

BEAM OPTICS CALCULATION AND EMITTANCE MEASUREMENT AT THE SPring-8 LINAC

Takao Asaka¹, Hideki Dewa, Toshiaki Kobayashi, Akihiko Mizuno, Shinsuke Suzuki,
Tsutomu Taniuchi, Hiromitsu Tomizawa, Kenichi Yanagida and Hirofumi Hanaki
JASRI/SPring-8
1-1-1 Koto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo 678-5198

Abstract

The SPring-8 1-GeV linac has a total of 13 sets of 80MW klystron units. In usual operation, two klystron units are driven as the standby unit. If there's any problem with an arbitrary klystron unit, the beam operation is able to restart immediately by using the standby unit. In that case, the optimization of beam optics has carried out using beam screen monitors. This beam tuning spend about one hour. In order to reduce the beam tuning time, we are promoting the development of the automatic beam optics tuning system. Since the complete understanding of the beam envelope is important, the particles tracking simulation of the linac was carried out by using PARMELA and SAD. Five sets of beam size monitors were installed in the end of the linac for measurement of the real beam envelope. In a beam study applying the simulation results, the beam waist was actually formed at the 10-m long drift space after the 1-GeV chicane section as predicted by SAD. The values of the measured beam emittance were smaller than the simulation results.

SPring-8線型加速器におけるオプティクス計算とエミッタンス測定

1. はじめに

2003年から開始されたトップアップ運転は、任意のフィリングパターンに対して各バンチ電流が制御・管理されると同時に、その頻繁なビーム入射中においても高度に安定した高品質放射光が利用可能である。数週間におよぶトップアップ運転の間、0.1%以内で蓄積電流を維持しているが、これを実現するためには入射器である線型加速器の安定運転が不可欠である。

これまで、同期タイミングシステム、エネルギー圧縮・安定化システム、ビーム軌道フィードバックシステムなど能動的なビーム安定化システム導入により、0.02% (rms)のビームエネルギー安定度を実現し、放射光利用期間中には全く入射ビームを調整することなく連続したビーム供給がおこなわれている。また最近では、突発的な機器故障においても、迅速にビーム入射が再開可能となるバックアップシステムの構築が進められている[1]。とくに故障率の高い大電力高周波系に対して、全13台の加速ユニットのうち2台を待機加速ユニットとしている。任意の加速ユニットの故障発生時には、速やかに待機加速ユニットへ交換可能であるが、これとともにビームオプティクスの変更が必要となる。これまで加速ユニットを変更した際、最初に1GeVエネルギー分

散部にあるスクリーンモニターで加速位相が最適化され、その後、加速ユニット毎に配置されたスクリーンモニターでビーム形状、ならびビーム位置を観測しながら、その直近の四極電磁石、軌道補正電磁石により調整される。現在のところ、上記した機器故障発生からビーム入射再開までは、1時間程度の所要時間を費やしている。この調整時間の短縮と簡易なビームオプティクス調整手法の確立、ならびにその自動化を目指して、ビーム診断系の増強およびビームオプティクス最適化のための計算機コードを併用した自動ビーム調整システムの構築を進めている。今回、電子銃出口からバンチング部、および初段加速部で構成される60MeV入射部は、PARMELAで最適化し、それ以降の主加速部から1GeVビーム輸送部まではSADのマッチング機能を利用して、各機器の設定値を見出した。これらの設定値を実機に適用した後、線型加速器下流部に新たに設置した5台の遷移放射光ビームサイズモニターを用いてビームエンベロープ測定をおこなった[2]。本稿では計算結果、ならびに測定結果の詳細を示す。

2. ビームオプティクス計算

線型加速器は、図1に示すように60MeV入射部、主加速部、1GeVビーム輸送部から構成されている。200keV熱電子銃(Gun)は、ビームパルス幅が0.25ns、

