

### 3. 建設現場でのデバイス活用とメタ認知能力 向上のための教材ツールの開発

島崎敢, 石垣陽, 三品誠

### 3-1. 市販デバイスを用いたデータ収集方法の検討とスマート脚立の試作

研究分担者 島崎 敢

(名古屋大学)

研究分担者 石垣 陽

(電気通信大学)

研究協力者 三品 誠

(有限会社サイビジョン, 名古屋大学)

#### 研究要旨

本研究グループでは、昨今の IoT デバイスの普及や高性能化を踏まえ、次世代の建設作業現場が、将来的にこれらのデバイスをどう活用し、安全に役立てていくのかを検討し、提言を行うことを目指している。

初年度は現在利用可能な市販デバイスにどのようなものがあるのか、またこれらを実際に建設作業現場で利用する場合にどのような課題があるのか、建設作業現場のリスク低減のためにどのような利用法が考えられるのか、今後どういった研究開発が必要なのかを調査検討し、いくつかのデバイスについては実際に建設現場で試行的にデータを取得した。その結果、現行デバイスのいくつかの課題が明らかになり、画像解析技術を用いて危険挙動の検出を行う必要があることなどが明らかとなった。

また、深層機械学習を用いた姿勢推定ライブラリを用いて作業動画を匿名化できることも確認し、市販デバイスを組み合わせることで、来年度実施するメタ認知実験へ活用できることが実証できた。

## A. 研究目的

ドライブレコーダは 2003 年に交通事故の紛争解決を目的として登場した。この頃のドライブレコーダは、加速度をトリガとして、その前後数秒間の映像を低フレームレートで記録するだけのものだったが、記憶媒体の容量増加、カメラの画素数の向上、GPS 機能の追加などにより常時記録式のものや複数のカメラに対応したものが登場するなど、性能が向上していった。これに伴い普及台数も増加しており、現在ではバスやタクシーの約 9 割（国土交通省，2020）、一般車両の約 4 割（ソニー損保，2021）がドライブレコーダを搭載している。さらに近年では、画像処理技術を用いて車線逸脱、車間距離、ドライバの居眠りやよそ見などを検出する製品や、通信技術を用いて映像をクラウドに記録したり、事故発生時に自動通報を行ったりする製品なども出始めている。

ドライブレコーダは、普及とともに、当初の目的であった交通事故の紛争解決だけでなく、様々な用途に用いられている。記録された事故映像はドライバーに対する教育用コンテンツとしても幅広く利用されているし、近年では、自動運転の実現に向けて、発生しうる事故パターンを AI に学習させるための用途も検討されている（毛利，2020）。車室内カメラはタクシーやバスでの客とのトラブルや犯罪の記録を行う防犯カメラの役割も担っているし、後方のカメラはあおり運転の抑止にも役立っている。GPS による位置情報や通信機能を備えたドライブレコーダは、リアルタイムに運行管理にも利用されている。さらに、近年では、教習指導員の評価データを学習させ、ドライブレコーダを運転評価用デバイスに用いる試みも行われている（AI アシストコンソーシアム，2021）。

このように、交通分野では、紛争解決、事故発生機序の解明、ドライバー教育、運行管理などがドライブレコーダの登場後 20 年で劇的に変化した。一方、建設作業現場でも、防犯カメラが設置されている現場はあるし、近年、安全管理を目的として、クラウドに録画が可能な定置型・ウェアラブル型のカメラをレンタルするサービスなどが出始めている。しかし、こういった記録端末の普及はまだ十分とは言えず、ドライブレコーダのように多様な用途で活用されているとはいえない。

ドライブレコーダが比較的容易に開発、普及できた背景には、自動車では危険事象のトリガが「急加速度」という比較的わかりやすく安価なセンサーで検出可能なものであったこと、撮影すべき方向や画角や優先順位がはっきりしていること、一度車両に取り付けてしまえば移設の必要がなく、電源のオンオフがイグニッションキーと連動するため操作の必要もほとんどないことなどがあげられる。一方、建設作業現場では定置型カメラでは加速度セ

ンサは使えず、ウェアラブル型でも急ブレーキのような典型的な加速度を抽出することは難しい。また絶えず騒音が出ており、大きな音もトリガとして使いづらい。現場によって様々な場所で作業が行われており、カメラをどの方向に向けておくべきかを現場ごとに考えねばならず、失敗すればカメラの画角外で危険事象が起きる場合があるなど、建設作業現場でドライブレコーダのような役割を果たす機器を開発し、その記録を様々な用途で活用するためには解決すべき課題が多い。

一方、これらの課題が解決され、建設作業現場で起きていることが常時記録され、さらに適切なタイミングでトリガが記録されれば、利用価値は極めて高い。不安全行動が検出できれば、そのことを作業員にフィードバックすることで不安全行動の削減につながるし、不安全行動が長時間検出されないことは、その作業員が安全に作業を行っているということでもあるため、これまで差別化が難しかった作業員の安全スキルや安全態度を定量的に評価できる可能性がある。また、万一事故が起きたときのその発生機序の解明や、同種の事故を起こさないための教材としてのコンテンツ利用も可能である。

近年、360度カメラやウェアラブルカメラ等の普及が進んでおり、上記の撮影方向の問題は解決できる可能性がある。また、音声や画像の解析技術も進んでいるため、特定の発話や特定の動きをトリガとした記録も可能であるかもしれない。さらに、ドライブレコーダのようにカメラを使うという発想ではなく、建設作業現場でよく用いられる道具に、危険挙動の検出機能を付加するという方法も検討可能であろう。

そこで、本研究グループではこれらの点を検討するため、初年度は既存の市販デバイスの建設差超現場での試用、危険挙動のトリガーとしての発話の利用可能性の検討、ひずみゲージを用いたスマート脚立の試作、OpenPose (Cao, Z et.al) を用いた骨格モデルの検出と人体映像削除の試行を行うこととした。

## B. 研究方法

### 1) 市販デバイスの建設作業現場での試用

頸部に取り付けるタイプの 360 度ウェアラブルカメラ、胸ポケットに装着すタイプのウェアラブルカメラ、パン・ズーム機能がついた定置型カメラ、360 度定置型カメラを実際の作業現場で使用してもらい、映像や音声の記録を行った。協力を得たのは塗装やガス器具のメンテナンスなどを行う事業者の従業員 5 名で、いずれも脚立を用いた高所作業を伴う作業時に使用を依頼し、普段どおりの作業を行うように求めた。協力いただいた作業員には事前

に協力は自由意志であること、断っても不利益が生じないこと、得られたデータは個人が特定できる形では用いないことを伝えた上で口頭により同意を得た。ウェアブル型カメラの映像はのべ 345 分記録した。また、パン・ズーム機能がついた定置型カメラは 1 週間分の連続録画データ、360 度定置型カメラは 1 日分の連続録画データを記録したが、いずれも作業員との距離が離れており、発話音声は記録できなかった。ウェアラブル型のカメラを使用した作業員には、後日簡単なインタビューで使用感などをたずねた。

## 2) 危険トリガーとしての発話の利用可能性検討

1)で撮影したウェアブルカメラで記録された音声のテープ起こしを行い、発話内容と発話があった箇所の映像を分析した。

## 3) ひずみゲージを用いたスマート脚立の試作

カメラを用いない記録デバイスの検討を行うため、脚立の各支柱にかかっている荷重のバランスを可視化する装置を開発した。脚立に着目したのは、脚立からの墜落転落事故が多いこと、大部分の建設業種で利用されており、可搬性が高く、現場が変わっても繰り返し利用されることなどが理由である。全体のシステムイメージを図 1 に、完成した試作品の写真を図 2 に示す。

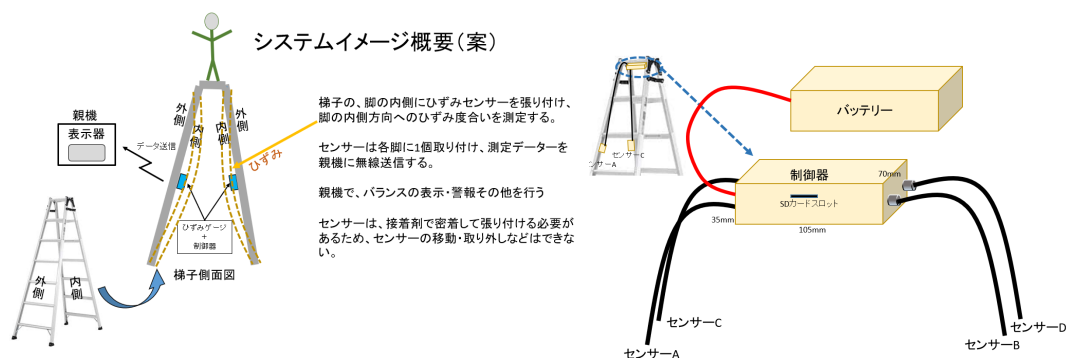


図1 スマート脚立のシステムイメージ



図2 完成したスマート脚立の試作品  
(左：本体，右：センサ部)

