

■ 研究論文 ■

バイオマスエネルギーシステムの導入可能性評価

A Life Cycle Assessment of Biomass Energy System

堂脇清志*・石谷久**・松橋隆治***

Kiyoshi Dowaki Hisashi Ishitanhi Ryuji Matsuhashi

(原稿受付日1998年12月28日, 受理日1999年8月11日)

Abstract

In recent years, biomass resources have been expected to produce energy including electricity with reducing CO₂ emissions. We can evaluate that the net amount of CO₂ emissions is equivalent to zero, if we could realize a sustainable plantation of the biomass resources in long term. In this paper, we investigate the bioenergy power plant in the developing country utilizing Life Cycle Assessment (LCA). Namely, we compare the following three systems; the system including an integrated gasification combined cycle (IGCC), the system including an internally circulating fluidized-bed boiler plant (ICFB) and the system including the coal power plant.

Whole processes like establishment, fertilization, scattering pesticides, harvesting and transportation are usually taken into account in the biomass LCA. Further, in this paper, soil erosion and the change of biomass production by the rainfall are included.

As results, in the case of IGCC system, the CO₂ intensities (=the net amount of CO₂ emissions [kg-CO₂]/electricity [kJ/h]) are 38.3 [kg-CO₂/GJ] in the highest and 15.3 [kg-CO₂/GJ] in the lowest case. In the case of ICFB system, they are 39.8 [kg-CO₂/GJ] in the highest case and 37.0 [kg-CO₂/GJ] in the lowest case. Their systems are superior to the coal system concerning the CO₂ intensity.

1. はじめに

一般的にバイオマス資源は、再生可能エネルギーとして、また環境調和に優れたクリーンなエネルギー源として注目を集めており、さらに化石系資源の代替エネルギー源として、その利用が期待されている。また、97年12月に開催されたCOP3においても、バイオマス資源(特に木材資源)は、CO₂固定能力に優れているため、吸収源としての再評価が今後の急務となっている。

このような背景から、先進国の援助のもと植林事業が行われつつあるが、木材資源はある一定期間を過ぎるとCO₂固定能力が激減するため、木材資源利用によるCO₂排出量を吸収できる範囲内で利用方策を考えていく必要がある。

今後の木材資源の利用方向を発展途上国に限定してみた場合、雇用促進といった経済活性化を図りたいこと等の理由から、現在はパルプ原料としての利用が主

な目的となっている。しかしながら今後は、当該地域での電力インフラの整備が遅れていること等の理由から、環境問題への貢献が期待されると同時に、持続可能な条件でエネルギー生産を行うということが重要となる。このような条件を満たす1つの方策として、管理型林業(プランテーション)によりバイオマスを生産し、それらの資源を利用した発電システムを提案することが経済的付加価値も享受しつつ環境問題にも貢献していくという大きな役割を果たすと期待される。従って本研究では、発展途上国をモデル地域にしたバイオマスエネルギーシステムに関する導入可能性について、LCA指標を用いて評価し、持続可能な条件でエネルギー生産を行うときのCO₂排出量を算出し、化石資源の場合の環境負荷量と比較してその優位性を検討した。

2. LCA評価のための準備

2.1 バイオマスエネルギーシステムにおけるLCA評価の考え方

バイオマスエネルギーシステムを持続可能な条件でエネルギー生産しCO₂削減に貢献するために重要なポイントとしては、バイオマスの資源賦存量及びその利

* 東京大学大学院工学系研究科地球システム工学専攻博士課程

** " " " " 教授

*** " 大学院新領域創成科学研究科環境学専攻助教授

〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1

用方法である。これまでバイオマスの資源賦存量については、山本ら¹⁾が土地利用競合とあらゆるバイオマス利用システムを考慮したモデルからCO₂削減効果について検討しており、また土手ら²⁾は代替エネルギーとしてバイオマスを利用することで、CO₂削減効果について検討している。また利用技術については、ガス化コンバインドサイクル発電をはじめとする発電システムが海外で開発されつつある^{3) 4)}。

これまでのバイオマスエネルギーシステムのLCA評価では、地拵えから収穫、さらにはエネルギー利用に至るまでに係る中間投入のエネルギー評価及びCO₂排出量の評価^{5) 6) 7)}を行っている。しかしながら、本研究のようにバイオマスを持続可能な条件でエネルギー生産することを前提としたLCA評価において、降雨による生産性の変化やそれに伴う土壌条件の変化までを考慮し、さらにこれらとガス化技術等とを統合した評価は殆ど行われていない。

