

STATUS OF THE SPring-8 LINAC

H. Hanaki[#], T. Asaka, H. Dewa, T. Kobayashi, A. Mizuno, S. Suzuki, T. Taniuchi, H. Tomizawa and K. Yanagida

Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/Spring-8)

Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198

Abstract

The improvement of the klystron modulators has decreased the fault rates of the RF system to < 2 events per day, thus the linac downtime in an operation cycle has been accordingly reduced to 0.25%. A waveguide circuit employing a vacuum type waveguide switch was installed to construct the backup system for the first klystron feeding RF powers to the injector section. We have been studying the bunch compression of the linac's beam pulse utilizing the beam bending section of the beam transport line to the NewSUBARU ring. The observed bunch length after the compression was about a half of the initial length. A laser pulse stacker system was developed to form a flat-top temporal profile of a laser pulse which has been expected to result in the minimum emittance of electron beams emitted from an RF gun.

SPring-8 線型加速器の現状

1. はじめに

今年は、SPring-8 1GeV線型加速器（リニアック）ビーム加速10周年に当たる。96年8月1日にビームコミッションを開始して以来、大きな故障もなく運転を続けている。また、97年の8GeV蓄積リング共用開始以来、リニアックの累計運転時間は、この6月中旬で約45,400時間に達する。

2004年5月より開始した蓄積リングのトップアップ運転は、途中、台風被害をうけた蓄積リング棟修理による中断があったものの、順調に維持されている。また、2004年9月には、SPring-8とNewSUBARUに常時ビームを振り分ける両方同時のトップアップ運転が始まり、現在も継続されている。SPring-8およびNewSUBARUそれぞれについて、トップアップ運転の最短ビーム入射間隔は、1分および5秒、ビーム電流安定度は、0.1%および0.2%以下であった。

このように頻繁に入射を行うトップアップ運転中は、機器のフォールトやビーム調整によるビーム入射の中断を最小限にせねばならず、リニアックには高度の安定度と信頼性が求められる。SPring-8リニアックでは、1998年よりビーム安定化のための改良およびフィードバック制御導入を進めてきており、2004年度末までにほぼその作業を終えた^[1]。

一方、信頼性向上については、変調器をはじめ、各機器の改良を続けているものの、故障の際にすぐに置き換わる予備システムを持たない、電子銃および初段クライストロンが最大の懸案事項であった。これらが停止すると、言うまでもなくビーム加速は全く出来なくなってしまう。前者については、すでに第二電子銃の設計を進めており、今年度中に製作を開始する予定である。後者については、大電力RF用導波管スイッチを開発し、2005年度末にこのスイッチを採用したバックアップシステムをほぼ完成させ、試験も終えた。

また、蓄積ビームのバンチ純度を極限まで高めるため、初段加速管から放出される暗電流を抑制する

試みを進めているが、現時点ではまだ満足できる結果を得ていない。

RF電子銃試験装置では、フォトカソード用レーザーパルス の時間方向分布を、理想的な矩形形状に整えるパルススタッカを開発した。

2. 運転状況

両蓄積リングに入射するビームの種類とその質は、昨年と同じく表1の通りである。両蓄積リング同時トップアップ運転の際、入射経路切換における加速器パラメータの変更を最小限にするため、トップアップ入射専用の共通1 nsビームを用意している。ただしNewSUBARU入射時は、入射路途中のスリットでビーム電流を約1/3に削減する。

表1：リニアックのビームパラメータ (ECS動作)

	Synchrotron		Top-Up
Pulse Width	1 ns	40 ns	1 ns
Repetition	1 pps	1 pps	1 pps
Current	1.7 A	70 mA	660 mA
dE/E (FWHM)	0.45%	0.55%	0.32%
Energy Stability (rms)	0.02%	-	0.01%

SPring-8蓄積リングへのトップアップ入射間隔はフィリングパターンにより異なり、1分または5分固定である。NewSUBARUでは、入射間隔は固定せず、蓄積電流が一定になるよう入射を行っており、最短で5秒間隔である。1.5 GeV運転は現在日中のみ行われており、朝に一回入射を行っている。

