

## リストバンド型センサーによる作業員の計測データを活用した作業効率化と安全な労働環境の提供

Provision of Safe and Efficient Environments to Personnel at Work Sites Based on Biological Data Measured with Wristband Sensors

石井 賢 ISHII Ken 日下部 峻 KUSAKABE Takashi 坂田 真一郎 SAKATA Shinichiro 門倉 悠真 KADOKURA Yuma

近年、少子高齢化などによる人手不足が進み、作業効率の改善や、安全な労働環境の提供が求められている。

東芝インフラシステムズ(株)は、作業現場の作業員から脈拍などの計測データを収集して暑さストレスレベルを表示するリストバンド型センサー MULiSiTEN (マリシテン)を提供している。計測データから心的ストレスを推定する技術や、体調改善策を提示する推薦機能などを新たに開発し、実用化に向けた検証で有効性を確認した。東芝デジタルソリューションズ(株)が提供している“Meister Apps 現場作業見える化パッケージ”にこれらの技術・機能を搭載してMULiSiTENの計測データを活用することで、製造現場の作業効率化と安全な労働環境の提供を支援する。

In the industrial domain, improving operating efficiency and providing safe work site conditions have become increasingly important issues due to recent labor shortages driven by a declining birthrate and aging society.

With this in mind, Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corporation offers the MULiSiTEN wristband sensor, which can quantify worker heat stress levels using biological data such as the pulse rate. We have developed new technology that estimates a worker's psychological stress level from collected data and a function to recommend ways to improve their health, confirming their effectiveness through verification tests with the goal of practical application. Utilizing data measured and analyzed by the new technology and functions from the Meister Apps field work visualization package, which is provided by Toshiba Digital Solutions Corporation, will contribute to safer, more efficient work environments.

### 1. まえがき

近年、労働人口の減少や熟練者の高齢化などが進み、製造現場や建設現場などの作業現場では、人材確保・人材育成といった労働力に関する経営課題が深刻化している。この対策として、作業効率を改善して一人当たりの生産性を向上させることや、働きやすい労働環境を提供することが、挙げられる。近年、デバイス技術の進化とともに軽量かつ低コストのセンサーが多数登場し、日常生活の中でも身近なものになった。これらのセンサーを活用して、多種多様な活動形態がある作業現場の状況や、作業員の状態を、正確かつタイムリーに把握し、このデータを活用して作業効率改善や安全な労働環境の提供につなげる取り組みが進んでいる。

東芝インフラシステムズ(株)は産業用計測器の設計・開発・製造を長年手がけており、その中で培ってきたセンサーに関する技術・ノウハウを新しい分野に適用して、リストバンド型センサー MULiSiTENを開発し<sup>(1)</sup>、提供している。MULiSiTENは、防塵(ぼうじん)・防水仕様とMIL-STD<sup>(注1)</sup>-810Gに準拠した耐衝撃性能を備えており、10種の計測データから作業員の暑さストレスレベル<sup>(注2)</sup>を演算・

表示する。また、東芝デジタルソリューションズ(株)は、MULiSiTENを含む様々なセンサーから計測データを収集し、統合して活用できる“Meister Apps 現場作業見える化パッケージ”を提供している。

MULiSiTENのデータを基に、心的ストレス・作業負荷・異常歩行を知る技術と、作業員のストレスを検知したときにその対応策を提示する推薦機能を新たに開発した。これらの技術や機能をMeister Apps 現場作業見える化パッケージに搭載することで、従来の作業効率化だけでなく、安全な労働環境の支援にも役立つ。

ここでは、MULiSiTENの新技术・機能の概要、要素技術の評価、及び計測データの作業現場での活用例について述べる。

### 2. MULiSiTENの新技术

MULiSiTENの既存の機能・性能を継承しながら、データ活用を拡大する新たなデータ分析技術を開発した。

(注1) 米国国防総省軍用規格。

(注2) 東芝インフラシステムズ(株)が開発したアルゴリズムで演算した暑さストレスの指標で、平時(0)から極端に高い(4)の5段階。1分周期で演算し、3分間のデータから総合判断する。

