

## 疲労検知に有効な加速度センサの組み合わせ評価 Assessing Effective Combination of Body Sensors to Detect Fatigue

加藤 和弥<sup>†</sup>  
Kazuya Kato

原田 史子<sup>‡</sup>  
Fumiko Harada

島川 博光<sup>‡</sup>  
Hiromitsu Shimakawa

### 1. はじめに

疲労の蓄積とそれを原因とするさまざまな問題は、個人や社会に大きな損失を与えている。特に、疲労大国と称されている我が国では、世代を問わず国民の大半が疲労状態にあり、これを原因とする作業効率の低下や身体機能の低下は、問題を新たに生み出している。疲労の軽減や回復については民間療法や健康食品の摂取などが一般に広がっている。しかし、疲労の定量的評価には脈波などの生体情報を計測する大掛かりな機器が必要であり、汎用的で簡易な疲労測定法は実用化されていない。そこで、本論文では、既存の高精度な疲労判定手法と同程度の検知精度を持ちながら、疲労評価の対象者への負担を抑えた簡易で汎用的な方法で疲労を測定する手法を提案する。本手法では対象者の体に装着した複数のボディセンサから、生体情報の変移と同期するセンサデータの組み合わせを選出する。これにより、対象者への負担が小さく、常時検知が可能な疲労検知が実現できる。

### 2. 疲労検知の現状

#### 2.1 特殊な環境での慢性疲労の弊害

危険な作業に従事する作業員やひとり暮らしの高齢者にとって慢性的な疲労による身体能力の低下は、深刻な事象や重大な事故の原因になる。高齢者であれば、自覚のない身体能力の低下を原因とした転倒などにより寝たきり状態になってしまい、そのまま元の生活に戻れなくなる危険性がある。同じく、危険な作業に従事する作業員にとって疲労による集中力の低下と、それによる作業ミスは重大な事故を発生させてしまう。

このように、特殊な環境下における慢性的な疲労は大きな問題を生む。そのため、疲労検知対象者の行動環境の特性に則した疲労検知手法が必要である。

#### 2.2 慢性疲労検知とその問題点

慢性疲労への対策としては、疲労検知対象者の自己判断に依らず機械的に疲労の度合いを判定し、対象者の活動を適切に抑制させる手法が有効である。

一例として、センサを用いて作業員の動作や生体情報を継続的に取得し、生活リズムを解析することで対象者の疲労の度合いなどを定量的に判断する手法がある[1]。これにより、対象者の行動環境の特性に則した疲労検知が実現できるが、センサのデータストリームのみを判断材料にしているため、定量的な評価が難しく、検知精度に問題がある。また、この手法では精度の向上のために多数のボディセンサを対象者に装着させる必要があり、身体的な負担が増大してしまうため、特に高齢者への恒常的な適用が難しい。

これとは別に、疲労の度合いを定量的に測定できる指標として、パルスオキシメーターなどの生体情報測定器により取得する経皮的動脈血酸素飽和度や、加速度脈波[4]を用いた検知手法がある。既に、これらの値を用いた疲労検知の手法が提案されている[1, 2]。しかし、現在使用可能なパルスオキシメーター等の装置は、対象者が携行できるほど小さくなく、あくまで断続的な疲労の指標でしかない。そのため、高齢者の慢性疲労からくる体力の減退といった、長期間の測定により初めて発見できる症例への対処が難しく、取得データの個人差も吸収できない。また、疲労検知において対象者の生活環境を熟知した医療従事者の判断が必要になるケースも多い。また、同様に、高所、狭所、暗所などの不安定な場所で活動する作業員にも適用が難しい。

よって、この現状を突破するために、ボディセンサを用いた疲労検知手法[1]の利点を活かしつつ効率化させて、その検知精度を生体情報測定器を用いた疲労検知手法[1, 2]と同程度まで引き上げる必要がある。

