研究論文

製材工場におけるバイオマスエネルギーシステムのシステム分析

A System Analysis of a Biomass Energy System in a Sawmill

堂脇清志*・森　俊介**
Kiyoshi Dowaki　Shunsuke Mori

（原稿受付日2002年７月30日，受理日2002年12月11日）

Abstract

A biomass energy system is considered to be environmentally superior from the viewpoints of the CO_2 mitigation and the effective utilization of resources. The energy cost, however, supplied from such a system is higher than conventional fossil fuel systems. Furthermore, recently, it is greatly expected that the environmental business model will be established in the near future.

In this paper, the environment and the economics of a biomass energy system in a sawmill are analyzed by comparison of a gasification cogeneration system and a direct combustion system. Especially, the break-even point for marketability of business taking the extra electric power into consideration is estimated under the assumption of a purchase system of renewable energy such as the Renewable Portfolio Standards (RPS) being realized. Consequently, when biomass-related subsidies are applied, the break-even point of the purchase price of the gasification cogeneration becomes 7.7 to 35.7 yen/kWh. Furthermore, if the construction cost decreases 10%, the break-even point of the purchase price would be cheaper by about 7.4 yen/kWh.

１．はじめに

わが国のバイオマスエネルギー事情は，近年実証試験を含めた研究開発事業等が推進されてきている．この背景としては，経済産業省資源エネルギー庁の諮問機関である総合資源エネルギー調査会が，2001年６月に報告した長期エネルギー需給見通しにおいて，2010年度の新エネルギーの導入目標を1999年度の約３倍である1,910万kl（原油換算）としており，とりわけバイオマスエネルギーは発電部門で34万kl，熱利用部門で67万klとなっており，新エネルギー導入目標のうち全体の約５％を占めることが目標となっている[1)]．さらに，また，地球温暖化問題が注目を集める中で，再生可能でカーボン・ニュートラルなバイオマスはその特性から環境調和型のエネルギー資源として有望視されていることに加え，日本国内の産業廃棄物排出状況を見ると年間742万トンの木くずが排出されており，また林業では間伐材の半分以上が利用されずに林地に残され森林荒廃の一因ともなっており，これらの現況を改善するための方策あるいはシステムづくりが急務となっている．

このような状況から，新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法（新エネ特措法）も整備され，経済産業省や農林水産省林野庁関係等の導入・普及のための補助金の整備が行われつつある．

以上のような背景を勘案し，本研究では，１つのバイオマスエネルギーの環境ビジネスモデルとして製材工場におけるバイオマスエネルギーシステムについて，環境面のみならず経済面の分析を行うこととした．この理由としては，①現在，木材産業の高付加価値化（製品の完全乾燥の実施及び製材加工等）の観点から製材業は集約化・大型化の方向へ進んでおり，製材工場の大規模化により大量の廃材が１ヶ所から排出されると考えられる．そのため原料収集によるエネルギー及びコストの効率化が図れる．②廃棄物に近い状態で排出されるので他の使用用途との競合も起きにくいことが想定される．③製材所における木材乾燥実施率は数％程度であり，これを完全実施することによって，製材自身の高付加価値化が図れる一方，主に乾燥に必要な熱需要が増大することが予想される．また電力についても製材加工動力としてある程度の需要が見込まれる．平成12年現在，製材素材入荷量26,526千m^3のうち12,798千m^3が国産材であり，うち製品出荷量は17,231千m^3である．また，製材工場数は11,692ヵ所（うち国産材の扱う工場5,444ヵ所）あり，製品出荷量及び工場数とも減少傾向にあり，特に，国産材については，輸入材に比して素材価格で競争力がないため，林業育成の観点から製品の乾燥化等の高付加価値利用が不可欠になりつつある[21)]．このような背景からバイオマスエネルギーの内部利用による木材製品付加価値化及

*東京理科大学理工学部経営工学科助手
**　〃　〃　〃　教授
〒278-8510 千葉県野田市山崎2641
E-mail：dowaki@ia.noda.tus.ac.jp

