

# 高温環境下で働く作業員の安全管理に貢献する リストバンド型センサー MULiSiTEN™ MS100

MULiSiTEN™ MS100 Wristband Type Sensor to Support Safety Management of Workers in Hot Environments

飯島 拓也 IJIMA Takuya

流量計などのフィールドセンサーは、産業用途で広く使われているが、近年、センシング対象が現場作業員へと拡大され、管理者が各作業員の生体情報をリモートで計測して安全管理を行うニーズが高まっている。

東芝インフラシステムズ(株)は、温湿度といった環境データに加えて活動量や脈拍などのデータから作業員の暑さに対するストレスレベルを定量化できるリストバンド型センサー MULiSiTEN™ (マリシテン) MS100を開発した。MS100は、動作の継続性や通信障害時におけるデータ欠損防止のため、ハードウェア及びソフトウェアを独自に開発して産業用途で求められる信頼性を確保し、高温環境下の各作業員の状態をIoT (Internet of Things) 技術で総合的に管理することを可能にする。

The range of application of field sensors in various industrial spheres has been expanding from the monitoring of production facilities such as flowmeters to management of the health status of personnel at work sites. Accordingly, demand has recently arisen for safety management operations through remote measurement of the biological information of individual workers.

Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corporation has developed the MULiSiTEN™ MS100 wristband type sensor capable of achieving quantification of a worker's heat stress level using biological data including the amount of activity and pulse rate in addition to environmental data including the temperature and humidity. We have ensured that the MS100 provides the reliability required in industrial settings by applying our proprietary hardware and software technologies for continuity of operation and prevention of data loss in the event of a communication failure. Users are thereby equipped with the necessary resources to comprehensively manage workers' conditions in high-temperature environments by means of Internet of Things (IoT) technologies.

## 1. まえがき

フィールド機器の一つであるセンサーは、工業計器とも呼ばれ、CPS (サイバーフィジカルシステム) のフィジカル空間において、プロセスの流量・圧力・温度・レベル・濃度といった種々の物理量をセンシングし、センシングしたデータを処理して多様な出力方式でフィールド機器のコントローラーやサイバー空間にある監視・制御システムに信号を伝送する機器である。近年、“計測”という意味では工業計器と同じだが、状態を検出する部分だけのセンシングエレメント (センサーデバイス) を何種類も内蔵したウェアラブル機器を用い、現場作業員の状態をセンシング・解析して安全管理する動きが始まっている。この動きは、労働環境の課題の一つである気候変動 (温暖化) への対応も含め、労働安全衛生に関する国際規格がOHSAS 18001 (Occupational Health and Safety Assessment Series 18001) からISO 45001 (国際標準化機構規格 45001) に移行し、労働者の客観的な状態の管理や、そのデータに基づいたトップマネジメントが重要になったことに基づいている。



\*この製品は、医療機器ではありません

図1. MULiSiTEN™ MS100

充電時及びデータアップロード時は、本体をバンドから外し、USB (Universal Serial Bus) 付き充電器にセットする。

MULiSiTEN™ MS100

このように、労働者管理 (産業用途) のためにスマートウォッチやウェアラブル機器を使用する場合、使用中の安定動作やソフトウェア更新を含む機器管理が重要である。動作が止まると安全管理ができず、ソフトウェアのアップデート回数が多いと、作業員 (装着者) ではなく一度に多数に対

応する管理者に負担が掛かる。そこで、最適化したハードウェアの開発とともに、ソフトウェアを独自開発して処理能力を向上させることで、産業用途に適用可能な信頼性を確保したのに加え、構造体には頑健性（防塵（ぼうじん）、防水、耐衝撃）を盛り込んだリストバンド型センサー MULiSiTEN™ MS100を開発した（図1）。

ここでは、高温環境下で働く現場作業員の状態をデジタル化するMS100の特長と、IoT技術を使った安全管理における使用例について述べる。

## 2. 暑さを示す指数と暑さストレス

一般的な作業環境では、暑さの程度を示す指数として、JIS Z 8504（日本産業規格 Z 8504）で定められている気温、湿度、風速、放射熱を考慮した暑さ指数のWBGT（Wet Bulb Globe Temperature）値が使われている。このWBGT値は、環境因子だけで決まるため、作業員の負荷量や体調を考慮した暑さに対する“ストレス”を示す指数ではない。このため、夏の屋外や高温・高湿の作業環境では、常に安全上のリスクが高い環境と判断され、休憩の頻度を多くするなど一律な対応が求められる。休憩頻度が多い場合、個人の安全上のリスクが低減する一方で、現場の作業効率も低下してしまうため、安全管理と作業効率向上の両立が課題になっている。

