

## KEKB OPERATION WITH SKEW SEXTUPOLE MAGNETS

Takashi Kawamoto, Mika Masuzawa, Kazumi Egawa, Yasunobu Ohsawa, Tsuyoshi Sueno, Noboru Tokuda  
 High Energy Accelerator Research Organization (KEK)  
 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801 Japan

### Abstract

A new set of magnets, the skew sextupole magnets, were designed, manufactured and installed in the KEKB tunnel during the three month shutdown of January, February and March, 2009. Twenty magnets were installed in the HER and eight magnets were installed in the LER, respectively. The skew sextupole magnets are used to correct for the chromatic x-y coupling at the interaction point (IP). A significant luminosity boost was achieved. The skew magnet outline and operation with these magnets are described in this report.

### KEKB スキュー六極運転まとめ

#### 1. はじめに

KEKB 加速器<sup>[1]</sup>マグネットグループでは、2008 年末からの 3 ヶ月半の加速器シャットダウン中に、28 台のスクュー六極電磁石を設計、製作し、HER (High Energy Ring for electron) に 20 台、LER (Low Energy Ring for positron) に 8 台、それぞれ設置した<sup>[2]</sup>。コストダウン及び製作期間の短縮をはかるため、コイルの線材や電源等は他の磁石の予備品を流用する、などの工夫が為された。このスクュー六極導入により、ビームの x-y coupling の補正を、エネルギーがずれたビーム粒子にまで適応する事が可能になり、それまでのピークルミノシティが大幅に上がる事となった<sup>[3]</sup>。その後、スクュー六極による調整幅を広げるため、各磁石の電流値をぎりぎりまで上げ、ルミノシティ優先の運転を行ない、KEKB の性能向上に努めた。今回はこのスクュー六極を用いた運転について、まとめて報告する。

#### 2. マグネットの設計・製作・設置

##### 2.1 設計

2008 年末、ビーム衝突点での x-y coupling のエネルギー依存性の増大がルミノシティの減少をもたらすという、シミュレーションの結果<sup>[4]</sup>が出た事により、KEKB へのスクュー六極の導入が決定された。スクュー六極は通常の六極をビーム軸を中心に 30° 回転させたもので、ビームはそのエネルギーのズレに対応した水平方向の位置に応じてスクュー-Q 成分を感じ、x-y coupling のエネルギー依存性の補正が可能になる。

スクュー六極導入の決定が成されたのが冬期シャットダウンの直前だったため、翌年 4 月の運転開始までの 3 ヶ月半の限られた時間と予算の中で、磁石の設計・製作・設置を行なう必要があった。そのため手持ちの予備品を活用してシステムを構築する事となり、スクュー六極の仕様もそれに合わせる事になった。磁石のターン数は、コイルに流用された LER 電子雲除去ソレノイド用のエナメル線材

(2mm φ)、及び、やはり流用された補正磁石用のバイポーラ電源の仕様(定格 10A/50V)等に合わせて決定された。磁石の支持架台もステアリング電磁石用の架台を改造して使用する事になった。図 1 にスクュー六極の二面図を示す。

