

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：82505

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18382

研究課題名(和文)次世代交通モードから受けるストレスに関する研究

研究課題名(英文)Study on the stress received from new transportation means

研究代表者

横関 俊也(Yokozeki, Toshiya)

科学警察研究所・交通科学部・主任研究官

研究者番号：50645489

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、次世代交通モードとして立ち乗り型パーソナルモビリティ(以下、PMV)を取り上げ、PMVの危険性を把握するために、交通事故分析と走行実験を行った。PMVと類似したモビリティである電動車いすの事故を分析したところ、やむを得ない事情等で車道走行した場合や踏切等の不安定な場所等で重傷以上の事故に遭遇していることが示された。走行実験における心拍変動データの中央値の比較では、歩行者の危険感PMVとの離隔が近いと大きくなった。一方で、危険感の評定データの分析では、実験において最も厳しい設定である離隔0.3mでPMVの速度が12km/hという条件で、危険を感じる人が有意に多いことがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本国内において公道走行が認められていないPMVに関する事故危険性や、他交通参加者がPMVから受ける危険感の分析は多くは行われていなかった。特に危険感については、心拍変動データから求めたストレス値・危険感との関係は不明な部分も多く、その点において特色のある研究となっている。本研究では、調査対象が20～30代の男性のみであり追加分析が望まれるが、得られた成果は、今後、国内におけるPMV走行方法や走行環境を検討していくにあたり活用されることが期待される。

研究成果の概要(英文)：We conducted analysis and experiments to understand the characteristics of PMV traffic accidents and the sense of danger felt by pedestrians from PMVs.

Analyzing the characteristics of the accident with an electric wheelchair similar to PMV, it was found that a dangerous traffic accident was encountered "when driving on a road for cars" and "when driving on an unstable place such as a railroad crossing".

Comparing the median values of heart rate variability data, the narrower the distance, the higher the danger level. Hearing data analysis revealed that there were significantly more people at risk when the separation was 0.3 m and the PMV speed was 12 km/h.

研究分野：交通工学

キーワード：交通安全 パーソナルモビリティ 歩行者 危険感

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在、世界各地において、多くの搭乗型移動支援ロボット・パーソナルモビリティ(以下、PMV)が開発されている。セグウェイに代表される立ち乗り型のもの、座りながら搭乗する車いす型のもの、一輪車タイプのもの、大型のもの、片手で持ち運べる小型のもの等、その形態は様々である。これらのPMVがすでに公道を走行している国もあるが、日本国内においては法規制による影響等もあり、特区等においてのみ、公道での実証実験が行われていた。しかし、2015年には各種規程が整備されて、全国の公道での実証実験が可能となった。今後、各地での実証実験を踏まえて安全性が検証されることで、PMVが普及していくことも考えられる。

こうした実証実験では、実験主催者の責任のもと、速度や走行ルートの制限、保安要員の配置、運転講習会の受講、防具の装着等、十分な安全が確保された上で実施されることが多い。一方で、PMVの公道走行が認められ、日常的に利用されるようになると、安全の確保は利用者のセルフコントロールに依存する部分が多くなるため、事前に走行方法や走行環境等の交通ルールを取り決めておく必要が出てくる。しかし、PMVに関する国内共通の具体的な交通ルールはほとんど考えられていない。これらの交通ルール等を検討する上では、事故危険性や歩行者等がPMVから受ける危険感が参考となる。そのため、PMVの交通事故の特徴を把握することや、他交通参加者がPMVから受ける危険感を客観的指標で評価することで、PMVの適切な走行方法や走行環境の検討に資するような研究のニーズが高まっている。

2. 研究の目的

本研究は、PMVの事故危険性を交通事故分析から明らかにするとともに、PMVに側方を通過された歩行者の危険感を、心拍変動データや評価データから推計する。分析結果は、PMVの走行方法や走行環境等を検討する際に重要なデータとなる。そのため、本研究では、PMVをはじめとする次世代交通モードを日本の交通社会に安全かつスムーズに普及させるために必要なデータを収集しており、社会的に大きな意義を持つ研究成果となる。

