

防振手袋の振動軽減効果と生理影響を考慮した選択方法

前田 節 雄*1

1 目的

労働現場では様々な防護服や防護具が使用されている。これらの労働衛生保護具には現在いくつかの重大な問題点がある。防振手袋についてはその使用が各種通達で推奨されているもののどのような防振効果を持った防振手袋を使用すればよいかの選択方法はない。

そこで保護具特研の防振手袋については、新しく制定・発行された JIS T 8114 (防振手袋) に準拠した防振手袋の振動軽減効果の評価システムを構築するとともに、国内外で入手できる防振手袋の振動軽減効果を新 JIS 規格準拠の装置を用いて明らかにし、さらに、指先振動感覚閾値を指標として防振手袋の振動軽減効果評価方法について検討し、事業者や作業者が振動障害を予防する為の防振手袋選択方法を提案した。

2 JIS T 8114(防振手袋)に準拠した振動軽減効果測定システムの構築について

鉱業、林業、土木建設業、製造業などの事業場において、工具、機械などから作業者の手に伝わる振動を軽減するための防振用保護手袋の防振性能の評価を行う規格として JIS T 8114(1987)が規定されていた。しかし、我が国にはこの JIS 規格に準拠した形で防振用保護手袋の防振性能を評価することが出来る測定システムが存在していなかった。

防振手袋の振動軽減効果を評価する必要性から、平成 13 年度(2001 年度)に JIST8114(1987)規格に準拠した防振手袋振動軽減効果が測定できる装置を産業医学総合研究所(現労働安全衛生総合研究所)に設置された。図 1 に産業医学総合研究所に設置した防振手袋の防振効果を測定する装置を示す。この装置の特徴は、人の手腕の駆動点機械インピーダンス特性に合わせた人工手を用いて、振動台の上に置かれた防振手袋を一定の力で押し付けることが出来るようになった点である。JIST8114 規格では、加振器上に置いた防振手袋への入力振動加速度と出力振動加速度との比、すなわち振動伝達率を実験的に求め、デシベルで表示したものを減衰値と考えている。加振台に取り付けた振動加速度ピックアップからの振動加速度値を入力振動加速度 a_1 、人工手に取り付けられた振動加速度ピックアップからの振動加速度値を出力振動加速度 a_2 と考え、この比 a_1/a_2 を減衰量と考える。

$$\text{減衰量(dB)} = 20\log_{10}(a_1/a_2)$$

加振方向は、試料に対し垂直の方向とし、63Hz,125Hz,250Hz の正弦振動又は 1/3 オクターブバンドランダム振動で加振する。試験振動加速度は各試験周波数で実効値 3G と規定されている。また、各防振手袋の防振効果の評価基準は、JIS T 8114 に示されている 63,125,250Hz でそれぞれ 6,10,10dB 以上であると規定されている。

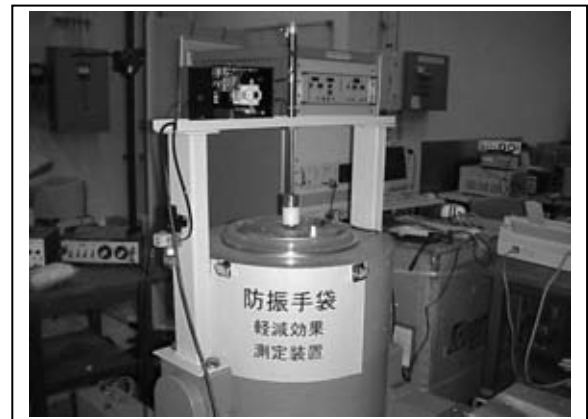


図1 JIS T 8114:1987に準拠したシステム

JIS T 8114(1987)規格(旧規格)では、防振手袋の振動軽減効果を 63, 125, 250Hz の 3 つの単一の周波数で測定評価していた。しかし、実際の手持振動工具の振動は、複数の振動成分を含んだスペクトル振動であるがゆえに、実際の工具に対しての防振手袋の効果を評価することが困難であった。

