

ITERのための3周波数メガワットジャイロトロンの実証
Demonstration of a Triple-frequency Megawatt Gyrotron for ITER

池田 亮介、新屋 貴浩、矢嶋 悟、山崎 響、中井 拓、
大胡 武、常山 正幸、寺門 正之、小林 貴之、梶原 健

IKEDA Ryosuke, SHINYA Takahiro, YAJIMA Satoru, YAMAZAKI Hibiki, NAKAI Taku,
OHGO Takeru, TSUNAYAMA Masayuki, TERAKADO Masayuki, KOBAYASHI Takayuki,
KAJIWARA Ken

量子科学技術研究開発機構

National Institutes for Quantum Science and Technology

ITER電子サイクロトロン (EC) 加熱・電流駆動システムでは、24機のジャイロトロンを導入し、20 MW以上のEC波をプラズマに入射する。量研は、周波数170 GHz、出力1 MW、効率50%等の性能を有するITERジャイロトロンを8機調達する。現在までに、量研では全8機目の製作をすでに完了させ[1]、順に6機までの性能確認試験を終えている。ITER機構へは昨年最初の2機が輸送されて、今後毎年2機を輸送し、ファーストプラズマ (FP) までに全機を納める計画である。

FP運転フェーズでは、トロイダル磁場2.65 Tでの2倍高調波170 GHzビームが使用されるが、FPに続くPFPO-1運転フェーズでは、1.8 Tの低磁場運転も予定されている。この1.8 T運転では、H₂やHeプラズマでのHモード遷移の早期達成を目指している。しかし、170 GHzでは3倍高調波条件となることから、EC波によるプラズマ着火は極めて難しく、低い周波数のジャイロトロンが必要となる。量研ではITERジャイロトロン試作機にてすでに104 GHz/137 GHz/170 GHz/203 GHzの複数周波数発振[2]を実証しており、2倍高調波となる104 GHzのビームであれば1.8 Tでのプラズマ着火から電子加熱・電流駆動が可能であり、さらにプラズマが生成されることで170 GHzのビームによる電子加熱・電流駆動も可能となる。しかしながら、元の設計 (ITERジャイロトロン実機も同じ) では、104 GHzのビームはジャイロトロン内部損失が高く、またジャイロトロン出力窓部ではビーム拡がり過ぎているため、1 MWレベルでは2秒程度に制限される。そこで、170 GHzビームに加えて、104 GHzビームさらに137 GHzビームの3周波数の高出力かつ連続運転を実現するジャイロトロン内部伝送機器 (モードコンバータと内部ミラー) の最適化設計を行い、元のITERジャイロトロン試作機に改良を施した。137 GHzビームが加わることで、104 GHzも170 GHzビームも適応できない中間磁場強度に対応しており、この3周波数により、ITERの幅広い運転磁場領域 (1.8 T~5.3 T) を網羅することが出来る。

性能実証試験は、ITER用の7テスラ超伝導マグネットと組み合わせて実施した。マグネット磁場が約6.7 T、5.4 T、4.1 Tの条件にて、170 GHz、137 GHz、104 GHzのジャイロトロン出力ビームが得られた (図1)。3周波数ともに-20 dB以上のパワーが出力窓領域内に収まり、中心部を透過して同一方向に出力された。これらのビームを50 mm径導波管に結合するように最適化された新ミラーを内蔵した準光学整合器によって、ITERジャイロトロン性能仕様 (HE₁₁モード純度95%以上) とほぼ同等のモード純度94.6% (170 GHz)、94.3% (137 GHz)、93.9% (104 GHz)を実現した。高出力試験では、各々出力1.0 MW (170 GHz)、1.0 MW (137 GHz)、0.9 MW (104 GHz)の300秒間連続運転を実現することに成功した。単一のジャイロトロンでの3周波数の1 MWクラスの高出力・連続運転の達成は、世界初の成果である。

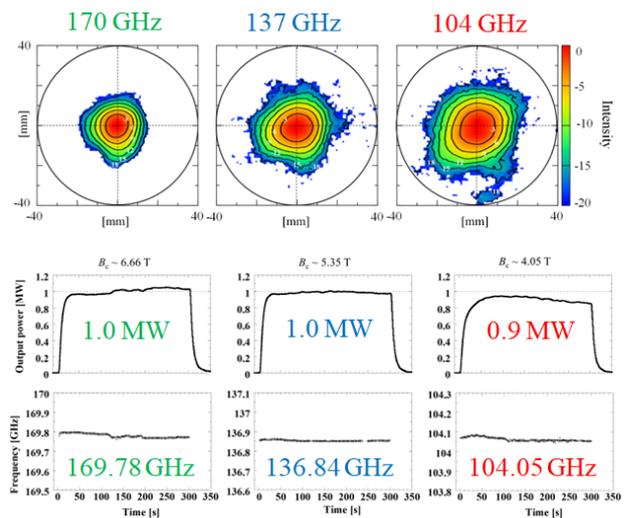


図1 170 GHz、137 GHz、104 GHzのジャイロトロン出力ビームパターンと300秒連続運転波形

- [1] R. Ikeda *et al*, *Nucl. Fusion* **61**, 106031 (2021).
[2] R. Ikeda *et al*, *J. Infrared Millim. Terahertz Waves* **38**, 531 (2017).