

# 複数の非接触センサを用いた自転車違反運転検知システム

大井 将徳<sup>1</sup> 中村 嘉隆<sup>2,a)</sup> 稲村 浩<sup>2,b)</sup> 高橋 修<sup>2,c)</sup>

受付日 2018年5月7日, 採録日 2018年11月7日

**概要:**平成 29 年における自転車乗車中の死傷者のうち 64.7%が法令違反運転中に交通事故に遭っているなど, 近年, 自転車に関与する事故が問題となっている. 自転車の違反運転に関する法律や条例は整備されてきているが, いまだ違反運転の認知度は低い. そのため, 自動的に自転車違反運転を検知して運転者に違反運転内容などを通知することによって, 違反運転を減少させるようなシステムが必要となる. 本論文は複数センサを用いた非接触センシングによる自転車運転者の状態検出に基づく自転車違反運転検知システムを提案する. 提案システムはモーションセンサと照度センサを用い, モーション比較, 深度情報取得, トラッキング時間測定, 自転車走行位置計測, 照度測定を用いて自転車違反運転内容を判断し, その内容を運転者および周囲へと通知する機能を備える. 屋外において提案システムの対象判別および違反運転判断についての評価実験を行い, 実用に耐える精度を確認した.

**キーワード:** 状態検出, 自転車運転者, 違反運転

## Detection of Cyclists' Traffic Violations Using Multiple Sensors

MASANORI OOI<sup>1</sup> YOSHITAKA NAKAMURA<sup>2,a)</sup> HIROSHI INAMURA<sup>2,b)</sup> OSAMU TAKAHASHI<sup>2,c)</sup>

Received: May 7, 2018, Accepted: November 7, 2018

**Abstract:** In recent years, traffic accidents involving bicycles becomes a serious problem. For example, 64.7% of the casualties during riding bicycle are encountering a traffic accident while riding with traffic violations in 2017. Although laws and ordinances concerning the riding bicycles are improving, the awareness about riding in violation is still low. Therefore, a system that reduces riding with violation by automatically detecting violation riding and informing the cyclist of violation contents is necessary. In this paper, we propose a detection system of cyclists' traffic violations based on state detection of cyclist by non-contact sensing using multiple sensors. The proposed system has functions to detect the cyclist's violation contents by using the motion sensor and the illuminance sensor and notify the driver and the surroundings of the contents. We conducted experiments on object discrimination and violation distinction of the proposed system outdoors and confirmed the accuracy to withstand practical use.

**Keywords:** behavior detection, cyclists, traffic violations

### 1. はじめに

近年, 自転車による交通事故が問題となっている. 警察庁交通局が発表している平成 29 年中の交通事故の発生状

況 [1] によると, 自転車乗車中の死傷者数は自動車乗車中の死傷者数に次いで 2 番目に多い 89,368 人であり, そのうち 64.7%が法令違反運転中に交通事故に遭っている. また, 図 1 のすべての交通事故に対する事故構成率から自転車乗車中構成率の推移をみると, 平成 29 年の割合は 15.3%であり, 平成 26 年以前と比較すると減少傾向にあるものの, 依然として自転車に関わる交通事故の死傷者数と発生件数の割合は横ばい状態が続いている. 平成 27 年 6 月には道路交通法が改正され, 14 歳以上の自転車運転者は表 1 に示す悪質運転行為を 3 年以内に 2 回以上繰り返すと都道府県公安委員会による講習の受講が命令されることとなった [2].

<sup>1</sup> 公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科  
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate, Hakodate, Hokkaido 041-8655, Japan

<sup>2</sup> 公立はこだて未来大学システム情報科学部  
School of Systems Information Science, Future University Hakodate, Hakodate, Hokkaido 041-8655, Japan

a) y-nakamr@fun.ac.jp

b) inamura@fun.ac.jp

c) osamu@fun.ac.jp

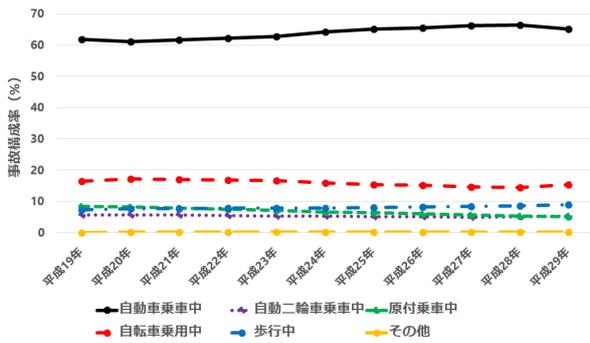


図 1 すべての交通事故に対する事故構成率

Fig. 1 Accident composition rate for all traffic accidents.

表 1 14 種類の悪質運転行為

Table 1 14 kinds of malicious driving behavior.

信号無視	通行禁止違反
歩行者用道路における車両の義務違反	通行区分違反
路側帯通行時の歩行者の通行妨害	遮断踏切立入り
交差点安全進行義務違反等	交差点優先者妨害等
環状交差点安全進行義務違反等	指定場所一時不停止等
歩道通行時の通行方法違反	制動装置不良自転車運転
酒酔い運転	安全運転義務違反

安全運転義務違反には、自転車に乗りながらスマートフォンを操作もしくは電話を行う自転車スマホ、手放し運転、傘さし運転、2人乗り、並走、無灯火運転など複数の違反運転が含まれる。また、警察庁の自転車の交通指導取締り状況によると、平成 28 年の指導警告票交付件数は表 2 のとおりとなっている [3]。指導警告票とは、違反を確信した際に検挙はしないが、注意を喚起するために交付する書面のことであり、運転者に違反運転を再認識してもらうことを目的として年間約 180 万件の交付を行っている。このように、自転車運転者の交通マナー改善および交通事故減少のための規則は年々増加しており、指導警告票による注意喚起も行われているが、自転車運転時の事故削減に関しては大きな効果は得られていない。これは、現在の自転車運転者に対する取締まりが、警察官による手作業の警告であるために違反運転者を見逃してしまう可能性が高い点や、周囲に対する危険自転車の存在周知を目的としていない点が理由としてあげられる。また、違反運転の種類や危険性が多い運転者に周知されておらず、十分な対策がなされていないことも考えられる。そのため、違反運転を自動的に検知し、かつ運転者に違反運転内容や当該違反に与えられる罰則などを通知することによって、再犯を防ぎ違反運転を減少させるようなシステムが必要となる。

本研究では自転車の違反運転を自動的に判断し、自転車運転者や周囲の歩行者に周知することができるシステムの開発を目的とする。提案システムの普及により、警察の取締りに頼ることなく、自転車運転者の違反運転に対する注意力の増加を促すことができ、自転車が関与する事故の減

表 2 平成 28 年の指導警告票交付件数

Table 2 Number of warning cards issued in Heisei 28.