このスマート脚立は、脚立の各脚への負荷（ひずみ）度合いを測定し、脚ごとの負荷（ひずみ）度合いを%で記録する。測定したデータの脚ごとの値を合計し、各脚に係る負荷を百分率で表す。データ記録形式はカンマ区切りの CSV 形式ファイルでマイクロ SD カードに次のようなフォーマットで記録される。

- ファイル名イメージ      xxxxx.CSV

- データ（レコード）形式

xxxxx.CSV    2021/10/xx   hh:mm:ss

ヘッダー部

ファイル名    測定日    測定開始時間

n,mm:ss:sss,a,b,c,d

データ部

n                      データの連番    1～

mm:ss:sss            測定時開始からの経過時間    分：秒：10m 秒

a,b,c,d                脚ごとの負荷（ひずみ）度合い    (%)

さらに測定結果は無線でリアルタイムに伝送され、評価者や被験者の身に着けられるサイズのウェアラブルデバイスに表示される（図3）。

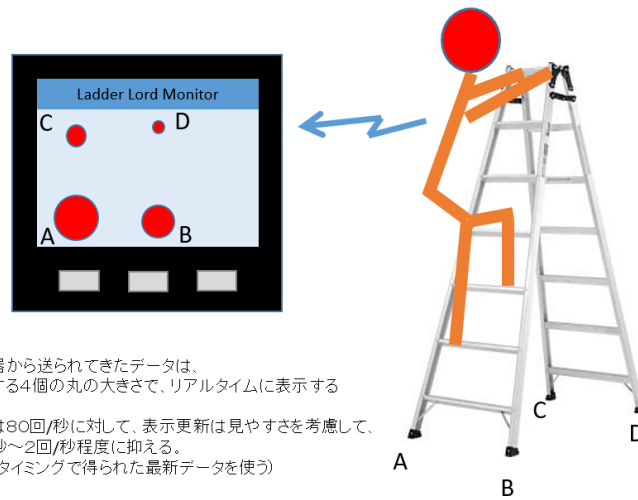


図3 ウェアラブルデバイスでのリアルタイム表示

後に本システムの回路構成を図4に示す。

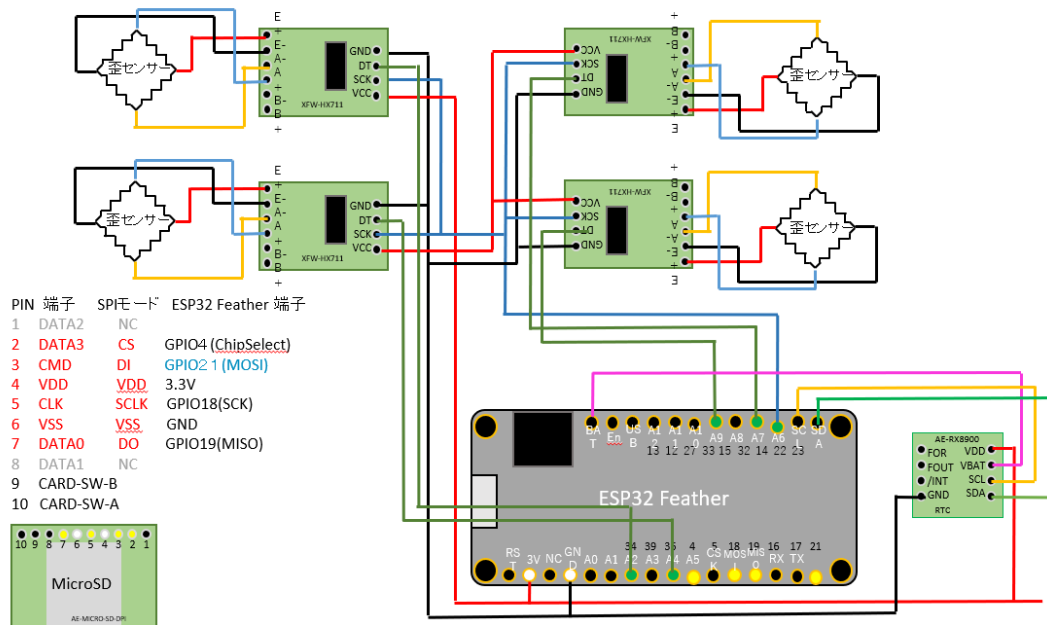


図4 スマート脚立のメイン回路構成

#### 4) OpenPose を用いた骨格モデル検出と人体映像の削除の試行

1)で撮影した映像や実験室で試験的に撮影された映像から、リアルタイムに骨格モデルを推定するシステム OpenPose を用いて、作業員の骨格モデル映像を作成した。さらに骨格モデルの背景に写った背景や作業員の映像の削除を行った。これらの過程を図5に示す。

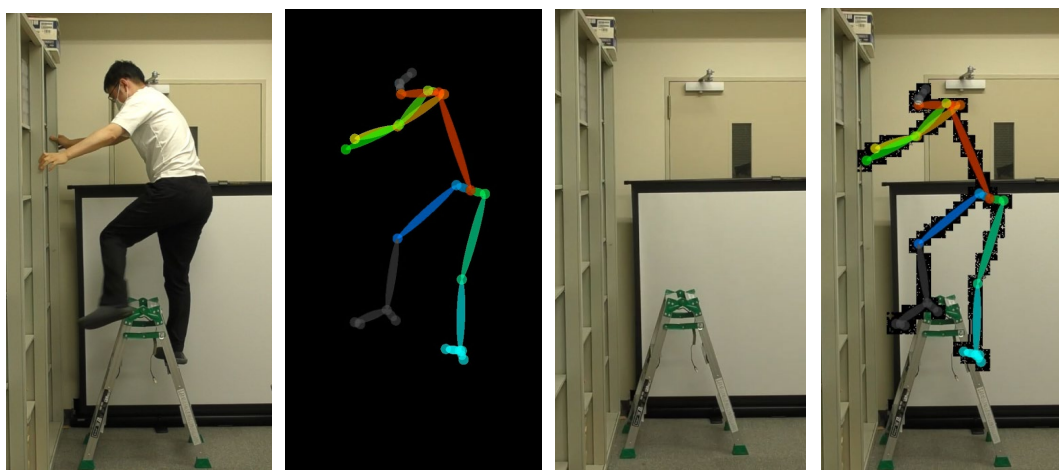


図5 OpenPose による骨格推定と匿名化ビデオの作成過程

(左から元画像, 姿勢推定画像, 背景画像, 合成画像)

元画像から OpenPose により姿勢推定画像を得た後に、背景画像を合成することに寄って、匿名化された作業員の画像を作成できた。これにより特徴点を抽出するとともに、映像を見ただけでは個人を識別できない映像を作成した。

### C. 結果と考察

1) 2)ウェアラブルカメラの音声には、当初、危険事象発生のトリガとなり得るような「あぶねえ」「おっと」などの発話音声記録されることを想定していたが、今回収集した音声データからはそのようなトリガとなりうる音声は抽出できなかった。ただし、危険事象と考えられる映像も含まれていなかったことから、映像の収集時間が不足している可能性がある。ウェアラブルの 360 度カメラには、作業員の手元や足元をはじめ、周辺環境などの極めて多様な情報が写っており、危険事象が発生した際の記録として有用性が高いことがわかった。一方で、頸部に装着するために圧迫感があること、機器本体が発熱するため、夏場の装着は困難であること、トイレに行くたびに電源をオン・オフしなければならず操作が煩雑で、電源の入れ忘れ・切り忘れの可能性があることなどが作業員へのインタビューで明らか

