

小型野生動物による J-PARC メインリングの光ファイバー通信への被害 DAMAGE TO FIBRE OPTIC COMMUNICATIONS IN THE J-PARC MAIN RING CAUSED BY SMALL WILDLIFE

山田 秀衛^{*,A)}, 上窪田 紀彦^{A)}, 木村 琢郎^{A)}, 国安 祐^{B)}, 佐藤 健一^{A)}, 下川 哲司^{A)}
Shuei Yamada^{*,A)}, Norihiko Kamikubota^{A)}, Takuro Kimura^{A)}, Yu Kuniyasu^{B)}, Kenichi Sato^{A)},
Tetsushi Shimogawa^{A)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK) / J-PARC Center

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

Abstract

The J-PARC Main Ring is a high-intensity proton synchrotron that started its operation in 2008. It consists of an accelerator tunnel with a circumference of 1600 m, several power supply buildings and two experimental facilities. In 2022, communication failures occurred in two different fibre-optic networks: accelerator control network and timing signal distribution system for the main magnet power supply. Damage of inter-building wiring or deterioration over time was initially suspected, but investigations revealed that both were damaged in the building by nuisance small wildlife. This report describes the circumstances from the occurrence of the fault to the investigation of its cause, and the measures taken afterwards.

1. はじめに

J-PARC Main Ring (MR) は遅い繰り返しの大強度陽子シンクロトロンである [1]。MR は三対称の加速器で、主電磁石をはじめとする各種電磁石の電源や RF システムの陽極、加速器制御システムのフロントエンド計算機は MR 第 1 電源 (MR-D1) から第電源棟 (MR-D6) までの 6 つの電源棟に分散して配置されている。

J-PARC の各建屋には、中央制御棟 (CCB) を起点としたツリー状の光ファイバ網が構築されており、加速器制御ネットワーク [2] とタイミングシステム [3] の信号分配のために利用されている。

MR の 6 つの電源棟のうち D1~D3 は J-PARC 建設当初に建てられたが、D4~D6 は MR の高繰り返し化のための主電磁石電源のアップグレード [4] に際して増設されたものである。そのため D4~D6 への光ファイバ網はそれぞれ D1~D3 から延伸されており、光ファイバ網の観点からは D1~D3 の一部と見做してよい。

2. MR 主電磁石電源サブシステムでの通信障害

2.1 MR 主電磁石電源サブシステム

MR の主電磁石電源サブシステムは、6 ファミリの変更電磁石、16 ファミリの四極電磁石、2 ファミリの六極電磁石の合計 24 台の電源で構成されている。主電磁石電源サブシステムは加速器制御システムとは独立した光ファイバ網を構成しており、D3 をハブとして D1 と D2 を接続している (Fig. 1)。タイミングシステムが分配する基準クロックとトリガ信号は主電磁石電源サブシステムが D3 で受信し、D1~D3 の各電磁石電源に分配することでこれらの運転を同期させている。また、各電磁石電源を統合制御する PLC のための LAN も D3 をハブとしており、D3 で加速器制御システムのフロントエン

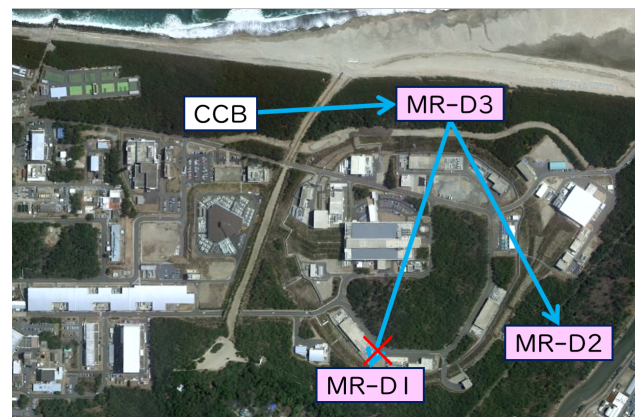


Figure 1: Optical fibre network for main magnet power supplies.

ド計算機に接続されている。

2.2 MR 第 1 電源棟での通信障害 (2022 年 4 月)

MR は 2021 年 6 月から 2022 年 5 月の長期停止期間中に、主電磁石電源システムをアップグレードした [4]。各電磁石電源の個別の調整が概ね終了し上位制御系に接続して全ての電磁石電源を統合して通電しようとした 2022 年 4 月に、D1 に設置されている全ての主電磁石電源に制御信号が分配されていないことが判明した。調査の結果、主電磁石電源サブシステムの D3-D1 間の光ファイバ通信が途絶していた。

主電磁石サブシステムの光ファイバ網は建屋間配線と建屋内配線を各電源棟に設置されている光成端箱で融着していたため、光ファイバの損傷箇所を特定するのは困難であった。まず D3-D1 間の全 12 系統の各光ファイバに D3 側から光を入力し、目視で損傷している系統を特定した。次に、光パルス試験器を用いて正常な系統と損傷している系統の光ファイバの開放端あるいは損傷部までの通信可能距離を測定し、損傷箇所を特定した。いずれも 2021 年に新規に敷設した光成端箱と電源制御盤を

* shuei@post.kek.jp



Figure 2: Damaged optical fibre cable. The outer sheath is missing and the reinforcing element is fraying.

