

論 文

生理負担からみた林業機械ハンドルグリップ の最適断面形状について

伏見 知道*・上杉慶四郎**

On the shape and size of optimum grip for a portable machine in forestry on
the basis of physiological burden

Tomomichi FUSHIMI and Keishiro UESUGI

Summary : this study was performed to develop a set of data that provide guidance for determining size and shape characteristics of a handle grip of portable machine used in forestry.

On the first experiment, subject was applied turning force ($20 \text{ kgf}\cdot\text{cm} \approx 1.96 \text{ N}\cdot\text{m}$) to right or left hand with each member of a set of ten experimental grips that systematically varied in size of circular diameter. Ten diameter sizes were included in the study 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 41, 45 and 49 millimeters. On the next experiment, subject took a weight (6kgf) with grip in his hand. On loaded condition, subject's physiological burden were observed with heart-rate and electromyography of muscles.

The resisting force at handle grip against the constant value ($1.96 \text{ N}\cdot\text{m}$) of turning force becomes lower in inverse proportion to the increase of circular diameter of grip. But the decreasing value of subject's physiological burden was converted to increase with the diameter increase over some optimal value. This exchanging point of physiological burden consequently showed the optimum diameter ranges of grip, that were 31~35 millimeters. And then, these diameters were selected out of ten grips with questionnaire of self-consciousness, too.

Considering materials, torque, weight and comfort with continuous holding, the polygonal 31~35mm grips are recommended for portable machine used in forestry. All corners and points of grips rounded for best performance and comfort.

* 林業生産工学研究室 : Laboratory of forest engineering

** 林業生産工学研究室 (現:自営)

要旨 本研究では、前報(2)における筋活動電位の変化と自覚調査に加えて、心拍数増加率も取り上げ、また、回転力負荷に対しては、左右両手のそれぞれ左回転と右回転について考察した。

回転力負荷に対しては、グリップの直径の増大に反比例して生理的負担は減少傾向を示す。しかしある太さから握りを確実にするための負担が加わり、次第に反比例曲線からはずれていく。この変化点付近の直径において生理的負担が最も小さいことを観察した。そして、ハンドルグリップの外周直径としては33mm前後が適当であることを確かめた。さらに文献(1)による断面形は円形よりも角型の方が回転力に対して有効である点を合わせて考察すると、作業者の生理負担が少ない最適ハンドルグリップは、表面が滑りにくい材質あるいは滑り止め加工が施されていて、断面形状は、直径33mm前後の円（周長が指掌の接触長の50～55%）に内接する多角形で、不快感が起こらないように、角が丸めづけられたものである。

I. はじめに

林業作業において手持ち機械のハンドルグリップは、作業者の指掌の大きさに対して適切でないと、作業時に生理的負担が増して疲労の一因になるとともに、安全性や能率にも影響することになる。したがって生理的負担や不快感が少なく、確実に握ることができ、操作しやすいグリップが必要である。ノブの形と大きさに関する報告(1)によると、表面が滑らない状態では、断面の形が三角形から正方形、多角形、さらに円と変わっても、外接円の直径で示す太さが同じであれば、手腕により発生できる回転力にはあまり違いがない。また、表面が汗や油で滑りやすい状態では、手による回転力は、断面形が三角形で最も大きく、角数の多い多角形になるほど小さい。すなわち、三角形のものは円形のものより小さい力で、回転を抑え安定させることができる。しかし三角形では角が不快感を伴い握りにくいので、円形に近い多角形でしかも角は丸めづけるべきであるとしている。

前回の円形グリップに関する報告

(2)では、手持ち式の刈払機グリップを想定し、直径の変化に伴う筋負担について、右手の右回転力負荷時及び持ち上げ負荷時に限定して考察している。実際の作業時には、ハンドルグリップは指掌の中で下向きの力と、時には右あるいは左への回転力が働くと考えられる。そこで今回は、右手及び左手の右回転力及び左回転力負荷時と、持ち上げる負荷時における筋活動電位の変化に、新たに心拍数の変化についても考察することにした。

本報告は、作業者の心拍数及び筋活動電位から判断される生理負担が最も少ない条件に基づき、ハンドルグリップの最適直径を中心にして断面形状の範囲を示唆するもので、林業作業現場における「きつい、危険」といった要素の改善のための一資料となれば幸いである。

