

[07-A06]

Status of the SPring-8 Linac

H. Hanaki, H. Abe¹⁾, H. Akimoto, T. Asaka, T. Hori, T. Kobayashi, A. Mizuno, H. Sakaki²⁾, S. Suzuki,
T. Taniuchi, K. Yanagida, H. Yokomizo²⁾ and H. Yoshikawa²⁾

SPring-8, Mihara, Mikazuki-cho, Sayo-gun, Hyogo 679-5189, Japan

1)JAERI (Takasaki), Watanuki-cho, Takasaki-shi, Gunma-ken 370-1292, Japan

2) JAERI (Tokai), Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195, Japan

ABSTRACT

The SPring-8 linac had operated for 4000 hours last year with the failure rate of 2 % of the operation time. After investigation of the drift the RF phase or amplitude, temperature stabilization was made so as for the RF system to obtain the phase and amplitude stability. Finally, the beam energy fluctuation of ± 0.1 % was realized and good reappearance of the injection current was obtained. A photocathode RF gun study succeeded to extract photoelectrons by irradiation of UV laser pulses. The electric-field gradient on a cathode reached 127 MW/m.

SPring-8 線型加速器の現状

1. はじめに

SPring-8 入射器 1 GeV 線型加速器は、1996年8月1日にコミッショニングを開始して以来、本年6月までの約3年間、大きな故障もなく順調に運転を続けてきた。しかしながら昨年度は、シンクロトロンへのビーム入射をより安定化するために見直しが行われた。すなわち、入射ビームエネルギーとRFの各部における位相振幅および冷却水温度などとの相関を緻密に測定し、その結果を検討してビームエネルギー変動が小さくなるように各種の改善が行われ、最終的にビーム安定度は著しく改善された[1]。

一方、実験棟や蓄積リング New SUBARU へのビーム輸送路2本が98年夏に完成、同年9月にはコミッショニングを終え、New SUBARU への入射は10月に開始された[2]。

将来に向けての研究開発もいくつか続けられている。RF電子銃の開発は、99年2月に最初の光電子を加速するところまでに達した[3]。

2. 運転状況

夏期停止期間後、98年9月上旬に運転を再開し、99年6月までほぼ順調に運転を続けている。昨年度はシンクロトロンへはシングルバンチ運転用 1 ns ビームとマルチバンチ運転用 40 ns ビームの2種類が、New SUBARU へは1シングルバンチ運転用 1 ns のビームが供給された。それらのビーム電流などについては以下の表1にまとめてある。

昨年一年間における総運転時間は約4,000時間、総運転時間中いずれかの機器が、入射中かどうかを

問わず、故障または不調の状態にあった時間の割合は、約2%である。運転サイクル別に故障の分類を行うと図1のようになる。図中、5月に制御系の故障時間が突出して長いのが、これは単に制御系の小さな不調をたまたま長時間気付かなかつたためである。それを除くとやはりRF系の故障時間が長い。

表1 入射ビームの種類

	シンクロトロン	New SUBARU
パルス幅	1 ns	40 ns
繰り返し	1 pps	1 pps
入射電流	0.1-1 A	80 mA
エネルギー幅	0.5 %	0.8 %

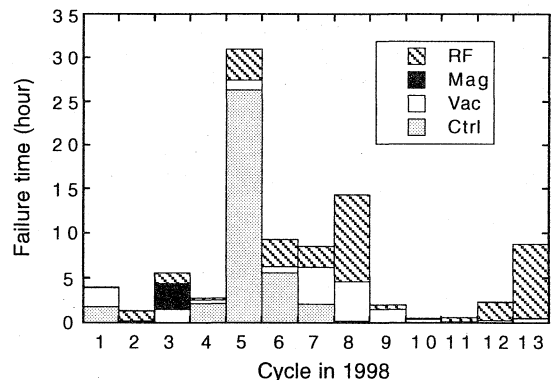


図1 運転サイクル別故障時間

当面は陽電子生成の予定がないため、98年7月に電子銃の大電流用カソード EIMAC-Y796 を Y845 に

交換した。しかしながらこのカソードは交換直後からややグリッドエミッションが多いなどの不調があり、半年後にグリッドの一部が溶けてカソードに接触するという故障を起こした [4]。新品に交換後はグリッドエミッションも十分に小さく、今のところ順調に運転を続けている。

大電力クライストロン変調器の累計運転時間は、ヒーターオン時間で約 20,000 時間、高圧オン時間で約 15,000 時間に達している。この一年の主な故障は、ジッターなどの増加したサイクロtron 2 本の交換、高圧部放電等により損傷した部品の交換、カソードヒータートランスが断線したクライストロンの交換などである。運転開始から現在までに交換したクライストロンは合計 2 本であるが、どちらも冷却系やヒータートランスといった周辺系の故障であり、クライストロン本体の寿命に関わるものではなく、そのような兆候はいずれのクライストロンにも観察されていない。