従って筆者らは、今後、植林事業の拡充によって増加すると予想されるバイオマス資源を持続可能な条件でエネルギー生産を行うエネルギーシステムについて、以下の考え方をベースにLCA評価を行った。

- ①ユーカリ林によるプランテーションを想定する。なお、ユーカリ林は早生樹種の1種であり、また海外での植林事業としての実績も数多い。
- ②持続可能な条件でのエネルギー生産を行うことを前提としているので、1サイクルの植林ごとに土壌条件は変化することなく、初期の土壌条件を保つとする。従って、生育期間中に降雨等によって損失する養分量については、1サイクルごとに施肥や土壌改良剤によって補われるものとする。それらの量をエネルギー換算及びCO₂換算して中間投入のエネルギー量及びCO₂排出量を算出する。また、流出土壌に含まれる有機性C(炭素)についても、無機化してCO₂に変化するものとして評価に加える。なお、バイオマスから排出されるN₂O、CH₄については、温室効果度がCO₂よりも大きく、等価CO₂排出量としてカウントすべきであるが、これらのデータには不確実性が多く、ここでの評価では考慮していない。データの入手等を含め今後の研究課題としたい。
- ③ユーカリの生産性は年平均降水量によって変化する。
- ④エネルギー変換システムについては、エネルギー回収効率の比較的高いガス化コンバインド発電システム、またシステム構成が比較的容易な直接燃焼発電システムを検討対象とし、既存の化石燃料(石炭)

による発電システムと比較検討を行う。また、エネルギー変換時に排出される灰分については、肥料として土壌に還元されるものとする。

- ⑤その他重要な事項として、植林地における地拵え等の物理的な要因に加え、肥料及び施肥等の化学的・生物学的要因による生態系への影響が懸念され、またエネルギー生産においては、生産時における有害物質の排出及びそれらに起因する土壌、水圏生態系及び健康影響等も考えられる。これらの事項については、各関連分野の調査研究を含め今後の研究課題としたい。

上記の条件に従ったLCA評価を行うことによって、バイオマス資源を持続可能な条件でエネルギー生産するときのCO₂量を算出することができ、この結果が今後のバイオマスエネルギーシステム導入のインセンティブとして重要となる。

3. 原料製造プロセス

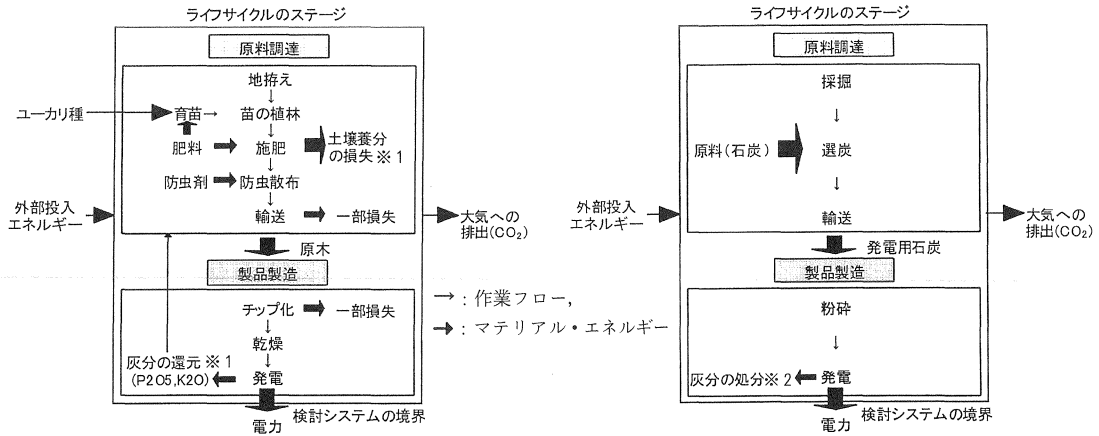
3.1 評価対象システムの概要

本研究で検討するバイオマスエネルギーシステムはユーカリ植林からチップ原料を製造するまでに至る原料製造プロセス(3章参照)と原料を乾燥し電力に変換するエネルギー変換プロセス(4章参照)の2つのプロセスから構成される。なお、最終的な評価(5章参照)では、エネルギー収支比及びCO₂排出量について、バイオマスによる電力生産の場合と石炭による電力生産の場合との比較検討を行った(図1)。

3.2 対象地域(国)

