

Ⅶ. プラズマ

Ⅷ-1 ガンマ10グループ

教授	玉野輝男、谷津潔
助教授	石井亀男、北條仁士、斉藤輝雄、長照二
講師	板倉昭慶、山口直洋、長山好夫、中嶋洋輔
助手	平田真史、立松芳典
技術主任	平田久子
技術専門職員	大川和夫

[1] 研究の概要

世界最大の稼働中のタンデムミラー「ガンマ10」において、平均極小磁場によるMHD安定化を活かしながら、イオン磁気共鳴加熱を行った。同時に、サーマルバリア部負電位による電子閉じ込めの改善を行った結果、更に高温のイオンが形成され、高温イオン・モードの研究が進展した。また、マイクロ波反射計、プローブ等を用いたプラズマの密度及び磁場揺動の観測が進み、プラズマ閉じ込めへの理解が深まった。この他、エンド部での熱流の制御の予備実験、新半導体X線検出器の開発等、研究活動の範囲が広まり、国内外との研究協力も拡大した。主な成果を列挙すると

- ・ 効率良いイオン磁気共鳴加熱とサーマルバリア電位による電子閉じ込め改善により、イオン温度10 keVが達成された。
- ・ 中央部の粒子とエネルギーの磁場に沿った閉じ込め時間は、イオンと電子の両方も古典的電位閉じ込めプロセスで説明できる。
- ・ 従って、磁場を横切った閉じ込め時間は、磁場に沿った閉じ込め時間よりも長いと推論される。
- ・ この理由として、閉じ込め電位の形成によりプラズマの密度揺動が減少し、閉じ込めが改善されることが考えられ、実際にプラズマ揺動の計測により確認された。この機構はトカマクの周辺プラズマでの電位効果と共通の物理で、プラズマの電位による回転にシアが生じる為と理解される。
- ・ 重水素・水素混合プラズマ実験で、熱核融合反応による中性子の発生が確認された。これはタンデムミラーにおいて世界で最初である。
- ・ マイクロ波反射計を用いての磁場揺動の観測が提案され、イオン磁気共鳴波、及び、イオン・アルフェン・モードが実測され、プラズマの理解に大いに貢献した。
- ・ プラズマの非等方性に起因するイオン・アルフェン・モードの励起及び励起による非等方性の緩和の詳細が研究され、閉じ込めに影響を与えていないことが確認された。
- ・ エンド部での二次電子流入を制御することによる熱流の制御の可能性をメッシュバイアス法で確認した。
- ・ 半導体X線検出器の新理論が展開され、国内外での電子温度の正しい計測に協力・貢献した。

[2] ガンマ10 セントラル部におけるイオン温度と中性粒子の挙動^{講17)}

タンデムミラープラズマにおけるイオン温度及び中性粒子の挙動は、プラズマ閉じ込め性能向上を目的とした粒子・エネルギー収支の解明の為に不可欠な研究課題であり、水素リサイクリングの制御、サーマルバリア等の閉じ込め電位の維持及び、密度制御の為に適切な粒子補給の観点からも、重要な問題となっている。タンデムミラー装置ガンマ10では、荷電交換中性粒子エネルギー分析器、H α 線検出器アレイを用いて、イオン温度及び中性水素原子密度の径方向分布に関する情報を得ており、これらの実験結果に基づいて、粒子・エネルギー閉じ込めや中性水素原子の挙動について調べている。また、中性粒子輸送シミュレーションコードであるDEGASをガンマ10に適用し、プラズマ半径方向の水素原子・分子密度分布の計算機シミュレーションを行ない、H α 線放射計測による実測値との比較検討を行なっている。本研究は、ガンマ10セントラル部における、ガスバフにより追加注入した水素ガスが、プラズマ反磁性量に及ぼす影響について、荷電交換中性粒子計測、H α 線放射計測、中性粒子輸送シミュレーションの立場から調べ、セントラル部プラズマでのエネルギー損失機構についての検討を行うことを目的としている。

図1は、ICRFによって生成・加熱されたプラズマ中に、セントラル部のミッドプレーン近傍のガスバフを用いて、一方向から水素ガスを注入した際に観測されたセントラル部中央のプラズマ密度、反磁性量、H α 線放射強度の時間変化を示す。ガスバフによる水素ガスの入射に伴い、H α 線強度の上昇と共に反磁性量の急激な減少が観測されている。図2は非軸対称ガス入射実験に適用したDEGASシミュレーションでのメッシュモデルを示す。メッシュの形状はH α 線検出器のアレイの視線方向に合わせて設定し、DEGASによって計算されたH α の強度分布が直接測定結果と比較できるようにしている。

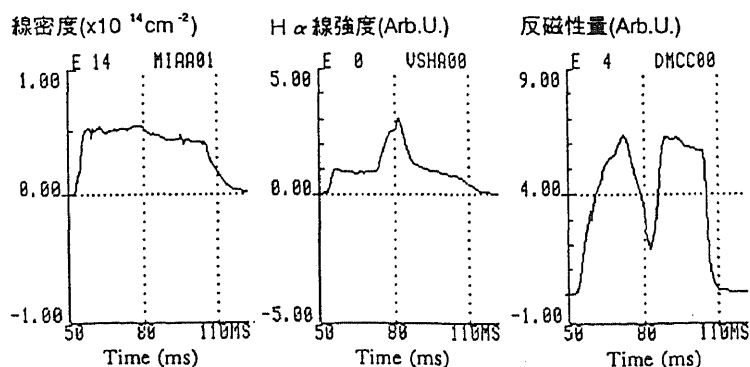


図1 非軸対称ガス入射実験におけるプラズマパラメータ

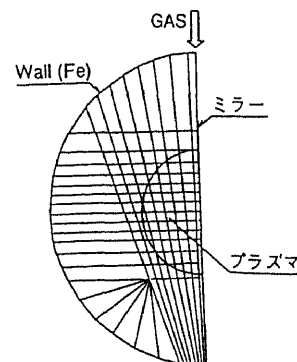


図2 DEGASのメッシュモデル

図3は、DEGASによって得られた水素原子・分子密度分布のシミュレーション結果を示している。原子・分子密度分布は共にガスの入射側において、急峻なピークが現れているのが判る。また、実験時に得られたH α 線の径方向分布は、DEGASコードで得られたシミュレーション結果と良い一致を示した。

以上の結果に基づいて、ガス入射時の中性粒子密度の上昇による荷電交換損失の増加量を評価し、図1で観測されている反磁性量の減少から推定されるエネルギー損失を比較した。両者は良い一致を示しており、ガス入射時の反磁性量の急激な減少が、荷電交換損失の増大によるものであることを示唆している。

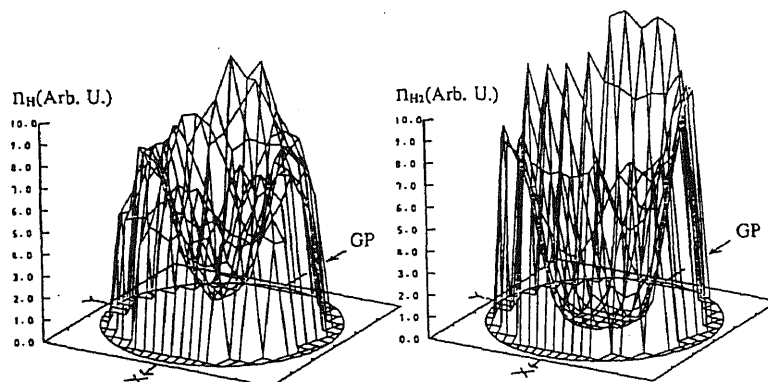


図3 DEGASを用いたシミュレーション結果

[3] ガンマ10セントラル部のイオンエネルギーバランスの時間追跡^{講15,44)}

セントラルミラー部において生成・加熱されたプラズマのイオンのエネルギー閉じ込め性能を研究する上で、ICRF等の加熱とイオンエネルギー損失の収支つまりエネルギーバランスを調べることは重要な研究課題である。荷電交換中性粒子分析器(CX-NPA)によって測定されたイオン温度の径方向分布並びに、中性粒子輸送シミュレーションの結果を用いて、ICRF加熱されたガンマ10セントラル部のイオンのエネルギーバランスの解析を始めている。今回、ICRFの発振出力をプラズマ放電中に変調させる実験を行い、その際に観測される反磁性量をはじめとするプラズマ諸量を計測することによってイオンのエネルギー閉じ込めを定量的に評価する事を試みた。

図1は種々のICRF発振出力の場合に得られた反磁性量の時間変化を示す。図から判るように、発振出力が低パワー(90, 133 kW)の場合には、出力の増加に伴って反磁性量が増加しているが、高パワー(160 kW)の場合には、ある一定の反磁性量に達した時点で飽和する傾向が認められた。この反磁性量の時間変化について考察する為に、イオンのエネルギーバランスの時間発展を追跡する数値計算コードを開発し、本実験に適用した。

ガンマ10のように、セントラルミラー部において強いICRFによるイオン加熱を行っているプラズマの場合、イオンのエネルギー損失量を定量的に求める為には、イオンの速度空間における非等方性並びにラーマー半径の効果を考慮する必要がある。この計算では、イオンと電子のクーロン衝突、中性水素原子・分子との荷電交換反応及び3つの古典的なエネルギー損失を考慮している。

時間発展追跡コードによって計算された反磁性量の時間変化を、実測値と合わせて図2、3に示す。ICRFの発振出力が133 kWの場合では、計算結果と実験結果は良い一致を見せており、この計算において考慮した損失過程以外に顕著なエネルギー損失過程が存在していないことがわかる。一方160 kWの場合、両者の結果は一致しておらず、別のエネルギー損失過程の存在が示唆される。

この原因を解明するために、最近トカマクにおけるイオンのエネルギーの異常輸送を説明する有力な候補として挙げられるイオン温度勾配不安定性(η_i モード)に着目して、安定性境界及び η_i 係数を検討した。その結果、反磁性量の飽和している時点においてイオン温度分布のピーキング並びに電子密度分布の平坦化が進んでおり、上記不安定性の生じる境界に接近していることが判った。今後、同不安定性の可能性を他の方法から検討し、原因を検証してゆく必要がある。

