

図2 加振用ハンドルの内部構造

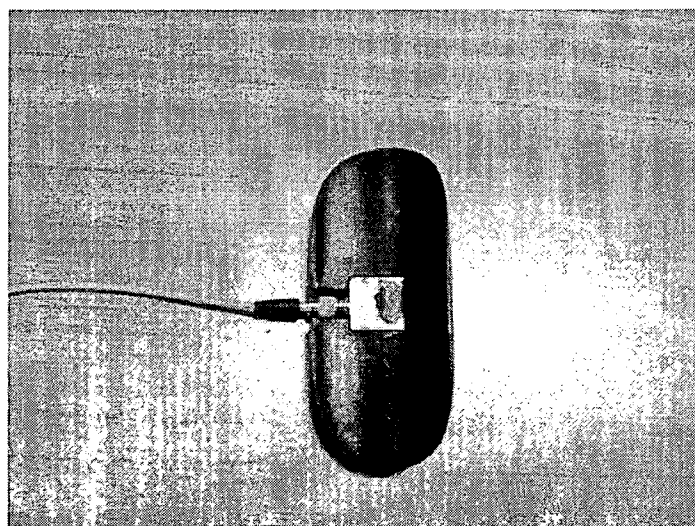
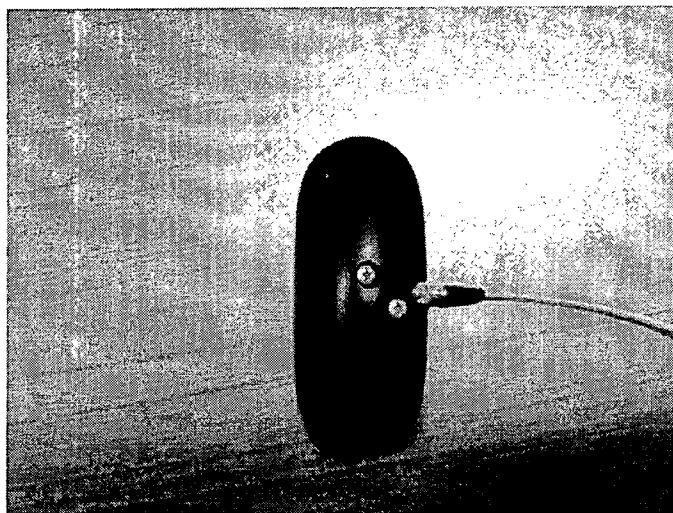


図3 加速度測定用アダプタ (上段：手のひら側、下段：ハンドル側)

