

チェーンソーの評価法 (I)

— 振動について (1) —

瀧 本 義 彦・後 藤 純 一

A Method for Evaluation of Chain Saw (I)

—On the Vibration (1)—

Yoshihiko TAKIMOTO and Junichi GOTOU

要 旨

チェーンソーの普遍的評価法を確立するために、そのうちの振動について評価法を検討した。今回は人間に及ぼす影響を心拍数、皮膚温について実験した。

- 心拍数は周波数の増加により減少する傾向があった。被験者の違いにより共振周波数が異なると思える結果が心拍数に現われた。
- 皮膚温の低下は 63 Hz と 4,000 Hz で観察された。
- 心拍数は実験手法が不十分であり、更なる検討が必要であるが、皮膚温は評価法として使えるのである。
- 今後は、より大きい振動力による実験を行なって、心拍数・皮膚温との関係をはっきり調べる必要がある。

I は じ め に

今日、林業機械の中でチェーンソーは使用台数、機能の両面で代表的なものといえよう。チェーンソーは1920年頃にアメリカで発明されて、以来エンジンの改良・金属材料の改良・ソーチェーンの改良をへて、1945年頃に現在のタイプの実用機が出来上っている。その後は防振ハンドル等の改良といった労働安全面での発達のみで今日まで来ており、機械としては開発期を終え、普及段階に進んでいるといえよう。しかし、最近のチェーンソーの振動による障害<白ろう病>はチェーンソーの存在そのものに大きな疑問をなげかけている。

我が国では1954年の第15号台風による風倒木の処理に使われて以来、急速に使用台数がふえ、現在では国内保有台数は20万台といわれている。他方振動障害者も多く、1960年木曽地方の国有林労働者の訴えを始めとして、年々その数は増加し、現在では潜在患者を含めると4万人近くになるだろうといわれている。現在までの研究により、白ろう現象発生のくわしいメカニズムは判らないにしても、チェーンソーによる振動暴露、きびしい労働環境が白ろう病の原因の多くをしめることが明らかになっている。労働者はチェーンソーを使い始めて約3年で程度の差はあれ振動障害にかかっているといわれているが、しかし生活上の問題から治療よりも作業を続ける道を選ばざるを得ないケースが多い。このことを考えると、振動病対策として、チェーンソーを使わない伐木手段の開発から、現在のチェーンソーで少しでも振動暴露をへらすといった消極的な方

法まで、巾広い対策が望まれるのもやむを得ないであろう。

しかし、これらの対策に当り1つの重要な観点は、チェーンソーという機械の普遍的な評価にもとずき、対策を実施することではなかろうか。現在、チェーンソーの評価法として確立されたものはなく、個々の比較出来ない方法で評価がなされているという実情である。そこで筆者達はチェーンソーの評価法を確立し、さし当って振動障害の予防に有効な機械の改良に結びつけようとするものである。

Ⅱ チェーンソーの評価法

一般に物を評価するとは、人間が主観に基づき、何らかの尺度を使ってねうちを判断すると形容できる。したがって、チェーンソーの評価に当って考えるべきことは、主観とは何か？何が尺度となるか？の2点である。主観とはその人の考え方、立場によって異なり、チェーンソーの場合なら、チェーンソー作業員、その雇用者、チェーンソーメーカー、チェーンソー研究者等、大ざっぱに分けて見ただけでも、それぞれの立場の人によって評価が異なることが予想できる。この違いは立場の違いによるもので、これを同じにすることはおそらく不可能であり、筆者達の意図もここにあるのではなく、これらの人々が同じ尺度でチェーンソーを評価する所にある。

またチェーンソーのように特定の目的<鋸断>のために作られている機械の評価は、その本来の目的(長所)に対する評価と、その目的を可能にするために派生するマイナス面(短所)に対する評価の両者が考えられる。

長所として評価する項目としては①鋸断能力、②作業能率、③生産コストなどが考えられ、短所として①振動、②騒音、③排気ガス、④故障、⑤重いこと、⑥費用などが考えられる。これらすべてについて評価法を確立する予定であるが、今回はそのうちの振動に関して実験を行ったので第1報として報告する。

