

チェーンソーの木材鋸断振動 (V)
回転機械型機 (電動チェーンソー) の例

伏見 知道*・渋谷 尚義**

On the Vibration of the Chainsaw in Timber Cross Cutting (V)
a example about the electric chainsaw
with a rotary machine

Tomomichi FUSHIMI and Hisayoshi SHIBUYA

Summary : This report deals with the vibration of the chainsaw with a electro-motor that is one type of the chainsaw with the rotary machine.

On the spectrum of acceleration of this chainsaw at 3320 RPM no-load sprocket speed, the vibration characteristic is mainly composed of the higher frequency component greater than 1K Hz, caused by the rotation of the electro-motor. The characteristic is different in comparison with that of the chainsaw driven by a reciprocating engine. On a handlebar of the vibration eliminated type, the levels of the higher frequency component become lower by 90% than that of the non-eliminated type.

When the wood (Magnolia Kobus D. C.) saturated with water is cut down with the weight of chainsaw itself, the levels of the lower frequency components than 100 Hz become higher. As the result, the operator is permitted of the exposure of vibration from 30 minutes to 90 minutes per a day, depending on the ISO criterion for local vibration.

For the purpose of making longer the allowable time of chainsaw work, such chainsaw with the rotary machine as a electric chainsaw has to control remotly, too.

要 旨 回転機械型原動機付チェーンソーの例として、電動チェーンソーの振動を測定分析した。

空転時の振動特性は、1 KHz 以下の周波数成分のレベルが低く、それより高い周波数成分が支配的である点にあり、往復動型ガソリン機の場合と異なる。この振動特性が、非防振形ハンドルにはそのまま伝えられるのに対し、防振形ハンドルでは高周波数成分のほとんどが90%近く減衰されている。コブシノキ飽水材を、自重降下切削する時は、防振機構の有無に関係なく、ハンドルに100 Hz以下の周波数成分のレベルが高く現われ、ISO許容限界に抵触するに至る。したがって、1日30~90分暴露が許されるに過ぎぬ。

* 森林工学研究室 Laboratory of Forest Engineering

** 浜本工芸株式会社 Hamamoto Kōgei Co. Ltd.

結局、暴露許容時間を増すためには、この型式のチェンソーであっても、直接手で持たないで操作が可能な、遠隔操作型式とすることが、一層有効であることを示した。

I 結 言

一般的往復動型ガソリン機関付チェンソーに対し、電動モーター、圧縮空気モーターあるいは油圧モーターのような回転機械を原動機とするチェンソーも、一部で使われてきている。さらに最近、小形ロータリ・ピストン機関を取りつけた、いわゆるロータリ・チェンソーが実用化の域に達している。

先に、回転機械型チェンソーの例として、圧縮空気駆動チェンソーの例を報告¹⁾した。この型式のもので、現在最も普及しているのが電動チェンソーであるので、そのハンドル部の木材切削時振動に対する、防振構造の有無および木材含水率の影響について解析した。

II 実 験 方 法

供試機：電動チェンソー A303，電動モーター（単相 100V，600W，回転数 20335 rpm），減速比 8：49，案内板長 40 cm，重さ 7.0 kg，ソーチェン（オレゴン 72D，緊張度……チェン中央自然垂下量 5.0 mm，3kg 牽引間隙量 10.45 mm），非防振形ハンドルバー（鉄パイプ：ベークライト握りつき），防振形ハンドルバー（アルミニウムパイプ：5 分割し上部と側部にそれぞれ 2 個の丸型防振ゴムを介在）。

