

ウェアラブルセンサーを用いた 熱ストレス推定手法

Method to Estimate Heat Stress Using Data from Wearable Sensors on Worker

生活習慣情報を考慮することで、個人に適合した熱ストレスの リスクを高精度に推定

地球温暖化に伴う気温上昇などで、熱中症などから屋外作業員の健康や身体の安全を守るため、暑熱環境への対策が重要になっています。このような中で、東芝は、作業員のためのセンシング技術の研究開発に取り組んでいます。今回、熱中症の要因とされる周囲環境・生体状態・行動・個人プロフィールなどに加え、生活習慣情報も考慮することで、熱中症などの体調変化を引き起こす要因となる熱ストレスのリスクを高精度に推定する手法を開発しました。

熱中症対策への取り組み

東芝は、作業員の体調をセンシングする技術の研究開発に取り組んでいます。その適用先の一つは、東芝グループが屋外の建設現場など暑熱環境における作業員の体調管理向けに開発を進めている、作業員モニタリングシステムです。熱中症などの体調変化を引き起こす要因となる、熱が身体に与えるストレス(以下、熱ストレスと呼ぶ)のリスクを推定するシステムです(図1)。このシステムでは、各作業員は、温度・湿度・体動量(注1)・脈拍数などを常時計測するウェアラブル端末を、作業時に装着します。端末は、計測値から熱ストレスのリスクを推定し、リスクの増大を、無線ネットワーク⁽¹⁾経由で監督者に通知します。これにより、熱ストレスのリスクを低下させる対策を即座に講じることができます。

解決すべき課題

熱ストレスのリスク推定では、誤棄却(実際はリスクがあるのに、ないと推定されること)と誤受理(実際はリスクがないのに、あると推定されること)にトレードオフの関係がありますが、安全の観点から誤棄却が極力ゼロになるように調整するため、誤受理が多くなります。

例えば、熱ストレスのリスクの増大には個人差がありますが、

(注1) 3軸合成加速度によって算出する身体の動きの量。

多くの現場でリスク推定に用いられているWBGT (Wet-Bulb Globe Temperature: 湿球黒球温度)^(注2)計は、周囲の環境だけを用いた汎用的な測定方法であるため、特に屋外の炎天下作業時に誤受理が頻繁に発生します。また、周囲の環境にウェアラブル端末を用いてセンシングした情報(脈拍数や歩数)を加えて、熱ストレスのリスクを推定する手法がいくつか研究されていますが、それらは個人差を考慮しない一定のしきい値で判定するため、個人差への対応が十分にできず、作業員によっては誤受理が頻繁に発生します。このような誤受理を削減することが、熱ストレスのリスク推定における課題です。

更に、このシステムを実現するには、ウェアラブル端末に組み込めるように、少ない演算量と少ないメモリー量で熱ストレスのリスクを個人ごとに高精度に推定することが必要です。また、実際の環境下で熱ストレスのリスクが生じた作業員のデータを、数多く収集することは難しいという制約もあります。

熱ストレスの要因

高精度な熱ストレスのリスク推定手法を検討するにあたり、入力に用いる情報を検討するため、熱中症の発症要因⁽²⁾を調査しました。熱中症の発症要因は、五つの情報に分類できます(図2)。