本研究のように、天候条件による土壌流出やバイオマスの生産性を考慮したLCA評価では具体的な地域(モデル)を設定することによって、より信頼性の高い評価を行うことが可能となる。そこでモデル地域の選定にあたっては、①発展途上国であり、電力不足であること、②ユーカリなどの植林事業が可能な地域であること等の理由からパプアニューギニア(以下PNG)を選定した。

PNGは、人口約434万人(1995年)のオーストラリアの北側に位置する島国である。この国の年間発電量は1,790 [GWh/年]であり、これを日本の人口1人あたりの発電量と比較すると約1/20程度である。従って、将来的には人口増加が予想される当該地域においては、電力需要が増加することが推測される。また、PNGでは日本による植林事業も盛んであり、ユーカリ(カメレレ)やチークなどを中心に約5,000 [ha]の植林を実施している。従って、本研究ではPNGを



※1 ユーカリの生育に伴う土壌養分の損失は発電システムからの灰分の土壌還元により一部補われる。なお、これらの養分は質的に同等であるものとして扱う。

a. バイオマス利用ケース

※2 石炭火力発電の焼却灰は、スラグとして取り出され、当該システムの各部に還元されることなく処分されるものとして扱う。

b. 石炭利用ケース

図1 検討システムの境界

モデル（基準）ケースに選定し、評価に必要なデータについてはできる限り現地のデータを採用した。

3.3 気候条件

PNGにおける気候条件（気温・降水量）については、年間平均気温27.1 [°C] 及び年間降水量2,067 [mm] である。また、年間平均湿度は83.3%であり熱帯気候に属している。

3.4 プランテーション概要

ここで想定しているバイオマスプランテーションの諸条件については表1に示されるとおりである。

表1 バイオマスプランテーションの諸条件

項目	条件等
林地	林地規模：1,000 [ha/区域] × 7区域
	傾斜：平均9%
	土壌密度 ⁷⁾ ：0.8 [g/cm ³] (2,000 [t/ha])
	有機物集積率 ⁷⁾ ：16.25% (0~25 [cm])
	土壌中 (0~25 [cm]) の主要元素含有量 [t/ha] ⁷⁾ ：C162.50, N10.16, P0.01, K0.34
バイオマス	樹種：ユーカリ (カメレ)
	植林特性：育苗期間0.25年→植林期間6.75年→萌芽による成長期間7年×2回→休耕期間1年 (1本のユーカリの成長年数は萌芽による成長期間及び休耕期間を含め1サイクル22年間とする。)
	1サイクル生産量 ^{8) 9) 10)} ：
	1サイクル生産量 $P_{cycle} = P_1 + P_2 + P_3$ $= P_1 + 0.7P_1 + 0.7^2P_1$
	P_1 ：育苗0.25年から植林期間6.75年のときの生産量
	P_2 ：萌芽による成長期間7年 (P_1 の70%の生産量)
	P_3 ：萌芽による成長期間7年 (P_2 の70%の生産量)
	年平均生産量 $P_{year} : P_{year} = P_{cycle} / 22$
	植林可能降水量 ¹¹⁾ ：1,000 [mm] ~ 2,500 [mm]
	最小植林間隔 ¹⁰⁾ ：2 [m] × 3 [m]
原料密度：0.444 [t/m ³] (乾), 0.510 [t/m ³] (湿)	

3.5 ユーカリの含有元素及び生育性の変化

表2にユーカリの微量元素を含めた元素分析値¹¹⁾、表3にミネラル含有量⁷⁾をそれぞれ示す。

表2 ユーカリの元素分析値（無水ベース）

項目	含有率 [wt%]
C	46.500%
H	5.933%
O	46.676%
S	0.037%
N	0.151%
灰分	0.823%

※O = 1 - (C + H + S + N + 灰分)

表3 ユーカリのミネラル含有量（無水ベース）

項目	含有率 [wt%]
P	0.007%
K	0.169%
Na	0.009%
Ca	0.278%
Mg	0.047%

※各ミネラル分は灰分として回収されるものとする。

次にユーカリの降水量等の気象条件による生産性の変化について説明する。Lieth¹²⁾はバイオマス資源の純生産量と降雨量の関係として、次式を提案した。

$$P = 3.0 \times 10^3 (1 - \exp(-6.64 \times 10^{-4} x)) \quad (1)$$

P：バイオマス資源の純生産量 [g/m²/year]

x：年間降水量 [mm]