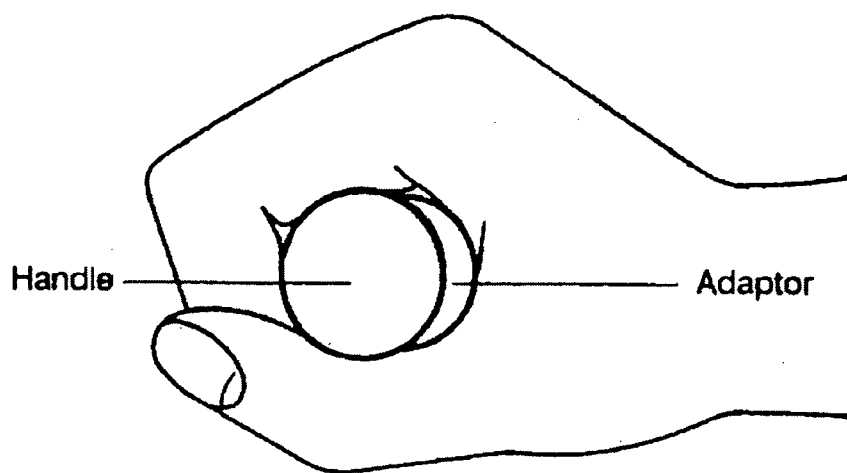


図4 アダプタの装着方法とハンドルの握り方

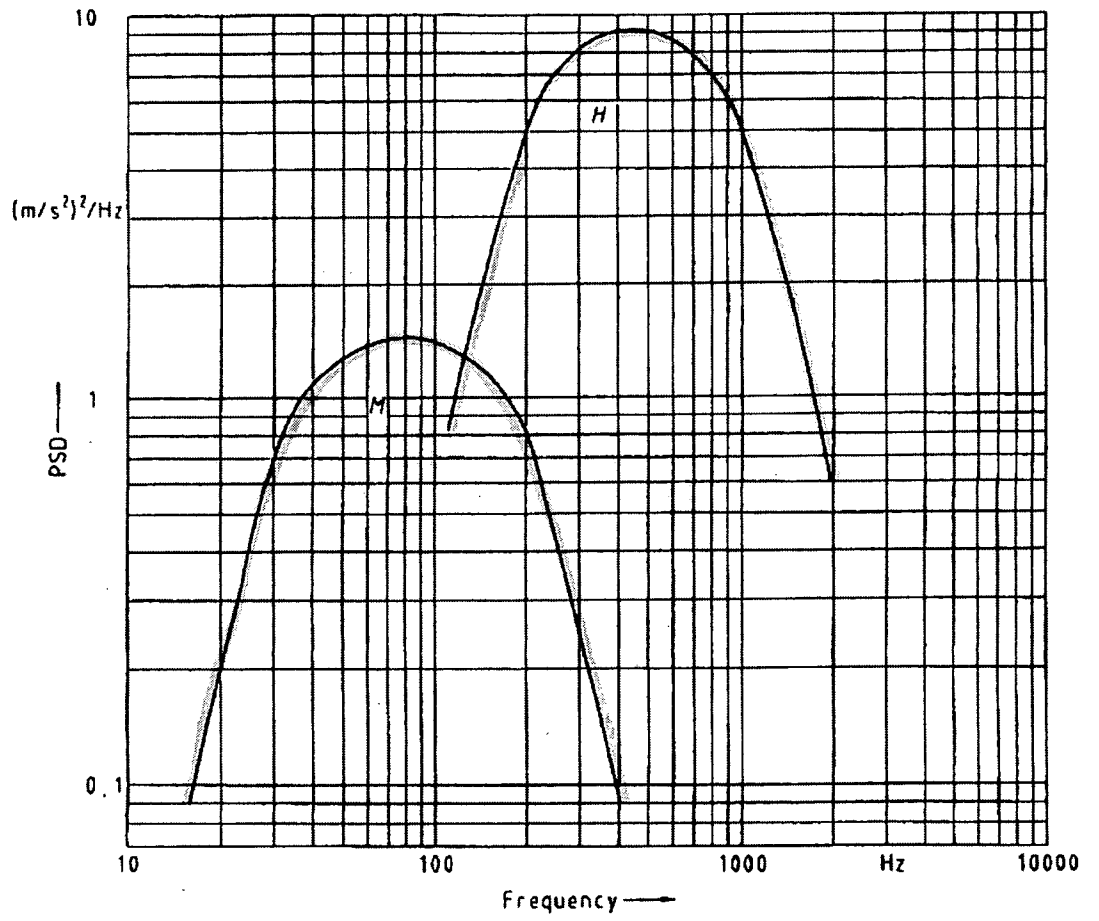


図5 新JIS T8114で定める加振スペクトル

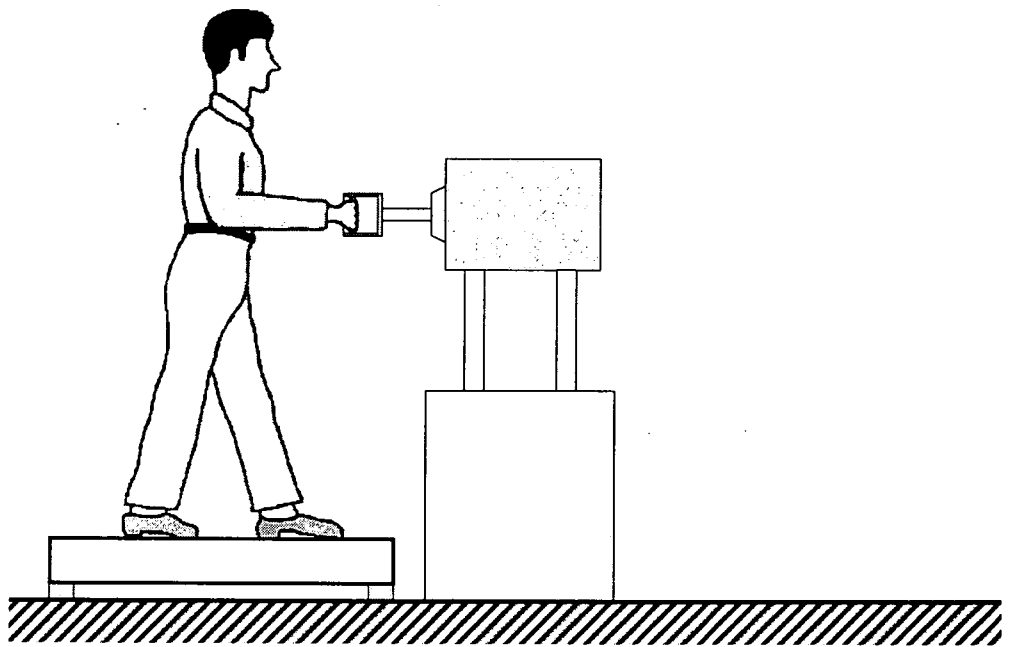


図6 測定中の被験者がとるべき姿勢

表 1. 新旧 JIS T8114 の比較


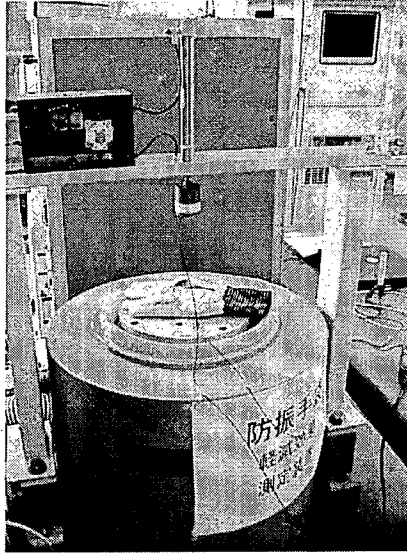
| | 新 被験者 | 旧 人工手 |
|-------|--|---|
| 手袋の固定 |  |  |
| 加振波形 | ブロードバンドスペクトル (M/H) | 正弦振動 63, 125, 250Hz |
| 加振方向 | Z_h | X_h |

表 2. 振動軽減効果の測定結果 (タイプ A)

| Sample No. | Spectrum | TRs | | | | Results |
|------------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|
| | | Subject 1 | Subject 2 | Subject 3 | Average | |
| 1 | M | 0.792 | 0.803 | 0.837 | 0.811 | OK |
| | | 0.791 | 0.803 | 0.838 | | |
| | H | 0.772 | 0.469 | 0.506 | 0.582 | |
| | | 0.772 | 0.469 | 0.506 | | |
| 2 | M | 0.955 | 0.934 | 0.996 | 0.962 | OK |
| | | 0.955 | 0.934 | 0.997 | | |
| | H | 0.926 | 0.931 | 0.962 | 0.94 | |
| | | 0.926 | 0.931 | 0.962 | | |
| 3 | M | 0.982 | 0.973 | 1.00 | 0.985 | OK |
| | | 0.982 | 0.973 | 1.00 | | |
| | H | 1.00 | 1.02 | 1.12 | 1.05 | |
| | | 1.00 | 1.02 | 1.12 | | |
| 4 | M | 0.918 | 0.887 | 0.994 | 0.916 | OK |
