



J-PARC MR 防災システムの進展

飛島建設：○川端康夫 松田浩朗 松元和伸

関西大学： 田頭茂明

KEK : 石井恒次、大森千尋、別所光太郎

岩手大学・東北大学：吉岡正和

第18回日本加速器学会年会
2021年8月9日



本日の発表内容

1. ICT防災システムの開発概要（背景、目標、経緯）
2. 地下施設の課題、ICT防災システムのコンセプト
3. 防災システム
 - ①WiFiネットワーク冗長性、アプリ機能一覧
 - ②停電時対策
 - ③放射線測定データの自動取得
4. 防災システムの進展
 - ①QRコードを活用した放射線測定値の自動記録
 - ②AP電源自動ON/OFF装置
 - ③映像による作業支援機能
 - ④注意喚起機能
5. 今後の研究開発



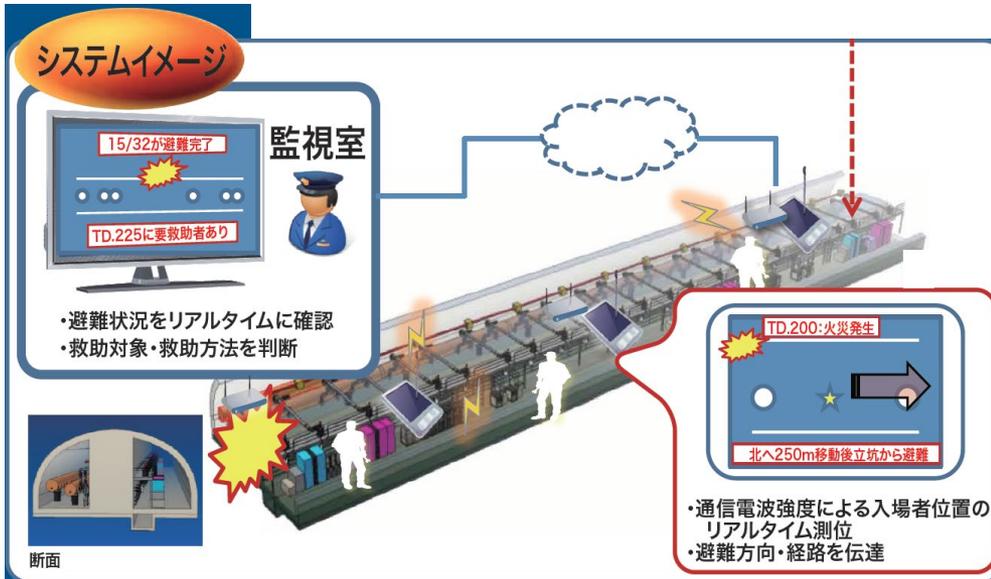
1. ICT防災システムの開発概要（背景、目標、経緯）

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。



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
- 2019-2021: 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3年)に採択、J-PARC MR本格運用
- **2020~: 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。さらに、放射線測定と本防災アプリとの連動によって、放射線量の見える化を目指した。**



