

# 自動車向け画像認識技術とステレオカメラによる距離計測

志 磨 健\*・的野 春樹\*・掛川 晋司\*・門司 竜彦\*\*

## Image Recognition for On-Board Cameras and Distance Measurement Using Stereo Camera

Takeshi SHIMA\*, Haruki MATONO\*, Shinji KAKEGAWA\* and Tatsuhiko MONJI\*\*

Active safety systems for vehicles using outside detection sensors are now prevailing. In this section, we introduce our development of on-board cameras and examples of active safety systems using stereo cameras.

**Key words:** camera, stereo camera, image processing, image recognition, active safety, vehicle

近年、自動車の分野においても環境対応の取り組みがさかんであるが、依然として最も重要な課題のひとつは「安全」である。交通事故による死者数は年々減少しているが、事故発生件数に関しては減少に転じているとはいえ、依然として高い水準にある<sup>1)</sup>。そのため、事故防止や事故時の被害軽減を目的として、車にさまざまなセンサーを搭載し外界の状態を認識することで、ドライバーへの警報や車両制御を行う予防安全システムの実用化が加速している<sup>2)</sup>。この際、外界を認識するセンサーのひとつがカメラである。カメラは、ドライバーが車の死角を映像で確認できるという他のセンサーにないメリットがあり、モニタリング用として多くの車に搭載されるようになった。また、単眼カメラで走行レーンを検知し自車がレーンから逸脱しないように制御するシステム<sup>3)</sup>や、ステレオカメラで前方の障害物や先行車を検出して自動速度制御を行うシステムが実用化されている<sup>4,5)</sup>。

このような予防安全システムを実現するためには、自動車の周囲の対象物を検出・識別し、対象物までの距離を求めるセンシング技術が重要となる。対象物までの距離を求める外界センサーとしては、ミリ波レーダー、レーザーレーダー、ソナーといったアクティブセンサーと、単眼カ

メラ、ステレオカメラといったパッシブセンサーがあり、いずれも長所短所があるが、本稿ではステレオカメラの自動車の予防安全システムへの適用といった視点で解説する。

### 1. 自動車向け画像認識技術の取り組み

日立グループでは、自動車向け画像認識としておもに近傍センシング用モニターカメラとステレオカメラ向けの画像認識技術の開発を行っている。その中でも、2007年には、駐車する際の後方のモニター用として多くの車に搭載されているリアカメラの映像を流用して、図1に示すような国内の路面マーカを認識する画像認識ライブラリーを開発した<sup>6,7)</sup>。この画像認識ライブラリーを用いて、図2に示すように、路面マーカの種類および車両との相対位置を算出し、カーナビゲーションの自車位置測定の高精度化が実現できた<sup>8)</sup>。また、図3に示すように、出合い頭の衝突事故防止を目的に、サイドビューカメラの映像から接近車両を検知する画像認識システムを開発するとともに<sup>9)</sup>、2011年には、図4に示すような周囲監視カメラの映像から自車周囲の歩行者等の移動体を検出しドライバーに警報するシステムをクラリオン(株)にて製品化した<sup>10)</sup>。

一方、ステレオカメラに関しては、後述する富士重工業

\* (株)日立製作所 日立研究所 (〒319-1292 日立市大みか町7-1-1) E-mail: takeshi.shima.rb@hitachi.com

\*\* 日立オートモティブシステムズ(株) (〒312-8503 ひたちなか市大字高場2520)

