

ドイツ製枝払い装置BaumHexeの枝打ち作業への適用試験 (I)

一装置の人力及び機械移動に関する作業工程と 作業者の生理的負担について一

沼田 邦彦・山本 俊明・鈴木 保志・酒井 徹朗
神崎 康一・瀧本 義彦*・芝 正己**・石川 知明***

An Experiment Applied to Pruning by German Delimbing Unit BaumHexe (I)
— Operational Output and Physiological Load on Manual and Mechanical
Movement of Unit —

Kunihiko NUMATA, Toshiaki YAMAMOTO, Yasushi SUZUKI, Tetsurou SAKAI,
Kouichi KANZAKI,
Yoshihiko TAKIMOTO, * Masami SHIBA ** and Tomoaki ISHIKAWA ***

要 旨

ドイツで立木の価値向上を目的に開発された枝打機BaumHexeは作業速度の高速性、高い枝打ち高においても簡単に、迅速に処理する将来性のある有力な機械と考えられる。このように期待の持てる機械であるか、日本のスギ、ヒノキの人工林の枝打ち装置として使用できるのか、どのような機械的改善が必要なのか、また作業システムとしてどのような基盤整備、どのようなベースマシンが必要であるのかといった適応の可能性について検討した。本報告では枝打ち作業の作業工程と作業者の生理的負担の観点から試験結果をとりまとめた。

枝打ち装置の移動方式について人力式と機械式の両面から試験を行った。Head部を携行して急傾斜の林地移動を行う場合、人力式は生理的負担が大きく、機械式移動のできる作業システムが必要である。BaumHexeを枝打機として活用するために、作業道の整備を図ると同時にBaumHexeを搭載し、立木まで機械的にHeadを移動できる機械装置を持ったベースマシンの開発を期待する。

作業工程では1時間当たり約35本の枝打ちが可能であり、また枝打ち高は10メートルを越える枝下高に関しても高速、安全に作業できる。間伐作業の場合、収穫する間伐材の先行枝払いと残存立木の枝打ちを容易に素早く処理できる。

現状の機械の改善点として先端刃が衝撃的打撃に対して損傷を受け易いこと、Head部の軽量化を図ること、太い枝の残枝長が長く残った場合にHead部が降下できなくなることである。また雨水が樹幹流となって流れるときには枝打ち作業をしないことである。

* : 島根大学農学部 Fac. of Agr., Univ. of Shimane

** : 三重大学生物資源学部 Fac. of Bioresources, Mie Univ.

*** : 滋賀県森林センター Shiga For. Res. Center

1. は じ め に

ドイツ製枝払い装置BaumHexe（写真－1）の類似の装置は1981年にKasselで開催されたKFW会議（森林作業と林業技術の会議）の際にデモンストレーションとして登場したことがドイツの雑誌Forst und Folz に報告されている¹⁾。この類似の装置は油圧によって立木の樹幹を高く登り、その際に枝を切り払う枝払い装置である。本報告のBaumHexeはドイツで立木の価値向上を目的に開発された装置であるが、小径木の収穫の場合には、収穫機としても使用できる、すなわち先行枝払いとして使用できることをHans Löffler教授が述べている²⁾。BaumHexeの機械装置の呼び名について、本報告の課題名では枝払い装置とした。その理由は、日本のスギ・ヒノキの人工林に枝打装置として使用するには、まだ問題点もあり、改良を必要とする点が残されていると判断したからである。現状のままでは枝打ち速度が高速故にドカ打ちになる可能性が高く、高品質材の丸太を一番玉、二番玉といった状況に応じて枝打ち高さを自由自在に制御できることも残された課題であると思う。



