

無線 LAN 測位技術によるトンネル坑内の建設機械接触災害に対する安全監視システム

ICT 建設機械接近警告システム

松田 浩朗・藤本 克郎・瀧 聞 優 作

狭隘な範囲を建設機械が輻輳するトンネル建設工事において、入坑者と建設機械の接触災害への対応は、安全管理上重要な事項の1つであり、接触災害を発生させないためには、建設機械の接近を正確に入坑者が把握することは重要である。このため、トンネル坑内において、入坑者と建設機械の位置の把握を可能とし、その位置情報を基に、建設機械の接近を入坑者へ警告する技術の開発が望まれる。

この課題の解決を目的に、無線 LAN 通信電波を利用した坑内測位技術と、その測位結果に基づく接近警告機能により、トンネル坑内全体にわたり入坑者および建設機械の位置を俯瞰的に把握し、建設機械の接近を入坑者へ自動的に警告する ICT 建設機械接近警告システムを開発した。本報では、開発したシステムの概要を示す。

キーワード：トンネル、無線 LAN、坑内測位技術、接触災害、接近警告

1. はじめに

近年、建設工事においては、GPS を利用した転圧管理システム¹⁾ やクレーンの衝突を防止するシステム²⁾ など、位置情報を活用して品質や安全を自動的に管理する技術が開発され、施工の効率化や安全性の向上を実現している。

しかしながら、建設工事のなかでもトンネル建設工事においては、位置情報を活用した技術の適用は進んでいない。これは、トンネル坑内は閉空間であり、GPS が利用できないため、トンネル坑内全体にわたり位置情報を得る測位技術が確立されていないことが理由である。狭隘な範囲を建設機械が輻輳するトンネル建設工事において、入坑者と建設機械の接触災害への対応は、安全管理上重要な事項の1つであり、接触災害を発生させないためには、建設機械の接近を入坑者が正確に把握することが重要である。このため、トンネル坑内において、入坑者と建設機械の位置の把握を可能とし、その位置情報を基に、建設機械の接近を入坑者へ警告する技術の開発が望まれる。

この課題の解決として、情報通信分野において研究が進められている無線 LAN 機器の通信電波を利用した測位技術に着目した。本測位技術は、情報通信機器である無線 LAN 機器の通信電波を利用し、情報通信と同時に、無線 LAN 端末位置を測位するものであり、無線 LAN 機器による通信ネットワークを配備すれ

ば、屋内外問わず、ネットワーク内において測位が可能という特長を有している。

筆者らは、この無線 LAN 測位技術を応用した坑内測位技術と、その測位結果に基づく接近警告機能により、トンネル坑内全体にわたり入坑者および建設機械の位置を俯瞰的に把握し、建設機械の接近を入坑者へ自動的に警告する、ICT 建設機械接近警告システムを開発した。本報では、開発したシステムの概要を示す。

2. 無線 LAN 坑内測位技術

無線 LAN 坑内測位技術の原理を図-1 に示す。本測位技術は、スマートフォンなどの無線 LAN 端末、無線 LAN 基地局、ならびに、測位解析を行うサーバ

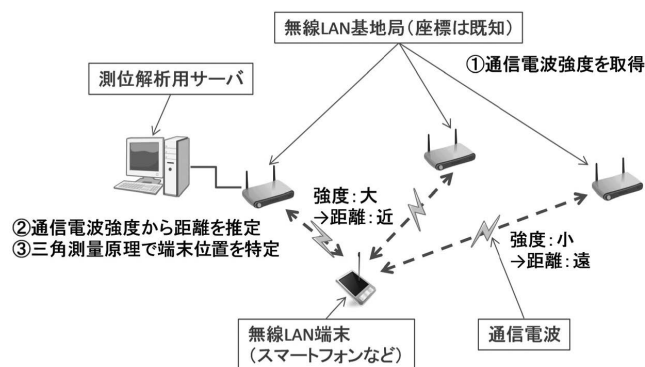


図-1 無線 LAN 坑内測位技術の原理

で構成される。無線LAN基地局を50m～100m間隔でトンネル坑内に配備し、トンネル坑内において通信ネットワークを構築する。この通信ネットワーク内において、無線LAN端末とそれぞれの無線LAN基地局の通信電波をサーバに集約する。集約された通信電波の強度から無線LAN端末とそれぞれの無線LAN基地局の距離を推定し、この推定距離と、あらかじめ求めていた無線LAN基地局の座標から、三角測量の原理に基づき無線LAN端末の位置を解析するものである。本技術は、

