

(資 料)

## 製紙用チップ工場で生産した土場残材チップの供給コスト試算

佐々木誠一・多田野 修・神道 徹平\*・立川 史郎\*

Trial calculation of supply cost of transportation and chipping at the factory in the case of using logging residues as woody biofuel

Seiichi SASAKI, Osamu TADANO, Teppei JINDO, Shiro TATSUKAWA

### 要 旨

素材生産現場で発生する根元材や曲材などの短尺材は、製紙用チップ工場の多くが受け入れていないため、土場残材として捨てられているのが現状である。しかし、バーカーへの材投入をバケットローダーで直接投入が可能な工場では、短尺材もチップ材として活用することができる。そこで、その利用可能性を検討するため、山土場で発生した土場残材のチップ化試験を行い、各作業工程の生産性を把握しコストを試算した。調査の結果、チップ化処理コストおよびチップの運搬コストは、チップ材のみの場合と土場残材が混入した場合では大きな差にはならないものの、材の運搬コストは、運搬する材、運搬車両によって大きな差となることが分かった。チップの供給コストを試算した結果、土場残材チップは、トラック土場から直接運搬できるものであれば、トータルで見ればチップ材よりも1㎡あたり2,216円低く供給できると試算された。しかし、フォワーダで山土場からトラック土場まで残材を運搬するコストは、4,000円/㎡以上と試算されることから、土場残材のバイオマス利用を行う場合は、トラック土場まで全木集材し、残材の運搬・利用に配慮して、プロセッサ等により効率的に造材することが有効と思われる。

キーワード

木質バイオマス, 土場残材, チップ工場, チップ化コスト, 運搬コスト

### 目 次

1 はじめに……………	4	3.1.1 フォワーダによる残材運搬工程……………	5
2 調査方法および試算方法……………	4	3.1.2 フォワーダによる残材運搬コスト……………	5
2.1 土場残材およびチップ材の運搬工程調査……………	4	3.1.3 トラック土場からの残材運搬工程……………	5
2.1.1 フォワーダによる残材運搬工程調査……………	4	3.1.4 トラック土場からの残材運搬コスト……………	6
2.1.2 トラック土場からの残材運搬工程調査……………	4	3.2 製紙用チップ工場のチップ化処理工程……………	6
2.2 チップ化処理工程調査……………	4	3.3 製紙用チップ工場のチップ化処理コスト……………	7
2.3 チップ運搬工程調査……………	4	3.4 チップの運搬工程および運搬コスト……………	7
2.4 チップ供給コストの試算……………	4	3.5 運搬車両別・運搬材別チップ供給コスト……………	8
3 結果と考察……………	5	4 まとめ……………	8
3.1 土場残材およびチップ材の運搬工程およびコスト……………	5	引用文献……………	8

\*岩手大学農学部

※今回報告する資料の内容は、第10回東北森林科学会<sup>1)</sup>および第12回森林利用学会研究発表会で口頭発表したものに、フォワーダによるトラック土場までの残材運搬について加筆し、統合したものである。

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」で取り組んでいるものである。

## 1 はじめに

化石エネルギー使用削減の観点から、土場残材等の未利用木質資源をチップ化し、バイオマス燃料として活用することが期待されている。

素材生産現場で発生する根元材や曲材などの短尺材（不定尺材）は、バーカーへの材投入をチェーンコンベアで投入する製紙用チップ工場の多くが受け入れていないため、土場残材として捨てられているのが現状である。しかし、バーカーへの材投入をバケットローダーで直接投入が可能な工場では、短尺材もチップ材として活用することができる。

そこで、その利用可能性を検討するため、山土場で発生した土場残材をチップ工場に搬入・チップ化し、チップボイラーまでチップを搬入するまでのコストを試算し、一般的な短幹材（チップ材）のチップ供給コストとも比較を行ったので、その結果を報告する。

## 2 調査方法および試算方法

### 2.1 土場残材およびチップ材の運搬工程調査

#### 2.1.1 フォワーダによる残材運搬工程調査

調査は盛岡市内の民有林2ヶ所（調査地Aおよび調査地B）で行った。調査地Aは、トラック土場までの運搬距離が長いために搬出を断念した短幹材（2.0mないし2.2m）と送電鉄塔建設に伴う支障木伐採を行った土場周辺で発生した土場残材（不定尺材）に分けて行い、運搬にはグラップル付フォワーダ（写真-1 積載量2,700kg）を使用した。調査地Bは、土場でプロセッサ造材した際に発生した直径や材長が様々な根元材や曲がり材が混在した材（不定尺材）を、グラップルローダーでフォワーダ（写真-2 積載量6,000kg）に積み込んで運搬した。

