

- ・ 研究課題名=バイオマス利活用に関する地域環境の診断手法及び環境効率評価手法の研究
- ・ 研究番号 =K1916, K2060
- ・ 国庫補助金精算所要額 (円) =7,083,000 (複数年度の総計)
- ・ 研究期間 (西暦) =2007-2008
- ・ 代表研究者名=仲上 健一 (立命館大学)
- ・ 共同研究者名= 柚山 義人 ((独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所),  
土井 和之 (内外エンジニアリング株式会社)

## 1 研究目的

地球温暖化防止が政策課題となるとともに、持続的な発展が可能な循環型社会システムへの転換が模索されている。本研究目的は、循環型社会形成に向けた取組みとして、1) 地域のバイオマス利活用に関する政策立案において実施すべき地域診断評価の手法を確立する。その診断評価ツールとして「バイオマス総合利活用評価モデル (以下「利活用評価モデル」と略記する)」を開発し、使用条件 (評価指標の提示や評価標準ルール等) を整備する。利活用評価モデルの構築は、既存の統計データを基にバイオマスの発生、フロー、ストックの量とその含有成分を把握する既存のモデル (農林水産省系の8独立行政法人等が開発したモデル) を基礎とし、物質の成分に加えてエネルギー、経済性、温室効果ガスを解析するためのモデルに拡張する手法による。2) 多数地区の地域診断評価ケーススタディを実施し、バイオマス政策展開が地域に及ぼす環境影響レベルと経済性で政策を評価するための評価基準を作成する。これにより、導入可能と判断される利活用シナリオをバイオマスタウン構想に発展させるプロセスでの課題を明確化し、バイオマス利活用による環境影響・環境効率を評価する手法を具体化、システム化する。

地域診断評価とは、現地調査および文献調査を通じて地域の物質フローをマクロ的に把握し、有機資源の地域内循環システム構築のシナリオを想定、評価することで政策判断や地域社会での合意形成を図る上での課題や条件を明らかにし、環境効率の視点でシステム構築の可能性を判断するものである。

## 2 研究方法

### 2.1 研究の全体構成

研究の全体構成を図1に示す。

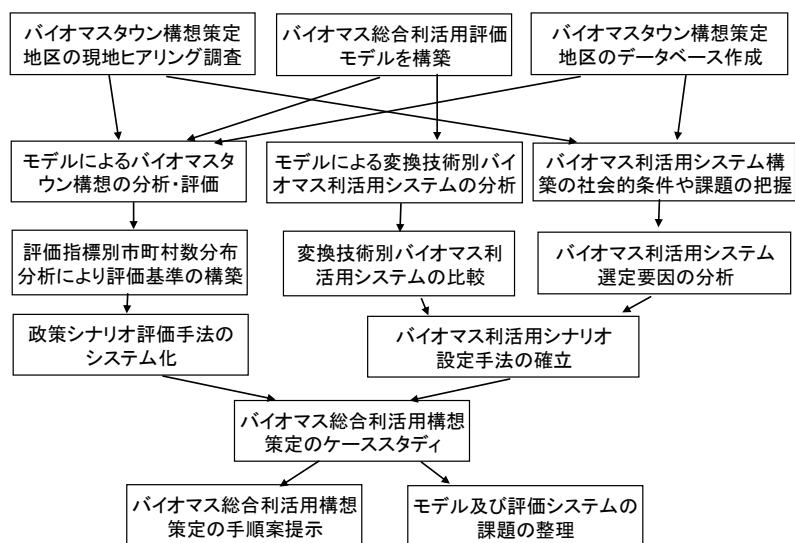


図1 研究の全体構成

## 2.2 利活用評価モデルの構築

### 2.2.1 モデルの基本構造

本研究の利活用評価モデルは、既存の物質循環モデルの構成を基本としながら、バイオマスとして利活用できる有機物に限定して、物質、経済、エネルギー、温室効果ガス等の移動量と収支を原単位法により分析するものである。

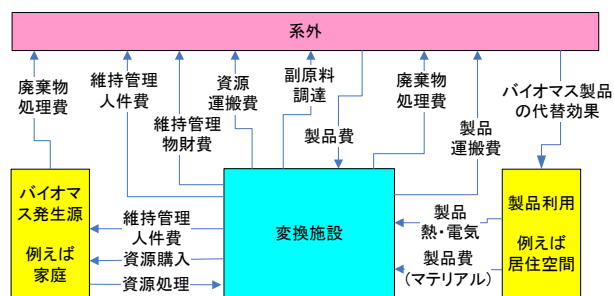


図2 利活用評価モデルの基本構造(例:マネーフロー)

コンパートメントは、地域を家畜、食品産業、人間(家庭)、農地、森林・林業・製材業、集落(都市域)、そして複数のバイオマス変換施設及び系外で構成する。これらコンパートメント間を移動する物質、エネルギー、マネーの量をフローとして表現している。

モデルは、物質(重量及び成分)フロー、エネルギーフロー、温室効果ガスフロー、マネーフローに分けて構築した。例として図2にマネーフローの基本構造を示す。

### 2.2.2 対象とするバイオマス

利活用評価モデルを組み込んだシステム(以下「利活用評価モデルシステム」と称する)は、バイオマスの発生から変換、利用に関するデータベースを内蔵している。データベースの対象となる代表的バイオマスは表1のようである。利活用評価モデルシステムは、バイオマスの追加が容易なシステムとしている。