一方、1996 年に制定発行された ISO 10819“Mechanical vibration and shock – Hand-arm vibration – Method for the measurement and evaluation of the vibration transmissibility of gloves at the palm of the hand”の規格では、手持振動工具の振動を模擬したスペクトル振動に対しての振動軽減効果を評価する方法を規定していた。

このシステムは図 2 に示すようなもので、わが国の JIS T 8114 とは異なり、人の手に防振手袋をはめてハンドルを握り、ハンドルから M と H の工具振動を模擬したスペクトル振動を発生させ(図 3)、その振動が防振手袋を通った時の振動の伝達を測定し、それぞれの M と H の振動スペクトルの伝達率が $TR_M < 1.0$ と $TR_H < 0.6$ を満足した場合に防振手袋とする判断基準が示されている。ここで、スペクトル M は衝撃振動工具、スペクトル H は回転振動工具振動を模擬したものである。

実際の手持振動工具に対しての防振手袋の振動軽減効果と防振手袋の輸出入を考えた場合、JIS T 8114(1987)規格を ISO10819(1996)規格に整合させることが急務であった。そこで、平成 17 年度に日本保安用品協会を事

*1(独)労働安全衛生総合研究所 有害性評価研究グループ。

連絡先: 〒214-8585 神奈川県川崎市多摩区長尾 6-21-1

(独)労働安全衛生総合研究所 人間工学・リスク管理研究グループ

前田節雄 E-mail: maedas@h.jniosh.go.jp

務局として、JIS T 8114 の規格内容を 1996 年に制定された ISO 10819 の内容に改定する JIS 規格策定作業としてスタートし、2007 年 5 月に改定 JIS T 8114(2007)(新規格)として制定発行された。我が国においても、国際的に整合の取れた防振手袋の振動軽減効果の評価が可能になると同時に、CE マーク製品として国際的整合を持つことによって輸出が容易になることが期待されるようになった。しかし、この装置は我が国に存在しなかったゆえ

