

(33) スマートウォッチを用いた建設現場の ヒヤリハット検出の試行に関する研究

今井 龍一¹・神谷 大介²・井上 晴可³・田中 成典⁴・櫻井 淳⁵・
藤井 琢哉⁶・本間 伸哉⁷・伊藤 誠⁸

¹正会員 東京都市大学准教授 工学部 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1丁目28番1号)
E-mail:imair@tcu.ac.jp

²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番地)
E-mail:d-kamiya@tec.u-ryukyu.ac.jp

³正会員 関西大学特命助教 先端科学技術推進機構 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)
E-mail:h.inoue@kansai-u.ac.jp

⁴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丁目1番1号)
E-mail:tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp

⁵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丁目1番1号)
E-mail:k400448@kansai-u.ac.jp

⁶正会員 株式会社ケー・シー・エス (〒112-0002 東京都文京区小石川1-1-17 とみん日生春日町ビル)
E-mail:t-fujii@kcsweb.co.jp

⁷非会員 株式会社長大 (〒103-0014 東京都中央区日本橋蛸殻町一丁目20番4号)
E-mail:honma-s@chodai.co.jp

⁸正会員 東急建設株式会社 (〒150-8340 東京都渋谷区渋谷1-16-14 渋谷地下鉄ビル)
E-mail:itou.makoto@tokyu-cnst.co.jp

建設現場において、労働災害を未然に防ぐにはヒヤリハットの潜在する危険の芽を摘むことが重要である。既存研究では、人体の生理反応からヒヤリハットを検出するシステムがあるが大型装置が必要となる。近年流通している安価で簡易に心拍数を計測できるスマートウォッチを用いて建設現場のヒヤリハットを検出できると安全管理に多大な貢献が期待できるが、関連した既存研究は見当たらない。

本研究は、スマートウォッチの心拍数データを用いた建設現場のヒヤリハット検出の可能性を検証した。具体的には、ヒヤリハットの検出手法を考案し、実現場にてヒヤリハットへの遭遇を想定した実験を実施した。その結果、スマートウォッチの心拍数データからヒヤリハットを検出できることがわかった。

Key Words : construction site, near miss scenes, smart watch, heartbeat

1. はじめに

建設現場では、多くの人や建設機械が混在し、各々が独自に作業することから常に危険が潜在している。厚生労働省が公表する労働災害統計¹⁾によると、労働災害は近年減少傾向にあるが、依然として多くの事故が発生している。建設業に着目すると、2017年の死亡災害は323人であり、2016年の294人よりも9.9%増加している。特に墜落・転倒が約40%で最も多くの割合を占めている。他にも建設機械への巻き込み事故や資材の飛来・落下による死傷災害が起きている。これらの事故を未然に防ぐに

は安全管理の徹底が喫緊の課題といえる。

こうした労働災害の減少を図るには、1件の重大事故の背景に29件の軽い事故があり、さらに事故に至らなかったもののヒヤリとする事象（以下、ヒヤリハット）が300件潜むとされるハイインリッヒの法則に基づき、ヒヤリハットの段階で潜在する危険の芽を摘むことが重要と考えられる。人体の生理反応からヒヤリハットを検出する既存研究として、血圧の変化から車の運転者の状態を推定するシステム²⁾が提案されているが、大型装置が必要であり、建設現場への適用は難しい。一方、近年のセンサ技術の発展により、人に装着して安価で簡易に心

拍数を計測できるスマートウォッチが注目されている。スマートウォッチを用いて建設現場のヒヤリハットの検出ができると、効果的な安全管理の仕組みづくりに大きく貢献することが期待できる。

本研究では、スマートウォッチの心拍数データを用いた建設現場のヒヤリハットの検出可能性を検証する。本稿は第2章でスマートウォッチを用いたヒヤリハットの検出可否を分析し、第3章でヒヤリハットの検出手法を提案する。そして、第4章で提案手法を適用したヒヤリハットの検出を試行する。

2. スマートウォッチを用いたヒヤリハット検出可能性の確認

本章は、心拍数の計測が可能なスマートウォッチを用いて、日常生活の中で発生するヒヤリハットの検出の可能性を検証した。

(1) 使用するスマートウォッチ

心拍数の計測が可能なスマートウォッチは、光学式と心電式とに大別できる。光学式は、手首に巻いた腕時計から発光ダイオードの光を照射し、血流の変化から心拍数を計測するため、腕時計のみで計測できる。心電式は、胸ベルトを使用して心拍数を計測するため、腕時計と胸ベルトのセットで計測する。

