

# 林地残材の集荷・チップ化システムの現状と課題

酒井 明香

## はじめに

日本のエネルギー政策上のバイオマスは、2002年6月に「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」、および同年12月の「バイオマス・ニッポン総合戦略」にて、化石燃料の代替エネルギー源として明確に位置づけられました。中でも、賦存量が多いことから期待を集めているのが木質バイオマスです。

木質バイオマスは、林地残材（林業バイオマス）と、製材工場端材（林産バイオマス）、そして建設廃材や剪定枝条（都市バイオマス）の3つに分類されます。林野庁統計資料（2007）によれば、林産バイオマスが94%、都市バイオマスが69%と利用率が高いのに対し、林業バイオマスの利用率はわずか1%に留まっています。それを受けて、2006年の「バイオマス・ニッポン総合戦略」の見直しにおいて「林地残材の利用率を2010年までに10%に向上させる」という具体的目標が盛り込まれました。

そこで、ここでは林地残材の集荷・チップ化システムの具体例を通して、林地残材利用の現状について紹介します。なお、上で紹介したとおり林地残材と同じ意味の言葉として“林業バイオマス”や“森林バイオマス”が使用される場合もありますが、以下ではバイオマス・ニッポン総合戦略で用いている“林地残材”という呼び方で統一します。

## 林地残材が使いにくい原因

林地残材が使いにくい原因として、①都市から遠隔地に散在し集荷・運搬コストが高価であるという経済的要因とともに、②水分が多くかさ張ること、③形状や成分が不均一なことが挙げられます。②の水分に関しては、伐採直後の林地残材の含水率は高く、おおむね40%から60%です（湿物基準含水率、以下同様）。また空隙率は、はい積みした丸太が約20%なのに対し、林地残材は50%から70%と高くなっています。③の不均一性はハンドリング性の悪さにつながり、運搬・作業効率を下げます。付け加えて、林地残材は土砂に代表される異物が混入しやすいという性質があり、その異物が燃焼ボイラーやペレット製造機などの機械に負担をかけ加工性を悪化させることもしばしばです。

現状では、これらの要因が相互に絡み合って結果的にコストを押し上げて、林地残材の利用が進まないのだと思われます。そこを何らかの形で克服していく必要があります。

## 林地残材の効率的な集荷・チップ化システムの検討

私たちはこうした状況をふまえ、効率的なシステムを検討するために、表1に挙げた点を考慮しながら、胆振支庁管内むかわ町において林地残材の集荷・チップ化試験を実施しました。試験区はカラマツ24年生の間伐（間伐区）と、カラマツ50年生の主伐（主伐区）の2箇所です（表-2）。

具体的な作業システムを図-1に示しました。作業システムは、用材・パルプ材生産システム（以下、単に用材とします）と林地残材チップ生産システムの2つから構成されます。このうち、用材生産システムは間伐区が班員数5名、主伐区が7名の体制で実施し、林地残材チップ生産システムはチップパーを自動運転させ、どちらの試験区も班員数1名の体制で実施します。

また、作業は用材の生産に並行して林地残材の集荷を行い、用材を運搬した後も、残材はそのまま土場にて自然乾燥させるのが特徴です。さらに、この作業が終了して2ヶ月後に自走式木質破砕機以下チップパーとします）を搬入してチップ化します（写真-1）。今回は古河ドリル製パワーチップパーPC1600（以下フルカワPC1600）を使用しました。

表－1 作業システム検討の視点

考慮すべき点	改善に向けた視点
●用材生産との連携	土場作業時の重機の空き時間を残材の分別・整理へ充てる(→グラップルローダ等を活用)
●残材集荷量の最大化	全木集材により、枝条を含めた残材集荷量を増やす
●残材体積の圧縮	土場で枝条をチップ化し減容化する(→チップパーの活用)
●チップパー利用を前提とした土場の配置	チップパーでの処理を前提として土場を配置、作設する (→チップパーの搬入が可能な場所に土場を配置 →チップパーが作業できるスペースを土場に確保)
●土砂混入の回避	伐根は集荷対象としない トラクタの排土板で残材を押さない (→グラップルローダ等の活用)