び環境調和型システムは全国的にも林産地を中心に導入促進が大いに期待されるものと考えられる．④今後数十年にわたり，原料となる木材資源が主伐期を迎えるため，原料供給へのポテンシャルが高い等が想定される[2), 3)]．⑤廃棄物焼却に係るダイオキシン削減のための規制措置により平成14年12月より小型焼却炉による廃材処分ができなくなり，その結果，有償による廃材処理が必要になることが予想される[4)]．⑥新エネ特措法により，電力会社によるクリーンな電力の購入制度，いわゆるRPS制度（Renewable Portfolio Standards）の導入や現行の余剰電力購入メニューにより新エネルギーの普及が期待されている[5)]．

本研究では，製材工場におけるバイオマスガス化コージェネレーションシステムについて環境性及び経済性の分析を行うこととし，特に経済性分析においては損益分岐となる余剰電力購入価格について検討を行うことにする．なお，ガス化プロセスに関する熱分解組成及びガス化反応速度の基礎的なデータについては，廃材の熱分解及びチャーのガス化実験を行うことでデータの取得を行った．また実験に用いる樹種としては，評価対象である大規模製材工場で主に排出されるスギを使用とした．さらに，比較のために既に実証化されているバイオマス直接燃焼方式によるエネルギーシステム（熱電併給）についても検討対象に加え分析を行った[6), 7)]．

2．バイオマスエネルギーシステムの設計

2.1 本システムの概要

本研究では，今後，導入が期待されているバイオマスガス化コージェネレーションシステムと既に実用化されているバイオマス直接燃焼システムについて検討する．なお，バイオマスガス化コージェネレーションシステムについては**図1**に示すとおりである．

本システムの特徴は，製材工場から排出される廃材を流動床ガス化炉によりガス化し，生成ガスを精製したのちガスエンジンを駆動させ電力と熱を生産するシステムである．ここで，既存のガスエンジンシステムが本研究のような低カロリーであるバイオガスを燃料とする場合の運転特性については，関連メーカのヒアリングの結果，研究開発要素が残されているものの，定格出力以下で運転することができる可能性があるとの回答を得ており，本研究においてもバイオガス単独の燃料で運転することを想定する．

また，本研究においてはガスエンジンから電力，蒸気及び温水が回収されるが，電力及び蒸気（木材乾燥用）については工場内で利用し，余剰電力については，系統に連係し売電することを想定する．

ガス化炉からの生成ガスは直接ガスエンジンに接続せず，需要調整のための貯蔵タンクに一時貯蔵し，平日昼間に運転することを基本とする．

次に，比較検討を行うバイオマス直接燃料システムについては，ボイラにより蒸気を製造し，これを蒸気タービンにて発電を行う．また，蒸気タービン中段より抽気を行い，木材乾燥用の蒸気を製造する．なお，このシステムについては，熱需要に合わせる運転方式（熱主電従運転）を想定する．

