

チェーンソー振動の人体への伝導について

藤 井 禧 雄

On the Transmission of the Vibration of Chain-Saw Machine to the Human Body

Yoshio FUJII

目 次

要 旨	137	結果と考察	139
まえがき	137	引用文献	142
実 験	138	Résumé	142

要 旨

森林における機械作業をそれに従事する者の立場に立って考察し、作業者がより快適、安全、少ない労力で作業出来る様に計るとの大きな目的の一環として、チェーンソーに生ずる振動のどの様な成分がどの程度人体各部位に伝導されているものであるかを明らかにしようとした。そこで32組の異なる玉切条件を設定し、各々の場合に生ずる振動加速度を上下、左右、前後の3方向ごとに、チェーンソー・ハンドル、手背、手首、肘、肩関節で同時測定しました。一方或る玉切条件下で各部位ごとに振動の周波数分析を行ない伝導振動の主成分を調べました。

その結果、①チェーンソーに発生した振動を基準とした場合、概略手背で90%台、手首で40%、肘で30%、肩関節で10%の振動が伝導され、手背への伝導は特に著るしく場合によっては100%を越えますが、手首以遠では常に50%以下の伝導率にとどまったこと、②周波数分析の結果、人体への伝導振動の主成分はチェーンソー・エンジンのピストン往復運動に由来する86c/s前後とその $\frac{1}{2}$ 倍数である41c/s前後のものであり、チェーンソーでは認められるより高い倍数の170c/s、270c/s 前後の成分はさして人体には伝わっていないこと等が明らかになりました。

ま え が き

林業における機械作業が作業者の身体におよぼしている影響ないし機械作業の特質を明らかにし、作業者がより快適に、より安全に、より少ない労力で作業を行ないうるよう、つまり「森林と人間と機械との調和」を計るよう考へなければなりません。

この様な大きな目的の一環として、チェーンソーに生ずる振動のどの様な成分がどの程度人体各部位に伝導されているものであるかを明らかにしようとして計画し、振動の伝導が顕著であると考えられる手一腕一肩系での振動の伝導率の測定と振動周波数の分析を取り上げました。

尚、今回の実験に際しての因子とその水準は、昨年度行なったチェーンソー自体の振動を左右する主

たる因子を明らかにした実験の結果²⁾に基づいて決定しました。

実 験

以下に述べます様々の条件下で、台上に固定された角材をチェーンソーで玉切り、その際生ずる振動加速度を、それぞれが直角な3方向ごとに、各部位で同時測定しました。測定した各部位は、チェーンソー・ハンドル(左手)、手背、手首、肘、肩関節の5カ所であります。

実験に供したチェーンソーは昨年度と同じホームライト5PSの防振装置なしのものであります。

振動加速度の受容器はいずれの測定箇所もストレイン・ゲージを使用した非接着型加速度変換器であります。ただし人体各部位に取付けた変換器は、チェーンソーに取付けたものよりもはるかに小形軽量のものであります。この変換器が受けた歪は増幅器を経てラピコーダーの無現像式記録紙上に感光印加されました。

玉切り条件であります。表一1の4つの要因の各水準の全ての組合せである32組の条件を設定しました。チェーンは表のごとく4本使用しましたが、チェーン1は一般に使用されている、チェーン2は

表一1 実験の因子と水準
Table-1 Factors and their levels

因 子 (Factor)	水 準 (Level)			
チェーン Chain	チェーン1 ¹⁾ , Chain 1	チェーン2 ²⁾ , Chain 2	チェーン3 ³⁾ , Chain 3	チェーン4 ⁴⁾ Chain 4
エンジン回転数 Revolutions of chain-saw engine	約 5000 rpm, about 5000 rpm,		約 6000 rpm about 6000 rpm	
樹 種 Wood species	スギ, Japanese cedar		ブナ beech	
角材木口幅 Side width of square timber	10cm,		20cm	

注 1) 一般に使用されているチェーン

The chain having the saw teeth and depth gauge most practically used

($\beta=55^\circ$, $i=35^\circ$, デップス量 0.7mm)

Depth gauge

2) 一般に使用されているチェーン、但デップス量過大

The chain having the saw teeth most practically used and the excessive depth gauge

