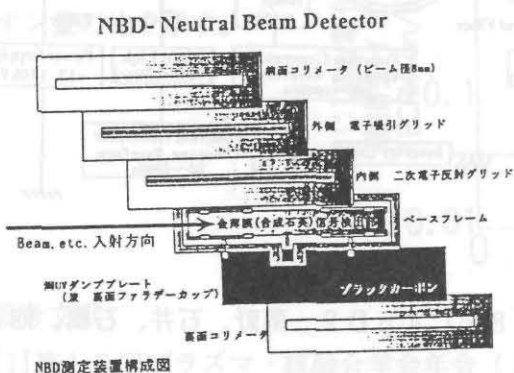
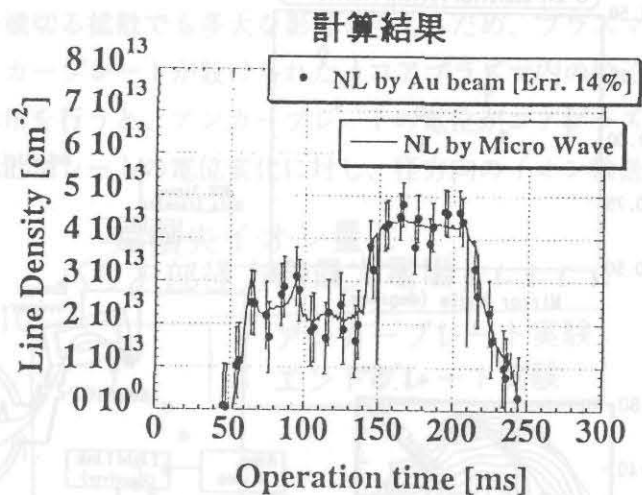
【21】 ビームプローブを応用したプラズマ密度測定法の開発

タンデムミラープラズマの電位閉じ込めの研究において、電位の情報は勿論のこと同時に同場所におけるプラズマ密度の情報も必要不可欠である。通常のビームプローブ測定法において、2次イオンビームのエネルギー分析よりビームイオン化点におけるプラズマ電位が測定され、同時にビーム強度によりプラズマ密度が推定できる。密度の測定に対しては、プラズマの有無に対する透過ビーム量が必要になり対抗面でのビーム検出が要求される。また、サーマルバリア電位形成場所として重要視されている、プラグ・バリアセルの内側ミラーズロート (IMT) 部の電位測定が、開発されたビームプローブを使用して進められている。当場所は近接性が著しく悪いため新しいビームプローブ法が開発されたが、この測定法ではビーム透過法による密度推定を行う必要がある。上述の2点よりビーム透過法に基づく密度決定用金の中性粒子ビーム検出器を開発した。中央ソレノイド部での測定に適用した結果、線密度はマイクロ波の測定と比較し良い一致を見た。

金の中性粒子ビーム検出器の開発にあたり考慮した点を以下に記す。(1) 金中性粒子ビームの信号を2次電子の発生により検出する。(2) 信号検出部として、UV光を透過させる石英版上に蒸着した金の薄膜を用いる。(3) 検出部前面に備えたメッシュにより、発生した2次電子のエネルギー選別を行う。(4) ビームに対して自由な角度に設定し得る。

(5) プラズマから発生する高速中性粒子対策は、金ビームをバックグラウンドから浮き出させるため、金ビームをチョッピングすることにより行う。

ビーム入射角に対する2次電子放出等の予備実験を幾つか行った後の測定結果を右図に示す。この方法が有効であることが認められた。



【22】 ガンマ10プラズマの分光計測

ガンマ10プラズマに於ける電位閉じ込めと不純物輸送、及び不純物の発生機構との関係について調べることが目的として軟X線から可視光にかけての波長領域での分光測定を行っている。分光測定は、プラズマに影響を与えずに測定できるという利点があり、検出器の発達により大口径プラズマに対しての測定も容易である。また、プラズマから放射される線スペクトルの絶対強度を測定することにより、中性原子密度や不純物イオン密度がわかり、分光モデルを利用することにより電子密度、電子温度の同時測定も可能である。従って、使用する分光器の絶対感度較正は重要である。これまでに、本研究を行うために大口径プラズマ測定用の軟X線、真空紫外、紫外・可視分光測定システムを開発、設置してきた。これらの分光器への入射光の絶対強度を知るために、それぞれの分光器に対応する光源を使用した絶対感度較正を行った。特に、軟X線分光器及び真空紫外分光器については筑波大学から近い、高エネルギー加速器研究機構のシンクロトン放射光施設に分光器を持ち込んで絶対感度較正実験を行った。軟X線、真空紫外分光器の絶対感度較正は、これまで適当な光源が無い、絶対強度を測定する装置が無いことなどから行うことが難しかった。しかし、近年の放射光施設の発展、半導体検出器の発達によってようやく可能となってきた。軟X線、真空紫外分光器はそれぞれ、入射スリット、収差補正凹面回折格子、マイクロチャンネルプレート(MCP)、蛍光面で成り立っている。そして、入射スリットを通過した光は、回折格子で波長分解され、MCP、蛍光面で可視光に変換され、これをポラロイドカメラ、あるいは高速カメラで画像を記録する。較正実験は、ビームラインで波長分解された光を分光器の入射スリットから入射させ、その光をまず絶対感度較正された半導体検出器(AXUV-100G)でモニターし、次に分光器の蛍光面の画像をポラロイドカメラで記録する。これを、軟X線分光器はビームラインBL-12Aを使用し、ビームの波長を50Åから220Åまで10Åずつ変えながら測定した。同様に、真空紫外分光器でもビームラインBL-11Cを使用して絶対感度較正実験を行い、波長にして350Åから1000Åまで50Å間隔で測定した。これらの結果を用いることにより、軟X線、真空紫外線の波長領域の不純物イオンの放射光の絶対強度の測定が可能となった。これにより、不純物イオン線強度測定による電子温度、電子密度の同時測定も可能となる。この軟X線、真空紫外分光器を用いた不純物イオンスペクトル強度測定による電子温度、密度の同時測定を補完するために、紫外・可視分光器を用いて、プラズマ電子温度、電子密度の同時計測を行うことを計画した。紫外・可視分光器は標準光源を用いて絶対感度較正を行ってある。水素原子のバルマー線系列の $H\alpha$ (6563Å)、 $H\beta$ (4861Å)、 $H\gamma$ (4340Å)の各線強度比を求め、衝突・輻射モデルを適用することにより、電子温度、電子密度を推定できる。この計測法を用いて、アンカー部の密度、温度を推定した。その結果、アンカー部の中心部で電子密度 $10^{12}/\text{cc}$ 、電子温度50eV程度のプラズマができていることが推定できた。この結果は、セントラル部とほぼ同等であり、正しいと考えられる。また、アンカー部のマイクロ波による線密度計測の値とも等しいことがわかった。今後、衝突・輻射モデルの計算を進め、より精度の良い計測を行っていき、プラズマ閉じ込めについて調べていく。以上により、電子温度、密度の時間、空間分布、不純物イオン密度の絶対量の空間分布計測が可能となり、不純物の発生機構、不純物輸送について調べる準備が整った。

【23】 理論・シミュレーション解析

(1) ミリ波診断シミュレータの開発

近年計算機の性能が大きく進歩して、核融合におけるシミュレーション研究の比重が段々大きくなりつつある。閉じ込め装置全体を計算機上で再現する「数値トカマク」等の研究も進められており、これからはより実際の実験に近いような条件での計算機シミュレーションが重要になってくる。これらのシミュレーションは閉じ込めプラズマの運動を調べている訳であるが、プラズマの運動の様子がモニターを通して見れると云うこととそれが実験的に観測されると云うことは全く別物であり、運動の様子を実験的に観測しようと思えば、すでに述べたようにミリ波やビーム等のプローブを用いて実際に計測という作業を行う必要がある。いくら計算機上で新しい現象を発見したとしても、それが実際の実験で観測されなければ、残念ながら理論計算上の空論と云うことに終わってしまう可能性がある。このようなことから、プラズマ診断と云う作業をより基本的な所から考え直してみることが、今後の新しい計測手法やより高性能な計測器の開発につながると考えられる。

