

振動工具用防振手袋の振動軽減効果の評価に関する研究

樹野 淳也*1, 前田 節雄*2, 横田 和樹*3, 平 雄一郎*3

Evaluation of hand-arm vibration reducing effect of anti-vibration glove

Junya TATSUNO*1, Setsuo MAEDA*2, Kazuki YOKOTA*3 and Yuichiro TAIRA*3

Many kinds of the anti-vibration glove have been developed for reducing hand-arm vibration during the operation with vibration tools. International standard ISO 10819 evaluates the physical effect of gloves' vibration transmissibility but not evaluates the physiological effect of human hands. Thus, in this paper, we proposed the evaluation using the temporary threshold shift of vibrotactile perception threshold to evaluate the hand-arm vibration reducing effect of anti-vibration glove. We performed the experiments where subjects were exposed to hand-arm vibration under the three glove conditions: two kinds of gloves and barehanded. As a result, we could confirm wearing the anti-vibration gloves provides positive effects for human hands physiologically and the proposed method might be effective for evaluation of the hand-arm vibration reducing effect of anti-vibration glove.

Keywords: anti-vibration glove, hand-arm vibration, vibrotactile perception threshold, vibration tool, ISO 10819

1. はじめに

近年、製造業、採石業、鉱業、建設業、林業、農業など様々な産業で振動工具が広く活用されるようになったが、これは、現場の作業員には手腕系振動が暴露されていることを意味している。そのような環境において、作業員は、神経系もしくは血管系の障害、あるいは時として同時に冒されることがある。このような手腕系振動によって起こる血管障害及び骨関節障害は、手腕振動障害とよばれ、いくつかの国では職業病として補償されている⁽¹⁾。

これらの疾病の原因である作業員の手腕への振動暴露を軽減させる対策のひとつが、防振手袋の使用である。防振手袋は、作業員および事業者双方にとっても簡易的かつ業務効率に影響しにくい対策方法であることから、多くの現場で導入されている。防振手袋を製造しているメーカーは、国際規格 ISO 10819⁽²⁾や、日本国内では国内規格 JIS T8114⁽³⁾に基づいて防振手袋の開発を行っている。ISO 10819 は、1996 年に制定された防振手袋の評価

に関する国際規格で、JIS T8114 は、1987 年に制定された防振手袋の評価に関する国内規格である。JIS T8114 は、その後、1994 年、2002 年に改定され、2007 に国際規格 ISO 10819 への整合化を目的として、JIS T8114:2007 として改定された。改定前の旧 JIS T8114:1987 と、改定後の新 JIS T8114:2007 との大きな違いは、JIS T8114:1987 では試験対象の防振手袋に対して人工手と称するデバイスを装着し、鉛直加振盤の上に固定するのに対し、JIS T8114:2007 では、被験者が試験対象の防振手袋を装着して加振用ハンドルを握るという点である⁽⁴⁾。これは、JIS T8114:1987 では、完全に人工物のみで行っていた振動暴露量の測定に、JIS T8114:2007 では、ハンドルを握るという形で人間が関わるようになったことを意味している。人間がハンドルを握ることで、実際の振動工具の使用状況に近い形での振動暴露量の測定・評価であると認識され、いくつかの防振手袋がこの規格に基づき評価された報告もある⁽⁵⁾。

一方、防振手袋の役割は、振動暴露により引き起こさ

原稿受付 2015 年 5 月 9 日

*1 近畿大学工学部 機械工学科 准教授, 次世代基盤技術研究所 准教授 (〒739-2116 東広島市高屋うめの辺 1 番)

E-mail tatsuno@hiro.kindai.ac.jp

*2 近畿大学総合社会学部 総合社会学科 教授, 次世代基盤技術研究所 教授 (〒577-0818 大阪府東大阪市小若江 3 丁目 4-1)

E-mail maeda@socio.kindai.ac.jp

*3 アトム株式会社 (〒729-2317 広島県竹原市忠海東町 4 丁目 2-1)

連絡先: 樹野淳也 (研究代表者)