3. 研究の方法

(1)PMVの事故危険性の検証

実際に発生した交通事故を分析することでPMVの事故発生要因を探った。ただし、PMVの公道走行が認められていない日本国内においては、PMVの交通事故データは蓄積されていないため、PMVに近いモビリティとして「電動車いす」を想定し、その交通事故の特徴を分析した。

交通事故データとしては、警察庁で整備している日本全国の交通事故統計から、交通事故の第1当事者または第2当事者が「電動車いす」である交通事故を抽出して分析対象とした。第1当事者とは交通事故にかかわった人の中で、最も過失が大きい当事者で、第2当事者は同じく2番目の当事者となる。交通事故統計には、人身事故の怪我の程度や、当事者の種別や年齢・性別、事故発生地点の場所や道路幅員、事故要因等が記録されており、主に2要因間でクロス集計を行った。さらに、事故発生地点の緯度経度情報から事故発生地点の特徴を分析した。

(2)他交通参加者の危険性の検証

歩行者がPMVとすれ違うときに感じるストレスや危険感を分析するために、図1のような全長約30mの模擬歩道において歩行者とPMVをすれ違わせる実験を行った。PMVとしては、図2に示す立ち乗り型の機種を用いた。実験条件は、歩行者とPMVの離隔(0.3m、0.6m、0.9m)、PMVの速度(6km/h、12km/h)を設定した。実験参加者には、心拍変動データを計測するための心拍計を装着し、各パターン終了後に調査員が実験参加者に聞き取る形式で危険感の評価を行った。今回の実験参加者は20-30歳の男性7名とした。

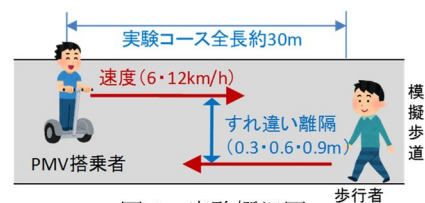


図1 実験概況図



機種	AirWheel S3
高さ	1280mm
幅	613mm
長さ	587mm
重量	22.4kg
最高速度	18km/h 12km/hでアラーム

図2 使用したPMV

4. 研究成果

(1)PMVの事故危険性の検証

交通事故分析で分析対象とした電動車いすには、手動の車いすにモーターを設置して自走を可能にしている車いす型と、主に高齢者が用いるハンドル型が含まれる。この2種の電動車いすがPMVに類似するモビリティとして、手動車いす等との比較を行った。

2012年から2017年の事故について、事故類型及び当該当事者の怪我の程度別に集計した結果を図3(当事者:電動車いす)・図4(当事者:手動車いす)に示す。電動車いす、手動車いすとともに横断歩道や横断歩道以外を「横断中」の事故や駐車場出入口での事故が多いが、手動車いすは駐車場場内等での事故の割合も多くなっていた。

電動車いすの重傷以上となる事故の割合は、車道等通行中や横断歩道以外横断中の事故類型において高い。特に、横断中と異なり電動車いすと自動車との動線が交錯しない「車道等通行中」の事故において、重傷以上の割合が40%以上となったことは特筆すべき点であった。当然のこ

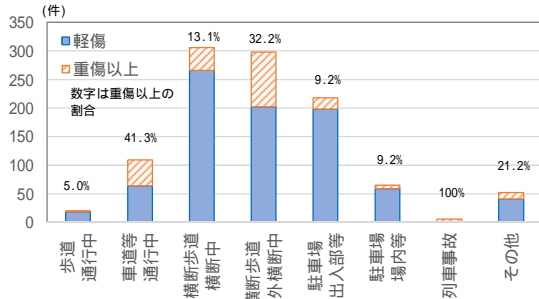


図3 事故類型と怪我の程度（電動車いす）

とであるが、列車事故は、件数は少ないが全て重傷以上の事故となっていた。また、当該当事者の違反状況を確認すると、図5に示すとおり、歩行者とみなされる電動車いす利用者が、車道の左側通行や車道通行等の違反をすると、重傷以上の事故となる割合が高くなっていった。実際の歩行者が重傷以上の事故となる割合は、車両前後での横断が32.2%、横断歩道外横断等が33.3%と電動車いすと同程度であったのに対して、左側通行は15.4%、車道通行等は25.5%と電動車いすとは異なるものであった。

