

地方都市圏に適した 安価な運賃收受システムの開発

杉山 陽一* 松原 広* 明星 秀一*

Development of Low-cost Fare Collection System Suitable for Medium-scale City Areas

Yoichi SUGIYAMA Hiroshi MATSUBARA Shuichi MYOJO

In the medium-scale cities, simple checking machines have been disposed to unattended stations, where illegal uses occurred. Accordingly, we designed new ticket checking systems. Prototype machinery accepts new-type ticket where “optically reading code” is printed. Therefore, it realizes a much simpler mechanism, and reduces the cost. However, it is impossible to add any information onto the ticket. Moreover, an illegal use by copying is possible. In order to prevent such use, we designed a checking methodology. The proposed system is capable of organizing a checking system without a network system. In addition, this checking system allows for conventional machinery; hence, the previous type machinery may be replaced gradually.

キーワード：運賃收受，2次元コード，乗車券，ICカード，簡易改札機，乗車券ID管理

1. はじめに

大都市圏の鉄道においては、有人駅にICカード・磁気券両用の自動改札機が配備されており、チェック漏れのない出改札システムが確立されている。一方、閑散線区や軌道・バスなどの小規模な輸送においては、車内の運賃箱に乗車券・現金を投入したりICカードをタッチしたりすることで確実に運賃が収受されている。しかしながら、これらの中間に位置する地方都市圏の交通においては、乗客数が比較的多いため、車内での運賃収受が難しい反面、投資コストを考えると全駅に駅員や高機能の自動改札機を配置することも困難と思われる。

運賃収受に関する近年の状況として、大都市圏だけでなく、路面電車・バス等の交通機関においても車載式ICカードシステムが普及しつつあり、車内に改札機を設置して確実な運賃収受を行う試行事例^{1) 2)}や、列車に改札機相当の機器を設置することで閑散線区においても大都市圏と相互にICカードの利用ができるようにする試み³⁾がある。また、海外においては、北京・ソウル・台北などアジアの都市交通において、廉価なICカードおよびICトークンが普通乗車券として普及しており⁴⁾、IC媒体のみに対応したシンプルな出改札システムを実現している。

一方、IC媒体以外の新たな自動認識手段として、2次元コードによるチケットが近年急速に普及している。国内では航空券だけでなく、料金が必要な列車への適用事

例⁵⁾があり、中国では長距離列車の予約券にQRコードを印刷した試験事例がある⁶⁾。

都市交通に限らず、地方線区での運賃収受に着目した事例も見受けられる。黒部ら⁷⁾は、車内改札の最適化を通じて、駅無人化に伴う通脱防止を提案している。

本稿では、地方都市圏の路線における運賃収受の実態について述べるとともに、関連する事例を参考に地方都市圏に適した新たな運賃収受システムについて検討を行ったので報告する。

2. 運賃収受の実態調査

地方都市圏の路線について運賃収受の実態調査を行った。本章では、調査の概要と結果について述べる。

2.1 実態調査の概要

地方都市圏における運賃収受の実態を把握するため、ある地方都市圏の営業路線を対象に実態調査を行った（以後、この営業路線を「調査路線」と呼ぶ）。

2.1.1 調査路線の概要

調査路線は11駅で構成されており、全列車が地域の中心駅であるX駅・Y駅に乗り入れている（図1）。全列車に車掌が乗務しているが、車掌は集札や改札を行っていない。また、車内に運賃箱は設置されておらず、各駅の改札機でチェックを行っている。