また、品田ら¹³⁾によると、ユーカリ植林に適してい

る年間降水量の範囲を1,000~2,500 [mm] とし、さらに最小植栽密度は、造林目的にもよるが石塚¹⁴⁾によると3 [m] × 2 [m] としているので、最高降雨量の2,500 [mm] のときに最小植栽密度で植林を行ったと仮定する。これらと西川ら⁹⁾の現地調査の結果(胸高直径、樹高)と加茂¹⁰⁾の材積と胸高直径及び樹高の関係式を利用して2,500 [mm] のときの年平均材積を求め、年間1 [ha] あたりの推定生産量P' [g/m²/year] を算出する。この結果と(1)式から求められる生産量とを比較することによって、P' = 1.93P ((1)式による生産量) となるので、2,500 [mm] 以外の各降水量の生産量についても(1)式に1.93倍して生産量を求めた。

3.6 森林内における養分循環量の予測

原料製造プロセスにおける中間エネルギー投入量を評価するために、養分循環量(C, N, P, K)について検討する。養分循環量の推定は、生育期間中に損失する土壌流出量等を把握することによって算出される。

土壌流出量については、育林期間で毎年同じ量だけ流出するものではなく、降雨特性や成長の度合いなどの要因によって決まる。従って、ここでのLCA評価では、1サイクル中に土壌流出によって失われる養分量をエネルギー換算し、平年化して評価に組み入れることが重要となる。

土壌流出量の定量的な予測には、次のUSLE(Universal of Soil Loss Equation)の式によって与えられる。

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (2)$$

A : 単位面積あたりの年間流出土量 [t/ha]

R : 降雨係数 [m²・tf/ha・h]

K : 土壌係数 [t・h/m²・tf]

L : 斜面長係数 [-]

S : 傾斜係数 [-]

表4 USLEの各係数の設定

係数	設定方法(値)	備考
降雨係数R [m ² ・tf/ha・h]	R=0.343M-124.3 (r ² =0.8626)	M : 年間降水量[mm] (1,000~2,500[mm]) 実測データ ¹⁵⁾ から推定
土壌係数K [t・h/m ² ・tf]	0.09	土壌性質から推定
斜面長係数 傾斜係数 LS [-]	2.14	LS算出式 ¹⁷⁾ を用いて、傾斜9%及び傾斜長100[m]の条件から計算
保全係数P [-]	0.06	傾斜9%
作物係数C [-]	0.003~1.000	植栽密度に比例 ¹⁷⁾ 18) (裸地C=1.000)

C : 作物係数 [-]

P : 保全係数 [-]

USLEは、1950年代からアメリカにおいてWischmeierとSmithらが中心となって取り組まれた研究の成果であり、現在では侵食作用によって発生する流出土量は(2)式に集約されている。なお、式中の各係数の詳細な説明については、細山田ら^{15) 16)}による。

各係数の設定方法(値)については表4のとおりである。

以上から土壌流出量を推定し、土壌中に含まれる各養分の収支を検討する。各養分の収支は、土壌流出及び材の持ち出し以外には降雨による収入、葉などのリターとして移動、林内雨としての移動、土壌からの養分吸収及びその他の損失が挙げられる。これらの要因における各養分の移動量に関するデータについては、Whitmore¹⁹⁾によって現地調査した結果を用いた。また、育苗時には、肥料(N:P:K=1:1:1)を0.5 [g/本] 与えるものとし、発芽率を平均60%して評価した¹⁴⁾ (図2)。

図2から、土壌に投入される肥料IFは次式のように表される。

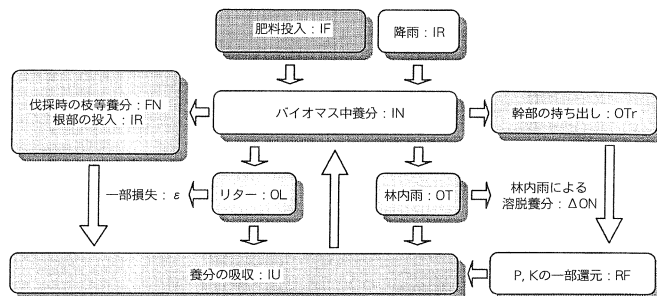


図2 養分収支の関係

$$IF=IU+OTr-FN-(1-\varepsilon)OL-IR-OT(-RF) \quad (3)$$

(3)式は土壌内における肥料の正味投入量を表しており、その投入量はバイオマスの養分吸収量からバイオマスが還元できる養分量との差である。なお、P、Kの場合は、 $-RF$ (灰分からの還元量)の項が加えられる。また、式中のリターの ε (損失率)は13.9%とし、製材・輸送等の作業中にそれぞれ5%、10%の損失があるものとした^{19) 20)}。

