# フィールドビューモニタ「FVM2」周囲監視装置

### 加藤英彦·清田芳永

当社は油圧ショベルオペレータの周囲安全確認をサポートするシステム(Field View Monitor;以下 FVM と表記)(以下「従来システム」という)を住友重機械工業㈱と共同で開発し、油圧ショベル LEGEST5型シリーズ(SH120-5/SH200-5/SH240-5)のオプション装置として 2011 年夏に発売した。従来システムは油圧ショベルの後方・右側方・左側方に向けて搭載された 3 つのカメラの映像を加工・合成し、機械の真上から見たような鳥瞰図の形で表示するシステムである。

機械の周囲をひと目でチェックすることができる従来システムは、お客様より高い評価をいただいたので、2012年に発売した6型シリーズからは、全機種で標準装備とした。

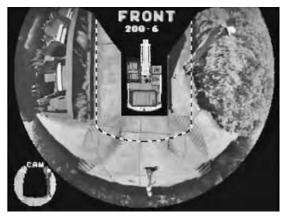
2018年に従来システムを更に進化させた「お知らせ機能付 周囲監視装置(FVM2)(以下「本システム」という)」を同様に共同で開発し、オフロード法 2014年基準適合の油圧ショベル 7型シリーズ(SH120-7/SH200-7/SH125X-7/SH235X-7)に標準装備として搭載したので、本システムについてここで紹介する。

キーワード:周囲監視装置,安全性,画像認識

#### 1. はじめに

我が国の建設業における労働災害発生状況の推移を 見てみると、長期的には減少傾向にあるものの、直近 では下げ止まりとなっている傾向がみられ、平成29 年においても 323 人の人命が失われている状況である (建設労働災害防止協会 HP 内の労働災害統計資料よ り)。この建設業における死亡事故の原因として、墜落・ 自動車に次いで多いのが、建設機械等による災害であ る。建設機械等による災害の中には、衝突・挟まれ・ 轢かれの様な建設機械と人の接触による事故が含まれ ている。油圧ショベルの場合、機械の近くで別の作業 員が作業していることが多く、 さらに機械が大きいた め機械の周囲に人がいてもオペレータが気づきにくい ということから、衝突・挟まれ・轢かれという事故が 起こりやすい。この様な接触事故を防ぐためには、油 圧ショベルのオペレータが機械の周囲確認を簡単・確 実に行える様にすることが必要である。そこで、機械 周囲の状況がひと目で確認できる従来システムを開発 し、油圧ショベルに搭載してきた ( $\mathbf{Z}$   $\mathbf{I}$ )。

このシステムを搭載することでオペレータは機械周 囲の状況を簡単に確認できる様になったが、従来シス テムは、オペレータが機械を操作する前に画面を見る ことが前提となっており、うっかり画面を見ないで機

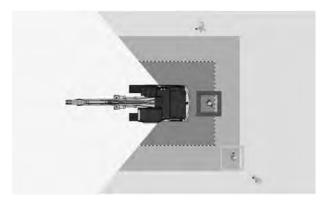


図一1 従来システム表示画像

械を操作してしまうことまでは防げないのが課題となっていた。この課題を克服する為に開発したのが、 お知らせ機能付 周囲監視装置の本システムである。

#### 2. 概要

本システムは、油圧ショベルに搭載されたカメラの映像の中に人らしい形があるかどうかを解析し、周囲に人らしい形があると判断した場合に、映像と音で"お知らせ"することによってオペレータの周囲安全確認をサポートするシステムであり、機械からの距離に応じて2段階のお知らせを行うようにしている(図



図一2 本システム表示イメージ

 $-2)_{\circ}$ 

①機械周囲約2m以内と判断した場合

・映像:カメラ表示に赤色枠を重畳表示する。

・音 :ピピッ!ピピッ!…と連続吹鳴する。

②機械周囲約2m~約4mの範囲と判断した場合

・映像:カメラ表示に黄色枠を重畳表示する。

・音 : ピピッ!と1回だけ吹鳴する。

本システムは従来のシステムと同様、3つのカメラ映像を合成した鳥瞰表示、カメラの映像をそのまま表示するスルー表示が可能であり、稼働現場の環境やオペレータの好みに合わせて表示方法を自由に切り替えることができる。鳥瞰表示の場合、人らしい形の足下を中心に正方形の枠を表示する(図一3)。スルー表示の場合は、人らしい形を囲む形での枠を表示する(図一4)。



