

マテリアルフローの把握にもとづく木材資源の循環度の分析

Analysis of material cycles of wood resource based on material flow accounting

橋本征二¹

森口祐一¹

齊藤聡²

小野隆史²

Seiji HASHIMOTO¹

Yuichi MORIGUCHI¹

Akira SAITO²

Takafumi ONO²

ABSTRACT: We estimated time-series material flows of wood resource, and discussed the environmental soundness of material cycles of wood resource, by using 6 indicators of material cycles that we proposed. Based on this analysis, we examined the feasibility of indicators of material cycles. We draw the following conclusions: 1) the values of indicators for 1995, for example, were direct material input 49 million ton (dry weight), use rate of recovered used product 23%, material use efficiency 91%, product use time 12 years, recovery rate of used product 39%, and domestic processed output 41 million ton (dry weight); 2) for the period of 1960–1999, the values for material use efficiency have been around 90%, very high, and the values for use rate of recovered used product and recovery rate of used product have increased gradually. However, the values for direct material input and domestic processed output have not changed; 3) among the business tasks in calculating indicators, most difficult task was to capture product stock or product use time. It is necessary to develop new indicator for setting a short-term target related to reuse of used product.

KEYWORDS: material flow analysis, indicators, material cycles, recycling, wood resource

1 はじめに

持続可能な社会に向けた取り組みのひとつとして、資源の循環的な利用がある。2000年には循環型社会形成推進基本法が成立し、使用済み製品や副産物の循環的な利用を促進することで、天然資源の消費を抑制し、環境への負荷が低減される「循環型社会」を目指すという方向性が示された。本稿では以下、資源の循環的な利用のことを、物質循環と称す。物質循環を促進するにあたっては、まず、その実態を把握することが不可欠である。筆者らは別稿¹⁾で、資源の上流から下流への流れ（マテリアルフロー）を洩れなく捉えることを意識しながら、捉えるべき物質循環の形態を分類した上で、それぞれの形態の特徴を検討し、それをもとに物質循環の指標について提案を行った。本稿は、これまで単年での把握を行ってきた木材資源のマテリアルフロー²⁾を経年的に把握し、筆者らの提案する指標を適用して、木材資源の循環度について分析を行ったものである。また、これらの分析をもとに、物質循環指標のフィージビリティについて検討を行った。

2 方法とデータ

2.1 木材資源のフローとその記述方法

Figure 1は本稿で記述した木材資源のフローである。本稿ではこれをTable 1のようなマトリックスに記述した。マトリックスは、行方向に生産活動32部門、列方向に製品・廃棄物37部門で構成される。各生産活動におけるインプットをマイナス、アウトプットをプラスで記している。フローは全て出荷量、入荷量を絶対重量で記述するものとしたが、データの無いものについては生産量、消費量を用いている。推計のためのデータソースについては2.2、推計方法については2.3で述べる。この作業を1960年から1999年に渡って行った。

