

200635011A

厚生労働科学研究費補助金
労働安全衛生総合研究事業

手腕振動障害防止のための振動ばく露リスク評
価および低減策に関する研究

平成18年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 前田 節雄

平成19（2007）年 4月

目 次

I. 総括研究報告		
手腕振動障害防止のための振動ばく露リスク評価および低減策に関する研究	-----	1
II. 分担研究報告		
1. 事前リスク評価支援システムおよびノモグラムの研究開発	-----	11
前田節雄		
(資料1) EU Directive (Machinery Safety Directive)2006		
(資料2) 旧EU Directiveと新EU Directiveとの比較表		
2. カリキュレータの開発	-----	89
細矢直基		
3. 有効性の現場での検証実験		
—手腕振動ばく露リスク評価としてのわが国の手腕振動許容基準値およびEU 振動指令規 制値に関する研究—	-----	116
榊原久孝		
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	-----	129
IV. 研究成果の刊行物・別刷	-----	133

I. 統括研究報告

厚生労働科学研究補助金（労働安全衛生総合研究事業）

総括報告書

手腕振動障害防止のための振動ばく露リスク評価および低減策に関する研究

主任研究者 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、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が可能であるが（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年度は、次の3つの研究を実施した。①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と提案、②事業主や作業者が容易にリスクを評価することが可能なカルキュレーターを試作検討、③このシステムの有効性を確認するために、各種事業場を想定した確認実験室実験を実施した。

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。

そこで本研究では、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が可能であるが（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年度は、次の3つの研究を実施した。①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、②事業主や作業者が容易にリスクを評価することが可能なカリキュレーターを試作検討、③このシステムの有効性を確認するために、各種事業場を想定した確認実験室実験を実施した。

B. 研究方法

①本分担研究では、振動暴露による影響がどの程度なのか評価するために、周波数補正加速度実効値を用いて、各工具の手腕振動暴露の評価をすることができる事前リスク評価支援システムを構築することにした。これは、事前リスク評価支援システムを用いることによって、手持動力工具の利用者が、振動障害発症の危険性を認識することができるようにするというものである。また、作業現場では複数の手持動力工具を使用する場合がある。このため、組み合わせ作業についても考慮した。そのために、まず、ISO 5349-1 で考えられてきている方法から検討できるノモグラムの作成に関して検討を加え、そして、複数工具を用いて作業を実施した場合がリスクを最小に押さえることが可能であるかどうかを Branch and bound 法を用いて検討も実施した。

②本分担研究では、事業主や現場の作業者が容易にリスクを評価することが可能なカリキュレータの試作検討を行う。携帯情報端末 (Personal Digital Assistant: PDA) をベースとしたカリキュレーターを開発することで、(a)小型軽量、(b)長時間駆動、(c)操作が容易 (グラフィカルユーザーインターフェース (Graphical User Interface: GUI) が使用可能)、(d)表示画面が大きい、

(e)多機能(PDAのOSであるWindows Mobile 5.0はWindowsの機能縮小版であるため)などの利点が得られる。また、本カリキュレーターにNIWLデータベースをISO8662に準拠してランク分けされた工具の振動値を搭載することで、作業者が容易にA(8)が計算できるように配慮する。さらに、PDA用のカリキュレーターをPC上で動作させることも検討する。

③本分担研究では、国際的な動向の中で、2002年(から2007年度)の第10次労働災害防止計画で「騒音、振動発生機器について製造業者による騒音・振動レベルの表示の導入を図る」として、振動リスク評価の基礎となる工具振動レベルの表示の導入が計画されている。この振動レベルの表示は、EU機械指令に相当する内容であるが、EU振動指令に相当する振動暴露管理対策の導入と相まって、振動暴露低減効果が促進されると考えられる。振動暴露の許容基準として、わが国の日本産業衛生学会では $A(8) = 2.8 \text{ m/s}^2$ と定めている。一方、EU振動指令では、振動暴露対策値として $A(8) = 2.5 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ 、振動暴露限界値として $A(8) = 5.0 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ を、振動暴露管理の基準として採用している。そこで、今後わが国での振動暴露管理を考えるにあたり、日本産業衛生学会とEU振動指令の規制値の振動障害発症リスクについて検討した。

