

製品紹介

KomVision人検知衝突軽減システム PC200-11

KomVision Human Detection and Collision Mitigation System PC200-11

中 沢 浩 一
Koichi Nakazawa
江 口 太 郎
Taro Eguchi
町 田 正 臣
Masaomi Machida

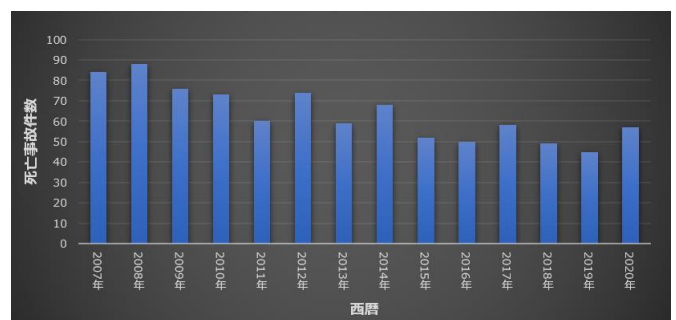
工事の進捗とともに日々様相が変化する建設現場では、さまざまな職種の人や建設機械が混在しながら独自に作業することも多く、人と建設機械との事故発生の危険が存在している。建設現場における油圧ショベル・建設機械による死亡事故は、減少傾向にあるものの依然として高い状況が続いている。コマツはその課題に対して、建設現場の安全性の向上のために、PC120～PC1250-11にKomVision（機械周囲カメラシステム）の標準搭載を進めてきた。この機能は市場から高い評価を得たが、更なる機能向上として、安全確認不足をサポートし機械と人との衝突事故を軽減させるシステムの早期導入を目指し、KomVision人検知衝突軽減システムの開発を行った。本稿では、既出荷車も含めて、車両周辺の人を認識し、検出結果をブザーなどでオペレータに注意を促すとともに機体停止させる機能を付加したKomVision人検知衝突軽減システムについて紹介する。

Situations at construction sites undergo changes day by day, as the construction work progresses. People of various professions are engaged in their own work, often occupying the same space with construction machinery at such sites, which presents the ever present risk of an accident occurring. In Japan the number of fatal accidents that involve hydraulic excavators and construction machinery at construction sites is on a decreasing trend, however, the situation is such that the number of incidents continues to remain high. In order to respond to this issue by improving safety at construction sites, Komatsu proceeded with the standardized installation of KomVision (all-round machine monitoring camera system) installed on PC120 to PC1250-11 models. This feature was highly evaluated by the market, but we aimed for an early development of a system that mitigates collisions of machines and humans, by supplementing for the lack of safety awareness of operators also we developed the KomVision human detection and collision mitigation system. This paper introduces the KomVision human detection and collision mitigation system, which detects human presence in the vicinity of the vehicle and alerts the operator of detection findings by sounding a buzzer and through other means, while initiating the function for stopping the machine, which can also be retrofitted onto already shipped vehicles.

Key Words: 油圧ショベル, KomVision, 人検知, 衝突軽減, 停止制御, 人検知衝突軽減システム

1. はじめに

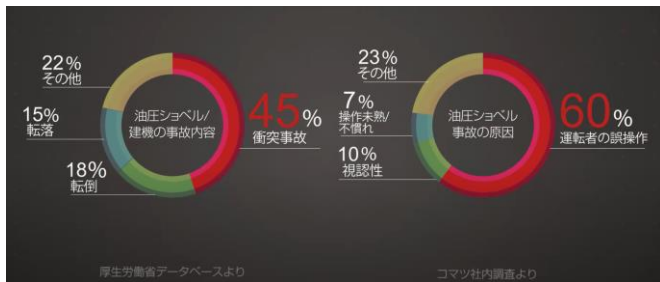
工事の進捗とともに日々様相が変化する建設現場では、さまざまな職種の人や建設機械が混在しながら作業することも多く、人と建設機械との事故発生の危険が存在している。実際、油圧ショベル・建設機械による死亡事故は、減少傾向にあるものの依然として高い状況が続いている（図1）。



