

ドライバ状態モニタ

井東道昌† 稲垣文治† 山本新‡ 森恵†
†(株)東海理化 ‡名城大学

運転中のドライバの意識や注意の状態をモニタするシステムを開発している。漫然運転を起因とする事故の低減や、ドライバ受容性の高い運転支援システムには、ドライバの意識や注意の状態の反映が有効である。実車両への搭載に適し、車両周辺の光量の変化によらない安定したドライバの顔画像を撮像する撮像装置を試作した。試作した撮像システムを使い撮像した車室内画像から、意識低下と相関の高いまばたきを検出するための目の抽出、および注意の状態に影響する顔向き、視線を抽出した。

Driver's Status Monitor

Michimasa ITOH† Bunji INAGAKI† Shin YAMAMOTO‡ Satoshi MORI†
† TOKAI RIKA Co.,Ltd. ‡ Meijo University

It is useful for the driver's assistance systems that support the automotive safety with user friendliness to monitor the driver's status. We made a prototype image sensing system combined within rear-view mirror that could acquire driver room images under several environment. And we have developed methods to detect driver's characteristics for the estimation of the driver's status such as an awareness and attention level.

1. はじめに

運転支援システムは、ITS に関する多くのアイテムの中でも関心が高く、有用なシステムのひとつである [1]。車両周辺の状況に応じた運転補助やドライバへの警報情報の提供は、安全運転に極めて重要であるが、これまで運転に関する情報は主に車間距離など車両周辺の状態、ステアリングのふらつきなど車両挙動の状態から判断されており、ドライバの意図を反映してはいない。そのため、本来有用である支援に対し、ドライバがおせっかいに感じシステムの有効性を妨げることが多々ある。ドライバに信頼されるヒューマンインタフェースに優れたシステムには、ドライバの意識や注意の状態を常時検知し、その程度に応じて警報の提示のタイミングやその方法を変え、ドライバに不快感やわずらわしさを与えないことが必要である [2][3]。

優れたヒューマンインタフェースの実現には、運転中のドライバの運転操作などを妨げない非接触無拘束でのドライバ状態検出が望ましい。我々は、眠気などの意識の状態と強い相関を有するまばたき、ならびに注意の状態を特徴付ける注視方向計測を画像処理を用いて検出するシステムを開発している。試作した撮像システムの特徴、およびドライバの状態を推定するためのまばたき検知、注視方向検知について報告する。

