

◆ 報文 ◆

無人非制御方式による料金所ゲートでの車両の走行特性に関する実験

常田賢一* 池野秀一**

はじめに

現在、日本の有料道路では現金、ハイウェイカード等を媒介にして有人で料金徴収が行われているが、料金所が交通のボトルネックの一つとなっている。このため、料金所での渋滞解消、利用者サービスの向上および管理コストの節減を目的として、料金所ゲートのアンテナと通行車両の車載器間の無線通信により車両を停止させないで料金収受を行う自動料金収受システム (Electronic Toll Collection System; 以下「ETC」という) の研究開発が進められている。

現在、2000年春のETCのサービス開始に向けて準備が進められているが、当面実用化を図るのはゲートに発進制御機を設置した「無人制御方式」¹⁾である。一方、シンガポールのように料金所ブースの無い「フリーフロー方式」の導入を図っている事例²⁾もあり、今後のETCの展開過程を鑑みると、発進制御機を設置しない「無人非制御方式」¹⁾の基礎的検討が必要である。

このため、土木研究所では構内の試験走行路において、無人非制御方式におけるゲートでの車両の通行特性に関する走行実験を実施している。ゲートでの通過速度を指定した「速度指定型走行実験」(以下、既往実験と呼ぶ)は既に報告¹⁾済みであるが、本文ではゲートを運転者が任意の速度で通行する「速度フリー型走行実験」および既往実験¹⁾も踏まえた考察の結果を報告する。

1. 実験方法

速度フリー型走行実験ではETC車用ゲートの通行処理能力に関する実験(実験1)およびゲートの適正な車線幅員に関する実験(実験2)を実施した。なお、既往実験¹⁾では普通乗用車(以下、乗用車と呼ぶ)と大型貨物車(以下、大型車と呼ぶ)の混在走行の実験であったが、本実験では乗用車

のみの乗用車走行、大型車のみの大型車走行および混在走行の3形態とした。

1.1 平均車頭時間に関する実験(実験1)

図-1は試験走行路上に設置した模擬的な料金所およびゲートの平面図を示すが、実験1ではG1ゲート(車線幅員3.0m)を使用した。表-1に実験条件を示すが、任意速度で通過させる無人非制御方式および比較のためゲートで一旦停止させる有人制御方式、10km/hおよび20km/hの指定速度で通過させる無人制御方式の3つの制御方法を設定した。なお、有人制御方式では既往実験¹⁾と同様

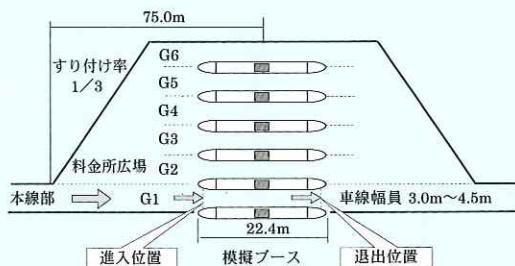


図-1 模擬料金所の平面図

表-1 実験1の実験条件

実験No.	ゲート制御方式	ゲート車線幅員(m)	走行形態	走行車両数(台)	
				乗用車	大型車
実験1-1-1	有人制御方式	3.0	乗用車	20	-
実験1-1-2	有人制御方式	3.0	大型車	-	20
実験1-1-3	有人制御方式	3.0	混在	20	20
実験1-2-1	無人制御方式(10km/h)	3.0	乗用車	20	-
実験1-2-2	無人制御方式(10km/h)	3.0	大型車	-	20
実験1-2-3	無人制御方式(10km/h)	3.0	混在	20	20
実験1-3-1	無人制御方式(20km/h)	3.0	乗用車	20	-
実験1-3-2	無人制御方式(20km/h)	3.0	大型車	-	20
実験1-3-3	無人制御方式(20km/h)	3.0	混在	20	20
実験1-4-1	無人非制御方式	3.0	乗用車	20	-
実験1-4-2	無人非制御方式	3.0	大型車	-	20
実験1-4-3	無人非制御方式	3.0	混在	20	20

