

自動運転向け道路インフラシステムの運用効果測定シミュレーター

菊池 典恭 矢野 貴大
中林 昭一 浜口 雅春

自動運転車の安全走行実現への取組みが進展している。しかし、周囲の安全を確保し、より快適で円滑な走行の実現には、人間による運転が自動化されるだけでは十分とは言えない場合がある。自動運転車は車載の自律系センサーにより周囲の安全を認知・判断しているが、高速道路の合流シーンなど建造物に遮られた場合では、合流側を走行する車両（以下、合流車両）は、本線側を走行する車両（以下、本線車両）の位置や速度などを合流の直前にならなければ把握できず、合流のタイミング調整が困難な状況が発生する。安全・快適な走行を目的とし、より円滑な合流を実現するためには、本線車両の情報を合流車両に提供する新たな支援システム、すなわち、道路インフラシステムの導入・整備が必要である。

OKIは、自動運転車の円滑な走行を支援するために実用化が期待される道路インフラシステムについて設置条件の検討及び運用効果の評価を進めてきた。本稿では道路インフラシステムの概要及びその運用効果を測定するためのシミュレーターについて紹介する。

道路インフラシステム

高速道路では交通渋滞が度々発生するため、さまざまな施策が講じられているが、近年でも十分に解決されたとは言えない。国土交通省の報告によれば、年末年始の高速道路の交通損失時間は546万人・時間に及ぶとされ¹⁾、交通渋滞の緩和は急務となっている。道路インフラシステムは、高速道路の交通渋滞を起こす要因の一つとされる合流シーンで、自動運転車の円滑な走行を実現するものとして期待されている。

道路インフラシステムの概要を図1に示す。道路インフラシステムは、本線車両の位置、速度及び車長の情報を取得する手段と、合流車両へ取得した車両情報を伝達する手段から構成される。レーザーレンジファインダーなどの路側センサーを本線側に設置し、車両検出範囲内に走行中の車両を検出する。また、取得した車両情報は有線通信などを經由合流側の路側機まで伝送され、路側機の通信範囲に進入した合流車両に向けて路車間通信により伝送される。

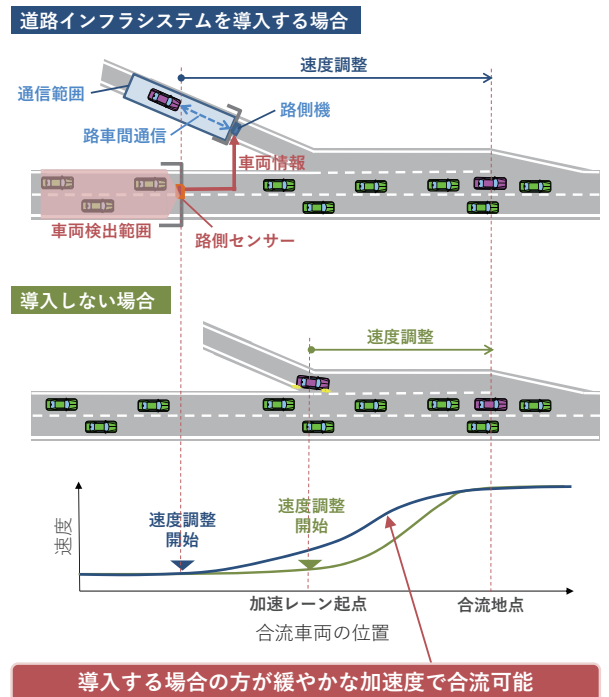


図1 道路インフラシステムの概要

従来のように道路インフラシステムを導入しない場合では、自動運転車は車載の自律系センサーにより見通し内に存在する車両しか認知できない。従って、合流の直前にならなければ本線車両の位置、速度及び車長が検出できない。このとき、合流に伴う速度調整は加速レーン起点の通過以降から開始することになるが、加速レーン終端までに本線に合流する必要があるため、本線車両が存在する位置、速度、車長及び加速レーン長によっては、大きな加減速を伴い合流せざるを得ない場合が発生する。

