

DEVELOPMENT OF MAGNETIC FIELD MEASUREMENT SYSTEM FOR FLUX CONCENTRATOR

Shinji Ushimoto^{1A)}, Kazuhiko Suzuki^{A)}, Naoyuki Toyotomi^{A)},
Takuya Kamitani^{B)}, Kazue Yokoyama^{B)}, Hirohiko Someya^{B)}

^{A)} Mitsubishi Electric System & Service Co. Ltd.

2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-0045

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

In the upgrade of KEK e-/e+ injector, reinforcement of the positron capture section is one of the important subjects. A flux concentrator type of solenoid is a candidate for a positron focusing device. We are going to perform a field distribution measurement of a prototype flux concentrator. We report on a development of an automatic measurement system for mapping the magnetic field of the flux concentrator.

フラックスコンセントレータ用磁場測定システムの開発

1. はじめに

KEK 電子陽電子入射器のアップグレードにおいて、陽電子源の増強は重要な課題である。目標とする陽電子生成量は現状のおよそ2倍であり、現在陽電子の収束に使用しているパルスコイルに代わる、新たな収束系の検討が行なわれている。そのひとつが、フラックスコンセントレータ¹⁾である。フラックスコンセントレータは、一次コイルの内側にある角度方向にのみ狭いスリットを入れた導体を置き、それに円錐状の穴を貫通させた形状をしている。この1次コイルに電流を流すと、導体表面に誘導電流が発生する。この電流はスリットを通して導体の内側表面にも流れ、円錐状の穴の最小部では強い環状電流が流れコイルの役割を果たす。コイル内側の空間には一様に通る磁束が、導体があることにより導体の内側にのみ集中され、磁束密度が飛躍的に高くなり、より強力な収束磁場を発生する仕組みである。

本稿ではフラックスコンセントレータ用磁場測定システムの開発状況について紹介する。

2. 測定装置について

本システムは、主に磁場を測定するためのピックアップコイル、コイルの回転及び走査を行なう駆動部、これらを遠隔で操作する制御システムから構成される。以下に装置の詳細について説明する。

2.1 ピックアップコイル

磁場測定は、パルス電流によって励磁される収束ソレノイドの中にコイルを設置し、電磁誘導によりコイルに発生する電圧をモニタする。本システムではこのコイルをピックアップコイルと呼ぶ。今回、

異なる方向の磁場を測定する為に、2種類のピックアップコイルを作成した。以下、軸方向の磁場測定用をLFPC(Longitudinal Field Pickup Coil)、横方向の磁場測定用をTFPC(Transverse Field Pickup Coil)とする。LFPC、TFPCは直径1 mmのセラミックシャフトに銅線を巻きつけたコイルを直径3 mmのガラスエポキシシャフトの軸上先端部に水平及び垂直に取り付けたものである。表1に今回の動作試験で使用したLFPCの詳細を示す。

作成したピックアップコイルは、FRP及びカーボン製のシャフトに組み込んだ状態で回転モーターに取り付けて使用する。図1はTFPCをシャフトに組み込んだ状態を示す。シャフトはアライメントテレスコープを用いて回転軸のアライメントを行なった。その結果、LFPCを取り付けた状態での偏心量は0.35 mmとなった。今回の動作試験における測定はこの状態で行ったが、今後、偏心量が0.1 mm以下になるようにシャフトの軸調整を行う予定である。

表1: LFPC 詳細

ターン数	23
ワイヤーサイズ	0.05 mm
直径	1 mm
有効面積	21.7e-6 m ²



図1 TFPCをシャフトに取り付けた状態

¹ E-mail: ushimoto@post.kek.jp

2.2 駆動部

測定システムの駆動部はピックアップコイルの角度を制御する回転モーター、座標を設定する三次元可動ステージを使用している。図2に駆動部を示す。

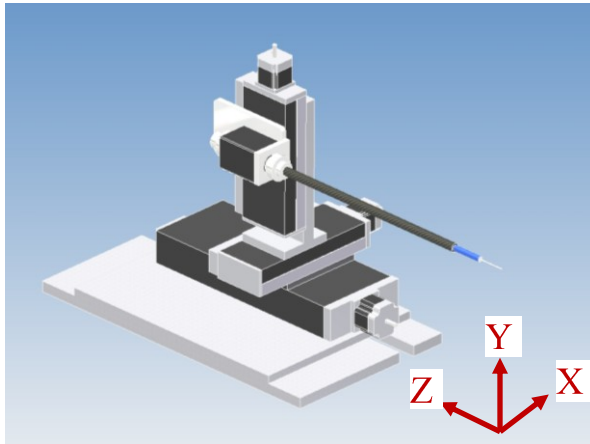


図2 測定システム駆動部

回転モーターは空芯型で、ピックアップコイルを取り付けたシャフトが組み込まれている。このモーターは外部コントローラーからパルス信号を送り制御を行なう。使用したモーターの1パルスあたりの移動量は0.72°で、必要な角度に応じて送信するパルス信号を設定する。