表1 データベースの代表的バイオマス

区分	内訳
家畜排泄物	牛、豚、鶏の糞尿
食品廃棄物	食品産業生ゴミ(産業廃棄物)
家庭廃棄物	生ゴミ、紙ゴミ、廃食用油(一般廃棄物)
木質廃棄物	製材工場残材、建設廃木材、剪定枝(街路樹、庭木等)
下水系汚泥	下水道汚泥、浄化槽汚泥、し尿処理汚泥、集落排水汚泥等
農業副産物	わら類、籾殻、畑作残渣等
林産副産物	間伐材、林地残材
資源作物	バイオマスとして栽培される農作物

### 2.2.3 使用局面

利活用評価モデルの使用局面は、バイオマスタウン構想、あるいは地域新エネルギービジョンのような構想、ビジョン、マスタープラン策定時の地域診断評価を想定する。複数種のバイオマス変換システムを設置した状態を総合的に評価することが可能であるため、特に地域全体のマクロなシナリオ評価に適していると考えられる。

### 2.2.4 評価項目

バイオマスの利活用は多様な効果が期待されている。その一方で、トレードオフが想定される評価項目も考えられる。よって評価項目を数種設定した。環境評価の項目としては、温室効果ガス量、エネルギー、農地土壌への窒素投入量、廃棄有機物量、化石燃料使用量、炭素利用などが挙げられる。経済評価の項目としては経済収支を分析する。人口や農地面積当たりの換算値を評価指標とする。複数の評価項目を統合する手法が研究・開発されているが、本モデルでは採用していない。

### 2.2.5 システム境界

経済性、環境性の分析は、廃棄物系及び未利用系バイオマスについては、原料バイオマスの収集・運搬～変換～製品利用の範囲を対象とする。資源作物については、さらに栽培を追加する。バイオマス由来熱を使用すれば化石資源由来熱が削減されるというように、バイオマス製品利用においては、バイオマスが代替することにより削減される物質があることを考慮した。

収集・運搬・変換に使用される機械製造や構造物築造に関する環境影響は考慮しない。

## 2.3 バイオマスタウン構想策定地区の現地ヒアリング調査

バイオマスタウン構想策定を策定公表している24市町村でヒアリング調査を実施した。調査内容は、事例地区ケーススタディのためのバイオマス発生・利用のデータ収集、稼働している施設の

経済性データの収集と運営課題の把握、構想策定のインセンティブ、意志決定システム、人材育成、組織・体制、財務、情報など先進事例の社会的分析を通じてバイオマス利活用システム構築における合意形成過程を把握する。

## 2.4 政策シナリオ評価手法のシステム化

### 2.4.1 政策シナリオ評価手法システム化の方法

マクロなシナリオの評価では、相対評価が有効な手段の一つである。それには、多くの事例評価が必要である。そこでモデルを使って既存のバイオマスタウン構想を多数分析し、新たなシナリオを相対的に評価するための指標を提示する。すなわち、地域固有のシナリオが既存のバイオマスタウン構想のどのランクに位置するのかを確認しながら検討する手法である。図3に政策シナリオ評価手法のシステム化の手順を示す。

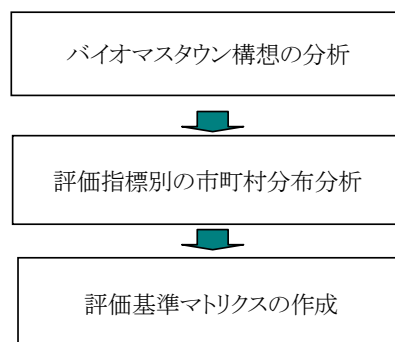


図3 政策シナリオ評価手法システム化の手順

## 2.5 評価の項目と指標

評価の項目と評価指標を表2に示す。

## 2.6 バイオマスタウン構想の分析

### 2.6.1 分析の方法

バイオマス利活用システムの導入前から導入後へと変化する内容について利活用評価モデルを用いて、ホームページに公表されているバイオマスタウン構想書の内容を本研究において解釈し分析する。分析のために利活用方法別のバイオマス量（以下、仕向け量と称する）を構想書から判読し、一部の仕向け量は推定によっている。

このほか数項目の分析条件の設定が必要であった。主な設定条件を以下に列挙する。家畜排泄物や生ゴミ等の堆肥化は電力と燃料を使用する高速強制発酵施設での完熟堆肥化とする

- 炭化物は、土壌改良材として利用される
- 炭化では熱を有効利用する
- バイオマス製品類は余剰なく利用される
- 木質のペレット化では、製品利用施設としてペレットボイラーを同時に導入する
- メタン発酵は発電、熱利用をおこなう。発酵消化液は液肥利用する
- 小規模ガス化発電は発電と同時に熱利用する

施設の能力は全国的に概ね平均的と考えられる設定としている。24市町村の聞き取り調査では、堆肥化は、高速発酵と無動力の堆積発酵が混在するであろうとされていたが、将来的に高速完熟発酵に移行していくと想定した。経済収支では熱、電気等のエネルギー及び堆肥等の製品販売金額を収入とし、施設償却費、維持管理費、資源調達費を支出とした経済収支を算出した。

経済収支算定には多くの経済条件の設定が必要である。経済性に関する設定条件は文献によるほか、聞き取り調査結果をあわせて設定している。

### 2.6.2 分析対象とした変換技術

変換技術は、1)たい肥化、2)メタン発酵、3)バイオディーゼル燃料化、4)炭化（廃熱利用）、5)直接燃焼発電、6)小規模ガス化発電・熱利用、7)ペレット化、8)チップボイラーとした。現在実用

表2 評価の項目と指標

評価項目	地区全体量	評価指標
資源化の経済性 (収支、マイナスは赤字)	百万円	千円/人口
廃棄バイオマス量	t-C (炭素換算)	kg-C/人口
化石エネルギー消費量	kL-重油	L-重油/人口
温室効果ガス排出量	t-CO <sub>2</sub> eq (CO <sub>2</sub> 換算)	kg-CO <sub>2</sub> eq/人口
炭素利用率 %	%	%
炭素利用量	t-C	kg-C/人口
地域内循環肥料成分の地域内調達窒素	t-N	kg-N/ha (畑地面積)

