

ETC 進入時における事故の解析と進入速度に関する考察

リスク工学専攻グループ演習 3 班

伊藤聖太 小澤洋 邱安 篠後裕基

アドバイザー教員 古川宏

2007 年 9 月 28 日

概要

高速道路の料金所に自動料金収受システム ETC(Electronic Toll Collection System)が導入されて 6 年が経過し、普及率も年々高まっている。しかし、ETC 導入による新たなトラブルも生じている。そこで本稿では、道路交通上の新たなリスクとして ETC 進入時における事故の解析と共に ETC 利用における安全性を高めていく方法について考察を行う。そのために実際に首都高速株式会社に取材を実施した。さらに、提供していただいた事故データを基に、現状における事故の発生状況について分析を行い、また認知と渋滞についてシミュレーションを行った。最後に、ETC における安全性向上について得た知見を述べる。

1 序論

1.1 背景

高度道路交通システム ITS の 1 つとして、日本では 2001 年 3 月より、自動料金収受システム ETC(Electronic Toll Collection System)の本格的な運用が開始された。

ETC 導入により、料金支払いの効率化、料金所通過時間の短縮、料金所における渋滞削減などの効果が期待できる。

また、渋滞が解消することによる大気汚染の低減や各種料金施策の実現による交通需要管理の効率化など間接的な効果も期待される。

ETC の利用状況は 2001 年 12 月の全国展開後が約 5 万台/日(利用率 0.9%)だったのに対し、2007 年 9 月時点で約 528 万台/日(利用率 69.9%)と増加している。セットアップ台数も 1895 万台を超えている(2007 年 8 月末時点)。

首都高速道路株式会社の ETC 利用率を表 1 に示す。図 1 には渋滞量と ETC 普及率の関係を示す。

表 1. 平成 18 年 8 月 28 日(月)から 9 月 3 日(日)の週平均

	ETC車通行台数 【日/台】	総通行台数 【日/台】	ETC利用率 【%】
全線	814,100	1,162,500	70.03

一方、ETC 導入により新たな事故が生じており、対応が求められている。首都高速株式会社調べによる原因別開閉パーおよび直前停止件数を表 2 に示す。

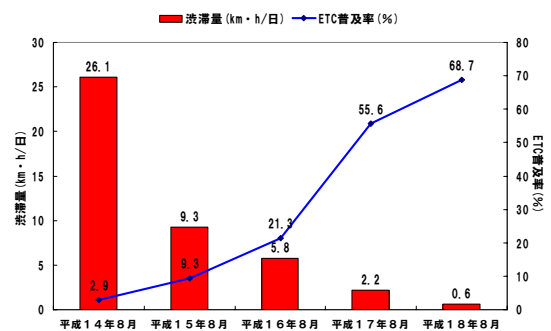


図 1. 渋滞量と普及率の関係

表 2. 原因別開閉パーおよび直前停止件数

(平成 19 年 1 月と 6 月の日平均)

	ETCカード 未挿入	専用レーン への誤進入	カード有効 期限切れ	車載器不具合 無線交信エラー	スピード 出し過ぎ	合計
1月	742	425	21	57	77	1,322
	56.1%	32.1%	1.6%	4.3%	5.9%	100%
6月	825	437	103	78	3	1,446
	57.1%	30.2%	7.3%	5.4%	0.2%	100%

以上のように、1 日につき 1,332 件(平成 19 年 1 月の日平均)、1,446 件(平成 19 年 6 月の日平均)のトラブルが起きている現状がある。

1.2 目的

ETC に関する事故の中から特に件数の多い開閉パーへの接触および直前停止のトラブルを取り上げ、事故を誘発する要因の詳細な解析と、このリスクを低減する対応策について検討することを目的とする。

1.3 全体の流れ

開閉バーへの接触及び直前停止の原因として、ETC カードの未挿入、車載器の通信エラー、スピードの出しすぎなどによって生じていることが明らかになっている。本研究では、事故データを用いた解析より、以下の点を実施する。

