



図-1 木材バイオマス・フロー (改定版)

わが国では、高品質丸太33.4Mtから用材21.7Mtが生産される。従って、用材生産効率率は65%、製材残さの発生率は35%である^{注3)}。

国内で発生した製材残さのうち、木材パルプ用途に40% (4.7Mt) が、ボード用途に2% (0.3Mt) が、それぞれ用いられている。この利用率は、著者らの現地調査によって得られた利用率42%に近い^{注4)}。

(4) 廃材の利用

わが国の廃材^{注5)}の発生量を、用材の消費から廃棄までの時間遅れを考慮した推計方法^{注4)}を用いて推計すると20.5Mtになる。発生した廃材の用途は木材パルプ用0.3Mt⁷⁾、ボード用0.3Mtである。製材残さと廃材からの燃料チップ生産量は1.8Mtである⁸⁾。燃料チップの原料がすべて廃材だと仮定しても、廃材の合計の利用率は12%であり、廃材のエネルギー利用の余地は

大きい。

2.2 世界の木材バイオマス・フロー

1990年の先進地域と途上地域の木材バイオマス・バランス表を、主な変更箇所を抜粋して、表2、表3にそれぞれ示す。なお、表作成の際に、世界データが得られない場合は、原則的にわが国の比率を用いた。例えば、先進地域に関しては、わが国の木材から木材パルプの生産効率 (重量比: 43%) と黒液生産率 (同: 53%) を適用して、製材残さのパルプ用・ボード用の利用量を計算した^{注6)}。ただし、途上地域の木材から木材パルプの生産効率を38%とした。途上地域の生産効率に、わが国の生産効率 (重量比: 43%) を適用すると、製材残さのパルプ・ボード用の利用量が負になってしまうため、例外的に、FAOの木材残さデータを生かして、木材パルプの生産効率を推計した。

一方、FAO統計⁹⁾によれば、丸太から用材の生産効率と製材残さの発生率 (重量比) はそれぞれ、先進地域で51%、49%、途上地域で66%、34%になる。その結果、発生した製材残さのうちで、パルプやボード

注3) 今までの報告1) 2) 3) 4) 5) では、丸太から用材の生産効率として、文献9)の値55%を利用して来た。

注4) 製紙工場と連携した王子木材(株)の工場の例を示す。まず、原木の15%が樹皮で、残りの85%が加工されている。加工される丸太の産出比率は、用材63%、パルプ用チップ23%、おがくず14%である。従って、全製材残さに占めるパルプ用チップの比率は、 $0.85 \cdot 0.23 / (0.15 + 0.85 \cdot (0.23 + 0.14))$ の計算により、42%である。現地調査に拠れば、残りの製材残さは、エネルギー用や、飼料用に用いられている。

注5) 廃材を用材スクラップとボード・スクラップから構成されると定義した。

注6) FAOの最新の統計(1997年11月6日改訂)から、FAOは木材残さの利用量データを追加した。ただし、世界最大の木材生産国である米国のデータが欠損するなど、データ欠損が多いため、このデータから世界の木材残さ利用量を推計することは難しい。なお、これらのデータはFAOのインターネット・ホームページhttp://www.fao.org/ から入手可能である。

表1 日本の木材バイオマス・バランス表 (主要な変更箇所の抜粋, 1990年, 単位, Mt-バイオマス)^a

	高品質丸太	低品質丸太	用材	製材残さ	(製材残さ・域内産分)	ボード	木材パルプ	黒液	廃材 ^b
生産	13.52	7.70		5.51		2.03	2.87		
輸入	19.93	8.94	7.58	-0.00		-0.01	-0.02		
輸出	-0.01	-0.00	-0.06	-0.00					
用材生産	-33.44		21.72	11.73	(11.73)				
ボード生産		-0.23		-0.57	(-0.27)	1.15			
木材パルプ生産		-16.41		-9.95	(-4.74)		11.32	14.06	-0.34
燃料用チップ生産				c	c				-0.32
製材残さ・未利用				6.72	(-6.72)				-1.80

a 含水率は, 紙・パルプ10%, 黒液0%, その他20%.

b 参考のため, 廃材の発生量は, 文献4)の廃材スクラップ発生量の計算方法を適用すると, 20.5Mトンである.

廃材は, 用材スクラップとボード・スクラップから構成される.

c 廃材からの燃料チップ生産量に含めて表示した. 製材残さと廃材を分離した燃料チップ生産データは得られなかった.

