

道路交通における次世代モビリティの親和性評価のための シミュレーション手法の開発

Development of a traffic simulator to evaluate affinity between next-generation mobilities and existing road traffics

主任研究員名：金子 哲也

分担研究員名：北澤 章平

1.研究概要

自動車の高度運転支援システム搭載車両や自動運転化，1～2人乗り小型車両（パーソナルモビリティビークル：PMV）の開発競争など急速にモビリティの多様性が進んでいる⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。一方交通インフラや法規の多くは長年大きな改変もなく現在に至っている。先に挙げた次世代モビリティの普及について多くの利益が得られるという情報は比較的多く話題となるが，これらの負の影響により，既存の道路交通では観測することができなかった新たな問題事象や道路交通流の変化，人間を中心とした交通社会への影響について十分に議論されていないのが現状である。

本研究課題は，自動運転車両やパーソナルモビリティを代表とする次世代モビリティと既存の人間の操縦する自動車を代表とする多様な移動体（モビリティ）の混在する近未来を想定する。様々なモビリティの詳細な運動特性やその操縦者の動作，各モビリティ間の干渉などミクロな視点，局所的場面（追い越し，追い抜き，交差点，合流などローカルなシナリオ）における詳細な動作を再現し，次世代モビリティと既存のモビリティ，道路インフラの親和性を定量化して評価可能な交通シミュレーション手法を構築することを目的とする。本研究成果を活用することにより，安全で調和された道路交通社会システムの提案が可能となると考える。

2.交通流シミュレーションの構築

本研究では，次世代のモビリティが従来モビリティ（乗り物，移動手段）との混在の中でどのような影響を及ぼし，道路交通社会に対して，どのような変化をもたらすのか，学術的に『人間を中心とした道路交通の調和，親和性』といったこれまで定量的な評価，解析が行われていないという観点から，評価を行うためのツールとして道路交通シミュレーション手法を開発した。その活用から得られる局所場面での詳細な道路交通を模擬可能な前例のないシミュレータの構築を行うものである。シミュレータにおける各種モビリティの運転動作モデルと運動力学モデルの概要を図①に示す。

構築したシミュレーション手法は，道路交通の潜在的な問題点を明らかにするための評価ツールとして活用可能であり，また，それをを用いることにより，今後起こり得る交通問題や次世代モビリティの有効な運用方法を予測することができる可能性を持って

いる点も本研究の社会的有用性であるといえる。

本シミュレータを構築する際、最も重要とされる各モビリティの運動を決定する操縦動作モデルは「人間は通常合理的な意思決定を行う」「人間の運転行動は危険感覚（リスク感覚）を最小とするよう行われる」ということを基本コンセプトとして、ヒューマンドライバの運転行動を再現可能なものを適用する必要がある、これらを前提にした交通流の評価指標を確立する。本研究における学術的課題を以下に示す。

- ① 様々な移動物体（自転車、自動二輪車、乗用車、大型車などモビリティ）の詳細な運動を表現可能な物理（運動力学）モデルの構築。
- ② 操縦者の運転特性を詳細に表現するモデル（ドライバモデル、ライダモデル）の構築。
- ③ 道路交通上の場面（事故多発条件、交差点、合流、障害物回避）において道路上の各移動物体（モビリティ）間の干渉を表現するモデルの構築。
- ④ 道路交通を「親和性」という評価値として定量化する手法の開発。

