

研究種目：基盤研究 (C)  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18560400  
 研究課題名 (和文) ファジィ推論ネットワークを用いた自律分散系による  
 3つのシミュレータの構築  
 研究課題名 (英文) Constructions of three simulators based on autonomous distributed  
 systems using fuzzy inference networks  
 研究代表者  
 本多 中二 (HONDA NAKAJI)  
 電気通信大学・電気通信学部・教授  
 研究者番号：30017420

## 研究成果の概要：

本研究では、新しいシステム工学的的方法論のファジィ手法と今日の優れたコンピュータの能力を融合して道路交通に関する高性能でかつ実用的な3つのシミュレータを構築した。それは (A) コンピュータ上に道路交通流を再現し、信号制御方式の評価や二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の排出量の推定が可能なシミュレータ、(B) あえて危険な状況を生成し、いかに交通事故を回避できるかを解析するためのドライビングシミュレータ、(C) 市街地での自動車の走行を効率よく監視する監視カメラシステム設計のためのシミュレータであり、それぞれ実データを用いた検証を行い、有効性を確認した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,200,000	0	1,200,000
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
総計	2,800,000	480,000	3,280,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・システム工学

キーワード：システム情報 (知識) 処理, 道路交通シミュレータ, ファジィ推論, 自律分散系

## 1. 研究開始当初の背景

自動車はTVやコンピュータとならんで20世紀最大の文明の利器であり、今日自動車のない我々の生活や社会活動、経済活動は考えられない。反面、我々にとってこのように不可欠な自動車も、その台数があまりに急激に増加したために多くの負の問題をもたらしている。それは都市部や高速道路での渋滞問題であり、大気汚染、騒音、交通事故、エネルギー浪費、市街地のセキュリティの問題である。これらの対策を立てる上で、実地での対

策案の検証は安全面やコストの面から困難である。

一方、もうひとつの文明の利器であるコンピュータは、今日極めて高度化し、パソコンレベルでも非常に優れた情報処理能力をもつ。このような背景から、コンピュータの能力を生かした高精度で手軽に使える道路交通に関するコンピュータシミュレータが広く求められている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、すでに開発を進めている微視的道路交通シミュレータ

MITRAM (Microscopic model for analyzing TRAffic jaMs)の機能を拡張し3つのシミュレータを構築することである。

今日、渋滞を軽減する対策として、さまざまな信号制御方式が提案され、実際に導入されている。しかしどのような交通状況でどのような方式が有利か判定するのは難しい。そこで1つ目のシミュレータ(以下、Aシミュレータとする)では、MITRAMの機能を拡張し、さまざまな状況のもとで種々の信号制御方式の比較評価が可能なシステムを構築することを目的とする。またAシミュレータでは、今日重要な問題となっているCO<sub>2</sub>排出量を地域ごとに時々刻々推定できるシステムを構築することも目的とする。

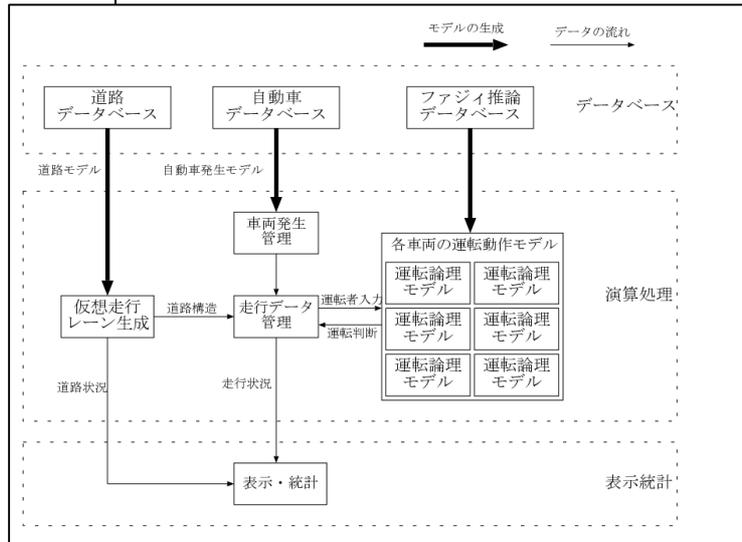
自動車による交通事故の問題も深刻である。2つ目のシミュレータは、MITRAMを改造し、シミュレータ上にさまざまな危険な交通状況を生じさせるようにし、被験者の運転操作でいかに事故を回避できるかなどの安全解析が可能なドライビングシミュレータ(DS)(以下、Bシミュレータとする)を構築することである。

