

マルチセンサ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

下山直起^{†1} 安藤輝^{†1} 山崎和人^{†1} 石井貴拓^{†2} 平山雅之^{†1†2}

近年、自転車の事故件数は減少傾向にあるが、交通事故全体の中では一定の割合を占めており、大きな社会問題となっている。本研究で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する。提案するシステムは走行状況検知部・走行環境検知部・警告部の3つのサブシステムから構成され、自転車運転者やその周囲に事故回避のための警告を発する。走行状況検知部では車速やハンドルの回転角度などの自転車自体の情報、走行環境検知部では天候や昼夜などの自転車の周囲の情報を取得する。この情報から危険運転であると判断された場合に警告部によって警告を行う。警告部は光・振動・音の3つの警告を段階的に行う。本稿では、これら3つのサブシステムの概要、およびこれらのコンセプトを基に開発した実システムを用いた評価実験の結果を紹介する。

A study of bicycle accident prevention system by riding analysis using multi-sensor

NAOKI SHIMOYAMA^{†1} HIKARU ANDO^{†1} KAZUTO YAMAZAKI^{†1}
TAKAHIRO ISHII^{†2} MASAYUKI HIRAYAMA^{†1†2}

In recent years bicycle accident has become a social problem. Therefore, we have been developing of an accident prevention system for preventing a bicycle accident. To perform appropriate warnings at the right time by three sub-systems in the system. The proposed system is composed of the following three units: the alarm unit, the riding situation sensing unit, the riding environment sensing unit. Riding situation detection unit get the information of the bicycle itself, such as the vehicle speed and the rotation angle of handlebars. Riding environment detection unit senses the information of the bicycle around, such as weather and day or night. Alarm unit gives a stepwise warning using light, vibration, sound devices.

1. はじめに

1.1 研究背景

近年、自転車が引き起こす交通事故が社会問題となっている。警視庁のデータ[1]によると平成25年の自転車乗用中の交通事故件数は12万件以上であり、全交通事故のうちの19.2%と極めて高い割合を占める。自転車事故は、スピード超過の運転や高齢者によるふらつき運転などが原因となって起きる場合が多い。これらの自転車事故と走行状況との因果関係を考慮すると、走行状況をモニタリングし、事故発生前に危険運転状態を警告するシステムが有効であると考えられる。

このため、我々は複数のセンサを使用し、マイコンでデータを処理し、それらのデータから、自転車の運転者やその周囲への有効な警告を発し、自転車の事故を未然に防ぐ自転車事故防止システムの開発を進めている。

本論文では、まず上記のシステムの全体コンセプトを紹介する。また、このシステムの中核となる走行状況検知、走行環境検知について、それぞれの方式および実環境下での評価実験などについて述べる。

1.2 関連研究

自転車事故防止については松井[2]らの「自転車の危険な振る舞いの検出」の研究の中でも言及されている。この研究では、周囲に警告を与えるシステムを構築するための基礎研究として自転車の速度、ハンドル角、車体の傾きを測定し、自転車の危険な振る舞いを検出する方法を提案している。具体的には、回転角度検出センサ、ホール素子、ジャイロセンサでデータを取得し、マイコンを経由してzigbeeによる無線通信でPCに送信するというものである。

この研究ではセンサを用いて自転車自身の状況を測定することに主眼が置かれている。しかし多くの自転車事故は、自転車自身の走行状況とその自転車がどのような環境下で走行しているかという条件の組合せによって発生する。このため危険運転を検出するには自転車の走行状況だけではなく、周囲の環境の検知が重要であると考えられる。具体的には振動センサを用いて道路の凹凸状況を検知したり、測距センサにより道幅を検知するといった方法が考えられる。一方で、検知結果を用いて運転者や周囲に警告を与えることを考えると、警告を与える際の危険運転のレベルや警告方法そのものにも工夫が必要となる。

1.3 システム概要

図1に我々が開発を進めているシステムの概要図を示す。このシステムでは自転車に複数のセンサと警告装置、マイコンを設置する。そしてセンサで検知した情報を、マイコ

^{†1} 日本大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Nihon University
^{†2} 日本大学理工学部
College of Science and Technology, Nihon University

