

IoT を活用した作業員向け安全管理システム

生体センサと環境センサとクラウドを利用したサービス

森 川 直 洋

作業員向け安全管理システムは、建設現場や工場などで働く作業員の健康状態と作業場所の環境状況を一元的に管理し、作業員の安全管理を行う。作業員の心拍数をウェアラブル型のバイタルセンサで、各作業場所の WBGT（暑さ指数）を計測し、これらをリアルタイムに IoT クラウド上で共有、分析することで、作業員の体調を管理し、安全な労働環境を提供する。

キーワード：上位語：IoT、クラウド、体調管理、生体センサ、ウェアラブルセンサ、環境センサ

中位語：心電位、心拍数、WGBT

1. はじめに

温暖化による気温上昇が進む中、2017年6月に厚生労働省により発表された「職場における熱中症による死傷災害の発生状況」¹⁾によれば、2010年の熱中症による死傷者数（死亡者数および4日以上の上業務上疾病者数）は656人にのぼり、その後も400～500人で推移していることから「依然として高止まりの状態にある」としている。特に建設業は業種別において最も多く、2012年～2016年の合計において全体の30%を占めている。

建設業では等しく作業員の熱中症対策として、簡易測定器などを用いて WBGT を計測管理し予防に活用しているが、個々の作業員の体力・体調の違い、作業場所ごとの環境の違いなどから事故の根絶は難しい状況である。

一方、日本建設業連合会によれば、2025年に向けて建設市場の見通しはほぼ横ばいの傾向にあるのに対し、建設技能労働者は、2014年度343万であったものが2025年には216万人と大きく減少するとしている²⁾。これは同時に平均年齢が確実に高くなることを予想している。

我々は、熱中症対策など高齢化する作業員の体調管理に着目、2014年に社内研究開発チームを立ち上げ、近年開発の進展が著しいIoT技術を利用してこの問題を解決することを目指した。

研究開発チームでは、まず、作業員の体調の変化を捉える手段として心拍数の変動を利用することを検討、作業場所の環境は、既に工事現場で用いられてい

る WBGT の情報を利用することにした。作業員一人一人の心拍数と作業場所ごとの WBGT を管理者がリアルタイムに把握することが可能になれば、事前の警報の発信などにより熱中症のリスクを大きく低減させることができると仮定し、安全管理システムを開発した。

2. 安全管理システム

(1) ウェアラブル型バイタルセンサ

作業員の体調の変化を見るために利用する心拍数は、ISO（国際標準化機構）においても、作業中止の上限として、最高心拍数や、持続心拍数を規定している³⁾。我々はこのことに着目し作業員の心拍データを取得できるデバイスの選定を行った。我々が研究を開始した2014年は、ウェアラブルセンサ元年と言われ、デバイスの選定にはこのウェアラブルをキーワードとした。市場には心拍や脈波が取得できるウェアラブルタイプのバイタルセンサが数多く出回っており、大きくリストバンド型とシャツ型に分類することができる。データ取得方法は、リストバンド型は脈波波形、シャツ型は心電波形が基本となっている。リストバンド型はその手軽さからコンシューマー向けに出回っているものの、目的を体調管理としていることから、より応用が可能なシャツ型を選択した（写真—1）。採用したシャツ型デバイスは以下のような特徴を持つ。

- ① センサ部と皮膚との接触面積が広く、安定した生体情報の取得が可能
- ② 金属製の繊維を含まないため肌に優しい



写真一 1 シャツ型ウェアラブルセンサ



写真一 2 トランスミッタ

③親水性が高く、汗や湿気に強い（洗濯可能）

④電解質ペースト（ジェル）が不要

更にシャツ型のバイタルセンサでは、データ取得のためにトランスミッタ（写真一 2）を使用するがこのトランスミッタにはバイタルデータを取得して送信する以外に 3 軸加速度センサを内蔵していることから作業員の姿勢を知ることが出来る。

(2) 環境センサ

環境の指標としては、作業現場の熱中症対策として用いられる WBGT を採用した。WBGT は、労働環境において作業員が受ける暑熱環境による熱ストレスの評価を行う指標である。暑熱環境を評価する場合には、気温に加え、湿度、風速、輻射（放射）熱を考慮して総合的に評価する必要がある、WBGT はこれらの基本的温熱諸要素を総合したものとなっている⁴⁾。