写真－1：ドイツ製枝払い装置
BaumHexe

まず、枝打機BaumHexeの概略について紹介する。本機はドイツPriester社製の枝払い及び枝打ち用のHead部分に付けられた名称である。表－1にBaumHexeの機械仕様を示す。登行・降下については油圧モータで駆動される幅の広いゴム製駆動ベルト（2本）と、アイドラーの車輪で立木を抱きかかえるように保持しながら毎秒3メートルの高速の走行移動ができる。従って、驚異的な速度で枝打ちができる。圧着力も油圧で与えられるため、樹幹の径が根元部から先端部へ細くなっていても一定の圧着力を与えることができる。このために、現在日本で開発されているバネ式の圧着力を働かせるのでないから、樹幹に過度の圧着力を加えることもなく、また樹幹の細い部分で圧着力が弱くなり登行できなくなるようなこともない、安定した圧着力を働かせるので、走行も安定した走行ができる。油圧は小型クローラのベースマシンから油圧ホース（延長25mのダブルホース）で供給される。枝打ち刃については先端部分の7枚刃と中央部の2枚の鎌刃からなり、7枚刃は小さい

表－1 枝打機BaumHexeの機械仕様

枝打ち部	
メーカー	ドイツPriester社
処理径級	80－270mm
枝の太さ	40－50mm
ホース	油圧ホース25mm付き
操 作	リモコン操作
刃 物	突上刃 7枚1組 鎌刃 2枚1組
動 力	油圧 50PS以上
定格圧力	160kg/cm ²
定格流量	60リットル/分
駆 動	ベルト2本、圧着タイヤ1本
ベースマシン部（及川自動車）	
エンジン	いすゞディーゼルエンジン 3KR－1 1422cc
車 体	全長 2200mm 全幅 1300mm 全高 1000mm 2120mm（リール付き）
駆 動	クローラ クローラ幅300mm
走行スピード	6 km/h 前後進共

平刃が樹幹の屈曲部に合わせて折れ線状に曲がり、幅の広い大きい鎌刃は円弧状の2枚の刃がHeadの中央部で樹幹を抱くように配置されている。各々の刃は樹木に取り付けられるとほぼ樹幹にぴったり添う形になる。枝打ち木の径の許容範囲は8~27cm、枝の鋸断可能範囲径は4~5cmである。

ベースマシンは標準的な三点支持装置と最低50HP装備のトラクタとなっているが、本試験には及川自動車製の小型クローラ（写真-2）を使用した。このベースマシンの車体全幅は1300mm

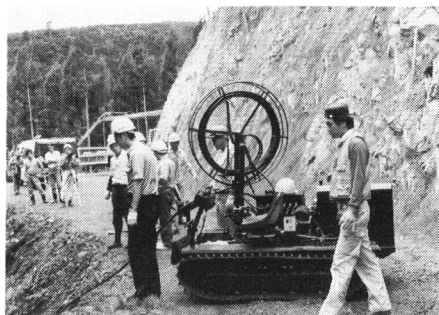


写真-2：及川自動車製ベースマシン

であるが、ドイツPriester社のベースマシン（写真-3）は小型クローラMultiMaxの先端部にBaumHexeを搭載できるように製作されており、車体の全幅も1100mmと少し狭く、林内走行に適応しやすい構造である。

次に今回の試験作業の目的について述べる。この枝打機BaumHexeを日本のスギ、ヒノキの人工林の枝打機として使用するには、どのような作業方法であれば、進めることができるかを考えてみよう。枝打ち作業を行う林地は、その大多数の林地が傾斜地であり、植栽密度も高く、ベースマシンの林内走行は不可能と考え