($\beta=55^\circ$, $i=35^\circ$, デップス量 1.4mm)

Depth gauge

3) 発生振動加速度最大チェーン

The chain having the saw teeth and depth gauge highest vibrational acceleration generated

($\beta=85^\circ$, $i=50^\circ$, デップス量 1.4mm)

Depth gauge

4) 発生振動加速度最小チェーン

The chain having the saw teeth and depth gauge lowest vibrational acceleration generated

($\beta=55^\circ$, $i=5^\circ$, デップス量 1.4mm)

Depth gauge

但、 β , i の記号については文献2を参照して下さい。

As for the symbol β , i , see Literature cited 2)

チェーン1に比してデップス量のみが過大であるもの、チェーン3は発生振動加速度が最も大きくなるであろうもの、チェーン4は逆に加速度が最も小さくなるであろうもの、その様に各チェーンの各角度とデップス量を調整しました。

玉切る際の姿勢ですが、足を踏んばってチェーンソーを支え、測定器を取付けた手は肘を直角に曲げてハンドルを握るようにしました。ところで玉切条件によりスムーズに切れる場合とそうではない場合が生じ、当然チェーンソー・ハンドルを握っている力が変化せざるを得ないわけですが、本実験では握力を一定に保つのではなくて実際の玉切りの場合を再現するべくむしろ各場合に依じて玉切り易い様な握力を加えた下で測定しました。

次にこれとは別に、この振動の人体への影響をより詳細に調べるために、或る特定の玉切り条件の場合に、この各部位に生じ或は伝導された振動加速度を一度データ・レコーダーに収録し、のち程周波数分析器に掛けて各部位ごとの周波数分析を行なう実験も行ないました。

結果と考察

測定は、左右、上下（ピストン方向）、前後の3方向ごとに行なったのですが、以下はそれ等をベクトル合成した値について論じます（表-2参照）。

表-2 チェンソー振動の人体各部位への伝導率
Table-2 The Transmissibility of the vibration of chain-saw to the human body

		平均 Mean 伝導率(振動) Transmissibility (Vib. accel.)	因 子 別					
			樹 種 Wood species		角材木口幅 Side width of square timber		回 転 数 Revolutions of chain-saw engine	
			スギ Jap. cedar	ブナ Beech	10cm	20cm	5000rpm	6000rpm
チ ェ ン ソー 1	肩 関 節 Shoulder	11% (1.0G)	9%	13%	11	11	11	11
	肘 Elbow	34 (3.1)	30	38	35	34	40	29
	手 首 Wrist	30 (2.7)	26	33	32	28	32	28
	手 背 Back of the hand	96 (8.7)	98	94	97	95	93	98
	チェンソー Chain-saw	100 (9.0)	100	100	100	100	100	100
チ ェ ン ソー 2	肩 関 節 Shoulder	11 (1.0)	10	12	11	11	11	11
	肘 Elbow	30 (2.7)	24	35	31	29	30	30
	手 首 Wrist	42 (3.8)	34	49	44	41	45	40
	手 背 Back of the hand	96 (8.6)	102	91	103	90	85	108
	チェンソー Chain-saw	100 (8.9)	100	100	100	100	100	100
チ ェ ン ソー 3	肩 関 節 Shoulder	9 (1.0)	7	11	8	10	9	9
	肘 Elbow	30 (3.0)	29	30	30	29	32	27
	手 首 Wrist	39 (4.0)	38	40	40	38	42	36
	手 背 Back of the hand	105 (10.8)	112	99	107	102	104	105
	チェンソー Chain-saw	100 (10.3)	100	100	100	100	100	100
チ ェ ン ソー 4	肩 関 節 Shoulder	9 (0.7)	8	9	8	10	9	8
	肘 Elbow	29 (2.4)	28	29	32	26	34	23
	手 首 Wrist	42 (3.5)	39	44	46	38	46	37
	手 背 Back of the hand	91 (7.7)	100	84	88	93	94	88
	チェンソー Chain-saw	100 (8.4)	100	100	100	100	100	100

$$\text{伝導率(\%)} = \frac{\text{人体各部位での振動加速度}}{\text{チェンソー・ハンドル部位に生じた振動加速度}} \times 100$$

