

TEST OPERATION OF THE RF SYSTEM OF THE 125MeV LINAC AT NIHON UNIVERSITY

T. Tanaka, K. Hayakawa, K. Sato, Y. Matsubara, I. Kawakami, I. Sato, S. Anami\*, S. Fukuda\* and S. Ohsawa\*

Atomic Energy Research Institute, Nihon University  
7-24-1 Narashinodai, Funabashi, 274 Japan

\*High Energy Accelerator Research Organization, KEK  
1-1 Oho Tsukuba, 305 Japan

Abstract

The test operation of the 125MeV FEL linac has been started at Nihon University. The PV3030 klystron moved from KEK has been operated with the modulator pulse width of 30 $\mu$ s (FWHM), the RF pulse width of 20 $\mu$ s and the repetition rate of 1Hz. The output test of the klystron was performed with a high power dummy load. The maximum peak output power of approximately 15MW was achieved after aged over 34 hours. The high power test of the RF Gun cavity and the accelerating tubes was performed over 50 hours with the klystron output power up to nearly 17MW. An instability of the output RF power, possibly caused by the reflection power of a higher harmonics output, has been observed at the latter half of the RF pulse duration of 20 $\mu$ s.

日大125MeVリニアックRF系の試験運転

1. はじめに

日大原研のFEL施設はKEKなどの協力<sup>1)</sup>で建設が順調に進められ、今春には125MeV電子リニアックのテスト段階に入った。現在使用できるクライストロンはKEKから移設した、ピークRF出力30MWのPV3030タイプのものである。我々の計画では最終的にPV3050相当品をピークRF出力30MW、RFパルス幅20 $\mu$ s、繰り返し12.5Hzで運転する予定である。PV3030を使用した運転では最大ピーク出力20MW程度を目標にしているが、その場合でも加速電子ビームのエネルギーは90MeV以上が見込まれる。

今回の報告では、RF立体回路系のうち、加速器上流側のクライストロン1号機を用いた、クライストロンと立体回路および加速空洞のエイジングについて述べる。

2. RF系の構成

RFテストにおけるドライブ回路とクライストロン1号機から加速空洞までの立体回路は図1のような構成となっている。

RF源にはアンリツの30MHzシンセサイザー出力を基準周波数信号とした自作3GHzPLLシンセサイザーを使用した。これは以前ダブルサイデッドマイクロトロンに使用していた100週倍発振器で、2856MHzで安定に動作するよう再調整してある。出力RFのスペクトルは図2のようになっている。

FEL実験の初期にはDC電子銃を入射部に用いる予定であるが、RF電子銃の予備テストを行える可能性もあったため、RF電子銃と $\alpha$ 電磁石から成る入射系の構成にして高電力テストを行うことにした。

