

ステアリングホイール上の握り位置を検出する簡便な装置について

鈴木, 郁

(出版者 / Publisher)

電子情報通信学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム / 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム

(号 / Number)

7

(開始ページ / Start Page)

1599

(終了ページ / End Page)

1605

(発行年 / Year)

2006-07

ステアリングホイール上の握り位置を検出する簡便な装置について

鈴木 郁^{†a)} (正員)

On a Simple Equipment to Sense Gripped Positions on the Steering Wheel

Kaoru SUZUKI^{†a)}, Member

[†] 法政大学工学部経営工学科, 小金井市

Department of Industrial and Systems Engineering, Faculty of Engineering, Hosei University, 3-7-2 Kajinocho, Koganei-shi, 184-8584 Japan

a) E-mail: suzuki@k.hosei.ac.jp

あらまし 本論文では、ステアリングホイール上の握り位置を検出する簡便な装置、同装置の有効性についての実験、並びに同装置の応用例について述べている。同装置の着脱は容易で、既存の自動車に適用可能である。

キーワード 握り、センシング、ステアリングホイール、自動車

1. ま え が き

自動車運転中における、ステアリングホイール操作の巧拙の評価、機器操作に伴うステアリングホイール片手保持の発生検出など、ステアリングホイール上の握り位置を継続的に検出していくことが有効な場合がある。ステアリングホイールの位置(角度)検出については、以前よりパワーステアリング用として存在し[1]、またステアリングホイールにセンサを設けて運転者の身体的状態を取得することも試みられているが[2], [3]、これらにおいてステアリングホイール上の握り位置は検出対象とされていない。握り位置を検出し記録する最も基本的な方法としては、ステアリングホイール周りを撮影した動画より、事後に人手でそれらを割り出していくことが考えられる。動画からの人手による割り出しの例は、運転中の動作全般を対象とした運転タスク分析[4] (ただし握り位置の特定まではしていない) に見られる。しかしながら、記録時間が長い場合や記録対象の運転者が多い場合などについては、この方法による握り位置の割り出しは困難であろう。また他方の腕などに隠されることなく、常に握り位置が特定できるように撮影するためには、撮影装置の設置場所や個数についての綿密な検討が必要である。更に、リアルタイムで握り位置の情報を得たい場合には、人手による方法を用いることは事実上不可能である一方で、運転者の視線検出[5]の例はあるものの画像解析

を自動的に行うことは、さほど容易ではない。

画像を用いずに握り位置を検出する最も直接的な方法としては、ステアリングホイールの円周上に感圧素子(感圧ゴムなど)を設置し、その出力を用いることが考えられる。ただし検出結果を、後部座席などに置かれたパーソナルコンピュータなどで処理あるいは記録する場合、検出結果をケーブルなどで伝送することが必要になる。一方でステアリングホイールは左右合計で数回転できることから、回転部分を越えてケーブルを用いて伝送すると、ケーブルの絡み付きに伴う安全上の問題が生じる可能性がある。自動車メーカがステアリングホイールに設置している操作スイッチ(オーディオ関係など)については、ステアリングコラム内部にスリップリングと呼ばれる機構(ステアリングシャフトを取り巻くように円周状の電極を配する)を設けることにより、この問題を解決している。しかしながらこれに類似した機構を既存の自動車に着脱することは、自動車メーカ系若しくはそれに準ずる者以外の研究者には困難である。他の安全な方法としては、検出結果を無線にて伝送することが考えられるが、ステアリングホイール上に設置した装置内には、握り位置を検出するための回路と、無線伝送のための回路が必要とされ、またこれらの回路に電源を供給する電池をも含めた状態で、十分小型に作成可能であることも必要となる。

そこで詳細を次章で述べるように筆者は、ステアリングホイール上に設置した電極に時分割で信号を印加することによりステアリングホイール上の握り位置を検出する、簡便な方法について検討した。この方法ではケーブルの絡み付きに伴う安全上の問題はなく、また既存の車両のステアリングホイールへの装置の着脱も比較的容易である。本論文では検出原理の詳細や検出装置に加えて、走行実験と簡単な応用例について述べる。