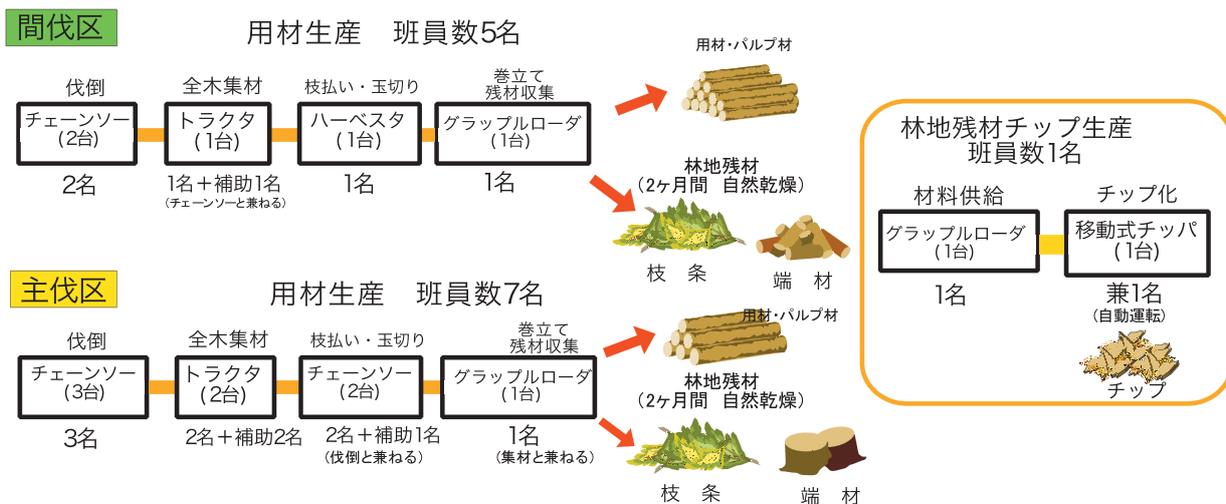
表－2 試験地の概要

試験区	間伐区	主伐区
所在地	胆振支庁むかわ町穂別	胆振支庁むかわ町穂別
樹種・林齢	カラマツ 24 年生	カラマツ 50 年生
立木材積	330 m <sup>3</sup> /ha	448 m <sup>3</sup> /ha
平均胸高直径	18.1cm	34.0cm
平均樹高	17.1m	29.7m
立木密度	1,475 本/ha	350 本/ha
伐区面積	25.5ha	6.3ha
試験区面積	0.04ha(20m × 20m)	0.1ha(20m × 50m)
伐採の種類	定性間伐(初回間伐)	皆伐
伐採率(材積)	26%	100%
作業システムの特徴	伐倒→チェーンソー 枝払い・玉切り→ハーベスタ	伐倒・枝払い・玉切りすべて チェーンソー*
集材方法	全木集材	全木集材
集材距離	約 200m	約 30m(土場に隣接)

\*材が太すぎるためハーベスタが使用できない

なお、ここでいう残材の「集荷」とは、全木で集材された後、土場で払われた枝条を一箇所に収集することと、玉切りの際に除去された端材部分や中抜き材（以下まとめて端材とします）を枝条と別に積み上げることの両方を指します。また、ここで生産する林地残材チップは破碎チップであり（写真 2）、切削チップ（写真－2 左上）より低質の、主に燃料に使用されるチップであることに留意してください。

なお、用材と林地残材を同時に扱う場合、どの工程から林地残材関連のコストとして計上するかは議論となるところですが、ここではチップ化工程から先を林地残材チップ生産コストとして計上します。



図ー1 用材生産および林地残材集荷・チップ化システムの概要



写真ー1 林地残材チップ生産  
(左：グラップルローダ 右：チップパー)



写真ー2 完成したチップおよび切削チップ(左上)

### 林地残材集荷量とチップ化による減容率

伐採材積と林地残材集荷量（重量ベース）について、間伐区では、伐採材積約90m<sup>3</sup>/haに対し、林地残材は乾燥重量で約9t/ha、主伐区では、伐採材積約450 m<sup>3</sup>/haに対し、林地残材は約52t/haとなりました（表ー3）。当然ですが、伐採材積が多いほど林地残材も多くなります。

表ー3 林地残材の集荷量とかさ密度

比較項目	間伐区(間伐)	主伐区(主伐)
伐採材積(m <sup>3</sup> /ha)	90	450
林地残材 絶乾重量(t/ha)	9	52
・林地残材に占める枝条の重量割合(%)	70	90
絶乾かさ密度(t/ m <sup>3</sup> )* <sup>1</sup>	0.13	0.09
・枝条かさ密度	0.09	0.07
・端材かさ密度	0.23	0.25
絶乾枝条チップかさ密度(t/ m <sup>3</sup> )* <sup>2</sup>	0.22	0.25
・生枝条チップかさ密度(t/ m <sup>3</sup> )* <sup>3</sup>	0.31	0.36

