

# トンバッグとフォワーダを用いた 簡易な未利用資源材収集システムの開発

米代東部森林管理署 長木森林事務所一般職員 ○村松 義昭  
森林技術指導官 畠山 智

## 1. はじめに

近年、米代東部森林管理署近郊では、秋田県大館市の医療機器工場で木質チップボイラーが導入され、チップ工場が稼働開始したほか、青森県平川市でも木質バイオマス発電所の計画が進められており、木質バイオマス需要が急増している。

資源の有効活用や、CO<sub>2</sub> 排出量削減の観点から、バイオマスのエネルギー利用には廃棄物や副産物の利用が望ましいと考えられる。廃棄される木質バイオマスのうち、工場残材・建設発生木材はほぼ再利用されているのに対して、林地残材はほとんど利用されておらず、その発生量は全国で年間約 2,000 万 m<sup>3</sup> と推計されている（林野庁、2010）。このため、木質バイオマスのエネルギー需要を満たすには林地残材等の未利用資源材を活用することが必要である。

未利用資源材のうち、末木枝条については重量当たりの体積が大きく運搬コストがかかるため、チップ化等の減容化が必要となる。そこで、減容化の必要性の薄い根元部の未利用資源材（図 1）に着目し、これのみを収集することで、減容化の省略を図った。

更に、未利用資源材の収集に高性能林業機械等を導入した場合、固定費がかさむという課題がある（森口ら、2004）。これを解決するため、素材生産と並行して収集を実施し、固定費の相殺を狙った。固定費や労務費は重機の稼働の有無にかかわらずかかるコストであり、重機の稼働によって増加した変動費だけで未利用資源材を収集できる。

以上を踏まえて、既存の重機を用いた初期投資の少ない収集方法として、フォワーダに産廃処理用の 3 m<sup>3</sup>（長さ・幅 1,500mm、高さ 1,350mm）のトンバッグを設置して収集する方法を考案した。トンバッグはコンテナと比べて、伸縮により空隙を解消でき、軽量で取扱いが容易である等のメリットがあると考えられる。本研究では、この方法を用いて作業道脇に捨てられた根元部を収集し、収集にかかる時間や変動費、収集量を調査するとともに、変動費と収集条件の関係について分析した。



図 1. 根元部の未利用資源材



図 2. 使用したトンバッグ

## 2. 研究方法

### (1) 収集実験

表 1. 試験地概要

|        |                            |
|--------|----------------------------|
| 林齢     | 59～64年生                    |
| 伐採予定材積 | 134～151 m <sup>3</sup> /ha |
| 伐倒     | チェーンソー                     |
| 造材     | チェーンソー・プロセッサ               |
| 集材・木寄  | ウィンチ付グラップル                 |
| 運材     | フォワーダ                      |

作業は図 3 の 1. 重機の移動～5. トンバグの集積までを 1 サイクルとして実施し、作業時間及び、トンバグ 1 袋に入る未利用資源材の個数を計測した。記録した時間は、運搬プロセス、収集プロセス、集積プロセスの 3 つに分類して整理・分析した (表 2)。

各プロセスには表 3 の作業のほか、作業員による重機の運転時間を計上した。

収集作業は図 4 の地点 1～5 で行った。表 3 のように計 3 サイクルを実施し、各サイクルを距離別に近距離 (地点 1)、中～遠距離 (地点 2)、遠距離 (地点 3～5) と名付けた。近距離では 1 袋収集するごとにストックポイントへ戻り集積したが、中距離、遠距離では往復数を減らすため 2 袋以上収集してからストックポイントへ戻った。

表 3. 収集地点と収集法

| 距離               | 収集地点  | 収集法                      |
|------------------|-------|--------------------------|
| 近距離 (160m)       | 1     | 1 地点 1 袋で 3 往復、計 3 袋収集   |
| 中距離 (530m)       | 2     | 1 地点 2 袋で 1 往復、計 2 袋収集   |
| 中～遠距離 (580～830m) | 3、4、5 | 3 地点 1 袋ずつで 1 往復、計 3 袋収集 |

(2) 統計分析

統計ソフトウェア R (ver3.1.2) を用いて、表 4 の応答変数、説明変数の関係を一般化線型モデルで解析した。水平距離及び傾斜は国有林 GIS から取得した。応答変数は正規

