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

EXPERIMENTAL APPLICATION OF POSITIONING SENSOR NETWORK SYSTEM AND DISASTER PREVENTION APP IN J-PARC

川端康夫[#, A)]、 松田浩朗[A)]、 松元和伸[A)]、田頭茂明[B)]、
石井恒次[C)]、大森千広[C)]、吉岡正和[D)]
Yasuo Kawabata[#, A)], Hiroaki Matsuda[A)], Kazunobu Matsumoto[A)], Shigeaki Tagashira[B)],
Koji Ishii[C)], Chihiro Oomori[C)], Masakazu Yoshioka[D)]
[A)] TOBISHIMA Corp., [B)] Kansai Univ., [C)] KEK, [D)] Tohoku Univ., Iwate Univ.

Abstract

The authors have developed the location system in a local area network, in order to ensure user's safety during emergency in a long tunnel such as J-PARC and ILC facility. Since most radio waves are cut off in such a huge underground facility, we cannot utilize communication services with the outside realized by the cellular system and satellite positioning services provided by GPS. As a countermeasure, although introducing a PHS network, there are several problems which should be solved to realize communication and positioning services required in the facility. As a result, it declines in operational efficiency and leads to inability to respond promptly in the event of a disaster. In this study, we developed a disaster prevention app with the following features. (A) Available in a local environment and a closed space, i.e., without communication with the outside (or the Internet). (B) A function to acquire the current position of the user (C) A function to simultaneously send and receive messages from/to multiple users. And a function to know whether sent messages were seen or not. (D) An activity monitoring function of the users.

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。加速器施設においては、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、加速器施設においては Personal Protection System (PPS) が適用され[1]、トンネル入域者の放射線防護を担っている。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。

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。また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、さらには放射線環境下における耐久性を研究してきた。これらの研究は、ILC のような大規模な地下加速器施設に於いて、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た安全管理・防災システムを開発、実現するための一環と認識できる。

[#] Yasuo_Kawabata@tobishima.co.jp

これまでに実施した、加速器施設等で試験してきた研究結果を以下にまとめておく。[4-6]

(1)「加速器関連施設（iNMRC）での位置情報システムの実装と使用性の検証」

いばらき中性子医療研究センタ（iNMRC）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に関し、実現性を検証した。その結果、対象者の位置情報や移動時情報が、開発したシステムで問題なく管理可能なことを実証した。

(2)「神戸ベルコントンネルでの位置情報システムの実装と精度の検証」

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を検証した。その結果、トンネル内における測位精度の誤差は±2.5m 程度確保できることを実証した。

(3)「放射線環境下での通信装置の耐久性の検証と使用方法の検討」

高い放射線環境下である J-PARC の MR トンネル内に、これまでの要素実験で使用してきた汎用的な通信装置を配置し、中性子線及びガンマ線に対する耐久性を検証した。また放射線量を任意に調整できるガンマ線照射施設においても、汎用的な通信装置の放射線耐性を試験した。

MR ビーム運転時に於ける、通信装置を配置し

た箇所で最も高い放射線量は、約 100 Gy/Month（主にガンマ線と中性子線で、比率は 1:1 程度）と見積っている。累積照射量は 1000 Gy 程度で、通信装置の電源をビーム運転時に OFF すれば、故障は発生しないことを確認している（詳細は本論文内で後述）。一方、ガンマ線照射施設では、累積照射量が 2000 Gy 以下の場合、やはり運転時に電源 OFF 状態に保てば、汎用の通信装置であっても故障しないことを確認した。ILC 加速器ではガンマ線で 1mSv/h 程度の放射線量が想定されている。今回の実験により、加速器運転中は通信機器の電源を OFF する仕組みを取ることで、ILC 加速器トンネル内でも設置可能な通信システムが実現できることを実証した。

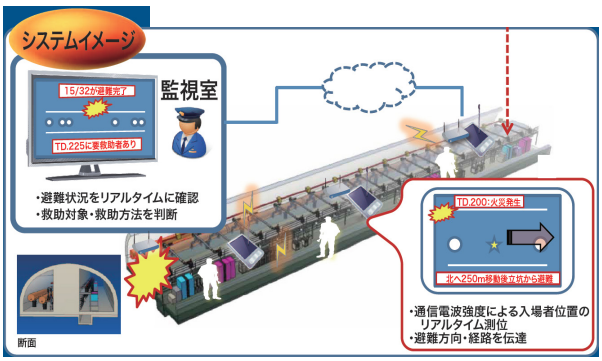

Figure 1: Concept of disaster management system in ILC.

