

都市高速道路へのETCシステム導入に関する研究*

the equipment of Electronic Toll Collection system in urban Exeexpressway

川合正信**赤田浩志**李竜煥**

Masanobu Kawai, Hiroshi Akada and Yong Hwan Lee

1. はじめに

高度経済成長に伴う急激なモータリゼーションにより、高速自動車国道や都市高速道路で計画当時の予想を大幅に上回る交通需要が出現し、交通渋滞が恒常化している現状である。

高速道路の渋滞を発生箇所別(図 1.1 参照)で見ると全体の約 3 分の 1 が料金所部で発生しており、この渋滞の解消手段としてノンストップ自動料金収受システム(以下 ETC システム)の導入が考えられている。¹⁾

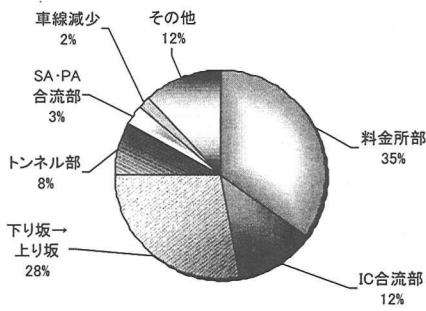


図 1.1 道路構造別の渋滞発生状況 (平成 7 年)

この ETC システムの導入により、1 ブースあたりの処理能力は 3~4 倍に向上し、渋滞緩和効果はもとより、管理費等の経費節減など高い効果が見込まれる。一方、我が国の有料道路は道路管理者が地域によって異なるため、料金収受システムもさまざまである。また、個別の有料道路相互が接続してネットワークを形成していることから、複数道路の利用に際しては、停止(支払)回数が多く、利便性の低下や環境悪化も指摘されている。これらの問題を解消するためにも ETC システムの早期導入が望まれているわけであるが、都市高速道路は大都市の交通集中が著しい市街地に建設されているため、通行止め等による大規模な改良工事が不可能である。したがって、システム導入に際しては、1 ブースづつを ETC システム専用のブースに変更していくこと

*キーワード: ETC システム、シミュレーション

**非会員 (株) 都市交通計画研究所

〒540-0035 大阪市中央区釣鐘町1丁目1番地11号
MUSES1-3F

が望まれる。

このような背景の中、高速自動車国道等ではすでにある程度研究がなされていることから、本研究では、都市高速道路に着目し、ETC システムの円滑かつ有用な導入方法を

- ①現在、建設省及び道路公団4社(日本道路公団・首都高速道路公団・阪神高速道路公団及び本州四国連絡橋公団)で行われている研究の把握
- ②都市高速道路の入路及び本線料金所を対象とした現況分析
- ③本線料金所を対象としたシミュレーション・モデルの構築及びシミュレーション結果の分析の順に検討を進めたものである。

2. 我が国の ETC システムへの取り組み

我が国の高速自動車国道等、有料道路における新しい通行料金の支払手段としては、多様な支払方法に対応するため、既にプリペイドカードである「ハイウェイカード」を導入して、全国の各種の有料道路で幅広く利用できるよう施設・機器の整備を進めているほか、ポストペイドカードとしてクレジットカードも利用できるように、全国導入を開始している。

こうした背景の中で、建設省及び道路公団4社では、

- ① 料金所で料金支払いのための一旦停止をなくし、渋滞緩和と利用者サービスの向上を図ること。
- ② 経済社会のキャッシュレス化に対応した一層の利用者サービスの向上を図ること。
- ③ 料金収受に要する管理コストの節減を図ること。

に対応する新たな通行料金の支払システムを研究開発する必要があると考え、ETC システムの研究開発²⁾が進められている。中でも交通誘導に関する研究では、ETC 車線の配置方法に関する研究を行っており、平均待ち行列長、平均通過時間、車線変更回数、到着不能比率(シミュレーションの中で所定の車線へ到達できず他の車線を通過せざるを得なかった車両)に留意して、

- ① ETC 車混入率による影響

〔 ETC 車混入率を 20%, 50%, 80% と想定したシミュレーション。〕

②時間交通量の変化による影響

時間交通量を 1400 台/時、800 台/時と想定したシミュレーション。

③方向別交通の違いによる影響

方向別交通は、図 2.1 に示す A、B、C、D の 4 方向について、
 ① それぞれの比率 25% の時
 ② A、D が 40%、B、C が 10% の時
 ③ A、D が 10%、B、C が 40% の時
 を想定したシミュレーション。

