

乗降位置可変型ホーム柵の扉位置決定方法

古賀 誉章* 小崎 美希 須田 義大 李 東起 安斉 瑞穂 (東京大学)
 福本 陽三 築城 彰良 野村 茂由 (神戸製鋼所)

A Study on Algorithm of Decision about Door Position of Adjustable Automatic Platform Gate
 Takaaki Koga*, Miki Kozaki, Yoshihiro Suda, Lee Donggi, Mizuho Anzai, (The Univ. of Tokyo)
 Yozo Fukumoto, Akira Tsuiki, Shigeyoshi Nomura, (Kobe Steel, Ltd.)

This research suggests a new method of automatic platform gate that has adjustability to any arrangement of passenger's door. This paper focuses on the process of deriving the number of platform gate unit necessary and its waiting position. This process is tested with a common case of platform used for three kinds of train, a 4-cars train which consists of 4-doors car in 20m-length, a 3-cars train which consists of 3-doors car in 20m-length, and a 3-cars train which consists of 3-doors car in 18m-length. And it is proved that this unit can be placed without any problem.

キーワード：乗降位置可変型ホーム柵，ホームドア，可動式ホーム柵，アルゴリズム
 (Adjustable Flexible Platform Gate, Platform Screen Door, Automatic Platform Gate, Algorithm)

1. はじめに

〈1・1〉 研究の背景 1981 年の神戸ポートライナー以降，日本の鉄道や新交通システムの駅のホームには，ホームドアや可動式ホーム柵など（以下「ホームドア等」）が設置されるようになってきた。ホームドア等は旅客の安全確保・交通バリアフリー政策などに対応するものであり，定時運行や省力化にも貢献することから，徐々に導入が進んでおり，今後も大都市圏を中心に普及していくものと考えられる。

ところが，現在のホームドア等は開口部が固定されているのに対して，既設路線では種別・用途や車両形式によって，車両長，扉の数・広さ・位置などの異なる多種多様な車両が走る線区も多い。したがって既設路線にホームドア等を導入する場合には，車両側の扉位置の統一や定位置停止装置導入のために，車両の改修・転籍・更新などの調整が必要になり，多大な費用がかかることとなる。その上，ホームドア等の導入によって列車種別に応じた車両の使い分けや行き先別の停止位置の微調整などの様々なサービスが提供できなくなってしまう。このように開口部が固定されていることが，ホームドア等の既設路線への普及の大きな妨げになっている。

〈1・2〉 本研究の目的 鉄道システムとしては，ホームドア等によって今まで以上の安全・安心を提供するのと同時に，現在実現している多様な車両による目的に応じた運行形態を継続し，さらに将来の新しい車両・運行形態への自由度を確保しておくことが望ましい。そのためには，“乗降位

表 1 乗降位置可変型ホームドア等導入の利点

◆様々な車両の運行が可能	
・車両長の違い	(20m・18m等)
・列車の車両数の違い	(8両・10両・11両・15両等)
・扉数・扉幅の違い	(3扉・4扉・ワイドドア等)
・扉位置ずれの違い	(中間運転台等)
◆多様なサービスが継続できる	
・車両・編成の使い分け	
・停止位置の微調整	(行先別・種別別・始発用等)
◆合理的で柔軟な運行形態を維持	
・定位置停止装置の導入が不要	
・既存車両の継続使用	
・過走による遅延防止に対応	

置がある程度自由に可変できる” ホームドア等が必要である。これらは同時に停車位置のずれなどにも対応可能であり，定位置停止装置導入が不要になる上に，過走による遅延等を防ぐことができるのも大きな利点となる（表 1）。そこで本研究では，新方式である乗降位置可変型のホームドア等の実現への有効な方策を検討・提案するものである。

〈1・3〉 提案する乗降位置可変型ホーム柵の概要

既報⁽¹⁾⁽²⁾に報告したように筆者らが提案する乗降位置可変型ホームドア等は，例えば，三角形に近い断面をした戸袋体の両側から同じ断面の扉体が各 1 枚出入りするユニット（図 1）が，ホーム端上のレールに添って連なり，個別に移動できる機構を備えているような可動式ホーム柵である。こ

