

J-PARC RCS H0 コリメータにおけるステッピングモータのノイズ対策

REDUCING THE EFFECT OF NOISE GENERATED FROM STEPPER MOTOR FOR H0 COLLIMATOR IN J-PARC RCS

藤山浩樹^{#, A)}, 高橋博樹^{B)}, 岡部晃大^{B)}, 伊藤雄一^{C)}, 畠山衆一郎^{B)}, 鈴木隆洋^{A)}, 大津聡^{A)}, 山川龍人^{A)}
Hiroki Fujiyama^{#, A)}, Hiroki Takahashi^{B)}, Kota Okabe^{B)}, Yuichi Ito^{C)}, Shuichiro Hatakeyama^{B)}, Takahiro Suzuki^{A)},
Satoru Otsu^{A)}, Ryuto Yamakawa^{A)}

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

^{B)} Japan Atomic Energy Agency

^{C)} Total Support Systems Corp.

Abstract

Stepper motors are used for mechanical drive in collimators and wire scanner monitors of J-PARC accelerators. Many of these drive unit hardware have been used since the beginning of J-PARC construction, and it is necessary to take measures against aging deterioration. Therefore, we started updating the motor and control system from around 2017. However, when the stepper motor was updated to the current product in the RCS H0 collimator, a malfunction occurred. This is because the drive unit control system cannot correctly recognize the state of the LS (limit switch) due to the noise generated by the motor driver, which hinders the operation. When the noise generated from the old and new stepper motors was measured in a simple test environment for confirmation, it was found that the current product was clearly larger. As a countermeasure, when the wiring of the stepper motor, which was bundled in a single multi-core cable, was separated into separate cables for the power system and LS signal system, the noise level was reduced to about 1/10 and normal operation was restored. I was able to. In this case, we report on noise countermeasures for the RCS H0 collimator drive unit.

1. はじめに

J-PARC 加速器のコリメータやワイヤスキャナモニタなどには機械的駆動のためにステッピングモータが用いられている。これら駆動部ハードウェアは J-PARC 建設当初から使用されているものが多く、経年劣化対策が必要となっている。そこで 2017 年頃よりモータおよび制御系の更新を開始した。しかしながら、RCS H0 コリメータにおいて、ステッピングモータを現行品へ更新したところ、動作に不具合が生じた。これは、モータドライバが発するノイズにより、LS (リミットスイッチ) の状態を駆動部制御系が正しく認識できなくなり、動作に支障をきたしたものである。

確認のため簡単な試験環境で新旧ステッピングモータから発生するノイズを測定したところ、現行品の方が明らかに大きいことがわかった。

この対策として、一条の多芯ケーブルにまとめられていたステッピングモータの配線を動力系と LS 信号系で別ケーブルに分離したところ、ノイズレベルは約 1/10 にまで低減され、正常な動作を取り戻すことができた。本件では RCS H0 コリメータ駆動部におけるノイズ対策について報告する。

2. H0 コリメータ駆動制御系

2.1 駆動制御系ハードウェア構成

現在の RCS H0 ビームコリメータ駆動制御系の構成を Fig. 1 に示す。

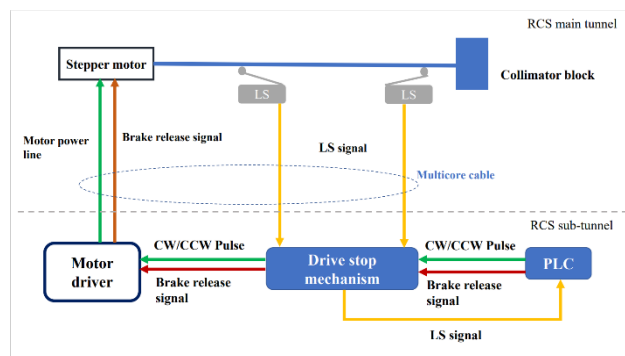


Figure 1: Configuration of RCS H0 beam collimator drive control system.

コリメータブロックを駆動する電磁ブレーキ付きステッピングモータには山洋電気製 SANMOTION を使用している。位置決め制御には PLC (Programmable Logic Controller, 横河電機製 FA-M3) を使用している。また、機械的可動範囲の両端には LS が設置されている。さらに、RCS H0 コリメータ駆動部の特徴として、リミット検知時に位置決めパルスを強制遮断すると同時にブレーキを ON にする駆動部停止機構がモータドライバと PLC 間に割り込む形で設置されている[1,2]。また、Fig. 2 に LS 信号部分の回路図を示す。LS は b 接点 (平常時閉、押下時開) であり、信号は駆動部停止機構が受けたのち、リレーの a 接点で複製され PLC 位置決めモジュールに再伝送されている。

[#] fujiyama-hiroki@mesc.jp

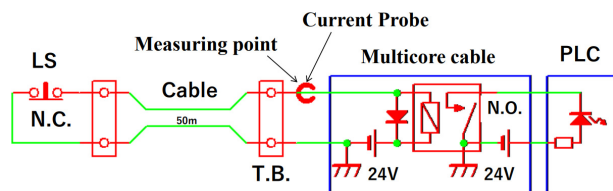


Figure 2: Schematic of the LS circuit.