- ・ 情報通信と同時に測位が可能
- ・ 多数の端末のリアルタイム同時測位が可能
- ・ 無線LAN基地局座標を基準とした二次元測位が可能（無線LAN基地局の三次元配置により三次元測位も可能）
- ・ 市販の無線LAN機器が利用可能

という特長を有しており、これまでに、トンネル坑内において、1秒の測位時間間隔において、数mの精度で無線LAN端末位置の測位が可能であることを確認している³⁾。

なお、無線LANを利用した測位技術としては、解析をサーバではなく、無線LAN端末で行う方法や、無線LAN端末と無線LAN基地局との相対距離の推定に、通信電波の強度ではなく通信電波の到達時間を利用する方法など、様々な方法がある^{4)～6)}。開発したシステムでは、位置情報の一元管理が比較的容易であり、また市販の機器が利用できることから、通信電波強度に基づきサーバにおいて測位解析を行っている。

3. ICT 建設機械接近警告システム

無線LAN坑内測位技術による位置情報に基づくICT建設機械接近警告システムの概要を図-2に示す。開発したシステムでは、入坑者・建設機械の位置を前述の無線LAN坑内測位技術により把握する。測位対象である入坑者および建設機械にそれぞれ無線LAN端末を所持させる。なお、無線LAN端末の個体識別番号と端末を所持している入坑者または建設機械とを紐付けており、無線LAN坑内測位技術により得られた無線LAN端末位置を、その端末を所持している入坑者または建設機械の位置としている。

開発したシステムには、無線LAN坑内測位結果から入坑者および建設機械の位置を俯瞰的に確認できる①位置情報配信機能と、建設機械の接近を自動的に警告する②建設機械接近警告機能がある。

(1) 位置情報配信機能

本機能は、トンネル坑内における入坑者および建設機械位置の“見える化”を実現するものである。測位解析用サーバに、位置情報配信のためのアプリケーションが実装されており、通信ネットワークを介して、無線LAN端末、あるいはネットワーク内のPCの画面において、入坑者および建設機械の位置が表示される。本アプリケーションにより、特に長大なトンネルにおいて把握が困難であった、トンネル坑内において、“だれが（なにが）、どこにいるのか”、を視覚的に確認できる。また、測位解析用サーバをインターネットに接続することで、インターネットを介してど