れる作業者の疾病を防止することであろう。つまり、振動暴露の物理的な量だけでなく、作業者に与える影響を評価するべきであるが、ISO 10819 や JIS T8114 では、振動の物理的な値で評価しており、被験者への影響を表すような指標は導入されていない⁶⁾。そこで、本研究では、防振手袋の振動軽減効果を人間への影響で評価できる指標について検討するため、振動感覚閾値を評価指標として用いた実験をおこなったので、その結果について報告する。

2. 材料および方法

2.1 目的

本実験の目的は、手腕振動暴露が人間へ与える影響を評価する指標として人間の「指先感覚閾値」に着目し、被験者実験を行うことである。振動感覚閾値とは、観測者が感じることのできる振動の閾値で、振動暴露の前後で変化することが知られ、この現象は一時的閾値移動(以下、TTS: Temporary Threshold Shift)と定義され⁷⁾、防振手袋評価への導入が試みられている⁸⁾。本研究では、市販されている振動感覚測定器(RION社, AU-02A)を用いて、手腕振動暴露前後の指先感覚閾値を測定し、防振手袋の種類が人間の指先振動感覚に与える影響を調査した。

2.2 手順

本実験の手順は次の通りである。

- ・実験説明
 - ・手腕振動暴露前の指先振動感覚閾値の測定
 - ・手腕振動暴露
 - ・手腕振動暴露後の指先振動感覚閾値の測定
- それぞれの過程について以下にまとめる。

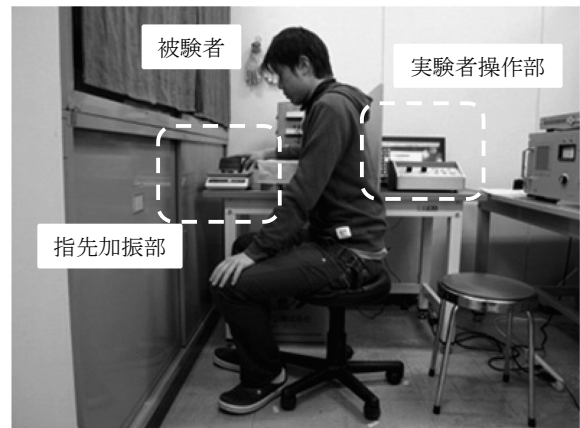
(1) 実験説明

まず、本研究の開始に先立ち、学内および学外のメンバーで構成される近畿大学工学部生命倫理委員会へ実験の申請を行い、委員会からの承認を受けた。各被験者には、実験の概要を説明した上で、委員会にて承認された同意書を用いて、各被験者から実験参加の同意を得た。さらに、指先振動感覚閾値測定において、指先加振部が暴露する振動は些細な違和感として指先に現れるような非常に小さなもので、被験者が加振部の振動によるものと気づかず、正確な値が測定できない恐れがあったことから、測定に先立ち、被験者に振動感覚測定器を用いた測定の試行を行わせた。

図1は、指先振動感覚閾値の測定環境である。測定時の姿勢は、机に対して水平方向を向いて着座し、腕を肘載せ台に置いた状態で、人差し指を振動感覚測定器の指先加振部に載せるといふもので、無理のない姿勢になら

ないように、被験者に椅子の高さや位置などを調整させた。

被験者が測定姿勢をとった後、指先加振部に右手人差し指を置かせ、規定の荷重(2 N)を与えさせた。なお、被験者が目視で荷重を確認できるように、指先加振部を電子天秤上に配置した。実験者が、振動感覚測定器の操作部を操作することで、-20 dB から 2.5dB の間隔で段階的に振動を暴露することができ、被験者が振動を知覚した際に口頭でその旨を回答させた。



