

(資 料)

燃料用チップ供給コストの試算

佐々木誠一・多田野 修・東野 正・深澤 光・小笠原啓次郎*

Trial calculation of wood chip supply cost for fuel

Seiichi SASAKI, Osamu TADANO, Tadashi HIGASHINO, Hikari FUKAZAWA, Keijiro OGASAWARA

要 旨

木質資源をバイオマス燃料として活用する手段の一つに、木材チップをチップボイラーの燃料として使用する方法がある。本研究では、素材生産に伴って山土場で発生する木質バイオマスの発生量を把握するとともに、移動式チップパーによるチップ供給コストの採算性を検証し、チップ工場からの供給も含めシステムの違いによる優位性の比較検討を行った。供給コストの試算を行った結果、製紙用チップ工場からの供給、移動式チップパーによる山土場生産、専用土場生産、チップボイラー前のいずれの供給システムでも、重油換算コストを下回ると試算された。システム別の供給コストは、製紙用チップ工場が最もコストが低く、移動式チップパーを利用したチップ供給では、専用土場とチップボイラー前での生産がコスト的に有利であった。チップ生産システムの違いによる作業条件の優位性を比較した結果、供給コスト、チップ品質、安定供給などから検討して、製紙用チップ工場からの供給が最も現実的であり、チップ工場がない地域や燃料用チップ需要の増大を考慮して、移動式チップパーによる専用土場からの供給を行うなど段階を踏んで対応することが現実的と思われる。

キーワード

木質バイオマス, 燃料用チップ, 移動式チップパー, 供給コスト, チップ工場

目 次

1 はじめに.....10	5 チップおよびチップ丸太の運搬工程調査.....12
2 山土場での木質バイオマスの発生量.....10	5.1 調査方法.....12
2.1 調査方法.....10	5.2 結果および考察.....13
2.2 結果および考察.....10	6 システムの違いによる供給コストの試算.....14
3 移動式チップパーのチップ化処理工程.....10	6.1 試算方法.....14
3.1 調査方法.....10	6.2 結果および考.....14
3.2 結果および考察.....11	7 チップ供給システムの検討.....15
4 移動式チップパーのチップ化処理コスト.....11	8 おわりに.....15
4.1 調査方法.....11	引用文献.....15
4.2 結果および考察.....11	

*有限会社 二和木材

※今回報告する資料の内容は、森林利用学会誌 第19巻第4号³⁾に発表したものを一部改変したものである。

本研究は、農林水産技術会議からの委託事業「先端技術を活用した農林水産研究高度化事業」による研究課題「木質バイオマス利用のためのチップ燃料低コスト供給システムの開発」で取り組んだものである。

1 はじめに

木質資源をバイオマス燃料として活用する手段の一つに、木材チップをチップボイラーの燃料として使用する方法がある。チップの生産は、製紙用チップ工場で製造する方法の他、移動式チップパーの機動性を活かして山土場やボイラー前などでチップ化する方法が可能である。

本研究では、素材生産に伴って山土場で発生する木質バイオマスの発生量を把握するとともに、移動式チップパーによるチップ供給コストの採算性を検証し、チップ工場からの供給も含め比較検討を行ったので、その結果を報告する。

2 山土場での木質バイオマスの発生量

2.1 調査方法

トラクタ全木集材事業地4か所（盛岡市藪川地内2か所、雫石町西安庭地内1か所、八幡平市平笠地内1か所）およびスイングヤード全木集材事業地2か所（八幡平市繋沢地内および紫波町土館地内）において、集材木の一部を抽出する方法で、バイオマス発生量の調査を行った。

トラクタ全木集材事業地では、トラクタによる全木集材後、集中土場でプロセッサによる通常の枝払・造材を行い、用材、チップ材および残材・枝条に分け、それぞれを1tクレーンスケールにより重量測定を行うとともに、用材、チップ材については、末口径と長さを測定し、末口自乗法により材積を算出した。また、スイングヤード全木集材事業地では、スイングヤードによる全木集材後、林道上でプロセッサによる枝払いを行い、全幹材と枝条の重量測定を行った

