

あいち SR における加速器運転データベースの構築と現状 CONSTRUCTION AND PRESENT STATUS OF THE DATABASE SYSTEM FOR AICHI SR ACCELERATORS

山本尚人 ^{*A)}、高野琢 ^{A)}、真野篤志 ^{A)}、保坂将人 ^{*A)}、高嶋圭史 ^{A)}、加藤政博 ^{B)}
 N. Yamamoto ^{*A)}, T. Takano ^{A)}, A. Mano ^{A)}, M. Hosaka ^{A)}, Y. Takashima ^{A)}, M. Katoh ^{B)}
^{A)}NUSR, Nagoya University
^{B)}UVSOR, Institute for Molecular Science

Abstract

A database system to record accelerator statuses and beam profiles have been constructed and introduced to Aichi SR. The database system was based on the MySQL software and a connection tool between MySQL and EPICS was also developed by using the C Language. At Aichi SR, more than 3,000 EPICS records are monitored and recorded to the database system. The total amount of the recorded data for one day is approximately 2,600 Millions. Because the database system was operated as a relational database, it is easy to handle the recorded data by using the SQL programming language and it is very useful for a quick identification of the abnormal events for stored beams and accelerators.

1. はじめに

あいちシンクロトロン光センター（あいち SR、旧称：中部シンクロトロン光利用施設）では 2012 年 3 月よりコミショニングを開始し 2013 年 3 月より正式に供用開始を開始した。^[1] 当センターは公益財団法人科学技術交流財団^[2]を運営母体としており、名古屋大学シンクロトロン光研究センターの光源部門は加速器の日常の調整及び運転を担当している。あいち SR では通常火曜日から金曜日の 10:00-18:30 に蓄積電流 300 mA のトップアップモードにおいて営業運転を行っており、営業日前日（通常月曜日）にはマシンスタディを行っている。

あいち SR の光源加速器は 100 keV の直流型熱電子銃、50 MeV ライナック、1.2 GeV のフルエネルギーブースターシンクロトロン、超伝導偏向電磁石を用いた蓄積リングから構成される。^[3] あいち SR の制御システムは EPICS(Experimental Physics and Industrial Control System)^[4]を用いて構築されており、全ての機器はローカルに配置された数台の PLC (Programable Logic Controller) と制御用ワークステーション内に設置された SNLサーバ (State Notation Language server) においてシークエンシャルに運用されている。

あいち SR のような小規模な施設の限られた人員において、光源加速器を日々安定にまた長期的に運用していくためには、各機器の状態を常時監視し、異常状態を迅速に検出するための履歴情報システムが不可欠である。あいち SR ではこの目的のためリレーショナルデータベース管理システム (RDBMS:Relational Database Management System) を基盤とした加速器運転データベースを構築した。本データベースシステムは光源加速器コミショニングに合わせ運用を開始され、加速器コミショニング中においては当初予定した機器監視以外にも機器制御システムや運転シーケンスの不具合検出にも大いに役立った。

本論文においてはあいち SR に構築されたデータベースシステムについて紹介する。

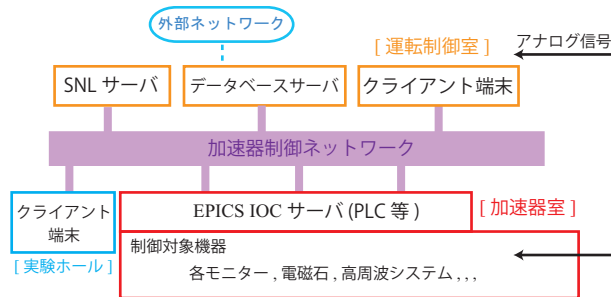


Figure 1: 制御システムの概念図

2. 光源加速器制御システムの構成

2.1 制御システムの概要

あいち SR における加速器制御システムの概念図を図.1 に示す。光源加速器の制御システムは Linux 計算機 (Toshiba Magnia Lite42S, CentOS 4.8 32bit) 一台をサーバ兼クライアント機とし、さらに Linux 計算機と Window 計算機 (Toshiba Magnia Lite42S, Windows7 Pro 32 bit) 各二台がクライアント機として制御室に配置されている。各加速器機器は 10 台の PLC (横河電機 F3BU09-ON) により制御されている。各 PLC には Linux 対応 CPU と FL-net モジュールが増設されており、Linux 対応 CPU モジュールに構築された EPICS IOC(Input/Output Controller) を介して FL-net 配下の加速器機器制御を行っている。その他、ビーム位置検出器の信号は CosyLab の microIOC と試験的に導入された Instrument Technology の Libera シリーズによって EPICS レコードとして取得している。また、加速器運転データベースは制御室内に配置された Mac OS X server (Apple Mac mini) と外付けのハードディスクドライブを用いて構築されている。

加速器の運転は制御室に配置されたクライアント機を用いてほとんどが EPICS を介して行われる。EPICS 通信を介さない加速器制御機器としては、マスターオシレータ (Candox 特注) とタイミング制御用のデジタルディレイ (SRS DG645) とブースターシンクロトロン用のパターンメモリ (Wiztec WD1076) が挙げられる。こ

