

# 森林バイオマスのエネルギー収支を考える

酒井明香

## はじめに

森林バイオマス（林地未利用材、林地残材とも呼ばれます）とは、森林が伐採され造材された後に、未利用のまま山に残された資源のことです。山奥にあること、集めるのに費用がかかることなどから、当初なかなか活用が進みませんでした。その後、建設廃材の流通量が減ったこと、灯油価格が高騰したことなどから、代替エネルギーとして社会的に注目され始めました。現在、森林バイオマスの利用は道内だけで約4万5千トン（1m<sup>3</sup>を0.5トンとして換算：平成24年度北海道庁業務資料）であり、その大半を燃料としてのエネルギー需要が占めています。

ところで森林バイオマスは、燃やしても、空気中の炭素量を増やすことも減らすこともないカーボンニュートラルな資源と言われています。森林バイオマスがもともと空気中の二酸化炭素を吸って固定されたものである、という事実に基づいています。ただし、すでに多くの人に指摘されているように、カーボンニュートラルが成り立つためには「加工や運搬にともなう二酸化炭素を無視できる量と考えること」という前提条件があります。

これについて考えると、本当に無視できるのか、直ちには判断できません。森林バイオマスを利用するときには、集める・運ぶ・加工する、という作業を必ず伴います。それぞれの作業は林業機械や車で行われ、軽油やガソリンなどの化石燃料を使用して二酸化炭素を排出します。

さらに言えば、二酸化炭素の問題以前に、エネルギー源として利用するのにわざわざ山奥から森林バイオマスを集めてくる意味があるのだろうか、という疑問にも答える必要があります。本当に、利用できるエネルギーのほうが、森林バイオマスの調達や加工に必要なエネルギーより大きいのでしょうか。この基本的な疑問について、北海道の森林バイオマス収集現場における実際の計測例をもとに説明します。

## エネルギー収支比について

森林バイオマスをエネルギーとして利用する場合、「社会に生み出されるエネルギー」を指して“出力エネルギー”と呼びます。たとえば森林バイオマスのチップやペレットを燃やしたときに得られる熱量がこれに当たります。一方で、「そのエネルギーを得るために投入されるエネルギー」は“投入エネルギー”と呼ばれます。投入エネルギーには2種類あります。ひとつが“稼働エネルギー”です。これには、山に散らばっている森林バイオマスを集めるためのエネルギー、運搬車で運ぶエネルギー、加工するエネルギー、作業員さんの移動（通勤）にかかるエネルギーなど、車両や設備を動かすために必要なものが該当します。もうひとつが“製造エネルギー”で、その車両や設備（＝装置という）そのものを作るのに要したエネルギーです。つまり、投入エネルギー＝（装置を動かす）稼働エネルギー＋（装置を作るのに要した）製造エネルギーと表すことができます。

投入エネルギーに対する出力エネルギーの比がエネルギー収支比です。

$$\text{エネルギー収支比} = \text{出力エネルギー} \div \text{投入エネルギー}$$

この比が1を下回らないような取り組みが、社会に新たなエネルギーを生むことになります。逆に投入エネルギーが、出力エネルギーを上回ると、そのエネルギーを得ようとする行為はエネルギーの無駄であることになります。エネルギー収支比は、エネルギーの効率性を考える上で、シンプルでわかりやすい指標です。

これより、エネルギー収支比の観点から森林バイオマスのエネルギー利用を行った二つの事例について比較するとともに、経済性についても見ていくことにします。

試験の概要

皆伐と未利用間伐を実施した森林で、それぞれ林地に残された森林バイオマスを集め、チップに加工し、運搬し、バイオマスボイラーの燃料として使うことを想定した試験を実施しました。皆伐の森林(以下「皆伐試験地」と未利用間伐の森林(以下「未利用間伐試験地」)の概要を示します。

表-1 皆伐試験地の概要

試験地	むかわ町穂別字似湾 一般民有林
樹種・林齢等	カラマツ51-53年生
立木材積	254.4m <sup>3</sup> /ha
直径・樹高	平均胸高直径36cm, 平均樹高28m
集荷面積	約7ha
伐採方法	主伐(皆伐)
傾斜	0度~15度
残材発生量	43.2t/ha (土場計測:湿潤含水率40%)