2.地下施設の課題、ICT防災システムのコンセプト

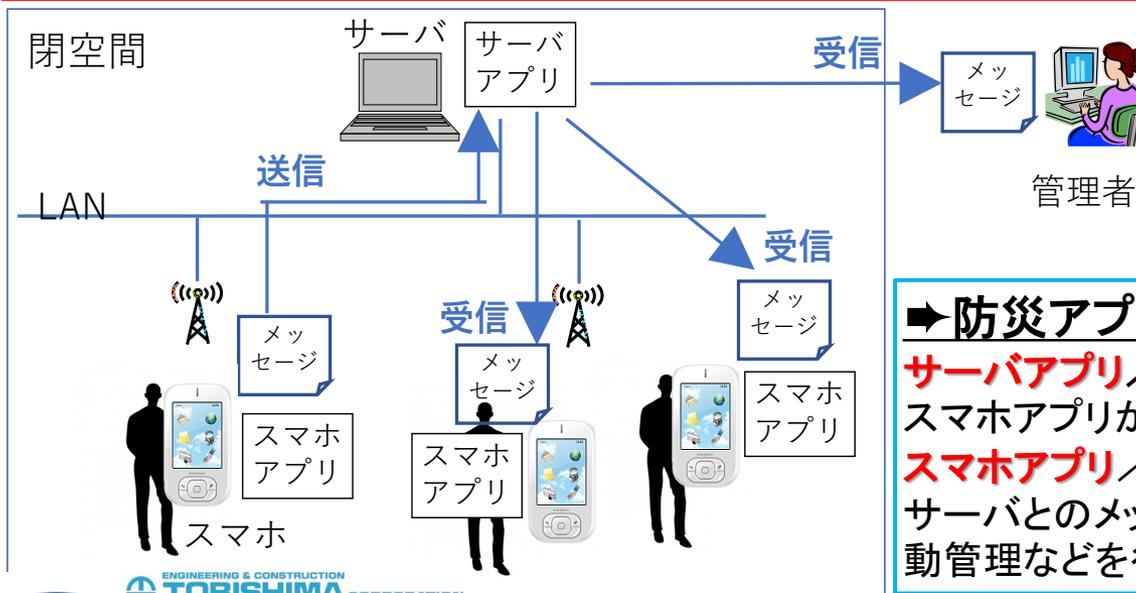


⇒J-PARCなどの地下に建設された巨大な施設(閉空間)の課題

- ・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。

⇒ICT防災システムのコンセプト(in J-PARC)

- ・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。



3.防災システム／①WiFiネットワーク冗長性、アプリ機能一覧



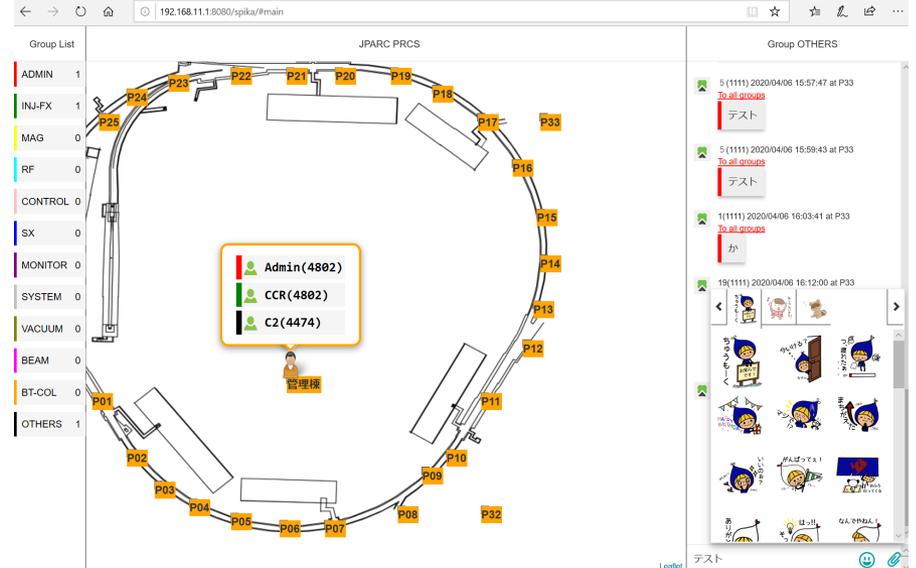
WEB画面 (サーバー)

WiFiネットワークの冗長性

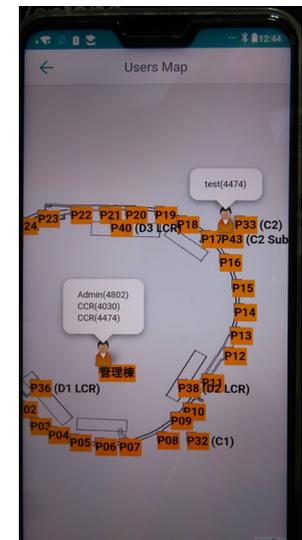
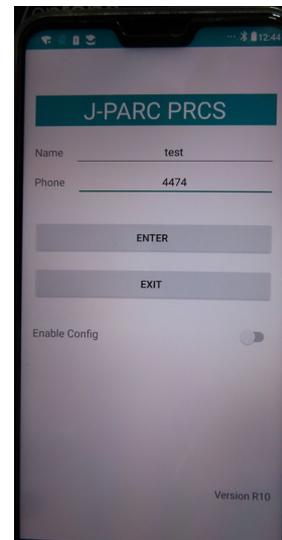
- AP (アクセスポイント) をMRトンネル内の全周に沿って30ヶ所 (およそ50m毎) 設置。
- 専用スマホと時計型ウェアラブルを導入。
- APは中央制御棟だけでなく電源棟・搬入棟にも設置して日常使用の利便性を向上。
- **停電時対策としてリチウム蓄電池を用い、APとサーバーの電力を数時間以上供給。**
- **AP電源、加速器稼働・停止時の自動ON/OFF**