段階にある技術を対象とした。極端に仕向け量の小さい技術は除外した。

## 2.7 変換技術別バイオマス利活用システムの比較

市町村によって賦存するバイオマスの種類や量は異なり、その利活用方法によって施設の規模、環境、経済への影響も異なる。そこで、各バイオマスを再資源化させるときに、どれくらいの効果を与えるのかを把握するため、再資源化技術別の効率について検討を行った。これにより、どのバイオマスをどれくらい利活用すれば、どれほど地域や自然環境に効果を得られるか、逆に影響を及ぼすのかを予測することができる。そして不確実性のある調達費の変動による運営費の変動について感度分析を行った。紙面の都合上、前者は温室効果ガス排出効率、後者は生ごみ・下水汚泥の再資源化についてのみ考察する。

## 2.8 バイオマス利活用システム選定の地域要因分析

市町村はバイオマス利活用に取り組む際に、多様な地域要因により利活用システムを選定するという意思決定を行っている。本研究ではこの意思決定の背景にある要因を分析し、バイオマス総合利活用シナリオを想定するための判断材料を提供する。具体的には、バイオマスタウン構想をデータベースとして整理し、市町村の人口、面積等基本状況、財政状況、産業、バイオマス賦存状況と選定した利活用システムの関係分析を行うものとした。

分析対象とする市町村はバイオマスタウン構想を公表し、将来構想の数値が比較的明確な69箇所とする。利活用評価モデルの分析対象は71市町村としているが、この中には市町村全域を対象としていない市町村がありこれを差し引いた69市町村とした。

## 2.9 バイオマス総合利活用構想策定のケーススタディ

都市郊外地域で農畜産系バイオマス（家畜ふん尿、稲わら等）の多い千葉県香取市を対象に、地域にとって「総合的かつ効率的」なバイオマス利活用の方法を検討する。

# 3 結果と考察

## 3.1 バイオマス総合利活用モデルの開発結果

### 3.1.1 物質・エネルギーフロー原単位、費用関数の作成

モデルの作成のためにバイオマス資源の収集・運搬、変換、製品運搬・利用における物質、エネルギー移動の原単位と費用を調査し整理した。具体的には既往の研究成果等を費用関数など適用しやすい形に整理し、変換技術によっては、規模を設定したケーススタディを実施することにより、データを構築した。

### 3.1.2 変換技術

変換技術は、バイオマスタウン構想に記載されているような現在実用段階にある技術を組み込んでいる。内蔵する変換技術を表3に示す。利活用評価モデルシステムはユーザーによる変換技術の追加を可能としている。

### 3.1.3 モデルの標準型の決定

モデルの標準型の決定結果を図4に示す。

表3 モデルに内蔵する変換技術

変換技術	区分	製品
堆肥化	高速強制発酵方式	堆肥
メタン発酵 (バイオガス化)	湿式・液肥方式	電気, 熱, 液肥
	湿式・固液分離方式	電気, 熱, 堆肥
	乾式	電気, 熱, 堆肥
バイオディーゼル燃料化 (エステル化)	アルカリ触媒方式	バイオディーゼル燃料
炭化	木質を対象	炭, 熱
直接燃焼	チップボイラーまたは蒸気発電	電気, 熱
小規模ガス化発電	分散配置	電気, 熱
ペレット化+ペレットボイラー	ペレットボイラーは分散配置	熱
バイオエタノール化	セルロース発酵方式	バイオエタノール

### 3.2 バイオスタウン構想策定地区の現地ヒアリング調査結果

#### ■ 構想策定のインセンティブとバイオマス利活用データ

既にバイオマス利活用施設の導入が決定しており、交付金等を受けるために構想書をまとめた地区が多い。民間でのバイオマス導入事業のための非経済的な支援として、構想書を作成している地区がみられる。民間からの要望があった例もみられる。純粋に構想からスタートしているところもあるが少ない。バイオマス利活用の現状及び将来構想データは構想書に記載されている以上の詳細は作成されていないところが大多数である。

#### ■ 事業導入のインセンティブと運営費用

生ごみ、下水系汚泥のメタン発酵システムの導入では、従来の生ごみ処理にかかる費用と同等以下であれば、温室効果ガス削減、埋め立て量の削減等の効果を加味して優れるとの判断で採用に至っている。従来の生ごみ処理費用は 20000 円/t 程度とするところが 2 箇所あった。

家畜排せつ物のメタン発酵システムでは、畜産農家からの処理費用徴収では運営費をまかないきれず、自治体が支援するようである。畜産農家からの処理費用徴収金額は、500 円/t~1000 円/tとされている。

#### ■ 苦勞したこと、障害等とその解決策

施設建設立地予定地に関して、住民の理解を得るのに苦勞している。先進施設の見学等を含めて説得しているが、着工の遅れもある。生ごみでは想定していたよりも資源収集量が少ないケースがある。結果として処理単価が上昇している。

#### 3.2.1 モデルによるバイオスタウン構想の分析結果

##### ■ 利用バイオマス炭素量

構想に記載されているバイオマス利用の年間炭素成分量を当該市町村人口で除した値を利用バイオマス炭素量 (kg-C/人・年) とし、炭素成分量段階別の市町村数を図 5 に示す。炭素成分量はバイオマスの有機物量を示す評価項目として適当と判断した。

分析対象 71 市町村のなかの 49 市町村 (69%) が 0~200kg-C/人・年の範囲にある。上位は人口の少ない農村地域で家畜排泄物の利用が多い市町村が占める。