## 3. MS100の概要

MS100は、温度・湿度といった環境因子に加え、身長、体重、運動習慣などの個人の特性や、脈拍数、作業負荷（現在の運動量）、発汗関連指標など、その瞬間の活動状態も考慮した装着者個人個人の暑さストレスレベル（0：平時～4：極端に高い）を演算・表示する機器である（図2）。

暑さストレスレベルは、MS100の内部で演算・表示するため、MS100を単体（スタンドアローン）で使用しても、作業員が自身の置かれている現状をその場で把握できる（図3、図4）。また、Bluetooth® Low Energy 5.0準拠の無線通信（以下、無線通信と略記）を介してリアルタイムに作業員のデータを送信できるため、付属の専用ソフトウェアやユーザー構築システムを通して、管理者もリアルタイムに各作業員の作業に応じた暑さストレスレベルを共有できる。

このように、MS100は、環境因子に加え各作業員の当日の体調とその時々の作業負荷を加味して装着者個人の暑さストレスレベルを推定し、通知・通信することで、作業員全体の安全管理と現場の作業効率向上の両立を実現できるトータルな安全管理手段を提供するものである。



図2. MS100ディスプレイの画面表示例

標準状態の表示例を示す。これ以外にも、設定した暑さストレスレベル到達や、装着位置ずれ警報、電池残量低下、メモリー限度到達など、様々な表示がある。

Example of MS100 display showing information including worker's conditions

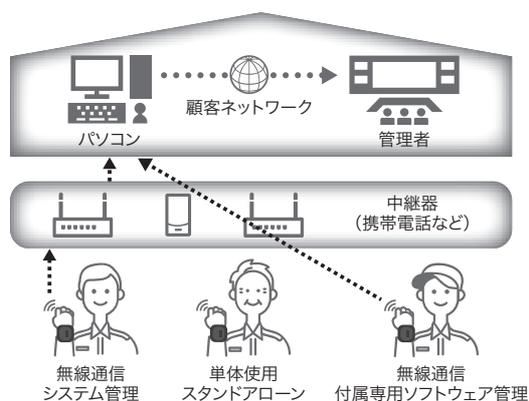


図3. MS100の利用環境

スタンドアローンで作業員自身が現状を把握できるのに加え、無線通信で、システムを通してリアルタイムに管理者も状況を把握できる。

Examples of MS100 usage environments



図4. スタンドアローンモード時のデータフロー

データは、内部メモリーに保存され、アップロードすることでデータベースにも保存できる。

Overview of data flow when using MS100 in standalone mode

## 4. MS100の特長

表1に、MS100の主な仕様を示す。また、以下に特長を示す。

### 4.1 暑さストレスレベルを通知

MS100は、作業員の安全を管理する手段となるように、周囲の温度・湿度だけでなく、個人の特性や脈拍数などの瞬間の活動状態も考慮して暑さストレスレベルを推定す

表1. MS100の主な仕様

Main specifications of MS100

項目	仕様
主な表示機能	暑さストレスレベル(0~4)、脈拍数、時刻、電池残量、モード、装着位置ずれ警報
状態通知	ディスプレイ表示、振動、LED
連続駆動時間	13 h リアルタイムセンシングモード(無線通信使用時)
	36 h スタンドアロンモード
バッテリー、充電	リチウムイオン二次電池 USB 付き専用充電器付属
充電時間	8 h 以内
USB接続	USB2.0(最大12 Mビット/s)
無線通信	Bluetooth® Low Energy 5.0準拠
センサー	光学パルス、温度、湿度、加速度(3軸)、角速度(3軸)
測定項目	脈拍数、温度、湿度、加速度、角速度、電池残量、体動量
測定周期	脈拍数：4 ms、加速度・角加速度：32 ms、温度・湿度：1 s、暑さストレスレベル：1 min、電池残量：1 min
防塵・防水	IP*6X, IPX5, IPX7
耐候性	汗や日光に強い素材を採用
堅牢性	MIL-STD-810G 落下試験合格
温度範囲	-10 ~ 60 °C
湿度範囲	20 ~ 90 % (相対湿度)
本体外形寸法	49(縦)×36(横)×13(厚さ) mm
本体質量	50 g
材質	バンド：シリコンラバー、本体：ポリカーボネート
データ保存周期	96 ms, 1 s, 30 s, 1 min (選択可、表3参照)
データ保存方式	メモリー使用量限度到達時の動作として、動作停止か古いデータを消去して動作継続するかを選択
パラメーター設定	パソコンで動作する専用ソフトウェア標準付属

