

チェーンソーの木材鋸断振動 (IX)

ロータリ・ピストン機関
付機の防振対策

伏見 知道*・青野 忠勝**

On the Vibration of the Chainsaw in Timber Cross Cutting (IX)

countermeasure to reduction of vibration on handle
of a chainsaw with rotary piston engine

Tomomichi FUSHIMI* and Tadakatsu AONO**

Summary : In the preceding study, Fushimi (1976) reported that the chainsaw KMS-4 with a rotary piston engine should be improved with rubber isolater, in order to reduce vibration value of handle to the hand-arm vibration safe limit.

This study deals with the vibration amplitude of an isolated handlebar on the chainsaw KMS-4. The results are as follows :

1. The acceleration amplitude of vibration on the isolated handlebar is reduced in comparison with the value on a non-isolated handlebar at engine speed from 3000 rpm to 10000 rpm.
2. At 3000 rpm of engine speed in racing, the vibration amplitude of the isolated handlebar does not exceed the proposed limit of ISO '74 or the standard in U. S. S. R. for continuous 5-hr exposure per working day.
3. At 8000 rpm of engine speed in racing, the vibration amplitude of the isolated handlebar dose not exceed the hand-arm vibration safe limit for continuous 3/2hr exposure per working day.
4. During timber cutting, the vibration is characterized by the rise of acceleration level occuring at lower frequencies than the fundamental wave, as it is characteristics of vibration on handlebar of the chainsaw with reciprocating engine.
5. During timber (water content based on dry weight 64%) cutting, operator is permitted to expose the continuous 3/2hr per day, based on the proposed limit of ISO '74 and the standard in U. S. S. R.. When

* 森林工学研究室 Laboratory of Forest Engineering

** 農学部附属農業高等学校 Attached Senior Agricultural High School, College of Agriculture

operator begins to cut timber, the engine speed of the chainsaw in racing must be at 8000 rpm, and during cutting, operator must not press down the chainsaw by hands.

6. For the purpose of making longer the allowable time of the chainsaw work, the chainsaw with a rotary piston engine also must be constructed by multi-isolating handle system with rubber isolaters.

要旨 前報で、ロータリ・ピストン機関付機のハンドル部振動が、一般の往復動型機の値に比べて、低い値であるけれども、手腕の振動に関する安全限界の現案によると、なお危険であるから、防振構造の採用が必要であると述べた。今回、同じロータリ・ピストン機関付機に防振形ハンドルバーを装備したときの振動値を検討した。空転 3000rpm では安全限界内にある。空転 8000rpm から自重降下切削すれば、含水率の高い材では、切削中 6300rpm 程度で振動値はかなり低くなる。だが、木材切削時上昇する低周波数成分があり、往復動型機と同様に、本機の振動減衰にも限界がある。現在の安全限界で、防振形ハンドルバーでは、1 労働日中 1 時間 30 分以上の連続暴露、実作業の断続的暴露ではそれ以上の時間が許されるであろう。したがって、ロータリ・ピストン機関付機においても、架台式振動減衰構造の装着が必要である。

I はじめに

伐木造材作業における、振動障害発生を防止するために、ロータリ・ピストン・エンジン付チェーンソーの出現が期待されていた。今日、ロータリ・ピストン・エンジンとして、自動車あるいは小型汎用エンジンの分野で、実用化が進んでいるものは、NSU 社と Felix Wankel との協同開発による NSU-Wankel エンジンを基本とするところの、公転ピストンエンジンである。本エンジンは、トルク変動が少なく、慣性バランスを整えることができ、エンジン振動や機械的騒音が少なくなるため、静かなエンジンになっている。既にわが国では実用化¹⁾²⁾が進み、防振ゴムによる防振装置付機が採用されているが、外国では実用化を否定している³⁾ところもある。

前報⁴⁾で、無防振型機（西独製）の振動値が低く、防振型チェーンソーの場合に類似するけれども、手腕の振動に対する安全基準によると、なお時間規制が必要であるから、ロータリ・ピストン機関付チェーンソーにも、防振装置が必要であることを報告した。

今回、同じロータリ・ピストン機関付チェーンソーに防振型ハンドルバーを装着した場合の、振動減衰の様子を検討し、作業規制の方向について考察するとともに、チェーンソーハンドル部振動の減衰限界、およびロータリ・ピストン機関付チェーンソーにも防振装置を適用すべきである点について、あらためて考察を加えた。

II 実験方法

供試機：SACHS-DOLMAR, Wankel エンジンチェーンソー, KMS-4。その仕様を Table 1 に示す。防振装置はない。実験には、当初の非防振形ハンドルバーの他に、防振形ハンドルバー（フレームを分割し、

Table 1 Specifications of a chainsaw KMS-4.