##### ■ 化石エネルギー消費量分析

バイオマスの利用のための投入エネルギーと利用による産出エネルギーの収支を計算した。このエネルギー収支を重油量に換算して年間一人あたり化石エネルギー消費量 (L-重油/人・年) とし、消費量段階別の市町村数を図 6 に示す。71 市町村のなかで化石エネルギー消費量がプラスである市町村数は 26 (37%) である。68 市町村では、年間 100L-重油/人以下の消費量であり、75%の市町村の構想は消費量が年間マイナス 100L~プラス 100L-重油/人の範囲にある。木質のエネルギー利用は化石エネルギー削減効果が高い。

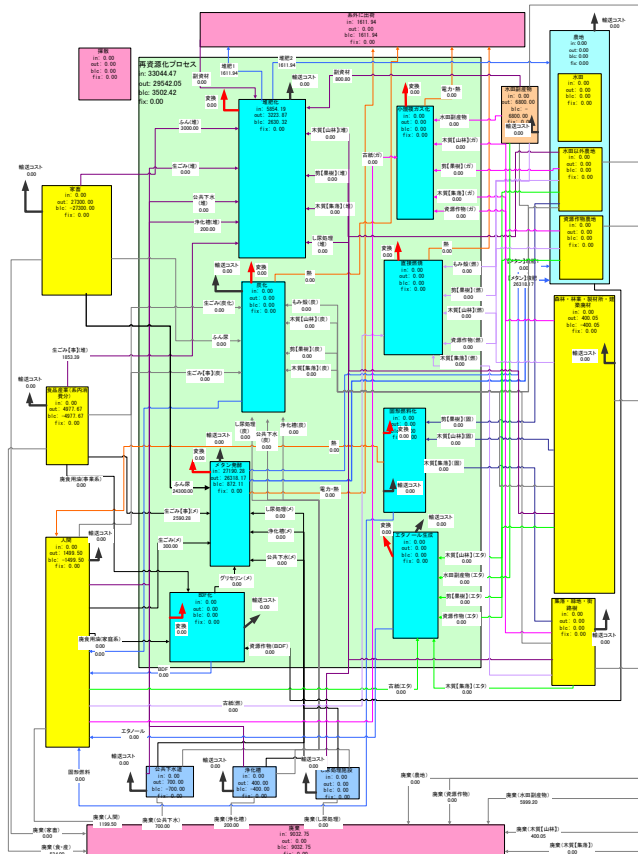


図 4 バイオマス総合利活用評価モデルの標準型

### ■ 温室効果ガス排出量

バイオマス利用による年間温室効果ガス排出量を当該市町村人口で除した排出量段階別の市町村数を図7に示す。バイオマス利用により温室効果ガス排出量がマイナスとなるのは21市町村である。一人当たり100kg-CO<sub>2</sub>eq以下の排出となる市町村が85%を占める。

### ■ 経済性分析

条件を設定した中でのバイオマス利用に関する年間市町村人口一人あたり経済収支(千円/人・年)段階別市町村数を図8に示す。経済収支は、10例を除いてマイナスとなっており、一人当たり年間0円～2.5万円の支出超過が66%を占める。一人当たり年間3万円以上の支出超過は15%である。