本研究では、光学式より正確な心拍数を1秒間隔で計測できる心電式スマートウォッチ（表-1）を用いる。なお、POLARは本章、GARMINは第4章で使用する。

(2) ヒヤリハット検出の試行

本研究は、20代男性の被験者を対象に、自宅から大学までの車両運転時の心拍数を計測し、ヒヤリハットの検出の可能性を検証した。

心拍数の計測結果の推移を図-1に示す。出発地から目的地到着までの心拍数の変化に着目すると、3箇所で大変動していた。各箇所を詳細に確認すると、事象①はカーナビゲーションシステムの操作により右車線の車の動きに気づくのが遅れた時、事象②は車線の減少に伴って大型トラックの無理な割り込みがあった時、事象③は大学施設内の工事で作業中の作業員と接触する危険があった時である。

心拍数を確認すると、事象①と②は短時間に大幅な上昇と下降の変化が確認できた。これは、交通事故に繋がる可能性がある危険度の高い事象と考えられる。事象③は比較的穏やかな上昇と下降の傾向が見られた。これは、被験者が接触を予め予測していた緊張状態により心拍数に変化が生じた危険度の低い事象と考えられる。

表-1 使用するスマートウォッチ

製造	種別	製品名	写真
POLAR	腕時計	v800	
	胸ベルト	H7	
GARMIN	腕時計	ForeAthlete 920XTJ	
	胸ベルト	HRM-Ti	

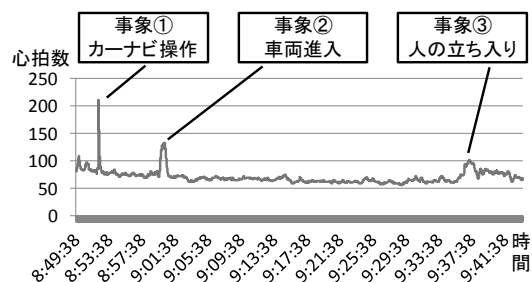


図-1 心拍数の推移

以上より、スマートウォッチのセンサデータを用いて、ヒヤリハットを検出できることが示唆される。また、心拍数が一時的に上昇する数値の大きさから、危険度の高低を分類できる可能性がある。

3. ヒヤリハット検出手法の提案

本研究は、前章の試行結果に基づいて、スマートウォッチの心拍数の計測結果から、ヒヤリハットの発生地点を検出する手法を考案した。そして、第2章で記述したヒヤリハット箇所を検出できるかを確認した。

(1) 提案手法によるヒヤリハットの検出手順

第2章の試行結果より、ヒヤリハット発生時には、心拍数が短時間で上昇し、数秒後に元の心拍数に戻ることが確認できた。本研究は、この特徴に基づいて、ヒヤリハットを検出する手順を図-2に示すとおり定義した。

- STEP1：計測開始時を起点として、一定時間（時間A）の心拍数の平均値を取得する。
- STEP2：STEP1の取得時間の直後を起点として、一定時間（時間B）の心拍数の平均値を取得する。
- STEP3：STEP1と2で取得した平均心拍数の差を算出し、一定の数値（閾値C）以上の増加の有無を判定する。ここで、閾値C未満の場合、STEP2の取得時間の直後から、STEP1～3の手順を繰り返す。
- STEP4：STEP2の取得時間の直後を起点として、一定時間（時間A）の心拍数の平均値を取得する。
- STEP5：STEP2と4で取得した心拍数の差を算出し、一定値（閾値C）以上の減少の有無を判定する。こ

ここで、閾値C未満の場合、STEP4の取得時間の直後を起点として、STEP4～5の手順を繰り返す。
ただし、一定時間（時間D）の間に閾値C以上の減少が無い場合、その直後の時間を起点として、STEP1～5の手順を繰り返す。

STEP6：STEP1～5の全ての条件を満たす場合、ヒヤリハットにより心拍数が短時間で上昇して下降したと判定し、STEP2の心拍数が上昇し始めた地点をヒヤリハット発生地点として検出する。

