

未利用材の活用に向けた取組について

三陸中部森林管理署 森林整備官 遠藤 周作
 総括森林整備官 劔持 直樹
 業務グループ ○畠山 大樹

1. はじめに

平成24年7月に電気事業者に対して再生可能エネルギー源を用いて発電された電気を一定の期間・価格での買い取りを義務づけた「再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT）」が導入され、以後、全国でバイオマス発電所が急増している。岩手県では、未利用木質バイオマス（以下、未利用材）の利用量が、平成28年内に年間30万t以上になると考えられている（日刊木材新聞2016）。平成28年2月末現在、当署管内の国有林については、県内の稼働中、着工中・着工予定、構想段階の発電所から半径50km以内を集荷範囲とした場合、4施設の集荷範囲内に入っている（図1）。



図 1. 岩手県内のバイオマス発電所と集荷範囲

今後需要が急増すると考えられる未利用材は、一般的に、利用されずに林地に放置されている未利用間伐材や主伐残材のことを示す。具体的には、根元部分の材(以下、タンコロ)や枝葉のことである。これらは、年間約800万トン発生するにもかかわらず、ほとんど利用されていない現状にある（林野庁2015）。当署においてもタンコロ等は、販売価格に対して搬出コストが高くなることからこれまで利用されていない。

今後、発電所への未利用材の供給量が不足し、合板やチップ用等とされてきた丸太が発電用として利用されるケースも考えられるため、カスケード利用を念頭に置きつつ、未利用材の有効利用を促進していく必要がある。

本研究は需要の拡大に迅速に対応し、未利用材を搬出し活用していくため、①既存の作業システム（短幹集材）に容易に組み込むことができ、②可能な限り初期費用がかからず、③作業地の特徴を生かすことの3つを前提条件として設定し、活用に向けた課題や条件を明らかにすることとした。③作業地の特徴については、通常に通直なスギのタンコロは50～60cmの長さのためグラップルで掴みにくく作業効率が低下するが、今回の作業地の



図 2. 根曲がりしたスギ立木

多くのスギは、図2のように根曲がりしている。このため、造材位置を変えてタンコロの部分延ばすことなく、通常的位置で造材してもタンコロを1m以上確保することができるため、グラップルの作業効率の低下を抑制できると考えられた。

2. 作業方法

(1) 作業地

作業地は、住田町内の火ノ土山国有林 29 林班 (37 ~40 年生)の間伐箇所とした。面積は 18.02ha、予定生産量は 1,156m³であり、作業システムは表 1 に示す。

表 1. 作業システム

伐倒	チェーンソー
造材・集材	プロセッサ
搬出	フォワーダ
はい積み	グラップル

(2) 搬出方法

搬出方法は、図3の二通りの方法を検討した。案1は、タンコロと元玉丸太を同時に搬出し、搬出コストを大幅にカットできる可能性があったが、今回使用したフォワーダの荷台長が3mであったことから、5mを超える積荷の半分近くが荷台からはみ出し車両のバランスが崩れること、カーブ時に積荷がのり面に接触するという問題が生じた。そのため、タンコロの1mという長さを生かし、既存のフォワーダを改造せず丸太とタンコロをそれぞれ搬出する案2を採用した。

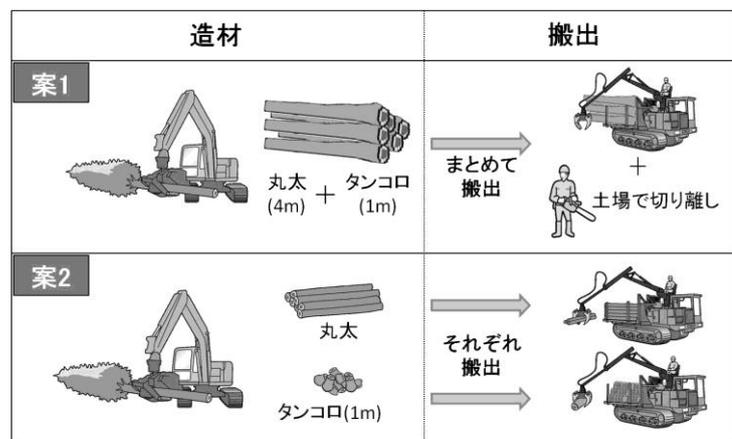


図 3. 搬出方法案

(3) はい積み方法

通常の2mや4mの丸太は1列積み(図4下段)を行うが、短いタンコロはこの方法では高く積めず、広いスペースが必要になる。このため、2列に寄り添わせることで1mのタンコロでも高く積むことができる2列積み(図4上段)を採用した。