種類	件数
無灯火	494,116
2人乗り	116,322
信号無視	75,158
一時不停止	97,150
歩道通行者に危険を及ぼす違反	260,740
その他	536,055

少につながると考えられる。また、自転車違反運転の種類ごとの検知を行うことによって、運転者が認識していない違反運転の種類を通知することも可能となり、運転マナーの改善を促すことができる。

## 2. 関連研究

本章では、自転車本体に取り付けたセンサによる自転車の挙動や危険運転の検出に関する手法、およびカメラを用いた自転車や歩行者の検出に関する手法を紹介する。

### 2.1 自転車本体にセンサを取り付ける手法

後藤らは、自転車の追い抜きなどの動作を行う際、後方の車両に明確な行動意図を伝達するためのシステム開発の基礎研究として、加速度センサを使用した自転車の挙動認識方法を提案している [4]。加速度センサはスマートフォンに搭載されているものを使用し、スマートフォンを自転車に取り付けて加速度データなどを収集、サーバへデータを送信して特徴量を算出し、それを元に機械学習を用いて挙動認識を行っている。加速、減速、等速、停止、曲がるなどの挙動から発生する加速度データを使用して等速走行、加速走行、円走行、障害物回避の挙動を認識している。機械学習は K 近傍法とサポートベクターマシンを使用し、教師あり学習を用いた認識率を実験で検証している。K 近傍法を用いた挙動認識の認識率が高く、最近傍法では 70.86% の認識率が得られることが分かっている。

下山らは、自転車事故を未然に防ぐことを目的とした事故防止システムを提案している [5]。このシステムは走行状況検知部・走行環境検知部・警告部から構成されている。走行状況検知部ではリードスイッチと回転角度検出センサを用いた速度とハンドルの回転角度の検出などの自転車自体の情報収集、走行環境検知部では距離センサとフォトダイオードを用いた雨検知と昼夜検知、警告部では光、振動、音を用いて段階的に警告を行う。これらの検知した情報を、マイコン上に実装した判定プログラムより評価・判定する。実験より、走行状況検知部は速度超過とハンドル回転角による蛇行運転の閾値の決定、走行環境検知部は雨天と昼夜の検知可能であることを確認、警告部は振動モータについての評価を行っている。

## 2.2 カメラを用いて自転車を検出する手法

Jung らは、HOG (Histograms of Oriented Gradients) 特徴量と RealAdaBoost アルゴリズムを用いて、自転車運転者を検出する手法を提案している [6]。この手法では Particle 分布の測定、自転車の追跡、自転車の検出、および位置・スケールの推定を行っている。また、自転車追跡器と検出器を用いた自転車検出実験を実交通環境下の 3 種類の車載カメラ映像を用いて行っている。実験結果より平均 90% を超える自転車の検出率が得られたことが分かっている。

吉田らは、生成学習法を用いた車載カメラ画像内の傘をさした歩行者の検出手法を提案している [7]。生成段階では多様な外見を持つ傘画像を生成し、その画像を生成型学習法によって生成された歩行者画像と合成して、傘をさした歩行者画像を生成する。学習段階では生成した歩行者画像に非歩行者画像を加え、2 クラス識別器を構築し、検出段階で構築した識別器を用いて車載カメラ画像中から歩行者を検出する。この手法に対し、傘画像を合成した歩行者画像 3,500 枚と傘画像を合成しない歩行者画像 1,500 枚、非歩行者画像 10,000 枚を学習に使用した歩行者検出実験を行っており、傘をさした歩行者、傘をさしていない歩行者の検出率はそれぞれ 54%、57% を達成している。

## 2.3 関連研究の問題点

自転車にセンサ類を取り付ける手法では、普及が著しいスマートフォンを利用することで、専用のセンサ類を必要とせずに自転車の挙動認識や振動による通知ができるというメリットがあるが、認識率は高くても約 70% であり、認識率の向上には複数のセンサが必要である。そのため、すべての自転車に専用のセンサ類を取り付けることを想定した場合、自転車自体のコストが高くなる可能性がある。また、カメラを用いて自転車運転者を検出する手法では、自転車の検出精度が高いことと自転車運転者側で用意するものはない点では優れているが、検知に撮影した画像情報のすべてが必要であるため、蓄積するデータ量が多くなるという問題がある。また、警察などが管理するシステム以外でのカメラ画像の利用は人の顔をとりえてしまうなどのプライバシー侵害の可能性から利用が制限されており、違反運転の周知という目的に対する利用には障害がある。

## 3. 提案システム

本論文では関連研究の問題を解決するために、非接触センシングによる自転車運転者の状態検出を行う自転車違反運転検知システムを提案する。違反運転者に違反運転内容を知らせることで「違反運転である」ということを認識させ、危険自転車の存在を知らせることによって違反運転者と自転車事故を減少させることを目的とする。

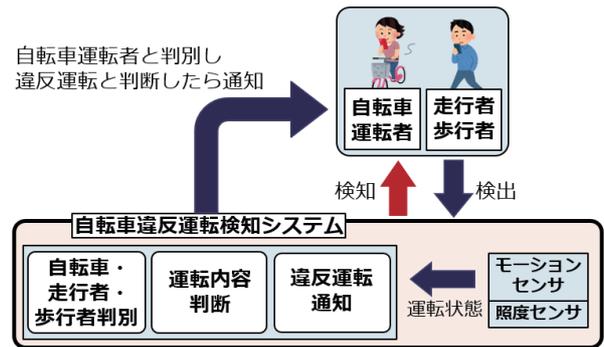


図 2 自転車違反運転検知システムの概要

Fig. 2 Overview of detection system of cyclists' traffic violations.