3.7 原料製造プロセスにおけるエネルギー投入量・

CO₂排出量

これまでの検討結果から、このプランテーションの原料製造プロセスにおける投入エネルギー量及びCO₂排出量が算出する。算出にあたっては各施肥成分のエネルギー原単位はTurhollowら²⁰⁾のデータを利用した(表5)。なお、電力のCO₂原単位については、本研究での対象国であるPNGの電力構成から求めた。

次にプランテーション内での地拵え、除草剤散布、伐採、チップ化及び運搬等の各種作業について、エネルギー原単位及びCO₂排出量を検討し、最終的に土壌損失等を考慮した原料製造プロセスにおける中間エネルギー投入量及びCO₂排出量を評価した(表6)。

4. エネルギー変換プロセス

4.1 システム概要

次に、エネルギー変換プロセスにおけるエネルギー

表5 各養分(N, P, K)のエネルギー・CO₂原単位

項目	軽油	天然ガス	電力	合計
N [MJ/kg]	3.16	54.63	2.91	60.70
P [MJ/kg]	1.68	1.63	2.98	6.28
K [MJ/kg]	1.05	0.89	1.41	3.35
CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂ /MJ]	0.069	0.049	0.152	-

量及びCO₂排出量の評価を行う。検討対象のシステムとしては、乾燥プロセスを経て、ガス化コンバインドサイクル発電にて電力を得るケース(Case 1)、循環流動床ボイラでの直接燃焼により蒸気タービンから電力を得るケース(Case 2)を想定している。

4.2 乾燥に必要なエネルギー

バイオマス原料をエネルギー変換する上で、最も重要となる要因はバイオマスに含まれる水分であり、原料中の水分含有量により最終的に得られるエネルギー量が変化する。

ここで想定しているユーカリ原料の初期含水率を60%として、表7に示される乾燥室で乾燥させることを前提に、乾燥に必要なエネルギーの算出を行った²¹⁾。この条件から乾燥に必要なエネルギー量は0.47~1.39 [MJ/kg原料] (うち送風用電力:0.04~0.40 [MJ/kg原料])として計算される。

4.3 ガス化コンバインドサイクル発電システム導入ケース(Case 1)

バイオマス原料をエネルギー変換する1つのケースとして、ガス化コンバインドサイクルによる発電システムを想定する。バイオマスのガス化技術は、石炭のガス化技術をそのまま適用することが可能であり、反応機構が石炭に比して単純化されるため、ガス化温度

表7 乾燥室容積及び性能

容 積 [m ³]	材質及び熱貫流率
時間処理量×1.2×乾燥時間	内側：鉄(厚さ5 [cm]) 熱伝導率：259.25 [kJ/m ² ・h・°C]
側面積 [m ²]	外側：硬質ウレタン(厚さ10 [cm]) 熱伝導率：0.10 [kJ/m ² ・h・°C]
225~4.176	内側熱伝達率：83.74 [kJ/m ² ・h・°C] 外側熱伝達率：62.80 [kJ/m ² ・h・°C] 熱貫流率：0.977 [kJ/m ² ・h・°C]

(注)原木はチップ化することによって体積が20%増加すると仮定した。

表6 原料製造プロセスにおける投入エネルギー量・CO₂排出量

年間生産量 [t/ha] (湿基準) (年間降水量) [mm]		619 (1,000)	805 (1,500)	938 (2,000)	952 (2,067)	1,033 (2,500)
投入エネルギー量 [MJ/t]	土壌 ^(注1)	192.0	186.6	182.2	182.8	179.5
	各作業	897.3	894.4	893.0	892.9	892.3
	合計 ^(注2)	1,089.3	1,081.0	1,075.2	1,075.7	1,071.7
CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂ /t]	土壌 ^(注1)	55.7	57.9	60.4	60.9	64.0
	各作業	61.6	61.4	61.3	61.3	61.2
	合計 ^(注2)	117.3	119.3	121.7	122.2	125.3

(注1) 土壌の施肥のエネルギーが含まれる。

(注2) 四捨五入の関係で合計が合わないことがある。

が低下し、それによって灰が溶融する前に肥料あるいは土壌改良剤として灰分(土壌養分)の回収が可能となるため、バイオマスをエネルギーとしての利用価値を高める技術として評価される。評価に必要なガス化効率の決定には、温度や圧力及びガス化剤の投入量を設定して、ガス化して得られるガスの組成を理論的に平衡計算によって求めることとした²²⁾。

