

[12P-33]

Replacement of RF Power Supply & Cooling System and Sub-picosecond Single Pulse Beam Test

T. Ueda, K. Yoshii, T. Kobayashi, T. Watanabe and M. Uesaka

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

We have replaced the 15 MW Klystron (2856 MHz) system and the 5 kW amplifier system of Sub-harmonic Buncher (476 MHz) in our LINAC facility. The peak power fluctuation of the klystron was measured within 0.2 % and the phase stability was measured within 0.5 degrees. Also we have replaced the cooling system of the accelerating tubes for controlling the water temperature within 0.01 degree. Then the fluctuation of the sub-pico second single pulse beams have been more stable than the old systems. The peak currents stability was measured within 2.5% (rms) and the averaging beam current stability was measured within about 10% during 30 min.

マイクロ波系及び冷却系の改修と性能評価

1. はじめに 東大原子力工学研究施設には、サブピコ秒単バンチビームを発生させることができる2台の電子ライナックがある。1台は熱電子銃、サブハーモニックバンチャ、2本の加速管及びバンチコンプレッサーで構成されエネルギーは35MeVである。他の1台はフォトカソードRF電子銃とレーザーによりピコ秒単バンチを発生させ、1本の加速管とシケイン型バンチコンプレッサーにてサブピコ秒に圧縮させるシステムでエネルギーは18MeVとなっている。どちらのビームもサブピコ秒単バンチビームの発生に成功しており、すでにバンチ計測やパルスラジオリシス実験等の利用に供している。昨年度より、ライナックの機器の更新が行なわれており、さらなる高品質ビームの発生と安定化を目的にマイクロ波源（サブハーモニック増巾器とクライストロン及びパルサー）と冷却系（加速管の冷却）の改修が終了した。各々の機器の性能と35MeVライナックにおける総合性能試験が行なわれたのでその結果について報告する。

2. マイクロ波源の改修 2-1<476MHzサブハーモニック増巾器の改修>今までサブハーモニック増巾器としては板極管を使用していたが、今回すべてを半導体化した。半導体アンプの場合にパルス立上り10 μ s以内の位相変動が大きい。そのため、パルス巾を30 μ sと長くして、十分に位相の安定したところでビーム加速を行うことにした。また、従来の我々のシステムではフェーズロックシ

ステムを制御室までケーブルを延長させて制御していたが今回はフェーズロック回路も、パワーロック回路もすべてサブハーモニック増巾器内で行っており、それだけ外部のノイズの影響は少なくてきていると思われる。性能は最大出力5kWで、パルス巾は30 μ secあり、かつ繰り返し周波数は100Hzである。単品性能としては出力安定度1%以内であり位相平坦度は0.25deg/10 μ sが得られており、パルスごとの位相変動も検出限界の ± 1 deg以内に入っている。(Fig-1,2,3参照) 2-2<クライストロン及びパルサーとマイクロ波入力アンプの更新> 従来、クライストロンは7MWを2台使用していたが、システム全体の安定度を考慮した場合、1台のクライストロンで15MW出力し、それを2分配した方がシステムとして安定化できると考えた。従って、クライストロンとしては三菱電機社製PV3015を使用し、15MW出力を3dB方結で2分配した。クライストロンの入出力特性をFig-4にまた、アノード電圧と出力ピーク電力の特性をFig-5に示す。クライストロンパルサーとしては、小型化と高安定化を目的にして、従来よりパルス巾で約1/2の1.5 μ s（平坦部）とし、パルス繰り返して約1/4の50Hzとした。小型化と高安定化ということではパルサーの直流高圧電源の寄与が最も大きい。直流高圧電源は今まで共振充電方式であったものを、スイッチング方式の直流高圧電源（LAMBDA EMI社製型式LC12024）に置きかえた。また、サイラトロンはEEV社製(CX1268)を採用し、

PFNコンデンサーは、Maxwel社製を採用している。どちらも従来のものに比較してより高電圧仕様であるにもかかわらず体積比で約1/2～1/4近く小さくなっている。PFN用のインダクタンスの調整は微調整のやりやすさから高圧運転時でも調整可能のように各々がモータにより調整できる。クライストロンパルサーの性能は、リップル±0.22%以内に1.7μsのパルス平坦度が得られた。また、パルスごとの長時間安定度は±0.095%/1Hrの結果が得られている。これらは測定系の検出限界であった。(Fig-6,7) 2856MHzマイクロ波アンプは全て半導体で製作され、ピーク電力400Wパルス巾3.5μs、繰り返し50Hzの性能がある。また、パルス内の位相変動に対しては、フィードフォワードを採用し、あらかじめ予測される位相変動に対して、それを補償回路で補償しパルス内位相が平坦になるようにしている。パルス内の平坦度±0.2deg/3.5μs以下であり、長時間安定度としては振巾で1%/1Hr以下、位相変化で0.2deg/Hr以下の結果が得られている。クライストロンのパルス内位相リップル及び安定度に関しては現在も測定中であり、パルサーのノイズにより精度と信頼性がまだ十分に得られない。現時点のデータではパルス内位相リップル±1deg/1.5μs以下であり、パルスごとの変動も0.428deg/30min以内という結果が得られている。

