

表5 基発11号の22種類の工具に基づいた分類

TOOL	ざく岩機				チップングハンマー			
	CE			Field	CE			Field
	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸
Number of Data	13			32	27			15
Total	45				42			
Maximum	15.00	25.50	30.00	37.00	27.00	45.90	54.00	26.00
Minimum	2.50	4.25	5.00	4.10	2.50	4.25	5.00	4.10
Average	9.84	16.73	19.68	17.71	10.79	18.34	21.58	14.62
STD	3.76	6.39	7.52	8.53	7.13	12.12	14.26	7.54
TOOL	スケーリングハンマー				リベッティングハンマー			
	CE			Field	CE			Field
	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸
Number of Data	9			5	9			
Total	14				9			
Maximum	11.00	18.70	22.00	12.00	9.70	16.49	14.55	
Minimum	2.50	4.25	5.00	1.40	2.50	4.25	3.75	
Average	7.09	12.05	14.18	5.24	4.39	7.46	6.58	
STD	3.97	6.75	7.94	4.53	2.70	4.58	4.05	
TOOL	多針タガネ				サンドランマー			
	CE			Field	CE			Field
	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸
Number of Data	3			1	4			
Total	4				4			
Maximum	5.00	8.50	10.00	20.00	45.00	76.50	67.50	
Minimum	4.70	7.99	9.40	20.00	13.00	22.10	19.50	
Average	4.90	8.33	9.80	20.00	29.25	49.73	43.88	
STD	0.17	0.29	0.35		14.43	24.53	21.65	
TOOL	エンジンカッター				タンバー			
	CE			Field	CE			Field
	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸
Number of Data	202			60				12
Total	262				12			
Maximum	17.00	28.90	30.00	20.00				19.00
Minimum	1.00	1.70	1.50	1.20				1.80
Average	3.93	6.68	6.16	7.91				8.27
STD	2.73	4.63	4.66	4.75				5.15
TOOL	棒状コンクリート振動機				電気ディスクグラインダー			
	CE			Field	CE			Field
	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸
Number of Data	4			4	167			70
Total	4				237			
Maximum				5.50	17.00	28.90	25.50	9.50
Minimum				0.30	0.30	0.51	0.45	0.50
Average				1.95	4.12	7.00	6.18	4.28
STD				2.41	1.92	3.27	2.89	2.13
TOOL	空気グラインダー				電気サンダー			
	CE			Field	CE			Field
	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸
Number of Data	214			211	50			2
Total	425				52			
Maximum	7.40	12.58	11.10	17.00	3.00	5.10	4.50	3.00
Minimum	0.20	0.34	0.30	0.70	0.60	1.02	0.90	1.80
Average	2.22	3.78	3.34	4.79	2.47	4.19	3.70	2.40
STD	1.28	2.18	1.93	3.06	0.43	0.73	0.64	0.85
TOOL	スイング研削盤				インパクトレンチ			
	CE			Field	CE			Field
	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸
Number of Data	44			7	465			65
Total	51				530			
Maximum	5.00	8.50	7.50	22.00	75.00	127.50	112.50	6.90
Minimum	1.90	3.23	2.85	2.80	0.30	0.51	0.45	0.80
Average	2.76	4.69	4.14	7.41	3.71	6.30	5.56	2.96
STD	0.52	0.88	0.77	6.59	5.12	8.70	7.68	1.50
TOOL	バイブレーションドリル				未分類			
	CE			Field				
	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸				
Number of Data	323			109	90			
Total	432							
Maximum	20.00	34.00	40.00	31.00				
Minimum	0.30	0.51	0.30	0.30				
STD	4.37	7.43	9.60	6.46				

表 6 ISO 8662 の 13 項目の工具に基づいた分類

TOOL	Part 2				Part 3			
	CE			Field	CE			Field
	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸
Number of Data	36			15	13			32
Total	51				45			
Maximum	27.00	45.90	54.00	26.00	15.00	25.50	30.00	37.00
Minimum	2.50	4.25	3.75	4.10	2.50	4.25	5.00	4.10
Average	9.19	15.62	17.83	14.62	9.84	16.73	19.68	17.71
STD	6.88	11.70	14.08	7.54	3.76	6.39	7.52	8.53
TOOL	Part 4				Part 6			
	CE			Field	CE			Field
	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸
Number of Data	381			281	323			95
Total	662				418			
Maximum	17.00	28.90	25.50	17.00	20.00	34.00	40.00	31.00
Minimum	0.20	0.34	0.30	0.50	0.30	0.51	0.30	0.30
Average	3.06	5.19	4.58	4.66	5.78	9.82	10.16	10.03
STD	1.85	3.15	2.78	2.87	4.37	7.43	9.60	6.46
TOOL	Part 7				Part 8			
	CE			Field	CE			Field
	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸
Number of Data	465			79	50			2
Total	544				52			
Maximum	75.00	127.50	112.50	6.90	3.00	5.10	4.50	3.00
Minimum	0.30	0.51	0.45	0.80	0.60	1.02	0.90	1.80
Average	3.71	6.30	5.56	2.96	2.47	4.19	3.70	2.40
STD	5.12	8.70	7.68	1.50	0.43	0.73	0.64	0.85
TOOL	Part 9				Part 10			
	CE			Field	CE			Field
	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸
Number of Data	4			12	44			7
Total	16				51			
Maximum	45.00	76.50	67.50	19.00	5.00	8.50	7.50	22.00
Minimum	13.00	22.10	19.50	1.80	1.90	3.23	2.85	2.80
Average	29.25	49.73	43.88	8.27	2.76	4.69	4.14	7.41
STD	14.43	24.53	21.65	5.15	0.52	0.88	0.77	6.59
TOOL	Part 12				Part 13			
	CE			Field	CE			Field
	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸
Number of Data	202			60	9			5
Total	262				14			
Maximum	17.00	28.90	30.00	20.00	11.00	18.70	22.00	12.00
Minimum	1.00	1.70	1.50	1.20	2.50	4.25	5.00	1.40
Average	3.93	6.68	6.16	7.91	7.09	12.05	14.18	5.24
STD	2.73	4.63	4.66	4.75	3.97	6.75	7.94	4.53
TOOL	Part 14				未分類			
	CE			Field				
	1軸	ISO5349-1	prCEN/TR15350	3軸				
Number of Data	3			1	94			
Total	4							
Maximum	5.00	8.50	10.00	20.00				
Minimum	4.70	7.99	9.40	20.00				
Average	4.90	8.33	9.80	20.00				
STD	0.17	0.29	0.35					