(a) 測定風景



(b) 指先加振部

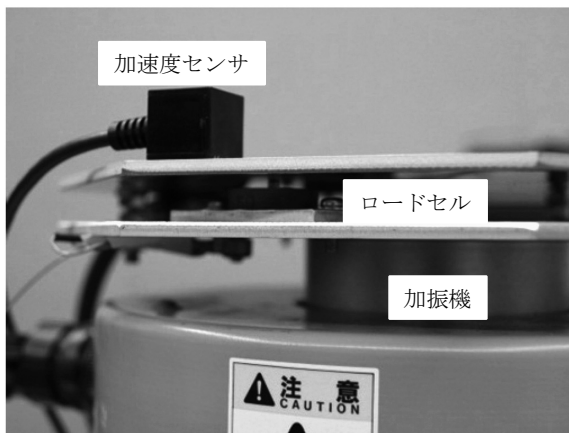
図1. 指先振動感覚閾値の測定環境

(2) 振動暴露前の指先振動感覚閾値の測定

指先振動感覚閾値は、指先の皮膚温度で大きく変化することが知られていることから、指先振動感覚閾値の測定に先立ち、被験者の指先の皮膚温度を測定した。なお、本実験では、既往の研究⁹⁾を参考に 26 °C を実験着手の目安とした。ここで、皮膚温度が 26 °C を下回っていた場合は、皮膚温度回復のため 10 分の待機時間を設けた。くわえて、指先の皮膚温度に関しては、実験室内の室温も指先の皮膚温度に影響をおよぼすことから、実験室の室温を約 25 °C で保つような環境設定とした。なお、皮膚温度の測定には、瞬間皮膚温時計(佐藤商事, サーモヒ



(a) 暴露風景 (素手条件)



(b) 加振部

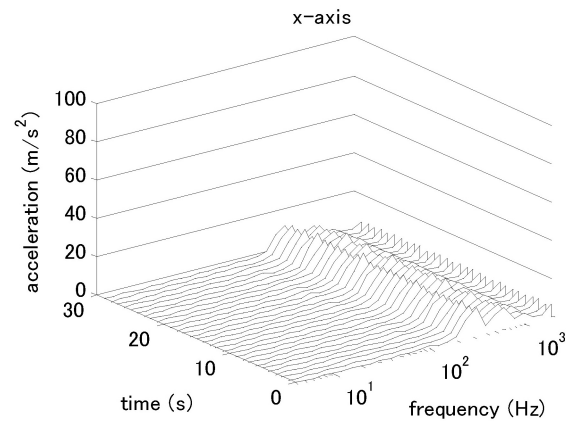
図 2. 手腕振動暴露環境

ッパー) を用いた。これらの前処理の終了後に、手腕振動暴露前の指先振動感覚閾値を測定した。なお、被験者には、-20 dB から 2.5dB の間隔で段階的に振動を暴露し、振動を知覚した際にその旨を口頭で回答させる作業を 3 回行わせた。

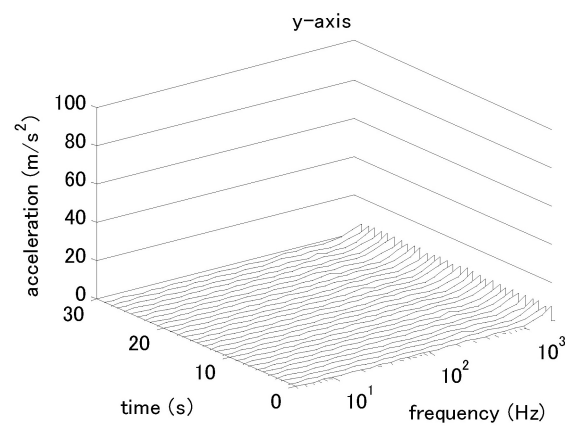
一方、測定時の姿勢の違いが指先振動感覚閾値に影響を及ぼすことが懸念されたため、振動暴露後の指先振動感覚測定時にその姿勢が再現できるように、被験者の姿勢を記録した。

(3) 手腕振動暴露

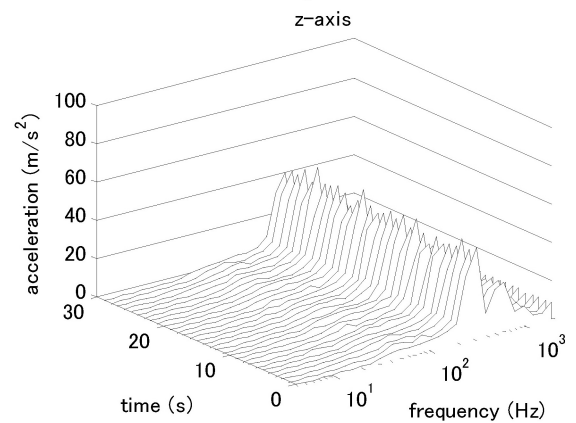
図 2 は、手腕振動暴露の実験環境である。図のように被験者に腕を加振機上部に置かせ、5 分間振動を暴露した。その際、被験者が加振器に対する押下力が一定になるよう、加振機と手載せ部間に 3 点支持のロードセルを配置し、被験者が押下力を目視で確認できるようにシグナルコンディショナを設置した。暴露振動は、ラップトップで発生させたホワイトノイズを、アンプを介して加振機へ出力した。なお、振動レベルを 5 m/s^2 と 10 m/s^2 の 2 条件を用意した。振動工具メーカーは、市販している商品の周波数補正振動加速度実効値を公開しているが、