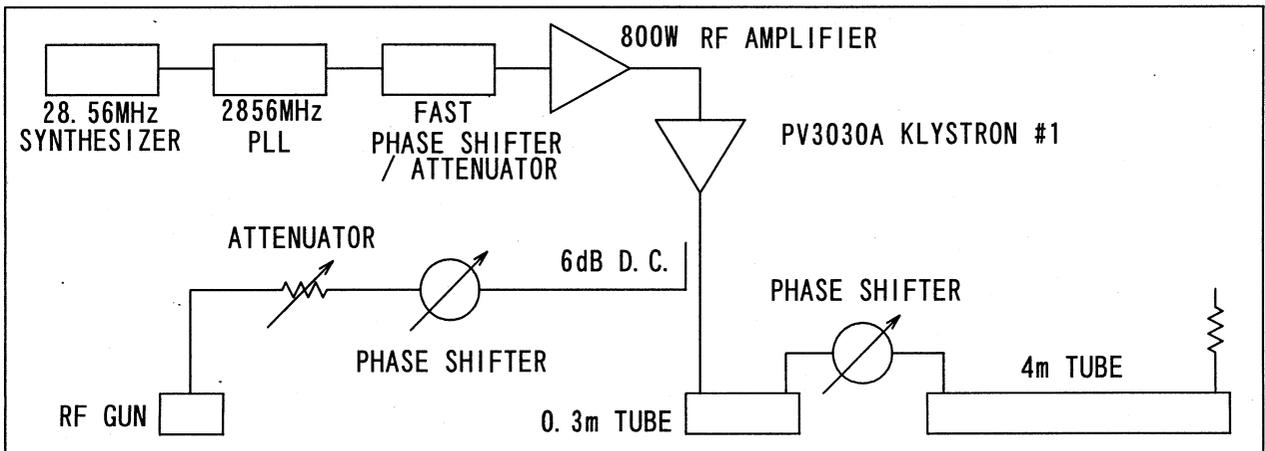
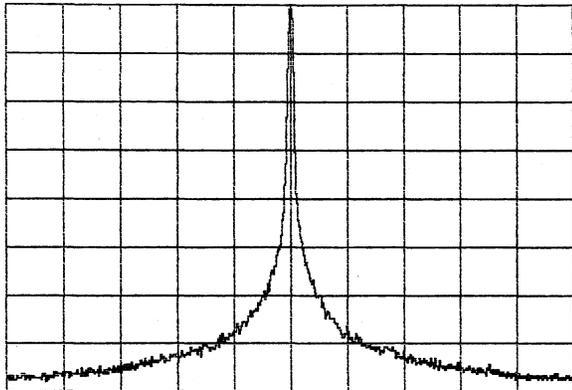


図1 リニアック上流側RF系構成図

AV7224 2856MHZ PHASE LOCKED OUTPUT 96-09-24  
 CTR: 2.855GHz SPAN: 20kHz/ REF:+ 12dBm 10dB/



RBW: 1kHz VBW: 3kHz SWP: 120ms/e ATT: 30dB

図2 PLL シンセサイザ出力RFのスペクトル。

### 3. クライストロン単体出力試験

本来 PV3030 クライストロンはモジュレータパルス幅  $5\mu\text{s}$  程度でピーク出力  $30\text{MW}$  が得られる仕様となっている。我々はモジュレータパルス幅  $30\mu\text{s}$ 、RF パルス幅  $20\mu\text{s}$  という長パルス運転を行う。この場合コレクタの発熱は問題ないが、RF 窓が耐えられる出力限界はそれを下回ると予想される。

そこで、PV3030 での長パルス運転は初めての試みであることから、出力には KEK から借りたダミーロードのみを接続し、安全のために繰り返し  $1\text{Hz}$  でクライストロン単体の出力試験を行った。出力電力は導波管のモニター用方向性結合器で測定した。

モジュレータの問題<sup>2)</sup> から、目標とする  $20\text{MW}$  までの出力はテストできなかったが、エージングは順調に進みパルス電圧と RF パルス幅を徐々に大きくして約  $34$  時間のエージングののち、RF パルス幅  $20\mu\text{s}$  でほぼ  $15\text{MW}$  を越える出力が安定して得られるまでテストすることができた。

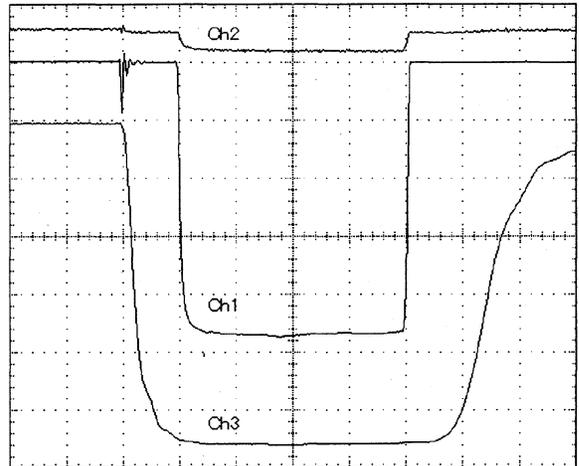
図3にエージング中のパルスモジュレータ、出力および反射 RF 波形の例を示す。モジュレータは運転中に PFN のインダクタンスを微調整できるため、このテストである程度パルスを平坦にしてある。クライストロン単体テストの結果だけから判断すると、さらに高出力を得る上で障害となることは特にないと考えられる。