2.2 スギ廃材の化学的特徴

本研究におけるガス化コージェネレーションシステム及び直接燃焼システムの検討については，**表1**で示される原

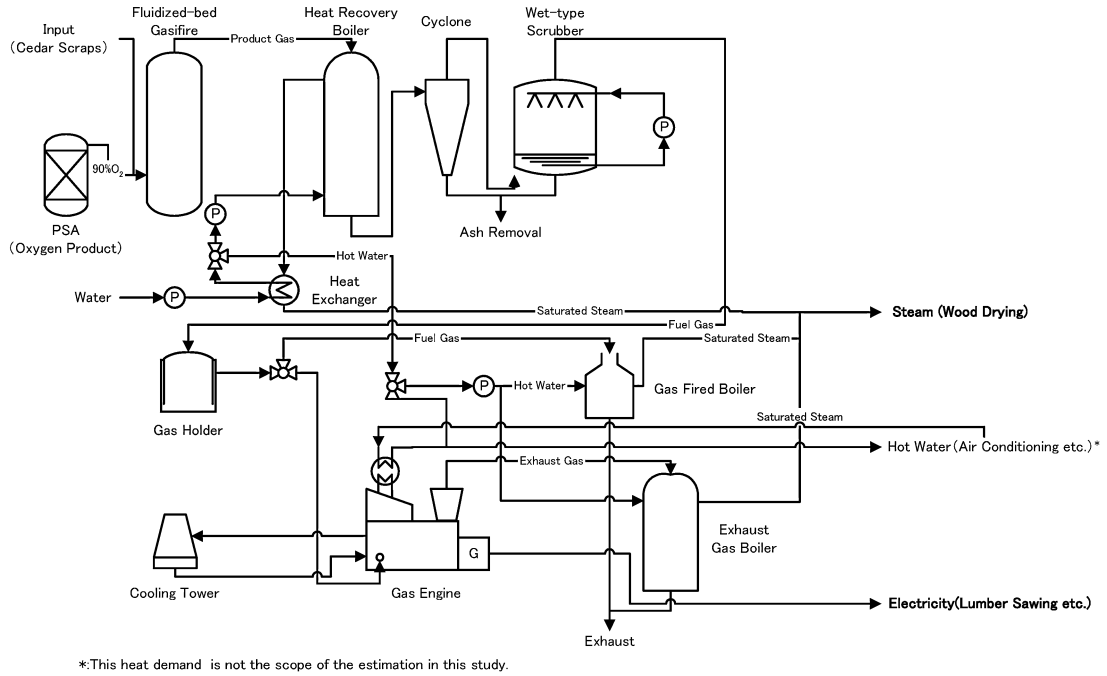


図1 バイオマスガス化コージェネレーションシステム

料の基礎データを初期条件として用いた．

2.3 製材工場における廃材量及びエネルギー需要

次に，本研究で対象とする製材工場における年間製材量及び廃材量について**表 2** に示す[3]．

この製材処理量から，電力需要については，製材工場内で利用する機械等の動力，乾燥用のファン及びガス化炉システムで必要となる酸素製造用の動力（ガス化システムのみ対象）等である[3), 8)]．一方，熱需要については，すべて乾燥に必要なエネルギーとして，これらは生産量から理論的に算出した[9]．

ここでは，基本的なエネルギー需要変化は電力需要のみであり，工場稼働日である250日×10時間（8：00～18：00，乾燥ファンの電力含む．）の場合，木材乾燥稼働時間である365日×24時間の場合及び乾燥用ファンの稼働電力である115日×24時間の 2 つの場合について**図 2** 及び**図 3** のように推定した．なお，熱需要の変化はないものとする．

表 1　スギ廃材の元素分析等

C ［wt.%］*	49.7
H ［wt.%］*	6.05
O ［wt.%］*	44.1
S ［wt.%］*	<0.01
N ［wt.%］*	0.01
灰 分［wt.%］*	0.10
含 水 率［wt.%］	20.0
真 比 重［kg/m³］	380
総 発 熱 量［kJ/kg］*	19,300

＊乾基準

表 2　製材品及び廃材量（推定値）

製 材 量［m³/年］		32,133	販 売 可 能
廃 材 量［m³/年］	チ ッ プ	15,232	販 売 可 能
	オ ガ コ	10,730	販 売 可 能
	樹 皮 等	5,845	－

2.4 エネルギーシステムの設計

本研究におけるバイオマスガス化コージェネレーションシステムは流動床ガス化炉，熱回収ボイラ及びガスエンジンを基本構成としている．なお，比較のために直接燃焼システムについても検討対象とする．

最初にガス化コージェネレーションシステムでは，ガス化炉に投入された原料は，熱分解反応，酸化反応，ガス化剤（CO_2+H_2O）によるチャーガス化反応及び発生したガス相互間で 2 つの平衡反応$CO_2+H_2 \leftrightarrow CO+H_2O$及び$CH_4+H_2O \leftrightarrow CO+3H_2$の平衡反応により，ガス化炉から排出される．なお，C2以上の炭化水素の発生は無視し，タールの発生もないと仮定する．この場合，ガス化炉出口温度を高温に設定するため，生成ガス発熱量は低くなる．しかしながら，現在，低カロリー用のガスエンジンが進められており，技術的にも十分に駆動できるとの知見がエンジンメーカより得られている．なお，最終的な効率を考慮したガス化炉運転における最適な設定温度については，タールの発生状況を含め今後の検討課題としたい．