(a) x 軸



(b) y 軸



(c) z 軸

図 3. 振動スペクトル (暴露レベル 5 m/s^2)

例えば、エンジンチェーンソーで約 5 m/s^2 、電動ハンマで約 10 m/s^2 の値が見られる⁽¹⁰⁾ことから、これらの値を採用した。

図 3 および図 4 は、それぞれ振動レベルが 5 m/s^2 と 10 m/s^2 となるようにアンプのゲインを設定した時の各軸の周波数スペクトルである。測定には、3 軸加速度センサ (ブリュエル・ケアー社、3050-B-060) とデータ収集機

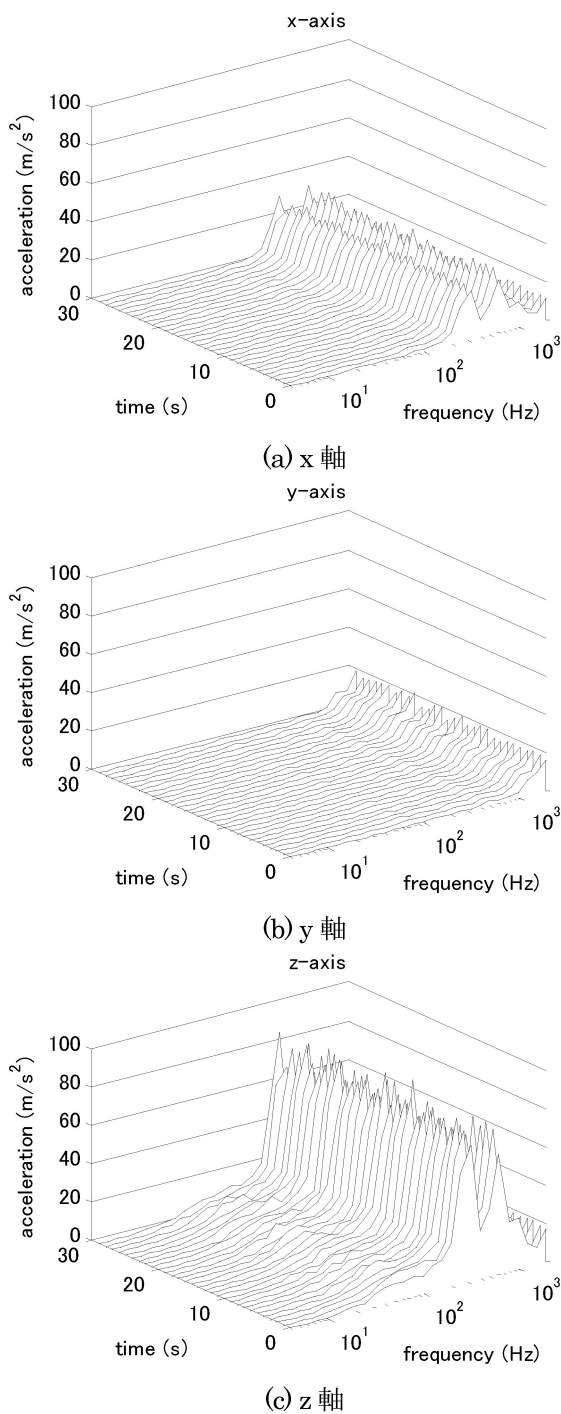


図 4. 振動スペクトル (暴露レベル 10 m/s²)

(ブリュエル・ケアー社, 3050-B-060) を使用し, 1 秒間隔で 1/3 オクターブバンドの加速度を記録した. これらの周波数スペクトルより, ホワイトノイズを入力振動にしているが, 250 Hz と 315 Hz の周波数近傍で共振しており, 被験者にはこの 2 つの周波数が主に暴露されると判断できる.