相手当事者別の集計では、電動車いすは相手当事者が軽自動車となる割合が36.1%と高かった。また、そのような事故では重傷以上の事故になる割合も高くなっていった。当該当事者が電動車いすや手動車いすの場合、相手当事者が事故を起こした人的な要因として「発見の遅れ」によるものが多く増えており、当該当事者が座位であるため、他者から視認されにくいと考えられた。

事故の発生した地域別に集計すると、電動車いすの事故は、非市街地での発生割合が高くなっており、手動車いす14.3%、一般歩行者16.0%に対して26.2%であった。また、非市街地では重傷以上の事故となる割合も高くなっていった。事故にあった電動車いすの年齢層で分類すると、80歳以上の高齢者が35%以上を占めており、長距離や高低差のある移動が必要な地方部の高齢者が電動車いすを利用し、同じく地方部での登録が多い軽自動車相手に、速度の出しやすい地方部の道路で事故に遭っていると考えられた。これについては利用者層が異なるであろう立ち乗り型PMVとは異なる傾向であると想定される。

事故発生地点の緯度経度情報から、重傷以上の事故となる割合が高い「歩道があるにもかかわらず電動車いすが車道走行中に発生した事故」の発生地点の状況をGoogleストリートビューにより確認した。その結果、場所の確認ができた21件中14件は、歩道での急な段差や車止め等の障害物、狭隘な幅員、途中での寸断等の実態が確認できた(図6参照)。こうした実態のため、電動車いすが「車道走行をせざるを得ない状況」にあったらうと推察された。同じく重傷以上の事故となる割合が高い「列車事故」については、6件中4件が交通量の少ない規模の小さな踏切で発生していた。歩行者自転車専用の踏み切りで、段差や勾配の条件が厳しいと思われる箇所もあった(図7参照)。

以上の分析結果と、PMVが電動車いすよりも片勾配等で転倒しやすいことを鑑み、PMVは踏切等の足場の悪い場所では搭乗しないことを周知することが必要と考えられた。また、今後仮にPMVの歩道走行が推奨されたとしても、走行環境の悪い歩道を避けて、無秩序に車道を走行するPMVが発生すると想定される。車道左端は片勾配やL字側溝の影響で走行しにくいいため、PMVは自転車よりも車道の中央寄りを走行することが考えられる。PMVが車道走行中に、後方から自動車に接触されると、重傷以上の事故になりやすいため、自動車からの視認性を確保するために、発見されやすい装備を着用することがPMVの交通事故低減に役立つと考えられた。

