

建築廃木材の輸送コストと破砕処理コスト*1

吹野 信*2, 加藤幸浩*2, 清野新一*2, 石河周平*2

Transportation Cost and Crush Processing Cost of Construction Waste Wood*1

Makoto FUKINO*2, Yukihiro KATO*2,
Shinichi SEINO*2 and Syuuhei ISHIKO*2

The transportation cost of construction waste wood from a demolition spot to the intermediate treatment mill, the crush processing cost at the intermediate treatment mill, and the transportation cost of crushed chips to the recycling mill were estimated and ways to reduce those costs were discussed. The transportation cost of construction waste wood and of crushed chips was greatly reduced by increasing the number of round trips per day. The transportation cost of construction waste wood was about two times that of crushed chips. The transportation cost of crushed chips was greatly reduced by increasing the backhaul use rate when the section between an intermediate treatment mill and the recycling mill was a distant place allowing only about 1 round trip per day. The total transportation cost of construction waste wood and crushed chips was mainly influenced by the location of the intermediate treatment mill. The total transportation cost was estimated by each number of round trips of construction waste wood and crushed chips, and by the backhaul use rate of crushed chips. The crush processing cost was reduced greatly when the annual processing scale of the intermediate treatment mill was increased from 20000 t to 50000 t or 100000 t.

Keywords: transportation cost, crush processing cost, backhaul, backload, return load.

建築廃木材の解体現場から中間処理工場までの輸送コスト、中間処理工場の破砕処理コスト、破砕チップの再資源化工場までの輸送コストを検討した。建築廃木材、破砕チップの各輸送コストは、1日の往復回数が増大することにより大きく低減した。また、建築廃木材の輸送コストは破砕チップの約2倍高くなった。破砕チップの輸送コストは、1日1往復区間のような遠隔地において、帰り荷利用率が高まることにより特に低減額が大きかった。建築廃木材と破砕チップの全輸送コストは、中間処理工場の立地場所の及ぼす影響が大きかった。全輸送コストは、建築廃木材と破砕チップ輸送における1日の各往復回数および破砕チップの帰り荷利用率から試算された。破砕処理コストは、中間処理工場の規模を年間処理量2万tから5万t、10万tに拡大することにより大きく低減した。

1. 緒 言

建築廃木材（以下、「廃木材」）の破砕チップ需要は、従来からのパーティクルボード原料に加えて、

近年、製紙工場などの燃料利用が急速に拡大している。このため、ボード工場、製紙工場など再資源化工場が集まる地域においては、原料となる破砕チップの需要増による価格の上昇や需要量確保のための集荷範囲の拡大が課題となっている。一方、このような大規模な需要がなく再資源化率の向上が課題となっている地域もあり、効率的な輸送によりボード原料や燃料などに利用できれば地域全体の再資源化率の向上につながる。また、大量排出される地域においては、中間処理工場の規模拡大によりコスト低

*1 Received May 28, 2008; accepted July 18, 2008. 本報告の一部は第58回日本木材学会大会（2008年3月、つくば）で発表した。

*2 北海道立林産試験場 Hokkaido Forest Products Research Institute, Asahikawa 071-0198, Japan

減を図れる可能性がある。

解体現場で発生した廃木材が、製紙工場やボード工場などの再資源化工場に納入されるまでには、Fig. 1 に示すとおり、廃木材の輸送コスト、破碎処理コスト、破碎チップの輸送コストがかかる。

廃木材の破碎処理コストについては、年間処理量1.25万 t 規模の報告¹⁾があるが、それ以上の規模や規模が破碎処理コストに及ぼす影響に関するものはない。また、廃木材および破碎チップの輸送コスト、それらをあわせた全輸送コストに関する報告はない。

関連のある研究としては、林地残材を燃料利用する際の輸送コストや破碎コストについての報告²⁻⁵⁾がある。しかし、林地残材と廃木材では、輸送および破碎コストの前提条件となる積載物のかさ密度、使用車両、積載量や破碎処理工程などが大きく異なる。

