

# 脚立作業時の安全性向上の提案

Proposal for improving the safety of stepladder work

蓑輪 快人<sup>1</sup> 村越 英樹<sup>1\*</sup>

Yoshihito Minowa<sup>1</sup> Hideki Murakoshi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology

\*Corresponding author: Hideki Murakoshi, hm@aait.ac.jp

**Abstract** A lot of accidents occur at construction sites. Regarding accidents in the construction industry, looking at the labor statistics data by category, the most common accidents are fall accidents. Furthermore, the most common cause of falls is ladders accident. We focus on stepladders, which are commonly used in plant construction sites. We report the development of sensing devices that would help prevent from accidents for stepladders.

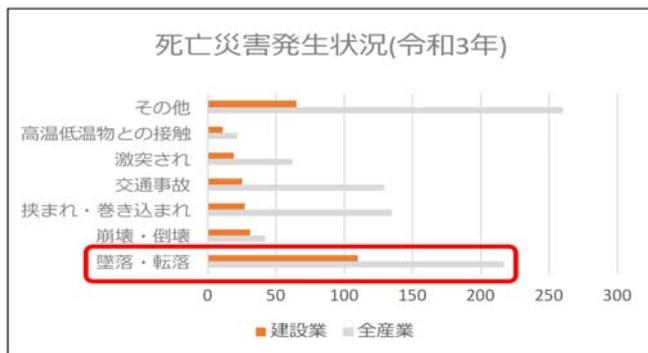
**Keywords** safety on construction site; stepladder sensing devices

## 1 はじめに

建設業の現場では令和3年には288件の死亡災害が起きており、16,079件もの死傷者が発生している[1]。災害の発生は働く本人やその家族にとって悲惨な出来事となる。また安全管理は企業においても従業員や客先との信用上重要な課題である。昨今では姿勢推定による不安定な姿勢の検知やAI画像解析技術を用いた不安全行動監視技術[2]が用いられ、安全帯内部にセンサを組み込み、作業員が無胴綱状態になる前に自動で警告するシステム等がある。このシステムでは管理者側はリアルタイムで監視を行い、指導・教育・安全対策の基礎データを獲得し指示や指導に活用している[3]。これらのように安全管理にセンシング技術やIoT技術を利用する事例が増加している。

職場のあんぜんサイト[1]の労働災害統計によると、死亡災害のカテゴリー別で最も多いのは建設業・全産業共に図1に示す通り「墜落・転落」である。更にその中で墜落・転落災害の原因内訳の中で一番多いのが「はしご等」である。そこで「はしご等」の中で、筆者の働く建設現場でも頻繁に使用される「脚立」に絞り、センサを用いて安全性を向上させる脚立付属デバイスの開発を試みた。

本稿では脚立作業の安全性を向上させるデバイス開発について報告する。第2章では脚立事故の原因分析・分類について述べる。第3章では解決の手段としてデバイスプロトタイプ的设计と試作について述べる。第4章ではプロトタイプを用いた実験と考察を述べる。第5章は本稿のまとめと今後の展望である。



※職場の安全サイトのデータを基に作成

図1 建設業の死亡災害発生状況(令和3年)

## 2 脚立事故の原因分析・分類

### 原因分析・分類

脚立での転倒災害について厚生労働省の労働災害事例、労働災害統計にて具体的な事例調査を行った。被災の具体的な状況は、「作業中」、「上り」、「下り」で分類すると「作業中」の事故が約7割、次いで「下り」が約2割であった[1]。また事故のきっかけとしては「身体バランスの崩れ」が最も多く、次いで「足の滑り」、「躓き」の順に発生している。「身体バランスの崩れ」が多いのは、脚立に乗った上で何らかの作業をする為、作業に集中する中で不安定な姿勢になると思われる。また脚立の天板に乗ることや跨いでの使用は、不安定になりやすく誤った使用方法である。一方、消費者庁のアンケートでは約4割以上の一般消費者が天板に乗ってはいけないこと、跨いではいけないこと等の注意事項を知らなかったと答えている[4]。いずれの場合も脚立の転倒方向(不安定方向)は一定である(正しい姿勢であれば身体が脚立に接し倒れない[5])為、事故の多くは