¹ E-mail: asaka@spring8.or.jp

1ns、40nsに選択可能であり、ビーム電流強度はカソード・グリッド電圧、およびアイリスにより調整される。このパルスビームは2台の2856MHzプリバンチャー用単空洞(PB)、2856MHz 1 3セルバンチャー空洞(MB)で規定のバンチ長まで集群される。電子銃から1 3セルバンチャー空洞出口までは7台の収束コイルにて横方向ビーム発散が抑えられ、その後方に位置する四極電磁石でビームサイズが絞られる。そして初段加速管(H0)に入射し、60MeVまで加速される。総数25本の加速管がある主加速部において、四極電磁石は加速管2本毎の配置を基本とするが、陽電子生成部下流(M2)から11本目の加速管(M5)までは1本毎に配置している。主加速部以降には、4台の偏向電磁石とエネルギー変調用加速管(M20)から構成されるエネルギー圧縮・安定化システム(ECS)が設置され、その後4台のマッチング用四極電磁石、各ビーム輸送部の偏向電磁石が配置されている。

PARMELAのビームの初期条件は、表1に示すEGUNで与えられるパラメーターを用いた。各バンチャー空洞、H0加速管および収束コイルの設定値は、ビーム輸送効率が最大となる値とした。電子銃出口で仮定した20000粒子の内、H0加速管出口までの輸送効率は約75%であった。H0加速管出口(図1のa地点)の縦方向位相空間におけるバンチ構造、エネルギー分布、各バンチのエミッタンスを図2に示す。図3はSADで計算した主加速部、およびビーム輸送部のビームオプティクスである。ここでは実際の四極電磁石電源の最大励磁電流を配慮し、 β 関数を決定した。このオプティクスに関してPARMELAで得られた粒子分布を適用し、SADで粒子トラッキング計算をおこなった。遷移放射光モニターは図1のb、c、d、e、fの地点にあり、この区間の粒子分布から、図4に示すエミッタンスが計算される。

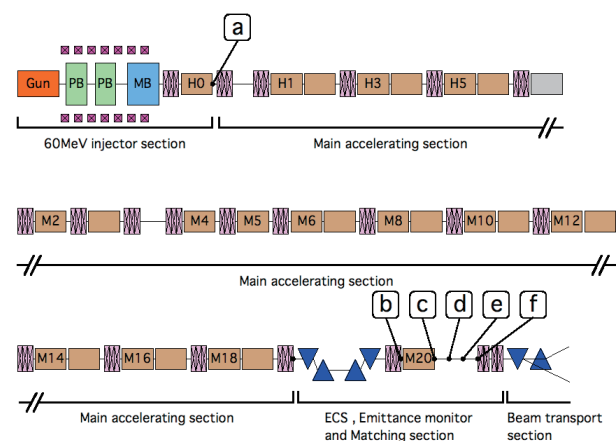


図1 線型加速器の機器配置

Beam pulse width	1 ns
Beam charge	1.5 nC
Beam energy	190 kV
Emittance_x, y (rms)	20π mm mrad
Beam size (rms)@anode out	3 mm
Particle number	20000