<参照>厚生労働省 職場の安全サイト 死亡事故DB

図1 建設機械等の事故件数

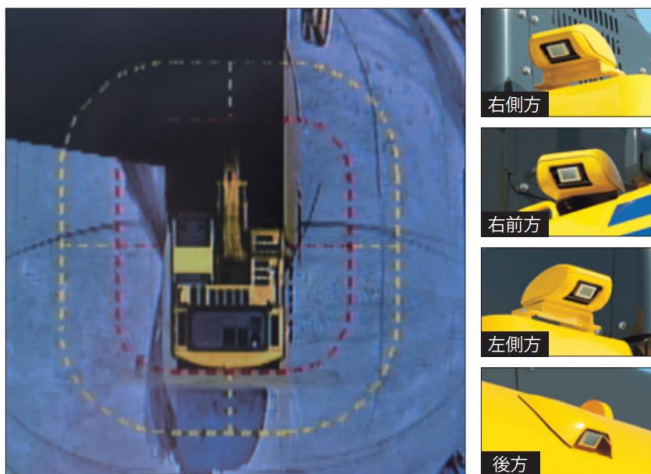
また、油圧ショベル、建機の事故による多くは衝突によるもので、中でも一番多いのが運転者の誤操作によるものとなっている（図2）。



＜参照＞厚生労働省データベース、コマツ社内調査
図2 油圧ショベル・建機の事故内容と事故の原因

このような状況下においても建設産業はインフラの整備や維持管理を担っていかねばならず、かつ、現場では生産性の向上、安全性の向上が求められている。

コマツはこれまでに建設現場の安全性の向上のために、PC120～PC1250-11にKomVision（機械周囲カメラシステム）（以下、従来のKomVision）の標準搭載を進めてきた。機械側面と後方に設置した3または4台のカメラを用いて、機械周囲を運転席内のモニタに俯瞰画像として表示させることにより、視認による車両周囲の安全確認を補助している（図3）。



＜参照＞コマツカスタマーサポート カタログより
図3 KomVision（機械周囲カメラシステム）

2. 人検知衝突軽減システムの紹介

KomVision（機械周囲カメラシステム）は、俯瞰映像により死角の確認が容易になったなどの高い評価を得たが、更なる機能向上として、安全確認不足をサポートし、機械と人との衝突事故を軽減させるシステムの早期開発を目指した。既出荷車も含めて、車両周辺の人を認識、検出するとモニタやブザーでオペレータに注意を促すとともに機体を停止させる、油圧ショベル向けKomVision人検知衝突軽減システムを開発した（図4）。



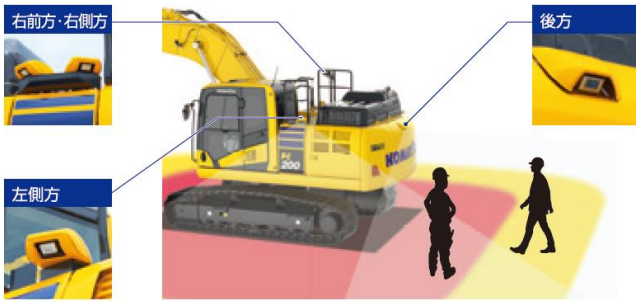
図4 KomVision人検知衝突軽減システム搭載のPC200-11外観（デカールが追加される）

本開発はコストアップを抑えつつ迅速な市場導入を達成するため、以下の方針で開発を実施した。

- ・ 従来のKomVisionのソフトウェア変更のみで対応
 - ・ 開発期間を要する測距センサ等の追加は行わない
- この副次的効果として、従来のKomVisionを搭載した既出荷車両へも、ソフトウェアの書き換えのみで人検知衝突軽減システムのレトロフィットが可能となった。