C. 研究結果

①事前リスク評価支援システムをPDA(Personal Digital Assistance)で操作・算出できるようにするためにノモグラムの検討のためには、ISO 5349-1での要求事項の理解が必要であるので、その内容について精査した。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。また、工具振動の大きさと工具使用時間とからその作業のリスク評価の方法を、事前に評価するために図1のようなノモグラムの採用を考えた。計算することにより最終的な $A(8)$ を求めることによりその作業が許容されるかどうかを判断することが可能になることを明らかにした。今回の暴露様式での準備時間は全て同じで、かつ、振動暴露のエネルギーも同じであるにもかかわらず、各暴露様式後の TTS の値に差がでることがわかる。従って、総準備時間が同じであっても、最適解の開始位置を変更することによって振動の人体への影響が異なる事が明らかになった。今回の実験結果から、作業時間が等しく準備時間が異なるジョブショップ・スケジューリングの場合、得られた最適解の結果から、準備時間が長い仕事を最後にする事で、低い TTS が得られることが明らかになった。

②本分担研究では、事業主や現場の作業者が容易にリスクを評価することが可能なカリキュレータの試作検討を行った。携帯情報端末 (Personal Digital Assistant: PDA) をベースとしたカリキュレータを開発することで、(a)小型軽量、(b)長時間駆動、(c)操作が容易 (グラフィカルユーザーインターフェース (Graphical User Interface: GUI) が使用可能)、(d)表示画面が大きい、(e)多機能 (PDA の OS である Windows Mobile 5.0 は Windows の機能縮小版であるため) などの利点を得られた。また、本カリキュレータに NIWL データベースを ISO8662 に準拠してランク分けされた工具の振動値を搭載することで、作業者が容易に $A(8)$ が計算できるように配慮した。さらに、PDA 用のカリキュレータを PC 上で動作させることも検討も合わせて行った。

③本分担研究の結果、振動暴露対策値の $A(8)=2.5\text{m/s}^2\text{ rms}$ の場合には、日本産業衛生学会の $A(8)=2.8\text{m/s}^2\text{ rms}$ より低い値であり、10年間の振動暴露でもレイノー現象有症率は 2.3%で、 $A(8)=2.8\text{m/s}^2\text{ rms}$ に10年間振動暴露を受けた場合の 2.6%より低く抑えられると予測された。またレイノー現象有症率が 2.6%に達するには 11.8年と予測された。10年間の振動暴露でもレイノー現象有症率 2.3%は、日本人男性の調査報告をまとめて求められた推測値 (男性 1.9% (95%信頼区間: 1.4 - 2.3%)) の 95%信頼区間の最大値と同じであった。したがって EU 振動指令の $A(8)=2.5\text{m/s}^2\text{ rms}$ の振動暴露対策値を振動暴露管理の目標とすることは、わが国の振動暴露管理の指針としても妥当性を有すると考えられた。

一方、EU 振動指令の振動暴露限界値の $A(8)=5.0\text{m/s}^2\text{ rms}$ の場合には、10年間の振動暴露でレイノー現象有症率は 4.4%となり、非振動性レイノー現象有症率の最大 3%を若干超える危険性を有していた。また $A(8)=2.8\text{m/s}^2\text{ rms}$ に10年間暴露された場合のレイノー現象有症率に 4.2年で達すると予測された。EU 振動指令では、この振動暴露限界値は超えてはならない、越える場合には暴露低減対策を即刻とることとされている。我が国でもこうしたレイノー現象有症率を増す危険性を有することを配慮しながら、振動暴露限界値として振動暴露管理を実施することは、実際的であると考えられた。

D. 考察

①このように、ノモグラムや ISO の式により作業別の周波数補正振動加速度実効値やばく露時間の推定や測定を明確に行うことが出来る場合は、このような方法で、振動作業

管理や製作した工具や機器が許容基準を満足しているかどうかのリスクを事前に確認することは可能になることを示すこと、および、そのようなリスク評価を行った後の作業方法の中から生理的な影響を最小にするような作業方法も示すことが今回の分担研究で明らかにすることが出来た。

②NIWLデータベースのトップページを図1に示す。トップページからもわかるようにNIWLデータベースは手腕振動だけではなく全身振動のデータも公開している。手腕振動のページを開くと図2が表示され、さらに開くと図3の検索画面となる。この画面で所望の手持動力工具やメーカー名などを選ぶことで工具の振動値の検索ができる。図4はインパクトレンチを検索した例を示している。NIWLデータベースでは、工具の種類、メーカー名、品番、動力源、測定規格の種類、振動値、音圧レベル、音響パワーレベルの順に掲載されている。本図よりインパクトレンチでは31種類の工具の振動値が掲載され、全て試験規則値であることがわかる。しかし、対象としている工具が存在しない場合、表示された振動値のどれを使うべきか、また、試験規則値(CE)と現場測定値(Field)が共に存在する場合どちらの振動値を使うべきか、事業主や現場の作業員などあらゆるユーザーが判断することが困難という問題点がある。本研究では、NIWLデータベースをISO 8662に準拠してランク分けを行い、それをカリキュレータに搭載することとする。NIWLデータベースをISO 8662に準拠してランク分けした結果を表2に示す。NIWLデータベースには試験規則値と現場測定値が掲載されており、試験規則値は1軸加速度データであるため、これを1.5-2.0倍(prCEN TR 15350_HAVを参考)、もしくは1.7倍(ISO 5349-1を参考)して、3軸加速度デ