2.2 木材資源のフロー推計のためのデータ

原材料の入荷量もしくは消費量、製品の用途別生産量もしくは出荷量、および貿易量についてはTable 2に

¹ 国立環境研究所 National Institute for Environmental Studies

² 富士総合研究所 Fuji Research Institute Corporation

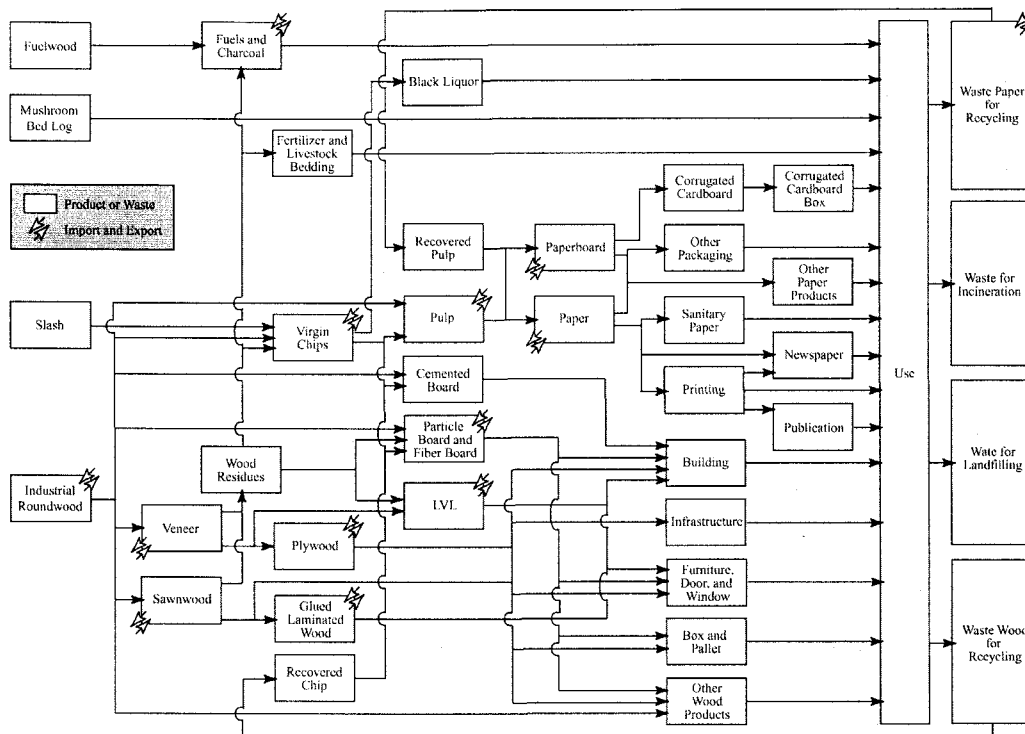


Figure 1 Flow of wood resource described in this paper

Table 1 Example of description of wood resource flow as matrix

	commodity	fuel wood	mushroom bed log	roundwood & semi-product	sawnwood	glued laminated wood	veneer	plywood	LVL	chip	particle board & fiber board	box & pallet	other wood product	furniture, door, & window	pulp	paper
activity		1000t-d	1000t-d	1000t-d	1000t-d	1000t-d	1000t-d	1000t-d	1000t-d	1000t-d	1000t-d	1000t-d	1000t-d	1000t-d	1000t-d	1000t-d
import		191		12,626	5,157	82	108	2,369	23	12,311	514				3,224	971
export		0		-2	-6		-4	-3			-1				-63	-566
fuel wood	input															
	output	163														
mushroom bed log	input															
	output		517													
roundwood	input															
	output			9,896												
sawnwood	input			-15,260												
	output				10,305											
glued laminated wood	input				-265											
	output					246										
veneer	input			-3,722												
	output						2,597									
plywood	input						-2,653									
	output							2,354								
LVL	input															
	output								100							
chip	input			-2,726												
	output									5,351						
particle board & fiber board	input			0												
	output										1,305					
box & pallet	input				-1,451			-104			-34					
	output											1,430				
other wood product	input			-201	-498			-198			-338					
	output												1,111			
furniture, door, & window	input				-507	-5		-1,591	-85		-674					
	output													2,575		
pulp	input			-580												
	output									-16,827					10,011	
paper	input														-11,394	
	output															14,140

Table 2 Data sources

Activity	Input (raw material supplied)	Input (raw material consumed)	Output (product produced)	Output (product forwarded)	Trade (import and export)
Fuel wood	—	—	—	3)	3)
Mushroom bed log	—	—	—	3)	—
Industrial roundwood	—	—	—	3), 4)	3), 4)
Sawnwood	3), 4)	3), 4)	3), 4)	3), 4)	3), 4)
Glued laminated wood	—	—	5)	—	5)
Veneer	3), 4)	3), 4)	—	—	3)
Plywood	—	—	3), 4)	3), 4)	3), 4)
LVL	—	6)	5)	—	5)
Virgin chip	3), 4)	—	3), 4)	—	3), 4)
Particleboard and fiberboard	7)	7)	7)	7)	8)
Cemented board	—	—	7)	—	—
Pulp	3), 4)	9)	9)	9)	9)
Paper and paperboard	9)	9)	9)	9)	9)

Table 3 Discard rate of products

Product	$d_a(t)$	$d'_a(t)$
Mushroom bed log	0.33	—
Building	0.022	—
Infrastructure	0.022	—
Furniture, door, and window	0.1	—
Box and pallet	0.2	—
Other wood product	0.2	—
Paper products	0.8	0.8

