

チェーンソーの保持方法と振動の 関連について

後藤 純一・後 秀樹・瀧本 義彦

The relations between how to hold the chainsaw
and its vibration

Junichi GOTOU, Hideki USHIRO and Yoshihiko TAKIMOTO

要 旨

伐木造材作業時にチェーンソーが作業者に与える振動負担を物理的側面から把握しようとした。すなわち、まず作業時に出現するチェーンソー保持方法について分析し、これら種々の保持方法の基本として片手保持での肘の角度、握力がチェーンソーハンドルバー部の振動特性に与える影響を明らかにした。

○作業者がチェーンソーを保持する方法は、伐倒作業時には肘の角度が 90° に近く、玉切り作業時には肘の角度は 180° に近い。また、枝払い作業時は変化が大きく、持続的な保持方法はとられない。

○チェーンソーを把持する握力がハンドルバー部の振動特性に与える影響は大きく、その力が大の時、作業者への振動負担は大きい。

○肘の角度がハンドルバー部の振動特性に与える影響は握力のそれに比し小さいが、角度が 90° の時作業者への振動負担は大きい。

ま え が き

昭和30年以降の高度成長とその結果、産み出された林業労働力の激減という事態を契機として我が国における林業機械化は急速に進展してきた。以来、森林作業は省力化され、またその労働生産性も向上している。しかし、林業機械化の過程における洞察が不十分であったためか、人間一機械系の作業体系が作業者に多大の負担を与えている。たとえば、チェーンソー等林業用手持ち振動工具の使用により、作業者は振動障害にかかったり、その予防対策である使用時間規制に対応して就労機会を縮小せざるを得なくなっている。このように、林業はその労働力全体が弱体化する事態に至っているのではないだろうか。

この現状を克服するには、人間一機械系の作業体系における作業負担を解明する人間工学的研究、振動障害発現の過程を明らかにするための医学における生理学的研究、さらにこれらの研究に裏打ちされた機械の改良、開発が必要といえよう。これらに関する既往の研究には、人間工学的視点から人間一機械系の作業体系が作業者に及ぼす影響を軽減するために、主として人間側に焦点を合わせた機械の取り扱い、作業仕組、作業動作などの改善策を明らかにしようとするものがある。しかし、機械の改良・開発に焦点を合わせて、作業体系を人間工学的に吟味した基礎的研究は少ない。また、医学分野の研究は振動障害発現後の治療に力が注がれており、発現過程の

素因についての吟味は不十分である。これら山積する課題の中にあつて、本研究は、伐木作業体系を後者の人間工学的視点に立って、吟味する上で、その基本となる人間と機械の接点、すなわちチェーンソーの保持方法と振動の関連について探らうとするものである。

まず、現行の伐木造材作業でどのような保持方法がとられているかを京都大学芦生演習林で撮影したチェーンソー作業の16mmフィルムより把握する。さらに、チェーンソー保持方法がチェーンソーから人体への振動伝達にどのような影響を与えるかを探るため、保持方法とチェーンソーを握る力に対するチェーンソーハンドル部振動の変化を調べた。

なお、本研究の一部は京都大学修士論文として、1980年に後秀樹が発表している。

チェーンソー作業と保持方法

伐木造材作業は伐倒・枝払い・玉切りの3種の作業に大別される。したがって、チェーンソーの保持方法を問題にするにあたり、現行の伐木造材作業でどのような割合で、各作業が出現するか、またその保持方法はどのようなものであるかを把握しておく必要がある。

そこで、これら各作業の全工程に占める割合を、既往の研究より例示する。まず、表-1に木本が輪島市のスギ・アテ混交林での伐木造材作業を調査した結果¹⁾を見ると、伐倒と枝払い作業がともに33%、玉切り作業が28%である。つぎに、表-2に辻らが秋田営林局早口営林署管内のスギ天然林での伐木造材作業を調査した結果¹⁾を見ると、玉切り作業が40%を占め、ついで枝払い作業が37%、伐倒作業が23%である。一般に対象となる林木の樹種、径級、または作業仕組、作業立地等の条件で、これらの構成比は変化すると考えられる。以上の2例からだけでは断定しがたいが、伐倒作業が全作業に占める割合は意外に低く、玉切り・枝払い作業の占める割合が高いことは推測できよう。

つぎに、1975年に京都大学農学部附属芦生演習林で行われたチェーンソー作業を撮影した16mmフィルムを用いて、これら3作業についてのチェーンソー保持方法に考察を加える。

伐倒作業は、作業手順により異なるが、根張り切り、受口切り、追口切り、サルカ切りの4要素

表-1 伐木造材作業における各要素作業の構成 (輪島)

Table 1. The constitution of elemental operations about the cutting work in Wajima

operation	working time (W.T.)		cutting time (C.T.)		percent* %
	m.	s.	m.	s.	
felling	61	6	23	18	33
bucking	29	48	19	20	28
trimming	57	45	23	20	33
others	3	30	3	30	6
total	152	4	69	28	100

*each cutting time to total cutting time

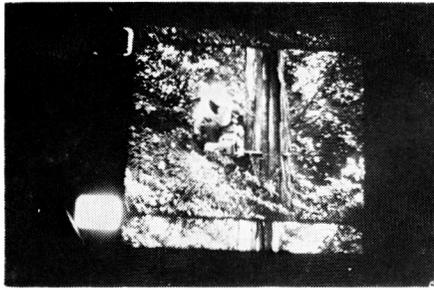
(This table was shown by Kimoto's investigation.)