ータである現場測定値と比較を可能にした。また、本表には試験規則値そのものも掲載している。PDAとは、Windowsの機能縮小版であるWindows Mobile 5.0をOSとする携帯情報端末のことをいい、Word Mobile, Excel Mobileなどがインストールされている。OSがWindows Mobile 5.0であることから、非常に多機能であるだけではなく、大きな画面、長時間駆動、CFカードやSDメモリなどによるデータの移動が可能、GUIを利用可能、無線LANを搭載、など多くの利点を有している。現在、PDAとしては、DELL^{*1}、HP^{*2}から市販されているが、他には、シャープのザウルス(OS: Linux)やウィルコムスマートフォン(OS: Windows Mobile 5.0)などもある。PDFファイルやWordファイルを読むことができるため、カリキュレータのマニュアルを電子化し、カリキュレータ本体に搭載することもできる。作業現場への携帯性やGUIを利用した操作性などを考慮すると、カリキュレータとして最も適しているといえる。入手が容易であり、国内外のメーカーから市販され、大きさや性能などあらゆる使用に対応することが可能である。現場で使用するカリキュレータとしては、その大きさや重さが不適當であるが、作業前に事務所などで振動暴露量を計算するためのカリキュレータとしては適切である。ポケットコンピュータとは、BASICやC言語でのプログラミングやPICを利用した制御が可能な小型のコンピュータをいう。一般的には、小型軽量、長時間駆動が可能、関数が豊富ななどの利点があるものの、表示画面が小さい、記憶容量が小さくCFカードやSDメモリなどによるデータの移動が困難、GUIが利用できないなどの欠点がある。メーカーとしては、シャープ、テキサスインスツルメンツ(米国)(日本での代理店は(株)ナオコ)が販売し

ているが、シャープのポケットコンピュータ(PC-G850V)^{*3}は、学校技術教育用として販売されているため、入手は困難である。また、テキサスインスツルメンツのポケットコンピュータ(Voyage200)^{*4}は、市販されているため入手可能ではあるが、海外製品で日本語環境に対応していないため、日本人の作業者が使いやすいカリキュレータの作成が困難である。また、これらのポケットコンピュータは上述の問題点があるため、現場の作業者に対して理解しやすいカリキュレータの作成が困難になることが予想される。従って、本研究で考案するカリキュレータとしては不適切である。

③振動障害の発症予防の基本は、作業者の振動暴露量を減らすことである。わが国は、2002年(から2007年度)の第10次労働災害防止計画で、振動リスク評価の基礎となる工具振動レベルの表示の導入が計画されている。この振動レベルの表示は、EU機械指令に相当する内容であるが、EU振動指令に相当する振動暴露管理対策の導入と相まって、振動暴露低減効果が促進されると考えられる。振動暴露の許容基準として、わが国の日本産業衛生学会では $A(8)=2.8\text{m/s}^2\text{rms}$ と定めている。この基準は、日本人男性におけるこれまでの調査結果をもとに、10年間振動暴露を受けても、振動工具を使用していない集団での非振動性レイノー現象の有症率が最大3%を超えない振動レベルとして制定されている。この許容基準を検討するにあたり、これまでの調査結果からレイノー現象有症率と振動強度および振動暴露年数との間に、 $\text{normsin}(p)=0.170(\text{years})^{**}0.389(\text{vibration})^{**}0.580-2.576$ (p :レイノー現象有症率、 years :振動暴露年数、 vibration :振動強

度(1軸測定))の関係があることが明らかにされている。そこで今回、この数式を用いて、EU振動指令による振動暴露対策値として $A(8)=2.5\text{m/s}^2\text{rms}$ 、振動暴露限界値として $A(8)=5.0\text{m/s}^2\text{rms}$ に基づいた振動暴露管理を導入した際のレイノー現象有症率の予測を行った。現在、わが国では第10次労働災害防止計画で「騒音、振動発生機器について製造業者による騒音・振動レベルの表示の導入を図る」として、振動リスク評価の基礎となる工具振動レベルの表示の導入が計画されている。この振動レベルの表示によって、工具の振動レベルの情報提供がすすみ、より低振動の工具への導入が促進されることが期待される。こうした動きをさらに促進するために、EU振動指令のような振動暴露対策値として $A(8)=2.5\text{m/s}^2\text{rms}$ 、振動暴露限界値として $A(8)=5.0\text{m/s}^2\text{rms}$ などによる振動暴露管理のさらなる導入が望まれる。