一方、道路インフラシステムを導入する場合には、車両検出範囲内を走行中の本線車両の位置、速度及び車長の情報を、合流車両は加速レーン起点に到達する前に取得できるため、この情報を利用して本線車両が存在しない時刻に合わせつつ、合流車両が合流地点に到達す

るように速度調整すれば、合流時の急激な加速度が回避できる。これにより円滑な合流が実現できる。

シミュレーターの必要性

道路インフラシステムの導入は、定性的には交通流の円滑化にとって効果が期待できるように考えられる。しかし、道路インフラシステムの有効性をフィールドで定量的に確認することは容易ではない。交通流として成立するだけの車両数を公道で発生させて実証することは、規模が大きく、現実的ではないためである。このような場合、一般的には交通流シミュレーターと呼ばれるものを活用し、道路環境や車両の挙動などをモデル化してコンピューター上で有効性を評価することになる。しかし、道路インフラシステムの導入による有効性を評価できるものはこれまで開発されていなかった。

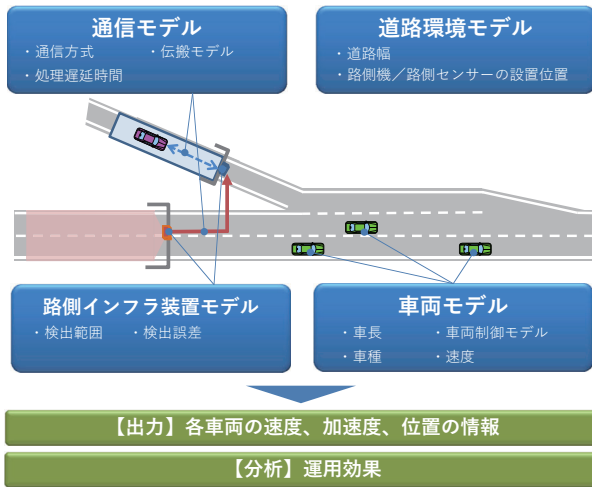


図2 シミュレーターの概要

OKIはこの点に着目し、自動運転を支援する道路インフラシステムの実用化に向け、自動運転車や混在する一般車の車両制御モデル、各種道路の上限・下限速度、路車間通信の路側機設置条件や路側センサーの設置条件などを取り入れた運用効果測定用のシミュレーターを開発した²⁾(図2)。本シミュレーターにより、高速道路などの合流シーンでの車両挙動の安定性を評価することで、実際に道路インフラシステムを設置する前にシステムの導入効果を確認できる。なお、道路環境、路側センサーの検知性能や路車間通信装置の通信性能など、さまざまな条件を変更して、設置環境に最適な設備の構築を検証することができる。例えば、表1に示すような環境を変更して評価することができる。

表1 シミュレーターの設定可能パラメーター例

パラメーター	値の例
本線車両の速度	60[km/h]
合流車両の速度 (車両発生時)	40[km/h]
本線車両の車両検出範囲	200[m]
通信範囲	33.3[m]
路側センサーの設置位置 (路側センサーと加速レーン起点までの道のり距離)	110[m]
路側機の設置位置 (路側機と加速レーン起点までの道のり距離)	154[m]
車両制御モデル	IDM、加減速モデル
車種毎の車長	普通車：5 [m] 大型車：12[m]
車種毎の割合	普通車：80% 大型車：20%
車両の発生間隔	6 [秒車間]
路車間通信の通信品質	エラーなし
路側センサーの車両検出の誤差	誤差なし
処理遅延時間	1.5 [秒]
通信機の普及率	100%