(2) 提案手法の適用可能性の確認

本研究は、第2章の図-1の計測データを用いて提案手法によるヒヤリハットの発生地点の検出の可否を確認した。提案手法のパラメータは、表-2に示す値に設定する。

心拍数の変化量の閾値Cを8および16に設定した場合の処理結果を図-3に示す。図-3中の白線は車の移動軌跡、黒点は提案手法によるヒヤリハットの検出地点を示す。この結果に基づくと、閾値が16の場合は危険度が高い事象①および事象②、閾値が8の場合は危険度が低い事象③を含む全事象を検出できると言える。このことから、閾値Cの値を2段階に分けると、危険度が異なる事象を検出できると考えられる。以上より、提案手法はヒヤリハットの検出に適用できる可能性があることがわかった。

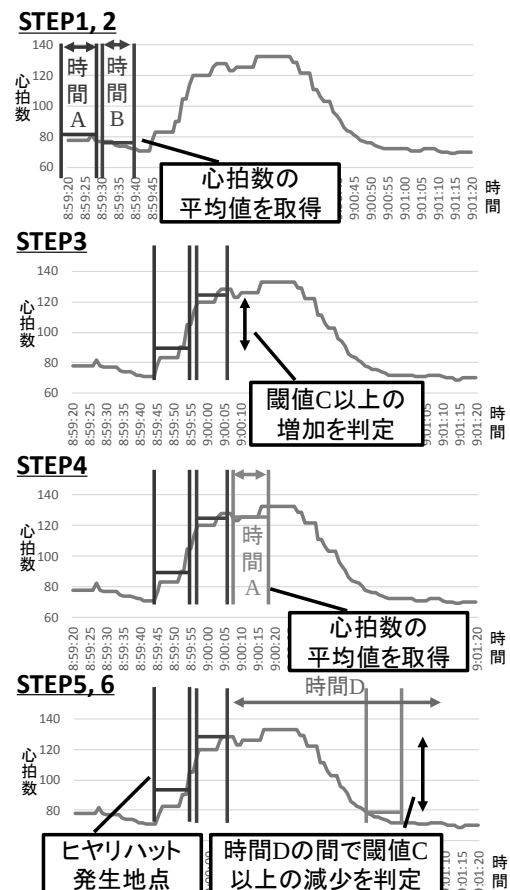


図-2 ヒヤリハットの検出手順

4. 実証実験

本章では、建設現場を想定した歩行実験を実施し、提案手法によるヒヤリハットの検出可能性を評価した。

(1) 実験環境

実験は、2017年11月29日に東急建設（株）技術研究所の施設内の駐車場で実施した。本稿は、GARMIN社のスマートウォッチ（表-1）を装着した40代の男性1人の被験者の心拍数データを用いた。

(2) 計測方法

被験者は、午前11時頃から午後12時30分頃までの約1時間半にわたって、休憩を挟みながら敷地内で歩行やジョギングを行って心拍数を計測する。実験時はヒヤリハットへの遭遇を想定し、駐車場に配置した車両1台から不定期にクラクションを鳴らす。クラクションの発生回数は計14回とした。なお、被験者には、不定期にクラクションを鳴らすことを予め伝えた上で実験を行った。

(3) 評価方法

クラクション発生付近の心拍数の推移を確認するために、クラクション発生前後20秒ずつの計40秒間の心拍数

表-2 提案手法のパラメータの設定値

項目	説明	設定値
時間 A	ヒヤリハット発生前と後の平均心拍数の取得時間	5 秒
時間 B	ヒヤリハット発生時の平均心拍数の取得時間	5 秒
閾値 C	ヒヤリハットを判定する心拍数の変化量の閾値	8, 16
時間 D	心拍数が減少するまでの判定時間	180 秒

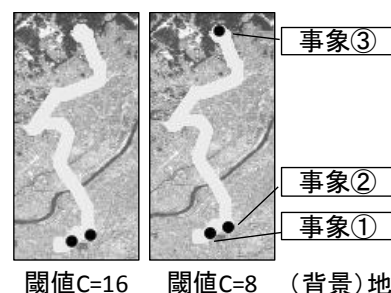


図-3 提案手法によるヒヤリハット発生地点の検出

データを抽出し、推移をグラフで確認する。また、抽出した心拍数データを用いて、提案手法によるヒヤリハット発生地点の抽出可否を評価する。提案手法のパラメータは、第3章と同様に表-2の値を使用する。ただし、本実験はクラクションの動作を被験者が事前に認知しているため、危険度が低い事象とし、閾値Cを8に設定した。