- ① 当該事故の原因解明
首都高における事故データを入手し、この分析及び考察を実施する。
- ② 現行の対策の妥当性検証
現行の対策は、カードの未挿入を ETC レーンの手前で知らせる「ETC お知らせアンテナ」などがある。また、進入速度について官公庁及び道路事業者は ETC レーンへ20km/h 以下で進入することを看板や電光掲示板で呼びかけている。ETC の安全性向上には進入速度を抑えることが最も効果的ではないかと考え、理論的分析やシミュレーションを用いて、この速度設定の妥当性を検証する。

2 自動料金収受システム

2.1 ETC の概要

ETC (自動料金支払いシステム) とは、車両に設置された ETC 車載器に ETC カード (IC カード) を挿入し、有料道路の料金所に設置された路側アンテナとの間の無線通信により、車両を停止することなく通行料金を支払うシステムである。

2.2 ETC の導入の目的

ETC は、料金支払いのために料金所で、一旦停車することなく通行できるため、以下のような効果がある。

- 1) 利用者の利便性向上
- 2) 料金所渋滞の緩和
- 3) 料金所周辺の環境汚染や騒音の改善
- 4) 距離別料金など多様な料金体系への対応
- 5) スマート IC 導入 (現在、社会実験が行われている)

3 ETC 進入時の事故

3.1 ETC レーン内の事故

首都高速道路株式会社が集計した過去 2 年間の本線料金所内、ETC レーン内で起こった事故の件数を表 3 に示す。ここでの事故件数は、首都高速管内で本線料金所の施設に車両が接触し、警察 (高速隊) により事故扱いされた事案の集計値である。

表 3. 本線料金所事故件数/年

	本線料金所内	ETC レーン内	割合 (%)
平成 17 年度	475 件	382 件	80.4
平成 18 年度	269 件	253 件	94.1

本線料金所で起こった事故のうち ETC レーン内で起こる事故の割合が高い。事故形態別にみると施設接触や追突が多い。

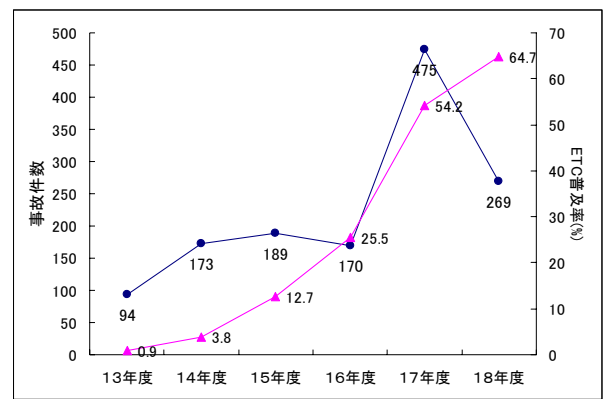


図 2. 年度別料金所事故発生件数

また、平成 13 年度～18 年度までの年度別の料金所での事故発生件数と ETC 普及率を図 2 に示す。事故発生件数と ETC 普及率の相関は 0.77 である。

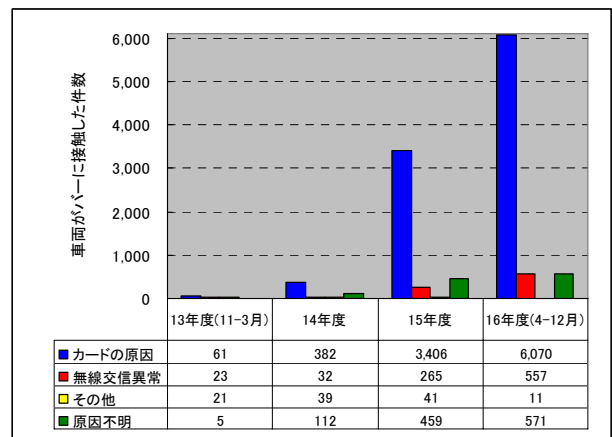


図 3. 車両によるバー接触事故の年度別件数

図 3 より年々増加している傾向が見られる。車両がバーの手前で直前停止した件数は平成 16 年度しか手に入ることができなかった。また、平成 19 年度の 1,446 件は表 2 で