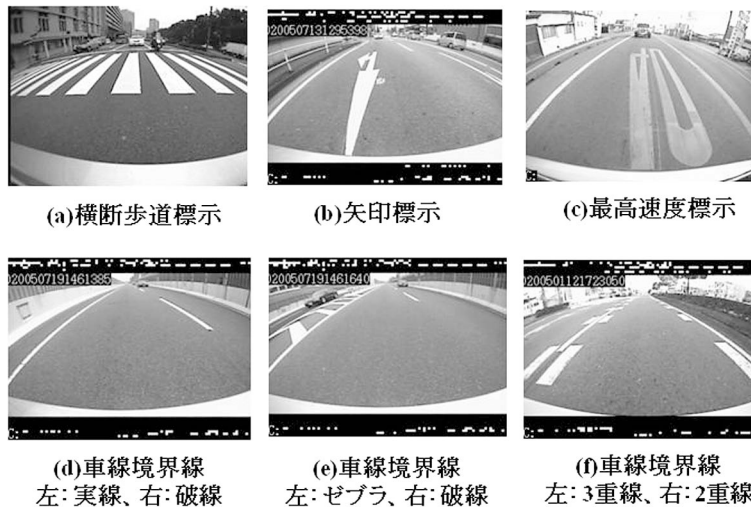


図1 リアカメラによる路面マーカー認識。

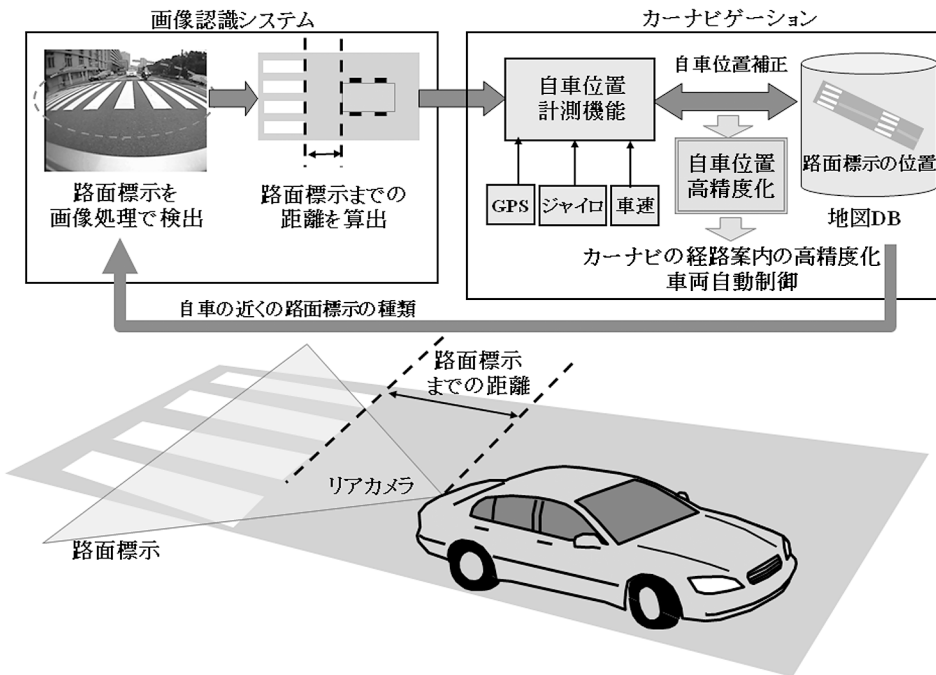


図2 リアカメラによる高精度位置計測。

向けのステレオカメラの製品化を行うとともに、将来的なアプリケーションとして、図5に示すようなカーブ前での減速制御を目的としたカーブ道路線形の推定、道路逸脱防止制御を目的とした道路端（縁石）検知といったステレオカメラを用いた画像認識アルゴリズムの開発に取り組んでいる<sup>11)</sup>。

## 2. ステレオカメラの自動車への適用

ステレオカメラが自動車の予防安全システムへ適用された例は、国内外含めてこれまでのところ、製品化された年

代順に、本田技研工業の「インテリジェント・ナイトビジョンシステム」、トヨタ自動車の「プリクラッシュセーフティシステム」、そして富士重工業の先進運転支援システム「EyeSight (アイサイト)」である。

ステレオカメラを用いて車両進行上の歩行者や横断中の歩行者を検知し、画面上の表示とブザー音により運転者の注意を促す「インテリジェント・ナイトビジョンシステム」は、2004年に本田技研工業からニュースリリースされた<sup>\*1)</sup>。本システムでは、歩行者を検知するために、遠赤外線カメラを2か所に設置し三角測量と同じ原理で歩行者を



