

博士論文

産業連関表を用いたバイオマス事業の  
実用的なライフサイクル評価手法に関する研究

Study on Practical Life Cycle Assessment Methods of  
Biomass Projects using Input-Output Tables

国立大学法人 横浜国立大学大学院  
環境情報学府

兵法 彩

Aya HEIHO

2016年6月

## 目次

第 1 章 序論 .....	1
1.1 研究背景 .....	1
1.1.1 持続可能な社会の構築 .....	1
1.1.2 国内バイオマス政策の動向 .....	2
1.1.3 ライフサイクル思考に基づく評価 .....	5
1.1.4 バイオマス事業のライフサイクル評価 .....	8
1.2 研究目的 .....	9
1.3 論文の構成 .....	10
第 2 章 バイオマス事業の実用的なライフサイクル評価に向けた論点整理 ..	12
2.1 ライフサイクルインベントリ分析の分類 .....	12
2.1.1 プロセス法 .....	12
2.1.1.1 積み上げ法 .....	12
2.1.1.2 マトリックス法 .....	13
2.1.2 産業関連法 .....	13
2.1.3 ハイブリッド法 .....	17
2.2 バイオマス事業の事業化プロセスに沿ったライフサイクル評価手法の検討 .....	18
2.3 実用的なライフサイクル評価に向けた論点整理 .....	20
2.3.1 想定値の活用を前提とした簡易なライフサイクル評価手法 .....	20
2.3.2 設計値・実績値の活用を前提とした有益な情報作成手法 .....	21
2.3.3 インベントリ分析手法の実用性に関する検討 .....	23
2.4 第 2 章まとめと各章の位置づけ .....	24
第 3 章 簡易な事業評価に向けたバイオガス発電事業部門拡張産業連関表 の構築 .....	26
3.1 はじめに .....	26
3.2 バイオガス発電事業部門拡張産業連関表の作成 .....	26
3.2.1 モデルプラント設定 .....	28
3.2.1.1 家畜排せつ物を用いたバイオガス発電事業 .....	28
3.2.1.2 厨芥類を用いたバイオガス発電事業 .....	30
3.2.2 コストデータの作成 .....	32
3.2.3 新設部門の投入係数ベクトルの作成 .....	35

3.2.4 既存産業連関表への組み込み .....	42
3.3 拡張表を用いたバイオガス発電事業のライフサイクル評価 .....	43
3.3.1 直接 GHG 排出係数・雇用係数の作成 .....	43
3.3.1.1 直接 GHG 排出係数の推計 .....	43
3.3.1.2 直接雇用係数の推計 .....	43
3.3.2 ライフサイクル GHG 排出量・雇用量の推計 .....	51
3.4 結果・考察 .....	52
3.4.1 バイオガス発電事業のライフサイクル GHG 排出量 .....	52
3.4.2 バイオガス発電事業のライフサイクル雇用量 .....	54
3.4.3 拡張産業連関表の活用方法に関する考察 .....	57
3.5 おわりに .....	58
<b>第 4 章 事業導入効果が生じる地域に着目した実用的なライフサイクル評価 手法 .....</b>	<b>61</b>
4.1 はじめに .....	61
4.2 評価対象 .....	61
4.2.1 対象事例：北海道の鹿追町環境保全センター .....	61
4.2.2 事業スポット内外の設定 .....	62
4.3 評価方法 .....	63
4.3.1 システム境界の設定 .....	63
4.3.2 雇用量の推計 .....	67
4.3.2.1 積み上げ法 .....	67
4.3.2.2 産業連関法 .....	69
4.4 結果・考察 .....	73
4.4.1 バイオガス発電事業の導入に伴う雇用量の変化 .....	73
4.4.2 事業スポットの雇用量の変化 .....	74
4.4.3 事業スポット以外の雇用量の変化 .....	75
4.4.4 近隣地域（北海道内）における雇用効果に着目した考察 .....	75
4.4.5 雇用量の推計方法に関する考察 .....	77
4.5 おわりに .....	78
<b>第 5 章 バイオマスプラント建設の GHG 排出量推計を対象とした推計手法に 関する基礎的分析 .....</b>	<b>79</b>

5.1 はじめに.....	79
5.2 研究方法.....	79
5.2.1 プラント建設に伴う GHG 排出量.....	80
5.2.1.1 積み上げ法による GHG 排出量の推計.....	80
5.2.1.2 産業連関法による GHG 排出量の推計.....	82
5.2.2 推計に要する作業負荷量.....	86
5.2.2.1 積み上げ法の作業負荷.....	87
5.2.2.2 産業連関法の作業負荷.....	87
5.2.3 プラント GHG 排出量がライフサイクル GHG 排出分析に与える影響.....	88
5.3 対象事例.....	90
5.3.1 事例 1 廃糖蜜を用いたバイオエタノール生産事業.....	90
5.3.1.1 推計対象プラント.....	91
5.3.1.2 バイオマス事業実施前後のシステム設定.....	92
5.3.2 事例 2 廃棄物系バイオマスの混合処理・再資源化事業.....	93
5.3.2.1 推計対象プラント.....	93
5.3.2.2 バイオマス事業実施前後のシステム設定.....	94
5.4 結果・考察.....	96
5.4.1 積み上げ法と詳細 IO 法の比較.....	97
5.4.1.1 プラント建設に伴う GHG 排出量の比較.....	97
5.4.1.2 作業負荷量の比較.....	99
5.4.1.3 積み上げ法と詳細 IO 法の比較結果まとめ.....	101
5.4.2 詳細 IO 法と簡略 IO 法の比較.....	103
5.4.3 プラント GHG 排出量がライフサイクル評価に与える影響.....	105
5.5 おわりに.....	108
<b>第 6 章 結論.....</b>	<b>110</b>
6.1 総括.....	110
6.2 研究成果のまとめ.....	112
6.3 今後の展開.....	113
参考文献.....	115
謝辞.....	128

## 図目次

図 1-1	バイオマスの利用 .....	2
図 1-2	バイオマス産業都市の選定フロー.....	3
図 1-3	ライフサイクル思考に基づく評価の概念図 .....	6
図 1-4	LCA の概念的な分類.....	6
図 1-5	ISO-LCA の枠組みおよび実施手順 .....	7
図 1-6	バイオマス事業のライフサイクル環境・社会経済影響評価 .....	8
図 1-7	廃棄物系バイオマスを用いたメタン発酵ガス化発電事業のライフサイクル..	9
図 1-8	博士論文の構成 .....	11
図 2-1	産業連関表のひな型 .....	14
図 2-2	積み上げ法と産業連関法の推計範囲のイメージ .....	16
図 2-3	バイオマス事業の事業化プロセスと評価に利用可能なデータ種の整理 ...	19
図 2-4	事業化プロセスに沿った論点整理および各章の位置づけ .....	25
図 3-1	バイオガス発電事業部門拡張産業連関表の作成手順.....	27
図 3-2	家畜バイオの事業システム .....	29
図 3-3	厨芥バイオの事業システム .....	31
図 3-4	家畜バイオの運用費推移(20年間).....	33
図 3-5	厨芥バイオの運用費推移(20年間).....	33
図 3-6	家畜バイオの建設費・運用費の構成 .....	34
図 3-7	厨芥バイオの建設費・運用費の構成 .....	34
図 3-8	家畜バイオのライフサイクル GHG 排出量.....	53
図 3-9	厨芥バイオのライフサイクル GHG 排出量.....	53
図 3-10	家畜バイオのライフサイクル雇用量 .....	55
図 3-11	厨芥バイオのライフサイクル雇用量 .....	55
図 3-12	2種のバイオガス発電事業の直接・間接雇用量の比率.....	55
図 3-13	家畜バイオの間接雇用量の内訳 .....	56
図 3-14	厨芥バイオの間接雇用量の内訳 .....	56
図 3-15	各種影響を産業連関法で推計するときのイメージ.....	57
図 4-1	北海道鹿追町の概要と環境保全センターの外観 .....	62
図 4-2	事業スポット内外の設定 .....	63
図 4-3	事業実施前後の状況に関するイメージ .....	64

図 4-4	機能単位を揃えた事業実施前後の事業システム .....	65
図 4-5	プロセス雇用量の内訳 .....	74
図 4-6	十勝バイオマス産業都市構想 .....	76
図 5-1	2種の産業連関法の推計に用いる金額データの違い .....	82
図 5-2	バイオガス事業実施前後の事業システム設定例 .....	89
図 5-3	宮古島市における広域実証事業スキーム .....	91
図 5-4	宮古島市バイオエタノール事業における事業実施前後のシステム .....	92
図 5-5	三浦バイオマスセンターの事業運営スキーム .....	93
図 5-6	三浦バイオマス事業の事業実施前後のシステム .....	95
図 5-7	事例 1 積み上げ法と詳細 IO 法のプラント GHG 排出量の比較 .....	98
図 5-8	事例 2 積み上げ法と詳細 IO 法のプラント GHG 排出量の比較 .....	98
図 5-9	事例 1 プラント GHG 排出量の推計に要した作業負荷量 .....	100
図 5-10	事例 2 プラント GHG 排出量の推計に要した作業負荷量 .....	100
図 5-11	事例 1 積み上げ法と詳細 IO 法の比較 .....	102
図 5-12	事例 2 積み上げ法と詳細 IO 法の比較 .....	102
図 5-13	事例 1 詳細 IO 法と簡略 IO 法の比較 .....	104
図 5-14	事例 2 詳細 IO 法と簡略 IO 法の比較 .....	104
図 5-15	事例 1 詳細 IO 法と簡略 IO 法で生じる変化量の差 .....	107
図 5-16	事例 2 詳細 IO 法と簡略 IO 法で生じる変化量の差 .....	107

## 表目次

表 1-1	バイオマス産業都市構想の地域波及効果の記載例	4
表 2-1	拡張産業連関表を用いた再生可能エネルギーの評価研究例	21
表 3-1	家畜バイオのプラント概要	29
表 3-2	厨芥バイオのプラント概要	31
表 3-3	家畜バイオ・厨芥バイオの投入係数ベクトル(1/6)	36
表 3-4	家畜バイオ・厨芥バイオの投入係数ベクトル(2/6)	37
表 3-5	家畜バイオ・厨芥バイオの投入係数ベクトル(3/6)	38
表 3-6	家畜バイオ・厨芥バイオの投入係数ベクトル(4/6)	39
表 3-7	家畜バイオ・厨芥バイオの投入係数ベクトル(5/6)	40
表 3-8	家畜バイオ・厨芥バイオの投入係数ベクトル(6/6)	41
表 3-9	産出構造の按分比	42
表 3-10	直接 GHG 排出係数の推計	44
表 3-11	直接雇用係数の推計	44
表 3-12	直接 GHG 排出係数・直接雇用係数(1/6)	45
表 3-13	直接 GHG 排出係数・直接雇用係数(2/6)	46
表 3-14	直接 GHG 排出係数・直接雇用係数(3/6)	47
表 3-15	直接 GHG 排出係数・直接雇用係数(4/6)	48
表 3-16	直接 GHG 排出係数・直接雇用係数(5/6)	49
表 3-17	直接 GHG 排出係数・直接雇用係数(6/6)	50
表 3-18	バイオガス発電事業の最終需要額	51
表 4-1	事業実施前後のシステムの機能単位	64
表 4-2	対象事例のバイオガスプラントの概要	66
表 4-3	ヒアリング調査で得られた雇用情報	68
表 4-4	堆肥化システム(事業実施前システム)の投入・産出量	71
表 4-5	バイオガスシステム(事業実施後システム)	72
表 4-6	雇用変化量の推計結果	73
表 5-1	地球温暖化係数(Global Warming Potential)	80
表 5-2	積み上げ法で用いた GHG 排出係数	81
表 5-3	産業連関法で用いた GHG 排出係数(1/3)	83
表 5-4	産業連関法で用いた GHG 排出係数(2/3)	84

表 5-5 産業連関法で用いた GHG 排出係数 (3/3) .....	85
表 5-6 設定した積み上げ法・産業連関法の作業基準 .....	86
表 5-7 プラント建設に伴う GHG 排出量 .....	96
表 5-8 プラント GHG 排出量の推計に要した作業負荷量 .....	96
表 5-9 事例 1 プロセス別 GHG 排出量と事業実施前後の変化量 .....	105
表 5-10 事例 2 プロセス別 GHG 排出量と事業実施前後の変化量 .....	105



## 第1章 序論

### 1.1 研究背景

#### 1.1.1 持続可能な社会の構築

政府全体の環境保全に関する総合的かつ長期的施策の大綱を定めている、第四次環境基本計画(2012年4月閣議決定)<sup>1)</sup>の基本的理念として、持続可能な社会の構築がある。「持続可能」とは、1987年のブルントラント委員会報告書で提唱された理念であり、同報告書において「持続可能な開発」とは、「将来の世代のニーズを充たしつつ、現在の世代のニーズをも満足させるような開発」と定義されている。このような国際的動向を受け、日本は第三次環境基本計画(2006年4月閣議決定)<sup>2)</sup>において、目指すべき持続可能な社会を「健全で恵み豊かな環境が地球環境から身近な地域にわたって保全されるとともに、それらを通じて国民一人一人が幸せを実感できる生活を享受でき、将来世代に対しても継承することができる社会」と定義した。

また、21世紀環境立国戦略(2007年6月策定)<sup>3)</sup>では、持続可能な社会を実現するためには、直面している3つの危機「地球温暖化の危機」、「資源の消費による危機」、「生態系の危機」から脱却し、人間社会の発展と繁栄確保のために「低炭素社会」、「循環型社会」、「自然共生社会」を構築することが必要であるとしている。特に現代社会は、環境的側面と社会経済的側面が複雑に絡み合っているため、恵み豊かな環境を継承していくためには、環境配慮型の社会経済システムの構築が重要となる。

近年、地球温暖化対策や資源枯渇対策の観点から太陽光、風力、バイオマスなどの再生可能エネルギーを用いた発電事業が注目されている<sup>4)</sup>。火力発電、原子力発電などの集中型電源のみに頼ることなく、地域で手に入る地域の資源を用いた分散型電源を活用するエネルギーインフラの構築に向けた先進的な取り組み<sup>5)</sup>が行われている。また、2012年7月にスタートした再生可能エネルギー事業者の支援を目的とする固定価格買取制度(Feed-in tariff, 以下 FIT)<sup>6)</sup>の後押しもあり、再生可能エネルギーを用いた発電事業の導入が活発化する見込みである。

### 1.1.2 国内バイオマス政策の動向

本研究では、再生可能エネルギーの中でも、事業システムが多岐にわたるバイオマスを用いた地域事業（以下、バイオマス事業）に着目した（図 1-1）。バイオマスとは、動植物由来の有機物である資源（化石資源を除く）と定義されており、具体的には家畜排せつ物、食品廃棄物、下水汚泥、製材工場等残材、建設発生木材、林地残材、資源作物、微細藻類などを指す<sup>4),8)</sup>。バイオマス活用推進基本計画（2009年9月施行）<sup>9)</sup>では、バイオマスを製品・エネルギーの原料に使い、変換工程を経て電気や熱、燃料、マテリアル等に利用することをバイオマスの活用と定義している。

バイオマス事業は、多様なバイオマスの種類、複数の変換・利用方法の組み合わせ次第で多岐にわたるシステムが構築できるため、地域に適したシステム設定を行い効果的な事業導入につなげていくことが重要となる。例えば FIT では、廃棄物系バイオマスを用いてメタン発酵ガス化発電を行うバイオガス発電事業や、木質系バイオマスを用いて直接燃焼により発電を行うバイオマス発電を、国内で商業化レベルにあるバイオマス事業として位置づけ、同制度の対象事業としている。

また、バイオマス事業は、低炭素社会の構築や新規産業創出・雇用拡大による地域活性化の観点から導入が進められている。そのため、事業システムを構築するにあたっては、事業導入に伴う温室効果ガス（Greenhouse gas, 以下 GHG）排出量や雇用量などの環境・社会経済影響指標による評価を実施し、客観的情報に基づく議論を経て効果的な導入を進めていくことが重要となる。

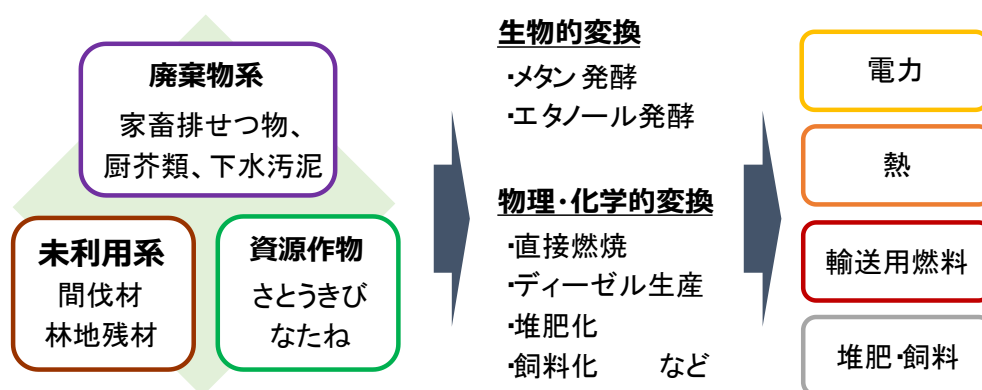


図 1-1 バイオマスの利用

（今井（2012）<sup>7)</sup>を参考に筆者作成）

その一方で、総務省が独自に調査・公表したバイオマスの利活用に関する政策評価(2011年2月公表)<sup>10)</sup>では、地域での取り組みを後押しするためにスタートしたバイオマス・ニッポン総合戦略(2002年12月閣議決定、2006年3月閣議決定<sup>脚注1)</sup><sup>11)</sup>の下で進められてきたバイオマスタウン構想の多くが、構想策定に留まるなど、進捗状況・目標達成状況が不十分であることが明らかとなった。その結果を受けた、バイオマス事業化戦略(2012年9月決定)<sup>12)</sup>では、バイオマスタウン構想に代わる取組として、バイオマス産業都市の構築<sup>13)</sup>を開始した。バイオマス産業都市とは、「経済性が確保された一貫システムを構築し、地域の特色を活かしたバイオマス産業を軸とした環境にやさしく災害に強いまち・むらづくりを目指す地域」と定義されている。バイオマス産業都市の構築では、より効果的かつ効率的な事業の導入促進を図るために、バイオマスタウン構想のような自主的な公表制度ではなく、関係7府省(内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省)による選定制度に移行した。

図1-2はバイオマス産業都市の選定フローを示している。市町村などの構想作成者が提出したバイオマスタウン構想は、①先導性、②実現可能性、③地域波及効果、④実施体制の4つの観点からの評価が行われ、最終的に関係7府省が支援先を決定している<sup>13)</sup>。これまで、34地域がバイオマス産業都市の構築支援対象地域に選ばれている(2013年度～2015年度の3年で4回募集を実施)<sup>14)-17)</sup>。

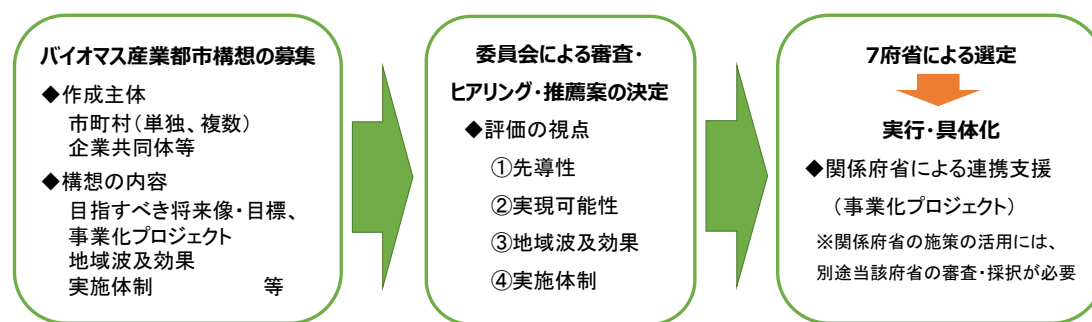


図 1-2 バイオマス産業都市の選定フロー

(バイオマス産業都市関係府省連絡会議<sup>13)</sup>に基づき筆者作成)

脚注1 2005年2月に京都議定書が発効されるなど、バイオマスの利活用をめぐる情勢変化を受け、新たな「バイオマス・ニッポン総合戦略」を2006年3月に閣議決定した。

選定における4つの観点のうち、特に実現可能性の観点から、事業採算性が重視されており、事業者は構想事業の収支等の定量的評価結果を示す必要がある。こうした経済的側面の評価方法は、バイオマス産業都市構想作成の手引き<sup>18)</sup>にも明記されている。そのため、事業者は手引きを参考にすることで、定量的評価が可能となっている。他方、地域波及効果として記載が求められている雇用量やGHG排出量などの評価方法は、同手引きには明記されていない。表1-1は地域波及効果の記載例を示している。記載内容は地域毎に異なっており、中には未記入となっていることから、記載自体が任意となっていることがわかる。また、栃木県茂木町のように波及効果を明記している地域がある一方で、他の地域は数値の算定範囲が未記載となっていることから、統一した算定方法による情報作成が行われていないことが推察される。

表 1-1 バイオマス産業都市構想の地域波及効果の記載例

		地域波及効果の記載例	
平成25年度 (1次選定)	北海道十勝地域	・新規雇用誘発 1,423人	
	北海道別海町	・町内雇用者 23人増か (雇用者見込内訳 25人) 。視察者数 2,000人目標	・温室効果ガス 2,778~4,346t/年削減 (発電量から算出) ・廃棄物 111,325t/年削減
	新潟県新潟市		・温室効果ガス排出量 161,944t-CO <sub>2</sub> /年削減 ・災害時エネルギー確保 BDF 26kL/年
平成25年度 (2次選定)	北海道興部町	雇用量(新規、合計) 9名 ・プラント管理 3名 ・排せつ物輸送 4名 ・戻し堆肥製造販売 1名 ・メンテナンス(技術者) 1名	・温室効果ガス 2,186t-CO <sub>2</sub> /年削減 ・廃棄物処理量 54,100t/年削減
	島根県奥出雲町	・雇用創出 関連産業 136名以上 作業路整備 20名 伐採搬出 100名 加工センター 16名	・二酸化炭素排出量 1,200t/年
平成26年度	富山県射水市		・二酸化炭素排出量 BDFによる灯油代替 2,492kg CO <sub>2</sub> /L もみ殻による燃料代替 3,000kg CO <sub>2</sub> /t
	兵庫県洲本町	・期待される雇用創出人数 BDF 10人 バイオガス発電事業 12人 BTL 13人	・温室効果ガス 2,935t-CO <sub>2</sub> /年削減 ・廃棄物 11,791t/年削減
	島根県隠岐の島町	・関連産業の雇用創出 51名 ・観光客数の増大 80名/年	
平成27年度	栃木県茂木町	・新規雇用創出 18人 (波及効果 38人)	・二酸化炭素 1,350t-CO <sub>2</sub> /年削減 (波及効果 5,450t-CO <sub>2</sub> /年削減)
	大分県臼杵市		・年間発電量 3,357,780kWh/年 ・二酸化炭素削減量 2,058t/年 (九州電力の排出係数から推計)

(選定地域のバイオマス産業都市構想<sup>19)-28)</sup>を参考に筆者作成)

つまり、政策としては、バイオマス事業の定量的情報に基づき、比較的導入効果の高い事業への支援を優先的に行っていく意向を示しているにも関わらず、実際には、地域波及効果の記載内容にばらつきがあり、結果として定量的情報に基づく議論が十分に行われていないことが推察される。特に、算定ルールが共通化されていないため、構想事業間の単純な比較が難しく、選定制度自体の形骸化が懸念される。換言すると、効果的なバイオマス事業の導入を合理的判断に基づいて進めていくためには、事業採算性だけではなく、GHG 排出量や雇用量などの環境・社会経済影響を、共通の概念・ルールに基づいて定量的に捉え議論することが重要となる。また、栃木県茂木町の試算結果が示しているように、波及効果を考慮するか否かで、影響の大きさが 2 倍以上異なる可能性があることがわかる。そのため、バイオマス事業導入に伴う環境・社会経済影響を考える際には、バイオマス事業による直接的な影響だけでなく、波及的に生じる間接的な影響も含めて網羅的に評価していくことが重要となる。

### 1.1.3 ライフサイクル思考に基づく評価

そこで、本研究は GHG 排出量や雇用量の環境・社会経済影響を定量化する手法として、ライフサイクル思考 (Life Cycle Thinking) に基づく評価に着目する。ライフサイクル思考とは、「製品・技術の利用 (事業実施) に伴う目の前の直接的な影響のみならず、それら製品・技術のライフサイクルに沿って生じる間接的な影響も追跡し、事業システム全体の影響を考えること」<sup>29)</sup>である。この概念に基づくライフサイクル環境・社会経済影響評価を、本研究ではライフサイクル評価 (図 1-3) と呼ぶ。

近年、ライフサイクル評価は LCA と略され広い分野で適用されているが、概念的に分類<sup>29)</sup>すると、ライフサイクル思考に基づく広義の LCA (Life Cycle Approach) と国際標準化機構 (International Organization for Standardization, 以下 ISO) の ISO14000 シリーズに規格化されている狭義の LCA (Life Cycle Assessment)<sup>30)</sup>に分けられる (図 1-4)。広義の LCA には、エネルギー側面からの分析を行うエネルギー・アナリシス、気候変動問題に着目したライフサイクル二酸化炭素 (以下 CO<sub>2</sub>) 排出分析、物質消費量を環境負荷の指標とする MIPS (Material Intensity Per Service unit)、TMR (Total Material Requirement) など様々ツールが含まれており、環境的側面の問題のみに限定することなく、社会経済的側面にも着目したライフ・サイクルコストやリスク概念を導

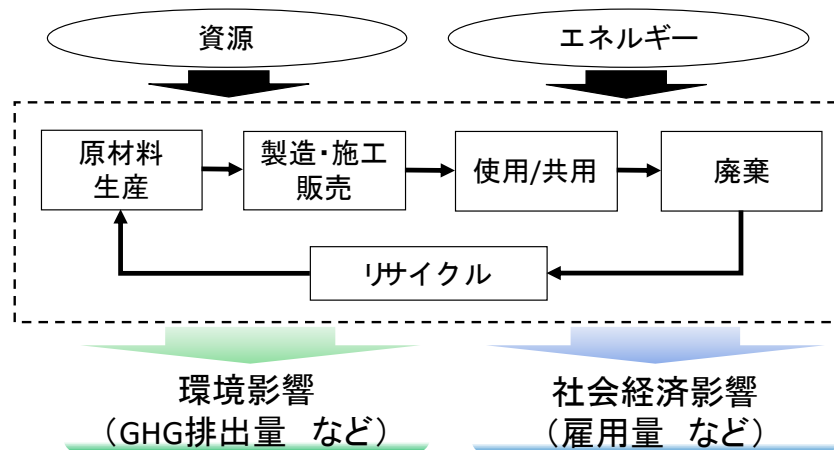


図 1-3 ライフサイクル思考に基づく評価の概念図  
 (日本太陽エネルギー学会(2008)<sup>29)</sup>を参考に筆者作成)

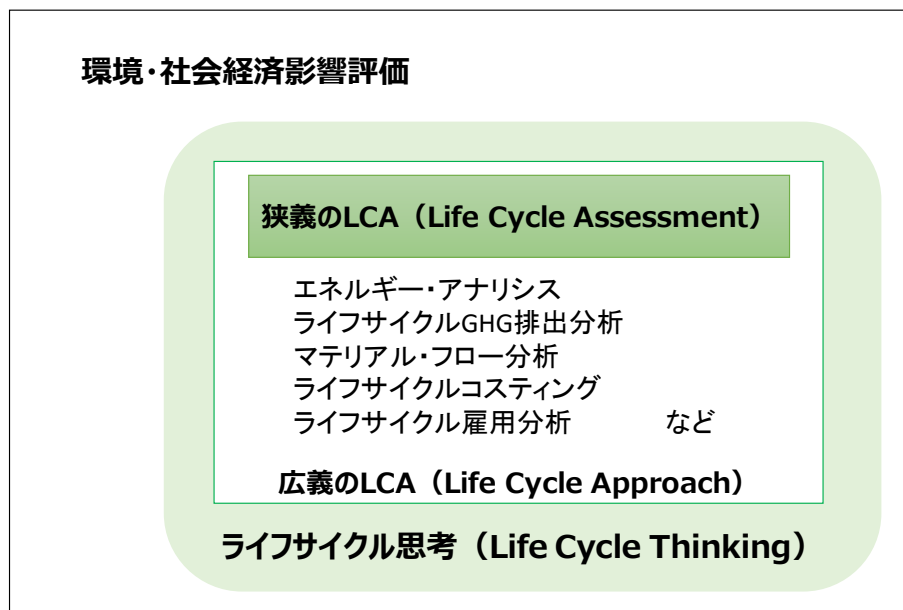


図 1-4 LCA の概念的な分類  
 (日本太陽エネルギー学会(2008)<sup>29)</sup>を参考に筆者作成)

入したライフサイクル・リスク分析などが含まれる。一方で、狭義の LCA は環境的側面のみを対象としており、ISO-LCA として明確に区別されることがある。

ここでは、ISO-LCA における評価の枠組みおよび実施手順(図 1-5)に沿って、ライフサイクル評価の 4 つの構成要素①目的と調査範囲の設定、②インベントリ分析、③影

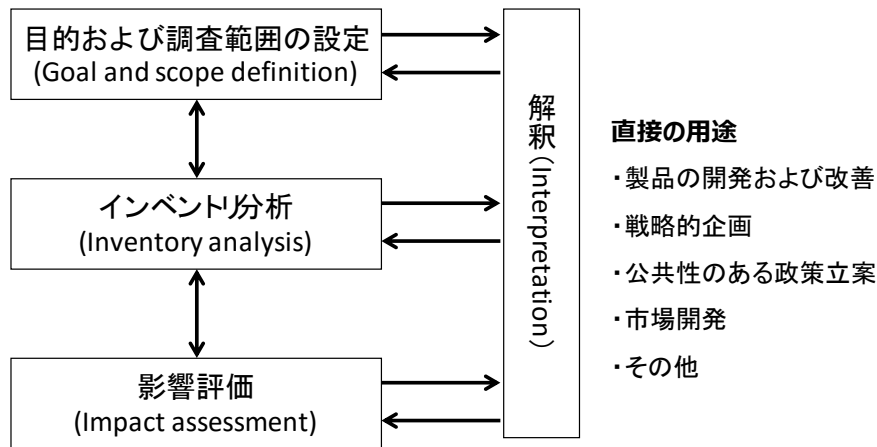


図 1-5 ISO-LCA の枠組みおよび実施手順  
(JISQ140040 (2010)<sup>30)</sup>に基づき筆者作成)

響評価、④解釈の概要を説明する。

「目的と調査範囲の設定」は、評価を実施する理由を定め、調査するシステムおよびデータ区分について記述する段階である。目的の設定では、適用意図、調査理由、結果の報告主体などを明確に定める必要がある。調査範囲(システム境界)の設定は、調査の広がりや深さを意味しており、目的に適った内容になっている必要がある。また、この段階で評価対象となる事業システムの定量的な機能単位を明確に定める必要がある。

「インベントリ分析」は、分析対象項目(環境負荷、雇用量など)に関する入出力の情報を細かく作成し、それらの定量的な累積計算を行っていく段階である。インベントリ分析を大きく2段階に分けると、①目的と評価範囲に沿った入力(資源・エネルギー・労働力など)と出力(製品・排出物など)のデータ収集と、②分析対象の定量化(環境負荷、雇用量などの算定)となる。インベントリ分析では、評価対象となる事業システムを一連の単位プロセスに細分化し、各プロセスへの入出力データの収支を明らかにしていくことで、全体の各種影響(環境負荷、雇用量など)を推計する。

「影響評価」は、複数のインベントリ分析の結果を受けて、潜在的な影響の重要性を評価する段階である。インベントリデータを特定の影響領域および領域指標と関連付け、評価対象の影響を理解する段階となる。一般に影響評価は、分類化(Classification)、特性化(Characterization)、価値化(Valuation)の3段階で構成されている。

「解釈」では、インベントリ分析および影響評価から得られた知見に基づいて、結果を

評価し、結論の導出、限界の説明、提言を行う段階である。解釈の結果は、①重要項目の特定、②完全性・感度・整合性の点検および評価、③結論および提言の3段階で透明性を確保して報告することになっている。

#### 1.1.4 バイオマス事業のライフサイクル評価

バイオマス事業のライフサイクル評価は、バイオマスの生産（開墾・栽培）・収集から、エネルギー・マテリアル変換、利用までを事業のライフサイクルとして定義し、多種多様な財・サービスが投入される事業システム全体を網羅的に評価する(図 1-6)<sup>9)</sup>。特に、バイオマス事業のように、複数プロセスから成る事業システムの場合、システムの入出力に関する情報を集め、各種影響を推計するインベントリ分析が重要となる。

また、ライフサイクル評価は、例えばバイオマス産業都市構想の地域波及効果の記載のように、政策的要求に応えるためだけに実施するのではなく、評価結果をうけて予見していなかった影響を理解し、より効果的な環境負荷低減策や雇用・新規産業創出の検討に活用することが肝要である。そのため、事業導入の検討開始から実施までの事業化プロセスにおける適切な段階で、事業実施者（以下、事業者）は積極的にライフサイクル評価を行い、事業システムの設計・改善に活用することが重要となる。

つまり、事業者は構想・計画段階から実施までの事業化プロセスにおいて、地域への事業導入に対する合意形成や、プラントエンジニアリングとの協議、事業運営に関する許認可の取得など、多くの作業に時間やコストを要しているが、それらの作業と同時並行で、作業に係る負担（以下、作業負荷量）が大きいインベントリ分析を実施していく必

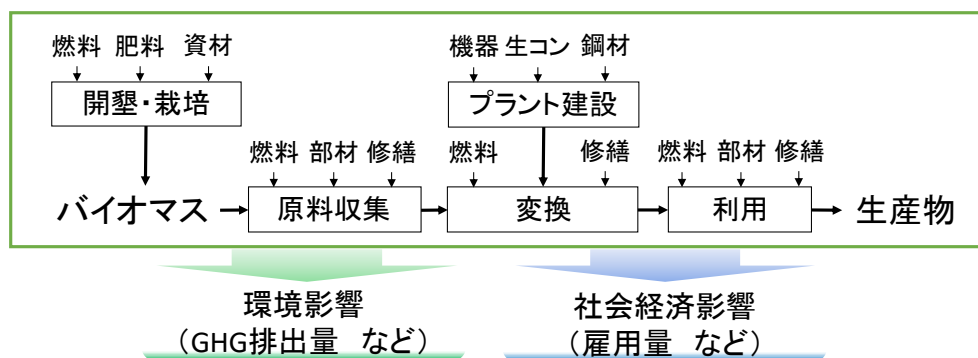


図 1-6 バイオマス事業のライフサイクル環境・社会経済影響評価



要がある。

このような事業者の置かれている状況を踏まえながら、適切なタイミングでバイオマス事業のライフサイクル評価が実施できるように、限られた時間や費用の中で実施可能なインベントリ分析手法の検討や、ライフサイクル評価を実施することによって事業設計・改善に対し有益な情報が得られる実用的な評価方法を検討することが重要となる。

