

[12C-01]

STATUS OF THE SPring-8 LINAC

H. Hanaki*, T. Asaka, H. Dewa, T. Hori, T. Kobayashi, A. Mizuno, S. Suzuki,
T. Taniuchi, H. Tomizawa and K. Yanagida

Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)
Koto 1-1-1, Mikazuki-cho, Sayo-gun, Hyogo 679-5189, Japan

ABSTRACT

The SPring-8 linac had operated for 5000 hours last year with the failure rate of 2.5 % of the operation time. After an improvement for the beam energy stabilization, the beam energy fluctuation of $\pm 0.03\%$ (1σ) was achieved. An energy compression system is under construction in order to reduce the beam energy spread due to the beam loading. A BPM system adopting a log detector has been developed and its prototype showed resolution of several microns. A photocathode RF gun study has been continued. The electric-field gradient on a cathode reached 140 MW/m and the minimum emittance of 17π mmrad was obtained.

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、96 年 8 月 1 日にコミッショニングを開始して以来、2000 年 6 月までの約 4 年間、大きな故障もなく運転を続けている。97 年の 8GeV 蓄積リング共用開始以来、累計運転時間はこの 6 月で約 13000 時間に達する。また 98 年 10 月からは、蓄積リング New SUBARU への入射も順調に続けられている。

98 年度より、シンクロトロンへのビーム入射をより安定化するための改良が始まった。まず、加速 RF の位相振幅変動を抑制し、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、最終的に入射ビーム電流の安定度は著しく改善された [1]。続いて、ビームエネルギー拡がりをより小さくし、さらには RF 機器不調などを原因とするエネルギー変動を最小限に抑えるために、ECS (エネルギー補償システム) の導入を決定 [2]、本年 7 月には設置工事も完了する。

またビーム位置モニタの開発も続けられており、試験の結果十分な性能を有することが確認された [3]。今年度から来年度にかけて機器の設置が行われ、来年度秋以降、実際の運転調整に使用される予定である。

加速器高度化の研究開発も引き続き行われている。RF 電子銃の開発研究は、ビーム加速実験とシミュレーションを比較するという当初の目的をほぼ達成しつつあり [4,5]、今年度は第二段階に入る。

2. 運転状況

昨年、シンクロトロンと New SUBARU に入射されたビームの種類とその質は、表 1 の通りである。

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	1 ns
繰り返し	1 pps	1 pps	1 pps
入射電流	2A	80 mA	200 mA
dE/E (全幅)	0.5 %	0.8 %	0.3 %
ϵ (90%)	<120 π nmrad	<80 π nmrad	<100 π nmrad

昨年一年間における総運転時間は約 5,000 時間であった。総運転時間中、いずれかの機器が故障または不調のために、1GeV ビームを出射出来ない状態にあった時間の割合は、約 2.5% である。

運転サイクル別に故障等の分類を行うと図 1 のようになる。

RF 系の故障が最も多いが、主たる内訳はサイラトロンの劣化・不調やクライストロン管内の放電である。夏期保守期間後の立ち上げ時には、特にそのようなトラブルが頻発した。

次に真空関係の頻度が目立つが、これは真空に関係するインターロック回路が多数回動作したことを示している。夏期保守期間前は、入射部イオンポンプの性能劣化が原因で頻度が高い。また冬期・夏期保守期間後の立ち上げ時に頻度が高いのは、加速エージング中の真空悪化である。

* H. Hanaki, 0791-58-0851, hanaki@spring8.or.jp

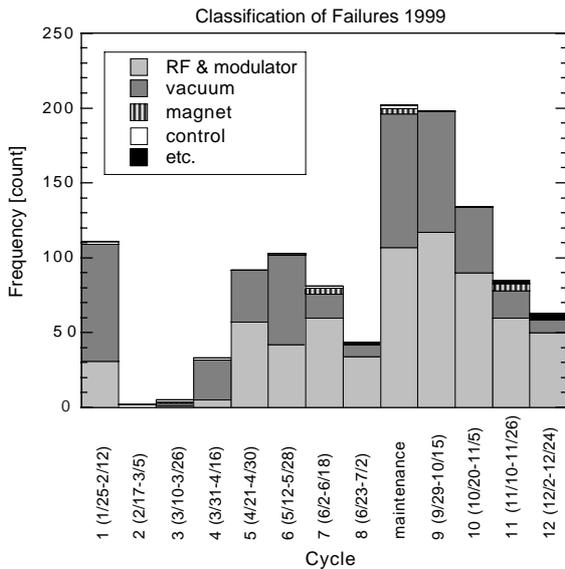


図1 運転サイクル別故障頻度

第一サイクルでは、電子銃カソードのグリッドを制御できなくなり、加速器の運転が全く出来なくなる故障があった。カソード交換後は順調に運転を続けてきているが、カソードエミッション電流が徐々にではあるが低下している。また交換当初は全くグリッドエミッションは検出されなかったものの、現在は観測されている。

