

# J-PARC MRにおける測位センサネットワーク装置と防災用アプリの全域実装 FULL-SCALE IMPLEMENTATION OF POSITIONING SENSOR NETWORK DEVICES AND DISASTER PREVENTION APPLICATION IN J-PARC MR

川端康夫<sup>#, A)</sup>、松田浩朗<sup>A)</sup>、松元和伸<sup>A)</sup>、田頭茂明<sup>B)</sup>、  
石井恒次<sup>C)</sup>、大森千広<sup>C)</sup>、吉岡正和<sup>D)</sup>

Yasuo Kawabata<sup>#, A)</sup>, Hiroaki Matsuda<sup>A)</sup>, Kazunobu Matsumoto<sup>A)</sup>, Shigeaki Tagashira<sup>B)</sup>,  
Koji Ishii<sup>C)</sup>, Chihiro Oomori<sup>C)</sup>, Masakazu Yoshioka<sup>D)</sup>

<sup>A)</sup> TOBISHIMA Corp., <sup>B)</sup> Kansai Univ., <sup>C)</sup> KEK, <sup>D)</sup> Tohoku Univ., Iwate Univ.

## Abstract

The authors aim to realize the location information of workers in accelerator tunnel, stay time, and two-way communication in case of emergency as a disaster prevention system for large accelerator facilities such as J-PARC. Last year, nine access points were set up in 500m on MR tunnel, and tests of the disaster prevention application were performed. This disaster prevention application is developed with a familiar "LINE" style. Various functions such as "simultaneous sending and receiving of message", "recording of sending place of message", "read display of message", "acquisition of current position of user", and "user activity monitoring" were verified. Based on the research results, full-scale application in whole MR tunnel has been decided. It was also adopted for the scientific research grants from Ministry of Health, Labor and Welfare and approved for the next three years. In this first year, we start user test of the full-scale in order to extract the system issues, and will feedback them to the application.

## 1. はじめに

東日本大震災の際の危機的状況下、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。大規模な加速器施設では、施設利用者に対する放射線防護や災害時の安全確保が極めて重要である。通常加速器施設では、PPS(Personal Protection System)が適用され[1]、施設入域者の放射線防護を担っている。一方で、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が実現できれば、病気や事故、災害時の安全性が大いに高まるものと期待される。しかしながら、地下に建設されることが多い加速器トンネルはあらゆる電波が届かないため、セルラー網による通信や GPS(Global Positioning System) による測位ができず、ICT(Information And Communication Technology)技術の活用が限定的なものとなっている。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]に取り組んできた。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。

Figure 1 は ILC のような大規模な地下の加速器施設での防災システムの概念を示している。閉鎖空間である大規模な加速器トンネルでの運用において、緊急時にモバイル端末を活用して作業員の位置を特定するとともに、管理者と作業員が効率よくコミュニケーションがとれる防災システムの構築を目指している。

<sup>#</sup> Yasuo\_Kawabata@tobishima.co.jp

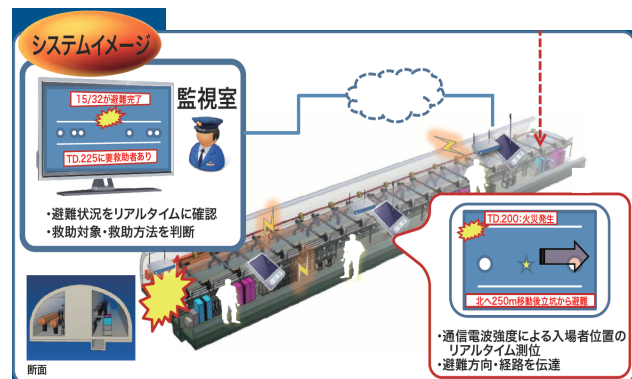


Figure 1: Concept of a disaster management system in ILC.