運搬した材積を把握するため、短幹材は材長と末口径を測定し末口二乗法で算出し、不定尺材については材長と中間径を測定し、円柱体積として材積を算出した。



写真-3 (残材積込)  
ロードークレーン付10tトラック  
最大積載量：10,000kg



写真-4  
ロードークレーン付4tトラック  
最大積載量：2,750kg

#### 2.1.2 トラック土場からの残材運搬工程調査

トラック積込土場に集積した土場残材を、ロードークレーン付10tトラック（写真-3）で製紙用チップ工場に運搬し、また、チップ材との比較を行うため、ロードークレーン付10tトラックおよびロードークレーン付4tトラック（写真-4）によるチップ材の運搬を行った。サイクルタイムを求めるため、運搬作業全工程の時間観測調査を行い、運搬工程を算出した。

運搬した材の重量は、チップ工場搬入時に、実車、空車の重量を測定して積載重量を算出した。

### 2.2 チップ化処理工程調査

調査は、月産約800絶乾tのチップを製造している工場で、土場残材を混入した場合と定尺チップ材のみを処理した場合に分けて行った。土場残材は、バーカー内で材の滞留が生じるため、定尺チップ材を混入して調査を行った。材搬入時に材積および重量を測定し、処理時間を計測して単位時間あたりの生産工程を求めた。また、製造したチップについてはチップ運搬車両に積み込み、チップ重量と生産量（容積）を測定するとともに、チップダストの重量を測定し、樹皮・その他の発生割合を求めた。

### 2.3 チップ運搬工程調査

生産したチップは、10t深ダンプ（写真-5）およびダンプ機能を有しない10tチップ運搬車（写真-6）にチップサイロから直接投入し、チップボイラー前まで運搬を行い、時間観測調査により運搬工程を算出した。

### 2.4 チップ供給コストの試算

調査に使用した運搬車両の単位時間あたり費用および



写真-1  
グラップル付フォワーダ  
最大積載量：2,700kg



写真-2  
フォワーダ  
最大積載量：6,000kg



写真-5 (残材積込)  
10t深ダンプ  
最大積載量：7,250kg  
荷台容積：25m<sup>3</sup>



写真-6  
10tチップ運搬車  
最大積載量：7,750kg  
荷台容積：38m<sup>3</sup>

チップ工場 1 日あたりの稼働コストについては、導入価格、修理・整備費、賃金、電気・燃料費、租税公課費、消耗品費等を聞き取りにより調べて算出し、工期調査で得られた作業工程で除して、各作業工程の丸太 1 m<sup>3</sup>あたりのコストを算出した。

得られた各作業工程のコストをもとに、トラック積込土場からチップボイラーまでのチップの供給コストについて、運搬材・運搬車両別に比較を行った。

### 3 結果と考察

#### 3.1 土場残材およびチップ材の運搬工程およびコスト

##### 3.1.1 フォワーダによる残材運搬工程

運搬した残材の材積は、調査地 A の短幹材が 12.32 m<sup>3</sup>、不定尺材が 2.82 m<sup>3</sup> で、調査地 B の不定尺材が 6.10 m<sup>3</sup> であった。1 サイクルあたりの平均運搬量は、調査地 A の短幹材が 4.10 m<sup>3</sup>、不定尺材が 1.41 m<sup>3</sup>、調査地 B の不定尺材は 2.8 m<sup>3</sup> であった。

