

車載用横開き式自動改札機の試作と 基礎的システム検討

明星 秀一* 松原 広**
池田 明*** 薮田 晶慶***

Basic Study on and Prototyping of On-board Automatic Ticket Gate with Bi-parting Leaf Moving on a Vertical Plane

Shuichi MYOJO Hiroshi MATSUBARA Akira IKEDA Masayoshi YABUTA

Adoption of on-board ticket examination and collection makes station ticket barriers unnecessary, and cuts off the cost of constructing, maintaining and operating stations. However, on-board examination and collection takes much time when many passengers board and alight from a train. On-board automatic ticket gates would enable short time ticket examination and collection even if the number of passengers boarding and alighting from the train is large. We have manufactured a prototype on-board automatic ticket gate and conducted a test. The test result has shown that introduction of on-board automatic ticket gates can often make the boarding and alighting time shorter than the case when drivers and/or conductors examine and collect tickets.

キーワード：車上改集札，車載，自動改札機，乗降時間，流動実験

1. はじめに

日本の鉄道における運賃収受は、大都市の通勤線区や幹線では旅客が事前購入した乗車券類を改札口で改札し、旅客の旅行終了時に使用済みとなった乗車券を改札口で集札する方式が主流である。一方、地方路線や路面電車では、列車の車内やプラットフォーム上で乗務員が改集札業務を行う事例が多い。乗務員による改集札は、運賃の捕脱を抑制しつつ駅の改札口を不要にするという利点があるため、適用できる駅の範囲を拡大することができる。しかし、改集札業務が完了するまで列車を発車させられず、乗降人数に対して改集札を行う乗務員の人数が少ない場合に列車の停車時間を増大させてしまうという問題がある。この問題を解決する一つの方法として車載用の自動改札機の実現が考えられる。

そこで本論文では、既存の自動改札機の概要について紹介した上で、それらを鉄道車両や路面電車に搭載する場合に想定される課題について整理する。この結果を踏まえて、車上での運賃収受に適用可能な新しい改札機である車載用横開き式自動改札機を提案する。次いで、提

案する自動改札機の路面電車への適用を想定して実施した旅客流動実験とその結果について述べる。さらに、この結果に基づき、提案する改札機を導入したときの乗降時間への影響について考察する。

2. 既存の自動改札機と車載にあたっての課題

2.1 既存の自動改札機の概要

2.1.1 通行方向による分類

現在、日本の鉄軌道事業者が導入している自動改札機の一例を図1に示す¹⁾。自動改札機は通行可能な方向により、以下の2種類に分類することができる。

(1) 一方通行型

①改札外から改札内へ入場する旅客の乗車券のみを処理する入場専用型、②改札内から改札外へ出場する旅客の乗車券のみを処理する出場専用型、③異なる事業者の境界に設置される乗換用の自動改札機（以下、1ラチ改札機という）で一方の事業者からもう一方の事業者に乗り換える旅客の乗車券のみを処理するタ



図1 既存の自動改札機の一例¹⁾

* 総務部（総務）
** 輸送情報技術研究部（旅客システム）
*** 日本信号（AFC事業部）

イプの3種類がある。

(2) 両方向型

①入場専用型と出場専用型の両方の機能を備えた両用型と、②1ラチ改札機で旅客の乗り換え方向に関わらず乗車券を処理するタイプの2種類がある。

2.1.2 扉の開閉動作方式による分類

前項とは別に、扉の開閉動作の方式により以下の2種類に分類することができる。

(1) ノーマルクローズ型

通常時は改札機の扉が閉まっており、正常な乗車券
を処理したときに扉が開く。

(2) ノーマルオープン型

通常時は扉が開いており、正常でない乗車券を処理したときや旅客が乗車券の処理をしないで通過しようとしたときに扉が閉まる。

一方通行型の自動改札機ではノーマルクローズ型が一般的で、両方向型はノーマルオープン型のみ存在する。

既存の自動改札機は、ノーマルクローズ型でも旅客の通過後一定時間は扉が閉まらず、閉扉前に次の旅客が正常な乗車券を処理した場合はその旅客が通過するまで扉は開いたままである。逆に、次の旅客の乗車券が正常でないときは、直ちに扉が閉まる。つまり、絶えず旅客が通過している状況では、ノーマルクローズ型であってもノーマルオープン型と同様、旅客を通すべきでないとき以外は扉が開いたままとなる。このような動作をすることで、既存の自動改札機は最大で1台あたり70人/分²⁾の旅客の改札処理を行う能力を持つ。