そこで、本研究では、廃木材と破碎チップの各輸送コストと全輸送コスト、廃木材の破碎処理コストの試算を行った。なお、全輸送コストは中間処理場の立地場所による検討、破碎処理コストは中間処理場の規模（2万 t～10万 t）による検討を行った。

2. 方 法

2.1 廃木材および破碎チップの輸送コスト

廃木材と破碎チップの輸送は2地点間の往復輸送とし、積載物による使用車両、積載量などの前提条件は、既報⁶⁾および聞き取り調査結果から Table 1 のように設定した。輸送コストの原価計算は、1車1日単位で計算される場合が多いことから運賃を1車1日単位で設定した。なお、廃木材の輸送は、解体現場から中間処理工場までの間を1日最大4往復、破碎チップの輸送は、中間処理工場から再資源化工場までの間を1日最大5往復とした。また、破碎チップの輸送は、パルプチップ等の帰り荷を利用して運賃の低減を検討するため、その利用率を0、50、100%、運賃を通常運賃（行き荷運賃）の40%引きに設定した。

2.2 中間処理工場の立地場所による全輸送コスト

帰り荷利用率と1日の往復回数別の最長走行時間を Table 2 に示す。前提条件は、「自動車運転者の労働時間等の改善のための基準」（平成元年労働省告示第7号）に基づき、運転手の拘束時間の上限を1日11時間（660分）、運転時間の上限を1日9時間（540分）、休憩時間を2時間の連続運転ごとに15分、積卸・待機時間を1回あたり60分とした。なお、帰り荷利用率100%、1日の往復回数1回の場合の運転手の拘束時間のみ630分となるのは、走行時間が片道4

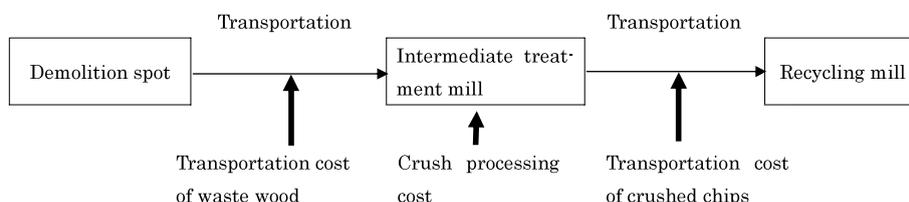


Fig. 1. Transportation cost and crush processing cost from demolition spot to recycling mill.

Table 1. Estimating conditions of transportation cost.

Loads	Construction waste wood	Crushed chips
Bulk density and moisture content	0.17 g/cm ³ , oven-dry (0.2 g/cm ³ , 18%)	0.16 g/cm ³ , oven-dry (0.2 g/cm ³ , 25%)
Vehicles	11-ton dump truck (deep load-carrying platform)	11-ton chip truck
Quantity of loads	24 m ³ , 4.08ODT	45 m ³ , 7.2ODT
Freight of truck (Yen/day)	42000	42000
Transporting conditions	Round trip transportation between two points a day.	

Note: ODT: Oven-dry ton

Table 2. Maximum running time by a backhaul use rate and the number of round trips.

The rate of backhaul use (%)	The number of round trips (times/day)	Driver's total time spent at work (min)	Shipping, discharging and standby time (min)	Recess (min)	Maximum running time (min)	Maximum running time per round trip (hour : min)	
						Round trip	One way
0	1	660	60	60	540	9:00	4:30
	2	660	120	60	480	4:00	2:00
	3	660	180	0	480	2:40	1:20
	4	660	240	0	420	1:45	0:52
	5	660	300	0	360	1:12	0:36
50	1	660	90	60	510	8:30	4:15
	2	660	180	0	480	4:00	2:00
	3	660	270	0	390	2:10	1:05
	4	660	360	0	300	1:15	0:37
	5	660	450	0	210	0:42	0:21
100	1	630	120	30	480	8:00	4:00
	2	660	240	0	420	3:30	1:45
	3	660	360	0	300	1:40	0:50
	4	660	480	0	180	0:45	0:22
	5	660	600	0	60	0:12	0:06

