

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18360241
 研究課題名（和文）：乗用車の長期的走行再現シミュレータの開発と代替燃料車普及戦略への応用
 研究課題名（英文）：Development of A Simulator for Long-Term Family Car Use and Its Application to Strategy Formulation for the Diffusion of Alternative Fuel Cars
 研究代表者：石田 東生 (ISHIDA HARUO)
 筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授
 研究者番号：20114853

研究成果の概要：

本研究では、自家用乗用車を対象として、燃料補給行動を考慮した長期間の自動車移動再現シミュレータの構築を行った。シミュレーションの結果、走行距離やトリップ数分布および空間的な移動範囲において、良好な精度を得ることに成功した。さらに、対象地域内における代替燃料スタンドの配置数と燃料補給の利便性との関係を定量的に把握するとともに、現段階では航続距離の短さがその普及を妨げる要因の一つとなっている電気自動車の潜在需要を把握することができた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	7,800,000	2,340,000	10,140,000
2007年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2008年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
年度			
総計	15,100,000	4,530,000	19,630,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木計画学・交通工学

キーワード：乗用車・走行シミュレータ・代替燃料車・プローブカー

1. 研究開始当初の背景

環境問題やエネルギー問題へ対応するため、代替燃料自動車が目玉され、その開発と普及が進められている。技術開発の進展によりその性能は高まりつつあるが、普及は思う

ように進んでいないのが現状である。

代替燃料自動車の普及の初期段階においては、特に、車両の低価格化とともに、代替燃料スタンドを十分に整備することによって燃料補給の利便性を確保することが重要となる。しかし、

代替燃料スタンドの数は現在のガソリンスタンドの数と比較してかなり少なく、代替燃料自動車普及を妨げる一因となっていることが考えられる。さらに、代替燃料自動車の普及が進まないために代替燃料スタンドの整備が進まないといった、いわゆる「にわとりが先か、たまごが先か」といった問題を抱えている。

燃料補給はある程度の時間的間隔を持つて行われるため、代替燃料自動車普及促進のための代替燃料スタンドの適切な配置戦略を考える上では、自動車が長期間でどのような移動を行い、どのように燃料補給を行っているのかを考慮する必要がある。

一方、現段階では航続距離の短さがその普及を妨げる要因の一つとなっている電気自動車(EV)についても、いわゆるセカンドカーと呼ばれるような日常生活圏のみで利用を前提とすれば、スタンドの整備が進む前の段階においても十分利用が可能とも考えられる。EVの潜在マーケットの規模を定量的に把握することで、低価格EVの開発に一定の方向性を見出すことが可能となり、普及へ弾みがつくと考えられる。

2. 研究の目的

そこで本研究では、まず、サンプル数は少ないが長期間の自動車移動状態を把握することができるプローブカーデータと、サンプル数は多いもののある特定の日にに関する調査結果しか得られていない道路交通センサスのデータを組み合わせて利用することで、長期間の自動車移動を再現するシミュレーションを構築する。

次に、シミュレーションに燃料補給行動を把握するサブルーティンを追加構築し、そのシミュレータを用いて代替燃料スタンド配置に関する分析を行う。

さらに、シミュレーションによって長期間にわたって一日の走行距離が比較的短い車両の台数を推計することで、現段階では航続距離の短い電気自動車の潜在需要を定量的に把握する。

3. 研究の方法

(1) シミュレータ構築の基本的考え方

本研究では、図1に示すような考え方に基づき、長期間の自動車移動を再現するシミュレータの構築を行った。

まず再現を行う自動車の本拠となるゾーンを決定し、そのゾーンを本拠とする自動車を1台抽出する。続いて、自動車の航続距離、燃料補給のタイミング、義務的移動の有無や月間走行距離といった車両属性の決定を行う。車両属性が決定した後に、1日の自動車移動の再現を行う。定められた属性に従うように1日の走行距離およびトリップ数を決定

