

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420327

研究課題名(和文)電子ビームのクオリティがジャイロデバイス発振に及ぼす影響の解明と高効率化の実現

研究課題名(英文)Elucidation of the effect of electron beam quality on the gyro-device oscillation and realization of high oscillation efficiency

研究代表者

立松 芳典 (TATEMATSU, Yoshinori)

福井大学・遠赤外領域開発研究センター・准教授

研究者番号：50261756

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：ジャイロデバイス発振に対して、共振器に入射する電子の位置・速度拡がり及びその影響を、理論・実験面から考察した。電子速度拡がりの減少は、そのジャイロデバイスに合った電子銃を開発することで行った。マグネット磁気軸に対するジャイロデバイスの設置による軸ずれは、電子の位置拡がりを大きくする。電子銃の改良、ジャイロデバイスの設置位置微調により発振効率が改善することを実験で確かめた。この結果は理論計算ともよく合致した。位置拡がり、速度拡がり共に、発振効率を下げるが、よく設計されたジャイロデバイスに対しては、ジャイロデバイスの設置位置が大きく発振に影響を与えることがわかった。

研究成果の概要(英文)：For the oscillation of gyro-devices, the effect of position and velocity spreads of the electrons injecting into the resonator was theoretically and experimentally investigated. Reduction of the electron velocity spread was realized by a new electron gun designed optimally to the gyro-device. Axis deviation of the gyro-device against the magnetic coil axis leads to increase the position spread of the electrons. Improvement of the electron gun and fine tuning of the installation position of the gyro-device increase the oscillation efficiency in experiments. This result was consistent with the theoretical calculation. It was found the effect of the position spread is larger on the oscillation efficiency for a well-designed gyro-device.

研究分野：サブテラヘルツ帯ジャイロトロンの開発

キーワード：ジャイロトロン 電子ビーム 速度・位置分布 軸ずれ 発振効率改善

1. 研究開始当初の背景

電子スピン共鳴(ESR)、動的核偏極-核磁気共鳴(DNP-NMR)分光では、ミリ波、サブミリ波帯の高出力光源を必要とする。この波長帯の光源として数々の電子管の開発が行われてきた。しかし、この波長帯でのワット、キロワット級の高出力発振を実現する光源は、ジャイロトロンが唯一である。福井大学ではこれまで多くのジャイロトロンを開発し、DNP-NMR 分光にも適用してきた。一方、ESR, DNP-NMR 実験では、光源の周波数を変化させると、より有用な情報が得られるため、最近では周波数を連続的に変化させることができるジャイロ後進波発振(BWO)管の研究が注目を集めている。そこで、福井大学でもジャイロ BWO 領域の発振研究を開始した。

これまでに行ったジャイロトロン・ジャイロ BWO を含むジャイロデバイス開発において、以下のような解決すべき現象が見つかった。

- (1) 実験で得られる出力パワーが計算値よりもかなり低い。
- (2) 発振周波数が時間的に変動する。
- (3) 発振周波数の可変幅が計算値に比べ大きすぎる。
- (4) ジャイロトロン位置をわずかに動かしたただけで、出力パワーが激変する。
- (5) 計算では発振しないはずのモードで発振する。
- (6) ジャイロ BWO 発振領域で、期待通りの発振が起きない。

これらの現象のいくつかを引き起こす原因として、共振器に入る電子ビームのクオリティにあるという仮説を立てた。

ジャイロトロン管内は、円環状の電子放出帯をもつ電子銃(カソード)から発生した熱電子群が、電場による加速を受け、磁力線のまわりを螺旋運動しながら、円環状ビームとして高速で共振器(キャビティ)に入射する。共振器内で、高エネルギー電子は電磁波と相互作用し、電子から波へのエネルギー変換が起きる条件を満足すると、共振器内で電磁波が成長(発振)する。電子から電磁波へエネルギー変換する結合の度合いは、共振器での電子の入射位置 R_0 に依存する他、電子速度にも依存する。それぞれ結合する最適な値がある。そのため、電子群の R_0 や速度の分布の広がりが大きいと、広がりが無い場合に比べて、平均として電子と電磁波の結合が小さくなり、エネルギー変換の効率が低下すると考えられる。また、ジャイロトロンと磁場を生成するコイルとの軸ずれも共振器での電子の軸対称性を破り R_0 が広がるため、電子ビームのクオリティを低くする。