E. 結論

①本分担研究では、ISO 5349-1で考えられてきている方法から検討できるノモグラムの作成に関して検討を加え、そして、複数工具を用いて作業を実施した場合がリスク評価方法に関してBranch and bound法を用いて検討も実施した。その結果、次のことを明らかにすることができた。

1) ノモグラムやISOの式により作業別の周波数補正振動加速度実効値やばく露時間の推定や測定を明確に行うことが出来る場合は、このような方法で、振動作業管理や製作した工具や機器が許容基準を満足しているかどうかのリスクを事前に確認することは可能になることを示すことが出来

た。

- 2) 総準備時間が同じであっても、最適解の開始位置を変更することによって振動の人体への影響が異なる事が明らかになった。今回の実験結果から、作業時間が等しく準備時間が異なるジョブショップ・スケジューリングの場合、得られた最適解の結果から、準備時間が長い仕事を最後にする事で、低いTTSが得られることが明らかになった。

②本分担研究では、振動暴露量を事前に把握するためのカリキュレータの検討を行い、以下の結論を得た。

1. NIWL データベースを ISO 8662 に準拠してランク分けした振動値を搭載した、PDA 上で動作するカリキュレータを Visual Basic により試作した。このカリキュレータは、GUI で操作することができ、簡単な操作で $A(8)$, $\Sigma A(8)$, $A_{typical}(8)$ を計算することができることを確認した。また、カリキュレータを PDA としたことで、小型軽量とすることができた。
2. PDA 上で動作するカリキュレータが PC で実行できることを確認した。これにより、PDA と PC で動作する同じユーザーインターフェイスのカリキュレータを開発することができたため、事業主や現場の作業者が容易に振動暴露量を計算できる環境を提供することができた。
3. NIWL のデータベースを ISO 8662 に準拠して分類し、これをカリキュレータに搭載することで、対象工具の振動値の選択が容易で、データベースに存在しない工具の振動値の補間

することができ、データベースの振動値のばらつきや試験規則値、現場測定値の違いを考慮できるカリキュレータを作成することができることを示した。

③振動暴露管理として、EU 振動指令の振動暴露対策値の $A(8)=2.5\text{m/s}^2\text{ rms}$ を導入した場合には、日本産業衛生学会の $A(8)=2.8\text{m/s}^2\text{ rms}$ より低い値であり、10年間の振動暴露でもレイノー現象有症率は 2.3%で、日本人男性の調査報告をまとめて求められた推測値（男性 1.9%（95%信頼区間：1.4 - 2.3%））の 95%信頼区間の最大値と同程度であった。したがって EU 振動指令の $A(8)=2.5\text{m/s}^2\text{ rms}$ の振動暴露対策値を振動暴露管理の目標とすることは、わが国の振動暴露管理の指針としても妥当性を有すると考えられる。一方、EU 振動指令の振動暴露限界値の $A(8)=5.0\text{m/s}^2\text{ rms}$ の場合には、10年間の振動暴露でレイノー現象有症率は 4.4%となり、非振動性レイノー現象有症率の最大 3%を若干超える危険性を有していた。EU 振動指令では、この振動暴露限界値は超えてはならない、越える場合には暴露低減対策を即刻とることとされている。わが国でもこうしたレイノー現象有症率を若干増す危険性を有することを配慮しながら、振動暴露限界値として振動暴露管理を実施することは、実際的対応であると考えられた。

F. 研究発表

1. 論文発表 なし
2. 学会発表

Maeda, Setsuo., Keller, Tony. (2006) Multi-Axis Hand-Arm Vibration Testing&Simulation at the National Institute of Industrial Health, Kawasaki, Japan.

First American Conference on Human Vibration
Morgantown, West Virginia, U.S.A., pp
99-100.

Hosoya, Naoki. , Maeda, Setsuo. (2006)
Establishment of an Experimental System For
Measuring Biodynamic Response of Hand-Arm.
First American Conference on Human Vibration
Morgantown, West Virginia, U.S.A., pp
136-137.

Sakakibara, Hisataka., Maeda, Setsuo. (2006)
Measurement of head vibration during
operating pneumatic tools in quarry work.
14th Japan Conference on Human Response to
Vibration T.M.U., Hachioji, Tokyo, pp 38-41.