にゲート内において車両を 16 秒間停止させて模擬的な現金支払い動作をした。

乗用車走行および大型車走行では各 20 台、乗用車と大型車を交互に編成した混在走行では 40 台が、速度 80km/h、車間距離 80m で 1 列に追従走行した状態で料金所広場に進入し G1 ゲートを通過した。実験条件毎に無人制御方式で 2 回ずつ、その他で 1 回の走行とした。車両の走行挙動を把握するため、ゲートの進入位置と退出位置の 2 箇所において、通過速度および前車と後車の時刻差から車頭時間(両車両の通過時刻の間隔)を算定したが、2 箇所の計測結果は類似しているので、本文ではゲートの通過速度は進入位置、車頭時間は退出位置での結果とした。

1.2 車線幅の影響に関する実験(実験 2)

本実験では実験 1 と同様に図-1 の G1 ゲートを使用し、各車 2 回ずつ走行させた。表-2 に実験条件を示すが、ゲートの車線幅員は 3.0m, 3.5m, 4.0m および 4.5m の 4 種類とした。

表-2 実験 2 の実験条件

実験 No.	ゲート車線幅員(m)	走行形態	走行車両数(台)	
			乗用車	大型車
実験 2-1-1	3.0	乗用車	20	—
実験 2-1-2	3.0	大型車	—	20
実験 2-1-3	3.0	混在	20	20
実験 2-2-1	3.5	乗用車	20	—
実験 2-2-2	3.5	大型車	—	20
実験 2-2-3	3.5	混在	20	20
実験 2-3-1	4.0	乗用車	20	—
実験 2-3-2	4.0	大型車	—	20
実験 2-3-3	4.0	混在	20	20
実験 2-4-1	4.5	乗用車	20	—
実験 2-4-2	4.5	大型車	—	20
実験 2-4-3	4.5	混在	20	20

使用した車両、走行方法および計測方法は実験 1 と同様であるが、各走行終了直後に運転者に対するアンケート調査を行い、車線幅に対する運転者の意識を把握した。

2. 実験結果

2.1 制御方式毎の車頭時間

車両のゲート通過速度および車頭時間を制御方式別に比較した結果を図-2 に示す。同図において、無人制御方式では指定速度よりも 2~5km/h 高い速度であるのに対して、任意速度とした無人非制御方式では乗用車走行で 51km/h、大型車走行で 39km/h、混在走行で 41km/h であり、乗用車走行では大型車走行よりも 10km/h 程度高く、混在走行では大型車走行に近い速度になっている。

また、車頭時間は乗用車走行、混在走行、大型車走行の順に大きくなり、有人制御方式で 19~24 秒、無人制御方式の速度 12~15 km/h で 5.3~6.2 秒、速度 22~23km/h で 2.7~5.2 秒であり、無人制御方式は有人制御方式よりも車頭時間が短縮される。さらに、無人非制御方式での車頭時間は 2.5~4.0 秒(速度 39~51km/h)であり、無人非制御方式では無人制御方式よりも車頭時間が短縮される。

2.2 車線幅の影響

車両のゲート通過時の速度および車頭時間を走行形態、車線幅員別に比較した結果を図-3 に示す。同図によれば、いずれの走行形態でも車線幅員の増加に伴って速度が上昇する傾向があり、任意速度の下では走行形態に拘わらず 34~51km/h の範囲にある。