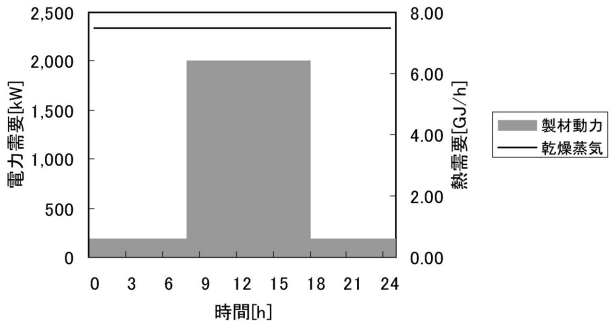


図 2　製材工場における電力・熱需要（工場稼働日：250日×24時間）

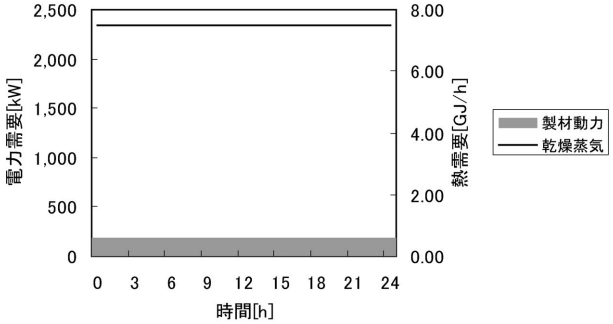


図 3　製材工場における電力・熱需要（工場非稼働日：115日×24時間）

本研究ではガス化炉のエネルギー変換効率が重要なデータとなるため，熱分解実験及びチャーのガス化実験を行うことによって，それらの各反応の特性を検討するとともに，それらのデータを基にしたシミュレーションプログラムによりガス化プロセスについて検討した．なお，本研究においては，熱分解反応時におけるガス収量及びチャーのガス化速度の結果のみに言及し，これらの実験方法については，筆者らがこれまで行った実験結果の報告を参照されたい[2), 4)]．

ここで，流動床ガス化炉の特性を把握するために，初期条件を**表 3** のように設定する．なお，ガス化炉内の圧力については，ガス化反応の促進のためには，炉内圧力を大きくする方が望ましいが，ガスエンジンの入口圧力が0.5MPa程度であることや設置場所の状況から高圧ガス保安法等の規制の対象にならない範囲として炉内圧力を0.7MPaに設定した．

以上の条件を用い，筆者らが作成したガス化シミュレーション[2), 10)]により，ガス化プロセスの評価を行った．また，ガス化コージェネレーションのシステム全体の設計についてはガス化プロセスにおけるシミュレーション結果から，本研究ではガスエンジン及びボイラ等の機器によってシステム設計を行うものとする[11]．ここで，ガス化コージェネレーションシステムのシステム性能を**表 4** に示す．なお，表中の冷ガス効率及び熱ガス効率は次式によって定義され

表 3　ガス化炉の初期条件の設定

原料投入量[t/h]（含水率）		2.01（20.0wt.%）
炉内圧力[MPa]		0.70
熱分解温度[℃]		750
熱分解ガス収量*[mol/kg]	H_2	3.21
	CO	3.80
	CH_4	1.88
熱損失[%]		5.0
酸素供給比（O/C）[mol･atm/mol･atm]		1.56
酸素供給条件（[MPa]，[℃]）		0.90，92
チャーガス化速度*[s^{-1}]		$\frac{dX}{dt}=3.05\times10^5\exp\left(-\frac{21133}{T}\right)(1-X)^{\frac{1}{3}}$
大気温度[℃]		15.0
相対湿度[%]		60.0

＊実験結果

表 4　ガス化コージェネレーションシステムの性能条件

項目		設定値
ガス化炉	冷ガス効率*[%]	72.23
	熱ガス効率*[%]	94.19
	生成ガス発熱量[MJ/Nm^3]*	8.38
	出口温度[℃]	1,185
ガス化炉出口組成**[mol/kg]	H_2	17.6
	CO	20.4
	CH_4	<0.1
	CO_2	12.4
	H_2S	<0.1
	NH_3	<0.1
	H_2O	17.5
	N_2	4.6
	Ar	<0.1
	C residue	0.3
ガスエンジン	発電効率[%]	37.3
	蒸気回収効率[%]	16.1
	温水回収効率[%]	12.6
熱回収ボイラ効率[%]		95.2
ボイラ効率[%]		80.0

