共同研究組織中間報告（2017 年度）

道路上移動物体の干渉モデルを考慮した
ミクロ交通流シミュレーション

Development of Micro-scale Traffic Simulator
for Analyzing Mutual Interference between Any Traffic Objects

主任研究員名：北澤　章平
分担研究員名：金子　哲也

１．　研究背景と目的

国内の道路交通事情において隅々まで張り巡らされた道路網，高度に管理された交通信号や標識，高度道路交通システム（Intelligent Transport Systems: ITS）の普及など，道路インフラは発展し続けている．また，道路上の移動体単体の安全性能や整備状況も非常に高いレベルが維持されており，今後も先進運転支援システム（ADAS）レベルアップなどのドライバサポート技術の発展は続くと考えられる．これらにより統計上の事故件数に対する死亡者数は近年著しく減少した．しかしながら，世界的な事故統計を挙げれば交通事故の発生割合は先進国中でも特に高いレベルにある事実がある．しかしながら，時代の変化と共に車両の運動性能やその多様性，台数比率，環境や世代の移行による自転車や自動二輪車の普及，とくに近年ではカーシェアリングのような自動車の所有形態の変化や多種多様なモビリティの登場など，交通環境には大きな変革が訪れている．一方で道路交通インフラや交通ルールにおいては，当初の交通流の調和を最適化するという概念が存在しない時代の形態を基本的に踏襲しており，慢性的な渋滞の問題や交通事故の形態など交通安全の環境は長年に渡りほとんど変化していない．また，今後自動車の高度知能化が進展し，自律走行車両やパーソナルモビリティと呼ばれる小型自動車が登場すれば，新たな交通相互干渉の問題が起こりえる．

上記のような状況において我々は様々なモビリティの利用形態と道路交通インフラの不調和に着目した．

本研究ではこれらの問題に対して，様々なモビリティと道路交通インフラの調和性を定量的に評価が可能なツールとしての交通流シミュレータの開発を行う．そして，これを用いた解析結果に基づき交通流の調和の観点から最適化した道路インフラの提案を目指す．

２．　H29 年度の研究成果

2.1　シミュレーションに内装されるドライバモデルの構築

これまで開発を行ってきた人の危険感覚に基づく運転行動を再現するドライバモデルについて，適用出来る交通場面の範囲を広げ，より詳細な運転行動再現のための変更，

および実交通場面でのヒューマンドライバによる運転行動の再現性を検証するため，実際の交通場面での運転行動計測とこれによるモデルの表現性について検証をおこなった．交差点での右折や狭い道路でのすれ違いを対象として，これまで主な検討対象としてきた操舵行動に加え，道路環境や他の交通から受ける危険感覚を用いた車速制御について検討した．一方で，ヒューマンドライバによる運転行動を計測するための実験車両を構築し，運転操作に加えて周辺の交通状況および走行軌跡を計測し，モデルにより生成された制御目標との類似性について検証をおこなった．

2.2　シミュレーションに内装される PMV 車両運動力学モデルの構築

近未来の身近なモビリティとして，我々はパーソナルモビリティ（Personal Mobility Vehicle：PMV）に着目している．このうち，自動二輪車のようにリーンしながら旋回する PMV は，独特の旋回姿勢や運動性能を有することから，他の交通に与える影響を検討する必要性がある．また，既存の交通との混合交通下において，交通流の調和と安全の確保を行うために，PMV 自体の運動性能特性を明らかにする必要がある．そのため，車輪の配置と操舵機構の違いによる運動性能の違いについて詳細な分析をおこなった．この結果に基づき，車両の基本設計に関する提言を行い，同時に車両運動力学モデルの開発をおこなった．

３．　今後の計画

交通流シミュレータに内包されるドライバモデルには，個々のドライバによる運転行動を詳細に模擬するためにパラメータを調整する必要がある．そのため，ヒューマンドライバによる運転行動の計測と，この結果を用いたパラメータ推定手法の開発を行う．また，自動二輪車を運転するライダの運転行動を計測するため，ライディング・シミュレータの完成を目指す．これらにより得られたパラメータを用い，開発したドライバモデルおよび車両運動力学モデルを用いた各種交通場面における危険感覚の干渉についてシミュレーションを行い，複数モビリティが互いに干渉する交通場面での交通流の調和について検討を行う．