一方、車頭時間は走行形態により異なり、乗用車走行、混在走行および大型車走行による車頭時間

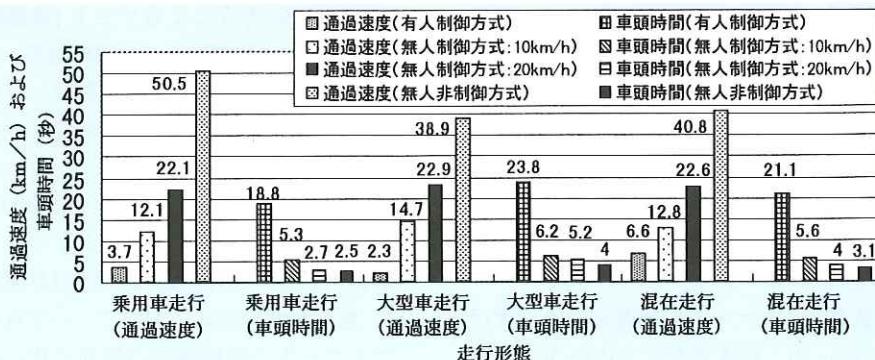


図-2 走行形態別のゲート通過速度及び車頭時間

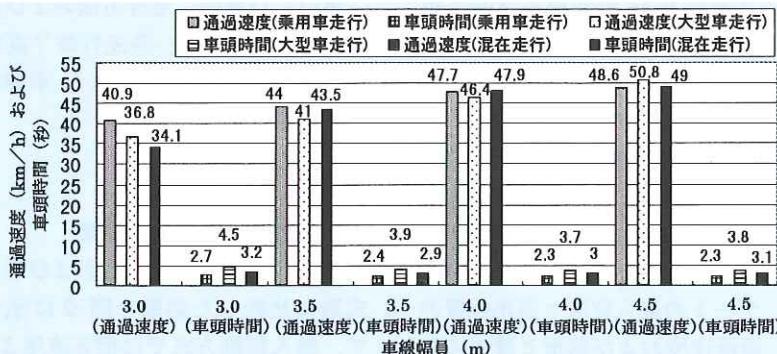


図-3 ゲートの車線幅員別の通過速度及び車頭時間

の範囲は、それぞれ 2.3~2.7 秒、2.9~3.2 秒および 3.7~4.5 秒であり、大型車の混入割合が増えるに従って車頭時間が長くなる。

図-4 は車線幅員が 3.5m の場合で乗用車と大型車の 40 台の混在走行時において、ゲートの車線幅員に対する運転者の意識をアンケートした結果である。ここでは、以下のように 5 つのアンケート項目の意識を幅員の増減量で関係付けて整理した。

- ・ もっと狭くてよい : -1.0m
- ・ もう少し狭くてよい : -0.5m
- ・ 適度 : ±0.0m
- ・ もう少し広い方がよい : +0.5m
- ・ もっと広い方がよい : +1.0m

図-5 は 3.5m 以外の 3 種類の車線幅員でも図-4 と同様な整理を行い、4 種類の車線幅員に対する運転者（合計 159 人：無回答 1 人）の意識を比較した総括図である。同図によれば、幅員 3.0m では「もう少し広く」および「もっと広く」とする運転者が約 8 割、同 4.5m では「もう少し狭く」および「もっと狭く」とする運転者が約 5.5 割であり、同 3.5m および 4.0m では「適度」とする運転者が約 6 割で最も多い。また、総括的に見ると、「適度」とする運転者の割合は車線幅員 3.0m で 5% (8 人)、3.5m で 36% (58 人)、4.0m で 40% (64 人)、4.5m で 16% (25 人) となり、同 3.5m と 4.0m の割合がほぼ同じであることから、運転者の約 3/4 は 3.5m~4.0m を適度と意識している。

2.3 速度フリー型走行実験のまとめ

以上の速度フリー型走行実験の結果は以下のようにまとめられる。

- (1) 車線幅員 3.0m のゲートの通過速度は、乗用車走行で 51km/h、混在走行で 41km/h、大型車走行で 40km/h であり、乗用車のみ走行での