表2 先進地域の木材バイオマス・バランス表 (主要な変更箇所の抜粋, 1990年, 単位Mt-バイオマス)^a

	高品質丸太	低品質丸太	用材	製材残さ	(製材残さ・域内産分)	ボード	木材パルプ	黒液	廃材 ^b
生産	677.8	255.9		c		12.0	21.5		
輸入	32.9	33.1	54.8	c		-8.4	-22.8		
輸出	-27.0	-0.00	-47.0	c					
用材生産	-683.8		349.4	334.4	(334.4)				
ボード生産		-29.0		-12.5	(-12.5)	41.6			d
木材パルプ生産		-231.3		-99.8	(-99.8)		142.3	175.4	d
燃料用チップ生産				d	d				d
製材残さ・未利用				222.1	(222.1)				

a 含水率は, 紙・パルプ10%, 黒液0%, その他20%.

b 参考のため, 廃材の発生量は, 文献4)の廃材スクラップ発生量の計算方法を適用すると, 275Mトンである.

廃材は, 用材スクラップとボード・スクラップから構成される.

c データの制約⁶⁾により, 製材残さの輸出入量は低品質丸太の輸出入量に含めて表示されている.

d 製材残さの燃料用利用量および廃材の利用量に関するデータは得られなかった.

表3 途上地域の木材バイオマス・バランス表 (主要な変更箇所の抜粋, 1990年, 単位Mt-バイオマス)^a

	高品質丸太	低品質丸太	用材	製材残さ	(製材残さ・域内産分)	ボード	木材パルプ	黒液	廃材 ^b
生産	245.4	39.0		c		3.8	3.8		
輸入	15.6	1.5	10.9	c		-7.8	-2.2		
輸出	-21.3	-0.00	-15.9	c					
用材生産	-239.6		157.3	82.3	(82.3)				
ボード生産		-5.1		-0.0	(-0.0)	5.1			d
木材パルプ生産		-31.2		-0.1	(-0.1)		11.7	16.6	d
燃料用チップ生産				d	d				d
製材残さ・未利用				82.2	(82.2)				

a 含水率は, 紙・パルプ10%, 黒液0%, その他20%.

b 参考のため, 廃材の発生量は, 文献4)の廃材スクラップ発生量の計算方法を適用すると, 79Mトンである.

廃材は, 用材スクラップとボード・スクラップから構成される.

c データの制約⁶⁾により, 製材残さの輸出入量は低品質丸太の輸出入量に含めて表示されている.

d 製材残さの燃料用利用量および廃材の利用量に関するデータは得られなかった.

の生産に用いられる率は, 先進地域で33% (パルプ用30%, ボード用4%), 途上地域で0.1%に留まると推定される. また, 繊維板工業会によれば, 世界の廃材の利用は日本 (利用率: 12%) に比べて遅れている. このため, 世界の廃材のボード用, パルプ用, および燃料用の利用率をそれぞれゼロと仮定した.

3. 発表文献の修正

ここでは, 2章で説明した木材フローのデータに基

表4 木材バイオマスの発熱量 (低位発熱量)^a

バイオマス種別	発熱量 (GJ/t)	含水率 (%)
丸太, 用材	15.0	20
木材パルプ, 紙 ^b	14.1	10
黒液 ^c	12.5	0

a 文献1) 3) では, すべての木材バイオマスの発熱量を15.0 GJ/tとしていた. 文献2) では, 木材パルプと紙の発熱量を15.0 GJ/tとしていた.

b セルロースの分子式 (C₆H₁₀O₅)_nを用いて推計した¹⁰⁾.

c 文献2).

づき、これまで著者らが発表してきた文献の修正を行う。まず、表4に、本報告で用いる木材バイオマスの発熱量をまとめておく。

3.1 文献1) 3) の修正点

文献1) に関して、2章で説明した木材フローをもとに、リファレンス・シナリオを再設定して、再計算を行った。また、究極バイオエネルギー・ポテンシャルの定義を、文献2) に統一して修正した。究極バイオエネルギー・ポテンシャルの定義は、文献1) ではエネルギー作物の生産量とバイオマス残さの総排出量、文献2) では文献1) の量から図-1中のマテリアル・リサイクル(古紙リサイクルおよび廃材リサイクル)を差し引いた量であった。

