

RFIDを用いたトラック運行管理 システムの開発

※片山 優¹・長島 哲郎²

¹松江工業高等専門学校 (〒690-8518 島根県松江市西生馬町14-4)

²株式会社中筋組 企画情報室 (〒693-0061 島根県出雲市姫原町293)



工事現場においてダンプ等の移動体を管理することで効率よく制御し、施工サイクルの最適化を図る、移動体管理システム「Na-VIシステム」の開発を株式会社中筋組と共同で行った。本システムでは管理対象となる移動体（トラックなど）にICタグ（RFID）を取付けることで、運搬状況管理や、危険区間における警告表示などが可能となる。

キーワード ICタグ, RFID, シーケンサ, 安全管理, 情報化, 作業環境の向上

1. はじめに

工事現場では複数台のトラックが幾度となく往来している。往来の際の問題点として、高低差やカーブによる見通しの悪さ、狭い道幅における鉢合せなどがあげられる。これらは、事故や工事の作業効率低下といった問題を引き起こすため、対策が必要である。多くの工事現場では対策として警備員を配備し、トラックの交通整理を行っている。しかし、山やカーブの多い工事現場では見通しが悪く、警備員からもトラックの存在を確認しにくい。

本研究ではRFID(Radio Frequency IDentification)技術を用いてトラックの監視を行い、警備員が目視できない範囲のトラックの存在を確認し、警告するシステムを開発する。

RFID技術とは、ID情報を付加したRFタグ(以下、ICタグ)と専用の受信機(以下、タグリーダ)を用いて非接触で通信を行う技術で、乗車カードや電子マネー、施設内の物品管理などを中心に近年広く利用されている。移動体の管理システムにはGPSが利用される例が多いが、本研究ではRFID技術を用いることで、トンネル内でもトラックの存在を確認することができるシステムを開発する。本報告では開発したシステム¹⁾の概要、工事現場での試験運用の結果を報告する。

2. 安全運行管理システムの概要

本報告では開発したシステムを安全運行管理システムと表記する。安全運行管理システムは、工事現場周辺のトラックの台数や進行方向を監視し、状況に応じて信号機や標示板で警告を行う。この警告はトラックの運転手に対して行うものだが、開発段階での安全運行管理システムは交通整理の補助として利用する。

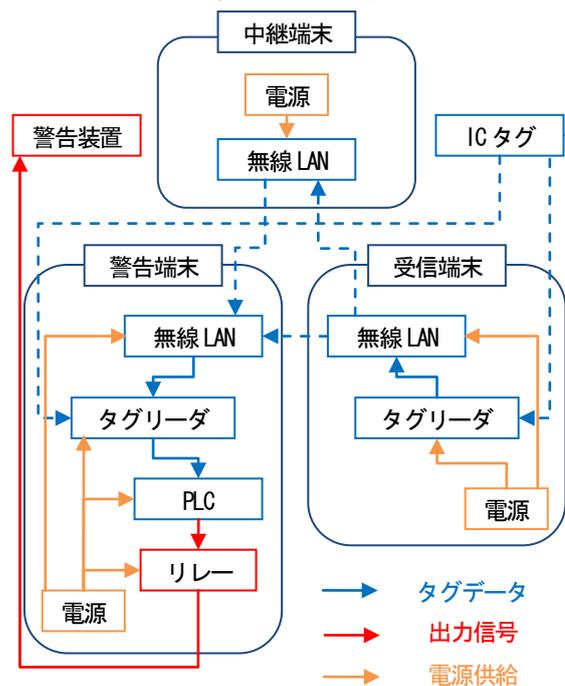


図-1 使用機器で表した構成図

図1は安全運行管理システムの構成を使用機器で表している。工事現場で運行するトラックの車内にはICタグを取り付け、工事現場には受信端末、警告端末、中継端末、警告装置となる信号機や標示板を設置する。各端末の詳しい内容に関しては次章で説明するものとして、本章では安全運行管理システムの基本的な動作について説明する。

