

[F16p09]

50Hz Operation Results of Photo-Cathode RF-GUN

T. Ueda, K. Yoshii, H. harano, T. Watanabe and M. Uesaka

*A. Ogata, H. Nakanishi, K. Nakajima

**H. Kotaki, S. Kondo, F. Sakai, H. Dewa, M. Kando and T. Hosokai

Nuclear Engineering Research Laboratory, School of Engineering, University of Tokyo

*High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

**Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI)

ABSTRACT

We have developed a laser photocathode RF-Gun for the high duty operation with 50 Hz repetition rate. This paper shows the measured characteristics of the RF-Gun. In order to tune the RF-Gun cavity at the high duty operation, the cooling water temperature must be -10 degree from the temperature at the low repetition rate. The intensity of the dark current emitted from the RF-Gun increased exponentially with the RF-Gun field and increased linearly with repetition of the klystron power.

フォトカソードマイクロ波電子銃の50Hz運転実績

1 <序> 昨年来我々の所では、高エネ機構及び原研との共同研究で50Hzで動作する単パルスフォトカソードマイクロ波電子銃（以下RF-GUN）の開発と試験を行ってきた。従来は、ピコ秒単パルス発生方法として我々のところでは、熱電子銃と超短パルスグリッドパルサー及びサブハーモニックバンチャーのシステムを採用してきた。最近、高出力レーザーとフォトカソードRF-GUNの組合せにより最初から、サテライトビームのないピコ秒単パルスビームの発生が可能になった。本研究会の中で、フォトカソードRF-GUNの基本性能（電荷量、エミッタンス、パルス巾、エネルギー等）については別に報告があるので、ここでは、このシステムを利用する目的で、運転、保守、利用の立場で、高繰り返し（50Hz）運転に伴う特性（温度特性、暗電流等）とその問題点を明らかにする。

2 <フォトカソードマイクロ波電子銃システムと基本性能>

東大ツインライナックのシステムの中で、RF-GUNを動作させる場合のシステムをFig-1に示す。東大ツインライナックでは、ビームのエネルギーにより18L, 28L, 35Lモードがあり、3本の加速管と2台のクライストロンのマイクロ波供給の組合せ方により分けている。今年度、導波管型マイクロ波切り換え器を取り付けたのでこのモードの切り換えが非常に簡単になった。RF-GUNを動作させる場合は18Lモードで行い、RF-GUNへのマイ

クロ波はクライストロン-1から、加速管は、クライストロン-2によりそれぞれピーク電力7MWパルス巾最大で8 μ sを供給する。RF-GUNのフォトカソード（銅）には、高出力半導体レーザー（ λ : 264 nm, パルス巾 \sim 20 ps, 出力50 μ J）を約2mm ϕ のスポット径で照射する。TABLE-1にRF-GUNの特性を示す。

3 <50Hzマイクロ波電子銃の温度特性>

RF-GUNの温度特性としては、マイクロ波パワー（ピーク出力、パルス巾、繰り返し）に対する、チューニング時の冷却水温度変化を測定する。RF-GUNの冷却は、5 l/minの流量を3系統で流すとともに0.1 $^{\circ}$ で温度コントロールしている。しかし、RF-GUNに高電力のマイクロ波が供給された場合に、空洞の熱除去が完全でないためキャビティが膨張する。それに伴い共振周波数のずれを生じる。しかし、加速器は一定の周波数で運転されるため、その補正を行うべき冷却水温を下げたチューニングを行う。Fig-2にあらかじめネットワークアナライザーにて冷却水温を変化させた時の共振周波数を測定した結果を示す。このグラフからは-47.3KHz/ $^{\circ}$ Cの関係が得られた。Fig-3にRF-GUNにマイクロ波電力を供給した時の冷却水温の変化をパルスの繰り返し周波数に対して測定した結果を示す。この時のパルス巾は4 μ sと8 μ sに変更して測定した。その時のチューニングはマイクロ波の反