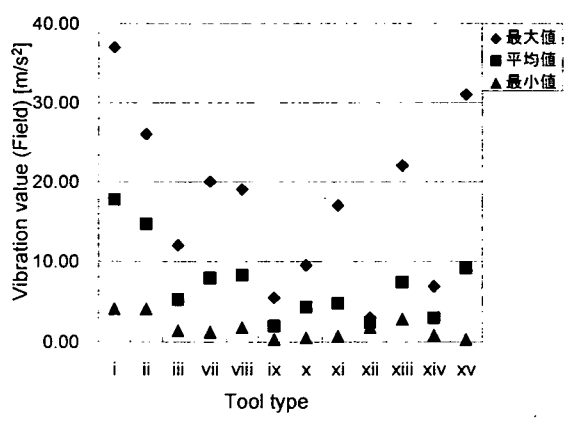


図6 実現場測定値のばらつき (基発 11 号)

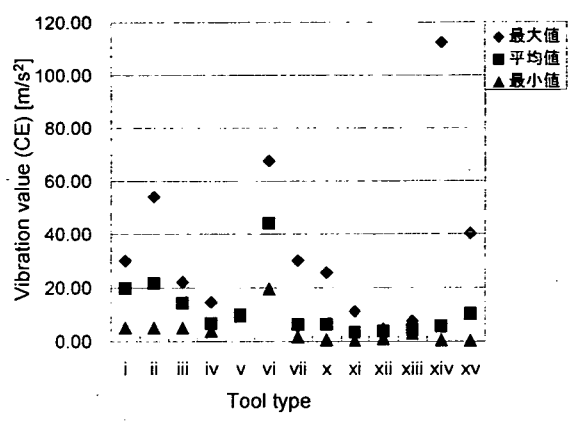


図7 試験規則値のばらつき (基発 11 号)

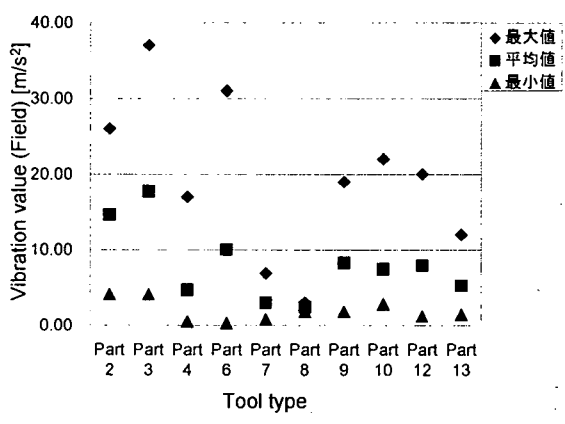


図8 実現場測定値のばらつき (ISO 8662)

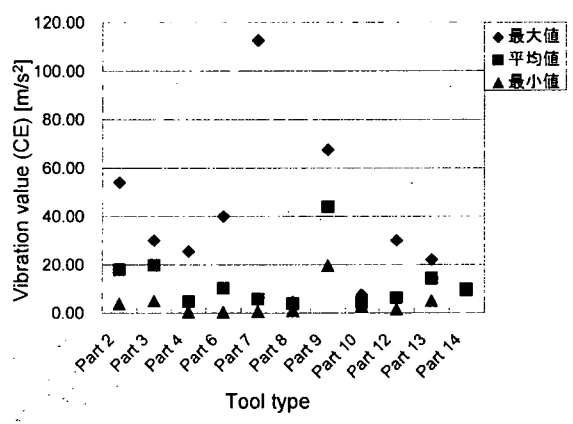


図9 試験規則値のばらつき (ISO 8662)

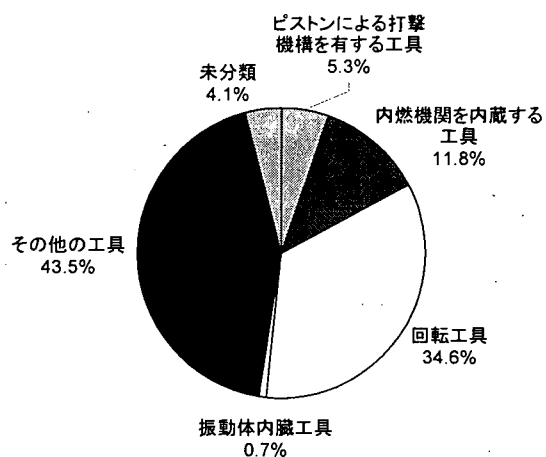


図10 NIWL データベースの工具の種類 (基発 11 号, 5 項目)

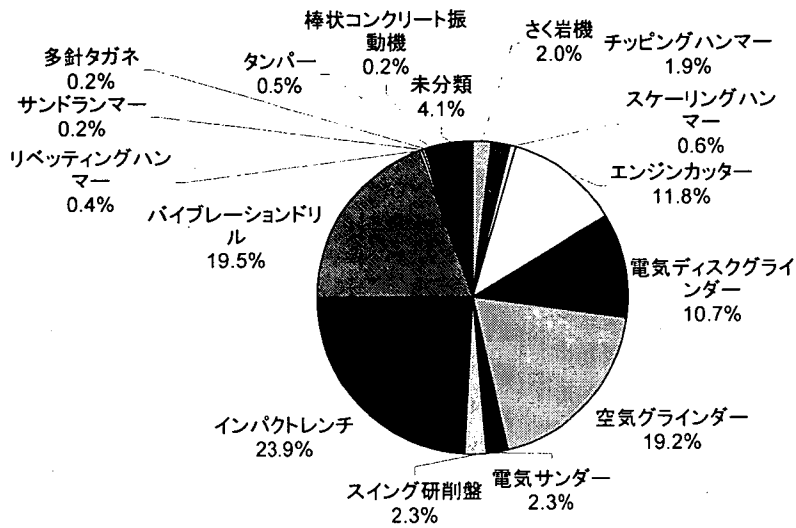


図 11 NIWL データベースの工具の種類 (基発 11 号, 22 種類)

