

平成29年度
戦略的イノベーション創造プログラム
(自動走行システム) :
地域交通CO₂排出量可視化技術の開発及び実証
報告書

平成30年3月

 パシフィックコンサルタンツ株式会社

目次

1.	序章.....	5
1.1	事業の目的	5
1.2	CO ₂ 排出量可視化技術開発の方針.....	6
1.3	事業の実施概要	8
1.4	事業のスケジュール	11
2.	自動走行による交通流円滑化に対する交通流シミュレーション技術開発.....	12
2.1	自動走行システムのモデル化、交通流シミュレーションへの実装.....	12
2.1.1	高速道路での自動運転評価のための合流モデル精緻化	12
2.1.2	一般道路での自動運転評価のための相乗りモデル実装	14
2.2	交通流シミュレーションの検証	17
2.2.1	グリーンウェーブ走行の検証.....	17
2.2.2	一般道路での自動運転の検証.....	19
2.2.3	高速道路での自動運転の検証.....	22
2.2.4	地域における管制交通システム（ラストワンマイル自動走行）の検証	25
2.2.5	地域における管制交通システム（自動バレーパーキング）の検証.....	27
3.	自動走行による運転挙動変化に対する排出量推計技術開発	29
3.1	自動車 CO ₂ 排出量モデルの拡充	29
3.1.1	1Box ハイブリッド乗用車の CO ₂ 排出量モデル構築.....	29
3.1.2	燃料電池バスのエネルギー消費量モデル作成.....	34
3.2	自動走行システム導入時の CO ₂ 排出量モデルの作成	38
3.2.1	信号制御情報等を活用したグリーンウェーブ走行.....	38
3.2.2	ART（バス車両のスムーズな加減速）	38
3.2.3	隊列走行.....	38
3.2.4	高速道路および一般道路での自動運転	39
3.2.5	地域における管制交通システム（ラストワンマイル自動走行、自動バレーパーキング）	39
4.	自動走行による事故削減に伴う渋滞損失・環境インパクト低減の評価手法の構築	40
4.1	評価手法の構築	40
4.1.1	評価手法の概要	40
4.1.2	使用したデータの概要	41
4.2	事故影響評価マクロ交通流シミュレーションを用いた分析	44
4.2.1	分析手法の概要	44
4.2.2	事故影響評価マクロ交通流シミュレーションの実施.....	55

4.2.3	CO ₂ 排出量マクロモデルを用いた CO ₂ 排出量の算出	60
4.3	モデル都市での推計	66
4.3.1	推計方法の概要	66
4.3.2	推計結果	67
5.	CO ₂ 排出量削減効果の評価に資するデータの整備	68
5.1	ART の評価に必要なデータ	68
5.2	高速道路および一般道路での自動運転の評価に必要なデータ	69
5.2.1	国道 16 号の交通流シミュレーション用データセット構築	69
5.2.2	CO ₂ 排出量に用いるデータの整備	71
5.3	地域における管制交通システム（ラストワンマイル自動走行、自動バレーパーキング）評価に必要なデータ	72
5.3.1	交通流シミュレーション用データ取得のためのお台場地区来訪車両駐車実態調査の実施	73
5.3.2	CO ₂ 排出量モデルに用いるデータの整備	77
5.4	自動走行普及率の想定	78
6.	モデル都市での評価実施	80
6.1	信号情報を活用したグリーンウェーブ走行	80
6.2	ART	108
6.3	隊列走行	117
6.4	高速道路での自動運転	120
6.5	一般道路での自動運転	130
6.6	地域における管制交通システム（ラストワンマイル自動走行）	142
6.7	地域における管制交通システム（自動バレーパーキング）	152
7.	CO ₂ 削減効果評価ツールの研究開発における国際連携及び普及促進	163
7.1	Impact Assessment Sub Group への参加	163
7.2	ITS ヨーロッパ会議 2017 での発表	166
7.3	ITS 世界会議 2017 でのセッションの開催	169
8.	事業のまとめ	172
8.1	自動走行による交通流円滑化に対する交通流シミュレーション技術開発	172
8.2	自動走行による運転挙動変化に対する排出量推計技術開発	172
8.3	自動走行による事故削減に伴う渋滞損失・環境インパクト低減の評価手法の構築	173
8.4	CO ₂ 排出量削減効果の評価に資するデータの整備	173
8.5	モデル都市での評価実施	174
8.6	CO ₂ 削減効果評価ツールの研究開発における国際連携及び普及促進	174

1. 序章

1.1 事業の目的

自動車の普及によって、利便性の向上、経済・産業の発展、豊かな暮らしの実現等の様々な便益が享受されてきたが、それと引き換えに交通渋滞や交通事故等の発生による社会的損失も被っており、依然として早期に解決すべき課題となっている。例えば交通事故死者数は、2000年の9,073人から2015年は4,117人と半数近くに減少¹したものの減少ペースは緩まり、近年は前年比横ばい、2015年には15年ぶりに対前年比で増加という結果となった。また、CO₂排出量の観点では、2013年度の日本国内全体のCO₂総排出量約13億1,100万トンのうち、運輸部門からのCO₂排出量が占める割合は17.1%であり²、そのうち自動車全体からのCO₂排出量が約86.4%を占めており（これはCO₂排出量全体の約14.8%にあたる）、自動車車体の燃費改善等によりCO₂排出量が削減されてきたものの、より一層の削減が求められている。

そのような中、2014年に開始された政府が推進する戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）での自動走行システム開発の一環で、自動走行システムの導入による社会影響の一つとして、自動車交通からのCO₂排出量に与える影響を定量的に評価する「地域交通CO₂排出量可視化技術」の開発を進めている。同技術によって、自動走行システムの導入がもたらすCO₂排出量への影響を定量化することで、自動走行システムの最適な社会実装方法の検討や、CO₂排出量の見える化による市民の交通行動に対する意識改革等に寄与し、自動走行システムの実用化と普及促進に貢献することを目指す。

「地域交通CO₂排出量可視化技術」の開発は、「平成27年度戦略的イノベーション創造プログラム（地域交通CO₂排出量可視化技術の調査研究）」で始まり、同調査研究事業によって、自動走行システムの導入がCO₂排出量に与える影響のメカニズムを整理したリファレンスモデルの検討、モデル構築や評価に必要なデータの整理等を実施した。次いで、「平成28年度戦略的イノベーション創造プログラム（自動走行システム）：地域交通CO₂排出量可視化技術の開発及び実証」で、検討したリファレンスモデルに沿ってモデルの構築を行った。

本報告書は、平成28年度までの成果を踏まえて、「地域交通CO₂排出量可視化技術」の開発及び実証として、平成29年度に実施した内容を取り纏めたものである。

¹ 警察庁「平成28年中の交通事故死者数について」
(<https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/index.html>)

² 国土交通省「運輸部門における二酸化炭素排出量」
(http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html)

1.2 CO₂ 排出量可視化技術開発の方針

自動車交通流からの CO₂ 排出量を可視化する技術として、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）によって実施されたエネルギーITS 推進事業（2008 年度～2012 年度）で確立された、交通シミュレーションと CO₂ 排出量モデルを組み合わせる方法がある。この方法は、交通シミュレーションによって評価対象エリア内を走行する全車両の動きを再現し、再現された車両の動きに応じた CO₂ 排出量を、CO₂ 排出量モデルを使って算出して全車両の総和をとることで、自動車交通全体から排出される CO₂ 排出量を評価するものである（図 1-1）。

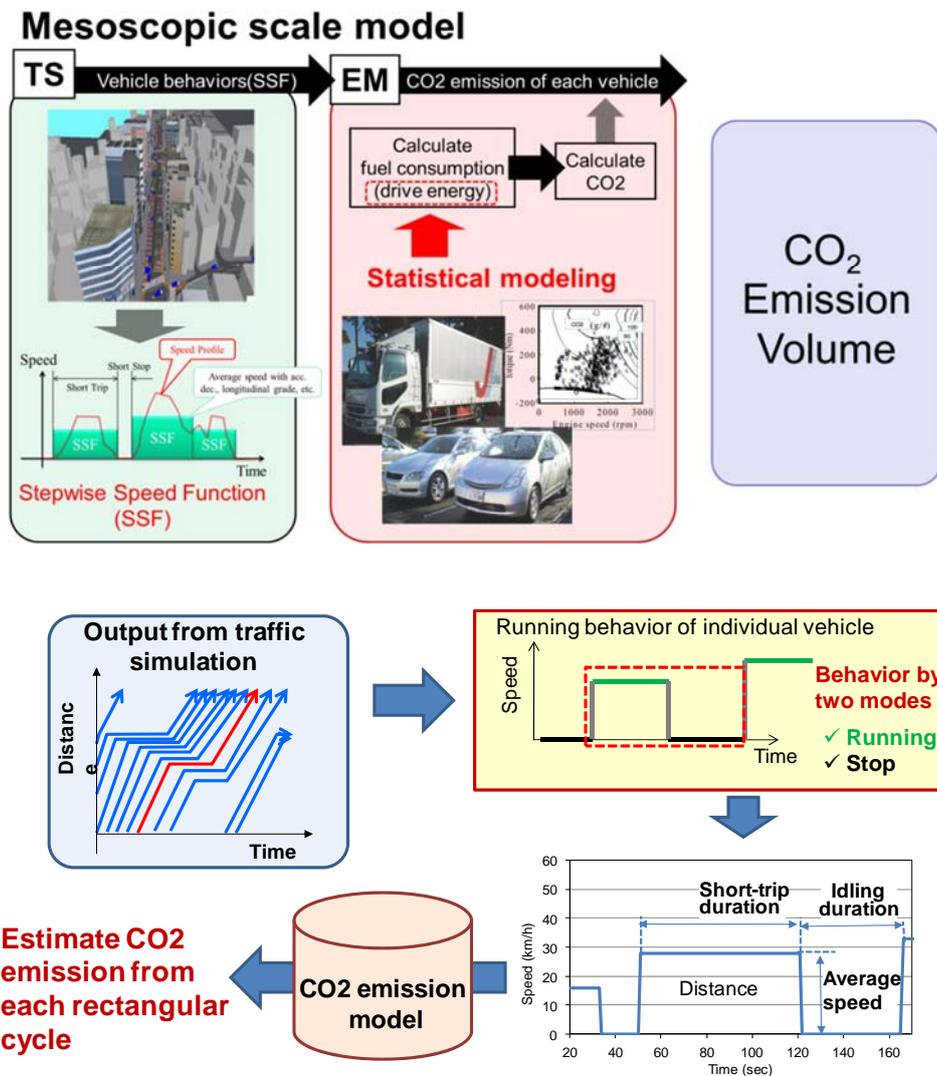


図 1-1 効果評価ツールのコンセプト³

³ 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 エネルギーITS 推進事業「国際的に信頼される効果評価方法の確立 報告書」

また、エネルギーITS 推進事業によって国際共同レポート（Guidelines for assessing the effects of ITS on CO₂ emissions、以下「国際共同レポート」とする）が発行されており、自動車交通流からの CO₂ 排出量の評価結果に対して、国際的な信頼を得るために満たすべき要件が示されている。

これらのエネルギーITS 推進事業による成果を踏まえ、本事業で対象とする地域交通 CO₂ 排出量可視化技術についても、「国際共同レポート」に準拠し、交通シミュレーションと CO₂ 排出量モデルを組み合わせて構築することを前提としている（図 1-2）。

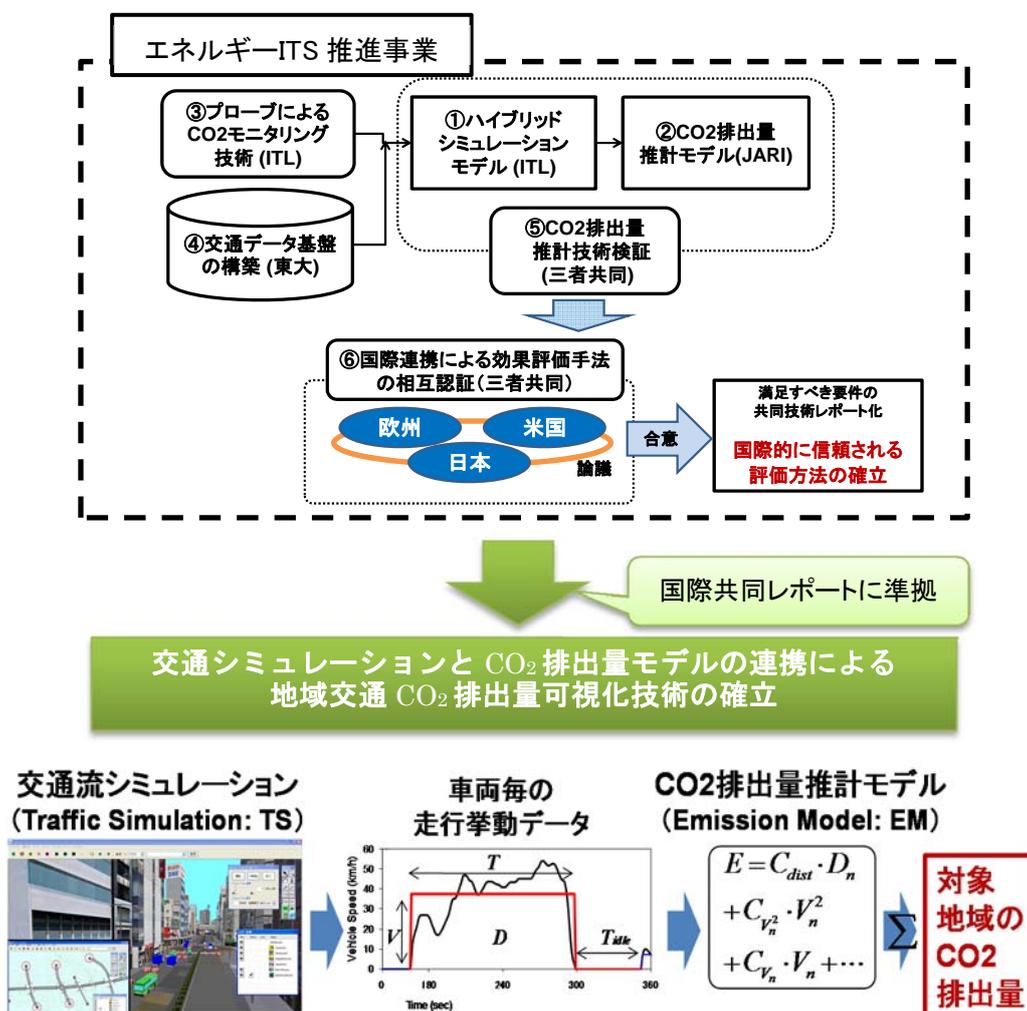


図 1-2 地域交通 CO₂排出量可視化技術のコンセプト

1.3 事業の実施概要

本事業では、地域交通 CO₂ 排出量可視化技術の開発に向けて、以下の項目を実施している。

- I. 自動走行による交通流円滑化に対する交通流シミュレーション技術開発
- II. 自動走行による運転挙動変化に対する排出量推計技術開発
- III. 自動走行による事故削減に伴う渋滞損失・環境インパクト低減の評価手法の構築
- IV. CO₂ 排出量削減効果の評価に資するデータの整備
- V. モデル都市での評価実施
- VI. CO₂ 削減効果評価ツールの研究開発における国際連携および普及促進

また、以下に挙げる 5 つの自動走行システムを、地域交通 CO₂ 排出量可視化技術の評価対象としている。

- 信号制御情報等を活用したグリーンウェーブ走行
- Advanced Rapid Transit (ART) (バス車両のスムーズな加減速)
- 隊列走行
- 高速道路および一般道路での自動走行
- 地域における管制交通システム (ラストワンマイル自動走行、自動バレーパーキング)

ここで、自動走行システムの導入・普及による CO₂ 排出量の削減効果には、自動走行システムの導入によって「市民の交通行動が変化し交通需要が変わることで CO₂ 排出量が減少する効果」、「車両の挙動をシステム側でコントロールすることで効率的な交通流が実現し CO₂ 排出量が減少する効果」、「交通事故に起因する交通渋滞の発生回数の低減によって CO₂ 排出量が減少する効果」の大きく 3 種類があると考えられる (図 1-3)。

なお、図 1-3 において点線で囲んだ範囲を本開発の対象範囲としており、自動走行システムの導入による人々の自動車の使い方や、交通モード選択の変化といった「市民の交通行動の変化」それ自体を予測するモデル開発は、本事業の対象としていない。

また、自動走行システムの導入による「事故発生件数の低減」については、同じく SIP の中で実施されている「戦略的イノベーション創造プログラム (自動走行システム) : 交通事故低減詳細効果見積もりのためのシミュレーション技術の開発及び実証」によって評価

が行われる予定であり、その結果を参照して CO₂ 排出量削減効果进行评估する計画である。

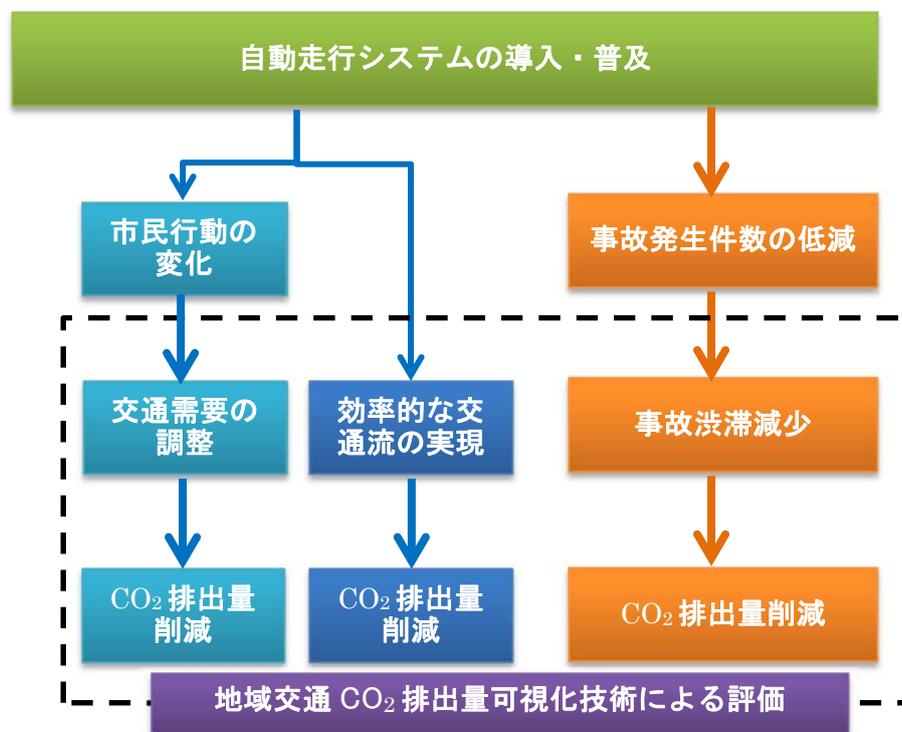


図 1-3 地域交通 CO₂ 排出量可視化技術の評価対象範囲

平成 29 年度に実施した事項の概要は、以下の通りである。

I. 自動走行による交通流円滑化に対する交通流シミュレーション技術開発

平成 28 年度までに構築した各モデルのうち、例えば高速道路での自動走行の評価のための合流部のモデルの精緻化等のモデルの改良、及び必要な機能の追加を行った。また、構築したモデルの基本検証、パラメータ調整、実用性検証を実施し、後述するモデル都市での評価を実施した。

II. 自動走行による運転挙動変化に対する排出量推計技術開発

近年普及が進んでいる 1Box タイプのハイブリッド乗用車について、台上試験を実施して取得した CO₂ 排出量データを用いて、モデル化を行った。また、評価対象の自動走行システムの一つである ART については、燃料電池バスの導入が想定されていることから、燃料電池バスの評価に対応したモデルを構築した。

III. 自動走行による事故削減に伴う渋滞損失・環境インパクト低減の評価手法の構築

プローブデータと交通事故統計データを用いて、事故発生時の交通状況を把握し、平成28年度に開発した事故影響評価マクロ交通シミュレーションによる繰り返し計算の実行によって同時時間帯の交通状況を再現することで、事故による交通容量の低下量と交通容量低下の継続時間を分析した。

また、分析結果を用いて、事故影響評価マクロ交通シミュレーションおよびマクロ CO₂ 排出量モデルにより事故削減時の CO₂ 排出削減量の推計を行った。

IV. CO₂ 排出量削減効果の評価に資するデータの整備

グリーンウェーブ走行ならびに一般道路での自動運転を評価するために、国道16号の柏市全域を対象とした交通流シミュレーション用データセットを構築した。また、ラストワンマイル自動走行及び自動バレーパーキングの評価に取り組むため、東京・お台場地区において、商業施設駐車場来訪車両の実態調査を実施し、評価シナリオに必要なデータを整備した。

V. モデル都市での評価実施

評価対象として挙げられた自動走行システムについて、モデル都市で実際に評価を行うことで、開発した技術がそれら自動走行システムの評価に適用可能であることを確認した。

VI. CO₂ 削減効果評価ツールの研究開発における国際連携及び普及促進

CO₂ 排出量可視化技術による評価結果の国外への適用可能性検討に向け、海外の効果評価関係の専門家（交通工学及び交通に起因する CO₂ 排出量評価の専門家）と連携し、開発した技術やそれを用いた評価結果、ならびに研究開発成果の有効な活用に向けた意見交換を行うとともに、海外の関連プロジェクトの動向等に関する情報収集を行った。

1.4 事業のスケジュール

本事業の実施スケジュールを、平成28年度分も含めて表1-1に示す。

表 1-1 事業スケジュール

調査項目	平成28年度												平成29年度											
	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月		
1. 自動走行による交通流円滑化に対する交通シミュレーション技術開発	モデルの設計作業																							
	ARTの専用車線モデルの開発																							
	一般バス車両の発進加速度調査																							
	モデルの実装作業(グリーンウェーブ、高速道路、一般道の自動走行、地域における管制交通システム)																							
	モデルの検証作業(ART、隊列走行)																							
	モデルの検証作業(グリーンウェーブ、高速道路、一般道の自動走行、地域における管制交通システム)																							
	事故影響評価マクロ交通シミュレーションモデルの開発																							
2. 自動走行による運転挙動変化に対する排出量推計技術開発	ディーゼル乗用車のCO2排出量モデル作成																							
	ディーゼルバスのCO2排出量モデル更新																							
	自動運転導入時のCO2排出量モデル作成																							
	ハイブリッド乗用車のCO2排出量モデル作成																							
	燃料電池バスのエネルギー消費量モデル作成																							
	自動運転導入時のCO2排出量モデル更新																							
3. 自動走行による事故削減に伴う渋滞損失・環境インパクト低減の評価手法の構築	交通事故発生状況と交通状況整理																							
	交通事故が交通流へ与える影響分析																							
	定量評価のプロセス整理																							
4. CO2排出量削減効果の評価に資するデータの整備	道路ネットワーク・車線構成・道路線形データ、信号制御パラメータ、各種交通規制データの整備																							
	交通需要データ(OD表)の整備																							
	ビーコン設置位置・交通量センサ設置位置の整備																							
	CO2排出量モデルに関するデータ整備																							
	事故削減によるCO2排出削減量の評価に関するデータ整備																							
5. モデル都市での評価実施	隊列走行システム、ART導入のシミュレーションスタディ																							
	高速道路での自動運転システム、グリーンウェーブ走行システム導入のシミュレーションスタディ																							
	地域における管制交通システム導入のシミュレーションスタディ																							
	CO2排出量の推計																							
6. CO2削減効果評価ツールの研究開発における国際連携および普及促進																								
とりまとめ、報告書作成																								

2. 自動走行による交通流円滑化に対する交通流シミュレーション技術開発

2.1 自動走行システムのモデル化、交通流シミュレーションへの実装

2.1.1 高速道路での自動運転評価のための合流モデル精緻化

過年度業務において、交通流の再現性に課題が残されていた高速道路合流部の車両挙動モデル化については、柳原（2014）⁴による「運転意図推移モデル」をマイクロ交通流シミュレータ‘MicroAVENUE’に実装して解決にあたった。これは、図 2-1 のように、合流時の車線変更時における、隣接車線の進入ギャップ選択行動を離散選択モデルとして扱い、阪神高速道路環状線・守口線合流部でのビデオ画像に基づく車両挙動データを用いて、表 2-1 に示した選択モデルの効用関数パラメータを同定している。

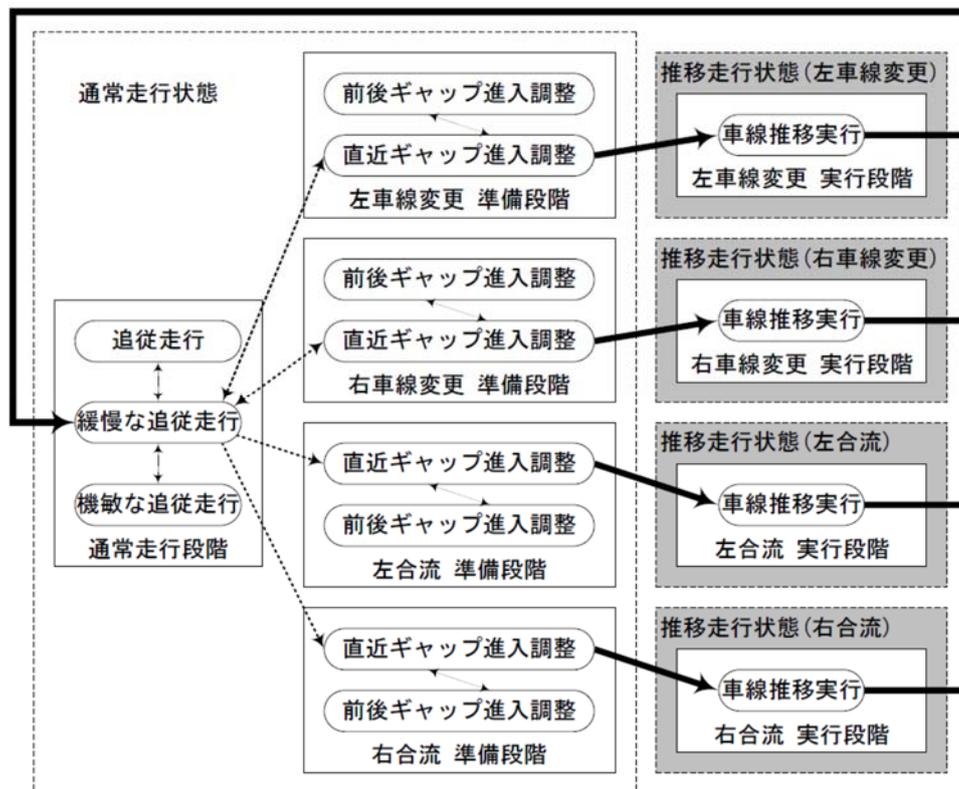


図 2-1 車線変更・合流を考慮した運転意図推移構造⁴

⁴ 柳原正実: 運転意図の推移を考慮した車両挙動解析に関する研究, 京都大学学位論文, 2014.03.

表 2-1 運転意図推移パラメータ 4

推移元→推移先:説明変数	パラメータ	標準偏差	T値
緩慢な追従走行→追従走行:			
定数	1.1	4.5E-01	2.6E+00 ***
直前方車両相対距離	-0.1	1.0E-03	-1.2E+02 ***
追従走行→緩慢な追従走行:			
定数	-0.2		
直前方車両相対距離	-0.3		
緩慢な追従走行→機敏な追従走行:			
定数	87.8	3.7E+02	2.4E-01
直前方車両相対距離	-28.2	1.2E+02	-2.4E-01
機敏な追従走行→緩慢な追従走行:			
定数	-1.3		
直前方車両相対距離	-9.3		
緩慢な追従走行→直近ギャップ進入調整:			
定数	-0.7	3.5E-01	-2.1E+00 **
進入先前方車両相対距離	0.0	7.4E-03	-4.5E+00 ***
進入先前方車両非存在ダミー	-0.5	1.2E+00	-4.2E-01
目標車線ダミー(車線変更)	10.5	1.7E+00	6.2E+00 ***
車線残り距離(合流)	2.0	4.0E+00	4.9E-01
直近ギャップ進入調整→緩慢な追従走行:			
定数	-5.7	2.4E+00	-2.4E+00 ***
進入先前方車両非存在ダミー	-1.1	9.5E+00	-1.1E-01
目標車線ダミー	-0.1	5.1E+00	-2.7E-02
直近ギャップ進入調整→前後ギャップ進入調整:			
定数	2.2		
進入先後方車両相対距離	6.5		
進入先後方車両非存在ダミー	0.1		
前後ギャップ進入調整→直近ギャップ進入調整:			
定数	-5.7		
進入先後方車両相対距離	-3.6	6.9E+00	-5.2E-01
進入先後方車両非存在ダミー	0.9		
直近ギャップ進入調整→車線変更実行:			
定数	4.2		
進入先後方車両相対距離	4.5		
進入先後方車両非存在ダミー	2.2		
目標車線ダミー	-3.8		
車線変更実行→緩慢な追従走行: 定数	-3.2	1.5E-01	-2.1E+01 ***

(有意確率 * P<10%, ** P<5%, *** P<1%)

2.1.2 一般道路での自動運転評価のための相乗りモデル実装

一般道路での自動運転として、地域における管制交通システムにおける端末交通システムとしてのラストワンマイル自動走行サービスがある。ラストワンマイル自動走行サービスには、複数の拠点を回りながら各利用者を目的地まで輸送する自動走行車が必要であり、その際の利用者の相乗りを効率よく運用することも期待される。相乗り機能においては、複数のトリップを1台の車両で扱うことになるため、一般的に1トリップごとに交通需要を設定する交通シミュレーションでは再現が難しく、1台で複数トリップを扱うことができる機能を追加する必要がある。そのため、いくつかのトリップが連続したスケジュールを設定して、各拠点を1台で走行することができる機能（トリップチェーンモデル）を実装した。

一方で、ラストワンマイル自動走行と駐車管理の自動化の組み合わせによる公共交通システムの評価も実現できるよう、自動バレーパーキングの効果評価が可能な駐車場モデルについても実装した。

(1) トリップチェーンモデル

トリップチェーンモデルは、ある車両が連続的に行われるトリップのつながりを再現できるように、車種、ODに対して、複数の中継地点を設定し、設定した中継地点を順番に走行していく挙動を交通シミュレーション上で再現する仕様とした。図2-2にトリップチェーンモデルのイメージ図を示す。従来は、各拠点間のトリップは別車両のトリップとして扱っていたため、1台の行動としてスケジュールを組んで走行させることができず、時間的な整合を取ることが難しかった。トリップチェーンモデルを実装することによって、1台の車両の走行にトリップの連続性を持たせることができるようになり、相乗り走行時の拠点間移動を再現することが可能となった。

表2-2に実装したトリップチェーンモデルのパラメーター一覧を示す。パラメータとしては、中継地点、中継地点からの出発時刻が従来のOD交通量データに追加設定され、これによって終点までに複数地点を立寄ることができる仕様とした。なお、各中継地点間の経路については、従来の経路選択モデルを利用して選択する。また中継地点においては、ラストワンマイル自動走行車の利用者の乗降等を考慮し、各中継地点における出発時刻を設定することで一時的な停車等を再現できるようにした。

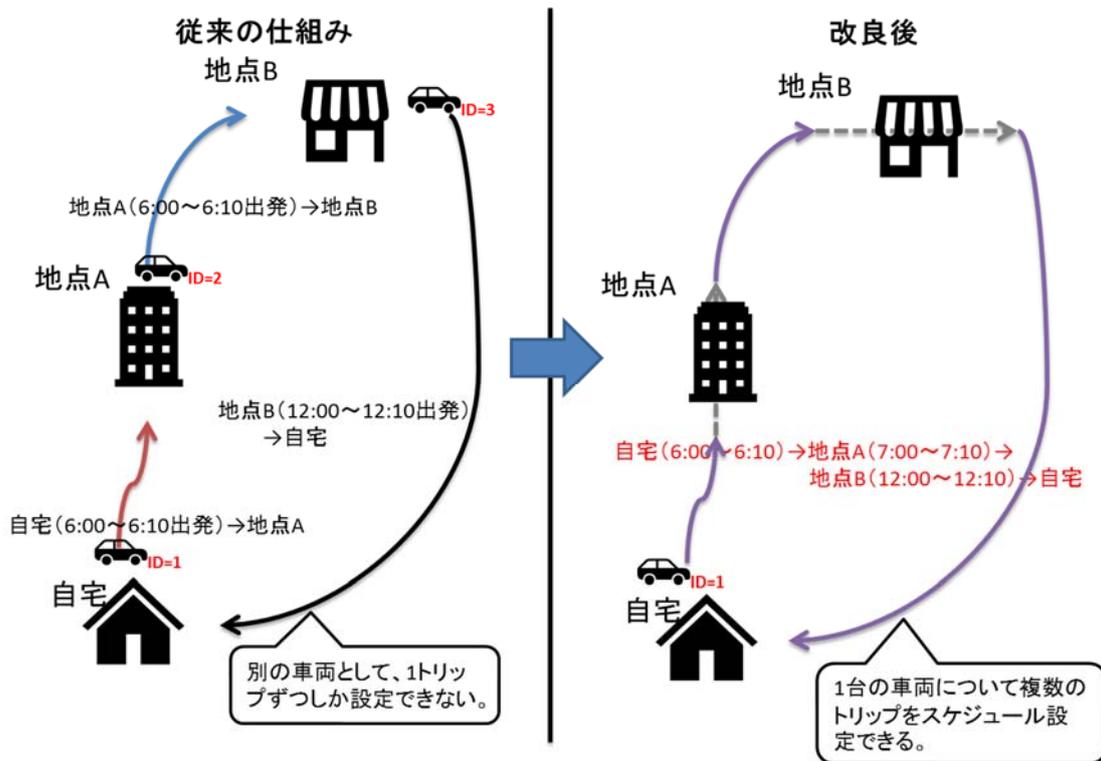


図 2-2 トリップチェーンモデルの概要（イメージ図）

表 2-2 トリップチェーンモデルパラメーター一覧

パラメータ	説明
起点	最初に出発する地点（セントロイド）
終点	最後に到着する地点（セントロイド）
車種	走行する車両の車種タイプ
中継地点	起点と終点間の立寄る中継地点（複数設定可）
中継地点待ち時間	中継地点での待ち時間（複数設定可）
需要発生スケジュール	起点から発生する車両の台数（時間帯別）

(2) 駐車場モデル

本事業で実装した駐車場モデルは、一般的な駐車場の機能および入出庫の挙動を再現するとともに、自動バレーパーキングシステムを評価可能な機能を持つ仕様とした。駐車場の機能としては、駐車場への入庫、最大駐車台数による入場制限（場外への駐車待ち車両の滞留）、駐車場内での駐車、出庫の一連の挙動が再現できる必要がある。したがって、以下の機能を持つ駐車場モデルを実装した。

- 駐車場の入庫、出庫の場所を指定し、入庫口を目的地として車両が走行する。
- 駐車台数が最大駐車台数を上回ると入庫制限がかかり、入庫できず滞留する。
- 一定の駐車時間が経過したのち、指定した出庫口から出庫して元の起点へ戻る。

表 2-3 に駐車場モデルのパラメーター一覧を示す。入庫口、出庫口においては複数設定可能とした。また、駐車時間については各車両のばらつきを表現できるモデルを実装し、来場車両の挙動については 2 つのタイプを設定できる仕様とした。また、駐車場が満車の際に別の駐車場へ目的地を変更するうろつき交通を表現するため、当初の目的地を別の目的地へ変更する機能も実装した。

表 2-3 駐車場モデルパラメーター一覧

パラメータ	説明
入庫口	入庫できる位置（リンクまたはノードで指定）
出庫口	出庫できる位置（リンクまたはノードで指定）
最大駐車台数	最大で駐車できる台数
平均駐車時間	駐車時間の平均値
駐車時間分散値	駐車時間の分散値
最長駐車時間、最短駐車時間	駐車時間の上限と下限
来場車両の挙動タイプ	1: 駐車場に到着してトリップが終了する 2: 到着した車両は一定時間駐車して出庫し、最初に出発したゾーンを目的地にして走行する

2.2 交通流シミュレーションの検証

2.2.1 グリーンウェーブ走行の検証

本事業にて実装したグリーンウェーブモデルは、「信号通過支援システム」、「赤信号減速支援システム」をシミュレーション上で再現するものであり、シミュレーションモデルに実装した2つの機能が想定どおりの車両挙動を再現しているか検証した。図2-3に検証対象ネットワークを示す。ここでは、グリーンウェーブのサービス対象となる3交差点を設置し、情報提供ビーコンの位置から各交差点における信号情報を受け取り、推奨速度を計算して車両がグリーンウェーブ走行を行う設定とした。

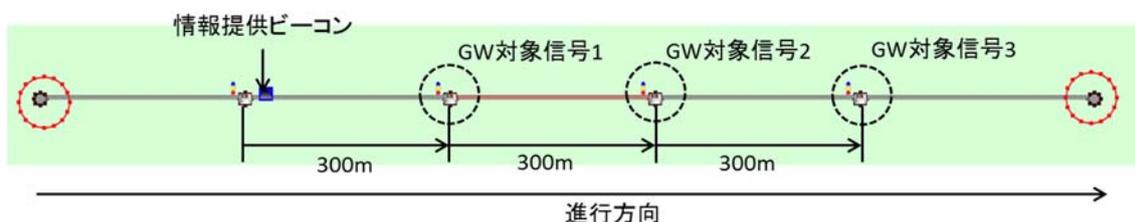


図 2-3 検証対象ネットワーク

図2-4、図2-5に動作検証結果を示す。まず図2-4において、時空間図による車両走行軌跡の比較を行い、グリーンウェーブ走行のサービス提供がない場合（GWなし）とサービス提供があった場合（GWあり）で走行挙動が異なるかを検証した。GWなしの場合は、各信号において停止する機会が多く、停止時間も長い。GWありの場合はあらかじめ速度を抑えて信号を通過する挙動（信号通過支援システムによる挙動）が確認された。また、信号を通過できる推奨速度が見つからなかった場合、GWありでは緩やかな減速によって速度を低下させていく挙動（赤信号減速支援システムによる挙動）が確認された。

加えて、ある1台の車両に着目し、走行軌跡で異なる挙動となっている区間の速度変動についても確認した。図2-5では、GWなしとGWありの速度変動の比較をしており、GWなしでは信号で停止しているが、GWありでは一定速度で信号を通過する挙動が確認できた。また、停止支援サービスの挙動においても、GWありの速度変動から確認することができ、サービス対象下限速度まで減速行動を行ったのち、信号で停止する挙動が確認された。

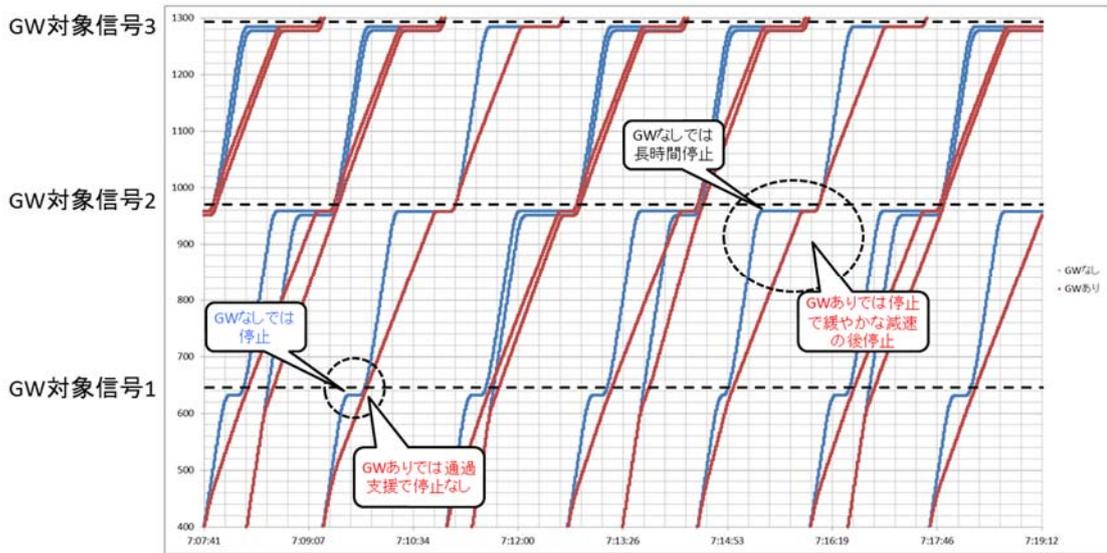


図 2-4 動作検証結果（時空間軌跡図による確認）

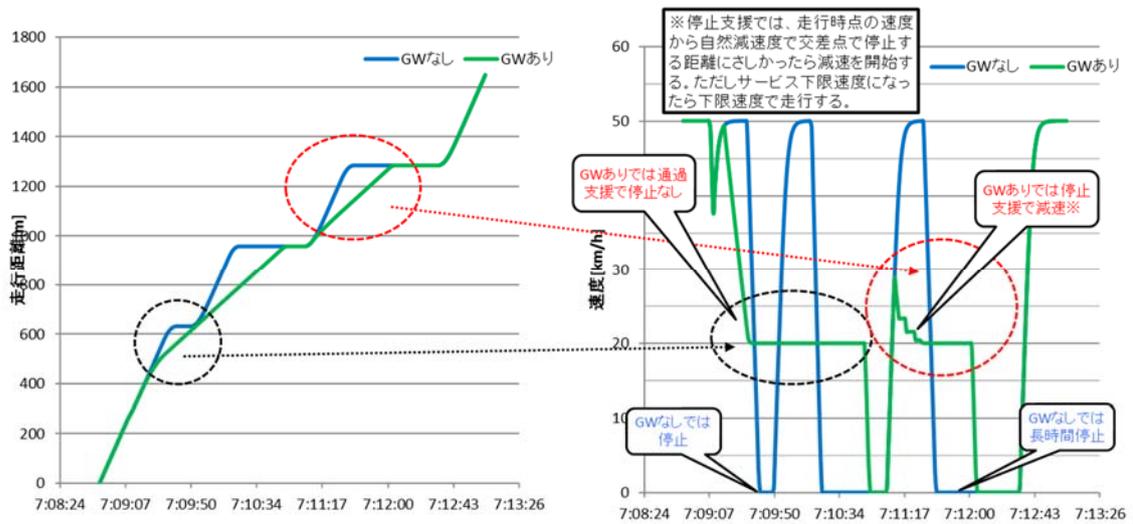


図 2-5 動作検証結果（走行挙動比較：時空間図と速度変動）

2.2.2 一般道路での自動運転の検証

一般道路での自動運転による CO₂ 排出量削減メカニズムのリファレンスモデルは、過年度⁵に図 2-6 のように整理した。即ち、自動運転車は信号交差点での停止状態から発進時の反応遅れ時間が短縮されることで、発進損失時間が短くなり、交差点での待ち行列から単位時間で捌ける台数（飽和交通流率）が増えること、および追従挙動が均質化することで、発進時に車間を空けすぎる車両がなくなり、流出中の流率低下が少なくなることで、やはり飽和交通流率が増加することを通して、渋滞が緩和され、CO₂ 排出量削減を達成するものである。

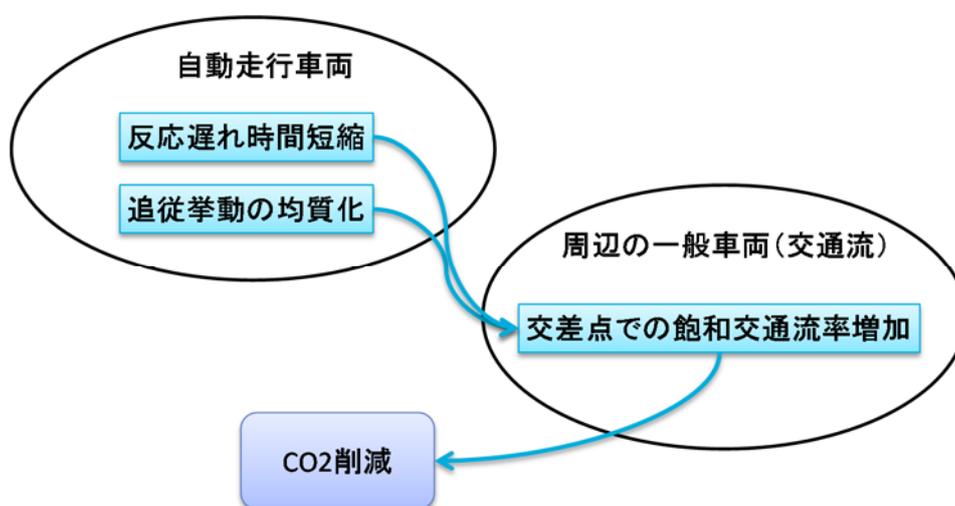


図 2-6 一般道路での自動運転による CO₂ 排出量削減メカニズムのリファレンスモデル

一般道路での自動運転の影響評価に使用する交通流シミュレーション (MicroAVENUE) は、基本の追従モデル式に IDM+を採用している⁶。これは、自車速度及び先行車との車間距離と相対速度に基づいて、後続車両の加速度を求める、次式の非線形追従モデルで、オランダ TNO による CACC 評価のシミュレーション等に採用された実績がある。

$$\frac{dv}{dt} = a \cdot \min\{1 - (v/v_d)^\delta, 1 - (s^*/s)^2\}$$

$$s^* = s_0 + vT + \frac{v\Delta v}{2\sqrt{ab}}$$

⁵ 平成 28 年度戦略的イノベーション創造プログラム (自動走行システム) : 地域交通 CO₂ 排出量可視化技術の開発及び実証報告書 (2017 年 3 月)

⁶ W J. Schakel, B. Arem, and B. D. Netten (2010) "Effects of Cooperative Adaptive Cruise Control on Traffic Flow Stability", 13th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems.

ここで、

v	: 走行速度 [m/s]
s	: 車間距離 [m]
s^*	: 希望車間距離 [m]
Δv	: 相対速度 (先行車への接近速度) [m/s]
s_0	: 最小車間距離 [m]
v_d	: 希望速度 [m/s]
T	: 安全車間時間 [s]
a	: 最大加速度 [m/s ²]
b	: 希望減速度 [m/s ²]
δ	: 加速項のべき乗数 (=4)

このモデル式は平衡状態、即ち加速度と相対速度が 0 の状態を仮定すると、 δ 、 T 、 v_d かなる式形になり、交通工学でよく知られた凸型の交通量－密度 (Q-K) 関係式が得られる。これは、 δ 、 T を大きくする、もしくは v_d を小さくすると道路容量が小さくなることを意味している。また、加速度関連のパラメータ a 、 b 、 T は追従状態の安定性に関係しており、 a 、 T を小さくする、もしくは b を大きくすると不安定になる。

IDM+ のモデル式では、従来の追従モデル式で見られた左辺の反応遅れ時間項が明示されていない。これは、反応遅れを考慮していないということではなく、常微分方程式の中に含まれているもので、既往研究⁷により、安全車間時間 T に車長分を加えたヘッドウェイ時間の 1/2 が反応遅れに相当することが示されている。

交通流シミュレーションでは、個別車両の走行特性のばらつきを表現するため、希望速度や最大加速度等の主要なパラメータに正規分布を設定できるようになっている。動作検証に際しては、一般車と自動走行車それぞれに対して、表 2-4 に示したパラメータを設定した。即ち、一般車には人間が運転することによるばらつきを持たせたが、自動走行車にはばらつきを持たせないことで、運転特性の違いを考慮した。また、自動走行車の安全車間時間を、一般車よりも小さい 1.15 s とした。安全車間時間が小さくなるほど、発進時の反応遅れ時間が小さくなり、速やかに先行車に追従して車間を詰めるようになるため、交差点での捌け流率が高くなると想定される。

図 2-7 に一般車と自動走行車の交差点からの流出時の走行軌跡を時空間図で比較した。図より、青時間開始直後の軌跡の立ち上がりが自動走行車のほうが素早く、発進損失が小さくなっていることがわかる。また、流出途中で車間を空けすぎる車両がなくなることで、高い流率が維持されている。この結果、一般車 24 台に対して、自動走行車 34 台が青時間

⁷ R. Horiguchi and T. Oguchi: A Study on Car Following Models Simulating Various Adaptive Cruise Control Behaviors, International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, January 2014. (DOI) 10.1007/s13177-013-0077-5.

の間に流出でき、流出容量が改善されることが表現できた。

表 2-4 検証での追従モデルパラメータ設定

パラメータ		記号	単位	一般車	自動走行車
希望速度	期待値	v_d	m/s	15.00	15.00
	標準偏差	$\sigma(v_d)$	m/s	0.75	0.00
最大加速度	期待値	a	m/s ²	1.60	1.60
	標準偏差	$\sigma(a)$	m/s ²	0.20	0.00
希望減速度	期待値	b	m/s ²	1.60	1.60
	標準偏差	$\sigma(b)$	m/s ²	0.20	0.00
安全車間時間	期待値	$T (=2\tau)$	s	1.44	1.15
(反応遅れ時間×2)	標準偏差	$\sigma(T)$	s	0.22	0.00

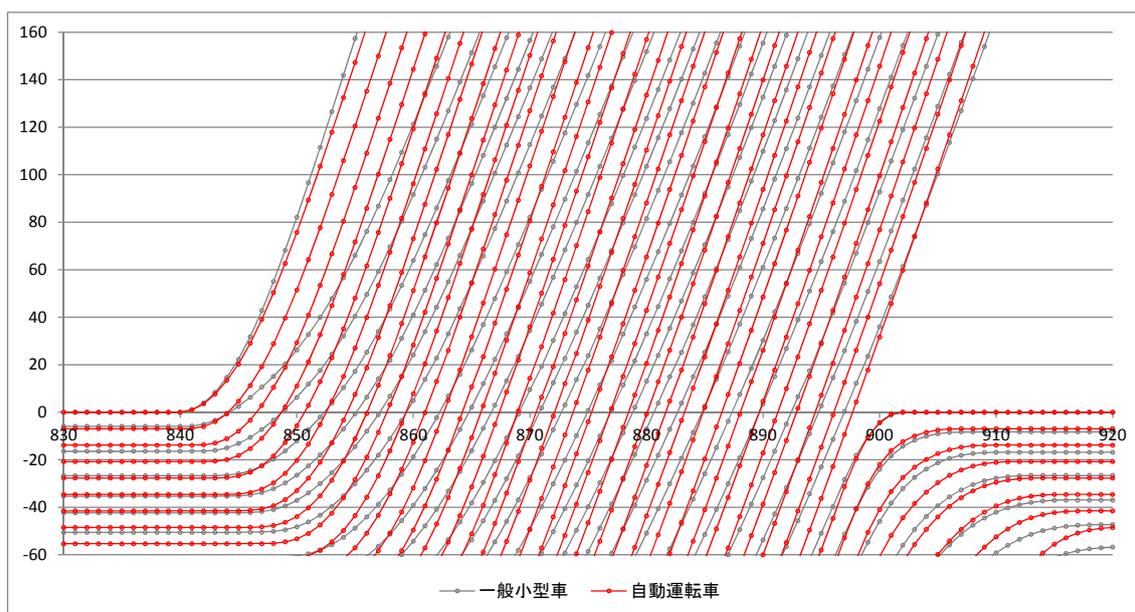


図 2-7 交差点からの流出時の走行軌跡比較

2.2.3 高速道路での自動運転の検証

高速道路での自動運転の検証は、図 2-8 に示した合流部ネットワークをテストベッドとして行った。このテストベッドでは、合流区間全体を 5 車線のリンクで構成し、上流 75m では第 2 車線と第 3 車線の間を車線変更禁止とした。その場合でも、隣車線の車両は見えるので、合流準備のギャップ調整ができる。また、合流区間下流での車線の絞り込みは、合流区間の第 2 車線から 1 つ右に、また第 3 車線から 1 つ左に車線変更して、下流本線の第 2 車線に接続するように設定した。表 2-5 に交通流シミュレータでの車両挙動パラメータ設定を示した。

検証では、それぞれの合流枝からの到着需要を約 200 台/10 分の流率で与え、合流部での車両走行速度変化を確認した。図 2-9 と図 2-10 に、2.1.1 で説明した運転意図推移モデルの実装前後の車両走行速度を車線別に色分けして示した。実装前では、車線変更時に隣接車線の直近及び前後ギャップを見ながら速度を調整する行動がモデル化されておらず、合流部での無理な割り込みにより後続車の急減速や停止が見られたが、実装後は減速の程度が穏やかになり、改善されたことが確認できた。

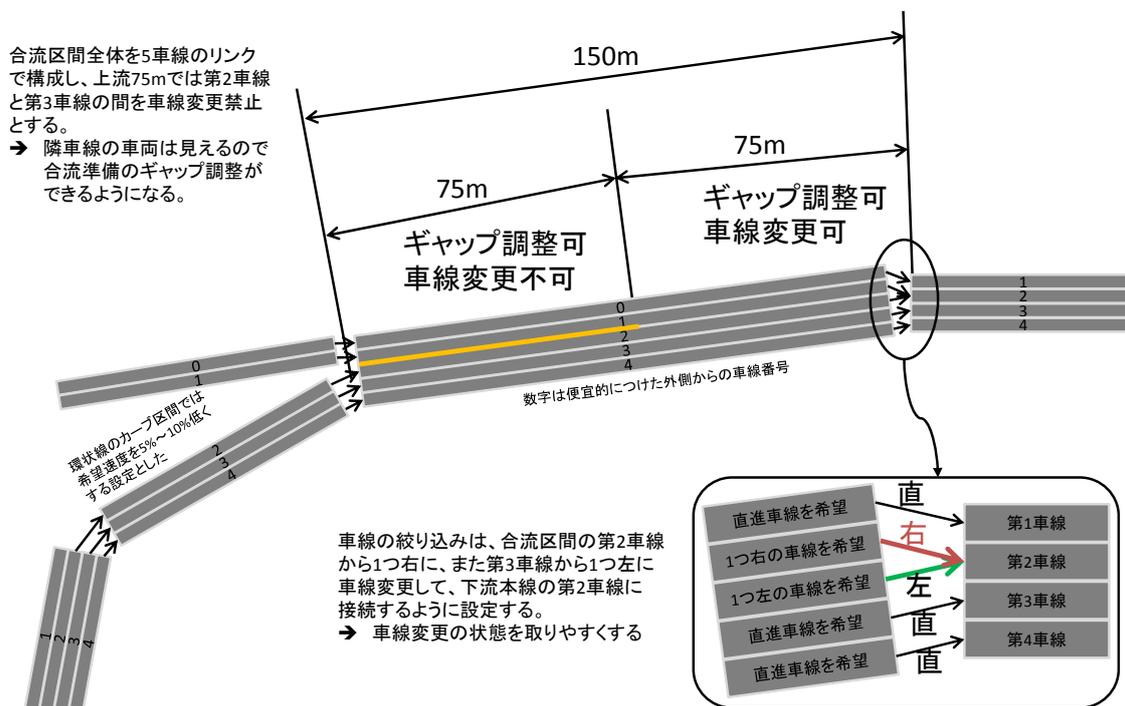


図 2-8 高速道路合流部シミュレーション検証用テストベッド

表 2-5 シミュレータ (MicroAVENUE) の車両挙動パラメータ設定

分類	パラメータ	単位	期待値	$\pm \sigma$	上限	下限
追従時	希望速度	[m/s]	20.00	0.600		
	最大加速度	[m/s ²]	1.600	0.200	4.000	0.600
	希望減速度	[m/s ²]	1.623	0.180		
	安全ヘッドウェイ時間	[s]	1.216	0.249		
	ジャム車間距離	[m]	7.500			
自由走行時	希望加速度	[m/s ²]	1.304	0.125		
	自然減速度	[m/s ²]	0.240			
その他条件	最大減速度	[m/s ²]	3.600		4.000	0.200
	車長	[m]	5.000			
	車幅	[m]	1.700			
	車線幅	[m]	3.000			
	横方向最大速度	[m/s]	1.000			
車線変更判断	前方探索範囲	[s]	10.000			
	速度低下許容幅	[km/h]	10.000			
	巡航時速度幅	[km/h]	0.000			
	車線変更判定距離	[m]	300.000	50.000		100.000
	追越希望受諾確率		0.250			
	走行車線復帰確率		0.100			
車線変更条件	最小ギャップ	[s]	1.500			
	最小 TTC	[s]	2.000			

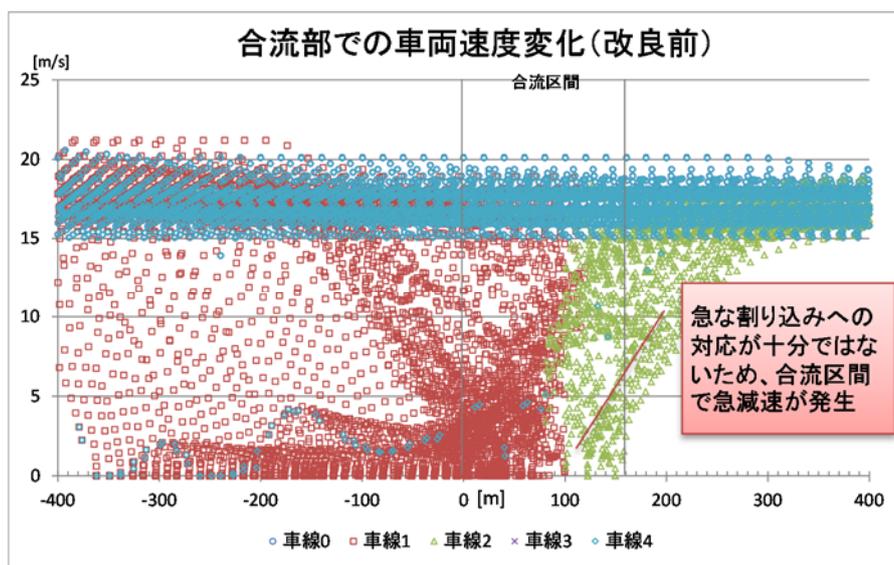


図 2-9 合流部での車両速度変化 (運転意図推移モデル実装前)

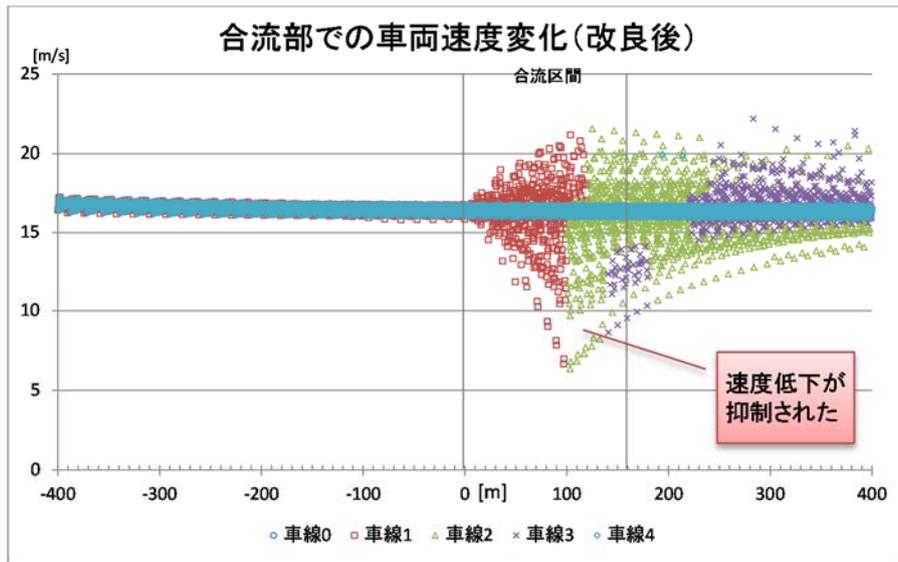


図 2-10 合流部での車両速度変化 (運転意図推移モデル実装後)

2.2.4 地域における管制交通システム（ラストワンマイル自動走行）の検証

ラストワンマイル自動走行の検証として、実装したトリップチェーンモデルの確認を行った。図 2-11 に動作検証用ネットワークと中継点挙動の設定を示す。ここでは、起点から終点まで 6 箇所の中継点を設置し、番号順に中継点を走行し、停車するスケジュールを設定した。検証では、スケジュールどおりに車両が走行するか、また中継点での停車時間が設定されたとおりを確認した。

