

EPICS を用いた SuperKEKB 最終集束系超伝導磁石システムビームライン磁場測定制御ソフトウェアの開発

DEVELOPMENT OF MAGNETIC FIELD MEASUREMENT CONTROL SOFTWARE SYSTEM OF SUPERCONDUCTING FINAL FOCUS QUADRUPOLE MAGNETS FOR SUPERKEKB USING EPICS

浅野和哉^{*A)}, 岩崎昌子^{#,B)}, 大内徳人^{B)}, 有本靖^{B)}, 王旭東^{B)}

Kazuya Asano^{*A)}, Masako Iwasaki^{#,B)}, Norihito Ohchi^{B)}, Yasushi Arimoto^{B)}, Xudong Wang^{B)}

^{A)} Kanto Information Service Co., Ltd.,

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

Abstract

We have developed an EPICS based magnetic-field-measurement control system of the superconducting-final-focus-quadrupole magnets for SuperKEKB. The system controls the field measurement equipment, i.e. positions and moving speed of a Hall probe, and gets the measured data of the probe position and the magnetic field from the probes. In the system, the user interface is based on Control System Studio (CSS). With this system, the magnetic field measurement of the Belle-II solenoid was performed in September, 2015.

1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構(KEK)では、KEKB 電子・陽電子ビーム衝突型加速器を用いた B ファクトリー実験が行われてきた。現在、KEKB 加速器の更なる高輝度化を目的として、SuperKEKB 加速器の建設が進められており、2016 年 2 月から 6 月末まで試験運転(Phase-1)が行われた。SuperKEKB 加速器では、KEKB 加速器で記録した世界最高の電子・陽電子衝突頻度を約 40 倍に高めることを目標としている[1]。

この高輝度化において、SuperKEKB 加速器の心臓部となる電子・陽電子ビーム衝突部のビーム最終収束用超伝導電磁石システムを新規に設計、製作する。この超伝導電磁石システムは 8 台の 4 極電磁石、43 台の補正コイル、4 台の補償ソレノイドから構成される[2]。製作されたすべての超伝導電磁石について性能評価をするため、磁場測定を行なう。またこれらが設置される Belle-II 検出器のソレノイド磁場の測定も必要となる。

そこで我々は、最終集束系超伝導磁石システムビームライン磁場測定制御ソフトウェアを Experimental Physics and Industrial Control System(EPICS)[3]を用いて開発した。ユーザーインターフェースには Control System Studio(CSS)[4]を用いた。本ソフトウェアでは磁場測定用プローブの位置設定及び測定、磁場測定データ収集までを自動で行うことができる。これらの詳細について報告する。

2. 概要

2.1 ソフトウェア構成

本ソフトウェアでは、EPICS を用いて、磁場測定用プローブの位置を移動するためのサーボモータ、磁場測定用プローブを測定するためのマグネスケール、磁束密度を計測するガウスメータの制御をする。図 1 に本ソフトウェアの構成図を示す。各制御対象機器は Input Output Controller(IOC)によって制御がされ、通信インターフェースには、Ethernet、GP-IB、RS232C を使用している。GP-IB や RS232C で接続する機器については変換機を使用して Ethernet で磁場測定用計算機(Linux)に接続している。IOC と制御機器との通信制御プログラムには EPICS の asynDriver[5]を用いて実装した。asynDriver は vx-11 規格を使用した制御機器とのメッセージ通信が可能であり、IOC に組み込む事で使用可能なデバイスサポートモジュールである。IOC と CSS 間の通信には EPICS 独自の通信プロトコルである Channel Access(CA)で制御データのやり取りがされる。

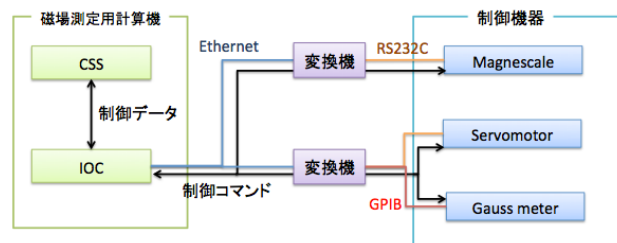


Figure 1: System configuration of the magnetic field measurement software.