表1 PARMELAの電子ビーム初期条件

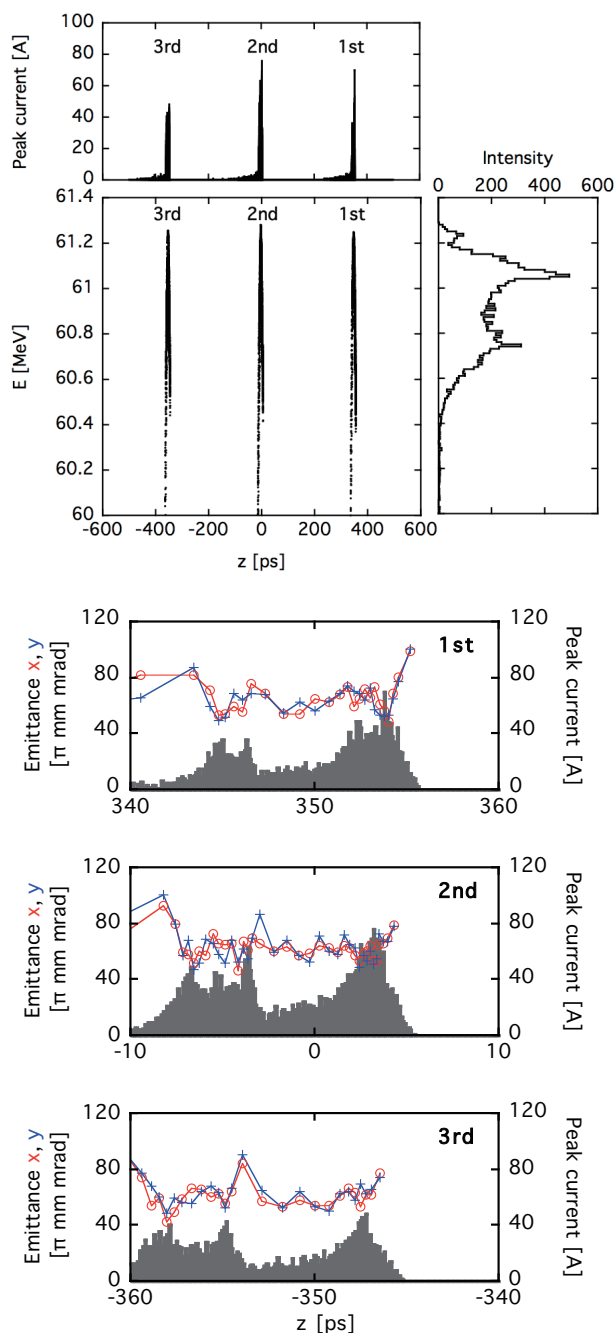


図2 PARMELAの計算結果：60MeV入射部出口(図1のa地点)のバンチ構造とビームエネルギー分布、および各バンチのスライス規格化エミッタンス

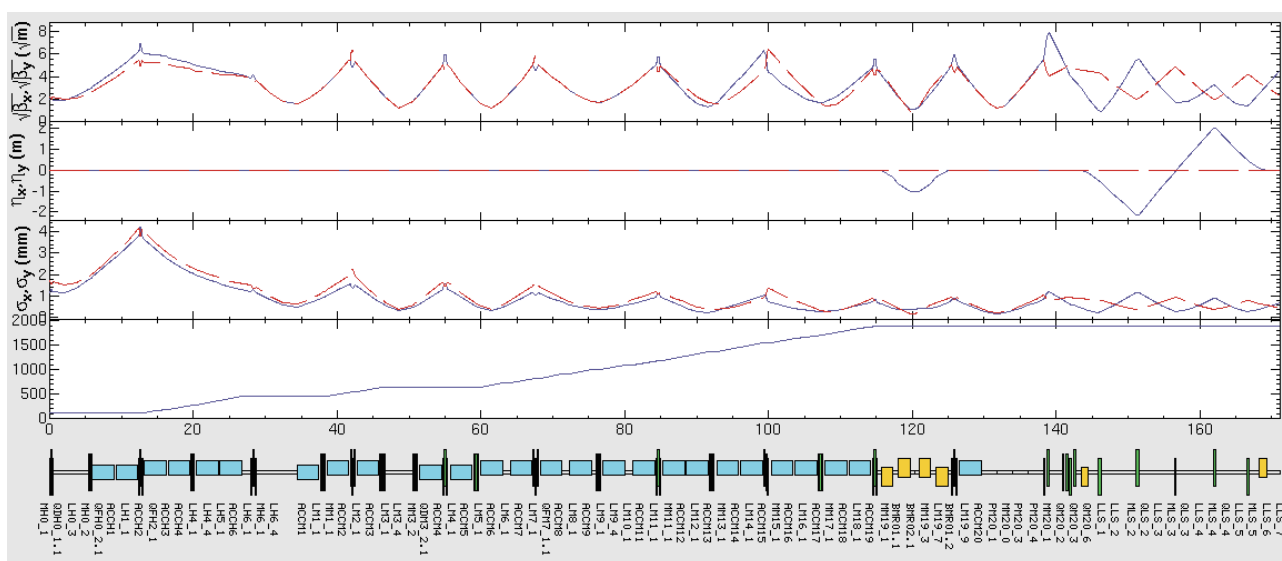


図3 SADの計算結果：主加速部、およびブースターシンクロトロン・ビーム輸送部のビームOPTIKS最適化(上図からβ関数、η関数、ビームサイズσ、ビームエネルギーγ、機器配置)

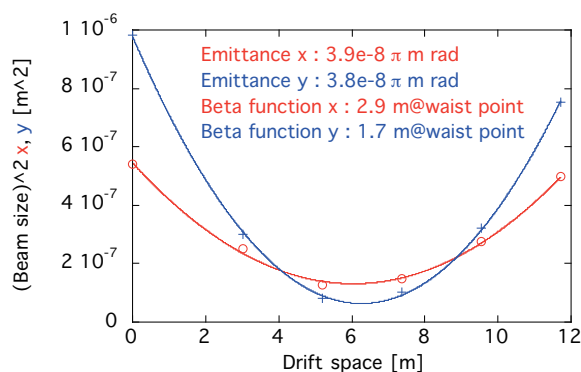


図4 SADの粒子トラッキング計算結果：1GeVシケイン部下流の水平・垂直方向のエミッタンス

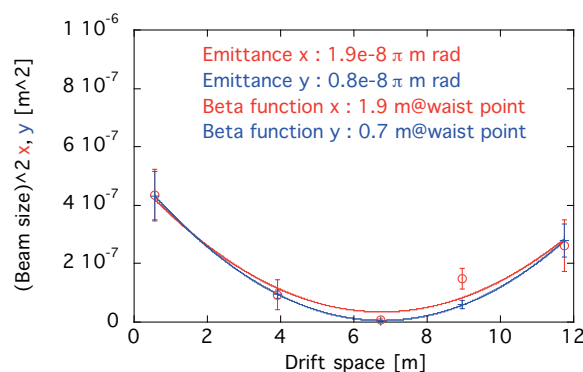


図5 1GeVシケイン部下流に設置した5台の遷移放射光モニターによるエミッタンス測定結果

3. エミッタンス測定

前述した計算結果と実際の加速器との比較のために、計算で得られた加速管および電磁石の各設定値を実機に適用し、ビームエンベロープ、およびエミッタンス測定をおこなった。このときのビーム条件は、パルス幅が1nsでビーム電荷量は1nCである。機器パラメーター設定後、最初に加速位相を調整した。3%ほど高いビームエネルギーとなったが、加速電圧の変更はおこなわず、各部に配置された軌道補正電磁石によるビーム軌道のみ調整した。そのときの垂直方向のエミッタンスは、計算結果に比べて数倍となったが、主加速部にある一部の四極電磁石について微調整をおこない、最終的に図5に示すエミッタンスを得た。ビームエンベロープについては四極電磁石の微調整をおこなう前の時点で、測定区間でウエストポイントが生成された。

4. まとめ

主加速部・ビーム輸送部における自動ビーム調整システム開発に先立ち、ビームエンベロープ、エミッタンスについて最適化計算をおこなった。さらにその計算結果を各機器へ設定し、ビーム測定をおこなった。計算で得られたエミッタンスに対して測定結果は数分の一ではあるが、1GeVシケイン部下流のビーム輸送部では、予測されたビームエンベロープを形成しており、ここで得られるα関数、β関数はマッチング部の設定に役立つと考えられる。

参考文献

- [1] S. Suzuki, *et al.*, "Status of the SPring-8 linac", in these proceedings.
- [2] T. Watanabe, *et al.*, "Development of emittance monitor system at the SPring-8 linac", in these proceedings.