かとなった。また、満充電の状態でも一日分の録画ができないなどの課題も明らかとなった。胸ポケットに装着するウェアブルカメラは自重で斜め下を撮影してしまう上に画角が十分でなく、周囲の状況が分かりづらい問題があった。また、通信機能を備えており、現場外の管理者などが映像を確認しながら通話できるという利点があるが、通話相手が見たい箇所を撮影するために、カメラの撮影方向に集中しながら後ろ向きに歩くなどした場合、開口部等からの転落を誘発する可能性が考えられた。パン・ズームが可能な定置型カメラは、映像は鮮明だが撮影範囲が狭く画角外で起こったことが記録できないという問題があった。一方、定置型の 360 度カメラは撮影範囲が広いが解像度は低く、発生事象が不鮮明にしか写らないという問題があった。両者はトレードオフの関係にあり、広範囲を撮影するカメラで人物を捉え、その方向に高解像度のカメラを向けるの技術や、より高解像度の広角カメラを開発する必要性が明らかとなった。また、全てのカメラに共通して、作業の実時間分×作業員の人数分の膨大な量の映像が記録されるため、全てを人間がチェックすることはほぼ不可能である。この問題を解決するためには、危険事象が発生した前後だけを抽出できる適切なトリガの選定が重要であることがわかった。

3) 開発した装置により、各支柱にかかる荷重のバランスの可視化が可能となった。今後はこの情報を作業員にどのようにフィードバックするかを検討する必要がある。また、荷重バランスが客観的かつ定量的に評価できるため、このデータを危険挙動学習の正解値データとして用いることもできると考えられる。

4) 作成した本人映像なしの骨格モデルを用いることで、誰の映像かわからない状態での評価が可能となる。これにより、危険事象が発生した際の映像を教育コンテンツとして用いやすくなる。また、職場内での教育目的で行動の相互評価などを行う場合、人物がわからないことで先入観のない評価が可能である。自分の骨格モデルの動きを評価する場合、自分だとわからずに評価することで自分を客観視することに繋がり、メタ認知能力の向上が見込める可能性がある。

## D. 結論

本研究グループでは、市販デバイスの予備的検討、荷重配分を測定可能な脚立の試作、作業映像の骨格モデル化及び本人映像の削除を行った。市販デバイスの予備的検討からは、現行のデバイスの長所短所が明らかとなり、危険事象を示す適切なトリガの必要性が明らかとなった。荷重配分を測定可能な脚立が完成したため、作業の安定性を客観的かつ定量的に

評価できるようになった。作業映像の骨格モデル化と本人映像の削除が実現したため、作業者が特定されない状態で作業映像を提示できるようになり、今後の教育や危険挙動の検出等の実証実験を行う環境が整った。

## 文献

AI アシストコンソーシアム 2021 AI アシストコンソーシアムとは(2022 年 5 月 11 日閲覧),  
<https://www.facebook.com/aiconso/>

Zhe Cao, Gines Hidalgo, Tomas Simon, Shih-En Wei, and Yaser Sheikh 2021 OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose, Estimation using Part Affinity Fields, IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, 43, 171-186.

国土交通省 2020 事業者向けドライブレコーダー等の情報活用(2022 年 5 月 11 日閲覧),  
[https://www.mof.go.jp/policy/budget/topics/budget\\_execution\\_audit/fy2021/sy0309/30.pdf](https://www.mof.go.jp/policy/budget/topics/budget_execution_audit/fy2021/sy0309/30.pdf)

毛利宏 2020 ドライブレコーダのデータ活用について～データベースの現状と将来展望～, ドラプリ映像情報活用委員会資料(2022 年 5 月 11 日閲覧), [https://www.jdrc.or.jp/master/wp-content/uploads/2021/02/drappli2020\\_f.pdf](https://www.jdrc.or.jp/master/wp-content/uploads/2021/02/drappli2020_f.pdf)

ソニー損保 2021 2021 年全国カーライフ実態調査(2022 年 5 月 11 日閲覧),  
[https://from.sonysonpo.co.jp/topics/pr/2021/08/20210824\\_01.html](https://from.sonysonpo.co.jp/topics/pr/2021/08/20210824_01.html)

## E. 健康危険情報

(分担研究報告書には記入せずに、総括研究報告書にまとめて記入)

## F. 研究発表

### 1) 論文発表

なし

### 2) 学会発表

なし

(発表誌名巻号・頁・発行年等も記入)

## G. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む.)

なし

1) 特許取得

なし

2) 実用新案登録

なし

3) その他

### 3-2. 脚立作業の骨格モデル化の評価及びメタ認知能力向上実験

研究分担者 島崎 敢

(近畿大学)

研究協力者 石垣 陽

(電気通信大学)

研究協力者 三品 誠

(有限会社サイビジョン, 名古屋大学)

#### 研究要旨

本研究グループでは、次世代の建設作業現場におけるカメラ・IoT デバイスの活用方法を検討し、提言を行うことを目指している。初年度は各種デバイスを実際に建設作業現場で利用し、取得したデータからニーズを精査した。第二年度では作業者の客観的なメタ認知の評価や、それに続く安全行動への変容のための介入をテーマに被験者実験を行った。そのために、脚立を用いた高所作業の骨格モデル映像（匿名化映像）をニューラルネットワークによる骨格推定システム OpenPose を用いて作成し、脚立作業を行った被験者に（自身が映っていると知らせることなく）提示することで、この動作の危険度や不安定さなどを専門家の作成した評価尺度に基づいた点数化した。実験参加者は自分の作業であっても、自分であることがわからないので、はじめに脚立を使った高所作業をしてもらい、その映像を骨格モデル化した映像を含む映像を、危険度や不安定さなどの観点から評価した。

## A. 研究目的

今年度（第二年度）は、市販デバイスを用いて建設現場でのデータ収集と発話内容の検討を行い、建設現場の安全を支援するデバイスについて予備的な検討を行うことを目的とする。また、脚立作業を対象に支援デバイスを試作し、リスクテイキング行動を検出・評価できるかどうかについての検討も並行して実施する。

さらに最終年度（第三年度）においては建設作業者の脚立作業の安全行動の改善に向けて、上述の支援デバイスを用いて、客観的に自身の安全行動を認知できる「メタ認知」の度合いを評価した上で、その安全行動を行動させる情報提示（介入）を試行するための被検者実験を行う。

## B. 研究方法

不安全行動を防止するには労働者のメタ認知能力の向上が必要とされる。既に交通分野では自分の運転を他者視点で見せ、行動改善を行った先行研究（中村ら）がある。先行研究では、タクシー会社を出庫してすぐの一時停止交差点で隠し撮り 顔とナンバーをぼかし処理（非匿名化）して、自分の一時停止映像を評価した後に、ネタバラシで行動が改善することを確認した。本研究では、この交通分野の先行例が、建設分野にも適用可能であるかどうかを確認する。

そこで昨年度開発した、建設作業の映像から、リアルタイム骨格モデルを推定するシステム（図1）を用いて、次の被検者実験を行った。実験概要を図2に示す。

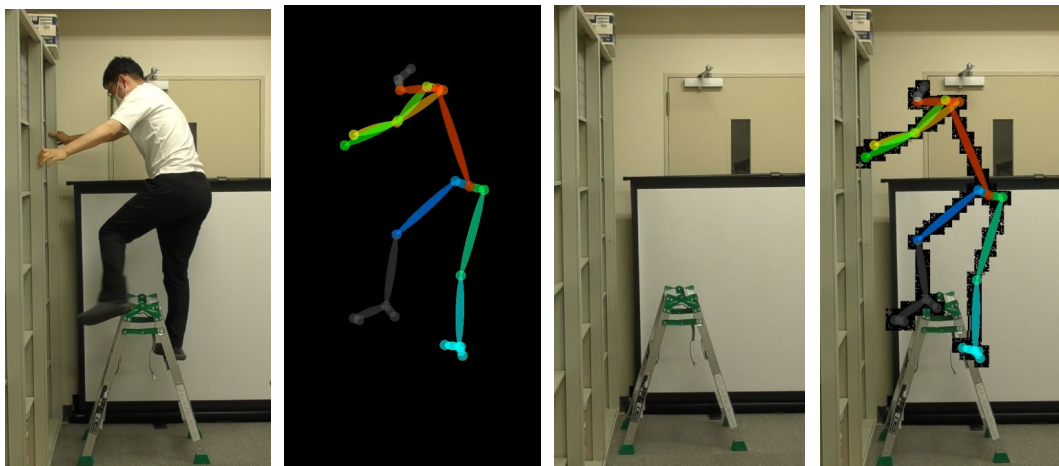


図1 匿名化ビデオの作成過程（左から元画像、姿勢推定画像、背景画像、合成画像）

まず元画像から OpenPose により姿勢推定画像を得た後に、背景画像を合成することによって、匿名化された作業者の画像を作成した。これにより特徴点を抽出するとともに、映像を見ただけでは個人を識別できない映像を作成した。次に匿名化映像を、脚立作業を行った被験者に（自身が映っていると知らせることなく）提示することで、自分自身に対する客観的なメタ認知の評価や、それに続く安全行動への変容のための介入を試みた。そのために、脚立を用いた高所作業の骨格モデル映像をニューラルネットワークによる骨格推定システム OpenPose を用いて作成し、この動作の危険度や不安定さなどを専門家の作成した評価尺度に基づいた点数化した。実験参加者は自分の作業であっても、自分であることがわからないので、はじめに脚立を使った高所作業をしてもらい、その映像を骨格モデル化した映像を含む映像を、危険度や不安定さなどの観点から評価した。