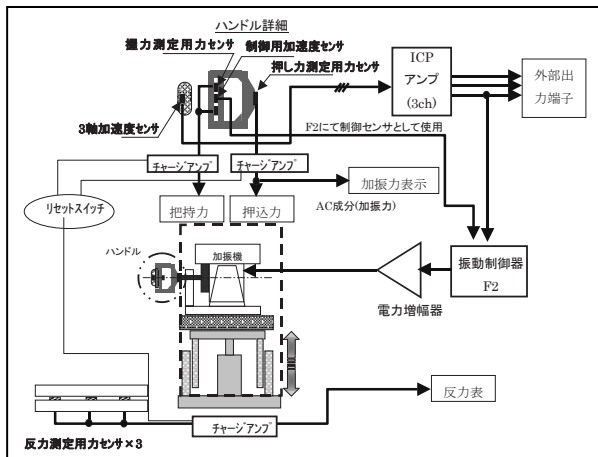


図2 新JIS T 8114(2007)による防振手袋振動軽減測定装置のブロックダイアグラム

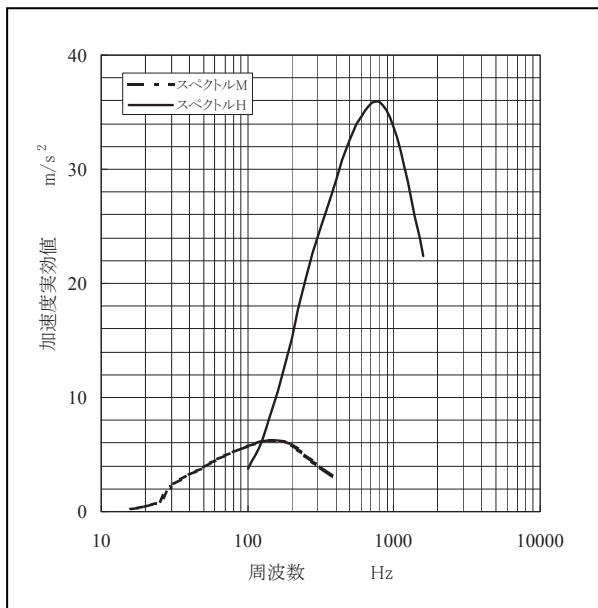


図3 ハンドルから発生させる工具振動を模擬したMとHのスペクトル振動

に、新規格での防振手袋の評価を行うことが出来なかった。そこで、本研究(保護具特研(防振手袋))では、ハンドルから指先や指部分への振動伝達を測定・評価できる新JIS T 8114(防振手袋)に準拠したシステムの構築を進め、国内外で入手できる防振手袋の振動軽減効果を新JIS規格準拠の装置を用いて明らかにし、指先振動感覚閾値を指標として、事業者や作業者が振動障害を予防する為の防振手袋選択方法を提案した。

3 市販防振手袋の振動軽減効果

新JIS T 8114(2007)では、加振ハンドルおよび掌で測定された二つの加速度の値から振動伝達率を計算することによって防振手袋の振動軽減効果を評価する。防振手袋の平均振動伝達率の算出方法は以下の通りである。素手による振動暴露における振動伝達率 TR_{sb} は、手のひらで測定される加速度 a_{wsPb} およびハンドル側で測定される加速度 a_{wsRb} を用いて次式で表される。

$$TR_{sb} = a_{wsPb} / a_{wsRb} \quad (1)$$

また、防振手袋装着時の振動暴露による振動伝達率 TR_{sg} は、手のひらで測定される加速度 a_{wsPg} およびハンドル側で測定される加速度 a_{wsRg} を用いて次式で表される。

$$TR_{sg} = a_{wsPg} / a_{wsRg} \quad (2)$$

式(1)(2)より、各振動スペクトルにおける防振手袋の振動伝達率 TR_s は次式で計算される。

$$TR_s = TR_{sg} / TR_{sb} \quad (3)$$

この値は3人の被験者ごとに得られるので TR_s を算術平均することにより平均振動伝達率 $\langle TR_s \rangle$ が得られる。

$$\langle TR_s \rangle = (TR_{s1} + TR_{s2} + TR_{s3}) / 3 \quad (4)$$

式(4)にしたがって得られた振動スペクトル M および H ごとの平均振動伝達率 $\langle TR_s \rangle_M$ および $\langle TR_s \rangle_H$ が、それぞれ次の式を満たした場合に新JIS T 8114 適合の防振手袋と判断することになる。

$$\langle TR_s \rangle_M < 1.0, \quad \langle TR_s \rangle_H < 0.6 \quad (5)$$

ここでは、2007年5月の新JIS T 8114 施行以前に日本国内で流通していた主要な防振手袋(外国メーカー製造のものを含む)25種類と同規格施行前後に国内防振手袋メーカー数社が新規格適合を目指して開発したプロトタイプの防振手袋8種類に関して行った新JIS T 8114 に準拠した防振手袋防振性能測定の結果について述べる。

ゴム系素材を掌表面に突起状に配置したタイプの防振手袋では、すべての試験手袋でスペクトル H に対する合格基準を満たすことができなかった。中には、スペクトル H において基準を満足することができなかったが、平均振動伝達率は 0.763 を示し比較的高い振動軽減効果を呈した。

発泡系のウレタン様材料を布製または皮製材料で覆うタイプの防振手袋に関する測定結果から、こちらも同様にすべての試験手袋でスペクトル H に対する合格基準を満たすことができなかった。