筆者らは、開発したシステムを加速器施設等で試験し、実用化に向けた使用性や精度の検証[4, 5]を行ってきた。また J-PARC MR の一部区間に通信装置(AP:アクセスポイント)を複数台配置してシステムの実証検証を行い、放射線環境下における耐久性等の研究[6, 7]を行った。2019 年度からは新たに厚生労働省の科研費が認められ、MR 全域にシステムを展開、本格運用を予定している。本論文では、主に 2018 年度に行った防災アプリの開発について報告し、また 2019 年度の予定等について言及する。

## 2. ICT防災アプリの開発

開発した防災アプリは、加速器トンネルで使用されることを念頭に、特に閉空間にいるユーザとの連絡等を円滑に行うことができるような、以下の基本機能を有するようにした。

(A) 施設外との通信(インターネットとの通信)が必要

- なく、ローカルな環境で動作可能
- (B) 電波を用いたユーザの現在位置の取得機能
- (C) 同時に複数のユーザ間でのメッセージの送受信機能  
メッセージの送信場所の記録機能、メッセージの既読機能
- (D) ユーザが活動しているかどうかを管理するユーザの状態監視機能

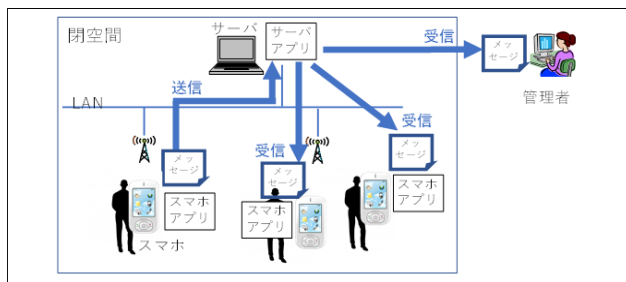


Figure 2: Configuration of disaster prevention app.

Figure 2 は構築した防災アプリの概念を示しており、サーバアプリとスマホアプリに分かれた構成を行っている。サーバアプリは閉空間に設置されたサーバ上で動作し、スマホアプリからの要求を処理する。スマホアプリはユーザが持つスマートフォン上で動作し、サーバとのメッセージ送受信、ユーザの位置管理や活動管理などを行う。ユーザの活動停止やユーザの既読等もメッセージとして実装されてサーバに通知される。防災及び管理上の観点から、使われるスマホ端末は施設側で準備し、ユーザが個人で持つ端末等にアプリをインストールする形は取っていない。また技術選択として、双方向コミュニケーションが容易な Wi-Fi を用いた環境構築を行った。AP については市販品を用い、放射線耐性を確認したうえで用いている。

### 3. MR での試験運用(2018 年度まで)

#### 3.1 MR 内の通信装置の配置

Figure 3 に示すような J-PARC MR の一部の区間 400m の間に 9 台の AP を約 50 m ピッチで配置し、試験を行っている。通信機器を配置した箇所は、昨年来から AP の耐放射線性能を検証してきたコリメータ部の通

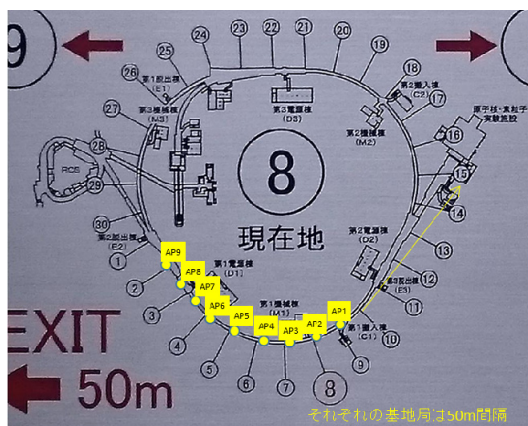


Figure 3: Placement of the access points in J-PARC MR tunnel.