なお、実験に協力していただいた研究室の専攻学生および井上章二教官、さらにアンケート調査に協力していただいた学部学生諸君に感謝する。

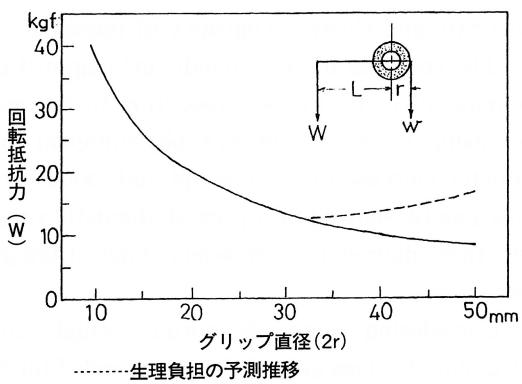


図-1 グリップ直径と回転抵抗力(WL一定値)

II. 実験方法

1) 基本方針

手持ち林業機械を保持する場合のハンドルグリップ部における負荷モデルを検討し、実験の基本方針として、回転力負荷時と持ち上げ負荷時に区別した。

回転力負荷時のモデルは図-1のように考えられる。グリップにかかる回転力WL (kg・cm) に抵抗して、グリップを回転させないためには、グリップの直径2rに対応する力wが最小限必要である。この力は手掌とグリップの摩擦係数μと把握力Fが関係する。一定の回転力に対してはグリップ直径2rが増大すればwは反比例して小さくなる、したがってグリップを把持する手腕の負担も同時に減少してゆくはずであるが、グリップの直径がある程度以上太くなると、握りにくく把持の確実性が劣ってくる。そのため回転を抑えるため更に力が必要になり、握りを強くしなければならない。この結果筋負担が増す点について、前報(2)で右手の右回転についてだけ確かめている。また発汗その他のため滑りやすくなると、摩擦係数は小さくなり、一層大きい力が必要になる。したがって直径の増大に伴う筋負担の減少と、握りの確実性が劣ってくることによる筋負担の増加という、相反する二つの作用が同時に起こり、ある直径以上では生理負担の減少割合も鈍り、逆に緩やかな増加傾向(図-1の破線の例)を示すに至ることが考えられる。持ち上げ負荷時は、重量が一定であればグリップ直径が増すとともに、筋負担の増加が現れるはずである。

2) 供試グリップ

アルミパイプ(直径19mmと25mm)に、合成高分子製被覆材(厚さ1mm、表面やや粗)を巻き付けボンドで接着し、所定の太さの供試グリップを作成した。直径19mmのパイプから25mm、27mm及び29mmの3種類を、直径25mmのパイプから31mm、33mm、35mm、37mm、41mm、45mm及び49mmの7種類、計10種類を作成した。

3) 被験者

被験者は2名である。彼らの身体的特性は各々、身長が164cmと160cm、体重が57kgと55kg、手の拇指から中指までの指掌の長さは共に20cmであった。

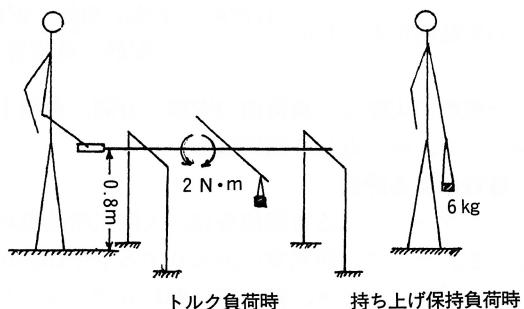
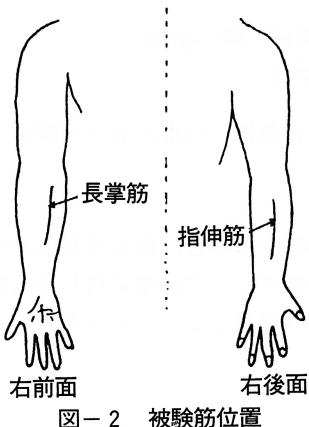


図-3 負荷実験の種類と状況

4) 回転力負荷実験

負荷トルクの大きさ： $20\text{cm} \times 1\text{kg} = 20\text{kgf} \cdot \text{cm}$ ($\approx 2\text{N} \cdot \text{m}$) 一定とする。

