

8. 関東のバイオマスタウンを対象としたCO₂削減効果の評価

村野 昭人^{1*}・轟 真人²・川見 毅³

¹東洋大学 理工学部 都市環境デザイン学科 (〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100)

²JFEエンジニアリング株式会社 (〒230-8611 神奈川県横浜市鶴見区末広町二丁目1番地)

³東洋大学大学院 工学研究科 環境・デザイン専攻 (〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100)

* E-mail: amurano@toyo.jp

賦存量が多く、またカーボンニュートラルの性質を持つバイオマスの利活用が注目されている。そこで本研究では、まずGISを用いて、関東地方のバイオマスの発生分布状況を把握した。次に、関東地方のバイオマスタウンを対象として、資源循環利用時のライフサイクルCO₂およびライフサイクルコストの算定を行った。その結果、厨芥類、下水汚泥をメタン発酵した場合に、最大で年間約2.3万tのCO₂削減となるなど、高いCO₂削減ポテンシャルが確認できた。しかし、CO₂削減量当たりの削減コストを算出した結果、一般的な排出量取引価格と比較して高い値となり、課題が残っていることが明らかとなった。現状のバイオマス事業の運用においては多額の補助金が必要であり、変換技術の効率改善が求められる結果となった。

Key Words : biomass, recycle, Life Cycle CO₂, Life Cycle Cost, GIS

1. 研究の背景と目的

地球温暖化への取り組みが国際社会の喫緊の課題となる中、新たなエネルギー源としてバイオマスが注目され、その導入に向けた様々な政策が相次いで発表、策定されている。バイオマスは面的に薄く分布する特性を持っているため、バイオマスの種類によっては利用率が低いものも存在する(図-1)。すなわち、発生から利用までが効率的なプロセスで結ばれた総合的利活用システムの構築が求められている。

そこで、本研究では、関東地方のバイオマスの発生分布状況を調査し、バイオマスタウンにおける資源循環時のCO₂削減ポテンシャルとライフサイクルコストの算定を行うとともに、バイオマスタウン事業の投資採算性の分析・評価を行うことを目的とする。

研究の全体フローを図-2に示す。まずGISを用いて資源循環データベースを構築する。次に、政策・技術調査により得られた変換技術に基づいて、データベースから得られたバイオマス賦存量を対象としたLCA分析を行う。

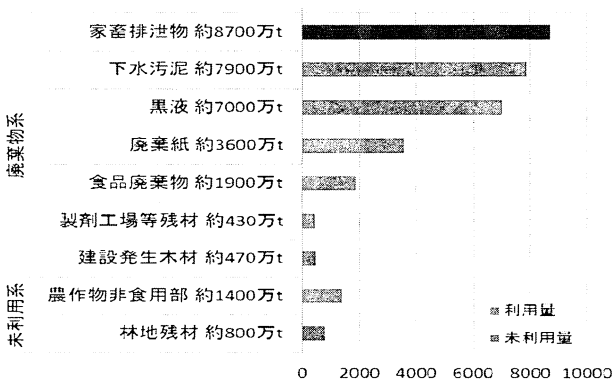


図-1 日本のバイオマス賦存量・利用量 (2008年) ¹⁾

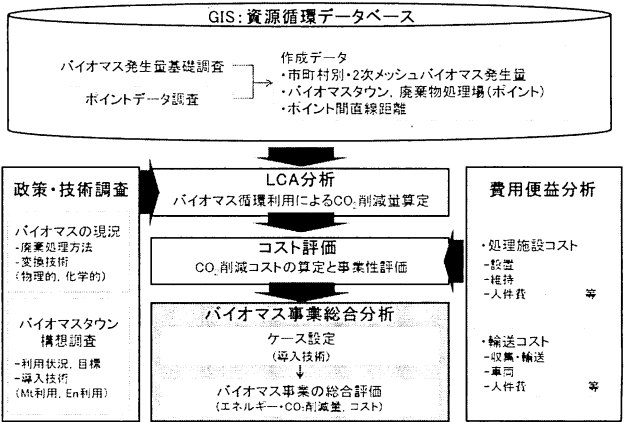


図-2 研究の全体フロー

最後に処理施設のコスト・輸送コストなどの評価を行い、バイオマス事業の総合評価につなげる。

2. バイオマス賦存量の地域特性の把握

賦存量に対する利用可能割合が高いバイオマスとして、下水汚泥、生活系厨芥類、事業系厨芥類、採卵鶏や稲わら、剪定枝等が挙げられる。その中でも厨芥類および下水汚泥は特に利用可能性が高いとされ、新しいエネルギー源として今後活用することが期待されている。また、木質系バイオマスは、森林におけるCO₂吸収量を維持する目的からも、その利活用が注目されている。