三次元可動ステージは神津精機製の可動ステージを使用した。こちらも外部コントローラーからパルス信号を送って制御を行なう。表2に各ステージの動作範囲を示す。

表2：各ステージの動作範囲

軸	1パルスあたりの移動量	最大移動量
X	0.001 mm	±50 mm
Y	0.001 mm	±50 mm
Z	0.005 mm	±100 mm

2.3 制御システム

制御システムは、EPICS(Experimental Physics and Industrial Control System) [2] を基に構築されている。EPICSではIOC(Input Output Controller)と呼ばれる計算機からネットワークを介して各機器の制御を行なう。図3に制御システムの概要を示す。EPICS WEBサイトでは、様々な機器との通信を行なうためのデバイスサポートと呼ばれるプログラムが配布されている。これらをIOCに組み込むことで、様々な機器の制御システムを比較的短時間で構築することができる。EPICSでは各機器へのアクセスをレコードと呼ばれるデータで管理しており、レコードに対してコマンドを送信することで各機器の制御を行なう。

本システムではIOCにLinuxPC (OS:CentOS 5)を使用した。オシロスコープと3CHステージコントローラーは、Ethernetを介して、TCP/IPによる制御を行なっている。3CHステージコントローラーは通信用

インターフェースがGPIBである為、LAN-GPIB変換器(Agilent:E5810)を使用している。ピックアップコイルの回転用モーターコントローラーは、通信用インターフェースがRS-232Cのみであったため、USB-RS232C変換ケーブルを使用して、USBから制御を行なっている。

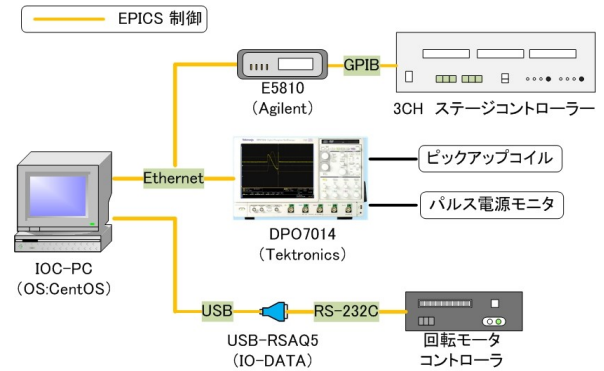


図3 制御システム概要

3. 測定用プログラム

測定で使用するプログラムはPythonで作成した。Pythonはインタプリタ型のスクリプト言語で、比較的短時間でGUIを含めたプログラムの作成が可能である。また、PythonにはEPICSレコードのアクセスを行なうためのモジュールがEPICSサイトで提供されており、これを使用することで、プログラムから各機器を容易に操作する事が可能である。測定用に作成したプログラムを図4に示す。

ピックアップコイルを走査する際、各方向には収束ソレノイドの形状による制限がある。このプログラムでは、測定前に各方向に任意の可動制限値と可動量を設定する。測定を開始すると、可動制限値の範囲でプログラムが自動的に測定点を計算し、ピックアップコイルの走査を行なう。ピックアップコイルが所定の場所に到達すると、オシロスコープのデータを読み込み、座標データと共にCSV形式のファイルとして記録する。

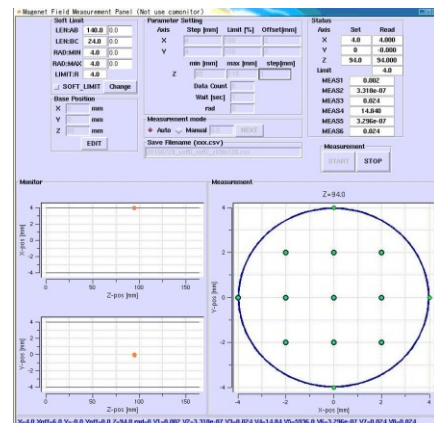


図4 測定用プログラム

4. パルスコイル測定結果

フラックスコンセントレータ及びそのパルス電源の立ち上げは、今年の10月に行なう予定である。それに先立ち、磁場測定システムの動作試験の為、現在運転に使用しているパルスコイルの予備機を用いてテストベンチにおいて磁場測定を行なった。図5に測定時の様子、表3に測定に用いたパルスコイルの仕様を示す^[3]。