2.2 結果および考察

バイオマス発生量調査の結果を、表-1に示した。

表-1 山土場でのバイオマス発生量

集材方法	調査地	樹種	林齢	調査本数	材長(m)	胸高直径(cm)	丸太材積(m ³)	生重量:(kg) 比率:(%)				
								全木材	用材	チップ材	枝条・残材	
ホイールトラクタ	A	カラマツ	50	15	22.3	26.9	10.277	重量	8,608	7,107	1,244	257
					比率	100.0		82.6	14.5	3.0		
	B	カラマツ	45	30	19.7	21.5	11.340	重量	9,360	7,329	1,656	375
					比率	100.0		78.3	17.7	4.0		
C	スギ	37	40	16.0	17.9	7.866	重量	7,657	3,664	2,978	1,015	
				比率	100.0		47.9	38.9	13.3			
D	アカマツ	40	40	14.3	18.3	8.113	重量	8,192	688	6,391	1,117	
				比率	100.0		8.4	78.0	13.6			
スイングヤード	E	スギ	26	25	12.4	16.4	3.570	重量	4,313		3,358	955
					比率	100.0			77.9	22.1		
	F	スギ	18	33	11.2	15.4	3.880	重量	4,461		3,321	1,140
					比率	100.0			74.4	25.6		

トラクタによる全木集材では、集材過程で枝条の多くが林地や集材路に残留し、土場で発生する残材・枝条の重量比率は、カラマツで5%未満、スギが13%程度、アカマツが14%程度であった。

スイングヤードによるスギの全木集材では、林道脇で重量比率20~25%の枝条が発生した。

トラクタ全木集材が行われたB調査地は、19.8haの間伐事業地であるが、土場で発生した梢端材は、10tトラック1台に満たない程度であった。

1日あたり丸太で約50m³処理できるチップパーの能力から考えて、一般的な素材生産現場の1日あたりの生産能力(10~30m³)では、チップ材を含めて末木枝条までチップ化しても、チップパーの処理能力を満たすまでの発生量はないと考えられた。

3 移動式チップパーのチップ化処理工程

3.1 調査方法

岩手県林業技術センターでは、スクリューで燃料用チップを搬送するチップボイラーを所有しており、燃焼試験に供するには切削チップが適していることから²⁾、調査



写真-1 切削型チップパー
最大処理径：30cm
エンジン出力：80馬力

には切削型の移動式チップパー（写真－1：東興産業：150型，最大処理径30cm）を使用した。

投入方法，投入材の違いによる処理工期を把握するため，投入方法をグラップル+補助員，グラップル単独，プロセッサ単独の3方法で調査を行い，さらに，投入する材を，短幹材（2 m，3 m，4 m材），全幹材，全木材，末木枝条に分けて調査を行った。

事前に材積および重量を測定し，チップ化処理に要した時間を観測することにより，単位時間あたりの処理工期（丸太m³/時）を算出した。

なお，末木枝条は重量を測定し，同じ調査地の2 m材細物と同比重として材積に換算した。

3.2 結果および考察

図－1に，短幹材の平均末口径と投入方法別のチップ化処理工期の関係を示した。2 m材については，投入方法の違いで，グラップル+補助員>グラップル単独>プロセッサ単独の順で工期が高く，プロセッサは，グラップルの半分程度の工期であった。いずれの投入方法も投入材の平均末口径が大きくなるほど工期が高くなる傾向が見られた。グラップル単独では，その関係が強くと現れ

たが，補助員付では影響が少なかった。これは，細物が多く含まれるほど補助員による投入が処理工期を高める方向に影響するものと考えられた。3 m，4 m材は，同様の投入方法を行った2 m材より工期は高かった。

図－2に，平均単木材積と全幹材，全木材のチップ化処理工期の関係を示した。全幹材は，単木材積が大きくなるほど工期が高くなり，平均胸高直径が16cm（単木材積0.13m³）程度では，処理工期10.7m³/時と短幹材よりも高い工期となった。

