

Development of Large Orbit Gyrotron with a 1 Tesla Permanent Magnet System II

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2007-12-17 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 渡邊, 諭, 芳里, 弘, 鎌田, 正輝, S, Sabchevski, 光藤, 誠太郎, 小川, 勇, 出原, 敏孝, M, Glyavin, 大橋, 健, 小林, 秀樹, 横山, 智紀, WATANABE, S, HORI, H, KAMADA, M, MITSUDO, S, OGAWA, I, IDEHARA, T, OHASHI, K, KOBAYASHI, H, YOKOYAMA, T メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/1264

研究報告1

1 テスラ永久磁石を用いた Large Orbit Gyrotron II

Development of Large Orbit Gyrotron with a 1 Tesla Permanent Magnet System II

渡邊 諭, 芳里 弘, 鎌田正輝, S.Sabchevski, 光藤誠太郎, 小川 勇, 出原敏孝,
M.Glyavin¹, 大橋 健², 小林秀樹², 横山智紀²

S. Watanabe, H. Hori, M. Kamada, S. Sabchevski, S. Mitsudo, I. Ogawa, T. Idehara,
M. Glyavin¹, K.Ohashi², H. Kobayashi², T. Yokoyama²

福井大学遠赤外領域開発研究センター
Research Center for Development of Far-Infrared Region, University of Fukui
Fukui 910-8507, Japan,

ロシア科学アカデミー応用物理学研究所¹
Institute of Applied Physics, Russian Academy of Science¹
Nizhny Novgorod, Russia

信越化学工業株式会社 磁性材料研究所²
Magnetic Materials R&D Center, Shin-Etsu Chemical Co., Ltd.²
Takefu, Fukui, 915-8515, Japan

Abstract

The Large Orbit Gyrotron (LOG) device has been constructed by using a permanent magnet system whose intensity is around 1 T. LOG oscillates efficiently when high harmonic degree s is equal to TE_{mn} mode m of in the cavity mode. Therefore, high harmonic becomes easy compared with a usual gyrotron, and the mode selection improves, too. The operation test of LOG was successfully at the second harmonics by the pulse operation (pulse width: 1 ms). The high efficient and single mode operation at each harmonic in obtained by use of TE_{n1} cavity mode. The operation results of the LOG are summarized in this paper.

1. はじめに

これまでジャイロトロンの研究開発は、高出力化や高周波化を目的に行われてきた。二つの目的を比べ、高出力化に照準が合わせられることが多かった。しかし、広域のミリ波・サブミリ波帯光源を実現するために装置の高周波化は、必要である。そこで、高次高調波動作に適したジャイロトンである Large Orbit Gyrotron (LOG) の開発に取り組んでいる^{1),2)}。

このジャイロトンには、磁場発生源として永久磁石を用いている。永久磁石を用いると、寒剤などの制限がなくなり電源装置も不要であるため装置の簡素化が可能である。しかし、永久磁石は磁場強度が低く高周波化のためには高次の高調波を用いる必要がある。そこで新たに LOG システムを用いることで永久磁石を磁場発生源に用いたジャイロトンでの高周波化をはかった。LOG とは電子ビームの旋回が電子管の中心軸と等しいジャイロトンである³⁾。このような電子ビームを用いたジャイロトンは、共振器内の電磁界モードを TE_{mm} モードとすると高調波次数 s が m に等しいときに、効率よく発振する事が知られている⁴⁾。そのため、通常のジャイロトンに比べて高次高調波動作が容易になり、モード選択性も向上する。

本研究報告では、LOG の動作試験の結果について述べる。

2. 実験装置

LOG は、永久磁石と共振器、電子銃部磁場調整用コイルからなる磁場系と電子銃、共振器、コレクター、ウインドーからなるジャイロトン管とで構成されている。

2-1 磁場系

LOG に用いられる永久磁石の磁気回路を図 1 に示す。図中の矢印に向きは、磁化の方向を示している。この永久磁石は Nd, Fe, B (ネオジウム, 鉄, ホウ素) からなる希土類永久磁石を用い、円周方向に 12 個の磁石が対象になるように、また z 軸方向に 13 層配置されている。この永久磁石が発生する z 軸方向の磁場分布を図 2 に示している。この永久磁石はジャイロトン管の共振器部分において z 軸方向に 50 mm にわたり均一な磁場を発生させることができる。

永久磁石だけでは、磁場の強度を調整できないため、共振器部と電子銃部に磁場調整用コイルを設置した。共振器部の磁場調整用コイルは、ジャイロトン管の共振器部外壁に取り付けられており、磁場は 71.7 Gauss/A の割合で調整できる。また、電子銃部の磁場調整用コイルは永久磁石磁気回路の中に取り付けており、磁場は 7 Gauss/A の割合で調整できるようになっている。