路近傍を含んでいる。そこにはガンマ線と中性子線の総放射線量を測定できる半導体測定装置 (RadMon[7]) が常設しており、放射線の常時モニタリングが可能となっている。今回使用した AP の 1 台も RadMon の近傍に設置し、中性子線を含む放射線の影響を試験しながら、試験運用を行った。RadMon の測定値から、その近傍での放射線量はおよそ 100 Gy/Month 程度、AP 設置後の 2 年間での累積照射量は 1kGy 程度に達している。この間、加速器稼働中には AP の電源を OFF にして運用、その条件下で全 AP は正常に動作し、通信機能の健全性も確認されている。

各 AP 間は有線の通信ケーブルで接続されている。サーバ用 PC は地上の施設内に設置し、トンネル内の AP とは通信ケーブルで接続した。サーバ用 PC は管理者用 PC としても運用している。モバイルの位置は最も近い(電波強度の強い)AP をモバイルの位置として認識する方式を採用した。Figure 4 にトンネル内の設置状況を示す。AP の電源はシリーズ接続され、現状、トンネル内の分電盤から全9台を使用時のみ一括して ON-OFF する

ようにしている。将来的には AP 電源の ON-OFF は地上上部で非常発電系に載せ、自動的にビーム運転(トンネル内アクセス)に同期した形を取ることを考えている。

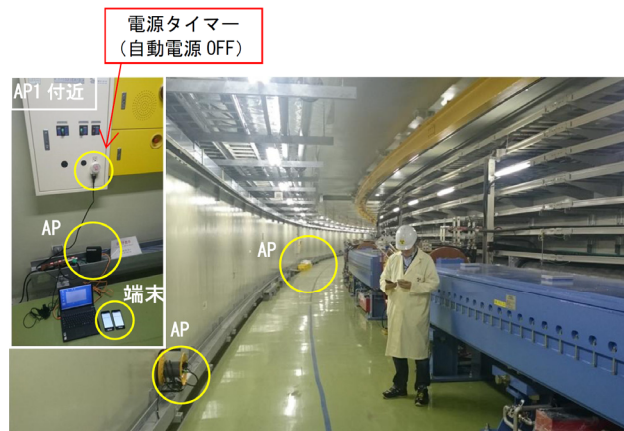


Figure 4: Positioning sensor network system in MR.

#### 3.2 サーバ用とスマホ用のアプリ画面

モバイル端末は市販の 안드로이드スマホ (ASUS-nexus 6) を使用した。アプリとしては、ほぼスマホソフトの「LINE」がイメージできるように開発している。Figure 5 に管理用 PC の画面を示す。左側の MR の平面図には、入城者の所在位置が紫のタグで示されている。また一定期間モバイルに動きがない場合は異常事態を示す警報 (黄色のタグで点滅) ができるようにした。右側の帯では入城者の動向 (入城者の入退出、入城者の所在、入城者の状態、入城者との交信内容、通信の既読状況) が時系列で表示されている。過去に遡って閲覧できるようにしており、アップした写真等も表示される。

Figure 6 に 3 種のモバイル用画面を示す。中央が標準のメッセージ閲覧画面で、左側は位置情報画面、右側は既読情報画面となっている。

2018 年度は、これらモバイル、サーバアプリを活用、代表的な防災シナリオ (①入坑者の入坑・通信開始・所在確認、②入坑者の異常発生時、③災害発生時、避難

誘導)を作成し、試験運用の中で防災アプリの使用性の検証を行った[8]。

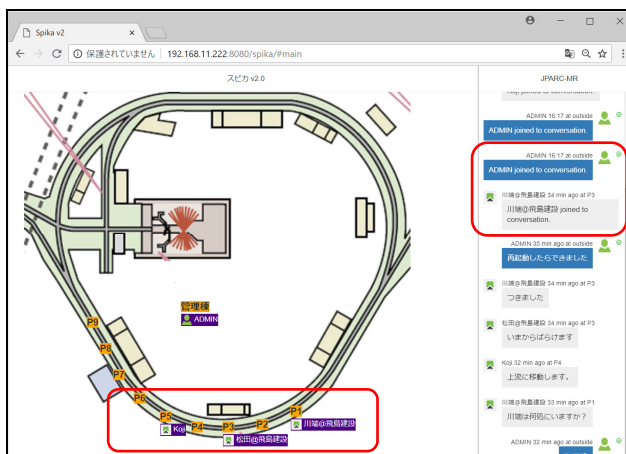


Figure 5: Basic screen on the administrator PC.