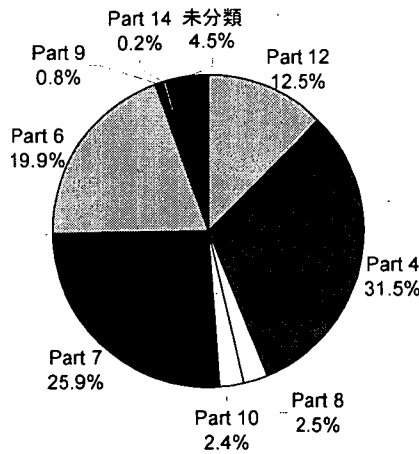


図 12 NIWL データベースの工具の種類 (ISO 8662, 13 項目)

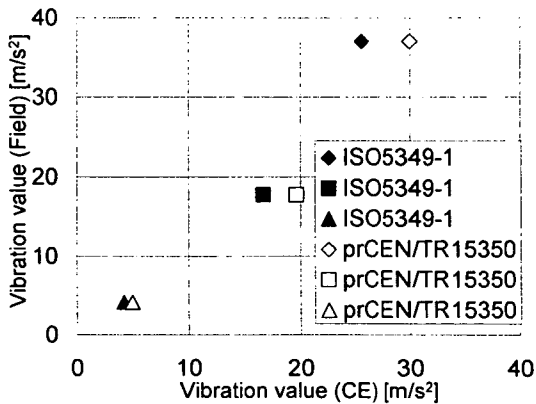


図 13 削岩機

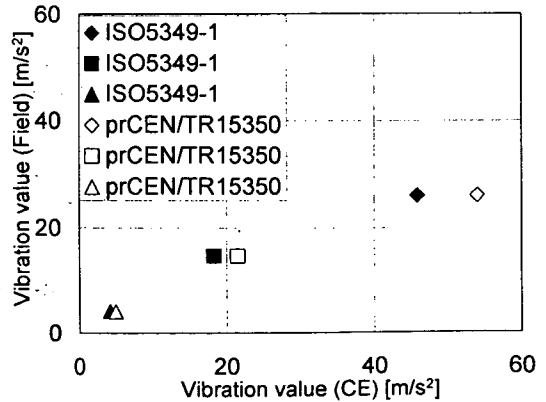


図 14 チップングハンマー

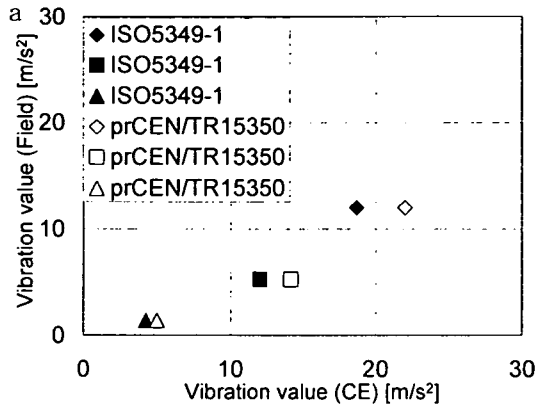


図 15 スケーリングハンマー

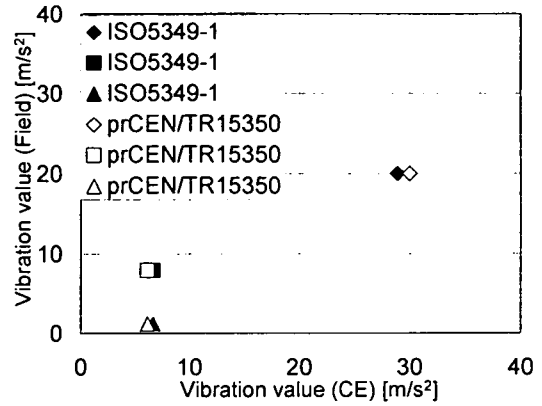


図 16 エンジンカッター

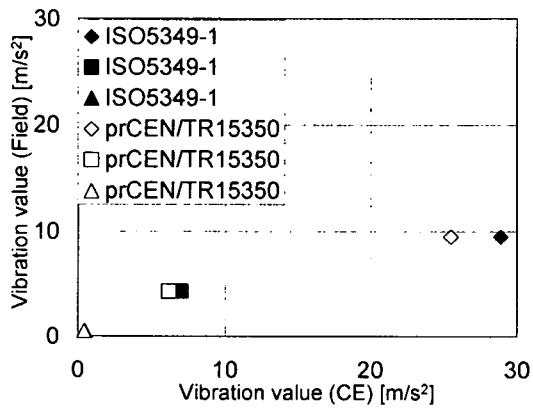


図 17 電気ディスクグラインダー

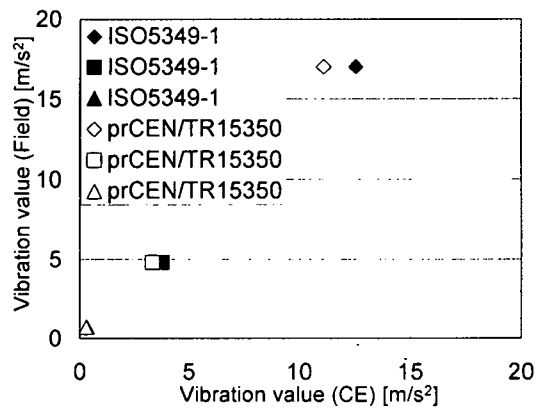


図 18 空気グラインダー

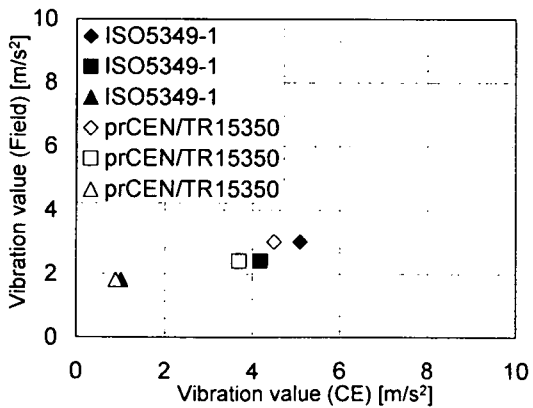


図 19 電気サンダー

