

IFMIF/EVEDA 加速器制御系と入射器とのインターフェース試験

INTERFACE TEST BETWEEN IFMIF/EVEDA ACCELERATOR CONTROL SYSTEM AND INJECTOR

高橋博樹^{#,A)}, 小島敏行^{A)}, 成田隆宏^{A)}, 前原直^{A)}, 榊泰直^{B)}, 鈴木寛光^{A)}
Hiroki Takahashi^{#,A)}, Toshiyuki Kojima^{A)}, Takahiro Narita^{A)}, Sunao Maebara^{A)},
Hironao Sakaki^{B)}, Hiromitsu Suzuki^{A)}

^{A)} Japan Atomic Energy Agency (JAEA), Rokkasho, Aomori, JAPAN

^{B)} JAEA Kizu, Kyoto, JAPAN

Abstract

The Personnel Protection System (PPS), Machine Protection system (MPS) and Timing System (TS) of control system for Linear IFMIF Prototype Accelerator are critical systems for not only operation but also safety of accelerator. Then, the control system and accelerator subsystem (Injector, RFQ and etc.) communicate by hardwired signals. And, the adjustments and the definitions of interface and sequence function are important. In addition, under the control system and the accelerator subsystem are linked actually, the interface test for them has to be performed in EU before its shipment to Rokkasho, because it has a high risk to take long time to improve them after some problems about interface are found at Rokkasho.

Then, to achieve the reliable functions for PPS, MPS and TS, we began developing the test benches of these systems using PLC MPS units, TS modules and etc. which are adopted at actual equipments from the start of the control system development. Next, we shipped these developed test benches to EU (CEA, Saclay) and we connected them with Injector. And, we performed the interface tests during Injector test at Saclay.

In this paper, the results of interface test at Saclay between Injector and PPS, MPS and TS are presented.

1. はじめに

国際核融合材料照射施設 (IFMIF) に関する工学実証及び工学設計活動 (EVEDA) におけるプロトタイプ加速器 (Linear IFMIF Prototype Accelerator: LIPAc) は、9MeV/125mA の大強度CWの重陽子ビームを生成する。LIPAc の制御システムは、中央制御システム (CCS)、ローカルエリアネットワーク (LAN)、人員保護システム (PPS)、機器保護システム (MPS)、タイミングシステム (TS)、ローカル制御システム (LCS) の6サブシステムによって構成される。そして欧州がLCSを、日本がその他5サブシステムを担当し、日欧共同で制御システムの開発を進めている。[1]

日本担当の制御系のうち PPS、MPS 及び TS は安全上及び機器動作上重要なシステムであることから、制御系開発当初より EU の加速器サブシステム担当者と打合せ等を行い、取り合いの信号種別、信号授受後の動作などの調整を進めてきた。同時に、これらシステムのテストベンチの設計、製作を行い、そのハード的仕様、ロジックなどの試験、確認を進めてきた[2][3]。本件では、EU (仏 CEA, Saclay 研究所) にて行われた入射器の試験の際に、これらのテストベンチを実際に接続して行ったインターフェース試験の結果について詳細に報告する。

2. Machine Protection System (MPS) 試験

MPS は、加速器サブシステム間の協調保護を図り、予期せぬビームロスや機器不良の発生時に瞬時にビームを停止する。同時に、効率的なコミッショニング試験を行うために、異常原因が解消された後はすみやかに運転再開する機能を有することが求められる。これらを考慮して JAEA と EU とで調整を進め、MPS と入射器との取り合い信号の種類、及び、入射器ビーム停止機構、MPS ビーム停止要求及びビーム停止目標時間について 2012 年 3 月頃に双方合意に至った。その結果、入射器のビーム停止機構は "Beam Reset to Zero (BRTZ)"、"Slow Beam inhibition (SBI)"、"Fast Beam inhibition (FBI)" の 3 種類に分類した。