文献1) と本報告の、リファレンス・シナリオの変更点を表5にまとめる。

シミュレーション結果を以下に説明する。表6は、2100年の途上地域の木材バイオマス・バランス表であり、文献1) の表3に対応する。

表6に示すように、途上地域の木材バイオマスの究極エネルギー・ポテンシャルは、文献1) の92.9EJ/年から85.3EJ/年へ、7.6EJ/年減少した。そのうち、2章で考察した木材バイオマス・フローの修正およびデータの変更による分が2.6EJ/年の減少、究極エネルギー・ポテンシャルの定義の変更による分が5.0EJ/年の減少である。

先進地域の木材バイオマスの究極エネルギー・ポテ

表5 木材バイオマスに関するデータ設定の変更(文献1)と本報の比較)

	文献1)	本報告
製材残さの発生率 a	世界45%	先進地域49%、途上地域34%
製材残さのパルプ用利用率 b	世界0%	先進地域30%、途上地域0%
製材残さのボード用利用率 c	世界0%	先進地域4%、途上地域0%
木材パルプ生産効率 d	世界55%	先進地域43%、途上地域38%
黒液の発生率 e	世界45%	世界53%

- a 投入丸太に対する比率(重量比)。文献1) では文献9) に拠った。
- b 地域内で発生する製材残さの利用率(重量比)。文献1) では製材残さのパルプ用利用を考慮しなかった。
- c 地域内で発生する製材残さの利用率(重量比)。文献1) ではボード用途を考慮しなかった。
- d 投入木材に対する比率(重量比)。文献1) では文献6) から求めた先進地域平均値を世界に適用した。
- e 投入木材重量に対する比率(重量比)。文献1) では、文献6) の「パルプ用木材」投入から「木材パルプ」生産を差し引いて求めていた。

ンシャルは、26.8EJ/年から25.8EJ/年へ、1.0EJ/年減少した。その内訳は、バイオマス・フローの修正による分が3.5EJ/年の増加、究極エネルギー・ポテンシャルの定義の変更による分が4.5EJ/年の減少である。

一方、食料バイオマスに関しては、データ見直しがないため、バイオマス・バランスおよび究極エネルギー・

表6 途上地域の木材バイオマス・バランス表(リファレンス・ケース, 2100年, 単位EJ/年)^a

	一 次			中 間				二 次					スクラップ		合計	
	(1) 原材料 用丸太	(2) 燃料用 丸太	(3) 非木材 パルプ	(4) 丸太 伐採時 残さ	(5) 燃料用 丸太伐 採時 残さ	(6) 木材パ ルプ	(7) 黒液	(8) 製材 残さ	(9) 紙	(10) ボード	(11) 用材	(12) 在来型 バイオ エネルギー	(13) 新型 バイオ エネルギー	(14) 古紙		(15) 廃材
(1)収穫	50.7	51.7	0.5	32.6	12.5											148.0
(2)輸入		0.0							0.1		0.0					0.1
(3)輸出										-0.0						0.0
(4)一次バイオマス合計	50.7	51.7	0.5	32.6	12.5			0.1	0.0	0.0						148.1
(5)木材パルプ生産	-6.9					2.6	3.1								0.0	-1.2
(6)紙生産			-0.5			-2.6		7.8						-5.0		-0.3
(7)ボード生産	-1.0								1.0						0.0	0.0
(8)用材生産	-42.8									28.1					0.0	0.0
(9)在来型エネルギー生産		-51.7									51.7					0.0
(10)新型エネルギー生産		-0.0		-16.3	-0.0		-3.1	-11.0					45.8			0.0
(11)その他				-16.3	-12.5		-0.0	-3.7						-2.0	-5.0	-39.5
(12)紙消費								-7.9						7.5		-0.4
(13)ボード消費									-1.0						0.7	-0.3
(14)用材消費										-28.1					19.3	-8.8
究極バイオエネルギー・ポテンシャル				32.6	12.5		3.1	14.7						2.6	19.9	85.3
環境バイオエネルギー・ポテンシャル				16.3	0.0		3.1	11.0						0.6	14.9	45.8

a 文献1) の表3に対応する。

表9 日本の木材バイオマスバランス表(1990年, 単位EJ/年)