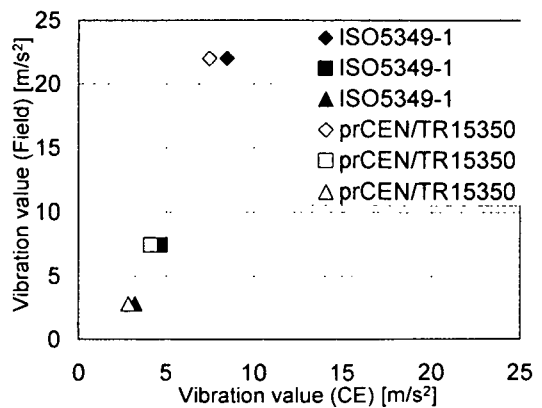


図 20 スイング研削盤

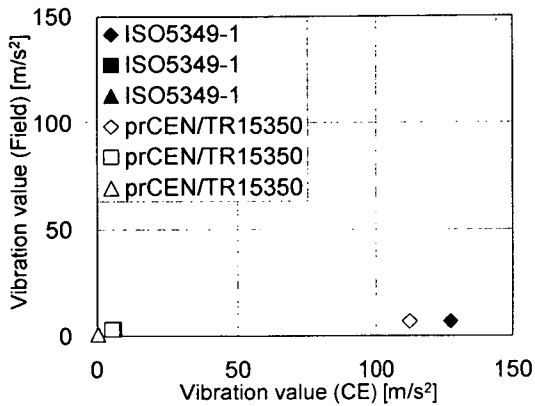


図 21 インパクトレンチ

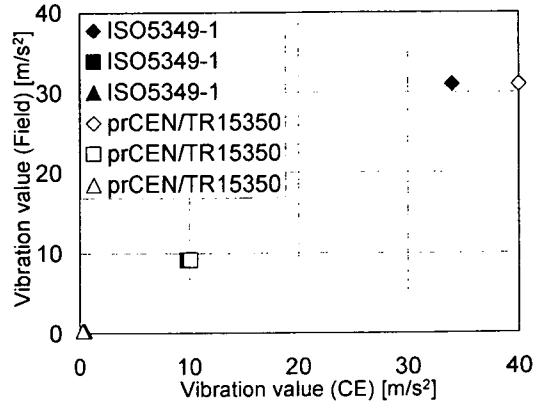


図 22 バイブレーションドリル

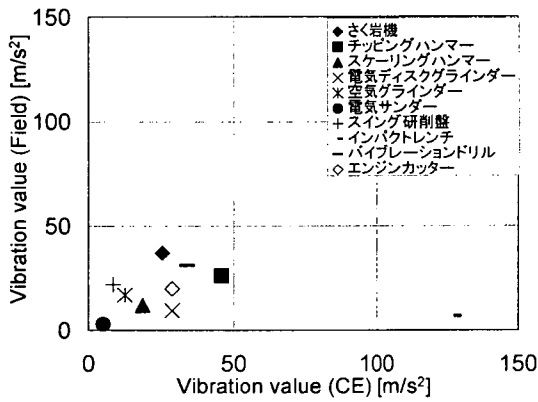


図 23 最大値 (ISO 5349-1, factor: 1.7)

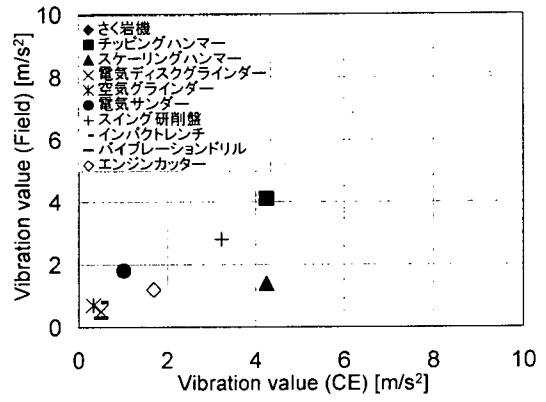


図 24 最小値 (ISO 5349-1, factor: 1.7)

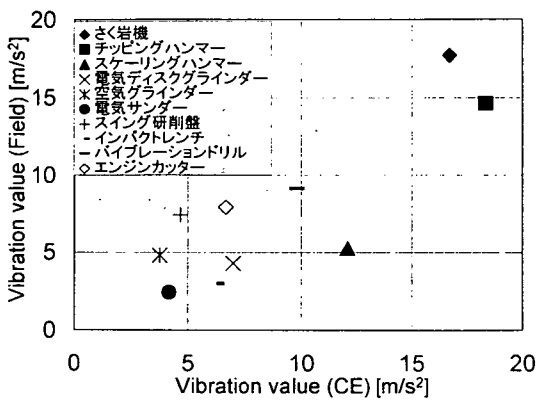


図 25 平均値 (ISO 5349-1, factor: 1.7)

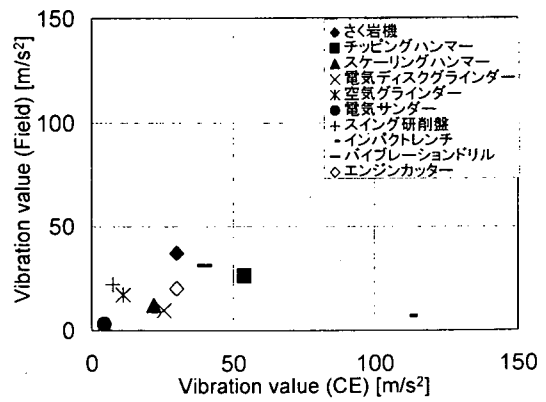


図 26 最大値 (prCEN/TR 15350, factor: 1.5 - 2.0)