まず BRTZ は、ビームコミッショニング初期の Low Duty 運転時において、サブシステムからの RF 放電検出時などに一時的にビーム遮断 (~50 μ 秒程度で遮断) し、放電等の事象が無くなれば、次のビームサイクルからビーム復帰する。次に SBI は、イオン源のマグネトロンを遮断することでビームを停止するためにビーム停止目標時間が 100msec と遅いが、冷却水異常や RFQ 温度異常などの Interlock 事象で確実にビームを停止させる際に使用される。なお、この SBI は PPS 発報時にも使用される。最後に FBI は、機器保護のために、より早くビーム停止が必要な異常事象発生時に使用される。ビーム停止目標時間が 20 μ sec であり、ビームロスモニタ高、RF 異常などの Interlock 事象が発生した際にビーム

[#] takahashi.hiroki@jaea.go.jp

Table 1: Beam Inhibit Functions and Specifications

Beam inhibit function for Injector	Details	Interface signal (MPS output signal)	Target time of beam inhibit
BRTZ function "Beam Reset to Zero"	* High-speed and short time beam inhibit (after short time beam inhibit, quickly restart the beam operation quickly) * Beam Gate signal is inhibited only during MPS unit output a beam inhibit signal to FPC	Control a Beam Gate signal by the gate pulse control unit (FPC) developed by JAEA	50[μsec]
SBI function "Slow Beam Inhibition"	* High-speed and sureness beam inhibit * After Beam inhibit signal is input to PLC of Injector, RF high force voltage is cut off by the interlock function of Magnetron Power Supply	Non-voltage contact	100[msec]
FBI function "Fast Beam Inhibition"	* Higher-speed beam inhibit * After Beam inhibit signals is input to Fast Magnetron Shutdown System of Injector, RF high force voltage is cut off instantaneously by Crowbar Circuit run	5V · 50Ω (Non-voltage contact is converted by Signal conversion unit)	20[μsec]

を停止させる。それぞれの停止機構の概要、要求時間などを Table 1 に示す。

MPS のインターフェース試験においては、まずそれぞれの停止機構における入出力信号仕様の確認試験を行った。その結果、特に出力はそれぞれのビーム停止機構により異なるが、JAEA、EU で合意した通りの信号仕様であり、問題無く情報の授受が行えることが確認された。

次に、それぞれのビーム停止機構におけるビーム停止時間の測定を実施した。ただし EU では入射器との MPS との接続の制限から“MPS 動作時のビーム停止時間”（MPS にインターロック信号が入力されたから入射器のビームが止まるまでの時間）を測定することができなかった。そのため本報告では、“MPS 動作時のビーム停止時間”は“MPS の動作時間”（MPS にインターロック信号が入力されてから入射器にビーム停止指示信号を送信するまで）と“入射器のビーム停止時間”（入射器に MPS から

ビーム停止指示信号が入力されてからビームが停止するまで）が足し合わさったものであることから、“MPS の動作時間”は JAEA のテストベンチにおいて、“入射器のビーム停止時間”は EU でのインターフェース試験において測定し、2 つの測定値を足し合わせたものを各ビーム停止機構のビーム停止応答時間とする。

まず、“MPS の動作時間”をテストベンチにおいて測定した結果を Figure 1 に示す。図より Alert Signal が MPS に入力されてから Beam Inhibit Signal が MPS ユニットから出力されるまでの応答時間は約 2μsec であることが分かる。

次に、各停止機構のビーム停止時間を測定したものを Figure 2, Figure 3 and Figure 4 にそれぞれ示す。図より、ビーム停止応答時間は BRTZ 機構：40μsec、FBI 機構：10μsec、SBI 機構：290msec であることが

