

高速道路における交通現象の 再現／評価シミュレーションの開発

田中淳¹・泉典宏¹・辻光弘¹・大西康弘¹・原田征己¹・後藤秀典¹・古市朋輝²

¹正会員 (株)オリエンタルコンサルタンツ (〒150-0036 東京都渋谷区南平台町16-28)

²正会員 工博 (株)オリエンタルコンサルタンツ (〒150-0036 東京都渋谷区南平台町16-28)

高速道路において渋滞問題が発生し、対策が必要となるサグ部、分合流部、織込み部、料金所部等における、加減速挙動、車線変更挙動、料金所レーン選択挙動、E T C挙動等の複雑な交通現象をリアルに再現、評価できる交通流シミュレーションを開発した。本シミュレーションを用いることにより、車線増や車線運用変更に伴う渋滞改善効果の把握、インターチェンジやジャンクションにおける交通運用計画、合流加速車線長の適正な長さの検討、付加追越車線や登坂車線の設置効果把握、料金所の最適なE T Cレーン配置等の検討が可能となった。本論文では、本シミュレーションの概要、適用可能場面と評価方法等について示した。

キーワード：交通流シミュレーション、交通現象、高速道路、事業評価

1. はじめに

道路および道路関連施設の計画、整備、改良にあたり、事前評価が重要となっている。また、アウトカム指標を用いた評価システムの導入や住民への広報が求められており、事業の効果をわかりやすく示すツールが必要となっている。

一方、道路事業は多様化しており、1.5車線の道路、小型道路、完成2車線道路等の新たな規格の道路や、E T C、V I C Sに代表されるI T S技術を用いた道路の使い方の工夫、チャネルリゼーションの変更など簡易な方法による交通容量拡大策が模索されている。このような施策については、事例が少ないことや新たな交通現象が発生することから、その効果を事前に定量的に評価することが困難となっている。特に、高速道路において渋滞問題が発生し、対策が必要となるサグ部、分合流部、織込み部、料金所部等については、加減速挙動、車線変更挙動、レーン選択挙動、E T C挙動等の複雑な交通現象が発生しており事前評価が難しい。

このような交通現象を再現し、評価する手法として交通流シミュレーションを用いた手法があるが、通常の市販されているシミュレーションでは、これら詳細な挙動まで再現でき、かつ地域の実情にあうように自由にカスタマイズできる機能を持ちあわせ

たものは存在しない。このような課題の解決のため、高速道路における様々な交通現象をリアルに再現、評価できる交通流シミュレーションを開発した。

本シミュレーションを用いることにより、車線増や車線運用変更に伴う渋滞改善効果の把握、インターチェンジやジャンクションにおける交通運用計画、合流加速車線長の適正な長さの検討、付加追越車線・登坂車線の設置効果把握、料金所の最適なE T Cレーン配置の検討等が可能となった。

本論文では、本シミュレーションの概要、適用可能場面と評価方法等について示した。

2. 交通流シミュレーションの概要

(1)シミュレーションモデルの基本構成

図-1は本シミュレーションモデルの基本構成を示したものである。モデルは、走行モデルとパラメータからなっており、その概要は以下のとおりである。

a)走行モデル

走行モデルは、主に発生・消去モデル、縦方向移動（加減速）モデル、横方向移動（車線変更）モデルからなる。

発生・消去モデルは、車両の発生と消去を行う。縦方向移動モデルは、自由走行、追従走行（追従理

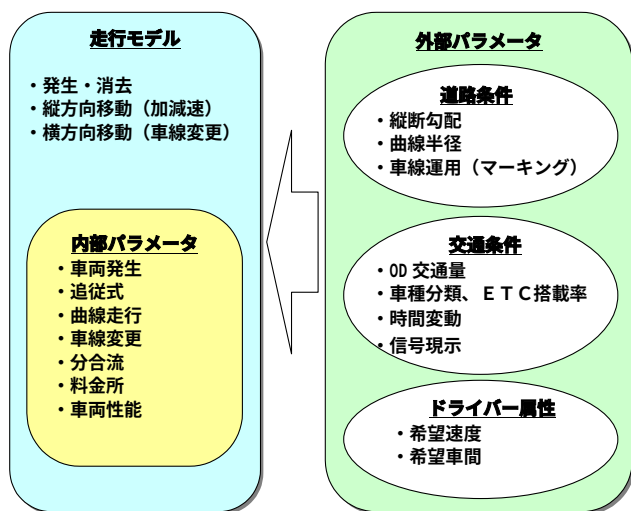


図-1 モデルの構成

論）、発進・停止、走行性能、料金所の加減速・停止、曲線部の減速等を行う。横方向移動モデルは、追越・復帰、合流、分流、織込み、避走、付加車線、料金所のレーン選択等を行う。

