

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04731

研究課題名（和文）自転車のための安全運転支援情報システムの実現と効果検証

研究課題名（英文）Realizing bicycle rider support information system and verifying its effectiveness

研究代表者

間邊 哲也（Manabe, Tetsuya）

埼玉大学・理工学研究科・助教

研究者番号：20640197

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：自転車の交通安全に関する研究開発の多くは、通信・位置特定・道路インフラの高度化によって実現されるものであった。これらに対して、本研究は新たなインフラ設備を必要とせず、スタンドアロンで動作する安全運転支援情報システムの実現と効果検証を行うものである。具体的には、安価な小型コンピュータ上でのシステム構築方法、自転車の違反・危険運転の検出方法、システムが提示する内容を自転車乗車中の利用者が直感的に理解できるユーザインターフェイスについて明らかにした。また、子育て世代を対象として児童の自転車乗車時の危険行動・危険事象の実態、利用意向を収集・分析を通じて、本システムの有用性・受容性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自転車のための安全運転支援情報システムに関する要素技術やシステム技術の実現方法、危険行動・危険事象の実態や利用意向、システムの有用性や受容性に多くの知見を獲得することができた。近年訪日外国人のレンタカー利用による事故の増加が問題となっているが、シェアサイクルの普及により外国人の自転車利用も増加することが想定される。本研究により、日常的に自転車を利用している利用者ばかりではなく、日本の交通ルールを十分理解できていない訪日外国人が運転するシェアサイクルやレンタサイクル、自転車そのものに不慣れた児童が運転する子ども用自転車などでの安全運転支援の実現にも寄与するものである。

研究成果の概要（英文）：Most of the research and development in bicycle traffic safety has been achieved through the advancement of communication, positioning, and road infrastructure. In contrast, this research aims to realize and verify the effectiveness of a stand-alone bicycle safety support information system that operates without the need for new infrastructure facilities. Specifically, we have clarified how to construct the system on an inexpensive small computer, how to detect illegal and dangerous bicycle riding, and a user interface that allows users to intuitively understand the content presented by the system while riding a bicycle. The usefulness and acceptability of the system were also clarified by collecting and analyzing the actual situation of dangerous behavior and dangerous events when children ride bicycles and their intention to use the system, targeting the child-raising generation.

研究分野：高度交通システム

キーワード：自転車 安全運転支援情報システム 逆走 歩道走行 ユーザインターフェイス 行動変容 ヒヤリハット システム受容性

1. 研究開始当初の背景

自転車は免許不要なため、若年者から高齢者まで幅広く利用される交通手段である。昨今では、健康や環境への意識の高まり、シェアサイクルの普及などにより、通勤・通学などの日常生活に加えて、ビジネス・観光などでも利用される場面が増えている。しかしながら、自転車の利用者・利用機会の増加に伴って、自転車の関係する交通事故が大きな社会問題となっている。これらの問題に対し、ITS（高度交通システム）分野では、情報通信技術によって交通事故を減らす取り組みがなされている。また、交通工学分野では道路にループコイルを埋設し、逆走自転車を感知・警告する装置の提案とその効果が示されている。これらの研究開発では、高速・大容量の無線通信技術、正確・高精度な位置特定技術、または、新たな道路インフラ設備の整備が必要であり、自転車の関係する交通事故が発生しうるあらゆる場所での実現には多くのコスト・時間を要してしまう。

一方、自転車の死亡事故では7割の人がルール違反の運転をしていたという統計データが出ているように、自転車の関係する事故を減らすためには、自転車利用者がルールを守る仕組みを作る必要がある。複数の中学校の交通安全教室の評価として、法令理解度は7~8割への向上が見られる一方、危険認知度には向上が見られず2~4割にとどまることも報告されている。つまり、法令を守らないことによる危険を認識できていないことが、自転車事故につながっていることが示唆されている。そこで、自転車利用者の危険運転（車道の逆走、不適切な歩道走行、標識無視など）の検知・警告を行う「安全運転支援情報システム」を実現することで、自転車利用者に対して安全な運転を促すことができる。その際、新たなインフラ設備に依存しない、スタンドアロンで動作するシステムとするために、自転車に常設可能な安価な小型コンピュータとする。同様のシステムは、多くの利用者が所有するスマートフォン上でも実現可能だが、自転車利用時に取り付け作業が必要であり、自転車利用者の選好により「使われないシステム」となってしまう恐れがある。そこで、保護者が子どもの自転車に備え付ける、中高生の自転車通学には校則で設置を義務付ける、シェアサイクルの機能（サービス）の一つとする、といった場合を想定し、自転車のハンドルに常設することを前提とした。