のホーム柵は大きく3つの特徴を有している。ひとつは、扉体だけでなく戸袋体も個別に移動できることである。ホームにやってくる列車に応じて戸袋体が移動し、乗降口を設定する(図2)。適切な寸法を検討することで、比較的まとまった大きさのほぼ単一ユニットの繰り返しで全体を構成できることが確認されている。非常時には、戸袋体の固定を解除することによって、容易に手で動かすことが可能となる。二つ目の特徴は、三角形に近い断面を持つ可動式ホーム柵という点である(図3)。これにより構造力学的な合理性を考慮し、かつホーム柵と列車の間の余りをなくすことで取り残しセンサーの一部省略を可能にしている。そして三つ目には、次の列車の扉位置に合わせて、あらかじめゆっくりと低速度で戸袋体を移動させる制御である。これによって乗客のホーム柵移動に対するストレスと移動による時間のロスを最小限に抑えることが可能となる。移動速度は40~80mm/sに適値がある可能性を実験によって明らかにしている。

〈1・4〉 本報の目的 これまでに提案されている他の乗降位置可変型のホームドア等は、部分的な動作機構や特定の車両パターンのみに限定され、最大でも車両一両単位での検討であった。それに対して、提案のホーム柵は一両の車長が異なるような列車にも対応するために、必然的に列車長全体を考慮して配置・動作を検討している。この点が、前記の3つに加えて本ホーム柵の大きな特徴である。そこで本報では、このホーム柵のユニットの数や配置を決定する方法について、自動化・一般化を念頭に置いて検討した結果を報告するものである。

2. ホーム柵ユニットの数・配置の決定方法の概要

方法の全体は3つのステップからなる。ここでは、ホーム柵新設時の検討について、決定の手順を説明する。既に導入済みのホームにおいて新たな列車に対応可能かについても、この手順を応用することで確認が可能である。

〈2・1〉 ステップ1・ユニット数の決定 各列車とも、先頭に一番近いドアの先頭側である「前端部位」、ドアとドアの間に挟まれた複数の「中間部位」、最後のドアのすぐ後ろの「後端部位」の3つに分けて検討する。

まず各中間部位に配置可能なユニットの最小数・最大数を求める。最小数は、ユニットが扉を完全に出した状態で前後列車ドアの中心の間を閉鎖できる最小の数、最大数はユニットが扉を格納した状態で前後ドアに掛からずに配置できる最大の数、から以下のように計算される。

$$\frac{li(j)+a}{a+2b} \leq Ni(j) \leq \frac{li(j)-(di(j)+di(j+1))/2-a}{a} \dots\dots(1)$$

i : 列車番号, j : 列車ドア番号
 a : ユニット戸袋体幅, b : ユニット扉体幅, a : 余裕
 $li(j)$: j 番目と $j+1$ 番目の列車ドアの中心間の距離
 $di(j)$: j 番目の列車ドアの開口幅
 $Ni(j)$: j 番目と $j+1$ 番目のドア間の中間部位に入るユニット数(整数)

