

スマートフォンを活用したトンネル坑内位置検知システムの開発・適用

東京ガス(株) 森本和大 嶋田恭佑
 鹿島建設(株) 正会員 ○森本直樹 仲村滋夫
 鹿島建設(株) 川野康洋 筒井武志

1. はじめに

シールドトンネル坑内はGPSの電波が届かないため、セグメントや資材を運搬するためのバッテリーロコや入坑者の位置を検知する技術が導入されていたが、測位精度が粗いという問題があった。今般、スマートフォンに標準搭載されているセンサと坑内通話用の無線アクセスポイント（以下、無線AP）の電波強度差異を組み合わせて、高精度かつ安価に測位できる「トンネル坑内位置検知システム」を開発し、天然ガスパイプラインの敷設に伴うシールド工事に適用した。

2. システムの特徴

(1) 測位技術

トンネル坑内における位置検知は、従来からPHSアンテナを活用した技術があったが、測位精度はアンテナの間隔である200～300m程度で、ゾーンの把握しかできなかった。本システムは、スマートフォンの加速度センサとジャイロセンサを利用した「歩行者自律航法（Pedestrian Dead Reckoning、以下PDR）」と、坑内通話用に設置される無線APの電波強度差異による「WiFi測位」を組み合わせる（図-1）ことにより、測位精度を約10mにまで向上させた。作業員の位置は、トンネル坑内においてPDRにより自律的に測位し、100mおきに設置される無線APのWiFi電波で累積誤差を補正する方式（図-2）とし、バッテリーロコについては、走行振動によりPDRが活用できなかったため、WiFi電波強度差異によるWiFi測位方式を採用した。

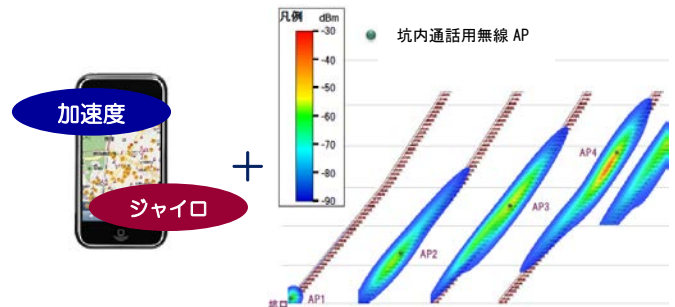


図-1 採用した測位技術（PDR+WiFi測位）

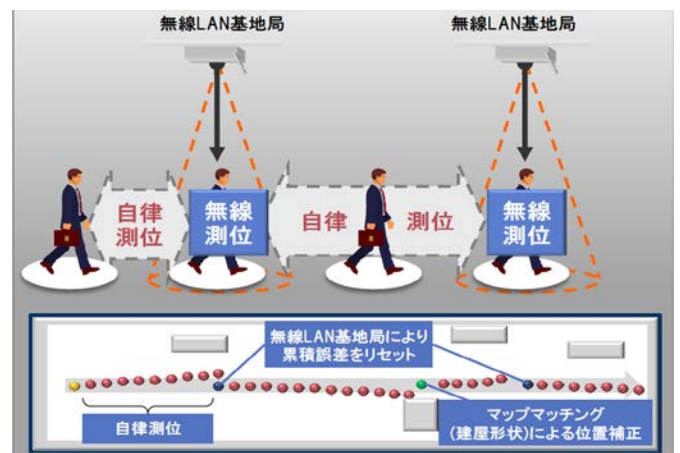


図-2 測位方式（入坑者）

(2) システム構成

本システムは、事務所・詰所に設置する「管理者端末」、入坑者の胸ポケットに入れる「入坑者端末」、バッテリーロコに搭載する「ロコ用端末」に加え、トンネル坑内（100m 毎）や防音ハウスなどに設置する「無線AP」などで構成される。（図-3、4）

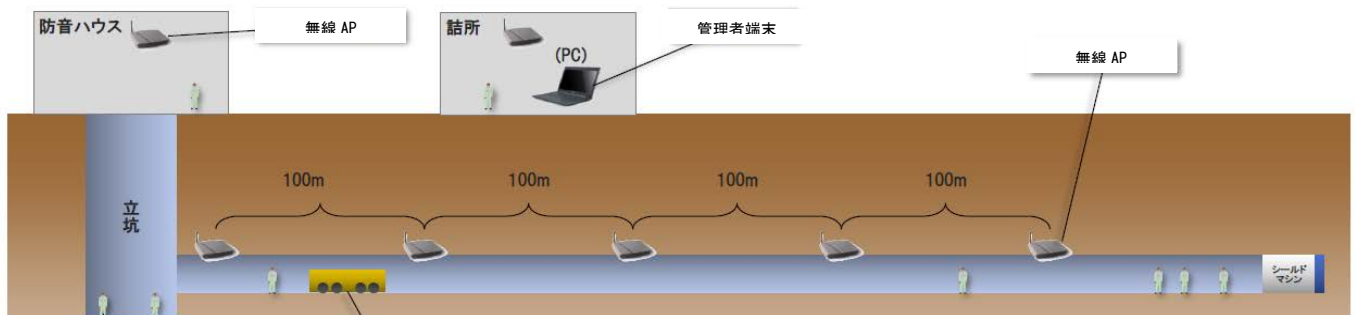


図-3 シールド工事への適用イメージ

キーワード：位置検知システム、スマートフォン、歩行者自律航法(PDR)、WiFi測位、情報化施工、小口径
 連絡先 〒107-8348 東京都港区赤坂 6-5-11 鹿島建設(株) 土木管理本部土木技術部 TEL 03-5544-0706

