

# 画像処理による自動車の自動教官システム\*

—車線変更時における目視確認モジュールの構築—

伊藤 益夫\*\* 梅田 和昇\*\*\*

An Automatic Instruction System for a Vehicle by Using Image Processing  
- Construction of a Module to Check a Driver Turning His/Her Head at Changing Lanes -

Masuo ITO and Kazunori UMEDA

So as to improve the road safety, not only the safety of the vehicles but also the nature of drivers has to be considered. This paper proposes a concept of automatic instruction system that instructs a driver to improve his or her safety of driving using image processing techniques. So to speak, the system substitutes for an instructor at a driving school. An example of the modules of the system is constructed: it warns the driver if he or she has forgotten to turn his/her head when the driving lane is changed. Changing lanes is recognized by extracting white lines. On the other hand, face turning is recognized by extracting face and nose regions. These two are done simultaneously and whether the driver follows the rule at changing lanes is judged. Experiments show the effectiveness of the constructed module. Additionally, interviews for subjects indicate the effectiveness of the concept of automatic instruction system.

**Key words:** intelligent transport systems, image processing, safety

## 1. 緒 言

近年、自動車の安全を目的とした運転支援システムの研究がITS (Intelligent Transport Systems)におけるASV(Advanced Safety Vehicle)プロジェクトなどで活発に行われている<sup>1)</sup>。例として車両両側においては、前方車、後方車、障害物、歩行者などの車両周辺を認識する技術<sup>2-4)</sup>や、ドライバーの不安全な運転状態(居眠りなど)を検知する技術<sup>5-7)</sup>に関する研究開発が挙げられる。これらはドライバーへの警告や車両の走行制御に用いられ、今後予防安全技術及び事故回避技術に応用されるまでになっている。

しかし、ここには次の2つの問題点が存在する。

(1) 現在の自動車を取り巻く環境を考えると、運転に必要な要素である認知・判断・行動の最終的な決定はドライバーに依存している。また、機械は100%安全ではありえない。よって今後も認知・判断・行動の最終的な決定はドライバーに依存していると思われる。

(2) Wildeのリスク・ホメオスタシス説<sup>8)</sup>によれば、人はそれぞれ危険の許容範囲を持っており、その許容範囲内で最大の危険をおかして運転するとされている。よって、自動車の安全性を高めれば高めるほど危険な運転を促すことになる。

これらを考慮すると、自動車の安全を考えるにはドライバーの存在は無視できず、ドライバーにこれまで以上の運転技術が必要であると考えられる。

そこで本論文では、ドライバーの運転技術の向上を目的としてドライバーを教育するという、自動教官システムというコンセプトを提案し、その具体例として、車線変更時にドライバーが目視を怠った場合にアドバイスを与えるモジュールを構築する。

## 2. 自動教官システムのコンセプトの提案

### 2.1 自動教官システムについて

本システムはドライバーに対して以下のような指導を行う。

- ・車線変更時ドライバーは目視をしているか
- ・適切な車線変更をしているか
- ・交差点でドライバーは左右を確認しているか
- ・標識の見落としはないか
- ・信号を無理して通過していないか
- ・バックしようとする前に後方を確認しているか
- ・ドアを開ける前に周囲を確認しているか

システムはこれらを常にチェックする。そして、必要に応じて音声などで注意を促し、ドライバーに学習させる。いわば、自動車教習所における教官の代わりである。自動教官システムの概念図を図1に示す。なお、自動車教習所の教官が一般に免許取得前の運転初心者を対象としているのに対し、自動教官システムは初心者だけでなく運転に習熟した人も対象とする。運転に習熟した人がかえって安全確認を怠って事故を起こすことがしばしばあるが、このシステムではこのようなケースも抑止することを考える。