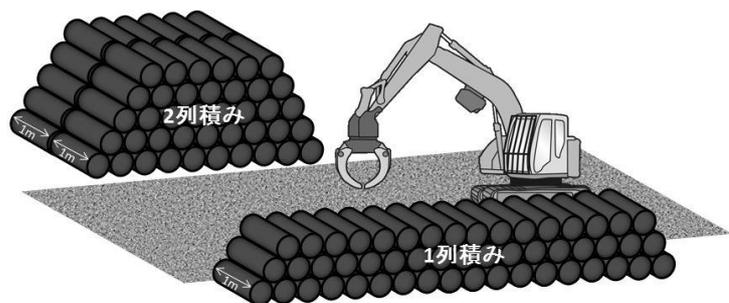


図 4. はい積み方法

3. 調査方法

タンコロを搬出し、はい積みするまでの作業工程とコストを調査するとともに、タンコロ以外の丸太も同様に調査し比較した。

(1) 工程調査

「積み込み」「走行速度」「荷下ろし」「はい積み」作業について、図5及び表2、3に示している項目を計測した。調査項目の材積は末口二乗法により算出し、作業時間やグラップル作業回数は撮影した動画により調査した。なお、グラップル作業回数とは、丸太を掴み所定の場所に置くまでを1回としたものである。

表 2. 調査項目

調査項目
L: 材長 (m)
D: 直径 (cm)
N: 本数
V: 材積 (m ³)
Ds: 距離 (m)
G: グラップル作業回数
T: 作業時間

表 3. 丸太種別

丸太種別 (F)	丸太種別 (G)
a: 4m混合	a1: 4m直
	a2: 4m曲
	a3: 4m小径
b: 2m合板	b: 2m合板
c: 2mチップ	c: 2mチップ
d: 1mタンコロ	d: 1mタンコロ

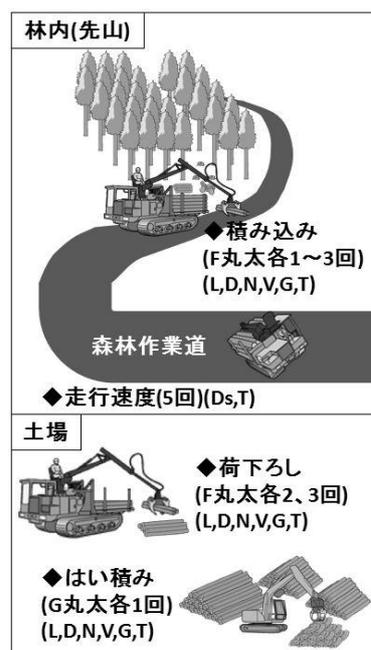


図 5. 調査方法概要

(2) コスト解析

表 4 に示す作業種別の作業時間を推定するため、村松 (2015) の統計解析と同様に、統計ソフトウェア R(ver3.2.3) を用いた一般化線形モデルによる解析を行った。応答変数である作業時間は正規分布に従うと仮定し、リンク関数は対数、オフセット項は材積として 1m³ 当たりの作業時間を推定した(説明変数は功程調査の計測値)。

次に、機械種別の変動費を井上(2001)の履带式フォワーダ(中型)、グラップルソー(中型)の数値より算出した(表 5)。なお、今回は通常の素材生産において、他の丸太と同時にタンコロの搬出を行うことで、タンコロ搬出にかかる固定費は相殺されるため変動費のみを算出し、表 3 の丸太種別(G)ごとに比較を行った。

表 4. 使用機械及び説明変数

作業種	使用機械	説明変数
積み込み (n=10)	フォワーダ	・ 材長 (m)
荷下ろし (n=11)	フォワーダ	・ 直径 (cm)
はい積み (n=5)	グラップル	・ 本数

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)	機材消耗品費 (円/h)	計 (円/h)
フォワーダ	1,201.0	832.5	0.0	2,033.5
グラップル	858.7	612.7	299.0	1,770.4

4. 調査結果

(1) 「積み込み」「荷下ろし」の作業功程

「積み込み」「荷下ろし」共に材長と正の相関があり、材長の短い d(1m タンコロ)は最も低い値であった(図 6、7)。c(2m チップ)を基準とした場合、dの「積み込み」は 56%、「荷下ろし」は 59%であった。

