

表3 PDA用のソフトウェア開発環境

PDA	Windows Mobile 5.0が動作するPDA
開発用PC	ディスク
開発用ソフトウェア	(1) ActiveSync 4.0以上 http://www.microsoft.com/downloads/details.aspx?FamilyID=6b6ae681-5bf9-48af-b6f9-f38270741f6a&displaylang=ja
	(2) Visual Studio 2005 Standard Edition以上
	(3) Windows Mobile 5.0 for PocketPC SDK http://www.microsoft.com/downloads/details.aspx?familyid=83A52AF2-F524-4EC5-9155-717CBE5D25ED&displaylang=en
	(4) Localized Windows Mobile 5.0 PocketPC Emulator Image (日本語用) http://www.microsoft.com/downloads/details.aspx?familyid=eec33ae3-c129-4c25-abaa-18e8e842178f&displaylang=en
	.NET Compact Framework 2.0
実行用ソフトウェア (PDA用)	http://www.microsoft.com/downloads/details.aspx?FamilyID=9655156b-356b-4a2c-857c-e62f50ae9a55&DisplayLang=ja
実行用ソフトウェア (PC用)	.NET Framework 3.0
	http://www.microsoft.com/downloads/details.aspx?FamilyId=10CC340B-F857-4A14-83F5-25634C3BF043&displaylang=ja

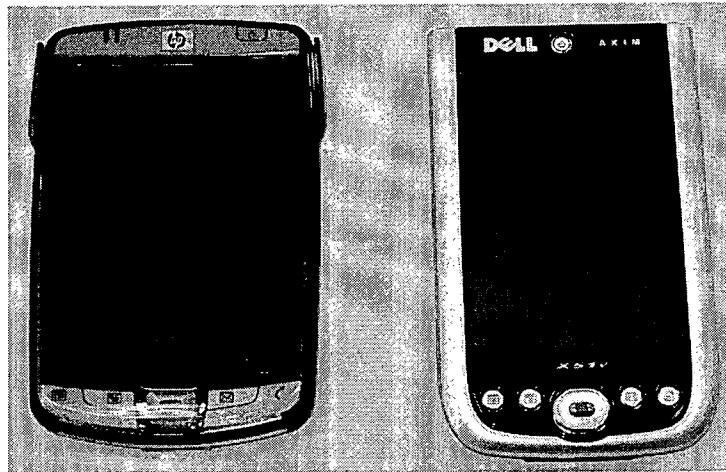
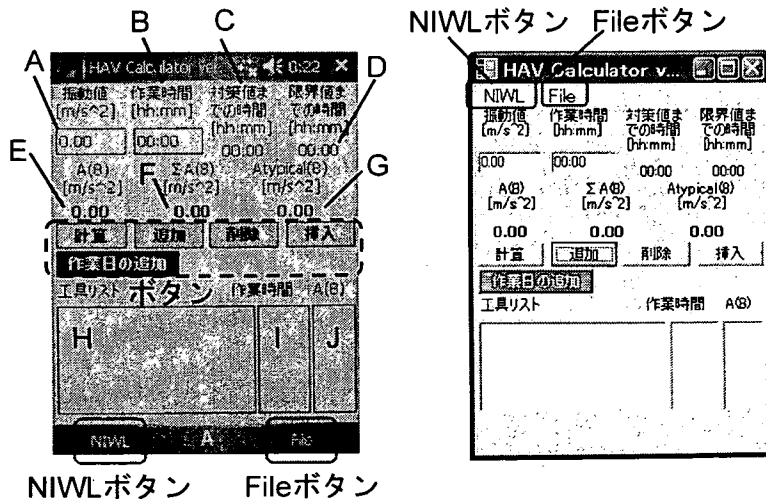


図18 カリキュレータを動作させるPDA (左: iPAQ hx2790b (HP)、右: Axim X51v (DELL))