Figure 1 は実現したい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施設内の運用に於いて、モバイル端末を活用して作業者の位置を特定するとともに、緊急時に管理者と作業者が効率よくコミュニケーションがとれるシステム（モバイルアプリ）を構築したい。本研究では次の段階とし ICT (Information And Communication Technology) 防災アプリを開発し、本防災システムの実証検証を行った。開発した防災アプリを J-PARC MR 内で試験運用したので、その結果を報告する。

2. ICT 防災アプリの開発

2.1 コンセプト

J-PARC などの地下に建設された巨大な施設（閉空間）で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 技術の活用が限定的なものとなっている。これに対して、現在、施設構内に PHS 基地局を設置し、施設内にいるユーザとの通話を可能にしているが、データ通信、ユーザの現在地の把握、同時に多数のユーザへの情報伝達などができないなど、多数の課題がある。このことは業務効率の低下にくわえ、災害時において迅速な対応ができないといった問題に繋がる。本研究では、このような閉空間でも利用できる ICT 防災アプリを開発する。

2.2 防災アプリの機能

開発したアプリは閉空間にいるユーザとの連絡を円滑に行うために以下の特徴を有している。

（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

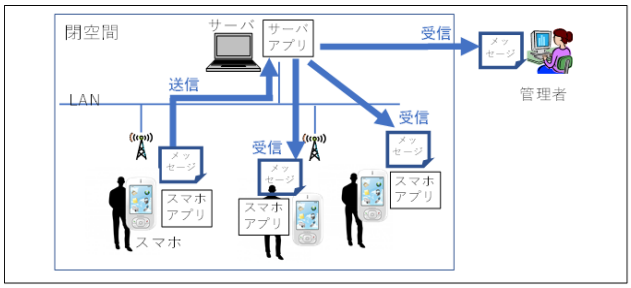

Figure 2: Configuration of disaster prevention app.

これらの機能を実現するため、開発した防災アプリは Fig. 2 で示すようにサーバアプリとスマホアプリから構成される。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。

3. J-PARC MR での試験運用

3.1 MR 内の通信装置の配置

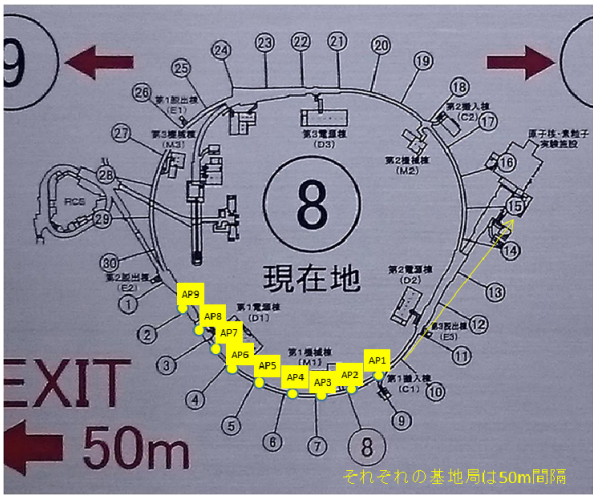

Figure 3: Placement of communication equipment in J-PARC MR tunnel.

Figure 3 に示すように、全長 400m 間に 9 台の AP（アクセスポイント）を約 50m ピッチで配置した。各 AP 間は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。なお、モバイルの位置はこれまで同様、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。

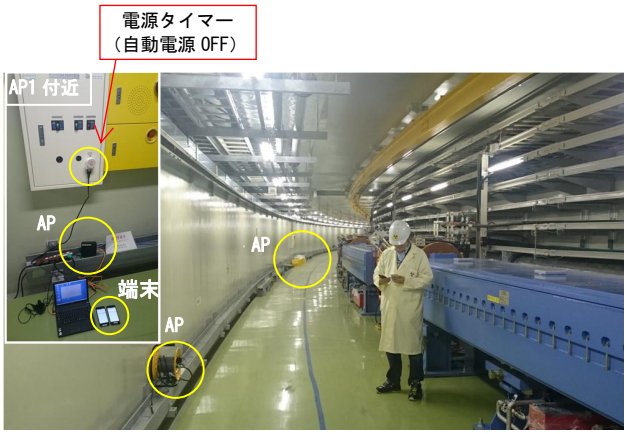

Figure 4: Positioning sensor network system in MR tunnel.