として、4本のチェンソーに互っての概略の傾向を述べますと、表-2のごとく手背で90%台、手首で40%、肘で30%、肩関節で10%になっています。手背での伝導率は大変高く発生振動が最も大きいチ

エン3では100%を越えています。つまり増幅されて伝導されています。手首以遠では、しかし、どんな玉切条件の場合でも50%以下の伝導率にとどまっています。チェン1では手首よりも肘の方が伝導率が高くなっていますが、これは肩と手首を支点として肘が左右に小刻みに振れたためであります。

以上概略を述べましたが、次に因子ごとにやや詳しく論じます。

角材の木口幅の影響ですが、表一2の様概して20cm角材の玉切の方が10cmの角材の場合より伝導率は低目でした。これは木口幅の大なる角材の方がチェン、プレートと材が接する面積が大きく、そただけ木材による振動の減衰効果を受け易いためです。

樹種の影響ですが、手背までの伝導はスギの方が著るしく、手首以遠では逆にブナの方が高くなっています。又ブナ材ではどんな条件下でも各部位で100%を超えることが無いのですが、スギでは越えるものが認められます。このことは次の様に考えればよいと思います。まず、玉切中の手—腕—肩系での感覚を述べますと、スギの玉切中は振動の感じが滑らかで手の中でブーッとふくらんで手首以遠はあまり振れない感じがします。一方ブナ材では切前中常にゴツゴツした衝撃が手掌に伝わり手首以遠もそのために左右に小刻みに振れるのが感じられます。これから考えて、ハンドルを握っている手背部位ではチェンソーの振動のみが直に伝導されるので、振動減衰率のより小さいスギでは振動の吸収が少なく伝導率も高くなります。これに反し手首以遠では手背部位とちがってフレキシブルですので、チェンソーの振動に加えて上述の副次的衝撃による、振動数は低いが振幅の大きい振動が重なるので、かかる衝撃的振れの著るしいブナでは振動加速度の絶対値が大になり従って伝導率も高くなるものと思われまます。このことは各部位、各方向ごとに記録された振動の波形を調べてみますと、スギの玉切では各部位共3方向に互ってほぼ一様な大きさの振幅と振動数に終始しているに反し、ブナの玉切では手首以遠の各部位で、左右、前後方向において振幅が大きく振動数の小さい波形がしばしば認められることから明らかであります。

トップス量の影響はチェン1とチェン2の結果を比較すれば明らかになるはずであったのですが——表一1の注参照のこと——、両チェンに生じた振動加速度の絶対値そのものにほとんど差が生ぜず、新しいチェンを下しはじめの切れの悪さの影響がチェン1に出たために——と言いますのはチェン1のみが新品で他の3本は良くなじんだチェンでしたので——、本来のトップス量の影響を明らかにすることが出来ませんでした。

表一3 チェンソー機種ごとの振動加速度及び伝導率

Table—3 The values of the vibrational acceleration and the transmissibility to the human body for the types of chain-saw

	Idling		Racing			Cutting		
	スティール Stihl	ホームライ ト Homelite	スティール Stihl	ホームライ ト Homelite	電 動 Electric	スティール Stihl	ホームライ ト Homelite	電 動 Electric
肩 関 節 Shoulder	27% (0.9G)	28% (0.9G)	2% (0.5G)	6% (0.5G)	26% (0.5G)	4% (1.0G)	11% (0.9G)	14% (0.9G)
肘 Elbow	47 (1.5)	62 (1.9)	2 (0.6)	11 (0.8)	23 (0.4)	8 (2.3)	29 (2.5)	19 (1.2)
手 首 Wrist	57 (1.8)	47 (1.4)	4 (1.2)	16 (1.2)	65 (1.2)	9 (2.5)	28 (2.4)	34 (2.2)
手 背 Back of the hand	162 (5.2)	113 (3.4)	52 (14.0)	156 (11.8)	71 (1.3)	50 (13.6)	98 (8.6)	58 (3.8)
チェンソー Chain-saw	100 (3.2)	100 (3.0)	100 (27.2)	100 (7.5)	100 (1.8)	100 (27.3)	100 (8.7)	100 (6.5)

注 () が振動加速度

The values in the parentheses are vibrational acceleration.