示したように、6月の日平均であり、接触と直前停止の件数が足されている。

平成16年度集計値：

接触件数+直前停止件数=7,209+55,074=62,283件/年

平成19年度推測値：

(日平均)1,446件×365日=527,790件/年

と3年間で約8.5倍に増加している。単純な推測ではあるが、ETCの普及率の増加と共にETCレーンでの開閉バーへの接触および直前停止件数も増加している可能性を示唆している。

3.2 事故対策の現状

このようなETCの普及に伴う事故増加の現状に対し、道路事業者側は以下のような対策を行っている。

- 1) 各種看板、掲示板による“進入速度20km/h以下”の呼びかけ
- 2) 1台あたりのETC処理時間の短縮
- 3) ETC未挿入お知らせアンテナの設置など

特に3)のETCお知らせアンテナはETC普及後に行われた対策である。首都高速道路公団では2005年3月1日より、「ETCカード未挿入お知らせアンテナ」の運用を順次開始した。これは料金所手前で、正確にETCカードが装着されていない場合、そのことをETC車載器に案内するシステムである。

本稿は、進入速度の妥当性についての検証を目的としているため、対策の効果まで言及することはできなかったが、これからこういった施策の効果により、バー接触の主な原因であるカード未挿入の件数がどれぐらい減少するのかということに興味深い。

3.3 進入速度の認識

現行の対策は3.2で述べたが、ETCの安全性向上には進入速度を抑えることが最も効果的ではないかと考え、次章でシミュレーションを用いて、この速度設定の妥当性を検証する。ここではまず、進入速度に関する認識について確認した結果を示す。

東日本高速道路株式会社、首都高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社、阪神高速道路株式会社、本州四国連絡高速道路株式会社及び公社等

が定める「ETCシステム利用規定」には、ETCレーンにおける進入速度について以下の記述がある。

- ・ 20キロメートル毎時以下に減速して進入すること
- ・ ETC車線内は徐行して通行すること

また、実際に3社にヒアリングやメールでの質問を行い、進入速度への認識を確認した。各社の回答を以下に示す。

(1) 首都高速道路株式会社

首都高速では、徐行(=すぐに止まれる速さ)を推奨している。その根拠は、①開閉棒の誤作動があった際に停止可能な速度であること、②料金所付近は一旦停止することを前提に設計されているため、速い速度のまま進入すると料金所施設への接触の危険性があること、であった。

(2) ORSE(高速道路高度利用推進機構)

ETC専用レーン設置時に、安全走行の観点から道路事業者と警察庁の協議にて走行速度が決定されたと推測されるが、決定の詳細については、機構ではわかりかねるとのことであった。

(3) NEXCO(東・中・西日本高速道路株式会社)

現在のところ、回答を待ちの状態である。

以上のように、ヒアリング調査の結果から、ETCの進入速度についての認識が統一されていないことや20km/h以下と呼びかけているものの、速度設定の際に実証実験が行われたかという点についてあいまいであった。

4 設定速度の検証

本章では、ETCの進入速度について、2つのシミュレーションから現在の進入速度設定“20km/h以下”の安全性と利便性について客観的に評価を行う。

4.1 事故シミュレーション

4.1.1 シミュレーションの目的

ここでは速度によって変化する自動車の停止距離とETCの規格からETCレーンへの進入速度設定“20km/h以下”の安全性について考える。

4.1.2 ETCレーンの概要

ETCレーンでの処理の概要は図4のようになっている。

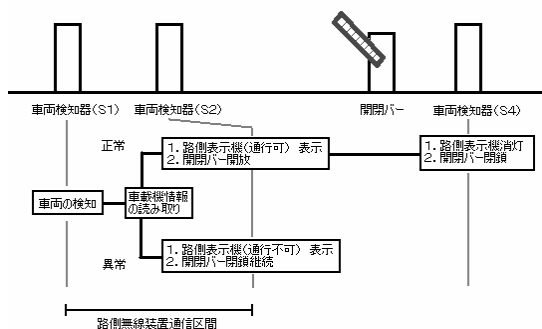


図4. ETC 料金処理施設の概要

車両検知器(S1)で通信領域へ車両が進入してきたことを検知し、路側無線装置(車載機の情報を読み取り、高速道路利用料金を請求する装置)の処理指示を行う。その後、車両検知器(S2)で通信領域から車両が出たことを検知し、路側表示機の表示開始及びバーが開くように指示を出す。そして、車両検知器(S4)でETCからの車両退出を検知し、開閉バーを閉めるよう指示が出され、次の車両への処理に移る。料金体制の違いにより多少の違いはあるものの、日本で利用されているETC料金所での処理の概要はこのようになっている。