＊LHV基準　＊＊シミュレーションによる推定値

表 5　直接燃焼システムの性能条件

項目		設定値
蒸気ボイラ	形式	木質系燃料燃焼ボイラ
	蒸気条件（[MPa]，[℃]）	6.2，425
	給水温度[℃]	15
	ボイラ給水[℃]	161
蒸気タービン	形式	抽気復水タービン
	蒸気条件（[MPa]，[℃]）	5.9，420
	抽気圧力[MPa]	2.3
	排気圧力[kPa]	9.8
バックアップボイラ効率[%]		80.0

表 6　バイオマスエネルギーシステムの性能

	ガス化コージェネ	直接燃焼
発電効率*[%]	27.0	16.6
蒸気回収効率*[%]	28.6	27.5
システム総合効率*[%]	55.6	44.1
最大発電出力[kW]	3,114	1,293
最大蒸気出力[GJ/h]	10.42	7.50

＊LHV基準

る．

冷ガス効率［%］

$$=\frac{\text{発生ガス発熱量（25℃）[MJ/h]}}{\text{原料発熱量（25℃）[MJ/h]}}\cdots\cdots(1)$$

熱ガス効率［%］

$$=\frac{\text{生成ガス発熱量（25℃）+生成ガス顕熱（T℃）[MJ/h]}}{\text{原料発熱量（25℃）[MJ/h]}}\cdots(2)$$

次に，直接燃焼システムの設計条件については，**表 5** のように設定する[12]．

以上の設定値を用いて，ガス化コージェネレーションシステム及び直接燃焼システムの性能について**表 6** のように設定する．なお，直接燃焼システムでは，工場内の熱需要に合わせた運転を行うことと仮定する．

2.5 各システムコスト指標の設定

本研究における経済性分析では，従来型の製材工場の扱う基準ケースとバイオマスエネルギーシステムを想定したガス化コージェネレーションシステム及び直接燃焼システムを利用するケースを比較する．基準ケースでは，廃材の一部を食品加工工場等へ売却することを想定し，ダイオキシン等の規制により樹皮等の売却できない材を，有償にて処分することとし，製材については未乾燥の製品にて出荷し，最終的には廃材によるエネルギー回収は行わないことを想定する．一方，バイオマスケースにおいては，すべての廃材を燃料として利用し，システムから排出される蒸気を利用して製品を乾燥させ出荷する．さらに，余剰電力については電力会社に売電することを想定する．また，エネルギー施設及び乾燥施設については年経費に換算し，その他費用については，当該施設に関連する部分のみを考慮する．なお，ガス化コージェネレーションケースにおいては，温水及び余剰蒸気が見込まれるが本研究におけるコスト分析では対象としない．

ここで，各ケースにおける主なコストの算定基準を関連文献及びメーカ等のヒアリングにより**表 7** のように設定し，経済性評価を行うこととする[3), 6), 7), 13), 14), 15), 16)]．この他の費用としては，諸経費（設備費用×10%），維持管理費（設備費用×２%），福利厚生費（人件費×18%），固定資産税（年1.4%），都市計画税（0.2%），消費税（５%）及び保険料（建物：年0.07%，設備：年0.5%）がある．

ここで，廃材処理費用については，地方によりその処分費用が異なるため，関東周辺における最大費用及び最小費用について検討する．また，軽油は製材作業で稼働する作業車の燃料であり，さらに，LPGについては，乾燥用のバックアップボイラの燃料である．LPGを燃料として選定した理由は，製材工場の立地条件が中山間地域であることを

表 7　各ケースのコスト算定基準の設定

	項目	基準ケース	ガス化コージェネ	直接燃焼
変動費	製材販売[円/m^3]	46,400	60,000	60,000
	チップ販売[円/m^3]	8,700	−	−
	オガコ販売[円/m^3]	2,700	−	−
	廃材処理[円/m^3]	13,000～2,500	−	−
	購入電力[円/kWh]	13.1	13.1	13.1
	軽油[円/l]	−	61.0	61.0
	LPG[円/kg]	−	−	250.4
	工業用水[円/t]	−	150.0	150.0
	灰処理[円/t]	−	12,000	12,000
	人件費単価[円/人・年]	−	5,000,000	5,000,000
固定費	乾燥施設[千円]	−	590,750	590,750
	エネルギー施設[千円]	−	1,194,780	535,070

