

## フレールモア式地拵下刈車両の作業条件と適正質量

仁多見俊夫\*1,\*2・五十嵐勇治\*1・大村和也\*1・及川良一郎\*3

### Operational Condition and the Weight of a Vehicle for Site-preparation with Flail-mower

Toshio NITAMI\*1,\*2, Yuji IGARASHI\*1, Kazuya OHMURA\*1, Ryoutirou OIKAWA\*3

#### はじめに

自走して地拵および下刈り作業を行う車両機械の、フレールモア式作業ユニットの動作機構を、力学モデルによって検討し、車両機械の質量や作業条件についてした。対象とする車両は、平成10～12年度林野庁新機種開発事業によるもので、社団法人林業機械化協会が受託して開発した「地形対応型育林機械」である。

当該車両は、車体前端に作業ユニットを備えており、自走しながら地拵、下刈り作業を行う。その際、車輪によって進行方向を操るが、地表物の処理に必要な荷重が大きいと車輪が浮き上がって走行困難となり、傾斜地では車体が下方に流れて危険な場合も発生する。主として処理対象が草本である下刈りでは、ユニットが受ける反力は小さいが、灌木、ササが繁茂するところでの地拵ではユニットが受ける反力は大きい。そこで、ササなどの植生からユニットが受ける反力をモデル化し、車両の安定走行操作と地拵作業を両立させるために必要な車両設計条件を特に質量について検討した。これまでには、開発機械の地拵、刈り払い作業における能率や作業方法<sup>1),4)-6)</sup>について、また動作時に刈り刃が受ける抵抗力を所与のものとした所用動力の定式化などについて検討<sup>3)</sup>が行われているが、ここでは新たにフレールモア刃の破碎機構をモデル化して、力の釣り合い条件から作業ユニットの動作について検討した。また、傾斜林地での作業方向について傾斜度と関連して検討した。

#### 育林機械の機構と作業性能

当該車両機械は、車輪で支持、駆動される前部車体にフレールモア式ユニットを装備し、関節で結合されたクローラ式後部車体にエンジンと油圧発生機構を搭載してユニットと後部車体を駆動する。ユニットの動作や走行駆動などすべての動作は油圧である。諸元を表-1に、概観を図-1に示す。

作業ユニットは油圧装置とチェーン機構で吊り下げられており、油圧装置によってユニットを半ば浮かせた状態で保持し、地表の凹凸によって自動的にユニットを昇降させて地表との間隔を

\*1 東京大学大学院農学生命科学研究科附属科学の森教育研究センター秩父演習林

\*1 University Forest in Chichibu, University Forests, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo.

\*2 (現所属) 東京大学大学院農学生命科学研究科附属科学の森教育研究センター研究部

\*2 (present address) Research Division, University Forests, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo.

\*3 及川自動車株式会社

\*3 Oikawa Motors Co., Ltd.

表-1 機械諸元

Table 1. Specifications of the machine for study.

項目	Item	Specification	備考
全長	Length	4,600 mm	
全幅	Width	1,500 mm	
全高	Height	2,400 mm	キャンピングガード上端 (エンジンカバー (後部車体) 上端では 1,400 mm) at the top of cabin-gard
質量	Mass	4,000 kg	
エンジン出力	Engine output	96 PS {70.6 KW}	
駆動機構	Transmission	全て油圧機構 Hydraulics	

