

研究論文

木質系バイオマスからエネルギー物質を
作り出すシステムの効率と経済性の検討System Efficiency and Economical Analysis of
Energy Material Production System from Wooden Biomass福田 哲久*・黒田 正範*[†]・藤本 真司*・佐々木 義之*

Tetsuhisa Fukuda

Masanori Kuroda

Shinji Fujimoto

Yoshiyuki Sasaki

坂西 欣也*・美濃輪 智朗*・矢部 彰*^{**}

Kinya Sakanishi

Tomoaki Minowa

Akira Yabe

(原稿受付日2005年8月17日, 受理日2006年2月8日)

Abstract

Wooden biomass energy conversion system has been analyzed in detail from the material and energy system balance for producing the energy material. In this research, as the first step of analyzing the fuel production for automobiles, we analyzed the zero-emission type biomass energy conversion system which produced methanol/methyl formate together based on the biomass steam-reforming characteristics of the CO/H₂ ratio $\sim 1/(1.1\sim 1.6)$, and which produced ethanol, lactic acid and propanediol from the cellulose, and which supplied electric power and steam for supplying the internal needs of the system (wood throughput capacity 420ton/day). Economical payback periods were calculated from raw material costs of the wooden biomass and major equipment cost of the energy plant to be within 9 years.

1. はじめに

再生可能エネルギーとしてのバイオマス有効活用技術を推進し、化石燃料資源使用量の低減を実現し、循環型エネルギー社会を構築することは地球環境問題を解決するために極めて重要である¹⁾。特に、これまでの大量の二酸化炭素排出源である化石資源に依存する社会システムは、自然の浄化能力を超え、地球温暖化、廃棄物、有害物質等の様々な環境問題を深刻化させており²⁾、生命と太陽エネルギーの有る限り持続的再生可能なバイオマスを積極的に利活用することは重要である。一方で、地球全体の炭素循環の観点から考えると、人間活動による化石資源の使用量より1桁大きい量の炭素循環を、森林と土壌のバクテリアが実現しており、バイオマスの使用は、森林等の炭素循環の一部と見なすことができ、カーボンニュートラル（二酸化炭素の増減に関与しない）という特性を持つ。

我々は、バイオマス資源の中でも、炭素固定量が多く、今後発生量の増加が見込まれる木質系バイオマスに着目し、木材等の木質系バイオマスを、輸送用燃料であるBTL

(Biomass To Liquid) やETBE (Ethyl Tertiary Butyl Ether) に変換することを主目的として基礎的検討を行っている。世界全体で生産される木材の製材残材をバイオマス資源として活用することができれば、世界全体のエネルギー使用量の1%のオーダーの化石燃料を削減することができ、日本においても、輸入材を含めた製材残材のバイオマス資源としての活用により、日本のエネルギー使用量の1%をまかなう可能性がある。本研究では、第1ステップとして、木質系バイオマスの種々の利活用システムの経済性・環境性を検討できるように、我々が研究開発している水熱処理とメカノケミカル処理による糖化とセルロースの成分分離を出発点とし、エタノール発酵、ガス化と液体燃料合成、発電、熱利用を組み合わせたトータルシステムを取り上げた。システムの物質収支、エネルギー収支をとり、外部から電力等のエネルギーを供給しない自立システムとして構成し、構成要素である主要機器のコストを積算し、経済性を単純投資回収年の形で推算した。

2. 木材組成の検討

リグニン、セルロースおよびヘミセルロースの平均分子構造モデルをそれぞれフェニルプロパン誘導体 (C₁₈H₂₄O₁₁)、D-グルコースの基本構造 (C₆H₁₀O₅)、ペントースの基本構

[†]: Corresponding Author

* (独)産業技術総合研究所 バイオマス研究センター

E-mail: yabe-akira@aist.go.jp

** 中国センター 所長

〒737-0197 広島県呉市広末広2-2-2

第24回エネルギー・資源学会研究発表会にて発表

表1 木材組成の検討結果

元素数	採用値			
	リグニン	セルロース	ヘミセルロース	木材
C	18	6	5	3.8
H	24	10	8	5.9
O	11	5	4	2.9
単位分子量	416	162	132	97
元素組成				
C wt%	50.4	43.1	44.1	45.3
H wt%	5.6	6.0	5.9	5.9
O wt%	41.0	47.9	47.0	45.8
N wt%				
小計 wt%	97%	97%	97%	97%
灰分 wt%	3%	3%	3%	3%
合計 wt%	100%	100%	100%	100%