* kan-asa@post.kek.jp

Present affiliation is Osaka City University.

2.2 仕様

図2に本ソフトウェアのプログラムのフローチャートを示す。本ソフトウェアは外部パラメータファイルを読み込む事により、磁場測定用プローブ位置設定、位置測定、磁場測定用機器設定、磁場測定、測定データのログファイル生成を自動で行う。

外部パラメータファイルは予め決められたフォーマットがあり、ユーザーはその範囲内で自由に設定値を変更する事ができる。ここでは測定回数、磁場測定用プローブの移動間隔、磁場測定のサンプリング回数、制御機器のパラメータ設定をすることができる。パラメータファイルを読み込んだ後、まず指定位置まで磁場測定用プローブを移動する処理が行われる。その際、磁場測定用プローブが指定位置まで移動するのを待ってから磁場測定をする必要がある。待ち時間は、磁場プローブの移動速度と移動位置から算出される。

プローブ移動後に、マグネスケールで測定した位置と設定した位置の誤差が $\pm 1\text{mm}$ であるかをプログラム内で判定し、指定位置まで移動したかの確認を行ってから磁場測定を開始している。その後、磁場測定が終了したタイミングで測定データのログファイルを生成する機能を実装している。このログファイルは複数生成され、測定した全データを記録するログファイル、ガウスメータで測定した磁場測定データをCSV(カンマ区切り)形式で記録するログファイル、磁場測定位置毎でかつサンプリング数分の磁場測定データx軸、y軸、z軸、v軸(Vector)それぞれの平均値を算出し記録するファイルの3種類が生成される。この磁場測定用プローブ位置設定からログファイルの生成までを設定した測定回数分を行う。これらの磁場測定フローのプログラムはEPICS Sequencer[6]を用いて作成した。EPICS Sequencerは、State Notation Language (SNL)という言葉を用いシーケンシャルな動作プログラムの作成が可能である。

2.3 ユーザーインターフェース

各機器の制御コマンドの発行や測定結果表示等を行うユーザーインターフェース画面は CSS を用いて作成された。CSS は Eclipse RCP に基づいた EPICS などの制

御システムのためのユーザーインターフェースフレームワークである。

磁場測定の主操作を行う Main 画面を図 3 に示す。この画面では外部パラメータファイルを設定し磁場測定を開始することができる。磁場測定が開始されると現在の処理ステータスや磁場測定用プローブの位置、測定結果をパネル上で確認する事ができる。また磁場測定データはグラフ化して表示がされる。このグラフではプローブ位置に対する磁束密度をプロットする。その他、磁場測定を中断させる abort 機能や、測定毎にパネルのスクリーンショットを撮る事が出来る機能も備えている。実際の磁場測定では、主にこの Main 画面を使用する。

Main 画面の他、各機器単体の操作も行えるよう、磁場測定用プローブの位置制御を行う画面とガウスメータの制御を行う画面を作成した。磁場測定用プローブの位置制御画面ではプローブの相対位置、絶対位置設定、移動速度設定、原点復帰、停止などを行う事ができる。ガウスメータ制御画面では、レンジの設定や温度補償の ON/OFF の他、現在位置での磁場測定ができる(図 4)。また、磁場測定データをグラフ化する事もできる。このグラフは Main 画面で表示されるグラフとは異なり、同じプローブ位置でのサンプリング周期に対する磁束密度をプロットする。

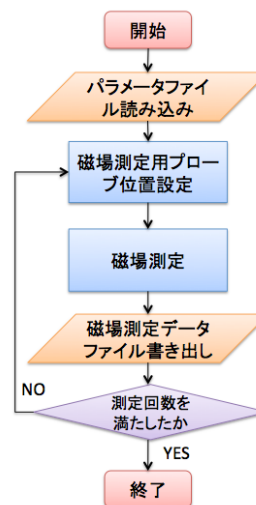


Figure 2: Flow figure for magnetic field measurement software.