2.1.2 調査路線の運賃制度

調査路線の各駅には、表1に示す2種類の改札機が導

* 輸送情報技術研究部 旅客システム研究室

特集：輸送情報技術

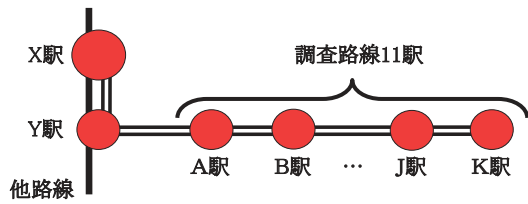


図1 調査路線概要

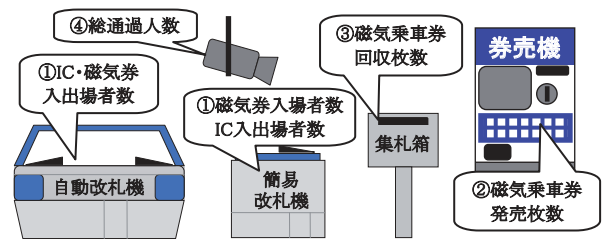


図2 各駅で取得したデータ

入されている。自動改札機は大都市圏のものと同じ機能を有し、ICカードおよび磁気券について入出場ともチェックするが、簡易改札機では磁気券を入場時のみチェックするため、出場時については旅客が自主的に使用済み券を集札箱に投入する方式を採っている。

表1 調査路線に導入されている改札機

改札機	駅係員	駅数
自動改札機	有人	3 駅
簡易改札機※		4 駅 (土休日 3 駅)
		無人

※簡易改札機は磁気券の出場処理に対応しない

調査路線では、ICカード（IC定期券・IC乗車券）と磁気券（磁気定期券・磁気乗車券）に対応している。ICカードについてはどの駅でも入出場ともチェックが行われており、入出場履歴（入場前の出場記録および出場前入場記録）も含めてチェックされる。一方、磁気券は、自動改札機でのみ出場時に入場記録がチェックされる。また、磁気定期券で入場する場合は、ICカードとは異なり、前回利用時の出場記録を必要としない。

有人駅において改札機によるチェック以外に駅員による乗車券の確認も行われることを踏まえると、調査路線の改札方式については、表2のようにまとめられる。

表2 券種と駅のタイプによる改札方式

発駅のタイプ	着駅のタイプ		ICカード	磁気券	
	駅員	改札機		定期券	乗車券
有人	有人	自動	◎	◎	
無人			◎	○	◎※
有人		簡易	◎	△	
無人			◎	○	○※
有人	無人		×		
無人				×	

◎：入出場ともチェック ○：発駅のみチェックせずに入場
 △：発駅でチェックせずに入場可能 ※：出場時に集札箱に投入
 ×：発着駅ともチェックせずに入出場可能

2.1.3 実態調査の要領

調査路線の11駅（図1のA駅～K駅）について、次に示す4種類の情報をもとに運賃収受の実態を調査した。図2に示す各データは2008年10月25日（土曜日）から同28日（火曜日）までのものである。

① 改札機データ

改札機に記録されている入出場データである。旅客が

改札を入出場した時刻と乗車券の券種・発駅・運賃などが分かる。ただし、簡易改札機の場合は磁気券の出場処理機能が省略されているため、磁気券による出場状況については不明である。

② 券売機データ

利用者が購入した乗車券に関するデータであり、各駅の磁気乗車券販売実績が発売金額別で分かる。

③ 乗車券回収実績

集札箱に回収された乗車券の集計結果であり、乗車券の発駅ごとの枚数を把握できる。特に、簡易改札機で捕捉できない磁気乗車券での出場実績の補完に有用である。

④ 改札動画データ

改札を通過した全旅客の入出場時刻が分かる。これをもとに、①～③で捕捉されない磁気定期券の出場人数や不正通過人数などを推定できる。

2.2 調査結果

各駅で運賃収受が適正に行われているかどうかについて、11駅の改札データ、回収した乗車券枚数、改札動画データによる通過人数などをもとに調査した。

2.2.1 駅タイプ別の結果

10月25日から27日までの3日間について券種別利用人数を集計した。表1の駅タイプ別に見た券種の構成を図3に示す。ただし、一部の有人駅については、改札動画データによる総通過人数のカウントを省略した。また、入場人数を100%とした。

自動改札機設置の有人駅の場合、どの券種も入場人数と出場人数がほぼ同数であり、正しく運賃収受がなされている。また、簡易改札機設置の有人駅の場合、磁気定

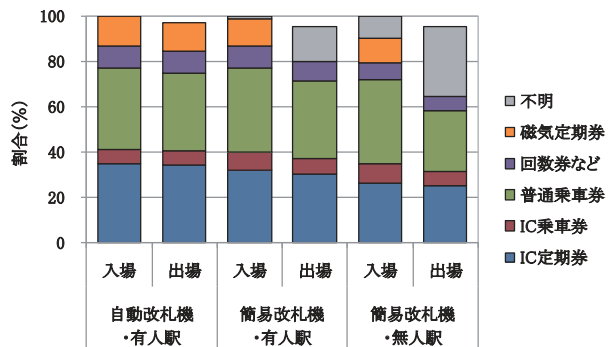


図3 券種別入出場人数 (10/25 (土) ~ 10/27 (月))