ジェル等の特殊防振材を使用した防振手袋に関する測定結果から、こちらのタイプもすべての試験手袋でスペクトル H に対する合格基準を満たすことができなかった。米国メーカー製の防振手袋で、米国において ISO10819 に基づく防振性能評価基準をクリアしている。しかし、今回我々が日本人を被験者として行った評価試験では、スペクトル H において評価基準を満足することはできなかった。

エア注入型の防振手袋に関する測定結果から、こちらのタイプもすべての試験手袋でスペクトル H に対する合格基準を満たすことができなかつた。外国製であり、本国では ISO10819 準拠の評価試験に合格している防振手袋については、スペクトル H に対する平均振動伝達率でそれぞれ 0.854, 0.884 を示し、合格基準を満足しなかつたものの比較的優れた振動軽減性能を示した。

上述の 4 タイプいずれにも分類されなかつたタイプの防振手袋に対する測定結果から、手袋は、いずれも外観から防振性能を疑問視することが容易な構造を有しているものであり、測定結果もほとんどで平均振動伝達率が 1.0 (素手の時よりも手に振動伝達される量が多いことを意味する) 以上を示し、他のタイプと比較して最も防振性能に劣っていた。

新規開発プロトタイプの測定結果から、ウレタン様高分子材料を掌に装着したタイプの防振手袋では、スペクトル H において評価基準を満たさなかつた (平均振動伝達率: 0.783) がそれ以外のサンプルはいずれもスペクトル M および H 両方において評価基準を満足した。特に、スペクトル H に対する平均振動伝達率が 0.486 および 0.399 を示し、高周波数領域におけるきわめて優れた振動軽減性能を呈した。

ゴム系高分子材料を掌に突起状に配置させたタイプの防振手袋では、スペクトル H において評価基準を満たさなかつた (平均振動伝達率: 0.625) がそれ以外のサンプルはいずれもスペクトル M および H 両方において評価基準を満足した。特に、スペクトル H に対する平均振動伝達率が 0.429 および 0.449 を示し、高周波数領域におけるきわめて優れた振動軽減性能を呈した。

新 JIS T8114 施行前に行った、国内流通している防振手袋に対する新 JIS T8114 準拠評価試験では、すべての防振手袋がスペクトル H に対する評価基準を満足することができなかつた。これらのうち国内メーカー製の防振手袋は、いずれも旧 JIS を念頭に開発されたものである。同一の防振手袋について、旧 JIS に基づいた防振性能の評価試験の結果と ISO10819 (新 JIS T8114 に対応) に基づいた防振性能の評価試験の結果を比較あるいは片方から他方を予測することは困難であることが報告されており、今回得られた測定結果は、新 JIS T8114 を念頭に置いた新たな防振手袋開発の必要性を示すものとなった。

新 JIS T8114 施行の前後に新 JIS 適合を目指して行われたプロトタイプの開発では、各社とも新 JIS 適合の防振手袋を開発することができた。これらはその防振構造の実現方法により大きく二つに分けられた。特にゴム系高分子材料を掌に突起状に配置させたタイプの防振手袋では、優れた防振性能のみならず、良好な使用性も実現できていた。

これらの新 JIS 適合防振手袋では、比較的廉価な開発を可能にしており、対価格性能が極めて高い。一方、米国等で国際規格 ISO10819 の評価基準を満足している防

振手袋は、防振材にジェルやエアを用いるタイプの物が多く、ジェルタイプはジェルの製造コストや固定などにコストがかかり、エアタイプでは、エア調節用に小型ポンプを必要とするなどともにコスト面での大きな問題があった。防振手袋使用者としては、手袋を選択する上で価格は重要であり、この点において今回開発された新 JIS 適合防振手袋は、振動工具等使用者への普及が大いに期待される。