| | | 0.918 | 0.887 | 0.994 | | |
| | H | 0.903 | 0.794 | 0.841 | 0.846 | |
| | | 0.903 | 0.794 | 0.841 | | |
| 5 | M | 0.993 | 0.92 | 0.975 | 0.963 | OK |
| | | 0.993 | 0.92 | 0.976 | | |
| | H | 0.997 | 0.891 | 0.98 | 0.956 | |
| | | 0.997 | 0.891 | 0.98 | | |

表 3. 振動軽減効果の測定結果 (タイプ B)

| Sample No. | Spectrum | TRs | | | | Results |
|------------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|
| | | Subject 1 | Subject 2 | Subject 3 | Average | |
| 6 | M | 0.964 | 0.854 | 0.928 | 0.916 | OK |
| | | 0.964 | 0.855 | 0.929 | | |
| | H | 0.886 | 0.751 | 0.760 | 0.799 | NG |
| | | 0.886 | 0.751 | 0.760 | | |
| 7 | M | 0.962 | 0.826 | 0.898 | 0.895 | OK |
| | | 0.962 | 0.825 | 0.899 | | |
| | H | 0.866 | 0.777 | 0.791 | 0.811 | NG |
| | | 0.866 | 0.777 | 0.791 | | |
| 8 | M | 0.994 | 0.765 | 0.875 | 0.878 | OK |
| | | 0.995 | 0.767 | 0.875 | | |
| | H | 0.903 | 0.676 | 0.752 | 0.777 | NG |
| | | 0.903 | 0.676 | 0.752 | | |
| 9 | M | 0.961 | 0.833 | 0.940 | 0.911 | OK |
| | | 0.962 | 0.833 | 0.940 | | |
| | H | 0.882 | 0.644 | 0.820 | 0.782 | NG |
| | | 0.882 | 0.644 | 0.820 | | |

