

未利用森林バイオマス資源としての小径木の収穫に関する基礎的検討

吉岡拓如¹・富岡友樹¹・仁多見俊夫¹

1 東京大学大学院農学生命科学研究科

要旨：わが国に適した小径木の効率的な収穫技術の導入・普及のための基礎資料とすることを目的として、海外で実用化されている小径木の伐倒ヘッドによる収穫実験を行った。実験は、木材輸送用トラックのクレーンの作業機として取りつけた伐倒ヘッドを用いて実施した。このエネルギー利用を目的とした小径木の伐倒・集積用に商用化された作業機による、林道脇の広葉樹雑木林の伐採作業の時間観測を行い、基礎的なデータを収集した。本研究は、広葉樹のモデル森林を想定し、伐倒機械が作業点間を移動しながら順次伐採を進めていくシステムにおける、小径木の収穫コストを最小化する伐採列の奥行本数を検討した。その結果、実験に用いた伐倒機械は1列あたり最大で6本伐採することが可能など、伐採する奥行本数が5本のときの収穫コストが最小となった。

キーワード：小径木、バイオマス、伐倒・集積ヘッド、時間観測、収穫コスト

Basic examination on the harvesting of small-diameter trees as unutilized forest biomass

Takuyuki YOSHIOKA¹, Tomoki TOMIOKA¹, Toshio NITAMI¹

1 Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

Abstract: In order to secure the supply source as well as promote the further utilization of “Untapped wood” following the completion of the Feed-in Tariff Scheme for Renewable Energy (FIT), small-diameter trees such as not only cleanings from young planted forests but also broad-leaved trees from coppice forests can be expected to be prospective in Japan. This study carried out basic discussion on the effective method of harvesting such small-diameter trees as unutilized forest biomass. A basic model forest was assumed, while the harvesting of small-diameter trees was experimented with a truck-mounted multi-tree felling head and time-studied. As a result, the machine used in the experiment could fell the maximum six trees inward a row from a forest road, but the harvesting (felling, accumulating, and chipping) cost was the cheapest when the machine felled five trees inward a row. The results of the sensitivity analysis suggested what kind of improvement should be necessary for the felling machine used in the experiment.

Key-word: small-diameter tree, biomass, accumulative felling head, time study, harvesting cost

I はじめに

2012年に運用がはじまった再生可能エネルギーによる電力の固定価格買取制度 (FIT) において、製材工場等残材や輸入材などの一般木材よりも高額な買取価格が設定されたことから、間伐材や林地残材などの未利用材を燃料とする発電所の建設計画・稼働開始が進んでいる。

「木質バイオマスエネルギー利用動向調査」によれば、2019年には303万全乾トンの「間伐材・林地残材等」を原料とした木材チップがエネルギー利用された(1)。

一方、昨今の皆伐再造林の流れを考えると、FITの買取期間が満了する発電所が出はじめる2030年代には、多くの人工林が除伐や保育間伐が必要となる時期を迎えることが予想されるが、この除伐や保育間伐の際に発生する小径木も、森林バイオマスとして有望視できる。

小径木の効率的な収穫技術を開発することには、未利用材の供給源となるばかりでなく、更新後の人工林の継続的な保育を確実なものにするという点においても大きなメリットがある。

さらに、かつては薪や炭の原料としてくり返し採取されていた、里山のクヌギやコナラなどの広葉樹林も見逃せない。薪炭林は、萌芽更新により30年程度のサイクルで更新されていたが、伐採後に残された根株の切口付近から自然に再生するため、粗放な栽培でも複数回の収穫が可能なのこのタイプの林は、現代のバイオマス材の生産に適しているといえよう。

筆者らの研究グループはこれまでに、林地残材の収穫に関する研究に取り組んできた(2)。造材時に発生する林地残材は、作業土場からの搬出がコスト計算の起点と

なるのに対し、除伐材や旧薪炭林の広葉樹などの小径木は伐倒から考える必要があるため、たとえば『バイオマス・ニッポン総合戦略』では、林地残材に次ぐ森林バイオマスと位置づけられている(3)。本研究は、わが国に適した小径木の効率的な収穫技術の導入・普及のための基礎資料とすることを目的として、海外で実用化されている小径木の伐倒ヘッドを用いた収穫実験を行った。

小径木の収穫について国内では、人工林の齢級構成の偏りから、除伐の時期と、いわゆる高性能林業機械の普及による機械化の時期とがリンクしなかったこともあり、これまでその利用が検討されることはなかった。北欧諸国では、伐倒機構を有するフェラーバンチャやハーベスタにオプションで装備されることのある集積機能が、バイオマス利用を目的とした小径木の収穫に活用されている。わが国の除伐に相当する「早期間伐」に適用して、どの程度の経済性を生み出せるかを検討した例(4)があるほか、フォワーダのアタッチメントとして活用し、1台の機械で伐倒と搬出を行うことの可能性を検討した例(5)がある。

