

[P7-16]

Replacement of Power Supply (Klystron and Sub-harmonic Buncher)  
and Operation Experiences by using the Photo-Cathode RF-GUN

T. Ueda, K. Yoshii, T. Watanabe and M. Uesaka \*H. Nakanishi, K. Nakajima

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

\*\*\*F. Sakai \*\*\*\*A. Ogata

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

\*High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

\*\*Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI)

\*\*\*Sumitomo Heavy Industries. Ltd. \*\*\*\*Hiroshima University

ABSTRACT

We have replaced the 15 MW Klystron (2856 MHz) system and the 5 kW amplifier system for Sub-harmonic Buncher (476 MHz). The peak power fluctuation of the klystron is within 1 % and the phase stability is within  $\pm 1.6$  degrees. Also we have been operating the photo-cathode RF-Gun at a repetition rate of 50 Hz for about 2 years. We report the experimental results of the dark currents, rf conditioning effects and Quantum efficiency of photo-cathode (Cu).

ライナックの改修とフォトカソードマイクロ波電子銃の運転経過

1 <序> 東大35 MeVライナックは、約20年前に建設され当初世界で初めて、S-bandでのピコ秒シングルビームの発生に成功し多くの利用に供してきた。その後10年を経て、ツインライナックとして2台のライナックから同時にピコ秒シングルビームを得ることができるよう18 MeVライナックが増設された。このビームは、超高速現象を解明する放射線化学の実験や、2つのエネルギーの異なるピコ秒シングルビームを用いることによる、ビームウェークプラズマ加速実験にも利用された。また、自由電子レーザー研究所との共同研究により高品質及び高安定なビームを利用して、国内で初めて、ライナックによる自由電子レーザーの発振にも成功した。数年前にピコ秒シングルビームから、フェムト秒シングルビームへのバンチ圧縮に成功し、 $\sim 250$  fsecのバンチの計測もストリークカメラや遷移放射光 (Transition Radiation) を用いた干渉法でも測定された。さらに最近、フェムト秒レーザーとフォトカソードRF-電子銃からのフェムト秒ビームを組合せた種々の実験手法へと研究の範囲も広がってきている。従って本ライナックシステムにおいて、圧縮されたフェムト秒ビームのバンチ巾や電荷量の安定性のために、時間ジッターやエネルギー安定性及び入射ビームの安定性など今まで以上の高度な要求が求められている。そのため新たにフェムト秒シングルビームライナックとして、

昨年度15 MWクライストロン及びバルサーと5 kWサブハーモニック半導体増巾器の更新を行った。ここでは、新システムの紹介とそれぞれの機器仕様を示す。さらに平成9年度よりスタートした、繰返し50 Hzで動作するフォトカソードRF電子銃の開発やその後の運転経験より、暗電流やマイクロ波エージング及びフォトカソードの量子効率の変化についても報告する。

2 <15 MWクライストロンと5kWサブハーモニック半導体増巾器の導入について>

今までは7 MWクライストロン2台のシステムで加速管3本とRF-電子銃へのマイクロ波の供給を行っていた。今回、15 MWクライストロンを導入する最大の利点は、2台のクライストロンの同時運転よりも1台のクライストロンで出力を2分割する方式の方が、バルサーが1台で済むためクライストロン相互の位相ジッターがなくなり安定度の向上が期待される。従って新システム(Fig-1)では35 MeVライナックモードでは、15 MWクライストロン出力を2分割してそれぞれの加速管に7.5 MWを供給し、また、18 MeVライナックモードではRF-GUNと加速管一本に各々7.5 MWを供給することができる。一方、クライストロン I は従来のまま残し、今までと同じ28 MeVモードでの運転が可能である。15 MWクライストロンの性能仕様をTable-1に示す。クライストロンの仕様としては、

基本的に従来と同じ空間内に納める必然性から、パルサー電源の小型化を計った。また、高安定化のためにインバータ方式による半導体直流高圧電源方式を選択した。短パルスビームを目標としているためパルス巾は、 $1\ \mu\text{s}$ 内での電圧、位相、平坦度の安定度を補償することとした。従って、長パルス ( $4.5\ \mu\text{s}$ ) ビームは加速できなくなる。繰返しも、小型化を考慮して従来の $1/4$ の50 ppsまでとした。詳細設計は三菱電機(株)が行なった。また、476 MHzサブハーモニック増巾器の更新を行った。従来は板極管7651と7214を使用していたが、最近の半導体技術の発展によりトランジスタで制作し、5 kW、 $30\ \mu\text{s}$ 、100 ppsの性能とした。安定度は出力安定度1%以内位相安定度 $\pm 1^\circ$ 以内とした。大きさは従来の $1/2$ に小型化された。詳細設計は日本高周波(株)が行なった。