全木材は，材が太くなくても枝条が投入作業の障害となり，全体的に工期は低かった。

末木枝条の工期は約3m³/時と，補助員付きグラップル投入の3分の1程度と低く，投入する補助員の作業負担が大きかった。

移動式チップパーを，用材生産を行わない山土場で使用する場合は，造材工程を省略して，全幹材で処理することが有利と思われる。また，専用土場で使用する場合でも，燃料用チップ材の用途を前提とした4 m材などの長尺採材も有効と思われる。

4 移動式チップパーのチップ化処理コスト

4.1 調査方法

処理コストを試算するため，グラップル+補助員，グラップル投入，プロセッサ投入の場合の，チップ生産に使用する各機械の時間費用を算出した。

積算因子として，耐用年数を5年，年間作業日数を200日，1日あたり実働時間を6時間，整備・修理費率（減価償却費に対する整備・修理の比率）に0.3～0.5を適用した。

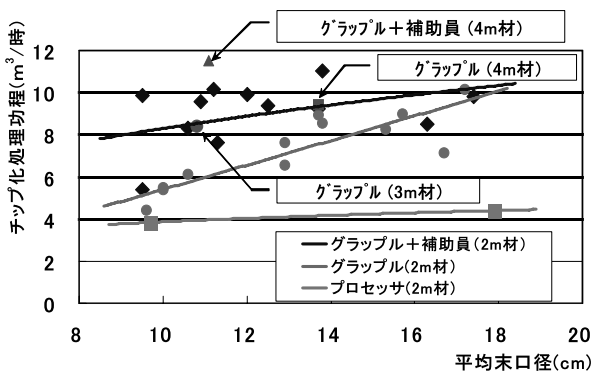
チップ化処理コストは，時間費用を単位時間あたりのチップ化処理工期で除することによって求めた。チップ化処理工期調査で得られた，2 mチップ材のグラップル+補助員の工期9.06m³/時，同グラップル投入7.30m³/時，同プロセッサ投入4.12m³/時，全幹材9.08m³/時，全木材6.75m³/時，末木枝条3.19m³/時を適用してコストを比較した。なお，全幹材はグラップル投入の時間費用を適用し，全木材と末木枝条は補助員付グラップル作業として時間費用を適用した。

4.2 結果および考察

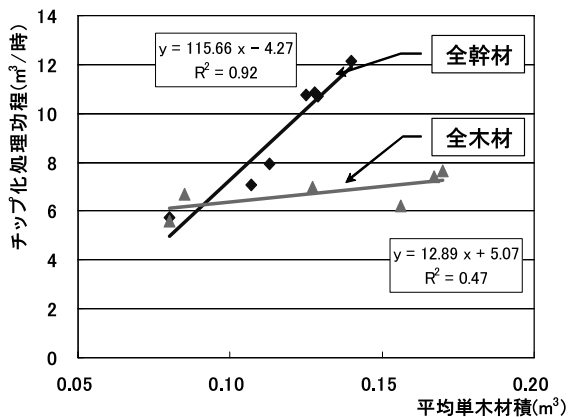
表－2に，チップ生産に使用した各機械の時間費用を示した。投入方法の違いによる時間費用は，