図-1 に、運搬距離と運搬工程の関係を示した。運搬距離を 1,000 m とした場合の運搬工程は、調査地 A の短幹材が 3.45 m<sup>3</sup>/時、不定尺材が 0.97 m<sup>3</sup>/時で、調査地 B の不定尺材は 2.74 m<sup>3</sup>/時となった。調査地 A では、同じ機械を使用して運搬したにもかかわらず、運搬工程に大きな差がみられた。これは、不定尺材を積み込む場合は、荷台のポールの内側にコンパネで囲いを作ったことにより積載量が制約されたこと（写真-1）、不定尺材を積み込んだ際に空隙が大きく発生したこと、チップ化できる材の条件に合わせて選別しながら積み込んだことなどにより、積込時間が長くなったことによるものである。積込のみの作業工程を比較すると、調査地 A の短幹材が、8.47 m<sup>3</sup>/時、不定尺材で 1.94 m<sup>3</sup>/時、調査地 B の不定尺材で 4.70 m<sup>3</sup>/時となり、残材の形状や平均材積の違いにより大きな差となった。調査地 A では、同じ機械でも、短幹材と不定尺材では、4.4 倍の工程差となった。積込材

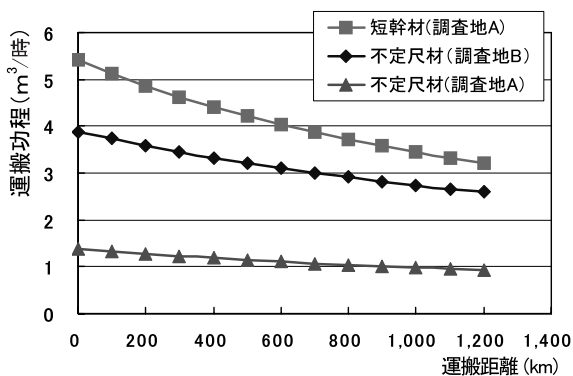


図-1 運搬距離と土場残材運搬工程の関係

の平均単木材積は、短幹材が 0.062 m<sup>3</sup>、調査地 A の不定尺材が 0.016 m<sup>3</sup>、調査地 B の不定尺材が 0.026 m<sup>3</sup> であり、調査地 B の不定尺材の積込工程が比較的高かったのは、平均単木材積の差によるものと思われる。

##### 3.1.2 フォワーダによる残材運搬コスト

土場残材の積込・運搬作業に使用した機械の時間費用を表-1 に示した。また、運搬距離と土場残材の運搬コストの関係を図-2 に示した。調査地 A の短幹材の運搬コストは、運搬距離が 1,000 m で約 1,500 円であったが、同じ機械で運搬した不定尺材は約 5,100 円と大きな差になった。また、調査地 B の不定尺材は、運搬工程が比較的高かったものの、2 台の機械を使用して作業を行ったことから、時間費用が割高となり、運搬距離 1,000 m のコストは約 4,500 円と高くなった。コストを下げるためには、ローダークレーン付フォワーダを使用し、使用機械の台数を少なくすることが効果的と思われる。

##### 3.1.3 トラック土場からの残材運搬工程

土場残材およびチップ材の運搬作業の走行時間以外の作業時間の構成を図-3 示した。また、工期調査で得られた結果をもとに、表-2 の条件で試算した運搬距離と運搬工程の関係を図-4 に示した。

表-1 土場残材積込・運搬機械の時間費用

積算因子及び積算内訳	フォワーダ (U707シ)	フォワーダ (U-6A)	グラブローダー (0.457ス)
機械価格(円) (a)	7,000,000	14,000,000	13,000,000
耐用年数(年)	5	5	5
年間作業日数(日/年)	200	200	200
1日当り実働時間(時/日) (b)	6	6	6
年間使用時間(時/年) (c)	1,200	1,200	1,200
耐用時間(時)	6,000	6,000	6,000
整備・修理費率 (d)	0.5	0.5	0.3
燃料消費量(リットル/時) (e)	8.0	7.3	7.0
燃料単価(円/リットル) (f)	100	100	100
油圧消費量(リットル/時) (g)	0.1	0.1	0.1
油圧単価(円/リットル) (h)	160	160	160
普通作業人数(人) (i:日額単価 12,000円)	0	0	0
オペレーター人数(人) (j:日額単価 15,000円)	1	1	1
減価償却費(円/時) (k)=(a)×0.9/(b)	1,050	2,100	1,950
利子 (円/時) (k)×0.075	79	158	146
整備・修理費(円/時) (k)×(d)	525	1,050	585
直接費 燃料費(円/時) (e)×(f)	800	730	700
油圧費(円/時) (g)×(h)	16	16	16
普通作業員賃金(円/時) (i)/(b)	0	0	0
オペレーター賃金(円/時) (j)/(b)	2,500	2,500	2,500
時間費用合計(円/時)	4,970	6,554	5,897