測定部位：非防振形および防振形ハンドルバーの上部

測定方向：上下 (X)，前後 (Y) および左右 (Z) の三直角方向

支持方法：Rs 支持（ゴム被覆付 L 形鉄鉤にハンドルバーを掛ける）

手持 M_1 支持（左手のひらに静置し，握りしめない）

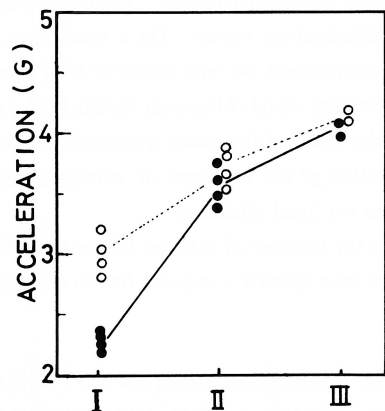
供試木材：コブシノキ，飽水材（含水率 130～140%），半乾材（含水率 36～37%），気乾材（含水率 13～14%）
空転時測定は，チェンソーを Rs 支持および手持 M_1 支持で行ない，木材切削時測定は手持 M_1 支持し，自重降下切削で行なった。それぞれ三直角方向の振動量を受振器 VM-4200（チタン酸系磁器圧電効果型）で検出し，振動計 VM 4203 で測定した後，直接あるいは一度データレコーダ R-400 に記録し，後刻反復複製し，スペクトル分析器 SA-35 および 3 分の 1 オクターブ分析器 SA-56 A と自動駆動装置 DU-02 を使用分析し，高速度レベルレコーダ LR-03 に記録した。

III 結 果 と 考 察

1) ハンドルバーの基本的振動特性

電動チェンソー自体による，非防振形ハンドルバー部の振動特性を解明するため，ソーチェンおよび減速歯車の有無に伴う，ハンドルバーの空転時振動の変化を測定分析した。

電動チェンソーの空転時振動は，電動モーター回転子の回転の際の不釣合（偏心）による慣性力によって生ずる振動，冷却ファンの回転や減速歯車の噛み合わせによって生ずる振動およびソーチェンの走行によって生ずる振動が加わったものである。主要部分の回転がハンドル部振動値に与える変化を見ると，図-1 のとおりである。



III: with sawchain and gears
II: without sawchain
I: without a final driven gear

Fig. 1 The vibration of handlebar of the chainsaw with a electro motor and the rotary motion of gears or the running of saw chain.

ソーチェンだけ取り除いた場合（減速歯車回転）の振動値は、前後方向 3.7G、上下方向 3.5G となり、ソーチェンの走行に伴う振動加速度値の増し分は、2 方向とも 0.5~0.6G と考えられる。また、減速歯車だけ取りはずした場合（ソーチェン走行せず）の振動値は、前後方向 3.0G および上下方向 2.3G となり、減速歯車の回転に伴う振動加速度値の増し量は前後方向 0.7G および上下方向 1.2G ぐらいと考えられる。結局、電動モーター自体の回転によって生ずる振動値に対する、その他主要因子に起因する振動値の増加割合は、ソーチェン走行に起因する振動よりも、減速歯車の噛み合い回転に伴って発生する振動が大きい。

空転時振動の構成周波数別振動量を見ると図-2 のようである。電動モーターの回転が減速されスプロケット軸

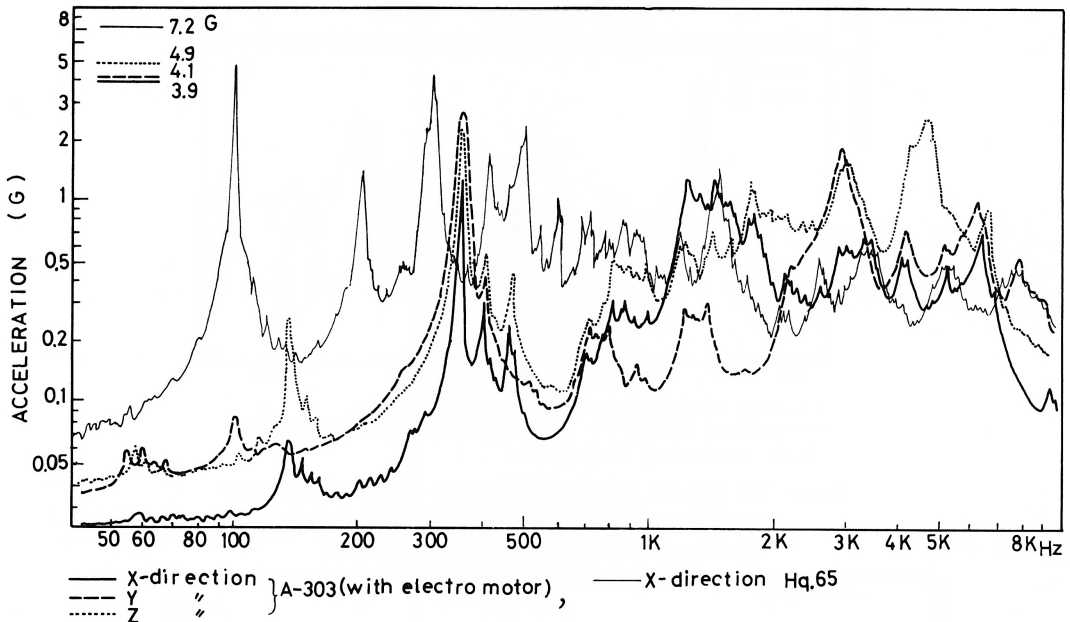


Fig.2 The changes of the acceleration spectra between the chainsaw with a electro-motor and the chainsaw with reciprocating engine during racing.