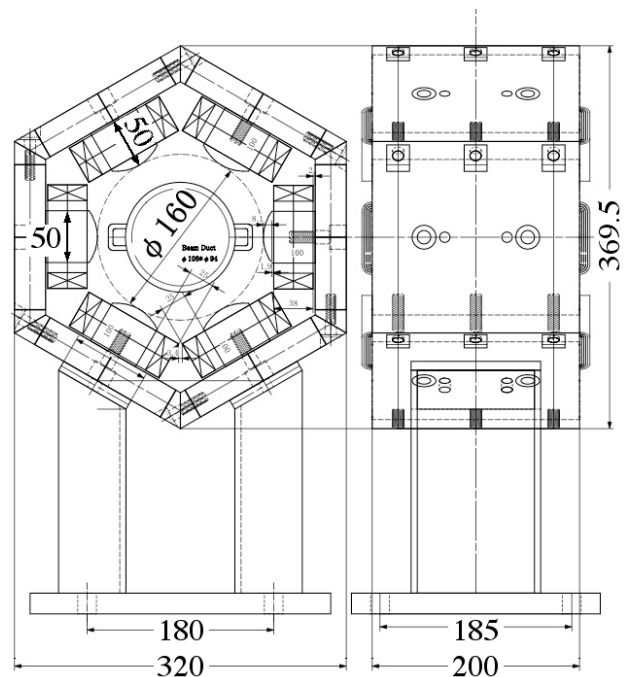


図1：スクュー六極前面及び側面

##### 2.2 製作

コイルの巻数は 1 磁極当たり 100 ターンで、絶縁のためのポリイミドシートを挟み込みながら 6 層に巻かれている。図 2 は、磁極単体の状態で通電してコイルの内側と外側の温度上昇を測定したもので、電源定格の 10A まで流した時でも温度が 80°C 以下に収まり、エナメル線の耐熱温度の 150°C を十分下回る事が確認された。各磁極の巻線の絶縁を確認した後、磁極をフレームに組み込み、コイルを結線して磁石本体が完成する。図 3 に、完成後のスクュー六極に通電して、積分磁場の電流依存性を測定したも