### 3.1 システム概要

提案システムの概要を図 2 に示す。本システムではモーションセンサと照度センサを用いて自転車運転者の検知、および運転者の姿勢などの運転状態の検出を行う。検出した情報に対し、自転車・歩行者判別機能、運転内容判断機能、違反運転通知機能の 3 つの機能を用いて違反運転の検知および運転者への通知を行う。このための処理の概要は次のようになる。

- (1) モーションセンサによって歩道などで自転車運転者や歩行者を検知する。
- (2) 自転車運転者や歩行者を検知した際に、腕の動きといった姿勢や動作を検出する。
- (3) 検出した結果から自転車運転者と判別したとき、違反運転かどうかを判断する。また、夜間は照度センサによって周囲の照度を計測する。
- (4) 違反運転と判断した場合、もしくは夜間に照度に変化が見られない場合、自転車運転者と周囲の人々に違反運転の種類を通知する。

### 3.2 想定する設置環境

検知・検出に用いるモーションセンサおよび照度センサは自転車の走行ラインの直上に設置する必要がある。図 3 のように自転車の走行ライン直上に専用ゲートを構築して設置するのが理想であるが、電柱・信号柱に設置する方法も考えられる。設置する高さについては、使用するモーションセンサの有効距離によって決定する。路面を検知するように角度をつけることで、自転車運転者の状態検出が可能となり、自転車へのセンサ類の装着は不要となる。

#### 3.2.1 モーションセンサ

モーションセンサとは、手を振る、両手を上げるといった身振り・手振りなどの人の動きを検出可能な装置のことである。このうち、非接触型モーションセンサには距離画像、ビデオカメラ、アレイマイクなど人間とインタラクションするためのセンサが複数搭載されており、高度な姿勢認識を行う技術が実装されている。非接触型モーションセンサ

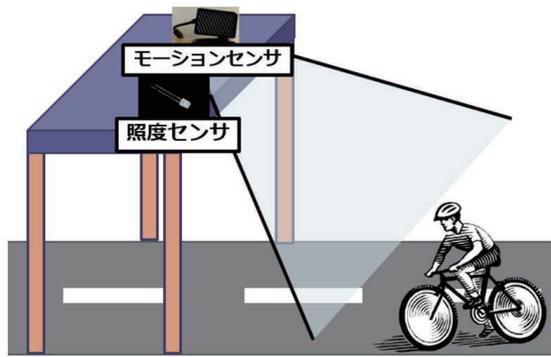


図 3 センサ設置位置

Fig. 3 Installation positions of sensors.

表 3 モーションセンサ比較

Table 3 Comparison of motion sensors.

	有効距離 [m]	有効範囲 [度]	深度 センサ	センサ 方式
Kinect	0.5-4.5	60×70	○	TOF
Creative Senz3D	0.15-1	73	○	TOF
LEAP Motion	0.025-0.6	150	×	ステレオ カメラ
Xtion PRO LIVE	0.8-3.5	45×58	○	Light Coding
PrimeSense Capri	0.8-3.5	45×57.5	○	Light Coding

には様々な種類があり、近距離で指先の細かな動きのセンシングに特化したものや全身のセンシングすることが有効なものがあるため、センサ方式や有効検出範囲がセンサごとに異なる [8]。非接触型モーションセンサの利点は、人間の動きを検出する際に装着するデバイスを必要としないことである。たとえば、非接触型モーションセンサの1つである Kinect for Windows v2 (以下 Kinect) では、照射した赤外線からの反射から人間の動作の推定が可能であり、その骨格情報の出力も可能である。高精度なモーションキャプチャシステムは数百万から数千万円する高価な専用機材が必要となるが、非接触型モーションセンサはセンサ技術の発展にともない、1万円台で購入可能なものも現れてきており、比較的手軽に入手可能になってきている。また、開発環境やライブラリ群の整備も日々進んでおり、モーションセンサを活用したソフトウェア開発が整っているという点も大きなメリットである。ほかにも、深度情報によるグレイフィルタを用いることでプライバシーに配慮した人物の検知が可能である。

主な非接触型モーションセンサの性能比較結果を表 3 にまとめる。センサ方式の TOF (Time Of Flight) 方式とは、赤外線レーザを照射し、受信した反射光の時間差を利用して距離測定を行う方式、Light Coding とは、特定のパ

ターンを赤外線レーザで照射し、反射光のパターンを解析して距離を測定する方式 [9]、ステレオカメラ方式とは、3つの赤外 LED が測定対象物に照射した光の反射を2つのカメラで撮影して動きを認識する方式である [10]。自転車運転者の検知の際は、自転車の速度や走行範囲から、広範囲の検知が必要となる。そのため、有効検出距離や有効検出範囲の優れたモーションセンサを用いる方が望ましい。また、自転車運転者の検知は屋外で行う必要があるため、日光の影響を受けにくい TOF 方式のセンサが必要であり、自転車違反運転の検知・判断には全身の骨格を検出可能なモーションセンサであることが必要となる。以上から、Kinect は他センサと比較して有効検出距離と有効検出範囲に優れ、TOF 方式でありかつ全身の認識が可能であるため、現時点では提案システムで用いる非接触型モーションセンサとして適している。

一方、Kinect は深度センサも備えており、深度情報を取得可能である。この深度情報と姿勢認識技術を組み合わせることによって、スケルトン・トラッキングを実現している。人物領域の情報をもとに計算された関節の位置情報(頭・手・肩・胴・脚などの関節)について、画像上の座標値  $(x, y)$  と空間中の座標値  $(x, y, z)$  の両方を得ることができる。この情報をもとに物体の形をとらえ、Kinect SDK によって人間がどのような姿勢をとっているか推定することで全身の骨格位置を追跡している。これによって、人の顔を映すことなく腕や体などの骨格位置のトラッキングや運転者の状態を検出可能となる。

以上から現状では提案システムで用いるモーションセンサとしては Kinect の採用が妥当であるとするが、スケルトン・トラッキングが可能なモーションセンサであれば、代替可能である。

### 3.2.2 照度センサ

照度センサとは、周囲の明るさを感知するセンサのことである。照度センサには、フォトトランジスタを用いるもの、フォトダイオードを用いるもの、フォトダイオードにアンプ回路を追加したもの大きく3種類がある。フォトダイオードは、光半導体素子の PN 接合部に光を照射すると電流や電圧を発生する受光素子のことであり、光の強弱の変化を精密に検出できる。また、フォト IC ダイオードは、フォトダイオードから発生する光電流を増幅して出力するフォト IC のことであり、各種光量の検出に用いられる。提案システムでは、フォト IC ダイオードを用いることで、自転車の照度および平常時の照度の測定を行う。具体的には Arduino にフォト IC ダイオードを接続し、得られた入力をシステムで制御することによって周囲の照度を測定する。

### 3.3 自転車違反運転検知

自転車運転者の運転中のモーションと、事前に作成した



図 4 歩行  
Fig. 4 Walking.