収獲	次																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 国内生産	0.20	0.12	0.00	0.00	0.20	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.53
2 輸入	0.30	0.13	0.00	0.00	-	0.04	-	-	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.11	0.03	-	-	0.70
3 輸出	-0.00	0.00	0.00	0.00	-	-0.00	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-	-	-0.00
4 一次バイオマス総供給	0.50	0.25	0.00	0.00	0.20	0.04	0.04	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.11	0.03	0.00	0.00	1.23
5 薪生産	-	-	-0.00	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	0.00
6 木段生産	-	-	-0.00	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-0.00
7 木材パルプ生産	-	-0.25	-	-	-	0.16	-	0.18	-	-0.15 (-0.07)	-	-	-	-	-	-0.00	-0.06	
8 非木材パルプ生産	-	-	-	-0.00	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.00
9 紙生産	-	-	-	-	-	-0.20	-	-	-0.00	0.18 (0.18)	-	-	0.40	-	-	-0.20	-0.00	
10 用材生産	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.01 (-0.00)	-	-	-	0.33	-	-	0.00	
11 ボード生産	-0.50	-0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	-	-0.01	0.00
13 紙消費	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.44	-	-	-	0.40	-	0.00
14 用材消費	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.44	-	-	0.28	-0.16
15 ボード消費	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.05	-	-	0.03	-0.02
16 バイオエネルギー消費	-	-	-	-	-	-	-	-0.18	-	0.00	-0.00	-0.00	-	-	-	0.00	-0.03	-0.21
17 その他(肥料, その他原材料等)	0.00	-0.00	0.00	0.00	-0.20	-0.00	0.00	0.00	0.00	-0.10 (-0.10)	0.00	0.00	-0.00	-0.00	0.00	-0.20	-0.27	-0.78
究極バイオエネルギー, ボンテンシヤル	-	-	-	-	0.20	0.00	-	0.18	-	0.10	-	0.00	-	-	0.05	0.20	0.30	1.03

表10 世界の木材バイオマスバランス表(1990年, 単位EJ/年)

収獲	次																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 国内生産	13.85	4.42	19.84	0.59	11.68	4.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55.30
2 輸入	0.73	0.52	0.00	0.00	-	0.36	-	-	-	-	0.00	0.02	0.00	0.99	0.24	-	-	2.85
3 輸出	-0.72	-0.49	0.00	0.00	-	-0.35	-	-	-	0.00	0.00	-0.01	-0.00	-0.94	-0.24	-	-	-2.77
4 一次バイオマス総供給	13.85	4.45	19.84	0.59	11.68	4.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	-0.01	0.00	0.00	55.38
5 薪生産	-	-	-18.25	-	-	-	-	-	-	-	18.25	-	-	-	-	-	-	0.00
6 木段生産	-	-	-1.60	-	-	-	-	-	-	-	-	0.64	-	-	-	-	-	-0.96
7 木材パルプ生産	-	-3.94	-	-	-	2.17	-	2.40	-	-1.50	-	-	-	-	-	-	c	-0.86
8 非木材パルプ生産	-	-	-	-0.59	-	-	-	-	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.36
9 紙生産	-	-	-	-	-	-	-2.18	-	-0.24	6.25	-	-	3.37	-	-	-0.97	-	-0.01
10 用材生産	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.19	-	-	-	7.60	-	-	0.00	0.00
11 ボード生産	-	-0.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.70	-	c	0.00
13 紙消費	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-3.37	-	-	3.37	-	0.00
14 用材消費	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-7.60	-	-	4.97	-2.68
15 ボード消費	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.69	-	0.48	-0.21
16 バイオエネルギー消費	-	-	-	-	-	0.00	-	-2.40	-	0.00	-18.25	-0.65	-	-	-	0.00	c	-21.29
17 その他(肥料, その他原材料等)	0.00	-0.00	-0.00	0.00	-11.68	-4.92	0.00	0.00	-0.00	-4.57	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-2.40	-5.45	-29.02
究極バイオエネルギー, ボンテンシヤル	-	-	-	-	11.68	4.92	-	2.40	-	4.57	18.25	0.65	-	-	-	2.40	5.45	50.31