(a) PDA用のカリキュレータの画面 (b) PC用のカリキュレータの画面

図19 試作したカリキュレータ



図 20 ISO 8662 に準拠してランク分けした NIWL データベースの選択

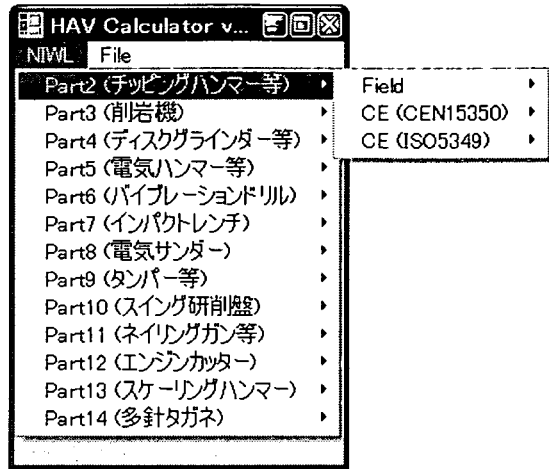


図 21 試験規則値と現場測定値の選択

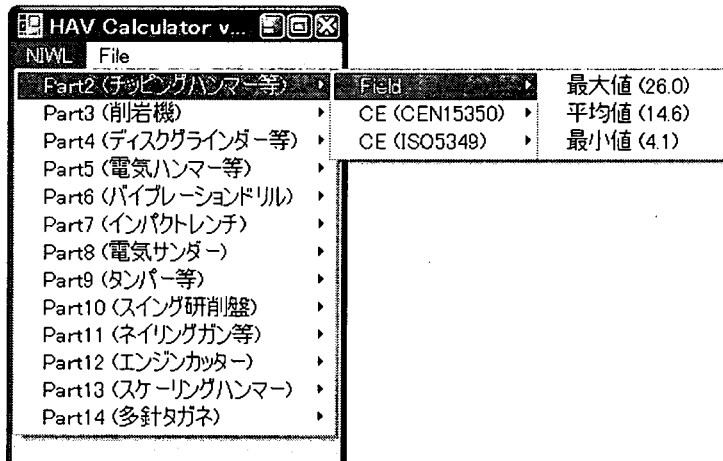


図 22 最大値、平均値、最小値の選択

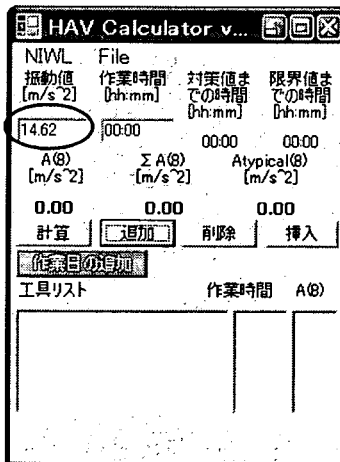


図 23 振動値の入力

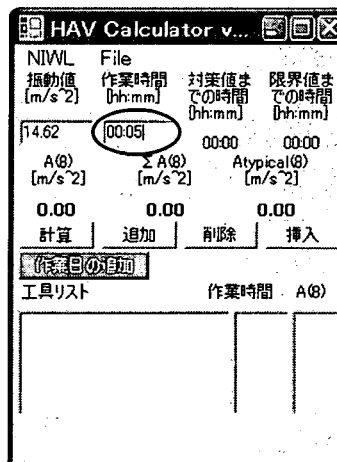


図 24 作業時間の入力

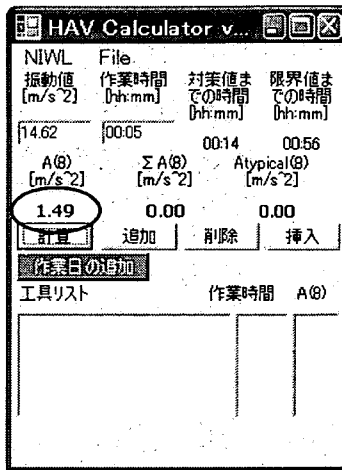


図 25 工具の振動値 14.62m/s² (Part 2, Field, 平均値)、作業時間 5 分の計算

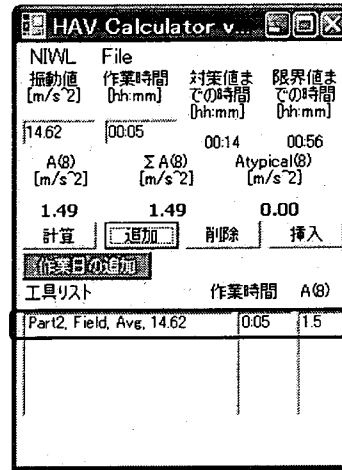


図 26 計算した A(8) のリストへの追加

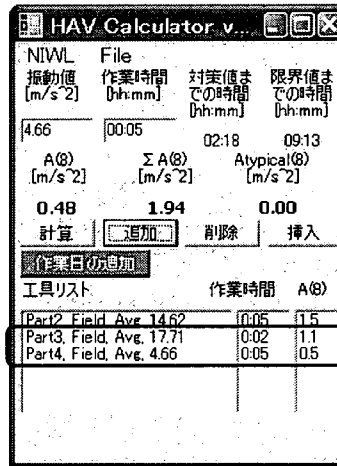


図 27 工具の振動値 17.71m/s² (Part 3, Field, 平均値)、作業時間 2 分と工具の振動値 4.66m/s² (Part 4, Field, 平均値)、作業時間 5 分の追加