まず、ICタグを取り付けたトラックが警告端末または受信端末内のタグリーダの検知範囲に侵入すると、タグリーダはICタグからタグデータを受信する。受信したタグデータは有線または無線LANを介して、警告端末のPLC(Programmable Logic Controller)に転送され、内部メモリに保存される。PLCとは、シーケンス制御コントローラである。PLCでは、保存されたタグデータの個体識別番号を元にして台数、進行方向の監視を行う。監視に伴う警告はリレーを介して警告装置に出力する。

3. 使用機器と端末

(1) RFID

本研究ではRFIDにセイコープレジジョン社SecureTAG評価キットUB-2500を使用した。UB-2500はアクティブ型ICタグWT-200²⁾とタグリーダWR-250³⁾で構成される。通信周波数は426MHz帯の1波を使用し、変調は速度4800baudのFSK方式で行う。ICタグの電源は3Vのリチウム電池を使用する。ICタグは専用の設定機WT-200で定時送信、振動検知、押ボタンでの動作を設定できる。本研究では4秒に1回の定時送信と、マスク時間1秒の振動検知を併用して使用する。

一般的にICタグはパッシブ型とアクティブ型の2種類に分けられ、用途によってどちらを使用するかが異なる。パッシブ型はリーダからの電波を整流し、直流電圧に変換することで動作するタグである。タグからの反射波の強度は非常に小さいため、通信距離は数cm程度である。乗車カードや電子マネーなどのRFIDにはこのパッシブ型が使われている。一方、本研究で取扱うアクティブ型のICタグは、電池を内蔵し、通信時にタグ自身の電力で電波を発するため、数m~100m程度の長距離通信が可能である。アクティブ型は物理現象の分布変化を把握するのに有効で、センサネットワークとしての用途が期待されている⁴⁾。

(2) PLC

本研究では、PLCにキーエンス社KV-5000⁵⁾を使用する。KV-5000は電源電圧DC24VまたはAC100Vで動作する汎用入力接点10点、高速入力接点6点、汎用出力接点4点、高速出力接点4点のシーケンス制御装置である。本体にSDカードスロットを内蔵し、指定した内部メモリの数値を

CSV形式で保存することが可能である。また、通信用ポートとしてEthernetポートがあり、本研究ではこのEthernetポートにタグリーダを接続して使用する。安全運行管理システムの運転切替えや、設定変更にはタッチパネルVT3-W4Tを使用する。タッチパネル接続の際は、PLC側に接続用のユニットKV-L20Vを増設し、タッチパネルの電源供給や信号のやり取りを行う。

図2は安全運行管理システムのフローチャートである。PLCをRUNに切替えると、前回動作で保存したタグデータや立ち上げた接点などの履歴をリセットする。リセット後、PLCとタグリーダ間でポートのコネクションを確立し、タグリーダがタグデータを受信したらそのデータをPLCに転送、保存する。コネクションの確立後はタグリーダがタグデータを受信するごとにPLCの内部メモリのタグデータが最新のものに更新され、その都度、台数や進行方向の判別を行い、警告装置への出力を切替える。PLCのプログラム開発はKV-STUDIOを用いて、リレー回路を記号化したラダー言語で行う。キーエンス社KV-STUDIOにはモニタ機能があり、動作中のPLCをモニタすることができる。