考慮したためである．

3．バイオマスエネルギーシステムのシステム分析

以上の条件をもとに，基準ケースと直接燃焼ケース及びガス化コージェネレーションケースについて，システム全体のエネルギー回収率，CO_2削減効果及び経済分析を行った．

特に，経済分析においては，今後グリーン電力購入の制度化が期待されることから[5), 17)]，本研究においては，事業者サイドから見た検討を行うこととする．すなわち，バイオマスエネルギーシステムのケースについては，余剰となる電力購入価格を一定の償却年数で損益分岐となるように設定することによって，環境ビジネスの可能性について検討する．また，当該システムについてはエネルギー施設について補助金（補助率1/2または1/3）の有無を考慮した場合について検討する[1)]．

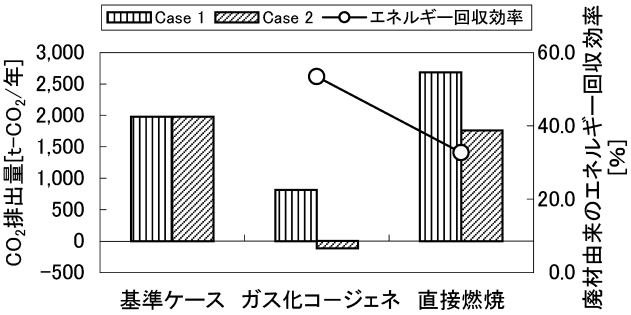
3.1 エネルギー回収効率・CO_2削減効果の検討

最初に，製材工場における廃材由来のエネルギー回収効率について検討する（**図 4**）．ここでのエネルギー回収効率は，バイオマスエネルギーシステムについて，(3) 式のように年間に投入される廃材，電力（１次換算），軽油及びLPGの合計を廃材由来の生産エネルギー（電力及び熱）の割合で表したものである．投入される廃材も一次エネルギーと考えることで，本システムは広い意味でのエネルギー変換設備とみなされる．但し，製材工場はエネルギー変換そのものが目的ではないので，ここではこの廃材工場に投入される全エネルギーと製材工場から回収されるエネルギーの割合をエネルギー回収効率と呼ぶこととする．但し，ガス化コージェネレーションシステムについては，本研究では温水の需要先が特定されていないが，この指標においてのみ考慮して評価する．

製材工場における廃材由来のエネルギー回収効率［%］

$$= \frac{\text{廃材由来の電力生産 [MJ/年]} + \text{廃材由来の熱生産（蒸気・温水）[MJ/年]}}{\text{廃材 [MJ/年]} + \text{購入電力（1次換算）[MJ/年]} + \text{軽油 [MJ/年]} + \text{LPG [MJ/年]}} \quad \cdots (3)$$

次に，エネルギー源別エネルギー投入量にCO_2原単位を乗じることによって各システムのCO_2排出量を算定する．ここで，基準ケースでは，前述したように端材等は食品工場等に引き取られた後，最終的には可燃部分の焼却処分は行うがゴミ発電などは行わないシステムである．他方，バイオマスエネルギーシステム導入のケースでは，製材工場における内部供給をはじめ，さらに余剰電力まで含めたエネルギー生産を行うシステムであることから，ここでの評価では製材工場からのCO_2排出量のみの評価と既存電力の余剰電力について，その時間帯の購入電力相当のCO_2排出量が削減できるものとしたCO_2排出量の２つについて評価する（**図 4**）．この２つの評価の意味は，製材工場から正味排出されるCO_2排出量と余剰電力の販売による既存電力のCO_2削減効果を評価するものとして位置付けられる．なお，各エネルギー資源別のCO_2原単位は**表 8** に示すとおりである[18), 19)]．