に与えられた時の回転数に対応した振動数成分は、そのレベルが低い。むしろ、電動モーターの回転に伴い発生している、モーター自体の回転数に対応する振動数 360 Hz 成分のレベルが高く、これが電動チェンソーの基本振動波を形成している。

減速歯車を取りはずした時のハンドルバー上部におけるスペクトル分析結果を図-3 に示す。これは、モーターだけの回転に由来する振動の分析例を示しているものであり、360 Hz の基本振動波とその数次の高調波のレベルが明らかに高く認められる。基本振動波は減速歯車装着時と同一周波数であり、同様に存在する高周波数成分は、モーター自体の回転に伴い発生する振動成分であることが明らかである。ソーチェン取りはずし時に比べると、2 方向とも 720 Hz の第 2 高調波がわずかに高い値を示すが、2500~5000 Hz のレベルが低下していて、この部分に減速歯車の回転により発生する振動の影響があらわれるように思われる。

ソーチェンを取りはずした時と全装時との分析結果を図-3 で比較すると、380 Hz はソーチェン走行に伴い発生する振動成分であることが明らかである。また、両方向とも 1500~2200 Hz および 4000 Hz 周辺成分のレベルが、ソーチェンを取りはずした時に低下していて、この付近にソーチェンの走行に伴い発生する振動の影響が大きいものと考えられる。

総体的に見て、ソーチェン走行および減速歯車回転の影響は、前後方向よりも上下方向で強くあらわれているようである。

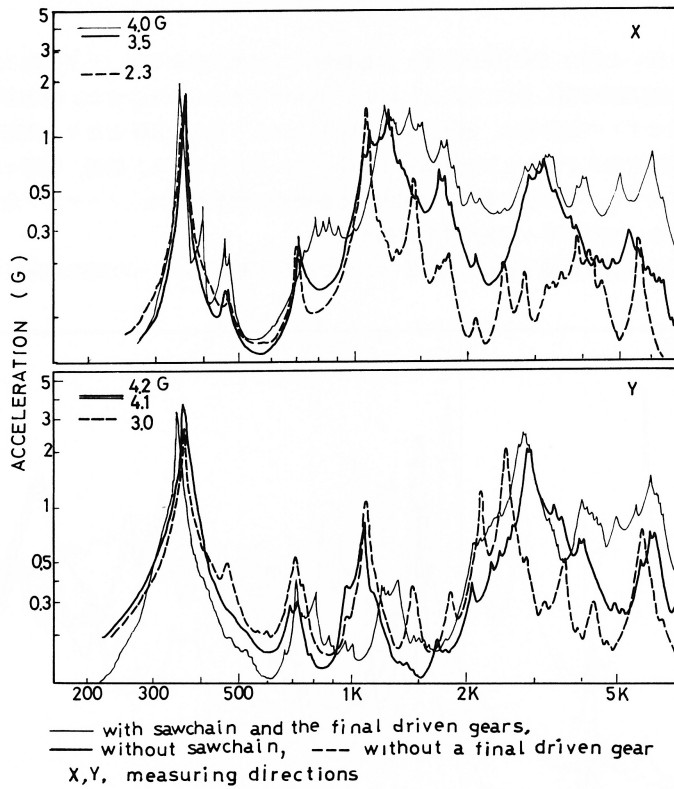


Fig. 3 The relation among the vibration spectra of chainsaw handlebar and the rotary motion of the gears and the running of saw chain of a electro-chainsaw.