造 ($C_5H_8O_4$)³⁾ とし、またリグニン、セルロース、ヘミセルロースおよび灰分の組成を27%, 50%, 20%, 3%とし、シミュレーションモデル検討用木材の平均分子構造モデルを $C_{38}H_{59}O_{29}$ とした(表1)。

なお、米糖、杉木粉、稲わら、粉殻の文献による代表的な炭素、水素および酸素組成は48~55wt%, 6~8wt%, 37~45wt%であることを参考にした⁴⁾。

3. 熱力学データの検討

3.1 燃焼熱および標準生成熱の検討

プロセス構成成分の標準生成熱を表2に示す。なお、プロセス構成成分の標準生成熱取得の前提条件は以下のとおりである。

- ・木材、セルロース、ヘミセルロース、リグニンの燃焼熱は(1)式に示すDulongの式⁵⁾より推算し、(2)式に示す燃焼反応式より、木材の標準生成熱は -830.4kJ/mol (100g - 木材)と試算された。

$$\text{高位発熱量 (HHV)} = 33.8C + 144.2(H - O/7.94) + 9.414S \cdots (1)$$

但し、HHV: High Heat Value [MJ/kg]

C, H, O, S: 炭素, 水素, 酸素および硫黄の元素分析値[-]

$$C_{38}H_{59}O_{29} + (3.825)O_2 = (3.8)CO_2 + (5.9/2)H_2O + (15.1 \times 10^3 \times 100)\text{kJ} \cdots (2)$$

- ・水、二酸化炭素、一酸化炭素、メタン、メタノール、ギ酸メチル、エタノールおよび五炭糖 (D-リボースで代用) はNIST (米国, The National Institute of Standards and Technology)⁶⁾ のデータを、1,3-プロパンジオールはDIPPR (米国, Design Institute for Physical Property Data)⁷⁾ のデータを、炭素材 (黒鉛で代用)、乳酸、六炭糖 (D-グルコースで代用) は化学便覧⁸⁾ のデータをそれぞれ採用した。

3.2 エンタルピーおよび蒸気圧の検討

文献等でエンタルピーデータがない物質 (木材、灰分、五炭糖、六炭糖、乳酸および炭素材) については、比熱データを温度2次式とし、これを積分して温度3次式として整理した。

表2 プロセス構成成分の標準生成熱

	H_f at 25°C kJ/mol	備考 (状態)
水素	0	気体
一酸化炭素	-110.5	気体
酸素	0	気体
メタン	-74.5	気体
二酸化炭素	-393.3	気体
ギ酸メチル	-384.8	液体
メタノール	-239.4	液体
エタノール	-277.1	液体
水	-285.7	液体
1,3-プロパンジオール	-463.2	液体
木材	-830.4	固体
セルロース	-1504.0	固体
ヘミセルロース	-1195.2	固体
リグニン	-3352.3	固体
乳酸	-694.0	固体
五炭糖	-1049.0	固体
六炭糖	-1273.3	固体
炭素材	0	固体

なお、エンタルピーの基準点は以下のとおりである。

- ・木材 (セルロース、ヘミセルロース、リグニンを含む)、灰分 (SiO_2 で代用)、五炭糖、六炭糖、乳酸、炭素材: 25°Cの固体の値をゼロとした (固体のエンタルピーデータを図1に記載する)。
- ・水、窒素、一酸化炭素、酸素、二酸化炭素、水素、メタン、メタノール、エタノール、ギ酸メチル、1,3-プロパンジオールはNISTのデータを採用した: 25°Cのガスの値をゼロとした。

また、蒸留計算に必要な蒸気圧は(3)式で示すアントワンの式で整理し、各物質のアントワン定数を表3に示す。

$$\text{LOG}(P) = A - B / (T + C) \cdots \cdots (3)$$

但し、P: 蒸気圧 [mmHg], T: 温度 [°C]