図 5 走行  
Fig. 5 Running.

運転内容のモーションを自転車運転者検出時にリアルタイムで比較することによって、運転内容の判断を行う。提案システムでは、運転内容モーションは Kinect 用のモーション作成ツール Visual Gesture Builder (以下、VGB) [12] を用いて作成する。VGB は、Kinect によって記録された映像にタグ付けを行うことによってモーションを定義し、機械学習を通じてデータベース化を行う。Kinect の前で静止した状態で自転車違反運転などを実際に行った映像を記録し、VGB でその映像を読み込むと、運転者の首、腕、手首などの全 25 カ所の骨格位置や角度が取得される。運転内容モーションはその運転内容を行っている状態であるときの映像の部分に手動でタグ付けを行い、機械学習による自動的なモーション生成を経て、データベースに格納される。このデータベースは、実装したシステム内で読み込むことによって利用することができ、複数の運転内容を自転車運転者のモーションと比較することによってそれぞれ判断することができる。タグ付けは連続的な (Continuous) モーションとして 0.0 から 1.0 を基準とした閾値設定を行う。その際、対象モーションではない状態を 0.0、対象モーションである状態を 1.0 とし、対象モーションへと移行する過程は VGB によって自動的に補完する。

### 3.3.1 自転車・走行者・歩行者の判別

提案システムでは、まず検出対象が自転車運転者であるか、走行者であるか、歩行者であるかを判別する。Kinect のスケルトン・トラッキング機能を利用して、検出対象のモーションを検出し、モーションの比較とトラッキング時間を用いて判別を行う。歩行者のモーションは図 4、走行者のモーションは図 5 のような動きをもとに作成する。教師データとしてそれぞれ 1 人分の映像記録を使用する。歩行状態モーションは、上半身の動きには個人差が少なくと考えられ、走行状態モーションは腕の動きなど上半身の動きの個人差が大きいと考えられる。そこで、歩行状態モーションは限定的な判別に、走行状態モーションは広範囲な判別を可能とするように、教師データに対してタグ付けを行い、モーションを定義する。予備実験より、歩行状態モーションの教師データには歩行状態のタグを 1.0、走行状態のタグを 0.0、自転車の通常走行のタグを 0.0 として定義する。また、走行状態モーションの教師データには、走行状態のタグを 1.0、歩行状態のタグを 0.5、自転車の通常走行のタグを 0.0 として定義する。トラッキング時間によ

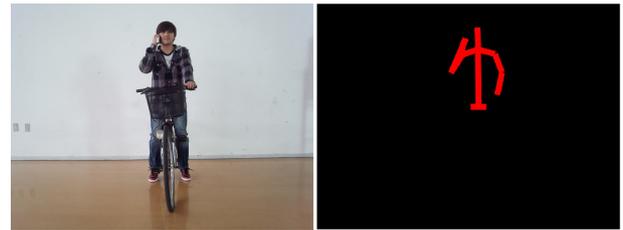


図 6 自転車スマホ  
Fig. 6 Operating a smartphone while riding a bicycle.

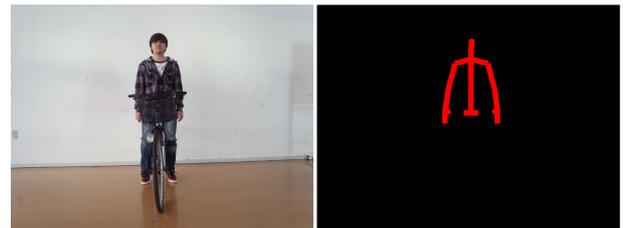


図 7 手放し運転  
Fig. 7 Riding a bicycle with no hands.



図 8 傘さし運転  
Fig. 8 Riding a bicycle with umbrella up.

る判別は、自転車・走行者・歩行者と判別する閾値を事前実験より決定する。

### 3.4 運転内容の判断

#### 3.4.1 自転車スマホ・傘さし運転・手放し運転の判断

自転車運転時の、自転車スマホ、傘さし運転、手放し運転についてもモーションの比較によって判断する。自転車スマホのモーションは図 6、手放し運転は図 7、傘さし運転は図 8 のような動きをもとに作成する。教師データは自転車スマホと手放し運転は 1 人分、傘さし運転は 4 人分の映像記録を使用する。予備実験より静止した状態での判断精度が低いという結果が得られたため、傘さし運転の教師データを多くしている。自転車スマホの教師データには、右手で電話をかけるモーション、左手で電話をかけるモーション、右手でスマートフォンを操作するモーション、左手でスマートフォンを操作するモーションが含まれている。手放し運転の教師データには、右手を降ろすモーション、左手を降ろすモーション、両手を降ろすモーションが含まれている。また、傘さし運転の教師データには、右手で傘をさすモーション、左手で傘をさすモーションが含まれている。それぞれの教師データには 2 割程度の通常走行

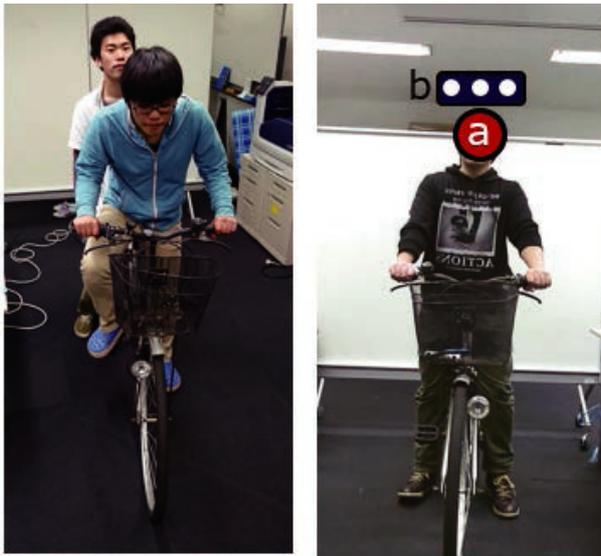


図 9 2人乗り運転  
Fig. 9 Riding double on a bicycle.

