

電動ロータリー刈払機による下刈作業について

—電動刈払機の配置について—

沼田 邦彦

On the Weeding Work by Electric Rotary Brush Cutters

—In regard to the Placement of Electric Rotary Brush Cutters—

Kunihiko NUMATA

目 次

要 旨	190	4. 実験結果と考察	197
1. まえがき	191	5. 結 論	202
2. 電動刈払機の配置について	192	参考文献	203
3. 実験方法	195	Résumé	203

要 旨

電動ロータリー刈払機は2サイクルエンジンの機械振動や騒音などによる手指のしびれや難聴などの刈払作業による疾病発生の防止を図り、構造簡易、軽量による高年令層の作業員や女性作業員にも機械作業を可能にし、作業能率の向上と刈払機のアタッチメントの交換により各種の附随作業もできるなど多面利用を目的として開発された。この刈払機を山林における下刈作業に用いる場合、電源よりコードを相当長く延伸し、数台ないし数10台を同時に使用することによって、刈払面積を広げることができるが、発動発電機のパワー、コードの許容電流、コードの延伸距離、刈払機の使用台数により制限をうける。そこでコードの配置方法を適当に選び、刈払機の回転数が雑草木を鋸断し得る範囲内の電圧に維持しなければ、作業能率の低下のみならず、ロータリーのビリビリ振動のために、作業員に与える肉体的負担も大きくなる。

刈払機の配置形式Ⅰ（蛸足式）では刈払機に一定範囲の電圧を与えるのに最も簡単かつ敏速に実施できる。配置形式Ⅱ（百足式）では幹線の長さが相当長くなるので、電圧を調整するためにスライダックを使用するが、各刈払機に一定範囲の電圧を与えるのは難しい。

刈払機の刃が切株などに噛み込んだ場合、過電流が流れる。この場合、作業員は1秒以内に刈払刃を取りはずすか、スイッチを切るから、最大6A前後の過電流以上流れることはなく、その頻度も大変少ない。

刈払機の電流と電圧の値は刈払機の配置と造林地のブッシュの種類によっても異なるが、雑草地、小径木地、ササ地で各々5段階の電圧を与え、刈払力の程度と作業員の負担の程度を調べると、上限はロータリーのビリビリ振動のために、下限は刈払力の程度から制限され、FC-2型では電圧85V、電流2.1A前後、FC-4型では電圧65V、電流2.0A前後の範囲内に維持すれば最も効果的に刈払作業ができることが判った。

1. ま え が き

造林地における下刈作業は造林木と雑草木との競争を緩和し、造林木に十分な太陽光線、土壌養分と水分を与え、成長を促進するために、雑草木の除去を行なうものである。この雑草木の除去には薬剤によるもの、刈払機を使用するもの、林分構成により雑草木の成長を制御する生態的な方法あるいは大苗を植えるなどの種々の方法が考えられる。薬剤散布による雑草木の除去には林道上より車から薬剤を散布したり、ヘリコプターから散布することができるので、労働不足に対する有効な方法であるが、その効果には天候に影響されることと水の汚染を招くなどの問題がある。現在最も一般的な下刈作業方法としては作業員が刈払機を携帯し、造林地内を歩行移動しながら下刈を行なっている。日本の林地は傾斜が急峻であるから、作業員が造林地内を歩行移動せずに下刈作業を行なえる水準まで到達していない。階段造林は林地の斜面を階段状に整地し、機械の乗り入れを可能にする方向で試験が行なわれている。機械刈には手鎌のごとく切削部だけを使用し、切削のための動力源は作業員によるもの、ガソリンエンジンのごとく切削部とそれを動かす原動機とを1体として備えたもの、電動刈払機のごとく切削部とその原動機部を備えているが、原動力は電線により導入し、作業員の負担を削減したものの3種類に分けることができる。ガソリンエンジンの刈払機においても作業員が急峻地で、雑草木により足場も悪く、何等の遮蔽物もない炎天下という悪条件下で刈払機を携帯し、歩行移動しなければならない点を考慮して、大変軽量化が進んでいるが、しかし2サイクルのガソリンエンジンを原動機とした刈払機の機械振動、エンジンの排気音などによる手指のしびれや難聴などの疾病症状を発生する危険性がある。このような下刈作業に関する悪条件を考慮し、作業員の疲労の軽減を図り、機械の構造が簡単で、しかも軽量で高年令層の作業員や女性の作業員にも機械作業を可能にさせ、さらに作業能率の向上と刈払機のアタッチメントの交換により各種の附随作業も行なえるように多面利用を目的とした電動ロータリー刈払機が最近開発された。

この電動ロータリー刈払機を山林において下刈作業に用いる場合、普通、電源となる発動発電機からコードを相当長く延伸し、その発電機のパワーにより数台ないし数10台の刈払機が同時に使用される。したがって、この刈払方式で1回設置した時の刈払面積は発動発電機のパワー、コードの許容電流、コードの延伸距離、刈払機の使用台数により制限をうける。そこで電動ロータリー下刈機を発電機のパワーに適したコードの配置、その延伸長さおよび刈払機の台数などについて工学的な面、作業能率の面、作業員の労働科学的な面から適当な計画を立てることができるように調査研究する必要がある。

工学的な面については電動ロータリー刈払機が造林地の雑草木を刈払うのに小さ過ぎずかつ大き過ぎない適度の鋸断力を持っていることが必要である。そのために、造林地の雑木樹種に対して、鋸断直径、含水率、堅さ、刈払の時期の変化などについて、鋸断試験を行ない、適正な電圧、電流を調べ、そして刈払機をいかなる配置にすれば最も効率的に下刈作業が遂行できるかという刈払機の配置問題、さらに電動刈払機にはロータリーによる微振動を伴うので、その原因が伝達機構の傘歯車の摩耗によるのか、ロータリーの軸偏心によるのか、ボルト、ナット、ネジや軸受けなどの摩耗によるのか、また他に原因があるのかということ調べる必要がある。その結果から電動ロータリー刈払機の取扱い方法も明らかになるであろう。

労働科学的な面については電動刈払機による下刈作業の標準作業姿勢を研究し、作業員が安全かつ能率的に下刈を遂行できるように、下刈作業員の動作分析をする必要がある。

これらの工学的な面と労働科学的な面より下刈作業の計画を立てて初めて作業工程が正しく把握されるのである。百足式配置での電動刈払機、2サイクルガソリンエンジン刈払機、手鎌の3種に対する工程と経費の比較試験を行なった結果について¹⁾は工学的にも労働科学的にも客観的な条件設定の

基礎付けがないために、現状の下刈作業を比較したものにとどまっている。

電動刈払機の蛸足式、百足式の形式で配置し、その時の電気関係と、各刈払機に与えられる電圧、電流の状態を調べると共に、造林地の雑草木を鋸断するのに十分な回転数とトルクを与え、しかも刈払機のシャフトに伝わるロータリーのビリビリ振動により生じる作業員の負担を少なくするために、電圧を一定範囲内に維持し、さらに、切株などに刈払刃が噛み込む時に過度の負荷がかかり、多量の電流が流れる危険性があるが、この時に流れる電流の最大値とその発生頻度を調べ、電動ロータリー刈払機の作業を山林で効果的に遂行するために、今回の調査を行なった。