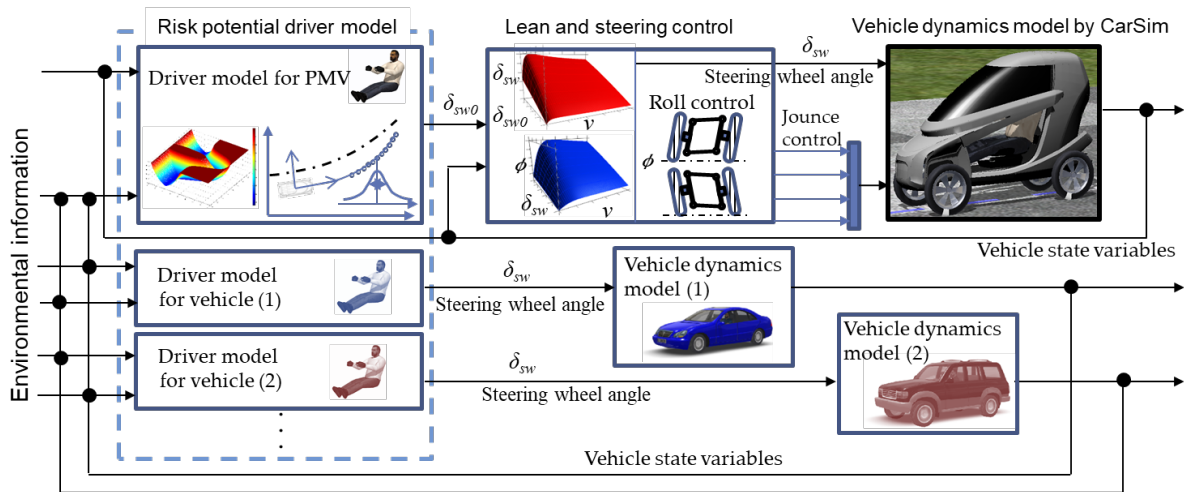


図.1 シミュレータにおける各種モビリティの運転動作モデルと運動力学モデルの関係

3.モビリティ操縦者の運転行動モデルの構築

本研究において最も学術的に重要度の高い課題は、操縦者の運転行動モデルの構築である。これは、人間工学と制御工学の観点から人間の環境認識や意思決定過程、運転動作を忠実に再現できるモデルを構築し、シミュレーションの一要素として適用する必要がある。

本研究では、操縦者の運転行動モデルにおいて、これまで申請者が主に自動運転車両の制御目標生成アルゴリズムの開発に活用してきたアルゴリズムを応用する。本アルゴリズムのコンセプトの一例を以下の図 2 上部に示す。これは、運転者が前方視野内の対象物に強い危険を感じた場合、その対象物を大きく回避すると共に反対側の車線や遮蔽物からの危険も意識して運転行動をとり、その危険が最も低い位置を目標として追従しているものとする。これらの考えを認識物体からの距離に対して、瞬時心拍の上昇などの生体計測や主観評価により説明し構築されたモデルである⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。これは人間の運転動作を忠実に再現することを目的に開発され、本研究課題に応用することは有効であると考えられる。そして、シミュレーション解析において、人間が関与する交通物体の運

動には、すべて上記のモデルを応用したものを適用する。図 2 に示すように、それらすべての動作を支配するリスク値（リスクポテンシャル，危険感覚）から，様々な道路交通場面において「交通の親和性」という抽象的な概念を定量化して評価する手法を提案する。