Case 1 ：システム単体からのCO_2排出ケース
Case 2 ：既存電源の余剰分からのCO_2排出分を考慮するケース

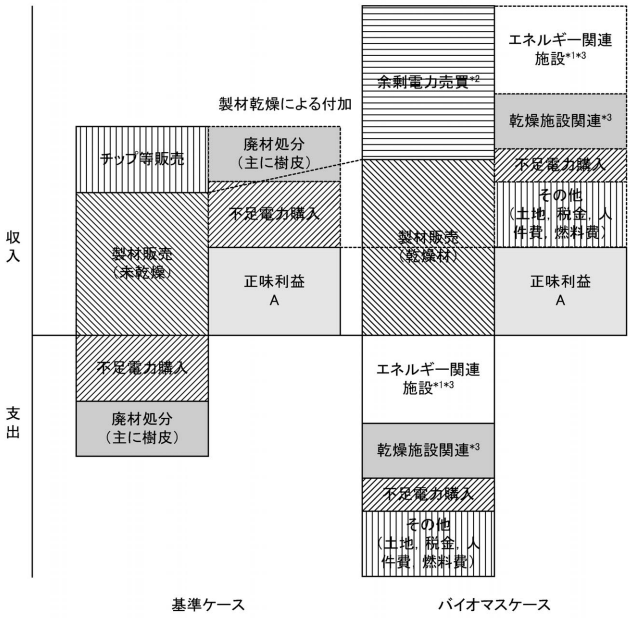
図 4　エネルギー回収効率及びCO_2削減効果の検討

表 8　エネルギー源別CO_2排出原単位

	単 位	排 出 量
廃 材	－	0
購 入 電 力 （ 昼 間 ）	kg・CO_2/kWh	0.333
購 入 電 力 （ 夜 間 ）	kg・CO_2/kWh	0.241
軽 油	kg・CO_2/kl	2.644
LPG	kg・CO_2/kg	3.007

3.2 余剰電力購入価格の検討

最後に，経済面の分析を行う．ここでの評価は，**図 5** のコストバランスに示されるように従来の林業事業は成立しているものとし，バイオマスエネルギーシステムを利用するケースにおいても，従来の正味利益は確保されるものとして，損益分岐点となる余剰電力購入価格を算出する．なお，施設関連の原価償却費は金利３%，償却年数15年及び残存価値10%として資本回収係数を用いて算出し，ビジネ



＊1：エネルギー施設は補助対象であり，補助率1/2及び1/3を検討対象とする．
＊2：正味利益Aが同じになるように余剰電力の購入単価を決定する．
＊3：施設費は年経費に換算して比較する．

図 5　コストバランス

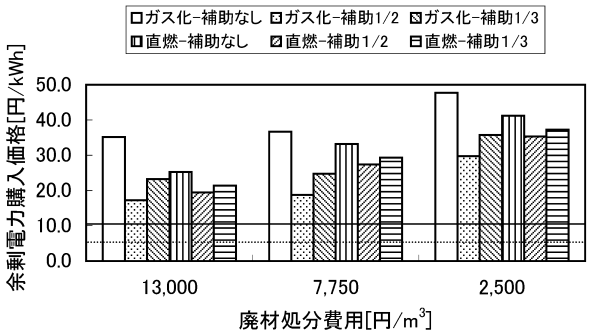


図6　損益分岐となる余剰電力購入価格の検討結果

ス化へのポテンシャル評価として検討する．

以上の考え方に基づき，損益分岐となる余剰電力購入価格について，基準ケースにおける廃材処理費用をパラメータとしてガス化コージェネケース及び直接燃焼ケースについて補助金の有無を考慮した評価を行った（**図6**）．なお，現状の余剰電力購入価格(図中実線：風力発電の購入価格，点線：その他の昼間時間帯における購入価格）を併記しておく[20]．

4．結論と今後の課題

本研究では，バイオマスエネルギーシステムのビジネス化を念頭に，環境性及びコスト分析を行った．

環境評価については，既存の製材工場と比した場合，バイオマスエネルギーシステムの導入は余剰電力を考慮することにより，CO_2排出削減が期待できる．また，現在，製材所工場は10,000箇所以上存在していることから，廃材を利用するバイオマスエネルギーシステムの製材工場への導入は環境面からも大いに意味がある．さらに，間接的な要因である余剰電力の影響を考慮した分析では，CO_2削減ポテンシャルの原単位は，ガス化コージェネレーション及び直接燃焼システムでそれぞれ65.0kg-CO_2/製品m^3及び6.8 kg-CO_2/製品m^3となる．