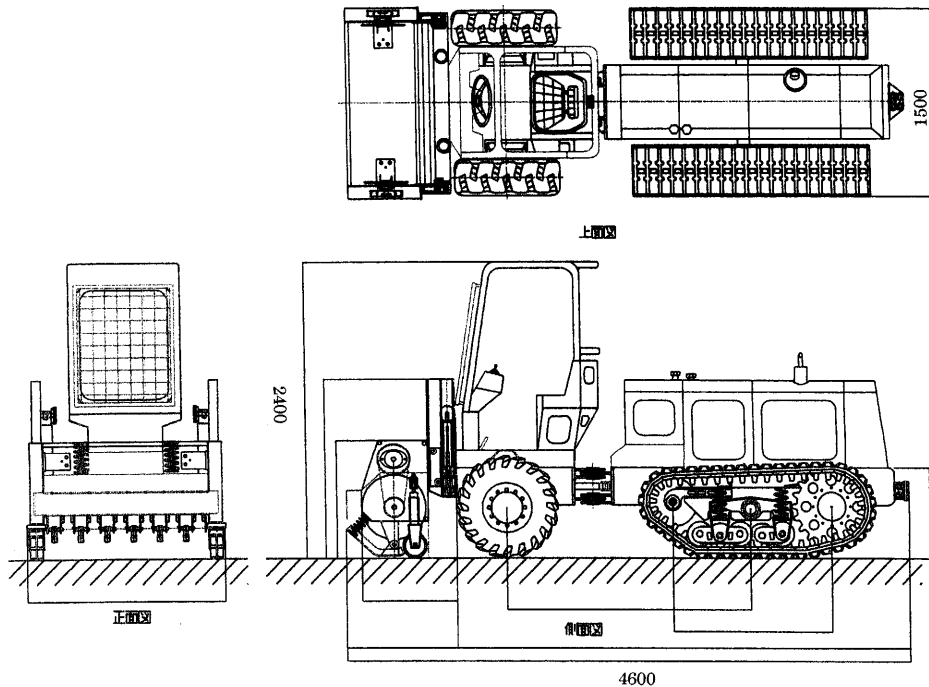


図-1 地拵下刈機械の概観 (単位 mm)

15 cm に保つ。これが刈り払い高さとなり、これをこの車両では地形対応機構と呼ぶ。

地拵え下刈り作業の工期は、ユニットの処理が滞らなければ車両の走行速度によって定まる。容易に作業を行える草本を主とした下刈り作業では、人の歩行速度ほどの 1 m/秒で作業が可能であって、方向転換などを除外すれば 2.3 時間で 1 ha を処理する。灌木、ササ地 (桿密度が 100 本/m<sup>2</sup> 程度のスズタケ) では、0.5 m/秒程度の速度で作業は行われ、約 5 時間で 1 ha を処理する。作業対象地の状況で処理速度は変わるが、ここでは処理速度としてササ植生を想定し、0.5



図-2 フレールモアユニットによって粉碎処理された伐根

m/秒を用いることとする。

フレールモア自体は頑健で、車両の重量をかけながら伐根を破碎することができる。伐根を破碎する場合には、ユニットの自動保持機構を解除し、手動によって削り厚を調整しながら車両の前後進を繰り返して処理する。破碎後の低くなった伐根の状況を図-2に示す。

#### フレールモア式下刈ユニットの機構と動作

作業ユニットのフレールモアは、回転駆動される長さ 130 cm、直径 90 mm の鋼パイプと周囲を囲む部材に取り付けられた長さ 125 mm、厚さ 26 mm のハンマーからなり、刃体の回転外周は直径 530 mm である (図-3)。破碎したものを前方へ飛ばし出すように、車両の進行方向と逆に回転する。フレールモア中心のパイプは肉厚 5 mm で、両端を支持されており、障害物と衝突しても回転作動に影響する変形を生じない。両端を支持するフレーム部でベルトを介して油圧モータによって回転駆動される。回転数はエンジン回転によって油圧を調節して変える。抵抗の小さい草本の刈り払いでは、3 MPa 程度の小さい油圧と少ない流量でモアを回転させるだけで十分に作業が可能である。灌木、ササの刈り払い、粉碎処理では、エンジン回転を上げ、15 MPa ほどの高圧を発生させ、流量も大きくして、モアの回転数 2,400 rpm、刃先速度約 60 m/秒で作業を行う。

モアを保持するフレーム前面には、モアが打ち上げた破碎物が車両側へ飛び込まないように庇が取り付けられている。また、処理物がモアと庇下面との間にたまり、処理ができなくなる場合も極稀に生じるが、車体を後退させて処理物を落とし出すことにより解消できる。

#### 作業機構とユニット支持力のモデル

回転駆動される周囲の刃先の先端で植生を破碎処理する力学モデルを示し、作業ユニットを支持する力を解析すると、図-4のように表される。ここで、植生はササとし、複数本のササをまと

めて処理するモデルとした。

植物体はユニットカバーの底に押されて前方へ傾斜した状態で回転する刃体の先端に触れ、最初にその接触点で破碎され(図-4のa)、その後地表から伸びる片持ち梁の状態、その先端を回転刃体に押し付けながら連続的に破碎されていき(図-4のb)、刃先が触れない長さまで短くなる(図-4のc)。その間に、植物体の先端は曲げられる反力を刃体に作用しつづける。刃体による植物体の破碎は、刃の回転円周方向に沿ってのせん断破壊と見なし、その反作用の垂直成分が刃体を押し上げる力であるとして、以下のように力の釣り合いをあらわした。