### 3.3 試験運用で抽出された課題と対策

実際の運用を想定した試験を 2019 年の 9 月 20 日、11 月 8 日、12 月 12 日の 3 回にわたり実施した。管理者(サーバ)と複数のトンネル区域内作業員(スマホ:実際の作業しながらの運用)を配置し、課題抽出、対策の



Figure 6: Basic screen of the mobile device.

実施を行った。Table 1 にその結果を示す。新たに時計型のウェアラブルデバイスを用いることで、呼び出し音が伝わりにくい状況下でも通知が可能となり、相互連絡の確実性が担保できた。また、LINE 感覚のスタンプを活用することで、伝達速度の向上、利用活性化、利便性の向上に繋がった。その他、機能追加や表示の改善、不具合等の改修を行い、一般使用に耐えうる最低限の準備は整ったと考えている。

Table 1: Trial Operation, Problem Extraction and Implementation of Measures

日時、試験形態	改善点等の意見	システムの改善(機能追加等)
[2019.9.20] [2019.11.8] 管理者 1 名 区域内作業員 3 名	<p>[全体意見]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・日頃 LINE に慣れており、使いやすい。</li> <li>・各人の所在がわかり、緊急時の把握や通常時の工具融通など、情報交換がスムーズである。</li> <li>・作業分担等、利便性が向上すると考えられる。</li> </ul> <p>[区域内作業員意見]</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 作業時は着信音が十分でなく、聞き逃す。</li> <li>2) WiFi 接続エリアから出たときにログアウトされてしまい、再度ログインする必要がある。ログインされているかどうかわからない。</li> <li>3) 各業務グループと全体防災管理(緊急時の通知等)でチャットグループをわけて欲しい。</li> <li>4) 気象警報等がわかると便利。</li> <li>5) Video 通話機能がほしい。</li> <li>6) スマホ画面でも作業員位置マップが見たい。</li> <li>7) 打ち込むのが面倒なため、スタンプ等の定型文がほしい。</li> </ol> <p>[管理者意見]</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>8) 作業員の状態(位置、エリアへの入退場等)を画面上で、わかりやすくして欲しい。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) ⇒ウェアラブルデバイス併用で 振動通知 </li> <li>2) ⇒自動ログイン機能の追加</li> <li>3) ⇒グループ機能を追加</li> <li>4) ⇒自動 Push 機能を追加して自動取得も可能だが、当面管理者が判断して通知する方針</li> <li>5~7) ⇒サーバ、スマホアプリ内に機能追加</li> <li>8) ⇒サーバアプリの改善(人の表示を吹き出し方式に変更、時間経過に伴う残存現象の解消)</li> </ol>
[2018.12.12] 管理者 1 名 区域内作業員 4 名	<p>[機能追加後の意見]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・使いやすくなった。課題が解決されている。</li> <li>・スタンプは良好、種類、表現を増やして欲しい。動画を含め、多様な伝達手段が便利。</li> <li>・全員の位置がわかり、使い易い。</li> </ul>	