接続する建屋内の単芯コードで、床下ピットの電線管内に敷設されている部分が損傷していた。電線管内から単芯コードを引き出したところ、外部被覆が失われており、内部の補強用繊維がほつれた状態になっていた (Fig. 2)。

実際に光ファイバがいつ損傷したのかは不明であるが、損傷したのは長期停止期間中であり、また損傷部を除去して余量分の光ファイバを再度融着することで速やかに復旧できたため、加速器の運転には支障を来さなかった。

3. 加速器制御ネットワークでの通信障害

3.1 加速器制御ネットワーク

J-PARC の加速器制御システムはフレームワークとして EPICS [5] を用いて構築されており、CCR を起点としたツリー状の TCP/IP ネットワークを構成している (Fig. 3)。各建屋・施設間の光ファイバは二重化されており、一方に通信障害が発生しても通信を継続できるように冗長構成になっている。また、各建屋に置かれているエッジスイッチの通信状態は SNMP [6] を用いて監視・記録しており、通信障害が発生した回線や時刻の特定が可能である。

MR の各電源棟とハドロン実験施設 (HD)、ニュートリノ実験施設 (NU) は MR-D3 を起点としたサブツリーになっている。各建屋では光成端箱に設置されたパッチパネルで建屋間配線と建屋内配線を分離している

3.2 MR 第 3 電源棟での通信障害 (2022 年 4 月)

2022 年 4 月に、MR-D3 に接続されている 5 系統 10 回線の光ファイバのうち、3 系統 4 回線の通信が 4 日かけて順次途絶した。D3-HD 間の回線は主・副の 2 回線とも途絶した。

パッチパネル部で光ファイバを切り離して光を入力し目視で検査した結果、建屋内配線で通信が途絶していることが判明した。これらの建屋内配線はいずれも 2021 年 10 月に新しく敷設されたものであった。

当初は光ファイバを盤の扉に挟んで損傷させてしまう人為的なミスが疑われた。エッジスイッチの記録を確

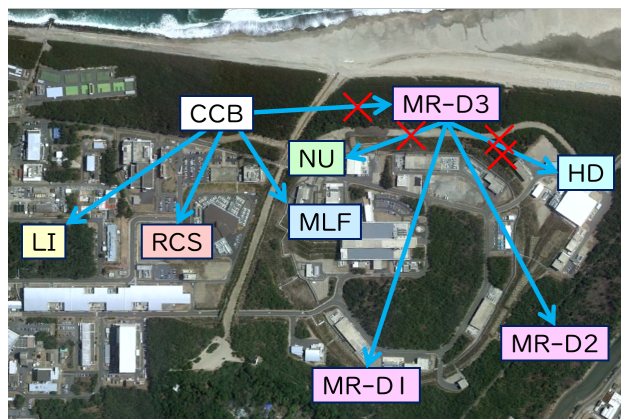


Figure 3: Fibre optic network for accelerator control network.

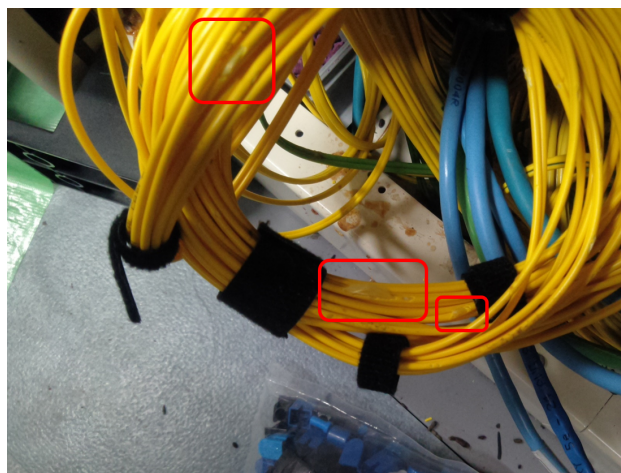


Figure 4: Damaged optical fibre cable (and mouse excreta). The core of the fibre is exposed (in boxes in the figure).

認したところ、いずれの障害も深夜の時間帯に発生しており、当該時間帯に作業を行った記録もないことから人為的なミスの可能性は排除された。次に障害が発生した全ての系統が共通して利用している、パッチパネルからエッジスイッチまで床下に敷設されている電線管の破損が疑われた。床下を点検した結果、この可能性も排除された。最終的に、19 インチラック内に敷設されていた光成端箱から電線管に光ファイバを導入する箇所、光ファイバの被覆が失われコアが露出していることが確認された (Fig. 4)。電線管内から単芯コードを引き出したところ、D1 での損傷と同様に外部被覆が失われており、内部の補強用繊維がほつれた状態になっていた。

こちらの障害も光ファイバが損傷したのは長期停止期間中であり、また予備の光ファイバを配線することで速やかに復旧できたため、やはり加速器の運転には支障を来さなかった。

4. ネズミの侵入経路

光ファイバが損傷した D1 と D3 の両方で、光ファイバを齧ったような痕跡があること、破損箇所の近傍で小

動物の排泄物と思われるものが確認されたことから、ネズミによる食害がつよく疑われた。

各電源棟の変圧器ヤードから棟内に電力ケーブルを引き込むための貫通部 (Fig. 5) を仔細に点検したところ、複数の箇所ではパーティションとのケーブルの間の充填材が喪失しており、パーティションとケーブルの隙間を



Figure 5: Power cable penetration points (in ovals in the figure).