し、これらと目的別ODの選択割合に従うようにトリップを生成する。こうして1日の自動車移動の再現が完成する。

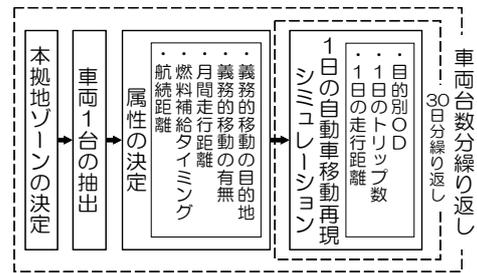


図1 シミュレータの構造

長期間の再現を行うためにはこのような計算をある一定の長さ(日数分)繰り返すという手順が必要となり、その期間を予め定める必要がある(4)参照)。

(2) シミュレータ構築と適用の対象地域

本研究の方法論は、特定の地域に依存するものではない。しかしながら、後述のとおり、シミュレータの構築には具体的なデータを用いているため、特定の地域を設定する必要がある。そこで、本研究では、図2に示す茨城県南部地域22市町村を対象地域とする。この地域は、自動車の保有率が高く自動車利用トリップの比率が大きいという特徴があり、自動車利用トリップの多くが地域内で完結しているためにより精度の高いシミュレータの構築が可能と期待できるためである。



図2 シミュレータ適用の対象地域

本研究ではこの対象地域を複数のゾーンに分割してシミュレーションを行う。具体的には、東京都市圏パーソントリップ調査の小ゾーンを用いることとした。対象地域内のゾーン数は89である。

(3) 使用するデータ

本研究では、以下の3種類のデータを用いてシミュレータの構築と適用を行う。

① 道路交通センサス

自動車移動の再現においては、統計的な調査からの分析に基づく自動車の移動状態の把握が必要となる。そのために、本研究では平成 11 年に、建設省道路局・同都市局・運輸省が共同で行った「道路交通センサス」(正式名称「全国道路交通情勢調査」)のオーナーインタビューOD 調査のデータを用いることとする。このオーナーインタビューOD 調査のデータを用い、1 日の走行距離やトリップ数、目的別 OD といった自動車移動状態の把握を行うこととする。

ただし、道路交通センサスにおけるゾーン区分と、本研究において用いる東京都市圏パーソントリップ調査小ゾーンの区分は異なるため、OD 表の細分化が必要となる。本研究では、交通発生・集中量をあらわす指標として用いられる夜間人口および昼間人口を用いて OD 表の細分化を行った。

② プロブカー調査

道路交通センサスは平日と休日それぞれ 1 日のみを対象とした調査であり、長期間での自動車移動状態を把握には不可能である。

そこで、長期間の自動車移動状態を把握するために独自にプロブカー調査を行った。調査には、GPS 受信機、ジャイロセンサー、加速度計を備え、0.1~1 秒ごとに時刻や緯度経度などの各種データを取得できる機器を用いている。本研究においては、ここから得られた長期間の自動車移動状態をモデルに組み込むこととする。

③ 燃料補給行動の把握に関する調査

自動車の移動状態の把握に関しては以上のデータを用いるが、本研究の目的の 1 つである燃料補給行動を考慮するためには、人々がどのように燃料補給を行っているのかを把握する必要がある。そこで、これに関しても独自に調査を行った。

(4) シミュレーションの手順

(3)で説明したデータを用いて、図 1 に示したシミュレータの中の各種パラメータを設定する。

ここで、自動車属性の決定、1 日の走行距離・トリップ数の決定、 j 番目トリップの目的地決定の 3 箇所の計算過程では、4. に示すように、本研究で用いたデータから得られたそれぞれの確率分布に従うように擬似乱数を発生させて値を確率的に決定する。

なお、対象地域においては多くの自動車が 1 ヶ月に 1 度以上の頻度で燃料補給を行っていることから、シミュレーションの期間を 1 ヶ月と設定する。便宜上、1 ヶ月を 30 日(平日 22 日、休日 8 日)とし、1 日の自動車移動の再現をこの日数分繰り返すことで、ある 1 台の自動車移動の再現が完了する。

まず始めに、再現を行う自動車の本拠とな

るゾーンを決定し車両を 1 台抽出するが、本シミュレーションにおけるゾーン決定はランダムではなく、1 番のゾーンから 89 番まで順番にシミュレーションを行っていくこととする。本研究の対象地域内における自家用乗用車の総数は 738,999 台(平成 11 年時点)であり、あらかじめ人口比率を用いてゾーンごとに配分しておき、各ゾーンの全ての自動車を再現し終わった時点で次のゾーンへ移ることとし、全台数に関して以上のような手順を繰り返すことで、長期移動の再現を行う。