2005年におけるリニアック総運転時間は、約5,320時間であった。大電力クライストロン変調器の2005年末までの累計運転時間は、ヒーターオン時間で約62,000時間、高圧オン時間で約51,500時間に達した。ただし、第1および2サイクルの522時間は、蓄積リング棟修理のため蓄積リングの運転は無く、リニアックおよびブースタシンクロトロンのマシン

[#] hanaki@spring8.or.jp

スタディ、およびNewSUBARUへのビーム入射が行なわれた。

図1上に2005年中のサイクル毎のインターロックフォールト統計を示す。第1および第2サイクルではRFフォールトが他のサイクルの数倍の頻度で発生しているが、これらのほとんどは、いくつかのサイラトロンの動作不良を原因としており、該当するサイラトロンのリザーバ電圧調整などによりフォールトは治まった。また第6サイクルでは電子銃のフォールトが目立つが、これは電子銃から不意のバースト電流が放出されるという重大な問題が発生したためである。原因は不明であったが、電子銃のグリッドバイアス電圧およびグリッドパルス電圧を下げると発生しなくなることが分かり、その後2006年第1サイクル前の停止期間中にカソードを交換した。新しいカソードでは、バーストは今のところ全く記録されていない。尚、後半のサイクルでも約1.6回/日のフォールトが見られるが、これは、クライストロンに関するフォールト発生後十分に間をおかずに変調器の高圧を投入して再び同じフォールトを起こしてしまうような、操作に起因する事例や、ノイズなどによる誤動作も多く含んでいる。後者については順次対策を施している。

トップアップ入射がリニアックのフォールトにより延長された時間をトップアップ運転時間で割った、「ダウンタイム」については、第6サイクルでは前述の電子銃バーストによるダウンタイムが1.8%と顕著に目立つが、その後は0.25%ほどである。

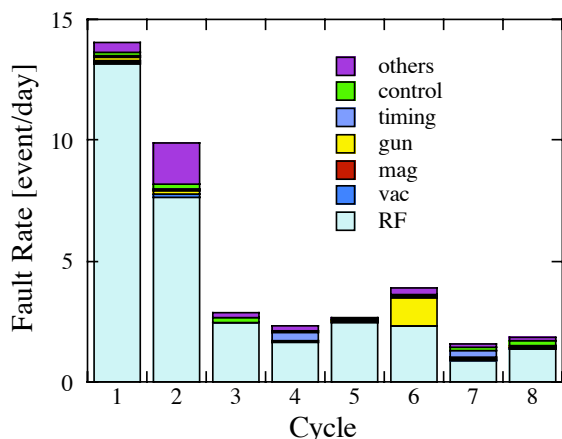


図1：インターロックフォールトの原因別頻度

3. 電子銃カソード交換治具の製作

3.1 初段クライストロンの二重化^[2]

SPRING-8 リニアックでは、初段 (H0) すなわち最上流にある 80 MW クライストロンが、バンチャおよび初段の加速管にRFを供給し、さらに下流の12本のクライストロンを励振している。したがって、このクライストロンが停止すると、電子ビームを全く加速できなくなる。そのような事態を避けるため、必要なときに初段クライストロンを第二番目と入れ替えられるシステムを製作した。このシステムの構

成を図2に示す。

最も重要な大電力導波管切換器の特徴は、1) ロータリーEバンド採用、2) 真空型、3) ロータ表面の電界研磨などによる放電対策、4) ロータ部放熱機構、などである。特に真空仕様ではロータ部分の放熱が不十分になりやすく、高温になる恐れがあるため、ロータに銅の伝熱ロッドを面接触させ、ヒートシンクで空冷している。

テストスタンドにて導波管スイッチをRFコンディショニングした後、図2のバックアップシステムを構築した。その際のRFコンディショニング到達点は、H0/H1クライストロン出力：50 MW / 74 MW、パルス幅：2.5 μ s、繰り返し：60 pps であり、ヒートシンク温度は42°Cであった。また加速器運転期間中にH0/H1切替試験が行なわれ、切替後もビームは再現されることが確認された。

