特集≫≫　大深度地下，地下構造物

トンネル等屋内工事現場における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

澤　正樹・清水充子・賀川義昭

屋外にて管理対象の位置を把握するには，主にGPS等の測位衛星が多く用いられているが，屋内では測位衛星から電波を受信することができない。そのため，RFIDやPHSの電波を活用して位置を特定するシステムが主流であるが，電波を受信し位置を特定する機器（アンテナ，リーダ等）が高額なため，数多く設置することが難しく，位置を詳細に把握することが困難である。そこで筆者らは，安価な機器を用いることで，屋内空間でもより詳細に位置を把握できるシステムを開発し実用化した。

キーワード：位置把握，無線，タグ，ルータ，IEEE802.15.4

1. はじめに

GPS等の測位衛星による位置判定が行えない山岳トンネルや地下トンネル等の屋内空間では，トンネル坑内の作業員や重機等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，すなわちトンネル掘進の状況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・設営が必要となる。そのため，常に専門業者による工事・管理が必要となり，ケーブル代や敷設工事など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い，ムリ・ムダのない現場運営が求められている。

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「屋内位置把握システム」（**図―1**）を開発し実用化した。

図―1　システム概要図

2. システムの概要

(1) システムの機器構成

今回開発した「屋内位置把握システム」は，IEEE 802.15.4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。

(a) タグ（**写真―1**）

定期的に電波を発信し，発信間隔は調整が可能である（5秒に1回電波を発信した場合，タグ内部のボタン電池で約6ヶ月の稼動が可能である）。その他，内蔵の加速度センサーにより移動，停止の稼動状況のほか，転倒等の異常な動きが検知可能である。

(b) ルータ（**写真―2**）

タグからの電波を受信し，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。AC100 Vだけでなくモバイルバッテリーでも稼動でき，20,000 mAhのモバイルバッテリーで約1ヶ月稼動する。

(c) 監視用パソコン（**写真―3**）

ルータから転送されてくる情報を集約・処理し，管理対象の作業員や重機，機械の位置を可視化する。可視化においては専用のソフトウェアは不要で，ブラウ

写真―1　タグ

写真―2　ルータ

写真―3　監視用パソコン

ザ上に表示するウェブアプリケーションとして提供される。よって，監視用パソコンにLANやWi-Fi経由でアクセスしてタブレットやスマートフォン上で可視化画面を閲覧することも可能である。

(2) システムの仕組み（図―1）

(a) 機器の設置

位置を特定する対象（ヒト・モノ）にタグを装着する。ヒトの場合は，主にヘルメットに装着する。

また，位置管理する単位（ブロック）ごとにルータを設置する。ルータの最大設置間隔は210 mであるが，後述するように途中のルータが故障した場合でもシステムを安定稼動させるためにも100 m以内の間隔で設置することが望ましい。

監視用パソコンは，トンネル出入口付近や事務所等に設置する。

(b) 位置の特定

タグとルータとの距離が短いほど，ルータが受信するタグからの電波の強さ（電波強度）が大きくなる。複数のルータが同一のタグを検知した場合でも，よりタグに近いルータが受信する電波強度が大きくなるため，タグの位置を特定することが可能となる。

この情報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。システムでは最も大きな電波強度を受信したルータの検知ブロック内にタグがあると判断し，監視用パソコン上において現場の図面上にタグの位置を可視化表示する。

(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。

(a) 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，LANケーブル等の通信ケーブルの敷設工事が不要である。

(b) 設置機器の小型化・単純化

現場に設置する機器は安価なルータのみなので，現場職員や作業員での設置やシステムの運用が可能である。

(c) ルータ故障時の自動回避機能

ルータが故障した場合，故障したひとつ前のルータは，故障したルータを飛ばし次のルータへ自動的に情報を転送するため，途中で転送が滞ることが無くシステムの安定運用が可能となる。

3. 実用化に向けた実証実験

実用化に向けた実証実験の状況は以下の通りである（**写真―4**）。

(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4,000 m
・内径：3,000 mm
・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

(2) 実験の条件

・ルータ設置間隔：トンネル入口から50 mごとおよび100 mごと
・ルータ設置個数：17個
・実験区間：トンネル入口から約850mまで

写真―4　現場の状況

(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 850 m 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逐次報告し，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。

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安定稼動できていることを確認した。同様に 1 つ飛ばしでルータの電源を全て落とすことで，ルータが 100 m ごとに設置されている状況を作り，50 m ごとに設置した場合と同様に徒歩で移動し，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。

さらに，トンネル内の急曲線部においては，ルータ同士の見通しが悪くならないようにルータを配置しなければならないことが分かった。

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。

4. おわりに

本システムは，タグに内蔵されている加速度センサーにより，作業員の転倒や重機の停止・稼動も検知可能で，異常な状態以外にも稼動状況を迅速に把握できるシステムになっている。

万が一のときのための位置把握だけでなく，今後，急激に進むと予想されている人手不足に対応するためには，現場においても日進月歩の ICT ツールを上手く活用し，少ない人数で今以上に現場管理の効率化を図っていかなければならない。

今回は主にトンネル現場での実用化を図ったが，今後はトンネルに限らずダムの点検通路や地下構造物等の屋内空間の現場，建築現場での展開を視野に入れシステムの改良を進めていく所存である。

JCMA

《参考文献》

1) 澤正樹，清水充子，賀川義昭　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　平成 28 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集　pp.127-128，2016.

［筆者紹介］

澤　正樹（さわ　まさき）
㈱安藤・間
社長室　情報システム部
システム基盤グループ
課長

清水　充子（しみず　みちこ）
㈱安藤・間
社長室　情報システム部
システム基盤グループ
課長

賀川　義昭（かがわ　よしあき）
㈱日立ソリューションズ
クロスインダストリソリューション事業部
空間情報ソリューション本部
ロケーションビジネス部
課長