

VIII プラズマ

VIII-1 ガンマ10グループ

教授	谷津 潔、長 照二
助教授	石井亀男、板倉昭慶、北條仁士、斉藤輝雄、中嶋洋輔
講師	小波蔵純子、平田真史、立松芳典、吉川正志
前任技術専門職員	平田久子
技術専門職員	大川和夫
大学院生	(26名)

共同研究者

助教授	市村 真 片沼伊佐夫 (物理工学系)、
講師	檜垣浩之 (物理工学系)
講師 (研究機関研究員)	岡本祐司、河森栄一郎、M.K.イスラム

研究協力者

技術専門職員	杉山昭彦、和所保規、
技官	遠藤洋一、嶋 頼子
研究支援推進員	土肥三郎
大学院生	(9名)

【1】序論

研究では、プラズマの高密度化と電位閉じ込めの改善を目標として実験を進めた。プラズマの高密度化に関しては、最近導入された36-76MHzの高周波発振器と、アンカー部中性粒子ビーム入射を併用するとともに、セントラル部に新しく中性粒子ビーム入射装置を設置した。従来プラズマ密度 $4 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ は得られていたのであるが、この密度を得る条件では反磁性信号が減少してしまい、プラズマエネルギーを維持できなかった。この改善を目的として、以前にアンカー部に設置した導体板を、プラズマの近くに磁力線に沿って配置し直した結果、プラズマエネルギーを維持することができるようになるとともに、更に密度を上げる見通しも得られた。高密度領域での実験を進めた結果、閉じ込め時間と電位の密度依存性のデータが、高密度領域において初めてえられた。電位の形成と維持機構について、実験結果は従来のボルツマン則では説明できず、モンテカルロシミュレーションによる研究が進められており、電子温度の非等方性を考慮して、定性的な説明が得られた。

教育では、物理学研究科大学院生9名、理工学研究科大学院生22名、自然科学類4年の卒業研究生3名、その他これらの学生と緊密に教育研究の関連を保ちながら、工学研究科大学院生4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締結しているロシア連邦ノボシビルスクのブドカー原子物理学研究所、並びにモスクワのクルチャフ研究所との間で研究者交流を行い、共同研究を進めた。韓国の韓国基礎科学研究所とも学術交流に関する協定を締結してしており、人事交流とともに密接な研究交流を進めた。さらに、中国とも研究交流を開始し、今後とも人事交流、情報交換を進めていく予定である。

【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

ガンマ10における研究は、プラズマの高密度化において進展が得られた。プラズマの高密度化は、最近導入した36-76MHz ($\omega/\omega_{ci}=6-12$; ω は発振器周波数、 ω_{ci} はセントラウ部のイオンサイクロトロン周波数)の高周波発振器(RF3)と、アンカー部中性粒子ビーム入射(NBI)を併用するとともに、セントラル部に新しく中性粒子ビーム入射装置を設置した。従来プラズマ密度 $4 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ は得られていたのであるが、この密度を得る条件では反磁性信号が減少してしまい、プラズマエネルギーを維持できなかった。この改善を目的として、以前にアンカー部に設置した導体板を、プラズマの近くに磁力線に沿って配置し直した結果、プラズマエネルギーを維持することができるようになった。セントラル部線密度と反磁性量(プラズマエネルギー)の時間変化の一例を図1に示す。図1では、反磁性量の増加は大きくないが、これは壁コンデショニングの進展と共に改善できるものと判断され、更に密度を上げる見通しも得られている。高密度領域での実験を進めた結果、閉じ込め時間と電位の密度依存性のデータが、高密度領域において初めて得られ、その一例を図2に示す。今後、実験を更に高密度領域に広げるとともに、各種プラズマパラメータの密度依存性の実験則を求めていく予定である。電位の形成と維持機構については、実験結果は従来のボルツマン則では説明できず、モンテカルロシミュレーションによる研究が進められており、電子温度の非等方性を考慮して、定性的な説明が得られた。

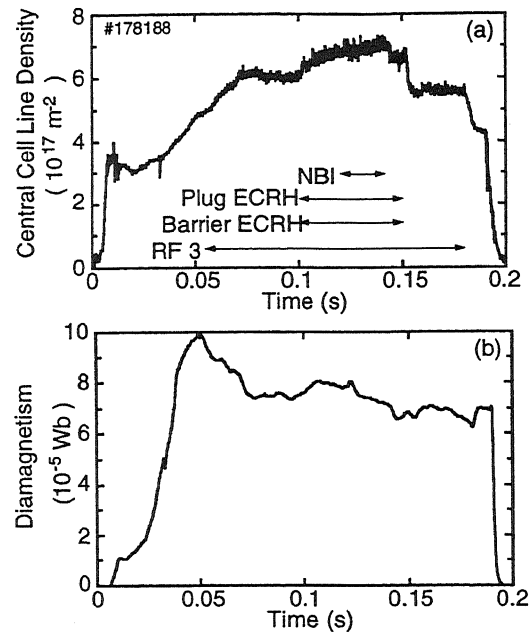


図1 セントラル部の(a)線密度、並びに(b)反磁性量の時間変化。

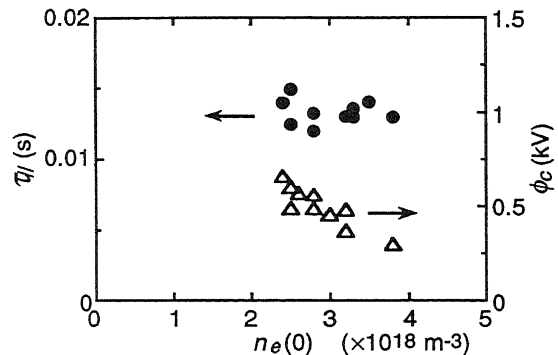


図2 プラズマ密度に対する軸方向閉じ込め時間 τ_{\parallel} 、並びにプラズマ閉じ込め電位 ϕ_c の依存性。[プラグ部電子サイクロトロン加熱パワー：140-150kW]

【3】 タンデムミラープラズマの電位生成並びに電位閉じ込めに関する統合理論の提唱と実証

タンデムミラーの本質を成す電位生成物理機構と、生成された電位の効果についての理論の統合・統一を行う事は、今後のタンデムミラーの研究の進展のためには、必要不可欠な本質的研究テーマである。ここでは、従来からの電位生成の代表的理論であるコーエン(Cohen)の強い電子サイクロトロン加熱(Strong ECH)理論 [1] と、パスツコフ(Pastukhov)の生成電位の効果に関する理論 [2] の2大理論を統合統一する新たな提唱を行い、その実証実験結果について示す。[3,4]

1979年以來のガンマ10の代表的プラズマ・モードは *High Potential Mode* [5,6] [Fig. 1の平面(a)に対応]と、*Hot Ion Mode* [7] [Fig. 1の平面(b)に対応]に大別される。

これらのモードの電位生成機構に共通する物理法則を見出す事は、両モードを統合し高電位・高温プラズマを同時に維持する電位生成手法の、将来への比例則・予測をする上で、学術基盤としての本質を成す。

そのために、2001年の *Phys. Rev. Lett.* で我々が提唱 [3] した、「コーエンの Strong ECH 理論による電位生成物理機構の定説 $\phi_c = T_e [0.665 (n_p/n_c) \exp(1.19 \phi_b/T_e)]^{2/3} - \phi_b$ に対して、この式の電子温度 T_e [keV] を決める物理機構として、パスツコフの電位閉じ込め効果に関する定説を用いサーマルバリア電位 ϕ_b [kV] による電子エネルギー閉じ込め時間を導出し、エネルギー・バランス式からの予想温度式を求め上式の T_e に代入する。[即ち、 $x = \phi_b/T_e = f^{-1} (2.01 \times 10^4 n_c^2 \ln \Lambda T_e^{-1/2} P_e^{-1})$ 、ここで $f(x) = [x \exp(x)] / [(2/3)x + I(x^2)]$ and $I(x) = (1+x/2)/(1+x^2/4)$ 。 P_e [Wm⁻³] は電子加熱電力項。 n_c [10¹⁸ m⁻³] はセントラル部密度。]

更にコーエンの理論のソース項として、サーマルバリア電位を越えて磁力線に沿いプラグ部に流入するセントラル部電子をパスツコフ理論から求め、プラグ部 ECH がこれを加速してプラグ電位、或いはイオン閉じ込め電位 ϕ_b [kV] を生成すると考え、この2大理論を初めて結合・統合する、電位生成と電位の効果の「新統合理論」を提唱した。

第1図は、我々が提唱した電位生成及び生成電位効果の「新統合理論」が記述する、*High Potential Mode* [Fig. 1の平面(a)]と、*Hot Ion Mode* [Fig. 1の平面(b)]の予想平面を表すと共に、各モードでの実験データを示す。茲に、両モードの加熱項の差によるパワーバランス式の差から T_e と ϕ_b の関数関係が (a)(b) 2平面で異なり、これら異なる2平面を形成する。記号の差異はプラグ部対セントラル部の密度比 n_p/n_c が異なる。第1図より「新統合理論」と実験データの良好一致が分かる。(尚、電子加熱項 P_e が、クーロン衝突によるスローイングダウン電力のみであれば、 P_e は n_c^2 に依存するため、 x の n_c 依存性はキャンセルし、この ϕ_c 比例則自体が n_c に依存しない。)

更に、セントラル部に 50 kW の ECH を印加する予備実験を今回新たに行った。これは、セントラル加熱により T_e が増大し、 ϕ_b を越える電子が増えるので、プラグ部に到達する電子が増え n_p/n_c が増大し、第1図で平面(b)がより大きな n_p/n_c を持つ新平面 第1図(c)に移行し、(a)(b) 両モードを橋渡しする、「新統合モード」の創成をこの理論から予想する試みである。

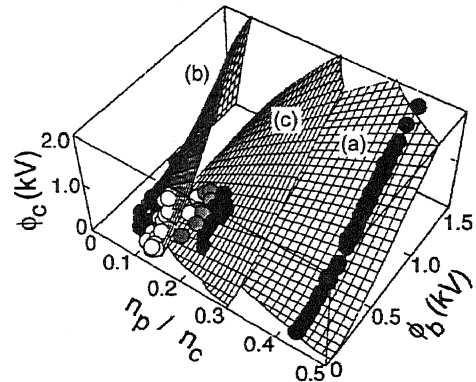


Fig. 1. Proposed theoretical surfaces [2] consolidated over Pastukhov's and Cohen's theories with energy balance for data fit in the representative modes for the future extension.

この時のパワーバランスの予想式に基づく T_e と ϕ_b の相関を第2図に示し、実験データが確かにこの関係を満たすことを先ず確認した。その上で、こうして得られた T_e と ϕ_b の相関式をコーエンの Strong ECH 理論に代入して求めたものが、第1図の(c)平面である。 n_p/n_c の異なる3種類のデータを異なる記号でプロットし、全ての点が「新統合理論」の予想平面(c)によく乗っていることが、第1図(c)より初めて示された。

このことは「新統合理論」の広範なパラメータ領域や、新モードへの拡張性・適用性を示すもので、「新統合理論」が将来の比例則構築に、物理基盤を与える事の証左である。

第1図(a)(b)は、それぞれ High Potential Mode、Hot Ion Mode に対する、本「新統合理論」とデータの良好一致を示すが、それ以外のモードや n_p/n_c の異なる領域で本理論が成り立つかどうか、本理論の拡張性への試金石であった。

今回新たに、Central ECH を印加することで、 T_e が増大し、 ϕ_b を越える電子が増え、プラグ部に到達する電子が増大し n_p/n_c が増加し、第1図で平面(b)はより大きな n_p/n_c を持つ新平面 第1図(c)に移行するモードが創成 (T_e と ϕ_b の相関で波動加熱項が加わるために、従来の2モードの加熱ソース項のクーロンドラグと物理的依存性が異なるモード) され、この第3平面でも「新統合理論」とデータの良好一致が示され、新理論の広い適用性が(a)(b)以外のモードで初めて示された。

これにより、今後の新プラズマモード創成への指導原理・基盤法則としての、本理論の適用・応用性が初めて示された。

以上の「新統合理論」では「物理パラメータ ϕ_c , ϕ_b , n_p/n_c , x 」によりパラメータの相関を示したが、実用上外部制御可能な加熱電力とこれらのパラメータ (特に電位) との関連付けを行うべく、「電位生成と電位生成 ECH 電力」の比例則を詳細に研究した。(第1図)

2000年のIAEAで発表した[8]、プラグECH電力のみの比例則とは異なり、今回新たに、プラグECH電力に加えてバリアECH電力の両方の電力に対して総合比例則を確立した(第3図)。これは、

$$\phi_c = 1.0 \times 10^{-4} (1 + 5.0 \times 10^{-3} P_{\text{BECH}}^{1.04 \pm 0.02}) P_{\text{PECH}}^{1.73 \pm 0.02} \times [c (n_p/n_c)^{2.3} - 1] \exp[-(0.33 \pm 0.05) n_c]$$

と表すことができ、茲に「高温イオン・モード」と「高電位モード」に対してそれぞれ $c=9-11$ 並びに $7-9$ である。また、プラグ及びバリアECH電力をそれぞれ P_{PECH} [kW]、 P_{BECH} [kW]、更に ϕ_c [kV]、 n_c [10^{18} m^{-3}]なる単位で表す。

尚、この比例則は2000年のIAEAで発表した比例則 $\phi_c = (1.73 \pm 0.05) \times 10^{-4} \cdot P_{\text{ECH}}^{(1.73 \pm 0.02)} \exp[-(0.33 \pm 0.05) n_c]$ を内包 ($P_{\text{BECH}}=0$ で一致) する、 P_{BECH} を含めて拡張された新たな「統合入射ECH電力比例則」である。

この比例則を、第3図に n_c をパラメータとする3種類・3平面に区分して示す。対応するデータ点を、 n_c の区分に対して記号を分けてプロットする。

本比例則の式を得るにあたり、コーエンとパスツコフ理論を統合した我々の「新統合理論」における ϕ_b (或いは ϕ_c と同等価 [第1図参照]) を、 P_{PECH} 並びに P_{BECH} に対する ϕ_b の比例則データ (第3図の ϕ_c と同等価 [第1図参照]) で置き換えて求めたため、本「統合入射電力比例則」は本質的に第1図の関数関係を満たすものとなっている。

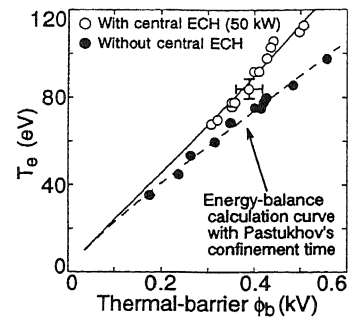


Fig. 2. Potential confinement for T_e rise with central ECH.

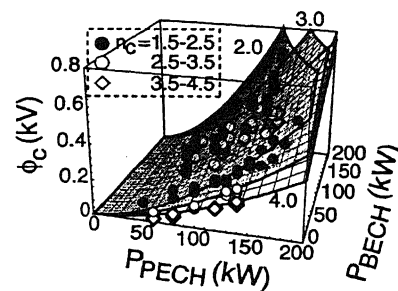


Fig. 3. Scaling of potential formation with plug and barrier ECH.

このECH電力と共にイオン閉じ込め電位（或いはサーマルバリア電位）が増大して行く比例則は、タンデムミラーの将来の発展に対し、如何にECH電力の増力が重要であることを示すと共に、定量的にも、今後どの程度のECH増力が、バスツコフが予言する $Q=1$ に必要な $\phi_c=30$ kV達成に必要なかを、示すことができる。

第4図にこの $\phi_c=30$ kV達成に必要なECH電力を示す。例えば、 $n_p/n_e=0.3$ 、 $n_e=10^{19} \text{m}^{-3}$ を考えると、2000年のIAEAで示したプラグECH単独な場合に必要の5MW [8]に比べ、電力の絶対値が減少すると共に、 P_{PECH} 、 P_{BECH} の和を取っても単独 P_{PECH} 時と比べ54%の減少が読みとれる。

この様に、本比例則の特長は、関数関係としてコーエンとバスツコフ理論を下敷き・基盤にしており、単なる経験則ではない点が指摘できる。この点こそが台数として限られる大型タンデムミラー研究の将来構想において、本比例則が、タンデムミラー閉じ込め形式の独自の基盤物理原理として、経験則を超えたより普遍的な物理理論を背景を持つ比例則である点がキーポイントである。翻って言えば、比例則が将来万一、一時合わなくなった時にも、生じている現象と比例則の背景理論であるバスツコフやコーエン理論との物理現象の差異を詳しく調べ、何が合っていないのかを確認し、その原因を一つ一つ究明し、その部分を丁寧に取り除き、再び比例則に立ち返らせて次に進んで行く手法がとれる、「物理的背景・物理基盤を持つ」事に拠る意味・意義であり、理論に裏打ちされた比例則のメリットは、極めて有用・重要である。

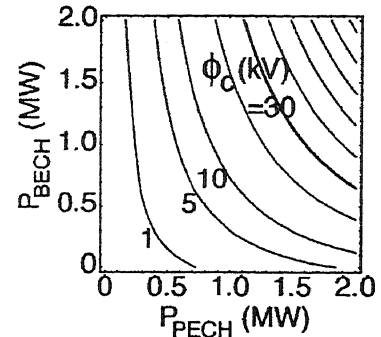


Fig. 4. Reduced total ECH Powers due to plug with barrier ECH for ϕ_c formation.