図-3 鳥瞰表示の場合の枠表示



図―4 カメラスルー表示の場合の枠表示

#### 3. 特徵

本システムは、油圧ショベルに特化した周囲安全確認サポートシステムとして、下記の様な特徴を持たせている。

#### (1) コストを低減したことによる標準装備化

周囲の状況を検知する手段として、自動車の自動ブレーキ機能ではミリ波レーダ・ステレオカメラ等、対象物の距離を検出する機器が使用されている。自動車の自動ブレーキ機能の場合、車体前方の狭い範囲のみ検知できれば良いが、油圧ショベルの場合は、上部旋回体が360°自由に回転する為、検知しなければならない範囲が圧倒的に広い。その為、自動車と同じことをする場合、多数の距離検出センサを搭載する必要があり、非常に大きなコストがかかってしまう。

本システムは、元々標準搭載されている3つの単眼カメラの映像のみを用いることでコストアップを最小限に抑え、標準装備化を実現している。国内の油圧ショベルはレンタル機など一つの機械が様々な現場で使われるケースが多い。標準装備とすることで、現場に合わせて使いたいときに本機能を使うことができる。

# (2) 人・モノを切り分け"人らしい形"のみお知らせ

油圧ショベルの稼働現場には、周囲に資材などが置かれていることも多く、障害物や壁などに反応してしまうと、通常の作業に支障が出てしまう。本システムは、3つのカメラの映像の中に人らしい形があるかどうかを解析するシステムであり、可能な限り人以外の障害物では作動しない様にして、使い勝手の向上を図っている。また、人らしい形があると判断した位置をカメラ映像に重畳表示することで、お知らせ機能が作動した場合に、どこに人らしい形があるかひと目で確認できる様にしている。

#### (3) 複数カメラ映像の同時解析

本システムは、油圧ショベルに搭載されている3つのカメラ(後方、右側方、左側方)の映像を並行処理で解析することによって3方向同時にお知らせ機能を使える様にしている。また、一つのカメラあたり最大3つの赤色枠(約2m~約4m)を表示できる様にしているので、機械の周囲に複数の人らしい形がある場合にも対応できる。

#### (4) 超高感度 WDR-CMOS カメラ採用

本システムは、油圧ショベルに搭載されている単眼

カメラの映像情報のみで画像解析を行うシステムである。その為、カメラ自体の性能が解析結果に大きく影響する。従来のカメラの場合、イメージセンサのダイナミックレンジ性能の制限により、映像の中に明るい光源がある様な場合、暗い部分が黒く潰れてしまい映像の解析が困難となってしまう(図—5)。

油圧ショベルは屋外で使用される機械なので太陽光の影響は避けられない。日陰などが黒く潰れた映像になると画像の解析が困難となる。その為,多重露光技術を用いてダイナミックレンジ性能を大幅に向上したWDRカメラを新規に開発した。このWDRカメラは,逆光の時でも暗い部分が黒く潰れてしまうことが無い高いダイナミックレンジ性能を確保するとともに,従来の高感度カメラよりも更に感度が向上しており,昼間から夜間まで良好な視認性を確保している(図一6)。

#### (5) 視認性を大幅に向上させた新型モニター搭載

本システムによってオペレータがモニタ画面を確認する機会が多くなったことにより、モニタの視認性が以前にも増して重要となっている。油圧ショベルは、屋外で作業することが殆どであり、運転室のガラス面積も広いことでモニタ画面が直射日光に晒される場面が多い。

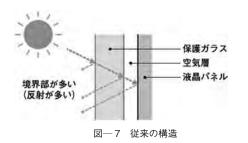


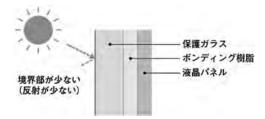
図―5 従来のカメラ映像



図―6 WDR-CMOS カメラ映像

従来構造の液晶モニターは、直射日光があたると日 光の反射により視認性が大幅に低下してしまう問題が あった(図一7)。そこで7型シリーズでは、グラス ボンディング構造を採用した新型液晶モニターを開発 し搭載している。グラスボンディングとは、モニター の液晶パネルと保護ガラスの間を樹脂で埋めることで 空気層を無くし、光の反射を大幅に低減させる技術で ある(図一8)。新型モニターでは、更に、広視野角・ 高輝度の液晶パネルやアンチグレア処理を施した保護 ガラスを採用することで、日中の視認性大幅向上を達 成している。





