

加速器トンネルでのロボット活用の検証

飛島建設：○川端康夫 松田浩朗 松元和伸

関西大学： 田頭茂明

ALSOK：富井洋平

KEK： 石井恒次、大森千尋、別所光太郎

岩手大学：吉岡正和

本日の発表内容

1. ICT防災システムの開発の背景、目標、経緯
2. 防災システムの概要と活用上の課題
3. 加速器トンネルにおけるロボット・ドローンの活用
 - 1) ロボット・ドローン活用による狙いと効果
 - 2) J-PARC MR トンネルでの試行検討
 - ①自律走行ロボットの試行適用
 - ②自律飛行ドローンの試行適用
 - ③研究開発用台車ロボット（メガローバー）の試行
4. 今後の研究開発

1. ICT防災システムの開発の背景、目標、経緯

開発の背景

■ **東日本大震災のJ-PARCでの教訓**として、管理区域に誰が入域中であるかは、現システムでもわかるが、どこで仕事をしているか？どのような状態なのか？まではわからない。従って、**適切な避難誘導等が出来ない状況**にあった。また、**入坑者が情報不足により、適正な判断ができない状況**があった。

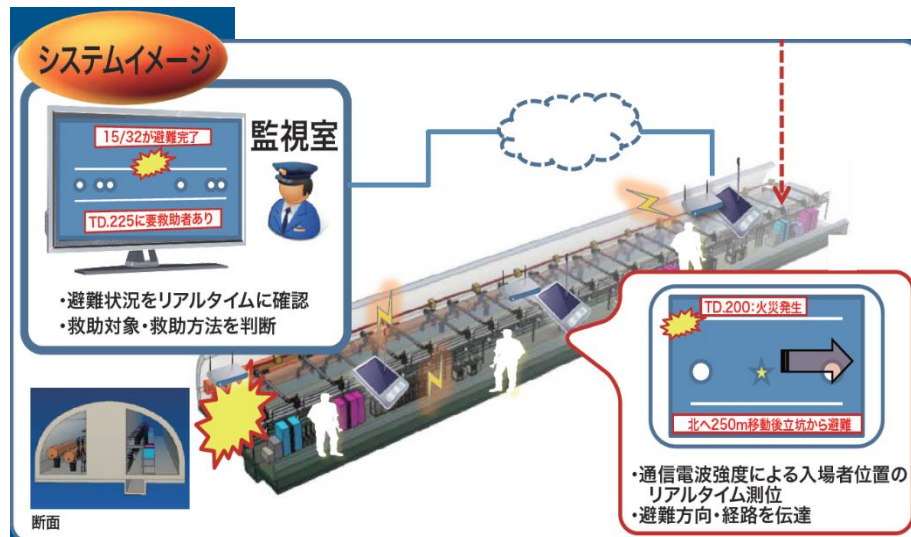
■ **J-PARCやILCの様な広大な加速器施設**において、**施設利用者の位置やその動線の把握**、さらに発災時に適正な**避難誘導が行えるシステム**が実現できれば、事故や災害時の安全性が大いに高まるものと期待される。

ICT防災システムの開発目標

■ 閉鎖空間である大規模な加速器施設内の運用において、**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ICT防災アプリ**を開発、防災システムの構築を目指す。さらに**DXやロボットを活用し、日常の利便性を向上**させ、防災システムの普及を図る。

開発の経緯

- ~2018: ICT防災アプリを開発、J-PARCで試験運用、課題抽出、改良改善
- 2019-2022年: 厚生労働省科学研究補助金労働安全衛生総合研究事業(期間4年)に採択、J-PARC MR本格運用
- 2020-21: MRフィールドでの利活用により、システムの冗長性、利便性の向上を図った。
- **2021~: ALSOKの参加により、新たに自律走行ロボットやドローン、その他汎用ロボットの試行検討を行った。**