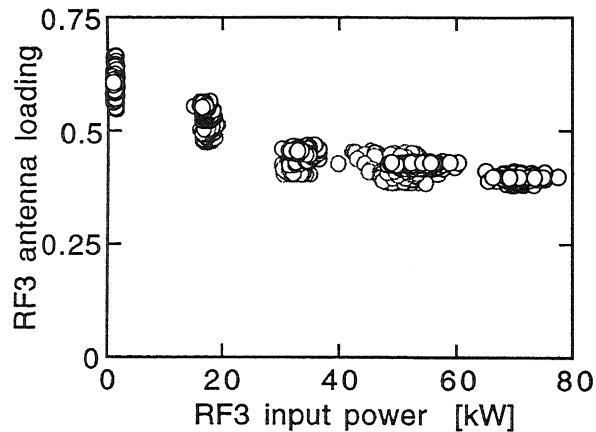
- [1] R. H. Cohen, Phys. Fluids **26**, 2774 (1983).
- [2] V. P. Pastukhov, Nucl. Fusion **14**, 3 (1974); R. H. Cohen, M. E. Rensink, T. A. Cutler, and A. A. Milin, Nucl. Fusion **18**, 1229 (1978); R. H. Cohen, *ibid.* **19**, 1295 (1979); **19**, 1693 (1979).
- [3] T. Cho *et al.*, Phys. Rev. Lett. **86**, 4310 (2001).
- [4] T. Cho *et al.*, Nucl. Fusion **41**, 1161 (2001).
- [5] S. Miyoshi *et al.*, in Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research (Proc. 13th Int. Conf. Washington D.C., 1990) Vol. 2, IAEA, Vienna (1991) 539.
- [6] T. Cho *et al.*, Phys. Rev. Lett. **64**, 1373 (1990). Phys. Rev. A **45**, 2532 (1992).
- [7] Y. Kiwamoto *et al.*, Phys. Plasmas **3**, 578 (1996).
- [8] T. Cho *et al.*, in Fusion Energy Conference (Proc. 18th Int. Conf. Sorrento, 2000) (IAEA, Vienna, 2001).

【4】高周波を用いたプラズマ生成と加熱、及び、加熱プラズマの挙動解析

高密度プラズマ生成を目的として導入された高周波発振器 (RF3) は、セントラル部中央のイオンサイクロトロン周波数の6-12倍の高次高調速波(HHFW)を励起する。従来の発振器システム (RF1, RF2) で生成・加熱維持されたプラズマに対して、RF3を印加することにより、反磁性量を減少させることなく、密度を上昇させる得ることが確認されている。このHHFWの励起に伴い観測される物理的・工学的な現象の解明が、以下に記述する点において進展した。

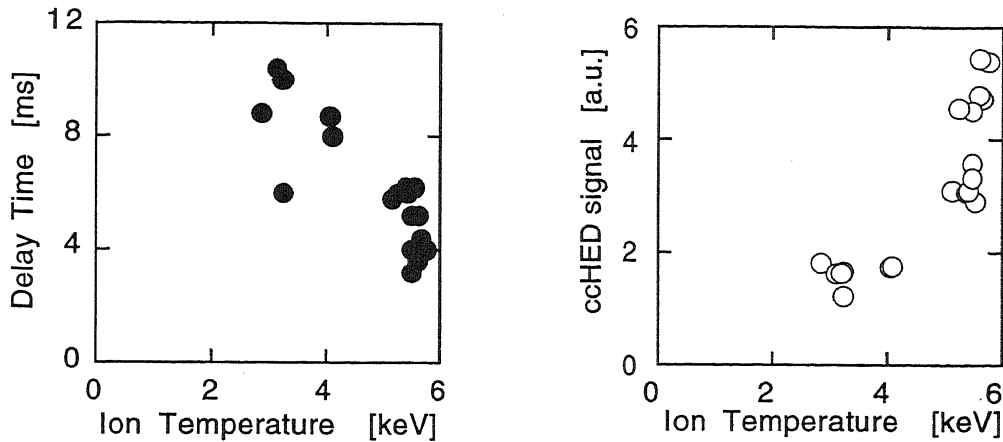
A.高次高調速波印加用アンテナとプラズマの結合

高密度プラズマ生成の最適化を計る為、この周波数領域でのアンテナとプラズマの結合効率を明らかとすることを目的として、アンテナ負荷の導出を試みた。現在、RF3の周波数は41.5MHzであり、セントラル部中央でのイオンサイクロトロン周波数の約6.6倍に相当する。アンテナは、従来西側のRF2に用いられていたダブルハーフターンアンテナ(DHT)が使われている。発振器からの出力電力と発振器への反射電力の測定、アンテナに流れる高周波電流の測定からプラズマへの放射電力を評価し、発振器からの入射電力 (出力電力-反射電力) との比をアンテナ負荷とした。図は、発振器入射電力に対するアンテナ負荷を示している。おおよそ半分の電力がプラズマによって消費されることがわかる。また、その効率は入射電力の上昇とともに減少することが明らかとなった。このアンテナ負荷の減少は、プラズマ密度の径方向分布に強く依存することが示唆されており、高周波電力の印加がプラズマに及ぼす影響を含めて今後この減少の機構を解明してゆく予定である。



B.高次高調速波による高エネルギーイオンの加熱

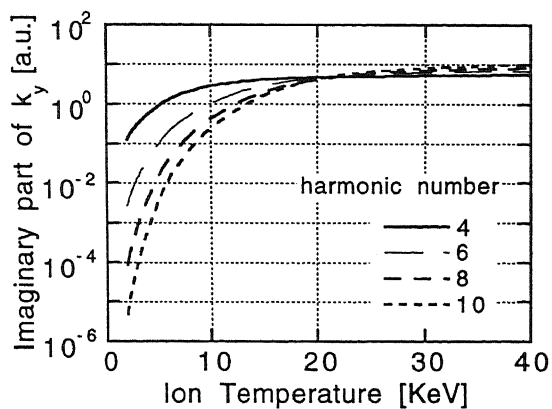
セントラル部中央に設置し、磁力線に直角方向から挿入された高エネルギーイオン検出器 (ccHED) を用いて、RF3印加時における磁場に捕捉された高エネルギーイオンの挙動を観測している。RF3印加に伴い、その電力に依存して信号の増大が観測される。この高エネルギーイオンの加熱の機構を明らかにする為、ccHED信号強度のRF3印加前の反磁性量に対する依存性を測定した。図の横軸は、反磁性量から推定したイオン温度をプロットしている。左図は、RF3の入射電力を固定して、RF3印加後、ccHED信号が急激に立ち上がるまでの遅れ時間を縦



軸にプロットしている。初期のイオン温度が低い時に比べて、高温になるにつれ、その立ち上がり時間が短くなることが示されている。右図は、同じくRF3の入射電力を固定した場合のccHED信号強度の到達点をプロットしている。初期のイオン温度が高い程、その到達点が大きいことが示されている。RF3印加時に高エネルギーイオンが多く存在する条件で加熱が効率良く行われることが示唆されている。

C. 高次高調波減衰の次数依存性

GAMMA10では、前項で記述した様に高次高調波加熱の結果として、高エネルギーイオンの加熱が観測されている。高次高調波の高エネルギーイオンによる減衰を評価する為に、熱いプラズマの分散式を用いて波数虚部の大きさのプラズマパラメタ依存性を計算した。分散式は、核融合科学研究所渡辺二太教授により開発されたコードを導入し、GAMMA10パラメタで計算可能な様に改良した。有限ラーマ半径効果により、高次高調波減衰がバルクプラズマのイオン温度が高い程、また、高エネルギー成分が多く含まれる程大きくなることを確認した。この減衰は、高調波の次数に強く依存することが計算より示されている。図に波動の減衰（波数の虚部）のバルクイオン温度依存性を高調波の次数をパラメタとしてプロットした。図より、次数の高い（ $n=10$ ）場合はイオン温度が低い（ $<10\text{keV}$ ）時、次数の低い（ $n=4$ ）場合に比べて極端に減衰は小さいが、温度の上昇とともにその差は小さくなり、 20keV を越える付近で逆転していることがわかる。GAMMA10における実験結果との比較を検討するとともに、より実験配位に近い条件で計算が可能になるようコードの改良を進めている。



【5】 ガンマ10における電位形成の動的特性[1]

タンデムミラーでは、磁力線方向に沿って流出するイオンを閉じ込めるための電位形成とそのときの粒子損失の大幅な抑制は実証済みである。しかし、電位形成の機構は必ずしも当初想定されたシナリオ通りではない。当初のシナリオでは、まず、例えば高エネルギーの中性粒子ビーム入射(NBI)により、電位に影響されない磁場分布だけで済むイオンの密度が形成され、そこに電子加熱を行うと電子が逃げようとするので、荷電中性を保つべく元々イオン密度の高いところの電位がさらに高くなるという過程が想定されていた。

しかし、実験ではプラグ部の電子サイクロトロン共鳴加熱(ECRH)が基本的な役割を果たしている。図1の黒ぬり記号は ECRH のみの印加によるプラズマ全体の軸方向電位分布の変化を示している。プラグ部の電位が一番高くなりイオン閉じ込め電位が形成されている。この結果は、電位形成機構が当初シナリオとは大きく異なっていることを示す。中央部から流出するプラズマ流中の電子に対して、プラグ部 ECRH が印加されると、電子の磁気モーメントが増大し、ミラー磁場効果により電子束の多くが反射される。すると、すぐ下流部のイオン密度が相対的に大きくなり電位が上昇する。この電位でイオンが反射されて、結果的に荷電中性が保たれる。これがいま考えられている電位形成のシナリオである。

図2と図3を組み合わせるとこのことがよくわかる。図2に示すように、プラグ部近傍電位分布は、ECRH がないと(白ぬき記号)ミラー磁場中央(バリア部)で電位がもっとも低く、外側ミラーズロートにかけて電位が漸増し、その外側で再度降下する。図3(a)のバリア部と(b)のプラグ部の密度をみても、 $T = 100$ ms の ECRH 印加前はプラグ部の方が密度が高い。両者共に磁力線方向のプラズマ流があるときの特徴がよく見える。これに対して、ECRH が印加されると(黒ぬり記号)、磁場勾配途中のプラグ部で電位が最大になり、その外側で大きく降下する。密度はバリア部で増大し、プラグ部のすぐ外側で減少する。これは ECRH によって電位と密度が互いに規定しながら動的に変化することの結果である。

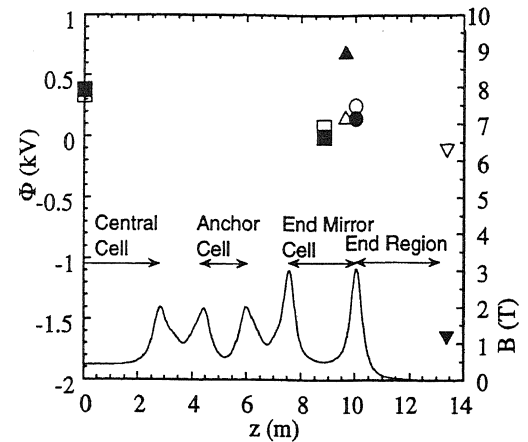


図 1

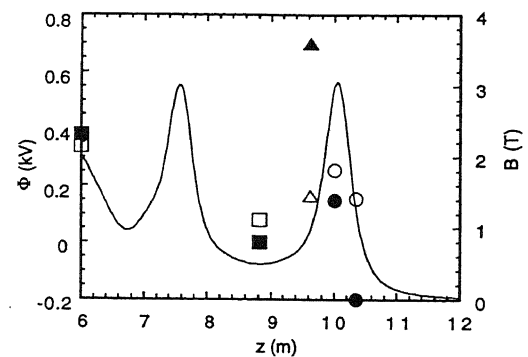


図 2

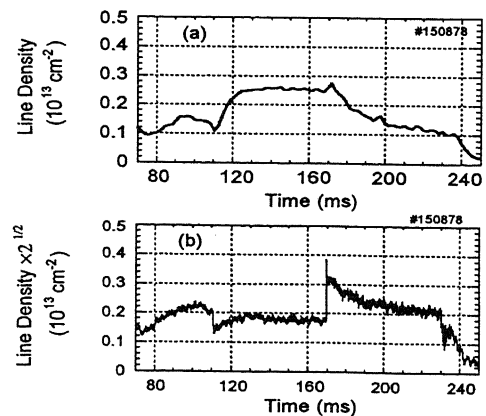


図 3

[1] T. Saito, Y. Tatematsu, et al., Plasma and Fusion Research SERIES Vol.4, pp.61-68.

【6】 ガンマ10におけるAIC波動の端損失電子への作用[1, 2]

ガンマ10の中央部では、高周波電力による強力なイオンサイクロトロン共鳴加熱により、イオンが磁力線に垂直方向に加熱される。そのため、磁力線に垂直な方向の温度が非常に高い（温度非等方度の大きい）数 keV オーダーの高温イオンが生成され、ミラー磁場に捕捉される。その結果、イオンサイクロトロン周波数近傍の周波数をもつ不安定波動（Alfvén Ion Cyclotron, AIC）が励起される。この波動は中央部ミラー磁場に捕捉されたイオンに強い効果をもたらす。実際、温度非等方度の緩和、AIC 波動による速度空間内でのロスコーンへの輸送に伴う高エネルギーイオンの軸方向損失の増大などが観測されている。

一方、特徴的な周波数領域が違っているので、電子に対する効果は弱いと思われていた中で、我々は磁力線方向の電場成分による電子ランダウ減衰を発見し[1]、さらに研究を進めてきた。これは電子へのエネルギー入力チャンネルを明らかにするとともに、電子・波動相互作用の物理を知る上でも重要な課題である。

AIC 波動の電子への作用は端損失電子に特徴的に見られる。図1に示すように、AIC 波動が励起すると、端損失電子束（黒四角）が増大し、電子温度（黒丸）の上昇も見られる。ここで注意してみると両者の時間変化には差異があることがわかる。端損失電子束はAIC 波動励起直後に大きく増大するのに対し、電子温度の上昇はやや緩やかで、時間的に遅れてピークに達する。このとき、図1下の端損失イオン束をみると、電子束同様 AIC 波動励起直後に増大し、電子束とイオン束の強い相関がみられる。図2をみるとこのことがさらにはっきりする。白抜き記号で示す定常状態での端損失イオン束と端損失電子束の比例関係が、黒ぬり記号で示す AIC 波動による増大時でもそのまま保たれている。これは、AIC 波動によるイオン束の増大時に、電子束がミラー磁場からの粒子損失の両極性条件を満たす結果であると考えられる。

図3はランダウ減衰により AIC 波動電場から電子が吸収する電力に対して、AIC 波動に伴う電子温度の増分をプロットしたものである。両者はよい相関関係にあり、電子温度の上昇はランダウ減衰による加熱で説明できることがわかる。

[1] T. Saito, et al., Phys. Rev. Letters **82**, No.6 (1999) 1169-1172.