(1) チェーンソーの振動の評価法

チェーンソーの振動は、機械のみが振動しているのではなく、使用者(人間)とチェーンソー(機械)が一体となって振動している点が重要であるから、評価法も人間の側からと機械の側からの両面を考えるべきである。

機械の側からの評価法については、その一部を第88回日本林学会大会において「Chain Sawの防振性能の評価法、そのⅠ」として報告しているので参照されたい。本論文では、人間の側からの評価法について述べることにする。

振動が人間の身体に及ぼす影響は、一時的なものと慢性的なもの、つまり身体に可逆性変化を及ぼすものと不可逆性変化を及ぼすものの2つが考えられる。また、可逆性変化を周期的に身体に加えると、それがついには不可逆性変化に変わるのではないかという考えから、ここではさし当って可逆性変化としての影響を把握することにした。そして手法としては、労働医学の分野で使われる疲労調査が適用できる。疲労調査は大きくわけて、①作業実態の観察、②休養生活条件の調査、③自覚疲労の調査、④現場統計資料の点検、⑤機能測定、の5つよりなる。このうち①～④は作業を含めた調査に有効であり、振動の影響を調べるためには、⑤の機能測定が有効であり、その中でも連続測定の可能なものが適している。そういうものとしては、①生体電気現象を直接に増幅するもの(心電図、筋電図、脳波、眼球運動、皮膚電位など)、②生体機能変化を電氣的ないし機械的变化におきかえるもの(作業動作、筋力・体圧・脈波・呼吸・体温・局所発汗量・皮膚抵抗など)、③操作を加えて連続記録にのせるもの(血圧・血流・二重課題反応など)がある。それぞれ調査目的に応じて適合するものや適合しないものがあり、装置の簡単なものや

複雑なものがある。

今回は、上記の機能測定のうち、心電図と体温に着目し、心電図から得られる心拍数と体温（指尖の皮膚温）について検討した。

(2) 心拍数による評価法の実験

実験は室内で被験者の手を通して振動を加え、心電図により心拍数の変化を読み取った。A シリーズは加振周波数・加速度・加振時間・被験者の手と加振台との接触圧・被験者の姿勢・の5つの因子と心拍数との関係を確認するために、B シリーズは周波数を細かく変えた時の心拍数の変化を確認するために行なった。被験者は22才と23才の男子学生2名で、振動の暴露に会う機会の少ない健康人である。加振器はノード社製A-9P型電動加振器を使用し、加振台にチェーンソーのハンドルをはずして取り付け、このハンドルを被験者が左手で握ることにより加振された。加振器の性能は1～10,000Hzの正弦波とランダム波（ピンクノイズとホワイトノイズ）を発生させることが可能で、いずれの場合も最大出力は1.2KWである。心電計は福田電子製TPE 200型で電極はB・D社製張り付け電極を使用した。データはまずTEAC社製R-410型データコーダに記録し、実験終了後福田電子製RH21型記録計に書かせて心拍数を読み取った。

・A シリーズ

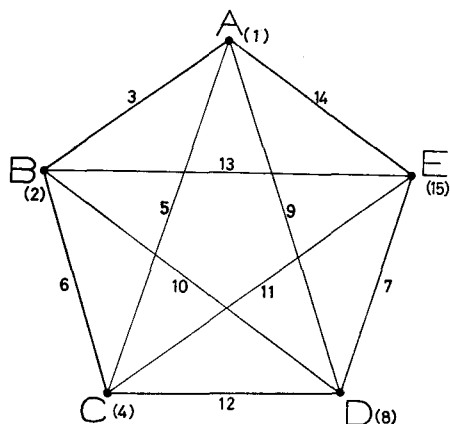


Fig. 1. Allotment A: Frequency, B: Acceleration, C: Shaking time, D: Pressure, E: Position
第1図 わりつけ A: 周波数, B: 加速度, C: 加振時間, D: 接触圧, E: 姿勢