本研究ではこのような観点から、プラズマの動力学シミュレーションと同様にプラズマ計測という作業を第一原理から考え直してみるための計算機を用いた模擬実験装置、ミリ波診断シミュレータの開発を行った。ガンマ10装置のセントラル部を想定して、Fig.1のような二つの空間2次元のプラズマモデルを考えた。解くべき基礎方程式はマクスウェルの波動方程式とプラズマ電流に対する運動方程式であり、これを空間に関しては差分法、時間に関してはルンゲ・クッタ法を用いて解く。このシミュレータを用いた超短パルス反射法に関するシミュレーションでは、密度分布の再構成が両方のモデルに対してうまく行くことが確かめられた。

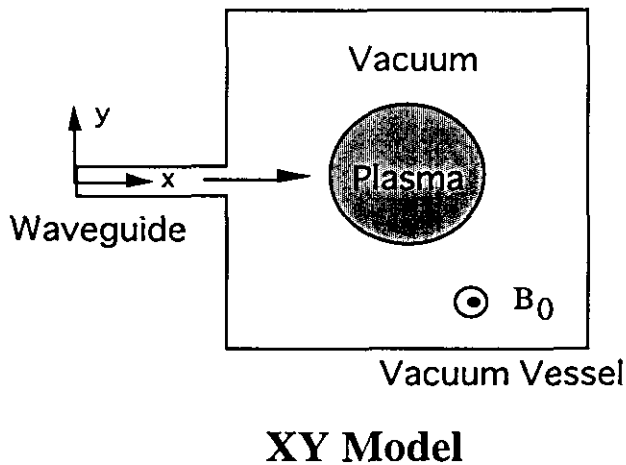
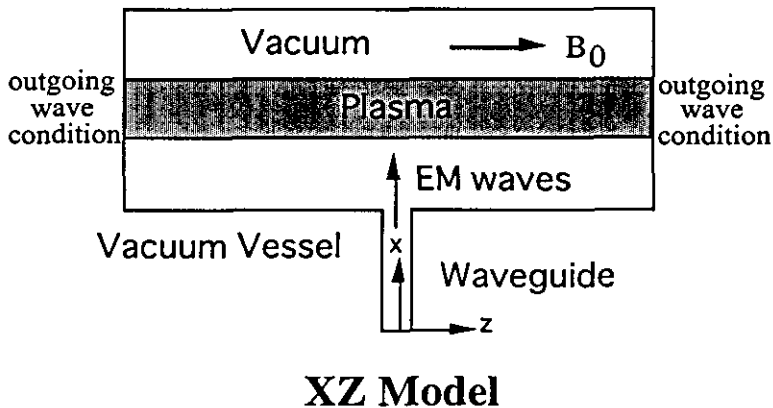


Fig.1

(2) 多次元サブサイクル電磁波の伝播

近年レーザー技術の飛躍的進展によって、非常に短い光パルスの生成が可能になってきた。このような超短光パルスは、パルスの高出力化や、物質の計測や制御への応用等々、非常に幅広い物理・工学への応用が期待されている。現在テラヘルツ以下の周波数では、超短パルスの究極形とも云えるサブサイクルパルスの生成・制御も可能になっている。本研究では、このようなサブサイクル電磁波が真空中どのように伝播していくかという、特に多次元的に局在化したサブサイクル電磁波の伝播特性について解析を行った。

ここでは先ず3次元的に局在化したサブサイクル電磁波の遠方解について考える。

出発点として、真空中における波動方程式 $(\partial^2/\partial t^2 - c^2\nabla^2)E_x(x,y,z,t) = 0$ を満足する (Paraxial 近似が適用できない) サブサイクル電磁波の厳密解

$$E_x(r,z,t) = \int_{-\infty}^{\infty} dk k^2 \int_0^1 db b F(k,b) J_0(kr\sqrt{1-b^2}) \exp[ik(zb - ct)]$$

$$F(k,b) = \frac{E_0 w_0^2 \sigma}{2\sqrt{2\pi}} \cosh(kk_0 \sigma^2) \exp\left[-\frac{(k^2 + k_0^2)\sigma^2}{2} - \frac{k^2 w_0^2 (1-b^2)}{4}\right]$$

を考える。この数値計算の結果、Fig.2 ($w_0/\sigma = 5$, $k_0 = 0$ を仮定した) に示すように、十分時間が経つと電場 $E_x(z,t,r=0)$ は伝播方向 (z 方向) に対してサブサイクル波からきれいなモノサイクル波になっていくことが分かった。

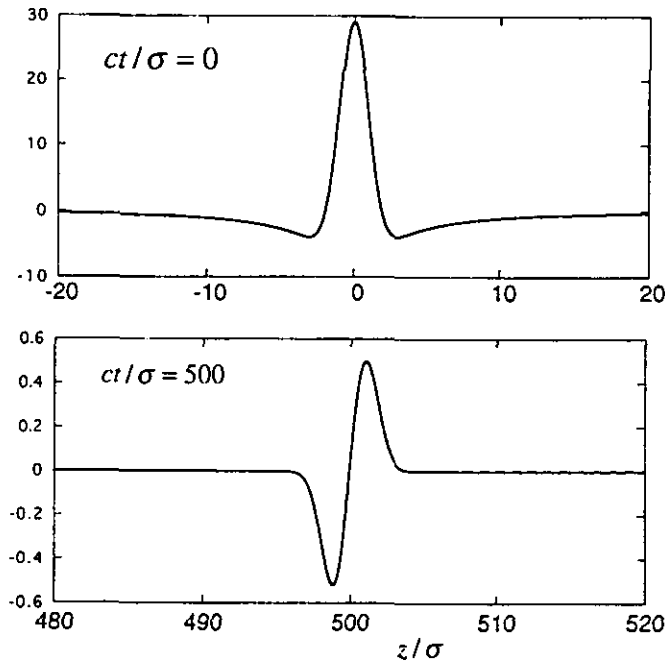


Fig.2

【24】核融合反応生成ニュートロンの半導体検出器に対する影響と 新感度理論に基づく感度変化計算法の提唱

将来の本格的な核融合実験に伴い生成される、ニュートロン、高エネルギー粒子、並びにX線等の、半導体X線計測器やCCDを含む各種半導体、計算機のCPU素子への影響、ガラスファイバー等のシリコン製品への影響を、実際の核融合装置の環境下で、或いは基礎的・体系的に研究・検討しておくことは、プラズマ・パラメータの向上と一対を成して進めるべき、現下の重要な研究課題である。

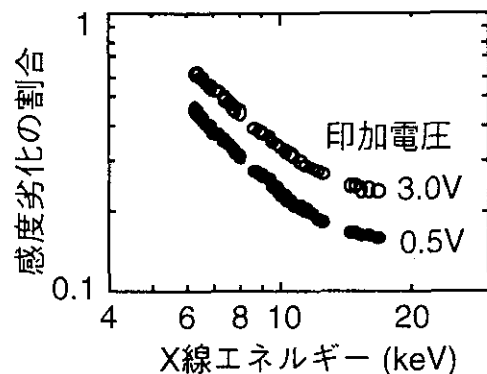
またこれは、将来のプラズマ計測の体系・方向性を見出す上でも、現時点から着実に進めるべき重要な課題であり、以上の考え方にに基づき、JET [1]・DIII-D [2]・ASDEX-U トカマク [3]等のX線グループの依頼を受ける形で、現在国際研究協力を進めている。

特に、我々はJETの核融合反応生成ニュートロンによって影響を受けたX線検出器を系統的に研究し、(1)ニュートロンの主要な影響とその物理的解釈、(2)計測器感度の時々刻々の変化の理論的・実用的予想、並びに(3)我々が提唱した「半導体検出器新感度理論」を拡張した、定量的定式化の提唱を行い、「JETトカマクを含め、広範に適用できる、より普遍的な研究成果を目指して」、研究を推進している。

実際に我々が現在進めている研究手法は、(i)JETのプラズマ実験で使用後、直接搬入された半導体X線検出器の物理・物性的特性の調査・解析に加え、(ii)サイクロトロン加速器を用いて、定量化されたニュートロンの各種X線検出器への入射実験、(iii)これらの検出器のニュートロンの影響を感度面から調べるための、シンクロトロン放射光を用いたX線感度特性の研究を行い、(iv)半導体感度領域へのニュートロンの影響を、我々の提唱した「半導体X線計測器新感度理論」[4-7]の拡張に基づく定式化を目指す。下図は、実際にJETに於いて、ニュートロン照射を受けた半導体検出器のX線感度特性変化を示す。照射に伴い、X線エネルギー依存性をもつ感度劣化が見出され、更に、この劣化は検出器印加電圧を増大することにより改善されることが明らかになった。これらの結果は、新感度理論に基づき、半導体無電場基板領域中での電荷拡散長の減少等に拠り説明できる。ニュートロン照射積分量対拡散長等の相関データを収集し、一方プラズマ実験装置にニュートロン量モニターを設置しておけば、リアルタイムでの検出器感度変化を、本新感度理論で計算することができ、ニュートロン生成環境下でも、半導体検出器を用いたX線・イオン・分光計測等の核融合プラズマの正確な計測が可能となる。

以上の様に総合した研究・対策等の体系的な研究を推進している。

JETのプラズマ実験によるニュートロンの半導体X線検出器の感度への影響



- [1] T. Cho *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **70**, 577 (1999).
- [2] T. Cho, R. T. Snider *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **66**, 540 (1995).
- [3] T. Cho, M. Bessenrodt-Weberpals *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **68**, 774 (1997).
- [4] T. Cho *et al.*, Phys. Rev. A **45**, 2532 (1992).
- [5] T. Cho *et al.*, Nucl. Instrum. Methods A **348**, 475 (1995).
- [6] J. Kohagura *et al.*, Phys. Rev. E **56**, 5884 (1997).
- [7] J. Kohagura *et al.*, J. Synchrotron Rad. **5**, 874 (1998).