2.2 ステッピングモータ更新後の不具合

RCS H0 コリメータにおいて 2020 年 5 月に 4 軸あるうちの 1 軸のモータドライバが故障した。既設のモータおよびモータドライバは既に廃番となっており、後継機へ更新することになった。

2021 年 8 月に 1 軸分のモーター式の更新を行ったが、更新後の動作試験において、LS を手で操作してもモータが停止しないことが判明した。これはシステムの安全担保のために非常に重大な問題である。

3. 不具合原因の調査

3.1 模擬環境における新旧ドライバのノイズ測定

更新に先立つ動作確認のために構築した模擬環境を利用して、モータドライバのノイズの測定を行った。新旧ドライバのノイズスペクトルを Fig. 3 に示す。赤線が新ドライバ使用時、黒(紺)が旧ドライバ使用時のノイズスペクトルである。二つを比較すると新ドライバ(現行品)の方が旧ドライバよりノイズが大きいことがわかった。

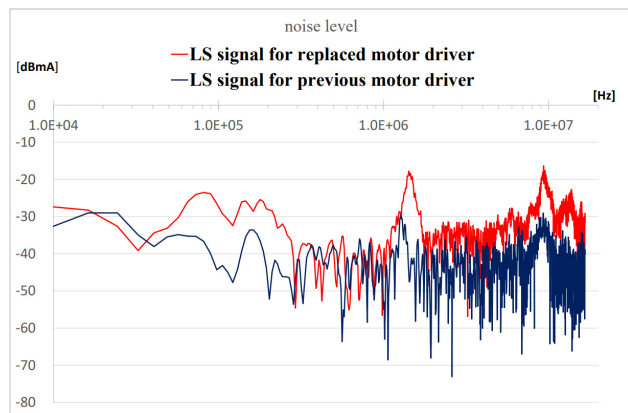


Figure 3: Noise spectrum on the test bench.

3.2 駆動部停止機構での LS 状態認識

LS によりモータが停止しない状況で信号がどのように認識されているか確認したところ、駆動部停止機構入力部および後続の PLC 位置決めモジュール入力においても LS 状態が正しく判定できていないことが判明した。

次に、模擬環境による調査で現行の新型ドライバのノイズが大きいことがわかったため、ドライバ動作を止めた場合でも LS 状態の認識が異常になるかどうか確認したところ、モータを非励磁にすれば LS 状態を正しく認識することがわかった。なお、ドライバ動作を止めモータを非励磁にするために SANMOTION のパワーダウン機能

(モータ電流を遮断し、ブレーキは保持する)を利用した。これより、駆動制御動作を妨げているのは、モータドライバの発するノイズであることが明らかとなった。

また、このノイズが、他の軸へ影響を及ぼしていないか確認したところ、幸いにもモータを励磁した状態でも他軸の駆動制御動作は正常であった。

3.3 LS 信号線ノイズの観測

モータ励磁による LS 信号への影響を調べるため、Fig. 2 で示す計測点に電流プローブを取り付け、CW 側 LS 信号(接点開時)の電流波形を測定した。LS を接点開とした時の測定結果を Fig. 4 に示す。

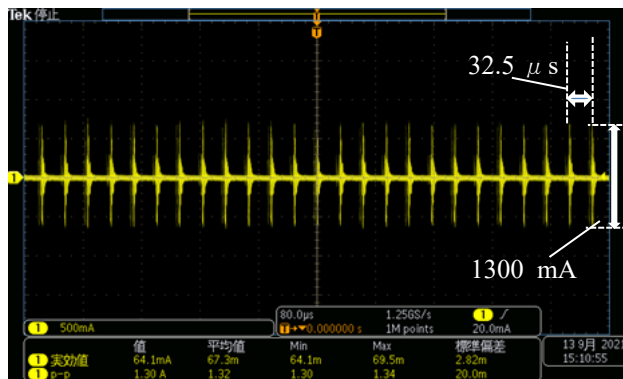


Figure 4: Current waveform when the limit switch is actuated (contact open) during the motor is excited.