グラップル+補助員が	(A)+(C)=10,706円
グラップル投入が	(B)+(C)= 8,706円
プロセッサ投入が	(B)+(D)=11,140円

となった。



図－1 短幹材の平均末口径と投入方法別チップ化処理工期の関係



図－2 平均単木材積と全幹材，全木材のチップ化処理工期の関係

図-3に、作業条件の違いによるチップ化処理コストを示した。

グラップルに補助員を付けた場合は、時間経費が高くなり、功程が高くなってもグラップル投入と比べてチップ化処理コストに大きな差はでなかった。

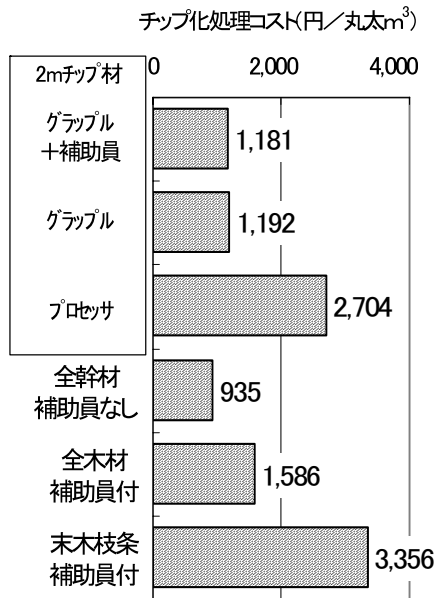


図-3 作業条件別チップ化処理コスト

グラップルのみによる投入が可能な全幹材は、チップ材よりもコストが低かったが、補助員を必要とする全木材は、チップ材よりも割高であった。また、プロセッサ投入と末木枝条は、チップ化処理の功程が低いため、処理コストはチップ材の2倍以上と高い結果となった。

時間費用は、使用する機械の年間稼働時間によって大きく影響を受ける。年間作業日数を100日として試算した場合、200日試算の1.5倍以上となった。

移動式チップパーを使用する場合には、グラップルで投入し、幹材を主体にチップ化するとともに、燃料用チップ需要の安定確保により、機械の稼働時間が十分に確保できるような条件整備が最も重要と思われる。

5 チップおよびチップ丸太の運搬功程調査

5.1 調査方法

山土場においてチップ化処理試験を行った調査地5箇所から生産したチップを、チップパーから直接荷台に吹き込み、4tファームダンプ、4t脱着式ダンプ、10t深アオリダンプ、12t脱着式ダンプの4種類の車両で運搬し、時間観測調査を行い、表-3の算出式および試算条件に

表-2 チップ生産に係る各作業の時間費用

積算因子及び積算内訳	移動式チップパー 補助員付き (A)	移動式チップパー 補助員なし (B)	グラップル ローダー (C)	プロセッサ (D)
機械価格 (円)	11,000,000	11,000,000	9,500,000	19,000,000
耐用年数 (年)	5	5	5	5
年間作業日数 (日)	200	200	200	200
1日当り実働時間 (時間)	6	6	6	6
年間使用時間 (時間)	1,200	1,200	1,200	1,200
耐用時間 (時間)	6,000	6,000	6,000	6,000
整備・修理費率	0.5	0.5	0.3	0.4
燃料消費量 (リットル/時)	12	12	5	7
燃料単価 (円/リットル)	95	95	95	95
油脂消費量 (リットル/時)	0.1	0.1	0.1	0.1
油脂単価 (円/リットル)	160	160	160	160
普通作業人数 (人)	1	0		
オペレータ人数 (人)			1	1
減価償却費 (円/時)	124	124	107	214
利子 (円/時)	1,650	1,650	1,425	2,850
整備・修理費 (円/時)	825	825	428	1,140
直接費 燃料費 (円/時)	1,140	1,140	475	665
油脂費 (円/時)	16	16	16	16
普通作業員賃金 (円/時)	2,000	0	0	0
オペレータ賃金 (円/時)	0	0	2,500	2,500
時間費用合計 (円/時)	5,755	3,755	4,951	7,385



4 t ファームダンプ
最大積載量：2,400kg
荷台容積：16.4m³
チップ積載量：7.2m³



4 t 脱着式ダンプ
最大積載量：2,900kg
荷台容積：8.1m³
チップ積載量：8.1m³



10 t 深アオリダンプ
最大積載量：7,250kg
荷台容積：24.7m³
チップ積載量：22.0m³



12 t 脱着式ダンプ
最大積載量：9,100kg
荷台容積：27.1m³
チップ積載量：27.1m³



ローダークレーン付10tトラック
最大積載量：10,000kg
チップ丸太積載量：
約13m³

より運搬工程を算出した。脱着式ダンプは、空コンテナを現場に置き、積込済のコンテナを常に運搬することにより、積込時間を省略できることから、コンテナを使用する場合の運搬工程についても試算を行った。