<論文>

- 1 L.G.Bruskin, A.Mase, T.Tamano, K.Yatsu,
Application of 1D WKB Approximation in Microwave Reflectometry of Plasma Density Profiles,
Review of Scientific Instruments **69**, No.5 (1998, May) p.2184-2185.
- 2 I.Katanuma, Y.Kiwamoto, Y.Tatematsu, K.Ishii, T.Saito, T.Tamano, K.Yatsu,
On the Continuous Plug Potential Profile in a Tandem Mirror,
Physics of Plasmas **5**, No.5 (1998) p.1560-1562.
- 3 M.Yoshikawa, N.Yamaguchi, T.Aota, K.Ikeda, Y.Okamoto, K.Yatsu, and T.Tamano,
Calibration of Space-Resolving VUV and Soft X-ray Spectrographs for Plasma Diagnostics,
Journal of Synchrotron Radiation **5** Part 3 (1998, May) p.762-765.
- 4 J.Kohagura, T.Cho, M.Hirata, T.Okamura, T.Tamano, K.Yatsu, S.Miyoshi, K.Hirano, and H.Maezawa,
New Methods for Semiconductor Charge-Diffusion-Length Measurements Using Synchrotron Radiation,
Journal of Synchrotron Radiation **5** Part 3 (1998, May) p.874-876.
- 5 T.Cho, M.Hirata, J.Kohagura, Y.Sakamoto, T.Okamura, T.Numakura, R.Minami, Y.Nishizawa, T.Sasuga, T.Tamano, K.Yatsu, S.Miyoshi, S.Tanaka, K.Sato, Y.Saitoh, K.Hirano, and H.Maezawa,
Characterization and Interpretation of the Quantum Efficiencies of Multilayer Semiconductor Detectors Using a New Theory,
Journal of Synchrotron Radiation **5** Part 3 (1998, May) p.877-879.
- 6 Y.Kiwamoto, Y.Kikuchi, T.Takahashi, T.Saito, M.Ichimura, Y.Tatematsu, H.Abe, K.Kajiwara, H.Koyama, A.Suzuki, K.Ito, A.Yamazaki, T.Tamano, K.Yatsu,
Pin-hole Camera Imaging of X-rays and Energetic Neutral Atoms for Hot Plasma Diagnostics,
Review of Scientific Instruments **69**, No.6 (1998) p.2574-2575.
- 7 H.Hojo, B.Rau and T.Tajima,
Particle Acceleration and Coherent Radiation by Subcycle Laser Pulses,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A **410**, No.3 (1998, June) p.509-513.
- 8 S.Tanaka, M.Ichimura, S.Takayama, M.Inutake, S.Furukawa, A.Kumagai, S.Kanazawa, M.Nakamura, E.Ishikawa, C.Satake, S.Motegi, H.Hojo, A.Mase, K.Ishii, T.Tamano, and K.Yatsu,
Macroscopic Stability Control Experiments with Phased Antennas in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
Journal of the Physical Society of Japan **67**, No.6 (1998) p.1963-1967.

- 9 N.Katsuragawa, H.Hojo and A.Mase,
Computational Study on Cross Polarization Scattering of Ultrashort-Pulse Electromagnetic Waves,
Journal of the Physical Society of Japan **67**, No.8 (1998) p.2574-2577.
- 10 L.G.Bruskin, A.Mase, S.Kubota, T.Tokuzawa, N.Oyama, A.Itakura, T.Tamano,
Application of Wavelet Analysis to Plasma Fluctuation Study on GAMMA 10,
Japanese Journal of Applied Physics **37**, No.8A (1998, August) p.L956-L958.
- 11 H.Hojo,
Relationship Between Density and Magnetic Field Fluctuations in the Lower-Hybrid Range of Frequencies,
Japanese Journal of Applied Physics **37**, No.8 (1998, August) p.4586-4587.
- 12 K.Yatsu, L.G.Bruskin, T.Cho, M.Hamada, M.Hirata, H.Hojo, M.Ichimura, K.Ishii, A.Itakura, I.Katanuma, Y.Kiwamoto, J.Kohagura, S.Kubota, A.Mase, Y.Nakashima, T.Saito, Y.Sakamoto, T.Tamano, Y.Tatematsu, T.Tokuzawa, M.Yoshikawa,
Experimental Study of Potential Confinement of ICRF-Heated Plasma in GAMMA 10,
Journal of Plasma and Fusion Research **74**, No.8 (1998) p.844-849.
- 13 K.Ikeda and Y.Nagayama,
Spectroscopic Measurements of Plasma Rotation with Parametric Abel Inversion in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
Nuclear Fusion **38**, No.10 (1998) p.1531-1541.
- 14 K.Kajiwara, T.Saito, H.Miyaue, Y.Tatematsu, Y.Kiwamoto, T.Takahashi, H.Abe, Y.Kikuchi, T.Tamano, and K.Yatsu,
Validity of a Model Electron Distribution Function in an End Region of a Tandem Mirror,
Journal of the Physical Society of Japan **67**, No.10 (1998) p.3647-3648.
- 15 A.Mase, T.Tokuzawa, L.G.Bruskin, Y. Kogi, N.Oyama, S.Kubota, T.Onuma, N.Goto, A.Itakura, H.Hojo, M.Ichimura, T.Tamano, K.Yatsu,
Density Profile and Fluctuations Measurements Using Microwave Reflectometry,
Journal of Plasma and Fusion Research **74**, No.10 (1998, October) p.1189-1200.
- 16 北條仁士,
ミリ波診断シミュレータ,
Journal of Plasma and Fusion Research **74**, No.12 (1998, December) p.1414-1421.
- 17 K.Yatsu, L.G.Bruskin, T.Cho, M.Hamada, M.Hirata, H.Hojo, M.Ichimura, K.Ishii, K.Isulam, A.Itakura, I.Katanuma, Y.Kiwamoto, J.Kohagura, S.Kubota, A.Mase, Y.Nakashima, T.Saito, Y.Sakamoto, T.Tamano, Y.Tatematsu, T.Tokuzawa, M.Yoshikawa,
Recent Results of Experiments on Tandem Mirror GAMMA 10,
Transactions of Fusion Technology **35**, No.1T (1999, January) p.52-59.
- 18 T.Cho, J.Kohagura, M.Hirata, T.Numakura, R.Minami, T.Okamura, T.Sasuga, Y.Nishizawa, M.Yoshida, M.Yoshikawa, Y.Nakashima, Y.Sakamoto, T.Tamano, K.Yatsu, and S.Miyoshi,