これより、LS を接点開にもかかわらず、peak-to-peak で 1300mA が観測されていることが分かる。またオシロで取得した各時間における電流データより電流平均値及び実行値を算出した結果、電流平均値 17.9 mA、実効値で 64.3 mA であった。駆動部停止機構入力部は信号用ミニリレー(オムロン製 G5V-2 DC24)により構成されており、その定格は 20.8 mA、復帰電流は 1.04 mA(復帰電圧仕様値からの換算値)である。これに比べてこのノイズ電流は無視できないレベルであり、LS 接点開時にリレーが復帰しない原因になっていると考えられる。

3.4 信号経路の影響

ステッピングモータの配線について、モータ動力線の適合配線長は 20m 以下とすること、及び、動力線と信号線を同一結束しないようにすることがメーカーから推奨されている。しかしながら、機器設置場所などの都合により、RCS H0 コリメータではモータまでの配線に約 50 m の多芯ケーブルが使用され、さらにモータ動力線と LS 信号線が同居していた。この動力線と信号線が同居している影響を見るため、駆動部停止機構寄りの端子台で LS 信号配線を外し、代わりにジャンパ線を模擬 LS 入力としてノイズ電流を観測した。ジャンパ接続(LS 閉)では約 21 mA、開放(LS 開)では約 1 mA であり、駆動部停止機構も LS 状態を正常に認識した。

これより、ケーブル配線経路の結合を通してモータノイズが伝搬していることが明らかになった。

4. モータ動力線とLS信号線の分離

ここまでの調査によりノイズ源と伝搬経路が見えてきたので、まずケーブルでの結合を減らすため、モータ動力線とLS信号線の距離を隔てる対策を施すこととした。そこで、モータ動力線とLS信号線が同居していた一条のケーブルから、トンネル内に用意してあった予備線を使用しLS信号を独立したケーブルに分離した。

分離後のCW側LSの接点開時における電流波形をFig. 5に示す。

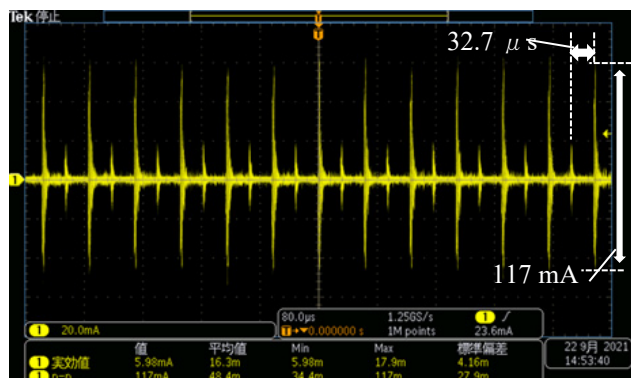


Figure 5: Current waveform when the limit switch is actuated (contact open) during the motor is excited; after the cable is separated.

これより、ケーブル分離後のノイズ電流は peak-to-peak で 117 mA、取得したデータから算出した結果、電流平均値 1.92 mA、実効値で 5.98 mA となっている。分離前の信号同居時の値 (peak-to-peak 1300 mA、64.3 mA) と比較して約 1/10 に低減されることが分かった。次に、ケーブル分離前後のノイズスペクトルを Fig. 6 に示す。青線が LS 信号線とモータ動力線が同居していた時、オレンジ線がケーブルを別のケーブルに分けた時のノイズスペクトルである。ノイズレベルは全体的に約 10 dB 程度低減していることがわかる。

以上の測定結果が示す通り、ノイズ対策として同居していたモータ動力線とLS信号線を分離したことにより、ケーブルが同居していた時に比べて許容できるノイズレベルとなった。これにより、新ドライバに更新したシステムにおいても正常に動作することが可能となった。

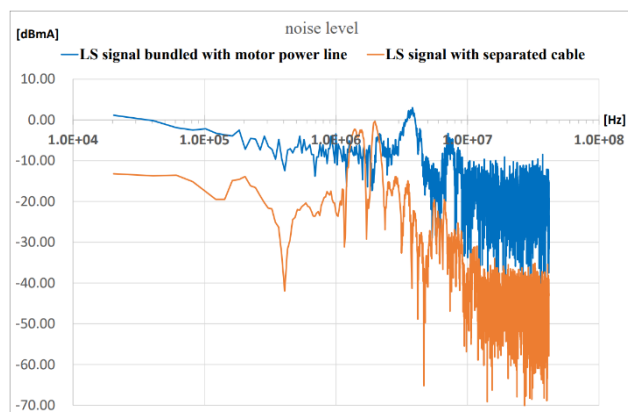


Figure 6: Noise spectrum.

5. まとめ

RCS H0 コリメータにおいてモータおよびモータドライバを更新してから、ノイズにより駆動制御系に不具合が生じていたが、モータ動力線とLS信号線を別のケーブルに分けることで影響が低減され正常な動作を回復することができた。しかしながら、仕様上まだ十分でないため、さらなる対策により安定したモータ制御の実現を目指したい。

参考文献

- [1] K. Okabe *et al.*, “A FAILURE INVESTIGATION OF THE BEAM COLLIMATOR SYSTEM IN THE JPARC 3 GEV RAPID CYCLING SYNCHROTRON”, Proceedings of the 14th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Sapporo, Japan, Aug. 1-3, 2017, pp. 853-857.
- [2] H. Takahashi *et al.*, “STANDARDIZATION OF STEPPING MOTOR CONTROL SYSTEM IN J-PARC LINAC AND RCS”, Proceedings of the 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagaoka, Japan, Aug. 7-10, 2018, pp. 1105-1108.