

J-PARC リニアックにおけるワイヤスキャナモニタ駆動系由来のノイズ測定 MEASUREMENT OF NOISE ORIGINATING FROM WIRE SCANNER MONITOR DRIVE SYSTEM IN THE J-PARC LINAC

宮尾智章^{#, A)}, 岡部晃大^{B)}, 高橋博樹^{B)}, 鈴木康夫^{B)}, 鈴木隆洋^{C)}, 割貝敬一^{D)}, 守屋克洋^{B)}
Tomoaki Miyao^{#, A)}, Kota Okabe^{B)}, Hiroki Takahashi^{B)}, Yasuo Suzuki^{B)}, Takahiro Suzuki^{C)}, Keiichi Warigai^{D)},
Katsuhiko Moriya^{B)}
A) KEK/J-PARC
B) JAEA/J-PARC
C) Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd.
D) ULVAC TECHNO, Ltd.

Abstract

A wire scanner monitor (WSM) as a transverse profile monitor is used for the tuning of quadrupole magnets to suppress an excess beam loss and to realize a stable user operation in J-PARC linac. J-PARC linac has been in operation for about 15 years, and deterioration of the equipment over time has become a problem. A stepping motor driving a WSM was often broken by step out, so we could not get a same one due to the end of production of the relevant equipment. Therefore, we replace a new stepping motor from a same manufacturer, but we have a problem due to noise from the motor driver changing a control system. In this paper, we report the results of measuring the noise generated during WSM drive.

1. はじめに

大強度ビームの横方向プロファイル測定にワイヤスキャナモニタ(WSM)を使用しており、WSM は四極電磁石の電流値を決定する重要なビーム診断装置である。J-PARC リニアックが稼働して 15 年ほど経ち、機器の経年劣化が問題となっており、WSM 駆動に使用するステッピングモータの予備品が生産中止となって予備品を確保することが難しくなった。そこで WSM 駆動系を新たな制御方式のステッピングモータに更新したが、モータを制御するドライバから発するノイズが原因で様々な機器に影響を及ぼした。本件では WSM 駆動系と更新した駆動系による影響とノイズ測定結果について報告する。

2. WSM 駆動系と制御方式

Figure 1 に WSM の駆動系と信号の配線図を示す。WSM のモニタヘッドはドライバからパルス信号を送ることでステッピングモータが回転し、モニタヘッドを一定の間隔で駆動させるとビームにワイヤが接触してビームの横方向プロファイルを測定している。WSM はモニタヘッドとビームラインを保護するために、リミットスイッチを設けている。モニタヘッドがスイッチに接触することで、停止機構からモータにブレーキの電気信号が送られて駆動系を停止する仕組みとなっている。ドライバおよび停止機構は地上部に設置しており、WSM モニタヘッドは地下のビームラインに位置しているため、制御機器とモニタヘッド間のケーブルは導体断面積 0.5 mm²-12 対の多芯ケーブルを使用している。駆動の制御方式はアドバネット製 Advme1314 を使用しているが、現在、横河電機製 Programmable Logic Controller(PLC)モジュールに更新を進めている[1]。Table 1 にモータとドライバの使用履歴

を示す。ドライバ AD-5410 はメレック製であるが、残りはオリエンタルモータ製を採用し、リニアック運転開始から現在で最長 18 年使用されている。モータはパルス同期を失うことで脱調する事象が起こったものを交換している。J-PARC リニアックでは現在まで PK569AWM のみ 8 台交換している。一方でドライバは一度も故障せず運用している。

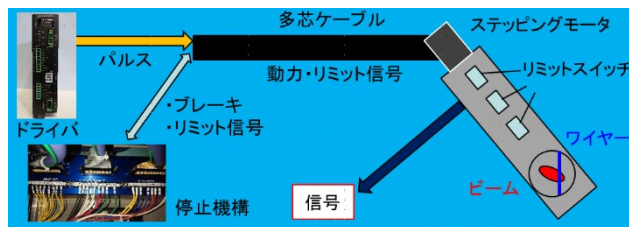


Figure 1: The diagram of WSM driving system.