## 4. MR での本格適用(2019 年度以降)

### 4.1 MR 全域への拡張

将来的な加速器トンネルでの適用を想定し、試験運用を実施してきたが、J-PARC のような中性子を含む放射線環境下でも十分に使用することができ、また MR での試験運用では緊急時以外にも日常作業で多大な利便性が確認された。この結果から本システムを MR 全域に拡張し、本格的な一般運用を行い、世界に先駆けて、位置測定を活用した防災システムを構築することを目指す。MR 全域への適用はそれなりの予算が必要となるが、今回、厚生労働省科学研究補助金労働安全衛生総合研究事業に応募、採択されたことで、実現に向け大きな一歩を踏み出すことになった。

### 4.2 2019~2021 年度の 3 年計画

既にサーバアプリとスマホアプリを開発しているが、入退城者の管理等、まだまだ課題も多い。特に安全システムに組み込むためには、停電時対策や入退城者の管理徹底が必須となる。本防災アプリで管理しているのはあくまでスマホ端末であり、入退城者の管理にはスマホ端末と入城者の同定が要求される。顔認証等の導入を検討するとともに、見学者等に対するゲスト機能も考慮しなければならない。

安全システムとしていきなり運用するにはハードルが高く、運用しながら課題を抽出し、フィードバックをかけて開発する方が、J-PARC のような既存施設では得策である。このため研究計画では初年度(2019 年度)に MR トンネル全域へ展開し、一般運用を可能な限り早く開始する計画とした。一方、実用性の確認・問題の抽出には、作業員がトンネル内でメンテナンス等を行って、問題を炙り出す十分な時間が必要である。このため 3 ヶ年に渡り、システムの運用を通して課題の抽出に努める。課題の解決(システムの改修)は可能なものから並行して行う。最終年度(2021 年度)には、J-PARC の安全システムに組み込むことが出来るよう、開発をする予定である。

### 4.3 2019 年度の取り組み

2019 年の MR ビーム運転再開は 11 月を予定している。現在、Table 2 の要求性能を満足する装置を手配しており、10 月末までにはトンネル内の配線等を含め、システムとして運用が開始可能なよう準備を進めている。Figure 7 に現在開発中の MR 全域を対象とした場合のサーバ画面を示す。また図中には将来実現したい、様々な警告の内容や情報等が示されている。MR には残留放射線の高いところがあり、入城者は予めその情報を熟知した上でトンネル入城を行うことになっている。本システムの位置情報を活用すれば、例えば失念していたとしても、残留放射線が高い危険な領域に近づけば、自動的に警告して作業員自身に知らせることが可能になる。さらに MR では頻りに電磁石等の通電試験が行われるが、現状では監視員がトンネル内現場に立つか、該当区域を立ち入り禁止にして、通電試験を行う必要がある。本システムはこういった日常的な危険に対しても手助けになると期待しており、今年度中にもバージョンアップし

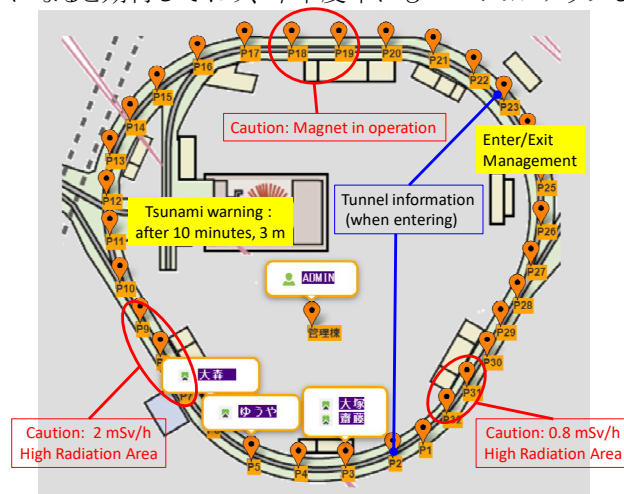


Figure 7: Basic screen on the administrator PC.

