

フォークリフト後方作業者検知システムの開発 (SEnS/SEnS+)

Development of Pedestrian Detection System for Forklift Truck

磯貝 嘉宏^{*1}

Yoshihiro Isogai

水城 琢^{*1}

Taku Mizuki

石崎 将崇^{*1}

Masataka Ishizaki

三歩一 卓人^{*1}

Takuto Mihoichi

久保谷 岳央^{*2}

Takehiro Kubotani

赤塚 圭亮^{*2}

Keisuke Akatsuka

*1 トヨタL&Fカンパニー R&Dセンター SC開発部 *2 トヨタL&Fカンパニー R&Dセンター ES開発部

要 旨

フォークリフトのより安心な作業支援のため、周辺の障害物の中から人を見分けて検知する独自技術を開発し、後方作業者検知運転支援システム SEnS(後付け通知システム)/SEnS+(車両連動システム)として製品化した。オペレータに早い段階から人の存在を通知し、安全確認を促すことで、安心かつ作業性に配慮した運転支援システムを実現した。

キーワード：フォークリフト、画像認識技術、ステレオカメラ

Abstract

In order to operate forklifts more safely, we have developed our own technology to detect pedestrians among the surrounding obstacles. This technology is provided products as an operation supporting system "SEnS" (retrofit notification system) / "SEnS+" (advanced supporting system).

This system notifies operators of the presence of pedestrians at an early time and urge them to check the surroundings for safety, thereby realizing safer and more workable operating support.

Keywords: Forklift, Image recognition technology, Stereo camera

1 はじめに

フォークリフトは倉庫や工場での荷役作業を支援する便利な車両であるが、その作業現場では周辺に作業者が混在して作業することが多くあるため、安全教育を行ったり、車両と人を分ける「人車分離」を行ったりすることで、作業者との接触事故を減らす努力がなされている。

しかしながらフォークリフトに起因する労働災害件数は15～19年の5年間で微増傾向にあり(19年は2,145件)、そのうち「挟まれ・巻き込まれ」「激突され」「激突」など、車両と人の接触が原因と考えられる災害が全体の約3/4を占めている(図1)。それゆえフォークリフト作業現場における人との接触災害の低減は、喫緊の課題である。

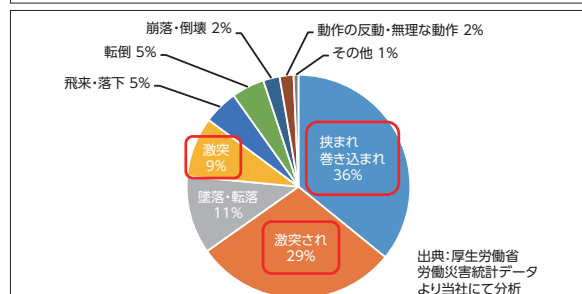
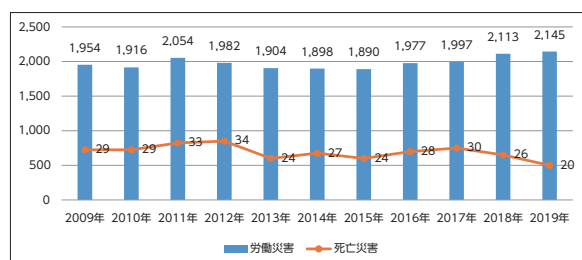


図1 日本国内におけるフォークリフト災害件数と内訳
Fig.1 Number of forklift truck accidents and cases in Japan

従来のフォークリフト作業の安全確保は、オペレータの目視確認に頼っており、荷役作業をしながらの周囲確認、とくに後進時や旋回時の十分な目視確認はオペレータにとって負担の大きい作業であった。

オペレータのより安心な作業支援を実現するために、フォークリフト専用設計の広角ステレオカメラ(写真1)に人検知、障害物検知、通知機能を搭載した後方作業者検知運転支援システムを開発し、

1) SEnS(センス)

既販車に搭載可能な後付け通知システム

2) SEnS+(センスプラス)