ガス化成績を表す指標として理論冷ガス効率は、いくつかの均一系平衡反応の中から主要成分であるCO、H₂を中心とする無機ガスについて、ガス化反応熱＝ガス顕熱＋熱損失(5%)を満たす平衡ガス組成から計算される。なお、理論冷ガス効率 η_g (LHVベース)は、

$$\eta_g = \frac{\text{生成ガスの低位発熱量 [kJ/kg (NTP)]}}{\text{原料の低位発熱量 [kJ/kg (NTP)]}} \quad (4)$$

として与えられる(表8)。

以上の理論冷ガス効率の算出結果をもとに、Case 1のエネルギー評価を行った(表9)。なお、表中の発電規模に範囲があるのは、年間降水量によりユーカリの生産量が変わり、また原料の含水率によって生成ガス組成が変わるためである。

4.4 内部循環流動床ボイラ利用発電システム導入ケース (Case 2)

次に、直接燃焼による発電システムとして、内部循

表8 ガス化諸条件及び理論冷ガス効率計算結果

原料低位発熱量	20,900[kJ/kg](無水ベース)
ガス化温度・圧力 ⁴⁾	975[°C]・2.0[MPa]
ガス化剤投入量 ^(注)	0.158~0.210[kg/kg原料]
理論冷ガス効率 η_g ^(注)	37.6~81.4%

(注)原料含水率10~50%に応じて変化する。

表9 ガス化コンバインドサイクル (Case 1) の諸条件

ガスタービン(年間稼働率80%)	18~69MW級
入口温度[°C]	1,300
圧縮比	15
発電効率	37.1%
蒸気タービン(年間稼働率80%)	7~24MW級
蒸気条件	10.3[MPa], 538[°C]
発電効率	21.7%
コンバインドサイクル総合効率	50.1%
IGCC総合効率(LHVベース)	16.6~37.1% ^(注)

(出典)文献23) 24) 25)

(注)乾燥、給水余熱及び酸素製造(1.4[MJ/Nm³])エネルギーを蒸気及び発生電力によって賄うことを考慮した効率である。

表10 循環流動床ボイラ利用発電システム (Case 2) の諸条件

循環流動床ボイラ	152~191[t/h]
蒸気条件	5.88[MPa], 460[°C]
ボイラ効率	80.1~80.3%
蒸気タービン(年間稼働率80%)	21~34MW級
蒸気条件	5.69[MPa], 455[°C]
発電効率	20.3%
ボイラ+蒸気タービン総合効率(単純サイクルを想定)	16.3%
ICFB総合効率(LHVベース)	15.2~16.1 ^(注)

(出典)文献26)

(注)乾燥エネルギーを蒸気及び発生電力によって賄うことを考慮した効率である。

環流動床ボイラ利用発電システムのエネルギー評価を行った(表10)。なお、表中の発電規模に範囲があるのはCase 1の場合と同様な理由による。

5. LCA評価によるエネルギー収支比・CO₂排出量

これまでの原料製造プロセス及びエネルギー変換プロセスにおける各事項の検討結果を踏まえ、Case 1・2及び比較ケースとして加圧流動床ボイラ利用の石炭火力発電(Standard Case)について、LCA指標によるエネルギー収支比及びCO₂排出量の比較検討を行った(図3・図4)。なお、Standard Caseでは、オーストラリア産の石炭により発電効率42.0%(LHVベース)で発電されるシステムであり、今後、設備コストの低減が図れ、また高効率なエネルギーシステムとして期待されている。

ここで、統合したシステム全体のエネルギー生産の効率としてエネルギー収支比 σ [-]を

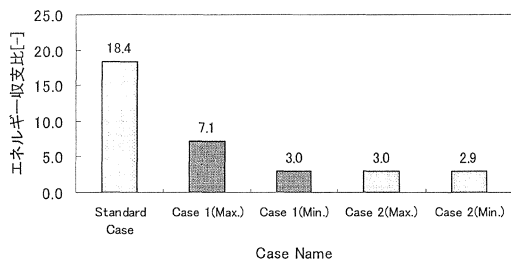
$$\sigma = \frac{\text{生産される正味エネルギー量(電力) [kJ/h]}}{\text{中間投入エネルギー量 [kJ/h]}} \quad (5)$$