3. 加速管冷却系の更新 従来、加速管冷却システムの性能は仕様値±1℃(実測値±0.5℃)以内であった。ピコ秒シングルビームを直線部分で利用する目的であれば、従来の冷却システムでも十分安定したビームを供給できた。しかし、最近の実験では例えば、サブピコ秒バンチ計測及びサブピコ秒パルスラジオリシス等の実験においてエネルギーの安定性が良くないとビーム電荷量やパルス巾などのビーム性能に大きな変動をきたす。従って加速管の温度制御も厳しいものが要求される。今回加速管を従来の冷却システムとは切り離し、独立した冷却系で温度制御を行った。その冷却装置の性能としては流量120ℓ/min(加速管40ℓ/min×3本)で温度コントロール0.01℃/1Hr以下で制御されており、冷却能力としては、6kWの連続負荷を冷却できる。但し、連続的に投入されている負荷に対しては0.01℃以下の安定度があるが過渡応答に対しては、±0.03℃程度の変動があり落ちつくまでに10分～15分の時間を必要とする。その温度コントロールの結果をFig-8に示す。

4. 総合試験 今回改修した機器の総合性能試験は、35MeVライナックでサブピコ秒単パルスビームの特性測定を行った。その結果、90°バンチコンプレッサー出口において5mmφスリットの透過ビーム電流の特性測定を行った。パルス巾の測定では1.5psのパルス巾の変化をストリークカメラで一定時間ごとに測定したが、大きなパルス巾の変動がないことを確認した。特にライナックを、翌日立ち上げた時でもビーム調整がほとんどなくてもパルス巾の変動がないことが確認できた。(Fig-9) また、5mmφスリットの透過電流も長時間に対して±6%/30min以下の結果が得られた。(Fig-10) また、パルスごとの変動に対してもビーム出力を同軸型ファラディカップにてサンプリング測定した結果、電荷量のゆれは2.7%であり、トリガ系を含めた全体のジッターも7.5psであった。(Fig-11) 以上の結果より、サブピコ秒電子ビームライナックも35MeVライナックシステムでは十分に安定なビームが供給できるようになり、今後の実験にも利用されることが多いに期待できる。なお、今回の改修にあたり、476MHzサブハーモニック増巾器は日本高周波、クライストロン及びパルサーと2856MHzマイクロ波アンプは三菱電機に依頼した。また、加速管冷却装置は、アクアテックが製作した。ここに関係者の方々にお世話になったことをお礼申し上げます。