刃体の外周から植物体にかかる水平方向の力  $Fh$  は、処理する植物体のせん断抵抗  $Fs$ 、刃体の回転中心  $O$  と接点を結ぶ線が水平に対してなす角  $\theta$  によって、

$$Fh = Fs \cdot \sin\theta$$

と表される。また、植物体の先端が接点によって刃体に水平に作用する力  $Fx$  は、破碎される植物体の長さ  $l$ 、鉛直線からの変異量  $y$  およびヤング率  $E$ 、断面二次モーメント  $I$  によって、

$$Fx = \frac{3yEI}{l^3}$$

と表すことができる。ここで  $I$  は、植物体は地表もしくは地表近くの仮想点に固定されたものとし、そこからの長さとした。また、 $P$  における植物体の鉛直軸からの傾きは、

$$-\frac{Fxl^2}{2EI}$$

となり、以上から植物体から刃体へ作用する地表垂直方向の力  $Fv$  は、

$$Fv = \frac{1}{2EI} \sin^2\theta (l_0 + r(1 - \sin\theta))^2$$

となる。 $l_0$  は刃体と地表の間隔、 $r$  は刃体の回転する半径。

この  $Fv$  を図-4の点aから、点cまでの区間で求めればよい。しかし植物体は間隔を空けて生えているので、ここでは植物体が隙間なく連続して生えている状態を仮定し、積分して得た値  $F$

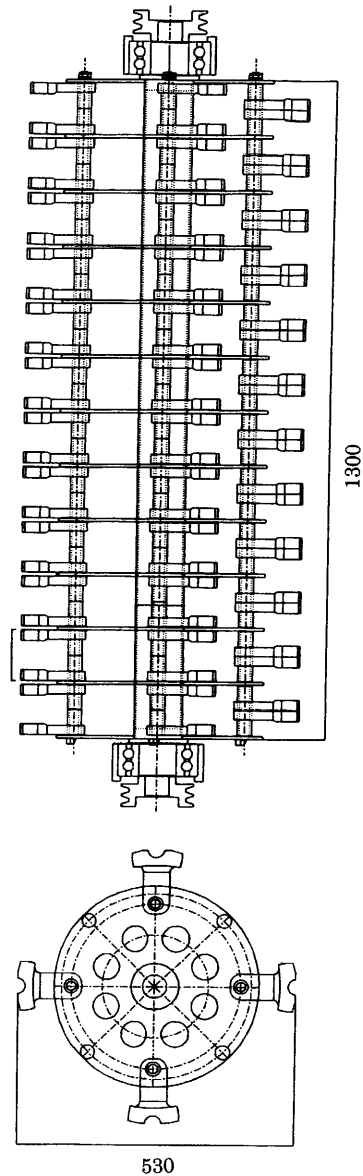


図-3 フレールモアユニット概観(単位 mm)