2.1 KomVision 人検知衝突軽減システムの構成（PC200-11）

KomVision人検知衝突軽減システムは従来のKomVisionと同じ単眼カメラ、ECU（Electronic Control Unit）で構成されている。車両の側面と後方に装着される4台の単眼カメラの設置位置などの変更はない（図5）。KomVision人検知衝突軽減システムは、それぞれの単眼カメラから入力された映像をもとに、従来のKomVisionの機能である俯瞰画像を表示しつつ、人検出処理を実行している。車両周辺の人を検出した際には、俯瞰画像上の人の位置にマーカ（黄色い丸または赤い丸）をモニタ表示するとともに、警告ブザーでオペレータに知らせて注意を促す（図6）。

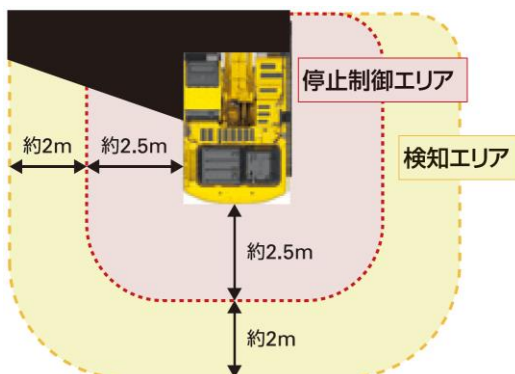


＜参照＞KomVision人検知衝突軽減システム安全小冊子より
図5 人検知衝突軽減システムの構成



＜参照＞KomVision人検知衝突軽減システム安全小冊子より
図6 人検知衝突軽減システムのモニタ表示

目安線は、従来のKomVisionでは視認のための距離感を補助する表示であったのに対し、KomVision人検知衝突軽減システムでは人の検知する範囲を2段階で表示している（図7）。目安線（黄）の内側で人を検知した際はブザー（ピー、ピー、ピー（0.4秒ON／0.4秒OFF））を鳴動させ、目安線（赤）の内側で人を検知した際はより危険であることを感じさせる異なるブザー（ピッ、ピッ、ピッ（0.08秒ON／0.16秒OFF））を鳴動させる。なお、目安線（赤）の内側で人を検知した際は、人がいなくなったあとも約3秒間ブザーが継続する。



＜参照＞KomVision人検知衝突軽減システム安全小冊子より
図7 PC200-11の人検知エリア（目安線）

また、俯瞰画像表示領域の左上に「人検知状態表示アイコン」と「ブザーと機体停止制御作動状態表示アイコン」を追加した。それぞれのアイコンが示す状態は以下となる（表1、表2）

表1 人検知状態表示アイコン

アイコン	状態の説明
	非検知状態
	目安線（赤）と（黄）の間で人を検知中
	目安線（赤）の内側で人を検知中
	システム故障中

＜参照＞KomVision人検知衝突軽減システム安全小冊子より

表2 ブザーと機体停止制御作動状態表示アイコン

アイコン	状態の説明
	通常状態 人検知のブザーと機体停止制御が有効
	ロックレバーロック中 人検知のブザーは停止
	旋回中停止制御キャンセル中 旋回操作での停止制御は行われぬ

＜参照＞KomVision人検知衝突軽減システム安全小冊子より

2.2 人検出の原理

KomVision人検知衝突軽減システムはモデル学習（人物モデルの作成）をベースにして人を検出している。

KomVision人検知衝突軽減システムには、あらかじめ収集した人が映っている画像から、被写体の形状の特徴を抽出して、人に共通して存在する特徴量を人物モデルとして保存している。事前に乗用車向けのカメラの取り付け位置と油圧ショベル（KomVision）のカメラの映り方を比較したが、取り付け高さ、角度が異なっているため、人の映り方に大きな違いが生じていた（図8）。そこで、油圧ショベル向けにゼロから人が映っている画像を収集し、人物モデルを作成した。また、現場の作業者は必ずヘルメット、作業服や安全ベストを着用しているという特徴も考慮し、さまざまな組み合わせの画像を収集し、人物モデルを作成した。

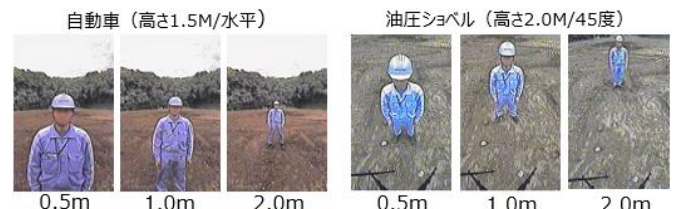


図8 カメラ取り付け高さ／角度による映り方の違い

KomVision人検知衝突軽減システムが人検出処理を実行する際、人物モデルを作成したときと同じ特徴量抽出を各カメラ画像から算出する。人が映っているカメラ画像では人物モデルに共通する特徴量が多く抽出され、人の映っていないカメラ画像からは共通しない特徴量が抽出される。KomVision人検知衝突軽減システムでは、あらかじめ作成した人物モデルとカメラ画像から算出した特徴量の共通度を数値化し、共通度が高い結果を「人がいる」と判断している（図9）。

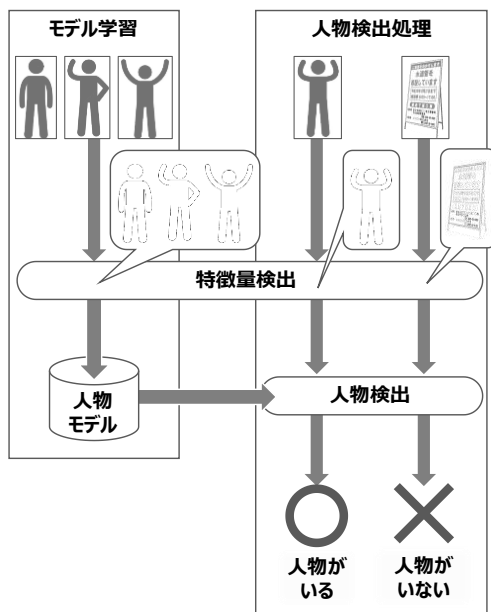
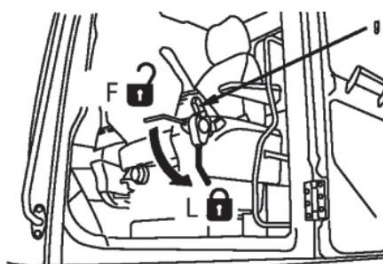


図9 人検出の概要

2.3 ブザー鳴動条件および復帰方法

ロックレバー（g）の操作部を操作してフリーの位置（F）にして作業を開始するとブザー機能が有効となる。一方、ブザーを一時停止させる際は、ロックレバーをロックの位置（L）にすることでブザーが停止する（図10）。なお、ブザー停止中も人を検知したときのマーカは表示され続ける。



＜参照＞KomVision人検知衝突軽減システム早見シートより
図10 ロックレバー操作

2.4 機体停止制御条件および復帰方法

機体停止制御を有効にする方法、一時停止させる方法はブザーと同様である。有効にした状態において、目安線（赤）の内側で人を検知中に、旋回または走行を開始すると停止制御が働く。また、走行中に目安線（赤）の内側で人を検知した場合にも停止制御が働く（図11）。なお、旋回操作中は、停止制御は働かない。

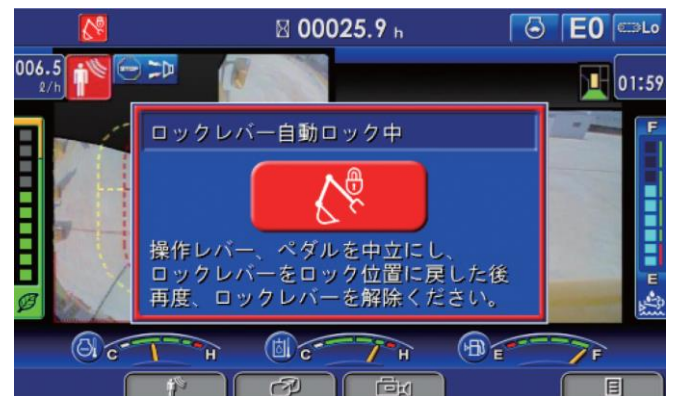


！！ブザーで注意を促すとともに、走行・旋回
レバーの操作で機体を停止します。
！！人を検知するとブザーが
鳴動します。

＜参照＞KomVision人検知衝突軽減システム安全小冊子より

図11 検知エリアごとのシステムの振る舞い

KomVision人検知衝突軽減システムの停止制御は、オペレータに代わりロックレバーをロック状態とし、緊急停止させている。そのため、停止制御が働いた際、モニタ上に「ロックレバー自動ロック中」のポップアップが表示される（図12）。

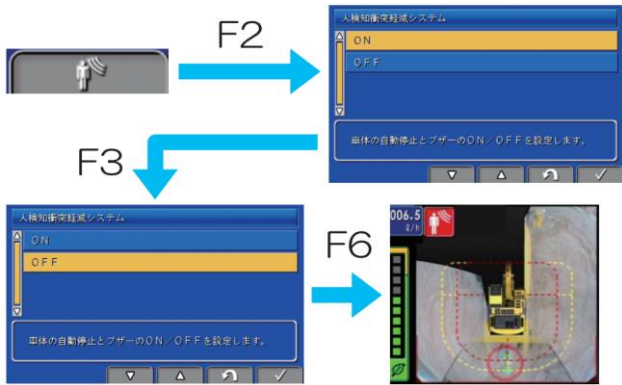


＜参照＞KomVision人検知衝突軽減システム早見シートより
図12 停止制御が働いた際のモニタ画面

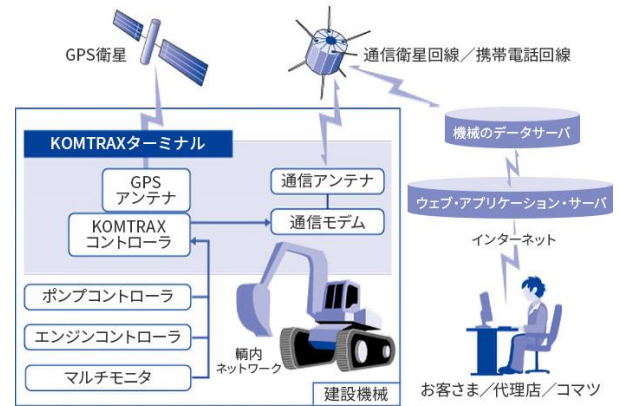
2.5 システムのON/OFF切り換え

人検知衝突軽減システムは、キーオン時に常にONで起動するが、システムをOFFにすることも可能である。トレーラへの積み込み、積み下ろし時など、機体停止制御による急停止により機体が不安定になる可能性のある場合にはシステムをOFFにする必要がある。

システムのON/OFFの切り換えは、ロックレバーをロックの位置にした状態で、モニタコンソールのF2ボタンを押下する。ON/OFFの切り換え画面が表示され、OFFを選択すると、ブザーと機体停止制御作動状態表示アイコンがともに非表示となる（図13）。



＜参照＞KomVision人検知衝突軽減システム早見シートより
図13 システムのON/OFF切り換え方法



＜参照＞コマツカスタマーサポート ホームページより
図15 KOMTRAXの仕組み（ソフト更新）

2.6 使用時の注意事項

KomVision人検知衝突軽減システムは、カメラ画像から人を検知するシステムのため、天候や周囲の状況により人を検知できない場合や、人ではないものを人として誤検知してしまう場合がある。そのため、システムに頼った運転を禁止していることなど、お客さまにシステムの特徴を十分に理解いただいたうえで使用いただく必要がある。そこで、取扱説明書を熟読いただいたうえでより理解を深めていただくために、安全小冊子と運転席に備え付けを想定した早見シートを用意している（図14）。



図14 早見シート（上）と安全小冊子（下）

従来、ECUの品質向上のために使用されているリモート書き込みのシステムを、機能付加のために活用することとした。機能付加のため書き換えは有償となり、固有のナンバーを記載したカード（プロダクトキーカード）を購入いただき、固有のナンバーを照合することで購入者のみ書き込みを実施する仕組みを構築した。

既に従来のKomVision搭載車を購入されたお客さまへも最新機種と同様の安全レベルを提供することが可能となった。（2022年1月現在、PC20t系、PC10t系機種のみ対応）

3.2 機種展開

冒頭で記載のPC200-11を先頭とし、引き続いてその他のPC20t系、PC10t系、HB20t系に人検知衝突軽減システムを展開実施済みである。更に、今後他機種へも人検知衝突軽減システムを計画している。



＜参照＞コマツカスタマーサポート カタログより
図16 PC138US-11へ人検知衝突軽減システム適用

3. 機種展開

3.1 既出荷車へのレトロフィット

KomVision人検知衝突軽減システムは従来のKomVisionと同じ単眼カメラ、ECUで構成されている。そのため、既出荷車でもソフトウェアを書き換えることで人検知機能を付加することができる。2020年11月よりECU書き換えのためのリモート書き換え商品の展開を開始した。

3.3 機種展開での課題

3.3.1 カメラの高さの違いによる課題

機種展開に当たり、機種間でカメラの取り付け高さの違いがある。「2.2 人検出の原理」に記載のとおり、カメラの高さの違いによって人の見え方が変わるため、検知率の低下が懸念されていた。各機種で人検出性能の確認を実施し、検知性能低下が最小限であることを確認した。

3.3.2 カメラ搭載個数による課題

10t系の機種は、20t系以上の機種と違い、3台のカメラにてKomVision画像（俯瞰画像）を生成している（20t系以上機種は4台のカメラを搭載）。3台のカメラで車体周囲の視野を確保しているため、カメラとカメラの間の視野で、人が頭まで映らないという懸念があった。（カメラの向きが大きく異なるので、視野の谷間ができる）各機種での実機確認の結果、検知可能範囲は許容可能範囲内であることが分かった。

4. 将来的な展望

KomVision人検知衝突軽減システムは、コストアップを抑えつつ迅速な市場導入を達成するため、従来のKomVisionのシステムをベースに開発をスタートした。今後、更なる人の検知性能の向上や、人と建設機械の事故だけでなく現場にあるモノと建設機械の衝突事故を防ぐためには、測距センサ等を追加し、センサ信号と画像処理の融合（センサフュージョン）がポイントとなってくる。一方、高性能な測距センサはまだ高価格であり、乗用車よりカバーする範囲の広い建設機械には容易に採用することが難しい状況である。今後も、世の中のセンサの動向を注視しつつ、人検知の性能の完成度を高められるシステム検討を進めていきたい。最終的には、どのような状況下においても車両周辺の人やモノを認識し、衝突する前に停止する安全、安心なシステムをお客さまに提供できることを目標に、建設機械での事故による死傷者ゼロを目指したい。

5. おわりに

PC200-11に標準搭載を開始したKomVision人検知衝突軽減システムの機能、および機種展開について紹介してきた。キーコンポーネントのほとんどを自社開発で行うことで、人検知機能だけでなく、ブザー鳴動、停止制御までを短期間の開発で導入できたと考える。

今後も、コマツが目指す建設機械での事故による死傷者ゼロに向けて、更に性能を向上させたシステムの開発を進めていく。

筆者紹介



Koichi Nakazawa

なかざわ こういち
中沢 浩一 2010年、コマツ入社。
開発本部 ICTシステム開発センタ所属



Taro Eguchi

えぐち たろう
江口 太郎 2015年、コマツ入社。
開発本部 ICTシステム開発センタ所属



Masaomi Machida

まちだ まさおみ
町田 正臣 2009年、コマツ入社。
開発本部 ICTシステム開発センタ所属

【筆者からひと言】

本システムは早急な市場導入を目標に、立て続けのがむしらな開発であったが、関係者の総力を結集することにより、なんとか市場導入を行うことができた。評価部門、営業部門をはじめ、本開発に携わり多大な協力をいただいた方々に厚く御礼を申し上げたい。