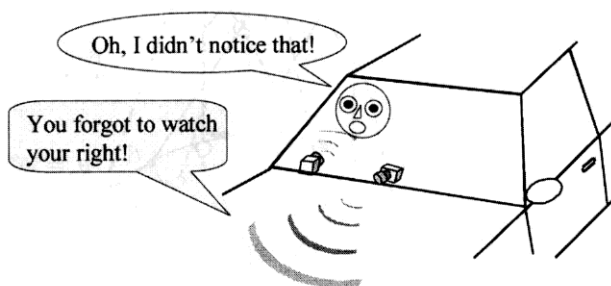


Fig.1 Conceptual figure of the automatic instruction system

\* 原稿受付 平成16年11月9日

\*\* 正会員 中央大学大学院理工学研究科(現、三菱電機姫路製作所; 兵庫県姫路市千代田町840)

\*\*\* 正会員 中央大学理工学部(東京都文京区春日1-13-27)

## 2.2 本論文で構築するシステム

本論文では、車線変更時ドライバーが目視を怠った場合音声でアドバイスを与えるというモジュールを具体例として取り上げ構築する。本論文における目視とは、自動車教習所で車線変更時に行うことを指導されるように、顔を左または右に振り向け、自動車側方の安全を確認することを示すものとする。目視をしたかどうかは、顔を左または右に振ったかどうかで判断する。このときシステムは、道路状況（車線変更）とドライバーの行動状況（目視をしたかどうか）を把握しなければならない。よって、CCD カメラを道路側とドライバー側のそれぞれに向けて設置し、入力した画像に対して画像処理を行い状況を把握する。

システム全体を考えた時、一つ一つの処理は計算量が少ないことが望ましい。画像処理が運転支援あるいは自動走行といった走行制御そのものに関与するシステムに用いられる場合においては処理に高い信頼性が要求される。しかし、画像処理が走行制御に直接関与しない本システムでは処理にそこまでの信頼性は要求されず計算量の低減を考慮に入れることができる。よってそれぞれの処理には本システムに見合った信頼性と計算量を持つ手法を考案し導入することが望まれる。本論文では以上の立場から、自動教官システムの有効性を示すための基本システムを構築することとする。

以下、3 章、4 章でそれぞれ車線変更の認識手法、顔の振り向き認識手法を示す。

## 3. 車線変更認識

### 3.1 処理対象領域

車両の中で正面に向かって置かれたカメラから道路環境を取り込むと、道路上の白線は画像中の消失点に向かう。消失点とは、3 次元空間中で平行な直線群が、画像中で一点に交わる点である<sup>9)</sup>。よって、実空間での道路上の白線は、画像平面上での消失点から放射線状に伸びる直線に置き換えて考えることができる。また、上記の考え方は、カーブしている道路においても実空間上での自車両から近距離にある白線部分、つまり画像平面上では下の方に位置する直線に関しては当てはまる。以上のように、自車両から近距離にある白線部分では直線道路およびカーブしている道路のいずれの場合でも画像平面上で直線に置き換えて考えられること、また、白線認識は車線変更をしたかどうかの判断のみに用いることから車両近傍のみで十分であること、さらに計算コストを下げることを考慮し、図 2 のように 4 つの領域のみを処理対象領域に設定する。

### 3.2 白線の抽出

道路上から白線を抽出するため、図 2 の(a)~(d)の 4 領域に対して二値化処理を行う。二値化処理に用いるしきい値は、道路上の輝度変化に対応させるためにその都度適切な値を動的に与

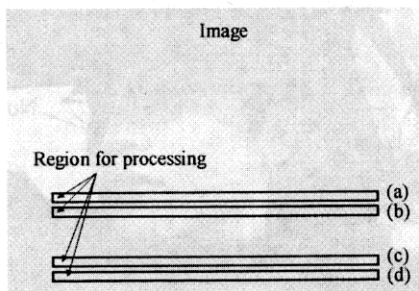


Fig.2 Regions for processing

える。よって、しきい値を決めるため最初に全領域のヒストグラムをそれぞれ算出し、ヒストグラムのピークにおける輝度値に応じて、図 3 によってしきい値を決定する。図 3 は実験的に求めたものである。

