

IC タグおよび PHS を使用したトンネル坑内安全管理システム

伊藤 耕一・田口 毅・原田 和男

IC タグ（正式名称は RFID タグ：Radio Frequency Identification）は IC チップに格納した情報を無線通信を利用して非接触で認識する電子媒体であり、物流業界、運輸、公的証明などに利用され始めている。トンネル工事における掘削土砂や資材はバッテリーロコ（蓄電池式機関車）で運搬されるが、特に長距離、小断面のトンネル工事においてはバッテリーロコ運行にともなう入坑者の安全確保が施工管理上の重要課題である。本報文では坑内の安全管理のために戸田建設と西松建設で共同開発した IC タグをバッテリーロコの位置管理に利用したトンネル坑内安全管理システムについて述べる。

キーワード：IC タグ、バッテリーロコ、安全管理、トンネル、PHS、入坑管理

1. はじめに

IC タグは IC チップに格納した情報を無線通信を利用して非接触で認識する電子媒体であり、物流業界、運輸、公的証明などに利用され始めている。

特に流通業界の物品在庫管理や販売管理、医療薬品業界での医薬品頒布、また最近では児童の登下校時の安全確保や市街地における目的地までの誘導システムなどへも適用されている。

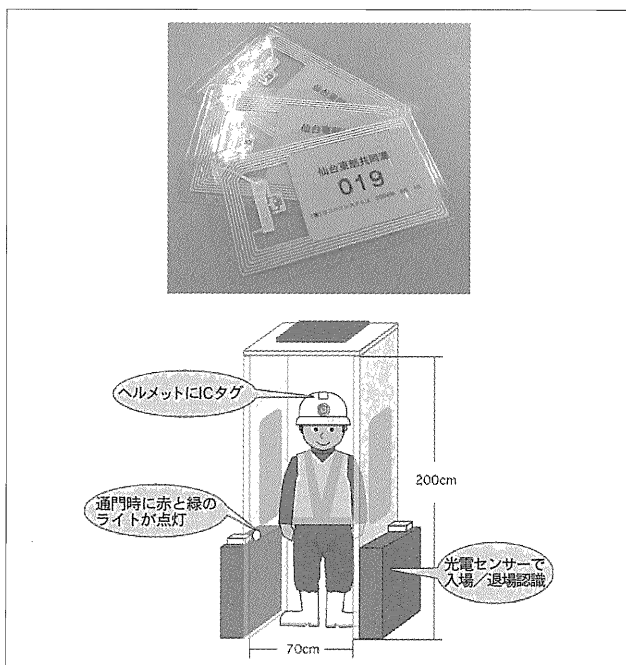


図-1 入坑管理に IC タグを適用した事例

建設業界では資機材管理、労務管理（図-1）、ライフサイクル管理への適用研究がはじまり、試験的な運用も始まっている。

本報文は戸田建設株式会社と西松建設株式会社で共同開発した IC タグと PHS を使用したトンネル坑内安全管理システムについて述べるものである。

2. 開発の背景

本システムは、シールド掘進に代表されるトンネル工事におけるセグメントや土砂を搬送するバッテリーロコ（蓄電池式機関車）の運行位置を監視するシステムである。

都市再生、一極集中という社会情勢の中で、地下管路構造物は大深度、長距離化（図-2）の傾向が強くなっている。シールド工事においてはセグメント、資

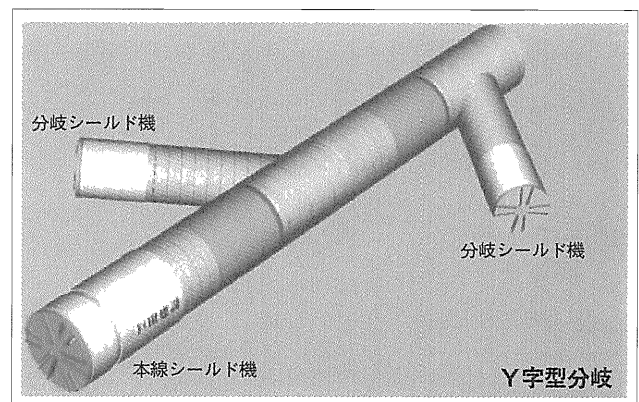


図-2 多様化する長距離シールド工事

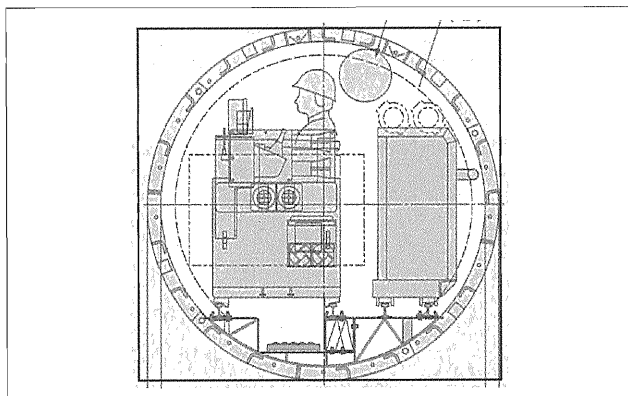
材、掘削土砂の運搬をバッテリーロコ（写真—1）で行っている。



写真—1 バッテリーロコ