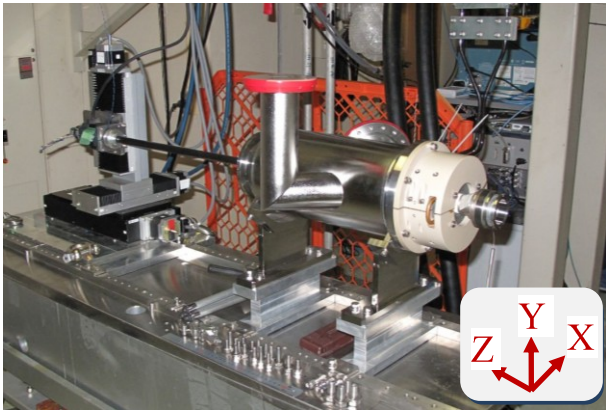


図5 パルスコイルの磁場測定

表3：パルスコイル仕様

ピーク電流	10 kA
ピーク電圧	2 kV
磁場の強さ	2.3 Tesla
磁場有効長	45 mm
コイル長	42.5 mm
コイル部半径	20~38 mm
ターン数	8

最初にLFPCをパルスコイルの中心に設置して、実際に電流が流れる様子を観測した。観測時のオシロスコープ画面を図6に示す。図6はC1(黄線)がLFPCの電圧、C2(青線)がパルスコイル電源のモニタ電流、M1(橙線)がC1の積分値(磁場の強さ)を示す。この図からパルスコイルの電流変化と共に、LFPCに応答が見られ、磁場が変化している様子が確認できる。

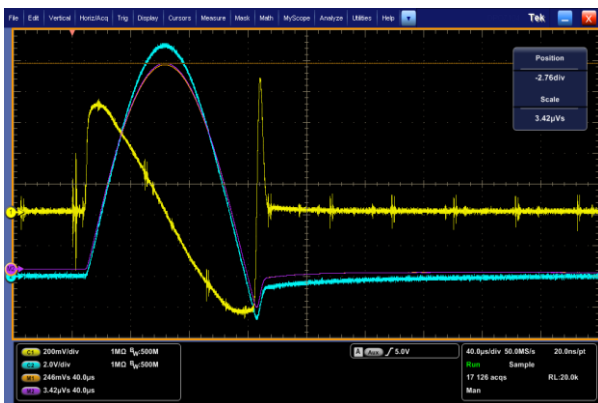


図6 磁場測定時のモニタ信号

次にZ方向の磁場分布及びLFPCの回転による磁束密度の変化について測定を行なった。測定手順は、まずLFPCをパルスコイルの中心軸上(X=Y=0 mm)に固定し、Z軸方向の可動ステージをパルスコイル側に可動限界まで動かし、その位置をZ軸の原点(Z=0 mm)とした。そこからZ軸方向に5 mmずつ200 mmまでステージを動かしながら、各位置で5点ずつモニタ値の記録を行なった。以上の手順でLFPCを90°ずつ回転させながら測定を行なった。測定時のパルスコイル電流値はモニタ値で6.0 kAである。パルスコイル中心部のZ軸方向磁場分布測定結果を図7に示す。測定結果から、90 mm付近をピークとする磁場が確認できた。またLFPCを回転させた時の磁場の変化が非常に小さいことから、軸方向の磁場測定では今回行なったアライメントによる偏心量で精度の高い測定が可能であることが判明した。

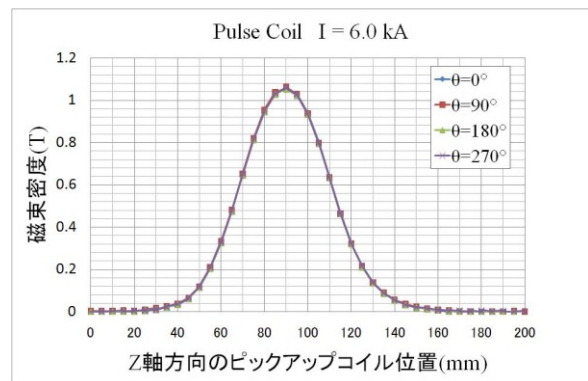


図7 パルスコイル中心部のZ軸方向磁場分布

5. まとめ

今回、フラックスコンセントレータ用磁場測定システムの開発を行なった。パルスコイルを用いた動作試験では、本システムによって磁場測定が可能であることが実証された。

今後は、引き続きパルスコイルとパルス電源を用いて、TFPCによる測定及びデータ解析を行ない、10月からのフラックスコンセントレータの本測定を見据えた磁場測定方法の確立を目指す予定である。

6. 謝辞

磁場測定システムの開発に於いて、多くの助言及び御協力を頂いた株式会社トヤマ 飯野陽弼氏、酒井国彦氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] T.Kamitani, et al., "PRESENT STATUS OF KEKB LINAC POSITRON SOURCE" Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Higashihiroshima, Japan, Aug. 6-8, 2008
- [2] EPICS WEB SITE "<http://www.aps.anl.gov/epics/>"
- [3] T.Kamitani, "Positron Source", High Energy Accelerator Seminar(OHO02), KEK Tsukuba, Japan, Aug.27, 2002