期券の入場人数と、データで捕捉できなかった券種不明の出場人数がほぼ同数であるため、自動改札機設置駅同様、運賃収受が適正に行われているものと予想される。

一方、有人駅とは異なり、簡易改札機が設置された無人駅においては、券種不明の入場人数が多く、磁気定期券の入場人数と合計した人数よりも券種不明の出場人数が多いことが分かる。このことから、多くの乗車券の回収漏れが発生していることがうかがえる。

2.2.2 無人駅での逋脱

前記の結果を受け、無人駅における磁気乗車券の発券と回収の実績について詳しく調査した。中心駅に近いA駅と終点に近いJ駅の2駅について、乗車券の運賃別に集計した結果を図4に示す。なお、発券した磁気乗車券の総数を100%とした。

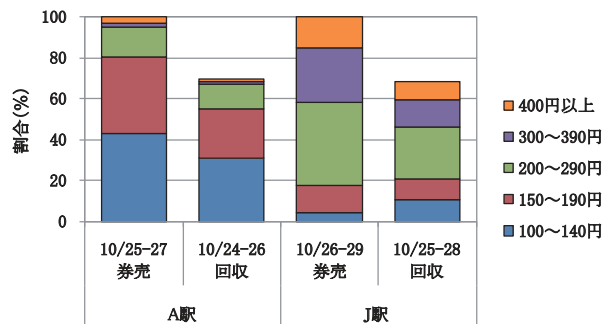


図4 無人駅の発券と回収の実績

中心駅であるX駅・Y駅に近いA駅、終点に近いJ駅とも磁気乗車券の回収率が7割程度であり、回収が不十分であることが分かる。A駅では発券・回収とも運賃の構成に大きな違いが見られないのに対し、J駅で回収した初乗り運賃の乗車券には無効な券が含まれるため、初乗り運賃の券売枚数を上回った。

これらのことから、X駅・Y駅や調査路線外の駅から調査路線内の無人駅に行く利用において、初乗り運賃の乗車券で入場し、乗車券を提示せず出場する不正が起こっているものと推察でき、不正のメリットの大きい出場駅ほど（調査路線では終点に近いほど）運賃逋脱が起こりやすい傾向が推察される。図4の結果から、無人駅において券売時に収受した額に対する逋脱額の割合を算出したところ、表3のようになった。

表3において、顕在化した逋脱率とは、回収された乗車券のみから明らかに分かる最低限の逋脱率であり、潜在的な逋脱率とは、未回収の乗車券でも回収分と同じ割合で逋脱が起こっているものと仮定した場合の逋脱率で

表3 収受運賃に対する逋脱額の割合 (%)

	顕在	潜在	最悪
A駅	1.6	1.8	2.2
J駅	7.5	9.3	13.7
無人駅合計	4.0	5.1	11.3

ある。また、最悪逋脱率とは、未回収分の磁気乗車券全てについて逋脱が発生しているものと仮定した場合の逋脱率を意味する。調査路線と別のエリアの調査においては、入場記録なしで出場しようとした定期券旅客の9割近くが精算の必要な旅客であることが知られており⁹⁾、実際の逋脱率は最悪の場合に近いものと予想される。

2.2.3 ICカード利用率への影響

調査路線におけるICカード化の実態について調査した。調査路線の駅のうち、ICカード・磁気券とも出場チェックを行う自動改札機が設置された3駅について、IC定期券と磁気定期券の割合を調査した。結果を図5に示す。

