

林地残材の利用に関わるエネルギー収支の評価

道総研林業試験場

森林資源部研究主任 酒井 明香

1 はじめに

未利用の木質バイオマスが再生可能な資源として期待を集めるようになって 10 余年が経過しました。平成 22 年 11 月に林野庁から出された「森林・林業の再生に向けた改革の姿の骨子」にも、10 年後の木材自給率を 50%まで上げることが明記されるとともに副産物である木質バイオマスの総合利用の推進が掲げられています。

さて、その木質バイオマスの中で最も賦存量の多い林地残材は、集荷・運搬コストの高さから、なかなか普及が進みませんでした。その後、建設廃材の減少や灯油価格の高騰を受けて、徐々に流通量を伸ばしています。現在、道内において上川地方や胆振地方を中心に年間約 6 万 7 千 m³ の流通量があります。その多くが熱利用、つまり木質ボイラー等の燃料としての“エネルギー需要”となっています。

ところで、林地残材の発生場所は当然ながら山の中です。それに対して需要地は町の中です。ですから、林地残材を燃料として使うまでには、必ず運搬車両を用います。チップやバンドル(枝の束)にするにも専用の機械が必要です。そのため、林地残材をエネルギーとして利用するには、ある程度の化石燃料の使用が避けられません。

ここで、よく議論になるのが「利用できるエネルギーよりも、林地残材の調達や加工に必要なエネルギーの方が大きいのではないか」ということです。その素朴な疑問に答えるための、代表的な指標のひとつにエネルギー収支比(Energy Profit Ratio: 略して EPR)があります。EPR は、エネルギーの効率性や環境性を考える上で非常にわかりやすく有益な指標です。

そこで、ここでは林地残材のエネルギー利用にあたり、コストと並ぶ重要な指標である EPR を使って、林地残材を熱源として利用した時のエネルギー収支について検討したいと思います。なお、以下より林地残材を“残材”と略記します。

2 EPR について

EPR は、環境指標の一種です。1980 年代にニューヨーク大学のホール博士が使用したのが始まりとされます。EPR を定義すると以下ようになります。

$$EPR = (\text{社会に生み出されるエネルギー}) / (\text{そのエネルギーを得るために投入されるエネルギーの総和})$$

表-1 EPR 分析の手順

	内容	備考
ステップ1	評価範囲の決定	
ステップ2	必要な装置の確認	装置=機械・車両・建築物など出力エネルギーの生産に必要なものの総称(人間の労働力を除く)
ステップ3	各装置の入力エネルギーの計算	装置の製造エネルギー・稼働エネルギー・輸送エネルギー・組み立てや補修にかかるエネルギー等
ステップ4	出力エネルギーの計算	最終的に得られるエネルギーのカロリー計算

この比がもしも 1 を下回ったら、そのエネルギーを得ようとする行為(たとえば残材を集めてチップ化して運ぶこと)はエネルギーの無駄になります。このように、ある活動の EPR を

求めてエネルギーの収支からみた是非を判断し、その活動の優位性や解決すべき課題を明らかにする分析を EPR 分析と呼びます(1)。EPR 分析は 4 段階のステップで実施されます(表-1)。

ステップ 1 で EPR の評価範囲を決め、ステップ 2 で必要な装置の確認を行います。ここで”装置“とは、使用機械や車両、建築物などの総称です。残材を集める現場であれば、グラブローダ等林業機械やチップ運搬車両等が装置に当たります。ステップ 3 で、これら装置ごとに入力エネルギーを計算し、その総和を出します。入力エネルギーは製造エネルギーと稼働エネルギー、輸送エネルギー等の和です。製造エネルギーとは装置を作るのに費やしたエネルギーであり、稼働エネルギーとは装置を動かすのに費やしたエネルギーです。

ステップ 4 では、「社会に生み出されるエネルギー」を式に代入します。例えばガソリンの EPR を出す時はガソリンの、風力発電の EPR を出す時は風力によって生み出された電力のエネルギーを式に代入します。そして EPR が導かれたら、それが 1 より大きいかどうかを判断することになります。

なお、現在の国際的な燃料単位はジュール(J)を用いますが、EPR の先行研究はカロリー(Cal)を用いていることから(2,5,6)、ここでもそれを踏襲します。

3 試験の概要

ここで EPR 分析用の詳細なデータを得るために 2 つの試験地を設定しました(3)(4)。皆伐試験地と切捨て間伐試験地の 2 つの試験地について以下で説明します。

λ 皆伐試験地と機械作業システム

皆伐試験地は、むかわ町穂別の一般民有林に設定し 2010 年 1 月より試験を実施しました(表-2)。皆伐試験地では、複数の土場のうち一番広い土場に重機を集め、そこで残材をチップ化しました。ここの残材は、用材・パルプが採材された後の残渣である“土場残材”(追い上げ材や末木)です。機械作業システムは図-1 のとおりです。作業班員数は 4 名で、重機 4 台と運搬車 2 台を乗り換えつつ実施しました(移動式チップパー日立建機製 ZR120HC はリモコンによる自動運転)。