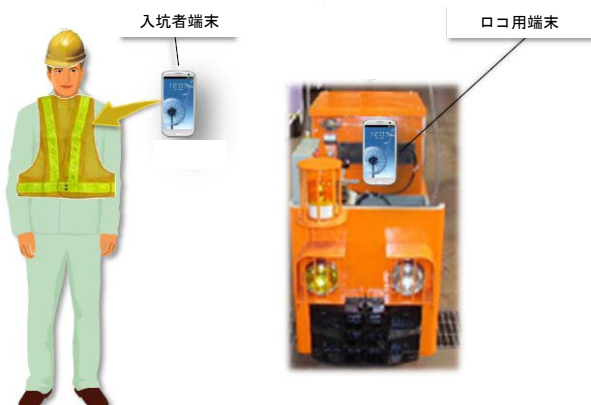


図-4 入坑者端末／ロコ用端末

3. 工事への適用

本工事は、シールド総延長約 11.6km を 4 台のシールド機で同時期に掘進していくものである。坑内断面は、約 2m と小口径(図-5)であるため、バッテリーロコと入坑者の接触防止が課題となっていた。そこで、本システムを適用し「入坑者とバッテリーロコの接触警報機能」に加え「入坑者とバッテリーロコのリアルタイム所在把握機能」を実装し、安全性の向上と作業効率の見える化を実現した。

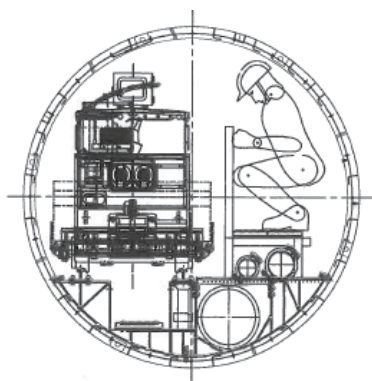


図-5 坑内断面

(図-6、7)



図-6 入坑者とバッテリーロコの所在把握、接近警報の画面

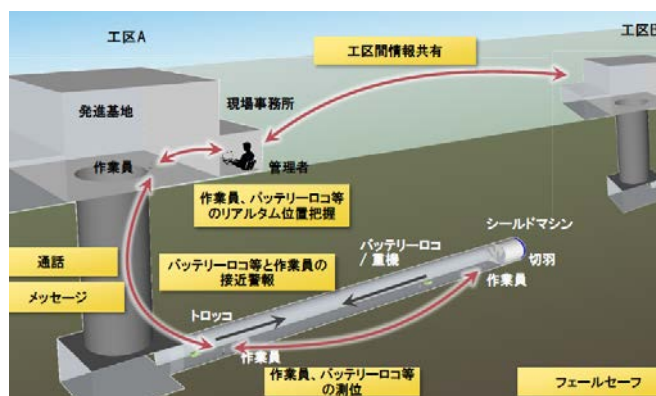


図-7 システムの利用イメージ

なお、いつでも、どこでも、誰とでもシームレスに通話やメッセージの送受信ができる通信環境についても併せて構築し、複数工区間での工事情報の共有を実現した。

4. 工事適用上の問題と解決策

本システムの運用開始直後、坑内の場所によって測位精度や通話品質が低下する問題が発生した。トンネル坑内における電波強度を測定したところ、当初の想定以上に坑内を電波が伝搬し、無線 AP の出力を 10% に下げても設置場所から 200m 離れた地点で電波強度がスマートフォンのローミング閾値である -88dBm を下回らないことが判明した。(図-8)

そのため、端末側のローミング閾値を無償アプリ (WiFi Roaming Fix) で強制的に -70dBm に引き上げることで、ローミング動作が適切なタイミングで発生するよう調整した。その結果、無線 AP の設置間隔である 100m おきにローミングが行われるようになったため、測位精度の累積誤差が適切に補正されるとともに通話品質についても改善した。

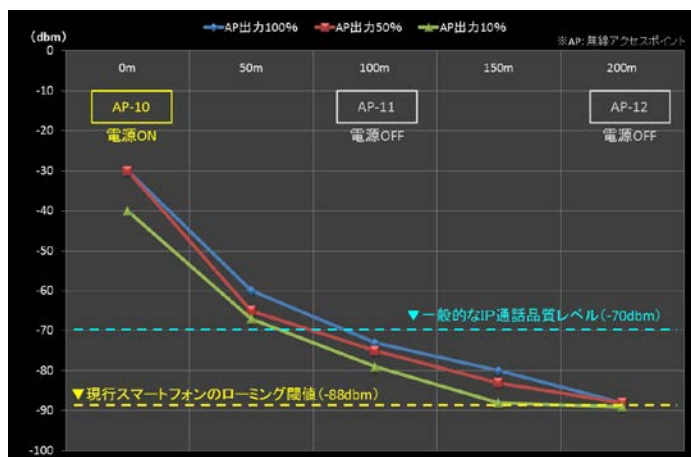


図-8 トンネル坑内における電波強度測定結果

5. おわりに

本システムを活用することにより、入坑者とバッテリーロコの位置情報がログデータとして蓄積されていくため、バッテリーロコのサイクルタイムなど生産性の向上に繋がる分析をすることも可能である。また、本システムはスマートフォンを活用することから、トンネル坑内における既存の様々なシステムを統合していくことができる。現在、別のシールド工事への導入に向けて準備中であるが、緊急時一斉通報、ガス検知連動、入退坑管理などの機能を追加して、更なる安全性や生産性の向上に繋げていく予定である。