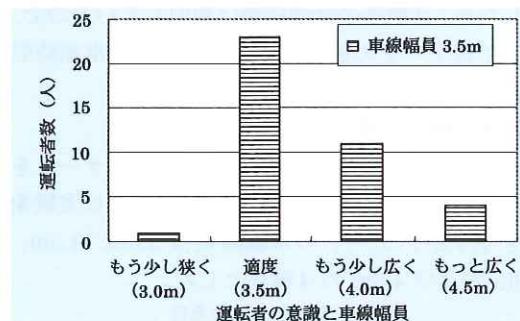


図-4 運転者の意識分布例 (幅員 3.5m)

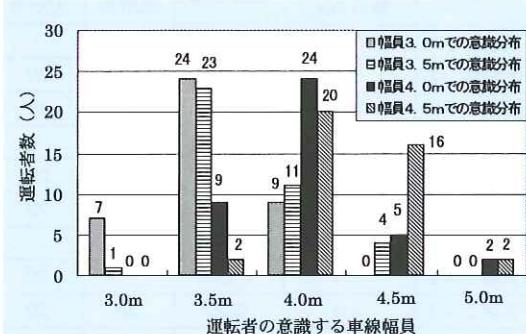


図-5 車線幅員と運転者の意識 (混在走行)

通過速度が高い。

- (2) 無人制御方式によるゲート（車線幅員 3.0m）通過時の車頭時間は、乗用車走行、混在走行、大型車走行の順に大きくなるが、有人制御方式に比較して車頭時間の短縮が図れる。
- (3) 無人非制御方式によるゲート（車線幅員 3.0m）通過時の車頭時間は、乗用車走行、混在走行、大型車走行の順に大きくなるが、無人制御方式よりも車頭時間の短縮が図れる。
- (4) 無人非制御方式において、いずれの走行形態でもゲートの車線幅員の増加に伴い通過速度が上昇するが、車線幅員が 3.0~4.5m ではおむ

ね 34~51km/h の速度の範囲にある。

- (5) 無人非制御方式において、混在走行の場合、ゲートの車線幅員に対して運転者の約 3/4 は車線幅員 3.5~4.0m を適度と意識している。

3. 無人非制御方式の考察とまとめ

乗用車走行、混在走行および大型車走行をそれぞれ大型車混入率 0%, 50% および 100% と位置づけて、既往実験¹⁾ および本文の速度フリー型走行実験の結果を集約して考察する。

3.1 通過速度および車頭時間

図-6 および図-7 は、それぞれ無人非制御方式においてゲートの車線幅員が 3.0m の場合の通過速度および車頭時間を、既往実験¹⁾、実験 1 および実験 2 で対比した結果である。両図によれば、大型車混入率の増加に従って通過速度が低下し、他方車頭時間は増加する傾向がある。また、大型車混入率が 50% の場合、通過速度の変動程度に比較して車頭時間の変動は小さいが、通過速度の増加に従って車頭時間が低減する傾向がある。

3.2 車線幅員、通過速度と車頭時間

図-8 は大型車混入率および通過速度を考慮した

実験 2 および既往実験¹⁾ の比較結果を示す。

ここで、大型車混入率が 50% である既往実験²⁾ の結果は表-3 として要約される。同表において速度 30km/h および車線幅員 3.0m を基準とすると、速度の増加あるいは車線幅員の増加に従って車頭時間が低減する傾向があるが、速度 65~75km/h および車線幅員 4.0~4.5m ではやや増加に転じている。

ここで、本文では表-3 の車頭時間を (3.9, 3.8, 3.7 秒)、(3.6, 3.5 秒)、(3.4, 3.3 秒) および (3.2, 3.1 秒) の 4 つに分類し、それぞれ 3.9 秒、3.6 秒、3.4 秒および 3.2 秒を代表値とした。また、表-3 においてゲート通過速度および車線幅員について、大きい方の車頭時間をとるようにして連続的な区分にすると、表-3 に基づいて表-5 のように車頭時間の代表値が設定できる。

一方、大型車混入率が 0% および 100% の場合については、図-8 で実験条件が類似している実験 2 (34~49km/h) および既往実験¹⁾ (40~41km/h) の整合を図ることにより、表-5 と同様に車頭時間の代表値の設定を行った。詳細な手順は割愛するが、大型車混入率が 0% および 100% における