2. 電動刈払機の配置について

幹線の分岐と支線の分岐の状態に応じて、電動ロータリー刈払機の配置をつぎの4段階に分け、その電圧、電流、電力の関係を考えてみよう。

I) 蛸足式 I (図-1-1) 幹線の先端部より支線を延伸し、その先端に刈払機を取り付けて作業を行なう。発動発電機から幹線の先端部までの電圧降下は幹線の抵抗 R_0 とそこに流れる電流 I_0 の積 $R_0 I_0$ 、そして支線と刈払機を含めた電圧はそれぞれ等しい。ここで、同種の支線、長さも等しく、各刈払機種も同種とすれば、相互の抵抗値はほぼ等しくなり、各刈払機に同程度の電圧が与えられることになる。この形式で刈払を行なえば、幹線を刈払に必要な場所へ先行して設置しておき、適当な長さのところで支線を一括して取り付け、刈払が終わると順次先端部へ移動していく。難点は同一の刈払地域に多数の刈払機を取り付けて作業をするために、支線を1回取り付けした時に刈払う面積が少なくなり、支線の付け換えのロスタイムが多くなり、さらに、刈払機で支線を切ったり、作業員に対する事故を起す危険性も多くなる。しかし、各作業員にとっては1人1人が遠く離れ離れにならず、作業中の親近性が得られ、言葉をかけることもでき、地味で単純な刈払作業の連続性を破り、精神的な安定性が得られる。

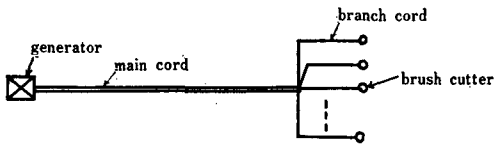


Figure-1-1. The placement of brush cutters in the form I.

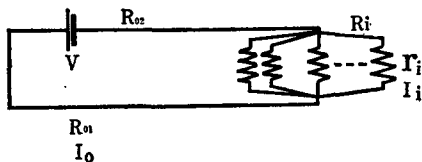


Figure-1-2. Illustration of electric relation of the placement in the form I.

- R_0 : resistance of main cord
- R_i : resistance of branch cord on the i section
- r_i : resistance of brush cutter on the i section
- V : voltage of generator
- I_0 : amperage of main cord
- I_i : amperage of branch cord on the i section

いま、(図1-2)

- 幹線の抵抗 : R_0
- 支線の抵抗 : R_i
- 刈払機の抵抗 : r_i
- 発動発電機 : \boxtimes
- 電源の電圧 : V
- 電力 : W
- 幹線の電流 : I_0
- 支線の電流 : I_i

とすると、電圧 V と各コードに流れる電流の関係はつぎのとおりである。

$$V = (R_{01} + R_{02})I_0 + \bar{R}I_0.$$

ここで、

$$\bar{R}I_0 = (R_1 + r_1)I_1 = \dots = (R_n + r_n)I_n.$$

$$I_0 = I_1 + \dots + I_n.$$

この関係より、

$$I_1 = \frac{\bar{R}I_0}{R_1 + r_1}, \dots, I_n = \frac{\bar{R}I_0}{R_n + r_n}.$$

$$I_0 = \left(\frac{1}{R_1 + r_1} + \dots + \frac{1}{R_n + r_n} \right) \bar{R}I_0.$$

したがって、

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i + r_i}$$

電力 (W) は $W = (R_{01} + R_{02})I_0^2 + \sum_{i=1}^n (R_i + r_i)I_i^2$ となる。この形式は刈払機に一定範囲の電圧を与えるのに最も簡単に実施できるので便利である。

II) 百足式 I (図 2-1) 幹線のある部分より 1 本づつ支線を取り付けて刈払作業を行なう。電動発電機から最も近い部分の刈払機と最も遠い部分の刈払機との電圧差がかなり生じる。この形式で刈払を行なう場合、幹線の長さも相当長くして使用することになるので、幹線の中間で変圧器を使用して電圧調整をする必要があるが、各刈払機に一定範囲の電圧を送るように調整することは難しい。蛸足式 I の場合と異なり刈払機 1 台の刈払面積については支線長を十分に活用して刈払いができるので効率がよく、作業員相互の間隔も十分に離れているのでお互に事故を起すことも少なくなる。しかし各作業員 1 人 1 人遠く離れてしまうので地味な連続単純作業から息抜きとしての対話の機会が少なくなる。この形式の使用についてある幹線区間 $I_{0i+1} \sim I_{0i+p}$ の p 区間を一括して蛸足式と同様に支線を同時に分岐することもできる。すなわち、その区間の幹線抵抗は $R_{0i+1} = \dots = R_{0i+p} = 0$ となる。これは蛸足式 I の発展した状態と見ることが出来る。この図 (図 2-2) においてある支線区間の幹線に流れる電流とその抵抗は対称形と考えられるので、入力側と出力側の両者を合わせた抵抗を R_{0i} 、電流を I_{0i} とする。電圧と電流の関係はつぎのとおりである。

$$V = R_{01}I_{01} + \dots + R_{0n-1}I_{0n-1} + (R_{0n} + R_n + r_n)I_{0n}$$

$$= \sum_{i=1}^n R_{0i}I_{0i} + (R_n + r_n)I_{0n}$$

$$I_{01} = I_1 + \dots + I_n = \sum_{i=1}^n I_i$$

ただし、 $I_{0n} = I_n$ 。

この関係は $I_{01} = I_1 + I_{02}$, $I_{02} = I_2 + I_{03}$, \dots , $I_{0n-1} = I_{n-1} + I_{0n}$ と $V = R_{01}I_{01} + (R_1 + r_1)I_1$,

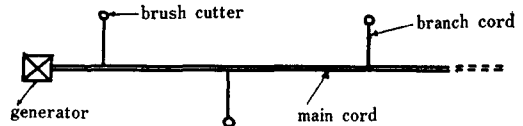


Figure-2-1. The placement of brush cutters in the form II.

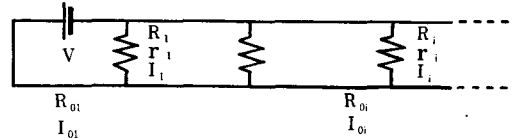


Figure-2-2. Illustration of electric relation of the placement in the form II.

- R_{0i} : resistance of main cord on the i section
- R_i : resistance of branch cord on the i section
- r_i : resistance of brush cutter on the i section
- V : voltage of generator
- I_{0i} : amperage of main cord on the i section
- I_i : amperage of branch cord on the i section

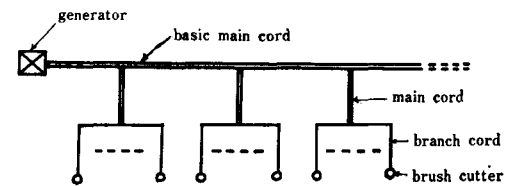


Figure-3-1. The placement of brush cutters in the form III.