### 4. 立体回路系立ち上げ試験

加速管および RF 電子銃空洞を含めた、立体回路系全体のエージングは RF パルス幅  $20\mu\text{s}$ 、繰り返し  $1\text{Hz}$  で、ピーク出力  $2\text{MW}$  から始めた。この

テストは、クライストロン入力、クライストロン出口での出力・反射、RF 電子銃空洞の入力・反射、 $30\text{cm}$  加速管の入力・反射・透過、 $4\text{m}$  加速管の入力・透過、それぞれの RF 電力と導波管および加速管の真空をモニターしながら行った。

この時に経験したいくつかの点について以下に述べる。



Horizontal 5  $\mu\text{s}/\text{div}$   
 Vertical Ch1: 20mV/div Ch2: 2mV/div Ch3: 5mV/div

図3 エージング中のモジュレータおよびクライストロン出力波形の例。Ch1: RF 透過波、Ch2: RF 反射波、Ch3: クライストロン入力パルス電圧波形。

#### 4. 1 クライストロン入力 RF のトラブル

クライストロン単体のテストでは生じていなかったが、RF アンプ出力を ON にし、パルスモジュレータが OFF の時にはクライストロン入力 RF 波形は問題ないが、パルスモジュレータを ON にしてクライストロンを動作させると入力 RF 波形が乱れる、という現象が生じた。この乱れた波形はそのままクライストロン出力波形に現れた。

原因としてクライストロン入力空洞からの高調波が考えられたために、クライストロンの RF 入力コネクタにローパスフィルタを挿入したところこの現象は見られなくなった。クライストロン入力空洞で発生した高調波が、RF アンプに反射して再びクライストロンに戻ることによって、結果としてクライストロン入力 RF に変調をかけていたと考えられる。

#### 4. 2 クライストロン出力のトラブル

RF アンプ出力の異常は認められなくなったが、図4の例に示すように、クライストロン出力レベルがパルスの途中で階段状に変化し、このタイミングで入力・出力間の位相がジャンプする現象が

見られた。パルス内の発生するタイミングは一定しなかった。

これも基本的には高調波の反射による問題と考え、さらに RF アンプ出力にローパスフィルターと 6dB 減衰器を挿入しアイソレーションを高めたところ、この現象はなくなった。

しかし、それでもパルスの後半 15 $\mu$ s 付近以降には出力レベルの変化あるいは出力の低下といった不安定な現象が残った。

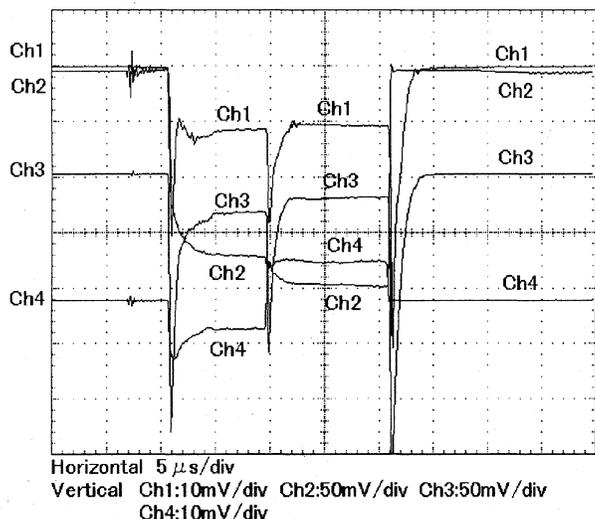


図4 クライストロン出力に見られたレベル変動 (Ch2) と位相ジャンプ (Ch4) の様子。Ch1:RF 電子銃空洞反射、Ch2:クライストロン出力、Ch3:30cm 加速管反射、Ch4:クライストロン入力・出力間位相 (DBM によるモニター)。