射波形の形より判断して最適温度を決定した。8 μ sのパルスの反射波形の最も良い形をFig-4に示す。

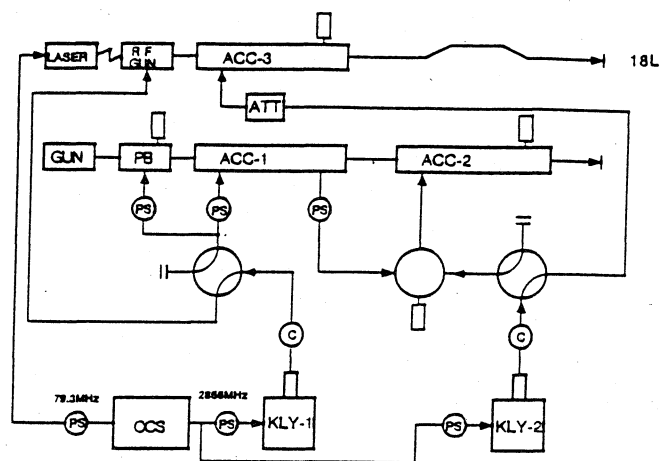
4 <暗電流について>

RF-GUNは高電界（ $\sim 100\text{MV/m}$ ）加速を必要とする。そのため、レーザーをフォトカソード（Cu）に照射していない時でもフィールドエミッションの影響と思われる暗電流が発生する。ここで考慮しなければならないのは、ビームは20psのパルス巾でピーク電流値は50Aと非常に高い電流が発生する。一方、暗電流のピークの電流値（Fig-5）は1mA以下と低いにもかかわらず、そのパルス巾はマイクロ波が供給されている間（Max: 8 μ s）発生するため積分量にすると平均電流はビームと1:1の関係にまでなる。これは、放射線化学等の実験においては、照射する試料のダメージになり不必要に試料をいためることとなる。また、その他の実験においても実験上のバックグラウンドの増大となりS/Nを下げることとなる。このため、利用運転等の観点からも、暗電流の特性を明らかにしておく必要がある。その1つとして、クライストロンの電力（ピーク電力、パルス巾、繰返し）を変化させて暗電流の増加を測定した。その結果をFig-6, Fig-7に示す。Fig-6の結果から、クライストロンのピークパワー及びパルス巾に対しては、暗電流はほぼ指数的に増加している。一方Fig-7より繰返しに関しては、リニアに増加していることが分かる。以上の特性はRF-GUN直後のファラディカップでの測定であり、加速管は通していない。次に加速管を通した場合の暗電流について実験を行った。その結果、暗電流の加速管透過率は最大で30%であった。しかもこの時は、集束系及び位相を暗電流に対して最適に合わせ最大の透過率を出した。一方、レーザーを照射してビーム加速時のパラメータでの暗電流は、ほぼ1/10程度に減っている。この理由の1つは、RF-GUNでの集束コイルの磁場の最適値が異なっていることである。ビームのように高い電流値に集束系の最適磁場を合わせると暗電流のような低い電流値では集束過大になり、加速管入口までですでに発散してしまう。もう1つの理由は、暗電流のエネルギー分布が広く、加速管側でのアクセプタンスが十分ではない。現在のところこの2つの理由が考えられる。これらの理由により、RF-GUN直後のビームと暗電流の比が平均電流で1:1であっても、加速管を出た後の平均電流の比が1:0.1まで下がっている結果で

あると推定される。さらに、暗電流についてエージングにより時間の経過とともに減少していく現象は、現時点ではほとんど観測されない。

5 <結論>

50Hzフォトカソードマイクロ波電子銃の利用、運転する立場から、温度特性及び暗電流について、その特性を明らかにした。その結果、高繰返しで使用する場合に冷却水温度を変えてチューニングすることにより何ら問題なく使用できること、また、暗電流の透過率等を調べその原因と思われることを実験から推定することができた。現時点では暗電流を全くなくすることは不可能ではあるが、ある程度低く押えられている。今後実験の目的により、暗電流が問題となる時にはもっと細かい対策が必要となる。