Motor construction	SACHS-Wankel rotary piston engine
Cooling	air cooling by axial fan
Chamber volume	58cc per chamber
Carburattor	Tillotson diaphragm type HS173A
Power rating	7.0 PS SAE at 8000 r.p.m.
Operating speed	4500~8000 r.p.m. ; Idle revs. 2300~2400 r.p.m.
Ignition system	Ducati electronic magneto, breakerless
Spark plug	Bosch WKA225T6, electrode gap .020"
Starter rope	φ 4mm 1070mm long
Chain lubrication	automatic ; adjusting screw open
Fuel tank	0.60 litre capacity
Chain oil tank	0.25 litre capacity
Fuel mix and engine lubrication	HD engine oil SAE 30 : normal petrol, 1: 50
Saw chain	3/8" pitch, .058" gauge

丸型防振ゴム四個を介在させ、上方と側方に防振把握部を設けている)を加工し、取換え使用した。ソーチェン緊張度は3kg 牽引間隙3.0%とした。

供試木材：アカマツ丸太浸水材、直径19cm 対乾物含水率64%、年輪密度14~19本/cm。

切削方法：チェンソー水平保持・自重降下、切削前空転時機関回転数は10,000rpm と、8,000rpm の2通り。

振動測定：従来同様⁵⁾に、三直角方向成分を同時検出測定し、データレコーダに一度記録した後、反復再生し分析した。

III 結果と考察

供試機の公転ピストンエンジンは、外側ケーシングが静止し、偏心軸(出力軸)の偏心部分で、ローターベアリングを介してローターを支えていて、ローターは偏心軸の回転につれ自転しながら、偏心軸中心に対して公転する。ローターが1回転する間に出力軸は3回転する回転比と、ローターの頂点が常に同一のペリトロコイド軌跡を描いて、しゅう動するように規制されている。したがって、公転ピストン・エンジンの吸気・圧縮・爆発・排気の4つの作動過程は、偏心軸の3回転で1サイクルを完了するから、 $360^\circ \times 3 \div 4 = 270^\circ$ 、すなわち偏心軸の回転角 270° の間に1作動ずつ行なわれている。また、ローターにある3つの作動室は、偏心軸 360° 回転角の間隔位相差で作動するから、出力軸(偏心軸)1回転ごとに爆発過程を生ずる。その結果、1ローターのエンジン付ダイレクトドライブ型チェンソー(供試機もその1つ)では、爆発回数すなわちスプロケット軸回転数に対応した振動数成分が、チェンソーの運転に伴って発生する振動・騒音の中で、基本波を構成することになる。

1. 振動加速度と機関回転数

空転時機関回転数の変化に伴う、振動加速度総合値の変化をFig.1に示す。非防振形ハンドルバーでは、3000rpmで 20m/sec^2 以下、6000rpmで 44m/sec^2 内外、8000rpmで 68m/sec^2 前後であって、往復動型機関付チェンソーの非防振形ハンドルバーにおける値より、一般に低いけれども、機関回転数の増加に伴い、振動値が上昇する傾向には変わりがない。これに対し、供試防振形ハンドルバーでの値も、機関回転数の増加に伴って、ほぼ増大しているのが、各回転数とも、非防振形の値に比べ $15\sim 20\text{m/sec}^2$ 以上低い値である。これら非防振形の値に対す

