

## 林地残材のエネルギー利用に向けた収集・チップ化システムの検討(3)

### —土そりを使用したカラマツ主伐の事例—

北海道立林業試験場 酒井 明香・渡辺 一郎

#### はじめに

近年、木質バイオマスの代替エネルギー源としての需要が急増し、全国的に需給の逼迫が続いている。本稿では、そのような背景を受けて、木質ボイラーの燃料用チップ原料向けに、林地残材を効率的に収集・チップ化できるシステムの検討を行う。今回は、カラマツ51年生の主伐(皆伐)林分を対象とする。主伐では、①伐採材積が間伐に比べて多いため、林地残材(以下「残材」と略す)の発生量・収集可能量が多いこと、②残材の収集時に残存木の損傷を考慮する必要がないため、林業機械が効率的に作業できることから、これまでより費用をかけずに残材を利用できる条件が揃っている。

そこで本稿では、近年道内の素材生産事業者において徐々に広がりを見せしている「土そり集材」を応用し、土そり(写真-1)を残材の搬出に利用した試験を実施した。搬出した残材は土場でチップ化し、その工期調査の結果から収集費・チップ化費を算出した。最後に残材チップ生産の収益について試算したので報告する。

#### 土そり集材の特徴

土そりは、グラップルローダの後ろに接続する形で用いられる鉄製の搬出用「そり」で、道内各地で導入されつつある。全木集材・全幹集材・短幹集材のいずれにも対応でき、グラップルローダを用いて用材を積み込むと、その仕様や材長にもよるが一度に最大で約10m<sup>3</sup>を搬出することができる(3)(6)。



写真-1 供試した土そり

(千歳林業所有：長さ3m×幅1.9m×高さ1.5m)

今回の調査にご協力いただいた千歳林業(株)の土そりは、1基あたり製作費は約50万円である(写真-1)。その他の事業者のものも、おおむね製作費100万円以下が多く、比較的安価な初期投資で導入できる。

また、もうひとつの特徴は、用材だけでなく皆伐跡地から集めた残材も運べることである。これまで当科では、前述のとおりコスト面から、利用対象を土場に集積した残材(土場残材)に限ることが多かった。皆伐跡地において、残材を土そりで搬出することが有効であれば、造林から造林までの総費用が抑えられる可能性がある。

#### 試験の概要および方法

本対象地は、燃料用チップとして、低質でも多量の林地残材を出荷することが望まれており、林内(ここでは皆伐跡地)に脱落した枝条やササ類も収集することが既に決まっている。そこで、それを踏まえ、「土そりを使用した皆伐跡地からの残材収集」も含めた試験を行うこととした。また、第一報(4)より、残材の収集はそれ自体を単独で行うのではなく、用材生産と並行して実施し、重機の空き時間を有効に使う方が合理的という結果が導かれている。したがって今回も、主伐作業と並行して残材収集・チップ化作業を行うこととした。

残材は山土場に移動式木質破砕機(以下「移動式チップパー」)を搬入し、現地にてチップ化するシステムを採用した。その際、残材収集量や収集費の比較のため、全幹集材と全木集材を行う2つの試験区を設定した。

2008年10月、京極町字錦の一般民有林において試験を実施した。以下に試験地の概要を示す(表-1)。

表-1 試験地の概要

試験地	京極町字錦 一般民有林 78林班 12小班
樹種・林齢等	カラマツ51年生, 269.6m <sup>3</sup> /ha
直径・樹高	平均胸高直径25.7cm, 平均樹高28m
立木密度	477本/ha
伐区面積	4.6ha
伐採方法	皆伐
傾斜	0度~15度

2つの試験区の作業の流れを図-1・2に示した。以下、それぞれを全幹集材区・全木集材区と呼ぶ。実線が用材の流れ、点線が残材の流れである。プロットはそれぞれ、土場までの距離が100mの林内に設置し、面積は20m×25m(0.05ha)とした。作業班員数・重機の台数は、全幹集材区でハーベスタ1名・土そりつきグラップルローダ(途中でヘッドをレーキに交換)1名・土場用のグラップルローダ1名・移動式チップパー1名の合計4名、重機4台で実施した。全木集材区ではハーベスタ1名・土そりつきグラップルローダ1名(同じグラップルローダを土場でも用いる：皆伐跡地からの残材収集作業がないため)、移動式チップパー1名の合計3名、重機3台で実施した。