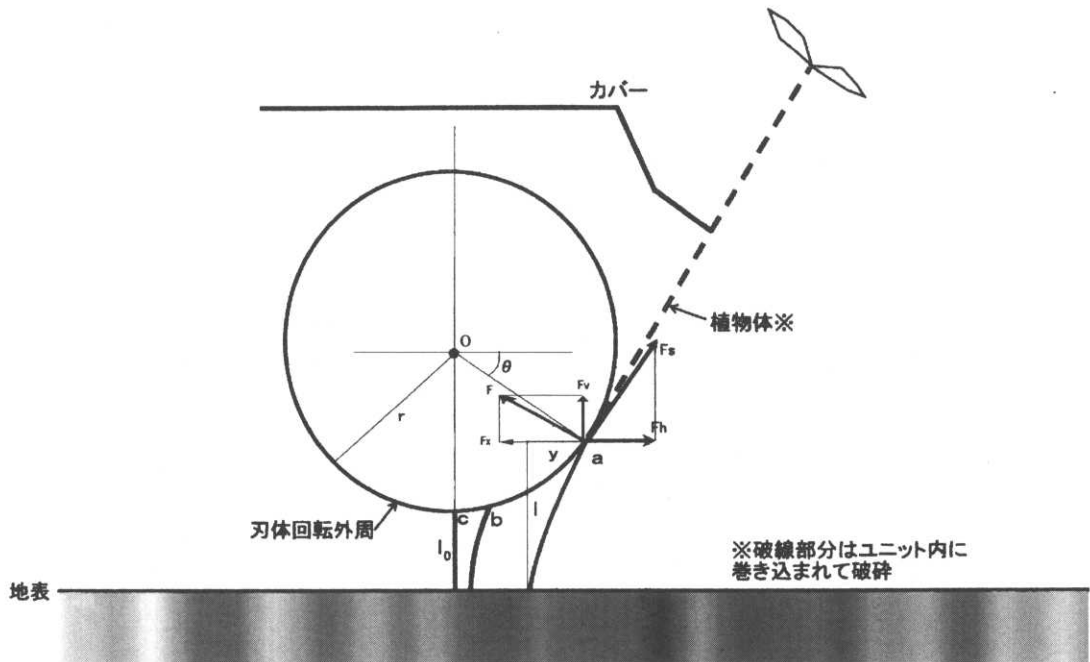


図4 動作するユニットと処理する地表障害物との関係

を、植物体の生立密度で割り引いてユニットの単位幅当りの力を算出した。 $F$ は、

$$F = \int_{\theta_0}^{\theta_1} Fv d\theta$$

となり、 $\theta_0$ はモアユニット中心 $o$ を通る車体長さ方向の軸との平行線 $l$ と直線 $oa$ のなす角度、 $\theta_1$ は同じく $oc$ のなす角度である。なお、ササの標準的な強度<sup>2)</sup>から、 $E=1.28 \text{ MN/cm}^2$ 、 $I=0.005 \text{ cm}^4$ 、 $F_s$ はササのせん断抵抗係数 $1.67 \text{ kN/cm}^2$ と試料のササの平均断面積 $0.25 \text{ cm}^2$ によって $0.418 \text{ kN}$ とした。

上記のモデル計算によると $\theta_0=\pi/6$ 、 $\theta_1=\pi/2$ として、 $F=3.57 \text{ kN}$ となる。植物体平均直径 $r=5.7 \text{ mm}$ と刃体の処理域長さ $L=0.22 \text{ m}$ から割り引いて算出された植物体による刃体の押し上げ力 $Fv$ は、 $F' = F/(L/r)$ から、植物体1本あたり $9.2 \text{ N}$ の持ち上げ力を処理時に発生していると計算された。また、植物体の生立密度 $\rho=83/\text{m}^2$  ( $73\text{--}93/\text{m}^2$ )から刃体の下面前部の処理域となる $1.3 \text{ m} \times 0.22 \text{ m}$ でササを粉碎処理するには、 $2.19 \text{ kN}$ の荷重をかけることが必要であると計算された。

モアの破碎処理能力以下の植物量であれば、ユニットが一回通過すれば植生は全て完全に破碎される。車両の進行速度が大きい場合や、ユニットが植生へかける荷重が小さい場合には、ユニットの通過後も植生が所定の大きさまで完全に粉碎処理できずに残る。前者の条件は、ササ地で約 $0.5 \text{ m/秒}$ であった。作業の処理能力を処理できる対象物と処理時間との積によって数量化すると、当該車両の処理能力は、 $1.10 \text{ kN}\cdot\text{m/秒}$ と表すことができる。後者は、作業地の傾斜度によって異なり、その条件については次項で検討する。