Table 1: The List of Usage Motor and Motor-driver

Motor	Motor driver	Period of use
PK566H-A	AD-5410	2006~2019
PK566-A	AD-5410	2006~2019
PK569AWM	RKD514LM-A	2006~
PK569AEM	RKD514LM-A	2013~
PKE566MC	RKSD507M-A	2019~

3. モータとドライバを更新した影響と対応

Table 1 に示している通り、2019 年に駆動系を PKE566MC と RKSD507M-A に更新した。その後の動作確認を実施した際、様々なトラブルが発生した。WSM の

tomoaki.miyao@j-parc.jp

駆動部および配線系統ではリミットスイッチに接触するものの、駆動部が動作を続けてしまう事象が発生した[2]。この現象はモニタ機器やビームラインを破損する恐れがある。原因はドライバから送信されたパルスが Fig. 1 の多芯ケーブルを通過した時にモータ動力線から回り込んでリミットスイッチ接点信号線に伝播し、地上部においてはドライバからスイッチングノイズを含むパルスが PLC モジュールへの制御ケーブルに伝播しているものと考えられる。本事象の対応として多芯ケーブル 1 本をモータ動力線専用とし、リミットスイッチ接点信号ケーブルを別個の信号ケーブルに変更した。しかし、ケーブルを駆動用と接点信号用に分けたにもかかわらず、Fig. 1 の停止機構や駆動制御で使用する PLC モジュールが動作不良する事象が発生した。地上部のドライバは駆動部動力ケーブル外装にフェライトコアを 2 個、動力素線 1 本ずつにもフェライトコアを 2 個巻いた。その結果モータ駆動時にフェライトコアの温度が 50~60℃まで上昇することがわかり、WSM 使用以外ではドライバの電源を切ることとした。

ドライバからのスイッチングノイズによる影響を受けた機器はその他①:電磁石電源のインターロック機器の誤動作、②:低電力高周波制御機器の誤動作が起こった。①は電源のインターロック信号線にフィルタを設置、②はインターロック信号線の配線ルートを変更して対応している。影響は受けていないものの、WSM の動力線の近くに電流信号のケーブルが近くにあることで Fig. 2 のようにノイズレベルが 10~20 倍にまで増幅してしまいビームプロファイルを測定するのに必要なダイナミックレンジが 1 桁下がってしまう結果となってしまった。そこで今回はモータ駆動時に WSM 信号線から生じるノイズを測定することにした。

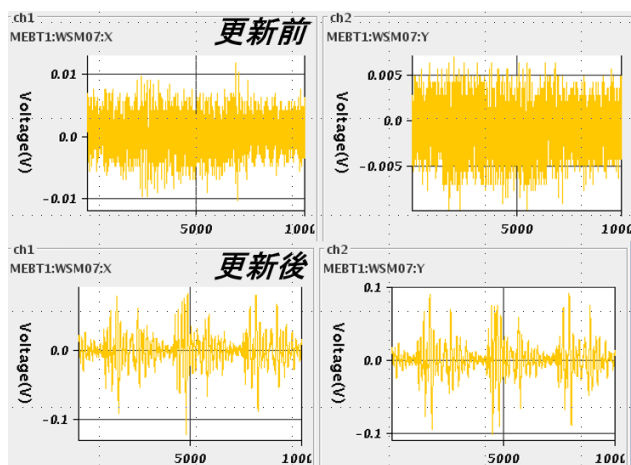


Figure 2: Signal noise of WSM changing motor and driver.

4. モータ駆動時の WSM 信号ノイズ測定

4.1 WSM 信号ノイズ測定

WSM モニタヘッドを引抜限界のリミットスイッチと挿入限界のリミットスイッチ間で駆動したときのノイズ測定を行った。モータ駆動中は前頁 Fig. 1 にある WSM 信号線を使用して測定した。ここで使用する信号線は WSM モニタヘッド前置増幅器によって地上へと増幅し、オシロスコープに接続している。さらに、オシロスコープに接続した信号の周波数成分を特定するために高速フーリエ変換

(FFT)処理している。本測定ではモータ駆動中 Auto トリガのもとで、32 回平均した。測定周波数は 0~100 kHz と 0~1.0 MHz の範囲とした。Figure 3 に WSM モニタヘッド駆動時に生じた WSM 信号とその周波数結果を示す。