アプリ機能

- 坑内作業員位置の取得、リアルタイム表示。
- 坑内作業員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
- 坑内作業員の状態 (定常・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**
- **放射線測定を組み込み、さらに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、日時を設定することで、当該箇所時間での注意喚起アラートの発出**



スマホ画面



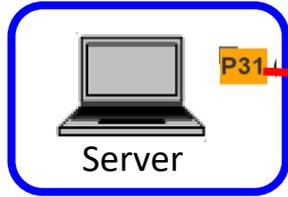


3.防災システム／②停電時対策

リチウム蓄電池によるUPS（無停電電源装置）を導入

- ・一般給電ラインから非常時発電ラインの切替時のタイムラグでサーバーダウンが生ずる。
- ・2020年7月4日所内計画停電時にCCR、D3+Tunnel、C2で試験 ⇒ 連続して12時間以上の稼働を確認。

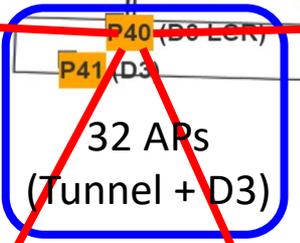
CCR



2 kWh
Li Battery



D3



2 kWh
Li Battery



C2



0.7 kWh
Li Battery



D2



0.7 kWh
Li Battery



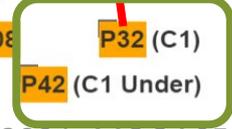
D1



0.7 kWh
Li Battery



C1



0.7 kWh
Li Battery



— 建屋間光配線

CCR： 中央制御棟

D1・D2・D3： 電源棟

C1・C2： 搬入（入退）棟



3.防災システム／③放射線測定データの自動取得

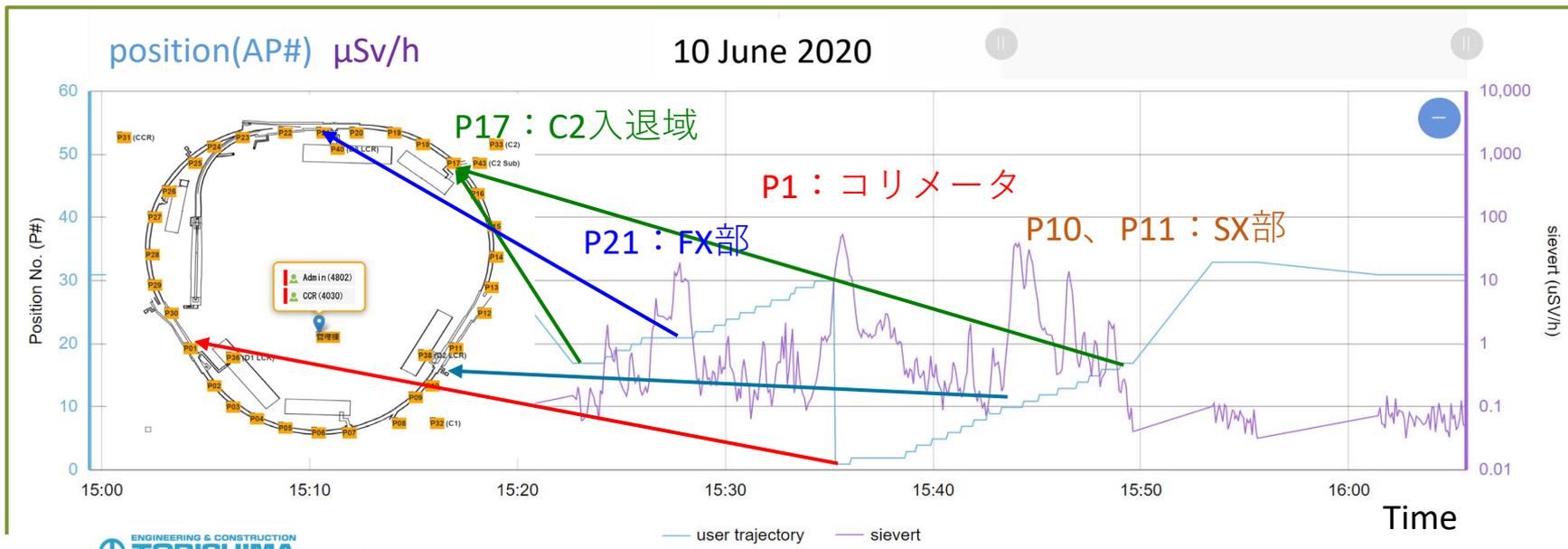
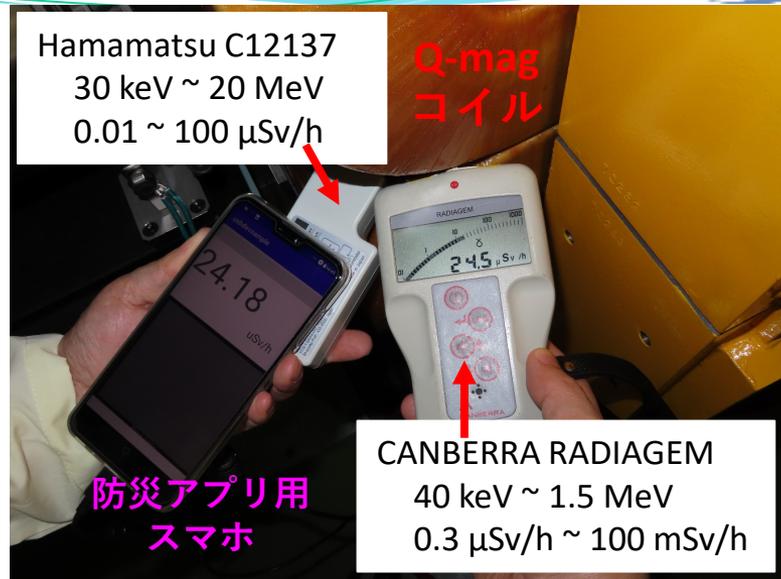