### 2.1 心的ストレス推定技術

MULiSiTENのパルスセンサーから取得する脈波に、ロバスト脈拍計測技術を適用して体動成分を除去し、1拍単位で脈拍間隔を抽出する。この脈拍間隔から心的ストレスを推定するアルゴリズムを開発した。

検証実験を行い、被験者の実際のストレス負荷（心理的な驚き・不安・緊張・いら立ちなど）と、アルゴリズムによる心的ストレス推定出力が、約8割で一致したことを確認した。今後は、フィールドでの検証フェーズに移行し、製品に実装する予定である。

### 2.2 作業負荷推定技術

MULiSiTENと、上腕や腰に付けたモーションセンサーから推定した姿勢のずれ量から作業負荷を算出し、負荷の高い作業を抽出して作業映像とともに可視化する技術を開発した。個人ごとの作業負荷を定量化して、作業手順・作業内容の見直し・改善を図ることで、効率化や安全確保に貢献できる。

### 2.3 異常歩行検知技術

MULiSiTENを腰装着クリップで作業員の腰に装着して取得する歩行データ（加速度及び角速度）から、歩行・静止、及び歩行環境（平面か段差かなど）を分類するアルゴリズムを開発した<sup>2)</sup>。今後、転倒リスクの高い環境を推定できるようにアルゴリズムの改良を進める。

歩行データから場所ごとに歩行環境を推定し、転倒リスクの高い環境を転倒リスクエリアマップとして可視化することで、危険箇所を明確にし、転倒災害を未然に防ぐ対策ができる。なお、人物位置検出技術（GPS（全地球測位システム）、ビーコンなど）と連携することで、転倒リスクエリアマップ生成の自動化にもつながる。

## 3. ヘルスデータの活用を支援する推薦機能

作業員の体の状態や負荷程度などのヘルスデータを計測するウェアラブルセンサーは、MULiSiTENを含め、多数提供されている。しかし、ヘルスデータがあっても、個々の装着者の状態に応じて適切に対処できないことが多く、迅速で正確な判断を支援する機能が求められている。そこで、ヘルスデータを基に、体調改善策や体調不良予防対策を提示する、推薦機能を開発している。

この章では、MULiSiTENの特徴の一つである暑さストレスレベルを用いた、推薦機能について述べる。

### 3.1 機能の概要と構成

推薦機能の概要を図1に示す。推薦機能には、暑さストレスレベル予測モデル、対策効果予測モデル、及び推薦モデルの三つのモデルがある。

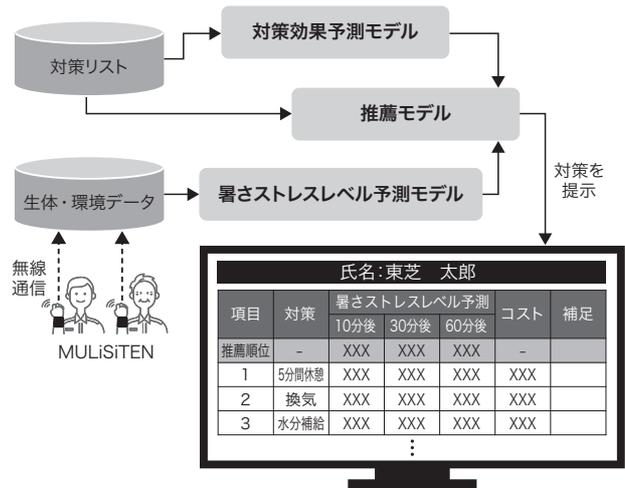


図1. 推薦機能の構成

三つのモデルによって、センシングデータからユーザーごとに適した対策を提示する。推薦結果を参考にして対策することで、安全に作業・管理できる。

New recommendation function

### 3.2 三つのモデルの詳細

暑さストレスレベル予測モデルは、現状の環境で作業や運動などを継続した場合で、暑さストレスレベルの変化を予測する。暑さストレスレベル変化時刻の平均値（標準暑さストレスレベル変化指数）、どの程度の負荷の運動をしているか（運動強度指数）、運動をどのような環境で実施しているか（環境負荷指数）の三つの項目から、装着者の暑さストレスレベルが今後どのように変化していくかを予測する。