A, B, C: 係数[-], 温度範囲: 融点~臨界温度 $\times 0.9$

なお、アントワン定数取得の前提条件は以下のとおりである。

- ・ギ酸メチル、メタノール、水および1,3-プロパンジオールはNISTのデータを、エタノールは化学工学便覧の値をそれぞれ採用した。また、乳酸は標準沸点 (化学便覧⁹⁾ のデータを採用) と臨界温度・圧力 (Lydersen法¹⁰⁾ から推算) より求めた。

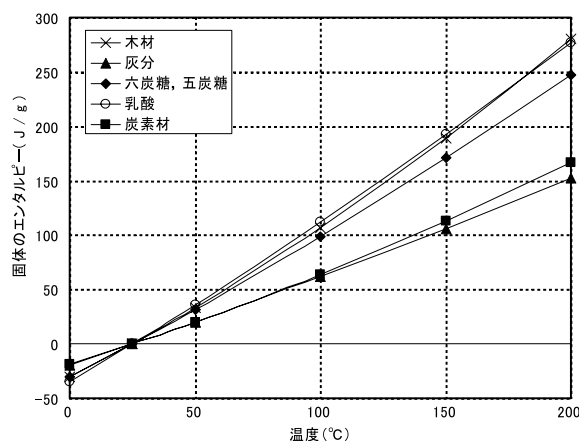


図1 固体のエンタルピー

表3 各物質のアントワン定数

	標準沸点 ℃	臨界温度 ℃	アントワン定数		
			A	B	C
ギ酸メチル	31.8	214.1	7.2043	1144.16	232.704
メタノール	64.5	239.5	8.1509	1631.10	244.743
エタノール	78.3	240.8	8.2134	1652.05	231.480
水	100.0	374.2	8.0411	1722.45	233.526
1,3-プロパンジオール	214.0	384.0	9.1703	3105.02	279.251
乳酸	216.9	266.5	8.2803	2076.49	167.640

4. シミュレーションモデルの検討

4.1 想定木材処理量

バイオマス資源としては製材残材を想定し、国内の大規模製材所に相当する420ton/日の木材処理量を想定した。この量は、製材残材（木材の約50%）の5割を有効利用し、発電効率20%，発熱量15.1MJ/kgの条件で、約3,500kWの発電量に相当する。

4.2 プロセスの概要

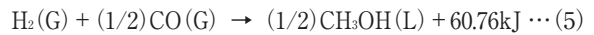
本プロセスは、(4)式に示す木材の水蒸気改質反応（直火加熱方式を想定）後の一酸化炭素/水素比が1/(1.1~1.6)、メタノールの一酸化炭素/水素比が1/2およびギ酸メチルの一酸化炭素/水素比が1/1であることに着目し、(5)式および(6)式によりメタノールおよびギ酸メチルの併産システムとすると共に、(7)~(14)式によりエタノール、生分解性プラスチック原料乳酸、樹脂原料1,3-プロパンジオール、炭素材、メタンを製造し、さらに、熱回収を図り所内動力用電力、反応および蒸留に使用する蒸気を供給し、余剰温水を外部へ供給するゼロエミッション型のプロセスである（図2）。なお、(4)~(14)式においてGは気相、Lは液相およびSは固相を示し、反応熱のプラスは発熱反応、マイナスは吸熱反応を示す。

・セルロースの水蒸気改質反応(800℃)



なお、ヘミセルロース、リグニンも同様である。

・メタノール合成反応(210℃)



・ギ酸メチル合成反応(60℃)

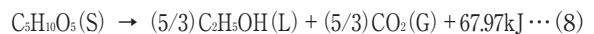


・六炭糖の酵素糖化反応(45℃)

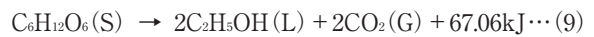


なお、五炭糖の酵素糖化反応も同様である。

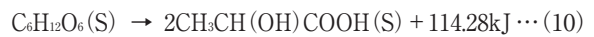
・五炭糖エタノール発酵(30℃)



・六炭糖エタノール発酵(30℃)



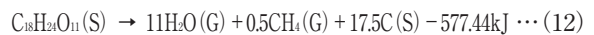
・乳酸発酵(37℃)



・1,3-プロパンジオール発酵(30℃)