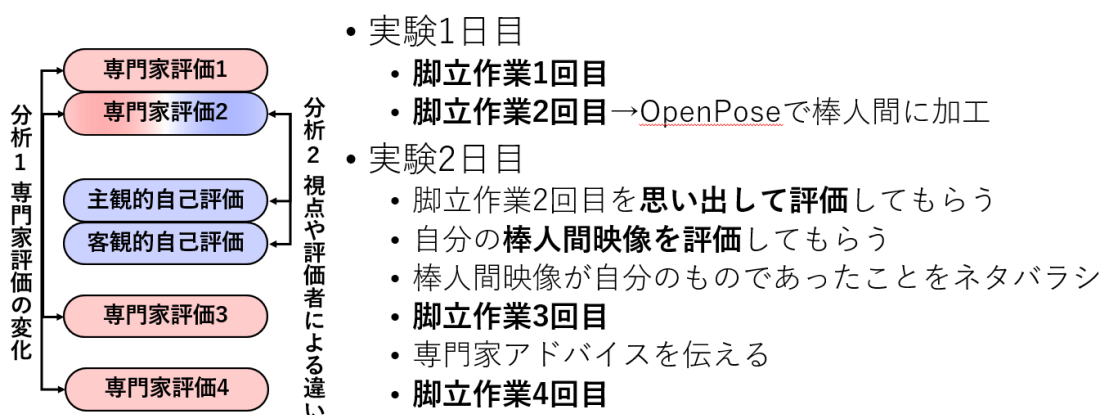


図2 実験概要

作業内容（タスク）は、250cmの高さに45センチ間隔でABCDEの付箋（ターゲット）を設置することとし、具体的には、脚立に登りAC・BD・CEに付箋を同時貼りさせた。なお、脚立の選択や設置方法などは自由とした（図3）。実験参加者は建設現場の作業員と、建物のメンテナンスの作業員とした。

評価のポイントは次の3点とし、絶対に怪我をしないと思えば100点をつけるように教示した上で、各100点満点で自己評価してもらった。なお、100点に満たない理由も同時にヒアリングした。

- 脚立選び・設置方法・移動
- 脚立の登り降り

- ・ 脚立上での作業

専門家評価のポイントは次の通りである。

- ・ 脚立選び・設置方法・移動
  - ・ 開き止め金具をロックしているか
  - ・ 脚立を完全に開いたか
  - ・ 脚立の支柱に浮き（がたつき）がないかを事前に確認したか
  - ・ 壁面に対して昇降面が正対するように脚立を設置しているか、壁に近づけすぎたり、遠ざけすぎたりしていないか
- ・ 脚立の登り降り
  - ・ 昇降面に背を向けて降りていないか
  - ・ ステップを飛ばして降りていないか
  - ・ 踏み外しがないようにステップ位置を目視確認したか
- ・ 脚立上での作業
  - ・ 不適切な立ち方をしていないか
  - ・ 両足の他に体を脚立に接触させているか（3点支持）
  - ・ 体の左右方向（またぎの場合は前後）へのオーバーリーチや体のひねりがな  
いか
  - ・ （頭の上側での）上向き作業または伸びあがった姿勢での作業をしていない  
か

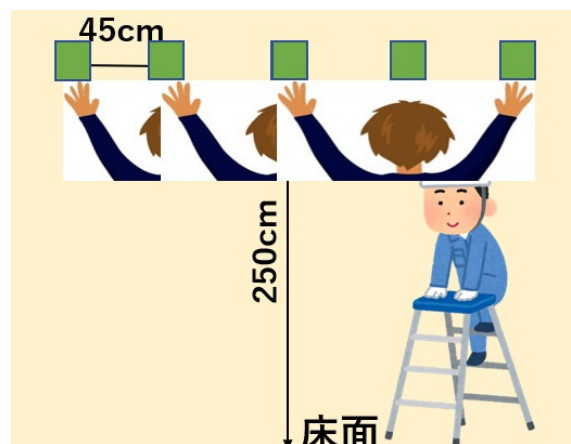


図3 作業内容の詳細

なお実験にあたり、初年度に制作した、脚立の各支柱にかかっている荷重のバランスを可視化する装置（スマート脚立、図4）による計測も併せて行った。

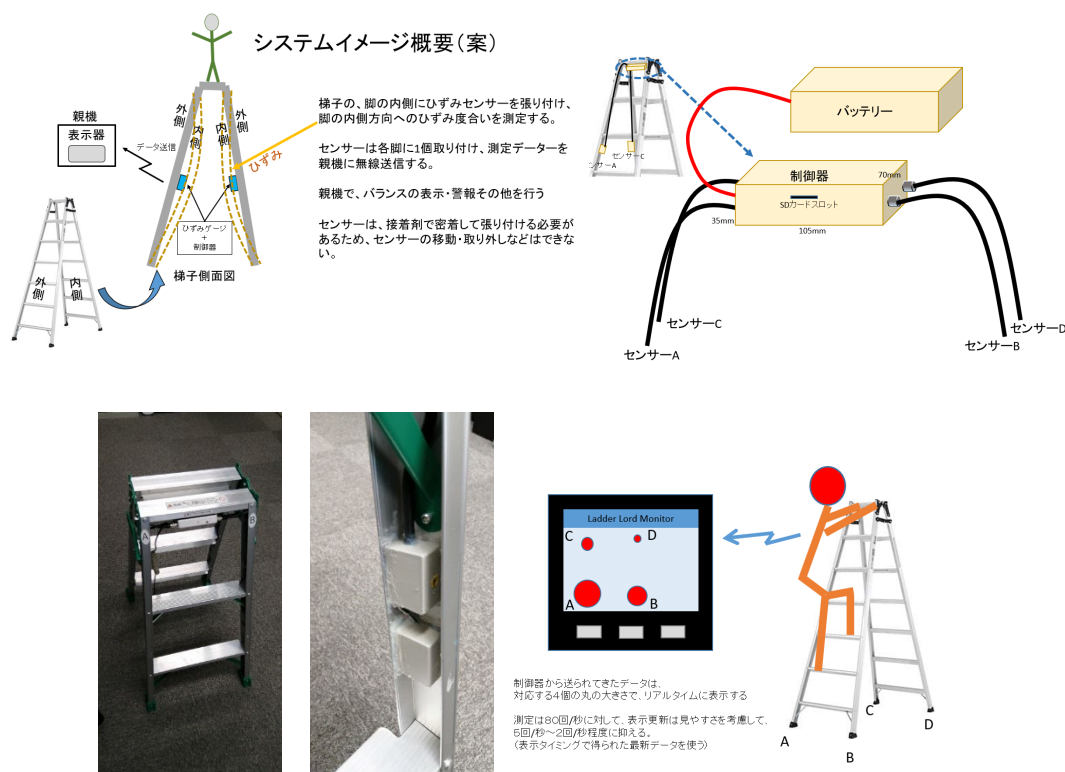


図2 完成したスマート脚立の試作品

このスマート脚立は、脚立の各脚への負荷（ひずみ）度合いを測定し、脚ごとの負荷（ひずみ）度合いを%で記録する。測定したデータの脚ごとの値を合計し、各脚に係る負荷を百分率で表す。データ記録形式はカンマ区切りの CSV 形式ファイルでマイクロ SD カードに記録される。

### C. 結果と考察

実験結果から、分析1として専門家評価の変化（図3）、分析2として視点や評価者による違い（図4）、作業時間の推移（図5）、脚立移動回数の推移（図6）をまとめた。先行研究と同様に評価は「主観的視点>客観的視点」であった。