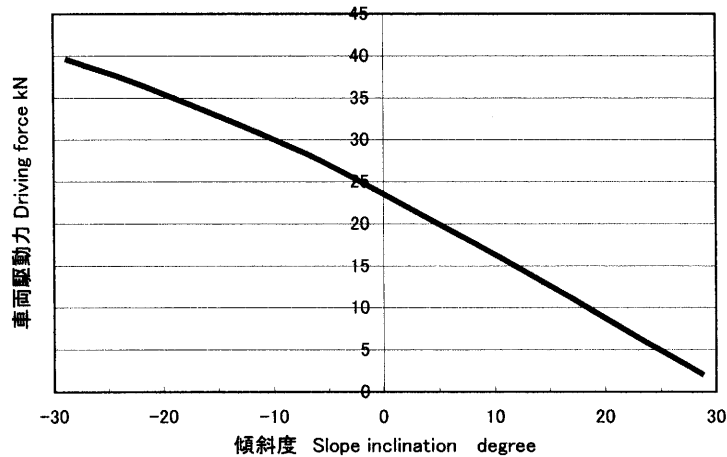


図-5 地表傾斜度と車両駆動力

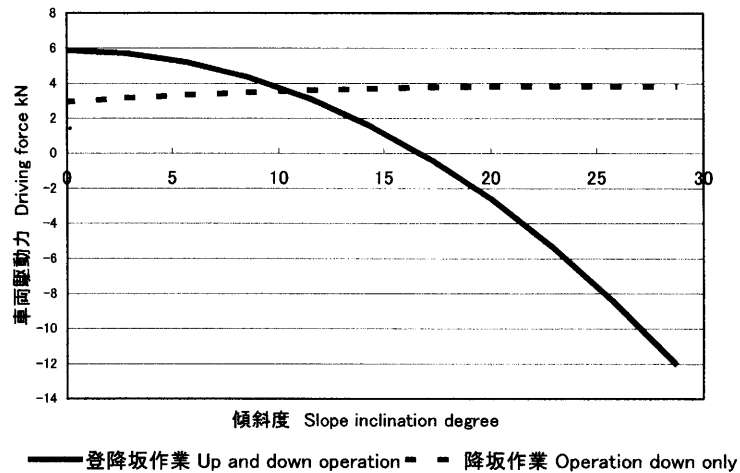


図-6 傾斜度、作業の方法と車両駆動力

### 下刈り車両の作業条件と重量

車体前端に作業ユニットを備える車両では、車体の傾斜によってユニットが地表障害物へかける荷重が変化し、破碎処理の可否、工期に影響する。前項において、算出した当該ユニットの処理作業能力を、車両の傾斜度  $\theta$  の変化にともなう前進する車両駆動力  $F_{\text{slope}}$  によって計算したものを図-5 に示す。ここで、

$$F_{\text{slope}} = W (\cos\theta \cdot \mu - \sin\theta)$$

$W$  は車両重量  $W = Mg$ ,  $M$  は車両の質量 (4,000 kg),  $g$  は重力加速度,  $\mu$  は車両と地表との摩擦係数である。平坦地の車両駆動力は約 24 kN であり,  $\mu = 0.6$  としたとき, 傾斜 0.17 rad (=10 度) の上りで 17 kN と約 50% の低下, 同傾斜の下りでは 30 kN と 25% の向上であった。作業試験時にも明らかであったが, 傾斜地では下り方向の処理作業を主とすることが有効である。

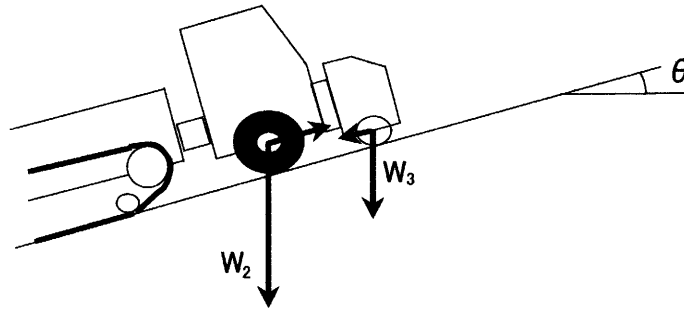


図-7 斜面におけるユニット荷重と前輪荷重

また、上り走行も作業をすることで全体の処理作業を効率化するには、傾斜度  $s_1$  での斜面の等距離を登降坂する能率の比率を比べることによって、ササ地の場合には図-6 のように傾斜度 10 度ほどまでは登り方向でも作業をするのが有利であると示された。ここで作業能率は、作業をしながら登降坂する場合には、

$$\frac{1}{\frac{1}{F_{+s_1}} + \frac{1}{F_{-s_1}}}$$

となる。 $F_{+s_1}$  は登坂時の作業力、 $F_{-s_1}$  は降坂時の作業力である。

登坂は作業をしないで走行する場合には、

$$\frac{1}{\frac{1}{F_{0+s_1}} + \frac{1}{F_{-s_1}}}$$

となる。 $F_{0+s_1}$  は処理作業をせずに走行する際の車両駆動力で、 $F_{slope}$  において作業ユニットからの抵抗にかかる係数  $\sin\theta$  を 0 とした。摩擦係数  $\mu$  はササで滑りやすく 0.3 として試算した。

