

DEVELOPMENT OF KICKER MAGNET FOR GENERATION OF SHORT PULSE SYNCHROTRON RADIATION IN THE SPRING-8 STORAGE RING

Chikaori Mitsuda^{1,A)}, Kenji Fukami^{A)}, Mitsuhiro Masaki^{A)}, Akira Mochihashi^{A)}, Masaya Oishi^{A)}, Jun Shimizu^{A)}, Yoshito Shimosaki^{A)}, Masazumi Shoji^{A)}, Kouichi Soutome^{A)}, Kazuhiro Tamura^{A)}, Hiroto Yonehara^{A)}, Kazuo Kobayashi^{A)}, Tatsuro Nakanishi^{A)}, T. Ohshima^{B)},
^{A)}JASRI/SPring-8, Hyogo, 679-5198, Japan,
^{B)}RIKEN, SPring-8 Joint Project for XFEL, Hyogo, 679-5198, Japan

Abstract

One method of generating a short pulsed synchrotron radiation is collimating a synchrotron radiation coming from a tilted electron bunch with a slit. For this purpose, we used a pulsed magnet to kick an electron bunch. A head-tail oscillation of the kicked electron bunch is induced due to non-zero vertical chromaticity. The developed kicker magnet system can generate a pulsed magnetic field of about 5.7 mT within 2.6 μ s in horizontal direction to an electron bunch at a repetition rate of 1 Hz. With the kicker magnet system, we successfully observed the sliced synchrotron radiation with a reduced bunch length of 7 ps by using an X-ray streak camera.

SPring-8蓄積リングにおける短パルス放射光生成のためのキッカーマグネットの開発

1. はじめに

近年、放射光ユーザーにより、より時間分解の高い短パルスX線が望まれている。XFELの建設^[1]などにより20~30fsの短パルスX線の生成は現実的なものとなっているが、1psオーダーの短パルスX線についても十分な需要があると考えられている。例えば、物質構造科学におけるX線による励起状態の物理においては、格子歪みなどの現象の過渡的状態は1psの時間オーダーに属する。生体分子のダイナミクスにおいては電荷移動の現象は200fs~40psの幅広いレンジに属している。またイメージング・分光科学においては、XFELを併用するポンププローブ実験として、XFELで励起して1ps短パルスX線で緩和過程を観測するなどの手法へも適用できる可能性がある。このようなpsオーダーの短パルスX線生成の要求に対して、蓄積ビームに垂直パルスキックを与えてバンチを傾け、短パルス光を切り出す方法がW. Guo^[2]らにより提案された。この方法では、蓄積リングのクロマティシティーが0でない場合にHead-Tail振動が励起され、シンクロトロン振動の半周期後に傾きが最大となることを利用する。この方法は、その単純なスキームから、開発要素も少なく、既存の蓄積リングへの組み込みが容易である。垂直キックを与えることによりSPring-8では50ターン後にはビームの傾きが最大となる。このとき発生する放射光をスリットにより切り出すことで、現在よりもパルス長が、少なくとも一桁程度は短いパルスX線を得ることができる。我々はこのスキームによる短パルス光の生成のために、垂直パルスキッカーマグネットシステムの開発を進めてきている。psオーダーの短パ

ルス光生成のためには0.08mrad程度のキックを8GeV電子ビームに与える必要があり、全長0.29mの小型空芯コイルにて8mTの磁場をビーム周回時間4.7 μ sよりも短い2.6 μ sで発生させるシステムを検討している。このシステムでは短パルス大キック力を発生させる大電流小型電源回路が必須であり、その開発を進めている。本報告では、開発中の垂直パルスキッカーマグネットシステムについて、その概要を紹介するとともに、ビームを用いた性能試験の結果についても報告する。

2. 短パルス光生成試験概要

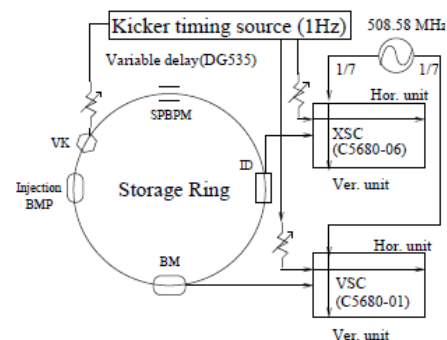


図1: Overview of the experiment system

図1は短パルス光生成試験の概要を示している。システムは垂直キッカー(VK)、キッカー電源システム(PS)、シングルパスBPM(SPBPM)、放射光観測のためのストリークカメラ(SC)で構成されている。偏向電磁石を光源とする可視光ビームラインには可視光ス

¹E-mail:mitsuda@spring8.or.jp

トリックカメラ (VSC) が設置され、アンジュレータを光源とするビームラインに対してはX線ストリークカメラ (XSC) が設置されている^[3,4,5]。トリガータイミングはVK, SPBPM, SCシステムのそれぞれに1Hzの繰り返しで光ファイバーにより配られており、ビーム中心、放射光振動はキックタイミングと同期して観測することができる。SCはシンクロスキャンを用い、二軸掃引で放射光を観測できるため、掃引信号の遅延時間を調整することにより、キック後の任意の時間領域でビームプロファイルを観測することが可能である。