我々が採用した WBGT 計測システム（写真一 3）の特徴は以下の通りとなる。

① WBGT を連続的に測定、一括管理

②作業強度、着衣量、暑さへの慣れなどを考慮した



写真一 3 WBGT 計測システム

WBGT 基準値を設定することが可能

③独自の無線ネットワークによって最大 200 台まで設置可能

(3) 安全管理システム

安全管理システムは、シャツ型ウェアラブルセンサで取得したバイタルデータと WBGT 計測システムで取得した WBGT をクラウド上で一元管理し、作業員個々の状態を独自に設定した基準を用いて注意喚起する（図一 1）。システムは、以下の主な機能を整備している。

①ウェアラブルセンサを利用した心拍数などの取得

②トランスミッタを利用した作業姿勢データの取得

③ WBGT 計測システムを利用した WBGT の取得

④クラウドを用いたデータの一元管理

⑤各種取得データの可視化

⑥各作業員のバイタルデータ・環境データが、個別に設定したしきい値を超えた場合のアラート発信

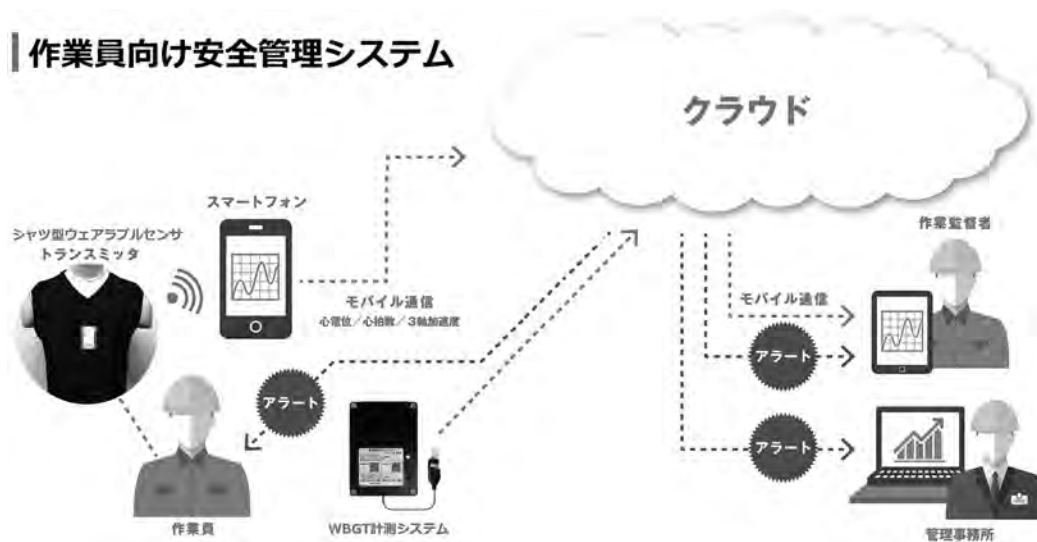
(a) クラウドを用いたデータの一元管理

クラウドを用いることで工事現場の管理者は現場事務所内で作業員の状況を管理できる。さらに店社の管理者は複数の作業場所の状況を一度に管理できる（図一 2）。

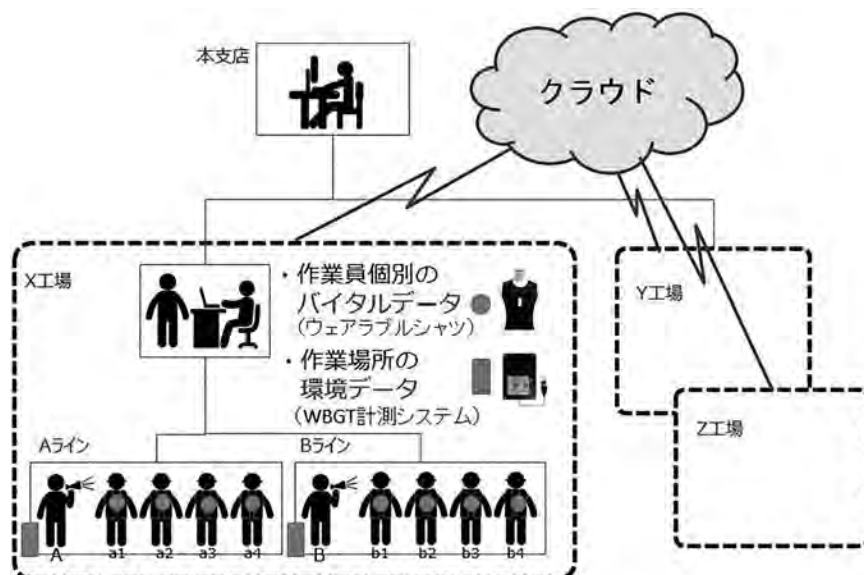
(b) 各種データの可視化

システムは、作業員が利用するスマートフォンアプリと管理者が利用する管理システムとから構成される。スマートフォンアプリは、作業員のバイタルデータをクラウドに転送する以外に、自身の状態を可視化する機能を提供している（図一 3, 4）。作業員自らが自身の体調をリアルタイムにまた過去の経緯を見ることが自己の体調に関する意識の向上に役立つと考えている。管理者が利用するシステムは、管理者のレベル（作業場所の管理者、本支店の管理者）によって最適な体調管理画面（図一 5）を提供する。また、過去デー

作業員向け安全管理システム



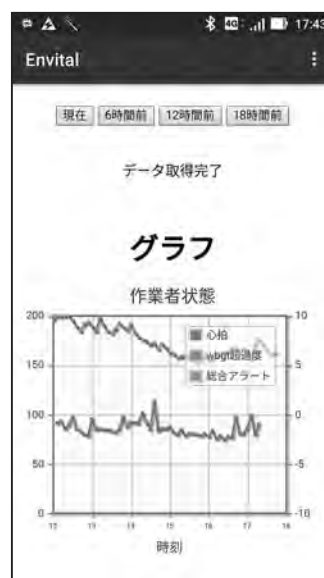
図一 安全管理システム概念図



図二 安全管理システム管理階層図



図三 バイタルデータ測定画面