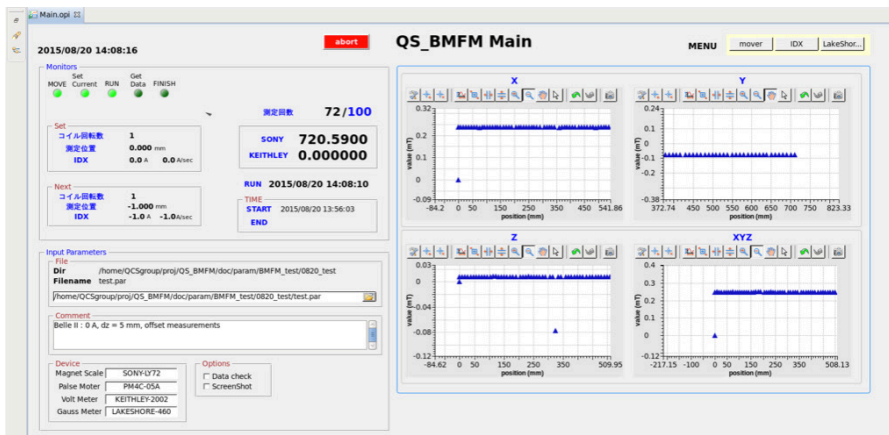


Figure 3: Main panel for a magnetic field measurement.

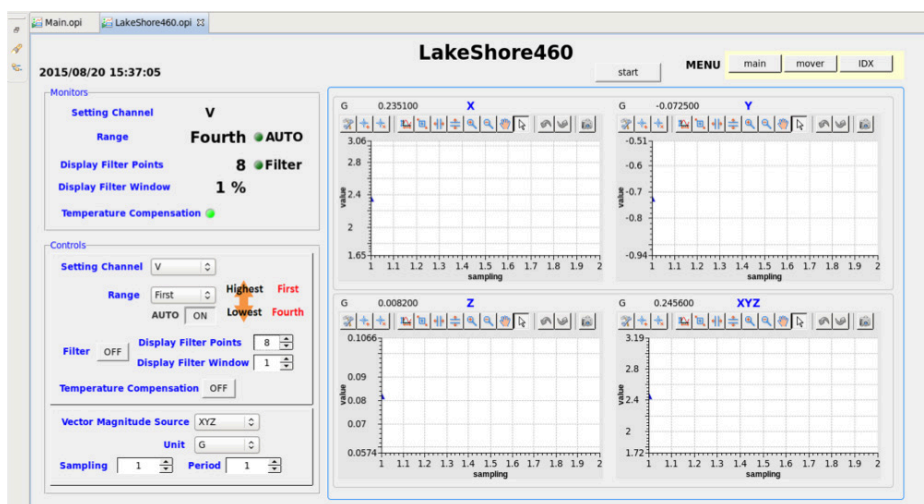


Figure 4: Control panel of Gauss meter for a magnetic field measurement.

3. 動作実績

3.1 動作環境

表 1 に本ソフトウェアの動作環境を示す。OS は CentOS6.5 を採用し、そこに EPICS と CSS を構築した。CSS は KEK で配信されているバージョン 3.1.2 を採用した。

Table 1: Operating Environment

OS	CentOS6.5(Final) 64bit
CPU	Intel(R) Core(TM) i7 - 3615QM CPU @ 2.3GHz
Memory	8GB
EPICS	3.14.12.3
CSS	3.1.2 (KEK 版)
Java	OpenJDK Runtime Enviroment 1.7.0_45

3.2 磁場測定試験

2015 年 9 月に実施した KEK の筑波実験棟での Belle-II 検出器ソレノイドの磁場測定に、このソフトウェアを用いた。磁場測定プローブとして 3 軸のホールプローブ (Lakeshore:MMZ-2502-UH)、その読出しに Lakeshore のガウスメータ Model 460 を使用した。

1 点あたりの磁場測定時間は 14 秒で磁場測定データの収集を行うことができた。このときの磁場測定データ結果の一部を示す(図 5)。1 列目、2 列目はそれぞれ日付と時刻、3 列目はプローブ位置、4、5、6、7 列目はそれぞれホールプローブで測定された B_x 、 B_y 、 B_z 、 $|B|$ である。その他、大きな問題ではないが制御しているサーボモータの校正誤差により磁場測定プローブ移動位置に、3400 mm 当たり、+3mm 程度のズレが生じてしまう現象がみられた。