2. 研究の目的

自転車の交通安全に関する研究開発の多くは、通信・位置特定・道路インフラの高度化によって実現されるものであった。これらに対して、本研究は新たなインフラ設備を必要とせず、スタンドアロンで動作する安全運転支援情報システムの実現と効果検証を行うものである。具体的には、安価な小型コンピュータ上にシステムを構築する。小型コンピュータにはカメラや各種センサを接続し、それらを用いて自転車の危険運転を検出する。また、本システムが提示する内容を自転車乗車中の利用者が直感的に理解できるユーザインターフェイスを実現する。

近年訪日外国人のレンタカー利用による事故の増加が問題となっているが、シェアサイクルの普及により外国人の自転車利用も増加することが想定される。本研究により、日常的に自転車を利用している利用者ばかりではなく、日本の交通ルールを十分理解できていない訪日外国人が運転するシェアサイクルやレンタサイクル、自転車そのものに不慣れた児童が運転する子ども用自転車などでの安全走行支援の実現にも寄与することを目指す。

3. 研究の方法

(1) システム構築に必要な要素技術の確立

本研究課題で実現を目指す、スタンドアロンで動作する自転車のための安全運転支援情報システムを実現する上で、自転車の危険・違反運転をカメラ映像などから検出する技術の確立は欠かせない。そこで、自転車の走行場所（車道の順走/逆走、歩道走行）を検出するアルゴリズムについて検討した。

(2) システム構築およびユーザインターフェイスの検討、情報提供機能の効果

安価な小型コンピュータをベースに自転車のための安全運転支援情報システムを構築した。システム構成は、小型コンピュータ、カメラ、各種センサ（加速度センサなど）とした。情報提示には、小型液晶ディスプレイ・発光ダイオード（LED）・スピーカ・振動モータを用いて、提示内容を直感的に理解可能なユーザインターフェイスについて一対比較法を用いた実験により検討した。また、大学敷地内での自転車乗車実験、および、事後アンケートにより、情報提供機能の効果を検証した。

(3) システムの受容性検証

本システムについて児童の利用を想定した場合、保護者からの評価が普及の重要な要素となる。ウェブアンケート調査により、子育て世代を対象として児童の自転車乗車時の危険行動・危険事象の実態、およびそれらへの本システムの有効性に関する評価、利用意向を収集・分析することで、本システムの有用性・受容性について検証した。

4. 研究成果

(1) システム構築に必要な要素技術の確立

路面標示を用いた自転車走行方向識別サブシステムの構築

路面標示には上下非対称のものが存在し、かつ、自転車走行空間内でも視認できることから自転車の走行方向を識別できる可能性が高い。そこで、路面標示を用いた自転車走行方向識別サブシステムを構築した。ここでは物体検出アルゴリズムの一つである YOLOv3 (You Only Look Once version 3) を用いた。構築した自転車の走行方向識別サブシステムによって自転車の走行方向が正しく識別できるか検証するため、栃木県宇都宮市内で撮影した画像を用いて事前実験を行った。対象とする路面標示は矢羽型路面標示とした。実験結果として、概ね良好な結果が得られたが、識別失敗画像が一部あった。識別に失敗した原因は主に彩度と撮影角度の二つであった。この二つの原因についてそれぞれの訓練用画像をデータセットに追加した。その実験結果から路面標示で自転車の走行方向を識別できる可能性を示した。

次に、実車を使って動画撮影を行い、構築した走行方向識別サブシステムの有効性を確認する実験を行った。埼玉大学周辺に存在する路面標示のうち、数が多い順に矢羽型路面標示、自転車のピクトグラムと矢印、車注意のピクトグラムの三つの路面標示を用いた。実験の結果、いずれの路面標示においても高い識別率を達成し、構築した走行方向識別サブシステムの有効性を確認した。また、識別率の向上には路面標示の欠損の考慮が特に重要であることを明らかにした。