表-2 未利用間伐試験地の概要

試験地	由仁町字川端 道有林
樹種・林齢等	アカエゾマツ30年生
立木材積	221.6m <sup>3</sup> /ha
直径・樹高	平均胸高直径16cm, 平均樹高12m
集荷面積	約1ha
伐採方法	伐り捨て間伐(列状:1伐3残)
傾斜	0度~20度
残材発生量	97.0t/ha(土場計測:湿潤含水率30%)

皆伐試験地は、木材生産が終了し、製材やパルプとして出荷されたのちに試験を開始しました。土場(山の中の平らなスペースで、木を切りそろえるための作業場)に、端材や梢端部などの未利用部=森林バイオマスがたまっている状態です(写真-1)。土場は複数に分かれており、ここでは最も大きな中央土場に自走式チップパー(日立建機製ZR120HC)等の重機を土場に搬入し、森林バイオマスを現地でチップ化する「現地チップ化システム」を実施しました(図-1)。小さな土場から中央土場へは、グラブローダと運搬車でバイオマスを移動しました。中央土場には、チップになるべく土砂が入らないようにするため、鉄板でチップヤードを作りました。

チップはチップバケットでチップ専用運搬車に積み込まれ、バイオマスボイラーのある利用施設まで運ばれました。その距離は片道50kmでした。



写真-1 皆伐試験地の森林バイオマス

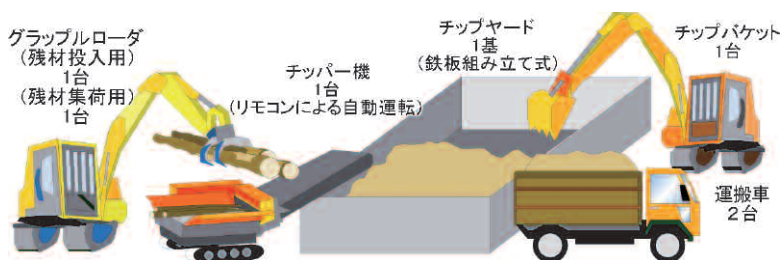


図-1 皆伐試験地の機械作業システム

未利用間伐試験地は、列状伐採が終了した段階で、山の中に伐採した木が折り重なっている状態から開始しました。2台の重機が山に入り、伐採列に残された森林バイオマスを持ち出し、(写真-2)土場まで森林バイオマスを運ぶ作業を行いました。急傾斜地のため、伐区面積7.5haのうち、残材が集荷できた面積は約1haにとどまりました。これより後の作業は皆伐試験地と同様です。チップヤードが作られ、土場で重機が稼働しました(図-2)。

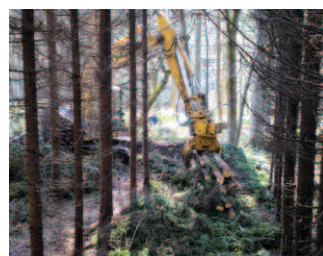


写真-2 未利用間伐試験地のバイオマス(グラブローダによる集荷作業)

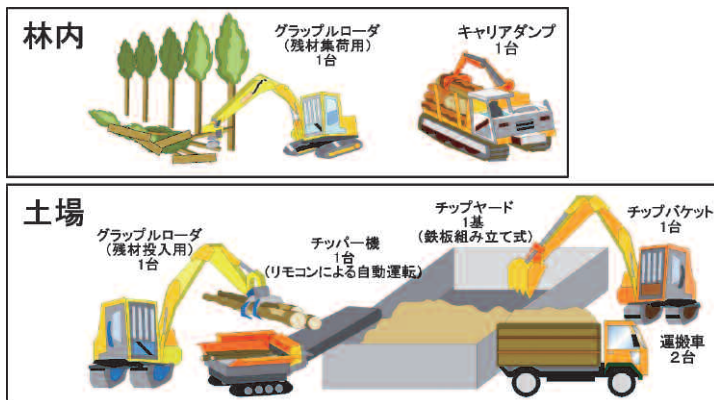


図-2 未利用間伐試験地の機械作業システム

以上の二カ所の試験地において、前節で述べた投入エネルギーを記録しました。稼働エネルギーについては、実際に使用した軽油やガソリンを重機ごとに調べました。また製造エネルギーについては、各装置の経済寿命と年間稼働時間、この現場での稼働時間等から導きました。