時間を超えると休憩時間を片道当たり15分(往復30分)とることになるため、残りの30分が休憩時間となるためである。このように、輸送コストを1車1日あたりで設定すると、運転手の拘束時間の上限、運転時間の上限、休憩時間の規定により、2地点間の輸送コストは、2地点間の距離ではなく所要時間によって決まることとなる。

解体現場は、再資源化工場までの間を1日最大1~4往復できる区間(帰り荷利用率0%のとき。最大往復回数が少ないほど遠く、回数が多いほど近い)とし、各片道所要時間を1~4往復区間の順に4:00, 2:00, 1:00, 0:45(h:min)に設定した。各中間点までの所要時間は各往復回数別の片道所要時間の1/2とした。

中間処理工場の立地場所は、解体現場と再資源化工場の間が1日1, 2往復区間の場合、解体現場近郊、解体現場と再資源化工場との中間点、再資源化工場近郊、再資源化工場隣接地の4条件に設定した。また、1日3, 4往復区間の場合は、解体現場と再資源化工場との中間点を除く3条件に設定した。なお、再資源化工場隣接地の場合は、破碎チップの輸送コストをゼロとみなした。

解体現場から中間処理工場までと中間処理工場から再資源化工場までの各往復回数は、Table 2の往復回数と帰り荷利用率の所要時間から設定した。なお、中間処理工場が再資源化工場近郊のときは、この間の1日の往復回数を破碎チップの最大往復回数の5回とし、片道の所要時間をTable 2に示す往復回数5回、帰り荷利用率100%の際の上限値である

6分とした。中間処理工場が解体現場近郊のときは、この間の1日の往復回数を廃木材の最大往復回数の4回とした。片道所要時間は、中間処理工場と再資源化工場との間と同じ近郊区間のため6分と設定した。

2.3 中間処理工場の規模別の破碎処理コスト

廃木材の排出量は、人口100万人あたり5万t程度と推計される⁷⁾ため、人口に応じた適正な中間処理工場の規模が考えられる。本報では、現在、北海道で最も大きい2万t規模から国内で最も大きい10万t規模まで検討した。年間処理量は20160t, 45360t, 113400t(水分15%の気乾状態)の3つの規模を設定し、以下これらを2万t, 5万t, 10万t規模と称することとした。前提条件は、既報¹⁾および聞き取り調査結果などから2万t, 5万t, 10万t規模の順に以下のように設定し、工場規模が破碎処理コストに及ぼす影響を検討した。

2.3.1 製造原価

- 1) 廃木材の年間処理量：工場の操業6.5時間/日, 21日/月, 廃木材の水分15%のとき各20160t, 45360t, 113400t(全乾状態で各17136t, 38556t, 96390t)
- 2) 破碎チップの年間生産量：破碎時の歩留まり0.90, 破碎チップの水分20%のとき各19278t, 43376t, 108439t(全乾状態で各15422t, 34700t, 86751t)
- 3) 原材料費：ゼロ。
- 4) 労務費：工場従業員数は各5人, 8人, 13人。給与単価4800千円。福利厚生費は退職給与引当金を含め給与単価の22%。
- 5) 電力費：設備公称出力合計は各296kW, 591kW,

882 kW。年間消費電力量は力率0.7, 平均負荷率0.7として, 各237856 kWh, 474469 kWh, 707509 kWh。電気料金(北海道電力株の2006年7月1日現在の高圧電力)は基本料金1963.5円/kWh・月, 電力料金9.42円/kWh。

6) 資産: 機械設備費用は各150000千円, 190000千円, 310000千円。工場建物建設面積は各500 m², 1000 m², 1700 m², 建設費は100千円/m²。重機購入台数は各2台, 3台, 4台。単価は7500千円。

7) 減価償却費: 残存価額10%, 機械設備8年定額, 重機5年定額, 建物15年定額。

8) その他諸経費: 消耗品費は, 破碎機ごとにハンマー等の消耗部品や機械油消費量等を試算し, 各430万円, 845万円, 1280万円。燃料費は, 重機1台あたりの年間軽油消費量6000 L, 軽油単価120円/L。修繕費は, 機械設備・重機取得費用の3%, 建物取得費用の1%。保険料は, 機械設備・建物取得費用の0.3%。固定資産税は, 償却資産を取得費用×(1-一定率法による減価率/2)×税率(1.4%), 建物を取得費用×0.6×税率(1.4%)。その他費用は, 労務費と減価償却費を除く諸経費の10%。