図─8 グラスボンディング構造

#### 4. 開発目標

開発にあたっては、以下を目標とした。

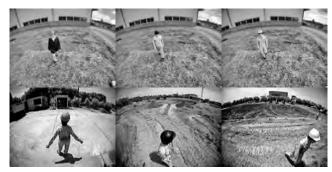
- ①画像認識のみによる人らしさ評価
- ② 3 方向のカメラ画像を毎秒 10 回以上認識
- ③小型で安価な車載装置

高価な 3D センサなどを用いず単眼カメラのみによりローコストで簡便なシステム構成としながら, 従来システムの合成画像がカバーする範囲全体を画像認識する事が目的である。本稿ではこれらを実現するにあたっての技術課題と解決方策, および実際の動作事例を紹介する。

#### 5. 技術課題と解決方策

# (1) 画像認識による人らしさ評価 課題① 画像上での人の見かけ変化

背景と服装の色のコントラスト,上半身と下半身で 色が異なる服装,携行品,カメラに対する位置や向き,



図一9 画像上の人の見かけ変化

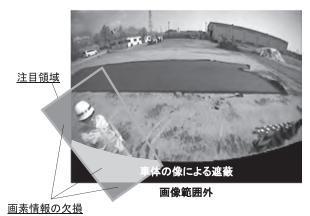
ポーズなど、画像上の人の見かけは多様に変化する。また、人の身長よりも高い油圧ショベルの車体上面にカメラを設置するため、人がカメラに接近した場合と離れた場合では、像の大きさだけでなく、頭と体の像の比率など見かけが大きく変化する。画像の例を図—9に示す。本開発では認識する人を歩行者に限定したが、それでもあらゆる見かけ変化を想定して人らしさを数値化するアルゴリズムの手動設計は困難である。

#### 課題② 広角カメラ画像の歪み

後方カメラと側方カメラの境界部も隙間無くカバーするために広角カメラを採用し、車体のごく近傍から遠方までをカバーするために斜め下向きに設置している。これにより視野の左右端では物体の像が傾いて映り、視野の下端には車体の像が映りこむ場合がある。画像の例を図—10に示す。人らしさを評価するために像を囲む注目領域を設定すると、一部が画像範囲外や車体の像に及び、画像情報が欠損する。

目標①の、画像認識のみによる人らしさ評価を達成するには、これらの技術課題を解決する必要がある。 本開発では機械学習による評価モデルを採用した。

機械学習で人らしさの評価モデルを獲得するためには、人とそれ以外の正解を付与した大量の教師画像が必要である。そこで油圧ショベルの使用現場を模擬した環境にレーザーセンサとカメラを設置し、レーザー



図―10 視野の端での画素欠落

センサで人の位置を計測しながらカメラ画像を収集した。そして人の位置の計測結果に基づき,カメラ画像上に注目領域を設定し,画像を切り出してデータベースに格納した。このとき,カメラに対する人の位置,撮影日時,背景や天候,注目領域が画像範囲外や車体の像に及んだ範囲,切り出し元のカメラ画像もあわせてデータベースに格納した。

このデータベースから,カメラからの距離がごく近い範囲とそれ以外の範囲に分けてサンプルを無作為に抽出し,さらに画像範囲外の画素や車体の像にかかった画素の割合が大きいサンプルを除外して人の教師画像とした。画像範囲外の画素や車体の像を,人らしさの特徴として学習させないためである。なお人以外の教師画像は,人が映っていない画像に任意の注目領域を設定し,無作為に抽出したものである。

人の教師画像の収録にあたっては服装や背景の組合せを増やすよう心がけたが限度がある。そこで、機械学習の前処理として輝度勾配方向の分布に基づく特徴ベクトル変換を行い、それを84分割した部分特徴ベクトルごとに正規化することで、背景と服装のコントラスト、上半身と下半身で色が異なる服装などの影響を受けにくくした。機械学習は、正規化した部分特徴ベクトルを選択して最大99回のロジスティック回帰を行うアンサンブル学習である。