システム導入による効果の検証方法

道路インフラシステムの導入により合流が円滑になることは、どのように評価すればよいだろうか。円滑である状態では合流に伴う車両の挙動が安定する必要がある。さらに、挙動が安定するとは、加速度が十分に低いまま無理なく合流の処理が進められ、停止することなく走行が継続できる状態であると考えられる。このとき、特定の車両挙動のみが安定すれば良いのではなく、全体の車両挙動が安定することにより、交通流の円滑化は実現される。以上を踏まえて、定量的に評価する方法を考えると、図3に示すように合流に伴う各車両の最大加速度(絶対値とする)を統計的に取得していき、それを累積分布関数として表し、道路インフラシステムを導入した場合の累積分布関数が、導入しない場合の同分布より、最大加速度の分布として低い方向に移動すれば、全体の車両挙動が安定する、すなわち、円滑な合流の実現に有効であるという判断ができると考えられる。

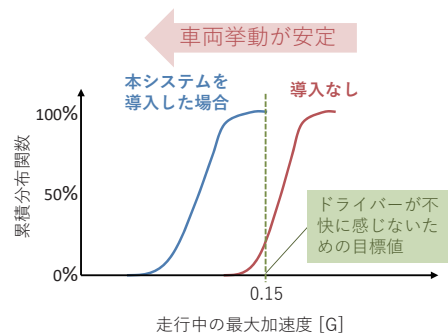


図3 車両挙動安定性の検証方法

次に、各車両の走行中の最大加速度をどの程度まで低下させれば、車両が安定したとみなせるのが確認する。文献^{3),4)}によれば、ドライバーが不快に感じず、車両が安定的とみなせる走行は、最大加速度が概ね0.2G（重力加速度）以下となっている。また、普通車とトラックなどの大型車では挙動が安定する最大加速度も異なり、トラックでは普通車より低い加速度で走行することが一般的である。これらを踏まえ、現在の検討では、合流時に伴う全車両にとって走行中の最大加速度が0.15G以下となるように道路インフラシステムを設計する方針として進めている。

シミュレーターを用いた設計とその有用性

具体的に、本シミュレーターにより設計し、その有用性を確認する。なお便宜上、路側機と路側センサーの設置条件に着目して設計することにする。それ以外の値は表1に示す値を用いる。実際の設計では、実環境の調査によりシミュレーションモデルを最初に精緻化する。今回は路側機と路側センサーの設置位置を変更しながら、1000台の車両数を発生させシミュレーションを実施した。結果を集計し、前述のように最大加速度の累積分布関数を求め、全車両の最大加速度が0.15G以下となるかを確認する。0.15G以下となる場合の設置条件と0.15G以下とならない場合の設置条件を区別して集計した結果を図4にまとめる。

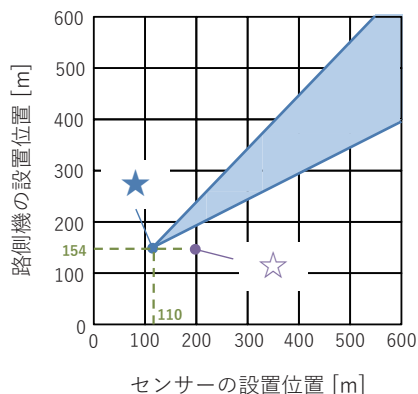


図4 全走行車両の最大加速度が0.15G以下となるための路側機と路側センサーの設置条件（ハッチ領域内）

横軸は路側センサーの設置位置、縦軸は路側機の設置位置を示す。青色にハッチされた領域は、走行中の合流車両が0.15G以下の加速度で合流できる場合の路側機と路側センサーの設置位置であることを意味する。すなわち、この領域内の値を満たすように路側機と路側センサーを設置すれば、走行中の全車両の最大加速度は0.15G以下になることが期待できる。

次に、設計による効果を累積分布関数の比較により確認する。道路インフラシステムを導入した図3の領域を満たす★の設置条件の場合、満たさない☆の設置条件の場合、及び道路インフラシステムを導入しない場合の3パターンの結果を図5に示す。