つまり、ETCの処理の段階で何らかのエラーが起きた際、ドライバーは車両検知器(S2)と開閉バーまでの間に車両を停止させなければならない。この車両検知器(S2)と開閉バーまでの距離は料金所及びそのブースごとにも異なるが首都高速道路株式会社では10m~12mと定められている。

また、司法研究報告書[5]では自動車の停止距離について以下のように説明している。

①空走時間

- (ア)反射時間…障害物を認知してから実際に足が運動を開始するまでの時間(0.4~0.5秒)
- (イ)踏切時間…足がアクセルからブレーキに踏みかえる時間(0.2秒)
- (ウ)踏み込み時間…ブレーキを踏み始めてから効き始めるまでの時間(0.1~0.3秒)

②制動距離

- (ア)過渡時間…ブレーキが効き始めてから最大ブレーキ力に達するまでの時間(0.1~0.3秒)
- (イ)主要制動時間…ブレーキ力がほぼ一定の最高値を取っている時間

この停止までのプロセスは発見したものがそのままブレ

ーキ操作の必要がある場合である。つまり、認知すると同時に判断を下すという状況である。今回はETC料金所という状況であるため、障害物を認知しそれがブレーキを踏む必要があると判断するまでの判断時間を考える必要がある。そこで、判断にかかる時間を計測するために実験を行った。

図5の画面は、VBAを用いて行った実験の画像である。

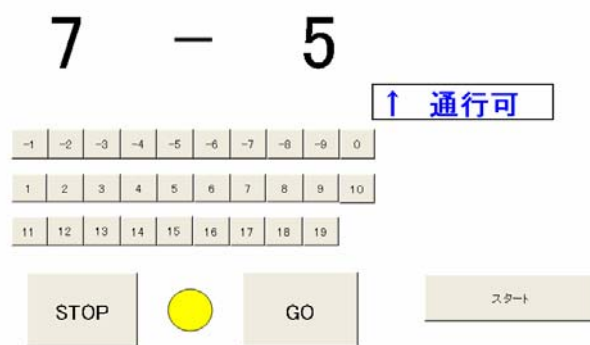


図5. シミュレーションの様子

実験の方法は以下の通りである。

- ①画面に計算式と模擬の路側表示機の表示が映し出される。
- ②路側表示機に「↑ 通行可」と表示されたときは「GO」のボタンを、「STOP 停止」と表示されたときは「STOP」のボタンを押す。
- ③計算の解答を行う。
- ④マウスを黄色い丸の中に戻す。

また、「↑ 通行可」が表示された時に認知と判断を同時に下す状況を作るため、ほとんどの場合(プログラム上で85%)「↑ 通行可」が表示される。この実験により、「GO」と「STOP」のボタンを押すまでの時間の差をとることにより判断時間を求めた。式に表すと次のようになる。

「GO」を押すまでの時間 = (認知 + マウスの移動) の時間
「STOP」を押すまでの時間 = (認知 + 判断 + マウスの移動) の時間
よって
判断時間 = 「GO」を押すまでの時間 - 「STOP」を押すまでの時間

実験は20歳代の男女41人を対象に行った。結果は図6に示す。

図6は被験者の判断時間が長い方から降順で並べたものである。また、判断時間は各被験者の「GO」と「STOP」のボタンを押すまでのそれぞれの時間の中央値をその被験者の記録とした。