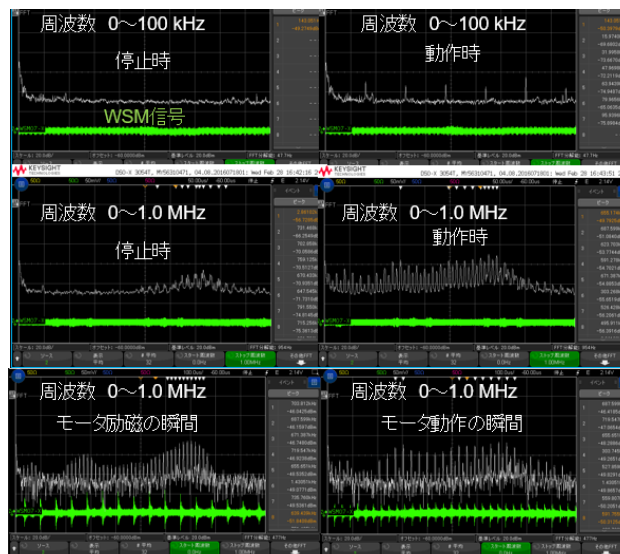


Figure 3: Signal noise while moving stepping motor.

図の白線が WSM 信号(緑色)を FFT した波形である。モータ駆動中では周波数 0~100 kHz において、16 kHz ごとにスパイクが確認できる。さらに、周波数を 1.0 MHz まで拡張すると 700 kHz までの範囲にモータドライバ由来のスイッチングノイズが発生していることがわかった。Figure 3 の下段に示すようにノイズ測定の中、モータ駆動よりもモータ励磁を開始するときの方がノイズレベルが高くなることも確認できた。

4.2 メレック製モータドライバの導入試験

WSM モニタヘッド駆動系のモータドライバをオリエンタルモータ製からメレック製に変更した。4.1 で測定した WSM 駆動系とは違い、電磁石の電源ノイズが乗りやすい環境下で WSM モニタヘッドを駆動させたときの WSM 信号と FFT 処理(測定周波数は 0~1.0 MHz)を実施した。Figure 4 上段に電磁石通電状態での結果を、下段に電磁石を通電していない状態での結果を示す。図の白線が WSM 信号(黄色)を FFT した波形である。ドライバ由来のスイッチングノイズは磁石のノイズに埋もれてほと

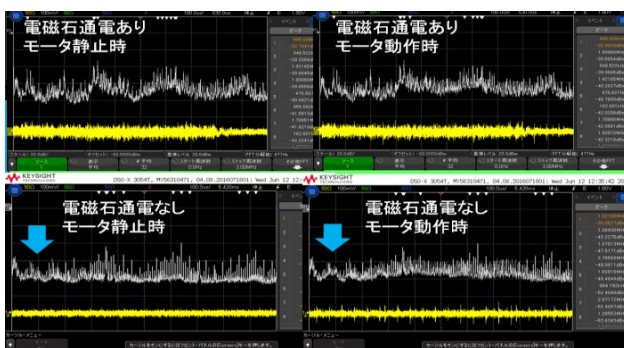


Figure 4: Signal noise under electromagnet energization while moving stepping motor.

んど変化が見られなかった。電磁石を通電していない状態でも周波数が 180~330 kHz の辺りではわずかに変化が見られたものの、スイッチングノイズの影響を低減することができた。

5. まとめ

J-PARC リニアックの建設当初から使用されてきた WSM の駆動系を更新したものの、ドライバから発生するノイズによって制御系機器に影響を及ぼしてしまった。ノイズの周波数成分を特定するために、WSM の信号線から FFT 処理をすると、700 kHz までの範囲でノイズレベルが増大していることが分かった。特にモータ励磁の瞬間

がノイズを多く拾う知見も得られた。今後はメレック製ドライバに変更した場合の測定も進めていきたい。

参考文献

- [1] H. Takahashi *et al.*, “Linac および RCS におけるステッピングモータ制御系の標準化”, Proceedings of 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 2018, pp. 1105 – 1108.
- [2] H. Fujiyama *et al.*, “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”, Proceedings of 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 2022, pp. 529 – 531.