

予防安全システム評価シミュレータ STREET

森 博子, 岩瀬 竜也, 北岡 広宣

(株)豊田中央研究所

要約

予防安全システムの成立性と導入による事故低減効果の両方を評価可能なシミュレータ STREET(Safety & Traffic REaltime Evaluation Tool)を開発している。それらの目的を達成するために、ドライバの認知・判断・操作・挙動を表現し、事故要因となるエラーを発生することで事故を模擬可能とした。STREET の検証として、交通流再現性を評価し、適用の一例として車車間通信システムの通信成立性評価を行った。さらに、ドライバのエラーによる事故を再現し、予防安全システムの事故低減効果の評価を行うことにより、STREET を予防安全システムの成立性と事故低減効果の評価に用いることが可能であることを確認した。

A Traffic Simulator for Evaluating Safety Systems : STREET

Hiroko Mori, Tatsuya Iwase, Hironobu Kitaoka

TOYOTA CENTRAL R&D LABS., INC.

Abstract

We have been developing a traffic simulator called STREET which tests whether safety systems perform as designed and evaluates how well safety systems reduce traffic accidents. STREET was composed so as to reproduce traffic flows on road networks and to simulate traffic accidents caused by "human error" in a driver's behavior. In validation of STREET, its simulated traffic flows almost entirely agree with actual ones. We confirmed that STREET could evaluate the performance of safety systems and the effectiveness of safety systems for traffic accident reductions.

1. はじめに

近年、車車間通信システムやブリクラッシュシステム等の予防安全システムの開発検討が急速に行われている。予防安全システム導入時の成立性や事故低減効果を評価するには、実フィールド上の実験で事故を発生させる事は困難であるため、シミュレーションを用いて実際に近い交通状況を模擬し、その状況において成立性や事故低減効果を検討する必要がある。

そこで、我々は、予防安全システムの成立性と導入による事故低減効果の両方を評価可能なシミュレータ STREET(Safety & Traffic REaltime Evaluation Tool)を開発した。本論文では、まず、上記目的を達成するためのシミュレータの要件および全体構成について説明する。次に、安全システム成立性評価のための交通流再現性の検証および車車間通信安全システムの通信成立性評価例を示す。さらに、安全システムの事故低減効果評価のために、事故を再現し、事故低減効果の評価例を示す。

2. シミュレータ開発の要件と構成

予防安全システムの成立性を検討するには、道路ネットワーク上の交通量や速度を精度良く再現できる必要がある。また、予防安全システム導入による事故低減効果を検討するには、ドライバーの判断操作などの各ステップにおける人間のエラーにより事故を再現し、さらに、安全システム導入によるドライバー挙動を表現できる必要がある。そこで、開発するシミュレータを、図1に示すような構成にし、上記を再現可能とした。各部の概要を以下に示す。

道路環境作成部では、リンクデータ、ノードデータ、信号データ、建物等の道路ネットワークデータを入力データとして、車両の走行空間を作成する。

車両発生部では、単位時間当たりの交通量に基づき、各車両をポアソン分布に従い発生する。

空間配置部では、交通状況で管理されている各車の位置情報や速度情報に従って、各車両を道路空間上に配置する。

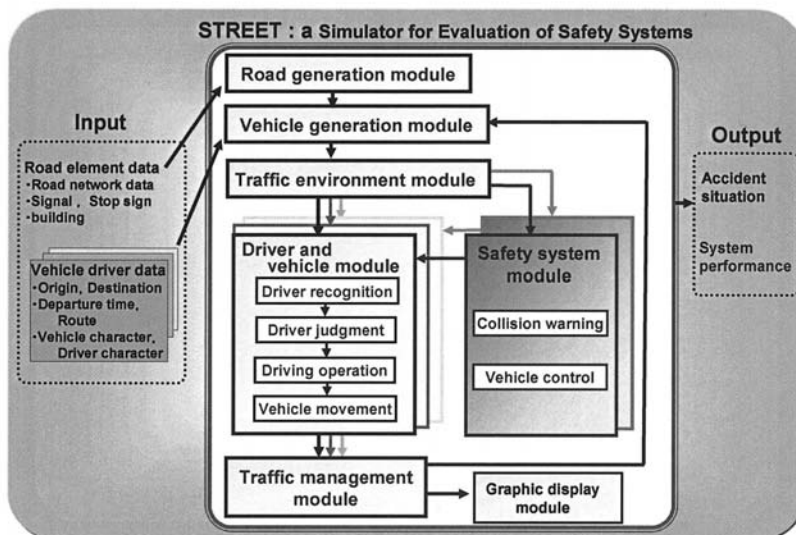


図1. 予防安全システム評価シミュレータ STREET の構成

ドライバモデル部では、道路環境作成部や空間配置部から出力する道路および車両状況データ（信号現示、一時停止標識、周辺車両の状況）に基づき、希望速度を判断し、加減速度および移動量を決定する。なお、安全システムの車載機を搭載している車両のドライバは、安全システム部から危険情報や車両制御を得て、それらに基づく判断や挙動を決定する。

