

# STATUS OF THE MICROWAVE SOURCE OF THE PHOTON FACTORY INJECTOR LINAC

S. Anami, S. Fukuda, T. Shidara, Y. Saito, H. Hanaki, N. Matsuda,  
H. Honma, K. Nakao and J. Tanaka

National Laboratory for High Energy Physics

## Abstract

In this report the operational status, several troubles, failures and improvements about the microwave source of the PF linac, which were operated for about 9000h since the start of the routine operation, are briefly described. The average fault rate due to klystron internal arcing was 2.4 times/hour/41 klys. during the past two years. The drive system and high power modulators were run satisfactorily.

### 1. はじめに

放射光マイクロ波源は、昭和47年に本格的な運転が始まって以来、ほぼ3年が経過し、今までに約9000時間の運転が行なわれて来た。その間、励振系や主モジュレータについてはさほど大きな問題もなく順調に運転されている。しかし、主クライストロンについては、運転当初に比べ故障の頻度や寿命時間などに関してはかなり良くなっているが、電子銃部の耐圧不良やRF出力窓の破損、又、ダイオード・オシレーションなどによる高周波出力レベルの不安定など、未だ未だ改善しなければならない点が多く残されている。

この様なことから、マイクロ波源の現状報告に当たってはクライストロンについてが主なものとなっていた。ここでは、クライストロンが依然大きな問題であるには違いないが、その後の状況も余り変わっていないため、その概略のみにとどめ、余り報告されていない励振系やモジュレータについての状況も、ここ3年間でまとめて報告する。

### 2. 励振系の故障及び運転状況

励振系は、周波数476MHz、出力1.2kW(CW)のメインブースター増幅器、周波数2856MHz、パルス出力10kW2回路のサブブースター増幅器5台、これらの出力を伝送するためのドライライン(39D同軸ケーブル、476MHz用400m1本、2856MHz用40m10本)、及びクライストロンの高周波入力回路である移相器・減衰器ユニット46台より構成されている。この励振系で今までに起こった主な故障は、クライストロン関係ではメインブースタークライストロン(バリアン3KM3000LA)が使用時間1300hで管内電極間(フォーカス電極とカソード電極)の接触で使用不可能となったのが1本あった程度であり、10本のサブブースタークライストロン(トムソンTH2436)については、1本のヒータ外部電極での接触不良(現在、修理して使用中)があったことを除き、全くトラブル無しに順調に運転されている。一方、電源関係では、サブブースターのパルス変調器のスイッチ管(アイマック4PR60C)を励振する4PR60ドライブユニット(出力電圧800V)の抵抗体破損に因るものが数回、サブブースターの直流高圧電源(スペルマン、20kV、12mA)の初期的な故障が2回起こった。しかし、最近の1年間これらの故障はほとんど起こってない。又、この半年間程、希に起こる原因不明のメインブースター高圧電源の出力変動に悩まされて来たが、つい最近、それがフィードバック検出抵抗器碍子の汚れに因るものであることが判明し、清掃することにより対処された。次に、今までに行なった改善としては、メインブースターについてクライストロン集束電源を定電流化したこと、高圧電源の交流入力にAVRを加えたこと、及び高圧電源のフィードバック回路で取り切れない速い変動を取るために出力回路にLCフィルター(10H、50 $\mu$ F)を挿入したことなど、又、サブブースター関係では、Sバンドアンプ(CW、3W)の冷却強化のためのファン取り付け、スイッチ管4PR60Cのヒータ回

路の直流化などが載げられる。

この様に励振系については、この3年間大きなトラブルもなく、安定性についてもほぼ満足出来る程であり順調といえる。しかし、保守上及び運転上の問題点として、サブブスターのスイッチ管4PR60Cの寿命が半年乃至1年程度と非常に短いことが載げられる。このことについては、球の寿命が来る前に定期的に交換するか(年間使用数~20本)、または強い球(4PR1000)を用いる様に改造するかと思案している状況である。

