

栃木県那須野ヶ原地域の小規模林分における林地残材収穫作業の生産性・コスト分析

仲畑力・有賀一広・上村僚(宇大農)・金築佳奈江(那須野ヶ原土地改良区連合)

要旨: 本研究では、2012年に行われた栃木県那須野ヶ原地域における人力による搬出後、軽トラックにより運材する作業システム①と、林内作業車による搬出後、4tトラックにより運材する作業システム②、さらに2011年に導入したチップパーによる粉碎作業の調査を行った。その結果、人力による搬出作業のコストは道路脇から10m、20m範囲でそれぞれ942円/m³、1,040円/m³であった。一方、林内作業車による搬出作業のコストは499円/m³であり、作業の機械化によるコストの低減が確認された。軽トラック、4tトラックのコスト(運材距離28km)はそれぞれ7,224円/m³、1,298円/m³であった。また、チップパーによる粉碎作業のコストは、3人作業、2人作業でそれぞれ1,036円/m³、1,160円/m³であった。以上の結果を用いて搬出から粉碎までのトータルコストを試算したところ、搬出作業20m範囲、運材距離28km、粉碎3人作業では、作業システム①、②でそれぞれ9,300円/m³、2,833円/m³になると推測され、作業システム①では大幅にコストがかかると予測された。

キーワード: 那須野ヶ原地域、小規模林分、林地残材、生産性、コスト

Abstract: In this study, two operation systems to extract logging residues were investigated in Nasunogahara area, Tochigi prefecture in 2012. System 1 included manual extraction and light truck transportation. System 2 included mini forwarder forwarding and 4-t truck transportation. Furthermore, a chipper introduced in 2011 was investigated. As a result, costs of manual extractions within 10 m and 20 m were 942 yen/m³ and 1,040 yen/m³, respectively. On the other hand, forwarding cost of mini forwarder was 499 yen/m³ which was significantly lower than those of manual extractions. Transportation costs with light truck and 4-t truck were 7,224 yen/m³ and 1,298 yen/m³ with 28-km transportation distances. Chipping operation costs were 1,036 yen/m³ and 1,160 yen/m³ with 3 and 2 persons, respectively. Lastly, total costs of system 1 and 2 from extraction within 20 m to chipping were estimated as 9,300 yen/m³ and 2,833 yen/m³ with 28-km transportation distances and 3-men chipping operations.

Keywords: Nasunogahara area, Small stands, Logging residues, Productivity, Cost

I はじめに

那須野ヶ原地域では、水源林整備の際に発生する切り捨てられた間伐材等の林地残材を木質バイオマス発電等で利用することを検討しており(2)、2011年に建設企業と連携して高性能の可動式チップパー(アメリカDYNAMIC社製VP3000、機体重量2,950kg、最大出力113PS)を導入した。今後、このチップパーを活用し、那須野ヶ原地域で木質バイオマス利用を推進していくには、低コストで林地残材を収集する作業システムを構築する必要がある。また、新たに導入したチップパーは国内で初めて使用される機種であり、その性能を明らかにするとともに林地残材収集からチップパー粉碎までの経費等を評価する必要がある。

そこで本研究では、切捨間伐により発生した林地残材をエネルギー利用する場合を想定して、切捨間伐材を人力で道路脇の土場まで搬出し、軽トラックによりチップパー粉碎場所まで運材する工程と、林内作業車で道路脇の土場まで搬出し、

4tトラックによりチップパー粉碎場所まで運材する工程、さらに運材された切捨間伐材をチップパーで粉碎する工程の作業調査を2012年に行い、その生産性、コストを把握するとともに既往の調査報告との比較を行った。