記した統計データを用いた。分析は、これらの統計値を絶乾重量に変換して行った。

2.3 木材資源のフロー推計のための個々の生産プロセスにおける仮定と計算方法

(1) 製材、集成材 製材生産時に発生する工場残材量は、製材の生産量と素材の消費量から求めた。また、製材から集成材を生産する際の歩留まりを、単板から合板を生産する際の歩留まり¹⁰⁾と同じとして製材の消費量と発生する木くず量を求めた。輸出入される製材、集成材については用途が不明であるため、国産製材、集成材の用途と同じ割合で分配されるものとした。

(2) 単板、合板、LVL 単板の生産量が不明なため、単板から合板を生産する際の歩留まり¹⁰⁾を用いて、単板の消費量と発生する工場残材量を求めた。LVLは合板生産時に発生する工場残材と単板からつくられる。合板用、LVL用の単板消費量と単板の輸出入量から、国内での単板の供給量(＝生産量とする)を求めた。単板生産時に発生する工場残材量は、単板の供給量と素材の消費量から求めた。輸出入される合板、LVLについては用途が不明であるため、国産合板、LVLの用途と同じ割合で分配されるものとした。

(3) 工場残材 製材、合板生産時に発生する工場残材は、多くの用途に用いられる。LVL、バージンチップ、削片板・繊維板としての利用量については統計値があるため、工場残材発生量からこれらの利用量を差し引き、残りを文献¹⁰⁾に記載された1991年の割合を用いて、燃料、肥料・家畜敷料としての利用量に配分した。

(4) バージンチップ バージンチップ生産時に発生する木くず量は、チップの生産量と素材の消費量から求めた。バージンチップの用途別出荷量については、削片板、繊維板生産のための入荷量、セメント板生産時の消費量をそれぞれの出荷量とし、残りをパルプ生産のための出荷量とした。

(5) 削片板、繊維板、セメント板 削片板、繊維板生産時に利用する再資源化チップ量については、1991年の文献値¹⁰⁾と1999年からの統計値⁷⁾がある。そこで、1960年の利用率を0%として、1960年と1991年の間、1991年と1999年の間は利用率が線形に変化するものとして内挿し、算出した。

(6) パルプ、紙、板紙 バージンパルプ生産時に利用する再資源化チップ量については、全体のチップ量から(4)で求めたバージンチップ量を差し引くことで求めた。バージンパルプ生産時に発生する木くずと黒液の量は、バージンパルプの生産量と原材料の消費量から求めた。紙、板紙生産時に発生する汚泥(正確には汚泥に含まれる木材起源の繊維)の量は、紙、板紙の生産量(添加剤を除く)と原材料の消費量(バージンパルプ+古紙+その他の繊維)から求めた。

(7) 木製品 原材料から木箱、パレット、家具、建具、建築物、土木構造物、その他の木製品を生産する際の歩留まりを0.9とした。型枠用合板については、1年以内に廃棄されるものとした。

(8) 紙製品 原材料から段ボール、新聞紙、印刷物を生産する際の歩留まりを0.97、原材料から段ボール箱、その他紙製容器、衛生用紙、その他の紙製品を生産する際の歩留まりを0.9とした。また、新聞へのチラシの混入率を30%とした。

(9) 製品の蓄積、廃棄 木製品については、 t 年期首の製品 a の蓄積量 ($S_a(t)$)、 t 年の製品 a の廃棄量 ($W_a(t)$) を、製品 a の消費量 ($C_a(t)$)、製品 a の廃棄率 ($d_a(t)$) を用いて次式より算出した。

$$S_a(t) = S_a(t-1) + C_a(t-1) - d_a(t-1) \times S_a(t-1)$$

$$W_a(t) = d_a(t) \times S_a(t)$$

また、紙製品については、1 年以内に廃棄される率 ($d'_a(t)$) を用いて次式より算出した。

$$S_a(t) = S_a(t-1) + (1 - d'_a(t-1)) \times C_a(t-1) - d_a(t-1) \times S_a(t-1)$$

$$W_a(t) = d'_a(t) \times C_a(t) + d_a(t) \times S_a(t)$$

それぞれの製品の寿命は廃棄率で表される。これらの値として Table 3 に示す値を採用した。なお、建築物のような寿命の長い製品については、本稿で用いるデータが 1960 年以降であるにも関わらず、その蓄積量の中に 1960 年以前に建設されたものが少なからず含まれている。したがって、その蓄積量の推計を別途行うのが適切であり、本稿では建築用の製材を対象とした推計を別途行ったが、ここではその記述を割愛する。