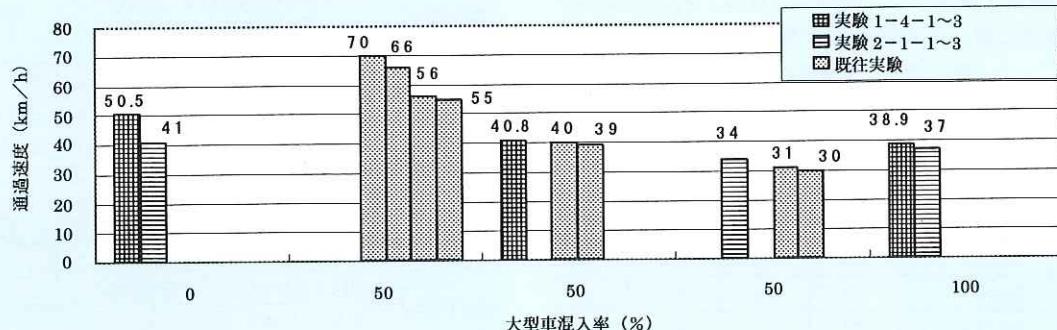


図-6 大型車混入率と通過速度の関係

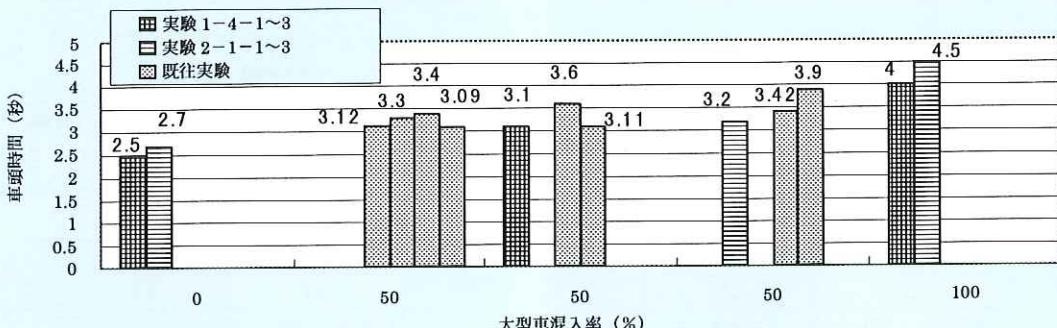


図-7 大型車混入率と車頭時間の関係

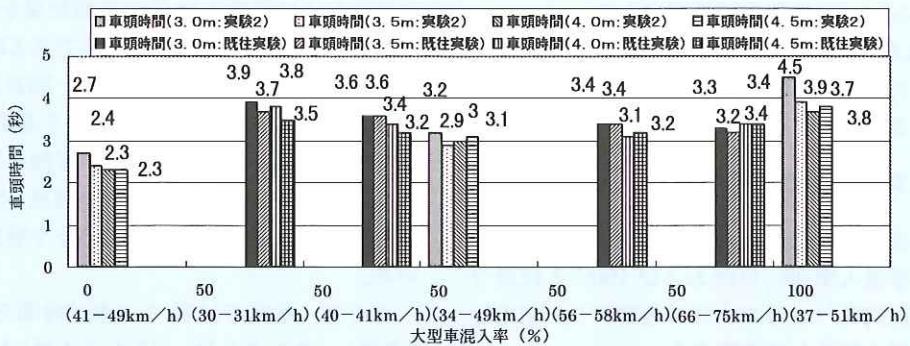


図-8 大型車混入率、通過速度、車線幅員および車頭時間の関係 [横軸の()は通過速度]

車頭時間の代表値は、それぞれ表-4 および表-6 として得られた。表-4～表-6 を基本として、大型車混入率に応じて車頭時間を比例配分することにより、無人非制御方式において大型車混入率が 0%～100%、車線幅員が 3.0～4.5m、ゲート通過速度が 30～75km/h の条件に対する車頭時間が推算できる。