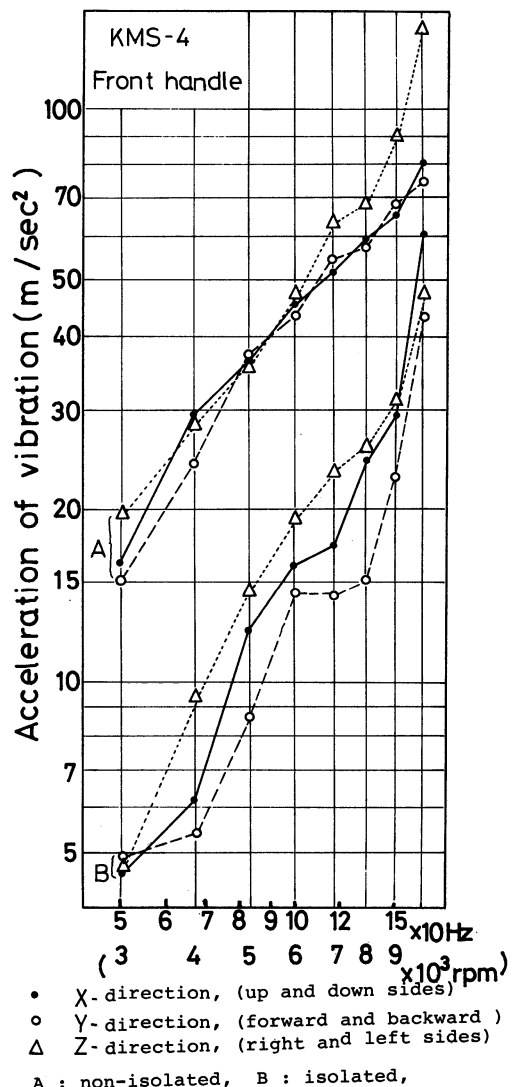


Fig. 1 Vibration amplitude of a chain saw with rotary piston engine, at front handlebar.

る減衰割合は、Table-2のとおりである。いずれの値も70%内外の減衰を示しているのであるが、左右方向では5000~7000rpmでの減衰率が小さい。9000rpmを越えると、振動値が急に上昇する結果、減衰率は低下している。つまり、現用の非防振形ハンドルバーには、振動減衰の余地がかなりあることを示している。

ハンドル部の各方向とも、10000rpmからフルスロットルに至ると、振動値が急増するから、常用回転数を4500~8000rpmとすることは適切で、また防振形ハンドルバーは、測定方向による振動値の変動がかなり認められるけれども、6000rpm前後で20m/sec²(≒2G)であるから、ロータリ・ピストン機関付チェーンソーも、前後ハンドルを防振形にし、空転時フルスロットル9000rpm以下に規制する必要がある。

2. 振動のスペクトル特性

防振形ハンドルバー上部の空転時振動加速度スペクトルと機関回転数の変化をFig. 2に示す。スプロケット軸回転数に対応する基本振動波とその高調波、および分数調

Table 2 Attenuation factor of vibration by the isolated handlebar.

decrement engine revolution	up and down X	forward and backward Y	right and left Z	resultant
3000rpm	72%	68%	77%	73%
4000	79	77	67	74
5000	64	77	60	66
6000	64	70	62	65
7000	67	74	54	62
8000	73	73	80	76
9000	55	66	66	63
10000	21	42	66	49

$\frac{A-B}{A} \times 100$ (%), A: value at non-isolated handlebar,
B: value at isolated handlebar,

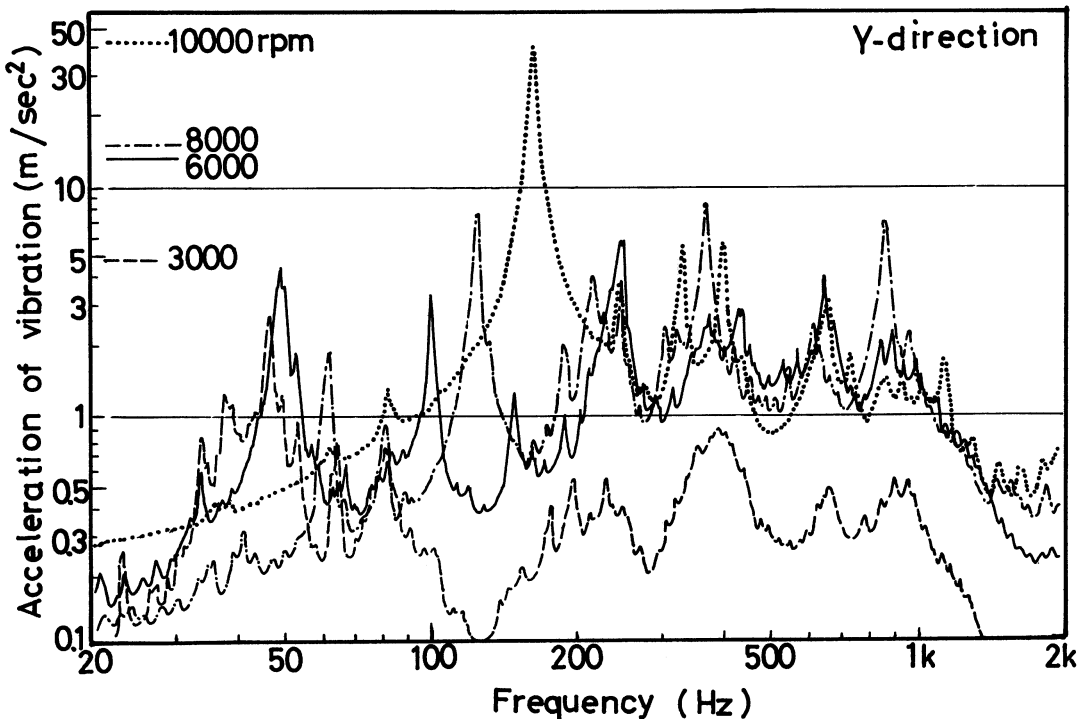


Fig. 2 Relation between the sprocket speed of a chain saw (KMS-4) and the spectra of vibration at upper part of isolated handlebar in racing.