表-2 伐木造材作業における各要素作業の構成 (早口)

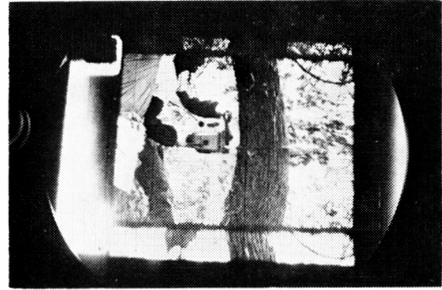
Table 2. The constitution of elemental operations about the cutting work in Hayaguchi

operation	working time m. s.		cutting time m. s.		percent %
	m.	s.	m.	s.	
felling	24	24	18	31	23
bucking	85	45	31	59	40
cutting			28	38	37
others
total	110	9	79	8	100

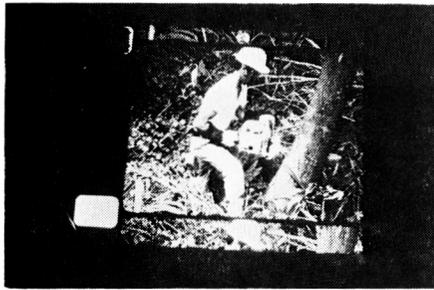
(This table was shown by Ishii's investigation.)



(1) Under cut at a height of standing position



(2) Under cut at a height of operator's waist



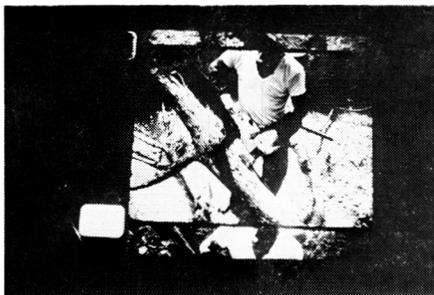
(3) Level back cut at a height of operator's waist



(4) Bias back cut at a height of operator's abdomen

Photo. 1. The posture of operating chainsaw in the felling work.

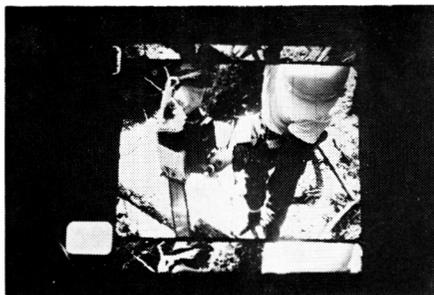
写真1 伐倒作業時の保持方法



(I)



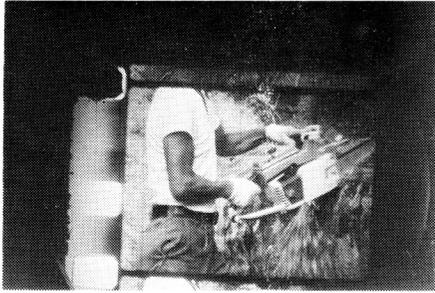
(II)



(III)

Photo 2. The variation of the posture of operating chainsaw in the trimming work.

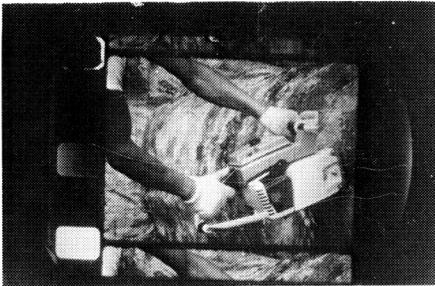
写真2 枝払い作業時の保持方法の変化



(I)



(II)



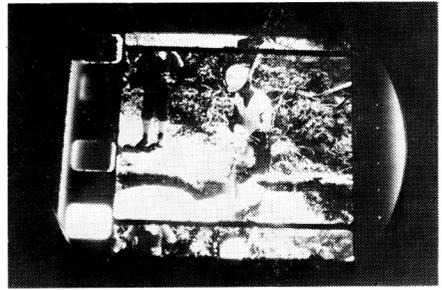
(III)

(1) In the case of pole timber

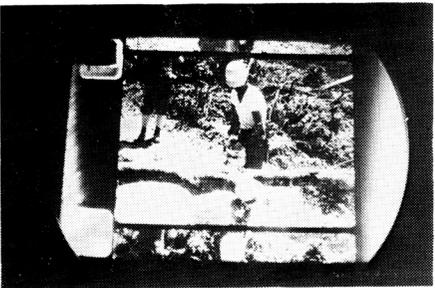
(1) 小径材の場合



(I)



(II)



(III)

(2) In the case of big timber

(2) 大径材の場合

Photo 3. The variation of the posture of operating chainsaw in the bucking work.