図-3は、NEDOが作成したバイオマス賦存量の市町村別データ¹⁾を基に、関東地方の厨芥類と下水汚泥の賦存量分布を2次メッシュ（10km×10km）により作成したものである。いずれも、都市部を中心にバイオマス賦存量が多くなっている様子が分かる。

次に、図-4に関東におけるバイオマスタウン²⁾とその焼却施設、最終処分場の立地拠点を位置データに基づき、マッピングした図を示す。2011年10月現在、全国には318地区のバイオマスタウンがあり、関東地方では31の市町村がバイオマスタウンに策定されている。

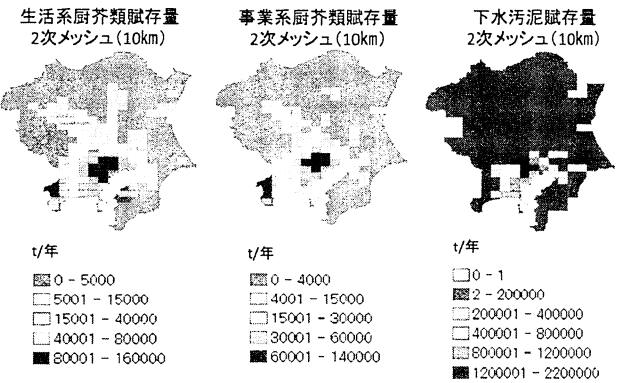


図-3 関東におけるバイオマスの賦存量分布

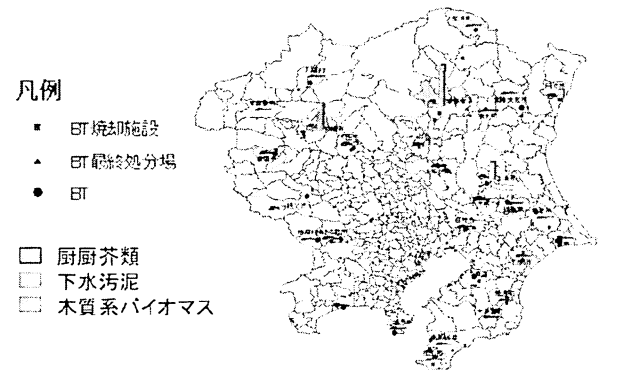


図-4 関東におけるバイオマスタウンの位置図

本研究では、2011年3月時点で策定されていた29市町村を対象として分析を行った。関東におけるバイオマスタウンごとの生活系および事業系厨芥類の賦存量分布を図-5に、下水汚泥の賦存量分布を図-6に、木質系バイオマスの賦存量分布を図-7に示す。