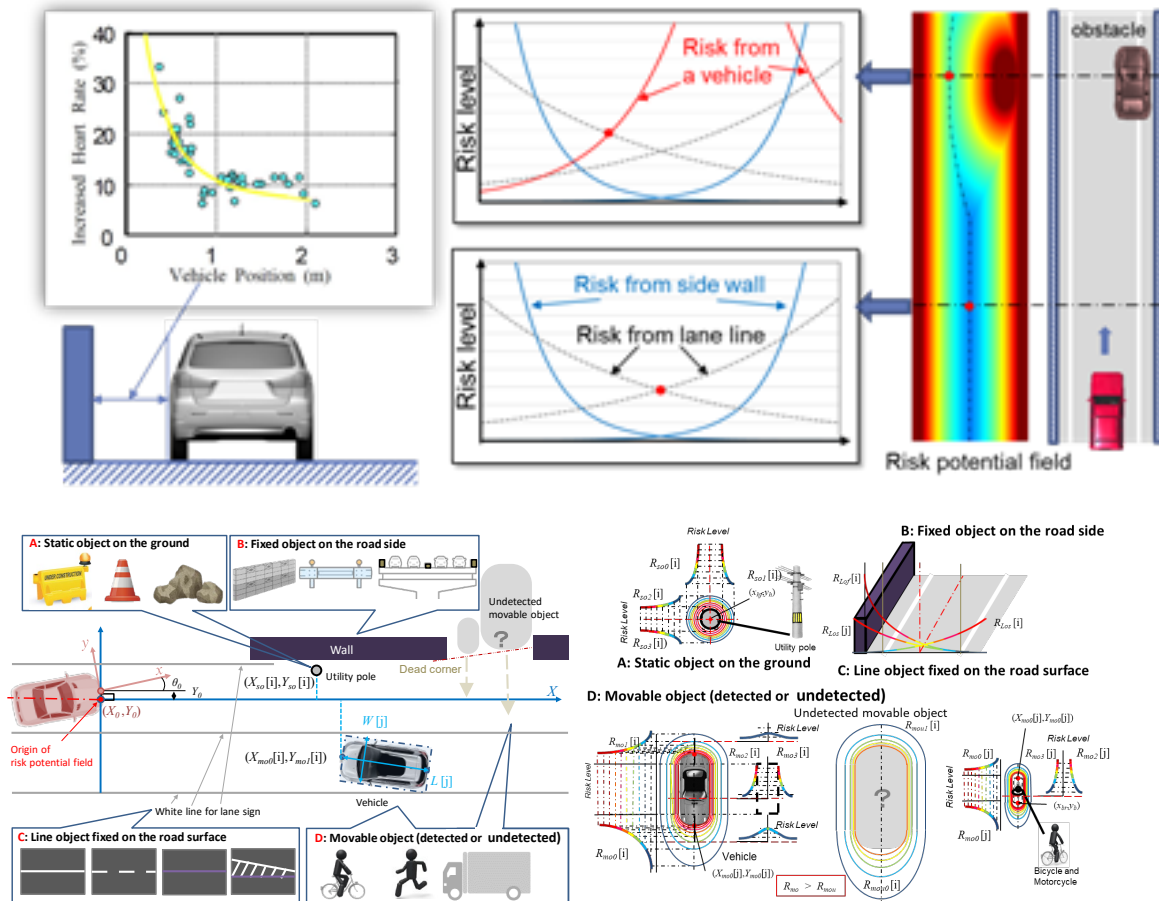


図 2 リスクポテンシャルモデル

4.成果報告

本研究は大別すると以下の研究計画と過程を経て遂行される。

- ① 調査研究：ヒューマンドライバの運転行動の整理と国内外の次世代車両開発動向の追跡調査。
- ② 交通シミュレーションの基本構造の構築
- ③ シミュレーションにおけるドライバの運転行動モデルの同定
- ④ 交通シミュレーション手法の確立とそれを活用した解析
- ⑤ 研究成果の評価（研究成果の第三者評価，公表）

以降，上記各項目における成果ついて説明する。

調査研究：ヒューマンドライバの運転行動の整理と国内外の次世代車両開発動向の追跡調査について，同様の調査研究として，研究期間初期から後期のほぼ全般に渡って，国内外における次世代モビリティの開発動向や車両制御の基本アルゴリズムを調査する。そして，これらの調査によって得られた情報を基に，次世代車両の制御動作とドライバの運転行動の違いを明確にし，交通シミュレーション内での両者のモデル構造に反映さ

せた。また、既に全世界的に行われている実路での自動運転実証実験について調査し、次世代車両が道路交通社会に与える影響について事故やトラブルなど局所場面でのミクロ分析を行い、本研究において取り扱うシミュレーション場面の抽出を行う。先に述べたように認知、判断、操作の技術がある。それら技術の進化には、様々な走行データ、環境情報に基づいて制御計算が行われる、設定思想として進化してきた。車両において收拾されたビッグデータを用いて自律走行の判断に必要なデータ、知識として活用され、最適な走行を実現するように想定されている。このデータ基盤の発展とともに、自律走行技術が発展していくことが予想される。この流れとして、自動運転技術を開発する企業や、研究機関が走行データの收拾に取り組み、さらに進行している。

