

ITERジャイロトロン実機の性能確認試験 Acceptance Test Result of 1st ITER Gyrotron

小田 靖久, 池田 亮介, 梶原 健, 小林 貴之, 高橋 幸司, 坂本 慶司
Y. Oda, R. Ikeda, K. Kajiwara, T. Kobayashi, K. Takahashi, K. Sakamoto

量研
QST

はじめに

ITERにおける電子サイクロトロン加熱電流駆動(EC H&CD)システム、ITERのファーストプラズマ運転に使用されるシステムであり、その高周波(RF)源であるジャイロトロンの調達が先行して進んでいる。ジャイロトロンは、サイクロトロン共鳴メーザーを利用したマイクロ波電子管であり、EC H&CDで必要となる大電力ミリ波の発振を得意としている。とりわけ、ITER等の大型核融合装置で要求される100GHz帯でのメガワット(MW)級の長パルス出力には、高次モード発振、エネルギー回収型コレクター、モード変換器、ダイヤモンド出力窓などの要素技術開発の進展により、2008年にはITERの要求性能を達成していた。[1]

ITERジャイロトロンの設計

ITERジャイロトロン実機の開発にあたっては、ITERにおける長期の運転期間にわたって安定指定運転できる信頼性を向上させることを主たる目的として、2008年時点のTE_{31,8}モードを用いたプロトタイプに比べて空洞熱負荷を低減できるTE_{31,11}モードを発振モードとして選定している。これにより、1MW運転時にしばしば生じる過渡的な出力超過による空洞へのダメージを低減することができる。一方で、モードが高次化することによりメインモードの安定発振には発振開始時の電圧調整を正確に行う必要が生じ、試験システムの電源の改造が必要となった。[2]また、本ジャイロトロンは三極管方式の電子銃を採用しており、アノード電極とカソード電極を短絡させることによりビーム電流を制御できる特性を利用したRF電力変調を実現できている。ITERジャイロトロンの設計は2015年の最終設計レビューにて承認され、2016年より製作に着手し、2017年初頭に1号機と2号機の製作を完了した。

性能確認試験

量研では、ITERジャイロトロン1号機の性能

確認試験を実施した。性能確認試験では、長パルス運転、変調運転、繰り返し運転による信頼性能評価を行った。

1MW出力の長パルス運転では、300秒運転を行い、ジャイロトロン出力窓にて平均出力1.04MW、電力からRFへのエネルギー変換効率51%を達成した。この運転において、ジャイロトロンの駆動電圧・電流パラメータが定常化することに加え、管内真空度の上昇も見られず、またジャイロトロン各部の冷却水温度上昇も定常となって熱的定常動作となっていることを確認し、300秒以上の長パルス動作にも支障がないと判断された。

1MWでの300秒運転は連続20ショットの繰り返しを行い、このうち19ショットで成功裏のショットを終え、ショット成功率95%を達成した。なお、失敗となったショットでは電源出力の揺らぎにより途中で別の発振モードへ遷移したが、ショット停止後、電源の再起動を行い停止後70秒後に運転を再開することができている。

アノードとカソード間の短絡スイッチを用いた変調により、5 kHzのパワー変調運転を200秒行い、平均出力で0.88 MWを達成した。このほか、1 kHz, 3 kHzでの変調運転にもう成功し、各々0.8MW以上の要求条件を達成している。

性能確認試験の要求条件と達成値を表1に示す。

表1 ITERジャイロトロン性能確認試験

	要求値	実績
周波数	170±0.3 GHz	169.85 GHz
パルス幅	300秒	300秒
出力	≥ 1MW (伝送系入口 >0.96MW)	1.04 MW (伝送系入口 1.02MW)
効率	≥ 50%	51%
信頼性	≥ 95%	95%
変調	5kHz (>60秒, >0.8MW)	5kHz (60秒, 0.88MW)

参考文献

- [1] K. Sakamoto, et al., Nat. Phys., 3, 411 (2007).
[2] R. Ikeda, et al., Fusion Eng. Desg., 128,23 (2018).