2. 撮像システムの開発

2.1 撮像システムの概要

図.1 に、我々が試作したドライバ状態撮像システムの外観を示す。また、図.2 に、撮像システムの断面図を示す。

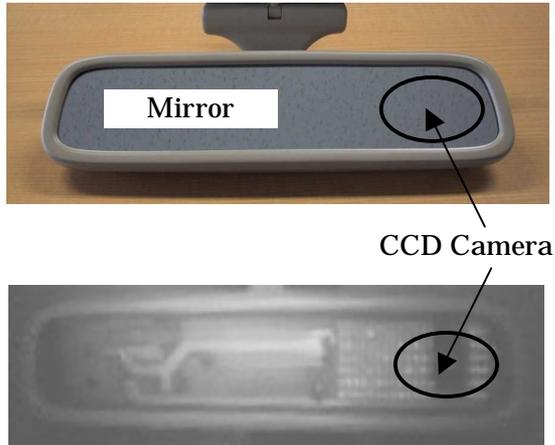


図.1 ドライバ状態撮像システム外観

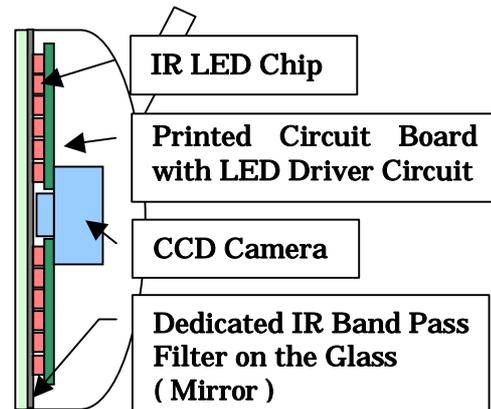


図.2 ドライバ状態撮像システム断面図

ドライバは運転中、意識状態を特徴付けるまばたきや、注意の状態を特徴付ける注視方向を刻々と変化させる。画像処理を用いたドライバ状態検知では、車室内でまばたきや注視方向の変化を常時検知するための撮像システムの搭載場所が重要となる。我々は、ドライバ状態撮像システムの搭載場所としてルームミラー付近が適することを報告した [4][5]。ルームミラー付近からの撮像では、ドライバの状態の変化を画像処理で検出するために必要な、(1)ドライバの運転操作に遮られることが少なく安定してドライバの顔、特にまばたきの検知に有用な目(片目)含む画像、(2)ドライバの運転姿勢に依らず、必要な顔のサイズの画像を得ることができる。

搭載位置に関する要件のほかに、ドライバ状態モニタ用撮像システムには、(1)夜間から昼間の直射光下の照度変化に対して安定な撮像が可能(2)ドライバに撮像による不快感を与えない、(3)既存の装置の機能を損なわない等の機能要件を満たすことが必要である。太陽光などによる照度変化に対して安定な撮像を実現するため、パルス発光による短時間の照射を実施し、また、照射した光の波長域のみが CCD カメラへ入射するバンドパスフィルタを取り付けている。照明の光源には近赤外光を使用し、近赤外領域に高い感度を有する CCD カメラを用いることで、ドライバに眩しさを感じさせることなく画像処理に必要な輝度を有するドライバの顔画像を得ている。ミラー鏡面に入射波長域を限定するバンドパスフィルタの特性を持たせ、駆動回路を含め照明、カメラを市販と同じ意匠、サイズのルームミラーに内蔵したことで、ドライバからは内部の撮像システムが見えず、撮像による不快感を感じることはない。ドライバ状態撮像システムの内部ブロックを図.3 に、ミラー鏡面の透過特性を図.4 に示す。