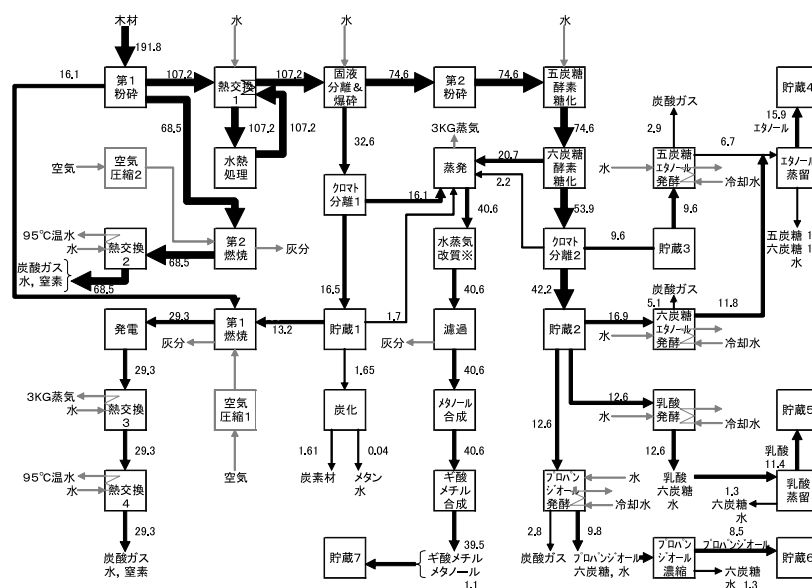
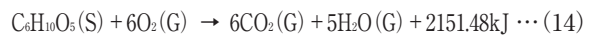
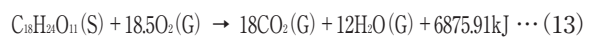


・リグニンの炭化反応(500℃, C:炭素材)



なお、セルロース、ヘミセルロースも同様である。

・燃焼反応(1427℃または1000℃)



※水蒸気改質は第2燃焼の直火加熱方式を想定（エネルギー収支については図3に表示）

図2 全体システムの炭素収支（単位：ton/日）

表4 物質収支の前提条件

工程	パラメータ	割合
熱交換1	水添加率	10%
固液分離・爆砕	リンス水添加率	10%
	熱水に対するヘミセルロース可溶化率	50%
	熱水に対するリグニン可溶化率	50%
	熱水に対するセルロース不溶化率	90%
クロマト分離1	蒸発工程へのセルロース分離率	90%
	蒸発工程へのヘミセルロース分離率	90%
	貯蔵1工程へのリグニン分離率	90%
貯蔵1	蒸発工程へのリグニン等分配率(ガス化用)	10%
	炭化工程へのリグニン等分配率(炭化用)	10%
	第1燃焼工程へのリグニン等分配率(発電用)	80%
第2粉碎	固形分(主にセルロース)含水率	10%
五炭糖酵素糖化	糖濃度(六炭糖&五炭糖)	40%
六炭糖酵素糖化	蒸発工程へのリグニン分離率	90%
	クロマト分離2工程への六炭糖分離率	90%
	クロマト分離2工程への五炭糖分離率	90%
クロマト分離2	五炭糖発酵工程への五炭糖分離率	99%
	貯蔵2工程への六炭糖分離率	99%
五炭糖エタノール発酵	五炭糖由来エタノール濃度	12%
	五炭糖由来エタノール発酵収率	90%
貯蔵2	六炭糖分配率(エタノール発酵用)	40%
	六炭糖分配率(乳酸発酵用)	30%
	六炭糖分配率(1,3-プロパンジオール発酵用)	30%
六炭糖エタノール発酵	六炭糖由来エタノール濃度	12%
	六炭糖由来エタノール発酵収率	90%
乳酸発酵	乳酸濃度	5%
	乳酸発酵収率	90%
1,3-プロパンジオール発酵	1,3-プロパンジオール濃度	10%
	1,3-プロパンジオール発酵収率	90%