[2] E. Yokoyama, et al. to be published in Jpn. J. Appl. Physics (20

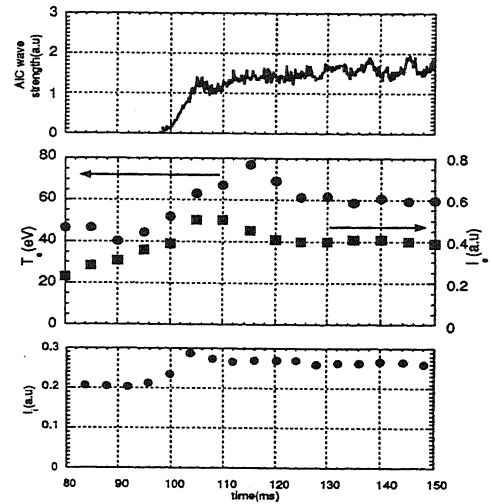


図 1

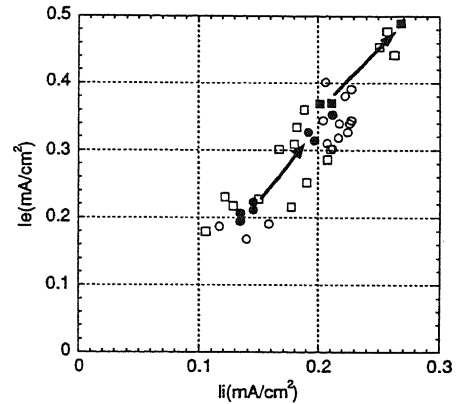


図 2

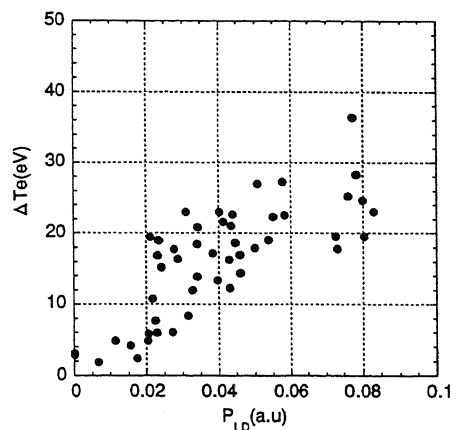


図 3

【7】 プラグ部電子加熱領域の広域化[1]

ガンマ 10 では、プラズマ閉じ込め電位形成のために、装置端部のプラグ部において、磁場勾配のある磁場強度 1 T 部に周波数 28 GHz のマイクロ波を入射し、基本波電子サイクロトロン共鳴加熱(ECRH)をおこなっている。以前は、アンテナからプラズマへ直接マイクロ波を入射していたが、斜めからの入射のため、共鳴領域でのマイクロ波ビームの断面は、鉛直方向が水平方向に比べ約 2 倍長い卵型の形状であった。この入射ビーム断面の非円形性により、形成された閉じ込め電位分布も非軸対称であり、プラズマの径方向損失につながっていた。

これを改善するために、数年前にマイクロ波の経路に円筒面の鏡を挿入し、ビームをいったん鏡で反射させてからプラズマ中に入射するようにした。この円筒反射鏡によりビームを鉛直方向に集光することで、共鳴領域でのマイクロ波ビーム断面を軸対称化できた。この結果、マイクロ波印加中の閉じ込め電位形成時に、プラズマ閉じ込め時間の改善を示唆する顕著なセントラル密度の増加を観測した。

しかし、この反射鏡を用いた時の、共鳴領域でのマイクロ波ビームの半径は 5cm 程度で、プラズマ半径 10cm に比べて小さく、閉じ込め電位が形成される領域も限られる。そこで、共鳴領域でビーム断面の円形を保ちながら、マイクロ波照射面積を広げるように新しい反射鏡を設計した。まず、アンテナからのビーム強度を測定した。ビームに沿ったマイクロ波ビーム半径の変化を図 1 に示す。ビームは 2 方向異なるビームウェストをもつガウスビームでよくフィットすることがわかる。入反射のガウスビームの形状を与えると、これを達成するための光学素子の焦点距離が決まる。

鏡面設計の指針として、鏡面を取り扱いが容易で、かつ広く使用されている二次曲面と仮定した。鉛直方向に集光し水平方向には広げるため、鏡面は一葉双曲面となる。面の決定の具体的手順は、入反射波ともにガウスビームとして取り扱い、共鳴面でのビームの広がりを与え、かつ入射波と反射波とが鏡面でマッチする

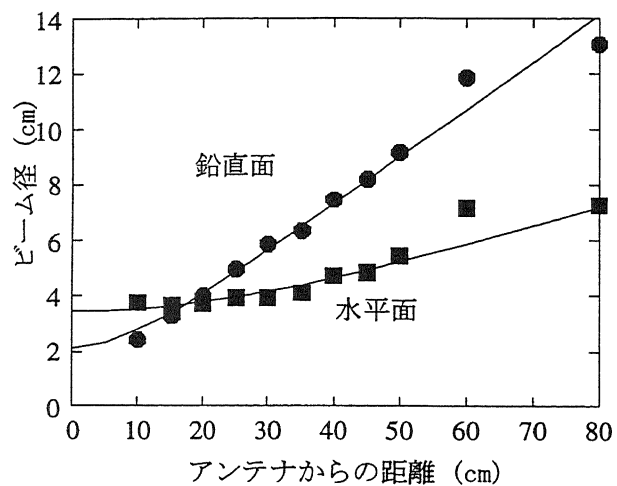


図 1

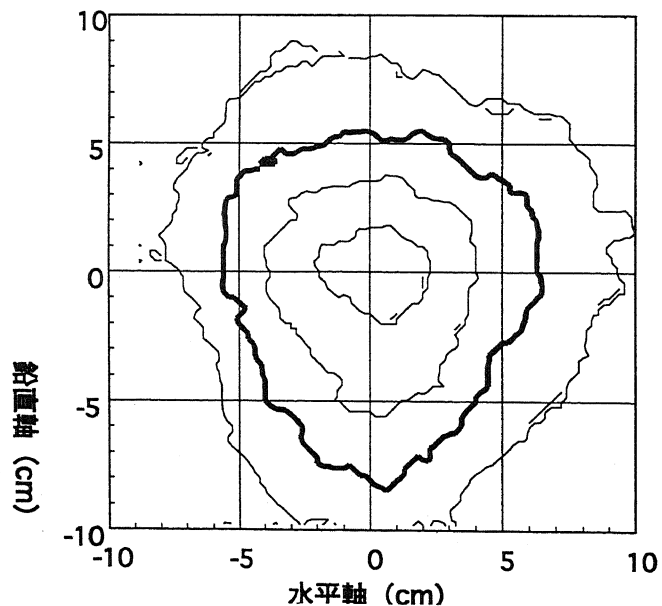


図 2

条件を課すと、反射ビームの形状が決まり、これから、光学素子の焦点距離が決まる。この焦点距離が、双曲面の焦点距離と等しくなるように面を決定した。

マイクロ波の光学系を大気中で再現し、製作した反射鏡を用いて共鳴面での放射パターンを測定した。クライストロンから発振する低電力マイクロ波を用いて、共鳴面に相当する位置に吸収体を置き、その温度上昇を赤外線カメラを用いて観測した。その結果を図2に示す。太い線が、電力ピークが最大値の $1/e$ となるところで、従来の鏡によるものに比べて、その半径は広がっている。ビームの軸上では、ほぼ円形の分布を得ることができた。ただし、外側では下側に伸びた分布となった。この原因はマイクロ波が大きな角度を持って鏡に入射するが、用いたガウスビームのマッチング条件は角度が小さいときに成り立つもので、角度が大きいために必ずしも正しくないためである。

[1] 津田英介、立松芳典、斉藤輝雄、他、「ガンマ10 プラグ部 ECRH 領域の広域化のためのアンテナ系の開発」(2001年11月・春日市クローバープラザ) 30pB11P

【8】 ガンマ10における中性粒子入射実験 [1,2]

ガンマ10では、近年高密度プラズマの電位閉じ込めを目的として、セントラル部及びアンカー極小磁場部に、燃料補給・プラズマ加熱の為の中性粒子入射装置（NBI）が整備された。図1に示すように、セントラル部 NBI（NBI-c）はセントラル中央面から 123cm 東側に磁力線に対して垂直に入射され、アンカー-NBI（NBI-a）は東西アンカー部中央面上（ $z=\pm 520\text{cm}$ ）にそれぞれ磁力線に対して 82 度で入射される。NBI-c の定格は、ビームエネルギー 25 keV、ビーム電流（ドレイン値）30 A であり、NBI-a では各々 25 keV、60 A である。東西アンカー部 NBI の入射タンクには、400000 l/sec の排気速度を持つ液体ヘリウムクライオパネルが、イオン源からの低温ガスの差動排気用として設置されている。

本実験の主目的は、NBI によるプラズマ密度上昇であり、粒子補給量に関する情報が不可欠である。その為、入射ビームの強度及びプロファイルを測定するためのファラデーカップ型検出器（BAD）、及びカロリメーター（CM）が各ビームライン上に設置されている。またセントラル部中央から東アンカー外側変換部に亘って、プラズマからの $H\alpha$ 発光強度を測定する検出器が設置された。また、NBI-c 用ダンプタンクには炭素繊維材を用いた新着想の表面ポンプ（CSP）が開発・設置され、現在実機による性能評価を行っている。

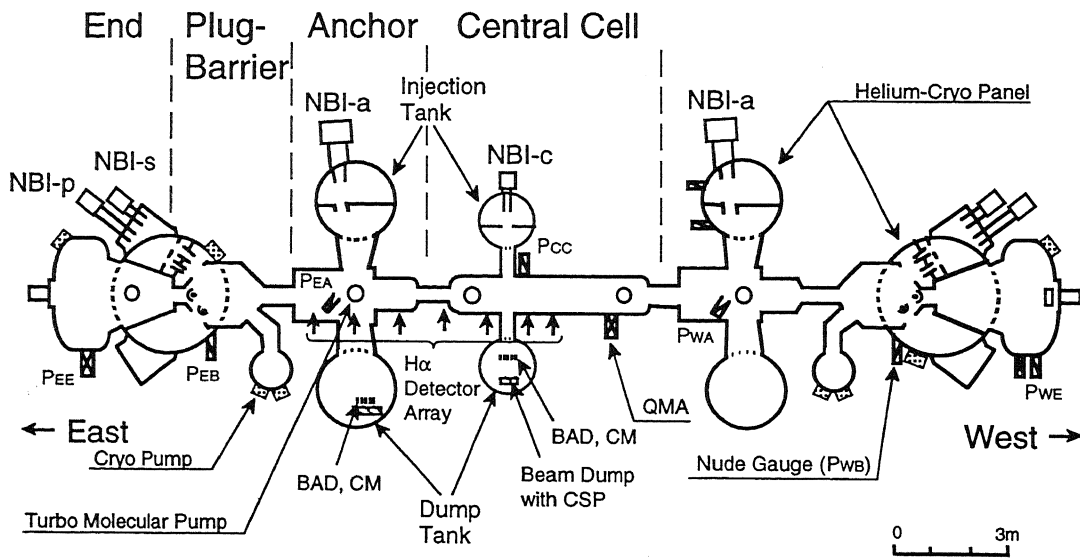


図1 ガンマ10真空容器と中性粒子入射装置及び計測系の配置図

東アンカー部及びセントラル部の NBI ダンプタンク内に設置した BAD と CM を用いて、各部ビーム強度の空間分布を測定し、ビーム軌道の数値計算とを組み合わせることでビーム発散角の評価を行った。その結果、 $1/e$ 半値幅として東アンカー部ビームで 1.2° 、セントラル部で約 1.0° の結果を得た。また、ガンマ10の磁場を用いてビーム中のイオン成分を排除することにより、中性化効率として 73% の値が求められた。以上の結果から、プラズマ中心でのビームの密度として、アンカー部で約 $6.5 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ 、セントラル部において約 $1.7 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ が求められ、ビームによる粒子補給量の絶対評価、並びにホットイオンの蓄積量を評価する為の基盤データを得ることが出来た。

標準的なホットイオンモードプラズマに対し、セントラル部及びアンカー部 NBI 実験が行われた。図 2 は、その際に得られたセントラル部プラズマ電子線密度の時間変化を示す。図から分かるように、セントラル、アンカー両 NBI の同時入射により約 28%の増加が認められている。また同時に、アンカー部の電子線密度は図 3 に示すように約 110%上昇し、 10^{14}cm^{-2} 台を達成した。一方、NBI のイオン源からの流入ガスの影響を調べるためガスのみを注入を行ったところ、図中の”Gas”の曲線に示されるように、密度上昇への効果は認められなかった。従ってこの結果は、ホットイオンのビルドアップを含むビーム入射に起因する密度上昇であると言える。

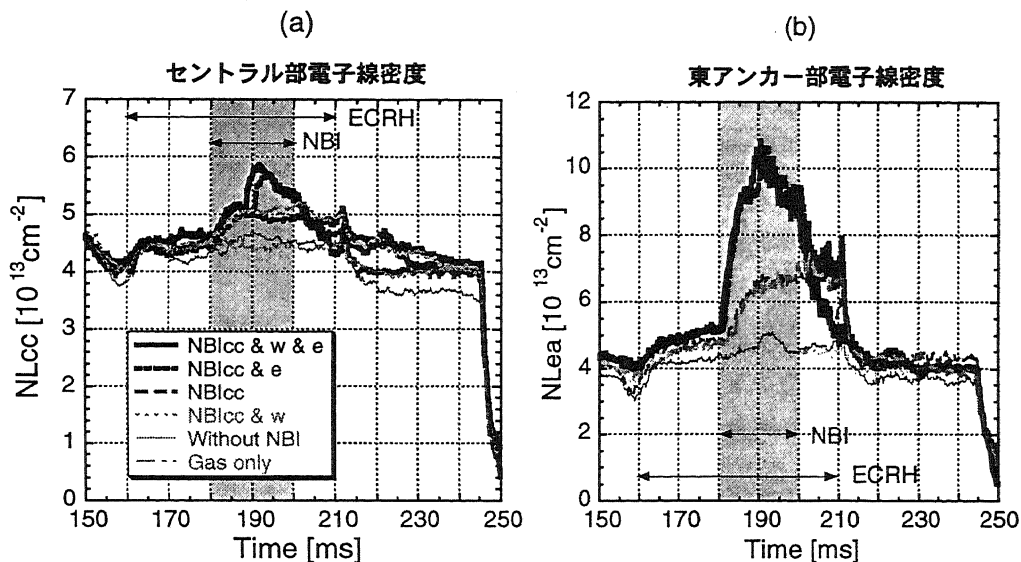


図 2 NBI 実験時のセントラル部、東アンカー部電子線密度の時間変化

NBI による粒子補給率とホットイオンの蓄積量の定量的な評価と入射条件の最適化の為に、セントラル部において粒子バランス式に基づくプラズマパラメータの時間変化を解析する 0 次元数値計算コードを作成し、同様の実験条件下での計算を行った。計算コードは、実験時に得られたプラズマパラメータ（電子密度、電子温度、イオン温度、中性粒子密度など）の測定値やビーム強度分布等のビームパラメータに基づいて、標的プラズマイオン、ビーム生成ホットイオン、中性粒子密度の時間変化を数値計算で追跡して行くことができる。本コードを用いた数値計算の結果、セントラル部 NBI (-20 A) による密度上昇率 13 %をほぼ再現をすることができた。また、この計算結果から、密度増加に寄与しているのは、主としてビーム入射に起因する標的プラズマの密度増加であり、現条件下において、入射ビーム電流値に比例して増加することが判明した。

- [1] 中嶋洋輔, 加藤達也, 他 「ガンマ 10 における中性粒子入射実験」 プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市, クローバープラザ) 30aB03.
- [2] 加藤達也, 中嶋洋輔, 他 「GAMMA10 における中性粒子ビーム入射による粒子補給の効果」 プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市, クローバープラザ) 30pB17P.

【9】 ガンマ10 中性粒子入射実験時における中性粒子の挙動 [1]

タンデムミラーにおいては、プラズマ内部の中性粒子密度は、粒子バランス解析や高 β プラズマ生成の為に重要な計測対象となっている。ガンマ10では、中性粒子の挙動を調べるためにセントラル部において $H\alpha$ 線輻射の計測が行われ、中性粒子輸送コードをガンマ10セントラル部に適用することにより、その径方向分布から中性粒子密度が求められてきた。その結果から、プラズマ維持の為に入射される水素ガスパフがガスパフ近傍に偏在することが明らかになってきた。最近、ガンマ10のアンカー部及びセントラル部において粒子補給及びプラズマ加熱の為に中性粒子ビーム入射装置が稼動を開始、これにより両部において中性粒子の局在化が予想されるようになった。

図1は、セントラル部 NBI 実験時における、ビームライン近傍の $H\alpha$ 線測定器による測定値を示す。NBIにより $H\alpha$ 線放射輝度は200%程度増加した。それに対して、セントラル部の電子線密度は20%程度しか増加しなかった。この理由として、セントラル部 NBI 装置イオン源からの中性粒子の流入が考えられる。

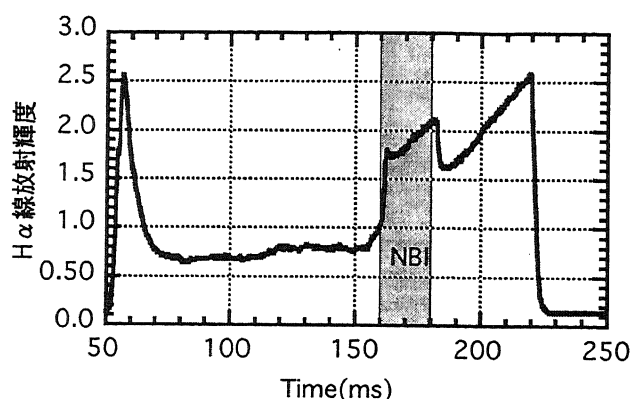


図1 セントラル部 $H\alpha$ 線放射強度の時間変化

NB 入射時には従来から行なわれているガスパフによる中性粒子源に加えて、新たにイオン源からの中性粒子の流入を考慮した。また、イオン源からの中性粒子の流入量は、 $H\alpha$ 線測定値に合う量とした。その結果、ビームライン近傍 ($z = -141$ cm) で、中性粒子密度が2倍程度増加した。NB 自身の粒子生成量 S は、

$S = n_H n_e \langle \sigma v \rangle^e + n_H n_i \langle \sigma v \rangle^p$ で求めた。

以上により求めたセントラル部における NB 入射前と入射中による粒子生成量の z 軸分布を図3に示す。この実験では、NBIにより粒子生成量は17%程度増加することが分かった。

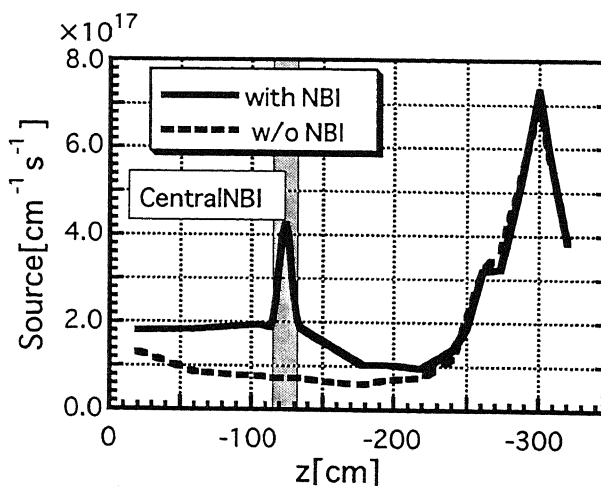


図2 セントラル部粒子生成量の軸方向分布

[1] 深澤崇浩, 中嶋洋輔, 他 「GAMMA10 NBI 実験時における $H\alpha$ 線検出器を用いた中性粒子の測定と解析」プラズマ・核融合学会第18回年会(2001年11月, 福岡県春日市, クローバープラザ) 30pB12P.

