

# ホームドア導入における列車運行安定性に関する研究

## Research on train operation stability by installation of platform doors

東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 37-136982 足立 茂章

In order to improve safety, platform doors have been installed in some train and subway stations in the Tokyo metropolitan area of Japan. The number of accidents (such as passengers falling from platforms, or coming into contact with moving trains) has decreased. On the other hand, scheduled dwell times have had to be increased to allow for the extra time needed for platform doors to open and close. As such, travel times are longer after the installation of platform doors than before. However, an overall improvement in the stability of train operations has been observed during rush hour. Due to the fact that some passengers walk at the edge of platforms, it is often difficult for station staff to confirm safety along the sides of train cars. This is especially true before train departures. The installation of platform doors prevents passengers from approaching the sides of cars too closely, and obstacle sensors attached to the platform doors work to confirm safety in the direct vicinity of trains in stations. In this sense, the time and labor required for station staff to make visual safety checks is alleviated by the function of platform doors. It is therefore recognized that the installation of platform doors has a net positive effect on train transportation stability. This paper presents an analysis of the effect that installation of platform doors has on train operation stability.

### 1. はじめに

#### 1.1 研究の背景と目的

近年、日本の鉄道路線において、軌道内転落事故または列車接触事故防止のためホームドア設置の議論が高まっている。2011年には「ホームドアの整備促進等に関する検討会」が国と鉄道事業者等によって設置され、鋭意検討が進められてきた。その中で、1日利用者数が10万人以上の駅においてホームドアまたは内方線付JIS規格点状ブロックの整備を優先して実施することとされ、各社設置に向けた企業努力を向上させている。一方、列車運行面から見ると、既存路線に新たにホームドアを導入した場合、従来設定されている停車時間にホームドアの稼働時間(可動ステップ設置駅は可動ステップ稼働時間)を付加する必要があるため、各駅の停車時間は増加し、所要時間も増加する。特に朝ラッシュ時の稠密運行時においては、駅断面における先行列車との発着間隔が縮小することで、後続列車への遅延伝播リスクが高まる。しかし、ホームドアの導入に伴い、駅係員や車掌が行う列車発車時の安全確認作業がホームドア付帯の支障物センサーによって軽減されることに加え、路線によってはワンマン運転化され、安全確認時間の縮小または安定化に寄与していると考えられる。本研究においては、東京メトロ路線を対象に、ホームドアの導入及び導入に伴うワンマン運転化の安全確認時間の変化に着目し、列車運行実績データの活用及び現地調査を基に、停車時間の安定性を分析したうえで、運行安定性について評価する。

#### 1.2 既往研究と本研究の位置づけ

列車運行や列車遅延の評価に関する研究として、富井らは、列車ダイヤの頑健性の評価を行っている<sup>1)2)</sup>。岩倉らは東急田園都市線をモデルに遅延連鎖予測のためのシミュレーションを行っている<sup>3)</sup>。山村らは、遅延対策の選定フロー及び遅延対策効果の定量的評価を行っている<sup>4)5)6)</sup>。上水流らは、新幹線ホームにホームドアを導入した場合の繁忙期の旅客整列方法を提案している<sup>7)</sup>。これらの研究は、列車ダイヤの頑健性、遅延対策の評価、ホームドアの技術的視点や旅客行動変化に着目している点において価値のある研究である。これに対して、本研究では、ホームドア導入による列車運行の変化や安全確認時間に着目した点で新規性を有する。

### 2. ホームドア導入の経緯と現状

#### 2.1 ホームドアの構造と列車運行に与える影響

ホームドア導入における、事故を除いた通常運行時における列車運行面への影響については、あまり議論されることがない。既存路線にホームドアを導入した場合の列車運行に与える影響として、従来の停車時間に加えてホームドアの稼働時間(可動ステップが設置されている駅では、可動ステップの稼働時間)が必要となることが挙げられる。これは、車両側とホームドアの伝送を司る地上側設備で、定位置停止情報やドアの開閉及び可動ステップの張出格納情報を伝送する時間が必要となることによる時間増加である。