Table 1 Combination of Tests and Result

第1表 実験の組み合わせと結果

実験 順序	No.	直交表 No.	組 み 合 せ Combination					負荷時心拍数/分 beat/min
1		10	A ₂	B ₁	C ₁	D ₂	E ₁	84.2
2		6	A ₁	B ₂	C ₁	D ₂	E ₁	82.6
3		1	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	88.6
4		15	A ₂	B ₂	C ₂	D ₁	E ₂	91.6
5		11	A ₂	B ₁	C ₂	D ₁	E ₁	86.0
6		7	A ₁	B ₂	C ₂	D ₁	E ₁	90.1
7		4	A ₁	B ₁	C ₂	D ₂	E ₁	84.2
8		9	A ₂	B ₁	C ₁	D ₁	E ₂	73.4
9		5	A ₁	B ₂	C ₁	D ₁	E ₂	95.5
10		13	A ₂	B ₂	C ₁	D ₁	E ₁	83.5
11		14	A ₂	B ₂	C ₁	D ₂	E ₂	87.1
12		12	A ₂	B ₁	C ₂	D ₂	E ₂	89.9
13		2	A ₁	B ₁	C ₁	D ₂	E ₂	86.3
14		3	A ₁	B ₁	C ₂	D ₁	E ₂	87.9
15		8	A ₁	B ₂	C ₂	D ₂	E ₂	85.0
16		16	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂	E ₁	83.5

・実験前安静値 80.7
・Normal Heart rate 80.7

上述の5因子について、各々2水準を選び実験計画法にもとずき³⁾ L_{16} の直交表にわりつけて実験を行なった(第1図参照)。加振周波数(A)は40Hz (A_1)と400Hz (A_2)、加速度(B)は2g(B_1)と5g (B_2) [$1g=980\text{cm/sec}^2$]、加振時間(C)は3分間 (C_1)と5分間 (C_2)、接触圧(D)は200gr/ cm^2 (D_1)と600gr/ cm^2 (D_2)、姿勢(E)は伸びた姿勢 (E_1)と曲げた姿勢 (E_2)を選んだ(第1表参照)。なお、伸びた姿勢とは、被験者が加振台のそばに立った状態で腕を身体に平行におろして加振ハンドルを握った姿勢であり、曲げた姿勢とは、伸びた姿勢からハンドルを握っている腕を約90度曲げ、それと同時に膝を少し曲げた姿勢を言う。いずれの姿勢でも加振方向は鉛直方向で、身体の方と平行であった。接触圧は、被験者がハンドルを同じ握力で握っているようにするために加振台上のハンドルに共和電業製PS型超小型圧力変換器を固定し、被験者の中指の一定の場所(第一関節と第二関節の間)で圧力を加えて、被験者がその圧力を共和電業製SLW型自動平衡指示計で見ながら、あらかじめ定められた値になるように調節した。このシリーズの実験は、最初30分間の安静時をもうけて、その後3ないし5分間の加振と5分間の休憩(ハンドルから手を放して椅子に座る)をくり返し、計16回の加振を行なった。

実験結果は第1表の通りで、心拍数は5(R-R)法で読み取った10秒間値の平均値を、さらに加振時間中について相加平均した値である。第1表の結果について分散分析により因子分析をした結果が第2表であり、そのうち交互作用の有意な因子について検討したのが第3表である。

Table 2 Analysis of Factor

第2表 因子分析結果

要 Factor	S	d.f.	V	Fo	ρ
A	27.6	1	27.6	4.18	5.9
B	21.2	1	21.2	3.21	4.1
C	18.1	1	18.1	2.74	3.2
D	11.9	1	11.9	1.80	1.5
E	12.3	1	12.3	1.86	1.6
A × C	51.1	1	51.1	7.74*	12.5
A × D	73.1	1	73.1	11.08*	18.7
B × D	60.8	1	60.8	9.21*	15.3
B × E	39.0	1	39.0	5.91	9.1
e	39.6	6	6.6	—	28.1
T	354.9	15	—		100.0