特に長距離、小断面の工事ではシールドの掘進やセグメント組立ての作業とバッテリーロコによる資材運搬との連携を図るとともに、バッテリーロコの通過を待つ待避所を設置し、接触事故の防止に努めることが施工管理上重要である（図—3）。

そこで、IC タグ（非接触式の電波送受信装置）を用いてバッテリーロコの位置を検知し、その情報をLANを通じて切羽、立坑、坑内に設置した監視モニタに表示するとともに、PHSを所持した坑内を移動中の工事関係者にバッテリーロコの接近情報を知らせ、事故防止をはかるシステムを開発した。



図—3 坑内断面の例

2. システムの内容

（1） システムの機能

狭隘なシールド坑内を走行するバッテリーロコの運行状況を把握し、資機材や掘削残土の効率的な運搬と入坑者の安全を確保することを目的に、当システムの機能を表—1のように設定した。

表—1 システムの機能要件

機能	内容
バッテリーロコの走行情報	軌道レールに設置したICタグの距離データをバッテリーロコのアンテナで読取り、坑内PHS回線を通じて位置管理PCに伝送する
バッテリーロコの接近情報	入坑者が所持する坑内連絡用のPHSにバッテリーロコが約300m（PHSアンテナ間隔）以内に接近した時に、バッテリーロコの位置を知らせる
入坑者の位置情報	バッテリーロコの運転手が入坑者の位置を把握するために、運転席に入坑者位置を表示する

（2） システム構成

本システムはバッテリーロコ位置管理システムと入坑者位置管理システムから構成する。図—4にシステム概要図を示す。

バッテリーロコ位置管理システムは、

- バッテリーロコの走行情報の取得
 - バッテリーロコの位置情報の送受信
 - バッテリーロコの位置表示を行う部分
- で構成される。

（a） バッテリーロコの走行情報取得

バッテリーロコの走行情報はセグメントに取付けられたICタグに記録された坑口からの距離データを走行中に順次読取ることにより取得する。

（b） バッテリーロコの位置情報の送受信

坑内には坑内通信用のPHSアンテナが300m間隔で大容量・高速通信が可能な光ケーブルに接続されている。

バッテリーロコのICタグ検出アンテナ（写真—2、写真—3）で取得されたICタグの距離データは、バッテリーロコのPC（パーソナルコンピュータ）のPHSカードからPHSアンテナ（写真—4）に送受信される。

（c） バッテリーロコ位置情報の表示

シールド掘進作業の進捗状況の把握と入坑者へのバッテリーロコの位置通知のために、地上の中央管理室と現場の要所（切羽、立坑上下、坑内待避所、バッテリーロコ運転席）にバッテリーロコ位置表示画面（写真—5）を設置した。