b)パラメータ

パラメータは、内部パラメータと外部パラメータの2種類がある。

内部パラメータは、走行モデルで必要となる追従走行や車線変更判断基準等のパラメータである。

外部パラメータは、道路条件や交通条件等の場所毎の外的な要因を定めるパラメータである。

(2)再現手順

図-2は、モデルの再現手順をフロー図で示したものである。同図の通り、まず道路条件等を読み込んだ後に、車両の発生、車1台1台の縦方向、横方向の移動に関する計算、車両の消去等について、タイムピリオド（0.1秒）毎に計算し、交通状況を再現している。

(3)走行モデル

走行モデルとして、図-3に示す単路の自由・追従走行挙動（縦方向の制御）、追越・復帰挙動（横方向の制御）に関して以降に示す。

a)自由・追従挙動

ある一定距離内に前方車両が存在しない場合は、自由走行となる。自由走行では、自車が希望する速度（希望速度）で走行する。この希望速度は車種別にパラメータとして付与している。

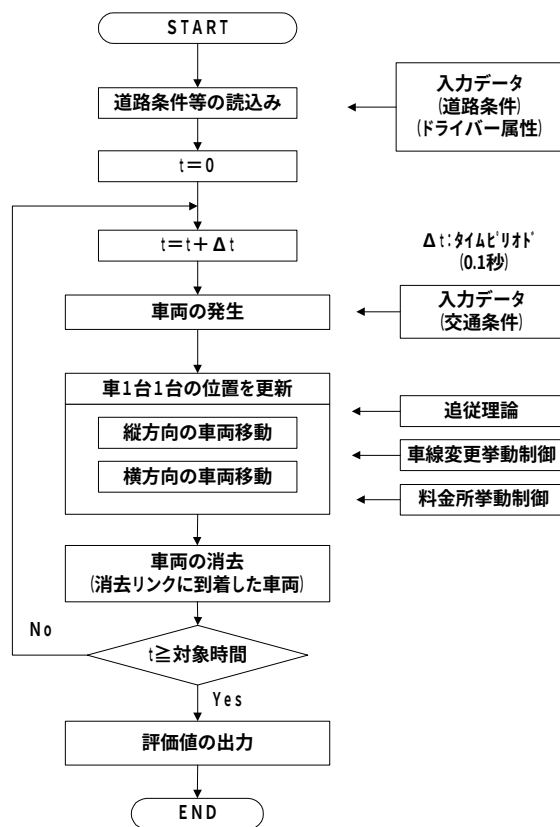


図-2 モデルの再現手順

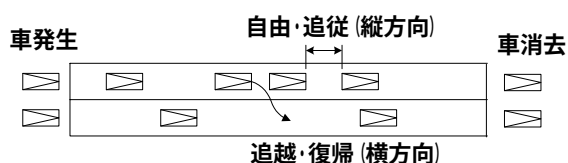


図-3 走行モデル

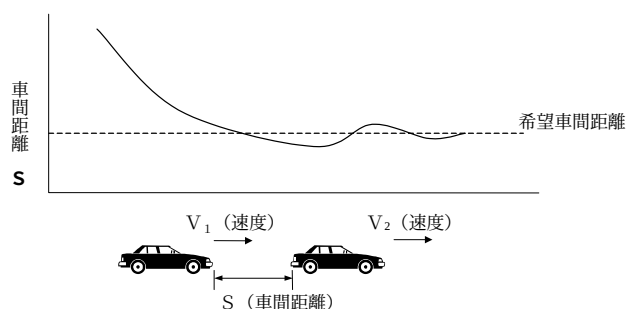


図-4 追従理論の概念図

ある一定距離内に前方車両が存在する場合は、追従理論に基づき、希望する車間距離（以降 希望車間距離）に近づくように、自車と前方車との速度差（ V_1 , V_2 ）、車間距離（ S ）等の関係から加速・減速走行を行う（図-4）。希望車間距離は速度との線形近似式となっている。

b) 追越・復帰挙動

追越は、前方に車両が存在し、かつ前方車両が遅く、追越車線に前方ラグ、後方ラグが一定値以上あるといった条件が整った場合に追越を行う。また、復帰は、追越が完了し自由走行になり、復帰側の車線に前方ラグ、後方ラグが一定値以上あるといった条件で行う（図-5）。