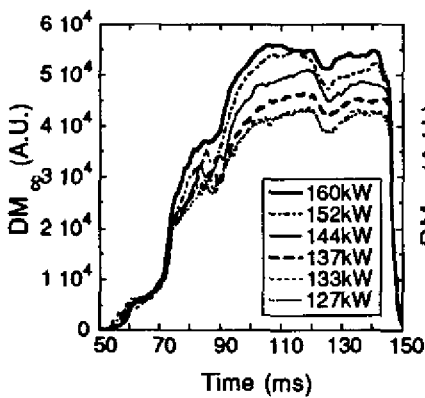


図1

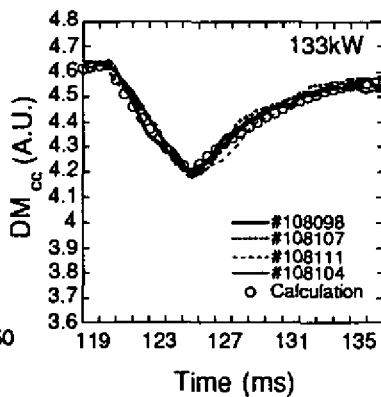


図2

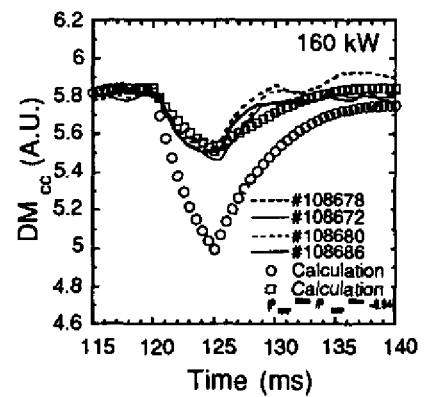


図3

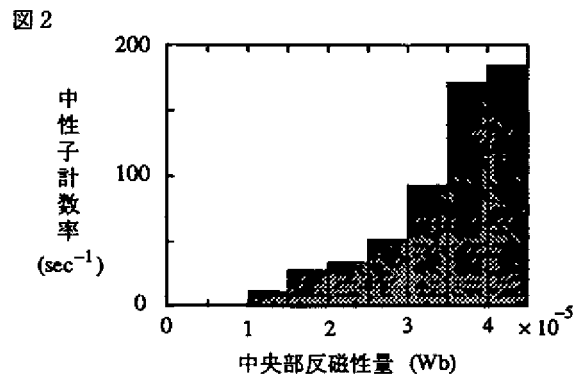
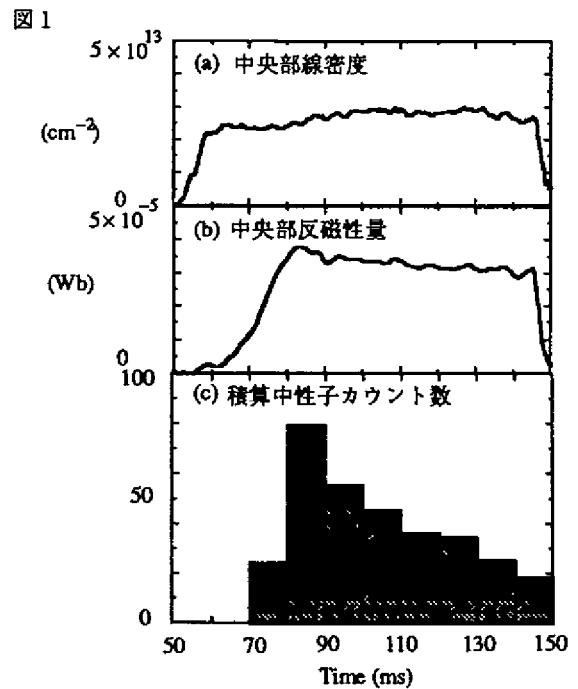
[4] 重水素・水素混合プラズマの高周波加熱実験による中性子発生

現在、世界の主要な核融合実験装置では、D-D 反応または D-T 反応によって生成される中性子が検出されている。ガンマ 10 では、これまで水素プラズマによる実験を行ってきたが、研究の進展により、密度 $3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 、イオン温度 10 keV のプラズマをつくることに成功している。この条件のもとで重水素プラズマをつくれば、核融合反応が起こることは十分期待される。そこで今回、重水素・水素混合プラズマの高周波加熱実験を行い、核融合反応による中性子を確認したのでその結果を報告する。

実験はセントラル部の磁場を高磁場 (5.62kG) に設定し、重水素と水素の混合ガスを導入した。イオン加熱用高周波発振器の周波数をセントラル部で重水素イオンに共鳴するように設定した。図 1 に代表的ショットにおけるプラズマのセントラル部中央での線密度、反磁性量の時間変化を示す。径方向密度分布の半値幅を 17cm とすると電子密度は $1.8 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 、また、荷電交換中性粒子の計測から評価されるイオン温度は中心で数 keV である。

中性子検出にはセントラル部近傍に設置した BF_3 カウンタを用いた。カウンタを厚さ 2mm の鉛板でおおうことによりプラズマから発生する X 線 (<100keV) を遮蔽している。 BF_3 カウンタの信号を計算機に取り込み、計測されたパルスの波形と波高値により X 線と中性子を弁別した。さらに異なる距離にカウンタを置き、X 線のバックグラウンドレベルを評価して計数率への寄与は 10% 以下であることを確認した。

約 60 ショットの積算中性子カウント数の時間依存性を図 1(c) に示す。積算カウント数は反磁性量の時間変化に対応している。反磁性量に対する中性子計数率をとったものを図 2 に示す。(計数率) \sim (反磁性量)^{2,3} の関係を得た。ショット中線密度はほぼ一定であるので、反磁性量の上昇はイオン温度の上昇によるものとする、この依存性を D-D 反応の断面積の温度依存にあてはめると、3~10 keV に対応している。これは荷電交換中性粒子計測による温度ともよくあい、検出された中性子は熱核融合反応によるものと考えられる。



[5] サーマルバリア電位のセントラル部電子閉じ込めに対する効果の研究

ガンマ10における、セントラル部の電子のエネルギー及び粒子閉じ込めに対する、サーマルバリア電位の効果について、研究し解明した。

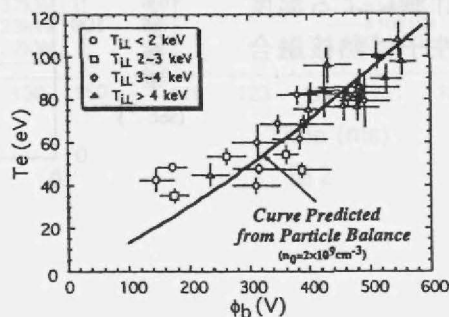
タンデムミラーは、磁場と共に電位を用いてプラズマを閉じ込める装置である。この閉じ込め（プラグ）電位を効率よく形成するために、プラグ部とセントラル部の間に電位の窪みを作り、両領域間の熱伝導を減らし、プラグ部電子の加熱効率を上げることが、本来のサーマルバリア電位の役割である。更に、この様に熱伝導を減少させるという事は、同時にセントラル部電子のエネルギー損失を抑制することにつながる。

我々は、この損失抑制に伴うセントラル部の電子エネルギー閉じ込めの改善効果とサーマルバリア電位の深さの相関について、実験的に求め、更に理論的検討を行った。

実験では、半導体X線検出器、及びマイクロチャンネルプレート（MCP）を用いて電子温度を求め、プラズマ電子エネルギーと電位の相関を調べた。半導体X線検出器の出力特性は、従来からの教科書の定説を用いると、誤った電子温度を算出する事が分かり、新しい検出器感度理論を建設し、これを用いて解析した。

その結果 (i) より深いサーマルバリア電位の生成に伴い、より高いセントラル部電子温度が達成できる事。(ii) サーマルバリア電位とセントラル部電子温度の相関は、ロシアのパスツコフにより理論的に示された関係式でよく説明される事。(iii) パスツコフ理論が古典的なエネルギー損失過程のみを考慮し、また電位で制御可能な磁力線方向のみの損失過程を仮定している事から、異常な拡散や損失等、電位で制御不能な過程は無視できる事が明らかになった。これらの比例則から、更なる加熱入力の増強による、深い電位の生成に伴い、電子閉じ込めの一層の改善が期待できる事が分かった。

以上の様に、電子閉じ込め性能のサーマルバリア生成による改善を、セントラル部高温イオン生成モードの下で、初めて詳しい関数関係と共に明らかにした事は、電位によるプラズマ閉じ込めの有効性・発展性を示したと云う事ができる。



[6] 新型多重グリッド型イオンエネルギー分析器を用いたGAMMA10の端損失イオン計測

タンデムミラーGAMMA10において端損失イオンを計測することでイオン閉じ込め電位、軸方向イオン温度を得ている。端損失イオンはGAMMA10エンド部に設置されている端損失粒子計測器によって計測される。最近我々が開発した新型斜入射型端損失イオン計測器 (Slanted-grid-type End-Loss Analyzer: SELA) (図1) は従来の静電型多重メッシュ付きファラデーカップと比較して、高温電子成分がコレクターに入射する影響がなく、これにより従来に比し高いS/N比を得る事ができる。

今回このSELAに「イオン加・減速グリッド」を付加する等の改良を行なった。このグリッドに負電位 (イオン加速電圧) を印加すると、トカマクのダイバータ部等の強磁場部に於いても、イオン計測が可能である事が、計測器内のイオンの軌道計算により示される。他方、正電位 (イオン減速電圧) を印加すると、端損失イオンの高エネルギー成分を詳細に計測することが可能となる。この時、入射イオンのエネルギー E_i に対して、イオン加・減速グリッドに電圧 V_{ac} を印加すると、入射イオンがコレクターに入射するイオンリペラー電圧 V_{IR} は次のようになる。

$$V_{IR} - V_{ac} > (E_i - V_{ac}) \cos^2 \theta, \quad V_{ac} < E_i$$

ここで θ はグリッドの法線ベクトルと磁力線とのなす角で $\theta = 35^\circ$ である。我々はこの事をイオン源を用いた較正実験により調べ、(図2) イオン加・減速グリッドの有効性を確認した。更に、コレクター電流から真の端損失電流量を見積もるために、メッシュの透過率を実験により導出した。

これらの較正結果を基にして、GAMMA10に設置し、プラズマ計測に使用している。

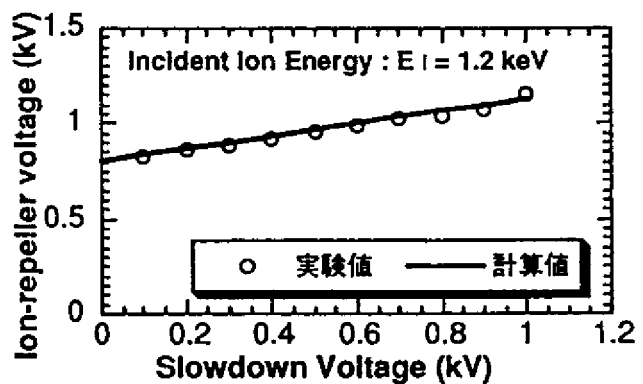
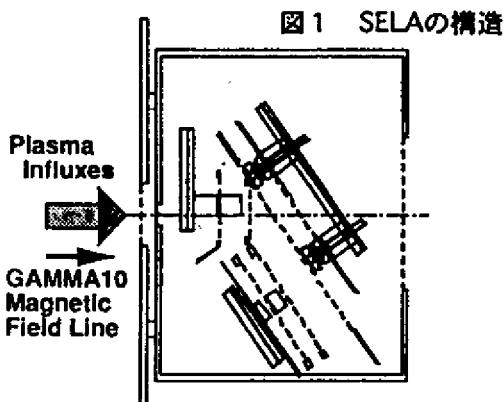


図2

[7] 端損失イオン速度分布関数測定による電位形成及び閉じ込めの研究

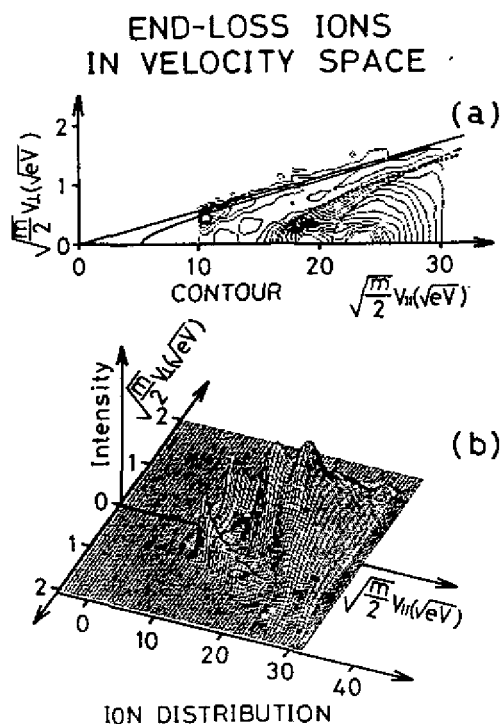
ミラー型磁場閉じ込め装置内のプラズマ粒子は、速度空間内に損失領域を必ず持つため、損失領域を狭める工夫がなされ、効果的な閉じ込め改善が試みられている。速度空間内の損失領域を直接求める計測器として、端損失イオンのエネルギーと共にピッチ角分布を同時に測定し速度分布関数を求める端損失イオンエネルギー成分分析器 (ELECA) が開発されている。多チャンネル検出器の位置を z 、イオンエネルギーを $E (\approx m_i v_{\parallel}^2/2)$ 、検出器に入るイオン強度を $I(E, k)$, $k = (z/l_{mp})\sqrt{2E/m_i}$ とすると、端損失イオンの速度分布関数 $f(v_{\parallel}, v_{\perp})$ は、

$$f(v_{\parallel}, v_{\perp}) = \frac{-2}{\pi A} \int_{v_{\perp}}^{v_{\perp, max}} \frac{dI(E, k)}{dk} \frac{dk}{\sqrt{k^2 - v_{\perp}^2}}, \quad A = \frac{2n_0 \sqrt{2E} \Delta E \Delta z \delta s}{\sqrt{m_i^3} l_{im}} \quad (1)$$

