

## VIII プラズマ

### VIII-1 ガンマ10グループ

教授	谷津 潔、玉野輝男、長 照二
助教授	石井亀男、北條仁士、斉藤輝雄
講師	板倉昭慶、中嶋洋輔、近藤（平田）真史、立松芳典
助手	吉川正志
技術主任	平田久子
技術専門職員	大川和夫
大学院生	（46名）

#### 共同研究者

助教授	間瀬 淳、際本泰士、市村 真（以上 物理工学系）
講師	片沼伊佐夫（物理工学系）
講師（研究機関研究員）	KUBOTA, Shigeyuki、濱田稔
準研究員	BRUSKIN, Leonid
技官	杉山昭彦、和所保規、遠藤洋一、嶋 頼子
大学院生	（13名）

### 【1】序論

研究面では、これまで高周波加熱によりイオン温度10 keVを達成するなど大きな成果を上げているが、高イオン温度プラズマの電位閉じ込めでは、密度上昇は少なかった。この原因として、高周波で加熱されたプラズマに電位形成のためのマイクロ波加熱を行った場合、アンカー部からプラグ・バリアー部において、径方向損失が生じていることが考えられ、その改善策としてマイクロ波と高周波の加熱パターンを軸対称化するよう試みた。その結果、電位閉じ込めによってプラズマ密度が50%上昇するショットが得られるようになった。この実験において、電位を片側のプラグ部のみに形成した場合、端損失電流は電位を形成した側では減少し、反対側では増加しており、電位によるイオンの反射を明確に示している。更にこの測定から、アンカー部からプラグ・バリアー部における径方向損失を精度良く見積もることができ、径方向損失の状態を見ながら運転条件を調節することができるようになった。その結果、トランジット粒子の一回の走行における径方向損失が、前の運転条件では数10%あったものを、3%以下に減少させることができ、50%の密度上昇を達成することができた。径方向損失をさらに減少させ、アンカー部からプラグ・バリアー部における電場の乱れを減らす目的で、扇形の磁束部分に接近して導体板を設置してプラズマ境界における電位を固定する試みが実施された。今年度には新たな観点から見た実験を開始することができ、今後の進展が期待される。

教育においても、大学院生41名、学類4年の卒業研究生18名の研究指導にあたり、センターは重要な役割をはたしている。同時にセンターの研究も、若い研究者によって活性化されている。

国際交流においては、大きな進展が得られた。8月にモスクワのクルチャトフ研究所ならびにノボシビルスクのブドカー研究所と共同研究を進めて行くことが合意された。10月には国際原子力機関主催の Technical Committee Meeting "Innovative Approaches to Fusion Energy" の席上にてブドカー研究所とプラズマ研究センターとの間で、学術交流協定を締結することが合意され、本学国際交流委員会と学長の承認を得て、平成10年2月16日付けで「日本国筑波大学プラズマ研究センターとロシア連邦ブドカー原子物理学研究所との学術交流に関する協定書」が締結された。次年度には、この協定に沿った学術交流が予定されている。また、クルチャトフ研究所とも同様な協定を締結する話し合いが開始されている。

## 【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では、イオンを高周波で加熱する高イオン温度モードにおいて、イオン温度10 keVが達成されている[1]。しかし、このモードにおいて、電位閉じ込めによる密度上昇は小さかった。この原因として、高周波(ICRF)で加熱されたプラズマに電位形成のためのマイクロ波加熱(ECH)を行った場合、アンカー部からプラグ・バリアー部において、径方向損失が生じていると考えられ、その改善策としてマイクロ波と高周波の加熱パターンを軸対称化しよう試みた。その結果、電位閉じ込めによってプラズマ密度が50%増加するショットが得られるようになった。この条件において、プラグ電位を片側に形成し、電位を形成した側と反対側の端損失電流を測定することにより、径方向損失を精度良く測定することができた。また端損失イオンのエネルギー分析からもプラズマの電位閉じ込めが示され、閉じ込め電位の時間変化も求められた[2]。

図1(a)にガンマ10の磁場強度の軸方向分布と、本実験における加熱系の位置を示す。図1(b)、(c)は、端損失イオン電流とセントラル部線密度の波形を示している。西側プラグ部だけにECHを行った場合、西側にプラグ電位が形成され、電位による反射によって西側の端損失イオン電流は減少し、東側の端損失イオン電流は、西側で反射されたイオンが加わって増加する。東側プラグ部だけにECHを行った場合も同じ様に端損失イオン電流の変化が観測される。両プラグ部にECHを行った場合は、東西とも端損失電流は減少し、セントラル部線密度が上昇する。これらの結果はECHの印加により、プラズマ閉じ込め電位が形成され、電位によりプラズマが閉じ込められていることを明確

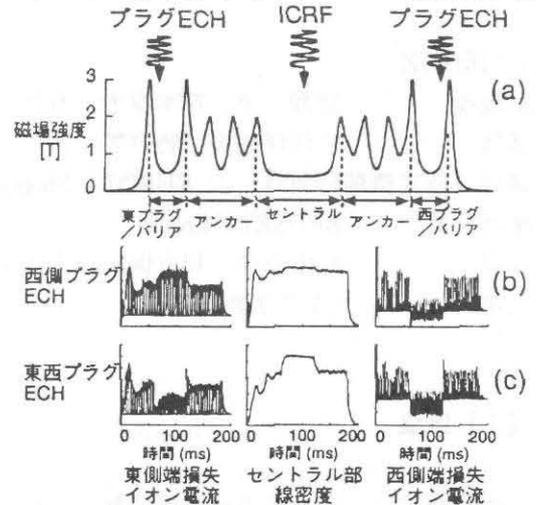


図 1

に示している。このショットにおけるプラズマパラメータは、プラズマ密度  $n$  が  $1.8 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$ 、電子温度  $T_e$  とイオン温度  $T_i$  が各々 90 eV と 4 keV である。この ICRF で維持されたプラズマの閉じ込め時間  $\tau$  は、端損失電流から式  $\tau = eNI$  を用いて求めると 10 ms になる。ここで  $e$  は単位電荷、 $N$  は軸に近い磁束管の端から端の間に含まれる粒子数、 $I$  はその磁束管からの端損失電流である。

図2(a)、(b)、(c)は各々、図1(c)のショットにおけるセントラル部線密度、反磁性信号、端損失電流の波形を示している。電位閉じ込めにより、線密度は30%、反磁性信号は10%増加している。端損失電流は閉じ込め電位が形成されると減少し、その後セントラル部とアンカー部が閉じ込められた粒子で満たされるにつれて徐々に増加し、ECHが切れた時刻で閉じ込められていた粒子が流失することにより、バーストが観測される。閉じ込め電位が形成されている間、粒子の生成量  $h$  の変化は非常に少ないと考えられるが、端損失電流は閉じ込め電位形成の前後の値に達していない。これは径方向損失によるものと考えられ、径方向損失はアンカー部の磁束が扇状に広がった部分、あるいはプラグ・バリアー部で生じているものと考えているが、場所はまだ特定されていない。径方向損失の量は片側ブラッキングの実験で、電位を形成した側と、反対側への損失電流を測定することにより、求めることができ、図2のショットでは、粒子がアンカー部からプラグ・バリアー部を通過する間の

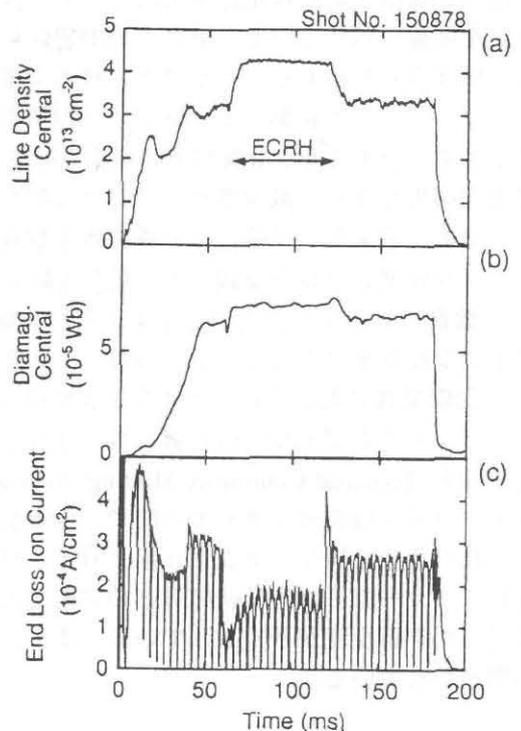


図 2

損失は9%と求められた。現在迄で、径方向損失が最小のショットでは、径方向損失量3%以下と求められ、そのショットにおいて線密度の増加50%が得られている。

図3は密度が50%増加したショットの測定値で、(c)は端損失イオンのエネルギー分布を示す。エネルギー分布(d)、(e)、(f)は図(b)中の各々の時刻に対応している。時刻(d)の分布は、ECHを印加する前のICRFで維持されているプラズマのものである。(e)はECHが印加された直後の分布で、エネルギーの低い部分は電位で反射されて、ほぼ無くなっている。このことも、電位の形成と電位によるイオンの反射を明確に示している。閉じ込め電位の大きさは、(d)と(e)の分布のピークのエネルギー差に対応している。後の時刻(f)の分布では、閉じ込め電位は減少しているが、エネルギー0.3keV以上の領域で分布(d)よりも電流が増加しており、閉じ込められている間にイオンが加熱されていることを示している。図2のECH印加時の反磁性信号の増加は、このイオン加熱に対応している。このショットにおける閉じ込め電位 $\phi_c$ と $T_{i\parallel}$ の値を図の下の表に示す。

ここに示した各々の結果は、電位形成と電位閉じ込めを明確に示している。アンカー部からプラグ・バリアー部において径方向損失の存在が示されたが、径方向損失率3%以下の条件が達成されている。径方向損失の原因として、アンカー部の扇状の扁平な磁束部分における電場の乱れが考えられ、電場の乱れを軽減する施策の一つとして、プラズマ境界部の電位を固定するために、プラズマに隣接して導体板を設置した。この実験は平成10年5月から開始される。

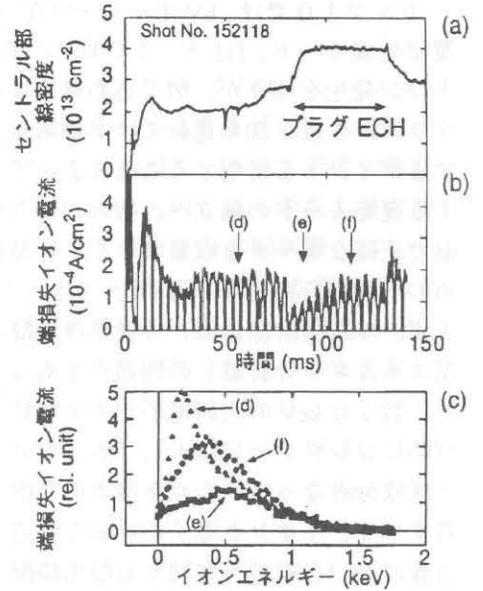
今後は径方向損失の一層の軽減を図り、さらに大きい密度上昇を達成するとともに、閉じ込め電位の形成、維持機構について研究を進めて行く予定である。

[1] T.Tamano, et al., in Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research 1994 (Proc. 15th Int. Conf. Seville, 1994), Vol.2, IAEA, Vienna (1995) p399.

[2] K.Yatsu, et al., submitted to Journal of Plasma and Fusion Research (プラズマ・核融合学会誌).

### 【3】 ガンマ10のプラズマ閉じ込め電位の生成物理機構と比例則

タンデム・ミラー型プラズマ閉じ込め装置の特徴である、電位によるプラズマ閉じ込め・制御に関して、(1)ガンマ10装置の主要な二つのプラズマ生成・加熱運転モードである、「高電位生成モード」[1]と「高温イオン・モード」[2]の両者に共通する基礎物理機構、並びに比例則を研究し、それぞれのモードの「電子温度と生成電位間の関係」を新たに導入し、両者の電位生成機構として、「統一的に強い電子サイクロトロン加熱(ECH)理論で説明できる」ことを初めて示した。本研究は、将来の両モードを統合し、高いプラズマ閉じ込め電位を持ち且つ高イオン温度を持つ、両モードの優れた特徴を両立させた更なるプラズマ生成・閉じ込めへの進展への物理的基盤を与える、本質的研究結果である。[3] (2) 加えて、生成電位が、イオン・エネルギーにもたらす効果として、磁力線方向のエネルギー輸送について解析し、生成電位が有効に輸送を制御していることを見出し、定量的にその評価を行った。[4] (3) また、これらの成果を得るために本質的に寄与した、「新型斜入射タイプ静電イオン・エネルギー・スペクトル分析器」を、「従来型の静電エネルギー分析器」の構造を一新して独自の新しいアイデアに基づき開発した。粒子軌道シミュレーション・設計・イオン源による特性の評価等を行い、静電型ながら電子の影響が全く無い等、従来型を著しく凌駕する性能を実現した。[5]



	$\phi_c$	$T_{i\parallel}$	$\phi_c / T_{i\parallel}$
87ms	350V	350eV	1
114ms	175V	400eV	0.44

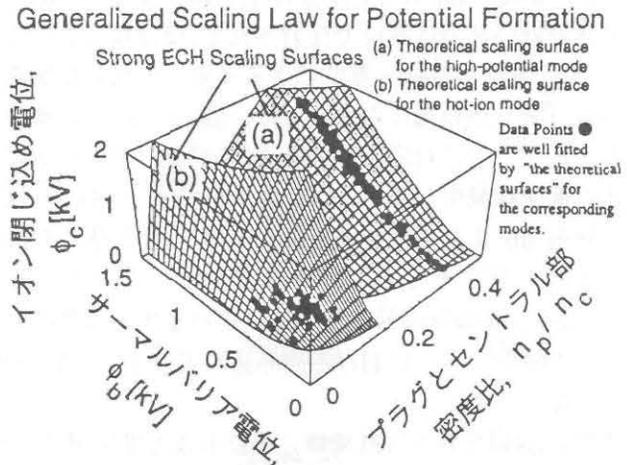
図3

ガンマ10では、kVオーダーの高い閉じ込め電位を生成するが、イオン温度が1 keV程度の、「高電位生成モード」[1]と、10 keVの高イオン温度を生成し重水素-重水素核融合反応に基づくニュートロン発生を伴うが、閉じ込め電位は0.5 kV程度の、「高温イオン・モード」[2]の、2つの典型的プラズマ生成・加熱運転モードがある。この2種類の運転モードに於ける電位生成の物理機構に共通するポイントを解明することによって、今後、高いイオン温度をもち、且つ高い閉じ込め電位の両立する運転モードの確立へ、指針が得られるものと考えられる。我々は、これらの基盤を与える、詳細で正確なデータを収集すべく、新型計測器開発から始め[5]、上述の物理機構解明・比例則確立のための一連の研究成果を纏めた。[3]

先ず、本新型計測器は、「従来型の静電エネルギー分析器」の問題点であった、数10 keVの入射電子がイオン計測時にコレクターに流入し、大きなノイズ成分となっていた点を抜本的に改善すべく、イオンと電子の詳細な軌道計算に基づき両者を弁別する静電場配位を求め、実際に計測器の設計・開発・イオン源を用いた基礎特性検証実験を行い、その設計性能を実証した。また、イオン・エネルギー・スペクトルのプラズマ半径方向分布を単一ショットで測定することのできる、新型計測器アレイを開発し[6]、加えて、半導体イオン検出器を端損失イオン計測に適用し[7]、より高感度の測定ができることを示した。

次に、この新型スペクトル分析器を用いて、上記の二つの主要モードの統一的な物理機構の研究を行い、両モードそれぞれの「電子温度と生成電位間の関係」[1,3,8]を新たに導入し、これを媒介変数にすることによって、プラグ部のイオン閉じ込め電位と、バリア部のサーマルバリア電位の両者の間に、「強いECH理論」に基づく電位生成比例則が成立していることを、両モードを初めて統一して示した。これにより、両モードの今後の結合・統合・発展への物理的・理論的裏付けを、初めて得た。[3]

更に、本新型計測器を用いて、閉じ込め電位をガンマ10装置片側端部にのみ生成すると、反対側の装置端部へ電位で反射されたイオンの、エネルギー・スペクトルを直接測定した。この結果、「電位生成の効果」として、プラズマの磁力線方向のエネルギー輸送が、生成電位により有効に制御されていることを見出し、定量的にその評価を行った。[4]



- [1] T. Cho et al., Phys. Rev. Lett. 64, 1373 (1990).; Phys. Rev. A 45, 2532 (1992); Phys. Rev. A 46, 3024 (1992).
- [2] Y. Kiwamoto et al., Physics of Plasma 3, 578 (1996).
- [3] T. Cho et al., Submitted to the International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Novosibirsk, 1998).
- [4] K. Yatsu et al., IAEA TCM (Pleasanton, 1997); and Submitted to 17th IAEA Int. Conf. on Fusion Energy, (Yokohama, 1998).
- [5] Y. Sakamoto et al., Rev. Sci. Instrum. 66, 4928 (1995).
- [6] Y. Sakamoto et al., Fusion Engineering and Design 34-35, 543 (1997).
- [7] T. Cho et al., Rev. Sci. Instrum. 68, 324 (1997).
- [8] J. Kohagura et al., Phys. Rev. E 56, 5884 (1997).