自動車の走行距離やトリップ数は、運転者の通勤・通学といった義務的な移動の有無およびその距離に大きく依存する。ここでは、便宜的に、義務的移動を持つ場合を「就業者」、持たない場合を「非就業者」とし、道路交通センサスにおける運転者の職業構成から就業・非就業の割合を求めることとする。対象地域内全体としては約 8 割が就業者による移動であり、残り 2 割程度が非就業者による移動という結果となった。シミュレーションにおいてはゾーンごとに就業者・非就業者の割合を予め求めておく。

就業者の場合は就業先のゾーンを決定する必要がある。これは、道路交通センサスの通勤・通学目的 OD からそれぞれのゾーンの選択確率を求め、これをもとにした多項分布に従って乱数を発生させ、その結果に従うように就業先のゾーンを決定することとする。

4. 研究成果

(1) シミュレータのパラメータ等の設定に必要な分析の結果

① 自動車の各種属性について

本研究では、道路交通センサスの初度登録年月から各自動車の保有期間を月単位で求め、それを総走行メーターの値から割ることで月間走行距離を算出し、図 3 のような長期間における走行距離分布を求めた。前述の通り、自動車の走行距離はその車両の属性によって大きく異なるため、シミュレーションではこの月間走行距離分布をさらに細分化して用いることとする。具体的には、図 4 のように就業者・非就業者別に月間走行距離分布を求め、さらに就業者については義務的移動の距離帯別に月間走行距離分布を算出した。

燃料補給行動については、前述の調査の結果、図 5 に示すように約 95%の自動車が燃料の残量を目安に燃料補給を行っていることがわかった。本研究ではこの調査結果をもとに、燃料が、半分、4 分の 1、8 分の 1 になったらこれを補給する、という合計 3 種類の車両を想定し、シミュレーションの中でいずれかを車両の属性として与えることとした。

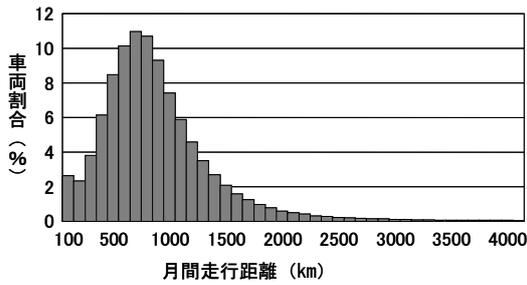


図3 月間走行距離の分布 (100km ごと)

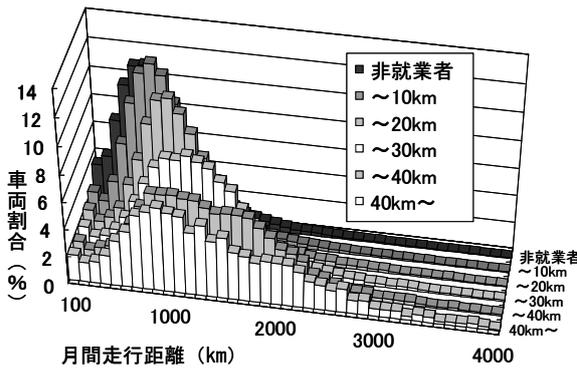


図4 非就業者および義務的移動距離帯別の月間走行距離分布 (100km ごと)

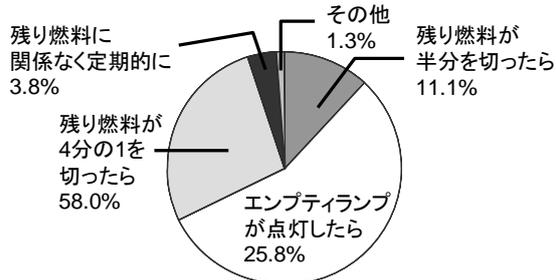


図5 燃料補給のタイミング

② 1日の走行距離の決定

図1に示したとおり、シミュレータの中では、ある自動車に関して1日の走行距離を決定する必要がある。道路交通センサにおける属性別1日走行距離分布に基づいて、ランダムに1日の走行距離を決定する方法も考えられたが、この方法では車両属性として予め決定した月間走行距離と大きく乖離する可能性がある。そこで、本研究で実施したプローブカー調査の結果をもとに月間走行距離と1日の走行距離の関係性を把握し、それに基づいて1日の走行距離を決定することとする。ある一台の自動車に関して、調査で得られた1日の走行距離の例を図6に示す。