供試グリップ：前記10種類の全てである。

測定した生理的要素：心拍数と筋活動電位（指伸筋・長掌筋）（図-2 参照）

実験の種類：図-3 に示すように被験者は直立し、水平に支持されたアルミニウム直管の供試グリップ部を持て、回転力に抗して全体を水平に保つことによって手腕に負担が生じるようとした。両被験者とも、各グリップ毎に以下の4種類の実験を行った。実験順序はランダムである。

- (1) 右手 右回転力負荷
- (2) 右手 左回転力負荷
- (3) 左手 右回転力負荷
- (4) 左手 左回転力負荷

5) 持ち上げ保持負荷実験

持ち上げ保持重量：6 kg

供試モデルグリップ：直径25mm, 31mm, 33mm, 35mm及び49mmの5種類である。

測定した生理的要素：心拍数と筋活動電位（指伸筋及び長掌筋、図-2 参照）

実験の種類：図-3 のように被験者は直立して腕を伸ばし、供試グリップ部を持て、鉛直方向の重量負荷だけを受ける。右手と左手の2種類である。実験順序は直径の細い方から始めた。

6) 心拍数及び筋活動電位の測定・解析法

被験者は、胸部に心電検出用電極3個と、腕の2箇所に筋電検出用電極を貼付し（図-2 参照）、携帯形送信器(1429形)に接続した。実験中の心電及び筋電は、図-4 に示すように、マルチテレメータ511の送信器(1429形)から発信し、受信器(1988形)で受信し、カセットデータレコーダー(MR-10)を通したのち、心電は瞬時計測ユニット(1321形)によって、また筋電は積分計(1333形)によって、それぞれ連続変化曲線とし、共にメモライザ(7G 01)のフロッピーディスクに記録した。その後、パソコンで、一秒毎に示される心拍数(Beats/Min.)と筋電値を個別に処理し、心拍数は安静時、負荷時及び休止安静時一分毎の平均値を、筋電は負荷時の平均値を算出した。心拍数増加率は次式により求めた。

$$\text{心拍数増加率} = 100 \times \frac{\text{負荷時の平均心拍数} - \text{安静(負荷前)時心拍数}}{\text{安静(負荷前)時心拍数}}$$

一種類の実験は、負荷前の安静3分間、負荷1分間、負荷後の回復安静2分間を一つの周期として、繰り返し3回実施した。

7) 自覚による評価

アンケートによる官能検査は、人間工学的見地から考察する場合、極めて有効で重視されている。そこで、研究室に出入りする学生26名から、供試グリップ10種に対し刈払機を保持したと想定したとき、最も楽に握れるグリップを1本だけ選び出してもらった。

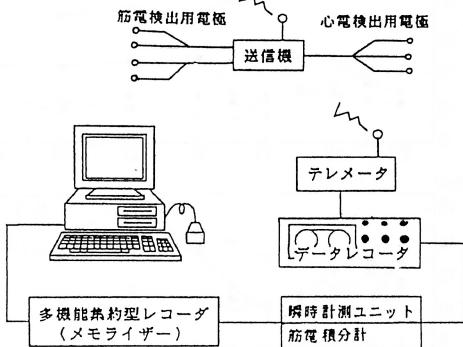


図-4 心拍数及び筋活動電位計測システム

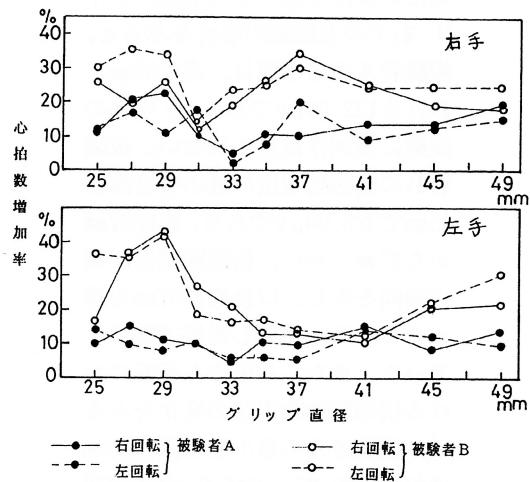


図-5 グリップ直徑と心拍数増加率(回転力負荷時)

III. 結果及び考察

1) 回転力負荷時について

(1) 心拍数の変化

心拍数の変化は、グリップ毎に増加率を求めて比較した。心拍数は、負荷時については3回の平均値を、休止時については休止2分目で安静値に達していると判断される値一個を選択し、増加率の計算に用いた。

右手回転力負荷時的心拍数増加率を図-5（上部）に示す。右手の右回転においては、被験者Aの心拍数増加率の最小値は、直径33mmにおける5.13%である。直径27mmから33mmにかけて心拍数増加率が減少傾向を、直径33mmから49mmの間ではほぼ増加傾向を示す。被験者Bの例では、最小値は直径31mmにおける11.43%で、その前後で高く、被験者Aと比べるとやや高い値であるが規則性はあまり見られない。また、右手の左回転における心拍数増加率の変化をみると、被験者Aの最小値は直径33mmにおける2.24%で、その前後では高い値で変動しているが、規則性はあまり見られない。被験者Bの例では最小値は直径31mmにおける14.49%で、その前後では高く、直径33mmから49mmではほぼ近似した値であるが、被験者Aと比べるとやや高い。

次に左手負荷時的心拍数増加率を図-5（下部）でみてみる。左手の右回転では、被験者Aの最小値は、直径33mmにおける4.15%であり、直径27mmから33mmにかけては心拍数増加率が減少傾向を示す。被験者Bの例では、最小値は直径41mmにおける10.67%で、直径29mmから41mmにかけほぼ減少傾向、直径41mmから49mmでは増加傾向を示しており、被験者Aと比べるとやや高い値である。また、左手の左回転における心拍数増加率の変化をみると、被験者Aの最小値は直径37mmにおける5.69%であるが、直径33mm～37mmでもほぼ類似の値を示しており、直径25mmから33mmで心拍数増加率はほぼ減少傾向、直径33mmから37mmではほぼ横ばい状態である。被験者Bでは、心拍数増加率の最小値は41mmにおける13.51%で、直径37mmの値とほとんど差がないけれども、直径31mmから41mmのときほぼ減少傾向を、直径41mmから49mmのとき増加傾向を示している。

(2) 指伸筋活動電位の変化

右手回転力負荷時の指伸筋活動電位の変化を図-6（上部）に示す。右手の右回転の場合をみると、被験者Aの最小値は、直径33mmにおける132.00 μ Vであるが、全体の変動に規則性は見られない。被験者Bの筋活動電位の最小値は直径45mmで373.00 μ Vであり、直径27mmから37mmにかけ、筋活動電位が減少傾向を示し、以後直径37mmを越えると、ほぼ類似した値で推移している。また、右手の左回転における指伸筋活動電位の変化をみると、被験者Aの最小値は直径33mmにおける80.25 μ Vであり、全体の変動には規則性はあまり認められない。被験者Bの最小値は、直径35mmにおける70.50 μ Vであり、直径25mmから35mmでは減少傾向を、以後直径の増大とともに直線的增加傾向を示す。

次に、左手回転力負荷時の指伸筋活動電位の変化を図-6（下部）に示す。両被験者とも、左手の数値レベルは前述の右手の数値に比して、全体的に低く変化度合いも小さかった。左手の右回転においては、被験者Aの最小値は、直径33mmにおける100.50 μ Vであるが、直径27mmから33mmでは減少傾向を、また直径33mmから41mmで増加傾向を示している。被験者Bの最小値は直径31mmにおける100.50 μ Vであるが、全体として変化に乏しいものの、直径25mmから27mmにかけ筋活動電位が減少し、横ばい状態になった後、直径35mmを越えると、ほぼ増加の傾向を示している。また、左手の左回転における指伸筋活動電位の変化をみると、被験者Aでは、筋活動電位の最小値は直径33mmにおける103.50 μ Vであり、その前後において、概略的に減少と増加の様相をそれぞれ示している。被験者Bの筋活動電位の最小値は、直径29mmにおける115.75 μ Vであり、これ以上の直径ではほぼ増加の傾向を示している。