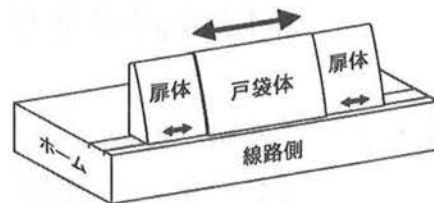
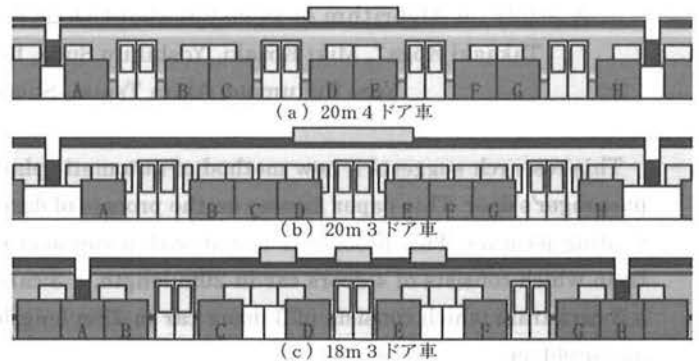
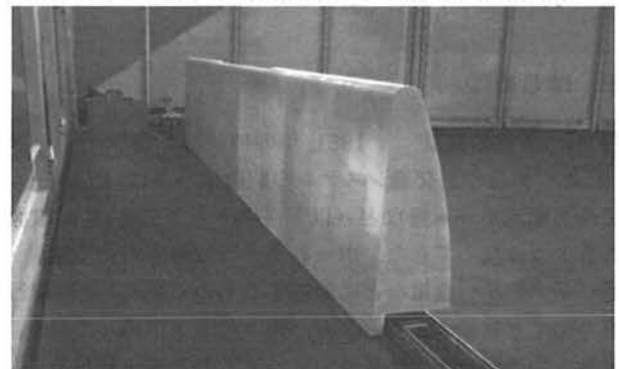


図1 乗降位置可変型ホーム柵の基本ユニット (例)



※ やってくる列車に応じて、A・B等の戸袋体が移動をする

図2 乗降位置可変型ホーム柵の基本的な構成と動き方 (例)



※脚部のレールは実際にはホームに埋め込まれる

図3 乗降位置可変型ホーム柵のモックアップ

続いて、前端部位・後端部位についても、必要なユニットの最小数・最大数を求める。ここで、前端部位・後端部位に使用する乗務員室扉がある場合には、戸袋体を乗務員室扉の前から動かして乗降を可能にする場合もある(図4)。その場合は、戸袋体が動いた位置までを前端部位・後端部位と見なし、それだけホーム長に余裕があることが必要となる。

また、列車長が異なる場合には、最長列車は停まるが短い列車は停車しない部位(以下「空白部位」)がある。その部分もユニットを並べて閉鎖しないとイケない。そこで、そのために必要なユニットの最小数・最大数も同様に算出する。

$$\frac{lis+a}{a+2b} \leq Nis \leq \frac{lis-a}{a} \dots\dots(2)$$

i : 列車番号, a : 余裕
 a : ユニット戸袋体幅, b : ユニット扉体幅
 lis : 最長列車に対する列車 i の空白部位の長さ
 Nis : 空白部位に入るユニット数(整数)

これら列車ごとの各中間部位、前端部位・後端部位、空白部位の最小数・最大数をそれぞれ合計したものが、その列車

が必要なユニット数の最小数・最大数となる。そして全ての列車の最小数・最大数の間にある数が、このホームに必要なユニット数である。算出された数が複数存在する場合には、経済性を考慮してそのうち最小のものを選択するか、一般的な鉄道の場合なら 20m 4 ドア車が最長列車として停車するのに必要な「両数×8 個」を選択する。

〈2・2〉 ステップ2・ユニット配置の決定 ホーム上に配置するユニット数が決まったら、次は各列車の各部位にいくつのユニットを配置していくかを決定する。列車間でのユニットの移動距離をいらずに延ばさないために、平均的に配置することを考える。そのためにまず、空白部位とそれ以外を長さで比例配分する。ただし、比例配分ではバランスが悪い場合は、±2 個程度を空白部位とやりとりすることも考えられる。前端部位・後端部位・各中間部位は、各最小数を配置した上で、残り寸法の大きな部位の順にユニットを追加していく。その際乗務員室扉を使用する場合は、乗務員室扉寸法を残り寸法から引いた値で比較する。

各部位の配置個数が決まったら、各ユニットの待機位置を決定する。位置は各列車の先頭からの距離座標で表現する。列車ドアの前をできる限り大きく開口することが基本的な考え方である。これは、ステップ3でホーム形状等による微修正の幅を確保するためと、実用時に列車の停止位置の誤差を吸収しやすくするためである。