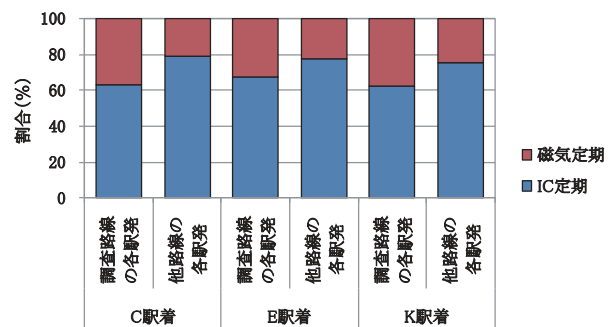


図5 IC定期券・磁気定期券の内訳 (月曜)

簡易改札機が主流の調査路線内各駅から乗車した場合は磁気定期券の割合が比較的高く、自動改札機が主流の他路線各駅から乗車した場合は磁気定期券の割合が低い。

改札方式と駅員の有無による影響を把握するため、C駅着の定期券の内訳について表1の3つのタイプに従って他路線を含む発駅を分類した。結果を表4に示す。

表4 定期券のICカード利用率 (C駅着)

発駅のタイプ	IC定期券利用率 (%)
自動改札機・有人駅	75.1
簡易改札機・有人駅	66.1
簡易改札機・無人駅	61.5

磁気定期券でもIC定期券でもチェック機能に差のない自動改札機設置駅相互では利便性の高いICカードへの移行が進んでいるのに対し、磁気定期券を改札機に投入不要なケースが発生する簡易改札機設置駅と間の利用についてはICカード利用率が低い。さらに、定期券の提示が不要な無人駅との間の利用においては、よりICカード利用率が低いことが判明した。ICカードの携帯が必ずしも便利とは言えない条件下においては、IC定期券に移行するインセンティブが働きにくいものと考えられる。

3. 新しい出改札システム

2章の実態調査から判明した課題の解決を図るため、新しい出改札システムについて検討した。

特集：輸送情報技術

3.1 出改札システムの要件

2章の調査により、一部の機能が省略された簡易改札機が設置された無人駅において不正利用が多く、ICカードへの移行を遅らせる要因になっていることが推測できる。そこで、新しい出改札システムとして、以下の要件を満たすものを検討した。

- 無人駅でも入出場とも確実にチェックを行う。
- 地方都市圏に導入可能な安価なシステムを実現する。

遁脱を防止するには、券種・入出場・駅のタイプを問わず漏れなくチェックを行う改札方式が望ましい。一方で、磁気読取方式については、改札機の機構が複雑なため、コストがかかる。このため、地方都市圏においては、磁気読取方式に代わる安価な方式が望まれる。

3.2 新しい乗車券読取方式

現行の普通乗車券に用いられている磁気読取方式に代わる方式について比較検討を行った。

(1) 電波読取方式

改札機側で発する電波を用いてICカードに内蔵されたチップの情報を読み取ることにより改札処理を行う。日本ではSuica、PASMOなどのICカードで用いられるが、海外の都市部においては、廉価版のICカードやICトークンを回収する運用⁴⁾により、普通乗車券についても本方式が適用されている。

(2) 光学読取方式

乗車券類に印刷されたバーコードや2次元コードなどの模様をカメラで光学的に読み取ることで改札を行う。航空券の改札や座席定員制の列車の改札⁵⁾に用いられているが、一般の普通乗車券には導入されていない。

現行の磁気読取方式および前記の電波読取方式、光学読取方式を比較した結果を表5に示す。

表5 磁気読取、電波読取、光学読取の比較

	磁気読取方式	電波読取方式	光学読取方式
乗車券媒体コスト	安価で使い捨て可能	高価で使い回しが必要	安価で使い捨て可能
改札機コスト	接触箇所が多く保守費用が高価	IC定期券と共通の読取が可能でかなり安価	IC定期券と方式は異なるが非接触読取で安価

現行の磁気券の場合、乗車券媒体のコストは非常に安価である反面、改札機内部で乗車券を搬送しながら磁気情報を読み取るため、改札機のコストが高いデメリットがある。また、ICカードの普及にともない、改札機が電波読取方式との双方に対応しており、利便性が高い反面、冗長な二重システムの状態が続いている。一方、電波読取の場合は、非接触読取が可能であり、定期券と普通乗車券が同じ方式で改札できるため、改札機のコストを大幅に低減できるものと期待される。しかし、乗車券媒体の費用が高く、再使用が前提であるため、調査路線

