

核融合ジャイロトロン運転時における高周波ノイズの計測と抑制 Measuring and suppressing an RF noise of gyrotrons for fusion plasma

新屋貴浩、池田亮介、大胡武、梶原健、小林貴之、澤畠正之、高橋幸司、常山正幸、
中井拓、平内慎一、矢嶋悟、山崎響

Takahiro Shinya, Ryosuke Ikeda, Takeru Ohgo, Ken Kajiwara, Takayuki Kobayashi, et al.

量子科学技術研究開発機構 那珂研究所 (QST Naka Fusion Institute)

核融合プラズマ用に開発された大電力・長パルス・高効率のジャイロトロンは、次のように動作する。i)電子銃で円環状電子ビームを生成、ii)外部磁場で磁気圧縮、iii)円筒型共振器内で磁力線垂直方向のエネルギーをサイクロトロン共鳴メーザー作用でミリ波のエネルギーに変換、iv)モード変換器とミラーで高次TEモードのミリ波をガウスビームに変換して出力窓より放射、v)一方、共振器を通過したスペント電子ビームのエネルギーを電源にて一部回収(CPD)、vi)残りのスペント電子ビームのエネルギーをコレクターで回収(図1)。設計する上で注意すべき点は、この過程において共振器以外で発振(寄生発振)させないことである。例えば、過程iiで寄生発振を回避するためには、共振器までの電極形状をテーパにすること、炭化珪素材などの吸収体を挿入することが有効であると先行研究でわかっている。ジャイロトロンにおける寄生発振は出尽くしたように思われたが、ITER及びJT-60SA用ジャイロトロン(170GHz、138GHz)の運転時に、発振直後の約1-2秒間だけ計測機器がノイズによる信号の乱れを検出した。これは、未知の寄生発振がある可能性を示唆している。ノイズ発生によりジャイロトロンの性能が悪化することはないものの、計測機器に多大な影響を与えることから、これを抑制することは急務であり、調査を行なった。

まず、ITERジャイロトロン近傍の大気中に一卷きの磁気プローブを設置してノイズの周波数を計測した。その結果、約570MHzと約600MHzの高周波(RF)ノイズが観測された(図2)。また、RFノイズ発生の有無は、スペント電子ビームの衝突位置を掃引するためのコレクターコイル電流に依存することがわかった(図1、2)。そこで、コレクターの共振周波数を計算したところ、 $TE_{1,1,2}$ モードで約570MHz、 $TE_{1,1,3}$ モードで約600MHzであった。計測されたRFノイズの周波数と一致することから、コレクターが共振器となりRFノイズを発生している可能性があ

ることが明らかになった。また、コレクター内の電子ビームのエネルギーを低下させるとRFノイズが発生しないことも分かり、これもなんらかの仕組みでコレクターにて発振していることを示唆する現象と考えられる。

RFノイズの抑制については、設計変更が不必要な方法を模索した。すなわち磁性体で外部からコレクター内のスペント電子ビームの軌道を一部だけ乱して、発振条件を阻害すれば良いと考え、鉄板のサイズや設置位置を調整した。その結果、特定の磁性体の設置により、コレクターへの熱負荷分布を偏らせることなく、RFノイズを抑制することに成功した。

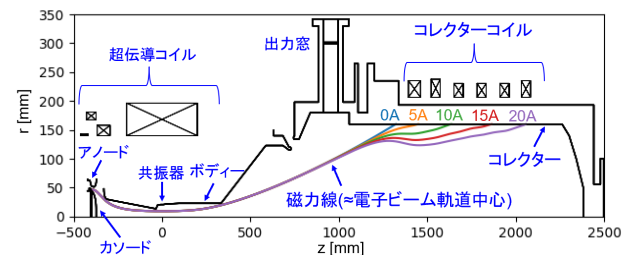


図1 ITERジャイロトロンの電子銃からコレクターまでの磁力線(≈電子ビームの軌道中心)。左からコレクターコイル電流が0、5、10、15、20A。

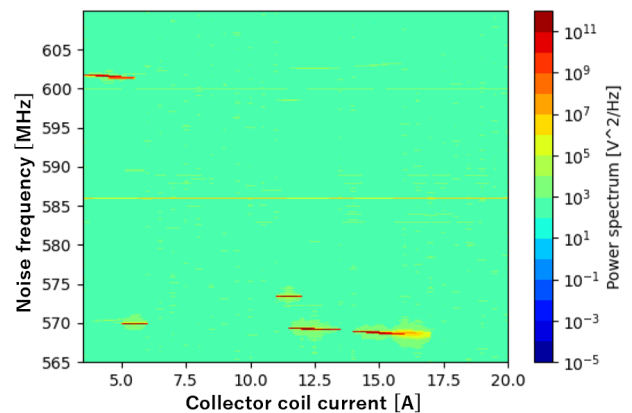


図2 コレクターコイル電流掃引時に計測されたRFノイズの周波数(586MHzは背景ノイズ)。