側方からの接近車検知の例

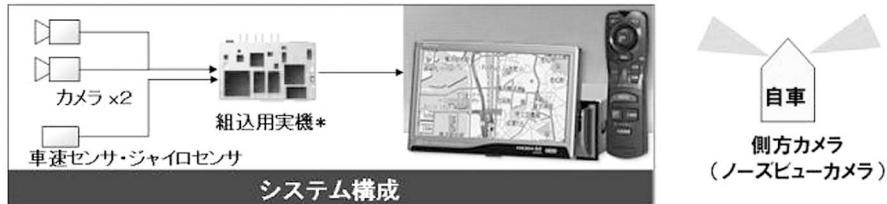
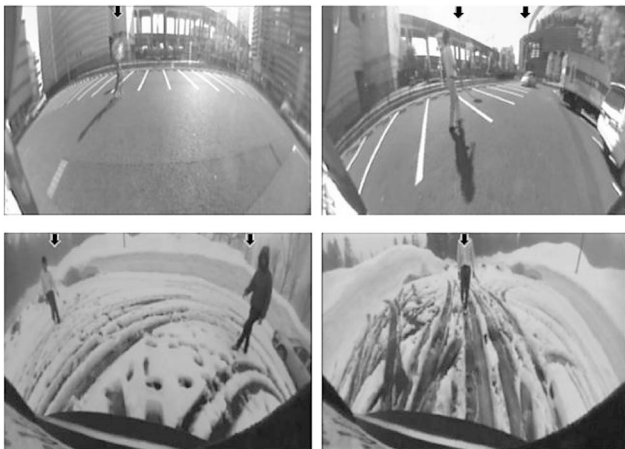
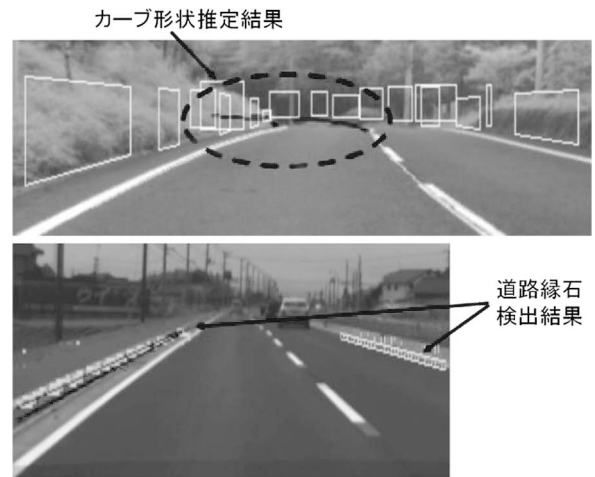


図3 サイドビューカメラによる接近車両検知.



自車後方を横切る人物、接近する人物を検知した例

図4 周囲監視カメラによる移動体検知.



検知し、左右2点からとらえた対象物のずれ(視差)によって対象物までの距離を算出する。対象物が歩行者であるかどうかは、頭部、肩部の大きさ、身長といった形状によって判定している\*2。

2006年8月にニュースリリースされたトヨタ自動車のステレオカメラは、ミリ波レーダー・ステレオカメラフュージョン方式による「プリクラッシュセーフティシステム」である\*3。ミリ波レーダーで検知した情報にステレオカメラによる立体物認識情報を付与することで、車両や障害物に加え、歩行者の検知を実現している。検知した結果、衝突の可能性が高いと判断した場合、シートベルトの巻き取りとともに、ドライバーに警報を発する。さらに、ドライ