【10】 ガンマ10極小磁場変換部における周辺プラズマの挙動 [1,2]

タンデムミラーにおいて、装置端からのプラズマ損失（端損失）を抑制することは重要な課題である。ガンマ10では、電位を用いた軸方向プラズマ閉じ込めの改善を図ってきたが、装置径方向からのプラズマ損失（径方向損失）の抑制も大きな課題となっており、極小磁場形成により磁力線が大きく湾曲している極小磁場変換部での径方向損失についての研究を行っている。そこで、径方向損失抑制を目的として、極小磁場変換部に、プラズマを挟み込む形でステンレス製導体壁（アンカープレート）が設置された。本研究の目的は、東外側変換部の南北のサイドプレート上に設置されている、熱電対・静電プローブを用いて、周辺プラズマの挙動を調べることで、径方向損失抑制の手がかりを得ることである。

これまでに、アンカープレートは、二度の改造が行われてきたが、今回プレートの構造を磁力線に沿った形状に変更を加え、更に磁気軸に対して周方向へも分割するような改造を行った。図1は改造後のアンカープレートの概略図を示す。アンカープレートは軸方向へ3分割、並びにx或いはy方向へ3分割されている。東アンカー部では、各プレートに静電プローブと熱電対を用いた熱流計のレイが取り付けられており、同部に流入する粒子束や熱流束強度の分布が測定できるようになっている。

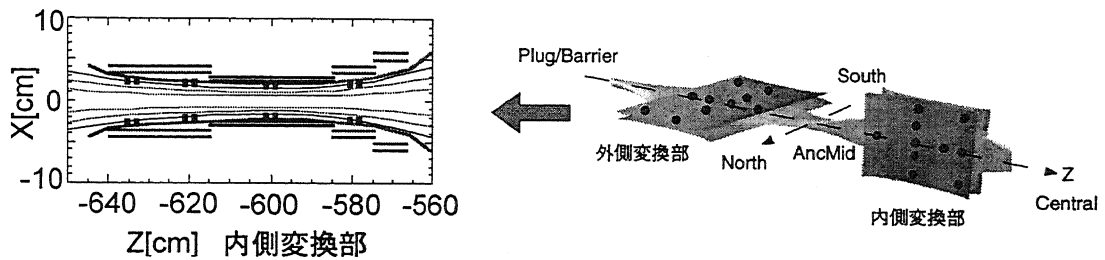


図1 アンカープレートの概略図と磁力線形状

図2は、東アンカー部にてプレート自体及び静電プローブにより測定された浮遊電位の分布を示している。図からわかるように、上部のプレート及び静電プローブの測定結果では、南側から北側に向かって電位が上昇する傾向にあり、下側では逆方向の依存性を持っている。この結果は、可動静電プローブにより測定した、Grad-Bドリフト方向への非軸対称性を矛盾しない結果を示している。

また、カロリメータを用いた熱流分布についても図3に示すように、静電プローブ計測で得られた浮遊電位分布と同様の傾向を示すことが分かった。

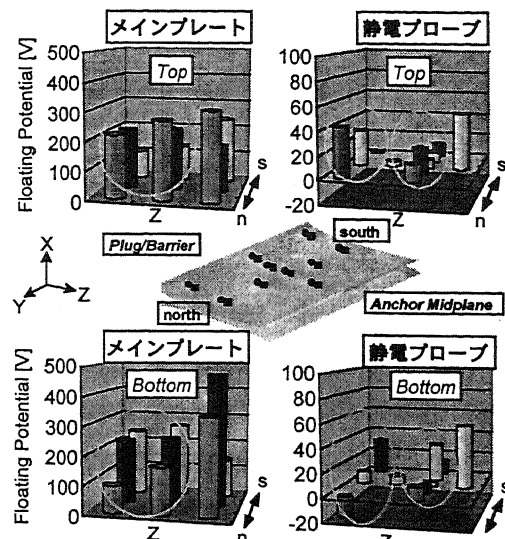


図2 プレート上の浮遊電位プロファイル

図4は、過去二回の大気開放作業により取り出したアンカープレート表面を観察した際に認められた変色領域の写真をアンカープレート配置に対応させて示している。図から分かるように、規則性のある変色領域が認められた。また、実験期間に対応して、変色領域が成長していることがわかった。この規則性は、先述の Grad-B ドリフトと対向面に発生していることから、同ドリフトによりイオンがアンカープレートを衝撃し、スパッタした不純物が対向面に再堆積したものと推測できる。

以上の結果から、Grad-B ドリフトに起因すると思われる非対称性がアンカープレート上に顕著に現れていることから、この非対称性がプラズマ閉じ込め性能に何らかの影響を及ぼしている可能性が示唆される。

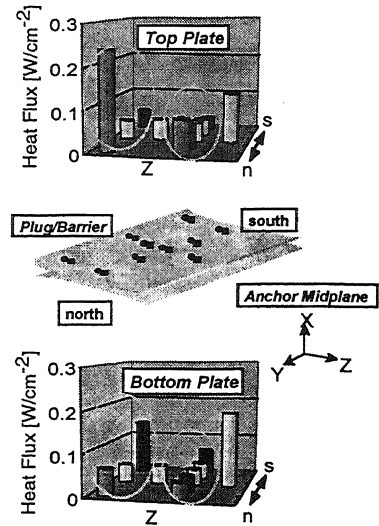


図3 プレート上の熱流プロファイル

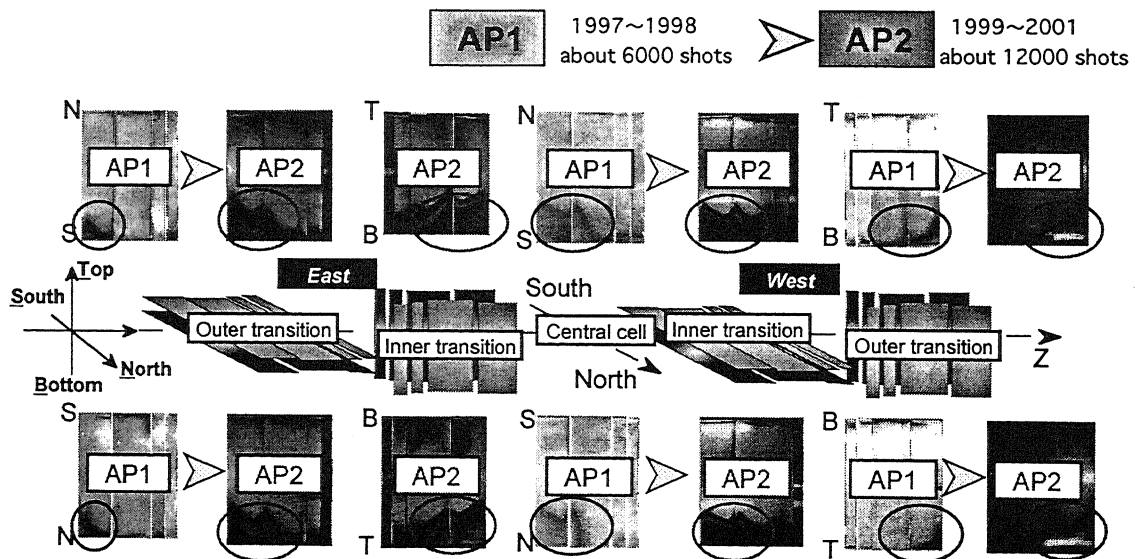


図4 アンカープレートの変色領域の写真。初期モデル (AP1) と第一回改造後 (AP2) の比較

- [1] 名取尊良, 中嶋洋輔, 他 「GAMMA10 極小磁場変換部における周辺プラズマの挙動」 プラズマ・核融合学会第18回年会 (2001年11月, 福岡県春日市, クローバープラザ) 30pB20P.
- [2] Y. Nakashima, T. Natori, et al., "Behavior of the Edge Plasma near the Anchor Conducting Plates and Their Effect on the Plasma Confinement in the GAMMA 10 Tandem Mirror", Joint Conf. 12th Int. Toki Conf. Plasma Phys. Control. Nuclear Fusion and 3rd General Scientific Assembly of Asia Plasma Fusion Association (December 11-14, 2001, Toki, Japan) P II-10, p.135.

【1 1】カーボンシートポンプの高エネルギー粒子ビーム排気への応用 [1,2]

水素リサイクリングの低減はプラズマ性能の向上にとって重要な研究課題である。本研究では、水素リサイクリングを制御し、高温高密度プラズマの生成を目的として、高速荷電交換中性粒子の排気に適したカーボンシートポンプ (CSP) の排気性能を評価する為の実験を進めている。今までに CSP の排気効果は確認されているが、更なる性能の改善や実機への適合性を検討するために、サンプル駆動装置付きポンプモジュールを用いて、カーボンシートポンプのサンプルに実機プラズマの照射を行った。このサンプル駆動装置は、カーボンシートポンプの材料だけでなく、第一壁の候補になっている物質のサンプルを実際の高温プラズマに曝すことができる。また、サンプルを本体の真空を破ることなく容易に交換することができるため、照射時間等の実験パラメータを任意に設定できる利点がある。

荷電交換中性粒子を照射したサンプルを数 MeV の He イオンビームを用いてサンプル中の水素同位体の深さ方向分布を知ることができる弾性反跳粒子検出法 (ERD)、及び表面近傍の元素分析を行うラザフォード後方散乱法 (RBS) によって分析した。今回は CSP の材料の候補として、ホウ素を添加した等方性黒鉛 (GB-010, 東洋炭素製) をサンプルとし、このサンプルに荷電交換中性粒子を照射した。図 1 に示す ERD の解析結果から、照射したサンプルにおいて荷電交換中性粒子に起因する水素原子を確認した。一方、RBS のスペクトルから微量 (1%程度) ではあるが、不純物として酸素を確認した。しかしながら、分析がサンプルを大気に暴露してから行われていることや、これまでの結果から炭素繊維材料においても同程度の酸素の存在が確認されていること、更にその量が微量であることなどから、不純物の影響は深刻な問題ではないと考えられる。現状において、CSP の生成する不純物は問題になっていないが、以上の実験結果や、ポロニゼーションを施した装置におけるプラズマ性能改善の結果から、ホウ素を添加しプラズマ中の酸素不純物を低減できる CSP が改良案の一つとして挙げられる。また、CSP で使用している炭素繊維材料の ERD の結果を詳細に解析するため、イオン温度 3keV のマクスウェル分布したイオンを炭素材料に照射するシミュレーションを TRIM コードを用いて行った。図 1 に示すように、実験結果と計算結果が定性的に一致しており、その理由として分布を持った入射粒子が、各々の飛程近傍で炭素材料に捕捉された可能性が考えられる。

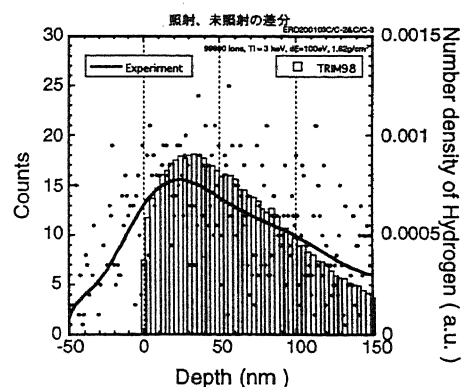
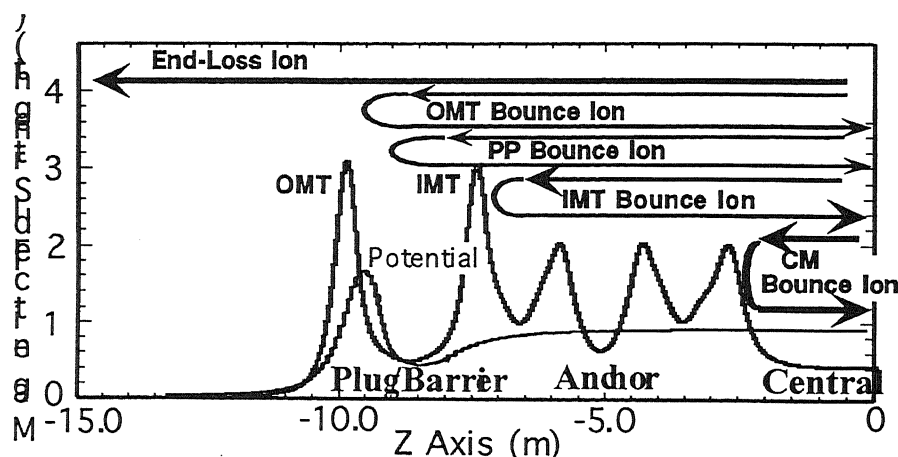


図 1 ERD の分析結果と TRIM との比較

- [1] 石本祐樹、中嶋洋輔、他 平成 13 年度第一回 PSI 研究会報告書 平成 13 年 8 月 p.71.
- [2] 石本祐樹、中嶋洋輔、他 「カーボンシートポンプを用いた高エネルギー粒子ビーム排気装置の開発」プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市, クローバープラザ) 29pA19p.

【12】 タンデムミラーコアプラズマの径方向電場に起因するイオンの径方向輸送の研究

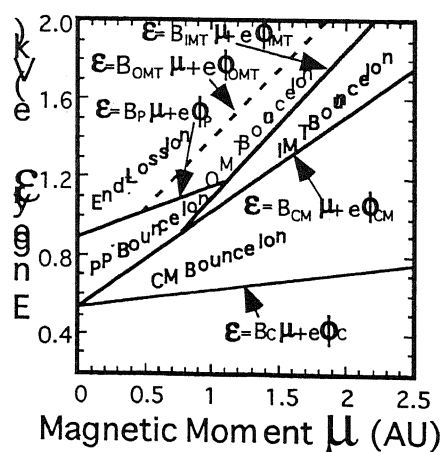
プラグ部での電位形成に伴い軸方向の閉じ込めが改善された結果、高電位形成に伴うプラズマの径方向輸送が問題視されるようになった。径方向輸送を磁場に沿ってバウンスするバウンスイオンの観点から検討した。各ミラー磁場及び電位により反射され中央ソレノイド部に戻るバウンスイオンの概略を、磁場強度分布及び電位分布と共に下図に示す。



標準磁場配位の実験では、中央ソレノイド部の磁場強度は4 kG、その両端のミラー・スロート磁場強度及びアンカー部のミラー・スロート磁場強度は20 kG、プラグ/バリア部の外側及び内側ミラー・スロート (IMT) 部の磁場強度は30 kG、プラグ部の磁場強度は10 kGである。中央ソレノイド部からのイオンは、そのミラー・スロート (20kG) 近傍の磁場により跳ね返るCM (Central Mirror) バウンスイオン、ミラー・スロートとアンカー部を通過しIMT近傍の磁場により跳ね返るIMT (Inner Mirror Throat) バウンスイオン、IMT磁場を通過しプラグ部電位により跳ね返るPP (Plug Potential) バウンスイオン、プラグ電位も通過しプラグ/バリア部の外側ミラー・スロートで跳ね返るOMT (Outer Mirror Throat) バウンスイオン、電位及び磁場の何れの障壁にも跳ね返され無く磁力線に沿って流出する端損失イオンに分類される。

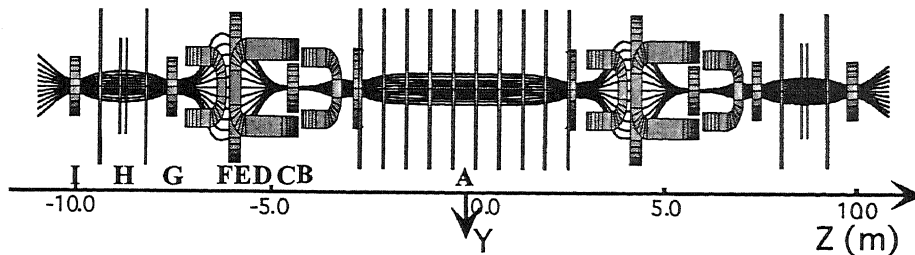
ϵ (エネルギー) - μ (マグネティックモーメント) 空間での各領域を右図に示す。