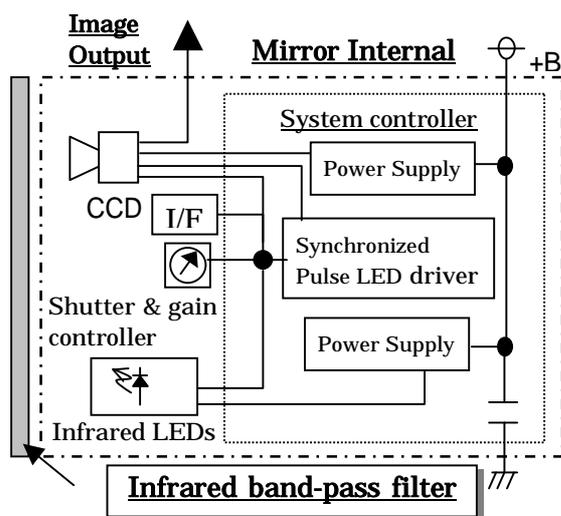


図.3 ドライバ状態撮像システムブロック

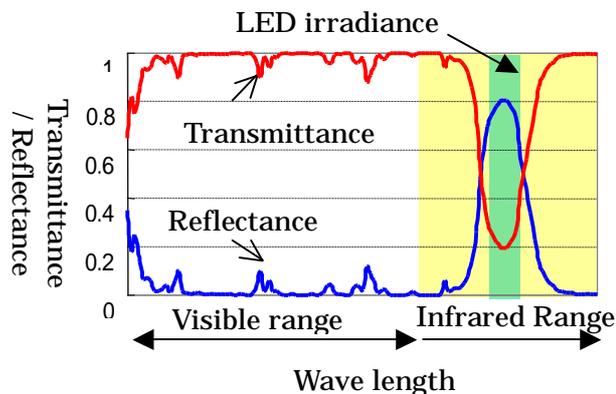


図.4 ミラー鏡面透過率特性

2.2 撮像画像評価

図.5 に、撮像画像例を示す。それぞれ左が従来方式（通常の CCD カメラ）による画像，右が試作したドライバ状態撮像システムで撮像した画像である。両者とも図.4 の特性を有するルームミラーを介し撮像した。(a)は昼間の直射光が顔の半面に照射した場合，(b)は夜間に撮像した画像である。従来方式では、昼間の直射光下で入射する光を制限しているにもかかわらず、一部にハレーションを生じる反面、日射のあまり当たらない部位は影となり十分な輝度が得られない。また、夜間では、光量不足からほとんどの部位で輝度レベルが低く、ドライバ等の物体の確認が困難である。それに対し、試作した撮像システムでは、撮像システムが照射した光により、従来方式で光量不足の部位に対しても十分な明るさを得ることができる。また、さらに短い時間で強い光を照射すれば、顔の一部で生じているハレーションを抑えることができると考える。昼間(a)、および夜間(b)の画像の輝度分布をそれぞれ図.6、7 に示す。本撮像システムにより、従来の方法に比して濃淡分布に広がりが生じ、濃度の差異が明確となる。特に陰で識別が困難であった目などの識別が可能となる。これより、夜間の低照射時から直射光下の高照射時まで安定な撮像画像が確認できた。

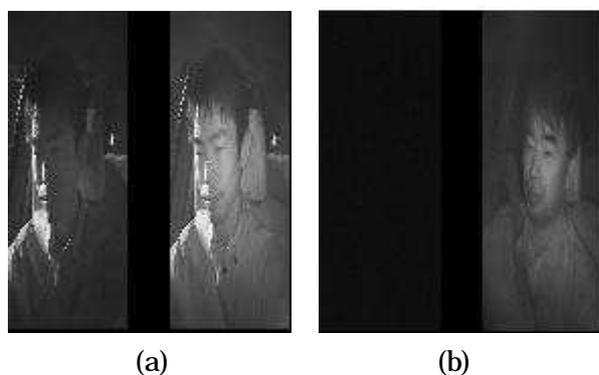


図.5 撮像比較((a)日射，(b)夜間：それぞれ左 - 従来方式，右 - 本撮像方式)

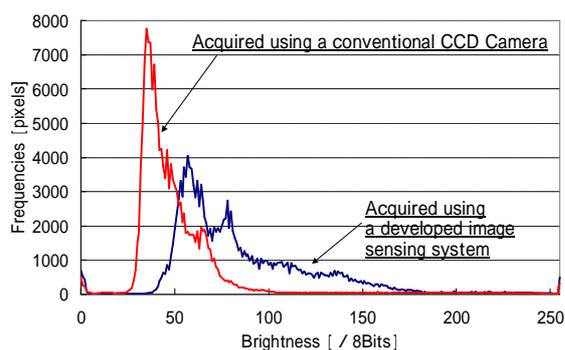


図.6 輝度分布比較 ((a)日射条件)

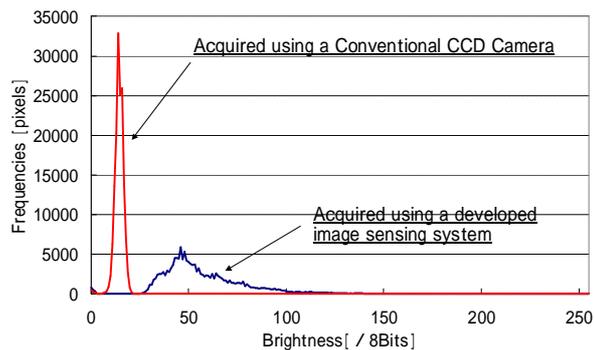


図.7 輝度分布比較 ((b) 夜間)

3. ドライバ状態推定

3.1 概要

意識状態と、閉眼時間やまばたきの変化などのまばたきから得られる特徴には、高い相関があることが報告されている [6]. 試作したドライバ状態撮像システムで撮像したドライバ画像からまばたきの特徴を抽出し、ドライバの意識状態を推定する. また、同じ画像を使い、顔の変化を抽出して注視方向を計測する. まばたきの特徴は、上まぶたと下まぶたの間隔の変化より抽出し、注視方向は、目や顔の位置、眼球の動きから判断する.