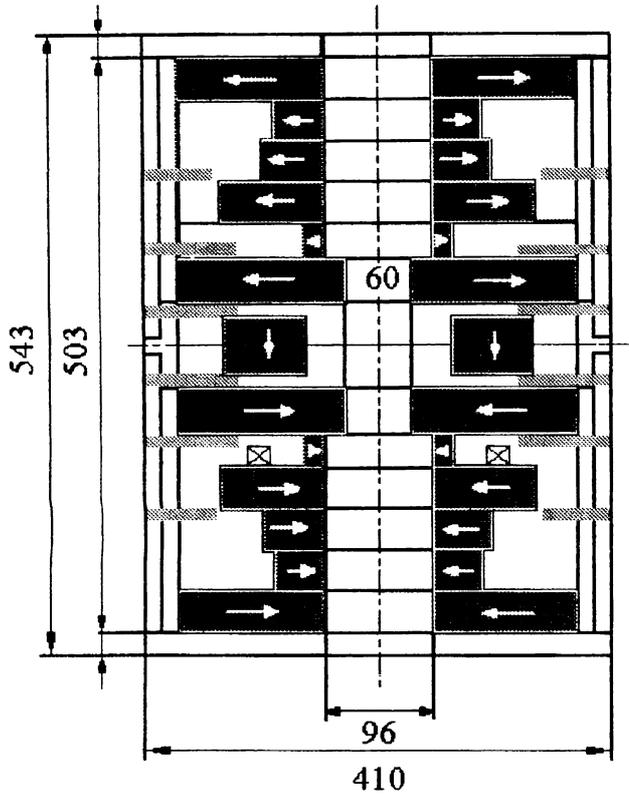


図1 永久磁石の磁気回路図

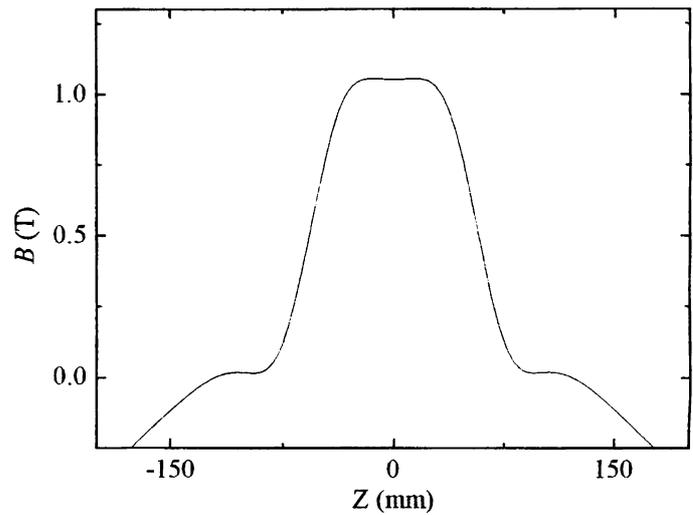


図2 z軸方向の磁場分布

2-2 ジャイロトロン管

ジャイロトロン管の概略を図3に示す。LOGで使われている電子銃は、円形のエミッティングエリア (LaB_6) から放出された電子をカソード、ボディー間の電位差で加速して中空円筒状の電子ビームを作る。ここで、この電子銃はダイオードタイプである。カソードの外側にある電極により電場を内側に傾けエミッティングエリアから飛び出した電子は、管軸中心に向かって進む。電子銃付近で磁場はゼロに近くそこから滑らかに立ち上がり、電子は管軸を中心に螺旋運動を始める。

電子銃から放出された電子は、サイクロトロン運動し永久磁石による磁力線に沿って共振器に入射する。共振器には開放空洞共振器を用い、4次高調波動作に最適となるよう設計されている。共振器において相互作用し終えた電子が、広がる磁力線に沿って管壁に衝突してコレクターに回収される。共振器で発生した電磁波は、ウインドーを通して出力される。そのためウインドーは電磁波の透過による損失が少ない物質を使う必要がある。このジャイロトロンには、ボロンナイトライド (BN) の真空窓が取り付けられている。