図四 状態表示画面 (心拍 + WBGT 超過度)



図-5 体調管理一覧画面



図-6 レポート機能—8月ひと月のSさん（WBGT超過度+総合アラート）の比較

タを連続的に表示させるレポート機能も備えバイタルデータと環境データの相関性のチェックが可能となる。レポート機能は、たとえば同じ環境条件であっても熱順化している場合としていない場合に熱中症の発症率が異なるといった状況を確認することが出来、対策に繋げることが期待出来る（図-6）。

(c) アラート機能

作業員の体調の変化を即時に管理者に伝達する機能が必要である。本システムでは作業員のバイタルデータと作業場所の環境データを基に独自にカスタマイズしたしきい値を用い、作業員の体調の変化に応じて直属の上司や現場の管理者の携帯端末にアラートメールを送る機能を提供している（図-7）。これにより本人が意識しなくても体調の変化を管理者へ即時に知らせ、休憩や給水、塩分摂取を促すといった声掛けを適切なタイミングで行うことが可能となる。

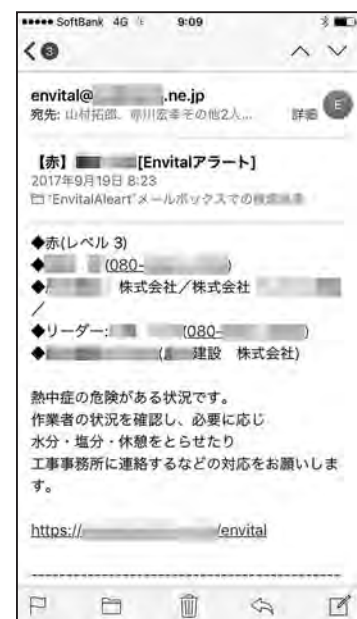


図-7 アラート通知画面

3. 商用化までの実証ステップ

2014年に研究をスタートさせ、紹介した安全管理システムを開発したが、そのステップを示すと共にシステムの課題について整理する。

(1) ステップ1 (2015年2月)

目的：バイタルデータの長時間継続取得の検証。

建設現場の作業員にウェアラブルシャツを着用してもらい、建設作業の中で、実際の労働時間である8時間以上にわたり、心拍数などのバイタルデータを継続して取得できるかのモニタリングを実施。

結果：長時間のバイタルデータのモニタリングに成功し、ウェアラブルデバイスを利用して作業員のバイタルデータをリアルタイムで取得可能であることを実証した。

(2) ステップ2 (2015年6月～8月)

目的：複数の作業員に対するバイタルデータの同時モニタリングおよび、取得したバイタルデータを解析し、その結果に応じてリアルタイムに警告を通知するシステムの検証。

結果：ステップ1で利用したシステムを利用し複数作業員のバイタルデータの取得、警告メールの動作確認を行い、システムに必要な要件を整理した。

(3) ステップ3 (2016年6月～9月)