道路形状を用いた自転車走行方向識別サブシステムの構築

物体検出による自転車走行方向識別を補完するため、道路形状を用いた手法を検討した。具体的には、自転車用ドライブレコーダーやスマートフォンで撮影したフロントカメラ画像に対してセマンティックセグメンテーションを行い、車道領域を特定した。車道領域が画像中央から右側に広がっている場合、自転車は車道の左側を走行していると判定し、車道が左側に広がっている場合、自転車は車道の右側を走行していると判定した。山形県鶴岡市と埼玉県さいたま市の自転車走行映像を用いて、交通量の異なる様々な道路幅で提案手法の精度を評価した。また、セグメンテーションモデル、乗車側特定方法、実験条件のどの組み合わせにおいても、高い精度(80%以上)を達成した。

画像セグメンテーションを用いた自転車走行環境判定サブシステムの構築

自転車の不適切な歩道走行を検出するために走行環境判定サブシステムを構築した。基本性能評価として、自転車での走行画像をオープンソースの学習済みモデルで画像セグメンテーションした結果から走行環境を判定した。その結果、車道走行画像では高い精度で判定されたが、歩道視点画像では歩道走行を車道走行と誤判定した。これは、使用したモデルが自動車での車道走行画像のみで構成されているデータセットで学習されたためであった。そこで、歩道視点画像での判定精度の向上が必要であるため、二つの手法を検討した。

一つ目は、手作業によってラベリングを行った歩道視点画像を用いて転移学習する手法である。転移学習の有効性を検証するために、構築した転移学習モデルとオープンソースの学習モデルのそれぞれを用い、走行環境を判定して比較した。その結果、転移学習によって走行環境判定サブシステムでの歩道走行の検出が出来るようになった。次に、走行環境判定サブシステムの汎用性を評価するために、異なる道路環境で実験した。実験の結果、全体で90%以上の正解率を示しており、走行環境判定サブシステムの汎用性を確認した。

二つ目は、視点変換処理を用いた走行環境判定サブシステムである。上述した転移学習では、学習データ生成や転移学習そのものに多大なコストがかかっていた。そこで、画像に対して視点変換処理を行うことで、オープンソースの学習済みモデルのみを用いた歩道走行検出の実現や、手作業が必要だった学習データ生成を自動化できる。それぞれの実験を通じて、オープンソースの学習済みモデル、および、自動生成した学習データのみを用いた転移学習モデルにおける走行環境判定サブシステムでの歩道走行検出の実現可能性を示した。これにより、学習データ生成のラベリングと転移学習に要するコストの削減の可能性を示すことができた。

(2) システム構築およびユーザインターフェースの検討、情報提供機能の効果

システム構築

本研究で構築したシステムの各部の機器を図 1 に示す。本研究では、構築した各部のうちから複数を使用し、情報提示の組み合わせについて基礎評価し、効果を検証した。

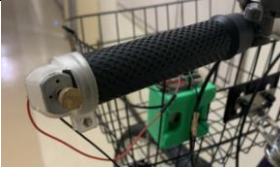

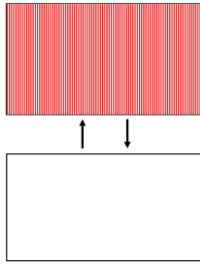




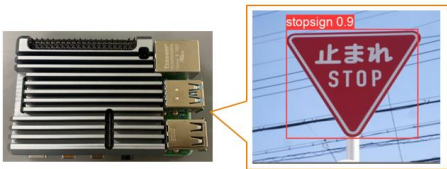

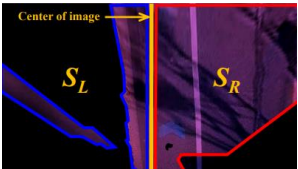



出力部	 振動モータ			 LED	 画面点滅	 警告内容表示
	 圧電ブザー	 USBスピーカ	 ネックスピーカ			
処理部	 Raspberry Pi と一時停止標識検出			 路面標識検出による逆走判定	 車道領域面積による走行判定	
入力部	 リードスイッチ			 加速度センサ	 カメラ	