(注2) 熱中症の予防を目的として、気温・湿度・日射・輻射(ふくしゃ)熱などから求める暑さの指標。

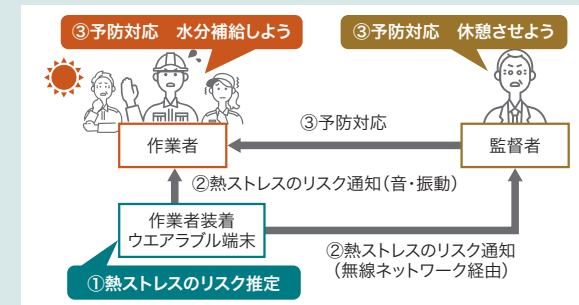


図1. 作業員モニタリングシステム

①熱ストレスのリスク推定、②熱ストレスのリスク通知、③予防対応、で構成されています。

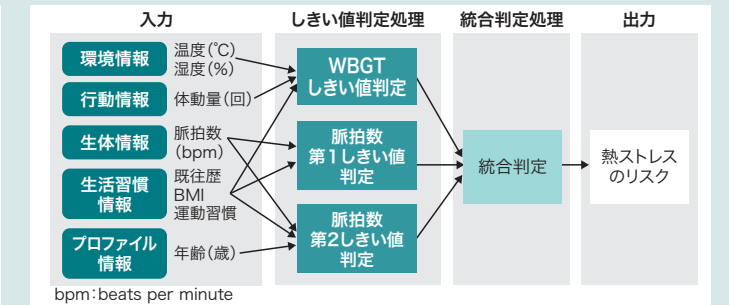


図3. 開発手法の処理構成

厚生労働省が推進している熱中症予防方法⁽³⁾をベースに、各しきい値判定処理に生活習慣情報を考慮することを特長としています。

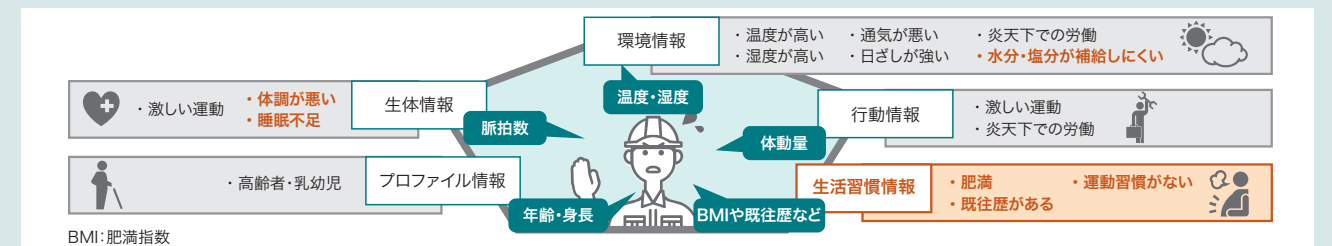


図2. 熱中症の発症要因の分類

熱中症の発症要因で、従来手法で用いられているものを黒色の文字、用いられていないものをオレンジ色の文字で示しました。生活習慣情報は、いずれの従来手法にも用いられていません。

これまでに運用・研究されている熱ストレスのリスク推定手法に用いられている情報と、この分類結果を照らし合わせたところ、従来手法では生活習慣情報が考慮されていないことが分かりました。したがって、生活習慣情報を考慮することで、作業員個人に一層適合した高精度なリスク推定が可能になると期待できます。

生活習慣情報を考慮した推定手法

推定手法として、まずDNN (Deep Neural Network) などによる機械学習が考えられますが、ウェアラブル端末での演算量・メモリー量の制約や、まだ収集データが少ないことから、今回はルールベースの手法を採用しました。入力値としきい値との大小比較で2値判定する処理を三つ使い、それらを組み合わせて統合判定することで、熱ストレスのリスクの有無を推定します(図3)。各判定処理でのしきい値は、生活習慣情報3項目の該当数によって決定します。このようにすることで、個人に適合したリスク推定ができます。

屋外作業員に装着したウェアラブル端末のセンサーから採取したデータと体調不良の自覚症状を、熱ストレスの実際のリスクとした場合の推定精度を評価しました。従来の環境情報だけを用いた手法や、環境情報に加えて生体情報・行動情報・プロフィール情報を用いた手法と比較して、誤棄却率0%における誤受理率が23.4%から17.7%に5.7

ポイント改善し、生活習慣情報を考慮することの有効性が確認できました。また、ウェアラブル端末に組み込み可能なArm社製のCortex-M4プロセッサで逐次実行可能な演算量、及びKiバイト(キビバイト: 2¹⁰バイト)オーダーのメモリー量となることも確認しました。

今後の展望

作業員の熱ストレスのリスク有無をウェアラブル端末でモニタリングするシステムの実用化を目指します。また、データの収集を継続し、更なる高精度化を図るため、処理量の少ない機械学習を用いた手法も検討しています。今後も、体調不良の予兆検知などで作業員の安全と健康を守り、生産性向上に貢献する技術の研究開発を進めていきます。

文献

- (1) 大喜多秀紀, 井手賢一. 野外の作業員の暑さストレスレベルの把握を可能にするBLE/920 MHz無線中継システム. 東芝レビュー. 2019, 74, 6, p.71-74. <https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2019/06/74_06pdf/f03.pdf>, (参照 2020-03-02).
- (2) 環境省環境保健部環境安全課. 熱中症環境保健マニュアル2018. 厚生労働省, 2018, 82p. <http://www.wbgt.env.go.jp/pdf/manual/heatillness_manual_full.pdf>, (参照 2020-03-02).
- (3) 厚生労働省労働基準局長. 職場における熱中症の予防について. 厚生労働省, 2009, 基発第0619001号, 13p.

齋藤 麻未

研究開発センター 知能化システム研究所 アナリティクスAIラボラトリー
電子情報通信学会会員