★の設置条件の場合では、設計の期待どおりに、発生した全ての合流車両の最大加速度は0.15Gを下回っていることが確認できる。一方、領域の範囲外の値を用いて設計した☆の設置条件の場合では、0.15Gを上回る車両が存在してしまうことが確認できる。道路インフラシステムを導入しない場合に比べて改善はするが、設計が適切でないと交通流の円滑化に十分な効果が得られないことが確認できる。シミュレーションでは便宜上、0.15Gを大幅に上回る最大加速度が生じてそのまま走行を継続させている。しかし、実際の車両ではこのように大きな加速度を伴って走行することはないと考えられ、急ブレーキやアクセルなどにより加速度を調整する、あるいは停止すると推測する。その場合、渋滞の発生や、後続する車両の挙動に影響するため、円滑な交通流を妨げる原因となる。

実際の導入には路側機や路側センサーの位置を敷設後に変更することはコストが非常にかかるため、本シミュレーターを用いて十分な検証を事前しておく必要がある。

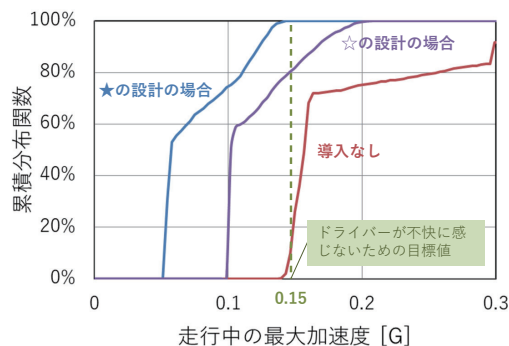


図5 システム導入による効果

まとめ

OKIは、次世代交通分野でインフラと車などが通信手段により情報交換を行うインフラ協調型ITSサービスの実現を推進している。内閣府の総合科学技術・イノベーション会議が推進する「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第1期／自動走行システム」の一環として2018年度に実施された「実環境を想定した自動走行通信支援のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討」に参画してきた。

この中で実環境で想定される周辺車両による電波の遮蔽やマルチパスなどの影響を評価、さらに今回開発したシ

ミュレーターを利用して、車両挙動の安定化や交通流の円滑化を支援する通信のメッセージセット及びプロトコルの検討を進め、道路インフラシステムによる合流時の円滑化を評価してきた。

今後は、本ミュレーターの検証結果を踏まえてフィールドでの検証を重ね、自動運転の普及と道路交通に関するさまざまな課題の早期解決を目指して、道路インフラシステムの実用化に幅広く取り組んでいく。◆◆

■参考文献

- 1) 国土交通省:高速道路の交通状況ランキング(平成27年年末年始)、http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/pdf/ranking_5.pdf
- 2) 菊池典恭、矢野貴大、中林昭一、金子富、浜口雅春:路車間通信を用いた合流支援システムによる車両挙動安定性の評価、第18回情報科学技術フォーラム、2019年
- 3) 田中裕章、竹森大祐、宮地智弘、入部百合絵、小栗宏次:自動車の制動時の安心感に関する研究、DENSO TECHNICAL REVIEW、Vol.21、2016年
- 4) 橋本博、川越麻生、岡山巧:大型トラックの制御時減速度調査、JARI Research Journal、Vol.30、No.11、2008年

●筆者紹介

菊池典恭:Noriyasu Kikuchi. 情報通信事業本部 社会インフラソリューション事業部 コンポーネント開発第二部
矢野貴大:Takahiro Yano. 情報通信事業本部 社会インフラソリューション事業部 コンポーネント開発第二部
中林昭一:Shoichi Nakabayashi. 情報通信事業本部 社会インフラソリューション事業部 コンポーネント開発第二部
浜口雅春:Masaharu Hamaguchi. 情報通信事業本部 IoTアプリケーション推進部

TiPo 【基本用語解説】

自律系センサー

車両単独で周辺の障害物などを検知できるレーザーやカメラなどの車載センサーのこと。

路車間通信

LTEなどの基地局を介さない、道路に設置した通信設備と自動車間で行われる直接通信のこと。

累積分布関数

確率変数Xがある値x以下となる確率を表す関数のこと。