Shibata, Nobuyuki., Maeda, Setsuo. (2006)
Effects of environmental condition on
biodynamic response in hand-arm system
-Finite element modeling-. 14th Japan

Conference on Human Response to Vibration
T.M.U., Hachioji, Tokyo, pp 84-93.

Maeda, Setuo., Ozaki, Masakazu. (2006)
Comparison of human vibration measurement by
a laser doppler vibrometer and an
accelerometer. 14th Japan Conference on
Human Response to Vibration T.M.U., Hachioji,
Tokyo, pp 124-131.

前田節雄:手持動力工具振動値のラベリング
方法について、日本産業衛生学会東海地方
会、第20回振動障害研究会資料、pp. 1-35、
平成19年2月24日。

G. 知的財産権の出願・登録状況 なし。
なし。

II. 分担研究報告

厚生労働科学研究補助金（労働安全衛生総合研究事業）
分担報告書

手腕振動障害防止のための振動ばく露リスク評価および低減策に関する研究
—事前リスク評価支援システムおよびノモグラムの研究開発—

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、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。そこで本分担研究では、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。

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。そこで本分担研究では、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。

B. 研究方法

本研究の目的は、工場や建設工事等の作業現場で、手持動力工具の危険度を、容易に算出・理解することができる事前リスク評価支援システムの構築である。手腕振動は、手や腕に伝わる振動であり、手腕振動の多くは、工場や建設工事、林業などで使用されている手持動力工具（例えばコンクリートブレーカ、チェーンソーなど）の操作時に受ける振動暴露のことである。長年、このような手腕振動に暴露されると、白ろ病として知られる肉体的障害を生じたり、手首・肘の筋肉や関節への悪影響、及び末梢循環機能への悪影響等の振動障害を生じる可能性が大きい。手腕振動の人体への影響は労働環境、特に職業病予防の観点から検討されなければならない問題である。振動が人体に与える影響の評価は、ISO（国際標準化機構）規格による評価方法に沿った形で行われている。規格の一つにISO 5349-1がある。これは、手腕系振動に対する工具振動の測定方法と評価方法について書いているものである。その中で、振動影響を評価するに当たって、振動による影響を測る尺度として周波数補正加速度

C. 研究結果 事前リスク評価支援システムをPDA（Personal Digital Assistance）で操作・算出できるようにするためにとプログラムの検討のためには、ISO 5349-1での要求事項の理解が必要であるので、その内容について精査した。

振動暴露は、振動大きさと暴露時間によって左右される。よって、各日で使用した工具の使用時間と振動大きさから、危険度を算出する。振動大きさは周波数補正加速度実効値（ m/s^2 ）、使用時間は暴露時間のことである。

実効値を用いている。しかし、ISO 5349-1では機械工具の安全性に対する振動の評価を可能にするための一貫したデータの収集促進を目的として制定されており、振動の評価基準は規定していない。よって、振動による影響がどの程度なのか評価することができない。そこで、本分担研究では、振動暴露による影響がどの程度なのか評価するために、周波数補正加速度実効値を用いて、各工具の手腕振動暴露の評価をすることができる事前リスク評価支援システムを構築することにした。これは、事前リスク評価支援システムを用いることによって、手持動力工具の利用者が、振動障害発症の危険性を認識することができるようにするというものである。また、作業現場では複数の手持動力工具を使用する場合がある。このため、組み合わせ作業についても考慮した。そのために、まず、ISO 5349-1で考えられてきている方法から検討できるプログラムの作成に関して検討を加え、そして、複数工具を用いて作業を実施した場合がリスクを最小に押さえることが可能であるかどうかをBranch and bound法を用いて検討も実施した。

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（表 2 参照）；

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/s²)。

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。

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

ここで、

a_{hv} は周波数補正加速度実効値の振動合成値 (m/s²) ;

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/s²)。

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/s²) ;

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/s² と 10 m/s²、使用時間が 120min と 30min であるとする :

$$A(8)$$

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

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/s² 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/s² とする。⁴⁾

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。

暴露量の評価

$A(8) > 5 \text{ m/s}^2$	
$2.5 \text{ m/s}^2 < A(8) < 5 \text{ m/s}^2$	注意する必要がある
$A(8) < 2.5 \text{ m/s}^2$	問題ない

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。また、工具振動の大きさと工具使用時間とからその作業のリスク評価の方法を、事前に評価するために図 1 のようなノモグラムの採用を考えた。この図の使用方法は、図 1 (a) に周波数補正振動加速度実効値をプロットし、ばく露時間を図 1 (c) にプロットし、その点を結ぶことにより図 1 (b) に A(8) を読みとることが出来