## 2.2 ホームドア導入による停車時間の変化

停車時間を付加すると、駅断面における先行列車の発車と後続列車の到着の間隔が縮まるため、特に朝ラッシュ時間帯のように稠密に運行されている場合、先行列車の停車時間超過による遅延が後続列車に伝播するリスクが高まる。まず、図1に示すように、 $a$ を01列車のB駅停車時間、 $b$ を追突防止のために信号設計上最低限確保しなければならない最小運転時隔、 $c$ を余裕時間、 $d$ を $a$ と $b$ と $c$ の合計である列車間隔、 $e$ を後続列車の駅間運転時間と定義する。01列車がB駅で40秒停車したのち発車し、その後 $b$ と $c$ の合計80秒の発着間隔を設けて03列車がB駅に到着するというダイヤがあった場合、ホームドアの稼働時間5秒を01列車の停車時間 $a$ に付加すると、停車時間は45秒に増加し、発着間隔は75秒に減少する。 $b$ は信号設備上変わらないため余裕時間 $c$ が15秒に減少する。つまり、01列車の停車時間超過による後続列車の駅間運転時間 $e$ の超過を招くリスクが高まる。

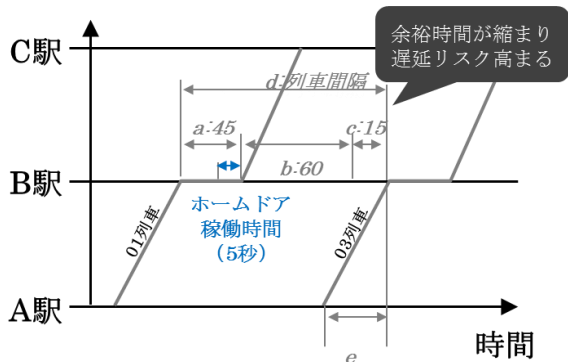


図1 ホームドア導入における発着間隔の変化

## 3. ホームドア導入における安全確認時間の変化

### 3.1 朝ラッシュ時間帯の安全確認時間

特に朝ラッシュ時間帯は、混雑等で停車時間が超過しやすい。しかし、停車時間超過の要素として、駅係員や車掌が行う安全確認時間が含まれ、この時間もホームドア導入や導入に伴うワンマン運転化による作業変化で増減していることに着目し、東京メトロ路線を対象に2012年から2013年にかけて平日朝ラッシュ時間帯7時~9時の現地実測調査を行った。「ホームドアなしツーマン運転」の半蔵門線では、混雑駅である表参道駅176列車、青山一丁目駅152列車、永田町駅157列車調査し、それぞれ平均16秒、18秒、16秒安全確認に時間を要していた。また、「ホームドアありツーマン運転」の有楽町線では、ホームドア設置により、車側付近の旅客滞留は「ホームドアなしツーマン運転」に比べると縮小され、混雑駅である護国寺駅137列車、飯田橋駅159列車、永田町駅161列車調査し、それぞれ平均13秒、13秒、15秒で

あった。そして、「ホームドアありワンマン運転」の丸ノ内線では後楽園駅128列車、御茶ノ水駅126列車、新宿三丁目駅150列車調査し、それぞれ平均9秒、10秒、9秒であった。このことから、図2に示すとおり、本来ホームドアの導入により稼働時間が必要とされるが、一方で安全確認時間については減少または安定化すると考えられる。