写真3 玉切り作業時の保持方法の変化

作業に分かれる。これらの中で、根張り切り、サルカ切りはバーを垂直に立て、切り下ろす動作を基本としている。すなわち、この2要素作業時のチェーンソー保持方法は、玉切り作業時のそれに類似しており、これに包含しうるものと考えた。そこで、伐倒作業特有の保持方法である受口、追口切りについての考察から始める。写真1-1に伐倒高が足場とほぼ同じ高さの場合の追口切り(スギ)、写真1-2に伐倒高がほぼ腰の高さの場合の追口切り(スギ)、写真1-3に腰の高さにおける受口水平切り(スギ)、写真1-4に腰よりやや高い位置における受口斜め切り(スギ)を例示した。これら4種類の保持方法に共通していることは、姿勢を安定させるため、腰を伸ばし、下肢の曲げ伸ばしで伐倒高に対応している点である。また受口斜め切りの場合を除き、両肘をほぼ直角に曲げ、脇を締めた構えがとられていた。

次に、枝払い作業時の保持方法の変化を写真2にスギ伐倒木の場合で例示した。伐倒作業時の持続的な保持方法とその変化が大きい枝払い作業時の間断的な保持方法を比較する。枝払い作業はその対象である枝の高さや、方向が千差万別のため、保持方法も非常に変化しており、作業に共通した基本となる保持方法は見出せなかった。

さらに、玉切り作業時の保持方法を写真3-1に小径材(ブナ)の場合を、写真3-2に大径材(ブナ)の場合について、保持方法の変化を例示した。小径材の場合は体をほぼ直立状態に置き、両腕とも肘を伸ばしていた。また、切り始めから切り終わりまで動きが少ない。大径材の場合は肘の角度、手首の角度が僅かずつであるが刻々と変化していた。また、バーを水平に切り下ろす時よりも、回し切りのような動作が現われた時に大きく変化していた。

チェーンソーの手持測定実験

チェーンソーの実作業時における保持方法を前項で概略的に把らえた。ここでは、これらの保持方法と作業者に伝達される振動との基本的な関係を調べたので以下に示した。

1) 目的

手持振動工具を用いて作業する場合、その作業者には、その工具特有の周波数構成を持つ振動が負荷されている。C. F. Abramsの研究³⁾によると、手・とう骨・肘関節の結合によって、これらの振動は胴に伝達されないように働き、胴に至るまでの各所で吸収されている。しかしながらチェーンソーの操作は基本的に、両手で保持し前項に見られたように、多様な保持方法の元に行われ、その振動吸収の過程は非常に複雑である。そこで、本研究は問題の本質を探るために、チェーンソーハンドルバー部(前ハンドル)片手保持における肘の角度、握力と振動工具一作業者の振動系がどのように関係しあっているかを解明しようとしたものである。すなわち、チェーンソー手持保持状態でのチェーンソーハンドルバー部の固有振動数、およびハンドル部の振動加速度値を測定し、分析した。

2) 実験方法

チェーンソーの保持方法：その保持方法はハンドルバーを左手で支えたもので、玉切り姿勢で右手を離れた状態である。腰、ひざは自然に伸ばした状態とした。保持方法を表わすパラメータは肘の角度と握力の2つとし、それぞれ2水準をとった。被験者は3人とし、合計12シリーズの実験状態を設定した。以下に各項目について列記する。

○被験者(A)(3人も健康な男子学生である。)表-3参照

○肘の角度(B)

B₁: 180°

B₂: および90°

○握力(C)

C₁: 弱一握意識なしにハンドルを支え指は軽く、ハンドルにそえた。

C₂: 強一30秒程度維持できる範囲でできるだけ強く握った。

ここに、手とハンドルバーとの角度については ISO/TC108/SC4 で提案している手の Z 方向がチェーンソーの上下方向に一致するようにつとめたが、肘の角度を 90° にした場合はやや手首が外側にそる状態であった。

チェーンソー手持保持状態でのハンドルバー一部固有振動数の測定: 前出の実験状態のもとで、ハンドルバーの上下方向固有振動数をハンマリングテストにより求めた。測定に供した機器は以下のとおりであった。

a), 供試チェーンソー: 国産 K 社製 E-452VLD 排気量 44.3cc, 装備重量 8.3kg

b), 加速度ピックアップ: B&K 社 4344 型圧電型受振器, 重量 2 g, 応答周波数 1~12KHz 固定時共振周波数 70KHz

c), ピックアップ取付治具: 総重量 66 g, 締めつけトルクは 12kg-cm 以上

d), 増幅器: B&K 社 2635 型チャージアンプ

e), 周波数分析器: 小野測器 CF-400 型パーソナル FFT アナライザー

f), 記録器: 小野測器 CX-445X-Y レコーダー

チェーンソー手持保持状態でのハンドルバー部振動加速度測定: 前出の実験状態のもとでチェーンソーエンジンを 8 通りの回転数 (2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000rpm) でレーシングした際のハンドルバー部上下方向振動加速度を測定した。測定に供した機器は以下のとおりである。