図 2-12 に走行順を検証した結果を示す。ここでは、走行した車両のログから位置座標を図上にプロットし、時間経過とともに指定した順番で走行していることを確認した。中継点間における経路選択は最短距離を走行する設定としたため、中継点間を最短距離で走行し、目的地へ向っていることも確認できた。

図 2-13 に駐車時間の検証を行った結果を示す。時空間図上では、走行した車両が各中継点で決められたとおりの停車時間で停車していることを確認した。

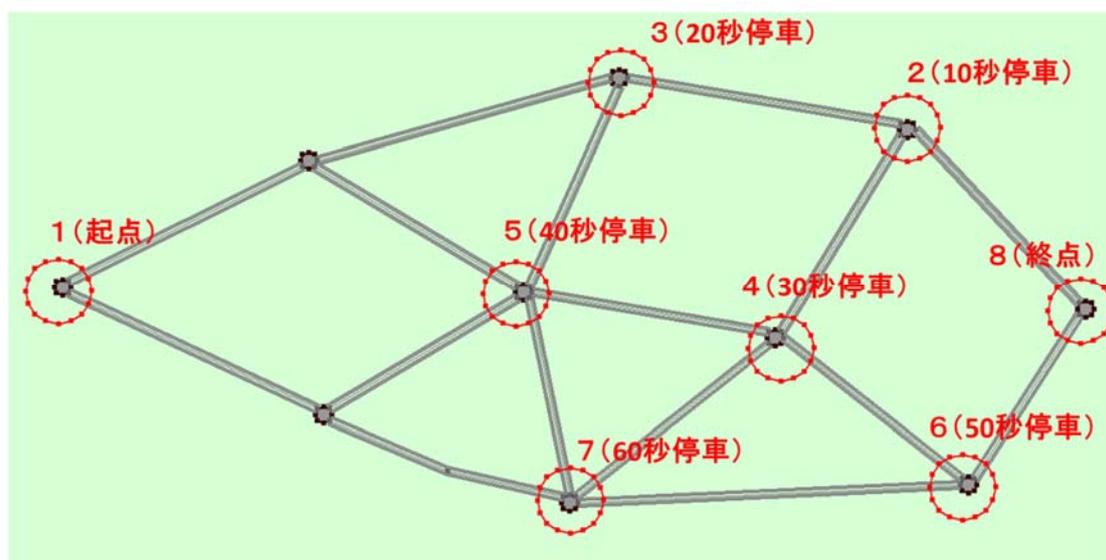


図 2-11 動作検証用ネットワークと駐車時間設定

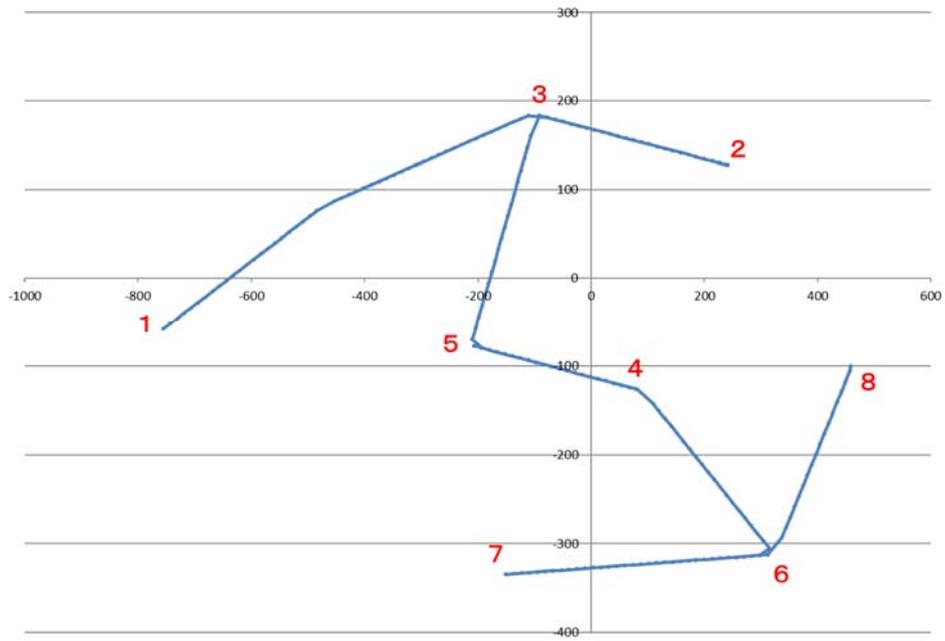


図 2-12 検証結果：走行経路図

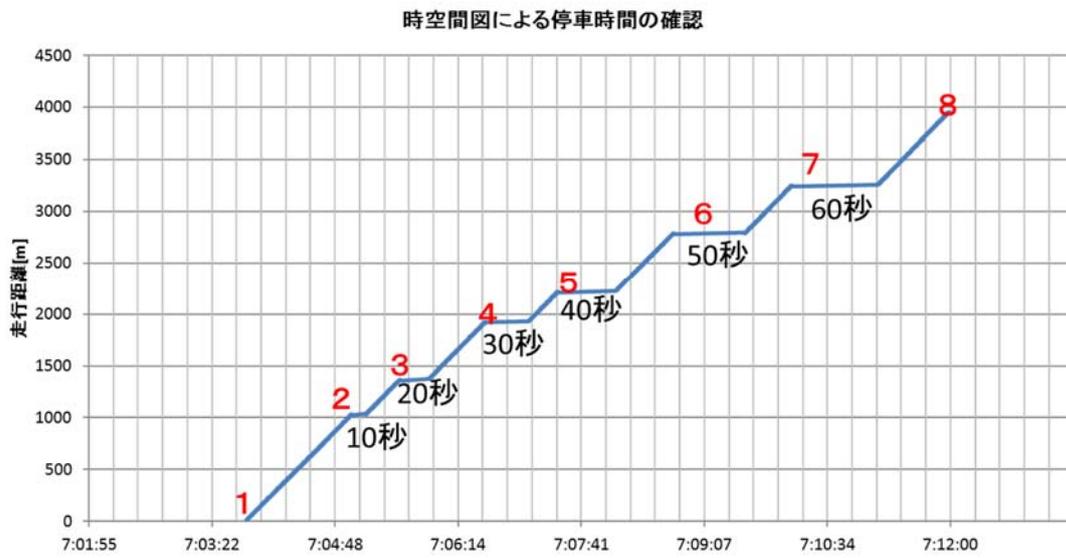


図 2-13 検証結果：駐車時間の確認

2.2.5 地域における管制交通システム（自動バレーパーキング）の検証

自動バレーパーキングによる影響評価シミュレーションを行うために実装した駐車場機能について、設計したとおりの機能が実現されているか動作検証を行った。図 2-14 に検証対象ネットワークを示す。また、表 2-6 に検証シミュレーションの基本設定を示す。ここでは、車両が出発する出発ゾーン、当初予定の到着ゾーン、目的地変更後に向う駐車場を設定し、駐車場からの滞留を確認するための最大駐車台数と発生需要を設定した。入庫口、出庫口においては、それぞれ 1 箇所ずつを設定した。

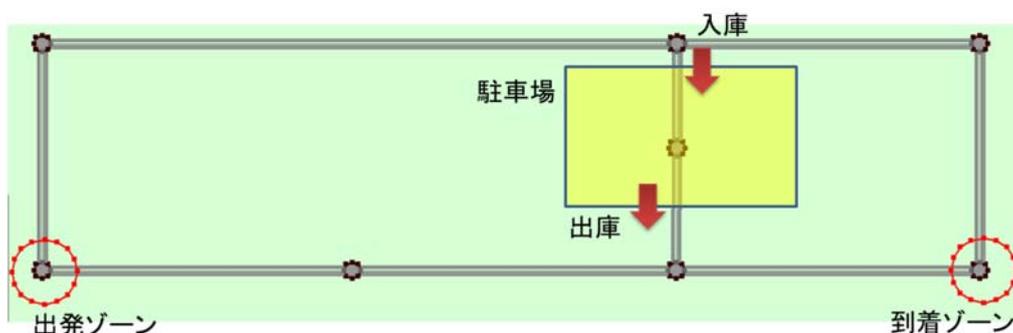


図 2-14 検証対象ネットワーク

表 2-6 検証シミュレーション基本設定

条件	設定値
シミュレーション時間	3 時間
車種	小型のみ
発生需要（出発ゾーン→到着ゾーン）	300 台/時（途中、駐車場へ目的地変更する）
駐車場：最大駐車台数	10 台
平均駐車時間	600 秒
最大駐車時間	800 秒
駐車時間標準偏差	検証ケースによって設定
最小駐車時間	400 秒
挙動タイプ	タイプ 2（出発ゾーンに帰る）

検証においては、以下に示す挙動を確認した。実装した機能について、それぞれ期待した挙動が確認できるか、シミュレーション画面と駐車場の滞留状況の分析から検証した。

- 検証 1：到着ゾーンから駐車場へ目的地を変更したか？
- 検証 2：入庫、出庫の位置が指定したとおりか？
- 検証 3：駐車台数を超えて滞留するか？
- 検証 4：駐車時間が設定されたとおりに再現されているか？

- 検証 5 : 出発ゾーンまで帰宅するか？

図 2-15 に検証 1、検証 2、検証 4 の結果を確認した際のシミュレーション画像を示す。車両は出発ゾーンから発生し、到着ゾーンへ向うが、目的地変更イベント機能によって、到着ゾーンでトリップを終えずに駐車場の入庫口へ向うことが確認できた。また、駐車場内の車両が最大駐車台数に到達した後、車両が入庫口から滞留していく様子がシミュレーション画面からも見る事ができた。一方で、駐車場で滞留後、出庫口から出発した車両は出発ゾーンへ向っている挙動についても確認でき、駐車場機能が正しく動作していることを確認した。

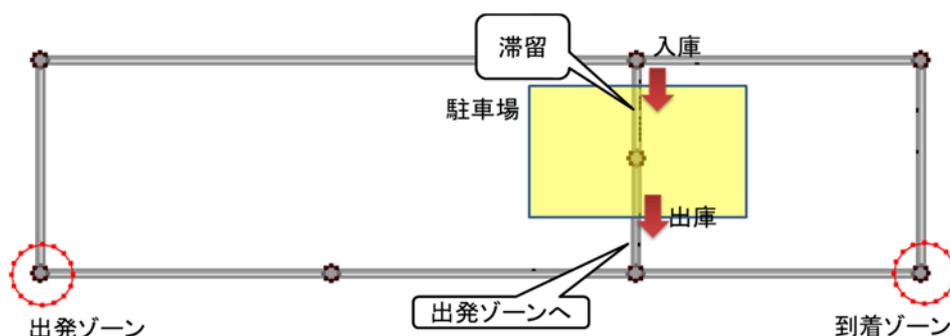


図 2-15 機能検証結果 (検証 1、検証 2、検証 3、検証 5)

図 2-16 に駐車時間に関する検証結果を示す。本検証では、まず 600 秒 (標準偏差 0) の駐車時間を与え、場内での滞留時間を計測した。計測の結果、指定したとおりに駐車場内に滞留し、出庫する挙動が確認された。

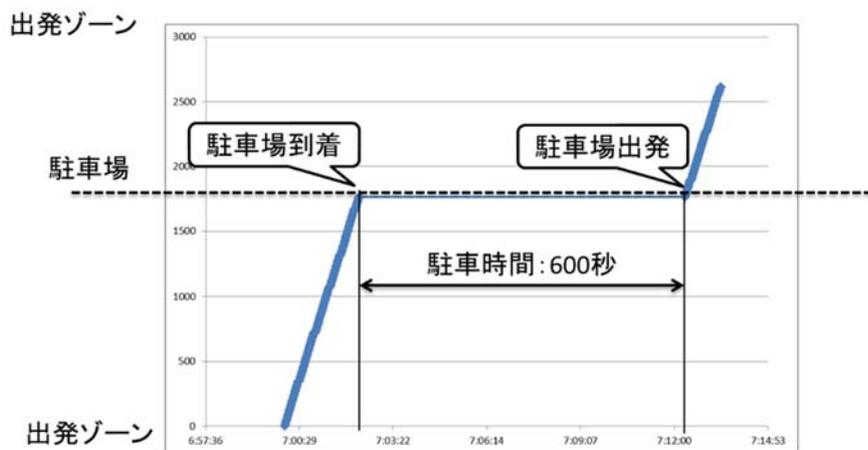


図 2-16 機能検証結果 (検証 4)

3. 自動走行による運転挙動変化に対する排出量推計技術開発

3.1 自動車 CO₂ 排出量モデルの拡充

NEDO エネルギーITS 推進事業等にて作成した、自動車 CO₂ 排出量モデルの車種区分を表 3-1 に示す。ここで示すように概ね現在、走行している車両については、CO₂ 排出量モデルが作成済みであるが、今後、普及が見込まれるディーゼル乗用車や 1Box タイプのハイブリッド車などのモデルが未作成である。そこで、平成 28 度はディーゼル乗用車について台上試験を実施し、走行挙動と CO₂ 排出量に関するデータを取得し、そのデータを用いて CO₂ 排出量モデルを作成した。平成 29 年度は 1Box タイプのハイブリッド乗用車について、平成 28 年度に CO₂ 排出量モデルを構築したディーゼル乗用車と同様の手順でモデルを作成した。

さらに ART では、ディーゼルバスに加えて、燃料電池バスによる運行の可能性も将来あるため、燃料電池バスのモデル構築が必要である。そこで、過去に NEDO 事業で開発した電気自動車、燃料電池自動車のエネルギー消費量推計手法を用いて、燃料電池バスのエネルギーマップを作成し、それをベースにエネルギー消費量モデルを作成した。

3.1.1 1Box ハイブリッド乗用車の CO₂ 排出量モデル構築

試験車両の選定には自販連の新車販売台数データを参考にした。最新のデータを参考にすると、日産 セレナの販売台数が多いが、日産のハイブリッド方式はシリーズハイブリッド（エンジンは駆動に使わず、発電機の役割のみ）である。しかし、現状では、シリーズ-パラレルハイブリッドが、低燃費ハイブリッド車の主流であることから、過去 3 年分の新車販売台数にてシリーズ-パラレルハイブリッド車両のうち、2 番目に台数が多いトヨタ Voxy を選定した。トヨタ Voxy ハイブリッドの諸元を以下に示す。（表 3-2、図 3-1）。

表 3-1 エネルギーITS 推進事業における CO₂ 排出量モデルの車種区分

	Motor	Categories	Traffic simulation	
			Small	Large
CO ₂ emission model	Gasoline	Minicar	✓	
		Passenger Car	✓	
		HEV (Hybrid Electric Vehicle)	✓	
		Mini Truck	✓	
		Light and Medium Truck	✓	
	Diesel	Heavy Truck: 3.5t<GVW=<5t		✓
		Heavy Truck: 5t<GVW=<8t		✓
		Heavy Truck: 8t=<GVW		✓

表 3-2 試験車両の車両緒元

項目	数値
車名	トヨタ Voxy ハイブリッド
型式	DAA-ZWR80G
車両重量	1610kg
エンジン排気量	1.79L
燃料	ガソリン
モータ最高出力	60kW
バッテリー種類	ニッケル水素電池
バッテリー容量	6.5Ah
駆動方式	2 輪駆動
ミッション	CVT



図 3-1 試験車車両の外観

はじめに、選定した車両が試験車両として問題無いかを確認するために、JC08モードおよび国土技術総合研究所が作成した平均速度別の走行モードにて排出ガス試験を行い、燃料消費量データの確認を行った（図 3-2、表 3-3）。その結果、JC08モード走行時の排ガス中の各種成分は基準値に入っていること、および平均速度と燃料消費量の関係を見ると、1kmあたりの燃料消費量が60km/h付近で最少となっており、一般的な乗用車と同様の傾向となっていることから、本車両での試験データにてモデル構築することは問題ないことが確認できた（表 3-4、図 3-3）。

なお、ハイブリッド車のスタート時のSOC（State of Charge）の状態で、燃料消費量に変化するため、今回の自動運転の評価で主に使用する都市部の速度帯については、（PN1, PN3, PN5）SOCを最大と最小の2ケースを行い、電力収支が0の状態に補正した燃料消費量にて整理した。

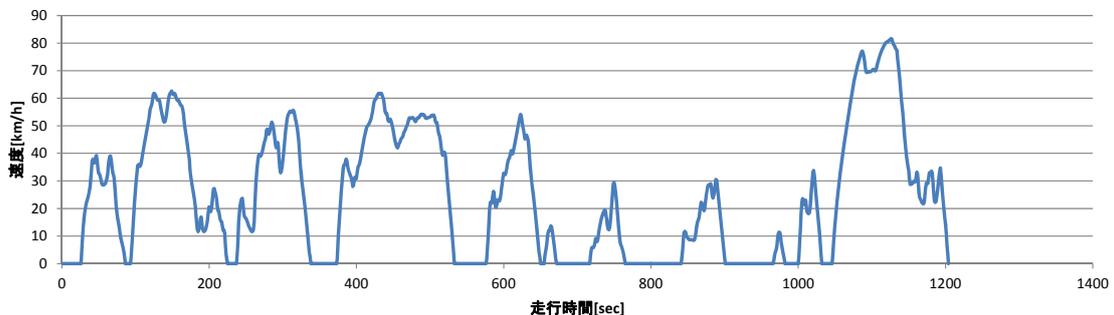


図 3-2 JC08モードの走行パターン

表 3-3 試験車両の排ガス成分と現行規制

成分	測定値	規制値
CO[g/km]	0.24	0.63~0.84
NMHC[g/km]	0.012	0.024~0.032
NOx[g/km]	0.0001	0.08~0.11

表 3-4 試験モードの平均速度、距離、走行時間

モード	スタート 暖機状態		スタート時 SOC			平均 速度 [km/h]	走行 距離 [km]	走行 時間 [sec]
	Hot	Cold	最大	中間	最小			
JC08	○	○	○		○	24.4	8.2	1204
PN1	○		○		○	5.7	1.8	1102
PN3	○		○		○	25.5	7.2	1015
PN5	○		○		○	42.8	12.0	1009
PEC6	○			○		57.7	16.9	1055
PEC8	○			○		75.5	21.8	1039
PEC10	○			○		94.8	27.7	1052
JARIMEC	○		○	○	○	54.9	36.6	2400

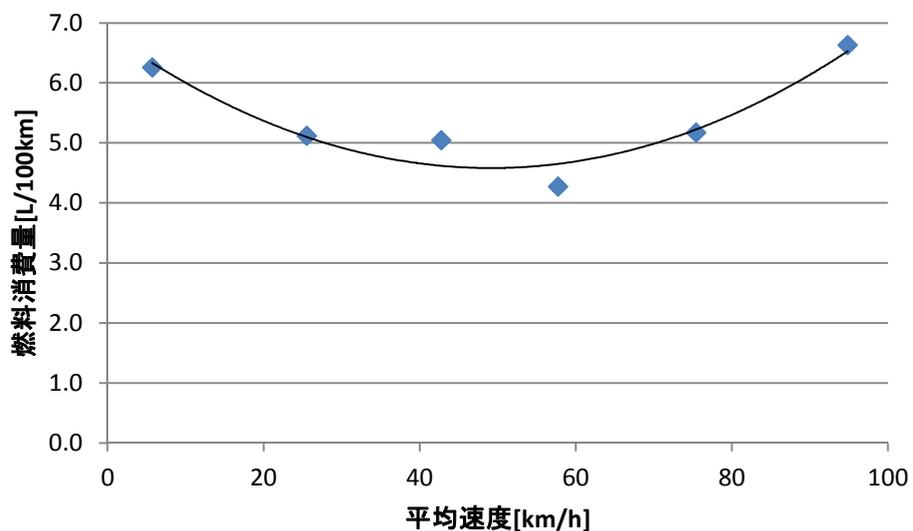


図 3-3 平均速度と燃料消費量の関係

CO₂ 排出量モデル用のデータ測定のため、JARIMEC モード (図 3-4) にて排出ガス試験を実施し、測定された CO₂ 排出量データにて、1Box ハイブリッド乗用車の CO₂ 排出量マイクロモデルの構築を行った (図 3-5)。なお、JARIMEC モードは排ガスの過渡排出量を

計測するためのモデルであり、低速から高速走行や低加速、急加速などの様々な走行状態のデータを取得するのに適したモードである。

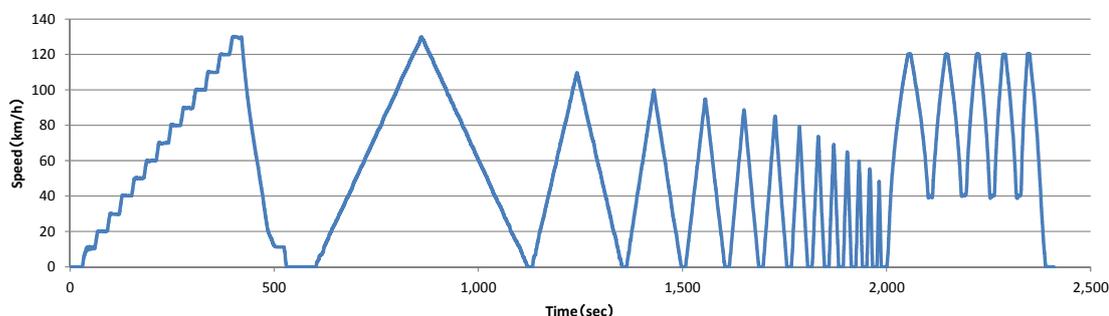


図 3-4 JARIMEC モードの走行パターン

		速度[km/h]																		
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130					
駆動力[N]	-6000				2.95	3.11														
	-5500			1.50	2.28	3.31														
	-5000	0.33	0.72	1.06	1.92	3.80														
	-4500	0.26	0.56	0.59	0.91	2.31														
	-4000	0.17	0.32	0.32	0.56	1.14	3.79													
	-3500	0.13	0.16	0.22	0.43	0.91	2.36	2.05												
	-3000	0.09	0.09	0.11	0.21	0.38	1.85	2.98	6.38											
	-2500	0.06	0.08	0.11	0.19	0.24	0.73	2.49	5.21											
	-2000	0.07	0.08	0.12	0.23	0.18	0.26	1.49	3.73	6.23										
	-1500	0.06	0.08	0.21	0.41	0.20	0.35	0.63	1.21	3.13	5.49									
	-1000	0.05	0.06	0.22	0.35	0.33	0.37	0.52	0.81	0.82	1.14	0.59								
	-500	0.03	0.09	0.20	0.37	0.39	0.50	0.79	0.78	0.95	0.98	0.65	0.75	4.61	4.70					
	0	0.02	0.03	0.23	0.50	0.51	0.51	0.98	1.27	1.29	1.29	1.36	1.04	2.44	5.04					
	500	0.03	0.02	0.26	0.63	0.97	1.55	2.03	2.50	2.97	3.31	3.79	4.12	5.45	7.98					
	1000	0.03	0.02	0.44	1.25	2.24	2.88	3.25	3.99	4.65	5.50	6.27	6.68	7.67	8.88					
	1500	0.03	0.07	0.61	1.99	2.76	3.91	4.65	5.77	6.62	7.79	8.82	9.84	10.76	10.92					
	2000	0.06	0.11	0.99	2.62	3.43	4.90	5.95	7.67	9.17	10.67	12.11	13.50	13.73	14.70					
	2500	0.11	0.17	1.11	2.87	3.33	4.94	7.91	9.90	11.59	13.13	14.72	15.17	14.90						
	3000	0.03	0.18	1.19	3.57	4.85	6.15	9.63	11.14	13.24	14.16	14.63								
	3500	0.05	0.24	1.35	4.74	6.56	7.87	11.09	12.83	13.13										
4000	0.08	0.12	1.72	4.91	7.61	9.01	11.02	12.38												
4500	0.05	0.18	1.48	6.07	8.27	9.69	11.43													
5000		0.31	2.16	5.85	8.90															
5500		0.44	1.38	4.70																
6000			2.09	3.71																
6500			2.85																	

図 3-5 Voxy ハイブリッドの速度-駆動力-CO₂排出量マップ

次に構築した CO₂ 排出量マイクロモデルと、以前に NEDO エネルギーITS 推進事業で取得した実走行時の走行挙動データ（つくば市、柏市、都内など）を用いて、多数の SSF とそれに対応した CO₂ 排出量を算出し、その結果を統計処理することで 1Box ハイブリッド乗用車の CO₂ 排出量メソモデル⁸の計算用係数を表 3-5 の通り作成した。表 3-5 に示す係数

⁸ メソモデル：SSF 単位での CO₂ 排出量を算出する。CO₂ を算出するための計算量が小さく、都市全体の交通からの CO₂ 排出量の計算に適する。

を (1) 式に入力することで、1Box ハイブリッド乗用車の CO₂ 排出量を推計することができる。

なお、CO₂ 排出量メソモデルは、走行形態に応じて 5 種類の SSF に対して設定しており、C-C50m 以下（走行距離が 50m 以下で、発進－走行－停止）、C-C50m 以上（走行距離が 50m 以上で、発進－走行－停止）、C-O（発進－走行）、O-C（走行－停止）、O-O（500m 以上の連続走行）とした。

$$CO_2 = x_1 \times v_{ave} + x_2 \times Dist + x_3 \times Time + x_4 \times Time_{id} + x_5 \times Sin\theta + x_6 \times v_{ave}^2 + x_7 \times (v_{ave}^2 \times Dist) + x_8 \times (Dist \times sin\theta) + x_9 \times \Delta v + x_{10} \dots (1)$$

CO₂ : SSF あたりの CO₂ 排出量[g], v_{ave} : 平均速度[km/h]

$Dist$: 走行距離[m], $Time$: 走行時間[sec], $Time_{id}$: 停車時間[sec]

$sin\theta$: 勾配, Δv : 前後 SSF の速度差[km/h], $x_1 \sim x_{10}$: 係数 (表 3-5)

表 3-5 各 SSF 形状の係数 (Voxy ハイブリッド)

	C-C(50m 以下)	C-C(50m 以上)	C-O	O-C	O-O
x_1	0	7.7E-05	-1.4E-04	0	1.8E-04
x_2	4.7E-05	2.5E-05	0	1.7E-04	0
x_3	0	0	0	0	0
x_4	0	0	-2.7E-05	1.1E-03	-6.8E-05
x_5	4.0E-03	0	1.6E-04	0	-1.7E-04
x_6	0	-6.4E-01	0	0	2.5
x_7	-6.5E-02	7.0E-02	0	2.0E-02	0
x_8	1.1E-01	-1.9E-01	-1.0E-01	0	6.5E-01
x_9	0	0	0	0	0
x_{10}	-8.8E-02	3.4	12	-1.4E-01	-96

3.1.2 燃料電池バスのエネルギー消費量モデル作成

燃料電池バスのエネルギー消費量モデルの作成にあたって、燃料電池バスはトヨタ、日野が開発したモデル（表 3-6、図 3-6）を想定した。燃料電池バスについては、現状では市販されている車両が無い場合、ここでは、燃料電池車の走行エネルギーを算出する手法を用いて、燃料電池バスの速度－駆動力－エネルギー消費量マップを作成し、マイクロエネルギー消費量モデルを構築した(図 3-7)。なお、ここでのエネルギー消費量は Tank to Wheel 分のみを対象とし、Well to Tank 分については、水素製造プロセスにより、変化するためここでは対象外とする。

燃料電池バスの場合はエネルギー消費量で推計しているため、減速度が大きい場合エネ

ルギーが回生されるため、エネルギー消費量も負（バッテリーへの充電エネルギー）として計算される。



図 3-6 燃料電池バスの外観⁹

表 3-6 燃料電池バスの車両緒元⁹

車両	全長/全幅/全高	10,525/2,490/3,340(mm)
	定員(座席+立席+乗務員)	77人(26+50+1)
FCスタック※ (燃料電池)	名称	トヨタFCスタック
	種類	固体高分子形
	最高出力	114 kw x 2個
モーター※	種類	交流同期電動機
	最高出力	113kw x 2個
	最大トルク	335N・m x 2個
高圧タンク※	燃料種類	圧縮水素
	最高充填圧力	70MPa(公称)
	タンク内容積(合計)	600L
	タンク本数	10本
駆動用 バッテリー※	種類	ニッケル水素電池
V2Hシステム	最大出力/電圧	9kW/DC300V

※MIRAI等、既存の流用コンポーネント

⁹ 第3回燃料電池自動車等の普及促進に係る自治体連携会議 資料 燃料電池バス（FCバス※）の開発と展望

表 3-7 各 SSF 形状の係数 (燃料電池バス)

	C-C(50m 以下)	C-C(50m 以上)
x ₁	6.8E+03	0
x ₂	0	5.9E+02
x ₃	0	0
x ₄	5.2E+01	0
x ₅	0	0
x ₆	0	0
x ₇	0	1.4
x ₈	0	0
x ₉	0	0
x ₁₀	-2.3E+04	-1.9E+03

3.2 自動走行システム導入時の CO₂ 排出量モデルの作成

3.2.1 信号制御情報等を活用したグリーンウェーブ走行

グリーンウェーブ走行においては、交通流シミュレーション側では、様々な制御が加わることによる SSF 変化を考慮する必要がある。CO₂ 排出量モデル側でも、事前に信号情報を得ることで、エコドライブに代表される、緩やかな発進加速、早めのアクセルオフ、速度加減速の少ない走行などを考慮する必要があるものと考えられる。

今回の柏市のケースでは、緩やかな発進加速を行うと交通流側の視点で、渋滞が発生してしまうことが分かったため、通常走行時の CO₂ 排出量モデルを適用することとする。

3.2.2 ART（バス車両のスムーズな加減速）

ART においては、バス専用レーンを走行する自動運転バスと、周辺の一般交通の 2 種類に分けて検討する必要がある。

周辺の一般交通については、バス専用レーンが導入されることで一般交通が走行できる車線数が減少し、他車線の交通量増加の影響が発生することが想定されるが、この影響は交通流シミュレーション側で考慮するものとし、CO₂ 排出量モデルでは対象外とする。

自動運転バスについては、現在のディーゼルバスが自動運転になったことを想定し、ここでは正着制御により、発進加速と停止減速が最適化されることを想定した。平成 28 年度の時点では正着制御について、メーカーヒアリング等も行ったが、具体的な数値に関する情報が得られなかったため、CO₂ 排出量のマイクロモデルを用いて、CO₂ 排出量が最適化される発進加速度、停止減速度を検討した結果、発進加速については通常走行時の 0.6 倍、停止減速度は通常走行時の 0.5 倍と設定していた。しかし、今回 ART を評価した路線でこの設定を導入すると、ART に最大で 15 分の遅れが発生し、3 分間隔での運行が困難であることが分かった。そこで、運行ダイヤを順守できる加減速度を交通流シミュレーション側で検討した結果、発進加速、停止減速共に通常走行時の 0.7 倍とし、この設定でメソ CO₂ 排出量モデルを構築した。

燃料電池車の ART のモデルについても同様の考え方を適用しているが、本来はディーゼルエンジンと燃料電池においてはパワートレインで最適な駆動領域が異なることから、ここについては今後の課題である。

3.2.3 隊列走行

高速道路における隊列走行では、CO₂ 排出量削減要因として、隊列走行により走行中の車間が狭まり、有効な道路面積が増えることによる空間再配分の効果と、空気抵抗削減効

果の2つが考えられる。

前者については、交通流シミュレーション側で検討するため、CO₂ 排出量モデル側では後者の影響を検討する。隊列走行のモデルについては、平成 28 年度に隊列走行車の先頭、中央、後方について、モデル化を試みた。平成 29 年度は関係者へのヒアリング等を行ない、モデルの再構築を試みたが、現状のモデルと差異がある意見が無かったため、平成 28 年度に作成したものを適用することにした。

3.2.4 高速道路および一般道路での自動運転

高速道路および一般道路での自動運転は、視点によって制御方法が異なるが、CO₂ 排出量削減の視点で考えると、定常、減速の最適化に集約されると考えられる。そのため、小型車については NEDO エネルギーITS 推進事業で構築したエコドライブ走行のうち、e スタート、加減速の少ない走行、早めのアクセルオフに相当するため、それらのデータを活用し対応可能であることを確認した。なお、自動運転のギア制御についても、変更する可能性があるが、関係者へのヒアリングを行った結果、具体的には現状と大きな差異は無いとの回答であったため、ギア変速制御は現状と同等とした。

大型車については、エコドライブの指標等については、定量化されていないため、今回は対象外とする。今後は、メーカーヒアリングや実証試験の結果等を参考に、大型車の CO₂ 排出量モデルの検討を進める必要がある。

3.2.5 地域における管制交通システム（ラストワンマイル自動走行、自動バレーパーキング）

地域における管制交通システムでは、ラストワンマイル自動走行サービスの導入による交通需要の転換、および自動バレーパーキングによる駐車場待ち車両、空き駐車場を探索するうろつき交通の削減が期待される。これらの影響は交通流に変化をあたえるものの、自動車単体の走行挙動に変化を与えるものではない（＝CO₂ 排出量メソモデルを変更する必要はない）と推測される。そのため、モデル都市での評価を行う上で、走行挙動に関して懸念事項が発生した場合にのみ、必要に応じてモデル更新作業を行うこととした。

4. 自動走行による事故削減に伴う渋滞損失・環境インパクト低減の評価手法の構築

4.1 評価手法の構築

4.1.1 評価手法の概要

事故渋滞に関して自動走行システム導入が CO₂ 排出量に与える影響は、図 4-1 のように評価される。事故渋滞が発生すると CO₂ 排出量は増加するが、自動走行システムの導入により交通事故が低減されると、それに伴い事故渋滞も減少し、CO₂ 排出量が削減される。このロジックにおいて、本研究では事故渋滞に伴う CO₂ 排出量の推計手法の提案を行う。

- ①対象とする各交通事故の発生日時、発生場所の集計を行う（過年度実施）。
- ②①にて集計した各事故に対し、民間プローブデータを用いて事故渋滞の発生状況に関する分析を行い、事故渋滞が発生した事故の抽出、および事故時の旅行速度を分析する（過年度実施）。
- ③②にて抽出した事故に対し、事故影響評価マクロ交通流シミュレーションにより、交通事故時の交通状況（旅行速度）の再現を行い、プローブデータでは明らかにできない事故時の交通量と、交通容量低下の継続時間（＝事故規制時間）を推計する（平成 29 年度実施）。
- ④③で再現した旅行速度、交通量、交通容量の低下時間を用い、CO₂ 排出量マクロモデルにより、平常時に対する CO₂ 排出量を算出する（平成 29 年度実施）。
- ⑤SIP-auds で別途開発中の交通事故死者低減効果見積もり手法により算出される事故低減効果に対し、④で整理する事故渋滞の CO₂ 排出増加量原単位を用いることで、自動走行システム導入による事故低減に伴う CO₂ 排出量削減効果を算出する。

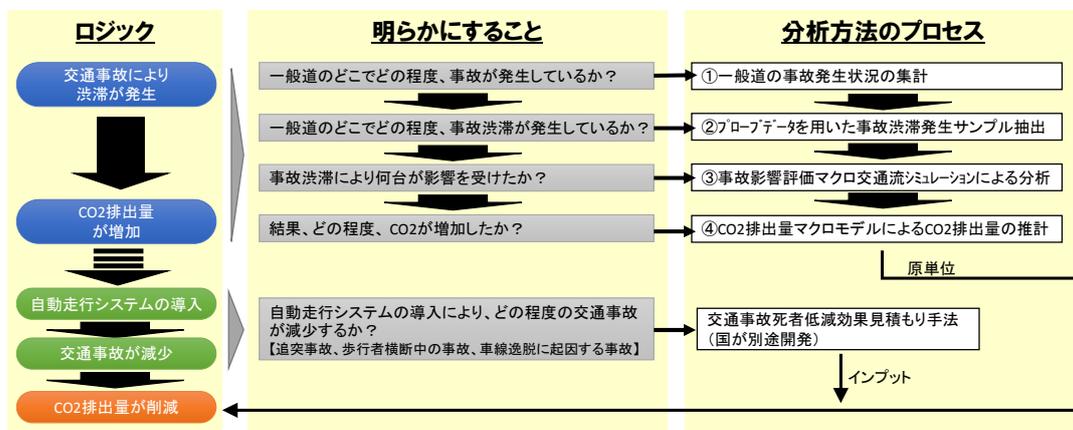


図 4-1 自動走行による事故削減に伴う渋滞損失・環境インパクト低減の評価手法の全体像

4.1.2 使用したデータの概要

分析に使用したデータは、ITARDAの「交通事故多発箇所データ」、民間テレマティクス事業者の「民間プローブデータ」、および国土交通省の「平成22年度道路交通センサス調査 一般交通量調査 時間帯別交通量表」である。

(1) 交通事故多発箇所データ

使用した交通事故多発箇所データは、以下のとおりである。

- データ：交通事故多発箇所データ（事故別データ）
- 対象期間：平成25年7月1日～平成25年12月31日の6ヶ月間
- 対象エリア：東京都23区内、一般国道および主要都道
- 事故類型：追突事故、歩行者横断中の事故、車線逸脱に起因する事故
- 対象事故サンプル数：1030 サンプル※

※上下区分が不明のサンプルは除外

(2) プローブデータ

プローブデータの収録項目は、表 4-1 のとおりである。

- データ：道路リンク単位の旅行速度データ（10分ごと、24時間のデータ）
- 対象期間：2013年7月1日～2013年12月31日の6ヶ月間
- 対象エリア：東京都23区内
- データ項目：下表のとおり

表 4-1 プローブデータの収録項目

データ項目	書式	備考
日時	YYYY-MM-DD_ hh:mm:ss	データの対象【処理ウィンドウ時間幅】の開始時間 hhは24時間表記、_は半角スペース。 【例】 ・2013年4月14日15時45分～15時59分 ⇒ 2013-04-14 15:45:00(10分間隔)
平均旅行時間	10進小数値	平均旅行時間。秒単位で、0.1秒刻み。単純平均(算術平均) 【例】 ・平均旅行時間が53.4秒 ⇒53.4
最大旅行時間	10進小数値	最大旅行時間。秒単位で、0.1秒刻み。 【例】 ・平均旅行時間が53.4秒 ⇒53.4
最小旅行時間	10進小数値	最少旅行時間。秒単位で、0.1秒刻み。 【例】 ・平均旅行時間が53.4秒 ⇒53.4
信頼度 (標準偏差)	10進小数値	-1:不明。 $\sigma = \sqrt{1/n * \sum (x - \text{ave}(x))^2}$ n:車両台数、x:リンク旅行時間情報。n=1のときは0 秒単位で、0.1秒刻み。
車両台数	10進整数値	該当道路区間で旅行時間データを収集した車両台数。

(3) 道路交通センサス調査データ

平成 22 年度道路交通センサス調査データは、平成 22 年 9～11 月の調査期間における各交通量調査単位区間番号で示される区間毎の時間帯毎の自動車類の交通量に関するデータである。今回使用したデータ項目は表 4-2 のとおりである。

表 4-2 道路交通センサス調査データのデータ項目

データ項目	備考
交通量調査単位区間番号	交通量調査を実施した各区間の番号
道路種別	道路種別（高速道路、国道等）
路線番号	路線番号
上り下りの別	上り方向、下り方向の別
車種区分	小型車、大型車の別
大型車混入率	昼間 12h および夜間 12h

4.2 事故影響評価マクロ交通流シミュレーションを用いた分析

4.2.1 分析手法の概要

(1) 分析プロセス

事故影響評価マクロ交通流シミュレーションを用いた分析の目的は、事故類型・代表区間ごとの交通容量低下の傾向、すなわち事故時の交通容量およびその継続時間（＝事故規制時間）を把握することである。分析プロセスを以下に示す。

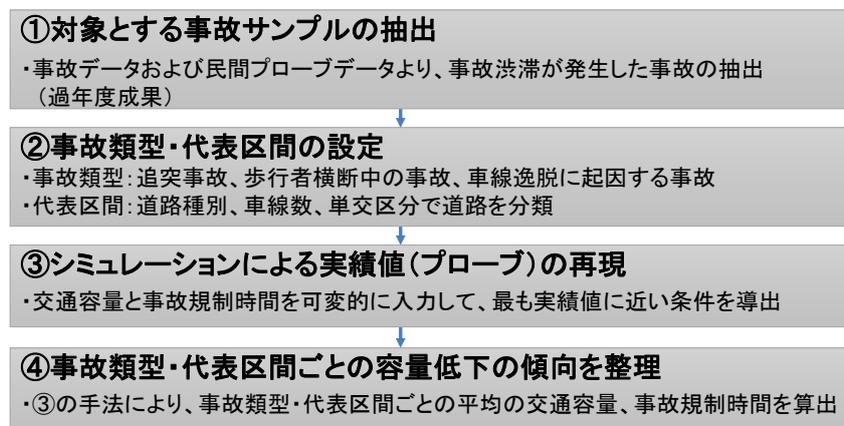


図 4-2 事故影響評価マクロ交通流シミュレーションを用いた分析のプロセス

(2) 対象とする事故サンプルの抽出

過年度成果を踏まえ、交通事故全 1030 サンプルのうち、プローブデータから事故による旅行速度の低下が確認できた事故サンプル 45 件を抽出した。ただし、抽出対象のデータは平日のみに限定している。これは、事故影響評価マクロ交通流シミュレーションが、現時点では平日のデータを元に構築されているためである。

表 4-3 分析対象事故サンプル一覧

No	事故ID	発生日	発生時刻	事故類型	道路種別	路線番号	単交区分	車線数
1	1966	2013/11/6	15:50	追突	都道	307	交差点	2
2	3011	2013/9/26	8:40	追突	国道	20	交差点	3
3	5076	2013/12/10	15:00	追突	国道	15	交差点	3
4	5138	2013/12/2	16:40	追突	都道	318	交差点	3
5	6808	2013/11/13	8:40	追突	都道	318	交差点	3
6	6828	2013/10/24	19:40	追突	国道	246	交差点	3
7	6829	2013/11/13	8:40	追突	国道	246	交差点	3
8	6884	2013/7/31	7:40	追突	都道	311	交差点	3
9	6886	2013/9/20	7:20	追突	都道	311	交差点	3
10	6887	2013/10/3	9:20	追突	都道	311	交差点	3
11	6892	2013/10/31	9:20	追突	都道	311	交差点	3
12	13324	2013/7/11	7:00	追突	国道	17	交差点	3
13	13469	2013/7/1	11:30	追突	都道	318	交差点	3
14	13555	2013/11/27	17:20	追突	国道	254	交差点	3
15	13561	2013/9/23	14:40	追突	都道	311	交差点	2
16	13577	2013/10/9	6:40	追突	都道	307	交差点	2
17	13578	2013/10/30	6:20	追突	都道	307	交差点	2
18	13623	2013/9/9	15:40	追突	都道	4	単路	2
19	13624	2013/9/2	14:00	追突	都道	4	単路	2
20	13635	2013/9/10	19:00	追突	都道	307	単路	2
21	19565	2013/9/13	14:30	追突	都道	319	交差点	2
22	19598	2013/9/18	16:20	追突	国道	15	交差点	3
23	19912	2013/7/15	17:40	逸脱	都道	305	単路	2
24	28433	2013/10/23	19:20	追突	都道	311	交差点	3
25	28777	2013/12/19	18:10	追突	都道	316	単路	3
26	42157	2013/10/7	8:50	追突	都道	318	交差点	3
27	42367	2013/9/20	10:10	追突	都道	306	交差点	2
28	42385	2013/12/9	7:00	横断中	都道	306	交差点	2
29	42536	2013/9/19	22:50	追突	国道	246	交差点	3
30	42842	2013/12/2	15:00	横断中	都道	319	交差点	2
31	43127	2013/10/28	17:30	追突	都道	318	単路	3
32	43135	2013/7/10	8:10	追突	都道	318	単路	3
33	43472	2013/8/30	8:10	追突	都道	311	単路	3
34	64316	2013/10/3	22:00	追突	都道	317	交差点	3
35	64551	2013/7/1	15:20	横断中	都道	302	交差点	2
36	64695	2013/9/12	14:50	追突	国道	4	交差点	3
37	64940	2013/9/2	15:30	追突	都道	319	交差点	3
38	65405	2013/11/19	17:50	追突	都道	318	交差点	2
39	65409	2013/10/8	8:20	追突	都道	319	交差点	3
40	65481	2013/12/9	8:00	追突	都道	311	単路	3
41	65754	2013/10/4	10:00	追突	都道	4	単路	2
42	65776	2013/7/16	15:40	追突	国道	6	単路	3
43	65859	2013/9/2	14:20	追突	都道	306	単路	2
44	66320	2013/7/12	20:50	追突	都道	8	単路	3
45	66372	2013/9/6	6:30	追突	都道	318	単路	2

抽出した事故サンプルの RYG 図¹⁰の一例を以下に示す。ここで、RYG 図とは、事故発生前 6 時間から発生後 6 時間にわたり、事故位置上流 2km から事故位置までの区間において平均旅行速度の分布を表す図であり、交通流の閉塞具合（渋滞の発生、それによる混雑等）を視覚的に把握することが可能となる。

ここで、プローブデータによる旅行速度データは、プローブデータを取得できる車両が走行した時間、場所のみのデータであるため、全時間帯、リンクにて取得できておらず、下図のとおり空白部分が存在する。なお、縦軸は時間、横軸はリンク長を表している。各セルの幅はリンク長の比に従っている。また最右列は事故位置のリンクである。

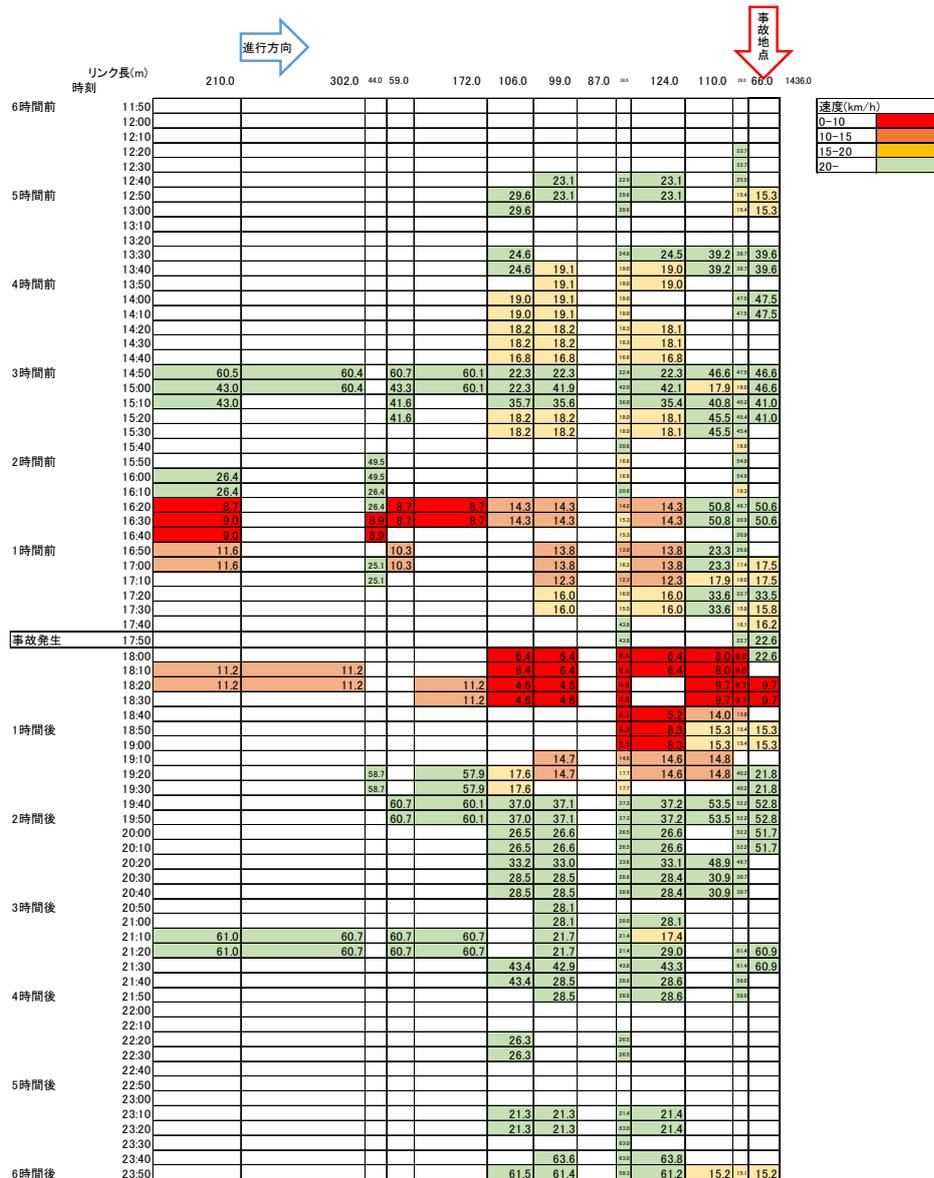


図 4-3 RYG 図の例 (事故 ID 65405)

¹⁰ RYG 図とは速度分布を R(red)、Y(yellow)、G(green)で示した図であり、「速度階層図」や「速度ランク」とも呼ばれることがある。

前述のとおり、使用するプローブデータは全時間帯および全道路リンクの値を持っておらず、値が欠損している部分がある。そこで、ある時間帯のある道路リンクについて欠損が生じているとき、その 10 分前の同じ道路リンクの値を用いることで、欠損値の補完を行った。

補完前後の RYG 図の例を、図 4-4 に示す。

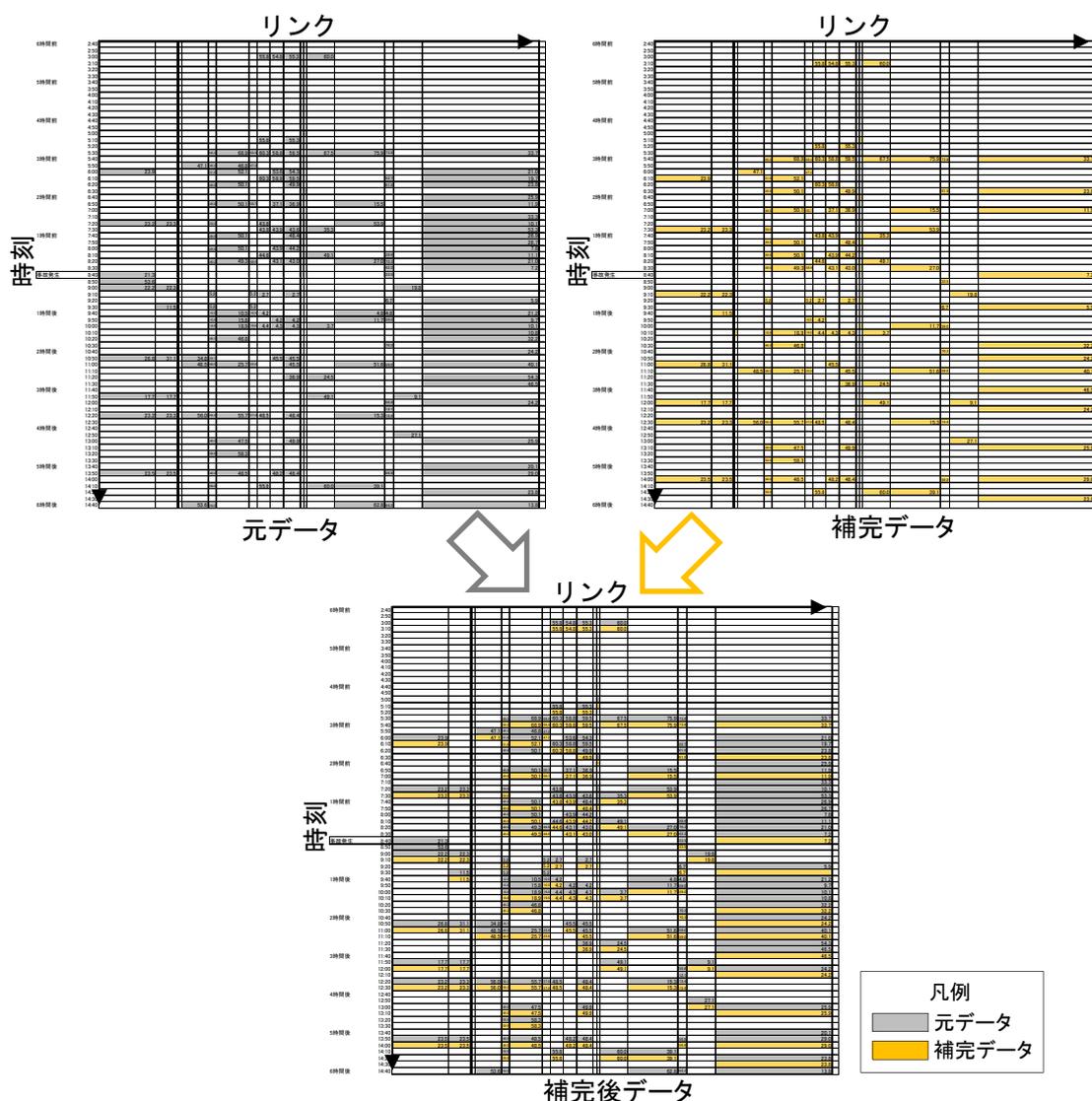


図 4-4 補完前後のデータ (RYG 図)

(3) 事故類型・代表区間の設定

事故類型および代表区間を次のとおり設定した。

事故類型としては、「追突事故」、「歩行者横断中の事故」、「車線逸脱に起因する事故」を扱うこととする。これは、平成 26 年度における内閣府の報告より、前述の「交通事故死者低減効果見積もり手法」において優先すべき評価対象の事故類型として設定されており、

本事業においてもこれと整合を図るためである。

代表区間としては、事故時の車線閉塞具合に寄与する「道路種別」、「車線数」、「単交（単路部、交差点部）区分」を扱うこととした。

表 4-4 事故類型・代表区間の設定

	分類	サンプル数
事故類型	追突	41
	横断中	3
	逸脱	1
	計	45
車線数	2車線	17
	3車線以上	28
	計	45
	道路種別	国道
	都道	36
	計	45
単交区分	単路	14
	交差点	31
	計	45

(4) シミュレーションによる実績値（プローブデータ）の再現

① シミュレーションによる実績値再現の目的

抽出した事故に対し、事故影響評価マクロ交通流シミュレーションにより、交通事故時の交通状況（旅行速度）の再現を行い、プローブデータでは明らかにできない交通量と交通容量低下の継続時間を推計した。

② 再現手法の検討

事故影響評価マクロ交通流シミュレーションでは、事故発生リンクにおける事故規制中の交通容量をインプットする必要があるが、前述の通りプローブデータからは旅行速度のみ把握できる。そこで、プローブデータより得られた旅行速度の実測値をシミュレーションによって再現することで、事故時の交通容量を間接的に把握する方法を用いる。具体的には、シミュレーションにおける入力値（事故発生地点の交通容量と規制時間）を任意に変化させ、シミュレーションの推計値とプローブデータの実績値との各リンクの旅行速度の累積誤差が最小となる入力値を、シミュレーションの繰返計算により導出する。

シミュレーションへの入力値が適切であれば、実績値による RYG 図と推計値による RYG 図は類似した（誤差が小さい）ものになる。この比較イメージを図 4-5 に示す。

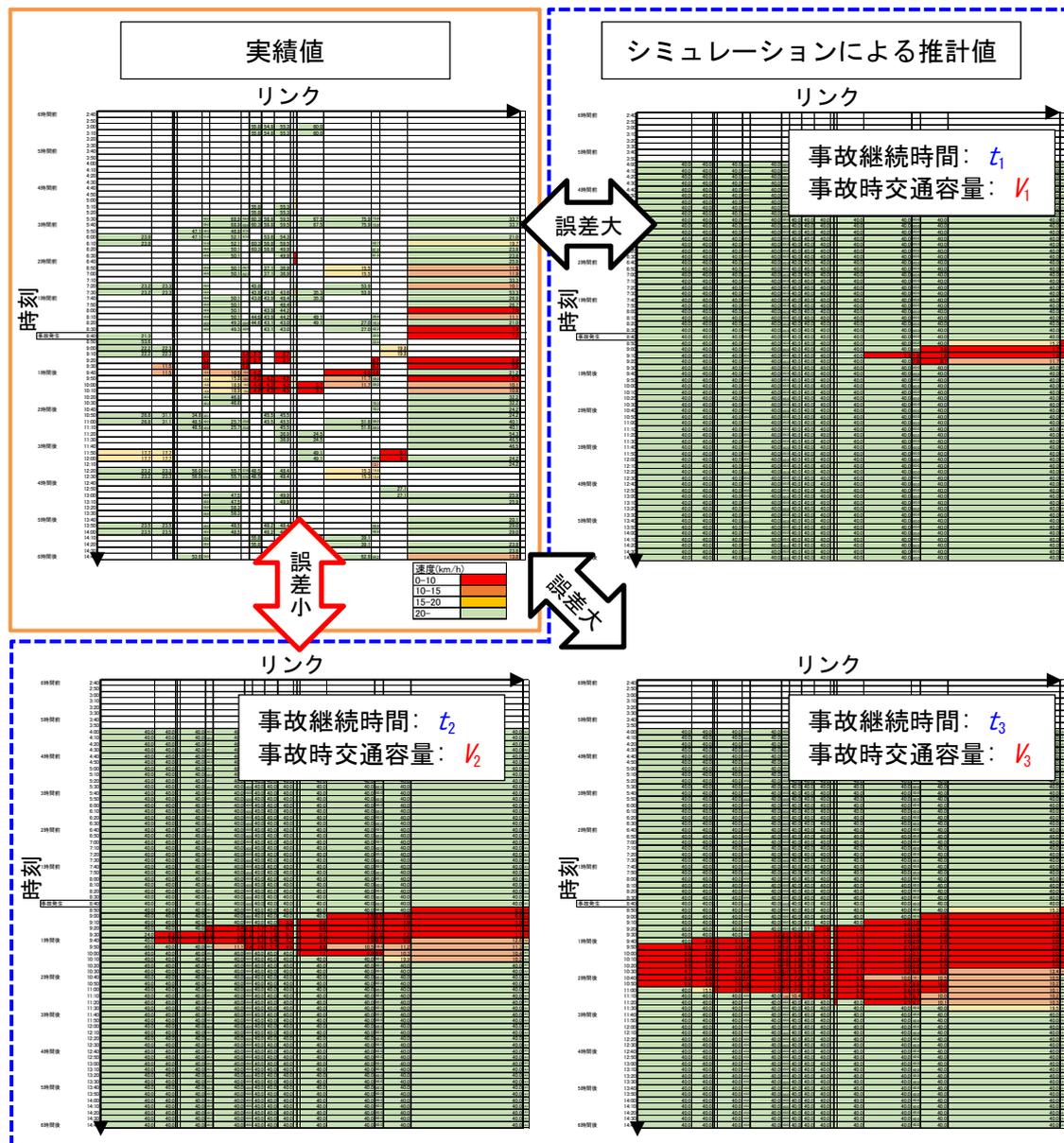


図 4-5 RYG 図を用いた実績値と推計値の比較イメージ

この RYG 図では、各リンクにおける各 10 分間帯の平均旅行速度が各「セル」に示され、また速度に応じた色分けがなされている。このように RYG 図を用いて、赤あるいはオレンジで示された（速度が低下している）部分の分布を見ることで、推計値の誤差が小さい場合ほど推計値の RYG 図と実績値の RYG 図が類似（速度分布が類似）していることが視覚的にも確認できる。従って、入力値を変化させて行ったシミュレーションの各結果について誤差を算出することで、誤差が最小となる際の入力値を把握することができる。また同時に、RYG から速度分布を見ることで、結果が適切かどうかを視覚的にも確認する。