2.2 車載用自動改札機の既往の提案

文献3)では駅の機能を持つ「駅機能部」を列車に設け、この「駅機能部」と客室の間に車載用の改札機を搭載する方式が提案されている。この提案では、乗車する旅客は一旦乗車口付近の「駅機能部」に乗車した後、自動改札機を通して客室に移動し、降車する旅客は客室から自動改札機を通して降車口付近の「駅機能部」に移動した後以降車する。乗車する旅客は、列車が出発してから自動改札機を通ることができ、降車する旅客は列車が駅に到着する前に集札を完了して降車扉付近で待機すること

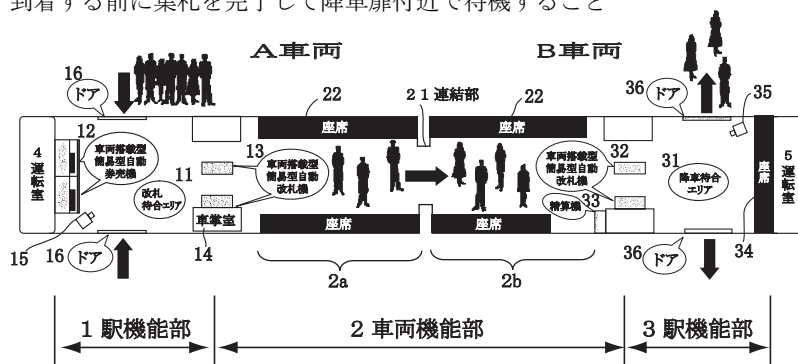


図2 駅機能付き車両³⁾

ができるため、乗降人数が多くなっても乗降時間の増大は少ない。しかし、この提案には以下の問題がある。

(1) バッファとなる「駅機能部」の面積により客室の面積が狭くなる

(2) 降車する旅客に車内移動を強制する。

(1)の問題は車体の小さな路面電車では特に重要である。(2)の問題は車椅子利用者等の利便性を考慮すると好ましくない。そこで、本研究では車両の扉の内側に自動改札機を搭載する方式を提案する。

2.3 車両に搭載する上での課題

2.3.1 筐体の大きさ

車両扉の内側に自動改札機を設置するイメージを図3に示す。既存の自動改札機の筐体の長さは1600mm以上であり、図3に示すような設置はできない。また、筐体が高いほど車内を占有する面積（図3の網掛け部分）が増大し、車両定員が減少する。このため、車両に搭載可能な自動改札機の長さは、可能な限り短いことが求められる。

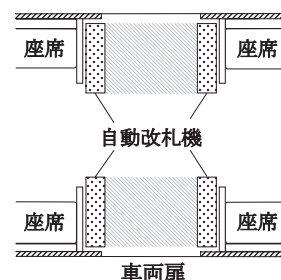


図3 車両扉内側への自動改札機の設置

2.3.2 扉の種類

既存の自動改札機は観音開きの扉を2箇所備えている。しかし、観音開きの扉は稼動範囲が広く、扉が筐体からはみ出さないよう、一定の長さの筐体を必要とする(図4)。これは、長さが短い筐体を実現する上で不都合である。

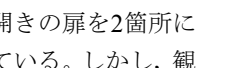


図4 観音開きの扉の可動範囲

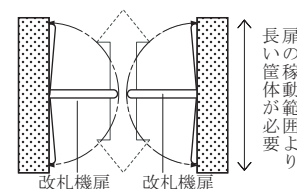


図4 観音開きの扉の可動範囲

2.3.3 扉の動作方式

前記のとおり、既存の自動改札機は旅客が絶え間なく通行している間は、旅客を通すべきでないとき以外は扉が開いた状態のままである。このような扉の動作を実現するには、旅客の乗車券が有効でないと自動改札機が判定（以下、判定 NG という）したときと、旅客が乗車券の改札処理をしないで改札機を通過（以下、無札進入という）しようとしたときに以下の条件を満たすことが必要である。