と記述される。ここで、 n_0 は密度、 m_i はイオン質量、 l_{mp} は主軌道長、 δs は入射孔の面積、 $v_{\perp, max}$ は損失錐の垂直成分を、各々表している。この測定器を用いた速度分布関数の実測にあたり、設置場所の磁場強度及び分析電極の周辺電場等を考慮に入れ、測定器の性能を詳細に検討した。その結果、主軌道半径が 4.5 cm の現測定器は設置場所の磁場強度約 100 G に対し適切な大きさであり、約 100 eV 以上のエネルギーを持つイオンに対し有効であることが知れた。

[GAMMA 10 プラズマ実験への適用]

アンカー部及びセントラル部に高周波を注入し、イオンサイクロトロン共鳴を利用 (ICRF) してプラズマを生成加熱、維持した後に、プラグ・バリア部にマイクロ波を注入し、電子サイクロトロン共鳴加熱 (ECRH) により閉じ込め電位を形成させる実験に適用した。その結果、以下の知見を得た。(1) NBI によるスロッシングイオン無しでも ECRH により閉じ込め電位が形成されることを、速度空間内の分布関数の変化と言うミクロな観点から見出し、入力パワーの減少化を伴う効果的な閉じ込めを観測した⁽¹⁾。(2) NBI 無しの電位形成に対しては、プラグ電位より低いエネルギー成分を持つイオンが速度空間内に多数観測され、プラグ電位形成がマイクロ波による電離現象に深く関わっていることが認められた⁽²⁾。(3) ICRF のイオン非等方加熱により発生する揺動電磁場によるイオンの損失領域への移行促進が観測された。右図に電位形成及び分布関数の測定例を示す。



Reference

- (1) 第10回プラズマ・核融合学会 (1993年) 1 a C 30 石井、他
- (2) 第10回プラズマ・核融合学会 (1993年) 1 p C 19 田中、他

[8] ガンマ 1 0 におけるFuelingとRecyclingの評価講3,16)

タンデムミラー装置において、リサイクリング、Fuelingの定量的評価は、磁力線方向に沿った粒子輸送について検討する上でも重要な研究課題となっている。この研究では、磁力線に沿った輸送過程を調べることを最終的な目的として、セントラル部におけるFueling量がエンド部で検出されるエンドロス量とどのくらいバランスしているかを調べている。その際、できる限りプラズマ並びに周辺ガスを定常・一様状態に近づけるためにプラズマ点火直前にプレパフを行ない、セントラル部真空容器にガスを満たす方向でガス調整を行なっている。

図1では、水素圧力の時間変化から求めたプラズマポンピング量(NG)と、エンド部にて測定された端損失電流の径方向に積分した量(ELA)について、ICRFパワーをパラメータとしてプロットしている。両者は各々20%以内の精度で一致していることが判る。また、ICRFパワーの増加に対応して増加しており、これはリサイクリングの増加によるFuelingの増加によって両者が増加したものと考えられ、以前から明らかになっているICRFパワーすなわちイオン温度に対するリサイクリング係数の依存性と一致している。一方、中性粒子輸送コードを使ってセントラル部プラズマ中の水素原子・分子密度を求め、それに基づくionizationを計算して粒子バランスを求めた結果についても良い一致をみている。また、セントラル部でのionizationが端損失電流値によく対応していることから、軸方向磁場に沿った粒子の流れが、異常な径方向輸送等によって妨げられていないことが示唆される。

以上述べた実験的な立場からのリサイクリング、プラズマポンピングの検討に対して、純粋にモデル計算の立場から直線系に特徴的なリサイクリングモデルを立てて実験との対応を検討している。ここでは、定常状態で一様な直線プラズマを仮定し、その中での水素原子・分子過程に基づいて、それらの粒子を追跡している。このモデルでは、原子分子過程の反応率から、リサイクリング過程における粒子の受ける反応の確率を求め、最終的にプラズマにFuelingされる量及びプラズマポンピングで系外へ逃れる量を計算している。ここでFueling量の増倍率 η_{FUEL} は、以下に示す式で定義される。

$$\eta_{FUEL} = \frac{(injected\ particles) + (recycling\ particles)}{(injected\ particles)} \quad (1)$$

このリサイクリングモデルで特徴的な、壁での反射とガスの脱離過程については、Eckstein Verveekの反射係数を用いて計算しているが、その際にエネルギーの反射係数も考慮に入れて、リサイクリングの全世界に亘って計算を行っている。

図2に、実験データから得られたリサイクリングによる粒子供給増倍率($1+Q^{WR}/Q^{GP}$)とリサイクリングモデル計算結果(η_{FUEL})とを比較している。主としてガスパフの設定とICRFのパワー設定を変えることにより得られたデータに基づいてプロットしている。図から判るように、両者は共によい一致をしている。特に、図中の白抜きのシンボルは、荷電交換中性粒子の壁からの反射の効果を考慮しており、壁から室温の水素分子のみ脱離するとした場合(黒で塗られたデータ点)に比べて、実験値とよく一致していることが判る。このことは、リサイクリング時の中性粒子の反射の効果が無視できないことを示唆している。

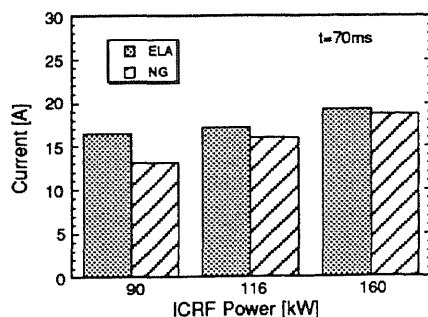


図1 プラズマポンピング量と端損失電流量

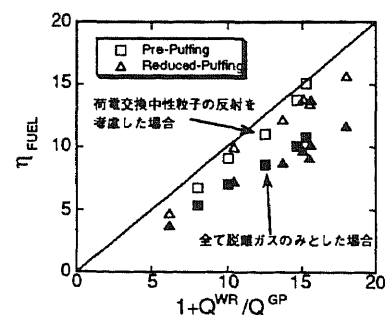


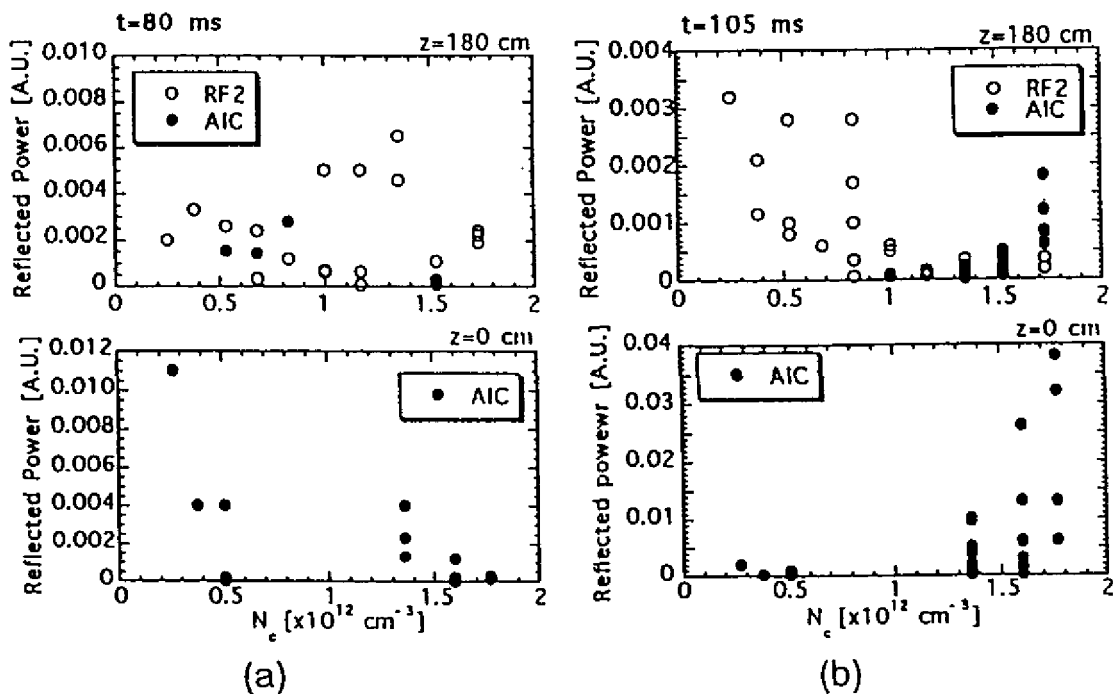
図2 実験で求めた粒子供給増倍率とモデル計算結果

[9] マイクロ波反射計による波動の観測とプラズマ加熱⁵⁾

セントラルセル部にイオンサイクロトロン周波数の高周波電力を印加してプラズマの生成及び加熱を行なっている。この高周波と加熱の関係を調べる為にマイクロ波反射計による波動の観測を行なった。

プローブ用マイクロ波は周波数7-26GHz、2台の周波数可変発振器で発生する。これをプラズマの軸に対して垂直の方向から入射する。プラズマの中心軸上の密度はほぼ $2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ なので0モードに対する遮断周波数は約14GHzとなり、これ以下の周波数に対しては入射周波数に対応する遮断密度の点で反射する。反射波信号をフーリエ変換することにより反射点に於ける波動の情報が得られる。マイクロ波干渉計により密度の半径方向分布が測定されているので反射点の位置が求められる。Xモードでの測定と組合せて半径方向全領域の測定が出来る。又、磁場揺動の成分も観測可能である。なお、反射計の測定から直接密度分布を得る方法も開発中である。

測定はセントラルセルの中心 $z=0\text{cm}$ 、及び加熱用高周波アンテナの近傍 $z=180\text{cm}$ の2箇所で行なった。プラズマのエネルギー密度を示す反磁性信号に着目し、成長時間帯 $t=80\text{ms}$ 、プラグ/バリア領域に電子サイクロトロン共鳴加熱を印加している飽和時間帯 $t=105\text{ms}$ に於ける反射計強度の半径方向分布を図(a)、(b)に示す。RF2は加熱用高周波の成分、AICは励起されたアルフベンイオンサイクロトロンモードの信号を表している。横軸は反射点の位置を密度 N_c で表し、密度の大きい方が中心を、低い方が外側を示している。アンテナ近傍 $z=180\text{cm}$ では加熱用高周波の信号は始め、内側の方が外側よりも強いが(b)では外側の方が強くなっている。AIC信号は逆の動きをしている。又、軸方向の中心部 $z=0\text{cm}$ ではRF2信号は非常に弱くなっている。



[10] 電磁波動の密度揺動に関する理論

イオンサイクロトロン周波数領域の電磁波動に対して、磁場揺動と密度揺動の間の関係を理論的に考察した。解析は一様プラズマを仮定して、MHD理論、二流体理論、及びブラソフ方程式に基づいた運動論的理論の三つの観点から行った。MHD理論では、電磁波動の密度揺動は磁場揺動の静磁場方向成分の大きさに比例している。これを基に低周波のアルベン波を考えると、シアアルベンモードは密度揺動を伴わず、一方圧縮性アルベンモードは密度揺動を伴うことが容易に理解できることが分かる。二流体理論では、密度揺動は磁場揺動の他に電場揺動からも誘起されることが分かる。この二流体理論は電子の熱速度が波の位相速度より小さい極限で先のMHD理論の結果を再現し、また逆の極限においていわゆるボルツマン分布則を再現する。しかし、二流体理論は波と粒子の相互作用が取り入れられていないためによる。ブラソフ方程式に基づいた運動論的取り扱いでは、二流体理論の結果を再現するとともに、波と粒子の相互作用を正しく取り入れているために二流体理論のような破綻を生じないことが分かった。

この運動論的取り扱いで得られた電磁波動に関する密度揺動と磁場揺動の関係をガンマ10で観測されているアルベンイオンサイクロトロン(AIC)モードに適用して、理論と実験との比較を行った。運動論的理論では、電磁波動の密度揺動は

$$\frac{\tilde{n}}{n_0} = -\frac{\omega}{|k_{\parallel}|v_e} Z\left(\frac{\omega}{|k_{\parallel}|v_e}\right) \frac{\tilde{B}_{\parallel}}{B_0} + i\left[1 + \frac{\omega}{|k_{\parallel}|v_e} Z\left(\frac{\omega}{|k_{\parallel}|v_e}\right)\right] \frac{e\tilde{E}_{\parallel}}{k_{\parallel}T_e}$$