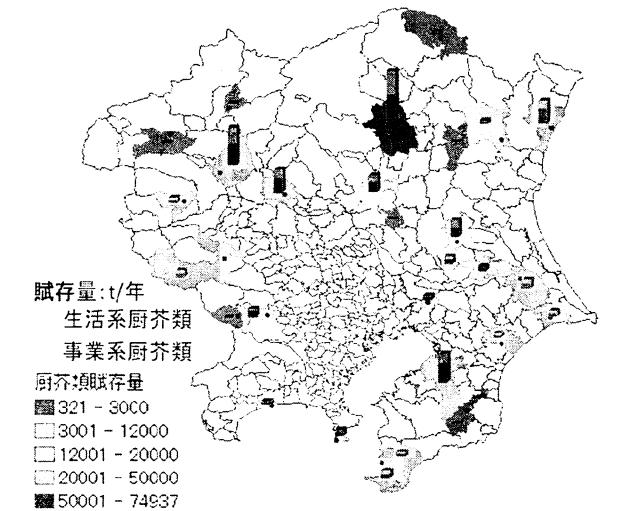


図-5 バイオマスタウンごとの厨芥類の賦存量分布

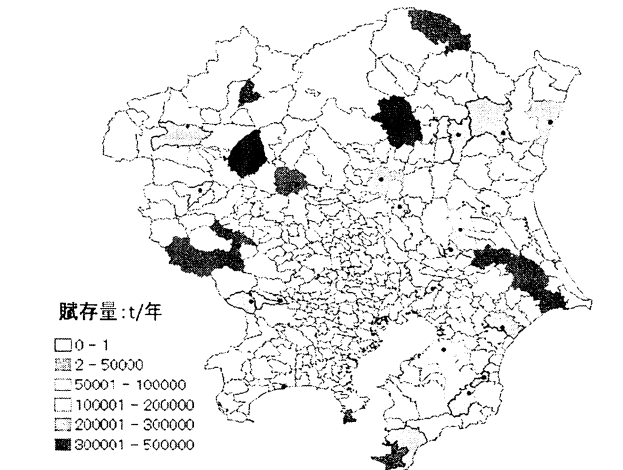


図-6 バイオマスタウンごとの下水汚泥の賦存量分布

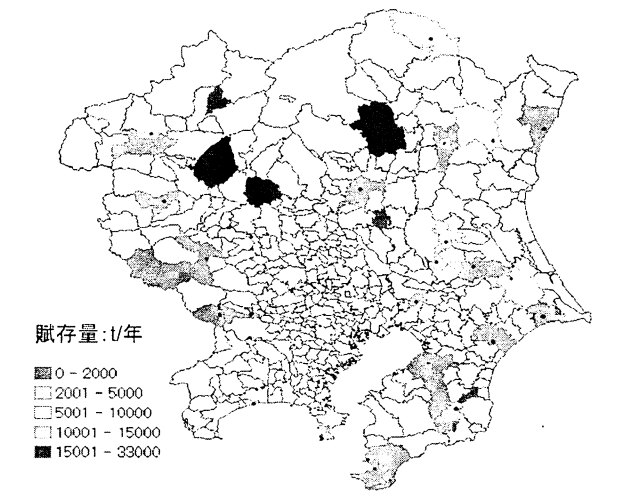


図-7 バイオマスタウンごとの木質系バイオマスの賦存量分布

バイオマスタウンごとの賦存量の値を表-1に示す。図-8
に關東のバイオマスタウン全体におけるバイオマス種類
ごとの賦存量・現状利用量・計画利用量の集計結果を示
す。賦存量は厨芥類が 38 万 t/年、下水汚泥は 143 万 t/
年、木質系バイオマスは 22 万 t/年であるが、下水汚泥
を除いて、現状利用量が少ないことが明らかとなった。

表-1 關東におけるバイオマスタウンごとの厨芥類、下水汚泥、
木質系バイオマスの賦存量

賦存量(万t/年)		厨芥類	下水汚泥	木質系バイオマス
策定市町村		賦存量	賦存量	賦存量
東京都	あきる野市	1.0	0.0	1.4
	檜原村	0.0	0.0	1.3
神奈川県	三浦市	0.8	1.2	0.2
	大磯町	0.5	0.0	0.2
千葉県	山武市	0.5	0.0	0.4
	白井市	0.6	0.0	0.5
	旭市	0.8	0.4	0.3
	大多喜町	0.1	0.0	0.3
	睦沢町	0.1	0.0	0.0
	市原市	3.8	14.1	1.5
	南房総市	0.7	0.0	0.4
	館山市	0.9	0.3	0.3
	香取市	1.3	1.8	0.6
埼玉県	秩父市	0.9	2.7	1.3
	牛久市	1.0	0.0	0.5
茨城県	常陸大宮市	0.5	0.0	0.9
	日立市	3.0	9.7	1.4
	稲敷市	0.5	0.4	0.3
	八千代町	0.2	0.0	0.1
	土浦市	2.1	19.4	0.8
栃木県	茂木町	0.1	0.0	0.3
	那須町	0.3	1.0	0.7
	小山市	2.1	6.6	1.3
	宇都宮市	7.5	49.5	2.9
群馬県	川場村	0.0	0.2	0.1
	太田市	2.9	4.7	1.6
	東吾妻町	0.2	0.0	0.3
	富岡市	0.7	0.0	0.4
	前橋市	4.7	30.9	2.0