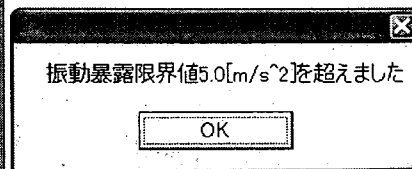


図 28 工具の振動値 10.03m/s² (Part 6, Field, 平均値)、作業時間 3 時間 30 分の振動暴露量の計算結果とユーザーへの警告

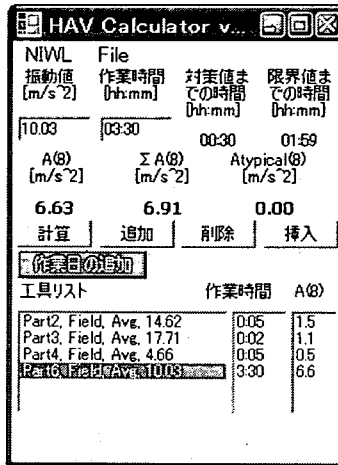


図 29 削除する計算結果の選択

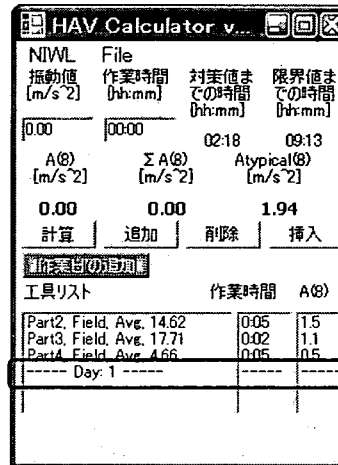


図 30 作業日の追加

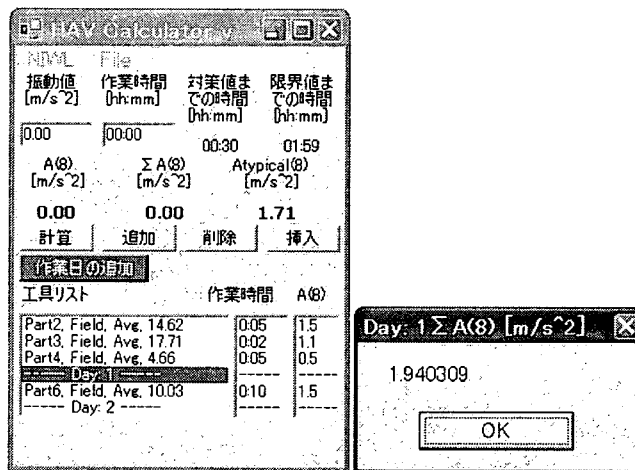


図 31 作業日 1 日目のΣA(8)の表示

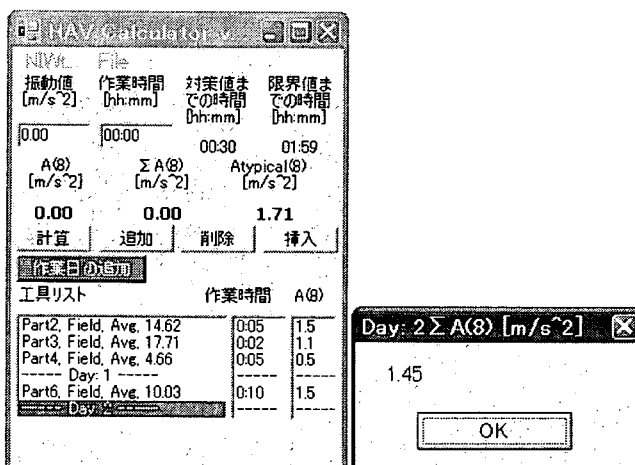


図 32 作業日 2 日目のΣA(8)の表示

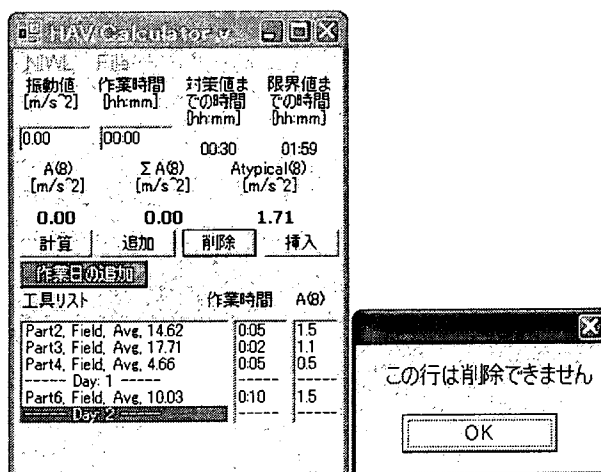


図 33 ユーザーによる誤動作の排除 1

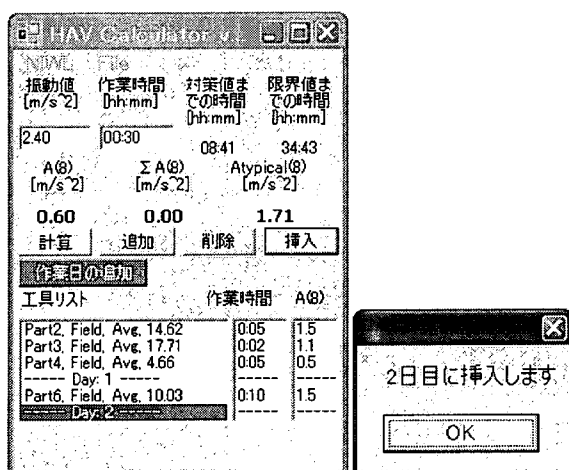


図 34 工具の振動値 2.4m/s² (Part 8, Field, 平均値)、作業時間 30 分の作業日 2 日目への追加

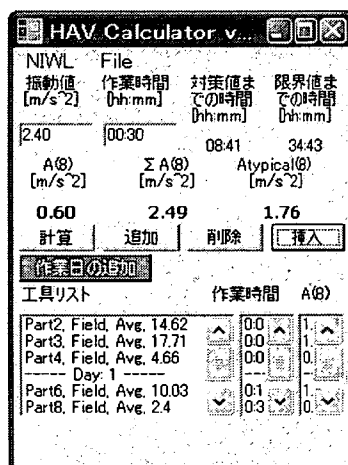


図 35 作業日 2 日目への追加

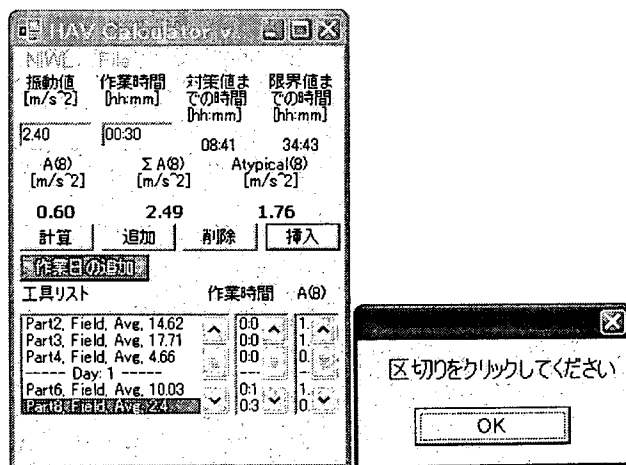


図 36 ユーザーによる誤動作の排除 2

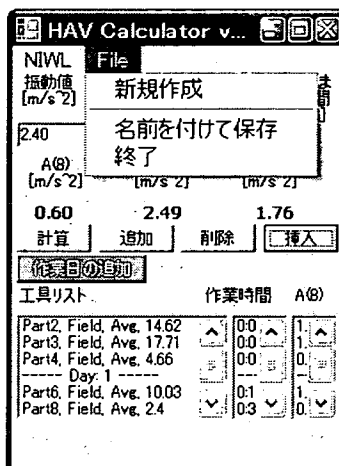


図 37 File メニュー

```

工具(種類, 測定, 分類), 振動値[m/s^2], 作業時間[hh:mm], A(8)[m/s^2]
Part2, Field, Avg, 14.62, 0:05, 1.492148
Part3, Field, Avg, 17.71, 0:02, 1.143176
Part4, Field, Avg, 4.66, 0:05, 0.4756092
---- Day: 1 ----
Part6, Field, Avg, 10.03, 0:10, 1.447706
Part8, Field, Avg, 2.4, 0:30, 0.6
---- Day: 2 ----
----
作業日, 各作業日の振動暴露量[m/s^2]
1, 1.938958
2, 1.567116
----
Σ A(8) [m/s^2], Atypical(8)[m/s^2]
2.493073, 1.762869

