

## 1 GeV リニアック 検討資料

## 1 GeV LINAC DESIGN NOTE

題目 (TITLE) Test Operation of 1 GeV Proton Linac Modulator

著者 (AUTHOR) T. Takenaka et al.

## 概要 (ABSTRACT)

The modulator is called a line-type modulator. The peak power of this modulator is 15 MW at the repetition of 50 pps. In this report, the present test operation of pulse width 400  $\mu$ s are described.

## KEY WORDS:

Ion source, RFQ, DTL, CCL, Magnet, Monitor, Beam Dynamics,  
Transport, Vacuum, Cooling  
Klystron, Low level rf, High power rf, **Modulator**  
Control, Operation, Radiation, Others

# TEST OPERATION OF 1 GeV PROTON LINAC MODULATOR

T. Takenaka, H. Hanaki, T. Kubo, M. Ono, E. Takasaki, S. Anami,  
M. Kawamura, C. Kubota, K. Kudo and M. Kihara

## ABSTRACT

The modulator is called a line-type modulator. The peak power of this modulator is 15MW at the repetition of 50 pps. In this report, the present test operation of pulse width 400 $\mu$ s are described.

## 1 GeV陽子線形加速器用モジュレーターの試運転について

### 1. はじめに

1 GeV PROTON LINACのクライストロンに用いる大電力パルス変調器はパルス成形回路網 (PFN) 方式をとっており、最終的にはピーク電力15MW、出力パルス幅600 $\mu$ s、繰り返し50Hzの性能を目指すことを目標としている。当初のパルス幅200 $\mu$ sの試運転は終了し、現在、パルス幅400 $\mu$ sで試運転を行なっている。既にサイラトロンを動作させての試運転は180時間を超えている。

試運転は、制御系のノイズ対策を行い、メーターの調整、サイラトロンの変更 (KU-275C $\rightarrow$ F259)、それにともない冷却方式は油冷により続けられている。変調器は10Hz $\sim$ 50Hzの間で繰り返しを選び、HV<sub>DC</sub>は整流器のタップ切り換えにより5 $\sim$ 10kVと10 $\sim$ 20kVで昇圧が出来る。試運転で、繰り返し及び出力電圧を変え、サイラトロンのテスト、DeQingの効果 (出力の安定度)、PFNの調整 (パルス平坦度)、出力性能についての試験をした。HV<sub>DC</sub>18kV、繰り返し20Hz、パルス幅400 $\mu$ s、クライストロン入力パワー203W、出力パワー3.9MW時のモジュレーターパラメーターと代表的波形は表1、写真1に示す。

### 2. DeQingの効果

PFNの充電電圧の安定化の為に、DeQing回路が設けられている。充電トランスの2次側はSCRと抵抗、コンデンサーがある。PFN充電電圧を定電圧と比較し、この電圧を超えた時点で、SCR点弧のトリガーを出す。そして充電トランスの2次側を導通にし、ホールドオフダイオードに逆電圧をかけカットオフにしてPFN充電電圧を一定にする。

パルス幅200 $\mu$ s、HV<sub>DC</sub>18kV、繰り返し50HzでDeQing ONの時のE<sub>PFN</sub>及びHV<sub>DC</sub>の動作状況を図2-1、表2-1に示し、パルス幅400 $\mu$ s、HV<sub>DC</sub>18kV、繰り返し20Hzのときの動作状況は図2-2、表2-2に示す。

表2-1のパルス幅200 $\mu$ sでDeQing ON時のHV<sub>DC</sub>の長期変動は1.2%であるがそれに対するE<sub>PFN</sub>の変動は0.15%と非常に変動が小さく抑えられている。そしてDeQingをOFFにすると、HV<sub>DC</sub>の変動そのものがE<sub>PFN</sub>に全て出てくる。

表2-2のパルス幅400 $\mu$ sでDeQing ON時のHV<sub>DC</sub>の変動は0.6%、E<sub>PFN</sub>

の変動は0.08%である。この時のDeQingのメーターは、15AでDeQing量は5.9%である。

パルス幅200 $\mu$ s、400 $\mu$ sの条件はHV<sub>DC</sub>18kV（パルストランス2次側電圧120kV）、繰り返し20Hzであるが、パルス幅に関係なく長期変動は0.5%以下に抑えられている。出力性能の仕様でパルス電圧安定度は0.5%以下となっているので、前述の0.15%と比較しても充分満足出来るものと思われる。DeQingのHV<sub>DC</sub>に対する電圧変化を、16kV、17kV、18kVと替えて行なっているので図2と表2を参考にしてください。

HV<sub>DC</sub>15kVでDeQing電流を0~30A（メータ）と変えたときのDeQing電流とDeQing量の関係は図2-3と表2-3に示す。DeQing回路に使用している抵抗は28kW、3 $\Omega$ なのでDeQ電流30A（DeQ量16%）を流しても充分使用に耐える。また、DeQ量の仕様は3 $\pm$ 2%なのでDeQ電流は15A程度で使用すれば良い。

