

電子ビームがジャイロトロン発振周波数へ及ぼす影響の考察
Study of the electron beam effect on the gyrotron oscillation frequency

立松芳典, 市岡亮一, 川瀬樹, 山口裕資, 斉藤輝雄, 小川勇, 出原敏孝, Olgierd Dumbrajs*,
 Y. Tatematsu, R. Ichioka, T. Kawase, Y. Yamaguchi, T. Saito, I. Ogawa, T. Idehara, O. Dumbrajs*

福井大遠赤セ、*ラトビア大固体物理研
 FIR University of Fukui, *Solid state physics, Latvia Univ.

近年、DNP-NMR 分光や、ポジトロニウム超微細構造解析をはじめとした高出力のサブテラヘルツ帯電磁波を利用する応用研究が進んでいる。これらの研究のための電磁波光源としてサブテラヘルツの周波数帯で出力 10~100 W 以上、周波数連続可変幅 1 GHz 以上が要求される。このような高出力・高周波数帯域を満足する光源はジャイロトロン以外存在しない。問題は周波数の連続可変性である。

ジャイロトロンの発振周波数は、主に共振器の形状で決まっている。共振器内が真空のときは、共振周波数は境界条件を満足するように、とびとびの値しかゆるされない。しかし、実際のジャイロトロンでは、共振器中を電子ビームが通るため、その効果によって真空時から周波数が変化できる。

そこで、電子の効果を取り入れてジャイロトロンの周波数を計算できる自己無撞着コードを用いて、福井大で開発した Gyrotron FU CW GI の共振器に対して、主磁場強度 B を変化させたときの発振周波数 f と出力 P を計算した(図 1)。計算した B の範囲では、 P は 2 つのピークを持つ。この 2 つのピークでは、共振器内の電場の軸方向プロファイルの山の数 l が変わっており、低磁場側が $l=1$ 、高磁場側が $l=2$ である。2 つのピークの間では、 B を変えると電場の軸方向プロファイルは $l=1$ から $l=2$ に連続的に変化する。 f の変化幅は $l=1$ の範囲では 0.2~0.3 GHz 程度と小さいが、 $l=1$ から $l=2$ に変わるところで、 f は大きく変化し、全体で 1 GHz 程度変化する。

図 1 の場合と同じ共振器に対して、電子のピッチ因子 α を 0.8~2.0 の間でいくつか変えて計算した f を図 2 に示す。図 1 の $l=1$ で発振する磁場領域での α の変化による周波数変化幅は、~0.1 GHz と小さいのに対して、 $l=2$ での周波数の変化幅は~0.5 GHz と大きくなっている。

通常のジャイロトロンは $l=1$ であり、 $l \geq 2$ は

Gyro-BWO の発振領域になる。 $l=1$ から $l=2$ へ連続的に周波数が変化できるかどうかは、共振器の形状や発振条件に依る。Gyro-BWO は共振器内の定在波のうち、速さ v_z で運動する電子と反対向きに進む後進波の成分が共鳴することで発振が起きる。その共鳴条件は

$$f = k_z v_z / 2\pi + f_{\text{cyclotron}} \quad (k_z < 0)$$

であり、 v_z や後進波の波数 k_z に依存する。このため、 $l \geq 2$ では、 $l=1$ よりも f は電場の軸方向プロファイルや α に大きな影響を受ける。共振器長を長くすると l が大きい軸方向プロファイルをもった波でも発振できるようになり、広い周波数可変幅をもって発振するようになる。

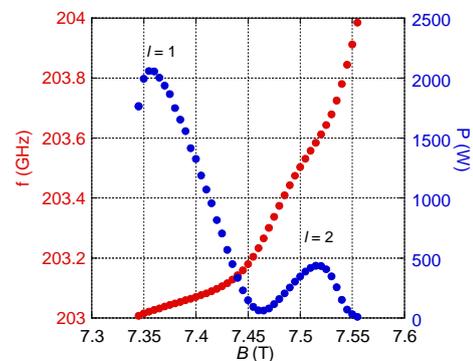


図 1 主磁場強度に対する発振出力、周波数の計算例

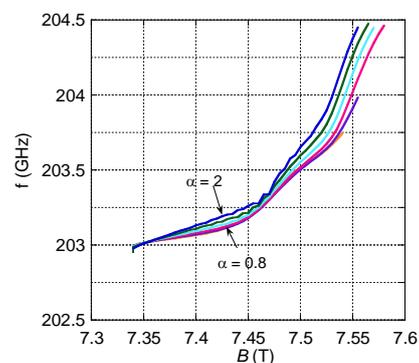


図 2 異なるピッチ因子に対する周波数の計算例