②交通シミュレーションの基本構造の構築

シミュレーションにおいて再現する各種車両の運動は、本研究機関において申請者がライセンスを所有する車両運動シミュレーションソフトウェアにおける運動力学モデルを活用し、物理法則に忠実に、かつ詳細に模擬可能なものとする。前述のリスクポテンシャルの考え方を基に道路交通上の車両の操縦動作や車両間の相互干渉を表現するアルゴリズムを結合させる準備を行った。

③シミュレーションにおけるドライバの運転行動モデルの同定

操縦者の運転行動モデルを構築するには、そのモデルを構成する各種パラメータ同定が必要である。そこで前述の運転行動データベースの活用と共に本研究機関所有の実路走行実験車両による走行実験、モーションベール型ドライビングシミュレータおよび二輪車用ライディングシミュレータを用いた運転行動計測実験により得られたデータを活用する。これらの詳細については各研究分担者の報告において説明する。

5.総括と今後の予定

これまでの研究期間において4章はじめで述べた研究計画において、おおよそ前半部分の内容を遂行することができ、これまで問題なく予定通り本テーマの研究は進んでおり、関連研究の対外発表も行われている⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。

今後は交通シミュレーションにおける各移動体の操縦モデル（ドライバモデル）の多様性、精度向上を行うための実路走行実験、ドライビング・ライディングシミュレータによる実験を重ねていく必要がある。

参考文献

1. 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)
2. Development of A Traffic Simulator for Analyzing Mutual Interference between Personal Mobility Vehicles and Traffic Flow in consideration of Vehicle Dynamics, Tetsuya Kaneko, Ichiro Kageyama, Yukio Kuriyagawa, Tetsunori Haraguchi, Proceedings of Bicycle & Motorcycle Dynamics 2016 BMD2016,

(2016)

3. 金子哲也ほか：リーン機構を有するパーソナルモビリティの急操作時の車両応答特性とその性能向上手法に関する一考察，自動車技術会論文集， 50 巻 3 号 p.796-801, (2019)
4. 景山一郎：前方視野の危険感を用いたドライバモデルについて，自動車技術会論文集 Vol.24, No.2, p .81-87 (1993)
5. 金子哲也：運転者特性を考慮した自律走行車両のためのドライバモデル，自動車技術， 70-4, p78-84, 2016
6. 金子哲也ほか，自律走行車両のためのドライバモデルおよび車両モデルを考慮した制御目標のリアルタイム生成,自動車技術会論文集, Vol.42,No.6, p 1303-1308, 2011
7. 北澤 章平, 山口 昌志, 金子 哲也：リスクポテンシャルを用いたすれ違い場面における自動運転車両の操舵および速度制御目標生成アルゴリズム 日本機械学会論文集 85/ 880, No.19-00145 2019/12/25
8. 大田侑史, 山口昌志, 北澤章平, 金子哲也，リスクポテンシャルドライバモデルを用いた運転行動における知覚認知特性推定に関する研究 第 17 回 ITS シンポジウム 2019 2019/12/12
9. 山口 昌志, 北澤 章平, 金子 哲也，市街地路走行における危険予測運転に基づいた自動操舵モデル構築のためのリスクポテンシャル推定法 日本機械学会，第 28 回 交通・物流部門大会 (TRANSLOG2019) 2019/11/29
10. 金子 哲也, 原口 哲之理, 景山 一郎．旋回リーン機構を有するパーソナルモビリティビークルの緊急回避性能評価 自動車技術会 2019 年秋季大会 学術講演会 2019/10/09

環境情報と運転行動データを用いた リスクポテンシャルパラメータ推定

金子 哲也（工学部交通機械工学科）

1. 研究概要

ドライバ運転行動の過程は、ドライバが周辺環境を知覚、認知、判断、操作を繰り返す行うことで成立する。本研究ではドライバが車両周辺環境から感受する危険（リスク）感覚を合理的要因と考え、それを応用したリスクポテンシャル（以降 RP）ドライバモデルのアルゴリズムを用いることで、個々の運転行動の違いの定量化が可能であると考えた。前述の考えを用いて、図 1 に示すように自車両の運動状態量と車両走行環境から構築される RP マップの動的変化を推定し、データの蓄積を行う。それらを解析により個々ドライバの知覚、認知、操作の過程の個人差推定を行う。さらにその運転行動の時刻変動を常時観測することにより、危険性を検出し、個人特性に適応した運転支援手法の提案を目的とする。