$$\text{稼働エネルギー} = \text{現場での使用燃料量 (L)} \times \text{軽油など使用燃料の原単位 (GJ/L)}$$

$$\text{製造エネルギー} = \frac{\text{装置重量(t)} \times \text{各種素材原単位 (GJ/t)} \times \text{現場での稼働時間(h)}}{\text{装置の経済寿命(y)} \times \text{年間稼働時間 (h/y)}}$$

ここで原単位というのは、軽油などの化石燃料の持つ熱量であったり、鉄やアルミニウムなどの素材を生産するのに要する熱量であったり、エネルギー収支の計算の基礎となる単位で、(独)国立環境研究所が公表しているものです(産業連関表による環境負荷原単位データブック:通称3EID)。各エネルギーの単位はGJ(ギガジュール)です。

### 試験の結果

投入エネルギーは、皆伐試験地で344.2GJ、未利用間伐試験地で339.2GJとなりました。各試験地の投入エネルギーの工程ごとの一覧を示します(表-3)。

表-3 エネルギー収支比の比較

工程名	主な装置名	皆伐試験地		未利用間伐試験地	
		製造エネルギー	稼働エネルギー	製造エネルギー	稼働エネルギー
集荷	グラップルローダ	6.2	27.2	27.7	76.2
	キャリアダンプ	使用せず		9.9	7.0
チップ化	チップバー機	26.2	84.3	12.7	28.5
	グラップルローダ	15.0	34.2	17.3	23.9
土場・ヤード作設 (除雪含む)	ブルドーザー	4.1	10.5	5.1	5.7
	鉄板	2.6		2.6	
	グラップルローダ	チップ化に含める		チップ化に含める	
チップ運搬	チップバケット	3.6	5.5	2.3	3.5
	チップ運搬車	20.0	66.2	12.2	34.4
通勤	乗用車	13.8	10.5	13.8	42.2
重機運搬	11tトレーラー	8.1	6.2	8.1	6.2
小計		99.5	244.7	111.6	227.5
投入エネルギー合計			344.2		339.2
出力エネルギー合計			2152.5		714.0
エネルギー収支比			6.3		2.1

\* チップ原単位10.5GJ/t、軽油原単位:38.5GJ/L、ガソリン原単位35.2GJ/Lとする  
 国立環境研究所:産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)、もったいない学会EPR部会原単位

表-4 経済性の比較

■皆伐試験地	チップ化費	8,600 円/t
	運搬費	1,900 円/t
	合計	10,500 円/t
■未利用間伐試験地	集荷費	9,800 円/t
	チップ化費	9,600 円/t
	運搬費	1,900 円/t
	合計	21,300 円/t

備考  
 現地チップ化システムで運搬は1日4往復を仮定(2台×2往復)  
 チップバー基礎価格2,820万円 オペレーター賃金 15,000円/日  
 運転1時間あたり損料8,970円 供用1日あたり損料47,820円  
 チップ化作業はグラップルローダと合わせ1人作業