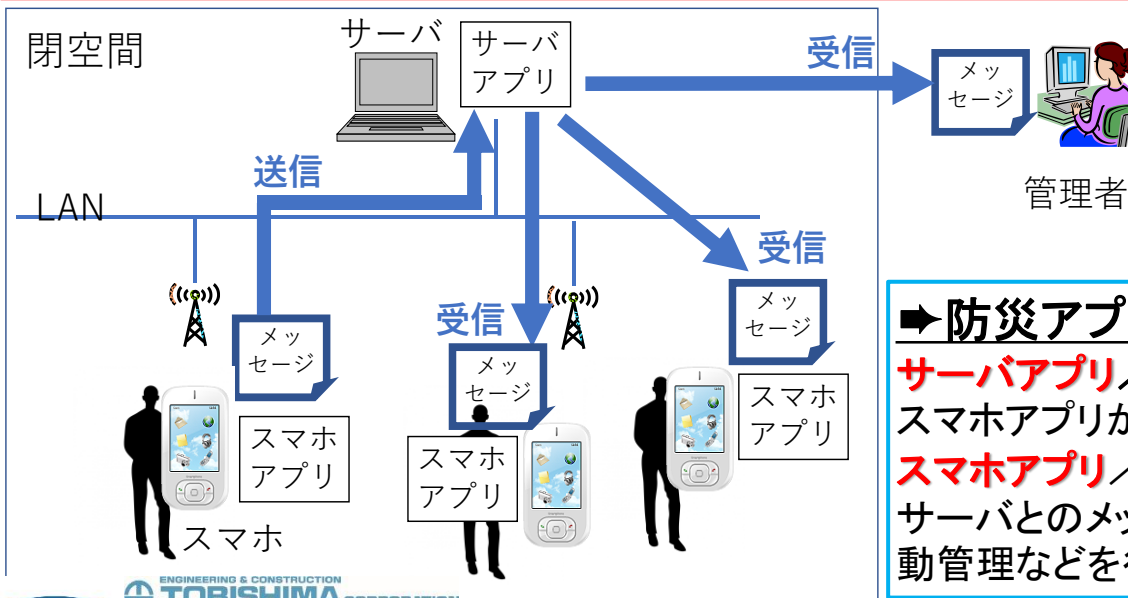
2. 防災システムの概要／基本コンセプト

⇒J-PARCなどの地下に建設された巨大な施設(閉空間)の課題

- ・電波が届かないため、セルラー網による通信やGPS 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。
- ・J-PARCでは、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。

⇒基本コンセプト／独立したネットワークシステム

- ・Wifiを用いることで単なるユーザー位置情報取得だけでなく、リアルタイムで同時多数のユーザーに必要な情報を伝達し、共有する。
- ・完全に独立したネットワーク網を構築し、高度なセキュリティ環境を実現する。
- ・広範囲におけるネットワーク分断の影響を受けることなく、継続的な電力供給でシステムが稼働する。
- ・災害時だけでなく日常的に使用されるシステムを目指し、作業支援等の機能を充実する。



⇒防災アプリの構成

サーバアプリ／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

スマホアプリ／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。

2.防災システム/WiFiネットワーク、アプリ機能

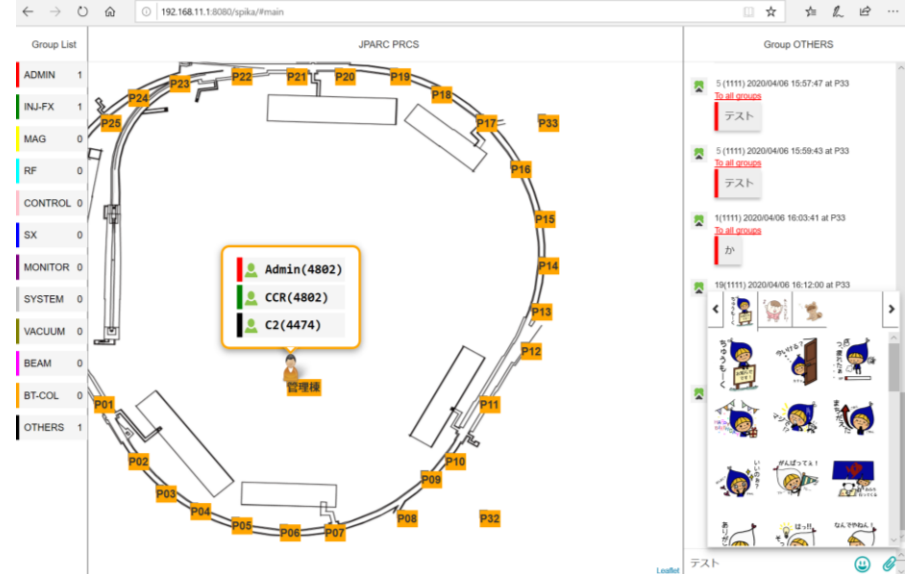
WEB画面 (サーバー)