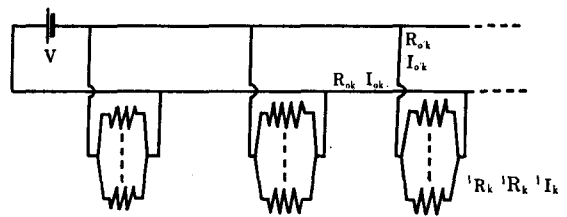


Figure-3-2. Illustration of electric relation of the placement in the form III.

- R_{0k}, I_{0k} : resistance and amperage of basic main cord on the k section
- R'_{0k}, I_{0k} : resistance and amperage of main cord on the k section
- ${}^1R_k, {}^1r_k, {}^1I_k$: resistance of branch cord and brush cutter, and amperage of branch cord on the k section which is diverged from the basic main cord on the k section

……, $(R_1+r_1)I_1=R_{02}I_{02}+(R_2+r_2)I_2, \dots, (R_{n-1}+r_{n-1})I_{n-1}=(R_{0n}+R_n+r_n)I_n$ から得られる。

Ⅲ) 蛸足式Ⅱ (図3—1) 基幹線をまず設置し, その適当な部分に幹線を取り出し, その先端に蛸足式Ⅰと同様に支線を接続する。すなわち, 幹線部分を百足式に設置し, その先端に蛸足式を加えた形である。このような形式で使用する場合には相当多数の刈払機を稼働させるか, 発動発電機を一箇所に据えて, かなり広面積の刈払いを行なわない限り, 蛸足式Ⅰが百足式Ⅰで十分である。しかし林道網のあまり完備していない場所ではこのような形式で使用しなければならないのではないかと考えられる。逆に山林内に電線網が敷かれた場合にもこのような形式で使用されることになる。基幹線から出る幹線を n 項まで, 各幹線から出る支線を m 項までであるとす。

いま, (図3—2)

基幹線の抵抗: R_{0k}	基幹線の電流: I_{0k}
幹線の抵抗: R'_{0k}	幹線の電流: I'_{0k}
支線の抵抗: lR_k	支線の電流: lI_k
刈払機の抵抗: lr_k	

とすると, 電圧と電流の関係はつぎのとおりである。

$$V=R_{01}I_{01}+\dots+R_{0n-1}I_{0n-1}+(R_{0n}+R'_{0n}+\bar{R}_n)I_{0n}=\sum_{k=1}^n R_{0k}I_{0k}+(R_{0n}'+\bar{R}_n)I_{0n}.$$

ただし, $\frac{1}{\bar{R}_k}=\sum_{l=1}^m \frac{1}{{}^lR_k+{}^lr_k}$

$$I_{01}=\sum_{k=1}^n I'_{0k}, \text{ また, } I'_{0k}=\sum_{l=1}^m {}^lI_k \text{ であるから, } I_{01}=\sum_{k=1}^n \left(\sum_{l=1}^m {}^lI_k\right).$$

$$\begin{aligned} V_k &= \bar{R}_k I_{0k}' = ({}^lR_k + {}^lr_k) {}^lI_k = \dots \\ &= ({}^lR_k + {}^lr_k) {}^lI_k = \dots \\ &= ({}^mR_k + {}^mr_k) {}^mI_k. \end{aligned}$$

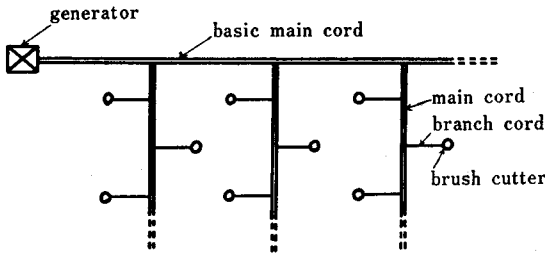


Figure-4-1. The placement of brush cutter in the form IV.

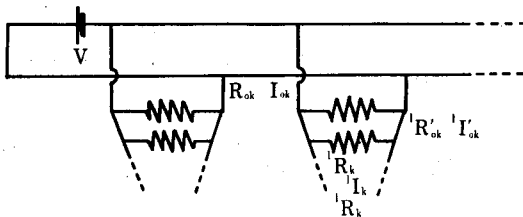


Figure-4-2. Illustration of electric relation of the placement in the form IV.

R_{0k}, I_{0k} : resistance and amperage of basic main cord on the k section
 ${}^lR'_{0k}, {}^lI'_{0k}$: resistance and amperage of main cord on the l section which is diverged from the basic main cord on the k section
 ${}^lR_k, {}^lr_k, {}^lI_k$: resistance of branch cord and brush cutter, and amperage of branch cord on the i section which is diverged from the basic main cord on the k section

これより各位置における電流と電圧の関係が得られる。

Ⅳ) 百足式Ⅱ (図4—1) 基幹線より幹線を接続し, その幹線部分に百足式Ⅰと同様に支線を延長する。すなわち, 幹線部分と支線部分に百足式を用いることになる。蛸足式Ⅱと同様に林道網のあまり完備していない場所か電線が林内に敷かれている場所で利用できる。しかし各刈払機に一定範囲の電圧を与えることは難しい。蛸足式Ⅱと同様に基幹線上に幹線を n 項, 幹線上に支線を m 項まで設置したとする。

いま, (図4—2)

基幹線の抵抗: R_{0k}
基幹線の電流: I_{0k}
幹線の抵抗: R'_{0k}
幹線の電流: I'_{0k}
支線の抵抗: lR_k
支線の電流: lI_k
刈払機の抵抗: lr_k

とすると, 電圧と電流の関係はつぎのとおり

である。

$V = R_{01}I_{01} + \dots + R_{0n-1}I_{0n-1} + R_{0n}I_{0n} + {}^1R'_{0n}{}^1I'_{0n} + ({}^1R_n + {}^1r_n){}^1I_{0n} = \sum_{k=1}^n R_{0k}I_{0k} + {}^1R'_{0n}{}^1I'_{0n} + ({}^1R_n + {}^1r_n){}^1I_{0n}$. アンダーラインの部分は最先端部の幹線の中のどの支線区間で閉じるかによって変化する。電流に関して、 $I_{01} = {}^1I'_{01} + I_{02}$, $I_{02} = {}^1I'_{02} + I_{03}$, \dots , $I_{0n-1} = {}^1I'_{0n-1} + I_{0n}$. したがって、 $I_{01} = \sum_{k=1}^n {}^1I'_{0k}$. ただし、 $I_{0n} = {}^1I'_{0n}$ である。また、 ${}^1I'_{01} = {}^2I'_{01} + {}^1I_1$, ${}^2I'_{01} = {}^3I'_{01} + {}^2I_1$, \dots , ${}^{m-1}I'_{01} = {}^mI'_{01} + {}^{m-1}I_1$. したがって、 ${}^1I'_{01} = \sum_{l=1}^m {}^lI_1$. ただし、 ${}^mI'_{01} = {}^mI_1$. 同様に、 ${}^1I'_{0k} = \sum_{l=1}^m {}^lI_k$. であるから、 $I_{01} = \sum_{k=1}^n \left(\sum_{l=1}^m {}^lI_k \right)$ と変形できる。電圧に関して、 $V = R_{01}I_{01} + V_1$. ただし、 V_1 は第1幹線の電圧。 $V_1 = R_{02}I_{02} + V_2$, \dots , $V_{n-1} = R_{0n-1}I_{0n-1} + V_n$. ただし、 V_n は前記のアンダーラインの部分に当る。ある幹線より支線への電圧の関係をみると、 $V_k = {}^1I'_{0k}R'_{0k} + {}^1v_k$. ただし、 1v_k は k 番目の幹線の第1番目の支線の電圧。 ${}^1v_k = {}^2I'_{0k}{}^2R'_{0k} + {}^2v_k$, \dots , ${}^{m-1}v_k = {}^mI'_{0k}{}^mR'_{0k} + {}^mv_k$. ${}^mv_k = ({}^mR_k + {}^mr_k){}^mI_k$. これより各位置における電流と電圧の関係が得られる。