また、フォワーダの積載量については、dが最も少ない 2.393m³で、cを基準とした場合 58%であった(図 8)。

(2) 走行速度

区間距離 249m、平均傾斜 12° の条件で計測し、土場から先山まで(積荷なし上り)は 3.1km/h、先山から土場まで(積荷あり下り)は 3.9km/h であった。

(3) 「はい積み」の作業功程

dの作業功程は 9.3m³/h であった。cを基準とした場合、dは 94%であり大きな差は見られなかった(図 9)。グラップル作業回数では、他の丸太種別と比較して、一度に掴む材積は少ないが、短い時間で順序よく積み上げることで作業功程を上げている(図 10、11)。

(4) 作業時間の統計解析

作業時間は全ての作業種において、材長及び直径に負、本数に正の影響を受けており、材長が長く、直径が太いほど短縮され、本数が多いほど増加する(表 6)。

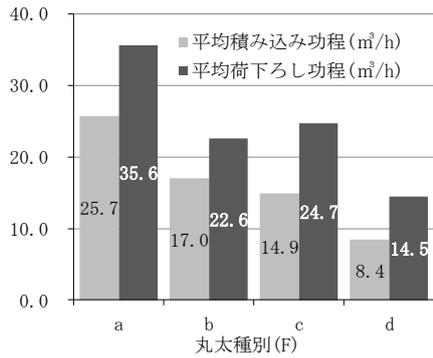


図 6. 積み込み、荷下ろし作業工程

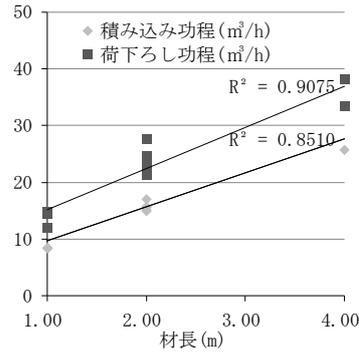


図 7. 材長との相関

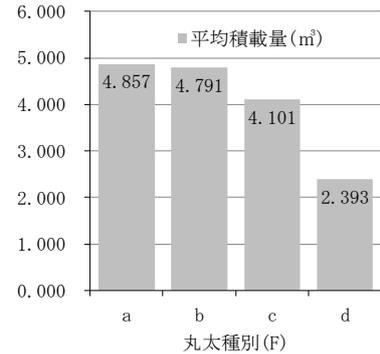


図 8. 積載量

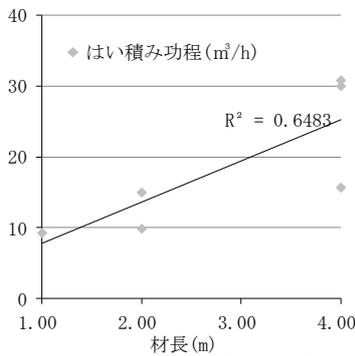


図 9. はい積み工程

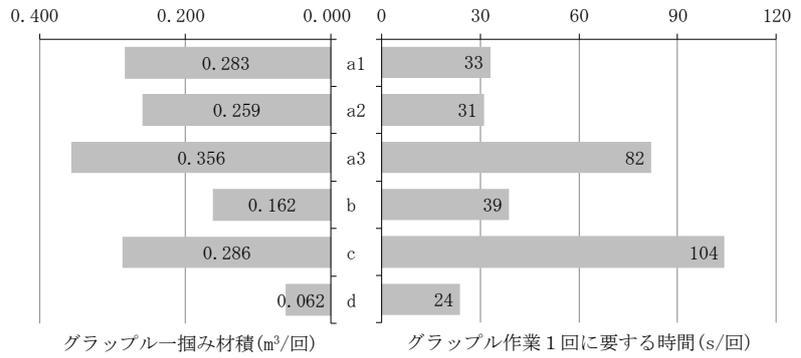


図 10. 一掴みの材積

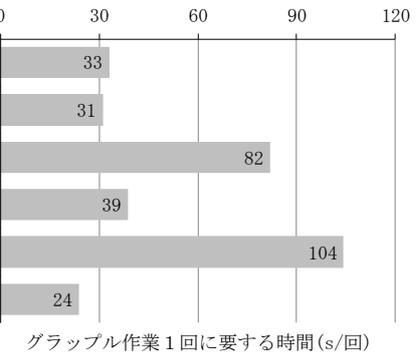


図 11. 作業 1 回に要する時間

表 6. 作業時間の統計解析結果

説明変数	積み込み		荷下ろし		はい積み	
	係数	標準誤差	係数	標準誤差	係数	標準誤差
材長 (m)	-0.5968	0.0806	-0.4485	0.0763	-0.3087	0.0586
直径 (cm)	-0.0019	0.0007	-0.0012	0.0006	-0.0002	0.0002
本数	0.0135	0.0052	0.0081	0.0047	0.0041	0.0013
(切片)	-0.2903	0.5286	-1.3494	0.5046	-1.9379	0.5526

