

PLAN TO DEVELOP OVERALL-CONTROL SYSTEM FOR 3GeV SYNCHROTRON ACCELERATOR

Masato Kawase^{#,A)}, Nobuhiro Kikuzawa^{A)}, Tomohiro Takayanagi^{A)}, Norihiko Kamikubota^{B)}, Noboru Yamamoto^{B)}

^{A)} J-PARC Center/JAEA

2-4 Shirane, Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1195

^{B)} KEK

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

Abstract

J-PARC has been shifting to stable beam operation phase for the experimental facility, and the beam commissioning is going to be needed of 3GeV Synchrotron Accelerator (RCS) after 400MeV upgrade of Linear Accelerator (LINAC). In order to achieve more stable and safety beam commissioning, it is necessary to implement of control and monitor using machine interface for prevention of human error. We plan to develop the ideal application and high performance data acquisition system for the beam commissioning. This report shows problems of this control system and the required performance for overall-control system of RCS.

3GeV シンクロトロン加速器統合制御システム開発プラン

1. はじめに

J-PARC は、実験施設への安定的なビーム供給期に移行している。J-PARC の将来計画の 1 つである線形加速器(LINAC)の 400MeV 増強が、今後計画されており、その対応として、3GeV シンクロトロン加速器 (Rapid Cycling Synchrotron Accelerator: RCS) においても、400MeV 入射対応のビームコミッショニングが予定されている。

RCS 制御システムは、現在までにデータベースを中心とした制御システムの構築、EPICS レコードを含めた様々な制御アプリケーションを構築してきた。今後、安全且つ安定的なビーム供給を実現する為には、J-PARC の稼働当初から設計してきたマシンインターフェースを考慮した効率的な操作・監視の実現や人的ミスを軽減できるソフトウェアの構築を進める必要がある。また、データ信頼性を、より一層向上できるような高性能のデータ収集システムを実現しなくてはならない。制御画面を含めたアプリケーション、データ収集システム、加速器構成機器のアラーム情報、運転パラメータ表示や過去のパラメータの比較など、様々な機能を統合して実装することが必要である。RCS 統合制御システムの実現に向け、これらの問題点や今後の開発環境、制御システムに要求される性能について検討し報告する。

2. 3GeV RCS 制御システムの現状

2.1 マシンインターフェース

RCS では、各機器固有の状態を Stop、Standby、Run などの抽象的な状態 (マシンモデル) で表現し J-PARC LINAC/RCS 制御システム側との情報授受方

法をマシンインターフェースとして実装している。抽象的な状態を定義することで、オペレータは、各機器固有の詳細な動作を理解することなく、全機器に対して決められた方式に沿って状態遷移操作を行うことができる。機器固有の制御は、PLC や VME をローカルコントローラとして使用し、論理制御している。異常検知や異常時の処理における機器固有のシーケンスはローカルコントローラで行われ、機器側で安全を担保できている。機器状態遷移操作が効率的に行えるだけでなく、安全性・安定性の向上にもつながった。図 1 に状態遷移サイクルを示す。機器状態遷移は図 1 のように状態遷移サイクルに沿って遷移させていく。遠隔からの操作に関しては、この状態遷移サイクルに対応したコマンドを発行しその状態遷移を行っている。

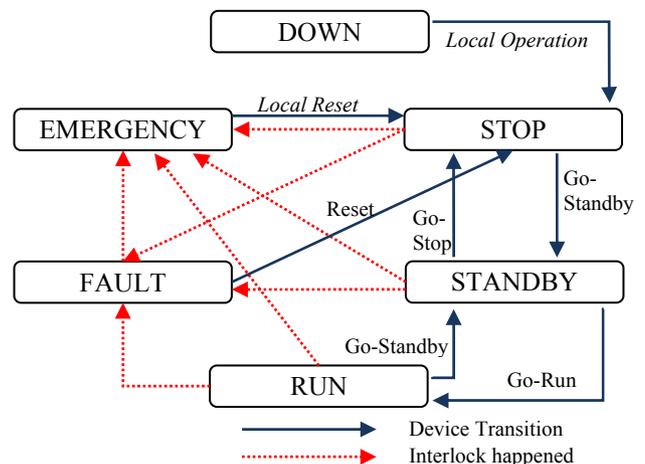


図 1 : Status transition diagram.