## 1.2 研究目的

以上のような背景を受け、本研究はバイオマス事業者にとって実用的なライフサイクル評価手法を提案することによって、効果的なバイオマス事業の導入促進に資することを目的とする。本研究において、実用的なライフサイクル評価手法とは、適切なタイミングで効果的な事業設計や事業システムの改善に役立つ有益な情報が得られる手法であり、さらに可能な範囲で過度な作業負荷量を要しない簡易な手法であることが望ましいと考えている。

なお、上述したようにバイオマスのエネルギー利用は原料種と技術の組み合わせに応じて、多岐にわたる事業システムが考えられるが、本研究では主に対象とする事業システムを、廃棄物系バイオマスを用いたメタン発酵ガス化発電事業（以下、バイオガス発電事業）に限定して、評価手法に関する議論を深める。廃棄物系バイオマスを用いたバイオガス発電事業は、国内のエネルギー政策における重要技術のひとつとして、既に研究開発が進み、国内導入実績もみられる事業システムである。廃棄物バイオマスを用いた事業のライフサイクルは、「バイオマス生産」プロセスは含まれず、「原料収集」からスタートする（図 1-7）。なお、評価指標は環境・社会経済影響評価の代表的指標であり、

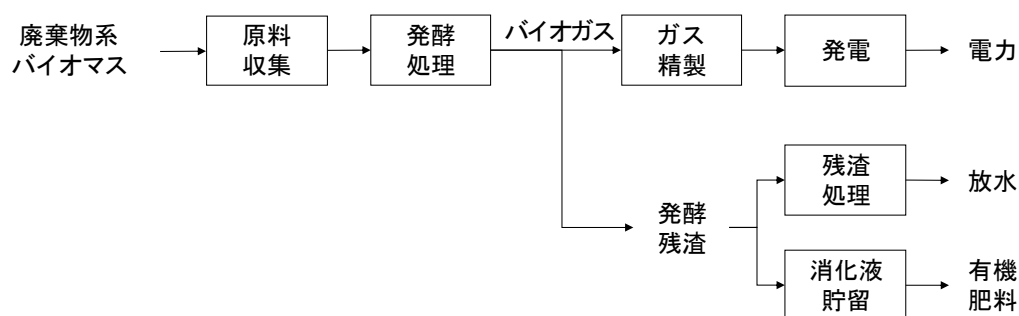


図 1-7 廃棄物系バイオマスを用いたメタン発酵ガス化発電事業のライフサイクル

バイオマス産業都市構想の地域波及効果としても位置付けられている GHG 排出量と雇用量とする。

### 1.3 論文の構成

本論文は、全 6 章で以下の内容から構成される(図 1-8)。

第 1 章(本章)の序論に続き、第 2 章では、バイオマス事業の実用的なライフサイクル評価に向けた論点の整理を行った。本研究ではライフサイクル評価の中核を成すインベントリ分析に着目し、その分類を整理した。次に、バイオマス事業の事業化プロセスで求められるライフサイクル評価手法を明らかにするために、実際の事業者を対象とした実態調査を行った。これらの結果を踏まえて、事業化プロセスに合わせた実用的評価手法の提案を行っていくうえでの 3 つの論点を設定した。そして、各論点に対し、第 3 章では事業化プロセスの前半における簡易な評価ツールの構築、第 4 章では事業化プロセスの後半における有益な情報作成手法の開発、第 5 章ではインベントリ分析の実用性に関する分析に取り組んだ。

第 3 章では、事業導入の検討初期段階のように、情報量が限られている場合には、他の先行事例などを参考に作成される想定値を活用した評価手法の検討が必要であるという考えの下で、国の統計表である産業連関表をベースとした簡易な評価ツールの構築に取り組んだ。対象としたバイオマス事業は、家畜排せつ物を用いたバイオガス発電事業と厨芥類を用いたバイオガス発電事業であり、国内の導入実績を反映した詳細なコストデータと産業連関表を組み合わせた評価ツールを構築した。また、作成した評価ツールを用いてライフサイクル GHG 排出分析・雇用分析を行い、2 種類のバイオガス発電事業の特性を明らかにした。

第 4 章では、導入対象事業に関する情報作成が進んだ段階を想定して、設計値や実績値などの詳細な情報を活用して、事業設計や事業システムの改善に対し有益な情報作成を支援する評価手法を提案した(以下、提案手法)。提案手法は、事業導入に伴う影響が生じる地域に着目しており、導入地域にとって効果的なバイオマス事業の設計・改善に対する有益な情報作成が可能となっている。本研究では、提案手法を北海道鹿追町のバイオガス発電事業の雇用変化に着目したライフサイクル評価に適用し、手法の有用性を明らかにした。

第5章では、推計に要する作業負荷量と推計結果のバランスに着目した、インベントリ分析手法の実用性に関する分析が十分に行われていないことを背景として、バイオガスプラント建設のGHG排出量の推計を一例に基礎的な分析を実施した。インベントリ分析の基礎的手法である積み上げ法と産業連関法を、推計に要する作業負荷量と得られる推計結果の観点から比較することで、簡易な手法の有用性を明らかにした。

第6章は結論であり、総括、研究成果、今後の展開をまとめた。

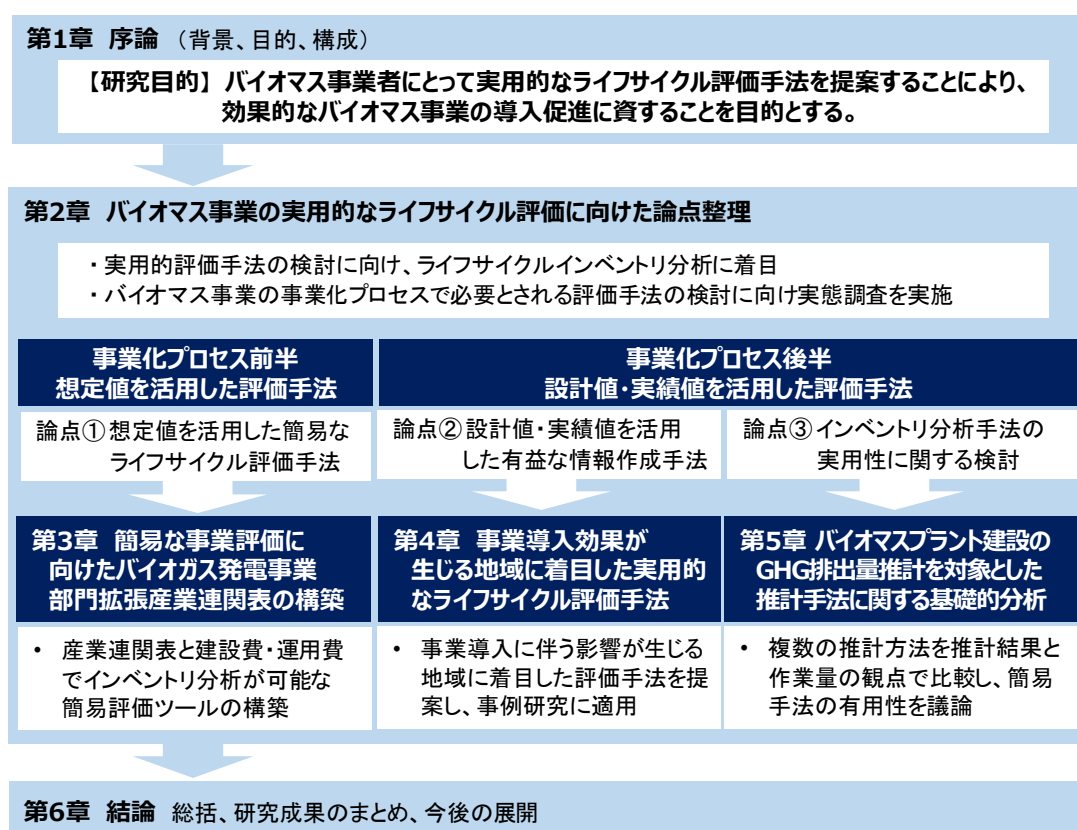


図 1-8 博士論文の構成

## 第2章 バイオマス事業の実用的なライフサイクル評価に向けた論点整理

### 2.1 ライフサイクルインベントリ分析の分類

本研究では、実用的なライフサイクル評価手法を検討するにあたって、事業システムに投入される財・サービスの情報収集および各種影響の推計（定量化）を行うインベントリ分析に着目した。

インベントリ分析手法は、積み上げ法、産業連関法、ハイブリッド法の大きく3つに分類される。ここでは、文献 29)および 31)-34)の記述に基づいて、3つのインベントリ分析手法の概略をまとめる。

#### 2.1.1 プロセス法

プロセス法 (Process analysis) は、分析対象のライフサイクルに沿って、プロセスの詳細な入出力データ収集し、ボトムアップ式に各種影響を推計する手法である。プロセス法は、積み上げ法 (Process flow diagram) とマトリックス法 (Matrix method) の2種類に分けられる。

##### 2.1.1.1 積み上げ法

積み上げ法はインベントリ分析手法の中でも最も広く普及した基礎的手法である。積み上げ法では、プロセスを組み合わせたツリー構造に対象となる製品、サービスのライフサイクルが表現される。このライフサイクルフローに基づき、各プロセスのデータ収集が行われ、プロセス毎に算出した各種影響を単純に足し合わせたものがライフサイクル全体の影響となる。しかしながら、現実の社会では各プロセスは複雑な相互依存関係にある事が多い。システム内で生産された財がシステム内で利用される場合が多く、単純な積み上げ計算で全体の環境負荷を推計することは難しい。そのため、例えば環境負荷の見える化に向けたカーボンフットプリントコミュニケーションプログラム<sup>35)</sup>では、評価対象のライフサイクルにおいて重要性が低いライフステージ(プロセスあるいはフロー)で、一定基準を満たすものは、評価対象システムからカット(打ち切り誤差)してもよいと定めている。また、データの客観性・透明性は、分析に用いるデータに公表ができないデータなどが含まれる場合に生じる問題である。そこで、客観性・透明性の担保に向けては統一

ールの下で作られたデータベースの作成が行われてきており、LCA 支援ソフトウェアに組み込まれる形で利用が可能となっている。例えば、日本では産業環境管理協会が LCA 支援ソフトウェア「MiLCA」<sup>36)</sup>の提供を行っており、インベントリ分析用データベースとして産業技術総合研究所と共同で開発した IDEA (Inventory Database for Life Cycle Analysis)<sup>37)</sup>が利用可能となっている。

#### 2.1.1.2 マトリックス法

マトリックス法は、収集したプロセスのデータをすべて行列形式で表現され、ライフサイクル全体の各種影響は逆行列を用いて導出する手法である。ライフサイクル内の物質・エネルギーフローに複雑なループ(例えば、アルミの再利用など)が存在する場合には、プロセス間の相互依存関係を反映した無限の遡及計算が理論上可能となっている。マトリックス法は、収集したプロセスデータで適切なマトリックスを構築する作業が必要な手法であるため、システム境界が広がり多くのループ(相互依存関係)が存在する場合には、マトリックス構築作業に時間を要する。結果的には、プロセスの関連を途中で打ち切るなど、近似的にツリー構造で表現した積み上げ法を適用することも多い。仮にプロセス内にループが全く存在しない場合、積み上げ法と行列法は同等の結果となる。

#### 2.1.2 産業連関法

産業連関法 (Input-Output analysis) は、アメリカの経済学者 W.Leontief が国や地域の経済分析を目的として考案した産業連関表を用いる手法である。産業連関表は、ある地域(国、都道府県、市町村など)における生産活動に伴う財・サービスの投入と産出の関係を行列で示した取引表である(図 2-1)。産業連関表を縦(列)方向は、各産業の投入構造を示しており、横(行)方向は各産業の生産物の需要先が示されている。各産業部門を財・サービスを生産するひとつのプロセスとみなせば、プロセス間の相互依存関係を定量的に網羅した表となっており、マトリックス法と同様に逆行列を用いることによってライフサイクル全体の各種影響を推計することが可能である。また、マトリックス法は特定の製品・技術システムに限定して、分析者がシステム境界を設定した上で構築した行列を用いるが、産業連関法では、対象としている経済社会全体をひとつのシステムとして捉えることができ、社会全体の複雑な相互依存関係をすべて網羅できる。日

	中間需要	国内 最終需要	輸出	輸入	生産額
中間 投入	$x_{ij}$	$F_i$	$EX_i$	$IM_i$	$X_i$
付加価値	$V_i$				
生産額	$X_i$				

図 2-1 産業連関表のひな型

(日本太陽エネルギー学会(2008)<sup>29)</sup>に基づき筆者作成)

本では約 5 年おきに総務省が国の産業連関表<sup>38)</sup>を、経済産業省が全国を 9 つに分割した地域産業連関表<sup>39)-47)</sup>を公表している<sup>脚注2</sup>。

産業連関表において、ある産業部門*i*の生産物に対する取引は、式 2-1 となる。

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} + F_i + EX_i - IM_i = X_i \quad \text{式 2-1}$$

ここで、 $x_{ij}$ は部門*j*への中間需要、 $F_i$ は国内最終需要、 $EX_i$ は輸出、 $IM_i$ は輸入、 $X_i$ は国内生産額を表している。*j*部門の投入構造を生産物の投入比率で表すことで、式 2-2 により、投入係数が定義される。

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{X_j} \quad \text{式 2-2}$$

脚注2 2016年5月末現在で国の産業連関表は2011年表、地域産業連関表は2005年表が最新版となっている。

投入係数を用いて式 2-1 を書き換えると、式 2-3 となる。

$$X_{ij} = \sum_j a_{ij}X_i + F_i + EX_i - IM_i \quad \text{式 2-3}$$

これを行列表示にして X についてとくと、式 2-4,2-5 となる。

$$\mathbf{AX} + \mathbf{F} + \mathbf{EX} - \mathbf{IM} = \mathbf{X} \quad \text{式 2-4}$$

$$\mathbf{X} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}(\mathbf{F} + \mathbf{EX} - \mathbf{IM}) \quad \text{式 2-5}$$

ここで、最終需要  $\mathbf{Y} = \mathbf{F} + \mathbf{EX} - \mathbf{IM}$  とすると、式 2-5 は式 2-6 となり、最終需要が決定すれば、中間需要と最終需要を満たす均衡産出量 X が決定されることを意味している。

$$\mathbf{X} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{Y} \quad \text{式 2-6}$$

産業連関表によって各種影響 (GHG 排出量、エネルギー消費量、雇用量など) を分析するには、産業連関表の部門分類に対応した係数が定義される必要がある。2005 年の産業連関表であれば、例えば、GHG 排出量の推計には、直接 GHG 排出量を国内生産額で除した直接 GHG 排出係数が、国立環境研究所から公表されている産業連関表による環境負荷データブック (Embodied Energy and Emission Intensity Data for Japan using Input-Output Tables, 以下 3EID)<sup>48)</sup> が利用できる。また、雇用量の推計には、産業連関表の付帯表である雇用量表<sup>49)</sup> の従業員総数を国内生産額で除すことで得られる雇用係数を利用できる。

これら各種係数と式 2-6 より、環境・社会経済影響の推計が式 2-7 により可能となる。

$$\mathbf{E} = \mathbf{e}^T(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{Y} \quad \text{式 2-7}$$

ここで、 $\mathbf{e}$  は各種係数ベクトル (GHG 排出係数やエネルギー消費係数、雇用係数な

ど)、 $T$ は転置、 $(I - A)^{-1}$ はレオンチェフ逆行列、 $Y$ は最終需要ベクトルである。

産業連関法は、予め整備されている産業連関表のデータを活用して分析するため、評価対象の入出力を詳細に収集・推計する積み上げ法に比べ作業に要す労力は少ない手法として位置づけられている。また、ある財・サービスの生産に伴う直接・間接影響を理論上網羅した推計が可能となっている。

一方で、産業連関表の部門分類は多くても 400 部門程度であるため、それ以上の詳細な分析が難しいという課題点がある。また、ある特定の 1 年の生産構造を表したものであるため、時系列の分析を行う際には留意が必要となる。つまり、産業連関法は特定地域(国や地域)の特定年における、平均的な財・サービス部門の生産活動をベースとする分析手法となっている。

図 2-2 は、製品製造プロセスの推計における積み上げ法と産業連関法の推計範囲イメージを示している。積み上げ法は、評価対象に対して具体的な数値での分析が可能であることが長所である一方で、分析に必要なデータを詳細に集めるのが難しいという短所がある。例えば、ある製品を生産している事業者が、自社製品の LCI を積み上げ法で行う場合、分析する機器の製造や組み立てに係わるデータは入手しやすいが、機

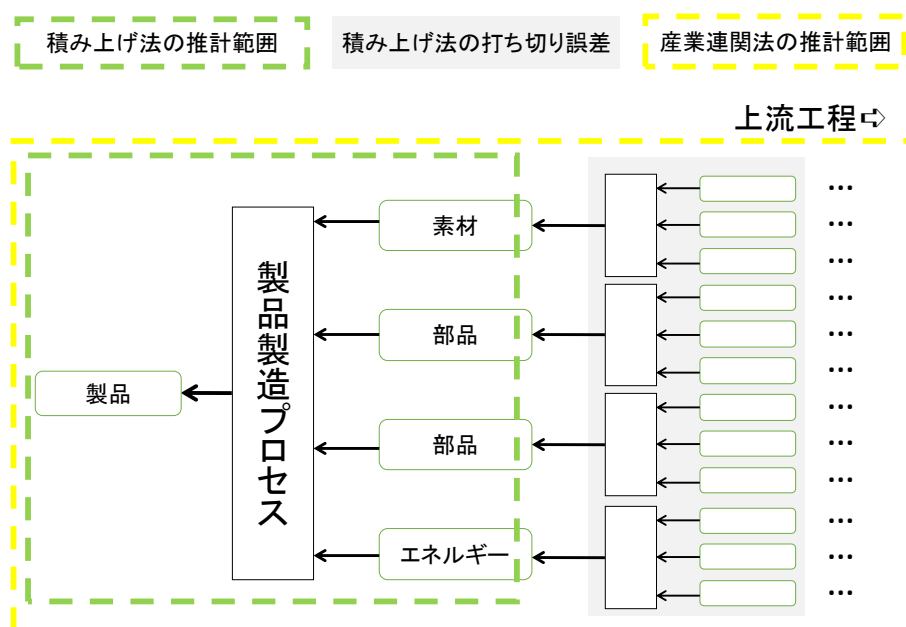


図 2-2 積み上げ法と産業連関法の推計範囲のイメージ  
((日本太陽エネルギー学会(2008)<sup>29</sup>)に基づき筆者作成)



器の部品製造や素材製造のデータのように他の事業から購入しているものに関する情報を正確に集めることは難しい。他方、産業連関法では、社会全体の生産活動を約400部門に分類した産業連関表を用いることにより、財・サービスの生産に伴う影響が整合的に分析できるという長所がある。その反面、分析結果は各部門で生産されている多種多様な財・サービスの平均的な値とあることが短所として挙げられる。

### 2.1.3 ハイブリッド法

積み上げ法と産業連関法の長所を活かすために両手法を組み合わせたハイブリッド法がある<sup>32)-34)</sup>。ここでは、Suh(2005)<sup>32)</sup>の分類に基づいて、3種類のハイブリッド法①段階的ハイブリッド法(Tired hybrid analysis)、②産業連関表ベースハイブリッド法(IO-based hybrid analysis)、③統合的ハイブリッド法(Integrated hybrid analysis)の概要をまとめる。

#### ① 段階的ハイブリッド法(Tired hybrid analysis)

利用・廃棄段階などいくつかの重要なプロセスは積み上げ法で推計し、その他のプロセスは産業連関法で推計する分析手法である。積み上げ法は実態を反映した推計が可能である一方で、時間やコストなどの制約あるいはデータの欠如によってデータ入手が難しいことが多い。そこで、積み上げ法で得られた結果をベースに、データ入手が難しい上流側の影響などを産業連関法で補う方法である。

#### ② 産業連関表ベースハイブリッド法(IO-based hybrid analysis)

産業連関法では、製品の使用段階、廃棄段階などの情報がカバーできていない。また、新技術の情報は反映されていないなどの課題点がある。そのようなプロセスを積み上げ法で分析し、産業連関表と組み合わせ、産業連関表を拡張することで、産業連関分析単独では不足していた点を補う方法である。

#### ③ 統合的ハイブリッド法(Integrated hybrid analysis)

主たる素材の流れは積み上げ法で分析し、それ以外の部分は産業連関法で分析する方法である。段階型ハイブリッド法では、積み上げ法と産業連関法段階ですみ分けていたのに対し、統合型ハイブリッド法では、積み上げ法のカットオフのみに産業連関法を充てる手法となっている。例えば、産業連関表はリサイクル資材を差別化して分析することが出来ない。そこで、リサイクル資材の生産に伴う影

響は積み上げ法で分析し、その他の資材の分析は産業連関法を用いることで、分析の確度を高める手法である。

実際には、ハイブリッド法における積み上げ法と産業連関法の組み合わせ方法に関する明確な定義はなく、評価対象や評価目的、データ収集状況などに応じて使い分けられている<sup>33),34)</sup>。本研究では、バイオマス事業のライフサイクル評価に適したハイブリッド法を実用性に着目して検討する。

## 2.2 バイオマス事業の事業化プロセスに沿ったライフサイクル評価手法の検討

一般的なバイオマス事業の環境影響評価<sup>50)-53)</sup>では、ある地域の先行事例や実証プラントを対象として、バイオマス事業に伴う各種影響を明らかにすることが主たる目的であるため、事業者の状況を踏まえた実用的な評価手法にはなっていない。他方、事業者自身による評価実施を前提とした研究やガイドライン作成が国内で進んでいる。例えば、会計ルールに基づいたツール開発など<sup>54),55)</sup>や、バイオ燃料とバイオガス関連事業を対象としたライフサイクル GHG 排出量の推計に向け、環境省が公表している LCA ガイドライン<sup>56),57)</sup>がそれにあたる。また、重要なプロセスを積み上げ法で推計し、その他のプロセスを産業連関法で分析するハイブリッド法の提案<sup>58),59)</sup>などが行われている。

しかしながら、先行研究の手法がバイオマス事業の構想段階から実施段階までの事業化プロセスのどの段階で適用可能なのかは明らかになっておらず、また、バイオマスの事業化プロセスの構成やその内容に関する情報整理が十分に行われていない。そこで、本研究では実用的なライフサイクル評価手法の検討における最初のステップとして、バイオマス事業の事業化プロセスでライフサイクル評価が実施できるタイミングやデータ状況に関する知見を得ることを目的とした実態調査を行った。

実態調査は神奈川県三浦市のバイオマス事業者を対象として、ホームページや内部資料を対象としたドキュメント調査と事業化プロセスに携わった経験を持つ三浦市役所職員の方へのヒアリング調査を 2013 年 5 月 13 日と 9 月 26 日の 2 回実施した。以下に調査結果の概要をまとめる。

図 2-3 は、神奈川県三浦市の事業化プロセスと各段階で利用可能なデータ種を示している。実際の事業化プロセスは、①事業化検討、②合意形成、③プラント設計、④建設・運転の 4 段階に、また、ライフサイクル評価に利用可能なデータ種は、想定値、

設計値、実績値の 3 種類にわけることができる。想定値は国内外の先行事例などを参考に作成した情報（プラント建設費や運用費の簡易な試算値）であり、設計値はプラントエンジニアリング等で作成してもらった導入事業の設計情報、実績値は実際の稼働後に得られる実態を反映した情報となっている。

先行研究や国の公表しているガイドラインは、設計値や実績値のような導入検討事業の比較的詳細な情報を必要とする評価手法となっている。しかしながら、実際には事業化プロセスの進捗状況に応じて、想定値のように限られた情報を活用できる評価手法と、設計値や実績値のように個別の事業システムが反映された詳細な情報を活用した評価手法がそれぞれ必要であることがわかる。また、事業化プロセスの前半では、選択した事業の一般的な効果の把握・理解が重要であるのに対し、事業化プロセスの後半では、より効果的な事業設計・改善に向けて事業導入による地域への影響などを把握する事が重要であるように、それぞれのタイミングでの評価実施の意義も異なってくる。そこで、本研究では事業化プロセスの前半に対しては、想定値の活用を前提とした実用的な評価手法の検討を行い、事業化プロセスの後半に対しては、設計値や実績値の活用を前提とした評価手法の検討を行う。

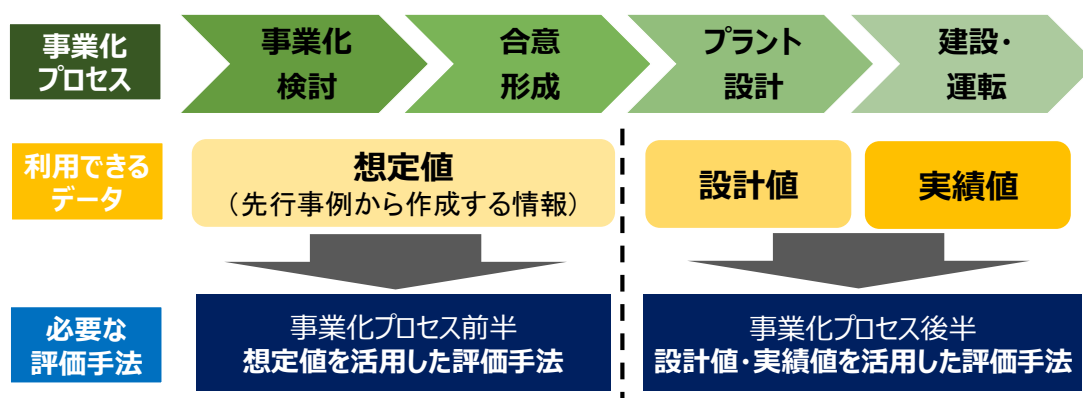


図 2-3 バイオマス事業の事業化プロセスと評価に利用可能なデータ種の整理

## 2.3 実用的なライフサイクル評価に向けた論点整理

本研究では、以下の 3 つの論点に従い、バイオマス事業の事業化プロセスに沿った実用的なライフサイクル評価手法を検討する。設定した論点は、事業化プロセスの前半では、①想定値を活用した実用的ライフサイクル評価手法、事業化プロセスの後半では、②設計値・実績値を活用した有益な情報作成手法、③作業負荷量と推計結果のバランスに着目したインベントリ分析手法の実用性に関する検討とした。

### 2.3.1 想定値の活用を前提とした簡易なライフサイクル評価手法

一般的に、想定値から評価をスタートする場合、追加的な情報収集を経て詳細な情報を整備する作業が生じる。しかしながら、事業化プロセスの前半は、導入する事業システムの検討前あるいは検討中の段階であるため、不確実性の大きい情報を基に評価実施に臨むことになる。そのため、詳細な情報作成に取り組めば相当の作業負荷量が生じるか、場合によってはその作業時間を確保することができず評価実施に至らない可能性が高い。実際、これまでバイオマス事業を対象とした調査<sup>10),58)</sup>において、導入効果に関する評価を実施しなかった理由として、やり方がわからない点が挙がっており、専門スキルの不足による課題が明らかとなっている。一方で、前節で行った事業者に対するヒアリング調査では、「事業化プロセスの前半で最も大変な作業は、利害関係者間の合意形成であり、そのときにライフサイクル評価の結果が得られていれば有用だった可能性がある」という回答も得ている。そのため、事業化プロセスの前半では、評価実施者のライフサイクル評価に対する専門的スキルが不足している状況であっても、ライフサイクル評価を実施できることが重要となる。そこで、第 1 の論点は、想定値を活用した簡易なライフサイクル評価手法とする。

この論点に対し、近年、再生可能エネルギーを用いた発電事業のように、比較的新しい技術の導入に伴うライフサイクル環境・社会経済影響評価において、産業連関表をベースにした分析が適用されている点に着目した。産業連関表は過去の生産活動を一覧にした統計情報であるため、新しい技術や実態に即した事業の評価を行う際には、対象となる技術・事業に関する独立した部門がない点が課題として生じる。すなわち、再生可能エネルギーを用いた発電事業の評価を行う場合、既存の産業連関表では発電に関する部門は事業用電力部門または自家発電部門となるが、それらは

表 2-1 拡張産業連関表を用いた再生可能エネルギーの評価研究例

対象技術	評価指標	著者
太陽光発電、風力発電	生産額、雇用量	松本, 本藤
地熱発電	雇用量	稗貫, 本藤
太陽光発電	生産額、付加価値額、CO <sub>2</sub>	水本, 内山, 岡島
風力発電(デンマーク)	生産額、雇用量、CO <sub>2</sub>	氏川
木質バイオマス発電	生産額、雇用量、CO <sub>2</sub>	Nakano, Washizu
再生可能エネルギーによる発電技術全般	生産額	森泉, 本藤, 中野

(既往研究<sup>61)-66)</sup>を参考に筆者作成)

主に火力発電から成る日本の電源構成の平均値であり、再生可能エネルギーによる発電の的確な評価が行えない。そのため、新たに再生可能エネルギー関連部門を作成し、組み込んだ拡張産業連関表の作成とそれを用いた評価研究が行われてきている(表 2-1)<sup>61)-66)</sup>。

拡張産業連関表は、評価対象となるシステムに関する詳細な情報を整備し、それを産業連関表に組み込むことで、当該システムのライフサイクル評価が容易に可能となるツールとして応用できる。つまり、拡張産業連関表が整備されれば、評価実施者は建設費と運用費を分析値として用意することで、容易にライフサイクル GHG 排出量と雇用量の評価実施が可能となる。そこで本研究では、バイオガス発電事業に関する詳細な積み上げ情報を整備し、それを産業連関表に組み込んだバイオガス発電事業部門拡張産業連関表の構築に取り組む(第 3 章)。

### 2.3.2 設計値・実績値の活用を前提とした有益な情報作成手法

事業化プロセスの後半に対しては、プラントエンジニアリング等を介して作成された設計値や実際の稼働に伴い得られる実績値のように詳細かつ実態に基づく情報が利用可能である。また、事業化プロセスの後半では導入する事業システムが比較的具體化しているため、より効果的なバイオマス事業の検討に向けたライフサイクル評価手法の検討が重要となる。

これまでの先行研究では、分析上で優先すべき活動については精緻なインベントリ分

析を行い、その他の活動は産業連関法などの平均的なインベントリ分析手法で分析するか、そもそも評価範囲に含めない方法で環境・社会経済影響評価を実施している研究は比較的多く行われている<sup>58),59),67)-72)</sup>。例えば、分析上の着眼点が導入地域に生じる影響のみである場合<sup>68)</sup>は、ヒアリング調査で実態を反映した方法が選択されている。また、導入地域とその近隣地域への影響を分析する場合<sup>69)-72)</sup>には、都道府県や市区町村レベルの地域産業連関表を活用した分析手法が選択されている。ただし、これらの研究では、着目している地域以外に生じる影響を議論に含めていない。事業導入に伴う影響は、実際には導入地域やその近隣地域にあたる自治体レベルに留まるものではなく、国内のその他地域や海外にも生じるため、いずれの場所で生じる影響も網羅的に含めて評価していくことが重要である。

また、導入事業に伴う影響の増加または減少量にのみ着目している研究が多いこともこれまでの研究における傾向として挙げられる。特定地域への事業導入は、当該地域にとってはプラスに働く一方で、他の地域においてはマイナスに働いてしまう可能性も考えられることから、事業導入に伴う影響はプラス面とマイナス面の両側面の差分として得られる「便益」によって評価していくことが重要となる。例えば、宮古島市のバイオエタノール事業の環境・社会経済影響評価を行っている研究<sup>58)</sup>では、事業導入に伴う影響を、積み上げ法と産業連関法を組み合わせたハイブリッド法で分析し便益の算出を行っている。ただし、この研究では産業連関法に国の産業連関表を用いているため、積み上げ法で推計した特定プロセス以外は、国の平均的な値であることから、導入地域または国における便益での評価に留まっている。そのため、例えば導入地域における便益を高める検討を行う際には、「国内のどこかで行われている特定プロセスを代替できれば、効果向上につながる可能性がある」といったような形で、空間的情報を十分に議論することができない。

このような学術的背景を受け、第 2 の論点は設計値・実績値を活用した有益な情報作成手法とし、本研究では、国と地域の産業連関表を併用することで、導入地域、近隣地域、国内、国外に生じる便益を的確に分析できる実用的なライフサイクル評価手法を提案する(第 4 章)。

### 2.3.3 インベントリ分析手法の実用性に関する検討

バイオマス事業のように多くのプロセスから成るシステムを対象とした評価実施においては、精緻な推計を優先的に行うプロセスと平均的な推計を行うプロセスを合理的に選別し、作業負荷量を過度に大きくしない工夫を行うことが実用的である。

第4章の提案手法は、この考えに沿って優先度の高いプロセスを積み上げ法で分析し、その他は産業連関法で分析するハイブリッド法によって、すべてのプロセスを積み上げ法で行うよりも、網羅的かつ作業負荷量の少ない評価を可能としている。同様の考えは環境省が公表しているバイオ燃料およびバイオガス関連事業を対象としたGHG排出量の推計に向けたLCAガイドライン<sup>56),57)</sup>にも踏襲されており、設備等の建設に関するインベントリ分析の実施において、実態に近いデータを用いた積み上げ法を優先することを推奨しながらも、積み上げ法は事業者への負担がかなり大きいことに配慮して、産業連関法の活用をひとつの手段として薦めている。

一般的な建物のライフサイクル環境影響評価<sup>73)-75)</sup>でも、煩雑なプロセスのインベントリ分析を実践的に行う手法として、主要資材やリサイクル材の製造プロセスは積み上げ法で推計し、その他の構成材製造や施工・組立工事は産業連関法を用いる方法が提案されている。また、建築学会の建物のLCA指針<sup>76)</sup>では産業連関表から得られる原単位を活用した推計方法がツール化されている。また同様に、一般的な設備機器のライフサイクル環境影響評価<sup>77),78)</sup>でも、評価対象に関する全てのデータ収集は困難であるとされ、結果に影響を及ぼすプロセスは積み上げ法で推計し、その他のプロセスは産業連関法で補完的に推計する手法の提案や、産業連関法で得られる結果を基準として、機器重量から簡易に推計するための関係式の導出が行われている。

このように評価対象に関する全てのデータ収集が難しく、インベントリ分析に時間と手間を要するプロセスで、推計結果に大きく影響しないと考えられる場合には、公の統計データである産業連関表の活用が行われてきていることがわかる。しかし、いずれの研究においても、産業連関法で得られた結果の妥当性については、言及がされているが、積み上げ法と比べて産業連関法がどの程度実用的なのか、すなわち作業負荷量がどれほど異なるかについての定量的な議論は十分に行われていない。

このような学術的背景を受け、本研究の第3の論点は、推計結果と作業量のバランスに着目したインベントリ分析手法の実用性に関する検討とした。本研究では、バイオマ

ス事業システムのプラント建設に伴うGHG排出量の推計を一例として、積み上げ法と産業連関法の比較を行いそれぞれの特徴を整理して、推計結果と作業量のバランスに着目した議論を行う(第5章)。

