

31. RFID（非接触型自動認識技術）を利用した バッテリーロコのトリプルセーフティの導入及び総合運行管理

～トンネル坑内の安全を目指して～

清水建設株式会社
新トモエ電機工業株式会社
協立電機株式会社

○ 吉澤 尚志
瀬戸 啓助
平口 進也

1. はじめに

筆者らはバッテリーロコを用いたトンネル工事における安全性の向上を目指し、軌条設備における事故の防止を目的として本システムを開発した。

現在に至るまで、軌条設備による事故は絶えない。その理由として以下の2点が考えられる。

①小口径トンネルでは安全通路と軌条設備を分離出来ないことにより、バッテリーロコと人との接触を防ぐことが難しい。

②安全設備を搭載したバッテリーロコを使用しているにもかかわらず、確実にその設備の機能を発揮させるためにはかなりの経験と知識が求められ、運転者のスキルが追い付かない状況である。

軌条設備における事故は重大事故に繋がりがやすい性質があり、安全設備や安全システムをバッテリーロコに追加していけば事故の減少に寄与するものと筆者らは考えている。

2. 現場概要

当システムを開発したシールド現場の概要を表-1に示す。

表-1 現場概要

現場位置	福井県福井市高屋町地内
発注者	農林水産省 北陸農政局 九頭竜川下流農業水利事業所
用途	農業用水路
工事内容	発進立坑1箇所、到達立坑2箇所、 ϕ 2,580mm シールドトンネル×2本（L1=2,824.8m、 L2=2,265.5m、セグメント外径 ϕ 2,452mm）

本工事には以下の特徴がある。

- ①1つの発進立坑から2本のシールドトンネルを同時に築造する。
- ②河川横断時期による工程遅延の防止を図るために、高速施工が要求される。このため、バ

ッテリーロコの坑内運行速度を10km/hとする。

- ③セグメント内径 ϕ 2,144mmとトンネル坑内が狭隘なため特殊枕木を採用し、工事関係者が坑内を通常の姿勢で歩行できるようにする。

坑内標準断面図を図-1に、坑内写真を写真-1にそれぞれ示す。

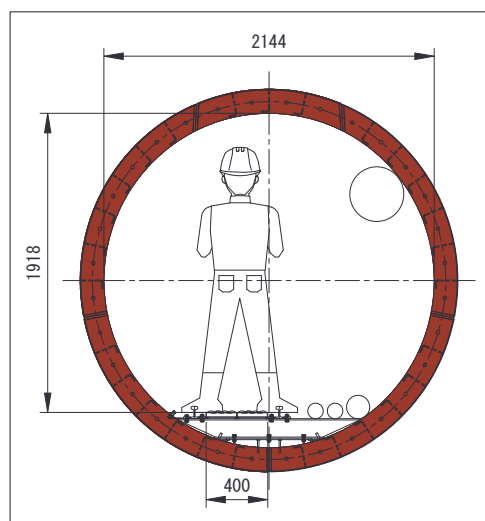


図-1 坑内標準断面図



写真-1 トンネル坑内状況

3. 開発経緯

当工事では坑内に入出入りしている工事関係者が坑内のどこに位置しているかを確認するために、トンネルに入出坑する人には必ず非接触記憶媒体（以降、RFID タグと呼ぶ）を携帯させ、入坑管理を行っている。

また、当工事では高速施工を行わなくてはならないため、セグメント搬送が施工サイクルに大きく影響を与えることからバッテリーロコの坑内走行速度を 10km/h としたため、バッテリーロコの接触事故のリスクは大きい。

以上より、入坑管理で使用している RFID タグを利用してバッテリーロコとの接触事故を防止する新たな安全システムの構築を考えた。

なお、筆者らは前項の③で記載したように狭ければ狭くなるほど事故のリスクを抱える事になると考えており、当工事がシステム開発をするにあたって適切な現場であると考えた。

3.1 トリプルセーフティの概要

トリプルセーフティ（3 段階安全システム）は「RFID を利用した近接認識システム」、「赤外線センサを利用した近接認識システム」、「接触バンパーを利用した接触式非常停止システム」で構成されている。

そのうち「赤外線センサを利用した近接認識システム」及び「接触バンパーを利用した接触式非常停止システム」は既存の技術である。

今回は「RFID を利用した近接認識システム」を新たに開発し、これら 3 つのシステムを関連付けることによりトリプルセーフティとして安全システムの高度化を図った。

RFID を利用した近接認識システムで 30m 以内に人を認識した際に坑内走行速度である 10km/h から 3km/h まで自動で減速させる。

さらに接近し、15m 以内になった時は赤外線を利用した近接認識システムにより 3km/h から 1km/h に減速させる。

最後に人がバンパーに接触した時には非常停止スイッチが作動し、バッテリーロコを非常停止させる。

このように仮にヒューマンエラーがあったとしても安全にバッテリーロコを動作させることにより事故を防止するシステムとしている。

本システムの特徴として以下が挙げられる。

- ①システムが動作した場合、自動的にスピードが減速することにより、軌条内に人や物があることを運転手本人に伝える事が出来る。
- ②運転手本人に意識の喪失等の何かあった場合でも自動的に停止までするため、暴走を回避し停止する。
- ③入出坑システムと兼用する事ができ、費用面