クライストロン入力 RF、モジュレーターパルス電圧、RF 入力タイミングを変化させて現象の現れ方の違いを調べ、クライストロン入力 RF については、出力 RF を飽和させるレベル付近では比較的输出レベルの乱れが生じにくいことが分かった。しかし本質的にはこの現象を取り除くことはできなかった。

さらに、クライストロン周辺の条件によっては高調波を抑制できる可能性があると考え、クライストロン収束コイル電流の微調整を試した。

系統的なデータを得てはいないが、多少 RF 出力を犠牲にするものの明らかに収束コイル電流の調整で出力不安定を改善できることがわかった。今後より詳しい検討を行う予定である。

#### 4.3 クライストロン高圧パルス平坦化の試験

我々のパルスモジュレーターは運転中に PFN のインダクタンスをモーター駆動による遠隔操作で微調整できる構造になっているため、PFN 出

力波形あるいは最終的な RF パルス波形を高精度で調整できる。

そこで RF テストの間に、パルス平坦度を改善するテストを行い、オシロスコープ上で見ながらクライストロン入力高圧パルスを、ほぼ RF パルス幅 20 $\mu$ s の間で平坦度 $\pm$ 0.1%までは調整が行えることが確認できた。この時の波形の例を図5に示す。ただし、これは調整し易さのテストであり、実際の加速器運転に際しては、RF 出力波形が平坦になるよう調整することになる。

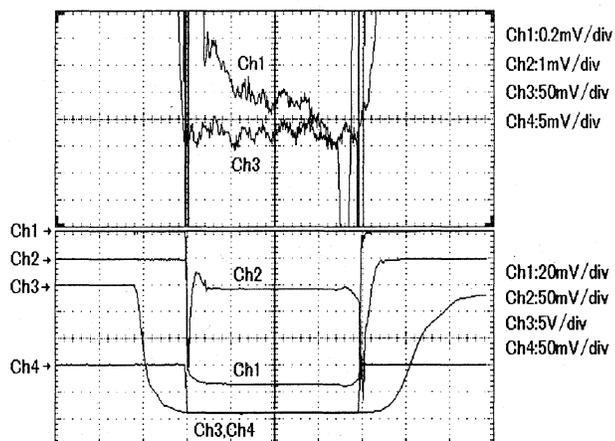


図5 PFN 調整により平坦度の改善されたクライストロン入力高圧パルス波形 (Ch3)。Ch1、Ch2 は RF の出力・反射波形。Ch4 は RF アンプの出力ゲート信号。図の上半分は Ch1 と Ch3 の 100 倍拡大波形。横軸スケールは 5 $\mu$ s/div。

#### 5. まとめ

RF 系のエージング自体は、長パルスでの運転にもかかわらず深刻なトラブルがなく、約 50 時間のエージングによって RF パルス幅 20 $\mu$ s、繰り返し 1Hz で RF 出力約 17MW が得られるまでに至った。また、この間に PFN のインダクタンス微調整のテストを行い、運転中の微調整による波形平坦化の操作は非常にスムーズに行えることが確認できた。

しかし、パルスの後半 15 $\mu$ s から後ろでは RF 系のエージングとは無関係に、入力および出力 RF レベルによっては高調波の反射の影響と思われる出力不安定が見られ、クライストロン周辺の微調整あるいは高調波を抑制する対策をとるなど、本格的に運転する前に解決すべき課題が残されている。

#### 参考文献

- 1) K.Hayakawa et al., Proc. 21st Linear Accelerator Meeting in Japan (1996) p.30.
- 2) K.Hayakawa et al., Proc. of this Meeting.