### 3. PFNの調整およびパルス平坦度

Pulse Forming Networkはパルスの平坦度を作るうえに於て、L、Cに偏差が無いものを製造しなければいけない。その偏差は容量Cの偏差のほうがパルスの平坦度に大きく影響を与えるが調整が困難なので、インダクタンスLを調整出来るようにしてある。1)

インダクタンスLは160 $\mu$ H/Cellで、ヨークの鉄芯に0~45mmの可変ギャップを持たせ調整出来るようにしている。

写真3でフラットトップの調整はHV<sub>DC</sub>を12kVにしておきPFNのインダクタンスLのギャップを可変し、出力パルスの真ん中に凹みがあるのでこれを平にする。このギャップの調整は1 $\mu$ H~10 $\mu$ H小さく（ギャップを1/2~5mm増加）可変することにより出来た。ギャップに対するインダクタンスの変化量は日立のデーターを参考にした。

また出力パルスの真ん中に当たるPFNインダクタンスLのギャップ（フラットトップ調整済み）を24.6mm（~155 $\mu$ H）から14.9mm（176 $\mu$ H）そして3.9mm（235 $\mu$ H）と大きく変化させ凹み量を、HV<sub>DC</sub>12kV~18kVの各電圧ごとに測定した。この測定結果は図3に示す。図3からインダクタンスのバラツキはあまりみられなかった。

表3-1で示すギャップ14.9mm（176 $\mu$ H）にした時の、平坦度は0.7%前後である。そしてギャップによるインダクタンスの変化量が-10 $\mu$ H位の時は0.5%である。

### 4. 出力性能についての検討

出力性能のパルス立ち上がりは~40 $\mu$ s、パルス平坦度0.5%、パルス電圧安定度0.1%である。まだパルス立ち上がりとパルス平坦度については調整が充分可能である。

1)田中、馬場ほか：INS-TH-48（1965）

写真1 代表的波形 HV<sub>DC</sub>18kV REP20Hz  
Pulse Width 400 $\mu$ s

表1	モジュレーター	メーター	日付	890718	記録者	川村
TIME		THY-I		DeQ(Es)		32.8
REPET(Hz)	20	I <sub>1</sub> I (A)	2.5	CROWB( $\mu$ s)		500
HV(Kv)	18	RSVR(V)	3.95	THY OIL TEMP		
HVcur(A)	5	(A)	12.5	LV Hour		495
DeQcur(A)	18	HTR(V)	8.7	THY Hour		465
C I I Pcur	--	(A)	55	HV Hour		174
EPFN(Kv)	32	KEEP AL(V)	--			
I <sub>CLIP</sub> (A)	--	(mA)	--			
EPULSE(KV)	18.2	THY-II				
IPULSE(A)	580	I <sub>1</sub> II (A)				
高圧		RSVR(V)				
ACVOLT(Kv)	6.7	(A)				
ACcur(A)	9.4	HTR(V)		バルストランス		
制御		(A)		1次 CT $\times$ 10 A		
ACVOLT(V)	198	KEEP AL(V)		2次 HV $\times$ 5000 120KV		
ACcur(A)	20	(mA)		CT $\times$ 40 84A		
KLY HTR		CROWB		KLY rf 3.9KW		
AC(V)	190	I <sub>1</sub> (A)	0.5	WATER LOAD		
AC(A)	2.93	RSVR(V)	3.6	POWER METER		
DC(A)	0.2	(A)	0.8	INPUT RF 203V		
ION PUMP		HTR(V)	8			
(Kv)	5	(A)	2.7			
( $\mu$ A)	--	KEEP AL (A)	0.5			
F. COIL(V)	105	(V)	100			
(A)	50	(mA)	240			