注) 切片は一般化線形モデル式の切片

(5) 作業コスト(変動費)

作業コスト算出に使用した因子を表 7 に示す。これらの因子から変動費を算出した結果(図 12、13)、1m³ 当たりの変動費は d が 773.8 円で最大となり、c の約 1.6 倍であった。

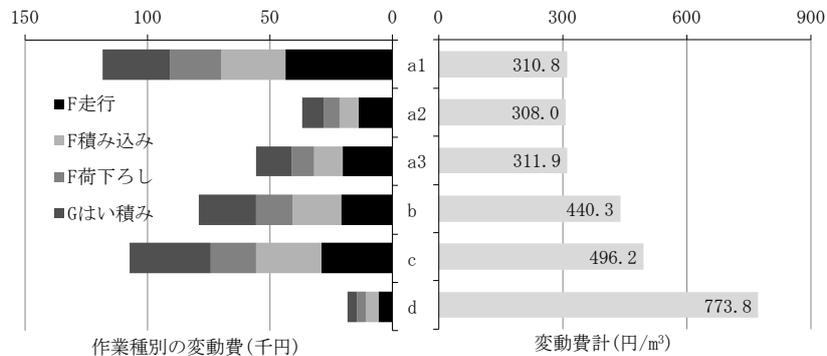


図 12. 作業種別の変動費

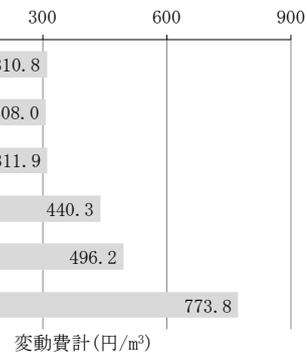


図 13. 1m³ 当たりの変動費計

表 7. 変動費算出に使用した因子

丸太種別(G)	直径 (cm) ①	1本当たり 材積(m ³) ②	総材積 (m ³) ③	総本数 ④	積載 本数 ⑤	積載量 (m ³) ⑥	往復 回数 ⑦	集材範囲 (m) ⑧
a1 : 4m直	21	0.176	380.16	2,160	27	4.752	80	463
a2 : 4m曲	19	0.144	118.80	825	33	4.752	25	463
a3 : 4m細	12	0.058	178.12	3,071	83	4.814	37	463
b : 2m合板	20	0.08	179.36	2,242	59	4.720	38	463
c : 2mチップ	13	0.034	216.24	6,360	120	4.080	53	463
d : 1mタンコロ	24	0.058	23.78	410	41	2.378	10	463
合計			1096.46	15,068				

- 注) ① 実際に出材した丸太の平均直径。
 ② ①を基に末口二乗法により算出。
 ③ 実際に出材した総材積を⑥の積載量で割り切れるように調整。
 ④ ③を②で除した商。
 ⑤ 最大積載量(図 8 の積載量)を②で除した商。
 ⑥ ②に⑤を乗じたもの。
 ⑦ ③を⑥で除した商。
 ⑧ 作業地の平均集材距離。

5. 考察と課題

タンコロの活用には低コスト化が必須である。そのため、本格的な活用に向けた課題を以下に示す。

(1) 「積み込み」「荷下ろし」の作業工程の改善

作業工程と材長は正の相関があることから、材長を伸ばせば工程は上がると推測する。しかし、今回集材した材長より長いタンコロは林内にはほとんど存在しないため、工程の改善は困難と考える。

(2) 「はい積み」の工夫

2列積みにより作業工程の低下を抑えることができ、2mチップ丸太と同程度の作業工程になり、有効と考える。

(3) フォワーダへの積載方法の工夫

今回、1mタンコロの積載時はフォワーダの荷台スペースに無駄があり(図 14 左)、積載量が少なく、車両の往復回数の増加につながり、走行にかかる変動費が増大した。このことから、1mタンコロを2列に積む等の工夫(図 14 右)により積載量を増加させることが必要である。