表-2 皆伐試験地の概要

試験地	むかわ町穂別字似湾
樹種・林齢等	カラマツ 51-53 年生
立木材積	254.4 m ³ /ha
直径・樹高	平均胸高直径 36cm, 平均樹高 28m
伐区面積	7.22 ha
伐採方法	皆伐
残材発生量	205t (湿潤含水率 25%)

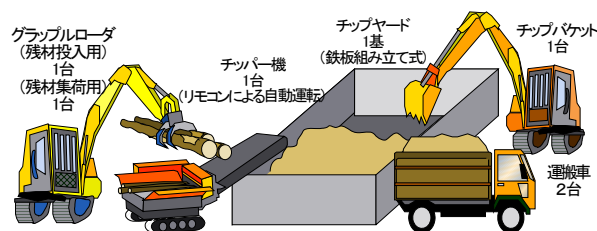


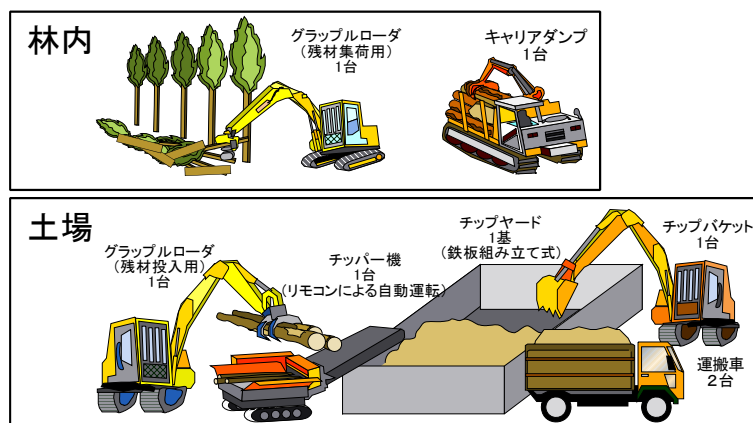
図-1 皆伐区の機械作業システム

λ 切捨て間伐試験地と機械作業システム

切捨て試験地は、由仁町字川端の道有林内に設定し 2008 年 11 月より試験を実施しました(表-3)。ここの残材は、枝を落とされ長さ約 1m に刻まれた状態で林内にあります。これを重機で集荷し、土場に集めてチップ化する必要があるため、皆伐試験地よりも工程数が多くなりました。機械作業システムを図-2 に示します。作業員 4 名、重機 5 台と運搬車 2 台で実施しました。

表－3 切捨て間伐試験地の概要

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	221.6 m ³ /ha
直径・樹高	平均胸高直径 15.9 cm, 平均樹高 12 m
伐区面積	7.50 ha
伐採方法	切り捨て間伐(列状: 1 伐 3 残)
残材発生量	68 t (湿潤含水率 25%)



図－2 切捨て間伐試験地の機械作業システム

なお、当試験地は水源かん養保安林で伐採材積が制限されており、残材集荷のための作業路をつけられません。また地盤が軟らかく、列幅の狭い箇所での集荷は困難でした。そのため、残材を集荷できた範囲は全体の7分の1である約1haに限られました。現地チップ化の作業スペースづくりは、残材の集荷に先だって、ブルドーザー1台で5日かけて実施されました。

両試験区は、どちらも山土場に移動式チップパーを搬入し、残材を現地でチップ化するシステムです。生産した残材チップは50km先の利用施設に運搬します。その後、施設内で湿潤含水率が25%程度に落ちるまで保管し、重量を計測します。その他の工程で要したエネルギー（軽油やガソリンの消費量）もすべて記録します。

4 試験の結果・考察

両試験地のEPRを導くにあたって、EPR分析の4ステップを順に追ってみます。ステップ1<EPRの評価範囲の決定>では、皆伐試験地の方は土場残材のチップ化から利用施設に運搬するまでです。切捨て間伐試験地の方は、林内から短幹材を集荷し、土場まで運び、チップ化して利用施設に運搬するまでとなります。

ステップ2<必要な装置の確認>は、図－1と2で挙げた重機やヤードはすべて“装置”として評価の対象になります。ステップ3<装置ごとの入力エネルギー計算>では、その総和を導きます。ここでは各装置の入力エネルギー＝製造エネルギー＋稼働エネルギーです。輸送エネルギーは重機運搬とオペレーターの通勤としてそれぞれ加えます。ここでは補修に関するエネルギーは省略します。