3.2 サーバ用とモバイル用のアプリ画面

モバイルは市販のアンドロイドスマホ（ASUS-nexus 6）を使用した。モバイルの使い勝手については、ほぼスマホソフトの「LINE」がイメージできるように開発した。

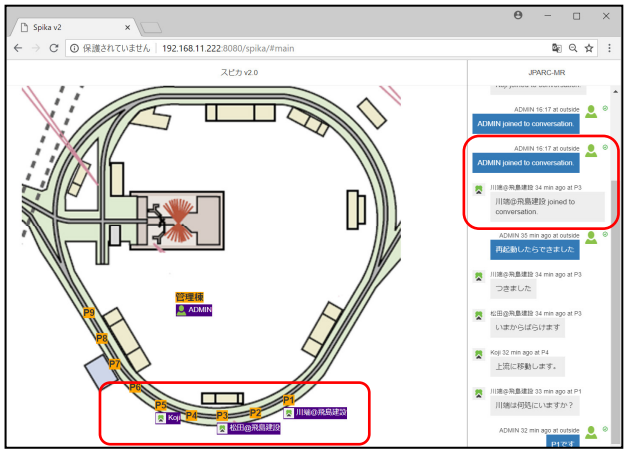

Figure 5: Basic screen on the administrator PC.

Figure 5 に管理用 PC の画面を示す。入坑者の状況として、以下を確認できる。

- 左側の MR の平面図には、入坑者の所在位置が紫のタグで示される。同時に入坑者の状態を示す。（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がでるようにした。）
- 右側の帯では入坑者の動向（入坑者の入退出、入坑者の所在、入坑者の状態、入坑者との交信内容、通信の既読状況）が時系列的に確認できる。

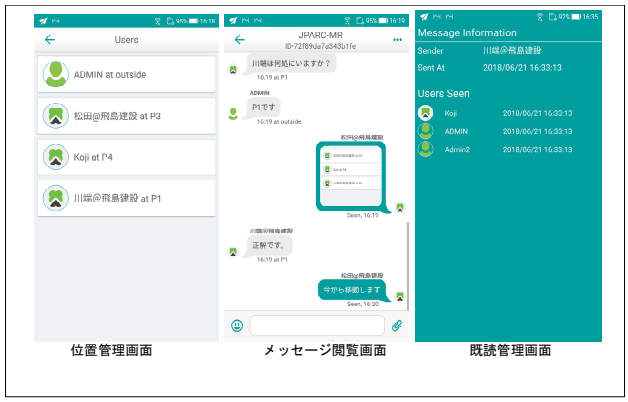

Figure 6: Basic screen of mobile device.

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、右側は既読確認画面からなり、以下が確認できる。

- メッセージの時系列的な閲覧と入力ができる。（中央）
- 本人以外の入坑者の所在位置、他者の状態が確認できる。（左側）
- 通信相手のメールの既読の有無が確認できる。（右側）

3.3 各種防災シナリオの検証

代表的な防災シナリオを作成し、試験運用の中で防災アプリの使用性の検証を行った。

1) 入坑者の入坑・通信開始・所在の確認

Figure 7 に管理用 PC 画面（Figure 5）の朱枠の拡大図を示す。

Figure 7: Communication started with entrants, confirmation of their location (on the administrator PC).

管理者の情報発信が青色タグ、入坑者の情報発信が灰色のタグ、管理者が入坑者の通信開始（Joint）を確認、入坑者の位置情報として「koji」＠P5、「松田」＠P3、「川端」＠P1 を確認した。

2) 入坑者の異常発生時

Figure 8: Abnormality occurred to an entrant.

入坑者が倒れて動かなくなれば、モバイルがその異常を管理者に発信する。管理者は直ちに近傍者に確認の指示を出す。Figure 8 参照。「koji」＠P7 が動かなくなり、タグが紫から黄色に変色。管理者画面には警報が発令する。管理者は「松田」＠P4 に確認を依頼。Figure 9 のモバイル画面で示すように、「松田」から確認の報告。これらがリアルタイムで実施される。

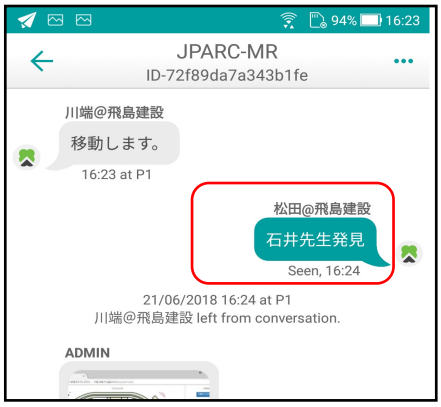

Figure 9: Confirmer (Matsuda) → Contact the administrator (on Mobile).