試行錯誤を重ねた結果、図7のように走行距離の長い順に並べ替えることにより一定の法則性を見出すことができ、これから、次のような式を導いた。

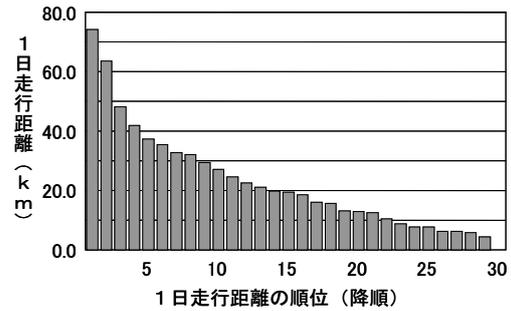


図6 ある1ヶ月間の走行距離分布

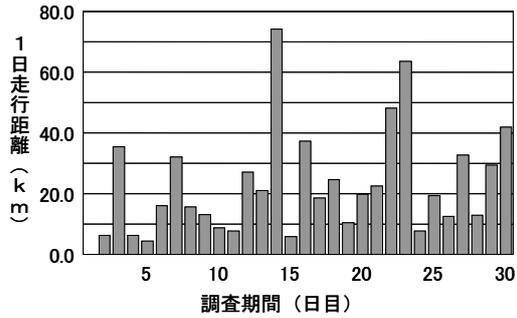


図7 並べ替え後の月間走行距離分布

$$d = \alpha \log(r) + \beta$$

ここで、 α, β はパラメータ、 r は走行距離の順位 (降順)、 d は1日の走行距離である。パラメータの値は、月間走行距離を D として $\alpha = 0.03D, \beta = 0.1D$ を用いることとした。

シミュレーションでは、 $r (1 \leq r \leq 30)$ を擬似乱数を用いてランダムに決定することにより、1日の走行距離を決定する。

(2) シミュレータの現況再現能力の確認

本研究では、構築した長期間の自動車移動再現シミュレータの性能の確認を行うため、シミュレーションにおける全自動車の走行距離・トリップ数を集計し、道路交通センサ等の実際のデータとの比較を行う。また、自動車移動範囲の空間分布における再現性を確認するために新たな指標を導入したが、紙面の都合により、それについては説明を省く。

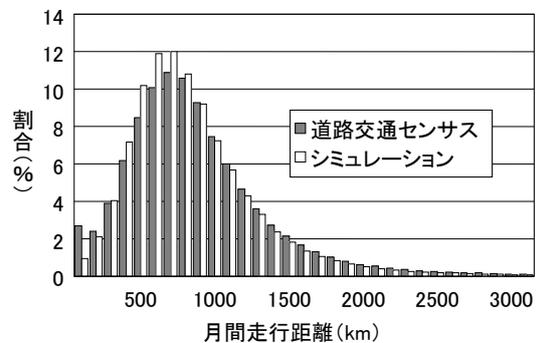


図8 シミュレーションによる月間走行距離の再現結果 (道路交通センサとの比較) (100km ごと)

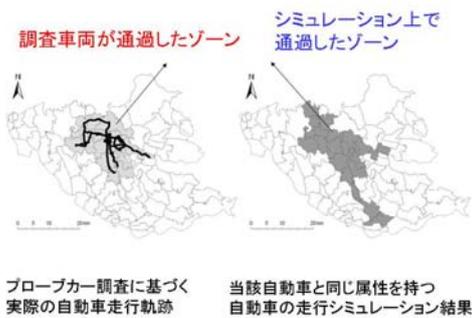


図9 シミュレーションによる1ヶ月の自動車の走行奇跡の再現例

シミュレーションによって求めた月間走行距離や1日の走行距離分布を道路交通センサスにおける実測値との比較、求めた走行経路(ゾーン)とプローブカー調査による実際の走行経路を比較した結果、シミュレータが十分な現況再現性を有していることが確保された(図8・図9)。