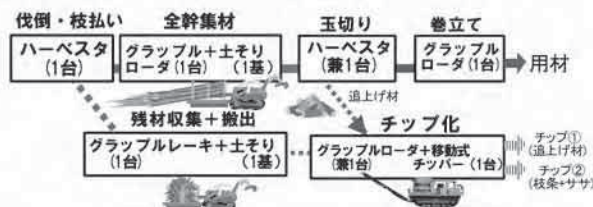


図-1 全幹集材区の機械作業システム

両試験区ともビデオ撮影による時間観測調査を実施し、

Sayaka SAKAI, Ichiro WATANABE (Hokkaido For. Res. Inst. Higashiyama, Koshunai, Bibai 079-0198)

An examination of system for utilizing forest biomass as an energy source : The Case Study of a grapple-loader with a steel sleigh applied to the harvesting residual forest biomass at the clear-cutting of the larch plantation forest



時間分析から生産性を導いた。特に集材工程に関しては対照区を設け、北海道内で従来より実施されてきたトラクタ集材(いわゆるブル集材)も実施した。集材路の平均傾斜はおおむね10度未満であった。残材については、ビデオ撮影による時間観測調査の他、既報と同様にロードセル(吊りはかり)による残材重量の計測を行った。

図-1に全幹集材区の作業の流れを示す。まず、ハーベスタで伐倒・枝払いを行う。次にグラップルローダで全幹材を土そりに積み込み、集材する。土場に戻ったハーベスタが玉切りを実施し、土場でもう一台のグラップルローダが巻立てを行う。以上が用材生産の流れである。この時、土場に集積した幹部未利用材(以下「追上げ材」)をチップ化した(チップ1)。移動式チップパーは第二報(5)と同様のコマツ社製リフォレ BR200T(以下BR200T)を使用した。BR200Tの最大処理径は50cmと大きく、移動式チップパーとしては大型のクラスである。

次に残材の流れとしては、全幹集材後、土そりを外したグラップルローダのヘッドをグラップルレーキに付け替え、皆伐跡地の枝条収集を行う。この時、枝条とともにササ幹・葉も収集する。それを土そりに積んで土場に搬出しチップ化する(チップ2)。

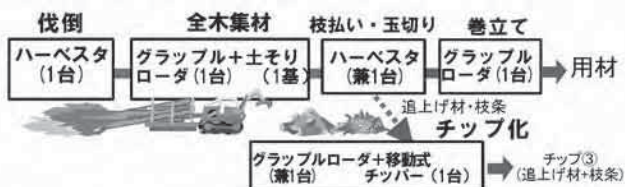


図-2 全木集材区の機械作業システム

図-2に全幹集材区の作業の流れを示す。まず全木集材区においては、ハーベスタで伐倒し、枝つきのまま土そりに積み込み、集材する(図-2)。土場での枝払い・玉切り作業の時発生した、追上げ材と枝条と一緒にチップ化する(チップ3)。なお、こちらの試験区は皆伐跡地からの枝条収集は行わない。三種類のチップについては、まとめて表-4に後述する。

なお、残材については湿潤含水率40%時の重さで表し、費用・収入は円/tで表す。一方、用材(パルプ材を含む、以下同様)は円/m<sup>3</sup>で表す。

今回、参考までに、チップの土砂含有率を以下の方法で求める。まず、みかん箱大の段ボール1杯をサンプルサイズとして採取する。その後、チップを水没・攪拌して24時間静置する→沈殿した土砂の除去後、チップを乾燥させる→再び水没・攪拌するという作業を3回繰り返し、分離できた土砂の量を測定する。最後に残材全重量(土砂を含む)に占める土砂の割合を導く。

**結果と考察**

**(1) 土そりを用いた用材生産**

用材生産(図-1・2の実線ライン)の結果について述べる。図-3に土そりとトラクタの用材積載量(搬出一回当たり平均値)について示す。

すると、同じ全木材で比べるとトラクタより土そりの搬出量が約7割多く、土そり同士で比べると全木集材よ

り全幹集材が4割多いという結果になった。つまり、土そりによる用材の搬出はトラクタよりも少ない往復回数で搬出できることがわかった。

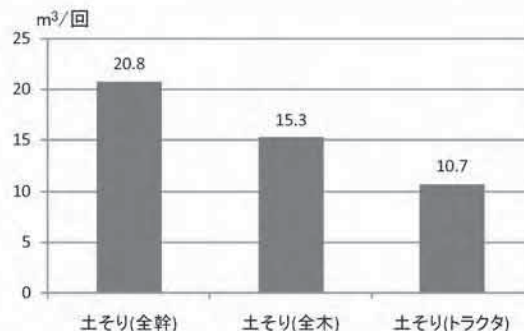


図-3 1回あたり用材搬出量の比較

次に、図-4に搬出作業の労働生産性を示すと、全木トラクタ集材(荷掛員とオペレーターの2名で実施)に対し、全幹土そり集材は3.8倍、全木土そり集材の労働生産性は2.8倍の生産性となった。