3. RF系の現状

大電力クライストロン変調器の昨年末までの累計運転時間は、ヒーターオン時間で約24,000時間、高圧オン時間で約18,000時間に達し、そろそろクライストロンの寿命が気になり始めた。

去年は、初めて一本の80MWクライストロンが管内真空悪化で使用できなくなった。元々不安定な球であったためスペアとしていたが、これを使用したところ短時間で上記の故障に見舞われた。その他の故障は、ヒータートランス断線、あるいはコレクタ部冷却水漏れなどであり、大きな故障は無かった。また、全てのクライストロンのパービアンスも測定しているが、今のところカソードエミッションの減少は見られていない。

SPring-8では、クライストロン変調器用サイラトロンにTRITON社F351を使用してきたが、去年は5本のサイラトロンが交換された。何れもヒータ通電時間が約22000時間前後である。そのうち4本の故障原因がリザーバヒータ部分ショートであった。TRITON社の調査によれば、この故障は、ヒータを絶縁しているアルミナが、通電とともに徐々に減少することにより発生するもので、避けられない現象、すなわち寿命という事であった。

当初よりオートリザーバ方式のEEV社製サイラトロンCX1937Aの採用を検討していたため、上記の故障したサイラトロンの一部はCX1937Aに交換された。今後もこのようなモデルの入れ替えを行い、両者の性能、寿命を比較していく予定である。

4. 加速器の安定化

98年、加速RFの振幅、位相の変動を抑えるために、クライストロン冷却水の温度安定化、クライストロン変調器デキューイング回路の調整によるPFN電圧の安定化などを実施し、ビームエネルギー安定度を大幅に改善した[1]。

その後、ビームエネルギー安定度を正確に評価するために、ECS用シケイン中央部に設けられたスクリーンモニタ上のビームスポット位置を、画像解析装置を用いて測定した。その結果、図2に示すように、1Hz入射ビームのエネルギー安定度は、ショット毎変動 $\pm 0.018\%$ (1σ)、および比較的安定なときの長時間(10分)変動 $\pm 0.03\%$ (1σ)を達成していることが明らかとなった。

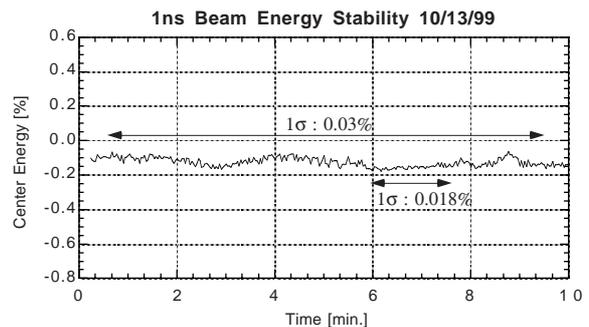


図2 1nsビームのエネルギー安定度

しかし、季節や日によっては加速器棟室温の変動が大きく、クライストロン励振系の70m導波管でのRF位相変動が起こり、その結果ビームエネルギーが変動するようである。

次に、ビームローディングによるビームエネルギーの広がりをより小さくすることを目指し、ECS(エネルギー圧縮システム)を設置する事にした[2]。さらにECSは、RF機器の不調あるいは上述の室温変動を原因とするエネルギー変動も含めて補償が出来る。昨年度にRF機器などの製作を終えており、本年7月に設置工事を完了する。

特にNew SUBARUへの入射では、ビーム(1ns幅)のエネルギー広がり、入射時のビーム損失を最小限に抑える必要から、長時間のエネルギーのふらつきを含めて $\pm 0.3\%$ 程度以下に保たねばならず、そのためにビーム電流が200mA程度に制限されてしまうという現状がある。

計算の結果によると(図3参照)、ECSを導入

後、New SUBARU への入射ビーム電流値を 5A としても、エネルギー広がりには $\pm 0.3\%$ 程度以下と、アクセプタンス内に収まる [2]。実際のビームのバンチ長が不明なため、必ずしも計算通りにはいかないであろうが、入射電流値を大きく増大させられることが期待される。