(3) 代替燃料スタンド配置に関する分析

最後に、構築したシミュレータを用いて、代替燃料スタンド配置に関する分析を行う。分析の基本的な方法は、シミュレーションにおいて自動車が行うごとに、走行距離を、航続距離から減算していく。そして、航続距離の残り割合が、予め車両属性として与えられた燃料補給のタイミング(半分、1/4、1/8のいずれか)を下回った時点から燃料がなくなるまでの間のトリップにおいて、代替燃料スタンドが配置されたゾーンを走行した場合を代替燃料スタンドへの「遭遇」とみなし、この台数を集計する。代替燃料スタンドの配置ゾーン数や配置パターン等を変化させながら集計を繰り返し、最終的に代替燃料スタンド数と遭遇可能な車両の割合を計算する。

自動車の航続距離は燃料補給に大きな影響を与えることが考えられるため、これを明示的にシミュレータに組み込む必要がある。本研究においては、現時点での普及状況や将来の普及を考慮し、電気自動車および天然ガス自動車を想定して航続距離を設定する。航続距離は車種により異なり、一概に定めることはできないが、各種の資料を参考にして、電気自動車を想定した航続距離100km、天然ガス自動車を想定した航続距離350km、また比較対象として既存のガソリン車並の航続距離の3つの値を設定することとした。

代替燃料スタンドの配置にはいくつかの戦略が考えられるが、最も単純な戦略の一つは、交通量によって優先順位をつけるものである。本研究では、その考え方に従い、集中交通量の多いゾーンから配置を行うこととした。具体的には、まずもっとも集中交通量の多いゾーンに代替燃料スタンドを配置す

ると仮定し、遭遇可能な車両割合をシミュレーションより求める。次に2番目に集中交通量の多いゾーンにも追加して代替燃料スタンドを配置すると仮定し、同様に車両割合を求める。このような操作を全ゾーンにスタンドが配置されるまで順次繰り返していき、配置数と遭遇可能車両割合の関係を実証的に求めた。

シミュレーションの結果は図-15の通りである。電気自動車を想定した航続距離100kmの場合は、90%以上の車両が代替燃料スタンドに遭遇するためには、89ゾーン中41ゾーンに代替燃料スタンドを配置すればよいことが明らかとなった。調査時点での域内には742箇所ガソリンスタンド数があり、この数は高々その5%強に過ぎない。天然ガスを想定した航続距離350kmの場合は24ゾーン、既存のガソリン車並の場合は23ゾーンに配置することで90%以上の車両の遭遇が可能という結果になった。

比較のために、交通量と関係なくランダムに代替燃料スタンドを配置した場合についても同様のシミュレーションを行っており、その結果を図11に示す。当然であるが、ランダムにスタンドを配置した場合は交通量を考慮して配置した場合よりも遭遇車両割合の伸びが鈍く、90%以上の車両が代替燃料スタンドに遭遇するためには、航続距離100kmの場合で48ゾーン、航続距離350kmの場合で32ゾーン、既存のガソリン車並の航続距離の場合では30ゾーンに配置する必要があるという結果になった。

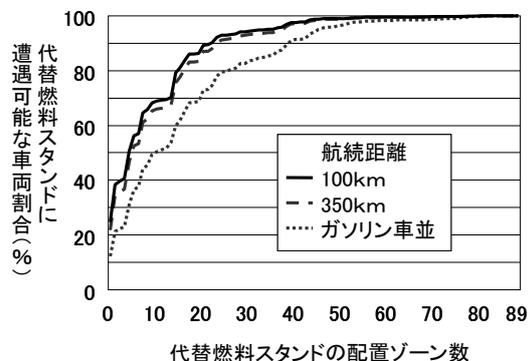


図10 代替燃料スタンド遭遇車両割合(交通量を考慮して配置した場合)

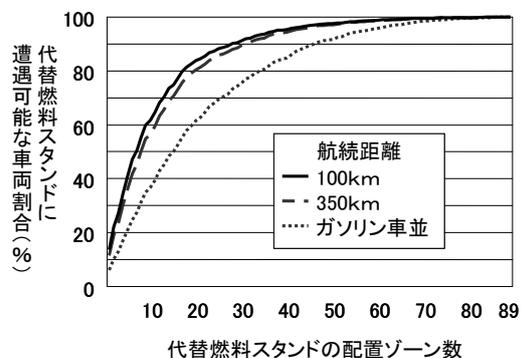


図11 代替燃料スタンド遭遇車両割合(ランダムに配置した場合)