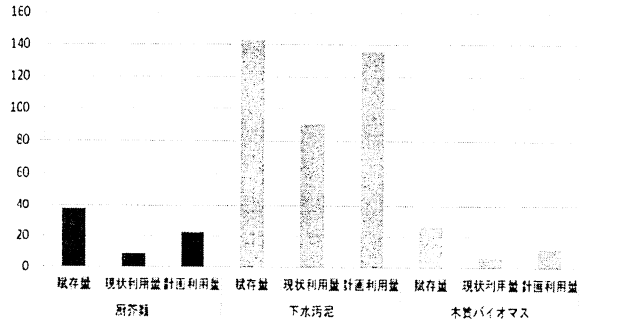


図-8 バイオマスタウンにおける賦存量・現状利用量・計画
利用量の集計結果 (万 t/年)

3. バイオマス資源循環によるLCCO₂の算定

(1) ライフサイクル分析の評価対象

バイオマスのエネルギー利用の際には、ライフサイク
ル全体でのエネルギー効率や環境負荷を考慮しなければ
ならない。すなわち、図-9に示すように、バイオマス
生産、チップ化・乾燥などの前処理、エネルギー変換と
いったライフステージを総合的に評価する必要がある。
なお、本研究では、厨芥類と下水汚泥が廃棄物系バイオ
マスであることを考慮し、バイオマス残渣等の製造に関
する環境負荷については評価対象外とした。

(2) 変換パターンごとのLCCO₂の算定

厨芥類、下水汚泥、木質系バイオマスの賦存量をもと
に、変換技術別に LCCO₂を算定し、バイオマスの資源
循環による環境改善効果を評価した。変換技術の諸元と
ついては既存研究の値^{3),4),5)}を引用し、環境負荷原単位と
してはJEMAI-LCA Pro⁶⁾の値⁶⁾を用いた。変換技術として
用いたのはメタン発酵、サーマルリサイクルによる燃焼
利用、堆肥化によるコンポスト利用である。バイオマス
の種類ごとに変換処理および利用方法を組み合わせた変
換パターンを設定した(表-2)。表中の EN 利用はエネ
ルギー利用、MT 利用はマテリアル利用を意味する。

輸送距離は、GISにより算出された直線間距離に換算
係数と往復回数を乗ずることで算出した(図-10)。直
線間距離は各メッシュの中点―焼却施設―最終処分場、
各メッシュの中点―バイオマスタウン(下水処理場)の
2パターンを設定し、ポイント間距離を算出した。また、
換算係数は対象となる地域の地形や道路状況等によっ
て変化する。そのため都市内・都市間、市街地の区別など

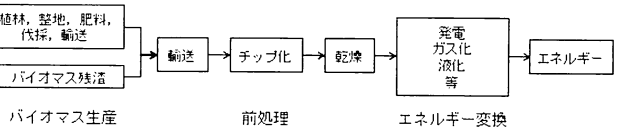


図-9 バイオマスのライフサイクルステージ

表-2 変換パターンの設定

パターン	変換処理	対象バイオマス	利用方法
1	焼却処理	厨芥類	未利用
2	現状処理		EN利用+MT利用
3	堆肥化		MT利用
4	燃焼利用		EN利用
5	メタン発酵		EN利用
6	計画処理		EN利用+MT利用
7	現状処理	下水汚泥	EN利用+MT利用
8	堆肥化		MT利用
9	メタン発酵		EN利用
10	計画処理		EN利用+MT利用
11	現状処理	木質系バイオマス	EN利用
12	燃焼利用		
13	計画処理		

