

32. トンネル工事現場における坑内位置把握システムの開発

－ 屋内空間でのヒト・モノの位置をリアルタイムに把握 －

株式会社 安藤・間 ○澤 正樹
株式会社 安藤・間 清水 充子
株式会社 日立ソリューションズ 賀川 義昭

1. はじめに

山岳トンネルや地下トンネル等の屋内空間では、GPS等の測位衛星による位置判定が行えないため、トンネル坑内の作業員や重機、機械の位置を詳細に把握することが難しく、現在はRFID（radio frequency identifier）や坑内PHSにより大まかな位置を特定するに留まっている。

これらのシステムは、坑内に等間隔に設置したアンテナが、管理対象物に取り付けたRFIDタグやPHSからの電波を受信することで位置を特定する。

また、アンテナ同士は通信ケーブルで接続されており、工事の進捗、すなわちトンネルの延伸に合わせてアンテナの設置と通信ケーブルおよびアンテナ用電源ケーブルの敷設が必要となる。そのため、常に専門業者による工事・管理が必要となり、定期的にコストが発生する。

そのほか、人手不足が心配される昨今、少ない人数で現場の生産性を維持・向上させるためには、現場内の作業員や重機、機械の位置把握や動線管理を確実に行うことが求められている。

そこで、筆者らは、運用が容易で低コスト、かつ詳細に位置把握が行える「坑内位置把握システム」を開発し実用化した。

2. システムの概要

2.1 システムの機器構成

今回開発した「坑内位置把握システム」は、IEEE802.15.4対応無線¹⁾を採用したシステムで、以下の3つの機器で構成されている。

(1) タグ（写真-1）

- ・位置を特定する対象（ヒト・モノ）に装着する。ヒトの場合は、ヘルメットに装着する。
- ・ボタン電池内蔵で定期的に電波を発信する（6ヶ月の稼動が可能）。
- ・内蔵の加速度センサーによりタグ装着者の動き（転倒等）を検知できる。

(2) ルータ（写真-2）

- ・位置管理するブロックごとに設置する（最大間隔：210m）。

- ・タグの電波を受信し、その情報を隣のルータへ転送し続けることで、監視用パソコンまで転送する。

- ・20,000mAhのモバイルバッテリーで約1ヶ月稼動する（AC100Vでの稼動も可能）。

(3) 監視用パソコン

- ・トンネル出入口付近に設置。
- ・ルータからの情報を集約し、管理対象の作業員や重機、機械の位置を表示する。

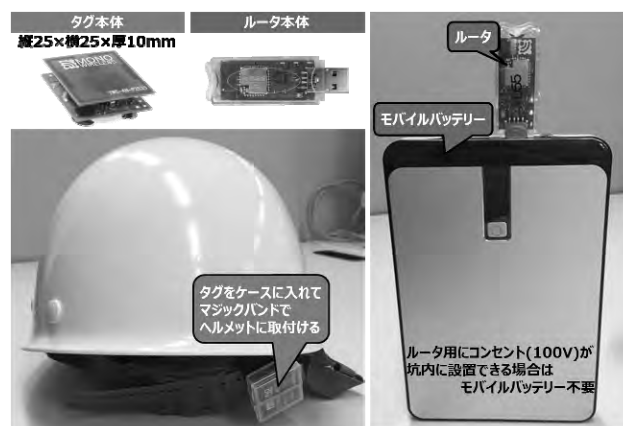


写真-1 タグ[モノワイヤレス社製 TWE-Lite2525A]とルータ[モノワイヤレス社製 MoNoSTICK]

2.2 システムの仕組み（図-1）

位置を特定する対象（ヒト・モノ）にタグを装着し、位置管理するブロックごとにルータを設置する。タグとルータとの距離が短いほど、ルータが受信する電波強度が高くなる。複数のルータがタグを検知した場合、よりタグに近いルータが受信する電波強度が最も高くなり位置把握を行う際の実データとなる。

このデータは無線により連続して隣のルータへの転送を繰り返し、最終的に監視用パソコンまで転送され集計処理される。監視画面上では、集計結果を可視化することで管理対象の位置を把握できるようになっている。