のを示す。計算通りの数値が得られた。データは測定ベンチの都合で 8.2A までしか採られていないが、計算結果から、より高い電流値まで外挿しての運用も可能である。

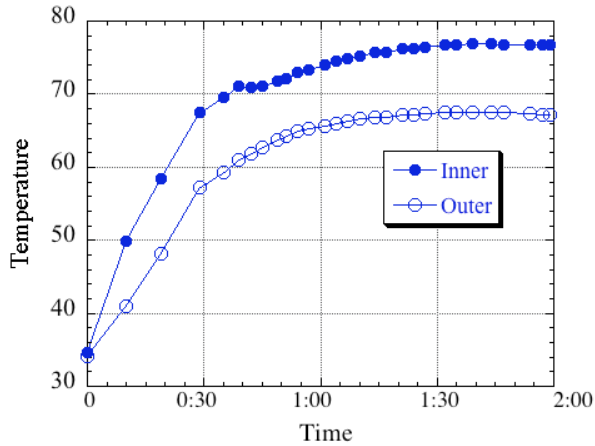


図2：10A 通電時のコイル温度

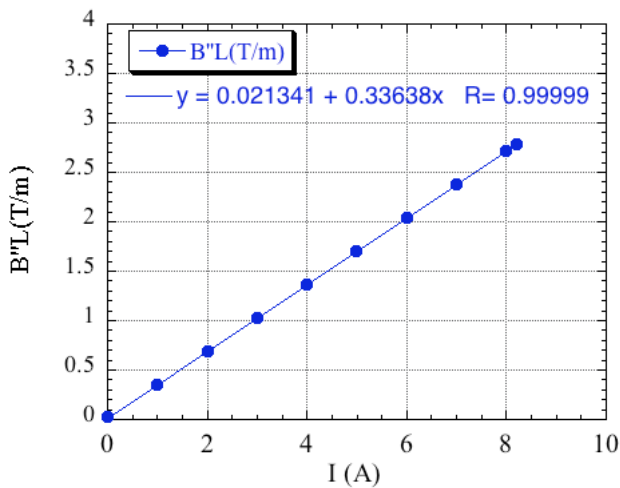


図3：積分磁場の電流依存性

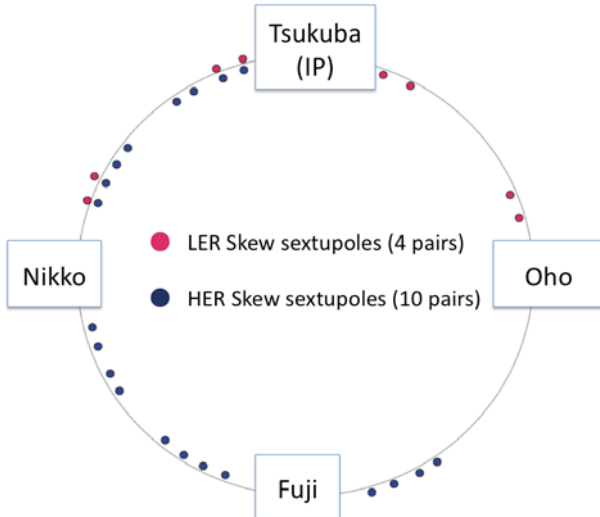


図4：スキュー六極の配置

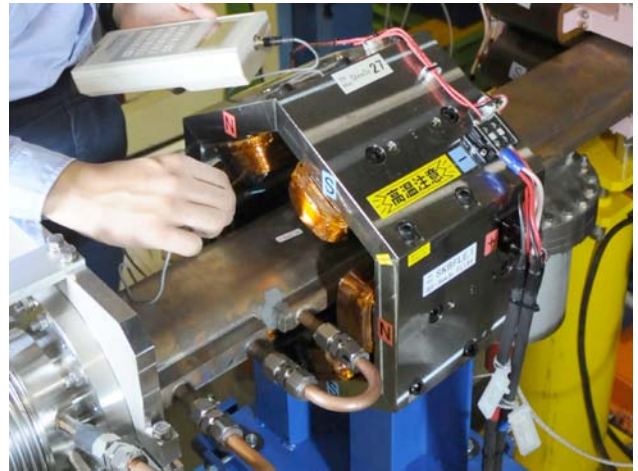


図5：HER に設置されたスキュー六極

### 2.3 設置

各スキュー六極は、2009年3月末までに、図4に示すような配置で、HERに10ペア20台、LERに4ペア8台、計28台設置され、アライメントも終了した。図5に設置されたスキュー六極の写真を示す。

## 3. Commissioning

### 3.1 スキュー六極を使用したKEKB運転

2009年5月よりスキュー六極を用いたビーム運転が始まり、その効果はすぐに現れる事となった。図6にその時のピーク luminositi の増加の様子を示す。

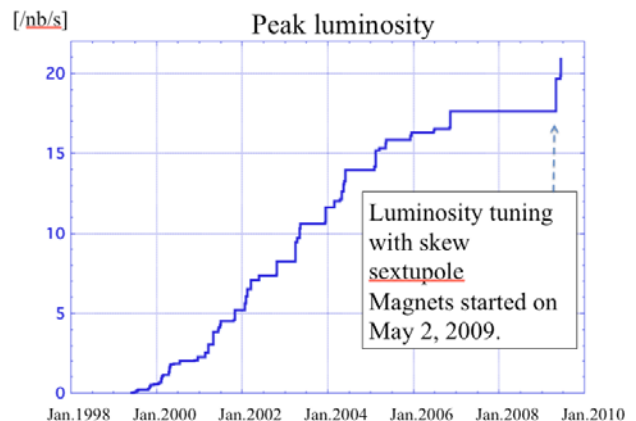


図6：ピーク luminositi の変遷。スキュー六極導入後、急上昇している。

図7はスキュー六極を使用した場合と使用しない場合での、スペシフィック luminositi ( luminositi をバンチ数で割りさらにバンチ電流の積で割ったもの) の差を見たもので、スキュー六極を用いた場合、30~40%ほど上昇しているのが分かる。

また図8に、HERの衝突点での x-y coupling のエネルギー依存性測定<sup>[5]</sup>から、coupling パラメータの

一つを抜粋して表示した。スキュー六極を用いると、衝突点での x-y coupling の on-momentum 付近の傾きをほぼゼロに補正する事が出来、結果、ルミノシティ増大に寄与している事が分かる。