II 調査の概要

1. 調査地 林地残材収集の試験地は大田原市の民有林19林班ウ7小班(以下、試験地1)である。試験地1は林齢29年のスギ林分と林齢23年のヒノキ林分であり、スギ林分は面積0.23ha、立木密度1,700本/ha、平均林地傾斜7°、平均胸高直径19.5cm、平均樹高16.0m、平均幹材積0.24m³/本、ヒノキ林分は面積0.62ha、立木密度1,600本/ha、平均林地傾斜8°、平均胸高直径17.3cm、平均樹高13.6m、平均幹材積0.17m³/本である。この林分は切捨間伐後から約1年経過しており、林地には適当な長さに玉切りされた材が散在していた。チップパーによる粉碎試験は木質バイオマス発電施設の建設

Chikara NAKAHATA, Kazuhiro ARUGA, Ryo UEMURA (Fac. of Agric., Utsunomiya Univ., 350 Mine Utsunomiya 321-8505), Kanae KANETSUKI (Nasunogahara Land Improvement Districts, 447-8 Niwatoko, Nasushiobara 329-2807) Analysis on operational efficiencies and costs for extracting logging residues in small-scale forestry, Nasunogahara area, Tochigi Prefecture.

を予定しているアグリパル塩原（以下、試験地 2）と那須野ヶ原土地改良区連合水管理センター（以下、試験地 3）の 2 箇所で実施した。

2. 調査方法 まず、林地残材収集の生産性、コストを把握するために切捨間伐材を人力で道路脇まで搬出した後、軽トラックに積み込み（図-1）、運材する工程（以下、作業システム①）と林内作業車で道路脇まで搬出した後、4tトラックに積み込み（図-2）、運材する工程（以下、作業システム②）について、作業時間、搬出材積、搬出距離等の測定を行った。ここで、人力による搬出は道路脇から 10m、20m 範囲の場合をスギ、ヒノキごとにそれぞれ測定した。チップパーによる粉碎作業の生産性、コストを把握するために作業時間、丸太の直径、材長、比重、含水率をそれぞれ測定した（図-3）。

III 結果

1. 作業システム① 人力による搬出作業は、スギ、ヒノキ林分ごとに道路脇から 10m、20m 範囲をそれぞれ 3 人作業で行なった。その結果、スギ林分における生産性は 10m 範囲で $3.53\text{m}^3/\text{時}$ ($0.018\text{m}^3/\text{玉}$)、20m 範囲で $2.01\text{m}^3/\text{時}$ ($0.017\text{m}^3/\text{玉}$) となり、道路脇からの距離が長くなることで生産性が低下した。一方、ヒノキ林分における生産性は 10m 範囲で $5.15\text{m}^3/\text{時}$ ($0.019\text{m}^3/\text{玉}$)、20m 範囲で $5.80\text{m}^3/\text{時}$ ($0.022\text{m}^3/\text{玉}$) となり、道路脇からの距離が長い 20m 範囲の方が高い値となった。これは 20m 範囲試験地の平均丸太材積が 10m 範囲より大きかったことが影響していると考えられた。

また、スギ林分の生産性はヒノキ林分と比較して低い値となっているが、これはスギ林分の方が足場が悪く、歩行速度が低下したこと等が考えられる。1 人あたりの生産性はスギ林分における 10m、20m 範囲でそれぞれ $1.18\text{m}^3/\text{人時}$ 、 $0.67\text{m}^3/\text{人時}$ 、ヒノキ林分で $1.72\text{m}^3/\text{人時}$ 、 $1.93\text{m}^3/\text{人時}$ 、平均で $1.38\text{m}^3/\text{人時}$ 、 $1.25\text{m}^3/\text{人時}$ であった。

軽トラックの積み込み・荷降ろし作業の総作業時間は 2 人作業でスギ、ヒノキ林分でそれぞれ 795 秒/回、816 秒/回、積載量は $0.644\text{m}^3/\text{回}$ 、 $0.552\text{m}^3/\text{回}$ となり、これより生産性は $2.92\text{m}^3/\text{時}$ ($0.028\text{m}^3/\text{玉}$)、 $2.44\text{m}^3/\text{時}$ ($0.023\text{m}^3/\text{玉}$) となる。若干ヒノキ林分の方が低い値となるが、これは樹種よりも平均丸太材積による影響が大きいと考えられる。1 人あたりの生産性はスギ、ヒノキ林分でそれぞれ $1.46\text{m}^3/\text{人時}$ 、 $1.22\text{m}^3/\text{人時}$ 、平均で $1.34\text{m}^3/\text{人時}$ であった。