(1) 判定NGのとき, 多くの旅客が閉扉を認識して扉にぶつかる前に歩行を停止できること

(2) 無札進入の旅客の通過を阻止できること

(1) を実現するには、旅客が磁気券を改札機に投入するか IC カードを改札機のアンテナにタッチするときの体の位置から扉までの長さを十分に確保する必要がある。この長さが短いほど、旅客が扉にぶつかる確率が高くなる。

(2) を実現するには、無札進入を検出する光センサの位置から扉までの長さを十分に確保する必要がある。この長さが短いほど、阻止できる旅客の歩行速度は低下する。

以上のことから、筐体の長さが短い車載用の自動改札機は既存の自動改札機のように動作するには著しく不利である。

3. システムの基礎的検討

3.1 基本方針

前章に述べた課題を踏まえ、以下の基本方針に従って車載用の自動改札機の検討を進める。

- ・ 日本国内の鉄道車両及び低床式路面電車に搭載可能であること
- ・ 移動等円滑化のために必要な旅客施設又は車両等の構造及び設備に関する基準を定める省令（以下、省令という）が求める乗降口に設置可能であること

3.2 基礎的検討

3.2.1 大きさと寸法

現在、鉄道および軌道の車両には、省令により以下の基準を満たすことが求められている。

- ・ 旅客用乗降口のうち一列車ごとに一以上は、幅が八十センチメートル以上であること
- ・ 基準に適合する車いすスペースを一列車ごとに一以上設けること
- ・ 上記の旅客用乗降口と上記車いすスペースとの間の通路のうち一以上の幅は、八十センチメートル以上であること

これらの基準を図5に図示する。

図5に示す車両扉であっても設置可能な自動改札機は、設置状態において図6に示す条件を満足できることが求められる。

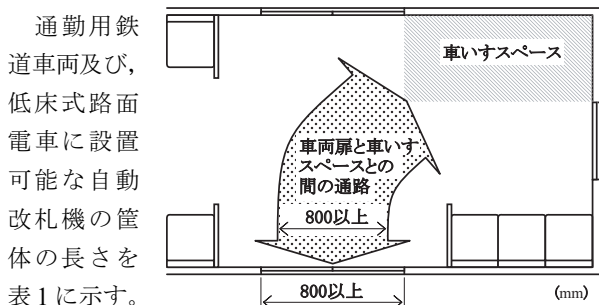


図5 省令に定められた基準

表1から、よ

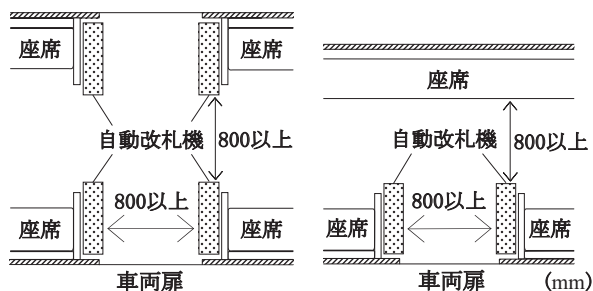


図6 両側に扉のある場所に設置する場合（左）と片側のみに扉のある場所に設置する場合（右）の条件

表1 車両の幅と設置可能な改札機の長さ

設置する車両	設置可能な改札機の長さ
車体幅 2950mm の鉄道車両	975mm
車体幅 2800mm の鉄道車両	900mm
車体幅 2450mm の路面電車	910 ～ 990mm
車体幅 2340 ～ 2350mm の路面電車	670 ～ 810mm
車体幅 2220 ～ 2230mm の路面電車	575 ～ 730mm

注：車内の突起物により、設置可能な長さはこれらより短い場合がある

り多くの鉄軌道車両に搭載可能にするには、筐体の長さを 575mm 以下に抑えることが望ましいことがわかる。

3.2.2 通路の幅

図6に示すように、図5に示す車両扉に設置する自動改札機の通路幅は 800mm 以上でなければならない。一方、車両の扉には 800mm に満たないものも存在するため、これらの扉に適した通路幅の自動改札機も必要である。以上のことから、車載用の自動改札機も既存の自動改札機と同様、①800mm 以上の通路幅の幅広型と②500 ～ 600mm の通常幅の2種類が必要といえる。