供試チェーンソー, 加速度ピックアップ, ピックアップ取付治具, 増幅器, 周波数分析器, 記録器は前出のもの, これらに加え, 磁気記録計 TEAC R410 型 4ch データレコーダーであった。

3) 結果と考察

固有振動数測定について: 条件設定した 12 通りの保持方法についてハンドルバー部の固有振動数を測定した結果, 図-1, 2, 3, を得た。ここに, レシプロ防振チェーンソーのハンドル部振動の主成分が 500Hz 以下に存在することから, 測定対象周波数域は 2.5~500Hz とした。各測定結果に共通して認められる固有振動数は 50Hz 付近のものである。まず, 50Hz 付近の固有振動数は, ハンドル部本体部の質量と両者間にそう入されている防振材との剛体振動系によって説明される。すなわち, この剛体振動系の基本固有振動によって 50Hz 付近でハンドル部が共振していると判断される。さて, 保持方法とハンドル部固有振動数との関係は以下のとおりであった。被験者 A₁, A₃ の場合, 肘の角度に関係なく, 握力強によって握力弱で 50Hz ほどに認められた固有振動が低域に移行する傾向がみられた。また, これらの被験者の場合, 肘の角度が固有振動に与える影響は少なかった。しかしながら, 被験者 A₂ の場合, 逆に肘の角度がこの固有振動に与えられる影響は大きく, 肘の角度 180° に対し, 90° の場合に固有振動数は低域に移行する。また, 握力の強弱が与える影響は少なかった。握力強によってこの固有振動数が低域に移行する点は, 被験者の手がハンドル部と一体となる度合いが強まり, ハンドル部の等価質量が大となることによる。一方, 肘の角度 90° によって固有振動数が低域に移行する点は, 手首をしっかりと固定するような保持方法をとったために握力の強弱をつけにくくなり, その影響が不明確なものとなったようである。この場合, 肘の角度が腕の緊張に関係し, ハンドル部の等価質量を大とした

表-3 被験者の概要

Table 3. Specification of experimental subjects

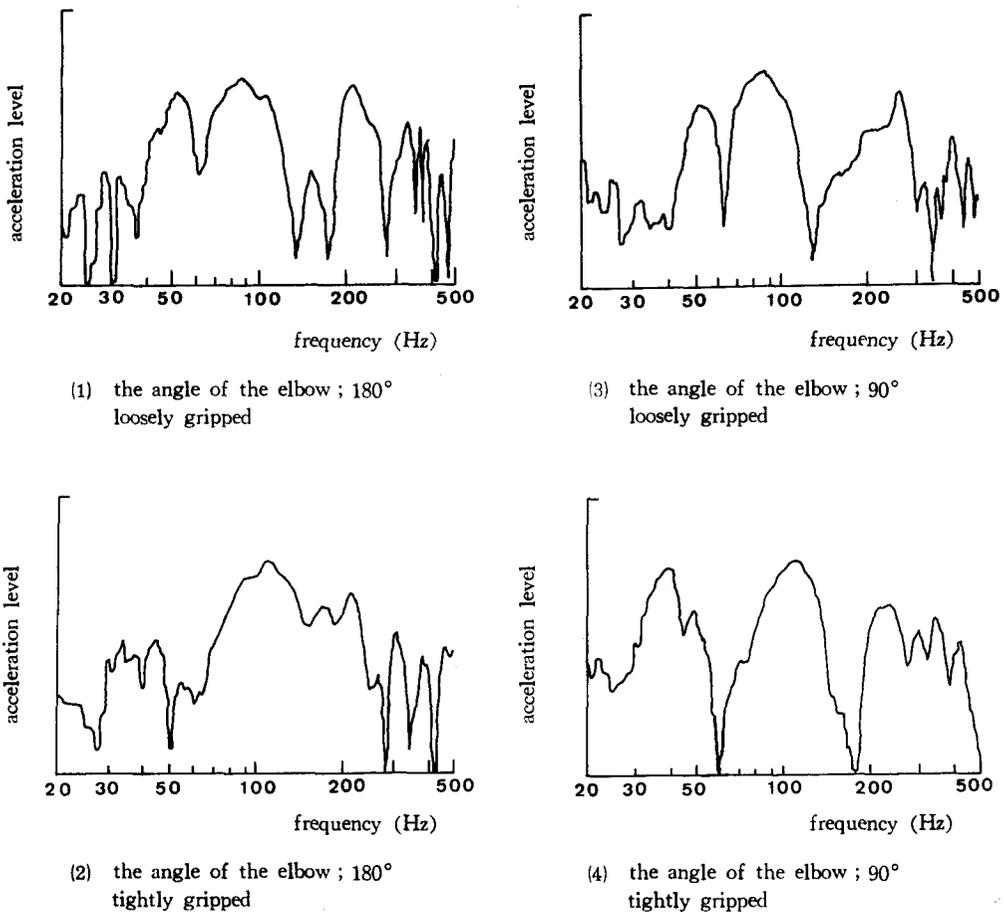
subject	age (years)	height (cm)	weight (kg)
A ₁	23	160	67
A ₂	25	168	65
A ₃	24	171	55