2. 検出原理の詳細など

ステアリングホイールの円周上にいくつかの電極を設置し、それらの電極(以後、送信側電極と記す)に順に時分割で信号を印加する。運転者が握っている電極に信号が印加されているときのみ、運転者の体に信号が伝わる。運転者に伝わった信号をその体に接した電極(以後、受信側電極と記す)を介して検出し、どの送信側電極に信号が印加されている時点であるのかを、検出した時刻に基づき割り出すことができれば、握られている電極を特定することができる。感圧素子

などで検出した結果を無線伝送する方式とは異なり、この方式では握り位置の検出と伝送を一つの信号が兼ねた形となり、ステアリングホイール上に設置した装置内の回路を簡略化できる。またステアリングホイールの円周上に設置されるのは単なる電極であり、銅箔粘着テープが利用可能であることから、感圧素子などに比べて安価で着脱も容易である。この方式は人体を信号の伝送路として用いるという点で、いわゆる人体通信 [6] と類似している。しかしながら人体通信では指などで機器に触れるという行為が、あらかじめ意味のある情報で変調された信号のための伝送路を完成させるという意味をもっているのに対し、この方式では電極に触れることにより伝送路が完成されると同時に、信号が意味のある情報（どの電極が握られたのか）を帯びるという点で、異なっている。

ステアリングホイール上で送信側電極に信号を印加する装置と、人体から受信側電極を介して得られた信号を検出する装置との間での、時刻の同期については、パーソナルコンピュータと外付けモデムなどとの間の通信によく用いられる、非同期伝送方式 [7] を参考とすることができる。すなわち図 1 に示すように、送信側電極に順に信号を加える際に、a) 各周期の最初にはすべての電極に信号を加え、b) 後は各々の電極に順に信号を加え、c) 最後の電極に信号を加え終わったら一定時間はどの電極にも信号を加えないこととする。いずれかの電極に運転者の体が接していれば、受信側電極からは a の信号が検出できるので、この時刻を基準とする。後に受信側電極からは b の信号が検出されるが、a の信号が検出されてから b の信号が検出される

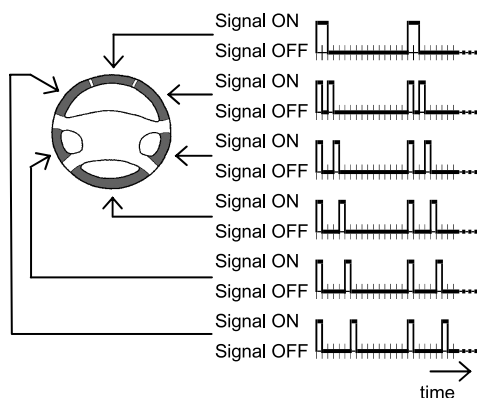


図 1 ステアリングホイール上の電極に加えられる信号
Fig. 1 Signals applied to electrodes on the steering wheel.

までの時間は、握られている送信側電極により異なり、したがって握られている電極の特定が可能となる。送信側電極の個数については、後述する実験に用いた車両が、図 1 に示したような 4 本スポークのステアリングホイールを備えていることを考慮し、同図に示したように 6 個とした。送信側電極各々に加える信号の時間幅や、a~c 全体（一周期）の時間幅の設定には自由度があるが、受信側電極から得られる信号が必ずしも整っていない（鈍っている、ノイズを含んでいる、など）場合、それらの時間幅を短くするほど、検出誤りが生じる可能性は高くなる。そこで本研究では前者を 29 ms、後者を 464 ms とした。したがって握り位置の検出は、1 秒間に約 2 回の頻度で行われることになるが、比較的急な転舵中におけるステアリングホイールさばきを評価をするのでない限り、十分な頻度と考えられる。