（3） バッテリーロコ位置管理システム

（a） 位置情報の取得と表示装置へのデータ伝送

図—5にバッテリーロコの位置表示画面を示す。

ICタグから得られた位置データは、バッテリーロコのPCから中央管理室の位置管理システムに送られ、位置データはLAN回線（光ケーブル）を介して各表示装置に伝送される。軌道に取付けるICタグは100m間隔、PHSアンテナは300m間隔で設置した。

バッテリーロコのPCはICタグを検出したときに

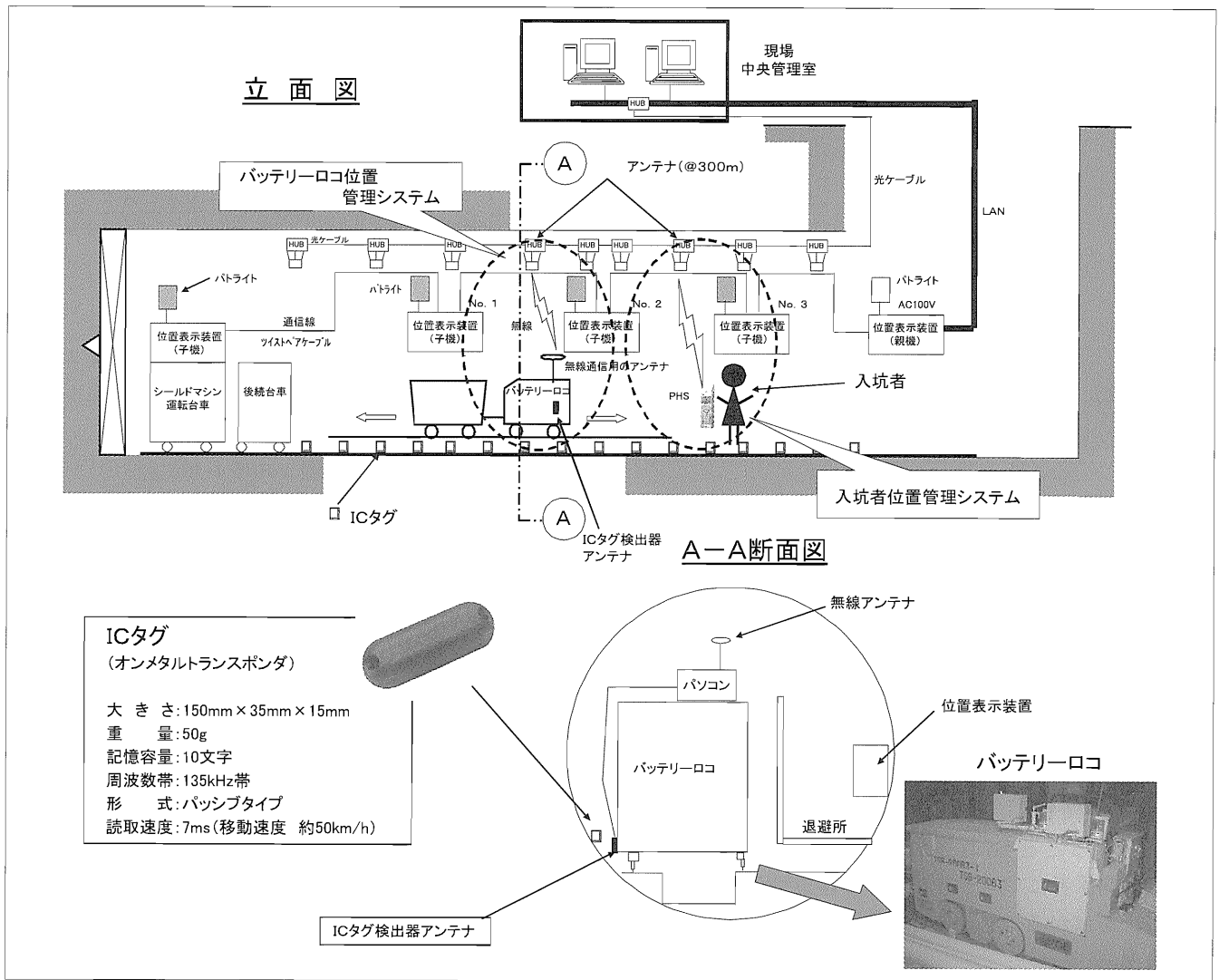


図-4 システム構成図

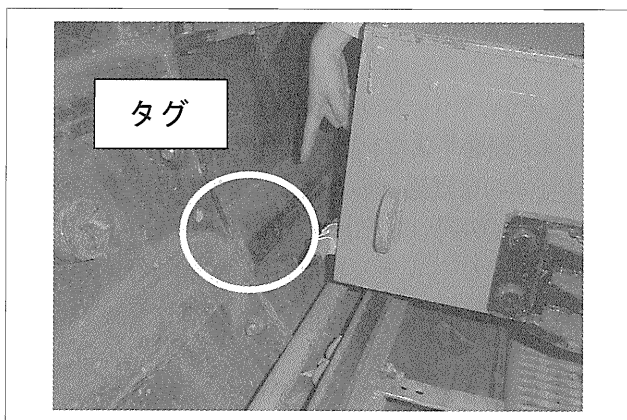


写真-2 検出アンテナとICタグ

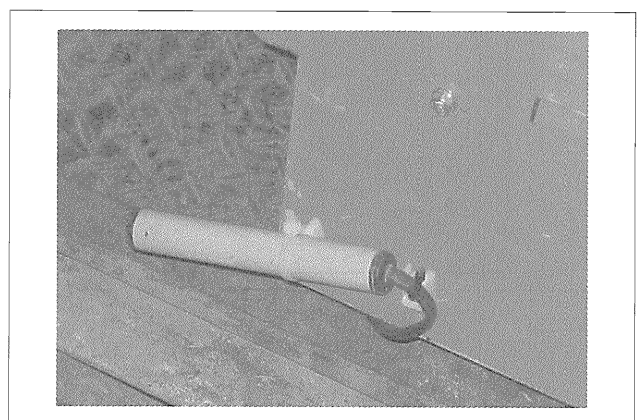


