

BENCH TEST OF FAST KICKER FOR BUCKET-BY-BUCKET ON/OFF-AXIS INJECTION

Takeshi Nakamura^{A)}, Takao Asaka^{B)}, Hideki Dewa^{A)}, Kazuo Kobayashi^{A)}, Takahiro Fujita^{A)}, Mitsuhiro Masaki^{A)}, Shigeki Sasaki^{A)}, Haruo Ohkuma^{A)}

^{A)} JASRI/SPring-8

1-1-1, Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198

^{B)} RIKEN/SPring-8

1-1-1, Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198

Abstract

Ultra-low emittance rings like the SPring-8 II ring planed at SPring-8 have very narrow dynamic aperture of less than 2 mm even with very large beta function $\sim 25\text{m}$ at injection point. For this aperture, it is difficult to apply conventional injection schemes with septum and bump magnets, and also pulsed quadrupole or sextupole magnet injection because of the large perturbation on stored beam with quadrupole, or required very strong magnet for sextupole.

We proposed the bucket-by-bucket on/off-axis injection scheme with variable field fast kicker. The prototype of the kicker has been already constructed and the bench test is in progress for the beam test with the SPring-8 linac beam. In this report, the structure of the kicker, the calculated kick field with the structure, and the result of the low level measurement and of the high power/voltage test is described.

Bucket-by-bucket On/Off-axis 入射用キッカーのベンチ試験

1. はじめに

SPring-8 の次期計画として検討中である、SPring-8 II などの超低エミッタンスリングでは、そのダイナミックアパチャは、入射点のベータ関数を 20~30m と大きくとっても 2mm 程度に制限される。そのため、バンパとセプタムを用いた従来の入射は困難であり、また、パルス 4 極や、6 極を用いた入射では、4 極が蓄積ビームに与える影響や、強力な 6 極が必要などの困難が生じる。

SPring-8 では、これに対して、キック電磁場分布可変高速キッカーを用いた Bucket-by-bucket on/off-axis 入射を提案している[1]。キッカーは、2ns の間隔をもつ RF バケットを個別にキック可能な高速性を持ち、かつ、電極構造を工夫することにより、平坦性をもつ双極キックから、4 極キックまで、電極の駆動電圧を変えることにより、連続的に可変なキック電磁場を発生することを可能としている。これにより、コミッショニング時など、十分なダイナミックアパチャが得られない場合には、双極キックによる on-axis 入射を行い、かつ、すべてのバケットに個別に入射が可能であるので、100mA 程度の実用電流を蓄積することができる。調整が進み、2mm 程度のアパチャが得られた際には、4 極キックを用いて、バンチ電流に広い自由度が得られる off-axis 入射を行うことが可能となる。この際、入射時の蓄積ビームに与える収束力の影響を、入射バケットに限定することができ、放射光利用に対する影響を最小化することが可能である。

また、双極キックの際には、特殊な電極構造により、並行平板型の電極[2]に比べて、平坦なキック電磁場分布・強度をもたせたままで、水平方向には十

分なアパチャが得られていることも特徴であり、on-axis 入射でのキッカー配置について広い自由度が得られている。

2. キッカー

キッカーの全体構造を図 1、キッカーのビーム軸に対して垂直な断面の形状を図 2 に示す。キッカーは、50Ω のストリップライン電極 2 本から構成されており、ビームに対して反対方向に進む TEM モードで駆動される。そのため、ビーム軸に垂直な面内での電磁場分布は、静電磁場と同等であり、かつ、磁場によるキックが加算され電場のみ比べて 2 倍のキックが得られる。キッカーの左右中央、ビームの直上下に設置された電極により、図 3 に示すような、平坦性を持った双極キックから、4 極キックまで、駆動電圧を変えることにより連続可変となっている。製作したキッカーを図 4、図 5 に示す。