表 4. 振動軽減効果の測定結果 (タイプ A)

| Sample No. | Spectrum | TRs | | | | Results |
|------------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|
| | | Subject 1 | Subject 2 | Subject 3 | Average | |
| 10 | M | 0.983 | 0.868 | 0.865 | 0.905 | OK |
| | | 0.983 | 0.87 | 0.866 | | |
| | H | 0.457 | 0.54 | 0.462 | 0.486 | OK |
| | | 0.457 | 0.54 | 0.462 | | |
| 11 | M | 0.953 | 0.873 | 0.844 | 0.89 | OK |
| | | 0.954 | 0.875 | 0.843 | | |
| | H | 0.304 | 0.522 | 0.371 | 0.399 | OK |
| | | 0.304 | 0.522 | 0.371 | | |
| 12 | M | 0.963 | 0.912 | 0.908 | 0.937 | OK |
| | | 1.015 | 0.914 | 0.909 | | |
| | H | 0.566 | 0.554 | 0.565 | 0.562 | OK |
| | | 0.566 | 0.554 | 0.565 | | |
| 13 | M | 1.021 | 0.942 | 0.921 | 0.961 | OK |
| | | 1.021 | 0.942 | 0.922 | | |
| | H | 0.76 | 0.773 | 0.815 | 0.783 | NG |
| | | 0.76 | 0.773 | 0.815 | | |

表 5. 振動軽減効果の測定結果 (タイプ B)

| Sample No. | Spectrum | TRs | | | | Results |
|------------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|
| | | Subject 1 | Subject 2 | Subject 3 | Average | |
| 14 | M | 0.995 | 0.928 | 0.946 | 0.957 | OK |
| | | 0.995 | 0.93 | 0.947 | | |
| | H | 0.461 | 0.512 | 0.719 | 0.564 | OK |
| | | 0.461 | 0.512 | 0.719 | | |
| 15 | M | 1.05 | 0.937 | 0.815 | 0.935 | OK |
| | | 1.051 | 0.938 | 0.817 | | |
| | H | 0.531 | 0.638 | 0.705 | 0.625 | NG |
| | | 0.531 | 0.638 | 0.705 | | |
| 16 | M | 0.995 | 0.891 | 0.858 | 0.915 | OK |
| | | 0.996 | 0.892 | 0.859 | | |
| | H | 0.376 | 0.505 | 0.405 | 0.429 | OK |
| | | 0.376 | 0.505 | 0.405 | | |
| 17 | M | 1.015 | 0.91 | 0.798 | 0.908 | OK |
| | | 1.015 | 0.91 | 0.798 | | |
| | H | 0.34 | 0.471 | 0.537 | 0.449 | OK |
| | | 0.34 | 0.471 | 0.537 | | |

分担研究者 前田節雄 独立行政法人労働安全衛生総合研究所部長

研究要旨：本研究では、平成 18 年度に開発したカリキュレータで計算された結果が同じ結果の場合の作業の人体影響が同じであるかは未定である。そこで、計算された結果の中から人体への生理影響が最も少なくなるような最適作業スケジューリング計画を立案方法の検討、複数の工具を各種パターンで使用した場合の生理影響に差があることを明らかにした。また、防振手袋の振動軽減効果に基づいた値から生理影響を最小にする防振手袋選定方法を明らかにした。次に、このような最適スケジューリングの作業の中で、さらなる振動暴露の影響を軽減する方法として、防振手袋振動軽減効果から指先振動感覚閾値の一時的閾値移動を最小にするための、工具の振動の大きさに対する最適防振手袋の選択方法を示した。

A. 研究目的

平成 17 年度も手腕振動障害患者の労働災害認定者数が約 300 人にのぼっており、厚生労働省の第 10 次労働災害防止計画においては、この認定患者数を減少のために、手持振動工具のリスクを事業主や作業者に認識させる手段として、工具別の振動の大きさが認識できるようなラベリング方法等を手腕振動障害等の防止のための作業管理のあり方検討会をスタートさせ、具体化を進めてきている。また、このラベリングの方法が確立され、1 つの工具のリスクを明らかにすることが出来ると、多くの市販工具間のリスク比較検討が容易になり、事業主や作業者が工具自身のリスクを把握することが可能になる。しかし、実作業を考えた場合、一度に複数の工具を使用する現場でのリスク評価は困難である。従って、そのような事が容易に出来るようなシステムの構築することは急務である。

事業主や作業者が、工具の購入前に、どの工具の振動のリスクが最も少ないかのリ

スクが評価できる工具リスク評価データベースシステムにて知ることは可能であるが（平成 17 年度事業にて作成したデータベース）、実際の現場での工具の使用を考えると、1 日に 1 人の作業者が複数の工具を用いての作業が考えられるが、そのような作業を行った場合のリスク評価を事前に行えるシステムは存在していない。そこで平成 18 年度には、平成 17 年度のデータベースを発展させ、事前リスク評価（Predetermined Risk Evaluation）が行える方法の検討（ノモグラムの検討：カリキュレータ作成への準備）および複数工具を使用した場合のリスク評価が最適であるかどうかを Branch and bound 法を用いて検討した。