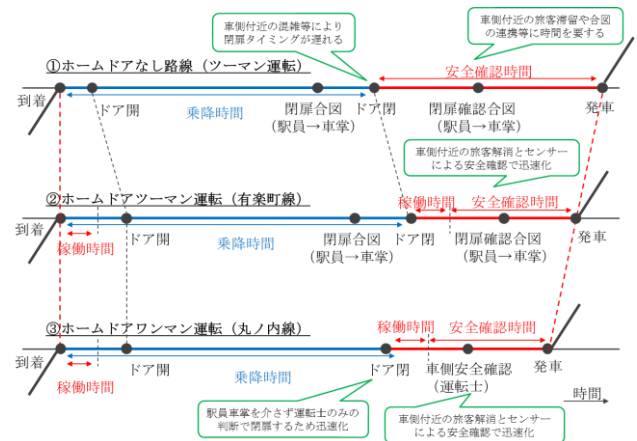


図2 各運転形態における安全確認時間の変化

### 3.2 駅の特長によるドア閉扉及び安全確認の変化

安全確認時間の変化は現地調査にて確認できたが、ドア閉扉時と安全確認時の変化について駅ごとの特徴をとらえて要因を分析する必要があるため、分析対象とする有楽町線及び丸ノ内線の各駅で現地調査を行うと共に、駅職場及び乗務職場の関係者に対しヒアリングを実施した。その結果、安全確認方法、旅客滞留の有無について4つのcaseに分類し、各運転形態別の停車時間の安定性について、表1に示す×~◎の評価を得た。

表1 駅の特徴を踏まえた停車時間の安定性分類

case	安全確認方法 (比較前)	ドア閉扉及び安全確認に 支障する旅客滞留	停車時間の安定性		
			ツーマン ホーム ドアなし	ツーマン ホーム ドアあり	ワンマン ホーム ドアあり
1	・合図連携なし	滞留なし	◎	◎	◎
2	・合図連携あり ・合図連携なく 時間要する	滞留なし	△	◎	◎
3	・合図連携なし	滞留あり	×	△	◎
4	・合図連携あり ・合図連携なく 時間要する	滞留あり	×	×	◎

case1 は、直線ホーム等で安全確認のために合図連携の必要がなく、ドア閉扉時及び安全確認に支障する旅客滞留がない駅で、ツーマン運転時にはホームドアの有無に関わらず、通常作業に支障がないという観点から停車時間の安定性は○評価、ワンマン運転化されると、運転士のための安全確認になることから◎評価であった。case2 は、ドア閉扉時及び安全確認に支障する旅客滞留はないが、ホーム形状により合図連携が必要、もしくは合図連携なく一人の駅係員が時間を要して安全確認する駅であり、ホームドアなしツーマン運転では、通常より多少安全確認時間を要することから△評価、ホームドアありツーマン運転では、安全確認範囲が縮小されることでcase1 と同様の作業負担で○評価、ワンマン運転ではcase1 と同様に◎評価となった。case3 は、ドア閉扉時及び安全確認に支障する旅客滞留があり、合図連携がない駅であり、ホームドアなしツーマン運転では安全確認時間を多く要することから×評価、ホームドアありツーマン運転では、安全確認範囲が縮小されることで△評価、ワンマン運転では、運転士のための作業により○評価であった。case4 は、ドア閉扉時及び安全確認に支障する旅客滞留があり、ホーム形状により合図連携が必要、もしくは合図連携なく一人の駅係員が時間を要して安全確認する駅であり、ツーマン運転では、ホームドアの有無に関わらず安全確認時間を多く要するため×評価、ワンマン運転ではcase3 と同様の観点から○評価であった。なお、安全確認方法については、それぞれの比較前の状況を示している。

#### 4. 分析対象諸元と停車時間の変化

##### 4.1 列車運行実績データの活用

東京メトロでは、各路線各駅の実際の列車発車時刻及び列車到着時刻の実績時刻（列車が軌道回路に踏み込む時刻または軌道回路を抜けた時刻）を列車運行実績データとして記録している。軌道回路とは、線路上を電氣的に区分したもので、レールを車輪が短絡することで、その区間に列車が在線していることを検知する仕組みのことである。本研究では、このデータを活用し分析を行う。

##### 4.2 分析対象諸元の整理

分析するにあたり、ツーマン運転時のホームドア導入前後及びホームドア導入後のワンマン運転化前後を比較する。前者として有楽町線、後者として丸ノ内線を対象にcase別の分析を行う。分析するにあたり、平日朝ラッシュ時間帯に焦点を当て、できる限り外乱の少ない6月と11月を選定し分析する。また、比較的運行が安定している時期であっても、車内急病人やドア引込まれ、駆け