まばたきの変化を得るには、できる限り短い時間での特徴抽出が望ましい. 濃淡や処理サイズなどの処理量が検出時間に影響する画像処理では、処理領域の限定が短い時間での処理の実現に有効である. そこで我々は、まばたきを抽出するための目の抽出や他の顔部品の抽出を、広い範囲から段階的に狭めて絞り込む手法を用いている. 図.8 に処理の流れを示す.

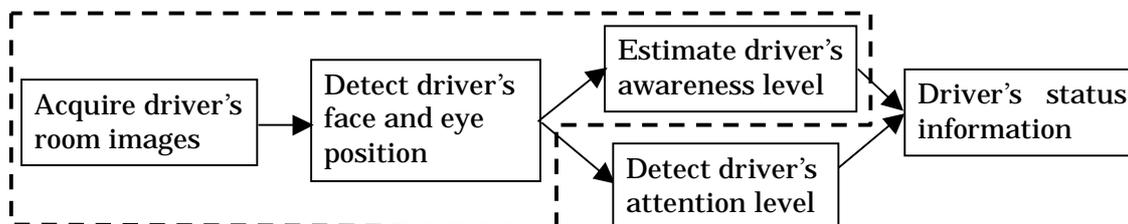


図.8 処理の流れ

3.2 顔検出手法

図.9 に処理領域を限定する手法について示す. 入退室監視やセキュリティ用途、エンターテインメント分野などで、顔の特徴を利用したアプリケーションの開発が進んでおり、その多くは、皮膚の色成分や、統計分布処理などで顔位置等を特定している [7][8]. 統計分布処理は、近赤外画像のように細かな色成分を有しない画像でも、その特徴量から目的とする対象が検出できる利点はあるが、計算処理量が多く短時間での検出処理は困難である. 我々は簡易的な方法で、画像中のドライバの位置を大まかに抽出し、限定した範囲内でドライバの顔基準位置を特定した. 照明から比較的距離に近いドライバは、照明の光が達しない背景に比して、照明の点灯による明るさの影響を受けやすい. ドライバ状態撮像システムの照明をフィールド間隔で制御し、点灯、消

灯時のフィールド画像をそれぞれ撮像する．両者の輝度差分画像から，水平，垂直方向の射影処理で照明による影響を受けやすいドライバの顔範囲を限定する．限定した画像の範囲から，ニューラルネットワークで学習させた顔の部位の特徴分布をもとに，顔の基準位置を特定する [9]．ニューラルネットワークの入力層へのデータは，水平，垂直，斜めの濃淡変化画像で構成する 4 方向面特徴を使い，外乱光の影響を抑えている．