丸太については、ローダークレーン付10tトラックによる2m短幹材の運搬工程調査を行った。

専用土場からのチップ運搬工程は、畜産業用に特殊仕様で製造されたバケット容量2.0m³、最大揚高3.8mのリーチローダー（コマツ WR-11）で積み込み、運搬車両に満載されるまでの時間を観測し、単位時間あたりの積込工程を求め、チップの積込時間を加味して運搬車両のチップ運搬工程を算出した。

運搬コストは、表-4に示す運搬車両の時間費用を、工程調査で得られた時間あたりの運搬工程で除して求めた。

5. 2 結果および考察

図-4に、運搬手段の違いによる運搬工程と運搬距離の関係を示した。運搬工程は距離が長くなるほど低下し、同一距離でも1回あたりの運搬量が多い大型車両ほど高くなった。脱着式ダンプはスペアコンテナを使用することにより積込時間が省略できるため、運搬効率は高くなった。

また、幹材のチップは、チップ化して運搬することに

より容積が丸太材積の約2.7倍に増加するため、丸太で運搬する方が効率的であった。リーチローダーによるチップの積込工程は、チップャーからの直接吹き込みの約4.2倍と効率的であった。

図-5に、運搬距離を30kmとした場合の運搬車両別のチップおよびチップ用丸太の運搬コストを示した。

運搬工程が高い大型車両ほどチップ運搬コストは低く

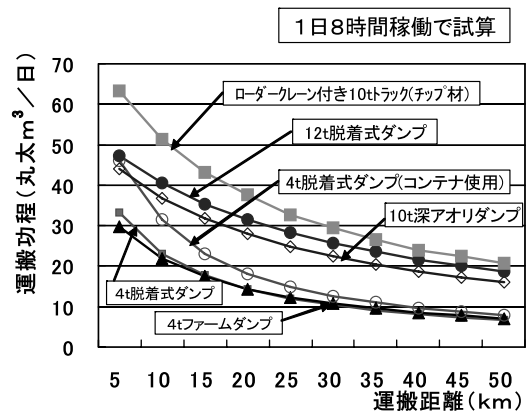


図-4 運搬手段別の運搬距離と運搬工程の関係

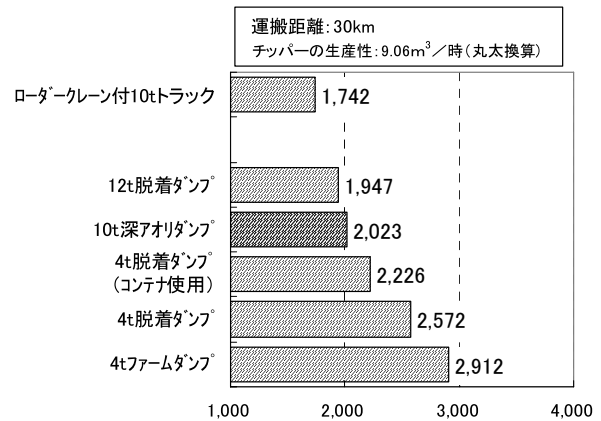


図-5 運搬車両の違いによる運搬コスト

表-3

サイクルタイム(T)及び運搬工程(P)の算出式
 $T = \text{走行時間} + \text{積込時間} + \text{走行準備等作業時間}$
 $= (60 \times 2L / \sqrt{V}) + (W / P t) + (t3 + t4 + t5)$ $P = (60 \times W) / T$
 ただし、T: サイクルタイム(分) L: 片道運搬距離 (km)
 V: 走行速度 (km/時) W: トラックの積載量(m³)
 P t: チップ積込工程(m³/時) t3: 積込準備時間(分)
 t4: 運搬準備時間(分) t5: 荷おろし・走行準備時間(分)
試算条件
 積み込み方法: チップャーからの直接吹き込み
 チップャーの処理工程: 9.08m³/時 (丸太材積換算)
 1日あたりの稼働時間: 8時間
 走行速度: 35km/時
 チップの比重: 330kg/m³
 丸太からチップへの容積変化係数: 2.7