と推測される。

次に、90Hz 付近の固有振動数については、3名の被験者ともに、肘の角度に関係なく、握力弱の時に対して握力強の時、固有振動数が高域に移行する傾向がみられた。この固有振動は、ハンドルを構成する各部材のつながりに起因するものと考えられる。したがって強い力でハンドルを握ることによって、振動の節が変化したと推測される。

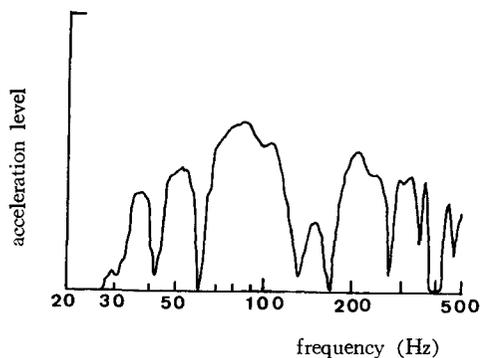
以上のように、保持方法がハンドル部の固有振動数に与える影響は、肘の角度よりも握力の強弱に関係していた。また、保持方法を説明するには肘の角度、握力の強弱だけでは不十分で、腕の緊張度を表現する指標が必要と思われた。

振動加速度測定について：前記の保持方法について、ハンドルバー部の振動加速度を測定した結果、図4、5、6、7を得た。これらに共通する傾向は、まず、肘角度180°、握力弱の場合、ハンドルバー部の50Hz 付近の固有振動数に起因して、エンジン回転数3000rpm で、その振動加速度値が極大値をとることである。また肘角度90°、握力弱の場合には、この極大値が2500rpm

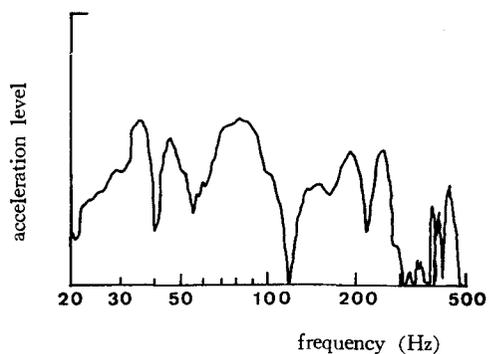


図—1. 片手保持方法とチェーンソーハンドルバー部の固有振動との関係
—被験者A₁について—

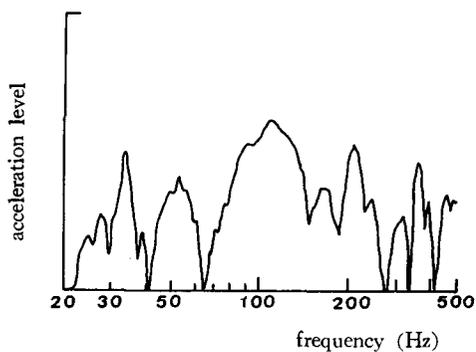
Fig. 1. The spectrum of resonance frequency at the isolated chainsaw's handle in several conditions of holding it. in the case of subject A₁



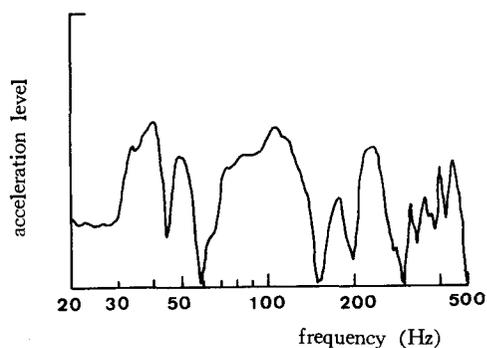
(1) the angle of the elbow ; 180°
loosely gripped



(3) the angle of the elbow ; 90°
loosely gripped



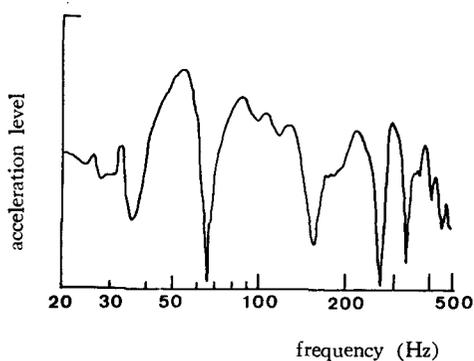
(2) the angle of the elbow ; 180°
tightly gripped



