

## OVERVIEW OF THE CONTROL SYSTEM FOR THE IFMIF/EVEDA ACCELERATOR

Hiroki Takahashi<sup>1, A)</sup>, Toshiyuki Kojima<sup>A)</sup>, Hironao Sakaki<sup>B)</sup>, Sunao Maebara<sup>C)</sup>

<sup>A), B), C)</sup> Japan Atomic Energy Agency, IFMIF Development Group,

<sup>A)</sup> 2-166 Obuchi Omotedate, Rokkasho-mura, Kamikita-gun, Aomori, 039-3212

<sup>B)</sup> 8-1-7 Umemidai, Kizugawa city, Kyoto, 619-0215

<sup>C)</sup> 2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1195,

### Abstract

The accelerator for Engineering Validation and Engineering Design Activity (EVEDA) of International Fusion Materials Irradiation Facility (IFMIF) will produce 9MeV/125mA CW beam. The IFMIF/EVEDA accelerator consists of Injector, RFQ, the first section of SC HWR Linac, etc.

The control system for the IFMIF/EVEDA accelerator consists of Personnel Protection System (PPS), Machine Protection System (MPS), Central Control System (CCS), Local Area Network (LAN), Timing System (TS) and Local Control System (LCS). The PPS, MPS, CCS, LAN and TS have been developed by JAEA, and the LCS has been charged by EU. For these JAEA tasks, the design scenario taking into account of radio-activation, the development status and the development schedule for each accelerator components (Injector, RFQ, SC HWR linac, RF system, etc.) are presented in details.

## IFMIF/EVEDA加速器制御系の概要

### 1. はじめに

国際核融合材料照射施設 (IFMIF : International Fusion Material Irradiation Facility) に関する工学実証及び工学設計活動 (EVEDA : Engineering Validation and Engineering Design Activity) 加速器は、9MeV/125mA の CW  $D^+$  ビームを生成する。IFMIF/EVEDA加速器は、入射器、RFQ、初段の超伝導リナック等のサブシステムで構成され、本活動における日本の実施機関であるJAEAは、建屋、制御系、RFQカプラ等の設計、製作、試験を主体となり実施する<sup>1)</sup>。

IFMIF/EVEDA加速器は、上述の通り、大電流であり、加速粒子が $D^+$ であることから、ビームロスによる放射化、熱衝撃が大きな課題である。これらの課題を十分考慮した制御系の検討・設計、及び、制御系サブシステムの開発を進めている。

### 2. 設計方針

IFMIF/EVEDA加速器制御系には、放射化などを考慮して、(1)人員の余分な被曝防止、(2)ビームロス量を最小にするための高速ビーム停止、の安全機能が必須である。また、効率的な実証試験の遂行のために、(3)制御室からの全体遠隔監視操作、(4)重要運転データの確実な収集、(5)ビームコミッションに必要な様々な運転を実現する監視操作機能も要求される。

これらの機能の実現において、機器の誤作動などによる放射化を避けるために、制御系として高

い信頼性が必須である。そこで、システム及びハードウェアの初期不良と開発リスクを低減させ、高い信頼性を実現するために、既に運用実績のあるシステム、ハードウェアを採用し、それをIFMIF/EVEDA加速器用にカスタマイズして制御系を構築する設計方針とした。

一方、IFMIF/EVEDA加速器は日本とEUの各加速器サブシステムを統合して制御する必要があるため、制御系と加速器サブシステム間のデータ送受信のインターフェースを規格化することが重要となる。そのツールとして、日本、EUなど世界各国の加速器制御で広く使用されているExperimental Physics and Industrial Control System (EPICS)を用いることとした。

以上のことから、IFMIF/EVEDA加速器同様の大強度加速器であり、EPICSを用いて制御系が構築されているJ-PARCのシステム、ハードウェアをベースとして制御系の設計・開発を進めることとした。

### 3. システム構成

IFMIF/EVEDA加速器制御系は、安全機能部分のPersonnel Protection System (PPS)、Machine Protection System (MPS)と、監視操作機能部分のCentral Control System (CCS)、Local Area Network (LAN)、Timing System (TS)、Local Control System (LCS)の6サブシステム構成とした(図1)。このうち、PPS、MPS、CCS、LAN、TSは日本担当タスク、LCSはEU担当タスクである。

IFMIF/EVEDA制御系を構成する主なハードウェア、ソフトウェアは、EPICSドライバ等の開発作業

<sup>1)</sup> takahashi.hiroki@jaea.go.jp

の効率化、運転管理等のメンテナンス性を考慮し、日本とEUで統一化を行った(表1)。

表1 主なハードウェア、ソフトウェア

Hardware	PLC	SIMENS S7 300
	VME CPU	Emerson MVME5500
Software	開発環境、VME IOC	WindRiver 3.5 (VxWorks 6.6 and Workbench 3.0)
	Linux (IOC, OPI)	Red Hat RHEL 5.2
	EPICS	EPICS Base R3.14.10