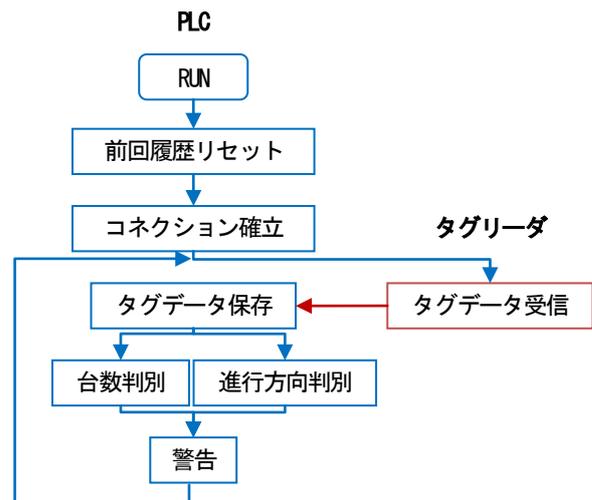


図-2 安全運行管理システムのフローチャート

(3) 各通信端末

安全運行管理システムは図1で示したように、3種類の端末を工事現場に設置し、端末間通信によってトラックの監視を行う。各端末の役割について説明する。

a) 受信端末

受信端末はICタグのタグデータを受信し、PLCへ転送する端末である。受信にはタグリーダを使用し、通信用のBAFFALO社無線LANルータWLA2-G54Cを使用してPLCのある警告端末にタグデータを転送する。タグリーダと無線LANルータへの電源供給は太陽光発電で行う。発電機は内部にバッテリーを保有し、バッテリーからDC/ACインバータを用いてAC100Vに変換して電力を供給する。受信端末における消費電力はタグリーダと無線LANルータの合計で約6Wである。

b) 警告端末

警告端末は受信端末から転送されたタグデータと警告端末内のタグリーダが受信したタグデータをPLCに保存し、そのデータからトラックの状態を監視して警告装置に出力する端末である。内部の構成は受信端末にPLCを加えた構成である。PLCは出力電圧が最大5Vであるのに対し、警告装置であるLED信号機や標示板の入力電圧はDC12Vであるため、リレーを用いて出力する。電源は太陽光発電機で発電したものをDC/ACインバータを通して供給する。警告端末の消費電力は約14Wであるが、警告装置(約50W)への供給も行う。

c) 中継端末

中継端末は、受信端末と警告端末間に障害物や距離があり、端末間の通信が正常に行えない際に中継として用いる端末である。端末の構成は無線LANルータのみで、消費電力は約4Wである。

4. 安全運行管理システム

安全運行管理システムは任意に定めた範囲内のトラックの台数を監視する機能と、運行中のトラックの進行方向を監視する機能の2つの機能を持つ。本章では、各機能について説明する。

(1) 台数監視機能

図3に示す写真は斐伊川放水路掘削工事現場の様子である。この現場では30tの大型トラックが最大10台同時に運行し、山頂で掘削した土砂を別の現場に運び出す作業が行われている。掘削現場の様子はふもとから確認することができず、土砂を運び出すトラックがいつ降りてくるか分からない。また、施工管理上、山頂の掘削現場にトラックは最大3台までと定められている。台数監視機能ではこの現場におけるトラック同士の鉢合せや台数超過による事故、作業効率の低下を防ぐための安全運行管理を行う。



図3 多伎朝山道路改良工事システム配置図

図4は台数監視機能を用いた安全運行管理システムの構成図である。掘削現場に受信端末を設置し、掘削現場内のトラック全てのタグデータを受信、転送する。警告端末と警告装置はふもとの開けた場所に設置し、掘削現場内のトラックの台数をカウントして新たに進行しようとするトラックに警告する。

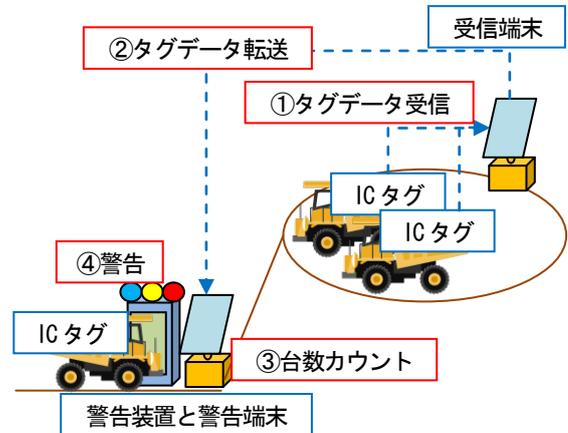


図4 台数監視機能の構成

台数のカウントは、PLCが集計したタグデータの個体識別番号から行う。PLCのプログラム上では各個体識別番号ごとに内部接点を対応付けている。あるタグデータがPLCに転送されると、そのデータの個体識別番号に対応した接点が10秒間ONになる。この10秒の保持時間内に同じ個体識別番号のタグデータが転送されると、接点はさらに10秒間ONになる。10秒以上同一の個体識別番号を持つタグデータが転送されない場合、接点はOFFになる。PLCはこれらの接点を常に監視し、ON状態にある接点の数をカウントすることで、掘削現場内のトラックの台数を把握する。トラックの台数に応じた信号機及び標示板の出力は表1の通りである。

表-1 台数監視機能の出力

トラックの台数	信号機	標示板
0台または1台	青色	走行注意
2台	黄色	走行注意
3台以上	赤色	通行止!