\*1) チップ化しないそのままの状態の枝条・端材を絶乾状態にしたときのかさ密度平均値

\*2) ふるいにより土砂を除いた枝条チップを絶乾状態にしたときのかさ密度平均値

\*3) 「生」とは、ここでは含水率30%時の枝条チップかさ密度とする。土場で自然乾燥後、実際に扱う際のかさ密度に近い。

また、林地残材に占める枝条の重量割合は間伐区7割、主伐区9割とどちらも高くなっています。枝条の“かさ密度”は端材と比較して低く、間伐区で0.09 t/m<sup>3</sup>、主伐区で0.07t/m<sup>3</sup>となりました。林地残材の空隙率が高いことは先に触れましたが、これには枝条の割合が高いことが影響しています。なお、用材の重さを材積1m<sup>3</sup>あたりの重さ、つまり容積密度(材比重)として表すのに対し、林地残材やチップは層積あたりの重さとして表します。これが“かさ密度”です。

**層積**：空間を含めた体積のこと。薪炭材やパルプ材など価格の安い材や林地残材で、1本ごとに材積を計算することが非効率な場合や、形状が不均一で材積が計算できない場合に用いる。図-2のように空隙も含めた見かけの体積であり、実材積より過大になる。

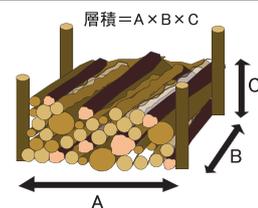


図-2 パルプ材の層積

**かさ密度**：林地残材やチップなどを、高さ1m×幅1m×奥行き1m、つまり容積1m<sup>3</sup>の容れ物に詰めた時の重さのこと。実際には木製の枡やトラック荷台に詰め(写真-3)、その重量を容積で除して計算する。生かさ密度と乾燥かさ密度がある。単位はkg/m<sup>3</sup>あるいはt/m<sup>3</sup>で容積密度の単位と同じだが、かさ密度は空隙を含む概念で、容積密度は含まない概念であることに注意。



写真-3 かさ密度の計測(林地残材チップ)

林地残材をチップ化し減容化するのは、すなわち“かさ密度”を高くするためです。用材生産の後、2ヶ月間の自然乾燥で、林地残材の含水率は枝条・端材ともに約30%に減少しました(図-3)。さらに枝条をチップ化して減容化をはかりました。なお、カラマツの葉は自然乾燥中にすべて落下しましたが、今回は落下した葉も一緒にチップ化しました。

チップ化することで、枝条のかさ密度は間伐区で約2.4倍、主伐区で約3.6倍に向上し、端材とほぼ同じかさ密度になりました(表-2)。チップ化が枝条のかさ密度を向上させるのに有効であるという結果になりました。次に減容率を調べました。減容率は、手を加える前(ここではチップにする前)の材料A m<sup>3</sup>が、手を加えた後(チップ化した後)にB m<sup>3</sup>になった時、その減少率(A-B)/Aを表す指標です。チップ化による減容率は、間伐区で約6割、主伐区で約7割となりました。

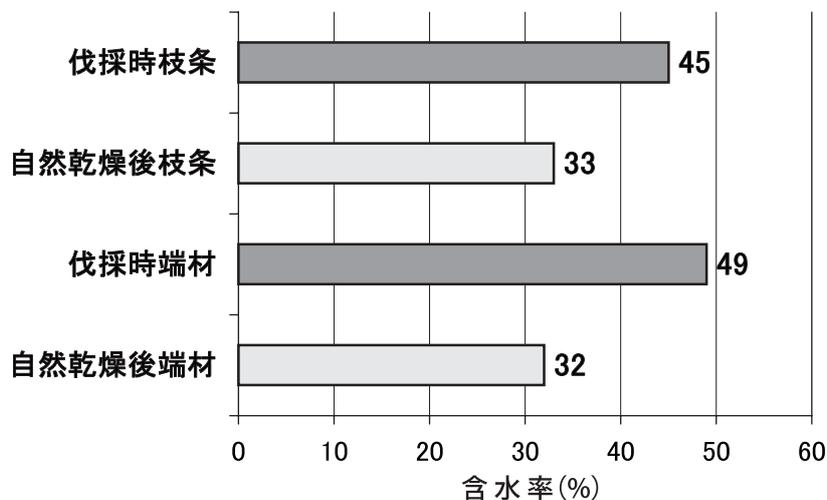


図-3 伐採時と自然乾燥後の含水率の変化(間伐区の場合)