ジャイロ BWO は、ジャイロトロンよりも高磁場領域で運転すると、共振器内に発生する電磁波のうち、電子の動く向きと反対向きの

位相速度を持つ波の成分(後進波)と電子が共鳴して、電磁波が発振することを利用して、その共鳴条件は $+|k_{//}| v_{//} = \omega$ (ω : 波の周波数、 ω_c : 電子の回転周波数、 $k_{//}$: 軸方向波数)であり、これを書きなおせば $v_{//} = (\omega_c - \omega) / |k_{//}|$ である。したがって、共鳴を起こす電子の磁力線に平行(共振器軸に平行)な速度 $v_{//}$ の値は決まっており、 $v_{//}$ が速度拡がりを持つと、共振条件を満たす電子数は減る。このため、 $\sim \omega_c$ で共振を起こすジャイロトロンに比べて、ジャイロ BWO では速度拡がりの影響を受けやすく、そもそも発振しないことも考えられる。

2. 研究の目的

本研究はジャイロデバイス(ジャイロトロン、ジャイロ BWO)において、共振器に入射する電子ビームのクオリティが発振に及ぼす影響を解明することを目的とする。1. に挙げたジャイロトロン発振実験時に生じた問題の原因として、共振器に入射する電子群が速度・位置分布を持つことや、電子群が共振器軸に対して対称に入射していないことが考えられる。ジャイロ BWO の発振は、ジャイロトロン以上に電子ビームのクオリティに強く影響される可能性がある。電子ビームのクオリティがジャイロデバイスのパワーに及ぼす影響を理論的に調べ、ジャイロデバイス発振実験を通じてこれを実証する。

3. 研究の方法

電子の速度拡がり、位置拡がりの効果を理論的に調べるため、ジャイロトロン発振計算コードがこれらの効果を含むように改良する。また、電子ビームと共振器の軸ずれを表現するモデルを作成し、ジャイロトロン発振計算を行い、ジャイロトロン実験で起きた発振パワーにおける問題等を理論的に解明する。次に、ジャイロトロン実験で上記結果を実証する。そのためにジャイロトロンを並進・回転できる駆動機構をもつ台座を製作し、軸ずれを能動的に生じさせる。また、電子の速度拡がり、位置拡がりを抑えた電子銃を設計し、発振パワーを測定し、その効果を調べる。ジャイロ BWO 発振に対しては、数値計算とともに、ジャイロ BWO 管を用いて、共鳴条件と発振パワー、周波数の関係を調べる。

4. 研究成果

4-1. 電子の位置・速度拡がりを取り入れたジャイロトロン計算コードの開発

電子ビームのクオリティの低下が発振に及ぼす影響を理論的に調べるため、既存のジャイロトロン発振計算コードを拡張し、電子の位置や速度が拡がり(分布)を持つ場合にも、計算できるようにした。位置拡がりの取りこみは容易であったが、速度拡がりについ

では、方程式の規格化に電子の共振器入口での速度が使用されているため、電子速度が一定でない場合は、解くべき方程式系を見直す必要があった。変数、方程式の規格化をはじめからやり直すことで、速度拡がりを取り入れることに成功した。

4 - 2 . Gyrotron FU CW GIII における実験

平成 23 年度に製作された Gyrotron FU CW GII では、1 . で述べた解決すべき問題のうち(1), (4), (5)などの現象が起きた。このジャイロトロンは初期の発振実験を行った後、DNP-NMR 用光源として大阪大学に移設したため、新たに同型の Gyrotron FU CW GIII を製作することで、上の現象の原因究明および改善についての研究を行った。FU CW GII では、電子銃は他のジャイロトロン用に設計された既存の型を使用していた。このことが速度拡がりを大きくし、出力を低下させた原因であると考えた。そのため、FU CW GIII 製作時に電子銃は新たに設計した。

電子銃の設計には電子軌道計算コード (EGUN コード) を導入した。高効率発振には、共振器へ入射する電子の速度ピッチ因子の拡がり β_{\parallel} と、電子入射半径 R_0 の拡がり ΔR_0 が小さいことが望ましい。これらを小さくするためには、カソードのエミッションベルトの幅を小さくすること、空間電荷効果の