のデータも記録されており、通常走行は 0.0 としてタグ付けを行っている。

### 3.4.2 自転車の2人乗り運転の判断

自転車の2人乗り運転は深度情報による距離情報を用いて判断する。ここでは自転車の2人乗り運転とは同乗者が図9左のように荷台に座っている状態とする。しかし、正面からでは同乗者が運転者と重なり、骨格検出が難しい場合も存在する。そのため、図9右のように、(a) 自転車運転者の頭の骨格位置の距離情報と (b) 運転者の頭上の距離情報が近似したときに自転車の2人乗りと判断する。(b) 運転者の頭上の位置は同乗者の距離情報が取得できる推定位置として、頭の骨格位置から 0.2m 程度の位置の距離情報を取得する。距離情報の取得位置は、自転車運転者がモーションセンサに近づくにつれ大きく変動するため、(a) の位置の距離情報によってプログラム上の取得位置を変動させ、取得位置がなるべく固定されるように調整を行う。運転者の頭の角度によって距離情報が取得できないことがあるため、(b) 運転者の頭上の位置は横方向  $\pm 0.1$  m の位置の距離情報も取得する。近似と判断する距離の範囲は自転車運転者の頭の骨格位置から運転者後方 0.25~0.75 m 以内とし、(b) の3カ所のうち1つでも近似と判断した場合、2人乗り運転と判断する。

### 3.4.3 自転車の並走の判断

自転車の並走は深度情報による距離情報と自転車の走行位置の計測によって判断する。自転車の並走は図10のように、自転車どうしの車間距離と車幅距離を計測し、自転車間距離が近いことを判断する必要がある。そのため、リアルタイムで (A) 各運転者の深度情報による距離情報から車間距離の近似判断を行い、(B) 各運転者のプログラム上の X 座標近似によって車幅距離の近似判断を行う。上記

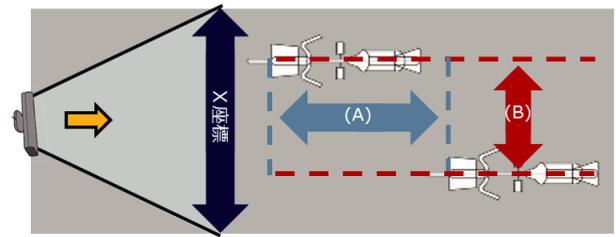


図 10 並走  
Fig. 10 Riding bicycles in parallel.

の2つの条件が満たされた場合、自転車の並走と判断する。

### 3.4.4 走行区分違反運転の判断

自転車の走行区分違反は、自転車の走行位置の計測によって判断する。路側帯と歩道の境界の閾値を定めることで路側帯の走行が判断可能となる。しかし、路側帯の右側走行(道路の逆走)を行う自転車運転者を検出し、違反運転と判断するためには、右側走行を行う向きにもモーションセンサを設置する必要がある。そのため、モーションセンサは道路の両端に2方向を検知するように配置することにより、どの方向の自転車についても走行区分違反運転の判断が可能となる。

### 3.4.5 無灯火運転の判断

無灯火運転は、スケルトン・トラッキングと照度の計測によって判断する。日中の周辺照度が高い時間帯は判断不要であるため、照度が 2,000 lx 以下であるときのみ判断を行う。スケルトン・トラッキングによって自転車運転者が検出されたときに、フォトダイオードによって照度を 0.1 秒間隔で測定し、平常時の照度と比較して変化が見られた場合を灯火運転、変化がなかった場合を無灯火運転として判断する。

### 3.4.6 通常運転の判断

通常運転とは違反運転をしていない運転状態とする。システムが上述の違反運転と判断しなかった場合を通常運転とする。提案システムは自転車違反運転内容の判断を行い、その内容を運転者に通知させることを目的としているため、通常運転と判断する手法は特に設けないものとする。

## 3.5 自転車違反運転通知

自転車違反運転を運転者や周囲の歩行者に通知するために、自転車が違反運転を行った際にその場で行う「リアルタイム通知」を行う。リアルタイム通知の目的は以下の2つである。

- 自転車の運転を妨げずに違反運転内容を通知する。
- 自転車違反運転者の周囲に対して危険自転車の存在を通知する。

下山らの研究 [5] では、LED の色の変化と音、振動による段階的な通知を行っている。しかし、LED の色の変化だけでは違反運転内容が直感的に分かりにくく、音は危険回避

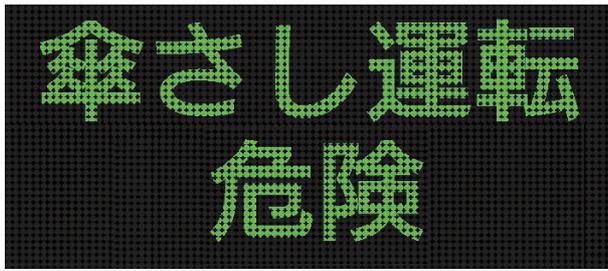


図 11 リアルタイム通知  
Fig. 11 Real time notification.

以外での使用は法律上禁止されている。自転車運転者および周囲の歩行者などがすぐに気付くことができ、かつ違反運転内容を運転者に明確に伝えることができると考えられる、電光掲示板を用いて通知を行う。電光掲示板には自転車運転者が行った違反内容を表示する (図 11)。

#### 4. 評価実験

自転車運転・走行・歩行状態判別精度および自転車走行位置の判別精度、自転車運転内容判断精度の評価実験を行う。いずれも屋外かつ障害物のない環境下で行い、図 12 のように Kinect とフォトダイオードを自転車の進行方向前方に地面から 2.0m の高さに設置する。また、既存研究 [13] より Kinect の人体認識は人が正対する姿勢をとらなければならないため、Kinect の角度は 13~14 度として見下ろすように設置し、被験者はセンサの検知側からセンサ直下を通過する。自転車の速度は日本成人の平均自転車速度である 14.6 km/h [14] を基準とし、13~15 km/h の速度で行う。自転車は市販の 27 型のオールラウンド型ハンドルのシティサイクルを用い、自転車運転者および 2 人乗りの同乗者は身長 1.65~1.75 m の 20 代男性とする。照度は灯火運転判断時以外は 20,000~30,000 lx とし、違反運転と判断している時間が 0.1 秒未満の場合は除外する。前照灯は JIS 規格適合品 (照度約 2,000 lx) を用いる。