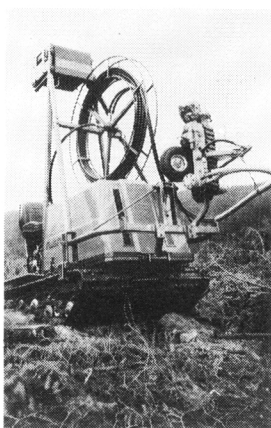


写真-3：ドイツ製ベースマシン
MultiMax

られる。またHead部のBaumHexeの重量は約50kgであり、この重量では作業員1人で傾斜地の林内移動を行うことは不可能である。このような状況からBaumHexeの枝打機として使用できる方法は作業道の上にベースマシンを配置し、2人組でHead部を移動する人力式方法とブームの先端にHead部を取り付け、ブームの延伸・収縮により移動する機械式方法が考えられる。BaumHexeの枝打ち速度の高速性を活かしながら、作業ができるためには、なんとかこの機械式の作業方法を実現したいものである。それには、ブームの到達範囲に合った作業道の整備を図ることが必要である。道幅2メートル程度の作業道を約25メートル間隔で開設される必要がある。Head部を完全に吊下げる構造のブームである必要はなく、林地上をはいながら、ブームを延伸・収縮できるような構造も一案であろう。BaumHexeを活かす作業方法としてはさまざまな工夫が考えられるであろうが、本報告ではHead部の移動方法について人力式と機械式の2つの方法に関して作業工程と作業者の生理的負担の面から取り上げて検討した。

また、BaumHexeという機械を日本のスギ、ヒノキの枝打ち作業に適応した時にどのような問題点がありうるのかについても検討した。枝打ちの打ち上がり状態については報告（Ⅱ）で取り上げる。

2. 枝打ち作業の試験方法

枝打ち作業の試験は高野・龍神スカイラインが通る急峻地に位置する京都大学和歌山演習林で行った。試験対象地は平均傾斜が45度のスギ26年生の人工林のまだ枝打ちされていない林である。この林は樹高中央部付近まで自然落枝の状態であった。このような森林での枝打ち作業は1番玉、2番玉といった心持ち無節の柱材を狙う枝打ちでなく、材を太らせ、将来に無節の材面を期待する場合の枝打ち作業として意味付けできるかもしれないが、作業としては一度に10メートルを越

える枝打ち高になったことは収穫時の枝払いに相当する作業内容に等しい。このような作業状況から間伐収穫時の枝払いと残存林木の枝打ち作業を簡単・迅速に処理できることを実証することになる。

BaumHexeのHead部の移動及び樹木への脱着を2名、ペースマシンからHead部の登行・降下等の操作に1名、また機械式Head部の移動の場合、ブームの操作に1名を追加配置した。ブームを装備した専用車両がないため、ブーム機能を満たす車両を導入し、作業方法のあり方を検討する目安にした。

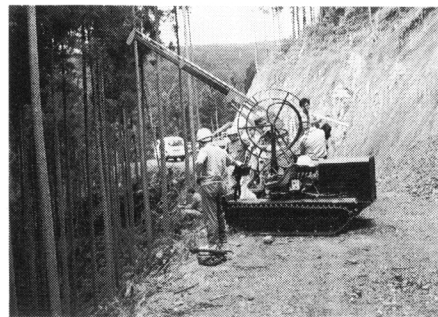
枝打機BaumHexeの移動方法について3つのタイプで試験した。

タイプ1：人力（写真－4）。タイプ2：リョウシン号のクレーン（ブーム長：短，オベのブーム操作位置：低）（写真－5）。タイプ3：8トン・トラックのグラップルクレーン（ブーム長：長，オベの操作位置：高）（写真－6）。作業工期についてはVTR による作業収録とタイムスタディーによる時点観測を行った。生理的負担についてはハートメモリーを使用し，Head部の移動・脱着を行う作業者2名の10秒単位の心拍数を収録した。枝打ち木については胸高直径，樹高及び枝打ち高（樹高計測用の測竿を使用）を計測した。

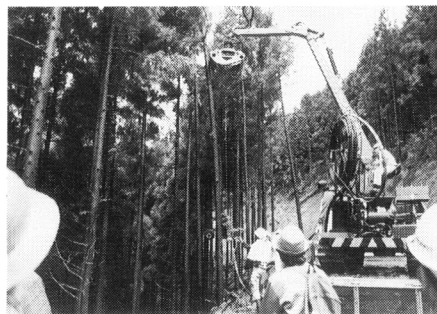
作業時の天候は，タイプ1と2は晴天，タイプ3は小雨模様であった。樹幹流となるような雨天時の悪条件下での作業はBaumHexeの登行作業に大きく影響し，また樹幹に与える損傷も頻度高くなるため，作業工期及び作業者の生理的負担に関する本報告では不適切と考え省略することにした。