3.3 有人制御方式、無人制御方式および無人非制御方式の処理能力

図-9 は車線幅員 3.0m について有人制御方式および無人制御方式に関する既往実験¹⁾ および実験 1 の結果を併記した。同図によれば、大型車混入率の増加に従って車頭時間が増加し、また無人制御

表-3 速度、車線幅員と車頭時間
(既往実験¹⁾ : 大型車混入率 50%)

ゲート通過速度 V(km/h)	車線幅員 (m)			
	3.0	3.5	4.0	4.5
30～31	3.9	3.7	3.8	3.5
40～41	3.6	3.6	3.4	3.2
56～58	3.4	3.4	3.1	3.2
66～75	3.3	3.2	3.4	3.4

表-4 車頭時間の代表値 (大型車混入率 0%)

ゲート通過速度 V(km/h)	ゲート車線幅員 B (m : 上段)/車頭時間 (秒 : 下段)			備考
	3.0≤B<4.5	B=4.5	3.0	
30≤V<40	3.0	3.0	3.0	網掛け部分での速度 V の範囲
	3.3	3.3	3.0	
40≤V<55	3.0≤B<4.0	4.0≤B<4.5	B=4.5	55≤V<60
	3.0	3.6	3.4	
55≤V<65	3.0≤B<4.0	4.0≤B≤4.5	3.4	60≤V≤75
	3.0	3.4	3.2	
65≤V≤75	3.0≤B<3.5	B=3.5	3.0	網掛け部分での速度 V の範囲
	2.9	2.9	2.7	

方式における通過速度の増加により車頭時間が減少する傾向がある。

また、有人制御方式では大型車混入率 50%での車頭時間は、既往実験¹⁾で 15～17 秒、実験 1 で 21 秒であり 4～6 秒の差異があるが、停止時間 (16 秒) 以外の停止動作あるいは発進動作の差異が影響として考えられる。このため、本文では車頭時間が小さい値である既往実験¹⁾の結果 (平均値 : 16.0 秒) に基づいてゲートの処理能力を比較した。

表-5 車頭時間の代表値 (大型車混入率 50%)

ゲート通過速度 V(km/h)	ゲート車線幅員 B (m : 上段)/車頭時間 (秒 : 下段)		備考
	3.0≤B<4.5	B=4.5	
30≤V<40	3.0	3.6	網掛け部分での速度 V の範囲
	3.9	3.6	
40≤V<55	3.0≤B<4.0	4.0≤B<4.5	55≤V<60
	3.6	3.4	
55≤V<65	3.0≤B<4.0	4.0≤B≤4.5	60≤V≤75
	3.4	3.2	
65≤V≤75	3.0≤B<3.5	B=3.5	網掛け部分での速度 V の範囲
	3.4	3.2	

表-6 車頭時間の代表値 (大型車混入率 100%)

ゲート通過速度 V(km/h)	ゲート車線幅員 B (m : 上段)/車頭時間 (秒 : 下段)		備考
	3.0≤B<4.5	B=4.5	
30≤V<40	3.0	5.5	網掛け部分での速度 V の範囲
	3.3	5.0	
40≤V<55	3.0≤B<4.0	4.0≤B<4.5	55≤V<60
	5.0	4.8	
55≤V<65	3.0≤B<4.0	4.0≤B≤4.5	60≤V≤75
	4.8	4.5	
65≤V≤75	3.0≤B<3.5	B=3.5	網掛け部分での速度 V の範囲
	4.8	4.5	

比較に当たって、無人制御方式では通過速度が30km/hより小さいが、大型車混入率間の車頭時間の大小比率の関係が表-4~6におけるV=30km/hおよびB=3.0mの場合と同様と見なして、指定速度10km/hおよび20km/hの場合の車頭時間を、大型車混入率50%に対する同0%および同100%の場合の車頭時間の比率(それぞれ、0.864および1.410)で補正した。