2. 作業システム② 林内作業車による搬出作業はスギ、ヒノキ林分で同時に行われ合算評価された。また、作業は道路脇より 20m 範囲で行われ、総作業時間は 792 秒/回、積載量は $0.83\text{m}^3/\text{回}$ となり、これより生産性は $3.75\text{m}^3/\text{人時}$ とな



図-1. 軽トラックへの林地残材の積込

Fig.1 Manual residues loading to 350-kg truck



図-2. トラッククレーンを利用した積込

Fig.2 Loading from mini-forwarder to 4-t truck with truck crane



図-3. チッパーによる粉碎

Fig.3 Chipping

る。人力による搬出作業の 20m 範囲の生産性 $1.25\text{m}^3/\text{人時}$ と比較すると大幅に高い結果であった。

4t トラックの積み込み・荷降ろし作業の総作業時間は 2,160

秒/回、積載量は4.950m³/回となり、これより生産性は8.25m³/人時となる。軽トラックの積込み・荷降ろし作業の生産性1.34m³/人時と比較すると大幅に高い結果であった。

3. チッパーによる粉砕 試験地2, 3でそれぞれ丸太玉数は82玉, 124玉, 粉砕材積は1.763m³, 2.639m³, 平均末口径は11cm, 11cm, 平均材長は2.1m, 1.7m, 平均丸太材積は0.022m³/玉, 0.021m³/玉, 含水率は22.4%, 23.0%, 比重は0.72t/m³, 0.75t/m³であった。

試験地2の作業人数は機械のオペレータ1人, 丸太投入2人の計3人, 総作業時間は932秒, 粉砕材積1.763m³より, 生産性は6.81m³/時となる。また, 試験地3の作業人数は機械のオペレータ1人, 丸太投入1人の計2人, 総作業時間は1,221秒, 粉砕材積2.639m³より, 生産性は4.96m³/時となる。試験地2の生産性6.81m³/時は試験地3の4.96m³/時を大きく上回るが, これは丸太投入の人数が1人より2人の方がスムーズに作業できたためである。ただし, 1人あたりの生産性をみると試験地2, 3でそれぞれ2.27m³/人時, 2.48m³/人時と近い値となる。

IV コスト計算

今回のコスト計算に関しては労務経費を1,300円/人時, 機械経費を林業機械化協会(1), 澤口(4), 全国林業改良普及協会(6)を参考に減価償却費, 管理費, 保守・修理費, 燃料・油脂費を考慮して林内作業車572円/台時, 軽トラック570円/台時, 4tトラック1,320円/台時, チッパー3,155円/台時と仮定した。

搬出作業に関しては, 人力による搬出作業のコストは10m, 20m範囲でそれぞれ942円/m³, 1,040円/m³と試算された。一方, 林内作業車による搬出作業のコストは20m範囲で499円/m³と試算され, 作業の機械化によるコストの低減が確認された。

運材作業に関しては, 運材距離を変数とするコスト計算式を作成した。まず, 運材作業のサイクルタイム*T*(秒/回)を次式より求める。

$$T = tf + 7,200L / v \quad (1)$$

tf: 積込み・荷降ろし時間(秒/回), *L*: 運材距離(km/回), *v*: 運材速度(km/時)

運材作業の結果より, 軽トラック, 4tトラックの*tf*はそれぞれ1,612秒/回, 2,160秒/回, *v*は30km/時として(4), これらの値を(1)式に代入すると, *T*は以下の式で表わされる。ここで, 軽トラックの*tf*は1人作業と仮定して2人作業に要したスギ, ヒノキ林分の平均値806秒/回の2倍とした。

$$\text{軽トラック} : T = 1,612 + 240L \quad (2)$$

$$4t \text{ トラック} : T = 2,160 + 240L \quad (3)$$

また, 生産性*P*(m³/時)は次式より求められる。

$$P = 3,600V / T \quad (4)$$

V: 積載量(m³/回)

