

IC タグを用いた車両運行管理システムの開発

Development of Vehicle Monitoring System using Active RFID

佐田 達典 TATSUNORI SADA
 山地 宏志 HIROSHI YAMACHI
 大津 慎一 SHUN-ICHI OHTSU
 長野 祐司 YUJI NAGANO

土木技術部 山田 文孝 FUMITAKA YAMADA
 機電部 泉 国彦 KUNIHICO IZUMI

供用中の高速道路本線を使用して工事用車両を運行する工事を対象として、IC タグを用いた車両運行管理システムの開発を行った。工事用車両の仮インター出口で一般車両の誤進入を防ぐために車両の誘導を行うが、出口直前に長大トンネルがあるため、トンネル内での工事用車両位置をリアルタイムに正確に把握する必要がある。GPS 等のシステムが使用できないため、電池内蔵 IC タグを使用したシステムを採用した。高速走行中の車両検知に対する IC タグの利用可能性を基礎実験、現場実証実験によって検証してシステムを構築した。

キーワード：IC タグ，車両運行管理，安全管理

The vehicle monitoring system using active RFID was developed for the safety operating of the construction vehicles such as dump trucks passing among the general traffic vehicle on the free way. Especially, this system had been adapted for the monitoring the dump trucks passing in the long range tunnel near the temporary exit lump set up for the adjacent tunnel construction. This paper describes the results of the basic investigations and the on-site examinations, and the outline of the practical system use.

Key Words: IC Tag, Vehicle Monitoring System, Safety Control System

1. はじめに

高速道路のトンネル工事において、供用中の高速道路本線を利用して掘削土を搬出するという特殊条件下で、一般車両への安全対策を主眼として電池式ICタグを用いた車両運行管理システムの構築を行った。

当該工事では工事用車両用に仮インター入口、出口を設置して運行を行っているが、特に仮インター出口で一般車両が誤進入することのないよう、的確な誘導が求められている。しかし、出口直前に長大なトンネル（延長約 2.4km）があり、車両がトンネルから出てくるまで誘導員からの見通しが効かない状況にある。そこで、トンネル内での車両位置をリアルタイムに的確に把握し、誘導員に知らせるシステムが求められていた。

タクシー等業務車両の運行管理システムにはGPS（全地球測位システム）を用いたシステムが汎用的に用いられている。しかし、GPS衛星からの電波受信が長時間中断する長大なトンネル内では、システムを有効に利用す

ることが難しく、また、車両の位置を基地局へ送信する手段がない。

そこで、本件ではICタグ¹⁾を利用した車両検知とトンネル内に設置した LAN によって、誘導員にトンネル内での車両運行状況を知らせるシステムを採用した。適用に当たっては、高速走行中の車両検知に対する利用可能性を設置条件等を含めて基礎実験、現地実証実験を行って検証しシステム構築を進めた。

車両検知のシステムは工事用車両にICタグを搭載し、トンネル内のチェックポイント 5 箇所 IC タグのリーダーを設置している。各チェックポイントで車両のICタグからの電波を検知して車両通過を認識し、現在位置を誘導員へ知らせる仕組みとなっている。ICタグには電池内蔵タイプと無電池タイプとがあるが、今回はリーダーからの検知距離が長い電池内蔵タイプを採用した。

本稿では、主として基礎実験と現地実証実験の概要を報告する。

2. システム構成

(1) 概要

電池内蔵のICタグを工事用車両の運転席に装着し、車両番号を識別する情報を載せた電波を常時一定間隔で発信する。トンネル内路側には受信装置としてアンテナ・リーダーを設置し、ICタグを装着した工事用車両がアンテナ設置部を通過するときに、電波を検知して車両番号を識別する。検知した情報は有線および無線 LAN 等を介してモニター用のパソコンに伝送され、誘導用モニター画面によって工事用車両の接近情報を確認することができる(図-1)。

(2) ICタグとリーダー・アンテナ

ICタグとリーダーの関係を図-2に示す。今回使用するシステムはICタグに電池が内蔵されたタイプであるので、ICタグから電波を発信し、リーダーで受信してIDを読み取る方式である。

本システムで使用するICタグは表-1に示すように電波の発信間隔が最短で0.2秒である。また、表-2のようにリーダーによるタグ検知可能範囲(半径)は最大で20mとされている。表-3に外部アンテナの仕様を示す。

表-1 ICタグの主な仕様

項目	仕様
送信周波数帯	314.5473 MHz (微弱電波)
ID	32ビット
変復調方式	2値FSK方式(NRZ)
電源	コイン型リチウムイオン電池
送信間隔	0.2秒~24時間
サイズ	35×53×8.5(mm)
重量	15g