決定されたしきい値を用いて二値化処理を行う。ここで、白線は狭い範囲に限ってみれば幅は一定であり傾きも等しいと考えられる。よって、まず図 4 のように、図 2 の(a)の領域で白線らしい幅を持った領域を抽出する。そして、すぐ下に位置する(b)の領域にこの領域とほぼ同じ幅の領域が抽出された場合、それらは一本の白線の一部である可能性があるとみなし、これを白線の候補領域として登録する。この時点で、候補領域に白線の幅、画像中での座標位置、ならびに二つの領域の中心を結んだ傾きの情報を保持しておく。図 2 の(c)(d)の領域についても同様の処理を行う。

次に、図 2 の(a)と(b)で登録された候補点（上の段の候補点）、及び(c)と(d)で登録された候補点（下の段の候補点）全てを以下の条件で照らし合わせる。

・道路上に描かれた白線は一定の幅を持つことから、画像中では幾何学的に上の段の候補領域に存在する白線の幅より下の段の候補領域に存在する白線の幅の方が広い。

・画像中での白線は画像の消失点に向かっていて、上の段、下の段のそれぞれの候補点は消失点から放射線状に伸びる直線上に存在する。

以上の条件がそろったとき、上下段それぞれの候補点は同じ白線の一部と考え、その二つの候補点を結んだものを白線とする。

### 3.3 車線変更認識

認識された白線は時系列データであるため、一つ一つの白線が同一の走行レーンの白線であるかどうかは認識していない。よって、車線変更認識を考える上で、一つ一つの白線が同一の走行レーンの白線であるかどうかと同時に考える必要がある。車両が車線変更したとき、画像中の白線もそれに伴い移動する。そこで、あらかじめ車線変更時の画像中での白線の移動量をデ

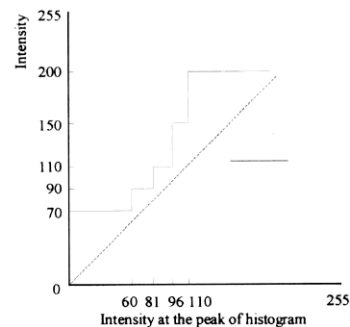


Fig.3 Threshold for binarization

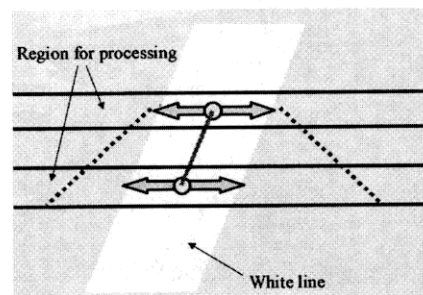


Fig.4 Candidate points for a white line

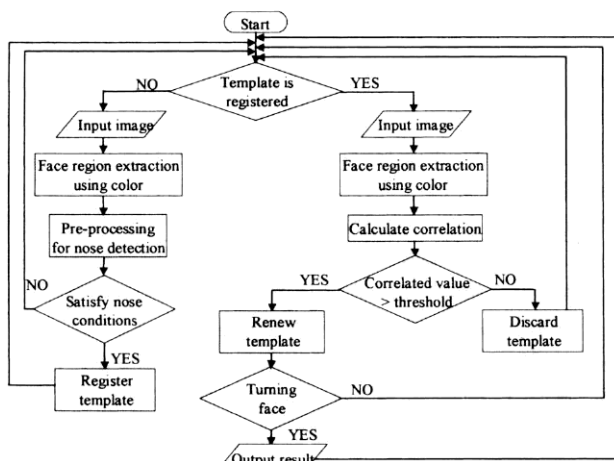


Fig.13 Flow to recognize face turning

## 5. 実験

### 5.1 実験システム

デジタルビデオカメラ (Canon MV1) で入力した画像をオフラインで実験した。システムは、PC (Pentium II 450MHz)、画像処理ボード HITACHI IP5005 から構成される。