2020年6月10日SX運転終了後、防災アプリ用のスマホに放射線測定器をUSBで繋げてMRトンネル内を一周した。

⇒ 放射線測定量と位置情報のデータは自動記録され、またWeb上でも表示。(下図)

右図は記録機能なしの放射線モニターとの比較。

- FX : Fast Extraction 速い取り出し
(ニュートリノ実験施設へのビーム取り出し)
- SX : Slow Extraction 遅い取り出し
(ハドロン実験施設へのビーム取り出し)





4.防災システムの進展／

①QRコードを活用した放射線測定値の自動記録

- MRの主要な位置にQRコード貼り付け、その位置でQRコードを読み取ることで、自動的に位置情報と放射線測定を行う。
- 現状の位置情報はおよそ50 m程度と粗いが、このQRコードを活用することで詳細な場所、装置の特定も可能となる。
- QRコード貼り付け予定（登録済のQRコード）BM96台（上中下流）・QM216台（上下流）・SM72台（上下流）、計864ヶ所。その他、必要な箇所に各個人が貼り付けることも可能。



QRコードを使用した放射線測定の様子

放射線測定結果



QRコード取得画面

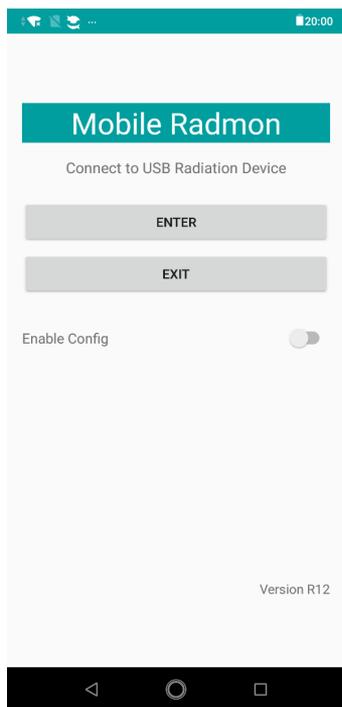


4.防災システムの進展／



①QRコードを活用した放射線測定値の自動記録

- モバイル端末で読み取ったデータは、自動的にサーバーで集計し、リアルタイムに一覧表化、または図化し、以後の作業管理に活用する。また、定点の放射線測定値の変遷を把握することもできる。