(4)式に軽トラック, 4tトラックの積載量0.598m³/回, 4.950m³/回と(2)式, (3)式をそれぞれ代入すると, *P*は以下の式で表される。

$$\text{軽トラック} : P = 2,153 / (1,612 + 240L) \quad (5)$$

$$4t \text{ トラック} : P = 17,820 / (2,160 + 240L) \quad (6)$$

運材コスト*OE*(円/m³)は次式より求められる。

$$OE = (luc + muc) / P \quad (7)$$

luc: 労務経費(円/時), *muc*: 機械経費(円/時)

(7)式に労務経費1,300円/人時, 軽トラック, 4tトラックの機械経費570円/台時, 1,320円/台時と(5)式, (6)式をそれぞれ代入すると, *OE*は次式で表される。

$$\text{軽トラック} : OE = 1,400 + 208L \quad (8)$$

$$4t \text{ トラック} : OE = 318 + 35L \quad (9)$$

今回の試算においては, 試験地1で切捨間伐材を搬出し, 木質バイオマス発電施設建設予定地である試験地2に運材とすると仮定すると, 運材距離28kmより軽トラック, 4tトラックのコストはそれぞれ7,224円/m³, 1,298円/m³となった。

また, チッパーによる粉砕作業のコストは試験地2, 3でそれぞれ1,036円/m³, 1,160円/m³と試算された。

以上より, 人力による搬出作業を20m範囲, チッパーによる粉砕作業を3人作業とすると, 作業システム①, ②のトータルコストはそれぞれ9,300円/m³, 2,833円/m³と試算され, 作業システム①では大幅にコストがかかる結果となった。

最後に運材距離を変数とするコストを図-4に示す。作業システム①の軽トラックによる運材作業のコストは運材距離に大きく影響されることが分かる。作業システム①では大幅にコストがかかるが, 材の買取価格が6,000円/m³であれば, 調達可能範囲は17kmとなる。

V 既往の研究との比較

本試験の結果を既往の調査報告と比較する。まず, 宇都宮大学船生演習林で行われたチッパー調査の結果と比較する。このチッパーは機体重量1,910kg, 最大出力85PSであり, 本試験で使用したチッパーより小型である。また, ここで使用

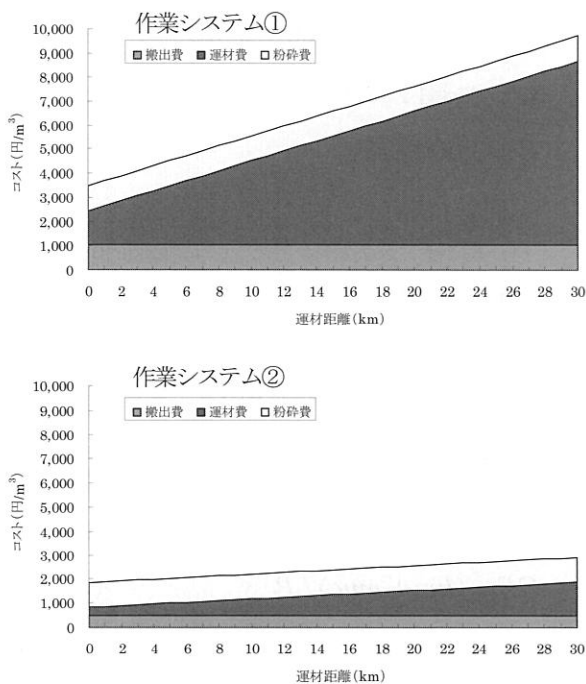


図-4. 搬出作業20m範囲から粉砕までのトータルコスト
Fig.4 Total costs from extraction within 20 m to chipping