対策効果予測モデルは、休憩、水分補給などの対策実施により、暑さストレスレベルの変化を何分遅らせるかを予測する。対策リストデータベースにある過去のデータを基に、対策によって暑さストレスレベル予測モデルによる変化点予測結果が、何分間延長されるかを算出する。この出力は、各対策をいつ実施したら良いかの判定根拠となる。

推薦モデルは、暑さストレスレベル予測モデル・対策効果予測モデルの出力と、コストデータに基づき、対策の内容と最適なタイミングを提示する。暑さストレスレベル予測モデル・対策効果予測モデルの出力と、各対策のコストデータ（対策実施に掛かる時間）から費用対効果のスコアを算出し、値が大きい順に対策を提示する。効果は、暑さストレスレベル変化点までの時刻を何分延長できるか、コストは対策実施に必要な時間である。また、対策実施に必要な時間は、対策そのものに掛かる時間だけでなく、移動時間など対策によって活動が中断される時間も含む。

これら三つのモデルによって、装着者の体調状態に応じた適切な対策を提示する。

表1. 対策コスト・環境負荷別の推薦機能の効果

Effects of recommendation function by cost of countermeasures and environmental load

安全活動時間の増減* (%)		対策コスト		
		小	中	大
環境負荷	小	-0.1	2.7	2.6
	中	7.4	8.6	9.4
	大	13.1	12.0	14.4

\*対照群の安全活動時間を100%とした場合に介入群の安全活動時間が増減した割合

### 3.3 推薦機能の性能評価

まず、推薦機能を、推薦結果に基づいて対策を実施した場合に、安全な活動時間がどの程度延長されるかという観点で評価した。安全な活動時間は、MULiSiTENが算出する暑さストレスレベル指標において1未満と設定した。熟練管理者の指示に基づいて、通常どおりの対策を実施したデータである対照群に対して、推薦機能による対策提示の5分後に、提示された対策を実施した介入群の、安全な活動時間がどの程度延長するかを比較した。評価の結果、介入群は対照群と比較して、安全な活動時間が8%向上(約25分増加)した。

次に、対策コストと環境負荷をそれぞれ三つの区分(評価データのうち上位25%を大、下位25%を小、残りは中)に分類して、推薦機能の効果を評価した(表1)。対策コストによる差はほとんど見られなかったものの、環境負荷が大きいほど、推薦機能の効果が高かった。環境負荷が大きい方が、対策の難易度は高く、また熱中症発生率も高いことから、推薦機能のニーズが大きい環境で、高い効果を発揮することが期待される。

### 3.4 推薦機能の展望

3章では、暑さストレスへの対策を例として記載したが、推薦機能は、労務管理や作業効率化など様々な課題・作業現場に活用できる。

## 4. Meister Apps 現場作業見える化パッケージ

Meister Apps 現場作業見える化パッケージの概要を、図2に示す。MULiSiTENや、ビーコン・ヘッドセットといったデバイスの計測データをスマートフォンで収集し、データ蓄積基盤に連携するアプリケーションを提供している。また、センシング結果を集計・グラフ化して示すための見える化テンプレートも複数用意している。これによって、データ収集から作業員への情報のフィードバックまでを1ストップで実現できる。