次に、検出と伝送を兼ねる信号については、以下のようにその詳細を決定した。生体の直流電気抵抗は大きく、このため直流信号を用いる場合、比較的高い電圧を送信側電極に印加しなければ受信側電極での検出は困難になる。高い電圧を用いることは、電池を電源とする送信側装置にとっては不利になると同時に、感電のリスクを生じさせる。更に生体と電極とが衣服などを挟んだ形でしか接触していない場合（後述するように受信側電極がこれに該当する）、直流信号はその部分をほとんど通り抜けることができず、このため受信側電極での検出はより困難になる。一方で交流信号に対する生体の電気的インピーダンスは、信号の周波数により変化する [8]。生体の導電率には、周波数上昇とともに上昇する傾向がある。逆に生体の誘電率には、周波数上昇とともに下降する傾向があるが、周波数に反比例するほどの急激な下降ではない。したがってある程度高い周波数の方が、生体を通り抜けやすいと考えられる。それに加えてある程度高い周波数の方が、生体と電極とが衣服などを挟んだ形でしか接触していない部分をも通り抜けやすくなる。しかしその一方で信号の周波数が高くなるほど、電気回路での扱いは難しくなる。これらを勘案して本研究では 13.56 MHz（この周波数自身は、一般の放送や通信には用いられない ISM 周波数でもある）の高周波信号を、握り位置の検出並びに伝送に用いることとした。具体的には 13.56 MHz の高周波信号（ここでは生成が容易な方形波としている）を、図 1 に示した信号により断続（振幅変調）して得た振幅 5 V の電圧信号を、送信側電極

に印加している。この高周波信号は微弱であり、電波防護指針 [9] から見ても当該信号が人体に影響を及ぼす可能性を考慮する必要はない。

3. 装置の概要

実際の装置は、a) ステアリングホイールに巻き付けて貼られた送信側銅箔粘着テープ電極、b) それら電極に時分割で高周波信号を印加する装置、c) 運転者シートのバックレスト表面に設置された受信側電極、d) 受信した高周波信号の復調装置、e) 復調された信号よりステアリングホイール握り位置を特定する装置、f) 特定された握り位置をパーソナルコンピュータに伝送する装置からなっており、そのうち e と f は、各々ワンチップのマイクロコンピュータを用いて実現されている。図 2 は上記中の b (上段) 並びに d と e の組合せ (下段) について、その内部的な構造も含めダイアグラムを示したものである。上段の図から分かるように、b では源発振 (OSC) の 4.52 MHz の信号を 2^{18} 分周して得た 51.7 Hz の信号を入力とするカウンタの出力で制御されたデマルチプレクサ (DEMUX) を介して、同じ 4.52 MHz の信号を 3 通倍して得た 13.56 MHz の信号を 6 個所の送信側電極に分配している。この回路は簡便であり消費電力も少ないことから、電源となる電池を含めても容易に小型化が可能である。また下段の図から分かるように、d では受信側電極で得られた 13.56 MHz の高周波信号を、同調回路並びに高周波増幅回路を通した後に検波 (DET) し、e の非同期式伝送用汎用インタフェースコントローラ (UART) の受信部に入力して検出結果を得ている。このインタフェースコントローラは、ボーレートジェネレータ (BRG) から供給されるタイミング信号を用いて、受信した直列信号をサンプリングし、並列信号に変換して出力するものである。この図では省略されているが、実際には検波器の出力が微小なアナログ信号であるのに対し、インタフェースコントローラの扱う信号は通常のデジタル信号であることから、両者の間には低周波増幅回路 (ゲイン調節付き) とそれにつながれたコンパレータが設けられている。低周波増幅回路を経て十分な大きさとなったアナログ信号は、その電圧があらかじめ設定されたしきい値よりも上であるか否かに応じてコンパレータによりデジタル信号に変換される。