で与えられる。ここで、 \tilde{B}_{\parallel} 、 \tilde{E}_{\parallel} はそれぞれ静磁場 (B_0) 方向の磁場揺動、電場揺動である。 ω は波の周波数、 k_{\parallel} は波数、 v_e は電子の熱速度、 T_e は電子温度、 e は電荷素量であり、また $Z(x)$ はプラズマ分散関数である。AICモードを仮定して得られる \tilde{B}_{\parallel} と \tilde{E}_{\parallel} の関係を用いて、密度揺動と磁場揺動の関係 $|\tilde{n}/n_0|/|\tilde{B}_{\parallel}/B_0| = 0.7 - 1.2$ が得られる。一方、OモードとXモードを用いたマイクロ波の反射法から求められたこれに関する実験値は $|\tilde{n}/n_0|/|\tilde{B}_{\parallel}/B_0| = 0.7 - 1.5$ であり、理論値と良く一致することが分かった。この解析結果はガンマ10において反射法によって観測された電磁波動はAICモードであることを示すものである。

[11] ミラー磁場中の往復共鳴加熱に関する理論

ミラー磁場中のプラズマのRF波動による往復共鳴加熱とそれに付随する径方向輸送について解析を行った。解析は線形化されたジャイロ運動論的方程式に基づいており、RF波動に関してはアイコナル近似を用いている。この時往復共鳴加熱によってプラズマに吸収される電力 P は一般的表式

$$P = \frac{2\pi^3 q^2}{M} \omega \int d\varepsilon \int d\mu \left(-\frac{\partial f_0}{\partial \varepsilon}\right) \sum_{\lambda=1}^{\infty} \lambda |\tilde{H}(\lambda)|^2 \delta[\omega - \lambda\omega_B]$$

で与えられる。ここで、 ε はプラズマ粒子のエネルギー、 μ は磁気モーメント、 q は電荷、 M は質量、 f_0 は平衡分布関数、 $\tilde{H}(\lambda)$ はRF波動の電磁場の大きさに関係した量である。また、 ω はRF波動の周波数、 ω_B はミラー磁場中の粒子の往復周波数であり、 δ -関数は丁度往復共鳴を記述している。このとき往復共鳴加熱に付随して誘起される粒子の径方向輸送は、その径方向の流束を Γ_{ψ} とすると、

$$\Gamma_{\psi} = \frac{mc}{q\omega} P$$

で与えられる。ここで、 c は光速、 m はRF波動のモード数である。この流束はRF波動のモード数 m に比例しているので、モード数 m が正か負かで粒子輸送の方向が変わることが分かる。また電荷 q にも依存しているので、電子とイオンでは粒子輸送の方向が異なることが分かる。この加熱に伴う径方向輸送の物理機構は以下の通りである。加熱電力 P に付随してプラズマ粒子に働く円周方向の力 F_{θ} は $F_{\theta} = mP/r\omega$ で与えられる。この時プラズマ粒子の対して働く $\mathbf{F} \times \mathbf{B}$ のドリフトは、プラズマ粒子に対して

$$\Gamma_{\psi} = rB\Gamma_r = rB \frac{cF_{\theta}}{qB} = \frac{mc}{q\omega} P$$

で与えられる径方向流束をもたらすことになる。ミラー磁場中では電子の往復周波数が大体イオンのサイクロトロン周波数領域にくるので、ICRF領域の波動によって往復共鳴電子加熱が起こっている可能性がある。

ガンマ10では電子サイクロトロン共鳴加熱 (ECRH) により、エンドプレートからセントラルセルにかけて、図-1に示すような電位差が形成される。この電位分布の形成には ECRH により誘起される端損失電子と、エンドプレートから放出される2次電子が本質的な寄与をしている。プラグ部からエンドプレートにかけての電位差 $\Delta\Phi$ についてモデルの解析から、エンドプレートからの2次電子放出率 γ は1に近く、エネルギーの高い端損失電子が冷たい2次電子で置換されていると考えられる。

これは大きなエネルギーのロスチャンネルの存在を意味しているので、エンドプレートからの2次電子放出を抑制する必要がある。図-2は、 γ に対する $\Delta\Phi$ (図では $\Psi_d - \Psi_c$)のモデル計算である。 γ の値が小さくなると、端損失電子が2次電子で置換されなくなるので、電子の損失を抑制するように $\Delta\Phi$ が大きくなり、結果的に電子の閉じ込めが改善されると期待される。

そこでエンドプレートの前面に設置した負バイアスのメッシュにより2次電子を押し返して、実効的な γ を小さくすることを試みた。メッシュバイアスに対するエンドプレート電位 Φ_{EP} の変化を図-3に示す。小さなバイアス電圧で Φ_{EP} は大きく変化するが、20V程度で飽和する。これは2次電子のエネルギーが10eV程度と考えられることと対応している。一方、プラグ電位 Φ_P の変化は小さく、 $\Phi_P - \Phi_{EP}$ の変化は図-2の予想値に近い。

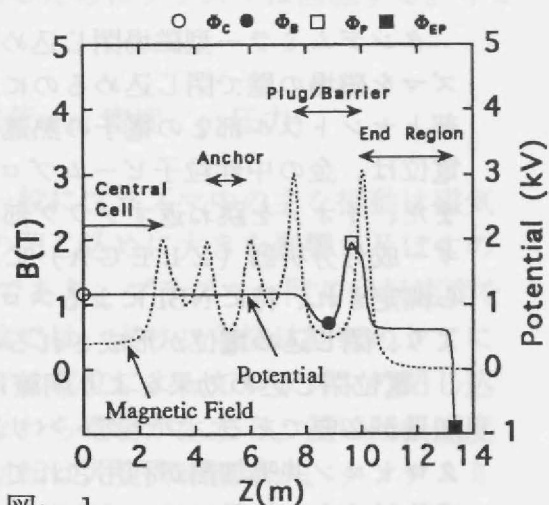


図-1

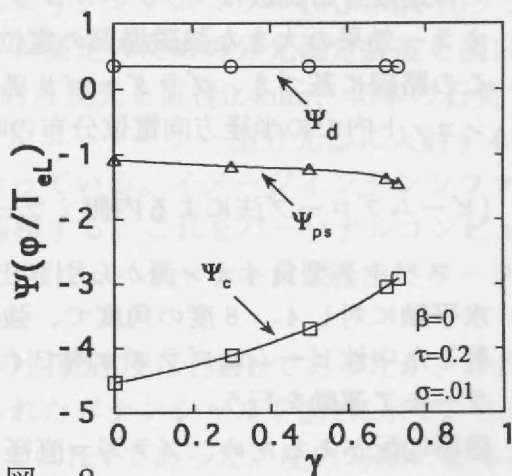


図-2

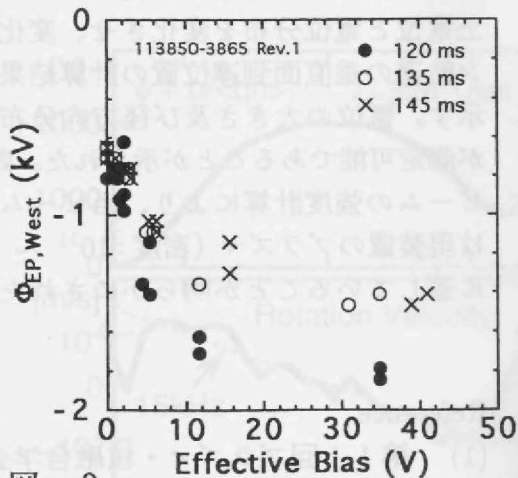


図-3

[13] GAMMA 10 タンデムミラー電位閉じ込め研究のための電位計測の開発

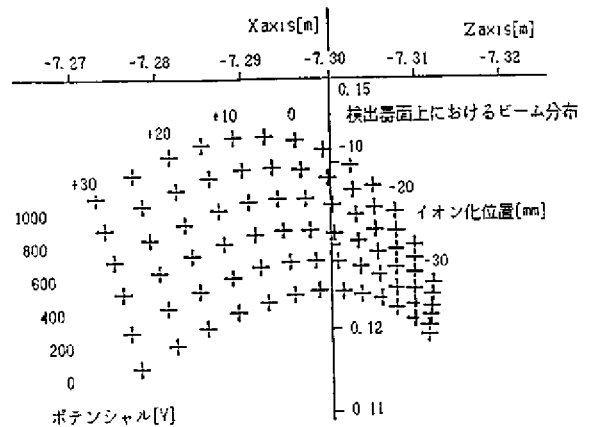
タンデムミラー型磁場閉じ込め研究の特徴は、プラズマの両端に電位の壁を設け、プラズマを磁場の壁で閉じ込めるのに加えて、更に電位の壁で閉じ込めることにある。プラグ部とセントラル部との電子の熱遮断をはかるバリア部の熱障壁の電位、及びセントラル部電位は、金の中性粒子ビームプローブにより時間的空間的に高分解能で測定されている。また、イオンを跳ね返すプラグ部の正電位の壁は、新たに開発された端損失イオンエネルギー成分分析器 (E L E C A) により端損失イオンの速度分布関数というマイクロな観点から測定され、特に NBI によるスロッシングイオン無しでも電子サイクロトロン共鳴加熱により、閉じ込め電位が形成されることを実験的に見出ししている。

電位閉じ込め効果をより明瞭にし性能の向上を目指す為には、より詳細な電位構造の知見が必要である。プラグ・バリア部の電位形成には主としてマイクロ波による電子サイクロトロン共鳴加熱が利用されており、また、セントラル部及びアンカー部のプラズマ生成及びイオン加熱には、イオンサイクロトロン共鳴が利用されているため、電子及びイオンの速度分布関数はマックスウェル・ボルツマン分布からずれていると予想され、従って、ミラー効果の大きな強磁場部の電位測定は閉じ込め効果の検討には不可欠と考えられる。この路線に基づき、プラグ・バリア部の内側ミラースロート強磁場部の電位測定法を、一ショット内での半径方向電位分布の時間依存性を得るという観点で検討した。

(ビームプローブ法による内側ミラースロート部電位計測)⁽¹⁾

スパッタ型負イオン源から引き出された金の負イオンビームを水素ガスで中性化させ、水平軸に対し 4.8 度の角度で、強磁場部近傍のプラズマに磁場軸に垂直に入射する。入射した中性ビームはプラズマ内でイオン化し、イオン化点の電位の情報を持ち磁場によりラーモア運動を行う。

磁場勾配があるため、プラズマ直径に渡ってイオン化した粒子は磁場軸方向にもずれ、半径方向の電位分布が分離され得る。プラズマ内の軸上電位と電位分布を変化させ、変化に伴うイオン軌道の垂直面到達位置の計算結果例を右図に示す。電位の大きさ及び径方向分布の時間発展が測定可能であることが示された。更に、イオンビームの強度計算により、当ビームプローブ法は現装置のプラズマ (密度: $10^{11} \sim 10^{13} \text{ cm}^{-3}$) に適していることが明らかにされた。



Reference

- (1) 第11回プラズマ・核融合学会 (1994年) 27 a B 8 安倍章、他

[14] タンデムミラープラズマの回転測定

タンデムミラープラズマは円柱形で軸方向に磁場があるためにプラズマは回転する。イオン α の回転速度は

$$v_{\alpha} \equiv \frac{\mathbf{E} \times \mathbf{B}}{B^2} - \frac{\nabla p_{\alpha} \times \mathbf{B}}{q_{\alpha} n_{\alpha} B^2} \quad (q: \text{電荷}, n: \text{密度}, p: \text{圧力})$$