写真－4：人力による移動（タイプ1）



写真－5：リョウシン号のクレーンによる機械式移動（タイプ2）



写真－6：8トン・トラックのグラップルクレーンによる機械式移動（タイプ3）

3. 作 業 功 程

各作業タイプ別の枝打ち木の胸高直径、樹高及び枝打ち高を表-2に示す。胸高直径及び樹高

表-2 各作業タイプ別枝打ち木の胸高直径
樹高および枝打ち高

作業タイプ	胸高直径 (cm)		樹高 (m)		枝打ち高 (m)	
	平均	最小-最大	平均	最小-最大	平均	最小-
タイプ1	16.32	13.2-20.3	12.93	11.0-15.6	9.06	6.0-1
タイプ2	16.18	11.1-19.1	12.84	7.2-15.1	10.20	8.8-1
タイプ3	15.28	11.9-19.8	13.00	11.3-14.8	8.64	5.3-1

は各作業タイプとも同じ条件の範囲にある。枝打ち高についてはタイプ2が高めに打ち上がっている（タイプ2と3の間にはF検定で5%の有意差）。

BaumHexeのHead部を移動する時の作業流れは6つの要素作業に分けることができる。

Head移動、Head取り付け、歩行移動（待避を含む）、枝打ち待ち、歩行移動（Head取り外しのため）、Head取り外し。その他に油圧ホースの移動ルートと移動範囲の限界を考慮するなどの作業進行手順を打ち合わせたり、足場環境の整理などの時間消費を付帯作業とした。表-3に各作

表-3 各作業タイプ別枝打ち作業の要素作業（秒）

要素作業 作業タイプ	Head移動		Head取り付け		歩行（待避含む）		枝打ち待ち	
	平均	最小-最大	平均	最小-最大	平均	最小-最大	平均	最小-最大
タイプ1	28.78	8-72	17.39	8-35	5.18	0-27	23.07	10-69
タイプ2	25.60	9-45	21.00	8-40	2.53	0-8	20.33	11-40
タイプ3	19.14	0-40	23.40	11-47	5.60	0-28	31.73	13-69

要素作業 作業タイプ	歩行（Head取り外しのため）		Head取り外し		付帯作業		枝打ち時間	
	平均	最小-最大	平均	最小-最大	平均	最小-最大	平均	最小-最大
タイプ1	8.82	0-35	22.85	8-45	17.32	0-89	122.70	76-209
タイプ2	5.93	0-10	26.66	17-42	13.53	0-68	115.60	62-178
タイプ3	9.13	0-16	26.43	11-53	11.33	0-52	118.77	64-186

業タイプ別の枝打ち作業工程を示す。表-3の枝打ち時間はHead移動から始まる付帯作業をも含む単木処理時間である。次に各要素作業の特徴的な点について簡単に説明する。

1) Head移動 機械式で移動するタイプ2と3は林間を抜ってブーム移動するから、オペレータの視界がブームの出し入れに影響する。オペレータの操作位置が高くて視野の広い、ブーム長の長いタイプ3が最も有利に移動できると考えられる。このような作業機を実現するために、幅員の狭い作業道を走行する小型車両で、かつ10メートルを越えるブーム長を持ち、Headをバランスよく移動できる小型車両の開発が期待される。この場合、Head部を完全に宙吊りにせずに、地面をはうような構造についても検討されることを期待する。