ここで b から a に至るケーブルには、外部導体 (網状) と中心導体 (芯線) の間の静電容量が小さな、シールド線を用いている。この部分に通常の電線ではなく

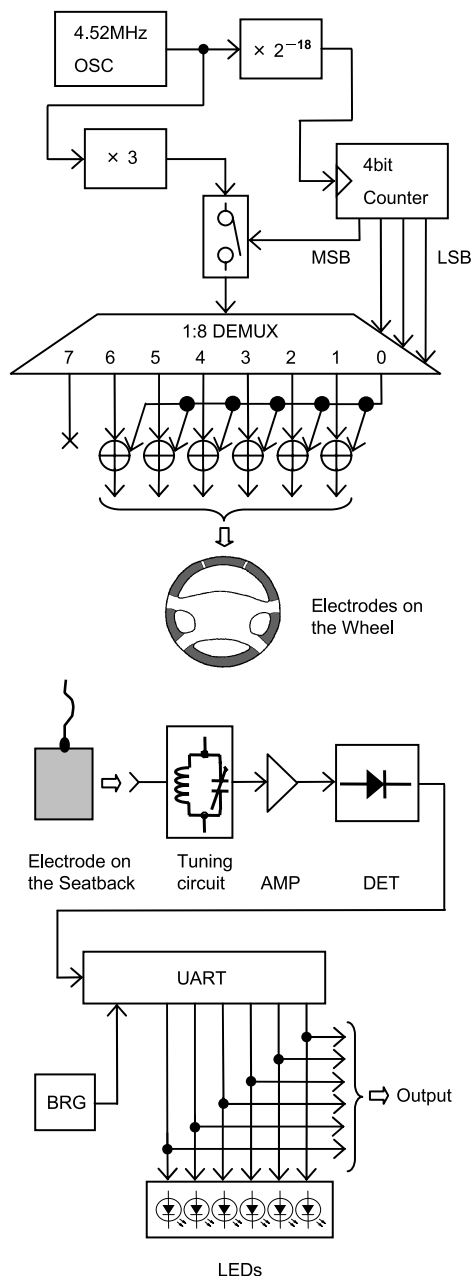


図 2 装置で用いられている回路の概要図
Fig. 2 Schematic diagram of the equipment.

シールド線を用いた理由は、電線からの高周波信号の漏れを減らし、誤検出を低減することにある。装置 b からは送信側電極 a に至るシールド線 6 本のほかに、1 本のアース線が出ており、これはステアリングホイール裏側のねじ (車体の金属部分と導通している

が、ステアリングホイールとともに回転する側にある)に共締めしてある。また装置 d のアース端子は、車体の金属部分に接続されている。装置 f からの出力信号は、一部の小さなノートブック型を除くパーソナルコンピュータにインタフェースが標準装備されている、非同期式の EIA-232 (RS-232C) に準拠している。このため装置 f にパーソナルコンピュータを接続すれば、端末エミュレーション用に標準装備されたソフトウェア (例えばパーソナルコンピュータの OS が Windows の場合にはハイパーターミナル) を用いた表示やディスクへの記録、あるいは各種プログラミング言語を用いた専用ソフトウェアの作成などを、容易に行うことができる。

図 3 は実際にステアリングホイールに設置された a 及び b の、図 4 は運転席シートのバックレスト表面に設置された c (運転者の体と衣服を介して接する) の、そして図 5 は実際の使用時における e (握り位置についての信号を出力するだけでなく、それ自身にも検出された握り位置の表示を備えている) の写真である。



図 3 ステアリングホイール上の送信機と電極
Fig. 3 Transmitter and electrodes on the steering wheel.



図 4 シート背もたれ上の電極
Fig. 4 Electrode on the seatback.

この写真は、右に少し転舵しながら発進するところを撮影した動画よりキャプチャされたもので、直進時にはステアリングホイールの右上部に位置する電極と、同じく直進時には左下部 (2 本のスポークの間) に位置する電極が握られており、左下に写った握り位置の表示器でも対応する 2 個所のランプが正しく点灯している。