(4) 自動車複数保有世帯における電気自動車の潜在需要分析

全国の複数保有世帯の割合は3割を超えており、乗用車平均保有台数は1.4台を超える。

電気自動車(EV)の航続距離は、市街地で走行を行う場合にはカタログに記載の航続距離の50%程度であるという報告もある。そこで、本研究では100kmをEVの航続距離と想定し、日常の利用において、支障を生じず、現在保有の自動車からEVへ転換可能な台数を推計することとした。

具体的には、本研究で実施したプローブカー調査より、自動車複数保有世帯(143,238台)における車両の移動実態を明らかにし、その結果をもとに2台の車両の使われ方をシミュレータに組み込み計算を行った。その結果、世帯内の2台両方の自動車が100km以内の走行しか行わなかった世帯は0.03%ほどしかなく、残りのほぼ全ての世帯で、少なくともどちらか1台は1ヶ月内に100km以上走行した日があることが分かった(表1)。しかし、世帯内におけるどちらかの自動車の1日の走行距離が100km以内である割合が32.1%であることから、現在の利用状況下でも約3分の1の世帯においてEVへの転換が可能と考えられ、いわゆるセカンドカーとしてのEVの潜在的な需要の大きさが示唆される。

そこで、世帯において走行距離や目的に応じて、2台のうちもっぱら一方を長い距離の走行に使うという世帯内での自動車の利用調整を行った場合に、各車両の最長1日走行距離を計算することで、同日に2台の自動車が100km以上を走行している割合は10%未満であり、世帯内利用調整を用いることで91.2%もの世帯において電気自動車の導入が可能になることが分かった(表2)。これを全国の乗用車台数に換算すると、全体の約5分の1に相当する約1,100万台の乗用車がEVへ転換であるという結果が得られ、具体的な政策提言に向けた示唆を得ることができた。

表1 車両を2台保有する世帯におけるEVの導入可能性

EVの導入が可能な世帯		EVの導入が不可能な世帯	
2台とも 100km 以下	1台のみ 100km 以下	1台は 200km 以下	2台とも 200km 以上
0.03%	32.1%	41.2%	26.4%

表2 世帯内利用調整を用いた場合の電気自動車の導入可能性

導入可能世帯	導入不可能な世帯
どちらか1台の 走行距離が100km以下	2台とも100km以上
91.4%	8.6%

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

① Morito Tsutsumi, Haruo Ishida, Naohisa Okamoto, Yoshio Sekine: Long Term Simulation of Family Car Trips for the Allocation of Alternative Fuel Stations, Electronic Proceedings of ICHIT (International Conference on Hybrid Information Technology) Special Sessions: ITS Modelling and Analysis, 1 (CD-ROM), 2006. 査読あり

[学会発表] (計4件)

① 関根喜雄・宮坂準・石田東生・堤盛人・岡本直久: プローブ調査を用いた自動車複数保有世帯における電気自動車の潜在需要に関する考察, 第35回土木計画学研究発表会2007年6月9日, 九州大学箱崎キャンパス.

② 関根喜雄・堤盛人・岡本直久・石田東生: 長期間の自動車移動再現シミュレータを用いたDSRC路側機の配置戦略に関する分析, 第37回土木計画学研究発表会, 2007年6月7日, 北海道大学工学部.

③ 石田東生・堤盛人・岡本直久・関根喜雄: 自家用自動車の長期間移動再現シミュレータを用いた代替燃料スタンド配置に関する研究, 第34回土木計画学研究発表会, 2006年12月1日, 高松市文化芸術ホール.

④ Morito Tsutsumi, Haruo Ishida, Naohisa Okamoto and Kosei Suzuki: Modeling Car Trips towards Strategic Allocation of Alternative Fuel Stations, The 85th Transportation Research Board Annual Meeting, D.C., 2006年1月23日, ワシントン(米国).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石田 東生 (ISHIDA HARUO)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授

研究者番号: 20114853

(2) 研究分担者

岡本 直久 (OKAMOTO NAOHISA)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・准教授

研究者番号: 70242295

堤 盛人 (TSUTSUMI MORITO)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・准教授

研究者番号: 70292886

谷口 綾子 (TANIGUCHI AYAKO)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・講師

研究者番号: 80422195

(3) 連携研究者

該当なし。