### 5.2 車線変更認識実験

昼間、夜間それぞれ高速道路を撮影した動画を用いて実験した。車線変更認識単体での処理時間は画像一枚あたり 65ms であった。処理例を図 14 に示す。

昼間は約 100km (約 1 時間) 走行中に車線変更は 61 回あった。そのうち 55 回の車線変更を正しく認識し、6 回を誤認識した。認識率は 90.2% であった。誤認識は、車線変更した時に変更と判断できなかったものである。車線変更していない時に変更と誤って判断した例はなかった。誤認識の原因は、画像が不鮮明なこと、剥がれて欠けている白線などを認識できていないこと、また図 15 に示すようにちょうど白線部分に影があり二値化に失敗したこと、であった。

夜間は約 100km (約 1 時間) 走行中に車線変更は 62 回あった。そのうち 60 回の車線変更を正しく認識し、2 回を誤認識した。認識率は 96.8% であった。車線変更していない時に変更と誤って判断した例はなかった。誤認識の原因は、図 16 に示すように画像がピンぼけをおこし不鮮明であったことである。

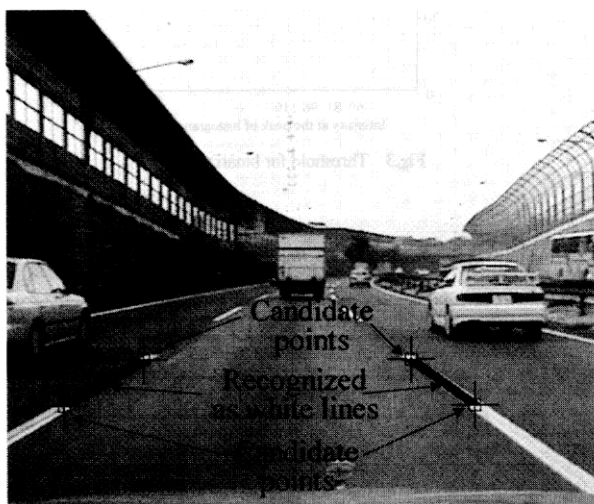


Fig.14 Recognition of white lines



Fig.15 A white line in shadow



Fig.16 A blurred image

### 5.3 顔の振り向き認識実験

図 13 で示す処理の一回のループにかかる平均処理時間は約 100ms であった。車両中での処理例を図 17 に示す。

認識率の評価実験は、実験室でカメラの前で座る状態で次の 3 つを行った。

- ・ 実験 1. 正面を向いた状態で処理を始める作業を 10 回
- ・ 実験 2. 正面→右向き→正面→左向きの動作を 10 回 (振り向き回数は合計 20 回)
- ・ 実験 3. 1 分間左右をむいたり鼻を触ったり眼鏡を上げたり笑ったりと自由にしてもらう作業を 3 回

これを被験者 10 人に対して行った。結果は、実験 1 での正しい認識の平均回数は 8.7 回、実験 2 での正しい認識回数は 14.4 回、実験 3 で正しく認識していた時間は 48.3 秒であった。