一方、実績値と推計値の差異を算出する方法は一つではなく複数の算出法が考えられる

ため、それらの中で適切なものを採用する必要がある。そこで、以下では誤差算出の方法について検討を行い、適切な算出方法を決定する。

誤差の算出方法として、以下の方法を検討対象とする。リンク旅行速度の実績値に対する実績値と推計値の差分（の総和、以下同様）を「パターン①」、一般に短いリンクでは信号等の影響を受けやすいことからパターン①のうち 30m 以上のリンクのみを対象とした「パターン②」、また、リンク長の影響を考慮してパターン①にリンク長を乗じたものを「パターン③」、パターン③のうち 30m 以上のリンクのみを対象とした「パターン④」を候補とした。さらに、高速度帯の車両の存在により誤差が過大に評価されてしまうという可能性を考慮して、ある旅行速度帯毎に 1 から 5 の「速度ランク」を設定し、旅行速度の差分ではなく「速度ランクの差分」を算出するパターン⑤を候補として加えた。シミュレーションで設定された速度上限より速く走行する車両が実際には存在し、高速度帯の車両が多い場合、実績値とシミュレーション結果の差分が過大に算出されてしまう。そのため、速度ではなく速度ランクを用いることで高速度帯の影響を抑えた誤差計算が可能だと考えられる。

以上を整理すると、表 4-5 の通りとなる。

表 4-5 誤差の算出法と対応するパターン

算出法	対象リンク	パターン
実績値に対する実績値と推計値の差分	全リンク対象	パターン①
	30m 以上のリンクのみ対象	パターン②
「実績値に対する実績値と推計値の差分」とリンク長の積	全リンク対象	パターン③
	30m 以上のリンクのみ対象	パターン④
速度帯毎に設定された「速度ランク」の差分	全リンク対象	パターン⑤

これらの誤差算出パターンの算出式を表 4-6 に示す。また、パターン⑤の計算で使用する速度ランクを表 4-7 に示す。

表 4-6 各パターンの算出式

誤差算出パターン	算出式
パターン①	$\sum_{\text{対象リンク}} \sum_{\text{対象時間帯}} \left \frac{v_{probe} - v_{sim}}{v_{probe}} \right $
パターン②	$\sum_{\text{対象リンク}} \sum_{\text{対象時間帯}} \left \frac{v_{probe} - v_{sim}}{v_{probe}} \right \quad (L > 0.03)$
パターン③	$\sum_{\text{対象リンク}} \sum_{\text{対象時間帯}} \left \frac{v_{probe} - v_{sim}}{v_{probe}} \right \cdot L$
パターン④	$\sum_{\text{対象リンク}} \sum_{\text{対象時間帯}} \left \frac{v_{probe} - v_{sim}}{v_{probe}} \right \cdot L \quad (L > 0.03)$
パターン⑤	$\sum_{\text{対象リンク}} \sum_{\text{対象時間帯}} Rank_{probe} - Rank_{sim} \cdot L$

v_{probe} : 実績値(プローブデータによるリンク旅行速度) (km/h)

v_{sim} : シミュレーション結果のリンク旅行速度 (km/h)

L : リンク長 (km)

$Rank_{probe}$: 実測値の速度ランク

$Rank_{sim}$: シミュレーション結果の速度ランク

表 4-7 速度ランク表

速度ランク	リンク旅行速度帯
1	$v < 5\text{km/h}$
2	$5\text{km/h} \leq v < 10\text{km/h}$
3	$10\text{km/h} \leq v < 15\text{km/h}$
4	$15\text{km/h} \leq v < 20\text{km/h}$
5	$20\text{km/h} \geq v$

各セルについて算出された誤差を対象の全セルに対して求めた和をそのシミュレーション条件の誤差として扱う。この際以下の点に留意する。

- 和を求める時間帯は、プローブデータより事故影響ありと判断される時間帯とする
- 実績値と推計値の両方が存在するセルのみを誤差計算の対象とする

表 4-6 に挙げた 5 つの誤差算出パターンについて、以下で検討を行う。ここでは、ある事故に対し入力値 (容量低下時間および交通容量) を変化させたシミュレーションを行い、それぞれの結果に対し誤差算出パターンで算出した誤差分布イメージを図 4-6 に示す。この事故は、平成 25 年 11 月 13 日 8 時 42 分に都道で発生した追突事故である。

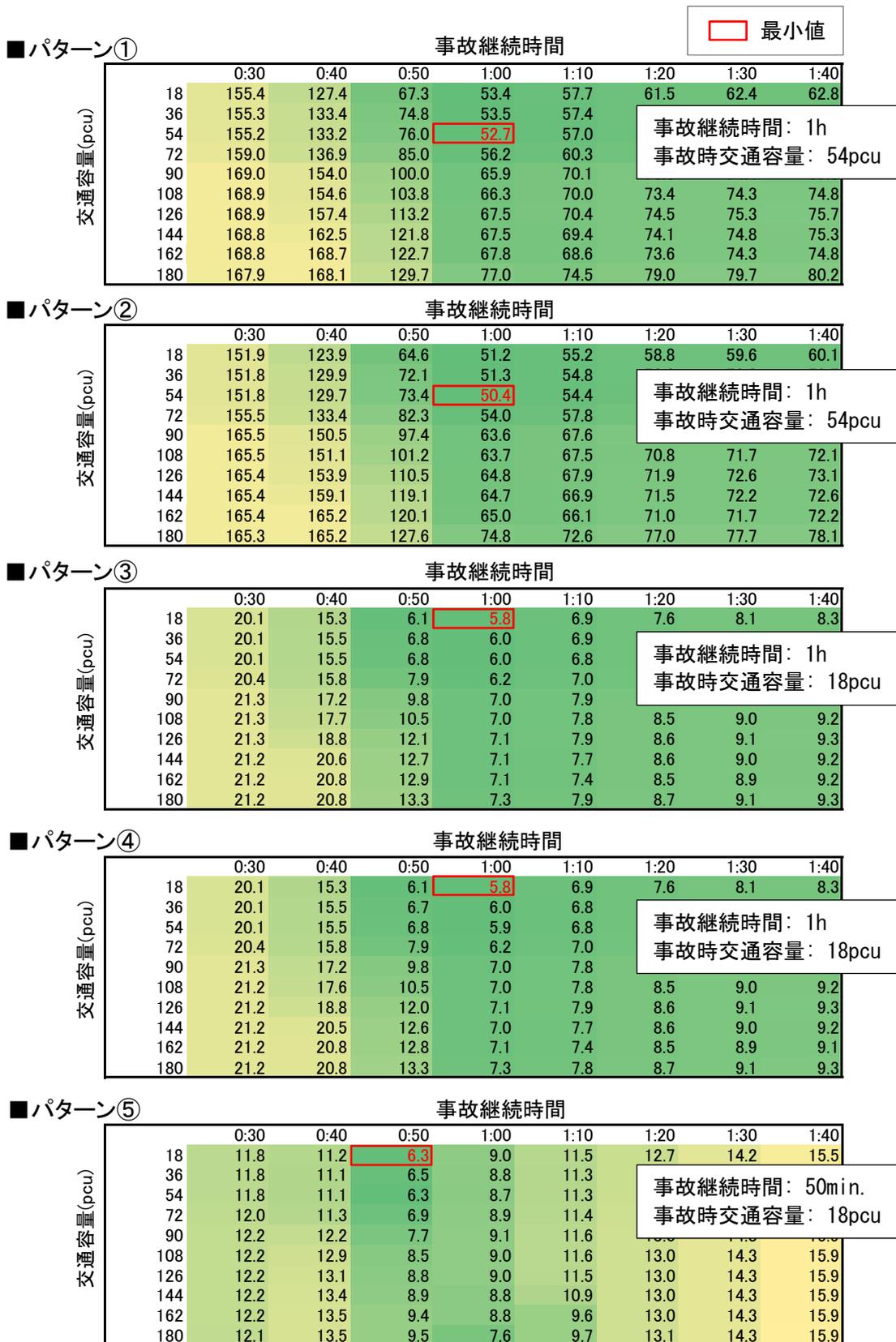


図 4-6 誤差算出パターン毎の誤差分布イメージ (例)

図 4-6 において、各誤差算出パターンでの誤差が最小となる入力値（交通容量と事故継続時間（交通容量の低下時間））が確認できる。この誤差が最小となる入力値の元での RYG を図 4-7 に示す。図 4-7 の各図には、事故の継続時間及び事故の影響が及んでいるリンクの範囲を重ねて示す。

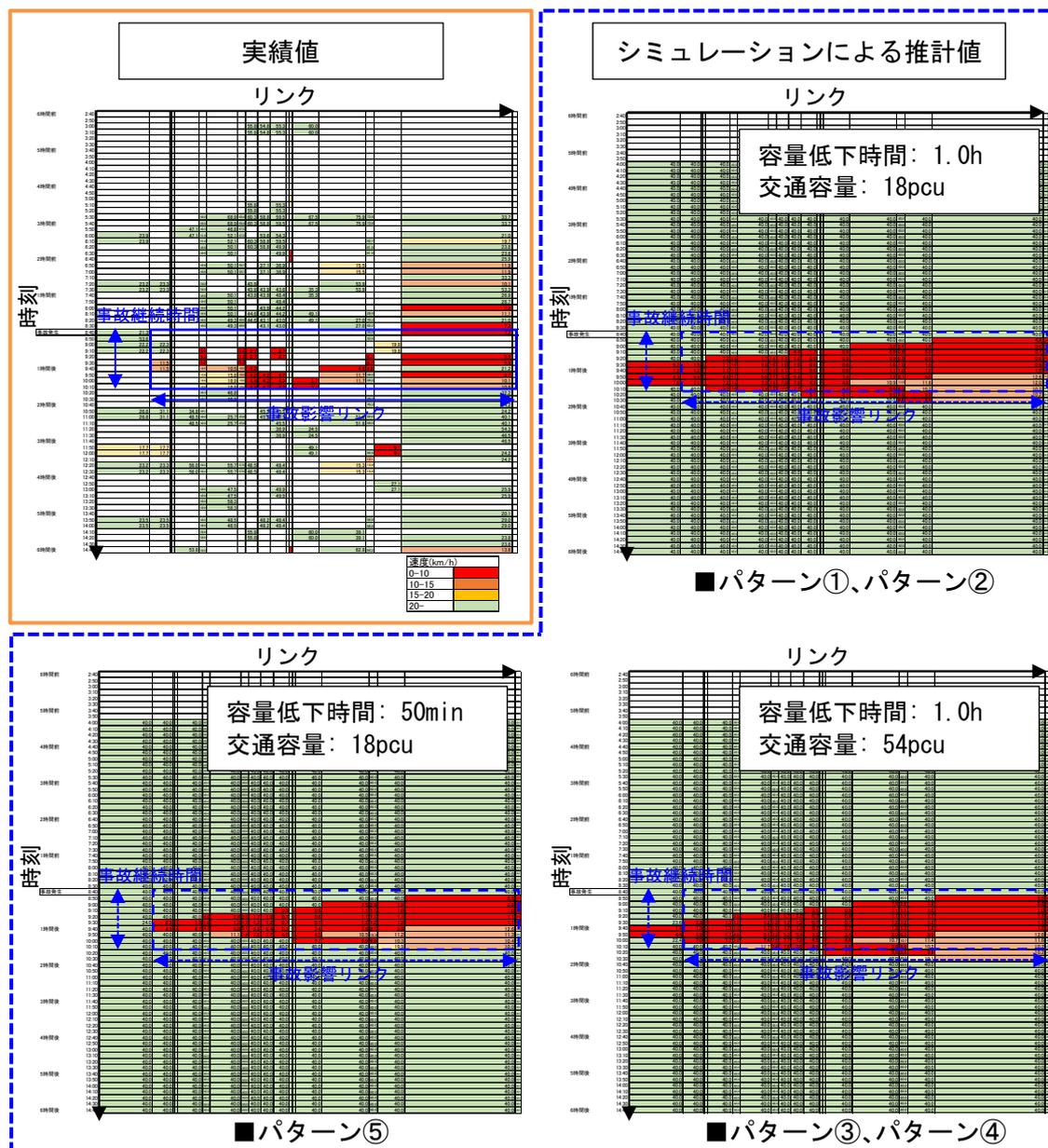


図 4-7 各誤差算出パターンにおいて誤差が最小となる条件での RYG

パターン 1 と 2、パターン 3 と 4 は、それぞれ誤差が最小となる条件が同じであり、ここではリンク長の影響が見られないことがわかる。また、パターン①からパターン④では交通容量の低下時間が実際の事故時の事故継続時間より長時間にわたっており、事故影響も

実際のリンクより長距離に及んでいる。それに対しパターン⑤では、他のパターンと比べてより実績値に近い分布となっている。したがって、パターン⑤により誤差を算出することで、より適切な入力値を得ることができると考え、誤差算出法としてパターン⑤を採用した。

4.2.2 事故影響評価マクロ交通流シミュレーションの実施

(1) 対象事故サンプル別の算出結果

対象とするサンプルに対し、シミュレーションによる再現を行った結果を、表 4-8 に示す。

表 4-8 各事故サンプルにおけるシミュレーションによる再現結果

No	事故ID	事故類型	道路種別	単交区分	車線数	平常時 交通容量 (台/h・車線) ①	事故時 交通容量 (台/h・車線) ②	容量低下率 ②/①	事故規制時間 (分)
1	1966	追突	都道	交差点	2	1800	90	5%	100
2	3011	追突	国道	交差点	3	1800	396	22%	20
3	5076	追突	国道	交差点	3	1800	18	1%	40
4	5138	追突	都道	交差点	3	1800	18	1%	30
5	6808	追突	都道	交差点	3	1800	18	1%	50
6	6828	追突	国道	交差点	3	1800	360	20%	70
7	6829	追突	国道	交差点	3	1800	828	46%	80
8	6884	追突	都道	交差点	3	1800	882	49%	70
9	6886	追突	都道	交差点	3	1800	468	26%	40
10	6887	追突	都道	交差点	3	1800	252	14%	50
11	6892	追突	都道	交差点	3	1800	612	34%	70
12	13324	追突	国道	交差点	3	1800	18	1%	80
13	13469	追突	都道	交差点	3	1800	90	5%	60
14	13555	追突	国道	交差点	3	1800	414	23%	30
15	13561	追突	都道	交差点	2	1800	486	27%	100
16	13577	追突	都道	交差点	2	1800	594	33%	110
17	13578	追突	都道	交差点	2	1800	576	32%	300
18	13623	追突	都道	単路	2	1800	396	22%	60
19	13624	追突	都道	単路	2	1800	432	24%	30
20	13635	追突	都道	単路	2	1800	324	18%	20
21	19565	追突	都道	交差点	2	1800	162	9%	100
22	19598	追突	国道	交差点	3	1800	54	3%	110
23	19912	逸脱	都道	単路	2	1800	270	15%	110
24	28433	追突	都道	交差点	3	1800	342	19%	40
25	28777	追突	都道	単路	3	1800	288	16%	40
26	42157	追突	都道	交差点	3	1800	18	1%	90
27	42367	追突	都道	交差点	2	1800	18	1%	70
28	42385	横断中	都道	交差点	2	1800	162	9%	50
29	42536	追突	国道	交差点	3	1800	36	2%	40
30	42842	横断中	都道	交差点	2	1800	270	15%	50
31	43127	追突	都道	単路	3	1800	396	22%	60
32	43135	追突	都道	単路	3	1800	54	3%	120
33	43472	追突	都道	単路	3	1800	18	1%	40
34	64316	追突	都道	交差点	3	1800	18	1%	60
35	64551	横断中	都道	交差点	2	1800	18	1%	90
36	64695	追突	国道	交差点	3	1800	306	17%	30
37	64940	追突	都道	交差点	3	1800	162	9%	20
38	65405	追突	都道	交差点	2	1800	36	2%	50
39	65409	追突	都道	交差点	3	1800	90	5%	100
40	65481	追突	都道	単路	3	1800	324	18%	20
41	65754	追突	都道	単路	2	1800	144	8%	20
42	65776	追突	国道	単路	3	1800	72	4%	300
43	65859	追突	都道	単路	2	1800	324	18%	50
44	66320	追突	都道	単路	3	1800	234	13%	20
45	66372	追突	都道	単路	2	1800	450	25%	170

(2) 交通容量低下の傾向（単純集計）

以上の結果を踏まえ、事故類型および代表区間別の交通容量低下率、および事故規制時間の平均値を算出した。結果を以下に示す。

<事故類型>

事故類型に着目すると、事故時の交通容量の低下率に関しては、追突事故と車線逸脱に起因する事故が15%、歩行者横断中の事故が8%という結果となった。

事故規制時間に関しては、車線逸脱に起因する事故が110分と最も長く、次いで追突事故が72分、歩行者横断中の事故が63分という結果となった。

ただし、歩行者横断中の事故、車線逸脱に起因する事故は少サンプルであることに留意が必要である。

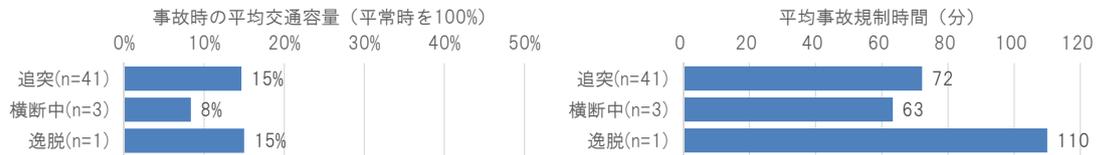


図 4-8 事故時の平均交通容量および事故規制時間（事故類型）

<車線数>

車線数に着目すると、事故時の交通容量の低下率に関してはそれほど大きな差異は見られなかった。

事故規制時間に関しては、3車線以上よりも2車線の方が23分長い結果となった。これは、車線数が少ないほど事故時の処理に時間を要するためと考えられる。



図 4-9 事故時の平均交通容量および事故規制時間（車線数）

<道路種別>

道路種別に着目すると、事故時の交通容量の低下率に関して差異は見られなかった。

事故規制時間に関しては、都道よりも国道の方が10分長い結果となった。これは、国道の交通量が都道よりも多いことから、事故時の処理に時間を要するためと考えられる。

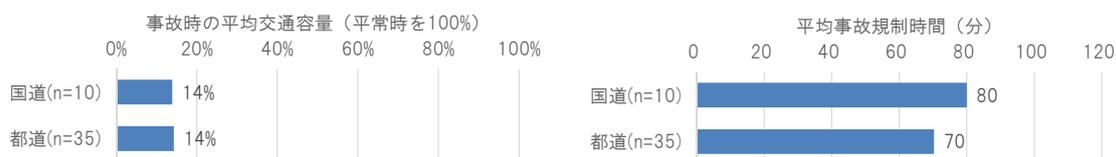


図 4-10 事故時の平均交通容量および事故規制時間 (道路種別)

<単交区分>

単交区分に着目すると、事故時の交通容量の低下率に関して差異は見られなかった。

事故規制時間に関しても、単路と交差点での差異は10分未満であり、大きな差異は見られなかった。

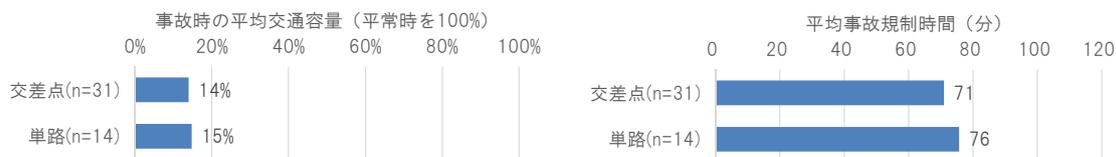


図 4-11 事故時の平均交通容量および事故規制時間 (単交区分)

(3) 交通容量低下の傾向（クロス集計）

単純集計結果より、比較的差異が大きく見られた車線数に着目してクロス集計を行った。

<事故類型×車線数>

事故類型×車線数に着目すると、事故時の交通容量の低下率に関しては、歩行者横断中の事故×2車線が8%となり最も交通容量の低下率が低い結果となった。

事故規制時間に関しては、追突事故に関して、3車線以上よりも2車線の方が27分長い結果となった。これは、車線数が少ないほど事故時の処理に時間を要するためと考えられる。

ただし、歩行者横断中の事故、車線逸脱に起因する事故は少サンプルであることに留意が必要である。



図 4-12 事故時の平均交通容量および事故規制時間（事故類型×車線数）

<道路種別×車線数>

道路種別×車線数に着目すると、事故時の交通容量の低下率に関しては、いずれも大きな差異は見られなかった。

事故規制時間に関しては、都道に関して、3車線以上よりも2車線の方が33分長い結果となった。これは、車線数が少ないほど事故時の処理に時間を要するためと考えられる。



図 4-13 事故時の平均交通容量および事故規制時間（道路種別×車線数）

<単交区分×車線数>

単交区分×車線数に着目すると、事故時の交通容量の低下率に関しては、2車線の単路よりも交差点の方が6ポイント低い結果となった。これは、単路よりも交差点事故の方が交通流への影響が大きいためと考えられる。

同様に事故規制時間に関しては、2車線の単路よりも交差点の方が36分長い結果となった。これは、通常、流入交通は単路よりも交差点の方が多いため、事故時の処理に時間を要するためと考えられる。

なお、3車線以上に関しては、交通容量の低下率・事故規制時間ともに交差点よりも単路の方が低い・長い結果となっている。これは、単路の事故サンプルに特殊ケースが混じっている可能性も考えられる。

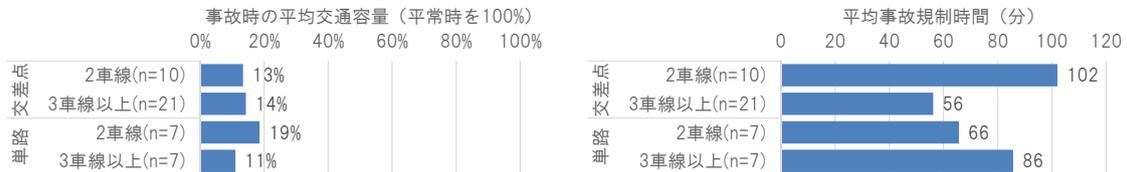


図 4-14 事故時の平均交通容量および事故規制時間 (単交区分×車線数)

4.2.3 CO₂排出量マクロモデルを用いたCO₂排出量の算出

4.2.2において算出した各対象事故サンプルの交通容量低下の傾向をもとに、CO₂排出量マクロモデルを用いて、各事故に伴うCO₂排出量の増分を算出した。なお、算出の際に用いる大型車混入率（昼間12時間および夜間12時間）は平成22年度道路交通センサス調査データを用いた。

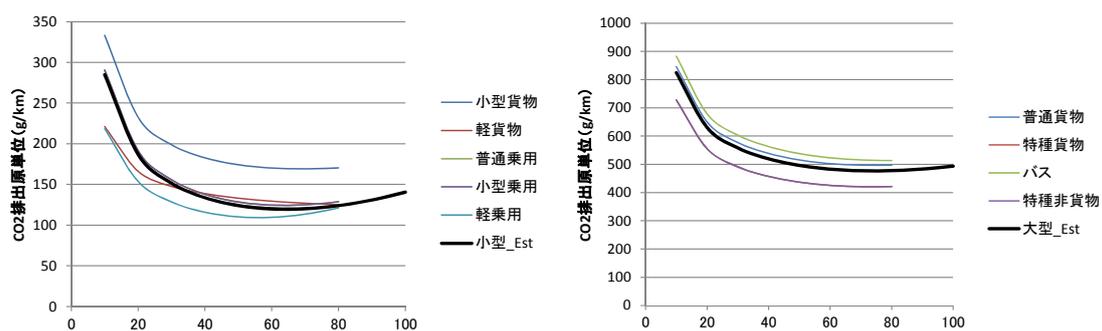


図 4-15 CO₂排出量マクロモデル (左：小型車、右：大型車)

(1) 対象事故サンプル別の算出結果

対象とするサンプルに対し、シミュレーションによる再現を行った結果を以下に示す。

表 4-9 各事故サンプルにおける CO₂ 排出量の増分の算出結果

No	事故ID	事故類型	道路種別	単交区分	車線数	CO ₂ 排出量の増分(kg-CO ₂)
1	1966	追突	都道	交差点	2	1,571
2	3011	追突	国道	交差点	3	4,668
3	5076	追突	国道	交差点	3	623
4	5138	追突	都道	交差点	3	471
5	6808	追突	都道	交差点	3	1,751
6	6828	追突	国道	交差点	3	476
7	6829	追突	国道	交差点	3	228
8	6884	追突	都道	交差点	3	837
9	6886	追突	都道	交差点	3	1,862
10	6887	追突	都道	交差点	3	2,718
11	6892	追突	都道	交差点	3	1,555
12	13324	追突	国道	交差点	3	834
13	13469	追突	都道	交差点	3	454
14	13555	追突	国道	交差点	3	369
15	13561	追突	都道	交差点	2	1,190
16	13577	追突	都道	交差点	2	5,458
17	13578	追突	都道	交差点	2	4,312
18	13623	追突	都道	単路	2	256
19	13624	追突	都道	単路	2	347
20	13635	追突	都道	単路	2	843
21	19565	追突	都道	交差点	2	5,337
22	19598	追突	国道	交差点	3	300
23	19912	逸脱	都道	単路	2	250
24	28433	追突	都道	交差点	3	738
25	28777	追突	都道	単路	3	181
26	42157	追突	都道	交差点	3	1,122
27	42367	追突	都道	交差点	2	902
28	42385	横断中	都道	交差点	2	346
29	42536	追突	国道	交差点	3	246
30	42842	横断中	都道	交差点	2	356
31	43127	追突	都道	単路	3	190
32	43135	追突	都道	単路	3	4,776
33	43472	追突	都道	単路	3	1,262
34	64316	追突	都道	交差点	3	627
35	64551	横断中	都道	交差点	2	516
36	64695	追突	国道	交差点	3	347
37	64940	追突	都道	交差点	3	996
38	65405	追突	都道	交差点	2	1,080
39	65409	追突	都道	交差点	3	665
40	65481	追突	都道	単路	3	355
41	65754	追突	都道	単路	2	225
42	65776	追突	国道	単路	3	5,941
43	65859	追突	都道	単路	2	172
44	66320	追突	都道	単路	3	109
45	66372	追突	都道	単路	2	2,338

(2) CO₂排出量の変化傾向（単純集計）

以上の結果を踏まえ、事故類型および代表区間別の CO₂ 排出量増分の平均値を算出した。結果を以下に示す。

<事故類型>

事故類型に着目すると、事故に伴う CO₂ 排出量の増分は、追突が最も多く、約 1.4t・CO₂ 増加という結果となった。

ただし、歩行者横断中の事故、車線逸脱に起因する事故は少サンプルであることに留意が必要である。



図 4-16 事故時の CO₂ 排出量増分（事故類型）

<車線数>

車線数に着目すると、事故に伴う CO₂ 排出量の増分は、3 車線以上よりも 2 車線の方が多く、約 1.5t 増加という結果となった。

この要因として、車線数が少ないほど事故時の車線閉塞への影響が大きく、渋滞が大きくなるためと考えられる。



図 4-17 事故時の CO₂ 排出量増分（車線数）

<道路種別>

道路種別に着目すると、事故に伴う CO₂ 排出量の増分は、都道よりも国道の方が多く、約 1.4t 増加という結果となった。

この要因として、交通量は都道よりも国道の方が多く、事故渋滞による交通流への影響がより大きいと考えられる。



図 4-18 事故時の CO₂ 排出量増分 (道路種別)

<単交区分>

単交区分に着目すると、事故に伴う CO₂ 排出量の増分は、単路よりも交差点の方が多く約 1.4t 増加という結果となった。

この要因として、流入交通は単路よりも交差点の方が多いこと、交差点へ接続する路線へも事故渋滞の影響が及ぶためと考えられる

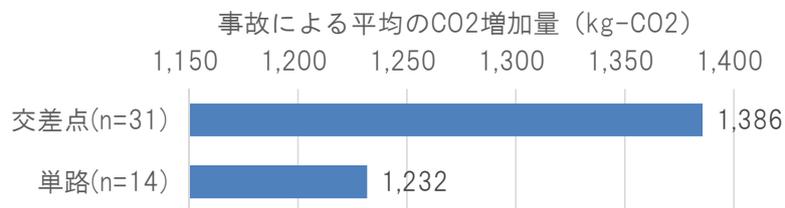


図 4-19 事故時の CO₂ 排出量増分 (単交区分)

(3) CO₂ 排出量の変化傾向（クロス集計）

交通容量低下の傾向に関する分析と同様に、車線数に着目してクロス集計を行った。

<事故類型×車線数>

事故類型×車線数に着目すると、追突事故に関して事故に伴う CO₂ 排出量の増分は、3 車線以上よりも 2 車線の方が多く、約 1.8t 増加という結果となった。

ただし、歩行者横断中の事故、車線逸脱に起因する事故は少サンプルであることに留意が必要である。

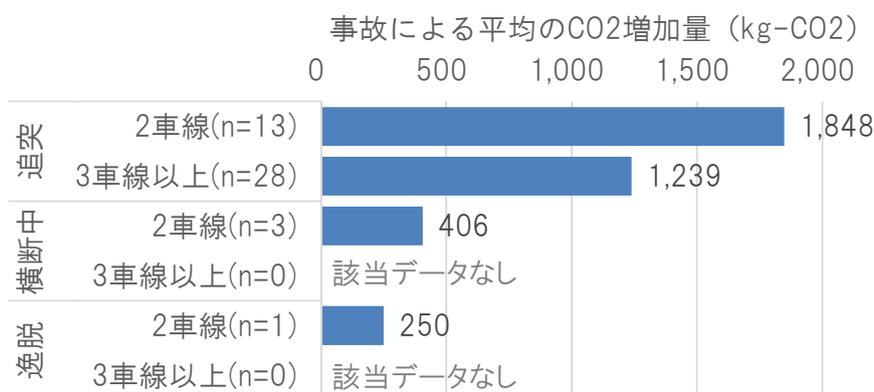


図 4-20 事故時の CO₂ 排出量増分（事故類型×車線数）

<道路種別×車線数>

道路種別×車線数に着目すると、都道に関して、事故に伴う CO₂ 排出量の増分は、3 車線以上よりも 2 車線の方が多く、約 1.5t 増加という結果となった。



図 4-21 事故時の CO₂ 排出量増分（道路種別×車線数）

<単交区分×車線数>

単交区分×車線数に着目すると、交差点に関して、事故に伴う CO₂ 排出量の増分は、3車線以上よりも2車線の方が多く、約 2.1t 増加という結果となった。

また、3車線以上に関しては、交差点よりも単路の方が CO₂ の増加が多い結果となっている。これは、単路の事故サンプルに特殊ケースが混じっている可能性も考えられる。



図 4-22 事故時の CO₂ 排出量増分 (単交区分×車線数)

4.3 モデル都市での推計

4.3.1 推計方法の概要

推計方法の評価への適用性を確認する目的で、算出した各事故サンプルの CO₂ 排出量増分を用いて、東京都区部の国道・都道における事故について、自動走行システムが導入された場合の CO₂ 排出量低減効果を、仮のシナリオに基づき算出する。算出方法を図 4-23 に示す。

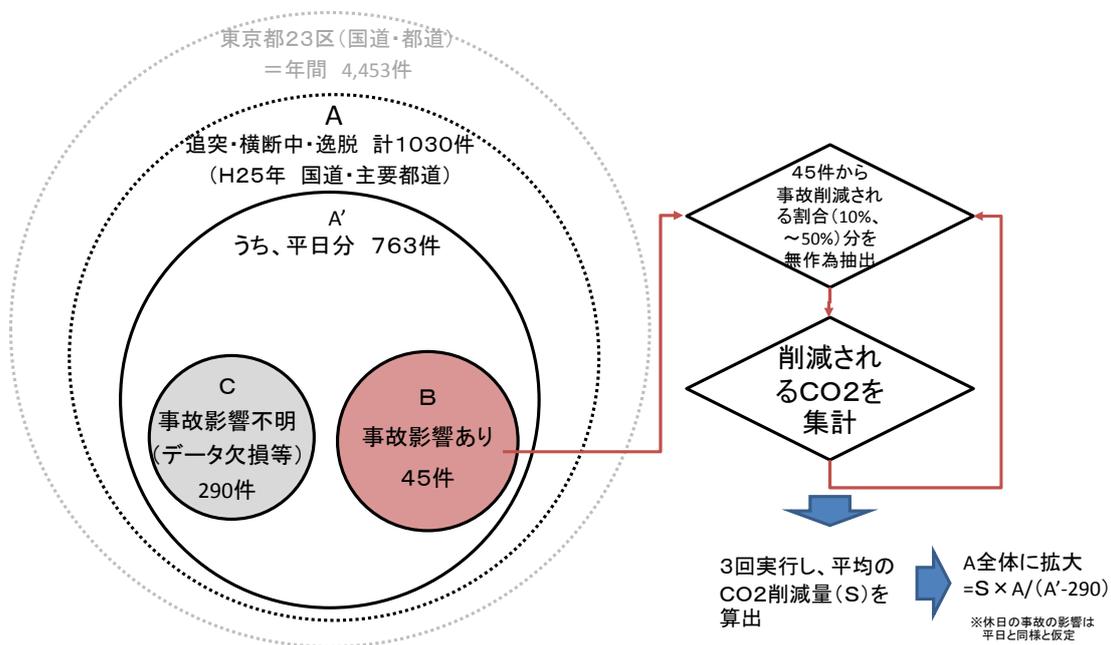


図 4-23 モデル都市での推計の方法

4.3.2 推計結果

推計結果を以下に示す。事故渋滞による CO₂ 排出量の増分に対する事故削減による CO₂ 排出量の変化を、事故の削減率に応じて推計したところ、図 4-24、表 4-10 の通りとなった。

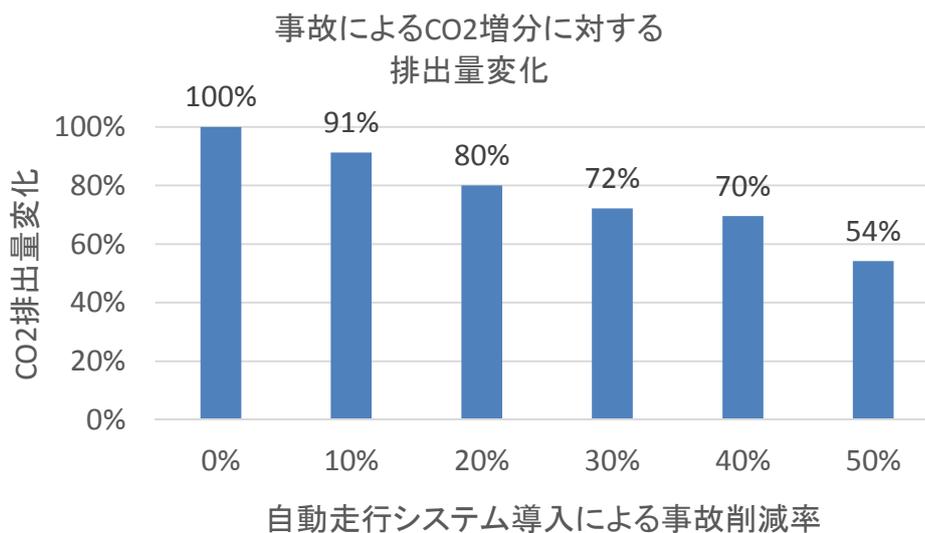


図 4-24 事故渋滞に伴う CO₂ 排出量増分に対する事故削減による CO₂ 排出量の変化

表 4-10 CO₂ 排出削減量の推計結果

事故削減率	事故による CO ₂ 増分 に対する 排出量変化	CO ₂ 排出 削減量 (45件)	CO ₂ 排出 削減量 (拡大推計)
		(kg-CO ₂)	(kg-CO ₂)
0%	100%	0	0
10%	91%	5,255	11,444
20%	80%	11,982	26,091
30%	72%	16,731	36,433
40%	70%	18,338	39,933
50%	54%	27,571	60,037

5. CO₂ 排出量削減効果の評価に資するデータの整備

5.1 ART の評価に必要なデータ

燃料電池バスの場合は、従来の Tank to Wheel (TtW) CO₂ 排出量で評価すると、どれだけ走行しても 0 [g] になってしまうため、Well to Wheel (WtW) CO₂ 排出量での評価およびエネルギー消費量（燃料消費量）での評価を行うための原単位を整備した（表 5-1）。WtW CO₂ 排出量に必要な水素製造プロセスおよびその CO₂ 排出量原単位は、エネルギー経済研究所の検討値を、エネルギー消費量を推計するのに必要な低位発熱量（軽油：38.2 [MJ/L]）は経済産業省の公表値を用いて設定した。

表 5-1 Well to Tank CO₂ 排出原単位

燃料種	WtT 排出原単位[g/km]	備考
軽油	6.32	原油輸入先：中東 89%，東南アジア：5%，アフリカ：4%，その他：2%
水素	110.94	原料比率：天然ガス 53%，石油 23%，COG10%，塩電解 14%

5.2 高速道路および一般道路での自動運転の評価に必要なデータ

高速道路での自動運転の評価対象地域は、東名高速道路とした。また、一般道路での自動運転の評価対象地域は、柏市の国道16号とした。

5.2.1 国道16号の交通流シミュレーション用データセット構築

高速道路における自動運転の評価にあたって交通流シミュレーションに用いるデータは、同じ高速道路を対象に評価を行った隊列走行と同様の方法で整備した。

一方、一般道路における自動運転の評価を行うため、国道16号の柏市全域を対象とした交通流シミュレーション用データセットを構築した。構築にあたっては、柏ITS推進協議会（以下、柏ITS）と連携し、既往研究¹¹において構築した柏市域交通シミュレーションデータセットより、国道16号・柏市域（印西市境～野田市境）ネットワークと国道16号関連OD表を切り出した。

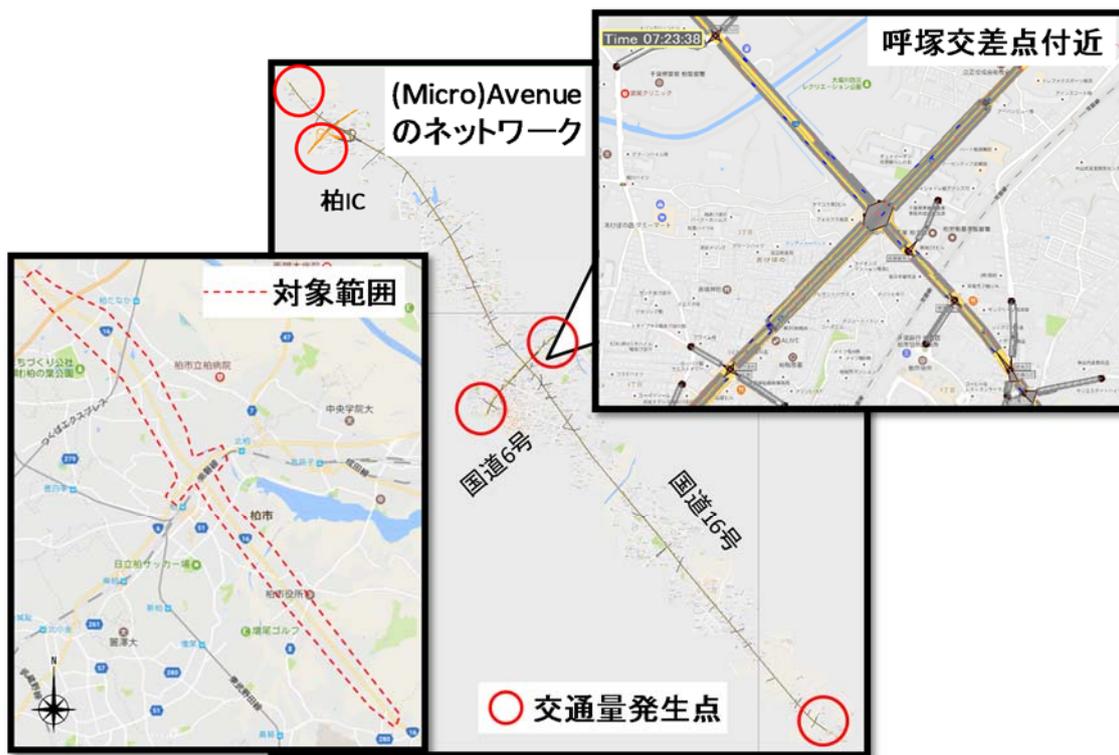
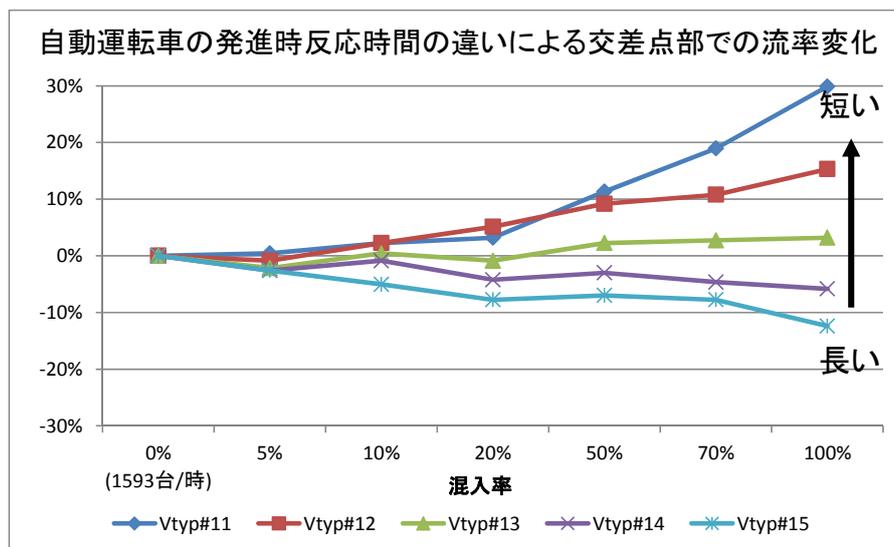
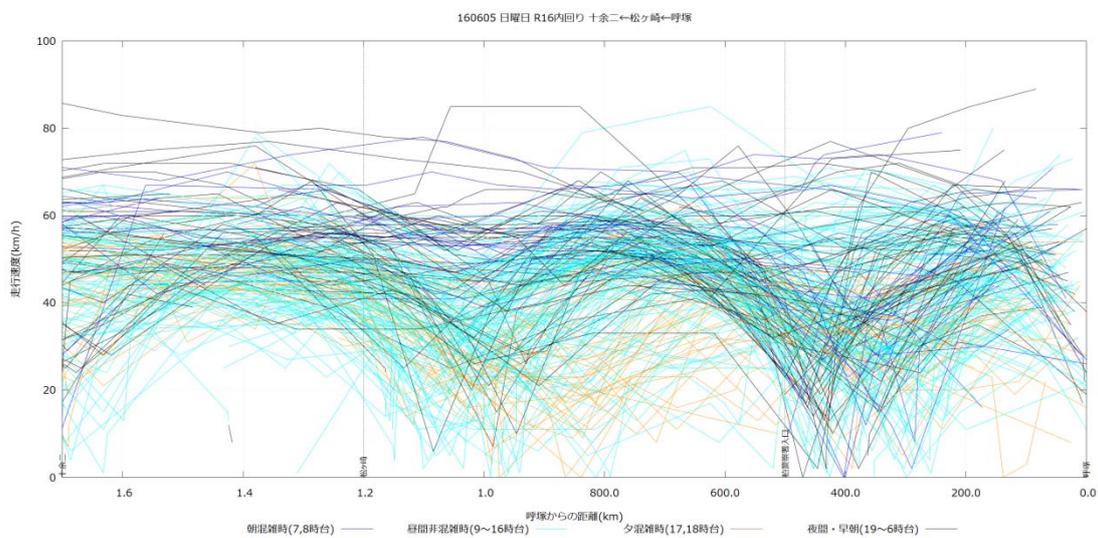


図 5-1 国道16号シミュレーションデータセット

¹¹ 総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) ・B-1 市民の交通行動変容を促進する持続可能な生活交通情報フィードバックシステムの研究開発、平成25年度成果報告 http://www.soumu.go.jp/main_content/000323175.pdf

シミュレーションに必要となるネットワークデータは、地図を基に国道16号および信号交差点の交差道路の出入り部まで作成した。交通量データは、H22 道路交通センサスの観測交通量を参考に時間帯別交通量を作成し、国道16号の本線交通量のみ再現性を確保することとした。なお、交通量の発生点は、基本的に国道16号の両端、国道6号の両端、柏ICとし、その他交差道路からの出入りは交通量調整用として設定した。信号現示については、前出の既往研究で設定された当時の信号現示データを使用した。

また、柏ITS・交通情報利活用部会では、柏市域における自動走行普及のインパクトについても、萌芽的な議論がなされており、一般車の走行挙動についての調査結果などが報告されており（図5-2）、本業務でも車両挙動パラメータ設定の参考とした。



(いずれも、柏ITS推進協議会情報利活用部会・国土技術政策総合研究所資料より抜粋)

図5-2 国道16号での走行速度変動(小型車)と自動走行車混入時の交差点捌け流率変化

5.2.2 CO₂排出量に用いるデータの整備

高速道路での自動運転評価にあたって、CO₂排出量モデルに用いるデータは、対象区間は異なるものの、同じ高速道路を対象とした隊列走行の評価に用いたデータと同様の方法で整理した。

一般道路での自動運転評価にあたって、CO₂排出量モデルに用いる車両の走行挙動については、グリーンウェーブ走行と同様と想定し、エネルギーITS推進事業の成果を活用した。

5.3.1 交通流シミュレーション用データ取得のためのお台場地区来訪車両駐車実態調査の実施

(1) 実態調査の実施

シミュレーションケーススタディの実施のため、図 5-3 の駐車場の内、大規模商業施設や大規模臨時駐車場の主要駐車場を調査対象とし、お台場地区来訪車両の駐車実態調査を実施した。

① 調査項目

各駐車場の時間帯別入庫車両フローレート

出庫車両フローレート

滞留長

② 調査日

2017年7月30日(日) 11:00 から 16:00

③ 調査員

2名

④ 調査対象箇所

調査対象とした駐車場と巡回経路を図 5-4 に、駐車場諸元を表 5-2 に示す。

⑤ 調査方法

- ・ 駐車場入口前の歩道上から、10 分間の入庫台数を計量。
- ・ 同地点から出庫台数を計量可能な場合は出庫台数も計量。
- ・ 1 地点計量後、巡回経路に沿って別駐車場に移動→10 分間計量を繰り返す。

⑥ 調査時天候

調査当日は 10:00 ころまで小雨、その後日中は曇天であった。

⑦ 調査時概況

各駐車場の状況は下記の通りであった。

- ・ 11 時台から科学未来館が満車
→常時 10 台程度の入庫待ち
- ・ 12 時台からアクアシティ、デックスビーチが満車。
→出庫台数と同数が入場、海浜公園側街路が渋滞

- ・ 13 時台から青海第二臨時駐車場が満車。
→満車後は入口閉鎖、入口係員が青海東臨時駐車場への経路案内
- ・ 14 時台からヴィーナスフォートが満車。
→出庫台数と同数が入場。



図 5-4 調査対象駐車場

表 5-2 調査対象施設一覧

	施設名	属性	管理者	精算方法	駐車容量
1	アクアシティ	商業施設	施設管理者	駐車券・後払い・時間制	900 台
2	デックス東京ビーチ	商業施設	施設管理者	駐車券・後払い・時間制	541 台
3	ダイバーシティ東京プラザ	商業施設	施設管理者	駐車券・後払い・時間制	1313 台
4	ヴィーナスフォート	商業施設	施設管理者	駐車券・後払い・時間制	470 台
5	パレットタウン	商業施設	施設管理者	駐車券・後払い・時間制	476 台
6	日本科学未来館	商業施設	施設管理者	駐車券・後払い・時間制	175 台
A	青海第二臨時駐車場	臨時駐車場	東京テレポートセンター	前払い・固定料金	798 台
B	青海東臨時駐車場	臨時駐車場	東京テレポートセンター	前払い・固定料金	888 台

(2) シミュレーション設定値の算出

実態調査にて観測した入出庫台数から、各駐車場の入庫台数、出庫台数、累積駐車台数を求めた。入庫台数は各観測時間間の平均入庫台数から入庫台数のレートをもとめ、満車時刻と合致するように初期駐車台数と出庫レートを求めた。科学未来館駐車場は、出庫台数が少なく午前中から満車が続いたためシミュレーション対象から除外した。図 5-5 から図 5-11 に入庫台数、出庫台数、累積駐車台数を示す。

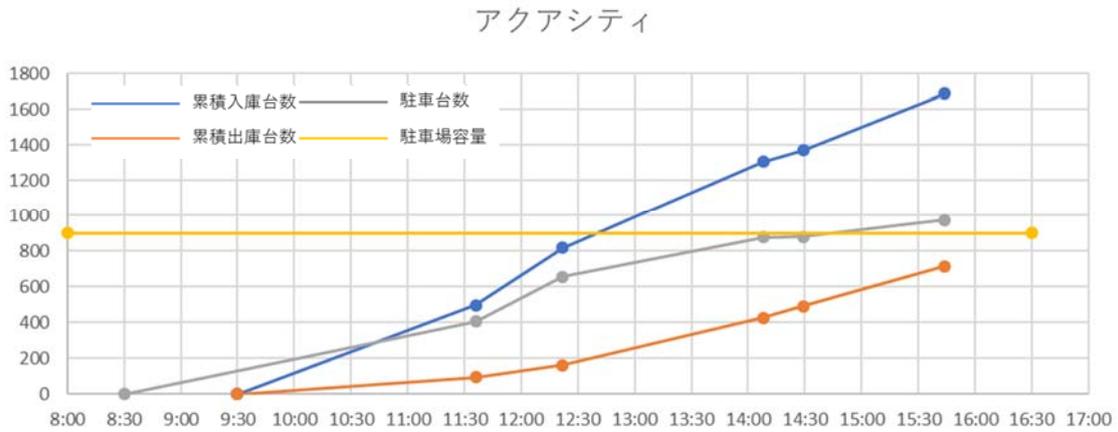


図 5-5 入出庫台数、駐車台数推計値 (アクアシティ)

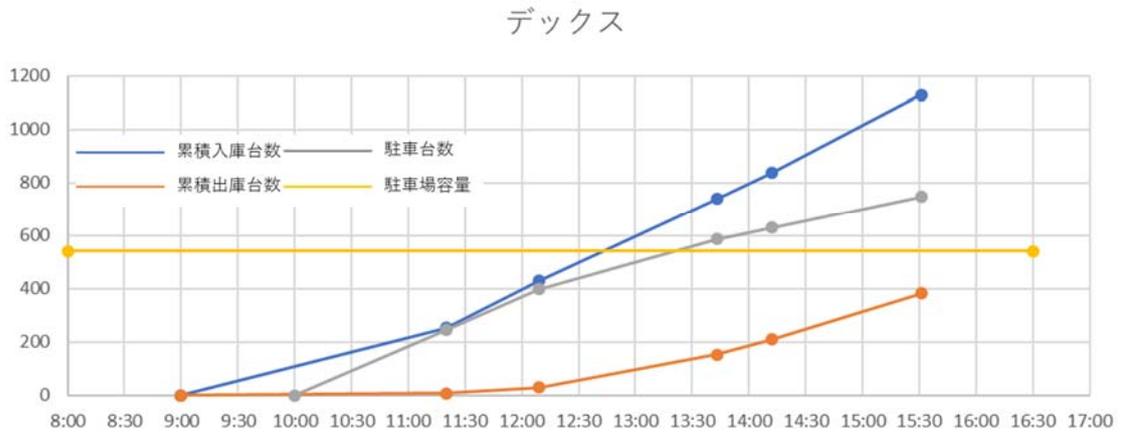


図 5-6 入出庫台数、駐車台数推計値 (デックス)

ダイバーシティ

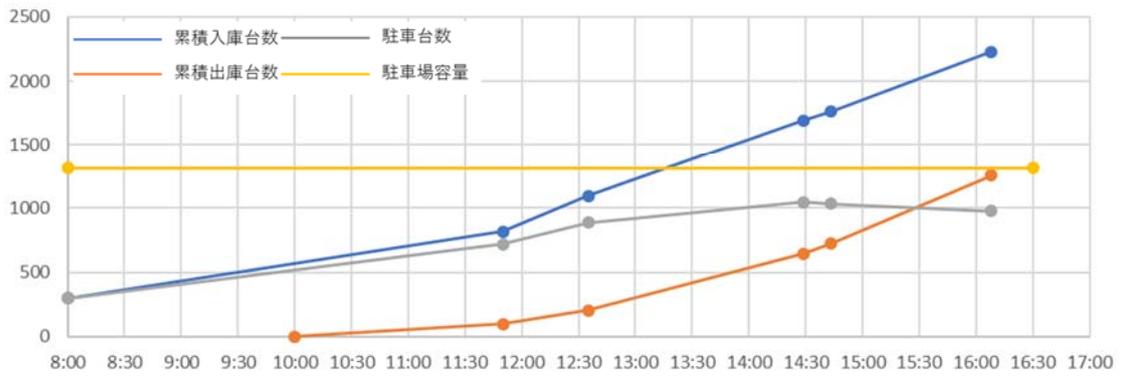


図 5-7 入出庫台数、駐車台数推計値 (ダイバーシティ)

ヴィーナスフォート

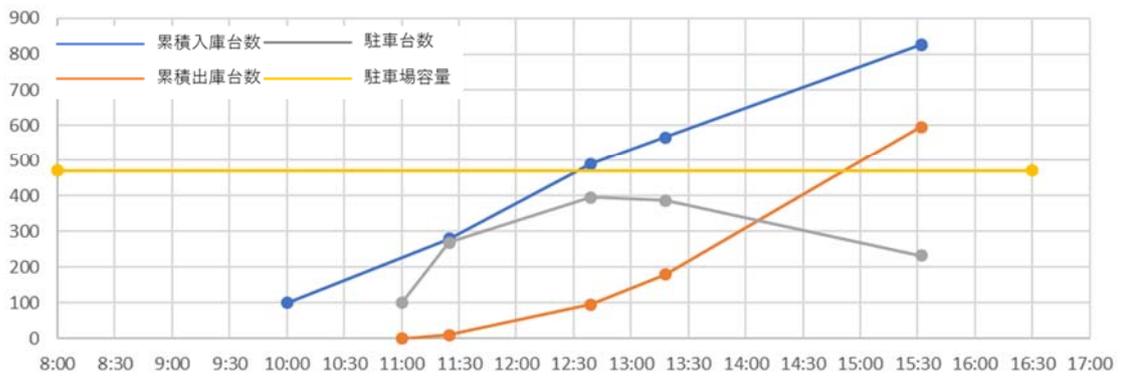


図 5-8 入出庫台数、駐車台数推計値 (ヴィーナスフォート)

パレットタウン

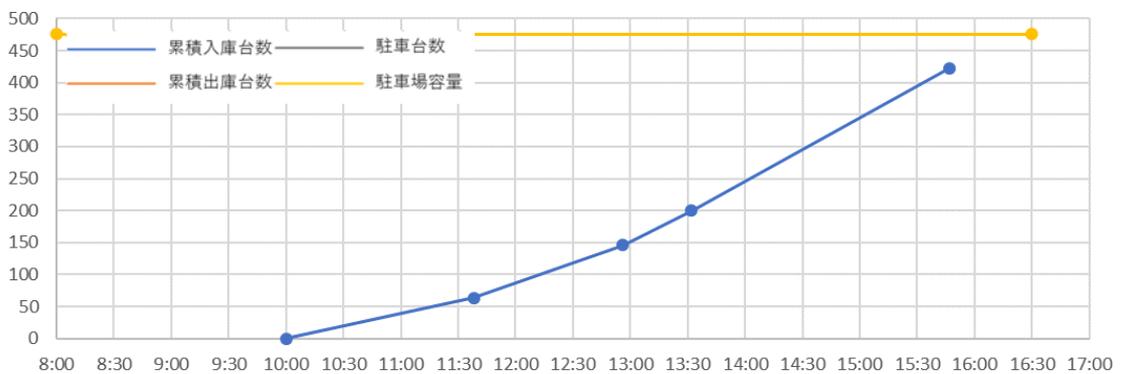


図 5-9 入出庫台数、駐車台数推計値 (パレットタウン)

※来訪車両数が少なく満車とならなかったため出庫台数は未算出

青海第二臨時駐車場

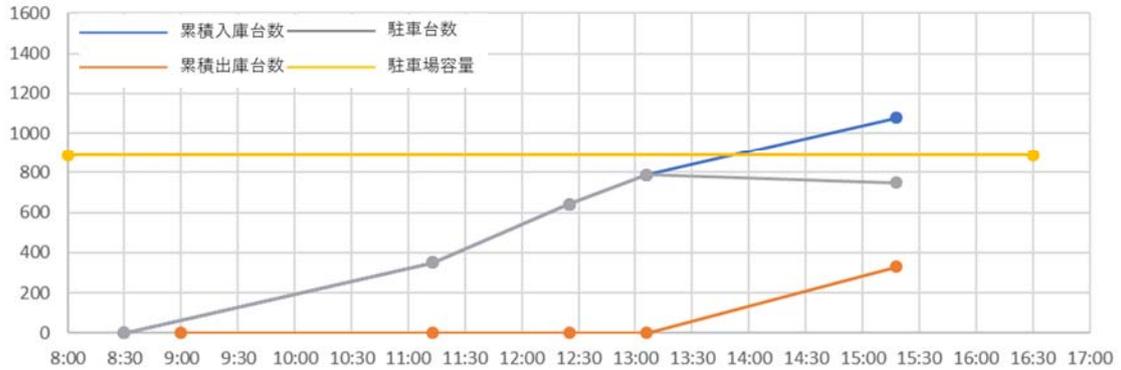


図 5-10 入出庫台数、駐車台数推計値（青海第二臨時駐車場）

青海東臨時駐車場

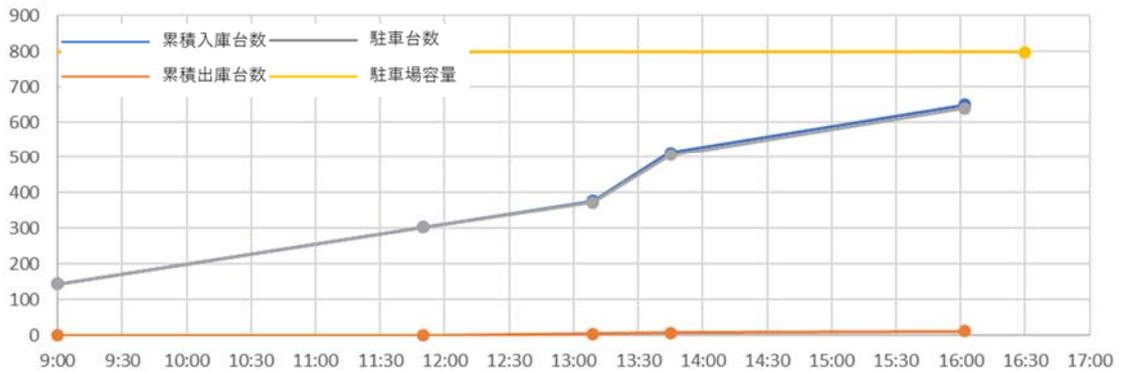


図 5-11 入出庫台数、駐車台数推計値（青海東臨時駐車）

5.3.2 CO₂ 排出量モデルに用いるデータの整備

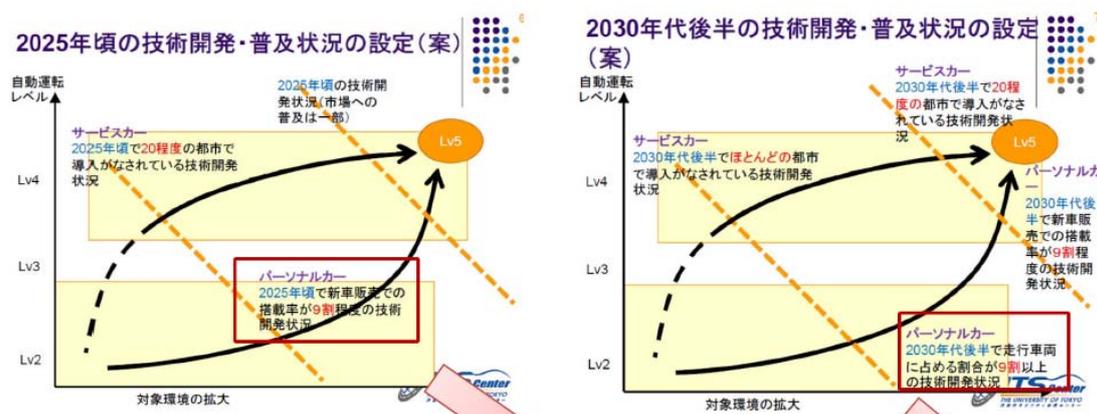
CO₂ 排出量モデルに必要な一般車両の速度プロファイルは、交通流シミュレーションからの出力結果を用い、対象都市の車種構成データは前術の自動走行システムと同様の方法で設定した。