#### 【4】 ガンマ10 プラズマへの水素ペレット入射計画

タンデムミラープラズマ装置ガンマ10では、トカマクに比べて低い加熱パワーでのオペレーションを行っており、周辺部での中性粒子数を増やさずに中心部への粒子補給を行うことを目的として微小固体水素ペレット入射を計画した。単純ミラーではペレットを入射しても端損失によって密度上昇は望めないが、タンデムミラーであればポテンシャル閉じ込めによりペレット入射による密度上昇が期待できる。微小固体水素ペレット入射実験は、粒子補給の他にも、プラズマ密度の詳細制御、ペレットの溶発(アブレーション)過程の解明、粒子輸送現象の解明、アブレーションの結果生じる局所的な超高ベータプラズマの磁力線に沿う方向、及び横切る方向への伝搬機構の解明など多くの興味深い研究対象となる。タンデムミラー型装置へのペレット入射は世界初の試みであり非常に特色のある成果が期待できる。また、ガンマ10本体入射ポートの制限により、ガイドチューブを用いてペレットをガンマ10本体まで誘導しなければならない。そのため、長いガイドチューブ内でのペレットの蒸発、変形なども重要な研究課題である。このような微小固体水素ペレットのガイドチューブを用いた輸送技術は、新しいプラズマ制御技術として発展しつつある。

ペレット入射によりガンマ10の電子密度を現在の値の2-10倍程度にするためには、ペレットはサブミリメートルという微小なもので、その速度も数100m/s程度のものが必要となる。そこで、米国DOEとオークリッジ国立研究所(ORNL)の協力を得て、ATFステラレータで使用されていたペレット入射器に改造を加えたサブミリメートルサイズのペレット入射器を入手した。このペレット入射器は、銃身の中に水素ガスをつめて、銃身を液体ヘリウムで超低温に冷やして凍らせ、高圧ガスで押し出して発射するタイプのものである。この銃身の直径は0.39mmから0.99mmまでの4種類合計8本が整備されている。図1にペレット入射器外観図を示す。このペレット入射器をガンマ10本体に取り付ける前に、ペレット入射器のペレットサイズ、速度の制御特性、計測系の動作等の確認を行った。ペレットの長さは直径に対してアスペクト比0.75~2まで制御でき、速度は700~1100m/sの範囲で制御できることが分かった。ペレットの形状の撮影、マイクロ波を用いた質量計測も可能であることが分かり、ペレット入射装置がガンマ10プラズマ実験に対して、必要な条件を備えていることを確認した。さらに、1mから10mまでのテフロンチューブをガイドチューブとしたペレット輸送の予備実験を行い、ペレットが確かに通過してきていることを確認した。最後に、ガンマ10本体へのペレット入射器設置を完了し、実際にプラズマ中へのペレット入射実験を数回行った。実験ではICRF生成プラズマに、内径0.79mmの銃身を用いて生成した水素ペレットを入射した。H $\alpha$ 検出器信号によって、ペレットのプラズマへの侵入を確認することができた。また、僅かだが、プラズマ線密度の増加端損失イオン電流の増加も見られた。

また、ガンマ10プラズマ入射実験に先駆けてアブレーションについての知見を得るために、現在広く用いられているペレットのアブレーションのモデル(NGS(中性粒子遮蔽)モデル[Parks-Turnbull])に基づいた考察を行い、ペレットを入射するセントラル部において電子サイクロトロン共鳴加熱による数10keVのエネルギーを持つ高温電子が存在する場合や、開放磁場配位であるためののアブレーションへの影響等を考慮した。

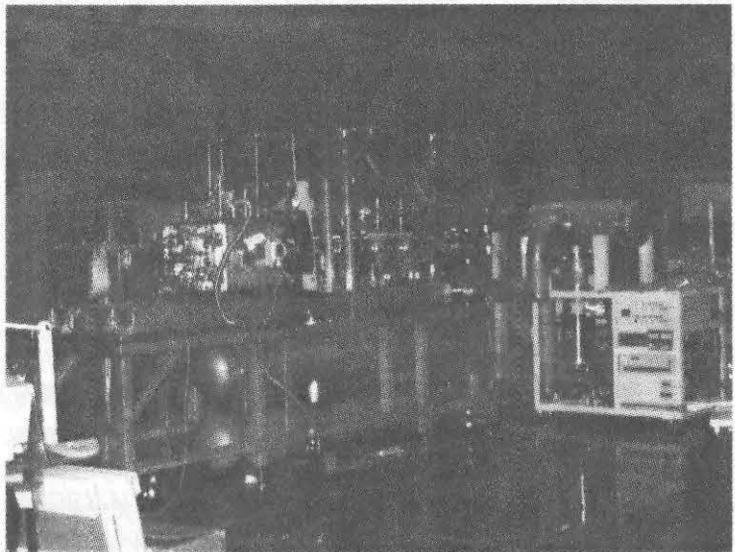


図1 ペレット入射器外観

## 【5】 電子温度計測の新原理・新理論の提唱

我々は、(i)世界の主要なプラズマ閉じ込め装置に於いて、この四半世紀にわたり広く用いられてきた半導体検出器の[9]、X線に対する感度理論を新たに提唱し[10]、(ii)その物理基礎過程を、放射光を用いて実証し、(iii)本理論がプラズマ計測データの解析に与える種々の影響を明らかにすると共に、(iv)本理論に基づいて新型X線検出器を開発し[11]、(v)実際にプラズマ計測へ適用した[12]。(vi)更に、本理論を拡張した新しいX線計測原理を見出し、電子温度の新しい計測法の提唱[13]を行っている。

### (1) 半導体X線計測器の新理論の提唱とそれによるプラズマ計測値への影響

半導体X線検出器は、プラズマ電子閉じ込め、電子加熱、並びにプラズマのエネギー輸送の研究を行う上で、電子温度や電子速度分布関数等の計測に広く用いられてきた。

この様に広くプラズマ計測に普及してきた半導体検出器の感度理論は、有名なプライスの教科書 [9] を含め、教科書全般に亙り長い間、「半導体検出器内に形成された、強電場の存在する空乏層中に生成された、正孔と電子の量により決定される」という定説 [9] が信じられ、実際にこの考え方に従い、これまで全てのプラズマ閉じ込め装置で、プラズマの電子温度解析が行われてきた。

ところがマサチューセッツ工科大学(MIT)の Wenzel と Petrasso は、この定説がシリコン表面障壁型 (SSB) 検出器の X 線感度を説明できない事を指摘し、「物理機構は不明であるが、空乏層のみならず、無電場基板領域も含めたシリコン結晶基板全体が感度領域を成す」という論文を発表した。[14] これは、X線によるプラズマ電子温度解析にとって、その値等を修正しなければならない事を意味し、多くのプラズマ閉じ込め実験装置が、電子温度解析に、これら教科書の定説を実際に使用していたため、半導体を用いた X 線計測データの解析法は、混迷を深めることとなった。

一方、我々は、上述の「教科書の感度理論」[9] 及び「MIT の仮説」[14] では、シンクロトロン放射光を用いた高精度 X 線エネルギー感度特性データが説明できない事を明らかにし、これらに代わる、半導体の無電場基板領域に於ける X 線生成電荷の三次元拡散効果を物理基礎過程とする、多チャンネル検出器への拡張・適用・定式化を含めて、新たな理論を提唱し、この理論が実験データをよく説明できる事を示した [10-13]。即ち、本感度理論の拡散効果を検証する目的で、チャンネル幅が  $10\mu\text{m}$  という分解能をもつ、欧州合同原子核研究機関(CERN)のマイクロストリップ検出器を改造した検出器を用い、シンクロトロン放射光を利用した実証実験を行った。まず、単一エネルギーの入射 X 線に対し、半導体検出器内で生成された電荷の拡散分布を計測し、我々の感度理論の予想と比較した。この結果、部分空乏層条件、即ち拡散効果を生じる無電場基板領域が存在する場合は、電荷拡散長が  $100\mu\text{m}$  のときの感度計算とデータがよく一致する事を明らかにした。また、この検出器の電荷拡散長を、本実験方法とは独立な方法であるフォトルミネッセンス法により求めると、上記の値とよく一致する事が確かめられた。更に、この単色 X 線による電荷拡散長のデータと、全く独立に半導体検出器の印加電圧-静電容量特性より求めた空乏層厚のデータを、我々の理論式に代入し、半導体検出器の X 線エネルギー特性を予想した。この理論予想と、放射光を用いた半導体検出器の X 線エネルギー感度特性データを比較しても、両者はよく一致する事が確かめられた。以上より、我々の半導体 X 線検出器新感度理論の信憑性、即ち本理論の物理的本質的效果の一つである無電場基板領域中の電荷拡散現象の存在が実証され、拡散効果を考慮した本感度理論により検出器の感度を評価できる事、即ち「一般の半導体検出器の感度公式」を明らかにし [10-13]、国内外のプラズマ X 線計測 [15-18] の一般の利用に供した。

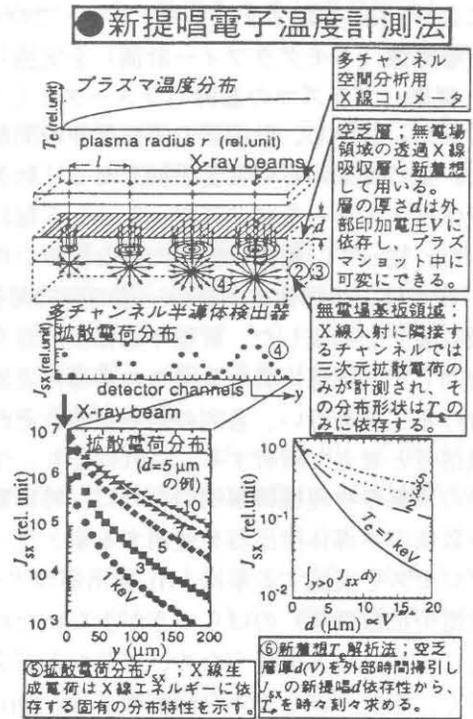
更に、従来の理論と本感度理論を用いた電子温度解析結果を比較して、条件により数十倍もの電子温度の差異が生じる事を明らかにした。また、本感度理論から、多チャンネル半導体検出器により計測された X 線の空間分布は、真の X 線分布形状よりもブロードになる事を明らかにし、その補正法の定式化を行った。[10,13] 特に、Hモード等のプラズマの閉じ込めが良い状態の時に見られる、プラズマ周辺部に於ける温度や密度の急激な変化を想定した場合に、真の放射 X 線分布は、無電場基板領域に於ける三次元拡散効果により、実際の形状よりもブロードな分布を得る事が本感度理論より得ら

れた。この結果は、X線分布計測から、これらの閉じ込めモードの物理機構の解明に必要なプラズマの拡散係数やプラズマパラメータの傾き、ブートストラップ電流の評価に際しても、或いはセパトリックや有理面の位置や形状を得るためにも、本感度理論による検出器出力補正が緊要である事を示すものである。[15-18]

(2) プラズマ電子温度計測の新原理・新手法の提唱

本拡散効果を応用した、従来の電子温度計測法とは原理的に全く異なる新しい電子温度計測法を提唱する。本新電子温度計測法は、三次元拡散電荷分布の入射 X 線エネルギー依存性を利用している。ある電子温度分布をもつプラズマの X 線計測を行う場合に、半径方向に数 10 $\mu\text{m}$ 程度の幅のチャンネルが並んだ多チャンネル半導体検出器に、半径方向に数点のピンホール/スリットをもつコリメータを設置する。その間隔は電荷拡散長より十分に長くとる。一方で、部分空乏層型多チャンネル半導体検出器の或るチャンネルに、単色 X 線を入射した際に、検出器出力である X 線生成電荷の三次元拡散分布を我々の感度理論により計算すると、入射 X 線の吸収により発生する電荷は、検出器深さ方向に X 線エネルギーに固有の分布を形成する。このため、この電荷が三次元的な熱拡散を起した結果形成する拡散電荷分布もまた X 線エネルギーに固有の傾きをもつ。この単色 X 線による拡散電荷分布を、或る電子温度のプラズマから輻射される X 線的全エネルギーについて積分し、電子温度に対する拡散電荷分布として表す。

この分布の傾きは、従来の電子温度算出法である制動輻射 X 線の直接測定と異なり、プラズマ密度に依存しない大きな利点をもつ。この理論曲線と、上述の各半径方向の電子温度に対応して得られる拡散電荷出力分布を比較する事により、電子温度の径方向分布計測が可能となる。更に大きな特徴として、従来の計測法では感度領域であった空乏層を、その下の拡散電荷信号を形成する無電場基板領域に対する「X線吸収体層」として新しく発想する。空乏層の厚さは、印加電圧に依存する為、外部から自由にその厚さを連続的に制御する事が可能である。この性質を利用し、ミリ秒オーダーで印加電圧を周期的に変化させると、「X線吸収体層」である検出器空乏層厚を、単一プラズマショット間に何回も変化させる事ができ、この空乏層厚依存性より電子温度が算出できる。この様な新手法でプラズマ電子温度の時間空間分布を一ショットで決定する事ができ、再現性/周期性のない単発現象である例えばディスラプション等の計測に利用できる。



[9] W. J. Price, *Nuclear Radiation Detection* (McGraw-Hill, New York, 1964) Chap.8.  
 [10] T. Cho et al., Phys. Rev. **A46**, 3024 (1992); Nucl. Instrum. Methods **A348**, 475 (1994); J. Plasma and Fusion Research **71**, 62 (1995);  
 [11] M. Hirata et al., Rev. Sci. Instrum. **66**, 2311 (1995).  
 [12] T. Cho et al., Rev. Sci. Instrum. **68**, 324 (1997).  
 [13] J. Kohagura et al., Phys. Rev. E **56**, 5884 (1997).  
 [14] K. W. Wenzel et al., Rev. Sci. Instrum. **59**, (1988) 1380.  
 [15] T. Cho, R. T. Snider, DIII-D Team et al., Rev. Sci. Instrum. **66**, 540 (1995).  
 [16] T. Cho, M. Bessenrodt-Weberpals, ASDEX-U Team et al., Rev. Sci. Instrum. **68**, 774 (1997).  
 [17] J. Kohagura et al., Fizika Plazmy **24**, 218 (1998)  
 [18] T. Cho, JET Team et al., Submitted to *12th Topical Conference on High-Temperature Plasma Diagnostics* (Princeton, 1998).

【6】 単一プラズマ・ショットの電子温度計測のための新型マトリクス型半導体X線検出器の開発

単一プラズマ・ショットで、プラズマX線の時間・空間分布を求めることを目的として、(i)不感層を極く薄く正確に作成し、これを計測器と一体の「X線吸収体」と発想することにより、(ii)また、種々の厚さの不感層を各列毎に生成した「マトリクス形状半導体検出器」を新たに開発・作成することにより、(iii)少数プラズマ・ショットでの50eV-50keV領域のX線計測に基づく初めてのX線プラズマ断層撮像(トモグラフィ計測)を実施し、ガンマ10セントラル部電子温度の空間分布を求めた。

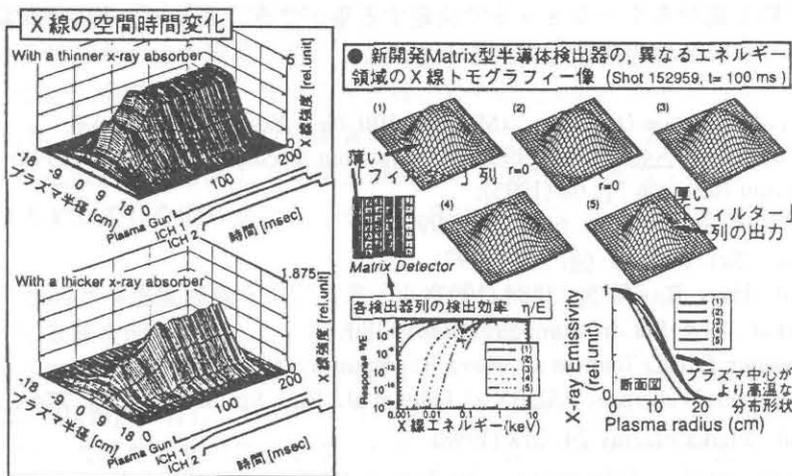
従来、プラズマの基幹パラメータとしての電子温度の計測には、X線測定は標準的に広く用いられてきた。しかし、計測器の不感層等の問題から、100 eV以下の領域も含めたX線計測は、困難を極めた。更に従来からの常套手段である「軟X線吸収法」を電子温度解析に用いた場合、検出器前面の吸収体フィルターをプラズマ・ショット毎に変える必要があり、再現性の良い多数ショットが必要であった。従って、鋸歯状振動の様な詳細な再現性の期待できない現象の解析は困難であった。

我々は、半導体検出器の一連の研究開発成果を基盤として、マトリクス形状の列毎に同一「X線吸収層」を形成した、新型半導体検出器を設計・製作した。この検出器では、プラズマの半径方向に対向して、列毎に異なる厚さの半導体表面の絶縁層/不感層(SiO<sub>2</sub>)等を「X線吸収体」として位置付ける工夫を行い、各列の信号がそれぞれ同一吸収体(同一エネルギー帯)のプラズマ半径方向のX線信号と考えて解析する。これにより、1ショットで時々刻々に、電子温度算出を行うことができ単発の現象の物理機構解明のために、特に重要な意義を持つ。

多数個の半導体検出器を使用する事と比べ、この検出器の同一シリコン・ウエハー上で一度に半導体プロセスを実施する事は、(i) 検出器のベースとなるシリコン・ウエハーの特性(不純物濃度/X線生成電荷拡散長等)のばらつきが少ないため、感度のばらつきが小さい。(ii) 半導体プロセス時に、一度にイオン注入を行うため、ばらつきが少ない。そのため空乏層厚、並びに不感層厚を一様に製作し易く、感度のばらつきを抑制できる。(iii) 1回のプロセスで製作できるため、コスト・パフォーマンスがよい。(iv) 無駄なケーシング・スペースがいらぬのでコンパクトな検出器の設計・製作、並びに検出器の実装密度を高くできる等の利点がある。

この検出器をガンマ10セントラル部に設置し、X線計測を行った。X線信号の時間変化を代表して2列分のデータ(即ち、同一ショット且つ同一空間の、2エネルギー帯域のX線輻射計測生データ)を図示する。より高エネルギーのX線はプラズマ中心付近の高電子温度領域から輻射されていることも、データから直ちに分かる。この2列分の検出器出力データに加え、更にまとめて5列分の同一ショット且つ同一空間のX線トモグラフィ解析データを図示する。プラズマ内部の各エネルギー領域のX線分布に変換された2次元図が得られ、これより直ちに電子温度が時々刻々求められる。[19]

[19] J.Kohagura et al., Submitted to Rev. Sci. Instrum.



## 【7】 広エネルギー領域・高感度半導体イオン検出器の開発

独自の新しいアイデアに基づき設計・開発した「新方式斜入射型イオン・エネルギー・スペクトル分析器」[20]のイオン検出効率を更に高めるために、従来の金属プレート・コレクターに代えて、「低エネルギー・イオンにも十分に感度のある新開発半導体イオン検出器」[21]をコレクターとして用いるべく、半導体検出器新感度理論を基盤に、今回新たに研究開発し、その特性をイオン源で検証し、プラズマ計測に適用した。[21,22]

「新方式斜入射型イオン・エネルギー・スペクトル分析器」[20]は、タンデム・ミラー型プラズマ閉じ込め装置の特徴である、開放磁場端部からのプラズマ損失イオンを計測し、ガンマ10内に生成された電位、並びにイオン温度を明らかにすることを、主目的としている。

そのコレクターに半導体を使用することにより、(1)電子-正孔対の生成量が入射イオン・エネルギーに比例するために、金属プレートよりも信号対ノイズ比が大きく取れる事。(2)より高エネルギー・イオンに大きな感度を持つため、イオンの量がエネルギーと共にマックスウェル分布で減少する場合にも、高エネルギー・イオン計測が、高感度で有利にできる事。(3)信号が大きいため、エネルギー分解能を上げられる事等、データ解析に大きな貢献が期待される。

本研究では、半導体検出器のイオン・エネルギー感度特性を、単色イオン・ビームを用いて測定した。更に、これを静電型イオン・エネルギー・スペクトル分析器のコレクターに設置し、GAMMA10の端損失イオン計測へ適用した。[21,22]

イオン・ビームを用いた感度較正実験の結果、本半導体検出器では(1)keVレンジで、金属コレクターを持つファラデーカップに比べ、2桁以上も高感度である事と同時に、(2)従来その計測が困難であった0.1keV近傍のイオンも検出できる事が示された。[21,22]

次に本検出器をGAMMA10端損失イオン計測に適用した結果、数十eVの低エネルギー・プラズマイオンから、数keV領域の高エネルギー・イオンまで高出力が得られていることが分かる。これは本検出器の持つ高感度特性によるものである。

この新型計測器が多数個内蔵された「新型イオン・エネルギー・スペクトル分析器アレイ」を設計製作し、ガンマ10に設置した。これにより端損失イオンの空間分布を単一ショットで計測し、タンデム・ミラーの、イオンの空間的・時間的振舞いと、空間電位構造の相関の研究を進める基盤を得た。

[20] Y. Sakamoto et al., Rev. Sci. Instrum. **66**, 4928 (1995); Fusion Engineering and Design **34-35**, 543 (1997).

[21] T. Cho et al., Rev. Sci. Instrum. **68**, 324 (1997).