4. 実験とその結果

装置の概要は以上のとおりであるが、これが正しく機能するか否かを確かめるべく、装置を装着した車両で走行する実験を行った。運転者左上後方に設置したカメラにより、図 5 に示した要領でステアリングホイール周り並びに握り位置の表示器を撮影し、デジタルビデオテープ (再生時に微妙なコマ送りや経過時間の表示が可能) に記録した。本研究で提案した装置は、パーソナルコンピュータに握り位置を取り込み、処理あるいは記録等することを目的としたものであるが、両者を目視により照合する都合上、提案した装置により検出された握り位置についても、その表示器部分を写し込んでステアリングホイール操作の様子とともに動画として記録することとした。運転者は自動車運転歴約 7 年 (ただし運転頻度は少ない) で 25 歳の男性 1 名、走行したコースは右折と左折各々 4 回ずつを含む約 3.6 km、走行所要時間は約 10.4 分である。走行に先立ち着座した状態の運転者に様々な状態で電極を握らせ、非走行時においてではあるが誤検出が少なくなるように、前章で述べた低周波増幅のゲイン並びにコンパレータのしきい値が設定されていることを確認し、以後は実験終了までこれらの設定を不変とした。なおこの運転者は、装置により印加される信号などについて承知した上で、実験に参加している。走行実験で得られた動画を、実験後にビデオテープをコマ送りしながら観察し 232 ms (握り位置検出の周期 464 ms

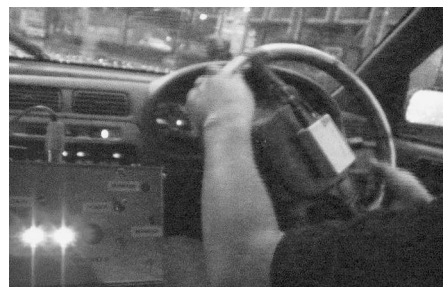


図 5 動作中の装置
Fig. 5 The equipment in operation.

表 1 誤りの時間率
Table 1 Temporal error rate.

Description	Error rate (%)
① Sensing of gripped position(s) ⁽¹⁾	4.2
② Sensing of gripped position(s) (excepting left/right turn) ⁽¹⁾	3.1
③ Sensing of gripped position(s) (left/right turn only) ⁽¹⁾	7.1
④ One-hand/both-hands discrimination ⁽²⁾	4.2
⑤ One-hand/both-hands discrimination (Note 3) ⁽²⁾	3.3
⑥ One-hand/both-hands discrimination (excepting left/right turn) ^{(2) (3)}	2.4

Note 1: Omitting either position, when two adjacent electrodes were gripped by one-hand, was not counted as error.

2: Discrimination was performed without excluding gripped position(s) sensed incorrectly.

3: The error rate was calculated by excluding data acquired when two adjacent electrodes were gripped by left-hand and right-hand respectively.

の2倍の頻度)間隔で、目視により判定した握り位置、並びに握り位置表示器に表示された位置を記録し、以下で述べるように解析して両者を比較した。ただし、時間率(正確には232ms間隔で得た標本の、個数としての率)にして約1.4%の区間では、カメラから見たときに左右いずれかの手元が反対側の腕などに隠されており、隠された手については握り位置のビデオ目視による判定ができないため、この区間については解析対象外とした。なお解析対象となった区間において、両手ともにステアリングホイールを握っていない状態は発生していない。また両方の手が、同一の電極を握っている状態も発生していない。

まず、握られていない送信側電極が握られていると表示された場合、並びにその逆の場合を誤検出と定義し、誤検出の発生率を時間率として求めた(結果は表1①)。ただし、片手(両手でステアリングホイールを握っている場合には、いずれか若しくは各々の手)が隣接する2個所の送信側電極にまたがっているとビデオ目視により判定されたにもかかわらず、そのうちの一方の電極についてのみ握りが検出された場合については、誤検出に含めていない。片手が2個所の電極にまたがる場合の多くでは、ステアリングホイールのスポークをまたぐように握っており、そのためにしっかりと握られているのは一方の電極だけであることから他方の検出は難しい反面、後述する片手握りと両手握りの判別のような応用例においては、一方の電極について握りが検出されていれば、問題が生じにくいいためである。次に、右左折のための転舵若しくはステアリングホイールの握り替えが発生してから、転舵がなくステアリングホイールの握り替えもなくなるまで