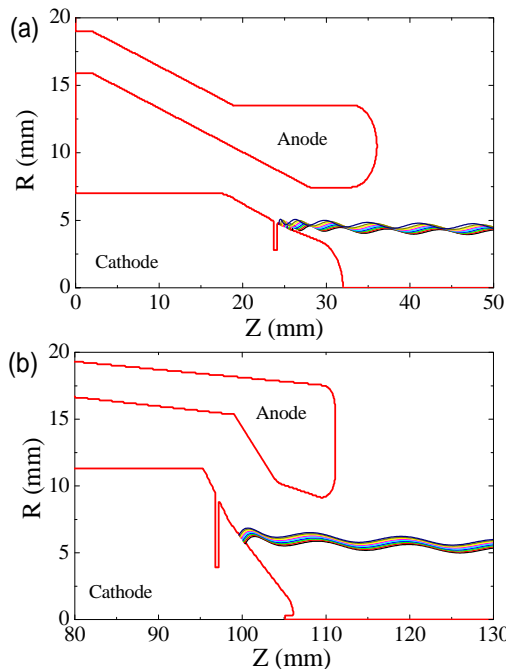


図 1 (a) Gyrotron FU CW GII と (b) Gyrotron FU CW GIII の電子軌道の比較

表 1 : Gyrotron FU CW GII と Gyrotron FU CW GIII の速度、位置拡がり計算結果

	FU CW GII	FU CW GIII
β_{\parallel}	0.77	0.07
R_0	0.10	0.10

抑制のため電子ビームの各電子の軌道が交差しない層状流(ラミナー流)が生成されていることが要求される。そこで、これらの条件を満たすように EGUN コードを用いて、Gyrotron FU CW GIII 用電子銃の電極構造を決定した。図 1 に Gyrotron FU CW GII に搭載した電子銃と新たに設計した電子銃の電極構造と電子軌道を示す。Gyrotron FU CW GII では電子軌道が交差しているのに対し、Gyrotron FU CW GIII の電子軌道はお互いに交差せず、ラミナ性が向上していることがわかる。この電子軌道に対し、 β_{\parallel} 、 R_0 を計算した結果を表 1 にまとめた。Gyrotron FU CW GII に比べて、Gyrotron FU CW GIII での計算値は大きく減少していることがわかる。

Gyrotron FU CW GIII をマグネットに設置してジャイロトロン窓から放射される電磁波の出力測定を行った。出力測定には水負荷を用いた。カソード電圧 V_{k0} を -15 kV ~ -20 kV と変え、それぞれの V_{k0} に対して、磁場強度 B 、アノード電圧 V_{A0} 、ガンコイル電流 I_g の値をいろいろ変えて測定出力が最大になる条件を探した。それぞれの V_{k0} で得られた出力の最大値を図 2 に示す。この図に、Gyrotron FU CW GII で得られた出力測定結果も同時にプロットした。図 2 からわかるように Gyrotron FU CW GII に比べ Gyrotron FU CW GIII の出力に向上が見られた。この理由は電子銃を改良し、共振器に入射する電子群の速度拡がりを小さくしたためである。しかし、Gyrotron FU CW GIII の初期実験においても、期待される設計出力 300 W は達成されなかった。

図 2 の実験で、磁場強度を大きくすると $TE_{3,5}$ モードが発振した。しかし、モード競合計算では、高磁場側でも $TE_{8,5}$ モードが発振する。この違いの原因として、ジャイロトロン管軸とコイルがつくる磁場中心軸がずれており、共振器に電子ビームが対称に入射していないことを考えた。実際に 4 . 1 で拡張した計算コードを用いて、軸ずれがあるときの発振出力を計算した。共振器に入射する電子ビームの軸と共振器軸の間に d mm のずれが