された丸太の平均末口径は11cm, 平均材長は2.2m, 平均丸太材積は0.025m³/玉であり, 本試験で使用した丸太とほぼ同じ値であった。調査結果に関しては, 丸太の投入を2人作業で行い, 丸太玉数165玉, 粉砕材積4.190m³, 総作業時間2,209秒より, 生産性は6.84m³/時であった。これは本試験で丸太の投入を2人作業で行った場合の6.81m³/時と近い値となった。

また, コストに関しては, 本試験結果より試算した作業システム①, ②のトータルコスト9,300円/m³, 2,833円/m³を既往の調査報告と比較する。佐々木(3)はスギの25年生の切捨間伐林分においてスイングヤーダとグラブプル, ハーベスタ, 移動式チップパーを使用して, 全木集材で土場にて枝払いした全幹材をチップ化し, 100m³のチップを30km先のプラントまで10t深ダンプトラックで運搬した場合8,674円/m³と報告しており, 作業システム①はこれより高い値となったが作業システム②は大幅に低い値となった。

さらに山田(5)はヒノキの35年生の切捨間伐林分において林内作業車を使用して, 上方斜面20m内から人力で木寄せ・積載し, 100m先の土場まで集材して4tトラックに積載した場合, 2mの短幹材では31,041円/dry-t, 枝条部では77,149円/dry-tと報告している。針葉樹の比重を0.40dry-t/m³と仮定し, 本試験の運材作業のコスト3,245円/dry-t (1,298円/m³)を計上すると2mの短幹材では34,286円/dry-t, 枝条部では80,394円/dry-tとなる。比較のために本試験のコストをdry-tあたりに換算すると作業システム①, ②でそれぞれ23,250円

/dry-t, 7,083円/dry-tとなり, 既往の調査報告を大幅に下回る値となった。これは試験地1の林地傾斜が緩く, また, 道路脇20mの搬出が可能であったことから, スムーズに作業が行われたためであると考えられる。

VI おわりに

本研究では, 2012年に行われた那須野ヶ原地域における人力による搬出後, 軽トラックにより運材する作業システム①と, 林内作業車による搬出後, 4tトラックにより運材する作業システム②, さらに2011年に導入したチップパーによる粉砕作業の調査を行った。そして, その結果を用いて搬出から粉砕までのトータルコストを試算したところ, 搬出作業20m範囲, 運材距離28km, 粉砕3人作業では, 作業システム①, ②でそれぞれ9,300円/m³, 2,833円/m³になると推測され, 作業システム①では大幅にコストがかかるかと予測された。作業システム①は軽トラックのみで, 簡便であるが, 作業負荷, コストが高いため, 最初は作業システム①から始めて, 時期を見て, 作業システム②にステップアップすることが有効であろう。

今回使用したチップパーは可動式であるため, 今後, 林内や中間土場等に持ち込んで粉砕した場合のコストを調査し, チップパーの最適な粉砕場所を検討していく予定である。

引用文献

- (1) 林業機械化協会 (1999) 林業機械便覧. 林業機械化協会, 東京, 267pp.
- (2) 林野庁・那須野ヶ原土地改良区連合 (2010) 内閣府平成21年度地方の元気再生事業「1000年の森を育み, エネルギーと食を自給する地域の環境と経済循環可能性調査」. 林野庁林政部, 東京, 528pp.
- (3) 佐々木誠一 (2006) 燃料用チップはどれくらいで供給できるのか(その2). 機械化林業: 631, pp.6-12
- (4) 澤口勇雄 (1996) 山岳林における林道路線評価と林道規格に関する研究(第1報) 林道路線評価パラメータの特性. 森林総合研究所研究報告: 372, pp.1-110
- (5) 山田隆信 (2004) 山口県における森林バイオマス低コスト燃料化システムへの取り組み—人工林残渣及び竹材搬出システムのコストシミュレーションによる低コスト搬出への検討—. 機械化林業: 596, pp.1-4
- (6) 全国林業改良普及協会 (2001) 機械化のマネジメント. 全国林業改良普及協会, 東京, 239pp.