また、EUが主体となって設計・製作を進めている加速器サブシステムの制御器に使用されるVMEとProgrammable Logic Controller (PLC) についても、同一機器での統一化を進めている。

### 3.1 PPS

PPSの主な目的は、運転員などの人員の安全確保である。特に人員の余分な被曝防止のため、加速器運転中、及び、運転後の放射線レベルが高い期間について、人員の加速器室入域を禁止する。また、IFMIF/EVEDA加速器では超伝導DTL(SC-DTL)を使用することから、メンテナンス時には、SC-DTLの冷媒である液化ヘリウム漏洩を想定し、空調停止時の入域禁止、及び、警報等により加速器室からの退域を促すなどの一般安全確保も十分考慮する必要がある。

PPSのハードウェアは高い信頼性を確保するためにJ-PARCと同様の2重化構成とする(図2)。しかし、PPSのロジックについては、IFMIF/EVEDA加速器では、ビーム試験後、加速器室の放射線レベルが下がるまで長時間にわたり入域禁止の保持が想定されるため、ビーム試験後のNo Access状態を考慮した検討を進めている<sup>[2]</sup>。

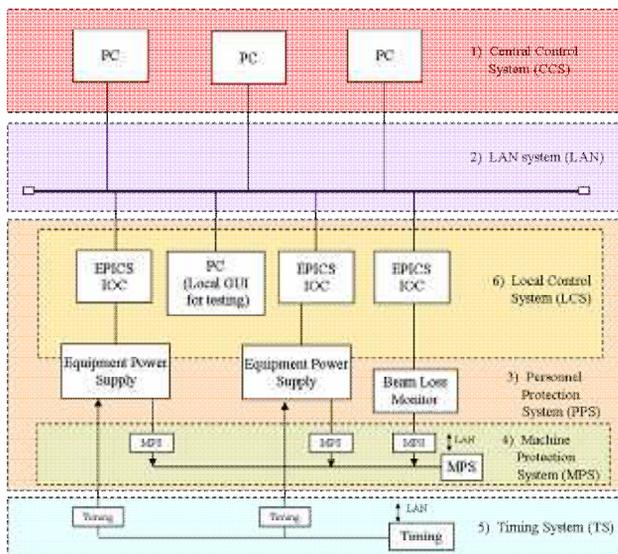


図1 制御系の構成

### 3.2 MPS

MPSはビームロス量を最小にするために高速ビーム停止を実現する。MPSがビーム停止するための信号伝達目標(MPSが加速器サブシステムからInterlock信号を受信してから、Injectorにビーム停止信号を出力するまでの)時間は、10 μ sec以下である。また、Injectorはビーム停止信号を受信してから約10 μ secでビーム停止する設計である。よって、異常検知した加速器サブシステムの信号伝達時間が約10 μ secとすれば、IFMIF/EVEDA加速器では異常検知後約30 μ sec以下でのビーム停止が実現できるものと考えている。

一方、J-PARC LinacのMPSでは、MPSモジュールにInterlock信号が入力されてから約5 μ secでの高速ビーム停止と、誤動作がほぼ発生しない高い信頼性を実現している<sup>[3]</sup>。この実績から、IFMIF/EVEDA制御系のMPS基幹部構築に、J-PARCのMPSモジュールを使用する予定である。そして、このモジュールをベースとして、MPSと加速器サブシステム間のインターフェースの調整、ビーム停止手順検討を行い、ビーム停止ロジック、及び、ビーム運転再開ロジックを実現するMPS Subsystemを設計・製作し、ビーム停止時間の短縮と効率的なビーム運転再開を実現するMPSを構築する。

### 3.3 TS

IFMIF/EVEDA加速器はCW運転を行うが、機器調整初期においてはパルス運転によりエージング等の調整を行う。また、ビームロスによる放射化を最小限に抑えたビームコミショニングを行うために、コミショニング初期においてはパルスビームを用いることが予定されている。短いビーム幅のパルス運転から始め、徐々にビーム幅を広げ、繰り返しを早め、最終的にはCW運転と運転パターンを変化させることとなる。IFMIF/EVEDA加速器において、想定される運転パターンを表2に示