表-4 チップ・丸太運搬車両の時間費用

積算項目内訳	4tファームダンプ	4t脱着ダンプ	4t脱着ダンプ +コンテナ	10t深アオリ ダンプ	12t脱着ダンプ	ローダークレーン付 10tトラック
機械価格 (円)	10,500,000	7,300,000	7,700,000	15,000,000	19,000,000	20,000,000
耐用年数 (年)	5	5	5	5	5	5
年間作業日数 (日)	240	240	240	240	240	240
1日当り実働時間 (時間)	8	8	8	8	8	8
年間使用時間 (時間)	1,920	1,920	1,920	1,920	1,920	1,920
耐用時間 (時間)	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600
整備・修理費率	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
燃料消費量 (リットル/時)	6	6	6	16	16	16
燃料単価 (円/リットル)	100	100	100	100	100	100
車検・保険料 (円/年)	220,000	420,000	420,000	700,000	760,000	800,000
運転手賃金 (円/日)	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000
固定費						
利子 (円/時)	74	51	54	105	134	141
車検・保険料 (円/時)	115	219	219	365	396	417
減価償却費 (円/時)	984	684	722	1,406	1,781	1,875
整備・修理費 (円/時)	394	274	289	563	713	750
直接費						
燃料費 (円/時)	600	600	600	1,600	1,600	1,600
賃金 (円/時)	1,625	1,625	1,625	1,625	1,625	1,625
時間費用合計 (円/時)	3,792	3,453	3,508	5,663	6,249	6,408

なり、同じ10tクラスで比較した場合、チップで運搬するよりも丸太で運搬の方がコスト的に有利であることが分かった。

山土場からのチップ運搬では、走行条件が不利となる未舗装の林道やカーブの多い道を走行することが求められ、10t車クラスの車両では進入できない場合も多い。また、脱着式ダンプは、コンテナを装着しない場合や空車時は、走行性能が低く悪路での走行が困難であった。

このようなことから、山土場からチップ運搬を行う場合は、デフロック機構を有する四輪駆動の車両を使用することが必要と思われる。

また運搬コストを低くするためには、4tクラスの車両サイズを増トン化した7tクラスの車両や脱着式車両を使用するなど、運搬能力を高めることが重要と思われる。

6 システムの違いによる供給コストの試算

6.1 試算方法

移動式チップパーを活用した供給システムとして、チップ化する場所を山土場、専用土場、ボイラー前に分類し、さらに山土場生産では、ストックヤード経由での供給、ボイラーへの直接供給、山土場で発生する末木枝条チップの供給に分類して試算を行った。試算条件として、チップ化処理コストについては、チップパーの年間稼働日数200日、グラップルに補助員を付けたチップ化処理功程9.06m³/時（丸太換算）を適用し、運搬コストについては、チップの運搬を10t深アオリダンプ、チップ丸太の

運搬を10tローダークレーン付トラックで、運搬距離はともに30kmとした。走行速度は、山土場から専用土場までの運搬では時速35km、専用土場からのチップ運搬の走行速度は時速40kmとして試算を行った。

また、山土場およびチップボイラー前でのチップ化処理では、チップパーと投入するグラップルの運搬費が必要となるため、処理ロットを山土場100m³、ボイラー前を50m³に設定して試算した。

製紙用工場チップについては、月産約800絶乾tのチップを製造している工場で行った功程調査試験およびコスト試算の結果³⁾から、チップ化処理コストは815円/丸太m³を適用した。