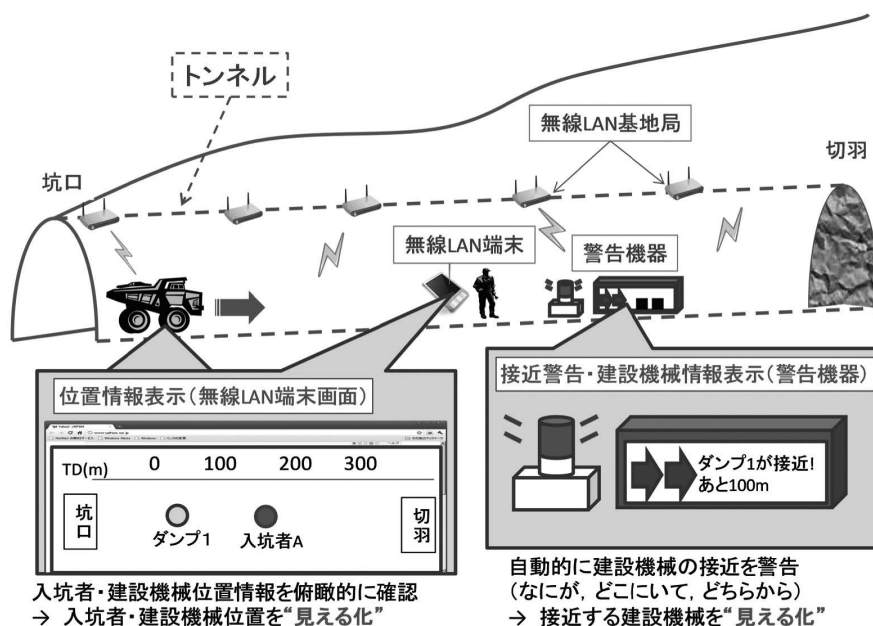


図-2 ICT 建設機械接近警告システムの概要

こでもこれらの情報が確認可能となる。

(2) 建設機械接近警告機能

本機能は、トンネル坑内において接近する建設機械の“見える化”を実現するものである。無線 LAN 坑内測位技術で得られた位置情報に基づき、建設機械の接近を自動的に警告機器により入坑者へ警告する。任意の位置に設置した警告機器に、建設機械が接近した場合に、警告灯の点灯と警告音が発報される。合わせて、接近する建設機械名、残りの距離、ならびに、接近方向が表示機器画面上に表示される。なお、警告実施の判断は、警告機器と警告対象の建設機械との距離で行い、その距離は任意に設定可能である。

本機能により、“なにが、どこにいて、どちらから”接近しているかという、建設機械の接近に対する入坑者の危険回避に重要な情報が自動的に提供されるため、入坑者と建設機械の接触災害に対する安全性が高まると考えられる。

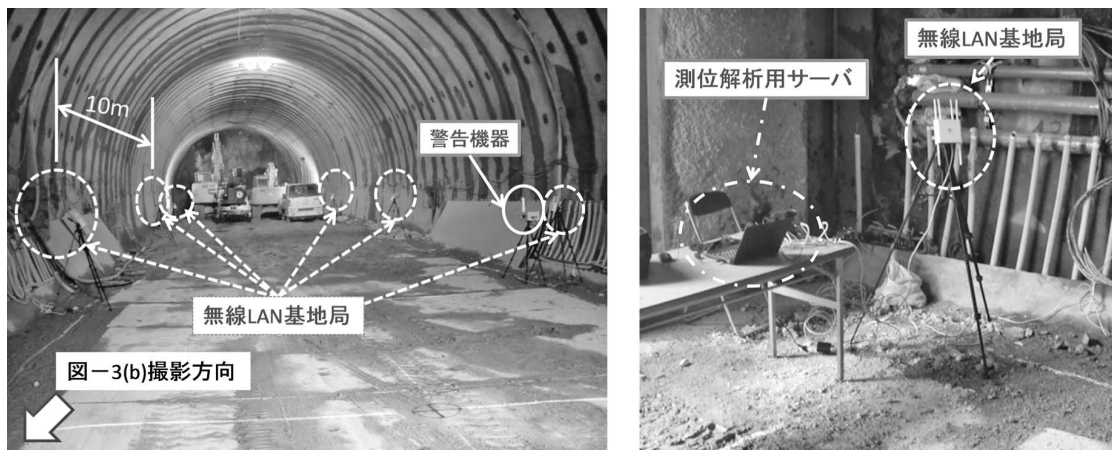
4. 現場適用

(1) システムの稼働検証

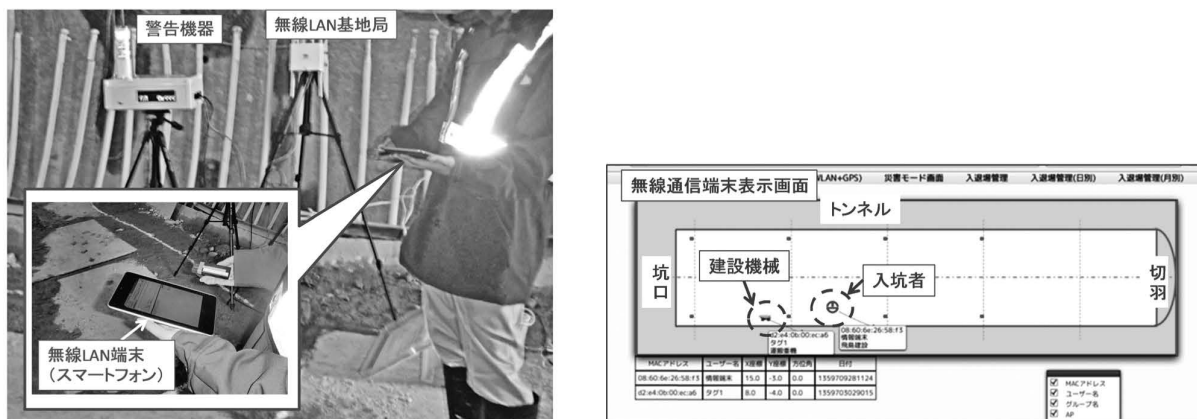
開発システムのトンネル建設工事現場での稼働検証を目的として、一般国道 400 号下塩原第二トンネル(仮称) 本体建設工事(栃木県)において現場実験を実施した。