発表実績

- 市街地走行環境におけるリスクポテンシャルフィールド推定と自律走行車両のための制御目標生成アルゴリズムの開発，山口昌志，上田大貴，北澤章平，金子哲也，日本機械学会　第 26 回交通・物流部門大会（TRANSLOG2017）講演予稿集， 2017
- リーン機構を有するパーソナルモビリティビークルの動的横転限界特性，金子 哲也，景山 一郎，原口 哲之理，（公社）自動車技術会 2017 年秋季大会学術講演講演予稿集， 2017
- Control Target Calculation for an Autonomous Vehicle to Maintain Traffic Harmony in an Urban Area, Shohei Kitazawa and Tetsuya Kaneko, FAST-zero 2017 Symposium (Future Active Safety Technology Towards zero traffic accidents),2017

- Dynamic Rollover Characteristics of Personal Mobility Vehicles with Lean Mechanism, Tetsuya Kaneko, Ichiro Kageyama, Tetsunori Haraguchi, Proceedings of IAVSD 2017, CRC Press, 2017
- 市街地での交通流の調和を考慮した自律走行車両の制御目標生成，北澤章平，金子哲也，（公社）自動車技術会 2017 年春季大会学術講演講演予稿集， 2017
- 大型 5 面没入型ドライビングシミュレータによる内傾型パーソナルモビリティビークル研究，原口 哲之理，金子 哲也，景山 一郎，栗谷川 幸代，小林 祐範，自動車技術会論文集，20174447 Vol.48/ No.3，693-698，2017

ドライバモデルに用いるリスクポテンシャルパラメータ推定に関する研究

北澤　章平（全学教育機構テクニカルセンター）

研究概要

著者らはこれまでいくつかの交通場面において，ヒューマンドライバが感受する危険感覚に基づいた自動運転車両の制御目標生成技術を確立してきた．平成 29 年度では特に周辺の車両の動きから感受する危険感覚による車速の制御について検討を行い，交差点の右折場面や狭い道路で対向車両とすれ違う場合について，制御目標生成アルゴリズムの開発を行った．また，実交通場面において自車の走行経路を計測するための実験車両および計測手法について確立した．

図１にシミュレーション条件および初期条件を示す．対向車線を直進する車両がある場合において自車が右折を行う，いわゆる右直事例に対する本アルゴリズムの有効性についてシミュレーションにより検証した．

対向車両 V1 は交差点を直進し，自車 V0 は交差点を右折するために直線区間で減速を開始，右折するが，対向車の接近に対して制動を行わなければ交差点内で衝突する条件である．

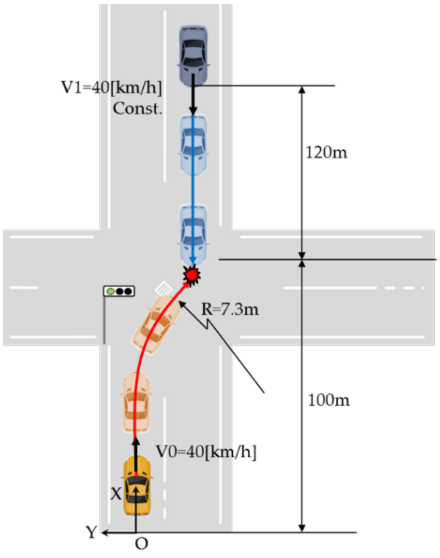

Fig.1 Simulation Condition

交差点内における進路は経路計画に基づいて交差点前後の車線規制と交差点内の交通規制からあらかじめ決定されるものとし，図２に示すように走行進路の左右端より進路の法線方向に指数関数で定義されるリスクテンシャルを配置した．リスクの最下点を目標経路として左右からのリスクポテンシャルの偏差を用いた前方多点注視二次予測モデルによって操舵角を算出した．この操舵角を平面 2 自由度の車両運動力学モデルに適用することで，制御目標軌跡を算出した．

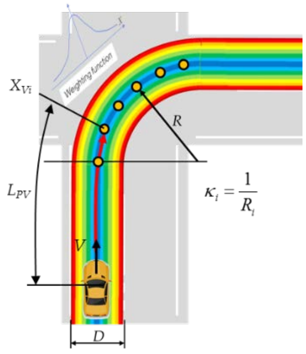

Fig.2 Curvature of Multi Preview Point in a Crossing

車速制御については，曲線路を通過するために減速行動を行う．進路内のリスクの最下点の曲率 κ_{PV_x} を用いて注視点での横加加速度 $\dot{G}_{PV_y}$ を推定し，これに応じた減速度を算出した．すなわち，加減速制御に用いる予見時間 T_{p_x} 秒後の自車位置を現在の状態量から 2 次項までを用いて推定し，その地点における曲率を元に（1）式により横加速度 G_{y_PV} を推定する．

$$G_{y_PV} = \kappa_{PV_x} \cdot v^2 \qquad (1)$$

推定した予見位置での横加速度から，カーブ進入時の減速度を（２）式により求め，これを用いて制御目標速度を規定した．

$$G_x = \frac{K_{Dec}}{1 + T_{Dec} \cdot s} \cdot \dot{G}_{y_PV} \qquad (2)$$

図３に本シナリオで計算した制御目標の結果を示す．交差点内のカーブ曲率と前方の対向車両に対して連続して制動が行われており，制御目標として目標車速は滑らかに算出され，目標実舵角，車線軌道との偏差とも小さく，自車両は交差点を対向車両に対する制動を行いながら，かつ適切な操舵により通過出来ることを確認した．