波のほか、優勢な高周波成分が認められる。3000rpm と 6000rpm では、基本振動波よりも、むしろ高周波成分が優勢である点は、電動チェーンソーの振動スペクトル特性に類似している。しかし、8000rpm では、基本振動波が高周波数成分と同様のレベルを示すようになり、機関回転数がさらに上ると、基本振動波が支配的成分になっていて、一般ガソリン機関付機の振動スペクトルと同様の特性を示すようになる。この特性は、防振形ハンドルバーにも、非防振形ハンドルバーにも認められるところである。ただ、防振形では非防振形に比べ、各周波数成分のレベルが一般に低く、特に 300Hz 以上の周波数成分で、非防振形での値よりかなり低く、2KHz 以上の周波数成分は著しく微弱である。防振形ハンドルバーでは、機関回転数 6000rpm 以上では高周波数成分の、機関回転数の違いによる変化は少ない。このような、防振形ハンドルバーにおける、振動スペクトルの減衰の様相は、一般ガソリン機関付機における防振形ハンドルの場合と、基本的に等しい。

次に、三測定方向間における変化であるが、総合値が Fig. 1 に示すように、5000~6000rpm で、非防振形より防振形で変動がやや大きい。これを加速度スペクトルで示すと Fig. 3 のようである。機関回転数 6000rpm の非防振形では左右方向で基本振動波のレベルが他の方向より高いが、高周波成分が支配的で、総合値への影響が少ないと考えられる。防振形では支配的成分となっている基本振動波が、左右方向で特に優勢であるため、総合値が方向間で変動を示すに至ったものと思われる。

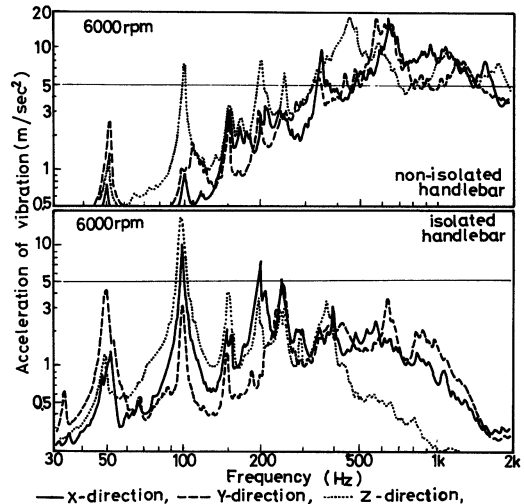


Fig. 3 Relation between the measured directions and the spectra of vibration at upper part of isolated handlebar in racing.

Table 3 The change of vibration at upper part of isolated handlebar of a chainsaw KMS-4 with timber cutting.

direction	X m/sec ²	Y m/sec ²	Z m/sec ²	resultant m/sec ²	cutting speed sec/dm ²
during timber cutting 8000 rpm (A)	30 ~ 40 (34)	11 ~ 23 (22)	17 ~ 27 (26)	47.0	2.88
during racing 8000 rpm (A ₀)	(24)	(15)	(25)	25.5	
100 (A - A ₀)/A ₀	106%	47%	85%	84%	
during timber cutting 6300 rpm (B)	14 ~ 19 (17)	14 ~ 16 (14)	13 ~ 16 (14)	26.1	3.96
during racing 6000 rpm (B ₀)	(16)	(13)	(18)	27.1	
100 (B - B ₀)/B ₀	6%	8%	-22%	-5%	

() : mean value.

test wood : Japanese red pine, water content based on dry matter. 64%

At a sprocket speed during racing before cut : (A)...10000rpm, (B)...8000rpm.