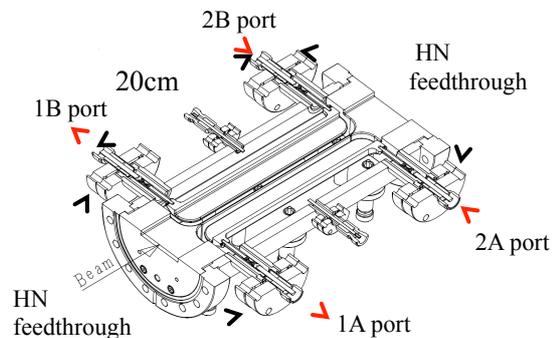


図 1: キッカーの構造。上半分を取り除いた図。

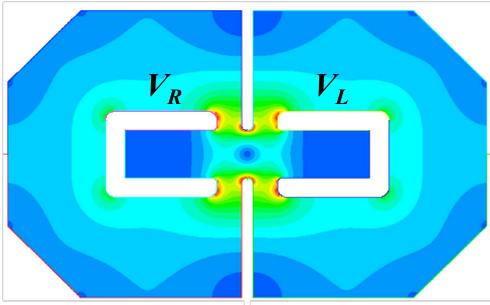


図 2 : キッカーのストリップライン電極形状および電場強度分布の例 ($V_R = V_L = 1V$)。ビーム軸に垂直な断面の形状を示す。ビームおよび、電磁場は、この面に垂直に、互いに逆方向に進行する。

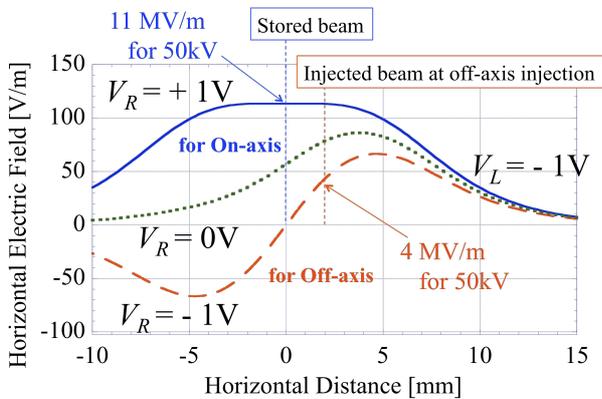


図 3 : 水平方向の水平電場強度分布。 V_L 、 V_R はそれぞれ、図 2 の左側および右側の電極の電圧を示す。実線が on-axis 入射用、破線が off-axis 入射用の電場分布である。それぞれの場合の 50kV で駆動した場合のキック力（磁場を含む）が記載されている。off-axis の場合、入射ビームは、中心から 2mm 離れたところを通過する際にキックされ、安定軌道へ投入される。

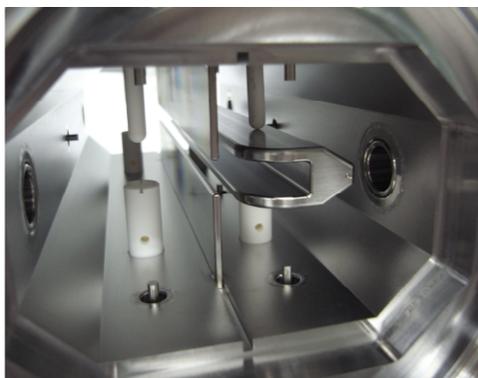


図 4 : 組立中のキッカー。セラミックス製の支持棒(白色)により固定されたストリップライン電極(右のコの字型の電極、反対側の左側は未装着)が見える。フィードスルーは横穴に取り付けられる。下面に見えるポートは、N 型のフィードスルーによるアンテナである。