- Investigations of Electron Behavior in the GAMMA 10 Tandem Mirror on the Basis of X-ray Analyses Using a Novel Theory on Semiconductor Detector Response,
Transactions of Fusion Technology **35**, No.1T (1999, January) p.151-155.
- 19 K.Ishii, T.Goto, Y.Goi, N.Kikuno, Y.Katsuki, M.Nagasaki, Y.Ono, N.Ishibashi, M.Nakamura, I.Katanuma, A.Mase, M.Ichinura, A.Itakura, T.Tanamo, K.Yatsu,
Ion Transport in Velocity Space Due to Alfvén-Ion-Cyclotron Fluctuations Excited in the RF Driven Tandem Mirror Plasma,
Transactions of Fusion Technology **35**, No.1T (1999, January) p.175-179.
- 20 A.Mase, T.Tokuzawa, L.G.Bruskin, Y.Kogi, S.Kubota, N.Oyama, T.Onuma, N.Goto, H.Negishi, Y.Shima, A.Itakura, H.Hojo, M.Ichimura, T.Tamano, K.Yatsu,
Density Profile and Fluctuation Measurements with Microwave Reflectometry on GAMMA10,
Transactions of Fusion Technology **35**, No.1T (1999, January) p.210-214.
- 21 T.Saito, Y.Tatematsu, Y.Kiwamoto, K.Kajiwara, Y.Yoshimura, H.Abe, K.Ito, A.Suzuki, A.Yamazaki, H.Koyama, S.Umehara, K.Ishii, M.Ichimura, A.Mase, T.Tamano, K.Yatsu,
Measurement and Control of End Loss Electrons from the GAMMA 10 Tandem Mirror,
Transactions of Fusion Technology **35**, No.1T (1999, January) p.233-237.
- 22 M.Yoshikawa, K.Ikeda, Y.Okamoto, E.Kawamori, S.Kobayashi, Y.Nakashima, A.Mase, T.Cho, N.Yamaguchi, T.Tamano and K.Yatsu,
Spectroscopic Measurement in the Tandem Mirror GAMMA 10 for Plasma Confinement and Impurity Diagnostics,
Transactions of Fusion Technology **35**, No.1T (1999, January) p.273-277.
- 23 K.Ikeda, Y.Nagayama, T.Ito, E.Kawamori, Y.Okamoto, T.Tamano, N.Yamaguchi, K.Yatsu, and M.Yoshikawa,
Spectroscopic Measurements of Impurity Ion behavior in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
Review of Scientific Instruments **70**, No.1 (1999, January) p.332-335.
- 24 T.Cho, J.Kohagura, M.Hirata, Y.Sakamoto, T.Numakura, R.Minami, T.Sasuga, Y.Nishizawa, T.Okamura, T.Tamano, K.Yatsu, S.Miyoshi, K.Hirano, and H.Maezawa,
Effects of Neutrons on Semiconductor X-ray Detectors Including n-Type Joint European Torus and p-Type GAMMA 10 Tomography Detectors,
Review of Scientific Instruments **70**, No.1 (1999, January) p.577-580.
- 25 J.Kohagura, T.Cho, M.Hirata, R.Minami, T.Numakura, T.Okamura, Y.Sakamoto, T.Tamano, K.Yatsu, S.Miyoshi, S.Tanaka, K.Sato, M.Inoue, Y.Saitoh, and S.Yamamoto,
Newly Developed Matrix-Type Semiconductor Detector for Temporally and Spatially Resolved X-Ray Analyses Ranging Down to a Few Tens eV Using a Single Plasma Shot,
Review of Scientific Instruments **70**, No.1 (1999, January) p.633-636.
- 26 M.Ichimura, C.Satake, K.Sakata, S.Furukawa, M.Nakamura, T.Saito, S.Tanaka, S.Kanazawa, E.Ishikawa, S.Takayama, S.Motegi, S.Saasaki, Y.Nakashima, H.Hojo, T.Tamano, and K.Yatsu,

- Behaviour of High Energy Ions in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
 Review of Scientific Instruments **70**, No.1 (1999, January) p.834-837.
- 27 T.Goto, K.Ishii, Y.Katsuki, N.Kikuno, Y.Goi, M.Nagasaki, N.Ishibashi, Y.Ono,
 M.Yamanashi, M.Ichimura, T.Tamano, and K.Yatsu,
 New Type of Compact Electrostatic Energy Analyzer Adequate to Measurement of Charge
 Exchange Neutral Particles with a Low Counting Yield,
 Review of Scientific Instruments **70**, No.1 (1999, January) p.845-848.
- 28 Y.Nakashima, Y.Hasegawa, M.Shoji, S.Kobayashi, T.Saito, Y.Kiwamoto, T.Cho, A.Mase,
 M.Ichimura, A.Itakura, M.Hirata, J.Kohagura, K.Md.Islam, M.Oishi, M.Yoshikawa,
 T.Tamano, and K.Yatsu,
 Charge-exchange Neutral Particle Measurements on Electron Cyclotron Resonance Heating
 Experiments in Hot-ion-mode Plasmas of the GAMMA 10 Tandem Mirror,
 Review of Scientific Instruments **70**, No.1 (1999, January) p.849-852.
- 29 Y.Sakamoto, T.Cho, M.Hirata, J.Kohagura, T.Sasuga, Y.Nishizawa, T.Numakura,
 R.Minami, Y.Nakashima, T.Tamano, K.Yatsu, and S.Miyoshi,
 Characterization of a Semiconductor Detector and Its Application for Ion Diagnostics Using
 a Novel Ion Energy Spectrometer,
 Review of Scientific Instruments **70**, No.1 (1999, January) p.857-860.
- 30 Y.Kogi, A.Mase, L.G.Bruskin, N.Oyama, T.Tokuzawa, S.Kubota, A.Itakura, M.Ichimura,
 H.Hojo, T.Tamano, K.Yatsu,
 Cross-Polarization Scattering from Low-Frequency Electromagnetic Waves in the
 GAMMA 10 Tandem Mirror,
 Review of Scientific Instruments **70**, No.1 (1999, January) p.991-994.
- 31 S.Tanaka, M.Ichimura, S.Takayama, M.Inutake, S.Kanazawa, M.Nakamura, E.Ishikawa,
 C.Satake, S.Motegi, T.Saito, H.Hojo, A.Mase, K.Ishii, T.Tamano, and K.Yatsu,
 Low Frequency Fluctuations Measured by Probes in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
 Review of Scientific Instruments **70**, No.1 (1999, January) p.979-982.
- 32 H.Hojo, Y.Kurosawa and A.Mase,
 Development of Microwave Diagnostic Simulator,
 Review of Scientific Instruments **70**, No.1 (1999, January) p.983-986.
- 33 N.Oyama, A.Mase, H.Negishi, T.Tokuzawa, A.Itakura, T.Tamano, K.Yatsu, K.Watabe,
 K.Mizuno, Y.Nagayama, K.Kawahata, H.Matsuura, A.Miura,
 Development of Millimeter-Wave Two-Dimensional Imaging Array,
 Review of Scientific Instruments **70**, No.1 (1999, January) p.1003-1006.
- 34 S.Kubota, T.Onuma, M.Kato, A.Mase, T.Tokuzawa, N.Oyama, A.Itakura, H.Hojo,
 L.G.Bruskin, T.Tamano, K.Yatsu, C.W.Domier, N.C.Luhmann, Jr.,
 Preliminary Electron Density Profile and Fluctuation Measurements on GAMMA 10 Using
 Ultrashort-Pulse Reflectometry,
 Review of Scientific Instruments **70**, No.1 (1999, January) p.1042-1045.

- 35 L.G.Bruskin, A.Mase, T.Tokuzawa, S.Kubota, N.Oyama, A.Itakura, T.Tamano,
Wavelet Analysis of Plasma Fluctuations in Microwave Reflectometry,
Review of Scientific Instruments **70**, No.1 (1999, January) p.1052-1055.
- 36 T.Tokuzawa, A.Mase, N.Oyama, Y.Kogi, N.Goto, L.G.Bruskin, S.Kubota, A.Itakura,
K.Yatsu,
The Effects of Density Fluctuation on Density Profile Measurements Using a Broadband
FM Reflectometer,
Review of Scientific Instruments **70**, No.1 (1999, January) p.1068-1071.
- 37 S.Kubota, T.Onuma, M.Kato, A.Mase, T.Tokuzawa, N.Oyama, A.Itakura, H.Hojo,
L.G.Bruskin, T.Tamano, K.Yatsu, C.W.Domier, N.C.Luhmann, Jr.,
Initial Measurements from an Ultrashort-Pulse Reflectometer on GAMMA 10,
Japanese Journal of Applied Physics **38**, No.2B (1998, February) p.L202-L205.
- 38 T.Cho, J.Kohagura, M.Hirata, Y.Sakamoto, T.Okamura, T.Numakura, R.Minami, T.Sasuga,
H.Nishizawa, T.Tamano, K.Yatsu, and S.Miyoshi,
A New Principle in Plasma Electron-Temperature Diagnostics Using a Semiconductor
X-ray Detector,
Plasma Devices and Operations **7**, No.2 (1999) p.85-92.
- 39 Y.Sakamoto, T.Cho, M.Hirata, Y.Nakashima, T.Tamano, K.Yatsu, and S.Miyoshi,
A Novel Electrostatic Slanted-Grid-Type Ion Spectrometer and the Development and
Characterization of Semiconductor Ion Detectors,
Plasma Devices and Operations **7**, No.2 (1999) p.93-101.
- 40 K.Yatsu,
Plasma Confinement Studies in Open Systems,
Plasma Physics and Controlled Fusion **41**, (1999, March) p.A307-A314.
- 41 T.Saito, M.Ichimura, Y.Kiwamoto, A.Mase, Y.Tatematsu, H.Abe, K.Kajiwara, Y.Kogi,
M.Nakamura, S.Umehara, Y.Yoshimura, and K.Yatsu,
Enhanced Axial Loss of Electrons from a Tandem Mirror Induced by an Alfvén Ion
Cyclotron Wave,
Physical Review Letters **82**, No.6 (1999) p.1169-1172.
- 42 板倉昭慶, 杉山昭彦, 中嶋洋輔, 間瀬 淳, 横峰 誠,
研究開発ノート「VME-CAMACデータ収集系の構築」,
Journal of Plasma and Fusion Research **74**, No.6 (1998, June) p.616-622.
- 43 間瀬 淳, 石井亀男, 齊藤輝雄, 吉川正志,
プラズマ閉じ込めのための開放磁場システムに関する国際会議,
Journal of Plasma and Fusion Research **74**, No.10 (1998) p.1214-1217.
- 44 谷津 潔,
タンデムミラー GAMMA 10 の最近の進展,
Journal of Plasma and Fusion Research **74**, No.12 (1998) p.1372-1381.
- 45 M.Yoshikawa, N.Yamaguchi, K.Ikeda, Y.Okamoto, E.Kawamori, T.Tamano and K.Yatsu,