タイプ1の人力によるHead移動は、林地傾斜が急峻であったこともあり、消費時間は最も高くなっている。

2) Head取り付け 機械式のタイプ2と3は消費時間が少し長い。機械式の場合ブーム先端

からワイヤロープでHeadを吊しているために、樹木へHeadを取り付ける時に、必ずしもHead部を取り付け位置の真上に誘導できないから、ワイヤロープにかかる張力の分力が木から反らせる向きに働き、取り付けに手間取ることになり、ロスタイムを発生する。ブームの先端に直接Headを保持し、樹木まで機械式に移動できる専用機が開発されれば、ロスタイムの削減が図れるばかりでなく、作業員の負担も軽減される。

タイプ1の人力移動の場合はHead部を支持する者とアームをセットする者との連係で仕事が進められる。

3) 歩行移動(待避を含む) 枝打ち中に枝の落下を避けるために、待避移動するが、作業に慣れてくると、隣接木に身を寄せて避ける行動が現れてくる。このような行動が取られる理由は林地傾斜が急峻であったことと、作業者が枝打ち速度のあまりの速さに、作業を追い立てられる心理状態になっていたことから、肉体的、精神的疲労が重なり、移動動作を最小限に節約する意識が働いたのではないかと推察される。

4) 枝打ち待ち この時間は近似的にBaumHexeの登行から降下までの純枝打ち時間と考えられる。タイプ1と2の胸高直径と純枝打ち時間の間には回帰関係が認められたが、しかし枝打ち高との間には回帰関係は認められなかった。枝打ちが高速で行われるために、枝打ち高との関係ではあまり時間消費の点に影響されないことは、従来の枝打機との大きな相違点であろう。

5) 歩行移動(Head取り外し) 待避移動の場合より時間消費が少し大きくなっていることに気付く。これは枝打ち終了という精神的にホットする開放感から生じたのであろう。

6) Head取り外し タイプ2と3の機械式に対しては、Head取り付けの要素作業と同様の傾向がみられる。Headの脱着にはいずれも同程度の時間消費を要すると考えられる。

7) 付帯作業 油圧ホースがあるために、移動ルートと移動できる範囲が制限されるから、作業進行の手順を打ち合わせたり、足場環境の整備は、重量が50kgもあるHead移動の安全のためには不可欠の作業である。作業の熟練に従って作業手順や段取りが上達し、付帯作業の時間は短縮されていくであろう。機械式のHead移動の方法を考える場合に、この付帯作業の部分を如何に削減するかが重要な機械化の要点になると考えられる。

最後に単木の枝打ち処理時間をみる。どの作業タイプもほぼ2分程度で枝打ちを終えている。処理時間の特に長いものでは約3分を要している。また最小の処理時間は約1分であるから、ドイツのカatalogに記載されている1時間に70本処理に近い値であるが、地形の点や作業の習熟の点を考慮すれば達成できるものと推察される。しかし平均的には1時間の作業工程は35本前後とみられる。この値は文献²⁾においてLöffler教授が記載している35~40本/時ともほぼ一致し、妥当な評価と考えられる。

4. 作業者の生理的負担

作業工程と同様にHead移動方法に関する各要素作業別の作業者の生理負担の結果について示す。生理的負担の指標として心拍数とエネルギー代謝率RMRを用いる。ハートメモリーによる心拍数収録単位が10秒であるため、作業工程に比べて時間単位が粗く、要素作業として分類した時間区分が必ずしも一致しないことを断っておく。

作業者の作業中の生理反応として心拍数を計測し、作業中のエネルギー代謝率で枝打ち作業の各要素作業の作業強度を評価する方法を用いる。そこで、踏台昇降運動(ステップテスト)を行って、心拍数とエネルギー消費量の対応関係を求め、さらに、このエネルギー消費量を活動代謝とみなし、エネルギー代謝率に換算することにした。

作業者のステップテストの試験結果を図-1に示す。作業者は40代の筋肉質の強健なベテランの男性である。作業者 A は B に比較して、同一のエネルギー消費量の仕事量に対して心拍数