表5 オーバーオール物質収支

入口		出口	
物質名	重量(ton)	物質名	重量(ton)
木材	423.20	メタノール	2.92
水	1017.13	ギ酸メチル	98.84
空気	1255.65	エタノール	30.41
入口合計	2695.98	乳酸	28.46
		1,3-プロパンジオール	18.02
		炭素材	1.61
		メタン	0.06
		未発酵五炭糖	2.40
		未発酵六炭糖	10.54
		二酸化炭素	398.21
		水	1075.40
		3KG蒸気	24.45
		窒素	991.96
		灰分	12.70
		出口合計	2695.98

4.3 オーバーオール物質(炭素)収支および熱収支の検討

各工程の反応率、分離率等のプロセス構築に関わるパラメータを基礎実験結果および文献値から表4のように仮定し、物質収支(表5)および熱収支計算を行った。なお、使用する木材は、天日干しの状態で水分含有率10%を仮定した。第一粉碎では、数cmの木粉への粉碎で、粉碎動力はカタログ値を、また、第二粉碎では、数十 μ mへの粉碎を考え、第一粉碎機の4倍の動力を仮定した。水熱処理は200℃で、セルロースからグルコースへの糖化率を90%と仮定し、セルロースの糖化のための酵素は、菌を培養することにより供給するとした。その結果、木材中の炭素分の約43%がメタノール、ギ酸メチル、エタノール等のエネルギー物質・ケミカルズに変換され、約57%が物質変換および蒸留分離等に使用する蒸気発生用燃焼反応の炭酸ガスに変換されるゼロエミッション型のプロセス構築となった(図2, 表6)。

また、木材が保有しているエネルギーは、メタノール、ギ酸メチル、エタノール等のエネルギー物質・ケミカルズに約62%、所内動力用の電力、蒸気にそれぞれ約0.8%、

表6 オーバーオール炭素収支

物質名	炭素(ton)	割合
入口		
木材	191.85	100%
入口合計	191.85	100%
出口		
メタノール	1.10	0.6%
ギ酸メチル	39.54	20.6%
エタノール	15.87	8.3%
乳酸	11.38	5.9%
1,3-プロパンジオール	8.54	4.4%
炭素材	1.61	0.8%
メタン	0.04	0.02%
未発酵五炭糖	0.96	0.5%
未発酵六炭糖	4.22	2.2%
二酸化炭素	108.60	56.6%
出口合計	191.85	100%

表7 オーバーオール熱収支

熱名	熱量(GJ)	割合
入口		
木材	6673.52	100%
入口合計	6673.52	100%
出口		
メタン	3.08	0.05%
炭素材	52.80	0.8%
ギ酸メチル	1603.13	24.0%
メタノール	66.25	1.0%
エタノール	903.40	13.5%
乳酸	853.95	12.8%
未発酵五炭糖	37.46	0.6%
未発酵六炭糖	163.97	2.5%
1,3-プロパンジオール	440.92	6.6%
発酵工程冷却	88.72	1.3%
その他冷却	27.59	0.4%
供給電力	51.09	0.8%
供給3KG蒸気	1804.38	27.0%
供給95℃温水	576.77	8.6%
出口合計	6673.52	100%