[22] Y. Sakamoto et al., Submitted to *12th Topical Conference on High-Temperature Plasma Diagnostics* (Princeton, 1998).

## 【8】 マイクロ波によるプラズマの計測

プラズマの基本量である電子密度、電子温度、及びこれらの揺動、磁場揺動の計測を従来の標準的な方法に加えて新しい方法を開発して行った。また、核融合科学研究所の大型プラズマ閉込め装置LHDに関する共同研究として2次元イメージング計測法の開発も行った。

### (1) 反射計による密度分布計測

プラズマにマイクロ波を入射し、カットオフ層による反射を利用してプラズマの電子密度を計測する。原理的には古くから知られているが、近年高速で周波数を掃引出来る発振器が得られようになり1ショットで空間分布が得られるようになった。この方法は密度と対応する空間的位置が得られるので、干渉計のように密度分布の仮定を必要としない。また、高速掃引出来る事から密度揺動の影響も排除出来るようになった。セントラルセルに於けるこの結果を第1図に示す。さらに、周波数を高速で掃引する事に相当する方法として信号源に超短パルスを用いる方法も開発した。

## (2) 反射計による揺動計測

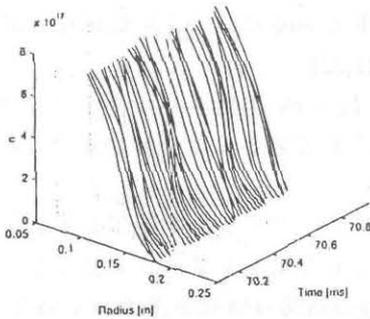
反射計の出力信号を周波数解析する事により低周波 (~kHz) からイオンサイクロトロン周波数 (~10MHz) 近傍迄の揺動測定を行った。この方法はカットオフ層近傍の情報が得られるので非接触の方法でありながら空間的分解能が良いという特徴がある。入出力ホーンの偏波面を切替える事でプラズマ中での正常波モード (O モード) と異常波モード (X モード) 間の相互の変換を利用して密度揺動と磁気揺動とを同時に測定する事が出来る。また、入射ホーンと反射ホーンとのプラズマに対する角度を変える事で散乱測定を行い、波数を求め、分散関係が得られる。セントラルセルで行った結果を第2図に示す。

## (3) 電子サイクロトロン放射計測

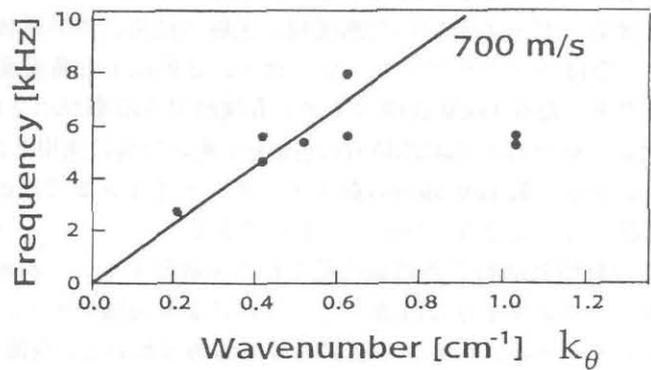
磁場中のプラズマから放射される電子サイクロトロン信号をヘテロダイン法を用いて受信し、周波数スペクトルの解析から電子信号の評価を行った。この結果、セントラルセルに電子サイクロトロン共鳴加熱を行った場合、電子温度が2keV 迄上昇する事が判った。

## (4) 2次元イメージングアレイによる計測

核融合科学研との共同研究の一環としてプラグ部に2次元検波器によるイメージングアレイを設置し、ヘテロダイン型干渉計、サイクロトロン放射受信機としての観測をおこなった。これにより電子密度、同揺動の2次元分布を得る事が出来た。



第1図



第2図

## 【9】 ガンマ10プラズマにおける分光計測

### (1) ガンマ10プラズマの真空紫外不純物分光

ガンマ10プラズマからは軟X線から可視にわたる光が放射されており、これを波長分解しその空間分布の時間変化を測定することによって、不純物イオンの粒子閉じ込め、電子温度分布などの情報が得られる。この粒子閉じ込めについては、電位がある場合の閉じ込め、磁力線にそった電位閉じ込めの様子についての情報を得ることができる。そして、不純物がプラズマへいつのステージで混入するか、電位があるときにポテンシャルに逆らって入ってくる現象の有無等の検証を目的として研究を行っている。そのために、以下のような大口径プラズマ用の真空紫外分光システムが必要となる。

これまで一般に利用されてきた真空紫外分光器は、空間分解可能なものは多波長同時測定ができなかったり、多波長同時測定可能な場合は非常に小さな光源しか測定できなかったり、時間分解能が十分でなかったりというものがほとんどであった。本真空紫外分光器は、分光素子として収差補正型凹面回折格子を用い、検出器としてマイクロチャンネルプレートを使用して、良い時間分解能を持った多波長同時測定を可能とした。入射スリットも空間分解スリットとなり、径方向の情報も検出でき

るようになっている。本分光器のように、不等間隔回折格子と空間分解スリットを併用した光学系はこれまでに例を見ないものである。また、プラズマの立ち上がりなど不安定性が生じたときの振る舞いを調べるために本分光器の高速化を図った。これまでは、プラズマの時間的振る舞いを追うことはできなかったが、高速カメラを用いることによりこれを実現した。一方、高エネルギー物理学研究所の放射光実験施設において、分光器の相対波長感度較正を行い、測定したスペクトル間の相対強度比を得ることも可能とした。さらに、測定した分光写真データ（横軸に波長、縦軸に空間分布）を計算処理し、2次元の放射率分布スペクトル画像を得ることができるようにした。これにより、プラズマからの放射損失の空間分布の時間変化の相対値の見積りが1プラズマショットで行えるようになった。本分光器は真空紫外領域の不純物を1プラズマショットで観測できるので、プラズマ実験初期の壁コンディショニングの評価の目安としても利用できる。

本VUV分光器をガンマ10の高イオン温度モード実験に適用し、プラズマ中不純物のうち、酸素、炭素についてイオンの価数毎にその空間分布の時間変化を追った。前述の較正を行ったので、異なるプラズマショットでも測定結果を比較することができる。測定は、プラズマ放電開始から20ms毎を積分して1ショットで測定し、酸素や炭素不純物イオンの時間、空間変化を観測した。RFのみでプラグ閉じ込め電位が存在しない場合、電子温度の上昇とともに、高電離イオン(OV, CV)の放射強度も高くなるが、時間とともにプラズマ中心部で存在していた高電離イオンの放射輝度が減少していく。これは、電子温度が高くなっていないので、より高い価数のイオン(OVI, CVI)に電離されたわけではなく、軸方向へ損失したためと考えられる。この結果得られる不純物イオンの粒子閉じ込め時間は20ms以下ということになる。これに対し、ECRH印加によりプラグ閉じ込め電位を形成すると電子温度が上昇し不純物イオンはより価数の高いイオンへと変化していき、ECRHを切ると印加前と同じ不純物イオンの径方向分布を示しその強度も同じになる。以上のことから、不純物イオンのプラズマ中不純物イオンはそのほとんどがプラズマ実験初期にプラズマ中に流入し、ECRHによるプラグポテンシャル形成により、プラズマとともに不純物までも閉じ込められ、電子温度の上昇とともにより価数の高いイオンへと電離されることを示している。

今後、VUV分光器の絶対感度較正を行うことにより、より定量的な取扱が可能となり、プラズマ閉じ込めの情報が得られることになる。

## (2) ガンマ10プラズマの2次元H $\alpha$ 線計測

プラズマ中の中性粒子を測定することは、プラズマの生成、閉じ込め、終端を理解するうえで非常に重要である。これまでガンマ10においては、プラズマ中の水素原子の挙動及び絶対量を調べるためにH $\alpha$ 線放射輝度計測を定常的モニターとして用いてきたが、解析においては軸対称を仮定して行われてきた。しかしながら、この仮定はいつも正しいとは限らず、特に中性水素源が非軸対称である場合は十分に考えられる。また、プラズマの生成、崩壊過程等においては、かなり早い時間変化も考えられるので、従来の時間分解能を改善する必要がある。これらの点を考慮して、分光計測器の時間分解能、解析に関して次のような改良が行われた。H $\alpha$ 線計測器は、非対称性の時間的増長やプラズマ崩壊のプロセスの検証を行うために、時間分解能200msであったところ最高で10msまで高速化し、2方向から得られた放射輝度分布のデータをART法を用いて画像再構成できるようにした。そして、ART法による非軸対称現象の検証を行った。さらに、衝突・輻射モデルを適用し、中性原子密度分布のプロフィールを得ることを可能とした。この様にして、プラズマ中の水素原子の挙動を調べる準備を整えた。

このH $\alpha$ 線計測器を高イオン温度モード実験に適用し、粒子バランス、プラズマ粒子閉じ込め、プラズマ揺動について調べた。その結果、粒子密度の2次元径方向分布については、RFのみのプラズマでは、中心部で $2 \times 10^8$ 個 $\cdot$ cm $^{-3}$ 、プラズマ周辺部では $9 \times 10^9$ 個 $\cdot$ cm $^{-3}$ であった。これに、ECRHを印加するとプラズマ中心部に入り込む粒子数が減少する傾向が見られた。また、軸方向H $\alpha$ 線強度と端損失イオン電流の測定結果とを考慮して、プラズマ粒子閉じ込め時間を計算すると、ECRH印加によりプラズマ粒子閉じ込め時間が数%だけ上昇しているのがわかった。しかしながら、径方向損失につ

いては考慮されておらず、今後軸方向のスロート部、アンカー部での径方向  $H\alpha$  線分布測定が必要である。一方、プラズマ揺動については、 $H\alpha$  線の放射強度信号をフーリエ分解して周波数成分を取り出すして調べた。その結果、3.8 kHz と 7kHz のところに周波数のピークがあることがわかった。これは、マイクロ波の揺動計測でも同様の周波数での揺動が見られており、 $E \times B$  ドリフトによる揺動信号を観測していると考えられる。今後、プラズマ閉じ込めとの関連とともにより詳細な測定を行っていく必要がある

## 【10】 理論・シミュレーション解析

### (1) マイクロ波プラズマ診断に関するシミュレーション研究

本研究では、反射法やモード変換散乱法等のマイクロ波を用いるプラズマ診断法に関して、新しいサブサイクル領域の超短パルスマイクロ波を用いた先進的計測手法についての計算機シミュレーションに基づいた開発研究を行った。特に、マイクロ波によるプラズマ診断を非常に実験条件に近い形で取り扱うことのできる、「マイクロ波プラズマ診断シミュレータ」とでも呼ぶべき総合的流体シミュレーションコードの開発を目指した。シミュレータでは、従来の理論解析のような1次元モデルではなく、プラズマを2次元或いは3次元モデルとして取り扱うことができ、また対象装置もタンデムミラーだけでなく、磁場配位を変えればトカマクやヘリカル系等にも適用できる。更にプラズマ容器壁や導波管の効果等も取り入れることができ、またマイクロ波の周波数や波形等も自由にコントロールできるので、理論解析よりもより実験に近い条件設定の下でプラズマ診断をシミュレートすることができる。具体的には、タンデムミラーセントラル部をモデルした2次元シミュレーションコードを開発して、Oモードマイクロ波による超短パルス反射法のシミュレーションを行い、反射波の解析による密度分布の再構成がうまく行くことが確かめられた。図1は、導波管口で計測した入射パルス（初期パルスはパルス幅33psのサブサイクル波）とプラズマによる反射波の信号であり、図2は反射波の信号からアーベル変換を用いて再構成された密度分布（黒丸）と元の密度分布（実線）の比較を示す。

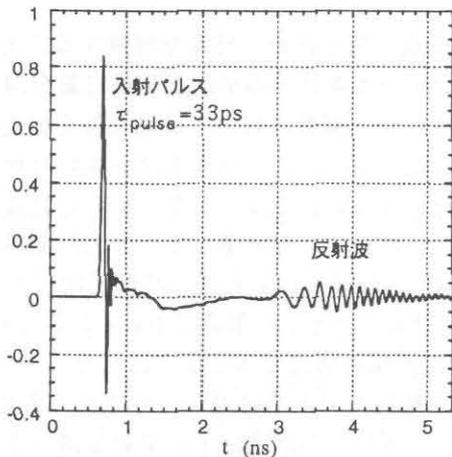


図1

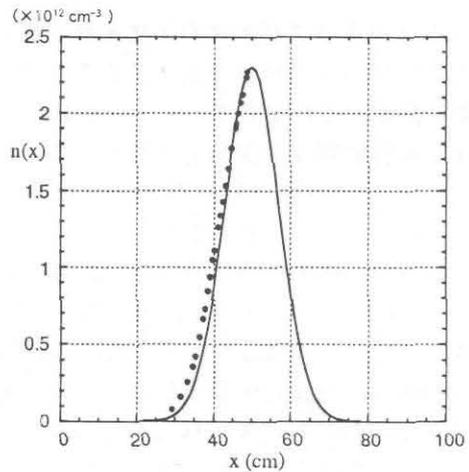


図2

### (2) サブサイクルレーザーパルスによるコヒーレントX線放射の研究

高強度サブサイクルレーザーパルスと薄膜プラズマターゲットとの相互作用によるマイクロバンチ電子群の生成に関して、1次元の電磁粒子コードによるこれまでのシミュレーション結果を基にして、マイクロバンチした電子群からのコヒーレントシンクロトロン放射光について解析を行った。マ

マイクロバンチ電子群が伝播方向にガウス分布していると仮定すると、電子群からの前方への微分放射エネルギーは

$$\left. \frac{d^2 E_{rad}}{d\omega d\Omega} \right|_{total} = N \{ 1 + (N-1) \exp[-\kappa (\frac{\omega}{\omega_c})^2] \} \frac{3e^2 \gamma^2}{4\pi^2 c} (\frac{\omega}{\omega_c})^2 K_{2/3}^2(\frac{\omega}{2\omega_c})$$

で与えられる。ここで、 $\omega_c = 3\gamma^3 \omega_B / 2 = 2\pi c / \lambda_c$ 、 $\kappa = (\omega_c L_b / c)^2 / 2$  であり、 $\gamma$  は相対論因子、 $N$  は電子の総数、 $L_b$  は電子群のバンチ長、また  $K_{2/3}(x)$  は変形ベッセル関数である。これから電子群のエネルギーが  $E=1\text{GeV}$  (図3)、 $200\text{MeV}$  (図4) の二つの場合に対して輝度  $b$  (brilliance) を計算した結果を下図に示す。 $L_p$  は初期の薄膜ターゲットの厚さで、サブサイクルレーザーパルスによる加速でマイクロバンチ電子群のバンチ長は初期の20分の1になると仮定している。図から放射光の波長が短くなるに従って、コヒーレント放射から非コヒーレント放射へと移っていくことが分かる。

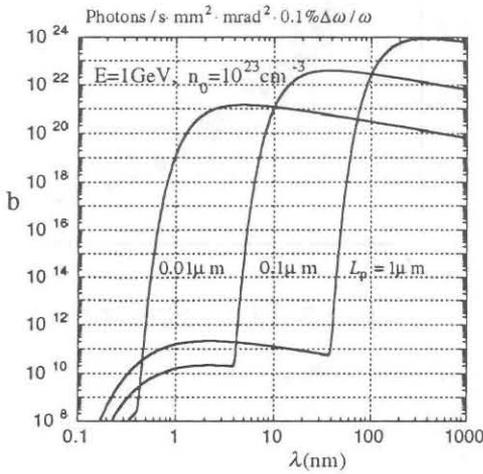


図3

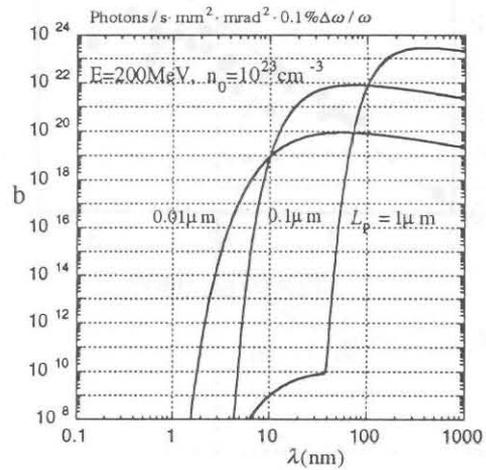


図4

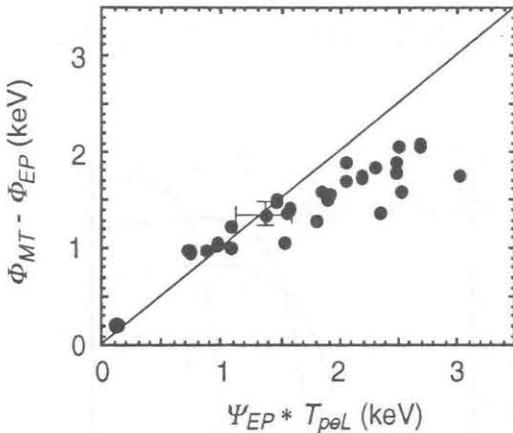
### 【11】 ガンマ10エンド部の電位形成と端損失電子束の抑制 [1]

タンデムミラーを理解するためには、電位の全体構造を知る必要がある。その内、エンド部の電位形成機構を理解するために、電位モデルが作られている。このモデルはミラースロートからエンドプレートまでの磁力線方向の電位分布を計算する。また、ミラースロートでの電位の連続性条件から、プラグ電位も決定される。

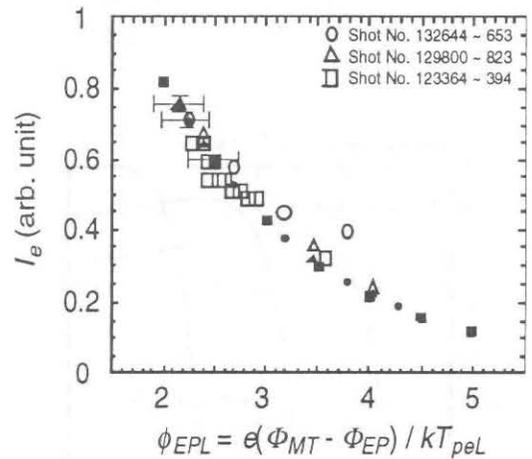
このモデルの予想するミラースロートからエンドプレートまでの電位分布は、測定結果をよく説明することが分かっている。定量的な比較のため図1に実験結果とこのモデルの予想を示す。図の横軸は電位モデルを用いて計算されたミラースロートからエンドプレートまでの電位差である。縦軸は測定値を示す。図1はエンド部の電位構造とともに、電位差の値もこのモデルはよく再現することを示している。しかし、電位差が大きくなると、実験値と計算値に有意な差が見られる。これはエンドプレートの浮遊条件の破れ、あるいは端損失電子の速度分布の非等方性に起因している可能性がある。

このように2次電子を取り入れたモデルが実験値をよく説明することから、エンドプレートからの2次電子放出が電位構造とともに、電子の流れに大きな影響を与えていると考えられる。そこでこの2次電子を抑制する実験が行われた。エンドプレートの前面に透過率約82%のステンレスメッシュを張り、エンドプレートに対して負のバイアス電圧を印加して、2次電子をエンドプレート側に反射する。

これからバイアス電圧とともに、エンドプレート電位が大きく沈むこと、また、この変化はバイアス電圧が約20V以上ではほとんど飽和すること等が明らかになった。これは2次電子放出を抑制したときのモデルの予想によく対応している。メッシュバイアス時の端損失電子束の変化をプロットしたのが図2である。エンドプレート電位が深くなるにつれて、端損失電子束が40%程度まで減少している。図中の黒印は、計測パラメータを用いて端損失電子束を計算した物である。実験値はおおむね計算に一致している。減少率の大きいところで両者のずれをもたらす原因として、端損失電子の閉じ込めがよくなり、その温度が上昇すること、また、この時はガンマ10の両エンドでメッシュバイアスをしているから、他端で端損失電子が反射する影響等が考えられる。実際、片側だけでメッシュバイアスをするると端損失電子束は30%程度まで減少する。



第 1 図



第 2 図

- 1 Y. Yoshimura, et al., "Potential distribution in the End Region of the GAMMA 10 Tandem Mirror Associated with Electron Flow Control." J. Phys. Soc. Jpn. 66 No.11 (1997) 3461-3469.