## 2.4 第2章まとめと各章の位置づけ

図2-4は、事業化プロセスを一般化して、本章で検討した学術的背景と論点および各章の位置づけを示している。実際のバイオマス事業に関する実態調査の結果より、事業化プロセスを一般化すると、構想、計画、設計、施工、運用の5段階に分けることができる。評価に活用できるデータ種は、構想・計画段階は想定値、設計から施工完了までは設計値、施工完了後と運用段階では実績値となる。このことから、事業化プロセスの前半(構想・計画段階)は、事業が具体化する前段階であるため、他の先行事例等から作成した想定値のように粗い情報を活用した評価手法が必要となる。他方、事業化プロセスの後半(設計・施工・運用段階)では、設計値や実績値のように詳細な情報を活用した評価手法が必要であることがわかる。

この結果を受け、まず事業化プロセスの前半に対し第1の論点を、想定値を活用した簡易なライフサイクル評価手法とした。そして近年、再生可能エネルギーによる発電技術の環境・社会経済影響評価に広く用いられている拡張産業連関表に着目した。拡張産業連関表は、作成すれば建設費と運用費を用いることによってライフサイクル評価が可能な簡易評価ツールとなる。そこでの本研究では、第3章において簡易な事業評価実施に向けたバイオガス発電事業部門拡張産業連関表の構築に取り組む。

次に、事業化プロセスの後半に対し第2の論点を、設計値・実績値を活用した有益な情報作成手法とした。これまでの学術的背景を踏まえると、バイオマス事業の導入に伴う影響を評価していく上では、①導入地域やその近隣地域(自治体など)のみへの影響だけでなく、国内外への影響も含めた社会スケールでの分析と、②事業導入に伴う影響のプラス面とマイナス面を考慮し両側面の差分として得られる便益での評価が重要となる。そこで第4章では、評価研究例が比較的少ないライフサイクル社会経済影響評価を一例として、事業導入に伴う影響が生じる地域に着目したライフサイクル評価手法を提案する。

また、第3の論点は作業負荷量と推計結果のバランスに着目したインベントリ分析手



法の実用性に関する検討とした。事業化プロセスの後半のように、詳細な情報を用いた分析を行っていく際には、実用性の観点から、積み上げ法と産業連関法を組み合わせた手法提案が行われてきているが、両手法の作業負荷量がどれほど異なるのかについての定量的な分析はこれまで十分に行われていない。そこで、第 5 章では、バイオマス事業のライフサイクル評価の中でも推計作業が煩雑であり、簡易手法の適用可能性が高いバイオマスプラント建設に伴う GHG 排出量の推計を対象として、インベントリ分析手法の実用性に着目した基礎的分析に取り組む

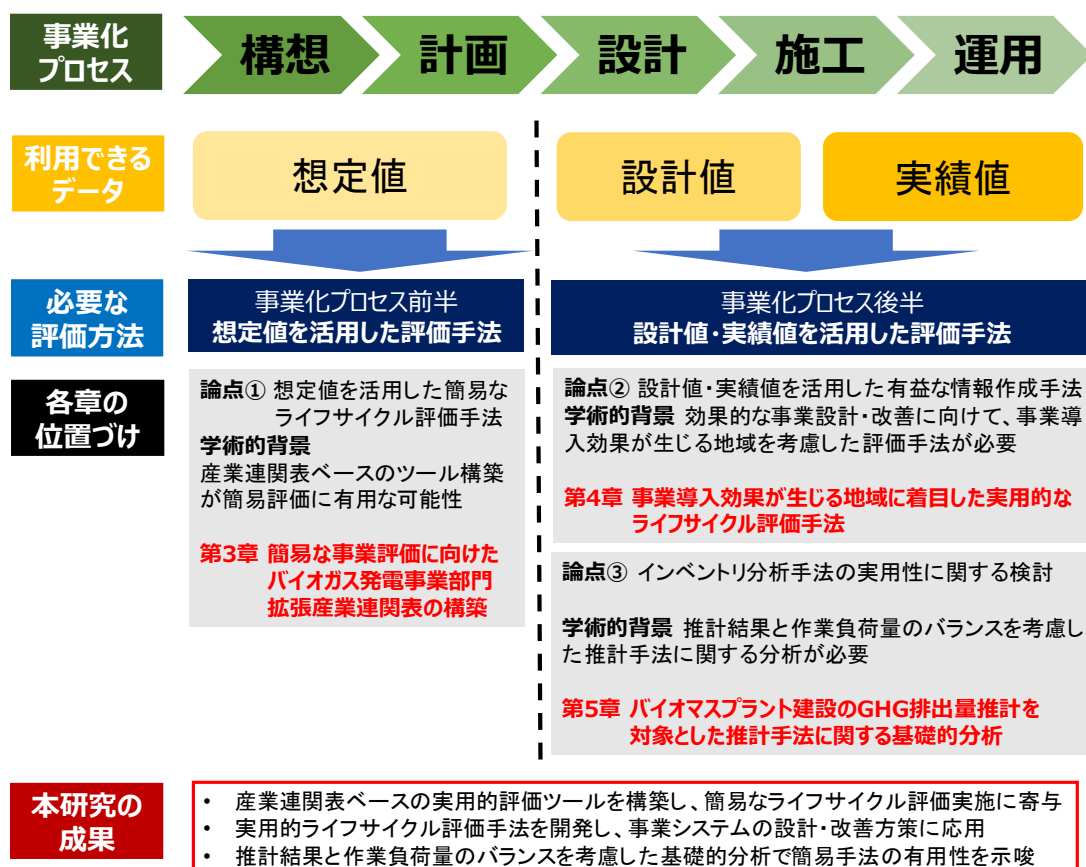


図 2-4 事業化プロセスに沿った論点整理および各章の位置づけ

## 第3章 簡易な事業評価に向けたバイオガス発電事業部門拡張産業連関表の構築

### 3.1 はじめに

第3章では、事業化プロセスの前半において、事業者の有している情報が限定的であるという状況の下で、簡易な評価実施を可能とするためのツール構築を行う。また、作成したツールを用いて、バイオガス発電事業のライフサイクル環境・社会経済影響評価を行いバイオガス発電事業の特性を明らかにする。

具体的には、原料種が異なる2種類のバイオガス発電事業を対象に、バイオガス発電事業拡張産業連関表(以下、拡張表)を構築する。対象としたバイオガス発電事業の原料種は、家畜排せつ物と厨芥類である。厨芥類は、食品廃棄物のうちの家庭および事業で生じる生ごみを指す。対象とした2種類のバイオガス発電事業に関する詳細なコストデータを収集・作成し、既存の産業連関表に組み込むことで、拡張表を作成し、作成した表を用いて、評価対象プラントのライフサイクル GHG 排出量および雇用量の評価を行った。

### 3.2 バイオガス発電事業部門拡張産業連関表の作成

拡張表は、既存の産業連関表<sup>38)</sup>の投入係数表にバイオガスプラント建設部門(以下、バイオ建設)とバイオガス発電運用部門(以下、バイオ運用)の投入係数ベクトル(列ベクトル)を組み込んで作成する。産業連関表の投入額(列)ベクトルのバランスは、式3-1で表され、中間投入額を総生産額で除した値が、投入係数となる。

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} + V_i = X_i \quad \text{式 3-1}$$

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{X_j} \quad \text{式 3-2}$$

ここで、 $x_{ij}$ は部門*i*から部門*j*への中間投入額[百万円]、 $V_j$ は部門*j*の粗付加価値額[百

万円]、 $X_j$ は部門 $j$ の総生産額[百万円]、 $a_{ij}$ は部門 $i$ から部門 $j$ への投入係数である。

図 3-1 は拡張表の作成手順を示している。まず、国内のバイオマス事業の実施状況を整理して、稼働実績があるプラントをモデルプラントとして設定し、プラント事業者から建設費・運用費を入手する。その情報をベースとして、追加的なヒアリング調査や公の報告書から情報を得て、生産構造の特性が的確に反映されるように詳細なコストデータを作成する。作成したコストデータの全費用項目を既存の産業連関表の基本分類(約 400 部門)に格付けした投入額ベクトルを作成し、各部門の国内生産額で投入額ベクトルを除すことで、投入係数ベクトルを作成する。投入係数ベクトルは、バイオ建設・運用部門でそれぞれプラント建設やバイオガス発電事業における生産活動の特性を表現しているベクトルである。最後に作成した投入係数ベクトルを既存の産業連関表に組み込むことで、拡張表が完成する。

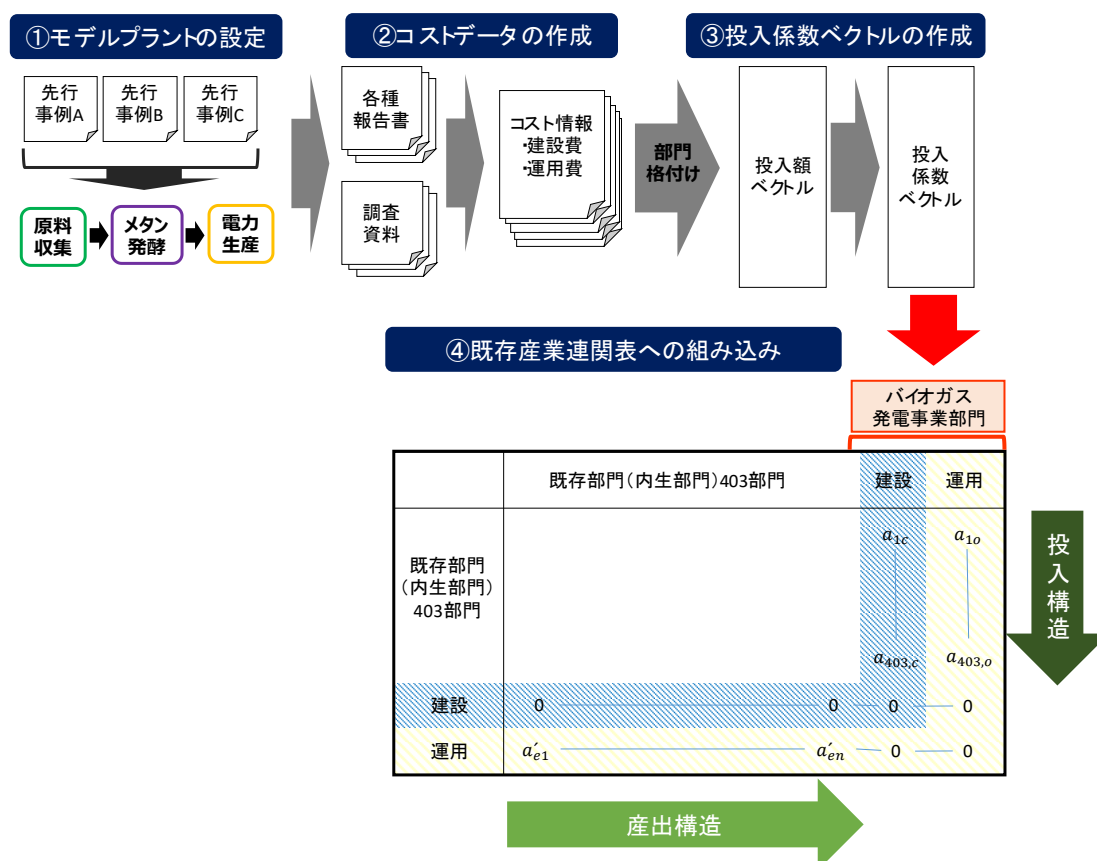


図 3-1 バイオガス発電事業部門拡張産業連関表の作成手順

### 3.2.1 モデルプラント設定

バイオマスの利用状況<sup>9)</sup>を整理すると、もともと家畜排せつ物や下水汚泥などの廃棄物はマテリアル利用が行われていたため、収集・利用意識は高く、その選択肢の一つとしてエネルギー利用の促進が期待されている。一方、食品廃棄物の利用率は低く、メタン発酵処理を積極的に進めていくことが課題となっている。また、2012年7月にスタートしたFIT<sup>6)</sup>では、廃棄物系バイオマスを用いたバイオガス発電事業は、他の技術よりも比較的高い買取価格(39円/kWh(税抜き))が設定されたため、自治体などを中心に事業導入の検討が広く行われ始めている。本研究では、家畜排せつ物を用いたバイオガス発電事業(以下、家畜バイオ)と厨芥類を用いたバイオガス発電事業(以下、厨芥バイオ)の2種の事業に着目した。

#### 3.2.1.1 家畜排せつ物を用いたバイオガス発電事業

家畜バイオは、北海道における乳牛ふん尿の活用を中心として、個人の牧場に導入される場合(発電規模数10kW)と、ある地域で複数の牧場を対象とした共同処理施設(発電規模数100kW)を建設し行われる場合に分けることができる<sup>7)</sup>。FIT開始以降は比較的規模の大きい、共同処理施設型のバイオガス発電事業の実施計画が増えている。例えば、別海町(600kW×3基)<sup>80),81)</sup>や鹿追町(250kW×4基)<sup>82)</sup>などで新たな事業実施が公表されている。

これまで、家畜排せつ物の多くは酪農家が個別に堆肥化を行い有機肥料として有効利用されている。その一方で、単に積み上げて放置する「野積み」や、地面に穴を掘り貯めておく「素掘り」など不適切な処理・保管が問題<sup>83)</sup>となっており、悪臭や水質汚染といった環境問題の原因ともなっている。このような背景から、家畜排せつ物のエネルギー利用は、自治体主導で行われてきている事業のように、比較的規模の大きい事業導入が今後も積極的に進んでいくことが予想される。

本研究では、2007年10月から稼働している事業者の協力を得て、実際の稼働状況を反映したモデルプラントの設定を行った。図3-2は家畜バイオのシステムを示している。また、表3-1にプラントの概要をまとめた。家畜排せつ物を収集し、メタン発酵を経てバイオガス発電を行っている。副産物として生じる発酵残渣(消化液)は、貯留槽で貯留して有機肥料として販売する。処理能力は95t/日とした。処理方式は中温式の嫌気性発

酵で、バイオガス生成量はおよそ 3,400m<sup>3</sup>/日、消化液が 81t/日となっている。原料収集範囲は、新設したプラントから 4km 圏内とし、定格出力が 308kW の発電機を有する施設とした。設備利用率は 72%で年間発電量がおよそ 1,900MWh である。自家消費率は 16.4%で余剰電力は FIT を活用して売電するシステムとなっている。

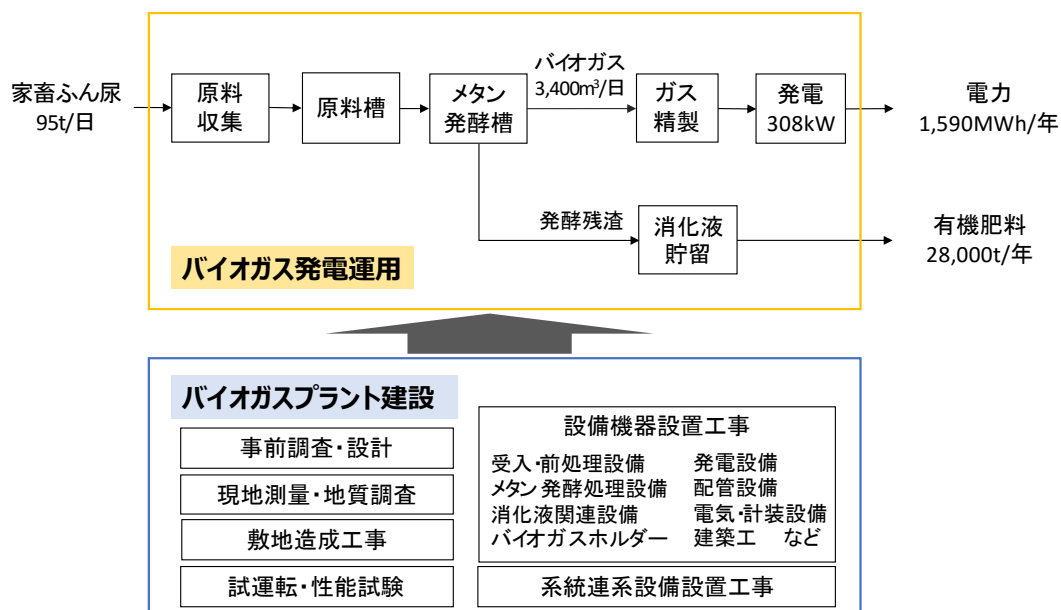


図 3-2 家畜バイオの事業システム

表 3-1 家畜バイオのプラント概要

施設概要
<b>主要設備</b> 原料槽（コンクリート製、長方形） 発酵槽1（コンクリート製、長方形）、発酵槽2（コンクリート製、円柱形） 殺菌槽（コンクリート製、長方形） 消化液貯留槽（グラスライニング鋼板製、円柱形）、ガスホルダ
<b>主要機器</b> プロペラ式攪拌機、バドル式攪拌機 油圧式ピストンポンプ、スクルー式移送ポンプ、くみ上げポンプ
<b>バイオガス利用機器</b> 発電機（ガス専焼タイプ）、温水ボイラ、蒸気ボイラ、余剰ガス燃焼装置
<b>脱硫方式</b> 生物式脱硫（発酵槽2上部に併設）、乾式脱硫（活性炭を使用）

（家畜バイオの事業者ホームページ<sup>84</sup>）を参考に筆者作成）

### 3.2.1.2 厨芥類を用いたバイオガス発電事業

バイオマス活用基本推進基本計画<sup>9)</sup>に明文化されているように、食品廃棄物は廃棄物系バイオマスの中でも利用率(27%)が低く、メタン発酵によるエネルギー利用の促進が必要となっている。また、廃棄物処理施設の老朽化問題<sup>83)</sup>もあるため、施設更新を機に新たな分別収集システムを構築し、メタン発酵施設の導入を検討が進む可能性が大きい。これまでの取組では、食品関連工場等で産業廃棄物対策(ビール、焼酎かすなど)として導入しているケースも多くみられる<sup>79)</sup>が、本研究では食品廃棄物のうち地域の一般家庭から生じる生ごみと業務用生ごみを対象としたバイオガス発電事業を対象として、これまでの先行事例の情報を集約したモデルプラントを設定した。

図 3-3 は、厨芥バイオのシステムを示している。また、表 3-2 にプラントの概要をまとめた。地域内で発生する家庭用生ごみと事業用生ごみを収集し、メタン発酵を経てバイオガス発電を行っている。発酵残渣は汚泥乾燥器で燃料化して販売する。受入能力は65t/日であり、家庭用生ごみは週2回の収集、事業用生ごみは持ち込みとしている。処理方法は中温式の嫌気性発酵で、バイオガス生成量はおよそ8,900Nm<sup>3</sup>/日である。発電機は定格出力が560kWのガスエンジン発電機である。設備利用率は72%で、年間発電量がおよそ3,550MWhである。ここでは、FIT制度の活用を前提としており、発電に必要な電力は自家消費(発電量のうち自家消費率13.9%)を行い、メタン発酵処理などその他の工程に必要な電力は外部からの購入としている。また、モデルプラントは、他の廃棄物関連処理施設に隣接して建設されることを想定している。集めてきた厨芥類の15%は発酵不適物であり、受入設備で分別したあと隣の清掃工場で処理する前提となっているため、発酵不適物の処理にかかる経費(例えば輸送費)などは、ほとんど必要としない。もし、このような施設との隣接が困難な場合には、追加的な経費が生じることに留意が必要となる。

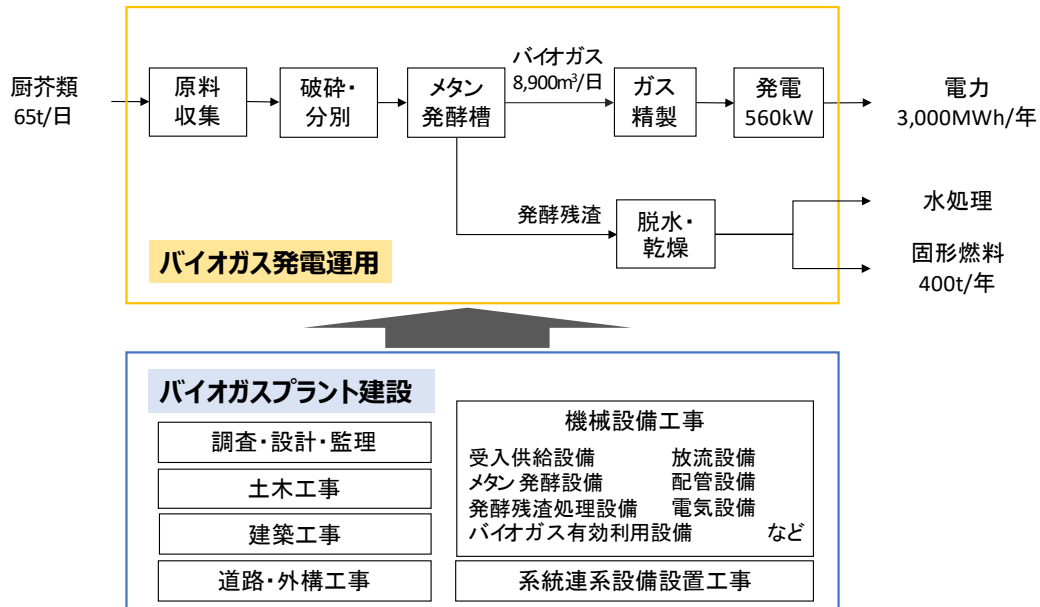


図 3-3 厨芥バイオの事業システム

表 3-2 厨芥バイオのプラント概要

施設概要	備考
<b>主要設備</b>	
受入供給設備	受入貯留槽、破碎装置、原料混合槽、不適物除去装置、不適物貯留装置、計量装置
発酵設備	発酵槽、加温設備
発酵残渣処理設備	脱水機、乾燥機、集塵機、脱臭炉、脱水・乾燥残渣貯留ホップ、造粒装置
バイオガス精製設備	生物脱硫塔、乾式脱硫装置、余剰ガス脱硫装置、ガスホルダー
バイオガス有効利用設備	ガス供給ユニット、ガスエンジン発電機、脱硫装置、冷却装置、尿素貯留槽
脱臭設備	高濃度臭気ミストセパレータ、活性炭吸着塔、薬液洗浄脱臭塔、脱酸貯留槽
取排水設備	生活用水給水装置、圧縮機、除湿器
<b>主要機器</b>	
運搬機械（生ごみ移送装置、不適物搬送装置、投入・排出コンベヤ、乾燥汚泥コンベヤ）	
熱交換器	
原料投入ポンプ、混合槽循環ポンプ、調整槽攪拌ポンプ、発酵物循環ポンプ、発酵液貯留槽攪拌ポンプ、放流用希釈ポンプ、放流水ポンプ、生物脱硫循環・攪拌・排水ポンプ、冷却水ポンプ、温水回収ポンプ、酸・アルカリ循環ポンプ、酸注入ポンプ、下水処理水移送ポンプ	
廃グリセリンタンク、消泡剤タンク、補給水タンク、温水タンク	
脱水機架台、脱水機用チェーンブロック、メンテ用チェーンブロック	
循環ファン、燃焼ファン、高濃度・低濃度臭気ファン、生物脱硫空気ブロウ	

（事業者からの受領資料を参考に筆者作成）

### 3.2.2 コストデータの作成

モデルプラントの設定に従い、それぞれ事業システムの特徴が反映された詳細なコストデータの作成を行った。公表されている報告書に基づいて、一般的な費用構成を設定し、事業者へのヒアリング調査で得られた実績値を使用して、実態を反映した詳細なコストデータになるようにした。

報告書などの対外的な情報の場合、建設費・運用費などの大きな費用項目で一括計上されており、細かい情報は公表されていないことが多い。例えば建設費は、資材費、設備機器費、施工等のサービス費用、労務費などが一括で表記されている。このような粗い費用をそのまま分析ツール作成に用いると、平均的な資材・製品・サービス・労務費の比率で経済的な波及効果が計算され、実態とのかい離が生じる場合がある。そのような差異をなくすために、追加的なヒアリング調査の実施や、工事歩掛り<sup>86)-89)</sup>を参考にして、特徴的な生産活動がわかるレベルまで費用項目を細分化した。例えば、工事費 $x$ 万円という一括表記がされていた場合、資材、サービス、労務費の区別がつくレベルまで細分化を行っている。また、設備費に関しても設備・機器本体の費用と設置工事費を合算して表記している情報が多いため、設備・機器費と労務費がわかるレベルまで細分化している。最終的に建設費は資材種、燃料種、設備、機器、部材、各種サービスおよび労務費等が区別された詳細な情報となる。

他方、運用費はヒアリング調査で得られた比較的詳細なデータに基づいてコストデータを作成した。また、長期的なメンテナンス等による修繕費を経年劣化に伴う必要経費であると考え、推計した値を反映したコストデータの作成を行った。図 3-4、図 3-5 は運用期間を 20 年として計算したそれぞれの事業システムの運用費の構成を示している。このように長期運用に伴う経費を含めたコストデータを作成し、運用期間 20 年で按分した 1 年間あたりの運用費を作成した。

最終的に細分化されたコストデータは、家畜バイオは建設費が 888 項目、運用費が 111 項目であり、厨芥バイオは建設費が 941 項目、運用費は 99 項目となった。図 3-6、図 3-7 は事業システムの建設・運用費のコスト構成比を示している。分類上はどちらもバイオガス発電であるが、原料種、規模、発酵残渣の処理方法が異なるため、コスト構成も事業システムによって異なっていることがわかる。例えば、厨芥類の場合、発生密度が低いため原料収集に要する労力が大きく、人件費増加につながっている。また、厨芥



バイオは、脱臭・脱窒などに必要な薬品費が家畜バイオよりも大きいことがわかる。

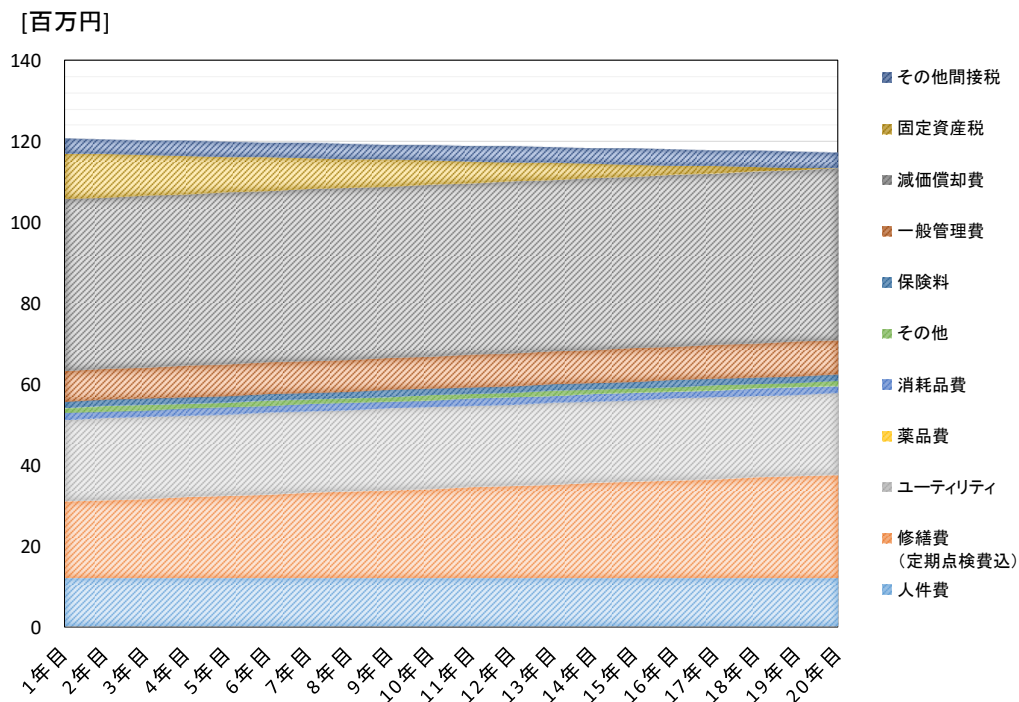


図 3-4 家畜バイオの運用費推移(20年間)

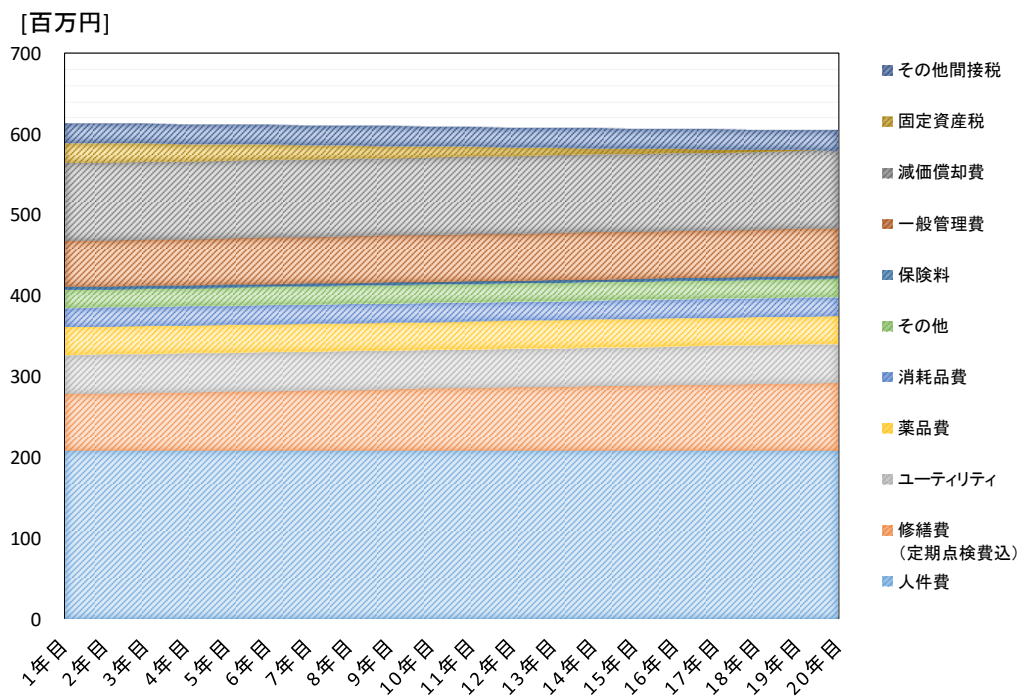


図 3-5 厨芥バイオの運用費推移(20年間)

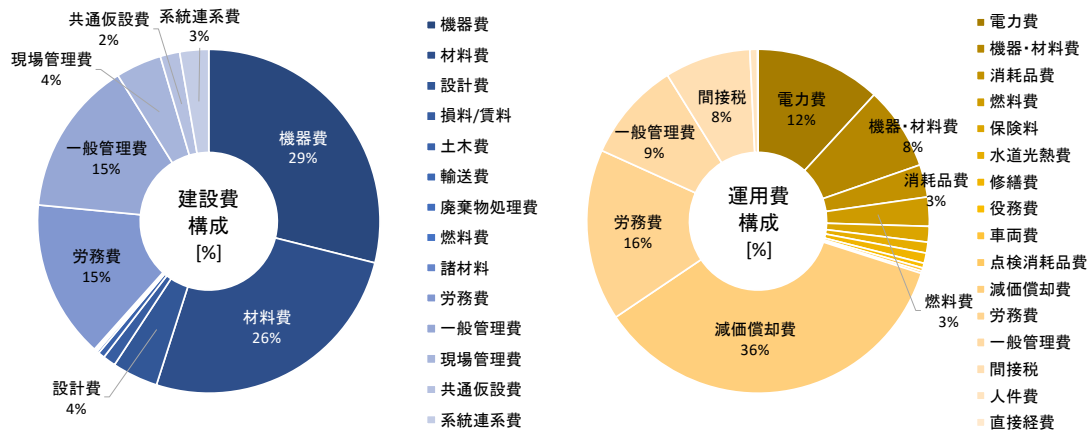


図 3-6 家畜バイオの建設費・運用費の構成

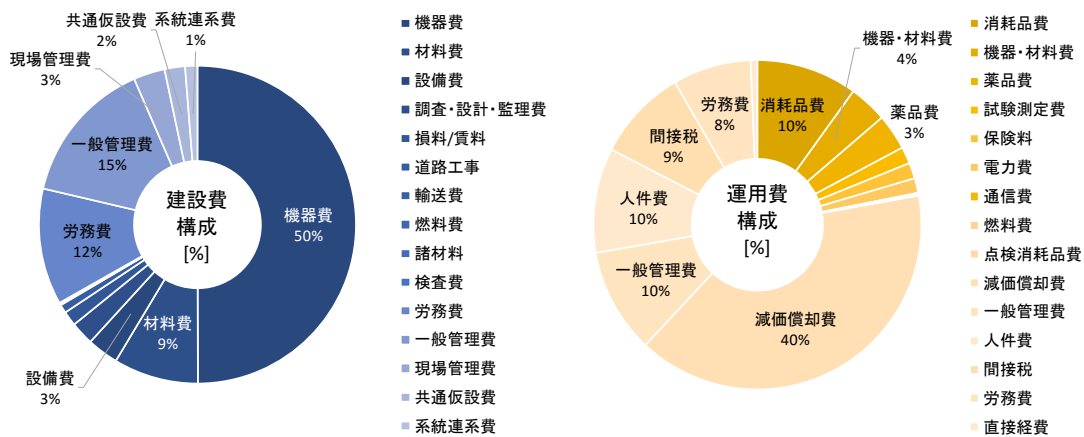


図 3-7 厨芥バイオの建設費・運用費の構成

### 3.2.3 新設部門の投入係数ベクトルの作成

次に細分化した 4 つのコスト情報(家畜バイオ建設、家畜バイオ運用、厨芥バイオ建設、厨芥バイオ運用)の各費用項目を、既存の産業連関表の部門(基本分類 403 部門+粗付加価値部門)に格付けて、投入額ベクトルの作成を行う。なお、日本の最新の産業連関表は 2011 年表<sup>90)</sup>であるが、公表されている GHG 排出係数<sup>48)</sup>は 2005 年表に対応した値が最新となっているため、本研究は 2005 年の産業連関表<sup>91)</sup>を用いて拡張表の作成を行っていく。そのため、費用項目は 2005 年の部門分類に格付けを行った。部門格付けによってできたベクトルが投入額ベクトルであり、投入額ベクトルを国内生産額(費用合計)で除した値が投入係数ベクトルとなる。投入係数ベクトルは、家畜バイオ建設部門、家畜バイオ運用部門、厨芥バイオ建設部門、厨芥バイオ運用部門の 4 本を作成した(表 3-3~表 3-8)。

表 3-3 家畜バイオ・厨芥バイオの投入係数ベクトル(1/6)