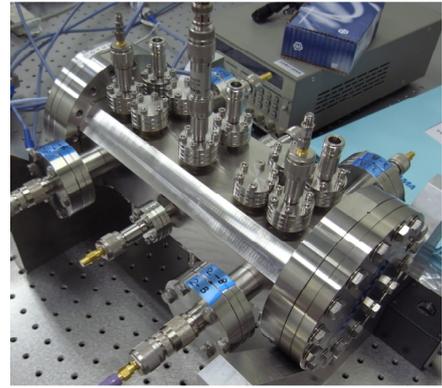


図 5 : キッカー外観。手前の 2 本および反対側の 2 本の大きめのフランジは、入出力用の HN 型フィードスルーである。それ以外の小型のポート(N 型)は、ウェーク場の除去やモニタに用いるアンテナである。

3. ベンチ試験

3.1 パルス応答特性

キッカーにパルスを入力した際の出力を測定した(図 6、7)。入力-出力ポートは、2A-1A および 2B-1B である(図 1)。比較のため、パルスの入出力に用いている SMA ケーブルを、キッカーの代わりに Jack-Jack SMA アダプタにより直結した際の波形 (SMA-I) も示している。わずかなリングングが見られているが、左右の電極 (2A-1A、2B-1B) の応答はよく揃っている。図 7 に対応する MAFIA での計算結果を図 8 に示す。また、図 7 を基に、ビームに与えるキックの時間分布を計算したものを図 9 に示すが、図 7 で見られたリングングは平滑化されている。

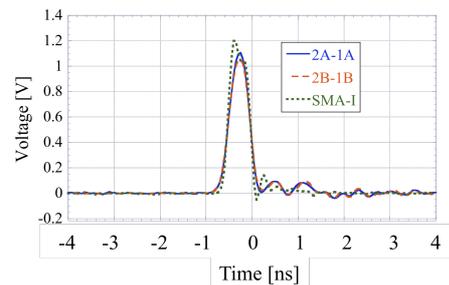


図 6 : 0.5ns パルスに対する応答。

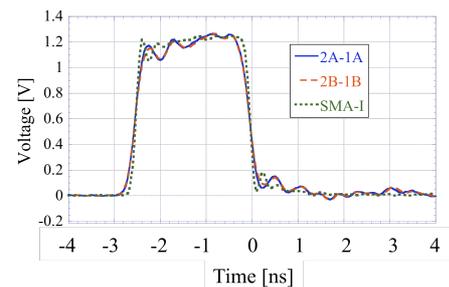


図 7 : 2.5ns パルスに対する応答

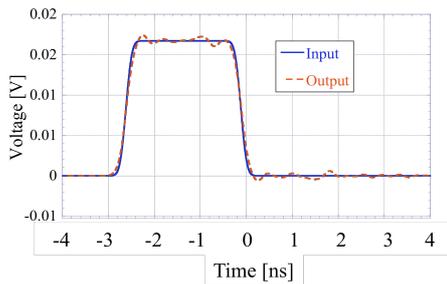


図 8 : 2.5ns パルスでの応答のシミュレーション

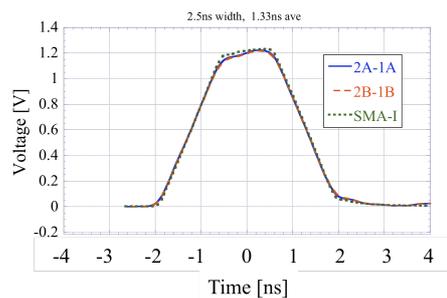


図 9 : 実測値(図 7)を用いて 2.5ns パルス入力時のビームへのキックを計算した結果。キッカー長が 20cm であるので、キックは図 7 のパルスについて、 $2 \times 20\text{cm}/\text{光速} = 1.33 \text{ ns}$ での running average をとったものとなる。この場合のようにキックがバケットの間隔 2ns より長くなるときに備えて、小さな補正キッカーを設置する予定である。

3.2 S-パラメータ測定

ネットワーク・アナライザによる S パラメータ測定の結果を図 10 に示す。駆動パルスの周波数領域 $\sim 1\text{GHz}$ では、明確な損失は見られない。