2.3.2 販売費および一般管理費

1) 人件費: 管理者1人, 給与単価8000千円。営業等職員は各0人, 1人, 2人, 給与単価5500千円。事務職員1人, 給与単価4000千円。福利厚生費は退職給与引当金を含め給与単価の22%。

2) 資産: 管理事務棟建物面積は各55 m², 65 m², 80 m², 建設費単価は110千円/m²。営業用車両は各1台, 1台, 2台, 単価1600千円。

3) 減価償却費: 残存価額10%, 建物24年定額, 営業用車両5年定額。

4) 諸経費: 光熱費(水道, 電気, 灯油代)は, 各600000円, 650000円, 700000円。旅費は, 管理者200千円, 営業等職員100千円。保険料は, 建物取得費用の0.3%, 営業用車両取得費用の3%。固定資産税は建物取得費用×0.6×税率(1.4%), 自動車税は1台あたり8500円(営業用車両1.5L以下)。その他費用は, 人件費を除く諸経費の15%。

2.3.3 支払利息

借入金元本は, 機械設備・車両および建物の取得費用の全額。返済期間はそれぞれ10年および15年。年利はそれぞれ2%および2.5%。

3. 結果と考察

3.1 廃木材と破碎チップの輸送コストの試算

廃木材および破碎チップの全乾重量あたりの輸送コストの試算結果をFig. 2に示す。

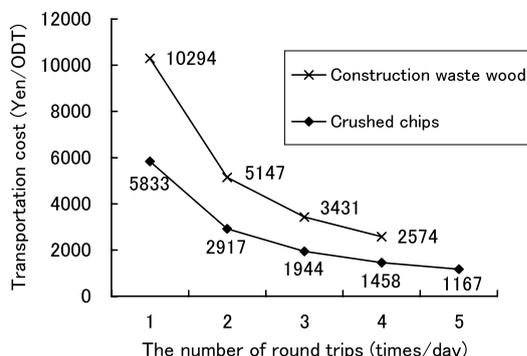


Fig. 2. Effect of the number of round trips on transportation cost.

Note: ODT: See Table 1.

1日の往復回数が輸送コストに及ぼす影響が大きく, 1日1往復区間のような遠隔地の廃木材の輸送コストは特に高かった。また, 廃木材の輸送コストは, 破碎チップの概ね2倍(1.9~2.3倍)になることが示された。これは, 廃木材と破碎チップの輸送実態として, 使用車両が異なり1車あたりの廃木材の積載量が破碎チップの約1/2となったためである。

次に破碎チップの帰り荷利用率と1日の往復回数別の全乾重量あたりの輸送コストをFig. 3に示す。

各往復回数ともに帰り荷利用率を高めることにより輸送コストが低減された。特に, 1日1往復区間において帰り荷利用率を高めることによる輸送コストの低減額の大きいことが示された。

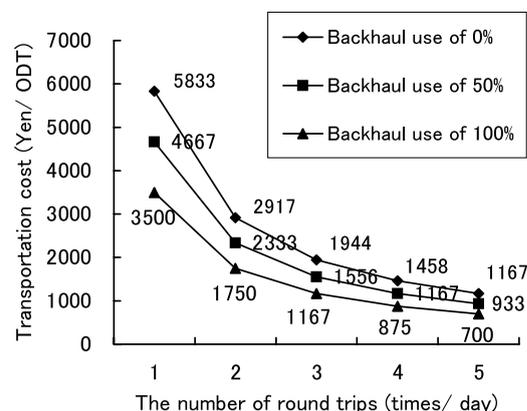


Fig. 3. Effect of the number of round trips and the backhaul use rate on transportation cost.

Note: ODT: See Table 1.