WiFiネットワーク

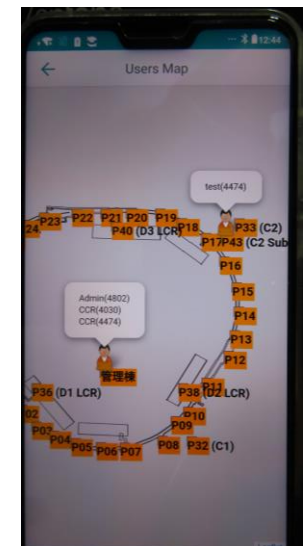
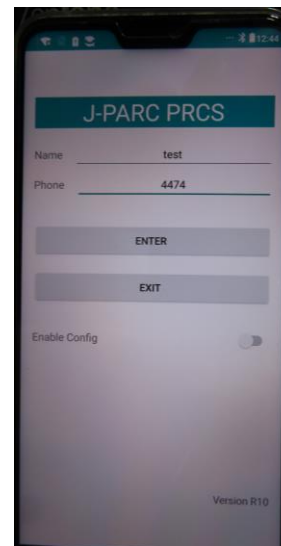
- ・AP(アクセスポイント)をMRトンネル内の全周に沿って30ヶ所(およそ50m毎)設置。
- ・専用スマホと時計型ウェアラブルを導入。
- ・APは中央制御棟だけでなく電源棟・搬入棟にも設置
- ・停電時対策、リチウム蓄電池を用い、APとサーバーの電力を停電時シームレスに供給
- ・放射線対策として、AP電源、加速器稼働・停止時の自動ON/OFF

アプリ機能

- ・坑内作業位置の取得、リアルタイム表示
- ・坑内作業者のメッセージの送受信(記録)、既読機能、送信場所の記録機能
- ・坑内作業者の状態(異常)監視機能
- ・他の入域者の認知機能
- ・スタンプ活用による情報伝達
- ・映像通話による遠隔作業支援機能
- ・QRコードを活用し、どこの位置でどれぐらいの線量があるかを自動記録
- ・高放射線領域や通電試験等の作業箇所、日時を設定し、当該箇所時間での注意喚起アラートの発出



スマホ画面



2.防災システムの概要／防災システムの運用上の課題

試験運用を行う中で、普及のための課題が明確になってきた。

- ①防災システムの各種機能の充実が図られているが、現場での利用率(利用者の数)が半分程度で、使用されている機能も限定的である。
- ②防災アプリの入ったスマートフォンを入坑時に携帯するには、スマートフォンと作業者の紐づけや、携帯していないと入域不可等のシステム整備が必要である。管理者側は、発災時の漏れのない人身掌握に繋がるため、全員携帯していることが重要である。一方で、単純に義務化するだけでは作業者の負担を増やすだけであり、このジレンマの解決策は、未だ見いだせていない。

▶ 防災システムの普及に向けた課題解決

- ・加速器施設内でのルール作りや使用者の意識改革が必要。当初、使い慣れていないものも活用する過程で、使うことが当たり前になって行くものと考えている。
- ・活用にあたっての利便性の向上や必然性が明確になれば、いずれは標準的なシステムとして活用されるはずである。



専用スマートフォン



遠隔作業支援

3. 加速器トンネルにおけるロボット・ドローンの活用

3-1. ロボット・ドローン活用による狙い

防災システムの更なる安全性向上や作業の効率化を実現するため、ロボットやドローンの活用を検討している。以下にその狙いを示す。

- ・加速器停止後の放射線測定をロボットが代用することで、測定の時間短縮や被ばく管理に有効である。
- ・ロボットに作業員を追従する機能が加われば、個人の端末の携帯は不要となる。ただし、作業エリア毎にロボットが必要となり、バッテリーの継続の課題がある。
- ・ロボットには端末の他、消火器やAED等も搭載可能であり、防災システムの位置情報と連動できれば、緊急時にそれらを運搬し、駆け付けることもできる。
- ・巡回中に、ロボットのカメラにより、機器類の監視や計器類の自動読み取りを行わせることで、各種異常の早期発見に繋がる。
- ・人が入域できない夜間等の時間帯でのロボットの巡回で、あらゆる状況を確認できる。
- ・昇降動作等が必要なロボットがアクセス難しい領域は、ドローンを飛行させてカバーする。
- ・ドローンの充電基地局をロボットに運ばせることで、ドローンの航続時間の課題を解消する。
- ・ロボットによる巡回警備は、既に様々な施設で活用されている。
- ・ドローンは、有人地帯での補助者無し目視外の飛行(レベル4)に向け、各種機能が向上してきており、一方で法整備も進んできていることから、防災領域でも積極的に検討することが重要であると考える。