(3) 長掌筋活動電位の変化

右手回転力負荷時の長掌筋活動電位の変化を図-7（上部）に示す。右手の右回転の場合、被験者Aの最小値は、直径45mmにおける32.00 μ Vであるが、全体に値が小さく、直径29mm以上での変化は少なく、ほぼ横ばい状態である。被験者Bの筋活動電位の最小値は直径35mmでの9.50 μ Vであり、この前後の直径では、筋活動電位がそれぞれ減少傾向と増加傾向を示している。また、右手の左回転における長掌筋活動電位の変化をみると、被験者Aの最小値は直径45mmにおける32.25 μ Vであり、全体の変動には規則性があまり認められない。被験者Bの最小値は、直径35mmにおける14.00 μ Vであり、被験者Aより総体的に低い値であるが、前半では減少傾向を、後半では増加傾向をほぼ規則的に示している。

次に、左手回転力負荷時の長掌筋活動電位の変化を図-7（下部）に示す。左手の右回転の場合、被験者Aの最小値は、直径33mmにおける38.00 μ Vであり、全体に値が小さいが、直径33mm以上では漸増の傾向を示す。被験者Bの筋活動電位の最小値は、直径33mmにおける27.00 μ Vであり、この前後の直径では、筋活動電位が減少傾向と増加傾向をそれぞれ示し

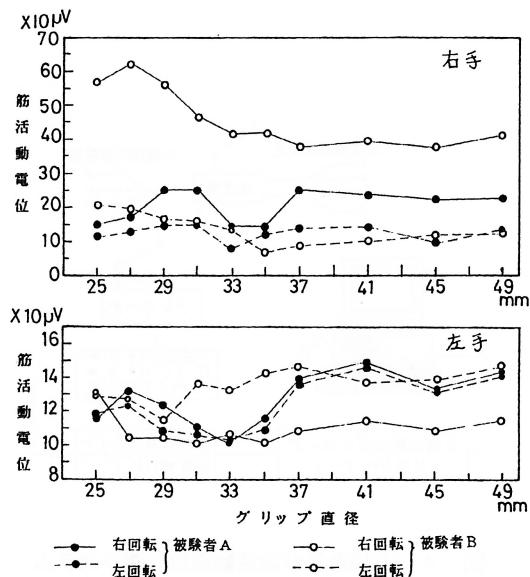


図-6 グリップ直径と指伸筋活動電位（回転力負荷時）

ている。全体に値が低く、その変動は両被験者間で類似している。また、左手の左回転における長掌筋活動電位の変化をみると、被験者Aの最小値は直径33mmにおける $31.75\mu\text{V}$ であり、それ以上の直径では僅かに漸増しているものの、全体の変動はあまり認められない。被験者Bの最小値は、直径29mmにおける $114.50\mu\text{V}$ であり、それ以上の直径では総轄的に漸増の様相を示している。被験者Bでは被験者Aより総体的にかなり高い値である。

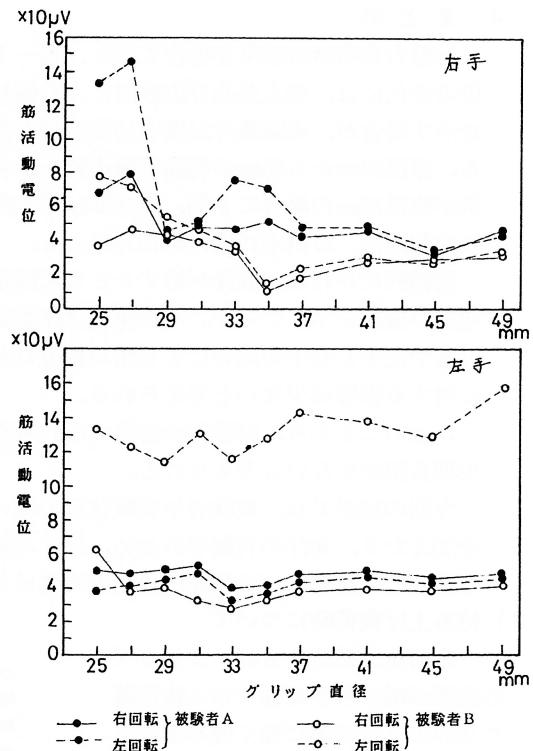


図-7 グリップ直径と長掌筋活動電位(回転力負荷時)

表-1 生理負担最小値と対応直径

区分		直径(mm)		29	31	33	35	37	41	45
心拍增加 (%)	右手	A 1				5.13				
		A 2				2.24				
	左手	B 1			11.43					
		B 2			14.49					
筋活動電位(μV)	指伸筋	A 1				4.15				
		A 2				(6.02)				
		B 1					5.69			
		B 2						10.67		
	長掌筋	A 1					70.50			373.00
		A 2				100.50				
		B 1			100.50	103.50				
		B 2		115.75			(101.00)			