### 【12】 ガンマ10エンドプレートの電流バランス [1]

エンドプレート前面に張られたメッシュにバイアスを印加して2次電子を抑制する実験は、単にエンド部の電位モデルの検証のみではなく、装置端への電子束を抑制する目的がある。このためにはメッシュバイアス実験の結果は、確かにエンドプレート電位が沈み、電子束  $I_e$  の減少も観測されているが、電子束の減少率が当初の期待値より小さく十分ではない。2次電子放出を抑制しても、エンドプレートに流入する電子が十分に減少しないことは、エンドプレートの電流バランスの上からは理解しづらい事である。このことは他に重要な要素の見落としがあることを示唆している。この見落とし電流を  $I_3$  とすると、エンドプレートの電流バランスは次式のように変更される。

$$I_i - (1-\gamma)I_e + I_3 = 0$$

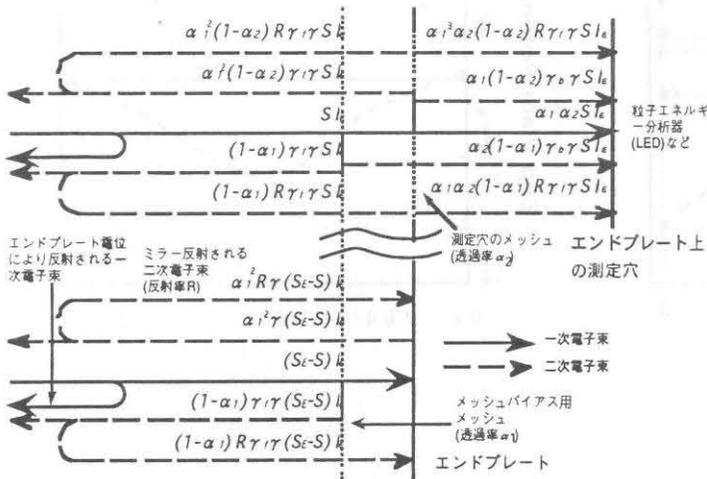
ここで  $I_i$  はイオン束である。

上式の中身とその物理機構の解明のために、プラズマから磁力線に沿ってエンドプレートの前面に流出入する電流以外の別の電流の可能性も含め、エンドプレートの電流バランスを詳しく検討した。その結果、エンドプレートの裏面のプラズマを経由する電流（裏面電流）が無視できないこと、メッシュ自身から出る2次電子の存在が、解析を非常に複雑にしていることが分かった。そこで、これらの効果を取り入れたエンドプレートの電流バランスモデルを構築した。図1はこの電流バランスモデル

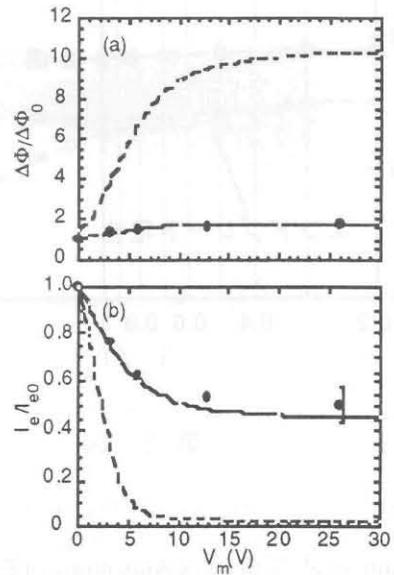
ルの構成要素を示したものである。エンドプレート以外にメッシュ自身からの2次電子、ミラースロート手前での2次電子の反射も考慮されている。

図2は計算値と実験結果を比較したものである。図中の黒丸が実験値で、実線が電流バランスモデルの計算値である。両者はよく一致し、メッシュバイアス時の端損失電流の減少率が説明できた。さらに図中の点線は裏面電流がないときの予測で、この電流をなくすことが出来れば、メッシュバイアスによる端損失電子束の大幅な減少が期待できる。

裏面電流の存在は、タンデムミラーの装置端部を経由する非両極性輸送が完全には抑制されていないことをも意味しており、軸方向の熱損失だけでなく、閉じ込め部の径方向損失の増大にもつながっている可能性がある。よって、裏面電流の抑制とメッシュバイアスの最適化により、装置端を経由する粒子の輸送を遮断することは、タンデムミラー全体としての閉じ込めの向上にも深く関わっていると考えられる。



第 1 図



第 2 図

1 K. Kajiwara, et al., "Current balance at an Endplate of the GAMMA 10 Tandem Mirror." J. Phys. Soc. Jpn. 66 No.8 (1997) 2342-2349.

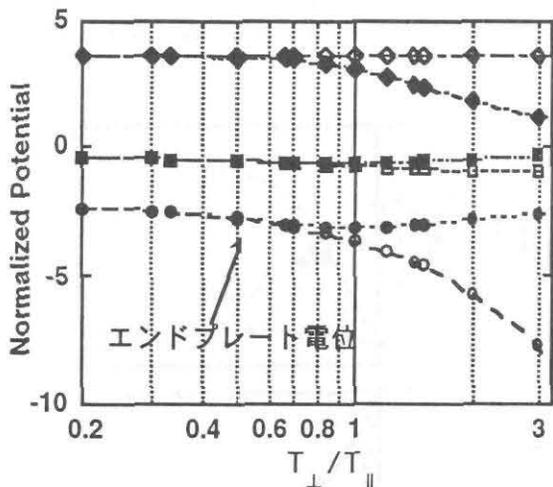
### 【13】 端損失電子の非等方度のエンド部電位への影響 [1]

タンデムミラーエンド部の電位モデルの予測と実験との比較検討を通して、エンド部の電位形成、及び電子輸送に関して多くの知見が得られている。ところでこれまでの電位モデルの予測では、端損失電子は速度分布が等方であるとしている。しかし、このことは必ずしも実験的に保証されているわけではない。また、速度分布の非等方度を測定するのも非常に困難である。そこで、端損失電子の速度分布の非等方性が、エンド部の電位分布と電子輸送に及ぼす影響を調べた。

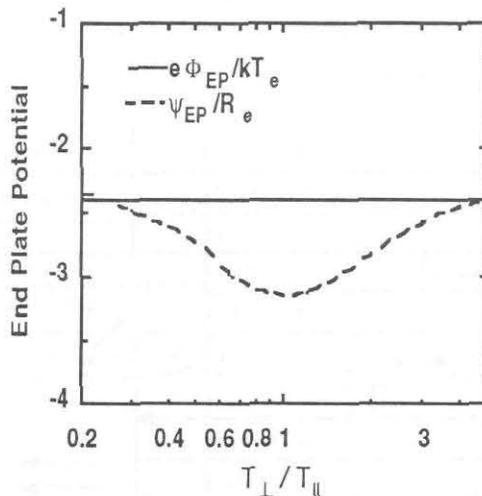
この検討において単に非等方な電子の分布関数を用いて、電位分布と端損失電子束を予測したのは、実験との比較にならないことに注意しなければならない。そのため各非等方度毎に、装置端で測定される電子のエネルギー分布が同じになるように、電子温度の規格化因子を決定する必要がある。電位モデルでは、電位の計算にこの規格化因子を用いているので、実験との比較は注意深く行わなければならない。

この検討結果を示したものが図1である。ここで横軸は電子温度の非等方度、縦軸はミラースロートを基準としたときのエンド部各部の規格化電位である。白抜き記号は、電子温度の測定値との関係を考慮しないとき、黒記号は、各非等方度毎に電子温度が測定値に対応するように規格化因子を調整

したものである。実験との対応では黒記号を見ると、電子温度がほぼ等方のときにエンドプレート電位がもっとも深くなるが、非等方度の影響はそれほど大きなものではない。よって、これまでの端損失電子が等方であるという前提での計算は本質的には正しいと云える。しかし、電子の非等方性によりエンドプレート電位は浅くなる方向にあるので、電子の分布関数が等方としたときのエンドプレート電位の計算値と実験値の不一致の原因のひとつである可能性もある。実際、図2に示すように非等方度が3程度あると、エンドプレート電位の測定値がほぼ説明できる。図中実線が実験値、点線が計算値である。



第 1 図



第 2 図

1 T. Saito, et al, "Effects of Anisotropy of End Loss Electrons on Axial Potential Profile and Electron Transport in the End Region of a Tandem Mirror." J. Phys. Soc. Jpn. 66 No.12 (1997) 3809-3814.

#### 【14】 CCDカメラによる四重極プラズマの空間分布計測 [1]

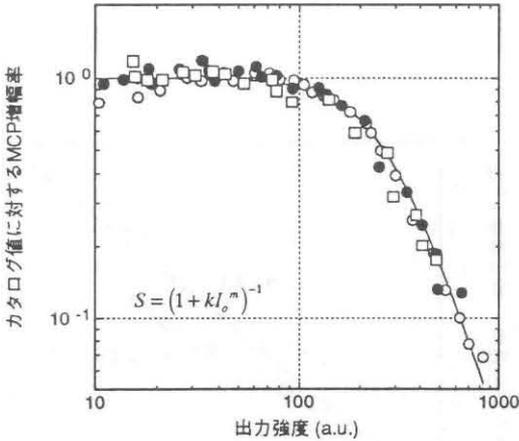
プラズマから放射されるX線をピンホールを通してカメラにより撮像することで、プラズマの空間分布を計測し、その物理過程の解明を目指している。特に四重極分布をもつアンカー部は、軸対称性がなく特異な形状をしているため、その空間分布をとらえることは困難であった。アンカー部での計測系の整備を行い、プラズマの放射計測のためのシステムを構築した。計測システムにおける一番の問題点は、写真光度とX線放射量の線形性が成り立たないことにある。

X線から可視光への変換はマイクロチャンネルプレート(MCP)と蛍光面を用いているが、実際のプラズマからの放射でカメラの感度に受かるような光量を得るには、MCPにかける電圧を上げなければならない。しかし、この電圧の領域では、出力が入射X線量に対して飽和する領域になっている。したがって、カタログ通りの式でMCPの印加電圧から増幅率を計算し、入射X線量を見積もると、実際の入射X線量を過小評価してしまう。このため、飽和領域でのMCPの増幅率について詳細に検討した。その結果、入射X線量によらずに、MCP増幅率が飽和するときの出力強度は一定であることがわかった(図1)。MCPの増幅率と出力強度の関係式を実験から求めた。この式を用いることで、実験で得られる出力強度から、MCPへの実際の入射X線量を算出できるようになった。

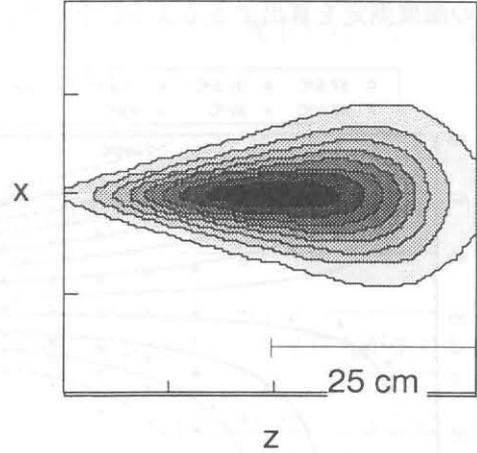
また、従来使用してきたポラロイドフィルムは化学反応による黒化作用を用いているが、黒化の度合いは入射光量に対して線形でない。その解決策として線形性のよいCCDカメラを用いることとし、

CCDカメラを用いた計測系を整備し、実際の測定に適用した。

カメラに写るのはプラズマからの3次元放射を視線積分した2次元データである。この2次元データから、四重極磁場を反映した放射分布モデルを利用して、3次元放射分布を再現した。このようにして再現された放射強度の2次元断面の1例を図2に示す。ピンホールの前いくつかの種類(厚み)のフィルターを用意した。2種類以上のフィルターを用いて入射X線の減衰量を比較すれば、電子の速度分布がマクスウェル分布と仮定したときの温度の空間分布が求められる。その結果RFプラズマでは、アンカー部においても、中心軸にピークをもつような電子温度分布をしているという結果を得た。



第 1 図



第 2 図

1 Y. Kikuchi, et al., "In-situ calibration of microchannel plate-based x-ray pinhole camera for observation of magnetically trapped plasmas." Rev. Sci. Instrum. 68 No.9 (1997) 3421-3425.

### 【15】 赤外線カメラによる温度決定スキームの確立 [1]

赤外線カメラは、今日プラズマ物理に限らず、いたるところで温度測定に利用されている。しかし、室温とカメラヘッドの温度が異なる時や対象物が黒体でないときは、適切な補正が必要である。そこで、実験に使用する日本アビオニクス社のTVS-2100について、赤外線カメラの温度表示から測定対象物の温度を算出するスキームを導出し、実験にてそのスキームが正しいことを検証した。

赤外線カメラに使用されている検出素子はInSnで、標準黒体に対するInSnの感度の出力 $V_B(T)$ がカメラ内部に記憶されており、その記憶された出力と検出強度とを比較することで、表示温度を決定している。赤外線カメラに入ってくる放射は、対象物から出る放射に加えて、周囲からの放射を物体が反射した放射を加えたものであり、カメラ表示温度はこれらの放射和の強度から決定される温度である。赤外線カメラには対象物が黒体でないときの補正として入力パラメータ $\epsilon^*$ が用意されている。以上のことを考えに入れて、赤外線表示温度と物体温度の真値を関係づける表式

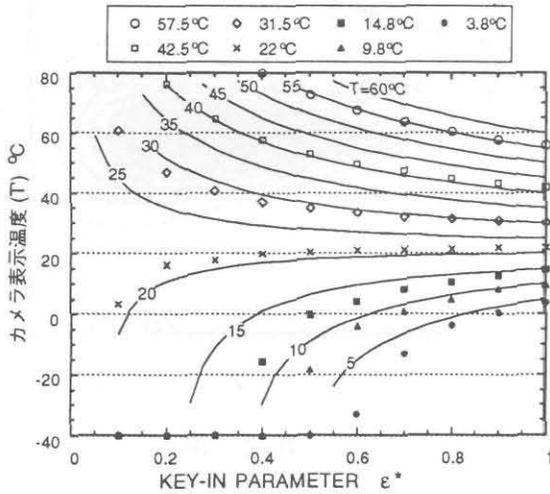
$$V_B(T') = \frac{\epsilon}{\epsilon^*} [V_B(T) - V_B(T_D)] + V_B(T_D) \quad (1)$$

を得た。ここで $T, T', T_D$ はそれぞれ真温度、カメラ表示温度、室温をあらわし、 $\bar{\epsilon}$ は物体の波長平均放射率である。 $\epsilon^* = \bar{\epsilon}$ の時 $T' = T$ を与える。

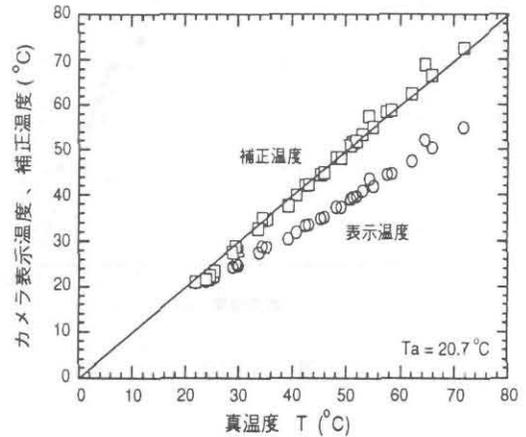
(1)式を検証するために、ほぼ黒体に近い( $\bar{\epsilon} = 1$ )物体の温度を、 $\epsilon^*$ を変えて赤外線カメラで測定し、表示温度がどのように変わるかを調べた。物体の実際の温度は別に測定した。図1の横軸に $\epsilon^*$ をとり、縦軸に赤外線カメラの表示温度を物体温度が異なるいくつかについてプロットした。測定が行われた

時の室温は22.2°Cであった。(1)式によって表示温度 $T'$ を計算した結果が実線である。両者はよく一致しており、我々が導いた(1)式が正しいことが確認できた。

プラズマ実験では、カメラの置かれている場所の温度と測定対象の周囲の温度は等しくない。また、対象物であるエンドプレートを直接観測することはできないので、2枚の鏡で赤外線を反射した後、フッ化カルシウムの真空窓を通して観測する。このため、(1)式を拡張し、鏡による反射の効果と真空窓による赤外線の吸収をとり入れた温度決定のスキームを導いた。これにより得られた結果を図2に示す。横軸にエンドプレートを直接測った時の温度をとり、縦軸に反射と吸収を経たのち赤外線カメラで観測した時の表示温度、さらにその温度をスキームによって補正した温度をプロットした。表示温度は真値より低くであるが、補正温度は真値をよく再現しており、我々のスキームで実際のプラズマ実験での温度測定を算出できるようになった。



第 1 図



第 2 図

1 Y. Kiwamoto, et al., "Thermographic temperature determination of gray materials with an infrared camera in different environments." Rev. Sci. Instrum. 68 N0.6 (1997) 2422-2427.