また、事業主や作業者が、工具の購入前に、どの工具の振動のリスクが最も少ないかのリスクが評価できる工具リスク評価データベースシステムにて知ることは可能であるが（平成 18 年度事業にて作成したデータベース）、実際の現場での工具の使用を

考えると、1日に1人の作業者が複数の工具を用いての作業が考えられるが、工具の使用方法を変えてもカリキュレータの計算結果のA(8)が同じになるような工具使用方法が存在する。そのような場合の生理影響が同じになるのかならないのか、また、そのような場合の生理影響を最小にするような作業方法が存在するののかについては何ら明らかになっていない。

B. 研究方法

本分担研究では、複数工具を用いて作業を実施した場合がリスクを最小抑える方法については明らかにされていない。そこで、これまで明らかにされてきている指先振動感覚閾値の一時的閾値移動を指標とした断続振動暴露の考え方をを用いて、複数工具を使用した場合の各種パターンにて、生理影響に差が出るかどうかをシミュレーションするとともに、実験室実験にて検証した。

手腕振動周波数補正の一軸加速度実効値

a_{hw} (m/s^2) は以下のように表せる。

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_i (W_{hi} a_{hi})^2}$$

ここで、

W_{hi} は i 番目の周波数補正係数；

a_{hi} は i 番目の 1/3 オクターブ周波数帯域での加速度 (m/s^2)。

振動大きさは、x 軸、y 軸、z 軸の振動合成値であり、求める式は以下のように表せる。

そこで、平成19年度は、カリキュレータの結果が同じ場合の生体影響に差があるのかどうか、また、防振手袋の実態を明らかにするとともに、現場での工具のレベルに応じた防振手袋の選択方法を提案した。

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2}$$

ここで、

a_{hv} は周波数補正加速度実効値の振動合成値 (m/s^2)；

a_{hwx} 、 a_{hwy} 、 a_{hwz} は各軸の周波数補正手腕系振動の一軸加速度実効値である (m/s^2)。

一日の振動暴露量 (A(8)) を求める式は以下のように表せる。

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{t}{T}}$$

ここで、

t は工具の使用時間 (min)；

T は8時間 (480min)。

また、複数の工具を使用した場合の一日の振動暴露量 (A(8)) を求める式は以下のように表せる。

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 t_i}$$

ここで、

a_{hvi} は i 個目の工具の振動合成値 (m/s^2) ;

n は使用工具の数 (個) ;

t_i は i 個目の工具の使用時間 (min) 。

[例] 振動合成値が $3 m/s^2$ と $10 m/s^2$ 、使用時間が 120min と 30min

であるとすると :

$$A(8)$$

$$= \sqrt{\frac{1}{480 \text{ min}} [(3m/s^2)^2 \times 120 \text{ min} + (10m/s^2)^2 \times 30 \text{ min}]} = 2.9m/s^2$$

となる。

手腕振動の振動暴露量の評価は以下のように定められている。

- ・ 8 時間に標準化された 1 日暴露限界値 (1 日 8 時間暴露限界値) を $5 m/s^2$ とする。
- ・ 8 時間に標準化された 1 日暴露対策実効値 (1 日 8 時間暴露行動実効値) を $2.5 m/s^2$ とする。

これを基に作製した下記の評価表で手腕振動の振動暴露量を評価する。

以上により、単一工具、および、複数工具使用時のリスク評価を具体的に進める方法が明らかになった。以上のように $A(8)$ が等しい場合には、生理影響が同じになると仮定されている。しかし、このような事が工具使用時において成立するか否かについては、これまで研究例がない。そこで、図 1 に示すような 2 種類の工具を用いるパタ

ーンを 8 種類作成した。この時の Acc. 1 (工具 1) の周波数補正振動加速度実効値は $1.49m/s^2$ 、Acc. 2 (工具 2) の周波数補正振動加速度実効値は $0.25m/s^2$ である。この 8 種類の $A(8)$ は全て同じである。

この図 1 の中の数字は、暴露時間(分)と休止時間(分)を示している。この 8 パターンに関して、これまで明らかにされてきている断続振動暴露による TTS の Growth 値を下記の式を用いて計算した。

$$TTS = -16.256 + 11.812x\log_{10}R + 15.179x\log_{10}a_{hw}$$

ここで、 a_{hw} は、周波数補正振動加速度実効値、 R は振動の繰り返しレートである。今回の計算では、 $R=100$ とした。

また、TTS の Recovery 値の計算には、下記の式を用いた。

$$TTS_i = TTS \times (1 - 0.7836x\log_{10}(i/0.5))$$

ここで、 TTS_i は、 i 分後の回復 TTS 値である。

これらの式を用いて、8 パターンの最終の TTS を計算した場合と、2 種類の工具を用いて実験を行い TTS を求めた場合の、比較結果を表 1 に示す。この表 1 の結果から、予測計算値と実験による測定値は、非常に近い値が得られていることがわかる。このような複数の工具を使用した場合の振動暴露後の生理影響を予測することが出来ることが明らかになった。この表 1 から、8 パターンの $A(8)$ が同じにも係らず、パターンにより TTS の値が異なることがわかる。従って、今回の結果から、複数の工具を用いた作業を行う場合、作業の変更が可能であれば、最終の作業に、工具の