(ステアリングホイールの握り替えが発生しない駐車車両の回避などは含まれない)を右左折中と定義し、これを除いた区間について誤検出の発生率を求めた(同②)。また逆に、右左折中の区間のみについても誤検出の発生率を求めた(同③)。これらは、握り替えの発生時に誤検出が生じやすいことが予見されたため、比較のために求めたものである。

本研究で提案した装置は、握り位置を検出するものであり、左右どちらの手で握っているのかを特定する機能を有してはいない。例えば隣接する複数の送信側電極から握りが検出されていた場合、片手が隣接する2個所の電極にまたがっているのか、左右の手各々で1個所ずつ握っているのかを、この装置で検出された結果のみから知ることはできない。しかしながら仮に、左右両方の手で同一若しくは隣接する電極を握ることがないと仮定するならば、隣接しない2個所以上(連続する3個所以上を含む)の電極について握りが検出されている場合には両手、それ以外の場合で1個所以上で握りが検出されている場合には片手で握っていると、機械的に判別することができるはずである。そこで握り位置検出の応用例として、解析対象区間全体(誤検出発生区間を含む)を対象に、この方法で両手握りと片手握りを判別した場合の誤り発生率を求めた(同④)。また上述の仮定が成立していない区間、すなわちビデオ目視により隣接する2個所の電極が各々の手で握られている(同一の電極が左右両方の手で握られている状態は発生していない)と判定された区間を除いた場合についても、同様に判別誤りの発生率を求めた(同⑤)。これから更に、右左折中の区間を除いた場合についても、同様に判別誤りの発生率を求めた

(同⑥)。これらは、誤検出が生じやすいことが予見された右左折時、そしてそれ以外のときに、誤判別がどの程度発生するのかを知るべく、求めたものである。

5. 考 察

誤検出発生率の時間率(表 1 ①)はさほど大きくはない値であり、用途によっては本研究で提案した装置が研究などに利用可能と思われる。右左折中を除くとその値はよくなり(同②)、逆に右左折中には悪くなる(同③)ことから、ステアリングホイールの握り替え時に、誤検出が生じやすいことが分かる。したがって、自動車専用道の走行中などについては、誤検出は極めて少なくなると推察される。ステアリングホイールの握り替え時の動画を手細に観察すると、ステアリングホイールからいったん離れた手が、別の場所を握るまでの間に、ステアリングホイール上のこれらと無関係な位置に極めて接近する、若しくはごく軽くではあるが接する例が見られ、このことがステアリングホイール握り替え時に誤検出が生じる原因の一つであろう。また、握り位置の検出が 1 秒間に約 2 回の頻度であることから、握り替え時にごく短時間しか握られなかった位置が検出漏れとなることも、原因であろう。

応用例の一つとして試みた片手握りと両手握りの判別についても、誤判別発生率の時間率(同④)は比較的小さい値である。判別アルゴリズム上、左右両方の手で同一若しくは隣接する送信側電極を握った場合については、片手握りと誤判別されることになる。したがって、このような場合を除くことによりその値はよくなり(同⑤)、また右左折中を除くと更によくなる(同⑥)。実際の応用においては、これらの場合を除外して扱うことはできない。しかしながら運転者や走行中の道路の状況、そして判別結果の利用目的にもよるが、これらの場合を除外せずとも、例えば車載機器操作に伴ういわゆる片手運転の発生検出などには、利用できる可能性がある。また理論的には、送信側電極の個数を増やすことにより、左右両方の手で同一若しくは隣接する送信側電極を握る可能性は減らせるはずである。なお、誤検出の発生率(同①)から考えると誤判別の発生率(同④)が少なすぎるようにも思われるが、これはある種の誤検出が誤判別を招かないためである。具体的には片手握りの場合に、実際に握られている送信側電極に加え、隣接した電極 1 個所について誤って握りが検出されたとしても、正しく片手握りと判別されることに由来している。