3.2.3 扉の種類

前章で述べたとおり、既存の自動改札機と同様の観音開きの扉は、筐体の長さが短い自動改札機には不適である。このため、車載用の自動改札機には、通路の進行方向（図7の帯状の矢印の向き）の可動範囲の狭い扉が必要である。これには、引き戸のように進行方向に対して垂直な方向に開閉する横開き式の扉が考えられる（図7）。

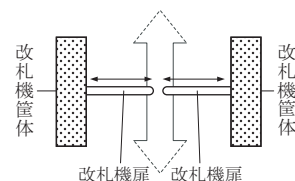


図7 横開きの扉

3.2.4 扉の動作方式

筐体の長さが短い自動改札機に、既存の自動改札機のように旅客を通すべきでないときに開いている扉を閉じするという方式を採用することには以下の課題がある。

- ・ 判定 NG で旅客が扉に衝突する可能性がある
- ・ 通常の歩行速度でも無札進入を阻止できない

このため、車載用の自動改札機の扉は以下のように動作することが適当であると考えられる。

(1) 常時扉が閉じた状態にあり、正常な乗車券を処理したときのみ扉を開く。

特集：輸送情報技術

- (2) 開いた扉は旅客の通過後、直ちに閉じる。
 (3) 旅客が通過を完了するまで、次の旅客の乗車券を処理しない。

3.2.5 通行方向

車載用の自動改札機には、以下の点で一方通行型は不適当であり、両方向型が望ましい。

- ・ 車両の乗降口が乗車専用と降車専用に固定され、降車する旅客に車内移動を強制する
- ・ 乗車する旅客のみまたは降車する旅客のみが多数の駅では乗降時間が両方向型の2倍になる
- ・ 構造上、車椅子利用者が乗車した扉以外から降車できない車両がある

4. 旅客流動実験による通過性能の評価

4.1 実験装置

前章で述べたとおり、車載用の自動改札機には通常幅と幅広タイプの2種類が必要といえる。本研究では、通常幅の自動改札機を想定した流動実験を行うための実験装置を製作した。この実験装置は、車載用の自動改札機の動作を模擬するために、以下の特徴を備える。

- ・ 進行方向と垂直な方向に開閉する扇形の扉を備える（開閉時間は0.3秒）。
- ・ 乗車用と降車用のICカードリーダを備える。
- ・ 扉の真上に設置した三次元レーザスキャナで旅客の通過を検出する。
- ・ 扉は常時閉じた状態にあり、ICカードをリーダにタッチしたとき扉が開く。
- ・ 利用者の扉通過を検出して扉を閉じる。