機台出荷時にオプション搭載可能で通知に加え発進制限などに対応した車両連動システムを製品化した。



写真1 カメラユニット
Photo1 SEnS Camera unit

2 製品の特長

2.1 SEnS:後付け通知システム

お客様が所有するフォークリフト(既販車)への装着要望に応えるため、後付けでも搭載可能な後方作業者検知運転支援システムを開発した。

その実現のためカメラユニット本体に、人/障害物検知機能、通知機能を搭載し、カメラ本体から通知用のランプ、ブザーを作動できるように構成した。

エンジンおよび電動カOUNTERタイプフォークリフト、リーチタイプフォークリフトの既販車17機種に搭載できるよう設定した。

2.2 SEnS+:車両連動システム

本システムをお客様により安心してご利用いただくため、カメラユニットの検知情報を車両コントローラに取り込み、周辺に作業者がいるときに、発進制限したり、進行方向に作業者がいるときに車速制限したりする車両連動システムを開発した。

2021年9月コンパクト電動フォークリフト「GENEO-Ecore」より先行オプション搭載し、今後19機種に順次オプション搭載する計画である。

3 開発内容

3.1 後方作業者検知運転支援システムの構成

後方エリアの作業者検知に対応する広角ステレオカメラ本体に、フォークリフトのバッテリーと接続される電源回路と通知用ランプ、ブザー駆動回路を内蔵した。

フォークリフトのヘッドガード後方にカメラユニットを配置し、ランプ、ブザーを装着するだけでシステム構築ができるよう設計した(図2)。

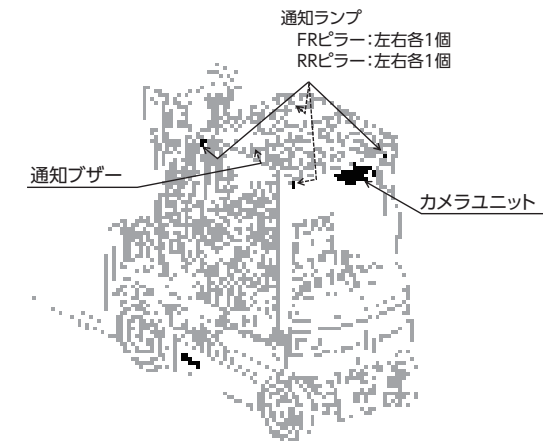


図2 車両構成
Fig.2 Vehicle configuration

カメラユニットは、ステレオマッチング手法により算出した周辺物体の距離情報から障害物を特定し、人検知ソフトウェア(Sparse-FIND)により、その障害物が作業者か否かを識別し、ランプとブザーを駆動して通知する。さらにSEnS+では、車両コントローラが検知結果と車両の動きに基づいて通知指令、および車両制御するシステム構成となっている(図3)。

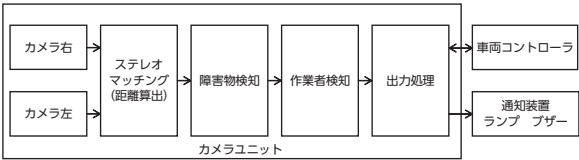


図3 SEnS/SEnS+システム構成
Fig.3 SEnS/SEnS+ System configuration

3.2 人検知技術の開発

1) 障害物検知技術

カメラユニットは、左右2つのカメラ(ステレオカメラ)によるステレオマッチングにより障害物を特定している。

ステレオマッチングでは、人間の目による目測と同様の三角測量の原理に基づき(図4)、左右のカメラ画像に映る対象物の左右位置の差(=視差)を求める(式1)。

算出した視差をもとに、三角測量の原理にしたがい、ステレオカメラの2つのカメラ間隔である基線長Bと、各カメラの焦点距離Fを使って、対象物までの距離Zを求めることができる(式2)。