本論文で提案した握り位置検出については、自動車

の運転を伴う各種実験における運転状況記録の一部など、様々な用途が考えられる。一般に誤りの少なさと装置の簡便さ(装置に要される費用や着脱の容易さ等)は背反することが多く、どちらに重点をおくかはその用途により異なるであろう。したがって今回の走行実験で得られた誤検出率のみに基づき、この握り位置検出の有効性について断じることは難がある。ただし今回の走行実験では誤検出率以外にも、(1) 10 分程度の走行でも人手で動画から約 0.25 秒の時間分解能で握り位置を割り出すには 3 時間程度の作業が要されること、(2) 1 台のカメラで動画を撮影した例で時間率にして 1.4% 程度は割出し不可能となることが、分かった。これらは走行状態(握り替えが頻発しているか否か)や所望の時間分解能、そしてカメラの設置台数と位置にも依存し、また複数回試行した場合には今回と異なる可能性もあるが、これらの数値を前提とする。また同様に、本論文で提案した握り位置検出の誤検出率についても前出(表 1 ①)の値を前提とする。これらの仮定のもとでは、例えば実験における運転状況記録の一部としての利用などリアルタイム性を要しない用途の場合、十分な人手を割けるのであれば本論文で提案した握り位置検出よりも、人手による動画からの割出しの方が良好な結果を与えるであろう。しかしながら、解析対象が延べ数時間以上となるような実験の場合には、割出しに要される人手は膨大なものとなる。一方でリアルタイム性が求められる用途の場合、人手による割出しは比較の対象とならならない。画像を人手によらず自動的に解析する方式や感圧素子を用いる方式は、リアルタイム性を要するか否かを問わず利用できる可能性があるが、握り位置検出を対象として具体的に記述された文献等がなく、比較は行えなかった。

6. む す び

既存車両への着脱が比較的容易に可能な装置を用いた、ステアリングホイール上の握り位置を検出する簡便な方法について、装置の試作と誤検出率を確かめる実験を行った。実験の結果などより動画からの人手による割出しに比べ、多少の誤検出増加を許容してでも人手を省く必要がある場合やリアルタイム性が求められる場合には、本研究で提案した方法が有利であることが示唆された。ただし、誤検出率は運転状況や運転者とその着衣などの条件にも影響される可能性があることから、更に条件を変えて試行する必要もあると考えられる。今後は条件を変えての実験に加え、検出精度の向上や誤検出の低減を試みたい。また、この装置

と同様な握り検出方法が、どのような用途にどこまで利用可能であるのかについても、ステアリングホイール以外を含めて検討を加えたい。

謝辞 熱心に研究や実験をされた，法政大学工学部生あるいは大学院工学研究科生（当時）の大崎明男君，東 幸博君に感謝致します。

文 献

- [1] R.F. Wells, “Automotive steering sensors,” SAE paper 900493, pp.135–142, SAE, 1990.
- [2] 豊田合成（株），“ステアリングホイール,” 特許公開平 5-42875, 1993.
- [3] いすゞ自動車（株），“心拍信号検出装置,” 特許公開 2002-85360, 2002.
- [4] 赤松幹之，笠原 亨，小畑 貢，“運転行動の記録映像に対するドライバー自身による言語報告に基づく運転タスク分析,” ヒューマンインタフェース学会論文誌, vol.4, no.2, pp.93–102, 2002.
- [5] 奥田幸治，井東道昌，稲垣分治，山本 新，森 恵，“ドライバ状態推定の為の瞬きおよび視線方向の検出,” 自動車技術会学会講演会前刷集, no.10-05, pp.9–12, May 2005.
- [6] 松下電工（株），“データ通信装置,” 特許公開 2001-223649, 2001.
- [7] 電子情報通信学会（編），電子情報通信ハンドブック第 2 分冊, p.2502, 電子情報通信学会，東京，1988.
- [8] 桜井靖久（編），医用工学 ME の基礎と応用, pp.296–297, 共立出版，東京，1992.
- [9] 電気通信技術審議会，“電波防護指針諮問第 89 号「電波利用における人体防護の在り方」,” 電気通信技術審議会, 1997.
(平成 17 年 9 月 16 日受付, 18 年 1 月 11 日再受付)