

無線 LAN 坑内測位技術による位置情報に基づくトンネル坑内の 建設機械接触災害に対する安全監視システムの開発

Development of the Safety Monitoring System Based on Position Information
by Using the Wireless LAN Positioning System

松田 浩 朗^{※1} 松 元 和 伸^{※1}
Hiroaki Matsuda Kazunobu Matsumoto
筒 井 隆 規^{※2} 藤 本 克 郎^{※3}
Takanori Tsutsui Katsuro Fujimoto
武 市 直 人^{※3}
Naoto Takeichi

【要旨】

近年、GPS を搭載した機器の普及が進み、手軽に位置情報が得られる。建設工事においても、GPS により得られた建設機械や作業員の位置情報に基づき、品質や安全を自動的に管理する技術が適用され、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、トンネル建設工事においては、位置情報を活用した技術は適用されていない。これは、トンネル坑内において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。

これまでに、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、これを応用した無線 LAN 坑内測位技術を開発している。本研究では、入坑者と建設機械の接触災害に対する安全性の向上を目的に、この無線 LAN 坑内測位技術を利用して、入坑者と建設機械の位置情報に基づいた、建設機械の接近を入坑者へ自動的に警告する安全監視システムを開発する。本論文では、開発した測位技術および安全監視システムの概要を示す。また、開発システムの有効性の検証を目的とした現場実験について示す。

【キーワード】 無線 LAN トンネル 測位 接触災害 安全監視

1. はじめに

近年、GPS を搭載した機器（特にスマートフォン）の普及が進み、手軽に位置情報を得ることが可能となっている。さらに、位置情報を活用したサービスも開発され、歩行者向けのナビゲーションや、災害時の要救助者の位置を伝達・共有するシステムも開発されている¹⁾。

建設工事においても、GPS による位置情報を活用した品質や安全を自動的に管理する技術が適用され、施工の効率化や安全性の向上を実現している²⁾。

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 が利用できないなど、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。このことは、トンネル坑内において活用できる測位技術を実現できれば、他工種の建設工事に適用されている位置情報に基づく管理技術をトンネル建設工事に適用することが可能となり、更なる施工の効率化や安全性の向上が期待できることを示唆している。

この課題に対して、筆者らは、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³⁾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 による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。これまでに、筆者らは、この測位技術を応用した、トンネル坑内において利用できる無線 LAN による坑内測位技術（以下、無線 LAN 坑内測位技術）を開発している⁴⁾⁵⁾。

一方、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つである。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。

本研究では、接触災害に対する安全性の向上を目的に、無線 LAN 坑内測位技術を利用し、入坑者および建設機

1. 建設事業本部 技術研究所 第一研究室 2. 九州支店 島根原子力防水堤作業所 3. 首都圏土木支店 下塩原トンネル作業所

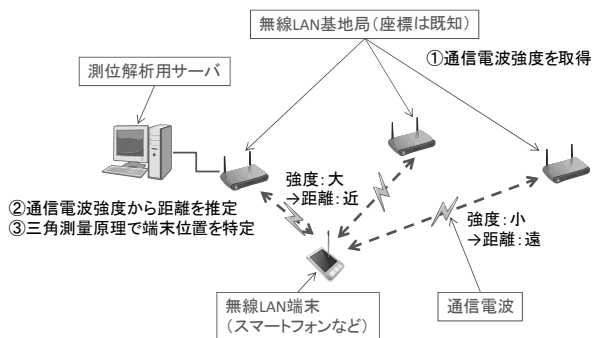


図-1 無線LANによる測位の原理

械の位置情報に基づき、建設機械の接近を入坑者へ自動的に警告する、安全監視システムを開発する。

本論文では、開発した無線LAN坑内測位技術および安全監視システムの概要を示す。また、開発システムの有効性の検証を目的とした現場実験について示す。

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で構成される。無線LAN基地局をトンネル坑内に配備し(50m~100m間隔)、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あるいは三次元測位が可能
- ・市販の無線LAN機器が利用可能

という特長を有しており、これまでの研究で、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⁴⁾。

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⁹⁾や、無線LAN端末と無線LAN基地局との相対距離の推定に、通信電波強度ではなく通信電波到達時間を利用する方法⁹⁾など、様々な方法がある。本研究では、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、サーバでの解析による方法と、通信電波強度を利用する方法を採用している。

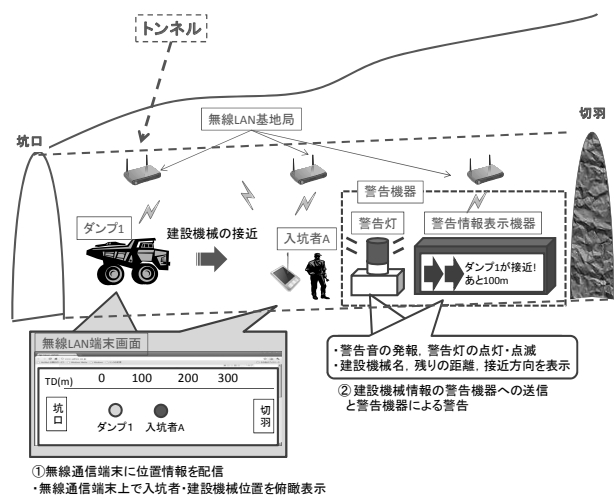


図-2 開発した安全監視システムの概要

3. 位置情報に基づく安全監視システム

開発した、無線LAN坑内測位技術による位置情報に基づく安全監視システムの概要を図-2に示す。

本システムでは、入坑者・建設機械の位置を無線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、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機械の位置としている。