ここまでは、列車ドアの中心に左右ユニットの扉体の召し合わせ部分が来ることを原則としてきたが、場合によっては上記の寸法的な余裕を均等にするために、召し合わせ位置をドア中心からずらすことを検討することもある。

〈2・3〉 ステップ3・ホーム上の位置の決定 最後に、各列車のホーム上の目標停止位置にしたがって、各ユニットの待機位置をホーム上に落とし込む。同時に線路の曲率やカントの状況によって待機座標を修正し、待機位置の分布や動作範囲などから物理的・機械的に成り立つ配置を確認する。

各列車の目標停止位置は、改札や階段などの位置によって予め決められていてもよいし、仮に決めた複数の位置について検討して最も適当なものを選ぶことも可能である。例えば移動時間最小（ユニット移動量の最大値の最小化）、移動エネルギー最小（全移動量最小化）などの選択肢が考えられる。

さらに、最長列車の前後にあるホーム前後端部位の閉鎖の仕方についても決定する。定位置停止装置が装備されていれば単なる固定柵でよい。過走や手前での停車に対応する場合は、本可動柵を追加して並べても、例えば蛇腹状に伸び縮みする常閉の可動柵を設置してもよいが、過走等への対応限界距離を把握しておくことが必要である。

もし適当な結果とならない場合は、ステップ2で決めた配分の個数や待機位置について別案を選択して、上記確認を繰り返すことが必要となる。

3. 検討例

例として、以下の条件でのユニット配置の検討を試行し、

概ね問題のない結果を得られたことを示す。

- ・列車：[列車1] 20m4 ドア車×4 両
[列車2] 20m3 ドア車×3 両
[列車3] 18m3 ドア車×3 両 の3種類
- ・ホーム：長さ 90mの直線状
- ・その他：運転士・車掌とも乗降の可能性あり
過走・手前での停車への対応はしない
その他は表2参照

〈3・1〉 ステップ1・ユニット数の決定 [列車1]は、全中間部位で最小・最大数とも2個となり、前端部位・後端部位とも1個、空白部位は最長列車ゆえ0個となる。よって、必要ユニット数は32個の1通りである。[列車2]は、各部位とも数に幅があり、合計すると25個～44個となる。[列車3]も同様に、26個～44個となる。したがって、3列車に共通するのは32個の1通りだけであり、ユニット数は32個と決定されることとなる（表2）。

〈3・2〉 ステップ2・ユニット配置の決定 [列車1]では1通りしかないので、配置は自動的に決定する。

[列車2]は、空白部位 22.80m は全長からの割合ではユニット 8.9 個にあたるが、20m 車 1 両 8 個の原則にしたがい少数以下切り捨てして8個が配分され、残りの24個で3両をカバーする。最小数の18個を引いた残り6個を均等に配分する。まず、残り寸法の大きい連結部の3・6番の中間部位（ $=2900\text{mm}=7100-650\times2-100-1400\times2$ ）に1つずつ追加する。次に残り寸法の大きい中間部位 1・2・4・5・7・8 番（ $=2250\text{mm}=6450-650\times2-100-1400\times2$ ）のうち4ヶ所にユニットを追加するが、長さあたりのユニット数が平均化するように考慮し 1・4・5・8 番に追加する（表2）。

[列車3]は、空白部位は 26.17m と少し長くなり、10個の配分を受ける。残り22個のうち、最小数合計18個を引いた4個を配分する。まず、残り寸法の大きい連結部の中間部位 3・6 番（ $=1940\text{mm}=6140-650\times2-100-1400\times2$ ）に1つずつ追加する。残りを同寸法の中間部位 1・2・4・5・7・8 番の中から、配置のバランスを考えて 1・8 番に追加する。