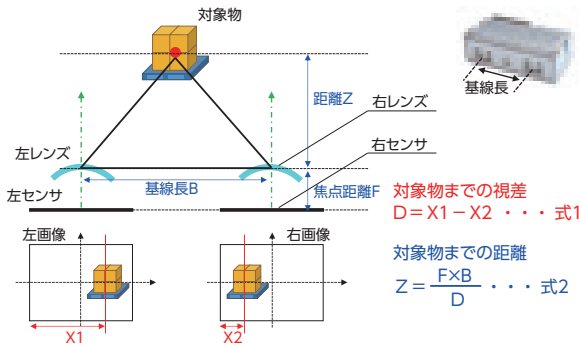


図4 ステレオカメラによる測距原理
Fig.4 Distance measurement principle of a stereo camera

取得した左右画像から画面全体にステレオマッチングを適用すると、図5(b)のような障害物までの距離を示す点群画像が得られる。この点群画像は、空間にある障害物(立体物)の3次元情報を示しており、これにより人を含む障害物の位置、大き

さを認識できる。

本システムでは、カメラユニットで取得される点群画像から障害物のまとまり具合を判別するクラスタリング技術を採用しており、図5(c)に示すように画像中の人を含む障害物を検知している。

人検知ソフトウェアは、画面全体ではなくクラスタリングで検知された障害物にのみ、人判定処理を行っており、これにより画像処理の高速化を図り、作業者検知時間の短縮を実現している。

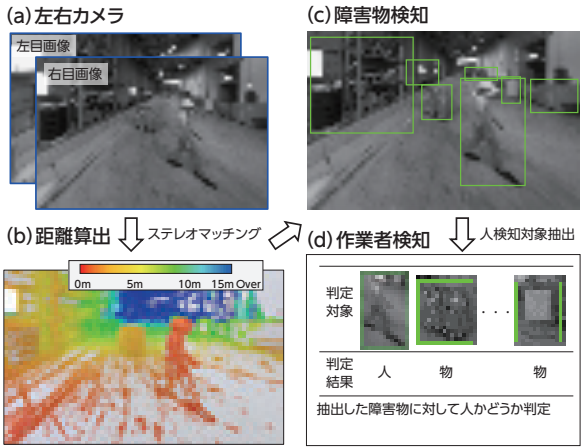


図5 クラスタリング技術概要
Fig.5 Clustering overview diagram

2) 人検知技術の概要

従来の人検知手法としては、画像上の人形状の勾配方向を特徴量とするHOG(Histogram of Oriented Gradients)を用いた機械学習手法が広く利用されている。

その手順は、画像から人形状(エッジ)を検出し、人体のパーツ毎に分割する(図6a)。次にパーツ毎に勾配特徴の出現頻度を積算し(HOG特徴量)、それを入力画像の全パーツに対して行う(図6b)。

人か否かの判定は、パーツ毎のHOG特徴量とSVM(Support Vector Machine)学習器を用いて事前学習させた人のHOG特徴量の一致度により判定する。

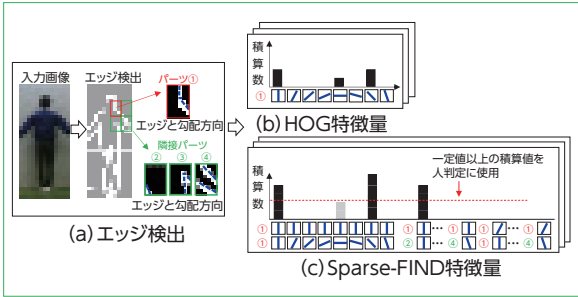


図6 HOG特徴量とSparse-FIND特徴量イメージ図
Fig.6 HOG feature and Sparse-FIND feature overview

フォークリフトの使用環境は、多種多様な物や設備などが配置されており、複雑な背景から人検知を行う必要がある。また、不要な通知によるオペレータの作業性の低下に配慮するため、より高精度な人検知性能が必要である。

そのため本システムでは、「体のパーツ」に着目するHOG特徴量に代えて「体のパーツの組み合わせ」に着目したSparse-FIND特徴量を採用した。

(株)豊田中央研究所が開発したSparse-FIND特徴量は「頭の下には肩がある」といった人体の部位の関係を機械学習することが可能である。具体的には、人体のパーツとそれに隣接するパーツの勾配特徴の組み合わせに対して、その出現頻度を積算(FIND特徴量)し、その処理を入力画像の全パーツに対して行い、それらのFIND特徴量の中で一定数以上の積算値を持つ組み合わせを抽出することで得られる(図6c)。