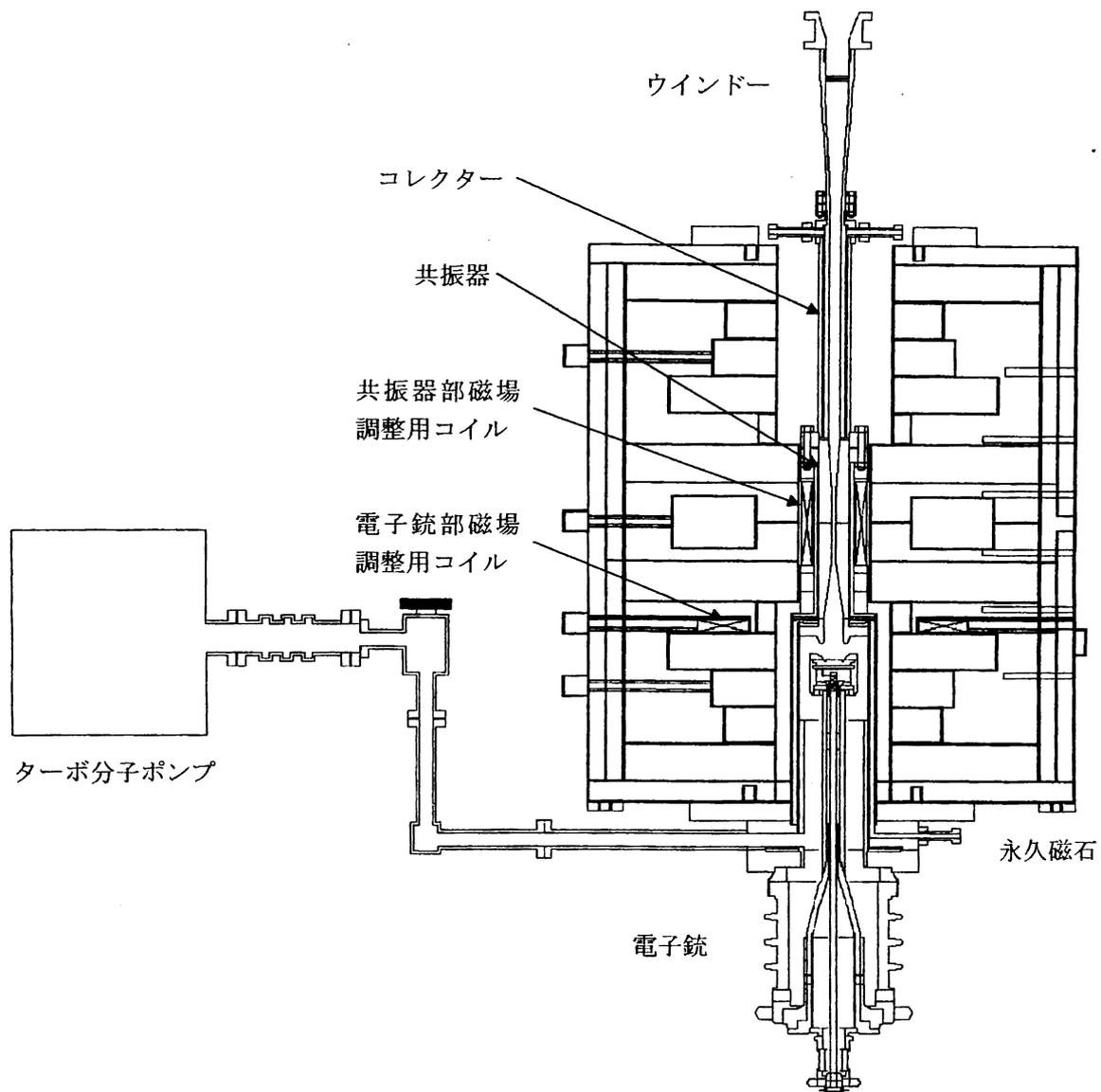


図3 LOGの概略図

2-3 測定装置

このジャイロトロンが発振出力はデューティ比 1/1000 のパルス動作において、キロワットクラスの出力が予想されている。そのため、電磁波の検出には焦電型検出器を用いた。また、出力される電磁波の電力測定には、水負荷を用いた。水負荷は、水を入れた円錐状のガラス管をジャイロトロン出力ウインドー上部に取り付け、ジャイロトロンから発振される電磁波を水に吸収させ、水温の上昇を測定する。この測定にはガラス管からの放熱を考慮に入れるため、1W の熱源をガラス管内に入れ、それによる温度上昇を測定し電力を校正した。発振周波数測定には、E バンド空洞波長計を用いて測定した。

3 実験結果

本実験で用いた LOG において、主磁場強度を変化させることで $s=3,4,5$ 次の高調波動作による発振を得ている。さらに広範囲に主磁場強度を変化させることにより、 $s=2,6$ 次の高調波動作が可能である。2 次高調波動作と 6 次高調波動作を比較し、発振が容易と考えられる 2 次高調波動作による発振の確認を行った。