3. 加速器の安定化

昨年前半は、シンクロtron 入射ビームのエネルギーや電流値の変動の原因を探るために、その主因と目されたマイクロ波の振幅や位相、そしての変動を引き起こしていると思われる各部の温度変化を監視した。その結果を統計的解析手法なども用いて分析したところ、以下の事実が明らかになった [1]。

- ・70m 導波管を有する大電力クライストロン励振系は、その最下流において 10 度の位相変動が観測されたが、それは 4℃ の室温変動が原因である。
- ・クライストロン冷却水の温度変動は 3℃ / 25 分周期であるが、これがクライストロン RF 出力に 1.2~2.4 度の位相変動を引き起こしている。
- ・クライストロン RF 出力の位相や振幅のランダムな変動は、クライストロン変調器 PFN 電圧の揺らぎに起因しており、それはデキューイング回路の調整が不適切 (デキューイング率が高すぎる) だからである。

そこで夏期停止期間中に以下の改良を行い、RF の変動を減少させた [1]。

- ・励振系の 70m 導波管を断熱材で被い、さらに室温制御を調節し、最下流での位相変化を 3 度以下に抑えた。
- ・クライストロン冷却水の制御方式を精密な温度制御が可能なインバータ方式に変更し、その結果クライストロン RF 出力の位相安定性を 0.5 度以下に改善した。
- ・クライストロン変調器のデキューイング率を適正な値にまで下げた結果、PFN 電圧の揺らぎはライン変動など長期的な変動も含めて $\pm 0.2\%$ (1σ)

以下まで減少した。

以上の改善の結果、図 2 に示すように、入射ビームの電流およびエネルギー安定度は、それぞれ $\pm 0.7\%$ (1σ) および $\pm 0.1\%$ (1σ) 以下を達成した。そして入射ビーム電流の再現性は、図 3 に描かれているように夏期停止期間以降は、改善前に比べて大幅に向上した。

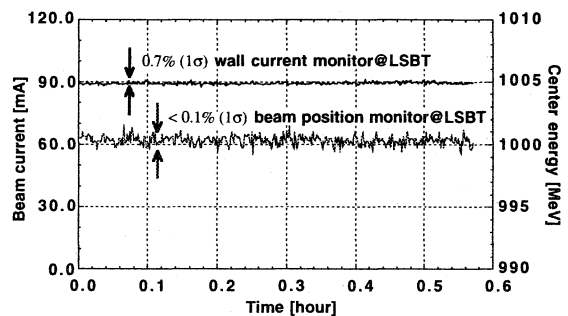


図 2 入射ビームエネルギーと電流の変化

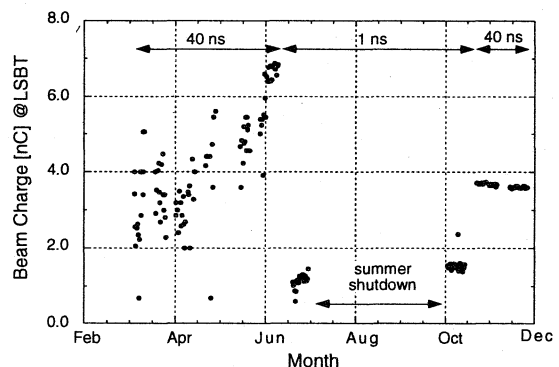


図 3 入射ビーム電流 (電荷に換算) の長期変動

上記安定化対策後に行われた変動解析により、さらにいくつか見いだされた事がある。すなわち、

- ・バンチャ部以降の主加速部のみが寄与するエネルギー変動は、大電力クライストロン変調器 PFN 電圧のランダムな変動によるとして説明がつく。
- ・バンチャ用クライストロン変調器の PFN 電圧変動により、バンチャを出たビームの位相が変化し、結果的にビームエネルギー変動となる。

前者は現状以上の改良は簡単ではないが、後者については変調器の改良などにより改善される見込みがある。

4. 加速器の改良と高度化 トリガー系

New SUBARU へのビーム入射に対応するため、リニアックのトリガーシステムに新たな回路が加えられ、シンクロtronあるいは New SUBARU からのビーム同期パルスを選択できるよう改良さ

れた。さらに、従来はクライストロンRF出力波形などをビームとは非同期に計測していたが、今回ビームに同期した計測用トリガ信号を全てのクライストロン変調器に伝送し、同期計測が可能になった。これにより、RF変動とビームエネルギー変化との相関を正確に測定できるようになった。