次にユニットの配分にしたがって、各ユニットの待機位置を割り出す。[列車1]はドア間の距離が狭く、ドア前の扉体を全部出し切ること（＝余裕片側 450mm を取る）ことは、両端部・連結部以外はできないが、2m 開口に相当する余裕片側 350mm はほぼ確保できている。[列車2]では、全て

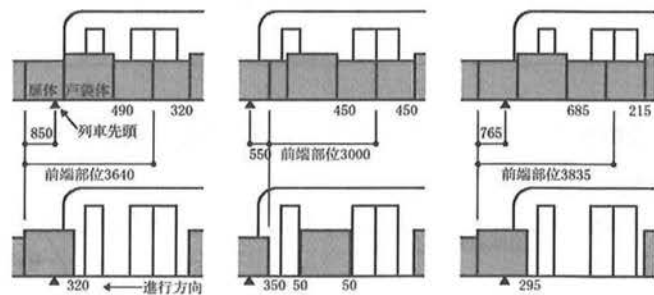


図4 乗務員室扉による前端部位の扱い

のドアで±450mmの余裕が取れている。[列車3]では、一部余裕寸法 215mm と少ないものがあるが実用上は問題ない。

なお、[列車1][列車3]では、乗務員扉を使用する場合には、戸袋体が列車端部より外側に850・765mmはみ出すので(図4)、ここまでが前端部位となる。反対に[列車2]では、列車端部より550mmは入り込んだところまで本ホーム柵があればよい。

〈3・3〉ステップ3・ホーム上の位置の決定 各列車の目標停止位置については、最長である[列車1]はホーム前部から5mの位置に設定し、[列車2]・[列車3]はそこから10m後ろに下がった位置とした(図5)。この条件にしたがって空白部位を列車の前部と後部の2つにわけ、寸法に応じてユニットの個数を配分する。

ちなみに、本例では、最も移動範囲の大きなユニットで2480mmであった。また、全体の移動総量は、[列車1]←→[列車2]で26660mm、[列車1]←→[列車3]で20250mm、[列車2]←→[列車3]で28520mmとなった。これらは決められた目標停止位置に対しての値であり、上記数値を最適化する目標停止位置は別に存在している。

4. まとめ

本研究では新方式の乗降位置可変型ホーム柵を提案しており、特に本報では、その柵ユニットの配置個数と待機位置を決定するプロセスについて検討した。簡単な事例で試行して、結果大きな問題もなく、ホーム柵のユニットを配置できることを示した。

今後は、ホーム柵としては実用化に向けた試作機の設計を進めていく。またユニットの配置方法については、今回現れなかった課題を発見して解決するとともに、自動化に向けて検討を重ねていきたいと考えている。

文 献

- (1) 古賀善章・李東起・小崎美希・安斉瑞徳・須田義大・福本陽三・築城彰良・野村茂由：「新方式ホーム柵に対するホーム乗客の受容性に関する評価実験」，第16回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集(J-RAIL2009) pp.429-432 (2009)
- (2) 古賀善章・須田義大：「新方式可動式ホーム柵の提案とその評価、可能性」，鉄道車両と技術，No.160 pp.2-6 (2010)

表2 ユニット配置の検討例 ステップ1・2

[列車1] 20m4ドア車×4両		前部	中間部															後部	空白	合計
部位		部位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	部位	部位	
ステップ1	各部位の長さ(mm)	3640	4820	4820	4820	5520	4820	4820	4820	5540	4820	4820	4820	5520	4820	4820	4820	3640	0	81700
	各部位に入るユニットの最小値	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0	32
	最大値	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0	32
ステップ2	各部位に配分されるユニット数	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0	32
	ユニットの中心の位置座標(mm)	(-150)	4460	9320	14140	19050	24480	29300	34120	39030	44480	49300	54120	59030	64460	69280	74100	79050		
	(列車先頭を0とする)	950	5900	10720	15540	20970	25880	30700	35520	40970	45880	50700	55520	60950	65860	70680	75540	(90150)		
	開口部余裕(前側)		320	360	360	450	360	360	360	450	360	360	360	450	360	360	360	490		
	(mm)		490	360	360	360	450	360	360	360	450	360	360	450	360	360	360	320		
	(後側)																			