### 林地残材チップ化の生産性とコストは？



写真－4 (上) 横入れ式チップパー  
(下) ドラム式チップパー

枝条をチップにする効率（＝生産性）は、“枝条を順次チップ化した時、1時間で層積何 m<sup>3</sup> のチップを生産できるか”（完成品基準）という考え方で導出しました。今回使用したフルカワ PC1600 のような横入れ式チップパー（写真－4上）の場合、ドラム式チップパー（写真－4下）と比較すると、生産性はチップ材料の形状で大きく変わります。横入れ式チップパーでは、径が太く長い通直な材料ほど効率よくチップ化できます。デジタルビデオを使用した時間観測の結果、チップ化生産性は間伐区で6.7m<sup>3</sup>/時、主伐区で9.0m<sup>3</sup>/時となりました。主伐区は、枝条の径が10cmを超えるものが多かったため、枝条平均径3.6cmの間伐区よりチップ化生産性が高くなったと思われます。

次にチップ化コストです。チップ化コストは、機械に関わる費用（機械経費）と労務費にわかれます。まず林業機械のコスト試算方法に従って機械経費を計算すると、13,180円/時となりました（表－4）。機械経費は、機械1時間当たり費用（円/時）という単位で算出します。これに労務費15,000円/日、1日6時間労働として2,500円/時を加えた15,680円/時が1時間当たりチップ化コスト（円/時）です。さらにそれをチップ化の生産性（m<sup>3</sup>/時）で割ったものが層積1m<sup>3</sup>のチップを生産するのに必要なチップ化

コストとなります（重機運搬費を除く）。すなわち、チップパーが同じ機種であるなら、チップ化の生産性が高い材料ほどチップ化コストは安くなることになります。

表－4 林地残材チップ化に関わる機械経費内訳（単位：円/時）

①チップパー	<b>8,950</b>
(内訳)機械損料	(4,567)
燃料油脂費	(3,060)
機材消耗品費	(1,323)
②グラップルローダ	<b>4,230</b>
(内訳)機械損料	(1,900)
燃料油脂費	(1,835)
機材消耗品費	(495)
合計	<b>13,180</b>
備考	
●	機械損料＝減価償却費＋維持修理費＋管理費
●	ここでは重機運搬費を含めない
●	チップパーの価格は1,180万円、グラップルの価格は950万円とした
●	チップパーの年間運転時間は629時間(業者より聞き取り)、グラップルは1200時間とした
●	耐用年数は両機とも6年とした
●	燃料油脂費・機材消耗品費は2006年当時と比較してそれぞれ上昇したため、前者は軽油価格3.3%、後者は消費者物価指数工業製品3.7%の上昇分を見込んで再計算した価格を計上した
●	計算方法は全国林業普及協会編(2001)「機械化のマネジメント」による林業機械独自のものです。建設機械の損料計算方法とは異なる

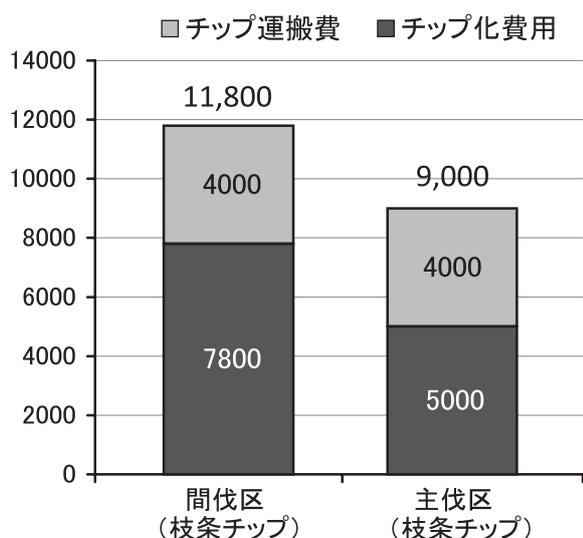


図-4 1tあたりチップ化費用+運搬費 (湿潤含水率30%時) 訳 (単位:円/時)