```

図 38 保存された計算結果 (テキスト形式)

分担研究者 神原久孝 名古屋大学医学部保健学科教授

研究要旨：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。わが国の第10次労働災害防止計画では、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。そこで、振動暴露対策として、EU 振動指令の振動暴露対策値の $A(8)=2.5\text{m/s}^2\text{ rms}$ および振動暴露限界値の $A(8)=5.0\text{m/s}^2\text{ rms}$ を導入した場合のレイノー現象有症率について予測を行った。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%に抑えられと予測された。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ると予測された。こうしたことを考慮して、EU 振動指令の振動暴露対策値の $A(8)=2.5\text{m/s}^2\text{ rms}$ を振動暴露管理の目標とし、 $A(8)=5.0\text{m/s}^2\text{ rms}$ を振動暴露限界値として考えるのは実際的対応であると考えられた。

A. 研究目的

削岩機やチェンソーなどの振動工具を使用することで、手指レイノー現象の発症や手指の冷えなどの末梢循環障害や、手指のしびれ、知覚鈍磨、手指巧緻性の低下などの末梢神経障害、さらに肘関節痛や関節可動域低下などの骨関節障害などの振動障害が発症することはよく知られている。なかでも手指レイノー現象は、振動障害の特徴的症状の一つであり、わが国では「白ろう病」と呼ばれたり、欧米諸国でも「dead finger」などとも呼ばれたりした。

振動障害の発症予防の基本は、作業者の振動ばく露量を減らすことである。そのためEU諸国では、2005年7月に振動暴露労働者の安全衛生の最低必要条件として、

職場での振動暴露を管理・規制する基本方針を総合的に定めたEU振動指令(Physical Agent Directives-Vibration 2002/44/EC)を発効させた。そして、1日8時間等価振動加速度 $A(8)$ で、 $2.5\text{m/s}^2\text{ rms}$ を振動暴露対策値(exposure action value)、 $5.0\text{m/s}^2\text{ rms}$ を振動暴露限界値(exposure limit value)として、すべての加盟国で振動工具使用者の振動暴露管理をとまなう予防策を導入している。労働者の振動暴露状況を測定・評価し、 2.5m/s^2 の振動暴露対策値を超える場合には、振動暴露低減対策の導入、労働者へのリスク情報の提供、健康診断などの対策が求められ、特に 5.0m/s^2 の暴露限界値は超えてはならず、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。EU 振動指令に

よる振動暴露管理の考え方は世界的に影響を与えつつあり、振動暴露対策値の $2.5\text{m/s}^2\text{ rms}$ 、振動暴露限界値の $5.0\text{ m/s}^2\text{ rms}$ の値は、米国においても ANCI S3.34 (2.70-2006) Guide for the measurement and evaluation of human exposure to vibration-transmitted to the hand として米国の手腕振動測定評価規格の骨子に採用された。

わが国でもこうした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。

B. 日本産業衛生学会の手腕振動の許容基準について

日本産業衛生学会では、手腕振動暴露に対する許容基準 $A(8)=2.8\text{m/s}^2$ を、職業的な手腕振動暴露を10年間続けた場合に、

振動暴露に起因しないレイノー現象（非振動性レイノー現象）の有症率を超えないことが期待できる基準として、以下のような根拠によって定めている。許容基準の設定にはISO5349に基づく日振動暴露量（周波数補正振動加速度実効値による8時間エネルギー等価3軸合成値 $A(8)$ ）が用いられている。これまでの報告の振動値は、3軸中の最大1軸の周波数補正振動加速度実効値であり、1.4を乗じることで3軸合成値に換算してある。

1) 我が国の20歳以上の日本人一般集団におけるレイノー現象有症率

表1と表2は、振動暴露を受けていない日本人一般集団における非振動性レイノー現象の有症率についての主な報告をまとめたものである。これらの報告から、非振動性レイノー現象の有症率は、男性で1～3%、女性で1～4%程度と推測された。これらのデータを総合すると、男性では1.9%（95%信頼区間:1.4-2.3%）、女性では2.4%（1.9-2.9%）となる。これらの報告から、振動工具を使用していない日本人一般集団のレイノー現象の有症率は、最大でも男性で3%、女性で4%と考えられた。

2) 低振動暴露集団におけるレイノー現象有症率

表3は、どの程度の振動暴露であれば、振動に暴露されていない一般集団と同程度のレイノー現象有症率に収まるかを検討するための、日本における低振動暴露集団でのレイノー現象有症率の主な報告

である。女性における振動工具使用者の報告は不十分であり、これらの報告はいずれも男性作業者のものである。これらの表を見ると、1日4時間使用で約 3m/s^2 （1軸測定）以下であれば、レイノー現象有症率が日本人男性の最大3%と考えられる非振動性レイノー現象を下回ることがうかがえた。

3) レイノー現象有症率と振動暴露年数、振動強度との関連

図1は、日本における振動暴露集団（男性）のレイノー現象の有症率について、振動強度と暴露年数の関連を示している。暴露年数が増えるほど、またばく振動強度が高いほど、レイノー現象の有症率は高い傾向がみられる。レイノー現象有症率と振動強度、暴露年数との関連について、これらの報告のデータから計算して、以下の数式が導き出された。

$$\text{normsin}(p) = 0.170(\text{years})^{**0.389}(\text{vibration})^{**0.580} - 2.576 \quad (1)$$