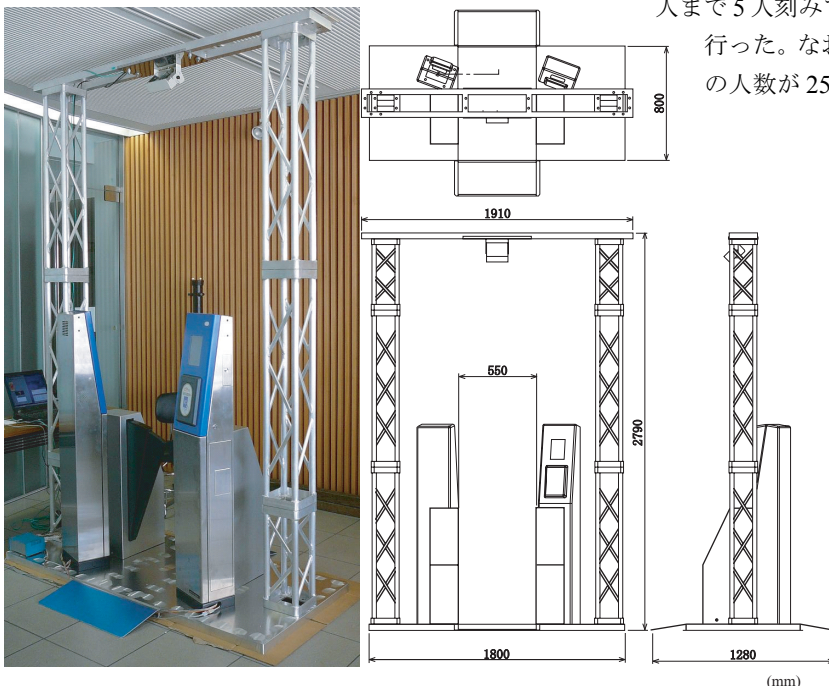


図8 製作した実験装置の外観（左）と三面図（右）

製作した実験装置を図8に示す。また、扉の開閉状態を図9に示す。

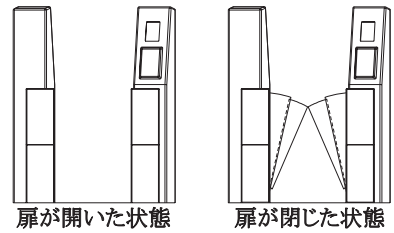


図9 扉の開閉状態

4.2 実験環境

図8の実験装置を図10に示す模

擬車両に設置して実験環境を構築した。模擬車両の室内は、スペースの制約が厳しい路面電車を想定して車両室内の横幅に相当する寸法を約2300mmに設定した（図11）。



図10 模擬車両の外観

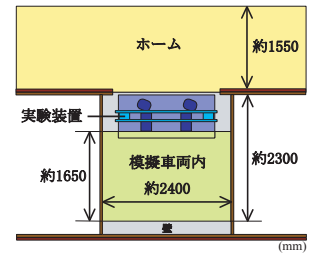


図11 実験環境の寸法

4.3 実験方法

実験は、50人の模擬旅客により以下のパラメータを設定して行った（図12）。

- ・ 乗車人数
- ・ 降車人数
- ・ 乗降開始前の模擬車両内の人数

これらのパラメータを0から25人まで5人刻みで設定して実験を



図12 実験の様子

行った。なお、乗車人数は乗降終了後の模擬車両内の人数が25人を超えない範囲とした。

実験は各パラメータの組み合わせごとに模擬車両の扉を開くことで開始し、模擬車両内の模擬旅客がまず降車し、降車が完了した後にホーム上の模擬旅客が乗車をするようにした。以下に、実施した試験の回数を記す。

- ・ パラメータの組合せ：135通り（重複あり）
- ・ 通過人数：延べ2984人

なお、実験の様子は実験装置の扉のほぼ真上に設置したビデオカメラで撮影し、撮影した映像から分析作業を行った。

4.4 実験結果

撮影した映像のフレーム数を数えることで、模擬旅客1人1人が実験装置の通過に要した時間を計測した。この映像は1秒間に29.97フレームである。計測した結果得られた模擬旅客1人あたりの通過時間を、乗車と降車それぞれについて表2に示す。また、通過時間の分布を図13と図14に示す。表2に示すように、乗車と降車ともに2番目以降の模擬旅客の通過時間の平均は2.1秒であり、最初に乗降する模擬旅客の通過時間はこれよりも約2秒長い。これは、車両の扉が開いてから最初に降車する模擬旅客が行動を起こすまでの時間と、降車完了後に最初に乗車する模擬旅客が行動を起こすまでの時間がともに約2秒であることを意味する。