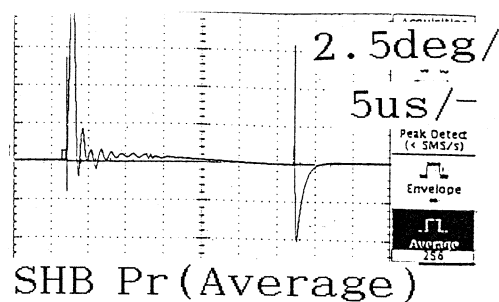


Fig-1 SHB AMP 位相平坦度

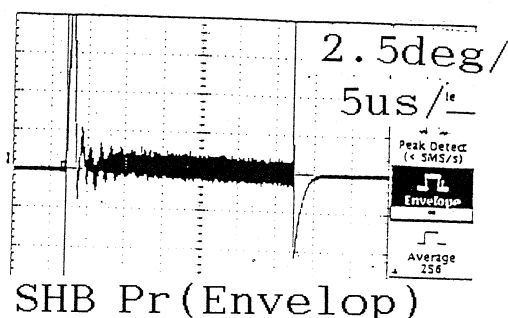


Fig-2 SHB AMP 位相の変動

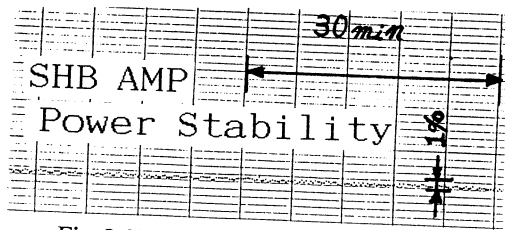


Fig-3 SHB AMP 出力電力安定性

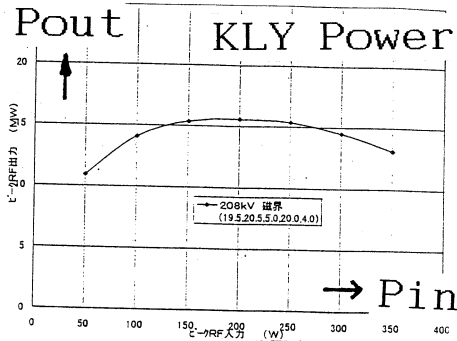


Fig-4 クライストロン入出力特性

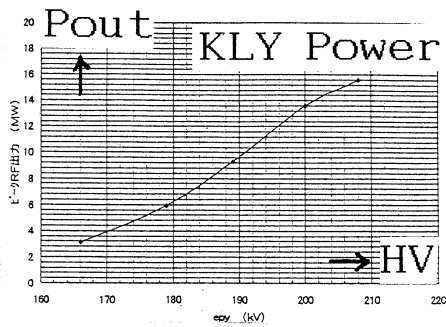
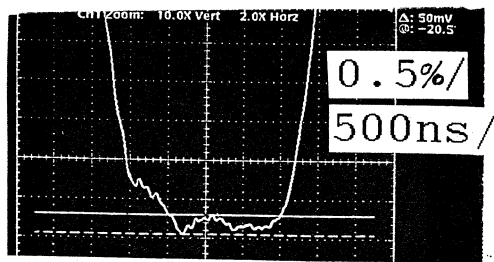
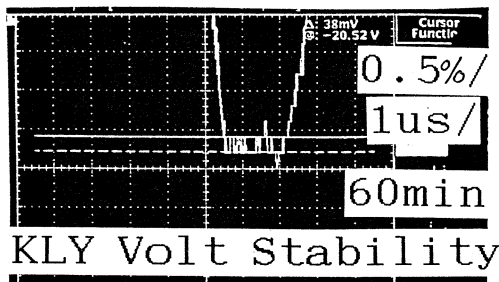


Fig-5 クライストロンHV電圧と出力電力特性



KLY Volt Flatness

Fig-6 クライストロン電圧のパルス平坦度



KLY Volt Stability

Fig-7 クライストロン電圧の変動

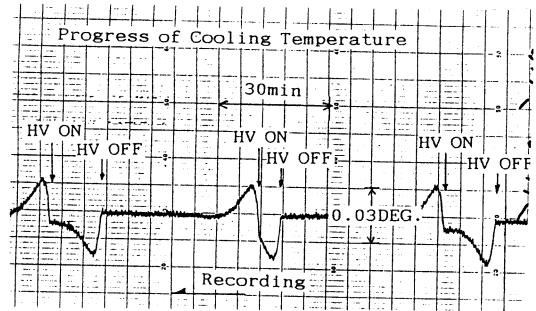


Fig-8 加速管冷却水温の変化

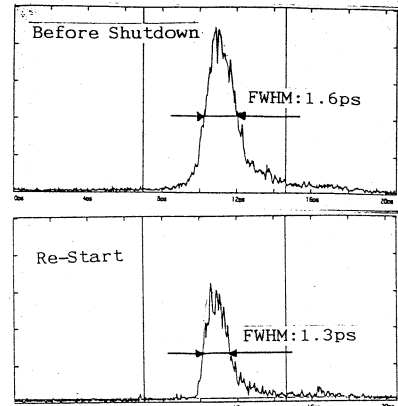


Fig-9 サブピコ秒単パルスビームの

パルス巾の安定性

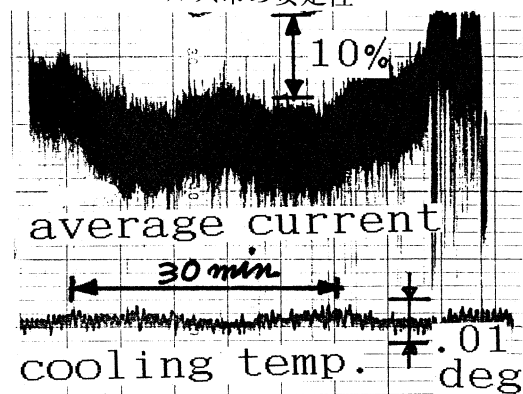


Fig-10 サブピコ秒単パルスビームの5m/mφスリット透過電流の安定性

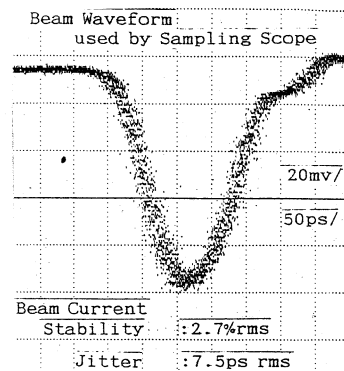


Fig-11 サブピコ秒単パルスビームのサンプリング測定、(安定度とジッター)