### 分析1の結果

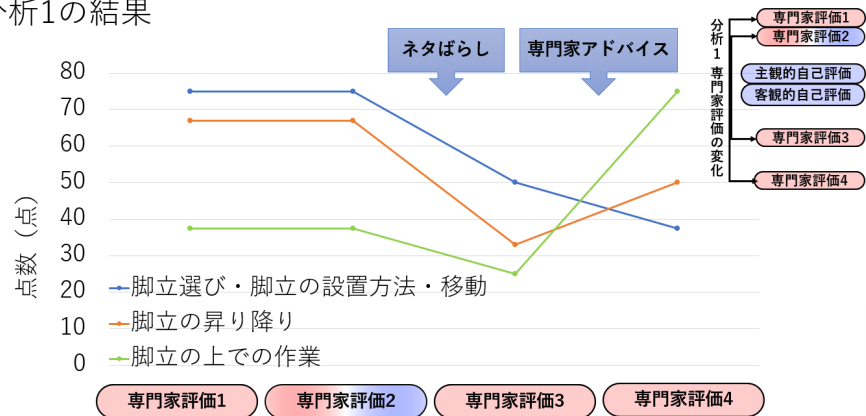


図3 専門家評価の変化（分析1）

### 分析2の結果

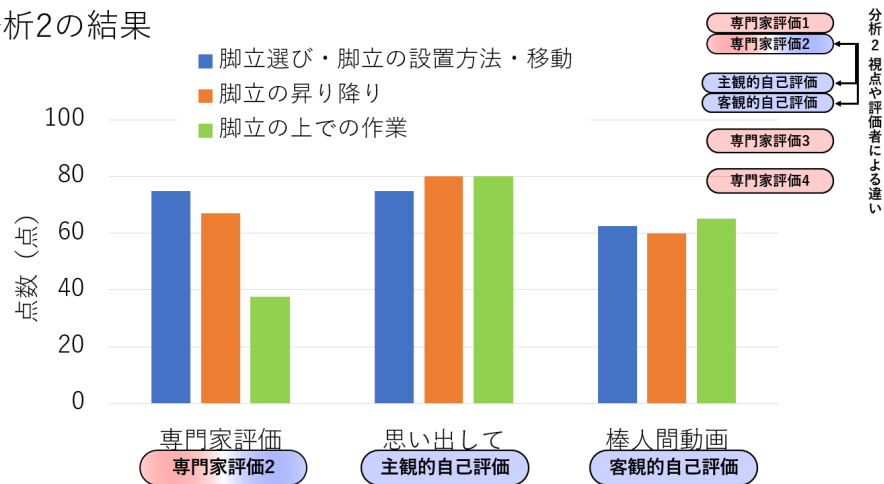


図4 視点や評価者による違い（分析2）

### 作業時間の推移

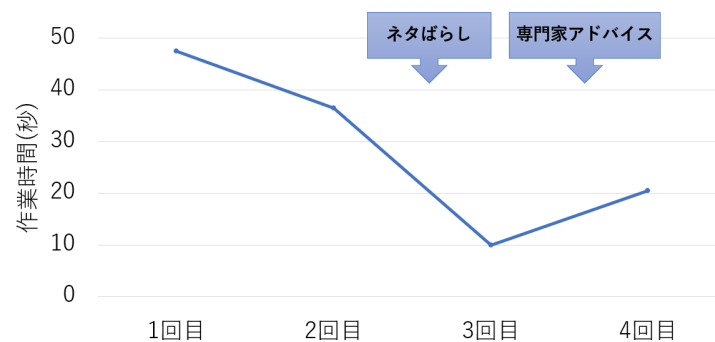


図5 作業時間の推移

脚立移動回数の推移

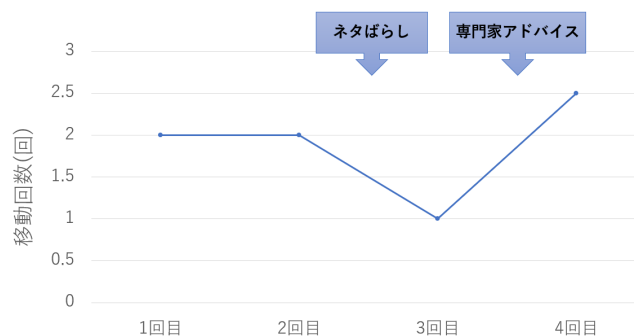


図5 脚立移動階数の推移

#### D. 結論

先行研究と異なり、ネタバラシ後に成績が低下した。また、専門家アドバイスを伝えることで成績は持ち直し、脚立の移動などの安全行動が復活した。なお、棒人間動画評価時に「作業が遅い」「これでは仕事が終わらない」などの発言があり、安全性より作業スピードに着目した可能性（ネタバラシ後に作業スピードは上がった）が考えられる。今後は、作業スピードではなく安全性に着目させる方法の検討が必要だといえる。また、実験参加者を増やす必要がある他、ベテラン以外（初心者など）のデータを取る必要がある。これらは来年度に対応する。

#### 文献

中村愛・島崎敢・石田敏郎 2013 交差点における一時停止行動の自己評価バイアス, 交通心理学研究, 29(1), 16-24.

#### E. 健康危険情報

（分担研究報告書には記入せずに、総括研究報告書にまとめて記入）

#### F. 研究発表

1) 論文発表

なし

2) 学会発表

西岡虎太郎・島崎敢・石垣陽・菅間敦・中嶋良介・高橋明子 2023/6 脚立作業の匿名化映像を用いた安全教育手法の検討, 日本設備管理学会 2023 年度春季研究発表大会で発表予定

**G. 知的財産権の出願・登録状況**

(予定を含む.)

なし

1) 特許取得

なし

2) 実用新案登録

なし

3) その他

### 3-3. メタ認知能力向上のための教材ツールの開発と評価

研究分担者 島崎 敢

(近畿大学)

研究分担者 石垣 陽

(電気通信大学)

研究協力者 三品 誠

(サイビジョン)

#### 研究要旨

本研究では、建設現場における脚立作業の安全性向上を目的として、作業者のメタ認知能力を高める教育手法の検証と、実践的な安全教材の開発を行った。初めに、他者の作業動画を評価し、自身の作業を振り返ることによるメタ認知能力の向上が、脚立作業の安全性にどのような影響を及ぼすかを実験で検証した。その結果、自身の作業を振り返った群は、準備段階や脚立上での作業において安全性の向上傾向が見られた。しかし統計的有意差は認められず、自己評価の正確性にも課題が残った。次に、動画を活用したハイブリッド型の安全教材「脚立の安全な使い方ワークブック」を開発した。この教材は、他者評価と自己振り返りのプロセスを含み、メタ認知能力と安全意識の向上を目指すものである。さらに、開発した教材の効果を検証するための調査を実施した。その結果、参加者の脚立使用ルールに対する知識と、他者作業の評価を通じて、自身の安全性に対する自己評価が有意に低下することが明らかになった。これは自身の欠点を認識し、行動をより厳しく振り返るようになったことを示しており、メタ認知能力の向上が示唆された。本研究を通じて、メタ認知能力を育成するプロセスの重要性と、他者評価と自己振り返りを組み込んだ実践的な安全教育の有効性が示された。今後は自己評価の精度向上など、さらなる検討課題も残されている。

## A. 研究目的

昨年度の研究では、OpenPose を使用した映像の匿名化を通じて、脚立作業の安全性向上を検証した。しかし、映像が自分自身であることが明らかになった場合、作業のスピード重視の傾向が強まり、安全性が低下するという課題が生じた。具体的には、昨年度の実験結果の、分析1：専門家評価の変化（図1）をみると、メタ認知能力向上を狙って匿名化画像に写っている被検者が自分自身であることを告げる「ネタバラシ」を行うと、脚立選び・脚立の設置方法・移動、脚立の昇り降り、脚立の上での作業についての専門家による安全評価の値が全て低下した。しかしその後、専門家評価の項目を告げる（専門家アドバイス）と、脚立選び・脚立の設置方法・移動については引き続き低下したものの、脚立の昇り降り、脚立の上での作業の2項目については評価が向上し、平均的には安全性が向上した。なお、棒人間動画評価時に被検者からは「作業が遅い」「これでは仕事が終わらない」などの発言があったことから、安全性より作業スピードに着目した可能性（ネタバラシ後に作業スピードは上がった）が考えられた。