2016 年 7 月にも本ソフトウェアを用い同じ Belle-II 検出器ソレノイドの磁場測定を行なった。

```
time, position, sampling, x, y, z, v
2015/09/19 14:52:38, 2982.5900, 1, -25.265000, -0.768900, -1498.700000, 1498.800000
2015/09/19 14:52:52, 3002.6400, 1, -25.294000, -0.792500, -1498.700000, 1498.900000
2015/09/19 14:53:06, 3022.6900, 1, -25.249000, -0.801900, -1498.700000, 1498.900000
2015/09/19 14:53:20, 3042.6900, 1, -25.245000, -0.762100, -1498.700000, 1498.900000
2015/09/19 14:53:35, 3062.6800, 1, -25.160000, -0.727100, -1498.700000, 1498.900000
2015/09/19 14:53:49, 3082.7600, 1, -25.131000, -0.572600, -1498.700000, 1498.900000
2015/09/19 14:54:03, 3102.7300, 1, -25.095000, -0.515800, -1498.700000, 1498.800000
2015/09/19 14:54:17, 3122.7500, 1, -25.024000, -0.422900, -1498.600000, 1498.800000
2015/09/19 14:54:31, 3142.7400, 1, -24.978000, -0.330100, -1498.600000, 1498.800000
2015/09/19 14:54:45, 3162.8100, 1, -25.038000, -0.256400, -1498.500000, 1498.800000
2015/09/19 14:54:59, 3182.8000, 1, -24.996000, -0.196100, -1498.500000, 1498.700000
2015/09/19 14:55:13, 3202.8700, 1, -24.951000, -0.122500, -1498.400000, 1498.700000
2015/09/19 14:55:27, 3222.8600, 1, -24.908000, -0.064100, -1498.500000, 1498.700000
2015/09/19 14:55:41, 3242.8700, 1, -24.905000, -0.24906000, -1498.300000, 1498.600000
2015/09/19 14:55:55, 3262.8900, 1, -24.850000, 0.094200, -1498.300000, 1498.500000
2015/09/19 14:56:10, 3282.9300, 1, -24.826000, 0.181300, -1498.200000, 1498.400000
2015/09/19 14:56:23, 3302.9200, 1, -24.790000, 0.283900, -24783.000000, 1498.300000
2015/09/19 14:56:38, 3322.9500, 1, -24.767000, 0.293400, -1497.900000, 1498.200000
2015/09/19 14:56:51, 3342.9200, 1, -24.739000, 0.385000, -1497.900000, 1498.100000
2015/09/19 14:57:06, 3362.9900, 1, -24.722000, 0.459300, -1497.800000, 1498.000000
2015/09/19 14:57:20, 3383.0500, 1, -24.731000, 0.484500, -1497.600000, 1497.800000
2015/09/19 14:57:34, 3403.0300, 1, -24.684000, 0.513900, -1497.500000, 1497.700000
```

Figure 5: Magnetic field measured data log in September, 2015.

4. まとめ

SuperKEKB 最終集束系超伝導磁石システムビームライン磁場測定制御ソフトウェアを、EPICS 及び CSS を用いて開発した。今後の展望として、ハーモニックコイルを用いた多極磁場測定をするための積分器の制御を本ソフトウェアに組み込むことで最終的な完成とする予定である。

参考文献

- [1] N.Ohuchi *et al.*, "Construction Status of SuperKEKB", Proc. of IPAC14, pp. 1877-1879 (2014); <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/IPAC2014/papers/weoca01.pdf>
- [2] N. Ohuchi *et al.*, in Proc. of NA-PAC'13, Pasadena, CA USA, Jun. 2013, p. 759.
- [3] EPICS, <http://www.aps.anl.gov/epics/>
- [4] ControlSystemStudio, <http://cs-studio.sourceforge.net/>
- [5] asynDriver, <http://www.aps.anl.gov/epics/modules/soft/asyn/>
- [6] EPICS Sequenser, <http://www-csr.bessy.de/control/SoftDis/sequencer/>