3-2.J-PARC MR トンネルでの試行検討

■自律走行ロボット(REBORG-Z)の試行適用

防災システムの導入に対し、更なる安全性向上や作業の効率化・高度化を目的に、警備や支援を自動化する、自律走行ロボット“REBORG-Z”と防災システムとの連携を検証した。REBORG-Zは、狭隘で強力な電磁石が多数設置されているMRトンネル内においても自律走行が可能で、障害物や入坑者に対しても接触することなく対象範囲内全域を走行・監視できた。

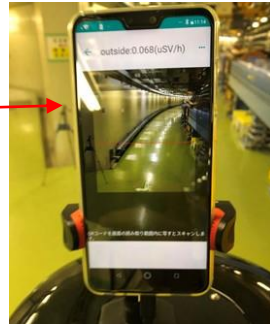
これによって、以下の対応が期待できる。

- ・入坑者の入退場の最終確認
- ・**加速器停止後の放射線測定**
- ・遠隔作業支援
- ・設備状況の自動記録
- ・入坑者への注意喚起、等

MRトンネル内での自律走行



自動放射線測定

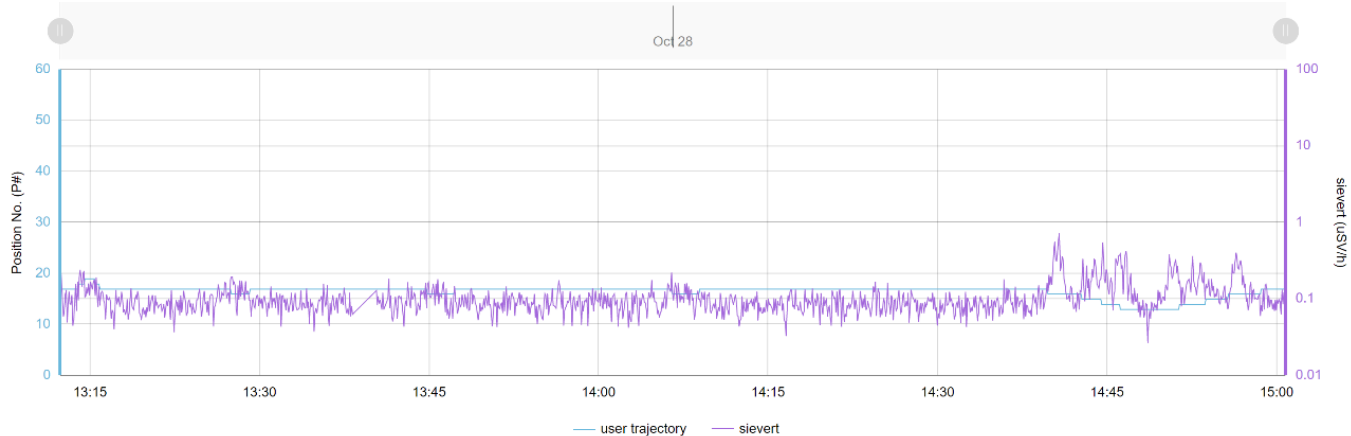
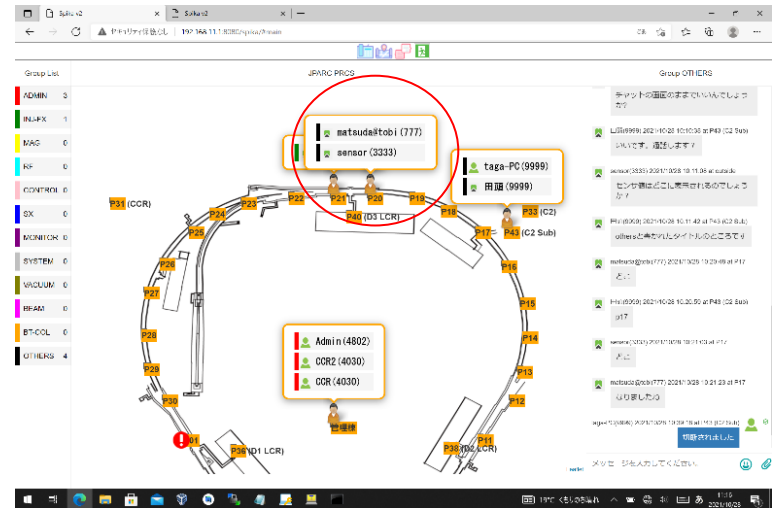