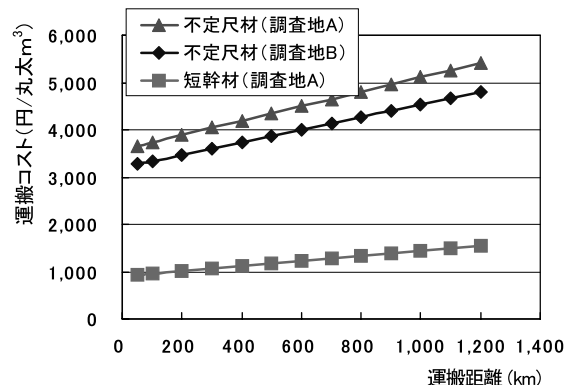


図-2 運搬距離と土場残材運搬コストの関係

土場残材は、山積み状態の不定尺の材を、トラックの荷台に整理しながら積み込むため、補助員が付いても効率が悪く、走行時間を除く作業全体ではチップ材の3倍近い時間を要し、運搬工程も低かった。

4 t ロードークレーン車は、作業時間は短かったものの、クレーンや荷台重量の影響により最大積載量が2,750kg (3.4m<sup>3</sup>) と少ないことから、運搬工程は低かった。運搬工程には、作業時間以上に積載量が大きく影響していた。土場残材の活用を前提とするのであれば、1mの定尺採材とするなどの配慮が必要と思われた。

3. 1. 4 トラック土場からの残材運搬コスト

運搬コストは、運搬車両の時間あたり費用 (表-3)

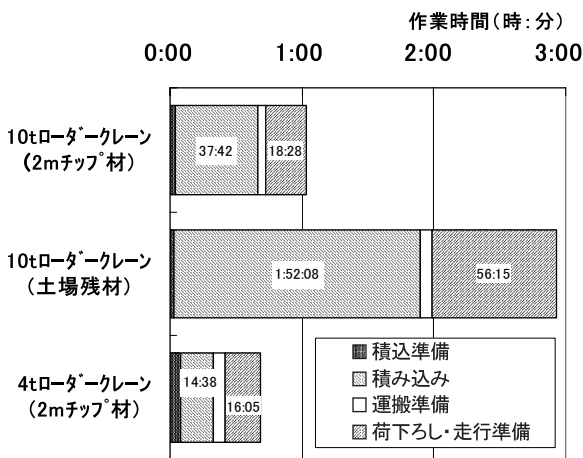


図-3 走行時間以外の作業時間の構成

表-2 試算条件

最大積載量: 10t 車	10,000kg(12.5m <sup>3</sup> )
4t 車	2,750kg(3.4m <sup>3</sup> )
丸太の比重:	800kg/m <sup>3</sup>
平均走行速度:	40km/時
1日あたりの稼働時間:	8時間
作業工程:	積み込み 荷下ろし
10t 車 チップ材	19.9m <sup>3</sup> /時 40.6m <sup>3</sup> /時
10t 車 土場残材	6.7m <sup>3</sup> /時 13.3m <sup>3</sup> /時
4t 車 チップ材	14.1m <sup>3</sup> /時 12.8m <sup>3</sup> /時

を、工程調査で得られた時間あたりの運搬工程で除して算出した。なお、10 t ロードークレーン車は、荷台の材整理のための補助員を同行しており、補助員を含めた時間費用で試算した。

図-5に、運搬車両別の運搬距離と運搬コストの関係を示した。運搬コストは、距離が長くなるほど上昇し、運搬量の多い車両の方が、運搬距離が長くなってもコストの上昇は低く押さえられた。

土場残材は、積み込み、荷下ろし作業に時間を要し、サイクルタイムが長くなったことから、10 t 車ではチップ材の運搬よりも1 m<sup>3</sup>あたり1,159円のコスト高となり、運搬距離30km程度までは、4 t 車でチップ材を運搬するよりもむしろコスト高となると試算された。

チップ材の山土場引き渡し価格は、聞き取り調査によると2,500~3,500円/m<sup>3</sup>である。一方、土場残材は、山土場での引き渡し価格が発生しないものと考えれば、チップ材との価格差の範囲内で、運搬コストが割高となっても活用することは十分可能と思われる。