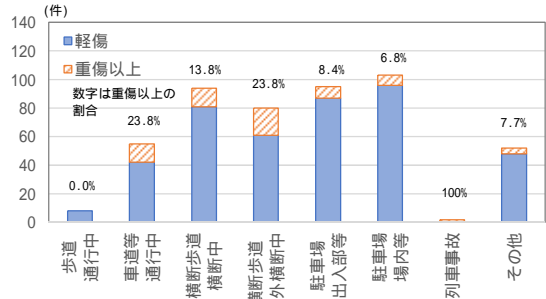


図4 事故類型と怪我の程度（手動車いす）

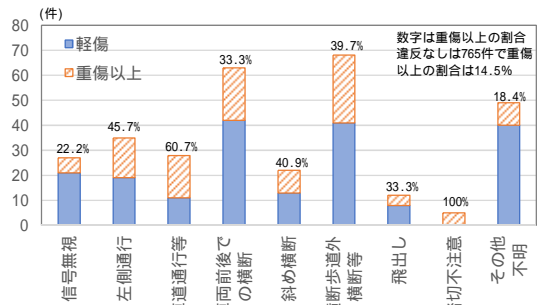


図5 違反状況と怪我の程度（電動車いす）



図6 車道走行時の事故発生地点



図7 対列車の事故発生地点

(2)他交通参加者の危険感の検証

PMV から受ける他交通参加者の危険感を把握するために研究所敷地内に模擬歩道を設置して走行実験を行った(図7参照)。実験では、離隔とPMV速度の条件を組み合わせ、表1に示すパターンA~Fの6つの実験パターンを設定した。パターンOは歩行者同士ですれ違うもので、その後の危険感の評定時の参考としてもらうために実験の最初に実施している。パターンP・Qは実験参加者にPMV搭乗者に経験してもらう試行である。実験手順は、パターンA~Fを3回実施し、3回目はPMV搭乗者を経験してからの試行となっている。パターンA~Fは実施順による影響を考慮して、実験参加者ごとにランダムな順番とした。



図7 実験状況

実験参加者の心拍変動データは心拍計(GMS社製AC-301A)で計測し、R波間隔(R-R Interval:RRI)の変動から高周波(High Frequency:HF)と低周波(Low Frequency:LF)の分布を読み取り、ストレス量を解析した。データの解析には時系列データ解析ソフトウェアであるMemCalc/winを用い、LF/HFを算出することで、PMV等から受けるストレス量を推計した。しかし、心拍変動データであるLFやHFは、個人や環境により測定値に大きな差が発生する。こうした影響を取り除くために、それぞれの試行パターンについて開始前30秒と開始後30秒間のLF/HFを算出し、その前後比をもって、すれ違い時のストレス量を推計することとした。開始後のLF/HFが、開始前のLF/HFよりも高い場合は、LF/HF前後比は1.0よりも高くなり、すれ違いによりストレス量が増加していると推定される。危険感の評定はひとつの試行パターンが終了するごとに、調査員が実験参加者に聞き取る形式で行われ、4段階形式でPMVとのすれ違い時に受けた危険感を回答してもらった。

図8に、試行6パターンごとに7人×3巡目分のLF/HF前後比をさらに対数変換したものを箱ひげ図にまとめた。ひげの上段は最高値、箱の上段は75パーセンタイル値、箱の途中の棒は中央値、箱の下段は25パーセンタイル値、ひげの下段は最低値(で示す外れ値がある場合は、25パーセンタイル値から箱の幅×1.5の位置)となっている。正の場合はすれ違いによりストレス量が増加したことを、負の場合は開始前のストレス量が多いことを示している。LH/HF前後比の中央値は、PMVの速度が低いパターンB・D・F(6km/h)が、速度の高いパターンA・C・E(12km/h)よりも高くなっていった。また、離隔の狭いパターンE・F(0.3m)のLH/HF前後比の中央値は、離隔の広いパターンA・B(0.9m)及び、中程

表1 実験パターン・実験手順

パターン	実験参加者	対向者	離隔	PMV速度	評価対象
A	歩行者	PMV	0.9m	12km/h	
B	歩行者	PMV	0.9m	6km/h	
C	歩行者	PMV	0.6m	12km/h	
D	歩行者	PMV	0.6m	6km/h	
E	歩行者	PMV	0.3m	12km/h	
F	歩行者	PMV	0.3m	6km/h	
O	歩行者	歩行者	0.3m	-	対象外
P	PMV	歩行者	0.9m	6km/h	対象外
Q	PMV	歩行者	0.9m	9km/h	対象外

手順	内容
1	パターンO
2	1巡目(パターンA~Fをランダム順に)
3	2巡目(パターンA~Fをランダム順に)
4	PMV搭乗練習(15分程度)
5	PMV搭乗(パターンP・Qをランダム順に)
6	3巡目(パターンA~Fをランダム順に)

1~3巡目の各パターン終了時にヒアリングを実施

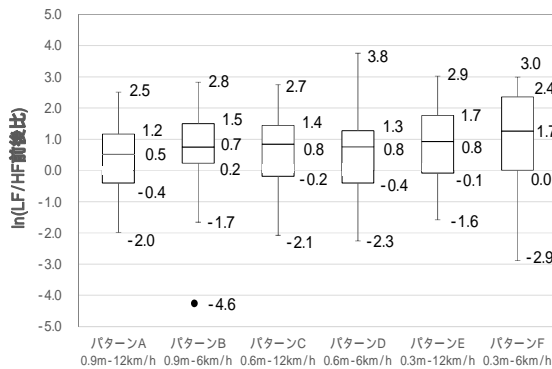


図8 LF/HFの前後比(パターン別・対数)