込み乗車によるドア挟みなど、輸送トラブルが発生している。こういった頻繁に発生する輸送トラブルの中でも、相互直通他社線も含めた路線全体で輸送トラブルに3分を要した日は除外する。また、列車間隔が開いてしまった場合に、混雑のバランスを調整するため、先行列車を故意に停車させることがあるが、当事象もホームドアによる停車時間変化とは異なるため除外する。有楽町線については、ホームドア導入前後の2009年11月と2012年11月を比較し、丸ノ内線はワンマン運転化前後の2008年6月と2009年6月を比較する。

#### 4.3 駅の特徴別にみた停車時間の変化

各駅の旅客滞留や合図方法を整理したうえで、各駅においてcase別に分類し、有楽町線及び丸ノ内線の各運転形態別の停車時間比較を行う。なお、ホームドア導入における停車時間増分については、第3章3.1の安全確認時間調査の際に実測した、ホームドアの稼働時間で+5秒、可動ステップがあれば合計+8秒を基本とする。その結果、それぞれ表2図3及び表3図4のとおりとなった。

表2 有楽町線各駅における停車時間変化の結果

case	駅名	2009年11月 平均停車時間	2012年11月 平均停車時間	稼働時間	稼働時間を差引いた 停車時間変化
1	麴町駅	35"(5")	39"(4")	+5"	-1秒
	桜田門駅	29"(5")	37"(5")	+8"	±0秒
2	護国寺駅	42"(10")	44"(8")	+8"	-6秒
	江戸川橋駅	43"(9")	46"(8")	+8"	-5秒
	永田町駅	49"(6")	52"(6")	+8"	-5秒
4	飯田橋駅	47"(8")	51"(8")	+5"	-1秒
	市ヶ谷駅	44"(8")	48"(7")	+5"	-1秒
	有楽町駅	46"(8")	49"(7")	+5"	-2秒

※( )内は標準偏差を示す。対象列車は2009年11月が216列車、2012年11月が144列車。

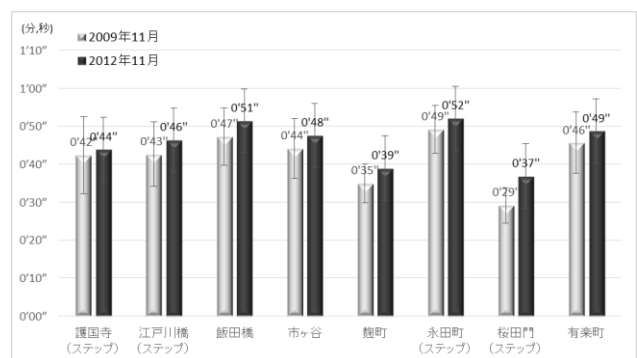


図3 有楽町線各駅における停車時間変化のグラフ

※(ステップ)は可動ステップ設置駅を示す。

表3 丸ノ内線各駅における停車時間変化の結果

case	駅名	2008年6月 平均停車時間	2009年6月 平均停車時間	停車時間変化
1	新大塚駅	35"(7")	33"(6")	-2秒
	淡路町駅	47"(6")	46"(8")	-1秒
2	後楽園駅	46"(7")	41"(7")	-5秒
	御茶ノ水駅	36"(6")	34"(8")	-2秒
3	茗荷谷駅	49"(8")	46"(8")	-3秒
4	本郷三丁目駅	45"(6")	38"(6")	-7秒

※( )内は標準偏差を示す. 対象列車は2008年6月が480列車, 2009年6月が256列車.