市街地における監視カメラの設置は単にセキュリティのためだけでなく、積極的な情報提供のツールとしても重要視されるようになってきている。3つ目は、複数の監視カメラが協調していかに効率的に自動車をもれなく捕捉できるか、また最適なカメラの配置位置や個数はどのように決定すればよいかなどをシミュレーション解析する監視カメラシステム設計用シミュレータ(以下Cシミュレータとする)を構築することである。

### 3. 研究の方法

3つのシミュレータに共通して用いるMITRAMの概略をまず説明する。MITRAMでは、自律的に運転挙動を決定して走行する車両を多数集めて市街地や高速道路での交通流を生成する。MITRAMのシステム構成は図1に示すように、主に道路モデル、自動車発生モデル、運転動作モデルからなる。このうち運転動作モデルは、追従運転、信号判断、右折判断等を、さまざまな演算をネットワーク状に結合して構成している。図2は追従運転モデルを表しており、ネットワークの各ノードは演算機能となっている。この中でFUZZYはファジィ推論を表しており、たとえばFUZZY(1)では「自車速度が緩やかで車間距離が離れていれば、自車を加速する」、「自車速度が非常に速く、車間距離が接近してい

れば、自車を急減速する」といった運転者の



判断を言語ルールの形式で表現して、それらを用いて加減速を決定している。

図1. MITRAMのシステム構成

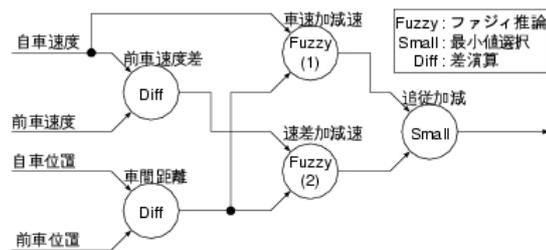


図2 追従運転モデル

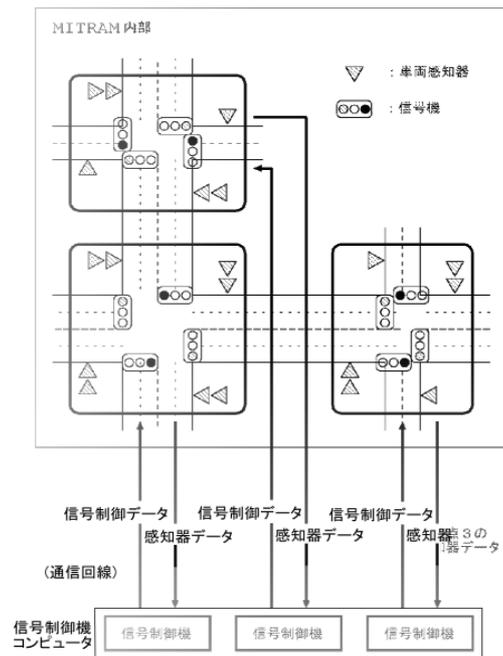


図3 信号制御方式評価シミュレータ

(1) A シミュレータでは、既存の MITRAM の 2 つの機能を外部化して 2 つのシステムを構築している。1 つ目は図 3 のように MITRAM の信号制御機能を外部化して信号制御コンピュータとし、通信回線を介して並列処理するものである。これは MITRAM 上の交通量感知器から交通量データを信号制御コンピュータに送信し、それに基づいて信号制御情報を決定し、MITRAM 側に送り返して信号制御を行う。これによって複雑な信号制御方式でも MITRAM に負担をかけることなく設定でき評価が可能となる。また大規模の交通管制機能も信号制御コンピュータ上に設定してシミュレーションが可能となる。なお、通信プロトコルは TCP/IP を用いている。