3. キッカーマグネットと電源システム

キッカーマグネットには極力インピーダンスを下げるために1ターン空芯コイルを採用している。この試験においては、コイルデザインはテスト機ということで最適化していない。VKを設置する垂直 β 関数が最大になる場所のチェンバーは渦電流の発生を抑えるため5 μ m厚のTi-Mo内部コーティングのセラミックチェンバー(320(L)x96(W)x38(H))に置き換えている。その大きさに合うように ϕ 2mmの銅線で図2に示されるキッカーマグネットを成型している。磁石エンド部は端部フィールドエラーを減らすために30mm立ち上げている。

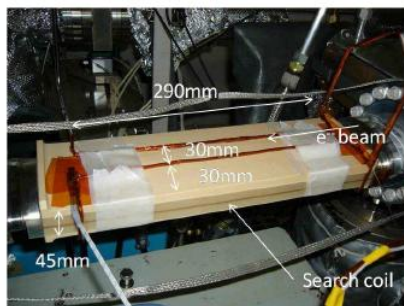


図2: Setup of vertical kicker

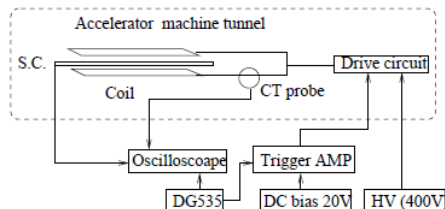


図3: Overview of kicker magnet system

コイルはチェンバーを抱くように設置され、磁場を見るためにサーチコイルを挟みこんでいる。マグネットシステムの概要は図3に示されている。短パルスで大きなキック力を実現するためにマグネットへの給電ラインのインダクタンスを極力下げようとしてマグネット30cm以内の近傍に電源回路を設置している。近傍に置くために電源サイズには制限がかけられ、200mm(L)x100mm(W)x50mm(H)の大きさのコンパクト大電流電源を実現している(図4)。電源の被爆損傷を防ぐために1mm厚鉛シートにより防護し

ている。図5に示されるように回路は2.6 μ sでピークカレント200Aの正弦半波を発生するためにLC共振回路となっており2.6 μ sのパルス幅に合うようにキャパシタンスは0.88 μ Fに調整している。

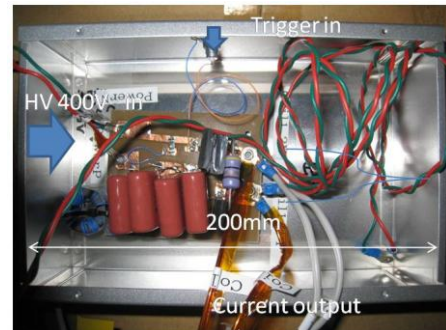


図4: Power supply driving circuit

大電流生成のためにMOSFET(2SK3131)を2つ並列に接続している。MOSFETには400Vの高圧がかけられるため、共振回路とHVラインを分離するためにローパスフィルターを入れている。更にRCスナバー回路によりスイッチングノイズを減らしている。20VのTTLタイミング信号によりMOSFETはONされるようになっている。図6にCTプローブとサーチコイルによる出力結果を示す。水平、垂直軸それぞれ、400ns/div、40A/div(CT)、500mV/div(S.C.)である。最大電流値5.6mT磁場相当の157A/coilの発生に成功している。

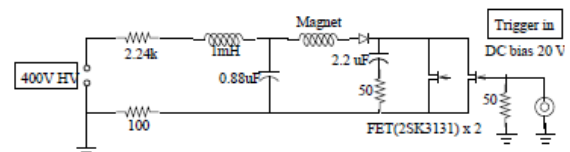


図5: Schematic view of developed drive circuit

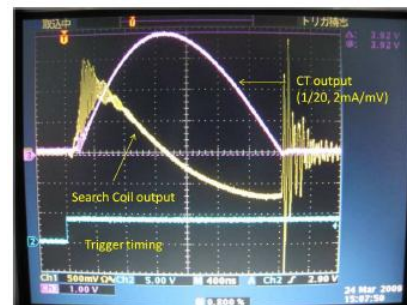


図6: Output signal of S.C. and CT probe in synchronized with trigger timing

4. ビームを用いた性能試験

試作した垂直パルスキッカーマグネットシステムの性能を評価するため、蓄積ビームを用いた試験を行った。試験はシングルバンチ1.3mA、クロマティシティー(ξ_x, ξ_y)=(+1.67, +5.87)、ベータートロンチューン(ν_x, ν_y)=(40.1449, 18.3506)の条件下で行われた。キックのタイミングは14台のSPBPMでモニターしながらシングルバンチビームのコヒーレント振動が最大になるように調整している。SPBPMで測

定した振動データを解析することで、実際にビームに与えられたキック角を見積もった(図7)。見積もられたキック角は0.0416mradでVSCの光源偏向電磁石の位置では振動振幅はキック後1ターン目で1.2mmであった。

