

Development of Control system for J-PARC LINAC ACS section

Yuki Sawabe^{1,A)}, Takahiro Suzuki^{B)}, Tatsuya Ishiyama^{B)}, Shinpei Fukuta^{B)}, Nobuhiro Kikuzawa^{B)}

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

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

^{B)} Japan Atomic Energy Agency

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

Abstract

The output energy of the J-PARC proton LINAC will be upgraded from 181 to 400 MeV in the next two years by adding ACS modules. The present status of upgrade of the control system for the ACS section will be presented in this paper.

J-PARC LINAC ACS 部制御系開発

1. はじめに

現在、J-PARC LINAC では 181MeV のエネルギーを持つ負水素イオンビームを RCS(Rapid Cycling Synchrotron)へ出射している。2012 年度には、181MeV の負水素イオンビームを 400MeV まで増強し、RCS へ出射する。その為、LINAC では既設の分離型ドリフトチューブリニアック(Separated Drift Tube Linac:SDTL)の下流に環状構造型リニアック(Annular-ring Coupled Structure:ACS)を増設する。それに伴い制御系の環境整備を進めている。

J-PARC 制御系では EPICS(Experimental Physics and Industrial Control System)を採用し、加速器構成機器の遠隔制御を確立している。ACS 部も EPICS を採用し、遠隔制御を確立する。ACS 部は電磁石群、モニタ群、高周波システム及び真空システムで構成され、高周波システム及び真空システムは PLC、電磁石群は EMB-LAN^[1]及び VME、モニタは VME をフィールドバスとして採用する。J-PARC 制御系では IOC (Input/Output Controller)を介し、これらのフィールドバスと通信を確立し、EPICS 環境下での遠隔制御を実現する^[2]。図 1 に J-PARC LINAC EPICS 制御図を示す。EPICS 環境下では EPICS レコードを使用するため、加速器構成機器の制御信号情報を収集し EPICS レコードを作成しなければならない。J-PARC 制御系では、EPICS レコードを、加速器構成機器の全情報を一元管理している機器データベース(DB)から自動生成し作成する^[3]。

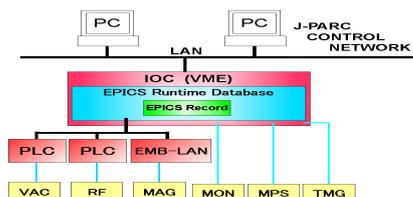


図 1 :J-PARC LINAC EPICS 制御図

本報告では、ACS 構成機器を制御するための EPICS レコード構築、及び ACS 構成機器の制御試験の現状について報告する。

2. ACS 部の構成と制御

LINAC ACS 部では 2 台の ACS 加速空洞をブリッジ空洞で接続し、1 つの ACS モジュールを形成する。今後、400MeV のエネルギーを実現するために、SDTL 部の下流に計 21 台の ACS モジュールを増設する^[4]。各 ACS モジュールは電磁石群、モニタ群、高周波システム、真空システム、タイミングシステム^[5]、MPS^[6]から構成され、加速器構成機器の安全かつ安定した動作が、ビーム運転の安全性・安定性の向上につながる。

ACS 部の制御系は J-PARC 制御系全体との互換性を持たせるため、SDTL 部までの制御系と同様の制御機能を必要とする。加速器構成機器には、それぞれ J-PARC 制御系と通信を確立する為の、フィールドバスを実装している。ACS 部の遠隔制御を実現するためには、これらのフィールドバスとの連携を確実なものとするソフトウェア設計が必要不可欠である。

以下に ACS 部構成機器の基本仕様について説明する。

2.1 電磁石群

ACS モジュール 1 台に設置される電磁石は、四極電磁石、補正電磁石の 2 種類である。表 1 に ACS モジュールに 1 台に設置する電磁石群の台数を示す。

なお、ACS 部に既存に設置されている電磁石群には EMB-LAN、新規増設する電磁石群には VME をフィールドバスとして採用する。

¹ E-mail: z-sawabe@post.j-parc.jp

表 1:ACS モジュール 1 台の電磁石群設置台数

電磁石	設置台数
四極電磁石	2 台
補正電磁石	1 台

2.2 モニタ群

ACS モジュール 1 台に設置されるモニタ群は、電流モニタ(SCT)、ビームロスモニタ(BLM)、位相モニタ(FCT)、ビーム位置モニタ(BPM)、ワイヤスキャナモニタ(WSM)、ビームサイズモニタ(BSM)である^[7]。表 2 に各 ACS モジュールに設置されるモニタ群の台数を示す。