* F_5' 5%危険率

5.99

Table 3 Interaction

第3表 交互作用

A×D (周波数×接触圧)					B×D (加速度×接触圧)					A×C (周波数×加振時間)										
		A ₁		A ₂				B ₁		B ₂				A ₁		A ₂				
		<u>90.5</u>		<u>83.6</u>				<u>84.0</u>		<u>90.2</u>				<u>88.3</u>		<u>82.1</u>				
D ₁	88.6	95.5	73.4	83.5	D ₁	88.6	73.4	95.5	83.5	C ₁	88.6	95.5	73.4	83.5	C ₂	87.9	90.1	86.0	91.6	
	87.9	90.1	86.0	91.6		87.9	86.0	90.1	91.6		86.3	82.6	84.2	87.1		84.2	85.0	89.9	83.5	
		<u>84.5</u>		<u>86.2</u>				<u>86.2</u>		<u>84.6</u>				<u>86.8</u>		<u>87.8</u>				
D ₂	86.3	82.6	84.2	87.1	D ₂	86.3	84.2	82.6	87.1	C ₂	87.9	90.1	86.0	91.6		84.2	85.0	89.9	83.5	
	84.2	85.0	89.9	83.5		84.2	89.9	85.0	83.5		84.2	85.0	89.9	83.5						

第2表・第3表から判るように、 $A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E$ の主因子による効果は全体で16.3%の寄与率しかなく、 $A \times C$, $A \times D$, $B \times D$ などの交互作用による効果の方が大である。つまり、今回選んだ5つの因子については、心拍数に効果の大きい因子はなく、条件の組合せによる効果が大きかったといえる。したがって、今後はこの5つの因子以外のものを組み入れる必要が考えられる。交互作用の有意な因子のうち、 A (周波数) $\times D$ (接触圧) は注目に値する結果を示している。つまり、このシリーズ中一番きびしい組み合わせである $40H_z \cdot 5g \cdot 600gr/cm^2$ の場合に心拍数が比較的少なく、以前に行なった、腕への振動の伝達実験の場合と同様に、手一腕系の減衰が働いたためではないかと思える。

。B シリーズ

A シリーズと同じ装置を使用して、2名の被験者について、周波数の違いによる心拍数の影響を実験した。振動加速度は $3g$ 、加振時間は3分間、接触圧は $200gr/cm^2$ 、姿勢は伸びた姿勢であった。周波数は $0 \sim 2,000H_z$ の間で $1/3$ オクターブバンド中心周波数に対応するものを1回、1オクターブバンド中心周波数に対応するものを2回の計3回について心拍数を記録した。その他の実験方法・心拍数の読み取り方法・処理は前シリーズと同じである。

第2図は実験結果をグラフにしたものである。縦軸は心拍数、横軸は周波数を示している。実験前安静時の心拍数はいずれも70であった。このグラフから判ることは、各回とも測定値のバラツキが大きいことである。特にM-2は測定が延べ4時間近くもかかっており、そのためにバラツキがひどい。したがってM-2は除外してグラフを見ると、周波数が増加すると心拍数が減る傾向にある。また $31.5H_z$ で2名の被験者間で差が大きいのは、被験者の体格などの違いにより手一腕系の共振周波数が異なるためと思われる。

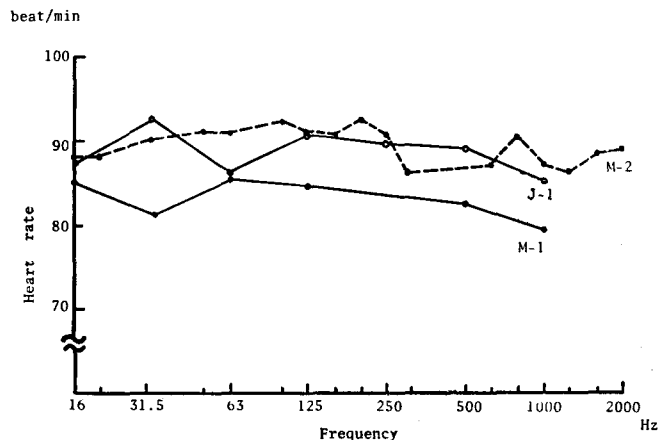


Fig. 2. Relationship between Heart rate and Frequency (normal heart rates are 70)

第2図 心拍数と周波数の関係 (実験前安静値はいずれも70)

