

非線形コリメータ導入のための大穂直線部ビームラインの改造 THE BEAMLINE MODIFICATION OF OHO STRAIGHT SECTION FOR INSTALLATION OF NON-LINEAR COLLIMATOR

植木竜一[#], 大澤康伸, 中村衆, 古澤将司, 増澤美佳

Ryuichi Ueki[#], Yasunobu Ohsawa, Shu Nakamura, Masashi Furusawa, Mika Masuzawa

KEK, High Energy Accelerator Research Organization

Abstract

The SuperKEKB accelerator will achieve the world's highest luminosity of 4.65×10^{34} by June 2022, and is being upgraded to achieve even higher performance. However, some problems have been found in the operation so far, such as damage to the collimator due to sudden beam loss and an increase in the beam size due to an increase in the stored current. To solve these problems, it was decided to install a non-linear collimator (NLC) in the Oho linear section. In long shutdown 1 (LS1) starting in July 2022, beamline modifications are underway to shorten the wiggler section and install a new NLC at that location. We report the details of a series of work related to the electromagnets in the Oho linear section beamline modification for the installation of the nonlinear collimator.

1. はじめに

SuperKEKB は KEKB で達成した積分ミノシティの約 50 倍、50ab-1 を目標とし、弱い相互作用を精密に観測することで標準理論を超えた物理を見つけることを目的として提案された[1]。SuperKEKB では、KEKB のピークミノシティの数十倍を目指しているため、衝突点のビームサイズをより小さく、周回するビーム強度をより強くしなければならない。これまでに達成した衝突点における垂直方向 β 関数は 0.8 mm であり、実用型加速器としては世界最小である[2]。これまでの運転からわかった

様々な課題の内、コリメータに関連するものへの対応として、我々は非線形コリメータの導入を決定した。ここでは、NLC の導入に伴う大穂直線部ビームライン改造のうち電磁石に関連する一連の作業の詳細を報告する。

2. NLC 導入の概要

SuperKEKB において、NLC は 4GeV 陽電子リング (LER) に導入される。これは LER のコリメータに存在する課題に対応するためである。NLC は対となる歪六極電磁石の間に設置される。歪六極電磁石の非線形磁場でけられたビームハローを NLC で取り除くものである。NLC の導入のためにはビームオプティクスを従来のものから大きく変える必要がある。しかし、LER の直線部はすでに埋まっており、四極電磁石の配置を変えて歪六極電磁石や NLC を入れる余裕はない。そのため、大穂直線部のウイグラー電磁石群の一部を撤去し、NLC を導入することとした。ウイグラー電磁石の台数が減少することによって、ビームのダンピングタイムが伸びることが心配されるが、事前の検討で影響が小さいことを確認している。また、ウイグラー電磁石の磁場を上げることで対応できることも想定している。

大穂直線部の下流側にある長いドリフトスペースに NLC を導入する案も当初は出されたが、ウイグラー電磁石部からの放射光による発熱を避けることができないため、この案は破棄された。Figure 1 に NLC 用のラティスレイアウトを示す。

3. ビームライン改造

3.1 ウイグラー電磁石の撤去

ウイグラー電磁石はダブルポール電磁石4台、シングルポール電磁石1台、ハーフポール電磁石2台を1セットとし、2セットを1区間として間に四極電磁石を挟む構成となっている。大穂直線部のウイグラー電磁石は13区間からなっている。NLC の導入に伴って、上流側の5区間を撤去する必要がある。2022年6月の運転終了後、まずはウイグラー電磁石の電源ケーブルの撤去を行い、その

