

測位センサネットワークシステムの放射線環境下における耐久性の検討

RADIATION DAMAGE STUDY OF THE POSITIONING SENSOR NETWORK SYSTEM IN HIGH RADIATION ENVIRONMENT

川端康夫^{#, A)}, 松田浩朗^{A)}, 松元和伸^{A)}, 田頭茂明^{B)},
石井恒次^{D)}, 吉岡正和^{D)}

Yasuo Kawabata^{#, A)}, Hiroaki Matsuda^{A)}, Kazunobu Matsumoto^{A)}, Shigeaki Tagashira^{B)},
Koji Ishii^{C)}, Masakazu Yoshioka^{C)}

^{A)} TOBISHIMA Corp., ^{B)} Kansai Univ., ^{C)} KEK

Abstract

The authors have developed the location system using a local area network, in order to ensure user's safety during emergency in a long tunnel, such as ILC facility. This system has been applied the medical facilities (iNMRC) used for radiation therapy and a long tunnel for soil transport by the belt conveyor system as experimental trials until last year.

On the other hand, it is necessary to verify the influence on the communication accuracy due to wave noise and on the durability of the equipment (AP) according to the radiation, during accelerator operation, in order to introduce this system on ILC. In this research, we investigate the influence on the durability, and the communication performance of the system, in high radiation environments in MR tunnel J-PARC.

1. はじめに

東日本大震災の際の危機的状況の中で、J-PARCで作業中の職員がトンネル内からの脱出に時間を要したことが本研究開始の発端である。

加速器施設においては、施設利用者に対する放射線の管理や災害時の安全確保が極めて重要である。従来、大型加速器施設においては、PPSが適用され¹⁾、トンネル入域者の安全性確保に効果を発揮している。これに加え、施設利用者の位置やその動線に基づく管理、さらに発災時に適正な避難誘導が行えるシステムを実装できれば、さらに有効性は高まるものと考えられる。

筆者らは、モバイル端末を利用した屋内向け測位センサネットワーク技術の開発^{2, 3)}に取り組んでいる。測位センサネットワーク技術とは、モバイル端末を測位センサとして利用し、情報通信と同時にモバイル端末の通信位置を特定するものである。本技術により、空間内のモバイル端末保有者の所在やその動線等が把握可能となる。

本研究は、加速器施設の利用者の安全性向上を目的に、測位センサネットワーク技術を応用し、加速器施設における位置情報に基づく放射線管理・防災システムを開発するための取り組みの一環である。

既に、本システムの有効性の検証を目的に、いばらき中性子医療研究センター（以下、iNMRCと記す）での実験を実施し、モバイル端末を有する人物の所在位置、動線および入退室時刻の管理^{4, 5)}に関し、実現性を検証した。

また、ILCを想定した既存の直線状の長大かつ小断面トンネル（神戸ベルトコンベアトンネル）を用

いて、無線LANの通信速度と同時測位の精度に関する実験を実施し、通信インフラとしての性能、加えて、長大かつ小断面トンネル内における測位精度の誤差は±2.5m程度は確保できること⁶⁾が検証できた。

一方で稼働している加速器において本システムを導入するには、加速器稼働時の電波ノイズの通信精度への影響、測位センサ基地局の放射線に対する耐久性をさらに検証していく必要がある。

本研究開発では、現在稼働中であるJ-PARCのMR加速器トンネル内に機器を持ち込み、高放射線環境下での装置及び通信状況への影響を調査し、今後のシステム開発の基礎資料を得る。本編ではこの実験計画の概要を示す。

2. 実験計画概要

1) 目的

本実験では、どの程度の放射線量でシステム（通信測位システム、装置）の性能劣化（機能停止等）が起こるか、どの箇所がどういった故障をするか、等の把握を目標とする。

J-PARCのMR加速器トンネル内には放射線の種類・量を監視できる機器が稼働中であり、そこに測位センサの基地局を配置して、放射線の種類・量をモニターしながら測位センサネットワークの稼働状況をPCで記録する。PCもトンネル内に設置するが比較的低い放射線環境下に置き、かつ直達の放射線