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）

4) 手腕振動許容基準の算定

図1から求められた数式(1)から、振動暴露年数が10年間でレイノー現象有症率が、日本人非振動性レイノー現象有症率の最大3%を超えない振動レベルが求められた。

振動暴露年数 = 10年、
振動強度 = $2.0 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ の場合

$$0.170(10)^{**0.389}(2.0)^{**0.580} - 2.576 = -1.954 = \text{normsin}(p) \quad p = \underline{2.6\%}$$

振動強度の $2.0 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ は1軸測定であるため、3軸合成値に変換する必要があるため、そのための係数には1.4 (ISO5349-1) を使用してある。そして、3軸合成値として、以下のように計算された。

$$2.0 \times 1.4 = \underline{2.8 \text{ (m/s}^2\text{)}}$$

これらの検討を経て、周波数補正振動加速度実効値による8時間エネルギー等価3軸合成値(A(8))としての許容基準値 $2.8 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ が提案された。

C. EU 振動指令の振動暴露対策値の $2.5 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ 、振動暴露限界値の $5.0 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ の場合のVWF有症率の発症予測

1) 振動暴露対策値の $2.5 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ の場合
数式(1)に、振動暴露年数 = 10年、振動強度 = 1.79 m/s^2 (= $2.5 \div 1.4$) を挿入すると、以下のように計算される。

$$0.171(10)^{**0.389}(1.79)^{**0.580} - 2.576 = -1.992 = \text{normsin}(p) \quad p = \underline{2.3\%}$$

したがって、A(8) = 2.5 m/s^2 を10年間、振動暴露されると、2.3%のレイノー現象有症率の発症が予測される。この2.3%は、日本人男性の調査報告をまとめて求められたレイノー現象有症率の推測値（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る。

A(8) = 2.5 m/s^2 の振動暴露で、許容基準の 2.8 m/s^2 で10年間使用でのレイノー現象の予測値2.6%に達するのには、以下

の式から years=11.8 年となる

$$0.170(\text{years})^{**0.389(1.79)^{**0.580-2.576}=-1.954$$

2) 振動暴露限界値の $5.0 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ の場合
同様に数式(1)に、振動暴露年数 = 10 年、振動強度 = $3.57 \text{ m/s}^2 (=5.0 \div 1.4)$ を挿入すると、以下のように計算される。

$$0.171(10)^{**0.389(3.57)^{**0.580-2.576} = -1.705 = \text{normsin}(p) \quad p=4.4\%$$

したがって、 $A(8)=5.0 \text{ m/s}^2$ を 10 年間、振動暴露されると、4.4%のレイノー現象有症率の発症が予測される。 $A(8)=5.0 \text{ m/s}^2$ で 10 年間の振動暴露では、日本人男性での非振動性レイノー現象有症率の最大値 3%を若干ではあるが超える危険性がある。

$A(8)=5.0 \text{ m/s}^2$ の振動暴露で、許容基準の 2.8 m/s^2 で 10 年間使用でのレイノー現象の予測値 2.6%に達するのには、以下の式から years=4.2 年となる

$$0.170(\text{years})^{**0.389(3.57)^{**0.580-2.576}=-1.954$$

D. 考察

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。

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。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。

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

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

論文発表 なし
学会発表 なし

G. 知的所有権の取得状況

なし

表1. 日本における一般集団での非振動性レイノー現象の有症率

	対象者数		年齢範囲		レイノー現象有症率	
	男性	女性	男性	女性	男性	女性
Harada et al. (1991)	1875	1998	20-69	20-69	1.4%	1.9%
Inaba et al. (1989)	149	262	20-89	20-89	1.3%	1.5%
Mirbod et al. (1994)	1027	1301	30-59	30-59	2.7%	3.4%

全調査からのレイノー現象有症率は、男性 1.9% (95%信頼区間 ; 1.4-2.3%)、女性 2.4% (1.9-2.9%)