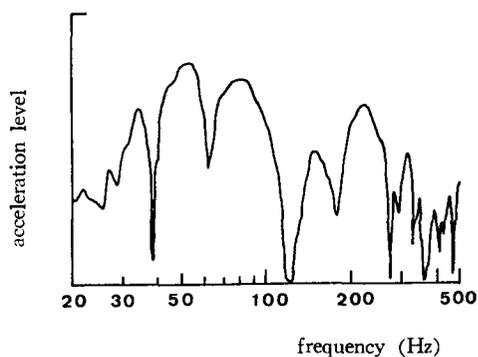
(4) the angle of the elbow ; 90°
tightly gripped

図-2. 片手保持方法とチェーンソーハンドルバー部の固有振動数との関係
—被験者A₂について—

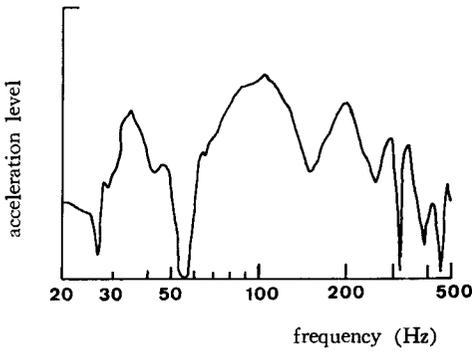
Fig. 2. The spectrum of resonance frequency at the isolated chainsaw's handle in several conditions of holding it, in the case of subject A₂



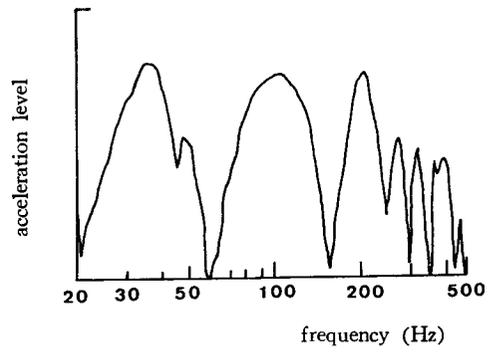
(1) the angle of the elbow ; 180°
loosely gripped



(3) the angle of the elbow ; 90°
loosely gripped



(2) the angle of the elbow ; 180°
tightly gripped



(4) the angle of the elbow ; 90°
tightly gripped

図-3. 片手保持方法とチェーンソーハンドルバー部の固有振動数との関係
—被験者A₃ について—

Fig. 3. The spectrum of resonance frequency at the isolated chainsaw's handle
in several conditions of holding it. in the case of subject A₃

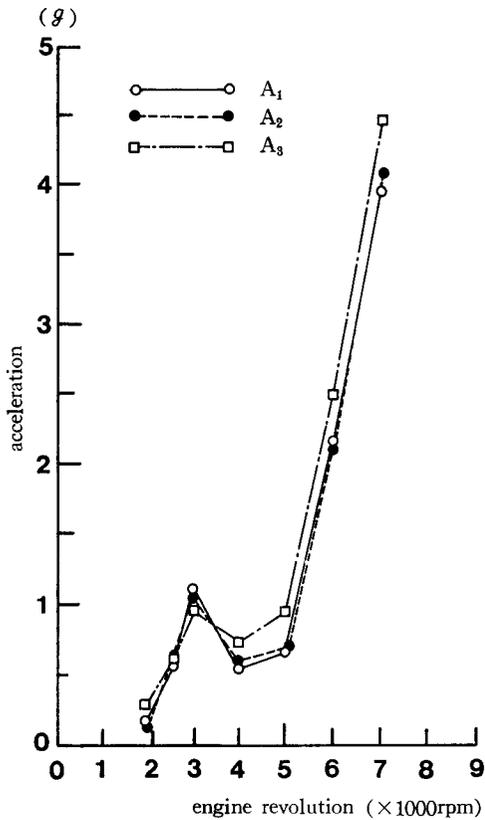


Fig. 4. The amplitudes of acceleration at the
isolated chainsaw's handle.
—the angle of the elbow ; 180° , loosely
gripped—