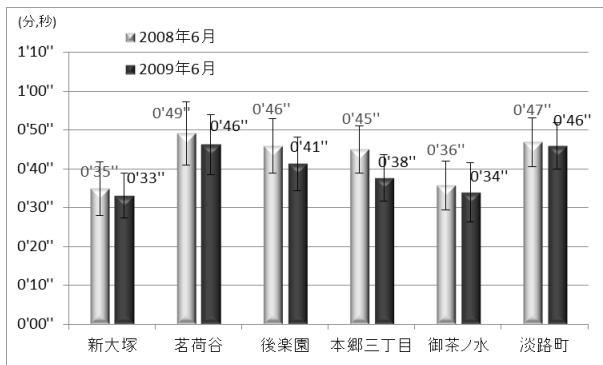


図4 丸ノ内線各駅における停車時間変化のグラフ

## 5. 列車運行安定性分析

### 5.1 有楽町線の分析

有楽町線においては, 朝ラッシュ時間帯ピーク1時間に新木場駅方面へ24列車が走行しており, 東武東上線からの直通列車の混雑率が高い状況である. そこで, 停車時間の変化の要因として, case別の駅の特徴に加えて直通を考慮した列車の種類を取り上げ, 各要因と停車時間の変化量との関係性を数量化I類の手法を用い分析を試みる. まず, 被説明変数である各駅各列車停車時間平均の変化量を $\Delta D$ とし, 説明変数をそれぞれCase2, Case4, SB(西武有楽町線直通), TB(東武東上線直通)とした.

分析モデルとして式(1)を定式化し, 表4の分析結果を得た.

$$\Delta D = \alpha + \beta_1 \text{Case2} + \beta_2 \text{Case4} + \beta_3 \text{SB} + \beta_4 \text{TB} \quad \dots \text{式(1)}$$

$\Delta D$ : 平均停車時間の変化量

$\alpha$ : 定数項

Case2: case2のダミー

Case4: case4のダミー

SB: 西武有楽町線直通ダミー

TB: 東武東上線直通ダミー

表4 有楽町線の分析結果

変数 (カテゴリー)	係数 (レンジ)	t 値	p 値
Case2	-4.54597	-5.65112	5.87E-8
Case4	-0.55458	-0.6894	0.491429
SB	-0.12801	-0.17681	0.859848
TB	-1.95295	-2.36921	0.018845

観測数: 192 (24列車×8駅) 重相関係数: 0.460069  
 $\Delta D = -0.12151 - 4.54597 \text{Case2} - 0.55458 \text{Case4} - 0.12801 \text{SB} - 1.95295 \text{TB}$

分析結果から, case2が-4.54597と最もレンジが大きく有意であり, 停車時間の縮小に影響を与えていた. 列車の種類に係る項目については, 和光市駅始発列車を基準にそのレンジを示している. 西武有楽町線直通については, レンジ-0.12801で有意ではなかったが, 混雑する東武東上線直通については, -2.36921とレンジ幅が西武有楽町線直通に比べ大きく, 有意な結果を得ることができた. このことから, ツーマン運転の条件でホームドアを導入した場合, 旅客滞留がなくても合図連携を行い安全確認に時間を要するcase2の事例で停車時間の安定性が高まると共に, 列車の種類では混雑する列車における停車時間の安定性が高まることが判明し, 旅客滞留や安全確認方法など, 条件が厳しい状況ほどホームドア導入による停車時間縮小効果が大きいことが確認された.

また, 列車運行として捉えた場合, 停車時間縮小に伴い, 第2章2.2で述べた, 後続列車の駅間運転時間増に対する遅延リスクの影響も確認する必要がある. そこで, まず, 停車時間の変化に伴う, 後続列車の駅間運転時間変化を分析する. ここで, 図5に後続列車の駅間運転時間変化のメカニズムを示す.