また、大型車混入率0%および100%に対する有人制御方式の車頭時間は、図-9の実験1の結果から大型車混入率50%に対する同0%および100%の場合の車頭時間の比率(それぞれ、0.900および1.128)で補正した。

表-7は制御方式別のゲートの処理能力(車頭時間の逆数)の比較結果を示す。同表によれば、大型車混入率の増加により処理能力が低下する傾向がある。大型車混入率が50%の場合、無人制御方式に対する無人非制御方式の処理能力は通過速度により異なるが、通過速度12~23km/hでは1.1~1.6倍となる。また、有人制御方式に対する無人制御方式および無人非制御方式の処理能力は

それぞれ2.9~4.0倍および4.4倍になる。

3.4 車線幅員に対する運転者の意識

詳細は割愛するが、既往実験¹⁾および実験2のアンケートによれば、大型車混入率が50%でゲート通過速度が35~50km/hの場合、当該車線幅員を適度とする運転者の割合は、車線幅員3.5mで39%、4.0mで33%であり、約3/4は3.5~4.0mを適度と意識している。

また、大型車混入率が0~50%では上述のような意識分布であるのに対して、同100%では適度とする運転者の割合は3.5mで37%、4.0mで47%であり、4.0mを適度とする割合が半数程度となっている。

あとがき

本実験および既往実験¹⁾の結果から、本線部の1車線を走行して無人非制御方式による料金所の単一ゲートを通過する車両について、車線幅員、大型車混入率および通過速度に応じた車頭時間の代表値を提示するとともに、有人制御方式および無人制御方式との処理能力の差異を明らかにした。本文では報告外としたが、図-1においてG1~G6のゲートの運用数を変えた無人非制御方式に関する実験によれば、単一ゲートの場合よりも車両の通過速度は高く、車頭時間は長くなる結果が得られており、本線部の走行車線あるいは無人非制御方式による運用ゲートの数が複数の場合については今後検討が必要である。

参考文献

- 1) 池野秀一、榎原和成、常田賢一：自動料金収受システムの開発、土木技術資料、第40巻、第1号、pp.20-25、1998年1月
- 2) 村越英之、浜名通夫、宮本一正：ノンストップ料金収受システムの開発、三菱重工技報、Vol.34、No.6、pp.410-413、1997年11月

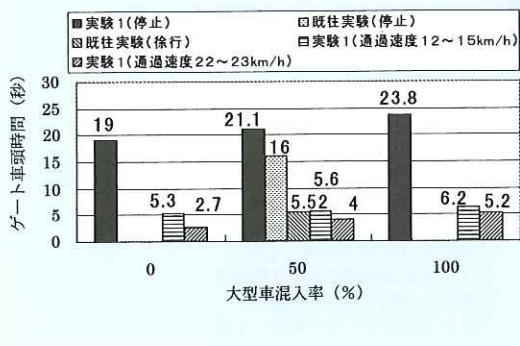


図-9 有人制御方式と無人制御方式による車頭時間の比較

表-7 制御方式別の車頭時間と処理能力比

大型車 混入率 (%)	車頭時間(秒)(×有人制御方式に対する処理能力の倍率)			
	有人制御 方式	無人制御方式		無人非制御方式 (表-4~6より)
		12~15km/h	22~23km/h	40km/h
0	14.4 (×1.0)	4.7 (×3.1)	3.4 (×4.2)	3.0 (×4.8)
	16.0 (×1.0)	5.6 (×2.9)	4.0 (×4.0)	3.6 (×4.4)
100	18.0 (×1.0)	7.9 (×2.3)	5.6 (×3.2)	5.0 (×3.6)

常田賢一*



建設省土木研究所道路部
道路交通総括研究官
Ken-ichi TOKITA

池野秀一**



同 高度道路交通システム
研究室主任研究員
Syuichi IKENO