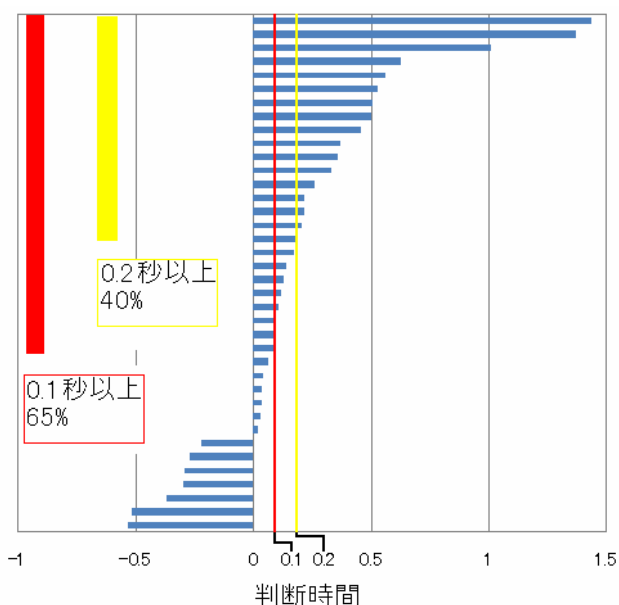


図6. 実験の結果

判断時間の平均は0.17であり、分散は0.15となった。
よって、ETC料金所における制動経過は図7のようになる。

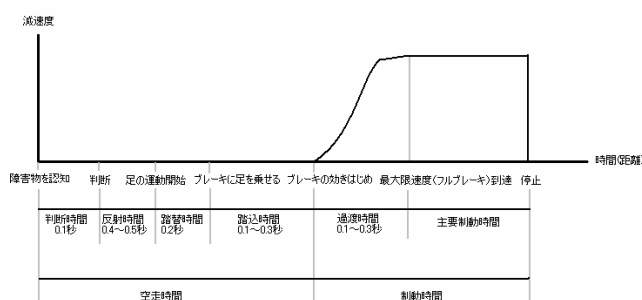


図7. ETC料金所における制動経過

つまり速度にかかわらず、ドライバーが認知をしてから空想時間と過渡時間の0.9秒から1.4秒間、自動車は減速することなく進むということになる。

4.1.4 停止距離とETCの規格との比較

空走時間と過渡時間から求められた停止距離と首都高道路におけるETCレーンの開閉バーまでの距離の関係は表4のようになる。表中に【over】という表記がある場合は開閉バーの手前では停止できずに衝突することを示す。

主要制動時間における制動距離は以下の式によって求めた。

$$\text{制動距離} = \frac{(\text{速度})^2}{2 \times \text{重力加速度} \times \text{摩擦係数}}$$

表4. 非常停止時のバーまでの距離(時間余裕)

晴天時	バーまでの距離 10m	バーまでの距離 12m
	空走時間+過渡時間 1.4s	空走時間+過渡時間 0.9s
40 km/h	-14m 【over】	-6.4m 【over】
30 km/h	-6.4m 【over】	-0.2m 【over】
20 km/h	0.2m (0.0秒)	5.0m (0.9秒)
10 km/h	5.6m (2.0秒)	9.0m (3.2秒)

雨天時	バーまでの距離 10m	バーまでの距離 12m
	空走時間+過渡時間 1.4s	空走時間+過渡時間 0.9s
40 km/h	-18m 【over】	-12m 【over】
30 km/h	-8.8m 【over】	-4.6m 【over】
20 km/h	-0.8m 【over】	2.0m (0.4秒)
10 km/h	5.3m (1.9秒)	6.7m (2.4秒)

表4から、車両検知器(S2)を通過した際何らかのエラーが発生しETC進入時の速度が30km/h以上の場合は、開閉バーまでの距離12m・空走時間+過渡時間0.9秒という余裕のある条件下でも衝突が避けられないということが示された。また、20km/hでETCレーンに進入することは、様々な条件を想定した場合、開閉バーに衝突するかどうかのボーダーラインということも示された。安全を考えた場合、20km/hという進入速度が適切であるとはいえないであろう。

また、司法研究報告書によるとここで述べられている反射時間はブレーキを踏む準備をしているときの場合であり、通常運転時は少し長くなると考えられる。またドライバーが話しながら運転をしているときなどは0.4~1.0秒伸びるとされている。その他様々な要素の時間が伸びる可能性がある。

つまり、この結果が制動過程で問題が全く起こらない状況を想定していることに注意しなければならない。

4.2 渋滞シミュレーション

4.2.1 シミュレーションの目的

本研究において行った事故シミュレーションによりETCレーンを20km/hで進入した際、カード未挿入や通信エラーなどによりバーが開かなかった場合にバーとの接触の危険性があることが示された。