写真-3 検出アンテナ

中央管理室のサーバに距離データを送信する。

(b) 画面表示

①中央管理室, 坑口表示装置等の固定位置表示装置
位置表示画面にはバッテリーロコの位置及び入坑者の位置情報も併せて表示される。

②バッテリーロコ運転席

通常のシールド工事ではバッテリーロコは1編成の場合が多いが, 長距離の中断面~大断面のシールド工事や山岳トンネル工法のTBM工法においては掘削土量を連続して運搬するためにバッテリーロコを複数編成し, 坑内の離合部にて交差させる。

離合部には信号装置が設置されているが, バッテリー

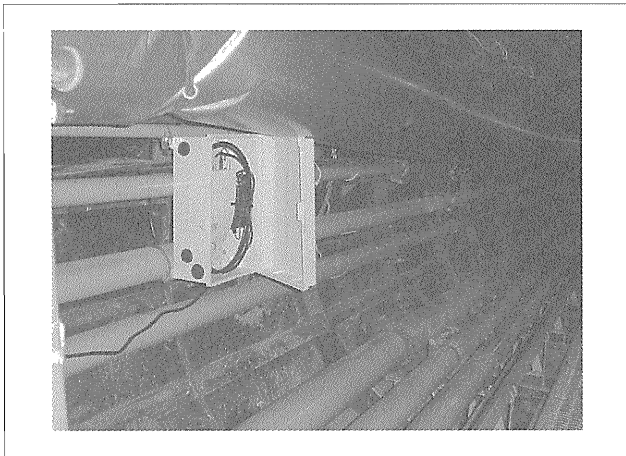


写真-4 坑内 PHS アンテナ



写真-6 坑内の離合部 (浜ノ瀬幹線)