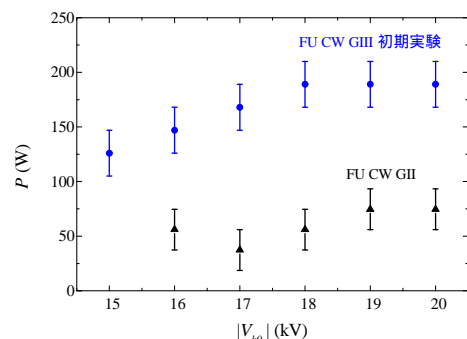


図 2 Gyrotron FU CW GIII と Gyrotron FU CW GII の出力測定結果

ある場合をモデル化して、発振計算コードの電子の入射位置分布を与えた。このときのモード競合計算の結果を図3に示す。図3(a)は $d = 0$ mm (軸ずれがない場合), 図3(b)は $d = 0.26$ mm の結果を示す。 $d = 0$ mm では, 計算した磁場領域で $TE_{3,5}$ モードは発振せず, $TE_{8,3}$ モードのみが発振しているのに対し, $d = 0.26$ mm では, 実験で得られたように低磁場側で $TE_{8,5}$ モードが, 高磁場側で $TE_{3,5}$ モードが発振しており, $B \sim 7.23$ T で発振モードが変わっている。このようにジャイロトロンがコイル軸とずれて設置されていると, $TE_{3,5}$ モードが高磁場領域で発振することがわかる。図4に d を変えて得られた $TE_{8,3}$ モードの発振パワーの最大値をプロットした。軸ずれがあると, ない場合に比べ $TE_{8,5}$ モードの出力が大きく低下することがわかる。このことから, 初期実験では, ジャイロトロンとコイル軸にわずかなずれがあったと考えられる。モード競合計算から, このずれをなくすることができれば, 発振モードも $TE_{8,5}$ のみになり, その出力も改善できると期待できる。

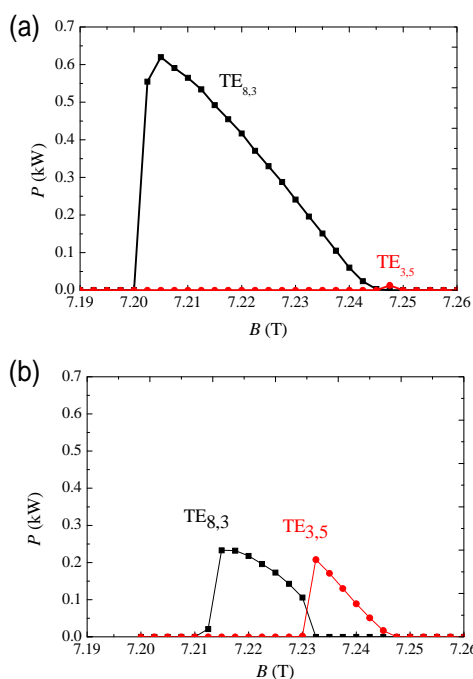


図3 (a) $d=0$ mm, (b) $d=0.26$ mm のときのモード競合計算による発振出力

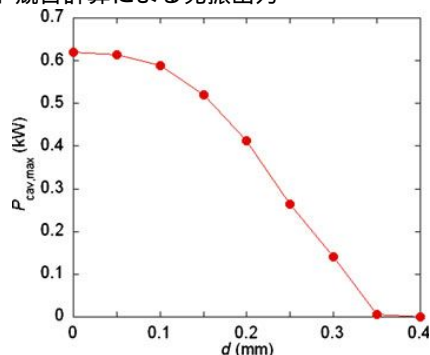


図4 軸ずれ d に対する最高出力の変化

そこでジャイロトロン管軸位置を微調整するためのアライメント調整器具を製作した。図4の結果から, ジャイロトロン管とコイル軸のずれは $0.2 \sim 0.3$ mm 程度であり, アライメント調整器具には, このような微妙なずれを調節できる機能を持たせた。

このアライメント調整器具を用いて, ジャイロトロン管軸位置を動かし, 発振実験を行った。軸ずれを取り入れたモード競合計算の結果から, ジャイロトロン軸とコイル軸が一致した時に, 発振出力が最大になることが期待される。そこで, 信号強度を測定しながら, ジャイロトロン位置を微調し, 信号強度が最大となる位置を探した。この位置において, B を変化させながら, 発振パワー, 周波数を測定したところ, 発振パワーは B に対して図3(a)のような変化をし, 周波数も連続的に変化した。観測した B での発振モードはすべて $TE_{8,5}$ モードであり, $TE_{3,5}$ モードは観測されなかった。このことから, ジャイロトロン管軸とコイル軸の位置ずれを無視できる配位が得られたと考えることができる。