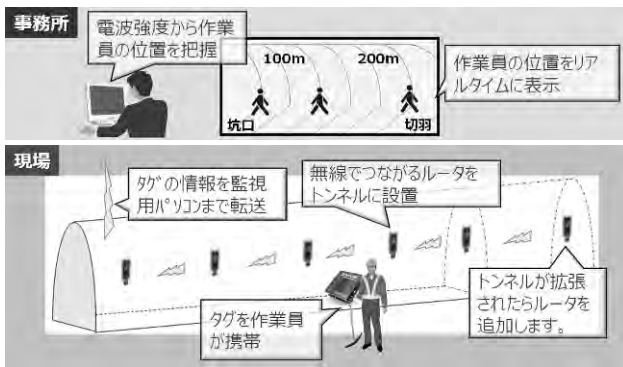


図-1 システムの仕組み

2.3 システムの特長

本システムの特長は3つあり、これらの特長がシステムの低コスト化、運用・管理の単純化・効率化に貢献している。

(1) 無線による通信

タグとルータ、ルータ同士のすべてが無線で通信を行うため、ケーブルの敷設工事が不要である。

(2) 設置機器の小型化・単純化

現場に設置するのはルータのみなので、機器設置は現場職員や作業員でも対応が可能である。

(3) ルータ故障時の自動回避機能

ルータが故障した場合、故障したルータの次のルータへ自動的にデータを転送する。

3. 実用化に向けた実証実験

3.1 実験現場の状況

- ・ シールドトンネル（地下トンネル）
- ・ 総延長：約4,000m
- ・ 内径：3,000mm
- ・ トンネル壁面は鋼製セグメントとRCセグメントが混在
- ・ トンネル内に90度の急曲線部がある

3.2 実験の条件

- ・ ルータ設置間隔：50m ごと
- ・ ルータ設置個数：17 個
- ・ 実験区間：トンネル入口から850m まで

3.3 実験の詳細と結果

ヘルメットにタグを装着した作業員がルータ設置区間850mを徒歩で移動する。作業員に同行した連絡者が、トンネル入口付近に設置した監視用パソコンをモニタリングしている監視者に作業員の位置を報告（写真-2）。画面上に表示されている位置と報告された位置との乖離がないことを確認した（写真-3）。

また、ルータの故障を想定し、任意のルータの電源を強制的に落とした。監視用パソコン上では、正常に作業員の位置が表示されていることが確認できたので、ルータが故障してもそのルータの隣のルータにデータが転送され、システムとしては問題なく稼働できていることを確認した。

当初予想していた屋内空間における電波の乱反射や、工事用の高圧ケーブルからのノイズによる影響は見られなかったが、隣り合うルータの通信境界付近では、位置の特定が難しく、作業員の進行方向とは逆の位置を表示することもあった。しかし、通信境界付近を通過すれば数秒以内に正しい位置が表示されることが確認できたため、本システムのトンネル現場への適用は問題ないと判断した。



写真-2 実験の状況(坑内)



写真-3 実験の状況(坑口の監視用パソコン)

4. おわりに

本システムでは、先に述べたようにタグに内蔵されている加速度センサーにより、作業員の転倒も検知可能で、異常な状態を迅速に把握でき安全面にも貢献するシステムになっている。

間違いなく訪れると言われている人手不足に対応するためには、少ない人数で今以上に現場管理の効率化を図らなければならない。そのためには、日進月歩のICTツールを上手く活用していく必要がある。

今回は主にトンネル現場での実用化を目指したが、今後はトンネルに限らずダム等の点検通路や地下構造物の耐震補強工事等の屋内空間、建築現場での展開を視野に入れてシステムの改良を進めていく所存である。

付録

- 1) IEEE802.15.4：米国に本部を有するIEEE(アイ・トリブレイ)により策定された標準規格で、消費電力も小さく通信距離が数十mと長い。ZigBee(ジグビー)という通信規格の下位レイヤ(物理層、MAC層)としても利用されている。