3) 災害発生時、避難誘導

災害発生時に管理者は近傍者からの状況報告を受け、直ちに対処方法を指示。その後、避難方向、最近傍の脱出口を指示した上で、入坑者全員が正しく退出に向かっているかの確認を行う。

Figure 10: Report on the disaster occurrence ① and transmission of measures ②.

管理用 PC 画面 （Figure 10） で「川端」＠P3 から火災発生の連絡①。管理者は状況写真を送るように依頼し、さらに②のように避難方向は P1 であることを伝達。

Figure 11: Mutual communication at the occurrence of a disaster.

管理用 PC 画面（Figure 11）では管理者が「川端」の報告した写真 （Figure 12） を確認③。また画面上で避難方向が正しいかどうかを確認後、「川端」に対して正しい方向に避難していることを伝達した。今回の報告は他の近傍の入坑者も情報を共有しており、同時に避難行動を取ることが可能。

Figure 12: Mobile usage in MR.

4. さいごに

4.1 通信機器の放射線耐性

今回使用している通信機器（AP）は、2016.10～現在（2018.7）までの約 2 年（ビーム運転 9 ヵ月×2 回）、J-PARC の MR 内に設置されている。MR 加速器の稼働中は、ビーム（陽子）による物質との相互作用により高い放射線レベルのガンマ線や中性子線が発生し（比率は 1:1 程度）、トンネル内の AP を照射することになる。放射線が最も強いと想定されるコリメータ部の通路には、ガンマ線や中性子線を含む放射線量を測定できる半導体測定装置（RadMon[7]）を常設し、モニタリングを実施している。今回使用した AP 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ている。

Figure 13 に当該期間の放射線量 (Total Ionization Dose, TID) の累積値を示す。RadMon 近傍での放射線量はおよそ 100 Gy/Month 程度と推定され、累積照射量は 1kGy に達している。

既報[6]において、加速器の稼働中に電源が OFF 状態であれば、AP 本体は健全に稼働することを報告した。2016.10～2017.7 における 250day-450Gy 照射実績では、近接した AP の 12V 供給電源装置が故障したが、AP 本体の通信機能は健全であった。今回さらに 365day-620Gy、トータル 1070 Gy の放射線が照射されたが、同様に AP 本体の通信機能は健全であることを確認した。

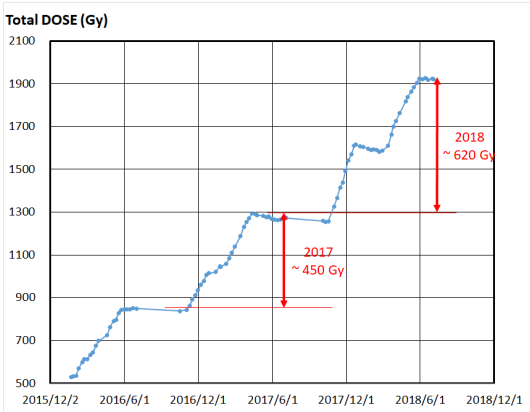

Figure 13: Total Dose near the collimator in MR.

4.2 防災アプリの使用性の検証

Figure 14 は、管理者と地下施設の利用者との間のコミュニケーションを模擬しながら、議論をしている様子を示している。本防災アプリは、使い慣れている「LINE」感覚で利用でき、「メッセージの同時送受信」、「メッセージの送信場所の記録表示」、「メッセージの既読表示」、「ユーザの現在位置の取得」、「ユーザの活動状態監視」等の各種機能が検証できた。また「ローカルな環境で動作可能」を実現し、導入やメンテナンスのハードルを低くすると同時に、高度なセキュリティが必要な施設に対しても対応しやすいアプリを実現している。

一方で、いくつかの課題も見えてきた。ユーザ側の使い勝手としては、改良の余地が多くあるだろう。ユーザ（作業者）への通知はスマホの音で行っているが、作業等に集中していた場合、気付かない恐れがある。また作業の都合上、スマホ自体を身に付けずに、工具等と一緒に置いてしまうことがあるだろう。通知に気付かなかったり、誤った活動状態を表示したりすることが容易に想像される。ウエラブル端末を導入し、スマホを連動させることで上記の課題は解決できると考えている。

言うまでも無く、防災アプリは活用されないと、その効力は発揮されない。今後は J-PARC の一般の利用者に一定期間使用してもらい、防災管理システムの基本的な課題の抽出を図ってゆく所存である。

Figure 14: Work situation of disaster prevention manager (simulated).

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