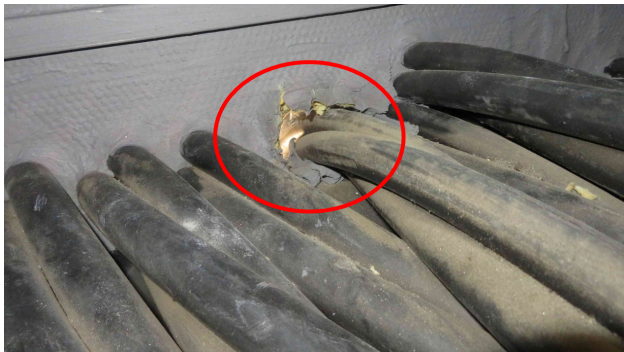


Figure 6: One of the mouse intrusion points (in an oval in the figure).

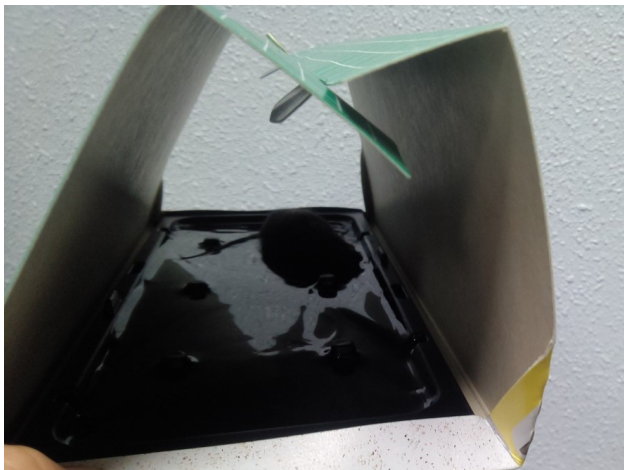


Figure 7: One of the mouse trapped.

に外部から棟内に向かって押し広げたような穴が発見された (Fig. 6)。2022 年 2 月にケーブルを敷設し施工したパーティションにも穴が明けられていた。ネズミがパーティションに穴を開け、変圧器ヤードから棟内へ出入りしていたと推測される。

光ファイバが損傷した箇所の近傍に粘着性の罠を仕掛けたところ、合計 3 匹のネズミを捕獲した (Fig. 7)。このことから、光ファイバはネズミによる食害をうけたと考えられる。

5. 対策とまとめ

複数の電源棟でほぼ同時期にネズミによる光ファイバの食害が発生した。敷設してから 1 年以内の配線が被害にあった。また施工してから 1 年以内のパーティションに穴が開けられ、ネズミの侵入経路となっていた。

これらのことから、電源棟に電力ケーブルを導入する貫通部は施行時期の新旧に関わらず定期的に点検することとした。ネズミに穴を開けられた貫通部の穴は防鼠性のパテを充填して塞いだ。被害を受けていない貫通部の充填材も通常のものから防鼠性のものへ、点検の際に順次変更することにした。さらに、貫通部の周囲にはネズミ忌避剤を定期的に散布するようにした。

主電磁石電源の光ファイバに関しては、配線経路を変更して極力地面から遠ざけることとした。また、これまで建屋間配線と建屋内配線を融着していたが、パッチパネルを導入することで障害発生時の切り分けを容易にし保守性も向上させた。

光ファイバケーブルの食害があった箇所や、光ファイバケーブルが地上近くに敷設されている箇所には殺鼠剤と罠を設置した。

これらの防鼠措置を施し定期的に経過を観察するようにしてから約 2 年が経過した。その後は光ファイバの食害は発生していない。ネズミも目撃・捕獲されていない。

参考文献

- [1] T. Koseki *et al.*, “Beam commissioning and operation of the J-PARC main ring synchrotron”, Prog. Theor. Exp. Phys (2012) 02B004. doi:10.1093/ptep/pts071
- [2] K. Sato *et al.*, “The third phase update of control Network in J-PARC MR”, Proceedings of the 21th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, THP036, (2024).
- [3] N. Kamikubota *et al.*, “Operation Status of J-PARC Timing System and Future Plan”, Proceedings of ICALEPCS 2015, WEPGF121 (2015). doi:10.18429/JACoW-ICALEPCS2015-WEPGF121
- [4] K. Miura *et al.*, “Upgrade of main magnet power supply system in J-PARC MR for high-repetition rate operation”, Proceedings of the 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, TUP039, (2022).
- [5] EPICS - Experimental Physics and Industrial Control System. <https://epics-controls.org>
- [6] “An Architecture for Describing Simple Network Management Protocol (SNMP) Management Frameworks”. <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc3411/>