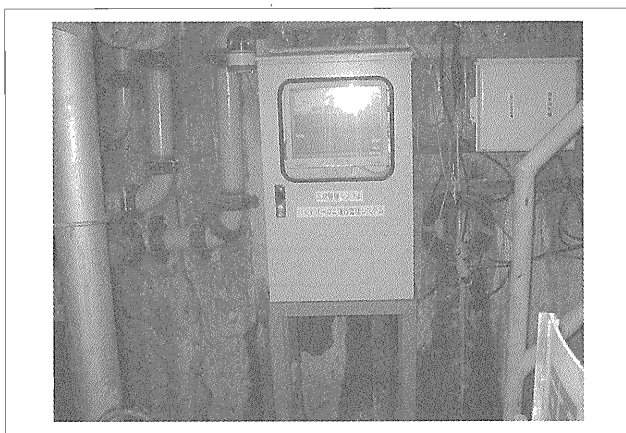


写真-5 立坑下の表示画面

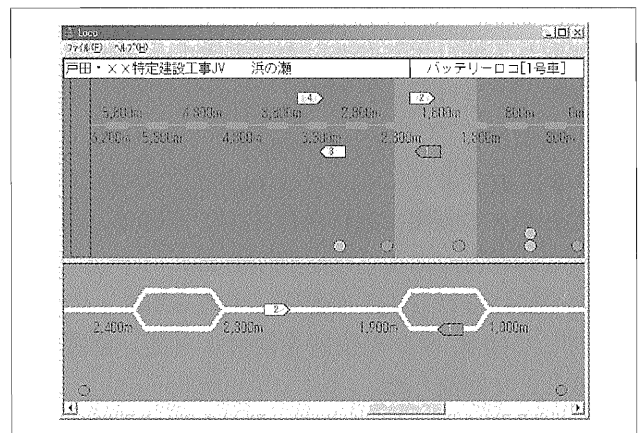


図-6 バッテリーロコ位置表示 (浜ノ瀬幹線)

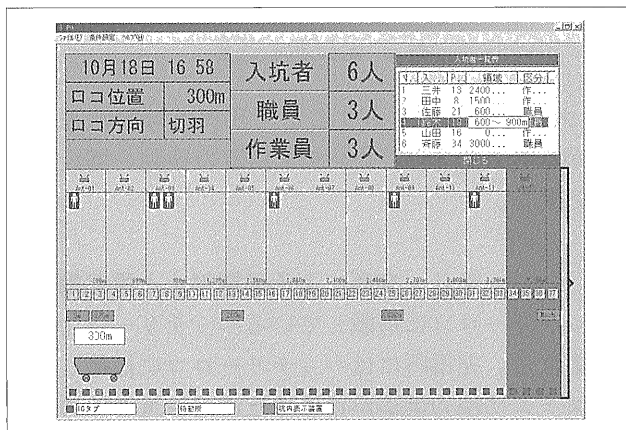


図-5 バッテリーロコ位置表示

(4) 入坑者位置管理システム

入坑者位置管理システムは入坑者が所持する PHS がどのアンテナのカバーエリアにいるかを検知するシステムである。

本システムでは、バッテリーロコ位置管理システムと入坑者位置管理システムを連携させて、入坑者の安全管理のためにバッテリーロコが接近したときに「バッテリーロコ接近情報メッセージ」を各入坑者の PHS に発信している。

図-7 に示すようにバッテリーロコが PHS アンテナのカバーエリアに進入したときに、次のカバーエリ

ロコ運転手に他のバッテリーロコの位置情報を通知し、対向車との位置関係を明示することで、より安全性が向上する。

写真-6 に離合部の状況、また図-6 には現在施工中の TBM 工事におけるバッテリーロコ運転席の表示画面を示す。

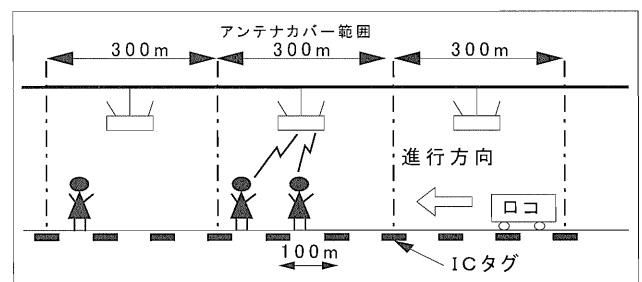


図-7 メッセージの送信

アにいる入坑者に対して例えば「バッテリーロコが接近中です」というメッセージを入坑者位置管理システムが入坑者に自動発信する。

バッテリーロコが300mを走行する時間は運行速度を約5km/hとして約3.5分であり、坑内入坑者はこのメッセージが送られるとバッテリーロコが通過するのを待ったため、速やかに待避所に移動できる。