Table 2: Required Device Performance

装置/システム	要求性能	機種・仕様
モバイル	<ul style="list-style-type: none"> <li>通常のスマートフォンとしての機能</li> <li>アンドロイド搭載モバイルで自家製のアプリを組み込むため、基本ソフトがこれに対応したフルオープン</li> <li>6インチ以上の画面</li> <li>無線 LAN、Bluetooth 搭載</li> <li>バッテリー容量 5,000mAh 以上</li> <li>低価格 d</li> </ul>	ASUS ZenFone Max Pro (M2) プロセッサ Qualcomm Snap-ragon660 メモリ 4G Android 搭載
時計型ウェアラブルデバイス	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bluetooth 搭載</li> <li>心拍測定機器を有する</li> <li>Wear OS by Google 搭載</li> </ul>	MISFIT VAPOR 2 プロセッサ Qualcomm Snap-dragon Wear 2100
サーバ	<ul style="list-style-type: none"> <li>Linux が起動</li> <li>有線 LAN を搭載</li> </ul>	プロセッサ Intel Celeron メモリ 8G Linux 搭載
無線 AP	<ul style="list-style-type: none"> <li>汎用的な AP</li> <li>これまでの耐放射線試験で確認されている機種と同型</li> <li>ハブ機能付き</li> </ul>	IEEE802.11 a/b/g/n/ac 対応
ネットワーク	<ul style="list-style-type: none"> <li>J-PARC 内でクローズ</li> <li>MR 全域をカバー</li> </ul>	

たものを導入して、作業等の効率化を図りたいと考えている。

## 5. さいごに

我々は研究開発と並行して、広報活動にも力を入れる予定である。海外を始め、どこの研究施設でも作業者の安全管理には頭を悩ませており、近年の IoT の発達に伴って、我々のコンセプトに似た検討が始まっている。近いうちに世界トレンドになるものと想定しているが、一方で安全システムへの組み込みにはハードルがあるのも否めない。昨年末からこれまでの結果を基に、国内外で発表をしているが、どこでも信頼性についての質問が必ず聞かれる。これはシステム自体の有用性は認められているものの、実際に使用した際、特に安全システムの一部として使用した際、高い信頼性で機能するのか、という懸念を持っているものと考えられる。我々は良くも悪くも結果をオープンにし、先駆者としての役割を果たしていきたい。J-PARC のような先端研究施設での実証が重要で、成功すれば多大な波及効果が期待できると考えている。

本研究では、防災システムを MR の加速器トンネル全周に展開し、入域者全員に防災アプリが導入されたモバイル端末を携帯することで、安全性の飛躍的な向上を目指す。既に基本的な機能を有した防災アプリは完成しているが、作業者に試用してもらうことでフィードバックをかけ、安全システムの一部として運用可能な領域まで開発を行う。開発期間は 3 年を予定しており、初年度にハードの導入、次年度にシステムの定常的な運用、最終年度に安全システムへの組み込みを目指している。

## 参考文献

- [1] F. Hiroki, H. Yoshikawa, Y. Takeuchi, and K. Kubo, "PERSONAL PROTECTION SYSTEM IN J-PARC LINAC", 第 1 回日本加速器学会年会, 2004,8.
- [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] 川端康夫, 松田浩朗, 松元和伸, 田頭茂明, 石井恒, 大森千広, 芝田達伸, 吉岡正和, "放射線環境下 (J-PARC) における測位センサネットワークシステムの耐久性と防災用アプリの適用計画", 第 15 回日本加速器学会年会, 2017,8.
- [7] J. Mekki *et al.*, "The LHC Radiation Monitoring System - RadMon" 10th International Conference on Large Scale Applications and Radiation Hardness of Semiconductor

Detectors, Firenze, Italy July 6-8, 2011.

- [8] 川端康夫, 松田浩朗, 松元和伸, 田頭茂明, 石井恒, 大森千広, 芝田達伸, 吉岡正和, "J-PARC における測位センサネットワークシステムの装置と防災用アプリの試験適用", 第 16 回日本加速器学会年会, 2018,8.