なお、ラストワンマイル走行については、6人乗りの電気自動車の使用を想定するため、ここでは、暫定的にガソリン車の平均燃費と電気自動車の平均電費よりガソリン車が電気自動車に変換した場合の効率を算出し、それを用いることで、電気自動車をラストワンマイル自動走行車に適用した場合のエネルギー消費量を算出した。

5.4 自動走行普及率の想定

6章の評価においては、将来ケースのシミュレーションスタディで自動走行の普及率を設定する必要がある。本事業では、以下の想定に基づいて、2020年代における普及率を20%、2030年代での普及率を90%とし、将来ケース設定に反映させることとした。

設定の根拠は、同じくSIP-adusの元で実施されている「自動走行システムの実現に向けた諸課題とその解決の方向性に関する調査・検討における自動走行システムの高度化及び普及展開に向けた社会面・産業面の分析に関する調査」において、図5-12のように自動運転の普及状況を、2020年代でパーソナルカーの新車台数のうち90%、2030年代でパーソナルカーの保有台数のうち90%としている。このうち、後者はそのまま90%の車両を自動走行車として、将来スタディに反映できるが、前者は保有台数ベースに変換する必要がある。



(出典：「自動走行システムの実現に向けた諸課題とその解決の方向性に関する調査・検討における自動走行システムの高度化及び普及展開に向けた社会面・産業面の分析に関する調査」資料)

図 5-12 自動運転の普及シナリオ

このため、日本自動車研究所が開発した将来自動車 CO₂ 排出量推計モデル CAMPATH (CO₂ Analysis Model for Passenger car Technologies) を用いて、2020年代の普及率を試算した。CAMPATH は将来の新車台数、残存率 (使用年数が経過するとどの程度保有台数として残存するかを推計する比率) などのパラメータを内包しており、ここでは2020年から2050年にかけてロジスティック曲線に従い、新車における自動走行車の販売比率を設定した。その結果、新車台数のうち90%の場合を保有台数ベースに変換すると20%になると試算された。

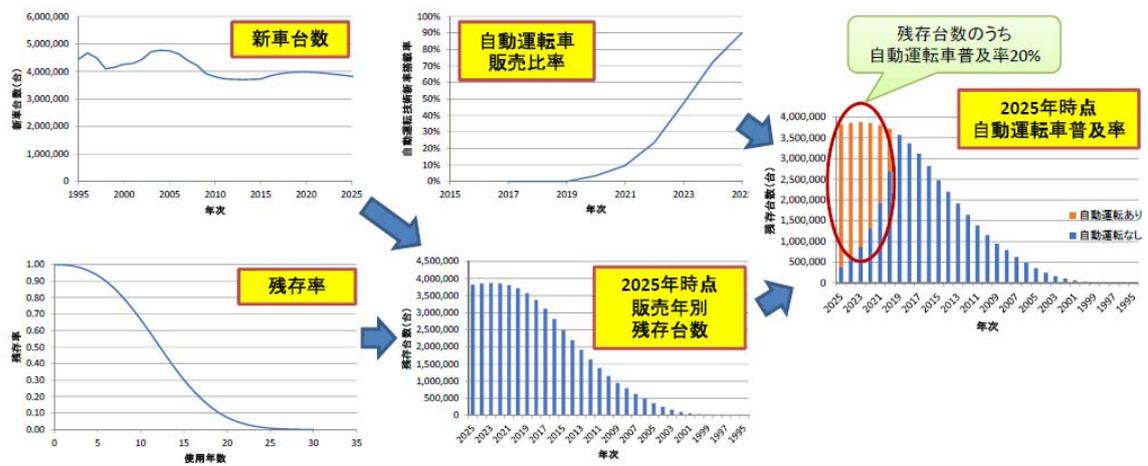


図 5-13 CAMPATH を用いた新車台数比率に基づく保有台数比率の試算手順

6. モデル都市での評価実施

前章までで開発した CO₂ 排出量可視化技術が、対象の自動走行システムの評価に適用できることを確認するため、仮のシナリオに基づき評価を実施した。

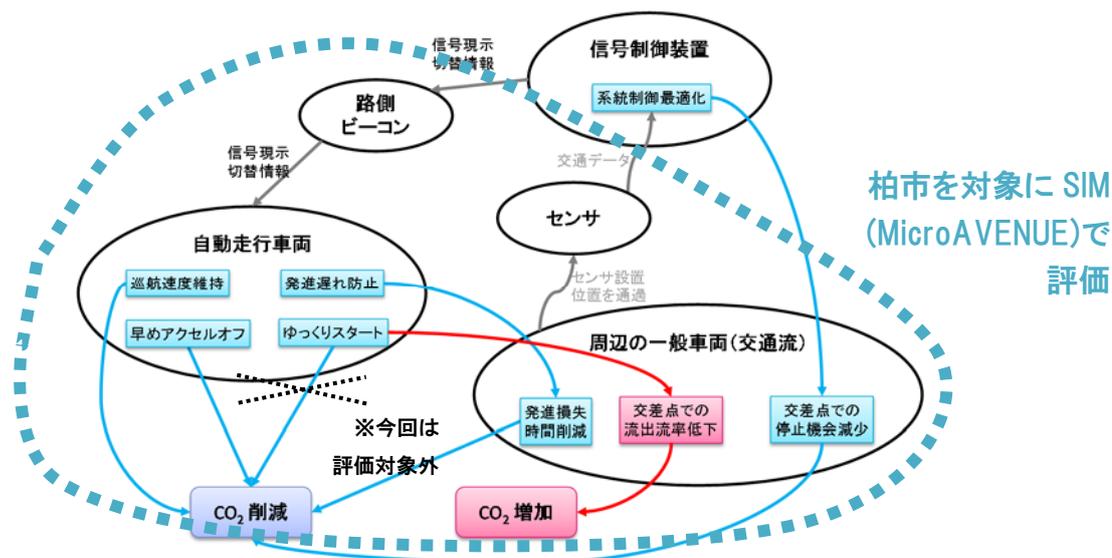
評価においては、評価対象地域の現在の交通状況を交通流シミュレーションが精度よく再現できていることを、観測された交通量や旅行速度等のデータと、交通流シミュレーションからの出力結果の比較による検証（現況再現性の検証）を行ったうえで実施した。

6.1 信号情報を活用したグリーンウェーブ走行

(1) グリーンウェーブ走行の CO₂ 削減メカニズム整理

グリーンウェーブ走行のリファレンスモデルを基に、グリーンウェーブ走行による CO₂ 削減のメカニズム整理を以下に整理した。なお、元々のリファレンスモデルの自動走行車両の機能には「ゆっくりスタート」も含まれるが、今回のシミュレーションでは評価の対象外とした。

- 信号制御装置（管制システム）から信号現示の切り替えタイミングの情報を路側ビーコン経由で自動走行車両の車載器に送信する。
- 自動走行車両は、受け取った信号現示切り替えタイミングに基づいて、巡航速度維持、発進遅れ防止、早めアクセルオフ等を実施する。このうち、発進遅れ防止以外は、自動走行車両の燃費向上に寄与するので、CO₂ 排出量削減に直接つながる。
- 発進遅れ防止は交差点での発進損失時間削減を通して、交差点の交通容量の増加、渋滞解消に寄与するので、CO₂ 排出量削減につながる。
- 路側に設置されたセンサで車両通過台数や速度等を計測し、信号制御装置に集約して、グリーンウェーブ走行路線での系統制御パラメータを最適化することで、交差点での停止回数を減少させ、CO₂ 排出量削減につながる。



(出典：平成27年度戦略的イノベーション創造プログラム（地域交通 CO₂ 排出量可視化技術の調査研究）を基に一部追記)

図 6-1 グリーンウェーブ走行のリファレンスモデル

(2) 現況再現ケースの実施

5.1 節で作成したシミュレーションデータセットを用いて、現況再現ケースを作成した。設定した車両挙動パラメータを表 6-1 に示した。

表 6-1 シミュレータ (MicroAVENUE) の車両挙動パラメータ設定 (一般車)

分類	パラメータ	単位	小型期待値	±σ	大型期待値	±σ
追従時	希望速度	[m/s]	16.67	1.000	13.89	1.500
	最大加速度	[m/s ²]	1.600	0.200	1.400	0.200
	希望減速度	[m/s ²]	1.623	0.180	1.829	0.394
	安全ヘッドウェイ時間	[s]	1.216	0.249	1.741	0.362
	ジャム車間距離	[m]	7.500		7.500	
自由走行時	希望加速度	[m/s ²]	1.400	0.125	1.200	0.111
	自然減速度	[m/s ²]	0.240		0.240	
その他条件	最大減速度	[m/s ²]	3.600		3.600	
	車長	[m]	5.000		12.000	
	車幅	[m]	1.700		2.300	
	車線幅	[m]	3.300		3.300	
	横方向最大速度	[m/s]	1.000		1.000	
車線変更判断	前方探索範囲	[s]	10.000		10.000	
	速度低下許容幅	[km/h]	10.000		60.000	
	巡航時速度幅	[km/h]	0.000		60.000	
	車線変更判定距離	[m]	300.000	50.000	300.000	50.000
	追越希望受諾確率		0.250		0.005	
	走行車線復帰確率		0.100		1.000	
車線変更条件	最小ギャップ	[s]	1.500		1.500	
	最小 TTC	[s]	2.000		2.000	

国道 16 号の本線交通量の現況再現性は、図 6-2 に示した①～④の断面について、H22 道路交通センサスの観測交通量と比較することで検証した。各断面の交通量再現性の状況を図 6-3～図 6-6 に示した。



図 6-2 現況再現確認箇所 (①～④)

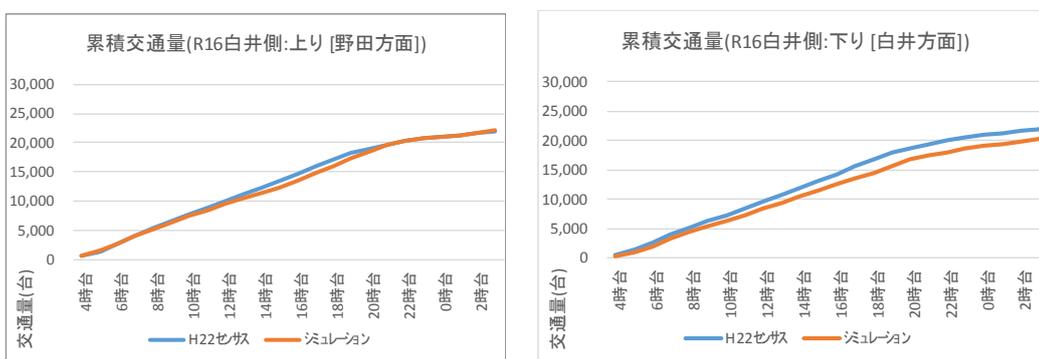


図 6-3 箇所①の交通量の現況再現性の確認

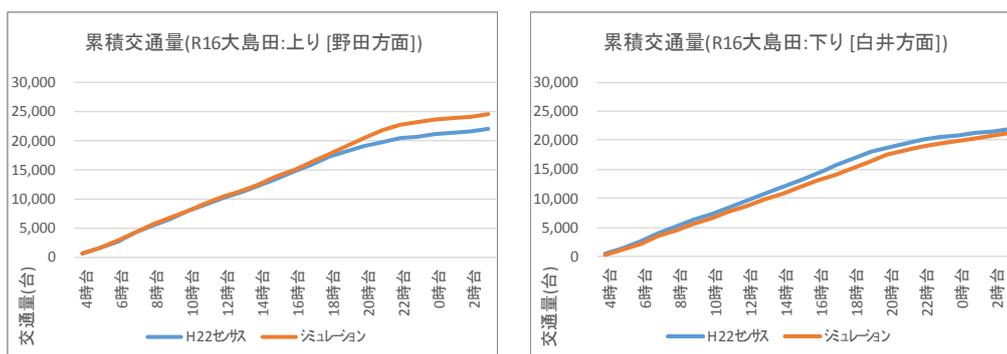


図 6-4 箇所②の交通量の現況再現性の確認

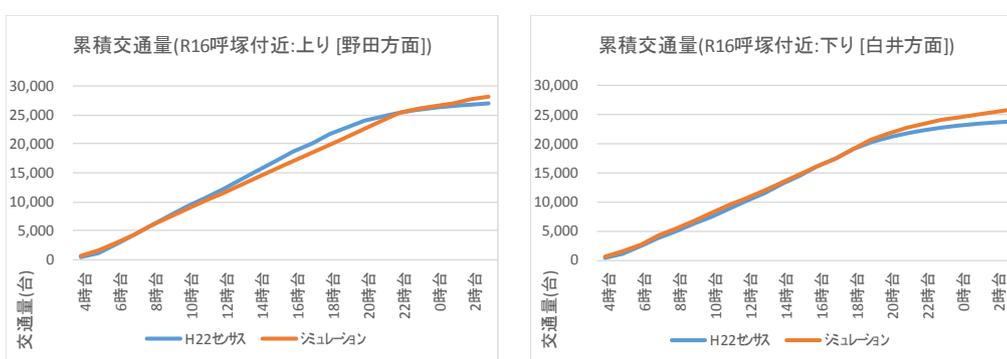


図 6-5 箇所③の交通量の現況再現性の確認

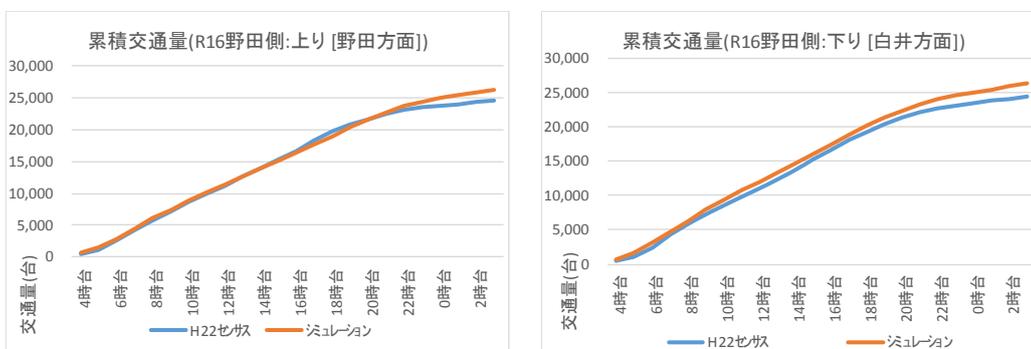


図 6-6 箇所④の交通量の現況再現性の確認

(3) ケーススタディの条件設定

本業務で設定したケースは以下の 5 通りである。なお、GW の走行車両は全て小型車という設定とした。

- ① GW なし (現況再現)
- ② GW 走行車両 20%混入
- ③ 信号減 GW なし
- ④ 信号減 GW 走行車両 20%混入

⑤ 信号減 GW 走行車両 90%混入

なお、ケーススタディでは、当初は「①グリーンウェーブ(GW)なし」と「②GW 走行車両 20%混入」の2ケースで評価していたが、柏市の現況の道路状況では、②ではGWの効果がほとんど見られない結果となった。交通工学分野の有識者へのヒアリングでは、

- 信号交差点間の距離が短いと、そもそもオフセットがうまくとれないので、GWの効果は見られないと考えられる。
- 交通量が多いと、推奨速度で走行できない場合も多く、これもGWの効果が見えにくい原因といえる。

という指摘があり、これらを踏まえ、①②に対して下記の変更を加えた、③～⑤の「信号減」ケースを実施した。

- 系統速度が 60km/h とすると、サイクル長 180 秒で最良オフセットが設定できるのは、交差点間距離 L が $L \geq 60 \cdot 180 / 3600 / 2 = 1.5\text{km}$ の場合になるため、この観点で信号機データを削除する
- 扱う交通量を国道 16 号を南北に通過する OD ペアだけに限定する

なお、「信号減」ケースに関しては、将来のGW走行支援システムの普及を想定し「GW 小型車 90%混入」も実施した。図 6-7 に信号減ケースで考慮した・無視した信号を示した。



図 6-7 信号減ケースで考慮した・無視した信号

(4) ケーススタディの実施

ケーススタディの実施結果を以降に示す。結果は、以下の GW なしのケースと GW 走行車両混入のペアで比較可能な形で示した。

- GW なし（現況再現） と GW 走行車両 20%混入
- 信号減 GW なし と 信号減 GW 走行車両 20%混入
- 信号減 GW なし と 信号減 GW 走行車両 90%混入

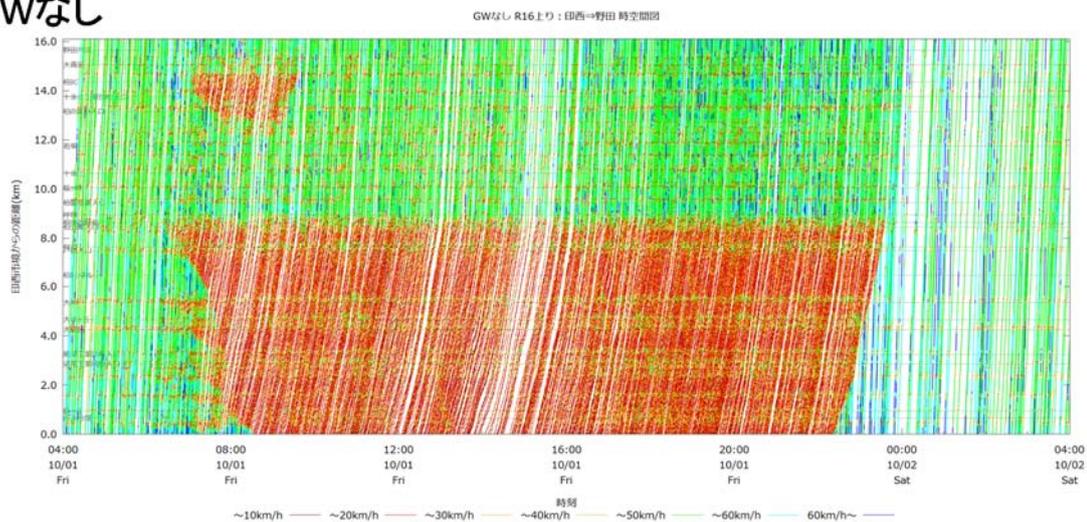
比較した各種指標は以下の通りである。

- 時空間軌跡図
- 速度変化図
- 所要時間
- 走行速度
- 停止回数
- 停止時間

以降に各指標の比較結果を示した。なお、GW 走行車両 20%混入ケースでは、国道 16 号上り（印西→野田）方向は昼間の大部分の時間帯で渋滞が発生しており（図 6-8）、GW の効果がほとんど見られないと想定されたことから、所要時間、走行速度、停止回数、停止時間の各指標の分析は省略した。

① GW 走行車両 20%混入ケース

GWなし



GWあり(小型車の20%)

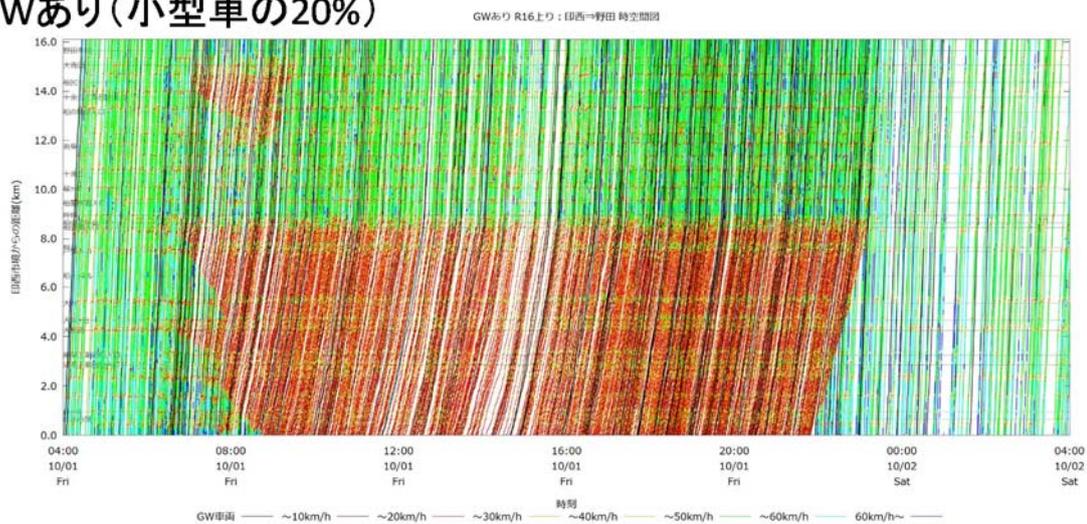
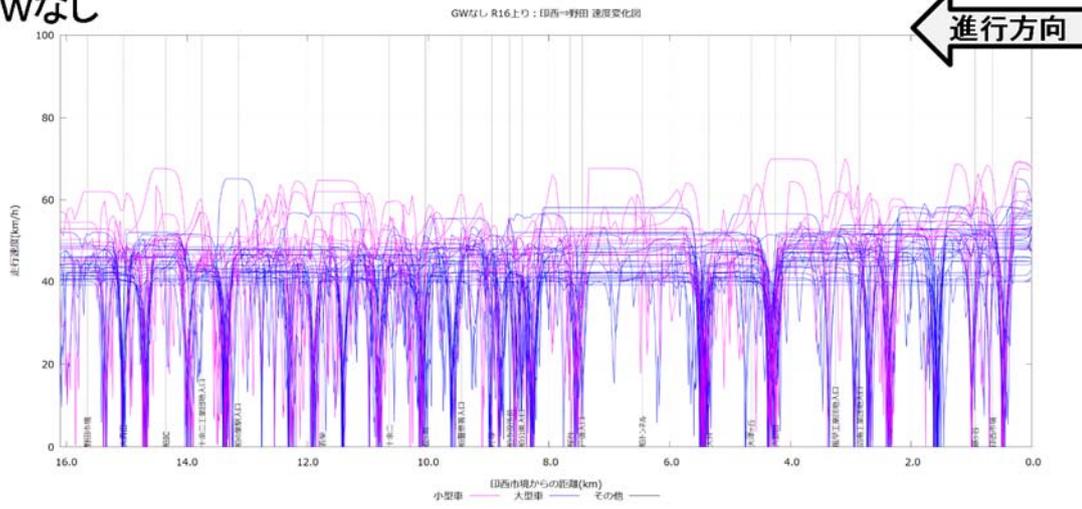


図 6-8 国道 16 号上り (印西→野田) 時空間軌跡図 (GW 車両 20%混入)

GWなし



GWあり(小型車の20%)

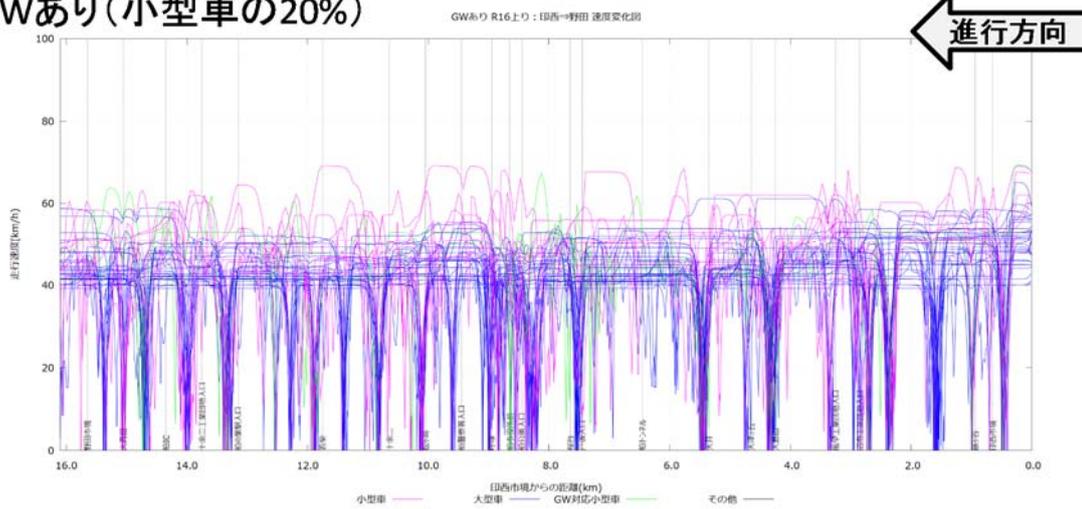
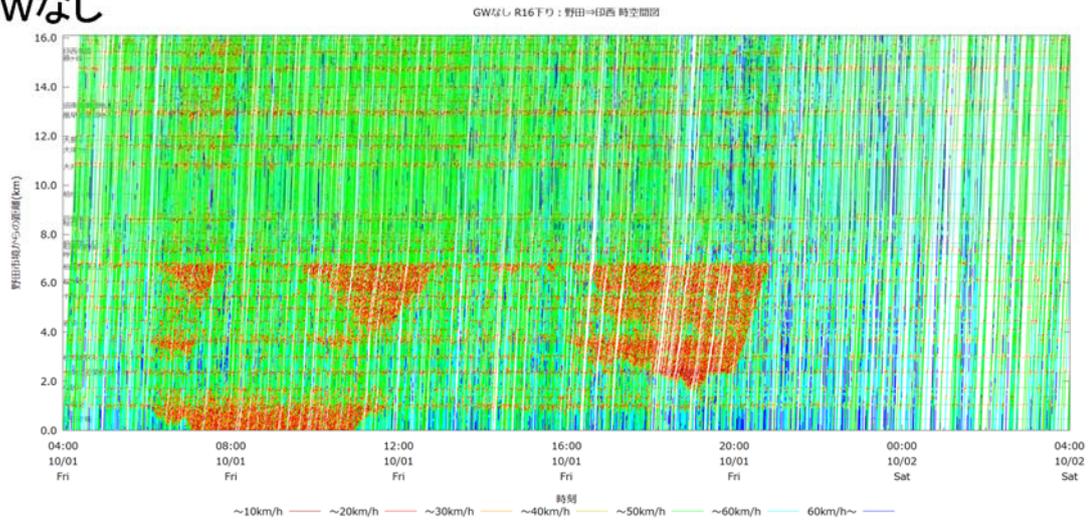


図 6-9 国道 16 号上り (印西→野田) 速度変化図 (GW 車両 20%混入)

GWなし



GWあり(小型車の20%)

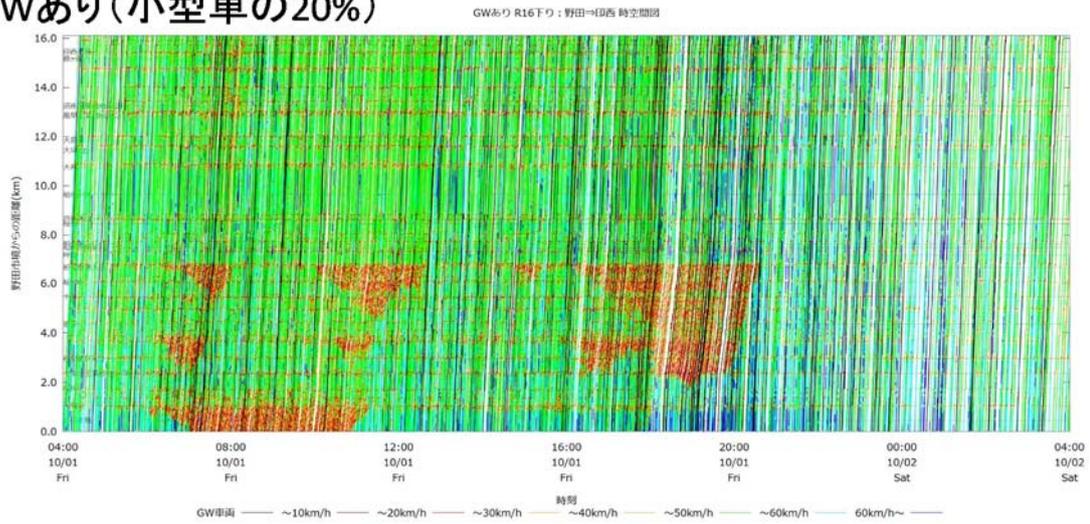
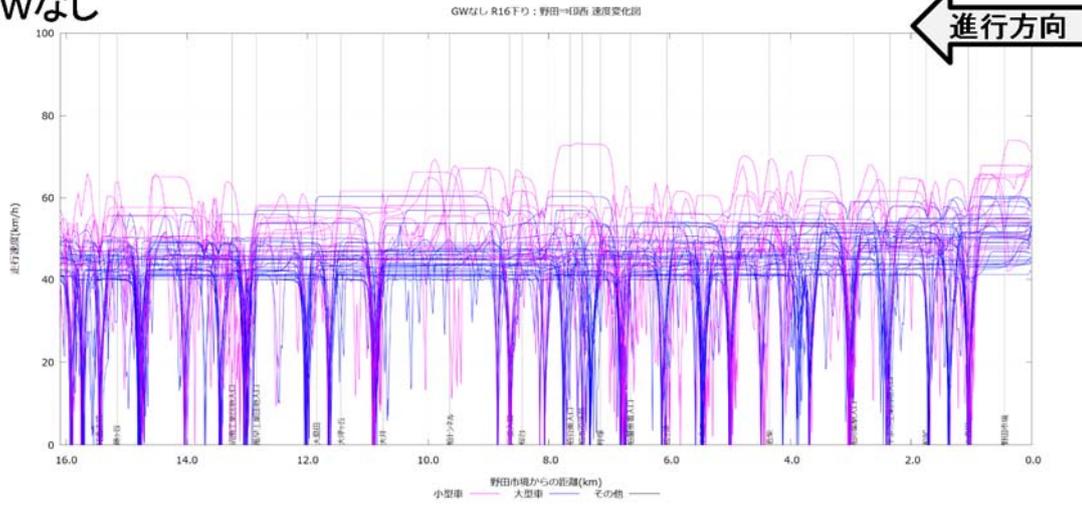


図 6-10 国道 16 号下り (野田→印西) 時空間軌跡図 (GW 車両 20%混入)

GWなし



GWあり(小型車の20%)

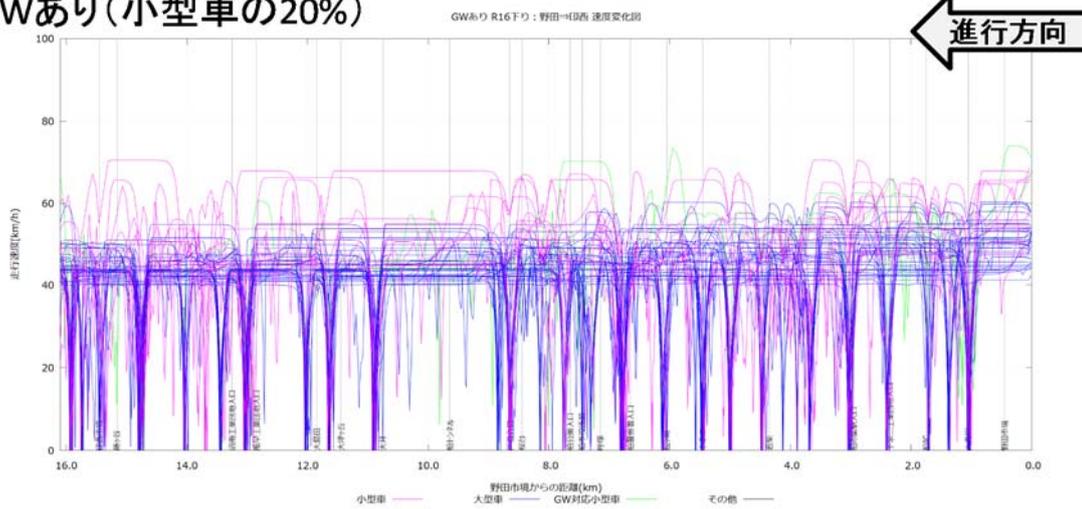


図 6-11 国道 16 号下り (野田→伊西) 速度変化図 (GW 車両 20%混入)

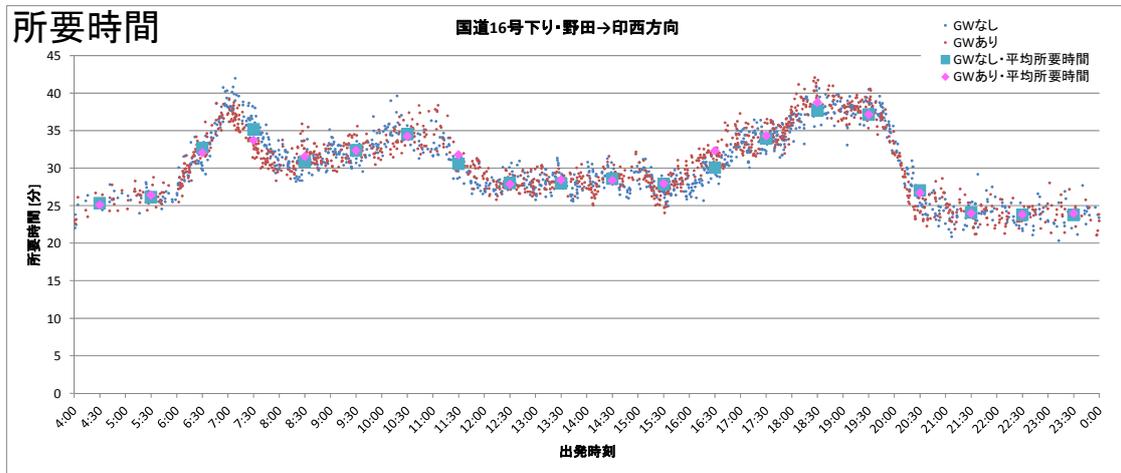


図 6-12 国道 16 号下り（野田→印西）所要時間（GW 車両 20%混入）

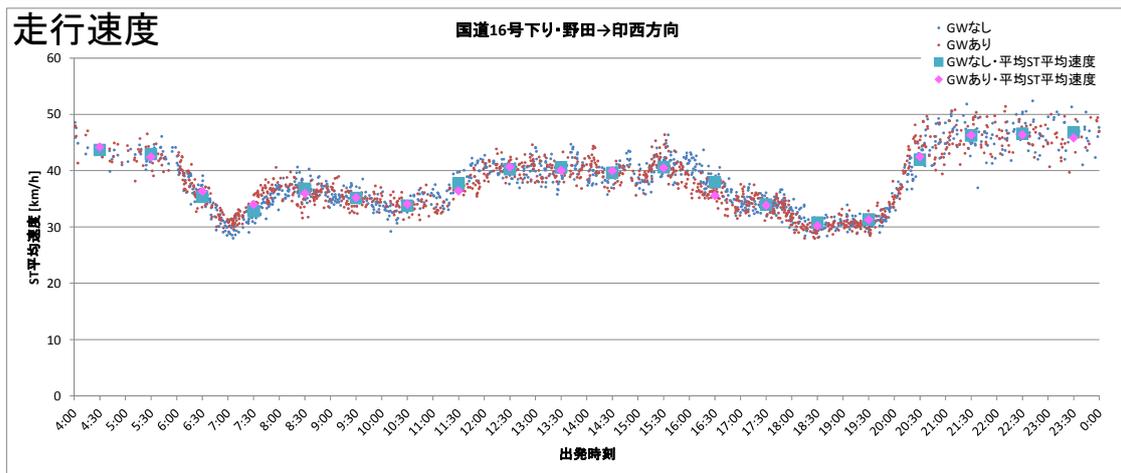


図 6-13 国道 16 号下り（野田→印西）走行速度（GW 車両 20%混入）

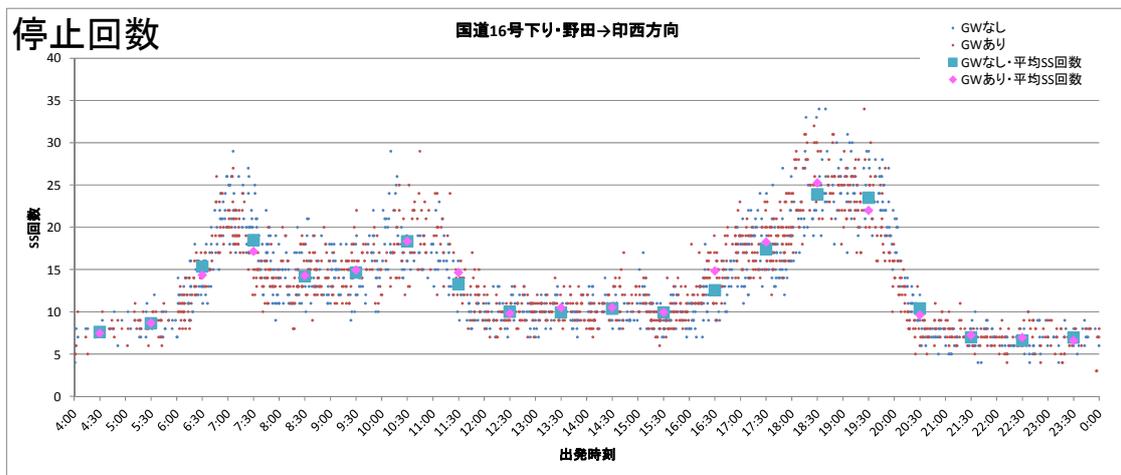


図 6-14 国道 16 号下り (野田→印西) 停止回数 (GW 車両 20%混入)

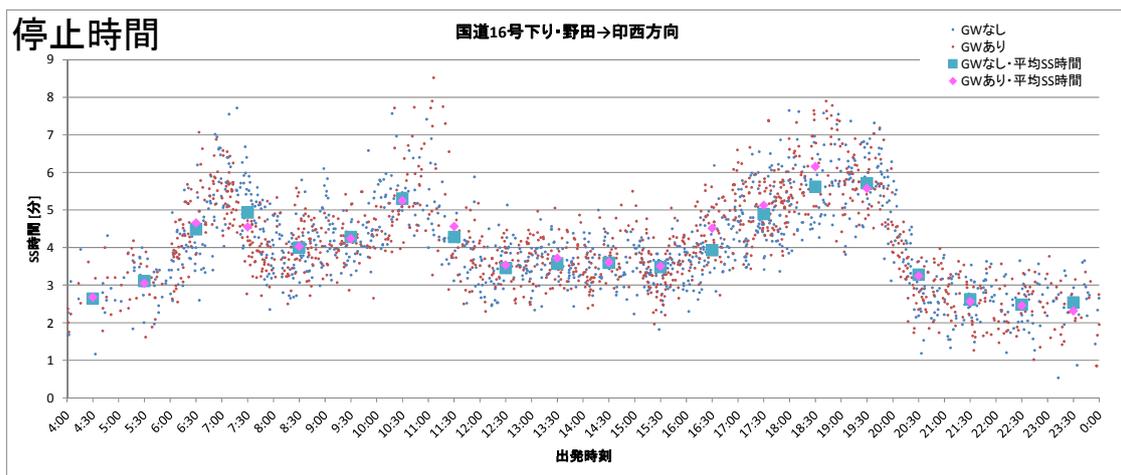


図 6-15 国道 16 号下り (野田→印西) 停止時間 (GW 車両 20%混入)

② 信号減 GW 走行車両 20%混入ケース

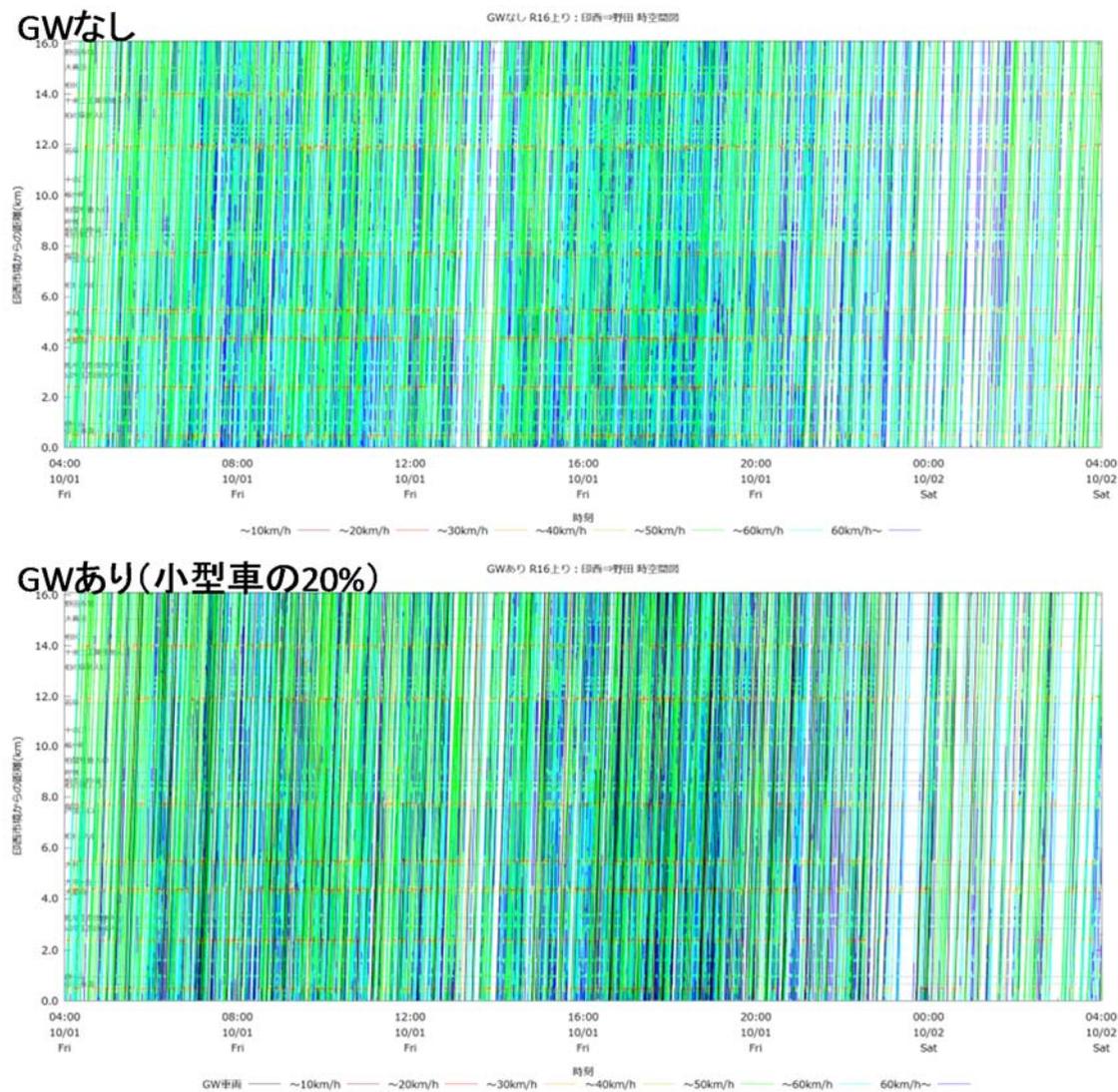


図 6-16 国道 16 号上り（印西→野田）時空間軌跡図（信号減 GW 車両 20%混入）

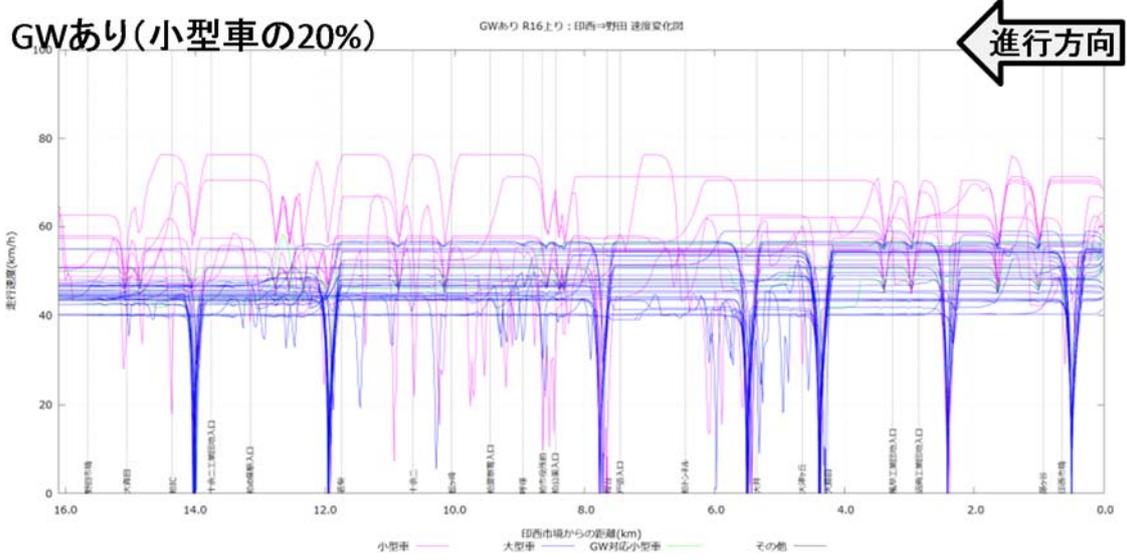
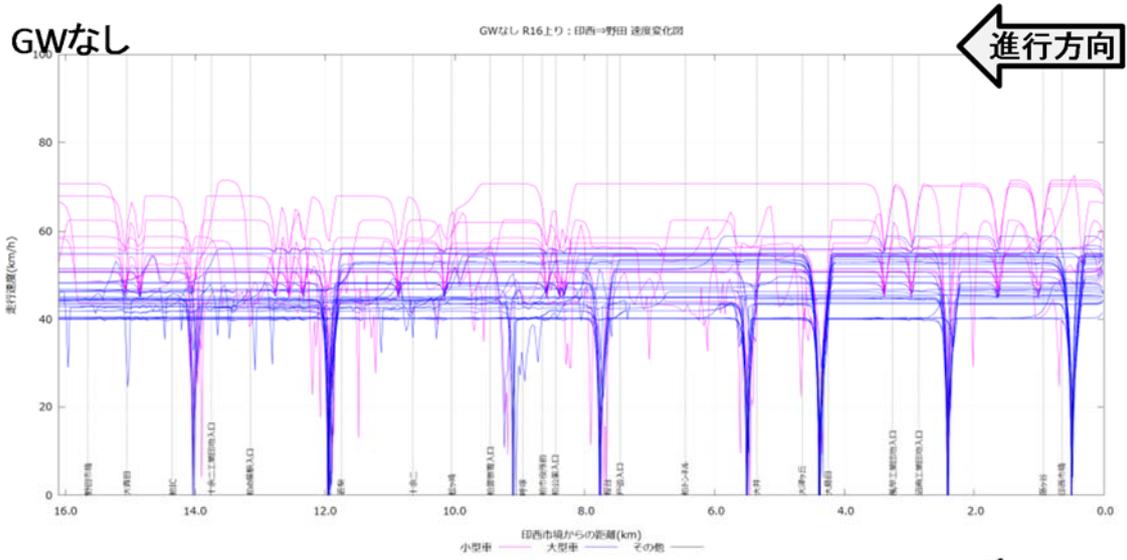


図 6-17 国道 16 号上り (印西→野田) 速度変化図 (信号減 GW 車両 20%混入)

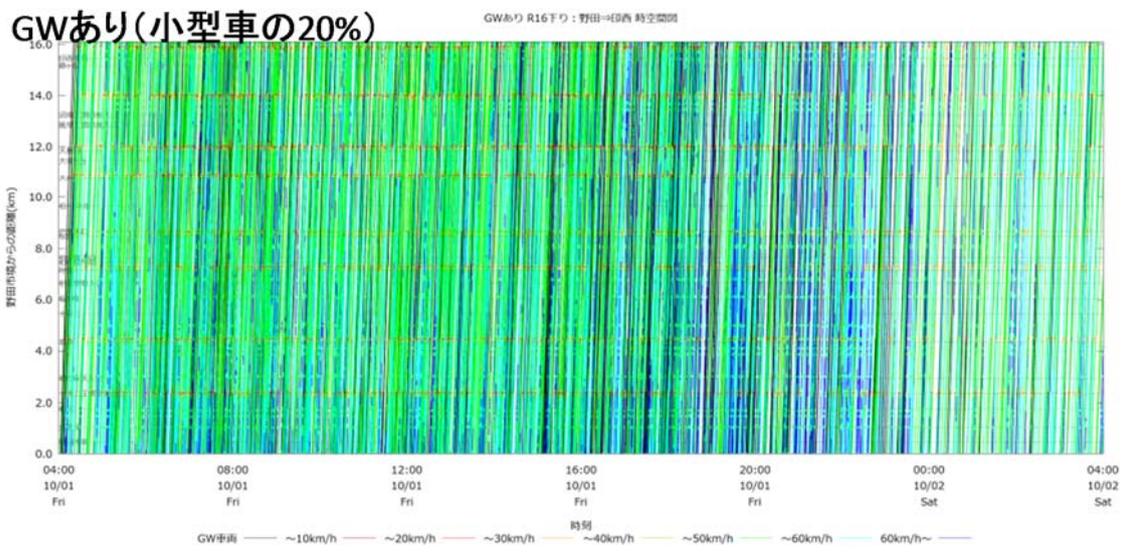
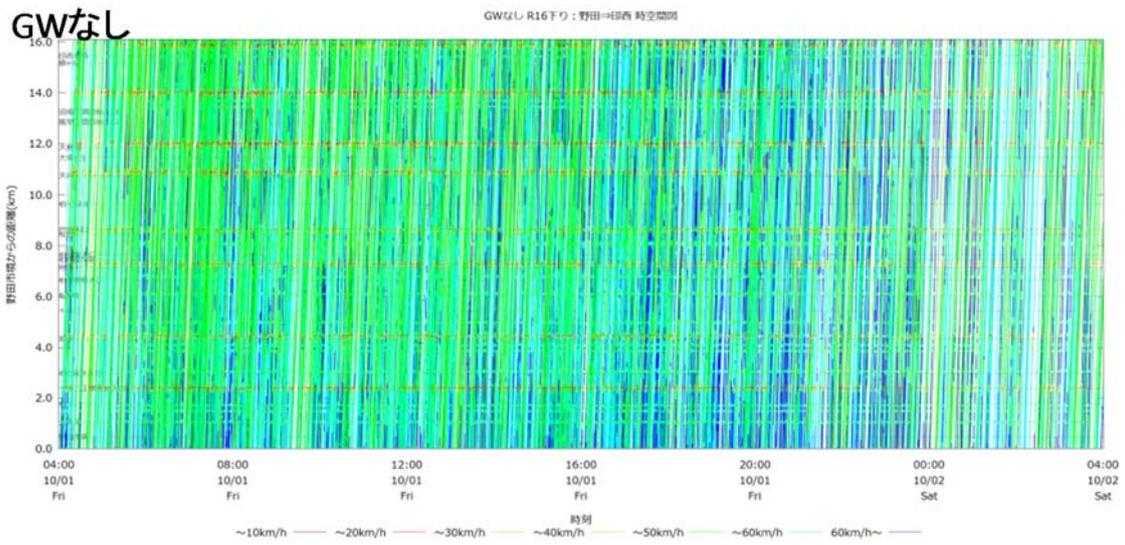


図 6-18 国道 16 号下り (野田→印西) 時空間軌跡図 (信号減 GW 車両 20%混入)

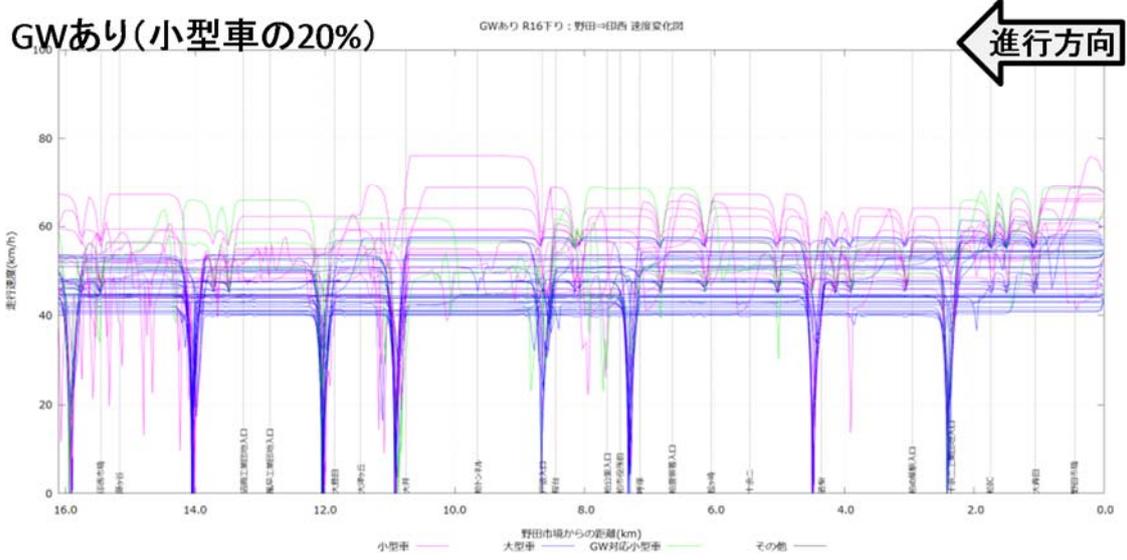
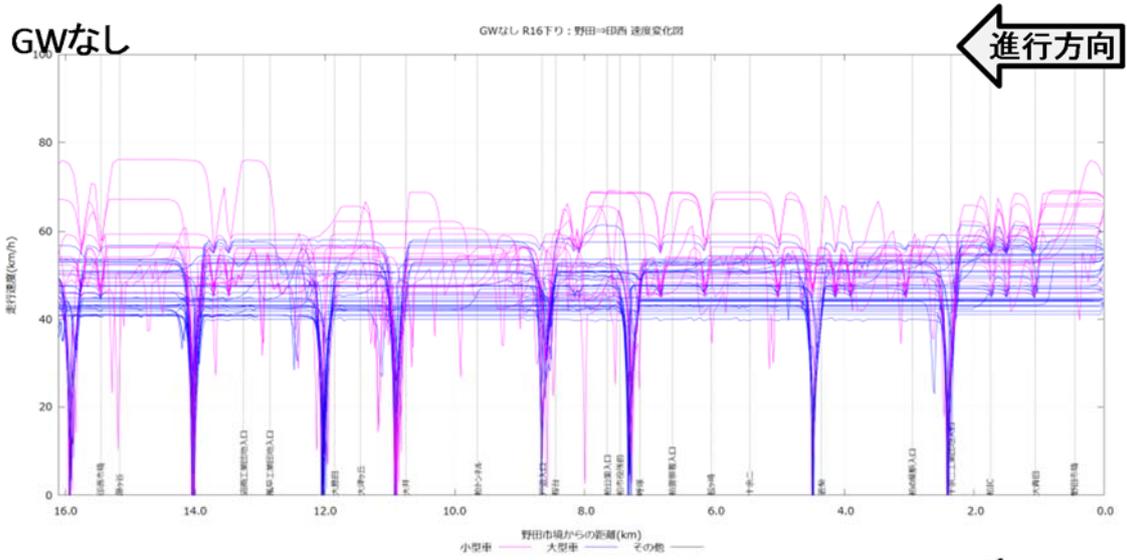


図 6-19 国道 16 号下り (野田→印西) 速度変化図 (信号減 GW 車両 20%混入)

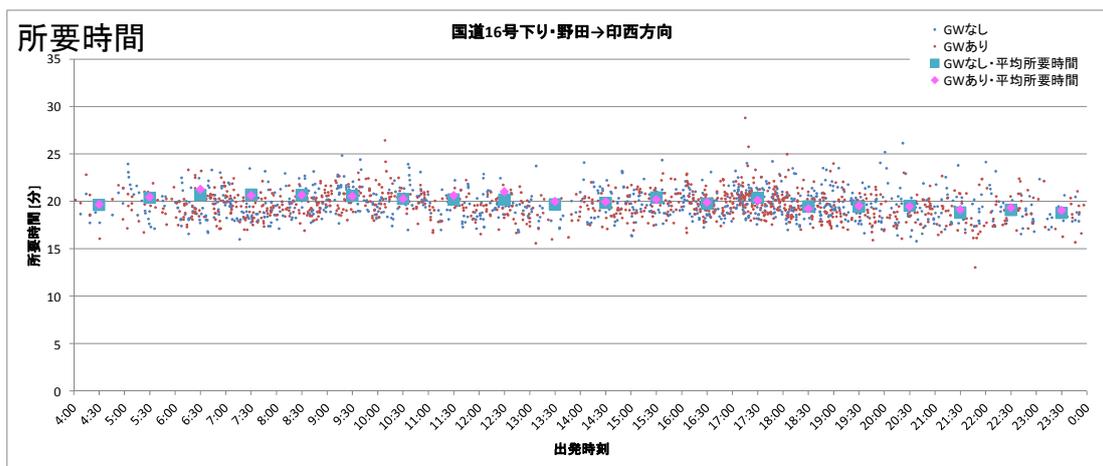


図 6-20 国道 16 号上り (印西→野田) 所要時間 (信号減 GW 車両 20%混入)

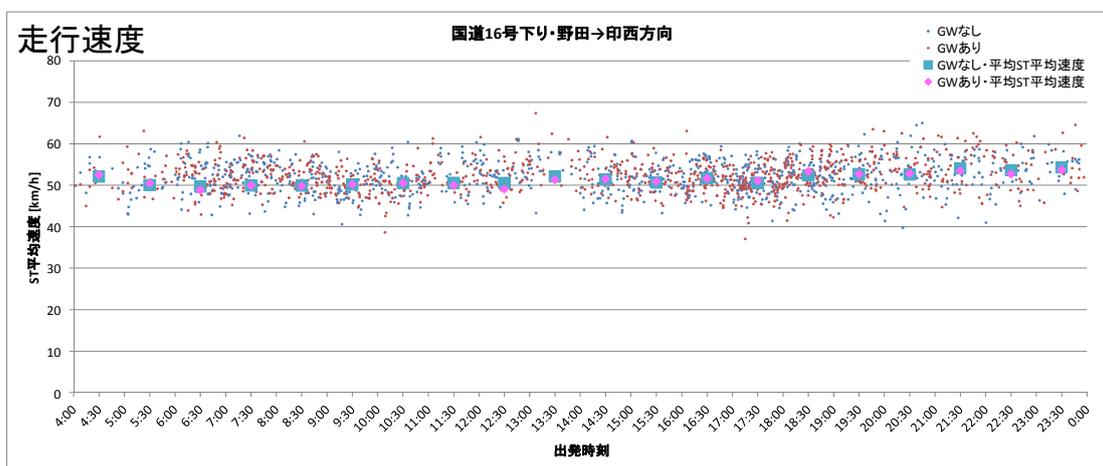


図 6-21 国道 16 号上り (印西→野田) 走行速度 (信号減 GW 車両 20%混入)