信号強度が最大となったジャイロトロン位置において, 他の運転パラメータを変化させて発振パワー計測を行った。 V_{k0} ごとに得られた最大パワーを図2のグラフに重ねて表したものを図5に示す。この図から, ジャイロトロン管位置調整を行ったことで, 発振出力が大きく向上していることがわかる。 $V_{k0} = -15$ kV での設計出力である 300 W を満足する出力が得られており, 最高出力は $V_{k0} = -21$ kV 設定で 420 W を達成した。

4 - 3 . Gyrotron FU CW GIA における実験

Gyrotron FU CW GIA と同様な考察を Gyrotron FU CW GIA についても行った。FU CW GIA では, 電子銃を変更したため, 位置拡がりを小さくする効果が発振に及ぼす影響と速度拡がりを小さくする効果が発振に及ぼす影響を分離できていなかった。そこで, Gyrotron FU CW GIA では, 先に軸ずれの解消実験を行い, その後, 最適化された電子銃に付け替えての実験を行った。その結果両者の効果を分離できた。ジャイロトロンの軸ずれ

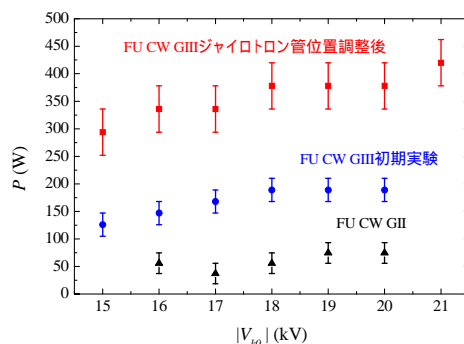


図5 最大発振出力のカソード電圧依存性

を調整せずに置いたときの発振パワー測定
の効率は ~ 5 % であったのに対し、FU CW
GIII と同様の方法で軸ずれをなくして行っ
た発振実験では 10 ~ 16 % の発振効率を
得た。さらに、ジャイロトロンに最適化した
電子銃を搭載して行った実験では 15 ~ 18
% まで発振効率を上昇させることに成功
した。このように、このジャイロトロンでは、
初期実験において、発振効率が低かった原因
は、電子速度拡がりよりも、ジャイロトロン
の軸ずれ (電子の入射位置拡がり) による効
果の方が大きかったと結論できる。

4 - 4 . ジャイロ BWO 管の実験

ジャイロ BWO の発振は、ジャイロトロン発
振よりも高磁場領域で動作させることで起
きる。磁場強度変化により周波数変化を伴う
ため、この解析のため、これまでの発振計算
コードを改良して、周波数変化を取り入れた。
Gyrotron FU CW X を開発し、これを高磁場で
動作させることで、ジャイロ BWO 実験の研究
を行った。この実験中、1 . の (3), (6) の現
象が生じた。発振計算では、2 次高調波 $TE_{8,5}$
モードが発振する結果であるのに対し、実験
では、基本波モードが発振した。この原因に
ついて調べたところ、本来、かなり低磁場側
でしか発振しない基本波 $TE_{1,4}$ モードが、ジャ
イロ BWO 発振により、 $TE_{8,5}$ の発振磁場領域で
発振していることによるものであることを
つきとめた。この現象は必ずしも、電子ビ
ームクオリティが悪いことによるものでは
ないという結論であった。

4 - 5 . まとめ

ジャイロデバイス発振に対して、共振器に
入射する電子の位置・速度拡がり及び影響を、
理論・実験面から考察した。実験結果は理
論的に解釈できるものであった。位置拡
がり、速度拡がり共に、発振効率を下げるが、
よく設計されたジャイロトロンに対しては、
ジャイロトロン設置位置による電子の位
置拡がりが発振に大きく影響を与えること
がわかった。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に
は下線)

[雑誌論文](計 14 件)

