

SuperKEKB 用 RF gun の開発状況

RF GUN DEVELOPMENT FOR SUPERKEKB

夏井拓也[#], 吉田光宏, 周翔宇, 張叡, 佐藤大輔

Takuya Natsui[#], Mitsuhiro Yoshida, Xiangyu Zhou, Rui Zhang, Daisuke Satoh
High Energy Accelerator Research Organization (KEK/SOKENDAI)

Abstract

The injector linac of KEK is being upgraded for SuperKEKB. High-charge low-emittance electron and positron beams are required for SuperKEKB. The required injection electron beam parameters are 7.0 GeV at 5 nC 20 mm-mrad. A thermal cathode DC gun had been used for KEKB. However the DC gun could not make low-emittance beam. Thus low-emittance new RF gun is being developed. We are developing an advanced RF gun which has two side coupled standing wave field. We call it quasi-traveling wave side couple RF gun. This gun has a strong focusing field at the cathode and the acceleration field distribution also has a focusing effect. This RF gun had been installed KEK linac. In addition another RF gun was installed to 90 deg injection line. These guns have been used for electron beam study.

1. はじめに

現在, KEK では SuperKEKB に向けた加速器全体のアップグレードが行われている。SuperKEKB では非常に高いルミノシティを得るための低エミッタンス化によりダイナミックアパーチャーの減少とビーム寿命の減少が起こる。これに対応して, 電子陽電子入射器は高電荷・低エミッタンス化が求められる。KEKB と同様に電子陽電子ともに2バンチ運転でリングに入射するが, 表1に示すように SuperKEKB では大幅なビームパラメータのアップグレードが必要になる。陽電子ビームの低エミッタンス化に向けては新たにダンピングリングの建設が進められている。しかし, 電子ビームはダンピングリング無しで 20 mm-mrad という低エミッタンスをバンチあたり 5 nC という高電荷ビームで実現しなくていけない。

Table 1: The Required Injection Beam Parameters

	KEKB (e+/e-)	SuperKEKB (e+/e-)
Charge [nC]	1 / 1	4 / 5
Emittance [mm-mrad]	2100 / 300	20 / 20

KEKB では熱カソード DC gun が電子源として使用されてきたが, ダンピングリング無しで 20 mm-mrad 5 nC という高電荷低エミッタンスを達成するのは非常に困難である。したがって, SuperKEKB ではフォトカソード S-band RF gun を使用することになった。しかしながら通常使用される 1.5 cell on-axis coupling の RF gun では 1 nC 程度の電荷発生が限度であり, 全く新しい RF gun の開発が必要になった。そこで, Disk and Washer (DAW) 型やサイドカップル型の軸外結合の空洞を検討した。DAW 型の RF gun はすでに開発, 試験を終えている。この RF gun の試験を通して狭い加速ギャップによるビーム集束の効果や Ir₃Ce のカソードの量子効率などを確認することができた。

DAW 型の RF gun では, ある程度の高電荷ビーム発生試験は可能であったものの 5 nC のスペースチャージによる発散力に対する集束電場はまだ弱く, 更に強い集束電場を発生させるような RF gun が必要であることがわかった。そこで, サイドカップル空洞を軸上に2つ配置した擬似進行波型と呼ばれる空洞を新たに開発した[1]。

今年 2016 年2月から6月にかけて, Phase 1 と呼ばれる SuperKEKB コミッショニングが行われた。このコミッショニングでは HER リングに 7 GeV 電子ビーム 1 nC, LER リングに 4 GeV 陽電子ビーム 1 nC の入射ビームが要求される。ただし, エミッタンスに関しては KEKB と同等程度の要求であった。RF gun だけでは, 陽電子ビームのプライマリービームに対する電荷不足 と安定性の不安があったので, 熱電子銃による運転と併用してリング入射と RF gun コミッショニングを進めていくこととなった。これは入射部を2階建て構造として, 1階部分に RF gun のラインをつくり, その上, 2階部分を熱電子銃のラインとした。熱電子銃のラインはバンチャーと加速管2本を通り, 1階部分に合流する。また, 2017 年春のメンテナンス期間中に Cut disk structure (CDS)の空洞を採用した RF gun も試験するために Linac ビームラインとは 90 度方向にも新たに入射ラインをつくり二種類の RF gun を運転できる体制にした[2, 3]。