Absolute Calibration of Time- and Space-Resolving Vacuum Ultraviolet Spectrograph for Plasma Diagnostics,

Photon Factory Activity Report 1997 **15**, (High Energy Accelerator Research Organization, KEK, 1998) p.126.

- 46 Y.Nakashima, Y.Hironaga, Y.Ishimoto, S.Kobayashi, K.Yatsu, T.Tamano, K.Tsuchiya, N.Yamaguchi, A.Sagara, M.Shoji, H.Suzuki, N.Noda, A.Komori, N.Ohyabu, O.Motojima, Impurity Analysis of Carbon Sheet Pump during Plasma Discharge, Annual Report of National Institute for Fusion Science April 1997 - March 1998, (National Institute for Fusion Science, 1998) p.77.
- 47 中嶋洋輔,
「炉心プラズマのダイバータ特性、制御に関する調査報告書」そのII,
プラズマ・核融合学会調査報告書, (1999年2月) p.90-106.
- 48 玉野輝男,
高性能閉じ込めと電界形成に関する研究,
日本原子力研究所受託研究報告書, (1999年2月).

<学位論文>

博士論文

(物理学研究科)

池田勝則 [博士 (理学)]

Studies of Impurity Ion Behavior Using UV-Visible Spectroscopy in the GAMMA 10 Tandem Mirror

Khairul Md. Islam [博士 (理学)]

Studies of Edge Plasma in the Anchor Region and the Axial Confinement of GAMMA 10 Plasmas

大山直幸 [博士 (理学)]

Studies of Millimeter-Wave Imaging Array for the GAMMA 10 Tandem Mirror

梶原 健 [博士 (理学)]

Study of Current Circulation through an End Plate Associated with Electron Cyclotron Resonance Heating in the GAMMA 10 Tandem Mirror

熊谷 晃 [博士 (理学)]

Transport Studies in Boundary and Divertor Plasmas of JT-60U

田中 覚 [博士 (理学)]

Control of Macroscopic Instability in the GAMMA 10 Tandem Mirror

森山伸一 [論文博士 (理学)]

Studies on the ICRF Heating System in JT-60 Upgrade and for Future Fusion Experiments

修士論文

(物理学研究科)

黒沢良夫 [修士 (理学)]

ミリ波プラズマ診断に関するシミュレーション研究

(理工学研究科)

石橋信次 [修士 (工学)]

ビームプローブ法による低周波揺動の測定

小沼 剛 [修士 (物理)]

ガンマ10における超短パルス反射計の開発

小野芳裕 [修士 (工学)]

ビームプローブ法を応用したプラズマ密度測定の研究

鈴木昭宏 [修士 (工学)]

ガンマ10におけるプラグECRHアンテナシステムの変更とその効果

<講演>

- 1 S.Kobayashi, Y.Nakashima, M.Shoji, K.Tsuchiya, Y.Hasegawa, M.K.Islam, N.Yamaguchi, M.Yoshikawa, A.Mase, T.Tamano, K.Yatsu,
Neutral Particle Transport under Strong Hydrogen Recycling Condition in the GAMMA 10 Central Cell,
13th International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices, (San Diego, 1998, May 18-22) p.44 (1P-33).
- 2 Y.Nakashima, A.Sagara, T.Moriwaki, Y.Hironaga, S.Kobayashi, Y.Ishimoto, M.Yoshikawa, T.Tamano, K.Yatsu, K.Tsuchiya, M.Shoji, H.Suzuki, N.Noda, A.Komori, N.Ohyabu, and O.Motojima,
Characteristics of Carbon Sheet Pump in Application Experiments to a High-temperature Plasma Device,
13th International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices, (San Diego, 1998, May 18-22) p.138 (2P-42).
- 3 K.Akimoto, H.Hojo, A.Mase,
Interaction of Dispersive Electrostatic Pulses with Charged Particles,
1998 International Congress on Plasma Physics combined with the 25th EPS Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, (Praha, 1998, June29-July3) ECA Vol.22C p.268-271.
- 4 M.Ichimura, S.Kanazawa, E.Ishikawa, S.Saasaki, S.Tanaka, C.Satake, S.Takayama, M.Nakamura, S.Motegi, K.Sakata, H.Hojo, T.Tamano, and K.Yatsu,
ICRF Antenna Arrangement for Axisymmetric Plasma Formation in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
1998 International Congress on Plasma Physics combined with the 25th EPS Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, (Praha, 1998, June29-July3)

- 5 K.Yatsu, T.Cho, M.Ichimura, K.Ishii, Y.Ishimoto, K.Islam, K.Kajiwara, I.Katanuma, S.Kobayashi, J.Kohagura, A.Mase, R.Minami, Y.Nakashima, Y.Nishizawa, T.Numakura, T.Saito, T.Sasuga, D.Sato, A.Wada,
Reduction of Radial Loss by Conducting Plates Installed in Anchor Regions of GAMMA 10,
GA of APFA'98 & APPTC'98 Abstracts, (Fragrant Hill Hotel, Beijing, China, 1998, September 21-25) p.37.
- 6 K.Yatsu, L.G.Bruskin, T.Cho, M.Hamada, M.Hirata, H.Hojo, M.Ichimura, K.Ishii, A.Itakura, I.Katanuma, Y.Kiwamoto, J.Kohagura, S.Kubota, A.Mase, Y.Nakashima, T.Saito, Y.Sakamoto, T.Tamano, Y.Tatematsu, T.Tokuzawa, M.Yoshikawa,
Plasma Confinement in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
Extended Synopses, 17th IAEA Fusion Energy Conference, (Yokohama, Japan, 1998, October 19-24) IAEA-F1-CN-69-EX4/6, p.45.
- 7 M.Ichimura, H.Hojo, K.Ishii, A.Mase, Y.Nakashima, T.Saito, T.Tamano, and K.Yatsu,
Characteristics of Hot Ions with a Strong RF Heating in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
Extended Synopses, 17th IAEA Fusion Energy Conference, (Yokohama, Japan, 1998, October 19-24) IAEA-F1-CN-69-EXP4/8.
- 8 K.Yatsu, T.Cho, M.Ichimura, K.Ishii, Y.Ishimoto, K.Isulam, K.Kajiwara, I.Katanuma, S.Kobayashi, J.Kohagura, A.Mase, R.Minami, Y.Nakashima, Y.Nishizawa, T.Numakura, T.Saito, T.Sasuga, D.Sato, A.Wada,
Plasma Confinement in GAMMA 10 Tandem Mirror,
The 40th Annual Meeting of the Division of the Plasma Physics of the American Physical Society, (New Orleans, Louisiana, U.S.A., 1998, November 16-20) F3P39.
Bulletin of the American Physical Society **43**, No.8 (1998, November) p.1719.
- 9 T.Tamano, I.Katanuma,
Formation of Radial Electric Fields due to Ion Orbit Losses,
The 40th Annual Meeting of the Division of the Plasma Physics of the American Physical Society, (New Orleans, Louisiana, U.S.A., 1998, November 16-20) Q7P22.
Bulletin of the American Physical Society **43**, No.8 (1998, November) p.1859.
- 10 H.Hojo, M.Nakamura, S.Tanaka, M.Ichimura and A.Mase,
Tandem Mirror Energy Transport with AIC Fluctuations,
Proc. 9th International Toki Conference on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion (ITC-9), (Toki, 1998, December 7-11) P-I-54.
- 11 K.Ito, Y.Kiwamoto, T.Saito, Y.Tatematsu, H.Abe, K.Kajiwara, A.Suzuki, A.Mase, T.Tamano, K.Yatsu,
Observation of Cyclotron Waves Resonantly Excited under Electron Cyclotron Resonance Heating at Magnetic Beach,
Proc. 9th International Toki Conference on Plasma Physics and Controlled Nuclear