(2) 進行方向監視機能

図5は尾道・松江自動車道上熊谷南改良工事現場の建設現場入り口の様子である。この現場では最大40台の10tトラックが、土砂を運び出すために高速道路と一般道を結ぶ作業用道路を往復している。図5(a)は建設中の高速道路側から見た作業用道路と出入口、図5(b)は一般道から見た出入口を示している。この現場は高速道路側と一般道側で互いに見通しが利かない。また、作業用道路の道幅が狭く、トラックがすれ違えない。そこで、出入口と高速道路側の開けた場所に警備員が配備され、互いに連絡を取り合いながら交通整理を行って

いる。進行方向監視機能は、現場周辺におけるトラックの運行状況をLED信号機を用いて警備員に知らせ、交通整理の補助を行う。



(a) 高速道路側から見た出入口



(b) 一般道側から見た出入口

図-5 現場出入口の様子

図6は進行方向監視機能を用いた安全運行管理システムの構成図である。進行方向監視機能では受信端末を2台使用し、警告端末もタグリーダを接続して使用する。受信端末Aは出入口から300m離れた一般道に設置し、受信端末Bは出入口に設置する。警告端末と赤色と黄色の信号機を用いた警告装置は警備員Aが目視できる場所に設置する。

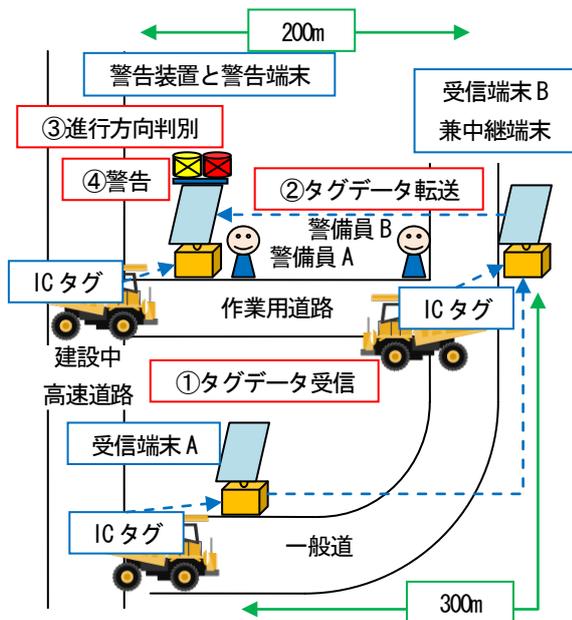


図-6 進行方向監視機能の構成

この工事現場では一般道から高速道路へ進行するトラックを優先する。警備員Aは一般道を走るトラックを目視できず、作業用道路を走るトラックも目視しにくい。そこで、トラックが一般道から出入口へ進行する時は黄色信号を点灯、出入口から高速道路へ進行する時は赤色信号を点灯し、警備員Aにトラックの進行状況を知らせる。進行方向の判別は台数監視機能と同様に内部接点の状態をPLCで監視して行う。一般道から出入口に進行しているトラックの進行方向を判別するケースを例にあげ説明する。受信端末AからタグデータがPLCに転送されると、個体識別番号に対応した接点は30秒間ONになる。この30秒の間に、同じ個体識別番号を持つタグデータが受信端末Bから転送されると、一般道から出入口にトラックが進行したことを判別できる。同様に、一般道から高速道路への進行や出入口から一般道への進行などもタグデータの転送順で判別することができる。この現場における警告は次の表2のように行う。

表-2 進行方向監視機能の出力

トラックの状態	黄色信号	赤色信号
受信端末 A	点灯	—
受信端末 B	消灯	点灯
警告端末	—	消灯
警告端末→受信端末 B	点灯させない	
受信端末 B→受信端末 A	点灯させない	