処理能率を高めるためには大きな車両が有利であるが、対象作業を考えると車両の大きさには制約がある。実験車両の場合は、苗間が 1.8 m の人工林での下刈り作業を行うことを条件としており、車両幅員は 1.5 m に抑えた。当該車両の車体機構である屈曲式機構は、操向した状態で傾斜地での安定を保つことは容易ではなく、大きな屈曲角は不適切である。実験車両では全長を 6 m とし、傾斜地での安定性を確保するとともに、質量を 4 t に抑えた。

ここで図-7 に示すように、作業ユニットによって地表へかかる荷重と前輪が駆動する力を、傾斜度と関連づけると図-8 のようになる。ここでは 4 t の車両質量を試験機械にほぼ準じて配分し、後輪、前輪、モアユニットそれぞれに  $W_1=2,500$  kg、 $W_2=1,250$  kg、 $W_3=250$  kg の質量が荷重としてかかるとした。ユニットは地形対応機構によって、半ば吊り上げられているので、ユニット部の質量 400 kg のうち、処理作業に必要な荷重が地表植生等へかかると見なした。このときの荷重は、ユニットは進行方向と逆回転して処理しつつ前進しているため、ユニットの処理作業における抗力を摩擦係数  $\mu_2$  によって表し、 $\mu_2=2$  と仮定してモデルに取り込んだ。

前輪駆動力： $W_2 (\cos\theta \cdot \mu - \sin\theta)$

ユニット駆動必要力： $W_3 (\cos\theta \cdot \mu_2 + \sin\theta)$

その結果、傾斜度 13 度 (=0.23 rad) の上り斜面になると、前輪駆動力とユニット駆動必要力が

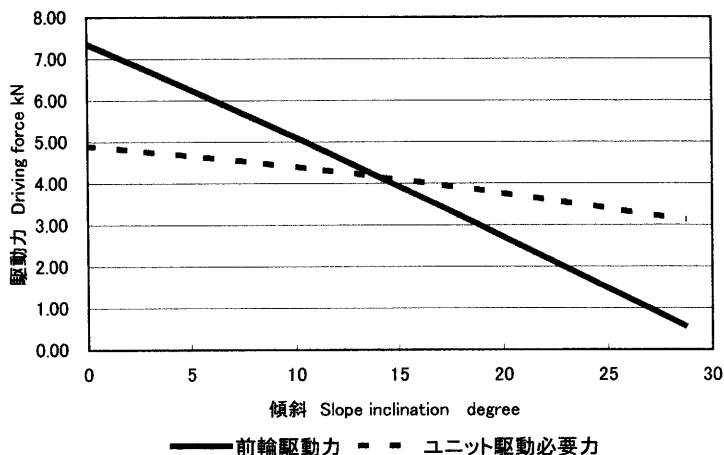


図-8 傾斜度と前輪およびユニット駆動力の関係

同じになり、操向が困難になると推測された。試験作業において、傾斜 15 度の斜面を斜向登坂走行しながら下刈作業を行った際に操向が困難となり、推測の妥当性を示した。作業走行の方向として下り傾斜線方向が適切であると理解される。また、ササのような堅い地表植生を処理するためにはユニットによってかける荷重が 2.19 kN 必要であって、操向性の確保の観点から車両は 4 t ほどの大きさが必要であると理解された。

なお、同様な機構のユニットによって当該機械の 2 倍の処理能力を発揮するには、操向可能状態であるための条件から、傾斜度が 13 度以下であっても前輪へ 24.5 kN の荷重をかけることが必要で、車体質量は本車両の 2 倍の 8 t が必要となる。

## おわりに

自走する車両の前面に作業ユニットを装着して作業を行うタイプの地拵え下刈り機械は、ユニットの作業能率を維持しながら適切に林地内を走り回ることが必要である。地表植生などの障害物に荷重をかけながら破碎処理するこのフレールモア式の作業機は、適当な荷重がかけられないと処理能力が低下し、とくに傾斜地において車体の傾斜による荷重バランスの変化による影響が大きい。

