

DESIGN STUDY OF J-PARC TIMING SYSTEM FOR NUCLEAR TRANSMUTATION EXPERIMENTAL FACILITY

Yuichi Itoh[#], Masato Kawase, Nobuhiro Kikuzawa, Nobuo Ouchi
J-PARC Center / Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakatasirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1115, Japan

Abstract

A transmutation experimental facility (TEF) is planned in J-PARC 2nd construction phase. 400MeV/250kW of negative hydrogen ion beam will be delivered from LINAC to TEF. The LINAC is now operating in repetition of 25Hz and LINAC should be operated in 50Hz to keep beam power for existing experimental facilities. The timing system should also be operated in 50Hz. However, some control subsystems and data acquisition subsystems are strongly optimized for 25Hz operation especially in RCS. A design for J-PARC timing system to support TEF will be discussed in this report.

核変換実験施設のための J-PARC タイミングシステムの設計検討

1. はじめに

現在 J-PARC 加速器は各実験施設に向けて繰り返し周波数 25Hz で運転を行っている。計画当初では 50Hz で運転し、半分は物質生命科学実験施設/ハドロン実験施設/ニュートリノ実験施設に、残りの半分は加速器駆動システム (ADS) による核変換実験施設 (TEF) に振り分ける予定であったが、第一期計画から TEF が外されたために、運転開始時にはタイミング基準トリガには 25Hz が採用され、加速器とその制御系にはそれに基づいて作られた部分が随所に存在する。特に 2 段目加速器である RCS(Rapid Cycling Synchrotron)では主電磁石が共振電源方式であり、TEF 分岐後に位置することも相まって、モニタ系などで 25Hz が前提となっている^[2]。このため、第二期計画で TEF を建設する場合にはタイミングに関連する問題が生じることが予想される。

本稿では既存の系を生かしながら TEF に対応するためタイミングシステムを計画当初の 50Hz へと倍速化する方法について検討する。

2. J-PARC タイミングシステムの概要

J-PARC タイミング信号には予めプログラムされた運行動作としてのスケジュールドタイミングと周回ビームに同期したシンクロナイゼーションタイミングの二種類がある^[1]。ここで議論の対象としているタイミングシステムとはスケジュールドタイミングにかかわる部分である。

タイミングシステムは、中央制御室にあるタイミングマスターIOC(Input Output Controller)と各機器の近くに置かれるタイミング配信 IOC からなり、それぞれは RFM(Reflective Memory)によりデータのやりとりを行うようになっている。肝心のタイミング信号としては 12MHz のマスタークロック、マスターを分周した 25Hz の基準クロック、そしてプログラムを選択するタイプ信号 (シリアルデータ) が

配布されている。マスターIOC においてビーム運転パターンはプログラムされ、基準クロックごとに異なる行き先 (MLF または MR) に打ち分けることが可能となっている。

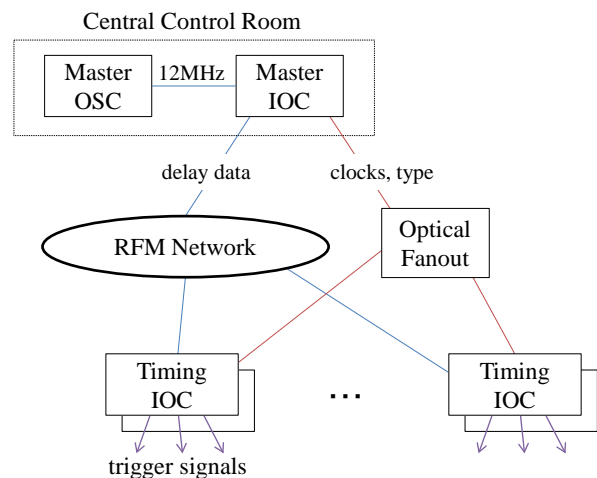


図 1 : タイミングシステムの構成

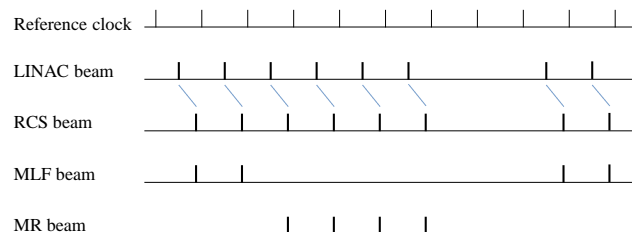


図 2 : スケジュールドタイミングの例

3. TEF 供用のための変更点

既存の施設へのビーム供給量を維持したまま TEF へも供給するためには LINAC を現在の倍の 50Hz で運転して、時分割で半数を TEF 行きとすればよい。TEF 供用時のタイミング例を図 3 に示す。タイミン

グハードウェアに関しては当初計画の通り 50Hz 運転に対応できるように設計されており問題はないが、システムとしては少なくとも以下のような変更が必要となる。

- (1)基準クロックを 25Hz から 50Hz に変更する。
- (2)TEF 行きのタイプコードを割り当てる。
- (3)タイプのスケジュール (タイプ列) を組み直して、既存施設行きと TEF 行きのビームを交互に配置されるようにする。