のように無人駅を含む路線での運用を考慮すると非現実的である。また、光学読取方式については、乗車券そのものはかなり安価である。また、IC定期券と読取方式が異なるが、双方とも非接触読取が可能であるため、改札機のコスト低減が期待できる。

これらのことから、乗車券媒体および改札機のどちらも安価に導入可能な光学読取方式は、地方都市圏の路線に適した一つの方式であると考えられる。

3.3 乗車券チェック方法

コスト面で有利な光学読取方式を用いた乗車券チェック方法について検討した。

3.3.1 光学読取方式を適用する場合の課題

光学読取方式は、コスト面でのメリットは大きい反面、①複写・転送が容易である、②情報を追加できない、という課題がある。磁気券の場合、乗車券の磁気情報をコピーすることは容易ではなく、改札機通過時に入場情報を追加して記録できる。しかし、光学読取コードを印刷した乗車券を単純に磁気方式と同様のチェックを行った場合、以下のような不正が考えられる。

- 乗車券をコピーして使い回す不正
- 遠隔地の第三者にコードを画像として転送する不正
- 磁気定期券などの併用による不正

特に乗車券のコピーによる不正は事業者にとって大損失につながるため、これらの課題の解決は必須である。

3.3.2 乗車券ID管理手法

乗車券のコピーへの対策として、ID管理による不正防止対策について検討した。光学コード乗車券のIDを管理する手法として、①センターサーバで集中管理する方式、②各駅で分散管理する方式、の2種類が考えられる。①の場合、センターサーバで一元管理をするため、各駅の入出場済みIDを漏れなくチェックできるが、ラッシュ時などでの改札処理時間の増大およびネットワーク障害に対する脆弱性が懸念される⁸⁾。一方、②の場合は、線区全体でのID管理は困難であるが、ネットワークの構築が不要なため安価に改札システムを実現できる。コスト面を考慮すると、地方都市圏におけるID管理は②の方式が現実的であると考えられる。

3.3.3 チェック方法

前述のID管理方式によって不正を防止するため、現行の磁気読取方式で行われている判定に加え、以下のチェック方式を考案した。概略を図6に示す。

(1) 入場時のID管理・時間判定

乗車券のコピーにより複数人が利用することを防ぐために、乗車券のIDを用いた判定を行う。入場済みの乗車券IDを改札機で保持することにより、同じIDの光学コードが読み取られても無効と判定し、入場を許可しない。これにより、使い回しの不正を抑止し、旅客の正当性を

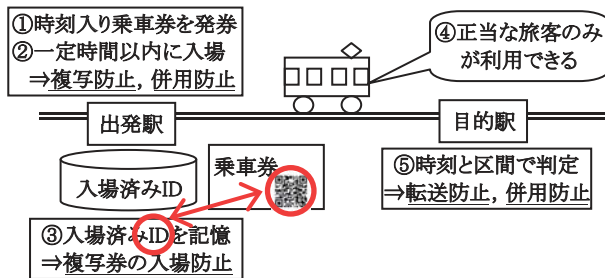


図6 普通乗車券のチェック方式

担保する。また、発券した駅でのみ一定時間以内に入場を許可することにより、転送による不正を防止する。

(2) 出場時の時間判定

乗車券の発券から入場までの時刻が一定時間に収まる利用のみを有効とする。これにより、入場情報を追記することなく発券情報を入場情報と見なす運用が可能になる。また、発券から出場までの時刻が標準時間幅に収まる利用のみを有効とすることにより、定期券との併用による不正など、所要時間が不合理な利用を防止する。