##### 4.1 自転車・走行者・歩行者の判別精度検証

自転車、走行者、歩行者を判別するために、1 人の被験者が自転車運転状態、走行状態、歩行状態で、それぞれ 10 回ずつセンサ直下を通過し、モーション比較とトラッキング時間による状態判別精度の検証を行った。結果を表 4 に示す。それぞれの状態をおおよそ判別することができている。走行状態を歩行者と判別することもあったが、自転車と判別していないため許容範囲内であると考えられる。しかし、歩行状態で通過したときに 1 度だけ自転車運転者と判別してしまったケースがあり、この場合は違反運転の判断も行ってしまう誤った判断につながるため、対策を考える必要がある。

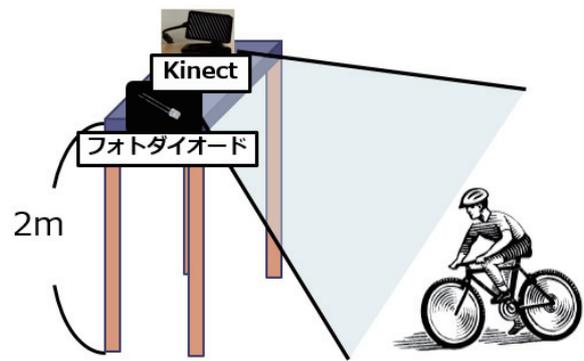


図 12 実験環境  
Fig. 12 Experimental environment.

表 4 モーション比較による状態判別結果

Table 4 Discrimination results by motion comparison.

試行内容	判別結果		
	自転車	走行者	歩行者
自転車	10/10	0/10	0/10
走行	0/10	8/10	2/10
歩行	1/10	0/10	9/10

表 5 モーション比較による自転車違反運転判断結果

Table 5 Distinction result of violation motions by motion comparison.

試行内容	判断結果		
	自転車スマホ	手放し運転	傘さし運転
自転車スマホ	18/20	2/20	18/20
手放し運転	0/20	17/20	0/20
傘さし運転	0/20	1/20	13/20
通常走行	0/20	0/20	0/20

##### 4.2 自転車運転内容判断精度検証

モーション比較による違反運転判断精度を検証するために、自転車スマホ、手放し運転、傘さし運転、通常走行を実際にそれぞれ 20 回行う。傘さし運転に用いる傘は透明なビニール傘を用いる。判断精度は、運転者のモーションと 3 つの違反運転のモーションを同時に比較するため、真陽性・真偽性によって評価する。それぞれの試行についての判断結果を表 5 に示す。自転車スマホ、手放し運転はともに判断できた回数が多く、通常走行を行ったときに違反運転と判断することはまったくなかった。傘さし運転は判断した回数がやや少ないが、吉田らの手法 [7] よりも 10% 以上高い判断率を得ることができた。しかし、自転車スマホの際に、自転車スマホと傘さし運転の両方の判断をしてしまうケースが非常に多く見られた。一方、傘さし運転を行った際に、自転車スマホと判断するケースは見られなかったため、優先順位設定を行うことで解決できると考えられる。たとえば、自転車スマホと傘さし運転を同時に判断した場合、自転車スマホのみを判断結果とし、傘さし運転を除外することで誤判断を減少することができる。

表 6 自転車スマホ判断結果詳細

Table 6 Distinction result of operating a smartphone.

試行内容	自転車スマホ	判断結果	
		手放し運転	傘さし運転
電話 (右手)	4/5	0/5	4/5
電話 (左手)	5/5	2/5	4/5
操作 (右手)	4/5	0/5	5/5
操作 (左手)	5/5	0/5	5/5

表 7 手放し運転判断結果詳細

Table 7 Distinction result of riding a bicycle with no hands.

試行内容	自転車スマホ	判断結果	
		手放し運転	傘さし運転
手放し運転 (右手)	0/10	9/10	0/10
手放し運転 (左手)	0/10	8/10	0/10

表 8 傘さし運転判断結果詳細

Table 8 Distinction result of riding a bicycle with umbrella up.

試行内容	自転車スマホ	判断結果	
		手放し運転	傘さし運転
傘さし運転 (右手)	0/10	0/10	6/10
傘さし運転 (左手)	0/10	1/10	7/10

表 9 自転車違反運転モーションによる判断精度

Table 9 Distinction accuracy of violation motions.

	真陽性	真陰性
自転車スマホ	0.90	1.00
手放し運転	0.85	0.93
傘さし運転	0.65	0.70
手放し運転	1.00	1.00

次に、自転車スマホの判断結果の詳細を表 6 に示す。どの試行もおおむね自転車スマホであると判断ができてい。手放し運転と誤判断していることが 2 度あったが、自転車運転者の手の位置、つまりシステム上の手の骨格位置の Y 座標を取得し、背骨付近の骨格位置の Y 座標と比較し、差を求めることで誤判断を減少することが可能であると考えられる。また、既存研究 [15] では歩きながらスマートフォンを操作する「ながら歩き」の推定を行っており、自転車スマホについては、既存研究と同等の判断結果を得ることができたと考える。

手放し運転の判断結果の詳細を表 7 に示す。手放し運転以外に誤判断することはなく、おおむね判断することができたとはいえる。

傘さし運転の判断結果の詳細を表 8 に示す。他の違反運転より傘さし運転であると判断できた回数が少なく、1 度は手放し運転と判断してしまっている。

また、それぞれのモーション判断の真陽性・真偽性を表 9 に示す。傘さし運転以外は高い判断精度を得ることができ

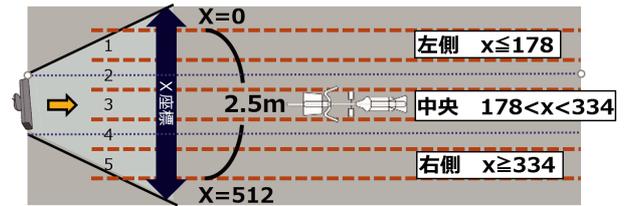


図 13 評価実験での自転車走行位置

Fig. 13 Bicycle's traveling position in evaluation experiment.