る。作業が1つの場合は、その様にして求められた A(8)と全身振動あるいは手腕振動の許容基準値、すなわち、1日8時間等価振動加速度値と比較することにより、その作業が許容されるか否かを判定することが出来る。また、作業がいくつもある場合は、図1の下にある表を利用して、この作業別の A(8)を求め、計算することにより最終的な A(8)を求めることによりその作業が許容されるかどうかを判断することが可能になることを明らかにした。

次に、ISO5349(1986)および BS6842(1987)においては、振動障害を減少させる為には、長期にわたる振動曝露避ける事とされ、振動曝露の無い期間を含んだ作業スケジュールを立てるべきであるとしている。しかし、実際の作業において、どのような作業スケジュールを立てるかについては言及していない。また、ジョブショップ・スケジュールリングでは、総処理時間長さ、総処理費用、設備有休時間長さ等の最適解を求める方法が、ブランチ・アンド・バウンド法を用いて求められてきている。しかし、人が振動工具等を用いて作業を行う場合の振動の人体への影響はジョブショップ・スケジュールリングでは考慮されていない。そこで、本分担研究では、作業時間が等しく準備時間（あるいは、工具取り替え時間等）が異要素を考慮した場合の手腕振動作業後の TTS に対しても成立するかどうかについて実験室実験を行い、TTS の変化について検討し、手腕振動作業の最適スケジュールリング方法について検討した。本実験の振動曝露装置としては、実際の手持動力工具を用いた。スペクトル振動レベルは 107.9dB である。また、この研究では振動工具が1台、仕事が5個のジョブショップ問題とし、準備時

間行列は図2に示すものと想定した。これをブランチ・アンド・バウンド法によって解いた結果、5-3-8-3-1 という最適手順を導くことができる。総準備時間は20分である。この最適手順の開始場所を変えると図2に示す5種類の曝露様式を考える事が出来る。振動作業時間は全て5分間とした。実験方法は、各曝露様式に従って振動曝露を行い、振動曝露前後での指先振動感覚閾値の測定には、リオン社製指先振動感覚閾値測定装置を用いた。指先振動感覚閾値測定周波数は 125Hz とし、上昇法で、右手第2指末節掌側の指先振動感覚閾値を各3回測定し、その平均値を各々の指先振動感覚閾値とした、そして、TTS は、振動曝露後の指先振動感覚閾値から振動曝露前の指先振動感覚閾値を引いた値とした。各曝露様式での実験結果の TTS の実測値と予測値を表1に示す。今回の曝露様式での準備時間は全て同じで、かつ、振動曝露のエネルギーも同じであるにもかかわらず、各曝露様式後の TTS の値に差がでることがわかる。従って、総準備時間が同じであっても、最適解の開始位置を変更することによって振動の人体への影響が異なる事が明らかになった。今回の実験結果から、作業時間が等しく準備時間が異なるジョブショップ・スケジュールリングの場合、得られた最適解の結果から、準備時間が長い仕事を最後にする事で、低い TTS が得られることが明らかになった。

D. 考察

このように、ノモグラムや ISO の式により作業別の周波数補正振動加速度実効値やばく露時間の推定や測定を明確に行うことが出来る場合は、このような方法で、振

動作業管理や製作した工具や機器が許容基準を満足しているかどうかのリスクを事前に確認することは可能になることを示すこと、および、そのようなリスク評価を行った後の作業方法の中から生理的な影響を最小にするような作業方法も示すことが今回の分担研究で明らかにすることが出来た。

しかし、今回の分担作業で検討した内容は、あくまでも実現場作業を想定した方法による評価システムであるので、実作業現場で作業をしている作業員に対して、時々刻々、現在の作業状況に基づいた許容基準を満足した作業を行っているかどうかの情報をフィードバックすることは不可能である。将来的には、現場で働く作業員を職業性振動ばく露による障害から守るためには、前田等により提案されてきている作業員別の手腕振動の個人レベルでの振動ばく露量が把握でき、作業員に時々刻々、振動のリスクを知らせることが出来る Work Computer の実用化が望まれる。

E. 結論

本分担研究では、ISO 5349-1 で考えられてきている方法から検討できるノモグラムの作成に関して検討を加え、そして、複数工具を用いて作業を実施した場合がリスク評価方法に関して Branch and bound 法を用いて検討も実施した。その結果、次のことを明らかにすることができた。

3) ノモグラムやISOの式により作業別の周波数補正振動加速度実効値やばく露時間の推定や測定を明確に行うことが出来る場合は、このような方法で、振動作業管理や製作した工具や機器が許容基準を満足しているかどうかのリスクを事前に確認すること