[#] Yasuo_Kawabata@tobishima.co.jp

Table 1: Experimental Outline

種類	試験条件並びに試験方法
Test 1/加速器停止中の残留放射線に対する影響の把握	<ul style="list-style-type: none"> ・期間/夏期メンテ期間中 (7~9月) ・装置位置/コリメータ部に基地局 ・照射量/最大 1 Gy 程度 ・観測方法/監視用PCによる動作状況の常時監視
Test 2/加速器運転ノイズの影響の把握	<ul style="list-style-type: none"> ・9月頃の主電磁石・電源全台試験時をねらって稼働試験 ・ノイズ環境下での動作状況の確認
Test 3/加速器稼働中の放射線(中性子・陽子・ガンマ線等)に対する影響の把握	<ul style="list-style-type: none"> ・受信器を RadMon 近傍に設置して試験 (放射線量のモニター) ・照射量/最大 1kGy 程度 ・観測方法/監視用PCによる動作状況の常時監視

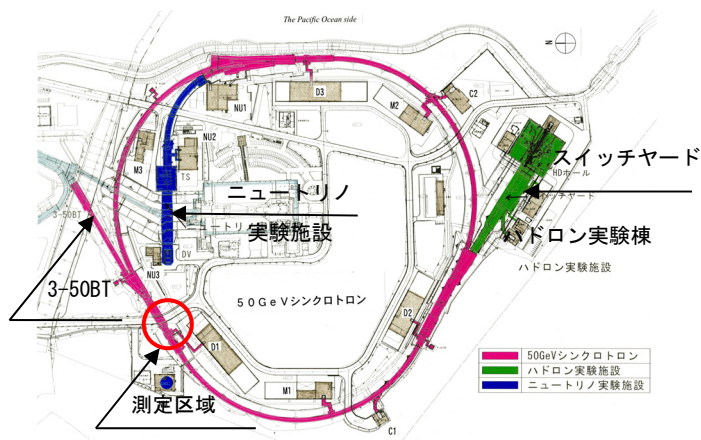
(陽子・中性子) が少ない位置に配置する。基地局と PC は LAN ケーブルでも接続し、無線と有線の両方でネットワーク稼働状況を確認する。

稼働状況を監視する。パソコンは、直接放射線の影響を受けない位置に装置する。

2) 測定区域

J-PARC の MR 加速器トンネル内のコリメータ部(図中赤丸印)に装置する。当該過箇所の放射線レベルは、停止期間中で最大 1Gy 程度、稼働期間中で最大 1kGy 程度を想定している。

50GeV シンクロトロン MR



測位機能付き AP 市販 AP



BLE 機器

Photo 1: View of the AP and BLE.

Figure 1: Main accelerator tunnel facilities and measuring position.

3) 設置機器と配置計画

設置機器は、これまで iNMRC や神戸ベルコントンネルで検証してきた、Photo1 に示す無線 LAN のアクセスポイント (AP) と今後活用を想定している Bluetooth Low Energy (BLE) の Beacon 発信機器を計画している。現段階では、放射線対策機器は適用せず、市販品での耐久性の程度を検証する。Table1 の「Test 3/稼働中試験」における機器配置、測定区域の状況を Figure 2、Photo2 に示す。AP と BLE を常設の放射線モニター (RadMon) の近傍に設置し、これと電波通信ができる AP を設置、この AP とシステムを管理するパソコンをケーブルで接続し、

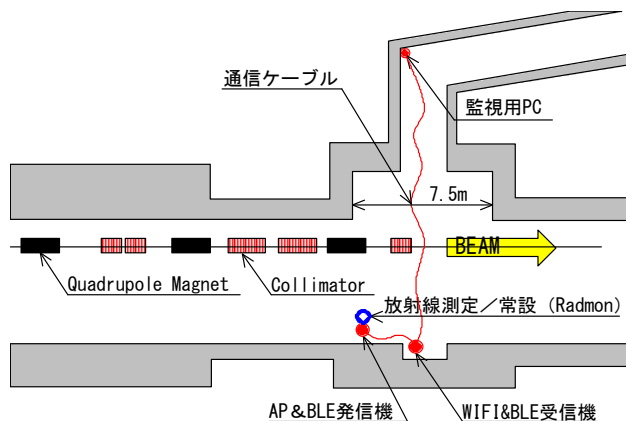


Figure 2: The arrangement of the system on measuring position (Test 3).