の観点でシミュレーションを行っている（料金所広場：車両が料金所ブース後方に行列を作るスペースとサービス終了後車両が織り込むスペース）。

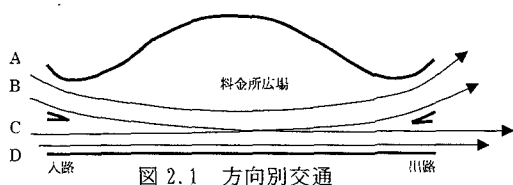


図 2.1 方向別交通

結果としては、表 2.1 に示すように ETC 混入率が 20% のような低い場合は中央部のブースに ETC 専用ブースを導入するのが最も良いとされており、本研究のベースとしている。

表 2.1 共同研究における配置方法の検討

検討項目	ETC専用 ブースの位置	ETC混入率		
		20%	50%	80%
①	中央ブース	○	—	—
	分離側ブース	—	○	○
②	中央ブース	○	—	—
	分離側ブース	—	○	○
③	中央ブース	80%△ 20%○	—	—
	中央分離側	—	○	—

○：効率性・安全性とも良好 —：結果未表記

△：効率性・安全性による ETC 車線配置の有意なし

3. 阪神高速道路における現況分析

平成 6 年度に実施された阪神高速道路における入路及び本線料金所時間帯別交通量データを用いて、ETC 車混入率別に全料金所での導入可能ブースの検討を行った。既往調査によると料金所 1 ブース当りの平均処理時間は約 6 秒（1 時間当り 600 台）あることから、各料金所のブース数と時間帯別交通量から 1 ブース当りの平均処理台数を算出し分析した。

表 3.1 現況分析結果（大和川本線料金所）：現況 5 ブース

ETC 車混入率 (%)		0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	大型車
処理を行う	既存の料金所(台)	2791	2651	2512	2372	2233	2093	1954	1814	1675	1535	1395	2065
交通量	ETC 専用料金所(台)	—	140	279	419	558	698	837	977	1116	1256	1396	726
ETC 配置可能ブース数(ブース)		—	—	—	1	1	1	1	1	2	2	2	1

現況分析結果の一例を示すと（表 3.1 参照）、大和川本線料金所では、混入率が 15% のときにはじめて ETC ブースの導入が可能である（15% 未満では、2400 台/h（600×4）以上が既存料金所を利用することから処理できない為）。

4. シミュレーション・モデルの構築³⁾

本線料金所に ETC システムを導入した場合、料金所にできる待ち行列が本線上に伸び、ETC 車の通行が不可能になってしまつては、ETC システム導入の意義が問われることとなる。つまり、ETC システムの導入（本線料金所での）を図ろうとする際には、「常に待ち行列が発生しており、かつ ETC 専用車の通行に影響を与えない状態にある（この時初めて高速道路利用者が ETC システムの利用つまり購入を検討すると考えられるため）」ことが望まれる。このことから、一様乱数を発生させ、一定時間増分法（1 秒ごとに時間の進行を行ない）を用いて、車両が料金所ブース後方にどれだけ滞留するかを大型車と小型車の車頭間隔に着目して、待ち行列シミュレーション・モデルの構築を行った。

シミュレーション・モデルの流れ（図 4.1 参照）について、以下に示す。

(1) 初期設定

交通量は現況分析からピーク時交通量を用いた。車頭間隔を小型車 6m、大型車 12m とし、大型車の混入率は、26%、ETC 車の混入率が 15%、20%、25%、30% の場合（現況分析では、大和川本線料金所での ETC 車の混入率が、15% の時に配置可能となったことから上記の 4 つに絞り込んだ）においての既存ブースにおける待ち行列長を求めた。ETC 車の混入率は、変動させていくため外部入力原則とした。大和川本線料金所のブース数は 5 ブース、料金所広場の長さは 120m とした。

(2) 発生事象

車頭時間間隔は、ピーク時交通量が 2791 台であるため、1.29 秒/台（3600 秒/2791 台）を平均とする指数分布とし、サービス時間は、既存の料金所を 6 秒/台を平均とする正規分布とした。また、ETC 専用ブースのサービス時間は、料金所を 20km/h で通過すると仮定し、どの車両がどの料金所ブースを通過するかは、一様乱数で配分した。また、ETC 専用ブースの配置場所は、表 2.1 を参考にブースの中央部とした。