5. 試験運用と試験結果

RFIDの性能評価実験を校内で行った後、各現場にて安全運行管理システムの台数監視機能と進行方向監視機能の試験運用を行った。

(1) RFID通信性能評価

UB-2500の通信性能評価実験を行った。図7に距離と電波強度の関係を示す。電波強度はタグリーダより出力されるRSSI(Received Signal Strength Indication)値で示す。

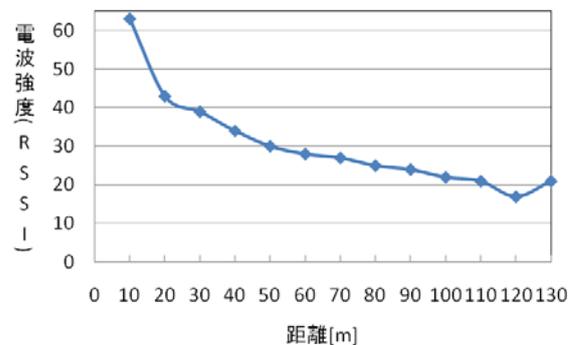


図-7 距離と電波強度の関係

実験では校庭にタグリーダを設置し、ICタグの電波を10m先から130m先まで10mおきに送信してタグデータを

受信した。図7から分かるように、タグデータの電波強度は距離が遠くなるにつれて下がった。また、130m以上の距離ではタグデータの受信できなかったため、UB-2500の最大通信距離は見通しの良い場所で130m程度であることがわかった。

(2) 台数監視機能の試験運用

台数監視機能を用いた安全運行管理システムは、島根県出雲市の斐伊川放水路掘削工事現場にて平成20年11月20日に約2時間工事現場に設置し、5台のトラックにICタグを取り付けて試験運用を行った。受信端末の設置場所は設置前に電波強度を測定して決定した。設置の際に目視及びKV-STUDIOによるプログラムの動作状況チェック、PLCのSDカード保存機能を用いたタグデータの収集を行った。図8(a)、(b)は目視による動作状況チェック時の警告装置の様子である。図8(a)は掘削現場にトラックがない時、図8(b)は掘削現場にトラック3台いる時の警告装置の動作を示している。動作状況のチェックでは、トラックが移動していないのに信号機や標示板の出力が変わるケースが何度か見られた。また、SDカードに収集したタグデータには66回の受信中7回のデータの破損が見られた。



(a) トラックが0台の時



(b) トラックが3台以上の時

図8 台数監視機能試験運用時の様子

(3) 進行方向監視機能の試験運用

進行方向判別機能を用いた安全運行管理システムは、尾道・松江自動車道上熊谷南改良工事現場にて平成22年9月21日に約4時間工事現場に設置し、20台のトラックにICタグを取り付けて試験運用を行った。図9(a)、(b)は試験運用を行った際の受信端末と警告端末の写真である。受信端末は台数監視機能と同様に、電波強度を測定して設置場所を決定した。試験運用では目視及びKV-STUDIOによるプログラムの動作状況チェックを行った。運用中は何度か誤動作が見られた。

そこで、平成22年9月30日、10月1日の2日間、工事現場を運行するトラック3台にICタグを取り付け、タグデータの収集を行った。9月30日は天候晴れ、最高気温26°Cの元で7時間のデータ収集を行い、10月1日は天候晴れ、最高気温25°Cの元で5時間のデータ収集を行った。収集したデータを見ると、タグデータの破損は9月30日に286回中48回、10月1日に169回中18回起り、受信したタグデータの約15%が破損した。



(a) 設置した受信端末



(b) 黄色信号点灯時の警告装置

図9 進行方向監視機能試験運用時の様子

6. 考察

試験運用時、トラックが来ていないのに信号機が点灯することや信号機が消灯すべき場所で消灯しないなどの誤動作を何度か確認した。本章ではこれらの誤動作の原因について考察する。