交通状況管理部では、計算ステップ毎の個々の車両の位置、速度、加減速度を管理する。

安全システム部では、空間配置部から道路や車両の状況を得て、予防安全システムのアルゴリズムに基づき、危険情報の提供や車両制御をドライバモデル部に与えることにより、事故回避件数などでシステム性能を評価する。また、衝突回数や衝突の程度を安全システム部に出力する。

表示部では、交通状況管理部から道路や車両の状況を得てPCの画面上にシミュレーション実行中の状況を表示する。

動モード、希望速度とそれを実現する目標位置)を決定する。その結果に基づき操作・車両挙動部では、運動方程式により加減速度を決定し、車両や個人の限界値に応じて操作量を決定する。

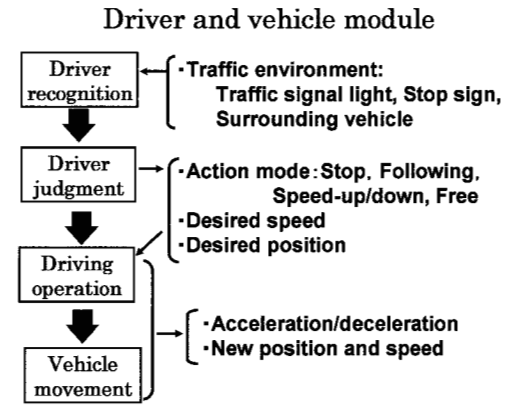


図2. 交通流モデル

3. 安全システムの成立性評価

3-1. 交通流の再現方法

予防安全システムの成立性を検討する場合、例えば通信を用いた安全システムの場合、確実に通信が成功するか、周辺交通への悪影響はないか等を検討する必要がある。そこで、事故を起こす2台だけではなく道路ネットワーク上の交通流を模擬し、交通量および速度を精度良く再現する必要がある。本モデルでは、図2に示すように、ドライバの認知、判断、操作および車両挙動の各部によって交通流を決定する。具体的には、認知および判断部で、車両状況データ（信号現示、一時停止標識、周辺車両の状況）に応じて、行動（行

3-2. 再現性の検証

以上の交通流モデルを用いて、交通流の再現性を検証した。交通流の再現性評価の対象とした交差点を図3に示す。図3（1）に示すように、東西方向（Link1 および Link2）は片側2車線+右折ポケット、南北方向（Link3 および Link4）は片側1車線道路に対し、図に示す単位時間当たりの交通流を発生させた。信号現示は図3（2）に示す通りに設定した。

図3の Link1 における実測およびシミュレーションの交通量および速度の比較結果をそれぞれ図4および図5に示す。信号が青になった時点からのリンク下流端における累積通過交通量を

図4に示す。図4から、シミュレーションで実測とほぼ同様に時間に対する通過交通量が再現できていることが分かる。実測ではサイクル毎に通過交通量のばらつきがみられるが、シミュレーションでもほぼ同程度に交通が通過している。また、図の丸で示す部分は、青信号になって滞留していた交通流が通過した後、上流側の信号が青になって次の車群が流れてくるまでの中断していた状況を示しており、シミュレーションでも、同様の傾向を実現した。次に信号が青になった時点からの交差点手前20m区間通過時の速度を図5に示す。図5より、シミュレーションではほぼ実測と同程度に速度が再現できていることが分かる。実測値の平均10.7m/s、標準偏差7.2m/sに対し、シミュレーションは平均11.3m/s、標準偏差9.0m/sとなり、ほぼ同等の平均およびばらつきであった。以上より、STREETではほぼ実際に近い交通流を再現できるといえる。