これらの自由・追従挙動、追越復帰挙動に関する片側2車線道路の検証結果として、交通量レベル毎の車線利用率と、ある地点における速度分布の実測値との比較を図-6、図-7に示した。交通量レベルが大きくなるにつれて、追越車線側の利用率が多くなっていく状況や、各車線の速度分布状況が正確に再現されていることがわかる。

(4) パラメータ

表-1及び表-2に主な内部パラメータと外部パラメータを示した。内部パラメータは走行モデルの内部に組み込まれているものであり、原則として道路構造や走行条件に依存しないものであるのに対して、外部パラメータは、場所毎の道路特性や交通特性を設定するものである。

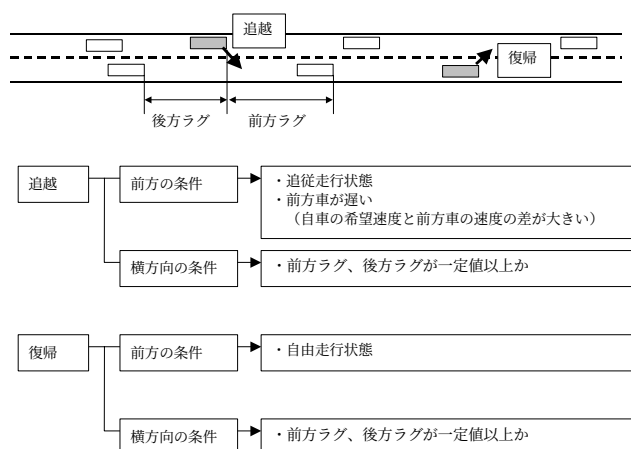


図-5 追越・復帰挙動の概念図

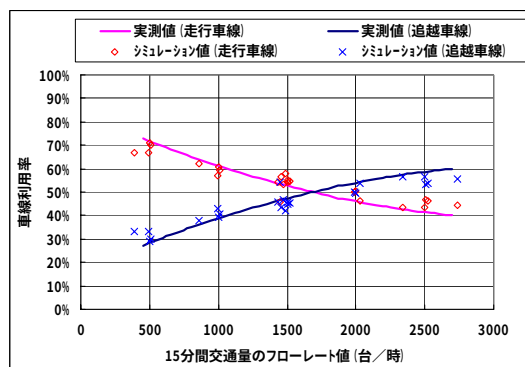


図-6 2車線モデルの検証（車線利用率）

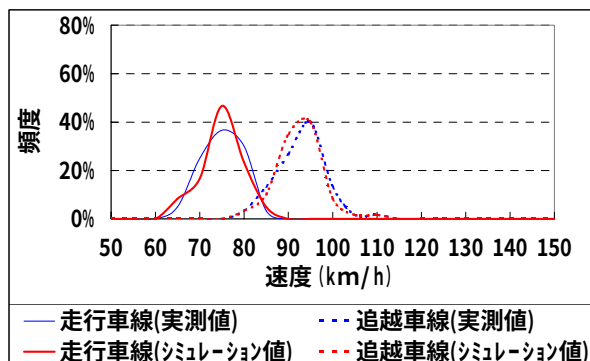


図-7 2車線モデルの検証（速度分布）

表-1 主な内部パラメータ

種類	パラメータ
車の発生に関するもの	・車の発生間隔
自由・追従走行に関するもの	・駆動力 ・走行抵抗
曲線走行に関するもの	・速度の低減率
車線変更に関するもの	・車線変更判断基準
分合流に関するもの	・車線変更時ギャップ
料金所に関するもの	・一般車の料金所停止時間 ・ETC車の料金所通過時間

表-2 主な外部パラメータ

種類	パラメータ
道路条件に関するもの	・縦断勾配 ・曲線半径 ・車線運用（マーキング）
交通条件に関するもの	・OD交通量 ・車種分類、ETC搭載率 ・時間変動
ドライバー属性に関するもの	・希望速度 ・希望車間距離

(5) 評価値出力

評価値は、表-3に示すようにシミュレーション上での車両感知器設置箇所の交通量、速度、通過車両属性、指定地点間の旅行時間等の交通データの出力の他に、車の動き自体をアニメーション出力することも可能である（図-8）。アニメーション出力は顧客や住民に説得力のある表現方法となる。