表2 模擬旅客1人あたりの通過時間の平均

	全体	1人目	2人目以降
降車	2.3秒	4.2秒	2.1秒
乗車	2.4秒	4.0秒	2.1秒

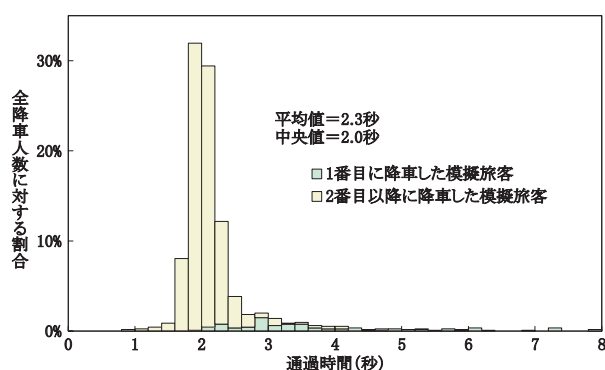


図13 降車した模擬旅客の通過時間分布

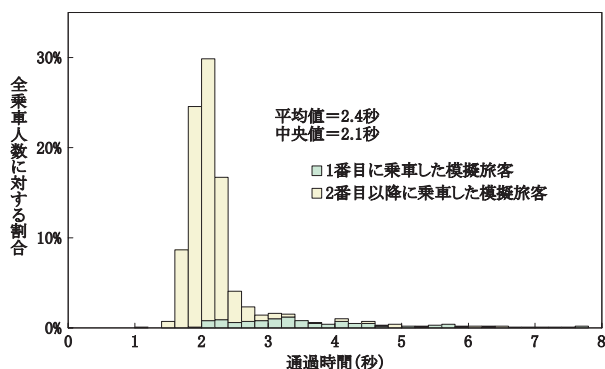


図14 乗車した模擬旅客の通過時間分布

4.5 考察

乗務員による改集札での乗降時間に関して、2000年に路面電車で実施された調査がある⁴⁾。この調査での、1人あたりの乗車時間および降車時間の平均値を表3に示す。乗車時間は朝夕ともに大きな違いはないが、降車時間は定期券利用者が多数を占める朝の時間帯が約1.9秒であるのに対し、現金利用者の比率が多い夕方では約2.8秒という結果になっている。

表3 路面電車における乗降時間の調査結果

	朝	夕
降車	1.87秒	2.76秒
乗車	1.94秒	1.78秒

このときの調査では、車両のほとんどがステップ付の路面電車のため、ノンステップが前提となる車載用の自動改札機の実験結果と単純比較はできないが、自動改札機により1人あたりの通過時間が0.5～0.6秒延びることがわかる。

乗務員による改集札を実施している列車への車載用自動改札機の導入には、旅客1人あたりの乗降時間を増大させる効果と、車両の扉を乗降の両用を使うことによる乗降時間全体の短縮効果の両面がある。片側4扉の列車で、ワンマン運転のために2箇所の扉のみを使っている場合と車掌が乗務して4箇所全ての扉を使っている場合において、自動改札機を導入することによる乗降時間の増減を試算した結果を図15に示す。この計算は以下の条件で行った。

- ・ 旅客はICカード乗車券利用者と現金利用者の2種類のみ
- ・ 改札機は運転士付近の扉以外の全ての扉に設置
- ・ 改札機のない場合、乗車する旅客、降車する旅客は、それぞれ乗車口と降車口を均等に利用
- ・ 改札機のある場合、ICカード乗車券の旅客は改札機の設置された扉のみを、現金の旅客は運転士付近の扉のみを利用
- ・ 乗降時間は上記の調査結果と実験結果をもとに、表4の通り設定

表4 各条件での1人あたりの乗降時間

	改札機なし		改札機あり	
	乗車	降車	乗車	降車
ICカード乗車券の旅客	1.8秒		2.4秒	
現金の旅客		2.8秒	1.8秒	2.8秒

図15のグラフは、改札機を導入することで乗降時間が長くなる場合を正に、短縮する場合を負として表しており、負の値となる領域には網掛けをしている。

ワンマン運転をしている車両に改札機を導入した場合、ICカード乗車券の旅客の割合が50%以上では、乗降時間が短縮する場合がほとんどであることが分かる。

車掌が乗務する車両に改札機を導入した場合、ICカード乗車券の旅客の割合が75%のとき、乗降時間が短縮する場合が多い。この割合が100%のとき、乗降時間が増加する場合が多いのは、運転士付近の扉が使われず、改札機を設置した扉の乗降人数が増大するためであるといえる。