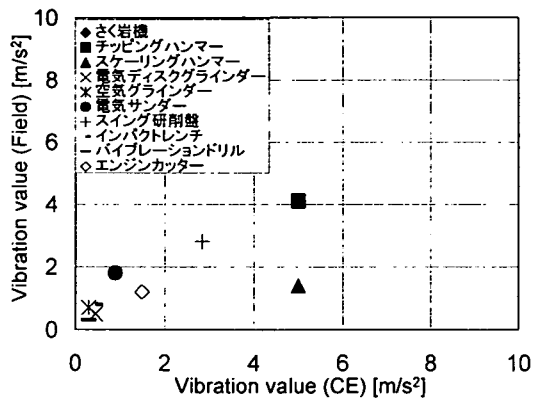


図 27 最小値 (prCEN/TR 15350, factor: 1.5 - 2.0)

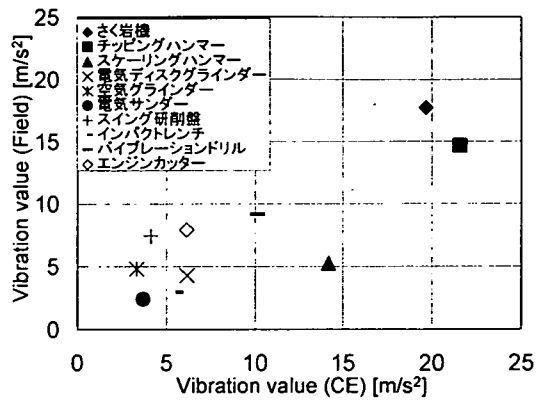


図 28 平均値 (prCEN/TR 15350, factor: 1.5 - 2.0)

