

# 作業員向け体調管理システム 「Envital<sup>®</sup>(エンバイタル)」の開発 Development of Physical Condition Management System for Workers: “Envital<sup>®</sup>”

赤川 宏幸	Hiroyuki Akagawa
笠井 泰彰	Yasuaki Kasai
飯塚 浩二	Koji Iizuka
山田 昇吾	Shogo Yamada
森川 直洋	Naohiro Morikawa
(本社建築本部)	

## 1. はじめに

建設現場や工場といった作業環境における熱中症予防は緊急の課題である。近年は、5月の連休明けから気温が上昇し、暑さに慣れていない作業員が熱中症にかかるケースが増えているほか、9月の猛暑日の発生など、熱中症対策を実施する期間も長期化傾向にある。また2020年は、新型コロナウイルスの影響による建設工事の一時中断もあり、緊急事態宣言解除後の5月後半には、工事再開と暑さが重なったことで熱中症を発症したケースもあった。さらに、夏季のマスク着用など、新たな熱中症リスクに対しても、予防を強化していく必要がある。

## 2. 背景と目的

建設現場における従来の熱中症対策は、こまめな水分と塩分の補給、頻繁な休憩の指示や声掛け、冷房室の設置等である。また、通常は熱中症予防指標の一つであるWBGT(暑さ指数<sup>例えば</sup>)を利用した管理を行うため、環境省の予報値の確認や、1日に数回の簡易測定器での測定値を現場内に掲示することにより注意喚起する。しかし、建設現場内のWBGTは場所によって大きく異なり、代表点の数値で判断するとリスクが高まる危険性がある。例えば、日向と日陰、上層階と地下等ではWBGTの値は数度も異なる。Fig. 1は、学校施設施工中の各階のWBGTの日変化を示すが、同じ屋内でも地上階は地下階と比べると2°C程度高く、さらに屋外は屋内と比べると日射の影響により6~8°C高い傾向を示している。このように、現場内のWBGTに関しては、作業員近傍の値を把握することが重要と言える。

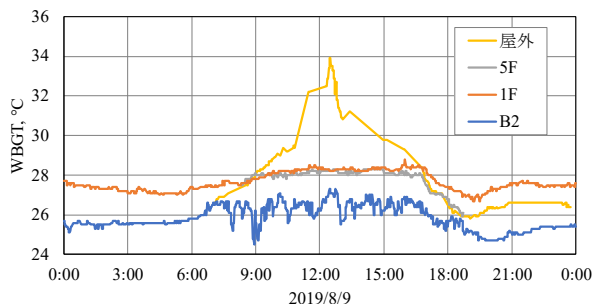


Fig. 1 建築物現場内の各階のWBGT  
(都内、学校施設工事)  
WBGT on Each Floor in the Construction Site

一方、IoT技術の進化とともに、心拍や脈拍等の生体情報(バイタルデータ)を、着用しながら取得できるウェアラブル型のバイタルセンサが次々と開発されている。建設現場においても、バイタルセンサの利用が盛んに試行され、心拍情報を熱中症予防や体調不良の管理へと応用し始めている。実際の現場では作業員が自ら体調を主観的に判断してしまうケースや、特に若い作業員は体調が悪いことを自ら言い出せないケースもあるため、作業員自身の生体情報をリアルタイムにセンシングし、クラウドを介して管理者が客観的に一元管理できるメリットは非常に大きいと考えられる。

開発した「Envital」は、環境情報であるWBGTと、生体情報である心拍数を組み合わせ、個々の作業員の体調を一元的に管理できるシステムである。

## 3. 技術の概要

### 3.1 クラウドを利用した管理システム

「Envital」の概要をFig. 2に示す。各作業員が心拍センサを持つリストバンドを装着し、心拍数データをビーコン信号に乗せてゲートウェイに送る。ゲートウェイで受信した心拍数データはLTE回線、またはWi-Fiによりクラウドへと送信される。各ゲートウェイは作業場所内の複数個所に設置され、例えば、「1F南」、「2F北」、「屋上」等の位置情報を持つ。また、「暑さ指数ウォッチャー<sup>®</sup>」<sup>2)3)</sup>で測定したWBGTは「Envital」とは別のクラウドへと送信され、クラウド間連携により近傍のゲートウェイの位置情報と紐づけられる。結果的に、作業員の心拍数、近傍のWBGT、位置情報が全て紐づく。