表-2 リーダーの主な仕様

項目	仕様
受信周波数帯	314.5473MHz (微弱電波)
受信方式	スーパーヘテロダイン方式
通信距離	理論値 20.0m
電源	DC 5V AC アダプタ
サイズ	120mm×210mm×45mm

表-3 外部アンテナの主な仕様

項目	仕様
指向性	水平指向性：無指向性 垂直指向性：上 45°，下 30°
利得	2.14dBi
サイズ	540mm (アンテナ部長さ)

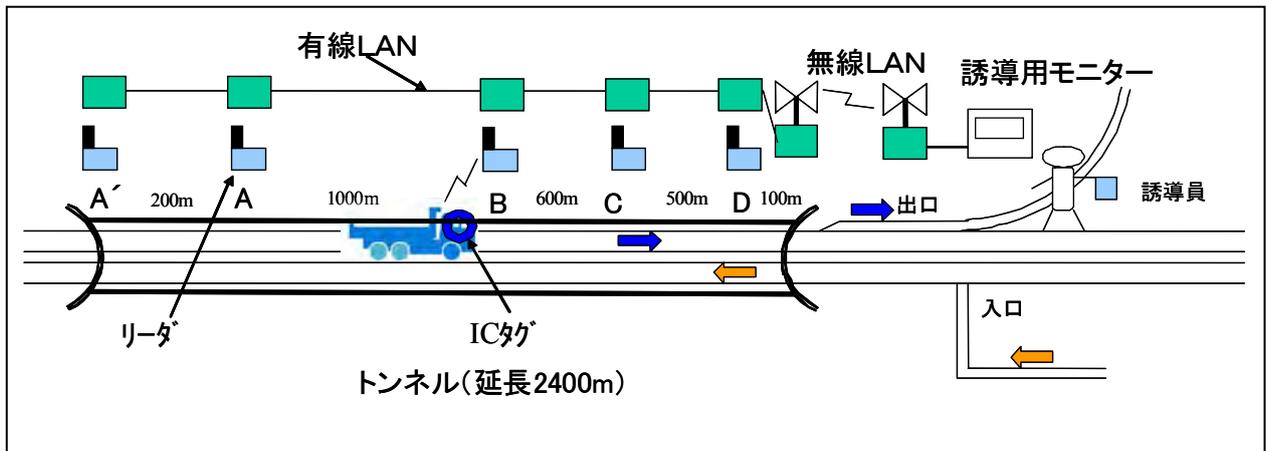


図-1 システム概要

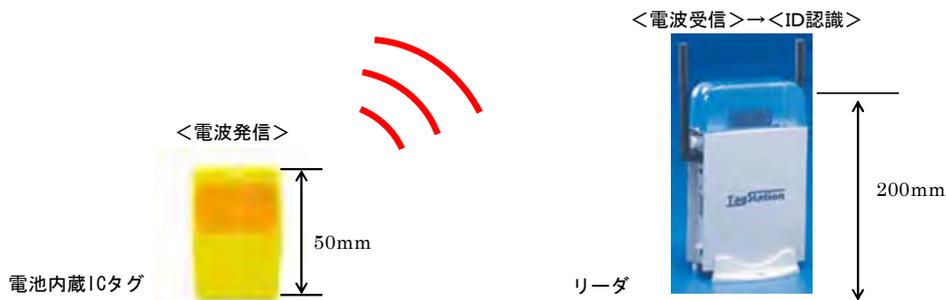


図-2 電池内蔵ICタグとリーダー

3. 基礎実験

(1) 実験計画

a) 実験概要

高速移動体に搭載したICタグ電波の検知可能性を検証するため、技術研究所内で基礎実験を実施した。ICタグを搭載した車両を時速 40km（一定速度）で走行させて、3 台のリーダー・アンテナで検知する実験を行った（図-3）。ICタグの電波発信間隔は 0.2 秒に設定した。