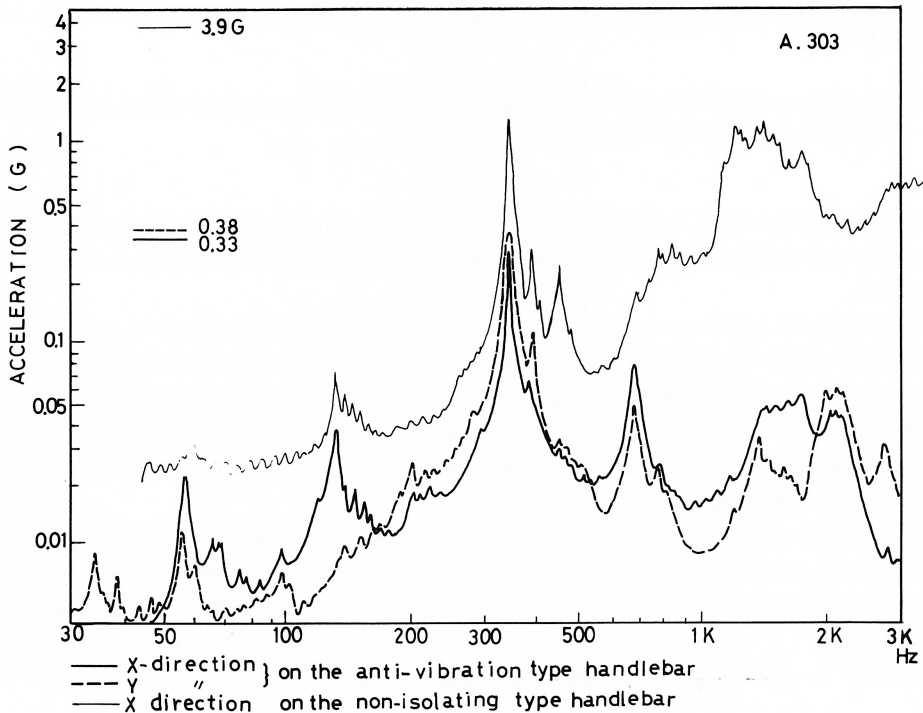


Fig. 4 The spectra of the vibration on the anti-vibration type handlebar during racing.

次に、電動チェンソーの基本的振動特性の、往復型機関付チェンソーのそれとの相違を見てみる。図-2に明らかのように、往復型ガソリン機関付機の非防振形ハンドルバーでは、機関の爆発回数に対応した基本振動波が100 Hz前後の周波数域に高いレベルであられるほか、その数次の高調波成分と機体の剛性その他に起因する高周波数成分が同じように優勢を示している。これに対し電動チェンソーの非防振形ハンドルバーでは、基本振動波が、ガソリン機関付機のそれの3倍程度の高い周波数域にあって、それより高周波数域ではガソリン機の例と類似の優勢な成分が認められるが、1000 Hz以下の比較的低い周波数域では著しく微弱である。このように電動チェンソーでは、総体的に高い周波数の振動成分が主体となる点が、ガソリン機関付機と異なる振動特性と考えられる。

2) 防振形ハンドルバーにおける空転時振動

非防振形ハンドルバーにおける振動と、防振形ハンドルバー（上部と側部を分割し、それぞれ2個の丸形防振ゴムを介させたもの）における振動を測定分析し、比較考察する。

防振形ハンドルバーにおける振動値の、非防振形での値に対する減衰割合を表-1に示す。防振形では、上下方向

Table 1 The attenuation of vibration by an anti-vibration type handlebar (A. 303)

measured direction	measured values		attenuation ratio	
	non-isolating type(A)	anti-vibration type(B)	A-B	$\frac{A-B}{A} \times 100$
up and down (X)	4.05 G	0.33 G	3.72 G	91.9 %
forward and backward (Y)	4.15	0.38	3.67	90.7
right and left (Z)	4.85	0.31	4.54	93.6
resultant	7.53	0.59	6.94	92.2

0.33 G、前後方向0.38 G、左右方向0.31 Gと著しく小さい値を示し、非防振形ハンドルバーで最も大きい値を示した左右方向で、最も小さい値を示している。これらの値は、CP70型や041AV型のような防振型チェンソーにおける測定例より小さい。これらの値の非防振形ハンドルバーにおける値に対する減衰割合は著しく、各方向とも非防振形での値の90%以上が絶縁されていることになる。