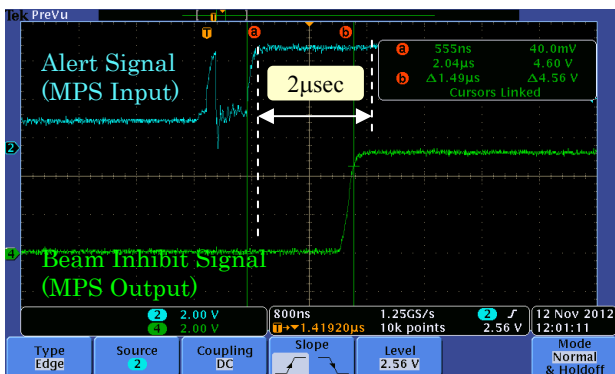


Figure 1: Response time of MPS unit

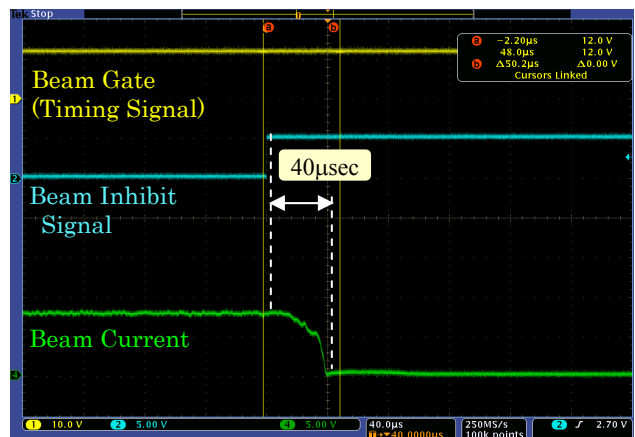


Figure 2: Beam inhibit response time of BRT0 function

分かる。よって“MPS 動作時のビーム停止時間”は、
 BRTZ 機構：40μsec+2μsec=42μsec (<50μsec)
 FBI 機構：10μsec+2μsec=12μsec (<20μsec)
 SBI 機構：290msec+2μsec≒290msec (>100msec)
 となり、BRTZ 機構及び FBI 機構において Table 1 の目標応答時間以内でのビーム停止実現のめどがえられた。一方で、SBI 機構においては目標を上回る応答時間であった。これは入射器の PLC ラダーの 1 scan time の設定値が大きいことによるものと考えおり、日本での入射器インストール時に、この設定値を調整することで SBI の応答時間の目標時間以内の実現を目指す予定である。