403部門	6桁コード	I/O表部門名	家畜バイオ		厨芥バイオ	
			バイオ建設部門	バイオ運用部門	バイオ建設部門	バイオ運用部門
1	11101	米	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	11102	麦類	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	11201	いも類	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	11202	豆類	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	11301	野菜	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	11401	果実	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	11501	砂糖原料作物	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	11502	飲料用作物	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	11509	その他の食用耕種作物	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	11601	飼料作物	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	11602	種苗	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000
12	11603	花き・花木類	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	11609	その他の非食用耕種作物	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
14	12101	酪農	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15	12102	鶏卵	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
16	12103	肉鶏	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
17	12104	豚	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
18	12105	肉用牛	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
19	12109	その他の畜産	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20	13101	獣医薬	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
21	13102	農業サービス(除獣医薬)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
22	21101	育林	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23	21201	素材	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
24	21301	特用林産物(含狩猟業)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
25	31101	海面漁業	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
26	31104	海面養殖業	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
27	31201	内水面漁業・養殖業	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
28	61101	金属鉱物	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
29	62101	窯業原料鉱物	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	62201	砂利・採石	0.0004	0.0002	0.0040	0.0002
31	62202	碎石	0.0004	0.0000	0.0003	0.0000
32	62909	その他の非金属鉱物	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
33	71101	石炭・原油・天然ガス	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
34	111101	と畜(含肉鶏処理)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
35	111201	肉加工品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
36	111202	畜産びん・かん詰	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
37	111203	酪農品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
38	111301	冷凍魚介類	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
39	111302	塩・干・くん製品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40	111303	水産びん・かん詰	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
41	111304	ねり製品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
42	111309	その他の水産食品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
43	111401	精穀	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
44	111402	製粉	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
45	111501	めん類	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
46	111502	パン類	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
47	111503	菓子類	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
48	111601	農産びん・かん詰	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
49	111602	農産保存食料品(除びん・かん詰)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50	111701	砂糖	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
51	111702	でん粉	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
52	111703	ぶどう糖・水あめ・異性化糖	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
53	111704	植物油脂	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
54	111705	動物油脂	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
55	111706	調味料	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
56	111901	冷凍調理食品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
57	111902	レトルト食品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
58	111903	そう菜・すし・弁当	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
59	111904	学校給食(国公立)★★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60	111905	学校給食(私立)★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
61	111909	その他の食料品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
62	112101	清酒	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
63	112102	ビール	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
64	112103	ウイスキー類	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
65	112109	その他の酒類	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
66	112901	茶・コーヒー	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
67	112902	清涼飲料	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
68	112903	製氷	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
69	113101	飼料	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70	113102	有機質肥料(除別掲)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

表 3-4 家畜バイオ・厨芥バイオの投入係数ベクトル(2/6)

403部門	6桁コード	I/O表部門名	家畜バイオ		厨芥バイオ	
			バイオ建設部門	バイオ運用部門	バイオ建設部門	バイオ運用部門
71	114101	たばこ	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
72	151101	紡績糸	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
73	151201	綿・スフ織物 (含合繊短繊維織物)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
74	151202	絹・人絹織物 (含合繊長繊維織物)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
75	151203	毛織物・麻織物・その他の織物	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
76	151301	ニット生地	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
77	151401	染色整理	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
78	151901	綱・網	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
79	151902	じゅうたん・床敷物	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80	151903	繊維製衛生材料	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
81	151909	その他の繊維工業製品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
82	152101	織物製衣服	0.0000	0.0003	0.0000	0.0004
83	152102	ニット製衣服	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
84	152209	その他の衣服・身の回り品	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001
85	152901	寝具	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
86	152909	その他の繊維既製品	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
87	161101	製材	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
88	161102	合板	0.0001	0.0003	0.0001	0.0004
89	161103	木材チップ	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90	161909	その他の木製品	0.0006	0.0005	0.0000	0.0007
91	171101	木製家具・装備品	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
92	171102	木製建具	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
93	171103	金属製家具・装備品	0.0002	0.0000	0.0003	0.0000
94	181101	パルプ	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
95	181201	洋紙・和紙	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
96	181202	板紙	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
97	181301	段ボール	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
98	181302	塗工紙・建設用加工紙	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001
99	182101	段ボール箱	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100	182109	その他の紙製容器	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
101	182901	紙製衛生材料・用品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
102	182909	その他のパルプ・紙・紙加工品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
103	191101	印刷・製版・製本	0.0001	0.0000	0.0000	0.0003
104	201101	化学肥料	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018
105	202101	ソーダ工業製品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0164
106	202901	無機顔料	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
107	202902	圧縮ガス・液化ガス	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
108	202903	塩	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
109	202909	その他の無機化学工業製品	0.0000	0.0048	0.0000	0.0211
110	203101	石油化学基礎製品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
111	203102	石油化学系芳香族製品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
112	203201	脂肪族中間物	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
113	203202	環式中間物	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
114	203301	合成ゴム	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
115	203901	メタン誘導品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0044
116	203902	油脂加工製品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
117	203903	可塑剤	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
118	203904	合成染料	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
119	203909	その他の有機化学工業製品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120	204101	熱硬化性樹脂	0.0004	0.0000	0.0001	0.0000
121	204102	熱可塑性樹脂	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
122	204103	高機能性樹脂	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
123	204109	その他の合成樹脂	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
124	205101	レーヨン・アセテート	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
125	205102	合成繊維	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
126	206101	医薬品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
127	207101	石けん・合成洗剤・界面活性剤	0.0000	0.0004	0.0000	0.0010
128	207102	化粧品・歯磨	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
129	207201	塗料	0.0010	0.0000	0.0003	0.0000
130	207202	印刷インキ	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
131	207301	写真感光材料	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
132	207401	農薬	0.0000	0.0002	0.0000	0.0002
133	207901	ゼラチン・接着剤	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
134	207909	その他の化学最終製品	0.0001	0.0002	0.0000	0.0041
135	211101	石油製品	0.0006	0.0313	0.0018	0.0173
136	212101	石炭製品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
137	212102	舗装材料	0.0006	0.0000	0.0014	0.0000
138	221101	プラスチック製品	0.0112	0.0013	0.0050	0.0007
139	231101	タイヤ・チューブ	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140	231901	ゴム製履物	0.0000	0.0004	0.0000	0.0006

表 3-5 家畜バイオ・厨芥バイオの投入係数ベクトル(3/6)

403部門	6桁コード	I/O表部門名	家畜バイオ		厨芥バイオ	
			バイオ建設部門	バイオ運用部門	バイオ建設部門	バイオ運用部門
141	231902	プラスチック製履物	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
142	231909	その他のゴム製品	0.0002	0.0013	0.0002	0.0025
143	241101	革製履物	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
144	241201	製革・毛皮	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
145	241202	かばん・袋物・その他の革製品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
146	251101	板ガラス・安全ガラス	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
147	251201	ガラス繊維・同製品	0.0001	0.0002	0.0001	0.0000
148	251909	その他のガラス製品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
149	252101	セメント	0.0003	0.0000	0.0023	0.0000
150	252201	生コンクリート	0.0049	0.0000	0.0110	0.0000
151	252301	セメント製品	0.0044	0.0002	0.0026	0.0000
152	253101	陶磁器	0.0007	0.0000	0.0003	0.0000
153	259901	耐火物	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
154	259902	その他の建設用土石製品	0.0003	0.0000	0.0003	0.0000
155	259903	炭素・黒鉛製品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
156	259904	研磨材	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
157	259909	その他の窯業・土石製品	0.0003	0.0000	0.0002	0.0000
158	261101	鉄鉄	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
159	261102	フェロアロイ	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160	261103	粗鋼（転炉）	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
161	261104	粗鋼（電気炉）	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
162	2612011	鉄屑	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
163	262101	熱間圧延鋼材	0.0038	0.0000	0.0152	0.0000
164	262201	鋼管	0.0025	0.0003	0.0045	0.0001
165	262301	冷間仕上鋼材	0.0003	0.0000	0.0001	0.0000
166	262302	めっき鋼材	0.0003	0.0000	0.0001	0.0000
167	263101	鑄鍛鋼	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
168	263102	鑄鉄管	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
169	263103	鑄鉄品及び鍛工品（鉄）	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170	264901	鉄鋼シャースリット業	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
171	264909	その他の鉄鋼製品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
172	271101	銅	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
173	271102	鉛・亜鉛（含再生）	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
174	271103	アルミニウム（含再生）	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
175	271109	その他の非鉄金属地金	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
176	2712011	非鉄金属屑	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
177	272101	電線・ケーブル	0.0157	0.0012	0.0036	0.0003
178	272102	光ファイバケーブル	0.0014	0.0000	0.0002	0.0000
179	272201	伸銅品	0.0011	0.0001	0.0003	0.0000
180	272202	アルミ圧延製品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
181	272203	非鉄金属素形材	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
182	272204	核燃料	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
183	272209	その他の非鉄金属製品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
184	281101	建設用金属製品	0.0252	0.0149	0.0040	0.0000
185	281201	建築用金属製品	0.0134	0.0008	0.0064	0.0001
186	289101	ガス・石油機器及び暖房機器	0.0009	0.0000	0.0077	0.0002
187	289901	ボルト・ナット・リベット及びスプリング	0.0004	0.0004	0.0000	0.0014
188	289902	金属製容器及び製缶板金製品	0.0001	0.0009	0.0092	0.0006
189	289903	配管工事付属品・粉末や金製品・道具類	0.0005	0.0002	0.0004	0.0005
190	289909	その他の金属製品	0.0015	0.0005	0.0011	0.0000
191	301101	ボイラ	0.0468	0.0027	0.0000	0.0000
192	301102	タービン	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
193	301103	原動機	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
194	301201	運搬機械	0.0002	0.0000	0.0242	0.0005
195	301301	冷凍機・温湿調整装置	0.0174	0.0010	0.0063	0.0001
196	301901	ポンプ及び圧縮機	0.0004	0.0039	0.0255	0.0005
197	301902	機械工具	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
198	301909	その他の一般産業機械及び装置	0.0000	0.0000	0.0044	0.0001
199	302101	建設・鉱山機械	0.0000	0.0000	0.0273	0.0006
200	302201	化学機械	0.0265	0.0179	0.2268	0.0046
201	302301	産業用ロボット	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
202	302401	金属工作機械	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
203	302402	金属加工機械	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
204	302901	農業用機械	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
205	302902	繊維機械	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
206	302903	食品機械・同装置	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
207	302904	半導体製造装置	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
208	302905	真空装置・真空機器	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
209	302909	その他の特殊産業用機械	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
210	303101	金型	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

表 3-6 家畜バイオ・厨芥バイオの投入係数ベクトル(4/6)

403部門	6桁コード	I/O表部門名	家畜バイオ		厨芥バイオ	
			バイオ建設部門	バイオ運用部門	バイオ建設部門	バイオ運用部門
211	303102	ヘアリング	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000
212	303109	その他の一般機械器具及び部品	0.0004	0.0000	0.0012	0.0000
213	311101	複写機	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
214	311109	その他の事務用機械	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
215	311201	サービス用機器	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
216	321101	回転電気機械	0.1994	0.0115	0.0536	0.0011
217	321102	変圧器・変成器	0.0001	0.0000	0.0011	0.0000
218	321103	開閉制御装置及び配電盤	0.0380	0.0042	0.0173	0.0003
219	321104	配線器具	0.0012	0.0001	0.0014	0.0000
220	321105	内燃機関電装品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
221	321109	その他の産業用電気機器	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
222	322101	電子応用装置	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
223	323101	電気計測器	0.0135	0.0015	0.0068	0.0001
224	324101	電球類	0.0003	0.0000	0.0007	0.0000
225	324102	電気照明器具	0.0010	0.0001	0.0019	0.0000
226	324103	電池	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
227	324109	その他の電気機械器具	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
228	325101	民生用エアコンディショナ	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
229	325102	民生用電気機器（除エアコン）	0.0011	0.0000	0.0035	0.0001
230	331101	ビデオ機器	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000
231	331102	電気音響機器	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000
232	331103	ラジオ・テレビ受信機	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
233	332101	有線電気通信機器	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000
234	332102	携帯電話機	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
235	332103	無線電気通信機器（除携帯電話機）	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
236	332109	その他の電気通信機器	0.0011	0.0001	0.0005	0.0000
237	333101	パーソナルコンピュータ	0.0000	0.0005	0.0000	0.0006
238	333102	電子計算機本体（除パソコン）	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
239	333103	電子計算機付属装置	0.0030	0.0015	0.0000	0.0016
240	341101	半導体素子	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
241	341102	集積回路	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
242	342101	電子管	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
243	342102	液晶素子	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
244	342103	磁気テープ・磁気ディスク	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
245	342109	その他の電子部品	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000
246	351101	乗用車	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
247	352101	トラック・バス・その他の自動車	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
248	353101	二輪自動車	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
249	354101	自動車車体	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
250	354102	自動車用内燃機関・同部分品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
251	354103	自動車部品	0.0000	0.0050	0.0000	0.0229
252	361101	鋼船	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
253	361102	その他の船舶	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
254	361103	船用内燃機関	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
255	361110	船舶修理	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
256	362101	鉄道車両	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
257	362110	鉄道車両修理	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
258	362201	航空機	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
259	362210	航空機修理	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
260	362901	自転車	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
261	362909	その他の輸送機械	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
262	371101	カメラ	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
263	371109	その他の光学機械	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
264	371201	時計	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
265	371901	理化学機械器具	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
266	371902	分析器・試験機・計量器・測定器	0.0060	0.0003	0.0004	0.0000
267	371903	医療用機械器具	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
268	391101	がん具	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
269	391102	運動用品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
270	391901	楽器	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
271	391902	情報記録物	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
272	391903	筆記具・文具	0.0000	0.0043	0.0000	0.0050
273	391904	身辺細貨品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
274	391905	畳・わら加工品	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
275	391906	武器	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
276	391909	その他の製造工業製品	0.0003	0.0001	0.0001	0.0002
277	392101	再生資源回収・加工処理	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000
278	411101	住宅建築（木造）	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
279	411102	住宅建築（非木造）	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
280	411201	非住宅建築（木造）	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

表 3-7 家畜バイオ・厨芥バイオの投入係数ベクトル(5/6)

403部門	6桁コード	I/O表部門名	家畜バイオ		厨芥バイオ	
			バイオ建設部門	バイオ運用部門	バイオ建設部門	バイオ運用部門
281	411202	非住宅建築（非木造）	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
282	412101	建設補修	0.0001	0.0000	0.0001	0.0003
283	413101	道路関係公共事業	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
284	413102	河川・下水道・その他の公共事業	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
285	413103	農林関係公共事業	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
286	413201	鉄道軌道建設	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
287	413202	電力施設建設	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
288	413203	電気通信施設建設	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
289	413209	その他の土木建設	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
290	511101	事業用電力	0.0012	0.1188	0.0006	0.0432
291	511104	自家発電	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
292	512101	都市ガス	0.0003	0.0000	0.0003	0.0000
293	512201	熱供給業	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
294	521101	上水道・簡易水道	0.0003	0.0038	0.0003	0.0045
295	521102	工業用水	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
296	521103	下水道★★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0100
297	521201	廃棄物処理（公営）★★	0.0016	0.0000	0.0016	0.0000
298	521202	廃棄物処理（産業）	0.0005	0.0009	0.0001	0.0001
299	611101	卸売	0.0832	0.0202	0.0953	0.0182
300	611201	小売	0.0032	0.0060	0.0044	0.0053
301	621101	金融	0.0032	0.0003	0.0023	0.0013
302	621201	生命保険	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
303	621202	損害保険	0.0035	0.0057	0.0027	0.0101
304	641101	不動産仲介・管理業	0.0001	0.0028	0.0000	0.0033
305	641102	不動産賃貸業	0.0023	0.0000	0.0024	0.0001
306	642101	住宅賃貸料	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
307	642201	住宅賃貸料（帰属家賃）	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
308	711101	鉄道旅客輸送	0.0064	0.0044	0.0066	0.0062
309	711201	鉄道貨物輸送	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
310	712101	バス	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
311	712102	ハイヤー・タクシー	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001
312	712201	道路貨物輸送（除自家輸送）	0.0131	0.0043	0.0123	0.0032
313	713101	自家輸送（旅客自動車）	0.0015	0.0000	0.0006	0.0003
314	713201	自家輸送（貨物自動車）	0.0010	0.0000	0.0004	0.0001
315	714101	外洋輸送	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
316	714201	沿海・内水面輸送	0.0001	0.0003	0.0003	0.0004
317	714301	港湾輸送	0.0003	0.0001	0.0005	0.0002
318	715101	航空輸送	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
319	716101	貨物利用運送	0.0004	0.0002	0.0004	0.0002
320	717101	倉庫	0.0007	0.0003	0.0010	0.0004
321	718101	こん包	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
322	718901	道路輸送施設提供	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
323	718902	水運施設管理★★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
324	718903	その他の水運付帯サービス	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
325	718904	航空施設管理（国公営）★★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
326	718905	航空施設管理（産業）	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
327	718906	その他の航空付帯サービス	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
328	718909	旅行・その他の運輸付帯サービス	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
329	731101	郵便・信書便	0.0001	0.0000	0.0000	0.0002
330	731201	固定電気通信	0.0025	0.0033	0.0023	0.0021
331	731202	移動電気通信	0.0012	0.0000	0.0004	0.0002
332	731203	その他の電気通信	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
333	731909	その他の通信サービス	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
334	732101	公共放送	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
335	732102	民間放送	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
336	732103	有線放送	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
337	733101	情報サービス	0.0018	0.0013	0.0027	0.0014
338	734101	インターネット附随サービス	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001
339	735101	映像情報制作・配給業	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
340	735102	新聞	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
341	735103	出版	0.0000	0.0038	0.0000	0.0044
342	735104	ニュース供給・興信所	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
343	811101	公務（中央）★★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
344	811201	公務（地方）★★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
345	821101	学校教育（国公立）★★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
346	821102	学校教育（私立）★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
347	821301	社会教育（国公立）★★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
348	821302	社会教育（非営利）★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
349	821303	その他の教育訓練機関（国公立）★★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
350	821304	その他の教育訓練機関（産業）	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000



表 3-8 家畜バイオ・厨芥バイオの投入係数ベクトル(6/6)

403部門	6桁コード	I/O表部門名	家畜バイオ		厨芥バイオ	
			バイオ建設部門	バイオ運用部門	バイオ建設部門	バイオ運用部門
351	822101	自然科学研究機関 (国公立) ★★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
352	822102	人文科学研究機関 (国公立) ★★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
353	822103	自然科学研究機関 (非営利) ★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
354	822104	人文科学研究機関 (非営利) ★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
355	822105	自然科学研究機関 (産業)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
356	822106	人文科学研究機関 (産業)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
357	822201	企業内研究開発	0.0079	0.0000	0.0085	0.0004
358	831101	医療 (国公立)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
359	831102	医療 (公益法人等)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
360	831103	医療 (医療法人等)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
361	831201	保健衛生 (国公立) ★★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
362	831202	保健衛生 (産業)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
363	831301	社会保険事業 (国公立) ★★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
364	831302	社会保険事業 (非営利) ★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
365	831303	社会福祉 (国公立) ★★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
366	831304	社会福祉 (非営利) ★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
367	831305	社会福祉 (産業)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
368	831401	介護 (居宅)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
369	831402	介護 (施設)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
370	841101	対企業民間非営利団体	0.0001	0.0000	0.0000	0.0002
371	841102	対家計民間非営利団体 (除別掲) ★	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
372	851101	広告	0.0032	0.0002	0.0033	0.0004
373	851201	物品賃貸業 (除貸自動車)	0.0152	0.0007	0.0177	0.0028
374	851301	貸自動車業	0.0000	0.0005	0.0000	0.0015
375	851410	自動車修理	0.0000	0.0086	0.0000	0.0441
376	851510	機械修理	0.0013	0.0042	0.0022	0.0214
377	851901	建物サービス	0.0021	0.0000	0.0018	0.0000
378	851902	法務・財務・会計サービス	0.0055	0.0134	0.0060	0.0153
379	851903	土木建築サービス	0.0080	0.0000	0.0148	0.0001
380	851904	労働者派遣サービス	0.0007	0.0001	0.0001	0.0008
381	851909	その他の対事業所サービス	0.0233	0.0036	0.0139	0.0090
382	861101	映画館	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
383	861102	興行場 (除別掲)・興行団	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
384	861103	遊戯場	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
385	861104	競輪・競馬等の競走場・競技団	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
386	861105	スポーツ施設提供業・公園・遊園地	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
387	861109	その他の娯楽	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
388	861201	一般飲食店 (除喫茶店)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
389	861202	喫茶店	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
390	861203	遊興飲食店	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
391	861301	宿泊業	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
392	861401	洗濯業	0.0015	0.0003	0.0016	0.0004
393	861402	理容業	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
394	861403	美容業	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
395	861404	浴場業	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
396	861409	その他の洗濯・理容・美容・浴場業	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
397	861901	写真業	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
398	861902	冠婚葬祭業	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
399	861903	各種修理業 (除別掲)	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001
400	861904	個人教授業	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
401	861909	その他の対個人サービス	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
402	890000	事務用品	0.0041	0.0006	0.0040	0.0008
403	900000	分類不明	0.0006	0.0001	0.0003	0.0004
内生部門計			0.6549	0.3253	0.6999	0.3280
宿泊・日当			0.0003	0.0000	0.0001	0.0000
交際費			0.0017	0.0013	0.0015	0.0015
福利厚生費			0.0040	0.0025	0.0036	0.0051
賃金・俸給			0.2168	0.2071	0.1824	0.4179
社会保険料 (雇用主負担)			0.0180	0.0185	0.0164	0.0112
その他の給与及び手当			0.0116	0.0000	0.0098	0.0000
営業余剰			0.0263	0.0000	0.0284	0.0000
資本減耗引当			0.0121	0.3643	0.0061	0.1670
資本減耗引当 (社会資本等減耗分)			0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
純間接税			0.0544	0.0810	0.0518	0.0694
(控除) 経常補助金			0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
粗付加価値部門計			0.3451	0.6747	0.3001	0.6720
国内生産額			1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

### 3.2.4 既存産業連関表への組み込み

事業システム毎に投入係数ベクトルを既存の産業連関表の投入係数行列に組み込むことで、バイオガス発電事業部門拡張産業連関表の作成を行った。内生部門 403 部門に各種バイオ建設・運用部門の 2 部門を組み込んだ 405 部門表を 2 種類(家畜バイオ拡張表、厨芥バイオ拡張表)作成した。拡張表は、作成した 4 本のベクトルを組み込んだ 407 部門表を作成することが可能であるが、本研究では 2 種の事業部門を挿入した際の相互への影響がどの程度生じるか十分に検討できていないため、それぞれの部門を組み込んだ 2 種の拡張表(405 部門)を作成した。

投入係数行列の投入構造(列ベクトル)は、作成した投入係数ベクトルとなる。産出構造(行ベクトル)は、バイオ建設部門は固定資本形成への産出を仮定して、内生部門は 0 とし、バイオ運用部門は、既存部門である事業用電力部門と同じ産出構造を仮定して、送電端発電量(売電量)の比率(表 3-9)で按分した。

表 3-9 産出構造の按分比

項目		家畜バイオ	厨芥バイオ
バイオガス発電量	[kWh]	1,902,230	3,551,765
消費量(発電分)	[kWh]	311,966	494,962
売電量	[kWh]	1,590,264	3,056,803
国内生産量(2005年)	[kWh]	9.117E+11	9.117E+11
按分比率		1.744E-06	3.353E-06

### 3.3 拡張表を用いたバイオガス発電事業のライフサイクル評価

#### 3.3.1 直接 GHG 排出係数・雇用係数の作成

作成した拡張表を用いて、2 種類のバイオガス発電事業のライフサイクル GHG 排出量と雇用量の分析を行っていく。拡張表の新設部門に最終需要額（建設費、運用費）を与えて、GHG 排出量と雇用量の推計を行うためには、新設したバイオ建設・運用部門の直接 GHG 排出係数と雇用係数が必要となる。そこで、モデルプラントの直接 GHG 排出量と直接雇用量を推計し、国内生産額で除した値を直接 GHG 排出係数・雇用係数とした。

##### 3.3.1.1 直接 GHG 排出係数の推計

家畜バイオ建設部門の直接 GHG 排出量は、建設作業に必要な燃料（主に軽油）消費に伴う CO<sub>2</sub> 排出である。燃料消費額から燃料消費量を推計し、CO<sub>2</sub> 排出量を推計した。家畜バイオ運用部門は、原料収集や施設運転で消費する燃料消費に伴う CO<sub>2</sub> 排出量、消化液貯留に伴う CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 排出量の合計が直接 GHG 排出量となる。CO<sub>2</sub> 排出は燃料消費額から推計し、消化液貯留に伴う CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O は消化液貯留量（年間平均）と温室効果ガスインベントリオフィスの排出係数<sup>92)</sup>を用いて推計した。

厨芥バイオ建設部門の直接 GHG 排出量は、家畜バイオと同様で、建設作業に必要な燃料（主に軽油）消費に伴う CO<sub>2</sub> 排出であり、燃料消費額から推計した。厨芥バイオ運用部門の GHG 排出量は、原料収集や施設運転で消費する燃料消費に伴う CO<sub>2</sub> 排出である。原料収集時の燃料消費量は、文献値<sup>93)</sup>を参考に推計した。施設運転時の燃料消費量は燃料消費額から推計した。

推計した直接 GHG 排出量を、それぞれの部門の国内生産額で除した値が新設した部門の直接 GHG 排出係数[t-CO<sub>2</sub>eq.]となる（表 3-10）。なお、既存部門の直接 GHG 排出係数は、国立環境研究所が公表している 2005 年の 3EID<sup>48)</sup>の値を使用する。

##### 3.3.1.2 直接雇用係数の推計

バイオ建設部門の直接雇用量は、労務単価から推計した現場作業員の数と一般管理費の労務費から推計した雇用量の合計となっている。バイオ運用部門の雇用量は、ヒアリング調査で得られた情報から設定した原料収集および施設運用に係る雇用量と、

表 3-10 直接 GHG 排出係数の推計

		家畜バイオ		厨芥バイオ	
		建設部門	運用部門	建設部門	運用部門
国内生産額	[百万円]	880	119	1,921	609
<b>直接GHG排出量の推計</b>					
燃料消費に伴うCO <sub>2</sub>	[t-CO <sub>2</sub> eq.]	28	86	44	281
消化液貯留時のCH <sub>4</sub>	[t-CO <sub>2</sub> eq.]		247		
消化液貯留時のN <sub>2</sub> O	[t-CO <sub>2</sub> eq.]		14		
上記合計	[t-CO <sub>2</sub> eq.]	28	347	44	281
直接GHG排出係数	[t-CO <sub>2</sub> eq./百万円]	0	3	0	0

表 3-11 直接雇用係数の推計

		家畜バイオ		厨芥バイオ	
		建設部門	運用部門	建設部門	運用部門
国内生産額	[百万円]	880	119	1,921	609
<b>直接雇用量の推計</b>					
プラント建設	[人・日]	8,838		14,512	
プラント運転（処理・発電）	[人・日]		589	6,464	2,271
原料収集	[人・日]		634	3,791	7,904
電気主任技術者	[人・日]		25		25
定期点検	[人・日]		32		646
修繕	[人・日]		367		249
その他	[人・日]	2,277		3,791	
一般管理費から推計	[人・日]	2,883	308	6,464	1,951
上記合計	[人・日]	13,998	1,956	35,021	13,046
直接雇用係数	[人・日/百万円]	16	16	13	21

一般管理費の労務費から推計した雇用量の合計である。推計した直接雇用量をそれぞれの部門の国内生産額で除した値が、新設部門の直接雇用係数となる(表 3-11)。なお、既存部門の直接雇用係数は、2005 年産業連関表の付帯表である雇用表<sup>49)</sup>の値を使用する。

表 3-12 直接 GHG 排出係数・直接雇用係数 (1/6)

403部門	6桁コード	I/O表部門名	家畜バイオ		厨芥バイオ	
			直接GHG排出係数 t-CO <sub>2</sub> eq./百万円	直接雇用係数 人・日/百万円	直接GHG排出係数 t-CO <sub>2</sub> eq./百万円	直接雇用係数 人・日/百万円
1	11101	米	3.588	310	3.588	310
2	11102	麦類	2.310	20	2.310	20
3	11201	いも類	1.104	27	1.104	27
4	11202	豆類	2.590	30	2.590	30
5	11301	野菜	1.941	86	1.941	86
6	11401	果実	1.428	186	1.428	186
7	11501	砂糖原料作物	0.887	128	0.887	128
8	11502	飲料用作物	9.000	121	9.000	121
9	11509	その他の食用耕種作物	3.842	104	3.842	104
10	11601	飼料作物	6.823	15	6.823	15
11	11602	種苗	0.058	53	0.058	53
12	11603	花き・花木類	4.947	102	4.947	102
13	11609	その他の非食用耕種作物	2.808	179	2.808	179
14	12101	酪農	6.504	28	6.504	28
15	12102	鶏卵	2.634	21	2.634	21
16	12103	肉鶏	3.354	7	3.354	7
17	12104	豚	3.773	16	3.773	16
18	12105	肉用牛	5.608	32	5.608	32
19	12109	その他の畜産	1.261	44	1.261	44
20	13101	獣医学	0.036	28	0.036	28
21	13102	農業サービス (除獣医学)	0.617	47	0.617	47
22	21101	育林	0.074	11	0.074	11
23	21201	素材	0.410	24	0.410	24
24	21301	特用林産物 (含狩猟業)	2.079	52	2.079	52
25	31101	海面漁業	7.524	45	7.524	45
26	31104	海面養殖業	1.676	29	1.676	29
27	31201	内水面漁業・養殖業	1.896	31	1.896	31
28	61101	金属鉱物	0.671	11	0.671	11
29	62101	窯業原料鉱物	3.273	10	3.273	10
30	62201	砂利・採石	0.556	9	0.556	9
31	62202	砕石	0.589	8	0.589	8
32	62909	その他の非金属鉱物	4.283	12	4.283	12
33	71101	石炭・原油・天然ガス	3.397	8	3.397	8
34	111101	と畜 (含肉鶏処理)	0.002	3	0.002	3
35	111201	肉加工品	0.221	12	0.221	12
36	111202	畜産びん・かん詰	0.489	9	0.489	9
37	111203	酪農品	0.697	5	0.697	5
38	111301	冷凍魚介類	0.174	8	0.174	8
39	111302	塩・干・くん製品	0.350	16	0.350	16
40	111303	水産びん・かん詰	0.896	11	0.896	11
41	111304	ねり製品	0.434	19	0.434	19
42	111309	その他の水産食品	0.209	13	0.209	13
43	111401	精穀	0.032	1	0.032	1
44	111402	製粉	0.626	5	0.626	5
45	111501	めん類	0.673	17	0.673	17
46	111502	パン類	0.339	24	0.339	24
47	111503	菓子類	0.376	25	0.376	25
48	111601	農産びん・かん詰	0.543	14	0.543	14
49	111602	農産保存食料品 (除びん・かん詰)	0.290	20	0.290	20
50	111701	砂糖	3.605	6	3.605	6
51	111702	でん粉	1.903	3	1.903	3
52	111703	ぶどう糖・水あめ・異性化糖	2.514	3	2.514	3
53	111704	植物油脂	1.118	3	1.118	3
54	111705	動物油脂	2.537	7	2.537	7
55	111706	調味料	0.417	11	0.417	11
56	111901	冷凍調理食品	0.722	15	0.722	15
57	111902	レトルト食品	0.794	9	0.794	9
58	111903	そう菜・すし・弁当	0.412	20	0.412	20
59	111904	学校給食 (国公立) ★★	0.399	40	0.399	40
60	111905	学校給食 (私立) ★	0.277	33	0.277	33
61	111909	その他の食料品	0.969	30	0.969	30
62	112101	清酒	0.293	12	0.293	12
63	112102	ビール	0.332	2	0.332	2
64	112103	ウイスキー類	0.397	2	0.397	2
65	112109	その他の酒類	0.500	4	0.500	4
66	112901	茶・コーヒー	0.211	9	0.211	9
67	112902	清涼飲料	0.306	5	0.306	5
68	112903	製氷	0.062	15	0.062	15
69	113101	飼料	0.333	3	0.333	3
70	113102	有機質肥料 (除別掲)	0.654	5	0.654	5

表 3-13 直接 GHG 排出係数・直接雇用係数 (2/6)

403部門	6桁コード	I/O表部門名	家畜バイオ		厨芥バイオ	
			直接GHG排出係数 t-CO <sub>2</sub> eq./百万円	直接雇用係数 人・日/百万円	直接GHG排出係数 t-CO <sub>2</sub> eq./百万円	直接雇用係数 人・日/百万円
71	114101	たばこ	0.031	1	0.031	1
72	151101	紡績糸	0.395	16	0.395	16
73	151201	綿・スフ織物 (含合繊短繊維織物)	0.452	16	0.452	16
74	151202	絹・人絹織物 (含合繊長繊維織物)	0.368	26	0.368	26
75	151203	毛織物・麻織物・その他の織物	0.131	14	0.131	14
76	151301	ニット生地	0.126	18	0.126	18
77	151401	染色整理	4.541	24	4.541	24
78	151901	網・網	0.268	18	0.268	18
79	151902	じゆうたん・床敷物	0.367	9	0.367	9
80	151903	繊維製衛生材料	0.330	17	0.330	17
81	151909	その他の繊維工業製品	0.524	20	0.524	20
82	152101	織物製衣服	0.050	32	0.050	32
83	152102	ニット製衣服	0.126	33	0.126	33
84	152209	その他の衣服・身の回り品	0.488	29	0.488	29
85	152901	寝具	0.074	19	0.074	19
86	152909	その他の繊維既製品	0.119	33	0.119	33
87	161101	製材	0.156	15	0.156	15
88	161102	合板	0.260	10	0.260	10
89	161103	木材チップ	0.195	9	0.195	9
90	161909	その他の木製品	0.105	20	0.105	20
91	171101	木製家具・装備品	0.168	21	0.168	21
92	171102	木製建具	0.230	28	0.230	28
93	171103	金属製家具・装備品	0.185	13	0.185	13
94	181101	バルブ	9.812	2	9.812	2
95	181201	洋紙・和紙	3.559	4	3.559	4
96	181202	板紙	2.226	3	2.226	3
97	181301	段ボール	0.180	2	0.180	2
98	181302	塗工紙・建設用加工紙	0.601	8	0.601	8
99	182101	段ボール箱	0.138	14	0.138	14
100	182109	その他の紙製容器	0.225	21	0.225	21
101	182901	紙製衛生材料・用品	0.585	7	0.585	7
102	182909	その他のバルブ・紙・紙加工品	0.322	16	0.322	16
103	191101	印刷・製版・製本	0.157	19	0.157	19
104	201101	化学肥料	10.252	4	10.252	4
105	202101	ソーダ工業製品	3.753	2	3.753	2
106	202901	無機顔料	1.601	4	1.601	4
107	202902	圧縮ガス・液化ガス	0.702	4	0.702	4
108	202903	塩	8.490	11	8.490	11
109	202909	その他の無機化学工業製品	6.180	5	6.180	5
110	203101	石油化学基礎製品	1.738	0	1.738	0
111	203102	石油化学系芳香族製品	1.569	0	1.569	0
112	203201	脂肪族中間物	4.118	1	4.118	1
113	203202	環式中間物	2.461	2	2.461	2
114	203301	合成ゴム	9.607	2	9.607	2
115	203901	メタン誘導品	7.369	3	7.369	3
116	203902	油脂加工製品	1.597	5	1.597	5
117	203903	可塑剤	2.735	4	2.735	4
118	203904	合成染料	6.217	5	6.217	5
119	203909	その他の有機化学工業製品	1.900	4	1.900	4
120	204101	熱硬化性樹脂	0.753	2	0.753	2
121	204102	熱可塑性樹脂	0.971	3	0.971	3
122	204103	高機能性樹脂	0.516	3	0.516	3
123	204109	その他の合成樹脂	1.526	3	1.526	3
124	205101	レヨン・アセテート	10.264	6	10.264	6
125	205102	合成繊維	3.835	6	3.835	6
126	206101	医薬品	0.264	5	0.264	5
127	207101	石けん・合成洗剤・界面活性剤	0.911	4	0.911	4
128	207102	化粧品・歯磨	0.707	4	0.707	4
129	207201	塗料	0.405	5	0.405	5
130	207202	印刷インキ	0.073	5	0.073	5
131	207301	写真感光材料	1.329	5	1.329	5
132	207401	農薬	2.243	4	2.243	4
133	207901	ゼラチン・接着剤	1.141	7	1.141	7
134	207909	その他の化学最終製品	1.337	6	1.337	6
135	211101	石油製品	2.160	0	2.160	0
136	212101	石炭製品	8.618	1	8.618	1
137	212102	舗装材料	0.273	5	0.273	5
138	221101	プラスチック製品	0.128	12	0.128	12
139	231101	タイヤ・チューブ	0.353	6	0.353	6
140	231901	ゴム製履物	0.757	35	0.757	35