II 材料と方法

1. モデルによる検討 本研究は、わが国に適した小径木の効率的な収穫技術導入の一助とすることを目的としたことから、単純化したモデルにより検討することとした(図-1)。すなわち、幅員3.0mの道路の両脇に立木密度12,000本/ha(0.91m間隔で格子状に生育)、単位面積あたりの質量30 dry-t/haの雑木林があるものと想定し、伐倒機械が作業点間を移動しながら順次伐採を進めていくシステムにおける、小径木の収穫コストを最小化する伐採列の奥行本数を検討した。

収穫作業は、海外の稼働事例を参考に2台の車両で行うものとした(図-2)。1台目は、小径木を伐倒・集積した後にチップへ投入する。粉碎されたチップは、2台目のコンテナ車へ投入される。2台目は1台目に追従し、チップを運搬する。伐倒機械がある作業点に到着して収穫作業を行い、完了後に移動して次の作業点へ到着するまでを1サイクルとしたときのサイクルタイムを算出するシミュレーションモデルを構築した。また、このときの伐倒と粉碎に要する費用を収穫コストとした。

2. 収穫実験 福島県玉川村内の民有林において、木材輸送用トラックのクレーン(スウェーデン Hiab 社製 LOGLIFT 61Z)の作業機として取りつけた伐倒ヘッド(フィンランド Biojack 社製 ENERGY WOOD GRAPPLE 300, 本体質量260kg)を用いて収穫実験を実施した(図-3)。このエネルギー利用を目的とした小径木の伐倒・集積用

に商用化されている作業機による、林道脇のコナラが優占する広葉樹雑木林(最大林齢20年程度)の伐採作業の時間観測を行い、基礎的なデータを収集した。具体的には、伐倒ヘッドの最大到達距離 L (m)、伐倒ヘッドの移動速度 v (m/秒)、作業地点間の移動に要する時間 t_m (秒)、広葉樹1本を伐採するのに要する時間 f_e (秒)、伐倒ヘッドが把持できる広葉樹の本数 u などである。

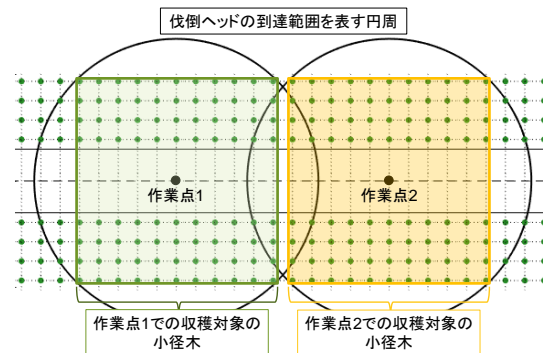


図-1. 想定したモデル森林

Fig. 1 Assumed basic model forest.

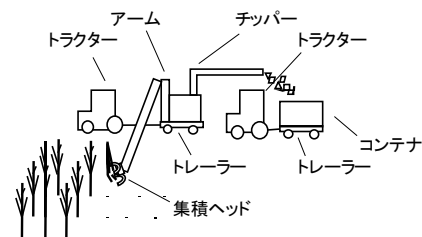


図-2. 想定した作業システム

Fig. 2 Assumed harvesting system.



図-3. 収穫実験

Fig. 3 Harvesting experiment.

III 結果と考察

1. 伐採列の奥行本数と収穫コストの関係 実験に用いた伐倒ヘッドの最大到達距離 $L=6.7$ mであり、モデル森林では道路幅を考慮すると1列あたり最大で6本伐採

することが可能であった。時間観測より得られた $v=5.7$ m/秒, $t_m=270$ 秒, $f_c=10$ 秒, $u=8$ などの値をもとにサイクルタイム算出モデルを完成させ、伐採列の奥行き本数 1 本目までを伐採する場合から順に、6 本目までを伐採する場合の収穫コストまで求めた (図-4)。その結果、図-4 に示した伐採列の奥行き本数と収穫コストの関係から、奥行き本数が 5 本ときの収穫コストが最小となった。伐採する奥行き本数を増やすほど 1 サイクルあたりの収穫本数が多くなる一方で、作業点間の移動回数も多くなるために移動時間の掛かり増しが生じ、結果的に生産性を最大化する奥行き本数が存在するものと考えられた。

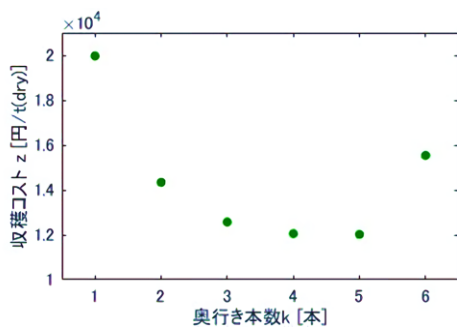


図-4. 伐採する奥行き本数と収穫コストの関係
Fig. 4 Relationship between the number of felled trees inward a row and the harvesting cost.