図-4. チェーンソーハンドルバー部の振動加速度
値 —肘の角度 180° 握力弱—

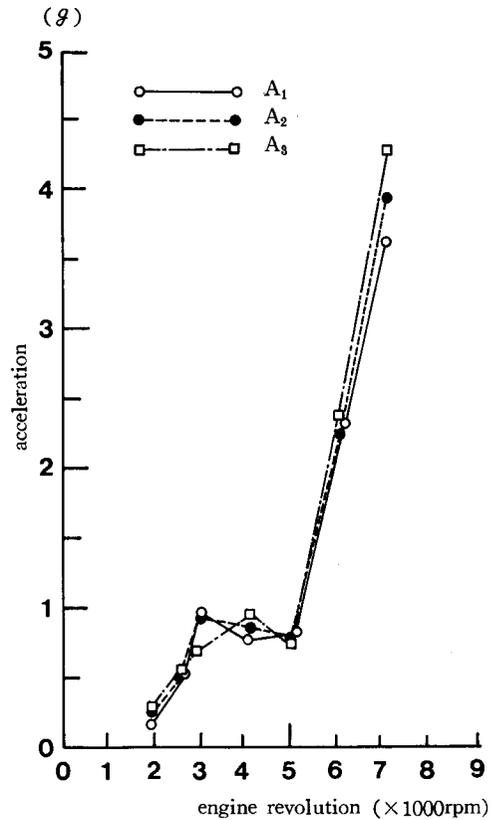


Fig. 5. The amplitudes of acceleration at the
isolated chainsaw's handle.
—the angle of the elbow ; 180° , tightly
gripped—

図-5. チェーンソーハンドルバー部の振動加速度
値 —肘の角度 180° 握力強—

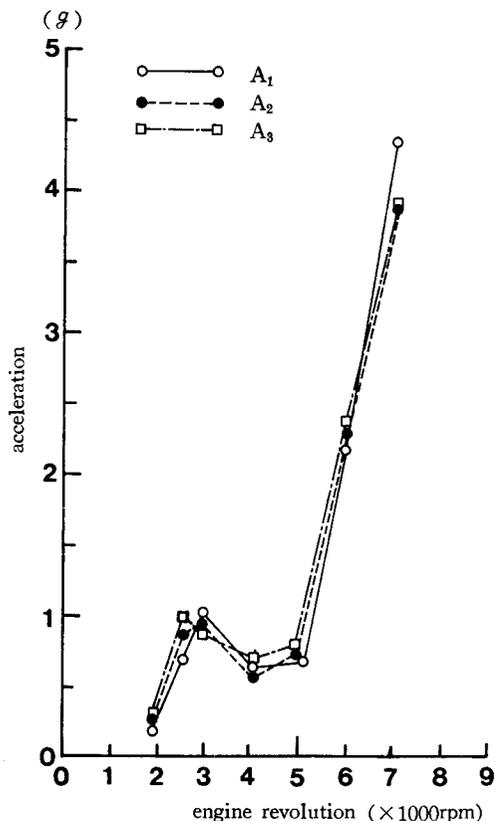


Fig. 6. The amplitudes of acceleration at the isolated chainsaw's handle.
—the angle of the elbow; 90°, loosely gripped—

図—6. チェーンソーハンドルバー部の振動加速度値
—肘の角度 90° 握力弱—

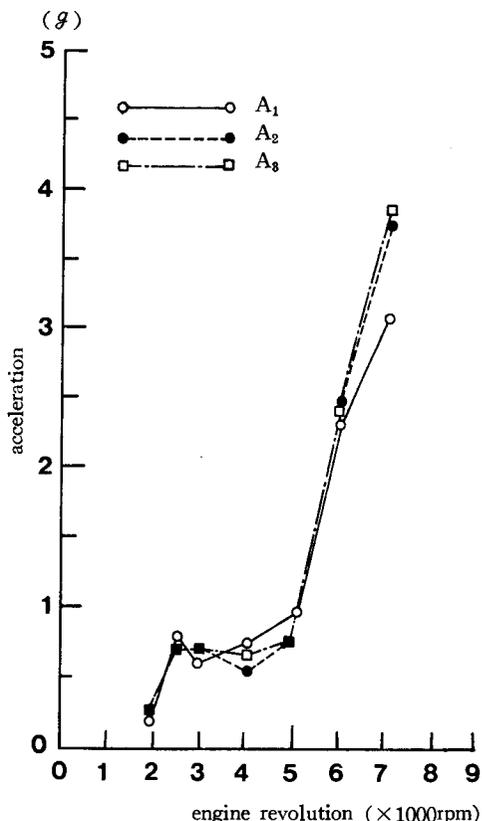


Fig. 7. The amplitudes of acceleration at the isolated chainsaw's handle.
—the angle of the elbow; 90°, tightly gripped—

図—7. チェーンソーハンドルバー部の振動加速度値
—肘の角度 90° 握力強—

時に見られる例があり、肘角度90°握力強の場合には、3名の被験者ともにこの傾向が見られた。この傾向は保持方法によって、ハンドルバー部の固有振動数が低域に移行する点と一致している。しかし、肘角度180°握力強の場合には、固有振動数に見られた傾向に反し、極大値を持つ回転数は3000rpmまたは4000rpmと逆に移行していた。

一方、前実験において、90Hz付近の固有振動数が保持方法により変化した点は、振動加速度値の変化に関与していなかった。また、他の回転数についても、保持方法による変化に共通した傾向は認められなかった。