表-3 主な評価値出力内容

項目	内容
交通量	断面、車線別
速度	断面、車線別
通過車両属性	1台毎の通過時刻、速度、車頭時間等
旅行時間	指定地点間の旅行時間、旅行速度
アニメーション	指定画角からの映像をAVIファイルに出力（2D、3D）



図-8 アニメーション出力

3. モデルの活用可能場面

本シミュレーションモデルの主な活用可能場面としては、以下のようなものがあげられる。

- 1) 車線増や車線運用変更に伴う渋滞改善効果
- 2) インターチェンジ等における交通運用計画
- 3) 合流加速車線長の適正な長さの検討
- 4) 織込み区間の交通運用検討
- 5) ETC利用率の増加に伴う料金所レーン配置
- 6) 2車線道路の適切な付加車線長の検討
- 7) 付加追越車線・登坂車線の設置効果の把握

この中から、3)、5)、7)の3つの事例に関して適用の概要や評価方法等について以降に示した。

(1) 合流加速車線長の適正な長さの検討

a) 検討概要

日本道路公団が民営化され、道路の合理的な設計を実施することは重要な項目の一つとなっている。今後建設される道路の中には利用がそれほど見込まれない箇所もあり、そのような箇所では渋滞等の問題が起こることは考えにくく、安全性・円滑性を確保しながらも、現状より経済的な短い加速車線に対応できる可能性がある。そこで本交通流シミュレーションを利用して、図-9のような合流部の加速車線

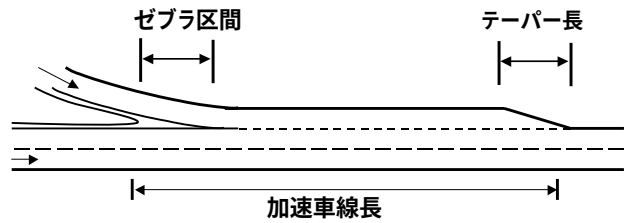


図-9 合流部の形状

長について安全性・円滑性の面から評価を行い、合理的な加速車線長に関する検討を行った。

b) 合流部モデルの概要

本シミュレーションにおいて合流部の走行モデルは、大きく「ランプからの合流挙動モデル」と「本線の避走挙動モデル」が組み込まれている。

「ランプからの合流挙動モデル」は、加速車線内において、ランプから合流する車両と本線の車両との位置、速度、ギャップ等の関係から加減速調整を行い、本線に合流させている。また、「本線の避走挙動モデル」は、本線の車両とランプからの合流車両との位置、速度等の関係から避走の可否を判断している。

パラメータには、合流時のギャップ、避走の判断基準（本線との速度差）等がある。

図-10は、あるインターチェンジの合流部において、合流位置の実測値とシミュレーション値を比較したものである。同図に示すように合流位置が整合しており、本モデルの再現性が高いことがわかる。

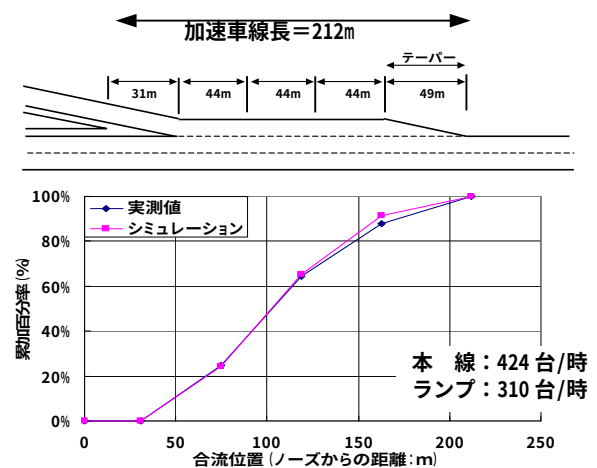


図-10 検証結果（合流位置）

c) 適正な加速車線長の検討

適正な加速車線長を検討するため、図-10で検証した地点について、加速車線長や交通量を変化させてシミュレーションを行い、結果を図-11に示した。

評価指標としては「テーパー区間で合流する比率」を用いた。この指標は、加速車線が不足する場合に大きな値となる指標として、感度分析の結果から選定した指標である。すなわち、この指標が低い方が合流の末端まで行かずスムーズに合流できていることを示し、逆にその指標が高くなると合流できずに末端まで行き、強引に車線変更していることを示している。図-11によると、当該地点は加速車線長が212mなのに対して、190m程度まで短くしてもテーパー区間で合流する比率は殆ど変わらず、190mより短くなると、急激に比率が高くなり、サービスレベルが落ちている。この結果から見ると、当該地点での加速車線は190mあれば十分であり、20m程度縮小することが可能であることがわかる。