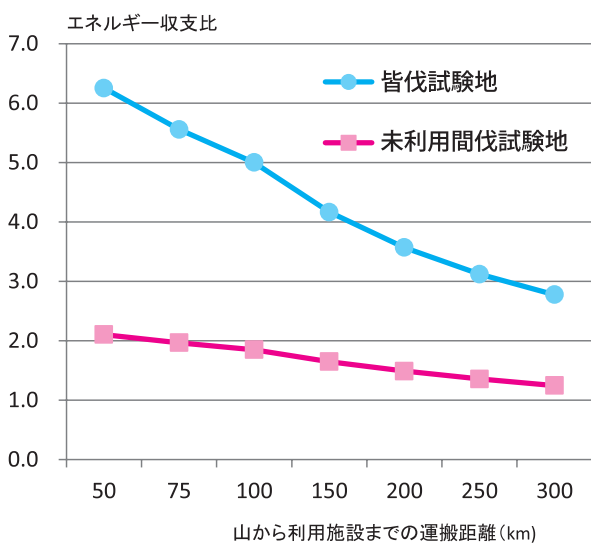


図-3 運搬距離とエネルギー収支比の関係

一方、出力エネルギーについても計算しました。チップを燃やしたときの熱量は、どのくらい乾燥しているかで大きく異なります。今回得られた森林バイオマスチップは、山から50km離れた施設に運ばれ、施設内のアスファルト土場の上で湿潤含水率25%程度に落ちるまで数ヶ月保管されました。その結果、皆伐試験地で205t、未利用間伐試験地で68tとなりました。この重量をもとに出力エネルギーを計算しました。チップの低位発熱量(水分を含んだチップを燃やしたときの発熱量)は環境負荷原単位データブックによると10.5GJ/tとされているので、出力エネルギーは皆伐試験地で2152.5GJ、未利用間伐地で714.0GJとなりました。したがって、エネルギーの収支は、皆伐試験地で6.3、未利用間伐地で2.1となり、ともに1を上回りました。



つまり、森林バイオマスを山から50km運んでチップとして利用するとき“費やしたエネルギー”の2.1倍～6.3倍のエネルギーが得られたことになりました。

一方で、もっと長い距離を運搬したり、利用施設に運ばれた後に別の場所に再運搬されたりすると、この値はもっと小さくなることが予想されます。

例として、同じ試験地で、運搬距離を片道100km、150kmと300kmまで伸ばした場合のエネルギー収支比の変化を示したのが図-3です。ここで、森林バイオマスの量や用いる重機等、運搬距離以外のすべての条件は一定とします。運搬距離300kmでは、皆伐試験地のエネルギー収支比は2.8、未利用間伐試験地のエネルギー収支比は1.2となり、より1に近づきました。試験より重機を1台増やしたり、あるいは森林バイオマスが複数の土場や路肩に分散していたりすると、さらに収支比は小さくなることから、今回の試験地よりも条件が悪い場合には、1を下回るケース（投入エネルギーが出力エネルギーを上回る）も発生するという結果になりました。

なお、皆伐試験地に比べて未利用間伐試験地のエネルギー収支比が低かったのは、主に次のような理由があると考えられます。ひとつは、土場からではなく林内から森林バイオマスを集めなくてはならなかったことから、その分だけ投入エネルギーが大きくなったことです。もうひとつは、間伐した幅が4m未満と狭く、なおかつ急傾斜の試験地から重機で集めることのできた森林バイオマスの量がそもそも少なく、したがって出力エネルギーが小さくなったことです。

次に、経済性についてみると、両試験地のチップ生重量1tあたりの生産費は表-4のようになりました。一日の作業を始める時点で、チップヤードに貯められていたチップ量により、一日に運搬車3台分運んだ日と4台分運んだ日があったため、トンあたり運搬費には幅ができました。1日に4台分のチップを運んだ場合の皆伐試験地の総費用は10,500円/m<sup>3</sup>、未利用間伐試験地は21,300円/m<sup>3</sup>になりました。後者は、林内から土場まで森林バイオマスを集める費用が割高となりました。

### まとめ

今回の試験では、森林バイオマスのチップを燃料として利用する場合のエネルギー収支を試算した結果、片道50km運搬を前提とするとエネルギー収支比は1より十分に大きく、森林バイオマスを収集する価値があることがわかりました。ただし、機械を増やした場合や路肩から集める場合などの作業システムの違いや運搬距離によっては、エネルギーの無駄に陥る可能性もあります。このようなエネルギー面の効率を無視して、やみくもにバイオマスを集めることがないよう、慎重な検討が必要です。林内から土場までの搬出が必要な未利用間伐は、エネルギー収支比と経済性の両面で不利な結果となったことから、総合的に判断して、森林バイオマスの集荷の優先順位は未利用間伐林分より皆伐林分が高いといえます。

森林バイオマスの活用の際に参考になれば幸いです。

(森林資源部経営G)