* naoto@nagoya-u.jp

これらの機器制御は特定の EPICS レコードと結びつけられた上で SNL サーバの動作に組み込まれており、加速器制御シーケンスの一部としてネットワークを介して行われている。このため制御室と加速器室の間にはネットワーク配線を除くとビーム計測用の一部アナログ信号線のみが配線されている。

2.2 ネットワーク構成

加速器制御ネットワークは LAN (Local Area Network) 内に構築されており、制御室と加速器室は光ファイバケーブルを用いて接続されている。加速器制御ネットワークは基本的に外部ネットワークと隔離された構造となっているが、一部ルータを介して外部と接続されており、この部分を通してビームラインネットワークなどに加速器状況 (蓄積電流など) を配信している。

3. システム構成と構築

3.1 データベース設計

加速器運転データベースは制御用の LAN 内にサーバを構築し、EPICS を介して得られた履歴情報を逐次登録する方式とした。データベースソフトウェアは MySQL (現在は MariaDB を使用) を採用した。リレーショナルデータベースは各データを表に似た構造で管理し、複数のデータをリレーションと呼ばれる構造で相互連結可能としていることが特徴である。このため、運用においては必要に応じて複数の関係を連結させて各データを検索する事が可能となる。EPICS には Channel Archiver を始めとする専用のデータ蓄積ツールが存在するが、蓄積されたデータを扱う際には EPICS と専用ツールに特化した知識が必要とされる。これに対し MySQL などの RDBMS は一般的に広く普及しており書籍などから容易に情報を得ることが可能であり、特に SQL と呼ばれるデータベース言語を用いて簡単にデータを扱うことができる。これらの理由からあいち SR においては RDBMS のうちオープンソースで且つ世界的にも著しく普及している MySQL を採用した。

データベースの構築においてはまず、加速器制御に用いる EPICS レコードをデータベース化 (以降、レコードテーブル) した。EPICS レコードは加速器製作時に予め定義された命名規則により策定されており、各レコード名はユニークでなければならない。実際の加速器の運転においては、このレコードに割り当てられた値を任意に書き換えることにより装置を制御することとなる。レコードテーブルでは各レコードの名前や型などの基本的なパラメータに加えそのレコードを管理する IOC サーバ名なども参照できるように構築した。

次に任意の瞬間において EPICS レコードの状態を記録するためのデータベース (以降、ヒストリテーブル) を構築した。ヒストリテーブルには EPICS レコード名、値、イベントが発生した時間等がイベント毎に挿入される。時間についてはマイクロ秒単位で記録し、極短時間に連鎖的に発生するイベントにおいても発生順に従って遡れるよう設計した。また、ヒストリテーブルは一日毎に更新し、1 日分のデータは日付毎に別のテーブルに分けて管理することとした。

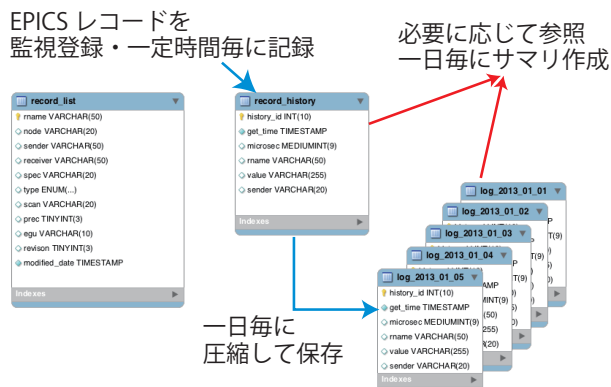


Figure 2: データベースによる加速器情報蓄積の概念図

MySQL はデータベースの構築に当たり幾つかのストレージエンジンを利用できるが、レコードテーブルはトランザクション可能 (データの不整合を防ぐ) な InnoDB エンジンをヒストリデータベースには書き込み性能を重視し MyISAM エンジンを選択した。また、1 日毎に分割されたヒストリテーブルは専用のコマンド (mysampack) により圧縮し読み取り専用として扱うこととした。

3.2 システム実装

あいち SR で運用される全ての加速器機器及び冷却水設備の状態をデータベース管理することを目的としてシステム実装を行った。あいち SR の加速器機器はほとんど全てが EPICS を介して制御・監視されているが、冷却水設備等のユーティリティ設備は専用のシステムにて運用されている。このため、EPICS を介した状態監視システムと冷却水設備のための状態監視システムを別途作製した。

EPICS を介した状態監視システムは、EPICS 及び MySQL に標準で用意されているライブラリを利用し C 言語にて開発・実装した。開発した独自プログラムは、EPICS レコードの値変更を監視し状態変化があった際に即時データベースに書き込むもの、任意に設定した時間間隔でレコード値を取得しデータベースに書き込むものの 2 つである。前者は主にインターロック情報や加速器のシーケンス制御トリガ情報など真偽値が割り当てられた EPICS レコードを、後者は真空度や機器温度など常に変動するような EPICS レコードの監視に用いることを想定した。これらのコードはデータベースサーバ内においてデーモン (バックグラウンドプロセス) として動作するよう実装されており、サーバ起動時や設定変更時には自動で起動するよう設定している。