ン上に実装した判定プログラムにより評価・判定する。ここで危険運転と判断した場合には運転者やその周囲にいる人に対して警告を発する。なお、危険運転の判断基準は、後述する実験により得られたデータを参考に決定する。また、危険運転判別では判定のリアルタイム性がとりわけ重視される。

提案するシステムは走行状況検知部、走行環境検知部、警告部の3つのサブシステムから構成される。以下に、この3つのサブシステムの概要を示す。

(i) 走行状況検知部

走行状況検知部は、自転車自体の走行情報を取得するサブシステムである。自転車の走行状況としては走行速度、ハンドルの回転角度などが考えられる。開発中のシステムでは、リードスイッチと回転角度検出センサの2種類のセンサを用いて速度とハンドルの回転角度を検出する。

(ii) 走行環境検知部

走行環境検知部は、自転車の周囲の環境情報を取得するサブシステムである。自転車の走行に影響をおよぼす周囲の環境としては、降雨による路面状況の変化や夜間の照度不足、人も含めた走行区間の障害物などがある。これらを検知するため、開発中のシステムでは後述する距離センサと照度センサを用いる。

(iii) 警告部

警告部は、走行状況検知部で得られたデータが設定した閾値を超えていた場合に危険運転と判定し、警告を発する。閾値は走行環境検知部で検知された走行環境に応じて適宜、チューニングする方式を採用する。また、実際の警告には光・振動・音などの情報伝達方法を採用する。

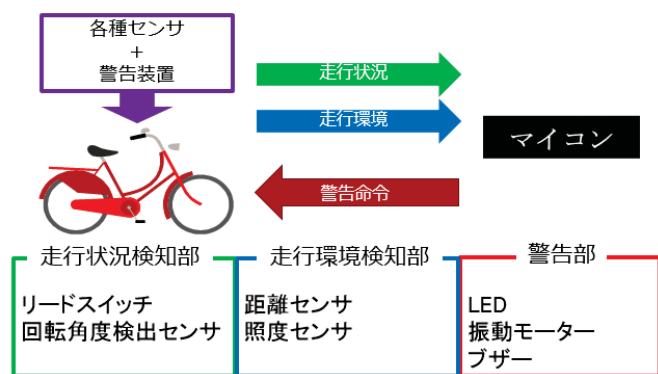


図1 システムの概要図

2. 走行状況検知部

2.1 検知方式

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て自転車の走行状況を検知する。リードスイッチでは車輪の回転数を検出し、速度超過を判断する。回転角度検出センサではハンドルの回転角を検出し、角度を算出してから蛇行運転を判断する。走行状況はリアルタイムで

把握することが望ましいため、検知間隔は極力短くする必要がある。一方、使用するマイコンのメモリ容量等も考慮する必要がある。この両者を考慮して、回転角度検出センサは0.2秒毎、リードスイッチは0.5秒毎に検知するように設定した。

2.2 実験

自転車の走行速度ならびにハンドル回転角と危険運転との関連を確認し、それぞれの検知データに関する危険運転判別の閾値を決定するために実験を行った。実験では飲酒運転などを想定した蛇行運転、および人混み回避を繰り返すランダム運転の2種類の状況を設定し、

- ① 走行速度、ハンドル回転角をモニタすることでこれらの運転を判別できるか
- ② 危険と判別される運転の場合に、それぞれの検知データの閾値をいくつに設定すればよいか

を検討した。なおランダム運転では後述するように走行路上の障害物の分布度合いなどで危険度が異なるため、本実験では危険な蛇行運転の一例として扱っている。

2.2.1 蛇行運転実験

(1) 実験方法

蛇行運転の実験では図2におけるパイロン間隔を変える実験とパイロンを左右にずらし移動角度を変える実験の二つを行う。パイロン間隔は1m~5mまで1m間隔、角度は10度から30度まで10度間隔で実験を行った。