3. 木材切削時振動特性

ハンドルバーを軽く支え (M_1 支持⁵⁾), アカマツ浸水材を, チェンソー自重降下により切削したときの振動加速度の変化を Table 3 に示す。空転時機関回転数 10000rpm からの切削 (A) では, 切削中 8000rpm, 振動加速度値は 22 ~ 34 m/sec^2 を示す。平均値からの変動は 1 ~ 11 m/sec^2 である。切削中回転数と等しい空転 8000rpm における振動値に対する, 木材切削中振動値の増加率は, 47 ~ 106% に達した。また, 空転時機関回転数 8000rpm からの切削 (B) では, 切削中 6300rpm, 振動加速度値は 14 ~ 17 m/sec^2 である。空転 6000rpm における振動値に対する, 木材切削中振動値の増加率は 6% ~ 22% である。切削 (B) の左右方向 (Z) で, 負すなわち減衰したが, 比較する回転数が一致していない点, および防振形ハンドルバー取付部の加工がやや安定性に欠ける点等の影響が考えられるが, 改めて検討したい。もっとも, 実作業時に, 振動値が低下することは, 安全側により向かうもので, 作業規制的には好ましい所である。

次に, 木材切削時, 防振形ハンドルバー上下方向の振動加速度のスペクトルを Fig. 4 に示す。機関回転数のほぼ等しい空転時スペクトルと比べると, 木材切削に伴い強調される周波数成分は, 主として 200 Hz 以下である。空転 10000rpm で木材切削中 8000rpm の例 (A) では, 基本振動波とその 2 分の 1 調波を中心にしてレベルが上昇しているけれども, 高周波数成分は, むしろ空転時に比べ, いく分抑制されている。また, 空転 8000rpm で木材切削中 6300rpm の例 (B) では, 2 分の 3 調波成分および基本振動波より低い 2 分の 1 調波を中心とする周波数域で, 木材切削に伴うレベルの上昇が著しく, 基本振動波と高周波数成分の変化は少ない。このように, ロータリ・ピストン機関付機のハンドルバーにおいても, 防振ゴムの有無にかかわらず, 供試材の含水率が高く, 気乾材に比べて切削抵抗が弱い状態の木材の自重降下切削でも, ほとんどの測定方向で, 木材切削に伴う基本振動波およびそれ以下の周波数成分のレベルの上昇現象が, 明らかに認められる。

結局, 原動機の違いや, 防振ゴムの有無にかかわらず, チェンソーハンドルバーの木材切削時振動に, 同様の変化現象が確認された。このことは「木材切削によるチェンソー振動の基本的変化, すなわち基本振動波より低い周波数成分での各成分レベルの上昇⁶⁾」が, 原動機に由来するというよりも, ソーチェンおよび周辺部分の木材切削に関連して生ずる現象であることを示している。

4. 作業規制のための振動の評価

チェンソー作業の安全管理のためには, 作業規制が必要である。それには, チェンソー振動に対する周波数帯域別規制限界⁷⁾内に, 供試チェンソーハンドル部の振動値が, 留まり得るか否かを, まず検討しなければならない。現在, ISO の暫定的限界が提案されているが, その基礎となった三輪, Lauda, USSR 等の提案について, 医学的事実を基礎においていることを示すに十分な証明が与えられていない点の指摘⁸⁾があるけれども, 最近の諸報告では「白ろう病をおこす振動」は, 諸提案の限界を越えていることも明らかである。そこで, 供試防振形ハンドルバーについても, 振動加速度の規制基準を適用してみる。

(i) 空 転 時

Fig. 5 のように, 空転時総合値は, 空転 10000rpm を除き, 規制限界内にあるけれども, 3 分の 1 オクターブ帯域

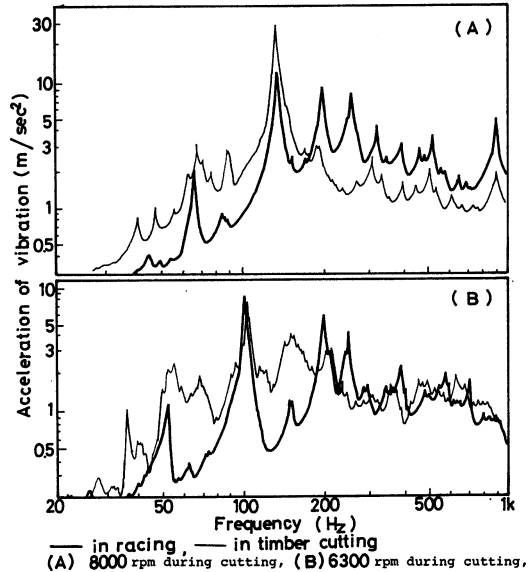


Fig. 4 Change of spectrum of vibration at upper part of chain saw KMS-4 during timber cutting.