である。回転は電場と圧力勾配によって駆動される。一般にプラズマ中の主な揺動は磁気流体(MHD)波とドリフト波である。これらはプラズマの閉じ込めに大きな影響を及ぼすので関心が持たれている。MHD波は主にフルートモードであり、プラズマと同じ回転速度を持つ。ドリフト波は電子ドリフト速度で回転する。理論では、ドリフト波は回転のシアによって安定化されると言われている。タンデムミラーでは電位によってプラズマの閉じ込めの向上を図っているために半径方向に電位の勾配すなわち電場が生ずる。逆に回転速度から電位分布が求められる。このように、プラズマの回転は大変興味深いのが、タンデムミラーでは今まで測定がなされたことがなかった。

本実験では不純物スペクトルのドップラーシフトによりタンデムミラーGAMMA-10プラズマの回転速度を測定する。不純物イオンのスペクトル測定のための分光測定装置を図1に示す。プラズマ領域(-20cm < r < 20cm)からの不純物輻射可視光を直径0.4mm、40本の石英ファイバで、焦点距離1m、回折格子2400本/mmのツェルニーター型分光器に入射する。分光器の入射スリット幅を狭くし、分解能の向上を計っている。イメージインテンシファイアで増幅後CCDカメラで測定し、VCRでデータを蓄積する。これをパーソナルコンピュータに内蔵されたビデオキャプチャボードでデジタル化し、イーサネット経由でワークステーションに送り解析する。

測定された回転速度を図2に示す。フルートモードの回転速度は15kHzであったが、これはプラズマの回転速度に一致した。回転速度から得られたポテンシャルを図2に示す。これは2kVであるが、重イオンビームプローブによる測定では1kVであった。圧力勾配による寄与と電場の寄与が同程度であることがわかる。

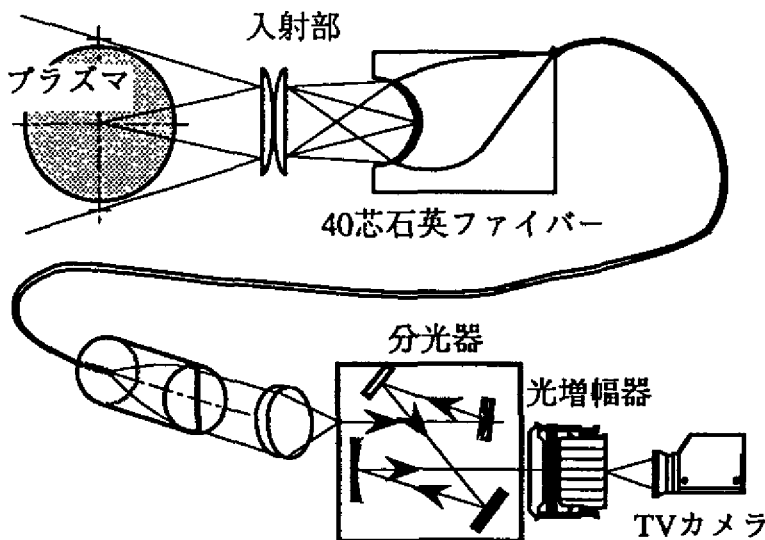


図1 分光計測システム

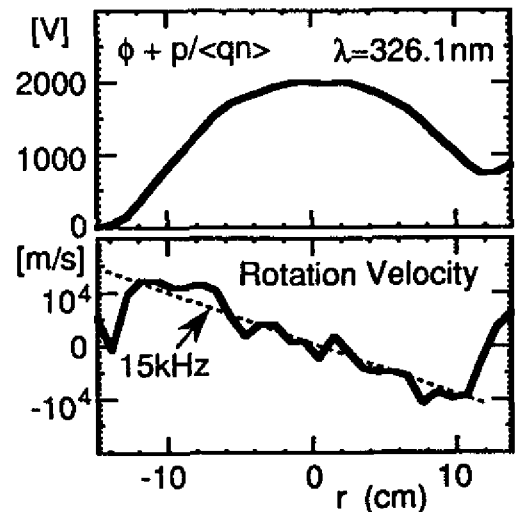


図2 プラズマの回転速度とポテンシャル

プラズマの高温化はプラズマ中不純物の高電離化を促すため、それから放射される電磁波を真空紫外、軟X線領域に集中させる。ガンマ10装置において、プラズマの放射損失量の見積り、不純物イオンとプラズマ閉じ込め電位の関係や不純物輸送現象の解明とその制御、プラズマの密度・温度の空間分布などの測定などの目的のために、大口径プラズマから放射される真空紫外線および軟X線の空間分布を一度に計測できる空間時間分解分光器を新たに開発中である。前年度の真空紫外分光器に引き続き、軟X線用の空間時間分解斜入射分光器を開発した。

分光器の基本的構成は真空紫外分光器と同様であり、空間分解スリットと不等間隔回折格子、そして2次元検出器であるマイクロチャンネルプレート(MCP)から成る。図1に斜入射分光器の構成図を示す。本分光器は、20~340 Åの軟X線波長範囲にわたって、20 cmの視野でプラズマのスペクトル像を得ることができる。

本分光器の光線追跡計算を実行し、分光器の基本性能の予測を行った。また、光線追跡の結果を確認するためにDCグロー放電管とX線管を用いて分光実験を行った。一例として図2に測定されたHeスペクトルと光線追跡から予想されるHeのスペクトル分布を示す。これらの実験により、本分光器が予想通りの性能を有していることを確認することができた。

本分光器をガンマ10プラズマの軟X線波長域の分光に応用して、水素様イオンにいたる高電離の低Z不純物の存在を確認することが可能になった。

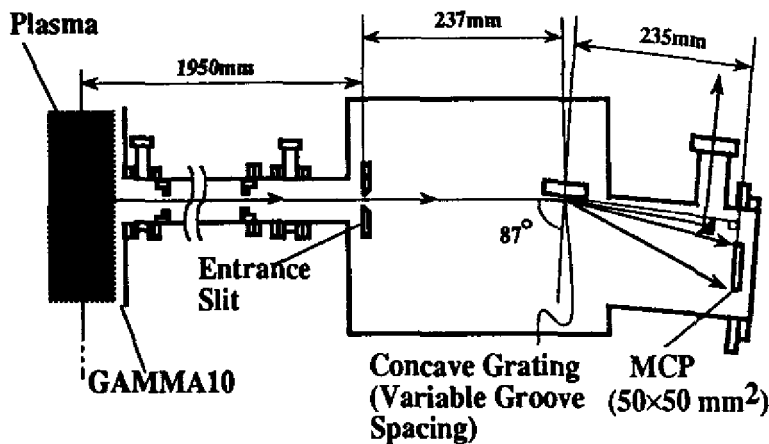


Fig. 1 Schematic drawing of the space-resolving soft x-ray spectrograph.

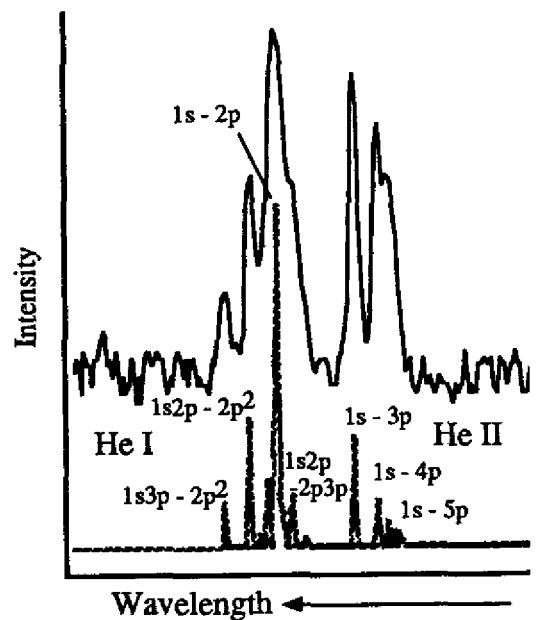


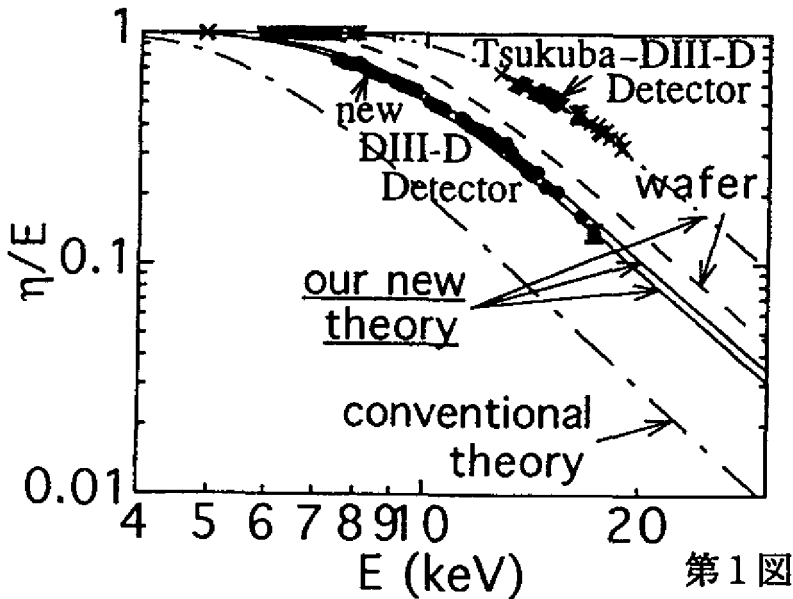
Fig. 2 Helium spectrum observed in a DC glow discharge source.
Upper trace : measured spectrum by this spectrograph.
Lower trace : calculated spectrum from ray-tracing and wavelength table.

[16] 日米研究協力に基づくプラズマX線計測研究

本学の基本理念の一つでもある、「国際的・学際的視野に立った研究」、「国際的学術研究協力」の一つとして、日米科学技術協力事業の下に、以下のように研究を遂行している。

即ち、米国を代表する、プラズマ核融合研究装置DIII-DトカマクプラズマのX線計測器の開発、及びDIII-Dトカマクの新半導体X線検出器アレイ（ポロイダル及びトロイダルアレイ）の感度特性評価実験を高エネルギー物理学研究所のシンクロトロン放射光を用いて行った。第1図に、主にRF電流駆動実験用等に、我々の新X線感度理論に基づき設計・製作した、10 keV付近まで十分に感度を持ち、更に可視光カット用のアルミニウム蒸着層付の半導体X線検出器の特性を(Tsukuba - DIII-D Detector)、またポロイダルアレイX線計測器の特性(new DIII-D Detector)を示した。同時に夫々に対する、我々が最近提唱した、X線計測器感度理論に基づく、感度曲線を示して、データとの比較を行った。この結果は、我々の理論とデータのよい一致を示すと共に、両計測器を併用する事により、DIII-Dのバルク電子、及び高エネルギー電子成分を評価できる事を示している。

実際にDIII-Dトカマクの、X線データが得られ始めているところである。



第1図

[17] プラズマ X線計測に用いる新型半導体 X線検出器の開発

ガンマ10プラズマの X線計測、並びに日米科学技術協力等の国際協力に基づく X線計測のため、新型半導体検出器の設計・製作を行っている。今回、我々の半導体検出器に対する新感度理論を応用し、従来よりもコンパクトで、数10 keVの X線に感度のある検出器を試作した(図1；科研費試験研究により開発したため、特許出願中)。これは、通常の1 cm×1 cm、厚さ数100 μm の半導体検出器を特殊な方法・技術により重ね合せたもので、X線を図中のA方向から入射した場合、X線検出効率は理論的に20 keV以上まで充分大きな値をもつ。また、X線をB方向から入射すると、各半導体検出器がX線の吸収体として作用するため、検出器自身による X線吸収法ができるという新しいアイデアに基づき設計・製作した。これは、プラズマの再現性が期待しにくい状況での X線計測を可能にする。また省スペース化が可能のため、この新型検出器を多数個並べる事により、プラズマから輻射される X線のエネルギー、時間、空間分解を同時に計測できるという特徴をもつ。