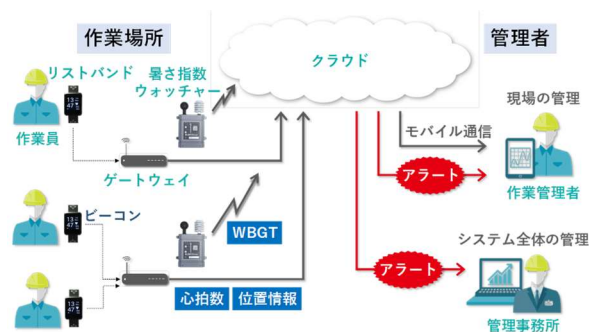


Fig. 2 システムの概要  
System Overview

クラウド上に統合された作業員の心拍数と WBGT は、独自のロジックによって解析され、しきい値を超えると、アラートとして発報される。アラートは、事務所の PC、モバイル端末等の管理画面上でリアルタイムに表示されるほか、職長や現場監督等の管理者にアラートメールとして発信される。

Fig. 3 は、管理者が確認する体調一覧画面である。解析結果については、各作業員の体調不良の危険度を示す総合アラートレベルとして 4 段階で表示する。なお、アラートレベルの解析ロジックについては後述する。

### 3.2 バイタルセンサ(心拍センサ)

心拍数の取得には、3.1 節で示したようにウェアラブル型のバイタルセンサを用いる。Table 1 は、これまでに利用してきたセンサの一部を示す。当初は、シャツ型のセンサを使うことで、心電波形から算出した正確な心拍数の取得を目指した。シャツ型とリストバンド型には一長一短があり、両者を併用していた期間もある。しかし、シャツ型の場合、1 日に数回着替えることもあり複数枚必要である上、洗濯の負担も大きい。また、普段着用している下着やシャツと着心地が異なるので、作業性に影響する場合もあった。このような理由から、運用上の負