実験の比較条件として

- ① ICタグの設置場所（車内，車外）（図-4）
- ② リーダー背面での反射板の有無（図-5）

により、表-4の4パターンを設定して、各実験で5回の走行計測を実施した。なお、②はトンネル壁面による電波反射の影響を定量的に評価するために設定した。

表-4 実験番号と内容

実験番号	ICタグの配置	反射板
1	車外（地上1.25m）	無
2	車外（地上1.25m）	有
3	車内窓枠下（地上1.14m）	有
4	車内窓枠下（地上1.14m）	無

b) 機器の配置

トンネル内での適用を前提として、それに相当する試験ヤードを設営した。試験ヤードにおける機器の配置を図-6に示す。



図-3 実験場所全景



図-4 ICタグ取付状況（左：車外，右：車内）



図-5 反射板の有無（左：有，右：無）

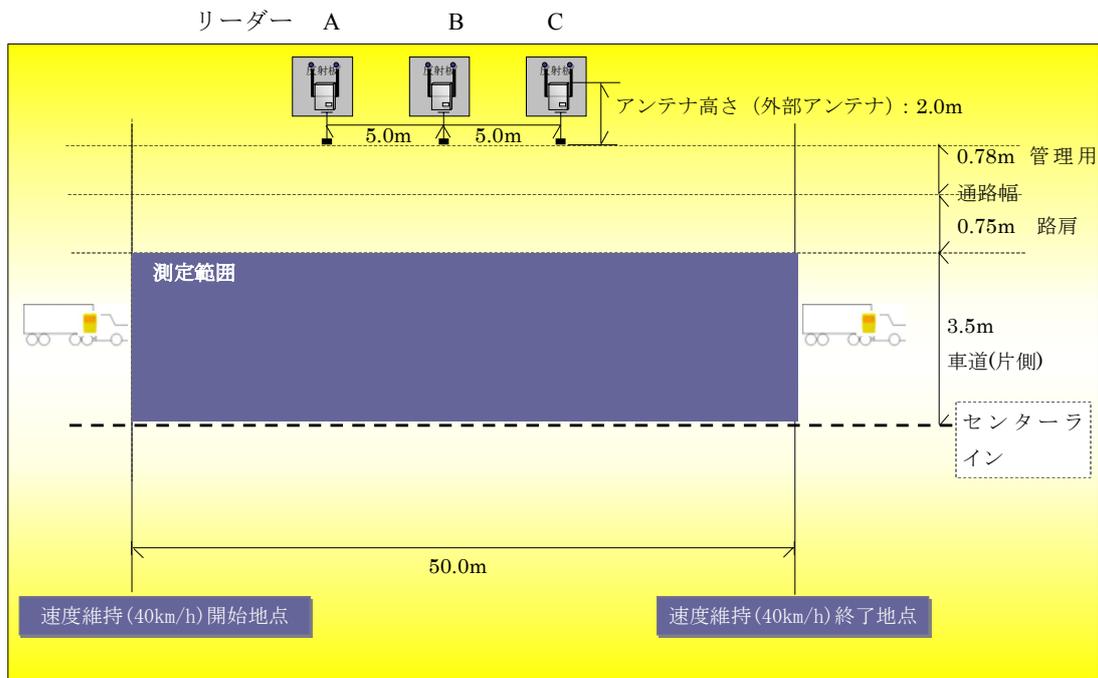


図-6 実験位置平面図

(2) 実験結果

a) 検知回数

各実験で5回の走行計測を行い、ICタグを検知した回数(総数)と平均を表-5に示す。

表-5 実験結果(検知回数)

実験番号	タグ配置	反射板	リーダー別検知回数			
			A	B	C	合計
1	車外	無	64 (12.8)	47 (9.4)	56 (11.2)	167 (11.1)
2	車外	有	48 (9.6)	46 (9.2)	48 (9.6)	142 (9.47)
3	車内	有	90 (18.0)	70 (14.0)	80 (16.0)	240 (16.0)
4	車内	無	96 (19.2)	98 (19.6)	94 (18.8)	288 (19.2)

※検知回数は5回の合計値であり、カッコ内は平均値である。

b) 検知率

今回使用したICタグの最大検知距離は20mとされており、1台のリーダーに対して道路中央部でおよそ40mの区間が検知可能と考えられる。40km/hの走行速度ではこの区間を3.6秒で通過するため、この間に検知可能な回数は電波発信間隔が0.2秒であることから、 $3.6 / 0.2 = 18$ 回となる。

表-5の平均検知回数をこの最大検知可能回数で除した値を検知率(%)で表すと、表-6のようになる。ICタグ配置が車外の場合は50%~70%の値となるが、車内の場合は80%~110%となり、検知可能範囲の最大値に近いか最大値を超えて取得できていることがわかる。理論値を超えた理由としては、周辺の建物での反射波をリーダーが検知した可能性が考えられる。

表-6 実験結果(検知率)

実験番号	タグ配置	反射板	検知率			
			A	B	C	合計
1	車外	無	71.1%	52.2%	62.2%	61.7%
2	車外	有	53.3%	51.1%	53.3%	52.6%
3	車内	有	100.0%	77.8%	88.9%	88.9%
4	車内	無	106.7%	108.9%	104.4%	106.7%