3.2 中間処理工場の立地場所による全輸送コストの検討

2.2の前提条件, Fig. 2, 3の廃木材と破砕チップの輸送コストをもとに試算した全乾重量あたりの廃木材と破砕チップの全輸送コストをTable 3に示す。なお, 2.3.1で中間処理工場における破砕時の歩留まりを0.90としているため, 廃木材の輸送コストはFig. 2中の廃木材の輸送コストを0.90で除した値を示した。

解体現場と再資源化工場の間の1日の往復回数別の全輸送コストは以下のとおりである。

1日1往復区間のような遠隔地の場合, 全輸送コストは, 中間処理工場が解体現場近郊に位置し, 破砕チップの帰り荷利用率100%の際に最も低くなった。帰り荷利用率50%のときも解体現場近郊に位置するときに低くなった。帰り荷利用率0%のときは, 解体現場近郊と同様に中間に位置するときに低くなった。

1日2往復のような遠隔地より近い区間の場合, 解体現場近郊に位置し, 帰り荷利用率50%の際に最も低くなった。解体現場近郊に位置し, 帰り荷利用率100%の場合は, 積卸・待機時間の増加に伴う最長走行時間の短縮により1日の往復回数が減少したため, 帰り荷利用率50%と比較して高くなった。帰り荷利用率0%のときは, 解体現場近郊, 中間, 再資源化工場隣接において同様に低くなった。

1日3, 4往復のようなさらに近い区間の場合は, 帰り荷利用率にかかわらず, 再資源化工場隣接のときに最も低くなった。

一方, 1日1~3往復区間とも, 3往復区間の帰り荷利用率100%を除いて, 再資源化工場近郊に位置する場合に最も高くなった。

以上, 1日1, 2往復区間のときは, 中間処理工場が解体現場近郊に位置し, 破砕チップの帰り荷利用率を往復回数が減少しない範囲で高めることにより全輸送コストが低くなった。一方, 1日3, 4往復区間のときは, 中間処理工場が再資源化工場に隣接する場合に低くなった。

このように, 全輸送コストは, 解体現場と再資源化工場との間の1日の往復回数にかかわらず中間処理工場の立地場所の及ぼす影響が大きかった。また, 1日1, 2往復区間のときは, 破砕チップの帰り荷利用率の及ぼす影響が大きかった。

3.3 中間処理工場の規模別の破砕処理コスト

中間処理工場の規模別の全乾重量あたりの破砕処理総原価をFig. 4に示す。

Fig. 4より, 規模拡大に伴って全乾重量あたりの破砕処理総原価は, 2万t規模に対して5万t規模で31%, 10万t規模で58%低減することが示された。科目別シェアは, いずれの工場規模においても, 労務費が全コストの29~32%を占め最大となった。減価償却費は労務費に次ぐ23~26%, 販売管理費は14

Table 3. Effect of location of intermediate treatment mill on total transportation cost.

Conditions ¹⁾	The number of round trips of waste wood (times/day)	Transportation cost of waste wood (Yen/ODT/0.90 ²⁾)	Transportation cost of crushed chips by backhaul use rate						Total transportation cost by backhaul use rate of crushed chips (Yen/ODT)		
			0%		50%		100%		0%	50%	100%
			times/day	Yen/ODT	times/day	Yen/ODT	times/day	Yen/ODT	0%	50%	100%
1-a	4	2859	1	5833	1	4667	1	3500	8693	7526	6359
1-b	2	5719	2	2917	2	2333	1	3500	8636	8052	9219
1-c	1	11438	5	1167	5	933	5	700	12605	12371	12138
1-d	1	11438	0	0	0	0	0	0	11438	11438	11438
2-a	4	2859	2	2917	2	2333	1	3500	5776	5193	6359
2-b	3	3813	3	1944	3	1556	2	1750	5757	5368	5563
2-c	2	5719	5	1167	5	933	5	700	6886	6652	6419
2-d	2	5719	0	0	0	0	0	0	5719	5719	5719
3-a	4	2859	3	1944	3	1556	2	1750	4804	4415	4609
3-c	3	3813	5	1167	5	933	5	700	4979	4746	4513
3-d	3	3813	0	0	0	0	0	0	3813	3813	3813
4-a	4	2859	4	1458	3	1556	3	1167	4318	4415	4026
4-c	4	2859	5	1167	5	933	5	700	4026	3793	3559
4-d	4	2859	0	0	0	0	0	0	2859	2859	2859

Notes: ¹⁾ 1-4: The number of round trips between demolition spot and recycling mill, a-d: Location of intermediate treatment mill, a: Demolition spot suburbs, b: The halfway point of demolition spot and recycling mill, c: Recycling mill suburbs, d: Contiguity with recycling mill, ²⁾ Since the yield of crush processing at intermediate treatment mill is 0.90, the value of this column divides the value of the transportation cost of construction waste wood in Fig. 2 by 0.90, ODT: See Table 1.