Sparse-FIND特徴量を採用することにより、従来のHOG特徴量では見分けが困難な人形状に酷似した物の誤検知を低減することができ(図7a)、これにより人検知性能の向上を実現した(図7b)。

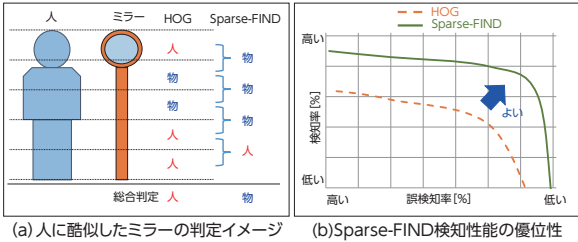


図7 HOG特徴量とSparse-FIND特徴量の検知精度
Fig.7 Detection accuracy of HOG feature and Sparse-FIND feature

3.3 後付け通知システムの開発

後付け通知システムは、フォークリフト後方に3つの通知エリアを設定し、エリア内に通知対象(人または障害物)が存在したときに、カメラユニットがブザーとランプを駆動させて通知するシステム構成とした。

通知条件は、お客様の使用環境に合わせて

- ①通知エリアの大きさの変更
- ②通知エリアの選択
- ③ブザー、ランプの駆動対象の選択
- ④車両後進時のみの通知選択

をカメラ設定ツールによりカスタマイズ設定を可能とした(図8(a))。

例えば、図8(b)のように、走行経路に歩行帯があり、その歩行者に対して通知が発生することを回避したいというお客様のご要望があれば、エリアBとエリアCの幅を狭く設定することで対応できる。

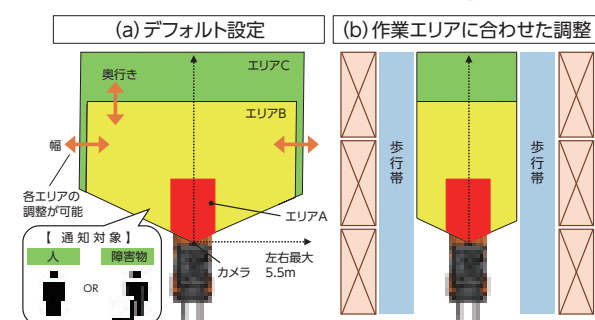


図8 SEnS通知エリア概要図
Fig.8 SEnS Notification area overview

3.4 車両連動システムの開発

車両連動システムは、車速と旋回半径から走行予測軌跡を算出し、通知エリアをその軌跡に応じて自動調整する(図9)。後付け通知システムでは通知のみであったが、車両連動システムでは、車速制限や発進制限によるオペレータの運転支援にも対応した。さらに、お客様の使用環境に合わせて、車速制限機能の通知と車速制限の開始タイミングや、発進制限機能の通知条件など、車載ディスプレイ入力による変更を可能とした。

1) 車速制限機能

図9に車両連動システムにおける通知エリアを示す。走行中に通知エリアに人が存在した場合、エリアに応じて、ランプとブザーで3段階の通知を行う。エリアCに人が存在した場合は、人と車両の距離に応じて制限車速を変化させる。エリアBまたはAに人が存在した場合は、0km/hに向けて車

速制限を行う。

物に対しても同様に予測軌跡から通知エリアを設定し、通知エリアに物が存在した場合、エリアに応じて、通知と車速制限を行う。過剰な通知を防ぐため、物に対する通知エリアは人に対する通知エリアよりも範囲が狭く、制限される車速も高い。