防振形ハンドルバーにおける、前記振動のスペクトル分析例を図-4に示す。非防振形の例に比べ、全体にレベル

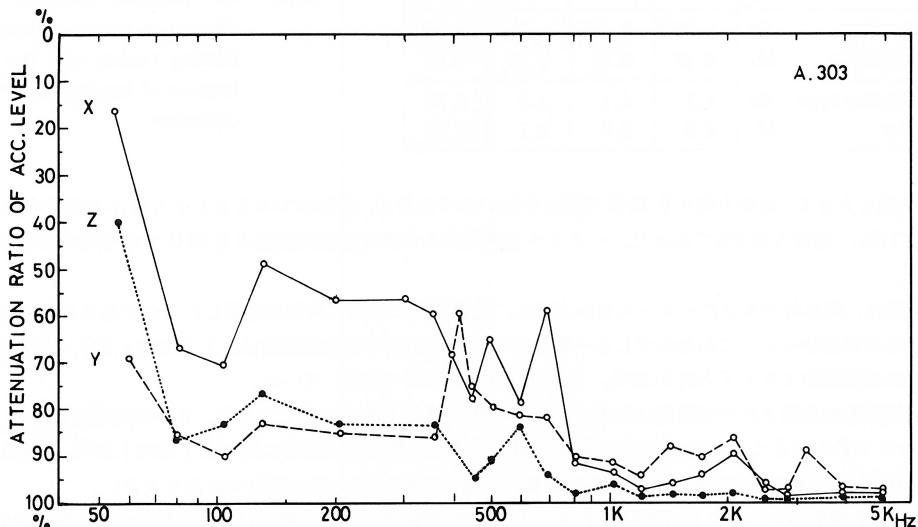


Fig. 5 The attenuation ratio of spectrum level on the anti-vibration type handlebar against that on the non-isolating type handlebar.

が低下しているが、特に、基本振動波より低い周波数域で減衰が比較的少ないのに対し、高い周波数域での減衰が著しい点の特徴である。

このような各周波数成分のレベルの減衰は、測定方向や各周波数によって異なるから、おもな成分について、非防振形の値から防振形での値への減少割合の変化を求めてみると図-5 ようになる。各方向とも 100 Hz~700 Hz の範囲ではほぼ 60~85%以上 90%を越える減衰率となっていて、高周波数成分が防振ゴムによって容易に吸収減衰されることを示している。

3) ハンドルバーの木材切削時振動

(i) 支持方法による振動値の違い

木材切削時は手持ち支持であるので、まず Rs 支持による振動値と手持ち支持での値との違いについて、検討してみる。

表-2 に示すように、防振形ハンドルバーでの振動値は、上下および左右方向とも支持方法の差はみられぬが、前後方向では手持ち支持でやや減少している。ベクトル合成値では各方法ともほとんど変わらない。スペクトル分析結果では、1 KHz 以上の成分が手持ち支持の場合にわずかに低い値を示す程度で、他に大きな違いはない。

(ii) 木材含水率の変化と切削時振動

(a) 非防振形ハンドルバー

コブシノキの飽水材、半気乾材および気乾材をそれぞれ切削する時の振動値を比較すると、図-6 および表-3 のとおりである。飽水材切削時の平均は、空転時同様左右方向が最も大きく 5.58 G を示した。空転時振動量に対する増加量は左右方向が

Table 2 The change of vibration with the change of the suspending state of chainsaw (A. 303)

direction suspending state		direction			
		X	Y	Z	resultant
anti-vibration type handlebar	Rs	0.33G	0.38G	0.31G	0.59G
	M ₁	0.32	0.27	0.33	0.53
non-isolating type handlebar	Rs	4.1	4.1	3.9	6.99
	M ₁	4.0	3.9	3.7	6.70

0.73 G で最も大きく、前後方向が 0.15 G で最も少ないのであるが、増加率で見ると上下方向が 15% で最も大きく、左右方向 11%、前後方向 2% であった。ベクトル合成値でみた木材切削時振動は 8.36 G で空転時のその 10.6% 増である。

半気乾材は、飽水材の木口にビニールをかぶせて、北側室内に放置し次第に乾燥したものであるため、含水率 36~37% であるが部分によってかならずしも一様でない。その切削時平均振動値は、上下方向 4.8 G、前後方向 5.2 G で、飽水材切削時より上下方向 0.25 G、前後方向 0.95 G ずつ増加している。