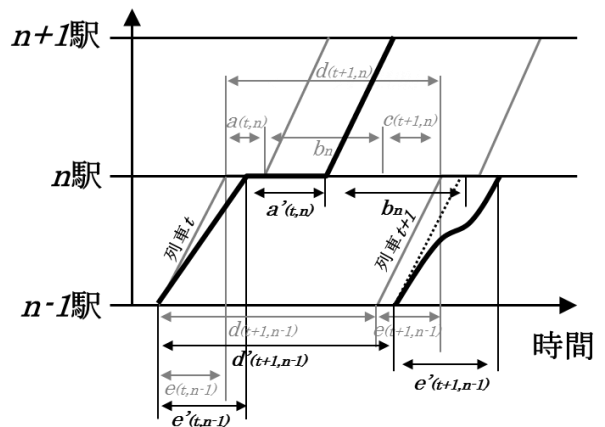


図5 後続列車の駅間運転時間変化のメカニズム

図中の  $a$  はダイヤ設定上の停車時間,  $b$  は信号設備で設計されている当該駅における先行列車に衝突しないために必要な最小の運転時隔,  $c$  はダイヤ設定上の余裕時間,  $e$  はダイヤ設定上の駅間運転時間である. また  $a' \sim e'$  はそれぞれの実績時間 ( $b$  のみ固定値のため  $b'$  は存在しない),  $n$  は駅,  $t$  は列車, 細線が計画運行, 太線が実績運行を表す.

しかし, 朝ラッシュ時間帯の実際の運行では, 列車  $t$  は駅間運転時間  $e'_{(t,n)}$  や  $n$  駅での停車時間超過  $a'_{(t,n)}$  など, ダイヤ設定上の時間を超過する場合がある. そこで,  $n-1$  駅の列車間隔  $d'_{(t+1,n-1)}$  から, 列車  $t$  の駅間運転時間の超過分である  $e'_{(t,n-1)} - e_{(t,n-1)}$  と, 列車  $t$  の  $n$  駅での停車時間  $a'_{(t,n)}$  及び  $b_n$  を引いたときに, 発着間隔に余裕時間  $c'_{(t+1,n)}$  がなければ, 後続列車は所定の駅間運転時間である黒色破線のとおり走行できず, 駅間で減速または駅間停止することとなり, 後続列車の駅間運転時間  $e'_{(t+1,n)}$  はダイヤ設定上の  $e_{(t+1,n)}$  を超過することとなる. つまりこれを式に表わすと式(2)となる.

$$c'_{(t+1,n)} = d'_{(t+1,n-1)} - \{e'_{(t,n-1)} - e_{(t,n-1)}\} - a'_{(t,n)} - b_n < 0 \quad \dots \text{式(2)}$$

また, 後続列車の駅間運転時間に影響を与えない状況とは, 余裕時間がある場合であり, これを式に表わすと式(3)となる.

$$c'_{(t+1,n)} = d'_{(t+1,n-1)} - \{e'_{(t,n-1)} - e_{(t,n-1)}\} - a'_{(t,n)} - b_n \geq 0 \quad \dots \text{式(3)}$$

駅間運転時間の実績平均及び余裕時間  $c'_{(t+1,n)}$  が確保できない駅間運転時間超過列車の割合を表 5 に示す. 駅間運転時間実績平均では, 東池袋駅～護国寺駅間及び飯田橋駅～永田町駅間で減少した. また, 余裕時間  $c'_{(t+1,n)}$  が確保できない駅間運転時間超過列車の割合は, 東池袋駅～護国寺駅間及び市ヶ谷駅～永田町駅間で減少した. 第 4 章 4.3 で安全確認時間の縮小効果を示したが, 本来ホームドア導入及び可動ステップの稼働時間が停車時間に付加されることで, 発着間隔は比較前に比べ縮まっていることから, 後続列車の駅間運転時間超過リスクは総じて高まる. しかし, 当該区間では稼働時間を含めた停車時間は増加したものの, ばらつきが安定化したことで, 駅間運転時間が改善された. このことは, 通常考えられる停車時間短縮による後続列車の駅間運転時間短縮という概念に加え, ホームドア導入における安全確認作業時間の安定化に伴う列車間隔の安定化から, 後続列車への遅延伝播事象が減少したことで, 全体の駅間運転時間縮小効果が得られたと言える.