27%、外部に供給する95℃温水に約8.6%、発酵工程等冷却に約1.7%変換されることが試算された(図3, 表7)。

4.4 経済性の検討

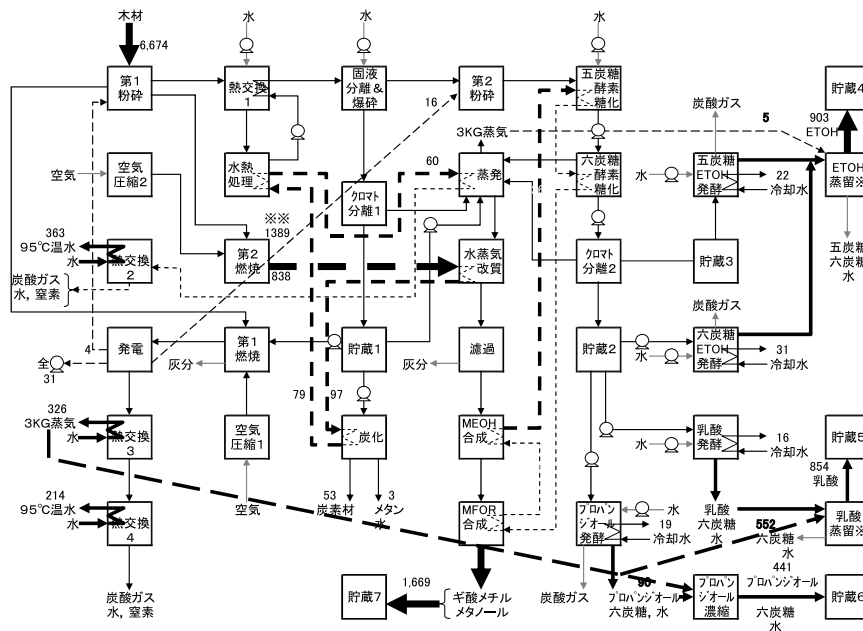
(1) 比例費の検討

木材原料費9,000円/ton-木材、輸送費61円/km/ton¹¹⁾とした時の輸送距離40kmでの木材あたりの比例費は約11,400円/ton-木材と試算され、シミュレーション検討結果より年間稼働日数300日とした場合の木材処理量は127,000ton/年となり、年間の木材原材料費は14.47億円と試算された。

なお、培養槽に供給される水は、基本的にはリサイクルのため、使用料は固定費に比べて十分に小さいので省略した。

(2) 固定費の検討

システムを構成する各要素機器に関して、物質収支と熱収支より、物質処理量および熱交換量が決まるので、従来より産総研バイオマス研究センターで保有している機器費基礎データをもとにシステムの主要機器費を算出したところ、主要機器費は約85億円と積算された(表8)。計装、建物、配管等で構成される固定費に関しては、文献¹²⁾では主要機器費の約3.6倍と推算しているが、最近の動向を考慮した経験則から主要機器費の3倍を固定費とし、固定費は255



* 実線は物質の燃焼熱をベースにしたエネルギー収支，点線は燃焼による蒸気発生および化学反応をベースにしたエネルギー収支を示す。

図3 全体システムのエネルギー収支 (単位: GJ/日)

億円と試算された。また，原料木材貯蔵（3日分），製品タンクを含め，敷地としては60m×40m（最大高さ20m）と試算された。

なお，主要機器の仕様は以下のとおりである。

- ・ 蒸留塔の設計（最小理論段数，最小還流比等）にはFenskeの式，Underwoodの式およびGillilandの式⁵⁾を用いた。
- ・ 熱交換器と蒸留塔のコンデンサー，蒸留塔のリボイラーの総括伝熱係数はそれぞれ1.67MJ/m²/℃，2.51MJ/m²/℃とした。
- ・ エタノール・水の共沸蒸留後のエタノール中の水分（3wt%）除去にはモレキュラーシーブによる水吸着方式を

採用した。

- ・ ガスタービンの発電効率は20%，圧縮機の断熱効率は85%，1, 3-プロパンジオール濃縮に使用する5重効用缶の効率は80%とした。

(3) 運転経費の検討

運転に必要な経費を直接運転費（人件費），固定資産税および保険，一般管理費と区分し，人件費（プラント運転費は3人×4班で，800万円/人/年，保守費は固定費の1%，試験および検査費はプラント運転費の20%），その他経費（固定資産税および保険費は固定費のそれぞれ1.5%，0.4%，一般管理費は人件費の25%）と想定した時の人件費は3.70億円/年，固定資産税および保険費は4.85億円/年，一般管理費は0.93億円/年と試算された。

4.5 投資回収年の検討

- ・ 現在の市場価格に合わせてエネルギー物質等の単価を仮定すると，エネルギー物質とケミカルズの生産量および売り上げ高は，表9に示す値となる。
- ・ 年間稼働日数300日，ケミカルズ完売という前提条件で売り上げ高の合計は53.05億円/年と試算された。
- ・ 前記条件で，単純投資回収年は8.8年と試算された。この値は，省エネルギー技術開発で従来求められていた数年