①不安定方向への揺らぎにより転倒

②誤った使用方法(天板に乗る、跨いで使用等)により転倒の何れか、もしくはその組合せで起因した事例であると考えられる。

### 現場での観察と危険度の高い環境

脚立でのヒヤリハットの事例等はインターネット上や書籍等に散見されるが、周辺環境の記述が限定的であり、原因を深堀し、防止する為には十分ではないと感じている[1]。著者が日々の現場監督業務を行なう中で遭遇した事例では、雨天での半屋外作業がある。建設中の現場では建物の扉等がなく、屋内であっても雨天の際には雨や風が入る状況である。その為屋内の狭い作業環境にて雨合羽や長靴を履いての作業が発生する。建設現場では保護メガネ着用が義務付けられており、新型コロナウイルス禍では、マスク着用も義務付けられている。雨の日で目元が曇る中、長靴・雨合羽で脚立に上った作業が発生した。この状況は脚立使用に際し、非常に危険度の高い環境であった。事故防止の為には、事故発生時の周辺環境のより深い把握が不可欠であると感じた。

### 3 デバイスプロトタイプ的设计と試作

#### デバイスで実現すべきこととその方針

脚立の安全性を向上させる為には、作業中の姿勢や、正しく使われているかを監視することが有効と考えられる。更に事故防止の為には、事故原因となるような周辺環境条件の情報収集機能を持たせることも必要であると考えられる。

そこで、以下の機能を備えたデバイスを設計することを方針とした。

- 1) ①不安定方向への揺らぎ、②誤った使用法（天板に乗る 跨いで使用等）により転倒の危険を検出し、警告する機能。
- 2) Web カメラを用いた情報収集機能。

#### デバイスの仕様と実装

①の「不安定方向への揺らぎ」の検知方法には、超音波式距離センサを使用することとした。超音波式距離センサは、ほこりなどに対する耐環境性が高く[6]、安価である為、建設現場に適していると考えた。当初は危険な範囲の境界をレーザー等で視覚的に表現し、境界を超えることを知らせる方法や赤外線式センサも検討したが、作業現場の光の環境が様々であり、誤動作の可能性が否定できず、また、レーザー光を使用した場合には作業者の目に入る危険性も否定できない為である。

ここで提案するデバイスでは、図2に示すように、作業者が境界領域を超えて作業し、計測距離が変化することを検知すると、アラートを出す仕組みとした。超音波式距離センサ HC-SR-04[7]を用いて高さ方向は 80cm 以上 300cm までの範囲を最大有効範囲とし、天井の高さで有効範囲を制限することとした。幅方向の不安定領域の設定は、脚立が転倒する条件をつり合い式の計算にて算出し、1.4m 程飛び出した位置となった。ここでは安全側となるように、脚立の下部脚先から先を不安定領域と仮定した。定めた不安定領域にて距離の変化を検知した場合には、ブザーを鳴らし、本人及び周囲の人に警告するよう実装した。この機能の実装には、天板下部に設置した Raspberry pi 4 を用いた。また、この Raspberry pi 4 は、後述する事例情報取得の為の Web カメラと接続している。

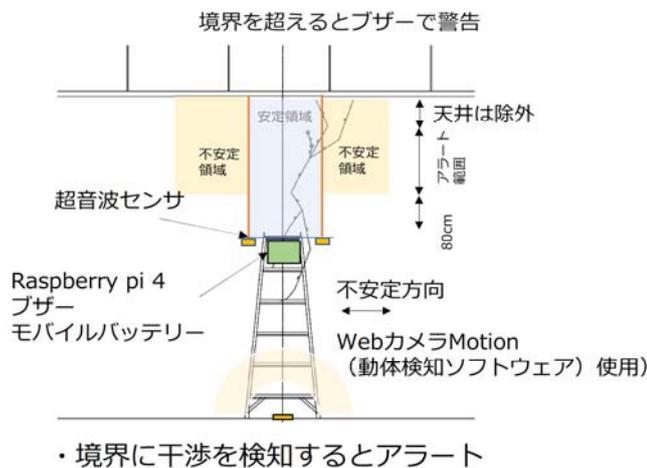


図 2 不安定方向への揺らぎの検知方法概略

②の「誤った使用法（天板に乗る 跨いで使用）」の検知には、圧力センサ MF02A-N-221-A03[8]を脚立の天板（最上段）及び、一段目の中央部に設置し、作業者の立ち位置を検知する（図3）。作業員がセンサを設置した天板やステップに乗り、圧力を感知するとブザーが鳴るように実装した。この機能の実装には、Arduino uno R3 を用いた。圧力センサ MF02A-N-221-A03 で検知した情報は、Obniz Board 1Y[9]（通信機能を持ったマイコンボード）を経由して、携帯電話の LINE アプリで通知を受ける仕組みも搭載した。