3< フォトカソードRF電子銃の運転> 昨年報告した<sup>1),2)</sup> フォトカソードRF電子銃について、その後の運転特性を報告する。運転上の問題として以下のことが考えられる。(1)高電界(100 MV/m)をかけることによる、キャビティ内からの暗電流の経時変化(減少)はあるのか?(2)マイクロ波エージングの効果(放電の頻度の減少)はあるのか?(3)フォトカソードの量子効率の変化はあるのか?このような疑問に対して運転経験より得られた結果について報告する。

3-1 暗電流の経時変化 RF-電子銃を最初に試験したのは平成9年7月であった。パルス巾 $4\ \mu\text{s}$ 、ピーク出力7 MW、繰返し50 pps運転(平均電力1.4 kW)で運転可能になったのは平成9年11月であり、約2カ月半かかった。この時の暗電流は120 nAであった。さらに、パルス巾を $4\ \mu\text{s}$ から $8\ \mu\text{s}$ に広げ、平均電力を1.4 kWから2倍の2.8 kWまであげて運転できるようになったのは平成10年1月になり約半年近くかかっている。この時の暗電流は $1.4\ \mu\text{A}$ であった。この間の運転は連続的ではなく間欠的であった。但し、システムの真空度は $10^{-9}$  Torrを保っていた。その後平成10年12月の時点では平均電力1.4 kW時で暗電流は100 nAであり、2.8 kW時は $1.1\ \mu\text{A}$ であり約2割程度減少しているように思われた。しかし測定誤差を考慮するとほとんど減少はないと結論づけられる。

3-2 マイクロ波エージングの効果(放電の頻度の減少) 連続的なマイクロ波エージングを行うことにより確かにエージング効果はあった。顕著に表

れたのは平均電力2.8 kWで長時間(10日間以上毎日8時間)エージングを行った後に再び $1/2$ の平均電力にマイクロ波パワーを下げた場合、エージングを行う前と比較すると、明らかに放電の頻度が下がっているのが判る。(Fig-2,3)しかし、このエージング効果もしばらく運転停止の状態にしているとまた、以前の状態にもどるように思われた。

(Fig-4)そのため、エージング効果による放電の頻度の減少は連続してエージングを行っていないと期待できないことがわかった。

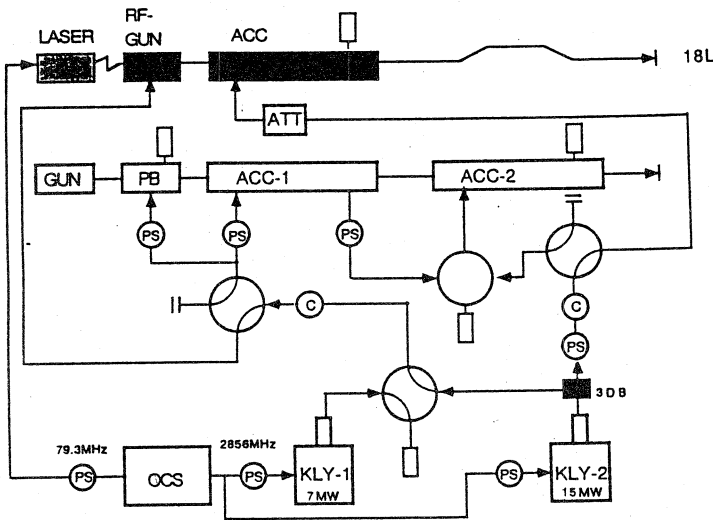
### 3-3 フォトカソードの量子効率の経年変化

今まで、ほとんど変化がないと思われていたフォトカソード(材質:銅)の量子効率の変化が最近見つかった。今まで気がつかなかった理由として、レーザー出力の変動が日々、変化が激しかったため、ビームの出力に多少変動が生じていても気にしていなかったためと考えられる。ところが、レーザーが更新され、レーザー出力の安定度が1%程度になり、ビーム出力の安定度を十分に計測することが可能となった。量子効率の最初の変化は、マイクロ波エージングを平均電力2.8 kWで10日間行った後に量子効率が $1/10$ に下がっていたことである。そこで量子効率の回復状況を日々測定したのがFig-5である。この結果量子効率の回復状況は、日数に比例して30日を必要とした。逆に量子効率が下がった原因としては、マイクロ波エージングの際に真空度の悪い状況で長時間行ったことが原因と考えられる。そこで、真空度を良くするためにゲッターポンプ(500l/s)を取りつけた。その際、RF電子銃側は真空保持したまま行ったにもかかわらず再び量子効率の低下が表れた。しかし、今回は前回と異なり、量子効率は2日で回復した。この経過をFig-5に示す。

4< 結論> 15 MWクライストロン及び5 kWサブハーモニック半導体増巾器の更新により、フェムト秒ビームの安定性が更に良くなることが期待される。フォトカソードRF電子銃の暗電流の減少はほとんど期待できない。また、マイクロ波エージングによる放電の頻度の減少も連続運転では多少良くなるが、停止していると再びもとの状況にもどると考えられる。さらに、フォトカソードの量子効率の変化は金属カソード(銅)の場合でも真空度に影響されやすく、常に高真空( $\sim 10^{-10}$  Torr)にしていなければ十分な量子効率は得られないことが判明した。

(参考文献)

- 1) F. Sakai et al., Proc. of the 23 nd Linear Accelerator Meeting in Japan (1998) p.43.
- 2) T. Ueda et al., Proc. of the 23 nd Linear Accelerator Meeting in Japan (1998) p.139.