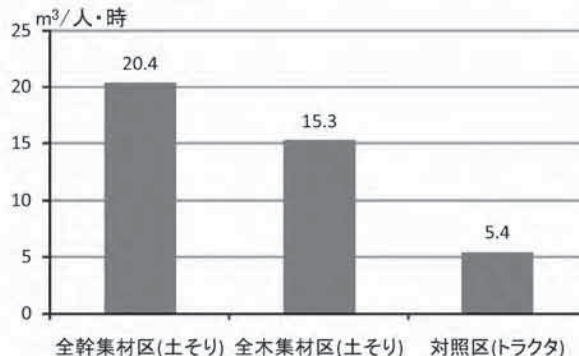


図-4 搬出作業の労働生産性の比較

労働生産性と、集材を含め伐倒から巻立てまでの費用(伐出費)を表-3に示す。用材1m<sup>3</sup>あたりの生産費は、対照区(トラクタ集材を実施した試験区)に比べ、全幹集材区と全木集材区の方が安くなった。

表-3 各システムの労働生産性・伐出費の比較

伐出費	全幹集材区	2,600 円/m <sup>3</sup>
	全木集材区	3,300 円/m <sup>3</sup>
	対照区	3,800 円/m <sup>3</sup>

備考  
 ・労働生産性は一日6時間労働として計算  
 ・オペレータ賃金・作業員賃金とも15,000円  
 ・重機回送費は30,000円/台(往復)  
 ・選木費と現場監督費は試算に含まず、新たな土場・作業道の作設費等まとめて付帯人件費率20%として計上  
 ・付帯人件費率の他に諸経費率20%を計上

**(2) 残材収集・チップ化の生産性**

次に残材収集・チップ化(図-1と2の点線ライン)について述べる。

全幹集材区の皆伐跡地には、ハーベスタで払った枝条が散乱している状態にある。ここに土そりを外した



グラップルレーキが入り、枝条をササごと収集した(写真-2左)。グラップルローダのベースマシンは三菱キャタビラー製 314D、ヘッドはイワフジ CS-90L、レーキはイワフジ GSR-16 型を使用した。集めた枝条とササは、土そりに積み土場まで搬出した(写真-2右)。

土そりを使用した残材搬出試験はほとんど前例が無く、そもそも底面のない土そりで搬出が可能か危ぶまれたが、枝条が絡み合うことで、搬出の途中に残材が脱落することはなかった。1回当たりの搬出量は、見かけの層積(土そりに積まれた状態での長さ×幅×高さ)で約 18m<sup>3</sup>、重量で約 4.5t であった。残材収集・搬出を通して生産性は 12.8t/人・時となった。



写真-2 残材の収集・搬出(左:グラップルレーキによる残材収集, 右:土そりによる搬出)

この枝条・ササの他に、土場での作業により生じた残材を原料に、三種類のチップを生産した。チップ 1~3 の性質と土砂含水率について表-4 に示す。

表-4 チップの性質と土砂含有率

	原料と由来	性質・成分など	土砂含有率
チップ1	追上げ材のみ 全幹集材区 土場より	・質は最も良い ・樹皮が少ないため ・灰分が少ない	1~3%
チップ2	枝条とササの 混合 全幹集材区 皆伐跡地より	・質は最も悪い ・ササが50%以上 ・土砂が最も多い	8~16%
チップ3	追上げ材と 枝条の混合 全木集材区 土場より	・質は上記2つ の中間	5~10%

前述した攪拌・沈殿を3回繰り返す方法では全ての土砂は除去しきれなかったため、土砂含有率はあくまでも参考値として掲載した。チップの質は、チップ 1 > 3 > 2 の順で良質となった。

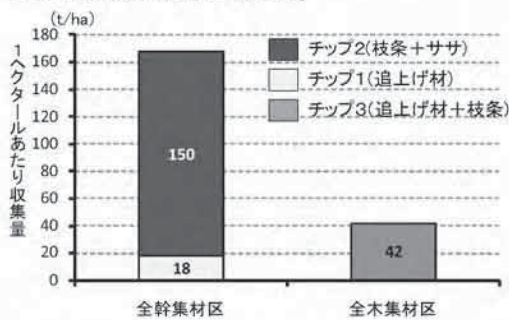


図-4 各試験区の残材収集量

両試験区の 1ha あたり残材収集量を図-4 に示す。作業システムが異なるので厳密な比較は困難だが、第一報

(4)のカラマツ間伐(収集量約 20t)、第二報(5)のアカエゾマツ切り捨て間伐約 27t と比較し、カラマツ主伐の今回は、両区とも収集量が多いことがわかる。

次に残材の収集・チップ化費について、第一・二報(4)(5)と合わせて比較した(図-5)。

収集量と同様、単純比較は難しいが、スケールメリットや作業効率の向上から、間伐よりも大幅に低コストで実施できたことがわかった。全幹集材区では、皆伐跡地から残材を集めて運ぶ費用=収集費の分割増しになっているが、それを含めても利用間伐の 6 割以下の費用であった。