この結果から，他車との協調が要求される市街地での交通事象として交差点での右折を取り上げ，操舵行動および加減速行動を対象としたリスクポテンシャルモデルの考え方を適用した制御目標生成手法についてシミュレーションにより検証をおこない，その有効性を確認した．

同時に実交通下でのヒューマンドライバの運転行動を計測するため，計測装置を搭載した実験・計測車両を構築し，計測を行った．これにより特殊な実験路でない一般路において，走行路上の自車位置を正確に計測することが可能となった．今後，これまで適用を確認した交通場面における走行データを収集し，リスクポテンシャルパラメータの調整を行うとともに，推定手法について検討を行っていく．

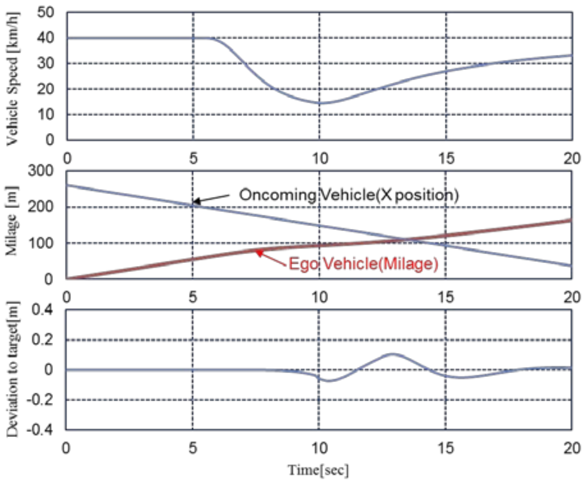

Fig.3 Simulation results

車両運動特性を考慮したミクロ交通流シミュレータの開発

金子　哲也（工学部交通機械工学科）

研究概要

近年，小型で低コストであり機動性の高い，新しいカテゴリーの移動手段としてパーソナルモビリティ（Personal Mobility Vehicle 以下 PMV）の需要が高まり，市販，研究開発，運用，実証社会実験が多方面で行われている．本研究では４輪車（または３輪）でありながら自動二輪車などと同様に旋回方向に対して内側に倒れ込む（リーン）ことにより旋回する車両を想定し，通常の交通流の中において固有の運動特性と走行形態を持つ超小型モビリティの動きや車両の相互の間の干渉度合い等の検証など，ドライバの操縦動作を含めたダイナミクスと交通システム・ルール面からの合理的親和性確保のための検証と方策の提案を目的とし，ドライバのリスク感覚の相互干渉を考慮したミクロスケール交通流シミュレータの開発を行う．

平成 29 年度のおもな取り組みとして，PMV 固有の運動特性と車体形状から懸念される走行安定性の要因の一つとして挙げられる動的横転限界特性について，多自由度の運動力学シミュレーションモデルを用いて検討した．

本研究における提案車両として，図１に示すような 3 タイプの車両運動モデルを考案した．大別すると前輪２輪，後ろ１輪の３輪タイプと前後２輪計４輪とし，３輪タイプでは後輪操舵（3WRS）と前輪操舵のタイプ（3WFS）とする．また，４輪のタイプでは前輪操舵（4WFS）とする．何れも左右 2 輪のタイヤが車体垂直方向に交互に移動することにより，車体が大きく傾斜（リーン，ロール）運動する．車両形状は，ホイールベース，トレッド共に短く，平面専有面積が小さいが，運転者の車室内快適性を確保するために車両全高が必要なため，車両平面のサイズに対して相対的に重心が高くなる．タイヤの転舵のみによる旋回ではロールオーバのリスクが高くなることから，旋回時に左右タイヤを垂直方向に交互に上下移動させて積極的に旋回内側にロール運動をさせ，自動二輪車のように大きくリーンさせることにより，車体質量による重力の水平成分と旋回による横加速度の釣り合いを確保する．本車両は特有の運動特性としてドライバの操舵入力に従い左右車軸の垂直方向移動させる事により車体を大きくロールさせながら旋回運動を行う．よって操舵入力が直接的にロール運動を支配しており，比較的重心高の高い PMV では急操舵のような状態で