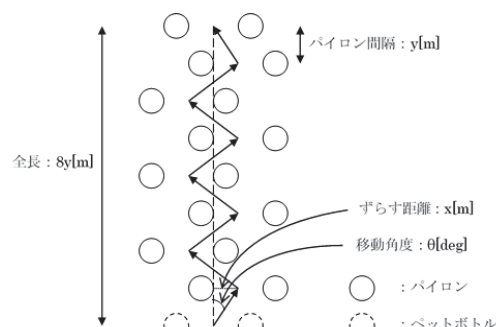


図2 蛇行運転実験方法

(2) 実験結果

図3に実験結果を示す。縦軸がハンドル回転角、横軸が時間である。

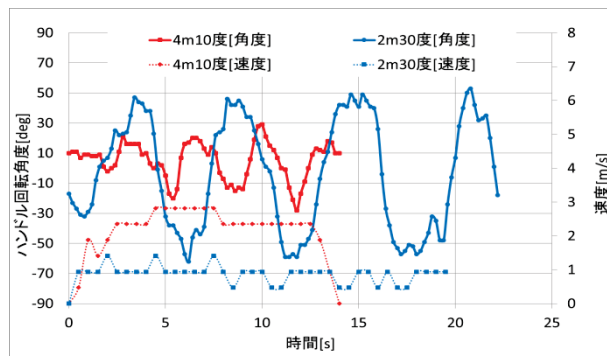


図3 蛇行運転結果

青色線(パイロン間隔2m・移動角度30度)は赤色線（

パイロン間隔4m・移動角度10度)に比べ、より大きな蛇行を必要とする運転パターンである。速度(図中、破線)を見ると、4m10度が最大で約3m/s、2m30度は最大で約1.5m/sとなっている。一方、ハンドル回転角(図中、実線)に関しては、4m10度の場合は30度を超えていないが、2m30度の場合は最大で50度を超えている。これより、蛇行度合いが大きくなると、それに伴ってハンドル回転角が大きくなることが確認できる。

2.2.2 ランダム運転

(1) 実験方法

2.0m×7.0mの区間にランダムにパイロンを配置する。この走行路は片側が道路、逆側が店頭になっている道路を想定している。スタート地点とゴール地点付近は自由走行区間とし、パイロン密集地帯に入りやすい場所から侵入することとする。走行路はランダム性を維持するために乱数を組み込んだプログラムを用いて決定した。今回はパイロンが30%の確率で置かれるように調整した。

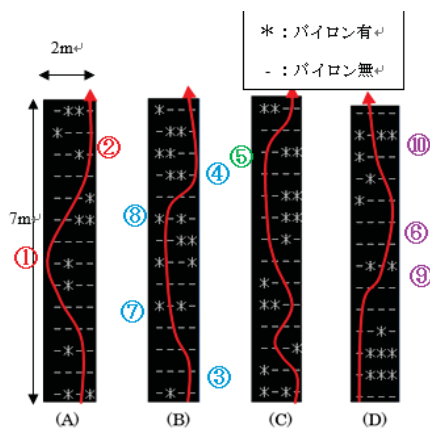


図4 ランダム運転の走行路

各走行路について実際に走行し、その状況を撮影した画像を、7人の被験者に見せ、その後アンケートを取った。その内容は、走行路に設置したパイロンを人として考えた場合危険であるかと思うか、というものである。

(2) 実験結果

全ての走行路において2回ずつ測定を行った。このうち図5は1回目の走行に関するデータを示したものである。



図5 ランダム運転実験結果

図では横軸に時間、縦軸にハンドル回転角度をとって

あるが、走行路(A)・(B)・(C)・(D)いずれの場合にもハンドル回転角度が30度を超えている瞬間が存在している。また、表1に示すアンケート結果を見ると、走行路(B)の走行については、全ての人が危険であると感じている。

表1 アンケート結果

走行パターン	危険ではない	どちらとも言えない	危険である
A	0	2	5
B	0	0	7
C	2	1	4
D	0	2	5

2.3 考察

2.3.1 実験のまとめ

蛇行運転では、より大きな蛇行を必要とした2m30度の場合、見た目でも危険であり、その際のハンドル回転角は30度を超えていることが認められた(図3:青色の線)。

ランダム運転でも図4、図5中の①~⑩のポイントでいずれも30度を超えており、ハンドル回転角30度が危険運転としての一つの目安であると考えられる。

2.3.2 走行路の危険性の考察

今回行ったランダム運転は、パイロンの設置確率を全て30%としており、全ての走行路で同程度の危険度があったと考えることができる。特に図4の⑦~⑩点に見るように1m弱に人が並んでいる所をすり抜けるような運転は、見た目でも危険度が高いと判断できる。さらに表1に示した通り、パイロンを人として考えると走行路A~Dのいずれの走行パターンであっても過半数の人が危険であると判別した。これらよりパイロンを人として考えると今回の走行路を自転車で走行することは全て危険であると言える。

