腰への振動触覚フィードバックによる腰痛警告システムの開発

○福井 裕（摂南大学 理工学部） 川野 常夫（摂南大学 理工学部）

An Alarm System for Low Back Pain with Vibrotactile Feedback to the Waist

Yutaka FUKUI (Faculty of Science & Engineering, Setsunan University),

Tsuneo KAWANO (Faculty of Science & Engineering, Setsunan University)

1. はじめに

わが国において腰痛の自覚がある人の割合は1割を超えており¹⁾、機械、組立、溶接、運搬などの製造業6社への調査では、男性の約70%および女性の約61%が腰痛を患った経験があると報告している²⁾。このような製造の現場では、重量物の拳上や運搬などの重筋作業を伴うことが多く、腰部の負担は大きいと推察される。

本研究では、工場で働く作業者の腰痛防止を目的に、作業者の姿勢をモニタリングし、腰部に過度な負担がかかる姿勢になると、作業者の腰部で振動する装置を介して、振動触覚により作業者自身へ危険を警告するといったシステムを開発する。

2. 腰痛警告システム

開発した腰痛警告システムの構成を図1に示す。本システムは、同図に示すような工場における荷役作業を対象としており、作業姿勢をモニタリングするモーションキャプチャ装置とPC、および作業者の腰部に装着して、振動によって腰痛の危

険を知らせる腰痛警告装置から構成される。

モーションキャプチャ装置で測定した作業者の姿勢を基にして、腰部にかかる負担を推定し、腰痛の危険が生じた場合に、無線通信（ZigBee）にてPCから腰痛警告装置へ信号が送られる。信号を受信した警告装置は振動モータを回転させ作業者の腰部に振動を伝えることによって、腰痛の危険性を作業者に警告する。

3. 腰痛のモニタリング

本システムでは、実際の工場に簡単に持ち込めるモーションキャプチャKinect（Microsoft社製）によって、作業者の姿勢を常時モニタリングする。

KinectはUSBケーブルでPCと接続され、PCにインストールした本研究で開発したソフトウェアによって、作業者の姿勢を基に第4、第5腰椎の椎間板（L4/L5）に作用する圧迫力を推定する。具体的には、Kinectが測定した全身の関節座標20点のうち、頭、肩、肘、手、L4/L5の5点に対応した座標から人体リンクモデルを構築し、力学方程式

図1 腰痛警告システム

を解くことによって椎間板圧迫力を推定する³⁾。

推定した椎間板圧迫力において腰痛発生の危険があるか否かの判定には、米国立労働安全衛生研究所が定めた基準を用いる。そこでは椎間板圧迫力が3400N以上では一部の作業者に腰痛発生の可能性があり、6400N以上ではほとんどの作業者に腰痛発生の可能性があると定めている。本研究では、3400N以上かつ6400N未満を腰痛危険レベル1、6400N以上を腰痛危険レベル2とし、その結果を腰痛警告装置へ無線通信にて送信する。

4. 腰痛警告装置

腰痛警告装置は、振動モータからなる振動部と、振動モータを制御するマイコンボードからなる制御部に分かれている。振動部の構造を図2に示す。回転軸に偏心分銅が取り付けられた2つの振動モータをプラスチック製のプレート上に取り付け、そのプレートをケース内部に固定する。振動部はケース外側のフックを用いて作業者のベルトやズボンに装着し、モータの回転によって生じる振動で腰痛の危険をフィードバックする。

制御部では、マイコンボード (Arduino Uno, Smart Projects社製)を用いて、PCとの無線通信および振動モータの制御を行う。Arduinoではシールドと呼ばれるボードをマイコンボードの上に積み重ねることによって機能を拡張することができ、本装置では以下に示す2つのシールドを用いた。

まず、モータ制御に必要な回路が実装されているモータシールド (Arduino Motor Shield, 同社製)を接続し、これと振動部の振動モータをリード線で結び、モータの回転を制御する。次に、無線通信シールド (Wireless SD Shield, 同社製)を接続し、同シールド上のソケットにZigBeeに対応した通信用モジュールXBee ZB (Digi International製)を差し込み、PCとの通信を行う。

マイコンボードとこれら2枚のシールドからなる制御部の寸法は縦68×横53×高さ44mmとなり、振動部と同様のプラスチック製のケースに収めた。これを振動部に近い作業者の腰付近に取り付けて携帯するようにする。

制御プログラムは開発環境Arduino IDEで作成し、コンパイルした後に、マイコンボードにインストールする。プログラムは、PCからの信号を常に監視し、腰痛危険レベルの大きさに応じて、モータのON/OFF制御を行う。具体的には、腰痛

図2 腰痛警告装置（振動部）

危険レベル2では、2つのモータを同時に回転させる。危険レベル1では、1つのモータのみ回転させる。このように、腰痛危険レベルに応じて回転するモータの数を変えることによって、腰痛警告装置の振動の大きさを変化させる。

5. おわりに

腰痛防止を目的に、工場で働く作業者の姿勢をモニタリングして、腰痛発生の危険がある場合、作業者の腰部への振動触覚によって、作業者自身へ危険を警告するシステムを開発した。腰部へ直接的に振動を伝えることによって、危険を体感することができ、腰痛防止のためのより高い効果が期待される。Kinectの障害物による誤認識の問題などを解決し、今後は、実際の工場などの複雑な環境でも利用できるよう改良していく予定である。

なお、本研究は摂南大学研究助成金「Smart and Human」の助成を受け実施した。

参考文献

- 1) 厚生労働省：“平成22年国民生活基礎調査”
- 2) 萱岡 道泰ほか：“製造業を中心とした企業関連施設における腰痛の現状と対策”，日本腰痛会誌，Vol.7，No.1，pp.94-99，2001.
- 3) 田中 優介ほか：“タブレットPCのモバイル性を活かした現場作業用「腰痛判定カメラ」の開発”，モバイル学会誌，Vol.2，No.2，pp.31-37，2012.