(3) 考察

a) ICタグの配置

表-6の実験データでは、ICタグを車外に配置した場合の検知率が著しく低くなっている。車外にICタグを配置したことで、車両ボディーでの電波反射による電波妨害が発生している可能性がある。

したがってICタグの車両への配置は、車内へ配置することが望ましいと判断できる。

b) 反射板による減衰効果

本実験ではICタグの設置場所(車内、車外)に関してリーダーに対する反射板の有無の実験を行った。表-5の実験結果に見られるように、どちらの場合も反射板有の検知回数が反射板無を上回ることはなかった。

ここでは、比較対象実験での検知回数差から反射板の影響による減衰率を以下のように定義した。

$$\text{検知回数差} = \text{反射板無の検知回数} - \text{反射板有の検知回数}$$

$$\text{減衰率} = \text{検知回数差} \div \text{反射板無の検知回数}$$

上記の式から減衰率を計算すると表-7のように減衰率は15%以上と大きな値を示しており、反射板による検知率の低下は15%程度発生することがわかった。

表-7 反射板による減衰率

比較実験番号	検知回数差	減衰率
1:2	25回	15.0%
4:3	48回	16.7%

c) リーダー数

本実験では、移動体を持つICタグをリーダーで最低1回検知することを目標にした場合、3台のリーダーで検知回数にばらつきがあるものの、検知回数が0回となるリーダーがなかったため、1台のリーダーで検知が可能であると考えられる。

d) 検知回数

本実験と同じく0.2秒タグを使用する場合、時速40kmでは2.2m移動するごとに1回電波を発信する。アンテナの受信範囲を最大検知可能距離から40.0mとすると、最大で18回の検知を行うことが可能である。この考えをさらに高速の移動体に置き換えた場合、時速80kmでは4.4m移動するごとに1回電波を発信することから、最大で9回の検知を行うことが可能となる。

表-6に示したように、ICタグが車内の場合には検知率がほぼ80%以上となることが期待できるため、 $9 \times 0.80 = 7.2$ 回以上の検知の機会があることとなる。

4. 現地実験

(1) 実験内容

基礎実験の結果を受けて、実用システムを構築するための判断材料を得るために、当該トンネル内において実際に車両を高速走行させて電波検出の実証実験を実施した。

当該トンネル内の管理用通路（坑口から 100 m 付近）にアンテナ・リーダーを 3 台設置した。設置状況を図-7 に、平面図を図-8に示す。ICタグを搭載した現場車両 2 台を隣接インターチェンジ間で 3 往復（80km/h）させて検知実験を行った。図-9にICタグの車両への設置状況を示す。

実験における確認項目は

- ①各リーダーのICタグ電波検知回数
- ②各リーダーの検知範囲

であり、②は相対範囲を走行速度から算出する。

実験使用機材の仕様を表-8に示す。

表-8 実験使用機材の仕様

機材	仕様
ICタグ	0.2 秒間隔発信 最大検知距離 20m
電波受信装置	リーダーおよびアンテナ 3 台
記録装置	ノート型 PC 1 台
搭載車両	現場作業車（ペースカー）2 台

(2) 実験結果

車両 2 台（A車、B車）で各 3 回走行時の検知回数を表-9に示す。ICタグの電波発信間隔は 0.2 秒であるので 1 秒間に最大で 5 回検知できる可能性がある。経過秒毎の各リーダー検知回数を図-10 に示す。

表-9からすべての走行ケースについてすべてのリーダーでICタグを 1 回以上検知していることがわかる。また、走行ごとの各リーダーでの検知回数は 4～8 回となった。

表-9 実験結果（検知回数）

番号	車両	周回数	リーダー別検知回数				合計
			1	2	3		
1	A	1	4	7	4		15
2	A	2	5	5	5		15
3	A	3	6	5	4		15
4	B	1	8	6	6		20
5	B	2	6	5	6		17
6	B	3	6	7	5		18