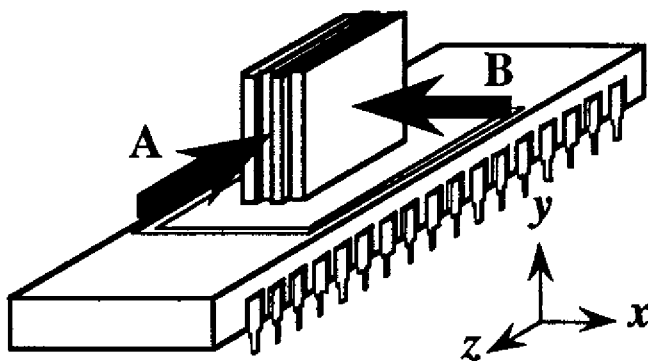


図1

最近、以上に記したこの検出器の特徴を、高エネルギー物理学研究所のシンクロトロン放射光を用いた実験データにより実証すると共に、この検出器の X線感度特性が、我々の新感度理論によりよく説明出来る事が明らかになった。

[18] 半導体 X 線計測器新感度理論の物理機構の実証

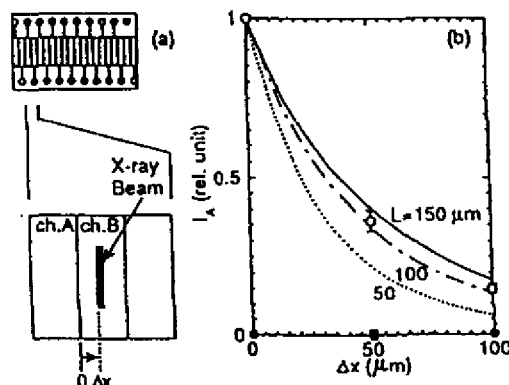
(X 線生成電荷の三次元拡散効果の実証)

半導体 X 線計測器を用いて、プラズマの電子温度を求めるに当たり、最近、従来の教科書に載っている解析法に関する定説では、正しくないことが明らかになってきた。我々は、プラズマの電子温度を正しく求めるために、新理論を提唱し、その物理素過程の実証実験を、世界に先駆けて行った。

即ち、最近我々が提唱している、半導体 X 線計測器の新感度理論の物理機構の本質である計測器内で X 線により生成される電荷の三次元的な拡散効果を、直接的に実証するための実験を、DIII-D トカマクで新たに設置される「多チャンネル半導体 X 線計測器アレイ」並びに CERN の OMEGA プロジェクトの多チャンネル半導体 X 線計測器アレイを改造したものを用いて行った。

第1(a)図の検出器のチャンネルA(ch.A)とチャンネルB(ch.B)の境界でch.B側に X 線ビームを入射し、検出器の水平スキャンを行う。はじめに検出器を全空乏層タイプにすべくバイアス40Vを印加して、X 線生成電荷はすべて検出面と垂直な電気力線に沿って収集される様にし、隣のチャンネルへ X 線生成電荷が拡散流入しない様にしておく。次にこの位置のまま印加バイアスを2Vに下げて、 $d_{dep}=30\text{ mm}$ にすると120mmが無電場基板領域となる。それぞれのバイアスに対し、ch.Aの出力 I_A を第1(b)図に黒丸、白丸で各々示す。更に異なるビーム入射位置 Δx に対するデータを併せて示す。ch.Aから X 線入射位置を遠ざける事は、ch.Aへの拡散を減少させて行く事になるが、その I_A の Δx 依存性から、無電場基板領域の拡散特性を得る事ができる。新理論を用いた、 I_A の Δx 依存を第1(b)図に拡散長 L をパラメータとして実線で示す。

この結果は、半導体 X 線検出器印加バイアスを下げた場合に電荷の拡散が確かに生じる事を端的に示しており、新理論の物理的に本質的な効果の一つである無電場基板領域での三次元拡散現象を、初めてより直接的に示すものである。更に X 線エネルギー感度特性から得られた L と、第1(b)図の空間的に X 線入射位置を動かして得た L とが、合致する事が得られた。この事は、他方で新しい L の導出法を見出した事にも相当している。



第1図

[19] レーザー電離法による水素原子密度の測定

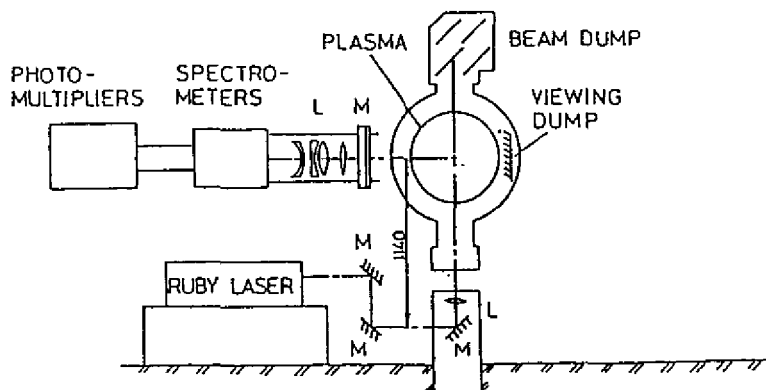
これはかつて科研費共同研究の一部として九州大学グループと行なった「H α レーザー蛍光法によるプラズマ閉じ込めの研究」*の延長上にあるもので、レーザー蛍光法に於ける最大の弱点である迷光の問題を解決した方法である。** この方法は蛍光法と同様の装置を用いるが、レーザーによりH α 光を発光する励起準位にある電子にエネルギーを与え電離させ、これによる信号強度の減少量から水素原子密度を求める。レーザーエネルギーは励起準位から電離迄のエネルギー以上であれば良いので非常に自由度があり、トムソン散乱測定用のルビーレーザーを利用する。受光系はトムソン散乱用を、分光器をH α に同調させて使用する。従って入射レーザー光と受光H α 光の波長は異なり迷光の問題が小さくなる。分光器から得られた信号は光電子増倍管で受光され、アナログデジタル変換器を通して計算機に蓄積、平均処理される。測定装置を下図に示す。

受光系は視線方向の積分値を得るので、レーザービームの通過領域とプラズマの直径とがほぼ信号対雑音比に対応するものとなる。現在は予備実験として、前述のようにトムソン散乱装置の入射系をそのまま流用しているのでS/N比が悪く、相当多数のショットを蓄積する必要がある。しかし、入射系の最適化を図ることで改善が見込まれる。

*) Matsuda et al. : Proc. 4th International Symposium on Laser-Aided Plasma diagnostics, 1989, p. 223.

Itakura et al. : Australia-Japan Workshop on Plasma Diagnostics, Sept. 27-29, 1989, JAERI, Naka.

**) Gladuschak et al. : Proc. 19th EPS Conference on Controlled Fusion, 1992, v. 2, p. 1219.



<論文>

- 1 Confinement Scaling, Heating and Stability in the GAMMA 10 and HIEI Tandem Mirror,
M.Inutake, T.Tamano, T.Cho, M.Hirata, H.Hojo, M.Ichimura, K.Ishii, A.Itakura,
I.Katanuma, Y.Kiwamoto, A.Mase, S.Miyoshi, Y.Nagayama, Y.Nakashima, T.Saito,
Y.Tatematsu, N.Yanaguchi, K.Yatsu, Y.Yasaka, O.Sakai, M.Shima, H.Yoshida and
R.Itatani,
Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research 1992, (IAEA, Vienna, 1993)
Vol.2, p.651-658.
- 2 A Laboratory Scale Apparatus for the Time-Resolved X-ray Absorption Spectroscopy Using
Laser Plasmas as an X-ray Source,
O.Yoda, A.Miyashita, K.Murakami, T.Ohyanagi, S.Aoki and N.Yamaguchi,
Japanese Journal of Applied Physics 32, Supplement 32-2 (1993) p.255-257.
- 3 Relaxation of Pressure Anisotropy Due to Alfvén-Ion-Cyclotron Fluctuations Observed in
Ion-Cyclotron-Range-of-Frequency-Heated Mirror Plasmas,
M.Ichimura, M.Inutake, R.Katsumata, N.Hino, H.Hojo, K.Ishii, T.Tamano and
S.Miyoshi,
Physical Review Letters 70, No.18 (1993, May) p.2734-2737.
- 4 Intechange Stability Criteria for Anisotropic Central-Cell Plasmas in the Tandem Mirror
GAMMA 10,
H.Hojo, M.Inutake, M.Ichimura, R.Katsumata and T.Watanabe,
Japanese Journal of Applied Physics 32, No.5A (1993) p.2116-2117.
- 5 Measurement of Alfvén Ion-Cyclotron Wave Using both X- and O-Mode Reflectometers,
A.Mase, M.Ichimura, H.Satake, R.Katsumata, T.Tokuzawa, Y.Ito, H.Hojo, E.J.Doyle,
A.Itakura, M.Inutake and T.Tamano,
Physics of Fluids B 5, No.6 (1993) p.1677-1680.
- 6 Density Fluctuations Associated with Electromagnetic Waves in Ion Cyclotron Range of
Frequencies,
H.Hojo, A.Mase, R.Katsumata, M.Inutake, A.Itakura and M.Ichimura,
Japanese Journal of Applied Physics 32, No.7 (1993) p.3287-3288.
- 7 Bounce Resonance Heating and Transport in a Magnetic Mirror,
H.Hojo and T.Hatori,
Journal of the Physical Society of Japan 62, No.7 (1993) p.2212-2215.
- 8 Investigation of ballooning modes in high poloidal beta plasmas in the Tokamak Fusion Test
Reactor,
Y.Nagayama, M.Yamada, S.A.Sabbagh, J.Manickam, E.D.Fredrickson, M.Bell,
R.V.Budny, A.Cavallo, A.C.Janos, M.E.Mauel, K.M.McGuire, G.A.Navratil, and
G.Taylor,
Physics of Fluids B 5, No.7 (1993) p.2571-2577.
- 9 Stability Boundary of Ion Temperature Gradient Mode in an Anisotropic Plasma,

- H.Hojo,
Journal of Plasma and Fusion Research **69**, No.8 (1993) p.950-956.
- 10 Density Fluctuations of Electromagnetic Plasma Waves in Ion Cyclotron Range of Frequencies,
H.Hojo, A.Mase, M.Inutake and M.Ichimura,
Journal of Plasma and Fusion Research **69**, No.9 (1993) p.1043-1049.
- 11 Electron Confining Potential When the Electrons Have Finite Axial Loss Time,
I.Katanuma, Y.Kiwamoto, N.Ohyabu, K.Ishii, K.Yatsu, and T.Tamano,
Journal of the Physical Society of Japan **62**, No.10 (1993) p.3446-3459.
- 12 Suppression of Alfvén Ion Cyclotron Instability in a Mirror by End Plugging,
H.Hojo, R.Katsumata, M.Ichimura and M.Inutake,
Journal of the Physical Society of Japan **62**, No.11 (1993) p.3797-3800.
- 13 Effect of Radial Diffusion on Potential Formation in a Tandem Mirror,
H.Hojo,
Journal of the Physical Society of Japan **62**, No.11 (1993) p.4148-4149.
- 14 Overview of Experimental Results on the GAMMA 10,
T.Tamano, T.Cho, M.Hirata, M.Ichimura, M.Inutake, K.Ishii, A.Itakura, K.Katanuma,
Y.Kiwamoto, A.Mase, Y.Nagayama, Y.Nakashima, T.Saito, Y.Tatematsu, N.Yamaguchi
and K.Yatsu,
Invited: International Conference on Open Plasma Confinement Systems for Fusion,
Novosibirsk, (Russia, 1993, June 14-18). Paper No.1-1.
- 15 Potential Profile Control and MHD Stability of GAMMA 10 ICRF-Heated Plasmas,
M.Inutake, A.Ishihara, R.Katsumata, M.Ichimura, A.Mase, K.Ishii, Y.Nakashima,
Y.Nagayama, N.Yamaguchi, H.Hojo, I.Katanuma and T.Tamano,
Invited: International Conference on Open Plasma Confinement Systems for Fusion,
Novosibirsk, (Russia, 1993, June 14-18). Paper No.1-4.
- 16 Relation Between Electron-Velocity Distribution Functions and Potential Formation,
T.Cho, M.Hirata, E.Takahashi, J.Kohagura, T.Teraji, A.Takeuchi, Y.Sakamoto, K.Yatsu
and T.Tamano,
Invited: International Conference on Open Plasma Confinement Systems for Fusion,
Novosibirsk, (Russia, 1993, June 14-18). Paper No.1-5.
- 17 Electron Heating and Potential Formation in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
T.Saito, Y.Kiwamoto, Y.Tatematsu, Y.Yoshimura, T.Cho, M.Inutake, K.Ishii,
I.Katanuma, T.Tamano, N.Yamaguchi, K.Yatsu,
Invited: International Conference on Open Plasma Confinement Systems for Fusion,
Novosibirsk, Russia, June 14-18, 1993. Paper No.1-6.
- 18 Energy and Particle Confinement Time in the GAMMA 10,
T.Tamano, T.Cho, M.Hirata, M.Ichimura, M.Inutake, K.Ishii, A.Itakura, K.Katanuma,
Y.Kiwamoto, A.Mase, Y.Nagayama, Y.Nakashima, T.Saito, Y.Tatematsu, N.Yamaguchi