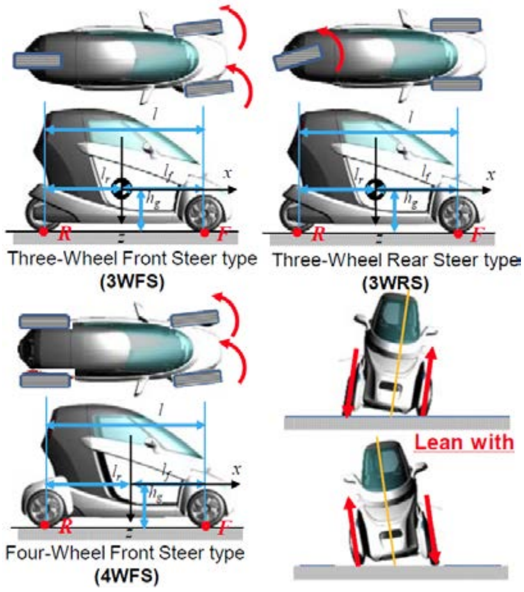

Fig.1 Vehicle Types of PMV

は横転の危険性が懸念される．そのため，多自由度運動力学シミュレーションにより動的横転限界特性について検討した．

ここでは閉ループでの車両応答を検討するため，正弦波状の操舵入力に対する車両状態量変化，特にロール運動に関する安定性について検討を行った．走行速度は 40km/h，50km/h 一定とし，操舵周波数は 0.5Hz～2.0Hz とした．シミュレーションを行った結果として，正弦波の操舵入力に対する車両運動の収束性を評価し，各条件と車両タイプ 3 種においてまとめたものを表 1 に示す．また，そのときのシミュレーション画像を図２に示す．左右のタイヤが大きく浮き上がりロール運動を伴う振動が一定時間以上継続する場合（Bad），タイヤは僅かに浮き上がるが車両は比較的早く収束する場合（Good），そして操舵入力後もタイヤは路面に接地して速やかに収束する場合（Very good） の３段階で評価した．この結果より，4 輪の前輪操舵タイプの車両において，急操舵入力による車両運動として主にロール運動の収束性が最も有意であることが分かり，先行研究において実施した障害物回避性能に関する検討結果と相反する結果となった．さらに 3 輪の前輪操舵車両は，全体として他の２タイプの車両に対して相対的に大きく収束性が劣ることが確認された．今後，車両モデルの改善を行い，より詳細な運動解析を行う．その結果を交通流シミュレーションに適用することで，周辺交通との相互干渉を検討する．

Table 1 Evaluation Table of Vehicle Roll Motion with Respect to Sinusoidal Steering Input

Vehicle Speed 40 [km/h]	Steering wheel frequency [Hz]			
	0.5	1	1.5	2
3 Wheel Rear Steering	Very good	Very good	Bad	Bad
3 Wheel Front Steering	Very good	Bad	Bad	Bad
4 Wheel Front Steering	Very good	Very good	Very good	Good

Vehicle Speed 50 [km/h]	Steering wheel frequency [Hz]			
	0.5	1	1.5	2
3 Wheel Rear Steering	Very good	Good	Bad	Bad
3 Wheel Front Steering	Very good	Bad	Bad	Bad
4 Wheel Front Steering	Very good	Very good	Good	Good

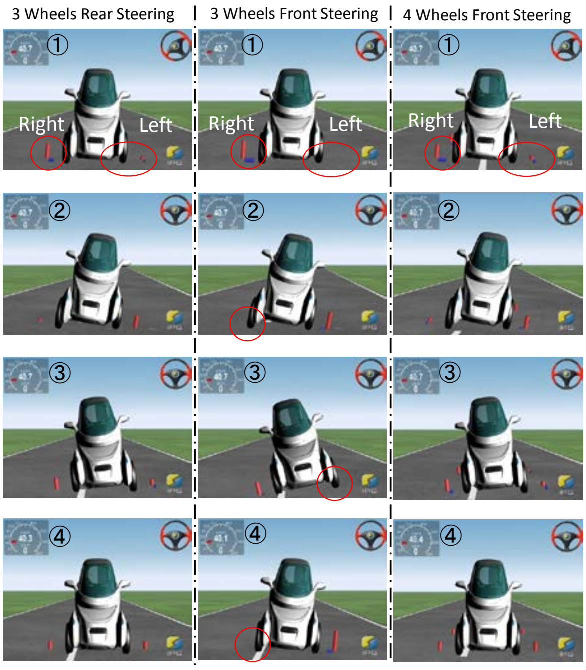

Fig.2 Animation Graphics of the Simulation Results