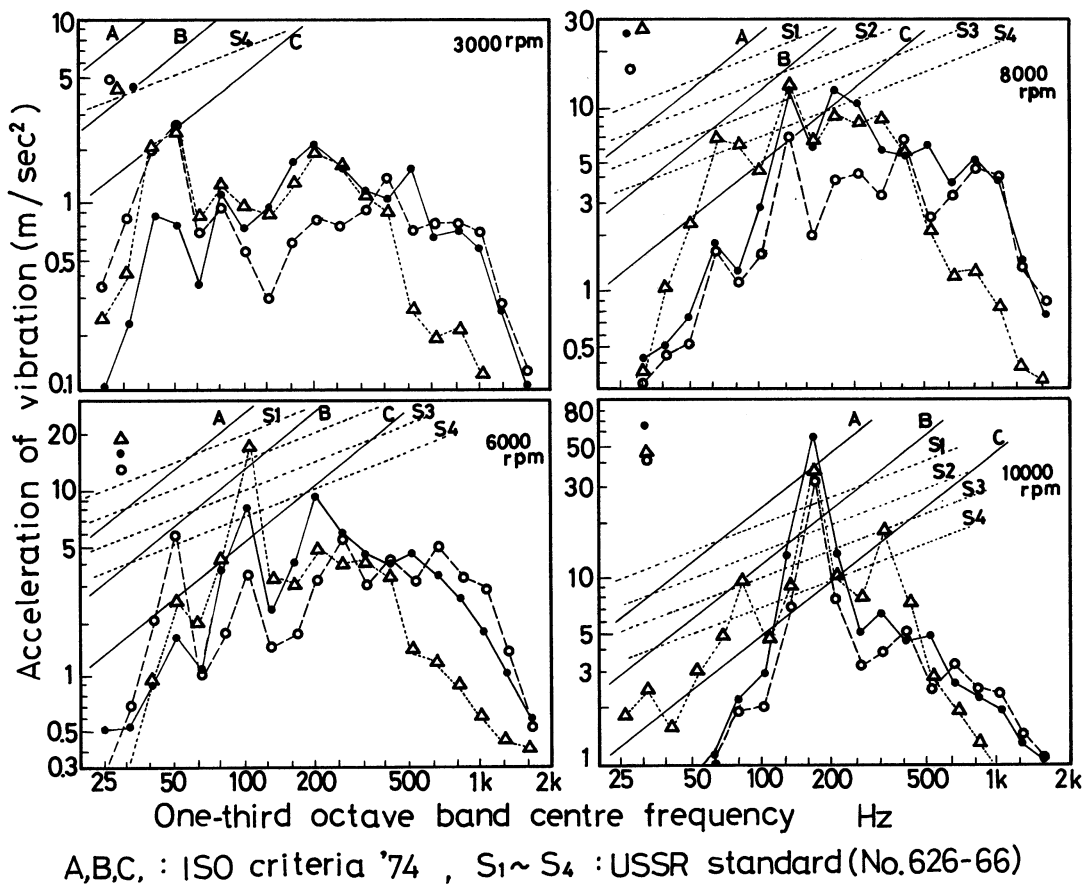


Fig. 5 Evaluation of vibration of a isolated handlebar during racing of a chainsaw with rotary piston engine. Key as in Fig.1.

別規制限界に対しては、抵触を受ける場合が多い。

まず、空転3000rpmは、ISO '74の連続暴露限界Cに抵触するけれども、実際作業は、断続的であるのが普通で、規制の必要がない範囲にあるとみてよい。したがって、防振形ハンドルバーを使用すれば、空転時アイドルのまま移動することも、場合によっては差し支えなく、一動作毎に始動し直すわずらわしさを除くことができる。10000rpmでは基本振動波帯域の値が大きく、規制限界を越えることが明白であり、供試防振形ハンドルバーでも、10000rpmでの手持使用は避けねばならない。

次に、空転6000rpmでは、規制対象帯域は少ないのであるが、左右方向の基本振動波が10m/sec²を越えるため、1労働日中1時間程度の連続暴露が許されるに留まる。空転8000rpmでは、基本振動波で10m/sec²をわずかに越える方向があるけれども、その他帯域の値に特に大きい成分がないため、1労働日中1時間30分程度の連続暴露が許される範囲に留まっている。

結局、供試防振形ハンドルバーでは、3000~8000rpmの範囲であれば、1労働日中1時間30分程度の、空転操作のための連続暴露またはそれ以上の断続的暴露が許されることになる。

(ii) 木材切削時

浸水貯木してあったアカマツ材切削時の結果を Fig.6 に示す。空転10000rpmからの自重降下切削(A)では、切削

回転数と同一回転数の空転時と比べると、総合値に対応して基本振動波も大きくなるのであるが、特に上下および左右方向で著しい。一方、基本振動波より低い周波数成分では、上下および前後方向で、特に前後方向での上昇が著しい。結局、木材切削時に上昇の著しい帯域で、規制限界に抵触し、この切削条件では、1労働日中30分程度の連続暴露が許されるにすぎない。