振動が小さく、かつ、暴露時間の短い作業を持つてくることにより、生理影響を少なくすることが出来ることが明らかになった。

また、防振手袋の振動軽減効果が明らかになっても、手持振動工具の振動の大きさは、図2に示すように工具により異なっているが、それぞれの工具振動に応じた最適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、最適な防振手袋選定方法を検討した。TTSのGrowth値を下記の式を用いて計算した。

$$TTS = -16.256 + 11.812 \times \log_{10} R + 15.179 \times \log_{10} a_{hw}$$

C. 研究結果

複数の工具を使用した場合の振動暴露後の生理影響を予測することが出来ることが明らかになった。この表1から、8パターンのA(8)が同じにも係らず、パターンによりTTSの値が異なることがわかる。従って、今回の結果から、複数の工具を用いた作業を行う場合、作業の変更が可能であれば、最終の作業に、工具の振動が小さく、かつ、暴露時間の短い作業を持つてくることにより、生理影響を少なくすることが出来ることが明らかになった。

また、任意の周波数補正振動加速度実効値を持った工具に対して、使用しようとする防振手袋が決まった場合、TRの値とから、TTS値を求めることが出来ることを明らかにした。

D. 考察

事業主や作業者が、工具の購入前に、ど

ここで、 a_{hw} は、周波数補正振動加速度実効値、Rは振動の繰り返しレートである。今回の計算では、 $R=50$ とした。また、防振手袋の振動軽減効果はTRは、JIS T 8114 : 2007で規程されている。従って、ある軽減効果TRを持った防振手袋を使用した場合、

$$AVG a_{hw} = TR \times a_{hw}$$

となる。ここで、 $R=50$ として、 $TR=1.0, 0.5, 0.1$ の場合と、図2に示される周波数補正振動加速度実効値とTTSの関係を求めた。その結果を、図3に示す。この図3から任意の周波数補正振動加速度実効値を持った工具に対して、使用しようとする防振手袋が決まった場合、TRの値とから、TTS値を求めることが出来る。

の工具の振動のリスクが最も少ないかのリスクが評価できる工具リスク評価データベースシステムにて知ることは可能であるが（平成18年度事業にて作成したデータベース）、実際の現場での工具の使用を考えると、1日に1人の作業者が複数の工具を用いての作業が考えられるが、工具の使用方法を変えてもカリキュレータの計算結果のA(8)が同じになるような工具使用方法が存在する。そのような場合の生理影響が同じになるのかならないのか、また、そのような場合の生理影響を最小にするような作業方法が存在するののかに関しては何ら明らかになっていなかった。そこで、断続振動暴露によるTTSのGrowth値を下記の式を用いて計算した。

$$TTS = -16.256 + 11.812 \times \log_{10} R + 15.179 \times \log_{10} a_{hw}$$

ここで、 a_{rw} は、周波数補正振動加速度実効値、 R は振動の繰り返しレートである。今回の計算では、 $R=100$ とした。

また、TTS の Recovery 値の計算には、下記の式を用いた。

$$TTS_i = TTS \times (1 - 0.7836 \times \log_{10}(i/0.5))$$

ここで、 TTS_i は、 i 分後の回復 TTS 値である。

これらの式を用いて、8 パターンの最終の TTS を計算した場合と、2 種類の工具を用いて実験を行い TTS を求めた場合の、比較結果を表 1 に示す。この表 1 の結果から、予測計算値と実験による測定値は、非常に近い値が得られていることがわかる。これらの計算式には、工具振動暴露時間が 5 分間の工具使用時間の限界がある。TTS の Growth の計算に、さらに長時間振動暴露後の TTS を予測できる式を用いることにより、工具の使用時間が異なった場合も予測することが可能になると考えられる。

また、防振手袋の振動軽減効果 TR から TTS 値を指標として、任意の周波数補正振動加速度値を持つ工具に対して、選択する方法を示すことが出来たが、この場合の計算も、工具振動暴露時間が 5 分間の制限がある。この場合も、TTS 値を予測する式がどのような暴露時間に対しても用いることが出来れば、防振手袋の振動軽減効果 TR から、最適な手袋の選択が可能になると思われる。