以下、到着時間間隔分布とサービス時間分布について述べる。

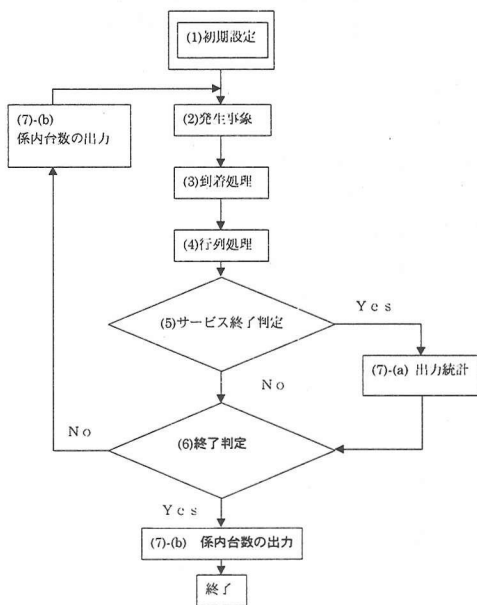


図 4.1 シミュレーション・モデルのフロー

(a) 到着時間間隔分布

料金所広場への到着時間間隔分布は図 4.2 に示すような平均 1.21 秒/台の指数分布である。このグラフは、縦軸を確率密度関数・横軸を車頭時間間隔としたものである。自動車は本来、車間距離をとって運転されるので車頭時間が 0 となるのは不適当であるが、本研究で対象とした地点は、本線が 2 車線の場合であるため（2 車線分の車頭間隔を一度に発生させている）並走していれば車頭時間間隔は 0 となりうる。よってこのグラフの分布で処理ができるとした。

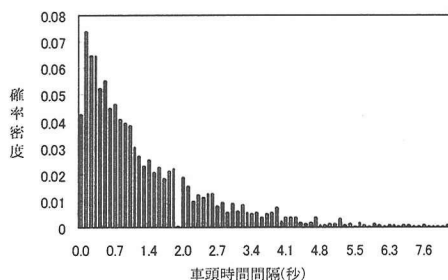


図 4.2 到着時間間隔分布

(b) サービス時間分布

サービス時間分布は、既存ブース（ETC 専用ブース以外）を対象と、図 4.3 に示すような平均 6 秒/台の正規分布とした。このグラフは、縦軸を確率密度関数・横軸をサービス時間とし

たものである。中央部のブースは ETC 専用ブースであるため、サービス時間はブース部を通行するのにかかる通過時間 1 秒と仮定している。⁴⁾

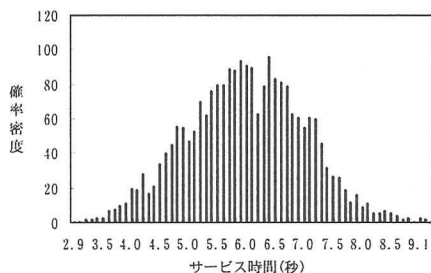


図 4.3 サービス時間分布

(3) 到着処理

到着時間分布は負の値を発生させ累積しているため、シミュレーション・タイムが 1 秒経過する毎に各車両の累積到着時間を正の値になっていくものとしている。

(4) 行列処理

料金所広場内での車両の平均速度は約 20km/h で、1 秒間あたり約 6m 進むものとした。なお、セル（ブース上流側に 6m×3.25m の柵目に区切ったブロック。）をブース後方に 20 セル（120m/6m）用意し、車両の進行に合わせてセルの開閉を判断させ、「セルが開いている時は、そのセルに入り今まで入っていたセルを開け、入ったセルを閉める」という作業を繰り返し行わせた。また、次のセルがしまっている時はその場に滞留させた。車両の長さは、6m と 12m の 2 種類があるため、小型車 6m に対して 1 セル、大型車 12m に対しては 2 セル使用することとなる。料金所部のセルが空の時、料金所部手前のセルで待っていた車両は次の処理へ移る。

(5) サービス終了判定

料金所部のセルでは、それぞれのサービス時間を消費した後サービス終了とした。

(6) 終了判定

このブロックでは、

- (a) 各シミュレーション・タイムごとに全車両の処理が終了したかどうか判定する。
- (b) シミュレーション・タイムが終了（3600 秒）となったか判定する。

