

## 28aC23P

## JT-60U における電子サイクロトロン加熱技術の進展

### Progress of Electron Cyclotron Heating Technology on JT-60U

森山伸一, ○藤井常幸, 関正美, 澤島正之, 鈴木貞明, 篠崎信一, 寺門正之, 平内慎一, 長谷川浩一, 下野貢,  
横倉賢治, 五十嵐浩一, 石井和宏, 佐藤文明, 和田 健次

原子力機構 核融合

Shinichi Moriyama, Tsuneyuki Fujii, Masami Seki, Masayuki Sawahata, Sadaaki Suzuki, Shinichi Shinozaki, Masayuki Terakado, et al.

Japan Atomic Energy Agency

JT-60U 電子サイクロトロン (ECRF) 加熱装置は、入射パワー3MW、パルス幅 5 秒、周波数 110GHz で設計され、2000 年から本格的に移動している (図 1)。JT-60U でのプラズマ高性能化研究の進展に伴い、同装置の高出力化、長パルス化等のための技術開発を行っている。特に、2003 年に JT-60U の放電時間が 15 秒から 65 秒に延長されたことにより、重点的に長パルス化 (目標 30 秒) 技術を開発している。その開発課題は、高パワー (発振出力 1 MW, 5 秒) ジャイロトロンの長パルス発振技術、実時間での入射パワー計測技術、高パワー伝送技術等である。

ジャイロトロンの長パルス発振技術の開発では、パルス幅を伸ばしようとするときビーム電流が減少し途中で発振が停止する問題が発生した。これを解決するため JT-60U 用ジャイロトロンが 3 極電子銃を採用している利点を活かして、アノード電圧の調整により発振を制御する方式を開発してきた。この方式は瞬時に発振条件を補正できるため、アノード電圧を約 2 kV 増加させることで、これまでに例のない発振停止から再び発振させる制御に成功し、0.5 MW の発振出力で 25 秒までのパルス幅を実現した。また、アノード電圧制御は入射パワー変調にも適用でき、3 kV 程度の幅でアノード電圧を変調し、出力 0.7 MW において最多変調周波数 3 kHz のパワー変調を達成した。

実時間での入射パワー計測技術では、トラス窓の温度上昇から入射パワーを評価する方法を開発している。トラス窓に使用しているダイヤモンドディスクの誘電体損失による温度上昇をディスク端部で計測し、その温度変化から透過パワーを逆算する方法である。ダイヤモンドの極めて高い熱伝導特性により時間遅れの少ない (応答時間 0.2 秒程度) 計測が期待できる。図 2 に入射パワーの評価例を示す。実際には温度計測に使用している熱電対での時間遅れがあるため、評価パワーの時間応答は約 0.6 秒であった。パルス幅が長くなればこれでも十分良いと考えられるが、ディスク端部の温度計測を赤外線温度計で行う等の応答時間の改善を検討している。

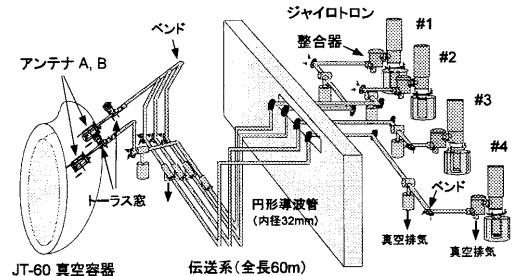


図 1 JT-60U ECRF 加熱装置の高周波系統の概要

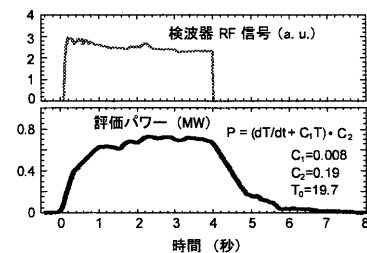


図 2 トラス窓温度上昇による入射パワーの評価

## 28aC24P

## JT-60SA における電子サイクロトロン加熱装置の検討

### Design study of ECH system in JT-60SA

藤井常幸, ○森山伸一, 関正美, 澤島正之, 鈴木貞明, 横倉賢治, 下野貢, 寺門正之, 篠崎信一, 長谷川浩一, 平内慎一

原子力機構 核融合

Tsuneyuki Fujii, Shinichi Moriyama, Masami Seki, Masayuki Sawahata, Sadaaki Suzuki, Kenji Yokokura, Mitsugu Shimono, et al.

Japan Atomic Energy Agency

トカマク国内重点化計画と日欧が共同出資する ITER ブローダーアプローチにおけるサテライトトカマク計画の合同計画として、JT-60U を超伝導化して高  $\beta$  プラズマを 100 秒間維持し、プラズマ物理研究および工学研究を推進する JT-60SA の設計が行われており、これに対応した電子サイクロトロン加熱 (ECH) 装置の設計を進めている (図 1)。

現状の JT-60U 用 ECH 装置を改造し、入射電力約 3MW 5 秒 (110GHz, 4 系統) を 7MW 100 秒 (110GHz 4 系統, 140GHz 5 系統) に増力する。設計、製作は日欧協力で行う予定であり、新設する 140GHz 用の 5 基のジャイロトロンのうち 3 基を欧州が、2 基を日本が担当する。新設する 140GHz 用の電源は全て欧州が担当する。110GHz のジャイロトロン、電源及び全ての伝送ライン、アンテナは日本が担当する。新設する伝送ラインには、高排気コンダクタンスの大口径 (63.5mm) 導波管を用いる。

アンテナは JT-60U で実績のある 2 鏡面回転による 2 次元ビーム駆動方式を第 1 候補に考えているが、反射鏡冷却機構の信頼性に優れ、核融合炉級の環境での使用に適した直線駆動式アンテナ (図 2) の研究も進め、その適用可能性を探っている。導波管先端から導波管軸の延長線上を直線的に駆動する第 1 平面鏡によって第 2 曲面鏡へのミリ波の入射位置を制御して、曲面鏡での反射角度を変化させプラズマへの入射ミリ波ビームをスキャンする簡単な原理であるが、従来の ECH アンテナのほとんどが有していた鏡の回転機構を排除したのが大きな特徴である。すなわち回転軸受け、直線一回転運動変換機構、冷却配管用緩衝機構 (スパイラルチューブ等) を用いないか、またはプラズマから遠く離れた真空容器外等に設置できるため、リモートメンテナンスを必要とするような事態の発生リスクを著しく軽減できる。JT-60SA では多様なプラズマ形状が想定され、比較的大い入射ビーム角度範囲が必要だが、初期的な検討として直線駆動式アンテナが適用可能であることを明らかにした。

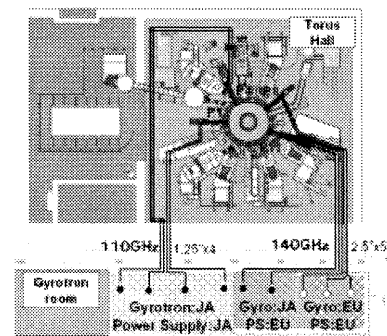


図 1 JT-60SA の ECH システムレイアウト

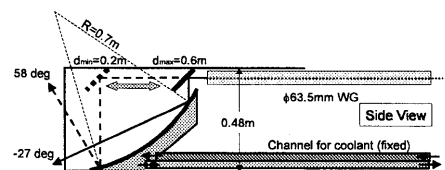


図 2 直線駆動式アンテナの設計検討図