### 4.1 データ分析技術による作業員の活動データの取得

MULiSiTENなどの計測データに2章で述べたようなデー

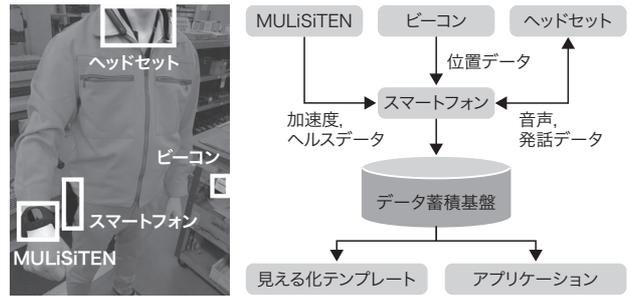


図2. Meister Apps 現場作業見える化パッケージの概要

センサーから得られる情報はデータ蓄積基盤に格納し、見える化テンプレートやアプリケーションで、情報提供する。

Outline of Meister Apps field work visualization package

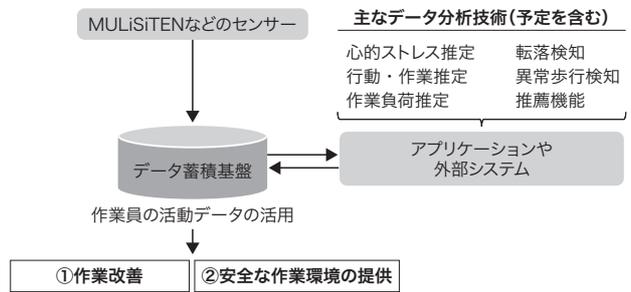


図3. 計測データへのデータ分析技術の適用による活動データの取得・活用

データ分析技術で計測データから作業員の活動データを生成して、作業効率化と安全な労働環境の提供を実現する。

New worker psychological stress level estimation technology

タ分析技術を適用することで、作業員の様々な活動データを得られる(図3)。

作業現場の課題に合わせてデータ分析技術を適用し、必要な活動データを得ることで、課題解決に役立てられる。

### 4.2 作業効率化と安全な労働環境の提供

複数種類の計測データを組み合わせることで、作業効率化に役立てられる。例として、位置データを持ち場と持ち場外に分け、MULiSiTENでセンシングした手首の加速度データを、作業分析技術<sup>(3)</sup>で静止・歩行・台車移動・手作業の4動作に分類して分析したものを図4(a)に示す。

持ち場での手作業は実作業時間であり、一定の時間が必要な主作業となる。持ち場での台車移動と歩行は主作業に対する付帯作業と考えられ、ゼロにはならないが適切であるかどうかの確認が必要な時間と捉えられる。そして、持ち場での静止と持ち場を離れていた場合の全ての動きをその他とし、ゼロにすべき時間とする。

作業員の1日の基準作業時間と実績を比較することで、

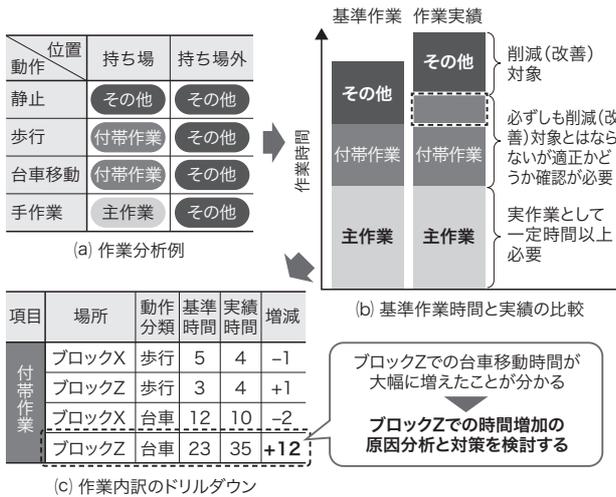


図4. Meister Apps 現場作業見える化パッケージによる作業分析の例

位置と動作のデータから非効率作業を見える化し、作業効率化に役立てる。

Examples of analysis results obtained with Meister Apps field work visualization package