事業体の協力を得て、素材生産事業を行っている丹内沢外 5 国有林 (秋田県大館市) で実験を行った。

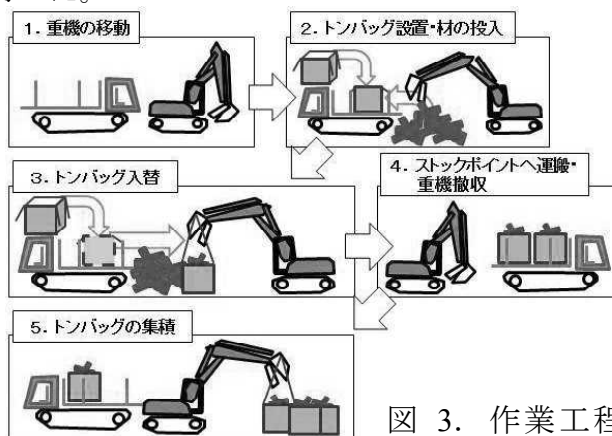


図 3. 作業工程

表 2. 作業の分類

| プロセス   | 作業                                            |
|--------|-----------------------------------------------|
| 運搬プロセス | フォワーダ: 移動、材の運搬 グラップル: 移動                      |
| 収集プロセス | 作業員: トンバグの設置、トンバグ入替え外<br>グラップル: 材の投入、トンバグの入替え |
| 集積プロセス | グラップル: トンバグの集積                                |

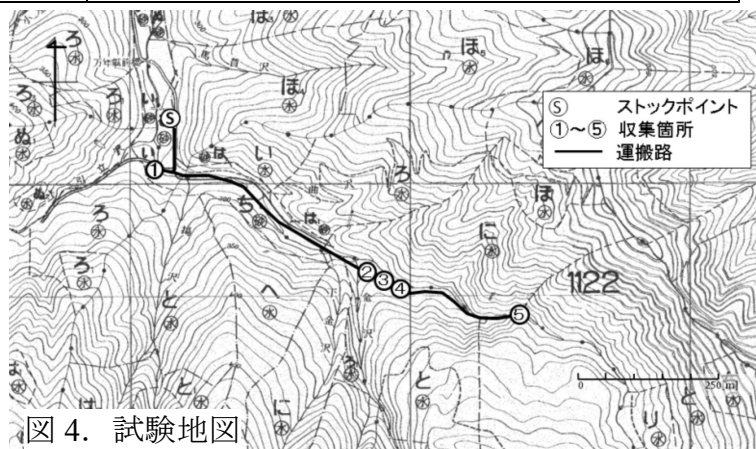


図 4. 試験地図

分布に従うと仮定した。

表 4. プロセス別の応答変数と説明変数

| プロセス   | 応答変数 (サンプル数)                | 説明変数     |
|--------|-----------------------------|----------|
| 運搬プロセス | フォワーダによる移動時間 (s) (n=12)     | 水平距離 (m) |
|        | グラップルによる移動時間 (s) (n=7)      | 傾斜 (°)   |
| 収集プロセス | グラップルによる材の投入時間 (s) (n=8)    | 投入量 (個)  |
| 集積プロセス | グラップルによるトンバグの集積時間 (s) (n=3) | 集積量 (袋)  |

### (3) コスト分析

実測した時間及び、統計モデルにより算出した重機の予測稼働時間から変動費を算出した。機械種別の変動費は、井上 (2001) より、履带式フォワーダ (中型)、グラップルソー (小型)、グラップルソー (中型) の数値を使用した (表 5)。

表 5. 機械種別の変動費

| 機械種        | 保守・修理費 (円/h) | 燃料・油脂費 (円/h) | 計 (円/h) | 参考      |         |
|------------|--------------|--------------|---------|---------|---------|
|            |              |              |         | 重量 (kg) | 出力 (PS) |
| フォワーダ      | 1,201.0      | 832.5        | 2,033.5 | 9,010   | 164     |
| グラップル(収集用) | 749.0        | 324.4        | 1,073.4 | 7,820   | 55      |
| グラップル(集積用) | 858.7        | 612.7        | 1,471.4 | 13,200  | 85      |

統計モデルによる変動費の予測は、予測した作業時間から、表 6 にまとめた方法により変動費を算出し、そこから収集量 (m<sup>3</sup>) あたりの変動費を導いた。