図 1 : 構築したシステムの各部

ユーザインターフェイスの検討

システムからの提示の認知に関する一対比較結果を図 2(a)に示す. 図 2(a)から, 認知の容易さは, V_r (視覚) $<$ T_r (触覚) $<$ VT_r (視覚+触覚) $<$ A_r (聴覚) $<$ VAr (視覚+聴覚) $<$ ATr (聴覚+触覚) $<$ $VATr$ (視覚+聴覚+触覚) の順に好まれた. 概して, 提示に用いる種類が増えるほど, 種効果 α (好みの程度) は大きいが, 聴覚のみへの提示 A_r の方が, 視覚・触覚二つの感覚器への提示 VT_r よりも好まれた. また, システムからの提示で気づいたものに関して, 正答率は, V_r が 87%, T_r が 98%, A_r が 99% という結果であり, 図 2(a)の α の順位と一致した. よって, 有意に視覚的提示が他の提示に比べて認知しにくいという結果が得られた.

システムからの提示の理解に関する一対比較結果を図 2(b)に示す. 図 2(b)から, V_c (視覚) $<$ A_c (聴覚) $<$ VAc (視覚+聴覚) の順に好まれるという結果だった. 認知の場合と同様に, 正答率に関して, V_c が 92%, A_c が 98% であり, 図 2(b)の α の順位と一致した. 以上から, 聴覚への情報提示による理解の方が, 視覚への情報提示に比べて容易であるという結果が得られた.

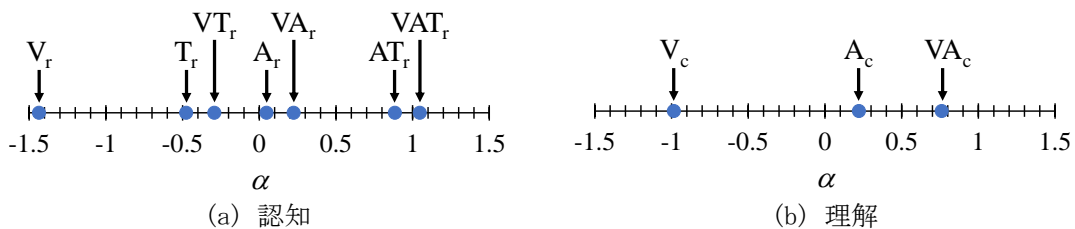


図 2 : 認知・理解の容易さに関する一対比較結果

情報提供機能の効果

逆走抑制機能を構築し, その効果を検証した. 機能構築では, 情報提示部分の基礎評価で効果が高かった, 画面表示と音声による警告内容提示およびハンドルの振動を使用した. 実走実験では, ルート走行時の逆走行動, 逆走への意識・行動に関するアンケートから評価した. その結果, 普段逆走行動をしていた参加者でも実験後に逆走への意識が向上し, 逆走行動の減少が見られた.

次に, 一時不停止抑制機能を構築し, その効果を検証した. 効果検証では, 逆走抑制機能と同様に, 画面表示と音声による警告内容提示およびハンドルの振動を情報提示として使用した. 実走実験では, ルート走行時の一時停止行動とその変化, および一時停止の意識と行動に関するアンケートから評価した. その結果, 標識の手前で一時停止に関する情報を提示することで, 普段は一時停止標識で「停止まではせず, 減速のみ」する参加者を含む 10 人中 8 人の参加者が停止するこ

とを確認した。また、アンケートの結果から、約半数の参加者で普段の生活の一時停止への意識の向上・停止行動の増加が見られた。

(3) システムの受容性検証

自転車乗車時の子どもに対する適切な安全指導や注意喚起について検討するため、自転車乗車時の危険行動やヒヤリハット事象の特徴について、Webアンケート調査により検証した。子ども自身は危険行動を自覚していないことも多いと考えられることから、本研究では保護者の認識を調査した。回答結果を数量化3類により分類し、年代別の特徴と危険行動と危険事象の関連性について分析を行った。分析結果を図3に示す。危険行動は「1. 運転による楽しさ/運転以外の楽しさ」と「2. 無意識的な油断/意識的な油断」の2つの軸で分類できる可能性が見られた。また、小学生は運転による楽しさと無意識的油断に伴う危険行動、中高生は運転以外の楽しさと意識的油断に伴う危険行動を取りやすいことが分かった。