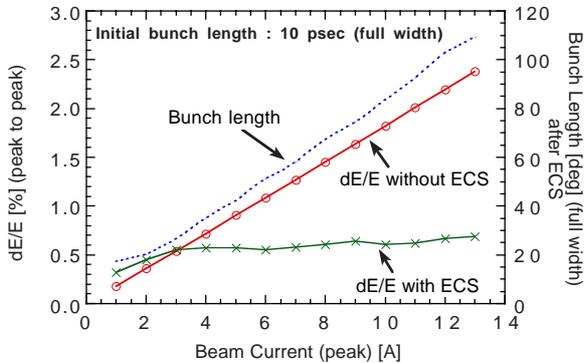


図3 ECSによる1nsビームのエネルギー圧縮

5. 加速器の改良と高度化

5.1 ビーム位置モニタ

95年頃よりビーム位置モニタ (BPM) システムの設計・開発を行っている。信号検出方法は十分な信号強度の得られる静電型ストリップラインモニタとし、リニアックビームのパルス幅が 1ns、40ns 及び 1 μ s の三種類あることから、その検波周波数を 2856MHz に選んだ。本年7月、リニアックの非分散部四重極電磁石に、28台のBPM本体が組み込まれる。

一方、信号処理回路は、検出するビーム電流範囲が広いことから、ダイナミックレンジの大きい Log 演算方式を採用することにした。99年度に回路を試作、テストベンチにおける試験および実ビームを用いた試験を行い、ほぼ評価を終了した。その結果、測定可能な信号強度範囲は電力で 45dB 以上、分解能は数マイクロン程度と、十分な性能を有することが確認出来た [3]。現在、最終試作を進めており、来年度には処理系を全て設置し、実際の加速器運転に活用していく予定である。

5.2 ビームデフレクタ

電子銃からグリッドエミッションが放出されていることはすでに述べたが、これは蓄積リングへのビーム入射の際の不要なバックグラウンドとなっている。このグリッドエミッション電流を除去するために、電子銃直後に小型のビームデフレクタを設置し、グリッドエミッションをビーム軸横方向に蹴り落とす事にした。昨年度はデフレクタ本体と高電圧パルス発生器を製作し、現在電子銃テ

ストベンチで試験が続けられている [6]。

6. 技術開発

6.1 RF電子銃

高密度、低エミッタンスのビームを実現するべく始められたフォトカソード型RF電子銃の開発は、生成された電子ビームの挙動を詳しく解析することを主な目的として、実験およびシミュレーションを行ってきた [4,5]。クライストロン出力 27MW を空胴に投入し、カソード面における加速電界強度は約 140MV/m、最大電子ビームエネルギー 3.2MeV を得る事が出来た。また、これまでの実験で得られた最小の規格化エミッタンスは、カソード表面電界 90MV/m、入射レーザーパルス幅 10ps、パルスあたりの電荷量 0.8nC の条件で 17 π mmrad であった。一方シミュレーションコードによる計算でも、エミッタンスはほぼ実験と一致した。しかし、この値はまだまだ小さな値とは言えない。

今年度は真空系、レーザー系の改良を行って実験と解析を続け、その後次期空胴の検討に入る予定である。

6.2 高圧半導体スイッチ

サイラトロンの固体化を目指して一昨年は IGBT を用いた半導体スイッチを試作したが、昨年度は 3.2kV/4000A の実用性能を有する IEGT (Injection Enhanced Gate bipolar Transistor) を 10 段直列接続した高圧半導体スイッチの試作を行った [7]。この IEGT 素子は、IGBT を高耐圧化したときに問題となるスイッチング損失が増大する欠点を解消するために開発された素子であり、開発目標としている 50kV/8000A クラスの半導体スイッチの有力な候補の一つとして着目している。

このスイッチングスタックは、試験用変調器でランニング試験を継続して行っており、6月の現時点で電圧 11kV、コレクタ - 電流 1250A の条件下で約 7×10^7 のショット数を達成している。今後、徐々に高圧を上昇させ、最終的な 32kV/4000A 程度の性能試験を行う予定である。

参考文献

- [1] T. Asaka et al., Proc. 18th Particle Accelerator Conf. , 3507(New York, 1999).
- [2] T. Asaka et al., Proc. 7th European Particle Accelerator Conf. , (Wien, 2000), to be published.
- [3] K. Yanagida et al., these proceedings.
- [4] A. Mizuno et al., these proceedings.
- [5] T. Taniuchi et al., these proceedings.
- [6] T. Kobayashi et al., these proceedings.
- [7] K. Okamura et al., these proceedings.