E. 結論

1) 事業主や作業者が、工具の購入前に、どの工具の振動のリスクが最も少ないかのリスクが評価できる工具リスク評価データベースシステムにて知ることは可能である

が(平成 18 年度事業にて作成したデータベース)、実際の現場での工具の使用を考えると、1 日に 1 人の作業者が複数の工具を用いての作業が考えられるが、工具の使用方法を変えてもカリキュレータの計算結果の $A(8)$ が同じになるような工具使用方法が存在する。そのような場合の生理影響が同じになるのかならないのか、また、そのような場合の生理影響を最小にするような作業方法が存在するのかを明らかにした。

2) 現場での工具のレベルに応じた防振手袋の選択方法を提案することが出来た。

G. 研究発表

1. 論文発表

S. Maeda, N. Shibata : Subjective Scaling of Hand-Arm Vibration. *Industrial Health* (2008) (in press)

前田節雄, 柴田延幸 : 「JIS T8114 (防振手袋) 規格について」セーフティダイジェスト(2007),53:10-20.

前田節雄, 柴田延幸 : 「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(2008), 印刷中

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」労働安全衛生研究(2008), 印刷中

2. 学会発表

S. Maeda, N. Shibata : Problems of $A(8)$ Evaluation. *Proceedings of 15th Japan Conference on Human Response to Vibration*, p158-164, 2007.

N. Shibata, S. Maeda : Establishment of ISO 10819 based vibration transmissibility measurement system for anti-vibration gloves. Proceedings of 15th Japan Conference on Human Response to Vibration, p87-95, 2007.

騒音研究会：平成20年3月11日発表予定

H. 知的財産権の出願・登録状況なし。

柴田延幸, 前田節雄：「防振手袋関連規格 JIS T8114 の ISO 整合化と国内防振手袋の対応状況」日本音響学会 建築音響・振動

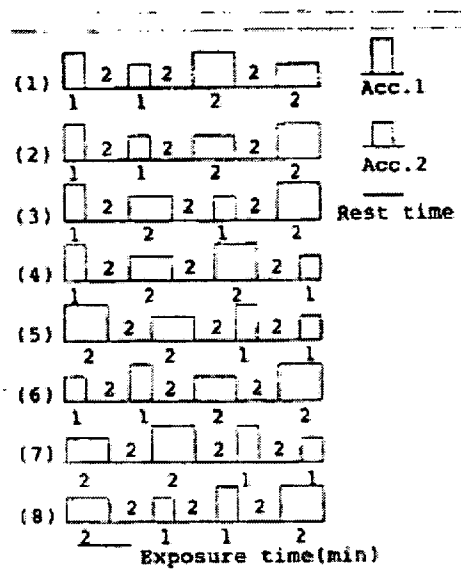


図1 A(8)が同じ場合の8つの暴露パターン

表1 TTSの計算結果と実測結果の比較

| No. | Measured TTS | Predicted TTS (dB) |
|-----|--------------|--------------------|
| (1) | 7.53±2.65 | 8.98 |
| (2) | 12.67±1.13 | 12.07 |
| (3) | 12.12±1.62 | 11.76 |
| (4) | 6.59±1.57 | 7.28 |
| (5) | 6.02±1.33 | 6.83 |
| (6) | 11.50±1.09 | 12.05 |
| (7) | 6.87±0.87 | 6.78 |
| (8) | 12.81±1.43 | 11.53 |