表 6. プロセス別の変動費算出方法

| プロセス   | 算出方法                                                                                                                                                            |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 運搬プロセス | 変動費 (円/h) × (フォワーダまたはグラップル稼働時間* <sup>1</sup> (h) × 2 × 往復数* <sup>2</sup> )<br>*1 水平距離より予測。*2 フォワーダ往復数は、収集量 (個) ÷ (13.8 (個/袋) × 2 (袋/往復)) と仮定。グラップル往復数は 1 往復と仮定。 |
| 収集プロセス | 変動費 (円/h) × (グラップル稼働時間* <sup>1</sup> (h) + トンバグ入替え時間* <sup>2</sup> (h))<br>*1 収集量 (個) より予測。*2 0.06 時間/回と仮定。                                                     |
| 集積プロセス | 変動費 (円/h) × グラップルの稼働時間* <sup>1</sup> (h)<br>*1 集積量 (袋) より予測。集積量は収集量 (個) ÷ 13.8 (個/袋) と仮定。                                                                       |

## 3. 結果

### (1) 収集実験

実験の結果、収集した未利用資源材はトンバグで 8 袋、個数で 98 個となり、別に行った予備調査の結果から、0.08 m<sup>3</sup>/個と仮定して計算すると、約 7.8 m<sup>3</sup>が収集できた。中距離の地点では未利用資源材の量が想定より少なく、15 個と少量となった (図 5)。

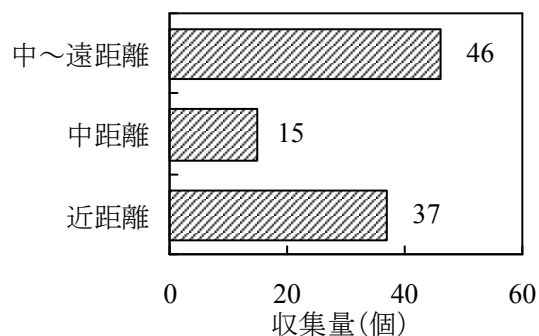


図 5. 距離別収集量

総時間では作業員延べ 5.4 時間、フォワーダ 1.2 時間、グラップル 2.3 時間を要した。距離別に各プロセスの作業時間を見てみると、ストックポイントからの距離が遠くなるほど運搬プロセスの時間は増加、収集量が増えるほど収集プロセスの時間は増加する傾向があった（図 6）。集積プロセスについては、全体から見ればわずかな時間だった。近距離では運搬回数は多かったものの、運搬距離が 160 m と短かったため、運搬プロセスは 0.3 時間程度に抑えられている。中～遠距離では、トンバグの入替えが多かったため、収集プロセスで若干の時間のロスがあった。

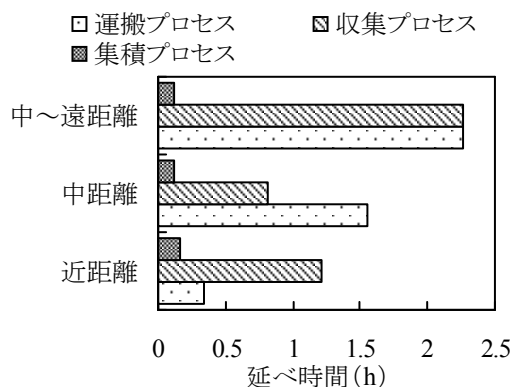


図6. 距離別作業時間

### (2) 統計解析

統計解析の結果、運搬プロセスについては距離及び傾斜に比例して時間が増加するモデルが、収集プロセス・集積プロセスについてはそれぞれ収集量・集積量に比例して時間の増加するモデルが得られた（表 7）。運搬プロセスでは、傾斜について有意水準  $\alpha = 0.05$  で有意差が見られなかった。

表 7. 一般化線型モデルの結果（重機の稼働時間）

| 運搬プロセスフォワーダ稼働時間 (s) |         |        |        |       | 収集プロセスグラップル稼働時間 (s) |         |        |       |       |
|---------------------|---------|--------|--------|-------|---------------------|---------|--------|-------|-------|
|                     | 係数      | 標準誤差   | t 値    | p 値   |                     | 係数      | 標準誤差   | t 値   | p 値   |
| (切片)                | -73.278 | 94.575 | -0.775 | 0.458 | (切片)                | 156.307 | 64.383 | 2.428 | 0.051 |
| 傾斜 (°)              | 33.488  | 18.159 | 1.844  | 0.098 | 収集量 (個)             | 15.118  | 4.809  | 3.144 | 0.020 |
| 距離 (m)              | 0.909   | 0.249  | 3.653  | 0.005 |                     |         |        |       |       |
| 運搬プロセスグラップル稼働時間 (s) |         |        |        |       | 集積プロセスグラップル稼働時間 (s) |         |        |       |       |
|                     | 係数      | 標準誤差   | t 値    | p 値   |                     | 係数      | 標準誤差   | t 値   | p 値   |
| (切片)                | 94.539  | 98.862 | 0.956  | 0.393 | (切片)                | 41.500  | 29.960 | 1.385 | 0.260 |
| 傾斜 (°)              | 21.715  | 16.313 | 1.331  | 0.254 | 集積量 (袋)             | 66.190  | 16.750 | 3.952 | 0.029 |
| 距離 (m)              | 0.861   | 0.279  | 3.086  | 0.037 |                     |         |        |       |       |