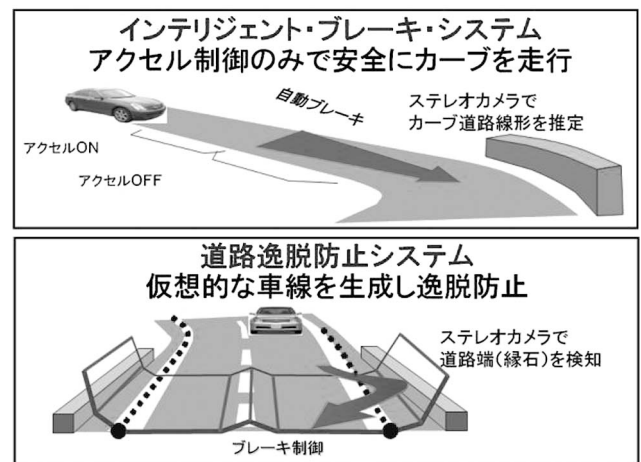


図5 ステレオカメラによるカーブ検知、縁石検知とその適用アプリケーション.

\*1 本田技研工業のウェブページ：<http://www.honda.co.jp/news/2004/4040824a.html>

\*2 本田技研工業のウェブページ：<http://www.honda.co.jp/safety/technology/car-safety/main-technology/night/>

\*3 トヨタ自動車のウェブページ：[http://www.toyota.co.jp/jp/news/06/Aug/nt06\\_041.html](http://www.toyota.co.jp/jp/news/06/Aug/nt06_041.html)

バーによる制動操作がない場合、プリクラッシュブレーキにより衝突速度を低減させる。

2007年10月にニュースリリースされた富士重工のステレオカメラは、世界で初めてステレオカメラのみで全車速域追従クルーズコントロールや、歩行者・自転車をも対象としたプリクラッシュセーフティー機能を実現した先進運転支援システムであり<sup>\*4</sup>、現在は「EyeSight」として広く知られるようになった。2010年には「EyeSight」をベースに、自動ブレーキによって車両を停止させる制御など最新技術を加えた「新型 EyeSight」を発表した<sup>\*5</sup>。新型 EyeSight で実現している機能は以下である。

(1) 衝突回避・衝突被害軽減機能

- ・AT 誤発進抑制制御：前方に障害物を検知している状態でのペダルの踏み間違いなどによる急な前進を抑制する機能
- ・プリクラッシュブレーキ、プリクラッシュブレーキアシスト

(2) 運転負荷軽減機能

- ・全車速追従機能付クルーズコントロール
- ・先行車発進のお知らせ：信号待ちなどで、前車が発進したことに気付かず停車し続けた場合、メーター内ディスプレイ表示とアラームで発進を促す機能

(3) 予防安全機能

- ・車間距離警報：前車に近付き過ぎたり、自車の前に急な割り込みが入ったときなど、衝突する可能性がある場合に警報音で注意を促す機能
- ・車線逸脱警報：走行中、車両が車線から外れそうになった場合に、メーター内のディスプレイ表示と警報音で注意を促す機能
- ・ふらつき警報：覚醒低下などに起因する車両のふらつきを検知し、メーター内のディスプレイ表示と警報音で注意を促す機能

3. 自動車向けステレオカメラによる距離計測とその特徴

上記に述べた機能を車載ステレオカメラで実現するためには、いずれも検知した対象物までの距離を算出する必要がある。ここでは、富士重工のステレオカメラを例に、自動車向けステレオカメラにおける距離計測の手法について説明する。