### 分析1の結果

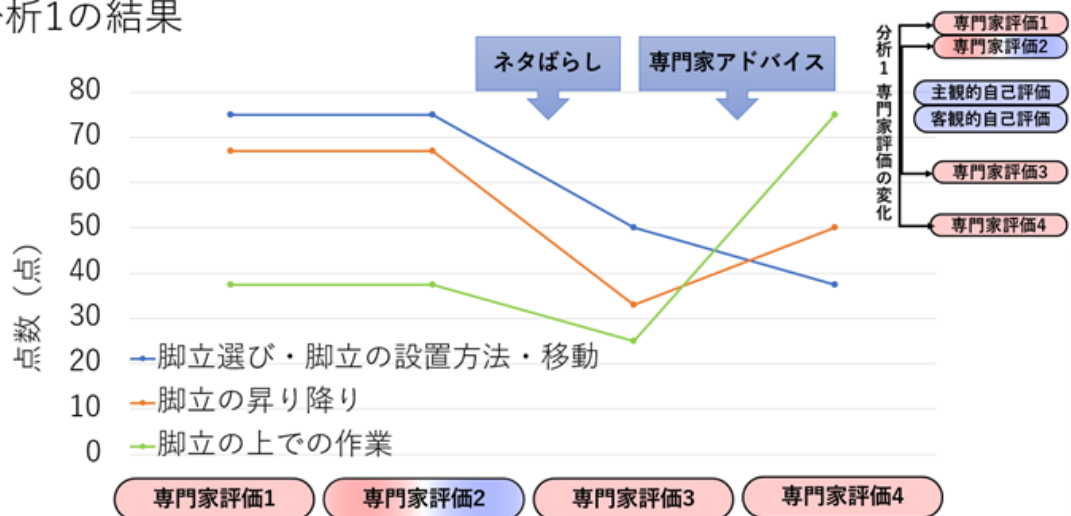


図1 専門家評価の変化（分析1）

そこで本年度は、作業スピードではなく安全性に着目させるべく、専門家評価の項目そのものを適切に被験者に教示する方法により、安全教材を開発する。これまでの OpenPose による映像処理が現場での実用性に欠ける面があったことから、今回は他者の映像を評価し、自身の行動を振り返るという新たなアプローチを採用した。具体的には、実験参加者を自分を振り返るプロセスを経験する群と経験しない群に分け、脚立を使用した作業を他者評価

や自己の振り返りプロセスの前後で 2 回実施し、脚立作業におけるメタ認知能力の向上が作業の安全性に及ぼす影響を検証することを目的とした。

上記研究の結果を基に、作業員が現場で手軽に学習できる安全教材の開発を行った。この教材は、紙と動画を組み合わせたハイブリッド形式で、安全な脚立の使用方法に関する知識を習得する段階、他者評価を通じて評価者視点を養い、評価スキルを身につける段階、自分の脚立作業を振り返り、メタ認知能力を向上させる段階を含むものとした。

上記教材の教育効果の測定をするための調査も行った。この調査の中では、脚立使用ルールの認知率や遵守率の調査も併せて行った。安全教材を使った学習前後に安全性に関する自己評価の変化を検討した。この分析により、脚立使用時の安全対策の実効性を確かめると共に、作業者のメタ認知能力が向上するかを検証する。

## B. 研究方法

1) 壁の高所に設置したターゲットに付箋を貼る脚立作業課題を用いて、大学生 20 名（男性 17 名、女性 3 名）を対象に、他者の動画を評価する行為や、自己の作業を振り返る行為が作業の安全性にどのような影響を及ぼすかを検証した。

実験参加者は、振り返りあり群（メタ認知群）と振り返りなし群（非メタ認知群）の 2 つのグループに分けられた。初めに、全参加者が 1 回目の脚立作業を行った。その後、振り返りあり群は他者の作業動画を評価し、自分の 1 回目の作業を思い出して評価した上で、2 回目の作業を実施した。対照的に、振り返りなし群は 1 回目の作業と他者の作業動画の評価は行ったが、自分の作業を振り返ることなく 2 回目の作業に移行した。

実験において、参加者の作業はビデオカメラで撮影され、脚立選び、脚立の設置方法・移動、脚立の昇り降り、脚立上での作業という 4 つの項目に分けて専門家によって評価された。これらの評価は、行われた作業が安全かどうかを判断する指標となり両群の作業の安全性が変化したかを検証するために使われた。

2) 上記の研究成果や、仮設工業会が発行する「アルミ脚立の安全基準」及び、軽金属協会はしご脚立部会が作成した「製品ポップ」を参考に、脚立の安全使用のポイントを体系的に理解した（表 1）。続いて、実際の使用場面で適切に実践できることを狙った教材ツール「脚立の安全な使い方ワークブック」（<https://rentetsu.net/kyatatsu/>）の開発を行った。この教材ツールは、脚立の安全使用に関する実践的な学習教材として様々な現場で使えるよう、ワ

ークブックと、作業に関連する情報を動画で閲覧できる YouTube 動画（図 3）によって構成される。YouTube 動画はワークブック内の QR コードから適宜、リンクとして見られるようになっている。

表 1 脚立の安全使用のポイント

| No. | ルール                   |
|-----|-----------------------|
| 1   | 脚立を完全に開く              |
| 2   | 開き止め金具をロックする          |
| 3   | ステップが壁と平行になる向きに置く     |
| 4   | 脚立を作業面に遠すぎず近すぎない位置に置く |
| 5   | がたつきがないか確認する          |
| 6   | ステップの位置を目で確認して昇る      |
| 7   | 1段ずつ昇る                |
| 8   | 天板に立たない               |
| 9   | 天板に座らない               |
| 10  | 天板をまたがない              |
| 11  | 天板の2段下より上に立たない        |
| 12  | 3点支持をする               |
| 13  | 左右にオーバーリーチしない         |
| 14  | からだをひねらない             |
| 15  | 顔を真上に向けて作業をしない        |
| 16  | 伸び上がった姿勢で作業しない        |
| 17  | 昇降面に背を向けて降りない         |
| 18  | ステップを飛ばして降りない         |
| 19  | ステップ位置を目で確認して降りる      |



図2 ワークブック（抜粋）



図3 YouTube 動画の例

本ワークブックは、以下の項目から構成される。

1. このワークブックについて (p.3)
  - ワークブックの目的と、読み方を解説
  - 使用方法として、動画で示された手順を確認し、自分や他者の脚立の使用方法を評価することが挙げられている。
2. 動画で確認！安全な使い方のポイント1 脚立の設置 (p.4)
  - 脚立を使用する前に、脚立を完全に開き、開き止め金具をロックすること。
  - ステップが壁と平行になるように脚立を置くこと。
  - 脚立を作業面に対して遠すぎず、近すぎない適切な位置に置くこと。
  - 昇る前に、脚立にがたつきがないか確認すること。
3. 動画で確認！安全な使い方のポイント2 脚立に昇るとき (p.6)
  - 脚立に昇る際は、ガタツキやステップの位置を目で確認してから昇ること。

- 一段ずつ昇ることで、バランスを保ちながら安全に昇ること.
4. 動画で確認！安全な使い方のポイント 3 作業するとき (p.8)
- 脚立の天板に立ったり，座ったり，またがったりしてはいけない.
  - 天板の 2 段下より上に立つことは危険.
  - 作業中は，両足と体の他の 1 点で 3 点支持を維持すること.
  - 左右に無理して手を伸ばすことや，脚立の上で体をひねることは避ける.
  - 顔を真上に向けて作業したり，伸び上がった姿勢で作業したりしないように注意.
5. 動画で確認！安全な使い方のポイント 4 降りるとき (p.10)
- 脚立から降りる際は，昇降面を向いて降りること.
  - 一段ずつ慎重に降りることで，バランスを崩すリスクを減らす.
  - 降りる前に，ステップの位置を目で確認すること.
6. 私のダメなところをおしえてください (p.12)
- この項目では，他人（役者）の脚立の使用方法を可視化し，学習内容を元にダメな点を指摘することにより，上記 2－5 の学習内容を定着させることを狙っている.
  - 動画で示された安全な使用方法と比較し，自分の使用方法の問題点を特定することが求められる.
7. 好きなメンバーを採点してみましょう！ (p.14)
- この項目では，動画に登場する他のメンバーの脚立の使用方法を採点する事が出来る（オプション）.
  - 上記 6 と同様に，メンバーごとに，安全な使用方法ができているかをチェックし，評価することが求められる.
8. 他のメンバーも採点してみましょう (p.15)
- この項目では，7 で他のメンバーの脚立の使用方法も採点したときに，それらの結果を比較することができる（オプション）.
  - 複数のメンバーの使用方法を評価することで，それらの特性の違いに気づくことから，安全な使用方法の理解をさらに深めることを狙っている.
9. 自分の作業を思い出して採点しよう (p.18)
- この項目では，自分の脚立の使用方法を思い出し，安全性を自己評価することでメタ認知能力を向上させることが目的となっている..