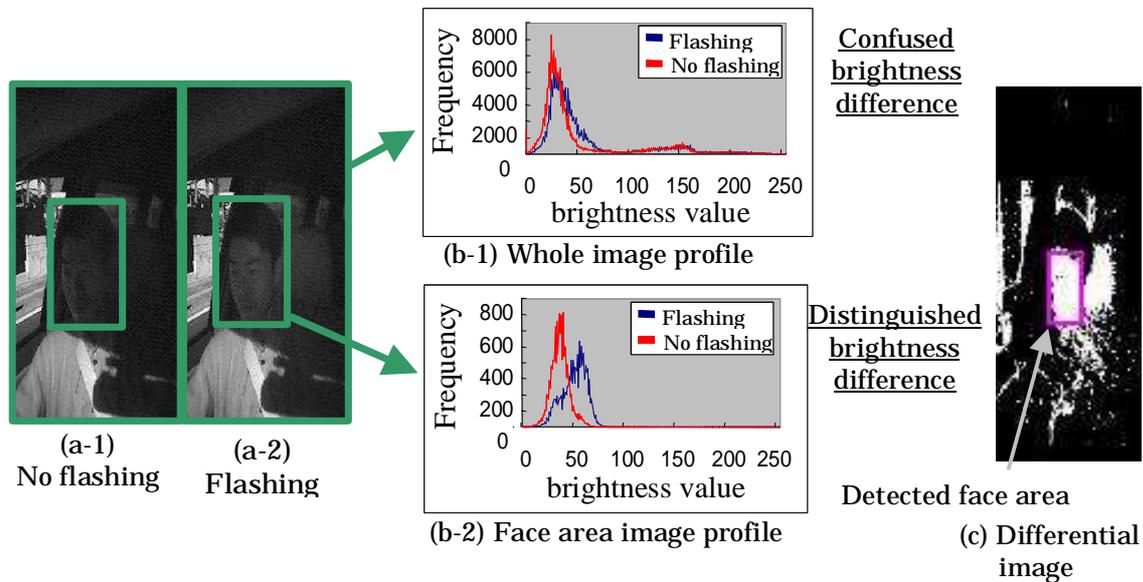


図.9 輝度差画像抽出手法

3.3 目の特徴抽出

図.10 に目の特徴抽出手法を示す．顔検出処理で抽出した顔領域範囲，顔の基準位置をもとに，目の抽出範囲を限定する．顔の基準位置検出と同様に，ニューラルネットワークで学習させた目の部位の特徴分布を使用し，目の基準位置を得る．上まぶたと下まぶたは，画像中で目と肌の濃淡の変化が大きい位置として特徴付けられる．濃淡変化が大きい1組の連なりを抽出し，上下まぶたの間隔を計測する．より短い時間で目の特徴を得るため，計算負荷の高い統計処理での特徴抽出を毎処理繰り返すのではなく，検出した目の重心位置をもとに追跡処理で目の探索位置を変化させている．

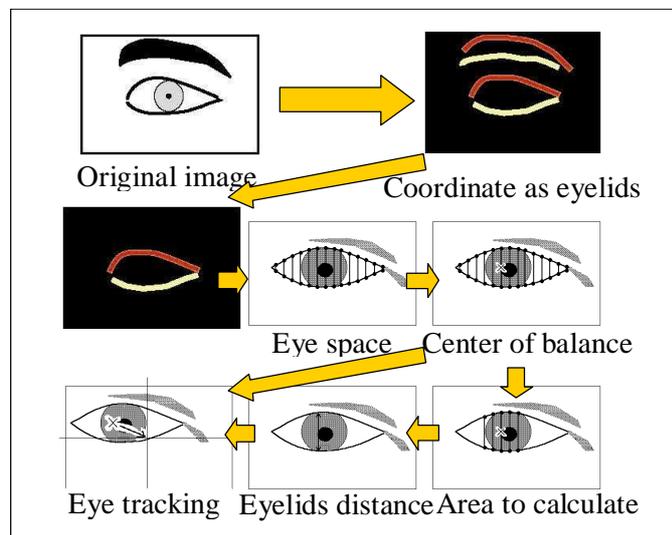


図.10 目の特徴抽出処理

正確な閉眼時間を計測するため，まばたきの開始点と終了点の検出基準として，計測した上下まぶたの間隔波形の 2 次微分のゼロクロス点を抽出し，個人差の影響を受けないまばたきの計測を行う．

3.4 注視方向検出

図.11 に注視方向を検出するためのドライバの顔向き検出法を示す。ドライバは運転中、安全確認やわき見などで、上下左右に注視方向を移動する。水平方向の顔向き角 θ は、ドライバがカメラと対向したときの両目の重心点間隔 d_{eye} と、任意の顔向きでの両目の重心点間隔 d_{eye}' を用いて算出する。

$$\theta = \cos^{-1}(d_{eye}' / d_{eye})$$

ルームミラーからの撮像では、ドライバの顔向きにより片目が隠れることがある。片目が隠匿した場合には、画像から検出可能な目と顔の端部との間隔を使用し、予め個人ごとに求めた数点での顔向き角と目と顔端部の間隔の関係をもとに顔向きを求める。また、視線方向は、抽出した目の瞳孔位置と目頭の位置関係より求め、顔向きと併せて注視方向とする。