(10) 木くず、紙くず 製品の製造工程から発生する木くずは、(3) で述べた利用方法を除き、処分されるものとした。使用済み製品としての木くずの一部からは再資源化チップが生産され、工業原料もしくは燃料として用いられる。工業原料用の再資源化チップの生産量は上述したその消費量に同じとし、燃料用の再資源化チップの生産量は、1991 年の文献値¹⁰⁾を用いて木くずの発生量に占める燃料用の再資源化チップの生産比率を算出し、これを 1960 年から 1999 年にわたって用い算出した。製品の製造工程から発生する紙くずは、産業廃棄物の紙くずリサイクル率に基づき再生利用されるものとした。国内パルプ工場での古紙の入荷量、古紙の輸出入量から国内での古紙の回収量を求め、これから上記の紙くず量を差し引いたものを使用済み紙製品の回収量とした。それ以外のものは処分されるものとした。また、黒液は燃料として用いられるものとし、汚泥は処分されるものとした。

2.4 6つの物質循環指標の算出と実務課題の検討

筆者らは、物質循環の指標として「直接物質投入量」「使用済み製品再生利用率」「物質利用効率」「製品利用時間」「使用済み製品再資源化率」「直接排出物量」の 6 つを提案している⁹⁾。その特徴はそれぞれの物質循環の形態(使用済み製品の再使用、副産物の再生利用、使用済み製品の再生利用)の意味と定量化の方法に対応した指標群としていることである。本稿では、これらの値を算出するとともに、その算出にあたっての実務課題について検討を行った。

3 結果と考察

3.1 1995 年のマテリアルフローと 6 つの指標

1995 年のマテリアルフローの推計結果の一部が Table 1 である。このマテリアルフローの概要を 6 つの指標の試算結果とともに表したのが Figure 2 である。

木材資源の直接物質投入量は 49 百万トン、直接排出物量は 41 百万トンと推計された。前者には輸入品が多く含まれ、全体の 78% を占める。使用済み製品再生利用率は 23%、使用済み製品再資源化率は 39% と推計された。この比率を大きくしているのは使用済み紙製品(古紙)の再生利用であり、使用済み木製品の再生利用量は紙製品に比較して小さい。物質利用効率は 91% と推計された。このうち、燃料として利用されるものが 18%、製品として利用されるものが 73% であった。製品として利用されるものは、木製品と紙製品が半々であり、紙製品が若干多い。また、製品利用時間は 12 年であった。この製品利用時間は、建築、土木、家具・建具、梱包から紙製品までを平均的に見たときの利用時間である。

3.2 マテリアルフローと 6 つの指標の変化

Table 1 のマトリックスを 1960 年から 1999 年に渡って作成した。Figure 3 は投入される物質の内訳の経年変化を見たものである。投入される物質では、使用済み製品と輸入の割合が増え、国産丸太の割合が小さくなっている。輸入の中では、輸入丸太が減り、輸入製品が増えている。古紙を中心として再生利用が進み、物