表 10 自転車の走行位置判別結果

Table 10 Discrimination results for each bicycle's position.

	X 座標 (平均)	左側	中央	右側
1	85.83	10/10	0/10	0/10
2	156.10	9/10	1/10	0/10
3	261.24	0/10	10/10	0/10
4	404.82	0/10	0/10	10/10
5	435.18	0/10	0/10	10/10

た。特に自転車スマホは真偽性が 1.0 であり、最も誤った判断をしにくいモーションであることが分かった。

#### 4.3 2 人乗りの判断精度検証

自転車の 2 人乗り判断精度を検証するために、自転車の 2 人乗りを実際に 20 回行い、システムによる判断回数をカウントした。20 回中 19 回 2 人乗りであると判断でき、高い判断精度を達成できている。判断できなかった 1 回は、同乗者が座っている状態であり、同乗者の頭が自転車運転者の頭に隠れる死角に位置し、距離情報を取得できなかったためであった。

#### 4.4 並走の判断精度検証

自転車の並走とは自転車 2 台が並走することとする。自転車の並走を実際に 20 回行い、システムによる判断回数をカウントした。20 回中 17 回を並走であると判断でき、高い判断精度を達成できた。

#### 4.5 自転車走行位置の判別精度検証

実験時の走行位置を判別するための閾値は、システム上の X 座標の値を  $x$  としたとき、Kinect の中心から 0.5m 以上左側の位置 ( $x \leq 178$ ) のとき「左側」、Kinect の中心から 0.5m 右側以上の位置 ( $x \geq 334$ ) のとき「右側」、それ以外 ( $178 < x < 334$ ) のとき「中央」と設定する。これにより、1.0m の幅の走行位置のずれを判別することができる。

この閾値のもとで、自転車走行位置の判別精度を検証するために、0.5m 刻みで走行位置を変更し、システム上の X 座標から走行位置を判別する。図 13 の走行位置を 1 から順番に 5 度変更し、それぞれ 10 回走行する。表 10 に結果を示す。1.0m の走行位置がずれることになる 1, 3, 5 の走行位置の判別結果をみると、走行位置の判別が可能

表 11 走行位置 2 と 4 での X 座標の最小値・最大値

Table 11 X coordinate of bicycle traveling location 2 and 4.

	X 座標 (平均)	左側	中央	右側
2 (最小値)	102.20	10/10	0/10	0/10
2 (最大値)	210.01	0/10	10/10	0/10
4 (最小値)	329.77	0/10	7/10	3/10
4 (最大値)	479.88	0/10	0/10	10/10

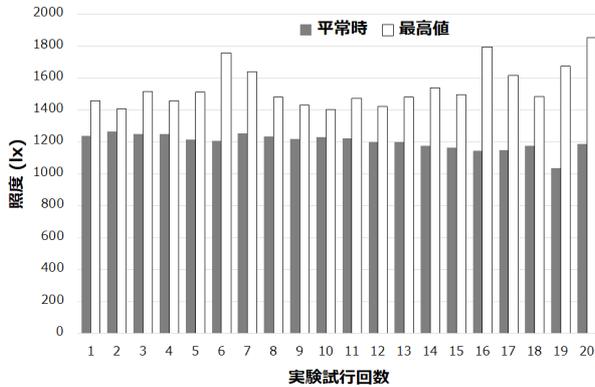


図 14 灯火運転時の照度

Fig. 14 Illuminance of riding with lighting.

であることが分かる。しかし、2, 4 の位置は「左側」もしくは「右側」と「中央」の境界を走行することになる。そのため、走行位置 2 および 4 について再度実験を行い、各走行位置の X 座標の最小値、最大値における判別結果を表 11 に示す。走行位置 2 および 4 について、X 座標の最大値と最小値に基づいて走行位置を判別すると、判別結果が異なる場合が多く得られた。この結果より、1.0m の走行位置のずれを判別することは可能であり、走行位置判別の境界線を走行した場合、最大値と最小値の判別結果から「左側寄り」もしくは「右側寄り」の走行を推定できる。つまり、X 座標の最小値が「左側」と判別し、X 座標の最大値が「中央」と判別した場合は「左側寄り」、X 座標の最小値が「中央」と判別し、X 座標の最大値が「右側」と判別した場合は「右側寄り」と判別することができる。これにより、路側帯での右側走行や歩道通行違反判断に利用可能であると考えられる。

#### 4.6 灯火運転時の照度変化検証

無灯火運転判断を行うために、灯火運転時の照度変化を検証する。照度が約 1,200lx のときに、灯火運転を実際に 20 回行う。実験によって得られた平常時の照度と照度の最高値を図 14 に示す。20 回の試行中に照度が 150~650lx 程度一時的に上昇したことが確認できた。そのため、自転車運転者検出中に平常時の照度より 150lx 以上上昇した場合を灯火運転、自転車運転者検出中に照度の変化がなかった場合を無灯火運転と判断することが可能であると考えられる。また、検測地点付近の代表的な照度の変化を図 15

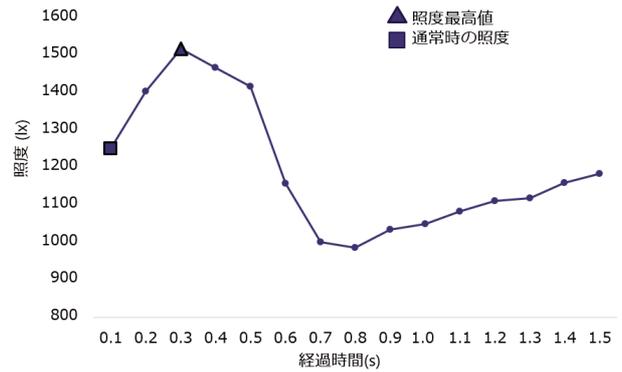


図 15 灯火運転時の照度変化例

Fig. 15 Example of change in illuminance riding with light.