図-7 トンネル内アンテナ設置状況

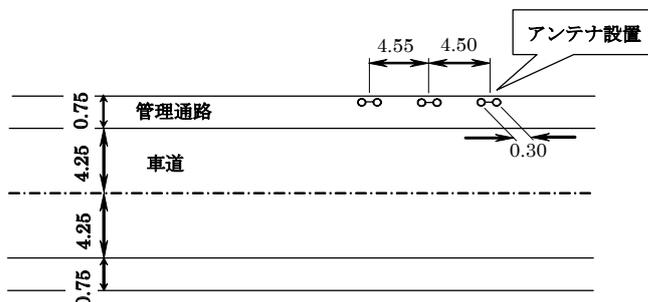


図-8 アンテナ設置平面図



図-9 車両へのICタグ設置状況

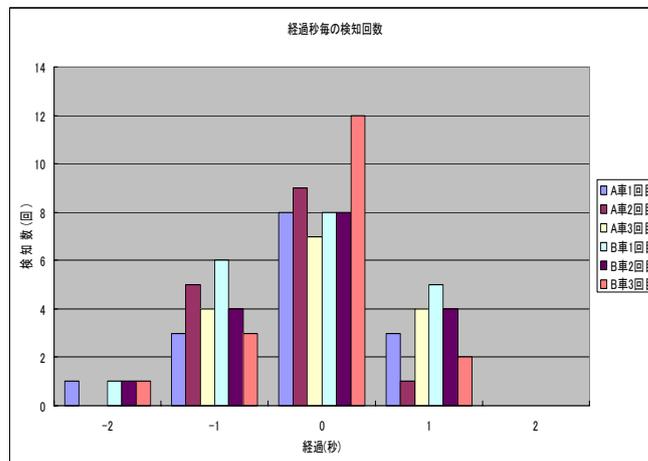


図-10 経過秒ごとの検知回数

(3) 考察

6回の走行で測定した値よりリーダー1台で配置した場合の平均検知範囲を算出すると約70mとなった。これを半径に直すと35mであり、機器の仕様にある最大検知距離20mを大きく上回った。

この結果を3.(2)で用いた検知率で表すと175%程度となり、当初懸念された「高速走行および閉空間となるトンネルでの検知による検知率低下」に相反する良好な結果となった。基礎実験における反射板有無の実験結果と逆の結果となったが、原因としてはアンテナ近傍の電波反射による電波妨害効果よりも、表面凹凸の少ない円滑なトンネル壁面での電波反射効果が上回り、より遠方からの電波をリーダーが検知できたと考えられる。

結論として、80km/h程度の高速車両に対してもリーダー1台で十分検知可能であることが判明した。ただし、運用に際しては下記2点に留意する必要がある。

a) リーダーの配置について

検証結果から1地点に配置するリーダーは1台で検知可能であるが、より安定した運用を目指す場合には故障等が発生した場合に備えて2台以上の配置が望まれる。

b) 不要検知について

検証実験ではトンネル内において対向車線を走行する車両においても検知されることが判明している。この検知はシステムでは不要な情報となるため、システムはこの点に留意して設計する必要がある。

5. 結論

基礎実験、現地実証実験の結果をまとめると次のようになる。

- ① ICタグを車内か車外に配置する場合は、車内へ配置したほうが検知率が高くなる。
- ② 屋外で40km/hで走行した場合の最大検知距離の平均は約20mであった。
- ③ 屋外で40km/hで走行した場合、反射板による減衰効果は15%程度であった。
- ④ トンネル内で80km/hで走行した場合の最大検知距離の平均は約35mであった。トンネル内という閉空間での電波反射効果により開空間よりも遠くまで電波が届いたものと考えられる。

以上の基礎実験、現地実証実験の結果を受けてシステム設計を行い、実装して現地に導入した。詳細は別途報告する予定であるが、図-11に誘導設備状況、図-12に誘導画面例、図-13に車両誘導状況を示す。

今後、運用を通じてさらに詳細なデータを分析して安定度の高いシステムとして整備していく予定である。



図-11 誘導員と誘導用設備

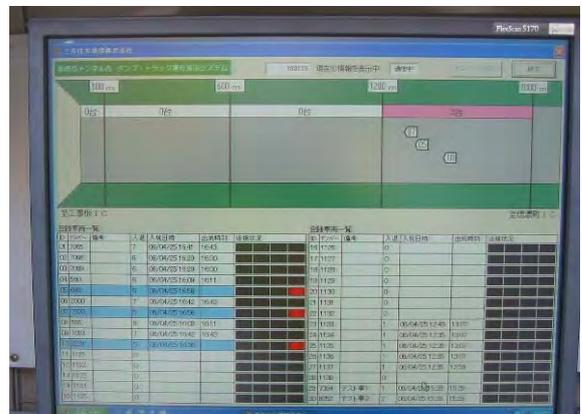


図-12 誘導画面例



図-13 誘導状況

参考文献

- 1) 佐田達典：ICタグの地中杭への応用、非接触ICカードの技術と応用、シーエムシー出版、pp.134-141、1998.3.