### (3) コスト分析

実測した時間から算出した個数当たりの変動費では、近距離が最も安く 21 円/個、中距離が最も高く 102 円/個、平均 51 円/個となった（図 7）。別に行った予備調査から、0.08 m<sup>3</sup>/個と仮定して換算すると、近距離約 300 円/m<sup>3</sup>、中距離約 1,300 円/m<sup>3</sup>、平均約 600 円/m<sup>3</sup>となる。

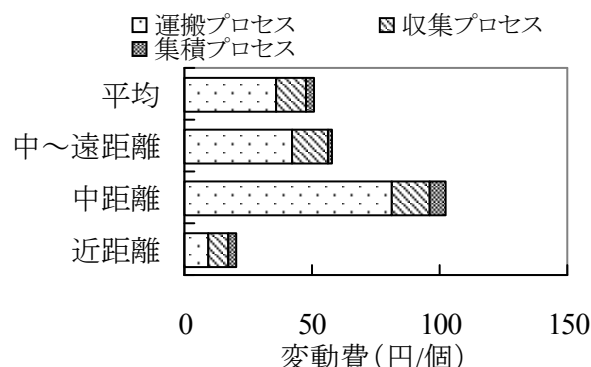


図 7. 距離別変動費内訳

統計モデルから予測した変動費については、距離が増加するほど変動費は増加するのに対し（図 8）、収集量が増えるほど変動費は減少し、距離に応じた一定の値に収束してい

く結果となった（図 9）。このことから、収集量を一定量確保できれば、距離の与える影響の方が大きいといえる。

#### 4. 考察と今後の課題

##### (1) 変動費の内訳について

これまでの低質材の販売実績等から、販売価格は約 2,000 円/m<sup>3</sup>を想定していたが、今回の実験では、平均約 600 円/m<sup>3</sup>となり、その価格をクリアできた。一方で、運搬プロセスの費用が多い結果となった（図 7）ため、これを低減することで更に低コスト化が期待できる。

特に、中距離においては運搬プロセスの費用が他と比較して大きくなった（図 7）。これは、運搬距離に対して収集量が少なかったからだと考えられる。実際、ほぼ同じ条件（距離 500m、傾斜 0°）で統計モデルから各プロセス変動費の変化を予測してみると、収集プロセスや集積プロセスの変動費は大きな変化がないのに対して、運搬プロセスの変動費は収集量の増加にしたがって大幅に減少している（図 10）。このことから、収集量の増加による変動費の減少は収集量当たりの運搬プロセスの費用が減少することで起きていることがわかる。

##### (2) 今後の低コスト化の方向性

(1) から考えると、変動費の中で運搬プロセスの費用をどのように低減していくかが低コスト化の課題であるといえる。統計分析の結果から、低コスト化の方向性としては、以下の 2 点が考えられる。

- ① 材の運搬距離に対して収集量を増やす。
- ② 運搬距離を短くし、近距離での収集に特化する。

まず、①について検討すると、どれくらいの量を収集できるかが課題となる。別に行った予備調査の結果より、根元部の材積が幹材積の 10 %程度と仮定すると、本実験における試験地には、潜在的に 1 小班当たり 40 ~ 200 m<sup>3</sup>程度の量があり、これらを全て収集できれば量を確保することも可能である。しかし、材の分布の不均一さや地形の制約等が有り、全ての材を収集することには困難が予想される。実際、本実験でも中距離での収集量は 15 個と少ない結果となった。このことから、収集量の増加によって低コスト化を図る場合には、

