別紙３

厚生労働科研費補助金（労働安全衛生総合研究研究事業）

総括研究報告書

加速器トンネルにおける位置情報を活用した防災アプリの開発（ 19JA1002 ）

研究代表者　石井　恒次　高エネルギー加速器研究機構　加速器研究施設　准教授

研究要旨: 加速器トンネルのような巨大な閉空間での使用が可能な防災アプリを開発する。双方向通信により、避難経路指示といったような一方的な情報伝達だけでなく、災害時の情報を関係者で瞬時に共有、トンネル内の全作業者の位置をリアルタイムで把握、災害近傍の作業者からの写真等によるフィードバック等も可能にする。開発した防災アプリを実際に J-PARC MR 加速器トンネルで使用して有用性を実証すると共に、同じような閉空間を持つ施設等への適用を模索する。また放射線測定を付け加えて位置測定と連動させて機能統合するといった、防災アプリの発展性についても研究する。

山本昇 : 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設・シニアフェロー

別所光太郎 : 高エネルギー加速器研究機構 共通基盤研究施設・准教授

A. 研究目的

東日本大震災で申請者が J-PARC Main Ring (MR) 加速器トンネル内で被災したことが、本研究の発端となっている。残念ながら震災時においては、適確な避難誘導が実施されたとは言い難い。従来からの加速器トンネル入域システムとして、ビーム運転時に入域者がいないことを担保する Personal Protection System (PPS) と、放射線防護の為のフィルムバッジとアラーム線量計を携行するシステムが連携して動作して、安全を担保している。震災以降、これとは別に地上で作業監視員を設け、病気や事故、災害発生時に迅速な対応を取る体制を敷いているが、十分とは言えない。最大の問題点は、1.5 km 以上もの長さを持つ円形トンネル内の、「どこ」に「何人」の作業者が居るかが、地上でリアルタイムに把握できていない点にある。

2015 年より申請者はトンネル内での防災に多くの経験を有する飛島建設と共同研究を行い、地下防災システムにおける無線 LAN 測位システムの耐放射線性能の検証を行ってきた。本測位システムでは、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。既にトンネル等の建設現場において活用されている技術であるが、加速器トンネルに適用するためには放射線耐性を検証する必要がある。共同研究では、ビーム運転中は測位システムの電源をオフすることでデバイスの寿命を有意に伸ばすことが実証され、放射線環境下での使用に目途が付いた。

本開発研究では労働安全衛生総合研究の方向性である IoT を活用した安全管理システムの開発を行う。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してもらうことで安全性の飛躍的な向上を目指す。多くの作業者に利用してもらって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。並行して広報活動に努め、国内外の加速器施設はもとより、工場等、同様の閉空間を持つ施設等への適用を提言する。なお大規模加速器施設に限れば、ドイツにある DESY 研究所の European XFEL 研究施設が唯一、位置モニタリングを用いた入域者管理を行っているが、本研究で開発する双方向通信が可能な防災アプリまでの導入は行っていない。J-PARC で導入されれば世界初の事例になるものと考えられる。

厚生労働科研費補助金（労働安全衛生総合研究研究事業）

総括研究報告書

B.　研究方法

早い段階で防災アプリを導入し、作業者に利用してもらってフィードバックを行い、既存の安全システムと統合して完成させる予定である。また研究発表等を通し、国内外の加速器施設等へシステムの普及活動を行い、他の研究施設への展開を促進することも予定している。初年度（2019 年度）に、必要な設備の設置等を行い、次年度（2020 年度）の７月からユーザ利用の運用を開始した。停電時対策や放射線測定との連動も実現させ、当初予定には無かった地上施設でのシステム展開や映像通信を利用した日常作業の支援等も、ユーザからのフィードバックにより実現することとなった。

最終年度（2021 年度）は、１）災害時対策の充実へ向けての研究開発、２）安全システムへの組み込みに向けての研究開発、３）日常使用の利便性向上、４）他施設への展開（広報活動）の 4 本柱で研究を進める。完成という観点からは、特に２）の研究開発が重要となってくる。既存の安全システムは主に放射線防護を念頭に構築されているためとても高度なものとなっている。防災アプリを安全システムに組み込むことにすると、スマートフォンと携帯する作業者との確実な紐づけ、トンネル内入域者がスマートフォンを携帯しないと入域できない仕組みを構築する必要がある。技術的には顔・指紋認証等を導入することで実現可能ではあるが、統合した安全システムを構築するには莫大なコストがかかり、時間的にも安全性の確認に数年程度は必要である。またコロナ禍で適当な施工業者も見つけることができていない。アプローチ的に適切でないと判断し、独立した安全システムの構築の方向で研究開発を行う。