2.3.3 危険運転の判別のための閾値検討

このように、上記の蛇行運転およびランダム走行はいずれも自転車としては危険な運転の要素を含んでいると考えられる。これをもとに、ハンドル回転角および走行速度について、危険運転判別の閾値を検討する。

① 回転角の閾値

ランダム運転におけるハンドル回転角の瞬間上限値は全て30度を超えており、閾値をして30度を目安とすることができる。しかし、単純に30度を閾値とすると、一方に連続したカーブ運転を運転している際などに危険運転として検知してしまう恐れがある。そのため、危険運転としてはハンドルを左右に大きく振り蛇行運転している場合を考え、一定時間内にハンドル回転角±30度の両方を超えた場合とする。しかし、この場合、図5の走行路(C)や(D)のように+30度を超えていないケースを危険運転と判別することができなくなる。このため、危険運転の判別閾値として多少のマーヅンをもたせ、ハンドル回転角±20度程度と設定するのが適切であると考えられる。

② 一定時間

一方、危険な蛇行運転では比較的短時間に蛇行を繰り返

すという性質上、限られた時間内にハンドルを左右に切ったときの山が両方入るよう設定する必要がある。今回の走行路で行った実験では、どの運転パターンにおいても凡そ5秒の間隔でハンドルを左右に切っていることがわかる。

2つの山の間隔が最も長かった図5の走行路(C)を見ると2秒~7秒までの5秒間で±20度を超えている。これにより、5秒間程度を1つの区切りとして、その時間内の蛇行（ハンドルを左右に切っている）を評価するのが適当と考えられる。

③ 走行速度の閾値

今回の実験は、蛇行運転時の危険判別を主眼に置いたため、観測された走行速度はそれほど大きくなかった。一方で蛇行運転の場合、低速であってもある一定速度を超えると走行路から外れたり、障害物や人にあたるといったことが考えられる。木戸[3]の研究では、自転車の平均速度は13km/h~15 km/h程度であることが報告されている。本システムでもこの値を参考に、これに約50%程度の安全係数を見込んで、この速度の1.5倍程度に相当する6m/s程度を走行速度に関する危険運転判別の閾値の目安と置く。

④ 人混み回避における危険性検知の問題

前述したように図4の⑦~⑩点に見るような1m弱に人が並んでいる所をすり抜けるような運転は見た目危険である。しかし、⑨⑩点周囲のハンドル回転角を見ると最大値は+12度、-29度となっており、上記の閾値では危険運転と判別できない。このような場合を考えると、走行路上の障害物や人を直接的に検知するセンサを更に取り付けるといった方策も考える必要がある。

3. 走行環境検知部

3.1 方式

自転車事故の発生状況を考えると、雨天時に制動距離が延びる問題や、夜間の視認性の問題などにより事故が発生することが考えられる。このため、提案システムではこれらの走行環境についても走行環境検知部で検知を行う。

① 雨天検知

雨天に関しては雨センサ[4]と赤外線距離センサ[5]の2つの候補が挙げられる。本研究では自転車に搭載する際のコスト面の問題や検知の精度・信頼性、実装の容易さなどを考慮し、距離センサを用いる。距離センサは赤外線を照射し、物体に当たって反射した赤外線を受光することで距離を測るタイプのものである。今回用いたセンサは測定範囲が10cm~80cmであり、距離が電圧として出力される。出力電圧値は5cmでピークに達し、それ以降は徐々に減少する特性を持つ。本研究ではこのセンサによる赤外線が、雨粒に当たった場合の反射を利用するが、雨粒に当たる確率も考慮し、0.05秒間隔で連続した10秒間でセンシングし検知した雨粒による電圧出力値を合計したものを利用す

る。

② 昼夜検知

昼夜の検知に関しては照度センサとしてフォトダイオードを使用し、周囲の明るさを検知することで昼夜の判断を行う。感度波長範囲は320~820nmとほぼ可視光域にのみ感度を持ち、人間が感じる明るさと同様の出力を得られる。時間による変化が小さく、雨天検知ほどの測定回数はいらないため、このセンサでの測定間隔は0.5秒とした。