は可能になることを示すことが出来た。

4) 総準備時間が同じであっても、最適解の開始位置を変更することによって振動の人体への影響が異なる事が明らかになった。今回の実験結果から、作業時間が等しく準備時間が異なるジョブショップ・スケジューリングの場合、得られた最適解の結果から、準備時間が長い仕事を最後にする事で、低いTTSが得られることが明らかになった。

G. 研究発表

1. 論文発表 なし
2. 学会発表

Maeda, Setsuo., Keller, Tony. (2006) Multi-Axis Hand-Arm Vibration Testing&Simulation at the National Institute of Industrial Health, Kawasaki, Japan. First American Conference on Human Vibration Morgantown, West Virginia, U.S.A., pp 99-100.

Hosoya, Naoki. , Maeda, Setsuo. (2006) Establishment of an Experimental System For Measuring Biodynamic Response of Hand-Arm. First American Conference on Human Vibration Morgantown, West Virginia, U.S.A., pp 136-137.

Sakakibara, Hisataka., Maeda, Setsuo. (2006) Measurement of head vibration during operating pneumatic tools in quarry work. 14th Japan Conference on Human Response to Vibration T.M.U., Hachioji, Tokyo, pp 38-41.

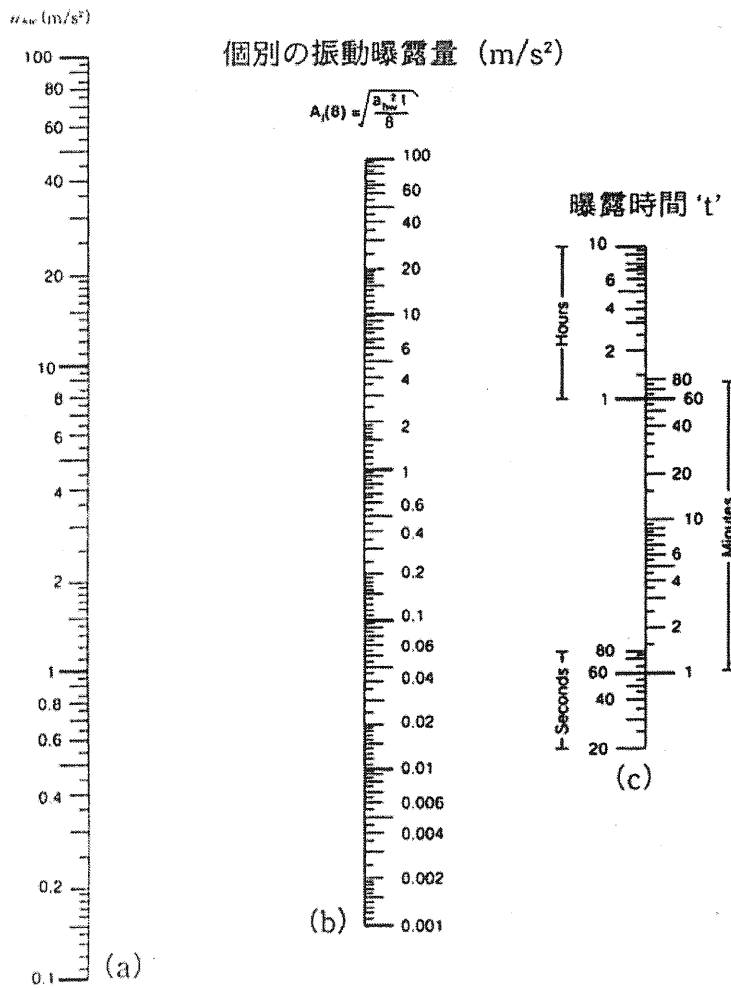
Shibata, Nobuyuki., Maeda, Setsuo. (2006)
Effects of environmental condition on
biodynamic response in hand-arm system
-Finite element modeling-. 14th Japan
Conference on Human Response to Vibration
T.M.U., Hachioji, Tokyo, pp 84-93.

Maeda, Setuo., Ozaki, Masakazu. (2006)
Comparison of human vibration measurement by
a laser doppler vibrometer and an
accelerometer. 14th Japan Conference on
Human Response to Vibration T.M.U., Hachioji,

Tokyo, pp 124-131.