[#] kawase.masato@jaea.go.jp

2.2 データベースシステム

RCS 制御システムの中心は、データベースシステム (DB システム)^{[1][2]}である。この DB システムは、EPICS レコードファイル自動生成時に必要なパラメータの蓄積、運転データ収集・蓄積、オペレーションログの蓄積を担っている。

ビームオペレーションで最も重要なデータとして、Beam Position Monitor (BPM) や Beam Loss Monitor (BLM) のデータを挙げることができるが、RCS は 25Hz という高い繰り返しでビーム運転を行う加速器の為、その高速性に対応したデータ収集系にしなければならない。RCS では、Reflective Memory (RM) を利用して高速データ収集を実現している。この RM をリングバッファとして使用することで、25Hz 時の全データ収集と常時モニタが可能となった。蓄積されたデータの DB システムへの書き込みは、ビーム運転とは非同期に LAN 経由で行われ、整理された状態で DB システムに蓄積されている。さらに、これらのデータには、MLF 行きビームなのか MR 行きビームなのか区別しなくてはならないが、ビーム行先に関する情報はタイミングシステムで判別を可能としている。

現在の DB システムはリレーショナルデータベース管理システム (RDBMS) であり、1 つのサーバ内で全ての処理とデータ格納を行っている。このデータ格納は、日付単位でテーブルが構築されることから、テーブル名には機器名及び日付が付与されている。データ格納用テーブルの他、何のデータかを判別できるように index と EPICS レコードとの整合表になるテーブルが存在する。このテーブルから index を抽出し、その index に相当するデータをデータ格納用テーブルから抽出している。

2.3 制御アプリケーション

各機器制御に使用しているアプリケーションは、Java をベースとして設計されたツールで構成される^{[3][4]}。本ツールは、CSV 形式の定義ファイルに使用するツール名やそのオプション情報を記述するのみで制御アプリケーションが構築できるものである。これにより、Look-and-Feel に特化した視認性も考慮された制御アプリケーションが効率的に構築できた。本ツールは、構成機器単体制御アプリケーションだけでなく、RCS の入射部、出射部、加速部の各エリアに対応したグループ制御アプリケーションも構築可能である。下記に各制御アプリケーションについて説明する。

2.3.1 加速器構成機器単体制御アプリケーション

加速器構成機器単体制御アプリケーションは、J-PARC 開発時期の工場試験や機器単体試験時に必要に応じて構築してきたアプリケーションである。マシンモデルを機器制御に実装した為、機器の状態遷移操作や監視が容易になっている。1 つの画面に全ての情報を網羅させるのではなく、ポップアップ式に展開できる為、

ボタン操作で必要に応じた画面を展開することが可能となっている。図 2 に本ツールで構築した荷電変換制御アプリケーションを示す。

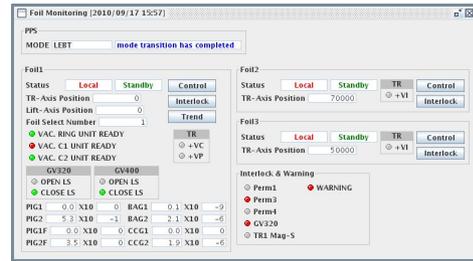


図 2 : Control application for RCS charge exchange system.

2.3.2 グループ制御アプリケーション

グループ制御アプリケーションは、RCS の入射部、出射部、加速部とグループに分別して、そのエリアに設置されている機器を統括的に監視するアプリケーションである。機器の表示は、機器をアイコン化し、その色の変化で状態を表現している。また、機器状態以外のビームオペレーション時に必要になるパラメータもアイコンと紐付けして示している。

このグループアプリケーションは、ランチャー的な役割も担っており、その機器を示すアイコンを押下することで、ポップアップ式に単体アプリケーションが起動する。単体アプリケーションとグループアプリケーションを連動させることで、機器異常時における素早い対応と、早期の原因追求が実現されている。このことから、ビームロスタイムの軽減にもつながっている。図 3 に入射部制御アプリケーションを示す。

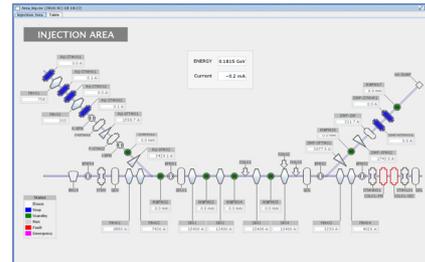


図 3 : Control application for RCS injection area.