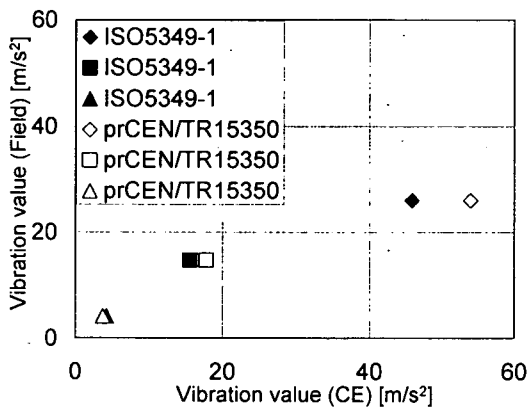


図 29 Part 2

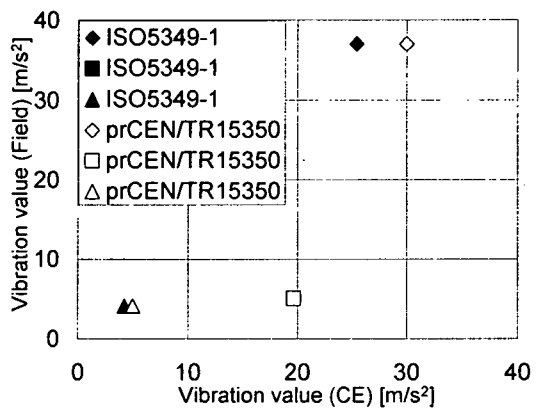


図 30 Part 3

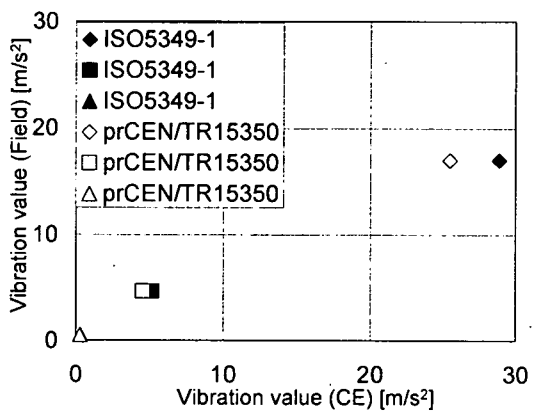


図 31 Part 4

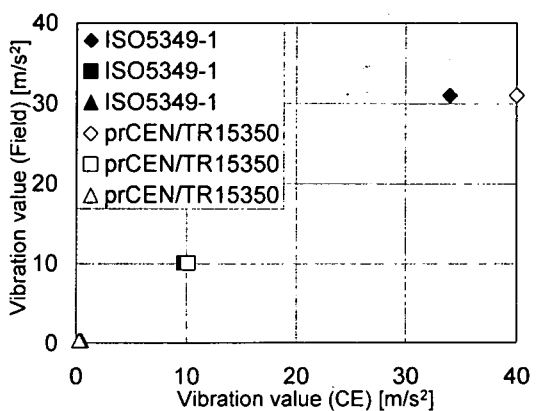


図 32 Part 6

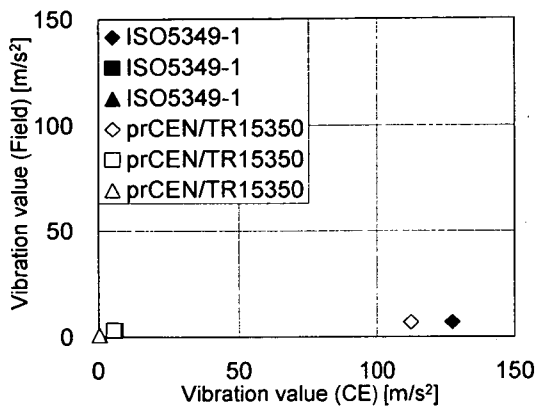


図 33 Part 7

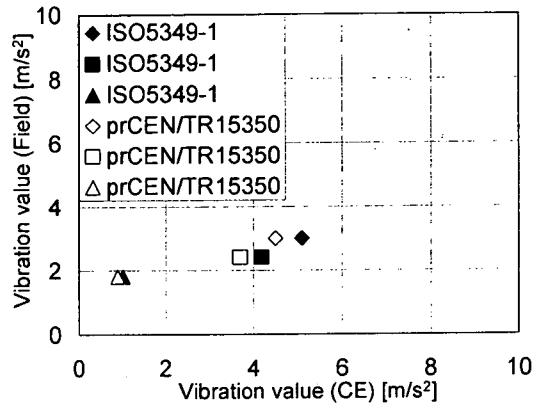


図 34 Part 8

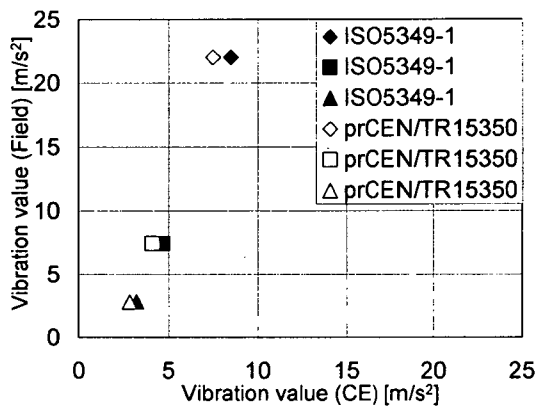


図 35 Part 10

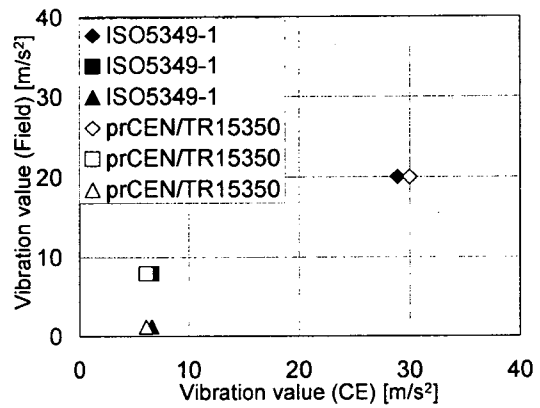


図 36 Part 12

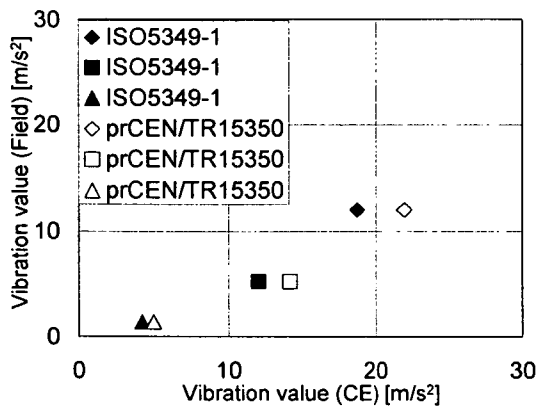


図 37 Part 13

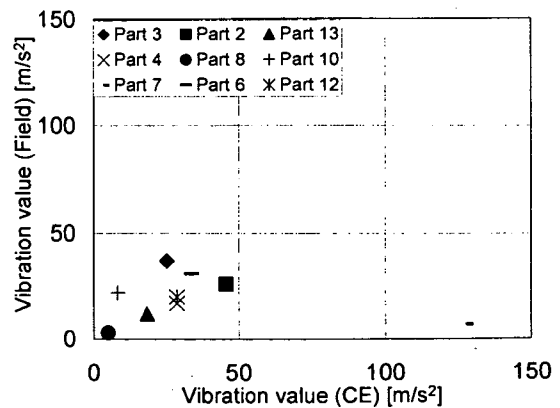


図 38 最大値 (ISO 5349-1, factor:1.7)

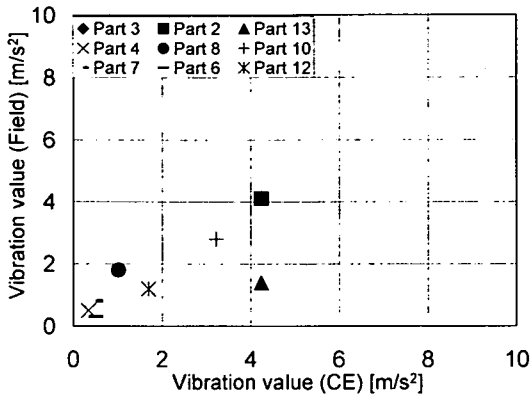


图 39 最小值 (ISO 5349-1, factor: 1.7)

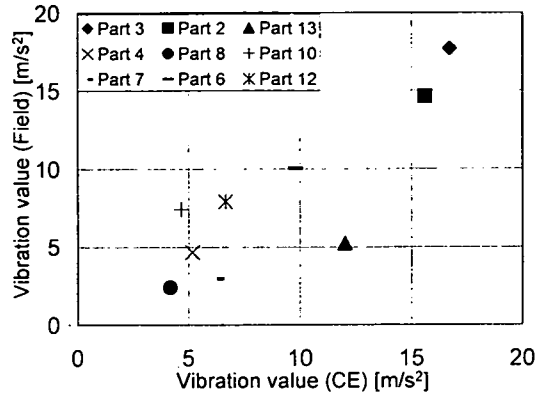


图 40 平均值 (ISO 5349-1, factor: 1.7)

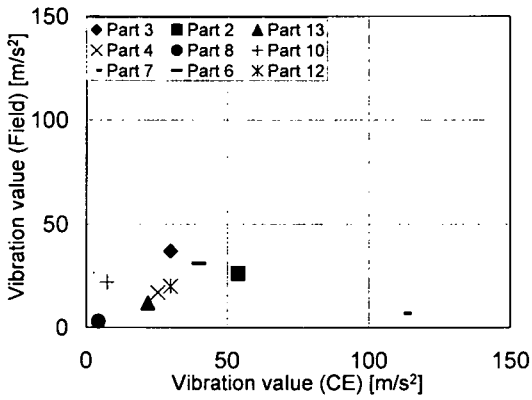


图 41 最大值 (prCEN/TR 15350, factor: 1.5 - 2.0)

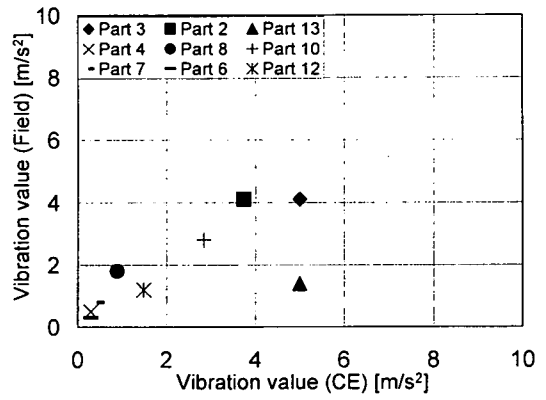


图 42 最小值 (prCEN/TR 15350, factor: 1.5 - 2.0)