QRコード読み取りモバイル画面

放射線測定結果一覧

通信 | 192.168.11.1:8080/spika/#tools

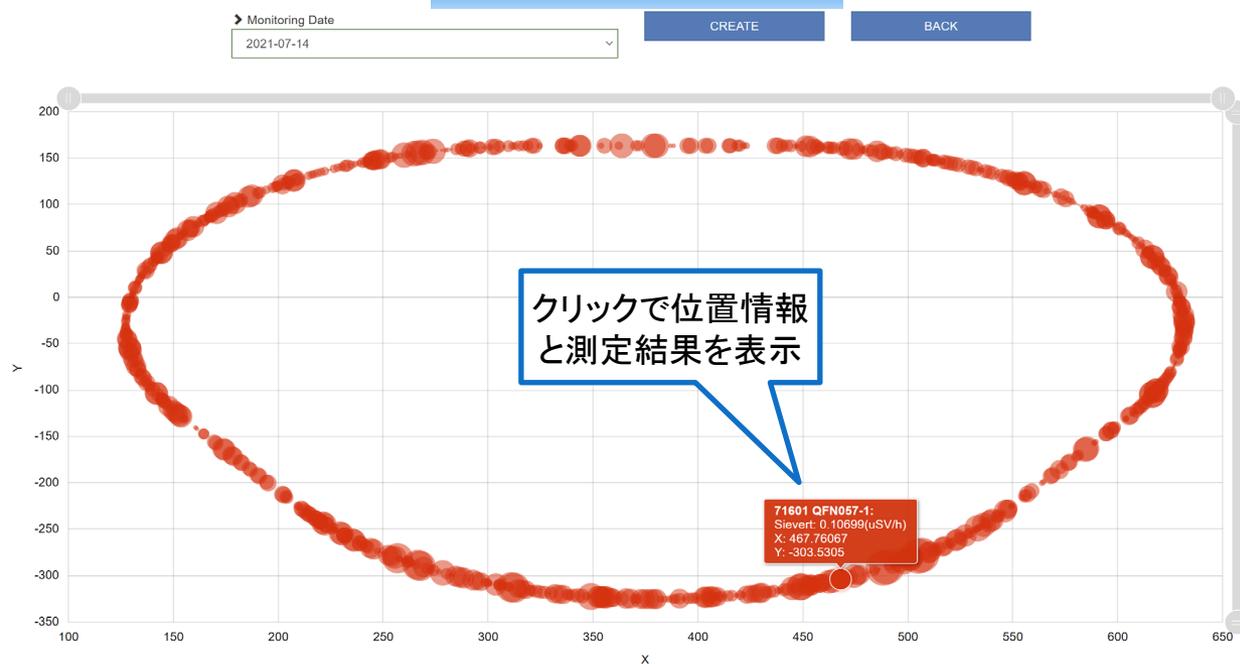
Radiation GRAPH for QR Monitoring

Monitoring Date: 2021-07-26

Buttons: GRAPH, TABLE

QRコード名	放射線測定値	測定者	測定日
ID	Name	Sievert (uSV/h)	User ID
11111	A-test	0.10907587868615999	Radmon-36b028483ce7d0319999
11111	A-test	0.05270928875208	Radmon-36b028483ce7d0319999
11111	A-test	0.07675745302368	Radmon-36b028483ce7d0319999
11111	A-test	0.04422001047768	Radmon-36b028483ce7d0319999
60961	BM017-1	0.09227801752272001	Radmon-36b028483ce7d0319999
60962	BM017-2	0.09926048716415999	Radmon-36b028483ce7d0319999
60963	BM017-3	0.13838395584672	Radmon-36b028483ce7d0319999
11111	A-test	1.7419539277958391	Radmon-86a9f9ccdf9038d29999

放射線測定結果MAP





4.防災システムの進展／②AP電源自動ON/OFF装置（PLC）



- 2015～2018年の研究／ビーム運転中はAP（アクセスポイント）の電源をOFFすることで耐放射線性を確保できることが判明した。ガンマ線照射施設で実施した試験で2kGy程度、中性子線を含んだJ-PARC MRトンネル内で実施した試験でも同様の2kGy程度まで、APの放射線耐性があることを実証し、2年強の寿命確保の目途が立った。
- AP電源自動ON・OFF装置（PLC）／ビーム運転に同期して自動でON/OFFする。加速器稼働時にMRエリアが組み込まれ、ビーム運転が稼働可能状態（IN）になるが、その情報を用い、自動でAP電源をOFF操作し、停止状態（OUT）でON操作する。
- 本装置により、緊急メンテナンス時のトンネル内入域にも対応でき、信頼度の高い運用が可能。