表2. 日本における一般集団での性・年齢別非振動性レイノー現象有症率

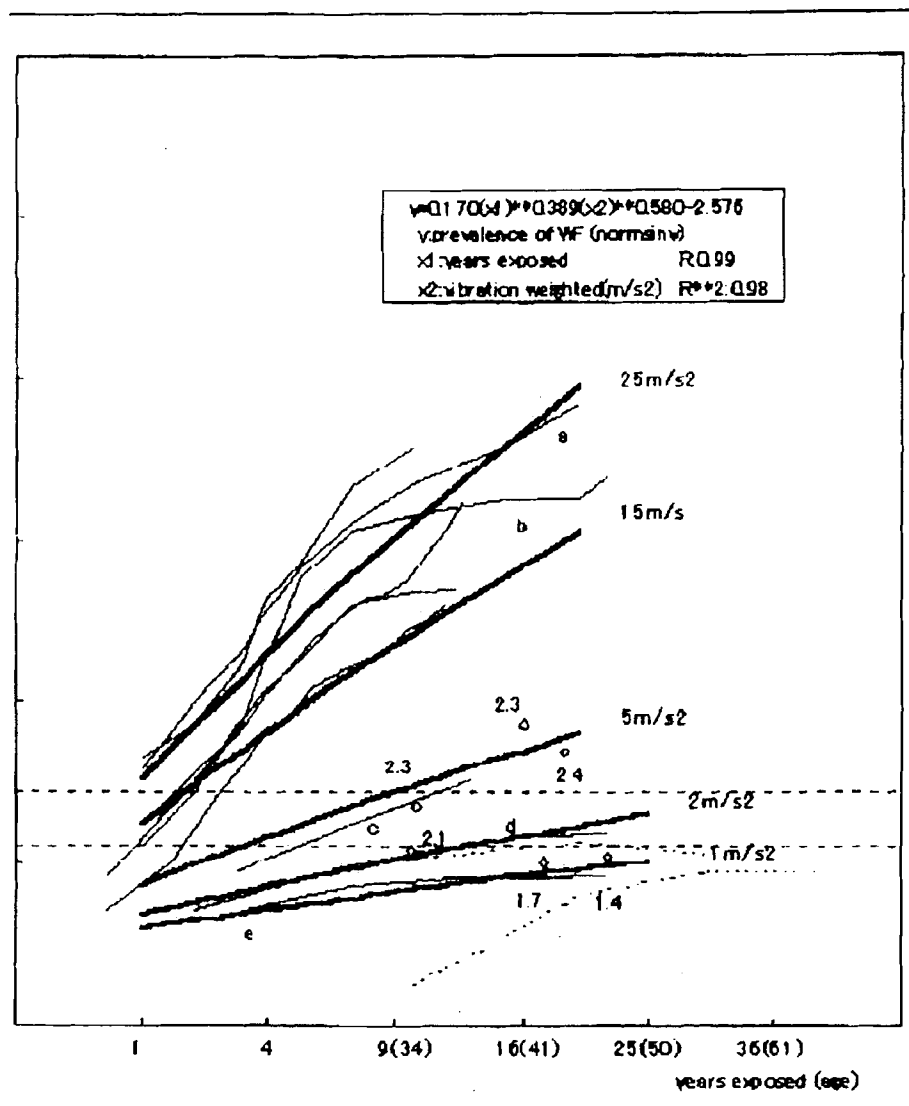
(Harada et al. 1991, Mirbod et al. 1994)

年齢	レイノー現象有症率 (95%信頼区間)	
	男性	女性
30-39	1.1% (0.3-1.9%)	3.1% (1.5-4.6%)
40-49	2.3% (1.2-3.3%)	3.0% (1.8-4.2%)
50-59	2.3% (1.3-3.4%)	2.3% (1.5-3.2%)

表3. 日本における低振動暴露群でのレイノー現象有症率

	工具 機械	振動加速度 (1軸)	暴露平均 時間/日	年	レイノー 現象
Mirbod et al. 1994	digging ^{a)}	1.6-2.1 m/s ²	5	22	2.5%
Mirbod et al. 1994	aircraft ^{b)}	2.3-2.5 m/s ²	4	17	2.3
Mirbod et al. 1994	chain-saw	2.7-5.1 m/s ²	3	19	9.8
Tominaga, 1995	motor-cycle	1-2 m/s ^{2 c)}	4 ^{c)}	12	1.8
Tominaga, 1995	motor-cycle	2-3 m/s ^{2 c)}	4 ^{c)}	12	3.0
Matsumoto et al. 1981	motor-cycle	1.6 m/s ²	2.5	9.7	2.7
Futatsuka et al. 1984	various	3.2 m/s ^{2 c)}	4 ^{c)}	10	5.0
Futatsuka et al. 1984	various	3.2 m/s ^{2 c)}	4 ^{c)}	16	12.8

a);job b);factory c);equivalent value for 4hrs c);estimated value theoretically



Harada et al. 2000

図1. 手腕振動暴露強度および年数とレイノー現象有症率との関連性

分担研究者 柴田延幸 独立行政法人労働安全衛生総合研究所主任研究員

研究要旨：防振手袋の振動軽減効果の測定および評価方法について規定した国内規格である新 JIS T8114 が旧規格に替わって施行され、同様の規定をしている国際規格 ISO10819 に整合化されることとなった。本研究では、新 JIS 適合防振手袋開発のためのプロトタイプ防振手袋の性能評価を新 JIS 施行前後において国内防振手袋メーカーと協力して行った。その結果、新 JIS 施行直前に行ったプロトタイプ防振手袋の性能評価試験では、すべての試験手袋が新 JIS T8114 に定める合格基準を満足することができなかった。これに対して、新 JIS 施行後に行ったプロトタイプ防振手袋の性能評価試験では、8 双の試験手袋のうち 6 双の試験手袋が新 JIS T8114 に定める合格基準を満足することができた。今後、国内メーカー各社の新 JIS 適合防振手袋の国内流通が本格化し、振動作業従事者が防振性能のきわめてすぐれた新 JIS 適合防振手袋を手にすることが可能になる。

A. 研究目的

手や腕から伝わる振動は手腕振動と呼ばれ、通常、作業者が手持ち動力工具等の操作する際にばく露する。手腕振動のばく露は、白ろう病に代表される末梢循環機能・神経・運動器障害の原因のひとつとして知られており、その予防は労働衛生における重要な研究テーマのひとつである。通常、手腕振動ばく露量の軽減方法として、低振動性工具の使用、振動ばく露作業時間の制限および防振手袋の使用を総合的に考えるが、作業者および事業者双方にとって最も簡易かつ業務効率に影響しにくい対策方法が防振手袋の使用である。

2007 年 5 月に防振手袋の振動軽減効果の測定および評価方法について規定した国内規格である新 JIS T8114 が旧規格に替わって施行され、同様の規定をしている国際規格 ISO10819 に整合化されることとなった。新 JIS T8114 は防振手袋の振動軽減効果の測定から評価方法にいたるまで旧 JIS T8114 と比較して大きく異なっており、国内防振手袋メーカー各社は現有製品の新 JIS T8114 適合の可否の把握および今後の防振手袋の開発方針の変更等、多くの課題への対応を迫られている。

このような観点から、わが国において国際規格 ISO10819 に準拠した防振手袋の振動軽減効果の測定が可能な装置を開発することはきわめて重要なことである。このたび、独立