表8 主要機器費の試算結果

各工程の主要機器	主な仕様	単価 万円	数量	金額 万円
第1粉碎	466 ton-木材/日	4,655	1	4,655
水熱処理+固液分離&爆砕	450 M ³ (SCS13相当) 耐圧容器	46,455	2	92,910
空気圧縮器2	28,300 NM ³ /h 吐出圧力2.5atm	8,746	1	8,746
第2燃焼	87.1 GJ/h	29,239	1	29,239
熱交換器2(95℃温水製造)	449 M ² (SUS304)	31,444	1	31,444
クロマト分離装置1	67.4 ton-チャージ/日	19,062	1	19,062
貯蔵1	196 M ³ (SUS304)	6,196	1	6,196
炭化反応器	9.42 M ³ (SCS13相当)	848	1	848
ガスタービン	2043 kW	40,854	1	40,854
熱交換器3(3KG蒸気製造)	37.3 M ² (SUS304)	2,611	1	2,611
熱交換器4(95℃温水製造)	265 M ² (SUS304)	18,571	1	18,571
蒸発器(3KG蒸気製造)	150 M ³ (SUS304)	5,420	1	5,420
水蒸気改質，メタノール合成装置	55.6 ton-メタノール/日	60,300	1	60,300
ギ酸メチル合成装置	3.18 M ³ (SUS304)	37,010	1	37,010
第2粉碎	177 ton-木材/day	2,655	1	2,655
五炭糖酵素糖化槽	519 M ³ (SUS304)	16,395	2	32,790
六炭糖酵素糖化槽	519 M ³ (SUS304)	16,102	2	32,204
クロマト分離装置2	134 ton-チャージ/日	30,804	1	30,804
貯蔵タンク3(五炭糖)	81.6 M ³ (SUS304)	2,449	1	2,449
五炭糖エタノール発酵槽	143 M ³ (SUS304)	4,543	1	4,543
貯蔵2	754 M ³ (SUS304)	23,472	1	23,472
六炭糖エタノール発酵槽	254 M ³ (SUS304)	8,003	1	8,003
エタノール蒸留塔+吸着塔	11.0 M ³ (SUS304)	68,617	1	68,617
乳酸発酵槽	822 M ³ (SUS304)	25,884	1	25,884
乳酸蒸留塔	30.0 M ³ (SUS304)	227,179	1	227,179
プロパンジオール発酵槽，5重効用缶	268 M ³ (SUS304)	29,945	1	29,945
主要機器費合計				846,411

表9 年間売り上げの試算結果

製造 品目	生産量 ton/日	単価 円/kg	売り上げ 億円/年
メタノール	2.9	40	0.35
ギ酸メチル	98.8	80	23.71
エタノール	30.4	50	4.56
乳酸	28.5	200	17.10
1,3-プロパンジオール	18.0	100	5.40
炭素材	1.6	400	1.92
メタン	0.1	20	0.01
合計			53.05

以内に比べると長い、最近では省エネ技術開発でも10年以内と長くなる傾向にあり、また、新エネ技術開発では、太陽光発電で数十年を考えると実現可能性が高いと考えられる¹³⁾。

単年度回収費 = (売上高) - [(原材料費) + (人件費) + (その他経費)] = 53.05 - (14.47 + 3.70 + 5.77) = 29.11 億円/年

投資総額 (= 固定費) = 255 億円

単純投資回収年 = 投資総額 / 単年度回収費

= 255 / 29.11 ≒ 8.8 年

4.6 木質系バイオマスの資源コストの検討

前項4.4の計算では、製材残材のコストを、9,000円/ton - 木材と仮定したが、製材残材のコストは、0 ~ 10,000円/ton - 木材、建築廃材を活用できれば、3,500円/ton - 木材の処理経費付きで実質マイナスコストであり、一方で、間伐材を利用すると、収集に費用がかかるため12,500 ~ 30,000円/ton - 木材¹⁴⁾となるので、木質系バイオマス資源コストを変数に経済性を検討した (図4)。

林地残材 (12,500円/ton)、間伐材 (22,000円/ton)、未利用樹 (30,000円/ton) の場合には、単純投資回収年 (輸送単価61円/km/ton、輸送距離40kmでの輸送費約2,400円/tonを含む) は、10.3年、20.2年、100年以上となり、間伐材や未利用樹の場合経済性が成り立たないが、バイオマス資源コストが10,000円/ton以下である製材残材の場合には、単純投資回収年は9年以下となり、実現可能性が高いといえる。