表 5 各駅間における実績駅間運転時間平均と駅間運転時間超過列車割合

駅間	2009 年 11 月	2012 年 11 月
東池袋駅～護国寺駅間	1'44" (1'35")	1'41" (1'35")
	31.48%	30.56%
護国寺駅～江戸川橋駅間	2'05" (2'05")	2'08" (2'05")
	15.74%	27.78%
江戸川橋駅～飯田橋駅間	2'33" (2'30")	2'35" (2'30")
	10.19%	18.6%
飯田橋駅～市ヶ谷駅間	1'29" (1'35")	1'28" (1'35")
	4.63%	5.56%
市ヶ谷駅～麴町駅間	1'22" (1'25")	1'20" (1'25")
	7.41%	2.78%
麴町駅～永田町駅間	1'22" (1'20")	1'20" (1'20")
	23.15%	19.44%
永田町駅～桜田門駅間	1'25" (1'35")	1'26" (1'35")
	0%	1.39%
桜田門駅～有楽町駅間	1'27" (1'25")	1'30" (1'25")
	26.85%	29.86%

※上段は実績運転時間を表し, ( )内は所定駅間運転時間を表す. 下段%は余裕時間  $c'_{(t+1,n)}$  が確保できない駅間運転時間超過列車の割合を表す.

## 5.2 丸ノ内線の分析

丸ノ内線においては, 朝ラッシュ時間帯ピーク 1 時間に荻窪駅方面へ 32 列車が走行している. 直通運転は行っておらず, ピーク時間中程にかけて混雑率が上昇する傾向にある. この状況を踏まえ, 被説明変数は各列車の平均停車時間の変化量を  $\Delta D$  とし, 説明変数をそれぞれ  $Case2$ ,  $Case3$ ,  $Case4$ , 池袋駅発車時刻別に  $T_{10-20}$  (8:10～8:20 発車),  $T_{20-30}$  (8:20～8:30 発車),  $T_{30-40}$  (8:30～8:40 発車),  $T_{40-50}$  (8:40～8:50 発車),  $T_{50-00}$  (8:50～9:00 発車) とした. 分析モデルとして式(4)を定式化し, 表 6 の分析結果を得た.

$$\Delta D = \alpha + \beta_1 Case2 + \beta_2 Case3 + \beta_3 Case4 + \beta_4 T_{10-20} + \beta_5 T_{20-30} + \beta_6 T_{30-40} + \beta_7 T_{40-50} + \beta_8 T_{50-00} \quad \dots \text{式(4)}$$

$\Delta D$ : 平均停車時間の変化量  $\alpha$ : 定数項

$Case2$ : case2 のダミー  $Case3$ : case3 のダミー

$Case4$ : case4 のダミー  $T_{10-20}$ : 8:10～8:20 発車ダミー

$T_{20-30}$ : 8:20～8:30 発車ダミー

$T_{30-40}$ : 8:30～8:40 発車ダミー

$T_{40-50}$ : 8:40～8:50 発車ダミー

$T_{50-00}$ : 8:50～9:00 発車ダミー

表 6 丸ノ内線の分析結果

変数 (カテゴリー)	係数 (レンジ)	t 値	p 値
Case2	-1.72106	-3.2753	0.001262
Case3	-1.47444	-2.29107	0.023099
Case4	-5.93363	-9.21999	7.13E-17
$T_{10-20}$	-0.74636	-1.01571	0.311108
$T_{20-30}$	-1.52371	-2.1748	0.030918
$T_{30-40}$	0.463598	0.630902	0.528892
$T_{40-50}$	1.286733	1.751092	0.081606
$T_{50-00}$	0.314233	0.427634	0.66942

観測数：192 (32 列車×6 駅) 重相関係数：0.601378

$$AD = -1.37325 - 1.72106 \text{Case}2 - 1.47444 \text{Case}3 - 5.93363 \text{Case}4 - 0.74636 T_{10-20} - 1.52371 T_{20-30} + 0.463598 T_{30-40} + 1.286733 T_{40-50} + 0.314233 T_{50-00}$$

分析結果から、case 別カテゴリーにおいては全て有意な結果となり、case3 が-1.47444、case2 が-1.72106、case4 が-5.93363 の順でレンジ幅が大きくなった。つまり、旅客滞留や合図連携による安全確認作業が軽減されたことが大きな効果を得た結果となった。また、時間帯別カテゴリーは、8:00~8:10 の時間帯を基準としたレンジを示しており、8:20~8:30 の時間帯について、レンジが-1.52371 と最も大きく有意な結果を得ることができた。また、駅間運転時間の実績平均及び余裕時間  $c'_{(t+L,n)}$  が確保できない駅間運転時間超過列車の割合を表 7 に示す。