振動暴露時の立ち位置が, すべての条件で同じになる

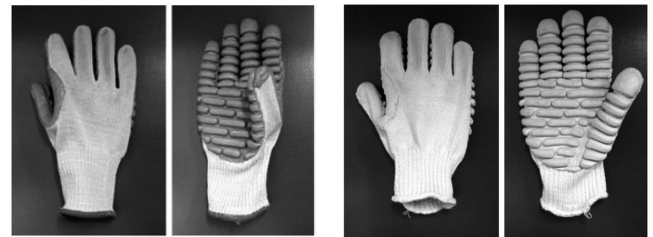
よう, 初回の振動暴露の際に被験者の立ち位置を測定し, 以降の実験ではその位置に立たせた. くわえて, 加振機の天板の温度の違いが指先感覚閾値に影響をおよぼす恐れがあったので, 被験者が天板に手を載せる前に, 規定の温度になるよう予め加熱作業を施した. 具体的には, 暴露開始 1 分前にドライヤを用いて 30 秒間加熱を行った結果, 加熱後の天板の温度は約 27°C で一定となることを確認した.

(4) 振動暴露後の指先振動感覚閾値の測定

被験者が手腕振動暴露後に, その影響が弱まらないよう迅速に指先振動感覚閾値を測定した. なお, 測定方法については前述の方法と同様である.

2.3 条件

供試手袋は 2 種類 (手袋 A, 手袋 B) で, 対照としての素手の条件も含め, 3 条件とした. なお, 手袋 A および手袋 B の物理特性については, 試作段階のため記載を控える. また, 前述のように手腕振動暴露の暴露レベルとして 5 m/s² と 10 m/s² の 2 条件を用意したため, 合計で 6 つの実験条件となり, 被験者にはそれぞれの実験条件を異なる日程で実施させた.



(a) 手袋 A

(b) 手袋 B

図 5. 供試手袋

2.4 被験者

被験者は, 健康な右腕を利き手とする男子大学生 5 名であり, その属性を表 1 にまとめた.

表 1. 被験者の属性

被験者	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)
P1	22	171	60
P2	22	175	94
P3	22	167	52
P4	22	174	90
P5	22	168	55

3. 結果および考察

表 2 および表 3 は, それぞれ手腕振動暴露の暴露レベ

ルが 5 m/s² と 10 m/s² における各被験者の指先振動感覚閾値のデータである。手腕振動暴露前の指先振動感覚閾値は、振動暴露レベルが 10 m/s² における被験者 P1 の第 1 回試行が -17.5 dB となっているものの、ほぼ全被験者の全試行において -20.0 dB となっている。一方、振動暴露前および暴露後ともに、3 回の試行における指先振動感覚閾値がほとんど一定値をとっており、安定して測定ができたものと判断できることから、3 回の平均を暴露前および暴露後の指先振動感覚閾値とし、TTS を算出し表 4 および図 6 にまとめた。いずれの被験者においても、素手の TTS が手袋を装着した際の値より大きく、5 m/s² と 10 m/s² では、10 m/s² の暴露レベルの TTS が大きくなっている。一方、手袋条件については、被験者によって TTS にばらつきが発生していることが見受けられる。

表 2. 指先振動感覚閾値 (暴露レベル 5 m/s²)