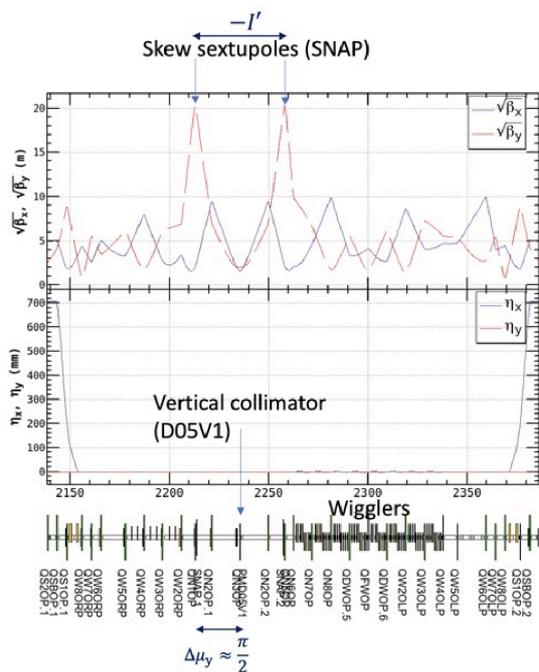


Figure 1: Layout of design lattice for NLC.

[#] pasj-desk@conf.bunken.co.jp

後直線部中央部分から順にウィグラー電磁石をビームラインから取り外し大穂直線部架橋下のスペースに並べ保管している(Figure 2)。特にダブルポール電磁石は、将来 HER ラインで使用できる可能性があるため、ホローコンダクター内に窒素ガスをパージして保管を行っている。



Figure 2: The removed wiggler magnets

3.2 四極電磁石の再配置

ウィグラー電磁石撤去後、レーザートラッカーを使って再配置される四極電磁石とステアリング、新規に導入される歪六極電磁石の中心位置と電磁石架台のタップ穴位置の罫書を行い(Figure 3)、ベースプレートにタップ穴の加工を行った。この際、数台の磁石に関して架台固定用のボルト穴がベースプレートのエッジ部分にかかったり、すでにタップ穴が開いていたりしたため、架台のボルト穴位置をずらし対処した。

大穂直線部には高さの違う2種類ベースプレートが存在する。1つは KEKB 時代に製作された床面から高さ 90 mm ほどのベースプレートで、改造前の四極電磁石はこのプレートに設置されていた。もう1つは、SuperKEKB 時代にウィグラー電磁石を設置するために



Figure 3: Marking the center of the electromagnet and the tapped hole position

製作されたもので高さは床面からおおよそ 120 mm である。今回の再配置で 90 mm プレートに乗っていた四極電磁石を 120 mm プレートに設置する必要があった。そのまま設置すると磁石中心がビームラインより上になり、架台の調整範囲を超えてしまうため、120 mm プレートに設置する四極電磁石の架台を数十ミリ短くする加工を行った。架台加工が終わった後、架台のアライメントを行い、レーザートラッカーを用いて電磁石の精密アライメントを行った(Figure 4)。



Figure 4: Alignment of quadrupole magnets

3.3 歪六極電磁石

非線形コリメータ用の歪六極電磁石は、2022 年から新規に製作が始まり、現在も製作中である。世界的に流行した COVID-19 の影響などもあり、電磁石コイルに使われるホローコンダクターの納品に通常よりも時間がかかるため、新規にコイルを製作すると LS1 期間内に磁石の納品が間に合わない可能性があった。そのため、コイルは SuperKEKB のアポート六極電磁石の予備コイルを使用し、ヨークなどそのほかの部品を製作することとなった。基本的な構造は、アポート六極電磁石と同様の構造とした。しかし、この構造では、磁場測定の際に高い電流で鉄ヨークのサチレーションを起し、励磁曲線の傾きが小さくなることが確認されていたため、今回は接着鋼板を用いてヨークを製作し、ヨークを固定するため各磁極に設けていたスルーボルトを通す穴を省略することで、サチレーションを緩和させる構造とした。8 月下旬に納品、磁場測定を行った後、ビームラインへの据え付け、11 月頃に精密アライメントが予定されている。

3.4 その他の作業

電磁石の位置が大きく変わったため、冷却水用配管の位置を変更した。その際、新規に追加される真空機器との干渉を避けるため、冷却水母管から枝管までの接続経路の変更を行った。また、枝管から電磁石まで、既存のフレキシブルホースでは届かないものに関しては、新規にフレキシブルホースを用意し、接続した。