収穫量を増やすには伐倒ヘッドの最大到達距離を長くして奥まで伐採することが有効と考えられた。そこで伐倒ヘッドの最大到達距離を変化させたときの、収穫コストを最小化する伐採列の奥行き本数の最大値と、収穫コストそのものの最小値を検討した。

まず収穫コストを最小化する伐採列の奥行き本数については、最大到達距離 18.2 m のとき、奥行き本数が 12 本で最大となった (図-5)。これは、リーチの長い伐倒ヘッドを導入して 12 本目より先の広葉樹を伐採したとしても、低コスト化にはつながらないことを意味する。

次に伐倒ヘッドの最大到達距離を変化させたときの、収穫コスト自体の最小値については、最大到達距離 10.4 m のとき、10,658 円/dry-t で最小となった (図-6)。これは、リーチが 10.4 m よりも長い伐倒ヘッドを導入したとしても、低コスト化にはつながらないことを意味する。

以上のことから、収穫コストを最小化する伐採列の奥行き本数にも伐倒ヘッドの最大到達距離にも上限があることが示された。

2. 感度分析 伐倒機械の改良の方向性を検討するために、感度分析を行った。まず、ヘッドの移動速度が 2 倍になる場合 (図-7) と、ヘッドが把持できる本数が 2

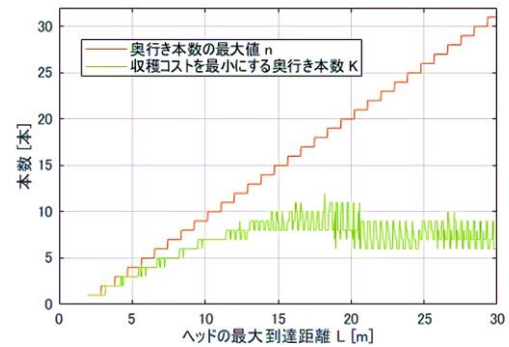


図-5. 伐倒ヘッドの最大到達距離と収穫コストを最小化する伐採列の奥行き本数の関係

Fig. 5 Relationship between the maximum reach of the felling head and the number of felled trees inward a row that minimizes the harvesting cost.

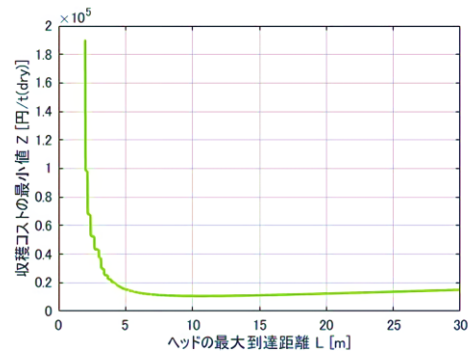


図-6. 伐倒ヘッドの最大到達距離と収穫コストの最小値の関係

Fig. 6 Relationship between the maximum reach of the felling head and the minimum harvesting cost.

倍になる場合 (図-8) において、伐倒ヘッドの最大到達距離が長くなるほどコスト削減効果が大きくなった。一方、作業点間の移動時間が 0.5 倍になる場合において、伐倒ヘッドの最大到達距離が短くなるほどコスト削減効果が大きくなった (図-9)。

以上により、伐倒ヘッドの最大到達距離を長くする場合、伐倒ヘッドの移動速度を高めることと 1 把持あたりの把持可能な本数を増やすことが有効であり、リーチを長くできない場合は作業点間の移動時間を短縮することが有効であるというような、伐倒機械の改良の方向性を示すことができた。

IV おわりに

わが国に適した小径木の効率的な収穫技術の導入・普及のための基礎資料とすることを目的として、海外で実用化されている小径木の伐倒ヘッドを用いた収穫実験を

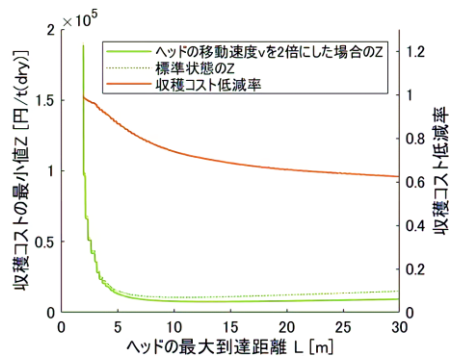


図-7. 感度分析の結果(1): 伐倒ヘッドの移動速度が2倍になる場合

Fig. 7 Results of the sensitivity analysis (1): Moving velocity of the felling head was doubled.

