

# RECONSTRUCTIONS OF THE CONTROL SYSTEM FOR THE CHARGE EXCHANGE SYSTEM AT THE 3GeV RCS IN J-PARC

Masato Kawase<sup>#,A)</sup>, Masahiro Yoshimoto<sup>A)</sup>, Osamu Takeda<sup>A)</sup>, Michikazu Kinsho<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> J-PARC Center

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

## Abstract

The charge exchange system at the 3GeV RCS in J-PARC, which operate to change the foil and drive to injection point in vacuum automatically and remotely. This system composed of the 2 kind system, the drive system and the vacuum system. It is necessary to be control system which required stability and safety, and managed the drive system and the vacuum system.

In September 2007, machine trouble that magnetic was caused by the magnetic coupling of the transfer rod decoupling and caught by the gate-valve at operation test before first beam commissioning. This trouble was caused by the magnetic coupling of the transfer rod decoupling and caught by gate-valve. To avoid the machine trouble, we were verified hardware and software to improve this system safety. We will install the new system from beam commissioning in September 2010.

This report describes design of the new control system.

## J-PARC 3GeV RCS荷電変換装置制御システム再構築

### 1. はじめに

J-PARC 3GeV シンクロトロン (Rapid Cycled Synchrotron; RCS) 荷電変換装置 (本装置) は、荷電変換膜の交換や入射位置への移動などの処理を自動・遠隔操作で、かつ真空容器内で行う装置である。

本装置は、駆動システムと真空システムを組み合わせたシステムであり、両システムを一元管理し且安全性及び安定性が担保された総合制御システムが必要となる。

2007年9月の初期ビームコミッショニング開始直前の本装置動作試験で、駆動軸がゲートバルブに挟まれる重大事故が発生した。この原因はリミットスイッチの不足とインターロック機構の不備であることが分かり、ハードウェア及びソフトウェアの両面で制御系全体の見直しが必要となった。

本装置は、真空システムは横河電機製 PLC FA-M3 で、駆動システムは日立造船製 MCU (Multi Control Unit) で制御している。各々のシステムは独立したシーケンスで動作しており、同時に両システムを統括管理する為の Workstation を別途設置しているが、システムの構成上 Workstation の管理アルゴリズムは非常に複雑になる。我々は、リミットスイッチの増強によるハードウェアの改造[1]を行うと同時に、各々のシーケンスを適切に管理し、各システムが同期のあるシーケンスが行えるよう Workstation の管理アルゴリズムを全面的に見直し、PLC と MCU の全情報を管理し、操作性、安全性及び安定性を向上させたソフトウェアを新たに開発した。また、J-PARC 制御マシンモデルに沿った遠隔制御を可能にする為、本装置のマシンモデルについても再検討している。

本報告では、本装置の制御システムの見直しとソフトウェアの再設計について報告する。

### 2. 荷電変換装置

本装置の駆動システムは、3つの荷電変換駆動装置を制御するシステムである。その1つである第1荷電変換装置 (TR1) は、線形加速器 (LINAC) から入射された負水素イオンビームを陽子ビームへと荷電変換させる3つの装置の中で最初に設置されている装置である。TR1は、荷電変換膜の入射位置移動、膜の劣化に伴う膜交換などを真空状態で行える装置である。フォイル格納ラック交換など必要に応じて TR1 真空容器を大気状態にする場合がある。その場合、主リングの真空状態は維持する必要がある為、TR1 真空容器と RCS 主リング間にはゲートバルブ (GV320) を設置し、TR1 真空容器が大気状態になった場合にも主リングの真空状態は保たれる構造となっている。

図1に荷電変換装置内第1荷電変換装置駆動システムと真空システム構成図を示す。

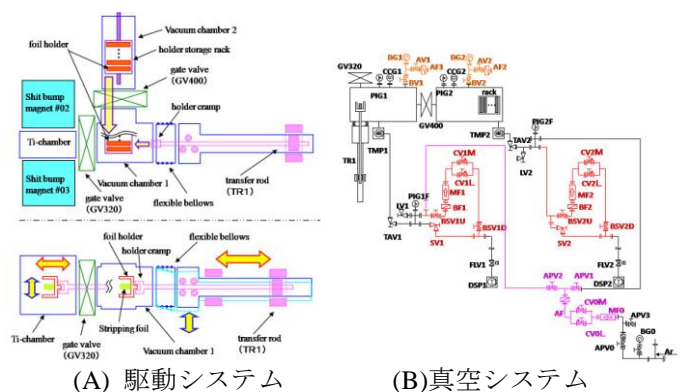


図1: 第1荷電変換駆動システムと真空システム

<sup>#</sup> kawase.masato@jaea.go.jp

### 3. J-PARC マシンモデルへの対応

#### 3.1 J-PARC マシンモデル

J-PARC では、マシンモデル【状態遷移】を導入している。これは、遠隔操作を、現場操作のように細かな手順を踏むことなく機器を起動させることができ、決められたプロセスに沿って機器状態を遷移させる方法である。本装置も、このマシンモデルに合致した状態遷移を行い、他のデバイス同様、統一性のある制御が実現できる。マシンモデル定義を表 2 に示す。