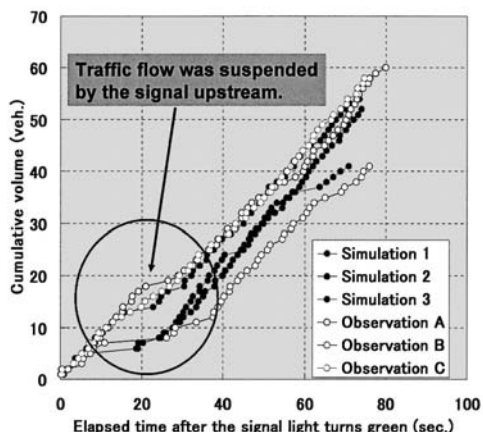
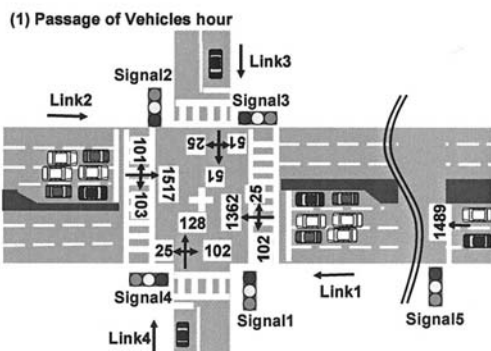


図4. 交通量の検証結果例



(2) Traffic signal light

length (sec.)	43	3	4	74	3	8	2	3
Sig1,Sig2	Red	Red	Red	Green	Yellow	Turn right	Yellow	Red
Sig3,Sig4	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red

The cycle time of Sig5 is same as that of Sig1. The offset time between Sig5 and Sig1 is 10sec; Sig5 turns green 10sec after Sig1 turns green.

図3. 現況再現の検証のシミュレーション条件

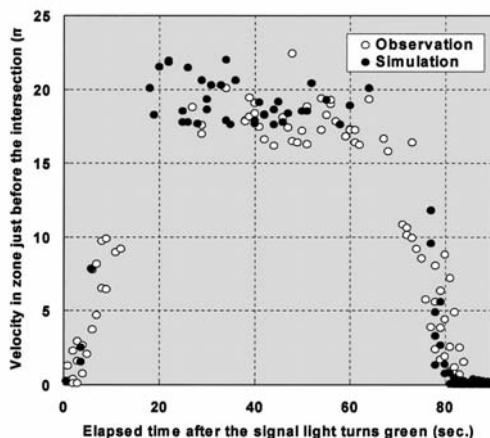


図5. 速度の検証結果例

3-3. 安全システムの成立性の評価例

ここでは、安全システムの成立性の評価例として車車間通信システムの通信成功確率の評価例を示す。シミュレーションの方法として、まず、交通流シミュレータで道路構造、信号現示、他車両との関係に基づき、交通状況を模擬する。次に、車両位置および速度から、100msec 秒毎に各車両が半径100m以内に車々間通信を行った場合の packets 成功確率等の通信性能を評価する。

通信方式として、本例では、ALOHA 方式[3]を用いた。ALOHA 方式の通信確率 P_s は式 1 で表現される。

$$P_s = e^{-2G} \quad (\text{式 1})$$

ここで、

$$G = \frac{n}{C}$$

n: 通信量

C: 通信容量

また、ALOHA 方式に対して、全車両同じ時間間隔で通信するのではなく、速度が小さくなるほど安全になると判断し、式 1 の通信量 n を式 2 に示すように、速度が小さい場合は通信間隔を長くする制御を行った。

$$n = \sum_i \frac{V_i}{a} \quad (\text{式 2})$$

ここで、

V_i : 車両 i の速度

a: パラメータ

これらの方式を、図 3 に示す交通状況に対しシミュレーションを行った。packet 成功確率の時間変化の結果例を図 6 に示す。図 6 に示すように、トラフィック制御を行っていない場合、赤信号になると車両が停止し、車両台数が増えていくため、