なお、モニタ群には VME をフィールドバスとして採用する。

表 2:各 ACS モジュールのモニタ設置台数

モニタ	ACS01	ACS02~04	ACS05~21
SCT	1 台	1 台	1 台
FCT	2 台	2 台	2 台
BLM	1 台	1 台	1 台
BPM	2 台	2 台	2 台
WSM	1 台	1 台	
BSM	1 台		

2.3 高周波システム

ACS モジュール 1 台に設置される高周波システムはクライストロン、低電力高周波源(Low Level RF:LLRF)の 2 種類である。LINAC SDTL 部までは 324MHz クライストロンが使用されているが、ACS 部からは 972MHz クライストロンを使用する。LLRF については基本仕様の変更はない。表 3 に 1 台の ACS モジュールに設置される高周波システムの設置台数を示す。

なお、クライストロンは 1 台のクライストロン用直流高圧電源で 4 台のクライストロンに電力を供給している。このクライストロン用直流高圧電源のフィールドバスには PLC を採用している。また LLRF も同様に PLC をフィールドバスとして採用しており、PLC 1 台で 4 台の LLRF を制御している。

表 3:ACS モジュール 1 台の高周波システム設置台数

RF システム	設置台数
クライストロン	1 台
LLRF	1 台

2.4 真空システム

ACS 部の真空システムは、スクロールポンプ(SP)、ターボ分子ポンプ(TMP)、イオンポンプ(IP)の 3 種類のポンプで構成する。真空度測定は、コンベクトロンゲージ(CNVCT)、B/A ゲージ(BAG)の 2 種類で行い、ゲートバルブ(PMGV)で空間の遮断を行う。表 4 に 1 台の ACS モジュールに設置される真空機器の台数を示す。

なお、真空システムには PLC をフィールドバスとして採用する。

表 4:ACS モジュール 1 台の真空機器設置台数

機器名	ACS01,04,...	ACS02,05,...	ACS03,06,...
SP	1 台		1 台
TMP	1 台		1 台
IP	3 台	3 台	3 台
CNVCT	2 台	1 台	2 台
BAG	2 台	2 台	2 台
PMGV	2 台		2 台

2.5 タイミングシステム

各 ACS モジュールには、タイミングシステム用のラックが設置されており、各 ACS モジュールの構成機器数によって必要なタイミングシステムを構築するタイミングモジュール数が異なる。タイミングシステムはリフレクトボードを使用したリフレクト環境で伝送され、伝送されたパラメータは受信モジュールで受信される。表 5 に 1 台の ACS モジュールに増設するタイミングモジュールの枚数について示す。

表 5:ACS モジュール 1 台の受信モジュール枚数

タイミングモジュール	設置枚数
CPU ボード	1 枚
リフレクトボード	1 枚
受信モジュール	2 枚

2.6 MPS

機器の緊急停止信号送信には即時性が要求されるため、ノイズの影響を受けにくく、伝達性の良いハードワイヤを使用し、信頼性を向上させている。また、エラーの状況を制御室で把握するために、制御 LAN を通してサーバにエラー状況を伝達している。ACS 部にも各モジュールに MPS 制御用に VME モジュールを用意する。

3. ACS 部制御系開発の現状報告

J-PARC 制御系では、EPICS で制御する機器が膨大になるため、機器 DB によって一元管理し、EPICS レコードの自動生成を行っている。EPICS レコードの生成を行うため、ACS 部構成機器の制御信号情報を収集する必要がある。次に、制御機器信号情報をベースファイルと呼ばれるデータファイルにまとめ、ベースファイルを基に、機器データテーブルを作成する。作成した機器データテーブルから EPICS レコードの自動生成を行う。また、制御試験に向け、ベースファイルを基に medm(EPICS 環境用画面作成ツール)を使用し、制御試験画面を作成する。実機での試験が行えない場合、Stand-Alone な試験環境を端末に構築し、制御試験を行う。制御試験項目は制御試験画面と現場、及びフィールドバス内のデータとの整合性の確認である。2010 年 7 月現在、真空システムの試験が完了し、高周波システムの試験を適宜行っている。真空システム及び高周波システムのフィールドバスは PLC を採用する。だが、今までの PLC 制御とは異なる点がある。

今までの PLC 制御では、PLC アドレス数が固定されていたため、実際に使うアドレス数が固定アドレス数より足りない場合、予備アドレスができてしまった。この場合、固定型で情報授受を行うと、データがない予備アドレスにもアクセスしてしまうため、1 度の通信での最大読み込みワード数を有効活用できない。1 度の通信での最大読み込みワード数の効率化及び使用アドレス数の拡張性、柔軟性を向上させるため、可変型の PLC ドライバを採用する。これにより多重化されたシステムに対して柔軟な対応ができ、1 度の通信に制約がある PLC の情報授受の効率化につながる。可変型の PLC ドライバの試験は、ACS 部の制御試験と合わせて行うことにする。結果が良好であれば可変型の PLC ドライバを J-PARC 制御系で採用する。制御試験に伴い真空システム及び高周波システムのアドレス設計を行い、ベースファイル及び機器データファイルの作成し、EPICS レコードを自動生成した。