2.3.3 MPS 監視アプリケーション

J-PARC には、機器異常が発生した場合にその異常を素早く検知し、ビームロスの発生を防止することによって、他の機器の損傷を未然に防ぐ役割を担う Machine Protection System (MPS)^{[5][6]}がある。これらの情報は、ハードワイヤードで MPS に伝送され、さらに LAN 経由でも情報を伝送している。全ての情報は EPICS レコード化され、各レコードを常時ポーリングし、視覚的に確認できるよう画面^[7]を構築している。図 4 に MPS 用監視アプリケーションを示す。画面情報は、ビームロス量と機器状態である。ビームロス量や機器状態共に色変化で表示している為、その状態を一目で確認することがで

きる。また、ログ機能として、異常を検知した場合、図 4 の制御アプリケーション下部のように時系列に機器名と集約された異常内容が出力される。

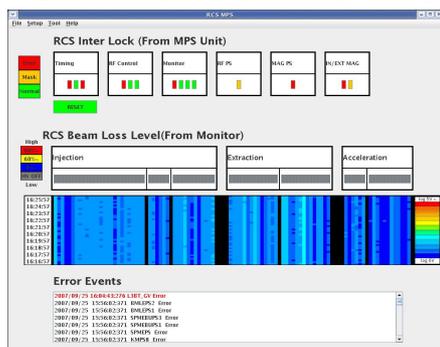


図 4 : Monitor system for MPS.

2.4 Data Browser

RCS では、EPICS レコード化された制御信号データを DB システム内に保存している。そのデータの確認は、Web ブラウザで確認できる。既存の Data Browser は CGI を利用した Web アプリケーションを採用しており、ユーザーに URL を教えるのみで容易に扱える。確認方法は、EPICS レコード名や期間を設定する。

3. 統合制御システムの検討

既存の 3GeV RCS 制御システムについて、マシンインターフェース、DB システム、制御アプリケーション全般、Data Browser について述べてきた。現在までのビームオペレーション上、膨大なビームロスタイムなどが発生しなかったことは、各既存システムが高精度のシステムであるといえる。

今後のビームオペレーションは、LINAC の 400MeV 増強後、ユーザー共用運転に特化したオペレーションに移行する。その為、安定的なユーザー運転が実現できようシステムの見直しが必要である。加速器構成機器のアラーム情報、運転パラメータ表示や過去のパラメータの比較など、様々な機能を実装することで効率的なビームコミッショニングの実現が達成できる。この期間中に、既存システムを見直し、より高精度且つ正確なビームオペレーションが実現できるような制御システムを検討している。

3.1 高速データベースシステム

これからのビームコミッショニング時のデータ信頼性が向上できるような高速性及び高信頼性のデータ収集システムが実装された DB システムが必要である。既存 DB システムは、日付毎にテーブルが分割されている為、日付を跨ぐような検索をした場合、データ処理に時間を要してしまう。BPM や BLM などのデータ収集システムにおいては、1 度の Run で HD 容量が、約 1TB に達する為、Run 終了後に外部ハードディスクにバックアップし、保存している状況である。過去の

データが DB サーバにない為、現在はビーム再現性確認時に過去データから軌道比較などが行えない状況である。検討課題として、大容量のデータが格納できるハードウェアの選定と収集された大容量データを処理する高速性のあるソフトウェアの両面から検討が必要である。過去データの取り扱いも含めて調査及び検討を進めていくことが重要になる。

現在の DB システムでは、その処理速度を向上させる為に、CPU やメモリなどを強化し PC などのハードウェア能力を向上させ、高負荷の処理に対応できるように拡張させていく必要がある。これは、ハードウェアの性能に依存してしまい、性能を向上させたい場合にはハードウェアの更新が必要になってくる。その為、ビーム運転長期停止期間中のみ行える作業となる。システムの可用性を向上される為に、現在検討しているのが、データ処理などを含むシステムの分散化である。様々な処理を複数台の PC に負荷分散させハードウェア性能に依存せずに処理速度を向上させる方法を検討している。処理の分散化を可能にする環境として Hadoop^[8]があり、その調査を進めている^[9]。Hadoop と RDBMS の融合化されたシステムが実現できれば、既存 DB システムよりも高速かつ大容量の DB システムが可能となる。