A・B両シリーズを通して判ったことは、次の3点である。第1に、この実験で使用した加振負荷では、心拍数にはっきりした影響が現われにくいこと。第2に、心拍数に影響を与える他の因子を把握し、その影響を受けない実験方法を確立すること。(このことは、Aシリーズにおいて実験前安静値より小さな値が測定されていることから判る。)第3には、心拍数の数値として、平均値で良いのか、心拍数の増減を使うのが良いのか、心拍数の総和を使うのが良いのかといった点の検討が必要であること。

今回の実験は以上の通り、心拍数を振動負荷の尺度とする方法を確立するには至っていないが、心拍数で振動負荷を評価する場合、周波数加速度値、加振時間、接触圧、姿勢以外の因子が存在することが判った。また、周波数の大小と心拍数とは一定の傾向にあるといえる。

(3) 皮膚温による評価法の実験

皮膚温について、Hettinger は、機械的な振動によって血管は、はじめ収縮し後に拡張するという Marschak と Müller の発見した事実に基づいて皮膚温指数を提唱している。しかし木村ら

によれば、この指数は周波数や振幅の異なった場合にはあまり適合しないと述べている。そこで今回は、振動による血管の収縮が引き起す皮膚温の低下だけに着目して、振動の尺度としての皮膚温の意義を検討した。

実験装置は加振器、サミスター、記録計を使用した。加振器は、心拍数の実験に使用したのと同じ電動加振器で、加振台の上部に $\phi 10\text{mm}$ ・長さ15cmの鉄製ボルトを鉛直にネジ込み、更にその先端に $\phi 7\text{mm}$ 、長さ2cmのエポキシ樹脂の棒を接着し、その先端には、共和電業製 PS 型超小型圧力変換器を張り付けた。エポキシ樹脂の棒を使ったのは、鉄製ボルトだけの場合に、指を上にもたただけで熱が鉄製ボルトにうばわれて指先の皮膚温の低下することが予備実験で確かめられたので、その予防の意味からである。被験者は椅子に座ったまま、左右の手をかるく伸ばし、中指の先端をこのエポキシ樹脂の棒の上にそれぞれ置いて、加振される。手—腕は真直ぐで加振方向に垂直である。加振中、被験者は圧力変換器と接続された自動平衡指示計を見て、中指を一定の力で棒に押しつけた状態を保った。棒を押しつける圧力は 400gr/cm であった。この状態は、加振される手も、加振されない手も同じであり、加振されない手は台の上に固定された鉄製ボルト——エポキシ樹脂の棒——圧力変換器を中指で押しつけた。

皮膚温はサーミスターで測定し、データコードに記録した後、まとめてペン書きレコーダにより書かせた。測定点は左右の中指先端で、薬指に近い横側であった。サーミスタはバンソコウで固定し、その上に薄いメリヤス製手袋をはめて、風などによる影響を受けないように留意した。実験室は大学の研究室を使ったが、室温の変動を防ぐため、直射日光の当たらないように窓におおいをかけ、人の出入りも禁じた。被験者は、実験開始30分前には入室させて、部屋の中央部で安静にさせて体温と室温の調和をはかった。その後は実験終了まで、出入りすることやばげしい動作をすることも禁じた。被験者は健康な男子3名で年令は22才、23才、32才であった。被験者の体温の変動をチェックするために、前額部にサーミスタを張り付けて同時に測定した。加振周波数は $0 \sim 8,000\text{Hz}$ の間で1オクターブバンドの中心周波数と同じものを選び、加速度はいずれの周波数でも 3g とした。室温は 15°C 位と 25°C 位の2段階、加振手は左手と右手の2種類であった。加振時間は1分間で3分間の休憩をはさんでくり返した。

第3図は実験結果をまとめたもので、縦軸は加振された手の皮膚温の低下量を、加振していない手の皮膚温の低下量で差し引いたものである。横軸は測定周波数である。皮膚温の低下量は、加振前の皮膚温の最高値と加振中の皮膚温の最低値との差である。この結果から、 63Hz と $4,000\text{Hz}$ では加振による皮膚温の低下があるようだ。他の周波数ではこれといった傾向は見られず、