また長期間室内放置された気乾材は含水率が 13~14% で繊維飽和点以下であるが、その切削時振動値は、左右方向が 6.59 G で最も大きく、前後方向が 4.95 G で最も小さい。飽水材切削時に比べ上下方向 1.07 G、左右 1.01 G、前後方向 0.65 G と増加している。また空転時振動値に対する増加率は 20~35% でかなり大きい。

次に、これら振動のスペクトル分析結果を図-7 に示す。空転時と比べた場合、木材切削時は回転数がやや低下するため、基本振動波が 300 Hz 付近に移るほか、20~200 Hz (左右および上下方向では 450 Hz 付近にも) 範囲の成分のレベルが高く、明らかに異なっている。これは往復動型ガソリン機の同一条件下における木材切削時にも、ほ

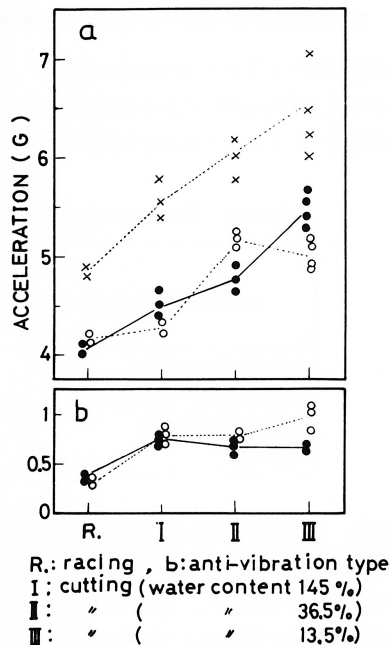


Fig. 6 The relation between the change of water content of cutting timber and the vibration of handlebar of the chainsaw.

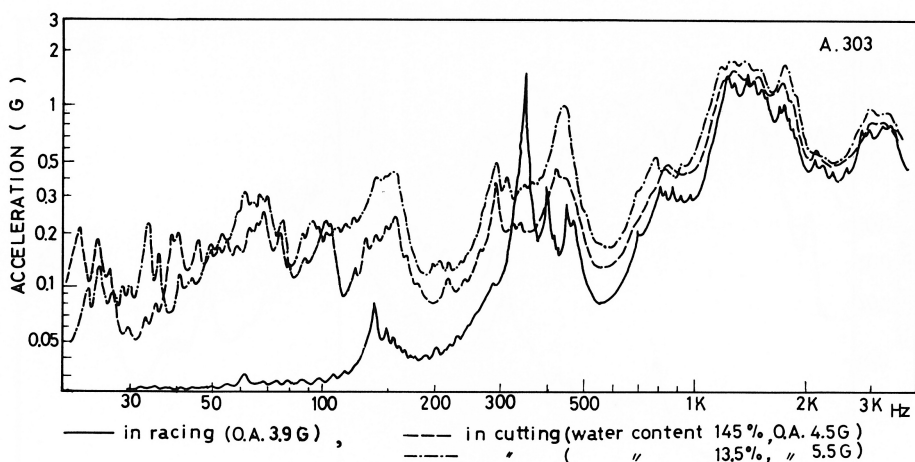


Fig. 7 The vibration spectra of the non-isolating type handlebar of a electro-chainsaw during timber cutting. (Magnolia Kobus DC. ; X-direction)

Table 3 The change of vibration at handlebar with the timber cutting (A. 303)

direction	X	Y	Z	resultant
non-isolating type in racing (A)	4.05G	4.15G	4.85G	7.56G
in timber cutting (B)	4.50	4.30	5.58	8.36
B-A	0.45	0.15	0.73	0.80
100(B-A)/A	11.11 %	3.61 %	15.05 %	10.59 %
in timber cutting (B')	5.47G	4.95G	6.59G	9.89G
B'-A	1.42	0.80	1.74	2.33
100(B'-A)/A	35.06 %	19.27 %	35.86 %	30.85 %
anti-vibration type in racing (A)	0.33G	0.36G	0.31G	0.58G
in timber cutting (B)	0.82	0.76	0.73	1.34
B-A	0.49	0.40	0.42	0.76
100(B-A)/A	148 %	111 %	135 %	131 %
in timber cutting (B')	0.91	0.57	1.18	1.60
B'-A	0.58	0.21	0.87	1.02
100(B'-A)/A	175 %	58 %	279 %	176 %

A : measured value in racing

B : measured value in cutting (water content of timber 145%)

B' : measured value in cutting (water content of timber 13.5%)