表 3-14 直接 GHG 排出係数・直接雇用係数 (3/6)

403部門	6桁コード	I/O表部門名	家畜バイオ		厨芥バイオ	
			直接GHG排出係数 t-CO <sub>2</sub> eq./百万円	直接雇用係数 人・日/百万円	直接GHG排出係数 t-CO <sub>2</sub> eq./百万円	直接雇用係数 人・日/百万円
141	231902	プラスチック製履物	0.969	31	0.969	31
142	231909	その他のゴム製品	0.241	15	0.241	15
143	241101	革製履物	0.131	22	0.131	22
144	241201	製革・毛皮	0.823	17	0.823	17
145	241202	かばん・袋物・その他の革製品	0.110	29	0.110	29
146	251101	板ガラス・安全ガラス	2.573	7	2.573	7
147	251201	ガラス繊維・同製品	3.694	9	3.694	9
148	251909	その他のガラス製品	2.820	11	2.820	11
149	252101	セメント	126.122	4	126.122	4
150	252201	生コンクリート	0.279	11	0.279	11
151	252301	セメント製品	1.294	15	1.294	15
152	253101	陶磁器	3.789	18	3.789	18
153	259901	耐火物	2.539	10	2.539	10
154	259902	その他の建設用土石製品	6.580	16	6.580	16
155	259903	炭素・黒鉛製品	3.200	7	3.200	7
156	259904	研磨材	1.313	11	1.313	11
157	259909	その他の窯業・土石製品	3.266	14	3.266	14
158	261101	鉄鉄	61.204	1	61.204	1
159	261102	フェロアロイ	10.744	2	10.744	2
160	261103	粗鋼（転炉）	2.543	3	2.543	3
161	261104	粗鋼（電気炉）	1.284	4	1.284	4
162	2612011	鉄屑	0.000	0	0.000	0
163	262101	熱間圧延鋼材	1.153	2	1.153	2
164	262201	鋼管	0.948	4	0.948	4
165	262301	冷間仕上鋼材	1.891	2	1.891	2
166	262302	めっき鋼材	1.213	2	1.213	2
167	263101	鋳鉄鋼	1.164	6	1.164	6
168	263102	鋳鉄管	6.017	13	6.017	13
169	263103	鋳鉄品及び鍛工品（鉄）	5.223	9	5.223	9
170	264901	鉄鋼シャースリット業	0.307	6	0.307	6
171	264909	その他の鉄鋼製品	0.535	12	0.535	12
172	271101	銅	1.160	1	1.160	1
173	271102	鉛・亜鉛（含再生）	1.103	5	1.103	5
174	271103	アルミニウム（含再生）	1.866	3	1.866	3
175	271109	その他の非鉄金属地金	0.270	3	0.270	3
176	2712011	非鉄金属屑	0.000	0	0.000	0
177	272101	電線・ケーブル	0.161	6	0.161	6
178	272102	光ファイバケーブル	0.232	3	0.232	3
179	272201	伸銅品	0.413	5	0.413	5
180	272202	アルミ圧延製品	0.290	3	0.290	3
181	272203	非鉄金属素形材	1.780	11	1.780	11
182	272204	核燃料	0.145	4	0.145	4
183	272209	その他の非鉄金属製品	0.338	5	0.338	5
184	281101	建設用金属製品	0.149	14	0.149	14
185	281201	建築用金属製品	0.269	12	0.269	12
186	289101	ガス・石油機器及び暖房機器	0.189	9	0.189	9
187	289901	ボルト・ナット・リベット及びスプリング	0.263	18	0.263	18
188	289902	金属製容器及び製缶板金製品	0.388	22	0.388	22
189	289903	配管工事付属品・粉末や金製品・道具類	0.288	14	0.288	14
190	289909	その他の金属製品	0.304	25	0.304	25
191	301101	ボイラ	0.164	8	0.164	8
192	301102	タービン	0.189	6	0.189	6
193	301103	原動機	0.135	5	0.135	5
194	301201	運搬機械	0.058	9	0.058	9
195	301301	冷凍機・温湿調整装置	3.079	7	3.079	7
196	301901	ポンプ及び圧縮機	0.081	10	0.081	10
197	301902	機械工具	0.105	13	0.105	13
198	301909	その他の一般産業機械及び装置	0.138	11	0.138	11
199	302101	建設・鉱山機械	0.119	6	0.119	6
200	302201	化学機械	0.061	9	0.061	9
201	302301	産業用ロボット	0.054	7	0.054	7
202	302401	金属工作機械	0.032	13	0.032	13
203	302402	金属加工機械	0.069	13	0.069	13
204	302901	農業用機械	0.162	10	0.162	10
205	302902	繊維機械	0.112	15	0.112	15
206	302903	食品機械・同装置	0.065	15	0.065	15
207	302904	半導体製造装置	0.046	8	0.046	8
208	302905	真空装置・真空機器	0.104	10	0.104	10
209	302909	その他の特殊産業用機械	0.085	10	0.085	10
210	303101	金型	0.097	18	0.097	18

表 3-15 直接 GHG 排出係数・直接雇用係数 (4/6)

403部門	6桁コード	I/O表部門名	家畜バイオ		厨芥バイオ	
			直接GHG排出係数 t-CO <sub>2</sub> eq./百万円	直接雇用係数 人・日/百万円	直接GHG排出係数 t-CO <sub>2</sub> eq./百万円	直接雇用係数 人・日/百万円
211	303102	ベアリング	0.199	10	0.199	10
212	303109	その他の一般機械器具及び部品	0.160	17	0.160	17
213	311101	複写機	0.070	4	0.070	4
214	311109	その他の事務用機械	0.043	4	0.043	4
215	311201	サービス用機器	0.077	5	0.077	5
216	321101	回転電気機械	0.147	11	0.147	11
217	321102	変圧器・変成器	0.122	16	0.122	16
218	321103	開閉制御装置及び配電盤	0.552	12	0.552	12
219	321104	配線器具	0.100	14	0.100	14
220	321105	内燃機関電装品	0.069	11	0.069	11
221	321109	その他の産業用電気機器	0.078	10	0.078	10
222	322101	電子応用装置	0.016	6	0.016	6
223	323101	電気計測器	0.030	11	0.030	11
224	324101	電球類	0.310	8	0.310	8
225	324102	電気照明器具	0.151	9	0.151	9
226	324103	電池	0.195	5	0.195	5
227	324109	その他の電気機械器具	0.385	7	0.385	7
228	325101	民生用エアコンデション	0.258	2	0.258	2
229	325102	民生用電気機器 (除エアコン)	0.031	8	0.031	8
230	331101	ビデオ機器	0.006	6	0.006	6
231	331102	電気音響機器	0.058	7	0.058	7
232	331103	ラジオ・テレビ受信機	0.029	4	0.029	4
233	332101	有線電気通信機器	0.064	7	0.064	7
234	332102	携帯電話機	0.061	3	0.061	3
235	332103	無線電気通信機器 (除携帯電話機)	0.062	6	0.062	6
236	332109	その他の電気通信機器	0.090	8	0.090	8
237	333101	パーソナルコンピュータ	0.021	3	0.021	3
238	333102	電子計算機本体 (除パソコン)	0.023	5	0.023	5
239	333103	電子計算機付属装置	0.015	5	0.015	5
240	341101	半導体素子	5.917	11	5.917	11
241	341102	集積回路	0.558	7	0.558	7
242	342101	電子管	0.410	7	0.410	7
243	342102	液晶素子	0.910	4	0.910	4
244	342103	磁気テープ・磁気ディスク	1.001	5	1.001	5
245	342109	その他の電子部品	0.129	10	0.129	10
246	351101	乗用車	0.061	2	0.061	2
247	352101	トラック・バス・その他の自動車	0.126	3	0.126	3
248	353101	二輪自動車	0.077	3	0.077	3
249	354101	自動車車体	0.192	5	0.192	5
250	354102	自動車用内燃機関・同部分品	0.254	5	0.254	5
251	354103	自動車部品	0.192	6	0.192	6
252	361101	鋼船	0.094	5	0.094	5
253	361102	その他の船舶	0.085	27	0.085	27
254	361103	船用内燃機関	1.028	7	1.028	7
255	361110	船舶修理	0.045	16	0.045	16
256	362101	鉄道車両	0.166	9	0.166	9
257	362110	鉄道車両修理	1.881	9	1.881	9
258	362201	航空機	0.492	8	0.492	8
259	362210	航空機修理	0.208	5	0.208	5
260	362901	自転車	1.068	11	1.068	11
261	362909	その他の輸送機械	0.244	7	0.244	7
262	371101	カメラ	0.095	12	0.095	12
263	371109	その他の光学機械	0.123	16	0.123	16
264	371201	時計	0.125	12	0.125	12
265	371901	理化学機械器具	0.139	13	0.139	13
266	371902	分析器・試験機・計量器・測定器	0.068	12	0.068	12
267	371903	医療用機械器具	0.180	11	0.180	11
268	391101	がん具	0.172	16	0.172	16
269	391102	運動用品	0.164	11	0.164	11
270	391901	楽器	0.054	11	0.054	11
271	391902	情報記録物	0.043	9	0.043	9
272	391903	筆記具・文具	0.094	17	0.094	17
273	391904	身辺細貨品	0.070	23	0.070	23
274	391905	量・わら加工品	0.051	43	0.051	43
275	391906	武器	0.054	4	0.054	4
276	391909	その他の製造工業製品	0.053	22	0.053	22
277	392101	再生资源回収・加工処理	0.460	22	0.460	22
278	411101	住宅建築 (木造)	0.055	23	0.055	23
279	411102	住宅建築 (非木造)	0.124	23	0.124	23
280	411201	非住宅建築 (木造)	0.065	24	0.065	24



表 3-16 直接 GHG 排出係数・直接雇用係数 (5/6)

403部門	6桁コード	I/O表部門名	家畜バイオ		厨芥バイオ	
			直接GHG排出係数 t-CO <sub>2</sub> eq./百万円	直接雇用係数 人・日/百万円	直接GHG排出係数 t-CO <sub>2</sub> eq./百万円	直接雇用係数 人・日/百万円
281	411202	非住宅建築（非木造）	0.143	23	0.143	23
282	412101	建設補修	0.177	23	0.177	23
283	413101	道路関係公共事業	0.459	22	0.459	22
284	413102	河川・下水道・その他の公共事業	0.341	20	0.341	20
285	413103	農林関係公共事業	0.549	21	0.549	21
286	413201	鉄道軌道建設	0.211	25	0.211	25
287	413202	電力施設建設	0.164	21	0.164	21
288	413203	電気通信施設建設	0.241	24	0.241	24
289	413209	その他の土木建設	0.265	24	0.265	24
290	511101	事業用電力	24.795	3	24.795	3
291	511104	自家発電	63.450	5	63.450	5
292	512101	都市ガス	0.214	4	0.214	4
293	512201	熱供給業	10.179	3	10.179	3
294	521101	上水道・簡易水道	0.075	5	0.075	5
295	521102	工業用水	0.072	5	0.072	5
296	521103	下水道★★	6.090	7	6.090	7
297	521201	廃棄物処理（公営）★★	13.266	17	13.266	17
298	521202	廃棄物処理（産業）	6.047	23	6.047	23
299	611101	卸売	0.087	15	0.087	15
300	611201	小売	0.342	55	0.342	55
301	621101	金融	0.019	7	0.019	7
302	621201	生命保険	0.038	19	0.038	19
303	621202	損害保険	0.036	16	0.036	16
304	641101	不動産仲介・管理業	0.070	15	0.070	15
305	641102	不動産賃貸業	0.148	7	0.148	7
306	642101	住宅賃貸料	0.070	5	0.070	5
307	642201	住宅賃貸料（帰属家賃）	0.000	0	0.000	0
308	711101	鉄道旅客輸送	0.163	8	0.163	8
309	711201	鉄道貨物輸送	0.761	10	0.761	10
310	712101	バス	2.043	31	2.043	31
311	712102	ハイヤー・タクシー	2.354	58	2.354	58
312	712201	道路貨物輸送（除自家輸送）	2.505	31	2.505	31
313	713101	自家輸送（旅客自動車）	8.072	0	8.072	0
314	713201	自家輸送（貨物自動車）	7.942	0	7.942	0
315	714101	外洋輸送	14.204	1	14.204	1
316	714201	沿海・内水面輸送	10.969	11	10.969	11
317	714301	港湾運送	0.876	16	0.876	16
318	715101	航空輸送	9.282	4	9.282	4
319	716101	貨物利用運送	0.558	25	0.558	25
320	717101	倉庫	0.072	17	0.072	17
321	718101	こん包	0.082	26	0.082	26
322	718901	道路輸送施設提供	0.076	10	0.076	10
323	718902	水運施設管理★★	0.670	15	0.670	15
324	718903	その他の水運付帯サービス	0.154	31	0.154	31
325	718904	航空施設管理（国公営）★★	0.093	13	0.093	13
326	718905	航空施設管理（産業）	0.422	4	0.422	4
327	718906	その他の航空付帯サービス	0.157	25	0.157	25
328	718909	旅行・その他の運輸付帯サービス	0.047	23	0.047	23
329	731101	郵便・信書便	0.151	38	0.151	38
330	731201	固定電気通信	0.056	7	0.056	7
331	731202	移動電気通信	0.063	3	0.063	3
332	731203	その他の電気通信	0.054	5	0.054	5
333	731909	その他の通信サービス	0.139	20	0.139	20
334	732101	公共放送	0.054	6	0.054	6
335	732102	民間放送	0.111	4	0.111	4
336	732103	有線放送	0.083	11	0.083	11
337	733101	情報サービス	0.032	15	0.032	15
338	734101	インターネット附随サービス	0.038	14	0.038	14
339	735101	映像情報制作・配給業	0.173	12	0.173	12
340	735102	新聞	0.021	8	0.021	8
341	735103	出版	0.019	11	0.019	11
342	735104	ニュース供給・興信所	0.009	7	0.009	7
343	811101	公務（中央）★★	0.242	12	0.242	12
344	811201	公務（地方）★★	0.332	12	0.332	12
345	821101	学校教育（国公立）★★	0.120	23	0.120	23
346	821102	学校教育（私立）★	0.218	29	0.218	29
347	821301	社会教育（国公立）★★	0.300	22	0.300	22
348	821302	社会教育（非営利）★	0.200	20	0.200	20
349	821303	その他の教育訓練機関（国公立）★★	2.188	22	2.188	22
350	821304	その他の教育訓練機関（産業）	1.538	27	1.538	27

表 3-17 直接 GHG 排出係数・直接雇用係数 (6/6)

403部門	6桁コード	I/O表部門名	家畜バイオ		厨芥バイオ	
			直接GHG排出係数 t-CO <sub>2</sub> eq./百万円	直接雇用係数 人・日/百万円	直接GHG排出係数 t-CO <sub>2</sub> eq./百万円	直接雇用係数 人・日/百万円
351	822101	自然科学研究機関 (国公立) ★★	0.702	14	0.702	14
352	822102	人文科学研究機関 (国公立) ★★	0.974	21	0.974	21
353	822103	自然科学研究機関 (非営利) ★	0.544	14	0.544	14
354	822104	人文科学研究機関 (非営利) ★	0.235	23	0.235	23
355	822105	自然科学研究機関 (産業)	1.968	12	1.968	12
356	822106	人文科学研究機関 (産業)	0.220	17	0.220	17
357	822201	企業内研究開発	0.445	14	0.445	14
358	831101	医療 (国公立)	0.349	22	0.349	22
359	831102	医療 (公益法人等)	0.272	22	0.272	22
360	831103	医療 (医療法人等)	0.219	25	0.219	25
361	831201	保健衛生 (国公立) ★★	0.395	26	0.395	26
362	831202	保健衛生 (産業)	0.308	26	0.308	26
363	831301	社会保険事業 (国公立) ★★	0.140	23	0.140	23
364	831302	社会保険事業 (非営利) ★	0.193	22	0.193	22
365	831303	社会福祉 (国公立) ★★	0.232	46	0.232	46
366	831304	社会福祉 (非営利) ★	0.169	45	0.169	45
367	831305	社会福祉 (産業)	0.287	45	0.287	45
368	831401	介護 (居宅)	0.159	62	0.159	62
369	831402	介護 (施設)	0.265	36	0.265	36
370	841101	対企業民間非営利団体	0.413	25	0.413	25
371	841102	対家計民間非営利団体 (除別掲) ★	0.236	27	0.236	27
372	851101	広告	0.099	6	0.099	6
373	851201	物品賃貸業 (除貸自動車)	0.033	6	0.033	6
374	851301	貸自動車業	0.273	8	0.273	8
375	851410	自動車修理	0.057	23	0.057	23
376	851510	機械修理	0.038	9	0.038	9
377	851901	建物サービス	0.106	47	0.106	47
378	851902	法務・財務・会計サービス	0.144	35	0.144	35
379	851903	土木建築サービス	0.232	28	0.232	28
380	851904	労働者派遣サービス	0.016	86	0.016	86
381	851909	その他の対事業所サービス	0.038	34	0.038	34
382	861101	映画館	0.503	24	0.503	24
383	861102	興行場 (除別掲)・興行団	0.065	15	0.065	15
384	861103	遊戯場	0.576	15	0.576	15
385	861104	競輪・競馬等の競走場・競技団	0.210	10	0.210	10
386	861105	スポーツ施設提供業・公園・遊園地	0.296	35	0.296	35
387	861109	その他の娯楽	0.256	39	0.256	39
388	861201	一般飲食店 (除喫茶店)	0.330	53	0.330	53
389	861202	喫茶店	0.481	65	0.481	65
390	861203	遊興飲食店	0.341	53	0.341	53
391	861301	宿泊業	0.416	25	0.416	25
392	861401	洗濯業	0.760	40	0.760	40
393	861402	理容業	0.594	87	0.594	87
394	861403	美容業	0.331	51	0.331	51
395	861404	浴場業	2.543	48	2.543	48
396	861409	その他の洗濯・理容・美容・浴場業	0.493	28	0.493	28
397	861901	写真業	0.084	44	0.084	44
398	861902	冠婚葬祭業	0.622	19	0.622	19
399	861903	各種修理業 (除別掲)	0.338	42	0.338	42
400	861904	個人教授業	0.129	64	0.129	64
401	861909	その他の対個人サービス	0.228	27	0.228	27
402	890000	事務用品	0.000	0	0.000	0
403	900000	分類不明	0.537	1	0.537	1
404		バイオ建設	0.032	16	0.023	13
405		バイオ建設運用	2.913	16	0.462	21

(既存部門(1~403)のGHG排出係数は3EID<sup>48)</sup>から引用し、直接雇用係数は雇用表<sup>49)</sup>から作成)

### 3.3.2 ライフサイクル GHG 排出量・雇用量の推計

バイオガス発電事業のライフサイクル GHG 排出量・雇用量の推計は、以下の式に従って行う(式 1)。

$$E = e^T(I - A)^{-1}F \quad (1)$$

ここで  $E$ : ライフサイクル GHG 排出量[t-CO<sub>2</sub>eq./年]・雇用量[人・日/年]、 $e$ : 拡張後の直接 GHG 排出係数[t-CO<sub>2</sub>eq./百万円]・雇用係数[人・日/百万円](表 3-12～表 3-17)、 $T$ : 転置、 $I$ : 単位行列、 $A$ : 拡張表の投入係数行列、 $F$ : 最終需要ベクトルである。

評価対象は、家畜バイオ、厨芥バイオ共に投入係数を作成した際のモデルプラントと同じ規模・仕様のプラント(以下、評価対象プラント)を想定し、事業期間を 20 年間として、表 3-18 に記した最終需要額を新設部門に与えることでライフサイクル GHG 排出量・雇用量の分析を行った。

表 3-18 バイオガス発電事業の最終需要額

	家畜バイオ		厨芥バイオ	
	建設部門	運用部門	建設部門	運用部門
最終需要額 [百万円/20年]	880	2,379	1,921	12,183

### 3.4 結果・考察

2種類のバイオガス発電事業のライフサイクル GHG 排出量とライフサイクル雇用量の特徴を以下にまとめる。

#### 3.4.1 バイオガス発電事業のライフサイクル GHG 排出量

図 3-8 は家畜バイオのライフサイクル GHG 排出量の推計結果を示している。家畜バイオのライフサイクル GHG 排出量は 20,415t-CO<sub>2</sub>eq./20 年となり、建設に伴う影響が 18%、運用に伴う影響が 82%となった。建設の影響は、鉄鋼部門やその他の製造工業品部門で大きいことがわかる。これは、プラント基礎工事に用いている鉄筋、鉄骨や生コンクリートなどの資材製造に伴う影響が大きいためである。運用では、バイオガス運用部門とサービス部門に伴う影響が大きくなった。運用部門の影響は、消化液貯留に伴う CH<sub>4</sub>と N<sub>2</sub>O 排出が大きいためである。

家畜バイオのモデルプラントにおいて貯留槽は、開放式貯留槽を選択していることから、消化液貯留期間に応じて貯留されている消化液から一定量の CH<sub>4</sub>と N<sub>2</sub>O 排出が大気中に放出される。これらの放出を抑制する技術として、貯留槽上部を鋼板で閉じた密閉式貯留槽がある<sup>51)</sup>。また、近年は鋼板の代わりに撥水加工肥料資材を採用した抑制方法の開発<sup>93)</sup>も進んでいる。バイオガス発電事業の導入によって、可能な限り GHG 排出量の抑制を目指すのであれば、副次的に生じている CH<sub>4</sub>と N<sub>2</sub>O にも目を向け、排出抑制技術の選択・導入を行っていくことが重要となる。この運用部門における CH<sub>4</sub>と N<sub>2</sub>O が抑制された場合には、GHG 排出特性も大きく変わることになる。また、サービス部門の GHG 排出量のうち約 95%は電力生産に誘発される GHG 排出量となった。これは、FIT による売電収入を優先し、メタン発酵に必要な電力は既存の電力会社が生産する電力を購入しているためである。

図 3-9 は厨芥バイオのライフサイクル GHG 排出量の結果を示している。厨芥バイオのライフサイクル GHG 排出量は、44,116t-CO<sub>2</sub>eq./20 年となり、建設に伴う影響が 14%、運用に伴う影響が 86%となった。家畜バイオより規模が大きいため、比較的建設に伴う影響が小さい結果となっている。ただし、建設に伴う影響の内訳は同じ傾向を示しており、基礎工事に用いている鉄筋、鉄鋼等や生コンクリートなどの資材製造に伴う GHG 排出量が大きかった。他方、運用に伴う GHG 排出量の特性は家畜バイオとは異なり、サ

サービス部門が最も大きく、ついでバイオ運用部門やその他の製造工業品部門が大きい結果となった。サービス部門の影響が大きいのは、家畜バイオと同じでメタン発酵に必要な電力を外部から購入しているためである。バイオ運用部門の排出が大きいのは燃料消費に伴うCO<sub>2</sub>排出が大きいためである。その他の製造工業品部門のGHG排出量が高いのは、厨芥バイオの特性のひとつとして挙げられる。これは、厨芥類のメタン発酵においては、脱水・脱硫・脱窒といった化学薬品を使うプロセスが必須であるため、薬品製造に伴うGHG排出量が大きくなる。

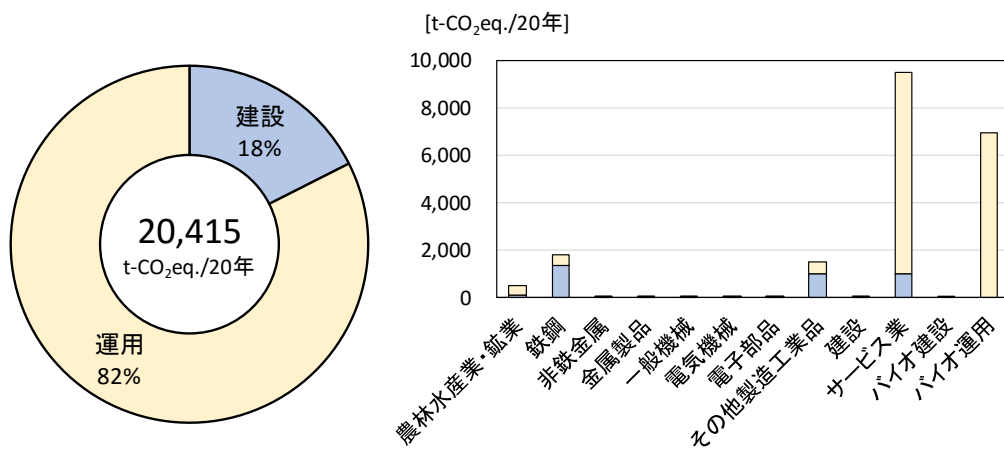


図 3-8 家畜バイオのライフサイクル GHG 排出量

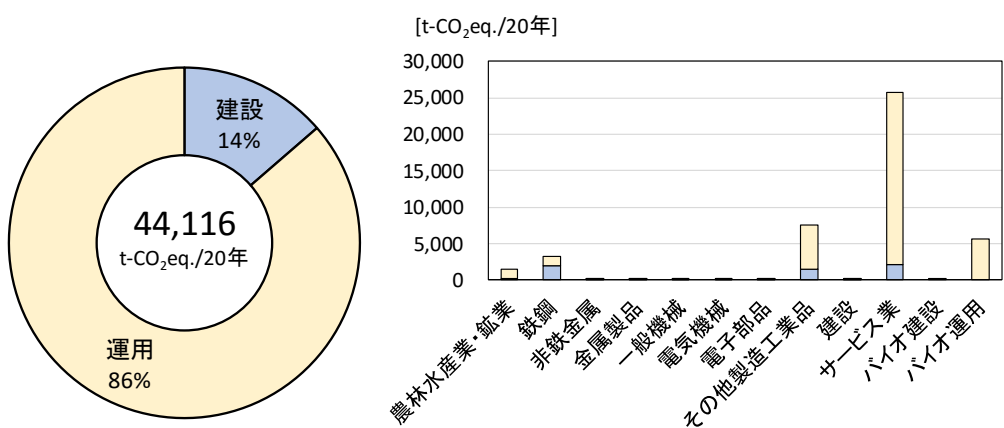


図 3-9 厨芥バイオのライフサイクル GHG 排出量

### 3.4.2 バイオガス発電事業のライフサイクル雇用量

図 3-10、図 3-11 は、それぞれ家畜バイオ家畜と厨芥バイオのライフサイクル雇用量の結果を示している。家畜バイオのライフサイクル雇用量は、86,869 人・日/20 年となり、建設が 35%、運用が 65%となった。一方、厨芥バイオのライフサイクル雇用量は 428,660 人・日/20 年で建設 14%、運用 86%となった。雇用量は、直接雇用量と波及的に生じる間接雇用量に大きく分けることができる。図 3-12 は、2 種類のバイオガス発電事業の直接・間接雇用量の比率を示している。家畜バイオの直接間接比は、建設が 47%と 53%、運用が 69%と 31%で、全体が 61%と 39%となった。厨芥バイオの直接間接費率は、建設が 41%と 59%、運用が 71%と 29%、全体が 67%と 33%となった。つまり、建設・運用の比率でみると規模の違いから厨芥バイオの建設の比率が小さくなっているが、直接・間接雇用量の比率でみると、似た傾向を示しており、建設では間接雇用量の方が大きく、運用では直接雇用量が多い結果となった。

バイオ運用部門の直接雇用量は、原料収集、施設運転のための雇用量である。このような継続的な雇用効果が多いことがバイオガス発電事業の特色のひとつである。特に厨芥バイオでは原料収集の雇用効果が大きくなった。これは、広範囲で生じる生ごみを集めるのに人手を要するためである。このような雇用効果は、人件費増加にも影響が生じるため、バイオガス事業の導入を機にごみ収集の効率化を図ることも重要となる。

図 3-13、図 3-14 はそれぞれの事業の間接雇用量の内訳を示している。バイオ建設部門の内訳はどちらの事業もサービス部門が 55%前後となっており、金属製品、一般機械、電気機械、その他製造工業品など、資材類や設備機器の製造に伴う雇用効果が生じていることが明らかとなった。バイオ運用部門の内訳においてもサービス部門が多いことがわかる。サービス部門の雇用効果は、商業・運輸部門や法務・財務・会計サービス、その他対事業所サービスからの雇用誘発となっている。例えば、地元での雇用効果の増加を目的とするのであれば、こうしたサービス部門への波及効果も考慮して、事業設計を行うことが重要となる。

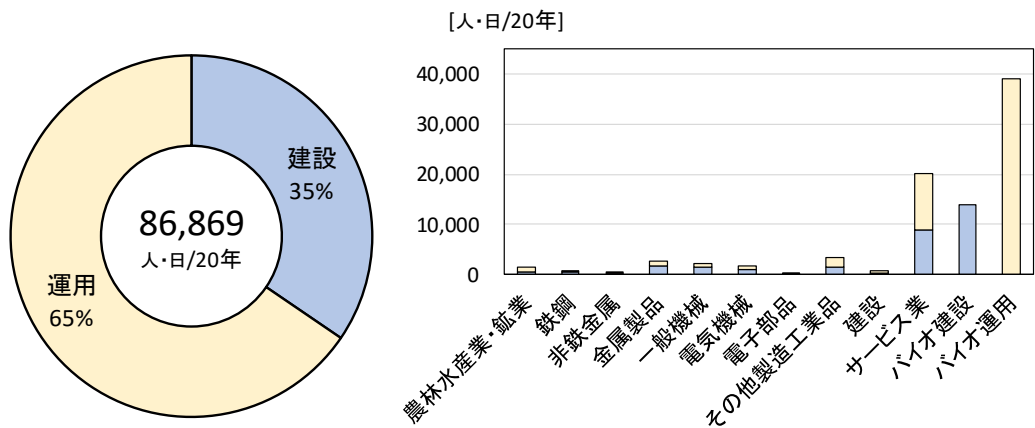


図 3-10 家畜バイオのライフサイクル雇用量

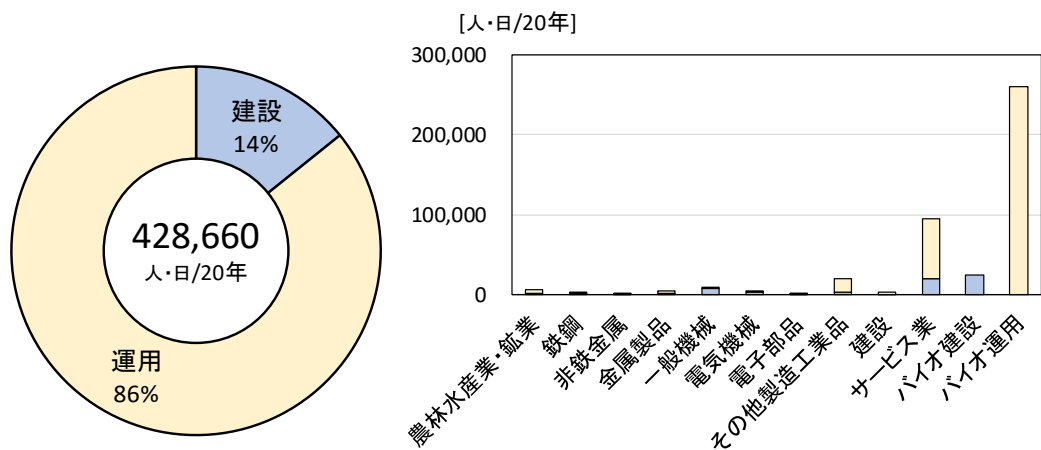


図 3-11 厨芥バイオのライフサイクル雇用量

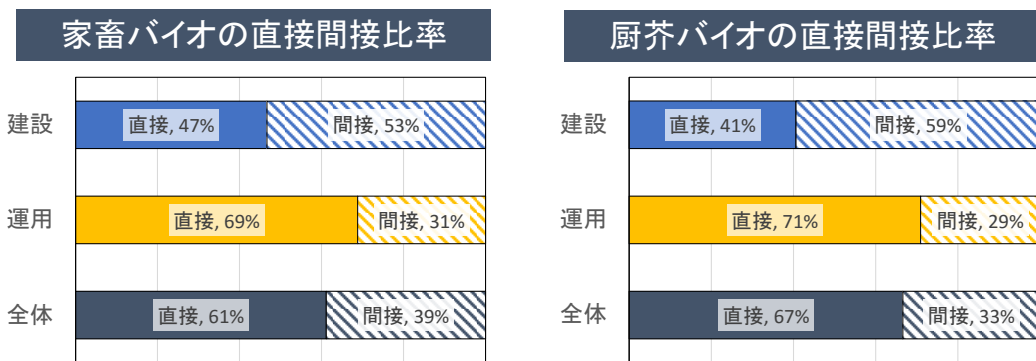


図 3-12 2種のバイオガス発電事業の直接・間接雇用量の比率

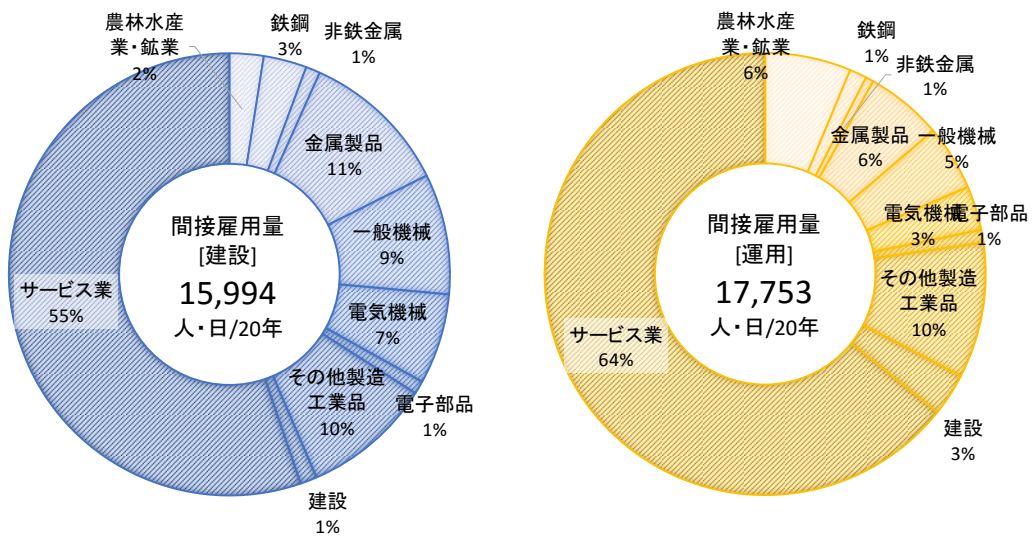


図 3-13 家畜バイオの間接雇用量の内訳

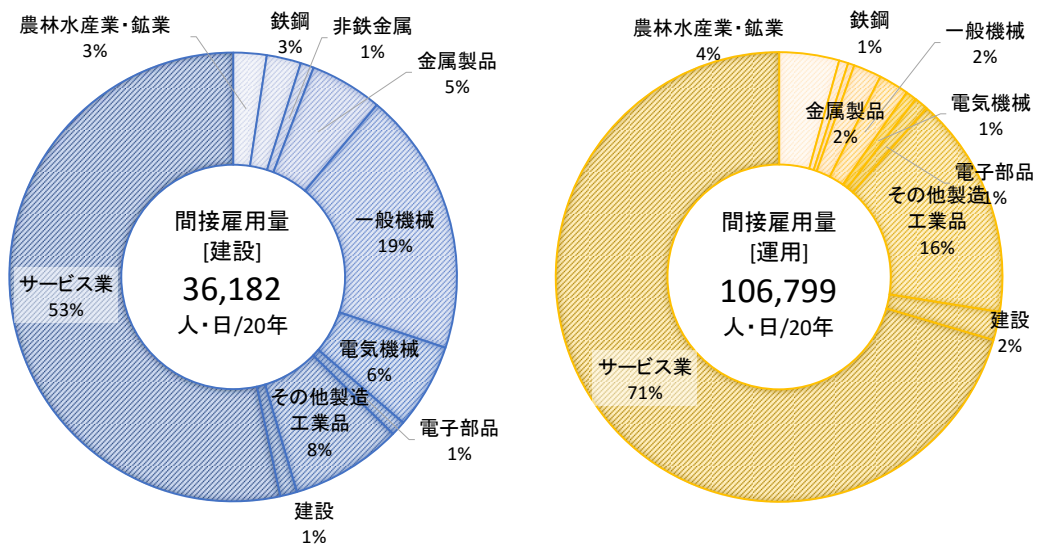


図 3-14 厨芥バイオの間接雇用量の内訳



### 3.4.3 拡張産業連関表の活用方法に関する考察

本研究ではバイオマス事業の事業化プロセスの前半に、活用できる簡易なツール構築として拡張表の作成を行った。事業化プロセスの前半では、先行事例を参考に想定値のような限定的な情報を入手・作成することは可能であるが、それ以上の事業特性を反映した詳細なデータ収集・作成は作業負荷が大きく難しい傾向にある。