2 つ目は図 4 のように CO<sub>2</sub> 排出量推定機能を外部化し、CO<sub>2</sub> 推定コンピュータとして並列処理するものである。CO<sub>2</sub> 推定コンピュータには車種別 CO<sub>2</sub> 排出量モデルが搭載されており、時々刻々 MITRAM から送信される各車両の走行データに基づいて CO<sub>2</sub> 排出量が算出され、MITRAM へ送り返されて MITRAM 上で表示されるようにしている。

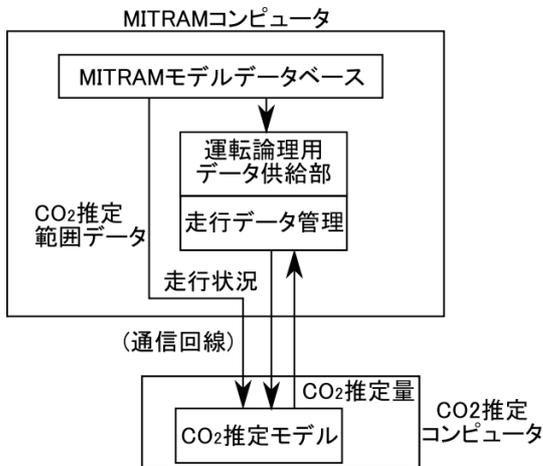


図 4 CO<sub>2</sub> 排出量推定シミュレータ

(2) MITRAM には 3 次元描画機能があり、そこでは任意の車両（以下、自車両とする）の運転席からの情景をディスプレイ上に映すことができる。B シミュレータではこの機能を利用し、自車両の操舵、加減速の機能を外部化し、ハンドルおよびブレーキ、アクセルによって操作できるようにしている。このシミュレータの構成を図 5 に示す。この図で SARHATCore はシミュレータ全体を管理し、周辺車両の急ブレーキや急車線変更等の突発的なイベントを発生させたり、

走行中の周辺車両に対する自車両の潜在的危険度（TTC=車間距離/最短方向速度）を測定し記録する。B シミュレータでは、実験中の各車両の走行データをログデータとして記録しており、実験後にディスプレイ上に走行状況を再現でき、これにより詳細な解析や統計処理をできるようにしている。また自車両の自動運転ができる機能も備えていて、被験者に負担のかかる繰り返し実験ではこの機能を利用して統計データが取得できるようにしている。

(3) C シミュレータも B シミュレータと同

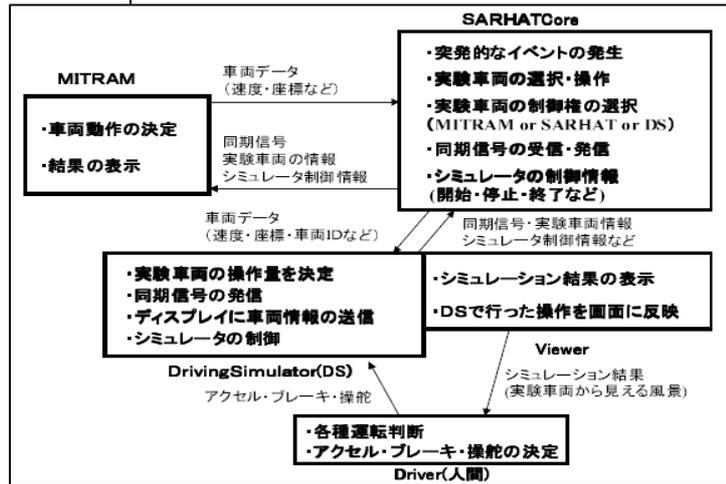


図 5 安全運転解析用ドライビングシミュレータ

様に MITRAM の 3 次元描画機能を利用して、C シミュレータでは MITRAM 内に模擬監視カメラを複数設置し、車両を捕捉する機能をもたせている。監視カメラはそれぞれエージェントとして機能し、互いに通信をして役割分担を決めたり、特定の車両の追跡タスクを受け渡したりするといった協調システムとなっている。これらの処理モデルは、図 2 に示したようなファジィ推論を含むネットワークで構成されている。C シミュレータでは、監視カメラの個数を制限したとき、どの位置に配置するのが最適かを探索する機能ももたせている。ここでは、