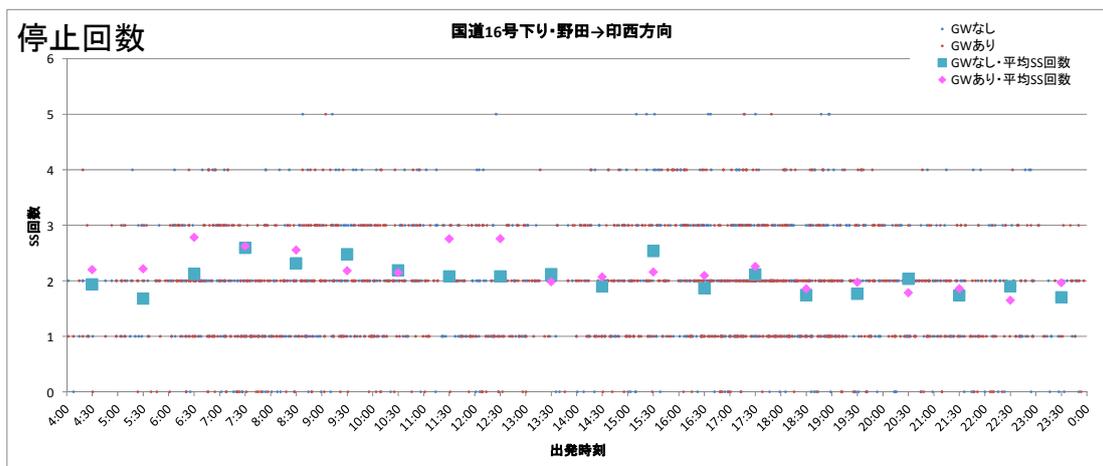


図 6-22 国道 16 号上り（印西→野田）停止回数（信号減 GW 車両 20%混入）

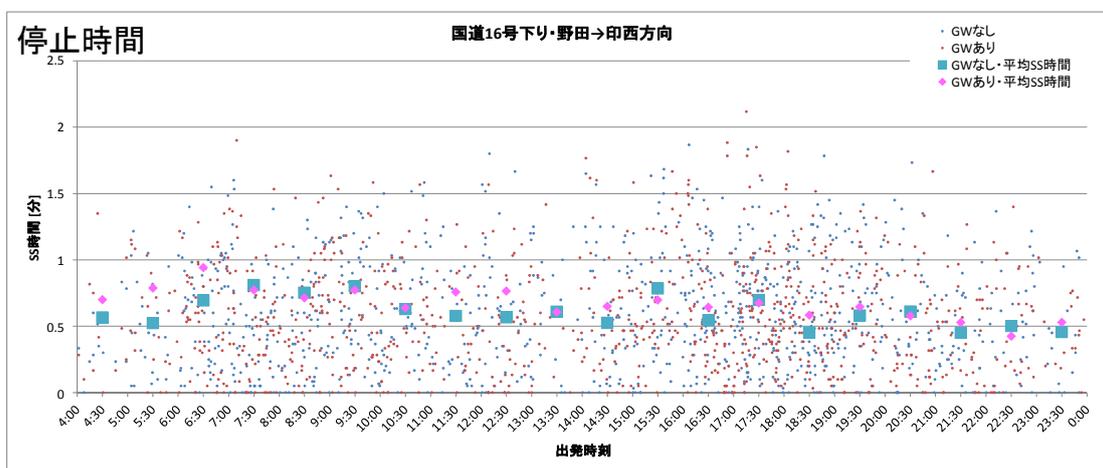


図 6-23 国道 16 号上り（印西→野田）停止時間（信号減 GW 車両 20%混入）

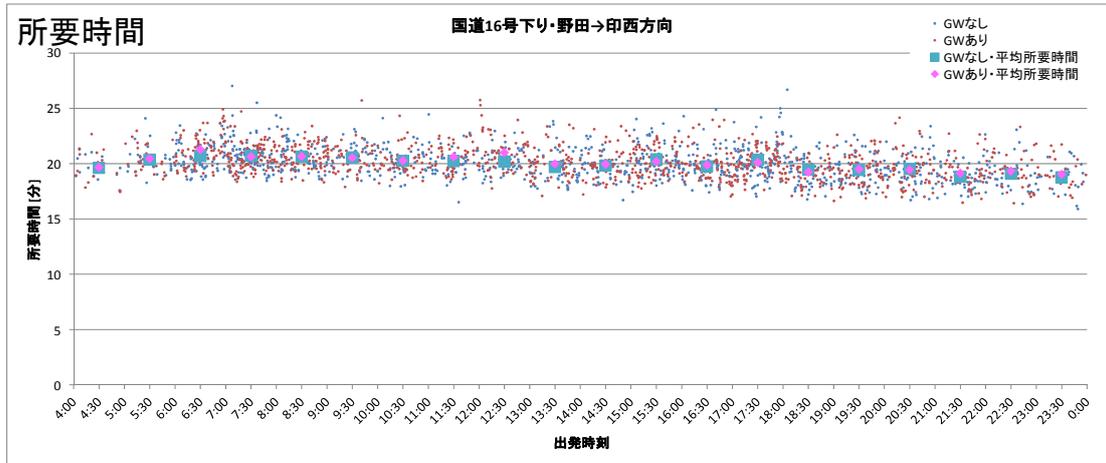


図 6-24 国道 16 号下り (野田→印西) 所要時間 (信号減 GW 車両 20%混入)

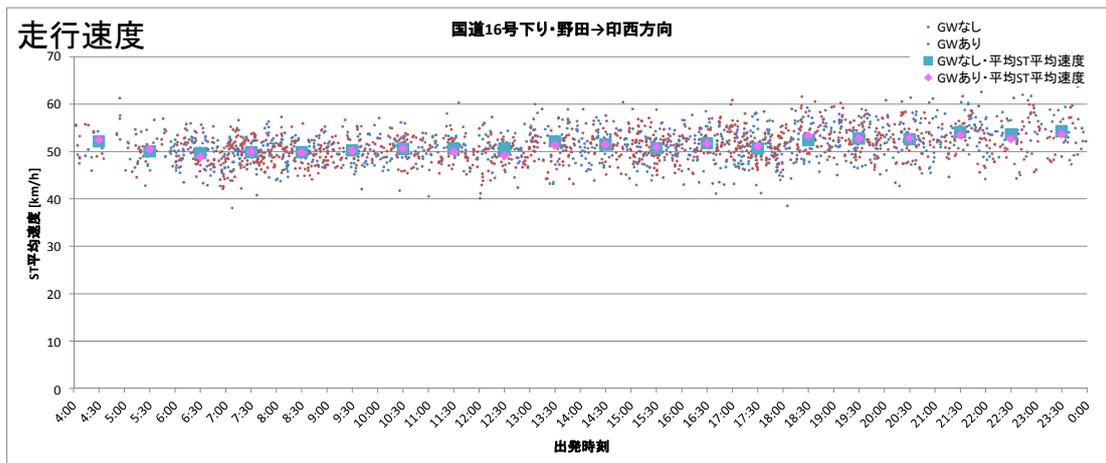


図 6-25 国道 16 号下り (野田→印西) 走行速度 (信号減 GW 車両 20%混入)

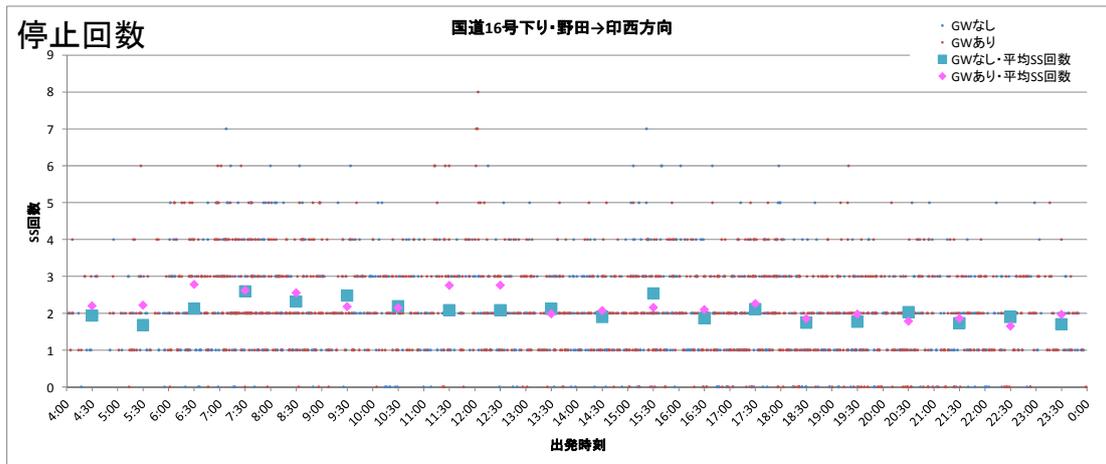


図 6-26 国道 16 号下り（野田→印西）停止回数（信号減 GW 車両 20%混入）

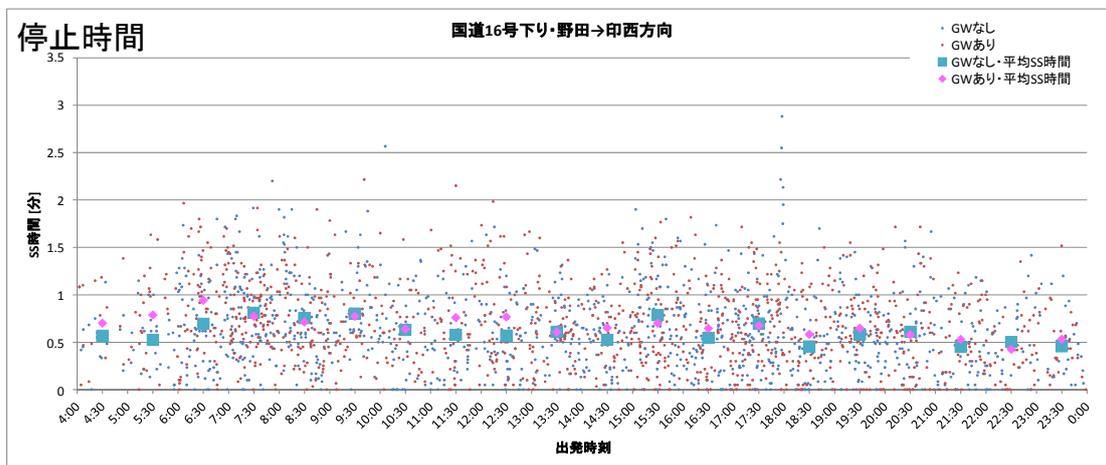


図 6-27 国道 16 号下り（野田→印西）停止時間（信号減 GW 車両 20%混入）

③ 信号減 GW 走行車両 90%混入ケース

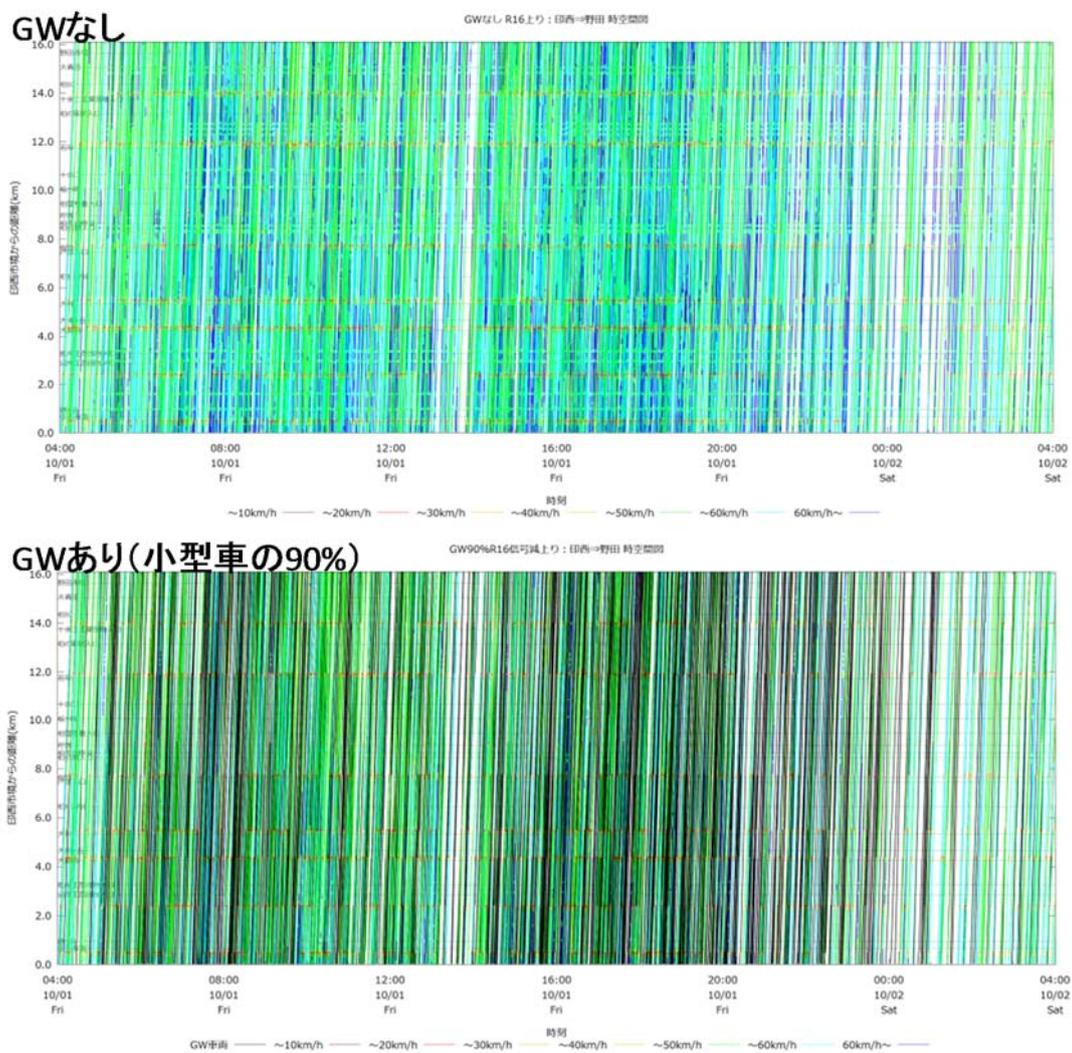


図 6-28 国道 16 号上り（印西→野田）時空間軌跡図（信号減 GW 車両 90%混入）

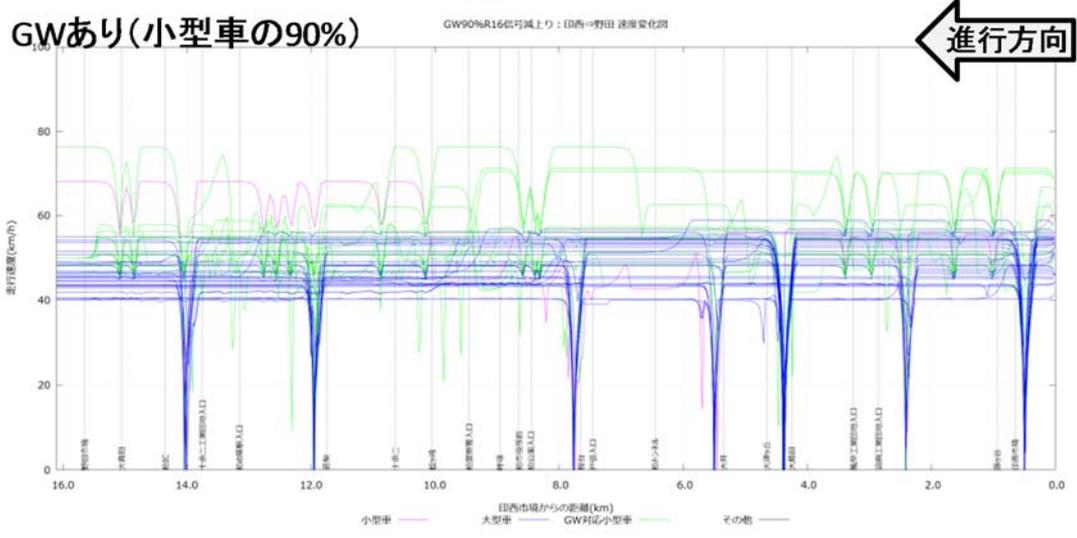
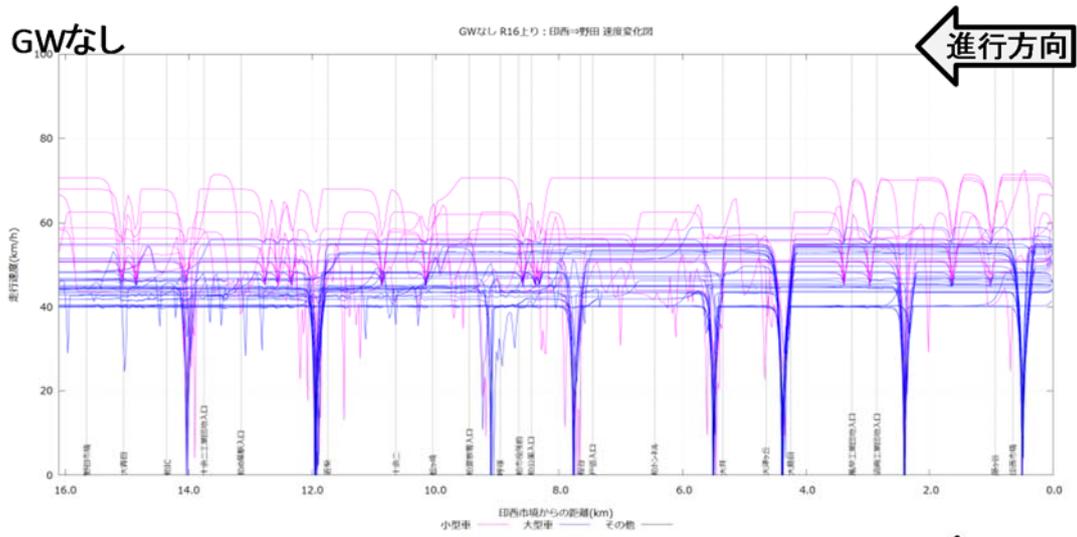


図 6-29 国道 16 号上り (印西→野田) 速度変化図 (信号減 GW 車両 90%混入)

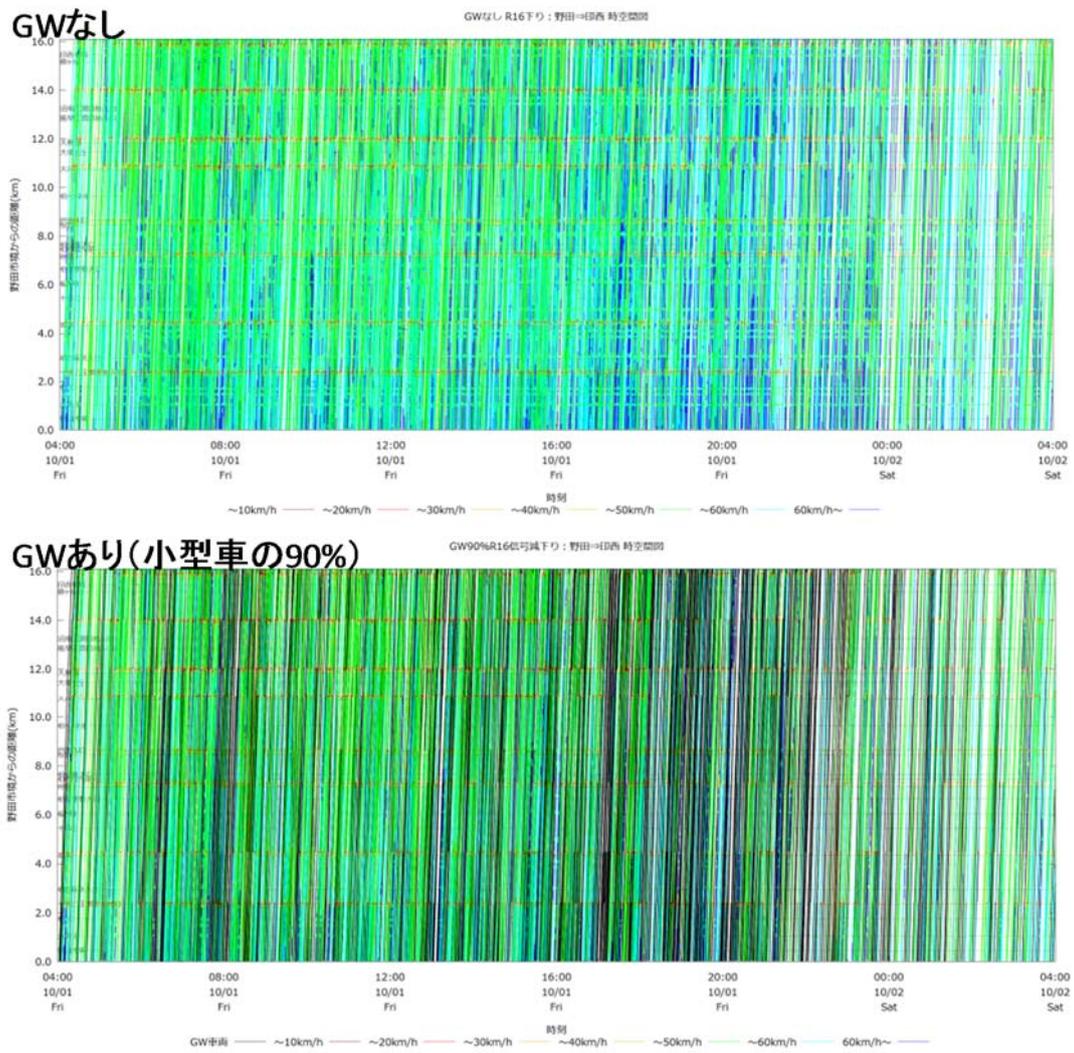


図 6-30 国道 16 号下り（野田→印西）時空間軌跡図（信号減 GW 車両 90%混入）

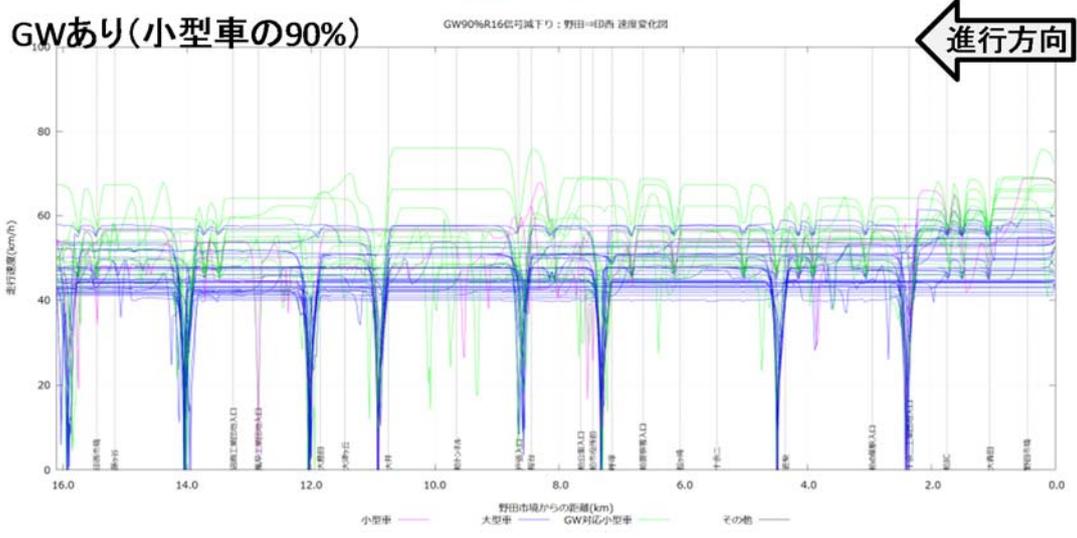
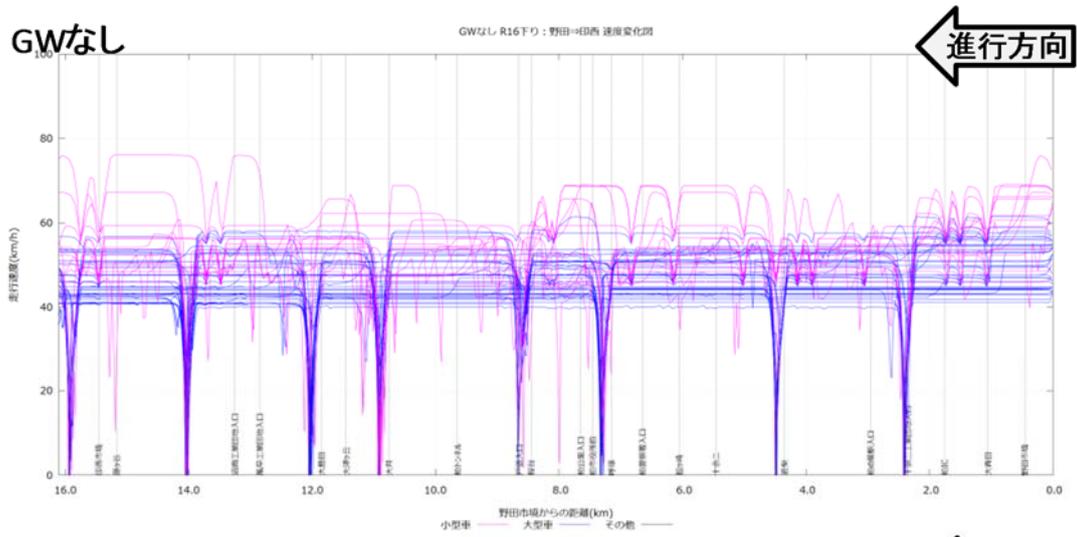


図 6-31 国道 16 号下り (野田→印西) 速度変化図 (信号減 GW 車両 90%混入)

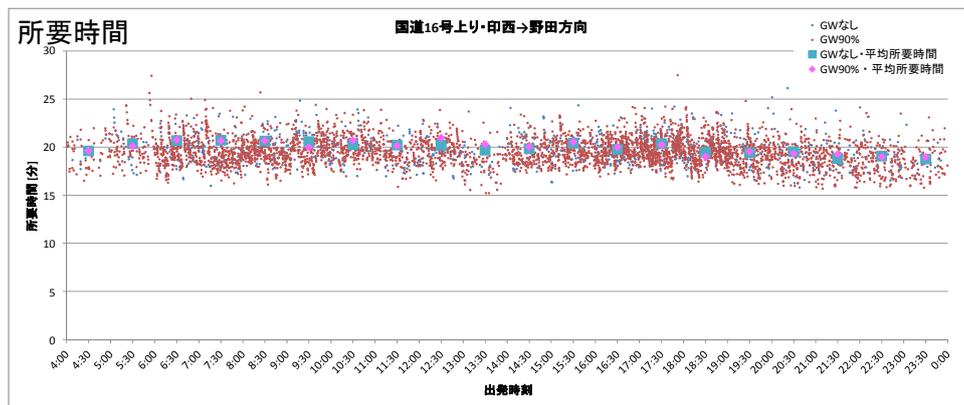


図 6-32 国道 16 号上り (印西→野田) 所要時間 (信号減 GW 車両 90%混入)

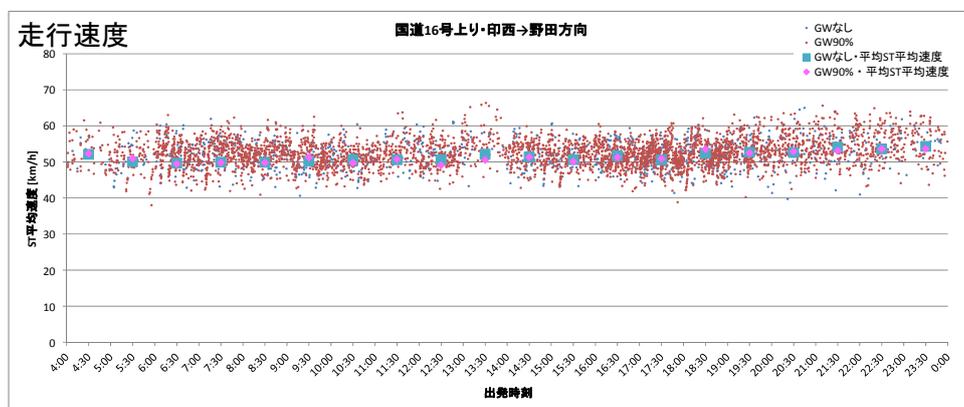


図 6-33 国道 16 号上り (印西→野田) 走行速度 (信号減 GW 車両 90%混入)

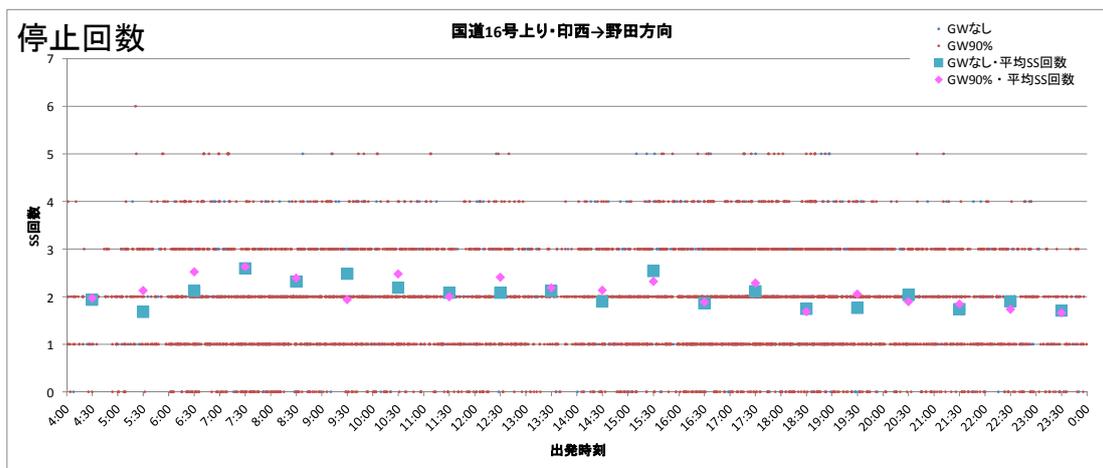


図 6-34 国道 16 号上り（印西→野田）停止回数（信号減 GW 車両 90%混入）

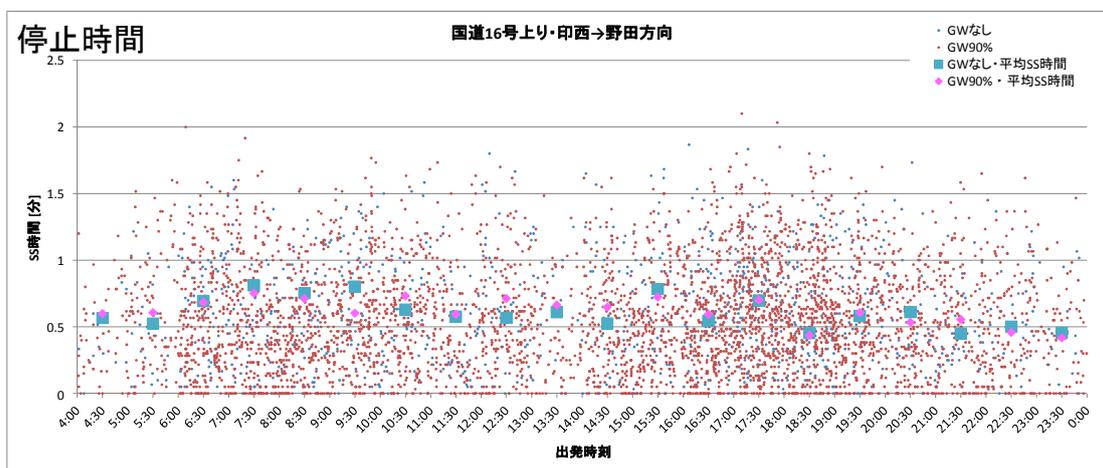


図 6-35 国道 16 号上り（印西→野田）停止時間（信号減 GW 車両 90%混入）

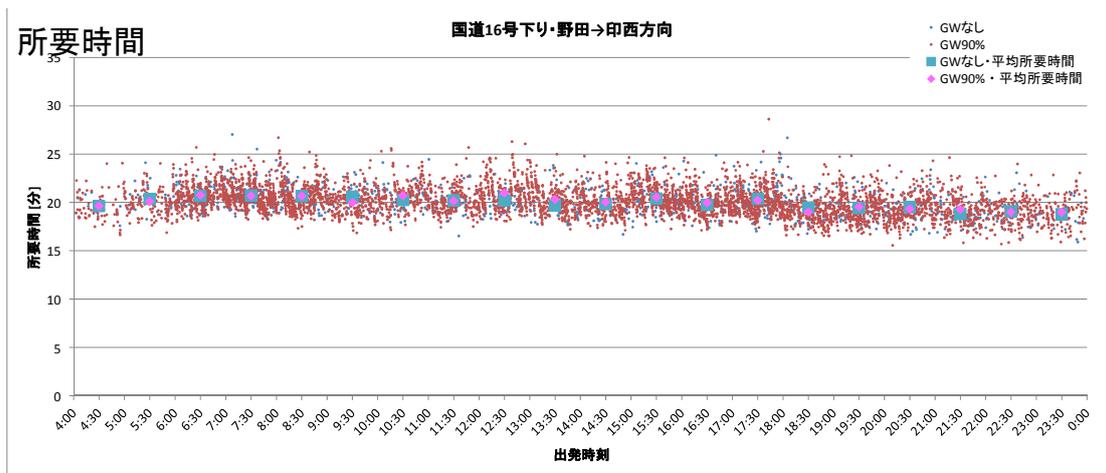


図 6-36 国道 16 号下り（野田→印西）所要時間（信号減 GW 車両 90%混入）

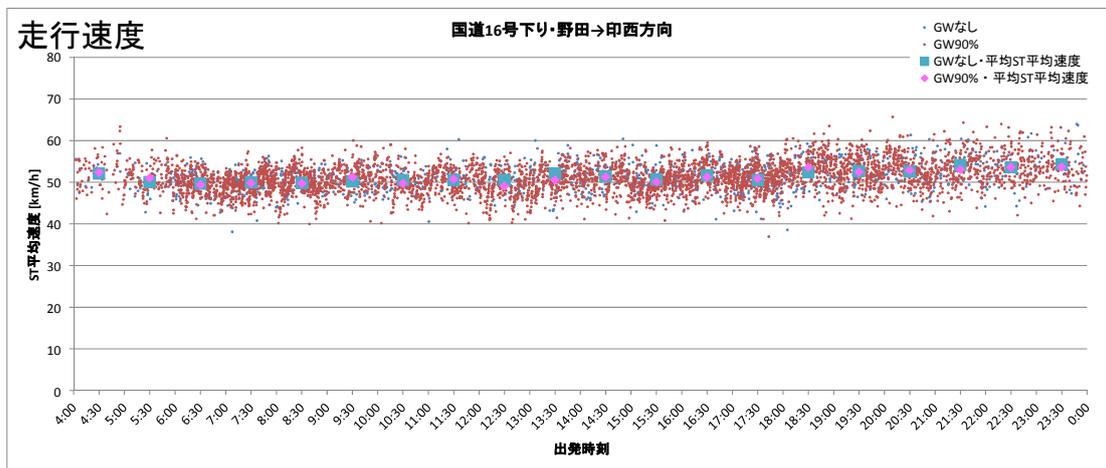


図 6-37 国道 16 号下り（野田→印西）走行速度（信号減 GW 車両 90%混入）

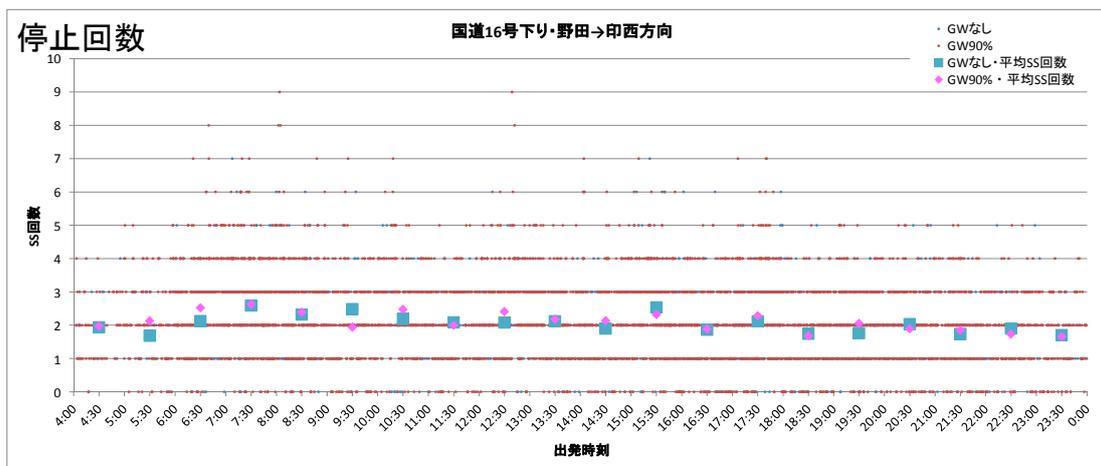


図 6-38 国道 16 号下り（野田→印西）停止回数（信号減 GW 車両 90%混入）

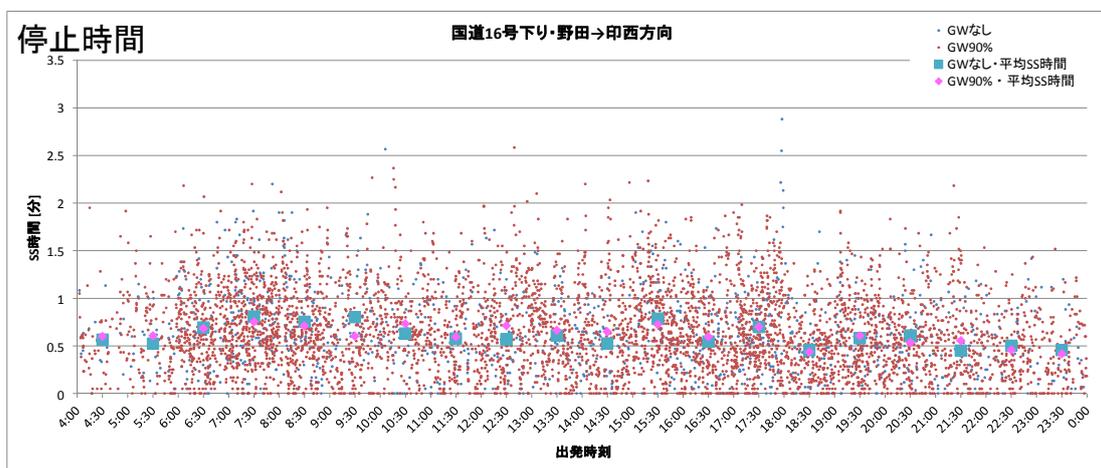


図 6-39 国道 16 号下り（野田→印西）停止時間（信号減 GW 車両 90%混入）

上記に示した交通流シミュレーションで走行挙動を計算した結果を用いて、CO₂ 排出量の推計を行うことで、開発した CO₂ 可視化技術がグリーンウェーブ走行の評価に適用可能であることを確認した。

6.2 ART

ARTについては、図6-40に示したシナリオで評価を実施した。即ち、現況ケースで再現性の検証を行ったのち、ART運行路線である環状2号線等が整備されたH31想定ネットワークでベースケースを実施して、比較の基準とするCO₂排出量を求め、これとART転換ケースおよびART運行路線ケースで求めたCO₂排出量とを比較して、増減量を求めるものである。

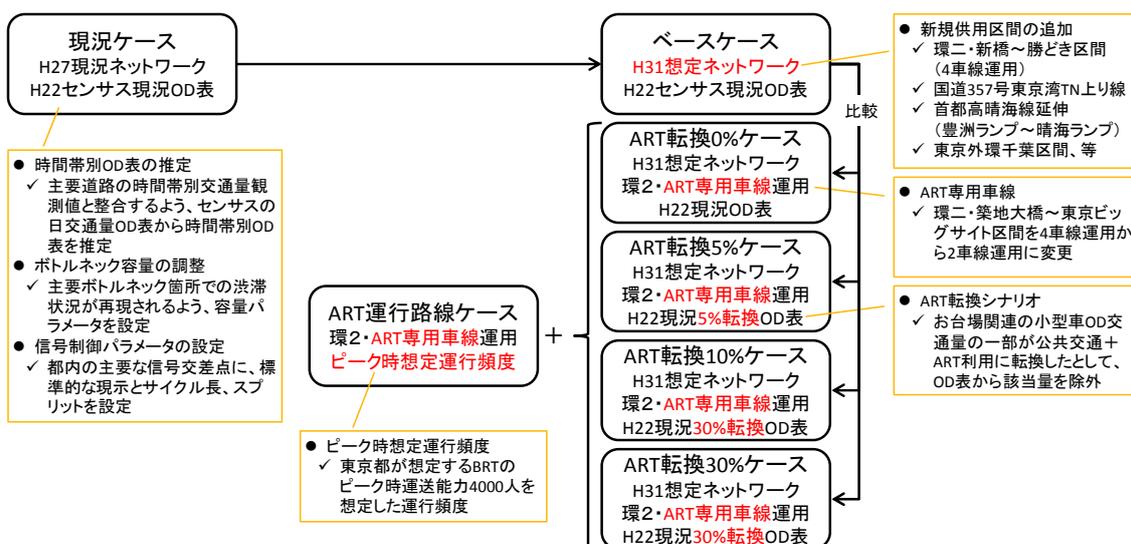


図 6-40 ART 評価のシナリオ

(1) 現況再現性の検証

現況ケースでは、図 6-41 に示した主要幹線道路の都県境・外環・環七をまたぐ断面および首都高 JCT 間の断面（左図中の赤線）を対象に、シミュレーションでの時間交通量が観測値（センサス H22 時間帯別交通量）と整合するよう、時間帯別 OD 表を調整した。

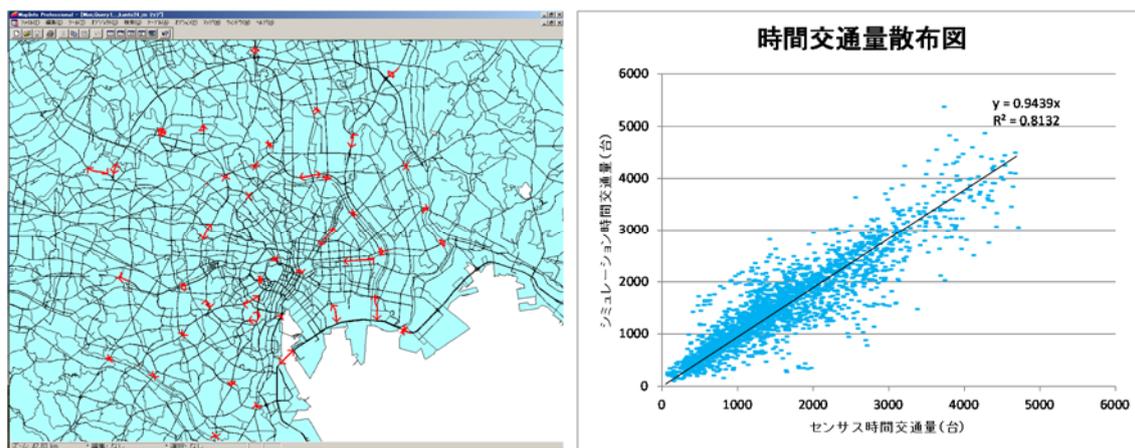


図 6-41 交通量調整対象断面と交通量再現性の比較

(2) 交通流シミュレーション結果

① ART 転換ケース

図 6-42 にベースケースのシミュレーション結果の交通量を主題図で示した。このうち、CO₂排出量の評価対象範囲として、ART 運行路線を含む図 6-43 の赤い矩形範囲を選定した。

図 6-44 に現況ケースとベースケースでの評価対象範囲での走行台キロと平均速度を示した。ベースケースでは、現況ケースに対して、環二通り整備の他、外環・千葉区間の開通、首都高・晴海線の延伸など、速度の高い道路が整備されているため、特に首都高・湾岸線の交通量が増えたため、対象範囲での台キロや平均速度が増える結果となった。

図 6-45 と図 6-46 に、それぞれベースケースと ART への転換 0%（転換なし）ケースでの、隅田川断面付近のシミュレーション結果交通量を示した。晴海通り交通量は、平成 26 年時点の実績値である約 36,000 台と較べて、ベースケースでは約 57,000 台と大幅に増加しているのは、外環・千葉区間の開通と首都高・晴海線延伸の影響と考えられる。これに対して、環二通り・築地大橋～お台場・国際展示場区間を 4 車線から、ART 専用車線確保後の 2 車線とした転換 0% ケースでは、交通量の大きな変化は見られなかった。

図 6-47 にベースケースの日平均速度に対する 0% 転換ケースの日平均速度の変化率を示した。環二通りについては、2 車線とした築地大橋～お台場・国際展示場区間で速度低下していることがわかる。

図 6-48 に ART への転換率を変えたケースでの、評価対象範囲での走行台キロを比較した。



図 6-42 ベースケースでのリンク交通量

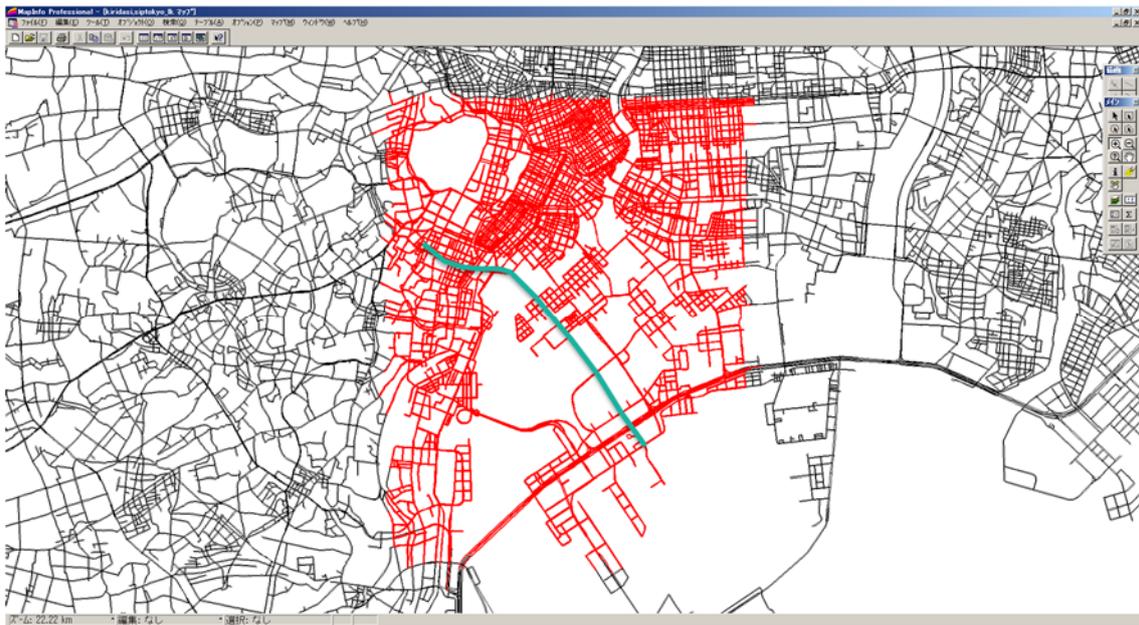


図 6-43 評価対象範囲（赤い矩形エリア）と ART 運行路線（緑の線）

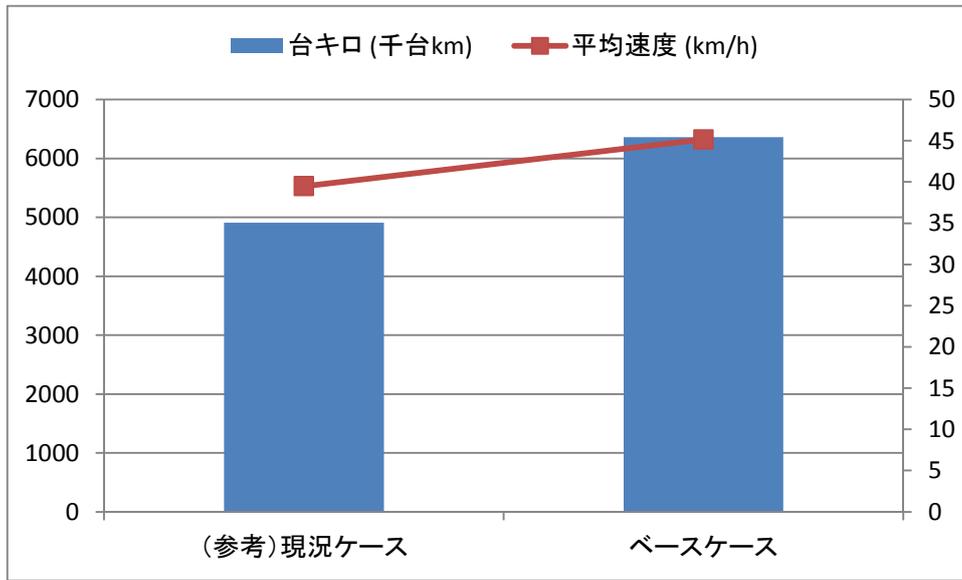


図 6-44 評価対象範囲でのベースケース台キロと平均速度

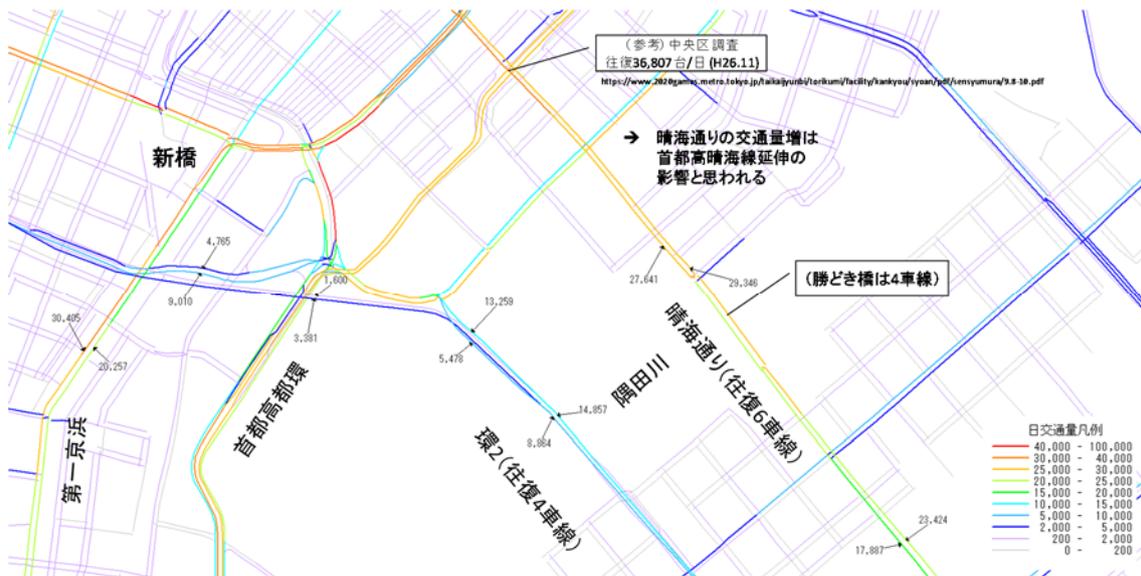


図 6-45 ベースケースでの交通量

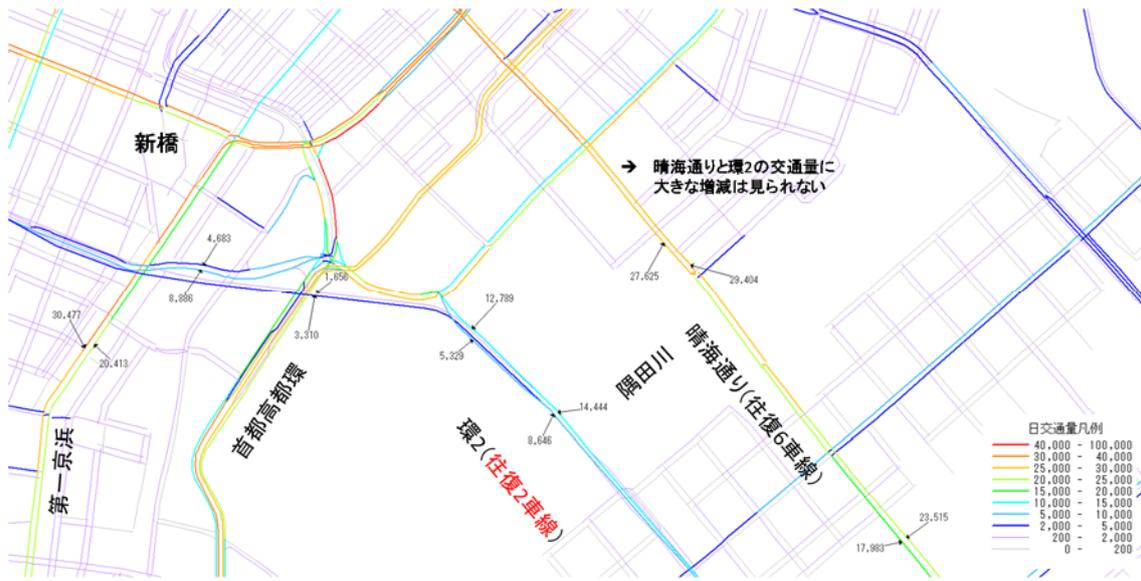


図 6-46 転換 0%ケースでの交通量

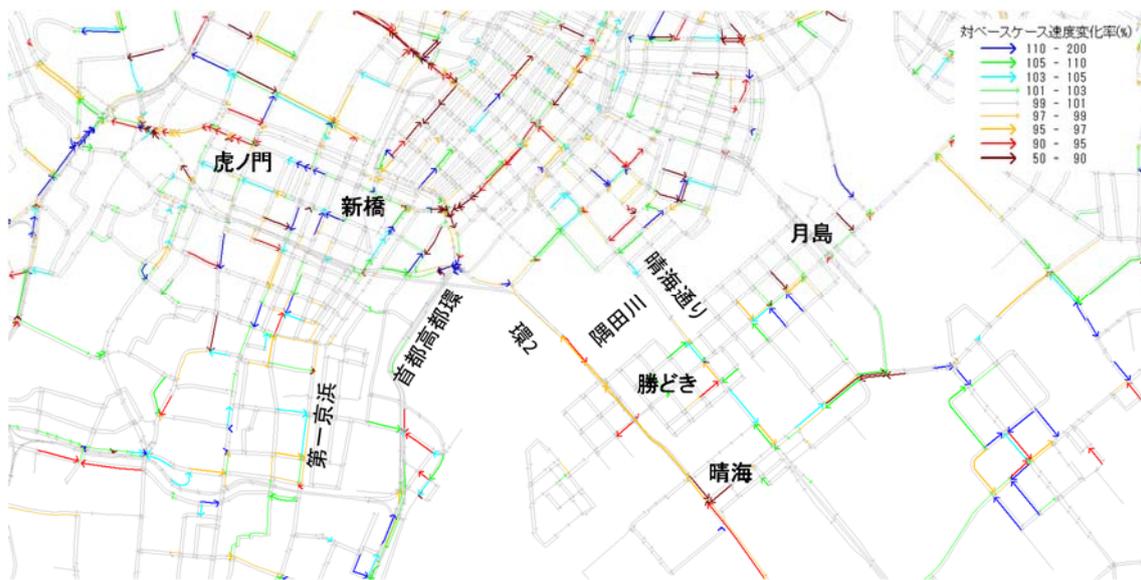


図 6-47 ベースケースの日平均速度に対する 0%転換ケースの日平均速度の変化率

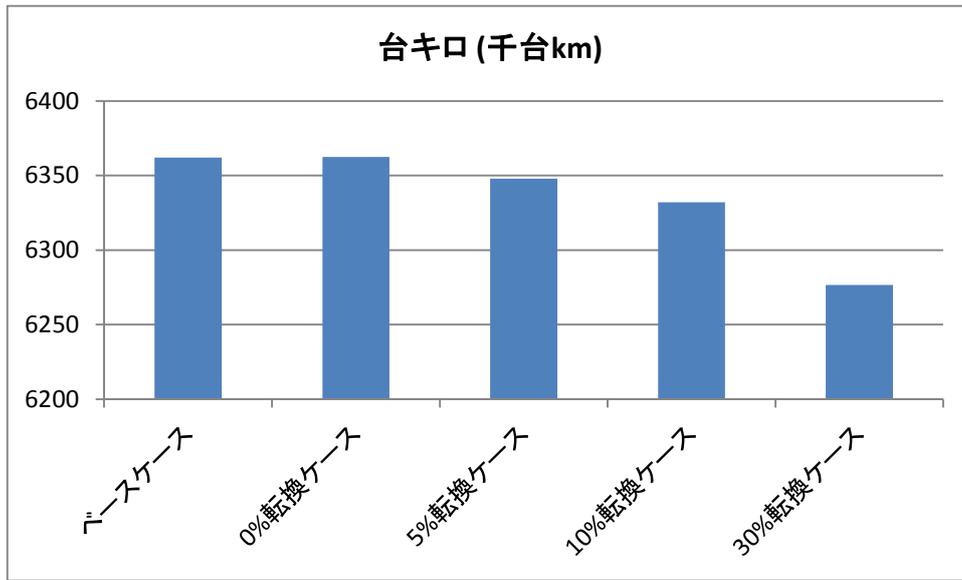


図 6-48 評価対象範囲での ART 転換ケースでの台キロ比較

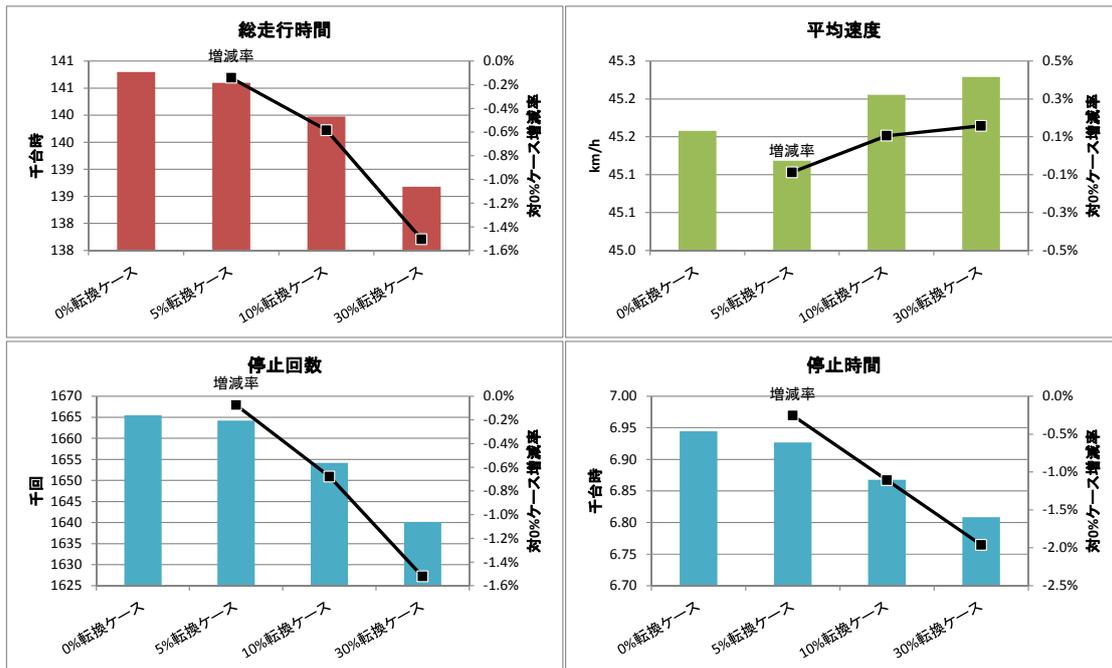


図 6-49 評価対象範囲での ART 転換ケースの各種ネットワーク指標比較

② ART 運行路線ケース

ART に関しては、図 6-50 に基づき、現在計画中の都道環状 2 号線・虎ノ門～お台場・国際展示場間での運行を想定した。このうち、新橋～国際展示場区間は、片側 1 車線ずつを ART 専用車線とした。また、虎ノ門～新橋区間は一般交通と混在するが、今回のスタディでは、渋滞しないとして、一般車両を考慮しないこととした。

バス停については、虎ノ門・新橋・勝ちどき・選手村・市場前・有明テニスの森・国際展示場に設置することとした。このうち、虎ノ門、新橋、選手村、国際展示場の 4 箇所にはバスターミナルを設置し、この区間を往復する設定とした。勝ちどき、市場前、有明テニスの森の各バス停では、最大 1 分までの範囲でランダムに停車時間を決めることとした。