3. 実験方法

イ) 蛸足式 I および百足式 I の形式に刈払機を配置した時の電力消費量、電流、電圧の関係を調べ、また刈払刃が伐根や造林地の枝条などに噛み込んだり、ブッシュが刈払刃の基部にはさまったりして、刈払刃が停止する時に過度の電流が刈払機に流れ込むので、その時間的頻度を調べるために、表 1 に示したようなヤンマー・ディーゼルエンジン、交流発電機を電源とし、スライドトランスで電圧を調整して、各刈払機に電流を送り、刈払機を稼動する。図-5 に示したように蛸足式 I を組み、発動発電機に近いところから支線を出し百足式 I を代用した。その状態で自記記録電力計で刈払機の稼動状態を記録し、電流、電圧をラクンブメーターで測定した。この自記記録電力計の測定時許容量が 2 kW までであるので、刈払機のスイッチを入れた時、または刈払刃が噛み込んだ時に電力消費量が高くなることを考慮して、測定する刈払機の台数を 5 台以下とした。図-5 の ① の位置で、蛸足式 I の配置の電気関係と、過電流の流れる頻度を、② の位置で、百足式 I のように各刈払機と電圧差を持たせたところでの刈払状況について枝打ち、雑草木刈払い、切株への噛み込み、ササ刈払いの時の電気関係を、そして③ の位置で、蛸足式 I の配置の中の刈払機を 1 台稼動した時の電気関係を調べた。

ロ) 上の実験は作業現場で作業員が平常行なっている状態の電気関係を調べたが、つぎに、刈払機にかかる電圧、電流がいくらあれば、刈払作業が効果的に行なえるかを調べるために、ホンダ 300W

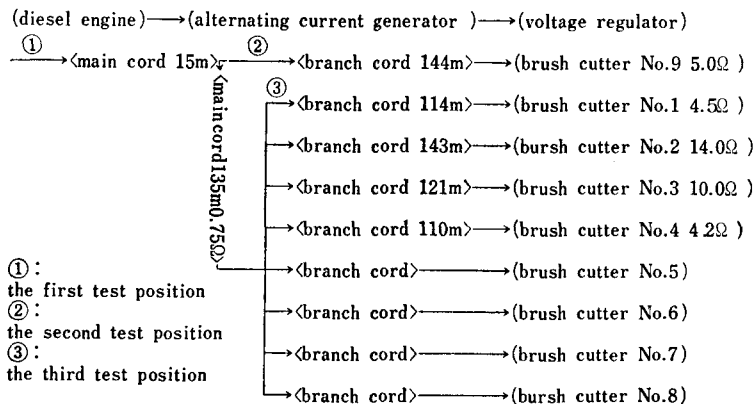


Figure-5. Illustration of the placement of brush cutters.

Table-1 Dimensions of brush cutters and meters used in the investigation Electric rotary brush cutter

	FC - 2	FC - 4
weight	4kg	4kg
length	1720 ^{m/m}	1720 ^{m/m}
edge	203 ^{m/m}	203 ^{m/m}
number of revolution	8350r.p.m.	5250r.p.m.
motor	one phase commutaton	one phase commutator
input	350W / 12000r.p.m.	400W / 12000r.p.m.
voltage	100V	100V
ratio of speed decrease	16 : 23	7 : 16
Yanma diesel engine NT 80K		
maximum output	7HP	
speed of revolution	2000r.p.m.	
output / speed of revolution	5 / 1800 ~ 6 / 2000	
exhaust capacity	0.477ℓ	
Alternating current generator ANB		
capacity	3k VA	
voltage	110V 0 ~ 150V	
amperage	27.8A 0 ~ 45A	
number of pole	2	
number of phase	1 excitation	
frequency	60	
number of revolution	3600r.p.m	
Transformer Riko-Slide Trans		
type	RSD 10A 50 / 60 %	
input	100V	
output	0 ~ 130V	
max	10A 1kVA	
Alternating wattmeter PLW		
phase	3	
amperage	5A	
voltage	220V	
cycle	60	
National clamp meter 300R		
voltage	150V 300V 600V (A.C.)	
amperage	15A 60A 300A (A.C.)	
resistance	0 ~ 5kΩ (center point 200Ω)	
Honda portable generator E300		
engine type	air-cooled 4 cycle gasoline engine	
exhaust capacity	55.2cc	
weight	17kg	
declared output	300VA	
engine output	1.1PS	
voltage	AC 100V, DC12V	
feul consumption	0.4ℓ / Hr	
tank capacity	2ℓ	

のガソリンエンジン発電機を電源とし、刈払機1台を稼動し、そこで、電圧を5段階(70, 80, 90, 100, 110V)に変え、また、造林地のブッシュを3種(雑草地, 小径木地, ササ地)を選び、刈払機2種(FC-2型, FC-4型)を各々組合せて、30通りそれぞれ3分間の刈払を行なった。ここでは電気関係と造林地の状況は制御されているので、刈払機の刈払力の程度と電動刈払機のロータリーによるビリビリ振動が与える作業員の負担の2要因から刈払作業に適正な電気関係の条件を調べた。

4. 実験結果と考察

イ) 一A 図-5 の①の位置で蛸足式Iの配置について、刈払機を3台ないし5台同時に稼動した状態における電気関係の調査結果はつぎのとおりである。

a 刈払機の稼動台数5台のとき、平常刈払時の電力消費量は $1400 \pm 25W$ 、最大電力消費量は $1550W$ である。このような急激な電力消費をした時に、平常値にもどるのに5秒かかっている。刈払刃の噛み込み時の電力消費状況を(図-6)に示す。電圧は $110V$ であったので、平常刈払時に流れる電流は $1400 \div 110 = 12.73A$ である。幹線 $150m$ (0.75 オーム) であるから、支線へ達するまでの電圧降下は $0.75 \times 12.73 = 9.55V$ である。各刈払機の支線分岐点に達する電圧は $100V$ である。したがって、 $(R_1 + r_1)I_1 = (R_2 + r_2)I_2 = \dots = (R_5 + r_5)I_5$