行政法人労働安全衛生総合研究所において ISO10819 に準拠した測定が可能な実験装置が開発・設置された。本報告では、その実験装置の概要について説明するとともに、新 JIS 施行前後において国内防振手袋メーカーと協力して行った新 JIS 適合防振手袋開発のためのプロトタイプ防振手袋の性能評価の結果について報告する。

B. 研究方法

1. 装置の概要

図 1 に ISO10819 に準拠して開発された防振手袋の振動軽減効果測定装置のシステム構成図を示す。水平方向に単軸加振可能な加振機を鉛直方向に高さを変更可能な水平台の上に固定されており、加振軸の先にはハンドルが連結されており、測定時に被験者がこれを把持する。

図 2 に実験に使用されるハンドルの構造を示す。ハンドルは半円柱状の測定部キャップとベース部からなり、両者の間には加速度センサが一つ、力センサが 2 つそれぞれ対称的に設置されている。被験者がハンドルを握った際、手による把持力を 2 つの力センサによる二点支持の形で測定すると同時に、この把持力は被験者の前面に設置したモニタを介してその値を監視・制御することが可能である。加速度センサはハンドルを加振させた際のハ

ハンドルにおける振動加速度を測定するとともに、その値は逐次制御側に参照信号として送られる。

手のひら側における振動加速度は、アダプタに埋入された加速度センサを用いて測定される（図3を参照）。アダプタの形状および材質は同規格において規定されており、被験者がハンドルを握る際にハンドルおよび手のひらの双方の表面形状に適合するように設計されている。この規格にしたがって作成されたアダプタを被験者がハンドルと手のひらの間に挟むことにより（図4を参照）、手のひら側における振動加速度を測定することができる。同規格では、素手の場合と防振手袋を装着した場合の双方において手のひら側の振動加速度を測定することを規定している。素手の場合には、アダプタを正しい位置および向きに手のひらにあてがった後ハンドルを把持、防振手袋を装着した場合には、同様にアダプタを手のひらにあてがった後防振手袋を装着し、さらにハンドルを把持する。

2. 新旧 JIS の主な違い

国際規格 ISO10819 への整合化を目的として施行された新 JIS T8114 は、測定および評価方法において旧 JIS T8114 と大きく異なる。まず、測定方法における両者の主な違いを表1にまとめて示す。

測定方法における両者のもっとも大きな違いは、新 JIS T8114 では被験者（3人）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ことである。このときの加振方向は、ISO10819 に定める Z_h 方向である。これに対して旧 JIS 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。このときの加振方向は、ISO10819 に定める X_h 方向であり、加振方向が異なる。

また、新 JIS T8114 において振動軽減率の

測定に使用する振動波形は、2種類のブロードバンド振動波形（スペクトル M/H）である。これに対して、旧 JIS において使用される振動波形は、周波数が 63、125、および 250Hz の離散周波数による正弦振動または 1/3 オクターブバンドランダム振動としている。新 JIS T8114 で定義されているブロードバンド振動波形のパワースペクトル密度（PSD）を図5に示す。スペクトル M は 16Hz から 400Hz までの周波数帯域を有し、スペクトル H は 125Hz から 2000Hz までの周波数帯域を有する。実際に作業者が振動工具等を使用する際に発生する振動は、工具によって違いはあるものやはりブロードバンドのランダムスペクトルである。

3. 新 JIS T8114 の測定方法

新 JIS T8114 では、被験者を用いて防振手袋の振動軽減効果を測定する。このため、測定データに影響を及ぼすと考えられるさまざまな因子、すなわち被験者の手のサイズから測定中の被験者の姿勢および加振ハンドルの握り方に至るまでが細かく規定されている。

被験者の手のサイズは、保護用手袋に関する要求仕様および測定・評価方法を定めた欧州規格 EN420 において定めるサイズ 7 からサイズ 9 までの大きさの手を有する人を被験者として採用することとしている。

測定中の被験者の姿勢を図6に示す。被験者は、水平な台の上に直立姿勢をとり、右手で加振ハンドルを握る。その際、上腕部は胴体部に触れぬよう脇の下に若干の隙間を維持する。また、肘の角度を $90 \pm 10^\circ$ に保ち、肘から先をほぼ水平に保つようにする。手首は中立（曲げていない状態）を基本とし、最大 40° の屈曲を許容する。

ハンドルの握り方は、ハンドルを握る力（把持力）とハンドルを押す力を規定しており、

把持力は 30 ± 5 N、押す力は 50 ± 8 N の範囲に収まるように、装置に取り付けられたモニターにおいて被験者自ら確認・制御する。

4. 新 JIS T8114 の評価方法

新 JIS T8114 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、それぞれぞ式を満たした場合に新 JIS T8114 適合の防振手袋と判断することになる。

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

C. 研究結果

1. 第 1 期開発防振手袋の測定結果

新 JIS T8114 適合を目指して新規開発された第 1 期プロトタイプの防振手袋に対する新

JIS T8114 に基づいた防振性能の測定結果を防振材の種類別に表 2 および表 3 にまとめて示す。ちなみに防振材としてスポンジ状の軟質系高分子材料を使用し、手のひら側全体に同材料が縫合してあるものをタイプ A と称し、ゴム状の硬質系高分子材料を防振材として使用し、同材料を手のひら側に突起物としてコーティングしたものをタイプ B と称した。

タイプ A の防振手袋では、サンプル No.1 のみスペクトル M および H 両方において評価基準を満足した。それ以外のサンプルは、いずれもスペクトル H において平均振動伝達率が 0.85 以上の値を示し、評価基準を満足することができなかった。

タイプ B の防振手袋では、すべてのサンプルがスペクトル M のみ評価基準を満たした。スペクトル H に対しては、平均振動伝達率が 0.77~0.81 を示し新 JIS の評価基準を満たさなかったものの、タイプ A よりも優れた振動軽減性能を示した。