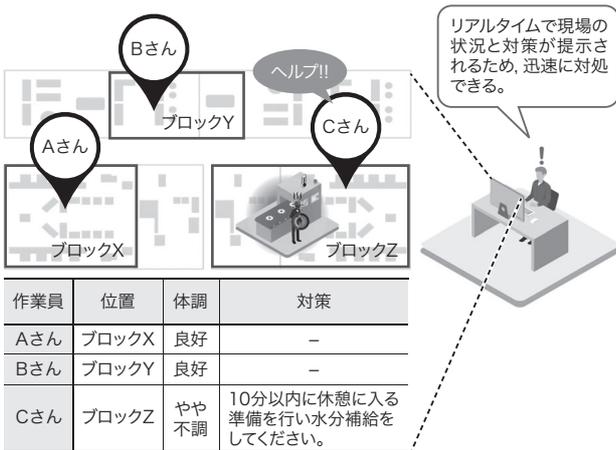


図5. 推薦機能を活用した安全な労働環境の提供

タイムリーに作業現場の状況を把握し、推薦機能で適切かつ迅速な対応を提示する。

Provision of safe and efficient environments to workers at manufacturing sites

改善ポイントを効率的に把握できる(図4(b))。ここでは、基準作業時間に対して実績の付帯作業時間が増えているため、内訳の詳細をドリルダウンすることで、増加の要因の工程を見つけられる(図4(c))。

更に、見える化テンプレートの表示画面では各作業員のいる場所と現在の体調などをほぼリアルタイムにチェックでき、安全な労働環境の構築と維持に活用できる(図5)。

今後、構内での転倒・転落の検知による発生場所の速やかな通知や、温度・湿度データの分析から体調不良となり

やすい作業場所や時間の提示など、機能強化に取り組んでいく。

## 5. あとがき

MULiSiTENなどの計測データを収集し、必要なデータ分析技術で活動データなどを取得し、Meister Apps 現場作業見える化パッケージを通して、現場の作業状況や作業員の体調などを分かりやすく表示できることを述べた。有益な情報を利用者に素早く提供して活用することで、作業効率化や安全な労働環境の提供など、利用者に合わせた課題解決ができる。今後は、新しい技術の製品搭載を進めていく。

また、製造業のDX(デジタルトランスフォーメーション)化を加速するため、OT(制御・運用技術)とIT(情報技術)の融合によって、様々なデータの収集と活用も進めていく。

## 文献

- (1) 飯島拓也. 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. 東芝レビュー. 2022, 77, 1, p.19-22. <<https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/jp/technology/corporate/review/2022/01/a05.pdf>>, (参照 2024-03-26).
- (2) 池 司. “腰装着センサを用いた歩行環境推定における推定精度改善に関する検討”. 情報処理学会研究報告. 長崎とWebでのハイブリッド開催. 2023-09, 情報処理学会. 2023, 2023-MBL-108, 29, p.1-6.
- (3) 兵頭靖得, ほか. IoT行動センシングを用いた作業分析技術. 東芝レビュー. 2016, 71, 5, p.72-75. <[https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2016/05/71\\_05pdf/f04.pdf](https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2016/05/71_05pdf/f04.pdf)>, (参照 2024-03-26).



石井 賢 ISHII Ken  
東芝デジタルソリューションズ(株)  
デジタルエンジニアリングセンター  
スマートマニュファクチャリングソリューション第一部  
Toshiba Digital Solutions Corp.



日下部 峻 KUSAKABE Takashi  
東芝デジタルソリューションズ(株)  
デジタルエンジニアリングセンター  
スマートマニュファクチャリングソリューション第一部  
Toshiba Digital Solutions Corp.



坂田 真一郎 SAKATA Shinichiro  
東芝インフラシステムズ(株)  
スマートマニュファクチャリング事業部 計装技術部  
電気学会会員  
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



門倉 悠真 KADOKURA Yuma, Ph.D.  
東芝インフラシステムズ(株) インフラシステム技術開発センター  
自動化・画像応用システム開発部  
博士(環境学) 日本人間工学会会員  
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.