### 3. モジュールター

大電力クライストロン用モジュールターは41台が運転されている。建設当初、量産に備えて試作機を製作し、かなりの虫だしを行ない、万全を期して作った41台であるが、略3年の運転で起こった故障やその間の改良をまとめ見ると、予想以上に壊れた部品や不具合な所が色々あった。

このモジュールターは、ラックマウントの低電力組込みユニット、例えばコントロール、トリガー、ヒータ回路などと、きょう体に直接取り付けられた大電力回路とに分けられる。大電力回路で今までに起こった主な故障としては、PFNコンデンサーのパンクが2~3回、IVRモーターのトラブル、高圧整流回路の放電抵抗器及び平滑コンデンサーの破壊などがそれぞれ1回あった程度で、最初予想していたダイオードの故障は一度もなく、順調であったと言える。但し、これは、50ppsの設計に対して、現在10ppsで運転している事が幸いしている所が大きいと思われる。上記のPFNコンデンサーは初年度製作分12台に使用しているものの耐圧不足に因るもので、現在その内10台が1.5倍の耐圧に強化されたものと交換されている。組込みユニットの中で一番トラブルの多かったものは、トリガーII回路(2kV, 2 $\mu$ s)である。最初に起こったのはPFNコンデンサーの絶縁破壊であった。これは全数をメーカー側の責任に於て交換された。次に起こったのは出力パルストランスの耐圧不良であり、30台分が交換された。又、最近では、サイラトロン5C22のヒータートランスの層間短絡や5C22のひび割れなどが数多く現われて来ている。次に多かったものはメーター類である。内容的にはメーターリレーや整流器のダイオード、積分器の抵抗などのスパイクノイズに因る絶縁破壊である。これらは、耐圧強化やフィルターの取り付け、又、取り付け場所や配線の変更などによって対処され、現在はほとんど起こっていない。次に、デイクューイング量が一定になる様に高圧直流電圧を制御するためのIVRコントロールユニットの動作不良が載げられる。これは、使用しているICが度々壊れたこともあるが、ノイズで誤動作した時にシーケンス的に変になってしまうことを長い間気付かなかったためであり、基板の配線変更によって最近では順調になっている。以上が頻度的に多かった故障であるが、他に、製作上のミスである端末処理不良や締め付け不良などに起因するものも、運転の当初には見られた。主サイラトロンとして用いているITT KU-275Cは、ほとんど交換することなく、不調となったのは1本だけであり、特出したものと言える。

このモジュールターの保守点検は毎年夏のシャットダウン中に行なわれている。製造又は納入した業者5~6社により、高圧部汚れの清掃や部品の点検、メーターの校正、PFNコンデンサーの性能測定、高圧プローブのガス圧チェック、各種リレーの動作チェックなど、現在の性能を維持するためにかなりの費用と人力が費やされている。現在、トリガーIIを除き、問題もなく、差し当たり特に改造しなければならない所や不都合な所もなく、順調に稼動している。

### 4. クライストロンの使用状況

放射光リニアックを運転する上で、一番の障害となるのはクライストロン管内の放電によるビーム加速運転の中断である。現象としては、クライストロンの破損を防ぐ為の保護回路が働いて、モジュールターの高電圧回路が、又、場合によっては低電圧回路が停止することである。この復帰は、計算機によって自動的に行なうことが出来る様になっているが、現在、すべてオペレータによる手動となっている。高電圧回路の復帰時間は通常30秒~1分程度であるが、管内の真空によって停止した場合にはもう少し時間を要することもある。この停止する頻度(fault rate)は、表1に示される様に、昭