本システムには、①位置情報配信機能と、②位置情報に基づく警告機能がある。

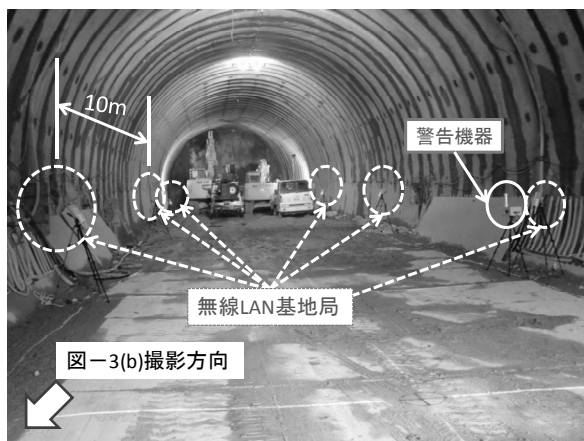
3.1 位置情報配信機能

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、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こでもこれらの情報が確認可能となる。

3.2 位置情報に基づく警告機能

本機能は、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ものである。

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



(a) 無線 LAN 基地局および警告機器



(b) 測位解析用サーバ

図-3 機器配置状況

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. 現場実験

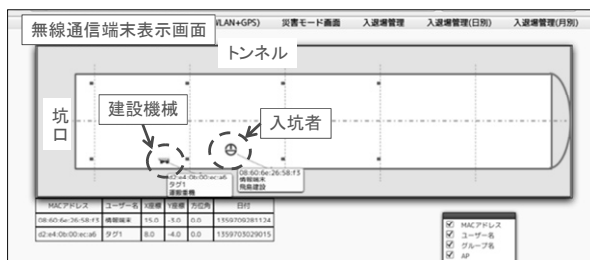
開発システムの有効性の検証を目的として、建設中のトンネル坑内において現場実験を実施した。現場は、一般国道400号下塩原第二トンネル(仮称)本体建設工事(栃木県：トンネル延長1,458m)である。

本実験では、開発したシステムの位置情報配信機能、および、位置情報に基づく警告機能について検証した。

図-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10m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20m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。



(a) 無線 LAN 端末による通信



(b) 無線 LAN 端末画面の一例

図-4 位置情報配信機能の検証状況

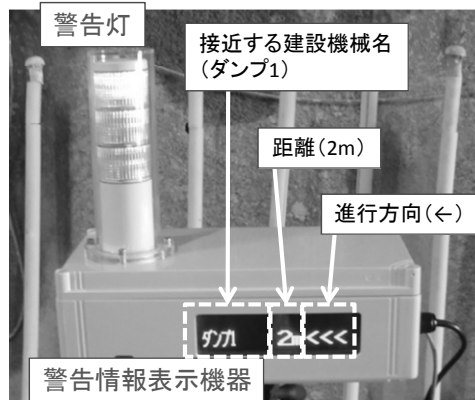


図-5 警告機器の表示の一例

図-4に、開発システムの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±20mの範囲とした。

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、建設機械接近時(警告機器まで2m)の、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。

5. おわりに

本論文では開発した位置情報に基づく安全監視システムと、有効性検証を目的とした現場実験の結果について示した。

無線 LAN 坑内測位技術によりトンネル坑内においてリアルタイムに測位が可能であり、無線 LAN 端末上で、入坑者および建設機械の位置が把握可能であった。さらに、接近する建設機械名、その距離、ならびに進行方向の警告が自動的に可能であった。今後、本システムの有効性を向上させるために、改善改良を実施していく予定である。

【参考文献】

- 1) 鈴木規之, 津田徹, 齋藤利文, 森山京平, ザモーラ ジェーンルイ フレスコ, 榎原茂, 藤川和利, 山口英: 救助要請伝搬アプリケーションの設計と実装, 電子情報通信学会技術研究報告, MoMuC, モバイルマルチメディア通信, Vol.111, No.384, pp.49-54, 2012
- 2) 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, 土木学会年第 56 回次学術講演会講演概要集, pp.278-279, 2001.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 松田浩朗, 松元和伸, 田頭茂明: 無線 LAN 測位技術の測位精度に関する研究, 土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集, pp.549-550, 2012.
- 6) 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.
- 7) 山崎良太, 荻野敦, 玉木剛, 雅樂 隆基, 松沢直人, 加藤猛: 無線 LAN 位置検出システム「AirLocation」におけるアクセスポイントの開発, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, p.627, 2004.

Summary Equipment loaded with GPS has rapidly in wide use, making position data easily accessible. In construction work, technologies have been applied for automatically managing quality and safety based on the position data concerning the construction machinery and workers collected using GPS. The efficiency and safety of construction have been increasing. In tunnel construction work, however, no technologies have yet been applied using position data. This is because no positioning technologies have yet been established to obtain position data in the tunnel.

The authors focused on a positioning system that used electric waves for wireless LAN equipment, on which studies have been made in the field of telecommunications, and applied the system to develop wireless LAN positioning technology in the tunnel. In this study, a safety monitoring system is developed that warns the workers in the tunnel about the approach of construction machinery based on the position data concerning the workers and machinery using the wireless LAN positioning technology in the tunnel with a view to enhancing safety against the contact of worker and machinery. This paper outlines the positioning technology and safety monitoring system developed. It also describes the field tests to verify the effectiveness of the developed system.

Key Words : *Wireless LAN, Tunnel, Positioning, Accidental Contact, Safety Monitoring*