- Fusion (ITC-9), (Toki, 1998, December 7-11) P-II-25.
- 12 M.Nakamura, M.Ichimura, S.Tanaka, S.Kanazawa, S.Motegi, S.Saosaki, K.Sakata, C.Nakagawa, K.Kadoya, T.Kawabata, Y.Ohta, H.Hojo, A.Mase, T.Tamano, and K.Yatsu, Alfven Wave Excitation due to Pressure Anisotropy in the GAMMA 10 Tandem Mirror, Proc. 9th International Toki Conference on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion (ITC-9), (Toki, 1998, December 7-11) P-II-29.
 - 13 M.Yoshikawa, T.Tamano, Y.Nakashima, E.Kawamori, S.Kobayashi, K.Yatsu, and GAMMA 10 Group, Pellet Injection in the GAMMA 10 Tandem Mirror, US/Japan Workshop on Fueling and Active Particle Control, (Toki, NIFS, 1998, October 27-28).
 - 14 Y.Nakashima, Recent results of plasma confinement and PSI studies in the GAMMA 10 tandem mirror, Japan-US Workshop on HHFC and PSI for Next Fusion Devices, (Toki, 1998, October 26-29) FT5-01 98.
 - 15 H.Hojo, Advanced Millimeter-Wave Diagnostic Simulator, MOE International Collaborating Research Program and Tsukuba Plasma Research Center Forum "Development of Advanced Millimeter-Wave Plasma Diagnostics", (Tsukuba, 1998, November 24-26).
 - 16 Y.Nakashima, Recent results of GAMMA 10 Experiments, MOE International Collaborating Research Program and Tsukuba Plasma Research Center Forum "Development of Advanced Millimeter-Wave Plasma Diagnostics", (Tsukuba, 1998, November 24-26).
 - 17 中嶋洋輔, 谷津 潔, イスラム・カイルル, 佐藤大輔, 石井亀男, 板倉昭慶, 市村 真, 片沼伊佐夫, 際本泰士, クボタ・シゲユキ, 小波蔵純子, 小林進二, 齊藤輝雄, 坂本宜照, 立松芳典, 玉野輝男, 長 照二, 徳沢季彦, 濱田 稔, 平田真史, ブルスキン・レイニード, 北條仁士, 間瀬 淳, 吉川正志, ガンマ10タンデムミラーにおけるプラズマ閉じ込めと径方向輸送制御, 第2回核融合エネルギー連合講演会(1998年6月, 科学技術館) A38.
 - 18 小波蔵純子, 長 照二, 平田真史, 沼倉友晴, 南龍太郎, 流石岳史, 西沢祐樹, 坂本宜照, 玉野輝男, 谷津 潔, X線新計測原理に基づく新しい電子温度測定法の提唱, 第2回核融合エネルギー連合講演会(1998年6月, 科学技術館) C4.
 - 19 坂本宜照, 長 照二, 平田真史, 小波蔵純子, 西沢祐樹, 流石岳史, 中嶋洋輔, 玉野輝男, 谷津 潔, 新型イオン・エネルギー・スペクトル計測器を用いたプラズマの電位閉じ込めの研究,

第2回核融合エネルギー連合講演会（1998年6月，科学技術館）C7.

- 20 小林進二，中嶋洋輔，
リサイクリングの強い状況下での中性粒子輸送，
核融合科学研究所研究会「ダイバータの物理と化学」（1998年8月，核融合科学研究所）.
- 21 伊藤清一，際本泰士，斉藤輝雄，立松芳典，阿部 拓，梶原 健，鈴木昭宏，山崎 彰，松本和也，小山大樹，石川正男，梅原成範，間瀬 淳，玉野輝男，谷津 潔，
電子サイクロトロン加熱時に誘起される共鳴周波数近傍の波動の観測，
日本物理学会1998年秋の分科会（1998年9月，琉球大学）27aC2.
- 22 北條仁士，
多次元サブサイクル電磁波の伝播について，
日本物理学会1998年秋の分科会（1998年9月，琉球大学）27aC3.
- 23 中嶋洋輔，谷津 潔，イスラム・カイルル，佐藤大輔，和田篤志，石本祐樹，市村 真，片沼伊佐夫，梶原 健，小波蔵純子，小林進二，斉藤輝雄，流石岳史，長 照二，徳沢季彦，西沢祐樹，平田真史，間瀬 淳，南龍太郎，
ガンマ10タンデムミラーにおけるプラズマ閉じ込めの改善，
日本物理学会1998年秋の分科会（1998年9月，琉球大学）27pE11.
- 24 Islam Md. Khairul，中嶋洋輔，佐藤大輔，和田篤志，馬場隆太，石本祐樹，小林進二，梶原 健，大石正雄，片沼伊佐夫，谷津 潔，
ガンマ10極小磁場アンカー部におけるプローブ計測，
日本物理学会1998年秋の分科会（1998年9月，琉球大学）27pE12.
- 25 吉川正志，岡本裕司，渡部 力，池田勝則，河森栄一郎，伊藤崇裕，渡辺吉彦，山口直洋，玉野輝男，谷津 潔，
大口径プラズマ測定用軟X線分光器によるガンマ10プラズマの不純物分光，
日本物理学会1998年秋の分科会（1998年9月，琉球大学）28aC8.
- 26 長 照二，小波蔵純子，平田真史，沼倉友晴，南龍太郎，西沢祐樹，流石岳史，吉田麻衣子，中嶋洋輔，吉川正志，玉野輝男，谷津 潔，坂本宜照，平野 馨，前沢秀樹，
JET n型半導体並びにGAMMA10 p型半導体X線計測器に対するニュートロン入射の影響と、新感度理論に基づく感度変化計算法の提唱，
日本物理学会1998年秋の分科会（1998年9月，琉球大学）28aC12.
- 27 小波蔵純子，長 照二，平田真史，沼倉友晴，南龍太郎，西沢祐樹，流石岳史，吉田麻衣子，玉野輝男，谷津 潔，
新X線計測原理に基づく新しい単一プラズマ・ショット電子温度測定法の提唱，
日本物理学会1998年秋の分科会（1998年9月，琉球大学）28aC13.
- 28 玉野輝男，
有限軌道効果と径電位形成，
日本物理学会1998年秋の分科会（1998年9月，琉球大学）28pE6.

