

# PFトンネル内の放射線強度測定のための遠隔電動台車の開発 REMOTE RADIATION MONITORING CART FOR THE PF TUNNEL

高巢晃<sup>#A)</sup>, 路川徹也<sup>B)</sup>, 塩澤真未<sup>A)</sup>, 帯名崇<sup>A)</sup>, 平木雅彦<sup>A)</sup>

Akira Takasu<sup>#A)</sup>, Tetsuya Michikawa<sup>B)</sup>, Mami Shiozawa<sup>A)</sup>, Takashi Obina<sup>A)</sup>, Masahiko Hiraki<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization

<sup>B)</sup> Alten Japan Co., LTD.

## Abstract

To ensure the safe and efficient operation of synchrotron radiation facilities, we have developed a compact remotely operated robot capable of monitoring conditions inside the accelerator tunnel during operation. Designed for deployment at the Photon Factory (PF), this palm-sized robot enables real-time measurements of temperature and radiation levels in areas inaccessible to humans due to high radiation exposure. The robot is equipped with a web camera, a thermal imaging camera, and a radiation sensor, all mounted within a handheld chassis, and can be controlled remotely from a safe location to provide continuous observation of the tunnel environment. Multiple in-operation tests have already been conducted, confirming stable performance. At present, development of a new one-meter-class robot is underway to achieve broader measurement capability and enhanced mobility.

## 1. 背景

運転中の加速器を安全かつ安定して運用するには加速器の状態をモニターする事が重要である。特に加速器室内での熱上昇を検知することは安全かつ安定した加速器の運用に寄与する。加速器の温度上昇をもたらす原因は、放射光の照射によるものや、電子ビームが誘起する電磁場が局所的に蓄積するなど多岐に渡る。これらの温度上昇をいち早く検知するために熱上昇が予測される箇所には熱電対などのセンサーが取り付けられている。しかし、取り付けられるセンサー数 (PF で 200~300 点、KEKB で数千点) は有限である。固定式センサーを取り付けていない予測外の箇所での熱上昇を検知出来ない課題があった。

## 2. 初期の小型ロボット開発



Figure 1: The small-RAT operating inside the ring. An LED light is mounted at the tip of the long rod extending from the top, serving as a visual signal to prevent it from being accidentally stepped on during work.

初期段階では、研究を迅速に立ち上げるために3Dプリンターを活用し、小型ロボット (small-RAT) の開発を行った。手のひらサイズの筐体に必要最小限の機能を集約し、短期間で試作と改良を重ねることで、運転中のトンネル環境に適応可能な設計を実現した (Fig. 1)。その結果、2024年にはPFトンネル内において放射線強度のリアルタイム測定に成功し、遠隔観測技術の有効性を実証することができた (Fig. 2)。この成果は、後続する大型かつ高機能なロボット開発への基盤となっている。

移動型モニタリングロボットの開発にあたっては、以下の課題が存在した。①誤動作によってリング内の機器を損傷させないこと。②放射線による制御回路への影響や誤動作の可能性が未知であること。これらの課題に対応するため、本研究では3Dプリンターで製作した小型か

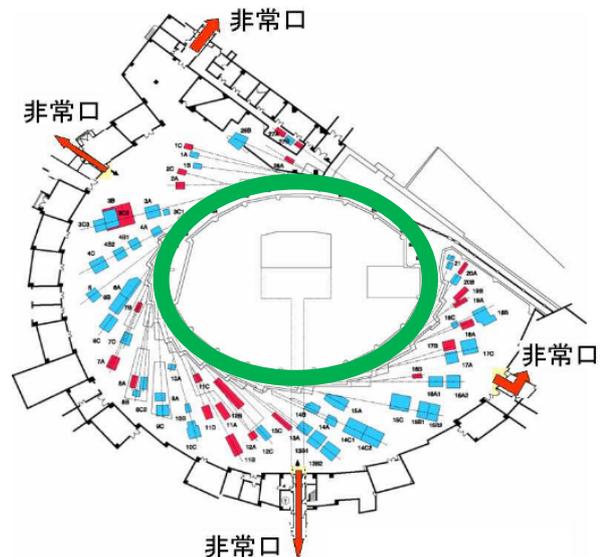


Figure 2: View of the Photon Factory (PF) ring. In 2024, monitoring was conducted inside the green-highlighted section of the ring.

<sup>#</sup> akira.takasu@kek.jp

つ軽量なロボットを試作し、運転中のリング内で走行試験を実施した。小型の Radiation Activity Tracking (RAT) システムであることから、これを small-RAT と命名した。small-RAT により、運転中のリング内でロボットを運用する際に生じる多様な課題を洗い出すことができた。ロボットの制御は、リング外に設置した端末から遠隔操作によって行った。

### 3. 1m クラス中型ロボットの開発

トンネル内で長時間にわたり安定した放射線測定を行うため、1m 級の中型ロボット (RAT-L1) を開発した (Fig. 3)。本機は、開発期間の短縮と量産性の向上を目的として市販の乗用ラジコンをベースに設計され、大容量の 100 Ah 自動車用バッテリーを搭載している。これにより、理論上は 20 時間以上の連続走行が可能となり、実運用においても休止時間を含めれば 24 時間以上の無充電稼働が見込まれる。現在の性能では、トンネルを約 30 分で一周することができる。



Figure 3: RAT-L1 in operation inside the tunnel.

また、電離箱式放射線センサーを搭載したことで、従来機に比べて放射線強度の測定感度が大幅に向上した。制御はトンネル外の制御室に設置した PC から Wi-Fi 経由で行われ、移動指令および Web カメラや放射線センサーの信号は EPICS を介して通信される。さらに、トンネル全周で安定した通信を確保するため、Wi-Fi ルーターのアンテナ増設と配置の最適化を進めている。

### 4. まとめ

本研究では、放射光施設の運転中トンネル内における遠隔観測を可能とするロボットシステムの開発を進めてきた。初期に開発した small-RAT により、運転中の環境下で放射線強度を安定して測定できることを実証し、その成果を基盤として、長時間運用と高感度計測を実現する中型ロボット RAT-L1 を開発した。RAT-L1 は大型バッテリーと高性能センサーを搭載し、トンネル全周にわたる安定した観測が可能となった。今後は通信環境のさらなる最適化と走行性能の向上を図り、放射光施設の安全かつ効率的な運用に貢献していく予定である。

### 謝辞

本研究の遂行にあたり、Photon Factory (PF) 関係者の皆様のご協力に深く感謝申し上げます。また、開発・試験に際して多大なご支援をいただいた高エネルギー加速器研究機構 機械工学センターの皆様にも厚く御礼申し上げます。