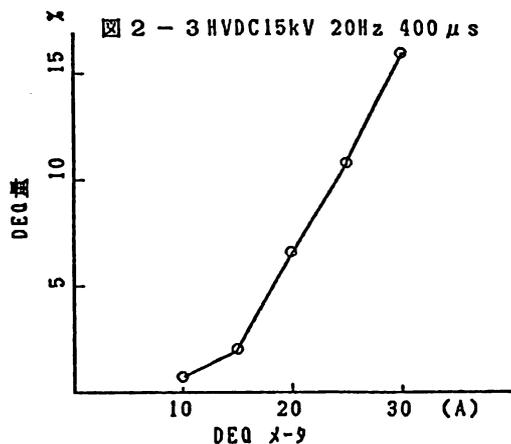
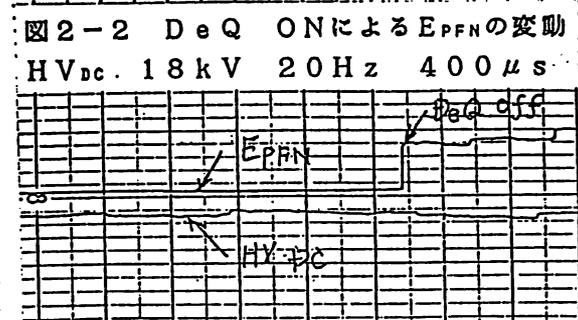
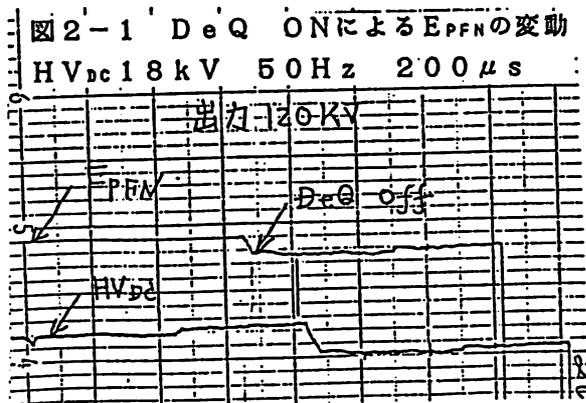
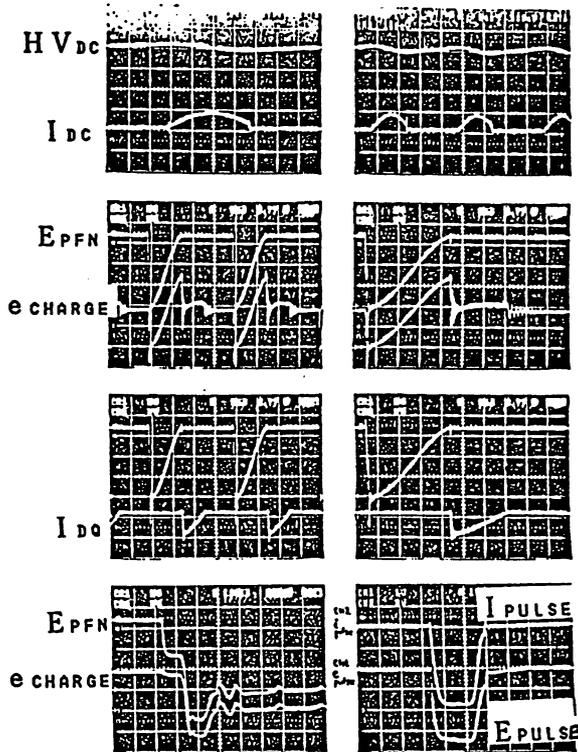


表2-2 HV<sub>DC</sub>に対するDeQing ONによるE<sub>PFN</sub>の変動(400μs)

HV <sub>DC</sub> (kV)	PT2次側 (kV)	(A)	E <sub>PFN</sub> (kV)	E <sub>PFN</sub> 変動	E <sub>DC</sub> 変動
16	111	70	29.5	0.1%	0.9%
17	115	80	30.4	0.05	0.6
18	119	84	32.0	0.08	0.6
DEQ OFF 18	123	88	34.0	0.5	0.5

表2-3 DeQingのSet Pointを可変した時のDeQ電流とDeQ量

HV <sub>DC</sub> (kV)	E <sub>PFN</sub> (kV)	DeQメータ (A)	DeQ量 (%)
15	28	OFF	
15	28	10	1.4
15	27	15	4
15	26.4	20	7
15	25	25	12
15	24	30	16

DeQingの量:  $(E_{PFN} - \Delta E_{PFN}) / E_{PFN}$  但しE<sub>PFN</sub>はDeQ OFF時の値  
 $\Delta E_{PFN}$ はDeQ ON時の値

表3-1 ギャップのHV<sub>DC</sub>に対する凹み量 (インクタンSNO 27)

ギャップ14.9mm DeQ OFF 20Hz

HV <sub>DC</sub> (kV)	凹み量 (kV)	パルス電圧 (kV)	%
10	0.5	81	0.6
12	0.7	91	0.8
14	0.7	102	0.7
16	0.8	112	0.7
18	0.8	125	0.6

ギャップ3.9mm DeQ OFF 20Hz

10	2.0	81	2.5
12	2.3	92	2.5
14	2.7	105	2.6
16	2.8	115	2.4
18	2.9	125	2.3

ギャップ調整値より4mm(150μH)大きくしDeQ OFF 20Hz

18	0.7	125	0.5
----	-----	-----	-----

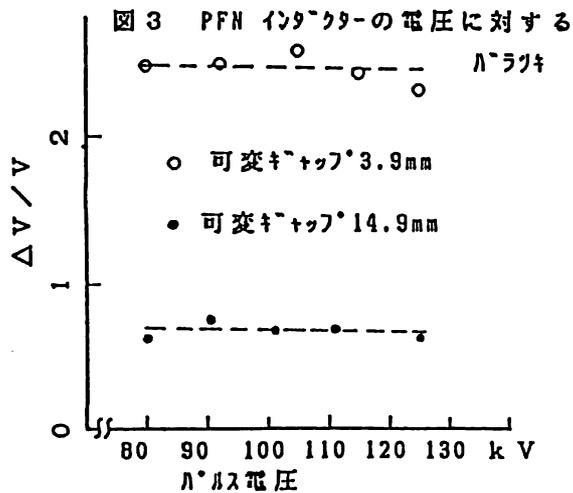


写真3 フラットトップ調整

HV<sub>DC</sub> 12kV 20Hz 400μs  
 上調整前 下調整後