次に空転8000rpmからの自重降下切削(B)では、切削中6300rpmで、空転6000rpmと比べると、特に値の大きい帯域がないため、この切削条件では、1労働日中2時間内外の連続暴露が許される。

(iii) 実作業時チェンソーの操作

空転時および木材切削時の振動の評価に基づき、実作業における、防振形ハンドルバー付供試機の操作時間について考察してみる。空転フルスロットル8000rpm、アイドリング3000rpmに固定し、フルスロットルから速やかに、自重降下切削に移る。鋸断終了後、エンジン停止あるいはアイドリングで次に移る。このようにすれば、供試材程度の切削抵抗の材の切断作業は、1労働日中連続2時間程度許されることになる。もち論、実作業はある程度断続作業であるし、愛媛県民有林作業者の例⁹⁾では、伐木関連作業30~80分、枝払い作業20~100分、玉切りおよび附帯作業20~70分であるから、枝払い作業を斧または鋸にかえ、作業者自身による作業の安全管理に努めるならば、供

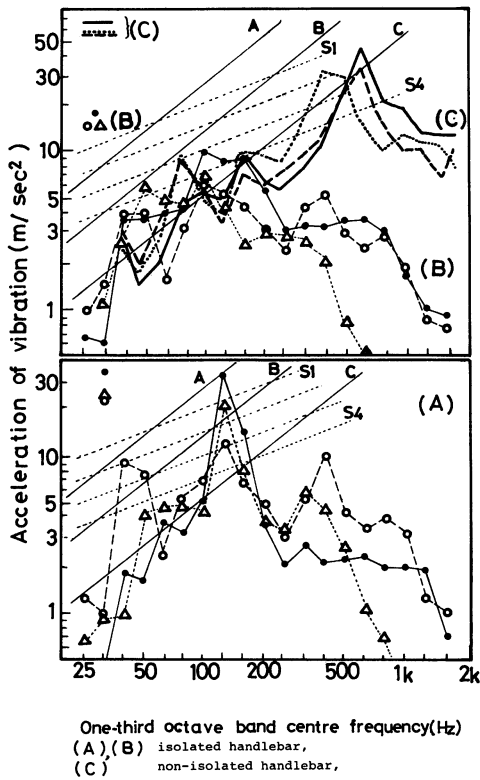


Fig. 6 Evaluation of vibration at the isolated handlebar of chain saw KMS-4 during timber cutting, by some safety limits for hand-arm vibration. Key as in Fig. 1, 4 and 5.

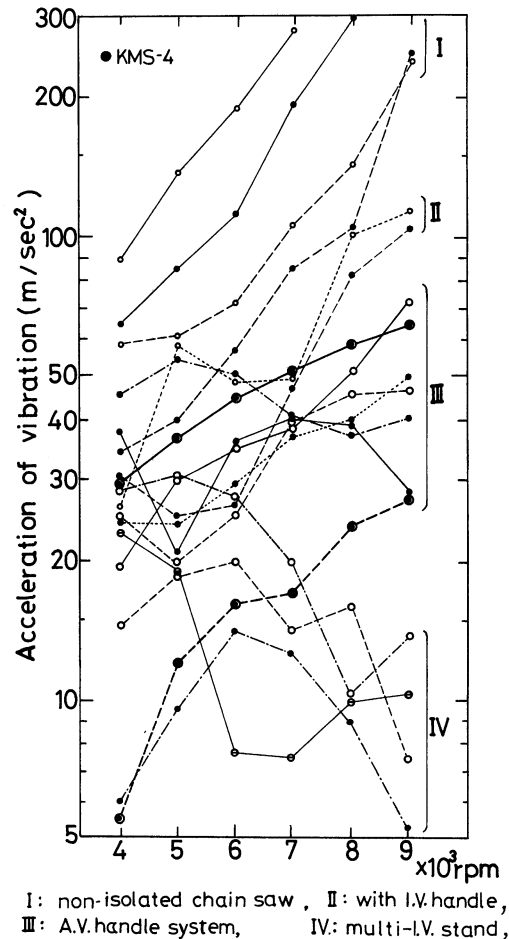


Fig. 7 Relation between vibration amplitude of chain saw and engine revolution, at front handle; up and down direction.