なお、バスターミナル内での動きまでは考慮しないこととした。

ピーク時の運行頻度は、東京都が想定する BRT ピーク時輸送能力往復 4000 人/時より、ART の乗車人数を 100 人（連節バス想定）として、往復 40 台/時とした。即ち、虎ノ門⇄選手村、虎ノ門⇄国際展示場、新橋⇄選手村、新橋⇄国際展示場の往復 8 区間で、それぞれ 5 台/時の頻度で ART を運行させることとした。これにより、新橋～選手村間では往復 40 台/時となる。

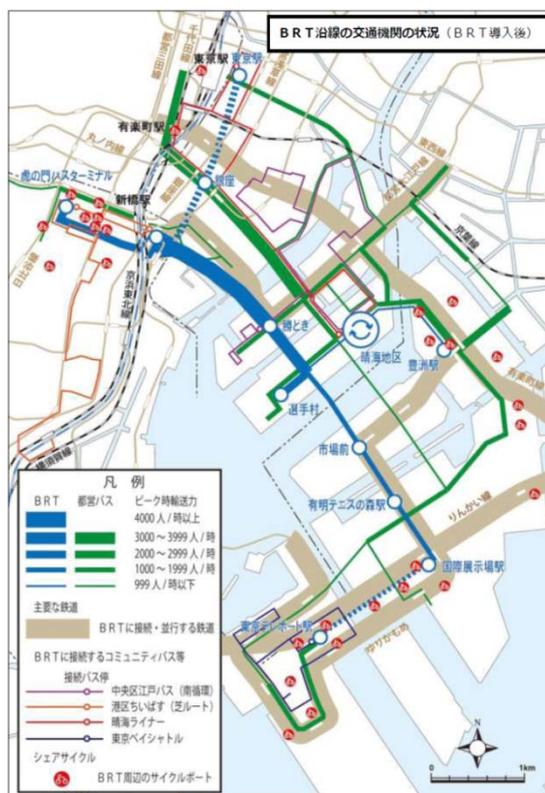


図 6-50 ART 運行路線と想定輸送能力¹²

¹² 東京都都市整備局 HP より <http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/kiban/brt/>

図 6-51 に ART 運行路線でのピーク時平均速度を示した。また、図 6-52 にピーク時における ART の走行軌跡を、図 6-53 に走行速度変動をそれぞれ示した。

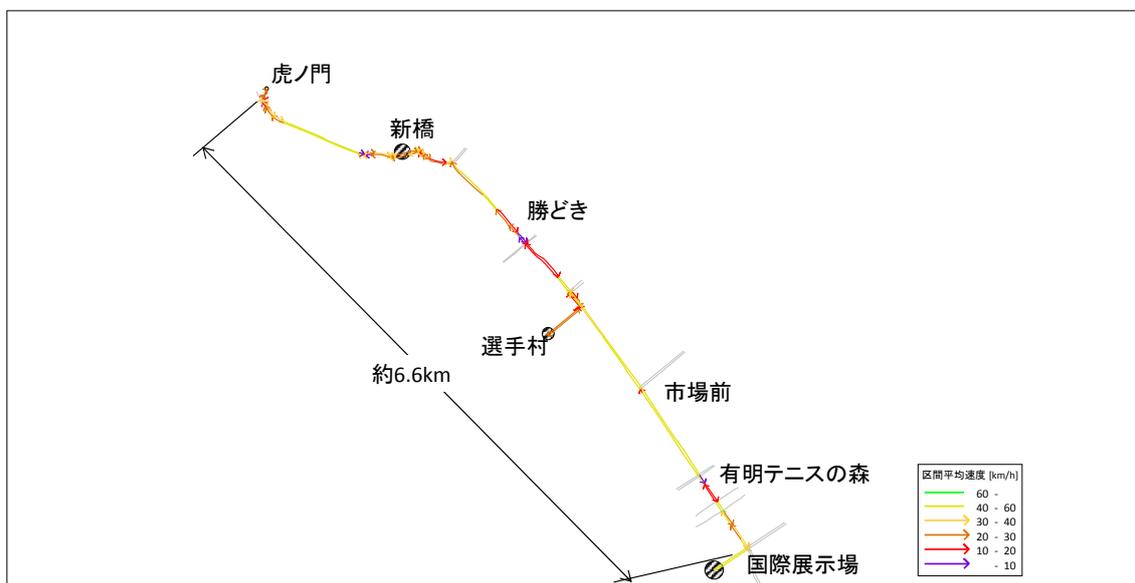


図 6-51 ART 運行路線でのピーク時平均速度

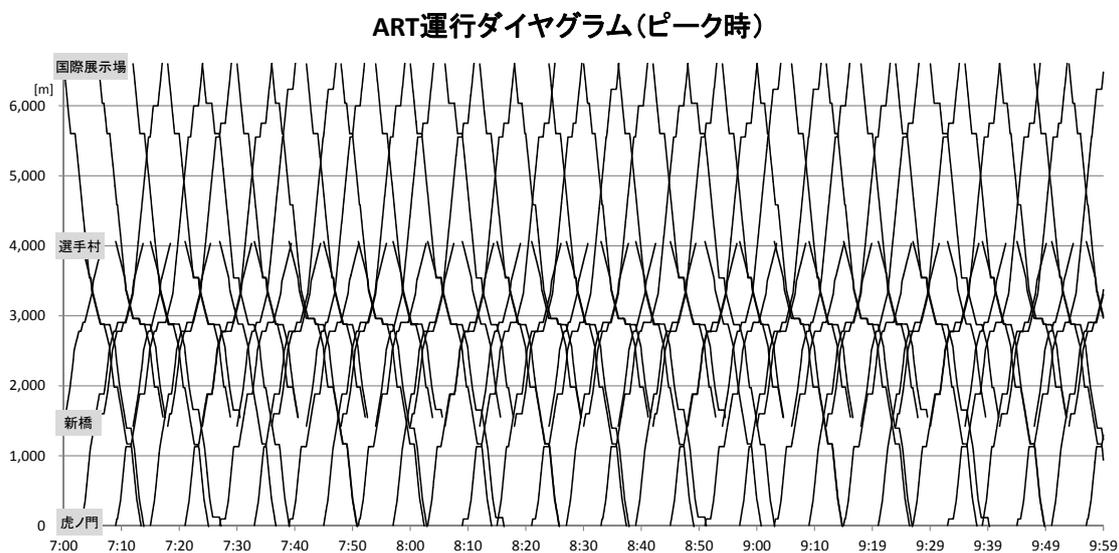


図 6-52 ART のピーク時走行軌跡

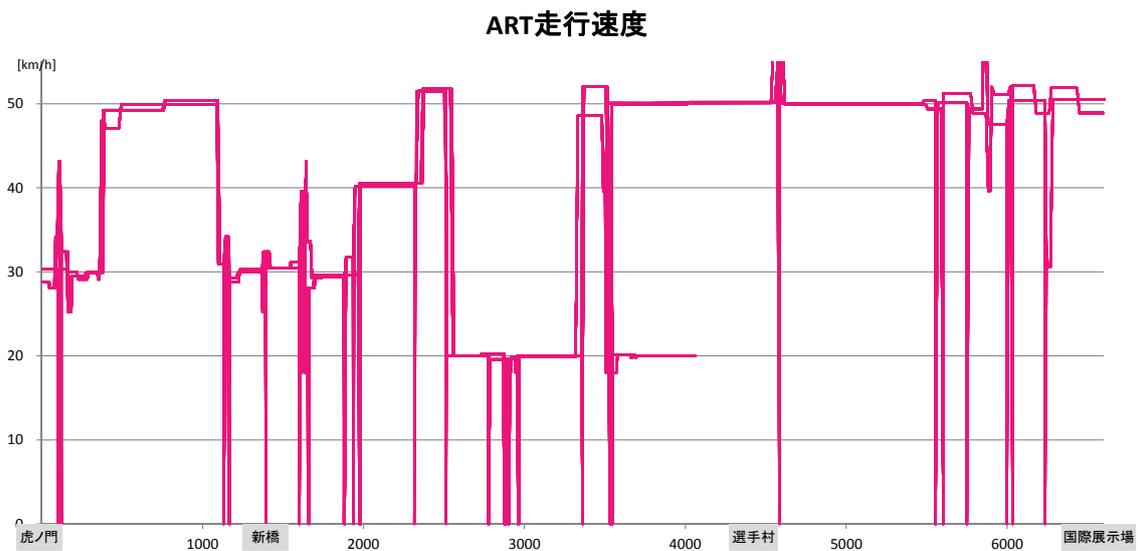


図 6-53 ART の走行速度

上記に示した交通流シミュレーションで走行挙動を計算した結果を用いて、CO₂ 排出量の推計を行うことで、開発した CO₂ 可視化技術が ART の評価に適用可能であることを確認した。

6.3 隊列走行

隊列走行に関しては、昨年度に「東名・新東名ネットワークを対象として、夜間に長距離トラックが往復で 1000 台走行する」前提でのスタディを実施した。今年度は、さらに隊列走行が普及したとして、全時間帯で走行させたスタディを追加実施した。

(1) シミュレーション条件

① 対象ネットワーク

図 6-54 に対象とした東名・新東名ネットワーク(横浜青葉 IC～豊田 JCT～東名三好 IC)を示した。このうち、隊列走行車は、赤で示した新東名ルートを選択させた。



図 6-54 隊列走行シミュレーション対象ネットワーク

② シミュレーション対象期間・時間帯

シミュレーション対象期間は、2016 年 9 月の平日を想定し、2:00～翌 4:00 の 26 時間で計算を行った。シミュレーションでの車両発生台数を表 6-2 に示した。なお、最初の 2 時間はネットワーク上に車両が充填するまでのバッファ時間として、評価対象から除外した。

表 6-2 シミュレーションでの車両発生台数

	24 時間	26 時間
小型	400,289 台	404,781 台
大型	171,820 台	182,318 台
合計	572,109 台	587,099 台

③ 隊列走行車の発生台数設定

<ケース 1：夜間に隊列走行>

隊列走行車に関しては、昨年度事業での関係者へのヒアリングを通して、4m 車間での 4

台隊列で、東京～名古屋間を深夜に計 1,000 台が隊列を形成してトリップすることとし、OD ペアについて、21 時～翌 1 時に出発する往復計 1725 トリップのうち、往復合計 996 トリップ（249 隊列×4 台）を隊列走行させた。

＜ケース 2：全時間帯で隊列走行＞

ケース 1 では、夜間の時間帯に限れば上りの 63%、下りの 53%が隊列走行トラックにあたることから、このケースでは、東京～名古屋間の大型車トリップの 50%を 4 台隊列走行させた。この場合、隊列走行トリップ数は約 3000 台(2 時～翌 4 時の 26 時間)で、これは東名・新東名ネットワークでの全大型車トリップ約 18.2 万台の 1.7%にあたる。

④ 自由走行速度（希望速度）

小型車、大型車および隊列走行車の各車種に対して、希望速度を以下の通り設定した。

- 小型車 90～110 km/h の範囲で分布
- 大型車 75～ 95 km/h の範囲で分布
- 隊列車 80 km/h で一定

(2) 現況ケース

図 6-55 に、現況ケースでのシミュレーション交通量をトラカン交通量と比較した結果を示した。

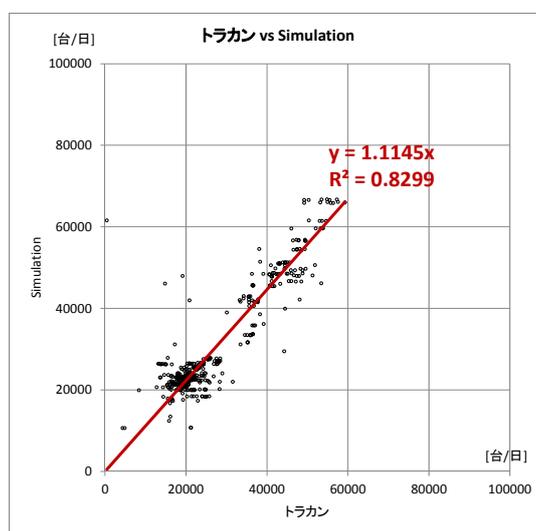


図 6-55 トラカン交通量とシミュレーション交通量の比較

(3) 隊列走行ケース

図 6-56 に、全日で隊列走行させたケース 2 での、新東名・新静岡～藤枝岡部区間での車種別交通量を示した。総走行距離と総走行時間を現況ケースと比較したところ、以下の通

りであった。ネットワークと需要総数は変わらないにも関わらず、隊列ケースで走行距離と時間が減るのは、東名・新東名の経路選択で、隊列走行する大型車がすべて距離の短い新東名を選択するためである。

表 6-3 隊列走行スタディでのネットワーク集計指標比較

ケース	総走行距離 (台キロ)	総走行時間 (台時)
現況ケース	30,893,733	349,240
隊列ケース 1 (夜間)	30,678,700 (-0.70%)	346,870 (-0.68%)
隊列ケース 2 (全日)	30,311,279 (-1.89%)	342,843 (-1.83%)

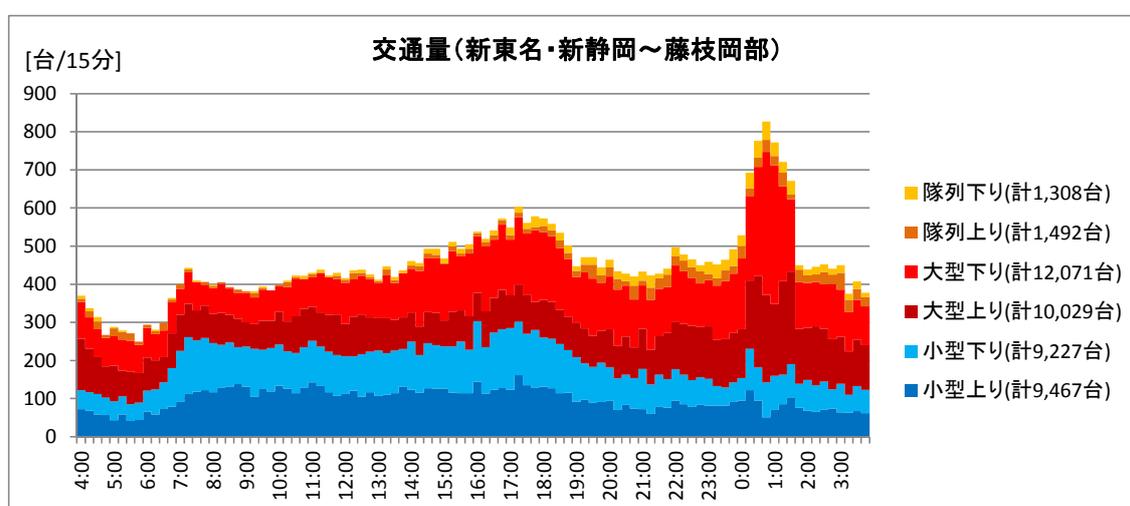


図 6-56 シミュレーション結果交通量 (新東名下り・新富士 IC～新静岡 IC 区間)

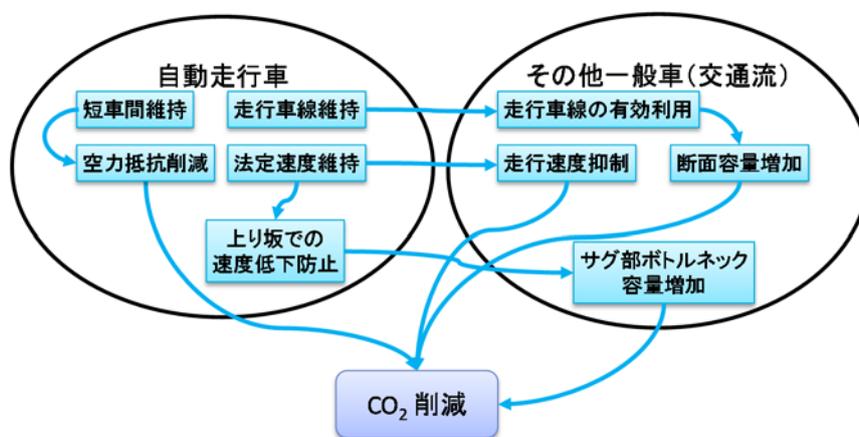
上記に示した交通流シミュレーションで走行挙動を計算した結果を用いて、CO₂ 排出量の推計を行うことで、開発した CO₂ 可視化技術が隊列走行の評価に適用可能であることを確認した。

6.4 高速道路での自動運転

(1) 高速道路での自動運転のCO₂削減メカニズム整理

図 6-57 に過年度業務で整理した高速道路での自動運転のリファレンスモデルを示した。以下、リファレンスモデルの示す内容を箇条書きで整理した。

- 自動走行車の CACC 機能による短車間維持で、空力抵抗削減効果により燃費が向上し、CO₂排出量削減につながる。
- 自動走行車が走行車線を維持することで、利用率の低い走行車線が有効に利用されるようになり、断面容量を増加させることで重交通時の効率が高くなり、渋滞発生が抑制されることで CO₂ 排出量削減につながる。
- 自動走行車が法定速度を維持することで、後続の一般車の速度も抑制され、燃費の良い速度域で走行することで CO₂ 排出量削減につながる。
- 自動走行車が上り坂でも速度低下しないことで、サグ部上り坂での車群形成、後続車への減速波増幅伝播に伴う渋滞発生を抑制することで CO₂ 排出量削減につながる。



(平成27年度戦略的イノベーション創造プログラム(地域交通CO₂排出量可視化技術の調査研究)報告書より抜粋)

図 6-57 高速道路での自動運転のリファレンスモデル(サグ部を想定)

しかしながら、これはサグ部での渋滞緩和を想定した CO₂ 削減メカニズムであり、本業務ではさらに図 6-58 に示したように、より安全重視の車線変更挙動を行う自動走行車が混入することに夜合流部での流動性低下を引き起こすメカニズムを考慮した。

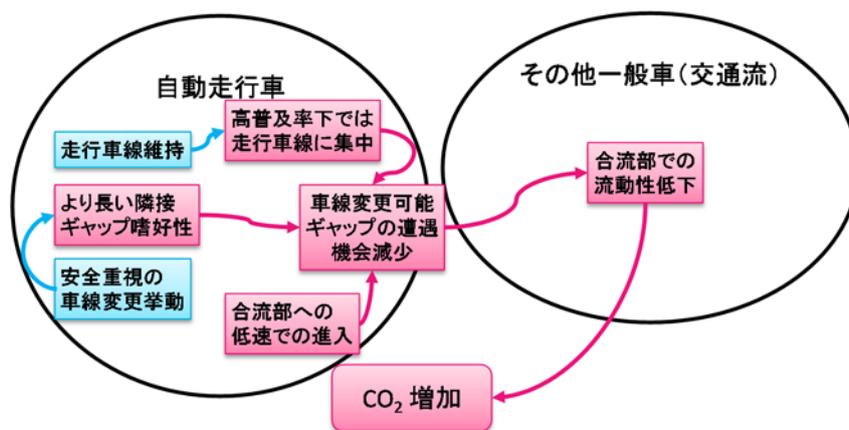


図 6-58 高速道路での自動運転のリファレンスモデル（合流部を想定）

(2) 現況ケースの実施

図 6-59 にケーススタディ対象エリアとした道路ネットワークの範囲を示した。ケーススタディでは、東名高速道路下り線・横浜青葉 IC 先～海老名 SA 手前の約 16km を対象とした。この区間には、大和サグ、大和トンネル等のよく知られたボトルネック箇所ある。シミュレーションでは、大和サグ部からの上り勾配を 2.5% として上り坂区間での減速成分を考慮した。

ケーススタディでの交通需要は、H27 センサス時間交通量（2015.11 平日）に合わせて、表 6-4 のとおり設定した。ただし、ボトルネックを通らない東京方面から横浜町田 IC への流出交通は対象外とした。この区間では、サグ部を通る交通量のうち、約 1/3 が横浜町田 IC から流入してくる車両であり、合流部での円滑性確保が重要な視点となる。

表 6-4 設定需要

	小型（台/日）	大型（台/日）
東京方面→名古屋方面	20425	9846
横浜町田 IC→名古屋方面	11857	7288
計	32,282	17,134

車両挙動は、既往研究¹³を参考に表 6-5 のとおり設定した。図 6-60 に現況ケースでの車線別走行速度分布を示した。平日の交通需要を設定しているため、サグ部での渋滞は発生していないが、第一走行車線では横浜町田 IC からの合流部付近で一時的な速度低下が見られる。

¹³ 鈴木ほか：高速道路サグ部渋滞対策に資する ACC の将来性能と渋滞緩和効果，交通工学論文集，Vol. 1 (2015)，No. 2 特集号，p. B_60-B_67. 2015.02.



図 6-59 高速道路での自動運転評価スタディ範囲（東名高速下り・横浜青葉～海老名 SA）

表 6-5 シミュレータ（MicroAVENUE）の車両挙動パラメータ設定（一般車）

分類	パラメータ	単位	小型期待値	±σ	大型期待値	±σ
追従時	希望速度	[m/s]	33.33	1.000	30.00	1.500
	最大加速度	[m/s ²]	1.600	0.200	0.800	0.200
	希望減速度	[m/s ²]	1.623	0.180	1.829	0.394
	安全ヘッドウェイ時間	[s]	1.216	0.249	1.741	0.362
	ジャム車間距離	[m]	7.500		7.500	
自由走行時	希望加速度	[m/s ²]	1.304	0.125	1.082	0.111
	自然減速度	[m/s ²]	0.240		0.240	
その他条件	最大減速度	[m/s ²]	3.600		3.600	
	車長	[m]	5.000		12.000	
	車幅	[m]	1.700		2.300	
	車線幅	[m]	3.500		3.500	
	横方向最大速度	[m/s]	1.000		1.000	
車線変更判断	前方探索範囲	[s]	10.000		10.000	
	速度低下許容幅	[km/h]	10.000		60.000	
	巡航時速度幅	[km/h]	0.000		60.000	
	車線変更判定距離	[m]	300.000	50.000	300.000	50.000
	追越希望受諾確率		0.250		0.005	
	走行車線復帰確率		0.100		1.000	
車線変更条件	最小ギャップ	[s]	1.500		1.500	
	最小 TTC	[s]	2.000		2.000	

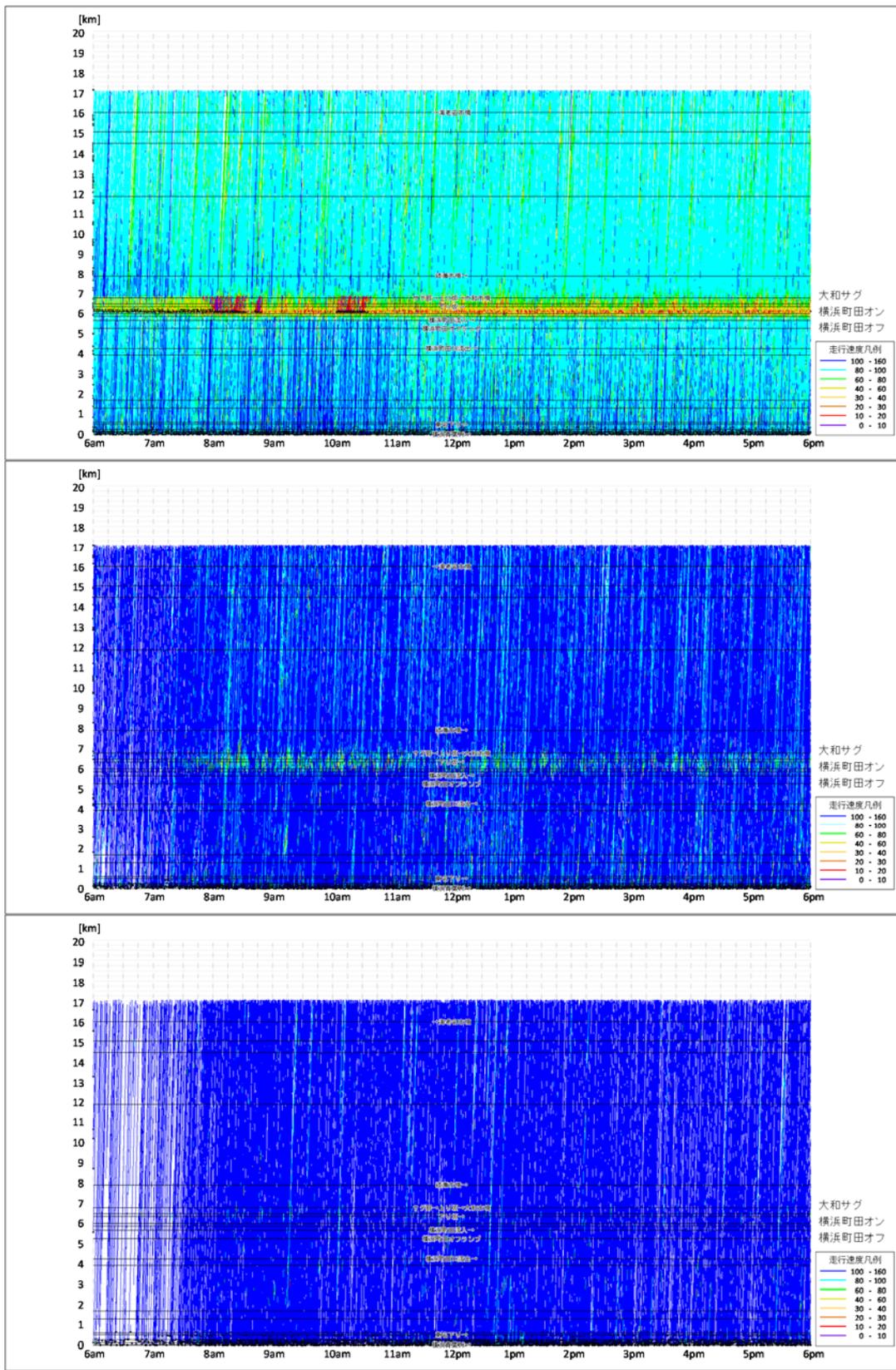


図 6-60 現況ケース・車線別走行速度分布

(3) ケーススタディの実施

ケーススタディでは、同じ既往研究¹³を参考に自動運転車の走行挙動パラメータを表 6-6 のとおり設定し、20%混入ケースと 90%混入ケースを実施した。自動走行車については、サグ渋滞緩和に有効とされた、車頭時間（ヘッドウェイ時間）を 2 秒に保持する制御方式とし、走行車線を維持する傾向を強め、かつ車線変更時の最小 TTC（衝突猶予時間：Time-to-corregion）を一般車の 1.5 倍とするなど、より慎重な車線変更を行う設定とした。

表 6-6 シミュレータ（MicroAVENUE）の車両挙動パラメータ設定（自動運転車）

分類	パラメータ	単位	小型期待値	±σ	大型期待値	±σ
追従時	希望速度	[m/s]	27.78		22.22	
	最大加速度	[m/s ²]	1.600		1.200	
	希望減速度	[m/s ²]	3.000		1.500	
	安全ヘッドウェイ時間	[s]	1.768		2.294	
	ジャム車間距離	[m]	7.500		7.500	
自由走行時	希望加速度	[m/s ²]	1.600		1.200	
	自然減速度	[m/s ²]	0.240		0.240	
その他条件	最大減速度	[m/s ²]	3.600		3.600	
	車長	[m]	5.000		12.000	
	車幅	[m]	1.700		2.300	
	車線幅	[m]	3.000		3.500	
	横方向最大速度	[m/s]	1.000		1.000	
車線変更判断	前方探索範囲	[s]	10.000		10.000	
	速度低下許容幅	[km/h]	20.000		20.000	
	巡航時速度幅	[km/h]	20.000		20.000	
	車線変更判定距離	[m]	300.000	50.000	300.000	50.000
	追越希望受諾確率		0.010		0.005	
	走行車線復帰確率		1.000		1.000	
車線変更条件	最小ギャップ	[s]	1.500		1.500	
	最小 TTC	[s]	3.000		3.000	

① 自動運転 20%混入ケース

図 6-61 に自動運転車両を小型と大型それぞれで 20%ずつ混入させたケースの車線別走行速度分布を示した。自動運転車両が制限速度で走行するため、第一走行車線の速度が 80km/h 程度に抑制されていることがわかる。図 6-62 に対象区間の通過所要時間を現況ケースと比較した。実勢速度が制限速度よりも高い現況ケースに対して、制限速度で走行する自動走行車が混入することで、所要時間がわずかに増えている。

図 6-63 にサグ部を通過する交通量を現況ケースと比較した。自動運転車の合流挙動が円滑性を低下させる方向に作用することで、横浜町田 IC からの合流台数が少なくなり、ピーク時の交通量が減少している。これは、サグ部ボトルネックでの円滑性向上には寄与するが、横浜町田 IC オンランプでの渋滞が発生することを意味している。

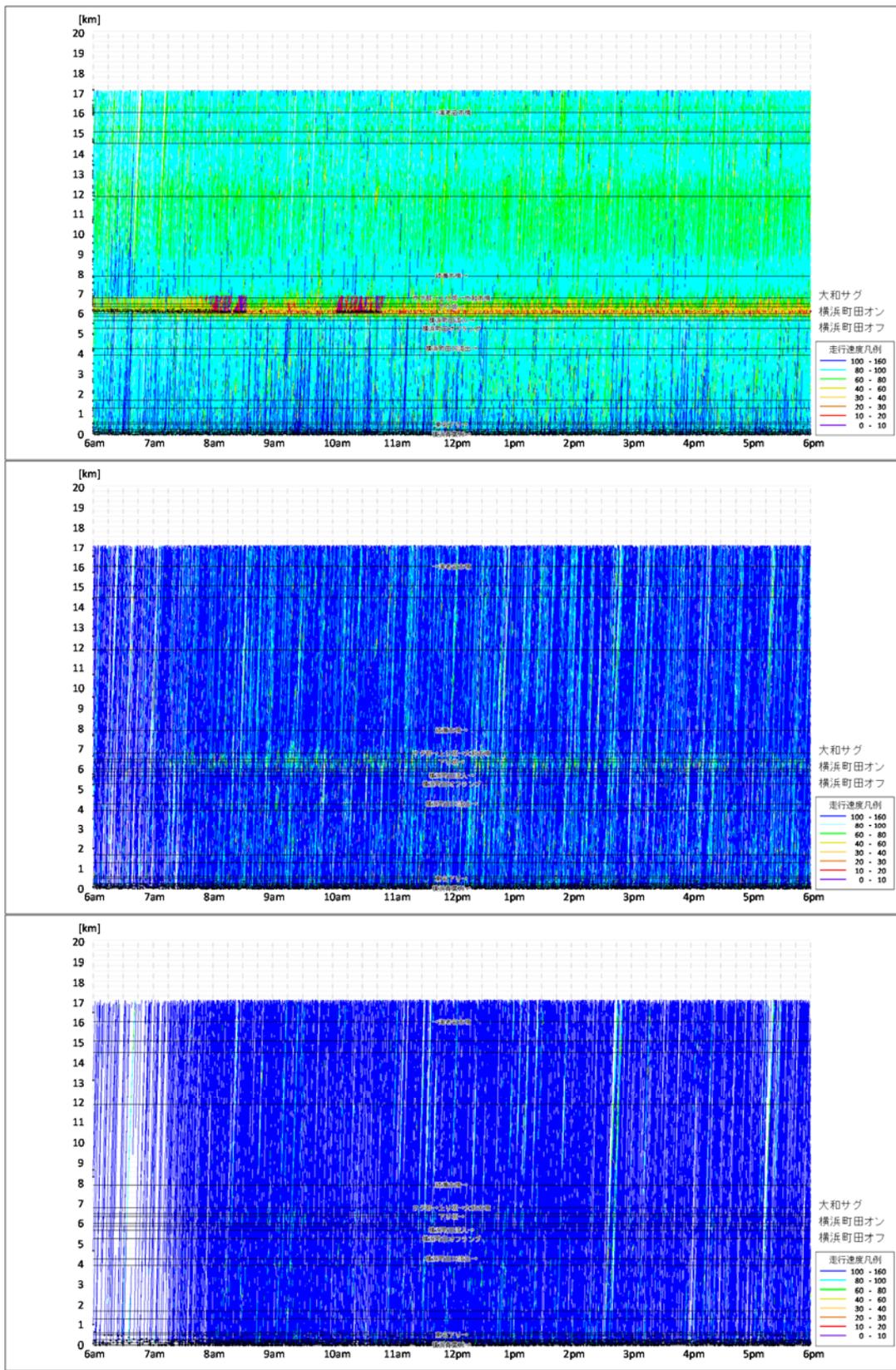


図 6-61 自動運転 20%混入ケース・車線別走行速度分布

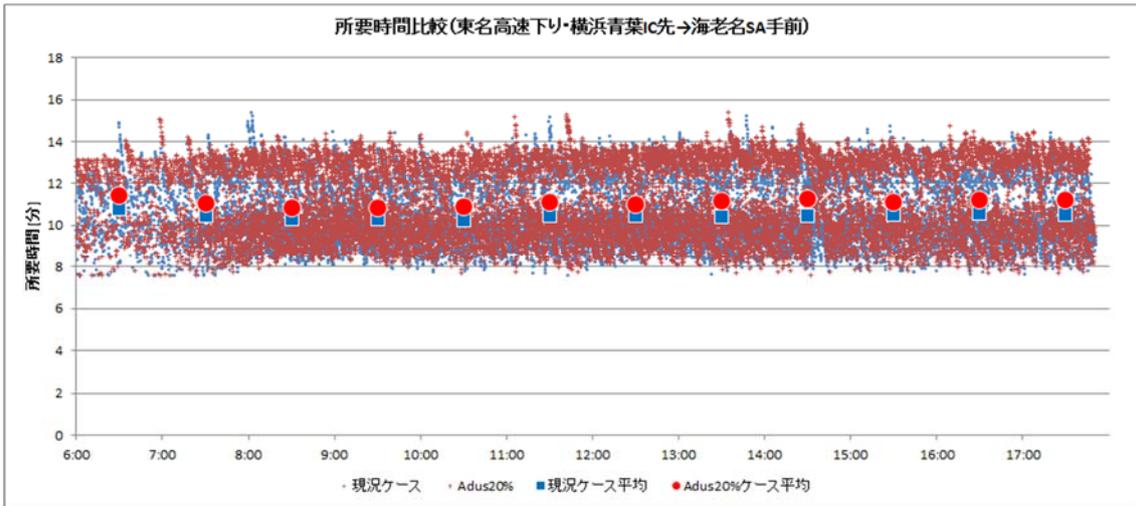


図 6-62 現況ケースと自動運転 20%混入ケースの所要時間比較

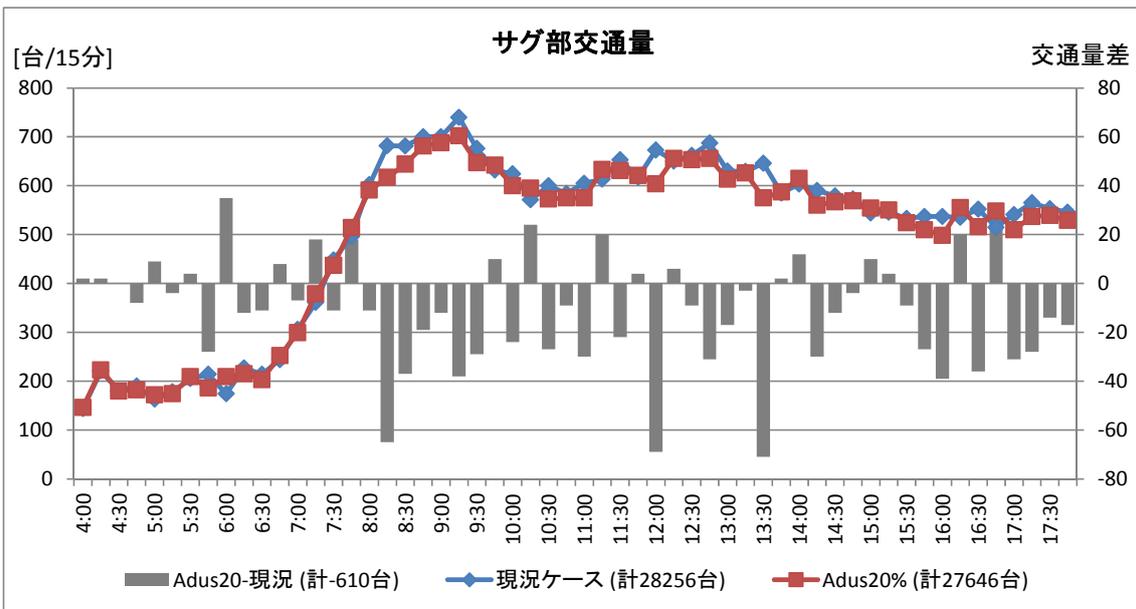


図 6-63 現況ケースと自動運転 20%混入ケースの通過交通量比較

② 自動運転 90%混入ケース

図 6-64 に自動運転車両を小型と大型それぞれで 90%ずつ混入させたケースの車線別走行速度分布を示した。自動走行車両が制限速度で全車線を走行するため、車線別の速度が現況ケースよりも均質化されていることがわかる。また、合流部での第一走行車線の速度低下が生じている時間帯が長くなっており、合流部での円滑性低下が顕著になっていることがわかる。図 6-65 に対象区間の通過所要時間を現況ケースと比較した。実勢速度が制限速度よりも高い現況ケースに対して、制限速度で走行する自動走行車が大多数になるため、所要時間が増えている。

図 6-66 にサグ部を通過する交通量を現況ケースと比較した。自動運転車の合流挙動が円滑性を低下させる方向に作用することで、横浜町田 IC からの合流台数が 20%ケースよりもさらに少なくなり、ピーク時の交通量が減少している。これは、サグ部ボトルネックでの円滑性向上には寄与するが、横浜町田 IC オンランプでの渋滞が発生することを意味している。

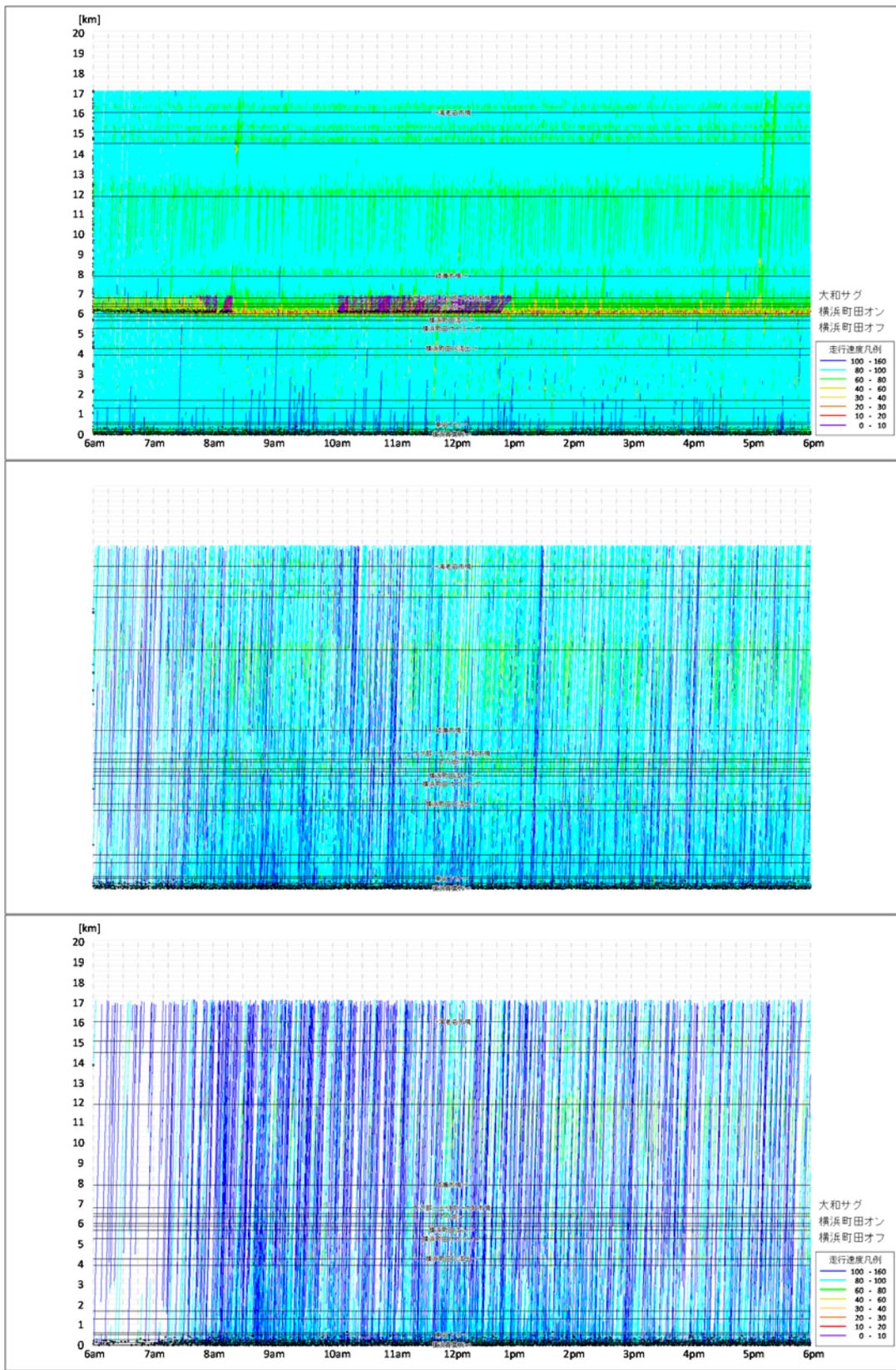


図 6-64 自動運転 90%混入ケース・車線別走行速度分布

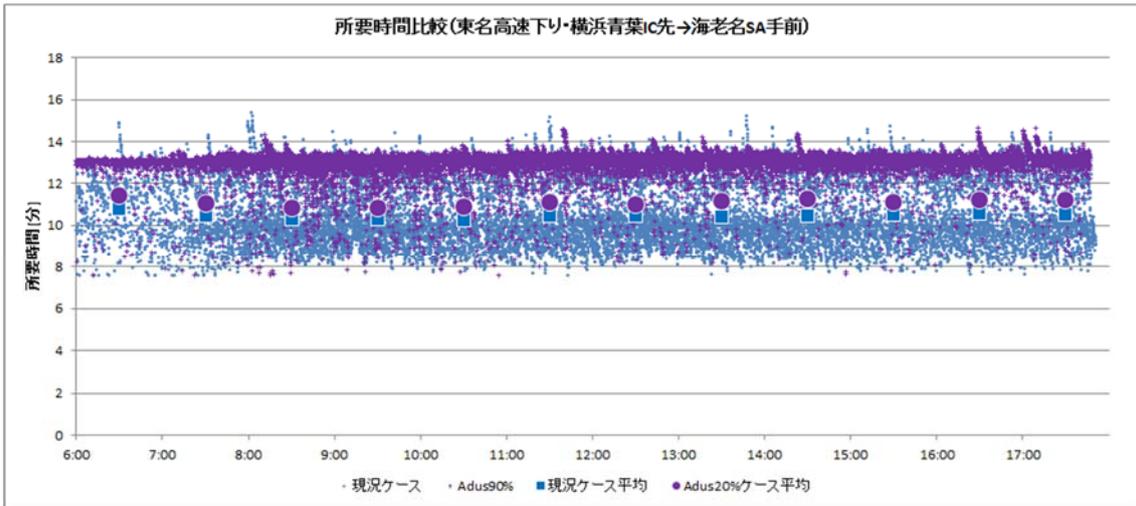


図 6-65 現況ケースと自動運転 90%混入ケースの所要時間比較

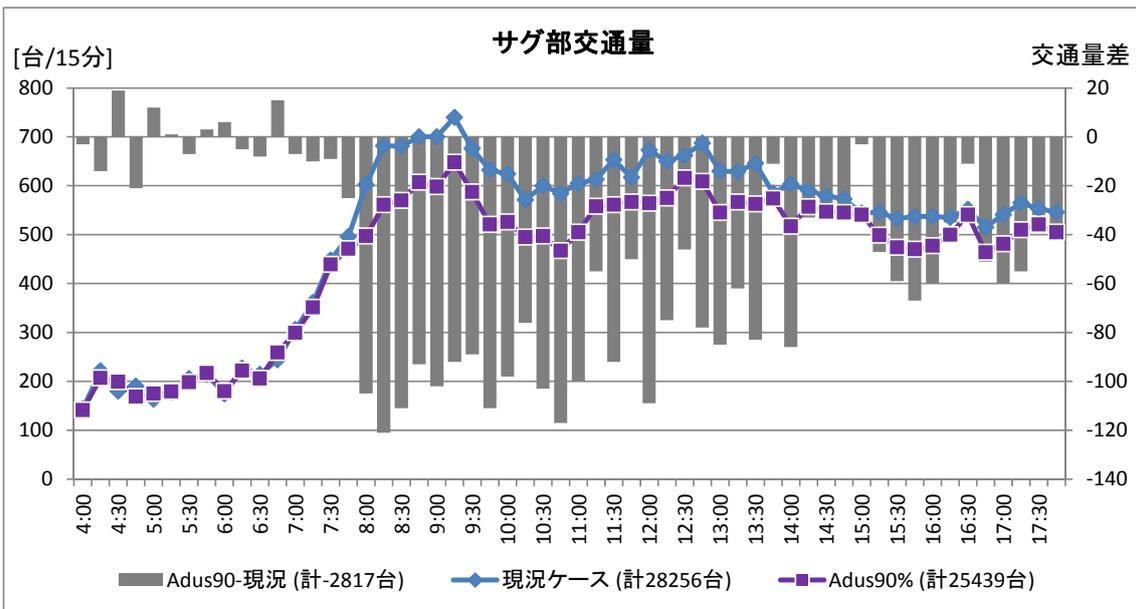


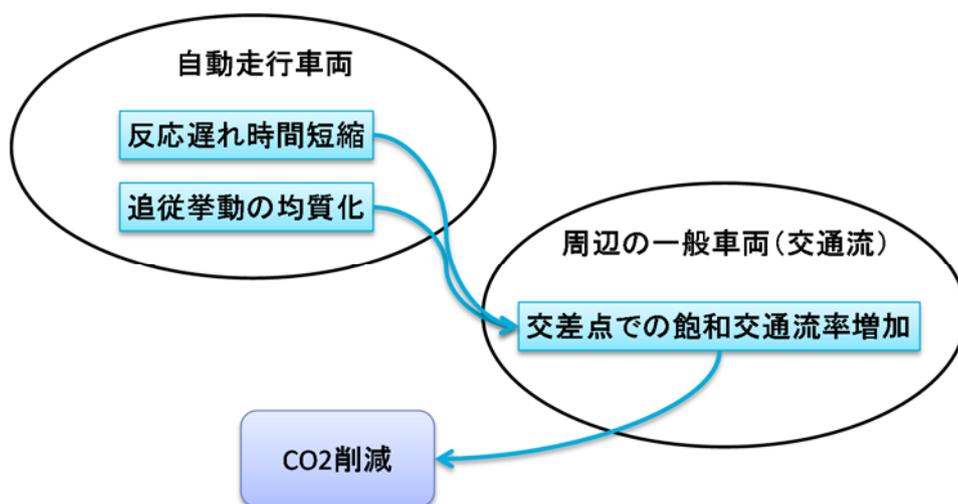
図 6-66 現況ケースと自動運転 90%混入ケースの通過交通量比較

上記に示した交通流シミュレーションで走行挙動を計算した結果を用いて、CO₂ 排出量の推計を行うことで、開発した CO₂ 可視化技術が高速道路での自動運転の評価に適用可能であることを確認した。

6.5 一般道路での自動運転

(1) 一般道路での自動運転の CO₂ 削減メカニズム整理

過年度業務において、図 6-67 に示す一般道路での自動運転による CO₂ 削減メカニズムのリファレンスモデルを整理した。即ち、反応遅れ時間が短縮されることで、発進損失時間が短くなり、交差点での待ち行列から単位時間で捌ける台数（飽和交通流率）が増えること、および追従挙動が均質化することで、発進時に車間を空けすぎる車両がなくなり、流出中の流率低下が少なくなることで、やはり飽和交通流率が増加することを通して、渋滞が緩和され、CO₂ 削減を達成するものである。



平成 28 年度戦略的イノベーション創造プログラム (自動走行システム) : 地域交通 CO₂ 排出量可視化技術の開発及び実証報告書より抜粋

図 6-67 一般道路での自動運転による CO₂ 削減メカニズムのリファレンスモデル

(2) 現況再現ケースの実施

現況ケースは、6.1(2)に示した、グリーンウェーブ走行支援システムの評価で用いた国道16号柏市域ネットワークでの現況ケースと同じである。表6-7に一般車の走行挙動パラメータを再掲した。



図 6-68 国道16号柏市域ネットワーク範囲

表 6-7 シミュレータ (MicroAVENUE) の車両挙動パラメータ設定 (一般車)

分類	パラメータ	単位	小型期待値	±σ	大型期待値	±σ
追従時	希望速度	[m/s]	16.67	1.000	13.89	1.500
	最大加速度	[m/s ²]	1.600	0.200	1.400	0.200
	希望減速度	[m/s ²]	1.623	0.180	1.829	0.394
	安全ヘッドウェイ時間	[s]	1.216	0.249	1.741	0.362
	ジャム車間距離	[m]	7.500		7.500	
自由走行時	希望加速度	[m/s ²]	1.400	0.125	1.200	0.111
	自然減速度	[m/s ²]	0.240		0.240	
その他条件	最大減速度	[m/s ²]	3.600		3.600	
	車長	[m]	5.000		12.000	
	車幅	[m]	1.700		2.300	
	車線幅	[m]	3.300		3.300	
	横方向最大速度	[m/s]	1.000		1.000	
車線変更判断	前方探索範囲	[s]	10.000		10.000	
	速度低下許容幅	[km/h]	10.000		60.000	
	巡航時速度幅	[km/h]	0.000		60.000	
	車線変更判定距離	[m]	300.000	50.000	300.000	50.000
	追越希望受諾確率		0.250		0.005	
	走行車線復帰確率		0.100		1.000	
車線変更条件	最小ギャップ	[s]	1.500		1.500	
	最小TTC	[s]	2.000		2.000	

図 6-69 に、現況ケースでの国道 16 号上り（印西市境→野田市境）・下り（野田市境→印西市境）それぞれの車両走行速度を時空間軌跡図上にプロットした。図より、上り方向では日中ほぼ全ての時間帯で渋滞が発生しており、下り方向でも朝夕のピーク時に渋滞が発生している。

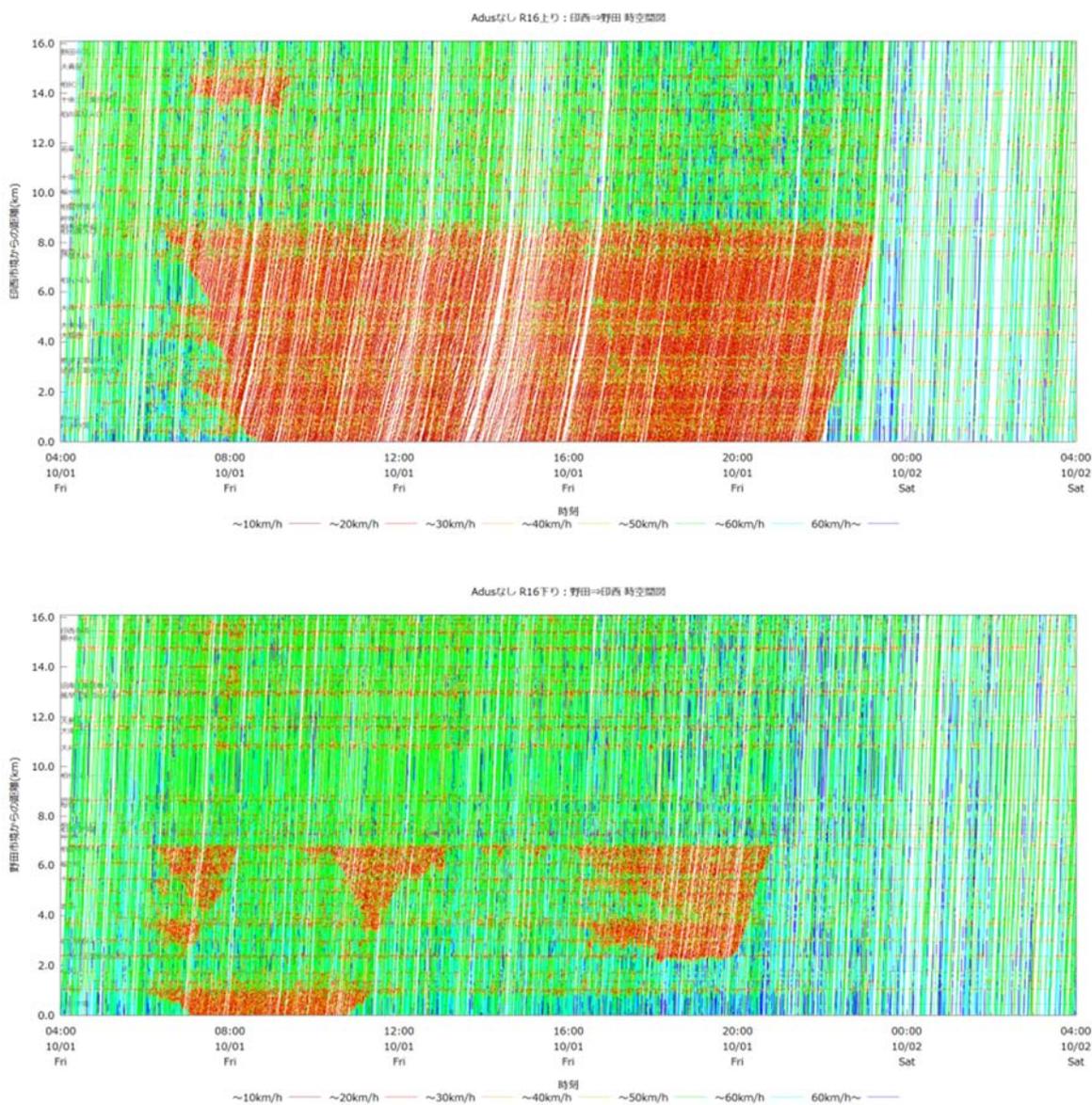


図 6-69 現況ケース走行速度分布

(3) ケーススタディの実施

ケーススタディでは、表 6-8 に示したように、自動運転車の反応時間に関する安全ヘッドウェイ時間パラメータだけを一般車の半分程度に短くした。また、エコドライブでの「ふんわりアクセル」に相当する発進加速度のパラメータ設定にすると、渋滞がより悪化したことを踏まえて、後のパラメータは一般車と同じとした。

表 6-8 シミュレータ (MicroAVENUE) の車両挙動パラメータ設定 (自動運転車)

分類	パラメータ	単位	小型期待値	$\pm \sigma$	大型期待値	$\pm \sigma$
追従時	希望速度	[m/s]	27.78		22.22	
	最大加速度	[m/s ²]	1.600		1.200	
	希望減速度	[m/s ²]	3.000		1.500	
	安全ヘッドウェイ時間	[s]	0.885		1.147	
	ジャム車間距離	[m]	7.500		7.500	
自由走行時	希望加速度	[m/s ²]	1.600		1.200	
	自然減速度	[m/s ²]	0.240		0.240	
その他条件	最大減速度	[m/s ²]	3.600		3.600	
	車長	[m]	5.000		12.000	
	車幅	[m]	1.700		2.300	
	車線幅	[m]	3.000		3.500	
	横方向最大速度	[m/s]	1.000		1.000	
車線変更判断	前方探索範囲	[s]	10.000		10.000	
	速度低下許容幅	[km/h]	20.000		20.000	
	巡航時速度幅	[km/h]	20.000		20.000	
	車線変更判定距離	[m]	300.000	50.000	300.000	50.000
	追越希望受諾確率		0.010		0.005	
	走行車線復帰確率		1.000		1.000	
車線変更条件	最小ギャップ	[s]	1.500		1.500	
	最小 TTC	[s]	3.000		3.000	

① 自動運転 20%混入ケース

図 6-70 に、自動運転車を 20%混入させたケースでの国道 16 号上り（印西市境→野田市境）・下り（野田市境→印西市境）それぞれの車両走行速度を時空間軌跡図上にプロットした。いずれの方向についても、現況ケースより低速の範囲が小さくなり、渋滞が緩和されていることがわかる。

図 6-71、図 6-72 及び図 6-73 に、自動運転 20%混入ケースにおける国道 16 号上り・下りの通過所要時間、停止回数及び停止時間をそれぞれ現況ケースと比較した。渋滞が緩和されたことによる、所要時間の短縮と停止回数、停止時間の削減が認められる。

