

地下空間における無線 LAN を用いた測位センサネットワークによる 位置管理システムの基本性能に関する実験的研究

茨城大学 工学部 正 ○小林 薫 飛鳥建設 技術研究所 正 松田浩朗
 関西大学 総合情報学部 田頭茂明 飛鳥建設 建設事業本部 正 川端康夫
 K E K 吉岡正和 復建調査設計 山本祐輔

1. はじめに

東日本大震災の際の危機的状況の中で、J-PARC で作業中の職員がトンネル内からの脱出に時間を要したことが本研究開始の発端である。大型加速器施設においては、施設利用者に対する災害時の安全確保が極めて重要である。施設利用者の位置やその動線に基づく管理、さらに発災時に適正な避難誘導が行えるシステムを実装できれば、さらに安全性は高まるものと考えられる。以上より、筆者らはモバイル端末を利用した屋内向け測位センサネットワーク技術の開発¹⁾²⁾に取り組んでいる。本論文では、ILC (国際リニアコライダー) を想定した既存の直線状長大かつ小断面トンネル (神戸ベルトコンベアトンネル) で、無線 LAN の通信速度と同時測位の精度について検証し、位置管理システムの可能性および有効性を明らかにする。

2. 測位センサネットワークによる位置管理システムの概要

位置管理システムは、無線 LAN 端末、AP (Access Point) および測位解析サーバで構成される。無線 LAN 端末は測位対象の研究者等が所持し、逐次電波を発信する。AP は、無線通信ネットワーク機能に加え、無線 LAN 端末が発信した電波情報 (端末識別情報、電波強度) を取得する測位センサ機能を有しており、測位センサネットワークを構築している。AP が取得した電波情報は測位解析サーバに送られ、無線 LAN 端末位置が測位される。なお、開発システムの測位方式としては、電波強度が一番大きい AP 位置 (管理位置) を無線 LAN 端末位置とする近接方式と三角測量方式による座標管理の 2 種類を選択可能である。本実験の測位方式としては、後者を採用している。

3. トンネル内での無線 LAN を用いた実験の概要

(1) トンネル概要

図-1 にベルトコンベアトンネルの全体概要図を示す。その中で、ベルトコンベアトンネルの一部 (D3 トンネル: 断面積が 17.4 m^2 (図-2) の小断面トンネルの北側約 700 m 区間) を用いた。写真-1 には検証に用いた小断面トンネルの内観を示す。なお、計測時のトンネル内の温度は $17 \sim 18^\circ\text{C}$ 、相対湿度は $85 \sim 90\%$ でほぼ一定であった。

(2) 実験器機と AP および無線 LAN 端末の配置

実験に用いた無線 LAN 端末 (写真-2) および AP (大きさ: $10 \times 10 \times 5 \text{ cm}$) は写真-3 に示す。また、写真-4 に示すように AP の設置高さについては、カメラの三脚を用いてコンクリート基盤底面より 45 cm に統一した。なお、AP の下面には 15 cm 角のステンレス板 (厚さ $t=5 \text{ mm}$) を敷いて、底面反射によるマルチパスの影響を低減した。実験は、図-3 に示すような AP 配置の基で、無線 LAN 端末の設置座標 (トンネル断面 y 方向 $=3.2 \text{ m}$ 、トンネル軸 x 方向 $=300 \text{ m}$) に対する測位座標のばらつきを計測した (測定時間は、10 分間実施)。