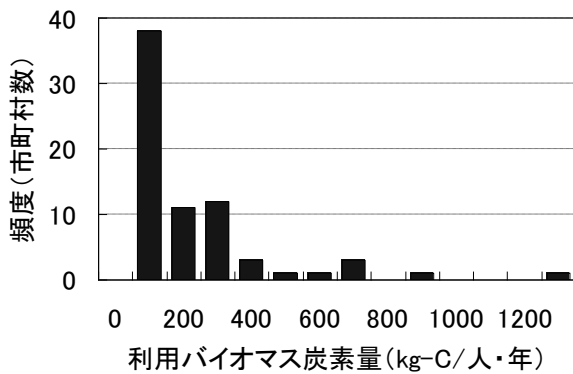


図5 利用バイオマス炭素量段階別市町村数

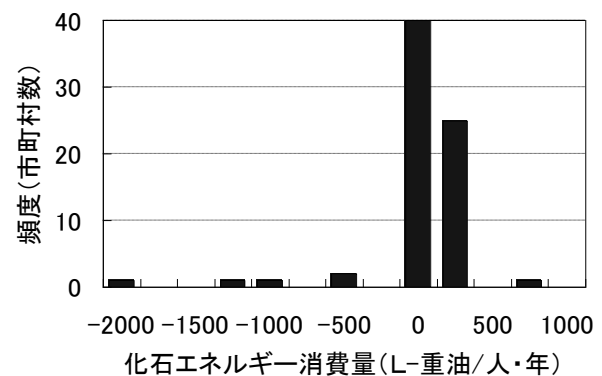


図6 化石エネルギー消費量段階別市町村数

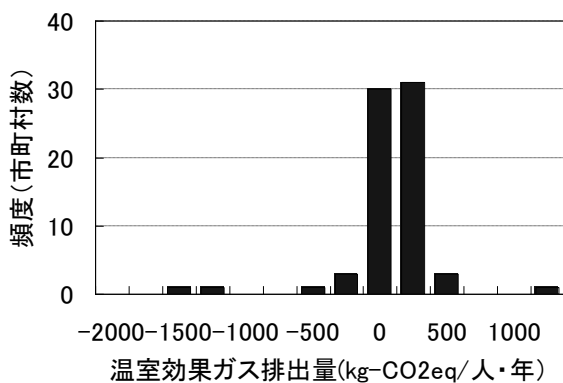


図7 温室効果ガス排出量段階別市町村数

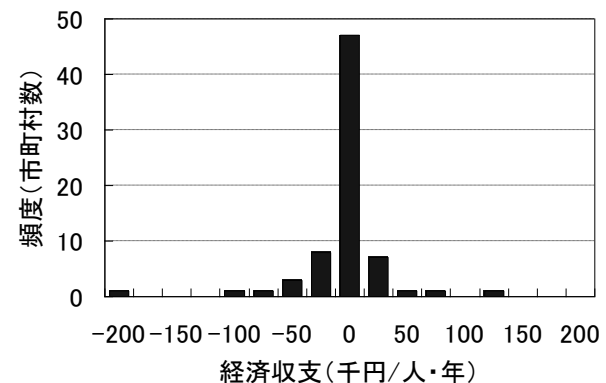


図8 経済収支段階別市町村数

### 3.3 シナリオ評価基準の作成による地域診断のシステム化

市町村のバイオマスタウン構想を評価項目別に指標値の順に並べ、A～Dの4ランクに等分割し、評価レベルとした。各ランクの評価レベル指標値を表4に示す。新たなバイオマス利活用シナリオが表中のどのランクに位置するかを把握することで、シナリオの地域への影響レベルを評価することができる。ただし、ランクにとらわれるのではなく、当該ランクに位置する根拠を検討することが重要である。

バイオマスの利活用は調達時に逆有償の資源、もしくは有償であってもごく安価な資源を用いて利活用する以外には、経済収支がプラスとなるケースは少ない。経済性に有利なバイオマスの利用を先行させると不利なバイオマスが残り、総合的な利活用という目標を達成できなくなる可能性に留意する必要がある。

地域の現状を診断するために、モデルを用いて103市町村のバイオマスタウンの現状(構想策定時点)を分析し、評価項目別に指標値から市町村を4分法により4ランク(A～D)に分類した。



各ランクの範囲値を表5に示す。

表4 シナリオ評価のための評価項目別評価レベルの範囲 (単位：年間)

ランク	経済性 (千円/人)	廃棄量 (kg-C/人)	エネルギー 消費量 (L-重油/人)	温室効果ガス 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> eq./人)	窒素循環量 (t-N/ha)	炭素利用量 (kg-C/人)
A	-1.5 ~	~ 220	~ -65.2	~ -62.4	0.8 ~	234 ~
B	-4.8 ~ -1.5	220 ~ 397	-65.2 ~ -3.1	-62.4 ~ 0.9	0.4 ~ 0.8	92 ~ 234
C	-18.1 ~ -4.8	398 ~ 613	-3.1 ~ 3.2	0.9 ~ 35.8	0.1 ~ 0.4	54 ~ 92
D	~ -18.1	613 ~	3.2 ~	35.8 ~	~ 0.1	~ 54

表5 現状診断のための各評価指標の評価基準値

ランク	経済性 (千円/人)	廃棄量 (kg-C/人)	エネルギー 消費量 (L-重油/人)	温室効果ガス 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> eq./人)	窒素循環量 (t-N/ha)	炭素利用量 (t-C/人)
A	0 ~	375.1	~ -5.7	~ 4.6	0.7 ~	198 ~
B	-1.4 ~ 0	375.1 ~ 751.0	-5.7 ~ 0	4.6 ~ 23.3	0.3 ~ 0.7	84 ~ 198
C	~ -1.4	751.0 ~ 1631.5	0 ~ 0.001	23.3 ~ 61.7	0.1 ~ 0.3	29 ~ 84
D	-	1631.5 ~	0.001 ~	61.7 ~	~ 0.1	~ 29

### 3.4 変換技術別バイオマス利活用システムの比較結果

#### 3.4.1 温室効果ガス排出効率

図9は表6を参考にバイオマスの種類別についての温室効果ガス排出効率の結果を示したものである。例えば、堆肥化は左から生ごみ、汚泥、ふん尿(牛、豚、鶏)、炭化やペレット化等については、左から木質(林地残材)、木質(剪定枝)、木質(廃材)の順に示している。

BDF化、小規模ガス化、メタン発酵(液肥利用)、直接燃焼施設はエネルギー生産施設のため、運営に伴う温室効果ガス削減型の施設となりうる事がわかる。メタン発酵(堆肥化+水処理)施設は、エネルギー生産施設ではあるが、稼働工程における水処理に多量のエネルギー(電力)を要するため排出型となる。これについて、中村ら(2008)が、メタン発酵で発生する消化液を水処理まで行う場合、温室効果ガス排出型施設となる可能性を示唆していることから覗える。

表6 バイオマスの種類と適応性の高い再資源化技術

	堆肥化	メタン発酵	BDF化	ガス化	炭化	ペレット化	チップボイラー	直接燃焼(発電)
生ごみ	○	○						
汚泥	○	○						
ふん尿	○	○						
乳牛	○	○						
肉牛	○	○						
豚	○	○						
鶏・ブロイラー	○							
古紙				○				
農産物残渣				○				
木質				○	○	○	○	○
林地残材				○	○	○	○	○
剪定枝				○	○	○	○	○
廃材				○	○	○	○	○
廃食用油			○					