- 29 中嶋洋輔,
 タンデムミラーにおける中性粒子輸送について,
 プラズマ・核融合学会委託調査「炉心プラズマのダイバータ特性、制御に関する調査そのII」特別専門委員会（1998年10月、伊豆）.
- 30 谷津 潔,
 ガンマ10におけるタンデムミラー研究の進展,
 招待講演：プラズマ・核融合学会第15回年会 シンポジウムV「筑波における核融合研究」（1998年12月、筑波大学）シンポジウムV-1.
- 31 中嶋洋輔,
 ガンマ10タンデムミラーにおけるプラズマ閉じ込めと極小磁場部プラズマ挙動,
 招待講演：プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月、筑波大学）1pB7.
- 32 北條仁士, 中村基征, 田中 覚, 市村 真, 間瀬 淳,
 タンデムミラーのエネルギー輸送におけるアルベンイオンサイクロトロンモードの効果,
 招待講演：プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月、筑波大学）1pB8.
- 33 斉藤輝雄, 梶原 健, 立松芳典, 際本泰士, イスラム・カイルル, 阿部 拓, 伊藤清一, 鈴木明宏, 山崎 彰, 石川正男, 梅原成範, 小山大樹, 佐藤大輔, 和田篤志, 中嶋洋輔, 玉野輝男, 谷津 潔,
 ガンマ10におけるエンドプレートを介した電流循環II,
 プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月、筑波大学）1pB9.
- 34 立松芳典, 斉藤輝雄, 際本泰士, 梶原 健, 阿部 拓, 伊藤清一, 鈴木昭宏, 山崎 彰, 石川正男, 梅原成範, 小山大樹, 玉野輝男, 谷津 潔,
 不均一磁場中における加熱共鳴点近傍でのサイクロトロン吸収と放射,
 プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月、筑波大学）1pB10.
- 35 石井亀男, 後藤哲也, 五井康裕, 菊野長與, 香月勇三, 小野芳裕, 石橋信次, 山梨 睦, 長尾彰久, 間瀬 敦, 片沼伊佐夫, 市村 真, 中村基征, 板倉昭慶, 玉野輝男, 谷津 潔,
 揺動による損失領域へのイオン拡散と閉じ込め,
 プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月、筑波大学）1pB11.
- 36 石橋信次, 石井亀男, 菊野長與, 後藤哲也, 香月勇三, 五井康裕, 小野芳裕, 山梨 睦, 長尾彰久, 片沼伊佐夫, 板倉昭慶, 玉野輝男, 谷津 潔,
 損失領域内のイオン温度成分とプラズマ径方向分布との関連,
 プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月、筑波大学）1pB12.
- 37 小波蔵純子, 長 照二, 平田真史, 沼倉友晴, 南龍太郎, 流石岳史, 西沢祐樹, 吉田麻衣子, 玉野輝男, 谷津 潔,
 単一プラズマショット電子温度計測用新型半導体検出器の設計・開発,
 プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月、筑波大学）1pC4.
- 38 竿崎宗春, 田中 覚, 市村 真, 中川智博, 角谷清臣, 金澤清光, 中村基征, 茂木信二, 坂田勝亮, 太田百合子, 川端敏毅, 北條仁士, 間瀬 淳, 石井亀男,

- 玉野輝男, 谷津 潔,
ガンマ10における高周波イオン加熱と巨視的不安定性,
プラズマ・核融合学会第15回年会(1998年12月, 筑波大学) 2aA1p.
- 39 茂木信二, 太田百合子, 中村基征, 市村 真, 田中 覚, 金澤清光, 竿崎宗春,
坂田勝亮, 角谷清臣, 川端敏毅, 北條仁士, 間瀬 淳, 玉野輝男, 谷津 潔,
ICRF波動入射によるプラズマ計測II,
プラズマ・核融合学会第15回年会(1998年12月, 筑波大学) 2aA2p.
- 40 中川智博, 市村 真, 金澤清光, 竿崎宗春, 田中 覚, 中村基征, 茂木信二,
坂田勝亮, 太田百合子, 角谷清臣, 川端敏毅, 玉野輝男, 谷津 潔,
ガンマ10におけるICRF波動入射と加熱特性,
プラズマ・核融合学会第15回年会(1998年12月, 筑波大学) 2aA3p.
- 41 中村基征, 茂木信二, 太田百合子, 市村 真, 田中 覚, 金澤清光, 竿崎宗春,
坂田勝亮, 中川智博, 角谷清臣, 川端敏毅, 北條仁士, 玉野輝男, 谷津 潔,
GAMMA10におけるAIC不安定性の励起条件,
プラズマ・核融合学会第15回年会(1998年12月, 筑波大学) 2aA4p.
- 42 五井康裕, 石井亀男, 後藤哲也, 菊野長與, 香月勇三, 小野芳裕, 石橋信次,
山梨 睦, 長尾彰久, 板倉昭慶, 玉野輝男, 谷津 潔,
ELECA測定器を用いた速度空間損失領域内イオン分布の観測,
プラズマ・核融合学会第15回年会(1998年12月, 筑波大学) 2aA5p.
- 43 山梨 睦, 石井亀男, 菊野長與, 石橋信次, 香月勇三, 後藤哲也, 五井康裕,
小野芳裕, 長尾彰久, 片沼伊佐夫, 板倉昭慶, 玉野輝男, 谷津 潔,
ビームプローブを用いたガンマ10電位構造の測定,
プラズマ・核融合学会第15回年会(1998年12月, 筑波大学) 2aA6p.
- 44 香月勇三, 石井亀男, 小野芳裕, 菊野長與, 後藤哲也, 石橋信次, 五井康裕,
山梨 睦, 片沼伊佐夫, 板倉昭慶, 玉野輝男, 谷津 潔,
内側ミラースロート部プラズマ電位測定用ビームプローブ,
プラズマ・核融合学会第15回年会(1998年12月, 筑波大学) 2aA7p.
- 45 坂田勝亮, 川端敏毅, 市村 真, 中村基征, 田中 覚, 金澤清光, 茂木信二,
竿崎宗春, 中川智博, 太田百合子, 角谷清臣, 齊藤輝雄, 北條仁士, 石井亀男,
中嶋洋輔, 玉野輝男, 谷津 潔,
ガンマ10における半導体検出器を用いた高エネルギーイオン測定,
プラズマ・核融合学会第15回年会(1998年12月, 筑波大学) 2aA8p.
- 46 片沼伊佐夫, 立松芳典, 石井亀男, 玉野輝男, 谷津 潔,
静電流体シミュレーションコードの開発,
プラズマ・核融合学会第15回年会(1998年12月, 筑波大学) 2aA9p.
- 47 岡本裕司, 吉川正志, 山口直洋, 渡部 力, 池田勝則, 石島達夫, 河森栄一郎,
伊藤崇裕, 渡辺吉彦, 玉野輝男, 谷津 潔,
真空紫外分光器を用いたガンマ10における不純物イオンスペクトルの測定II,
プラズマ・核融合学会第15回年会(1998年12月, 筑波大学) 2aA10p.

- 48 小林進二, 中嶋洋輔, 網中洋明, 吉川正志, 石島達夫, 河森栄一郎, Islam Md. Khairul, 大石正雄, 石本祐樹, 佐藤大輔, 馬場隆太, 和田篤志, 石貫英一, 川崎陽子, 庄司 主, 山口直洋, 間瀬 淳, 玉野輝男, 谷津 潔,
ガンマ10セントラル部ミラースロートに於けるH α 線放射空間分布計測,
プラズマ・核融合学会第15回年会(1998年12月, 筑波大学) 2aB14p.
- 49 近木祐一郎, 間瀬 淳, L.G.Bruskin, 大山直幸, S. Kubota, 板倉昭慶, 市村 真, 北條仁士, 玉野輝男, 谷津 潔,
Cross-Polarization Scattering 法によるガンマ10磁場揺動計測,
プラズマ・核融合学会第15回年会(1998年12月, 筑波大学) 2aB15p.
- 50 小沼 剛, KUBOTA Shigeyuki, 加藤雅之, 間瀬 淳, 徳沢季彦, 大山直幸, 板倉昭慶, 北條仁士, BRUSKIN Leonid, 玉野輝男, 谷津 潔, DOMIER Calvin, LUHMANN Neville C, Jr.,
GAMMA 10における超短パルス反射計の開発(II),
プラズマ・核融合学会第15回年会(1998年12月, 筑波大学) 2aB16p.
- 51 根岸広和, 間瀬 淳, 大山直幸, 板倉昭慶, 谷津 潔, 内田賢治, 松浦裕之, 三浦 明, 長山好夫, 川端一男,
ECE イメージング用ミリ波モノリシック検出器の開発,
プラズマ・核融合学会第15回年会(1998年12月, 筑波大学) 2aB22p.
- 52 吉川正志, 石島達夫, 渡辺吉彦, 池田勝則, 岡本裕司, 河森栄一郎, 伊藤崇裕, 渡部 力, 小林進二, 中嶋洋輔, 山口直洋, 玉野輝男, 谷津 潔,
2次元多チャンネルH α 線検出器を用いたガンマ10プラズマ挙動の測定,
プラズマ・核融合学会第15回年会(1998年12月, 筑波大学) 2aB23p.
- 53 石本祐樹, 中嶋洋輔, 石貫英一, 相良明男, 土屋勝彦, 庄司 主, 鈴木 肇, 野田信明, 小森彰夫, 大藪修義, 本島 修, Islam Md. Khairul, 小林進二, 大石正雄, 佐藤大輔, 和田篤志, 馬場隆太, 網中洋明, 川崎陽子, 玉野輝男, 谷津 潔,
カーボンシートポンプの実機への適用試験IV,
プラズマ・核融合学会第15回年会(1998年12月, 筑波大学) 2aB32p.
- 54 大石正雄, 中嶋洋輔, 庄司 主, ISLAM Md. Khairul, 小林進二, 石本祐樹, 佐藤大輔, 和田篤志, 馬場隆太, 市村 真, 間瀬 淳, 長 照二, 吉川正志, 齊藤輝雄, 玉野輝男, 谷津 潔,
荷電交換中性粒子測定によるGAMMA10セントラル部におけるイオン温度解析,
プラズマ・核融合学会第15回年会(1998年12月, 筑波大学) 3aA1p.
- 55 佐藤大輔, 中嶋洋輔, Islam Md. Khairul, 和田篤志, 川崎陽子, 小林進二, 梶原 健, 大石正雄, 石本祐樹, 馬場隆太, 網中洋明, 石貫英一, 片沼伊佐夫, 谷津 潔,
ガンマ10アンカー部プラズマ抑制電極を用いたプラズマ制御,
プラズマ・核融合学会第15回年会(1998年12月, 筑波大学) 3aA2p.
- 56 Islam Md. Khairul, 中嶋洋輔, 佐藤大輔, 和田篤志, 馬場隆太, 石本祐樹, 小林進二, 梶原 健, 大石正雄, 網中洋明, 石貫英一, 川崎陽子, 片沼伊佐夫, 谷津 潔,
ガンマ10外側磁場変換部における周辺プラズマのプロープ計測,

- プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月，筑波大学）3aA3p.
- 57 阿部 拓，際本泰士，斉藤輝雄，立松芳典，山崎 彰，梶原 健，伊藤清一，鈴木昭宏，小山大樹，石川正男，梅原成範，市村 真，玉野輝男，谷津 潔，
タンデムミラープラズマにおける熱流計測，
プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月，筑波大学）3aA4p.
- 58 山崎 彰，際本泰士，斉藤輝雄，立松芳典，阿部 拓，梶原 健，伊藤清一，鈴木昭宏，石川正男，梅原成範，小山大樹，谷津 潔，
ガンマ10プラグ/バリア部における熱流計測，
プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月，筑波大学）3aA5p.
- 59 河森栄一郎，玉野輝男，中嶋洋輔，吉川正志，池田勝則，大山直幸，岡本裕司，小林進二，伊藤崇裕，渡辺吉彦，長 照二，石井亀男，斉藤輝雄，市村 真，間瀬 淳，谷津 潔，
ガンマ10におけるペレット入射実験，
プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月，筑波大学）3aA6p.
- 60 伊藤清一，際本泰士，斉藤輝雄，立松芳典，梶原 健，阿部 拓，鈴木昭宏，山崎 彰，石川正男，梅原成範，小山大樹，谷津 潔，
電子サイクロトロン共鳴加熱に応答するプラズマからのマイクロ波放射，
プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月，筑波大学）3aA7p.
- 61 鈴木昭宏，斉藤輝雄，際本泰士，立松芳典，梶原 健，阿部 拓，伊藤清一，山崎 彰，石川正男，梅原成範，小山大樹，谷津 潔，
ガンマ10におけるプラグECRHアンテナシステムの変更とその効果，
プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月，筑波大学）3aA8p.
- 62 後藤哲也，石井亀男，香月勇三，菊野長與，五井康裕，小野芳裕，石橋信次，山梨 睦，長尾彰久，玉野輝男，谷津 潔，
6.3. 6度円筒同軸型静電エネルギー分析器の収束特性，
プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月，筑波大学）3aB17p.
- 63 KUBOTA Shigeyuki，小沼 剛，加藤雅之，間瀬 淳，大山直幸，板倉昭慶，北條仁士，BRUSKIN Leonid G.，玉野輝男，谷津 潔，
超短パルス反射計を用いたGAMMA 10プラズマの電子密度分布・揺動の測定(I)，
プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月，筑波大学）3aB20p.
- 64 黒沢良夫，北條仁士，間瀬 淳，
超短パルス反射法による磁場分布再構成，
プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月，筑波大学）3aB21p.
- 65 沼倉友晴，長 照二，平田真史，小波蔵純子，南龍太郎，流石岳史，西沢祐樹，吉田麻衣子，中嶋洋輔，坂本宜照，玉野輝男，谷津 潔，
半導体検出器を用いた電子温度並びにイオン温度同時計測への基礎実験，
プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月，筑波大学）3aB22p.
- 66 南龍太郎，長 照二，平田真史，小波蔵純子，沼倉友晴，流石岳史，西沢祐樹，吉田麻衣子，玉野輝男，谷津 潔，

- X線スペクトル解析用多層膜反射鏡の開発とプラズマ計測，
 プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月，筑波大学）3aB23p.
- 67 流石岳史，長 照二，平田真史，小波蔵純子，西沢祐樹，吉田麻衣子，沼倉友晴，
 南龍太郎，坂本宜照，玉野輝男，谷津 潔，
 高出力半導体検出器を用いたイオンエネルギースペクトル分析器の開発，
 プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月，筑波大学）3aB24p.
- 68 西沢祐樹，長 照二，平田真史，小波蔵純子，流石岳史，吉田麻衣子，沼倉友晴，
 南龍太郎，坂本宜照，玉野輝男，谷津 潔，
 タンデムミラーの端損失イオン電流量絶対値評価のための研究，
 プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月，筑波大学）3aB25p.
- 69 玉野輝男，中嶋洋輔，小林進二，吉川正志，岡本裕司，河森栄一郎，渡辺吉彦，
 片沼伊佐夫，石井亀男，谷津 潔，
 ガンマ10における熱・粒子閉じ込めへのイオンの有限軌道効果，
 プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月，筑波大学）4pD1.
- 70 菊野長與，石井亀男，石橋信次，山梨 睦，香月勇三，後藤哲也，五井康裕，
 小野芳裕，長尾彰久，片沼伊佐夫，板倉昭慶，玉野輝男，谷津 潔，
 ガンマ10バリア部の高速2次元電位分布の測定 I V，
 プラズマ・核融合学会第15回年会（1998年12月，筑波大学）4pD2.
- 71 北條仁士，
 開放短磁場系におけるマイクロ不安定性と輸送現象，
 シミュレーション・サイエンスシンポジウム（1998年12月，湯沢，KKRゆき
 ぐに）.
- 72 中嶋洋輔，
 直線型核融合炉に於けるPWIの特性，
 核融合科学研究所研究会「次世代燃料核融合炉に於けるプラズマ-壁相互作用
 の研究」作業会（1999年1月，核融合科学研究所）.
- 73 岡本裕司，吉川正志，山口直洋，玉野輝男，池田勝則，河森栄一郎，伊藤崇裕，
 渡部 力，
 真空紫外分光器の絶対感度較正，
 「定常化を目指したプラズマの分光測定」研究会（1999年1月，核融合科学
 研究所）.
- 74 伊藤崇裕，玉野輝男，吉川正志，池田勝則，岡本裕司，河森栄一郎，
 GAMMA10アンカー部における水素原子スペクトルの可視分光計測，
 「定常化を目指したプラズマの分光測定」研究会（1999年1月，核融合科学
 研究所）.
- 75 北條仁士，
 ミリ波診断シミュレータの開発，
 大型シミュレーション研究会（1999年2月，核融合科学研究所）.
- 76 北條仁士，

ミリ波診断のためのシミュレーション研究,

第4回NEXT研究会(1999年3月, 東京, 航空会館).

- 77 齊藤輝雄, 市村 真, 際本泰士, 立松芳典, 間瀬 淳, 梅原成範, 蛸崎マリア,
梶原 健, 阿部 拓, 伊藤清一, 石川正男, 小山大樹, 谷津 潔,

ガンマ10プラズマの立ち上がり時の端損失電子の特性,

日本物理学会第54回年会(1999年3月, 広島大学) 28aXH12.

- 78 梶原 健, 齊藤輝雄, 際本泰士, 立松芳典, 石井亀男, 阿倍 拓, 伊藤清一,
鈴木昭宏, 山崎 彰, 石川正男, 小山大樹, 玉野輝男, 谷津 潔,

ガンマ10プラグ/バリア部における径方向電流の測定,

日本物理学会第54回年会(1999年3月, 広島大学) 28aXH11.

<受賞>

- 1 第二回核融合エネルギー連合講演会 論文優秀賞

小波蔵純子,

X線新計測原理に基づく新しい電子温度測定法の提唱,

平成10年6月2日