特集：輸送情報技術

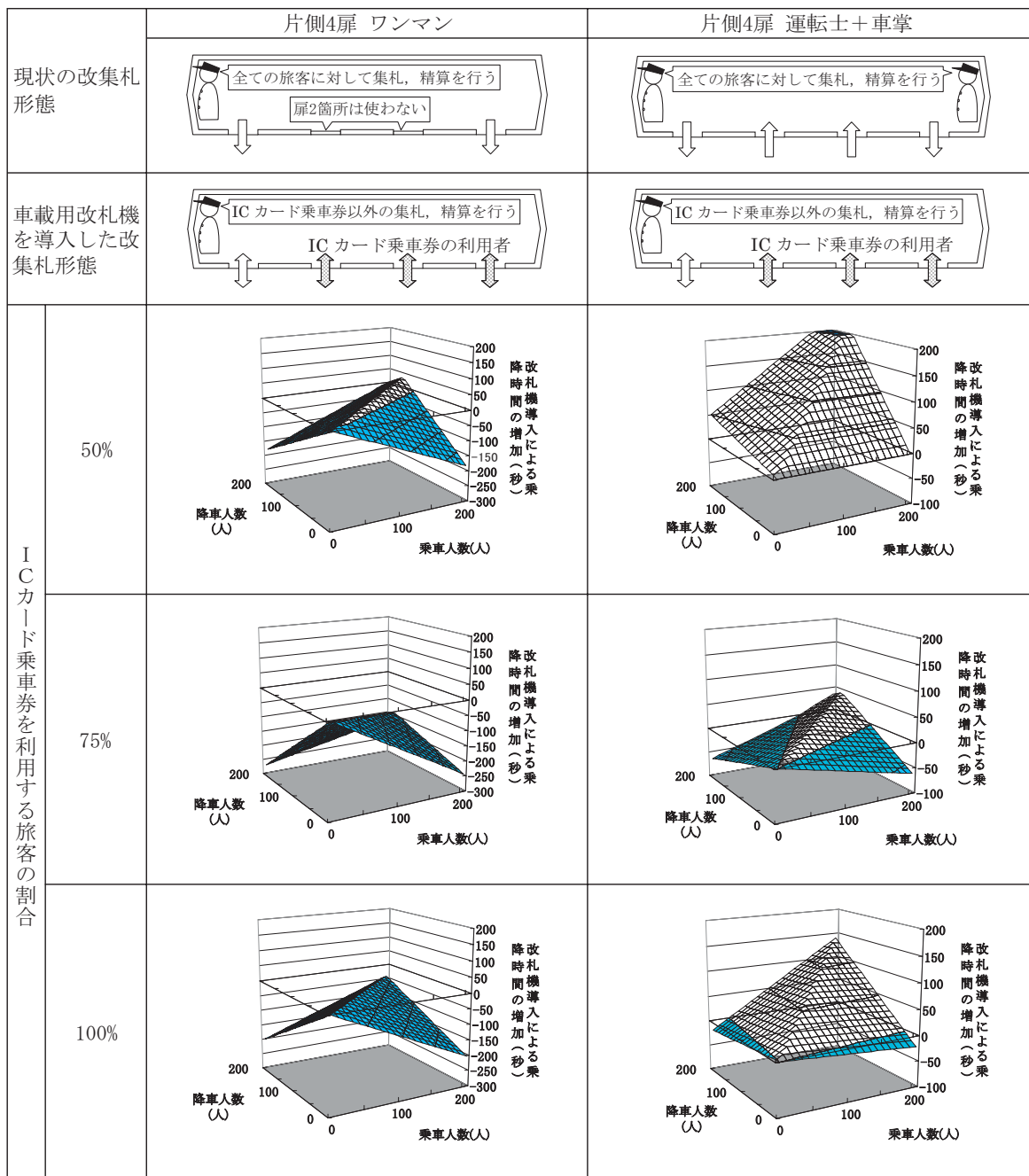


図 15 車載用自動改札機導入による乗降時間の増加

5. 結 論

扉が横開き方式の車載用自動改札機の基礎的な検討を行い、実験装置を製作して流動実験を実施した。流動実験の結果、通路幅が 550mm の車載用の自動改札機による乗降時間の増加は、乗客 1 人あたり 0.5～0.6 秒に留まることを明らかにした。乗務員による改集札を実施している列車に適用した場合の乗降時間の増減の試算では、乗降人数などの条件によっては、現状よりも乗降時間を短縮できる可能性を示した。今後は実用化に向けて、通路幅が 800mm 以上の幅広の自動改札機についても同様

の評価検討を行う必要がある。

文 献

- 1) 日本信号：自動改集札機 GX7，製品カタログ，1999
- 2) 椎橋章夫：自動改札のひみつ，成山堂書店，p.43，2003
- 3) 丸山八雄：駅機能付き車両，公開特許公報，特開平 8-332887，1996
- 4) 山本昌和，青木俊幸，大戸広道，河合邦治，薄田勝典，佐藤隆：路面電車乗降場の旅客流動に関する実態調査，日本建築学会学術講演梗概集，pp.781-782，2001