機械作業環境における安全距離の検討

—動作計測とコンピュータマネキンを用いた上肢到達距離の推定—

○横井孝志¹, 大塚裕光¹, 吉澤睦子¹, 山崎浩², 宮崎浩一², 石本明生³, 斎藤剛⁴,
池田博康⁴, 浅井義之¹, 小峰秀彦¹

¹(独)産業技術総合研究所(AIST), ²(社)日本機械工業連合会(JMF), ³(社)人間生活工学研究センタ
(HQL), ⁴(独)労働安全衛生総合研究所(JNIOOSH)

A study on the safety distances to prevent machinery hazard zones being reached - Estimation of reaching distances of the upper limbs using motion capturing and a computer mannequin -

Takashi Yokoi¹, Ohtsuka Hiromitsu¹, Mutsuko Yoshizawa¹, Hiroshi Yamazaki², Koichi Miyazaki²,
Akio Ishimoto³, Tsuyoshi Saito⁴, Hiroyasu Ikeda⁴, Yoshiyuki Asai¹ and Hidehiko Komine¹

¹AIST, ²JMF, ³HQL, ⁴JNIOOSH

1. はじめに

国際標準 ISO/CD13857「Safety of machinery - Safety distances to prevent hazard zones being reached by the upper and lower limbs」(ISO/TC199/WG6 が担当)を広く作業環境に適用し、安全を確保するためには、その中で規定されている数値が日本人を含むアジア諸国の人々にも妥当なものかどうかを検証しておく必要がある。

本研究では、この検証の一環として、立位上方到達距離および柵越到達距離を対象に、動作計測とコンピュータマネキンを併用しながら上肢到達距離を推定し、規格値の妥当性を検討した。

2. 方法

実測したリーチング動作データにもとづいて、種々の体格のコンピュータマネキンの動作を生成し、立位時および柵越時の手先最大到達距離を求めた。

2.1 実測動作データ

2名の若年成人男性(身長 1653mm, 1817mm)にリーチング動作を行わせ、このときの体表標点位置を3次元的に計測し、得られたデータをコンピュータマネキンの動作生成に用いた。動作計測の方法は文献 1 に示したとおりである。それぞれの動作条件において同じ動作を 10 回計測し、全てを動作生成に用いた。

2.2 マネキンによる動作生成

コンピュータマネキンシステムとして Jack4.0 を用いた。文献 2 の方法で被験者と同じ体格のマネキンに実測動作を再現させた。さらに、この再現情報をもとに、種々の体格のマネキンによってリーチング動作を生成した。

到達距離規格値の妥当性を検討するため、韓国人 24 歳男性身長 95%ile 値(1838mm)を持つマネキンを用いて動作を生成し、後述する方法で到達距離を求めた。韓国人 24 歳男性身長

95%ile 値を用いたのは、現在入手できるアジア各国の代表的人体寸法値の中で韓国人 24 歳男性の身長が最も高かったこと、安全距離については、身長の高い側に合わせて設定しておけば、それより低い身長に対しては安全と考えられることによる。

図1 柵到達距離算出方法

2.3 到達距離の算出

立位時の上方到達距離を床から第3指先端までの最大高とした。柵越到達距離については図1の方法によって算出した。即ち高さ a の危険物が第3指先端の軌跡に1点で触れる位置を見出し、その位置と高さ b の防護柵との間の水平距離 c を到達距離として算出した。

本研究の方法によって様々な体格のコンピュータマネキンの柵越動作を生成したとき、個々の動作における柵位置は動作実測時の柵位置とは異なる。そこで、体格が異なっても個々の動作における指先軌跡と柵位置との相対的關係(高さの比率)は等しいと仮定して、この比率と生成した手先軌道とを用いて柵位置を求めた。

2.4 到達距離 95%限界値

マネキンによる動作生成では、個々の姿勢条件あるいはそれぞれの柵高における動作を10回生成し、到達距離を推定した。この10回の到達距離の平均値 m と標準偏差 σ から $m+1.64\sigma$ を求め、この $m+1.64\sigma$ の値を到達距離の95%限界値とし、この値と規格値とを比較して妥当性を検討した。

3. 結果と考察

3.1 到達距離推定精度

動作計測被験者と同じ体格を持つコンピュータマネキンを作成し、実測動作時系列データによってこのマネキンにリーチング動作を行わせ、到達距離を算出した。この値を実測到達距離と比較することによって精度を確認した。

誤差の平方和から求めた標準偏差 ($N=10$) の値は立位到達距離では21.3mm未満であった。柵越到達距離では、柵が低くかつ危険物が低い位置にある場合に誤差が大きい傾向が見られ、標準偏差は約85mmであった。いずれの推定値も実測値より小さめに見積もられていた。

これらの誤差が生じる原因として、コンピュータマネキンのリンク機構がヒトのそれと異なっていたことが考えられる。規格値の妥当性を検討する際には、これらの点を考慮しておく必要がある。

3.2 到達距離規格値の妥当性

韓国人24歳男性身長95%ile値のマネキンを用いて到達距離を算出し、これをISO/CD13857で提案されている規格値と比較した。立位上方

到達距離については推定した95%限界値が2399.3mmであり、推定誤差を考慮しても規格値2500mmに比べて明らかに小さい値であったため、この規格値はアジア諸国の人々にとっては安全と考えられる。一方柵越到達距離については、規格値を越える値がいくつか見られたため(表1の網掛け部分)、この到達距離規格値については、必ずしもアジア諸国の人々にとって安全とは言えないと考えられる。

4. まとめ

実測動作データとコンピュータマネキンを併用して、ISO/CD13857における立位及び柵越の安全距離規格値がアジア諸国の人々にとって安全かどうかを検討した。その結果、柵越到達距離については必ずしも安全とは言えないことがわかった。今後更にデータを充実させ、欧米諸国の人々にも適用できる数値を求め、これを安全距離改定案としてTC199/WG6に提案する予定である。

参考文献

- 1) 横井、大塚ほか：機械作業環境における安全距離の検討ー上肢到達距離の測定ー、第47回人間工学会大会抄録集、2006
- 2) 横井：実測動作データに基づく仮想人間動作の生成、産業技術総合研究所ライフサイエンス関連研究講演会抄録、37-38、2002.3

本研究の一部は、平成16、17年度経済産業省委託国際規格共同開発事業の中で得られたものである。

表1 韓国人24歳男性身長95%ile値(1838mm)を持つマネキンから得た柵越到達距離推定値。
表中の網掛け部分が規格値より大きかった値。

		Reach distance (Mean+1.64SD) [mm]							
Height of Protective Structure [mm]		1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2300
Height of Hazard Zone [mm]	2500	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2400	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2200	420.8	436.7	421.2	419.2	363.2	235.0	151.1	0.0
	2000	734.2	712.8	654.3	595.3	477.7	221.8	0.0	0.0
	1800	913.4	871.5	794.4	677.0	485.6	0.0	0.0	0.0
	1600	1027.8	966.7	874.0	702.5	371.8	0.0	0.0	0.0
	1400	1091.9	1017.2	893.2	673.8	0.0	0.0	0.0	0.0
	1200	1122.7	1021.6	850.8	580.8	0.0	0.0	0.0	0.0
	1000	1125.0	980.0	730.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	800	1088.1	882.7	491.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	600	1012.0	658.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	400	881.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	200	656.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0