携帯電話の LINE アプリで通知を受け取れるようにしたのは監督者に脚立の使用状態を可視化して伝えるデバイスとすることで、監督者が現場を離れた際でも抑止の機能を持たせる為である。また作業員（職人）側も危険とはわかっているが、あと一歩で届く環境においては、楽な方向へ流れやすいが、外部の監視の目や声掛けがあれば防止に役立つと考えた為である。



図 3 誤った使用法の検知と通知方法概略

#### 事例情報の収集の為の仕組み

前述のように、事故防止においては、現場環境のより深い実態把握が必要である。そこで実態調査の為に Web カメラで動体検知できる機能を実装させた。Web カメラでの映像は、脚立が利用される際に Motion[10]（Motion: カメラ画像内の動きを検知し、静止画の撮影や動画の録画ができるソフトウェア）にて動体検知を行って録画可能とした。この機能を用いて各々の現場での脚立作業における危険な作業環境の把握、ヒヤリハット事例の収集に役立てることを期待する。

#### デバイス全体の構成

デバイス全体の構成を図4に示す。センサについては超音波式距離センサと圧力センサを採用した。Raspberry pi 4 はデジタル出力の処理に、Arduino uno R3 はアナログ出力の処理に使用した。また Obniz Board Y1 は Line 通知の実現が容易な為採用した。試行錯誤しながらのシステム開発であった為、機能別のシステム構成となったが、集約することは十分可能であると考えられる。

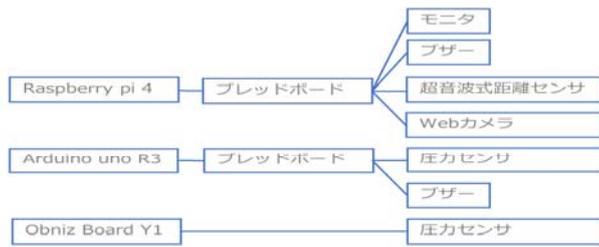


図 4 デバイス全体の構成

今回試作したデバイス群を図 5 に示す。Raspberry pi 4, Arduino uno R3, Obniz Board 1Y はひとつの箱にまとめて収納しモバイルバッテリーより電源供給する。図 6 は、取付時のイメージである。デバイスをまとめた箱は使用時には天板の下に設置する。超音波式距離センサは天板側面に設置する。圧力センサは天板上及び一段目に設置する。また Web カメラは脚立の下部に設置し、有線にて Raspberry pi 4 に接続する。



図 5 試作デバイス群



図 6 取付時イメージ



図 7 作業時イメージ

## 4 プロトタイプを用いた実験と考察

### 実験の目的

提案・実装したプロトタイプを用いて、著者が被験者となり、実際の建設現場での作業を再現した。実験の目的は、デバイスが安全性向上にどの程度役立つか確認し、改善の方針を定めることであり、具体的には以下の 2 つの側面から検証した。

### 不安定方向へ揺らぎの検知 (超音波式距離センサ)

不安定な姿勢として、図 6 のように機器を脚立に取り付けて前章 図 7 のように作業者がインパクトドライバーを用いて身を乗り出す作業を模した実験を行った。高さ 1.8m の脚立を屋外で使用し、超音波式距離センサが反応する高さ、位置の設定の妥当性を確認する。

### 誤った使用法の検知 (圧力センサ)

天板に乗る、跨いで使用するという誤った使用時に、センサで検知し、アラートが出ることを確認する。また、安全靴や長靴でも圧力センサが検知することを確認する。

### 実験結果

超音波式距離センサは、高さ方向は、不安定な作業時に手がかかる範囲を捉えることができたが、水平方向では身を乗り出すことなく手が少し出るだけでも反応してしまうケースがあった。安全性の観点からは、少しでも不安定領域に入ったときにアラートを発するのは良いことだと考えるが、アラートが頻繁に鳴ると作業者が慣れてしまうことが考えられる。その為危険な状態の時だけアラートが発せられるようセンサの追加などの改善が必要である。