両タイプの防振手袋においてその使用性を被験者に検討してもらったところ、タイプ A の防振手袋に対して指先の細かな作業に対する使用性が問題として指摘された。

2. 第 1 期開発防振手袋の測定結果

表 4 および表 5 に新 JIS T8114 適合を目指して新規開発された第 2 期プロトタイプの防振手袋に対する新 JIS T8114 に基づいた防振性能の測定結果を示す。

スポンジ様の軟質系高分子材料を掌に縫合したタイプの防振手袋では、サンプル No. 13 のみスペクトル H において評価基準を満たさなかった (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、サンプル No. 10 および 11 では、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、サンプル No. 15 のみスペクトル H において評価基準を満たさなかった（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、サンプル No. 16 および 17 では、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。

D. 考察

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った。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[3]、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。これに対して、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。

プロトタイプの開発過程において、当初見受けられた新 JIS 評価基準の満足を第一義とする開発姿勢も、徐々に防振手袋ユーザが求める使用性や操作性を十分考慮したり、さらなる高防振性を追及したり、と大きな変化が見られ、新 JIS 適合防振手袋にも多様性が見受けられるようになった。複数の国内防振手袋メーカーが複数の新 JIS T8114 適合の防振手袋の開発に成功したことで、ユーザサイドから見れば選択の余地が広がる。したがって、ユーザは新 JIS 適合防振手袋の中からより使用性の良好なものを選ぶことも可能である。一方、メーカーサイドから見れば複数社からの新 JIS 適合防振手袋が供給可能になったことで、適合の可否だけでは自社製品を差別化することができなくなる。したがって、更なる高防振性能の手袋の開発や高度な使用性の追求、あるいはより廉価な供給を可能にすることにより対価格性能を向上させる等、何らかの特徴化を指向することにより自社製品の差別化を図る必要がある。

E. 結論

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ともない、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 においてともに同規格の評価基準を満足する防振手袋はなかった。

- ・ 新 JIS 施行前の国内流通防振手袋では、スペクトル H に対する評価基準を満足する防振手袋は皆無であった。
- ・ 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。

F. 研究発表

1. 論文発表

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.

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

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.

日本音響学会 建築音響・振動騒音研究会：
平成 20 年 3 月 11 日発表予定：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」

H. 知的財産権の出願・登録状況
なし

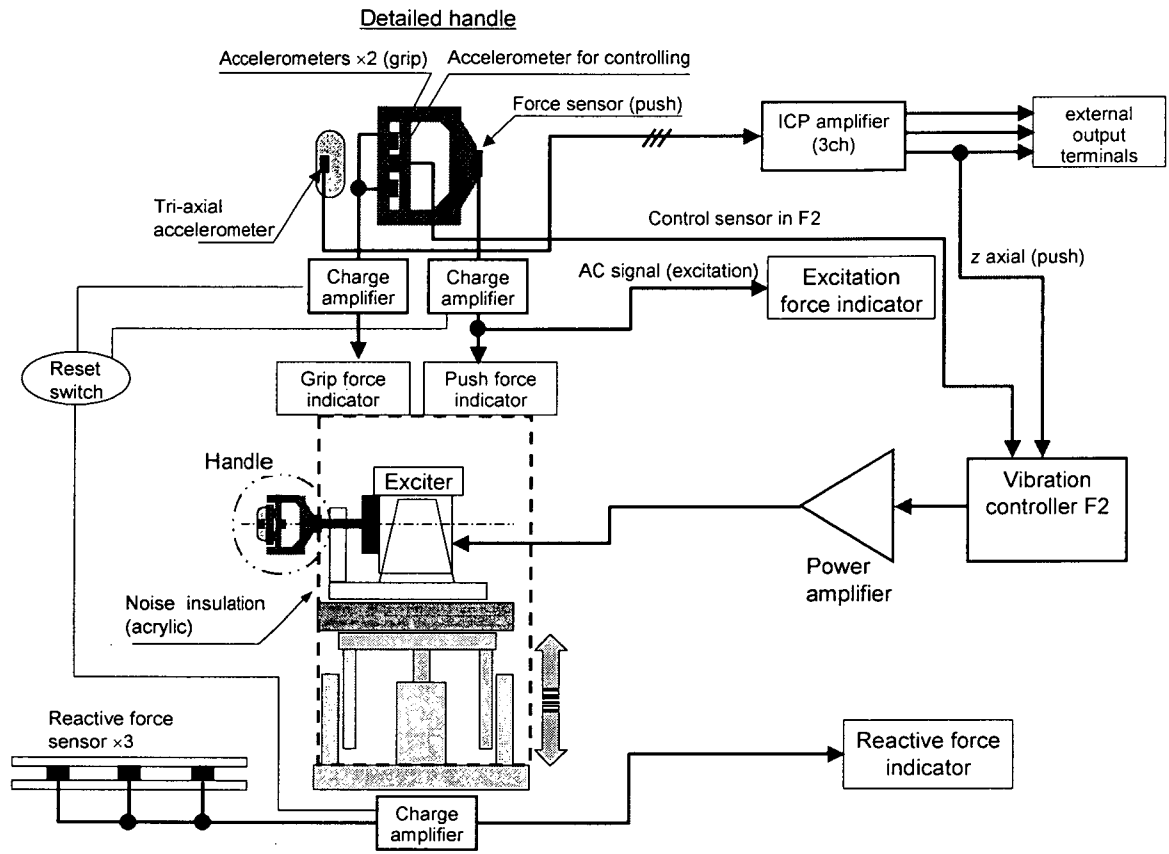


図1 ISO10819 準拠の防振手袋振動軽減効果測定装置のシステム構成図