(4) 評価結果

クラクション14回分の結果から、1、4、7回目の3回分の心拍数の推移をグラフで可視化した結果を表-3に示す。1回目のクラクション発生時の結果を確認すると、心拍数が15程度上昇し、10秒程度で元の心拍数に戻っていることから、クラクションの影響で心拍数が変化したと考えられる。一方、2回目から14回目の結果を確認すると、心拍数に大きな上昇・下降傾向は確認できなかった。これは、クラクションを鳴らすという同一事象が繰り返されたことにより、被験者が危険事象と感じなくなったと考えられる。このことから、1回目のクラクションのみがヒヤリハットの場面に遭遇したといえる。

次に、提案手法の処理結果として、1回目の結果からヒヤリハットを1箇所検出した。ヒヤリハット検出時点のビデオカメラの撮影画像を図-4、ヒヤリハット検出結果の可視化結果を図-5に示す。図-5の白点はスマートウォッチに搭載されるGPSセンサによる移動軌跡、黒点はヒヤリハット検出箇所である。これらの結果から、クラクション発生時、被験者はクラクション発生車両から約1mの位置を歩行していたことが確認できる。図-5のプロット結果において、GPSセンサから取得した位置情報とクラクション発生車両間の距離が約5mと実距離より大きくなる要因は、GPSセンサの測位誤差が数m単位で発生することが影響しているためと考える。

これらの結果から、提案手法を用いると、スマートウォッチの心拍数データからヒヤリハットを検出できることがわかった。ただし、実験環境下における結果であるため、今後は実際の建設現場の技能者にスマートウォッチを装着して計測した心拍数データを用いて提案手法の実用性を評価する必要がある。また、提案手法は、短時間で心拍数が上昇・下降する場合をヒヤリハットと定義しているが、短時間で運動強度の高い運動をした場合でも類似の傾向となる。すなわち、ヒヤリハットが誤検出される可能性があるため、現場内の技能者の運動強度のベンチマークを設定するなどの対処が必要である。

さらに、GPSセンサで取得できる経緯度を地図にプロットするとヒヤリハット発生地点を可視化でき、工事現場の安全対策に繋がる可能性がある。ただし、GPSセンサで取得する位置情報には前述の測位誤差を含むため、正確なヒヤリハットの発生場所の特定には、現場に設置したビデオカメラのデータなどを用いて人の移動軌跡を精微に捉える対策を講じる必要がある。

5. おわりに

本研究はスマートウォッチの心拍数データを用いた建設現場のヒヤリハットの検出手法を考案し、適用可能性

表-3 クラクション発生時の心拍数の推移

回数	グラフ可視化結果
1回目	
4回目	
7回目	

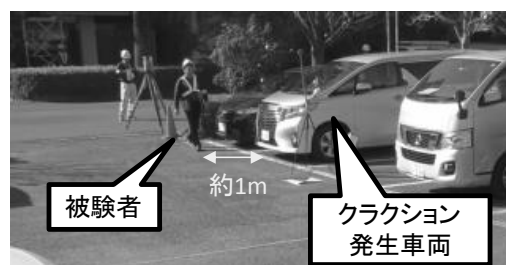


図-4 ヒヤリハット検出時点のビデオカメラの撮影画像

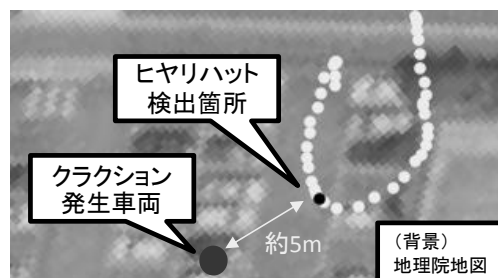


図-5 提案手法によるヒヤリハット検出結果の可視化

を検証した。今後は、実際の建設現場にて計測した心拍数データを用いて試行を重ねて、提案手法の洗練を図る。

謝辞：本研究を取りまとめるにあたり、関西大学社会空間情報科学研究センターの参画企業から多大なるご尽力を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 厚生労働省：労働災害統計、<<http://anzeninfo.mhlw.go.jp/user/anzen/tok/anst00.htm>>、（入手 2018.06.05）。
- 2) Tanaka, M., Kobayashi, F., Arakawa, T., Kondo, S., and Kozuka, K. : Detection of Driver's Surprised State Based on Blood Pressure and Consideration about Sensitivity of Surprised State, *The 2nd International Conference on Intelligent Systems and Image Processing 2014*, IEEE, 2014.