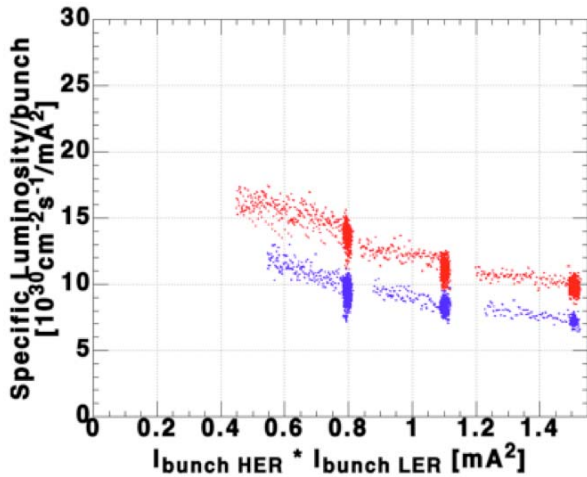


図7：スペシフィックルミノシティ（赤はスキュー六極を使用した場合、青は使用しない場合）

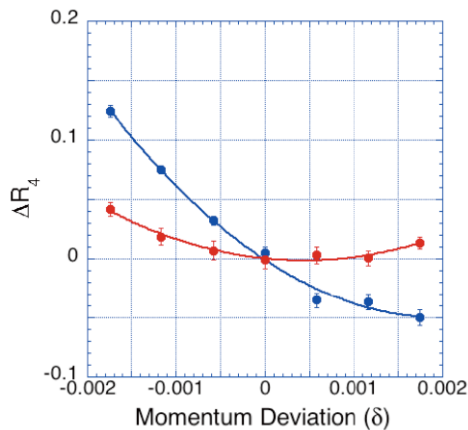


図8：衝突点での x-y coupling のエネルギー依存性測定(HER)の一例（赤はスキュー六極を使用した場合、青は使用しない場合）

### 3.2 電流増強

スキュー六極の効果が確認されたため、さらなるルミノシティ増大を目指し、磁石の調整幅を広げる努力が為された。当初は磁石の発熱が心配されたため通電電流を低く抑えていたが、そのリミットを 8A→9.5A→10A と順次上げていった。それでもスキュー六極の調整中に何度も電流リミットに引っ掛かり、希望する効果が得られないため、衝突点(IP)近傍の LER のスキュー六極 2 ペア 4 台については、BBA (Beam Based Alignment) 用のバイポーラ電源 (定格 30A/200V) を流用し、最大 15A での運転を行なった。

電流増強に伴い、磁石の発熱を抑えるため、各磁石には冷却ファンを設置し、さらに BBA 電源を流用した LER の磁石には、フードを被せて効率的に

風を当て、更なる冷却効果を図った。また各磁石のコイル温度は常時モニターされ、温度リミットを超えた場合はアラームを発報するようにした。冷却の効果はあったようで、コイル温度は最大でも 95°C 以下に収まり、運転に支障を来す事は無かった (図 9)。

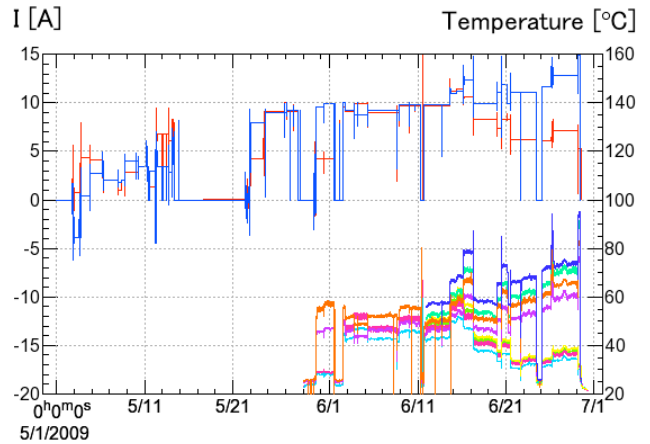


図9：BBA 電源使用 LER スキュー六極の電流値(上)とコイル温度(下)。温度計は途中で追加した。また 5 月中旬に電流がほぼ 0 A になっているのは、ソフトのバグでほとんど励磁されていなかったため。

## 4. まとめ

このようにして、スキュー六極の能力を最大限に使用したルミノシティ優先の運転を行なった結果、ビーム電流の増加と相まって、ピークルミノシティは 21.083 /nb/s に到達し (図 6 の最後の 1 ステップ)、KEKB の性能向上に大きく貢献する事となった。

このスキュー六極は KEKB の運転に欠かせない物になり、アップグレード後の SuperKEKB に於ても導入が予定されている。

## 参考文献

- [1] KEKB B-factory design report, KEK Report 95-7, August 1995
- [2] M. Masuzawa, et al., "Installation of Skew Sextupole Magnets at KEKB", Proceedings of the 1st International Particle Accelerator Conference in Kyoto, Japan, May 23-28, 2010
- [3] 船越 義裕, "KEKB のルミノシティの最近の進展について", 加速器学会誌, Vol.6, No.3
- [4] D. Zhou, K. Ohmi, Y. Seimiya, Y. Ohnishi, and A. Morita, "Simulations on beam-beam effect under the presence of general chromaticity", KEK Preprint 2009-10 (2009)
- [5] Y. Ohnishi et al., "Measurement of chromatic X-Y coupling", Phys. Rev. ST Accel. Beams 12, 091002 (2009)