タンデムミラー装置では、プラズマ内に発生する巨視的不安定性を安定化するために、極小磁場配位を持つアンカー部が組み込まれており、タンデムミラーの特徴を示すIMT, PP, OMT各バウンスイオンは全て

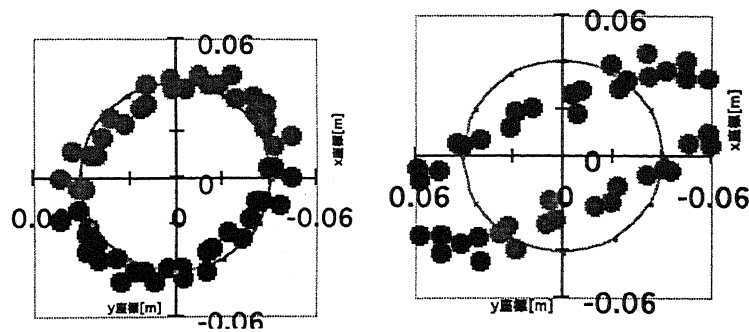


アンカー部を通過する。今回は複雑な当磁場部での径方向電場によるバウンスイオンの軌道への影響を数値計算により調べた。

中央ソレノイド部のミドプレーン上で断面が円形の磁力管は、アンカーミラー部では強く扁平化される。中央ソレノイド部に軸対称な径方向電位分布が存在し、当部からの磁力線に沿っての電位がほぼ等しいとすると、扁平化された半径方向の電場は極めて大きくなる。プラズマが強い電場を緩和する方向に向かうと、扁平な磁力管の形と等電位面の形がずれ、電場に起因するイオンのドリフトが径方向に促進される。アンカーミラー部での磁力管と等電位面とのずれに対するイオン軌道の径方向への影響を解析した。下図にガンマ10装置のコイルと磁力線を示す。



イオンは $z = 0\text{m}$ (A 点) のミドプレーン上で半径 0.05m の円周に沿って 20° 間隔の位置からエネルギー 1keV で出発し、ピッチ角として、アンカー部を通過する角を含む 21° から 1° 刻みに 27° まで変化させた。中央ソレノイド部の径方向電位分布はビームプローブ測定器を用いて出した測定値を用い、中心電位 300V 、半値直径 14cm のガウス型で近似した。磁力管の形と等電位面の形とのずれに対しては、断面が円形の場合は両者が一致するとし、扁平度が大きくなるに従いずれが大きくなるとのモデルで、ずれの程度を示すパラメータ Df を導入した。セントラル部ミドプレーン (A 点) で円周上から出発したイオンが、アンカー部ミドプレーン (D 点) で何処に位置するかを、電場無しの場合と $Df=0.2$ の場合に対し計算した結果の例を下図に示す。



灰色の円形実線は出発位置に対応する磁力管断面を表し、磁場勾配によるドリフト及

び電場に起因するドリフト効果が明確に現れた。等電位面の形のずれが大きくなるに従い径方向のイオン輸送が促進されることが明らかになった。この径方向イオン輸送の促進は、アンカー部が非軸対称であるため軸の回りの角度に依存する。径方向の輸送に依りプラズマリミターに衝突する割合を、径方向電場の有無及び電場存在での D_f の関数として調べ、径方向輸送を減少させるには $D_f=0$ または径方向電場が 0 であることが有効であることを見出した。この計算ではイオンの衝突時間がバウンス時間より大きいいため粒子衝突の効果は無視している。アンカーミラー部での $D_f=0$ が保証されない時は、径方向電場の減少即ち径方向電位分布の平坦化が有効であるとの結論を得、タンデムミラーの閉じ込めを更に増進させるためには、閉じ込め電位形成用マイクロ波の入射方法の適正化を含めた径方向電場制御が重要になる。

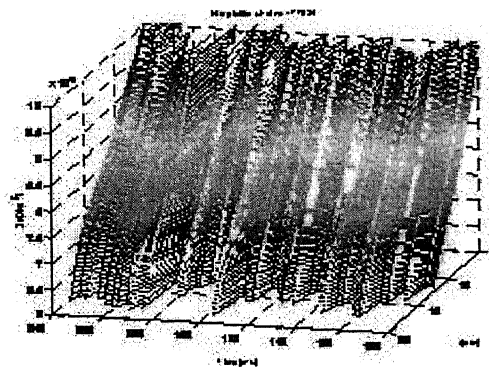
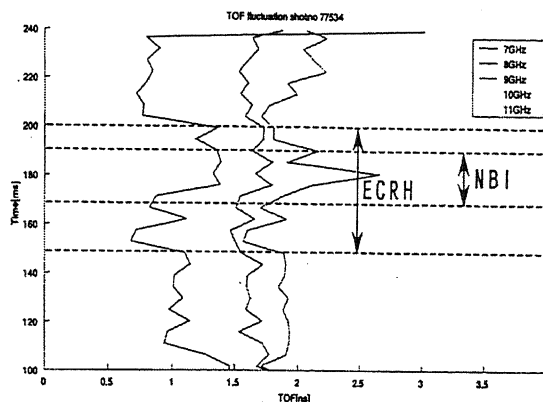
【13】 マイクロ波によるプラズマ計測

超短パルス反射計による密度分布計測

プラズマの電子密度は電子プラズマ周波数の測定から求める事が出来る。電子プラズマ周波数より低い周波数の電磁波はプラズマ中を伝播出来ない為、そのプラズマの最大電子プラズマ周波数より低い周波数の電磁波を入射すると、その周波数と電子プラズマ周波数の一致した点で入射電磁波は反射される。その点迄の飛行時間を観測する事により密度分布を得る事が出来る。

パルス幅 65ps の超短パルスをガンマ 10 装置のセントラルセルのプラズマに入射する。このパルスは周波数帯域が 10GHz 以上のマイクロ波領域迄広がっており、多周波数に対する測定を一度に行う事が出来る。反射波を分割し、帯域濾波器で 7GHz、8GHz、9GHz を選択し、夫々の成分を増幅後検波して時間電圧変換器により電圧に変換、計算機に入力、データ処理を行う。

その結果得られた飛行時間の時間変化を下の上図に示す。これを処理した結果を下の下図に示す。ここでは最大周波数を 9GHz としたので縦軸の密度は $1 \times 10^{12}/\text{cm}^3$ 迄測定されている。奥行きは半径方向の位置を示し、横軸は密度径方向分布の時間変化を示している。時刻 150ms から 200ms 付近でプラズマの端が大きく変化しており、電位閉込めの為の電子サイクロトロン共鳴加熱(ECRH)及び高速中性粒子入射(NBI)の効果を示している。



【14】紫外・可視分光測定システムを用いたガンマ10プラズマの不純物分光

核融合プラズマの研究においては、プラズマに影響を与えないでプラズマの情報を得ることができる分光計測は非常に重要な計測手法である。これまで、ガンマ10では軟X線から可視光にかけてそれぞれの波長域についての分光器を開発、設置し、プラズマ放射光の径方向分布の時間変化の測定ができるようにしてきた。本研究では、紫外・可視分光測定システムを用いて(1)ガンマ10プラズマの不純物イオンスペクトルの定常的な測定を行い、プラズマ中の不純物イオンスペクトルデータの蓄積を行うこと、(2)アンカー部での軸方向不純物イオンの空間分布を得ること、(3)分光測定による径方向電場分布測定法の確立を目的とした。

(1) については、これまで行ってきた紫外・可視分光測定では、ノイズなどの影響が大きい場合、同条件でのプラズマショットデータを重ねてノイズの影響を減らす手法をとってきたが、データの記録方法としてビデオデッキへの手動録画を行っていたため、多大な労力が必要であった。そこで、パーソナルコンピューターを使用してビデオデッキをコントロールし、自動的に録画できるようにした。また、自動的に取得したデータを解析できるプログラムを作成して多量のデータを解析処理できるようにした。(2)については、ガンマ10アンカー部でのプラズマ計測はプラズマ形状が複雑で測定ポートが少ないなどの関係で困難でありプラズマの情報が少なかった。そこで、紫外・可視測定システムを利用したプラズマの軸方向に関する知見を得ることを計画した。(3)については、不純物イオンの回転測定によって不純物イオンの反磁性ドリフトとE×Bドリフトを調べ、径方向電場分布を求め、ビームプローブ法による計測結果と比較し、分光測定による電場計測法の確立を行った。

(1) 紫外・可視分光測定システムの定常測定システムの開発

使用する紫外・可視分光測定システムは、プラズマから出た光をレンズで光ファイバーに集光し、プラズマの位置関係を保ったまま紫外・可視分光器の入射スリットに伝送する。分光器では、回折格子を使用して光を分光し、射出スリット部に設置したイメージインテンシファイアーで光を増幅し、それをCCDカメラを用いて撮影しビデオデッキで画像を録画する。このビデオデッキはRS-232Cによりリモートコントロールできるので、パーソナルコンピューターを使用して12分間隔でのプラズマショットに対応して、不純物スペクトル画像を自動的に測定できるようにMicrosoft Visual C++6.0のプログラムを開発した。その結果、本システムを開発前には、全3522ショット中、測定データが481ショットであったのが、全2567ショット中、982ショットの計測データが得られており、約3倍のデータがとれるようになっており、手動で測定していたときと比較して自動で行っている分、労力も格段に少なくてすむようになった。しかし、その分、大量のデータを処理する必要があるため、測定データを簡単に処理できるような解析プログラムが必要となった。そこで、測定した画像データをコンピューターに画像キャプチャーボードを利用して取り込み、スペクトルデータを視線積分量や絶対放射輝度データとしてテキスト出力、測定不純物イオンのイオン温度、複数画像の重ね合わせる出力等をできるようにした。

(2) アンカー部の軸方向不純物計測

アンカー部における軸方向紫外・可視分光測定を行った。注目した不純物イオンは OII(441.4nm), OIII(298.4nm), OIV(306.3nm), OV(278.1nm)である。測定データを軸方向に関して視線積分量(プラズマの厚さ)で規格化して比較した。その結果、単位面積当たりの放射量は OII のみがセントラル部側により多くの放射があり、その他の価数のイオンについてはアンカー部ミッドプレーン付近に放射の極大が存在した。また、イオンの価数が大きくなるにしたがって、極大値が大きくなる傾向にあった。一方、それぞれの価数の不純物イオン温度を求めてみると、OIV, OV イオンはともにアンカー部ミッドプレーン近傍で最大値をもち、OIV は約 2keV、OV は約 3keV であった。以上の結果から、アンカー部ミッドプレーン近傍で局所的に高電離イオンの加熱が起こっている可能性が認められる。また、高電離イオンほどアンカー部ミッドプレーンに補足されやすく局在している。これは、アンカー部における粒子閉じ込めに関する情報を含んでおり、電位閉じ込めとの関連も含めて今後、詳細な検討が必要である。

(3) プラズマ回転測定による径方向電場計測

プラズマに影響を与えることなくプラズマ中の径方向電場の分布を測定する方法として、プラズマの回転速度を不純物イオンスペクトルのドップラーシフトによって測定する方法を用いた。ガンマ 10 のプラズマ回転は、圧力勾配によって駆動される反磁性ドリフトと電場による $E \times B$ ドリフトの重ね合わせとして観測される。したがって、不純物イオン密度分布と不純物温度分布を分光測定から求められれば、反磁性ドリフトを求めることができ、プラズマ回転測定から差し引くと、 $E \times B$ ドリフトを求めることが可能となる。これまでにも、プラズマ回転測定による径方向電場計測は行われてきたが、これまでの計測では、不純物イオン密度分布をスペクトル強度分布から仮定して導出していた。本研究では、新たに、核融合科学研究所で開発された衝突・輻射モデルを改良して使用し、不純物イオン密度を分光測定結果から求め、反磁性ドリフトを導出した。測定に使用した不純物イオンは、CII、CIII である。まず、回転速度はそれぞれ、最大で 5000m/s 程度であり、そのピーク位置は、CII では、 $x=10, -10\text{cm}$ 、CIII では $x=5, -5\text{cm}$ であった。不純物イオン密度から求めた反磁性ドリフト速度は、CII では 10000m/s、CIII では 15000m/s であった。その結果 $E \times B$ ドリフトの成分は、CII では $\sim 1000\text{m/s}$ 、CIII では $\sim 3000\text{m/s}$ であった。この $E \times B$ ドリフトの結果とビームプローブで求めた電位分布の結果と比較すると、分光測定から求めた電位分布がほぼ一致することが確認された。この分光測定によるプラズマ回転測定からの電場分布計測の測定誤差は、約 40%程度持っており、今後、計測ショットを増やす、分解能をあげる等、測定精度をあげる工夫を行う必要がある。しかし、分光測定による電場分布計測は、プラズマに影響を与えずプラズマ径方向電場分布が測定できる方法として、ガンマ 10 プラズマのいろいろな測定位置でも計測できるという利点があり、今後その重要性は増すと考えられる。

(1) トロイダルプラズマにおける電磁波伝搬のシミュレーション

磁場閉じ込めプラズマに対するマイクロ波やミリ波を用いたプラズマ計測（密度分布や揺動計測）においては、複雑な閉じ込め磁場中を伝搬する電磁波の伝搬特性を十分に知っておく必要がある。プラズマによる分散効果や装置壁による反射や吸収等によって、密度と入射周波数の関係に応じて電磁波の伝搬特性は一般にかなり複雑なものとなり得るからである。

本研究はこれまでに開発を進めてきたプラズマ診断シミュレータ研究の一環であり、トカマクやヘリカル系等のトロイダルプラズマにも電磁波の伝搬解析を適用できるようにシミュレーションモデルをより一般化した。この新しいシミュレーションモデルをトカマクプラズマ中の電磁波伝搬に適用した計算結果について報告する。特に、トカマクプラズマにおけるトロイダル方向への電磁波の伝搬について空間2次元の計算機シミュレーションを行った。図1は使用した2次元モデルの略図である。図において白色領域は電磁波の伝搬解析が必要なプラズマ及び導波管領域で、一方灰色領域は本来は電磁波が伝搬できない領域である。この2つの領域を数式上で区別するために人工的に電気伝導率 σ 、比誘電率 ϵ_r を導入して、電磁波が伝搬できない灰色領域では電磁波が強い減衰モードになるようにこれらの値を設定する。すると電磁波が白色領域から灰色領域へ伝搬しようとする時この境界で電磁波は反射され、境界は丁度装置壁の役目を持つようになることが分かった。

シミュレーションに用いた基本方程式は、人工的な電気伝導率 σ と比誘電率 ϵ_r を導入したマクスウェルの式と電磁場で誘起されるプラズマ電流に対する方程式:

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial t} \mathbf{B} &= -\nabla \times \mathbf{E} \\ \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{E} &= \frac{c^2}{\epsilon_r(r)} \nabla \times \mathbf{B} - \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon_r(r)} [\mathbf{J} + \sigma(r)\mathbf{E}] \\ \frac{1}{\epsilon_0} \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{J} &= \omega_{pe}^2 [n(r)] \mathbf{E} - \frac{e}{\epsilon_0 m_e} \mathbf{J} \times \mathbf{B}_0(r)\end{aligned}$$

である。ここで、 \mathbf{E} と \mathbf{B} は電磁場、 \mathbf{J} はプラズマ電流、 \mathbf{B}_0 は外磁場、また ω_{pe} は電子プラズマ周波数である。外磁場 \mathbf{B}_0 に対しては、トカマク磁場を表現するために次のように仮定した。

$$\begin{aligned}B_x &= B_0 \frac{R}{r} \frac{z-z_0}{r} \\ B_z &= -B_0 \frac{R}{r} \frac{x-x_0}{r^2} \\ B_y &= B_{y0} \sqrt{2e} \frac{r-R}{d} \exp\left[-\left(\frac{r-R}{d}\right)^2\right] \\ r^2 &= (x-x_0)^2 + (z-z_0)^2\end{aligned}$$

ここで、 $B_t = (B_x^2 + B_z^2)^{1/2}$ がトロイダル磁場、 B_y がポロイダル磁場に対応する。また、プラズマの密度分布 $n(r)$ はガウス分布を仮定した。

$$n(r) = n_0 \exp\left[-\left(\frac{r-R}{a}\right)^2\right]$$

図2に導波管端から E_y の連続波を接線入射した場合のシミュレーション結果の一例を示す。図の上側が左から E_x , E_y , E_z を表し、下側は左から B_x , B_y , B_z を表している。この場合プラズマ中に電磁波のカットオフは存在していないので、電磁波はプラズマ内を屈折しながら自由に伝搬している。また電磁波の一部が装置壁との衝突を繰り返しながら、トロイダル方向へ伝搬していることが分かる。