目的：商用化に向けた更なる課題の洗い出しと商用化を見据えた運用面での検証。

結果：建設業、製造業の現場において、延べ300人を超える作業員を対象とした大規模実証実験を実施した。条件の異なる複数の建設現場(土工事中の露天の現場、内装工事中の現場、既設工場内の高温の現場、製造工場など)を選定し、それぞれ1週間のサイクルで実験を行い(写真—4、5)、システム面並びに運用面での課題を抽出した。

洗い出した課題は以下の通り。

(a) システム上の課題

- ①科学的根拠に基づいた「しきい値」の設定
- ②大規模現場において数百人規模の作業員を管理するシステム
- ③地下等でネットワーク接続が切れた際の対応方法
- ④しきい値を超えた場合の利用者への警告方法



写真—4 実証実験説明会



写真—5 実証実験での健康状態チェック

⑤建物内での作業員の位置情報の測位

(b) 運用上の課題

- ⑥短期間で現場を移動する作業員への対応（バイタルデバイス等の供給方法）
- ⑦バイタルデバイスの運用・管理方法
 - ・機器の充電問題（一人あたり2つ（トランスミッタとスマートフォンの機器の充電を誰がするか。）
 - ・作業員とトランスミッタ、スマートフォンとのマッチング

(4) ステップ4 (2017年7月～9月)

目的：商用ベースのシステムの展開

ステップ3で洗い出した課題を基に商用ベースのシステムを開発。運用体制を整えて展開。

結果：国内建設現場22並びに社外への展開を実施。システム課題のうち②、④については前述の通り。

③は、ステップ3の段階でシステムを継続利用する際の大きな課題であったが、ネットワークが切断されても一定時間内であれば自動で再接続されるようにシステムを変更することで解決した。運用上の課題としてあげた作業員とトランスミッタのマッチングについては、作業員がスマートフォンシステムにログインする

際にマッチングを行う仕組みとし、管理が大幅に軽減されスムーズな運用が行えた。一方スマートフォンを利用する際、電力の消費が想定以上に大きいという新たな課題も明らかになった。

4. おわりに

2014年に始めた本プロジェクトは、前述のステップを経て漸く実用ステップのスタート地点に立てた。しかしながら解決すべき課題はまだまだ存在することも事実である。例えば、アラート基準となる「しきい値」の設定は、現システムでは作業員の年齢を核にロジックが組まれている。同一作業を行う年齢の異なる作業員の心拍データ（図—8）を比較すると、必ずしも年齢が若い人ほど作業時に高い心拍数を示す傾向に

あるとは言えないことがわかる。年齢だけでなく個人の体力の違いなど、心拍の変動は様々な要因に起因する為、本来の「しきい値」は個々の作業員によって異なると考えられる。今後の運用を通して、作業員一人ひとりのバイタルデータや環境データを蓄積し、分析していくことで、より詳細な、その人に合った「しきい値」を設定できるようになれば、システム本来が目指す総合的な体調管理を可能とするシステムになり得ると考えている。

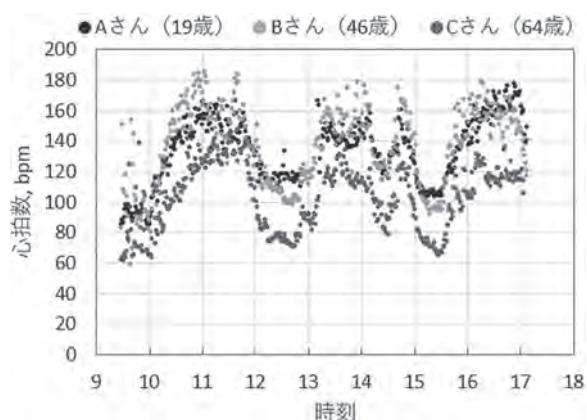
J C M A

《参考文献》

- 1) 厚生労働省「職場における熱中症による死傷災害の発生状況」2017年6月1日
http://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-11303000-Roudoukijunkyokuanzeniseibu-Roudouiseika/hasseijoukyou_1.pdf
- 2) 一般社団法人 日本建設業連合会「再生と進化に向けて—建設業の長期部ビジョン—」2015年3月
http://www.nikkenren.com/sougou/vision2015/vision_pdf.html
- 3) ISO 9886: Evaluation of thermal strain by physiological measurements, 2004
- 4) 厚生労働省「熱中症の予防対策における WBGT の活用について」2005年7月29日
<http://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei05/index.html>

【筆者紹介】

森川 直洋（もりかわ なおひろ）
（株）大林組
建築本部本部長室
担当部長



図—8 作業員の一日の心拍数の変化（一例）