なお、製造エネルギーは、装置をまるまるその現場で消費してしまうわけではな

いため、稼働率を乗じます。ある現場における装置の製造エネルギーは以下の式で表せます。

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

同様に稼働エネルギーは、例えば軽油を燃料とする装置を想定すると、

$$\text{稼働エネルギー} = \text{現場での使用燃料(L)} \times \text{軽油原単位(Gcal/L)}$$

となります。以上をふまえ、両試験地の各装置の入力エネルギーを計算すると表-4のようになりました。なお、ここでは図-1や2では省略した重機(土場の作設用ブルドーザーや作業員通勤車等)も含めて入力エネルギーの総和を求めています。

表-4 各装置の製造・稼働エネルギー一覧

工程名	主な装置名	皆伐試験地		切り捨て間伐試験地		備考
		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	グラブローダ	1.47	6.5	6.63	18.2	車両原単位はすべて25.1Gcal/tを使用
	キャリアダンプ			2.36	1.67	
	チップ運搬車	チップ運搬に含める				
チップ化	チップパー機	6.25	20.15	3.04	6.81	灯油原単位はすべて9.2Gcal/Lを使用
	グラブローダ	3.59	8.18	4.13	5.71	
土場・ヤード作設(除雪含む)	ブルドーザー	0.97	2.51	1.21	1.36	
	鉄板	0.61		0.61		
	グラブローダ	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	0.87	1.32	0.54	0.83	ガソリン原単位は8.4Gcal/Lを使用
	チップ運搬車	4.78	15.82	2.92	8.23	
通勤	乗用車	3.3	2.52	3.3	10.08	
重機運搬	11tトレーラー	1.93	1.47	1.93	1.47	
合計		23.77	58.47	26.67	54.36	
			82.24		81.03	

と、皆伐チップは総量205t、切り捨て間伐チップは総量68tとなりました。湿潤含水率25%時の低位発熱量を21.5Gcalと仮定すると、それぞれ514.6Gcal、170.2Gcalの熱量が得られたこととなります。それぞれの試験地におけるEPRは、

$$\text{皆伐試験地 EPR} = 514.6 \text{ Gcal} \div 82.2 \text{ Gcal} \approx 6.3$$

$$\text{切り捨て間伐試験地 EPR} = 170.2 \text{ Gcal} \div 81.0 \text{ Gcal} \approx 2.1$$

という値になりました。皆伐試験地で得られたエネルギーは費やしたエネルギーの6.3倍、切り捨て間伐試験地は同様に2.1倍であり、ともに1を上回りました。

この値を、文献(1)(6)を参考に、他のエネルギー源と比較したのが表-5です。皆伐試験地の6.3は木質ペレットを中心とする先行研究と同等か、やや高いことがわかりました。また、切り捨て間伐試験地の2.1は、

表-5 色々なエネルギー源のEPR評価事例

天然ガスや太陽光発電と同等であることがわかりました。

5 まとめ：今後に向けて

本論では、エネルギー効率性の面から、林地残材のエネルギー利用について検討しました。結果とし

	エネルギー源	EPR
木質バイオマス	バイオエタノール(国産とうもろこし)	0.5~1.1
	木質ペレット①(群馬)	6.3
	木質ペレット②(伊達)	3.9
	木質ペレット③(足寄)	4.6
	林地残材チップ(群馬)	5.8
既存のエネルギー	石炭火力発電	6.6
	石油火力発電	7.9
	天然ガス	2.1
	中小発電	15.3
	地熱発電	6.6~6.8
	風力発電	3.9~9.8
	太陽光発電	0.9~2.0

て、皆伐・切捨て間伐の両方でEPRが1を上回りました。なお経済性を含めて総合的に考えると、切捨て間伐は搬出に費用がかかり、皆伐よりずっと効率が悪く、集荷の優先順位は低いと言えます。また、現場の機械作業システムを考える時に、もしもコストが同程度であるなら、エネルギー効率の観点から、よりEPR値の高いシステムを採用すべきです。そのような視点から作業システムを見直すことは重要と思われれます。

今後は、現場の条件を変え、EPR=1となるときの運搬距離(限界運搬距離)や、同じ事業体の年間を通したEPR(年間EPR)の導出など、より多くの検証を行う予定です。

最後に、調査に全面的にご協力いただいた(株)イワクラ、(株)小橋建設の皆様にご心よりお礼を申し上げます。

引用文献

- (1) 天野 治(2008)石油ピーク後のエネルギー－EPR(エネルギー収支比)から資源の有効利用を考える－愛智出版：p27-67．
- (2) 北海道バイオマス検討会(2010)2009年度報告書：バイオマスエネルギーの収支比分析と道内の取組事例：p1-68．
- (3) 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．
- (4) 北海道水産林務部(2010)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．
- (5) もったいない学会EPR部会(2009)EPR評価方法と評価事例集2009年度版：p1-57．
- (6) 土屋陽子・天野治(2010)木質ペレット製造のエネルギー収支分析 電力中央研究所報告 p1-17．