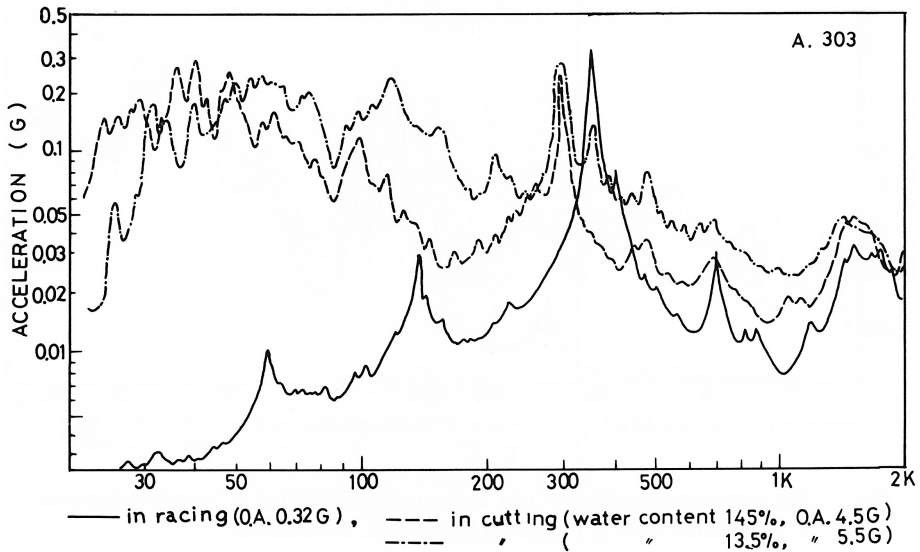


Fig. 8 The vibration spectra of the anti-vibration type handlebar of a electro-chain-saw during timber cutting. (Magnolia Kobus Dc. ; X-direction)

と同様に現われるものである。飽水材切削時のこれら各成分のレベルは0.2~0.3Gで0.5Gを越えるものはない。500 Hzを越える成分のレベルには変化が少ない。飽水材と気乾材の切削における相違は、含水率の差による切削抵抗の違いの影響を示すもので、気乾材切削時の各成分のレベルが一般に幾分高いが、特に150 Hz付近で0.5Gぐらい、450 Hz付近で1.0Gを越える。これら部分的成分のレベルの上昇は上下方向よりも左右方向の結果で著しい。

(b) 防振形ハンドルバー

前述のように、防振形ハンドルバーにおける振動値は、非防振形における総合振動値の90%程度が抑制されているが、周波数別には、1 KHz以下、特に100 Hz以下の成分での減衰効果が少ない。したがって、木材切削時に顕出してくる20~200 Hz成分に対する減衰効果が少ないことが考えられる。そこで、防振形ハンドルバーによる木材切削時振動の測定分析結果について考察する。

まず、総合値の変化を表-3で見てみる。飽水材切削に伴う振動量の増加量は各方向とも0.4G程度、非防振形の値に比べ必ずしも少なくないが、ベクトル合成値では、わずかに少ないがほとんど変わらぬ値と言える。すなわち、飽水材切削時は、木材切削自体に由来する振動量はほぼ類似していて、ハンドルの防振構造の有無にあまり影響されていない。

半乾燥材(含水率35~37%)切削時の振動値は前後方向0.75G、上下方向0.70Gで飽水材と変わらぬか、むしろやや低くなっている。

気乾材切削時は飽水材切削時に比べ、上下および左右方向でやや大きい値となり、合成値で0.25Gの増し量となるが、これは非防振形の場合の増し量1.5Gに比べると著しく小さい。また空転時の値に対する気乾材切削時の増し量では、非防振形の場合よりも、いずれの方向成分でも0.3~0.5G小さくなっている。

次に、これら振動のスペクトル分析結果を図-8に見てみる。空転時に対する木材切削時の変化として20~200 Hz成分の上昇とモーター回転数の低下に伴う基本振動数の低下が見られる点では、非防振形ハンドルバーでの傾向と基本的に相異はない。木材の含水率の違いによる変化を見ると、含水率の著しく低い気乾材切削時は、飽水材切削時に比べ各成分のレベルが幾分上昇している。しかし100 Hz以下の周波数成分のレベルは0.2~0.3Gに達し、非防振形ハンドルバーにおける振動と著しい相違はなく、本切削条件下では、100 Hz以下の成分に対する防振効果があまり認められない。