3.2 制御アプリケーション

既存の制御アプリケーションは、機器毎に構築され、機器に関係している EPICS レコード化された全情報を表示している。その為、機器に熟知した担当者に適したアプリケーションであり、オペレータが使用するアプリケーションとしては適していない。オペレータによる操作及び監視を容易にするためには、

- ・ マシンインターフェースの有効活用
- ・ 必要な情報の整理

この 2 点が含まれていることがオペレータに必要であると考えられる。これらが実現できれば、階層構造的に施設監視や機器監視が行え、通常時に監視する情報源も簡素化することができ、人的ミスが起きにくいアプリケーションが構築できる。オペレータの目線で必要となる情報は、機器状態とアナログデータ等の数種類に整理することができる。機器異常が発生した場合には、必要に応じて詳細な機器状態の把握ができれば十分である。

3.3 アラームシステム

近年の大型加速器では、大画面にログ形式に機器異常が出力されるアラームテーブルを採用している。これは、オペレータだけでなく全ての関係者が、現在の加速器状況確認に対応しているシステムと推測できる。J-PARC では、機器異常監視として MPS 監視アプリケーションを構築したが、ビームオペレーションを行う中央制御室の 1 台の PC で立ち上げている為、全員が異常内容を認識できるようなアプリ

ケーションではない。特にユーザーがこのアプリケーションを起動して常に J-PARC の運転状況を確認することはなく、ビームオペレーションに関わる人達全員に情報提供できるようなシステムが必要となる。また、オペレータは、機器異常が発生した場合、運転 Log に手入力で記録している。より効率的な運転を目指す為には、自動的に運転 Log に日付、機器異常内容が入力されることが望ましい。これらを網羅したアラームシステムを検討している。図 5 に DB システム及び MPS と連携されたアラームシステム構想を示す。

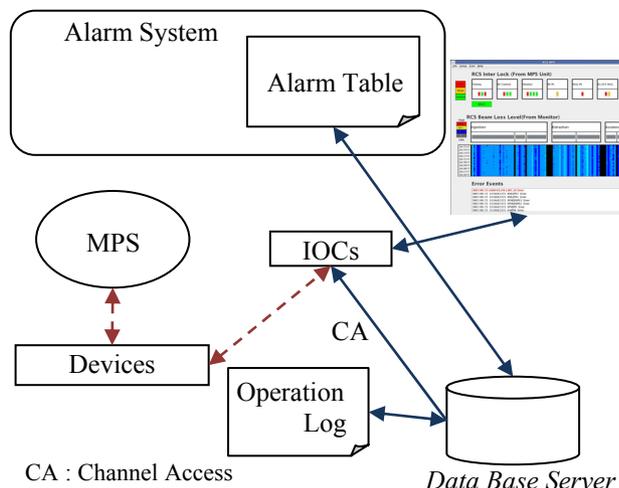


図 5 : Alarm system

3.4 Data Brower

既存の Data Brower は Zoom in/out に対応しておらず、複数のデータを表示する事が出来ない為、データの細かな推移を確認したり比較したり機器異常時の原因追求を行うには機能が不十分である。これらの事に対応する為、Web ブラウザを利用するという基本方針は変えずに、機能の追加、視認性の向上を実現する為、Web ブラウザ上でインタラクティブに操作可能な Data Brower の構築を進めている。図 6 に開発中の Data Brower を示す。