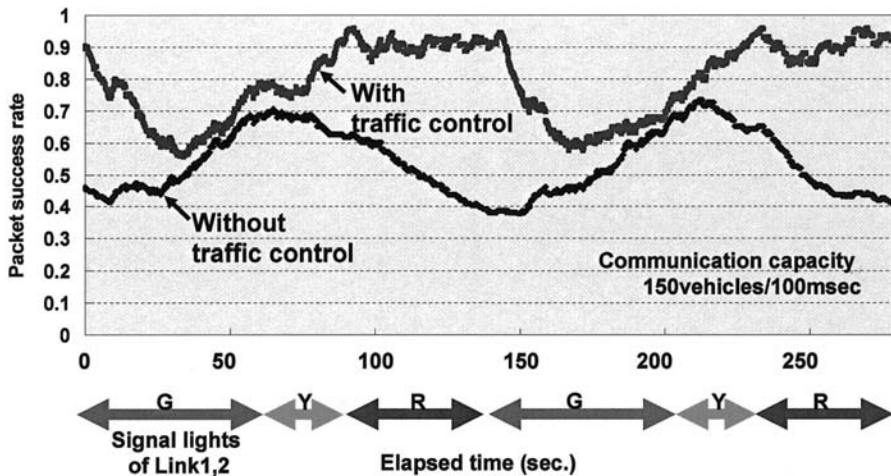
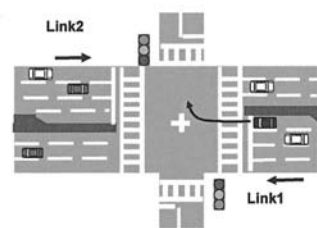


図6. 車車間通信安全システムの成立性評価例

— パケット成功率の時間的变化 —

通信成功確率が悪くなる。そこで、トラフィック制御を行った場合、赤信号時点でのパケット成功確率が低下することなく、また青信号や黄色信号時点でもトラフィック制御なしの場合に比べて制御した方が良いことが分かる。

以上の例のように、STREETを通信評価に適用することが可能である。



4. 安全システムの事故低減効果評価

4-1. 事故再現方法と再現性のためのパラメータ設定

次に、STREETにおいて事故を再現する方法について述べる。例として、交差点右折時の認知判断のフローの例を図7に示す。本エラーの再現例では、右折車両のドライバは、信号、対向直進車およびギャップを確認する。そのとき、信号や対向直進車を認知できない、あるいは、対向車両が交差点に到達するまでの時間の判断を誤るエラーが発生することにより、事故が発生する。

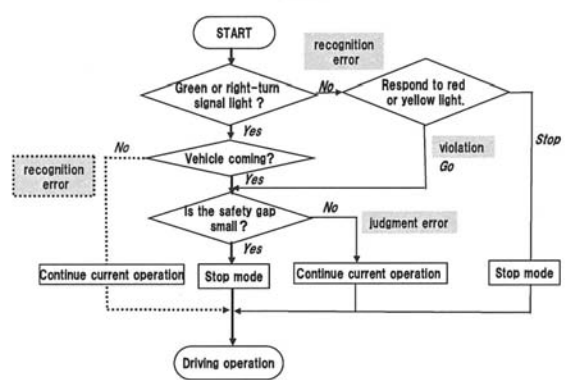


図7. ドライバモデル部におけるドライバの認知/判断の例

以上のように、事故を再現するモデルを用いて、まず事故再現性のためのパラメータ設定を行った。ここでは、一例として安全不確認が原因による事故を例に挙げる。これは、図7の破線で示す認知エラーに相当する。事故統計[4]によると、安全不確認が原因での右折直進事故は、全国で年間6,000件発生しており、全国の事故多発交差点約4,200箇所[5]で除すると、平均では1交差点当たり5年間で約7件発生していることになる。そこで、事故多発交差点である図3の交差点を対象に、5年間のシミュレーションを行い、安全不確認が原因での右折直進事故を7台発生するようにパラメータチューニングを行った。その結果、安全不確認車両を92,000台に1台の割合で設定することとした。

4-2. 事故発生および予防安全システムによる事故低減効果評価例

以上のモデルを用いて、事故発生および予防安全システム搭載時のシミュレーションを行った。シミュレーション条件を図8に示す。シミュレーション条件として、道路、交通量、信号は図3と同様とした。ただし、パラメータとするLink2の交通量に関しては、右左折直進車割合のみを図3と同様にして、交通量は600~2400台/時間を600台/時間刻みで変化させた。また安全システム搭載車両を0~100%を25%刻みで変化させ、シミュレーションを行った。安全システム搭載車両は、

対向車接近の警報を受けることとし、それによりドライバーは、安全を確認して右折するように設定した。なお、エラーは右折時の安全不確認のみとし、他のエラーや違反はないこととした。