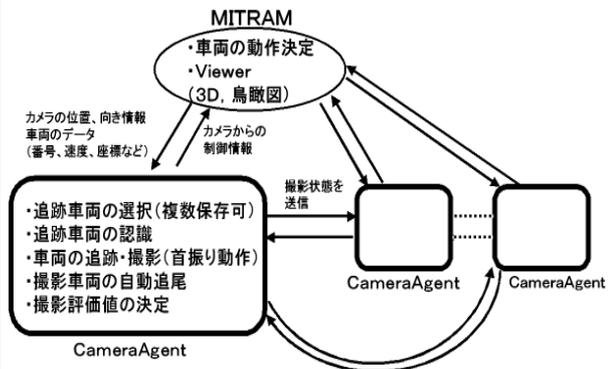


図 6 監視カメラシステム設計用シミュレータ

評価指標は監視カメラが捕捉する総車両台数で、最適解を求める手法として遺伝的アルゴリズム (GA) を用いている。

#### 4. 研究成果

3つのシミュレータを用いて得られた結果の一部を以下に示す。

(1) Aシミュレータの信号制御方式評価機能を用いて、信号方式の比較実験を行った。対象地域は静岡県磐田市市内の新通り交差点で、シミュレーション時間は朝の7時から9時までの2時間である。信号制御方式は(A)定周期制御、(B)ギャップ感知制御、(C)捌け率落ち込み検知制御、(D)捌け率最大化検知制御、(E)捌け率立ち上がり検知制御の5方式、評価指標は累積総待ち時間とした。実験結果を図7に示す。これより(B)、つづいて(C)の方式が優位なことが分かる。

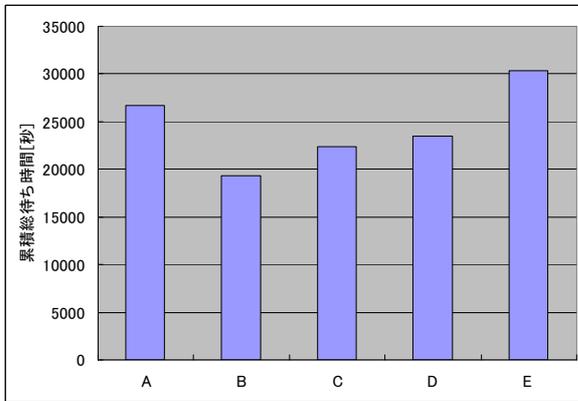


図 7 信号制御方式の評価結果

AシミュレータのCO<sub>2</sub>排出量推定機能を用い、調布市市街地を対象にCO<sub>2</sub>削減対策の評価実験を行った。現状をNとし、対策は以下のM<sub>1</sub>からM<sub>4</sub>とした。

- M<sub>1</sub>: 乗用車の半数は停車中アイドリングストップを行った場合の排出量
- M<sub>2</sub>: 乗用車の半数をハイブリッドカーに置き換えた場合の排出量
- M<sub>3</sub>: 乗用車の半数を燃料電池自動車に置き換えた場合の排出量
- M<sub>4</sub>: 乗用車の乗員を可能な限りバスに乗せ乗用車の走行台数を抑えた(モーダルシフト)場合の排出量

実験の結果を図8に示す。この図より当然のことであるがM<sub>3</sub>がCO<sub>2</sub>削減に有効なことがわかる。またモーダルシフトも効果的な対策であることが明らかとなった。