の 2 回の終了判定を行っている。

(a) が終了した時、行列長の長さ（各料金所ブースの）を出力し、次のシミュレーション・タイムに移る。

(b) が終了した時は、シミュレーション・タイムが 3,600 秒となった時、同様に行列長の長さを出力した後終了のブロックへと移る。

(7) 出力

出力については、

(a) サービス終了時間・車両の番号・通過するブースの位置・サービス時間・料金所ブース到着時間・料金所ブース通過時間・車両の長さ・到着時間間隔を出力

(b) シミュレーション・タイム (1~3600 秒)・各時間の各料金所にできる行列長を出力

以上 2 種類のデータを出力することとした (B においては、終了判定後どちらの場合においても出力する)。

5. ケーススタディ

大和川本線料金所を例として、構築したモデルを用いて計算した待ち行列長は、図 5.1~5.2 に示す通りである。(路肩側からブース位置をブース 1、ブース 2...とする。) 最大待ち行列長は、出力された値の最大値である。平均待ち行列長は、全車両台数を滞留時間 (=最後の車両の料金所広場到着時間-1台目の車両の料金所ブース進入時間) で除したものである。

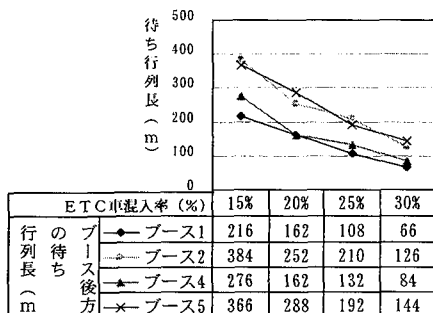


図 5.1 最大待ち行列長

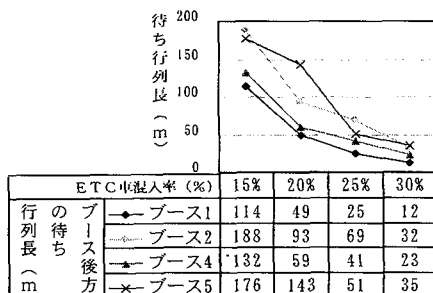


図 5.2 平均待ち行列長

しかし、本シミュレーション・モデルでは、初期段階で車両が通過するブースの決定を行っているため、待ち行列の少ない車列に車線移行することを考慮していない。このような場合、表 5.1・5.2 に示す結果が得られる。

表 5.1 最大待ち行列長

	ブース1	ブース2	ブース4	ブース5
15%	267	267	294	294
20%	135	135	192	192
25%	114	114	114	114
30%	75	75	93	93

表 5.2 平均待ち行列長

	ブース1	ブース2	ブース4	ブース5
15%	151	151	154	154
20%	71	71	101	101
25%	47	47	46	46
30%	22	22	29	29

6. まとめと今後の課題

① 現況分析結果とモデルを用いた結果の比較

大和川本線料金所における ETC 専用ブースの設置は、現況分析の結果、ETC 車の混入率が 15% 以上で導入が可能であった。しかしながら、シミュレーション・モデルを用いた場合では、車両が料金所広場到着後、各ブースに向かって 5 方向に分かれ各ブースでの待ち行列発生を考慮し、さらには待ち行列が料金所広場の構造上、120m 以内で ETC 専用車両に影響を与えないという条件を満足するためには、ETC 車混入率が 25% 以上の場合に ETC 専用ブース導入が望ましいという結果を得た。つまり現況分析とシミュレーション・モデルの結果には、10% の誤差が生じたわけであるが、対象とした大和川本線料金所では、ETC 専用ブースを導入するときの ETC 車混入率 25% 以上のときに望ましいものであり、現況分析の結果より ETC 車混入率が高くなったときに導入を図るべきものと提案する。

② 今後の課題として、以下のことが考えられる。本研究で構築したモデル、現況分析結果の相異を踏まえ、今後以下の課題に対処すべきものとする。

- ・全ての料金所に対応できる汎用性のあるシミュレーション・モデルの構築
- ・車両の詳細な挙動の追加
- ・乱数の初期値を変え確率的な信頼性の検証

謝辞：本研究の遂行するにあたり多くの示唆をいただいた、京都大学佐佐木綱名教授に心から謝意を表します。

[参考文献]

- 1) ITS インテリジェント交通システム：(社) 交通工学研究会 編：丸善株式会社
- 2) ノンストップ自動料金収受システム 共同研究報告書
- 3) 土木計画システム分析-現象分析編-：飯田恭敬 岡田憲夫 編著：森北出版
- 4) 交通流理論：佐佐木綱 著：技術書院