でも安価に抑えることが可能である。

3.2 各システムについての説明

(1) RFID を利用した近接認識システム

RFID とは Radio Frequency Identification の略称で RFID タグと呼ばれる媒体に記憶された人や物の個別情報を、無線通信にて読み書き（データの呼び出し・登録・削除・更新など）を行う自動認識システムである。

RFID タグを読み取り機にかざす（アンテナの読み取り範囲にタグを近接させる）ことにより情報（製造年月日・流通過程・検査情報等）が表示機器に表され、さらに新しい情報を書き込む（リライトする）ことで、製品の流れや人の入退場、物や人の位置検知などが一元管理できるシステムである。

今回の開発では指向性アンテナを設置し、トンネル延長方向に約 30m の範囲内にある RFID タグを認識できるようにした。

(2) 赤外線センサによる近接認識システム

赤外線センサは赤外領域の光（赤外線）を受光し、電気信号に変換して必要な情報を取り出して応用する技術である。

今回の開発ではバッテリーロコが運行している軌条内に物体が存在した場合に、赤外線センサでその物体から発せられている赤外線を読み取り軌条内に運行を阻害する物があると判断して減速するシステムとした。

(3) 接触式バンパー停止システム

接触式バンパー停止システムはバンパーが押されることによりリミットスイッチの通電が遮断され、バッテリーロコを緊急停止させるシステムである。

停止信号（接触時）発生から停止までの制動距離を計算すると 166mm を必要とすることからバンパーの稼働範囲を 200mm とし、万一バッテリーロコに接触したとしても人体に問題がないように改良した。