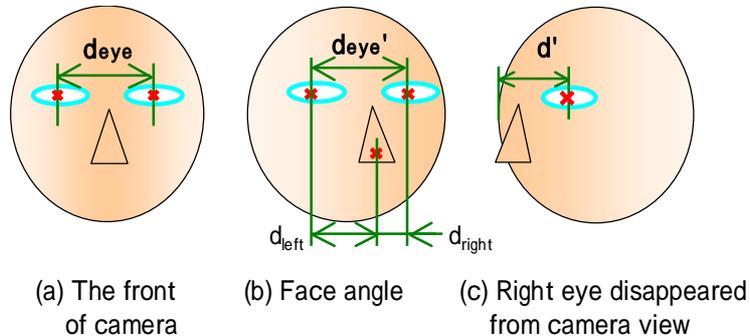


図.11 顔向き検出法

3.5 意識低下推定

表.1 にまばたきの間隔波形から計測したまばたき検出率を示す。ドライビングシミュレータを用いた安定した光の環境下で計測した。目視でのまばたき回数計測に比して、おおよそ95%以上の検出率で、ドライバのまばたきを検出しており、まばたき検出手法が有効であることが分かる。

表.1 まばたき検出率

	Test subjects									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Watching Time	353	205	125	427	103	147	541	291	362	309
Detection Time	354	210	127	429	104	151	549	293	371	312
Lost Time	2	6	2	5	1	5	10	2	11	5
Over Time	1	1	0	3	0	1	2	0	0	2
Detection ratio[%]	99.2	96.6	98.4	98.1	99.0	95.9	97.8	99.3	97.0	97.7

テストコースでの実車走行によるドライバの顔画像からまばたきを計測し、意識状態との関連を検証した。検証では、運転中のドライバによる3段階の自己申告“正常(眠くない)”, “やや眠い”, “眠い”をもとに、それぞれの状態でのまばたきの累積閉眼時間分布に含まれる長い閉眼時間の割合から傾向を検証した。図.11 に、累積閉眼時間分布に含まれる長い閉眼時間の割合の変化、図.12 に複数の被験者による3段階の自己申告毎の長い閉眼時間の割合を示す。意識が低下すると、まばたきの累積閉眼時間分布に含まれる長い閉眼時間の割合が増える傾向が多く、多くの被験者で確認できた。また、それぞれの意識状態における長い閉眼時間の割合は常に大きく変動しており、割合のみでの判断は困難であることが確認できた。