PLC制御画面



PLC装置内部



4.防災システムの進展／③映像による作業支援機能



- ・映像通話／スマホのカメラを使用。
- ・作業支援／MRトンネルでは監視作業も多くあるため、360°カメラを導入。複数のモバイルカメラの同時撮影により、あらゆるアングル、箇所からの作業検証を実施。
- ・MR内は残留放射線が高い領域も存在しているので、遠隔作業支援により被爆抑制にも貢献。





4.防災システムの進展／④注意喚起機能



- 予め高放射線領域や通電試験等が実施されている箇所（warning）を設定することで、該当する日時と場所（AP）に近づくと、音とバイブレーションで注意を促し、モバイル端末で詳細が確認できる機能
- 図は、サーバ画面において、注意喚起を設定した際に現れるマップ図である。画面右側には注意内容の詳細が表示されており、当日の注意すべき作業がリストされる。モバイルでも同様の内容が確認できる。

The screenshot shows a web browser window with the URL `192.168.11.1:8080/spika/#main`. The page title is "サーバー画面". On the left, there is a "Group List" with various categories and counts. The main area displays a circular map of the "JPARC PRCS" facility with numerous points labeled P01 through P36. A red warning icon is placed at point P01, with a red callout bubble containing the text "Warning 2". A user icon for "admin(4802)" is visible on the map. On the right side, a "Today's Warning Information" panel is open, showing details for "Warning 2" at "Position: P01", including the warning type "High Radiation", the location "場所: P01", and the time period "日時: 2021-06-29 ~ 2021-07-01 12:53 ~ 16:53". A red callout bubble points to the warning details with the text "・注意喚起内容 ・日時 etc.".

マップ上のWarning表示

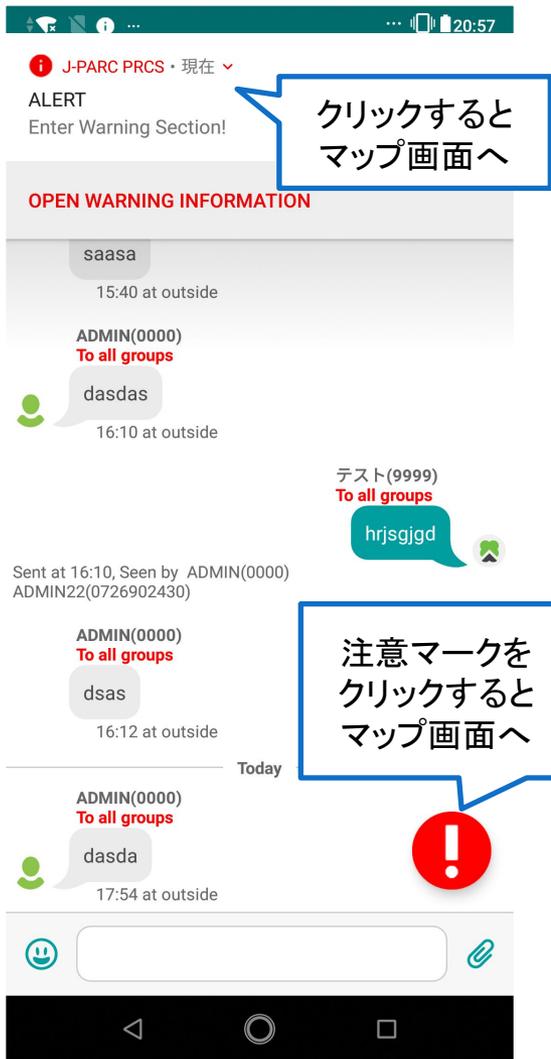
Warningの内容表示



4.防災システムの進展 / ④注意喚起機能



モバイル画面



Warning情報一覧

マップ上のWarning表示

Warningの内容表示



5. 今後の研究開発



防災システムの更なる機能増強と、他施設への展開を図る予定。

■ 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）

■ 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）
- ・自走するドローンカートに基地を作り、近くまではカートが自走し、そこから詳細調査が必要な時にドローンを飛ばす。従来、ビーム停止後において”人の立ち入り”によりトンネル内の安全を確認していたものを映像、熱赤外線、放射線量などのセンサを利用して、トンネル内全体を自動または遠隔で確認できるロボット技術（J-PARC DX-SSRobotcs 2.0）を開発する。

■ 他施設への展開

- ・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（別途予算必要）
- ・国内外の加速器施設への展開
- ・加速器施設以外の研究施設等にも宣伝



ドローン

ドローンカート



ご静聴有り難うございました。