あいち SR の冷却水設備にはグラフィックレコーダ (CHINO KR3180-S0A) を記録計として採用している。本機はロガー専用機であるため EPICS など高度なソフトウェアを導入することはできないが、イーサネットを介した FTP サーバ機能を有しており、NTP サーバを介した時間同期も可能となっている。このためデータベースへの常時挿入は行わず、一日に一回 FTP を介してデータを取得しそれらをまとめてデータベースに挿入する方式をとっている。

また、データベースに挿入された各データを元に一日に一度、ビーム及び機器状態のサマリをとって各機器の不具合および異常の早期発見に努めている。集計されるデータは、ライナックからの総射出電荷量、各真空系の最大・最小・平均値、冷却水の流量・伝導度、発生したインターロックに関する情報など多岐にわたっている。このようなサマリが容易に作成できることもデータベースシステムに RDBMS を採用したことのメリットである。

4. 運用

4.1 サーバとして運用

データベースシステムの運用は加速器のコミッショニングに先駆け 2012 年の 2 月より開始した。あいち SR の光源加速器において EPICS レコードの総数は 2 万件弱である。ただし、これらのレコードには例えば電磁石電源の電流値をビット値に変換するといった単なる演算のレコードも多数存在する。従って実際の運用においてはこのような重複レコードを除き、常時監視レコード・定期監視レコードに分類し処理を行った。EPICS レコードの命名規則によりこれらは容易に分類できるよう配慮されているため、監視レコードリストの作成と更新は前節で述べたレコードテーブルを SQL 分で検索することで容易に行うことができた。現状における総監視レコード数は約 3,000 件であり、内 2,000 件程度がインターロックに関する項目となる。

実際の運用においてヒストリレコードに記録されるデータ件数は、加速器運転の無い日において約 2,600 万件数、運転日において約 2,500 万件となっている。これは定期監視項目（1 秒及び 10 秒間隔で監視）がデータの 96 % を占めており、残り 4 % が加速器運転操作やインターロック作動によるものであることを示している。一日当たりのデータ容量はデータ本体にて約 1.5GB、読み取り専用として圧縮した後は約 800MB となっている。その他、データベース検索に必要なインデックス等を含めると一日当たりのデータ量は圧縮後で約 1.1GB となり、一年で約 402GB の容量を費やすこととなる。

4.2 クライアントとしての利用

クライアントとしては、単純なシェルスクリプトから幾つかの Office ソフト・LabVIEW(National Instruments) まで、利用者が任意にツールを選びデータベースを利用している。利用目的は、加速器装置の健全性確認以外に、マシンスタディでのデータ参照・ビームライン装置への加速器状態配信、問い合わせ対応・Web を利用した加速器運転状態配信など様々である。

本データベースシステムはあいち SR の日々の運転に欠かせぬものと成っているが、初期の加速器コミッショニングにおいても非常に有効なツールとして働いた。加速器建設当初のコミッショニング中には特定の加速器装置の不具合・制御システムの設計及びコーディングミス・その他インターロックなどにより、意図しない事象が幾度も発生した。事象の発生数が少ない場合、その原因追及は多くの労力を必要とする困難な作業であると言えるが、本データベースシステムでは加速器の操作履

歴、インターロック履歴、真空等の加速器状態がマイクロ秒単位で逐次残されるため、これらを参照することで比較的容易に原因の切り分けをすることが可能であった。また日々の運転では顕在化して気付かなかった事象においても、事象が起こった時点において過去の履歴を参照することで事象発生までの経緯を確認することが可能であったため、これも初期のコミッショニングには有効であった。

5. まとめ

あいち SR では EPICS と MySQL(MariaDB) を用いて加速器運転データベースを構築した。システム構築に当たり用意したのは安価な計算機と大容量（6TB）のハードディスクのみであり、比較的 low コストにシステムを構築することができた。本システムを利用することで、加速器及び施設クーティリティ設備の状態監視と履歴状態の閲覧を容易に行うことが可能となった。日々の加速器運転において、本システムは加速器不調の原因究明、ビームラインへの情報提供などに役立っている。

参考文献

- [1] Naoto Yamamoto, Masahito Hosaka, Kiyoshi Takami, Takumi Takano, Atsushi Mano, Hiroyuki MORIMOTO, Yoshifumi TAKASHIMA, and Masahiro Katoh. Beam commissioning of central japan synchrotron radiation facility. 加速器, 9(4):223–228, 2012.
- [2] <http://www.astf.or.jp/>.
- [3] N. Yamamoto, Y. Takashima, M. Hosaka, H. Morimoto, K. Takami, Y. Hori, S. Sasaki, S. Koda, and M. Katoh. Accelerators of the Central Japan Synchrotron Radiation Facility Project. In *Proceedings of IPAC10*, pages 2567–2569, 2010.
- [4] R. Dalesio, M.R. Kraimer, and A.J. Kozubal. Epics architecture. In *ICALPECS*, volume 91, pages 92–15, 1991.