磁場強度 1.22 T、カソード電圧 -40 kV、ビーム電流 0.25 A、電子銃部コイル電流 13 A の動作条件において発振を確認し、このときの発振波形、ビーム電流、カソード電圧を図 4 に示す。この発振を、水負荷を用いて出力測定した。磁場強度 1.22 T、カソード電圧 -40 kV、ビーム電流 0.4 A、電子銃部コイル電流 13 A の動作条件において、温度変化は $0.54\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ であった。ガラス管からの放熱を考慮校正すると、発振出力は 3 kW、発振効率は 19% であった。

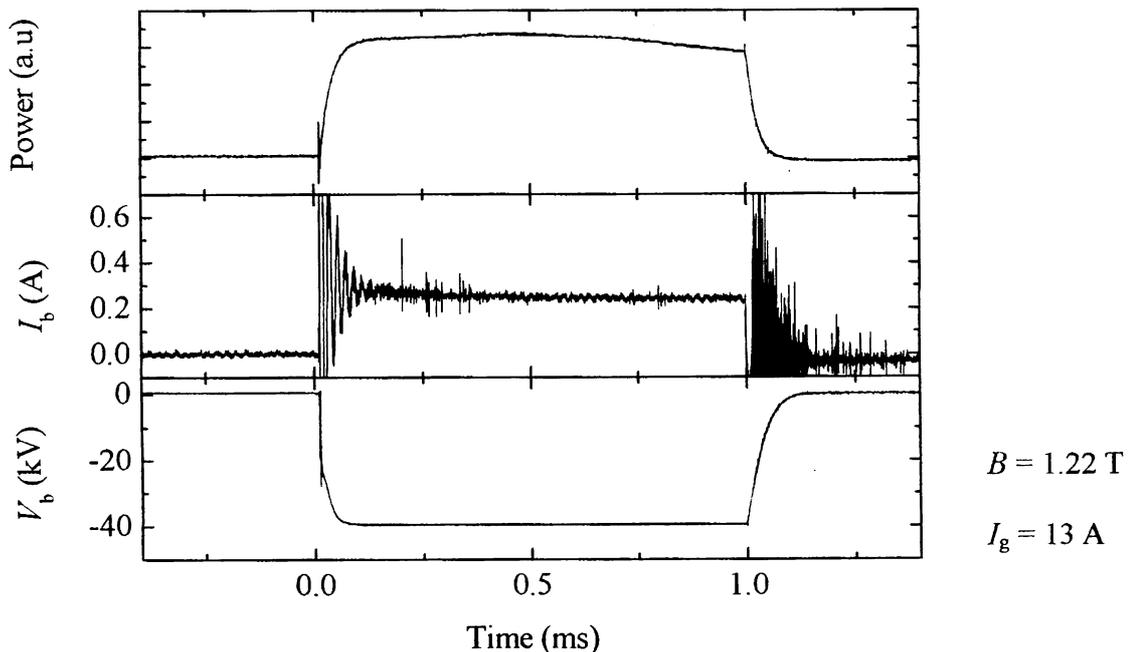


図 4 発振波形

各パラメータを変化させて発振出力の変化を測定し、図5、図6に発振出力の磁場強度及び加速電圧依存性を示した。図5、6から発振ピークを一つ確認でき、この発振においてEバンド空洞波長計を用いて周波数測定を行った。周波数は、64.62 GHzであった。周波数測定の結果から、この発振が2次高調波動作による発振であると確認できる。