(2) Bシミュレータによる被験者実験の結果を示す。この実験は、

2車線の高速道路を想定し、周辺車両が走行

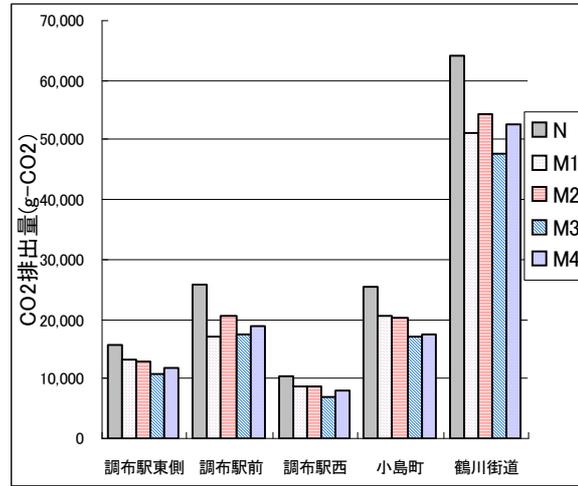


図 8. 削減対策による排出量の結果

行する中、被験者は自車両を他車両に衝突させないように時速80km程度で運転する。実験時間は65000ステップ(Bシミュレータでは1ステップ間隔は1/60秒なので約18分)である。ここで周辺車両は粗い運転、おとなしい運転が混在し、自車両の前方で車線変更を繰り返す。このときステップごとに各車両と自車両間のTTCを測定する。TTCは自車両が他社量に接触するまでの最短時間である。したがってTTCが小さい程、危険度が高い。

表 1. シミュレーションにおける2つのシナリオ

	シナリオ1(α)	シナリオ2(β)
最低ウィンカー時間	全て3.0秒	0秒から3.0秒(0.5秒刻み)をランダムに与える
試行回数	65,000ステップ	65,000ステップ

実験は表1の2つのシナリオに基づいて行った。この表で最低ウィンカー時間とは、周辺車両が車線変更を決定してから実際に実行するまでの時間で、この値が小さい程、危険な行為といえる。図9に実験の結果を示す。

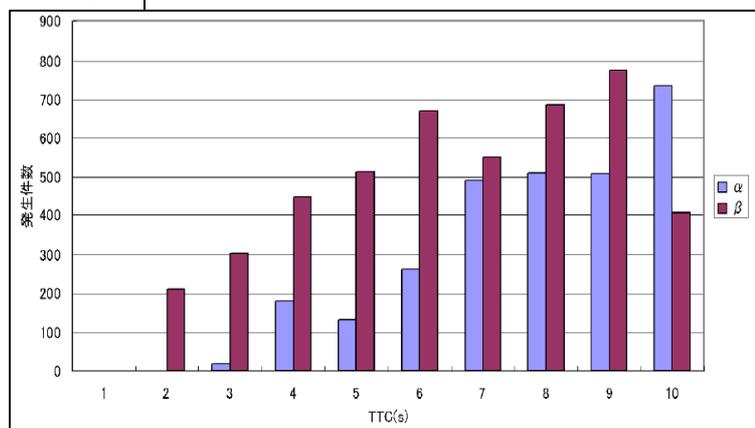


図 9. 各 TTC の発生回数

この図で縦軸はそれぞれのTTC値が発生した回数であり、TTC=10秒以外、すべてシナリオ2の危険度が高いことがわかる。このようにBシミュレータでは、いろいろな交通状況が発生させ、それに対する被験者の運転操作の危険度を定量的に測定することができる。

(3)Cシミュレータを用いて、調布市市街地を対象に監視カメラの協調性に関するシミュレーション実験を行った。カメラの台数は5台で、交差点付近に配置している。カメラ同士通信をして車両追跡を受け渡したり、分担するような協調動作を設定している。なお、カメラは首振り式としている。カメラの協調性を評価するために、カメラをすべて固定式にした場合（ケース1）、カメラを単純に首振る方式とした場合（ケース2）と上記の方式（これをケース3とする）比較した。実験の結果、ケース3はケース1、ケース2に比べ、平均して20%~30%程度車両の捕捉時間が長くなっていた。図10にはケース3について各カメラの車両の捕捉分担の様子を示している。これらの結果からカメラが協調することで監視機能が向上することがわかった。