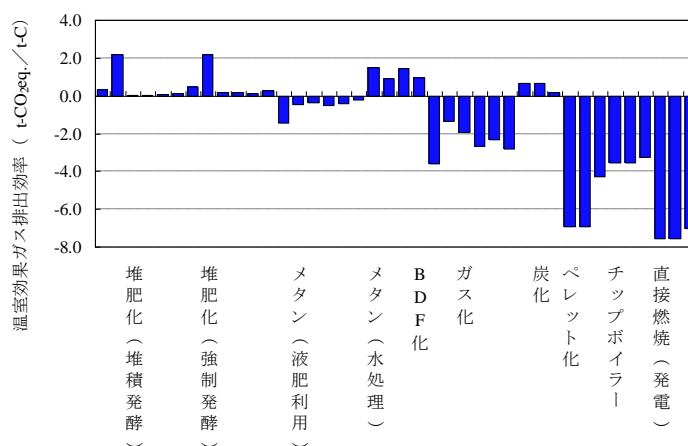


図9 各再資源化による温室効果ガス排出効率

### 3.4.2 調達費の変動による運営費の感度分析

現在、公共事業として運搬・処理されている生ごみ、下水汚泥は廃棄物系バイオマスとされ、実質無償で処理されている。事業施設がこれら廃棄物を処理（再資源化）するとなれば、産業廃棄物の処理同様、逆有償で処理（変換）することができる。調達費は運営コスト直接影響するため、調達費の変動に伴う変換施設の運営コストの感度を検討する。ただし、これらバイオマスは、堆肥化もしくはメタン発酵の変換が主であることから、堆肥化、メタン発酵施設についての分析を行った。調達費は、現在の0（円/wet-t）から文献値（柚山ら（2006））15,000（円/wet-t）の2倍の30,000（円/wet-t）までの変動で分析を行った。

その結果、メタン発酵（堆肥化+水処理）は、水処理にコストがかかり比較的運営費が高い。堆肥化施設とメタン発酵（液肥利用）施設とを比べるとある値を堺に逆転することが分かった（図10）。つまり、同じバイオマス資源でも再資源化の方法が異なることで、調達費によって経済収支が変動することが言える。これより、林地残材などは調達費を考慮した上で再資源化技術を選択しなくてはならないと考えられる。ただし、木質バイオマスの調達費については未だ検討しておらず、今後の課題である。

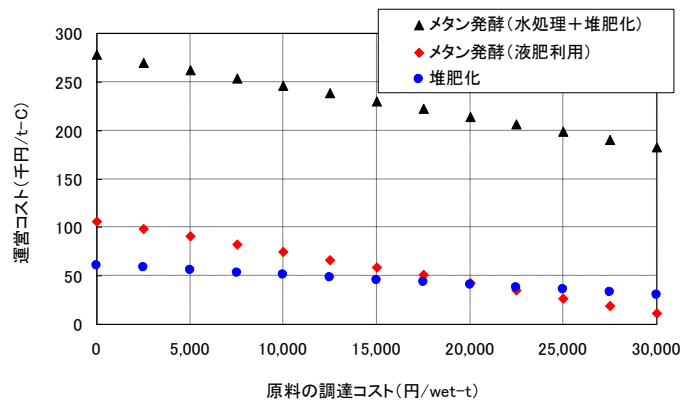


図10 生ごみ、下水汚泥の調達費に伴う運営費の変動

## 3.5 バイオマス利活用システム選定の地域要因分析

### 3.5.1 資源分布によるバイオマスタウンの類型区分

各市町村のバイオマス賦存は三つの要素から構成されるとして三角形グラフを使い、分析対象となる69市町村（前出71分析対象のなかで市町村全域をカバー）のバイオマス賦存量タイプ区分を図11にまとめた。

分析対象市町村では生活廃棄物系バイオマスの割合が小さいため、生活廃棄物中心が1箇所であり、生活廃棄と林産物混合の市町村はない。生活廃棄物中心は都市部に多いタイプと考えられ、今後大都市の参加によるバイオマスタウンの普及が待たれる。このように資源分布から見た市町村類型はタイプ農畜産物系、林産物系、農畜産物と林産物混合の3タイプがほとんどを占める。

モデルによる分析対象がこのような傾向にあることを念頭に置く必要がある。

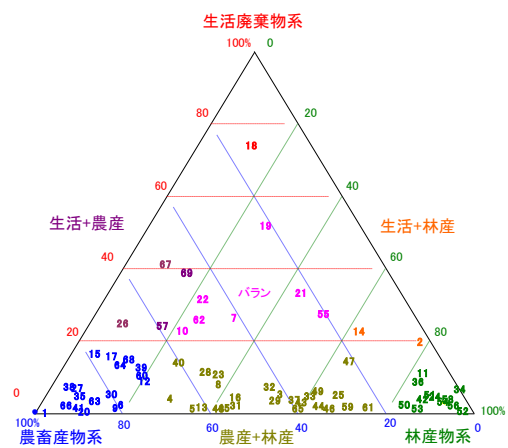


図11 分析対象市町村のバイオマス賦存状況

### 3.5.2 バイオマス利活用システムの選定状況

各市町村のバイオマスタウン構想書に記載されているバイオマス利活用に関する詳細な方法、経緯、取組工程、既存施設などを読み取り、導入済みまたは導入予定の利活用システムを「ほぼ達成」、「取組み中」、「検討段階」、「計画なし」の四つに分け、図12に示す。堆肥化は従来から多くを占めているが、これからは特にBDFと固形燃料の取組みが急速に拡大する傾向が見える。

分析対象69のバイオマスタウンが今後取組もうとしている利活用システムの全件数は約340件



にのぼる。堆肥化は既存のなかでは圧倒的に多い取組み方法であるが、将来的には他の変換方法の急速の普及により比率は下がる。

逆に、BDF と固形燃料の取組みはいずれも現在の10倍に拡大する。エタノール生産は現在ゼロであるが、将来構想の中には挙げられている。メタン発酵も現在より比率が拡大するが、炭化と直接燃焼は下がる傾向である。