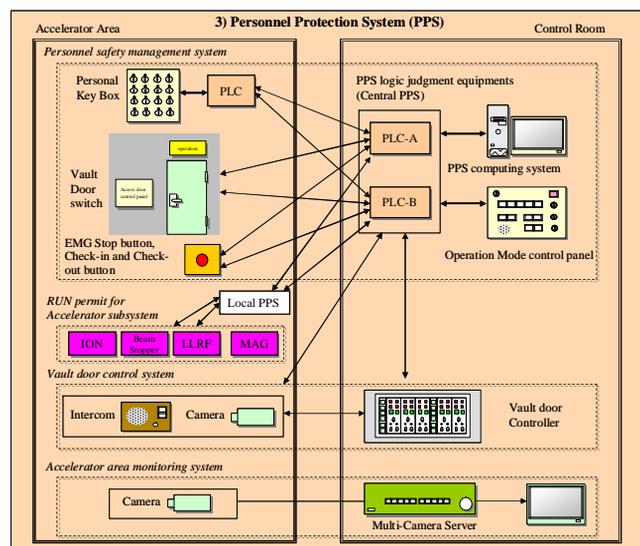


図2 PPSの概要

す。これらの運転パターンを実現するために、パルス運転とCW運転の両方を効率的に実現する機能を有するTSを構築する。

表2 運転パターン

繰り返し	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1Hz ~ 0.1Hz</li> <li>・ シングルショット (1ビームパルス出力)</li> <li>・ CW</li> </ul>
ビーム幅 (ゲート幅)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 数10 <math>\mu</math> sec</li> <li>・ 数msec ~ 数10msec</li> <li>・ 数秒</li> <li>・ CW</li> </ul>

J-PARCのTSはパルス運転において「繰り返し：シングルショット、25Hz ~ 約0.1Hz」「ビーム幅：1.2  $\mu$  sec ~ 約170msec」を実現する機能を有する。この機能を有効に活用することにより、施設の放射化を最低限に抑えたコミッショニングが実現できると考えられる。よって、この機能を拡張することによりIFMIF/EVEDA加速器用TSを構築することとした。現在、J-PARC TSの受信モジュールをベースに、基準クロックの最大カウント数を増加させ約1秒のゲート出力が可能とし、さらにレイ値の設定テーブル (LUT: Look Up Table) の制御エリアを拡張して1秒~CWのビーム幅に対応するゲート出力も可能とする受信モジュールの開発を進めている。

### 3.4 CCS、LAN

CCSはOperation Interface (OPI)、データ収集サーバなどで構成され、EPICSを介して加速器サブシステム、及び、加速器全体の監視操作を制御室より行う。画面構成は、全体画面、グループ画面、機器単体画面の3層構造をベースに検討を進めている。各画面の詳細については、加速器サブシステム開発の進捗に合わせて検討を進める予定である。

LANはEPICSをベースとした制御系において、制御系と加速器サブシステム間のデータ送受信を実現する非常に重要なハードウェアであり、このトラブルは機器の監視操作を不能とする。また、IFMIF/EVEDA加速器のビームコミッショニング時データは、IFMIFの設計を進める上で非常に重要であることから、欠落なくデータ収集されることが要求される。よって、IFMIF/EVEDA加速器の運転データ収集がLANの不具合に欠落することは問題である。以上より、LANの経路については冗長化し、主系に接続断のような重大なトラブルの発生した場合に、従系がバックアップとして動作し、ネットワークとしては切断しないようにする。また、機器の監視等で使用されるネットワークカメラのデータのような大きなサイズのデータ転送が制御データに影響を及ぼさないようにするため、制御系とネットワークカメラ (映像) 系は、物理的に別系統とする。

## 4. 開発状況

加速器サブシステムのうちInjectorの設計・製作スケジュールが最も早いため、制御系はInjectorのスケジュールに対応して開発を進める必要がある。Injectorは、2010年1月よりEUでの動作試験を開始する。この試験においては、制御系と接続しての試験も予定されている。さらにEUでの試験が完了した後、2012年秋より日本で試験が開始される予定となっている。

以上より、許認可スケジュールに合わせて、PPSについては本年度、ロジックの設計を行う。現在、ビーム停止後の加速器室入域禁止状態などのPPSの状態遷移の検討、加速器室の気体閉じ込めを確保するための空調設備との取り合い調整、放射線管理設備との取り合い調整などを行っている。

MPS、TSについては、2010年1月から始められるEUでの動作試験に対応するため、MPS監視操作PLCシーケンスの製作、SIMENS S7 PLC用EPICSドライバの開発、TS試作モジュールの開発とTS用EPICSドライバの開発などを2009年中に実施する。TS試作モジュールについては、機能拡張部分の動作試験、長時間動作試験などを行っている。MPS、TSについては、Injectorとの動作試験の結果により、必要に応じて改良を行いIFMIF/EVEDA加速器に適したシステムとする。

## 5. まとめ

IFMIF/EVEDA制御系の概要として、放射化を考慮した設計方針、6サブシステムからなるシステム構成、日本タスクのサブシステムの概要と開発状況を述べた。今後、加速器サブシステムで最もスケジュールが早く進んでいるInjectorに合わせて制御系サブシステムの開発を進め、EU及び日本での制御系試験を実施し、その結果よりIFMIF/EVEDA加速器に適した制御系を構築する。

## 参考文献

- [1] K.Shinto et al., "Progress of the Accelerator in Broader Approach IFMIF/EVEDA Project", Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Hiroshima, Japan, August 2008
- [2] T.Kojima, et al., "Design Policy of the Personnel Protection System for the IFMIF/EVEDA Accelerator" Proceedings of the 6th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tokai, Japan, August 2009
- [3] T.Suzuki, et al., "Development of J-PARC LINAC/RCS MPS Sub System", Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Hiroshima, Japan, August 2008