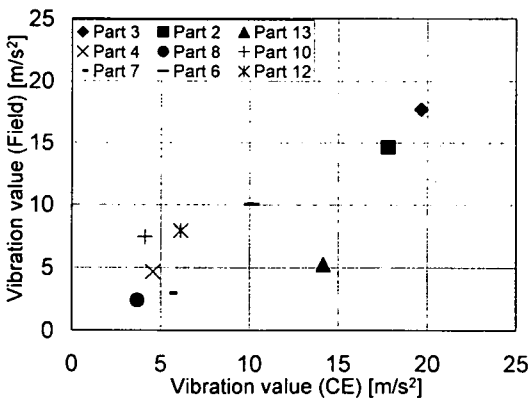


图 43 最小值 (prCEN/TR 15350, factor: 1.5 - 2.0)

資料 アンケート調査方法の決定及びアンケート調査結果に基づいたハザードのランキング方法の具
体化に関する研究

分担研究者 安藤英雄 久留米大学医学部環境医学講座講師

研究要旨：振動障害を防止する目的で、振動工具取扱い者に対して振動曝露の危険性を
認知させるシステムを開発するために、英国で実施されているトラフィックライトシス
テムの内容を調査した。同システムは振動工具から発生する振動加速度を基にして、当
該振動工具の作業員への健康障害に関する危険度を赤、橙、緑の3色のステッカーで表
現したものである。これを各振動工具に明示することで、当該振動工具取扱い者がその
工具がもつ振動に関する情報を確認しながら作業を行うことができる。このシステムに
基づき作業員が振動工具を適切に取扱うことで、振動曝露による健康障害を防止する
ことが可能となる。このようなシステムの開発が我が国にも必要と考えられる。

A. 研究目的

我が国における手腕振動障害患者数は近年
減少してきてはいるものの、特に建設業を中
心にいまだ700人以上に認められている。
振動障害は長期間の振動曝露により、手指に
おける末梢循環障害、しびれに代表される末
梢神経障害、集中困難などの中枢神経障害、
そして頸肩腕障害などの上肢における筋骨格
障害などが発生する。これらはいずれも当該
患者に日常生活における様々な障害や困難を
生じさせている。したがって振動障害を予防
し、振動障害患者数を減少させることが喫緊
の課題である。

振動障害の発生は使用する振動工具から
発生し手腕に伝達される振動加速度と使用す
る時間、すなわち振動曝露時間の関数である。
したがって手指に伝達される振動加速度が小
さく、曝露時間が短いほど振動障害発生の危
険度は小さくなる。そのためには、発生する
振動加速度が小さな振動工具を選択し可能な
限り手腕への振動伝達を減少させ、短時間の
作業が求められる。振動工具の性能は改善さ
れ、工具の発生する振動加速度はその重量と
ともに小さくなってきている。したがってこ
れらの振動工具に関する情報を実際に使用す
る作業員に対して与えることで、作業員自身

が振動工具の危険性を認識しながら作業す
ることができる。しかしながら実際の作業現場
では、振動工具が発生する振動加速度や健康
障害の観点からの使用限界時間に関する情報
を把握しながら作業しているものは少ないと
思われる。

そこで振動障害予防の観点から、振動工具
の振動に関する情報を作業員に容易に知らし
めるシステムの開発が必要と考えられ、今回
はそのようなシステムが導入されている英国
の現場を視察した。

B. 研究方法

振動障害は、作業員が曝露する振動加速度
が大きいほど、また曝露時間が長くなるほど
発生する危険度が大きくなる。したがって、
振動障害を予防するためには、より小さな振
動加速度を発生する振動工具をできるかぎり
短時間使用することが望ましい。そのため
には振動工具を取扱う作業員自身が、操作す
る振動工具の振動に関する情報を把握しながら
作業することが求められる。しかしながら我
が国の実現場では、使用する振動工具の発生
する振動加速度やそれに基づく使用限界を認
識しながら作業を行っているものはないと考
えられる。そこで、振動障害を予防する上で

重要な情報、すなわち振動工具の発生する振動加速度およびそれに基づく使用限界時間をどのように作業者に認知させることができるのかを知ることが重要と考え、このようなシステムが開発されている英国の振動工具レンタル会社を訪問した。

訪問した会社はマンチェスター市および郊外にある振動工具のレンタル会社、計3ヶ所である。それぞれの会社で実施されているシステムがどのようなもので、どのような過程で振動工具取扱い者への振動情報伝達が行われているのかを調査した。

C. 研究結果

英国の振動工具レンタル会社では振動工具の取扱い者に、曝露する振動情報を認知させるためのシステムとして、トラフィックライトシステムが導入されていた。トラフィックライトシステムとは、振動工具本体に、当該振動工具の使用可能時間を色別で表示するものである(図)。EC指令では手腕振動の1日8時間の等価振動加速度として、振動曝露限界値を 5 m/s^2 と定めている。まずレンタル会社では、各メーカーから提出された振動加速度値(宣言値)を基に、振動工具を緑、橙、赤の3色のラベリングで分類している。すなわち、振動加速度が振動曝露限界値の 5 m/s^2 以下の工具には緑色のラベリングを表示し、1日最大8時間の使用が可能としている。また、振動加速度が $5\sim 10\text{ m/s}^2$ の工具には橙色のラベリングで、1日最大2時間の使用が可能であることを示している。さらに、振動加速度が 10 m/s^2 以上の工具に対しては、使用による健康障害が危惧されるため、赤色のラベリングで表示することにより、使用に際しては労働衛生の専門家に相談するよう注意を促している。

レンタル会社によりラベリングの仕方は、工具本体につけるものや工具にひもで取り付けるものなどあるが、いずれにしても作業者

はこのラベリングに注意することで、扱っている振動工具の危険性を把握することができ、一日の使用限界時間を理解することができる。レンタル会社では工具をレンタルする際にトラフィックライトシステムのラベリングの意味を周知させることで、作業者は操作する振動工具の危険性を認識しながら作業を行うことができる。