3. 実施結果と今後の課題

(1) ICタグの読取り

ICタグの読取り実績としては、離隔15cm、バッテリーロコの速度8km/hで100%読取り可能であった。危惧された鉄材（セグメント）への直接貼付けによる読取り不能は生じなかった。しかし、セグメントに貼付けができなかった現場においては読取り不能の状態が生じた。

図-8に示すようにオンメタルタイプのICタグであってもタグの側面に鉄材が存在すると電波の送受信が行えない場合があることが判明した。

磁界の妨げられることが原因と考えられる。この問題に対してはICタグの位置を鉄材より高い位置に取付けることで解決した。

今後は廉価なオンメタルICタグの市販を期待し、設置間隔を狭めて距離検出精度の向上を図りたい。

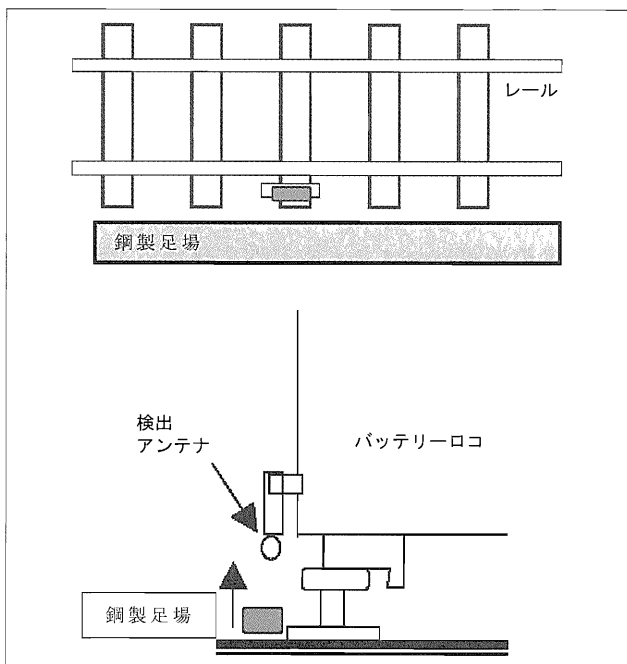


図-8 タグの位置修正

(2) データの応答性

タグを読取りバッテリーロコからPHSアンテナを

介して中央管理室のPCへ伝送することに問題は生じなかった。またICタグを読取ってから中央管理室の表示が更新される時間は約10秒であり、バッテリーロコの移動速度を5km/hとして距離誤差は約15mであった。

このタイムラグはバッテリーロコとPHSアンテナ間の回線接続確立時間であり、今後短縮すべき課題である。

(3) 坑内の通信環境

狭小なシールド断面内における電波の到達距離は、PHSアンテナのカバーエリアに密接に関係する。メーカー保証ではカバーエリアは300mであったが、坑内トランス、配管、風管、金属性フックなど電波到達の障害物がある坑内においては200~250mが限度であった。電波が到達しにくい不感帯に位置するICタグを読取った場合に通信不能が生じ、中央管理室の表示が大きく遅れるケースがあった(図-9)。