また，経済性評価においては，ダイオキシン規制に伴う有償による廃材処分，新エネルギー利用促進のための補助金の利用等，外部的な要因に依存するが，余剰電力購入価格は補助金の利用を考慮した場合ガス化コージェネレーションシステムでは損益分岐となる購入価格は7.7～35.7円/kWhとなり，直接燃焼システムでは19.4～37.3円/kWhとなる．一方，補助金を利用しない場合は，ガス化コージェネレーションシステムでは，25.7～47.7円/kWhとなり，直接燃焼システムでは，25.2～41.2円/kWhとなり，直接燃焼システムの方がエネルギー施設の建設費が安価な分，購入価格は低くなる．また，今般の新エネルギー購入の状況やバイオマス等に関する補助制度を利用することを勘案すれば，ビジネスとしてのポテンシャルは十分にあるといえよう．

また，本研究で検討したガス化コージェネレーションシステムの導入普及の重要な要素は，前述した外部条件が整備されることに加え，導入普及が促進され数多くのプラント建設が促進されることにより学習効果による建設費の低減が不可欠であり，例えば10%低減が，約7.4円/kWhの価格低下を期待することができる．

従って，現在RPS等の新エネルギーの購入等が検討されているが，成功事例を確立するために初期の段階においては，このような制度設計を事業者の立場から検討することも重要な課題であると考えられる．このような環境ビジネスの確立は，わが国における環境負荷低減をより一層加速させるものと期待される．

参 考 文 献

1）横山伸也；21世紀文明を支えるエネルギー技術戦略策定への提言（V）バイオエネルギーの有効利用，日本エネルギー学会誌，81-6（2002），415-420.
2）堂脇清志，皆川農弥，松橋隆治，石谷久；製材工場における廃材を利用したガス化コージェネレーションプラントのシステム評価，日本エネルギー学会誌，81-4（2002），263-273.
3）愛媛県久万町；久万町中予山岳流域環境調和型エネルギーコミュニティ事業調査報告書，愛媛県久万町，(1999).
4）堂脇清志，森俊介，松橋隆治，石谷久；バイオマスガス化コージェネレーションシステムの運転評価，第21回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集（2002），277-282.
5）総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会；新エネルギー部会報告書～今後の新エネルギー対策のあり方について～，(2001).
6）藤井重雄；木質系バイオマス発電における諸評価の考察，第21回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集（2002），273-276.
7）秋田県大型工場設置検討グループ；超大型製材工場設置構想企画書，(2002).
8）化学工学便覧改訂6版，丸善，(1999).
9）寺澤　眞，木材乾燥のすべて，海青社，(1994).
10）堂脇清志，石谷久，松橋隆治；養分循環を考慮したバイオマスエネルギーシステムのライフサイクル分析―エネルギー収支比及びLCCO_2の検討―，エネルギー・資源学会，22-5(2001)，373-378.
11）通産資料調査会；コージェネレーション総合マニュアル，(2000).
12）菊地与志也；森林資源・木材エネルギーの利用―能代バイオ発電所の建設について―，秋田県立大学木材加工研究所，(2000).
13）社団法人日本ガス協会；ガス事業便覧，(2001).
14）社団法人日本電気協会；電気事業便覧，(2001).
15）財団法人経済調査会；積算資料，(2002).
16）社団法人日本ガス協会；新編都市ガス空調システム，(1990).
17）生田孝史；グリーン電力市場における環境価値の創出と流通，Research Paper Environment Series No.1，富士通総研経済研究所，(2001).
18）東京電力株式会社；環境行動レポート，(2000).
19）池田明由，篠崎美貴，菅幹雄，早見均，藤原浩一，吉岡完治；環境分析用産業連関表，慶應義塾大学産業研究所，(1998).
20）東京電力ホームページ，http://www.tepco.co.jp/engineering/wsc/yojou14-j.pdf
21）農林水産省林野庁ホームページ，http://www.rinya.maff.go.jp/toukei/toukei.html