2. RF gun study

2.1 レーザシステムについて

レーザ開発においては SuperKEKB Phase-II と Phase-III に向けたシステムでは, 別々のシステムを採用していく。KEK 入射器では時間方向パルス形状整形を目指し, 広帯域波長を持った Yb:YAG 結晶を使ったレーザの開発を目指してきた[1, 4]。しかし, 安定したレーザパルス発生には至っていない現状がある。そこで, Phase-II では狭帯域で時間方向整形はできないが, 比較的製作が容易な Nd:YAG 結晶アンプを使ったレーザを使用することとなった。構成は Yb ファイバーを使った発振器, フアンプののうち, Nd:YAG 固体マルチパスアンプで 20 psec, 5 mJ 程度のパルスを生成する。発振器は入射器で使用

[#] takuya.natsui@kek.jp

するリファレンス RF 114.24 MHz に同期され、96 nsec (10.38 MHz 周期)離れた 2 バンチにも対応できる構成になっている。

出力の安定性は、RF gun で発生した電荷を Beam position monitor (BPM)の電荷量を測定することで評価したが、 1.5 ± 0.03 nC すなわち 0.2% 程度の安定度となった。

レーザのプロファイルを Fig. 1 に示すが、図のようにきれいなガウシアンからは程遠く、改善の余地があった。ただし、後にこの原因はポラライザーのダメージの影響であることが判明したので、次のスタディーまでには改善すると思われる。

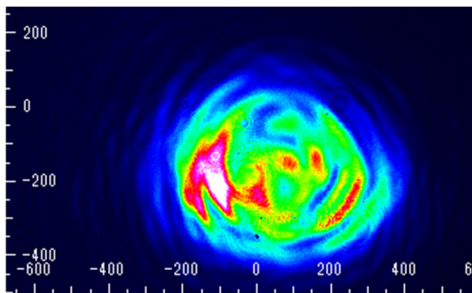


Figure 1: Laser profile (second harmonics).

2.2 ビームトランスポート

Nd:YAG 結晶で生成したパルスエネルギー200 uJ 程度の 266 nm のレーザパルスを用いて、1.5 nC の電子ビーム発生を達成している。バンチ長をストリークカメラで測定した結果、レーザのパルス幅とほぼ同じ 20 psec 程度ある。入射器 A1 にはシケインが設置してあり、加速管のエネルギースロープを使ってバンチ圧縮を行っている。バンチ長は約半分の 10 psec 程度にしている。Figure 2 にストリークカメラ測定結果を示す。このようにバンチ圧縮を行うとアーク部においてもチャージロスすることなくビームを輸送することができる。

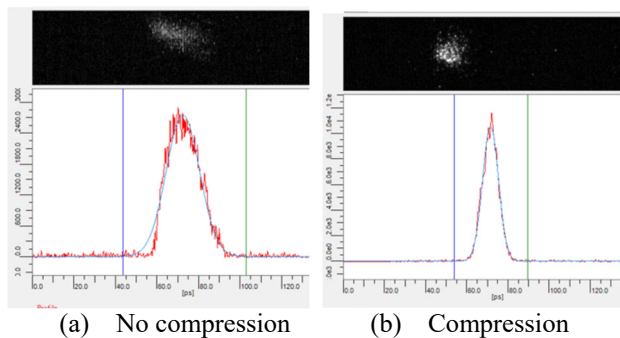


Figure 2: Streak camera measurement.

また、2 バンチ運転試験も行い、ほぼ同じ電荷量、ビーム軌道で入射器終端まで輸送できることを確認している。2 バンチ運転時の BPM 測定結果を Fig. 3 に示す。

2.3 エミッタンス測定

ビームエミッタンスはスクリーンモニタを使って Q scan 法を用いて行った。その結果を Fig. 4 に示す。この時の

ビームチャージは 1.25 nC、30 MeV に加速したときであり、規格化エミッタンスで水平方向に 23.0、垂直方向に 11.4 mm-mrad という測定結果となった。これは、シミュレーションから想定されるエミッタンスより大きくなっているが、カソード上でのレーザプロファイルが一様でないことが原因と思われる。今後、レーザプロファイルが改善されればより小さなエミッタンスになると予想される。

また、ビームラインの下流でエミッタンスを測定すると徐々に大きなエミッタンスと測定される傾向にある。これは、ディスパージョンの影響や測定精度の悪化などが考えられるが、これも今後の課題である。