ステレオカメラで対象物までの距離を求めるには、図6

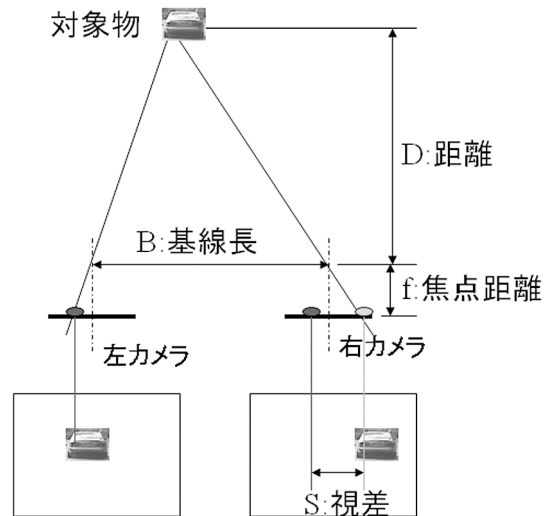


図6 ステレオカメラの距離測定原理 (距離  $D=B \times f / S$ )。

に示すように三角測量の原理を利用する。すなわち、同じ対象物を2つのカメラで撮像した際の撮像位置のずれである「視差」を求める必要がある。ここで視差を求めるには、2つのカメラで同じ対象物を撮像した画素を抽出する必要があり、これをステレオマッチングとよぶ。

ステレオマッチング処理には、大きく分けて2手法あり、1つがローカルマッチング手法、もう1つがグローバルマッチング手法である。前者のローカルマッチング手法は、注目画素およびその対応点候補の近傍輝度情報のみを使用して、注目画素と最も類似している部分をマッチング結果として出力する。富士重工のステレオカメラはこの手法を採用しており、右カメラ画像(512×128ピクセル)を128×64ブロックに分割し、それぞれのブロックに対し、同じ画像と思われる領域を左カメラから探索し、その視差を算出することで画面全体の距離情報を求めている<sup>4)</sup>。一方、後者のグローバルマッチング手法は画像全体の輝度情報を用いて評価関数を最小化する手法であり、近年 graph cuts や belief propagation といった手法を併用することが多い。グローバルマッチングはノイズに強く、テクスチャーがない対象物があっても距離が滑らかに求められるが、処理負荷が大きいという問題がある。

ステレオマッチングに関する評価関数についても多くの手法が存在し、富士重工のステレオカメラでは、車載用としての必要な精度と計算時間の短縮を目的として、SAD (sum of absolute difference) を採用している<sup>4)</sup>。SAD は輝度差の絶対値の総和で相関値を計算する手法であり、左右

<sup>\*4</sup> 富士重工のウェブページ： [http://www.fhi.co.jp/news/07\\_07\\_09/07\\_10\\_05.html](http://www.fhi.co.jp/news/07_07_09/07_10_05.html)

<sup>\*5</sup> 富士重工のウェブページ： <http://www.subaru.jp/news/2010/eyesight/>

表1 カメラとレーダーの特徴の比較.

センサー	カメラ		レーダー		
	単眼	ステレオ	ミリ波		レーザー
			スキャン型	非スキャン型	
測距能力	△	○	◎	◎	◎
横位置分解能	◎	◎	△	△	○
対象依存性	△ (形状依存)	◎	○ (材質依存)	○ (材質依存)	△ (反射体)
コスト	◎	△	△	○	◎
備考	可視光, 近・遠赤外光		天候依存 小		天候依存 大

で対応する画素が対象領域内ですべて同じ輝度値をもっているときに、相関値ゼロで最小値となる。また、SAD で用いる各画素の輝度値を、対象領域内の輝度値の平均値で差し引いた輝度値に置き換える ZSAD (zero-mean SAD) や、輝度値を正規化した相関値で類似度を算出する正規化相互相関等もあり、それぞれ輝度のオフセットずれやガウスノイズに対してロバストになる。また、輝度値以外に、位相情報を利用する位相限定相関<sup>12)</sup>、輝度勾配のベクトル方向の類似度を用いる方向符号照合<sup>13)</sup>、輝度の増減傾向を符号化した増分符号相関<sup>14)</sup>等が提唱されている。

検知対象物までの距離測定精度は、上記のステレオマッチング手法の性能、ステレオカメラの左右カメラ間の距離(基線長)、撮像素子の解像度、カメラキャリブレーション方法に依存するため、要求距離測定精度に応じてセンサーシステム全体で考えて適用手法を選択する必要がある。

