

GAMMA 10セントラル部 高効率電子加熱用反射鏡の製作依頼

プラズマ研究センター
坂越 祐介、今井 剛（指導教員）

今回製作を依頼した反射鏡は、マイクロ波によるプラズマ加熱を効率よく行うためのマイクロ波アンテナに相当するもので、この反射鏡の設計により、その性能は大きく左右される。プラズマ研究センターでは、プラズマの磁場閉じ込め装置に普遍的、かつ核融合達成に必要な「電位形成によるプラズマ閉じ込め向上の物理機構の解明」という課題の解決を目指し、複合ミラーのプラズマ閉じ込め装置GAMMA 10において、核融合プラズマの理工学研究を進めている。このプラズマ閉じ込め性能の向上には電子サイクロトロン共鳴加熱（Electron Cyclotron Resonance Heating : ECRH）による電位生成と電子加熱が重要な役割を果たしている。

GAMMA 10の主閉じ込め領域のセントラル部では、イオンサイクロトロン共鳴加熱により、イオン温度が数千万度と非常に高いが、電子温度はイオン温度の10分の1以下である。この条件では、電子ドラッグといわれるクーロン衝突を介した高温イオンから低温電子への熱損失が大きく、イオン温度の上昇が制限されている。電子温度を上げ高温イオンの電子による冷却を抑制することは、イオン温度の向上と閉じ込め改善の観点から非常に重要となる。

電子温度上昇のために、プラズマ中の電子を効率よく加熱するには、導波管から放射されたマイクロ波を高効率で電子サイクロトロン共鳴層へ伝送する必要がある。マイクロ波電力の伝送効率はアンテナ系の性能に大きく依存する。これまでに、より高効率なセントラル部アンテナ系の開発が進

められてきたが、2007年度のアンテナ系ではマイクロ波の伝送効率が十分ではなかった。GAMMA 10セントラル部アンテナ系の様子を図1に示す。アンテナ系はマイクロ波を放射する導波管と2枚の反射鏡で構成されている。2007年度アンテナ系において伝送効率が十分ではなかった理由として、図1の反射鏡M2の大きさが十分ではなかったため、M1で反射されたマイクロ波の一部をカバーすることができなかったことが挙げられる。そこで今回伝送効率を改善するためにM2を、プラズマや真空容器の制限内でできる限り大きくできるよう新規設計した。

反射鏡の形状は回転楕円体としたため、3次元の複雑な加工が必要であった。楕円体を用いた理由は、楕円の性質がマイクロ波の集光という面において適しているからである。楕円は2つの焦点を持ち、一方の焦点からの光は反射後にもう一方の焦点を通るので高い集光率が得られる。新M2の形状は、以下の式で与えた。

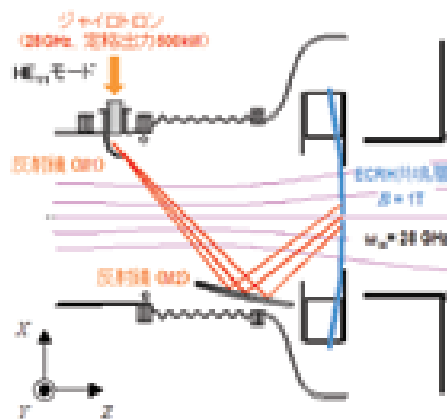


図1：セントラル部ECRHアンテナ系

$$z = M(x-178) + N - \sqrt{O(x-178)^2 + P(x-178) + N^2 + Ry^2}$$

$$M = -0.18317904$$

$$N = 237.44807$$

$$O = -0.3467495$$

$$P = -28.780206$$

$$R = -0.97$$

M2の範囲は $0 \leq x \leq 306$ 、 $-140 \leq y \leq 140$ で、単位はmmである。2007年度のM2の表面積が 794cm^2 であったのに新M2では 948cm^2 となり、 154cm^2 拡大した。この結果、電力伝送効率は約10%改善し効率的な電子加熱が期待された。

設計した反射鏡の性能を確認するために、実機製作前に低電力で試験を行うこととした。そこで、材質をアルミニウムとして新M2の試作鏡の製作を研究基盤センターの工作部門に依頼した。アルミニウム製新M2を図2に示す。この反射鏡を用いて

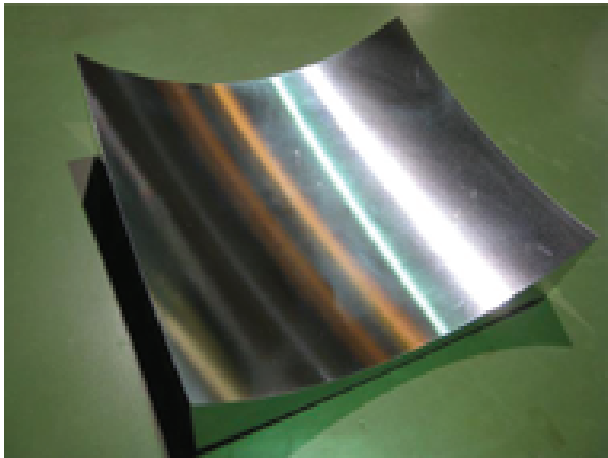


図2：アルミニウム製反射鏡

性能確認試験を行うことができ、これを踏まえて実際に真空容器内に設置するSUS316製の反射鏡の製作を依頼した。真空容器内は強磁場であるので非磁性鋼であるSUS316を採用した。SUS316を用いると重量が大きくなり、真空容器に設置する際に障害となるので、できる限り不要な部分を削り落とすよう依頼した。工作部門の担当者が迅速に対応してくれたお陰で、製作された反射鏡を真空容器に予定通り設置してプラズマ実験を行うことができた。

セントラルECRHを単独入射することで新セントラル部アンテナ系の性能を実証する実験を行った。この結果、以前のアンテナ系ではセントラルECRH単独入射ではプラズマが潰れていたのに対し、新アンテナ系ではセントラルECRH入射によってプラズマの性能を表す反磁性量が上昇した。このことから、伝送効率を改善した新アンテナ系の性能を実証することができたといえる。

新アンテナ系を用いたプラズマ実験において、有意な結果を得ることができたのは、研究基盤センターの工作部門で、迅速に、高い精度の反射鏡を製作していただけたことが大きい。今回はアルミニウム製とSUS316製の反射鏡の製作を依頼した。仕様の急な変更や、反射鏡を製作するための材料の手配で無理なお願いをしたりと、多大なご迷惑をおかけしましたが、非常に丁寧に対応していただき、この場をお借りして感謝の意を示したいと思います。