に示す。照度が急激に変化し始めた時点から計測を開始している。平常時照度と最大照度を見ると、0.4 秒程度の間で 150lx 以上上昇している。自転車運転者検出時の照度の測定間隔を 0.15~0.2 秒に設定することで、急激な照度変化後の照度測定精度が向上すると考えられる。

#### 5. まとめ

本論文ではモーションセンサと照度センサを用いた自転車違反運転検知システムの提案を行った。提案システムは自転車・走行者・歩行者判別機能、運転内容判断機能、違反運転通知機能の 3 つの機能によって構成され、違反運転と判断された場合に運転者への通知を行う。提案システムに対し、屋外で自転車・走行・歩行状態判別精度、違反運転判断精度および走行位置判別精度についての評価実験を行った。自転車・走行・歩行状態についてはおおむね正確に判別可能であり、違反運転判断についても、自転車スマホ、手放し運転については高い判断精度が得られた。傘さし運転の判断精度はやや低いものの、教師データを増やすなどで対応可能である。2 人乗り、並走については高い判断精度を得ることができている。また、走行位置の判別については、路側帯での右側走行や歩道通行違反判断に利用できる程度の精度を得られることが分かった。無灯火運転判断については、灯火運転と判断できる閾値を設定可能であることが分かった。

本論文では Kinect を使用した評価を行っているが、屋外での利用に不安が残る上に、Microsoft が Kinect の生産を終了しているため、深度センサを備え、スケルトン・トラッキング可能な他のモーションセンサの利用を検討する必要がある。

#### 参考文献

- [1] 警察庁：平成 29 年の交通事故の発生状況，e-Stat 政府統計の総合窓口（オンライン），入手先 (<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/Pdfdl.do?sinfid=000031674175>) (参照 2018-04-01)。
- [2] 警視庁：自転車運転者講習制度（オンライン），入手先

- (<http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kotsu/jikoboshi/bicycle/koshu.html>) (参照 2018-04-01).
- [3] 警察庁：自転車の交通指導取締り状況(オンライン), 入手先 ([https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/bicycle/pdf/3\\_torishimari.pdf](https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/bicycle/pdf/3_torishimari.pdf)) (参照 2018-04-01).
- [4] 後藤秀信, 三浦元喜: 加速度センサーを使用した自転車の挙動認識, インタラクシオン 2014 論文集, No.A5-3, pp.309-312 (2014).
- [5] 下山直起, 安藤 輝, 山崎和人, 石井貴拓, 平山雅之: マルチセンサーを用いた走行解析による自転車事故防止システムの検討, 情報処理学会研究報告, Vol.2015-EMB-36, No.51, pp.1-6 (2015).
- [6] Jung, H., Tan, J.K., Kim, H., Morie, T. and Ishikawa, S.: Detection and Tracking of a Human on a Bicycle Using HOG Feature and Particle Filter, *Biomedical Soft Computing and Human Sciences*, Vol.19, No.1, pp.33-41 (2014).
- [7] 吉田英史, 出口大輔, 井手一郎, 村瀬 洋, 町田貴史, 小島祥子: 生成型学習法を用いた傘をさした歩行者の高精度な検出に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.112, No.198, pp.191-196 (2012).
- [8] MONOist: モーションセンサーで組み込み機器はどう変わる? (1): モーションセンサーデバイスとは何か (オンライン), 入手先 (<http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1309/19/news011.html>) (参照 2018-04-01).
- [9] TDK Techno Magazine: 第 159 回 写真の「奥行き」を測る, 距離画像センサーの技術 (オンライン), 入手先 (<http://www.tdk.co.jp/techmag/knowledge/201102u/>) (参照 2018-04-01).
- [10] MONOist: モーションセンサーで組み込み機器はどう変わる? (4): 「どのデバイスが最適か?」 (オンライン), 入手先 (<http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1402/24/news086.html>) (参照 2018-04-01).
- [11] Microsoft: Kinect for Windows (online), available from (<https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect/hardware>) (accessed 2018-04-01).
- [12] Microsoft: Visual Gesture Builder (online), available from (<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/dn785304.aspx>) (accessed 2018-04-01).
- [13] 畑田光毅, 水澤純一, 狐崎直文: Kinect を用いた高齢者見守りシステムの構築, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, Vol 2012, No. 基礎・境界, p.307 (2012).
- [14] 岸田 真: 日本の自転車交通の現状と改善への取り組み, 第 20 回日・韓建設技術セミナー開催報告 (オンライン), 入手先 ([http://www.jice.or.jp/international/nikkan/pdf/nikkan2009\\_05.pdf](http://www.jice.or.jp/international/nikkan/pdf/nikkan2009_05.pdf)) (参照 2018-04-01).
- [15] 澤野敬斗, 秋穂 崇, 新津善弘: スマートフォン搭載センサーを用いた「ながら歩き」検出方式, 平成 24 年度電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会 (オンライン), 入手先 (<https://www.ieice.org/tokyo/gakusei/kenkyuu/18/pdf/124.pdf>) (参照 2018-04-01).



大井 将徳

2015 年公立はこだて未来大学システム情報学部情報アーキテクチャ学科卒業。2017 年同大学大学院システム情報科学研究科システム情報科学専攻修了。



中村 嘉隆 (正会員)

2007 年大阪大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。同年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教。2010 年大阪大学大学院情報科学研究科特任助教。2011 年公立はこだて未来大学システム情報科学部助教。

2016 年より同大学准教授。博士 (情報科学)。情報セキュリティに関する研究に従事。電子情報通信学会, IEEE 各会員。本会シニア会員。



稲村 浩 (正会員)

1990 年慶應義塾大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年日本電信電話株式会社入社, 1998 年 NTT ドコモ株式会社。2016 年より公立はこだて未来大学システム情報科学部教授。博士 (工学)。モバイルコンピューティング・スマートデバイス向けシステムソフトウェア・モバイルネットワークに関する研究に従事。電子情報通信学会, ACM, IEEE 各会員。本会業績賞。本会フェロー。

2016 年より同大学准教授。博士 (情報科学)。情報セキュリティに関する研究に従事。電子情報通信学会, IEEE 各会員。本会シニア会員。



高橋 修 (正会員)

1975 年北海道大学大学院工学研究科修士課程修了。同年日本電信電話公社 (現 NTT) 横須賀電気通信研究所入所。コンピュータネットワークの研究・開発・標準化に従事。NTT ドコモを経て 2004 年公立はこだて未来大学システム情報科学部教授。2016 年より同大学特任教授。博士 (工学)。電子情報通信学会, IEEE 各会員。本会業績賞。功績賞。本会フェロー。

2016 年より同大学准教授。博士 (工学)。電子情報通信学会, IEEE 各会員。本会業績賞。功績賞。本会フェロー。