のように与え、またエネルギー生産に係るCO₂排出量E [kg-CO₂/GJ]として、

$$E = \frac{\text{電力生産で排出されるCO}_2\text{排出量 [kg-CO}_2\text{/h]}}{\text{生産される正味エネルギー量(電力) [GJ/h]}} \quad (6)$$

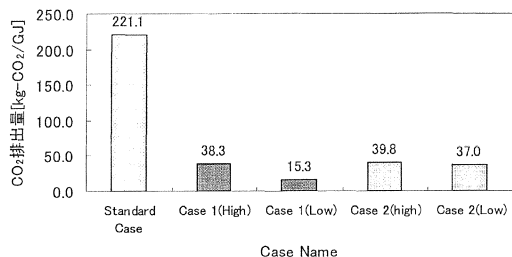
を与えた。なお、発電設備に係るエネルギー量及びCO₂排出量については、池田ら²⁸⁾によると経常運転に係るエネルギー量に対して非常に小さな値となるので、本評価においては考慮しないこととした。

以上の結果から、Case 1・2を比較した場合、エネルギー収支比についてはCase 1の方がCase 2に比



Standard Case : 石炭火力発電システム
 Case1(Max.) : バイオマスガス化コンバインド発電システム, 降水量2,500mm時の生産量, 原料含水率10%
 Case1(Min.) : バイオマスガス化コンバインド発電システム, 降水量1,000mm時の生産量, 原料含水率50%
 Case2(Max.) : バイオマス循環流動床燃焼発電システム, 降水量2,500mm時の生産量, 原料含水率10%
 Case2(Min.) : バイオマス循環流動床燃焼発電システム, 降水量1,000mm時の生産量, 原料含水率50%

図3 各ケースのエネルギー収支比較



Standard Case : 石炭火力発電システム
 Case1(High) : バイオマスガス化コンバインド発電システム, 降水量2,500mm時の生産量, 原料含水率50%
 Case1(Low) : バイオマスガス化コンバインド発電システム, 降水量1,000mm時の生産量, 原料含水率10%
 Case2(High) : バイオマス循環流動床燃焼発電システム, 降水量2,500mm時の生産量, 原料含水率50%
 Case2(Low) : バイオマス循環流動床燃焼発電システム, 降水量1,000mm時の生産量, 原料含水率10%

図4 電力1単位あたりのCO₂排出量[kg-CO₂/GJ]

べ最高条件のときで約2.7倍となる。一方、これらのケースを石炭起因のエネルギーシステムと比較した場合、エネルギー収支比についてはCase 1・2のいずれにも劣るが、CO₂排出量についてはCase 1・2で最大排出量の場合でも約1/6削減することが可能であり、CO₂排出量を大幅に削減することが期待される。

6. おわりに

今回、途上国を対象にしたエネルギーシステムの導入について、バイオマスを利用したエネルギーシステムを検討した。本論文では、現在利用されていない休耕地に新たに植林を実施し、バイオマスを利用した発

電システムを建設することを想定して、エネルギー収支比及びCO₂排出量について石炭火力発電システムと比較検討した。現在、特にユーカリなどの早生樹種を対象とした植林事業が発展途上国を中心に数多く行われており、植林に関する技術的ノウハウが蓄積されつつある。一方、このような国・地域では、電力インフラが不足していること、あるいは雇用を促進するような経済の活性化を望んでいることなどから、今後エネルギー利用による新たな植林事業の実施可能性が十分にあることが予想される。このような状況からプランテーション化によるバイオマス発電システムは、クリーン開発メカニズム(CDM)による発展途上国に対するCO₂削減技術導入の一環として重要な選択肢となり得よう。

従って、今後筆者らは、バイオマスのガス化発電システムの導入を目的に、バイオマス発電システムの経済性を考慮し、またガス化技術について実験等を含めた検討を実施したいと考えている。