6.2 結果および考察

図-6に、供給システムの違いによるチップの供給コストを示した。重油換算コスト(熱量単価(円/kwh)ベースで重油価格から算出したチップの丸太換算価格)は、近年の重油価格の高騰により、平成14年12月時点の重油単価と比較して約1.5倍に上昇しており、重油と競争可能なチップコストは約13,500円/丸太m³となっている。

このことにより、いずれの供給システムでも、重油換算コストを下回ると試算された。システム別の供給コストは、製紙用チップ工場が最もコストが低く、移動式チップパーを利用したチップ供給では、専用土場とチップボイラー前での生産がコスト的に有利であった。山土場でのチップ生産は、チップ運搬車両が現場に戻るまでの待機時間が発生し、チップパーの稼働時間が短くなることにより、チップ化処理コストが割高となるものである。

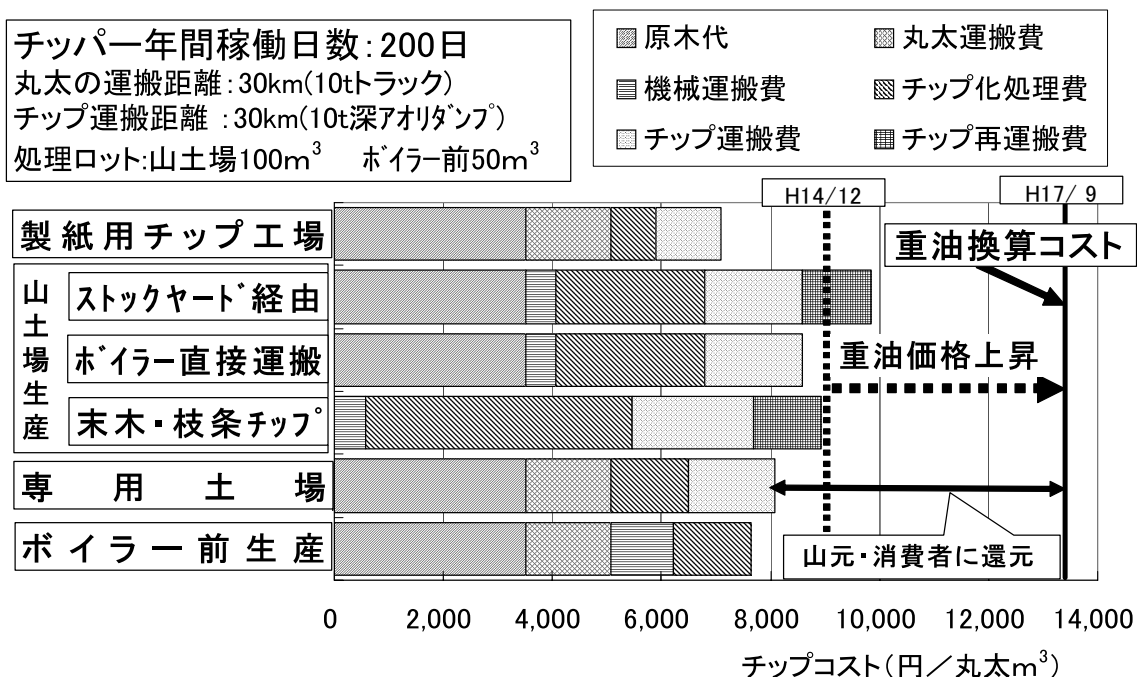


図-6 システム別チップ供給コスト

チップ供給コストと重油換算コストとの差額は、丸太価格への上乗せや対価が支払われていない土場残材などの未利用木質資源の有償化などにより、山元に還元することができると思われる。また、チップボイラーの普及を図るためには、チップボイラー利用者にチップを重油よりも有利となるような価格で提供することも考慮する必要があると思われる。

7 チップ供給システムの比較検討

チップ生産システムの違いによる作業条件を比較した結果を表-5に示した。

山土場生産では、枝条や切り捨て間伐材などの全木材を対象にチップ生産するのであれば有利となるが、チップパーが十分に稼働できるだけのロットの確保が難しく、生産したチップの運搬条件も制約が多い¹⁾など、効率的にチップ供給を行うことは難しいものと思われる。