暴露前後 試行	暴露前 (dB)			暴露後 (dB)			
	1	2	3	1	2	3	
P1	素手	-20.0	-20.0	-20.0	-5.0	-5.0	-5.0
	手袋A	-20.0	-20.0	-20.0	-12.5	-12.5	-12.5
	手袋B	-20.0	-20.0	-20.0	-7.5	-7.5	-7.5
P2	素手	-20.0	-20.0	-20.0	-7.5	-7.5	-7.5
	手袋A	-20.0	-20.0	-20.0	-10.0	-10.0	-12.5
	手袋B	-20.0	-20.0	-20.0	-15.0	-15.0	-15.0
P3	素手	-20.0	-20.0	-20.0	-7.5	-7.5	-7.5
	手袋A	-20.0	-20.0	-20.0	-12.5	-12.5	-12.5
	手袋B	-20.0	-20.0	-20.0	-12.5	-15.0	-15.0
P4	素手	-20.0	-20.0	-20.0	-5.0	-5.0	-5.0
	手袋A	-20.0	-20.0	-20.0	-15.0	-15.0	-15.0
	手袋B	-20.0	-20.0	-20.0	-5.0	-5.0	-5.0
P5	素手	-20.0	-20.0	-20.0	-5.0	-5.0	-5.0
	手袋A	-20.0	-20.0	-20.0	-12.5	-12.5	-12.5
	手袋B	-20.0	-20.0	-20.0	-10.0	-10.0	-7.5

表 3. 指先振動感覚閾値 (暴露レベル 10 m/s²)

暴露前後 試行	暴露前 (dB)			暴露後 (dB)			
	1	2	3	1	2	3	
P1	素手	-17.5	-17.5	-17.5	2.5	2.5	2.5
	手袋A	-20.0	-20.0	-20.0	-7.5	-5.0	-5.0
	手袋B	-20.0	-20.0	-20.0	-5.0	-5.0	-5.0
P2	素手	-20.0	-20.0	-20.0	-5.0	-5.0	-5.0
	手袋A	-20.0	-20.0	-20.0	-7.5	-5.0	-7.5
	手袋B	-20.0	-20.0	-20.0	-12.5	-12.5	-12.5
P3	素手	-20.0	-20.0	-20.0	-2.5	0.0	-2.5
	手袋A	-20.0	-20.0	-20.0	-12.5	-12.5	-12.5
	手袋B	-20.0	-20.0	-20.0	-7.5	-7.5	-7.5
P4	素手	-20.0	-20.0	-20.0	0.0	0.0	0.0
	手袋A	-20.0	-20.0	-20.0	-5.0	-5.0	-5.0
	手袋B	-20.0	-20.0	-20.0	-2.5	-2.5	-2.5
P5	素手	-20.0	-20.0	-20.0	-2.5	-2.5	-2.5
	手袋A	-20.0	-20.0	-20.0	-5.0	-5.0	-5.0
	手袋B	-20.0	-20.0	-20.0	-12.5	-10.0	-10.0

表 4. TTS (単位 dB)

加速度	5 m/s ²			10 m/s ²		
	素手	A	B	素手	A	B
P1	15.0	7.5	12.5	20.0	14.2	15.0
P2	12.5	9.2	5.0	15.0	13.3	7.5
P3	12.5	7.5	5.8	18.3	7.5	10.0
P4	15.0	5.0	12.5	20.0	15.0	15.0
P5	15.0	6.7	10.8	17.5	12.5	6.7
M	14.0	7.2	9.3	18.2	12.5	10.8
SD	1.4	1.5	3.7	2.1	2.9	4.0

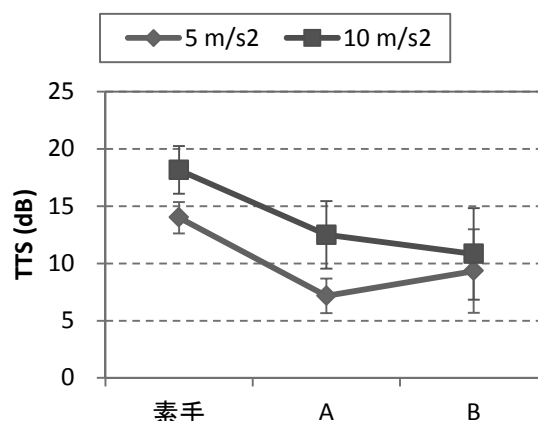


図 6. TTS の比較

次に、手袋要因と加速度要因について分散分析を行った結果(表 5)、加速度要因(要因 A)の統計量は F(1, 29)=23.42 となり、有意差が認められた(p<0.01)。一方、手袋要因(要因 B)についても有意差が認められ (F(2, 29)=17.94, p<0.01)、Shaffer の方法で多重比較を行ったところ、素手と手袋 A、素手と手袋 B には優位な差があった (p<0.05) が、手袋 A と手袋 B には有意差が認められなかった。つまり、手袋 A と手袋 B の物理特性である減衰値に差があったとしても、本実験の条件下では、手袋 A と手袋 B の人間へ与える影響には有意な差がなかつ