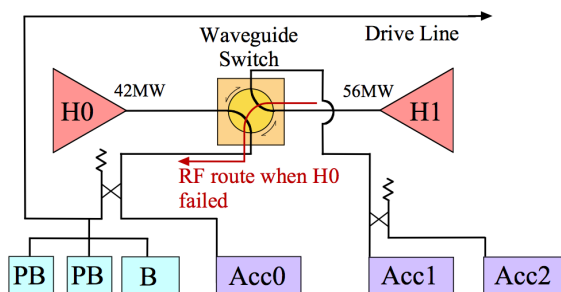


図2：入射部大電力RF系バックアップシステム

3.2 電子銃用電源^[3]

現在の電子銃用電源は、当初から変調器の直流高圧電源出力部での放電を起こしやすく、またリニアック開発当初から使用されている古い機器であるため、入手困難な保守部品も有る。そこで新規に変調器および高圧デッキを製作した。

新しい変調器の特徴は以下の通りである。1) パルスランス昇圧比 1:30 とし、一時電圧を下げた、2) 制御ネットワークにFL-netを採用した、3) 高圧デッキを大きくして、機能拡張性、保守性を向上させた、4) 直流高圧電源に現用器と同じくインバータ電源採用。

パルスランス昇圧比が大きいいためパルスランスの浮遊容量はその分大きく見え、高電圧パルスの立ち上がり時間は約 3 μ sとかなり長く、その分フラットトップが短い。しかし、電子ビームパルスは幅 40 ns以下であるため、実用上の不具合は無い。また、パルス電圧の安定度 (すなわちインバータ電源の安定度) は0.05% rmsであるが、電子銃高電圧の安定度としては十分な値である。

昨年より長時間運転試験を行なっているが、通常の加速電圧180 kVを得るには、直流電源は12 kVしか必要とせず、放電などの問題は皆無である。2006年度冬に現用器と入れ替えの予定。

3.3 クライストロン変調器^[3]

運転開始後10年が過ぎて種々の不具合が見えつつあり、改良による信頼性向上を図っている。

インターロック回路のメータリレー8ユニット分を一つのラックマウントケースにまとめてあるが、誤動作が目立つようになった。調査の結果、放熱が不十分なために劣化したことが分かった。そこで、メータリレー回路を設計し直し、全数交換した。

変調器筐体内のアース回路が不完全であることが分かり、全数改修した。また、サイラトロンシャーシについても、アース回路を強化しサイラトロンの脱着を容易にしたシャーシを試作した。

3.4 暗電流の低減^[4]

現在、電子銃から放出される暗電流(グリッド放射電流)は、電子銃直後のビームデフレクタによって、ほぼ完全に除去している。初段加速管から放出される暗電流については、初段加速管にソレノイドコイルを巻くことで低減できないか、試験中である。

我々は、ソレノイド磁場の効果を次のように期待した: 加速管ディスク孔付近から放出された電子は、ソレノイド磁場によりガイドされて下流のディスクに衝突して高いエネルギーにまで加速されることはない。従って、加速管を通り抜けた暗電流は、主ビームとはエネルギー差が大きく、選別可能である。

図3は、加速管のディスク孔付近から放出され(8枚毎に計算)、加速管を通り抜けた電子のエネルギーをシミュレーションした結果である。図の横軸は通り抜けた電子が放射されたディスク番号、縦軸は到達エネルギーである。この図に依れば、160 Gauss程度の磁場をかける場合には、10 MeV以上のエネルギーにまで加速される電子は皆無である。

しかしながら、初段加速管直後の偏向電磁石を用いたビームエネルギー測定実験では、ソレノイド磁場によって暗電流のエネルギー分布が低エネルギー側に著しく偏るということを確認できなかった。