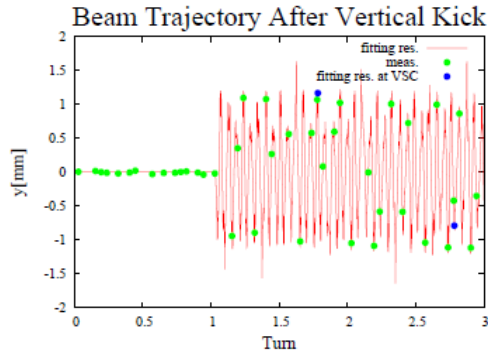


図7:SPBPM measurements results of beam oscillation amplitude (plots) and betatron function fitting results (solid line)

キッカーマグネットシステムの出力性能を表1にまとめた。ビームを使って見積もられたキック角とMAFIAによる磁場計算からのキック量には差があるが、これは渦電流による減衰効果と考えている。

Table 1: Kicker performance

Item	Value
Vertical oscillation amplitude	1.2 mm
Estimated kick angle from SPBPM	0.0416 mrad
Estimated magnetic field from SPBPM	3.91 mT
CT probe measurements	156.8 A/coil
	2.6 μ s
S.C. output w/o ceramic chamber	5.56 \pm 0.17 mT
Estimated magnetic field from MAFIA and CT	5.71 mT

ビームプロファイルはVSC (HAMAMATSU, C5680-1) とXSC (HAMAMATSU, C5680-06) の二つのカメラによりモニターした。偏向電磁石からの可視光はミラーによりビームラインのハッチ外にある暗室まで運ばれる。アンジュレーターからのX線は実験ハッチに運ばれ、二結晶分光器で単色化した後にXSCで観測した。観測に用いたX線エネルギーは10.5KeVである。XSCの前には短パルス光切り出しのためのTaスリットが $\Delta X=3.5 \mu$ rad, $\Delta Y=1.4 \mu$ radの開口角で設置されている。観測するパルス長と光量はこの開口角によるが、本試験においては、短パルス光のパルス幅よりも光量を優先し開口角を決めている。VSCにてHead-Tail間にて2.0mm程度の偏差に相当するビームの傾きの観測に成功した。可視光からのスリットによる切り出しは強い回折効果のため成功しなかったが、X線を使ったスリットによる短パルス光の切り出しの観測に成功した(図8右図)。垂直キッカーオフ(図8左図)においては、パルス幅はFWHMで平均およそ36psであった。垂直キッカーONにてXSCのタイミングを50ターン後に合わせて観測した結果、スリット切り出しによりFWHMで最小7psの短パルス光の生成に成

功した。7psのパルス幅は必ずしも十分な値とは言えないが、垂直キッカーマグネットを用いたバンチチルトの誘起からスリットスライシングによる短パルス光の生成がコンパクトなシステムにより実現可能であることが示された。

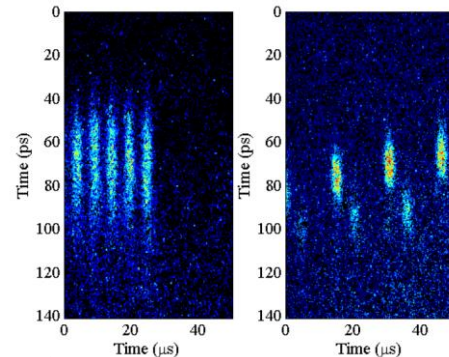


図8: Beam profile observed by XSC.

5. 議論

この実験を通じて今後の課題が明らかになった。まず、垂直キックによりビームバンチはHead-tail振動しながらバンチ中心つまり光軸も周回ごとにシフトするために、安定したスリット中心での切り出しが難しく光量の周回ごとの変動が大きい。これを定量的に評価した。今後、X線を安定して切り出す方法の確立とともに、目的の周回数でのフォトンフラックスを増加させる方法の確立が必要である。次に、今回切り出しに成功したX線パルス幅の今後更なる短パルスを目指すために、X線光学系の最適化及び、効率よくビームチルトを引き起こすキック角とクロマティシティーの最適化が必要となる。また、光量を増加させるためにビーム電流を増加させることも検討している。十分なビームチルトを誘起するためには、現状の励磁電流値を増強して300A/coilを目指す必要がある。また、セバラルバンチフィリングモードにおいて、ある時間のあるターゲットバンチのみビームチルトを誘起するためにキックの繰り返し周波数を上げる必要がある。これらの要求に対して電源の更なる開発、及びマグネットコイル形状の最適化が今後求められている。電源開発については、具体的には100Hz繰り返し周波数で、300A/coil以上の大電流を短パルス1 μ s以下で発生させることが可能な小型大電流電源の開発を進めている。さらに、短パルス光切り出し後に不用になったビームの振動を逆キッカーにより振動抑制させることも検討している。

参考文献

- [1] T. Shintake, et al.: Proc. EPAC'06, Edinburgh, UK, 2006.
- [2] W. Guo, et al., Phys. Rev. STAB, 10. 020701 (2007).
- [3] S. Takano, et al., in these proceedings.
- [4] M. Masaki, et al., in these proceedings.
- [5] A. Mochihashi, et al., in these proceedings.