また、ETCレーンへの進入速度を10km/hとし同様に検証を行ったところ20km/hと比較して安全であるという結果を得た。しかし、進入速度を10km/hに制限することに

より ETC レーンでのサービス時間が長くなるため ETC レーンの容量が減少し渋滞が生じる可能性が大きくなると考えられる。

そこで、本稿では ETC レーンへの進入速度を 10km/h とした場合料金所において渋滞が生じるかどうかについて渋滞シミュレーションによる検証を行い、その結果を基に各流入量に応じて適切なレーン構成を示すことを目的とする。

4.2.2 シミュレーションの仕様

使用言語：Visual C++

実装環境：Visual Studio 2005

入 力：ETC ゲートの数

一般ゲートの数

ETC 普及率

料金所流入量

出 力：渋滞の有無

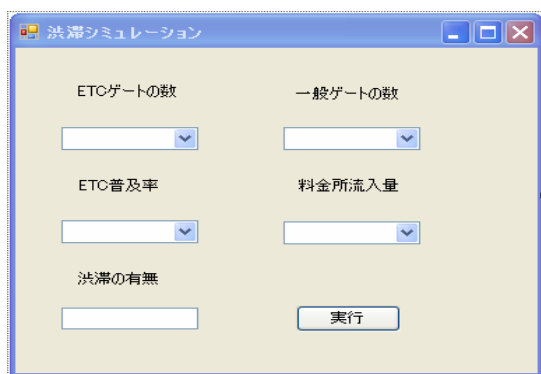


図8. シミュレーション図

4.2.3 シミュレーションの解説

通常、料金所は前広場、アイランド部、後広場から構成されている。今回のシミュレーションでは ETC レーンにおいて 1 台にかかるサービス時間のある進入速度で料金所アイランド部分を通るのにかかる時間とした。このとき、進入速度 20km/h で ETC を通過する場合のサービス時間は料金所アイランド部分を 25m とすると約 4.5 秒、進入速度 10km/h では約 9.0 秒となり、ETC レーンの容量はそれぞれ約 800 台/時、約 400 台/時となる。

一方、一般レーンではレーン内で一旦停止して料金を現金で払う必要があることからサービス時間は ETC レーンのサービス時間と比べて長くなり、容量は小さくなる。一般レーンのサービス時間には堀口ら[6]で使用されている 18 秒を利用し、それに基づいて一般レーンの容量を約 200 台/時とした。これら ETC レーン、一般レーンそれぞれの容量を用いることにより料金所全体で単位時間当たりに捌け

る車の数を算出することができる。

また、ETC レーンには現在、混用レーンと専用レーンがあるが、混用レーンを用いた場合、完全なノンストップ運用は不可能であるため今回は料金所のレーン構成を「ETC 専用レーン+一般レーン」としてシミュレーションを行った。

4.2.3 シミュレーションにおける具体的な計算

ETC レーンの数：m

一般レーンの数：n

ETC1 レーン当たりの容量：Ce

一般1 レーン当たりの容量：Cn

ETC 普及率：p

料金所流入量：Q

とする。

①ETC 普及率と料金所流入量から ETC レーン及び一般レーンそれぞれへの流入量を計算する。

$$\text{ETC レーンへの流入量} = p / 100 \times Q$$

$$\text{一般レーンへの流入量} = (1 - p) / 100 \times Q$$

②ETC レーン及び一般レーン全体の容量を計算する。

$$\text{ETC レーン全体の容量} = m \times Ce$$

$$\text{一般レーン全体の容量} = n \times Cn$$

③ETC レーン全体の容量 ≥ ETC レーンへの流入量及び一般レーン全体の容量 ≥ 一般レーンへの流入量となるような最小の m,n を求める。

以上の手順により流入量に応じて必要最小限のレーン構成を決定することができる。

4.2.4 シミュレーション結果

以下の表 5 と表 6 は、それぞれ進入時速をそれぞれ 20km/h、10km/h また ETC 普及率を 78.9%としたときの必要最小限のレーン構成を示したものである。