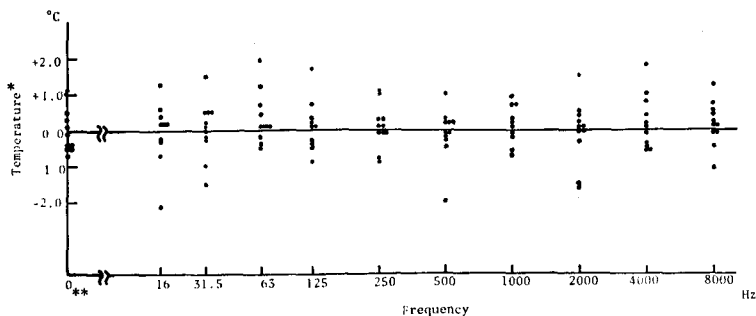


Fig. 3. Relationship between Frequency and the drop of the skin temperature (* Temperature is a balance between the drop of the skin temperature of the shaken finger and the non shaken finger ** 0Hz means non shaken)

第3図 皮膚温低下と周波数 (縦軸は、加振手の皮膚温低下を他方の手の皮膚温低下でマイナスしたもの。** 0Hz とは無加振のこと)

加振による影響は判らない。グラフには記入していないが、実験中の皮膚温の値は2・3の場合を除いて、加振時には下るが、休憩時にはもとの値にもどったことから考えて測定条件は良かった。チェックとして測定した前額部の皮膚温も、急激な変化は見られず、被験者の心理的影響や体調的な影響も受けていなかった。恐らく、指を加振台に押しつける力による皮膚温低下が大きくて、加振による低下がかくされたのであろう。今後の実験としては、加振時間を長くするとか、加速度を大きくするとかして加振力の身体への入力を大きくするべきであろう。

Ⅲ ま と め

この実験により、次のことが判った。

- 1) 心拍数については、まだ実験手法が確立できていないが、皮膚温についてはほぼめどがついた。
- 2) 周波数については、心拍数・皮膚温とある程度の関係をつかむことが出来たが、加速度・姿勢などについては判らなかった。

最後に、この実験に当り心拍数の測定方法を御指導いただいた京都大学演習林山本俊明講師と静岡大学農学部藤井禧雄助教授、ならびに被験者となっていたいただいた芝正己君に、ここに厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 後藤純一、瀧本義彦：Chain Saw の防振性能の評価法、その1，第88回日林講（1977）
- 2) 三浦豊彦ら：新労働衛生ハンドブック，623-662，労働科学研究所（1974）
- 3) 田口玄一：実験計画法（上，下）丸善，（1958）
- 4) 後藤純一：Chain Saw の評価法，京大農修士論文（1977）
- 5) Hettinger, Th: Eine Modifikation des Haut-temperaturtestes zur Erkennung der Disposition zu Sehnenscheidenentzündungen. Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 17, 271-275, (1958)
- 6) 木村菊二ら：振動による手背皮膚温の変動，労働科学，38・5，268-276（1962）

Résumé

In Japan, many operators of chainsaw suffered from vibration hazards, especially from "White Wax disease". Thus, the development of effective vibration-isolation systems is desired eagerly for the health of worker. Then, we experimented whether the heart rate and the skin temperature of the finger are useful as an index to display the effects of vibration to the human body.

For the heart rate tests, the acceleration of the input force at the hand by using electrodynamic shaker was held constant at $3g^*$ (peak) while the frequency of the force was varied from 16 Hz to 2000 Hz, and for the skin temperature tests of finger, the acceleration of the input force at the middle finger was held constant at $3g$ (peak) while the frequency of the force was varied from 0 Hz to 8000 Hz (Fig. 2, 3)

The following became clear after we examined the results. The heart rate had a slight tendency towards inferiority while the frequency increased. The skin temperature of the middle finger dropped at 63Hz and 4000Hz.

After this, it is desirable to repeat many tests in detail about the skin temperature of the finger, and to improve the method of the heart rate test.

* ($1g=980\text{cm/sec}^2$)