[列車2] 20m3ドア車×3両		前部	中間部								後部	空白	合計
部位		部位	1	2	3	4	5	6	7	8	部位	部位	
ステップ1	各部位の長さ(mm)	3000	6450	6450	7100	6450	6450	7100	6450	6450	3000	22800	81700
	各部位に入るユニットの最小値	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	7	25
	最大値	1	3	3	4	3	3	4	3	3	1	16	44
ステップ2	各部位に配分されるユニット数	1	3	2	3	3	3	3	2	3	1	8	32
	ユニットの中心の位置座標(mm)		5350	11800	18250	25350	31800	38250	45350	51800	58250		
	(列車先頭を0とする)	(2150)	6775	12000	20000	26775	33225	40000	46775	53225	(57850)		
	開口部余裕(前側)		450	450	450	450	450	450	450	450	450		
	(mm)		450	450	450	450	450	450	450	450	450		
	(後側)												

[列車3] 18m3ドア車×3両		前部	中間部								後部	空白	合計
部位		部位	1	2	3	4	5	6	7	8	部位	部位	
ステップ1	各部位の長さ(mm)	3835	5930	5930	6140	5930	5930	6140	5930	5930	3835	26170	81700
	各部位に入るユニットの最小値	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	8	26
	最大値	1	3	3	3	3	3	3	3	3	1	18	44
ステップ2	各部位に配分されるユニット数	1	3	2	3	2	2	3	2	3	1	10	32
	ユニットの中心の位置座標(mm)		4635	10800	16600	22870	28800	34600	40870	46565	52965		
	(列車先頭を0とする)	(-65)	6035	12000	18000	24000	30000	36000	42000	47965	(54065)		
	開口部余裕(前側)		215	450	320	450	450	320	450	215	685		
	(mm)		685	215	450	320	450	450	320	450	215		
	(後側)												

与 条 件	戸袋体長さa(mm)=	1400
	扉体長さb(mm)=	1100
	余裕a(mm)=	100
	最長列車長(mm)=	80000
	最長ホーム柵長(mm)=	81700 (90150)
		列車ドア幅(mm)= 1300

必要ユニット数の最小値	32
最大値	32
必要ユニット数の決定	32

ステップ1：各列車の必要ユニット数の最小値と最大値から、必要ユニット数を導く
ステップ2：必要ユニット数に応じて各部位にユニットを配分し、各ユニットの位置を決める

※網かけ部：それぞれ列車端部からは2790・3550・3070の位置にあるのを図4にしたがってホーム柵長で表した数字

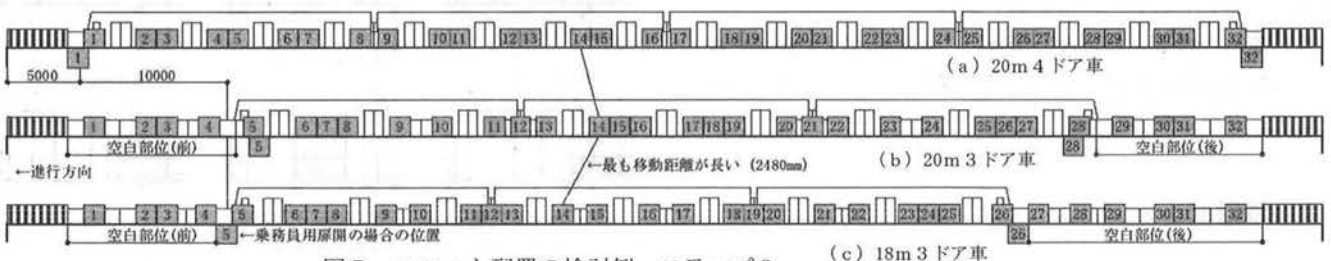


図5 ユニット配置の検討例 ステップ3