図 3-15 は既存の産業連関法を用いた分析方法と、拡張表を用いた分析方法の推計イメージを示している。一般的な産業連関法では、既存産業連関表に沿った詳細なコストデータを作成し、最終需要として外生的に与えることで GHG 排出量や雇用量を分析する。他方、拡張表は、評価対象となるバイオガス発電事業の詳細なコストデータを組み込んでいるため、分析実施者は、想定値（他の事業を参考に作成した建設・運用費など）を分析値として用いることで、容易に GHG 排出量と雇用の分析が実施可能となっている。ただし、拡張表に組み込まれているモデルプラントに基づく評価結果となることには留意が必要である。

例えば現在、政策で進められているバイオマス産業都市構想<sup>13)</sup>では、構想段階において GHG 排出量や雇用量といった地域波及効果の作成を要求しているが、拡張表が

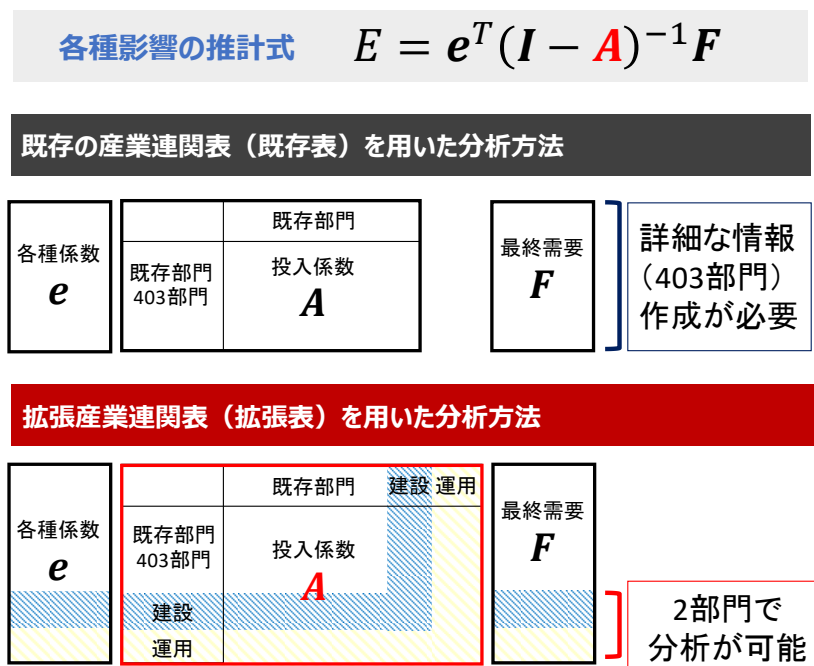


図 3-15 各種影響を産業連関法で推計するときのイメージ

整備されていない場合は、構想段階では詳細な情報を入手作成することが難しいにもかかわらず、作業負荷量が大きい一般的な産業連関法を選択せざる負えない状況となる。その結果として、ライフサイクル評価を行う時間を確保するのは難しく、直接的な影響のみで評価を行うか、地域波及効果自体を記載していない構想案が続出し、選出制度の形骸化が懸念される。

そのような状況に対し、拡張表が整備されていれば、情報量が少ない構想段階においても、簡易にライフサイクル評価を実施することが可能となり、早い段階で一般的なバイオガス事業システムの特性の理解につながる。そして、その結果として、より効果的な事業システムの構築に寄与することが期待される。そのため、今後は国や研究機関において拡張表の拡充(対象システムの追加作成)および公表を進めていくことが重要となる。例えば、国内でも環境省や文部科学省の研究から拡張表が公表されている<sup>95)-97)</sup>。また、ツール整備を進めていくと同時に、自治体のエネルギー戦略策定等に向けて、拡張表を用いた分析・評価手法を周知することが重要となる。

### 3.5 おわりに

バイオマス事業の事業化プロセスの前半において、分析に用いる情報が限られている状況下でのバイオマス事業のライフサイクル評価の実施に向けた簡易ツールの構築として、2種類のバイオガス発電事業を対象としたバイオガス発電事業部門拡張産業連関表の作成を行った。

以下は、拡張表を用いた評価対象プラントのライフサイクル GHG 排出量および雇用量の分析結果から得られた知見である。

- ・ バイオ建設部門の GHG 排出量は、どちらの事業においてもプラント基礎工事に用いている鉄筋、鉄骨や生コンクリートなどの資材製造に伴う影響が大きかった。
- ・ バイオ運用部門の GHG 排出量において、どちらの事業にも共通した排出要因として、メタン発酵時の電力消費に伴う影響が大きいことが明らかとなった。
- ・ 家畜バイオ運用部門の GHG 排出量の主な要因は、消化液貯留に伴う CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 排出であった。家畜バイオの導入において温室効果ガスの削減を目的とするのであれば、このような特性を理解した上で、対策技術の導入を検討することが重要となる。

- ・ 厨芥類バイオ運用部門では、薬品製造に伴う GHG 排出量が大きかった。これは、厨芥バイオでは、脱水・脱硫・脱窒など化学薬品を使うプロセスが含まれるという特性を有しているためである。
- ・ 2 種類のバイオガス発電事業のライフサイクル雇用量は、建設・運用比でみると規模の影響で厨芥バイオの建設比率が小さくなったが、直接・間接比でみると比較的似た傾向を示していた。なかでもバイオ運用部門の直接雇用効果が大きいことが明らかとなった。
- ・ 厨芥バイオの場合、原料収集の雇用効果が大きかった。バイオガス発電事業の導入を機に、このような雇用効果を踏まえつつ、人件費とのバランスも考慮して、ゴミ収集の効率化を図っていくことが重要である。
- ・ 間接雇用量の内訳に着目すると、サービス部門の雇用効果が大きく、商業・運輸部門や法務・財務・会計サービス、その他対事業所サービスの雇用誘発が大きいことが明らかとなった。事業導入による地元雇用の増加を目的とするのであれば、こうしたサービス部門への波及効果も考慮した事業設計を行うことが重要となる。

拡張表を整備したことによって、評価実施者は想定値のような限定的な情報作成しか進んでいない状況下で、GHG 排出量と雇用量を指標としたライフサイクル環境・社会経済影響評価が簡易に実施可能となった。拡張表を用いて得られる結果に基づき、導入を検討している事業に対する理解を深め、事業設計に活用していくことが重要となる。

なお、対象としたバイオガス発電事業に限らず、近年は、再生可能エネルギーによる発電事業を対象とした拡張表の整備・公表が始まってきている。今後、拡張表の適切な活用方法を周知していくことによって、より効果的かつ効率的な事業設計に展開していくことが重要となる。

バイオマスを用いた発電事業を対象とする拡張表の整備に限ってみれば、本研究で対象とした 2 種類のバイオガス発電事業に加え、下水汚泥を原料としたバイオガス発電事業と、未利用木材などを用いているバイオマス発電事業の計 4 種類のみが整備・公表されている<sup>95), 97)</sup>。拡張表を簡易評価ツールとして用いることの利点は、分析操作が容易であることであるが、その反面拡張表に組み込まれていない事業システムの評価への適用は難しい。また、より効果的なバイオマス事業の導入においては、複数の選択肢を比較してより導入効果の高い事業を優先したり、他の事業システムと組み合わせるシ

システムによって事業の最適化を図ることが重要となる。例えば、バイオガス発電事業の場合、複数のバイオマスを混合処理して発電に用いているバイオガス事業<sup>98)</sup>や、焼却施設との複合処理を行っている事業システム<sup>99)</sup>の導入などが始まりつつある。こうした他の選択肢も含めて、事業化プロセスの早い段階から活用できる拡張表の整備・公表を行っていくことが重要となる。なお、本研究における拡張表構築では、国内のバイオガス発電事業を調査した結果、事業レベルで稼働実績を有しておりデータ提供に協力をいただける事業者は限定的となった。そのため、モデルプラントの代表性を高めるために、引き続きモデルプラントのコストデータ改善が必要となっている。

## 第4章 事業導入効果が生じる地域に着目した実用的なライフサイクル評価手法

### 4.1 はじめに

第4章では、バイオマス事業の事業化プロセスの後半に対して、設計値・実績値を活用した有益な情報作成手法を検討し、効果的なバイオマス事業の導入促進に資することを目的としている。バイオマス事業のライフサイクル評価は、環境的側面を中心に多く行われてきており、雇用量などの社会経済的側面からの研究は発展途上で議論が行われている<sup>100)</sup>、<sup>101)</sup>段階であり、特にライフサイクル思考に基づいて評価している研究が少ない。事業導入に伴う雇用量の変化において、特に導入地域の雇用増加量に着目する傾向があるが、地域外で起きている変化も定量的に捉え、新規産業創出に展開する等が重要となる。

そこで本研究は、バイオマス事業の導入に伴う影響が生じる地域に着目したライフサイクル評価手法を提案する。提案手法を、雇用量を指標としたライフサイクル社会経済影響評価に活用していくことで事業導入に伴う雇用変化の場所と量を明らかにし、地域の雇用効果に着目した議論を行っていく。具体的には、北海道の鹿追町環境保全センターで行われているバイオガス発電事業に提案手法と適用し、事業導入に伴う雇用変化量を、①実際に事業が行われている場所(以下、事業スポット)、②北海道、③北海道以外の国内、④海外の4つの場所ごとに分析した。

### 4.2 評価対象

#### 4.2.1 対象事例：北海道の鹿追町環境保全センター

北海道鹿追町環境保全センターで行われているバイオガス発電事業を対象事例とする。鹿追町<sup>102)</sup>は、十勝地域の北西部に位置しており、大雪山国立公園の南麓に位置している小規模な町で、面積は約405km<sup>2</sup>(十勝総面積の3.96%相当)である。2010年の国勢調査では人口5,702名(2,270世帯)で、年間平均気温は6.0℃(夏17.0℃、冬-12℃)である。北は高丘地帯で南下するにしたがって平坦になり、周囲の山と湖沼を水源とする然別川が北から南に横断していることから牧畜農耕適地となっている。産業人口比は、1次産業が35%、2次産業が8%、3次産業が57%である。

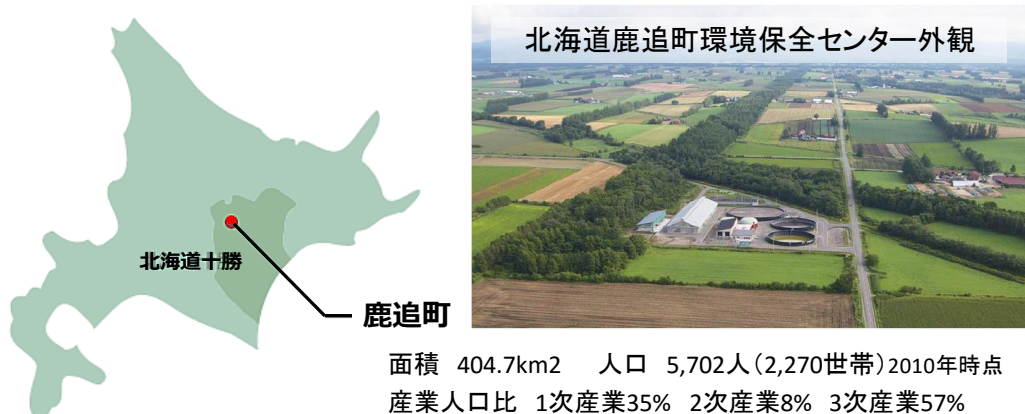


図 4-1 北海道鹿追町の概要と環境保全センターの外観

(鹿追町環境保全センターバイオガスプラントパンフレット<sup>103),104)</sup>から引用)

鹿追町では、乳牛ふん尿の堆肥化に伴う悪臭問題の解決を第一として、家畜排せつ物の共同処理施設となる鹿追町環境保全センター<sup>84)</sup>を導入した(図 4-1)。2007 年 10 月の稼働時点では、国内最大の家畜排せつ物処理施設であった。この施設では、4km 圏内にある 12 戸の酪農家から約 1,300 頭分の乳牛排せつ物を収集し、メタン発酵処理を行っている。メタン発酵で生成したバイオガスは発電燃料として用い、副産物として生じる消化液は有機肥料として町内の圃場に還元している。

#### 4.2.2 事業スポット内外の設定

本研究では、バイオガス事業の導入に伴って雇用量が変化する範囲を①事業スポット、②事業スポットを含む都道府県内、③国内の残り 46 都道府県、④海外の 4 つに区分することで、直接・間接雇用量の変化がどこで生じるかを定量的に明らかにする。

図 4-2 は事業スポット内外の設定を示している。事業スポットは、バイオガス事業が実際行われている場所や施設を指す。鹿追町環境保全センターの評価実施においては、事業スポットは家畜排せつ物の収集からメタン発酵処理、バイオガスの発電・熱利用、消化液施肥を行っている場所・施設となる。また、事業スポットの外側は、近隣地域として事業スポットを内包する都道府県(北海道)、遠隔地域として北海道を除く国内 46 都道府県と海外に区分する。

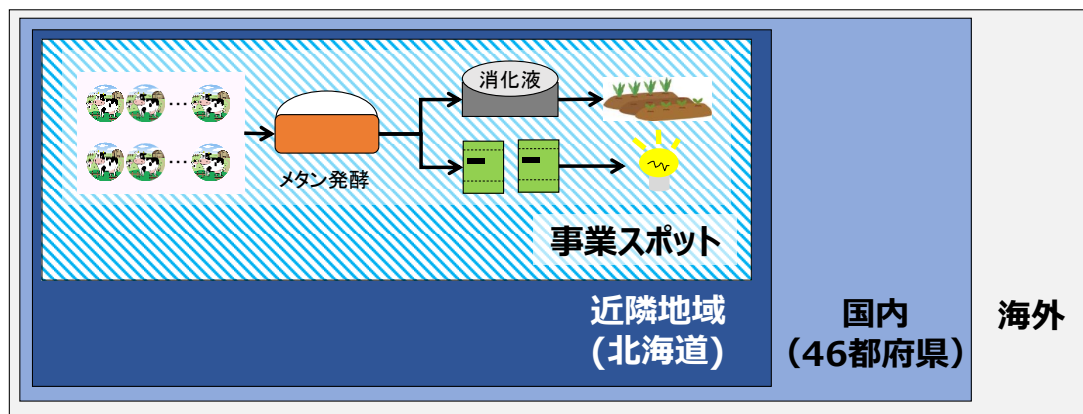


図 4-2 事業スポット内外の設定

### 4.3 評価方法

バイオガス事業の導入に伴う雇用量 $L$ [人・日]は、バイオガス事業が導入される以前の状況を事業導入前システム、事業導入後のバイオガス事業を有している状況を導入後システムとして、同じ機能を有するシステム境界を設定し、両システムの差分で評価する(式 4-1)。このとき $L$ は、導入前システムを基準とした雇用量の変化を意味している。

$$\text{ライフサイクル雇用量の変化[人・日]} \quad L = L_{\text{after}} - L_{\text{before}} \quad \text{式 4-1}$$

ここで、 $L_{\text{before}}$ と $L_{\text{after}}$ はそれぞれ事業導入前システムのライフサイクル雇用量、事業導入後システムのライフサイクル雇用量である。本研究における雇用量[人・日]は、1人あたりの1日の労働時間を8時間と仮定して、仕事に携わる人数(労働者数)に労働日数を乗じて推計する。この値は、実際の労働者数の増減だけではなく、1人あたりの労働量の増減も示している。つまり、雇用量の増減は端的に労働者数の増減をもたらす場合もあれば、仕事量の増減のみをもたらす場合もある。

#### 4.3.1 システム境界の設定

評価における機能単位は、両システムの1年あたりの投入・産出量から設定した(表 4-1)。図 4-3 は事業導入前後の状況をイメージで示している。以下では、事業導入前システムを堆肥化システム、事業導入後システムをバイオガスシステムとする。

表 4-1 事業実施前後のシステムの機能単位

投入・産出	数量	単位
家畜排せつ物		32,894 t/年
肥料成分量	N	101 t/年
	P	48 t/年
	K	85 t/年
電力		913,936 kWh/年

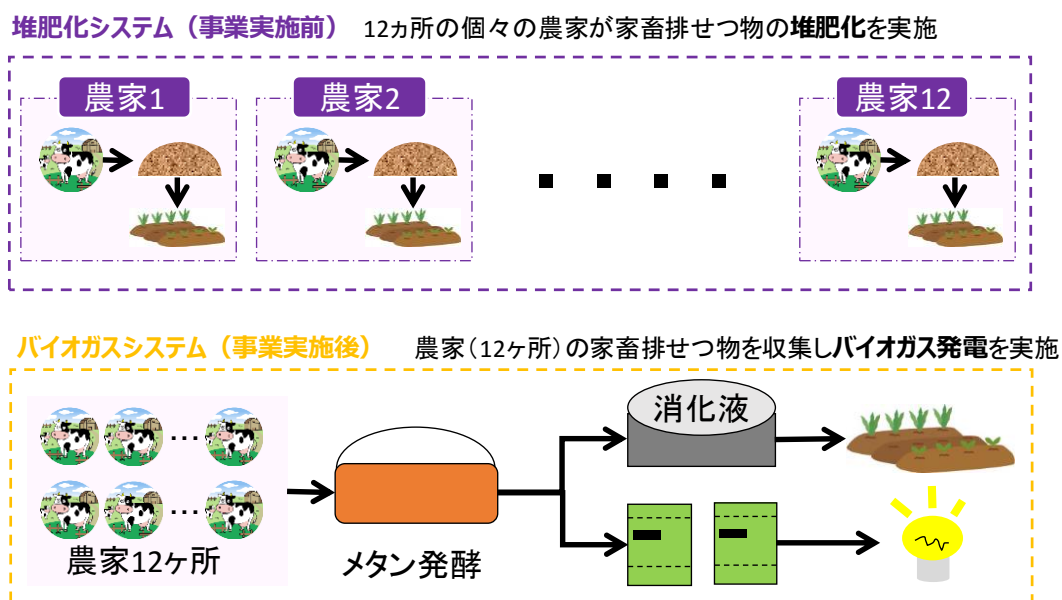


図 4-3 事業実施前後の状況に関するイメージ

図 4-4 は、機能単位を揃えた事業導入前後のシステムを示している。

堆肥化システムは、個々の酪農家(12ヵ所)が家畜排せつ物の堆肥化を行っており、生産した堆肥は耕種・飼料作物の肥料として使用している。堆肥化は、発生した家畜排せつ物を酪農家の敷地内に設置した堆肥舎に堆積して好気性発酵で堆肥を生産する堆積発酵で行っている。生産した堆肥は主に、耕種・飼料作物の肥料として自家消費または近隣農家に施肥している。堆肥で不足する肥料成分量は化学肥料で補っている。また、このシステムの発電は、北海道の電力会社(北海道電力)が行っている。



バイオガスシステムは、4km 圏内 12 ヶ所の酪農家から約 1,300 頭分の乳牛ふん尿（敷料込み）を収集し、新設したバイオガスプラントでメタン発酵ガス化発電を行う。表 4-2 にプラントの概要を示す。バイオガスの平均発生量は 3,440Nm<sup>3</sup>/日である。バイオガスを燃料とした発電によって、平均 4,600kWh/日の電力を得る。得られた電力と廃熱は、プラント内のエネルギーとして活用し、余剰電力（平均 2,400kWh/日）は北海道電力に売電する。メタン発酵処理に伴って生じる消化液は、貯留工程を経て町内の耕種・飼料作物の肥料として用いられる。なお、消化液施肥で不足する肥料分量は化学肥料で補っている。

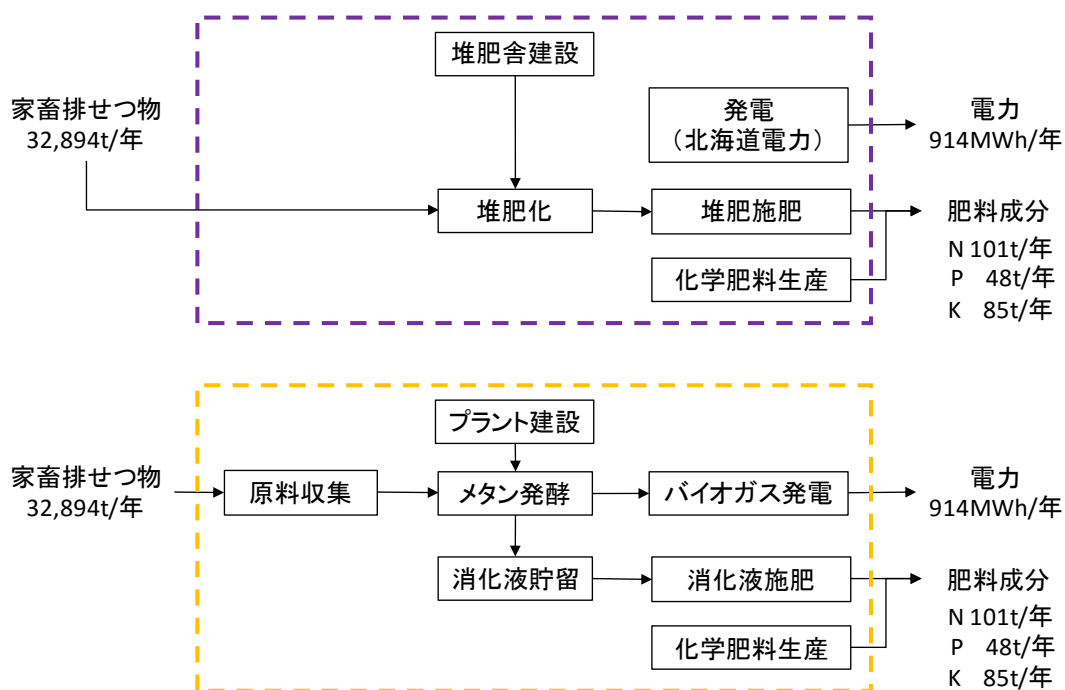


図 4-4 機能単位を揃えた事業実施前後の事業システム  
（上：堆肥化システム、下：バイオガスシステム）

表 4-2 対象事例のバイオガスプラントの概要

施設概要		備考	
発酵方式	嫌気性発酵（中温式：発酵温度38℃）		
処理能力	94.8 t/日		
原料			
乳牛ふん尿	85.8 t/日		
敷料等	4.0 t/日		
車両洗浄水	5.0 t/日		
バイオガス生産量	3,036 m <sup>3</sup> /日		
平均メタン濃度	57.8 %		
平均発電量	4,584 kWh/日		
平均売電量	2,384 kWh/日		
主要設備			
原料槽	250 m <sup>3</sup>	×2基	コンクリート製、長方形
発酵槽1	400 m <sup>3</sup>	×4基	コンクリート製、長方形
発酵槽2	800 m <sup>3</sup>	×2基	コンクリート製、円柱形
殺菌槽	100 m <sup>3</sup>	×2基	コンクリート製、長方形
消化液貯留槽	6,231 m <sup>3</sup>	×2基	グラスライニング鋼板製、円柱形
消化液貯留槽	11,477 m <sup>3</sup>	×1基	
ガスホルダ	250 m <sup>3</sup>	×2基	
主要機器			
原料槽	プロペラ式攪拌機	15.0 kW	×6台
	油圧式ピストンポンプ	3.7 kW	×2台
発酵槽1	バドル式攪拌機	3.7 kW	×4台
	スクルー式移送ポンプ	3.0 kW	×2台
発酵槽2	バドル式攪拌機	3.7 kW	×2台
	プロペラ式攪拌機	5.5 kW	×2台
	スクルー式移送ポンプ	3.0 kW	×2台
殺菌槽	プロペラ式攪拌機	5.5 kW	×2台
	スクルー式移送ポンプ	3.0 kW	×1台
貯留槽	プロペラ式攪拌機	11.0 kW	×7台
	くみ上げポンプ	7.5 kW	×4台
バイオガス利用機器			
	発電機（ガス専焼タイプ）	108 kW	×1基
	発電機（ガス専焼タイプ）	200 kW	×1基
	温水ボイラ	100,000 kcal	×3基
	蒸気ボイラ	1,000 kg/h	×1基
	余剰ガス燃焼装置	100 m <sup>3</sup> /h	×1基
脱硫方式			
	生物式脱硫	—	発酵槽2上部に併設
	乾式脱硫	—	活性炭を使用

### 4.3.2 雇用量の推計

各システムのライフサイクル雇用量 $L_x$ は、積み上げ法と産業連関法を組み合わせたハイブリッド法で推計する。地域特性や結果への影響が大きいと考えられる活動に伴う雇用量は積み上げ法(PA)によって推計し、その他の活動は産業連関法(IO)で推計する。また雇用量は空間的に、事業スポット(Spot)、北海道(HKD)、46都府県(46)、海外(Other)の4つに区分して推計する(式4-2)。

$$L_x = L_x^{PA\_Spot} + L_x^{PA\_HKD} + L_x^{IO\_HKD} + L_x^{IO\_46} + L_x^{IO\_Other} \quad \text{式 4-2}$$

ここで $x$ は before または after、 $L_x^{PA\_Spot}$ 、 $L_x^{PA\_HKD}$ 、 $L_x^{IO\_HKD}$ 、 $L_x^{IO\_46}$ 、 $L_x^{IO\_Other}$ はそれぞれ、積み上げ法で推計した事業スポットの雇用量、積み上げ法で推計した北海道の雇用量、産業連関法で推計した北海道の雇用量、産業連関法で推計した46都府県の雇用量、産業連関法で推計した海外の雇用量である。

対象事例で積み上げ法を適用したのは、堆肥化システムの堆肥舎更新時の現場での作業、堆肥施肥、北海道内で電力生産を担っている電力会社(北海道電力)の運用に伴う雇用量と、バイオガスシステムの原料収集、プラント建設の現場での作業、バイオガスプラントの運用、消化液輸送・施肥の雇用量である。ここで電力生産に伴う雇用量は、地域や年度毎の不確実性が大きいため、平均的な数値が適用される産業連関法ではなく、実態が反映できる積み上げ法を適用している。

上述した活動に伴う雇用量以外は、産業連関法で網羅的な推計を行っている。以下に、それぞれの推計方法を記す。

#### 4.3.2.1 積み上げ法

積み上げ法はヒアリング調査による事業データや地域独自のデータに基づいて実態に即した分析を行う手法である。バイオガスシステムの原料収集、バイオガスプラントの運用、消化液輸送・施肥に伴う雇用量は、ヒアリング調査で得た労働者数と年間労働日数から推計する(式4-3)。

$$E_x^{PA\_Spot} = \sum (l_k \times d_k) \quad \text{式 4-3}$$

ここで $l_k$ は活動 $k$ における労働者数[人]、 $d_k$ は活動 $k$ における年間労働日数[日]である。対象事例では、原料収集が 634 人・日、バイオガスプラントの運用 589 人・日、消化液輸送・施肥 210 人・日である(表 4-3)。

堆肥化システムの堆肥舎更新とバイオガスシステムのプラント建設時の現場作業に伴う雇用量は、事業スポットで生じている雇用であるため積み上げ法での推計を試みたが、建設年が 2006 年であり当時の数値を把握できる情報を得ることができていない。そのため、金額データと地域の産業連関表の投入係数<sup>39)</sup>および雇用係数<sup>49)</sup>から推計する。

北海道電力の運用に伴う雇用量は、年間発電量あたりの雇用者数、発電量、年間労働日数から推計する(式 4-4)。

$$E_x^{PA\_HKD} = l_{ele} \times m_{ele} \times d_{ave}. \quad \text{式 4-4}$$

ここで、 $l_{ele}$ は年間発電量あたりの雇用者数[人・年/kWh]、 $m_{ele}$ は発電量[kWh](=機  
能単位分:913,936kWh)、 $d_{ave}$ は年間労働日数[日/年]である。年間発電量あたりの雇  
用者数は、北海道電力の年間発電量[kWh]と従業員数[人・年]の実績値の 5 年平均  
値(2007~2011 年)を用いている<sup>105),106)</sup>。年間労働日数は、厚生労働省の調査結果<sup>107)</sup>より、253 日/年(2009~2013 年平均)としている。

表 4-3 ヒアリング調査で得られた雇用情報

		雇用者数 [人]	年間労働日数 [日/年]	雇用量 [人・日/年]
原料収集		2	317	634
プラント運用	技術者	1	329	329
	事務	1	260	260
消化液輸送・施肥		2	105	210

#### 4.3.2.2 産業連関法

事業導入による財・サービスの需要増減に伴う北海道、国内、海外の雇用量を、地域内産業連関表を用いた産業連関法で推計する。地域内表産業連関表は、国内を9つの地方ブロックに分けて作成されており、経済産業省の地方経済産業局がそれぞれホームページ上で公表している<sup>39)-47)</sup>。9つの地方ブロックとは、北海道、東北、関東、中部、近畿、中国、四国、九州、沖縄である。本研究で提案する推計手法では、地方ブロック別の9種の地域内産業連関表すべてを用いる。また、分析には2014年時点で公表されている地域内産業連関表の中で最新版にあたる2005年表を推計に利用している。

表4-4、表4-5に金額データを含む各システムの投入・産出量を示す。推計に用いる需要ベクトル $F_x$ は、事業者から得た情報(事業活動に必要な財・サービスに関する金額データ)を、地域内産業連関表の80部門に格付けして作成する。このとき、GDPデフレーター<sup>108)</sup>を用いて金額データを2005年価格に補正する。また、得られたデータは、商業・運輸マージンを含んだ購入者価格であるため、商業・運輸マージン率を用いて生産者価格に補正し、その結果推計される商業・運輸マージン額は、それぞれの部門に格付けする。

作成した各システムの最終需要ベクトル $F_x$ を式4-5～式4-7に与えることでそれぞれ総雇用量、国内の雇用量、北海道の雇用量を推計し、式4-8、式4-9に基づいて46都府県の雇用量および海外の雇用量を算出する。

$$\text{国内外の雇用量} \quad L_x^{ALL} = l^T (I - A_{JPN})^{-1} F_x \quad \text{式 4-5}$$

$$\text{国内の雇用量} \quad L_x^{JPN} = l^T \{I - (I - \hat{M}_{JPN}) A_{JPN}\}^{-1} F_x \quad \text{式 4-6}$$

$$\text{北海道の雇用量} \quad L_x^{HKD} = l^T \{I - (I - \hat{M}_{HKD}) A_{HKD}\}^{-1} F_x \quad \text{式 4-7}$$

$$\text{46都府県の雇用量} \quad L^{46} = L^{JPN} - L^{HKD} \quad \text{式 4-8}$$

$$\text{海外の雇用量} \quad L^{Other} = L^{ALL} - L^{JPN} \quad \text{式 4-9}$$

ここで、 $\mathbf{l}$ は雇用係数ベクトル( $\mathbf{T}$ は転置)、 $\mathbf{I}$ は単位行列、 $\mathbf{A}_{JPN}$ は全国版の産業連関表の投入係数行列、 $\hat{\mathbf{M}}_{JPN}$ は全国版の輸入係数ベクトル( $\hat{\cdot}$ は対角化)、 $\mathbf{A}_{HKD}$ は北海道の産業連関表の投入係数行列、 $\hat{\mathbf{M}}_{HKD}$ は北海道の輸移入係数ベクトル( $\hat{\cdot}$ は対角化)、 $\mathbf{F}_x$ は各システムの最終需要ベクトル(金額データ)を示している。

式 4-5 は、9 種の地域内産業連関表の合計から得られる全国版の投入係数行列  $\mathbf{A}_{JPN}$ を用いることで、事業導入に伴って波及的に生じる国内外の雇用量を推計する。式 4-6 では、全国版の輸入係数ベクトル  $\mathbf{M}_{JPN}$ を用いることで、国内に波及的に生じる雇用量を推計する。式 4-7 では、北海道の地域内産業連関表の投入係数行列  $\mathbf{A}_{HKD}$ と輸移入係数ベクトル  $\mathbf{M}_{HKD}$ を用いることで、北海道に波及的に生じる雇用量を推計する。式 4-8 では、国内の雇用量から北海道の雇用量を差し引くことで、46 都府県の雇用量を算出する。式 4-9 では国内外の雇用量から国内の雇用量を差し引くことで海外の雇用量を算出する。