一方、初段加速管のRF電力を下げると、暗電流は目立って減少する。しかし、そうするとビーム輸送が困難になるため、ソレノイド磁場を併用し、RF電力はなるべく下げることなく暗電流を十分に抑制できる解がないか、今後も調査を続ける。

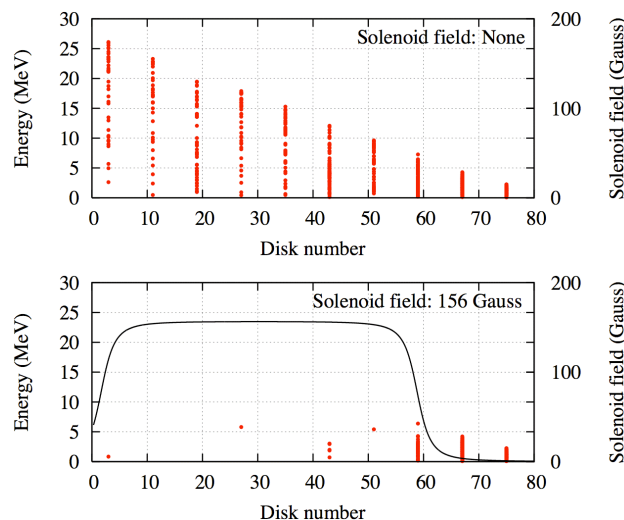


図3: 加速管を通り抜けた電子のエネルギー

4. バンチ圧縮実験^[5]

NewSUBARU蓄積リングへのビームトランスポートラインの偏向部は、アクロマティック系を構成する二台の30度偏向電磁石により構成されている。エネルギーの高い電子は偏向部の外側を、低い電子は内側を通過するため、偏向部を通過するのに時間差を生じる。この偏向部を利用して、あらかじめ最終加速管にてエネルギー傾斜を持たせた電子バンチのバンチ圧縮を行なった。

電子ビームのバンチ長測定は、NewSUBARUの放射光ビームラインBL6に据え付けたストリークカメラを用いて行なった。その結果、通常は 1σ 5.1 psのバンチを 1σ 2.2 psに圧縮できた。

また、ラティスを低 α に設定したNewSUBARUリングにこのビームを入射し、短バンチのまま周回させることを試みたところ、約20 μ sの間は、バンチ長は若干伸びた程度であった

5. RF電子銃の開発^[6]

フォトカソードRF電子銃で極低エミッタンス電子ビームを生成するには、光源となるレーザパルスの3次元強度分布を、空間電荷効果を低減するのに理想的な円筒形状にしなければならない。空間方向分布については、すでに可変形ミラーによる整形システムを完成させた。時間方向分布についても、今回パルススタッカ方式を開発し、理想的な矩形形状に近い形に整えた。

パルススタッカとは、レーザパルスをまずスプリッターで二分し、一方のパルスをパルス幅分遅延させてからこれらのパルスを再合成して倍のパルス長を得る技術である。ただし、それぞれの光パルスはP偏向およびS偏向しているため、合成の際に干渉することはない。このスタックをn回行なうことにより、2のn乗倍のパルス長が得られる。

参考文献

- [1] H. Hanaki, et al., "Enhancements of Machine Reliability and Beam Quality in SPring-8 Linac for Top-Up Injection into Two Storage Rings", PAC2005, Knoxville, USA.
- [2] 谷内努, その他, "導波管切替器を用いた大電力RF系バックアップ・システム", 本学会論文集.
- [3] 小林利明, その他, "Top-up運転のためのSPring-8線型加速器モジュレータの高安定化", 本学会論文集.
- [4] T. Kobayashi, et al., "Reduction of dark current in SPring-8 linac", EPAC2006, Edinburgh, UK.
- [5] 鈴木伸介, その他, "トランスポート系を用いたバンチ圧縮及びNewSUBARUでの短バンチ周回", 本学会論文集.
- [6] 富澤宏光, その他, "RF電子銃用光源レーザパルスの3次元形状制御による電子ビームの自動低エミッタンス化", 本学会論文集.