3. 2 製紙用チップ工場でのチップ化処理工程

表-4に、製紙用チップ工場におけるチップ化処理工程調査の結果を示した。土場残材などの短尺材を混入してチップ化をした場合の1日あたりの処理工程は96.6m<sup>3</sup>

表-3 運搬車両の時間費用

積算項目内訳	ロードークレーン付 10tトラック(補助付)	ロードークレーン付 4tトラック
	機械価格(円)	20,000,000
耐用年数(年)	5	5
年間作業日数(日/年)	240	240
1日当り実働時間(時/日)	8	8
年間使用時間(時/年)	1,920	1,920
耐用時間(時)	9,600	9,600
整備・修理費率	0.4	0.4
燃料消費量(リットル/時)	16	10
燃料単価(円/リットル)	100	100
車検・保険料(円/年)	800,000	400,000
運転手・補助員賃金(円/日)	23,000	13,000
固定費	141	70
減価償却費(円/時)	417	208
整備・修理費(円/時)	1,875	938
直接費	750	375
賃金(円/時)	1,600	1,000
時間費用合計(円/時)	2,875	1,625
時間費用合計(円/時)	7,658	4,216

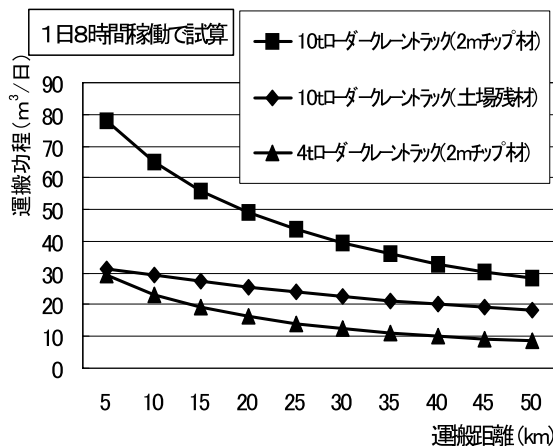


図-4 運搬距離と運搬工程の関係

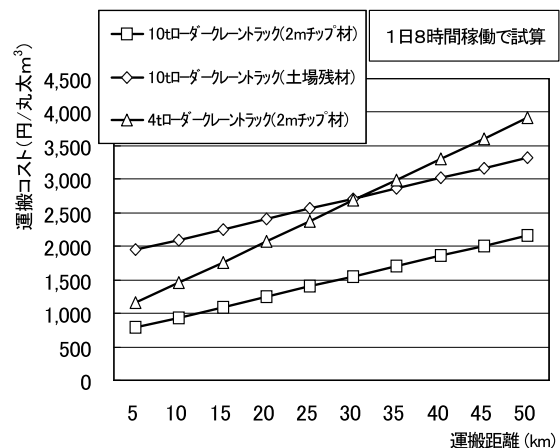


図-5 運搬距離と運搬コストの関係

と、定尺チップ材の処理工程の87%であった。また、チップの生産量は、投入丸太重量の82%程度で、製造されるチップの容積は、丸太材積の約2.6倍であった。

### 3.3 製紙用チップ工場のチップ化処理コスト

表-5は、施設の多くが減価償却期間を過ぎた製紙用チップ工場の1日あたりの稼働経費を算出したものである。一般管理費を含めない工場稼働コストは約9万円/日であった。試算の結果、土場残材等を混入してチップ化を行った場合の丸太1m<sup>3</sup>あたりのチップ化処理コストは942円で、定尺チップ材のみの場合は815円となった。チップ工場でのチップ化処理コストは、土場残材を混入しても大きな差にはならなかった。<sup>1)</sup>

### 3.4 チップの運搬工程および運搬コスト

図-6に、運搬車両別のチップの運搬距離と運搬工程の関係を示した。また、チップ運搬車両の時間費用(表-6)から、運搬工程で除して求めた運搬距離とチップ運

搬コストの関係を図-7に示した。

荷台容積が38m<sup>3</sup>と大きな10tチップ運搬車は、最大荷台容積で運搬した場合、チップを人力で下ろす必要があるためよりサイクルタイムが長くなることから、近距離では10t深ダンプよりも運搬工程を下回るが、25kmを越えて運搬距離が長くなると、運搬工程は逆転すると試算された。また運搬コストも、10tチップ運搬車の車両価格が低いことから、運搬距離約20kmで逆転すると試算された。しかし、10tチップ運搬車は、含水率の高いチップ(比重300kg/m<sup>3</sup>以上)を運搬した場合、チップの運搬量は最大積載重量の制約を受け、約26m<sup>3</sup>しか積載できないため、運搬距離が長くなっても10t深ダンプ車よりも運搬工程は低くなり、運搬コストも高くなると試算された。