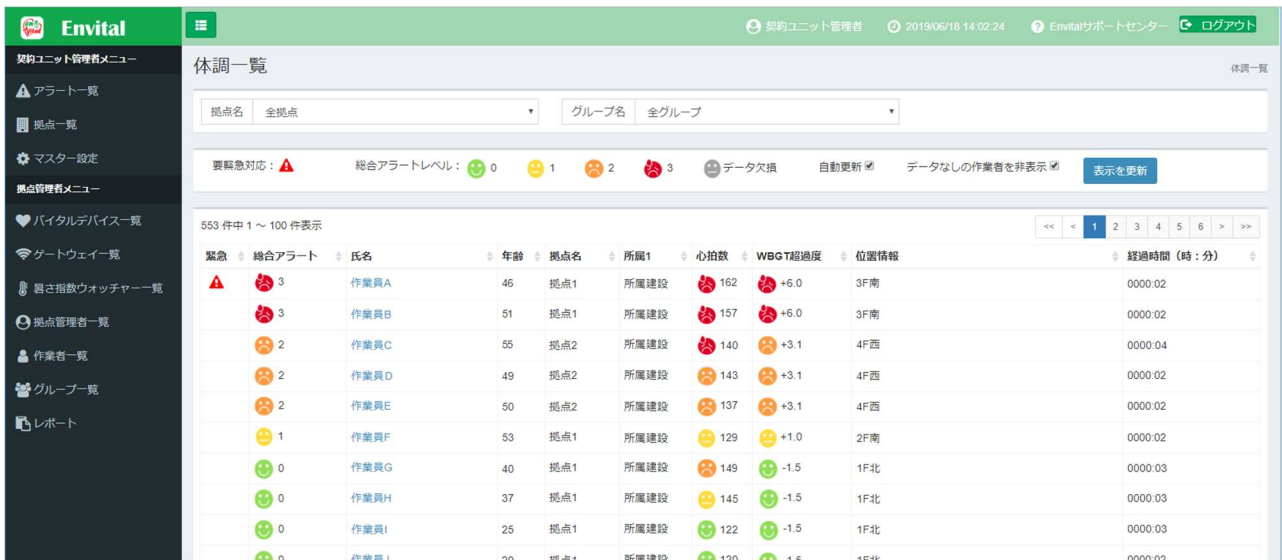


Fig. 3 体調一覧画面  
Physical Condition List

Table 1 バイタルセンサ (心拍センサ)  
Vital Signs Monitoring Devices (Heart Rate Sensor)

形態	シャツ型 (現在は不使用)	リストバンド型 (I) (2019 年度版)	リストバンド型 (II) (現行モデル)
写真			
センサ	機能繊維素材	緑色 LED+光検出器	緑色 LED+光検出器
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>シャツの裏側に繊維状の電極</li> <li>心電波形から心拍数を算出</li> <li>胸のトランスミッターからスマホにデータを送信</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>脈波から心拍数を算出</li> <li>強度の違う 3 種類のビーコン信号を送信 (位置の特定◎)</li> <li>スマートフォンが不要◎</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(I) の特徴に加えて</li> <li>防塵・防水機能 (IPX55) ◎</li> <li>Qi 方式によるワイヤレス充電</li> <li>小型・軽量化・バッテリー最適化◎</li> </ul>
備考	メーカー品	特注品	特注品

◎は重要な追加機能

担が相対的に少ないリストバンド型へのシフトが進んだ。

リストバンド型に関して、当初は市販品を用いていたが、建設現場の厳しい使用環境に十分に耐えられる製品が無いことから、専用デバイスを用意することとした。二種類のリストバンドの重要な追加機能は、表中の◎印で示した、位置の特定、スマートフォン不要、防塵・防水、小型・軽量化・バッテリー最適化である。これらを実現したことで、作業員の負担、管理者の負担が大きく削減された。また、スマートフォンを持ち込めない工場やトンネルなど特定施工条件の工事現場での運用や、作業員の位置管理のニーズなど、採用の幅が大きく広がった。位置情報管理については後述する。

### 3.3 WBGTの測定

「Envital」では、WBGTの測定に3.1節で示した「暑さ指数ウォッチャー」を用いている。Fig.4は建築工事の場合の測定イメージである。技術の詳細は文献2), 3)を参照されたい。暑さの環境が異なる場所毎に設置することが

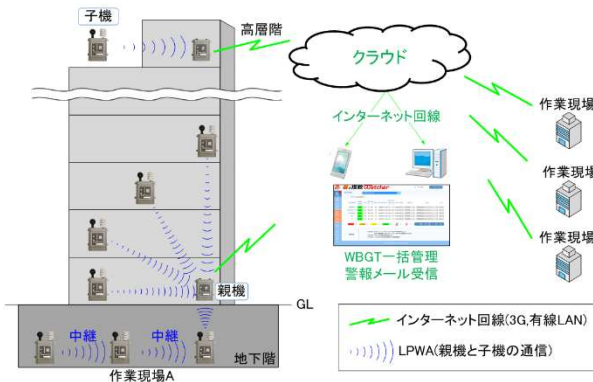


Fig. 4 建築工事における WBGT 測定イメージ<sup>3)</sup>  
Image of WBGT Measurement  
in Building Construction Work