- and K.Yatsu,
Invited: International Conference on Open Plasma Confinement Systems for Fusion, Novosibirsk, (Russia, 1993, June 14-18). Paper No.1-7.
- 19 On the Continuity of electrostatic potential around a Magnetic Field,
 I.Katanuma, Y.Kiwamoto, L.G.Bruskin, K.Yatsu, and T.Tamano,
 Journal of the Physical Society of Japan **63**, No.2 (1994) p.393-396.
- 20 Effects of Yushmanov-Trapped Particles and Anisotropy of Velocity Distribution on the Potential Formation in the End Region of a Tandem Mirror,
 Y.Tatematsu, Y.Kiwamoto, T.Saito and T.Tamano,
 Journal of the Physical Society of Japan **63**, No.2 (1994) p.558-572.
- 21 A New Theory and Its Application to the Fitting of the X-ray Energy-Response Data of Silicon Surface-Barrier Detectors,
 T.Cho, E.Takahashi, M.Hirata, N.Yamaguchi, T.Teraji, J.Kohagura, T.Tamano, S.Miyoshi, K.Ogura, S.Aoki, H.Maezawa, X.W.Zhang,
 Photon Factory Activity Report 1992 **10**, (National Laboratory for High Energy Physics, 1993) p.376.
- 22 Plasma Production in Fusion Devices: Magnetic Confinement,
 T.Tamano,
 Journal of Plasma and Fusion Research **69**, No.8 (1993) p.923-927.
- 23 Recent Results of GAMMA 10 Experiments,
 K.Yatsu,
 平成2,3,4年度核融合科学研究所共同研究研究会研究成果報告書, 開放磁場における電位と輸送機構(代表者; 谷津潔), NIFS-MEMO-9, (1993) p.3-8.
- 24 The Effects of Electrostatic Potentials on Electron Velocity Distribution Functions and on Plasma Confinement in GAMMA 10,
 T.Cho, M.Hirata, E.Takahashi, T.Teraji, A.Takeuchi, J.Kohagura, Y.Sakamoto, K.Yatsu, T.Tamano and S.Miyoshi,
 平成2,3,4年度核融合科学研究所共同研究研究会研究成果報告書, 開放磁場における電位と輸送機構(代表者; 谷津潔), NIFS-MEMO-9, (1993) p.16-23.
- 25 Potential Control and Fluctuation Studies in the GAMMA 10,
 A.Mase, M.Inutake, K.Ishii, A.Itakura and T.Tamano,
 平成2,3,4年度核融合科学研究所共同研究研究会研究成果報告書, 開放磁場における電位と輸送機構(代表者; 谷津潔), NIFS-MEMO-9, (1993) p.24-31.
- 26 Plasma Surface Interaction in GAMMA 10 in Relation to the Confinement Performance,
 K.Yatsu, Y.Nakashima, K.Tsuchiya and M.Syoji,
 平成2,3,4年度核融合科学研究所共同研究研究会研究成果報告書, 開放磁場における電位と輸送機構(代表者; 谷津潔), NIFS-MEMO-9, (1993) p.82-90.
- 27 マイクロチャンネルプレート——検出感度と入射角依存性——,
 山口直洋,

- 応用物理 62巻, 第7号 (1993) p.722-723.
- 28 電流立ち上げ時の高速電子の発生,
玉野輝男,
プラズマ・核融合学会, 「高速電子の発生と影響の調査研究」調査報告書,
(1994年2月) p.2-1 - 2-12.
- 29 MHD不安定性と高速電子,
長山好夫,
プラズマ・核融合学会, 「高速電子の発生と影響の調査研究」調査報告書,
(1994年2月) p.4-1 - 4-10.
- 30 ECE計測と高速電子,
長山好夫,
プラズマ・核融合学会, 「高速電子の発生と影響の調査研究」調査報告書,
(1994年2月) p.18-1 - 18-12.
- 31 電子サイクロトロン加熱高速電子温度制御機構,
長 照二, 平田真史, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会, 「高速電子の発生と影響の調査研究」調査報告書,
(1994年2月) p.19-1 - 19-16.
- 32 Bounce Resonance Heating in a Mirror,
H.Hojo and T.Hatori,
Annual Report of National Institute for Fusion Science, April 1992-March 1993,
(1993) 183.

<学位論文>

博士論文

高橋 栄一

The Effects of Thermal Barrier Potentials on Electron Confinement in GAMMA 10

土屋 勝彦

Study of Global Particle Balance in the GAMMA 10 Tandem Mirror

修士論文

寺地 徳之

半導体X線検出器の新感度理論の検証と高温プラズマ電子計測への適用

吉村 康夫

ガンマ10エンド部における電位分布の研究

佐竹 秀和

反射計によるアルンイオンサイクロトロン波動の研究

佐藤 裕希子

空間分解型斜入射分光器によるガンマ10プラズマの軟X線分光

竹内 恵子

ガンマ10セントラル部電子のX線トモグラフィ計測と電位分布の比較研究

中田 敏敬

端損失イオンエネルギー成分分析器 (ELECA) の特性と揺動解析

<講演>

- 1 Experimental Study of Alfvén-Ion-Cyclotron Mode in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
M.Ichimura, R.Katsumata, M.Inutake, A.Ishihara, H.Hojo, I.Sasaki, K.Ishii, A.Mase,
Y.Nakashima and T.Tamano,
International Conference on Open Plasma Confinement Systems for Fusion,
Novosibirsk, (Russia, 1993, June 14-18). Paper No.1-8.
- 2 Impurity Studies Using Extreme Ultra Violet/Soft X-ray Spectroscopy in the GAMMA 10,
N.Yamaguchi, J.Katoh, Y.Sato, T.Aote, A.Mase, Y.Nakashima and T.Tamano,
International Conference on Open Plasma Confinement Systems for Fusion,
Novosibirsk, (Russia, 1993, June 14-18). Paper No.1-9.
- 3 Gas Recycling in GAMMA 10,
K.Yatsu, Y.Nakashima, K.Tsuchiya, M.Syoji and T.Tamano,
International Conference on Open Plasma Confinement Systems for Fusion,
Novosibirsk, (Russia, 1993, June 14-18). Paper No.1-10.
- 4 Microinstabilities in the Central Cell Plasma of GAMMA 10,
A.Mase, A.Itakura, T.Tokuzawa, Y.Ito, H.Satake, H.Hojo, M.Ichimura, M.Inutake,
K.Ishii, R.Katsumata and T.Tamano,
International Conference on Open Plasma Confinement Systems for Fusion,
Novosibirsk, (Russia, 1993, June 14-18). Paper No.1-11.
- 5 Stability Study Related to Pressure Anisotropy in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
R.Katsumata, M.Inutake, M.Ichimura, A.Ishihara, A.Mase, Y.Nakashima, K.Ishii,
H.Hojo, I.Katanuma and T.Tamano,
Proc. 20th EPS Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Lisboa, (1993,
July) Vol.17C Part II, p.545-548.
- 6 Space-Resolving Flat Field Spectrograph for Large Sized Plasma Diagnostics,
N.Yamaguchi, J.Katoh, Y.Sato, T.Aota, A.Mase and T.Tamano,
Proc. 20th EPS Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Lisboa, (1993,
July) Vol.17C Part III, p.1219-1222.
- 7 New findings of X-ray energy responses of silicon surface barrier detectors and their extension
to a generalized X-ray response theory on position sensitive detectors,
T.Cho, M.Hirata, J.Kohagura, E.Takahashi, T.Teraji, N.Yamaguchi, K.Yatsu,
T.Tamano, S.Miyoshi, T.Kondoh, Y.Tanabe, Y.Saitoh, T.Akamine, J.Yamanaka,
S.Miyahara, and S.Tanaka,
3rd London Conference on Position-Sensitive Detectors, Brunel, (1993, September)
p.119.
- 8 Characterization of multichannel microchannel plates and applications to plasma X-ray position

sensitive imaging detector,

M.Hirata, T.Cho, J.Kohagura, T.Kondoh, E.Takahashi, T.Teraji, A.Takeuchi,
Y.Sakamoto, N.Yamaguchi, K.Yatsu, T.Tamano, S.Miyoshi, and H.Maezawa,
3rd London Conference on Position-Sensitive Detectors, Brunel, (1993, September)
p.120.

- 9 Electron Cyclotron Resonance Heating for Transport Control along Open Field Lines,
Y.Kiwamoto, T.Saito, Y.Tatematsu, Y.Yoshimura and T.Tamano,
Us-Japan Bilateral Exchange Workshop on RF Technology (Q179) Osage Beach,
Missouri, U.S.A., (1993, October).
- 10 Electron Cyclotron Resonance Heating for Controlling Potential and Transport along Open
Field Lines,
Y.Kiwamoto, T.Saito, Y.Tatematsu, Y.Yoshimura and T.Tamano,
IAEA-TCM on RF Launchers for Plasma Heating and Current Drive, Naka JAERI,
(1993, November).
- 11 Stability of ICRF-Heated Plasmas in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
M.Ichimura, M.Inutake, R.Katsumata, A.Ishihara, A.Mase, H.Hojo, K.Ishii,
Y.Nakashima, I.Katanuma and T.Tamano,
5th Int. Toki Conf. Plasma Phys. Contr. Nucl. Fusion, Toki, (1993).
- 12 ECRH Experiments in the GAMMA 10 Tandem mirror,
T.Saito, Y.Kiwamoto, Y.Tatematsu, Y.Yoshimura, T.Takahashi, I.Katanuma and
T.Tamano,
Fifth International Toki Conference on Plasma Physics and Controlled Nuclear
Fusion, Toki, (1993, November) Paper No.16-P-4.
- 13 RF-Induced Flux, Potential and Flow Control in Magnetically Confined Plasmas,
H.Hojo,
The 3rd Workshop on Energy Quality and Control of Charged Particle Systems,
Tokai, JAERI, (1993, December).
- 14 プラズマ計測用二次元軟X線結像分光器の開発,
青田達也, 山口直洋, 佐藤裕希子, 池田勝則, 長山好夫, 間瀬 淳, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会 (1993年10月, 富山県立大学
工学部) p.48.
- 15 ガンマ10セントラル部における荷電交換中性粒子測定VI (ICRF発振出力変調実験
におけるイオンのエネルギーバランスの時間追跡),
庄司 主, 中嶋洋輔, 谷津 潔, 土屋勝彦, 福地祐介, 梅原 剛, 田中角栄,
犬竹正明, 市村 真, 長 照二, 山口直洋, 間瀬 淳, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会 (1993年10月, 富山県立大学
工学部) p.52.
- 16 ガンマ10におけるグローバル粒子バランスの検討II (ベニングゲージを用いた
Fuelingの評価),

土屋勝彦, 中嶋洋輔, 谷津 潔, 庄司 主, 田中角栄, 梅原 剛, 福地祐介,
山口直洋, 市村 真, 長 照二, 犬竹正明, 玉野輝男,

プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学
工学部) p.53.

17 ガンマ10セントラル部におけるイオン温度と中性粒子の挙動,

中嶋洋輔, 庄司 主, 谷津 潔, 土屋勝彦, 福地祐介, 梅原 剛, 田中角栄,
犬竹正明, 市村 真, 長 照二, 山口直洋, 間瀬 淳, 玉野輝男,

プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学
工学部) p.54.

18 Eta-i Effects on GAMMA 10 MHD Stability,

北條仁士, 桂川直己, 犬竹正明, 市村 真, 勝又竜太, 間瀬 淳, 板倉昭慶,

プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学
工学部) p.55.