結果として、林地残材チップ化コストは間伐区で約2,400円/m<sup>3</sup> (含水率30%として生チップ1tあたり約7,800円)、主伐区で約1,800円/m<sup>3</sup> (同1tあたり約5,000円) となりました。ともに山土場でチップ化が終わるまでの生産費であり、チップ運搬費は別にかかります。運搬費の例として、11tチップ専用運搬車 (一台当たりチップ積載量約20m<sup>3</sup>) で、山土場より50km離れた利用施設まで運ぶことを仮定します。運搬車が一日に2往復できるとすると、湿潤含水率30%の生チップ1tあたり運搬費はおおむね4,000円前後となります (平成20年度版建設機械等損料表による積算価格)。つまり、利用施設にチップを運ぶまでにかかる総費用は、間伐区で約11,800円/t、主伐区で9,000円/tということになりました (図4)。

近年、林地残材は先細りの建設廃材の代替材としての需要が大きくなっています。建設廃材の取引は多くが相対取引のため価格が公にされることが少なく、業者による差が大きいと言われていますが、ひとつの目安としてNPO全国木材資源リサイクル協会の本質バイオマス需給調査 (2007) の価格を調べました。すると、建設廃材由来の破碎チップ価格が工場着1tあたり1,000~4,000円であり、それに比較してまだまだ林地残材は高価であると言わざるを得ません。

### 土砂の混入について

土砂については、なるべく混入しないよう注意を払って作業したものの、“地面の上を引きずる”という集材の性質上、ある程度の混入は避けられませんでした。土砂混入の程度を調べるため、みかん箱大の段ボールにチップのサンプルを採取しました。チップに混入した土砂のうち、まず直径2mm以上の礫はふるいを用いて目視により取り出しました。その後、乾燥させたチップを0.5mmのふるいにかけて残りの土砂を分離しました。礫と砂 (ここでは0.5mm~2mmの粗砂) を合わせると、重量比で最高15% (間伐区枝条チップ)、最低2% (間伐区端材チップ) の土砂が混入していました。なお、この方法ではチップにこびりついた全ての土砂は除去できないため、この混入率はあくまでも参考値です。水洗などの工程を通してさらに厳密に土砂を分離すれば、混入率はさらに上がると思われます。そして土砂混入率が高いほど、チップの用途は極めて限られることになります。

今回、試験をした林地残材チップは、土砂の付着を防ぐために、地面に貯めずにチップパーから直接に測定用の枡に受けました。しかし試験でなければ、現場では地面に直接チップを貯め、トラクタで寄せて、バケットですくいトラックに積むという、より土砂の混入しやすい作業工程になります。

先にも触れたとおり、土砂の混入は林地残材の利用拡大を阻む大きな制約のひとつですが、低コストで土砂の混入を防ぐようなシステムは今のところ開発されておらず、完全に防ぐのは今後も困難であると思われます。なるべく土砂が混入しないような作業工程を考えると同時に、集荷の後に利用施設等において低コストで土砂を除去する方法も検討する必要があると思われます。

### おわりに

ここでは、林地残材の利用拡大に向けて、用材生産とともに林地残材の集荷・チップ化を行った事例

の検討をしてきました。結果として、用材生産と連携させ減容化を経てもなお、林地残材の経済性については厚い壁があり、土砂の混入も完全に避けることは難しいというのが現状です。

なお、今回用いたチップパーは1機種でしたが、より生産性の高いチップパーを、より規模の大きい（残材量の多い）造材現場で使用すれば、さらにチップ化コストを下げることができます。当科では、これまでに4機種のチップパー機による林地残材集荷・チップ化試験を道内各地で行ってきましたが、もっとも低廉にチップを生産できた例では山土場までのチップ化コストが約3,400円/tでした（湿潤含水率40%時）。試験の結果、最大処理径の大きい、大型の機種ほどチップ化コストが低い傾向にありました。もう一つの大きな課題である運搬費の低減については、今後試験を実施していく予定です。

ここ数年で木質バイオマスの需給状況は大きく変化し、道内でも、供給量が激減している建築廃材の代替として、積極的に林地残材を求める事業者が増えてきました。とはいえ、林地残材と建築廃材は、ハンドリング性がまったく異なるものです。まずそのことを、山側と需要側が共通の認識として持つことが必要です。せっかく林地残材を運んでみたものの、燃焼機器に合わず使用できなかったという例もあります。

幸いなことに、林地残材の集荷や搬出に関して、さまざまな補助制度が充実してきました。今後はそれらの制度を利用しつつ、集荷およびチップ化・運搬工程の地道なコスト削減を念頭に、山側から具体的な林地残材の供給システムを提案していく必要があります。実際の林地残材やチップを目の前に「ここはできるが、ここはできない」「ここは許容できるが、ここは譲れない」という山側と需要側とのやりとりが活発化すれば、林地残材の利用率も徐々に向上するのではないかと考えられます。

(経営科)