ビームモニタ系

リニアックの終端部にはビームエミッタンス測定用ワイヤスキャナ3台およびスクリーンモニタ4台が設置されている。昨年、これらのモニタにより得られた結果からTwissパラメータを求め、さらにマッチング用四極電磁石の、各ビーム輸送系に応じた電流値を計算するプログラムが開発された [5]。自動測定から計算まで約30分で終了するので、必要に応じてビーム輸送系の正確なマッチングを取り直すことが行いやすくなり、加速器調整に大きく貢献している。

シケイン

ビーム入射しながらでも使用可能な、リニアック独自のエネルギーアナライザとして、エネルギー圧縮装置 (ECS) 用偏向電磁石4台から成るシケインを昨年から本年一月にかけて設置した [6]。図4に示すように、シケインは二番目と三番目の偏向電磁石の間に、ビームスクリーンモニタ、ビーム位置モニタ、偏向電磁石の四極成分を補正する四極電磁石を備えている。ビームエネルギーは、スクリーンモニタを用いた場合、図5のように0.1%以下の精度で測定することが出来る。現在、ビームは常時シケインを通して運転している。

また、ECSとしての利用は来年度開始を目指しており、現在設計中である [6]。

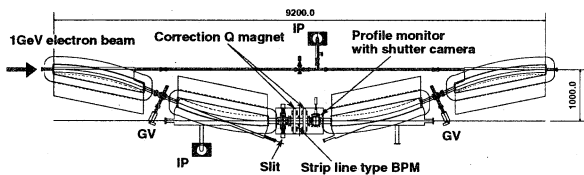


図4 シケインの平面図

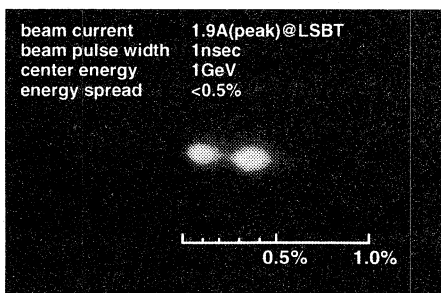


図5 シケインのスクリーンモニタで観測された1 ns ビームスポット

5. 新ビーム輸送路

新設された組立調整実験棟および蓄積リング New SUBARU へのビーム輸送路 L3、L4 は、98 年春より建設が始まり夏に完成、9 月より始まったコミッションは数日で無事に終了した。

L3 ビームラインは、短バンチ電子ビームの輸送が念頭に置かれ、アイソクロナス光学系を組むことが出来、将来の各種実験に耐える設計を行っている。今回は実験棟内部までビームを輸送せず、実験棟手前のトンネルの床にビームダンプを設けた。

L4 ビームラインは、アクロマティックな光学系を構成し、New SUBARU への光路長は 150 m と長い。

6. 技術開発

SPring-8 におけるフォトカソード型 RF 電子銃の開発は 96 年に始まり、98 年 11 月に RF 空洞のコミッションを開始、本年 2 月には、UV レーザパルスをカソード面 (銅) に照射して光電子を発生、加速する事に成功した [3]。RF 空洞に投入された最大電力は 18 MW で、カソード面における電界強度は 127 MV/m に達した。またその時の最大ビームエネルギーは 2.9 MeV、バンチあたりの電荷量は 2 nC 以上を得た。

昨年、クライストロンやサイクロトンのテストベンチ用として、高圧直流電源にインバータ方式の定電流電源を採用した新型の変調器が完成した [7]。その後現在もこの変調器の性能試験が続けられているが、今までに次の問題が明らかになった。すなわち、変調器の繰り返し 60 pps と商用電力ライン周波数 60 Hz が一致しているため、ラインの特定の位相に高調波成分の多い大電流が流れ、力率が低下している。将来このタイプの電源への置き換えをにらみ、この問題の解決に取り組んでいる最中である。

予備の電子銃を性能試験するための電子銃テストベンチも現在組立中であり、7 月に完成予定である [4]。

参考文献

- [1] T. Asaka et al., Proc. 18th Particle Accelerator Conf., (New York, 1999), to be published.
- [2] S. Suzuki et al., SPring-8 Annual Rep. 1998, to be published.
- [3] A. Mizuno et al., these proceedings.
- [4] T. Kobayashi et al., these proceedings.
- [5] K. Yanagida et al., these proceedings.
- [6] T. Asaka et al., these proceedings.
- [7] T. Hori et al., Proc. 19th Int. Linear Accelerator Conf., 576(Chicago, 1998).