表 2. マシンモデル一覧

Machine model
DOWN
STOP
STANDBY
RUN
FAULT
EMERGENCY

J-PARC 制御システムからの操作は、マシンモデルに適応した状態遷移コマンドで機器操作を行い、コマンドを受信した機器は、コマンドに合ったプロセスを開始する。状態遷移コマンドを表 3 に示す。また状態遷移コマンドを使用し機器状態を遷移させる状態遷移サイクルを図 2 に示す。

表 3. 状態遷移コマンド

Command	Status transition
Go-STOP	[DOWN=>STOP] or [STANDBY=>STOP]
Go-STANDBY	[STOP=>STANDBY] or [RUN=>STANDBY]
Go-RUN	[STANDBY=>RUN]
Reset [via Ethernet]	[FAULT=>STOP]

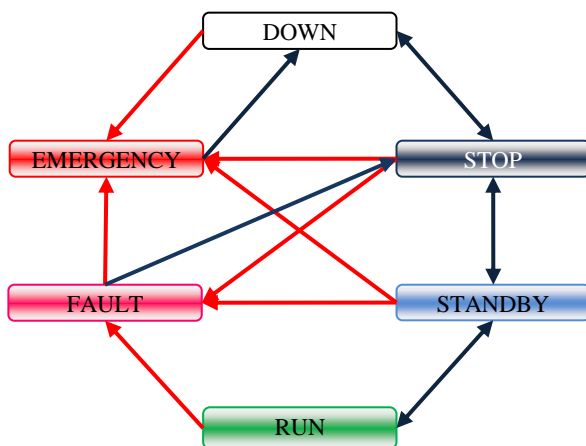


図 2. 荷電変換装置状態遷移サイクル

#### 3.2 荷電変換装置における J-PARC マシンモデル

本装置には複数のシーケンスがあり、これらのシーケンスを安全に遠隔制御できることがビーム運転の効率化及びビーム供給の安定化につながる。本装置のシーケンスをマシンモデルに合致させ、全ての処理が円滑かつ安定に動作させる為には、状態遷移コマンドと装置の機能との組み合わせが重要になる。基準となる本装置のマシンモデルを表 4 に示す。この表 4 から本装置が持つ様々なシーケンスを状態遷移に組み込むようソフトウェア設計を行ってきた。

表 4. 荷電変換装置マシンモデル

STATUS	requirement
DOWN	breaker off; GV320 close; foil not initialize
STOP	foil position origin; foil clamp open; GV320 close
STANDBY	foil position origin; foil clamping; GV320 close
RUN	foil insert; GV320 open
EMERGENCY	heavy trouble

マシンモデルには機器異常を表示する為に FAULT と EMERGENCY を用意している。FAULT の場合、遠隔リセットが行え、EMERGENCY は、現場リセットのみ行える状態としている。機器異常時は、現場でのリセットのみ対応させる為、EMERGENCY に集約した。

#### 3.3 状態遷移サイクル設計

TR1 を構成する軸はクランプ軸、駆動軸、昇降軸と 3 種ある。昇降軸は、リング内での上昇及び下降動作、駆動軸は、主リングへの挿入及び退避動作、クランプ軸は、フォイルの把持及び開放動作を行う。各々の軸が円滑かつ安定に動作できるよう状態遷移サイクル設計を行った。

##### 3.3.1 STOP

STOP の条件は、クランプ軸が開放状態、駆動軸及び昇降軸が原点で停止中としている。クランプ軸に関してはビーム運転中、特に H0 ダンプモードで駆動軸が原点位置かつフォイル把持状態で待機している場合がある。この場合においても、STOP としている。クランプ軸には開閉状態が判断できるようリミットスイッチがあり、遠隔制御でクランプ軸を操作する場合には、このリミットスイッチの状態監視と状態遷移コマンドの組み合わせで安全に遷移させることが可能である。リミットスイッチの状態を STOP から STANDBY または STANDBY から STOP への状態遷移シーケンスの条件に実装することにより、状態遷移コマンドを使用した円滑な処理が実現できる。ただし、フォイル把持も STOP とすることから、フォイルを開放する処理も状態遷移コマンドで行う必要がある。この場合には、STOP での Go-