今回はある1地点のみであるが、多くの地点を行うことで加速車線長の基準化も可能と考えられる。

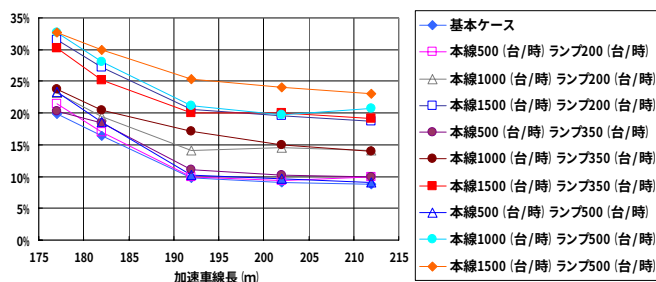


図-11 テーパー区間で合流する比率

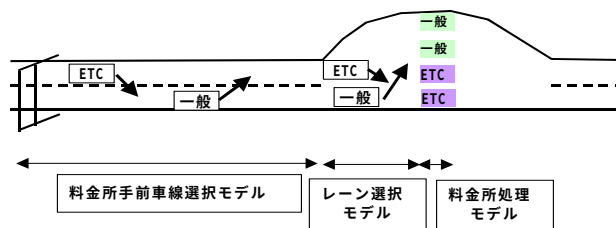


図-12 料金所モデルの種類

(2) ETC利用率の増加に伴う料金所レーン配置

a) 検討概要

ETC利用率は近年急激に増加しており、ETCレーンの増設等の対策が必要となる。ETCレーンの増設にあたっては、その配置やレーン運用（専用と混在）により料金所前後の錯綜等の問題が発生する可能性がある。このことから、本シミュレーションを用いて、ETC利用率の増加に伴う最適なレーン配置及び運用の検討を行った。

b) 料金所モデルの概要

料金所部の走行モデルは、大きく「料金所手前車線選択モデル」、「レーン選択モデル」、「料金所処理モデル」の3つに大別される（図-12）。

「料金所手前車線選択モデル」は、料金所手前の一定距離（パラメータ）に入った場合に、自車の車線位置とETCレーンと一般レーンの関係から車線選択を確率的に行う。「レーン選択モデル」は、料金所広場内において、ETC車はETCレーンを、一般車は一般レーンを選択するように車線変更数する。レーン選択にあたっては料金所からの滞留長を加味して、確率的に選択する。「料金所処理モデル」は、ETC車は、指定した速度低減係数（パラメータ）に従い減速し、料金所レーンを通過する。一般車は、指定した料金所停止時間（パラメータ）に従い停止し、料金所レーンを通過する。

c) 料金所レーン配置の検討

ある都市内高速道路の本線集約料金所を対象に、図-13のレーン配置において、ETC利用率が50%になった場合（検討当時は20～30%）の交通状況をシミ

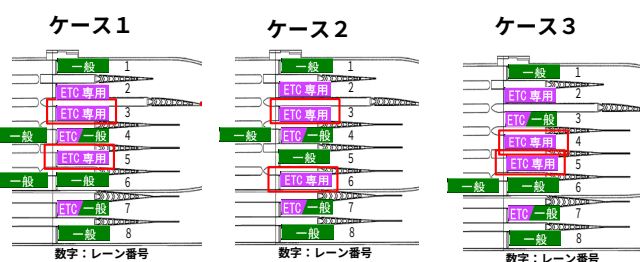


図-13 予測ケース

ュレーションで予測した。

評価指標は、安全面、効率面に配慮し、車線変更回数、停止回数（車線変更しきれずに一旦停止する車両の台数）、速度低下状況（滞留状況）、流出側広場における急減速回数を設定した。図-14はこのうち、結果が顕著であった停止回数についての結果を示した。停止回数がケース3が多いのは、混在のレーン3の滞留を避けてレーン6の滞留末尾に行こうとする一般車が、専用のレーン4、5を跨ぐことになり、車線変更の距離が足りない車両が出てくるためである。この結果の他、速度低下（滞留）事象、流出側で急減速事象が発生しにくさ等から、ケース2のレーン配置が望ましいと提案した。