3.2 実験

上記2種類のセンサで走行環境を検知できるかを確認することを目的として実験を行った。

(1) 雨天検知

(i) 実験方法

距離センサを台に固定し、以下の2種類のデータを取得する。

(A) 降雨状態の地点へ向け、10秒間測定を行う。これを3回繰り返す。この実験は距離センサの検知範囲には何も物体がない地点で行う。

(B) 雨が降っていない地点へ向けて10秒間測定を行う。こちらも同様に3回繰り返す。距離センサの検知範囲には何も物体がない地点で行う。

(ii) 結果

実験の結果を図6に示す。横軸が実験のトライアル数、縦軸が10秒間の電圧総和となっている。雨有となっているのがAの結果、雨無となっているのがBの結果である。この図よりBの結果よりもAの結果の方が出力電圧の総和が大きいことがわかる。

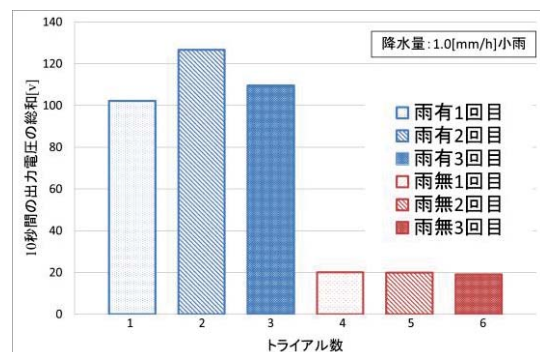


図6 距離センサによる雨天検知実験結果

(2) 昼夜検知

(i) 実験方法

センサの周囲の照度を0Lux~300Luxまで変化させ、その際のセンサ出力電圧値を測定する

(ii) 結果

実験の結果を図7に示す。横軸が実験を行った場所の実際の照度、縦軸がセンサから出力された電圧となっている。0Luxから200Luxまでは出力電圧が照度に比例して上昇し、それ以降はおおよそ3Vで出力電圧が飽和している。この結果から夜のアーケード程度までの照度は計測が可能である。

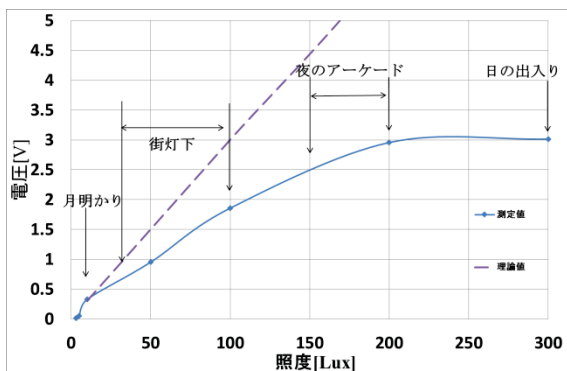


図7 照度センサによる照度計測結果

3.3 考察

雨天検知の実験について、A)の雨有の場合の結果がいずれも出力電圧の総和が 100V を越えているのに対し、B)の雨無しの場合の結果はいずれも 20V 程度である。本実験での 1.0mm/h という比較的弱い雨の場合を想定した降雨状態と降雨のない状態で 80V もの差が発生した。このことから、赤外線距離センサを使うことで、雨天の検知を行うことは可能であることが確認できた。

一方昼夜検知については、照度センサの測定値と理論値に差が見られる。しかし、夜間走行時の照度は図7における月明かりと街灯下中間付近であり、出力電圧値 1.0V 前後に昼夜の閾値を定めることで、昼夜の判別は可能であることが確認できた。

4. 警告部

4.1 警告方式について

危険運転判別後の運転者等への警告については、光、振動など複数の手段を段階的に用いる方式を採用する。図8はこの方式を簡易的に示している。

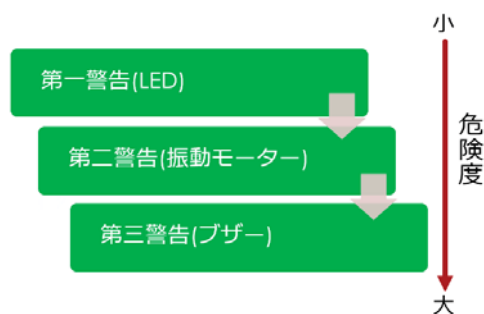


図8 警告方式

- A) 第一警告：最初の警告として LED が光り、運転者に警告する。第一警告は、蛇行運転と速度超過を LED の光る色で判別できるようにしており、第二警告や第三警告が発生した時も継続して警告するものとする。
- B) 第二警告：ハンドルに振動モータを取り付け、第一警告の後も危険運転が過度になった場合にモータが振動することによって運転者に警告する。
- C) 第三警告：第二警告の後、さらに危険な運転となった