### 【16】 高調波サイクロトロン加熱による電子の速度応答 [1]

ガンマ10では、ジャイロトロンからの単色マイクロ波をプラズマ中へ入射し、サイクロトロン共鳴加熱により電子加熱と電位形成を行っている。電子加熱による電位形成機構の詳細はまだわかっていないが、波との相互作用により電子の速度分布が変化し、磁場の空間変化によるミラー効果と結合して密度分布の変化が起こり、電位分布も変化すると考えられる。

そこで、サイクロトロン加熱による電子の速度変化を詳細に調べた。これまでに $k_{\perp}=0$ の基本波についての解析を数値的に行い、波動に対する電子の速度変化の応答を物理量の関数として導出した。今回は、高調波による電子サイクロトロン共鳴加熱を解析的に調べ、その結果を数値計算で確かめた。

波と電子がエネルギーをやりとりするのは、共鳴条件を満たす点近傍でのみ起きる。したがって、不均一磁場中のサイクロトロン加熱は、相互作用時間が有限であることが特徴である。波との相互作用による電子の速度応答の解析は、円(らせん)運動する電子に波を摂動的に与えて行った。解析の結果、電子の平均エネルギー増分は、摂動の1次量だけでなく、波による軌道のずれの影響を含む2次量まで考慮にいれないと正しい値が得られないことがわかった。2次量まで考慮して、 $n$ 階高調波に対する1回の共鳴点の通過で電子が得るエネルギー増分の表式

$$\begin{aligned}\Delta W &= qv_{\perp} \bar{E} \cos(n\varphi) J_{n-1}(k_{\perp} \rho) \tau + (q^2 \bar{E}^2 / 2m) (1 - k_{\parallel} v_{\parallel} / \omega) n J_{n-1}^2(k_{\perp} \rho) \tau^2 \\ &= \sigma \cos(n\varphi) + u\end{aligned}$$

を導いた。エネルギー増分は、位相についての正弦関数で書ける。ここで、物理量は共鳴条件  $\omega - k_{\parallel} v_{\parallel} = n\Omega$  を満たす点での値であり、 $\tau$  は波と電子の相互作用時間、 $J_{n-1}$  はベッセル関数である。2 階高調波についてこの関係式が正しいことは数値計算によって確認した。

エネルギー  $W$ 、磁気モーメント  $\mu$  の加熱によるそれぞれの増分の間には、

$$\Delta W = B_{r0} \Delta \mu \Gamma$$

の関係が成り立つ ( $B_{r0} = m\omega / n|q|$ )。このことを用いると、速度分布  $f_i$  の電子に対して、1 回の加熱後の速度分布  $f_f$  は、

$$\begin{aligned}f_f(W, \mu) &= \int dW' \int d\mu' H(W - W', \mu - \mu') f_i(W', \mu'), \\ H(\Delta W, \Delta \mu) &= (1/\pi|\sigma|) [1 - (\Delta W - u)^2 / \sigma^2]^{-1/2} \delta(\Delta \mu - \Delta W / B_{r0}),\end{aligned}$$

として計算できる。

高調波加熱においては  $k_{\perp}$  が必要である。 $k_{\perp}$  があると共鳴中に旋回中心のドリフトが生じる。その大きさは  $y_{drift} = (qE\tau k_{\perp} \rho / m\omega) J_{n-1}(k_{\perp} \rho) \cos(n\varphi)$  である。

相対論的効果が効く場合や、大振幅の波や磁場の変化が小さく共鳴時間が長いときなどの非線形効果が効いてくる場合は、加熱の様相が変わる。この領域では初期位相がランダムでも、エネルギー増加量はもはや位相についてのきれいな正弦関数にはのらなくなる。位相変調によるバンチングが起こると、粒子から波へのエネルギー移行も起こり得る。

1 Y. Tatematsu, et al., "Non-Relativistic Response Function for Higher Harmonic Electron Cyclotron Resonance Heating." Phys. Plasmas 4 No.8 (1997) 2972-2981.

## 【17】 高周波アンテナ配位によるプラズマの軸対称性制御

これまでの実験で、アンカー加熱とプラズマ生成に用いられてきた RF1 系の電力を増大させると、セントラル部の反磁性量劣下が観測されている。この要因を調べることを目的として、RF1 用アンテナである回転電磁界型 TypeIII アンテナに入射する高周波電力のバランスを変化させ、プラズマの軸対称性との関連について明らかとした。プラズマの非軸対称性は、セントラル部中央に設置された 8 分割リミターの浮遊電位の方位角方向一様性から評価した。TypeIII アンテナは、セントラル部両端東西 2 ヶ所に設置されており、各々プラズマを取囲む上下・左右の 2 対、合計 4 枚の板状電極から構成されている。東側 TypeIII アンテナのみを用いて、2 対のアンテナ全体に加える電力を固定して、上下・左右ペアに加える電力のバランスを変化させた時の、セントラル反磁性量の変化を図 1 に示す。横軸は、上下アンテナペアに入射する電力であり、上下アンテナ電力を増加させることは、左右アンテナ入射する電力を減少させることを意味している。図中の挿絵は、分割リミターの浮遊電位分布を示しており、非軸対称性の度合を表わしている。上下アンテナへ加える電力を増加させると非軸対称性が改善され反磁性量が増大することがわかる。この時、セントラルプラズマを加熱する高周波電力は一定であり、エネルギー閉じ込めが改善されたことが示唆される。この傾向は、セントラル部西側アンテナでは、反対称になる。西側の TypeIII アンテナでは、左右アンテナペアに電力を偏らせた時に反磁性量が増大する。以上により、従来から観測されていたセントラルプラズマの非軸対称性は、TypeIII アンテナ上下・左右ペアへの入射電力バランスを偏らせることにより改善できることが明らかとなっ

た。又、東西アンテナで反対称なことは、この非軸対称性がアンカー部との間の磁場変換部の形状に起因することを示唆している。図2は、横軸にRF1電力、縦軸に反磁性量をプロットしたものである。白丸はプラズマの軸対称性が良い場合、黒丸は非軸対称の場合である。軸対称プラズマが形成されるアンテナ配位でRF1の電力を増大させた時は、セントラル部反磁性量の劣下は観測されない。

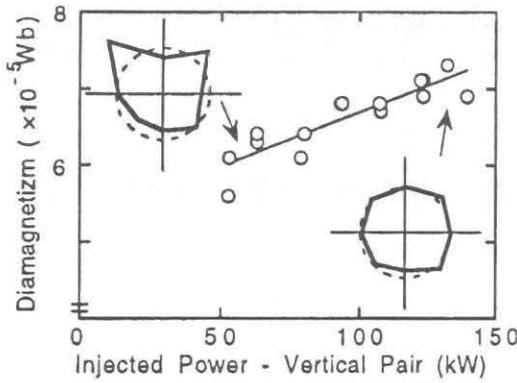


図1

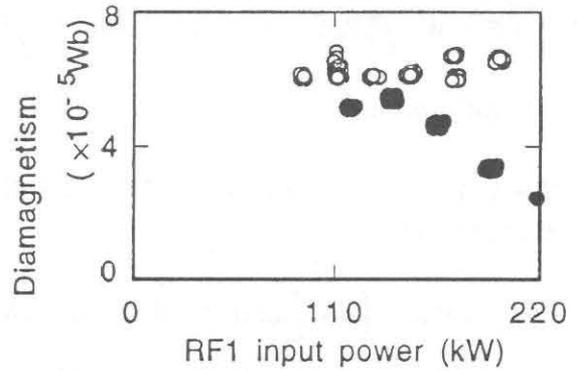


図2

### 【18】 高周波加熱プラズマの巨視的振舞

ガンマ10における巨視的安定性は、アンカー部イオン加熱による平均極小磁場配位で確保されている。高周波で生成・加熱されたプラズマにECRHを印加した時、セントラル部とアンカー部のベータ値の比で決まる安定限界付近では $m=1$ のフルート型の低周波密度揺動が励起され不安定になる。この安定限界は、プラズマパラメタに依存するが、特にECRH印加とともに形成される径方向電場により強く影響される。エンド部に設置されたエンドプレートの接地抵抗を変化させることによりセントラル部中央の電位が変化し径方向電場が変化する。図3(a)に接地抵抗とビームプローブ法で計測されたセントラル中心の電位、図3(b)に励起される揺動の周波数、図3(c)にその強度を示す。接地抵抗を小さくしていった時、 $1\text{ k}\Omega$ 付近からセントラル部の電位が上昇する。この時、セントラル中央のリミター電位は変化しないので形成される電場が変化すると考えられる。静電プローブを用いて周辺部で観測しているイオン飽和電流に、強い $m=1$ のフルート型の揺動が現われる。電位の変化とともに揺動の周波数も変化している。ガンマ10におけるフルート型の揺動は、セントラル部からバリア部まで、又、径方向どの位置でも同じ周波数として観測されていて、 $m=1$ の剛体回転モードと考えられる。放物線型電位分布による剛体回転を仮定すると、ビームプローブ法による中心電位と中央リミターの浮遊電位とから評価した電場及び揺動の周波数から計算される $E \times B$ 速度から、半径12cm付近迄の放物線電位分布が相当する。

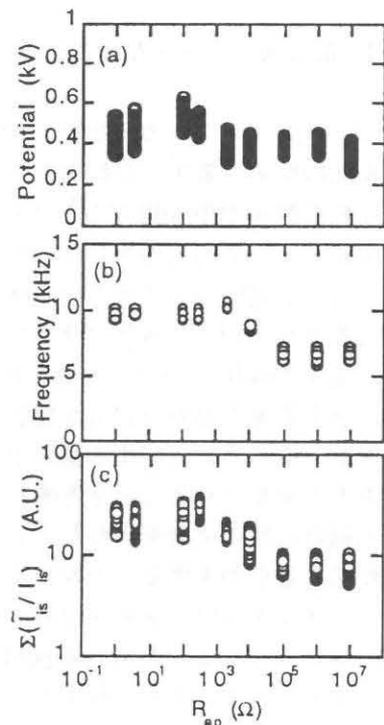


図3

## 【19】 AIC 波動の境界条件

ガンマ10セントラル部における高周波加熱プラズマの特徴は、磁場に垂直方向と平行方向のイオン温度の比が10を越える強い温度非等方性を持ったプラズマが生成されることである。高ベータプラズマにおいては、この温度非等方性に起因して微視的不安定性であるアルベン・イオン・サイクロトロン(AIC)モードが自発的に励起される。理論的には、一様プラズマでの絶対不安定条件はガンマ10パラメタ領域より充分高く、さらに軸方向の非一様性は、AICモードを安定化することが予想されている。従って、ガンマ10におけるAICモードの成長機構は現在のところ明らかとはなっていない。2本の隣接した磁気プローブ間の位相差から推定するAICモードの波数は、プラズマパラメタに依存して変化する。セントラル中央より1.2m離れた位置で観測した時、パラメタの上昇とともに、中央から外側への伝搬を示す有限の位相差から定在波を意味する位相差0へと変化する。図4(a)は、セントラル中央( $z=-0.3m$ )の反磁性量に対して非等方度をプロットしたものである。白丸は共鳴層が中央付近に存在する場合であり、強い非等方度を示している。黒丸は、共鳴層を中央から外して、非等方度を弱くした場合に対応する。図4(b)は、非等方度から推定した( $z=-1.2m$ )の位置における反磁性量に対して2本の磁気プローブ間の位相差を示したものである。図中の白丸・黒丸は各々非等方度の強い場合・弱い場合に対応している。図より、位相差0となる反磁性量が両者でほぼ同じであることから、定在波領域の境界が反磁性量(プラズマ $\beta$ )に依存していることが示唆される。この定在波形成がガンマ10におけるAICモードの成長機構に関連していると考えている。

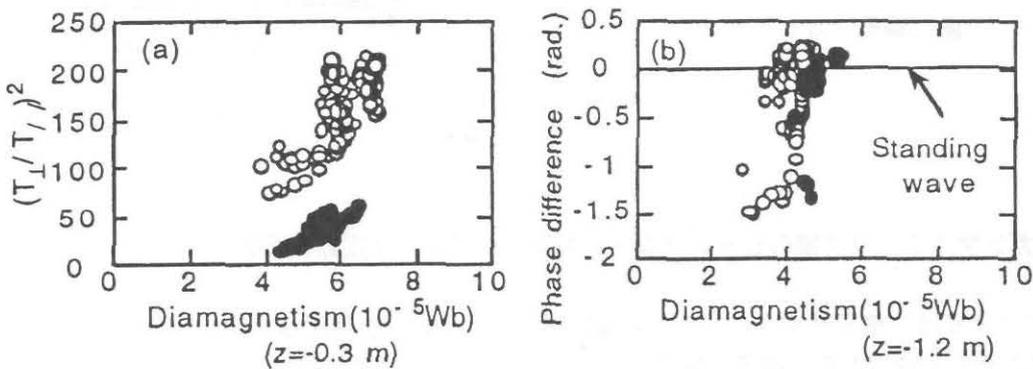


図4

## 【20】 高エネルギーイオンの振舞とAIC波動との相関

プラズマ中に存在する揺動が高エネルギーイオンに及ぼす影響は、将来の核燃焼プラズマにおける $\alpha$ 粒子の振舞と関連して重要な課題である。ガンマ10におけるサイクロトロン加熱による高エネルギーイオンの生成とプラズマ中の揺動との相関を調べる為、半導体検出器を従来のエンド部(ccHED)に加えてセントラル部中央(ccHED)に設置した。このccHEDは、2重のピンホールを用いて視野を制限すること及び磁力線に対する角度を変化させることにより、 $\pm 3$ 度の分解能でピッチ角分布を測定することができる。図5に示す様に加熱された高エネルギーイオン(5keV以上)のピッチ角分布は、サイクロトロン共鳴層の位置に対するピッチ角付近にピークを持つ分布をしている。

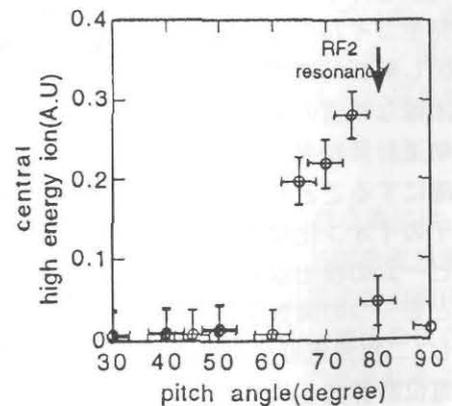


図5

図6は、(a)は反磁性量、(b)は非等方度、(c)はAICモードの強度、(d)は東エンド部における端損失高エネルギーイオン信号、(e)はセントラル中央における90度付近のピッチ角を持つ高エネルギーイオン信号の時間変化を各々示している。加熱が進み、反磁性量とともに非等方度が強くなると、図中点線で示した時間からAICモードの励起が観測される。AICモードの励起に対応してエンド部で観測される高エネルギーイオン信号が増大する。又その時間変化は、AICモード強度の時間変化と相関を持って変化する。この時、セントラル部中央で90度付近のピッチ角を持ったイオンは、反磁性量の増大とともに増大するがAICモードの強度が強くなるにつれ減少を始めていることがわかる。ピッチ角分布は、そのピークが時間とともに小さい角度の方向に移り、AICモードによる高エネルギーイオンのピッチ角散乱を示している。

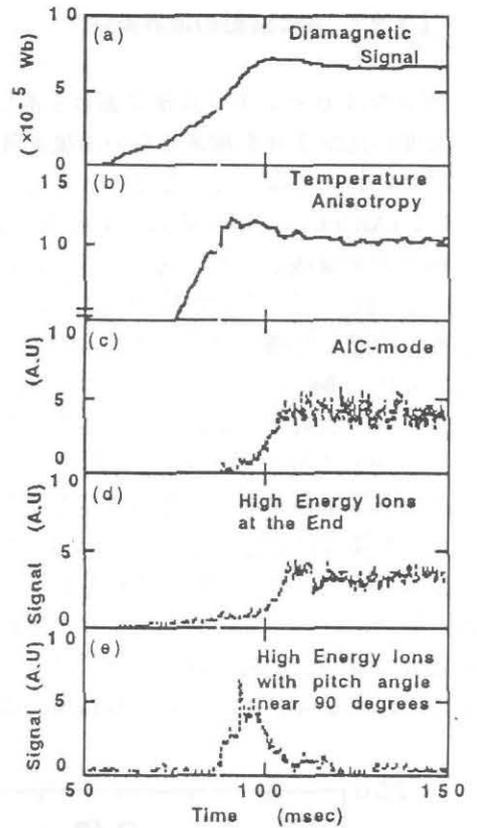
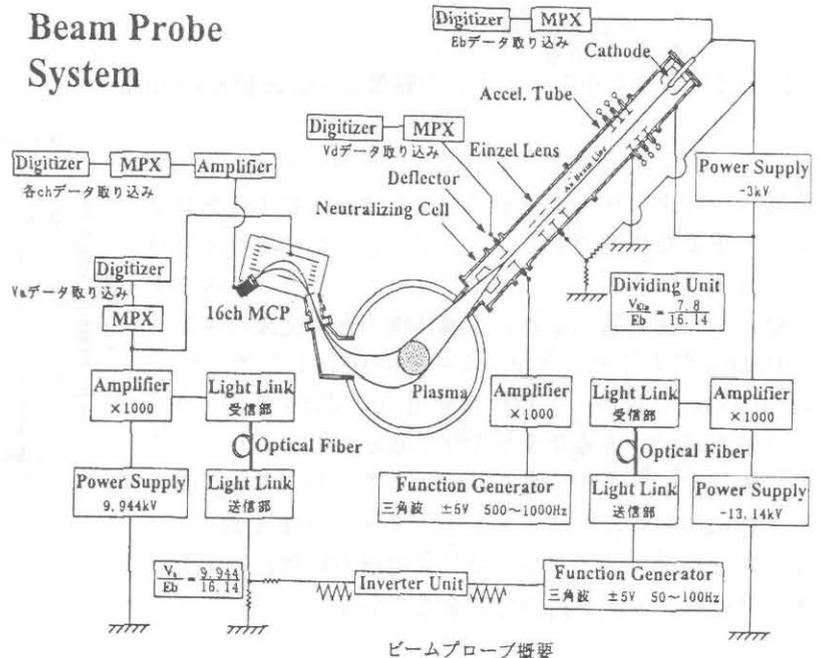


図6

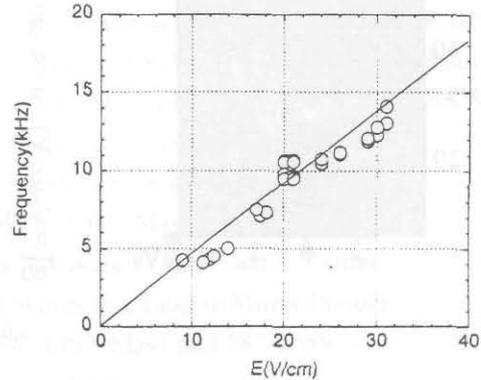
【21】 ガンマ10バリア部のビームプローブを用いたプラズマ揺動の研究

プラグ・バリア部は、電子サイクロトロン共鳴加熱（ECRH）を利用して閉じ込め電位及び熱障壁電位を形成させる領域であり、電子加熱に伴いプラズマが不安定になり易い場所である。発生するプラズマ揺動と二次元電位構造についての知見を得るため、既存のビームプローブ装置を改良し、ビーム軌道の校正実験を行った。閉じ込め磁場発生コイルの漏洩磁場に起因し解析的に求めることが困難な軌道のずれを、詳細な軌道計算結果と対比させ明確にすることにより、中性粒子のイオン化位置とイオンビームの検出器面上の位置とを一つの関数関係で記述し、二次元電位分布計測用の電位計算式を決定した。

右にプラグ・バリア部ビームプローブの全体図を示す。



これらの結果を基礎に置き、サーマル・バリア部のプラズマ揺動の測定を行った。特に、ECRH印加時にセントラル部の反磁性量が減る現象に注目し、その時に発生する低周波揺動の特性を調べた。二次イオンビームの軌道の変動から電位揺動が分かり、同時にビーム強度の変動から密度揺動が知れる特徴を生かし、両揺動の位相差がほぼ0であることを見出した。一次ビームを掃引しプラズマ断面に渡る二次元電位分布及び揺動の測定を行って電場及び波数を求めた結果、 $m=1$ の $E \times B$ ドリフトの方向に回転する波であることが分かった。セントラル部に設置されているビームプローブを併用して、プラグ・バリア部で観測された揺動との相関を調べた結果、セントラル部からプラグ・バリア部に渡り全体で発生している同一周波数の揺動であることが分かった。この低周波揺動はフルタイプ揺動であると同定した。[1] 右図に半径  $r = 7 \text{ cm}$  での電場  $E$  に対応する  $E \times B$  ドリフト回転周波数との関係を示す。揺動周波数は、電場の大きさにほぼ比例しており、揺動周波数と  $E \times B$  ドリフト周波数も対応している。電場強度と揺動周波数に強い相関があることが知れた。