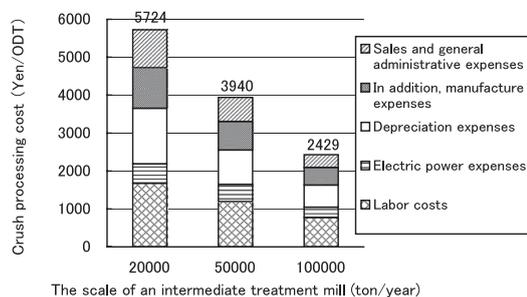


Fig. 4. Effect of the annual processing scale of an intermediate treatment mill on crush processing cost.

Notes: ODT: See Table 1.

～18%であった。一方、規模拡大に伴う科目別の低減割合は、労務費、減価償却費、販売管理費の順に2万t規模に対し5万t規模で29%、38%、37%、10万t規模で54%、60%、67%となった。特に、減価償却費と販売管理費の低減割合が大きかった。これは、中間処理工場の年間処理量が2万tから10万tに5倍高まるのに対して、機械設備費が2.1倍、人件費および諸経費が1.9倍の上昇に留まったためである。

4. 結 論

廃木材および破碎チップの各輸送コストと全輸送コスト、廃木材の破碎処理コストの検討を行った。

廃木材、破碎チップの各輸送コストは、1日の往復回数の及ぼす影響が大きかった。また、廃木材の輸送コストは、破碎チップの約2倍高くなった。破碎チップの輸送コストは、1日1往復区間のような遠隔地で帰り荷利用により特に低減額が大きくなった。

廃木材と破碎チップの全輸送コストは、中間処理工場の立地場所の及ぼす影響が大きかった。また、全輸送コストは、廃木材と破碎チップの1日の各往復回数および破碎チップの帰り荷利用率から試算された。解体現場と再資源化工場との間を1日1～4

往復区間とし、各片道所要時間を1～4往復区間の順に4:00, 2:00, 1:00, 0:45 (h:min)と設定したときの全輸送コストは次のとおりであった。1日1, 2往復区間では、中間処理工場が解体現場近郊に位置し、破碎チップの帰り荷利用率を往復回数が減少しない範囲で高めることにより全輸送コストが低くなった。1日3, 4往復区間では、中間処理工場が再資源化工場に隣接する場合に低くなった。

廃木材の破碎処理コストは、中間処理工場の規模拡大により破碎処理総原価が大きく低減した。科目別では、減価償却費と販売管理費の低減効果が大きかった。全乾重量あたりの破碎処理総原価は、2万t規模に対して5万t規模で31%、10万t規模で58%低減することが示された。

謝 辞

本研究にご協力いただいた王子製紙グループ、日本製紙グループ、株式会社イワクラおよびご助言をいただいた北海道立林産試験場の遠藤展氏に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 木質廃棄物利用推進事業検討委員会：“木質廃棄物利用推進事業報告書”，(財)日本住宅・木材技術センター，東京，1997，pp. 4-18.
- 2) 岩岡正博：機械化林業 **595**, 10-14 (2003).
- 3) 立川史郎：機械化林業 **596**, 1-4 (2003).
- 4) 吉岡拓如：機械化林業 **610**, 11-16 (2004).
- 5) 森口敬太，鈴木保志，後藤純一，稲月秀昭，山口達也，白石祐治，小原 忠：日林誌 **86**(2)，121-128 (2004).
- 6) 清野新一：林産試だより 2002年5月号，10-12 (2002).
- 7) 清野新一，東 智則，石河周平：第13回廃棄物学会研究発表会講演論文集，京都，2002，pp. 13-15.