3.3 使用機器について

本開発に使用した機器を表-2 に示す。

表-2 使用機器一覧表

機器名	仕様
バッテリーロコ	2t サーボロコ
赤外線センサ	認識距離 20m
RFID 受信機	
指向性アンテナ	認識距離 50m

3.4 使用機器写真

使用機器写真を写真-2 から写真-6 に示す。

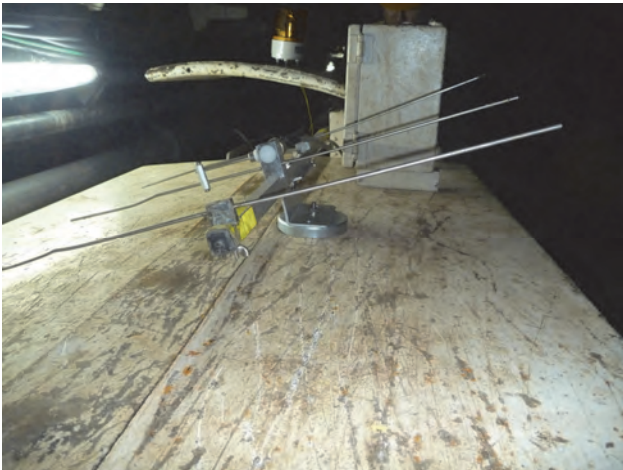


写真-2 指向性アンテナ



写真 - 3 RFID タグ



写真 - 4 RFID リーダー

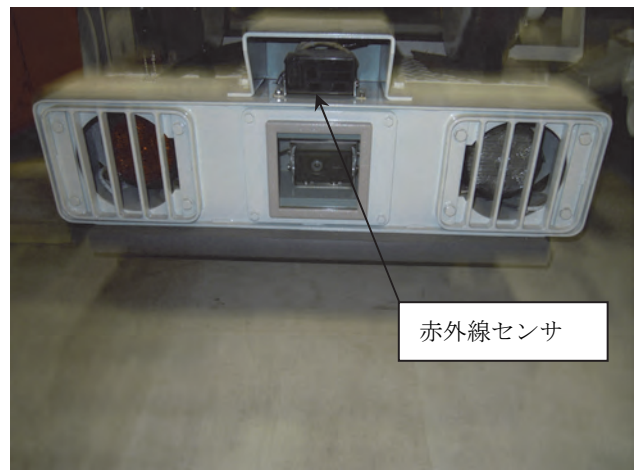


写真-5 赤外線センサ



写真-6 接触式バンパー

3.5 システムの使用状況のイメージ

システムの使用状況のイメージを図 - 2 に示す。

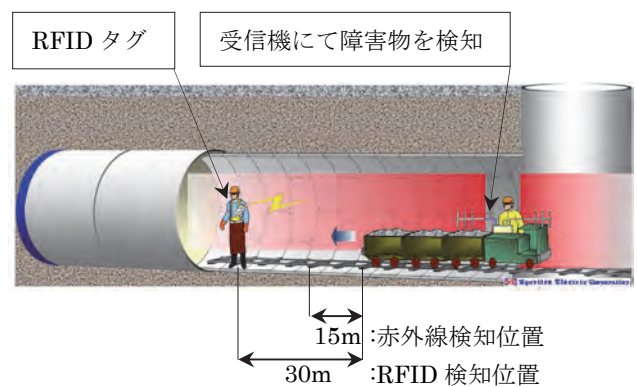


図-2 システム使用状況イメージ

4. 実施前の検証

現場へ導入する前にどのような周波数帯でどのようなアンテナを採用すべきか現場導入前に試験を行った。

試験では各周波数帯での認識距離の確認とアンテナを変える事による認識距離の違い等、現場条

件に応じて一番感度がよく、離間があっても認識できることを満足する、周波数 300MHz 帯の運用とその指向性のアンテナを採用した。

各周波数帯の特徴等を表-2 に示す

実施前の試験で再現が難しい事象として以下の事項が挙げられた。

- ①狭隘なトンネル内にアンテナを設置しても、無線が乱反射してしまい RFID タグを受信機が認識出来ない可能性がある。
- ②曲線部（最小曲線半径 $R=30m$ ）においてアンテナを使用した場合、受信機が RFID タグを認識できない可能性がある。
- ③システム作動の管理距離は計算上の制動距離により設定しているが、実際のシステム作動距離はバッテリーロコの計算上の制動距離を大きく越えてしまう懸念がある。（軌条が湿潤していることで錆びが浮いている場合に予期しない制動距離になってしまう可能性がある）

上記事項については現場にて本システムを導入した後に確認をし、問題が発生した場合にはその問題について再検討・対応をすることとした。

表-2 各周波数帯の特徴

周波数帯	特徴
130～135kHz	・水分の影響を受けにくい
13.56MHz	・水分の影響を受けにくい
300MHz	・通信距離が長い(50m 程度) ・障害物の影響を受けにくい
433MHz	・通信距離が長い (100m 程度) ・障害物の影響を受けにくい
900MHz	・通信距離が長い ・通信速度が早い
2.4GHz	・通信距離が長い (100m 程度) ・読取範囲を調整しやすい

5. 実施結果

本システムを現場に適用し、システムの運用・作動などを確認した結果、4 章で懸念していたようなトラブルは発生せず、問題なく本システムは作動した。

さらに指向性アンテナの感知距離性能についても狭隘なセグメント坑内でも工場での試験結果と同等の性能を有する事を確認した。

これに関しては採用した周波数帯 (300MHz) が指向性および感知距離についていずれも最適であったと確認できた。

6. その他に採用した軌条設備の安全システム

さらに他の軌条設備の安全システムを導入し、

安全性の確保の高度化を図った。

導入した設備、システムを以下に述べる。

6.1 自動速度制限システム

本工事は急曲線（最小曲線半径 $R=30m$ ）を含んでおり、通常より早い 10km/h の走行速度をバッテリーロコに適用すれば様々な安全上の懸念が想定された。

そこで光電センサーと反射板を利用し、急曲線（曲線半径 $R=200m$ 以下）区間の走行ではバッテリーロコの速度に自動で速度上限が作動するように対応し、バッテリーロコの走行の安全確保に努めた。

自動速度制限システムの概要を図-3 に示す。

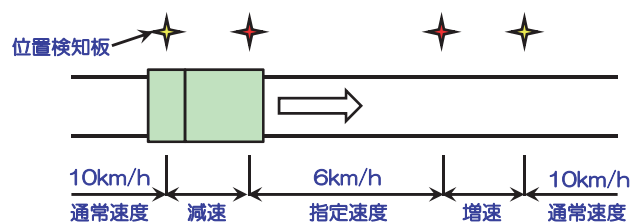


図-3 自動速度制限システム概要

6.2 負作動ブレーキの採用

連結車両間は牽引棒とチェーンで連結している。

牽引する先頭車両には負作動ブレーキを採用することにより、万一台車が逸走した場合は負作動ブレーキ解除用のケーブルを断線する。

負作動ブレーキは電氣的に解除しているので、ケーブルの断線により電源が遮断された場合はブレーキが作動し、逸走防止となる。

7. 最後に

今回のシステムを採用しその有効性が確認できたことにより、軌道設備における安全性の向上が図れた。

また、システムの開発を現場で行ったことにより、工事関係者の安全に対する意識の向上も見られた。

今後は入坑管理システムと合わせて積極的に採用されるよう小断面図トンネルに水平展開を図り、これにより一つでも多くの事故が防止できることを望んでいる。

また、小断面のトンネルだけでなく中断面・大断面での適応が可能かを検証し、その都度改良を加えていきたい。

さらに、今回の知見を活かし自動搬送システムなどの安全システムの高度化を図りたい。

最後に今回の開発に携わって頂いた協力会社の皆様方及び現場にて協力して頂いた方々に御礼を申し上げます。