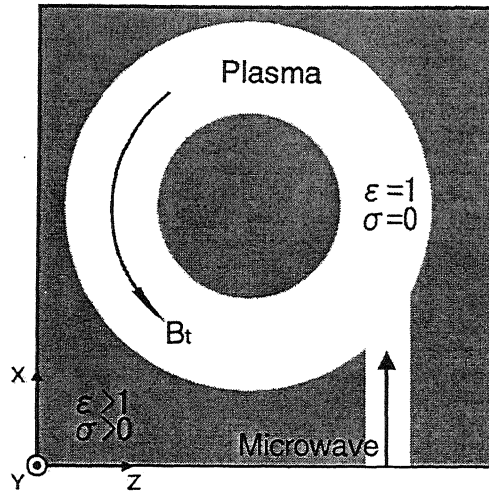


図1. シミュレーションモデル。白色領域が電磁波が伝搬できる解析領域である。

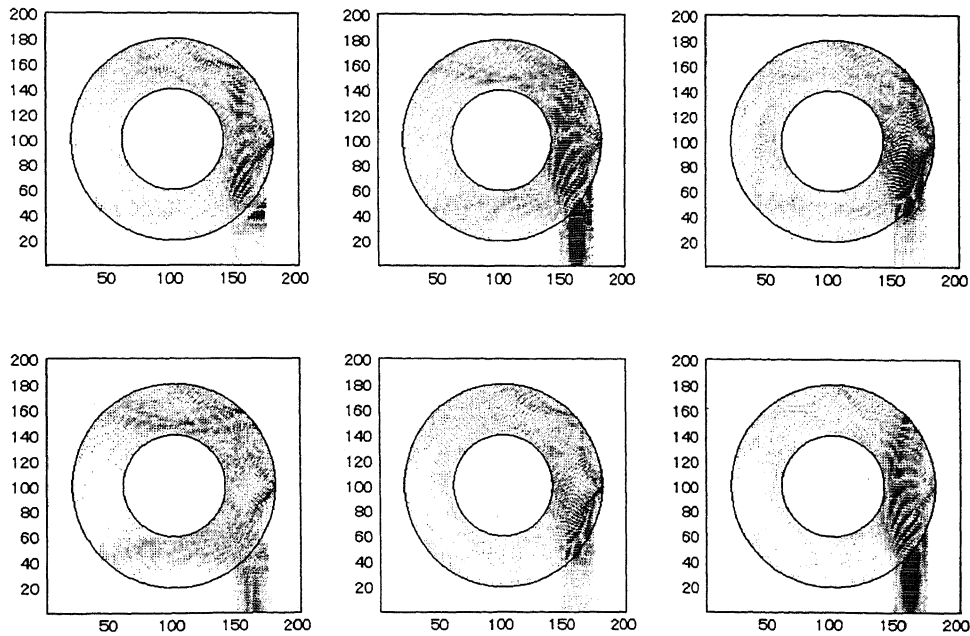


図2. 電磁波伝搬のスナップショット。上側が左から E_x , E_y , E_z を表し、下側は左から B_x , B_y , B_z を表している。

(2) 電磁波の共鳴吸収に関するシミュレーション

クライストロンを利用したプロセッシングプラズマの生成・加熱の物理機構の一つとして、電磁波の共鳴吸収が考えられている。電磁波の共鳴吸収の問題は慣性核融合研究等におけるレーザー・プラズマ相互作用の問題の一つとして古くからよく知られているが、これまでの解析の多くは1次元解析であって、 $\omega = \omega_{pe}$ の共鳴層でどのように静電波の電子プラズマ波が励起されていくかという2次元以上の多次元解析は殆どなかった。

本研究では、この斜め入射電磁波による $\omega = \omega_{pe}$ での共鳴吸収の問題を2次元シミュレーションによって解析した。シミュレーションで用いた基礎方程式は

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial t} \mathbf{B} &= -\nabla \times \mathbf{E} \\ \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{E} &= c^2 \nabla \times \mathbf{B} - \frac{\mathbf{J}}{\epsilon_0} \\ \frac{1}{\epsilon_0} \frac{d}{dt} \mathbf{J} &= \omega_{pe}^2 \mathbf{E} - \nu \frac{\mathbf{J}}{\epsilon_0}\end{aligned}$$

である。ここで、 ν はプラズマの散逸効果を表す衝突周波数である。図1に斜め入射電磁波による $\omega = \omega_{pe}$ の共鳴層（波線）での電子プラズマ波励起に関するシミュレーション結果を示す。斜め入射電磁波は共鳴層の手前で反射しており、高密度側の $\omega = \omega_{pe}$ の共鳴層上で電子プラズマ波が励起されていることが分かる。

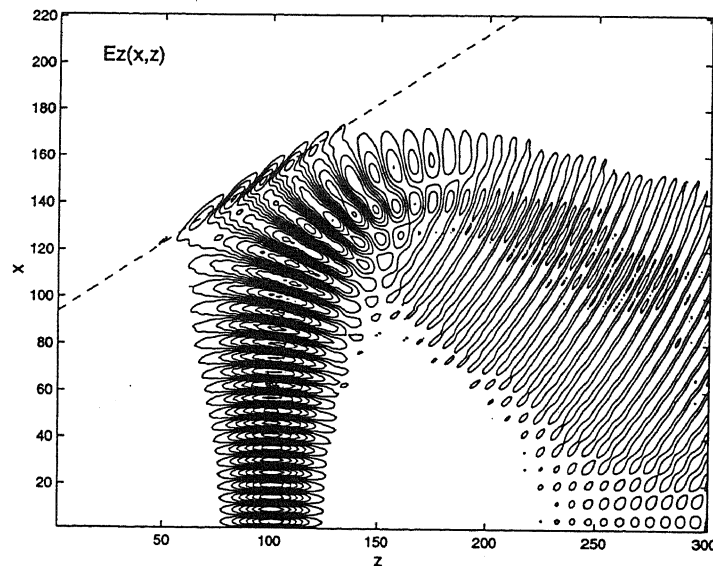


図3. 斜め入射電磁波による $\omega = \omega_{pe}$ の共鳴層（波線）での静電波励起の計算例。

図4は、 $\omega = \omega_{pe}$ の共鳴線に沿った電子プラズマ波の振幅分布（ $\nu = 0$ の場合）の時間発展の様子を示したもので、電子プラズマ波の振幅が時間と共に段々と大きくなっていることが分かる。これは電磁波からモード変換して励起される電子プラズマ波のエネルギーが共鳴層に段々と蓄積されていることを示している。また、図5は異なる入射角 θ と衝突周波数 ν に対しての共鳴線上の励起電場の最大振幅の時間発展の様子を示している。 $\nu/\omega_0 = 0.02$ の場合（入射周波数 $\omega/\omega_0 = 0.3$ ），励起電場の最大振幅は、すぐに飽和していることが分かる。一方 $\nu = 0$ の場合、最大振幅は時間に比例する形で増大していることが分かる。

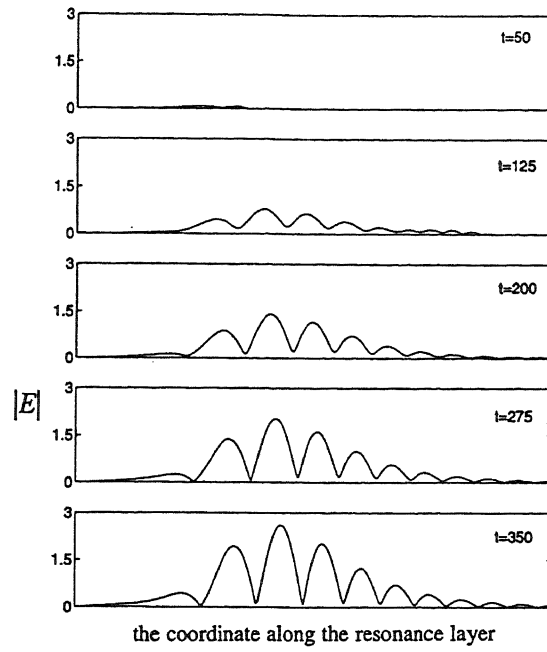


図4. 共鳴線に沿った励起電場の振幅分布の時間発展 ($\nu=0$ の場合)。

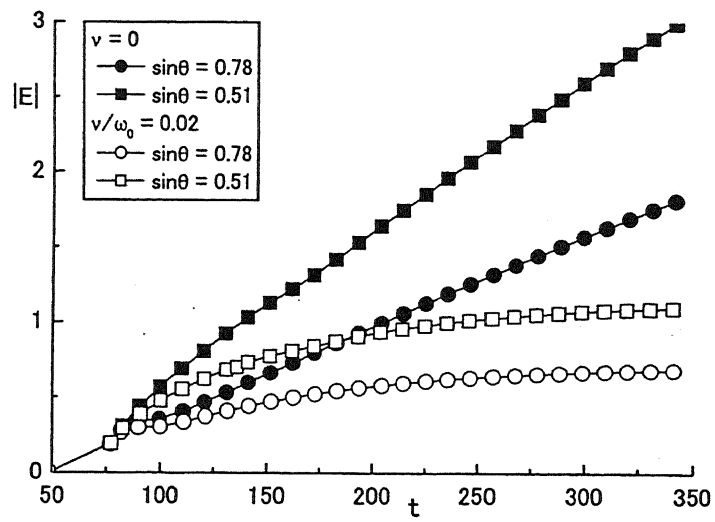


図5. 異なる入射角 θ と衝突周波数 ν に対しての共鳴線上の励起電場の最大振幅の時間発展。

<論文>

- 1 T. Ito, I. Katanuma, Y. Nakashima, K. Yatsu,
Numerical Simulation of the Neutral Beam Injection in the GAMMA10 Tandem Mirror,
Japanese Journal of Applied Physics **40**, Part1, No.4A (2001) 2480-2488.
- 2 K. Yatsu, T. Cho, M. Hirata, H. Hojo, M. Ichimura, K. Ishii, A. Itakura, I. Katanuma, J.
Kohagura, Y. Nakashima, T. Saito, T. Tamano, S. Tanaka, Y. Tatematsu, M. Yoshikawa,
Potential Confinement Experiments with Long Sustainment and High Density on GAMMA
10,
Nuclear Fusion **41**, No.5 (2001) 613-618.
- 3 M. Ichimura, T. Cho, M. Hirata, H. Hojo, K. Ishii, A. Itakura, I. Katanuma, J. Kohagura, Y.
Nakashima, T. Saito, T. Tamano, S. Tanaka, Y. Tatematsu, K. Yatsu, M. Yoshikawa,
High-Density Plasma Production with Potential Confinement in the GAMMA 10 Tandem
Mirror,
Physics of Plasmas **8**, No.5, Pt. 2, May (2001) 2066-2070.
- 4 T. Cho, J. Kohagura, T. Numakura, M. Hirata, H. Hojo, M. Ichimura, K. Ishii, A. Itakura, I.
Katanuma, Y. Nakashima, T. Saito, Y. Tatematsu, M. Yoshikawa, R. Minami, S. Nagashima, M.
Yoshida, T. Tamano, K. Yatsu, and S. Miyoshi,
Generalized Scaling Laws of the Formation and Effects of Plasma-Confining Potentials for
Tandem-Mirror Operations in GAMMA 10,
Physical Review Letters **86**, No.19 (2001, May) 4310-4313.
- 5 K. Shiotani, I. Katanuma, T. Ito, Y. Nakashima, K. Yatsu,
Calculation of Ballooning Mode Stability Boundary in the GAMMA10 Tandem Mirror,
Japanese Journal of Applied Physics **40**, No.7B (2001) L776-L778.
- 6 Y. Kogi, A. Mase, H. Hojo, A. Itakura, M. Ichimura, K. Yatsu,
Measurement of Ultrashort-Pulse Cross-Polarization Scattering in a Tandem Mirror,
Japanese Journal of Applied Physics **40**, Pt.2, No.8A (2001, Aug.) L841-L843.
- 7 T. Cho, M. Hirata, H. Hojo, M. Ichimura, K. Ishii, A. Itakura, I. Katanuma, J. Kohagura, Y.
Nakashima, T. Saito, S. Tanaka, Y. Tatematsu, M. Yoshikawa, T. Numakura, R. Minami, S.
Nagashima, H. Watanabe, M. Yoshida, Y. Sakamoto, T. Tamano, K. Yatsu, S. Miyoshi,
Generalization and Consolidation of Scaling Laws of Potential Formation and Associated
Effects in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
Nuclear Fusion **41**, No.9 (2001) 1161-1170.
- 8 K. Yatsu, T. Cho, M. Ichimura, K. Ishii, A. Itakura, Y. Ishimoto, I. Katanuma, T. Kato, J.
Kohagura, Y. Nakashima, T. Natori, K. Orito, T. Saito, Y. Tatematsu, M. Yoshikawa,
Potential Confinement of a High Density Plasma in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
Czechoslovak Journal of Physics **51**, No.10 Oct. (2001) 977-982.
- 9 I. Katanuma, Y. Tatematsu, K. Ishii, T. Saito, K. Yatsu,
Plug and Thermal Barrier Potential Formations in a Tandem Mirror,

- Journal of Plasma and Fusion Research **77**, No.11 (2001) 1085-1087.
- 10 T. Tamano and I. Katanuma,
Plasma Confinement with a Transport Barrier,
Nuclear Fusion **41**, No.12 (2001) 1803-1808.
 - 11 Y. Okamoto, M. Yoshikawa, N. Yamaguchi, C. Watabe, T. Tamano, E. Kawamori, Y. Watanabe,
T. Furukawa, Y. Kubota, K. Sedo, and K. Yatsu,
Absolute Calibration of Space- and Time-Resolving Flat-Field Vacuum Ultraviolet
Spectrograph under Both P and S Polarized Light Conditions for Plasma Diagnostics,
Review of Scientific Instruments **72**, No. 12, (2001) 4366-437.
 - 12 M. Yoshikawa, Y. Okamoto, E. Kawamori, Y. Watanabe, C. Watabe, N. Yamaguchi, T.
Tamano,
Absolute Calibration of Space-Resolving Soft X-ray Spectrograph for Plasma Diagnostics,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A **467-468** (2001) 1533-1536.
 - 13 M. Shoji, Y. Nakashima, M. Inutake, M. Ichimura, A. Mase, N. Yamaguchi. A. Itakura, T. Cho,
T. Tamano and K. Yatsu,
An Operational Regime for Achieving High Ion Temperatures in the GAMMA 10 Central
Cell,
Plasma Physics and Controlled Fusion **43** (2001) 761-777.
 - 14 T. Inoue, M. Nakai, A. Tanaka, K. Kawakami, A. Iwamae, T. Fujimoto, M. Yoshikawa, T. Ito
and T. Tamano,
Polarization of Impurity Ion Emission Lines from the GAMMA 10 Tandem Mirror Plasma,
Plasma Physics and Controlled Fusion **43** (2001) L9-L15.
 - 15 T. Saito, T. Cho, M. Hirata, H. Hojo, K. Ishii, M. Ichimura, A. Itakura, I. Katanuma, J.
Kohagura, Y. Nakashima, Y. Tatematsu, K. Yatsu, M. Yoshikawa,
Axial and Radial Potential Structure and Current Flow in GAMMA 10,
Journal of Plasma and Fusion Research SERIES **4** (2001) pp.61-68.
 - 16 I. Katanuma, T. Ito, K. Shiotani, Y. Tatematsu, K. Ishii, T. Saito, K. Yatsu,
On the Ion Distribution Function around the Plug in a Tandem Mirror,
Journal of Plasma and Fusion Research SERIES **4** (2001) pp.383-386.
 - 17 Y. Tatematsu, T. Saito, Y. Imaizumi, K. Nishida, E. Yokoyama, M. Ishikawa, K. Kajiwara, I.
Katanuma, K. Yatsu,
Study of Electrostatic Potential in the GAMMA 10 End Region with Variation of End Plate
Resistance,
Journal of Plasma and Fusion Research SERIES **4** (2001) pp.387-390.
 - 18 T. Cho, T. Numakura, J. Kohagura, M. Hirata, R. Minami, H. Watanabe, T. Sasuga, Y.
Nishizawa, M. Yoshida, S. Nagashima, Y. Nakashima, K. Ogura, T. Tamano, K. Yatsu, and S.
Miyoshi,
A Novel Method for Simultaneous Observations of Plasma Ion and Electron Temperatures
Using a Semiconductor Detector Array,

- Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A **477**, No.1-3 (2002) 204-209.
- 19 M. Hirata, T. Cho, J. Kohagura, S. Kanke, T. Kondoh, R. Minami, T. Numakura, H. Watanabe, M. Yoshida, T. Sasuga, Y. Nishizawa, T. Tamano, K. Yatsu, and S. Miyoshi,
Tomographic Reconstruction of Plasma Electron Temperature Profiles Using Semiconductor Detector Arrays in the Elliptic Transition Region and the Circular Central Cell of the GAMMA 10 Tandem Mirror,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A **477**, No.1-3 (2002) 210-214.
- 20 J. Kohagura, T. Cho, M. Hirata, T. Numakura, R. Minami, H. Watanabe, T. Sasuga, Y. Nishizawa, M. Yoshida, S. Nagashima, T. Tamano, K. Yatsu, S. Miyoshi, K. Hirano, and H. Maezawa,
Effects of Nuclear-Fusion Produced Neutrons on Silicon Semiconductor Plasma X-ray Detectors,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A **477**, No.1-3 (2002) 215-219.
- 21 E. Kawamori, T. Tamano, Y. Nakashima, M. Yoshikawa And K. Yatsu,
Experimental Observation of the Density Limit in Hot Ion Mode Plasmas of the GAMMA 10 Tandem Mirror,
Journal of the Physical Society of Japan **71**, No.2 (2002) 476-482.
- 22 A. Itakura, N. Goto, M. Katoh, Y. Kogi, S. Kubota, A. Mase, Y. Shima, M. Yoshikawa, H. Hojo, K. Yatsu,
Observation of Electron Density Using Reflectometry,
NIFS-PROC-49 (2001, May) pp.51-54 (Proceeding of the 5th International Workshop on Reflectometry, 5-7 Mar., 2001).
- 23 H. Hojo, K. Nakayama, G. Uruta and A. Mase,
Two-Dimensional Simulation for Ultrashort-Pulse Imaging Reflectometry,
Proc. 5th Int. Workshop on Reflectometry (NIFS, Toki, May 2001) pp.68-71.
- 24 K. Yatsu, T.D.Akhmetov, T.Cho, M.Hirata, H.Hojo, M.Ichimura, K.Ishii, A.Itakura, Y.Ishimoto, I.Katanuma, J.Kohagura, Y.Nakashima, T.Saito, Y.Tatematsu, M.Yoshikawa,
High Density Experiment in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
ECA 25A (2001) 1549-1552 (28th European Physical Society Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics (Madeira, 18-22 June 2001), Edited by C.Silva, C.Varandas and D.Campbell, Published by European Physical Society)
- 25 M. Yoshikawa, F. Osawa, R. Ando, K. Kamada and M. Masuzaki,
Measurement of polarization of atomic helium lines due to strong caviton fields caused by IREB-plasma interactions,
3rd Workshop on Plasma Polarization Spectroscopy June 18-21, 2001, California (USA).
Proceedings of The 3rd US-Japan Workshop on Plasma Polarization Spectroscopy, a University of California Lawrence Livermore National Laboratory report, Peter Beiersdorfer and Takashi Fujimoto, pp. 215-220.
- 26 M. Yoshikawa, T. Furukawa, A. Tanaka, A. Iwamae and T. Fujimoto,

- Plasma polarization spectroscopy in the tandem mirror GAMMA 10,
 3rd Workshop on Plasma Polarization Spectroscopy June 18-21, 2001, California (USA).
 a University of California Lawrence Livermore National Laboratory report, Peter
 Beiersdorfer and Takashi Fujimoto, pp. 227-230.
- 27 T. Saito, Y. Tatematsu, Y. Imaizumi, K. Nishida, E. Yokoyama, E. Tsuda, T. Yasuoka, K. Ishii, I. Katanuma, K. Yatsu,
 Connection between the Potentials at the Plug Region and the End Plate in GAMMA 10,
 25th Int. Conf. on Phenomena in Ionized Gases, (Nagoya, 2001, July 17 - 22) 19P27,
 Vol. 3, pp.241 - 242.
- 28 K. Ishii, Y. Takemura, A. Fueki, M. Shimoo, K. Tsutsui, K. Hagiwara, I. Katanuma, K. Yatsu,
 Observation of Deformed Loss Boundary to Improve Ion Confinement in the Tandem
 Mirror,
 XXV International Conference on Phenomena in Ionized Gases, (Nagoya, Japan, 2001,
 July 17-22) pp.245-246.
- 29 I. Katanuma, T. Ito, K. Shiotani, Y. Tatematsu, K. Ishii, T. Saito, K. Yatsu,
 The Electrostatic Potential Profile in the End Mirror Cells of a Tandem Mirror,
 Proceedings on 25th International Conference on Phenomena in Ionized Gases, July 17-
 22, 2001, Nagoya, Japan. XXV-ICPIG, Vol.3 (2001) pp.103-104.
- 30 M. Yoshikawa, Y. Okamoto, E. Kawamori, Y. Watanabe, C. Watabe, T. Furukawa, Y. Kubota,
 K. Sedo, N. Yamaguchi, T. Cho and K. Yatsu,
 Space-Resolving VUV and Soft X-Ray Spectroscopy in the Tandem Mirror GAMMA 10
 Plasma,
 The Thirteenth International Conference on Vacuum Ultraviolet Radiation Physics (VUV
 -XIII), July 23 - 27, 2001, Trieste (Italy) To be printed in Surface Review Letters.
- 31 H. Higaki, T. Cho, M. Hirata, H. Hojo, E. Kawamori, M. Ichimura, K. Isii, A. Itakura, I. Katanuma, J. Kohagura, Y. Nakashima, Y. Okamoto, T. Saito, Y. Tatematsu, K. Yatsu, M. Yoshikawa,
 Plasma Production with the High Harmonics ICRF and Central Cell NBI in the GAMMA 10
 Tandem Mirror,
 Bulletin of the American Physical Society, Program of the 43rd annual meeting of the
 division of plasma physics, (Long Beach, California, USA, 2001, October 29-November
 2) p.230.
- 32 A. Mase, Y. Kogi, A. Yamamoto, M. Ohashi, H. Hojo, E. Sakata and S. Aoi,
 Development of Millimeter Wave Imaging Radar,
 Proc. 2nd Conference on Asian University Presidents (Fukuoka, Oct. 2001) pp.46-47.
- 33 I. Katanuma, Y. Tatematsu, K. Ishii, T. Saito, Y. Nakashima, M. Ichimura, K. Yatsu,
 A New Design of a Tandem Mirror,
 12th International Toki Conference on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion and
 the 3rd General Scientific Assembly of Asia Plasma Fusion Association on Frontiers in

- Plasma Confinement and Related Engineering/Plasma Science, December 11-14, 2001, Ceratopia, Toki.
- 34 Y. Nakashima, T. Natori, Y. Kawasaki, S. Kobayashi, Y. Ishimoto, T. Kato, K. Orito, T. Fukasawa, I. Katanuma, M. Ichimura, T. Cho, and K. Yatsu,
Behavior of the Edge Plasma near the Anchor Conducting Plates and Their Effect on the Plasma Confinement in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
Book of Abstracts, 12th Int. Toki Conf. on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion (December 11-14, 2001, Toki, Japan) P II-10, pp.135.
- 35 M. Ichimura, T. Cho, H. Higaki, M. Hirata, H. Hojo, K. Ishii, A. Itakura, I. Katanuma, E. Kawamori, J. Kohagura, Y. Nakashima, Y. Okamoto, T. Saito, Y. Tatematsu, K. Yatsu, M. Yoshikawa,
Plasma Confinement in RF-Driven Tandem Mirror with a Strong Temperature Anisotropy,
(招待講演) Joint Conf. of 12th Int. Toki Conf. on Plasma Phys. and Controlled Nuclear Fusion and 3rd General Science Assembly of Asia Plasma Fusion Association, (Toki, Japan, Dec 11-14, 2001) (Invited Talk) VII-4.
- 36 Y. Nakashima, Y. Ishimoto, S. Kobayashi, S. Ishinuki, M. Yoshikawa, K. Yatsu, K. Morita, J. Yuhara, A. Sagara, M. Shoji, H. Suzuki,
Surface Analysis of Carbon Materials Exposed to Fast Neutrals Generated in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
Annual Report of National Institute for Fusion Science April 2000 - March 2001 (Nov., 2001) p.91.
- 37 T. Watanabe, Y. Matsumoto, T. Nagaura, Y. Itoh, S. Oikawa, H. Hojo,
Microinstability of ICRF Sustained LHD Plasma,
Annual Report of National Institute for Fusion Science April 2000-March 2001 (Nov. 2001) p.192.
- 38 T. Watanabe, Y. Matsumoto, T. Nagaura, S. Oikawa, H. Hojo,
ICRF Sustained LHD Type Proton-Boron Reaction,
Annual Report of National Institute for Fusion Science April 2000-March 2001 (Nov. 2001) p.193.
- 39 Yoshikawa, M., Okamoto, Y., Kawamori, E., Watanabe, Y., Watabe, C., Kato, T., Murakami, I.,
Study of Impurity Ion Line Radiation Intensity in GAMMA 10",
Annual Report of National Institute for Fusion Science, April 2000-March 2001, p. 388.
- 40 T. Watanabe and H. Hojo,
The Marginally Stable Pressure Profile and a Possibility toward High Beta Plasma Confinement in LHD,
Research Report of National Institute for Fusion Science (2001) NIFS-724.
- 41 J. Kohagura, T. Cho, M. Hirata, T. Numakura, R. Minami, M. Yoshida, S. Nagashima, H. Watanabe, K. Yatsu, S. Miyoshi, T. Kondoh, T. Nishitani, H. Takeuchi, K. Hirano, and H. Maezawa,

- Effects of Neutron Irradiation on Silicon Semiconductor Detectors Using D-T Fusion-Produced Neutrons in the JET Tokamak and the Fusion Neutronics Source,
Photon Factory Activity Report 2000 18 (High Energy Accelerator Research Organization, 2001) 116.
- 42 M. Yoshikawa, Y. Okamoto, E. Kawamori, T. Furukawa, N. Yamaguchi and T. Tamano,
Absolute Calibration of Space-Resolving Vacuum Ultraviolet Spectrograph for Plasma Diagnostics,
Photon Factory Activity Report 2000 18, Part B, (2001), p. 284 (No.2000G015).

< 学位論文 >

修士論文

(数理物質科学研究科)

伊藤 融 [修士(理学)] (物)

タンデムミラー GAMMA10 での粒子軌道とプラズマ径方向輸送

横山栄司 [修士(工学)] (工)

ガンマ10におけるAIC波動の端損失電子への影響の解析

(理工学研究科)

今泉祐介 [修士(工学)] (物)

ガンマ10プラグバリア部における周辺プラズマ計測と電流循環

加藤達也 [修士(理学)] (物)

GAMMA10における中性粒子ビーム入射の研究

下尾真理 [修士(工学)] (物)

GAMMA10 捕捉イオンのエネルギー測定と内側ミラースロート (IMT) 部の $H\alpha$ 線計測

筒井圭一 [修士(工学)] (物)

ELECA 測定器を用いた GAMMA10 端損失イオンの測定と解析

永嶋賢史 [修士(工学)] (物)

新型イオン電流量絶対値計測器及びイオンエネルギー分析器の提唱と開発

中山和徳 [修士(理学)] (物)

磁化プラズマのマイクロ波計測に関する計算機シミュレーション

名取尊良 [修士(工学)] (物)

GAMMA10 極小磁場変換部における熱流・プローブ計測に基づく周辺プラズマの研究

西田啓一 [修士(工学)] (物)

ガンマ10プラグバリア部及びエンド部における熱流分布計測

笛木章亘 [修士(工学)] (物)

イオンの軌道計算と内側ミラースロート (IMT) 部の密度測定用金の被膜検出器の製作

古川卓俊 [修士(工学)] (物)

紫外・可視分光器を用いたプラズマ回転測定

織戸公成 [修士(工学)] (工)

GAMMA10 セントラル部密度上昇実験におけるイオンエネルギーバランスの研究

加納英和 [修士(工学)] (工)

GAMMA10 における高次高調波加熱時の高エネルギーイオンの挙動

<講演>

- 1 K. Yatsu,
Potential Confinement of a High Density Plasma in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
Japan-Korea Core University Program (CUP) Workshop on Fusion and Plasma Science
(July 30-31, 2001) at Seoul National University, Seoul Korea).
- 2 K. Yatsu,
Recent Results on GAMMA Experiment,
Presented in the Seminar at the Budker Institute of Nuclear Physics on August 21, 2001.
- 3 M. Yoshikawa,
SPACE-RESOLVING VUV AND SOFT X-RAY SPECTROSCOPY IN THE TANDEM
MIRROR GAMMA 10 PLASMA,
Japanese visit to Korea for Radiation Process in High Density Plasma (K-J Seminar),
November 14-17, 2001, Taejon (Korea).
- 4 K. Yatsu,
Potential Confinement in GAMMA 10,
Presented in the Seminar at the Southwestern Institute of Physics (Cheng Du, China) On
November 29, 2001.
- 5 H. Hojo, G. Uruta, K. Nakayama and A. Mase,
Computer Simulation on Electromagnetic Wave Scattering by Plasma Clouds and its
Application to Plasma Diagnostics,
The joint Conf. of 12th Int. Toki Conf. Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion,
and 3rd General Scientific Assembly of Asia Plasma Fusion Association (Toki, Dec.
2001) PI-17.
- 6 K. Nakayama, H. Hojo, G. Uruta, Y. Yasaka and A. Mase,
Simulation on Obliquely Incident Electromagnetic Waves in Inhomogeneous Unmagnetized
Plasma,
The joint Conf. of 12th Int. Toki Conf. Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion,
and 3rd General Scientific Assembly of Asia Plasma Fusion Association (Toki, Dec.
2001) PII-26.
- 7 G. Uruta, H. Hojo, K. Nakayama, A. Itakura and A. Mase,
Computer Simulation on Cross Polarization Scattering in Plasmas with Magnetic Shear,
The joint Conf. of 12th Int. Toki Conf. Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion,
and 3rd General Scientific Assembly of Asia Plasma Fusion Association (Toki, Dec.
2001) PII-27.
- 8 T. Watanabe, H. Hojo,
The Marginally Stable Pressure Profile and a Possibility of High Beta Plasma Confinement
in LHD,
The joint Conf. of 12th Int. Toki Conf. Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion,

- and 3rd General Scientific Assembly of Asia Plasma Fusion Association (Toki, Dec. 2001) PII-31.
- 9 Y. Tatematsu,
2nd harmonic ECRH in the GAMMA 10 tandem mirror,
US-Japan Workshop on "RF Physics" and "Profile Control and Steady State Operation using RF" (九州大学応用力学研究所, 2002.2.2-5).
 - 10 A. Itakura, T. Hirai, H. Hojo, J. Kohagura, Y. Shima, S. Tsunoda, M. Yoshikawa,
Ultrashort-Pulse Reflectometric Study in GAMMA 10,
U.S.-Japan Workshop on Fluctuation Diagnostics (Univ. California, Davis, 2002, Feb. 27 _ Mar. 1).
 - 11 A. Mase, Y. Kogi, M. Ohnishi, A. Yamamoto, S. Ohsako, L. Bruskin, H. Hojo, Y. Nagayama, K. Kawahata,
Application of ECE Imaging and Ultrashort-Pulse Reflectometry to LHD,
US-Japan Workshop on Fluctuation Diagnostics (UCDavis, CA, Feb. 27-March 1, 2002).
 - 12 H. Hojo, K. Nakayama, G. Uruta and A. Mase,
Electromagnetic Wave Propagation Study for Microwave Diagnostics,
US-Japan Workshop on Fluctuation Diagnostics (UCDavis, CA, Feb. 27-March 1, 2002).
 - 13 A. Itakura, T. Hirai, H. Hojo, J. Kohagura, Y. Shima, S. Tsunoda and M. Yoshikawa,
Ultrashort-Pulse Reflectometric Study in GAMMA 10,
US-Japan Workshop on Fluctuation Diagnostics (UCDavis, CA, Feb. 27-March 1, 2002).
 - 14 伊藤融、片沼伊佐夫、谷津潔,
GAMMA10 での粒子軌道とプラズマ径方向輸送,
「プラズマ理論の諸問題と展開」研究会 (2001年7月26日~27日、核融合科学研究所) .
 - 15 塩谷謙介、片沼伊佐夫、伊藤融、中嶋洋輔、谷津潔,
タンデムミラーGAMMA10 アンカー部への中性粒子ビーム入射と巨視的安定性の計算,
「プラズマ理論の諸問題と展開」研究会 (2001年7月26日~27日、核融合科学研究所) .
 - 16 片沼伊佐夫、伊藤融、塩谷謙介、立松芳典、石井亀男、斉藤輝雄、谷津潔,
タンデムミラーのプラグ電位形成機構,
「プラズマ理論の諸問題と展開」研究会 (2001年7月26日~27日、核融合科学研究所) .
 - 17 北條仁士, 中山和徳, 宇留田豪, 八坂保能, 間瀬淳,
電磁波の斜め入射による共鳴層形成の2次元シミュレーション,
第62回応用物理学会学術講演会 (愛知工業大学, 2001年9月) 11aZH6.
 - 18 A. Mase, A. Yamamoto, Y. Kogi, L. Bruskin, H. Hojo and T. Tetsuka,
Application of Ultrashort Pulse Reflectometry to an Inductively Coupled Steady State Plasma,