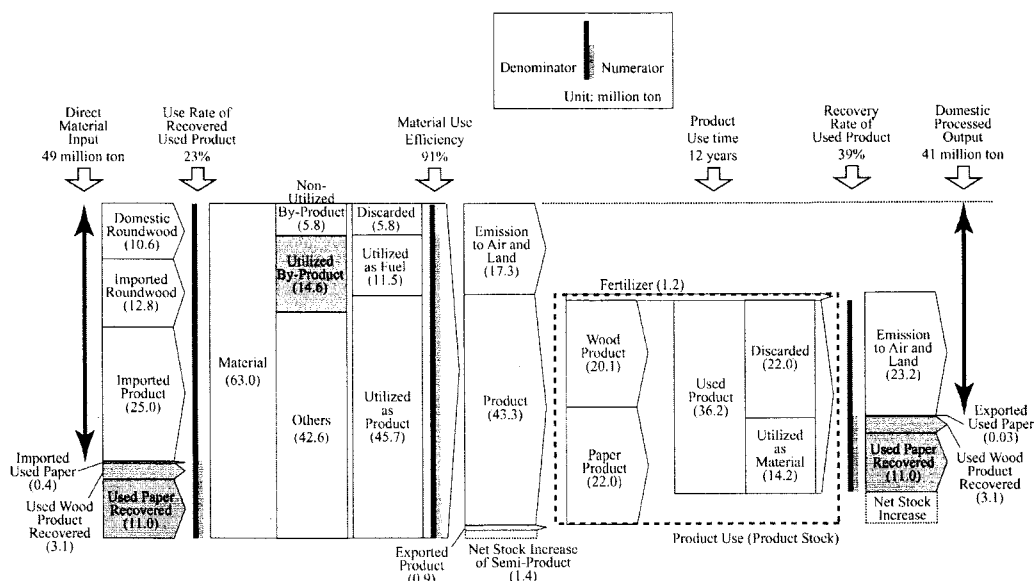


Figure 2 Estimated material flow and values for 6 indicators of wood resource (1995)

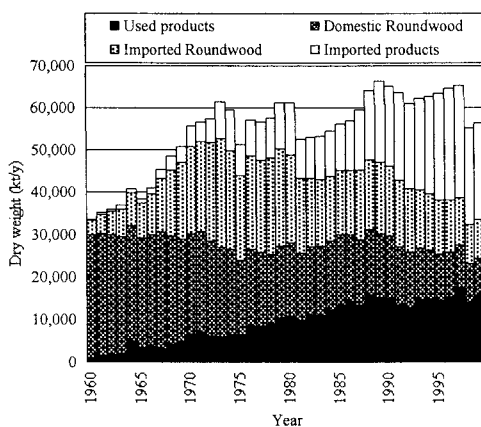


Figure 3 Composition of material input

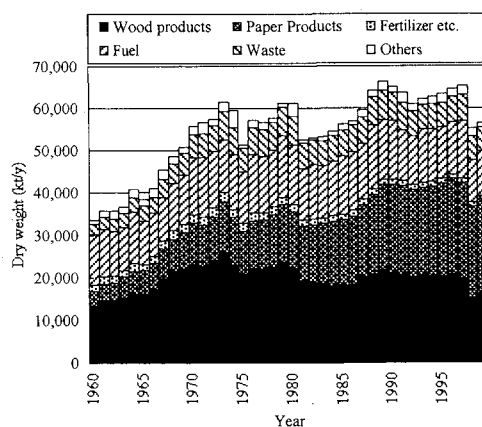


Figure 4 Composition of material use

質循環（使用済み製品の再生利用）の量は増えている。Figure 4はこれらが最終的に何に利用されたかを見たものである。ほとんどが製品もしくはエネルギーとして利用され、利用されないまま廃棄物となるものは10%前後である。紙製品としての利用が増加の傾向にあり、木製品としての利用が漸減の傾向にある。

また、製品利用時間を除く5つの物質循環指標の経年変化を見たものがFigure 5、Figure 6である。直接物質投入量は1970年頃まで増加の傾向にあったが、それ以降40百万トンから50百万トン前後で推移している。直接排出物量も1970年代前半まで増加の傾向にあり、それ以降は漸増に転じている。物質利用効率は一貫して90%前後と高率であり、使用済み製品再生利用率、使用済み製品再資源化率はいずれも増加の傾向にある。再生利用が進展し循環度は高まっているに関わらず、直接物質投入量、直接排出物量には減少の傾向は見られない。Figure 3が示すように、使用済み製品を原材料に含めると、1970年以降も木材資源の利用量は漸増傾向にあると考えられる。