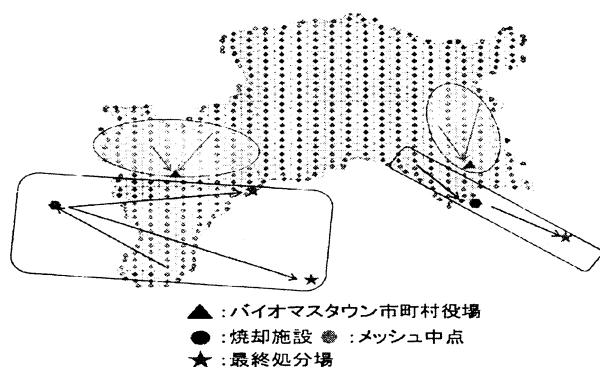


図-10 輸送方式の概念図

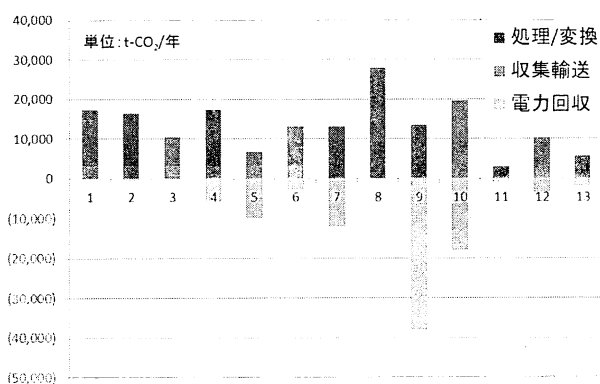


図-11 変換パターン別の LCCO₂ の算定結果

の要素を考慮して、換算係数を都市ごとに設定した。メッシュ内の収集・輸送においてはグリッドシティモデルを適用して算出した。

図-11 に変換パターンごとのライフサイクル CO₂ の算定結果を示す。いずれのバイオマスについても処理、変換時の CO₂ 排出量が多いことが分かる。下水汚泥（パターン 7～10）は賦存量が多いため、全体的に電力回収による CO₂ 削減効果が大きくなっており、特にメタン発酵時（パターン 9）の効果が大きいことが分かった。一方で下水汚泥を資源循環させた際の CO₂ 排出量は、賦存量が厨芥類と木質系バイオマスの 5 倍以上あるにも関わらず、さほど多くなっていないことが分かる。

木質系バイオマスは厨芥類や下水汚泥と比べると賦存量は少ないが、パターン 12 における電力回収による CO₂ 削減量は年間で約 3,500t-CO₂ となっており、その効果は決して小さいとは言えない結果となった。

4. バイオスタウン事業の評価

(1) バイオスタウンのコスト評価

本節ではバイオマスの利活用事業におけるライフサイクルコスト（LCC）の算定を行った。バイオマス発生の

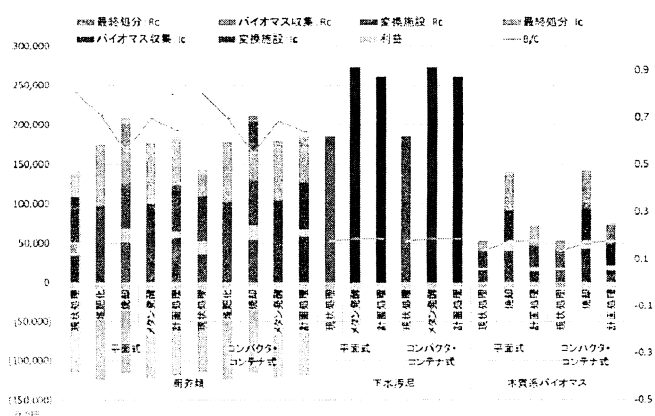


図-12 バイオマス循環によるライフサイクルコストの算出結果

収集・輸送、変換処理、最終処分場までを評価対象範囲とし、基本的な処理施設の耐用年数を 20 年として、各工程のコストをインシヤルコストとランニングコストに分けて算定した⁷⁾。インシヤルコストとしては主に建設費と土地購入費を、ランニングコストとしては人件費、電気代等を算出した上で、回収した電力の売電による収入等を差し引いた。

図-12 にライフサイクルコストの算出結果を示す。厨芥類と木質系バイオマスでは、バイオマス収集と変換施設にかかるランニングコストが高くなっていることが分かる。下水汚泥に関しては、変換施設のインシヤルコストが高くなっている。全体として、コストが高くなっており、バイオマス事業の投資採算性は低い結果となった。

(2) 資源循環シミュレーション

最後にバイオマスのエネルギー利用時の CO₂ 削減コストの算定を行った。利用方式としてはバイオマスを単独で利用した際のエネルギー単体利用と、2 種類以上のバイオマスを用いたエネルギー複合型利用の 2 パターンとした。変換処理方法は燃焼利用とメタン発酵とし、全 11 ケースで算定を行った。表-3 にそのケース設定を示す。ケース 7～11 については、厨芥類を燃焼利用する割合を 10%～90% の範囲で変化させ、残りをメタン発酵とした。