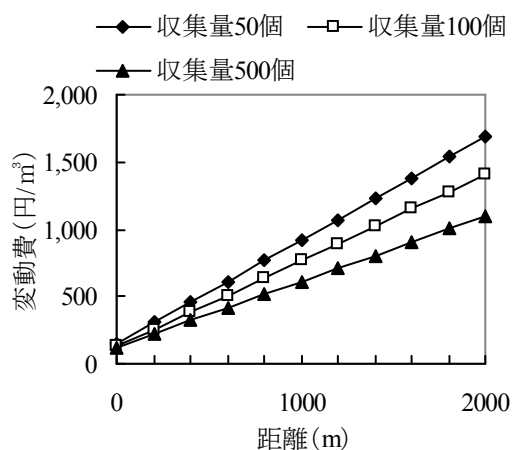


図8. 距離と変動費の関係

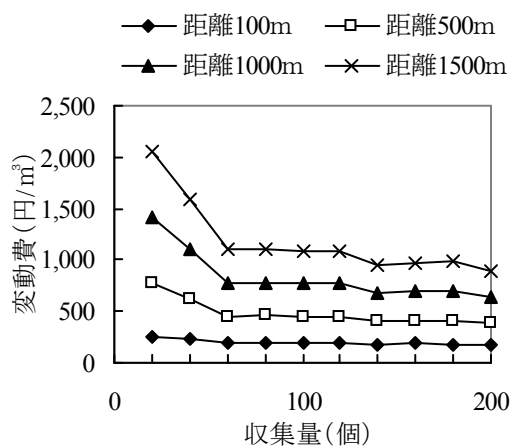


図9. 収集量と変動費の関係

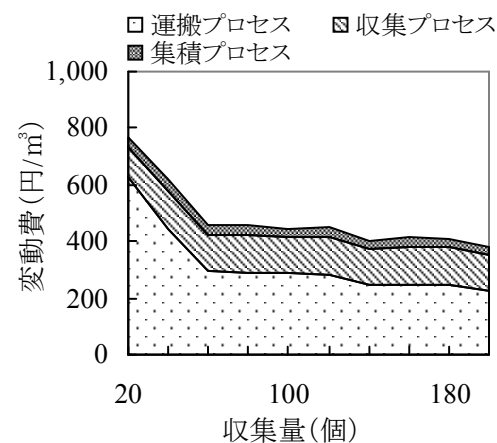


図 10. 距離 500m における変動費と収集量の関係

収集量を増やせるかどうかについて検討する必要がある。

一方、②については、造材を行う位置を勘案してストックポイントの位置を決定したり、近距離で収集しやすい場所を取捨選択する等、作業システムを工夫することで実行が可能である。今回の実験では、実際に近距離での収集コストが約 300 円/m<sup>3</sup>と安くできたことから、効果を上げられる可能性が高く、収集場所が近ければ、トンバッグスタンド等の使用で更に効果的に収集できると推測される。

### (3) 今後の課題

コスト計算について、今回はトンバッグの購入費用をコストに繰入れていなかった。トンバッグの価格は 3000 円/袋で、同容積の金属製コンテナ等と比較してかなり安いので、収集にあたっての初期投資を低減できるメリットがある。ただし、これを 1 度限りの使い捨てとして考えた場合、1 袋に 2 m<sup>3</sup>入ると仮定しても 1500 円/m<sup>3</sup>のコストになってしまう。そのため、2 回以上繰り返して使うことが望ましく、今後、耐久性について検証する必要がある。

また、実際に収集可能な量がどの程度かについても検証が必要である。先に述べたとおり、賦存量はあるものの、本実験での収集量の偏りから考えれば、その全てを有効に活用できるとは限らない。収集可能量が明らかになることにより、遠距離での収集が可能か検討でき、また、未利用資源材でどの程度のバイオマス需要を満たすことができるのか明らかにできる。

## 5. まとめ

本実験では、収集量約 7.8 m<sup>3</sup>を変動費約 600 円/m<sup>3</sup>で収集できた。コスト全体から見た場合、運搬距離が大きく影響していた。今後、低コスト化を図るには、運搬コストを削減する必要があり、これは①距離に対する収集量を増加させるか、②近距離（200m 程度）での収集に特化することで達成できると考えられる。①の方向性の場合、この方法で収集量を増やせるかどうかを検討すべきであり、現状では、②の近距離での収集に特化する方法が効果を上げる可能性が高いと言える。

## 6. 謝辞

発表に当たり、助言をいただいた木材高度加工研究所の高田克彦教授をはじめ、実験にご協力いただいた事業体の皆様方に感謝の意を表します。

## 引用文献

- 井上源基（2001）“伐出コストを計算しよう”（機械化のマネジメント．全国林業改良普及協会編．全国林業改良普及協会．）135-155.
- 森口敬太ほか（2004）林地残材を木質バイオマス燃料として利用する場合のチップ化と運搬コスト．日本林学会誌．（86）2:121-128.
- 林野庁（2010）“林産物需給と木材産業”（平成 21 年度森林・林業白書．林野庁編．全国林業改良普及協会．）90-112.