表7 究極バイオエネルギー・ポテンシャルの一覧
(リファレンス・ケース, 2100年, 単位EJ/年)^a

	エネルギー作物	バイオマス残さ	合計
先進地域	100	49	149
途上地域	55	222	277
世界計	154	271	426

a 文献1)の表5に対応する。

表8 累積CO₂排出の増減量(木材バイオマスのシナリオ分析)(単位: Gt-C)^a

ケース名	略称	累積CO ₂ 排出の増減量		
		森林から	化石燃料から	合計
リファレンスケース	ケースa	基準	基準	基準
新型エネルギー木材導入	ケースe	+49	-77	-28
古紙(紙スクラップ)エネルギー利用	ケースf	+14	-24	-10

a 文献3)の表3の一部に対応。

ポテンシャルに変化はない。

世界の食料と木材を合計したバイオマス残さの究極エネルギー・ポテンシャルは、文献1)の280EJ/年から271EJ/年へ、約3%減少した(表7)。

次に、文献3)に関して、シミュレーション結果の主要項目を再計算した結果を示す(表8)。この結果、文献3)と同様に、新型エネルギー木材導入(ケースe)や古紙エネルギー利用(ケースf)を実施した場合、化石燃料削減によるCO₂削減効果の一部が、成熟林の減少による森林からのCO₂排出増加によって相殺されることを確認した。また、成熟林面積に関して、ケースaおよびケースeの結果が、文献3)と比較して2%以下の変化であることを確認した。ケースfでは、古紙のエネルギー利用により、パルプ用の木材需要が増加し、成熟林面積が文献3)に比べて減少する。ただし、文献3)に対する成熟林面積の変化は6%以下である。

以上から、今回の修正が文献1)3)の主要な結論に影響しないことを確認した。

3.2 文献2)の修正点

1990年における日本、世界の木材バイオマス・バランス表を訂正し、表9、表10にそれぞれ示す。ただし、世界の表は、先進地域、途上地域におけるパルプ生産効率の違いを考慮し、両者を足しあわせて求めた。

今回の修正により、木材バイオマス残さの究極エネルギー・ポテンシャルは、日本では、文献2)の1.26

EJ/年から1.03EJ/年へ0.23EJ(18%)減少し、世界では、文献2)の56.62EJ/年から50.31EJ/年へ、6.31EJ(11%)減少した。

4. まとめ

著者らは、紙・パルプ生産の実態調査、および文献調査を実施して、木材バイオマス・フローの一部見直し作業を行った。主な修正点は、木材バイオマス・フローに、(1)製材残さの一部と廃材の一部が木材パルプとボードの生産に利用されるパスを追加する、(2)二次段階(最終消費段階)の木材バイオマスとして、繊維板(ファイバー・ボード)などの「ボード」を明示する、である。これらの変更に基づいて、木材のバイオマス・バランス表を修正した。

そして、修正した木材バイオマス・フローをもとにして、著者らの報告¹⁾²⁾³⁾の再検討を行った。その結果、その結論に大きな変更がないことを確認した。

最後に、調査にご協力頂いた、王子製紙㈱、王子木材㈱、および日本製紙連合会に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 山本博巳, 山地憲治, 藤野純一; SD手法の世界土地利用エネルギー・モデルによる総合的なバイオエネルギー資源評価, エネルギー・資源, Vol. 18, No. 3, (1997) 278-284.
- 2) 藤野純一, 山地憲治, 山本博巳; バイオエネルギー資源評価のためのバイオマスバランス表の作成, エネルギー・資源, Vol. 18, No. 6 (1997), 578-584.
- 3) 山本博巳, 山地憲治, 藤野純一; 世界土地利用エネルギー・モデルによるバイオエネルギー資源とCO₂排出量のシナリオ分析, エネルギー・資源, Vol.19, No.2 (1998), 169-175.
- 4) 山本博巳, 山地憲治; バイオマス・フローを考慮した世界土地利用エネルギー・モデル(GLUE)の開発(1996), 電力中央研究所研究報告Y96001.
- 5) 山本博巳, 山地憲治; 世界土地利用エネルギー・モデル(GLUE)によるバイオエネルギー・ポテンシャルの評価(1996), 電力中央研究所研究報告Y96002.
- 6) Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); FAOSTAT-PC (1995), FAO, Rome.
- 7) 日本製紙連合会; パルプ材便覧(1997), 日本製紙連合会.
- 8) 新環境管理設備編集委員会; 廃棄物処理・リサイクル(1995), 産業調査会辞典出版センター.
- 9) T. B. Johansson et al. eds.; Renewable Energy (1993), Island Press.
- 10) 谷下市松, 工業熱力学基礎編(1988), 裳華房.