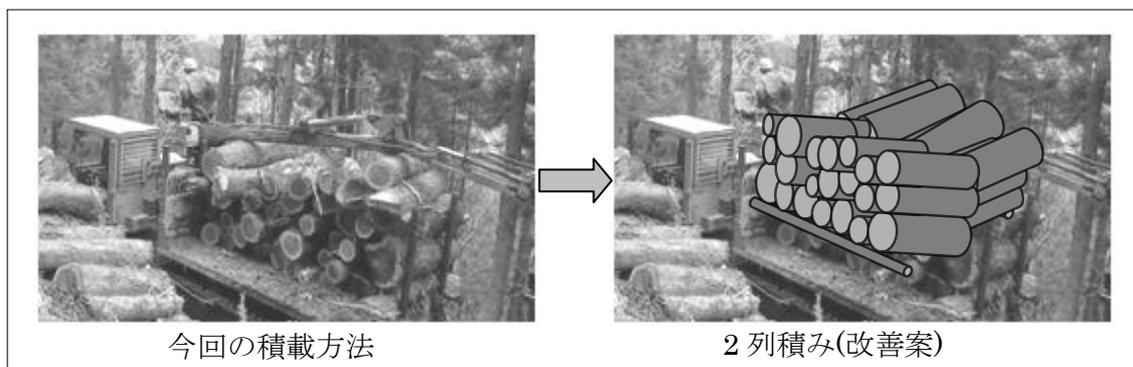


図 14. 1m タンコロの積載方法

(4) 集材範囲の検討

今回のコスト計算では、全ての丸太種別で集材範囲を同じに設定したが、1m タンコロのみ範囲を狭め、土場から比較的近い範囲を集材することでフォワーダの走行にかかる変動費を削減することが可能と考える。

(5) 1m タンコロの作業コストの再計算

これまでの1m タンコロのフォワーダの積載量と集材範囲の改善より、1m タンコロの搬出コストを少なくとも2m チップと同程度に抑えることができるか検討を行った(図15)。因子を以下のとおり変更することで、d(1m タンコロ)をc(2m チップ)と同程度の495.8 円/m³に変動費を抑えることができた。

- ① フォワーダの積載量を約1m³増加させ3.4m³にすることで、フォワーダの往復回数を8回に減少させた。
- ② 集材範囲を463m から270m に狭めた。

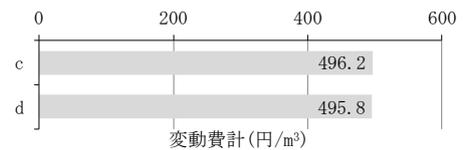


図 15. 1m タンコロと2m チップの作業コストの再計算結果

6. おわりに

本研究の結果から、タンコロの活用にはフォワーダの移動にかかる変動費を減らす必要があることが言える。具体的には、①フォワーダの積載量を増加させることにより、土場と先山間の往復回数を減らすこと、②集材範囲を狭め、土場から近い場所の集材に特化することが必要であると考えられる。フォワーダの積載量については、2列積み等により積載量を増加させることができるが、積み込み作業が複雑になるため、この作業にかかる変動費が増大すると予想される。そのため、2列積みに限らず、さまざまな積載方法の試行が必要である。また、今回試すことができなかった搬出方法の案1(タンコロと元玉丸太の同時搬出)は、荷台が長いフォワーダを用いて、元玉丸太を3m程度で採材する場合に実行できる可能性がある。集材範囲については、狭めると集材可能な未利用材の量も減ることから、作業地によっては、トラック1台分にも満たない量の未利用材しか集材できないことが想定される。そのため、フォワーダの積載量の増加によるコストの低減を早急に検討し、タンコロの集材可能量を明らかにする必要がある。

最後に、今回搬出したタンコロは、バイオマス発電用として販売した。平成28年には岩手県内では複数の発電所が稼働することに伴い、未利用材の需要が増大することが見込まれるため、未利用材を積極的に活用できるよう搬出方法等について検討していく必要がある。

7. 引用文献

- 日刊木材新聞 2016年1月7日 「15年は5ヵ所で21万トン規模 東北」
林野庁(2015) 木材需給と木材産業, 平成26年度森林・林業白書, 149-167
村松義昭(2015) 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, 平成26年度 森林・林業技術交流発表集 東北森林管理局, 50-55
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