ここでは、作業機による処理能力を  $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{秒}$  を単位として把握し、林地条件によって作業能率の変化を把握するとともに、傾斜度による適切な登坂、降坂の作業方法について示すことができた。

ササなどの堅い植生が密にある場合には、車両荷重が 4 t 程度で、十分な荷重を植生にかけられる機構の処理機械が有効であることが明らかとなった。

## 要 旨

フレールモア式ユニットによって地拵えと下刈を行う車両機械の作業条件と適する質量について検討した。ササ稈を水平軸周りに回転する刃体によって破碎する機構を力学モデルによって表し、ユニットが破碎作業において受ける力を算出した。車体の前面に作業ユニットを装備した車



両機械によって前進走行しながら地拵え・下刈り作業を行う場合には、ササなどの堅く密な植生では、当該ユニットでは2.19 kN, m<sup>2</sup>あたりでは7.65 kNの荷重をかけつつ作業を行うことが必要であった。これによって、そのような機構の車両質量として4,000 kg以上あることが適切であると考えられた。傾斜地での作業の可能性を、ユニットにかけられる荷重および前輪の駆動力によって検討した結果、傾斜度10度以上の傾斜地では作業を降坂時のみに行うことが得策であると推定された。

**キーワード:** 地拵え, 下刈り, フレールモア, 車両, 作業条件

### 引用文献

- 1) 西岡利忠・武森美紀男(1987)大型機械による地ごしらえ造林地の一考察. 機械化林業 407: 36-38.
- 2) 農林省林業試験場編(1965)木材工業ハンドブック. 164-165, 丸善, 東京.
- 3) スリーエム研究会(1991)最新・林業機械ハンドブック. 614-616, スリーエム研究会, 東京.
- 4) Takikawa, S.(1990) Studies on the Methods of Managing Natural Forests in Hokkaido. 北海道大学農学部紀要 64(2): 116-151.
- 5) 山田 健(1996)造林事業と機械化地拵え, 植付け等の機械化の現状と展望. 機械化林業 511: 12-17.
- 6) 由田茂一・木幡靖夫・岡本全史(1996)育林用機械の性能調査. 日林北支講 44: 195-197.

(2000年10月31日受付)

(2001年4月17日受理)

### Summary

Operational condition and the weight of a vehicle for site-preparation with flail-mower were discussed. A dynamics model was created to represent mechanism for smashing bamboo grass stems by circulating unit's teeth, and putting force onto grass was estimated during the operation. The operation unit was needed to force 2.19 kN and it was more than 7.65 kN per square meter onto obstacles such as vegetation, in order to operate site-preparation during moving by pushing forward at the front-end of a vehicle. The vehicle for site-preparation was estimated to be more than 4,000 kg for the weight to balance the operation and moving in the forest. Operation efficiency on a slope was calculated and mowing operation on only descending direction was suitable when the inclination is steeper than 10 degrees.

**Key words:** site-preparation, bush-cleaning, flail-mower, vehicle, operational condition

## **Abstract**

### **Operational Condition and the Weight of a Vehicle for Site-preparation with Flail-mower**

Toshio NITAMI, Yuji IGARASHI, Kazuya OHMURA  
and Ryouitirou OIKAWA

A vehicle machine for site-preparation and bush-cleaning was developed and the weight and operation method were discussed. Operation unit was a flail-mower with hammers turn around a driving shaft. The unit was front mounted on a frame steering half-tracked vehicle. Supporting force for the unit from ground obstacles such as vegetation and slashes was modeled and analyzed. The force was 2.19 kN at hard vegetation and the vehicle mass was needed to be about 4 t to advance steered direction on the slope. Up-and-down hill operation was efficient when the slope is less than about 10 degrees.

### **The Foramation Process of the Yokohama City's Water Resource Conservation Forest**

Keiko IZUMI

This paper is intended to clarify the formation process of Yokohama City's water resource conservation forest, which has been managed since 1916. The following is results of the analysis based on materials such as history of Doshi village and that of Yokohama City's waterworks. First, there was often friction between Doshi-gawa headwater areas and Yokohama City in the view of water usage and landuse. Second, the demand of the local people on forest increased because of diversification of forest usage and increase of population in Doshi-gawa headwater areas. Third, in this formation process, well-organized forest management plan was not established. Because local people overexploited the forest as their commons, it was hard to develop a modern FMP.