$= 100V$ 。ここで造林地から受ける抵抗が各々等しく、各刈払機自体の鋸断性能も各々等しいと仮定して、各刈払機の抵抗を全部等しく r オームとすると、 $(4.5 + r)I_1 = (14.0 + r)I_2 = (10.0 + r)I_3 = (4.2 + r)I_4 = (R_5 + r)I_5 = 100V$ 。また、 $I_1 + \dots + I_5 = 12.73$ 。ここで、 $I_5 = 12.73 \div 5 = 2.55A$ と置き、 R_5 に適当な数値を与えて、近似的に r を求めることにする。この結果 $R_5 = 7.5$ オームのとき、 $r = 31.72$ オーム、 $I_1 = 2.76A$ 、 $I_2 = 2.19A$ 、 $I_3 = 2.40A$ 、 $I_4 = 2.78A$ の近似値が得られる。これより各刈払機に与えられる電圧は $v_1 = 87.5V$ 、 $v_2 = 69.5V$ 、 $v_3 = 76.1V$ 、 $v_4 = 88.2V$ 、 $v_5 = 80.9V$ となる。この結果から支線コードによる電圧降下によっても各刈払機の電圧差が大きく現われてくることがわかる。

b 刈払機の稼動台数4台のとき、平常刈払時の電力消費量は $1000 \pm 50W$ 、切株またはブッシュに刈払刃が噛み込んだ時の電力消費量は最大値で $1415W$ であり、平常値に達するのに7秒かかっている。この時の電圧は $110V$ であるから、平常刈払時に流れる電流は $1000 \div 110 = 9.09A$ である。幹線から支線分岐点に達する電圧は $110 - 0.75 \times 9.09 = 103.6V$ である。ここでも各刈払機の抵抗を全部等しく r オームとし、前と同じように I_3 に適当な値を入れて、各電流の近似値を求めると、 $I_3 = 2.15A$ で、 $I_1 = 2.43A$ 、 $I_2 = 1.99A$ 、 $I_4 = 2.44V$ の近似値が得られる。各刈払機に与えられる電圧は $v_1 = 92.8V$ 、 $v_2 = 76.0V$ 、 $v_3 = 82.1V$ 、 $v_4 = 93.2V$ となる。aの場合と異なり、支線分岐点での電圧が $3.6V$ 高いが、各刈払機にかかる電圧はそれぞれ $5.3V$ 、 $6.5V$ 、 $6.0V$ 、 $5.0V$ 高くなっており、電流では $0.36A$ 、 $0.20A$ 、 $0.25A$ 、 $0.34A$ 低くなっている。これは刈払機が電力をほぼ一定に保つように製作されているので、電圧を上げることに對する効果が電流を下げるように働くからであ

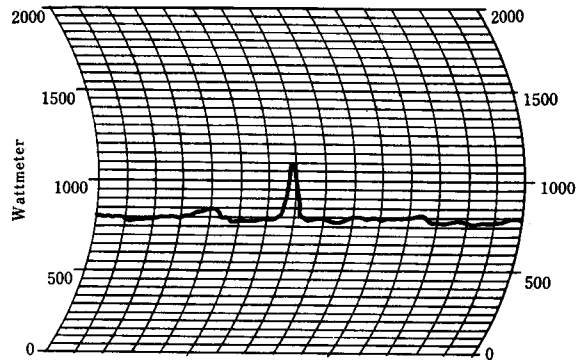


Figure-6. electric power consumption graph in the case that a brush cutter edge is caught in the stump.
one measure : 5 seconds.

るが、支線分岐点での電圧効果が刈払機の電圧をより高く上げていることがわかる。

c 刈払機の稼働台数3台のとき、平常刈払時の電力消費量は $780 \pm 40\text{W}$ 、切株またはブッシュに刈払刃が噛み込んだ時の最大電力消費量は 1100W であり、平常値に達するのに4秒かかっている。この時の電圧は 105V であるから、平常刈払時に流れる電流は $780 \div 105 = 7.43\text{A}$ である。幹線から支線分岐点までの電圧降下は $0.75 \times 7.43 = 5.57\text{V}$ であるから、分岐点の電圧は約 100V になる。ここでも各刈払機の抵抗を全部等しく r オームとし、 I_3 に適当な値を入れて電流を求めると、 $I_1 = 2.76\text{A}$ 、 $I_2 = 2.19\text{A}$ 、 $I_3 = 2.40\text{A}$ の近似値が得られる。各刈払機に与えられる電圧は $v_1 = 87.5\text{V}$ 、 $v_2 = 69.4\text{V}$ 、 $v_3 = 76.1$ となる。 a の場合における刈払機の電圧、電流を比較すると各々の差は現われていない。

イ) 一B 図-5 の③の位置で蛸足式の配置により8台を同時に稼働した状態において、その中の刈払機1台の電気関係の調査結果はつぎのとおりである。電圧は 100V に調整されている。雑草木刈払いの時の刈払機の電力消費量は $179 \pm 16\text{W}$ ($89.5 \pm 1.0\text{V}$ 、 $2.0 \pm 0.2\text{A}$) であり、極值的に 241W (87.6V 、 2.75A) に達することもある。切株への噛み込み時の刈払機の最大電力消費量は 388W (77.5V 、 5.0A) であり、平常値に達するには5秒を要している。前述した場合と比較すると雑草木刈払いの極值的な値である場合が前述したものの平常刈払値に相当している。このことは刈払機を8台同時に稼働し電圧を 100V に調整するために、電流が低下し、またこの場合の刈払地区のブッシュには草本が多く鋸断抵抗が少なかったとも考えられる。

以上の蛸足式Iによる調査結果から、蛸足式は刈払機に一定電圧を与える条件を満しやすくできるが、支線の長さが異なることにより、各支線の抵抗値が異なり、そのために、各刈払機に達する電流、電圧にかなりの差を生じ、適正な刈払条件を満さないことになる。さらに、支線分岐点で電圧を少し高めることにより、各刈払機に達する電圧はかなり高くなり、電流はより低くなる。一方、刈払場所の雑草木の鋸断抵抗により各刈払機に達する電流、電圧は変化を生じ、鋸断抵抗が大きくなればそれだけ電力消費は高くなり、電流も多く流れ、その作用で刈払機にかかる電圧は低下する。