図一3に、機器設置状況を示す。トンネル坑口よりトンネル進行方向に 10 m 間隔で 2 台ずつ無線 LAN 基地局を計 10 台設置し、無線ネットワークを構築した。また、坑口から 20 m の位置に警告機器を設置した。さらに、ネットワーク内に測位解析用サーバを設置した。

図一4に、実験状況の一例を示す。測位端末として、無線 LAN 端末であるスマートフォンを利用し、入坑者および建設機械のそれぞれに所持させた。なお、測位時間間隔および警告機器制御時間間隔は 1 秒とした。また警告範囲は、警告機器より ± 20 m の範囲とした。



図一3 機器配置状況



図一4 位置情報配信機能の検証状況

無線通信端末表示画面					LAN+GPS	災害モード画面	入退管理	入退管理(日別)	入退管理(月別)																		
トンネル																											
坑口																											
建設機械																											
入坑者																											
切羽																											
<table border="1"> <tr> <th>MACアドレス</th> <th>ユーザー名</th> <th>機種</th> <th>機種</th> <th>方向</th> <th>日時</th> </tr> <tr> <td>08:60:6e:26:58:f1</td> <td>タグ1</td> <td>13.0</td> <td>1.0</td> <td>0.0</td> <td>1359709281124</td> </tr> <tr> <td>42:e4:0b:00:ac:a6</td> <td>タグ1</td> <td>8.0</td> <td>4.0</td> <td>0.0</td> <td>135970329015</td> </tr> </table>										MACアドレス	ユーザー名	機種	機種	方向	日時	08:60:6e:26:58:f1	タグ1	13.0	1.0	0.0	1359709281124	42:e4:0b:00:ac:a6	タグ1	8.0	4.0	0.0	135970329015
MACアドレス	ユーザー名	機種	機種	方向	日時																						
08:60:6e:26:58:f1	タグ1	13.0	1.0	0.0	1359709281124																						
42:e4:0b:00:ac:a6	タグ1	8.0	4.0	0.0	135970329015																						
<input checked="" type="checkbox"/> MACアドレス <input checked="" type="checkbox"/> ユーザー名 <input checked="" type="checkbox"/> ジャンプ名 <input checked="" type="checkbox"/> IP																											

図-4 (b) に、無線 LAN 端末画面の一例を示す。位置情報配信機能により、トンネル坑内において入坑者および建設機械が識別されるとともに、その位置が表示されていることが分かる。本実験においては、リアルタイム(1秒間隔)に、5m 程度の誤差の範囲内で、それぞれの位置を把握することが可能であった。

図-5 に、建設機械の接近時(警告機器まで 2m)における、警告機器の表示の一例を示す。建設機械が

警告範囲内に侵入した際に、警告灯の点灯と、警告機器位置へ接近する建設機械名、警告機器位置までの距離、ならびに、進行方向の表示が可能であった。さらに、建設機械の位置情報の変化に応じて、進行方向やその距離について、逐次警告表示内容が更新された。

以上のように、開発したシステムは、トンネル建設工事現場において入坑者および建設機械位置の測位が可能であり、その位置情報の配信と、位置情報に基づく建設機械の接近警告が有効に機能することが示された。

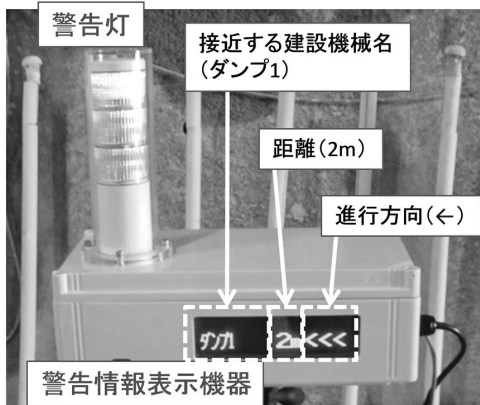


図-5 警告機器の表示の一例

(2) 本格運用のための現場適用

現在、開発システムの本格運用にむけて、国道 115 号 霊山道路トンネル工事(福島県)において現場実験を実施しているところである。

トンネル坑内に 50m 程度の間隔で無線 LAN 基地局を配備し、坑内全体において通信ネットワークを構築している(図-6 参照)。また、工事関係者に無線 LAN 端末を所持させており、坑内測位技術により工事関係者の入坑状況とその位置の把握(入坑者位置の