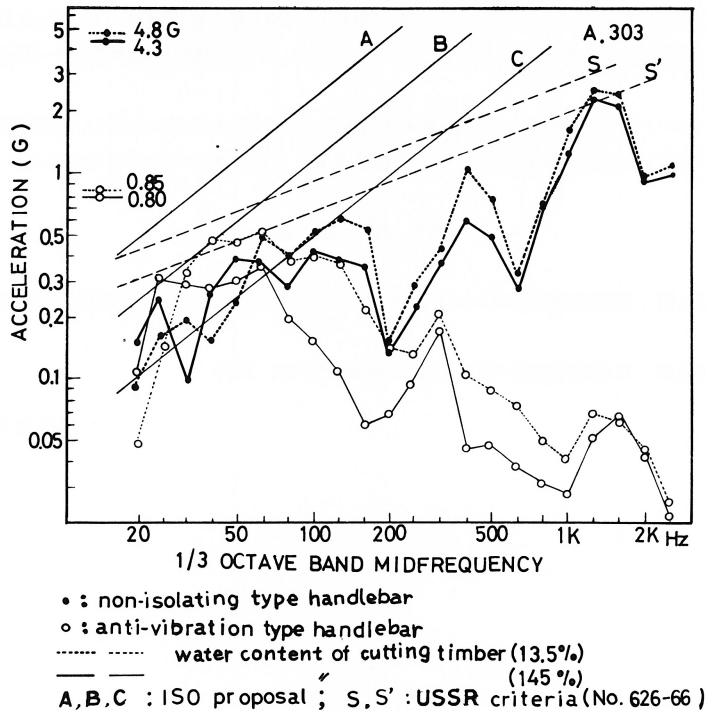


Fig. 9 The evaluation of the vibration at handlebar of a electro-chainsaw during timber cutting by the tolerance criteria.

4) 作業規制のための振動の評価

各振動の3分の1オクターブ分析結果に、許容基準をあてはめてみた結果を図-9に示す。ISOの直線Aは、1日8時間労働中連続30分の暴露が許される限界、直線Bは同じく30~90分の連続暴露が、また、直線Cは8時間の連続暴露が許される限界を示す。さらに、SおよびS'はソ連の衛生基準規則により、1労働日中160分および320分の暴露が許される限界を示す。供試電動チェーンソーのハンドルバーの振動では、基本振動波とそれより低域の木材切削時上昇成分のレベルが、基準に対して問題になる。

非防振形ハンドルバーにおける木材切削時振動では、各測定方向とも低周波数域成分がC限界を越え、特に前後方向では気乾材切削時にB限界に達する。基本振動波は前後方向でC限界に達するが、その他の高周波数成分は許容限界以下である。

防振形ハンドルバーにおいて、総合値は規制限界内²⁾にあるが、20~200 Hz帯においては防振効果が比較的少なく、規制限界を越える成分もある。

結局、本チェーンソーの手持M₁支持による、コブシノキの自重降下切削では、飽水材であっても、ソ連の基準規制によれば1労働日中160分の暴露が許されることになるが、振動障害発症のおそれが全くないようにするためには、1日連続30分から90分間の使用に限定することが望まれる。

IV 結 論

回転機械型原動機付チェーンソーの例として、圧縮空気駆動チェーンソーに続き、電動チェーンソーハンドルバーの木材切削時振動を考察した。コブシノキの飽水材切削時であっても、非防振形だけでなく防振形においても、100 Hz

以下の木材切削時上昇成分のレベルが、同じように高く現われ、ISO 暫定暴露限界のCまたはB限界に抵触するに至る。したがって、振動障害発症のおそれをまぬがれるためには、1日8時間労働中30分～90分の連続暴露が許されるにすぎない。

結局、本結果も、チェンソー作業において、振動障害発症のおそれをまぬがれながら、作業時間を増すためには、この型のチェンソーにおいても、直接手で持たない遠隔操作型として作業するのが有効であることを示唆している。

引用文献

- 1) 伏見知道・青野忠勝：圧縮空気駆動チェンソー・ハンドル部の振動測定値と作業性。愛媛大演報 11：37～41, 1974
- 2) 伏見知道・池田充興：木材鋸断振動(Ⅳ)。愛媛大演報 12：27, 1975

1976年8月19日 受理