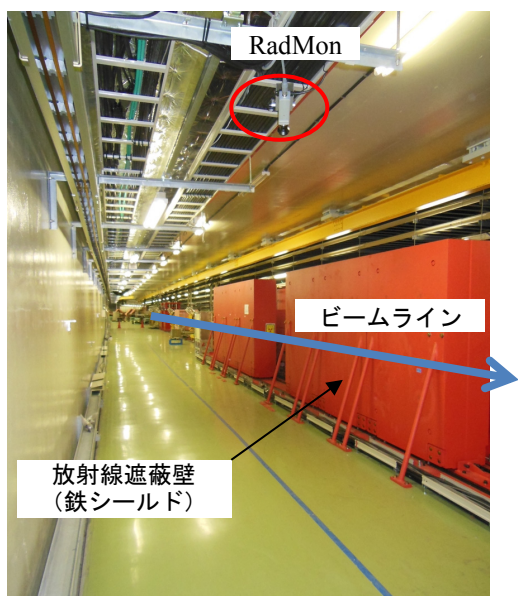


Photo 2: View of the measuring position.

Table1 の「Test 1/停止中試験」における機器配置状況と監視用 PC を Photo3、4 に示す。



Photo 3: The equipment near the beam duct pipe (Test 1).

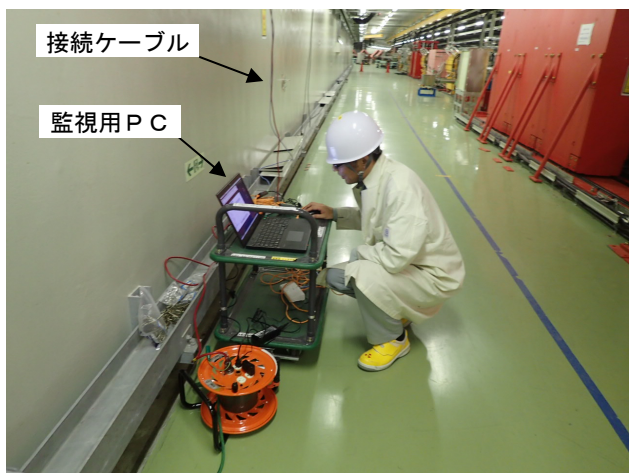


Photo 4: The monitoring system (Test 1).

4) 放射線測定方法

LHC は陽子加速器であるため、トンネル内の放射線環境は複雑であり、異なる種類かつ異なるエネルギーの放射線の影響が混在する。CERN で開発された放射線測定器 RadMon¹⁶⁾は LHC トンネルの中に置かれた電子回路の放射線効果を測るためのものである。RadMon では線量の合計 (Total Ionization Dose、TID)、中性子線量 (1MeV-equivalent)、Single Event Upset を計測することができる。

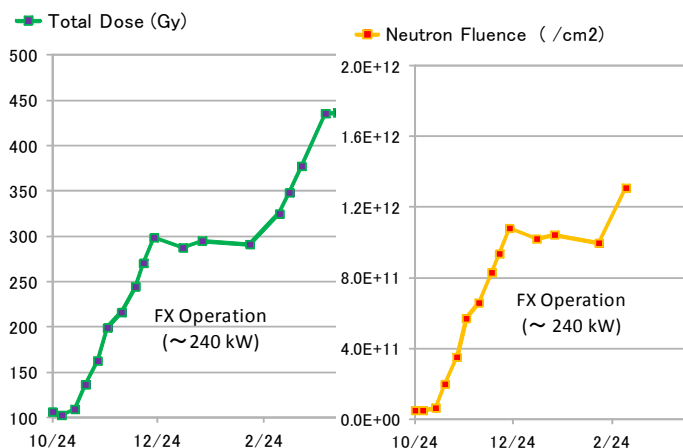


Figure 3: The measurement results by RadMon.