場合に音により警告する。この警告は運転者本人だけでなく、自転車の周囲にいる人への警告も兼ねている。

ここで、LED による警告は運転者が光る色で何に対して警告を受けているか判断可能なため、第一警告とする。また、速度超過の警告では青色の LED が点灯し、蛇行運転の警告では赤色の LED が点灯する。一方、音による警告は危険回避以外の場合に警報機を鳴らしてはならない法律の問題があり、第三警告とする。振動は第一警告と第二警告の間を補完するために、第二警告とする。警告を段階分けした理由としては、上述した法律の問題や、使用者の警告に対する慣れの問題を考慮した。使用者が警告に慣れてしまうと、本当に危ないことになった場合でも危険性が低いと判断してしまう。これを避けるために、警告を段階分け、本当に危ない場合のみ第二警告や第三警告を発することとする。

4.2 警告評価

光・振動・音のいずれの方式の警告においても警告が運転者に確実に伝わらなければならない。このためには、警告の強さ、間隔、パターンなどを決める必要がある。ここでは第二警告である振動モータを例にこれら3要素の決定方法を検討した。評価項目を決めるにあたって、振動による警告の課題点を3つ挙げた。

- ① 振動の強さによるわかりやすさを適切にすること
- ② 振動の間隔によるわかりやすさを適切にすること
- ③ 振動で不快感を与えないようにすること

この3点により、振動を強さと間隔の2つの項目に分け、それぞれにわかりやすさと不快感について評価することとした。今回は振動の間隔の評価に焦点を当てる。

4.2.1 振動間隔の評価方法

振動モータに関しては自転車のハンドル部に振動モータを取り付け走行し、振動を評価した。評価は5段階で行い、複数の実験者の総合で最も適切な振動を決定する。

振動の間隔を 0.1 秒~1.5 秒の場合、および連続する場合について複数人に対しアンケートを取る。評価する項目は振動のわかりやすさと不快感である。

4.2.2 アンケート結果

今回の評価では、7人の被験者にアンケートをとった。アンケート結果の平均値を表2にまとめる。

表2 振動間隔アンケート結果

振動間隔[s]	わかりやすさの平均	不快感の平均	平均総合評価
0.1	1.43	2.14	3.57
0.2	2.57	4.71	7.29
0.3	3.29	4.86	8.14
0.4	4.00	4.71	8.71
0.5	3.86	4.57	8.43
0.6	4.43	4.43	8.86
0.7	4.71	3.86	8.57
0.8	4.71	3.71	8.43
0.9	4.71	3.57	8.29
1.0	5.00	3.29	8.29
1.1	4.86	3.00	7.86
1.2	4.57	3.00	7.57
1.3	4.71	2.57	7.29
1.4	4.71	2.57	7.29
1.5	4.71	2.43	7.14
間隔なし	4.57	1.86	6.43

この表での数字が大きいほど振動がわかりやすく、不快感が少ない。わかりやすさだけ見ると振動間隔 1.0 秒、不快感の無さだけ見ると振動間隔 0.3 秒が最も評価が高いことが確認できた。不快感は振動間隔 0.3 秒をピークに漸減する。総合評価はわかりやすさの評価に不快感の評価を加算したものである。平均総合評価を見ると、振動間隔 0.6 秒の場合が最も数字が大きい。これより、振動間隔 0.6 秒の場合が総合的な評価が最も高い警告であると考えられる。

4.2.3 考察

(i) 実験結果について

今回の評価で振動間隔 0.6 秒が最も総合評価が高いことが分かったが、わかりやすさだけ見ると振動間隔 1.0 秒が最も高い値を示している。振動間隔 1.0 秒に関してはアンケートに答えた 7 人全てが、わかりやすさについて「5」の評価をしていた。運転者の認知という面では振動間隔は 1.0 秒が最も適当である。