### 3. センサの組み合わせによる疲労検知精度向上手法

#### 3.1 組み合わせ手法概要

ボディセンサを対象者の複数の箇所に着用し、動作時のセンサデータを計測する。本論文では、これらのセンサデータ群のうち、経皮的動脈血酸素飽和度、加速度脈波などの定量的な疲労の指標のデータ群に、同期して変動するものを選出することで、効果的に疲労度を判定できるセンサデータの組み合わせを導出する手法を提案する。これにより、ボディセンサを用いた疲労検知手法の精度向上を実現する。全体の流れを図1に示す。

本手法では、生体情報測定器( $\alpha$ )から取得する経皮

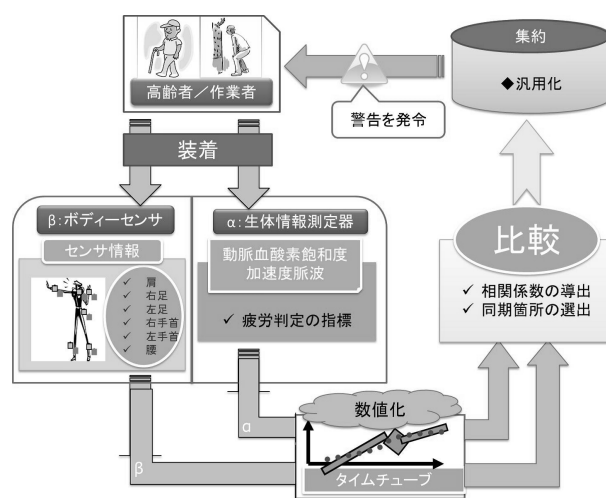


図1: 手法の流れ

<sup>†</sup>立命館大学大学院 理工学研究科  
<sup>‡</sup>立命館大学 情報理工学部

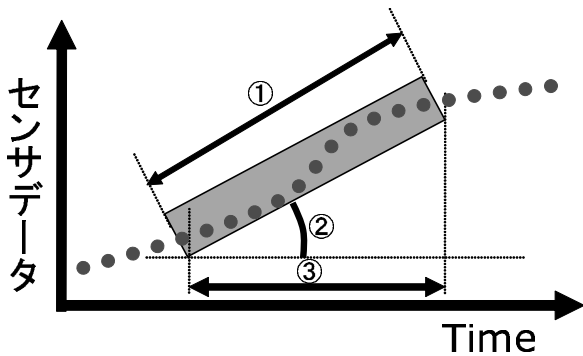


図2: タイムチューブ

的動脈血酸素飽和度と加速度脈波を絶対的な疲労検知の指標として定義する。同時に、図1に示すように疲労検知対象者の肩、右足、右手首、左足、左手首、腰に装着したポディーセンサ( $\beta$ )からセンサ情報を取得する。その双方を、3.2で示すようにタイムチューブ[5]を用いて数値化し、相関係数を導出する。これにより、 $\alpha$ と $\beta$ により取得するデータ間の類似度が導出できる。そして、 $\beta$ を構成するポディーセンサ群の中から値の変動が $\alpha$ と同期している箇所を選出、判定する。詳細を3.3に示す。

### 3.2 データ間の相関判定法

本手法における相関係数導出を目的としたセンサデータ群の数値化について解説する。ポディーセンサ( $\beta$ )と生体情報測定器( $\alpha$ )からデータ群を取得することで、その双方から図2に点線で示すような時系列データが取得できる。データ群の任意の期間についてタイムチューブを適用し、そのパラメータとしてデータ群を以下の3変数で表す。

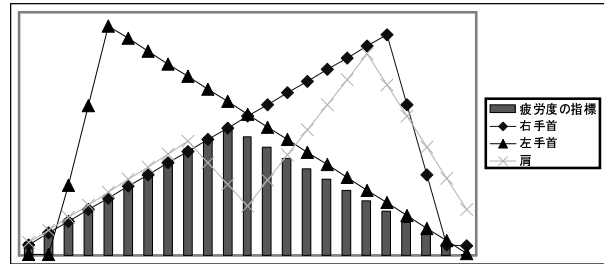
1. 長さ: チューブ長辺の長さ
2. 角度: 時間軸とチューブの角度
3. 期間: チューブの示す期間