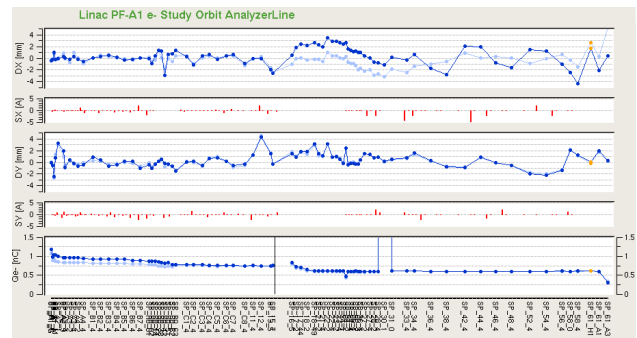
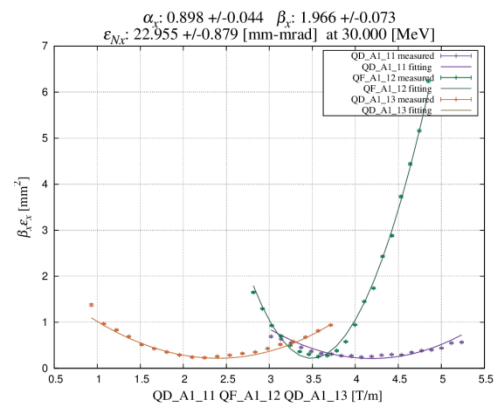
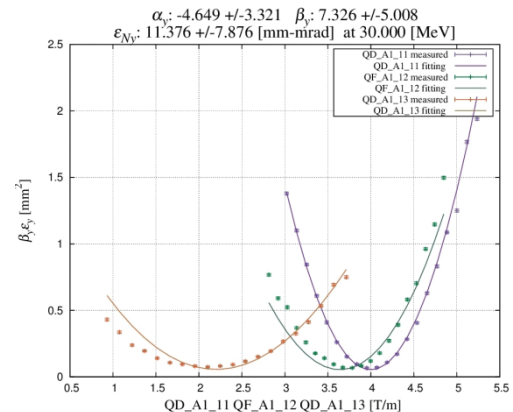


Figure 3: 2 bunches beam transport orbit and charge.



(a) Horizontal: 23.0 mm-mrad



(b) Vertical: 11.4 mm-mrad

Figure 4: Q scan beam emittance measurement.

3. 90 deg injection line study

2つ目のRF gunのスタディーをするために2017年春に建設した90度ラインによるCDS RF gunのスタディーも行った。Figure 5に90度ラインを示す。このラインはRF gunカソードの垂直方向からレーザを入射可能であり、この垂直方向からのレーザ入射がこのラインのスタディーの目的の一つとなっている。結果としては垂直入射でも問題なくビーム発生が確認され、正常にビーム輸送も行えることがわかった。今後は0度ラインのバックアップとしてPhase IIのRF gunとして運転に使用していく予定である。

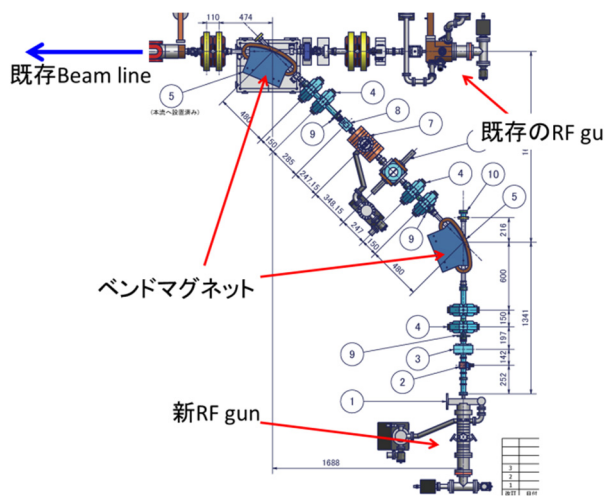


Figure 5: 90 deg injection line.

4. まとめ

SuperKEKB Phase II HERの電子ビーム入射に向けてRF gunのスタディーを進めてきた。レーザはNd:YAG結晶を用いた狭帯域1064 nmを使用しており、Phase IIIに向けてのレーザ開発とは別に制作されたものである。レーザの安定運転も確認され、Phase IIのRF gunによる連続入射に向けてめどがたったと言える。今後は、レーザのプロファイル改善やレーザ測定システムの増強、バックアップラインである90度ライン準備などを行ってPhase II運転に備える。

参考文献

- [1] Xi. Zhou *et al.*, “Yb fiber and Nd:YAG hybrid laser system of RF gun for SuperKEKB's phase-II commissioning”, these proceedings, WEP116.
- [2] Takuya Natsui *et al.*, “Quasi-traveling Wave Side Couple RF Gun Commissioning for SuperKEKB” MORPI033, IPAC14, Dresden, Germany, 2014.
- [3] D. Satoh *et al.*, “Improvement of photoemission properties of iridium cerium compound for SuperKEKB injector linac”, these proceedings, WEP106.
- [4] R. Zhang *et al.*, “Study on stable and high output energy laser system for RF-gun at SuperKEKB injector”, these proceedings, WEP117.