ロ) 図-5 の②の位置で百足式Iの代用として電圧差がプラス側に生じるように、電源近くで支線コードを分岐し、刈払機1台を稼働させ、枝打ち、ササ刈払い、雑草木刈払い、切株への噛み込みを行ない、各々の場合の電力消費量と刈払機に与えられる電圧の関係を調べた結果はつぎのとおりである。電圧は 100V に調整されている。空転時の電力消費量は支線の電圧降下分を差し引き、刈払機のみについて見ると約2分後に一定値 178W (89.2V 、 2.0A) に落ち着く。まず、直径約 3cm 前後のサワグルミの枝打ちの電力消費量は 254W (84.8V 、 3.0A) ないし 288W (82.2V 、 3.5A) である。雑草木刈払いの場合は 271W (83.5V 、 3.25A) である。切株噛み込みの場合は 373W (74.6V 、 5.0A) ないし 397W (72.1V 、 5.5A) という最大電流値になる。ササ刈払いの場合は $281 \pm 27\text{W}$ ($82.2 \pm 2.6\text{V}$ 、 $3.5 \pm 0.5\text{A}$) であり、極值的に 373W に達し、これは切株噛み込みの場合に匹敵する。電圧差をプラス側に与えるために、電源近くに支線コードを分岐したが、これを蛸足式で行なった調査結果と比較すると、雑草木刈払いの場合を見てもわかるように、電圧を 100V に制御しているために、 3.25A 以上の高い電流が常時流れていることになる。したがって、実際の刈払時に、百足式を用いて電圧調整をして各刈払機に一定範囲の電圧を送るのは不可能に近く、たとえ出来ても電流が大変高くなり、刈払作業を遂行する上で不利である。このことに対しては蛸足式を用いても造林地の雑草木の鋸断抵抗に差を生じ、それにより電圧、電流に変化を生じてくるので、各刈払機自体に電圧を制御できる装置を取り付ける必要がある。

ハ) 切株に刈払刃が噛み込んだ時に、大きな負荷がかかり、過度の電流が刈払機に流れ込み、モーターを焼いたり、コードを焼き裸線になる危険性もある。刈払刃の切株などへの噛み込みの危険性の頻度について調べるために、過電流が平常値に達するまでに要する時間を刈払作業中の時間で割り、

Table-2 The result of the extent of cutting force and workers' burden on five grades of voltage (70, 80, 90, 100 and 105 V) included 144 meter branch cord in each place closely overgrown with weeds, small broad-leaved trees and bamboo grasses. : the resistance of 144m branch cord is 5 ohm.

species of plants in the afforestation places	FC- 2 type					
	no cutting or cutting	voltage (V)	amperage (A)	watt (W)	the extent of	
					cutting force	wokers' burden
place closely overgrown with weeds	no cutting	70	1.7	120		weak
	cutting	70	1.9	130	bad	weak
	no cutting	80	1.6	130		weak
	cutting	75	2.0	150	bad	weak
	no cutting	90	1.7	150		weak
	cutting	85	1.9	165	a little bad	weak
	no cutting	100	1.8	180		a little weak
	cutting	95	2.1	200	good	a little weak
place with small broad- leaved trees	no cutting	105	1.9	200		a little weak
	cutting	95	2.3	220	good	a little weak
	no cutting	70	1.4	100		weak
	cutting	63	1.7	105	bad	weak
	no cutting	80	1.6	125		weak
	cutting	72	1.7	125	bad	weak
	no cutting	90	1.7	150		weak
	cutting	85	1.9	160	a little bad	weak
place with bamboo grasses	no cutting	100	1.8	180		a little weak
	cutting	95	2.1	200	good	a little weak
	no cutting	105	1.9	200		a little weak
	cutting	100	2.2	220	good	a little weak
	no cutting	70	1.7	120		weak
	cutting	68	1.8	125	bad	weak
	no cutting	85	1.8	140		weak
	cutting	75	2.0	150	bad	weak
place with bamboo grasses	no cutting	95	1.8	160		weak
	cutting	85	2.0	170	a little bad	weak
	no cutting	107	1.8	180		a little weak
	cutting	97	2.1	200	good	a little weak
	no cutting	105	1.9	200		a little weak
	cutting	100	2.1	210	good	a little weak

species of plants in the afforestation places	FC-4 type					
	no cutting or cutting	voltage (V)	amperage (A)	watt (W)	the extent of	
					cutting force	worker's burden
place closely overgrown with weeds	no cutting	70	1.7	120		weak
	cutting	65	2.2	140	bad	weak
	no cutting	80	1.9	150		a little weak
	cutting	75	2.1	160	good	a little weak
	no cutting	90	1.9	170	impossible to hand	very strong
	cutting	85	2.4	200	brush cutter	very strong
	no cutting	100	2.0	200	impossible to hand	very strong
	cutting	100	2.4	240	brush cutter	very strong
	no cutting					
	cutting					
place with small broad- leaved trees	no cutting	70	1.7	120		weak
	cutting	65	1.9	120	bad	weak
	no cutting	80	1.9	150		a little weak
	cutting	75	2.0	150	good	a little weak
	no cutting	90	1.9	170	impossible to hand	very strong
	cutting	85	2.4	200	brush cutter	very strong
	no cutting	100	2.4	240	impossible to hand	very strong
	cutting	100	2.4	240	brush cutter	very strong
	no cutting					
	cutting					
place with bamboo grasses	no cutting	70	1.7	120		weak
	cutting	67	1.8	120	bad	weak
	no cutting	80	1.9	150		a little weak
	cutting	75	2.0	150	good	a little weak
	no cutting	90	1.9	170	impossible to hand	very strong
	cutting	85	2.0	170	brush cutter	very strong
	no cutting	100	2.0	220	impossible to hand	very strong
	cutting	97	2.3	220	brush cutter	very strong
	no cutting	105	2.1	225	impossible to hand	very strong
	cutting	102	2.3	230	brush cutter	very strong

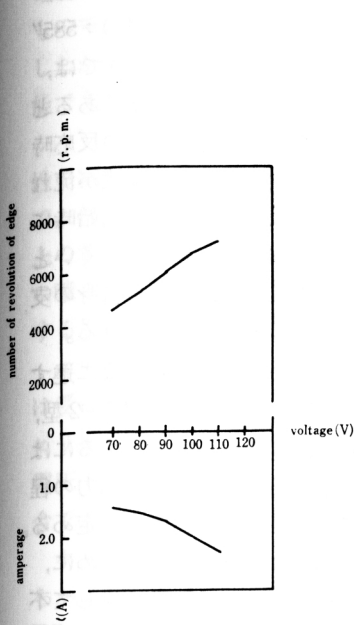


Figure-7-1. The relation between number of revolution of edge or amperage and voltage in the case of FC-2 type.

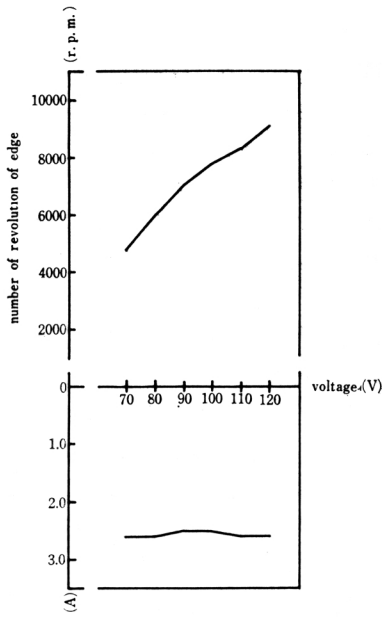


Figure-7-2. The relation between number of revolution of edge or amperage and voltage in the case of FC-2 type.