所で、6PSのスティール、1.35PSの電動でスギ、ブナの20cm、10cm角材を玉切った際の測定結果の平均を、ホームライトのそれ等と並べて表示したのが表-3であります。これによりますと人体への伝導率は加速度が大き過ぎても小さ過ぎてもかえって減少するもの様です。この傾向は立位、坐位、屈位で人体に上下振動を加えた場合、即ち全身振動においても認められている傾向です³⁾。また表-3には各センサーのIdling, Racing, Cuttingの際の伝導率を示してありますが、Cutting(玉切)の場合と他の場合を合せ考えますと木材切前中の木材による振動の減衰効果の大なることが分かります。

一般に使用されているチェーンであるチェーン1での玉切中の手背における平均振動加速度は8.6G、平均振動数は65c/s.(3960c/min.)、平均振幅は0.98mmです。また最小の発生振動を示すチェーン4のそれ等は各々、7.5G、75c/s.(4500c/min.)、0.66mmです。これ等の値は労働科学研究所の三浦氏等がレイノ現象に関する調査と各種振動工具の振幅の測定結果を基にして示された手掌に対する局所振動の許容水準⁴⁾をはるかに越えたものであることを付記しておきます。

さて、スギ20cm角材をチェーン1で玉切った場合のチェーン・ハンドル部位および人体各部位における振動加速度の周波数分析結果を図-1です。これをみますと、チェーンでは42c/s前後、86c/s前後、260c/s前後に一段と高いピークが存在します。86c/s前後のピークはチェーン・エンジンのピストン往復運動に由来するもので、その他のピークはほぼその倍数になっています。かかる成分の振動が手背に伝わった場合をみますと、42c/s前後、82c/s前後にやはり一段と高いピークが認められます。170c/s、270c/s前後にもピークは存在しますが、前の2つのものと較べれば、大変低いものであります。手首、肘、肩関節でもほぼ同様の傾向が認められます。

以上から考えて、人体に伝導される振動加速度の成分はチェーン・エンジンのピストン往復運動に由来する86c/s前後のものと、その $\frac{1}{2}$ 倍数である42c/s前後のものが主たるもので、チェーン自体では認められるより高い倍数の成分(170c/s、270c/s前後)は人体へはさして伝導されていないことが分