チップを燃料として使用する場合、含水率が低いほど燃焼効率の面で有利であり、チップの運搬工程にも大

表-4 チップ化処理工程調査結果

区分	短尺材とチップ材の混入			チップ材のみ		
	重量(kg)	材積(m <sup>3</sup> )	重量比率	重量(kg)	材積(m <sup>3</sup> )	重量比率
投入原木量						
短尺材	10,400	12.57	34%	0	0	0%
定尺チップ材	19,880	26.92	66%	49,850	75.18	100%
合計	30,280	39.50	100%	49,850	75.18	100%
チップ生産量及びその他の発生量						
チップ	24,820	103.50	82%	41,370	198.40	83%
チップダスト	490	-	2%	1,550	-	3%
樹皮・水分	4970	-	16%	6,930	-	14%
合計	30,280		100%	49,850		100%
丸太→チップ変化率	2.6倍			2.6倍		
チップ化処理時間	2時間27分			4時間03分		
1時間あたりのチップ化処理工程(丸太材積換算)	16.1 m <sup>3</sup> /時			18.6 m <sup>3</sup> /時		
1日あたりのチップ化処理工程(丸太材積に換算)	96.6 m <sup>3</sup> /日			111.6 m <sup>3</sup> /日		

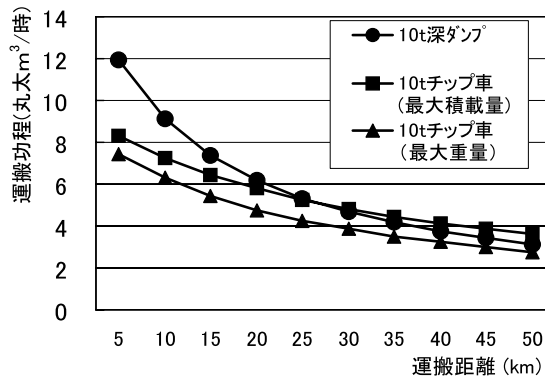


図-6 運搬距離と運搬工程の関係

表-5 チップ工場1日あたりの稼働経費(減価償却済み工場の場合)

積算因子及び積算内訳	工場建物	チップ製造機械	ログローダ	パケットローダ	グラブブロー	合計
導入価格(円)	30,000,000	61,000,000	12,370,000	6,800,000	11,000,000	
耐用年数(年)	24	8	5	5	5	
年間作業日数(日/年)	240	240	240	240	240	
1日あたり実働時間(時/日)	6	6	6	6	3	
年間使用時間(時/年)	1,440	1,440	1,440	1,440	720	
耐用時間(時)	34,560	11,520	7,200	7,200	3,600	
整備・修理費(円/年)	100,000	2,000,000	400,000	300,000	300,000	
電気料(円/月)		電気料は月産800tdチップ工場規模を適用				
燃料消費量(リットル/日)			20	15	10	
燃料単価(円/リットル)			100	100	100	
チップバ刃損料・研磨費(円/年)		437,333				
租税公課費(円/年)	1,200,000					
年次点検(円/年)			100,000	100,000	100,000	
作業員数(人)		1	1	0.5	0.5	
作業員単価(円/日)		13,000	13,000	13,000	13,000	
減価償却費(円/日)		(作業車両は随時更新が行われる。その3台のうち1台分を計上)				
ログローダのみを計上			9,278			9,278
整備・修理費(円/日)	417	8,333	1,667	1,250	1,250	12,917
固定費		利子(円/日)	0	696	0	696
		租税公課費(円/日)	5,000			5,000
		年次点検(円/日)		417	417	1,251
直接費		電気料・燃料費(円/日)	16,500	2,000	1,500	21,000
		チップバ刃損料・研磨費	1,822			1,822
作業員賃金(円/日)			13,000	13,000	6,500	39,000
1日あたり費用合計	5,417	39,655	27,058	9,667	9,167	90,964