堆肥化の利活用は地域要因に影響されず、ほとんどの市町村はそれを取組みの一つとして実施している。メタン発酵は人口と製造品出荷額の多いところに採用される機会が多い傾向にある。財政や面積などとの関連はなかった。BDFの利用について、農業産出額の多い地域とバランス型資源分布の地域での利用が多い。固形燃料は森林の多い地域と財政、製造品出荷額の小さい地域で多く利用される。エタノールの変換利用は農業産出額の多い地域に集中する。炭化と直接燃焼はその資源が他の利用方法にシフトするため選定比率は低下する。こうした結果から利活用シナリオを作成するにおいては、多様な変換技術を組み合わせる必要があり、特にBDF、ペレットのような固形燃料化、堆肥化、メタン発酵を中心に組み合わせ農村地域ではエタノールも視野に入れるという利活用システム構成方法が提案される。

### 3.6 バイオマス総合利活用構想策定のケーススタディ

年間を通した効果として、温室効果ガスを616 (P4) ~14,493 (P1) t-CO<sub>2</sub>eq.削減できる。さらに、エネルギーについては2,018 (P4) ~11,276 (P3) kL-重油の抑制も見込まれる。経済性は、住民一人当たり-6.7 (P3) ~35.4 (P4) 千円の負担となる。炭素利用量を経済性で除した「エコ投資効率」は10 (P4) ~15 (P1) kg-C /千円となる。

総合評価の方法として、表4の結果を用いた。今回は、それぞれの評価に重み付けをせず、Aは4点、Dは1点とし、7項目の評価点を積算した(図13)。各シナリオの相対評価では炭素利用量や窒素循環量などの項目はどれも同じ評価結果であり、差が生じたのは温室効果ガス排出量、エネルギー消費量、経済性の3項目であった。P3が最も高く、他は同等の結果となった。経済性の評価が影響しており、P3は従来の堆積発酵型の堆肥化

で、新たな施設建設を行わない分、経済的負担が低いと言える。しかし、従来の堆肥化では、周辺への悪臭や未熟のものも少なくなく利活用されないでいる場合があり、最良の選択肢であるとは一概に言えない。P4は、他のシナリオよりもバイオマス利活用量が少ない分、比較的生産エネルギー量が少なく温室効果ガス排出量、エネルギー消費量の評価が小さい。しかし、エタノールは電力や熱に比べ、ガソリン代替物とし保管や貯留技術が整備され、今後のエタノール需要増加を想定すれば、比較的需給バランスがとれ、将来的に有効なシナリオとなり得る。

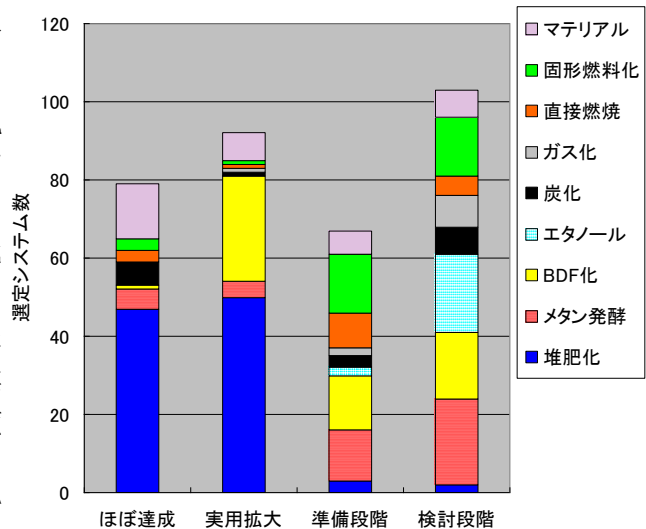


図12 導入段階別バイオマス利活用システム選定数

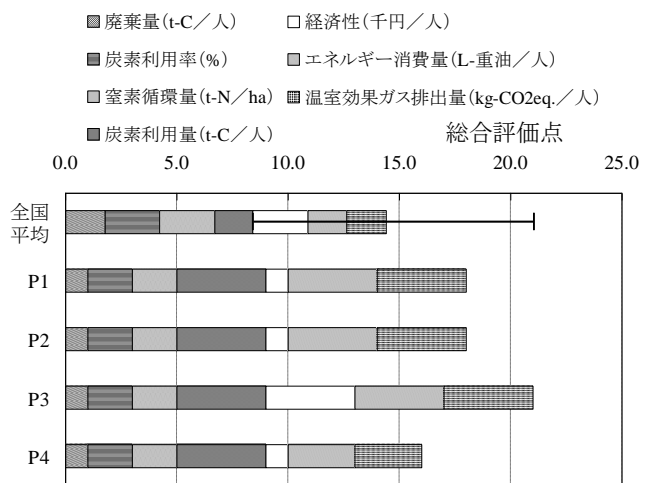


図13 バイオマス利活用の総合評価の結果

### 3.7 バイオマス総合利活用構想策定の手順案の提示

手順	具体内容
1. 地域特性の把握	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ バイオマス発生量の把握</li> <li>▶ 需要の要因となる農業、産業、社会構造の把握（農地面積、世帯数等）</li> </ul>
2. バイオマス利活用のシナリオ設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 地域内の賦存量と利用可能量の把握</li> <li>▶ 複数の変換技術とバイオマスを組み合わせて、複数のシナリオを設計</li> </ul>
3. 検討の条件設定	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 人件費、調達費、必要エネルギー（電力、燃料）の単価</li> <li>▶ 製品（堆肥、液肥、電力、熱、BDF、エタノール）の販売単価</li> <li>▶ 輸送距離</li> </ul>
4. バイオマス総合利活用評価モデルの適用による、経済・環境影響の効果の出力	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 経済性（千円/人）、廃棄量（kg-C/人）、エネルギー消費量（L-重油/人）、温室効果ガス排出量（kg-CO<sub>2</sub>eq./人）、炭素利用率（%）、窒素循環利用量（t-N/ha）、炭素利用量（kg-C/人）について地区の総合分析値と個別変換技術の分析値を整理する</li> </ul>
5. バイオマス利活用効果の検討、課題整理	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 全国 71 市町村のバイオマスタウン構想案から作成したランク表を用いて、全国レベルとの相対比較</li> <li>▶ 比較結果から地区の特徴や課題を明らかにする</li> <li>▶ シナリオ間の相対比較。地区における変換技術の特徴を把握し、評価する。</li> <li>▶ 課題整理</li> </ul>