前田節雄:手持動力工具振動値のラベリング
方法について、日本産業衛生学会東海地方
会、第20回振動障害研究会資料、pp. 1-35、
平成19年2月24日。

H. 知的財産権の出願・登録状況
なし。

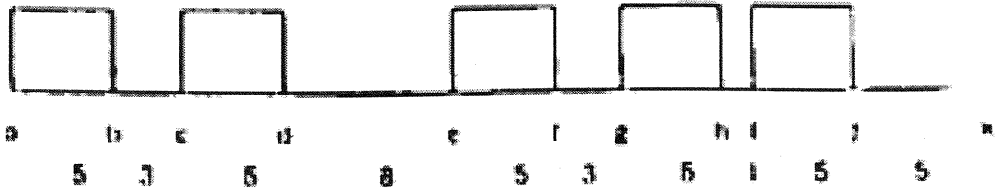


	個別の作業番号						$\sum A_i(8)^2$	$A(8) = \sqrt{\sum A_i(8)^2}$
	1	2	3	4	5	6		
$A_i(8)$								
$A_i(8)^2$								

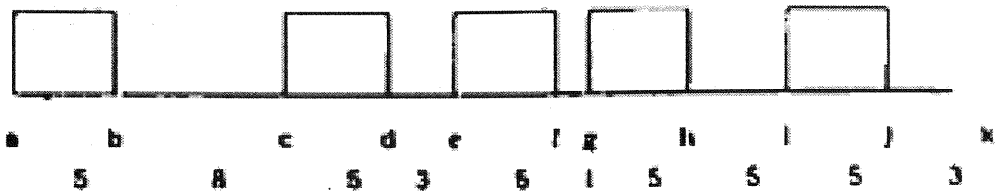
- 1) 個別の作業の振動曝露の周波数補正振動加速度実効値と振動曝露時間を (a) と (c) のグラフに印をつけ、その両者を線で結び、個々の振動曝露 $A_i(8)$ をグラフ (b) から読み取り、上記の表に記入する。個々の作業がいくつもある場合は、同様の操作を繰り返し、 $A_i(8)$ を求め、上記の表に書き込む。
- 2) 個々の振動作業で求められた $A_i(8)$ の2乗の計算をし、全ての作業別の値の合計を求め、上記の表に記述する。
- 3) ②で求めた値の平方根を求め、表に記述する。この値が、1日の振動曝露許容値になる。

図1 A(8)を求めるためのノモグラム

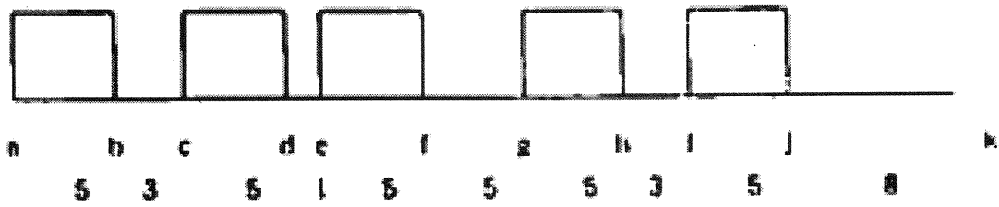
実験 1 - 1



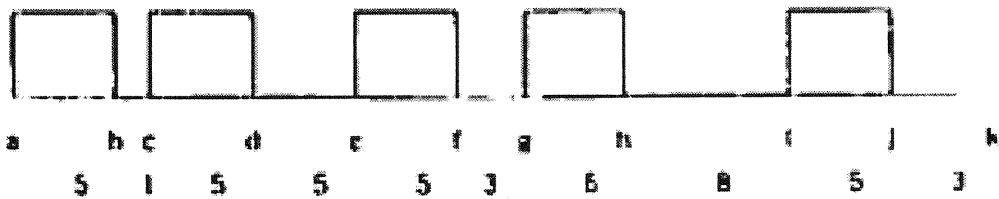
実験 1 - 2



実験 1 - 3



実験 1 - 4



実験 1 - 5

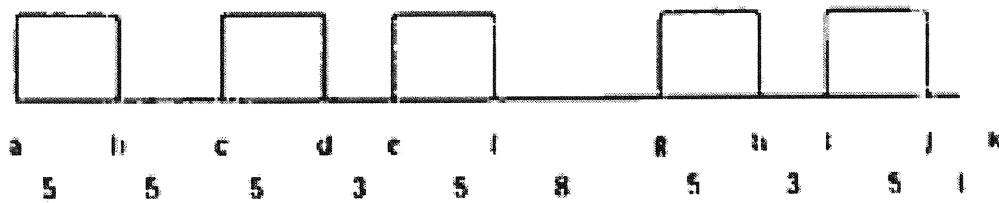


図 2 振動暴露様式

表1 暴露様式別のTTSの予測値と実測値の比較

暴露様式	TTS予測値	TTS実測値
1	3.75	3.97
2	5.99	5.34
3	0.89	0.91
4	5.88	5.83
5	11.98	11.00