表 5. 進入速度 20km/h の場合の必要最小限のレーン構成

料金所流入量	ETC レーン	一般レーン
1500 台/時	2	2
2000 台/時	2	3
2500 台/時	3	3
3000 台/時	3	4

表 6. 進入速度 10km/h の場合の必要最小限のレーン構成

料金所流入量	ETC レーン	一般レーン
1500 台/時	2	2
2000 台/時	2	3
2500 台/時	3	3
3000 台/時	3	4

上記の結果を比較すると進入速度の違いによる ETC レーンの容量に差が生じるため、進入速度 10km/h の場合には必要となるレーンの総数が多くなってしまいが、上記のようなレーン構成であれば料金所での渋滞を解消できると考えられる。

4.2.5 結論

前章での事故シミュレーションにより進入速度 20km/h で ETC レーンへ進入した場合、カード未挿入などの不測の事態が起きた際に開閉バーとの接触の危険性が高いということが示された。また、進入速度 10m/h とした場合接触事故をどの程度回避できるのかについて検証を行い、進入速度 10km/h の方がより安全であることも示された。

一方で進入速度を 20km/h から 10km/h に変更することにより ETC レーンでの容量が減少し、新たな渋滞が生じる可能性が増加するのではないかとこの予測から、本章では渋滞シミュレーションを行った。

シミュレーションの結果、進入速度を 10km/h、20km/h としたときに各料金所流入量に対して渋滞が生じないレーン構成が示された。

首都高速道路では料金所として確保できるスペースが他の高速道路料金所と比較して限られているため、表 6 に関しては必ずしも適切なレーン構成であるとはいえない。しかし、現在の首都高速本線料金所のレーン数の分布を考えると料金所流入量 1500 台/時、2000 台/時に対するレーン構成は現実的であると考えられる。

5 結論

ETC の進入時に起こる事故に着目して、その一因として進入時の速度との関係があるという仮説の下に取材、シミュレーションを実施した。取材の結果、現在推奨されている進入速度 20km/h 以下の根拠はあいまいであり、さらなる検証の必要性が求められる。本稿では、進入速度 20km/h に関する安全性および利便性について考察した。4.1 のシミュレーションより、20km/h が十分な余裕がある速度でないことが、4.2 より、10km/h であっても、処理台数に大きく影

響を与えることがないことが示された。つまり、ETC の進入速度として 10km/h という新たな可能性を示した。シミュレーションの結果であるため、現実の施設における再現性をどこまで満たしているかは定かでないが、ETC 進入時におけるリスクの低減について一つの方向性が示されたのではないかと考えられる。

謝辞

取材にご協力くださった首都高速道路株式会社、ORSE(財団法人道路システム高度化推進機構)の皆様にご心から感謝いたします。また、グループワークを進めるにあたり適切なご指導をくださった古川宏准教授に深く感謝いたします。

参考文献

- [1]財団法人道路システム高度化推進機構(2006年)「ETC 便覧平成 18 年度版」
- [2]倉沢鉄也(2000年)「テクノ図解 ITS」
- [3]株式会社自動車新聞社(2004年)「自動車年鑑 2004」
- [4]森地茂, 川嶋弘尚, 奥野卓司(2000年)「ITS とは何か」
- [5]高木典雄(1970年)「司法研究報告書 21 巻 2 号 自動車による業務上(重)過失致死傷害事件における過失の認定について」
- [6]堀口良太, 桑原雅夫「ETC 導入による料金所容量への影響に関する理論的解法と考察」
土木学会論文集 No. 653/IV-48, 29-38, 2000. 7
- [7]ORSE(財団法人道路システム高度化推進機構)
<http://www.orse.or.jp/index.php> (2007.09.28 現在)
- [8]首都高速株式会社
<http://www.shutoko.jp/index.php> (2007.09.28 現在)
- [9]ETC 総合情報ポータルサイト
<http://www.go-etc.jp/> (2007.09.28 現在)
- [10]国土交通省道路局 ITS ホームページ
<http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/> (2007.09.28 現在)
- [11]道路関係四公団民営化推進委員会 委員懇談会資料
平成 17 年 2 月 4 日