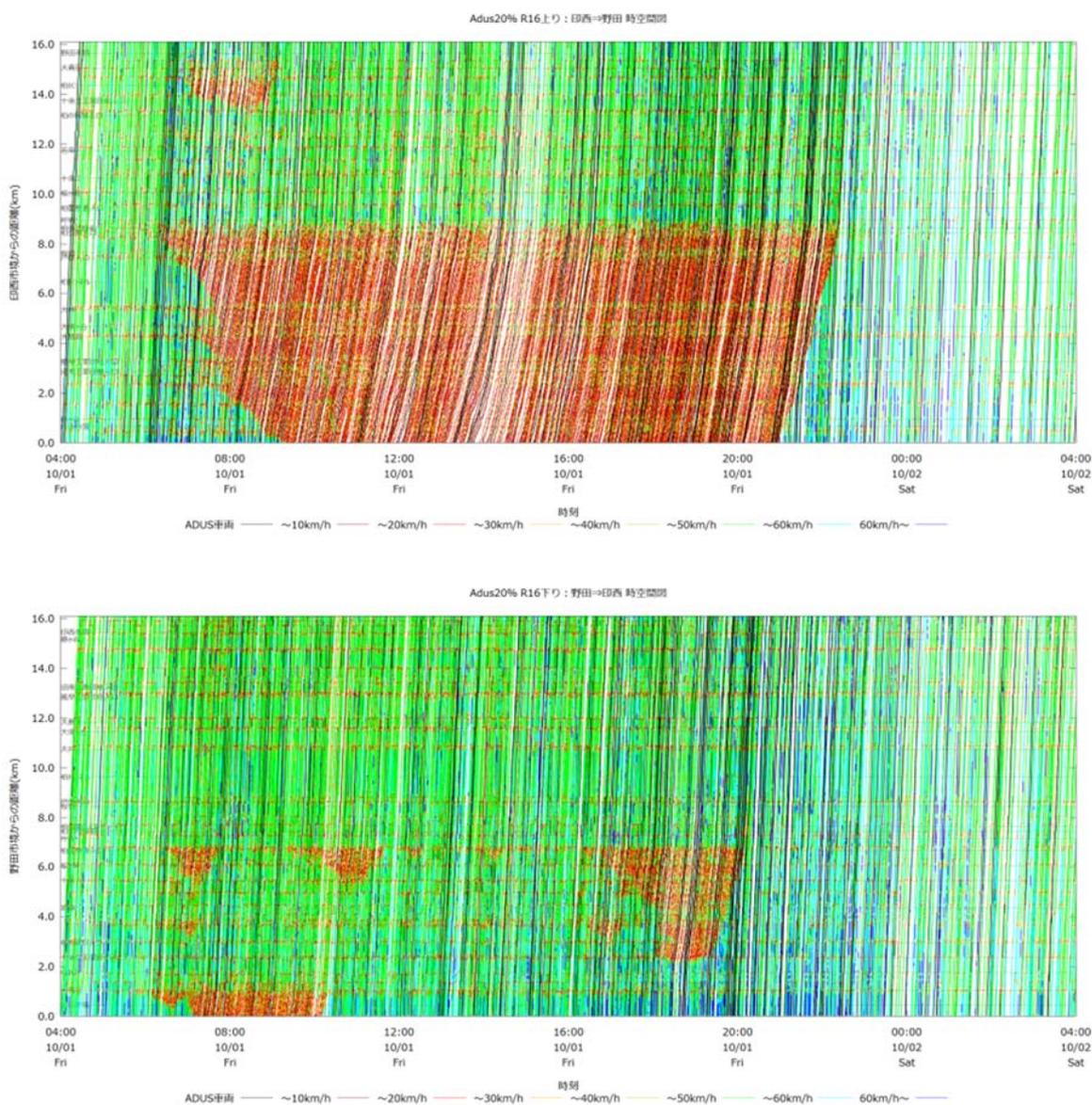


図 6-70 自動運転 20%混入ケース走行速度分布（黒は自動走行車両の軌跡）

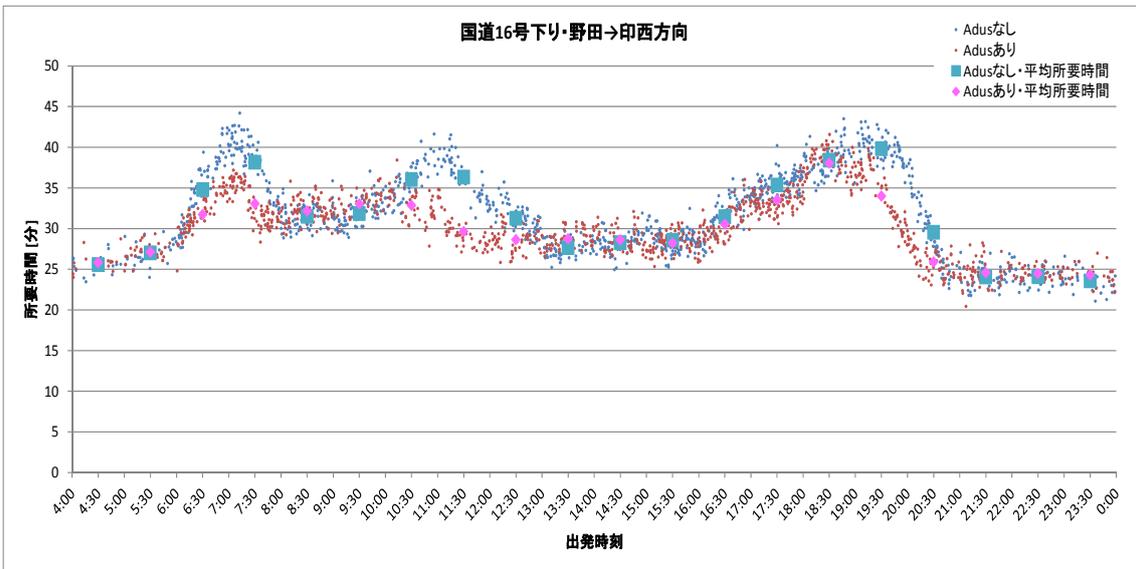
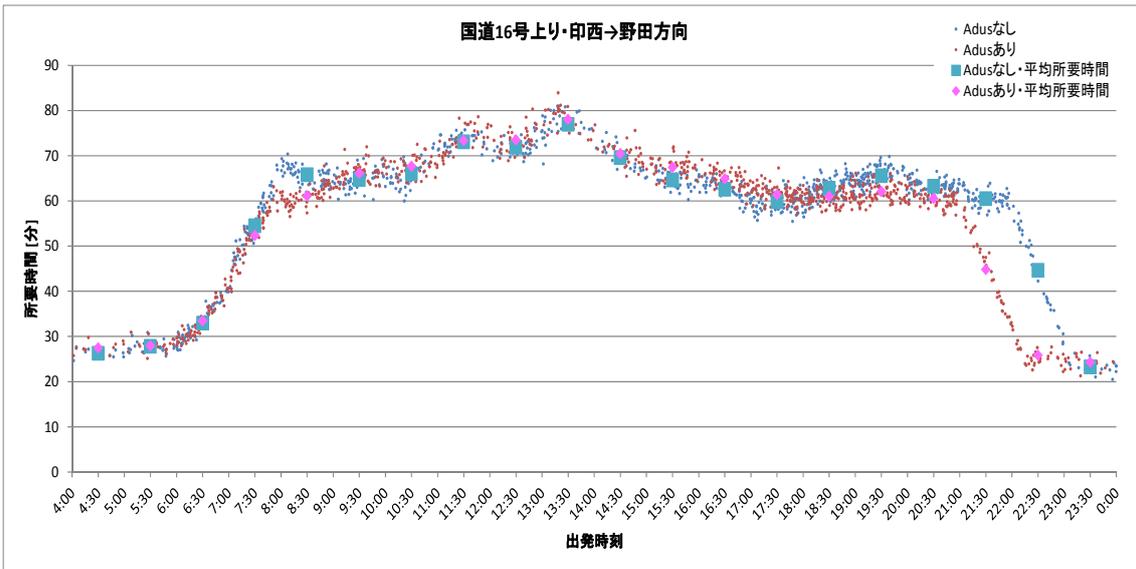


図 6-71 自動運転 20%混入ケース所要時間比較

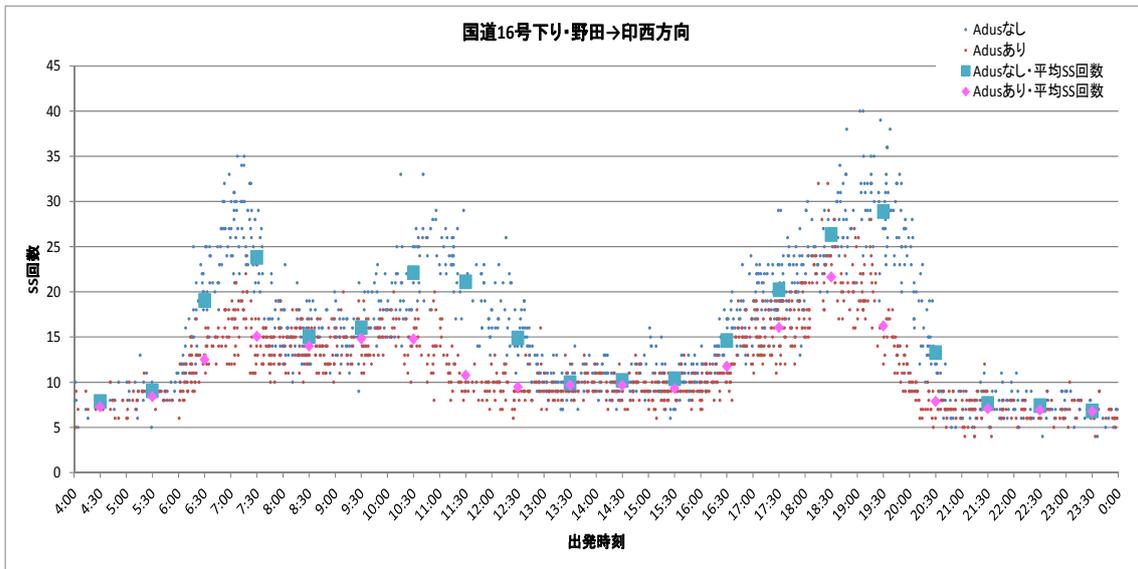
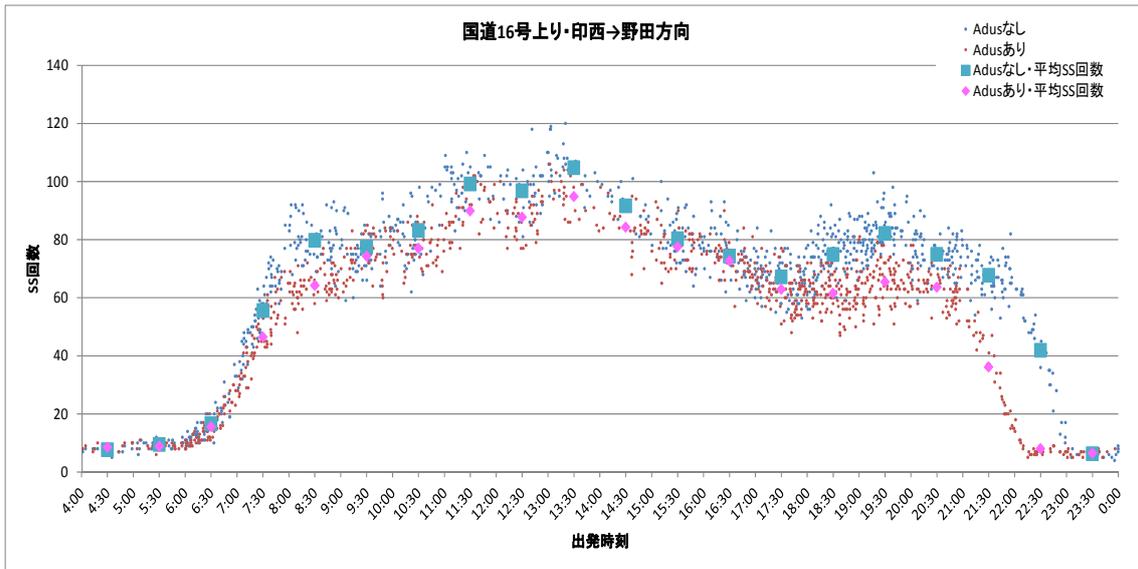


図 6-72 自動運転 20%混入ケース停止回数比較

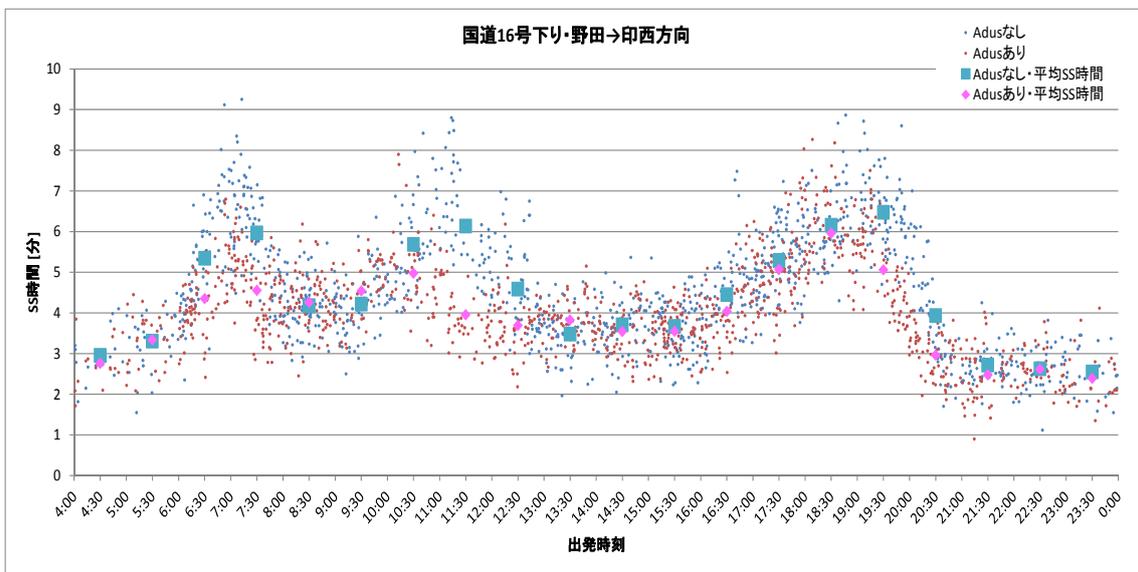
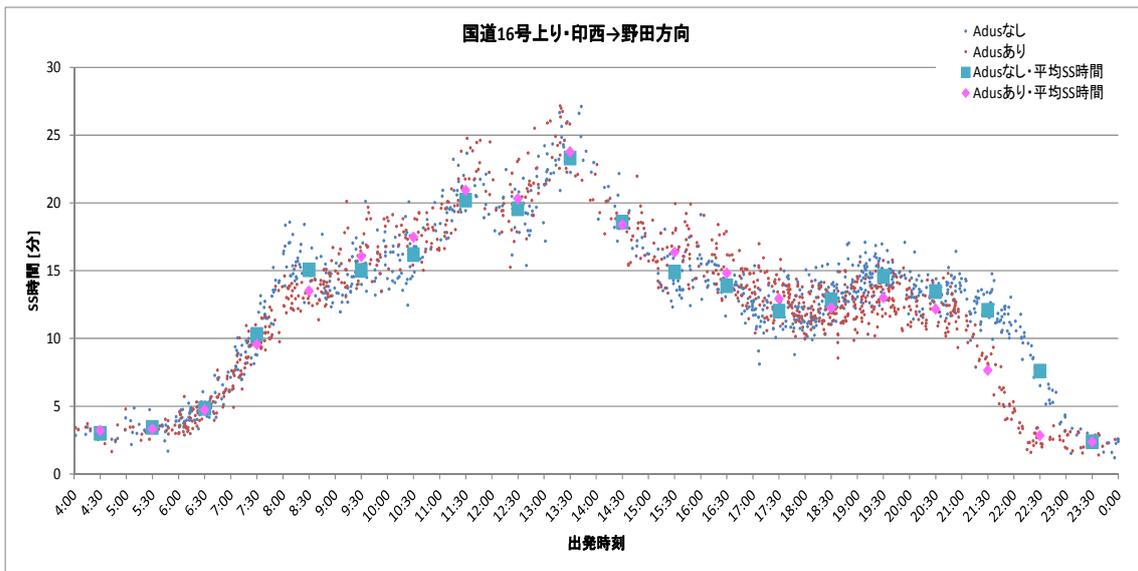


図 6-73 自動運転 20%混入ケース停止時間比較

② 自動運転 90%混入ケース

図 6-74 に、自動運転車を 90%混入させたケースでの国道 16 号上り（印西市境→野田市境）・下り（野田市境→印西市境）それぞれの車両走行速度を時空間軌跡図上にプロットした。上り方向では現況ケースより低速の範囲が大幅に小さくなり、下り方向では渋滞が解消されていることがわかる。

図 6-75、図 6-76 及び図 6-77 に、自動運転 90%混入ケースにおける国道 16 号上り・下りの通過所要時間、停止回数及び停止時間をそれぞれ現況ケースと比較した。渋滞が緩和されたことによる、所要時間の短縮と停止回数、停止時間の削減が認められる。

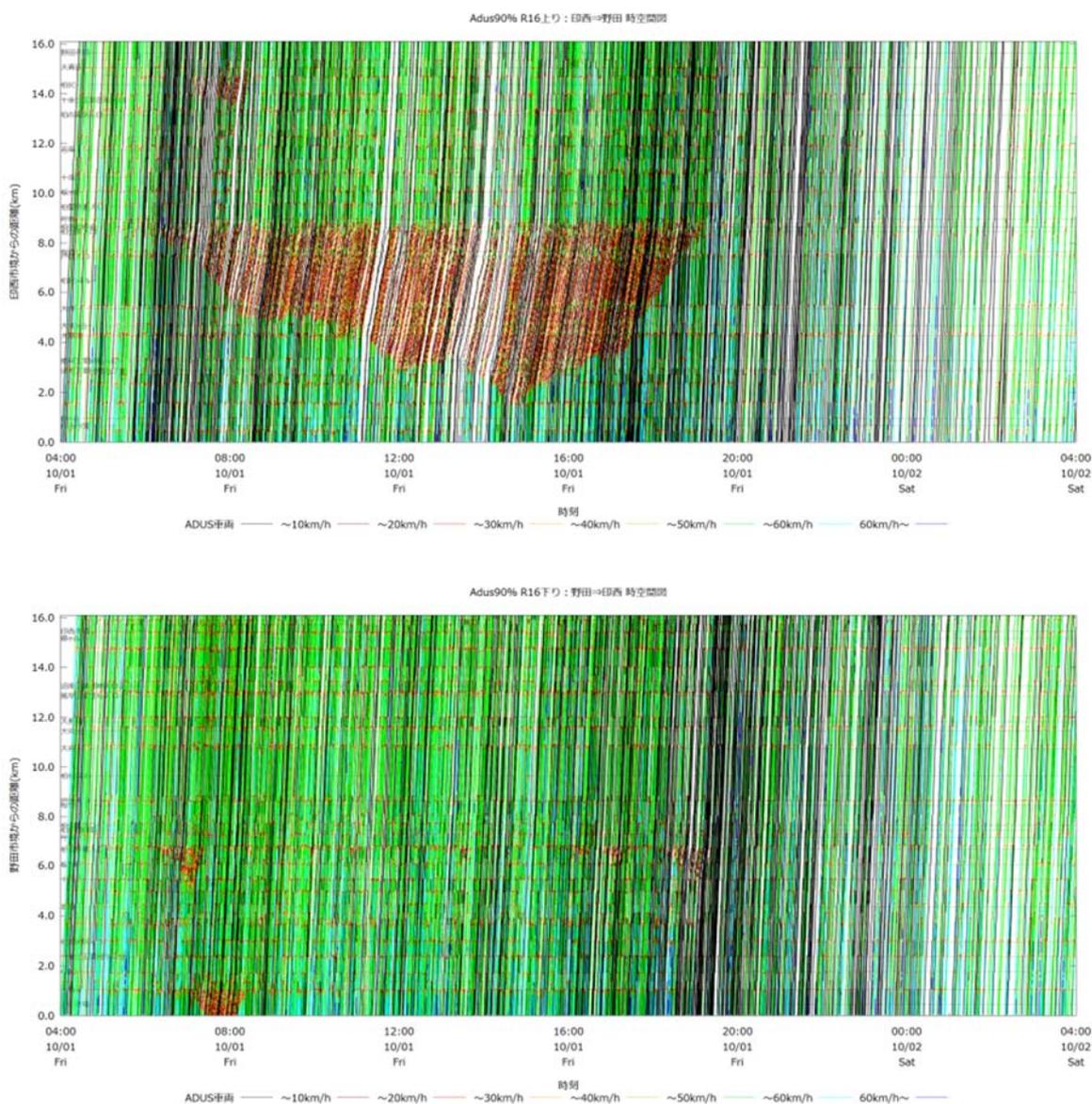


図 6-74 自動運転 90%混入ケース走行速度分布（黒は自動走行車両の軌跡）

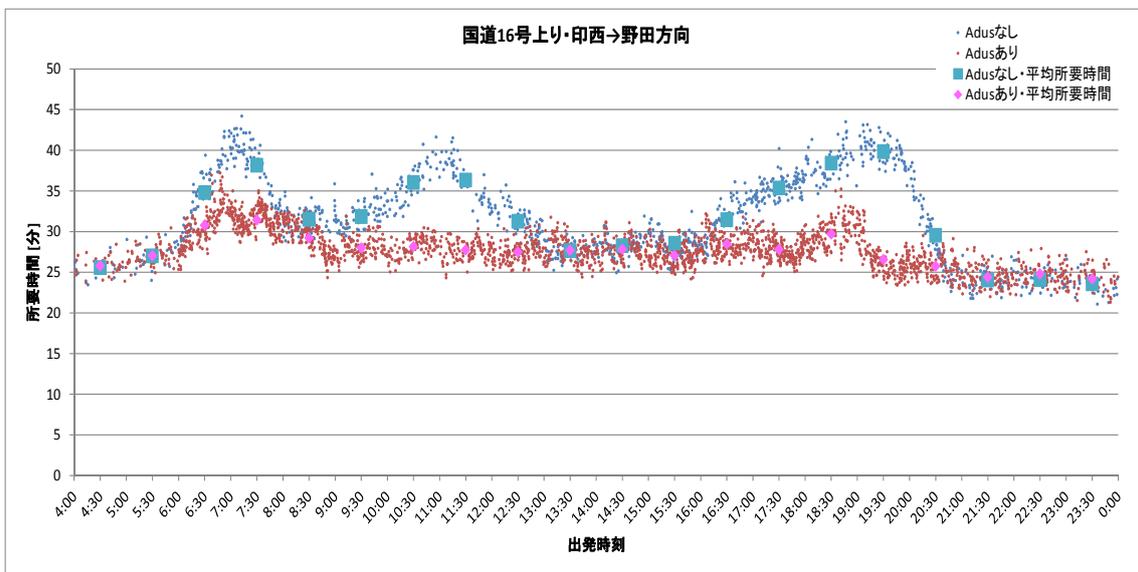
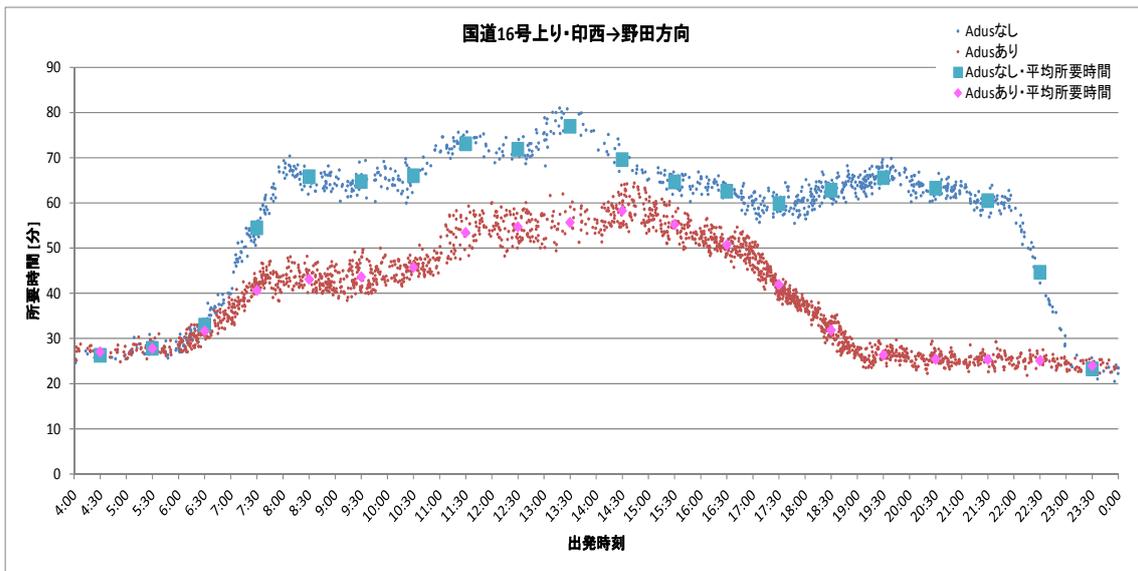


図 6-75 自動運転 90%混入ケース所要時間比較

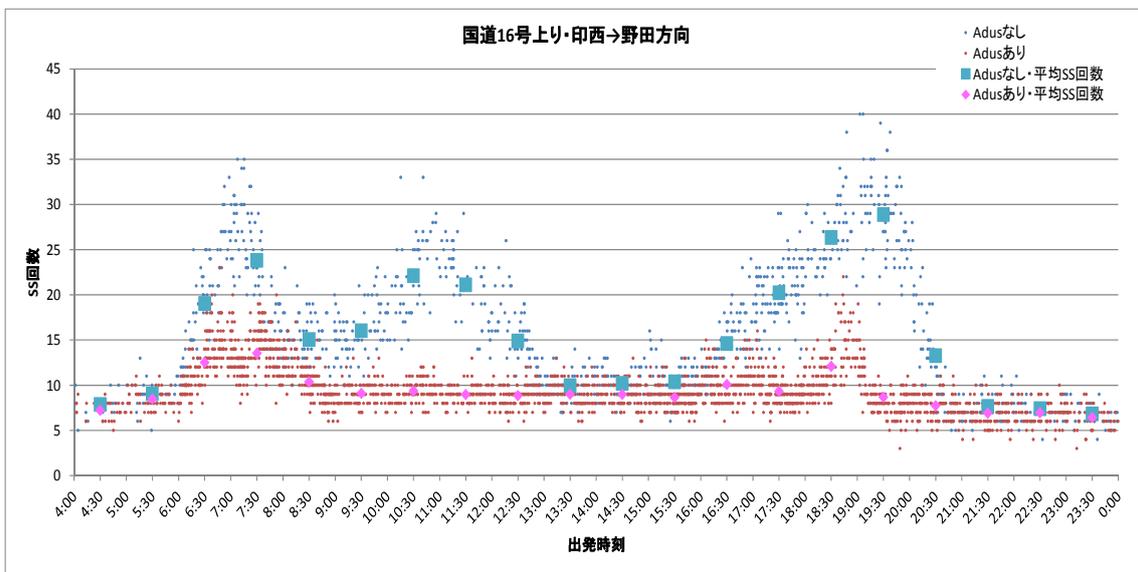
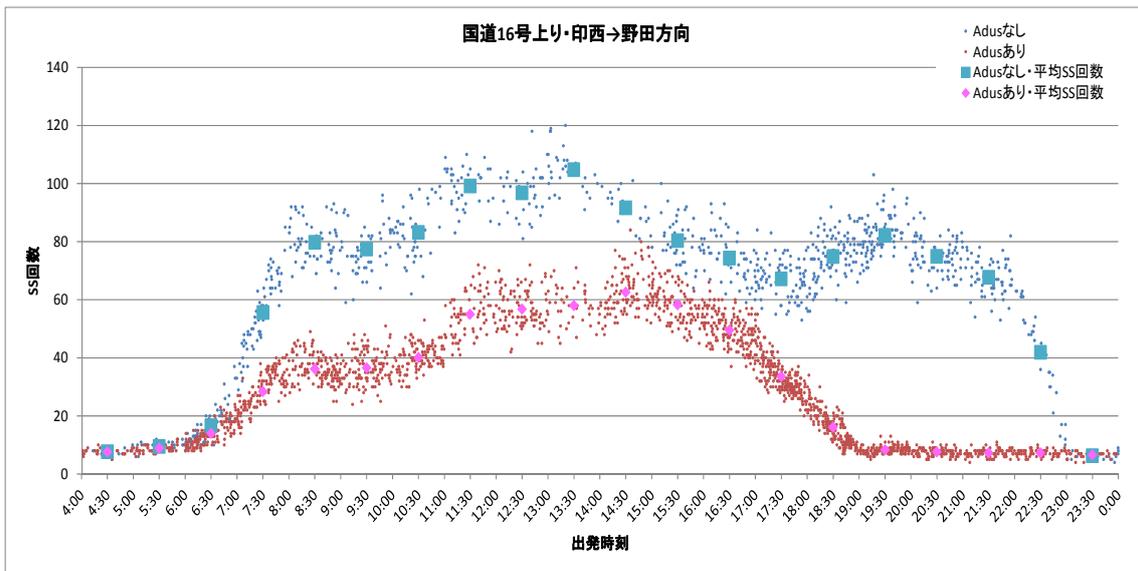


図 6-76 自動運転 90%混入ケース停止回数比較

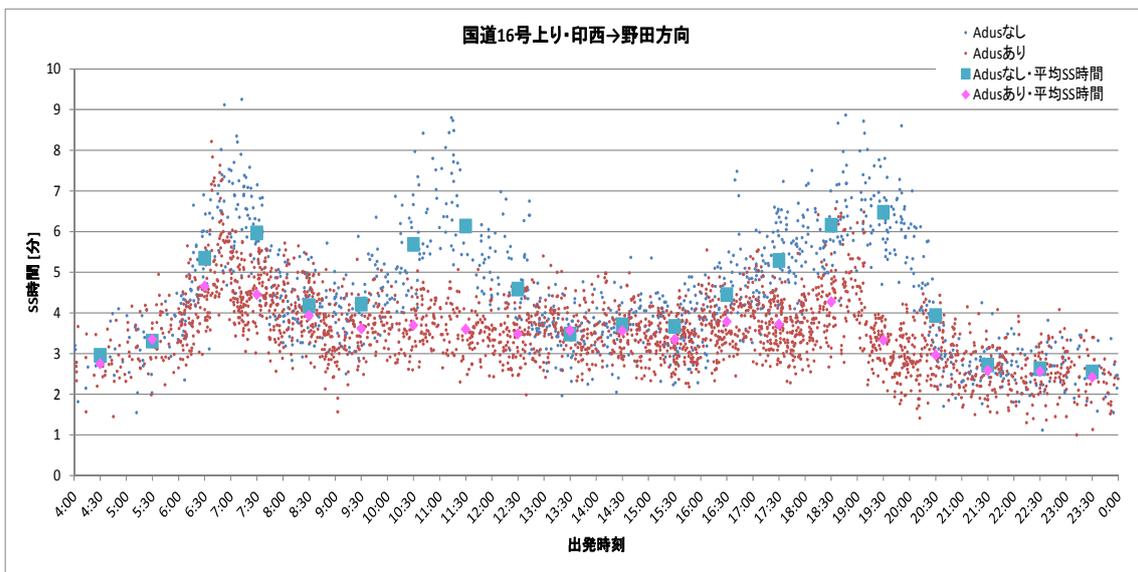
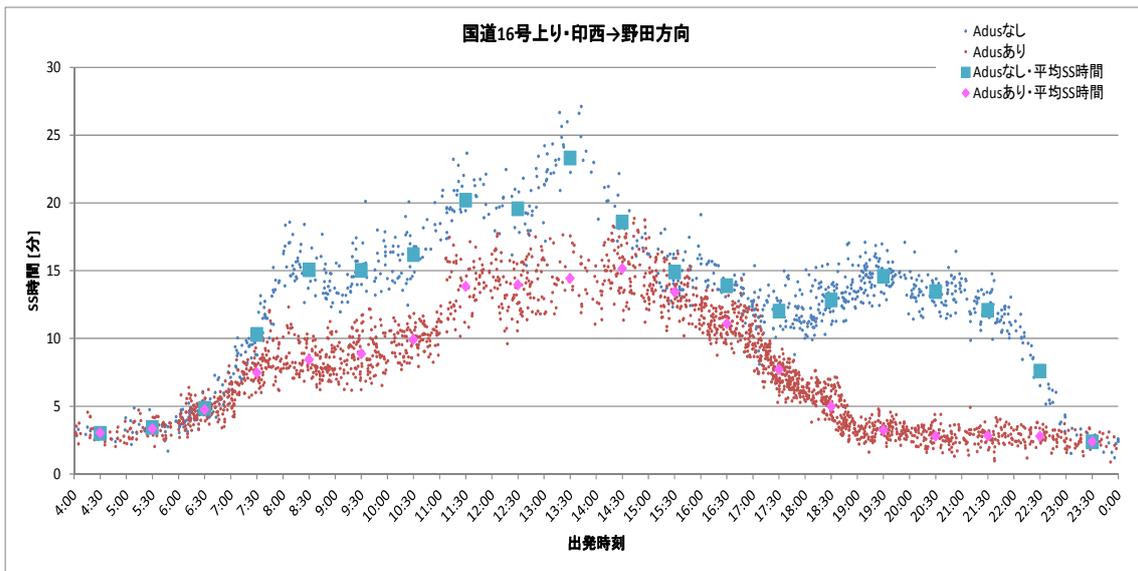


図 6-77 自動運転 90%混入ケース停止時間比較

上記に示した交通流シミュレーションで走行挙動を計算した結果を用いて、CO₂ 排出量の推計を行うことで、開発した CO₂ 可視化技術が一般道路での自動運転の評価に適用可能であることを確認した。

6.6 地域における管制交通システム（ラストワンマイル自動走行）

お台場地区来訪車両駐車実態調査にて算定した来訪車両を交通需要として交通流シミュレーションを実施した。シミュレーション対象時刻は8:00から18:00とし、リンク数は294、ノード数は189、リンク総延長は40.16kmである。

(1) ラストワンマイルのCO₂削減メカニズム整理

施設来訪者量の一定割合が出発地とお台場エリア間で鉄道を利用し、鉄道駅と目的地施設間とを専用車線を走行するラストワンマイル自動走行車両での移動に転換するとの想定のもと、下記のCO₂削減効果が考えられる。

- 転換した車両の走行量削減によるCO₂削減
- 来訪車両削減による駐車場待ち行列低減による入庫待機車両に起因するCO₂削減
- 専用車線設定による既存道路容量の低下による速度低下に起因するCO₂増大



図 6-78 ラストワンマイル車両イメージ

(2) 現況再現ケースの実施

お台場エリアのネットワークデータを整備し、現況再現シミュレーションを実施した。

図 6-79 に示すお台場エリアと域外との接続部にセントロイドを設定し、各駐車場来訪車の出発地、目的地を表 6-9 の割合で設定した。

エリア内の駐車場設定箇所近傍については図 6-80 のように主要交差点に信号を設定した。
表 6-10、表 6-11 に設定した発生台数を示す。

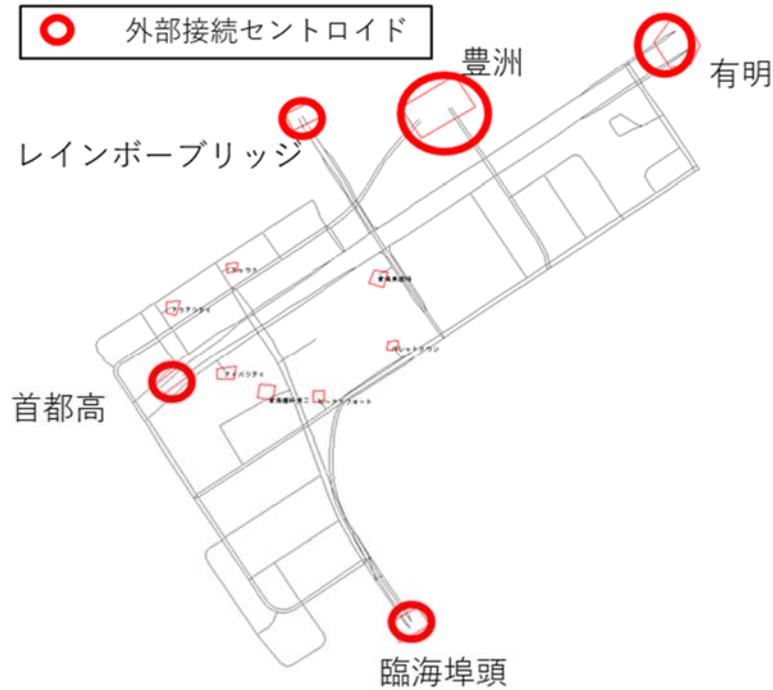


図 6-79 お台場エリア域外との接続

表 6-9 出発地・目的地の分配割合

域外境界セントロイド名	分配割合
有明	40%
レインボーブリッジ	20%
首都高	20%
豊洲	10%
臨海埠頭	10%

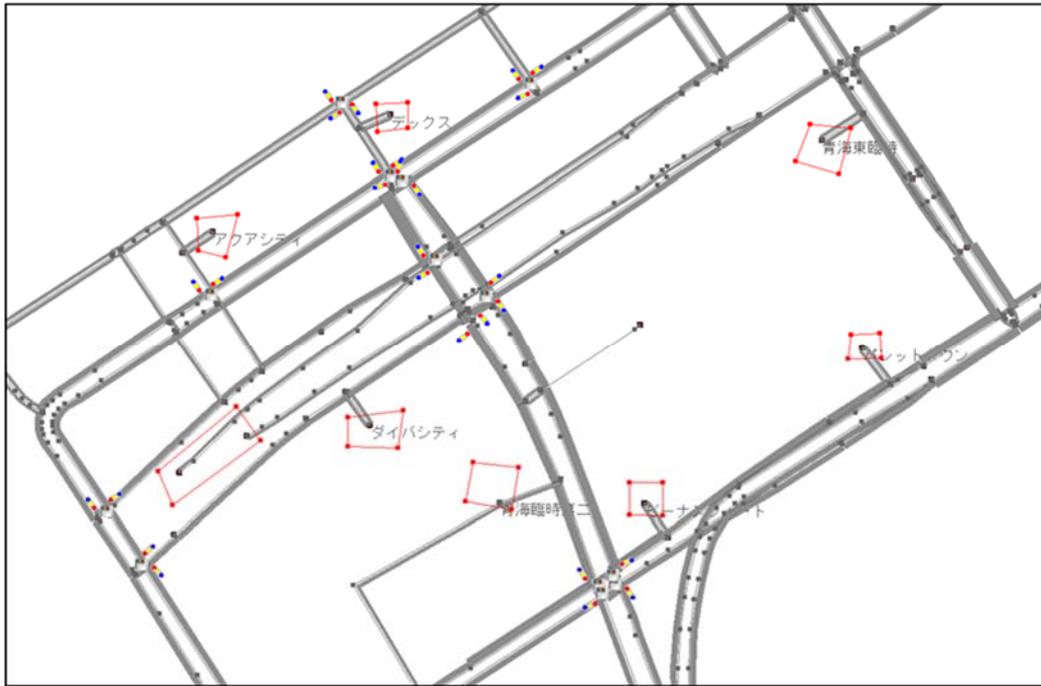


図 6-80 駐車場設定位置と主要交差点の信号設置状況

表 6-10 施設来訪総発生台数（往路）

		到着セントロイド							合計
		アクアシティ	デックス	ダイバーシティ	ヴィーナス フォート	パレット タウン	青海第二臨時駐車場	青海東臨時 駐車場	
出発 セントロイド	有明	633	456	769	310	168	428	192	2956
	レインボーブリッジ	347	231	353	137	97	223	99	1487
	首都高	319	216	403	129	80	228	97	1472
	臨海埠頭	182	127	205	87	47	114	55	817
	豊洲	164	115	189	72	42	101	61	744
合計		1645	1145	1919	735	434	1094	504	7476

表 6-11 施設来訪総発生台数（復路）

		到着セントロイド					合計
		有明	レインボーブリッジ	首都高	臨海埠頭	豊洲	
出発セントロイド	アクアシティ	272	157	145	57	70	701
	デックス	180	87	66	37	39	409
	ダイバーシティ	488	225	279	138	131	1261
	ヴィーナスフォート	263	102	123	60	70	618
	パレットタウン	0	0	0	0	0	0
	青海第二臨時駐車場	142	73	62	36	29	342
	青海東臨時駐車場	8	2	3	3	3	19
合計		1353	646	678	331	342	3350

図 6-81 から図 6-84 に現況ケースでの各駐車場入庫待ち滞留車両の状況を示す。路線上の色付きの点が車両走行位置を示す。アクアシティ、デックス、ダイバーシティ、青海第二臨時駐車場にて入庫待ち滞留車両が発生していることがわかる。

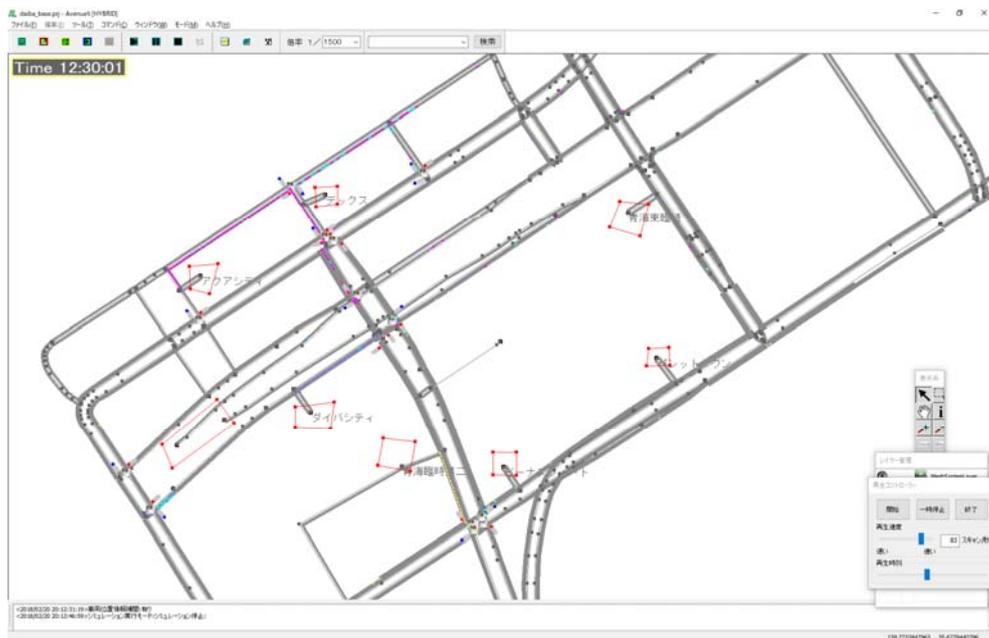


図 6-81 入庫待ち滞留状況（現況ケース、12：30）

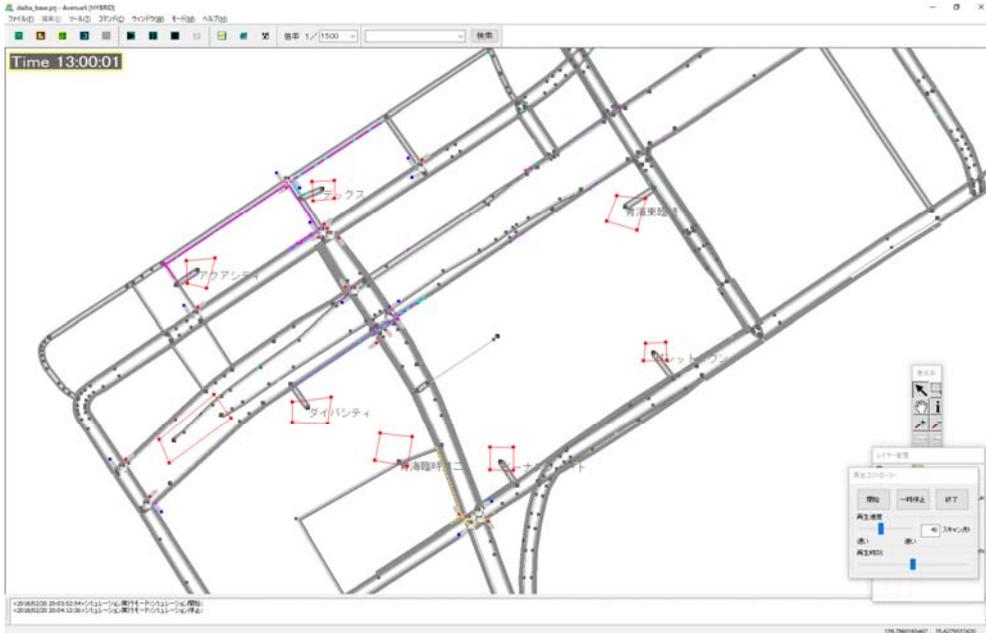


図 6-82 入庫待ち滞留状況（現況ケース、13：00）

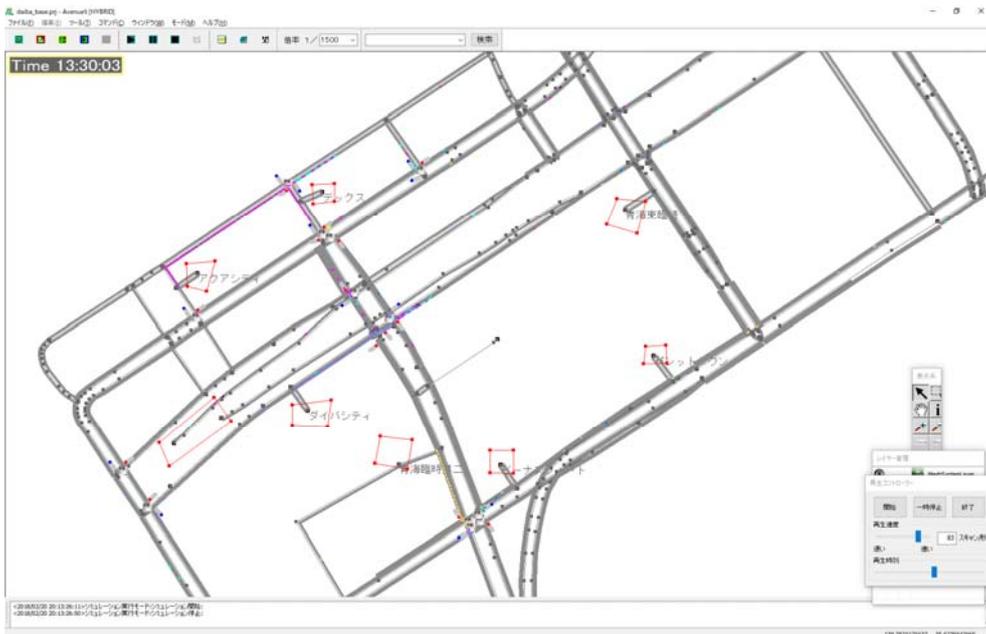


図 6-83 入庫待ち滞留状況（現況ケース、13：30）

転換交通量は下記を想定した。なお、ラストワンマイル車両の走行速度は 20km/h とした。

- 施設来訪車両の 30%がラストワンマイル自動走行車両を含めた公共交通利用に転換
- 臨時駐車場に入庫した車両の 30%も商業施設へのトリップと想定し、ラストワンマイル自動走行車両へ転換し、各施設へ直接来訪と想定
- 施設来訪車両は平均 1.3 人/台乗車、ラストワンマイル車両は定員 6 名で平均乗車率 50%を想定

この想定では、来訪車両 2.3 トリップがラストワンマイル車両 1 トリップへ転換することとなる。ラストワンマイル車両は鉄道駅・施設間でのシャトル運行を想定し、転換された同時刻の往路利用・復路利用の内、トリップ数の多い方向のトリップ数を往路・復路の両者に設定した。表 6-12 に転換後の施設来訪車数とラストワンマイル自動走行車両の総発生台数を示す。

表 6-12 ラストワンマイル自動走行車両転換後施設来訪総発生台数（転換率 30%・往路）

		到着セントロイド						合計	
		アクアシティ	デックス	ダイバーシティ	ヴィーナスフォート	パレットタウン	青海第二臨時駐車場		青海東臨時駐車場
出発セントロイド	有明	454	331	553	226	128	308	147	2147
	レインボーブリッジ	255	175	262	108	80	168	85	1133
	首都高	235	163	293	100	68	171	82	1112
	臨海埠頭	140	101	159	74	43	94	52	663
	豊洲	125	92	150	62	39	86	55	609
合計		1209	862	1417	570	358	827	421	5664

表 6-13 ラストワンマイル自動走行車両転換後施設来訪総発生台数（転換率 30%・復路）

		到着セントロイド					合計
		有明	レインボーブリッジ	首都高	臨海埠頭	豊洲	
出発セントロイド	アクアシティ	204	123	116	51	60	554
	デックス	136	69	53	34	35	327
	ダイバーシティ	353	168	208	106	105	940
	ヴィーナスフォート	194	78	95	50	60	477
	パレットタウン	0	0	0	0	0	0
	青海第二臨時駐車場	104	55	48	30	26	263
	青海東臨時駐車場	8	2	3	3	3	19
合計		999	495	523	274	289	2580

表 6-14 ラストワンマイル自動走行車両総発生台数（転換率 30%・往路）

		到着セントロイド				合計
		アクアシティ前	デックス前	ダイバーシティ前	ヴィーナスフォート パレットタウン前	
出発	東京テレポート駅	72	39	82	24	217
	台場駅	67	29	88	37	221
合計		139	68	170	61	438

表 6-15 ラストワンマイル自動走行車両総発生台数（転換率 30%・復路）

		到着セントロイド		合計
		東京テレポート駅	台場駅	
出発	アクアシティ前	72	67	139
	デックス前	39	29	68
	ダイバーシティ前	82	88	170
	ヴィーナスフォート/パレットタウン前	24	37	61
合計		217	221	438

なお、6.2(2)①に示した ART 公共交通転換シナリオでの 5%及び 10%転換ケースに対応するケースはここでは行わず、CO₂削減量の推計時に、30%ケースの削減量をそれぞれ 1/6、1/3 にして、効果を求めることとした。これは、対象地域の特性上、通過交通がほとんど見られず、今回のシミュレーションスタディの考え方では、転換量に線形で比例して走行量や走行時間が削減され、これに連動して CO₂削減量が決まると考えられることによる。

(4) ケーススタディの実施

ラストワンマイル自動走行転換ケースの累積走行量を図 6-86、図 6-87 に、累積走行時間を図 6-88、図 6-89 に、施設来訪車両とラストワンマイル車両の合計値として示す。駐車場入庫待ちが発生する 12 時台より前は、現況より走行量、累積走行時間共に増加した。これはラストワンマイル車両の回送や、低速にて走行するラストワンマイル車両利用による旅行時間が施設入庫待ち時間よりも大きいためであるが、12 時以降に施設来訪車両が増加すると、転換率に応じて走行量、走行時間の削減効果が見られた。

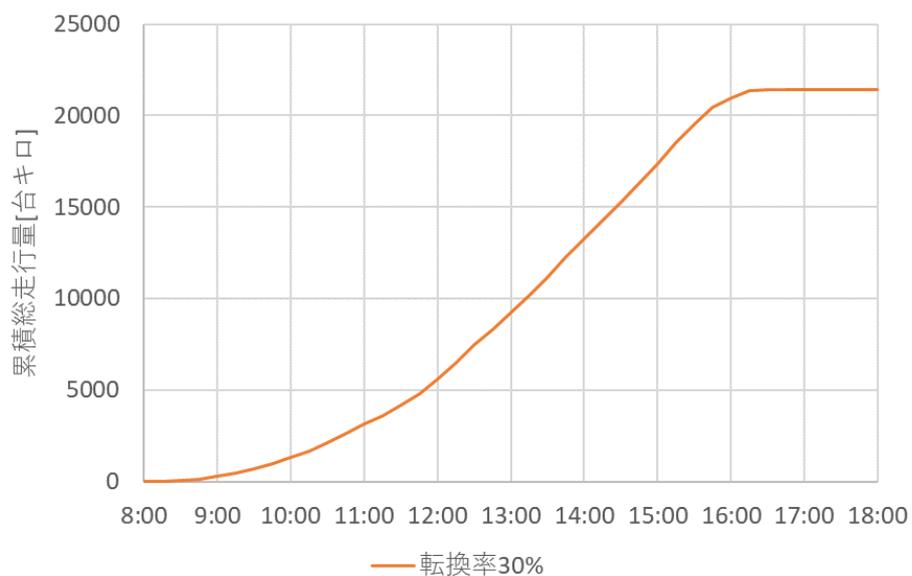


図 6-86 累積走行量

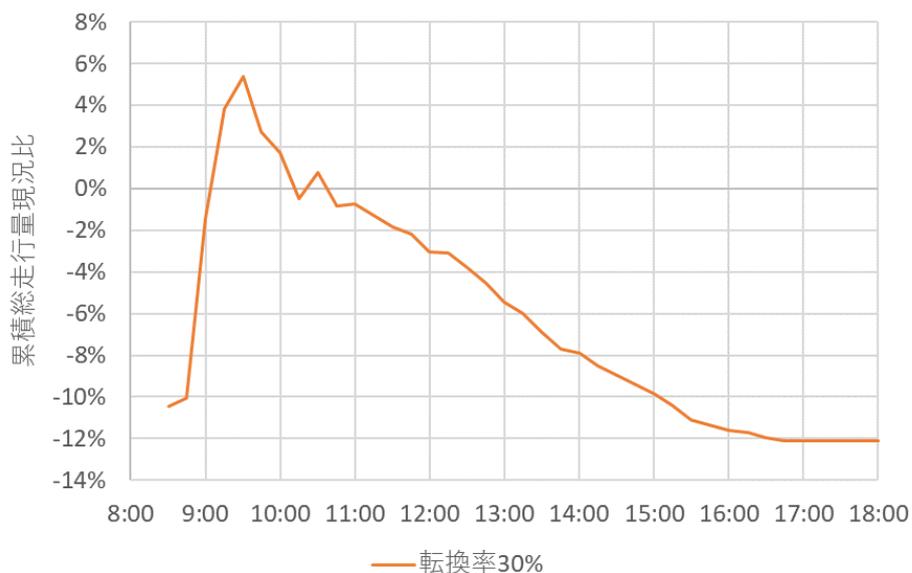


図 6-87 累積走行量 (現況比)

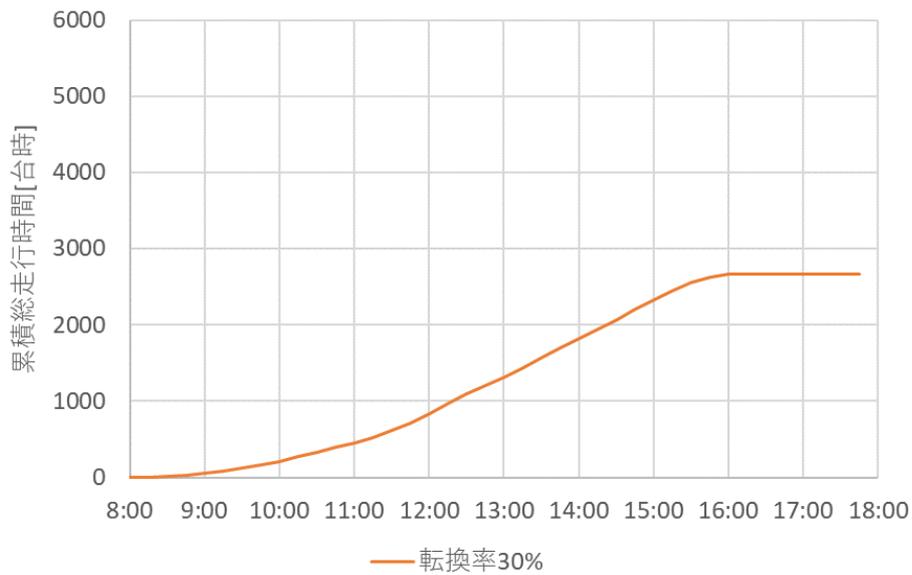


図 6-88 累積走行時間

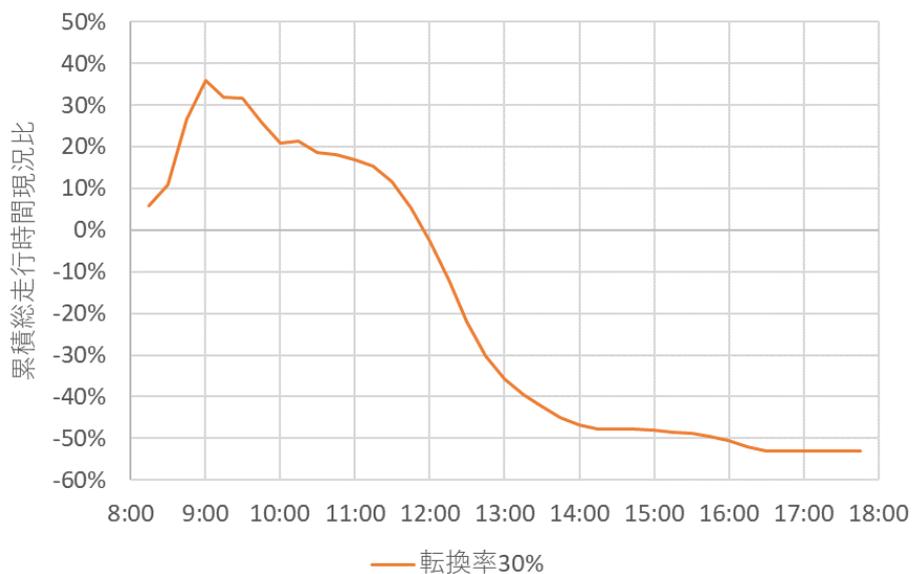


図 6-89 累積走行時間（現況比）

上記に示した交通流シミュレーションで走行挙動を計算した結果を用いて、CO₂ 排出量の推計を行うことで、開発した CO₂ 可視化技術がラストワンマイル自動走行の評価に適用可能であることを確認した。

6.7 地域における管制交通システム（自動バレーパーキング）

6.6にて設定したお台場エリアの現況シミュレーション設定に対し、各駐車場にて自動バレーパーキング適用ケースと、適切な駐車場案内による駐車場利用の偏在解消ケース、両者の同時適用ケースについてシミュレーションを実施した。

(1) 自動バレーパーキングのCO₂削減メカニズム整理

自動バレーパーキングの実施においては、自動制御による駐車のため既存駐車マスに設定されている余裕空間の削減が可能となり、密に駐車マスを配置可能となり、効率的な駐車場空間運用が可能となる考えられる（図 6-90）。

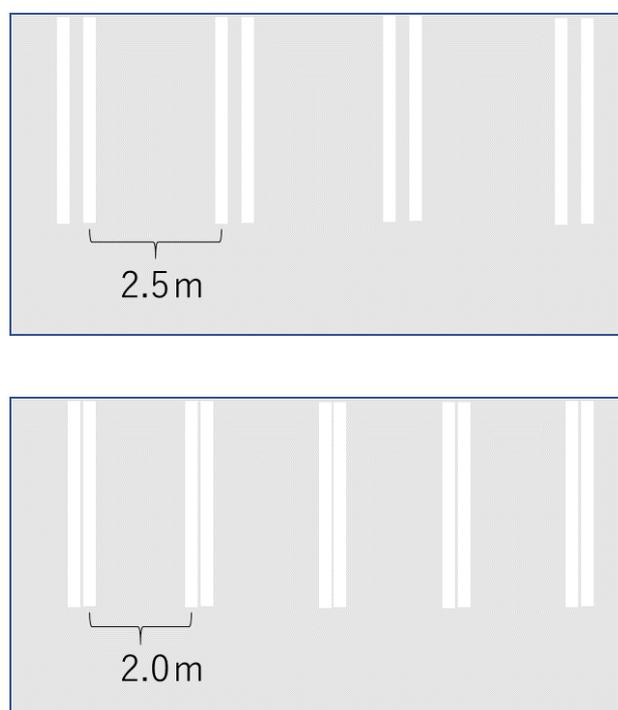


図 6-90 自動バレーパーキングによる駐車空間の効率利用

(2) 現況再現ケースの実施

6.6(2)と同様の現況再現ケースを適用した。

(3) ケーススタディの条件設定

自動バレーパーキングケースについては駐車マスが 2.5m から 2.0m に縮小可能とし、かつ自動バレーパーキング車両が 20%を想定すると、駐車場容量は 4%増加することとなる¹⁴ため、現況ケースから各駐車場の駐車可能台数を 4%拡大となる設定とした。

適切な駐車場案内ケースについては、満車駐車場を目的地としていた車両を空車駐車場へ目的地を変更した。

調査当日満車となった、アクアシティ・デックス・ダイバシティ・ヴィーナスフォート・青海第二臨時駐車場を目的地とする来訪車両のうち 20%を、駐車可能台数に余裕のあった青海東臨時駐車場へと変更した。なお、変更開始時刻は、11:00 とし、目的地変更した車両はランダムな時間経過後に出庫するものとした。表 6-16 にケーススタディ設定の一覧を、また表 6-17、表 6-18 に変更後の総発生台数を示す。

表 6-16 ケーススタディ設定

	施策	駐車場容量	目的地変更
1	自動バレーパーキング 20%	1.04 倍	なし
2	自動バレーパーキング 90%	1.22 倍	なし
3	適切な駐車場案内	1 倍	20%
4	自動バレーパーキング 20% +適切な駐車場案内	1.04 倍	20%
5	自動バレーパーキング 90% +適切な駐車場案内	1.22 倍	20%

表 6-17 適切な駐車場案内ケース目的地変更後施設来訪総発生台数（往路）

		到着セントロイド							合計
		アクアシティ	デックス	ダイバシティ	ヴィーナス フォート	パレット タウン	青海第二臨時駐車場	青海東臨時 駐車場	
出発 セントロイド	有明	536	388	655	265	168	371	573	2956
	レインボーブリッジ	299	202	304	120	97	200	265	1487
	首都高	275	189	346	114	80	200	268	1472
	臨海埠頭	161	115	183	80	47	104	127	817
	豊洲	144	103	168	69	42	96	122	744
合計		1415	997	1656	648	434	971	1355	7476

¹⁴ $(2.5\text{m} \times 80\% + 2.0\text{m} \times 20\%) / (2.5\text{m} \times 100\%) \doteq 1.04$

表 6-18 適切な駐車場案内ケース目的地変更後施設来訪総発生台数（復路）

		到着セントロイド					合計
		有明	レインボーブリッジ	首都高	臨海埠頭	豊洲	
出発 セントロイド	アクアシティ	206	128	119	45	56	554
	デックス	135	71	54	31	32	323
	ダイバシティ	409	188	243	125	116	1081
	ヴィーナスフォート	242	92	112	56	67	569
	パレットタウン	0	0	0	0	0	0
	青海第二臨時駐車場	120	64	52	32	25	293
	青海東臨時駐車場	241	103	98	42	46	530
	合計	1353	646	678	331	342	3350