ウィグラー電磁石の台数が減ったことにより、LER のリング周長が減少する。従来から、HER の周長に対して、LER の周長を合わせるために、日光直線部のシケイン

電磁石を用いてきた。今回の減少分についても、日光直線部のシケイン電磁石で補う。周長を延ばすためにシケイン電磁石で作る軌道オフセットは大きくなるが、真空チャンバーの水平移動だけで問題ないことが確認されている。

Figure 5 は改造前と現在の大穂直線部の写真である。ウィグラー電磁石が撤去され、四極電磁石およびステアリング磁石が再配置されている。このように改造作業は順調に進んでいる。



Figure 5: Oho straight section before(upper) and after(down) remodeling.

4. 電磁石電源と配線の増設

4.1 配線変更

これまでは QD(QDWOP_6)と QF(QFWOP_5)の 2 台の電源で、それぞれ 6 台と 5 台の四極電磁石を励磁していたが、NLC 用のラティス設計を満たすため 9 台の電源で、1 台または 2 台の四極電磁石を励磁することとなった。そのため、電源を設置する D5 電源棟から各電磁石までの電力配線を新たに行った。その際、一部のケーブルは再利用できたが、ほとんどすべての配線が新規となった。また、新たに設置する歪六極電磁石では 2 対を直列に励磁させるため、電源 1 台と接続する電力配線を新規に敷設した。

4.2 電源増設

今回、新たに 10 台の電源でこれらの電磁石を励磁する必要がある。この電源は新規製作を行ったが、コロナ禍等の理由により、今冬の運転開始に間に合わない恐れがあるため、代替電源の準備と既存の電源を再利用で当面の運転を行う予定である。そのため、まずは今秋の電源配置に合わせた結線作業を行い、来夏のメンテナンス期間に新規電源に入れ替えた配線変更を予定している。

4.3 制御

取り外したウィグラー電磁石や移動した四極電磁石、新規に設置する歪六極電磁石はすべて水冷であるため、冷却水の流量インターロックや電磁石ホロコンの温度インターロックがついている。今回の改造に伴って、不要となったインターロック信号をソフト的にも物理的にも撤去し、名称の変更や追加された電源への許可信号の追加などを行っている。また、各電磁石電源からは出力電流モニター用の電圧信号がでているため、それらの名称変更や追加分の電流モニター信号線の敷設、結線作業を行っている。

5. まとめ

NLC 導入のため、2022 年 7 月から大穂直線部のビームラインの改造作業が行われている。大穂直線部のウィグラー電磁石の一部を取り除き、四極電磁石およびステアリング磁石の再配置を行った。取り除いたウィグラー電磁石は将来再利用の可能性があるため、加速器トンネル内に一時保管している。四極電磁石の再配置に伴って、ベースプレートの新設を行い、ビームラインと磁石中心を合わせるため、電磁石架台の加工も行った。磁石の再配置に伴い、冷却水配管の移動も行った。歪六極電磁石は 8 月 29 日に納品され、磁場測定ののち、9 月中旬にトンネル内に設置される予定である。その後は、レーザートラッカーによる精密アライメントを行う。ウィグラー電磁石の電力ケーブルは切断、撤去したが、それ以外のインターロック線などは残置、一部を歪六極電磁石用に再利用した。QF と QD の 2 電源での運用であった四極電磁石は、NLC 用ラティスのためにほぼ個別励磁となる。新規に製作される歪六極電磁石を加えて 10 電源での運用とした。四極電磁石や歪六極電磁石用の電源は 9 月中旬に納品され、結線作業を行ったのち、10 月ごろから通電試験を行う予定である。

参考文献

- [1] Z. Doležal, S. Uno, Belle II Technical Design Report, KEK Report 2010-1, October 2010.
- [2] Y. Funakoshi *et al.*, “The SuperKEKB Has Broken the World Record of the Luminosity”, Proceedings of the 13th I H.