表 5. 分散分析表

要因	平方和	自由度	平均平方	F 値
s	77.6	4	19.4	
A	100.8	1	100.8	23.42 **
s × A	17.2	4	4.3	
B	259.0	2	125.0	17.94 **
s × B	55.7	8	7.0	
A × B	19.0	2	9.5	2.15 ns
s × A × B	35.3	8	4.4	
全体	555.6	29		

たことを意味している。また、素手の条件との比較から、手袋 A、手袋 B はともに、防振効果があると考えられ、加速度の大きな振動ほど、指先の知覚の低下の抑制に効果があることがわかる。

4. まとめ

既存の防振手袋の評価に関する規格である ISO 10819 や JIS T8114 では、機械的な振動の入出力の関係により評価している。一方、防振手袋の真の役割は、振動暴露により引き起こされる作業者の疾病を防止することにあるならば、手腕振動暴露が防振手袋を介して作業者の手に暴露されたときの生理的な影響により防振手袋を評価すべきと考え、本研究では、生理的な影響を評価する指標として、「指先振動感覚閾値」に着目し実験を行った。

被験者実験の結果、防振手袋の有無が振動暴露後の指先振動感覚閾値に与える影響については、有意差が認められた。一方、形式の異なる手袋の結果には有意差が見られなかった。このことは、仮に、本実験で使用した手袋の物理特性に違いがあったとしても、指先振動感覚閾値の観点からは、被験者への生理的影響は変わらないことを意味している。この現象は、これまでの機械的特性だけの評価とは異なる結果であり、製品開発に対して非常に興味深い点であると思われる。

今後は、防振手袋の開発過程にこれらの考え方を導入していくことが重要であるが、多くの問題を解決する必要がある。例えば、人間への生理的な影響で評価を行うには、被験者の行動を厳密に管理する必要があるが、現場的にはもう少し簡便な方法が望まれるであろう。

おわりに、本実験の実施には、本学学生横山勇二郎君（現ヒロボ一電機(株)）、松尾洋典君（現エムエスケー農業機械(株)）、土屋賢太君（現デルタ工業(株)）の努力によるところが多く、謝意を表します。

参考文献

- (1) JIS B7761-3 : 2007 手腕系振動—第 3 部 : 測定及び評価に関する一般要求事項, 日本工業規格
- (2) ISO10819, 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. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland; 1997.
- (3) JIS T8114 : 2007 防振手袋, 日本工業規格
- (4) 柴田延幸, 前田節雄, 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, 労働安全研究, Vol. 1, No.2, pp.151-156, 2008.

- (5) 前田節雄, 米川善晴, JIST8114 に準拠した装置による各国防振手袋の振動軽減効果の比較, 日本労働衛生工学会・作業環境測定研究発表会抄録集, pp.146-147, 2002.
- (6) 前田節雄, 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, 労働安全衛生総合研究所特別研究報告, Vol.39, pp.43-46, 2009.
- (7) 前田節雄, 久米靖文, オクターブバンド振動暴露による指先振動感覚の一時的移動短時間振動暴露の人体への影響の評価 (第 1 報), 日本経営工学誌, Vol.38, No.4, pp. 243-248, 1987.
- (8) Setsuo Maeda, Can the measured TTS be used as indicator of the effectiveness of anti-vibration gloves? Proceedings of 10th International Conference on Hand-Arm Vibration, pp.185-186, 2004.
- (9) 前田節雄, 久米靖文, 断続振動暴露による指先振動感覚の一時的閾値移動 (暴露等価法則について), 日本経営工学誌, Vol.42, No.2, pp.105-111, 1991.
- (10) (株)マキタ, 周波数補正振動加速度実効値の 3 軸合成値, http://www.makita.co.jp/product/jema/synthetic_value_20150403.pdf
- (11) 日本産業衛生学会振動障害研究会, 振動障害の診断ガイドライン 2013, 産業衛生学会誌, Vol.b55, pp.A105-122, 2013.