(41) 深層学習を用いた建設機械の作業状態の判定に関する一考察

井上 晴可[1]・梅原 喜政[2]・今井 龍一[3]・神谷 大介[4]・田中 成典[5]・中畑 光貴[6]

[1]正会員　大阪経済大学准教授　情報社会学部（〒533-8533 大阪府大阪市東淀川区大隅 2-2-8）
E-mail: h.inoue@osaka-ue.ac.jp
[2]正会員　摂南大学講師　経営学部（〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町17-8）
E-mail: yoshimasa.umehara@setsunan.ac.jp
[3]正会員　法政大学教授　デザイン工学部（〒162-0843 東京都新宿区市谷田町2-33）
E-mail: ryuichi.imai.73@hosei.ac.jp
[4]正会員　琉球大学准教授　工学部（〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原1）
E-mail: d-kamiya@tec.u-ryukyu.ac.jp
[5]正会員　関西大学教授　総合情報学部（〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2-1-1）
E-mail: tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp
[6]学生会員　関西大学大学院　総合情報学研究科（〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2-1-1）
E-mail: k964962@kansai-u.ac.jp

近年，建設業は事故数が多い傾向にあり，その中でも建設機械と作業員との接触事故が多発している．そのため，ICT を活用した安全管理技術の導入が検討されている．既存研究では，動画像やセンサデータを用いて作業員や建設機械の位置を把握し，接触を検知する技術が提案されている．しかし，作業員や建設機械の状態が考慮されていないため，本来は危険でない停止中の建設機械に接近した場合においても危険と判定される課題がある．そこで，本研究では，作業状態によって建設機械の部位の動きが異なることに着目し，深層学習を用いて検出した建設機械の部位の動きを捉えることで，建設機械の作業状態を判定する技術を提案する．そして，実証実験では，ショベルとクレーンの作業風景を撮影した動画像に提案手法を適用し，その有用性を確認した．

Key Words: *construction site, construction machine, safety management, deep learning, behavior recognition*

1. はじめに

我が国では，内閣府による第 5 期科学技術基本計画で提言された Society 5.0 を契機として，様々な分野で科学技術の導入が推進されている．建設現場の安全管理に着目すると，建設業は他の業種に比べて死亡者数が多いことが問題 [1]となっている．特に，建設機械（以下，建機）と作業員との接触事故が多発しており，事故削減に向けた対応は急務である．そのため，ICT を活用した作業員の安全管理を支援する技術の導入が求められている．

既存サービスでは，建機に設置したカメラを用いて作業員との接近を検知する技術 [2)-4)]や作業員および建機にエッジデバイスを装着し，それらの接近を検知する技術 [5)-7)]が開発されている．これらの技術は，作業員や建機の位置を把握し，それらが接近した場合に危険として検知できる．しかし，作業員や建機の状態を考慮していないため，本来危険ではない停止中の建機に接近した場合においても危険と判定される課題がある．この課題に対応するため，既存研究 [8)]では，ヘルメット装着型端末を用いて計測した 3 軸加速度や位置情報を活用し，作業員の姿勢から動きを把握している．しかし，著者らが調査した限り，建機を対象とした作業状態の判定手法は見つからなかった．

そこで，本研究では，作業中に建機の部位が動作する点に着目し，深層学習を用いてその部位の動作の変化を検出することで，移動中，停止中，作業中の 3 つの状態を判定する手法を提案する．なお，本研究では，建機の中でも死亡事故数が多い油圧ショベル（以下，ショベル）とラフテレーンクレーン（以下，クレーン）を対象とする．

2. 提案手法

提案手法の処理フローを**図-1** に示す．提案手法は，学習機能および推定機能により構成される．学習機能の

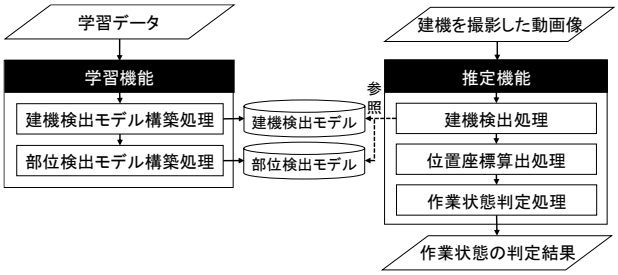


図-1　処理フロー

入力データは学習データとし，出力データは学習モデルとする．推定機能の入力データは建機を撮影した動画像とし，出力データは建機の作業状態の判定結果とする．

(1)　学習機能

学習機能では，建機の全体および建機の部位を検出するために必要な学習モデルを構築する．具体的には，動画像から建機の全体を検出するモデル（以下，建機検出モデル）および建機全体の領域から部位を抽出するモデル（以下，部位検出モデル）を構築する．

建機検出モデル構築処理では，物体検出手法であるYolo v4[9]を用いて，図-2に示すとおり，建機の領域をアノテーションした画像を学習することにより建機検出モデルを構築する．

部位検出モデル構築処理では，Yolo v4を用いて，図-3に示すとおり，建機の可動部および車体部をアノテーションした画像を学習することにより部位検出モデルを構築する．