## 4 結論

### （1）バイオマスタウン総合利活用評価モデルの開発

本研究ではバイオマスの総合的利活用シナリオ評価のためのモデルを開発した。モデルには複数のバイオマス利活用システムをデータベースとして組み込んだ。物質及びその成分、経済性、温室効果ガス、エネルギーのフローを図に表現して地域のバイオマスの総合的な利活用シナリオを複数検討できるものとなった。モデルの中心的ユーザーは、市町村程度のエリアでバイオマス利用を検討する担当者とし、使用局面は構想やビジョン策定である。

### （2）多数地区のケーススタディによる評価基準の作成

バイオマスタウン構想策定市町村を対象に利活用評価モデルを使用し、バイオマス利活用の現状（103 市町村）と策定された構想（71 市町村）を総合的に分析、評価した。分析においては、公表されたバイオマスタウン構想書に記載されたデータを用いて地区別の「利活用評価モデル」を作成した。その結果を整理し、現状及び利活用構想について、環境影響、エネルギー、経済性および環境効率を指標とする評価基準マトリクスを構築した。地域の現状や新たな利活用シナリオを多数先進事例と相対比較により評価するための評価基準となりえるものとなった。

### （3）利活用システムの分析

バイオマス利活用の変換技術（手法）別に環境影響、エネルギー、経済性について利活用評価モデルを用いて分析し、変換技術と資源区分とのマトリクスの形に整理した。さらに変換技術別に諸条件を変化させて環境影響、エネルギー、経済性について変動を分析し、変動影響の強弱からシステムの導入条件を明らかにした。バイオマス利活用の構想やビジョン策定において利活用技術を組み合わせるといふシナリオ設計の要因が明確となった。

### （4）変換技術別バイオマス利活用システムの比較

既存のバイオマスタウン構想を平均化したモデルケースを設定し、解析条件を変化させた場合の評価モデルを用いた個別変換技術の分析により、個別変換技術の特性が明らかとなった。変換技術を組み合わせてシナリオを構築するための指針となる。

### （5）地域条件とバイオマス利活用システム導入の関係分析

バイオマスタウン構想策定市町村のバイオマス賦存状況、人口、面積、財政状況、産業状況などの地域条件とバイオマス利活用システム導入の関係を分析し、整理した。利活用システム選定の地域要因を把握した。

#### (6) バイオマス総合利活用構想策定のケーススタディ

香取市を対象にバイオマスの総合的な利活用方法を、想定されるシナリオを設計して検討した。今回は、それぞれの評価に重み付けをせずに、7項目の評価点を積算するという手法を試行し、モデルプランを提案した。このケーススタディのプロセスからバイオマス総合利活用構想策定の手順案を提示した。

#### 【今後の課題】

- ・3次元化（高低）の表現が課題である。また、傾斜の把握、あるいは資源や製品の運搬距離の把握などを容易にするためGISとの連携を検討する必要がある。
- ・時間の要素の組み込みが課題である。小規模分散施設を段階的に整備するケースと集中型の施設を早急に構築するケースの比較を可能にする必要がある。
- ・バイオマス利活用システムの地域に及ぼす影響として環境性や経済性を個別項目で定量化している。今後、総合化の可能性を検討することが課題である。
- ・農地へ堆肥やメタン発酵残渣を施用したときの、化学肥料代替効果についてはモデルに組み込んでいる。土壌環境への影響は非常に複雑であるが、本研究では簡略化している。
- ・堆肥やメタン発酵残渣による生産性向上と炭素貯留効果については、本研究では定性的評価としており、今後定量化が必要である。
- ・このほか本研究で定量化していない評価項目として、雇用への影響、環境教育、自治意識の醸成など地域の活性化に資する要因がある。
- ・熱、堆肥・液肥、ペレット等の製品の需要量を推定できるモデルの構築が課題である。
- ・海外、特に東南アジアでのモデルの適用可能性の検討が課題である。

Research theme :

Research of Diagnostic Method and Evaluation to Approach Eco-efficiency on Utilization of Biomass in Regional Environment

Representative researcher : Ken'ichi Nakagami (Ritsumeikan University)

Co-researcher : Yoshito Yuyama (National Agriculture and Food Research Organization)

Kazuyuki Doi (Naigai Engineering Co.,Ltd)

#### Summary

This research is a development of an Evaluation Model for Biomass Synthetic Utilization (EMBSU) to apply to a regional system on the issue and a study for a new policy development method on biomass utilization. There are four contents. First, we developed the EMBSU which involves material, energy, economics and greenhouse effect gases as contents of analysis. The EMBSU enhanced the effectiveness, the utility and the integration. Second, we assessed approximately a hundred of regional synthetic biomass utilization plans by the EMBSU and on the basis of a hearing survey as well, we clarified the current and the problems on nationwide biomass utilization. We built the standard of evaluation concerning the level of environmental effects and efficiency in an area by biomass policy development, which establishes the evaluation system that can clarify distinctive regional problems by relative comparison of a regional scenario for biomass utilization with national data. Third, we analyzed the feature of each recycling technology by EMBSU to guide a new regional scenario plan. Fourth, we showed the case study as a plan-making method, and clarified the problems in the process in which we have envisioned the regional scenario in a case area and have executed the analysis and evaluation by EMBSU.

Key Words : Evaluation model, Biomass, Eco-efficiency, Greenhouse effect gases , Environmental effects