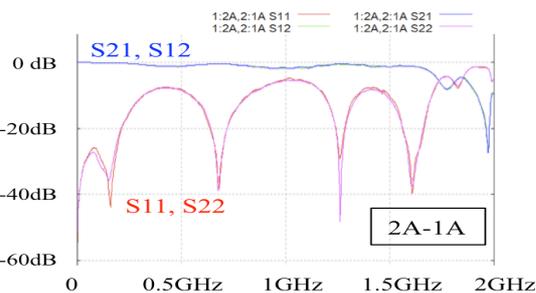


図 10 : S-パラメータ。ポートは、2A-1A での計測であるが、2B-1B もほとんど同等の結果が得られている。

3.3 ハイパワー/高電圧試験

FID 社の 50kV パルス発生器を用いて、ハイパワー試験を行った。この測定の段階では、発生器は、FID 社での調整が不足しており、パルス波形については必要な仕様 (peak duration: 1.6ns (90%), rise/fall time : 0.7-0.9ns, jitter < 100ps (rms)、電圧範囲:10-50kV) を満たしていなかったが、電圧は 50kV 発生

可能であった。キッカーの透過波形 (2A-1A) を図 11 に示す。出力を 20kV から 50kV に増やしても、波高はほとんど変化がなく、放電が発生していることがわかる。また、50kV の際の透過波形を、図 12 に示す。放電発生時には、100ns 間隔でのパルスのトレインが観測された。ケーブル長が 10m であるので、放電により反射されたパワーが発生器に戻り、跳ね返されて再度キッカーに戻ってきていると考えられる。放電時には、HN フィードスルーにおいて音がしているので、大気側での放電の可能性がある。

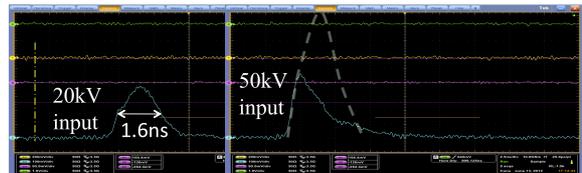


図 11 : ハイパワー信号のキッカーからの出力波形を示す。左は発生器の 20kV 出力、右は 50kV 出力に対するものである。右図の破線は 20kV の波形を 50kV にスケールして、重ねたものであるが、一致していないのは、立ち上がりの途中から、放電が生じ、波形が劣化したためと考えている。

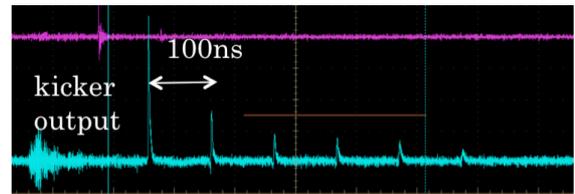


図 12 : 50kV 入力時のキッカーからの出力。

5. 課題およびビームテスト準備

低レベルテストは満足の行くものであったが、高電圧試験では、20kV 近辺からすでに放電が始まり、それ以上の電圧のパルスは入力できていない。HN フィードスルーでの放電が疑われるので、絶縁増強や、高電圧型フィードスルーを開発することを検討している。キッカーは、フィードスルーの取替が可能な設計となっている。現在、パルス発生器は仕様を満たすようになっているので、それによる試験を行う予定である。線型加速器の L3 ビームラインでのビームテストを予定しており、機器を整備中である。なお、キッカーの詳細設計ならびに製作いただきました(株)トヤマに感謝いたします。

参考文献

- [1] T. Nakamura, <http://accelconf.web.cern.ch/accelconf/IPAC2011/papers/tupc095.pdf>, http://www.pasj.jp/web_publish/pasj8/proceedings/poster/MOPS101.pdf
- [2] For example, T. Naito, et al. <http://accelconf.web.cern.ch/accelconf/IPAC10/papers/weobmh02.pdf>