略号

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

Fig-1. 18LフォトカソードRF-電子銃モード

15 MWクライストロン及びパルサーの仕様		5 kWサブハーモニック増巾器
クライストロン	PV-3015 (三菱)	
中心周波数	2856 MHz	476 MHz
出力電力 (ピーク)	15 MW以上	5 kW以上
出力パルス巾	5 μs (半値巾)	30 μsec
マイクロ波電力安定度	± 0.5 %以下	± 0.5 %以内
マイクロ波位相安定度	± 1.6° 以下	± 1.0° 以内
メーカー	三菱電機 (株)	日本高周波 (株)

Table-1 15MWクライストロン及び5kWサブハーモニック増巾器仕様

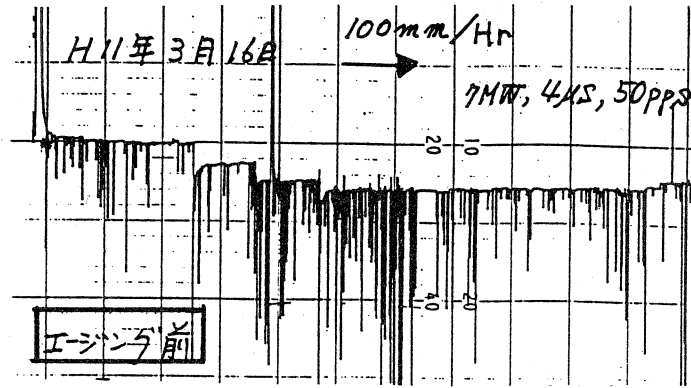


Fig-2 ダークカレント測定時の放電の頻度の様子 (マイクロ波電力1.4 kWの時)

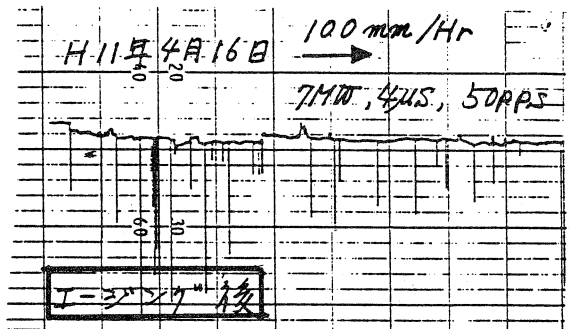


Fig-3 マイクロ波電力2.8 kWで10日間以上エージングを行った後の放電の頻度の様子

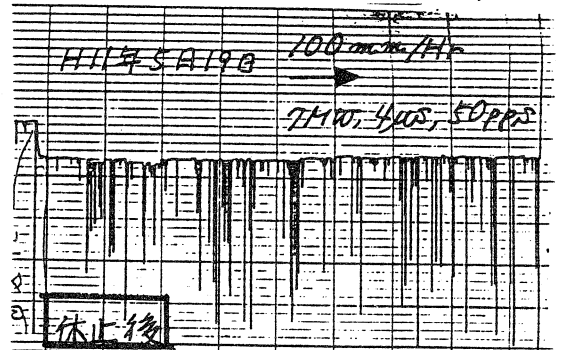


Fig-4 上記よりマイクロ波エージングを休止していた後の放電の頻度の様子

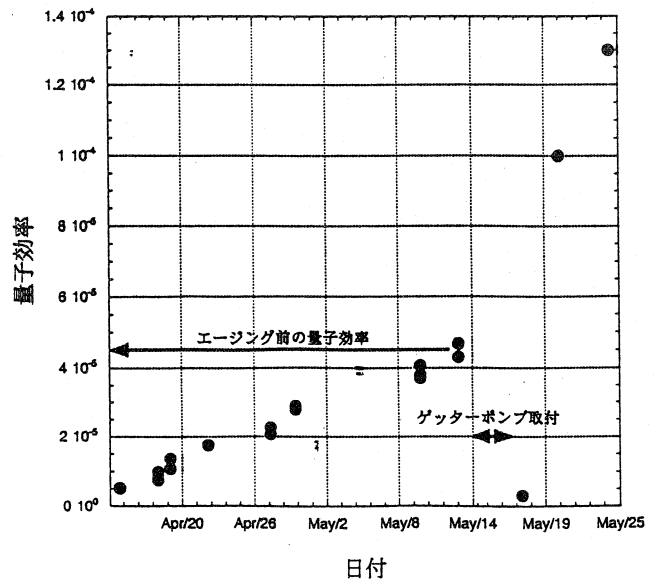


Fig-5 フォトカソードRF-Gunの量子効率の回復状況