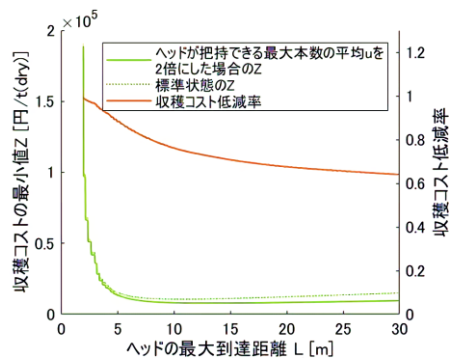


図-8. 感度分析の結果(2): 伐倒ヘッドが把持できる本数が2倍になる場合

Fig. 8 Results of the sensitivity analysis (2): Maximum number of trees that could be held at a time was doubled.

行い、次の結論を得た。

- 実験に用いた伐倒機械の場合、モデル森林における伐採列の奥行本数が5本のときの収穫コストが最小となった。
- 収穫量を増やすには伐倒ヘッドの最大到達距離を長くして奥まで伐採することが有効と考えられたが、収穫コストを最小化する伐採列の奥行本数にも伐倒ヘッドの最大到達距離にも上限があることが示された。
- 感度分析の結果、伐倒ヘッドの最大到達距離を長くする場合、伐倒ヘッドの移動速度を高めることと1把持あたりの把持可能な本数を増やすことが有効であり、リーチを長くできない場合は作業点間の移動時間を短縮することが有効であるというような、伐倒機械の改良の方向性を示すことができた。

なお、今回の検討は種々の仮定を置いた限定的なものではあるが、エネルギー変換プラントまでの輸送工程を

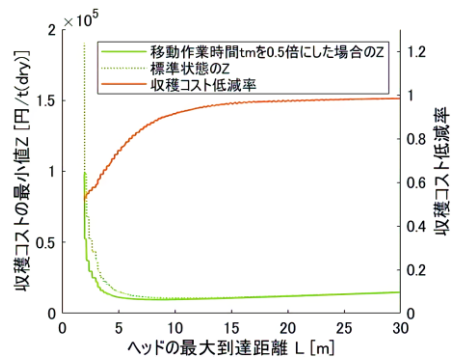


図-9. 感度分析の結果(3): 作業点間の移動時間が0.5倍になる場合

Fig. 9 Results of the sensitivity analysis (3): Moving time among operation points was reduced to half.

含まないチップ生産コストという点で比較すると、小径木は林地残材(6)よりは高いが短伐期林業から得られるバイオマス(7)よりは安いという、一般的にいわれているような傾向を確認することができた。

謝辞: 本研究の取りまとめにあたっては、JSPS 科研費(課題番号: 20K06121) の支援を受けた。

引用文献

- (1) 農林水産省 (2020) 令和元年木質バイオマスエネルギー利用動向調査. 農林水産省, 東京, 8 pp.
- (2) Yoshioka, T., Iwaoka, M., Sakai, H., Kobayashi, H. (2000) Feasibility of a harvesting system for logging residues as unutilized forest biomass. J. For. Res. 5: 59-65.
- (3) 農林水産省 (2006) バイオマス・ニッポン総合戦略. 農林水産省, 東京, 32 pp.
- (4) Belbo, H. (2010) Comparison of two working methods for small tree harvesting with a multi tree felling head mounted on farm tractor. Silva Fenn. 44: 453-464.
- (5) Laitila, J., Asikainen, A., Nuutinen, Y. (2007) Forwarding of whole trees after manual and mechanized felling bunching in pre-commercial thinnings. Int. J. For. Eng. 18(2): 29-39.
- (6) Yoshioka, T., Sakurai, R., Aruga, K., Nitami, T., Sakai, H., Kobayashi, H. (2006) Comminution of logging residues with a tub grinder: Calculation of productivity and procurement cost of wood chips. Croat. J. For. Eng. 27: 103-114.
- (7) Yoshioka, T., Inoue, K., Hartsough, B. (2015) Cost and greenhouse gas (GHG) emission analysis of a growing, harvesting, and utilizing system for willow trees aimed at short rotation forestry (SRF) in Japan. J. Jpn. Inst. Energy 94: 576-581.