4. 実用性の検証

前章のチェック方法を実現する試作システムを開発し、被験者向けの実験および鉄道事業者を対象としたヒアリングを通じて適用可能性について考察した。

4.1 試作システムの開発

実験・ヒアリングに用いるための改札機と乗車券のプロトタイプを図7に示す。

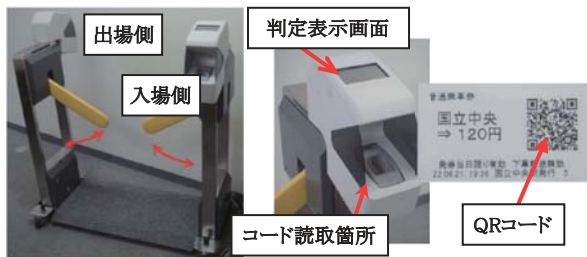


図7 2次元コード対応の改札機と乗車券

(1) 乗車券の実装

光学読取コードには格納できる情報量が多く、小さい面積で印刷可能な2次元コードを採用し、国内で一般に普及しているQRコードを用いた。近距離の普通乗車券として普及しているサイズ(30mm×57.5mm)の紙にQRコードを印刷する。なお、磁気乗車券にQRコードを印刷することにより、磁気読取方式との使い分けも可能になる。

乗車券に印刷するQRコードには、現行の乗車券の磁気情報に記録されている運賃・券種・発券日時・発券駅の情報に加え、乗車券IDを記録する。これにより、前述のチェック方法を実現することができる。なお、実験に

用いる試作機であるため、情報の暗号化は省略しているが、容易に暗号化することが可能である。

(2) 機器の構成と機能

試作システムの改札機本体は車載改札機^{1) 2)}の構造を基本とし、規模の小さい駅にも設置できるよう薄型のものとした。そのため、旅客が1人通過するごとにドアを閉じる方式を採用している。また、入場側出場側ともにICカードおよびQRコードの情報を非接触で読み取るリーダ・ライタを設置した。これにより、券種を問わず入出場とも1人ずつ旅客の乗車券・定期券をチェックすることが可能である。

4.2 被験者実験

利用者の操作性などを把握するため、試作システムを用いて、被験者実験を実施した。

4.2.1 初見での使用

改札機の仕組みや操作方法の説明を受けていない被験者30人に乗車券を使って改札機を通過してもらった。その結果、2次元コードを使い慣れている被験者20人は正しい操作をして改札機を通過できたが、2次元コードになじみのない年配の被験者を中心にとまどう様子が観察され、印刷されていない面を読取装置にかざした例(4人)や、2次元コードを指でつまんでいる例(6人)が見られた。

4.2.2 通過時間

前述の30名とは別の20名の被験者に改札機の使用法を十分説明した上で、ICカード・QRコードが印刷された紙券を用いて繰り返し改札機を通過してもらい、1人あたりの改札処理時間を計測した。それぞれの1人当たり改札処理時間の分布を図8に示す。

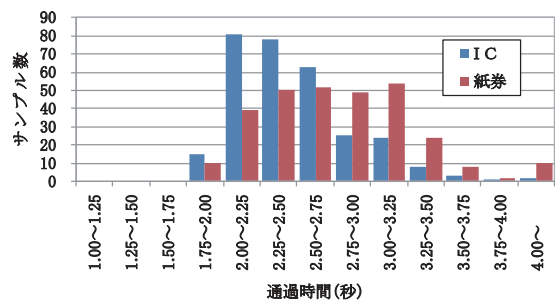


図8 券種別1人あたり通過時間

ICカードの処理時間は1人平均2.5秒、紙券は2.8秒であった。2次元コードは読取装置にかざすときの向きに気を配る必要があるため、多少時間がかかるが、ICカードと比べても遜色ない時間で改札処理が行われている。

4.3 鉄道事業者ヒアリング

事業者側のニーズを把握するため、試作改札システムのデモを行った上で、鉄道関係者を対象にヒアリングを

特集：輸送情報技術

表6 ヒアリングで得られた意見

ニーズ	磁気普通券をシンプルにする方法として2次元コードは有用であり、ICカード化までの過渡期の利用としても期待できる。
形状	入出場鉢合わせへの配慮が必要である。無人駅に設置することを考慮すると破壊対策が必要である。
構成	ネットワークなしで改札する仕組みは有用である。ネットワークを介さずIDを共有する仕組みが整えば安価に実現できる。
読取	ICカードと同等の使い勝手を実現するため、下から挿入する方式よりも、上からかざす本方式がよい。
その他	チケットレスで予約した券の改札への応用も考えられる。