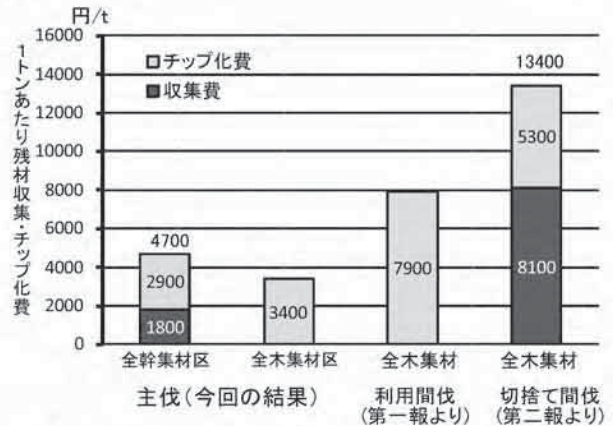


図-5残材 1t あたり収集・チップ化費の比較

※注 1: 試算条件は表-3 に同じ。チップ化費は移動式チップパーのほか残材投入用のグラップルローダの費用も含む

※注 2: 移動式チップパーは建設機械とし、平成 20 年度建設機械等損料表(北海道補正版)を参考に積算した: 参考価格 4,370 万円、運転 1 時間当たり損料 13,900 円、供用 1 日当たり損料 74,100 円

(3) 植栽前の地拵え費を含めた総費用の比較

以上の試験が終わった段階で皆伐跡地を見てみると、全幹集材区は残材がきれいに無くなっており、そのまま手刈り補正で植栽可能な状況であるのに対し、全木集材区はササの中に枯れ枝が散乱している状況であった。これは、全木集材(=枝つきのまま集材)したといっても、伐倒時の衝撃でカラマツの枯れ枝の多くが林内に脱落したことによる。したがって、全木集材区は翌春の植栽前に機械による地拵え作業が必要となる。

そこで翌春(2009 年 5 月)、植栽前に機械地拵え作業の一部(刈り払い機で全刈りする前の、レーキによる残材の除去作業)の工期調査を行った。レーキの作業内容は①「残材を集める」、②「集めた残材を一箇所に積み上げる(あるいは脇に寄せる)」という二つに分かれた。昨秋に全幹集材区で実施した残材収集・搬出の作業内容は、まず①を行い、その後②を経て③「土そりで土場まで運ぶ」というものであった。結果として①と②の作業において両試験区はほぼ同じ、約 0.5ha/日という工期であった(1日6時間稼働とする)。作業後は両区とも補正刈りのみで植栽可能な状況となった。

この工期より、1ha 当たり機械地拵え費(補正刈りを含まず)は 121,000 円となった。通常、地拵え費は 1ha 当た



りの費用で表すが、このままでは両試験区の収集・チップ化・地拵えを通した総費用の比較ができない。そこで、今回の地拵えで集めた残材量、約 110t/ha で割った費用、1,100 円/t を図-5 のグラフに積み上げた(点線部分)のが図-6 である。この図から、機械地拵え費を含めると両試験区の総費用はほぼ変わらないことがわかった。

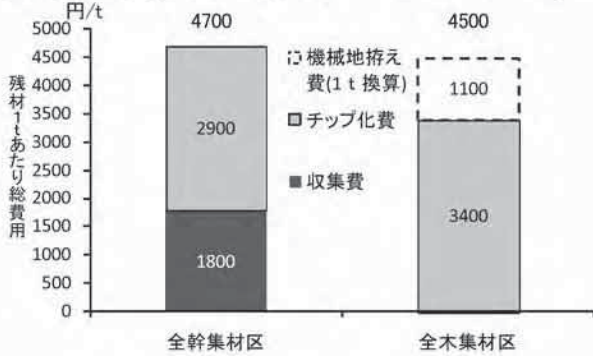


図-6 残材1tあたり収集・チップ化・地拵え費用の比較

残材をチップ化し利用する現場は道内の現状ではまだわずかだが、残材利用の有無にかかわらず、植栽時に地拵え作業の一環として残材は集められる。このことを考慮すると、もしもササの混入した枝条チップ(前述のチップ②)に需要があれば、残材を販売の方が経営的に有利ということになる。ただし、これも厳密には残材の販売額と収集・チップ化費との収支計算で判断することになる。

