

## LHD における ECRH システムのアップグレード

核融合科学研究所 高橋裕己

LHD への大電力ジャイロトロンを導入を目的に、2006 年から NIFS, 筑波大学, JAEA, TETD 間の共同開発プログラムが開始された。2009 年度までに発振周波数 77 GHz, 出力 1 MW 超のジャイロトロンが 3 本導入されており、総出力 3 MW を超える ECRH によるプラズマ加熱が行われるようになった。本講演では、LHD における 77 GHz ジャイロトロン導入状況、それに伴うシステムの改善、アノード電源改造による高出力・高効率運転の実現について報告する。

表 I に 77 GHz ジャイロトロン設計値を示す。本ジャイロトロンはエネルギー回収型の三極管であり、発振周波数として、LHD における標準磁場配位である大半径 3.75 m, 磁気軸の磁場 2.75 T で中心加熱を行えるように 77 GHz が選択されている。また出力窓には良好な熱特性を有するダイヤモンド製ディスクが用いられている。77 GHz 三号管では、それ以前に導入された二管の運転結果がフィードバックされている。特に、カソード設計の改良により、電子ビームのピッチ角が改善し、発振効率の向上の結果、1.5 MW 出力が可能となった。現在までに 1, 2 号管では 1 MW/ 5 s, 3 号管では 1.6 MW/ 0.5 s, 1.5 MW/ 1.6 s の発振が達成されている。

77 GHz ジャイロトロンはサイリスタによる制御が行われているが、100 ms 程度の応答時間が存在するため、ビーム電流の立ち上がり時に最大で 15 kV 程度のコレクタ電圧降下が発生する。この電圧降下による発振の不安定化を回避するために、アノード電源を改造し、アノード電圧を外部制御により任意波形で出力できるようにした。図 1 にアノード電源改造を行った 77 GHz 2 号管において、アノード電圧の二段階立ち上げ発振を行った際の運転パラメータの典型的な時間発展波形を示す。この運転では一段階目の立ち上がり時には発振に至らない程度の充分小さいアノード電圧を印加し、ビーム引出しのみを行っている。二段階目の立ち上がり時には規定のアノード電圧が印加されている。図から、二段階目のアノード電圧立ち上がり時には、コレクタ電圧降下は非常に小さく、安定した発振開始が実現されている。また、二段階立ち上げ運転で、不安定な領域での発振を避けることにより、これまでよりも大きなアノード電圧を印加することが可能となり、設計最大出力値 1.2 MW の 2 号管において、図 1 に示されるように平均出力で 1.3 MW を上回る出力を実現した。

表 I. 77GHz ジャイロトロン設計値

Items	Design
Frequency	77 GHz
Power/	(#1) 1.0 MW/ 5 s, 0.3 MW/ CW
Pulse width	(#2) 1.2 MW/ 10 s, 0.3 MW/ CW (#3) 1.5 MW/ 2 s, 0.3 MW/ CW
Cavity mode	TE <sub>18,6</sub>
MIG type	Triode
Collector type	CPD
Output window	CVD diamond

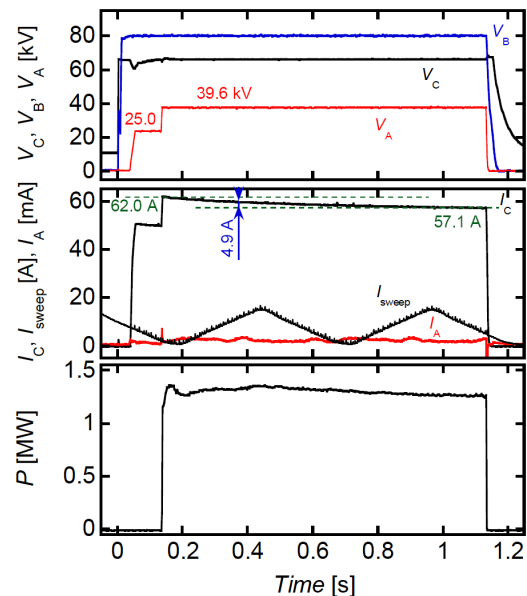


図 1. アノード電圧二段階立ち上げ運転時の運転パラメータの典型的な時間発展波形