径方向電場と揺動周波数の関係

[1] 第14回プラズマ・核融合学会 (1997年) 26aB2p 長崎、他

## 【22】 損失領域へのイオン輸送の研究

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ち、損失領域内のイオン分布の知見は閉じ込めを研究する上において重要な役割を果たす。端損失イオンのエネルギーをピッチ角分布と同時に測定すると、損失領域内のイオン分布が観測出来る。[1] この観点に立って損失領域内の速度分布関数を求め得る計測器 (ELECA) が製作されている。今までに得られた測定結果を踏まえ、損失領域へのイオン輸送の研究を推し進めるために、速度空間の捕捉領域内のイオンの流れ及び損失領域内の微細構造に着目した。

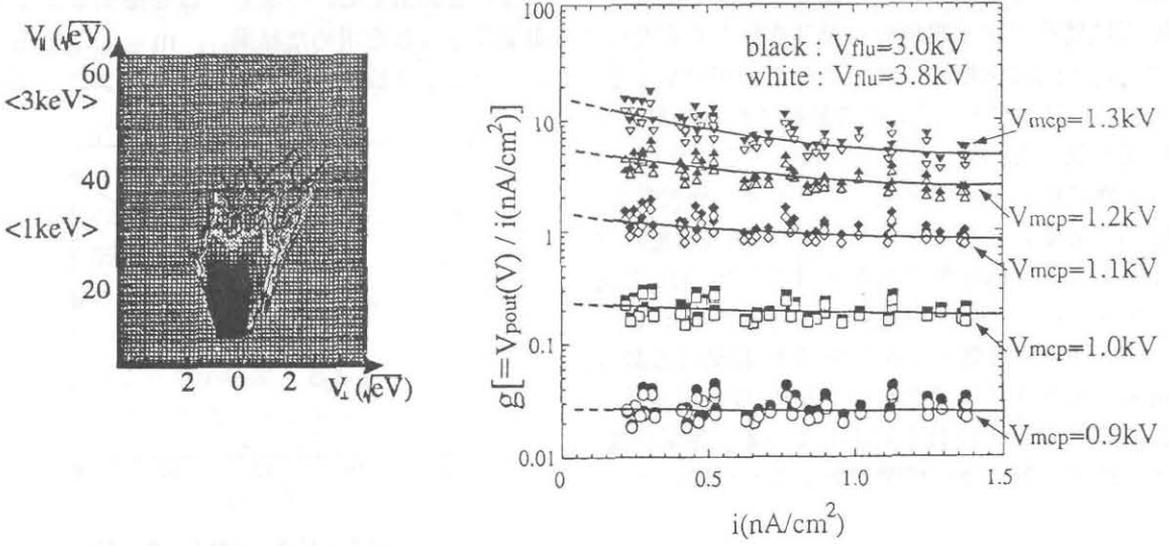
ELECA測定器で速度分布関数を測定すると、損失領域内のイオン分布に微細構造が存在することが見出された。微細構造を引き起こす要因は色々考えられるが、イオンの非等方加熱に起因したアルヴェン・イオンサイクロトロン(AIC)モードの揺動励起はその一つであり、実際にこの電磁揺動の励起とエネルギースペクトルに現れるハンプ構造との間に強い相関があることが分かっている。電磁揺動による速度空間内のイオン輸送を明らかにする為、損失境界近傍のミラー磁場捕捉イオン測定用分析器を設計した。[2] 偏向角  $63.6$  度の円筒型分析器で、大きな入射孔に対しても良い収束性を持ち、近接性の悪い場所での使用に耐えることが分かった。

微細構造を通して電磁揺動等による速度空間内のピッチ角散乱を定量的に取り扱う為には、現在のMCPイオン検出器の角度分解を向上させる必要がある。イオン検出器のアノード部を蛍光面に変え、角度分解を約10倍向上させることを考案した。蛍光面採用によりMCP検出器全体の利得特性が変わる為、水素イオン源を用いたテストスタンドで較正実験を行った。MCP印加電圧の依存、蛍光面電圧の依存、入力電流の依存を考慮した利得曲線  $g$  は  $g = g_0 \exp(ai_i + bi_i^2)$  で表されることを見出した。ここで、  

$$5.77V_{mcp}^2, b_i = 1.35 - 3.38V_{mcp} + 2.12V_{mcp}^2$$
 であり、  

$$g_0 = \exp(-42.6) \exp(44.18V_{mcp} - 12.7V_{mcp}^2) \exp(0.795V_{flu})$$
 である。これによりELECA測定器に流入してくるイオンのエネルギーとピッチ角及びその時の出力が分かれば端損失イオンの速度分布関

数を求めることができる。下の左図に端損失イオン速度分布関数の等高線表示を示す。損失境界及び微細構造が現れているのが分かる。下の右図は利得曲線  $g$  の入力電流依存を表している。



- [1] K.Ishii, et al. Journal of the Physical Society of Japan Vol.66, No.8(1997) pp.2224
- [2] 第14回プラズマ・核融合学会 (1997年) 25 p C 4 2 p 後藤、他
- [3] 第14回プラズマ・核融合学会 (1997年) 25 p B 1 3 p 五井、他

< A論文 >

- 1 B.Rau, T.Tajima, and H.Hojo,  
Coherent Electron Acceleration by Subcycle Laser Pulses,  
*Physical Review Letters* **78**, No.17 (1997, April) pp.3310-3313.
- 2 T.Aota, N.Yamaguchi, K.Ikeda, S.Aoki, M.Yoshikawa, A.Mase, and T.Tamano,  
Image Characteristics of a Channel Plate Collimator for Low Energy X-rays,  
*Review of Scientific Instruments* **68**, No.4 (1997, April) pp.1661-1667.
- 3 Y.Kiwamoto, H.Abe, T.Aota, L.G.Bruskin, T.Cho, T.Goto, M.Hirata, H.Hojo, M.Ichimura, K.Ikeda,  
A.Itakura, K.Kajiwara, I.Katanuma, N.Katsuragawa, I.M.Khairul, J.Kohagura, A.Kumagai, A.Mase,  
Y.Nagayama, Y.Nakashima, N.Oyama, T.Saito, Y.Sakamoto, M.Shoji, T.Takahashi, T.Tamano, S.Tanaka,  
Y.Tatematsu, T.Tokuzawa, N.Yamaguchi, K.Yatsu, Y.Yoshikawa, and M.Yoshimura,  
Behaviour of a Hot-Ion Plasma in the GAMMA 10 Tandem Mirror,  
*Plasma Physics and Controlled Fusion* **39**, No.5A (1997, May) pp.A381-A391.
- 4 Y.Kogi, A.Mase, L.G.Bruskin, N.Oyama, T.Tokuzawa, A.Itakura, H.Hojo, and T.Tamano,  
Cross-Polarization Scattering from Low-Frequency Waves in a Tandem Mirror Plasma,  
*Japanese Journal of Applied Physics* **36**, No.5A (1997, May) pp.L587-L589.
- 5 L.G.Bruskin, A.Mase, T.Tokuzawa, N.Oyama, A.Itakura, and T.Tamano,  
Wavelet Application for Reflectometry of Plasma Density Profiles,  
*Japanese Journal of Applied Physics* **36**, Part 2, No.5B (1997, May) pp.L632-L633.
- 6 K.Ikeda, Y.Nagayama, T.Aota, M.Ichimura, K.Ishii, T.Ishijima, Y.Kiwamoto, A.Mase, T.Saito, T.Tamano,  
T.Tokuzawa, N.Yamaguchi, and M.Yoshikawa,  
Rotation of Cylindrical Plasmas in the GAMMA 10 Tandem Mirror,  
*Physical Review Letters* **78**, No.20 (1997, May 19) pp.3872-3875.
- 7 Y.Kiwamoto, H.Abe, Y.Tatematsu, T.Saito, M.Kurata, K.Kajiwara, Y.Kikuchi, T.Takahashi, and T.Tamano,  
Thermographic Temperature Determination of Gray Materials with an Infrared Camera in Different  
Environment,  
*Review of Scientific Instruments* **68**, No.6 (1997, June) pp.2422-2427.
- 8 I.Katanuma, Y.Kiwamoto, Y.Tatematsu, K.Ishii, T.Saito, K.Yatsu, and T.Tamano,  
Plug Potential Formation in a Tandem Mirror,  
*Physics of Plasmas* **4**, No.7 (1997, July) pp.2532-2543.
- 9 R.Minai, I.Katanuma, and T.Tamano,  
Effect of the Collision Frequency on the Ion Temperature Determined from Ion Endloss Spectrum,  
*Journal of the Physical Society of Japan* **66**, No.7 (1997, July) pp.2051-2056.
- 10 K.Ishii, T.Goto, Y.Goi, Y.Katsuki, N.Kikuno, M.Nagasaki, N.Ishibashi, Y.Ono, I.Katanuma, K.Yatsu, and  
T.Tamano,  
End-Loss Ion Analysis Using an End-Loss Energy Component Analyzer in the Tandem Mirror,  
*Journal of the Physical Society of Japan* **66**, No.8 (1997, August) pp.2224-2227.
- 11 K.Kajiwara, T.Saito, Y.Kiwamoto, Y.Tatematsu, Y.Yoshimura, T.Takahashi, H.Miyaue, H.Abe, Y.Kikuchi,  
and T.Tamano,  
Current Balance at an Endplate of the GAMMA 10 Tandem Mirror,  
*Journal of the Physical Society of Japan* **66**, No.8 (1997, August) pp.2342-2349.
- 12 Y.Tatematsu, Y.Kiwamoto, T.Saito, I.Katanuma, and T.Tamano,  
Non-Relativistic Response Function for Higher Harmonic Electron Cyclotron Resonance Heating,  
*Physics of Plasmas* **4**, No.8 (1997, August) pp.2972-2981.
- 13 Y.Kikuchi, Y.Kiwamoto, T.Takahashi, T.Saito, Y.Tatematsu, H.Abe, K.Kajiwara, N.Yamaguchi, and  
T.Tamano,  
In-situ Calibration of Microchannel-Plate-Based X-ray Pinhole Camera for Observation of Magnetically

Trapped Plasma,

Review of Scientific Instruments **68**, No.9 (1997, September) pp.3421-3425.

- 14 S.Miyoshi and the GAMMA 10 Group,  
The Improvement of Plasma Confinement in the Tandem Mirror GAMMA 10,  
Plasma Physics Reports **23**, No.9 (1997, September) pp.723-731. [Fizika Plazmy **23**, No.9, pp.781-790].
- 15 Y.Kiwamoto, T.Tamano, T.Saito, Y.Tatematsu, Y.Kikuchi, M.Ichimura, H.Abe, T.Takahashi, K.Kajiwara, N.Yamaguchi, and S.Miyoshi,  
Anisotropic Hot Plasma in the GAMMA 10 Tandem Mirror with Minimum B Inboard Anchors,  
Plasma Physics Reports **23**, No 9 (1997, September) pp.732-741. [Fizika Plazmy **23**, No.9, pp.791-800].
- 16 K.Yatsu, M.K.Islam, I.Katanuma, M.Shoji, and Y.Nakashima,  
Magnetic Field Configuration for Tandem Mirror with Axially Distributed Multipole Field,  
Plasma Physics Reports **23**, No.9 (1997, September) pp.774-777. [Fizika Plazmy **23**, No.9, pp.838-841].
- 17 Y.Yoshimura, T.Saito, Y.Kiwamoto, Y.Tatematsu, K.Kajiwara, H.Miyaue, H.Abe, and T.Tamano,  
Potential Distribution in the End Region of the GAMMA 10 Tandem Mirror Associated with Electron Flow Control,  
Journal of the Physical Society of Japan **66**, No.11 (1997, November) pp.3461-3469.
- 18 A.Kumagai, M.Ichimura, M.Nakanura, S.Tanaka, S.Kanazawa, S.Takayama, E.Ishikawa, C.Satake, M.Inutake, H.Hojo, T.Tamano, and K.Yatsu,  
Axial Structure of Alfvén Ion Cyclotron Mode in the GAMMA 10 Tandem Mirror,  
Japanese Journal of Applied Physics, **36** Part 1, No.11, (1997, November) pp.6978-6980.
- 19 J.Kohagura, T.Cho, M.Hirata, T.Tamano, K.Yatsu, and S.Miyoshi,  
Alternative Principle and Method in X-ray Diagnostics for Plasma Electron Temperatures,  
Physical Review E **56**, No.5B (1997, November) pp.5884-5893.
- 20 T.Saito, Y.Tatematsu, Y.Kiwamoto, H.Miyaue, Y.Yoshimura, T.Tamano, and K.Yatsu,  
Effects of Anisotropy of End Loss Electrons on Axial Potential Profile and Electron Transport in the End Region of a Tandem Mirror,  
Journal of the Physical Society of Japan **66**, No.12 (1997, December) pp.3809-3814.
- 21 T.Saito, I.Katanuma, T.Aoto, L.G Bruskin, T.Cho, M.Hirata, H.Hojo, M.Ichimura, K.Ishii, A.Itakura, N.Katsuragawa, Y.Kiwamoto, J.Kohagura, A.Mase, Y.Nakashima, Y.Sakamoto, M.Shoji, T.Tamano, Y.Tatematsu, T.Tokuzawa, K.Yatsu, M.Yoshikawa, Y.Yoshimura,  
ECRH Experiments in a Hot Ion Mode of the GAMMA 10 Tandem Mirror and a Theoretical Study of Plug Potential Formation Mechanisms,  
Fusion Energy 1996 Vol.2 (International Atomic Energy Agency, Vienna, 1997) pp.105-116.
- 22 Y.Nakashima, M.Shoji, K.Yatsu, S.Kobayashi, K.Tsuchiya, N.Yamaguchi, M.Yoshikawa, T.Aoto, T.Ishijima, M.Ichimura, M.Inutake, A.Mase, and T.Tamano,  
Behavior of Neutral-Hydrogen and Particle Confinement on GAMMA10 Tandem Mirror Plasmas,  
Journal of Nuclear Materials **241-243** (1997), pp.1011-1015.
- 23 T.Cho, M.Hirata, J. Kohagura, Y.Sakamoto, S.Kanke, K.Takahashi, K.Yatsu, T.Tamano, and S.Miyoshi,  
X-ray Diagnostics for Investigating Electron Distribution Functions and Electron Potential Confinements,  
Fusion Engineering and Design **34-35** (1997) pp.179-182.
- 24 J.Kohagura, T Cho, M.Hirata, K.Yatsu, T.Tamano, K.Hirano, and H.Maezawa,  
Applications of a New Theory on the X-ray Energy Responses of Semiconductor Detectors to Plasma X-ray Diagnostics,  
Fusion Engineering and Design **34-35** (1997) pp.183-187.

- 25 T.Aota, N.Yamaguchi, M.Yoshikawa, K.Ikeda, T.Ishijima, Y.Okamoto, A.Mase, and T.Tamano,  
Two Dimensional Imaging X-ray Spectrometer for Plasma Diagnostics,  
Fusion Engineering and Design **34-35** (1997) pp.189-191.
- 26 K.Ikeda, Y.Nagayama, N.Yamaguchi, M.Yoshikawa, T.Aota, T.Ishijima, Y.Okamoto, and T.Tamano,  
Measurement of Plasma Rotation in a Tandem Mirror,  
Fusion Engineering and Design **34-35** (1997) pp.257-260.
- 27 A.Mase, M.Kobayashi, N.Oyama, T.Tokuzawa, H.Inutake, M.Yokoi, A.Itakura, H.Hojo, L.G.Bruskin,  
M.Ichimura, and T.Tamano,  
Reflectometric Measurement of Density and Magnetic Fluctuations in ICRF-Driven Waves,  
Fusion Engineering and Design **34-35** (1997) pp.371-374.
- 28 N.Oyama, A.Mase, T.Tokuzawa, K.Imamura, A.Itakura, Y.Ito, T.Tamano,  
Plasma Diagnostics Using Millimeter-Wave Two-Dimensional Imaging Array,  
Fusion Engineering and Design **34-35** (1997) pp.407-410.
- 29 M.Nagatsu, M.Aoki, S.Kubota, H.Arimoto and K.Sato,  
Study of the Dynamic Behaviour of the STP-3(M) RFP Plasma Using Microwave Reflectometry,  
Fusion Engineering and Design **34-35** (1997) pp.437-440.
- 30 L.G.Bruskin, A.Mase, T.Tamano,  
Resolution of Microwave Correlation Reflectometry,  
Fusion Engineering and Design **34-35** (1997) pp.441-445.
- 31 H.Hojo, H.Honda, N.Katsuragawa, and A.Mase,  
Ultrashort-Pulse Microwave-Plasma Interactions and Reflectometry,  
Fusion Engineering and Design **34-35** (1997) pp.447-450.
- 32 T.Tokuzawa, A.Mase, N.Oyama, T.Uchiyama, A.Itakura, T.Tamano,  
Reflectometric Density Profile Measurement Using an Ultrafast Sweep Oscillator,  
Fusion Engineering and Design **34-35** (1997) pp.451-454.
- 33 Y.Sakamoto, T.Cho, M.Hirata, T.Yoshimura, K.Makino, Y.Nakashima, K.Yatsu, T.Tamano, and S.Miyoshi,  
Plasma-Ion Diagnostics Using a Newly Designed Differential-Spectrum Ion-Energy Analyzer with  
Electrostatic Slanted Grids,  
Fusion Engineering and Design **34-35** (1997) pp.543-546.
- 34 Y.Nakashima, M.Shoji, K.Yatsu, K.Tsuchiya, Y.Fukuchi, M. Ichimura, M.Inutake, N.Yamaguchi, A.Mase,  
and T.Tamano,  
Charge-Exchange Neutral Particle Analysis on the ICRF-Heated Plasmas in the GAMMA 10 Tandem  
Mirror,  
Fusion Engineering and Design **34-35** (1997) pp.555-559.
- 35 K.Ishii, T.Takahashi, A.Abe, N.Kikuno, T.Goto, Y.Katsuki, I.Katanuma, A.Itakura, M.Ichimura,  
Y.Kiwamoto, K.Yatsu, and T.Tamano,  
Direct Measurements of Ion Distribution Function in Loss Cones and Plasma Potential in the Tandem  
Mirror,  
Fusion Engineering and Design **34-35** (1997) pp.617-620.
- 36 M.Nakamura, M.Ichimura, S.Tanaka, S.Kanazawa, E.Ishikawa, C.Satake, S.Takayama, S.Motegi,  
A.Kumagai, H.Hojo, Y.Nakashima, Y.Kiwamoto, T.Saito, Y.Tatematsu, T.Tamano, and K.Yatsu,  
Excitation of the Alfvén Ion Cyclotron Mode Solely by an Ion Pressure Distribution,  
Japanese Journal of Applied Physics, **37** Part 1, No.1 (1998, January) pp.342-343.
- 37 L.G.Bruskin, A.Mase, T.Tokuzawa, N.Oyama, A.Itakura, and T.Tamano,  
Measurement of Plasma Density Using Wavelet Analysis of Microwave Reflectometer Signal,  
Review of Scientific Instruments **69**, No.2 (1998, February) pp.425-430.
- 38 S.Kubota, T.Onuma, A.Mase, T.Tokuzawa, N.Oyama, A.Itakura, H.Hojo, L.G.Bruskin, T.Tamano, K.Yatsu,

- C.Domier, and N.Luhmann,Jr.,  
Development of an Ultrashort-Pulse Reflectometer for Density Profile Measurements on GAMMA 10,  
Japanese Journal of Applied Physics **37**, No.3A (1998, March) pp.L300-L302.
- 39 R.Minai, I.Katanuma, T.Tamano, and K.Yatsu,  
Monte-Carlo Simulation on Ion Axial Confinement and End-loss Spectrum in the GAMMA10 Tandem  
Mirror,  
Journal of the Physical Society of Japan **67**, No.3 (1998, March) pp.110-115.
- 40 J.Kohagura, T.Cho, M.Hirata, S.Kanke, K.Takahashi, T.Okamura, T.Tamano, K.Yatsu, and S.Miyoshi,  
International Collaboration Researches on the Effects of a New Theory on the Plasma X-ray Diagnostics  
Using Semiconductor X-ray Detectors,  
Plasma Physics Reports **24**, No.3 (1998, March) pp.218-221. [Fizika Plazmy **24**, No.3,  
pp.247-250].