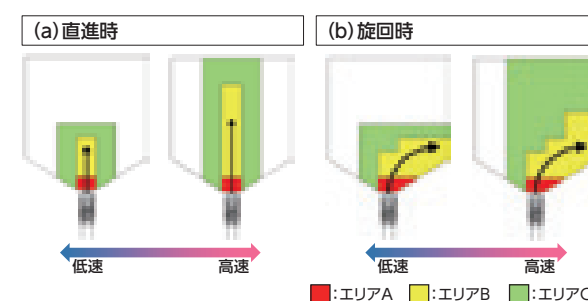


図9 SEnS+通知エリア概要図
Fig.9 SEnS+ Notification area overview

2) 発進制限機能

図10に発進制限機能の概要を示す。

停車中に近接エリアで障害物(人または物)を検知した場合、ランプとブザーで通知を行う。

また、アクセルペダルを踏み込むと、操舵方向に対応するエリアに障害物が存在した場合、通知レベルを上げるとともに、発進の制限を行う。

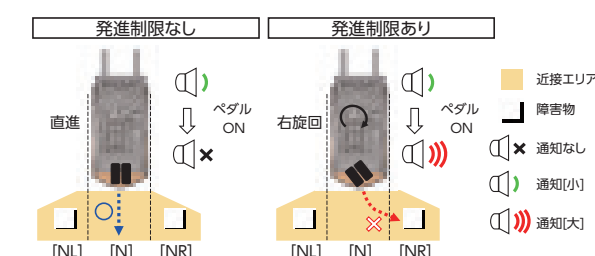


図10 SEnS+発進制限機能概略図
Fig.10 SEnS+ Start prevention function overview

さらに発進制限状態になった際は、検知した障害物の位置をマルチファンクションディスプレイに表示することで、どの位置の障害物により発進制限状態となったのかをオペレータに通知し、その注意喚起や回避動作を支援するように配慮した(図11)。

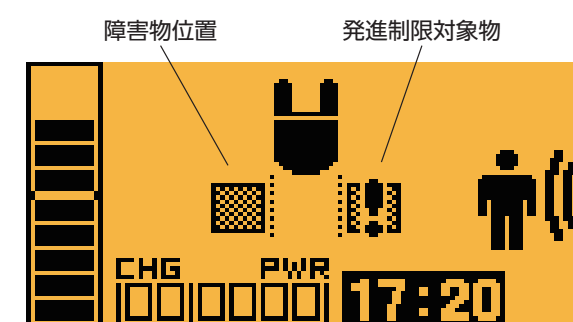


図11 マルチファンクションディスプレイ
Fig.11 Multi-function display

4 まとめ

今回開発した後方作業検知運転支援システムSEnS/SEnS+は、これまでのSAS・OPSなどトヨタフォークリフトを安心してご利用いただく機能に加えて、新たな技術を導入し、次世代のフォークリフト作業支援機能として、安全な物流環境の構築に貢献できる製品に仕上げる事ができた。

また物流現場の状況に合わせて、お客様ごとに通知エリアをカスタマイズできるようにし、作業効率と安心感のバランスを取るように配慮した。

今後は、後方エリア以外の検知や、物流現場に存在する死角への対応など、より高度な支援機能が求められており、さらに改良を重ねて、安心してご利用いただけるフォークリフト業界をリードする製品開発につなげていく。

開発の経緯と開発者の思い

お客様よりフォークリフト安全運用に関する困りごとをお聞きして本開発に着手しました。

フォークリフトの作業環境は周囲に多様な障害物が存在しており「その中から作業者を優先して検知したい」という強いニーズに応えるために、社内外の関係者と議論、検討を重ねることで、お互いに知恵を出し合い、困難と思われる様々な課題を解決していきました。

今後もお客様に安心してお使いいただけるフォークリフトをご提供するために、作業支援製品の企画・開発に取り組んでいきます。

最後に今回の開発にあたり、多大な協力をいただきましたリコーインダストリアルソリューションズ(株)、(株)豊田中央研究所をはじめとする社内外の関係者各位に、深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 豊田自動織機技報No.69 特集 国際物流展 2018
- [2] 物体識別のための低計算コスト画像特徴 Sparse FINDの提案, 精密工学会誌 Vol.79, No.11, 2013

著者紹介