和59年度の平均は41本のクライストロンに対して1時間当たり2.4回となっている。この値は、運転開始当初に比べるとかなり良くなっているが、それ以後はほとんど改善されてない。しかし、ここ2月間の運転でかなり良くなって来た兆しがあることは今後に期待出来る。このfault rateの値は、年間10本程度のクライストロン交換によってこの値に保たれているのであり、ほとんどの球が使用時間に伴ってだんだんと悪くなっていく傾向を持っている。クライストロンが寿命終止に至る一般的な傾向を見ると、最初正常な電圧(250kV前後)が掛かり、比較的低いfault rateで運転されているが、その内に急にfault rateが高くなり、更にその電圧が掛けられなくなってしまう。この時、印加電圧を下げ使用すが、この様になった球は、大体に於て耐圧の劣化が更に進行し、低い電圧でもfault rateが下がりきれず、更に出力不足となって新しい球に交換され、寿命終止となる。この様な耐圧劣化が、現在抱える最も大きな問題である。

今までに購入されたクライストロンの使用及び故障状況が表2に示されている。この表はそれぞれの購入年度ごとにまとめた現在(昭和60年7月)の状況を示すものである。表中、休止中とあるものは一度使用したが、球以外のトラブル(例えばパルストランスや導波管窓など)で交換されたものである。又、未使用及び陽電子用(6本)については平均使用時間及びMTBFの算出に取り込まれていない。故障原因で( )内の数字は、主たる故障原因は他であるが、その故障内容で示す故障も併発していたものの本数を現わしている。例えば、明らかに耐圧不良と言う判定で取り外してみたら、窓にも穴が明いており、リークしてしまった様なものである。稼働中の運転状況は昭和60年5月から昭和60年7月までを示している。この稼働中の中にもfault rateの高いものや印加電圧の低いものも含まれているが、この球が交換されて寿命終止となるかどうかは、その時の総合的な運転状況や手持ちの数、あるいは入荷予定などによって決められており、明確な判定基準がない状況である。不安定とあるのは、主にダイオード・オシレーションや三次高調波の入力空洞への戻りなどによるRF出力の不安定である。ダイオード・オシレーションは、一例を除き、そのほとんどが使用都中から起こっている。この様な場合、ヒータ電圧及び印加電圧を下げて抑えるのが通常である。三次高調波の入力空洞への戻りによる不安定については対処することが出来ず、その原因は明確になっていない。しかし、その本数は僅かであるため、それ程深刻なことではない。先ずは、最大の問題である放電について、供給元のメーカーと一体となって、真空加熱処理や使用材料の吟味、又、含浸型カソードの使用などにより改善する努力がなされている。

表1. クライストロンの運転状況

年度	運転期間	Fault Rate 個/時/41台	平均印加電圧 kV
'82	10月~12月 6週間	3.5	236
	1月~3月 8週間	4.4	238
'83	5月~7月 6週間	4.6	239
	10月~12月 9週間	3.3	241
	1月~3月 13週間	2.6	243
'84	5月~7月 9週間	2.4	242
	10月~12月 11週間	2.6	241
	1月~3月 8週間	2.1	239
'85	5月~7月 7週間	1.5	241

表2. 購入年度ごとにまとめたクライストロンの故障及び使用状況

昭和60年7月 現在

購入年度	購入本数	稼働中	非稼働(PF使用以外)			故障品	主な故障原因					平均使用時間(h)		稼働中の運転状況(S.60.5~60.5)				
			休止中	未使用	陽電子		耐圧不良	窓破損	ヒータ	碍子	不安定	故障品	生存品	MTBF(h)	Fault Rate	使用電圧	窓穴空き	不安定
'79	4	0	0	0	0	4	2	1	1	0	0	3902	—	3902	一回/日	— kV	— 本	— 本
'80	20	7	1	0	0	12	6(2)	5(2)	0	1	0(1)	3502	8707	9307	1.1	238	1	1
'81	20	11	1	0	0	8	4(2)	2	1	1	0	3676	8901	17028	0.7	240		3
'82	9	4	1	0	0	4	4	0	0	0	0(1)	3413	6247	11221	1.2	238		1
'83	13	11	0	0	2	0	0	0	0	0	0	—	4513	—	1.0	241		2
'84	13	8	0	1	4	0	0	0	0	0	0	—	1454	—	0.4	245		0
合計	79	41	3	1	6	28	16(4)	8(2)	2	2	0(2)						1	7