放射線測定機能



放射線センサ

- ・防災アプリ×REBORG-Zにより時間・場所ごとの放射線量の自動測定が可能
- ⇒REBORG-Zの位置情報を加えることで、位置情報の詳細化が可能

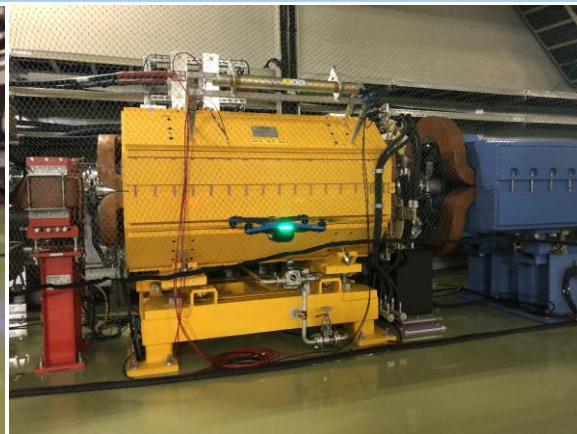


時間・場所ごとの放射線量測定値

■ 自律飛行ドローンによる調査・点検技術の試行

飛行ドローン(ALSOKの自動警備システム/現在開発中)を用いた飛行試験をJ-PARCトンネル内で実施した。自律飛行ドローンは、オープンなネットワークとGPSの検知可能範囲での開発が進められており、MRTトンネルのような閉空間での自律飛行は検証できていない。試験飛行を踏まえ、自律走行ロボットでは対応できない、配管を跨ぐ箇所や人が入り込めない箇所等の調査や災害時の緊急対応などに、適応性が高いことが確認された。自走するドローンカートの基地を作る。そこから調査・点検時にドローンを飛ばし、必要な情報をリアルタイムに入手する。

自律飛行ドローンによる調査・点検



自律飛行ドローンによる点検映像



■研究開発用台車ロボット(メガローバー)の試行

本ロボットは、2D-LiDARを備えており、走行しながら周辺の障害物のマッピングが可能である。併せてカメラも備えており、映像認識により人を検知することが可能で、障害物を回避しつつ人に追従できることを確認した。今後、作業員へのサポートという観点で、MRTトンネル内において、携帯端末や防災グッズの輸送に関する検証を実施する予定である。

人を追跡する機能を備えたドリーロボット



4. 今後の研究開発の取り組み

1) 試行中のロボット技術 (J-PARC DX-SSRobotcs 2.0) の発展

- ・現状では、数多くの課題が残るものの、防災システムの根幹に寄与する可能性は大いに感じられる。今後は、導入コストに対する効果を考慮しながら、開発を進めていく。

2) 災害時対策

- ・地震や津波情報の自動取得とトンネル内作業員への自動配信
- ・時計型ウェアラブルを用いたトンネル内作業員の体調管理 (地上管理者への通知)
- ・トンネル内アナウンスの自動文字化と自動配信 (トンネル内は冷却水音等の騒音で聞こえ難い箇所が多く、聞き逃すことも多い)

3) 日常使用の利便性向上

- ・VR /ARを活用した作業支援 (例: VR を用いて模擬作業を実施し、高放射化環境での作業効率改善、AR を用いた残留放射線量の見える化)

4) 他施設への展開

- ・J-PARC MRに続く、ニュートリノやハドロン施設への拡張 (トンネル続きなので比較的簡単)
- ・リニアック/RCS等、他のJ-PARC施設での採用を目指す。
- ・国内外の加速器施設への展開
- ・ILC (International Linear Collider) への展開

ご静聴有り難うございました。