望ましいが、数的に限定される場合は、より暑い場所への設置が望ましく、安全側での管理を推奨している。

### 3.4 位置情報の取得

Fig.5は、位置情報の取得イメージを示す。作業員が装着するリストバンドは、3種類の強度が異なるビーコン信号(到達距離:約300m, 約100m, 約30m)をIDとともに発信する。現場内に設置された各ゲートウェイがどの信号を受信するかによって、そのIDを持つ作業員がどのゲートウェイの近傍にいるかを判定する。これにより、作業員の移動と連動して最も近いゲートウェイ情報も更新される。WBGT計(暑さ指数ウォッチャー)はクラウド上で各ゲートウェイに紐づけられているため、作業員には近傍のWBGTが紐づけられる。ビーコン信号は最大約300m到達するので、一般的な建築工事では十分な距離といえる。一方、ダムやトンネル等の土木工事においては、半径300mでカバーするようにゲートウェイを設置すれば対応可能である。

Fig.6は、管理画面のマップ画面の例である。同じフロア

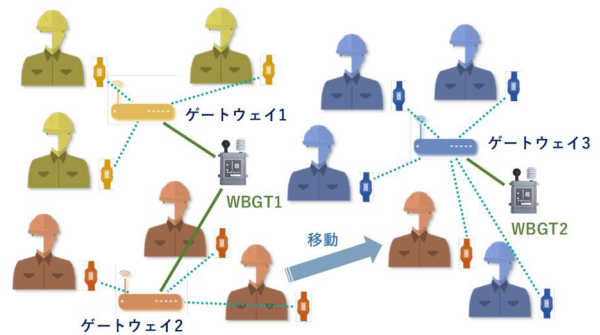


Fig. 5 心拍数, WBGT, 位置情報の紐づけ  
Linkage of Worker Heart Rate, WBGT,  
and Location Information

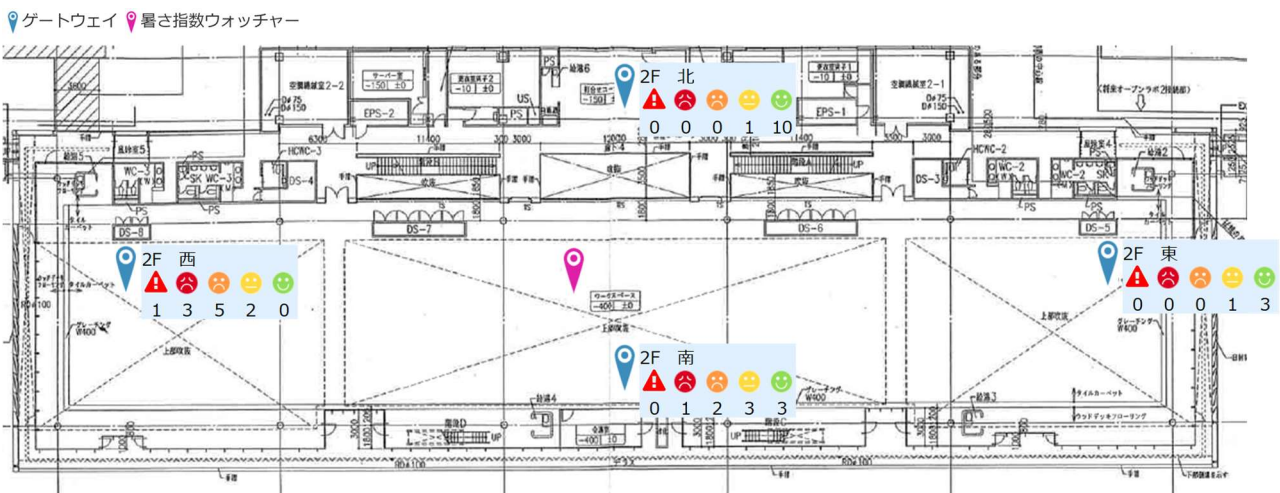


Fig. 6 ゲートウェイと暑さ指数ウォッチャーの位置マップ, および近傍の作業員数とアラート状態  
Location Map of Gateway and WBGT Sensor, indicating Number of Workers and Alert Status

アにある 4 か所のゲートウェイに対して、暑さ指数ウォッチャー1 台が紐づいているイメージである。各ゲートウェイ近傍に、どのレベルのアラート状態の作業員が何人いるかが一目でわかる。