図-1 D3トンネルの位置図

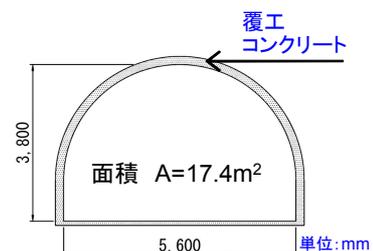


図-2 D3トンネルの断面図



写真-1 D3トンネルの内観

キーワード; 地下空間, 無線 LAN, 測位センサネットワーク

連絡先; 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1 0294-38-5177



写真-2 無線 LAN 端末



写真-3 AP の外観

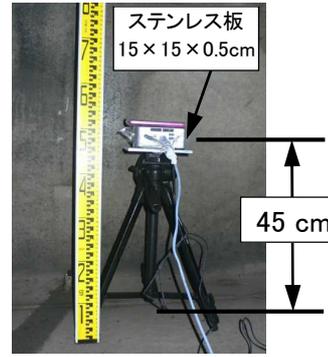


写真-4 AP 設置状況

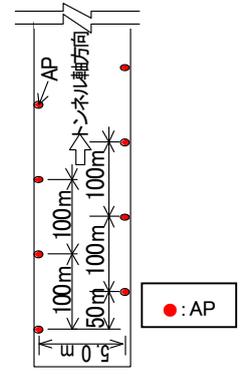


図-3 AP 配置図

3. 実験結果と考察

1) 通信速度および通信遅延

表-3 に小断面トンネル内における無線 LAN の通信速度と通信遅延に関する測定結果 (配列 1 について各 10 回測定) の一覧を示す。通信速度は、端末やケーブル等によって影響するものと考えられるが、本実験においては平均 8.5Mbps (変動幅: 6.4~12.8Mbps) であった。また、小断面トンネル内における通信遅延は、平均で 44.2msec (変動幅: 34.4~56.7msec) であった。本ケースの最大通信遅延は 56.7msec で、一般に要求される通信遅延 150msec 未満を満足しており、IP 電話としての性能も満足しており、通信インフラとしての機能も有していることが確認された。なお、配列違いが測位結果に及ぼす影響はほとんど無かった。

2) 測位精度

長大かつ小断面トンネル内(700m 区間)に無線 LAN 端末(Photo 7 参照)を 28 台設置して、本システムにより測位した。代表的な座標既知 (y=2.3 m, x=300.0 m) に設置した 1 台の無線 LAN 端末に関する測位結果を図-4 に示す。測位座標の精度は、測位解析の時間 (3, 10 および 30 秒間) が増すにつれて測位誤差のばらつきが小さくなり (各測位解析の平均値のばらつきが小さくなり)、測位精度の向上が見られる。測位解析を 30 秒間平均にした場合には、最大測位誤差はトンネル軸方向で+2.5m 程度、トンネル断面方向で+2.1m 程度であった。また、リアルタイム性を重視して、測位解析を 3 秒間平均にした場合のばらつきは、トンネル軸方向で±5m 程度、トンネル断面方向で+5.0m 程度、-1.4m 程度は確保できている。これより、リアルタイム性が重要視される場合、測位解析時間として 3 秒間を用いると、x, y 方向ともに±5m 以内であることを実験的に確認した。よって、リアルタイム性よりも測位精度が重要視される場合は、測位解析の時間間隔を長く取れば測位精度は向上することが確認できた。

以上より、地上で有効活用されている自動車のナビゲーション GPS の測位誤差は±10~15m と言われていることから、本システムによる測位精度は施設の規模および想定される測位精度を考慮した場合には、本システムは実用性・有用性があることを実大規模の長大かつ小断面トンネルを用いた実験的に検証することができた。

4. まとめ

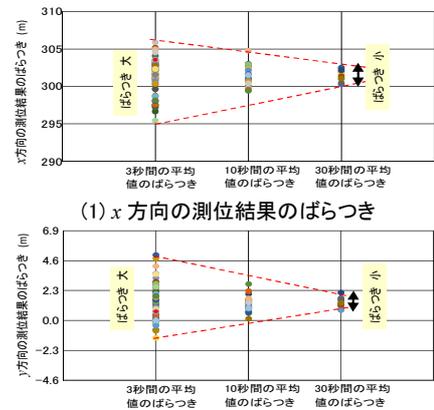
神戸ベルトコンベアトンネルにおける長大かつ小断面トンネル内においては、強くマルチパスの影響を受けることも考えられたが、通信速度は平均で 8.5Mbps を確保できていると共に、通信遅延は 60msec 未満であった。このことから、通信インフラとして IP 電話の性能 (一般的には通信遅延は 150msec 未満) を十分満足していることが実証できた。加えて、測位精度は、測位解析結果を 30 秒間平均に設定した場合には、測位誤差は±2.5m 程度は確保できることが確認できた。これは、自動車のナビゲーション GPS の測位誤差より小さくなることが分かった。

謝辞: 本実験は、神戸市みなと総局の方々にご多大なご協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献 1) 川端康夫, 松田浩朗, 松元和伸, 田村 琢之, 田頭茂明, 小林 薫, 山本 祐輔, 前田 修, 大場俊幸, 吉岡正和: 測位センサネットワークによる加速器施設の防災・放射線管理のための位置管理システムの開発, 第 12 回日本加速器学会年会, 6P, 2014. 2) 川端康夫 他: “加速器施設における測位センサネットワークに基づく放射線管理・防災システムの開発”, 第 11 回日本加速器学会年会, 6P, 2013.

表-3 通信速度および通信遅延の測定結果

通信速度(Mbps)	12.8	7.9	8.4	8.6	8.8	7.2	9.2	8.2	7.2	6.4
通信遅延(ms)	56.7	23.1	51.3	55.5	45.3	48.0	44.8	47.4	35.6	34.4



(1) x 方向の測位結果のばらつき
(2) y 方向の測位結果のばらつき
図-4 設置場所の座標と測定座標との差