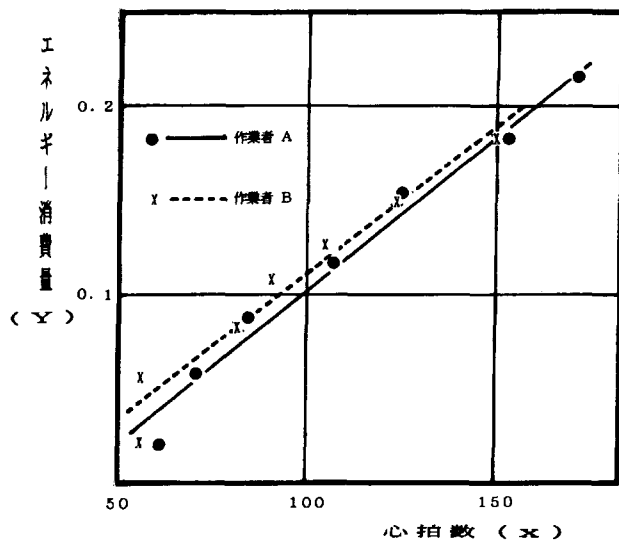


図-1：ステップ昇降式テストによる心拍数X（拍/分）とエネルギー消費量Y（Kcal/体重kg/分）の関係

$$A : Y = 0.00163X - 0.06163 \quad (R^2 : 0.97886)$$

$$B : Y = 0.00154X - 0.04263 \quad (R^2 : 0.95849)$$

が高いレベルにある。心拍数 X（拍/分）に対するエネルギー消費量 Y（Kcal/体重kg/分）の回帰式を図-1に示した。活動代謝 E_a （Kcal/体重kg/分）からエネルギー代謝率RMRに変換する関係式

$$RMR = (E_a - 0.0198)/0.0177$$

に基づいてRMRを求めた³⁾。

次に作業工程で分類した要素作業と同様の要素作業，すなわちHead移動，歩行移動（待避及びHead取り外しのための移動），Head取り付け，枝打ち待ち，Head取り外し，付帯作業（作業打ち合せ，足場整理など）に関する心拍数，エネルギー代謝率RMRについて表-4に示した。

心拍数のレベルが非常に高いことがまず目につく。これは作業環境が45度の急峻地であり，か

表-4 人力式及び機械式Head移動に対する
各要素作業の心拍数（拍/分）とエネルギー代謝率RMR（Kcal/体重kg/分）

心拍数/RMR 作業者	Head移動		Head取り付け		歩行移動		枝打ち待ち		Head取り外し		付帯作業	
	人力	機械	人力	機械	人力	機械	人力	機械	人力	機械	人力	機械
A	133.0 8.0	110.8 6.1	137.5 8.4	108.4 5.9	136.6 8.4	110.7 6.1	141.5 8.8	117.7 6.7	130.3 7.8	109.0 6.0	124.7 8.8	106.6 5.7
B	122.3 6.7	114.1 5.9	141.9 8.5	112.9 5.8	136.4 8.0	108.8 5.4	143.8 8.6	118.4 6.3	129.1 7.3	107.8 5.3	123.0 8.6	103.3 4.9

つ初めての作業でしかも50kgもある重量物の移動と大変な高速作業の枝打ちがなされるといった

特殊な状況であることが挙げられる。負担の大きい重筋労働に位置づけられる。

次に人力式と機械式を比較すると心拍数で20拍/分前後の負担が機械式にすることによって軽減可能となる。Head重量が特に重いことから機械式にすることが好ましいことは明白である。

また要素作業別については、人力式の場合Head取り付けから待避移動、枝打ち待ちそしてHead取り外し移動までの一連の作業が高い生理的負担状態にある。機械式の場合は、枝打ち待ちの間の生理的負担が高くなっている。この点について特に注目されるのは、枝打ち待ちは実際には単純な待機状態にあり、Headの枝打ち状況を単に見ているだけであるが、何等かの身体的、精神的緊張状態にあったものと推察されることである。