次に、自転車に小型の機器を据え付けて子どもに対する適切な安全指導や注意喚起を行う、自転車安全運転支援システムについて保護者の意向から検討した。自転車子どもと出かける機会のある保護者に対してWebアンケート調査を実施し、自転車安全運転支援システムの利用意向に影響する事項について、利用意向に期待事項と不安事項が影響すると仮定したモデルを設定し、共分散構造分析を用いて分析した。分析結果を図4に示す。利用意向に子どもの年代や性別による有意な影響は見られなかった一方、保護者がいなくても子どもに警告できることや交通安全教育の効果があるといった期待が有意に影響していること、また子どもが楽しんで故意に警告を出すような行動をしてしまうといった不安事項が有意に影響していることが分かった。

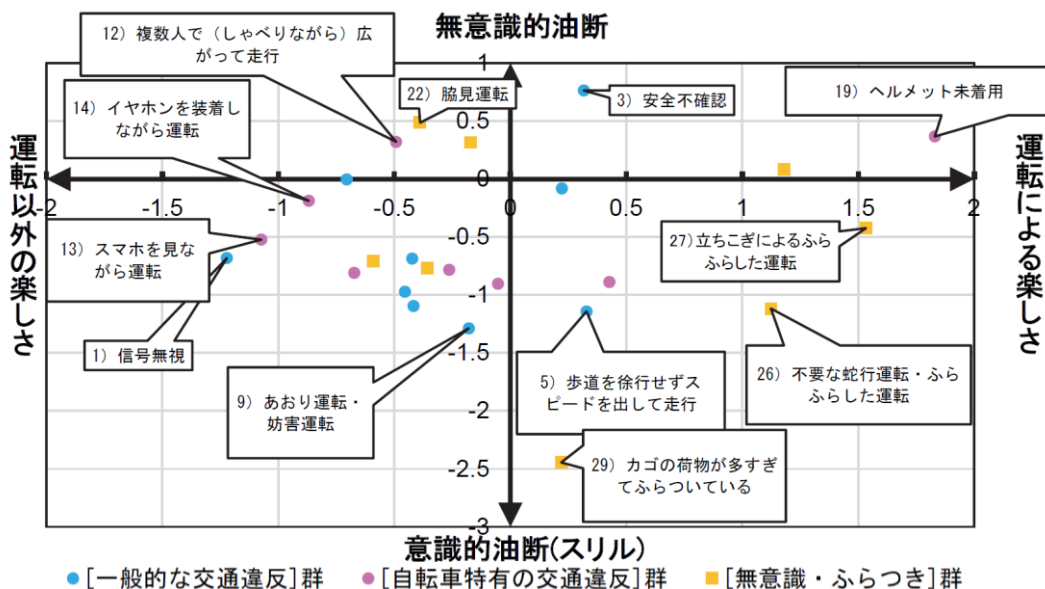


図3：自転車乗車中の子どものヒヤリハットの原因となった危険行動に関する数量化3類の変数スコア

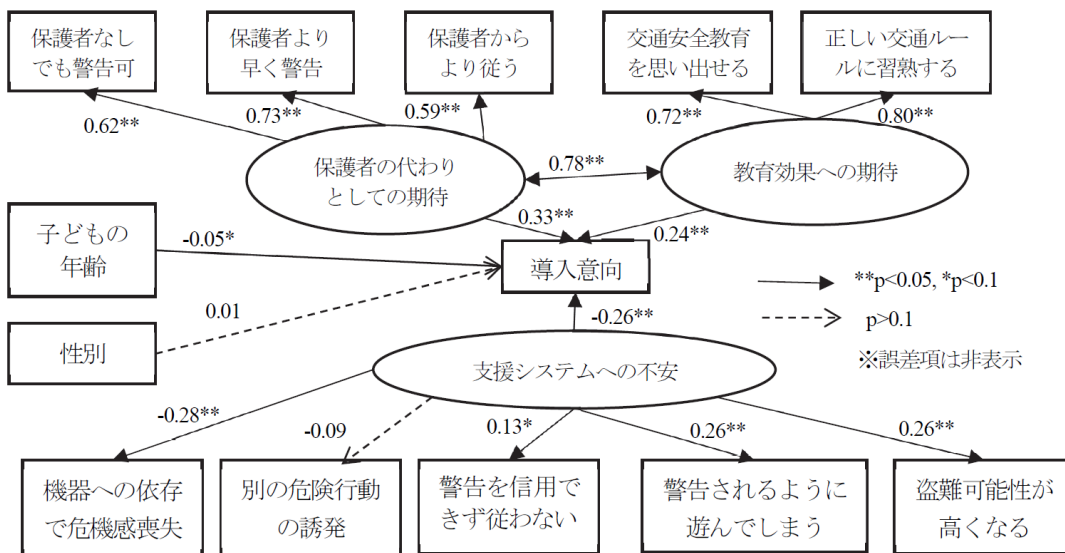


図4：安全運転支援システム導入意向に影響する期待事項と不安事項

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 小嶋 文、金子 由愛、間邊 哲也	4. 巻 9
2. 論文標題 保護者の認識から見た子どもの自転車乗車時の危険行動に関する研究	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 交通工学論文集	6. 最初と最後の頁 A_27～A_34
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14954/jste.9.4_A_27	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 -
1. 著者名 Manabe Tetsuya, Wang Wei, Kim Jeyeon, Kojima Aya	4. 巻 7
2. 論文標題 Bicycle Riding Side Identification by Image Sensing of Asymmetric-Shaped Road Marking Orientation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Letters	6. 最初と最後の頁 1～4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LSENS.2023.3250602	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 -
1. 著者名 KIM Jeyeon, SOMA Takumi, MANABE Tetsuya, KOJIMA Aya	4. 巻 E106-A
2. 論文標題 Image Segmentation-based Bicycle Riding Side Identification Method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 775-783
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transfun.2022WBP0003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 NAWANO Taichi, MANABE Tetsuya	4. 巻 E104.A
2. 論文標題 Route Calculation for Bicycle Navigation System Following Traffic Rules	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 366～370