(ii) 不快感について

今回のアンケートによる総合評価では、不快感は警告にとってマイナスの要素として扱った。しかし、不快感がある方が警告を止めようとして危険運転を止めるという可能性も考えられる。このため不快感の扱い方に関しては今後さらなる実験等を通して検討していく必要がある。

4.3 危険運転判別のための段階的な警告閾値

提案システムでは危険運転判別後の運転者等への警告は光、振動、音を利用して 3 段階で行う。警告部では、走行状況検知部と走行環境検知部の両方の検知結果を使い危険運転を評価する。

ここではまず走行状況検知部の検知データについての閾値を求める。その上で後述する走行環境検知データを考慮して、最終的な危険運転評価の閾値を決める。

実験結果より、速度超過と蛇行運転の警告の閾値を決める。ハンドル回転角の第一警告については 2.3.3 の①と②で述べたとおり、5 秒間にハンドル回転角が±20 度の両方を超えた場合である。第三警告は、蛇行運転の実験結果で非常に危険だと感じた図 3 の 2m30 度の場合を参考にして決定する。2m30 度では 50 度を超えていたため、第三警告は±50 度を閾値とする。第二警告は、第一警告と第三警告の中間点である±35 を超えた場合とするのが望ましいと考える。これらを考慮すると各警告の発生条件（閾値）は表 3 のようにまとめることができる。

さらに 3 章で議論した走行環境条件を考慮し、雨天時走行、夜間運転の場合には、表 3 の閾値のチューニングを行う。具体的には雨天時には一般的に制動距離が 1.2~1.5 倍延びるといわれていることから、走行速度を表 3 の値の 2/3 程度に制限するといったことが考えられる。また、夜間時にも前方の障害物確認などで視認性が低下するため、同程度のチューニングを施す必要があると考えられる。一方、ハンドル回転角については、雨天や夜間といった環境要因

は大きく働かないと考えられるため、現段階での補正は考えていない。

表 3 警告発生条件

危険運転	警告段階	回転角 [deg](負)	回転角 [deg](正)	一定時間 [s]	車速[m/s]
蛇行運転	第一警告	20	20	5	6
	第二警告	35	35	5	
	第三警告	50	50	5	
速度超過	第一警告				6

5. まとめ

本報告では、自転車事故防止システムの構成や、危険を検知するためのセンサを用いた実験の方法及びその結果について報告した。走行状況の検知に関してはリードスイッチと回転角度検出センサを用いて、実験結果から車速とハンドル回転角の危険運転の閾値を決定した。今回は方式検討のための簡易な実験であるため、この閾値については、今後、更に精緻な実験評価を行い調整していく。

走行環境の検知については距離センサと照度センサを使うことで、雨天と昼夜の検知が可能であることを確認した。今後、雨天と昼夜による閾値チューニングについても追加実験をとおして精査していく。

さらに、警告に関しては三段階の警告方式や第二段階の警告である振動モータについての評価について示した。振動間隔 0.6 秒が最も総合評価が良かったが、わかり易さや逆に不快感などをどのように扱うかも含め、総合評価の算出方法についても更に検討を進めていきたい。また、合わせて、LED やブザーに関する評価も同様に進めていく予定である。

参考文献

- 1) 警視庁「都内自転車の交通事故発生状況」
<http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/toukei/bicycle/bicycle.htm>
- 2) 松井賢太, 森博彦「自転車の危険な振る舞いの検出」全国大会講演論文集 2011(1), 121-123, 2011-03-02
- 3) 木戸伴雄「自転車の走行実態と交通ルール」
https://www.sonpo.or.jp/archive/publish/bousai/jiho/pdf/no_219/yj21934.pdf
- 4) アスザック株式会社「雨センサ (夜露検知型) AKI-1801, AKI-1802」
<http://www.asuzac-pd.jp/seihin/32sen.htm>
- 5) 株式会社 サンコーシヤ「光学式雨量計」
http://www.sankosha.co.jp/products/environment/observation_goods/optical-sensor.html
- 6) 実務の友「車速から停止距離を計算, スリップ痕から車速を計算」
<http://www.5d.biglobe.ne.jp/Just/Keisanki/JTSL/TeisiKiyori.html>