\*JIS C 0920(日本産業規格 C 0920)で定められた防塵・防水に関するIP(International Protection)コード

る。また、あらかじめ通知するレベルを設定でき、暑さストレスレベルが設定したレベル以上になると、振動や、ディスプレイ表示、LED(発光ダイオード)点滅などで知らせる。

#### 4.2 産業用途に適応した設計

MS100は、産業用であるため、動作継続性や通信障害時のデータ欠損問題に対し、ハードウェアの最適化とソフトウェアの独自開発により、処理能力を向上させて安定動作させて高い信頼性を実現し、再起動するための作業中断や、動作が止まっていたことに気付かずに安全管理ができていなかったという事態を最小化している。また、起動時にOS(基本ソフトウェア)とソフトウェアのアップデートや、インターネット経由の設定・登録などの複雑な初期設定が不要であり、付属の専用ソフトウェアを使った必要最低限の初期設定(身長や、体重、モードなど)で使用開始できる特長がある。更に、ソフトウェアアップデートが極力ないように開発して管理の負担を軽減しているが、機能向上のためにソフトウェアのバージョンアップがある場合は、付属専用ソフトウェアを使ってアップデートが可能である。

作業シーンによらず安心して使えるように、本体は防塵・防水仕様構造とMIL-STD<sup>(注1)</sup>-810G耐衝撃性能を持ち、

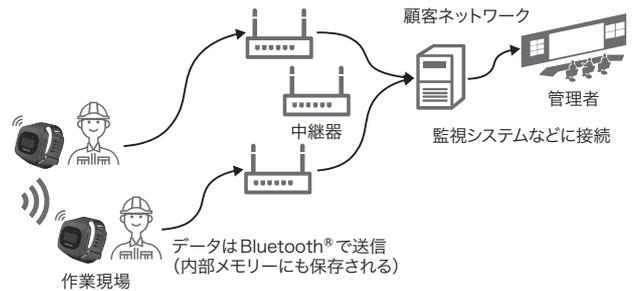


図5. リアルタイムセンシングモード時のデータフロー

無線通信でデータを監視システムに送信することで、リアルタイムで管理者が各作業員の状態を管理できる。

Overview of data flow when using MS100 in real-time sensing mode

表2. 出力データ一覧

List of output data

測定項目	周期	
	96 ms	1 s, 30 s, 1 min
脈拍数	—	○
温度	—	○
湿度	—	○
加速度	○	—
角速度(ジャイロ)	○	—
暑さストレスレベル	—	○
脈拍間隔	—	○
体動量	—	○
記録中の最大暑さストレスレベルをホールド	—	○
電池残量	—	○

○：該当 —：非該当

バンドは耐衝撃ラバーを採用している。このように、本体・バンドともに構造・材料で堅牢(けんろう)性を備えている。

また、システムの有無に関係なく、単体で使用できるスタンドアロンモード(図4)があるため、山間部や電波環境の悪い現場でも個人で安全管理が可能である。

一方、システムがある場合は、無線通信を使用するリアルタイムセンシングモード(図5)で作業員の状態を管理できる。出力データ(表2)の記録・通信周期は、表3の周期を選択可能で、データ・時間・通信の中で何を重視するか、使い方に合わせた周期選定が可能となっている。

バッテリーは、最大負荷動作下(無線通信状態)で13 h連続駆動する容量があるため、一般的な1日の作業であれば無充電で連続使用が可能である。また、表2のデータを記録する本体メモリ容量も13 h分確保してある。