- 動画で学んだ安全な使用方法を基準に、自分の作業を採点することが求められている。

#### 10. My レーダーチャートを作って決意表明しよう (p.19)

- この項目では、自分の脚立の使用方法における強みと弱みを可視化し、今後の改善点や目標を設定し、決意表明をおこなう。

- レーダーチャートを作成することで、自分の現状を把握し、安全な使用方法の定着に向けた決意を表明することが期待されている。

以上のように、教材で示された安全な使用方法を適宜 YouTube 動画で確認し、自分や他者の使用方法を評価することで、安全意識の向上を図る構成になっている。

本ワークブックを使用することで、作業者は脚立の安全な使用方法を体系的に学習できると期待される。動画教材と連動した構成により、安全な使用方法のポイントを視覚的に理解することができる。また、自分や他者の使用方法を評価する項目を設けることで、メタ認知能力と安全意識が向上し、知識定着を促すことができると考えられる。

続いて上記ワークブックの効果評価のための調査を行った。調査は作成したワークブックを一人で学習するのと同様の状況をオンライン上で再現する形で行った。オンライン調査会社に登録している、建設業に従事する脚立使用者 200 名を対象に、脚立使用時のルールに対する知識、遵守状況、および自己評価の変化を調べるものである。初めに、参加者は自身の脚立作業の安全性を 0（危険）から 10（安全）の 11 段階で評価した。次に、19 項目の脚立使用ルールに関する映像を視聴し、各ルールについての認知率と遵守率を調査した。その後、ルール違反を含む作業映像を視聴し、映像中の人物のルール遵守状況を評価した。最後に再度自身の脚立作業の安全性を評価し、初回と最終の自己評価の変化を分析した。この方法により、安全教材が脚立使用時の安全性に関する自己認識の変化に与える影響を調べた。

（倫理面への配慮）

実験の参加者からは書面及び口頭による説明を行いインフォームドコンセントを得た。実験に際しては転倒・転落のリスクに対応するため、マットを敷くなどして安全面に配慮した。実験結果や個人情報が漏洩しないように、データを厳重に管理した。調査は書面（web 画面）による参加同意を得た。調査会社からは匿名化されたデータのみを受け取った。実験実施に際しては電気通信大学の「人を対象とする研究に関する倫理委員会」の承認を得た。

(研究課題名：脚立作業の匿名化映像を用いた危険挙動の自動検出とメタ認知スキル向上教育手法及び教材の開発，研究実施期間：令和 4 年 7 月 1 日（又は承認日）～ 令和 6 年 3 月 31 日，管理番号：22008)

### C. 研究結果と考察

1) 実験の結果，両群共に作業の質が向上する傾向が見られ，この傾向は振り返りあり群(メタ認知群)の参加者で顕著だった．脚立の昇り降りよりも，脚立選びや設置などの準備フェーズ(図 4)や，脚立上での作業(図 5)での効果が大きく，振り返りを経験した群が向上傾向を示し，自分の作業を振り返ることがメタ認知能力と安全性向上に寄与する可能性を示した．しかし，統計的には有意差は認められなかった．また，参加者による自己評価は専門家の評価との間にギャップがあることが確認された．両群共に他者動画を評価しており，評価者視点を持つことは安全な作業に寄与する可能性が示された．

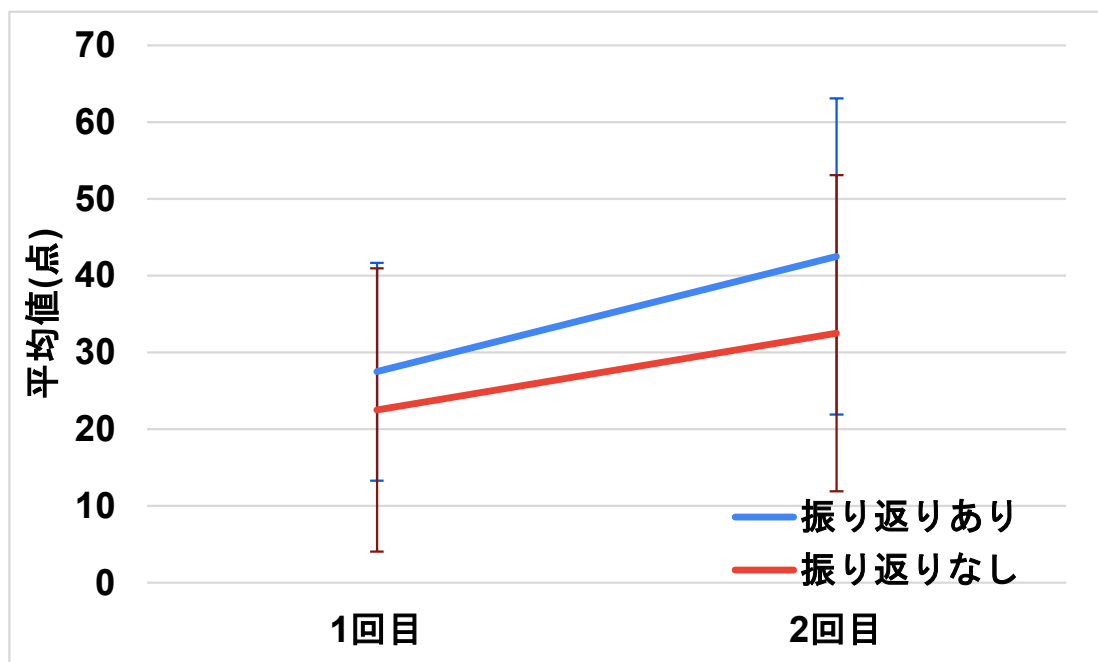


図4 脚立選び，設置など，準備フェーズの専門家評価

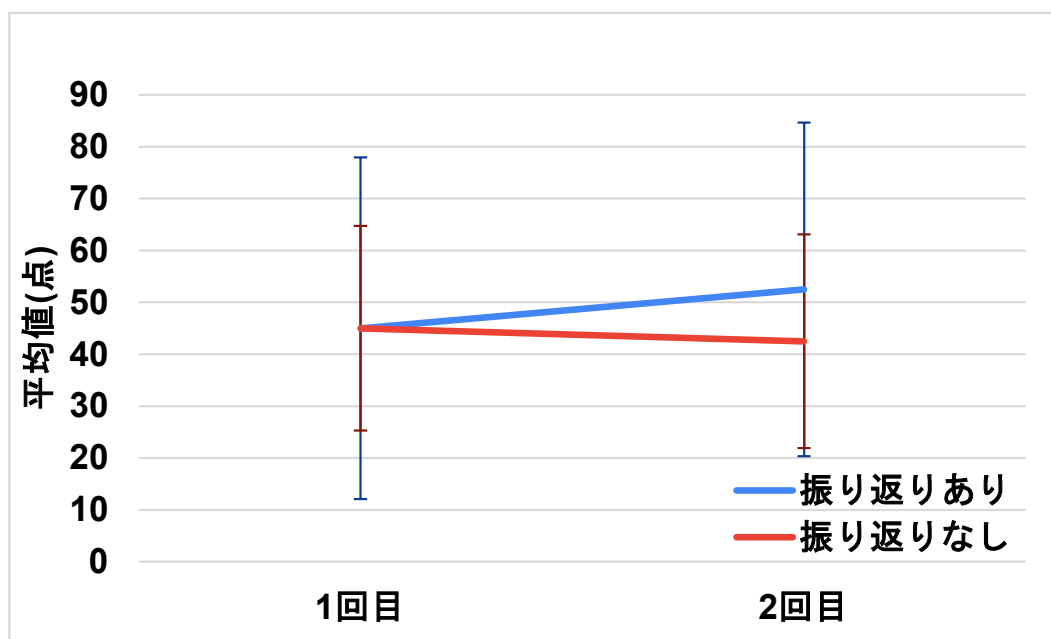


図5 脚立上の作業の専門家評価

2) 表1のルール1～7は脚立に昇るとき、8～16は脚立上の姿勢や作業方法、17～19は脚立から降りる時である。調査の結果、脚立上の項目は認知率、遵守率ともに低かった(図6, 7)。脚立使用時のルールに関する知識の獲得と他者の作業評価を通じて、参加者の安全性に対する自己評価が有意に低下した(図8)。これは、参加者が自分の知識の欠如を認識し、自身の行動をより厳しく振り返るようになったことを示しており、メタ認知能力の向上が示唆された。特に、脚立上での姿勢や作業方法に関するルールの認知率や遵守率が低かったことから、これらのフェーズにおける教育と訓練の重要性が強調される。天板の上に立つという動作は、不安全行動であるという認知率は高かったが、遵守率が低かった。