(1) タグデータの破損

誤動作の原因としてまずタグデータの破損が考えられる。試験運用で収集したタグデータはいずれの現場でも10～17%の確率で破損した。タグデータ破損の原因は複数のICタグからの電波が衝突して起こるものと考えられる。これはUB-2500の通信性能試験の際、1つのICタグでは起こらなかった破損が、複数のICタグを用いて実験すると起こったことから推測できる。そこで、タグデータがどのくらいの確率で破損するのかを算出した。ICタグは実行通信速度2400bpsで、20byteのタグデータを送信するため、タグデータの送信時間は約70msである。4秒に1回の定時送信設定がなされているICタグが同じ場所に2つ存在する場合、このICタグのタグデータが破損する確率は最低でも1.75%になる。ICタグが3つ存在する場合は、確率は最低3.50%になる。タグリーダの検知範囲内のICタグが増えるほど、破損する確率は上昇する。タグリーダの検知範囲にはトラックが10台前後まで入るため、破損する確率は最低15.8%まで上昇する。これらの破損したタグデータはPLCのプログラムが動作に関係ないものとして無視するため、誤動作を引起す要因の1つになると考えられる。

(2) タグデータの未受信

誤動作のもう1つの原因としてタグデータの未受信が考えられる。平成22年9月30日、10月1日に収集したタグデータの中にはカウンタ情報が含まれている。この情報から抜けているタグデータを数え、タグデータ未受信の回数を求めた。その結果、9月30日は88回、10月1日は80回の未受信が起こっていることが分かった。また、タグデータの未受信は複数回連続して起こる場合があることが分かった。図10は複数回連続で起こったタグデータの未受信を示したグラフである。

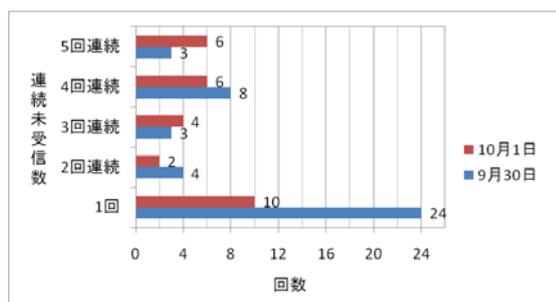


図-10 複数回連続未受信の回数

(3) 誤動作の原因と考察

タグデータの破損、未受信は一度起こった程度では動作に影響しない。トラックがタグリーダの受信範囲130mを走行する間にICタグが複数回のタグデータを送信するからである。トラックは工事現場内を30km/時、一般道を60km/時程度の速度で走行する。速度とタグリーダの最大受信距離からICタグのデータ送信回数を算出すると、工事現場内で約4回、一般道で約2回送信することが分かった。システムはタグデータを1回受信すれば動作を行うため、タグデータの破損や未受信が1回起こってもそれが誤動作を引起すことはない。しかし、図10から分かるように、タグデータの未受信は何回も連続して起こる場合がある。また、タグデータの破損は連続して起こることはなかったが、未受信と重なって連続する可能性がある。もし工事現場内で4回以上、一般道で2回以上連続して未受信や破損が起こればシステムが誤動作する可能性は高い。

7. まとめ

本研究では、工事現場を運行するトラックの台数や進行方向をRFIDを用いて監視し、安全運行管理に役立てるシステムを開発した。安全運行管理システムは台数監視機能、進行方向監視機能ごとにそれぞれ試験運用を行った。試験運用では目視やモニタソフトで動作状況のチェックを行い、同時に運行中のトラックのタグデータを収集した。また、RFIDの性能評価実験を行い、試験運用で収集したタグデータと合わせて、安全運行管理システムの誤動作の原因解明に役立てた。現在はタグデータの破損、未受信による誤動作を防ぐため、別のICタグを使ったシステムの考案や現行のシステムのプログラム修正に取り組んでいる。改善後は再び試験運用を行い、正常な動作が確認できれば安全性、信頼性についての評価を行う予定である。

参考文献

- 1) NETIS, [CG-080022-A] ICタグを利用した移動体管理システム, 2009年.
<http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/NewIndex.asp>
- 2) SEIKOプレジジョン, WT-200 製品仕様書, 2008年.
- 3) SEIKOプレジジョン, WT-250 製品仕様書, 2008年.
- 4) Klaus Finkenzeller(著), ソフト工学研究所(訳), RFIDハンドブック—非接触ICカードの原理とその応用—, 日刊工業新聞社, 2004年.
- 5) KEYENCE Japan, KV-5000/3000 ユーザーズマニュアル, 2007年.