(2)　推定機能

推定機能では，学習機能にて構築した学習モデルを用いて，建機や部位を検出して可動部の変化を取得することで建機の状態を判定する．

建機検出処理では，図-4に示すとおり，建機検出モデルおよび部位検出モデルを用いて，動画像から建機や部位を検出する．まず，建機検出モデルを用いて，動画像から建機を検出し，その領域を切り出す．次に，部位検出モデルを用いて，その画像から建機の部位を検出する．

位置座標算出処理では，図-5に示すとおり，建機の車体部の検出結果から建機の位置座標を算出する．まず，車体部の領域の下辺の中点（図-5中青丸）を建機の位置座標として取得する．次に，地面に設置した4つの対応点の座標を元に射影変換する．

作業状態判定処理では，可動部の領域と射影変換後の位置座標から建機の状態を判定する．まず，図-6に示すとおり，車速が遅い建機であっても一定距離移動できる10秒間を対象に，現在と10秒前の位置座標を比較し，2点間距離が一定距離以上の場合は移動中と判定する．次に，2点間距離が一定距離未満であった場合を対象に，



図-2　建機検出モデルの学習データ

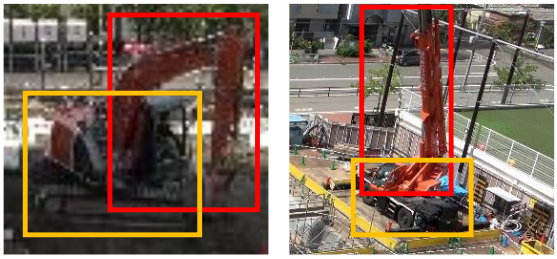


図-3　部位検出モデルの学習データ



図-4　建機検出処理

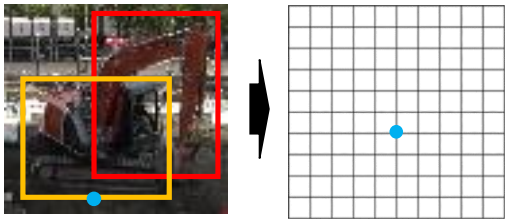


図-5　位置座標算出処理

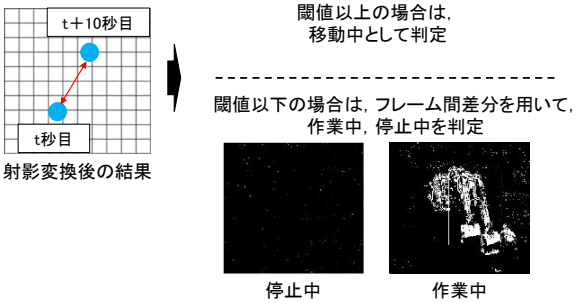


図-6　作業状態判定処理

フレーム間差分法を用いて可動部の領域の差分を検出し，差分の画素の割合が閾値以上であれば作業中，閾値未満であれば停止中と判定する．

3. 実証実験

本実験では，大阪経済大学内の工事現場にて，ショベルおよびクレーンを撮影した動画像に対して提案手法を適用することで，その有用性を確認する．

(1) 実験概要

本実験では，建物の4階にビデオカメラ（Sony / FDR-AX45）を設置し，ショベルおよびクレーンが作業する風景（**図-7**）を撮影する．そして，その動画像に提案手法を適用した状態判定の結果と人手により作成した正解データを比較し，適合率，再現率およびF値により評価する．

(2) 実験条件

ショベルの実験データは，移動中40秒間，停止中と作業中のそれぞれ60秒間の動画像を30fpsで切り出すものとする．また，クレーンの実験データは，停止中と作業中のそれぞれ60秒間の動画像を30fpsで切り出すものとする．

学習モデルは，評価に使用するデータと異なる画像を用いて構築する．建機検出モデルは8,789枚，ショベルの建機部位検出モデルは2,059枚，クレーンの部位検出モデルは759枚の画像を用いる．

(3) 実験結果と考察

ショベルおよびクレーンの実験結果を**表-1**に示す．全体のF値を確認すると，ショベルは0.938，クレーンは0.534であることから，提案手法により建機の状態を判定できることがわかった．

まず，ショベルの結果を確認すると，停止中と作業中の再現率はともに1.000であり，移動中と比較して高精度に判定できることがわかった．これは，**表-2**に示すとおり，停止中は可動部が動作せず，検出される差分が少ない一方で，作業中は常時可動部が動作し，差分が多くなることで，2つの状態を区別しやすかったためである．しかし，移動中の再現率を確認すると，0.750と他の状態と比較して大きく低下した．これは，**図-8**に示すとおり，方向転換により車体の速度が一時的に低下し，移動距離が閾値を下回ったことで，停止中として判定されたためである．そのため，今後は，移動中と判定する閾値を調整し，停止中と判定された場合は，前後の判定結果を用いて判定結果を補正することで精度向上を図る必要がある．

次に，クレーンの結果を確認すると，**表-3**に示すとおり，停止中は差分が小さく，作業中は差分が大きいことから，作業状態を正しく判定できることを確認した．しかし，**表-1**を確認すると，停止中の適合率が0.941である一方，再現率は0.533であることから，停止中を作業中