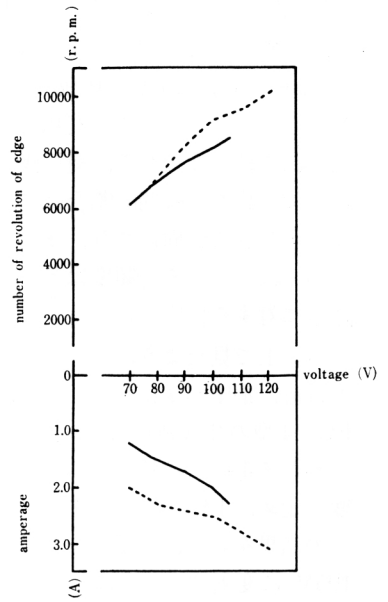


Figure-7-3. The relation between number of revolution of edge or amperage and voltage in the case of FC-4 type 75Y 1437.

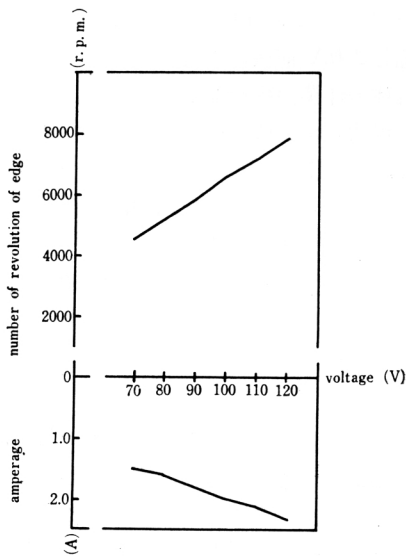


Figure-7-4. The relation between number of revolution of edge or amperage and voltage in the case of FC-4 type 85Y 5533.

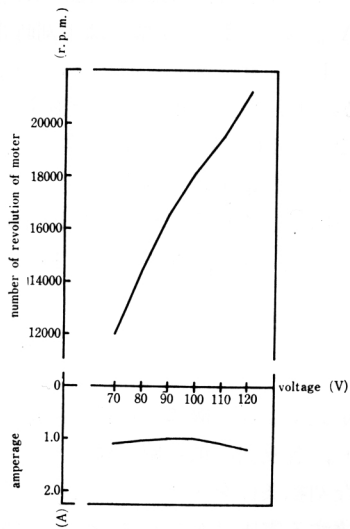


Figure-7-5. The relation between number of revolution of motor amperage and voltage in the case of FC-4 type 85Y 5520.

時間的割合を求める方がより危険性の割合を表わしていると考えられる。まず、4台稼働時の場合、 $(7''+4'')\div 284''=3.87\%$ 。1台当りにして0.97%である。3台稼働時の場合、 $(4''+4''+4'')\div 585''=2.05\%$ 。1台当りにして0.68%である。8台稼働時の場合で1台について調べたものでは、 $(5''+5''+5'')\div 1531''=0.98\%$ である。したがって、危険性のある時間的割合は約1%程度であると考えられる。ところで、刈払刃が噛み込んで、それを作業員が抜くか、スイッチを切るまでの反応時間は約1秒程度であり、刈払機に6A程度以上の電流が流れることはなく、大きな値の過電流が流れる危険な状態の時間的割合はさらに少なくなる。刈払刃の噛み込みが起るのは相対的に作業開始時に多く現われる傾向にあり、また造林地に切株や支障木の多いところあるいは作業員が発見しにくいところではこのような頻度は多くなってくるであろうが、そのような場合はそれなりに作業員自身の支障木に対する反応や適応性ができ、作業開始後の時間の経過につれて減少するものと考えられる。

二) 上で見たように、造林地の雑草木の種類により鋸断抵抗が異なり、そのために、刈払機に達する電流、電圧が変化してくるが、雑草木地、小径木地、ササ地の3地域を選び、刈払機をFC-2型、FC-4型の2機種を用い、電圧を5段階(70, 80, 90, 100, 110V)に変え、刈払作業を遂行するにはいかなる電圧が維持される必要があるかを調べた。その決定要因として下限値を刈払機の刈払力の程度で定め、上限値をロータリーのビリビリ振動から作業員の受ける負担度や不快感の程度から定める。その結果を表-2に示す。ところで、作業中にスライドトランスの110Vの部分で焼けたために、105Vに変更することにした。この結果から、作業員がさほどロータリーのビリビリ振動に対して不快感を感じずに作業ができるのはFC-2型では下刈時において電圧85V、電流2.1A以下、空転時において電圧95V、電流1.9A以下、FC-4型では下刈時において電圧65V、電流2.0A以下、空転時において電圧70V、電流1.9A以下である。一方、刈払力の程度についてはFC-2型およびFC-4型ともに造林地の雑草木の種類から特別な影響を受けなくて、電圧の上昇とともに刈払力が良くなっており、FC-2型では下刈時において電圧85V、電流2.1A以上、空転時において電圧90V、電流1.8A以上、FC-4型では下刈時において電圧65V、電流2.0A以上、空転時において電圧70V、電流1.9A以上であれば刈払力は十分である。したがって、FC-2型では下刈時電圧85V、電流2.1A前後に、FC-4型では下刈時電圧65V、電流2.0A前後に維持すれば最も効率良く作業ができる。しかしロータリーのビリビリ振動が刈払機自体の作業能率を制限しており、振動発生の原因を明らかにし、振動防止の手段を構想する必要がある。現状の刈払機を使用して刈払作業を行なうには、FC-2型、FC-4型ともに効率良く作業ができる電圧、電流の範囲が非常に狭いので、百足式を用いて最初から電圧差、電流差を生じる配置方法は不利であり、蛸足式を用い、支線抵抗もできるだけお互いに等しくなるように考慮して使用するのが最も良い方法である。

図7-1から7-5に、FC-2型とFC-4型の電圧と刃の回転数および電圧と電流の関係を示した。

5. 結 論

イ) 蛸足式Iは刈払機に一定範囲の電圧を与える条件を満しやすくできるが、支線の長さが異なることにより、各支線の抵抗値が異なり、そのために、各刈払機に達する電流、電圧にかなりの差を生じ、適正な刈払条件を満さないことになる。さらに、支線分岐点で電圧を少し高めることにより、各刈払機に達する電圧はかなり高くなり、電流はより低くなる。一方、刈払場所の雑草木の鋸断抵抗により各刈払機に達する電流、電圧は変化を生じ、鋸断抵抗が大きくなればそれだけ電力消費が高くなり、電流も多く流れ、その作用で刈払機にかかる電圧は低下する。

ロ) 百足式Iは電源近くで分岐した刈払機には先端部のもとの相当な電圧、電流の差が生じる。本調査の場合では両者とも支線分岐点で100Vにすると、雑草木の平常刈払時に、先端部で電圧88V、

電流 2.8A 程度であるが電源近くでは電圧 83V, 電流 3.25A という差を生じており, 電源近くのものでは電圧を 100V に低下することになり, 3.25A 以上の高い電流が常時流れていることになる。したがって, 百足式 I を用いて電圧調整をしても各刈払機に一定範囲の電圧, 電流を送ることは不可能であり, 刈払作業を遂行する上で不利である。