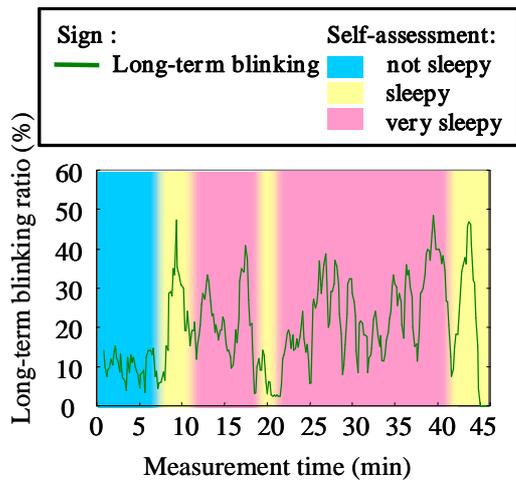


図.11 まばたき分布に含まれる長い閉眼時間の変化

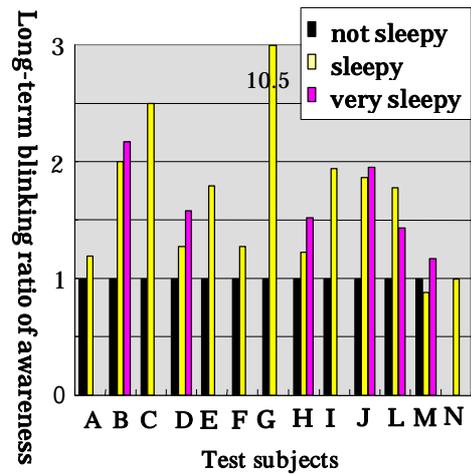


図.12 まばたきと意識状態の関連

3.6 注視方向計測

表.2 に注視方向の計測精度を示す。

表.2 注視方向

	Face angle [°]	Subjects				
		A	B	C	D	E
Right side-view mirror	40	8.9	10.2	7.8	8.2	9.1
	30	3.2	11.3	6.6	5.9	6.9
	20	2.4	4.0	5.1	5.4	5.5
	10	4.6	5.1	5.6	4.1	4.9
Front	0	4.5	5.8	4.8	4.6	4.1
	-10	2.5	4.9	4.0	3.5	5.0
	-20	3.1	5.2	5.3	4.0	4.7
	-30	6.1	6.9	5.9	5.9	6.6
Left side-view mirror	-40	5.2	4.0	4.9	3.8	5.1
	-50	4.3	5.6	4.2	4.6	5.6
	-60	6.0	5.2	4.9	5.1	6.1

ドライビングシミュレータを用いて、車両進行方向でのドライバの注視方向を0度とし、-60度（左サイドミラー相当）から+40度（右サイドミラー相当）まで、左右に10度刻みで顔方向を動かし、また視線を10度刻みで±30度傾けたときの、各顔向きでの検出誤差平均を求めた。全体の検出精度は、両ミラー間で平均5.4度である。得られた検出精度は、人間が対象を網膜で詳細に確認するために必要な中心視野約20度に比して小さく、ドライバが運転への注力が必要な前方を視認しているか判断可能である。

4. まとめ

試作したドライバ状態撮像システムの画像を使い、意識状態の推定に有効なまばたきの計測と、注意の状態の推定に有効な注視方向検出を実施した。撮像システムは、専用のバンドパスフィルタミラーと小型 CCD、近赤外照明、駆動回路をルームミラーの意匠を変えることなく搭載したため、ドライバに意識されることなくその顔画像を撮像できる。撮像したドライバの顔画像を使用したまばたきの計測により、実車におけるまばたきと意識状態の関連を検証し、まばたきがドライバの意識状態を示す有効な情報であることを確認した。また、注視方向計測により、わき見などの前方不注視が判断できることを示した。安全支援システムへの適用に有益であると考える。

今後、まばたきの検出の屋外での走行環境による評価の実施、まばたきから得る他の特徴との組み合わせにより、意識状態とまばたきを関連付けを実施する。また、左右のみでなく、上下の注視方向検出法を開発し実用化を目指す。

参考文献

- [1] 例えば、鷲見和彦：「画像処理技術と展開 - ITS 分野への応用」, 電気学会誌, vol.120, NO.7 pp.419-421, 2000
- [2] 中野倫明, 山本新：「ドライバを見る - ドライバの居眠り, 不注視の検知 - 」, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU'98), pp.147-152, 1998
- [3] Tsugawa, S: Driver-Adaptive Driver Assistance Systems: proposals and experiments", 10th World Congress and Exhibition on ITS, 2003
- [4] Mizuno, H. and Et.al., Measurement of the driver's blinking and estimation of their awareness using the image processing, Preceding of 9th World Congress of ITS, 2002
- [5] Itoh, M. and Et.al., Driver's Status Monitor – Evaluation of the driver's awareness Level, JSAE Review, vol.25, No.2, 2004, pp.193-197, 2004
- [6] 佐竹敏英, 下谷光生, 西田稔, 寺下裕美：覚醒低下評価手法の検討, 自動車技術会学術講演会前刷集 966, pp.29-32, 1996
- [7] 福井：ユーザインタフェースにおける顔画像認識, 第 6 回画像センシングシンポジウムチュートリアル講演会応用コーステキスト, pp. 18-32, 2000
- [8] 大森, 村上：動画像中のベストショット抽出のための瞬き検出方について, 第 8 回画像センシングシンポジウム講演論文集, pp.533-538, 2002
- [9] Rowley, H and Et.al., Neural Network-Based Face Detection, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.20, No.1, pp.23-38, 1998