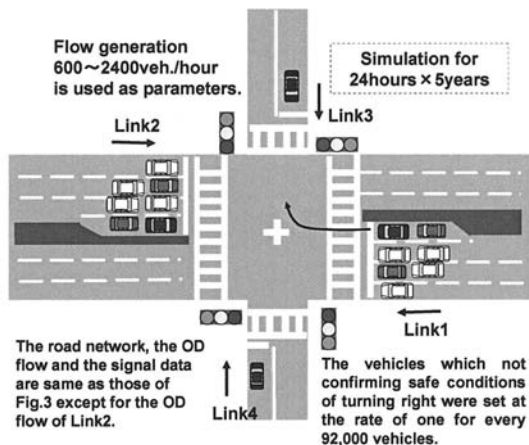


図8. 事故再現の評価のシミュレーション条件

対向車両台数および安全システム搭載率に対する事故割合の結果を図9に示す。事故割合とは、対向車両台数 1800 台/時間および安全システム搭載率 0%のときの事故台数を 1.0 とした場合に対する各割合を示す。図9より、対向車両台数が少ない場合は、右折タイミングによって不確認車両が事故を起こさず通過できる場合があるため、事故台数が少ない。対向車両が増えるに従って事故台数が増えてくるが、例えば安全システム搭載率 0%のとき 1800 台/時間以上になると、右折車は青信号では右折できず右折矢印(対向側の信号は赤で直進車は停止)時に右折する機会が増えるために事故台数は増えない。また、安全システム搭載率が大きくなるに従って、多少ばらつきはあるが、事故件数は減少傾向にある。交通量の大小

に関係なく、事故を半減させるには、搭載率は 50%以上必要であることが分かる。

以上のように、STREET を用いて事故発生および予防安全システム搭載時の事故低減効果が評価可能であることを確認した。

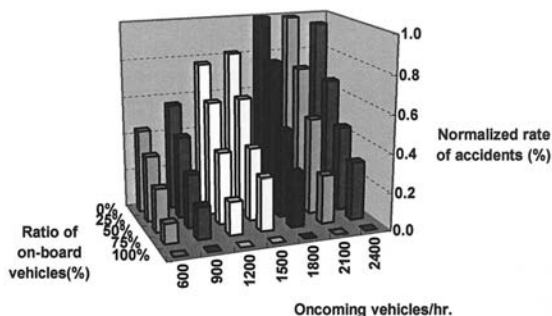


図9. 事故再現と予防安全システムの評価結果

5. まとめ

予防安全システムの成立性と導入による事故低減効果の評価を目的とした、予防安全システム評価シミュレータ STREET を開発した。それらの目的を満たすために、道路ネットワーク上の交通流を現実に近い状況で模擬可能とし、ドライバーの判断操作などの各ステップにおける人間のエラーにより事故を再現できるシミュレータの構成とした。

開発したシミュレータを用いて、現状再現性の検証を行ったところ、時間に対する交通量および速度変化に関して、ほぼ実測に近い状況が再現で

きることが分かった。さらに、車車間通信安全システムの通信成功確率の評価例を示し、速度を指標としたトラフィック制御等の検討に用いることが可能であることを確認した。

さらに、予防安全システムの事故低減効果評価例として、安全不確認による右直事故の例を示した。対向直進車の交通量および安全システム搭載率をパラメータとしてシミュレーションしたところ、対向直進車の交通量が大きくなるほど、安全システム搭載率が小さいほど事故件数が多いことが示され、STREET を事故再現および予防安全システムの事故低減効果の評価に用いることが可能であることが確認できた。

今後、車両挙動やドライバ挙動の精緻化を行っていく予定である。

Throughput of Packet Broadcasting Channels. IEEE Transactions on Communications, Vol.COM-25, No.1.

[4] Website of Ministry of Land, Infrastructure and Transport, <https://www.mlit.go.jp/road/ir/////iinkai/1pdf/s1-57.pdf>

謝辞

本研究を行うに当たり、(財)交通事故総合分析センターITARDA より貴重なデータのご提供を頂いた。また、(株)豊田中央研究所の牧戸研究員、小里技師をはじめとする ITS 第1研究室および人間特性研究室の各メンバーに多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- [1] S. Makido (2005). Traffic Management Issues for Vehicle Safety Communication Systems. Proceedings of the 2005 IEICE General Conference, Vol.39, No.2, pp.326, 21st-25th.
- [2] Y. Umemura (2004). Driver Behavior and Active Safety (Overview). R&D Review of Toyota Central R&D Labs.,Inc., Vol.39, No.2, pp.1-8.
- [3] NORMAN ABRAMSON (1977). The