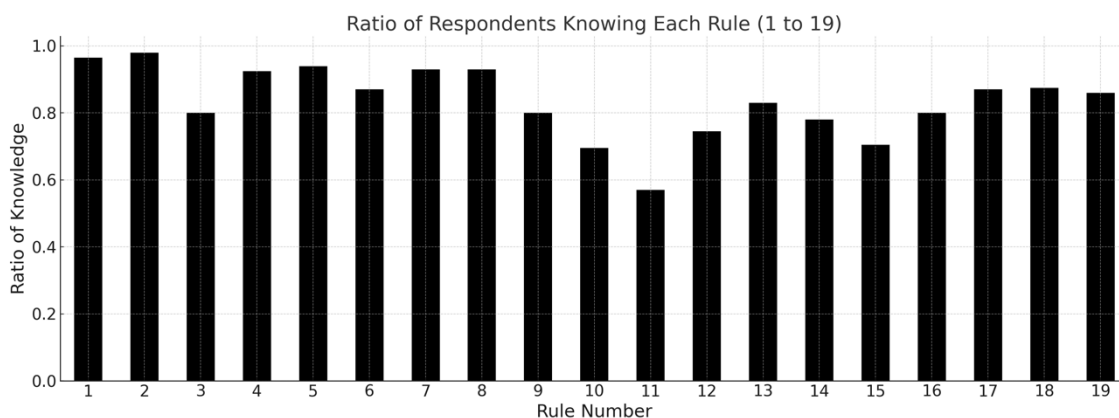


図6 脚立ルールの認知率

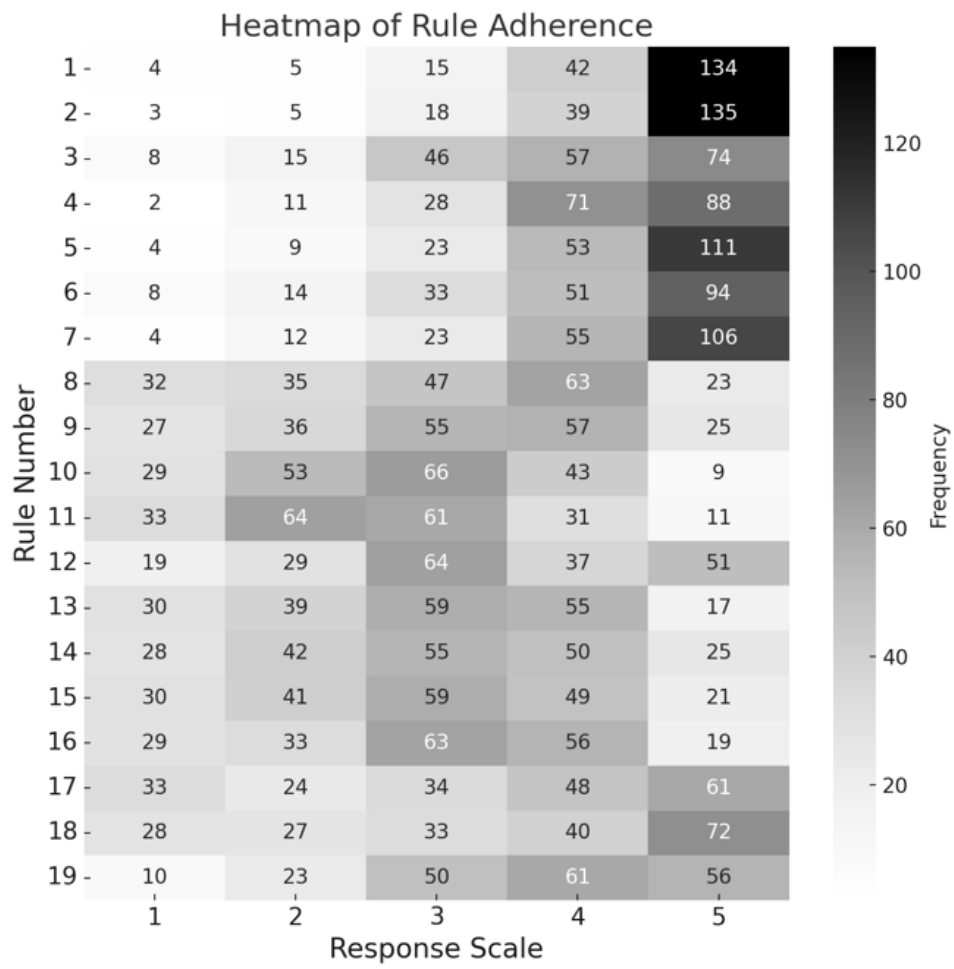


図7 脚立ルールの遵守率



図8 安全性に対する自己評価の変化

#### D. 考察

実験結果から、他者の作業動画を評価し、自身の作業を振り返るプロセスを経ることで、メタ認知能力が向上する可能性が示唆された。特に準備段階や脚立上での作業において、メタ認知群が安全性の向上傾向を示したことから、作業全体を通した自己振り返りの重要性がうかがえる。ただし、統計的な有意差は認められなかった点は、サンプルサイズの制約や、実験環境が実際の現場と異なることなどが影響した可能性がある。

一方、自己評価と専門家評価のギャップは、作業者が自身の問題点を過小評価している、または認識していない状態にあることを示唆している。自己評価の正確性を高めるには、第三者からの客観的な評価フィードバックが不可欠であり、本研究で開発した教材はその一助となると考えられる。

調査結果からは、脚立上での姿勢や作業方法に関するルールを理解と遵守が特に不足していることが明らかになった。これは、脚立作業の最も危険な局面において、作業者の安全意識が低いことを示しており、重点的な教育と訓練が求められる。天板への立ち上がりについても、認知と行動のギャップが存在しており、その原因として、作業の効率性を優先せざるを得ない現場の状況が影響している可能性がある。この点に関しては、経営者側による安

全な作業環境の整備が不可欠である。

教材を用いた学習を通じて、参加者の自己評価が有意に低下したことは、メタ認知能力が向上した証左と考えられる。自身の欠点を認識し、行動を厳しく振り返ることができるようになったためである。メタ認知能力の向上が、安全意識と行動の改善につながることが期待される。

総じて、本研究では安全教育において、知識の提供に加え、他者評価と自己振り返りのプロセスを取り入れることの重要性が示された。開発した教材はそうした手法を実現するものであり、現場への展開が求められる。ただし、自己評価の精度向上など、さらなる検討課題も残されている。例えば、実際の現場環境下で教材を用いた訓練を行い、専門家による客観的な評価フィードバックを加えることで、メタ認知能力と自己評価の正確性をより高められる可能性がある。

## E. 結論

本研究では、建設現場における脚立作業の安全性向上を目的として、作業者のメタ認知能力を高める教育手法と、実践的な安全教材の開発を行った。実験の結果、他者の作業動画を評価し、自身の作業を振り返ることで、メタ認知能力が向上する可能性が示された。特に、準備段階や脚立上での作業において、自身の行動を振り返った群は安全性の向上傾向が見られた。しかし、統計的な有意差は確認できず、自己評価の正確性にも課題が残った。

一方で、開発した「脚立の安全な使い方ワークブック」は、動画を活用しながら、他者評価と自己振り返りのプロセスを含む実践的な教材となった。調査の結果、本教材を用いた学習により、参加者の脚立使用ルールに関する知識が向上し、他者作業の評価を通じて自身の安全性に対する評価が厳しくなることが分かった。これは自身の欠点を認識し、振り返りを適切に行うメタ認知能力が向上したためと考えられる。

以上の結果から、安全教育においては知識の提供だけでなく、他者評価と自己振り返りのプロセスを取り入れることが重要であり、本研究で開発した教材はその一助となることが示された。ただし、自己評価の正確性向上など、さらなる検討課題も残されている。

建設現場の脚立作業では、作業者自身がメタ認知能力を育て、安全性を常に意識することが不可欠である。本研究は、そうした意識向上に寄与する教育手法と教材を提示するものであり、今後の現場への展開が期待される。

## **F. 健康危険情報**

(分担研究報告書には記入せずに、総括研究報告書にまとめて記入)

## **G. 研究発表**

### 1) 論文発表

なし

### 2) 学会発表

- [1] 西岡虎太郎, 島崎敢, 石垣陽, 菅間敦, 中嶋良介, 高橋明子: 脚立作業の匿名化映像を用いた安全教育手法の検討, 2023 年度日本設備管理学会春季研究発表大会論文集, C-1.1, 2023.

### 3) メディア報道

- [1] 労働新聞社 安全スタッフ ニュース, 脚立の労災予防に学習ツール 動画と点検表で行動を客観視 電通大など研究グループ 2024.05.10,  
<https://www.rodco.jp/news/176809/> (2024.05.15 参照)

## **H. 知的財産権の出願・登録状況**

(予定を含む.)

なし

### 1) 特許取得

なし

### 2) 実用新案登録

なし

### 3) その他

なし