実験 1 における主な認識失敗原因は、図 18 に示すように、4.2 節で示した特徴量を用いた鼻抽出の失敗によるものであった。

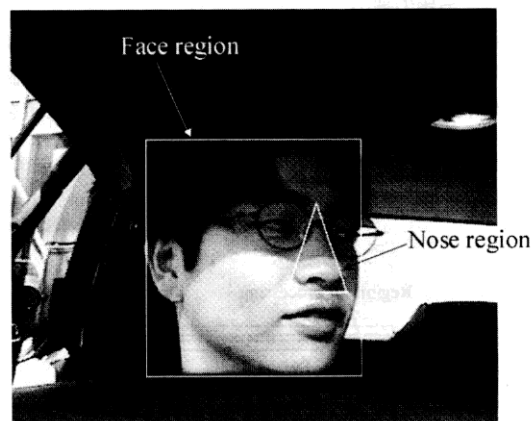


Fig.17 Recognition of face turning

ータとして取っておく。ここで、 $i$  枚目の画像中における白線の重心を  $G_i$  とし、白線の移動量  $X_i$  を式(1)で定める。

$$X_i = G_i - G_{i-1} \quad (1)$$

$X$  の値が、データから算出されたしきい値以上であり続け、かつ  $G_i$  が車両の中心（画像の中心座標）を越えたとき、一連の白線群は同一の走行レーンの白線であったとし、同時にこれを車線変更認識とする。

#### 4. 顔の振り向き認識

##### 4.1 顔領域の抽出

色情報を用いて顔領域を抽出する。本研究では一般的な日本人の肌の色を対象とする。

画像の表色系には YUV を用いる。数人の被験者に対し、顔の大部分を含むことができる輝度、色彩、色相のしきい値を決定する。図 5 に示すカメラからの入力画像からこのしきい値で肌色領域を抽出した結果を図 6 に示す。

次に得られた肌色領域に対し、収縮、ノイズ除去、ラベリング処理を施す。最後に面積が最大となる領域を抽出し、この領域を顔領域とみなす。図 6 に対する処理結果を図 7 に示す。

##### 4.2 鼻の抽出

カメラをダッシュボード付近に設置すれば、カメラはドライバーの顔の正面やや下方に位置する。この位置から画像を入力すると、正面を向いた状態で、ドライバーの鼻は水平方向には顔のほぼ中心に、高さ方向はおおよそ顔の最大横幅付近に存在する。



Fig.5 Original image

Fig.6 Skin-color regions



Fig.7 Detected face region

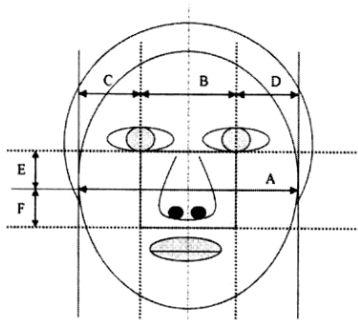


Fig.8 Nose position

図 8 に示す  $A$  を顔の最大幅とし、経験上  $B$  を  $A$  の 50%,  $C, D$  を  $A$  の 25%, さらに  $E, F$  を  $A$  の 12.5% の長さとしたとき、概ね図中の中央部分に鼻の頭が存在する。次にこの領域を元画像から切り出し二値化処理を行う。二値化のためのしきい値は領域全体の 98% が輝度値 1 となるように設定する。切り出された領域を図 9 に、二値化された画像を図 10 に示す。

最後に、二値化された領域をラベリング処理し、それぞれの領域の縦横最大幅、面積、相対位置といった特徴が一定条件を満たした場合、その二つの領域を鼻の穴とし、鼻の穴の周辺領域を鼻領域と決定する。

以上のように特徴量から鼻領域を決定した後は、正規化相関を用いたトラッキングによって鼻領域を追跡する。特徴量から決定された鼻領域を最初のテンプレートとし、テンプレートは毎回更新する。最初に登録されたテンプレート例を図 11 に示す。

##### 4.3 振り向き認識

振り向いているかどうかの判断は、図 12 に示すように顔領域の中での鼻の位置によって決める。図 12 に示す  $D_{right}$ ,  $D_{left}$  及び  $D_{width}$  から式(2)に示す評価値  $E_r$ ,  $E_l$  を算出する。

$$E_r = \frac{D_{right}}{D_{width}}, E_l = \frac{D_{left}}{D_{width}} \quad (2)$$

ここで得られた評価値  $E_r$ ,  $E_l$  を用いて、以下の式でドライバーが右の目視をしているのか、左の目視を行っているのか判断し、振り向きと認識する。

if  $E_r < \alpha$  then 右の目視

if  $E_l < \beta$  then 左の目視

(3)