最後に、生理的負担の面から考えると、BaumHexeのような重量物の装置を傾斜地の林内で持ち歩くのではなく、機械式移動が好ましく、また高速作業が行えることはすばらしいことではあるが、このような機械に接近した位置で作業員が身を置く作業形態は極度の緊張状態に身をさらし続けることになるから、遠隔式作業方式を守るように改善することが好ましい。実際の作業形式はHead部の昇降操作をリモートコントロールでしており、安全作業を守る作業形式を取るべきであったことを生理的負担のデータから気付かされたことになる。

5. お わ り に

枝打機BaumHexeの試験作業で気付いた2, 3の問題点について述べる。まず、先端部の7枚刃が焼き入れ刃を使用しているため、衝撃的打撃に脆いこと、太い枝の残枝長が特に長く残った場合にHead部の降下ができなくなる（試験作業中に1回発生）、雨天時で雨水が樹幹を流下するときは、初期走行でクローラの空転を生じ易いばかりでなく、枝の切断力が低下し、Head部の走行を数回行う必要があるから、雨天時は作業を行わない方が賢明である。なお、枝打ちの打ち上がり状態については第2報で報告する。最後に、枝打機BaumHexeは高速作業が可能であり、ここで検討したブームによる機械式Head移動のような道上からの車両による作業方法の実現を目指して努力されることを期待する。

なお、本報告に関する内容の一部を機械化林業460号⁴⁾と461号⁵⁾に報告している。

本試験調査において京都大学和歌山演習林竹内典之林長並びに職員の方々、そして新宮商行機械部の方々に準備から機械操作にわたりご協力・ご指導いただきましたことを感謝します。

参 考 文 献

- 1) Forst und Holz (1991) 10. 266
- 2) Hans Löffler (1989) Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnik. Universität München. 150-153
- 3) 沼尻幸吉 (1977) エネルギー代謝. 新労働衛生ハンドブック 増補編 労働科学研究所. 川崎. 82-85
- 4) 沼田邦彦 (1992) ドイツ製枝打機パウメックス (BaumHexe) への期待を込めて (1). 機械化林業. 460. 64-69
- 5) 沼田邦彦 (1992) ドイツ製枝打機パウメックス (BaumHexe) への期待を込めて (2). 機械化林業. 461. 52-58

Résumé

BaumHexe was produced to aim at a pruning unit which makes trees high value timbers. We think BaumHexe will become a profitable and valid pruning unit that processes quickly

and easily pruning operation, even if trees have to be pruned higher than 10 meters under asts left. Thus, we have a great expectation to this pruning unit. So, we experimented with this unit to make sure whether this unit is able to use BaumHexe as pruning unit in Japanese cedar and Japanese cypress forests, whether this unit has problem points to be improved, what kinds of operational road network systems and base-machines we have to need to adapt this unit to Japanese artificial forests.

We report the results in aspect with operational output and physiological load of workers on pruning operation by BaumHexe.

We examined pruning operation on manual and mechanical movement methods of the unit in the steep forest at Wakayama experimental forest in Kyoto University. Carrying the unit with workers gives them severe physiological load. Therefore, mechanical movement method surpasses manual movement method in physiological load of workers. We expect that the establishment of appropriate operational road network and the development of base-machine on which mounts the unit and can move it to trees mechanically.

The pruning operational output amounts easily to about 35 trees/hour and can prune quickly and safely over 10 meters high under asts left. On thinning, we can use this unit in the two purposes for pre-delimbing of thinning trees and pruning of trees to be left.

The problem points which have to be improved as a pruning unit, are as follows:

1. The brades set on the tip position of unit is fragile on the shock brow under the fast speed condition.
2. The weight of unit is too heavy for workers to carry it and to set it on the tree.
3. When, on climbing way, the tough ast is left in the lower position of the unit during pruning, the unit cannot get down along the tree. This rare case occurred only one time during the last experimental pruning operation.

In the least, the unit has not to be used in pruning operation when the rain-water streams down along the trunk in rainy weather.