C.　研究結果

残念ながら 2021 年度もコロナ禍の影響が残ってしまい、いくつかの部分で修正を余儀なくされた。特に開発を協力してもらっている研究者が、現場である J-PARC に来所するのが難しい状況が続き、現場状況に即した遠隔での開発が進まない結果となってしった。このため繰越申請を行い、2022 年度も研究開発を継続し、特に本防災システムの発展性について、展望が見渡せるところまで完成するよう計画を修正した。

コロナ禍でも３）の日常利便性向上は進展をしている。既に過年度に開発した放射線測定との連動だが、さらに QR コードを導入してスキャンすることで位置の精度を上げ、QR コードに紐づけした位置とその時の放射線測定値を自動記録するようにして、作業の利便性を向上させた。また映像通信についても 360°カメラを導入して、トンネル内の無人監視や高放射線環境下での作業監督も実現、被爆抑制を含めた作業の省力化を行っている。さらに注意喚起機能を付け加え、トンネル内の残留放射線量が高い領域や通電が行われる区域を予めアプリ内で設定できるようにした。危険区域に近づいた場合は自動的に警告を発してスマートフォン所持者に知らせる機能を付加している。スマートフォン端末から詳細な情報を得られると共に、トンネル内に不慣れな作業者でも、危険に対して注意を促すような仕組みになっている。

２）の安全システムへの組み込みに向けての研究開発については重要な進展があった。既に述べたように、独立した安全システムの構築の方向で検討を進めているが、そこで問題になってくるのはスマートフォンの携帯率である。防災アプリを利用するためには専用のスマートフォンを携帯する必要があるが、トンネル内に入域するのに携帯を義務付けることを現状は行ってない。使い勝手の良いように改良を継続しているが、残念ながら携帯率は半分程度に留まっている。この状況を打開するため、我々は自動追尾が可能なロボットの活用に着目した。作業者に追尾するロボットに情報端末を携帯させれば、作業者自身が端末を携帯する必要はなくなる。この他ロボットに見回り巡回させてトンネル内の映像を取得し、自動で映像解析を行っていつも

厚生労働科研費補助金（労働安全衛生総合研究研究事業）

総括研究報告書

と違う異常を検知する試みも開始した。この着想の下、2022 年度にロボットを MR トンネル内に持ち込んで自律走行の試験を行った。またロボットが行くことができない区域をカバーするため、ドローンのトンネル内試験飛行も行った。ロボットやドローンが取得した映像の解析も行い、自動解析・異常検知の検討も始めている。いくつかの技術的な課題が見つかっており、コスト的な問題も大きい。ロボットの独自開発も視野に入れ、検討を重ねているところである。

４）の広報活動についてもコロナの影響を受けている。定期的に行われている大きな会議等はリモートによる開催が行われているが、特定の主題を取り扱う研究会等は未だ様子見のものが多い。本研究の発表等は研究会に適しているものと考えられ、発表の機会が少ない状況である。それでも定例の国際会議、国内会議、つくばで開催予定の異種分野の交流会ＳＡＴテクノロジー・ショーケース ２０２２で発表を行った。残念ながら全てオンライン開催になってしまったが、3 件の発表と 2 件の論文発表を行うことができた。さらに年度末には報道機関向けに記者会見を開催し、新聞社等 7 社から各 1 名が参加し、MR トンネル内でデモも実施した。何社かが新聞記事として取り上げて掲載した。

D. 考察

安全システムへの統合から独立した安全システムの構築に舵を切り、新たなアイデアの下、いくつかの試験ができたことは良かった。課題も多く見つかり、短期間で全てが解決されるということはないが、興味深い研究開発となっている。延長された１年で開発の方向性が正しいことを示し、ロボット活用の目途を付けて、継続的な開発に繋げたいと考えている。

E. 結論

防災アプリとしては１年以上の期間に渡り、安定に稼働しており、完成したと見なすことができる。今後、独立した安全システムへの構築を目指し、ロボット等の活用を検討する。研究期間の１年延長により、広報活動を含めた研究開発を継続し、当初目標を達成する。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表（2件）

1-1. K. Ishii, N. Yamamoto, K. Bessho, S. Tagashira, Y. Kawabata, H. Matsuda, K. Matsumoto, M. Yoshioka, “DEVELOPMENT OF DISASTER PREVENTION SYSTEM FOR ACCELERATOR TUNNEL”, in Proc. 12th Int. Particle Accelerator Conf. (IPAC’21), Campinas, SP, Brazil, May 2021, pp. 2228–2230. doi:10.18429/JACoW-IPAC2021-TUPAB315

1-2. 川端康夫、松田浩朗、松元和伸、田頭茂明、石井恒次、山本昇、別所光太郎、吉岡正和、J-PARC MR 防災システムの発展、Proceedings of the 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, P18-22, 2021.8

2. 学会発表（3件）

2-1. 12th International Particle Accelerator Conference (IPAC2021)

2-2. 第18回日本加速器学会年会

2-3. SAT テクノロジー・ショーケース 2022

3. プレスリリース（1件）

3-1. 3 月 30 日 J-PARC にて会見発表。

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし