

映像合成による 油圧ショベルの周囲確認支援システム

清田 芳永・因藤 雅人・加藤 英彦

油圧ショベルの周囲確認支援システムを開発したので、その概要を報告する。本システムは車体周囲を撮影する複数のカメラからの映像をリアルタイムに合成し、キャビン内のモニター上で映像を切り替える事なく周囲確認を可能とするものである。従来からのミラーやバックモニターシステムによる周囲確認の負担軽減、危険因子の見落とし防止を目標に開発を開始した。本報では、本システムを20トンクラスの油圧ショベルに適用した事例をもとに、そのシステム構成、技術、効果を紹介する。

キーワード：油圧ショベル、周囲確認、映像合成、カメラ、モニター

1. はじめに

油圧ショベルはその構造と大きさゆえに、特に車体後方と右側方にオペレータから直接目視できない死角が多く、周囲作業や障害物が混在する現場においては視界性確保が安全運用上の重要な課題である。

視界性確保のため、ミラーやバックカメラシステムが一般的に用いられている。しかしながら、キャビン外の車体各所にある複数のミラーを直接目視する事はオペレータにとって負担であるし、小型のミラーで広範囲をカバーするため像が小さく、危険因子を見落とす恐れもある。一方キャビン内のモニターに死角の映像を映し出すバックカメラシステムは、オペレータの負担軽減や危険因子の見落とし防止には有効であるが、映し出された映像と車体の位置関係を直感的に把握しづらく、また今後より広範囲をカバーするために複数のカメラを搭載する場合には、映像の切り替え操作が新たな負担となりうる。

そこで本システムは、油圧ショベルの周囲確認支援システムとして、車体の周囲状況を、映像を切り替えることなく、かつ車体と周囲作業、あるいは車体と周囲障害物との位置関係を把握しやすい映像で、キャビン内のモニターに映し出す事を目標とした。

開発に際しては20トンクラスの油圧ショベルを主ターゲットとし、試作、評価を行った。以後本報は、特記なき限り20トンクラスの油圧ショベルへの適用事例を基に記述する。ただしその前後のクラスや応用機といったバリエーションまで幅広く、かつ容易に適用可能とすること、および既存の油圧ショベルへの後

付け適用を可能とすることも考慮した。

2. システム構成

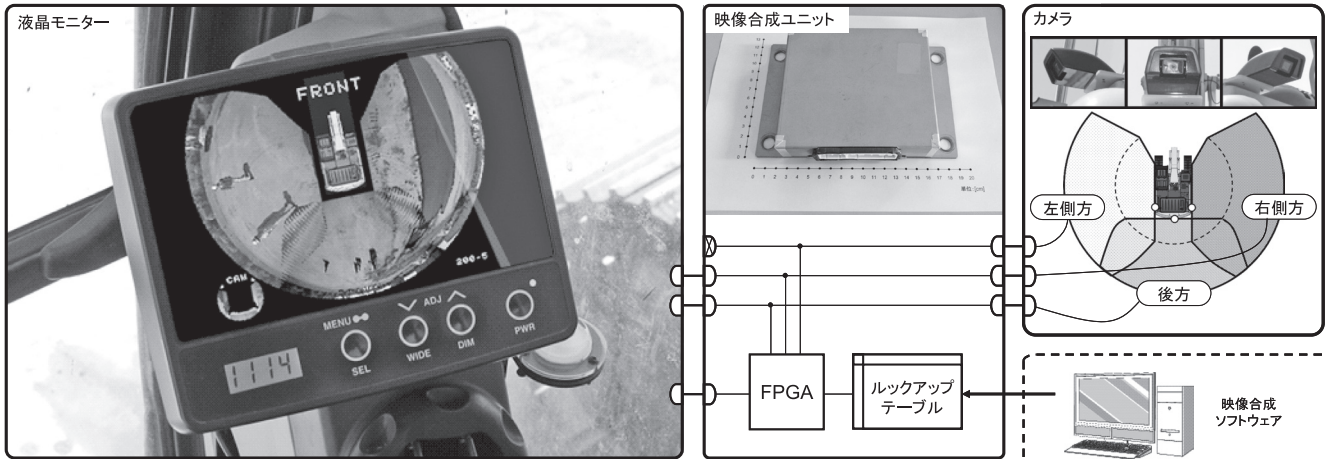
本システムの子載ハードウェアは、車体の後方、右側方、左側方を撮影する3台のカメラと、各カメラからの映像を入力し合成映像を出力する映像合成ユニットと、キャビン内前方右手に設置した液晶モニターとからなる。またこれらとは別に、PC上で映像合成パターンを生成するための映像合成ソフトウェアがある(図-1)。これらの概略仕様を表-1に示す。

表-1 本システムの概略仕様

カメラ	有効画素数	H512 × V492 (約 25 万画素)
	走査方式	インターレース
	信号形式	NTSC ビデオ信号
モニター	画面サイズ	7 インチワイド
	解像度	H480 × V234
	信号形式	NTSC ビデオ信号
映像合成ユニット	信号入力数	3 系統
	出力解像度	H320 × V240 (QVGA)
	信号形式	NTSC ビデオ信号
	信号入力数	3 系統 (カメラ映像)
	信号出力数	4 系統 (カメラ映像スルー × 3, 合成映像 × 1)
外形寸法	W140 mm × D125 mm × H35 mm (フランジ部含まず)	

(1) カメラ

各カメラは非同期の NTSC カラーカメラである。撮影方向によって明るさが異なる環境に対応するため、個別のオートゲインコントロールを備える。また



図ー1 本システムの構成

薄暮や夜間の視界性確保に配慮し、高感度のCCDセンサーを採用した。

(2) 映像合成ユニット

映像合成ユニットは、3系統のカメラ映像入力と、3系統のカメラ映像スルー出力と、1系統の合成映像出力を備える。映像合成ユニット障害時の視界性確保に配慮し、映像合成ユニットの電源断時にもカメラ映像スルー出力の途絶なき様設計した。

リアルタイムでの合成映像出力を実現するため、映像合成処理はルックアップテーブルに基づく画素並べ替え方式とし、FPGAを用いたパイプライン処理で実装した。油圧ショベルのバリエーションに対応するため、ルックアップテーブルは96種類まで登録、切り替えを可能とした。

その他、誤動作防止のため、合成映像出力のフリーズ、部品故障やソフトウェア障害、記憶データの損傷や意図せぬ改変を検知し、警告あるいは修復する機能を備える。

(3) 液晶モニター

液晶モニターは3系統の映像入力、切り替え表示機能を備える。映像合成ユニット障害時の視界性確保に配慮し、1系統に合成映像を、残りの2系統にはオペレータから直接目視できない後方と右側方カメラのスルー映像を割り当てた。

(4) 映像合成ソフトウェア

映像合成ソフトウェアは、対象とする油圧ショベルの車体寸法、カメラ位置と姿勢、カメラ光学系仕様、車体イラストデータ等を入力し、前記ルックアップテーブルを出力する。

新規車体バリエーションの追加作業時に、個別の合

成映像調整作業を不要とするため、車体の設計データとカメラのカタログ仕様のみからの映像合成を可能とした。

その他、ルックアップテーブル誤選択防止のための機種コード文字列埋め込み機能、カメラ姿勢ずれ可視化のための車体エッジ観察ウィンドウ埋め込み機能、合成映像利用時に液晶モニターの鏡像表示機能無効化を喚起する文字列重畳機能を備える。

3. 課題と解決

油圧ショベルの周囲確認支援システムを開発するにあたって目標とした機能のうち、合成映像の視認性に与える影響が大きい項目を以下に列挙する。

- ①車体のごく近傍まで映し出すこと
- ②障害物像を漏れなく映し出すこと
- ③車体と障害物との位置関係を正しく映し出すこと
- ④大型障害物の像を映し出すこと
- ⑤周囲作業者の像高を十分に大きく映し出すこと

これらは主にカメラ設置方法と、映像合成ソフトウェアでの映像合成方法の課題である。

(1) カメラ設置方法

車体にカメラを設置するにあたっては、カメラ本体が車体から突出しない事、作業中の振動や衝撃で姿勢が変化しにくい事、油圧ショベルの機能性や外観を著しく損なわない事が条件である。また、カメラ映像上での障害物像の見え方を均等にするため、可能な限り左右対称の配置とし、撮影方向の偏り無く設置する事が望ましい。

(a) カメラ位置

後方カメラはカウンターウェイト上面中央、左右側方カメラはハウス上面の左右後端に設置した。

(b) カメラ姿勢

カメラの姿勢は仰角（上下首ふり）、方位角（左右首ふり）、回転角（光軸まわり回転）で記述する。

仰角は、カメラ直下の路面から、カメラ高さ程度の大形障害物までをともに視野範囲内とするため、全てのカメラで鉛直下方より55度とした。ただし、実際には視野下端に車体の一部が映りこむため、路面上で車体近傍30～40cm程度までは視野範囲外となる。

方位角は、撮影方向の対称性を重視し、全てのカメラを車体端面と直交させ90度間隔での設置とした。ただし、大型の車体で左右前方に死角が生じる場合のみ、側方カメラをやや前方に向けて設置した。

回転角は、全てのカメラで常に0度とした。

(2) 映像合成方法

映像合成処理は、大きく分けて2つの処理からなる。1つは合成映像上の画素位置とカメラ映像上の画素位置を対応付ける座標対応付け処理であり、1つは複数のカメラで重複して撮影可能な範囲で、どのカメラ映像を採用するかを決定する映像境界処理である。

(a) 座標対応付け処理

座標対応付け処理は、油圧ショベルの周囲に配置した円筒型の仮想空間モデルを媒介した2ステップの計算からなる（図-2）。1つは合成映像上の画素位置と仮想空間モデル座標とを対応付ける計算（STEP：1とする）であり、1つは仮想空間モデル座標とカメラ映像上の画素位置とを対応付ける計算（STEP：2とする）である。

STEP：1の計算では、モニター画素単位の2次元平面である合成映像上の点と、実世界単位の3次元空間である仮想空間モデル上の点とを対応づける。まずは予め定めた画素スケールで、画素単位の合成映像平面を実世界単位の平面（表示対象平面と呼ぶ）に変換し、油圧ショベルの接地面と重ね合わせる。次に、仮想空間モデルの円筒軸と所定の角度（投影角度と呼ぶ）をなし、円筒軸上の全点から半径方向全方位に伸びる線分（投影ラインと呼ぶ）群を定義する。そして表示対象平面上のある点を通る投影ラインが、仮想空間モデルと交わる点を計算する事で、STEP：1の計算が完了する。

STEP：2の計算では、実世界単位の3次元空間である仮想空間モデル上の点と、CCD画素単位の2次元平面であるカメラ映像上の点とを対応付ける。まず

はレイトレーシングにより、仮想空間モデル上の各点について、各カメラのCCD面上での結像位置を計算する。次に、CCD画素あたりの大きさから、前記結像位置がカメラ映像上のどの画素に相当するかを計算する事で、STEP：2の計算が完了する。

仮想空間モデルの大きさは、合成映像上での障害物像までの距離感や、障害物像の変形具合に影響する。また投影角度は、遠方の障害物の像高に影響する。本システムでは、実機での評価を重ね、円筒モデル半径を5m、投影角度を60度に設定した。

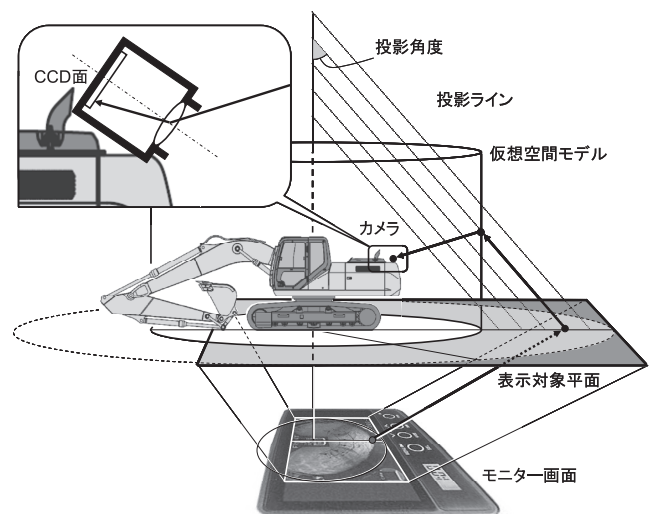


図-2 合成映像とカメラ映像の座標対応付け処理

(b) 映像境界処理

本システムのカメラ配置では、合成映像上のある画素に対し、最大2つのカメラ映像上の画素が対応付けられる場合がある。映像境界処理は、このうちどちらの対応付けを採用するかを選択する処理である。

最も簡易な方法は、前記レイトレーシングの計算過程で、カメラへの光線入射角が小さい対応付けを選択する方法であるが、映像境界部で障害物像が消失する問題を生じる。障害物を漏れなく映し出すためには、複数のカメラで重複して撮影可能な範囲で映像をうまく混合する必要がある。

本システムでは、障害物像の視認性を可能な限り保持しながら映像を混合する方法として、波の干渉パターンに基づいて対応付けを自動選択する方法を考案し、実装した。予め規定した幾何パターンに基づく方法と比較して複数機種への対応が容易であり、また自然現象に基づいたパターンで映像を混合することにより、合成映像上での映像境界処理部の違和感を低減することができる。

4. 実機評価

本システムをショベル実機に適用し、前述の目標機能について評価した。加えて、夜間視認性と、車体傾斜の影響も評価した。

(1) 車体近傍の障害物視認性

車体近傍の視界性、障害物像の視認性、車体と障害物との位置関係を評価するため、車体側面に沿って人を配し、合成映像上での見え方を確認した(写真-1)。

車体のごく近傍まで、死角なく障害物像を映し出せている事がわかる。映像境界処理部において、実際の立ち位置と合成映像上での頭部の表示位置が逆転するが、障害物の存在を確認し、およその位置を把握する目的において要求を十分に満足する。

(2) 大型障害物の視認性

大型障害物の視認性を評価するため、12トンクラスの油圧ショベルに車体を接近させ、合成映像上での見え方を確認した(写真-2)。

合成映像の表示範囲が、カメラ高さでの水平面より上までカバーしている事で、大型障害物像の全体像を映し出せている事がわかる。

(3) 障害物像の像高

合成映像上での周辺作業者の像高を評価するため、車体後端から後方12mの位置に人を配し、その像高を確認した(写真-3)。

モニター画面上での像高はモニターサイズに依存するが、本システムにおいては約5mmである。遠方の障害物の像高は、大型障害物の視認性とのトレードオフであり、前記投影角度を変更する事で容易に調整可能である。

(4) 夜間視認性

夜間の視認性を評価するため、車体の近傍に人や障害物を配し、薄暮での合成映像を確認した(写真-4)。

高感度のCCDセンサーが有効に作用し、障害物や歩行者の像を映し出せている事がわかる。ノイズが多く色彩情報も失われているが、障害物の存在を確認し、およその位置を把握する目的において要求を十分に満足する。

(5) 車体傾斜の影響

車体の傾斜が合成映像に及ぼす影響を評価するため、油圧ショベルのフロント部をジャッキアップし、

合成映像の見え方を確認した(写真-5)。

車体の傾斜によりカメラと路面の位置関係が変化し、路面パタンの連続性が失われている。しかしながら、本システムはカメラ映像を完全に繋ぎ合わせるものではなく、映像境界処理によりカメラ映像を混合表示するものである。従って、カメラで撮影可能な障害物は合成映像上に映し出す事が可能であり、障害物の存在を確認し、およその位置を把握する目的において要求を十分に満足する。