80 部門の雇用係数ベクトルは総務省が公表している 2005 年産業連関表の付帯表である雇用表から作成する。このとき、雇用表の従業員総数に基づいて雇用係数を作成するため、推計対象は有給役員、雇用者(常用雇用および臨時・日雇)と個人事業主、家族従業員である。なお、雇用量の単位は人・日を採用しているため、産業連関法で求めた雇用者数に年間労働日数( $d_{ave.}=253$ 日/年)<sup>107)</sup>を乗じている。

表 4-4 堆肥化システム(事業実施前システム)の投入・産出量

プロセス		数量	単位
堆肥生産	投入	家畜排せつ物	32,894 t/年
	産出	堆肥	15,361 t/年
堆肥舎の更新		建設費 (12カ所、9,373m <sup>2</sup> )	20.60 百万円/年
堆肥施肥	投入	堆肥	6,624 t/年
		軽油	31,495 L/年
		マニュアルスプレッダー (20台)	2.00 百万円/年
	産出	肥料成分量	
		N	30 t/年
		P	48 t/年
	K	83 t/年	
化学肥料生産		硫安	17.95 百万円/年
		塩化カリウム	0.05 百万円/年
	肥料成分	N	71 t/年
		K	2 t/年
発電 (北海道電力)	投入	石炭	121 t/年
		重油	2,655 L/年
		原油	2,532 L/年
	産出	電力	913,936 kWh/年

表 4-5 バイオガスシステム(事業実施後システム)

プロセス			数量	単位
原料収集	投入	家畜排せつ物	32,894	t/年
		軽油	18,702	L/年
		特殊車両(2台)	4.60	百万円/年
		コンテナ (21個)	7.00	百万円/年
		運用費	2.47	百万円/年
	産出	家畜排せつ物	32,894	t/年
プラント建設		設備機器	46.63	百万円/年
		建築工事 (51,500m <sup>3</sup> )	9.02	百万円/年
メタン発酵	投入	家畜排せつ物	32,894	t/年
		車両洗浄水	1,825	t/年
		電力	988,294	kWh/年
		運用費	25.65	百万円/年
	産出	バイオガス	1,255,965	m <sup>3</sup> /年
		消化液	29,565	t/年
バイオガス発電	投入	バイオガス	1,255,965	m <sup>3</sup> /年
	産出	電力	1,902,230	kWh/年
		熱	4,253	Gcal/年
消化液貯留		消化液	29,565	t/年
消化液輸送・施肥	投入	消化液	29,565	t/年
		軽油	35,497	L/年
		スラリータンカー	6.43	百万円/年
		運用費	2.57	百万円/年
	産出	肥料成分 N	101	t/年
		P	18	t/年
		K	85	t/年
化学肥料生産		過リン酸塩	13.00	百万円/年
		肥料成分 P	30	t/年



#### 4.4 結果・考察

バイオガス事業の導入に伴う雇用量の変化を、4.4.1 で全体的に考察し、4.4.2 と 4.4.3 では事業スポット内と事業スポット外に分けて考察する。また 4.4.4 では、様々な産業連関表の活用方法がある中での、本研究の提案手法に関する考察を行う。

##### 4.4.1 バイオガス発電事業の導入に伴う雇用量の変化

推計結果は堆肥化システムが 1,697 人・日/年、バイオガスシステムが 5,412 人・日/年で、事業導入に伴う雇用量は 3,714 人・日/年増加となった(表 4-6)。

事業スポット、北海道、46 都府県、海外の 4 つに区分して雇用量の変化を見てみると、事業スポットが 1,208 人・日/年増加、北海道 1,723 人・日/年増加、46 都府県 552 人・日/年増加、海外 231 人・日/年増加となった。つまりバイオガス事業の導入はいずれの区分でも、雇用量の増加に寄与する結果となった。

全体的な雇用量の増加(3,714 人・日/年)に対し、それぞれの区分の雇用量増加が占める割合は、事業スポットが 33%、北海道 46%、46 都府県 15%、海外 6%となった。つまり、バイオガス事業の導入に伴う変化は、事業スポットで直接的に増加する雇用量よりも、事業導入に伴う財・サービスの需要増加によって生じる雇用量の方が大きく、これを無視することは過小な評価につながる事がわかる。

以上の結果より、事業導入に伴う便益を適切に把握するためには、事業スポットで直接的に生じる雇用量のみではなく、事業の外側で間接的に生じる変化も考慮することが重要である。

表 4-6 雇用変化量の推計結果

		堆肥化システム (事業実施前)	バイオガスシステム (事業実施後)	変化量
事業スポット	[人・日/年]	268 (16%)	1,476 (27%)	1,208 (33%)
近隣地域(北海道)	[人・日/年]	1,018 (60%)	2,741 (51%)	1,723 (46%)
国内(46都府県)	[人・日/年]	236 (14%)	788 (15%)	552 (15%)
海外	[人・日/年]	175 (10%)	406 (7%)	231 (6%)
合計	[人・日/年]	1,697 (100%)	5,412 (100%)	3,714 (100%)

#### 4.4.2 事業スポットの雇用量的変化

図 4-5 はプロセス別雇用量的内訳を示している。事業スポットでは、原料収集で 2 名 (634 人・日/年)、バイオガスプラントの運用に 2 名 (589 人・日/年)、消化液の輸送・施肥で 2 名 (210 人・日/年) の新たな継続的雇用が生まれている。一方で、施設建設における直接の雇用量的 (事業スポット分) が 60 人・日/年減少方向にある。これは堆肥化システムの施設更新需要がなくなることが影響しており、現場作業の雇用量的減少を意味している。また、消化液の肥料成分が堆肥を代替することによって、堆肥施肥作業が減少している。これは、酪農家ごとに行っていた施肥作業を環境保全センターが専用車両を用いて、消化液施肥を行うためであり、実際に酪農を営む労働者の喪失につながっているわけではない。むしろ、家畜排せつ物の堆肥化や堆肥施肥作業は、酪農家の負担となっているケースも報告されている<sup>109)</sup>ことから、雇用量的は減少方向にあるが、バイオガス事業の導入に伴う事業スポットでの雇用量的変化を積み上げ法で詳細に把握することで、雇用者数の増減に加えて、どこでどのような作業負担が生じているか、あるいは作業負担が軽減するかという情報も反映した評価が可能となる。

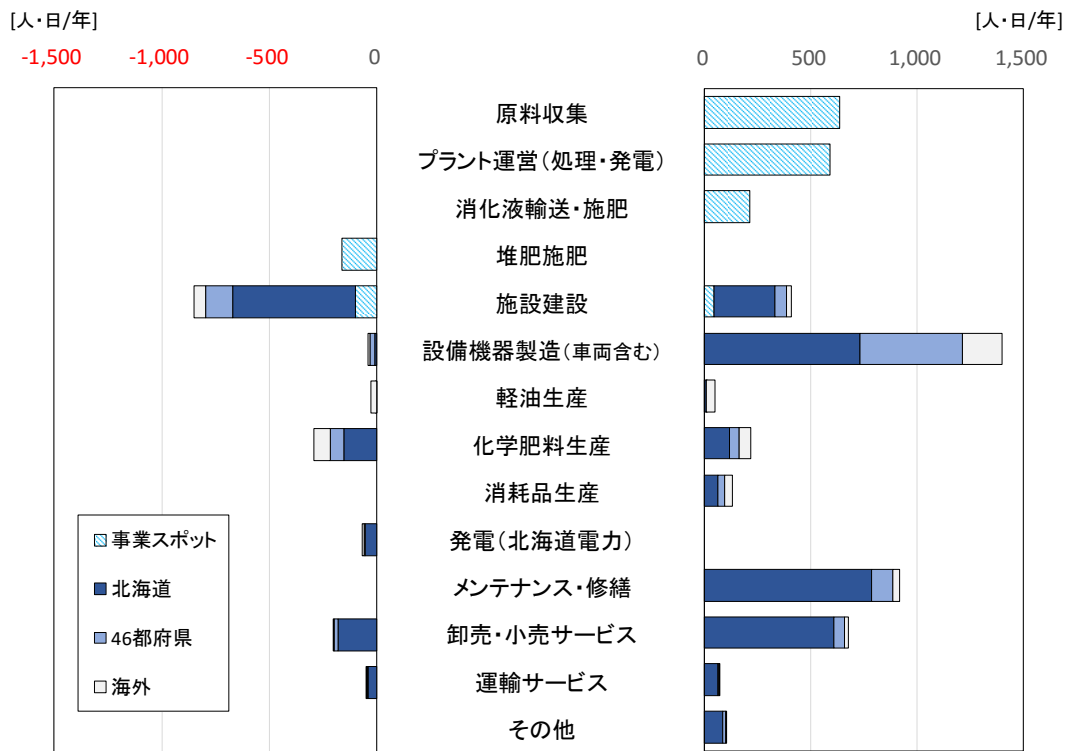


図 4-5 プロセス雇用量的内訳

#### 4.4.3 事業スポット以外の雇用量の変化

次に事業スポットの外側の雇用変化に着目する。事業スポット外の雇用量の変化はプロセス別の内訳で見ると、設備機器の製造や設備のメンテナンス・修繕における雇用量の増加が大きい。これは、バイオガスプラントの導入によって、設備機器の需要が生じ、これら機器・材料の生産に伴う雇用量が波及的に増えるためである。同様に、バイオガス事業に関連するメンテナンス・修繕需要、すなわち車両メンテナンスや設備機器の保守・修繕等の需要に伴う雇用量も波及的に増加する。

一方で、堆肥化システムの12戸分の堆肥舎更新需要はなくなるため、施設建設の間接的な雇用量が減少する。これは堆肥舎更新工事に必要となるコンクリート等の資材類製造やサービス事業の雇用量減少を意味している。また化学肥料生産に関しては、雇用量の増加、減少どちらにも寄与していることがわかる。化学肥料はどちらのシステムでも肥料成分の不足分を補うためにある程度の需要が生じるが、雇用量は結果的に事業導入に伴って減少傾向となることがわかった。これはバイオガスシステムの補てん量が堆肥化システムに比べ少ないためである。

#### 4.4.4 近隣地域(北海道内)における雇用効果に着目した考察

得られた結果に基づいて、事業スポットも含めた近隣地域(北海道内)における雇用量の追加的な増加の可能性を議論する。北海道外の雇用量増加が比較的大きいプロセスは設備機器製造やメンテナンス・修繕となっている(図4-5)。道外企業に代わって、設備機器の製造を道内で行うことは容易には実現できないが、メンテナンス・修繕を道内やより事業スポットに近い企業で担うことが出来れば、道内での雇用量増加につながる可能性がある。それゆえに事業スポットや近隣地域において既存企業を積極的に活用するとともに、バイオガス事業の実施と同時にメンテナンス・修繕需要の増加を見越した事業を、新たに立ち上げることを視野に入れることも重要となる。

また、このほかに近隣地域の雇用量増加に寄与する可能性があるプロセスとして、軽油製造が挙げられる。軽油製造の雇用効果はほとんど海外の便益となっている(図4-5)。これに対し、バイオガスプラントで製造できる圧縮メタンガスで軽油が代替できれば、原料や消化液などの輸送に使っている車両燃料(軽油)の製造に伴う雇用を道内で生み出せる可能性が示唆される。ただし、現時点で圧縮メタンガスは、実用化に向けた研

究開発が必要な段階にある。そのため、より現実的な代替案を考えた場合には、鹿追町が参加している十勝の広域連携事業(図 4-6)<sup>19)</sup> 脚注<sup>3</sup>で生産されているバイオ燃料の活用が、道内雇用量の増加に寄与する可能性がある。

上述した近隣地域における追加的な雇用量の増加とは反対に、道内雇用量の減少の視点から考察を加える。例えば、家畜排せつ物の共同処理施設としてバイオガスプラントが導入されることで、酪農家毎に設置されていた堆肥舎の更新需要がなくなることで、道内雇用量(施設建設の雇用量)が比較的大きく減少している(図 4-5)。これは、道内のある地域でのバイオガス事業の実施が、道外のみならず近隣地域である道内の雇用機会も減少させる可能性があることを定量的に示している。それゆえに、事業実施に伴う同じ道内でさえも予期せぬ「パイの取り合い」が生じうることに留意が必要である。

このように、ある地域における取組みが、その地域内外に及ぼす影響を定量的に理解することが重要である。各地域への影響を定量的に把握したうえで、どこを優先した事業促進を図るのか、どの事業に対する政策的補助が社会全体で見たときに有効なの

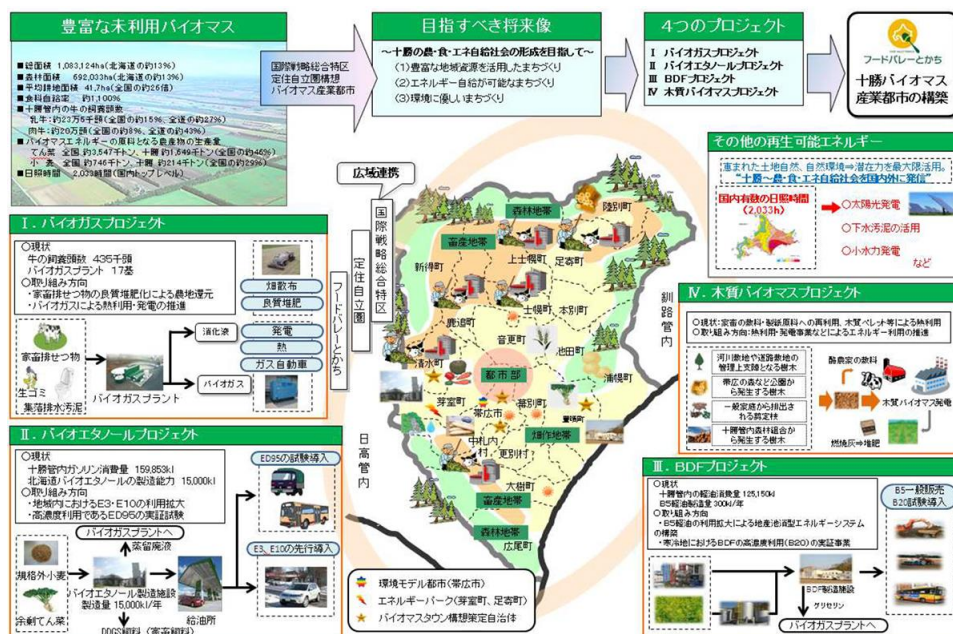


図 4-6 十勝バイオマス産業都市構想

(フードバレーとから Web ページ<sup>110)</sup>から引用)

脚注<sup>3</sup> ①バイオガスプロジェクト、②バイオエタノールプロジェクト、③BDFプロジェクト、④木質バイオマスプロジェクトの4つの柱により構成されている取り組み

かという観点から、政策立案および事業導入を進めていくことが重要であり、本手法によって得られる結果がそのような議論の判断材料となることが期待される。

#### 4.4.5 雇用量の推計方法に関する考察

本研究は雇用分析を容易に行うことを優先して、総務省の産業連関表<sup>38)</sup>(以下、全国表)と整合性のある9つの地域内産業連関表<sup>39)-47)</sup>(以下、地域内表)を活用している。ただし、地方経済産業局のホームページから入手可能で加工の手間が不要な地域内表は80部門となっているため、総務省の約400部門から成る全国表を利用するよりも、粗い部門での推計となっている点に留意が必要である。

また、地域内表は地方ブロック毎に作成されているため、北海道と沖縄以外の地方では、複数の県の統計量(例えば関東の場合1都10県から成る)ため、北海道、沖縄以外の地域で本手法を用いる場合には、統合されている地方単位(東北地方、関東地方など)で分析を行うことになる。

都道府県レベルでの影響を知るためには、地域内表の代わりに47都道府県で自治体が各々作成している産業連関表(以下、都道府県表)の活用が挙げられる。ただし、都道府県表は各々の地域で独自に作成しているため、地域の特色が現れる部門分類になっているなど、部門分類および一部の概念(定義/範囲)が必ずしも揃っていない<sup>111)-113)</sup>。そのため、ある都道府県表を他の都道府県表や全国表と比較する場合には、部門部類/概念の相違に留意する必要があり、分析の際には加工の手間が生じるという点において、都道府県表の利用は地域内表と比べて不利となる。

操作の容易さを優先する一方で、提案手法は北海道とその他の地域間に生じている相互依存関係を見逃している。例えば、北海道の設備機器需要の増加がその他地域の原材料生産を誘発し、さらにその生産誘発に伴って生じる需要が再び北海道へ波及する可能性があるが、本手法ではこのような「はねかえり需要<sup>114)</sup>」に伴う波及効果を見逃している。はねかえり需要の影響も含め、より精緻に雇用量の変化を分析するためには、2つ以上の産業連関表を接続して地域間産業連関表<sup>115),116)</sup>を作成する必要がある。

以上のように、本研究で提案した手法は、必要以上の手間をかけずに比較的容易な推計が可能であるという点では優れているが、ライフサイクル雇用量を精緻に分析すると

いう点では課題点もある。現実には限られた時間と費用の下で分析が行われるため、容易さと精緻さのバランスが重要となる。そのため、分析目的に応じた実用的評価手法の確立に向け、引き続き検討が求められる。

#### 4.5 おわりに

第 4 章では、バイオマス事業の導入に伴う影響が生じる地域に着目した実用的なライフサイクル評価手法を提案し、北海道の鹿追町環境保全センターにおけるバイオガス発電事業のライフサイクル雇用分析に適用した。提案手法は、雇用量の変化を、事業スポット、北海道、46 都府県、海外に区分して推計することが可能となっている。以下は、北海道鹿追町のバイオガス発電事業の分析結果から得られた知見である。

- ・ バイオガス発電事業の導入は、事業スポット内外で雇用量の増加に寄与する。このとき、事業スポットにおける直接的な雇用量の増加よりも、事業スポットの外側で誘発される間接的な雇用量の増加量の大きくなった。そのため、事業スポットだけでなく、その外側で生じる変化も考慮することが重要となる。
- ・ 事業スポットでは、事業導入によってあらたに生まれる雇用だけでなく、従来の酪農家の作業負担が減少する可能性を定量的に明らかにした。事業スポットに関しては、積み上げ法を用いて、事業の実態に即した分析を行うことで、雇用の具体的な中身も考慮した分析が可能となる。
- ・ 事業スポットの外側で誘発される、北海道、46 都府県、海外分の雇用変化に着目すると設備機器の保守・修繕や輸送用燃料製造において北海道内の企業や広域連携事業の活用により、道内の雇用量が増加する可能性が示唆された。その一方で、当該バイオガス発電事業の導入によって、道外のみならず、道内の雇用機会を失う可能性があることにも留意が必要である。

提案手法は、公に公表されている地域内産業連関表を活用することで、バイオガス発電事業の導入がもたらす地域別の雇用変化を容易に分析できることに特徴を持つ。他方、地域間の財・サービスのやり取りが十分に表現できないなどの課題もある。そのため、今後も引き続き、分析の容易さと結果の精緻さのバランスを考慮して、手法検討を行っていくことが重要である。

## 第5章 バイオマスプラント建設の GHG 排出量推計を対象とした推計手法に関する基礎的分析

### 5.1 はじめに

バイオマス事業のように多くのプロセスから成るシステムの評価実施を実用的に行っていくためには、積み上げ法で精緻な推計を優先的に行うプロセスと、産業連関法で平均的な推計を行うプロセスを合理的に選別することが重要となる。一方で、積み上げ法と産業連関法の作業負荷量に関する分析はこれまで十分に行われてきていない。

そこで、第 5 章では推計結果と作業負荷量のバランスに焦点をあてた推計手法に関する分析を行うことで、簡易手法の有用性を明らかにすることを目的とした。具体的には、バイオマス事業のライフサイクル評価の中でも、多種多様な財・サービスが投入されているためその推計作業が煩雑なプラント建設に伴う GHG 排出量(以下、プラント GHG 排出量)を対象として、積み上げ法と 2 種類の産業連関法(詳細 IO 法、簡略 IO 法)を、①推計結果(プラント GHG 排出量)、②推計に要する作業負荷量、③プラント GHG 排出量の結果がライフサイクル GHG 評価に与える影響の 3 つの観点から比較した。

### 5.2 研究方法

沖縄県宮古島市のバイオエタノールプラント<sup>121)</sup>と神奈川県三浦市の廃棄物系バイオマスの混合処理・再資源化事業<sup>122)</sup>の 2 ヶ所のバイオマス事業者から、プラント建設に関する詳細なデータを入手し、プラント建設に伴う GHG 排出量を推計する。推計方法は、物量データに基づく積み上げ法と金額データに基づく産業連関法を選択する。なお、産業連関法は金額データの詳細さが異なる 2 通りの方法を適用する。

データ種と詳細さが異なる 3 つの推計方法を、①推計したプラント GHG 排出量、②推計に要する作業負荷量、③プラント GHG 排出量が事業全体のライフサイクル GHG 排出量に与える影響という 3 つの観点で比較して、各手法で得られる結果の留意点を明らかにし、総合的に見て推計に有効な選択肢を示していく。以下に 3 つの観点的概要および推計方法を記述する。

### 5.2.1 プラント建設に伴う GHG 排出量

プラント GHG 排出量は、各種データと GHG 排出係数から推計する(式 5-1)。推計に用いる各種データや使用した排出係数の数が多い分析では、比較的詳細な排出要因の特定ができるなど、実態を反映した分析が可能となる。

$$\text{プラント建設に伴う GHG 排出量} \quad E_c = \sum_{i=1}^n (A_i \times EF_i) \quad \text{式 5-1}$$

ここで、 $A_i$ は活動*i*に関する物量または金額データ、 $EF_i$ は活動*i*に対応する排出係数である。以下に、各手法で用いたデータと排出係数をまとめる。

#### 5.2.1.1 積み上げ法による GHG 排出量の推計

積み上げ法では、 $A_i$ は物量データ、 $EF_i$ は MiLCA<sup>36)</sup>のインベントリデータ IDEA<sup>37)</sup>を参考に作成した排出係数を用いる。物量データに相当するのは、建設に必要な資材・設備に関する生コンクリート[m<sup>3</sup>]や鉄筋、鉄骨、舗装ブロック、建具など資材量や設備機器の重量、施工・設置工事に必要な軽油などの燃料消費量である。排出係数[t-CO<sub>2</sub>/unit]は、プロセス 1 単位あたりの CO<sub>2</sub> 排出量[kg-CO<sub>2</sub>/unit]、CH<sub>4</sub> 排出量[kg-CH<sub>4</sub>/unit]、N<sub>2</sub>O 排出量[kg-N<sub>2</sub>O/unit]と、地球温暖化係数(Global Warning Potential, 以下 GWP)<sup>117)</sup>(表 5-1)を用いて CO<sub>2</sub> 換算[t-CO<sub>2</sub>/unit]した値を用いる(表 5-2)。

表 5-1 地球温暖化係数(Global Warning Potential)

温室効果ガス(GHG)		地球温暖化係数(GWP)
二酸化炭素	CO <sub>2</sub>	1
メタン	CH <sub>4</sub>	25
亜酸化窒素	N <sub>2</sub> O	298

(IPCC 4th 報告書<sup>117)</sup>に基づき筆者作成)



表 5-2 積み上げ法で用いた GHG 排出係数

プロセス名	単位 [unit]	化石資源由来の 単位CO <sub>2</sub> 排出量 [kg-CO <sub>2</sub> /unit]	化石資源以外の 単位CO <sub>2</sub> 排出量 [kg-CO <sub>2</sub> /t]	単位CH <sub>4</sub> 排出量 [kg-CH <sub>4</sub> /unit] GWP=25	単位N <sub>2</sub> O排出量 [kg-N <sub>2</sub> O/unit] GWP=310	GHG排出係数 [kg-CO <sub>2</sub> eq/unit]
軽油の燃焼	L	2.811	0.000	0.00315	0.00005	2.904
普通鋼（最終鋼材）の製造	kg	1.546	0.001	0.00083	0.00004	1.580
特殊鋼（最終鋼材）の製造	kg	1.748	0.002	0.00091	0.00004	1.786
普通鋼鋼管の製造	kg	1.830	0.001	0.00103	0.00003	1.865
特殊鋼鋼管の製造	kg	2.140	0.001	0.00099	0.00000	2.166
普通鋼棒鋼の製造	kg	0.830	0.001	0.00025	0.00003	0.847
特殊鋼棒鋼の製造	kg	1.710	0.001	0.00087	0.00003	1.743
普通鋼線材の製造	kg	1.314	0.001	0.00064	0.00003	1.340
特殊鋼線材の製造	kg	2.187	0.001	0.00122	0.00004	2.230
ステンレス鋼材の製造	kg	3.661	0.004	0.00141	0.00014	3.743
ステンレス鋼管の製造	kg	3.589	0.004	0.00139	0.00398	4.814
伸銅品の製造	kg	2.507	0.002	0.00147	0.00019	2.601
亜鉛ダイカスト製品の製造	kg	3.714	0.009	0.00496	0.00031	3.940
生コンクリートの製造	m <sup>3</sup>	289.500	0.135	0.08280	0.00356	292.766
道路用コンクリート製品	kg	0.156	0.000	0.00011	0.00000	0.160
鉄筋コンクリート製品	kg	0.197	0.001	0.00005	0.00001	0.201
アスファルトの製造	kg	0.131	0.000	0.00336	0.00005	0.230
ポルトランドセメントの製造	kg	0.850	0.000	0.00018	0.00028	0.938
モルタルの製造	m <sup>3</sup>	507.300	5.002	0.10040	0.00434	516.105
砕石の製造	kg	0.011	0.000	0.00001	0.00000	0.012
採石、砂・砂利・玉石の生産	kg	0.007	0.000	0.00001	0.00000	0.007
一般製材品の製造	m <sup>3</sup>	50.999	18.073	0.04219	0.00336	71.129
普通合板の製造	m <sup>3</sup>	256.100	26.380	0.25610	0.04345	301.831
特殊合板の製造	m <sup>3</sup>	457.900	97.550	0.42330	0.07197	587.480
アルミセラミックスの製造	kg	19.970	0.000	0.00846	0.00225	20.852
板ガラス加工品	m <sup>2</sup>	49.208	0.085	0.00000	0.00536	50.890
ガラス製加工素材の製造	kg	5.548	0.032	0.00378	0.00026	5.751
アルミニウム板材（汎用）の製造	kg	10.040	0.004	0.00131	0.00014	10.120
電線・ケーブル（光ファイバーケーブルを除く）の製造	kg	6.874	0.012	0.00443	0.00000	6.998
開閉器の製造	台	1.855	0.029	0.00140	0.00016	1.965
分電盤の製造	面	17.610	0.067	0.01332	0.00149	18.455
その他入出力装置の製造	台	95.370	0.596	0.06720	0.00876	100.258
その他の電気照明器具の製造	個	9.736	0.106	0.00617	0.00066	10.193
発光ダイオードの製造	個	0.018	0.000	0.00001	0.00000	0.019
一般照明用電球	個	0.366	0.002	0.00024	0.00003	0.383
直管蛍光灯器具の製造	個	6.791	0.073	0.00432	0.00046	7.109
給排水用バルブ・コックの製造	個	5.483	0.013	0.00869	0.00055	5.878
ボルト・ナットの製造	kg	4.561	0.006	0.00438	0.00033	4.774
スイッチの製造	個	4.427	0.021	0.00817	0.00045	4.785
プラスチックの製造	kg	3.296	0.001	0.00526	0.00045	3.562
塩化ビニル樹脂の製造	kg	1.733	0.004	0.00479	0.00010	1.887
塗料の製造	kg	1.701	0.004	0.00475	0.00009	1.851
ABS樹脂（難燃性）の製造	kg	4.439	0.144	0.00289	0.00021	4.718
ポリエチレンの製造	kg	24.619	0.032	0.02386	0.00102	25.551
ポリプロピレンの製造	kg	0.895	0.007	0.00068	0.00002	0.927
石膏ボード、同製品の製造	m <sup>2</sup>	7.415	0.013	0.00737	0.00098	7.904
陶磁器製タイルの製造	m <sup>2</sup>	0.319	0.025	0.01477	0.00339	1.724
炭酸水素ナトリウムの製造	kg	0.747	0.000	0.00047	0.00000	0.759
強化プラスチック製板・棒・管・継手の製造	kg	2.166	0.008	0.00177	0.00011	2.252
ゼオライトAの製造	kg	288.400	0.261	0.13040	0.02364	298.966
ロックウール、同製品の製造	kg	2.941	0.000	0.00535	0.00000	3.075
ガラス短繊維、同製品の製造	kg	12.350	0.013	0.00861	0.00100	12.875
けい酸カルシウム保温材の製造	m <sup>3</sup>	632.100	9.045	0.28790	0.06411	667.447
スチレンモマーの製造	kg	2.941	0.000	0.00535	0.00000	3.075
ニッケル・同合金展伸材の製造	kg	12.350	0.013	0.00861	0.00100	12.875

(LCA ソフトウェア MiLCA<sup>36</sup>)のインベントリを参考に筆者作成)

### 5.2.1.2 産業連関法による GHG 排出量の推計

産業連関法では、 $A_i$ に金額データ、 $EF_i$ は3EIDを用いる。金額データは、事業者から入手したプラント建設費である。排出係数は、3EID<sup>48)</sup>の2005年産業連関表(基本分類表、生産者価格)に基づく、 $(I - A)^{-1}$ 型のGHG排出原単位[t-CO<sub>2</sub>eq./百万円]を用いる(表5-3～表5-5)。

産業連関法は、建設費用の内訳の詳細さが異なる金額データを用いて、2通りの分析を行っており、それぞれ詳細IO法、簡略IO法と呼ぶ。図5-1は2種の産業連関法の推計方法の違いを示している。詳細IO法は、一般的な産業連関法のやり方をとる。建設費の最も詳細な記述が確認できる工事積算書の明細項目に基づいて推計を行う。明細項目は1,000項目を超える金額データであり、項目ごとにひとつずつ該当部門格付けを行って排出係数を決定する。簡略IO法は、建設費を大きく土木費と設備費の2つに分類した、2項目の金額データで推計する。土木費は主に建屋建設費や外構工事費であるため、産業連関法のその他土木建設部門の排出係数に格付けている。設備は、バイオマス事業に導入される設備の多くが、反応槽や熱交換器などの化学機械であるため、産業連関法の化学機械部門の排出係数に格付けている。

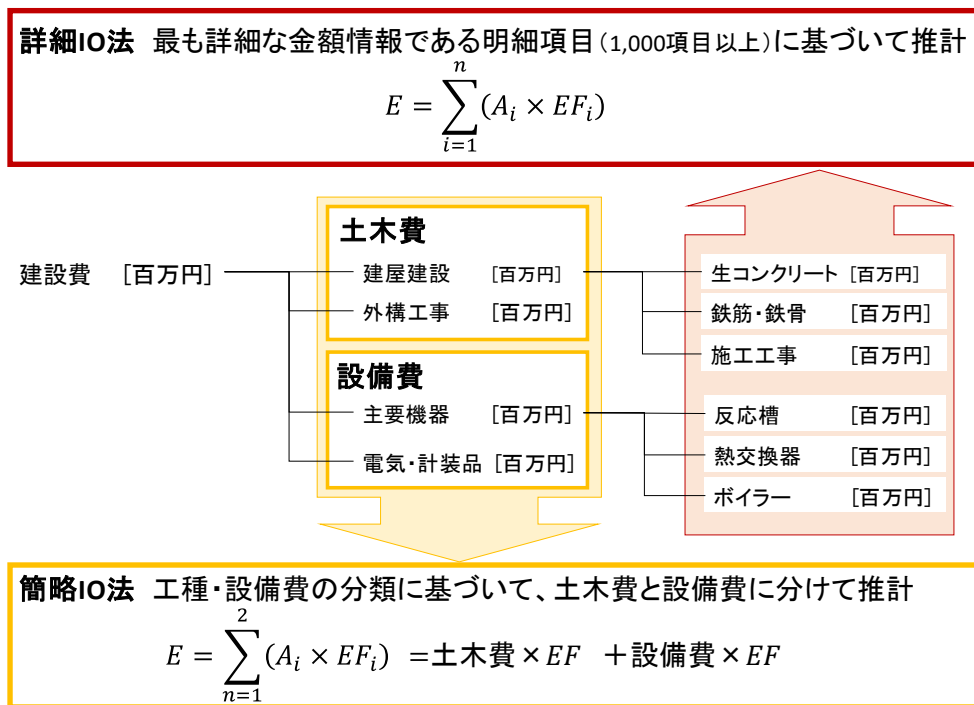


図 5-1 2種の産業連関法の推計に用いる金額データの違い

表 5-3 産業連関法で用いた GHG 排出係数(1/3)