3.3 実務上の課題

筆者らは、6つの物質循環指標の提案にあたって、指標を計算する際の実務上の課題を3点挙げていた¹⁾。

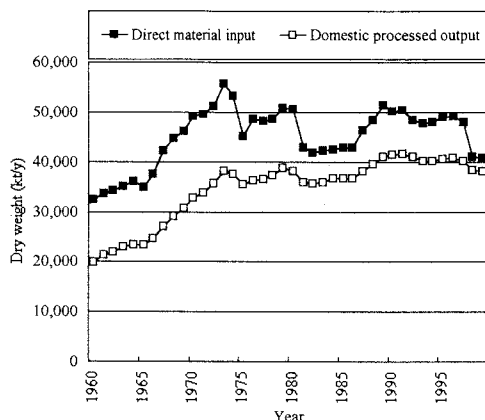


Figure 9 Direct material input and domestic processed output

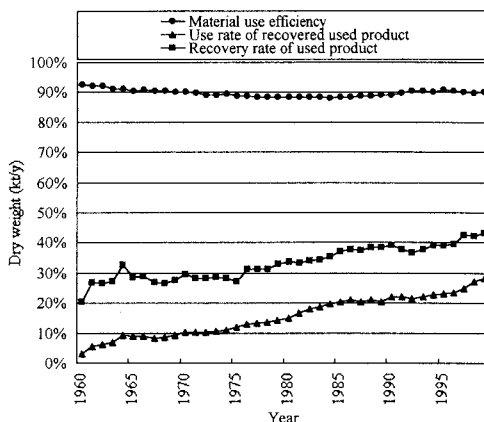


Figure 10 Material use efficiency, use rate of recovered used product, and recovery rate of used product

それらは、統計上捉えられていない副産物と使用済み製品の把握、副産物と使用済み製品を区別した把握、製品蓄積量の把握もしくは製品利用時間の把握である。1点目、2点目について、本稿では様々な仮定をおきながらも推計を行ったが、3点目については、製品寿命を仮定することによって蓄積量の推計を行っており（建築用の製材は別途直接推計を行っているものの）、算出された製品利用時間は複数の製品寿命が合成された結果以上に意味のないものとなっている。指標を算出する際の実務上の課題のうち、最も困難な課題は製品蓄積量の把握もしくは製品利用時間の把握である。正確な製品利用時間を推定するためには、生産年別の製品の蓄積量のデータが不可欠であり、また、感度の面からも短期的な目標設定のために利用することは難しく、とりわけ短期的な目標設定のためには、使用済み製品の再使用に関する別の指標を考案する必要がある。

4 おわりに

本稿では、木材資源を対象として、そのマテリアルフローを経年的に把握し、筆者らの提案する指標を適用して、木材資源の循環度について分析を行った。また、これらの分析をもとに、物質循環の指標のフィージビリティについて検討を行った。得られた結論は以下のとおりである。1) 例えば1995年の指標値として、直接物質投入量49百万トン、使用済み製品再生利用率23%、物質利用効率91%、製品利用時間12年、使用済み製品再資源化率39%、直接排出物量41百万トンが得られた。2) 1960年から1999年の間では、物質利用効率は一貫して90%前後と高率であり、使用済み製品再生利用率、使用済み製品再資源化率はいずれも増加の傾向にあった。しかしながら、直接物質投入量、直接廃物排出量には減少の傾向は見られなかった。3) 指標を算出する際の実務上の課題のうち、最も困難な課題は製品蓄積量の把握もしくは製品利用時間の把握である。使用済み製品の再使用に関する短期的な目標設定のためには、別の指標を考案する必要がある。

参考文献

- 1) Hashimoto, S. and Moriguchi, Y. (2002) Proposal of six indicators of material cycles toward industrial ecology, *Proceedings of the 5th International Conference on EcoBalance*.
- 2) 森口祐一 (1997) 「マテリアルフロー分析からみた人間活動と環境負荷」『環境システム研究』25、557-568.
- 3) 林野庁 (1961-2000) 『林業統計要覧』林野弘済会.
- 4) 農林水産省 (1961-2000) 『木材需給報告書』農林統計協会.
- 5) 林産行政研究会 (1961-2000) 『木材需給と木材工業の

現況』日本住宅・木材技術センター.

- 6) 日本木材総合情報センター (1997) 単板積層材の需要動向調査報告書.
- 7) 経済産業省 (1961-2000) 『窯業・建材統計年報』経済産業調査会.
- 8) FAO (2001) FAOSTAT forestry data (19 December 2001 version). <http://apps.fao.org/page/collections?subset=forestry>.
- 9) 経済産業省 (1961-2000) 『紙・パルプ統計年報』通産統計協会.
- 10) 日本住宅・木材技術センター (1994) 木質廃棄物再資源化技術開発事業報告書Ⅰ(発生再利用実態調査事業).