STOP で対応し、フォイル格納ラックへの収納動作を行う。

### 3.3.2 STANDBY

STANDBY の条件は、クランプ軸がフォイル把持状態で駆動軸及び昇降軸が原点で停止中としている。本状態は、フォイルを主リングへ挿入する準備が整っており、ビーム運転時の待機状態を示す状態と位置付けている。本状態は、フォイル交換やフォイル収納、駆動軸及び昇降軸の移動と複数のシーケンスを行うことのできる状態である。STANDBY からの遷移に対応する状態遷移コマンドは Go-STOP もしくは Go-RUN の 2 種が対応可能となっている。Go-RUN は、駆動軸及び昇降軸目標位置へ駆動シーケンスを開始し、Go-STOP はフォイル収納シーケンスの開始に対応する。ただし、フォイル交換のみ通常のマシンモデルと状態遷移コマンドとの組み合わせでは対応できないという課題がある。フォイル交換には、フォイル交換フラグを構築し、このフラグが ON 及び Go-STANDBY でフォイル交換シーケンスを開始できるように対応した。

### 3.3.3 RUN

RUN の条件は、フォイル把持状態かつ駆動軸が主リングに挿入中としている。本状態は、駆動軸及び昇降軸の微調整、退避、フォイル交換と STANDBY 同様、複数のシーケンスが行える状態である。RUN からの遷移に対応する状態遷移コマンドは Go-STANDBY のみである。Go-STANDBY は、駆動軸及び昇降軸の退避シーケンスに対応する。フォイル交換シーケンスは、STANDBY 同様、フォイル交換フラグを利用し Go-RUN で対応する。また、駆動軸及び昇降軸の微調整も、目標位置設定後、Go-RUN で対応可能である。

### 3.3.4 荷電変換装置状態遷移サイクル

図 3 は本装置における状態遷移サイクルである。

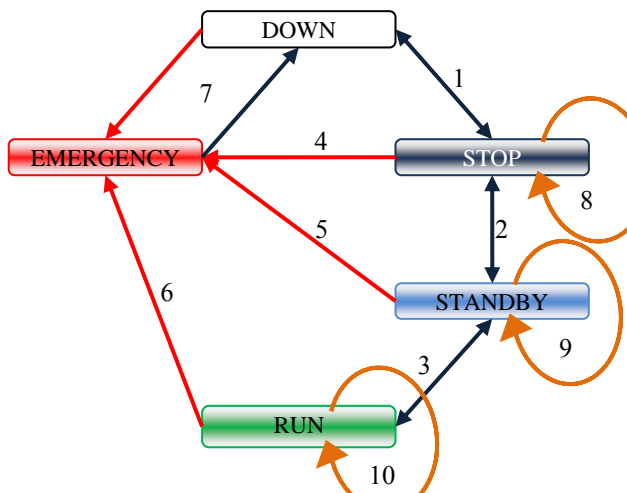


図 3. 荷電変換装置状態遷移サイクル

表 5 は、状態遷移サイクルの遷移状況を示したものである。

表 5. 状態遷移仕様

	status transition	process	status transition command
1	DOWN => STOP	Vacuum ready OK; turn on the breaker	
	STOP => DOWN	Vacuum not- ready; turn off the breaker	
2	STOP => STANDBY	Foil clamp operation [ close ]	Go-STANDBY
	STANDBY => STOP	Foil clamp operation [ open ]	Go-STOP
3	STANDBY => RUN	Foil drive operation [ insert ]	Go-RUN
	RUN => STANDBY	Foil drive operation [ draw ]	Go-STANDBY
4	STOP => EMERGENCY	Heavy trouble	
5	STANDBY => EMERGENCY	Heavy trouble	
6	RUN => EMERGENCY	Heavy trouble	
7	DOWN => EMERGENCY	Heavy trouble	
	EMERGENCY => DOWN	Normal status	Hard reset
8	STOP => STOP	Foil storage	Go-STOP
9	STANDBY => STANDBY	Foil change	Go-STANDBY
10	RUN => RUN	Foil change; Foil drive and lift operation[ fine tuning]	Go-RUN

## 4. 総括

今回制御システムの見直しを行い、構造化された管理アルゴリズムが完成した。また、J-PARC マシンモデルに対応したソフトウェア設計を行い、他機器と統一性のある状態遷移が可能となった。安全性・安定性及び保守性の向上が実現した制御システムとなり、本年 9 月に実機へのインストールを行う予定である。今後のビームコミッショニングに本ソフトウェアが有効的な効果があることを期待したい。

## 参考文献

[1] M.Yoshimoto, et al., IPAC10 in Japan, Kyoto, May. 23-28, 2010