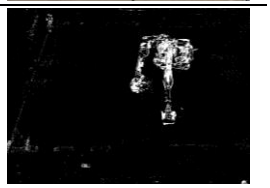


図-7 撮影風景

表-1 実験結果

建機	状態	移動中	停止中	作業中	全体
ショベル	評価フレーム数	1,200	1,800	1,800	4,800
	正解数	900	1,800	1,800	4,500
	適合率	1.000	0.984	0.896	0.938
	再現率	0.705	1.000	1.000	0.938
	F値	0.857	0.992	0.945	0.938
クレーン	評価フレーム数	－	1,800	1,800	3,600
	正解数	－	960	734	1,694
	適合率	－	0.941	0.505	0.616
	再現率	－	0.533	0.408	0.471
	F値	－	0.681	0.451	0.534

表-2 状態判定の成功例（ショベル）

状態	停止中	作業中
t秒目		
t+10秒目		
差分		



t秒目



t+10秒目

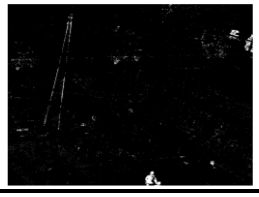
図-8 状態判定の失敗例（ショベル）

として誤判定する傾向があることが分かった．これは，図-9に示すとおり，クレーンのアームが後方を走行する車両の領域と被っており，差分として抽出されたためである．そのため，今後は，図-10に示すとおり，Instance Segmentation[10]により，建機の領域を認識できる技術を応用し，フレーム間差分を適用する領域を制限することで対応できると考える．

4. おわりに

本研究では，動画像からショベルおよびクレーンの車体の移動や可動部の動作の変化を検出することで，移動中，停止中，作業中の 3 つの状態を判定する手法を提案した．そして，実証実験により，ショベルおよびクレーンの状態を判定できることを確認した．今後は，本実験で明らかになった課題を解消することで，建機の作業状態の精度を向上し，ショベルおよびクレーンに加えてその他の建機も対象とした作業状態の判定を目指す．

表-3　状態判定の成功例（クレーン）

状態	停止中	作業中
t 秒目		
t+10 秒目		
差分		



元画像　　差分

【凡例】 赤枠：可動部

図-9　状態判定の失敗例（クレーン）

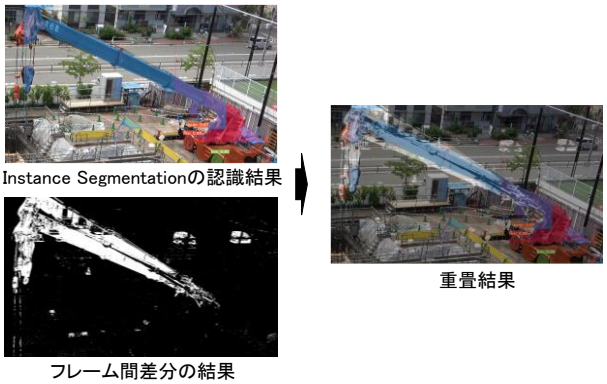


図-10　改良後の処理イメージ

参考文献

1) 厚生労働省：労働災害統計，<https://anzeninfo.mhlw.go.jp/user/anzen/tok/anst00.htm>，（入手 2023.6.12）．
2) コマツ社：KomVision（機械周囲カメラシステム），<https://www.kensaibou.or.jp/safe_tech/ict/entry/003296.html>，（入手 2023.6.12）．
3) 西尾レントール社：重機用安全補助検知器「安全君」シリーズ，<https://www.nishio-rent.co.jp/wordpress/wp-content/uploads/kenki_pdf/28_108.pdf>，（入手 2023.6.12）．
4) 日立ソリューションズ社：GeoMation　作業員安全支援ソリューション，<https://www.hitachi-solutions.co.jp/geomation/sp/product/safety/>，（入手 2023.6.12）．
5) アクティオ社：スリーエスバックホー，<https://www.aktio.co.jp/museum/safe-secure/3s_backhoe.html>，（入手 2023.6.12）．
6) 清水建設社：AI カメラで重機周辺の人の存在を検知し、接触災害を回避，<https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2020/2020013.html>，（入手 2023.6.12）．
7) マトリックス社：アラウンドウォッチャー，<https://www.kajima.co.jp/tech/c_mountain_tunnel/safety/index.html#!body_01>，（入手 2023.6.12）．
8) 田中陸人，矢吹信喜，福田知弘：ヘルメット装着型端末を用いた OWAS 法に基づく建設作業員の姿勢推定システムの開発，土木学会論文集 F3（土木情報学），77 巻 2 号，pp.I_114-I_123，2021.
9) Bochkovskiy, A., Wang, Y. and Liao, M. : YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection, <https://arxiv.org/pdf/2004.10934.pdf>,（入手 2023.6.12）．
10) Boyla, D., Zhou, C., Xiao, F. and Lee, Y. : YOLACT++ : Better Real-time Instance Segmentation, <https://arxiv.org/pdf/1912.06218.pdf>，（入手 2023.6.12）．