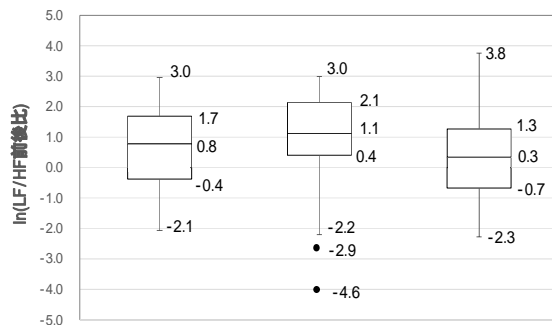


図9 LF/HFの前後比(巡目別・対数)

表2 LF/HFの前後比の分散分析(速度と離隔・対数)

変動要因	平方和	自由度	分散	F値	p
速度	2.002	1	2.002	2.869	+
離隔	0.942	2	0.471	0.675	0.517
交互作用	0.774	2	0.387	0.555	0.580
残差	20.932	30	0.698		
合計	24.650	35			

+p<.10 *p<.05 **p<.01

表3 LF/HFの前後比の分散分析(2,3巡目・対数)

変動要因	平方和	自由度	分散	F値	p
巡目	1.902	1	1.902	3.451	+
残差	5.512	10	0.551		
合計	7.414	11			

+p<.10 *p<.05 **p<.01

表5 危険感の評定データの分散分析

(速度と離隔・対数)

	パターンA 0.9m-12km/h	パターンB 0.9m-6km/h	パターンC 0.6m-12km/h	パターンD 0.6m-6km/h	パターンE 0.3m-12km/h	パターンF 0.3m-6km/h	変動要因	平方和	自由度	分散	F値	p
1巡目	1.0	1.0	1.1	1.0	1.7	1.1	速度	0.595	1	0.595	7.584	**
2巡目	1.0	1.0	1.3	1.0	1.6	1.1	離隔	1.254	2	0.627	7.989	**
3巡目	1.0	1.0	1.1	1.0	1.7	1.1	交互作用	0.492	2	0.246	3.135	+
平均	1.0	1.0	1.2	1.0	1.7	1.1	残差	2.825	36	0.078		
							合計	5.167	41			

+p<.10 *p<.05 **p<.01

度のパターンC・D(0.6m)よりも高くなっていた。次に、速度と離隔での分散分析を実施した結果、表2に示すように離隔では条件の違いによる有意差はみられなかったが($F(2,30)=0.675$, *n.s.*) 速度については有意傾向がみられた($F(1,30)=2.869$, $p<.10$)。

図9は巡目別の集計であり、LF/HF前後比の3巡目の中央値は0.3で、1巡目と2巡目に比較して低くなった。実験への慣れがない1巡目を除いた2巡目と3巡目について、実験参加者ごとの全パターンのLF/HF前後比平均値を算出し、分散分析を実施した結果を表3にまとめた。ここでは、巡目について有意傾向がみられた($F(1,10)=3.451$, $p<.10$)。

危険感の評定データを単純集計すると表4に示す結果となった。離隔が最も狭く、PMVの速度が速いパターンE(0.3m・12km/h)で危険感の数値が高いという結果になった。これを、心拍変動データの分析と同様に、速度と離隔での分散分析を実施したところ、表5のとおり速度($F(1,36)=7.584$, $p<.01$)と離隔($F(2,36)=7.989$, $p<.01$)の条件により危険感に有意な差が発生するという結果となった。また、交互作用には有意傾向が確認された($F(2,36)=3.135$, $p<.10$)。巡目別の集計では、巡目ごとの差は確認されなかった。