実施した。得られた主な意見を表6に示す。

ネットワークなしで実現できることと、シンプルな構成が評価されたが、実用場面を想定したより現実的な対策についても課題があることが分かった。

4.4 提案方式の適用可能性

(1) 逋脱の防止

2.2.2における調査路線内の各無人駅について、簡易改札機を試作改札機に置き換えた場合に見込まれる逋脱額の割合を表7に示す。本方式により、無人駅を最低運賃の乗車券で出場する逋脱の可能性が無くなることが期待できるため、大幅に運賃収受の漏れが減少すると考えられる。加えて、定期券・回数券との併用による不正などの防止も期待できる。

表7 推定される無人駅逋脱防止効果 (%)

	顕在	潜在	最悪
現行	4.0	5.1	11.3
導入後	1.4	1.7	3.8

(2) 改札処理時間

被験者実験によって判明した平均改札処理時間 (ICカード2.5秒/人、2次元コード2.8秒/人) を調査路線各駅の出場時刻の実績に適用し、1列車あたりの改札待ち時間のシミュレーションを行った。現行の自動改札機と比較した1人あたりの最大待ち時間の増分について、出場人数・改札通路数ごとに計算した結果を図9に示す。

試作した改札機は旅客が1人通過するごとにドアを閉じるノーマルクローズ方式であるため、現行の磁気改札

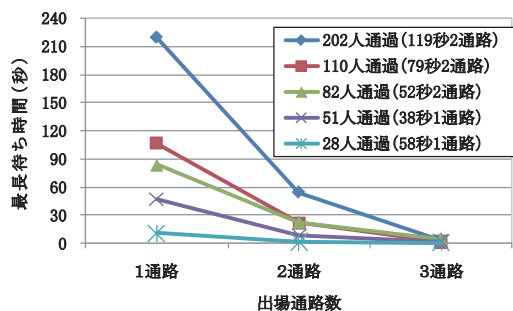


図9 出場人数と最長待ち時間

機 (処理時間約1秒/人) と比べると処理に時間がかかるが、現行の通路数と同じ場合には、滞留による待ち時間が最長でも1分に満たないことが確認された。なお、本試作改札機においても磁気改札機と同様、ドアを開いたままで処理を受け付けるノーマルオープン方式を採用することにより、大幅な処理時間の短縮が期待できる。

5. まとめ

地方都市圏の営業路線における運賃収受について実態調査を行ったところ、磁気券を用いた逋脱およびICカード利用率への影響が判明した。これらの問題点を解決するため、現行の磁気券システムに代わる安価な改札システムとして光学読取方式による新しい改札方式を考案した。さらに、この改札方式を実現する改札システムを試作し、被験者試験および事業者ヒアリングを通じて実用性を検証するとともに、実際の導入を行うための課題を把握した。今後は実用性の向上および地方都市圏以外の路線への適用も視野に入れた検討を行っていききたい。

文献

- 1) 明星秀一, 松原広, 池田明, 藪田晶慶: 車載式自動改札機の研究, 第14回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2007), pp.161-164, 2007
- 2) 松原広, 明星秀一, 杉山陽一, 池田明, 藪田晶慶: LRT向け車載式自動改札機の開発, 第15回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2008), pp.483-486, 2008
- 3) 石原裕介, 松下晃治: ワンマン車両搭載型ICOCAシステムの開発, JREA, Vol.53 No.4, pp.19-22, 2010
- 4) 壺内隆司: IC切符リサイクル利用対応の駅務機器技術, サイバネティクス, Vol.15 No.2, pp.24-28, 2010
- 5) 松尾敦: 東上線TJライナーにおいてQRコードを活用したチケットレスサービスを開始, JREA, Vol.53 No.4, pp.45-48, 2010
- 6) 財団法人 機械システム振興協会: アジア諸国における2次元シンボルを使ったサプライチェーンに関する調査研究報告書, 2010
- 7) 黒部久名, 真船和敏, 野末尚次: ほ脱防止から見た無人駅化と車内検札方式の最適化 - 普通乗車券の場合 -, 鉄道総研報告, Vol.2 No.10, pp.23-29, 1988
- 8) 大熊喜之: 沖縄『ゆいレール』事例にみるNFCで変わるクラウド型ICカードの世界, <http://www.nttdata.co.jp>
- 9) 藤森, 永瀬: 定期券接続乗車券チェックシステムについて, 第35回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集, pp.36-39, 1998