しきい値  $\alpha$ ,  $\beta$  はあらかじめ数人の被験者に目視をしてもらったデータから決定する。

振り向き認識までの流れを図 13 に示す。



Fig.9 Extracted region



Fig.10 Binarized image for Fig.9

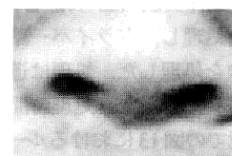


Fig.11 Template image

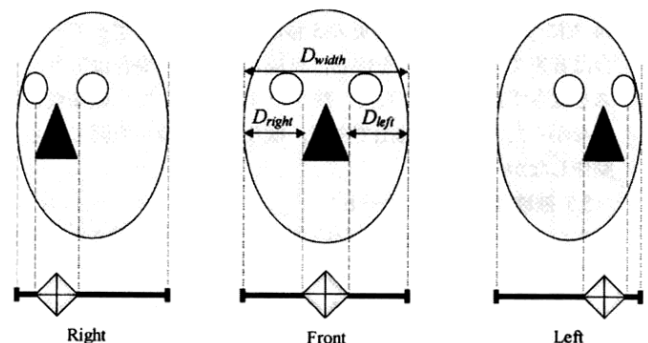


Fig.12 Direction of face

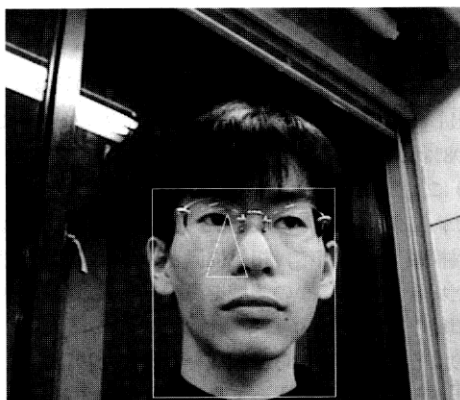


Fig.18 An example of recognition failure



Fig.19 Experimental environment

実験 2 における認識失敗の原因は、実験 1 同様特徴量を用いた鼻抽出の失敗と、振り向き動作の繰り返しから生じるトラッキングのずれによるものであった。実験 3 で認識失敗の原因は、実験 2 での原因と手による視界の妨げによるものであった。認識率が高くない理由の一つは顔の振り向き時間に対して処理時間が長いことと考える。20 代前半の男女合計 5 人に対し顔の振り向きの平均時間を求めたところ、20 回の平均で、0.45, 0.38, 0.50, 0.44, 0.63s, 標準偏差は 0.04~0.06s であった。

#### 5.4 システムの動作実験

システム全体の動作実験（図 19）を行った。道路環境は 5.2 節で用いた動画を処理し、ドライバー環境は実験室で直接カメラに入力した画像を処理した。処理は道路環境とドライバー環境をシングルタスクで行った。処理時間は道路環境画像一枚及びドライバー環境での図 13 におけるループ一回を併せて平均約 135ms であった。

30 秒間に 2 回の車線変更があり、一回は目視をし、もう一回は目視をしない作業を被験者 18 人に一回ずつ行った。18 人中 14 人については、車線変更の 5 秒前までに目視を怠っていた場合は音声でアドバイスを促し、目視をしていた場合はアドバイスを促さず正しく動作した。残りの 4 人については顔領域をとれなかったり、鼻を抽出できず、振り向き認識が原因で正しく動作しなかった。