19 ガンマ10極小磁場変換部の低温プラズマ計測とMHD安定性境界,

勝又竜太, 石原 篤, 古川静枝, 田中 覚, 佐々木功, 犬竹正明, 市村 真,
間瀬 淳, 北條仁士, 片沼伊佐夫, 玉野輝男,

プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学
工学部) p.56.

20 X/Oモード反射計によるAIC不安定性の測定II,

間瀬 淳, 佐竹秀和, 市村 真, 北條仁士, 徳沢季彦, 伊藤康彦, 勝又竜太,
大山直幸, 原田真吾, 板倉昭慶, 犬竹正明, 玉野輝男,

プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学
工学部) p.57.

21 マイクロ波による密度分布および揺動計測と電位の効果,

徳沢季彦, 間瀬 淳, E.J.Doyle, 伊藤康彦, 板倉昭慶, 佐竹秀和, 大山直幸,
原田真吾, 石井亀男, 犬竹正明, 玉野輝男,

プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学
工学部) p.58.

22 ガンマ10周辺プラズマの揺動計測と径方向電場に対する依存性,

石原 篤, 勝又竜太, 佐々木功, 田中 覚, 古川静枝, 犬竹正明, 市村 真,
間瀬 淳, 石井亀男, 北條仁士, 玉野輝男,

プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学
工学部) p.59.

23 タンデムミラーにおける端損失イオン・エネルギースペクトルの検討,

石井亀男, 田中俊明, 中田敏敬, 安倍 章, 香取岳博, 片沼伊佐夫, 板倉昭慶,
際本泰士, 谷津 潔, 玉野輝男,

プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学
工学部) p.60.

24 タンデムミラーにおける端損失イオン速度分布関数及び磁場軸上, 電位分布測定器

の開発2

- 中田敏敬, 石井亀男, 田中俊明, 安倍 章, 香取岳博, 谷津 潔, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学
工学部) p.79.
- 25 RFスタートアップモードにおけるGAMMA 10プラズマの電位構造の変化,
田中俊明, 石井亀男, 中田敏敬, 安倍 章, 香取岳博, 片沼伊佐夫, 際本泰士,
間瀬 淳, 板倉昭慶, 山口直洋, 谷津 潔, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学
工学部) p.89.
- 26 ガンマ10における端損失電子計測と軸方向電位分布の研究,
吉村泰夫, 斎藤輝雄, 際本泰士, 立松芳典, 高橋俊哉, 斎藤勇一, 坂本宜照,
石井亀男, 犬竹正明, 長 照二, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学
工学部) p.90.
- 27 開放端磁場における電位分布形成の検討,
立松芳典, 際本泰士, 斎藤輝雄, 吉村泰夫, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学
工学部) p.91.
- 28 ガンマ10のエンドプレートメッシュの効果,
斎藤輝雄, 際本泰士, 立松芳典, 吉村泰夫, 高橋俊哉, 坂本宜照, 石井亀男,
犬竹正明, 長 照二, 玉野輝男, 谷津 潔,
プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学
工学部) p.92.
- 29 極小ミラー磁場中に生成された高温電子の空間分布,
際本泰士, 斎藤輝雄, 立松芳典, 山口直洋, 片沼伊佐夫, 吉村泰夫, 水野 渉,
高橋俊哉, 倉田将史, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学
工学部) p.93.
- 30 非軸対称磁場中プラズマの3次元MHD平衡及び安定性に関する計算(I),
片沼伊佐夫, 立松芳典, 際本泰士, 斎藤輝雄, 石井亀男, 谷津 潔, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学
工学部) p.94.
- 31 ガンマ10のX線計測I(半導体X線検出器の研究・開発とプラズマ計測への適用),
長 照二, 平田真史, 高橋栄一, 小波蔵純子, 寺地徳之, 竹内恵子, 坂本宜照,
山口勝介, 吉村岳雄, 山口直洋, 谷津 潔, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学
工学部) p.95.
- 32 ガンマ10のX線計測II(バリア部電子のシリコン表面障壁型検出器を用いた計測),
寺地徳之, 長 照二, 平田真史, 高橋栄一, 竹内恵子, 小波蔵純子, 山口勝介,

- 谷津 潔, 玉野輝男,
 プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学工学部) p.96.
- 33 ガンマ10のX線計測III(プラグ部電子速度分布関数と電位生成の相関),
 小波蔵純子, 長 照二, 平田真史, 高橋栄一, 寺地徳之, 竹内恵子, 坂本宜照,
 山口勝介, 谷津 潔, 玉野輝男,
 プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学工学部) p.97.
- 34 ガンマ10のX線計測IV(サーマルバリア電位と, X線空間分布計測データの関係),
 竹内恵子, 長 照二, 平田真史, 高橋栄一, 寺地徳之, 小波蔵純子, 山口勝介,
 坂本宜照, 谷津 潔, 玉野輝男,
 プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学工学部) p.134.
- 35 ガンマ10のX線計測V(電子エネルギー閉じ込めに対する電位の効果),
 高橋栄一, 長 照二, 平田真史, 寺地徳之, 竹内恵子, 小波蔵純子, 山口勝介,
 石井亀男, 谷津 潔, 玉野輝男,
 プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学工学部) p.135.
- 36 ガンマ10の新型端損失粒子計測器の開発とプラズマ計測への適用,
 坂本宜照, 長 照二, 高橋栄一, 吉村岳雄, 桑原 建, 平田真史, 谷津 潔,
 玉野輝男,
 プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学工学部) p.136.
- 37 タンデムミラープラズマの回転測定II,
 長山好夫, 池田勝則, 山口直洋, 青田達也, 佐藤裕希子, 安田浩史,
 プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学工学部) p.137.
- 38 空間分解型入射分光器によるGAMMA10の分光,
 佐藤裕希子, 山口直洋, 青田達也, 池田勝則, 長山好夫, 間瀬 淳, 玉野輝男,
 プラズマ・核融合学会第10回秋季講演会(1993年10月, 富山県立大学工学部) p.138.
- 39 Density Fluctuations of Electromagnetic Plasma Waves in Ion Cyclotron Range of Frequencies
 H.Hojo, A.Mase, M.Inutake and M.Ichimura,
 プラズマ・核融合学会第11回年会, 論文賞受賞講演(1994年3月, 中部大学工学部).
- 40 アルベン・イオン・サイクロトロン不安定性の固有モード,
 勝又竜太, 犬竹正明, 市村 真, 石原 篤, 古川静枝, 田中 覚, 間瀬 淳,
 北條仁士, 玉野輝男,
 プラズマ・核融合学会第11回年会(1994年3月, 中部大学工学部) 26aB8.

- 41 非軸対称磁場中プラズマの3次元MHD平衡及び安定性に関する計算 (I I) ,
片沼伊佐夫, 立松芳典, 際本泰士, 斉藤輝雄, 石井亀男, 谷津 潔, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第11回年会 (1994年3月, 中部大学工学部) 26aB9.
- 42 RF-Induced Flux and Potential Control in Mirrors,
北條仁士, 桂川直己, 羽鳥尹承,
プラズマ・核融合学会第11回年会 (1994年3月, 中部大学工学部) 26aB10.
- 43 反射計によるICRF波動の測定,
間瀬 淳, 徳沢季彦, 佐竹秀和, 伊藤康彦, 大山直幸, 原田真吾, 板倉昭慶,
市村 真, 勝又竜太, 北條仁士, 犬竹正明, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第11回年会 (1994年3月, 中部大学工学部) 27aB1.
- 44 ガンマ10セントラル部における荷電交換中性粒子測定VII (有限要素法による
ICRF発振出力変調実験におけるイオンのエネルギーバランスの解析) ,
庄司 主, 中嶋洋輔, 谷津 潔, 土屋勝彦, 福地祐介, 梅原 剛, 田中角栄,
犬竹正明, 市村 真, 長 照二, 山口直洋, 間瀬 淳, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第11回年会 (1994年3月, 中部大学工学部) 27aB2.
- 45 ガンマ10セントラル部における不純物分光I (XUV分光),
佐藤裕希子, 山口直洋, 青田達也, 池田勝則, 長山好夫, 間瀬 淳, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第11回年会 (1994年3月, 中部大学工学部) 27aB3.
- 46 ガンマ10セントラル部における不純物分光II (VUV分光),
山口直洋, 佐藤裕希子, 青田達也, 中嶋洋輔, 池田勝則, 長山好夫, 間瀬 淳,
玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第11回年会 (1994年3月, 中部大学工学部) 27aB4.
- 47 サーマルダイクにおける低温電子のミラー反射率の評価,
立松芳典, 際本泰士, 斉藤輝雄, 片沼伊佐夫, 吉村泰夫, 高橋俊哉, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第11回年会 (1994年3月, 中部大学工学部) 27aB5.
- 48 A I C不安定性とそのプラズマパラメタに及ぼす影響,
市村 真, 勝又竜太, 犬竹正明, 石原 篤, 田中 覚, 古川静枝, 北條仁士,
間瀬 淳, 中嶋洋輔, 石井亀男, 板倉昭慶, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第11回年会 (1994年3月, 中部大学工学部) 27aB6.
- 49 ガンマ10における端損失粒子計測と電子分布の研究,
吉村泰夫, 斉藤輝雄, 際本泰士, 立松芳典, 高橋俊哉, 斎藤勇一, 倉田将史,
坂本宜照, 長 照二, 犬竹正明, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第11回年会 (1994年3月, 中部大学工学部) 27aB7.
- 50 ガンマ10バリア部の内側ミラーズロート位置における電位測定,
安倍 章, 石井亀男, 田中俊明, 中田敏敬, 香取岳博, 片沼伊佐夫, 板倉昭慶,
谷津 潔, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第11回年会 (1994年3月, 中部大学工学部) 27aB8.
- 51 ガンマ10の電子閉じ込めに対する電位の効果,
高橋栄一, 長 照二, 平田真史, 寺地徳之, 竹内恵子, 小波蔵純子, 山口勝介,

- 石井亀男, 谷津 潔, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第11回年会 (1994年3月, 中部大学工学部) 27aB9.
- 52 ガンマ10における端損失高エネルギーイオンの測定,
斉藤輝雄, 倉田将史, 吉村泰夫, 高橋俊哉, 立松芳典, 際本泰士, 犬竹正明,
市村 真, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第11回年会 (1994年3月, 中部大学工学部) 27aB10.
- 53 タンデムミラーにおける端損失イオンエネルギースペクトルの検討2,
石井亀男, 田中俊明, 中田敏敬, 香取岳博, 安倍 章, 片沼伊佐夫, 板倉昭慶,
市村 真, 際本泰士, 谷津 潔, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第11回年会 (1994年3月, 中部大学工学部) 27aB11.
- 54 タンデムミラープラズマの回転測定III,
池田勝則, 長山好夫, 山口直洋, 青田達也, 佐藤裕希子, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第11回年会 (1994年3月, 中部大学工学部) 27aB12.
- 55 Tomography of MHD Activities on TFTR,
Y.Nagayama, B.Budny, E.Fredrickson, A.Janos, K.McGuire,
プラズマ・核融合学会第11回年会 (1994年3月, 中部大学工学部) 27aD6.
- 56 プラズマ計測用2次元軟X線分光器の開発2,
青田達也, 山口直洋, 佐藤裕希子, 池田勝則, 長山好夫, 間瀬淳, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第11回年会 (1994年3月, 中部大学工学部) 27aE9.
- 57 半導体検出器のX線感度特性と理論解析,
平田真史, 長 照二, 小波蔵純子, 寺地徳之, 高橋栄一, 竹内恵子, 坂本宜照,
山口直洋, 前沢秀樹, 谷津 潔, 玉野輝男,
プラズマ・核融合学会第11回年会 (1994年3月, 中部大学工学部) 27aE10.

<学会賞等>

1 プラズマ・核融合学会 第2回論文賞

Density Fluctuations of Electromagnetic Plasma Waves in Ion Cyclotron Range of
Frequencies,

H.Hojo, A.Mase, M.Inutake and M.Ichimura,

平成6年3月25日