D. 考察

振動工具の使用による健康障害を予防するためには、作業者への振動曝露を小さくする必要があり、そのためには作業者に自分が曝露している振動の情報を認知させることが重要と考えられる。トラフィックライトシステムは、作業者に対して、使用している工具の危険性、すなわち振動加速度がどれほどで、一日何時間の使用が可能かを認知させることができる。すなわち、緑色のラベリングで表示された振動工具を用いて作業を行う場合には、1日8時間の作業時間が許容されていることを意味している。同様に橙色で表示された振動工具を用いる場合には1日に最大2時間の作業が可能であることを意味している。さらに、赤色で表示された振動工具は1日8時間の等価振動加速度として 10 m/s^2 を超えていることを示しているため工具の扱いに関して労働衛生の専門家に相談しなければならない。さらに同システムの重要な特徴の一つは、その情報が極めて容易に作業者に認識される点である。すなわち同システムは振動の情報を3色に分けることで、作業者が容易に認知しやすいシステムであると考えられる。作業者に工具に表示しているラベリングの色の意味をあらかじめ教育させておくことで、いま使用している振動工具を安全に使うための使用限界が容易にわかることになる。この工具に表示された振動情報に基づき適切に振動工具を使用すれば、振動障害の発生を減少させることが可能となると考えられる。

英国でのトラフィックライトシステムにおいて振動工具の分類の根拠となっている振動曝露限界値 5 m/s^2 は、振動による健康障害を考える場合に、いかなる振動工具取扱い者も一日8時間の等価振動加速度として、この振動のレベルを超えて曝露してはならないというものである。したがって、この振動加速度を基に振動工具の分類を行うことは妥当であると考えられる。我が国においてもこのようなシステムを導入する際には、EU同様、1日8時間の等価振動加速度として、 5 m/s^2 の振動曝露限界値を基準に分類することが必要であろう。

このシステムを我が国に導入する上でさらに注意する点があると考えられる。英国のレンタル会社は、振動工具メーカーがISOに基づき測定し提出した振動の宣言値を基に工具の分類を行っている。我が国においても同様なシステムを導入する際には、各振動工具メーカーがISOなどの一定の規則に則り振動加速度を測定する必要がある。また、ラベリングを実施する機関が必要である。各メーカーが独自にトラフィックライトシステムによりラベリングすることも考えられるが、ラベリングの正確さを担保するためには、各メーカーから独立した第三者機関が提出された

振動の宣言値を集計し、ラベリングを行うことが望ましいと考えられる。

E. 結論

トラフィックライトシステムは、振動工具がもつ振動に関する情報を作業者に認知させることを容易に可能にさせると考えられる。また作業者がこの情報に基づき適切な使用方法をとることにより振動障害を減少させることができると考えられる。したがって日本においてもこのトラフィックライトシステムを導入し、工具の振動加速度と使用限界時間を作業者に対して、容易に認識させることにより、作業者への振動曝露の影響を小さくし、振動障害患者の発生を減少させることが期待できるものと考えられる。

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



図 英国におけるトラフィックライトシステムで用いられているラベリング

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

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

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。

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、白ろう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、及び抹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、

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。

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。

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。

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。

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

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/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。

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

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 :

$$A(8)$$

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

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。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

$A(8) > 5m/s^2$	
$2.5m/s^2 < A(8) < 5m/s^2$	注意する必要がある
$A(8) < 2.5m/s^2$	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た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.

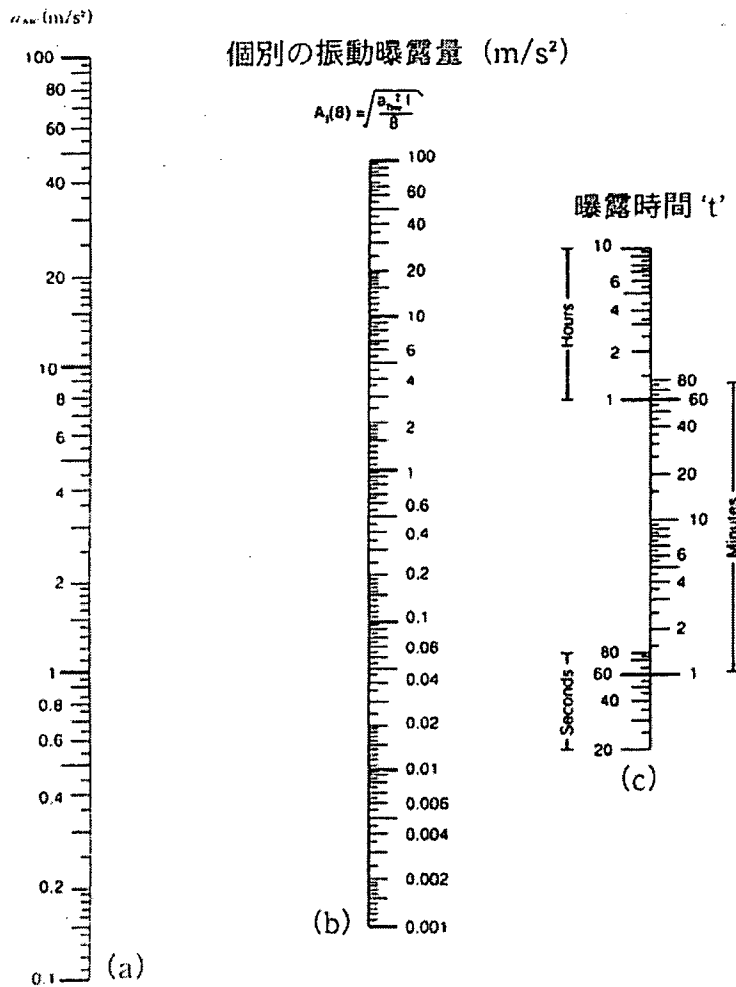
Shibata, Nobuyuki., Maeda, Setsuo. (2006) Effects of environmental condition on biodynamic response in hand-arm system -Finite element modeling-. 14th Japan Conference on Human Response to Vibration

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