() 最小値の近似値；A, B被験者；1, 2右回転と左回転

(4) まとめ

回転力負荷時の結果を総合すると、表-1に要約されよう。心拍数増加率及び筋活動電位の変化には、個人差及び実験回による偏りが見られるものの、直径33mmのときに最小値を示す場合が、実験条件24例中10例と最も多く、直径31mmと35mmでも各3例ある。すなわち、直径33mmから35mmの範囲で最小値を示すのは24例中16例、更に最小値にごく近似した例が直径33mmの場合に2例、直径35mmで1例あるので、これらを加えると直径31mmから35mmの範囲に、27例中19例、約70%が入る。

総轄的にみれば、直径が増すとともに測定値が減少していく、直径33mmを越えると値は増加の様相を示していく。その値は直径が33mmより細いほうで大きい。負荷回転力の回転方向や左手と右手の違いによる値の相違はあまり見られず、これらの要素による生理負荷に対する影響は少ないと考えられる。

以上のことから、直径33mm前後すなわち直径31mmから35mmの時に、回転力負荷に対する生理負担が少ないと考えられる。

今回の結果では、被験者や実験状況の違い、たとえば回転を止めるために必要以上の力を加えたり、発汗の有無等のため、個々の例では変動しているが、典型的な変化を示す場合もあって、総轄的には生理的負担の変化点を窺うことができた。

2) 持ち上げ負荷時について

一定荷重を把持する時、グリップの直径が増すと手の握りから抜け落ちないように次第に強く握るようになり、筋負担が増す。そこで回転力負荷実験から明らかなように、変化点である直径31mmないし35mmを重点に実験を実施した。

(1) 心拍数の変化

持ち上げ負荷時的心拍数増加率の変動を図-8に示す。被験者Aはグリップの直径の増大に対しどとんど変動を示さず、むしろ右手では僅かながら減少の様相を示している。被験者Bは、右手で35mm以上でかなり増大を示すが、左手ではむしろ被験者Aに近い結果である。今回の実験条件内では判断が困難であった。

(2) 筋活動電位の変化

持ち上げ負荷時の指伸筋活動電位の変化を図-9に示す。被験者の違いによる相違が認められるが、腕を下方に伸ばしてグリップを把持する実験条件では、グリップの直径が増加するとともに筋活動電位が増大する様子を示している。

以上、持ち上げ負荷時の結果を総合すると、適切なグリップ直径の判断は、本実験のみではむずかしく、回転力負荷時との総合考察によるのが適切と思われる。

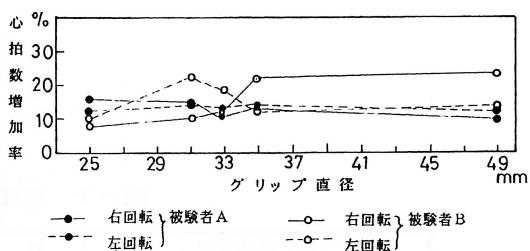


図-8 グリップ直径と心拍数増加率(持ち上げ負荷時)

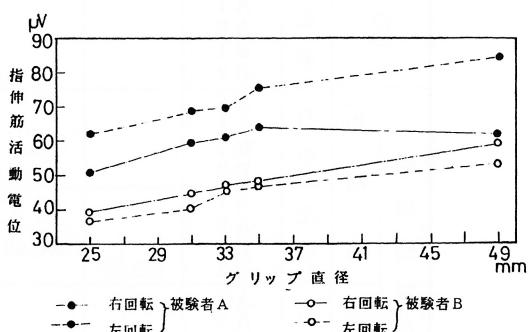


図-9 グリップ直径と筋活動電位(持ち上げ負荷時)

3) 回転力負荷と持ち上げ負荷の総合値

回転力と重量の同時負荷を想定して、両負荷実験における指伸筋活動電位の和の変化を図-10に示す。右手はグリップ直径33mmないし35mmを境に、左右の勾配が変化し、左手は、直径が33mm～31mmで左右の勾配が変化している。結局、指伸筋活動電位では直径33mmを中心に31mm～35mmが、筋活動電位の発現の少ない範囲である。