ハ) 刈払刃が切株などに噛み込み過電流が刈払機に流れている時間の刈払時間に対する割合は危険性の割合を示すものであり, これは刈払機 1 台当について 1% 程度である。そして刈払刃が噛み込んで, 作業員が刃を抜くか, スイッチを切るまでの反応時間は約 1 秒程度であり, 刈払機に 6A 程度以上の電流が流れることはなく, このような大きな過電流が流れる危険な状態はさらに少ない。刈払刃の噛み込みが起るのは相対的に作業開始時に多く現われる傾向があり, 作業員の刈払いの支障木に対する反応は時間とともに良くなっていくものと考えられる。

ニ) 刈払力の程度については FC-2 型, FC-4 型ともに, 造林地の雑草木の種類から特別な影響は受けないで, 電圧の上昇とともに刈払力は良くなっている。この刈払力の程度とロータリーのビリビリ振動による作業員の負担度や不快感との両者から定めた最も効率的な作業条件は FC-2 型では電圧 85V, 電流 2.1A 前後に, FC-4 型では電圧 65V, 電流 2.0A 前後に維持して刈払を行なう場合である。

ホ) ロータリーのビリビリ振動が刈払機自体の作業能率を制限しているので, 振動発生の原因を明らかにし, 振動防止の手段を構ずる必要があるが, 現状の刈払機を使用して刈払作業を行なうには, FC-2 型, FC-4 型ともに効率良く作業できる電流, 電圧の範囲が非常に狭いので, 百足式を用いて最初から電圧差, 電流差を生じる配置方法は不利であり, 蛸足式を用い, 支線抵抗もできるだけお互いに等しくして使用するのが最も良い方法である。さらに, 蛸足式 I を使用しても, 造林地の雑草木の鋸断抵抗による相違から電圧, 電流に差を生じるので, 各刈払機自体に電圧や電流を制御し, 適当に刈払条件を変えられる装置を取り付ける必要もある。

参 考 文 献

- 1) 沼田邦彦・荒井 脩・佐々木功: 電動式下刈機の功程と経費, 京大演報, 40, 250~263, (1968)
- 2) 熊本営林局: 電動刈払機による下刈作業の効率調査について, (1965)

Résumé

Electric rotary brush cutters do not make so much vibration as others with a two cycle gasoline engine, and also release weeding workers from the absorption of exhaust air, the numbness of their hands and fingers and the difficulty in hearing, and also, have opened the way for even older workers and females can be engaged in weeding work. The machine was developed to increase work efficiency and to be able to use for multiple purposes with changes of attachments.

When many electric rotary brush cutters are used in weeding work in the forest, we need to make the branch cords and the main cords longer in order to weed in a large area on setting up a generator by a diesel engine in a place, but the weeding area is limited by the power of the generator, the length and the allowed amperage of these cords and the number of brush cutters. Then, if we do not select a suitable placement type of cords and keep an adequate value of voltage that brush cutters get, not only the work efficiency will decrease, but also the workers' physical burden will increase on account of a small but unpleasant vibration. Therefore, we have to keep the suitable value of voltage so we can weed satisfactorily using brush cutters in the afforestation places.

The placement of brush cutters in form I (figure 1-1 and figure 1-2) is the simplest and the most

convenient for maintaining a standard voltage. Electric power is represented as following formula,

$$W = (R_{01} + R_{02})I_0^2 + (R_i + r_i)I_i^2.$$

The placement of brush cutters in form II (figure 2-1 and figur 2-2) will be used in the manner of increasing the length of main cords, and in this case transformers are almost always used to adjust the value of the voltage, but it is difficult to keep the voltage standard.

For example, assuming that the length of branch cords on the i section: $l_i = 100$ (meter), the length of main cords: on the i section: $l_{0i} = 50$ (meter), each value of voltage, amperage and resistatance of the farthest brush cutters from the generator is 100 (voltage), 2 (ampere) and 50 (ohm), and for simplifying the calculation, each value of every section is all the same, or each value of resistance of R_i (resistance of branch cord), R_{0i} (resistance of main cord) and r_i (resistance of brush cutter) is 3.6 (ohm/100 meter), 0.5 (ohm/100 meter) and 50 (ohm). The relation between the voltage on the $n-1$ section and on the n section is represented as following formula,

$$(R_{n-1} + r_{n-1})I_{n-1} = (R_{0n} + R_n + r_n)I_n.$$

Then, $\frac{I_{n-1}}{I_n} = \frac{R_{0n} + R_n + r_n}{R_{n-1} + r_{n-1}} = \frac{R_0 + R + r}{R + r} = \frac{R_0}{R + r} + 1 = k (= \frac{0.5 \times 0.5}{3.6 + 50} = 1.0047)$. In the same way, we can get the ratio k of amperage between next section and each other. The value of amperage on each section is given in the manner of geometric progression, or

$$I_1 = kI_2 \cdots = k^{n-1}I_n.$$

Therefore, the value of the total amperage is shown as follows,

$$I_{01} = I_1 + \cdots + I_{n-1} + I_n = (k^{n-1} + \cdots + k + 1)I_n = \frac{1 - k^n}{1 - k} I_n$$

If we use ten brush cutters in this form, each value of voltage and amperage of the nearest brush cutter from a generator will be 100+4.3 (voltage) and 2.09 (amperage), but in a real weeding case, each value of R_i , R_{0i} and r_i is different from the foregoing value, especially r_i is changeable under cutting conditions. Then, the difference of each value of voltage and amperage between the farthest brush cutter and the nearest one will be large.

When the brush cutter edge is caught in a stump, a lot of amperage naturally flows into the brush cutter. In this case, the worker usually removes it from the stump or turns it off in less than one second.

Therefore, it seldom happens that the maximum amperage increases more than about 6 amperes, and this happens very infrequently or the ratio between the time when a lot of amperage flows and the time when the worker is weeding is about 1 percent per a brush cutter. It will scarcely happen that more than two brush cutters are caught in the stumps at the same time. Therefore, I think we can satisfactorily use a cord that allows 10 amperes as a branch cord, and we have to consider the total amperage in proportion to the number of brush cutters when we choose the main cord. Each value of voltage and amperage of brush cutter is changeable according to the placement of brush cutters and species of weeds in the afforestation places. Then, investigating the extent of the cutting force and the workers' burden on five grades of voltage (70, 80, 90, 100 and 105 (voltage) included the 144 (meter) branch cord) in three places closely overgrown with weeds, small broad-leaved trees and bamboo grasses, it was proved that it is difficult for workers to work on by workers' physical limitation unless, in the case of FC-2 type, the voltage is less than 100 (voltage), in the case of FC-4 type, less than 75 (voltage), because of the hard vibration, but small amplitude, according to slight eccentricity of shaft, on the other hand, in both types, the extent of the cutting force is not influenced by the species of plants in the afforestation places. The weeding workers will not weed satisfactorily if, in the case of FC-2 type, the voltage is less than 95 (voltage), in the case of FC-4 type less than 75 (voltage).

Therefore, this vibration is the main reason why the weeding work efficiency is limied. The slight eccentricity of shaft, abrasion of bevel gear and other connecting parts that cause uncomfortable vibration for workers, I think, are made mainly by the shock of cutting weeds and catching the cutting edge in the stump.