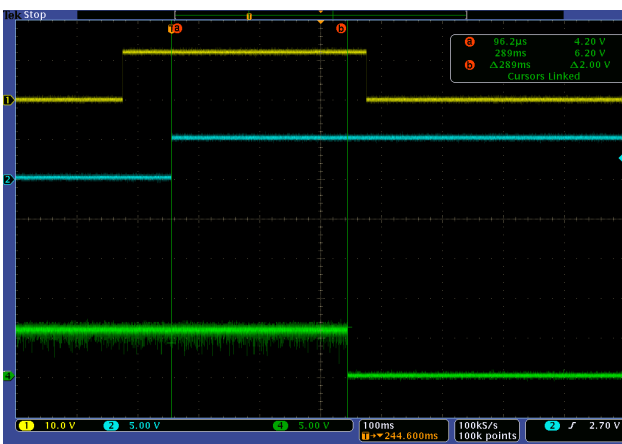


Figure 3: Beam inhibit response time of SBI

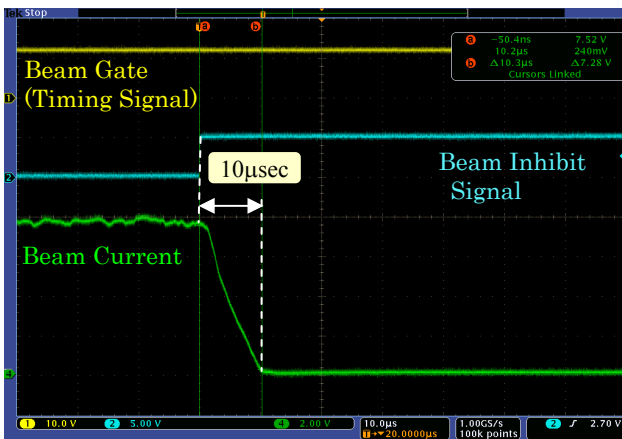


Figure 4: Beam inhibit response time of FBI

3. Personnel Protection System (PPS) 試験

PPS は、加速器室への人員の入退出を監視して放射線や高電圧電流などの危険因子から人員を保護する機能を持ち、且つ、許認可に係る重要なシステムであるため、特にサブシステムとの確実なインターフェースが求められる。

PPS との接続試験では、取り合い信号の論理、電氣的仕様が PPS と入射器の双方で整合していることを確認した。PPS が入射器と取り合う信号を以下に示す。

- 機器状態信号 (入射器 → PPS)
 - ファラデーカップ
 - ゲートバルブ
 - イオン化用 RF
 - 引出し電圧
 - Chopper ON/OFF
- 操作許可/禁止信号 (PPS → 入射器)
 - ファラデーカップ引抜き
 - ゲートバルブ開
 - イオン化用 RF ON
 - 引出し電圧 印加

次に、信号授受後の動作確認試験として、PPS が発信する操作許可/禁止に対し、入射器の該当操作が操作可/不可となることを確認するとともに、操作許可信号の取り消し (操作禁止) により該当機器の状態がリセットされる (例えば、ファラデーカップ引抜き操作の許可信号が取り消された場合は、引抜かれたファラデーカップが速やかに挿入される) ことを EU の入射器担当者と共に確認した。EU における試験成績書の一部を Figure 5 に示す。

本試験の結果より、2013 年秋から日本の六ヶ所村で行われる入射器のコミッショニング試験開始にむけ、許認可取得のめどがえられた。

Permission		Operation		Equipment Status		Status signals from DI to PPS (A,B comment)		Result
1	False	False	*1) *1)	Disable	Closed Valve	True	OK	OK
2	True	False	*1) *1)	Disable	Closed Valve	True	OK	OK
3	False	True	*1) *1)	Disable	Closed Valve	True	OK	OK
4	True	False	False	Disable	Closed Valve	True	OK	OK
5	True	False	Disable	Disable	Closed Valve	True	OK	OK
6	True	True	True	Disable	Closed Valve	True	OK	OK
7	True	True	True	Enable	Closed Valve → Open	True → False	OK	OK

JAEA, CEA
 双方担当者のサイン

Figure 5: Example of certificate for PPS test (Gas valve of Injector)

4. Timing System (TS) 試験

TS は加速器サブシステムに対し、同期したクロック信号や、トリガー信号、ゲート信号を生成し、一括管理により発信する。各サブシステムは、このタイミングに同期して動作することにより、加速器全体として協調した運転が可能となる。よって、TS との接続試験では、TS からのトリガー信号/ゲート信号に同期して入射器が動作し、良好なビームが放出されることの確認が重要である。

そこで、まず TS テストモジュールを制作し、その動作が EU の要求通りであることを JAEA にて確

認した。次に、入射器試験開始前の 2011 年 2 月に TS 機器一式を CEA・Saclay へ輸出し、Saclay に入射器試験用 TS を構築し、入射器制御担当者と TS の信号仕様の確認を行った。さらに、TS のパラメータ設定方法などを説明し、Saclay の制御担当者が TS 操作が可能な環境を提供した。このようにして、Saclay の入射器試験の最初から JAEA TS の使用を可能とした。Figure 6 は、試験期間中において、入射器の制御系ラックにインストールされた TS である。入射器試験は Saclay の入射器制御担当者が作成した OPI (Figure 7 参照) からの監視操作により行われたが、同様に試験内容に必要な様々なタイミングパラメータの設定もこの OPI から行われた。そして Saclay での入射器試験において、JAEA が提供した TS にトラブルが発生することは無く、試験の全期間 (試験期間: 2011 年 5 月~2012 年 11 月) において問題無く入射器試験に要求されるタイミング信号の供給を実現した。この結果より、入射器実機の運転に十分対応できることが証明された。