(4) ケーススタディの実施

図 6-91 に各ケースの累積走行量を、図 6-92 に各ケースの累積走行量現行比を、図 6-93 に各ケースの累積走行時間を、図 6-94 に各ケースの累積走行時間の現行比を示す。

各ケースとも、総走行量、総走行時間の減少がみられた。これは、駐車場入庫待ち行列削減により、自動バレーパーキングについては待ち行列による渋滞区間の迂回交通が削減されたため、適切な駐車場案内ケースではこれに加えて目的地変更により境界セントロイドから目的地までの距離が低下した効果も含まれるためと考えられる。

図 6-95 から図 6-98 に自動バレーパーキングケースの各駐車場入庫待ち滞留車両の状況を、図 6-99 から図 6-102 に適切な駐車場案内ケースの各駐車場入庫待ち滞留車両の状況を、図 6-103 から図 6-106 に自動バレーパーキング+適切な駐車場案内ケースの各駐車場入庫待ち滞留車両の状況を示す。

自動バレーパーキングケースにおいては現況ケースと比べ滞留状況に大きな変化は見られなかったが、適切な駐車場案内ケース、並びに自動バレーパーキング+適切な駐車場案内ケースでは 13 時以降の滞留長が大きく削減された結果であった。

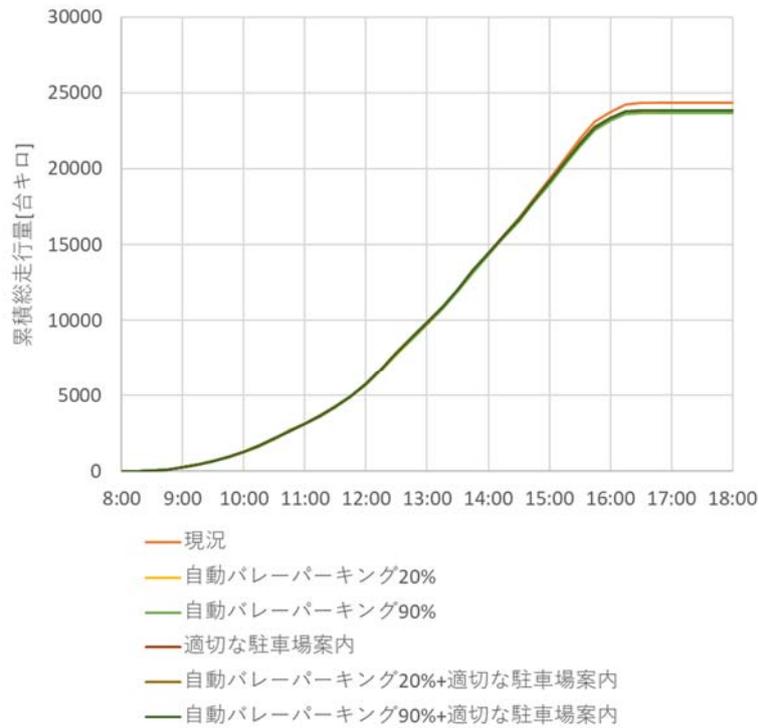


図 6-91 累積走行量

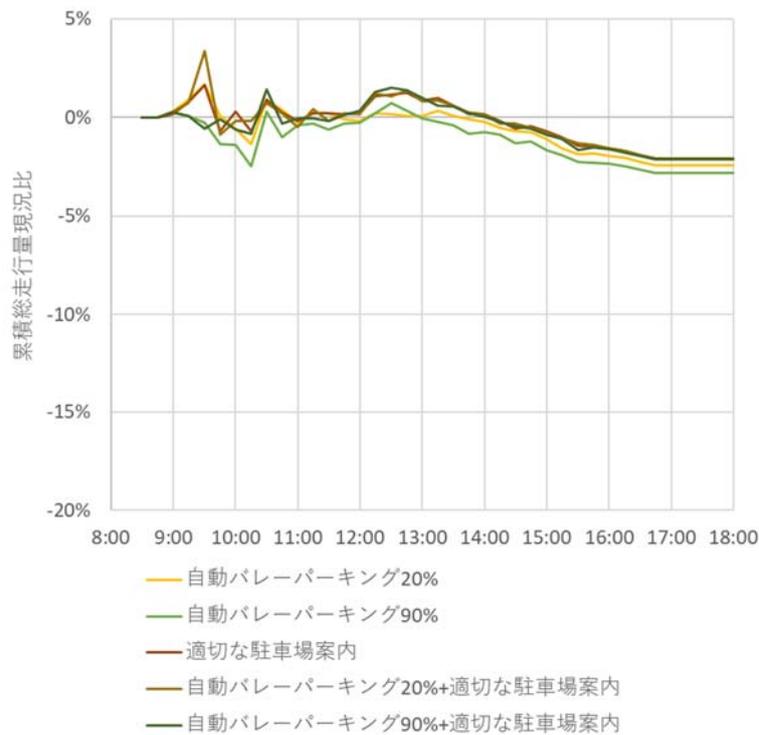


図 6-92 累積走行量現況比

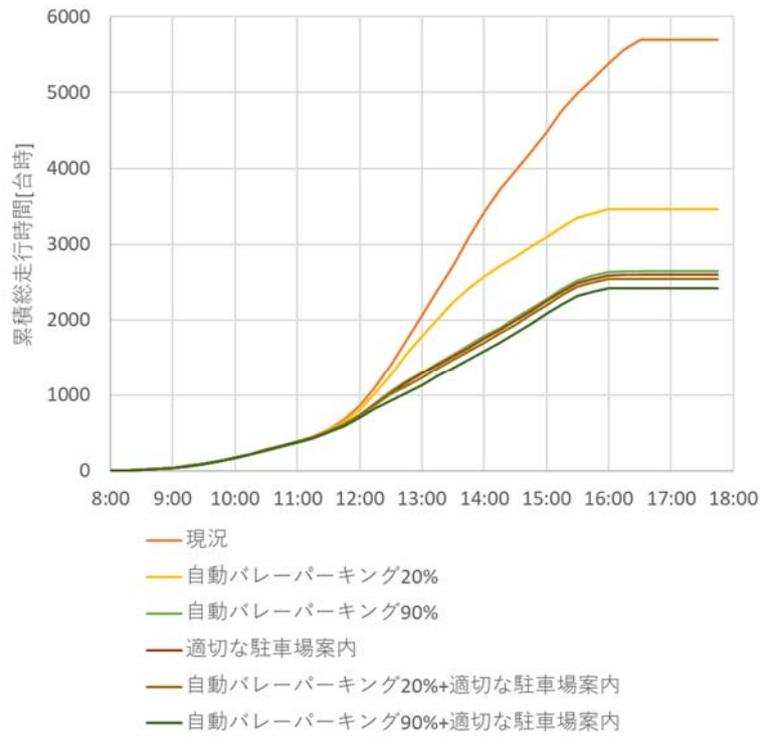


図 6-93 累積走行時間

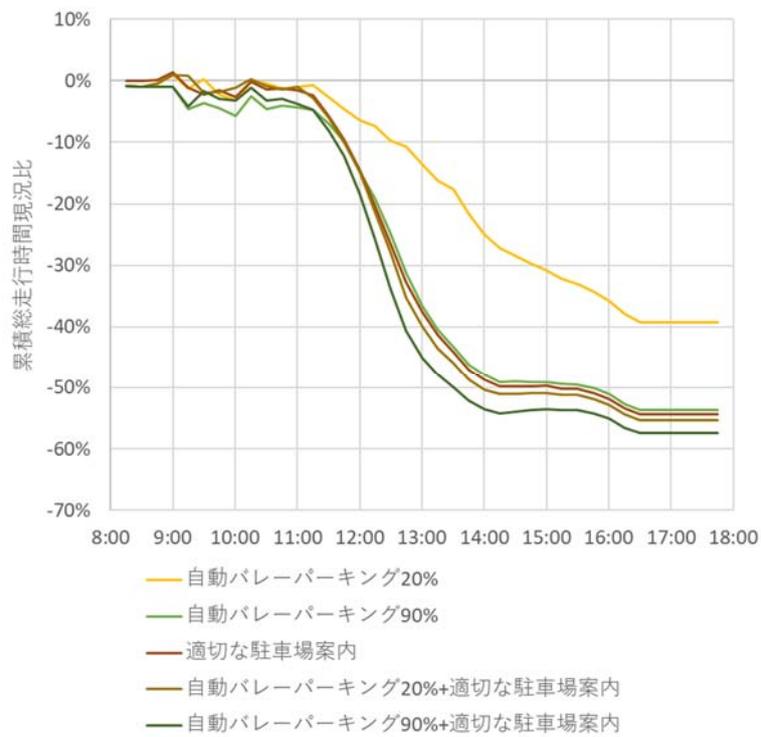


図 6-94 累積走行時間現況比

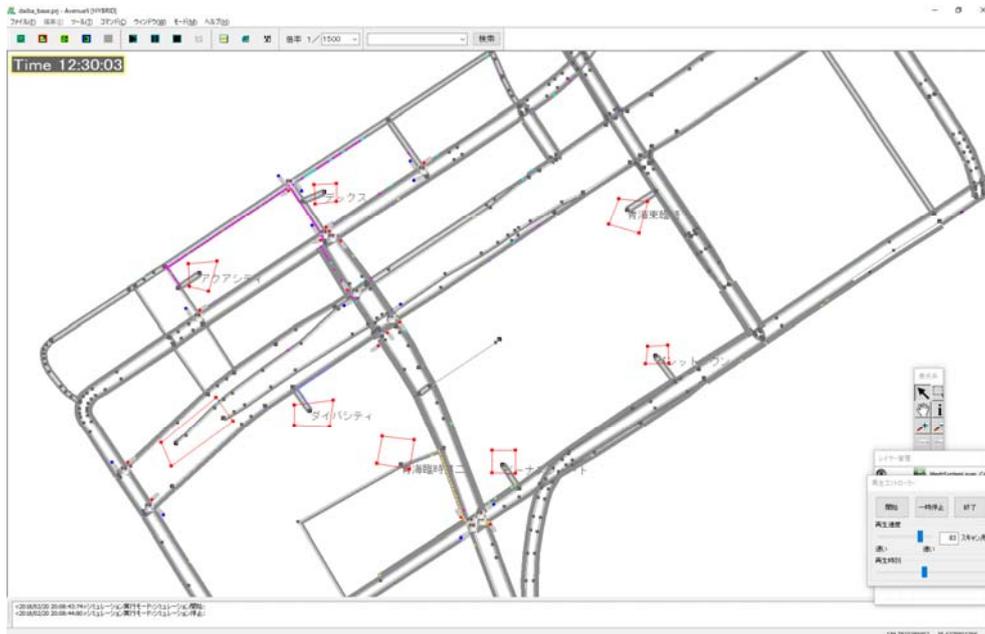


図 6-95 入庫待ち滞留状況（自動バレーパーキングケース、12：30）

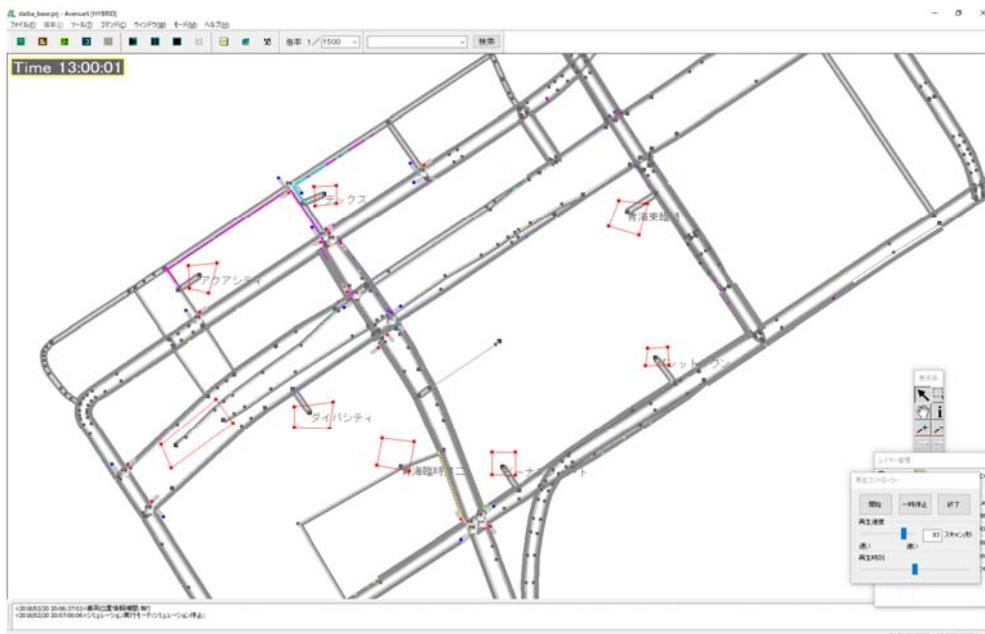


図 6-96 入庫待ち滞留状況（自動バレーパーキングケース、13：00）

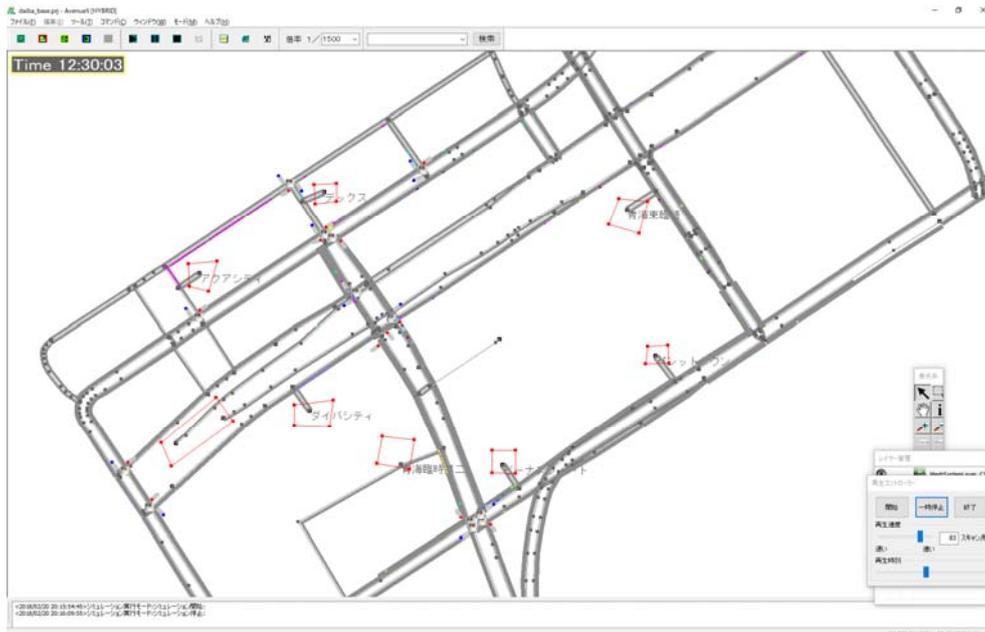


図 6-99 入庫待ち滞留状況（適切な駐車場案内ケース、12：30）

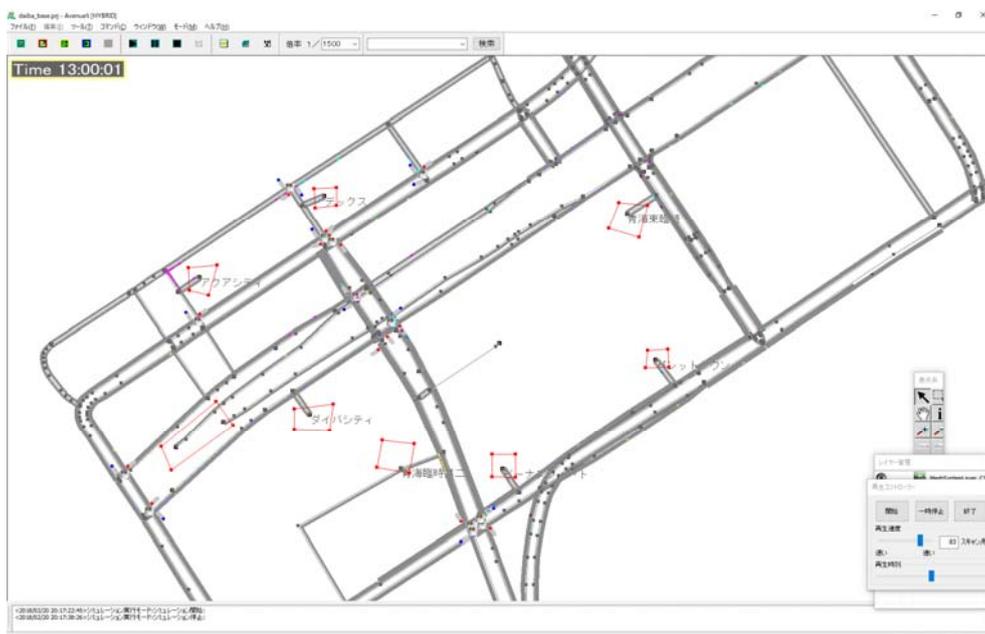


図 6-100 入庫待ち滞留状況（適切な駐車場案内ケース、13：00）

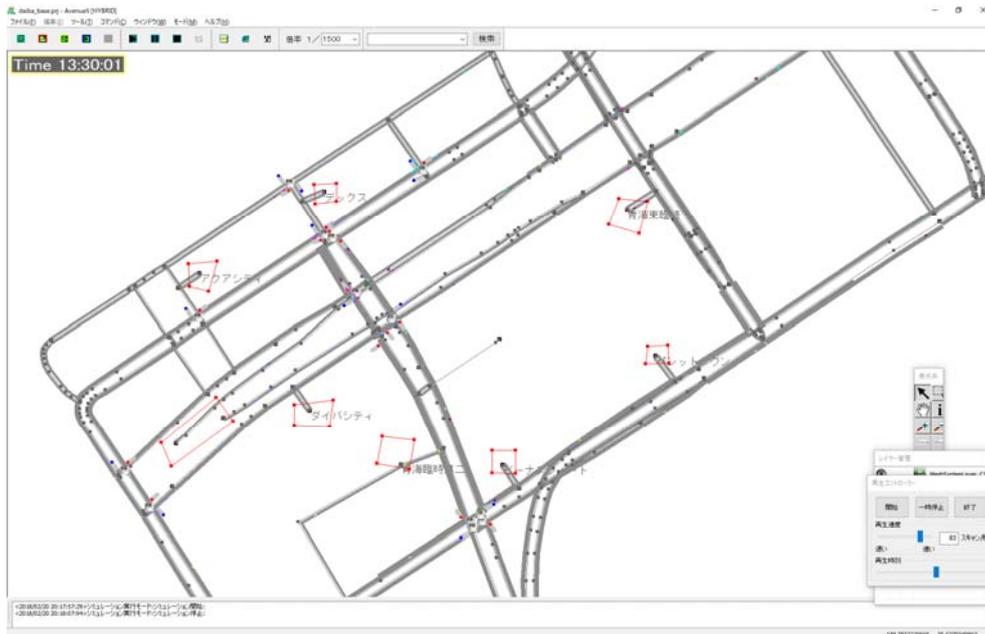


図 6-101 入庫待ち滞留状況（適切な駐車場案内ケース、13：30）

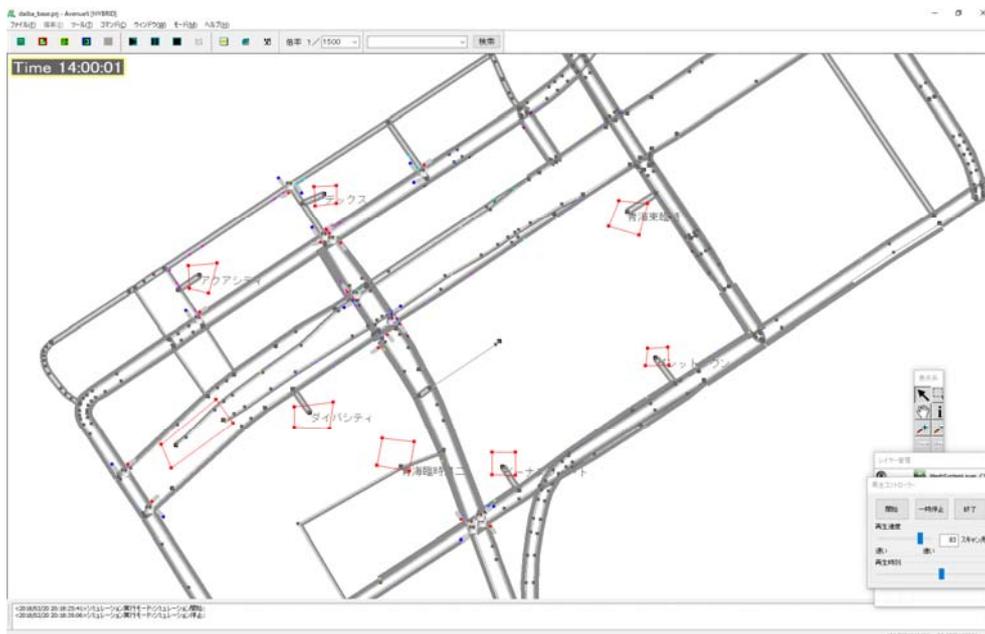


図 6-102 入庫待ち滞留状況（適切な駐車場案内ケース、14：00）

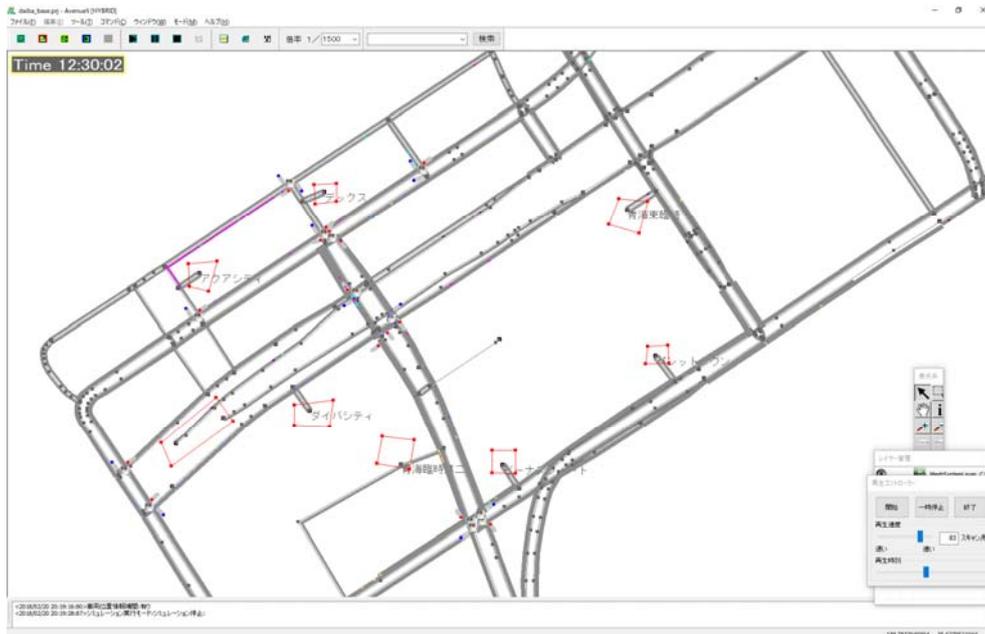


図 6-103 入庫待ち滞留状況（自動バレーパーキング+適切な駐車場案内ケース、12：30）

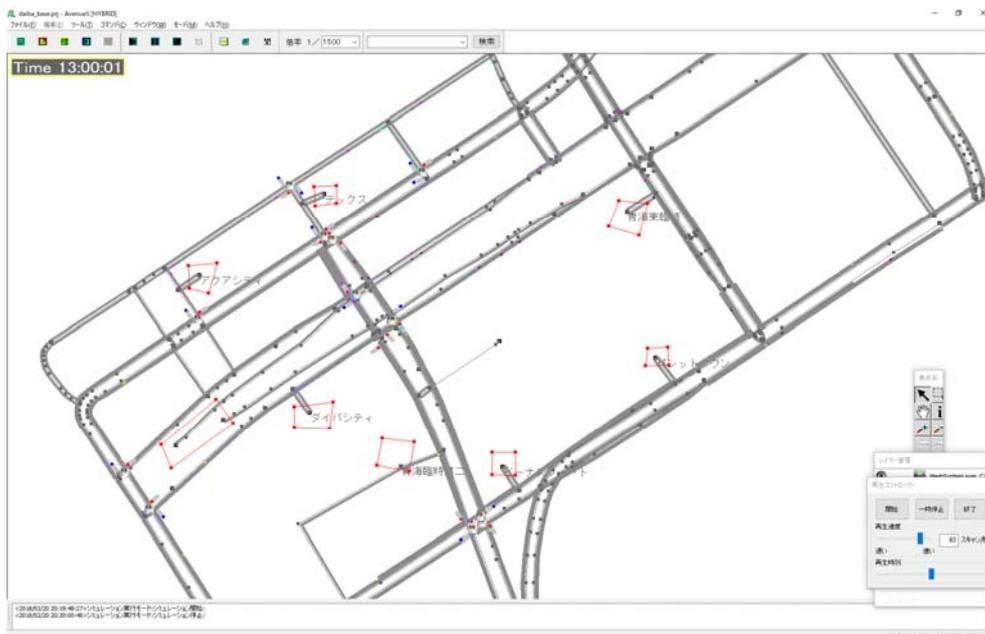


図 6-104 入庫待ち滞留状況（自動バレーパーキング+適切な駐車場案内ケース、13：00）

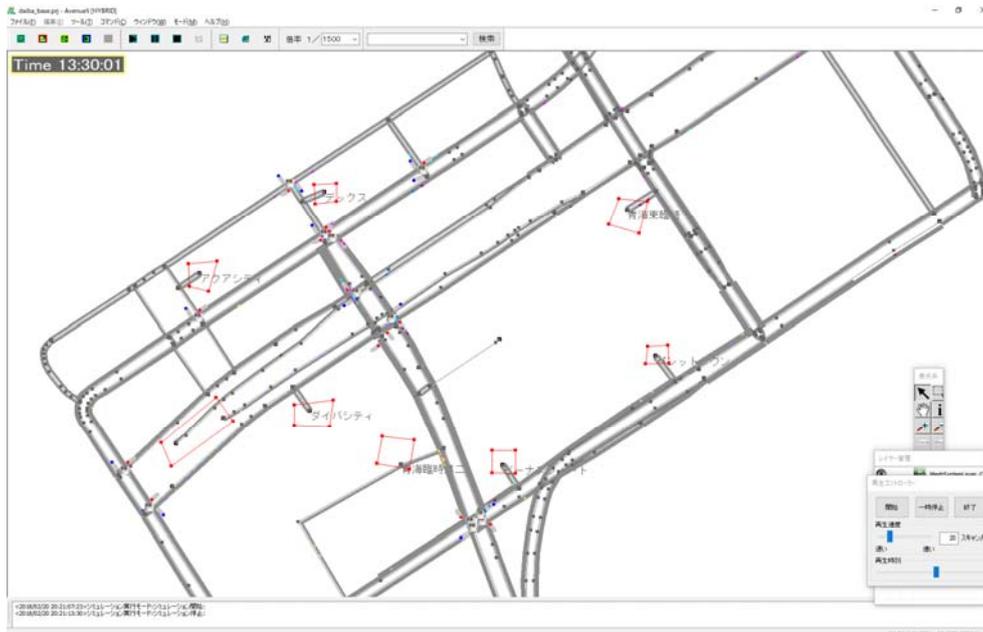


図 6-105 入庫待ち滞留状況（自動バレーパーキング+適切な駐車場案内ケース、13：30）

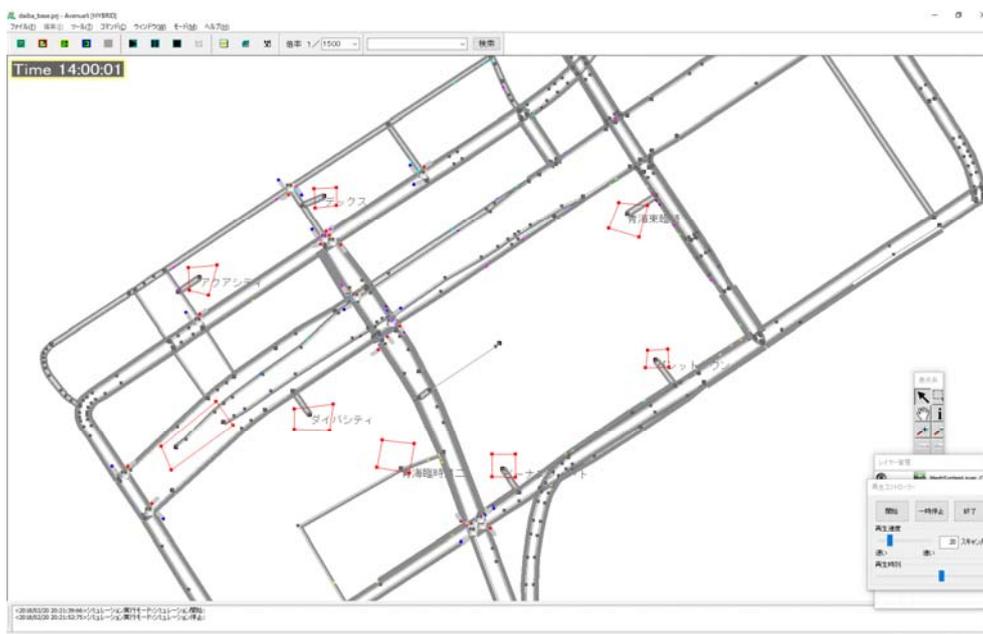


図 6-106 入庫待ち滞留状況（自動バレーパーキング+適切な駐車場案内ケース、14：00）

上記に示した交通流シミュレーションで走行挙動を計算した結果を用いて、CO₂ 排出量の推計を行うことで、開発した CO₂ 可視化技術が自動バレーパーキングの評価に適用可能であることを確認した。

7. CO₂ 削減効果評価ツールの研究開発における国際連携及び普及促進

地球温暖化問題の解決に向けた CO₂ 排出量の削減は、日本単独ではなく、世界全体で協働して取り組むべき問題である。そこで、開発する CO₂ 削減効果評価ツールやそれを用いた評価結果、ならびに研究開発成果の有効な活用に向けた意見交換を行うとともに、海外の関連プロジェクトの動向等に関する情報収集を行う目的で、海外の効果評価関係の専門家と連携し、研究開発を実施した。

7.1 Impact Assessment Sub Group への参加

国土交通省道路局、米国運輸省研究・革新技术庁、欧州委員会情報メディア総局との間で締結された覚書にもとづく ITS 分野における協調体制（三極会議）のうち、自動運転に関する WG の中にある Sub Group の一つである Impact Assessment Sub Group の活動に、昨年度に続き参加した。具体的には、Impact Assessment Sub Group で定期的に行われている電話会議に出席するとともに、2017 年 7 月に開催された Automated Vehicles Symposium 2017 におけるポスターセッションで、Impact Assessment Sub Group の活動成果を本事業のメンバーが連名となり発表した。

Where will Automated Vehicles take us? A Framework for Impact Assessment

Defining the Automated Vehicle System

- Purpose**
- Person travel (passengers, visitors, persons with disabilities, etc.)
 - Freight (type and size of shipments)
- Service type**
- Short haul / long haul
 - Individual / group
 - Fixed route, non-fixed route
 - Specialized (e.g., valet parking)
 - Non-automated motor vehicles
- Vehicle ownership / management / maintenance**
- Privately owned single vehicle vs. fleet
- Vehicle type**
- Lightweight vehicle (e.g., golf cart)
 - Automobile / pod
 - Bus
 - Truck

- SAE level of automation**
- Available automated driving functions**
- Vehicle control
 - Monitoring of driving environment
 - Dynamic routing
 - Communications with other road users
- Operational design domain (ODD)**
- Exclusive AV vs. mixed environment
 - Non-automated motor vehicles
 - Pedestrians, bicycles
 - Type of road (limited access, arterial, local)
 - Types of intersections (through, signal, stop/yield)
 - Mapping infrastructure
 - V2V, V2I, V2P communications infrastructure
 - Road surface and markings
 - Daytime / nighttime
 - Weather (visibility, road surface condition, temperature, etc.)



SAE Level of Automation

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Feedback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
0	No Automation	The driver maintains the driving environment. The driver performs all aspects of the dynamic driving task, even when enhanced by sensors or assistance systems.	Human driver	Human driver	Human driver	Full
1	Driver Assistance	The driver maintains the driving environment. The driver performs all aspects of the dynamic driving task, even when enhanced by sensors or assistance systems. The driver maintains the driving environment and with the assistance of the human driver performs all remaining aspects of the dynamic driving task.	Human driver	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	The driver maintains the driving environment. The driver maintains the driving environment and with the assistance of the human driver performs all remaining aspects of the dynamic driving task.	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
3	Conditional Automation	The driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the human driver will respond responsively to a request to intervene.	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	The driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task, even if a human driver does not respond appropriately to a request to intervene.	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	The driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task, under all roadway and environmental conditions that can be managed by a human driver.	System	System	System	Driving modes

Scott Smith
Volpe Center / US DOT
Scott.Smith@dot.gov

Satu Innamaa
VTT-Technical Research Centre of Finland
Satu.Innamaa@vtt.fi

Yvonne Barnard
University of Leeds
Y.Barnard@leeds.ac.uk

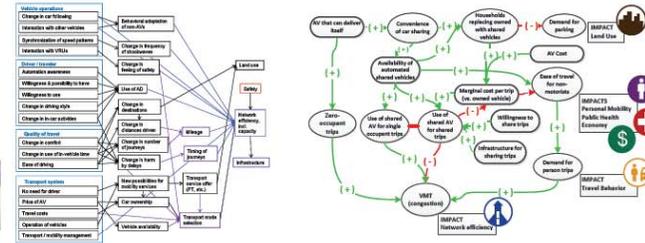
Helena Gellerman
SAFER - Chalmers University
helena.gellerman@chalmers.se

Ryota Horiguchi
I-TransportLab
rhoriguchi@transportlab.jp

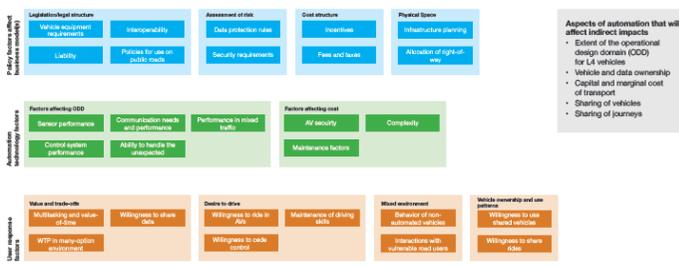
Hannah Rakoff
Volpe Center / US DOT
Hannah.Rakoff@dot.gov

Impact Mechanisms

As there are different levels and concepts of automation, no single approach can be recommended for all impact assessments. Yet, our Framework indicates potential impact paths starting from direct impacts on vehicle operations, driver or traveler, quality of travel and transport systems. These graphs are not inclusive but they can be used as a starting point for systematically determining the impact paths. Naturally, there are strong links between impact areas. Thus, assessment of indirect impacts is also recommended.



Uncertainties



This research is sponsored by the US DOT Intelligent Transportation Systems Joint Program Office (ITS-JPO), the CARTTE project in Europe, and GIP-adv in Japan. Development of this poster was supported by the ITS-JPO.

Direct Impacts

Category	Description	Examples of Key Performance Indicators
Safety	Safety primarily considers harm from crashes to vehicle occupants and other road users. Other road users may include pedestrians, bicyclists, slow-moving vehicles, construction workers and first responders. Nearly all AV applications, ranging from Level 1 collision avoidance systems to Level 5 self-driving vehicles, have potential safety impacts. A challenge with safety assessment is that actual crashes are rare events; therefore, proxy measures are often used.	<ul style="list-style-type: none"> Normalized number of fatalities, injuries and crashes Conflicts with TTC less than a selected threshold Instances of hard braking Selected traffic violations Instances where driver must take control False positive (vehicle takes unnecessary action) Unsafe actions by the vehicle (subjective)
Vehicle Operations	Vehicle operations include acceleration, deceleration, lane keeping, car following, lane changing, gap acceptance; all affect highway capacity. Relevant automation applications include those which provide longitudinal and/or lateral control with respect to the road and other vehicles.	<ul style="list-style-type: none"> Speed variation and jerk Lateral position variation and jerk Mean and minimum time headway to lead vehicle Gap acceptance
Energy / Emissions	Energy and emissions include both the energy consumption of the vehicle through a driving cycle, and tailpipe emissions of pollutants including greenhouse gases. The direct energy/emissions impacts come from the change in the driving cycle.	<ul style="list-style-type: none"> Vehicle energy consumption Vehicle CO2 emissions Criteria (NOx, CO, PM10, PM2.5, VOC) emissions Vehicle noise level
Personal Mobility	Mobility from a user's standpoint includes journey quality (comfort), travel time, cost; and whether the travel option is available to someone (e.g., a non-motorist). The higher levels of automation will have the most significant impacts, by providing mobility for non-motorists and enabling multi-tasking. Challenges in measuring personal mobility impacts include the variety of sub-populations who may be affected in different ways, and the difficulty in assessing the actual value of automation to a person. In the context of a fleet operation (trucking or transit), it is the direct impact on labor. Is the driver still needed? What happens to driver productivity (ability to multi-task or reduced fatigue)?	<ul style="list-style-type: none"> Types of travelers who can use the vehicle Journeys per day Time and distance traveled per day Travel time savings Perceptions of quality, reliability and comfort Ability to carry out other activities while in the vehicle

Indirect Impacts

Category	Description	Examples of Key Performance Indicators
Network Efficiency	Network efficiency refers to lane, link and intersection capacity in a regional transport network. It also refers to travel time and travel time reliability. Improved safety may improve network efficiency via reduced incident delay. Also, changes in vehicle operations (e.g., car following) will affect network efficiency.	<ul style="list-style-type: none"> Road capacity (at design speed and maximum) Throughput Mean and 95th percentile travel time intersection capacity
Travel Behavior	A traveler may respond to AV options, including new service offerings, by changing travel behavior. There may be more trips. Modes and destinations may change. Higher level automation applications that have a significant effect on personal mobility or labor could have a significant effect on travel behavior.	<ul style="list-style-type: none"> Number and type of trips per week Duration and distance traveled Mode split Share of used road types Network-level journey time
Public Health	Automation may impact the health of communities, via safety, air pollution, amount of walking and bicycling, as well as access to medical care, food, employment, education and recreation.	<ul style="list-style-type: none"> Quality-adjusted life years Population exposure to air pollution Use of active modes (walking, bicycling) Access to health services and recreation
Land Use	Automation may affect the use of land for transport functions (e.g., parking, road geometry). Longer term land use changes may include location and density of housing, employment and recreation.	<ul style="list-style-type: none"> Density and location of land uses Amount and location of parking Allocation of highway right-of-way (Motor traffic, bicycle, pedestrian, green space)
Socio-Economic	Improved safety, use of time, freight movement, travel options for non-motorists, public health, land use and effects of changed emissions (including climate change) will have longer term economic impacts. Automation may also have substantial impact on labor markets and industries.	<ul style="list-style-type: none"> Work time lost from crashes, air pollution Work time gained by route-taking Labor force participation New jobs Jobs eliminated Socio-economic cost benefit ratio

Would you like to see better KPIs, that can be compared for projects around the world? Please see connect@automateddriving.eu/news item of 12 June 2017, titled "Participate in KPI Survey for Automated Driving," for a link.

図 7-1 AVS 2017 での Impact Assessment Sub Group のポスター発表

また、2017年11月に開催された SIP-adus Workshop において、Impact Assessment の Breakout Workshop に参加した。Impact Assessment の Breakout Workshop としては、大きく次の3つのテーマについて、参加者から各地域での取組み状況の情報が提供され、その後意見交換が行われた。

1. 自動運転による社会変化と普及シナリオ
2. 環境・交通インパクトの数値化手法
3. 安全（事故低減）インパクトの数値化手法

本事業としては、「2. 環境・交通インパクトの数値化手法」の中で、本事業で取り組んでいる CO₂ 排出量可視化技術開発の内容と、自動走行システム導入時の環境・交通インパクトの数値化の必要性、シミュレーションによる自動走行システムの評価事例として、ART と高速道路での自動運転車の追従挙動を紹介した。

米国の Steven Shladover 氏からは、Connected and Automated Vehicles (CAVs) の混入による交通流、ならびにエネルギー消費への影響についてのシミュレーションを用いた研究結果が提示され、車車協調の無い状態での自動運転車の混入は、車両の不安定な追従挙動をもたらすため、交通流やエネルギー消費量を悪化させる可能性があること、一方で、自動運転車の普及率が高まり、車車協調した状態で追従走行することができれば、交通流の円滑性向上につながる可能性があるという結果が示された。

Breakout Workshop での議論の結果、シミュレーション手法を用いた自動運転のインパクトの定量化の必要性が参加者間で共通に認識されたとともに、評価方法や定量化結果に対する国際間での協調について、今後も情報共有と議論を継続するとともに、具体的取り組みを進めていくことが合意された。

7.2 ITS ヨーロッパ会議 2017 での発表

昨年度に連携関係を構築した、英国で自動運転の混入による交通流影響評価を行っている Department for Transport (DfT) の関連組織である The Centre for Connected and Autonomous Vehicles (CCAV) より、ITS European Congress 2017 (ITS ヨーロッパ会議 2017) での関連セッションにおいて、本事業を紹介するよう依頼があり、プレゼンテーションを実施した。

ITS ヨーロッパ会議 2017 は、2017 年 6 月 19 日～22 日にフランスのストラスブールで開催された。参加したセッションは、CCAV より受託して自動運転の評価シミュレーションを実施した Arkins のメンバーにより企画された、「SIS49 Modeling the impact of connected and automated vehicles on network performance」であり、その概要と参加メンバーを図 7-2、プレゼンテーション資料の一部を図 7-3～図 7-5 に示す。

SIS49 – Modelling the impact of connected and automated vehicles (CAVs) on network performance

TOPIC: 4. Connected and automated transport

09:00 – 10:30 (Londres 2)

It is generally accepted that connected and automated vehicles could improve road capacity and safety, and offer new mobility models. But the levels of benefits, how they evolve over time and deployment of vehicles, and the impact on network management are unclear which has large impacts on future investment and policy making. Much work to date around the World assumes a high uptake of CAVs, but what will be the impacts in the early days with only a few vehicles deployed? To explore this key question the United Kingdom studied the effects of different types and penetrations of CAVs on both safety and capacity, and on how roads are managed. This SIS will describe the key research findings and invite road operators, CAV providers and others to discuss what this means for networks in the short, medium and long-term future. Future research needs will also be presented for discussion.

Organiser

Jill Hayden, Atkins, United Kingdom

Moderator

Gavin Jackman, Aimsun, United Kingdom

Speakers

James Padden, Department for Transport – DfT, United Kingdom

Jill Hayden, Atkins, United Kingdom

Daisuke Oshima, Pacific Consultants, Japan

(出典：ITS European Congress 2017 プログラム)

図 7-2 SIS49 Modeling the impact of connected and automated vehicles on network performance の概要と参加者

Development of an evaluation tool for the impact assessment of Automated Driving Systems on CO₂ emissions

June 22, 2017
Daisuke Oshima






PRODUCING
THE FUTURE

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

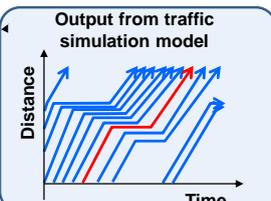
図 7-3 SIS49 Modeling the impact of connected and automated vehicles on network performance でのプレゼンテーション資料の抜粋 (1/3)

Concept of the CO₂ assessment

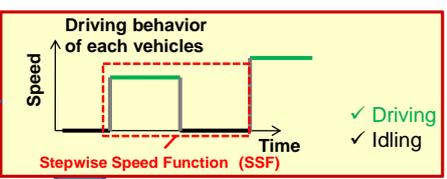


- Energy ITS Project (FY2008 - FY2012)
- Combination of **traffic simulation** and **CO₂ emission model**

Output from traffic simulation model



Driving behavior of each vehicles



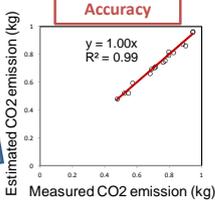
✓ Driving
✓ Idling

Collecting data of 8 category to represent Japanese automotive market

	Motor Categories	Traffic simulation	
		Small	Large
Gasoline	Minicar	✓	
	Passenger Car	✓	
Gasoline	HEV (Hybrid Electric Vehicle)	✓	
	Mini Truck	✓	
	Light and Medium Truck	✓	
Diesel	Heavy Truck: 3.5t<GVW=<5t		✓
	Heavy Truck: 5t<GVW=<8t		✓
	Heavy Truck: 8t=<GVW		✓

CO₂ emission Database

Accuracy



Estimated CO₂ emission (kg)

Measured CO₂ emission (kg)

CO₂ emissions

7
Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

図 7-4 SIS49 Modeling the impact of connected and automated vehicles on network performance でのプレゼンテーション資料の抜粋 (2/3)

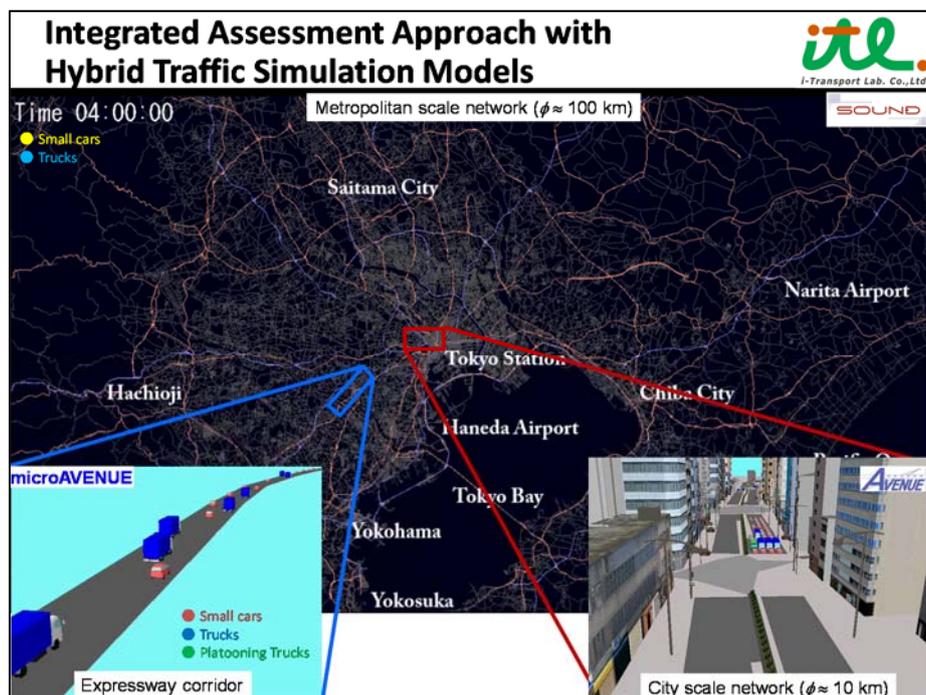


図 7-5 SIS49 Modeling the impact of connected and automated vehicles on network performance でのプレゼンテーション資料の抜粋 (3/3)

同セッションでは、Atkins より、自動運転導入時の交通流へのインパクトを、交通シミュレーションを使って評価した事例が紹介された。自動運転により前方車とのギャップを短くすることが期待できるが、導入時は利用者の技術に対する信頼性が低いため長めのギャップを選択する可能性があり、その場合に自動運転車の混入率が 25%の時に交通流が若干悪化する可能性があるとの結果が示された。

また、欧州ではプロジェクトベースでの自動運転車の評価は実施されているものの、Impact Assessment に特化した活動体については、参加者の中からは具体的な名称は挙げられなかったが、自動運転の導入効果の定量的な Impact Assessment を進めるためには国際間での関係者の連携が重要であり、連携を継続することが合意された。

7.3 ITS 世界会議 2017 でのセッションの開催

本事業の成果を国際的な場で公表し、諸外国の専門家と意見交換等を行う目的で、ITS 世界会議 2017 において Special Interest Session を企画提案し採択されたため、海外で関連する研究を行っている研究者の方を集めて情報共有と意見交換を行った。

ITS 世界会議 2017 は、2017 年 10 月 29 日～11 月 2 日に、カナダのモントリオールで開催された。自動走行システムの導入による交通流、環境への影響評価に関して議論することを目的に、「SIS 108 Impact of Automated Vehicles on Traffic Flow and Environment」を企画・運営した。SIS 108 の概要を、図 7-6 に示す。

SIS108 - Impact of Automated Vehicles on Traffic flow and Environment
Thursday 2 November 2017, 08:15 - 09:45 (510 A)
Topic: A. Connectivity and Autonomy

There is growing interest in automated vehicles and their development has been advanced throughout the world. In general, automated vehicles are expected to improve traffic flow and reduce traffic congestion and energy consumption, but they can have a negative impact depending on the settings of vehicle control. This session invites speakers from Europe, the US, and Asia Pacific to introduce projects related to impact assessments of automated vehicles on traffic flow and CO2 emissions, and to exchange views on how to introduce the new technology into the real world.

(出典：ITS World Congress 2017 プログラム)

図 7-6 SIS108 Impact of Automated Vehicles on Traffic Flow and Environment の概要

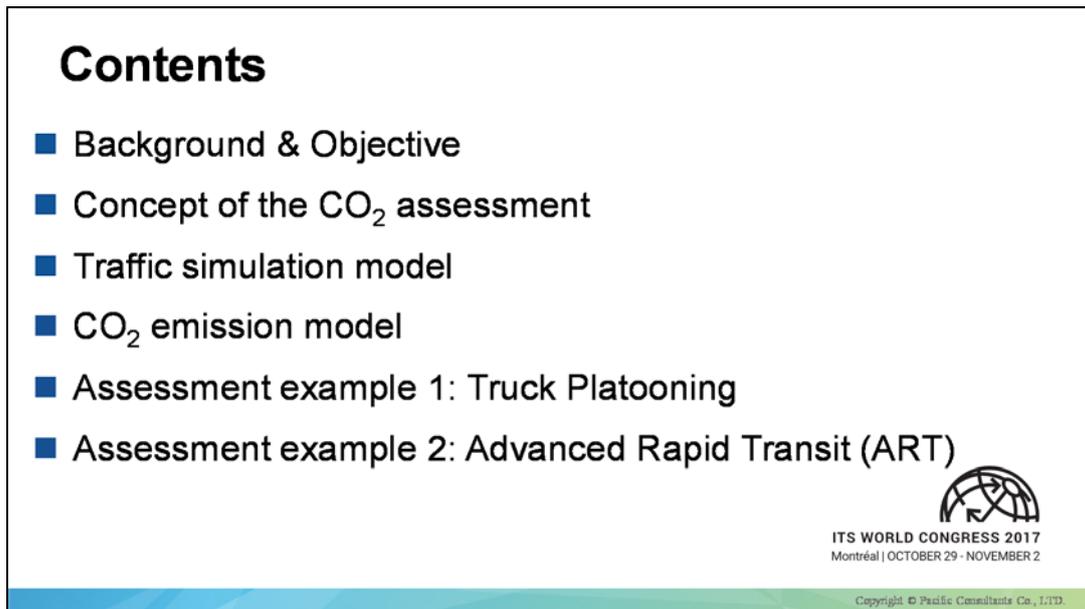
SIS 108 の参加メンバーは次の通りである。

- **Organizer**
大口敬教授 (東京大学)
- **Moderator**
桑原雅夫教授 (東北大学)
- **Speakers**
大島大輔 (パシフィックコンサルタンツ株式会社)
Peng Hao (University of California-Riverside)
Abdelmenname Hedhli (Ifsttar)
James Padden (Department for Transport, UK)

SIS 108 でのプレゼンテーション資料の一部を図 7-7～図 7-9 に示す。



☒ 7-7 SIS108 Impact of Automated Vehicles on Traffic Flow and Environment でのプレゼンテーション資料の抜粋 (1/3)



☒ 7-8 SIS108 Impact of Automated Vehicles on Traffic Flow and Environment でのプレゼンテーション資料の抜粋 (2/3)

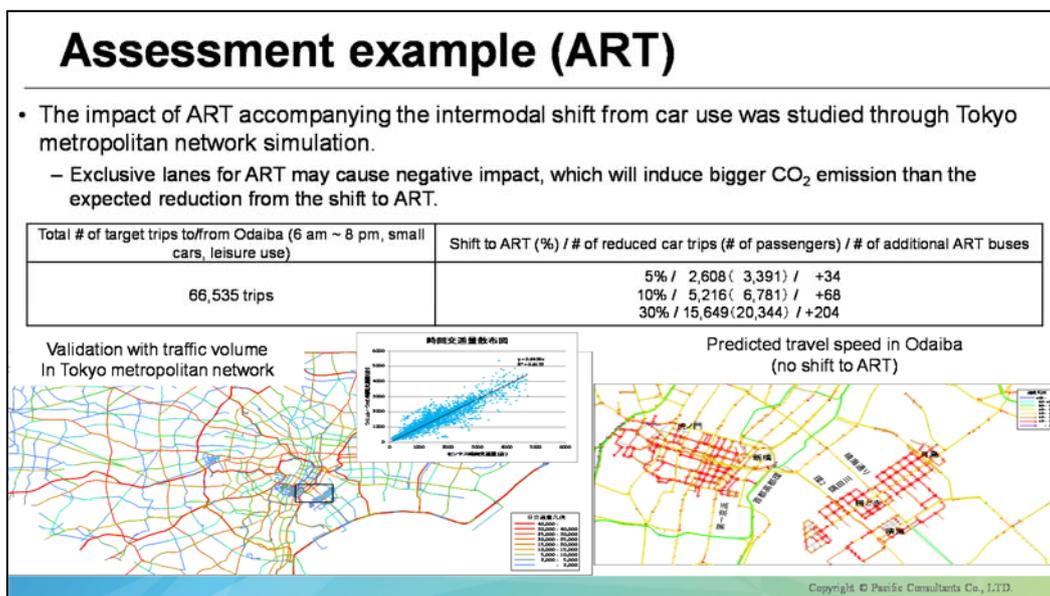


図 7-9 SIS108 Impact of Automated Vehicles on Traffic Flow and Environment でのプレゼンテーション資料の抜粋 (3/3)

プレゼンテーションの結果、ART の正着制御時の加減速挙動設定に関して意見交換を行った。また、米国の Peng Hao 氏からは、車車・路車協調により信号交差点を効率的に通過するための Eco-Approach and Departure at Signalized Intersection (EAD) のコンセプトと、実証実験による燃料消費量削減への効果が紹介された。フランスの Abdelmenane Hedhli 氏からは、フランスでの関連プロジェクトとして、SCOOP と C-ROADS の概要と、自動運転車の評価のアプローチとして、FOT に基づくアプローチとシミュレーションに基づくアプローチの二つの考え方が示された。英国の James Padden 氏からは、交通シミュレーションによる自動運転車の導入時の交通流影響評価を、高速道路と一般道路で行った結果が紹介された。

英国における自動運転導入時の交通影響評価の結果として、自動運転車の普及率が低い段階では交通流に悪影響を及ぼす可能性が指摘されたことから、今後はどのように自動運転車を導入すればこのようなネガティブインパクトの発生を抑止できるかを、シミュレーション等を活用しながら検討することが重要であるということが議論された。

8. 事業のまとめ

本章では、本事業の主要な成果と今後の課題を示す。

8.1 自動走行による交通流円滑化に対する交通流シミュレーション技術開発

交通流シミュレーション技術開発についての主な成果は以下の通りである。

- 高速道路での自動運転の評価のため、高速道路合流部の車線変更を円滑に行う運転意図推移モデルをシミュレータに実装し、過年度に課題となっていた合流部での再現性を向上させた。
- 一般道路での自動運転の評価のため、シェアライドを想定したトリップチェーンのモデル化と、商業施設などの駐車場をモデル化し、シミュレータに実装した。

今後の課題としては、以下が挙げられる。

- 自動走行車両の高速道路での合流挙動や、一般道路での走行挙動については、既往の知見がなく、実証実験等のデータを活用して、さらなる精緻化に取り組む必要がある。

8.2 自動走行による運転挙動変化に対する排出量推計技術開発

排出量推計技術開発についての主な成果は以下の通りである。

- ベースとなる CO₂ 排出量モデルについて、車種を拡大することで現状走行している車両のものは一通り整備することが出来た。
- 自動運転用の CO₂ 排出量モデルについても、関係各社へのヒアリングや交通流シミュレーションや CO₂ 最適化の観点で根拠のあるモデルが整備することができた。

今後の課題としては、以下が挙げられる。

- 現状でベースとする CO₂ 排出量モデルにおいて、最も古いもので 10 年程度経過しており、モデルのアップデートが必要である。
- 自動運転用のモデルについても、一定の根拠に基づいたものとなっているが、実際に販売された際のものとは異なる可能性があるため、実証試験の結果等にてアップデートが必要である。
- 今後、普及が期待される電気自動車、燃料電池車、プラグインハイブリッド車については、台上試験等を行い CO₂ 排出量モデルの構築が必要である。

8.3 自動走行による事故削減に伴う渋滞損失・環境インパクト低減の評価手法の構築

事故削減に伴う渋滞損失・環境インパクト低減評価に向けた分析の主な成果は以下の通りである。

- 事故影響評価マクロ交通流シミュレーションを活用し、プローブデータにより把握される事故発生時の交通状況を繰り返し計算によって再現することで、事故類型、車線数別に事故による交通容量の低下率と、低下の継続時間を分析した。
- 構築した評価手法が、東京を対象に事故低減に伴う CO₂ 排出量の削減効果の評価に適用可能であることを確認した。

今後の課題としては、以下が挙げられる。

- SIP-adus の下で別途開発されている、交通事故死者低減効果見積もり手法の評価結果を参照して、事故低減に伴う CO₂ 排出削減効果の評価を実施する必要がある。

8.4 CO₂ 排出量削減効果の評価に資するデータの整備

- これまでは、車両から排出量される CO₂ 排出量を対象としていたが、今後は電気自動車等の普及を視野に入れた場合は、燃料製造時の CO₂ 排出量やエネルギー消費の観点での評価が必要となり、それらのデータを整備していく必要がある
- 現状のモデル都市評価では感度分析に近い形での評価となっているが、実際の社会受容性と整合していない部分があり、今後は社会受容性等を考慮した自動運転の普及を視野に入れていく必要がある。

8.5 モデル都市での評価実施

開発した CO₂ 排出量可視化技術を用いて、仮のシナリオに基づきモデル都市での評価を行うことで、対象として挙げられた自動走行システムの評価に適用可能であることを確認した。

今後の課題としては、以下が挙げられる。

- 地域実証実験の成果を踏まえた、より現実的なシナリオ設定や行動パラメータ調整
- CO₂削減量等の管理者視点の評価だけでなく、ユーザ視点に立った評価シナリオ

8.6 CO₂削減効果評価ツールの研究開発における国際連携及び普及促進

国際連携及び普及促進の主な成果は以下の通りである。

- 三極会議の **Impact assessment Sub Group** のメンバーとして、電話会議やワークショップに参加した。
- 昨年度に連携関係を構築した英国の効果評価関係者からの依頼を受け、ITS ヨーロッパ会議 2017 にて本事業を紹介し、意見交換を行った。
- ITS 世界会議 2017 にて、**Special Interest Session 「Impact of Automated Vehicles on Traffic Flow and Environment」** を企画・運営し、本事業の紹介を行うとともに、参加者と意見交換を行った。

今後の課題としては、これまでの議論を通じて、自動走行システムの交通流、環境への定量的影響評価の必要性について国際間での共通認識が醸成されつつあるため、引き続き三極会議の **Impact Assessment Sub Group** の活動への参加や、ITS 世界会議等の関係者が集まる国際会議等の場を活用した事業成果の対外発表を行うことで、本分野の国際連携活動を推進するとともに、開発する技術やそれを用いた評価結果が国際的に信頼されるものとしていく必要がある。