また、自動車向けに検知対象物までの距離を測定するセンサーとしてレーダーが広く使われているが、表1に示すように、カメラ、レーダーともに長所短所がある。ステレオカメラは特に横方向の分解能にすぐれ、かつ、画像の輝度情報と距離情報を画素単位で高精度に照合可能であるという長所があり、ミリ波レーダーやレーザーレーダーは、奥行き方向の測距性能にすぐれ、日照条件や明るさや天候に依存せず性能が確保できるという長所がある。またミリ波レーダーは検出物の種類の識別のために単眼カメラを併用することが多いが、ステレオカメラは単独で、先行車、歩行者をはじめさまざまな立体物の検出と識別や路面マーカの検出が可能であるため、自動車への適用という観点で搭載性にすぐれている。

ドライバーの運転をサポートする安全支援システムは、今後さらに普及していくと考えられる。外界センサーのひとつとしてのステレオカメラは、現在実用化されている製品以上の利用可能性をもっており、今後さらなる高信頼化、低コスト化が進み、多くの自動車に安全をサポートするシステムが搭載されることを期待している。

## 文 献

- 1) 国土交通省自動車交通局：第10回自動車安全シンポジウム(2009)。
- 2) 矢野経済研究所：2009～10年版カーエレクトロニクス装置の市場実態と中期展望(2009)。
- 3) M. Tsuji, R. Shirato, H. Furusho and K. Akutagawa: "Estimation of road configuration and vehicle attitude by lane detection for a lane-keeping system," SAE Technical Paper 2001-01-0799 (2001)。
- 4) 片平 聡, 高橋 靖, 並木信夫, 柴田英司: "ステレオ画像認識運転支援システムのハードウェア開発について", 第14回画像センシングシンポジウム講演論文集, IN2-15 (2008)。
- 5) 齋藤 徹, 森光 登, 関口幸弘, 丸山 匡, 加藤寛基, 松浦宗徳, 柴田英司: "ステレオ画像認識運転支援システムのソフトウェアの開発について", 第14回画像センシングシンポジウム講演論文集, IN2-14 (2008)。
- 6) T. Shima, K. Irie, M. Nakamura, Y. Matsumoto, M. Higuchi, S. Muramatsu, T. Monji and Y. Hoshi: "A vision-based road marking detection system for car navigation using an on-board rear view camera," 15th World Congress on Intelligent Transport System (2008)。
- 7) 樋口未来, 入江耕太, 中村正樹, 松本芳幸, 志磨 健: "リアカメラの画像を用いた路面標示認識システムの開発", ViEW ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集 (2008) pp. 218-223。
- 8) M. Takahara, M. Nakamura, N. Miura, Y. Ikeda, W. Ike and K. Okada: "Application of "High Location Accuracy System" to driving support system," 15th World Congress on Intelligent Transport System (2008)。
- 9) 清原将裕, 村松彰二, 川野羊三, 加藤賢治, 内田吉孝: "単眼ノーズビューカメラを用いたオプティカルフロー法による車載向け側方接近物検知", ViEW ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集 (2009) pp. 59-63。
- 10) 清原将裕, 入江耕太, 内田吉孝, 村松彰二: "車両周辺監視のための移動体検出技術の開発, ViEW ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集 (2011) pp. 117-118。
- 11) 樋口未来, 坂野盛彦, 志磨 健, 村松彰二: "ステレオカメラによる立体物情報を用いた道路形状推定", ViEW ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集 (2009) pp. 53-58。
- 12) 青木孝文, 伊藤康一, 柴原琢磨, 長嶋 聖: "位相限定相関法に基づく高精度マシビジョン—ピクセル分解能の壁を越える画像センシング技術を目指して—", Fundamentals Review, 1 (2007) 30-40。
- 13) 李 媛, 高氏秀則, 大村 功, 金子俊一, 田中孝之: "方向符号照合に基づくロバスト合焦法", 精密工学会誌, 75 (2009) 650-656。
- 14) 金子俊一, 村瀬一朗, 五十嵐悟, 亀和田俊一: "増分符号相関による孔壁3次元形状のステレオ画像計測", 精密工学会誌, 67 (2001) 81-85。

(2012年1月31日受理)