MS100は、無線通信プロトコルを開示しているので、ユーザー独自の表示や処理などのシステム構築が可能である。

(注1) 米国防総省軍用規格。

表3. データの記録周期及び通信周期一覧

List of data recording and communication periods

区分	周期	スタンダアローン	リアルタイムセンシング	メモリー記録可能時間 (h)
データの記録	1 s	x	△	13
	30 s	x	△	390
	1 min	○	△	227
	96 ms	x	○	13
無線通信	1 s	x	△	
	30 s	x	△	
	1 min	x	△	
	96 ms	x	○	

○：標準動作 x：動作しない △：一つ選択

### 4.3 豊富なデータ記録オプション

表2のデータは、表3の周期で記録（通信済みデータも含む）し、USB（Universal Serial Bus）経由でアップロード可能である。また、記録データは、次のような保存方式が選択可能である。

- (1) 標準データ保存方式 MS100内の記録データがメモリー使用限界になると、それまでに記録したデータを保護するために計測動作を停止し、振動とディスプレイで装着者に通知する。これは、主に行動分析でデータを使う場合に必要な措置であり、動作停止後又は充電時に、必要なデータをアップロードした後に消去することで新たなデータを記録できる。
- (2) 連続記録データ保存方式 MS100内の記録データがメモリー使用限界になると、古いデータを消去しながら記録を継続する。これは、無線通信でデータをシステムに送っているなどで、主に記録データを利用しない場合の措置であり、データを消去する手間が不要となる。

## 5. 安全管理データサービスへ向けた取り組み

### 5.1 データを扱う上での課題と対策

MS100が提供する各作業員の状態データを、無線通信を使いシステムに伝送して管理に利用する独自のデータサービスを構築した場合、無線通信中に一時的な障害（圏外や通信切断など）が起こると、通信障害中のデータがシステムに残らないため、データ欠損<sup>(注2)</sup>に対応することが必要である。

MS100は、無線通信が一時的な障害で切断されても自動復帰し、データを機器内に保存している。通信障害だけでなくシステムの問題で記録が切れていた、といった場合にも対応でき、データ種別、設定によって13 hから390 h分

(注2) 作業員の状態データはシステム制御に使われているわけではないので、ここでのデータ欠損は、管理の空白の意味。

をメモリーに保存できるため（表3）、システムにアップロードすることでシステム内データの欠損を補完できる。このようにMS100は、データバックアップとして使える冗長性も備えている。

### 5.2 データ活用例

加速度と角加速度のデータは、32 msの周期で高速サンプリングを行っている。このため、特別な演算をせずに、値の変化を見ているだけでも作業員の異常監視に活用ができる。例えば、MS100の個体番号と作業員をひも付けすると、モニター上のあるMS100の加速度データに変化がなくなった場合、作業員の動きが止まっていると推定でき、事前対処につながる。更に、データ分析を行うことで行動分析サービスにも活用できる。このようなシステムを構築する場合に、公開している通信プロトコルを使うとモニターの表示画面を自由に作成できる。

温度・湿度や、脈拍数、暑さストレスレベルなどのデータは1 s、30 s、1 min周期で記録・通信しており、これらのデータのトレンドをモニタリングした場合、複数の作業員で数値が急上昇している集団があれば、その環境が悪化していると推定でき、事前対処につながる。

## 6. あとがき

昨今、リストバンド型センサー（スマートウォッチ）や衣服に取り付けたセンサー（ウェアラブル機器）で、作業員の動きや健康状態をデジタル化して管理するサービスが注目を浴びており、新しいデータサービスの潮流となっている。

環境因子だけでなく作業による動きと体調も加味した作業員の状態を、内蔵センサーでデジタルデータ化し、利用目的に応じて様々な記録・通信周期でデータサービスシステムへ提供する産業向けリストバンド型センサー MULiSiTEN™ MS100について、その概要、仕様、特長、及びサービス例について述べた。

高温環境下で働く各作業員の暑さストレスレベルや動作情報をデジタルデータ化してシステムで管理できるようにすることは、安全管理面からも作業効率面からも、ますます重要になってくると考えられる。

今後も、作業員（の状態）をシステムを支える資源（アセット）として、その安全管理も高度化していくような機器を提案・提供していく。



飯島 拓也 IIJIMA Takuya  
東芝インフラシステムズ（株）  
府中事業所 計測制御機器部  
日本技術士会会員 技術士（機械部門）  
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.