#### (2) 画像認識処理と全体構成

#### 課題③ 画像認識処理サイクルの高速化と安定化

計算回数が多い画像認識処理を安定した時間サイクルで実行し続ける必要がある。FPGAでハード化して処理時間のばらつきを低減するが、ローコストなFPGAでは乗算器や内部メモリなどのリソース制限が厳しい。

#### 課題4 注目領域の高密度な配置

人らしさを評価する注目領域は、検出範囲を限定してもカメラ1台あたり数千箇所必要である。だがこれらの全てについて人らしさを評価すると、計算量が多すぎて目標処理周期を達成できない。

目標②の3方向のカメラ画像で毎秒10回以上認識を達成するには、これらの技術課題を解決しなければならない。本開発では図—11に示す構成を採用した。

注目領域は、カメラに対する人の位置ごとに、画像 上で人を囲む矩形を予め計算したものである。

画像認識処理は、カメラ画像から抽出したグレースケール画像を入力し、人らしいと判断した注目領域の情報を出力する FPGA モジュールである。3 台のカメラからの画像を時分割で入力して FPGA モジュー

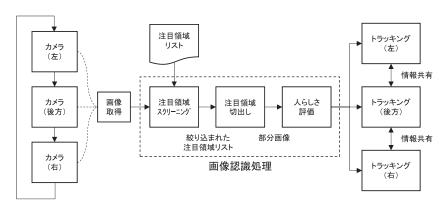


図-11 画像認識処理の全体構成

ルを共有する事で、FPGA リソースの消費を削減した。注目領域スクリーニング処理、注目領域切出し処理、人らしさ評価処理を備える。

注目領域スクリーニング処理は、視野内の注目領域を全て入力し、注目領域を切り出す事無く、簡易な画像認識で候補を絞り込む。ここでの画像認識は、注目領域に人らしい像があると仮定して、頭部に相当する領域のみを輝度分布に基づき特徴ベクトル変換し、機械学習モデルで評価する。機械学習モデルは、軽量なランダムフォレストである。

注目領域切出し処理は,注目領域スクリーニング処理が絞り込んだ注目領域内の画素を抽出し,大きさを統一した部分画像に正規化する。

人らしさ評価処理は、注目領域切出し処理が生成した部分画像に対し、人らしさ評価モデルを適用し、閾値と比較して人らしいかどうかを判定する。

トラッキング処理は、画像認識処理が人らしいと判定した注目領域の位置、時刻、およびカメラ ID を入力し、人の移動とカメラの移動の想定範囲内で人らしさ判定の継続性を評価し、人らしさ判定継続中の対象の位置情報を出力するソフトウェアである。出力する位置情報は対象を囲む矩形であるが、前述の注目領域とは異なるようにあらかじめ計算したものであり、視野の端や移動中の人もうまく囲むことができる。また、対象が複数のカメラの視野をまたいで移動する場合を想定し、隣接するカメラ間で対象の情報を共有する機能を備える。さらには、対象が複数ある場合に、各カメラからの距離が近い順に選択する機能を備える。ヒストグラムフィルタを応用した軽量なアルゴリズムで、ソフトウェア処理でも全体の画像認識サイクルに影響を与えない。

# (3) システム構成とハードウェア

# 課題⑤ 基板面積の縮小

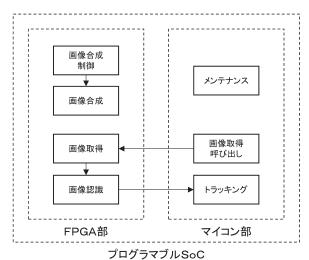
従来機能の画像合成モジュール、前述の画像認識処

理モジュールを実行する FPGA と、前述のトラッキングソフトウェアを実行する CPU を、それぞれ個別に搭載すると基板面積が拡大して高価になり、装置外形も大きくなり車載しづらくなる。