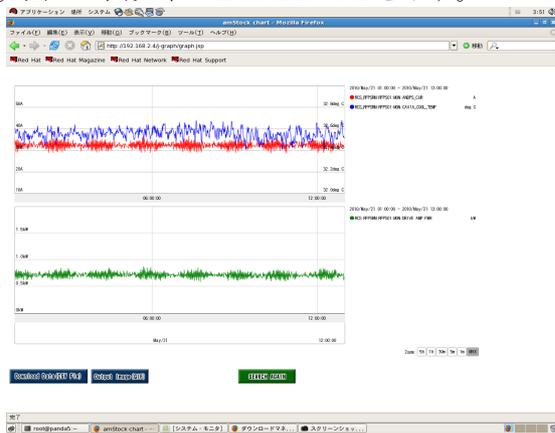


図 6 : Data Brower using Web browser on a personal computer

3.5 パラメータ設定・比較

3GeV RCS は、25Hz 連続運転をする加速器であり、MLF 及び MR へパルス毎にビームを入射している。各々の施設には、異なるパラメータで入射しているが、25Hz に対応した運転パラメータの切替えは現制御システムで可能である。これは、タイミングシステムと制御システムが同調して動作していることの証である。しかし、現在のパラメータと過去のパラメータを比較するシステムがなく、ビーム再現性確認などに多くの時間を要してしまう。

パラメータ比較及び設定は、DB システムから各種パラメータを確認することで対応できる。しかし、パラメータ保存方法が Run 単位での保存ではない。EPICS レコード単位で周期的に保存している為、この保存方法でパラメータ比較や設定する場合には、外部ソフトウェアで様々な処理を行うことになる。全機器に対して一括操作でパラメータ設定を行う、あるいは全機器に対して前回 Run 時とのパラメータ比較を行う為の処理を瞬時に行う為には、パラメータ保存方法を検討する必要がある。パラメータ保存は、Run 毎に構築されるテーブル内に必要なパラメータを全て保存する方法をとる。また、バイナリ形式を採用し、他のデータ保存時の形式に合わせること、複雑な SQL 文を記述することなく、テーブルからデータを抽出することができる。

現在、パラメータ設定は、各機器担当者が設定し、ビームオペレーションに対応している。このパラメータの比較及び設定を効率的に行えるシステムを構築することが、今後のビームオペレーションには必要不可欠な制御システムの機能の 1 つとなる。

4. まとめと今後の予定

J-PARC RCS 用に開発された制御システムの現状、および今後の統合制御システムに求められる機能について述べた。ビーム供用運転が本格化する中で、人的な操作ミスや機器異常の見逃しのない制御システムが求められている。

SNS で開発が進められている CSS (Control System Studio) [10] の評価・検討を行っている。これは、加速器構成機器制御アプリケーションツール、Data Brower と加速器制御に必要なと思われる全てのツールが統合開発環境として実装されているものである。J-PARC RCS ビームオペレーションがより効率的に行えるよう、CSS を含め統合制御システムの設計及び構築を進めていく予定である

参考文献

- [1] H.Takahashi, et al., “3GeV RCS 制御システムの概要 (2)”, Proceedings of the 2nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 30th Linear Accelerator Meeting in Japan, Saga, Jul. 20-22, 2005
- [2] S.Fukuta, et al., “J-PARC RCS 制御システムにおけるデータベース開発 (1)”, Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the

- 32th Linear Accelerator Meeting in Japan, Wako, Aug. 1-3, 2007
- [3] S.Sawa, et al., “J-PARC RCS 制御システムにおける機器制御ツール開発（1）”, Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 32th Linear Accelerator Meeting in Japan, Wako, Aug. 1-3, 2007
- [4] M.Kawase, et al., “J-PARC RCS 制御システムにおける機器制御ツール開発（2）”, Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 32th Linear Accelerator Meeting in Japan, Wako, Aug. 1-3, 2007
- [5] H.Sakaki, et al., “J-PARC リニアックの運転・管理用インターロックシステムの構築”, Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 31th Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, Aug. 2-4, 2006
- [6] T.Suzuki, et al., “J-PARC LINAC/RCS における MPS サブシステムの開発”, Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 33th Linear Accelerator Meeting in Japan, Higashihiroshima, Aug. 6-8, 2008
- [7] T.Ishiyama, et al., “J-PARC リニアックの MPS の制御画面構築”, Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 31th Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, Aug. 2-4, 2006
- [8] <http://hadoop.apache.org/>
- [9] A.Yoshii, et al., “J-PARC 運転データアーカイブにおける Hadoop 適用の検討”, this meeting
- [10] <http://ics-web.sns.ornl.gov/css/index.html>