- 第62回応用物理学会学術講演会（愛知工業大学，2001年9月）13pZG13.
- 19 Y. Kogi, A. Mase, M. Ohashi, A. Yamamoto, S. Ohsako, H. Hojo and S. Maeda,
Microwave Echo from Cracks in the Concrete,
第54回電気関連学会九州支部連合大会（佐賀大学，2001年10月）.
- 20 伊藤融、片沼伊佐夫、谷津潔,
GAMMA10の粒子軌道とプラズマ径方向輸送,
「プラズマ科学のフロンティア」研究会（2001年10月10日～12日、核融合科学研究所）.
- 21 片沼伊佐夫、伊藤融、塩谷謙介、立松芳典、石井亀男、斉藤輝雄、谷津潔,
新型タンデムミラーの設計,
「プラズマ科学のフロンティア」研究会（2001年10月10日～12日、核融合科学研究所）.
- 22 北條仁士、中山和徳、宇留田豪、八坂保能、間瀬淳,
電磁波の斜め伝播と共鳴吸収のシミュレーション,
「プラズマ科学のフロンティア」研究会（核融合科学研究所，2001年10月）.
- 23 間瀬淳、近木祐一郎、大橋誠道、山本明秀、大迫周平、北條仁士、Leonid Bruskin,
ミリ波イメージングレーダーと計測応用,
招待講演：プラズマ・核融合学会第18回年会（2001年11月、福岡県春日市）30aA02.
- 24 油野 政人、坂本 瑞樹、中嶋 洋輔、彌政 敦洋、中島 寿年、川崎 昌二、長谷川 真、上瀧 恵里子、花田 和明、関子 秀樹、中村 一男、伊藤 智之,
TRIAM-1Mにおける長時間プラズマの中性粒子挙動に関する研究,
プラズマ・核融合学会第18回年会（2001年11月、福岡県春日市）28aA04P.
- 25 石本 祐樹、中嶋 洋輔、相良 明男、土屋 勝彦、庄司 主、小林 進二、織戸 公成、加藤 達也、名取 尊良、深澤 崇浩、渡辺 一浩、荻田 猛史、大川 和夫、谷津 潔,
カーボンシートポンプを用いた高エネルギー粒子ビーム排気装置の開発,
プラズマ・核融合学会第18回年会（2001年11月、福岡県春日市）29pA19P.
- 26 渡辺 二太、北條 仁士,
LHDにおける臨界安定圧力分布の形状,
プラズマ・核融合学会第18回年会（2001年11月、福岡県春日市）29aB04.
- 27 吉川 正志、岡本 裕司、河森 栄一郎、古川 卓俊、久保田 雄介、清土 桂一郎、小林 貴之、谷津 潔,
タンデムミラーガンマ10プラズマの分光測定,
プラズマ・核融合学会第18回年会（2001年11月、福岡県春日市）30pA01P.
- 28 清土 桂一郎、吉川 正志、岡本 裕司、古川 卓俊、小林 貴之、長 照二、谷津 潔,
ガンマ10プラズマにおける衝突・輻射モデルを用いた不純物イオンスペクトルの解析,
プラズマ・核融合学会第18回年会（2001年11月、福岡県春日市）30pA04P.
- 29 長 照二、小波蔵 純子、渡辺 裕之、平田 真史、南 龍太郎、沼倉 友晴、吉田 麻衣子、永嶋 賢史、伊藤 浩一、石川 正男、北條 仁士、市村 真、石井 亀男、板倉 昭慶、片沼 伊佐夫、中嶋 洋

輔,齊藤 輝雄,立松 芳典,吉川 正志,檜垣 浩之,谷津 潔,三好 昭一,小椋 一夫,近藤 貴,
西谷 健夫,M. Kwon,A.C. England,

ガンマ 10 重水素バルクプラズマ核融合実験のための高効率 He3 中性子計測器の絶
対計測較正・最適化実験,

プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pA08P.

- 30 小波蔵 純子,長 照二,平田 真史,沼倉 友晴,南 龍太郎,渡辺 裕之,吉田 麻衣子,永嶋 賢
史,伊藤 浩一,谷津 潔,堀 順一,近藤 貴,西谷 健夫,平野 馨一,前澤 秀樹,

核融合生成中性子損傷に拠る半導体計測器 X 線感度特性変化の解明,

プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pA09P.

- 31 沼倉 友晴,長 照二,平田 真史,小波蔵 純子,南 龍太郎,渡辺 裕之,吉田 麻衣子,永嶋 賢
史,伊藤 浩一,織戸 公成,中嶋 洋輔,谷津 潔,

半導体検出器を用いた 新しいイオン温度並びに電子温度の空間分布・時間変化の
単一プラズマショット同時計測・解析法の開発,

プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pA10P.

- 32 南 龍太郎,長 照二,小波蔵 純子,平田 真史,沼倉 友晴,渡辺 裕之,吉田 麻衣子,永嶋 賢
史,伊藤 浩一,吉川 正志,中嶋 洋輔,市村 真,谷津 潔,

新型マトリックス型半導体 X 線計測器を用いた単一プラズマ・ショット電子温度
二次元分布・時間変化同時計測に基づくガンマ 10 プラズマ安定化の研究,

プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pA11P.

- 33 渡辺 裕之,長 照二,小波蔵 純子,平田 真史,沼倉 友晴,南 龍太郎,伊藤 浩一,永嶋 賢史,
吉田 麻衣子,谷津 潔,

超低エネルギー X 線波高分析可能新型半導体検出器を用いた電位捕捉電子計測と電
位の効果の研究,

プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pA12P.

- 34 吉田 麻衣子,長 照二,平田 真史,小波蔵 純子,永嶋 賢史,伊藤 浩一,渡辺 裕之,沼倉 友
晴,南 龍太郎,谷津 潔,

新型イオン・スペクトル二次元計測器開発に拠る 電位空間二次元分布構造とプラ
ズマ閉じ込め改善の研究,

プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pA13P.

- 35 伊藤 浩一,長 照二,平田 真史,小波蔵 純子,吉田 麻衣子,永嶋 賢史,渡辺 裕之,沼倉 友
晴,南 龍太郎,谷津 潔,

半導体検出器を用いた 新構造のイオン・エネルギー・スペクトル分析器の開発と
プラズマ計測への適用,

プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pA14P.

- 36 永嶋 賢史,長 照二,平田 真史,小波蔵 純子,吉田 麻衣子,伊藤 浩一,沼倉 友晴,南 龍太
郎,渡辺 裕之,谷津 潔,

高速電子同時入射下における 新型イオン電流量絶対値計測器の開発,

プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pA15P.

- 37 萩澤 一久,石井 亀男,下尾 真理,武村 祐一郎,筒井 圭一,笛木 章亘,小島 有志,谷津 潔,

荷電交換中性粒子分析器を用いた端損失領域近傍の捕捉イオンのエネルギー分布測定,

プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pA19P.

- 38 山本 明秀, 近木 祐一郎, 間瀬 淳, 大橋 誠道, 大迫 周平, L.G. BRUSKIN, 北條 仁士,
超短パルス反射計を用いた定常プラズマの密度分布測定,

プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pA24P.

- 39 石川 正男, 西谷 健夫, 森岡 篤彦, 篠原 孝司, 武智 学, 嶋田 道也, 三浦 幸俊, 永見 正幸,
JT-60U における中性子分布計測,

プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pA30P.

- 40 下尾 真理, 石井 亀男, 萩澤 一久, 武村 祐一朗, 筒井 圭一, 笛木 章亘, 小島 有志, 河森 栄
一郎, 吉川 正志, 谷津 潔,

イオンフラックス計測の為にプラグバリア部内側ミラースロート部における $H\alpha$ 線
計測,

プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pA33P.

- 41 石井 亀男, 武村 祐一朗, 市村 真, 板倉 昭慶, 片沼 伊佐夫, 斉藤 輝雄, 中嶋 洋輔, 北條 仁士, 吉川
正志, 立松 芳典, 桧垣 浩之, 小波 蔵純子, 長 照二, 谷津 潔,

Ion Transport in Velocity Space and Confinement in the GAMMA 10 Tandem Mirror ,

プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30aB01.

- 42 中嶋 洋輔, 加藤 達也, 石本 祐樹, 織戸 公成, 名取 尊良, 深澤 崇浩, 渡辺 一浩, 小林 進二,
荻田 猛史, 大川 和夫, 長 照二, 谷津 潔,

ガンマ 10 における中性粒子入射実験,

プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30aB03.

- 43 片沼 伊佐夫, 伊藤 融, 塩谷 謙介, 立松 芳典, 石井 亀男, 斉藤 輝雄, 谷津 潔,
タンデムミラーのプラグ/サーマルバリアー電位形成,

プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30aB04.

- 44 立松 芳典, 斉藤 輝雄, 今泉 祐介, 西田 啓一, 横山 栄司, 津田 英介, 安岡 輝晃, 石井 亀男,
片沼 伊佐夫, 谷津 潔,

ネット電流があるときの磁場に沿った開放端電位モデル,

プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30aB05.

- 45 西田 啓一, 斉藤 輝雄, 立松 芳典, 今泉 祐介, 横山 栄司, 津田 英介, 安岡 輝晃, 谷津 潔,
ガンマ 10 プラグ/バリア部およびエンド部における熱流分布計測,

プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pB05P.

- 46 久保田 雄介, 吉川 正志, 中嶋 洋輔, 河森 栄一郎, 長 照二, 谷津 潔,

GAMMA10 ペレット入射システムにおける最終段計測部の新設,

プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pB06P.

- 47 横山 栄司, 斉藤 輝雄, 立松 芳典, 今泉 祐介, 西田 啓一, 津田 英介, 安岡 輝晃, 市村 真, 桧
垣 浩之, 谷津 潔,

ガンマ 10 における AIC 波動の端損失電子への作用 II,

プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pB07P.

- 48 古川 卓俊,吉川 正志,岡本 裕司,河森 栄一郎,久保田 雄介,清土 桂一郎,小林 貴之,長照二,谷津 潔,
GAMMA10 プラズマにおけるプラズマ回転測定,
プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pB08P.
- 49 筒井 圭一,石井 亀男,武村 祐一郎,下尾 真理,笛木 章亘,萩沢 一久,小島 篤志,
ELECA 測定器による端損失イオンのエネルギースペクトル解析,
プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pB09P.
- 50 加納 英和,柿本 真吾,市村 真,桧垣 浩之,竿崎 宗春,徳本 公平,山口 祐資,中嶋 洋輔,北條 仁士,渡辺 二太,谷津 潔,
ガンマ 10 におけるイオンサイクロトロン高次高調波印加時の高エネルギーイオン生成,
プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pB10P.
- 51 津田 英介,立松 芳典,斉藤 輝雄,今泉 祐介,西田 啓一,横山 栄司,安岡 輝晃,
ガンマ 10 のプラグ部 ECRH 領域広域化のためのアンテナ系の開発,
プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pB11P.
- 52 深澤 崇浩,中嶋 洋輔,石本 祐樹,小林 進二,庄司 主,織戸 公成,加藤 達也,名取 尊良,吉川 正志,河森 栄一郎,渡辺 一浩,萩田 猛史,谷津 潔,
GAMMA10 NBI 実験時における、 $H\alpha$ 線検出器を用いた中性粒子の測定と解析,
プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pB12P.
- 53 伊藤 融,片沼 伊佐夫,塩谷 謙介,谷津 潔,
タンデムミラーGAMMA10 での粒子軌道とプラズマ径方向輸送,
プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pB13P.
- 54 今泉 祐介,斉藤 輝雄,立松 芳典,西田 啓一,横山 栄司,津田 英介,安岡 輝晃,
ガンマ 10 プラグ/バリア部における周辺プラズマ計測,
プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pB14P.
- 55 桧垣 浩之,市村 真,竿崎 宗春,加納 英和,徳本 公平,柿本 真吾,山口 裕資,北條 仁士,谷津 潔,
ガンマ 10 における高次高調波による高密度プラズマ生成,
プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pB15P.
- 56 織戸 公成,中嶋 洋輔,萩田 猛史,庄司 主,小林 進二,石本 祐樹,加藤 達也,名取 尊良,深沢 崇浩,渡辺 一浩,市村 真,長 照二,谷津 潔,
GAMMA10 セントラル部密度上昇時におけるイオンのエネルギーバランス,
プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pB16P.
- 57 加藤 達也,中嶋 洋輔,渡辺 一浩,石本 祐樹,織戸 公成,名取 尊良,深澤 崇浩,萩田 猛,大川 和夫,谷津 潔,
GAMMA10 における中性粒子ビーム入射による粒子補給の効果,
プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pB17P.
- 58 小島 有志,石井 亀男,筒井 圭一,武村 祐一郎,笛木 章亘,下尾 真理,萩沢 一久,板倉 昭慶,市村 真,谷津 潔,

- AIC 揺動による損失領域へのイオン輸送の観測,
 プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pB18P.
- 59 河森 栄一郎,玉野 輝男,中嶋 洋輔,吉川 正志,久保田 雄介,小林 進二,深澤 崇浩,谷津 潔,
 ガンマ 10 におけるペレット入射粒子の輸送,
 プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pB19P.
- 60 名取 尊良,中嶋 洋輔,石本 祐樹,織戸 公成,加藤 達也,深沢 崇浩,渡辺 一浩,萩田 猛史,
 片沼 伊佐夫,谷津 潔,
 GAMMA10 極小磁場変換部における周辺プラズマの挙動,
 プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pB20P.
- 61 武村 祐一郎,石井 亀男,下尾 真理,筒井 圭一,笛木 章旦,萩沢 一久,小島 有志,斎藤 輝
 雄,谷津 潔,
 タンデムミラーにおける径方向電位分布測定と制御,
 プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pB21P.
- 62 柿本 真吾,加納 英和,市村 真,檜垣 浩之,竿崎 宗春,徳本 公平,山口 裕資,北條 仁士,谷
 津 潔,渡辺 二太,
 高次高調波波動の高エネルギーイオンによる減衰,
 プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pB22P.
- 63 徳本 公平,中村 基征,竿崎 宗春,加納 英和,柿本 真吾,山口 裕資,檜垣 浩之,市村 真,北
 條 仁士,谷津 潔,
 ガンマ 10 におけるイオンサイクロトロン高次高調波波動計測,
 プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pB23P.
- 64 竿崎 宗春,市村 真,檜垣 浩之,中村 基征,加納 英和,柿本 真吾,徳本 公平,山口 裕資,小
 林 進二,吉川 正志,北條 仁士,中嶋 洋輔,谷津 潔,
 ガンマ 10 における光検出器を用いた巨視的不安定性の解析 III,
 プラズマ・核融合学会第 18 回年会 (2001 年 11 月, 福岡県春日市) 30pB24P.
- 65 清土桂一郎、吉川正志、古川卓俊、久保田雄介、小林貴之、岡本裕司、河森栄一郎、
 ガンマ 10 における不純物イオンスペクトルの研究,
 平成 13 年度核融合科学研究所共同研究 研究会「プラズマ原子・分子過程の展
 望」(2002 年 1 月 10 日,15 日, 核融合科学研究所) .
- 66 吉川正志、古川卓俊、清土桂一郎、久保田雄介、小林貴之、岡本裕司、河森栄一郎、
 ガンマ 10 における不純物イオンスペクトルの分光測定,
 平成 13 年度核融合科学研究所共同研究 研究会「プラズマ原子・分子過程の展
 望」(2002 年 1 月 10 日,15 日, 核融合科学研究所) .
- 67 八坂保能, 北條仁士, 石井信雄, 安藤 真, 山本哲也,
 平板型マイクロ波放電における波動伝搬の解析,
 第 49 回応用物理学関係連合講演会 (東海大学湘南校舎, 2002 年 3 月) 27pB4.
- 68 飽本一裕, 北條仁士,
 分散性静電パルスによる粒子加速,

- 日本物理学会第57回年次大会（立命館大学びわこ・くさつキャンパス，2002年3月）26pXQ2.
- 69 渡辺二太，北條仁士，
LHDにおける高ベータプラズマ保持，
日本物理学会第57回年次大会（立命館大学びわこ・くさつキャンパス，2002年3月）27pWJ1.
- 70 北條仁士，
トーラスプラズマにおけるミリ波伝搬のシミュレーション，
第7回NEXT研究会（東京弥生会館，2002年3月）.
- 71 中嶋洋輔，
ガンマ10における閉じ込め改善実験，
第3回プラズマ研究センターフォーラム「プラズマの閉じ込め改善における諸問題」（筑波大学プラズマ研究センター，2002年3月4-5日）.
- 72 谷津 潔，
最近のガンマ10実験の成果，
第3回プラズマ研究センターフォーラム「プラズマの閉じ込め改善における諸問題」（筑波大学プラズマ研究センター，2002年3月4-5日）.
- 73 石井亀男，
端損失イオン測定とプラズマ閉じ込め，
第3回プラズマ研究センターフォーラム「プラズマの閉じ込め改善における諸問題」（筑波大学プラズマ研究センター，2002年3月4-5日）.