5. まとめ

世界および日本におけるエネルギー消費量の1%の化石燃料を削減できる可能性を持つ木材等の木質系バイオマスに着目し、輸送用燃料であるBTLやETBEに変換することを主目的として、木質系バイオマスの種々の利活用システムの経済性・環境性を検討できるように、エタノール発酵、ガス化と液体燃料合成、発電、熱利用を組み合わせたトータルシステムを取り上げた。システムの物質収支、エネルギー収支をとり、構成要素である主要機器のコストを積算し、経済性を単純投資回収年の形で推算し、以下の結論を得た。

1) バイオマス資源としては製材残材を想定し、国内の大規模製材所に相当する420ton/dayの木材処理量を想定したトータルシステムでは、木材原料費9,000円/ton - 木材、輸送費61円/km/ton、輸送距離40kmでの木材の年間原材料費は14.47億円、システムの主要機器費は約85億円、固定費は255億円と試算され、直接運転費等を差し引いて算出される単純投資回収年数は、8.8年となり、実現可能性の高いことが明らかとなった。

2) エタノール発酵、ガス化と液体燃料合成、発電、熱

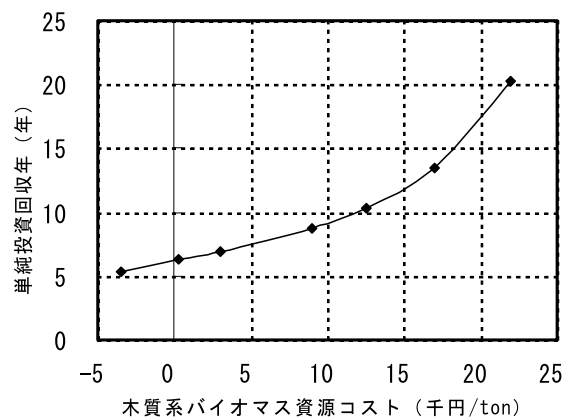


図4 木質系バイオマス利用システムの経済性

利用を組み合わせたエネルギー自立型のトータルシステムの一試算例では、木材の炭素分の約43%がエネルギー物質およびケミカルズに変換され、残りが炭酸ガスとして大気に放出され、木材の持つエネルギーのうち、約63%がエネルギー物質等に変換され、所内動力に約28%、残りの約9%が外部に供給される。

3) 各種木質系バイオマスの資源コストをパラメーターに、単純投資回収年を指標にし経済性を検討すると、収集コストの高いバイオマス資源である間伐材、未利用樹の場合には、単純投資回収年は、20年以上となり経済性が成り立たないが、バイオマス資源コストが1万円/ton以下である製材残材や建築廃材の場合には、単純投資回収年は9年以下となり、実現可能性の高いことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 迫田他13名; ゼロエミッションのための未利用植物バイオマスの資源化, 環境科学会誌, 14-7 (2001), 383-390.
- 2) バイオマス・ニッポン総合戦略の骨子 (2002年12月27日閣議決定) (アクセス日2004. 10. 10)
<http://www.maff.go.jp/biomass/senryaku/senryaku.pdf>.
- 3) バイオマスハンドブック (日本エネルギー学会編), (2002), 12-13, オーム社.
- 4) 中川仁, 坂井正康, 原田寿郎, 北村義明, 谷脇憲, 橋本彰; 第4回エコバランス国際会議講演集, (2000), 405-408.
- 5) 化学工学便覧改訂6版 (化学工学学会編), (1999), 972, 23, 17, 528, 丸善.
- 6) NIST: The National Institute of Standards and Technology (US).
- 7) DIPPR: Design Institute for Physical Property Data (US).
- 8) 化学便覧改訂3版基礎編II (日本化学会編), (1984), 306, 317, 315, 丸善.
- 9) 化学便覧改訂3版基礎編I (日本化学会編), (1984), 325, 丸善.
- 10) リード ブラウズニッツ; 気体, 液体の物性推算ハンドブック, (1985), 10-14, マグロウヒルブック(株).
- 11) 日本エネルギー学会; バイオマス・ニッポン総合戦略策定緊急調査報告書 (平成14年度), (2003), 63.
- 12) 高岡成禎; 化学プロセスの評価法, (1973), 156, 丸善.
- 13) 内山洋司; 私たちのエネルギー, (1996), 96, 培風館.
- 14) 木谷収; バイオマス (生物資源と環境), 157, コロナ社.