これらは、 $\alpha$ と $\beta$ のデータ群間の類似性を示す指標となる。一定期間のセンサデータ群ごとにタイムチューブが導入できるため、この数値を元に相関係数を導出する。

### 3.3 同期箇所の選出

3.2により、データ群間の類似性が数値として導出できる。また、 $\alpha$ は一定間隔ごとに取得しており、 $\beta$ はポディーセンサにより常時取得している。そのため、 $\alpha$ を先に数値化し、それに同期するの組み合わせを模索する。イメージ図を図3に示す。

図3における棒グラフが、 $\alpha$ から得られた疲労度の指標であり、 $\beta$ から得られた各センサデータ群の総当り組み合わせとの類似度を判定する。今回は、「右手首」「左手首」「肩」の3種であるため、7種の組み合わせが考えられる。それぞれの、高い相関のある組み合わせを導出する。図3に示す例であれば、「肩」のセンサデータ群が不要だと考えられる。これを実証するために、その組み合わせを長期的に観測して再現性の高さを検証し、最終的な同期を選出する。

図3:  $\alpha$ と $\beta$ の同期イメージ

### 3.4 組み合わせの共通項

3.3により、 $\alpha$ と $\beta$ から取得したデータ群の同期箇所が選出できる。しかし、 $\alpha$ と $\beta$ の値は疲労検知対象者の行動や活動環境に影響を受けて変化すると考えられる。そのため、手法の実運用を考えて汎用化を目指すのであれば、対象者群の共通項を抽出し、個人差を吸収して、多くの対象者に対して汎用的に利用できるポディーセンサの装着箇所の組み合わせを導出する必要がある。

これが実現できれば、どの対象者にも一定の効果が見込める箇所が特定できるため、対象者群に対して汎用的な広報、警告が可能になる。さらに、どの対象者にでも一定以上の効果が期待できるポディーセンサの組み合わせが導出できれば、対象者が装着すべきポディーセンサの数を削減できるため、対象者となる高齢者への負荷を減らせる。また、ポディーセンサを用いた手法であるため、長期的な計測が必要な症例に対しても対応可能であり、同様に危険な作業への従事者に対しても適用できる。

## 4. おわりに

本研究では、ポディーセンサを用いた高精度の疲労検知手法を提案した。これにより、疲労検知対象者の疲労兆候を事前に検知できるため、深刻な事象や重大な事故を回避できる。今後は、提案した疲労判定手法を構成する、汎用的なポディーセンサの装着箇所の組み合わせについて検討を進める。

## 参考文献

- [1] Nobuyoshi S, Shouichi O, Jun S, Taiji I and Yoshitoshi M, "Prototype of a Workers' Motion Trace System Using Terrestrial Magnetism and Acceleration Sensors," NBiS '08 Proceedings of the 2nd international conference on Network-Based Information Systems, Turin, Italy, pp.60-70, 2008.
- [2] 山口, 笹部, 倉垣, 西沢, 渡辺, 加速度脈波を用いた疲労評価, 治療, 90(3), pp.537-547, 2008.
- [3] 徳高 平蔵, 柿原 俊幸, 倉田 将史, 藤村 喜久郎, 権田 英功, 馬庭 芳朗, 山本 雅司, 李 仕剛, 大北 正昭, 脈波波形解析システムの解析結果を用いた総合脈波判定システムの構築, バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, 11-1, pp.49-56, 2009.
- [4] 佐野, 片岡, 小山, 他, 加速度脈波による血液循環の評価とその応用, 労働科学, 61(3), pp.129-143, 1985.
- [5] Y. Hayashida, Y. Kohgo, and I. Asano, "A hysteresis model with the continuity of tangential slopes of soil water retention curves," "Proceedings of the 2nd Asian Conference on Unsaturated Soils, UNSAT-ASIA 2003, Osaka, pp.413-418, 2003.