Cシミュレータのもう1つの使用例として最適配置の実験を示す。やはり対象を調布市市街地として、図11に示すようにカメラ配置位置の候補地を10箇所として、3箇所限定した場合の配置を探索した。最適解を求める手法としてGAを用いた結果、カメラ1、カメラ5、カメラ8を得た。全車両に対する捕捉率は87%であった。

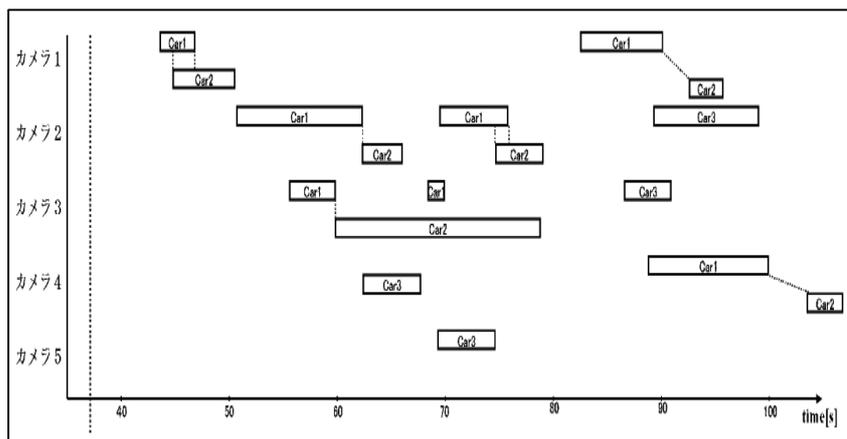


図10. 各カメラの役割分担

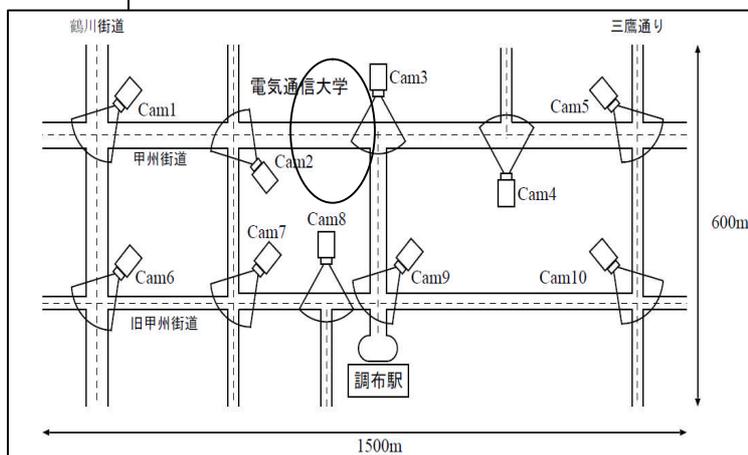


図11. カメラの最適配置

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3件)

- ① T. Kazama, H. Honda, T. Watanabe,

Evaluating a signal control system using a real-time traffic simulator connected to a traffic signal controller, International Congress on Modeling and Simulation (MODSIM07), CD-ROM, 2007, 査読有

- ② 王維恩, 板倉直明, 本多中二, 車両追従モデル構築に利用する簡易模擬データの提案, 情報処理学会論文誌「数理モデル化と応用」, Vol148 No. SIG15, 47-54, 2007, 査読有
- ③ 立本真治, 本多中二, 微視的道路交通シミュレータ MITRAM への経路選択モデルの導入と検証, 日本知能情報ファジィ学会誌, 18 巻・4 号, 586-597, 2006, 査読有

〔学会発表〕(計 14 件)