4. まとめ

EU (仏 CEA・Saclay 研究所) において入射器と PPS、MPS、TS のインターフェース試験を実施し、何れのシステムにおいても入出力信号の仕様 (信号レベル、論理) が調整通りであり、情報の授受が問題無くできることを確認した。PPS においては動作確認試験を実施し許認可に対応できるロジックであることを確認した。MPS においては、入射器ビーム停止応答時間の測定結果とあわせて高速なビーム停止実現のめどを得た。TS においては、Saclay での入射器試験全期間においてタイミング信号を供給し続け実際の運転に十分対応できることを明らかにした。これにより制御系として 2013 年秋より日本で開始される入射器コミッショニングを滞りなく実施する体制が確認できた。

参考文献

- [1] H.Takahashi, et al., "OVERVIEW OF THE CONTROL SYSTEM FOR THE IFMIF/EVEDA ACCELERATOR" Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting 2009
- [2] T.Kojima, et al., "Linkage test of Control System and Injector for the IFMIF/EVEDA Accelerator Prototype", Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting 2010
- [3] T.Narita, et al., "Development Status of MPS for the IFMIF/EVEDA Accelerator (2)", Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting 2012

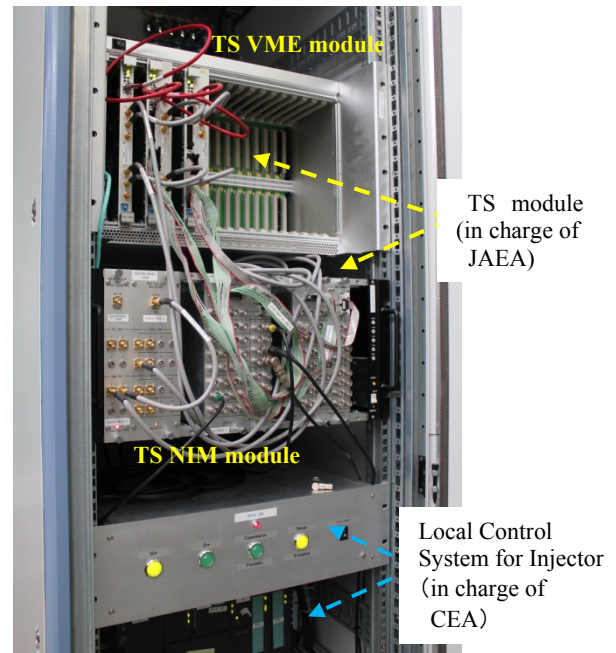


Figure 6: Control rack for Injector at CEA Saclay (JAEA TS is installed in the control rack for Injector and used at Injector test at Saclay)

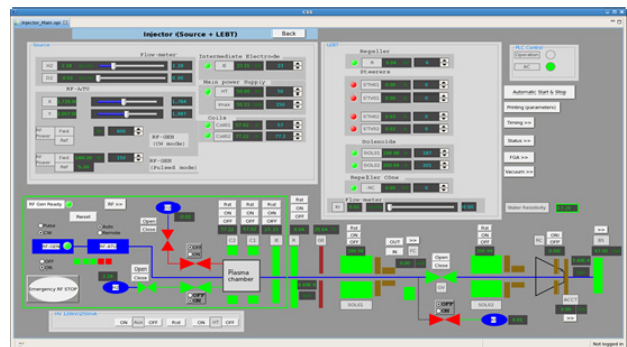


Figure 7: OPI for Injector operation (in charge of CEA) (it is possible to operation and monitor Injector and TS from this OPI)