### 3.5 アラートロジック

作業員の体調を常にシステム画面で監視するわけにはいかないで、体調や作業環境に問題がある場合や、その予兆が現れた段階で何らかのアラートを電子メール等で管理者に伝える必要がある。そこで、アラート閾値の目安となる心拍数や WBGT は、学術的に公となっている数値を参考としている。Table 2 は、「Envital」のアラート閾値の考え方である。実際の運用には、環境側である WBGT と人間側である心拍数の閾値を組み合わせた判定ロジックを用いている。また、表中③④に示すように、一部の閾値は、蓄積されたデータや現場での運用状況を鑑みて、適宜更新している。ISO9886 では、暑熱環境で作業を行う場合、この心拍数の閾値を超えてはいけなるとしてはいるが、個人差、その日の体調、熱に慣れているか否か等、多くの影響要素があるので、閾値を超えたら必ず危険な状態であるとは言えない。しかし、アラート回数が多い時はリスクが高まっている状態といえる。

## 4. 現場での運用

### 4.1 現場での運用ルール

筆者らは、2015～2019 年の 5 年間に、50 か所、約 1,500 人の作業員を対象として「Envital」を運用してきた。対象は、建築、土木を含む建設現場を中心に、稼働中の工場も含む。バイタルセンサを利用して体調を管理するシステムは市場に増えてきているが、「Envital」は夏季の建設現場や工場にターゲットを絞り、3 章に示すように運用面での課題解決を中心に改良を進めてきた。また、各現場でも運用上の工夫を独自に進めており、例えば、ある現場ではアラートの危険度別に独自の行動指針を定め、休憩の取得や作業の中止を指示している。

### 4.2 利用者アンケート結果

2019 年に実施した利用者アンケートでは、作業員の約 6 割、職長の約 7 割、現場監督(大林組職員)の約 8 割が、今後の継続利用を希望してしる。その主な理由として、作業員は管理者に伝わる安心感を挙げ、管理者側は作業員の体調管理の必要性を挙げている。

Table 2 アラート閾値の考え方

Concept of Alert Threshold			
	閾値	内容	出典
①	WBGT 超過度	WBGT 基準値の超過度 (代謝率, 熱順化, 気流の有無, 着衣量の設定により変動)	JIS Z 8504 <sup>※1</sup>
②	瞬時心拍数	185 - 0.65 × 年齢	ISO9886 <sup>※2</sup>
③	持続心拍数	閾値 (年齢の関数) を超過した状態が継続 (数分間: 継続時間は変更可能)	過去の「Envital」の心拍データから算出
④	累積時間	①～③の閾値を超過した状態の累積時間 (数時間: 継続時間は変更可能)	過去の運用を参考に継続時間を決定

※1 WBGT 熱ストレス指数の基準値表

※2 Ergonomics - Evaluation of thermal strain by physiological measurements

## 5. おわりに

建設現場や工場の熱中症対策に代表される夏場の体調管理手法に関して、クラウドとバイタルセンサを利用したIoT技術を紹介した。バイタルセンサで取得した心拍数と、通信型のWBGT計で取得したWBGTをクラウド上で一元管理することで、作業員の体調を管理者がリアルタイムに把握でき、また、経験に基づいたアラート発報によって、作業員の体調不良の予防に寄与できる。今後、運用を重ねる中で、得られたデータを元にアラートロジックの信頼性を高めていく所存であり、その過程で最も重視するのは作業員優先の視点である。

### 参考文献

- 1) 例えば、環境省，“暑さ指数(WBGT)とは？”，熱中症予防サイト，<https://www.wbgt.env.go.jp/wbgt.php>, (参照 2020-7-13)
- 2) 笠井，他：WBGTワイヤレス通知システム「暑さ指数ウォッチャー™」，大林組技術研究所報，79，2015
- 3) “「暑さ指数ウォッチャー□」を建築現場に本格導入，労働環境以外にも対応”，大林組ニュースリリース，2019-7-31