表 7 各駅間における実績駅間運転時間平均と駅間運転時間超過列車割合

駅間	2008 年 6 月	2009 年 6 月
池袋駅~新大塚駅間	3'24" (2'35")	3'17" (2'35")
	71.04%	70.70%
新大塚駅~茗荷谷駅間	2'05" (1'35")	1'49" (1'35")
	78.96%	62.50%
茗荷谷駅~後楽園駅間	2'22" (2'15")	2'14" (2'15")
	36.86%	18.75%
後楽園駅~本郷三丁目駅間	1'32" (1'25")	1'26" (1'25")
	55.00%	28.52%
本郷三丁目駅~御茶ノ水駅間	1'19" (1'25")	1'20" (1'25")
	2.29%	6.64%
御茶ノ水駅~淡路町駅間	1'29" (1'25")	1'31" (1'25")
	60.00%	60.55%

※上段は実績運転時間を表し、( )内は所定駅間運転時間を表す。下段%は余裕時間  $c'_{(t+L,n)}$  が確保できない駅間運転時間超過列車の割合を表す。

駅間運転時間実績平均では、特に停車時間短縮効果が見られた茗荷谷駅から本郷三丁目駅にかけての駅間運転時間縮小が大きく表れた。また、余裕時間  $c'_{(t+L,n)}$  が確保できない駅間運転時間超過列車の割合は、駅間運転時間実績平均の改善が見られた池袋駅~本郷三丁目駅間で改善された。このことは、有楽町線の分析結果に加え、ワンマン運転化されることで、安全確認作業時間がさらに安定化され、駅間運転時間縮小効果が得られたと言える。

## 6. 結論と今後の展望

本研究では、ホームドアを導入した場合及び導入に伴うワンマン運転化による朝ラッシュ時の列車運行安定性について、安全確認時間や旅客滞留状況に着目することで、一定の運行安定性向上を確認することができた。今後、新たにホームドアを導入する路線に対して分析を行う場合、列車ごとの詳細な混雑・滞留状況の把握と、ホーム上の詳細な旅客流動の変化も考慮したうえで、列車運行状況も踏まえたいと分析されることが望ましい。

## 謝辞

データ提供及びヒアリングにご協力いただいた東京メトロ関係者の皆様に、深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 武内陽子, 富井規雄, 鉄道の計画ダイヤの頑健性評価, J-Rail, 2003 講演論文集, pp.415-418, 2003.
- 2) 稲川真範, 富井規雄, 牛田貢平, 列車運行実績データの可視化, J-Rail, 2009 講演論文集, pp.745-748, 2009.
- 3) 岩倉成志, 日比野直彦, 仮屋崎圭司, 福田大輔, 森地茂, 河村孝太郎, 角田隆太, 富田拓未, 都市鉄道の列車遅延対策の定量的評価, 土木計画学研究講演集, Vol.50, No.62, 2014.
- 4) 山村明義, 牛田貢平, 足立茂章, 富井規雄, 首都圏稠密運輸路線における遅延改善策の検証, J-Rail, 2012 講演論文集, pp.381-384, 2012.
- 5) A. Yamamura, M. Koresawa, S. Adachi, N. Tomii: How we have succeeded in regaining Punctuality on the Tokyo metropolitan Railway Network, WCRR2013-World Congress on Railway Research, Sydney, Australia, 2013.
- 6) 山村明義, 列車運行実績データを活用した稠密運輸路線における遅延改善アプローチとその効果, 土木学会論文集 D3 (土木計画学) Vol.70, No.1, pp.44-55, 2014.
- 7) 上水流友望, 富井規雄, マルチエージェントモデルによるホームドアのある新幹線駅ホーム上の旅客流動シミュレーション, 電気学会交通・電気鉄道研究会資料, TER-13, pp.39-44, 2013.