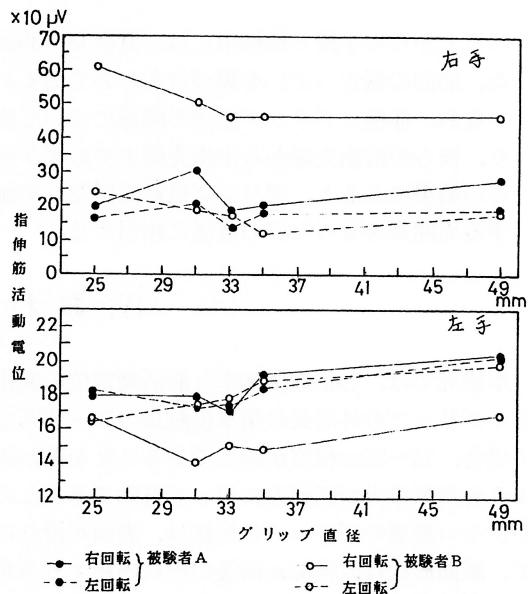


図-10 回転力と重量負荷による筋活動電位の総合値とグリップ直径

表-2 自覚によるグリップ直径の選別

グリップ 直 径	最 適 自 覚 評 値 者 数					
	前 報 (2)		今 回		合 計	
mm	名	%	名	%	名	%
25	0	0	0	0	0	0
27	0	0	1	3.8	1	1.8
29	0	0	0	0	0	0
31	1	3.6	4	15.4	5	9.3
33	4	14.3	8	30.8	12	22.2
35	22	78.5	8	30.8	30	55.6
37	1	3.6	4	15.4	5	9.3
41	0	0	1	3.8	1	1.8
45	0	0	0	0	0	0
49	0	0	0	0	0	0
合 計	28	100.0	26	100.0	54	100.0

4) 自覚によるグリップ直径の評価

人間工学的手法の一つである自覚評価法を適用した結果を表-2に示す。今回、供試グリップ10種類のうち、直径33mmと35mmが握り心地が最も良いと答えた被験者は26名中それぞれ8名で、この2種類を6割以上の被験者が選んだことになる。また直径31mmと37mmを選んだ者がそれぞれ4名、直径27mmと41mmを選んだ者がそれぞれ1名あった。前回(2)の結果が直径35mmに集中したのに比べ、今回は最大分布がほぼ同範囲にあるものの、全体としてなだらかな分布を示した。両者の差異の原因はよく分からぬが、人間の官能検査であるから多少の差異が現れてもやむをえないであろう。調査対象を合計すると、直径33～35mmに約78%が集中している。

以上の諸結果は、筋活動電位と心拍数増加率からみた評価とほぼ一致するものであり、こ

のことからも手持ち機械用には、直径33～35mm付近のグリップが適当であると判断され、また、前回の報告（2）を裏づけるものである。

なお、体格とグリップ直径の関係についてみると、被験者の身長は160～175cmの範囲にあり、彼らの拇指先端から中指先端までのグリップ接触長（O B）は18.5～20.5cmであった。この結果によると、グリップ最適直径33～35mmは、指掌の接触長（O B）の50～55%に相当する周囲長をもった円の直径に相当する。

IV. おわりに

本研究では、心拍数増加率と筋活動電位の変化、更に自覚調査結果も加えて、林業機械ハンドルグリップの外周長は指掌接触長の50～55%で、外接円の直径としては、被験者の体格程度の場合、33～35mm程度が適当であることを確かめた。これに、文献（1）による断面形は円形よりも角型の方が回転力に対して有効であるとの報告を合わせ考察すると、作業者の生理負担が少ない最適のグリップの形状は、表面が滑りにくい材質あるいは滑り止め加工が施されていて、断面形状は直径33mm前後の円に内接する多角形であり、不快感を起こさぬよう、丸身づけが必要である。

引用文献

- (1) Rohl, G. A. : Effects of shape and size of knobs on maximal hand-turning forces applied by females. The Bell System Technical Journal vol. 62, No.6. 1705-1712, July-August, 1983
- (2) 李 文彬・伏見知道・井上章二：刈払機の最適グリップ直径について, 101 日林論, 755～756, 1990

(1992年7月31日受理)