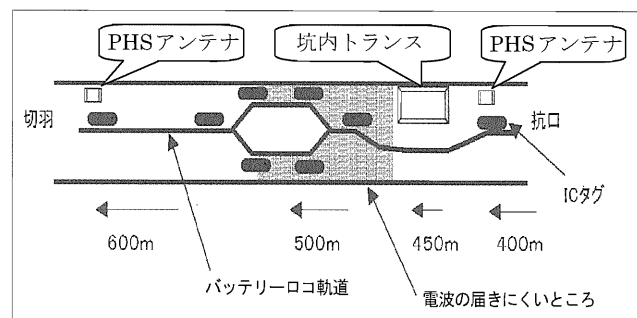


図-9 電波の感度の差異

ICタグの位置をずらすことで現実的な解決策を施したが、今後はPHSアンテナ位置の移動や増設などで対応する。

(4) バッテリー交換による通電停止と再起動

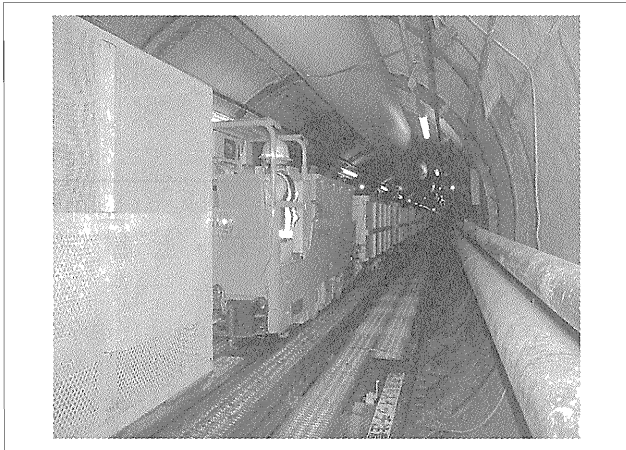
バッテリーロコに搭載しているバッテリーは1回/日充電する。充電時にはバッテリーロコに搭載しているシステムに電力供給が止まるため、システムの停止を防止するために無停電電源装置を装備した。

しかし、長時間の停止(休日や段取替え)時には無停電電源装置によりシステムを正常終了させ、かつシステムの再起動に人為的な操作が必要となる。この点についてはバッテリーロコの運転手に指示を徹底した。

(5) メッセージ送信の制限

バッテリーロコと入坑者の接触災害を防止するために入坑者のPHSにバッテリーロコ接近メッセージを送信している。ただし、切羽作業員と立坑作業員にとっ

ては不要なメッセージであるため、メッセージを送信する PHS と送信しない PHS をシステム内で区別するようにした（写真一7）。



写真一7 バッテリーロコの坑内運行状況（浜ノ瀬幹線）

現時点の課題は、バッテリーロコと PHS アンテナ間の回線接続確立時間の短縮である。この問題の要因は PHS が相手の PHS にダイヤルし、相手が応答することにより回線が確立されるという仕組みにある。

今後の改良としては、バッテリーロコと中央管理室との接続を PHS 回線ではなく無線 LAN 回線を利用した通信システムに移行することを考えている。無線 LAN 環境での通信システムでは接続確立の必要がなくなりシステム間の応答時間が短縮される。また、データを一斉配信できるため、バッテリーロコが複数編成の場合に画面表示の即時性が向上する。

4. おわりに

トンネル坑内安全管理システムはシールド工事に限らず、バッテリーロコを使用する工事であれば適用可

能であり、現在山岳トンネル工法である TBM 工事（九州農政局西諸（二期）農業水利事業浜ノ瀬幹線水路建設工事）においても適用性を検証している。

長距離の TBM 工事ではバッテリーロコが複数編成となり（掘進延長距離 5,000 m で 5 編成程度）、離合部を伴う位置管理が工事の進捗に影響するため、IC タグ設置間隔と設置位置及び実位置と画面表示のタイムラグについて確認し、改善策を講じている。

また、電波法改正で日本国内でも UHF 帯での IC タグの使用が認められることにともない、認識距離が 5~6 m（従来 30 cm 程度）になることから、その利用範囲が拡大すると考えられる。今後、UHF 帯の技術動向を把握し、適用研究を進めるべきであると考え

JCMA

【筆者紹介】



伊藤 耕一（いとう こういち）
戸田建設株式会社
土木工事技術部
技術管理課
課長



田口 毅（たぐち たけし）
西松建設株式会社
技術研究所
技術研究部
主任



原田 和男（はらだ かずお）
東海プラネット株式会社
代表取締役