(4) チップを販売した時の収益について

チップ価格は用材価格と同様、季節変動・地域差が大きい上に業者間の差も大きく、公表されないことが多い(7)。そこで、聞き取り調査の結果や(7)を参考に、三種類のチップの販売価格を以下のように設定した。工場着 1 t あたり価格で、チップ①が 8,000 円、チップ②が 4,000 円、チップ③が 6,000 円である。さらに用材価格については、平成 20 年度北海道木材市況調査より、カラマツ中丸太価格 9,500 円/m<sup>3</sup>より運材費 1,200 円/m<sup>3</sup>を引いた 8,300 円/m<sup>3</sup>と設定する。

図-7 に、以上の価格条件での 1ha あたり用材生産・残材収集・チップ化費を示す。

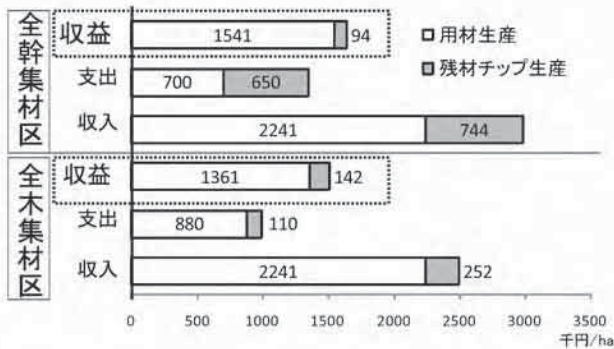


図-7 1ha あたり用材生産・残材チップ生産の収支  
棒グラフは2つの試験区の 1ha あたり費用と収入をそ

れぞれ表しており、収入-費用=収益である(図-7 の点線で囲った部分)。用材生産と残材収集・チップ化はともに黒字であり、残材については全幹集材区で約 9 万円/ha、全木集材区で約 14 万円/ha の収益がみこまれた。

なお、今回、伐区において生産されたチップは、上記と価格は異なるが、すべて実際に売却されたことを付記する。

まとめ

本論では、林地残材のエネルギー利用を前提に、主伐後の土場残材とともに皆伐跡地の残材も利用の視野に入れ、効率的な収集・チップ化システムについて検討した。

土そりを利用した残材の搬出システムでは、緩傾斜で近距離であれば、1tあたり約 1,800 円で搬出できた。その搬出費を含めても 1tあたり 5,000 円未満で現地チップ化でき、利用間伐や切り捨て間伐と比較して非常に低コストでの実施が可能であった。なお、土場残材のみをチップ化する場合は同 3,400 円と、利用間伐の場合の半分以下の費用に抑えることができた。全幹集材後の林地残材収集が収支の上で有効である場合は、その結果として植栽時の地拵え作業の省力化に大きく寄与できると考えられた。距離や傾斜条件を変えた検証が次の課題となる。

効率的な作業システムに関して言えば、需要先の求めるチップの品質や単価に合わせて作業システムを考えるべきであり、「どんな場合でもこのシステムが一番」という作業システムは存在しないことを最後に付け加えたい。

本研究は、北海道水産林務部からの受託研究「林地残材の効率的な集荷システムづくりモデル事業」のとして実施した。調査にご協力いただいた千歳林業の皆様をはじめ、後志支庁や後志森づくりセンターの皆様にご心よりお礼を申し上げます。

引用文献

- (1) 北海道(2008)木材市況調査
- (2) 北海道水産林務部(2009)林地残材の効率的な集荷システムづくりモデル事業報告書
- (3) 北海道水産林務部(2009)高性能林業機械保有状況、1-3
- (4) 酒井明香・渡辺一郎・木幡靖夫(2007)林地残材のエネルギー利用に向けた収集・チップ化システムの検討ーむかわ町穂別での事例ー, 日林北支論, 56:125-127
- (5) 酒井明香・渡辺一郎(2008), 林地残材のエネルギー利用に向けた収集・チップ化システムの検討ーアカエゾマツ初回間伐の事例ー, 日林北支論, 56:203-205
- (6) 渡辺一郎(2009), 土そりとグラブローダによる集材, 光珠内季報, 155:12-16
- (7) 全国木材資源リサイクル協会(2008)木質バイオマス需給調査「木質チップ取り扱い流通調査結果」