本稿では、本研究において基本となる研究課題として、運転行動からドライバの運転特性を推定する基本的手法について説明する。

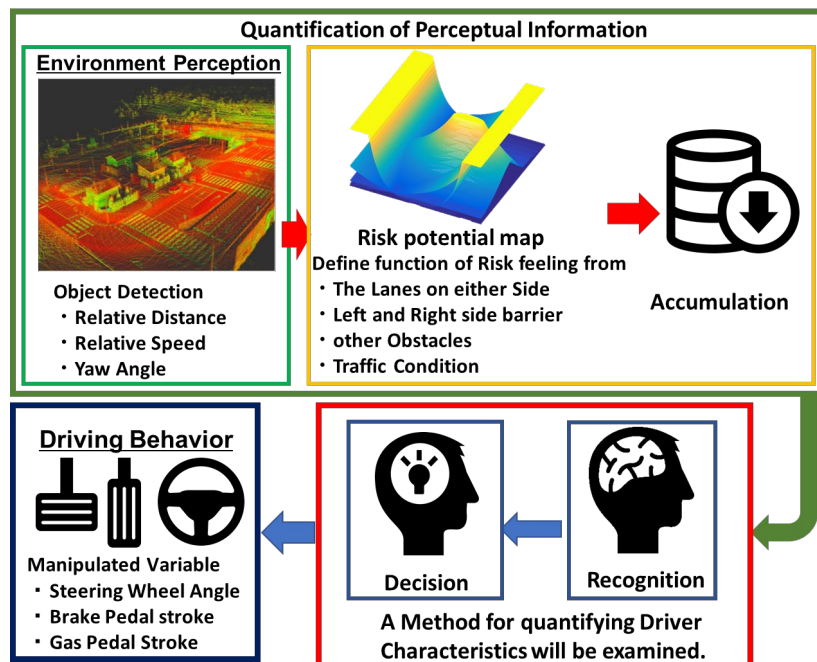


Fig.1 Overall View of the Proposed Method

2. 個々の運転行動の表現手法

2.1. リスクポテンシャルマップによる表現

ドライバは車両周辺の状況から危険感覚の最も少ない経路を目標として操縦動作を行う。図 2 に示すように、走行路上の顕在的な物体のみならず、物体の進入予測によるリスクなどの潜在的リスクも運転行動に影響を与える要素として定義した。また交通法規についてもリスク要因と定義した。