略号


- | | |
|----------------------------------|---|
| 1. RF-GUN
フォトカソードマイクロ波
電子銃 | 7. C
サーキュレータ |
| 2. GUN
熱電子銃 | 8. 
マイクロ波導波管
切り換え器 |
| 3. ACC 1, 2, 3
加速管 1, 2, 3 | 9. PB
プレバンチャー |
| 4. KLY-1, -2
クライストロン 1, -2 | 10. 18L, 28L, 35L
ビームのエネルギーの
公称値を表す運転モード |
| 5. OSC
発振器 | |
| 6. PS
移相器 | |

Fig-1. 18LフォトカソードRF電子銃モード

TABLE-1 フォトカソードマイクロ波電子銃の性能

基本周波数	2856MHz (S-BAND)
セル長	1.6セル
ビーム電荷量	~ 1 nC
エミッタンス	< 10 π mm mrad
エネルギー	3 ~ 4 MeV <7MW入力時>
スペクトル幅	~ 1% $\Delta E/E$
パルス繰返し	50 pps
シャントインピーダンス	~ 56 M Ω /m
Q ₀	11000 ~ 12000

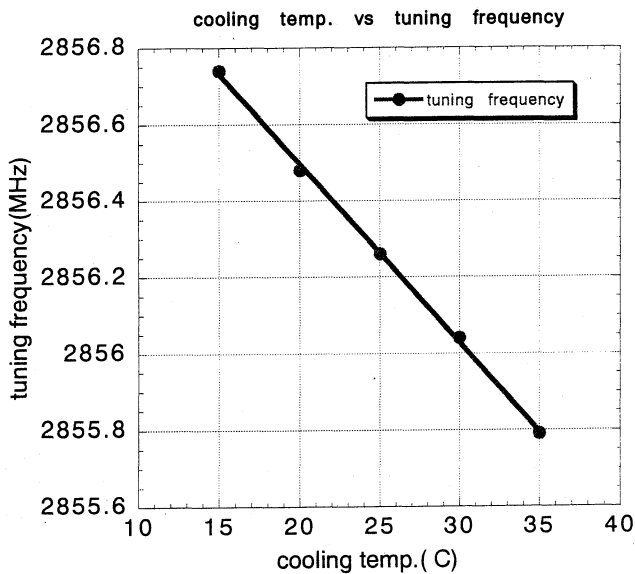


Fig. 2. RF-GUNの冷却水温と共振周波数の変化

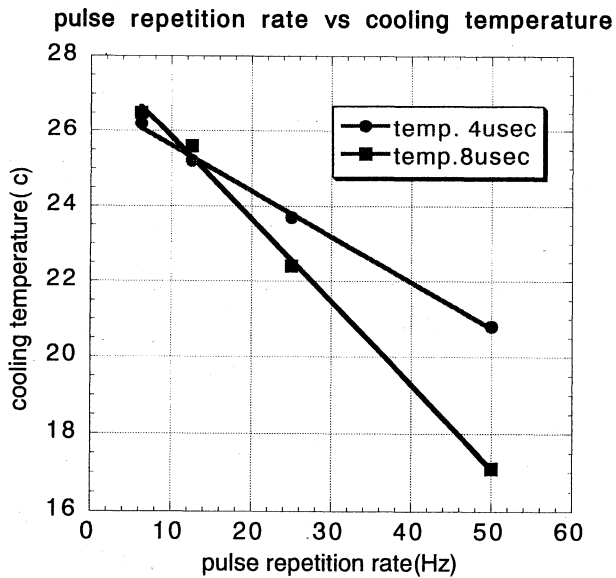


Fig. 3. 7MWクライストロンの繰返し周波数に対する冷却水温の変化

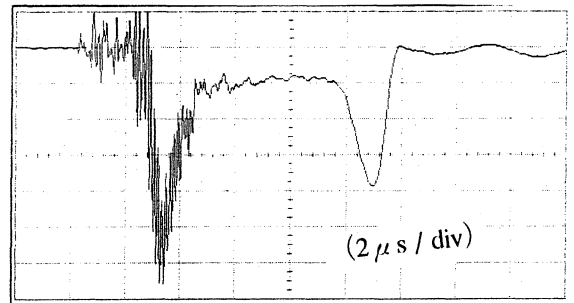


Fig. 4. 8 μ sの共振時のマイクロ波の反射波形

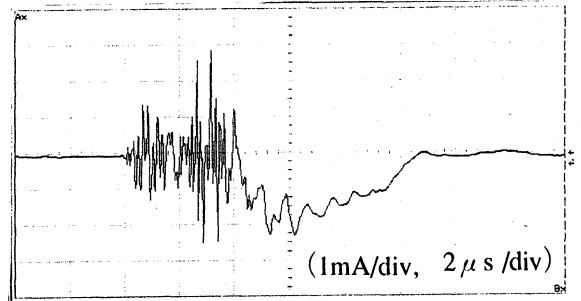


Fig. 5. 7MW 8 μ s時の暗電流の波形

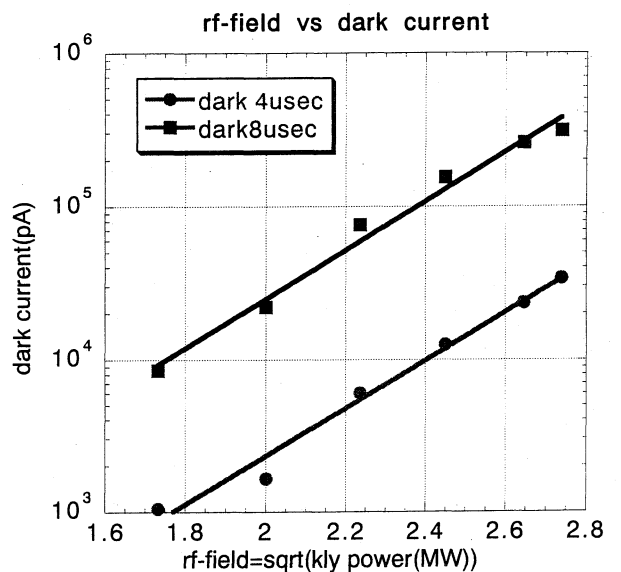


Fig. 6. RF-GUNの電界強度と暗電流の関係

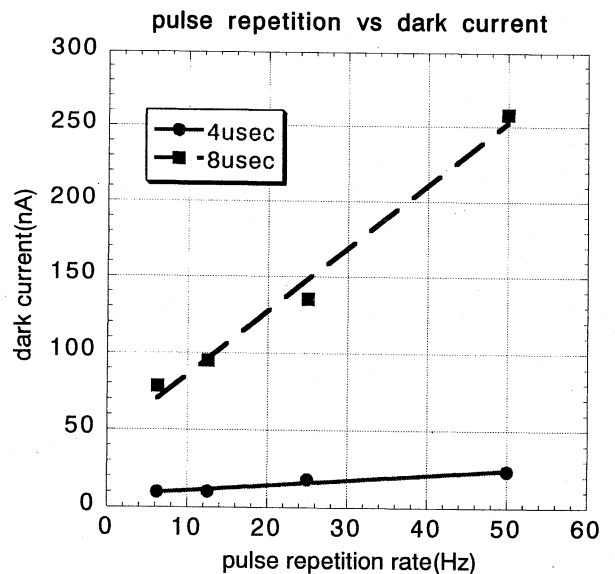


Fig. 7. 7MWクライストロンの繰返しと暗電流の関係