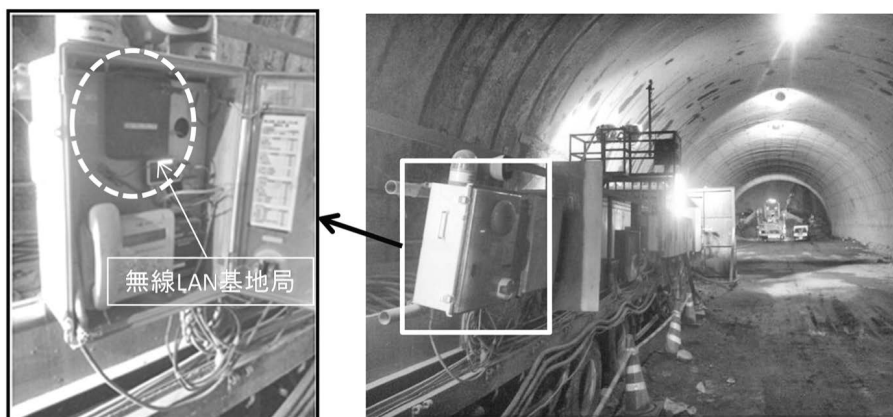


図-6 坑内における無線 LAN 機器の配備状況



図-7 無線 LAN 端末使用状況と入坑者位置表示画面の例

見える化) が可能となっている (図-7 参照)。

今後は、無線 LAN 坑内測位技術の実際の工事環境での精度の検証や建設機械接近警告機能の実装、適切な警告設定値の検討などを実施し、本格運用につなげていく。

5. おわりに

本報では開発した ICT 建設機械接近警告システムの概要を示した。現在、開発したシステムの本格運用に向けて現場実験を実施しているところであり、その結果について別途報告する予定である。

謝辞

本開発にあたり、国土交通省東北地方整備局福島河川国道事務所、および、栃木県大田原土木事務所の方々にご協力いただきました。ここに記して感謝の意を表します。



《参考文献》

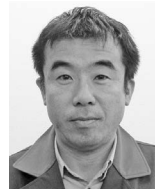
- 1) 齊藤重明, 木村哲, 杉村正次, 堀場夏峰, 齊藤潤: GPS を用いた造成工事施工支援システムの開発, 土木学会年 56 回次学術講演会, pp.278-279, 2001.
- 2) 神庭浩二, 加藤悟: GPS の方位データを利用したクレーンの衝突防止システムの開発, 建設の施工企画, Vol.6, pp.52-54, 2007.

- 3) 松田浩朗, 松元和伸, 小林薫, 筒井隆規, 田頭茂明: 無線 LAN 通信電波を利用した測位技術の測位精度に関する研究, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, pp.131-132, 2011.
- 4) 河口信夫: Locky.jp: 無線 LAN を用いた位置推定とその応用, 電子情報通信学会 ITS 研究会, Vol.107, pp.37-40, 2007.
- 5) 北須賀輝明, 中西恒夫, 福田晃: 無線 LAN を用いた屋内向けユーザー位置測定方式 WiPS の実装, マルチメディア分散協調とモバイルシンポジウム論文集, pp.349-352, 2004.
- 6) 荻野敦, 恒原克彦, 渡辺晃司, 藤島堅三郎, 山崎良太, 鈴木秀哉, 加藤猛: 無線 LAN 統合アクセスシステム—位置検出方式の検討—, マルチメディア分散協調とモバイルシンポジウム論文集, pp.569-572, 2003.

【筆者紹介】



松田 浩朗 (まつだ ひろあき)
飛鳥建設㈱
技術研究所 研究開発グループ 第一研究室
主任研究員



藤本 克郎 (ふじもと かつろう)
飛鳥建設㈱
首都圏土木支店 下塩原トンネル作業所
副所長



瀧間 優作 (たきぎく ゆうさく)
飛鳥建設㈱
東北支店 霊山道路トンネル作業所
副主任