参考文献

- 1) 山本博巳ほか2名; 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, 19巻, 2号(1998), 169-175
- 2) 土手 裕, 横山伸也; バイオマス利用によるCO₂削減効果, 資源と環境, 3巻, 2号(1994), 31-37
- 3) W. Willeboer; THE AMER DEMOLITION WOOD GASIFICATION PROJECT, Biomass and Bioenergy, Vol. 15, No. 3 (1998), 254-249
- 4) Krister Stahl, Magnus Neergaard; IGCC POWER PLANT FOR BIOMASS UTILIZATION, VRNAMO, SWEDEN, Biomass and Bioenergy, Vol. 15, No. 3 (1998), 205-211
- 5) G. Jungmeier et al.; ENVIRONMENTAL BURDEN S OVER THE ENTIRE LIFE CYCLE OF A BIO MASS CHP PLANT, Biomass and Bioenergy, Vol. 15, Nos. 4/5 (1998), 311-323
- 6) Marjoleine C. Hanegraaf et al.; ASSESSING THE ECOLOGICAL AND ECONOMIC SUSTAINABILITY OF ENERGY CROPS, Biomass and Bioenergy, Vol. 15, Nos. 4/5 (1998), 345-355
- 7) P. J. Edwards, P. J. Grubb; Studies of Mineral Cycling In A Montane Rain Forest In New Guinea, Journal of Ecology (1982), 70, 649-666
- 8) 横山伸也, ブラジルにおけるユーカリ植林のケーススタディ, 資源と環境, 5巻, 6号(1996), 431-435
- 9) 西川匡英ほか3名; 熱帯林の成長データ集録(1996), 勸国際緑化推進センター, 149-153
- 10) 加茂皓一; ユーカリ林における間伐と萌芽更新の試み, 熱帯林業, 39巻(1997), 12-24

- 11) 杉江達也; ガス化プロセスを考慮したバイオマスエネルギーシステムに関する研究, 東京大学工学部地球システム工学科修士論文 (1997)
- 12) G. Esser, H. Lieth; Productivity Modeling, BIOMASS HANDBOOK (1989), GORDON AND BREACH SCIENCE PUBLISHERS, 36-48
- 13) 品田 泰ほか5名; 炭酸ガス削減のための植物利用, (財)電力中央研究所調査報告書 (1992)
- 14) 石塚和裕; カマルドゥレンシスユーカリ, 熱帯樹種の造林特性第1巻 (1996), (財)国際緑化推進センター, 200-208
- 15) 細山田健三, 藤原輝男; 侵食流亡土量の予測に関するUSLEの適用について (I), 農業土木学会誌第52巻第4号 (1984), 315-321
- 16) 細山田健三, 藤原輝男; 侵食流亡土量の予測に関するUSLEの適用について (II), 農業土木学会誌第52巻第6号 (1984), 497-502
- 17) 村岡 宏, 三浦直樹; 造成農地における降雨による土壌流亡量の予測, 農業土木学会誌第59巻第3号 (1991), 283-288
- 18) 竹下敬司; 土砂の生成水の流出と森林への影響 (1993), 山海堂
- 19) T. C. Whitmore; Tropical Rain Forests, Oxford University Press (1990), 133-148
- 20) A. F. Turhollow, R. D. Perlack; Emissions of CO₂ From Energy Crop Production, Biomass and Bioenergy, Vol. 1, No. 3 (1991), 129-135
- 21) 寺澤 真; 木材乾燥のすべて (1994), 海青社
- 22) 海保 守, 小林光雄; 石炭ガス化の平衡論的な解析, 日本エネルギー学会ガス化委員会編 (1994), 96-114
- 23) 宮本 忠; コンバインドサイクル発電の現状と動向, エネルギー・資源, 18巻, 1号 (1997), 41-46
- 24) 保泉真一ほか2名; 石炭ガス化複合発電技術, 燃料及燃焼, 61巻, 5号 (1994), 331-341
- 25) 松橋隆治ほか2名; 石炭ガス化発電における効率的CO₂回収方法の検討, 電学論B, 112巻6号 (1993), 531-537
- 26) 川口 一; ごみ発電の技術開発動向と実用化 (1995), NTS, 129-150
- 27) 発電プラントのエネルギー収支分析, (財)電力中央研究所報告書 (1991)
- 28) 池田昭由ほか5名; 環境分析用産業連関表, 慶應義塾大学産業研究所 (1996)

協賛行事ごあんない

「第19回シミュレーション・テクノロジー・ コンファレンス」について

期 日: 平成12年6月21日(水), 22日(木)

会 場: 明星大学大学会館

(日野市程久保2-1-1)

主 催: 日本シミュレーション学会

協 賛: (財)応用物理学会, (財)化学工学会 他

問い合わせ先:

日本シミュレーション学会・事務局(澤田)

〒102-0083 東京都千代田区麴町1-6

相互麴町第3ビル6F

TEL 03-3239-4738/FAX 03-3239-4714

E-mail: simul@pp. iij 4 u. or. jp