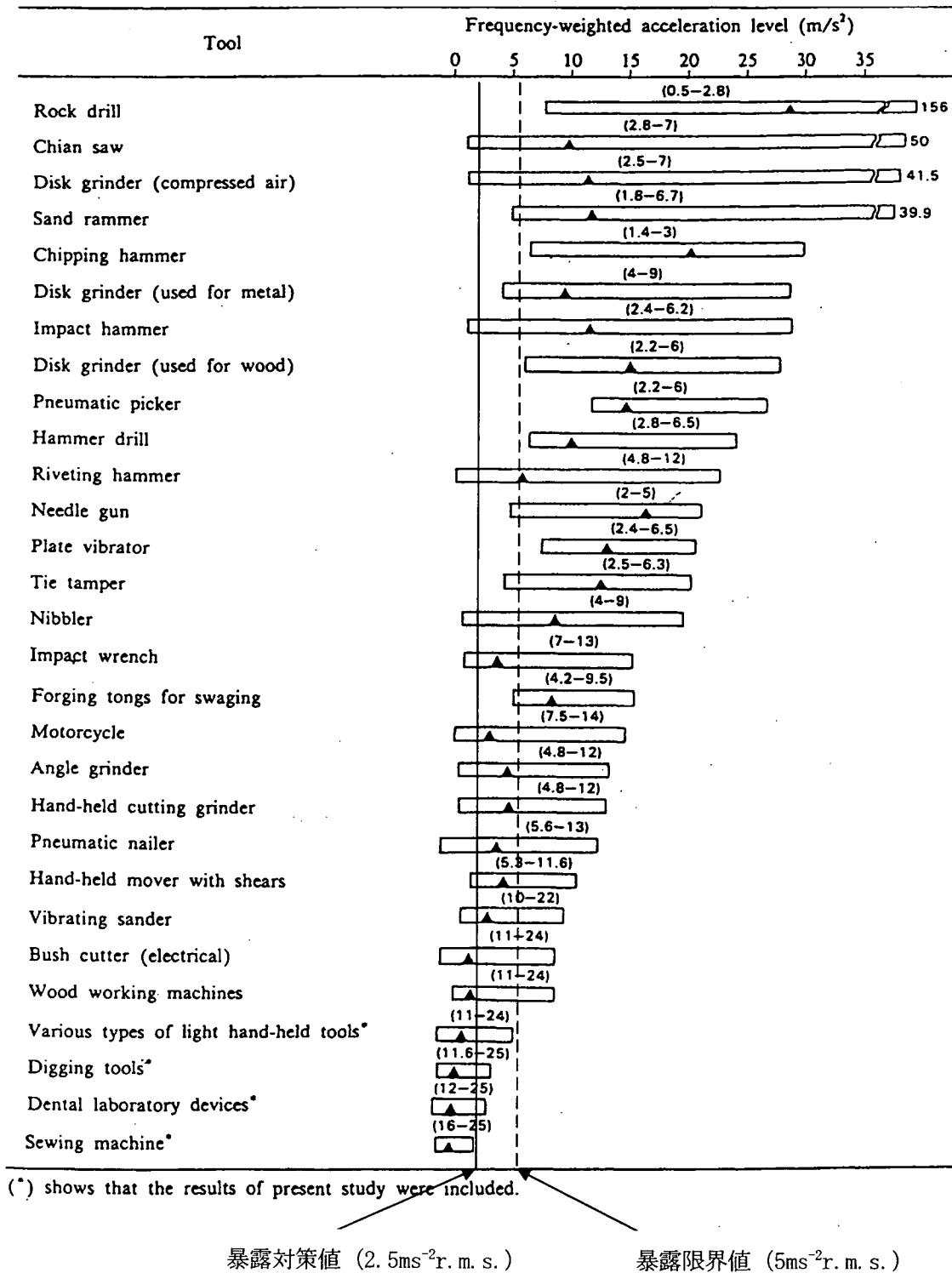


図2 各種振動工具の周波数補正振動加速度実効値

Seyed Mohammad MIRBOD, Ryoichi INABA and Hirotoishi IWATA: A Study on the Vibration-Dose Limit for Japanese Workers Exposed to Hand-Arm Vibration, Ind Health, 30, pp.1-22, 1992.

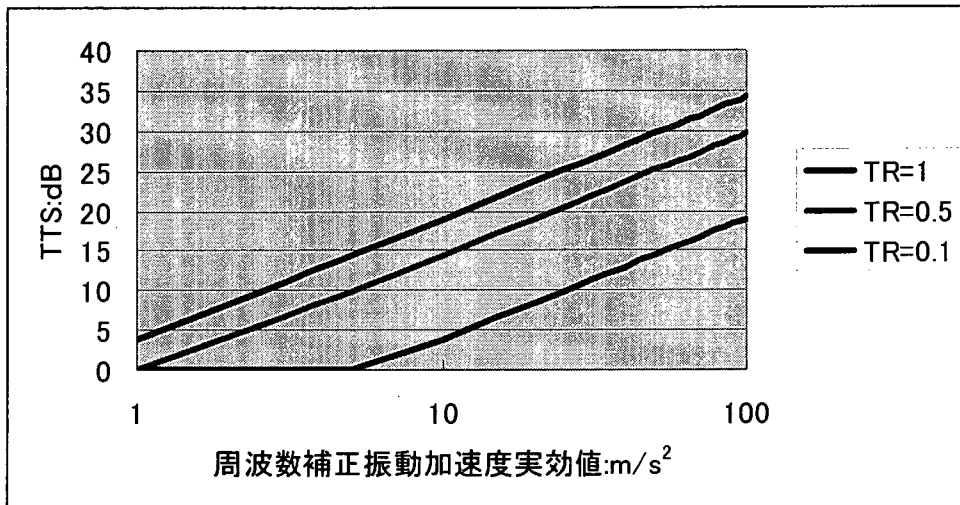


図3 防振手袋の振動軽減効果 TR と工具周波数補正振動加速度実効値と TTS の関係