圧力センサについては安全靴、長靴でもしっかり反応した。中央部のみにセンサを配置したが、作業中には端部に足をかけようとはならない為、検知上支障になることはないと考えられる。

### 考察

超音波式距離センサについて今後は 2 段階にセンサを配置し、1 つの境界を超える場合と 2 つを超える場合でブザーの音のピッチを変えるなどの改善が必要であると考えられる。また、アラート下で作業継続することへの更なる警告機能も追加した方が良いと考える。また、今回はブザーによる聴覚的警告としたがパトライトによる視覚的警告にも検討の余地がある。

今後、実際の現場での実験が必須となるが、不安定方向への揺らぎや誤った使用法といった行動にはアラートで注意を集めること、アラート情報が LINE で管理者に届くことを踏まえれば、作業者の安全意識向上へ一定の効果が期待できると考えられる。

## 5 まとめと今後の展望

本稿ではセンサを用いて脚立事故を防止する為、建設現場での事故防止に役立つ脚立付属デバイスを設計・試作し、不安定方向への揺らぎや誤った使用法を警告する機能を実現した。

プロトタイプ実験を踏まえて、超音波式距離センサの過剰反応への対策、試行錯誤しながらの試作の為、通信機器の数が増えたことへの再整理が必要である。また、今回は第三者による実験の許可を得る段階まで期限内に至ることが出来ず、内的な実験に留まった為、今後、実証実験を行う必要がある。

今後は実装した機能を再整理し、作業実態の情報収集、各現場での実証実験へすすめていきたい。また、建設現場では原則ヘルメットを着用するが、果実の剪定作業等はヘルメットを使

用しないケースが多く、より脚立事故の危険度が高い。このような機会での活用も考えられる[11]。本稿で提案したデバイス開発をベースに建設業や他産業の安全意識向上の助けとなることを目指していきたい。

## 参考文献

1. 厚生労働省, 職場のあんぜんサイト, 労働災害統計  
Available: <https://anzeninfo.mhlw.go.jp/user/anzen/tok/anst00.html>
2. 日本経済団体連合会, 最新技術を活用した労災防止対策事例集, AI 画像認識技術を用いた不安全行動監視技術の開発・運用, 2020. Available:  
<https://www.keidanren.or.jp/policy/2020/115.html>
3. FUJITSU Manufacturing Industry Solution COLMINA スマート安全帯. Available:  
<https://www.fujitsu.com/jp/solutions/industry/manufacturing/monozukuri-total-support/solutions/safetybelt/>
4. 独立行政法人 製品評価技術基盤機構, はしご・脚立の事故防止対策報告書, P17, 2022.  
Available: <https://www.nite.go.jp/data/000139707.pdf>
5. 独立行政法人 製品評価技術基盤機構, 「はしごの上で作業しない, 脚立にまたがらない」, P6, 2022.  
Available: <https://www.nite.go.jp/data/000140307.pdf>
6. 濱口聖士, 穂方孝之. 深度画像センサの外乱除去フィルタ, 神戸製鋼技報, Vol. 68, No 1, 2018.  
Available: [https://www.kobelco.co.jp/technology-review/pdf/68\\_1/020-022.pdf](https://www.kobelco.co.jp/technology-review/pdf/68_1/020-022.pdf)
7. 超音波距離センサ HC-SR04 データシート. Available:  
<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>
8. 圧力センサ MF02A-N-221-A03 データシート  
Available:  
[https://www.mouser.jp/datasheet/2/13/MF02A\\_\\_c3\\_a2\\_c2\\_96\\_c2\\_a1\\_A03-2634368.pdf](https://www.mouser.jp/datasheet/2/13/MF02A__c3_a2_c2_96_c2_a1_A03-2634368.pdf)
9. 通信機能を持ったマイコンボード Obniz Board 1Y.  
Available: <https://store.obniz.com/ja/products/obniz>
10. Motion.  
Available:  
[https://motion-project.github.io/motion\\_config.html#configfiles](https://motion-project.github.io/motion_config.html#configfiles)
11. 清水鉄也, 脚立からの転落事故の発生 状況, P134, 2019.  
Available: [https://www.kokusen.go.jp/research/pdf/kk-201912\\_7.pdf](https://www.kokusen.go.jp/research/pdf/kk-201912_7.pdf)



**Open Access** This article is licensed under CC BY 4.0.  
To view a copy of this license, visit  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>