

ITERジャイロトロンの製作完了およびITER用2周波数ジャイロトロンの開発研究

**Completion of ITER-gyrotron fabrication and
development of dual-frequency gyrotron for ITER**

池田亮介、新屋貴浩、中井拓、大胡武、常山正幸、矢嶋悟、小林貴之、
梶原健、高橋幸司、森山伸一

IKEDA Ryosuke, SHINYA Takahiro, NAKAI Taku, OHGO Takeru,
TSUNEYAMA Masayuki, YAJIMA Satoru, KOBAYASHI, Takayuki,
KAJIWARA Ken, TAKAHASHI Koji, MORIYAMA Shinichi

量子科学技術研究開発機構

National Institutes for Quantum Science and Technology

ITERにおける電子サイクロトロン (EC) 加熱・電流駆動装置には、24機のジャイロトロンが導入され、20 MW以上のEC波をプラズマに入射する。量研は、ITER国内機関として8機のITERジャイロトロンを調達する。2016年よりジャイロトロン製作を開始し、2021年5月に8機目の製作が完了して、量研にて保管している。これらのジャイロトロンは、ITER機構へ輸送する前に周波数170 GHz、出力1 MW (300秒)、効率50%、運転信頼度90%、5 kHz出力変調 (0.8 MW/60秒) といった試験要件を満足することでITER機構より輸送許可が得られる。そのため、量研のテストスタンドにて性能確認試験を行っている[1]。現在までに5機の性能確認試験が完了しており、表1に各ジャイロトロンの達成性能をまとめた。残り3機についても順次実施していき、ITERファーストプラズマまでに全8機の性能確認試験及び輸送を完了する計画となっている。そのうち、4機のジャイロトロンは、ロシアが調達する8機中の4機とともにファーストプラズマ点火を担う。

表1. 5機のITERジャイロトロンの達成性能

No.	Frequency (170±0.3 GHz)	Gyrotron power (≥1.0 MW)	Total efficiency (≥50%)	Operation reliability (≥90%)	Full-power modulation (≥0.8 MW, ≥60s)
#1	169.85 GHz	1.05 MW	50.5%	95%	5 kHz / 0.90 MW / 200 s
#2	169.84 GHz	1.05 MW	50.4%	90%	5 kHz / 0.90 MW / 60 s
#3	169.91 GHz	1.05 MW	50.0%	100% (主電源再起動あり)	5 kHz / 0.85 MW / 60 s
#4	169.90 GHz	1.05 MW	51.1%	95% (一時停止機能導入)	5 kHz / 0.82 MW / 200 s
#5	169.86 GHz	1.00 MW	50.0%	95% (一時停止機能導入)	5 kHz / 0.85 MW / 200 s

一方で、ITER機構からの量研への研究要請により104 GHzと170 GHzの2周波数ジャイロトロンの開発も行ってきた。ITERのファーストプラズマに続くステージPFPO-1以降では、定格磁場強度の3分の1となる1.8 Tでのプラズマ実験も計画されている。1.8 T運転では、EC波のみでもH-modeプラズマ生成が可能と期待されている。しかし、通常

仕様の170 GHzでは第三高調波となり、プラズマ着火が極めて難しい。この問題を解決するために、第二高調波による着火とH-modeプラズマを維持するための連続的な104 GHz入射が求められた。そこで、量研のITERジャイロトロンの空洞共振器で発振可能なTE_{31,11}モード (170 GHz) とTE_{19,7}モード (104 GHz) の2つのモードに対して同時にモード変換器と準光学ミラーの最適化設計を行い、両周波数ともにITERジャイロトロン (170 GHz) と同レベルの低内部損失となる設計を実現した[1]。現在、2周波数ジャイロトロン試作機を製作し、実証試験を開始している。図1に2周波数ジャイロトロン試作機における出力ビームパターンの測定値と計算結果を示す。設計通りの出力ビームパターンが得られていることが分かる。

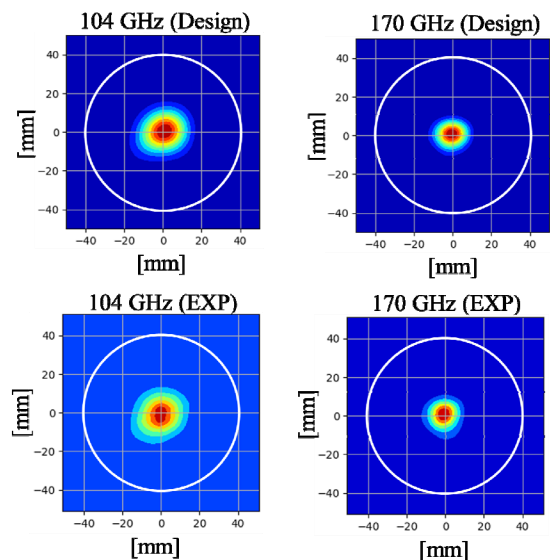


図1. 2周波数ジャイロトロン試作機における104 GHz発振と170 GHz発振での出力窓部の設計ビームパターン (上段) と計測ビームパターン (下段)

[1] R. Ikeda *et al.*, Nucl. Fusion **61**, 106031 (2021).