- ① 佐藤洋介, 本多中二, 望月良樹, 風間洋, 信号制御機と接続可能な道路交通シミュレータの構築および信号制御方式の検討, 第 18 回インテリジェント・システム・シンポジウム, 2008 (広島市), 査読無
- ② 本多中二, 佐藤洋介, 澤田智一, 竹内孝志, 微視的道路交通シミュレータを用いた自動車による CO2 排出量の地域的・時間的変動の推定, 第 18 回インテリジェント・システム・シンポジウム, 2008 (広島市), 査読無
- ③ 佐藤洋介, 望月良樹, 本多中二, 風間洋, ファジィ推論を用いた自律分散交通信号制御方式, 第 24 回ファジィシステムシンポジウム, 2008 (大阪市), 査読無
- ④ 本多中二, 星真人, 佐藤洋介, ファジィ推論を用いた安全解析用ドライビングシミュレータの構築, 第 24 回ファジィシステムシンポジウム, 2008 (大阪市), 査読無
- ⑤ 望月良樹, 滑川光裕, 本多中二, 風間洋, 道路交通シミュレータを用いた信号制御解析システムの構築, 第 24 回東海ファジィ研究会, 2008 (愛知県), 査読無
- ⑥ 本多中二, 竹内孝志, 望月良樹, 道路交通シミュレータによる二酸化炭素排出量の推定, 第 24 回東海ファジィ研究会, 2008 (愛知県), 査読無
- ⑦ 本多中二, 星真人, 望月良樹, 微視的道路交通シミュレータ MITRAM の拡張, 日本知能ファジィ学会合同ファジィワークショップ 2007, 2007 (福井県), 査読無
- ⑧ 本多中二, ファジィ推論を用いた微視的道路交通シミュレータ MITRAM の構築, 第 120 回ファジィ科学シンポジウム講演論文集, 2007 (川越市), 査読無
- ⑨ 星真人, 本多中二, 能動安全交通シミュレータによる車線変更時の運転支援システムの構築, 第 26 回日本シミュレーション学会大会発表論文集, 2007 (横浜市), 査読無
- ⑩ 望月良樹, 渡部利哉, 本多中二, 風間洋, 並列分散処理による大規模微視的道路交通シミュレータの構築, 第 26 回日本シミュレーション学会大会発表論文集, 2007 (横浜市), 査読無
- ⑪ 本多中二, 渡部利哉, ファジィ推論を用いた微視的道路交通シミュレータ MITRAM の構築, 第 27 回ファジィワークショップおよび第 15 回北信越支部シンポジウム講演論文集, 53-58, 2006 (新潟県), 査読無
- ⑫ 望月良樹, 本多中二, 監視カメラシステムにおける最適カメラ配置探索シミュレーション, 第 22 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, 913-916, 2006 (札幌市), 査読無
- ⑬ 渡部利哉, 二宮優, 風間洋, 本多中二, 微視的道路交通シミュレータ MITRAM を用いた信号機オフセットの算出, 第 25 回日本シミュレーション学会大会発表論文集, 257-260, 2006 (東京都), 査読無
- ⑭ 渡部利哉, 風間洋, 内田勉, 本多中二, 微視的道路交通シミュレータ MITRAM を用いた踏切信号機化効果の解析, 第 25 回日本シミュレーション学会大会発表論文集, 253-256, 2006 (東京都), 査読無

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

本多 中二 (HONDA NAKAJI)

電気通信大学・電気通信学部・教授

研究者番号: 30017420

### (2) 研究協力者

風間 洋 (KAZAMA HIROSHI)

(株)京三製作所

渡部 利哉 (WATABE TOSHIYA)

電気通信大学・大学院生

和田 毅 (WADA KAZUKI)

電気通信大学・大学院生

与田 慎也 (YODA SHINYA)

電気通信大学・大学院生

星 真人 (HOSHI MAHITO)

電気通信大学・大学院生

望月 良樹 (MOCHIDUKI YOSHIKI)

電気通信大学・大学院生

内山 拓也 (UCHIYAMA TAKUYA)

電気通信大学・大学院生

佐藤 洋介 (SATO YOSUKE)

電気通信大学・大学院生