図-13 に CO₂ 削減コストの算定結果を示す。まずバイオマスの処理コストを算出した結果、バイオマス 1t 当たり 1～2.6 万円となった。また、ケース 7～11 において厨芥類の処理量の違いによる変化はあまり見られなかった。これは下水汚泥の処理量が多いことが原因と考えられる。次に、CO₂ 削減量当たりのコストを算出した結果、ほぼ同様の傾向が得られた。CO₂ 1t 当たりのコストは 13～170 万円という値となり、一般的な排出量取引による価格と比較して、非常に高い結果となった。

表-3 資源循環シミュレーションケース

ケース	対象バイオマス	利用方式	変換処理方法
1	厨芥類	エネルギー単体利用	焼炭利用
2	厨芥類		メタン発酵
3	下水汚泥		メタン発酵
4	木質系バイオマス		焼炭利用
5	厨芥類+下水汚泥	エネルギー複合型利用	メタン発酵
6	厨芥類+木質系バイオマス		焼炭利用
7~11	厨芥類+下水汚泥+木質系バイオマス		焼炭利用+メタン発酵

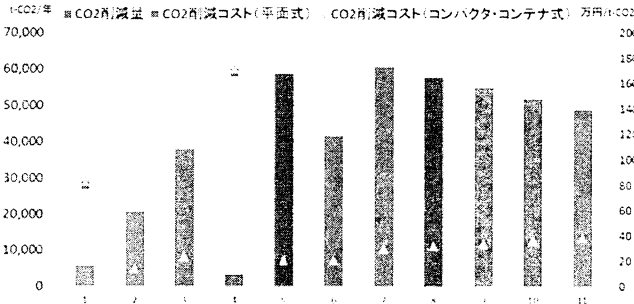


図-13 CO₂削減コストの算定結果

5. 結論および今後の課題

本研究では、関東地方のバイオマスタウンにおけるバイオマス資源循環利用時のライフサイクルCO₂とライフサイクルコストの算定を行った。その結果、バイオマスのCO₂削減ポテンシャルは高いが、コストに関しては課題が残っていることが明らかとなった。現状では、バイ

オマス事業の運用においては多額の補助金が必要であり、変換技術の効率改善が求められる。

今後の課題として、コストの詳細な分析や、実際の施設を対象とした、現行のシステムに沿った詳細なバイオマスの資源循環による環境改善効果の算定が挙げられる。

参考文献

1) NEDO, バイオマス賦存量及び利用可能量の全国市町村別推計 <http://appl.infoc.nedo.go.jp/biomass/>
2) 日本有機資源協会：バイオマスタウン構想分析 DB
3) 高久慎太郎, 山本祐吾, 東海明宏, 吉田登, 盛岡通：地域で発生する厨芥類・下水汚泥を対象とした循環利用システムの導入効果の評価, 環境システム研究論文集 Vol.38, pp.421-428, 2010.
4) 二渡了, 坂本直子, 乙間末廣：バイオマスタウン構想実施事例における循環システムの評価, 廃棄物資源循環学会論文誌, Vol.20, No.2, pp.141-149, 2009.
5) 下水汚泥処理における消化ガス発電の現状と動向, Kensetsu Denki Gijyutsu Vol.142 2003.
6) 産業環境管理協会, JEMAI-LCA Pro Ver2.0.1
7) 松藤敏彦：都市ごみ処理システムの分析・計画・評価, 技報堂出版, 2005.

Evaluation of CO₂ Reduction Effect
by Biomass Circulation in Biomass-town located in Kanto Region

Akito MURANO¹, Masato TODOROKI², and Tsuyoshi KAWAMI³

¹Dept. of Civil and Environmental Engineering, Toyo University

²JFE Engineering Corporation

³Graduate School of Toyo University

Toward a sustainable development, biomass utilization as a national strategy was issued by Japanese government. In this study, the database of biomass distribution in Kanto region was constructed by GIS. And life cycle CO₂ and life cycle cost to recycle the biomass such as sewage sludge, food wastes from household and wood biomass were estimated. In the result, about 23 kt-CO₂ per year was reduced by the methane fermentation of household food waste and sewage sludge, so high CO₂ reduction potential was evaluated. But the cost for operating plants, biomass transportation and so on was high, and eco-efficiency of biomass recycling is low. The CO₂ reduction cost to recycle the biomass was found to be much higher than the price of CO₂ in emissions trading. To promote the biomass utilization, the improvement of energy recovering rates or material recycling rates is indispensable and the financial support for recycling plants of biomass was needed.