ボイラー前生産では、チップ消費量が多い大型のボイラーであればチップパーの稼働率が確保でき、供給コストを低くすることが可能であるが、今後普及が見込まれる中・小型のチップボイラーではチップサイロの容量が小さいため、チップパーなどの機械輸送コストが割高となり、供給コストは高くなると思われる。

専用土場でのチップ化は、複数の素材生産現場から原料丸太を安定的に確保することが可能であり、チップ化作業とチップ運搬作業を切り離して効率的にチップ供給ができるなどコスト的に有利で、移動式チップパーを利用したシステムとしては最も現実的な生産システムと思われる。しかしながら、チップボイラー用の燃料チップの需要量は、1台の移動式チップパーの生産能力を大きく下回っており、チップパーの稼働日数が確保されないため供

給コストは試算よりも相当高いものになると見込まれる。

製紙用チップ工場からの燃料用チップ供給は、含水率の低い丸太の安定確保という新たな体制整備が必要であるものの、チップの生産性も高く形状品質も高いなど、移動式チップパーを利用したシステムよりも優れ、安いコストで安定供給することが可能である。また、バケットローダーでバーカーへの材投入ができる工場では、根元材や曲材などの短尺材の処理も行うことができ、土場残材などの有効利用も可能である³⁾。

当面は、生産能力に余裕のある製紙用チップ工場から燃料用チップを供給し、製紙用チップ工場がない地域や燃料用チップ需要を賄えないような地域では、移動式チップパーを専用土場で使用したシステムでチップ供給をするなど段階を踏んで対応することが現実的と思われる。

8 おわりに

本研究では、燃料用チップを6通りのシステムで供給した場合のコストの有利性について検証した。その結果、いずれの供給システムでも重油換算コストを下回っており、その差額分を山元や消費者に還元することが可能であることが試算により得られた。また試験を通じて、切り捨て間伐材などの全木材を木質バイオマス資源として活用するためには、均一なチップを生産できるチップパーの開発や山土場からのチップ輸送車両の開発が必要であることなど、新たな課題も明らかになった。木質バイオマスのエネルギー利用拡大は、林業・木材産業の活性化に大きな役割を果たす可能性が高いと思われる。

この報告が、木質バイオマスの利用促進につながり、林業・木材産業の活性化に資することを期待する。

引用文献

- 1) 佐々木 誠一・多田野 修・東野 正・小笠原 啓次郎(2004) 低質材等未利用木質資源の燃料用チップ供給コストの試算—山土場からのチップ運搬工程およびコストの試算—。日林学術講115：648pp,
- 2) 多田野 修・佐々木誠一(2004) チップボイラーによる木材チップ燃料利用技術の開発 (I)。日林学術講115：649pp,
- 3) 佐々木誠一・佐々木誠一(2005) 燃料用チップ供給コストの試算。森林利用学会誌 19(4)：319-322.
- 4) 佐々木誠一・多田野 修(2005) 製紙用チップ工場における土場残材のチップ化処理コストの試算。東北森林科学会第10回大会講演要旨集：87pp,

表-5 チップ生産システムの比較

項目	移動式チップパーによるシステム			
	製紙用チップ工場供給	山土場	専用土場	ボイラー前
原木確保	◎	×	◎	○
枝条処理	×	○	×	×
全木材処理	×	○	×	×
原木ストック	◎	○	◎	×
原木乾燥	◎	○	◎	×
チップ品質	◎	条件付○ ^{注)}	○	○
チップ化作業	◎	×	◎	△
通年作業	◎	×	○	○
作業場所	◎	×	◎	△
チップ運搬	◎	×	◎	不要
コスト	◎	△	◎	◎
機械の運搬	不要	必要	不要	必要

注) 枝条が含まれない全幹材や丸太であれば問題は少ない

◎:最適 ○:良好 △:適 ×:不向き