試条件下で、安全作業が可能になるであろう。

5. ロータリ・ピストン機関付チェンソーの振動減衰限界と防振対策

ロータリ・ピストン機関付チェンソーのハンドル部振動特性には、回転型および往復動型両原動機の特徴を合わせることが出来る。供試機は本来、防振装置を採用していないけれども、常用回転数以下で、手腕の振動に関する許容基準に対し、かなり有効な値を示す。だがなお、基本振動波をはじめ、二・三の帯域の振動値は高く、手腕の振動に関する許容基準に抵触する割合が多い。

防振形ハンドルバーを使用した場合、当初の非防振形に比べ、各周波数帯域の全般にわたり減衰があらわれるが、木材切削時上昇成分の減衰は困難である。この点については、回転型原動機付機の例でも、現状におけるチェンソー振動の減衰限界であると、度々指摘したところであり、今回、ロータリ・ピストン機関付機についても、これを確認した。

木材切削時に増大する低周波数成分の振動値は、Fig. 6 に示したように、防振ゴムの有無によって著しい変化はない。しかし、防振形ハンドルバーでは、非防振形にみられた高周波数成分の減衰が大きく、ソ連の規制基準に対しては、木材切削時の許容時間が増しているし、また、空転保持に対する安全条件も増している。したがって、ロータリ・ピストン機関付チェンソーも、前後ハンドルを合わせて防振構造にすることの有効性は、言うまでもない。

そこで、防振方法の異なる各種チェンソーハンドルバーにおける振動加速度の変化と、ロータリ・ピストン機関付機の位置について、Fig. 7 で見てみよう。供試ロータリ・ピストン機関付機の非防振形ハンドルバーでは、一気筒の防振型チェンソーの群に位する。供試防振形ハンドルバーでは、防振架台付機（多重防振型）の群に入るけれども、回転数の増加に伴って、防振型チェンソーの群へ上昇している。防振架台¹⁾は、マツカラー CP 型を基本に考案されたもので、木材切削時上昇成分はあまり減衰しないけれども、総合値は低くなっている。スウェーデンでは、Wankel 機関付チェンソーを試験³⁾し、「疑いもなく、振動問題解決のよい方法の1つであった」としているが、これまで述べた結果からみて、ロータリ・ピストン機関を、チェンソーに単純に取り入れたのでは、振動問題解決上十分でなく、防振型として取り入れるのであれば、意義が少ない。この場合、防振架台型防振ハンドルシステムが参考になるであろう。

スウェーデン³⁾では、Wankel 機関の寿命が短い点、寒期始動性がよくない点、高温となり、重量が重い等のため実用化されなかったと言う。筆者も、暖季節でも、予熱を十分しないと、低速回転が不安定となり停止し易いことを経験した。国産で軽重量・防振型機¹²⁾が開発されているので、いずれ実見の機会を得て、これらの諸点についても確かめたい。

IV む す び

ロータリ・ピストン機関付チェンソーにおける、防振形ハンドルバーの振動減衰効果について考察した。空転 3000rpm では、手腕に対する振動の安全限界に抵触しない。木材切削時振動の減衰には、往復動型機と同様に限界があるが、空転 8000rpm から自重降下切削すれば、1 労働日中 90 分程度の連続暴露が許されるであろう。したがって、ロータリ・ピストン機関をチェンソーに応用する場合も、前後ハンドル部に防振対策を施さなければならないが、それでもなお、現在の手腕の振動に対する安全限界に照らした作業規制はまぬがれないであろう。

今後、軽重量で、防振装置付のロータリ・ピストン機関付チェンソーについて、指摘される欠点の有無の検討が必要である。

文 献

- 1) 山脇三平・鈴木皓史・平松修：ロータリチェンソーの振動と騒音。第 85 回日林大会講演集：329～331, 1974
- 2) 平松修・鈴木皓史・山脇三平：ミニロータリチェンソーの動力性能および作業性能。第 88 回日林大会発表論文集：441～443, 1977
- 3) ULF NÄSLUND : Reduction of vibration in chain saw. The vibration Syndrome, London, 61～70, 1974

- 4) 伏見知道・鬼木幹男：チェーンソーの木材鋸断振動(VI)。愛媛大演習林報告 13：131～138, 1976
- 5) 伏見知道：チェーンソー作業における作業規制に関する研究。愛媛大演習林報告 13：13～14, 1976
- 6) 伏見知道：4) 28～30,
- 7) 伏見知道：4) 51～54,
- 8) G. D. KEIGHLEY : Safe Working Limits of Vibration Level for Continuous and Interrupted Exposure.
The Vibration Syndrome, London, 85～90, 1974
- 9) 愛媛県チェーンソー作業仕組改善検討会議資料, 1977
- 10) 伏見知道：4) 62～66,

(1978年8月23日 受理)