< B論文 >

- 1 M.Yoshikawa, N.Yamaguchi, T.Aota, K.Ikeda, Y.Okamoto, and T.Ishijima,  
Calibration of Time- and Space-Resolving Vacuum Ultraviolet Spectrograph Recording System for Plasma  
Diagnostics,  
Photon Factory Activity Report 1996 **14**, (National Laboratory for High Energy Physics, 1997)  
p.273.
- 2 T.Cho, M.Hirata, J.Kohagura, Y.Sakamoto, T.Okamura, T.Tamano, K.Yatsu, S.Miyoshi, T.Kondoh,  
K.Hirano, H.Maezawa, and S.Tanaka,  
Characterization of New Multilayer Semiconductor X-Ray Detectors for Electron-Temperature Analyses,  
Photon Factory Activity Report 1996 **14**, (National Laboratory for High Energy Physics, 1997)  
p.364.
- 3 M.Hirata, T.Cho, J.Kohagura, Y.Sakamoto, T.Okamura, T.Kondoh, T.Tamano, K.Yatsu, S.Miyoshi,  
K.Hirano, H.Maezawa, M.Bessenrodt-Weberpals,  
Generalized Physics Interpretations of the X-Ray Energy Response Deduced from Semiconductor Detectors  
in the Asdex Upgrade Tokamak at the Max-Planck-Institut für Plasmaphysik,  
Photon Factory Activity Report 1996 **14**, (National Laboratory for High Energy Physics, 1997)  
p.365.
- 4 J.Kohagura, T.Cho, M.Hirata, T.Okamura, T.Tamano, K.Yatsu, S.Miyoshi, K.Hirano, and H.Maezawa,  
Verification of the Three-Dimensional Charge Diffusion Effect in Multichannel Semiconductor Detector  
Arrays,  
Photon Factory Activity Report 1996 **14**, (National Laboratory for High Energy Physics, 1997)  
p.366.
- 5 B.Rau, H.Hojo, and T.Tajima,  
Microbunching and Coherent Acceleration of Electrons by Subcycle Laser Pulses,  
AIP Conference Proceedings No.398 - Advanced Accelerator Concepts (AIP Press, New York, 1997),  
pp.766-781.
- 6 Y.Tatematsu, Y.Kiwamoto, T.Saito, Y.Yoshimura, I.Katanuma, and T.Tamano,  
Control of Potential Profile and Energy Transport to Machine Ends along Open Magnetic Field Lines in a  
Tandem Mirror  
in "Double Layers - Potential Formation and Related Nonlinear Phenomena in Plasmas", edited by  
Sendai Plasma Forum (World Scientific Publishing Co., 1997) pp.199-204
- 7 A.Mase, T.Tokuzawa, L.G.Bruskin, Y.Kogi, N.Oyama, A.Itakura, T.Tamano, K.Yatsu,  
Density Profile and Fluctuation Measurements on GAMMA 10 Using FM Reflectometer,

Proc. 3rd Workshop of Microwave Reflectometry for Fusion Plasma Diagnostics, Madrid (1997)  
pp.11-19.

- 8 N.Oyama, A.Mase, T.Tokuzawa, A.Itakura, T.Tamano, K.Yatsu, Y.Nagayama, K.Kawahata, K.Watabe, K.Mizuno, A.Miura, H.Matsuura, Y.Harada,  
Development of Millimeter-Wave Two-Dimensional Imaging Array for Large Fusion Devices,  
Proc. 8th Int. Symp. on Laser-Aided Plasma Diagnostics, Doorwerth (1997) pp.343-348.
- 9 市村 真  
ミラー閉じ込め磁場中の波動  
第36回若手夏の学校テキスト (プラズマ・核融合学会, 1997年8月) p.176-190.
- 10 玉野輝男  
タンデムミラー方式核融合開発研究  
学術月報, 第51巻2号 (平成10年2月15日) pp.44-47.
- 11 玉野輝男  
プラズマ中の輸送障壁と電界形成に関する研究  
日本原子力研究所依託研究報告書 (平成10年2月27日)
- 12 間瀬 淳  
国際熱核融合実験炉制御に関する調査  
プラズマ・核融合学会調査報告書 (平成10年2月) pp.45-56.

<国際会議>

- 1 Y.Sakamoto, T.Cho, M.Hirata, Y.Nakashima, T.Tamano, K.Yatsu, and S.Miyoshi,  
A Novel Electrostatic Slanted-Grid-Type Ion Spectrometer and the Development and Characterization of  
Semiconductor Ion Detectors,  
The 9th National Topical Conference on High-Temperature Plasma Diagnostics (St. Petersburg, 1997,  
June 2-4) O24.
- 2 T.Cho, J.Kohagura, M.Hirata, Y.Sakamoto, T.Okamura, T.Numakura, R.Minami, T.Sasuga, H.Nishizawa,  
T.Tamano, K.Yatsu, and S.Miyoshi,  
A New Principle in Plasma Electron-Temperature Diagnostics Using a Semiconductor X-ray Detector,  
The 9th National Topical Conference on High-Temperature Plasma Diagnostics (St. Petersburg, 1997,  
June 2-4) P-I-24.
- 3 H.Hojo, B.Rau, and T.Tajima,  
Particle Acceleration by Subcycle Laser Pulses,  
13th Advanced ICFA Beam Dynamics Workshop and 1st ICFA Novel and Advanced Accelerator  
Workshop: the Second Generation Plasma Accelerators (Kyoto, 1997, July).
- 4 T.Cho, M.Hirata, J.Kohagura, Y.Sakamoto, T.Okamura, T.Tamano, K.Yatsu, S.Miyoshi, S.Tanaka, K.Sato,  
Y.Saitoh, K.Hirano, and H.Maezawa,  
The Development and Characterization of Multilayer Semiconductor Detectors Using a New Theory,  
The 6th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (Himeji, Japan, 1997,  
August 4-8) .
- 5 J.Kohagura, T.Cho, M.Hirata, T.Okamura, T.Tamano, K.Yatsu, S.Miyoshi, K.Hirano, and H.Maezawa,  
New Methods for Semiconductor Charge-Diffusion-Length Measurements Using Synchrotron Radiation,  
The 6th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (Himeji, Japan, 1997,  
August 4-8).
- 6 M.Yoshikawa, N.Yamaguchi, T.Aota, K.Ikeda, Y.Okamoto, K.Yatsu, and T.Tamano,  
Calibration of Space-Resolving VUV and Soft X-ray Spectrographs for Plasma Diagnostics,  
The 6th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (Himeji, Japan, 1997,

August 4-8).

- 7 G.Vayakis, T.Ando, N.Bretz, L.deKock, A.Donné, E.Doyle, J.Irby, E.Martin, M.Manso, A.Mase, J.Sanchez, V.Vershkov, D.Wagner, C.Walker, and the ITER JCT and HT,  
Overview of the ITER Reflectometry Diagnostics Systems,  
International Workshop on Experimental Fusion Reactors, (invited, Varenna, 1997, September 4).
- 8 I.Katanuma, R.Minai, Y.Kiwamoto, Y.Tatematsu, K.Ishii, T.Saito, T.Tamano, and K.Yatsu,  
The Plug Potential Formation and Ion Axial Transport in a Tandem Mirror,  
Second Asian Pacific Plasma Theory Conference, APPTC'97 (Toki, Japan, 1997, September 24-26).
- 9 H.Hojo and Y.Kurosawa,  
Simulation Study of Nonlinear Alfvén Wave Propagation in an Electron-Positron Plasma,  
Second Asian Pacific Plasma Theory Conference, APPTC'97 (Toki, Japan, 1997, September 24-26).
- 10 K.Yatsu, L.G.Bruskin, T.Cho, M.Hamada, M.Hirata, H.Hojo, M.Ichimura, K.Ishii, A.Itakura, I.Katanuma, Y.Kiwamoto, S.Kubota, A.Mase, S.Miyoshi, Y.Nakashima, T.Saito, T.Tamano, Y.Tatematsu, M.Yoshikawa,  
Plasma Confinement in GAMMA 10 and Tandem Mirror Reactor,  
International Atomic Energy Agency Technical Committee Meeting "Innovative Approaches to Fusion Energy", (Pleasanton, California, USA, 1997, October 20-23).
- 11 T.Tamano, L.G.Bruskin, T.Cho, M.Hamada, M.Hirata, H.Hojo, M.Ichimura, K.Ikeda, K.Ishii, A.Itakura, K.Kajiwara, I.Katanuma, Y.Kiwamoto, J.Kohagura, S.Kubota, A.Mase, Y.Nagayama, Y.Nakashima, N.Oyama, Y.Sakamoto, T.Saito, S.Tanaka, Y.Tatematsu, T.Tokuzawa, K.Yatsu, M.Yoshikawa, Y.Yoshimura, N.Sato, R.Hatakeyama, T.Kaneko, M.Inutake, M.Yoshinuma, Y.Yasaka,  
D-He3 Tandem Mirror Approach,  
International Atomic Energy Agency Technical Committee Meeting "Innovative Approaches to Fusion Energy", (Pleasanton, California, USA, 1997, October 20-23).

<□頭発表>

- 1 H.Hojo, M.Ichimura, A.Mase, and K.Yatsu,  
Plasma Modeling with Alfvén Ion Cyclotron Fluctuations in GAMMA 10,  
US-Japan Workshop on Turbulence and Transport in Toroidal Plasmas (JAERI, 1998, February).
- 2 A.Mase, N.Oyama, H.Negishi, K.Watabe, K.Mizuno, Y.Nagayama, K.Kawahata, H.Matsuura, A.Miura, Y.Harada,  
Development of Millimeter-Wave Imaging Array on GAMMA 10 and LHD,  
US-Japan Workshop on Development of Time-Dependent Spectrometer in Millimeter and Submillimeter-Waves (University of California, Davis, 1998, February 26-27).
- 3 K.Watabe, N.Oyama, A.Mase, K.Mizuno,  
Millimeter-Wave Imaging Optics for GAMMA 10,  
US-Japan Workshop on Development of Time-Dependent Spectrometer in Millimeter and Submillimeter-Waves (University of California, Davis, 1998, February 26-27).
- 4 A.Mase, T.Tokuzawa, S.Kubota, L.G.Bruskin, Y.Kogi, H.Hojo, T.Onuma, N.Goto, A.Itakura, T.Tamano, K.Yatsu, C.W.Domier, N.C.Luhmann, Jr.,  
Density Profile and Fluctuation Measurements with FM and Ultrashort-Pulse Reflectometry on GAMMA 10,  
US-Japan Workshop on Development of Time-Dependent Spectrometer in Millimeter and Submillimeter-Waves (University of California, Davis, 1998, February 26-27).
- 5 H.Hojo, Y.Kurosawa, A.Mase,  
Microwave Diagnostic Simulator,  
US-Japan Workshop on Development of Time-Dependent Spectrometer in Millimeter and

- Submillimeter-Waves (University of California, Davis, 1998, February 26-27).
- 6 Y.Nakashima, GAMMA10 Group  
Recent Results of Plasma Confinement and PWI Studies on the GAMMA 10 Tandem Mirror  
Plasma Science and Fusion Seminar Series (University of California, San Diego, 1998, February 25).
- 7 北條仁士, 間瀬淳, 飽本一裕,  
サブサイクル電磁波の物理と診断への応用,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) シンポジウム.
- 8 岡村輝雄, 長照二, 平田真史, 小波蔵純子, 沼倉友晴, 南龍太郎, 坂本宜照, 流石岳史, 西沢祐樹,  
玉野輝男, 谷津潔,  
X線トモグラフィ計測用マトリックス型新型半導体検出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14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 25pB10p.
- 9 徳沢季彦, 間瀬淳, Leonid Bruskin, 後藤巨樹, 大山直幸, Shigeyuki Kubota, 板倉昭慶, 玉野輝男,  
谷津潔,  
高速掃引型反射計による密度分布計測,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 25pB12p.
- 10 五井康裕, 石井亀男, 後藤哲也, 菊野長與, 香月勇三, 長崎将雄, 小野芳裕, 石橋信次, 山梨睦,  
中嶋洋輔, 板倉昭慶, 谷津潔, 玉野輝男,  
高角度分解端損失イオン測定用検出器の感度特性II,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 25pB13p.
- 11 後藤哲也, 石井亀男, 香月勇三, 菊野長與, 五井康裕, 長崎将雄, 小野芳裕, 石橋信次, 山梨睦,  
市村真, 玉野輝男, 谷津潔,  
GAMMA10における損失境界近傍のミラー磁場捕捉イオン計測,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 25pC42p.
- 12 Kubota Shigeyuki, 小沼剛, 間瀬淳, 徳沢季彦, 大山直幸, 板倉昭慶, 北條仁士, Bruskin Leonid,  
玉野輝男, 谷津潔, Domier Calvin, Luhmann Neville, Jr.,  
GAMMA 10における超短パルス反射計の開発 (I),  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 25pC44p.
- 13 際本泰士, 谷津潔, 玉野輝男, 齊藤輝雄, 片沼伊佐夫, 立松芳典, 阿部拓, 梶原健,  
開放端プラズマの径方向分布についての検討,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 26aB1p.
- 14 長崎将雄, 石井亀男, 菊野長與, 石橋信次, 香月勇三, 後藤哲也, 五井康裕, 小野芳裕, 山梨睦,  
片沼伊佐夫, 間瀬淳, 市村真, 板倉昭慶, 玉野輝男, 谷津潔,  
ガンマ10プラグ・バリア部に発生する低周波揺動,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 26aB2p.
- 15 高山星一, 田中覚, 市村真, 犬竹正明, 金澤清光, 石川英治, 佐竹周子, 中村基征, 茂木信二,  
竿崎宗春, 坂田勝亮, 北條仁士, 間瀬淳, 玉野輝男, 谷津潔,  
ガンマ10における高周波イオン加熱と周辺プラズマの低周波揺動V,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 26aB3p.
- 16 田中覚, 高山星一, 市村真, 犬竹正明, 金澤清光, 中村基征, 石川英治, 佐竹周子, 茂木信二,  
竿崎宗春, 坂田勝亮, 北條仁士, 間瀬淳, 石井亀男, 玉野輝男, 谷津潔,  
ガンマ10における高周波イオン加熱と周辺プラズマの低周波揺動VI,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 26aB4p.
- 17 小林進二, 中嶋洋輔, 庄司主, 山口直洋, 吉川正志, Islam Md. Khairul, 長谷川陽子, 広永行孝,  
大石正雄, 石本祐樹, 佐藤大輔, 和田篤志, 間瀬淳, 玉野輝男, 谷津潔,  
GAMMA 10 セントラル部における中性粒子輸送モンテカルロシミュレーションIV,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 26aB5p.
- 18 今村顕史, 間瀬淳, Kubota Shigeyuki, 大山直幸, 徳沢季彦, 板倉昭慶, 近木祐一郎, Bruskin Leonid,

- 北條仁士, 玉野輝男, 谷津潔,  
ガンマ10における電子サイクロトロン放射スペクトルと電子温度解析IV,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 26aB6p.
- 19 金澤清光, 石川英治, 市村真, 田中覚, 佐竹周子, 高山星一, 中村基征, 茂木信二, 竿崎宗春,  
坂田勝亮, 玉野輝男, 谷津潔,  
ガンマ10における回転電磁界型TypeIIIアンテナの負荷抵抗,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 26aB7p.
- 20 石川英治, 金澤清光, 市村真, 田中覚, 佐竹周子, 高山星一, 中村基征, 茂木信二, 竿崎宗春,  
坂田勝亮, 玉野輝男, 谷津潔,  
ガンマ10におけるTypeIIIアンテナの非対称性の影響,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 26aB8p.
- 21 佐竹周子, 坂田勝亮, 中村基征, 市村真, 齊藤輝雄, 田中覚, 金澤清光, 石川英治, 高山星一,  
茂木信二, 竿崎宗春, 北條仁士, 石井亀男, 中嶋洋輔, 玉野輝男, 谷津潔,  
ガンマ10における磁場揺動と高エネルギー粒子の振舞の相関II,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 26aB9p.
- 22 中村基征, 茂木信二, 市村真, 熊谷晃, 田中覚, 金澤清光, 石川英治, 佐竹周子, 高山星一,  
竿崎宗春, 坂田勝亮, 北條仁士, 犬竹正明, 間瀬淳, 中嶋洋輔, 玉野輝男, 谷津潔,  
AIC波動の軸方向構造II,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 26aB10p.
- 23 茂木信二, 中村基征, 市村真, 田中覚, 金澤清光, 石川英治, 佐竹周子, 高山星一, 竿崎宗春,  
坂田勝亮, 北條仁士, 間瀬淳, 玉野輝男, 谷津潔,  
ICRF波動入射によるプラズマ計測-AICモードの境界条件-,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 26aB11p.
- 24 近木祐一郎, 間瀬淳, 大山直幸, L.G.Bruskin, 徳沢季彦, 板倉昭慶, 今村顕史, 北條仁士, 市村真,  
玉野輝男, 谷津潔,  
Cross-Polarization Scattering による電磁波動の測定V,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 26aB12p.
- 25 玉野輝男, 中嶋洋輔, 吉川正志, 河森栄一郎, 山形智生, 市村真, 際本泰士, 間瀬淳, 大山直幸,  
齊藤輝雄, 徳沢季彦, 谷津潔, P.W.Fisher, M.J.Gouge, S.L.Milora,  
ガンマ10 タンデムミラーにおける水素ペレット入射計画,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 26aB13p.
- 26 河森栄一郎, 中嶋洋輔, 吉川正志, 山形智生, 玉野輝男, 谷津潔,  
ガンマ10 プラズマにおける水素ペレットのAblationの検討,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 26aB14p.
- 27 吉川正志, 石島達夫, 山形智生, 池田勝則, 岡本裕司, 河森栄一郎, 伊藤崇裕, 中嶋洋輔,  
小林進二, 玉野輝男, 山口直洋, 谷津潔,  
GAMMA 10プラズマ挙動の2次元多チャンネルH $\alpha$ 線計測,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 26aB15p.
- 28 池田勝則, 長山好夫, 山口直洋, 吉川正志, 伊藤崇裕, 岡本裕司, 河森栄一郎, 山形智生,  
玉野輝男, 谷津潔,  
GAMMA 10 アンカー部の可視分光計測II,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 26aB16p.
- 29 岡本裕司, 吉川正志, 山口直洋, 池田勝則, 石島達夫, 河森栄一郎, 伊藤崇裕, 山形智生,  
玉野輝男, 谷津潔,  
真空紫外分光器を用いたガンマ10における不純物イオンスペクトルの測定,  
プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 26aB17p.
- 30 菊池裕二, 高橋俊哉, 際本泰士, 齊藤輝雄, 立松芳典, 梶原健, 阿部拓, 伊藤清一, 鈴木昭宏,