つぎに、保持方法と関係が見られた3000rpm時の振動加速度値を被験者、肘角度、握力の3要因で分散分析し、表—4の結果を得た。3要因の主効果は握力が寄与率48.2%と最も大きく、被験者(個人差)、肘角度と続いていた。これらの要因は危険率1%で有意と推定された。各要因の効果を図—8に見ると、肘角度は90°の場合に、握力は強の場合に振動加速度値は小さくなっていた。振動加速度値の減少は手—腕での振動吸収を意味しており、このような保持方法は作業者の負担を増大させる結果となる。

表—4 チェーンソーハンドル部の振動と保持方法との分散分析—回転数3000rpmについて—

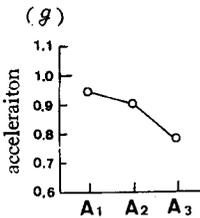
Table 4. The table of factors analysis of variance about the amplitudes of acceleration at the isolated chainsaws handle. —engine revolution 3000rpm—

factor	d. f.	s. s.	m. s.	F ₀	percentage of contribution (%)
A	2	169458	84729	49.4**	15.1
B	1	155105	155105	90.0**	13.9
A×B	2	66415	33208	19.3**	5.7
C	1	533387	533387	30.9**	48.2
A×C	2	35271	17636	10.2**	2.9
B×C	1	17208	17208	9.98**	1.4
A×B×C	2	84597	42299	24.5**	7.4
error	24	41385	1724	5.4
total	35	1102823			100.0

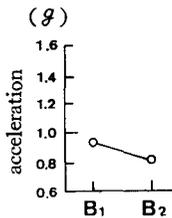
d. f. ; degree of freedom

s. s. ; sum of squares

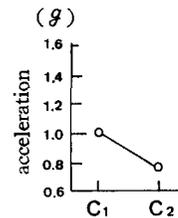
m. s. ; mean square

F₀ ; the value of F $F_{24}^1(0.01)=7.82$, $F_{24}^2(0.01)=5.61$ **means that F₀ is significant at the 1.0% level

(1) about subjects



(2) about the angle of the elbow



(3) about the force of grip

Fig. 8. The relations among the amplitudes of acceleration and each factor.

図—8. 各要因の主効果について

ま と め

京都大学農学部附属芦生演習林で行われた伐木造材作業を撮影した16mmフィルムより、チェーンソー作業でとられる保持方法を分析した結果、以下の特徴が見られた。

- 1, 伐倒作業時の保持方法は両肘をほぼ直角に曲げ、脇を締めた構えが持続的にとられていた。
- 2, 枝払い作業時の保持方法は変化が大きく共通したものはみられなかった。
- 3, 玉切り作業時の保持方法は両腕とも肘を伸ばした状態が持続してとられていた。

保持方法とチェーンソーハンドル部の振動加速度値との関係は次のとおりであった。

- 1, 保持方法について取りあげた要因の中で、握力とハンドル部振動加速度値との関係がより強く、握力強でハンドル部の固有振動数(50Hz付近にみられるもの)は低下し、振動は減少する傾向にあった。

- 2, 肘の角度との関係は薄いですが、肘角度90°でハンドル部の振動は減少する傾向にある。

以上の結果より、伐倒作業時にとられる肘の角度90°は作業者に振動負担を与えやすく、また

握力強で作業する場合には、その負担はより大きなものとなる。したがって、保持方法と振動の関連を吟味した結果、伐倒作業時の振動負担を軽減する事が最も重要であると判断された。

あ と が き

本研究を進めるにあたり、伐木造材作業を芦生演習林で設定していただいた、当時の演習林林長山本俊明講師、作業を行っていただいた演習林石川技官に心から感謝の意を表します。また、被験者になっていただいた林業工学研究室の学生、院生の諸氏にも末尾ながら感謝の意を表し結言にかえさせていただきます。

引 用 文 献

- (1) 石井邦彦, 辻隆道: 林業機械の振動, 騒音の防止に関する研究, 林試研報275, 1975
- (2) 木本俊彦: 林業機械に関する試験, 石川県林試業務報告14, 1976
- (3) C. F. Abrams : Modelling the vibrational characteristics of the human hand by the drivingpoint mechanical impedance method. ph. D. Thesis, Department of Biological and Agricultural Engineering, North Carolina State University at Raleigh, 1971

Résumé

Protecting operators of chainsaw from the vibration hazards, we investigated the relations between the posture operating chainsaw and the load by vibration to the human hand.

This report consists of experiments, the one is the analysis of several postures operating chainsaw in forest work and the other is the measurements of the resonance frequency and the amplitudes of acceleration at the isolated chainsaw's handle in several conditions of holding it with left hand.

The factor of holding condition estimated the force griping handle and the angle of the elbow.

From the results of experiments, the followings were observed.

- (1) The posture of operating chainsaw was that the angle of the elbow was about 90° during the felling work and it was about 180° during the bucking work. During the trimming work, the posture of operating chainsaw had too many styles to represent the fundamental posture.
- (2) When the elbow was angled rightly in holding chainsaw, the vibration hazards increased. Besides, griped chainsaw tightly, it increased much more.

So, the posture during the felling work have an unfavorable influence on human hand and the health of worker.