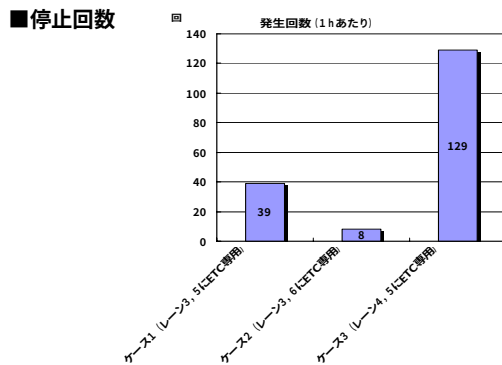


図-14 予測結果（停止回数，急減速回数）

(3)付加追越車線の設置効果の把握

a)検討概要

近年の道路構造令改訂では完成2車線といった新たな道路規格ができ，暫定2車線を含めて2車線道路が今後増加していくことが予想される．2車線道路においては，適切な走行速度を確保し，高いサービス速度を提供するため，原則として付加追越車線を設置するものと規定されている．付加追越車線は設置間隔 6～10 km，設置延長 1.0～1.5km を標準とされている．ここではこの付加追越車線の設置効果を本シミュレーションを用いて検討した．

b)付加追越車線モデルの概要

付加追越車線の走行モデルは，付加追越車線部の（車線減少部以外）は追越・復帰モデル，車線減少部は合流部モデルを採用している．

c)付加追越車線の設置効果

付加追越車線の設置条件を図-15のとおり設定した．交通量は 200 台/時，600 台/時とし，大型車混入率は 50%としてシミュレーションを行った．評価指標は，地点別の追従率（車頭時間が4秒以下を追従車と判定），起終点間の旅行速度とした．

これらの結果を図-16，図-17に示した．地点別の追従率をみると，付加追越車線部で追従状態が一度解放されていることがわかる．これにより運転者のイライラ感は軽減するものと考えられる．また，平均旅行速度は 10km/h 程度上昇することとなり，サービスレベルも高くなっていることがわかる．

今後はこのシミュレーションを用いて合理的な付加車線設置間隔や設置延長の検討も可能と考えられる．

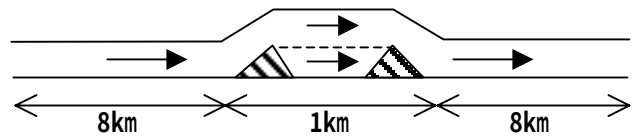


図-15 付加追越車線の設置条件

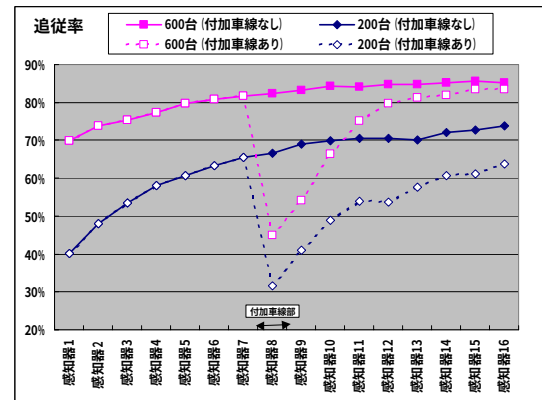


図-16 予測結果（追従率）

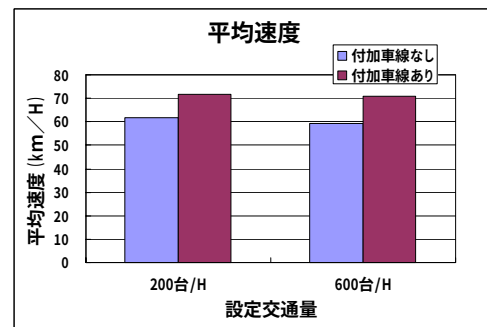


図-17 予測結果（平均旅行速度）

4. おわりに

本論文では，自社開発した交通流シミュレーションの概要と活用可能な場面と評価方法を紹介した．当社では，同業他社に先駆け，20数年前から交通流シミュレーションの開発や，それを用いた交通運用評価に係る業務を行っていた．今回開発した交通流シミュレーションはその集大成のモデルである．

本シミュレーションの特徴は，高速道路の交通現象を精度よく再現できているとともに，自社開発であることから，今後再現が難しい場面などに直面した場合にも，顧客のニーズに合わせて自由にプログラムをカスタマイズできることにある．またこれを繰り返すことで更なる進化を遂げていくことが可能である．

このためにも，この開発したモデルを様々な場面で利活用していくことが重要である．