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transfun.2020TSL0001	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 -

1. 著者名 小嶋 文、永山 幹太、間邊 哲也	4. 巻 10
2. 論文標題 保護者の認識から見た子どものための自転車安全運転支援システムに関する研究	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 交通工学論文集	6. 最初と最後の頁 A_243 ~ A_249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14954/jste.10.1_A_243	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7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 野地正樹, 間邊哲也, 小嶋文
2. 発表標題 自転車のための安全運転支援情報システムの効果検証
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 新井宏映, 間邊哲也
2. 発表標題 画像セグメンテーションと転移学習による自転車の走行環境判定に関する一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小嶋 文、金子 由愛、間邊 哲也
2. 発表標題 保護者の認識から見た子どもの自転車乗車時の危険行動に関する研究
3. 学会等名 交通工学研究発表会論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野地正樹, 間邊哲也, 小嶋文, 金帝演
2. 発表標題 自転車のための安全運転支援情報システムの情報提示に関する基礎評価
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 王偉, 間邊哲也, 金帝演, 小嶋文
2. 発表標題 路面標示を用いた自転車走行方向識別の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 相馬匠, 金帝演, 間邊哲也
2. 発表標題 セグメンテーションを用いた自転車の走行方向検出の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 ITS研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小嶋文, 永山幹太, 間邊哲也
2. 発表標題 保護者の認識から見た子どものための自転車安全運転支援システムに関する研究
3. 学会等名 交通工学研究発表会論文集
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

埼玉大学 間邊研究室
https://mnb.ees.saitama-u.ac.jp/
埼玉大学 S-Read
http://s-read.saitama-u.ac.jp/researchers/pages/researcher/EmBKvQqD
鶴岡工業高等専門学校 金研究室
http://jykim.pr.tsuruoka-nct.ac.jp/
鶴岡工業高等専門学校 トビックス
https://www.tsuruoka-nct.ac.jp/2022/12/12/30124/

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
研究分担者	小嶋 文 (Kojima Aya) (40637998)	埼玉大学・理工学研究科・准教授 (12401)	
研究分担者	金 帝演 (Kim Jeyeon) (50510062)	鶴岡工業高等専門学校・創造工学科・准教授 (51501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------