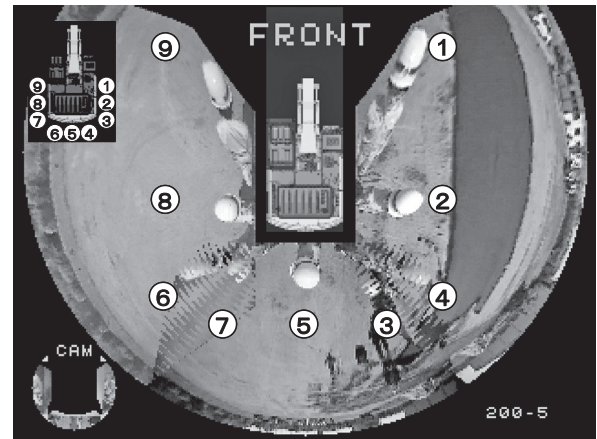


写真-1 車体近傍の障害物視認性

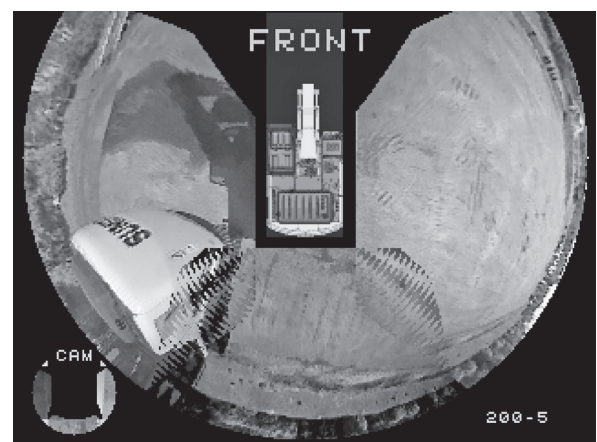


写真-2 大型障害物の視認性

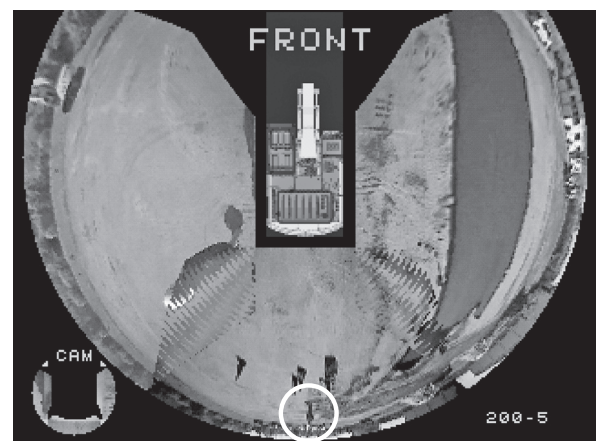
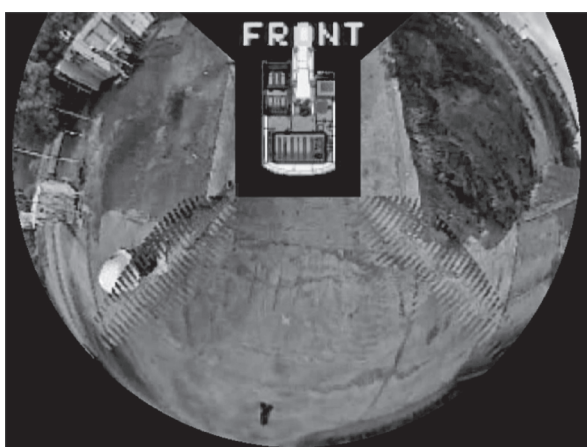


写真-3 障害物像の像高



(2011年3月29日18時ごろ)
写真—4 夜間視認性



写真—5 車体傾斜の影響

5. おわりに

本報で紹介した油圧ショベルの周囲監視支援システムは既に商品化開発を完了し、実作業環境での運用、評価段階にある。今後も機能改善、新機能開発を継続し、安全安心な作業現場の実現を目指したい。

JICMA

[筆者紹介]

清田 芳永 (きよた よしひさ)
住友重機械工業(株)
技術本部 技術研究所 ソリューション技術グループ



因藤 雅人 (いんどう まさひと)
住友重機械工業(株)
技術本部 技術研究所 ソリューション技術グループ



加藤 英彦 (かとう ひでひこ)
住友建機(株)
技術本部 技術部 研究開発グループ