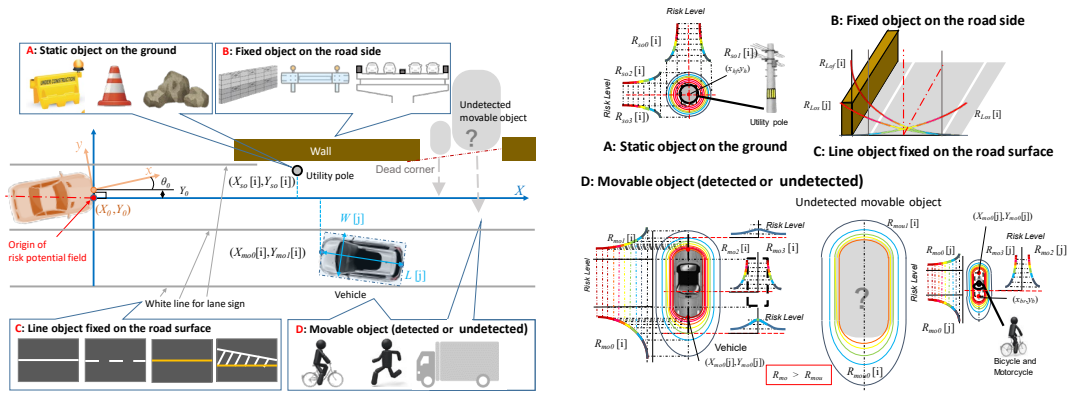


Fig.2 Schematic of Risk Potential from Objects on the Road

3.RP パラメータの推定手法と検証

3.1. RP パラメータの推定手法

ドライバの操舵動作を例にした RP パラメータの推定手法の概略を図 3 に示す。まず走行軌跡の各地点での車周辺の障害物等，各種オブジェクトの座標を取得する。各種オブジェクトの属性 RP 関数を選択する。そして，計測された車両状態量から，定義された RP より操舵の制御目標算出と同じく操舵角を推定する。式 (10) のように実走行で得られた操舵角と推定された操舵角との二乗誤差を評価関数とし，これを最小とする最適問題を解くことにより，各オブジェクトの RP 関数の主なパラメータを数値計算により探索する。

$$\int_t^{t+\Delta t_0} (\delta_H - \delta_{RP})^2 dt \quad (10)$$

3.2. RP 推定手法の検証

提案した RP 値の推定手法の検証を試みた。上記 RP 推定手法では IPG 社製シミュレーションソフト CarMaker を用いて図 4 のような車両前方 100m 地点に停止車両が存在し，自車両は停止車両の追い越しを行うシナリオを作成した。ここでは，ドライバモデルを用いた運転行動データを人間ドライバに相当するものとした。走行速度は 30km/h 一定とし RP の推定を行った。最適問題による推定には数値計算手法として非線形最小二乗法としてレーベンバーグ・マーカート法を用いた。図 5 にシミュレーションモデルで出力された走行結果と推定された RP を用いて生成した結果の比較を示す。

4. まとめ

RP を定量化し自律走行車両制御目標生成アルゴリズムを応用した。個々の RP パラメータを運転行動データにより推定する手法を提案し，シンプルな条件でのシミュレーションにより妥当性を確認した。RP 推定値は走行状況によって多様に変化するため多くの走行条件でのデータを収集し，推定された RP マップと車両走行環境との類似性を統計的に処理して RP パラメータと定量化された走行環境との関係性を導き出していく必要がある。