大きく影響することから、チップ化処理する前に、十分に乾燥させることが重要と思われる。

3.5 運搬車両別・運搬材別チップ供給コスト

図-8に、トラック土場から直接積み込んだ場合のチップ材と土場残材の運搬車両の違いによるチップ供給コストの試算結果を示した。試算条件は、チップ材・土場残材・チップの運搬距離をいずれも40kmに、また運搬車両の走行速度を時速40kmとした。

チップ化処理費およびチップの運搬コストは、大きな差にはならないものの、原料となる材の運搬コストは、

表-6 チップ運搬車両の時間経費

積算項目内訳	10t深ダンプ	10tチップ車 (手降ろし)
機械価格(円)	15,000,000	14,000,000
耐用年数(年)	5	5
年間作業日数(日/年)	240	240
1日当り実働時間(時/日)	8	8
年間使用時間(時/年)	1,920	1,920
耐用時間(時)	9,600	9,600
整備・修理費率	0.4	0.4
燃料消費量(リットル/時)	16	12.5
燃料単価(円/リットル)	100	100
車検・保険料(円/年)	700,000	650,000
運転手賃金(円/日)	13,000	13,000
固定費		
利子(円/時)	105	98
車検・保険料(円/時)	365	339
減価償却費(円/時)	1,406	1,313
整備・修理費(円/時)	563	525
直接費		
燃料費(円/時)	1,600	1,250
賃金(円/時)	1,625	1,625
時間費用合計(円/時)	5,663	5,149

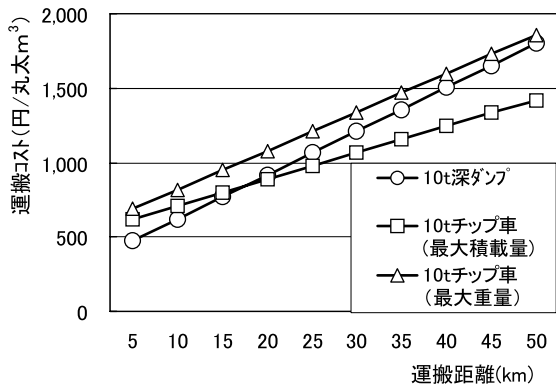


図-7 運搬距離と運搬コストの関係

運搬する材、運搬車両によって大きな差になった。土場残材は、トラックで直接土場から運搬できるものであれば、運搬コストがチップ材よりも高くなるものの、トータルで見ればチップ材よりも1 m³あたり2,216円低く供給できると試算され、この分土場残材を有償化することも可能と思われた。

4 まとめ

本研究では、山土場で発生した土場残材を、短尺材のチップ化処理が可能なチップ工場で処理した場合、一般的なチップ材とどれだけコストに差が出るのかを検証した。その結果、トラック土場で直接運搬できる土場残材は、一定の対価を支払っても、チップ材と競争可能なコストで供給できると試算された。

しかし、図-2に示したように、フォワーダでチップ材をトラック土場まで運搬するコストは、1,000円/m³程度であるものの、土場残材は、3,000円/m³以上と試算されている。土場残材のバイオマス利用を行う場合は、トラック土場まで全木集材し、プロセッサ等によりなるべく一定の材長になるように採材するとともに、容易に積み込みができるよう材を揃えては積するなど、積込・運搬に配慮することが重要と思われる。

また、比較的単木材積が大きな根元材などが大量に発生する現場でなければ、利用を断念すべきと思われる。

引用文献

- 1) 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. 東北森林科学会講演要旨集 10 : 87pp,

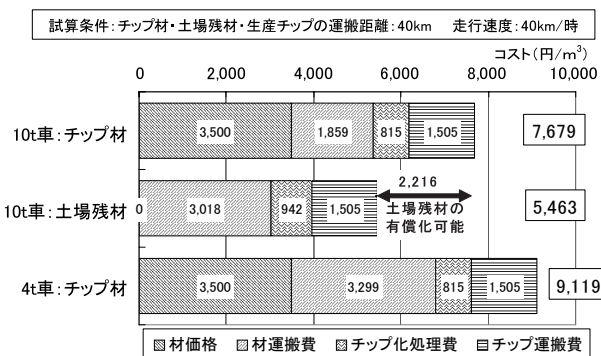


図-8 運搬車両・運搬材別チップ供給コスト