#### 5.5 被験者へのアンケート

本システムの内容を知らない 20 代前半の男女合計 8 人に実験室内で体験してもらい、表 1 に示す質問をした。

表 1 に示すように、ドライバーはシステムからのアドバイスを学習し、さらにそれを活かしていくことができるという考えが多かった。

Table 1 Remarks on the experimental system

| Do you learn by getting this kind of advice?      | Yes | Probably Yes  | Probably No | No | No idea |
|---------------------------------------------------|-----|---------------|-------------|----|---------|
|                                                   | 4   | 4             | 0           | 0  | 0       |
| Are learned things helpful to you?                | Yes | Yes, a little | Probably No | No | No idea |
|                                                   | 5   | 3             | 0           | 0  | 0       |
| Is this system annoying?                          | Yes | Yes, a little | No, little  | No | —       |
|                                                   | 0   | 4             | 4           | 0  | —       |
| Is this kind of system necessary for you?         | Yes | Yes, a little | No, little  | No | —       |
|                                                   | 0   | 6             | 2           | 0  | —       |
| Is this kind of system necessary for the society? | Yes | Yes, a little | No, little  | No | —       |
|                                                   | 3   | 5             | 0           | 0  | —       |

また、その他に以下のような意見があった。

- ・人ではなく機械からアドバイスされるところがいい
- ・自分では目視をしていた“つもり”を指摘してくれるところがいい
- ・次第に慣れてしまっただけで聞き流してしまうのではないかな

特に最後の点は重要であり、運転技術が向上した人が自動教官システムを煩わしいと感じることは十分想定される。これに対しては、運転者の意識の改善、法制化、極力煩わしくないインタフェース（例えば程度が軽い違反の場合は画面表示のみで、重篤な場合には音声でも注意など）の構築などで対応することが考えられる。

## 6. 結 言

本論文では、自動車の安全を向上させるための一つのコンセプトとして、自動教官システムを提案した。また、その一つのモジュールとして、車線変更時にドライバーが目視を怠った場合音声でアドバイスを与えるシステムを構築した。これは、白線を抽出することによる車線変更の認識と、顔と鼻とを抽出することによる顔の振り向き認識とを組み合わせることで実現している。システムを体験した被験者は、本システムを好意的に考える傾向にあった。

今回の報告では、システムの構築とその動作確認を中心としているが、実験結果によりシステムの基本的な有効性は実証できたと考えている。今後はさらに手法の改善、実験によるパラメータや個人差の調整により、システムの信頼性を向上させていく予定である。特に認識率が低い顔の振り向き認識手法では改善が必要である。また、さらに他のモジュールを追加して総合的かつ定量的な評価を行いながら、自動教官システム全体の有効性を向上させることが必要であると考えている。

## 参 考 文 献

- 1) 津川定之：高度道路交通システム概論，日本ロボット学会誌，17, 3, (1999) 312.
- 2) 御室哲志：車から環境を見る—運転支援のマシンビジョン—，画像の認識・理解シンポジウム(MIRU'98) 論文集 I (1998) 141.
- 3) 高橋宏，佐藤宏：ITS 時代の自動車制御におけるドライバと車両の関係についての考察—認知科学的視点から ACC を例として—，自動車技術，52, 10 (1998) 74.
- 4) 市原栄太郎，高尾広行，大田友一：NaviView：仮想車載カメラ映像による運転者の視覚支援，電子情報通信学会論文誌，J82-DII, 10 (1999) 1816.
- 5) 山田浩史，乗松 有，小塚一宏，中野倫明，山本 新：ドライバの運転状態の検知 1—インナミラー内蔵カメラによる視線検出—，画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2004) 論文集 I (2004) 54.
- 6) 熊倉佐恵，原徹，五井美博：瞬き閉じ時間を用いた自動車運転時の覚醒度評価手法，自動車技術会論文集，29, 1 (1998) 155.
- 7) 金田雅之，小原英郎，那須勲：光環境の変化に適応する顔画像処理による居眠り運転検知，自動車技術会学術講演会前刷集 976 (1997) 231.
- 8) G. Wilde: The theory of risk homeostasis: Implications for safety and health, Risk Analysis, 2, 4 (1982) 209.
- 9) 佐藤淳：コンピュータビジョン—視覚の幾何学，コロナ社 (1999).