Y. Tatematsu, Y. Yamaguchi, R. Ichioka,
M. Kotera, T. Saito, T. Idehara,
Development of the multifrequency
gyrotron FU CW GV with Gaussian beam
output, J. Infrared Milli. Terahz
Waves, 査読有, Vol.36, 2015, 697-708,
DOI: 1007/s10762-015-0173-5.
Y. Tatematsu, Y. Yamaguchi, T. Kawase,
R. Ichioka, I. Ogawa, T. Saito,
T. Idehara, Analysis of oscillation

characteristics and optimal
conditions for high power operation of
Gyrotron FU CW GIII, Physics of Plasmas,
査読有, Vol.21, 2014, 083113-1 -
083113-6, DOI: 10.1063/1.4893417.

Y. Tatematsu, Y. Yamaguchi, T. Idehara,
T. Kawase, I. Ogawa, T. Saito,
T. Fujiwara, Characteristics of the
mode converter of Gyrotron FU CW GII
radiating Gaussian beams in both the
fundamental and second harmonic
frequency bands, J. Infrared Milli.
Terahz Waves, 査読有, Vol.35, 2014,
517-524, DOI:
10.1007/s10762-014-0072-1.

Y. Tatematsu, Y. Yamaguchi, T. Idehara,
T. Kawase, R. Ichioka, I. Ogawa, T. Saito,
T. Fujiwara, Development of second
harmonic gyrotrons, Gyrotron FU CW GII
and Gyrotron FU CW GIII, equipped with
internal mode converters, J. Infrared
Milli. Terahz Waves, 査読有, Vol.35,
2014, 169-178, DOI:
10.1007/s10762-014-0048-1.

Y. Yamaguchi, T. Saito, Y. Tatematsu,
S. Ikeuchi, J. Kasa, M. Kotera, I.
Ogawa, T. Idehara, S. Kubo, T.
Shimozuma, M. Nishiura, K. Tanaka,
Experiment for over 200 kW oscillation
of a 295 GHz pulse gyrotron, Plasma and
Fusion Research, 査読有, Vol.8, 2013,
1205165.

[学会発表](計 48 件)

Y. Tatematsu, Y. Yamaguchi, R. Ichioka,
M. Kotera, T. Saito, T. Idehara,
Advancement of oscillation efficiency
by improvement of electron beam
quality in Gyrotron FU CW GIA, 40th
International Conference on Infrared,
Millimeter and Terahertz Waves (国際
学会), 2015.8.23-8.28, Hong Kong.

Y. Yamaguchi, Y. Tatematsu, T. Saito,
V. Manuilov, J. Kasa, M. Kotera,
Magnetron injection gun for a
multi-frequency gyrotron, 40th
International Conference on Infrared,
Millimeter and Terahertz Waves (国際
学会), 2015.8.23-8.28, The Chinese
University of Hong Kong.

山口裕資, 立松芳典, 辻幸介, 平野泰成,
小寺政輝, 笠純, 斉藤輝雄, 高周波ジャ
イロトロンにおけるエミッタの熱絶縁と
電子ビーム特性への影響プラズマ・核融
合学会第 32 回年会, 2015.11.24-11.27,
名古屋大学.

立松芳典, 福井大学における遠赤外ジャ
イロトロン開発(招待講演), 日本赤外
線学会第 71 回定例研究会, 2015.5.22,
大阪産業大学梅田サテライトキャンパ

ス。

立松芳典, 福井大学における遠赤外・高出力ジャイロトロンの開発(招待講演), H26 年度日本分光学会中部支部北陸ブロック第 1 回講演会, 2015.3.26, 福井大学。

山口裕資, 立松芳典, 齊藤輝雄, 小寺政輝, 笠純, 田邊優文, 松井俊英, 市岡亮一, 寺島弘貴, 多周波発振ジャイロトロン対応マグネトロン入射型電子銃の開発, 日本物理学会第 70 回年次大会, 2015.3.20-3.23, 早稲田大学。

山口裕資, 立松芳典, 笠純, 寺島弘貴, 市岡亮一, 桑原大貴, 小寺正輝, 松井俊英, 田邊優文, 近藤智哉, 軍司海, Vladimir N. Manuilov, 齊藤輝雄, サブテラヘルツ帯ジャイロトロン実験における電子ビーム特性の評価, Plasma Conference 2014. 2014.11.18-11.21, 新潟市朱鷺メッセ。