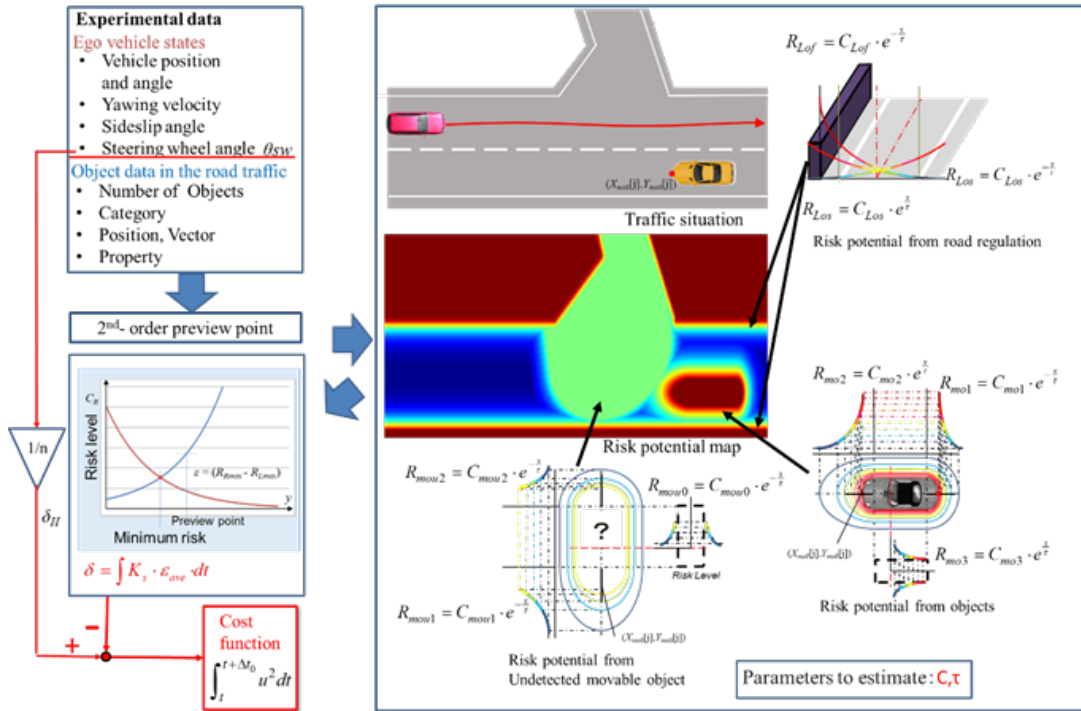


Fig.3 Estimation method of the parameters for the risk potential functions

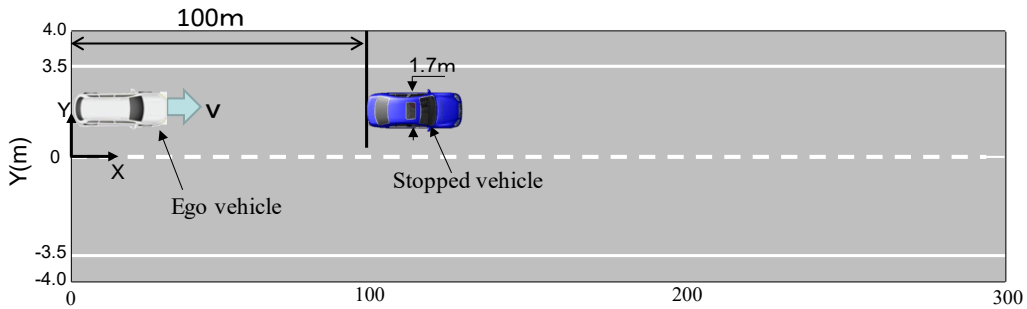


Fig.4 Estimation method of the parameters for the risk potential functions

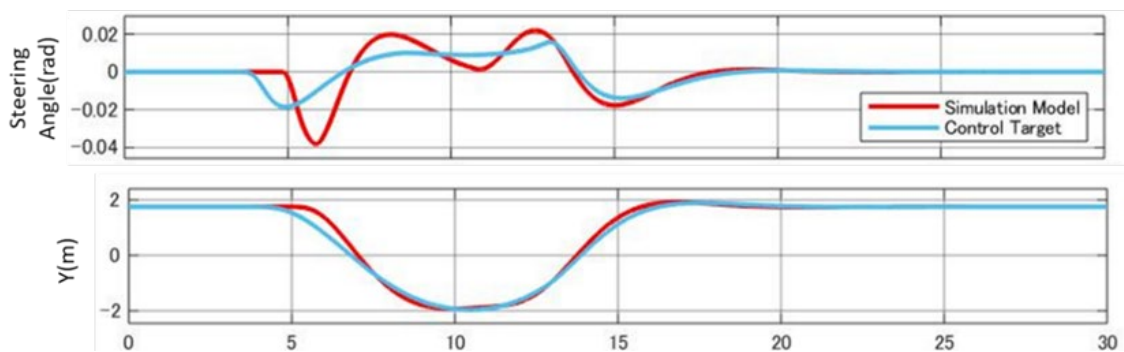


Fig.5 Estimation results

交通流における特徴量計測を目的とした ライディングシミュレータの開発

北澤 章平（全学教育機構テクニカルセンター）

1. 研究概要

二輪車の車体の運動は走行中に大きく傾くなど四輪車とは異なる特徴を有し、また二輪車単体では非常に不安定であり、ライダーに操縦されることによって車体の安定性を保つ特徴がある。これらのことから交通流において四輪車のドライバーから見た場合、けっして親和性がよいモビリティとは言えず、その運動特性について他の交通からどのように認識されているかを調べる必要がある。それに加え、二輪車の運動特性の解析には人間-二輪車系としての扱うことが重要である。しかしながら、二輪車の運動特性を実車実験にて解析するには、転倒によるライダーの怪我や機材の破損によるコストの増加、同一条件での繰り返し実験が困難、計測装置等を積載するスペースが限られるといった問題が挙げられ、四輪車による実車実験と比較して非常に困難である。これらを解決する手段として、操縦感覚の再現度が高いライディングシミュレータの活用が有効である。