以下に、改良した PLC ドライバを使用した真空システム及び高周波システムの制御試験の報告を行う。また PLC 以外のフィールドバスで制御する電磁石群、モニタ群、タイミングシステム、MPS の現状報告をまとめて行う。

3.1 真空システム

2010 年 6 月に ACS04 モジュールと同様の真空系機器構成のテストスタンドを使用し、制御試験を行った。改良した PLC ドライバから制御試験画面と現場との整合性の確認、及び PLC 内部データとの整合性の確認を行い正常に動作することを確認した。

3.2 高周波システム

クライストロン用直流高圧電源の試験は、制御ネットワーク上の IOC、SDTL 部のクライストロンを使用して、改良した PLC ドライバから制御試験画面と現場との整合性の確認、及び PLC 内部データとの整合性を確認する。現在では EPICS のレコードの自動生成が完了し、制御試験を行っている最中である。

また、LLRF の試験はクライストロン用直流高圧電源と同様、制御ネットワーク上の IOC、SDTL 部の LLRF を使用して、改良した PLC ドライバから制御試験画面と現場との整合性の確認、及び PLC 内部データとの整合性を確認する。現在では EPICS のレコードの自動生成が完了し、2010 年 8 月 9 日から制御試験を予定している。

3.3 その他の ACS 部構成機器

電磁石群、モニタ群は信号試験機を使用し、ACS 部増設前に制御試験を行う。現在、電磁石群はベースファイルの作成が完了、モニタ群は制御信号情報を収集作業に当たっている。

タイミングシステムはタイミングモジュールの情報が記載された構成ファイルに ACS 部のタイミングモジュール情報を追加し、その構成ファイルをテ

ストベンチ内で使用し信号同期確認試験を行う。その後、制御ネットワークに構成ファイルを組み込み、信号同期試験を行うことにより、品質・安全性を高めていく。現在では構成ファイルの作成をしている。

MPS は現在使用している MPS 用制御画面^[8]に新たに増設される ACS モジュール分を追加する。2010 年 9 月に MPS 用の VME が設置予定である。MPS 用 VME の設置後、修正した MPS 用制御画面と MPS 用 VME の状態との整合性を確認する試験を行う。現在では MPS 制御画面の修正作業を行っている。

4. まとめと今後の予定

現状の ACS ソフトウェア開発状況として、真空システムの制御試験は終了し、高周波システムの制御試験を進めている。2011 年 3 月までに、各 ACS 部加速器構成機器の制御試験を全て完了させるため、電磁石群、モニタ群、高周波源、タイミングシステム、MPS の試験に向け、作業を進めている。さらに、ACS 構成機器の実機が納入され ACS モジュール接続後、再度制御試験を行い品質・安全性の向上を目指す。

今回報告を行った ACS 部制御系開発作業は 400MeV エネルギー達成に必要不可欠である。ACS 制御系開発作業が LINAC の安定かつ安全な運転を助勢し、400MeV のエネルギー増強の実現、及び今後の粒子研究の発展に関わることを希望している。

参考文献

- [1] Shigenobu Motohashi, et al., "Control application development for J-PARC Injection and Extraction", Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 32nd Linear Accelerator Meeting in Japan, Wako Japan, Aug 1-3, 2007
- [2] 佐藤 政則, "加速器制御入門", 高エネルギー加速器セミナー OHO 2004
- [3] Shinpei Fukuta, et al., "DEVELOPMENT STATUS OF DATABASE FOR J-PARC RCS CONTROL SYSTEM(1)", Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 32nd Linear Accelerator Meeting in Japan, Wako Japan, Aug 1-3, 2007
- [4] H.Ao, et al., "FIRST HIGH-POWER ACS MODULE FOR J-PARC LINAC", Proceedings of LINAC 2006, Knoxville, Tennessee USA
- [5] Fumihiko Tamura, et al., "J-PARC TIMING SYSTEM", Proceedings of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 29th Linear Accelerator Meeting in Japan, Funabashi Japan, Aug 4-6, 2004
- [6] Hironao Sakaki, et al., "Interlock Systems for J-PARC LINAC", Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan And the 31st Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai Japan, Aug 2-4, 2006
- [7] 富澤 哲男, "J-PARC リニアック用ビームモニター", The 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokai Japan Jul 30-31 Aug 1, 2003
- [8] Tatsuya Ishiyama, et al., "Construction of GUI for J-PARC LINAC Machine Protection System", Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 31st Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai Japan, Aug 2-4, 2006