- 山崎彰, 玉野輝男, 谷津潔,  
極小ミラー磁場プラズマから放射される軟X線の3次元空間分布,  
プラズマ・核融合学会第14回年会(1997年11月, 大阪大学) 26aB18p.
- 31 長谷川陽子, 中嶋洋輔, 庄司主, Islam Md. Khairul, 小林進二, 広永行孝, 大石正雄, 石本祐樹,  
佐藤大輔, 和田篤志, 市村真, 間瀬淳, 長照二, 吉川正志, 斉藤輝雄, 際本泰士, 玉野輝男,  
谷津潔,  
ガンマ10セントラルECRH実験におけるイオンのエネルギーバランスの検討,  
プラズマ・核融合学会第14回年会(1997年11月, 大阪大学) 26aB19p.
- 32 大石正雄, 中嶋洋輔, 長谷川陽子, 庄司主, Islam Md. Khairul, 小林進二, 広永行孝, 石本祐樹,  
佐藤大輔, 和田篤志, 市村真, 間瀬淳, 谷津潔,  
荷電粒子交換中性粒子分析によるプラズマ局所部イオン温度の解析法の検討,  
プラズマ・核融合学会第14回年会(1997年11月, 大阪大学) 26aB20p.
- 33 大山直幸, 間瀬淳, 根岸広和, 徳沢季彦, L.G.Bruskin, 板倉昭慶, 玉野輝男, 谷津潔,  
ミリ波二次元イメージングアレイによるガンマ10プラグ部計測,  
プラズマ・核融合学会第14回年会(1997年11月, 大阪大学) 26aB21p.
- 34 阿部拓, 際本泰士, 斉藤輝雄, 玉野輝男, 立松芳典, 高橋俊哉, 梶原健, 菊池裕二, 山崎彰,  
伊藤清一, 鈴木昭宏, 谷津潔,  
タンデムミラープラズマにおける熱流計測I,  
プラズマ・核融合学会第14回年会(1997年11月, 大阪大学) 26aB22p.
- 35 梶原健, 斉藤輝雄, 際本泰士, 立松芳典, 高橋俊哉, 阿部拓, 菊池裕二, 鈴木昭宏, 伊藤清一,  
石井亀男, 玉野輝男, 谷津潔,  
ガンマ10におけるエンドプレート接地抵抗変化実験II,  
プラズマ・核融合学会第14回年会(1997年11月, 大阪大学) 26aB23p.
- 36 黒沢良夫, 北條仁士, 間瀬淳,  
超短パルスマイクロ波伝播の2次元シミュレーション,  
プラズマ・核融合学会第14回年会(1997年11月, 大阪大学) 26aC14p.
- 37 広永行孝, 中嶋洋輔, 相良明男, 土屋勝彦, 庄司主, 山口直洋, 鈴木肇, 野田信明, 小森彰夫,  
大藪修義, 本島修, Islam Md. Khairul, 小林進二, 長谷川陽子, 大石正雄, 佐藤大輔, 和田篤志,  
玉野輝男, 谷津潔,  
カーボンシートポンプの実機への適用試験III,  
プラズマ・核融合学会第14回年会(1997年11月, 大阪大学) 27aC6.
- 38 間瀬淳, 徳沢季彦, Leonid G.Bruskin, 近木祐一郎, 大山直幸, 板倉昭慶, Shigeyuki Kubota,  
北條仁士, 市村真, 玉野輝男, 谷津潔,  
マイクロ波反射計による密度分布および揺動計測,  
プラズマ・核融合学会第14回年会(1997年11月, 大阪大学) 27pC1. (招待講演)
- 39 谷津潔, 石井亀男, 板倉昭慶, 市村真, 片沼伊佐夫, 際本泰士, 斉藤輝雄, 立松芳典, 玉野輝男,  
長照二, 平田真史, Leonid G.Bruskin, 北條仁士, 中嶋洋輔, 間瀬淳, 吉川正志,  
ガンマ10における加熱と輸送,  
プラズマ・核融合学会第14回年会(1997年11月, 大阪大学) 28aC8. (招待講演)
- 40 石井亀男, 後藤哲也, 五井康裕, 菊野長與, 香月勇三, 長崎将雄, 小野芳裕, 石橋信次, 山梨睦,  
片沼伊佐夫, 市村真, 間瀬淳, 板倉昭慶, 玉野輝男, 谷津潔,  
タンデムミラーにおける端損失イオン解析とイオン輸送,  
プラズマ・核融合学会第14回年会(1997年11月, 大阪大学) 28aC9.
- 41 片沼伊佐夫, 際本泰士, 立松芳典, 石井亀男, 斉藤輝雄, 玉野輝男, 谷津潔,  
プラグ部から外側ミラーズロート部にかけての電位分布に関する計算,  
プラズマ・核融合学会第14回年会(1997年11月, 大阪大学) 28aC10.
- 42 薬袋良一, 片沼伊佐夫, 玉野輝男, 谷津潔,

- タンデムミラーにおけるイオン閉じ込め及びエンドロススペクトルについてのモンテカルロシミュレーション,  
 プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 28aC11.
- 43 立松芳典, 際本泰士, 齊藤輝雄, 市村真, 玉野輝男, 谷津潔,  
 不均一プラズマにおけるRFプラズマ加熱・生成の検討,  
 プラズマ・核融合学会第14回年会 (1997年11月, 大阪大学) 28aC12.
- 44 濱田稔,  
 非等方的圧力を持つ円柱プラズマにおけるMHD不安定性,  
 日本物理学会1997年秋の分科会 (1997年10月, 神戸大学) 8aYK-3.
- 45 北條仁士, 黒沢良夫,  
 電子・陽電子プラズマにおけるアルベン波伝播のシミュレーション,  
 日本物理学会1997年秋の分科会 (1997年10月, 神戸大学) 8aYK-4.
- 46 濱田稔,  
 圧力異方性を持つ円筒容器内のプラズマにおける MHD不安定性,  
 日本物理学会第53回年会 (1998年3-4月, 日本大学) 30aYQ-4.
- 47 服部邦彦, 福士研司, 堀史生, 安藤晃, 犬竹正明, 間瀬淳,  
 HITOP 装置におけるマイクロ波反射計測,  
 日本物理学会第53回年会 (1998年3-4月, 日本大学) 30aYS-2.
- 48 谷津潔, 石井亀男, 板倉昭慶, 市村真, 片沼伊佐夫, 際本泰士, Kubota Shigeyuki, 小波蔵純子,  
 齊藤輝雄, 坂本宣照, 立松芳典, 玉野輝男, 長照二, 徳沢季彦, 中嶋洋輔, 濱田稔, 平田真史,  
 L.G.Bruskin, 北條仁士, 間瀬淳, 吉川正志,  
 ガンマ10における粒子閉じ込め,  
 日本物理学会第53回年会 (1998年3-4月, 日本大学) 30aYS-3.
- 49 齊藤輝雄, 立松芳典, 際本泰士, 吉村泰夫, 梶原健, 阿部拓, 梅原成範, 市村真, 間瀬淳,  
 玉野輝男, 谷津潔,  
 ガンマ10におけるAIC波動励起時の端損失電子の特性,  
 日本物理学会第53回年会 (1998年3-4月, 日本大学) 30aYS-4.
- 50 飽本一裕, 北條仁士, 間瀬淳,  
 荷電粒子と分散性パルスの相互作用,  
 日本物理学会第53回年会 (1998年3-4月, 日本大学) 31pYQ-15.
- 51 北條仁士, 黒沢良夫, 間瀬淳,  
 マイクロ波プラズマ診断シミュレータ,  
 日本物理学会第53回年会 (1998年3-4月, 日本大学) 2pYS-8.
- 52 北條仁士,  
 電子-陽電子プラズマのシミュレーション,  
 高強度レーザーを用いた実験室天体物理ワークショップ (1997年6月, 国立天文台)
- 53 北條仁士,  
 ミラー型核融合炉,  
 「核融合炉心システム解析」研究会 (1997年9月, 核融合科学研究所).
- 54 齊藤輝雄,  
 ガンマ10の電位形成と電子加熱,  
 核融合科学研究所研究会「プラズマの大電力加熱」 (1997年11月, 核融合科学研究所).
- 55 大山直幸, 間瀬淳,  
 大型装置計測のためのミリ波イメージングアレイの開発,  
 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究「ミリ波・サブミリ波帯計測システムの開発」  
 研究会 (1997年12月, 東北大学).
- 56 渡部謙一, 大山直幸, 間瀬淳, 水野皓司,

- 筑波大学 GAMMA10 用ミリ波イメージング光学系,  
東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究「ミリ波・サブミリ波帯計測システムの開発」  
研究会 (1997年12月, 東北大学) .
- 57 吉川正志, 石島達夫, 山形智生, 池田勝則, 岡本裕司, 玉野輝男, 山口直洋,  
ガンマ10における2次元多チャンネルH $\alpha$ 線計測,  
核融合科学研究所研究会「定常化を目指したプラズマの分光計測」(1997年12月, 核融合科学研究所) .
- 58 池田勝則, 長山好夫, 伊藤崇裕, 吉川正志, 岡本裕司, 玉野輝男, 山口直洋,  
ガンマ10アンカー部の紫外・可視分光,  
核融合科学研究所研究会「定常化を目指したプラズマの分光計測」(1997年12月, 核融合科学研究所) .
- 59 岡本裕司, 吉川正志, 池田勝則, 玉野輝男, 山口直洋,  
真空紫外分光器を用いたガンマ10プラズマの不純物イオンスペクトルの測定,  
核融合科学研究所研究会「定常化を目指したプラズマの分光計測」(1997年12月, 核融合科学研究所) .
- 60 渡部謙一, 大山直幸, 間瀬淳, 水野皓司,  
ミリ波イメージングアレイ用光学系,  
核融合科学研究所研究会「大型装置計測のためのミリ波技術の開発」(1998年1月, 核融合科学研究所) .
- 61 大山直幸, 間瀬淳, 長山好夫, 川端一男, 渡部謙一, 水野皓司, 三浦明, 松浦裕之,  
大型装置計測のためのミリ波イメージングアレイの開発,  
核融合科学研究所研究会「大型装置計測のためのミリ波技術の開発」(1998年1月, 核融合科学研究所) .
- 62 北條仁士, 黒沢良夫, 間瀬淳,  
Microwave Diagnostic Simulator,  
核融合科学研究所研究会「大型装置計測のためのミリ波技術の開発」(1998年1月, 核融合科学研究所) .
- 63 Kubota Sigeyuki, 小沼剛, 間瀬淳, 徳沢季彦, 大山直幸, 板倉昭慶, 北條仁士, Bruskin Leonid,  
玉野輝男, 谷津潔, Domier Calvin, Luhmann Neville, Jr.,  
GAMMA 10 における超短パルス反射計の開発,  
核融合科学研究所研究会「大型装置計測のためのミリ波技術の開発」(1998年1月, 核融合科学研究所) .
- 64 徳沢季彦, 間瀬淳, Leonid Bruskin, 後藤巨樹, 大山直幸, Shigeyuki Kubota, 板倉昭慶, 玉野輝男,  
谷津潔,  
反射計における密度揺動の効果と密度分布再構成,  
核融合科学研究所研究会「大型装置計測のためのミリ波技術の開発」(1998年1月, 核融合科学研究所) .
- 65 間瀬淳, 徳沢季彦, 近木祐一郎, L.Bruskin, 大山直幸, 板倉昭慶, 北條仁士, 市村真, 玉野輝男,  
谷津潔, 犬竹正明,  
マイクロ波散乱/反射計によるガンマ10の揺動分布計測と電場依存性,  
仙台プラズマフォーラム「電場シアと揺動に関する研究会」(1998年1月, 東北大学) .
- 66 北條仁士,  
電場および電場シアによる低周波不安定性理論,  
仙台プラズマフォーラム「電場シアと揺動に関する研究会」(1998年1月, 東北大学)
- 67 田中覚,  
ガンマ10における低周波揺動の静電プローブによる最近の測定結果,  
仙台プラズマフォーラム「電場シアと揺動に関する研究会」(1998年1月, 東北大学)

- 68 市村真,  
 タンデムミラーにおける自発励起アルベン波動,  
 核融合科学研究所研究会「トロイダルプラズマのアルフベン固有モードに関する物理課題」  
 (1998年1月, 核融合科学研究所)
- 69 梶原健, 立松芳典,  
 ガンマ10における端損失電子の制御,  
 若手科学者によるプラズマ研究会 (1998年1月, 日本原子力研究所)

<学位論文>

博士論文

(物理学研究科)

小波蔵純子

Novel Principle and Method of X-Ray Diagnostics for Plasma Electron-Temperature Measurements

坂本宜照

Study of Potential Confinement for Ions Using a Novel Ion Energy Spectrometer

(工学研究科)

徳沢季彦

Study of High-Resolution Microwave Reflectometer for Density and Density Fluctuation Measurements of Plasmas

修士論文

(物理学研究科)

岡本裕司

真空紫外分光器を用いたガンマ10プラズマの不純物イオンスペクトルの測定

小林進二

ガンマ10セントラル部プラズマ中の中性粒子輸送の研究

(工学研究科)

五井康裕

端損失イオン速度分布関数測定用高ピッチ角分解計測器の製作

中村基征

ガンマ10におけるAlfvén Ion Cyclotron不安定波動の解析

(理工学研究科)

石川英治

ガンマ10における回転電磁界型高周波加熱アンテナの非対称性の影響

今村顕史

ガンマ10における電子サイクロトロン放射スペクトルの研究

岡村輝雄

新開発マトリックス型半導体検出器を用いたX線トモグラフィ法によるプラズマ解析

河森栄一郎

ガンマ10プラズマにおけるペレット溶発の研究

近木祐一郎

Cross-Polarization Scattering法を用いたプラズマの内部磁場揺動計測

佐竹周子

ガンマ10における高周波加熱時の高エネルギーイオンの振舞

長崎将雄

ガンマ10バリア部のビームプローブを用いたプラズマの揺動測定

長谷川陽子

荷電交換中性粒子分析器を用いたタンデムミラーにおけるイオンのエネルギーバランスの研究

薬袋良一

タンデムミラーにおけるクーロン衝突を考慮したイオン損失のモンテカルロ・シミュレーション

菊池裕二

ピンホールカメラによる高温プラズマの空間分布計測

高山星一

ガンマ10周辺プラズマにおける低周波密度揺動の解析

広永行孝

GAMMA10プラズマによる炭素繊維材を用いた高速中性粒子の排気に関する研究

#### 卒業論文

(自然学類)

石本祐樹

カーボンシートポンプにおけるプラズマ放電時の不純物ガス分析

伊藤崇裕

GAMMA10プラズマの紫外・可視不純物分光

植村知幸

CCDカメラを用いたプラズマ揺動の研究

梅原成範

ガンマ10における高周波加熱プラズマからの端損失電子計測

流石岳史

半導体検出器を用いたイオン計測

佐藤大輔

ガンマ10極小磁場アンカー部における周辺部プラズマ計測

西沢祐樹

新型イオン・エネルギー・スペクトル計測器アレイの計測効率の評価

沼倉友晴

半導体X線検出器を用いたイオン同時計測への基礎実験

根岸広和

プラズマ計測のためのミリ波帯モノリシック検出器の開発研究

南龍太郎

半導体検出器によるガンマ10セントラル部X線トモグラフィ計測

山形智生

GAMMA10プラズマにおけるH $\alpha$ 線分光計測

山梨 睦

ガンマ10コアプラズマの電位構造の測定

和田篤志

中性粒子入射装置の中性化セル改造に関する研究

(基礎工学類)

後藤巨樹

ミリ波反射計によるガンマ10バリア部の揺動測定

小山大樹

制動放射X線のピンホール結像を用いたプラズマの空間分布計測

竿崎宗春

ガンマ10におけるプラズマ生成用高周波アンテナとプラズマの結合

坂田勝亮

GAMMA10における半導体検出器を用いた高エネルギーイオン測定

松本和也

サイクロトロン共鳴加熱された電子から放射されるマイクロ波の計測

< 科研費 >

基盤研究(A)(1)展開研究

間瀬 淳 (2,000千円)

超短パルスマイクロ波・プラズマ相互作用の研究とプラズマ診断への応用

基盤研究(B)(2)一般

長 照二 (3,800千円)

電位捕捉電子分布関数の空間構造究明と高電子温度高密度化への電位効果・比例則の確立

際本泰士 (5,200千円)

電子サイクロトロン加熱における共鳴周波数近傍の波動の発生と伝播

基盤研究(B)(2)展開研究

長 照二 (5,600千円)

イオン種・中性粒子・電子・X線の弁別同時測定可能大出力広エネルギー域計測器の開発

基盤研究(C)(2)一般

間瀬 淳 (2,400千円)

プラズマ内部磁場揺動測定のためのモード変換散乱法の確立

斉藤輝雄 (2,900千円)

タンデムミラーのエンド部を介した電流循環の解明とその抑制

萌芽的研究

北條仁士 (1,000千円)

サブサイクルレーザーパルスによる電子加速とコヒーレントX線放射

奨励研究(A)

立松芳典 (700千円)

非一様空間における相対論的サイクロトロン共鳴加熱による電子速度分布の変化

特別研究員奨励費

小波蔵純子 (900千円)

新開発X線計測器による新しいプラズマ電位計測と電位による電子閉込め物理機構の解明

坂本宜照 (900千円)

イオン閉じ込め電位生成機構と電位のプラズマイオン閉じ込め・エネルギー輸送への効果

徳沢季彦 (900千円)

ミリ波反射計によるプラズマ密度および揺動計測と径方向輸送の研究

池田勝則 (900千円)

空間分解型可視紫外分光装置を用いたタンデムミラープラズマの回転運動の研究

大山直幸 (900千円)

プラズマの二次元イメージング計測と輸送現象の研究

後藤哲也 (900千円)

タンデムミラープラズマの速度空間内におけるイオン拡散の研究

< 学プロ >

奨励研究

近藤真史 (500千円)

半導体検出中のX線生成電荷分布を用いた新着想プラズマ電子温度計測法の実証

立松芳典 (500千円)

不均一磁場におけるサイクロトロン共鳴加熱と熱輸送  
奨励研究（準研）

L.G.Bruskin（400千円）

ウェーブレット解析における密度分布の再構成及びプラズマ回転計測

<その他>

平成9年度創造開発研究経費，新エネルギー研究，理工学系

玉野輝男（9,968千円）

微小ペレットと磁場中プラズマとの相互作用の研究

LHD 計画共同研究

間瀬 淳（9,000千円）

ミリ波帯二次元イメージングアレイの開発

核融合科学研究所共同研究

中嶋洋輔（1,000千円）

荷電交換中性粒子の挙動と制御の研究

核融合科学研究所共同研究（研究会）

間瀬 淳（400千円）

大型装置計測のためのミリ波技術の開発

日米科学技術協力

L.G.Bruskin

派遣研究員「マイクロ波反射計によるプラズマの動的振る舞いの研究」UCLA/GA，  
1997年9月。

間瀬 淳

ワークショップ「ミリ波・サブミリ波帯時間分解分光法の開発」UCD，1998年2月。

在外研究員（創造開発研究）

中嶋洋輔

微小ペレットとプラズマの相互作用に関する調査研究，GA，1998年2月。