立松芳典, 山口裕資, 市岡亮一, 三輪昌希, 田邊優文, 小寺政輝, 松井俊英, 寺島弘貴, 小川勇, 齊藤輝雄, 多周波数発振汎用ジャイロトロン FU CW GV の開発, Plasma Conference 2014. 2014.11.18-11.21, 新潟市朱鷺メッセ。

Y.Tatematsu, Y.Yamaguchi, R.Ichioka, I.Ogawa, T.Idehara, T.Saito, Development of a multiple-frequency gyrotron, Gyrotron FU CW GV, 39th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (国際学会), 2014.9.14-9.19, Arizona University, U.S.A.

市岡亮一, 立松芳典, 川瀬樹, 増田優, 三輪昌希, 村椿拓美, 小川勇, 山口裕資, 桑原太貴, 齊藤輝雄, 出原敏孝, Gyrotron FU CW GIA の発振特性評価, 日本物理学会第 69 回年次大会, 2014.3.27-3.30, 東海大学。

Y.Tatematsu, Y.Yamaguchi, T.Kawase, R.Ichioka, T.Muratsubaki, S.Masuta, M.Miwa, T.Idehara, I.Ogawa, T.Kanemaki, T.Saito, Development of Gyrotron FU CW G-series (招待講演), The 5th International Workshop on Far Infrared Technologies, 2014.3.5-3.7, University of Fukui。

Y.Yamaguchi, Y.Tatematsu, T.Saito, T.Kuwahara, M.Kotera, J.Kasa, T.Kanemaki, I.Ogawa, T.Idehara, O.Dumbrajs, Development of a 400 GHz band frequency-tunable second-harmonic gyro-BWO, The 5th International Workshop on Far Infrared Technologies, 2014.3.5-3.7, University of Fukui。

Y.Tatematsu, T.Kawase, R.Ichioka, Y.Yamaguchi, I.Ogawa, R.Ikeda, T.Idehara, T.Saito, Power improvement

on Gyrotron FU CW GIII, 38th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (国際学会), 2013.9.1-9.6, Congress Center Mainz, Germany。

立松芳典, 市岡亮一, 川瀬樹, 山口裕資, 齊藤輝雄, 小川勇, 出原敏孝, O. Dumbrajs, 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, プラズマ・核融合学会第 30 回年会, 2013.12.3-12.6, 東京工業大学。

山口裕資, 立松芳典, 齊藤輝雄, V. N. Manuilov, マグネトロン入射型電子銃におけるラミナ電子流の形成機構, プラズマ・核融合学会第 30 回年会, 2013.12.3-12.6, 東京工業大学。

立松芳典, 齊藤輝雄, 山口裕資, 小川勇, 出原敏孝, O. Dumbrajs, ジャイロトロン周波数連続可変性の考察, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 2013.9.25-9.28, 徳島大学。

川瀬樹, 立松芳典, 市岡亮一, 山口裕資, 印牧知廣, 出原敏孝, 小川勇, 齊藤輝雄, Gyrotron FU CW GIII における電子ビーム特性の発振に及ぼす影響の解明, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 2013.9.25-9.28, 徳島大学。

市岡亮一, 立松芳典, 川瀬樹, 山口裕資, 印牧知廣, 出原敏孝, 小川勇, 齊藤輝雄, Gyrotron FU CW GIII 位置調整による出力向上, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 2013.9.25-9.28, 徳島大学。

Y.Yamaguchi, Y.Tatematsu, T.Saito, R.Ikeda, I.Ogawa, T.Idehara, Application of a potential profile for controlling the beam laminarity in a magnetron injection gun, 38th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (国際学会), 2013.9.1-9.6, Congress Center Mainz, Germany。

〔その他〕

ホームページ等

<http://fir.u-fukui.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

立松 芳典 (TATEMATSU Yoshinori)

福井大学・遠赤外領域開発研究センター・准教授

研究者番号: 50261756

(2) 連携研究者

山口 裕資 (YAMAGUCHI Yuusuke)

福井大学・遠赤外領域開発研究センター・特命助教

研究者番号: 10466675