防振手袋の防振性能評価に関する測定・評価方法を規定した国際規格 ISO10819 に完全に整合した国内規格である新 JIS T8114 が 2007 年 5 月に施行されたことにもない、国内流通防振手袋の新 JIS 適合の有無について、新 JIS 施行前と後で平成 18 年度に構築した防振手袋振動軽減効果測定装置を用いて調査を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 新 JIS 施行前の国内流通防振手袋では、新 JIS T8114 において定められているスペクトル M および H のいずれにおいても同規格の評価基準を満足する防振手袋はなかつた。
- 外国製手袋で製造元の国において ISO10819 の評価基準を満たした防振手袋が、当研究所で実施した同様の評価試験において評価基準を満足しなかつた。
- 新 JIS 施行をにらんで行われた、国内防振手袋メーカー数社による次世代防振手袋開発により、最終的に 6 双のプロトタイプが新 JIS T8114 に定める評価基準を完全に満足した。

今回評価した外国製防振手袋の大半はエアまたはジェルを防振材として使用しており、そのうち何双かは製造国である米国において ISO10819 準拠の性能評価試験をパスしている。しかし、それらの防振性能は国内メーカー製の他タイプの防振手袋と比較して高いものの、価格はきわめて高く、それ故に一般的な普及には問題があると思われた。これに対して、今回新 JIS の評価基準を満足したプロトタイプの防振手袋では、比較的廉価な防振材開発に成功しており、その対価格性能はきわめて高いと考えられる。今後、これらの新 JIS 適合防振手袋が振動工具等の使用者に広く普及することが大いに期待される。

4 急性暴露後の指先振動感覚閾値の一時的閾値移動と JIS T 8114 (防振手袋) の振動軽減効果の関係

これまでの研究で、市販されている防振手袋の振動軽減効果を新 JIS T 8114 (防振手袋) で規定されている装置を構築し、市販されている防振手袋の振動軽減効果を明らかにすることが出来たが、この振動軽減効果が振動ばく露後の生理影響に関してどのような効果があるのか、また、生理影響を最小にするための防振手袋の選定方法については明らかになっていない。そこで、指先振動感覚閾値の一時的閾値移動を指標として、図 4 に示す工具の周波数補正振動加速度実効値と指先振動感覚閾値の一時的閾値移動 (TTS) との関係を決る。この関係を次の式より求めた。

$$TTS = -11.76 - 8.59 \cdot \log_{10} T + 0.16 \cdot TR \cdot [S(125)] + 0.20 \cdot TR \cdot [S(125)] \cdot \log_{10} T \dots (6)$$