以上のように、心拍変動データであるLF/HF前後比の中央値の比較では、離隔が狭いとストレス量が多かったが、分散分析では有意差がなかった。また、PMVの速度が遅いと歩行者のストレス量が多くなり、有意傾向が確認された。一般的にPMVの速度が高い方が、歩行者のストレス量が多くなると想定されるが考えられ、このような結果になった原因としては、心拍変動は比較的長期間の刺激に対するストレス量を計測することに適しているため、「歩行者とPMVのすれ違い」という短時間の刺激は計測が困難であったと考えられた。この場合、PMVの速度が遅い方が長時間の刺激となり、ストレス量が計測しやすい。巡目別集計の中央値の比較からは、PMVの搭乗を経験している3巡目のストレス量が少なくなり、分散分析でも有意傾向があった。心拍変動データによる分散分析において有意水準5%以内の有意差が確認できなかった理由としては、サンプル数が少なかったことに加え、心拍変動データが実験参加者の心境や天候等に左右される不安定な指標であることが考えられた。

一方で、危険感の評定データは、離隔が最も狭く(0.3m)PMVの速度が高い(12km/h)条件において、ようやく少しの危険を感じるという結果であった。今回のPMVの速度は、高い条件(12km/h)であっても自転車程度の速度であるため、それほど危険を感じなかったと推測された。歩行者が危険を感じないレベルを維持する観点からは、PMVが6km/hで走行するのであれば、走行路の幅員が2m(歩行者0.6m、離隔0.3m、PMV0.6m、側方余裕0.6m)以上、12km/hであれば2.5m(歩行者0.6m、離隔0.6m、PMV0.6m、側方余裕0.6m)以上であれば、歩行者が危険を感じないPMVの走行が可能だと考察された。

本研究では若年層の男性7名で実験を行ったため、より危険を感じやすい女性や高齢者での実験、横断勾配や障害物の多い実際の歩道での実験を踏まえて、慎重に結論を出す必要がある。

<引用文献>

Boniface, K., McKay, M. P., Lucas, R., Shaffer, A., & Sikka, N.: Serious Injuries Related to the Segway Personal Transporter: A Case Series, *Annals of Emergency Medicine*, Vol.57, Issue 4, pp.370-374, 2011.

清田勝, 外井哲志, 梶田佳孝, 松岡淳: 歩行者と自転車の共用空間における歩行者の危険度評価, *交通工学*, Vol.41, No.1, pp.75-83, 2006.

足達健夫, 吉村正浩, 萩原亨, 内田賢悦, 加賀屋誠一: 歩行者・自転車双方の立場から見た歩道空間における危険感知領域に関する基礎的研究, *土木計画学・研究論文集*, Vol.23, No.2, pp.567-573, 2006.

斎藤健治, 清田勝: 自動車・自転車とのすれ違いにおける歩行者のストレスに関する心拍変動による評価, *佐賀大学理工学部集報*, Vol.34, No.2, pp.1-7, 2005.

Pham, T. Q., Nakagawa, C., Shintani, A., & Ito, T.: Evaluation of the Effects of a Personal Mobility Vehicle on Multiple Pedestrians Using Personal Space *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.16, No.4, pp.2028-2037, 2010.

Hasegawa, Y., Dias, C., Iryo, M., & Nishiuchi, H.: Modeling pedestrians' subjective danger perception toward personal mobility vehicles, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol.56, pp.256-267, 2018.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 横関俊也	4. 巻 75巻5号
2. 論文標題 電動車いす等の交通事故から想定する搭乗型移動支援ロボットの危険性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3(土木計画学)	6. 最初と最後の頁 I_1049-I_1057
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2208/jscejipm.75.I_1049	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 横関俊也
2. 発表標題 電動車いす等の交通事故から想定する搭乗型移動支援ロボットの危険性
3. 学会等名 第57回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横関俊也, 森健二, 矢野伸裕, 萩田賢司
2. 発表標題 走行中のパーソナルモビリティによる危険感
3. 学会等名 第60回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	森 健二 (MORI Kenji) (50370888)	科学警察研究所・交通科学部・室長 (82505)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	矢野 伸裕 (YANO Nobuhiro) (30356224)	科学警察研究所・交通科学部・主任研究官 (82505)	
研究協力者	萩田 賢司 (HAGITA Kenji) (00356221)	科学警察研究所・交通科学部・主任研究官 (82505)	