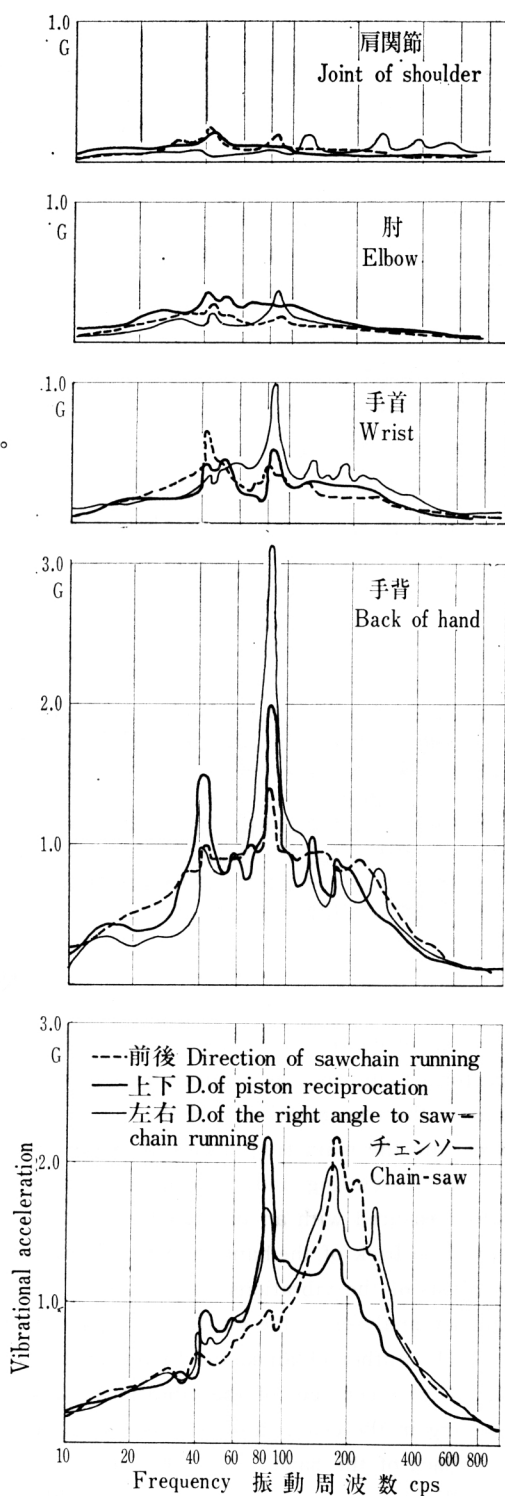


図-1 発生および伝導振動加速度の周波数分析
Fig. 1 The spectrogram of the vibrational acceleration originated in chain-saw and transmitted to the human body

かります。

防振ハンドルを持ったチェーンソーでは全体としての振動加速度の絶対値は著るしく低くなっているがその周波数成分には本質的な変化がないという結果が報告されておりますので、防振ハンドルを持ったチェーンソーの場合の人体への伝導振動も、本実験でのものと同じ様な周波数成分を持ち、しかし一段と絶対値の低い加速度のものとなっていると推論されます。

他方、上下、左右、前後に振動する振動板に指の第2関節から指先までの部分を接触させ、指—肘系の共振振動数を検出する実験の結果が報告されていますが、それによりますと各部分の共振振動数は次の様になっています。

肘で 10~20c/s

手首で 30~50c/s

手掌で 60~80c/s

指先と第3関節の midpoint の部分で 400c/s

又接触圧を強めると上記共振数はより高い振動数へと移行することが認められています。従って、チェーンソーによる木材玉切の際に機械に発生するピストン往復運動に由来する 42c/s, 86c/s そしてそのより高い倍数である振動数は手—腕—肩系の共振を誘う振動数範囲にあることとなります。

引用文献

- 1) E. G. STREHLKE : Im Umbruch zur Mechanisierung der deutschen Waldarbeit, All. Forst u. Jagdzeitung, 135, Jahrgang, Heft 2, 29~34, (1964)
- 2) 藤井禮雄 : チェンソー歯の各角度の変化がチェーンソーの振動におよぼす影響 (英文), 日林誌, 51, 1, 1~5, (1969)
- 3) 岡田 晃 : 振動の生体に及ぼす影響について, 北方産業衛生, No. 17, 1~18, (1958)
- 4) 三浦豊彦他 : 振動工具による障害について (第4報), 労働科学, 35, 11, (1959)
- 5) 伏見知道他 : チェンソーの木材鋸断振動, 79回日林講, 252~254, (1968)
- 6) 小畑耕郎 : 振動—触感の生理について, 応用物理, 26, 12, (1957)

Résumé

Out of concern to establish such working conditions so that operators of forest machines can perform their work as comfortably, safely and easily as possible, the author has attempted to clarify the transmissibility of the mechanical vibrations of a chain saw to the human body and ascertain the main frequencies of those vibrations which were transmitted during crosscutting.

In crosscutting under various conditions as shown in Table 1, the vibrational acceleration was measured with an unbonded wire strain gauge type transducer on the handle of the chain saw, the back of the hand, the wrist, the elbow and the shoulder at the same time. A spectrum analysis of the vibrations transmitted to the human body was also performed by using a frequency analyser in the cutting of Japanese cedar.

The author obtained the following data :

1. The percentages of the vibrations transmitted to the human body from the vibration originating in the chain saw were as shown below : (see Table 2).

Back of the hand	90% level
Wrist	40% (roughly)
Elbow	30% (roughly)
Shoulder	10% (roughly)

The rate of vibrational transmissions on the back of the hand was especially large and trans-

missions amplified above 100% were occasionally observed, but in the case of other parts far from the wrist the rate usually obtained was less than 50%.

2. It became clear from the analyses of vibrations that the main frequencies of the vibration transmitted to the human body consisted of the frequency derived from the reciprocation of chain saw engine's piston (about 86 cps) and onehalf frequency (about 42 cps), and that higher frequencies (about 170 cps and 270 cps) were not transmitted much to the human body.