本研究では、自動二輪車およびそれを操縦するライダーの運転動作特徴を抽出することを目的とし、運転行動計測用ライディングシミュレータの開発を行う。特に二輪の運転中にライダーに作用する映像や外力の付与を工夫し、高い臨場感を表現することを目指す。

2. システム構成

図 1 に構築するライディングシミュレータのシステム構成を示す。リアルタイム OS を有するプロトタイピングシステムおよび二輪車両運動制御シミュレーションソフトを用い、ライダーに付与する映像の生成を行う。二輪の筐体は 3 自由度、ロール、ピッチおよびステア軸を制御し、姿勢制御および反力制御を行う。通常、ドライバーやライダーは約 9 割の情報を視覚から得ていると考えられていることから、映像ロール制御と外力付与の割合についてはさらに検討を加える。特に二輪車ではライダーに働く前後、左右加速度は重力と慣性力によるつり合いによることから、シミュレータで実際の走行でライダーに働く外力を再現することは難しいが、いくつかの手法により臨場感を高めることが出来るとされている。

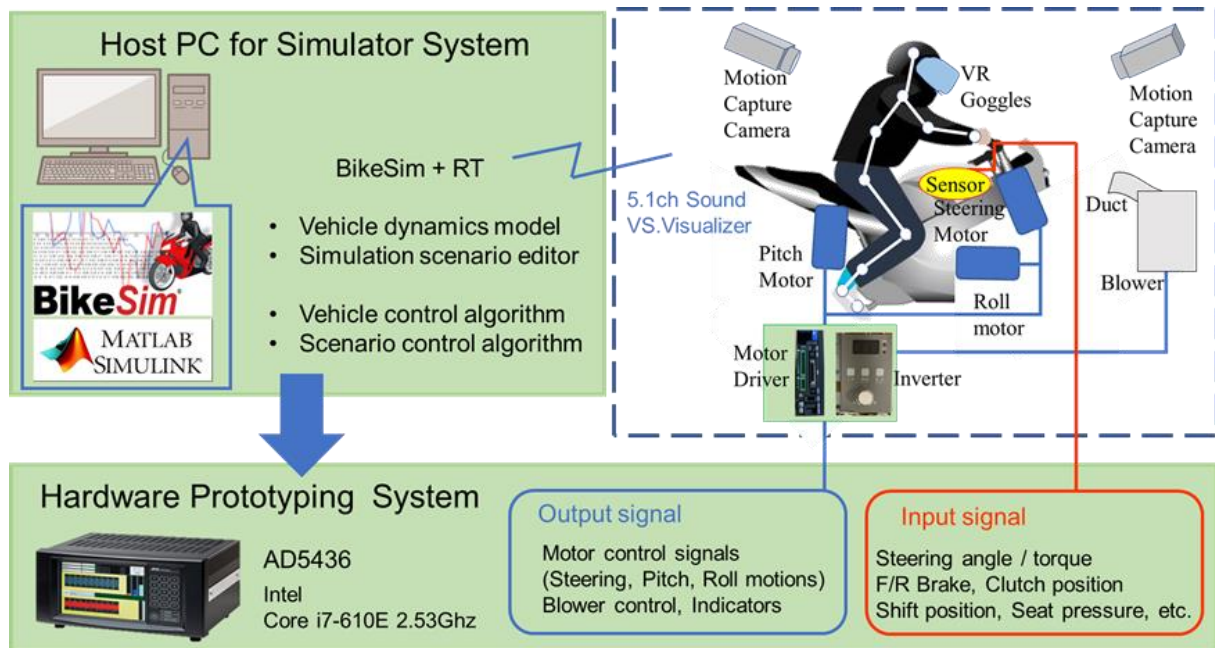


Fig.1 System Outline of Riding Simulator

3.今後の予定

モビリティの中でも二輪車はリーンすることにより旋回するなど 4 輪車とは異なる車両運動特性を持つ。今後、二輪車およびライダーを加えた運転行動を計測し、その特徴を表現するライダーモデルを構築し、多様な交通における二輪車の親和性と交通の調和について検討を行う。