RadMon 測定の例として、昨年度得られたデータを Figure 3 に示す。左側の図が Total Dose (Gy)、右側の図が 1 MeV 相当に換算した cm^2 あたりの中性子線量の数を示す。MR は 2014 年 10 月下旬よりユーザー運転が開始され、速い取り出し運転 (FX Operation) 約 240kW の出力で、ニュートリノ実験施設へのビーム供給を実施した。その後、年明けの休止期間の後、2 月下旬からユーザー供給が再開された 3 月中旬までのものとなっている。正味の稼働期間を取り、およそ 2 ヶ月で 200Gy の線量であることから、現在の RadMon 機器設置の場所で約 100 Gy / Month の放射線量と推定される。本計画を遂行するのに適当な線量であると考えられ、現在の RadMon 機器設置の場所近傍に測位 LAN 基地局等を設置して試験を実施する計画である。なお、現在の RadMon 機器設置の場所は、ビーム運転中の放射線源であるコリメータのタングステン Jaw から 5m 程度以上と十分離れており、また間に 1m 以上の鉄シールドが入っているため、数十 cm 程度では場所の依存性は無いと考えている。

5) AP および BLE の稼働状況の監視

無線 LAN の AP、BLE の稼働状況を PC にて行う。PC に WiFi および Bluetooth 子機を接続し、AP および BLE が発信する Beacon を定期的 (1 分間隔) に取得する。Photo 5 のように Beacon が受信できれば

AP または BLE は健全、受信できなければ故障と判断する。なお、AP に関しては別途有線 LAN で接続し、ICMP (Internet Control Message Protocol) エコー応答による健全/故障の判断も合わせて行う。



Photo 5: The reception state of the beacon (Test 1).

3. おわりに

本論文では、高放射線環境下での装置及び通信状況への影響を把握するため、今夏から実施する J-PARC での検証実験の概要を示した。

今後は、これら実験を踏まえ、試験結果を評価し、現有システムでの適用範囲、限界を明らかにするとともに、引き続き耐久性向上のための対策について検討を進める。

参考文献

- [1] 榎泰直, 中村直樹, 吉川博, 上田晋司, “J-PARC LINAC 用高速インターロックシステムの設計”, Proceedings of 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, pp.467-469, 2003.
- [2] 松田浩朗, 松元和伸, 田頭茂明, “無線 LAN 測位の測位精度に関する研究”, 土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集, pp.549-550, 2012.
- [3] S. Tagashira, Y. Kanekiyo, Y. Arakawa, T. Kitasuka, and A. Fukuda, “Collaborative Filtering for Position Estimation Error Correction in WLAN Positioning Systems”, IEICE Trans. on Communications, Vol. E94-B, No.03, pp. 649—657, 2011.
- [4] 川端康夫, 松田浩朗, 松元和伸, 小林薫, 田頭茂明, 大場俊幸, 吉岡正和, “加速器施設における測位センサネットワークに基づく放射線管理・防災システムの開発”, 第 11 回日本加速器学会年会, 2013, 8.
- [5] 川端康夫, 松田浩朗, 松元和伸, 田村琢之, 小林薫, 田頭茂明, 山本祐輔, 前田修, 大場俊幸, 吉岡正和, “測位センサネットワークによる加速器施設の防災・放射線管理のための位置管理システムの開発”, 第 12 回日本加速器学会年会, 2014, 8.
- [6] 大森千広, 田村文彦, 長谷川豪志, 吉井正人, 白形政司, “LHC 入射器アップグレードのためのラドモンを使った半導体の放射線損傷試験”, 第 12 回日本加速器学会年会, 2014, 8.