ここで、Tは振動ばく露時間(分)、TRは振動軽減効果、S(125)はスペクトル振動のオクターブバンド中心周波数125Hzの振動加速度レベル値(dB)である。

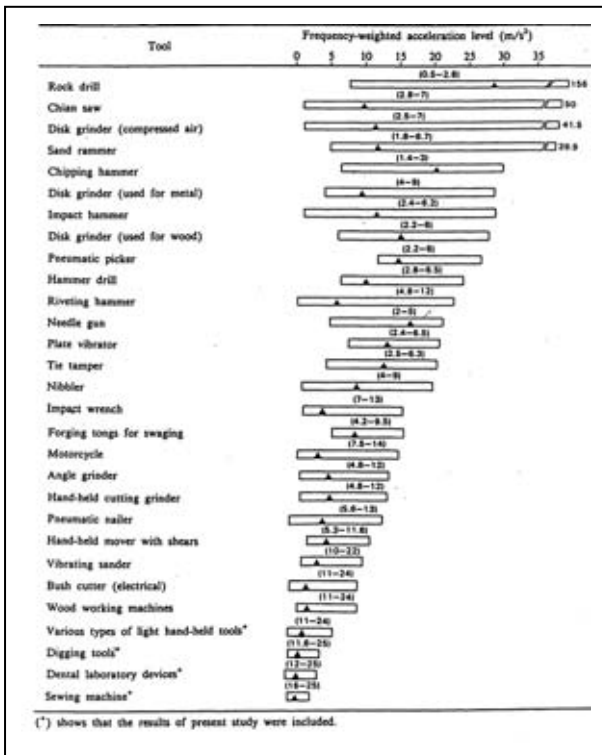


図4 一般的な工具の周波数補正振動加速度実効値

式(6)では振動加速度レベルであるので、その値を周波数補正振動加速度実効値の値に変換してTTSとTRと周波数補正振動加速度実効値の関係に変換した。

$$TTS = -11.76 - 8.59 \cdot \log_{10} T + 0.16 \cdot TR \cdot 10^{((S(125)-100)/20)} + 0.20 \cdot TR \cdot 10^{((S(125)-100)/20)} \cdot \log_{10} T \dots (7)$$

この時の振動ばく露時間Tは、5分間とした場合である。その結果は、図5に示すように得られた。この図から、JIS T 8114(防振手袋)に準拠した測定装置で得られた振動軽減効果(TR)と振動工具の周波数補正振動加速度実効値(m/s²)とから、人体への生理影響(TTS)が最も小さくできる防振手袋の選択や、生理影響(TTS)を目標値に振動工具や防振手袋の選択が出来る図を提案することが出来た。

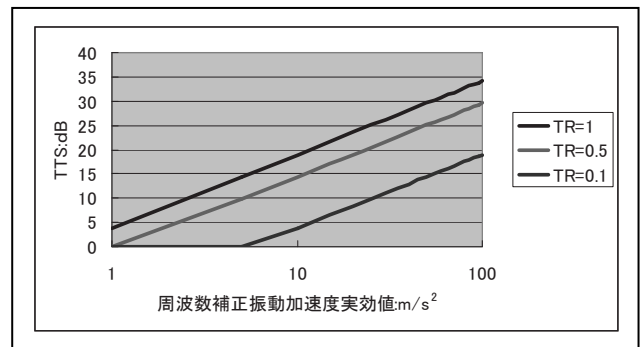


図5 振動軽減効果 (TR) と TTS と周波数補正振動加速度実効値との関係

5 結論

今回の保護具特研の防振手袋の研究では、下記のことを実施できた。

- ① 新しく制定・発行された JIS T 8114 (防振手袋) (2007)に準拠した防振手袋の振動軽減効果の評価システムを構築した。
- ② 国内外で入手できる防振手袋の振動軽減効果を新 JIS 規格準拠の装置を用いて明らかにした。
- ③ 防振手袋振動軽減効果(TR)と振動工具の周波数補正振動加速度実効値(m/s²)とから、人体への生理影響(TTS)が最も小さくできる防振手袋の選択方法を提案した。

保護具(防振手袋)で得られた主な成果

- 1) Nobuyuki. Shibata, Setsuo. Maeda (2008) Vibration-isolating performance of Cotton Work Gloves Based on Newly Issued JIS T8114 Industrial Health, 46,477-483
- 2) Nobuyuki Shibata, Naoki Hosoya, Setsuo Maeda (2008) Establishment of One-Axis Vibration Test System for Measurement of Biodynamic Response of Human Hand-Arm System. Industrial Health, 46, 629-634.
- 3) Setsuo. Maeda, Nobuyuki. Shibata (2008) Temporary Threshold Shifts (TTS) of Fingertip Vibrotactile Perception Thresholds from Hand-Held Tool Vibration Exposures at Working Surface. International Journal of Industrial Ergonomics, 38,693-696.
- 4) Setsuo. Maeda, Nobuyuki. Shibata (2008) Subjective Scaling of Hand-Arm Vibration. Ind Health, 46,118-124.
- 5) 柴田延幸, 前田節雄 (2008) 新 JIS T8114 に基づいた国内流通防振手袋の振動軽減効果の測定・評価. 労働安全衛生研究, 1,151-156.
- 6) 前田節雄, 柴田延幸 (2008) 改正 JIS T 8114(防振手袋)規格と CE マークとの関係. 労働安全衛生研究, 1,161-163.