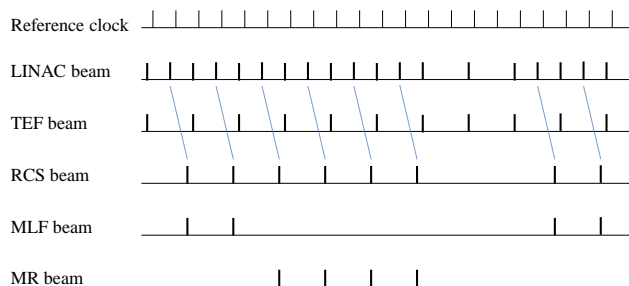


図 3 : TEF 供用時のタイミングの例

4. 50Hz 化の問題点

上記のようにしてタイミングシステムを 25Hz から 50Hz へと単純に倍速化したとしても、例えば次に示すような不都合が生じると考えられる。

まず、RCS は 25Hz サイクルの前半にビームを注入して後半には出射する。そのため本来はひとつであるべきサイクルが 2 フェーズに分解され、それぞれに別のタイプコードを指示しなければならないことになる。これにより 40ms の前半と後半とにわたって出力されるゲート形式のトリガ信号の管理が煩雑なものになってしまう。

また、ビーム運転中にトリガタイミングを調整する場合を考えると、タイミング配信 IOC では基準クロックに同期して RFM よりデータを読み込んで LUT(Lookup table)を更新するようになっている。このデータ更新指示はソフトウェア経由で行われてい

るため、基準クロックの位相までは特定することができず、結果 25Hz サイクルの途中でディレイ値が書き換えられてしまう危険が避けられない。

さらに、RCS のモニタ系では測定データにビームの行き先に応じて tag を付けて識別しており、このままでは前半と後半に 2 つの異なる tag を付加しなければならない。これにより、モニタ系を複数 tag に対応させるか、どちらか一方を選択して記録させるなどするように改修する必要が生じる。

5. 回避策

ここまで示したように、タイミング倍速化の困難は主に RCS が固有の 25Hz サイクルを基準にしていることに起因している。そこで、全体的には 50Hz で動作するが、TEF への分岐以降すなわち RCS 以降は部分的に 25Hz のまま互換性を保つ方式を考える。

まず、タイミングシステム全体を 50Hz の領域と 25Hz の領域とに分け、RCS 以降が 25Hz 系統、LINAC は 50Hz 系統とする。TEF については、ビームは基本的に 25Hz となるが、後述する S 信号を確実に伝達するため 50Hz 系統とする。中央制御室に置かれるタイミングマスター IOC は両方をカバーしなければならないので 50Hz 系統である。

25Hz の基準クロックは 50Hz を分周すれば得られる。また、25Hz 系統用のタイプ信号も用意しなければならないが、これについてはマスター IOC から 50Hz で生成されているタイプ信号のうち半分を間引くことで生成することができる。

ここで考慮しなければならないのは、タイプの位相である。タイプ列は基本的に MR サイクル (2.56 ~ 6.00 秒) と同じ長さを持っており、列の先頭を示す S 信号がタイプ信号と共にマスター IOC から配信されている。25Hz 系統はタイプ信号を間引いて作られているが、S およびペアとなるタイプコードは保存されなければならない。また、25Hz 系統および 50Hz 系統のどちらにも S 信号が配布されるように、25Hz 系統のタイプは列の先頭から 1 つおきに配置されなければならない。

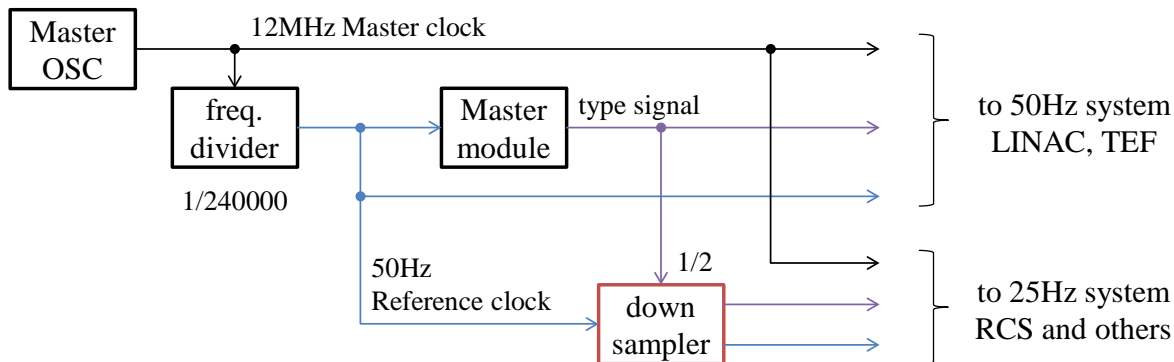


図 4 : 倍速化タイミングシステム (マスター IOC 部)

まず 50Hz 系統では、12MHz マスターオシレータから分周器を通して 50Hz 基準クロックが生成される。マスタークロックと基準クロックはタイミングマスターモジュールに入力され、タイプ信号が生成される。次に 25Hz 系統では 50Hz 基準クロックとタイプ信号が間引きモジュールにより加工されて 25Hz 基準クロックおよび 25Hz 用タイプ信号が生成される。

ここで間引きモジュールのみ新規に製作すれば、他のハードウェアは既存のものをそのまま使用することができる。その他、タイミングデータの生成や切り替え操作などのソフトウェアも改修しなければならないが、比較的軽微な変更で済むものと見積もられる。

6. まとめ

J-PARC タイミングシステムにおいて TEF に対応する方法について検討を行った。これより、25Hz を前提としている既存部分はそのままだに、最小の変更でタイミングシステムを 50Hz 運転に適合させることが可能であることが示された。

参考文献

- [1] F.Tamura, et al., "J-PARC Timing System", Proceedings of the 29th Linear Accelerator Meeting in Japan, Funabashi, Aug. 4-6, 2004
- [2] H.Takahashi, et al., "Synchronized Data Monitoring and Acquisition System for J-PARC RCS", Proceedings of EPAC 2006, Edinburgh, Scotland, THPCH117