目標③の小型で安価な車載装置を達成するには、この技術課題を解決しなければならない。本開発では図 — 12 に示す構成を採用した。構成の概略仕様を表—1 に示す。

プログラマブル SoC は、FPGA 部と、CPU および 各種ペリフェラルインターフェースを有するマイコン 部を、同一チップ内に納めたものである。

FPGA 部には、画像合成モジュール及びそれを制御するモジュール、画像認識モジュール及びそこにグ



図― 12 プログラマブル SoC を用いたシステム化

表―1 システムの概略仕様

カメラ画像入力	信号形式	NTSC
画像合成出力	信号形式	NTSC
トラッキング出力	通信方式	CAN
プログラマブル SoC	CPU	デュアルコア 800 MHz
	RAM	2048 MB DDR3L SDRAM
	画像合成処理メモリ	64 Mbit SDR-SDRAM
車載ユニット	外形寸法 [mm]	215 × 128 × 36

レースケール画像を供給する画像取得モジュールを一体化した。マイコン部には、画像取得モジュールを呼び出すソフトウェア、トラッキングソフトウェア、および、各 FPGA モジュールやソフトウェアを設定、調整するメンテナンスソフトウェアをインストールした。

#### 6. 動作の事例

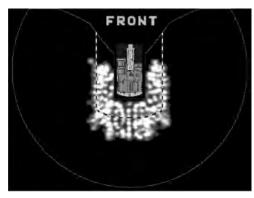
図―13では、カメラに対する人の向きや距離、服装や背景の種類が様々である場合のトラッキング出力をモニター表示した事例である。画像上での見かけの変化によらず、人らしい像があればモニター表示できている事がわかる。

図―14では、油圧ショベルの周辺に概ね格子状の検査位置を設定し、各検査位置に一定の滞留時間で人を立たせ、その時のトラッキング出力の頻度を濃淡画像にしたものである。色が明るい点ほど連続して人らしいと判定し続けた事を意味する。隣接カメラ間の境界部、油圧ショベルのごく近傍を含め、隙間なく人らしい像をトラッキングできている事がわかる。

図―15では、隣接カメラ間の境界部に沿って人を 歩行接近させた時のトラッキング出力をモニター表示



図―13 多様な見かけ変化への対応



車体から 0.5 ~ 2.0 m の範囲内(後方は 4.0 m まで) 図― 14 認識範囲に隙間が無い事の検査



図-15 視野の端での認識結果

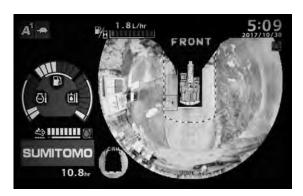


図-16 画像認識結果を合成画像上へ表示した例



図-17 人ではないが人らしいと判定した例

した事例である。広角カメラの画像歪みに対応し、視 野の端付近で像が倒れて見える場合でも、人らしい像 があればモニター表示できている事がわかる。

図―16では、従来機能である本システムの合成画像上にトラッキング出力を表示した事例である。油圧ショベルの後方270度をひと目で周辺確認できるだけでなく、人らしい像があればモニター表示で知らせ、同時に音などでも知らせる事で、周辺確認のきっかけとする事ができる。

図―17では、人ではないものを人らしいと判定した時のトラッキング出力をモニター表示したものである。単眼カメラ画像のみで奥行き情報を利用できない事と、機械学習モデルによる人らしさ評価のみで、人体を構成する腕、脚、体、頭などの有無や形状までは

評価していないためである。

7. おわりに

本システム FVM2 は、従来のシステムが提供する "機械周囲 270°(後方小旋回機は 230°)の広い視界" を進化させ、"カメラ映像中の人らしい形を認識し、機械の近傍に人らしい形があると判断した場合に、モニター表示とお知らせブザーでオペレータに注意を促す"機能を追加したものである。この機能を有効に使っていただくことで、油圧ショベルによる不幸な災害を減らすことができれば幸いである。

自動車の自動運転に代表される様に、今後は周囲状況をセンシングする技術が更に向上し、センサーのコストも下がっていくと思われる。今後も新しい技術を積極的に活用し、油圧ショベルの安全性を向上する開発を進めていきたい。

※ FVM は、住友重機械工業(株)の登録商標です。

J C M A

《参考文献》

1) 住友重機械技報 No.196 2018 論文・報告「フィールドビューモニター 2 の開発」

[筆者紹介]

加藤 英彦 (かとう ひでひこ) 住友建機㈱ 技術本部 技術部 電気制御グループ

清田 芳永 (きよた よしひさ) 住友重機械工業㈱ 技術本部 技術研究所 情報通信技術 G 主任研究員