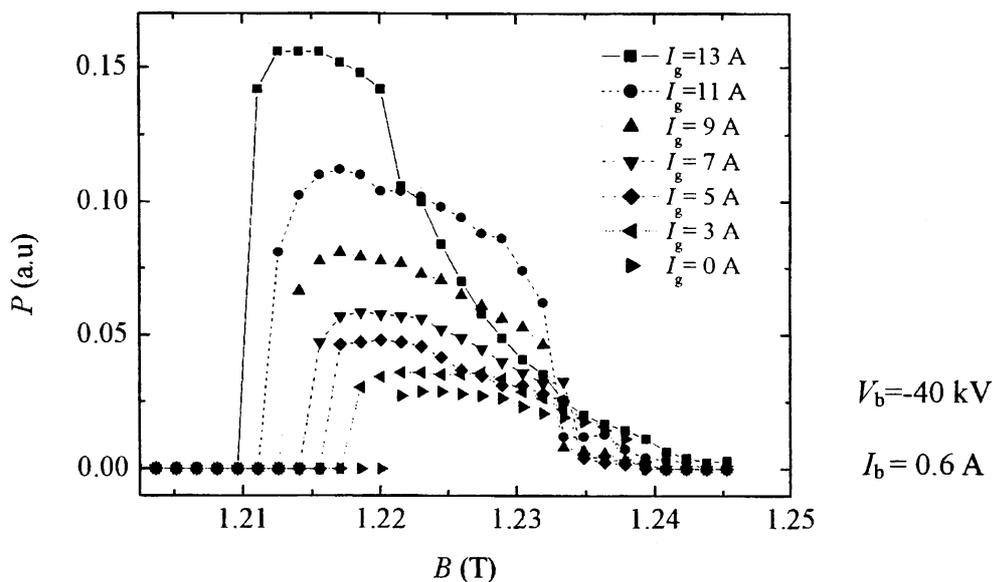


図5 発振出力の主磁場依存性
(2次高調波動作)

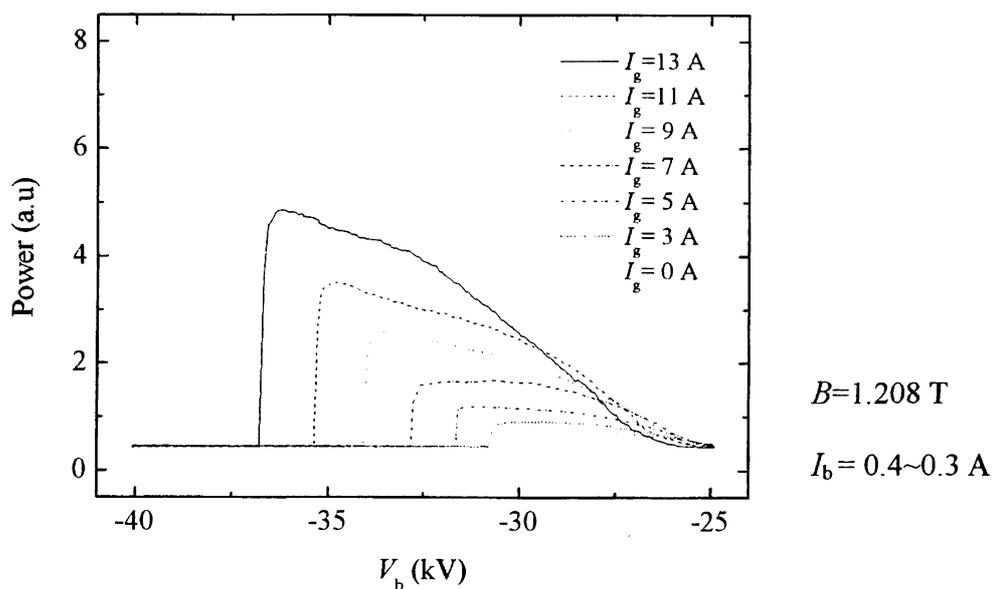


図6 発振出力の加速電圧依存性
(2次高調波動作)

4 まとめ

本研究報告では、4次高調波動作に最適に設計された共振器Ⅲを用いて、主磁場強度を調節することにより2次高調波動作（発振周波数 64.62 GHz）による発振を確認した。水負荷を用いた出力測定では、発振出力 3 kW、発振効率 19%を確認した。これは、高次高調波動作において発振効率が高く、LOG が高次高調波動作に適したジャイロトロンであるといえる。

5 参考文献

- 1) T. Idehara, I. Ogawa, S. Mitsudo, Y. Iwata, S. Watanabe, Y. Itakura, K. Ohashi, H. Kobayashi, T. Yokoyama, V. Zapevalov, M. Glyavin, A. Kuftin, O. Mlygin, and S. Sabchevski, *IEEE Trans. Plasma Sci.* Vol.32, No 3, 2004
- 2) V. Bratman, A. Fedotov, Y. Kalynov, V. Manuilov, M. Ofitserov, S. Samasonov and A. Savilov, *IEEE Trans. Plasma Sci.* Vol.27, No 2, 1999
- 3) V. Zapevalov, T. Idehara, S. Sabchevski, K. Ohashi, V. Manuilov, M. Glyavin, S. Kornishin, A. Kuftin, V. Lygin, O. Mlygin, M. Moiseev, A. Pavel'ev, V. Tzalolikhin, N. Zavolsky, H. Kobayashi, T. Yokoyama, I. Ogawa, S. Mitsudo, T. Kanemaki, Y. Iwata, and H. Hoshizuki, *Int. J. Infrared and Millimeter Waves*, Vol. 24, No. 3, 2003
- 4) D. McDermott, N. Luhmann, A. Kupiszewski and H. Jory, *Phys. Fluids*, Vol. 26, No. 7, 1983