部門コード	部門名	GHG排出原単位 [t-CO <sub>2</sub> eq./百万円]	部門コード	部門名	GHG排出原単位 [t-CO <sub>2</sub> eq./百万円]
1	11101 米	6.108	70	113102 有機質肥料(除別掲)	3.768
2	11102 麦類	5.943	71	114101 たばこ	0.775
3	11201 いも類	3.742	72	151101 紡績糸	5.946
4	11202 豆類	5.321	73	151201 綿・スフ織物(含合繊短繊維織物)	6.438
5	11301 野菜	4.167	74	151202 絹・人絹織物(含合繊長繊維織物)	6.810
6	11401 果実	3.407	75	151203 毛織物・麻織物・その他の織物	6.198
7	11501 砂糖原料作物	4.150	76	151301 ニット生地	4.922
8	11502 飲料用作物	12.646	77	151401 染色整理	9.303
9	11509 その他の食用耕種作物	7.386	78	151901 網・網	5.411
10	11601 飼料作物	9.321	79	151902 じゅうたん・床敷物	5.769
11	11602 種苗	1.887	80	151903 繊維製衛生材料	3.817
12	11603 花き・花木類	7.619	81	151909 その他の繊維工業製品	5.631
13	11609 その他の非食用耕種作物	4.381	82	152101 織物製衣服	3.405
14	12101 酪農	10.258	83	152102 ニット製衣服	4.323
15	12102 鶏卵	5.951	84	152209 その他の衣服・身の回り品	4.098
16	12103 肉鶏	7.342	85	152901 寝具	3.246
17	12104 豚	7.328	86	152909 その他の繊維既製品	3.440
18	12105 肉用牛	13.053	87	161101 製材	1.814
19	12109 その他の畜産	4.373	88	161102 合板	2.972
20	13101 獣医学	1.246	89	161103 木材チップ	2.170
21	13102 農業サービス(除獣医学)	3.122	90	161909 その他の木製品	2.287
22	21101 育林	0.446	91	171101 木製家具・装備品	2.474
23	21201 素材	1.720	92	171102 木製建具	2.621
24	21301 特用林産物(含狩猟業)	5.296	93	171103 金属製家具・装備品	4.485
25	31101 海面漁業	9.451	94	181101 バルブ	17.761
26	31104 海面養殖業	4.661	95	181201 洋紙・和紙	15.282
27	31201 内水面漁業・養殖業	5.015	96	181202 板紙	13.404
28	61101 金属鉱物	7.603	97	181301 段ボール	7.605
29	62101 業原料鉱物	7.808	98	181302 塗工紙・建設用加工紙	5.836
30	62201 砂利・採石	5.581	99	182101 段ボール箱	3.701
31	62202 砕石	5.406	100	182109 その他の紙製容器	4.412
32	62909 その他の非金属鉱物	9.529	101	182901 紙製衛生材料・用品	4.921
33	71101 石炭・原油・天然ガス	7.820	102	182909 その他のバルブ・紙・紙加工品	4.434
34	111101 と畜(含肉鶏処理)	8.391	103	191101 印刷・製版・製本	3.084
35	111201 肉加工品	4.778	104	201101 化学肥料	17.457
36	111202 畜産びん・かん詰	3.444	105	202101 ソード工業製品	19.480
37	111203 酪農品	6.619	106	202901 無機顔料	8.842
38	111301 冷凍魚介類	5.624	107	202902 圧縮ガス・液化ガス	10.883
39	111302 塩・干・くん製品	4.269	108	202903 塩	12.488
40	111303 水産びん・かん詰	4.334	109	202909 その他の無機化学工業製品	12.696
41	111304 ねり製品	3.579	110	203101 石油化学基礎製品	9.612
42	111309 その他の水産食品	3.395	111	203102 石油化学系芳香族製品	8.233
43	111401 精穀	4.905	112	203201 脂肪族中間物	14.610
44	111402 製粉	5.100	113	203202 環状中間物	10.376
45	111501 めん類	3.563	114	203301 合成ゴム	17.777
46	111502 パン類	2.942	115	203901 メタン誘導品	14.808
47	111503 菓子類	3.067	116	203902 油脂加工製品	5.441
48	111601 農産びん・かん詰	3.731	117	203903 可塑剤	10.528
49	111602 農産保存食料品(除びん・かん詰)	2.614	118	203904 合成染料	14.150
50	111701 砂糖	7.883	119	203909 その他の有機化学工業製品	9.132
51	111702 でん粉	6.943	120	204101 熱硬化性樹脂	8.211
52	111703 ぶどう糖・水あめ・異性化糖	8.941	121	204102 熱可塑性樹脂	8.604
53	111704 植物油脂	5.911	122	204103 高機能性樹脂	8.070
54	111705 動物油脂	7.543	123	204109 その他の合成樹脂	9.240
55	111706 調味料	3.206	124	205101 レーヨン・アセテート	16.431
56	111901 冷凍調理食品	4.036	125	205102 合成繊維	11.644
57	111902 レトルト食品	3.666	126	206101 医薬品	2.751
58	111903 そう菜・すし・弁当	3.491	127	207101 石けん・合成洗剤・界面活性剤	5.341
59	111904 学校給食(国公立)	2.951	128	207102 化粧品・歯磨	4.054
60	111905 学校給食(私立)	2.940	129	207201 塗料	5.963
61	111909 その他の食料品	4.061	130	207202 印刷インキ	5.313
62	112101 清酒	2.629	131	207301 写真感光材料	5.967
63	112102 ビール	1.612	132	207401 農業	7.270
64	112103 ウイスキー類	1.916	133	207901 セラチン・接着剤	6.078
65	112109 その他の酒類	2.308	134	207909 その他の化学最終製品	7.024
66	112901 茶・コーヒー	4.720	135	211101 石油製品	7.674
67	112902 清涼飲料	2.830	136	212101 石炭製品	15.149
68	112903 製氷	4.713	137	212102 舗装材料	3.881
69	113101 飼料	4.640	138	221101 プラスチック製品	4.191

表 5-4 産業連関法で用いた GHG 排出係数(2/3)

部門コード	部門名	GHG排出原単位 [t-CO <sub>2</sub> eq./百万円]	部門コード	部門名	GHG排出原単位 [t-CO <sub>2</sub> eq./百万円]
139	231101 タイヤ・チューブ	6.522	208	302905 真空装置・真空機器	3.835
140	231901 ゴム製履物	3.044	209	302909 その他の特殊産業用機械	3.445
141	231902 プラスチック製履物	3.877	210	303101 金型	3.879
142	231909 その他のゴム製品	4.138	211	303102 ヘアリング	6.303
143	241101 革製履物	2.440	212	303109 その他の一般機械器具及び部品	3.886
144	241201 製革・毛皮	5.006	213	311101 複写機	3.229
145	241202 かばん・袋物・その他の革製品	2.686	214	311109 その他の事務用機械	2.684
146	251101 板ガラス・安全ガラス	5.458	215	311201 サービス用機器	3.344
147	251201 ガラス繊維・同製品	9.316	216	321101 回転電気機械	4.258
148	251909 その他のガラス製品	5.793	217	321102 変圧器・変成器	3.851
149	252101 セメント	136.565	218	321103 開閉制御装置及び配電盤	3.690
150	252201 生コンクリート	27.223	219	321104 配線器具	2.853
151	252301 セメント製品	10.124	220	321105 内燃機関電装品	3.193
152	253101 陶磁器	6.805	221	321109 その他の産業用電気機器	3.147
153	259901 耐火物	7.854	222	322101 電子応用装置	2.411
154	259902 その他の建設用土石製品	10.187	223	323101 電気計測器	2.192
155	259903 炭素・黒鉛製品	7.881	224	324101 電球類	2.732
156	259904 研磨材	3.975	225	324102 電気照明器具	3.003
157	259909 その他の窯業・土石製品	6.440	226	324103 電池	4.421
158	261101 鉄鉄	69.522	227	324109 その他の電気機械器具	3.583
159	261102 フェロアロイ	17.352	228	325101 民生用エアコンディショナ	3.511
160	261103 粗鋼(転炉)	43.379	229	325102 民生用電気機器(除エアコン)	3.163
161	261104 粗鋼(電気炉)	10.872	230	331101 ビデオ機器	3.064
162	2612011 鉄屑	0.000	231	331102 電気音響機器	2.883
163	262101 熱間圧延鋼材	25.058	232	331103 ラジオ・テレビ受信機	2.999
164	262201 鋼管	16.739	233	332101 有線電気通信機器	2.642
165	262301 冷間仕上鋼材	19.075	234	332102 携帯電話機	2.732
166	262302 めっき鋼材	14.442	235	332103 無線電気通信機器(除携帯電話機)	2.722
167	263101 鋳鍛鋼	10.618	236	332109 その他の電気通信機器	2.489
168	263102 鋳鉄管	12.309	237	333101 パーソナルコンピュータ	2.722
169	263103 鋳鉄品及び鍛工品(鉄)	16.244	238	333102 電子計算機本体(除パソコン)	2.197
170	264901 鉄鋼シャースリット業	13.648	239	333103 電子計算機付属装置	2.604
171	264909 その他の鉄鋼製品	9.339	240	341101 半導体素子	8.195
172	271101 銅	7.864	241	341102 集積回路	3.750
173	271102 鉛・亜鉛(含再生)	7.648	242	342101 電子管	3.955
174	271103 アルミニウム(含再生)	5.249	243	342102 液晶素子	4.154
175	271109 その他の非鉄金属地金	6.293	244	342103 磁気テープ・磁気ディスク	4.884
176	2712011 非鉄金属屑	0.000	245	342109 その他の電子部品	3.262
177	272101 電線・ケーブル	4.493	246	351101 乗用車	3.819
178	272102 光ファイバケーブル	5.085	247	352101 トラック・バス・その他の自動車	3.895
179	272201 伸銅品	5.244	248	353101 二輪自動車	3.374
180	272202 アルミ圧延製品	3.788	249	354101 自動車車体	5.389
181	272203 非鉄金属素形材	5.431	250	354102 自動車用内燃機関・同部分品	4.044
182	272204 核燃料	2.258	251	354103 自動車部品	4.048
183	272209 その他の非鉄金属製品	5.122	252	361101 鋼船	7.415
184	281101 建設用金属製品	7.865	253	361102 その他の船舶	3.218
185	281201 建築用金属製品	4.644	254	361103 船用内燃機関	5.729
186	289101 ガス・石油機器及び暖房機器	5.999	255	361110 船舶修理	4.001
187	289901 ボルト・ナット・リベット及びスプリング	6.547	256	362101 鉄道車両	4.721
188	289902 金属製容器及び製缶板金製品	5.783	257	362110 鉄道車両修理	6.989
189	289903 配管工事付属品・粉末や金製品・道具類	4.422	258	362201 航空機	2.544
190	289909 その他の金属製品	4.778	259	362210 航空機修理	2.192
191	301101 ボイラ	2.820	260	362901 自転車	4.755
192	301102 タービン	3.878	261	362909 その他の輸送機械	4.364
193	301103 原動機	4.505	262	371101 カメラ	2.507
194	301201 運搬機械	3.774	263	371109 その他の光学機械	2.797
195	301301 冷凍機・温温調整装置	6.461	264	371201 時計	2.617
196	301901 ポンプ及び圧縮機	4.265	265	371901 理化学機械器具	2.475
197	301902 機械工具	3.702	266	371902 分析器・試験機・計量器・測定器	2.377
198	301909 その他の一般産業機械及び装置	4.146	267	371903 医療用機械器具	2.717
199	302101 建設・鉱山機械	3.990	268	391101 がん具	2.815
200	302201 化学機械	3.015	269	391102 運動用品	3.747
201	302301 産業用ロボット	3.255	270	391901 楽器	2.437
202	302401 金属工作機械	3.245	271	391902 情報記録物	2.360
203	302402 金属加工機械	3.982	272	391903 筆記具・文具	2.735
204	302901 農業用機械	3.848	273	391904 身辺細貨品	3.002
205	302902 繊維機械	3.568	274	391905 畳・わら加工品	2.398
206	302903 食品機械・同装置	4.546	275	391906 武器	3.108
207	302904 半導体製造装置	2.855	276	391909 その他の製造工業製品	2.796

表 5-5 産業関連法で用いた GHG 排出係数 (3/3)

部門コード	部門名	GHG排出原単位 [t-CO <sub>2</sub> eq./百万円]	部門コード	部門名	GHG排出原単位 [t-CO <sub>2</sub> eq./百万円]
277	392101 再生資源回収・加工処理	3.376	341	735103 出版	2.763
278	411101 住宅建築 (木造)	2.320	342	735104 ニュース供給・興信所	0.910
279	411102 住宅建築 (非木造)	3.448	343	811101 公務 (中央)	1.534
280	411201 非住宅建築 (木造)	2.486	344	811201 公務 (地方)	1.371
281	411202 非住宅建築 (非木造)	3.490	345	821101 学校教育 (国公立)	0.689
282	412101 建設補修	3.192	346	821102 学校教育 (私立)	1.190
283	413101 道路関係公共事業	4.328	347	821301 社会教育 (国公立)	1.883
284	413102 河川・下水道・その他の公共事業	4.162	348	821302 社会教育 (非営利)	2.659
285	413103 農林関係公共事業	4.889	349	821303 その他の教育訓練機関 (国公立)	4.602
286	413201 鉄道軌道建設	4.580	350	821304 その他の教育訓練機関 (産業)	2.602
287	413202 電力施設建設	3.659	351	822101 自然科学研究機関 (国公立)	3.345
288	413203 電気通信施設建設	3.207	352	822102 人文科学研究機関 (国公立)	2.720
289	413209 その他の土木建設	4.057	353	822103 自然科学研究機関 (非営利)	2.278
290	511101 事業用電力	28.198	354	822104 人文科学研究機関 (非営利)	1.394
291	511104 自家発電	67.679	355	822105 自然科学研究機関 (産業)	5.204
292	512101 都市ガス	4.817	356	822106 人文科学研究機関 (産業)	1.281
293	512201 熱供給業	15.615	357	822201 企業内研究開発	2.397
294	521101 上水道・簡易水道	1.364	358	831101 医療 (国公立)	1.905
295	521102 工業用水	1.527	359	831102 医療 (公益法人等)	1.564
296	521103 下水道	11.785	360	831103 医療 (医療法人等)	1.593
297	521201 廃棄物処理 (公営)	16.152	361	831201 保健衛生 (国公立)	1.459
298	521202 廃棄物処理 (産業)	7.669	362	831202 保健衛生 (産業)	1.838
299	611101 卸売	1.058	363	831301 社会保険事業 (国公立)	1.444
300	611201 小売	2.154	364	831302 社会保険事業 (非営利)	1.691
301	621101 金融	0.605	365	831303 社会福祉 (国公立)	1.329
302	621201 生命保険	0.752	366	831304 社会福祉 (非営利)	1.280
303	621202 損害保険	0.656	367	831305 社会福祉 (産業)	1.432
304	641101 不動産仲介・管理業	1.050	368	831401 介護 (居宅)	1.187
305	641102 不動産賃貸業	1.014	369	831402 介護 (施設)	1.427
306	642101 住宅賃貸料	0.501	370	841101 対企業民間非営利団体	1.660
307	642201 住宅賃貸料 (帰属家賃)	0.211	371	841102 対家計民間非営利団体 (除別掲)	1.126
308	711101 鉄道旅客輸送	2.768	372	851101 広告	1.687
309	711201 鉄道貨物輸送	4.642	373	851201 物品賃貸業 (除貸自動車)	0.748
310	712101 バス	3.061	374	851301 貸自動車業	0.897
311	712102 ハイヤー・タクシー	3.251	375	851410 自動車修理	2.308
312	712201 道路貨物輸送 (除自家輸送)	3.792	376	851510 機械修理	2.655
313	713101 自家輸送 (旅客自動車)	11.760	377	851901 建物サービス	0.748
314	713201 自家輸送 (貨物自動車)	11.373	378	851902 法務・財務・会計サービス	0.588
315	714101 外洋輸送	27.848	379	851903 土木建築サービス	1.190
316	714201 沿海・内水面輸送	12.975	380	851904 労働者派遣サービス	0.134
317	714301 港湾運送	1.640	381	851909 その他の対事業所サービス	0.625
318	715101 航空輸送	11.258	382	861101 映画館	2.728
319	716101 貨物利用運送	1.461	383	861102 興行場 (除別掲)・興行団	1.229
320	717101 倉庫	2.200	384	861103 遊戯場	2.583
321	718101 こん包	2.164	385	861104 競輪・競馬等の競走場・競技団	1.449
322	718901 道路輸送施設提供	1.275	386	861105 スポーツ施設提供業・公園・遊園地	1.585
323	718902 水運施設管理	1.786	387	861109 その他の娯楽	1.797
324	718903 その他の水運付帯サービス	0.687	388	861201 一般飲食店 (除喫茶店)	2.707
325	718904 航空施設管理 (国営)	1.903	389	861202 喫茶店	2.692
326	718905 航空施設管理 (産業)	2.453	390	861203 遊興飲食店	2.081
327	718906 その他の航空付帯サービス	1.215	391	861301 宿泊業	2.783
328	718909 旅行・その他の運輸付帯サービス	0.810	392	861401 洗濯業	2.198
329	731101 郵便・信書便	1.138	393	861402 理容業	1.290
330	731201 固定電気通信	1.046	394	861403 美容業	1.103
331	731202 移動電気通信	0.745	395	861404 浴場業	4.855
332	731203 その他の電気通信	1.325	396	861409 その他の洗濯・理容・美容・浴場業	1.689
333	731909 その他の通信サービス	1.301	397	861901 写真業	1.307
334	732101 公共放送	1.518	398	861902 冠婚葬祭業	2.589
335	732102 民間放送	1.183	399	861903 各種修理業 (除別掲)	1.988
336	732103 有線放送	1.103	400	861904 個人教授業	1.169
337	733101 情報サービス	0.929	401	861909 その他の対個人サービス	1.177
338	734101 インターネット附随サービス	1.224	402	890000 事務用品	4.540
339	735101 映像情報制作・配給業	1.447	403	900000 分類不明	3.041
340	735102 新聞	3.698			

(表 5-3～表 5-5 は、3EID<sup>48</sup>)から引用)

### 5.2.2 推計に要する作業負荷量

プラント GHG 排出量の推計に要する作業負荷量  $WL$ [人・時間]は、作業手順を①データ入手・作成と②GHG 排出量の計算の 2 段階として、推計方法毎に設定した作業基準から推計する(式 5-2、5-3)。

$$\text{推計に要する作業負荷量} \quad WL = WL_1 + WL_2 \quad \text{式 5-2}$$

$$\text{各作業における作業負荷量} \quad WL_m = \frac{n}{S_m} \quad \text{式 5-3}$$

作業負荷量は、作業手順の工数であり、推計に用いる各種データの項目数を作業基準で除することで算出する。作業基準は、作業手順において、1 人が 1 時間で作業可能な項目数を意味している。

ここでは、事業者が通常業務と並行して推計作業を行うことを想定しており、作業者のスキルはライフサイクル評価についての知見を有しているが、実際に行ったことがない程度のレベルで考えている。作業基準は、作業者のスキルによって大きく異なる可能性があるが、ここでは一例として実際に作業に取り組んだ 3 名(事業者、筆者、同程度のスキルを有する学生)の実績に基づいて、表 5-6 のように設定した。なお、作業負荷量に関しては、小数点以下の精度はないので、小数点以下を切り上げ整数で推定する。以下に、それぞれの推計方法での作業手順を記す。

表 5-6 設定した積み上げ法・産業連関法の作業基準

	積み上げ法	産業連関法	
		詳細IO法	簡略IO法
データ入手・作成 $S_1$ [項目数/人・時間]	12	70	
GHG排出量の計算 $S_2$ [項目数/人・時間]	18	35	

#### 5.2.2.1 積み上げ法の作業負荷

積み上げ法で用いる物量データは、事業者が管理している資料から作成する。

作業手順①は、事業者が管理している資料から物量に相当する項目を抽出し、表計算ソフト(Microsoft Excel 2010)に入力する作業であり、作業基準は 12 項目/人・時間とする。資料から物量データを抽出するとき、電子化などのデータ整備が全く行われていない場合には、5～10cm ファイルを 5 冊程度参照する作業が生じる。なお、物量データが記載されている資料は原則として事業者が管理しているものであり、手元にあるという前提の下で資料入手に要する時間は計上しない。

作業手順②は、物量データと IDEA のデータ項目を照らし合わせて、対応する排出係数を決定・計算する作業であり、作業基準は 18 項目/人・時間とする。事業者の資料から得られる物量データには、素材重量やエネルギー消費量のほかに、製品数量が含まれている。製品に直接対応する排出係数が得られない場合には、その製品を構成する素材の排出係数を用いて GHG 排出量を推計している。例えば、費用項目で窓 1 枚となっている場合、窓そのものに対応する排出係数はないため、構成素材であるアルミニウムとガラスの排出係数を用いて推計を行う。製品を構成している素材及びその素材重量については、型番等に基づいて、製品情報から決定している。ただし、特定の製品に関する構成素材量が得られない場合には、Web から入手した汎用品のデータを用いている。

基本的には、上述した 2 段階の作業で推計を行っていくが、積み上げ法の場合、管理している資料のみで全ての物量データを網羅できないことがある。その場合には、工事施工業者や製品事業者への問い合わせが必要となる。このような追加的データ入手のために、事業者以外への問い合わせを行った場合には、資料入手までに 2～4 週間の時間を要する可能性があることがわかっている。

#### 5.2.2.2 産業連関法の作業負荷

産業連関法は、データ入手・作成の作業基準値を 70 項目/人・時間、GHG 排出量計算の作業基準値を 35 項目/人・時間とする。詳細 IO 法と簡略 IO 法の作業内容を以下に記述する。

詳細 IO 法の作業手順①は、建設費の内訳明細がわかる紙ベースの資料を入手し、

費用項目を表計算ソフト(Microsoft Excel 2010)に入力する作業となる。事業者自身が建設費の資料を入手する時間については、積み上げ方法と同様に計上しない。建設費は電子データで取得可能な場合もあり得るが、本研究では紙での取得を想定している。作業手順②では各費用項目が産業連関表の基本分類(403部門)のどの部門に該当するのかを調べ格付けする作業となる。この作業は産業連関表総合解説編<sup>118)</sup>、日本標準産業分類<sup>119)</sup>、工業調査等<sup>120)</sup>を参考にして1項目ずつ行っていく。

簡略 IO 法の作業手順①は、建設費を土木費または設備費の2項目に分類することであり、作業手順②では機械的に土木費はその他土木建設部門、設備費は化学機械部門に格付けする。

### 5.2.3 プラント GHG 排出量がライフサイクル GHG 排出分析に与える影響

プラント GHG 排出量がライフサイクル GHG(以下、LC-GHG)排出量に与える影響を、プラント GHG 排出量が、事業実施前後の変化量に占める割合で評価する。

バイオマス事業実施がもたらす影響を分析するために、事業実施前後で同じ機能をもつ2つのシステムを設定し、事業実施前の LC-GHG 排出量と事業実施後の LC-GHG 排出量の差分で、GHG 削減効果を推計する(式 5-4)。このとき評価期間はプラントの耐用年数である15年とする。

$$\text{GHG 削減効果} \quad R = E_{\text{before}} - E_{\text{after}} \quad \text{式 5-4}$$

ここで  $R$  は GHG 削減効果、 $E_{\text{before}}$ 、 $E_{\text{after}}$  はそれぞれ事業実施前、実施後の LC-GHG 排出量である。

図 5-2 はバイオマス事業実施前後の2つのシステムの設定例を示している。機能単位は、両システムの投入産出量から決定する。バイオマス事業実施前は、ある製品の生産に対し、原料とエネルギーが投入され、生産された製品を消費するまでのシステムとなっている。このとき、ある製品の生産・消費に伴う GHG 排出量の合計が、 $E_{\text{before}}$ となる(式 5-5)。

$$\text{事業実施前の LC-GHG 排出量} \quad E_{\text{before}} = \sum_{i=1}^l E_i \quad \text{式 5-5}$$



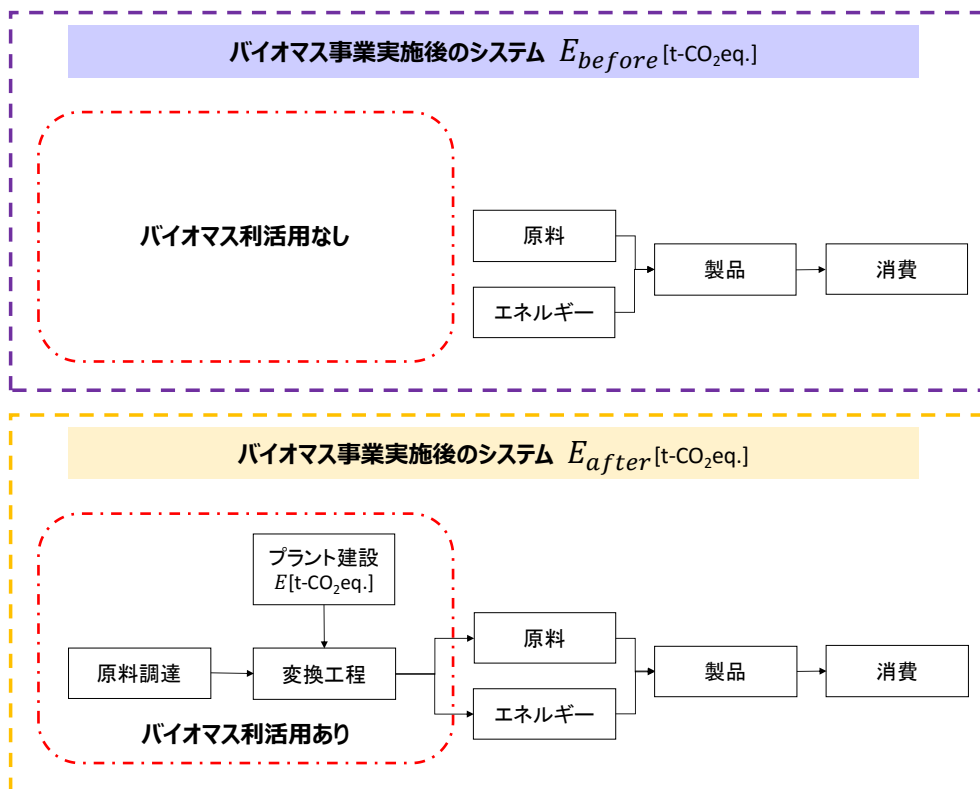


図 5-2 バイオガス事業実施前後の事業システム設定例

ここで、 $E_i$ はプロセス*i*のGHG排出量であり、図5-2における事業実施前プロセスは、原料製造、エネルギー製造、製品生産、消費の4つであるため $l=4$ である。

他方、バイオマス事業実施後はある製品に投入される原料やエネルギーをバイオマスで代替するシステムとなる。バイオマスを製品の原料やエネルギー資源として利用する場合には、そのバイオマスを調達(原料調達)し、変換工程を経ることが必要となる。このように、ある製品の原料やエネルギー資源としてバイオマスを利用し、製品を生産・消費する際に生じるGHG排出量の推計を行う(式5-6)。

事業実施後のLC-GHG排出量 
$$E_{before} = \sum_{i=1}^{l'} E'_i \quad \text{式 5-6}$$

ここで $E'_i$ は、プロセス*i*のGHG排出量であり、図5-2における事業実施後のプロセス

は、原料製造、エネルギー製造、製品生産、消費、原料調達、変換工程、プラント建設の7つであるため  $l' = 7$  である。

事業実施前後の変化量は、事業実施前後で対応するプロセスの差分から算出する(式 5-7)。ただし、事業実施前後で対応する場合にはそのプロセスの排出量をゼロとして差分を算出する。変化量計算の際のプロセス数は、事業実施前後のプロセスのうち重複分を除いて合計下値となる。図 5-2 の場合、 $l = 4$ 、 $l' = 7$  で重複するプロセスが 4 つなので、 $k = 7$  となる。

$$\text{変化量} \quad \Delta E = \sum_{i=1}^k |E_k - E'_k| \quad \text{式 5-7}$$

プラント GHG 排出量が LC-GHG 排出量に与える影響は、プラント GHG 排出量の変化量に占める割合で評価する。

$$\text{プラント GHG 排出量が LC-GHG 排出量に与える影響} \quad \mu = \frac{E_c}{\Delta E} \quad \text{式 5-8}$$

### 5.3 対象事例

対象事例とした 2 つの事業は、沖縄県宮古島市の廃糖蜜(モラセス)を用いたバイオエタノール生産事業と、神奈川県三浦市の廃棄物系バイオマスの混合処理・再資源化事業である。以下に、各事例について記述する。

#### 5.3.1 事例 1 廃糖蜜を用いたバイオエタノール生産事業

この事業では宮古島市の基幹産業であるサトウキビ農業を持続可能とすること、島嶼エネルギーの確保、地球温暖化防止への貢献などを目的とした地産地消型の循環社会システムの構築を目指している。図 5-3 は宮古島におけるバイオエタノール実証事業のスキームを示している。具体的には、サトウキビ製糖後のモラセスを原料にバイオエタノールを製造し、ガソリンと混合した E3 燃料の島内利用(全島 E3 化)を計画している<sup>121)</sup>。

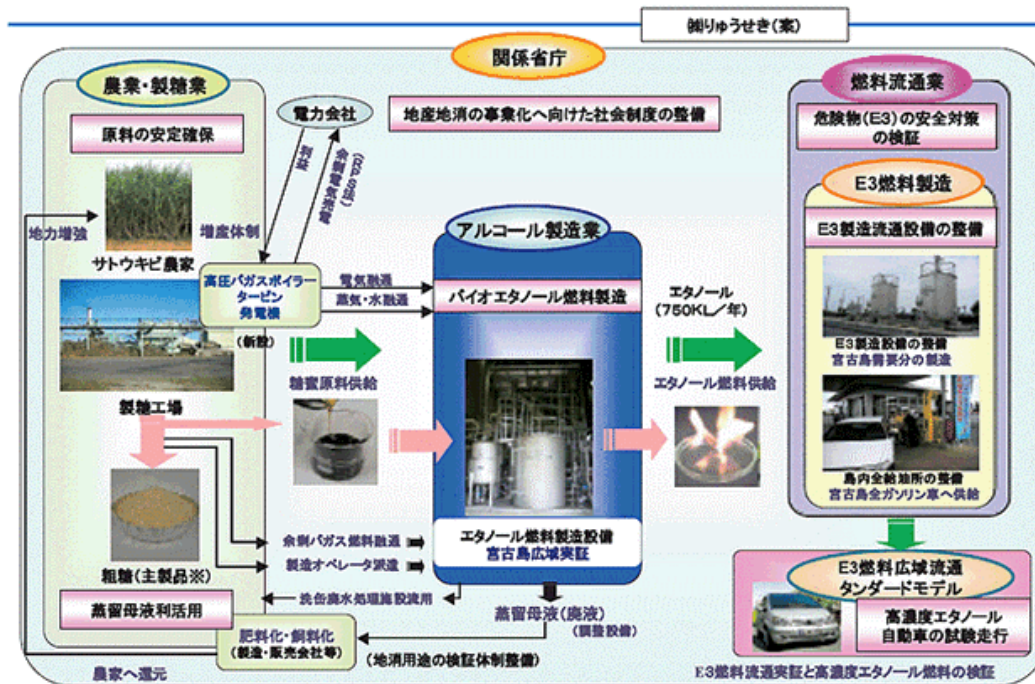


図 5-3 宮古島市における広域実証事業スキーム

(独立行政法人農畜産業振興機構 Web ページ<sup>121)</sup>から引用)

### 5.3.1.1 推計対象プラント

事例 1 の推計対象は、このプロジェクトの実施に伴って新設したエタノール製造プラントである。敷地面積は 8,500m<sup>2</sup> で、延床面積は 1,560m<sup>2</sup> である。無水エタノールの生産能力 4kL/日の製造設備を有している。エタノール製造設備は、培養・発酵・蒸留・濃縮・脱水設備で構成されており、これら設備は鉄骨工事の建屋内にある。

製造設備のほかに、屋外タンク 10 基から成る貯蔵設備、用役設備、排水処理設備が施設内に設置されている。また、全ての設備は中央監視コンピュータによって一括管理されており、この設備は建屋内に中央監視コンピュータ室として位置している。このほか、同施設内に実証設備である有価物回収設備と実験室があるが、これらはエタノール製造事業本体とは直接関係しないことから、本研究の推計の範囲外としている。

### 5.3.1.2 バイオマス事業実施前後のシステム設定

図 5-4 に、事例 1 の機能単位と 2 つのシステム設定を示す。システムの設定とプラント GHG 排出量以外の推計値は宮古島市の取り組みのライフサイクル環境・社会経済影響評価を行った先行研究<sup>58)</sup>に従っている。

バイオマス事業実施前は、サトウキビから砂糖の原料となる粗糖を生産し、その副産物であるモラセスを当該で家畜飼料等に活用している。このとき自動車走行にはガソリンのみを使用している。

バイオマス事業実施後は、製糖副産物のモラセスをバイオエタノールの原料に利用し、製造したエタノールとガソリンを質量比 3 対 97 の割合で混合して E3 燃料を製造し、自動車走行の燃料として使用する。なお、バイオマス事業実施後のシステムでは、モラセス

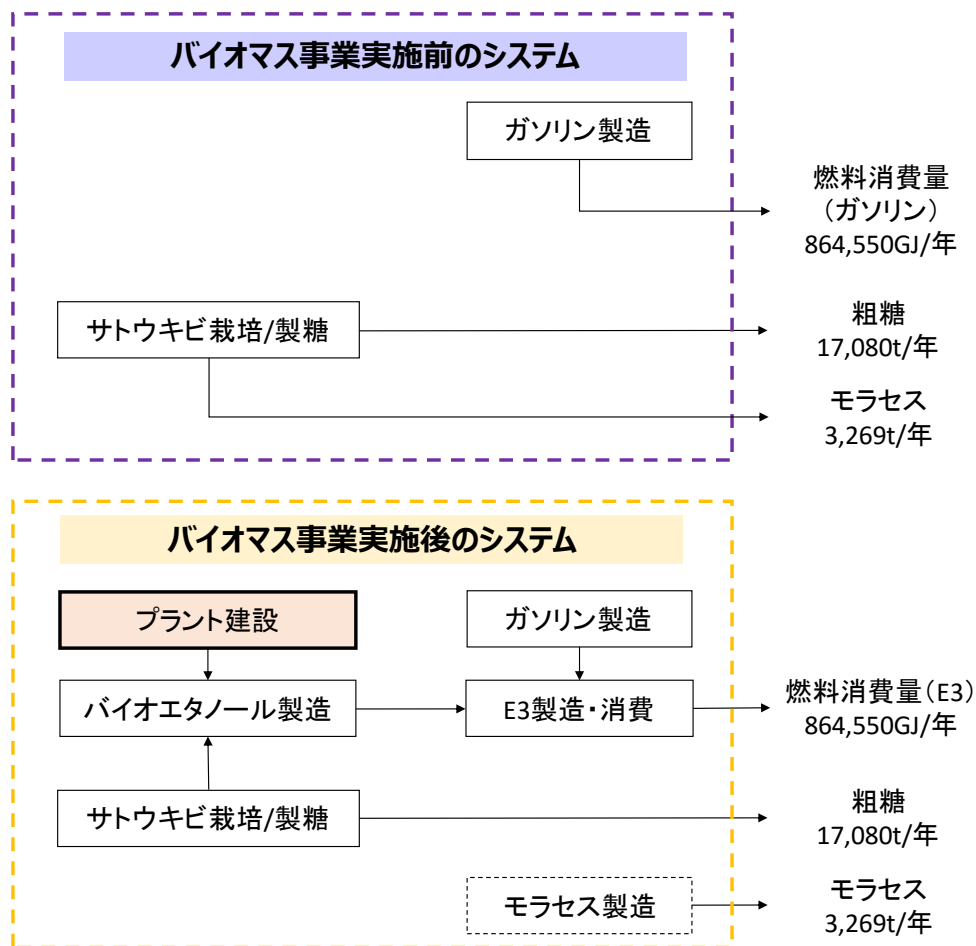


図 5-4 宮古島市バイオエタノール事業における事業実施前後のシステム

(菊地(2011)<sup>58)</sup>を参考に筆者作成)

をエタノール製造に充てるため、島外輸送に充てるモラセス分の生産・輸送を代替プロセスで補てんすると仮定し機能単位を揃えている。

### 5.3.2 事例 2 廃棄物系バイオマスの混合処理・再資源化事業

事例 2 はバイオマス利活用実施前まで個別に処理が行われていた市内で発生する廃棄物を、新設した処理施設で回収・処理する取組である<sup>122)</sup>。図 5-5 は取組にあたって導入した三浦バイオマスセンター(以下、MBC)の事業運営スキームを示している。回収対象としている廃棄物は、農作物残渣、水産物残渣、し尿・浄化槽汚泥、下水汚泥である。これらの廃棄物を原料として、嫌気性消化でバイオガスを生成し、嫌気性消化の残渣から肥料を生産する。

#### 5.3.2.1 推計対象プラント

事例 2 の推計対象プラントは、新設された MBC である。この施設には、バイオガス生成利用設備と肥料生産設備が含まれる。敷地面積は 11,450m<sup>2</sup> で、延床面積は 3,000m<sup>2</sup> である。施設には 3 つの建屋があり、それぞれ管理棟・処理棟・堆肥棟となつて

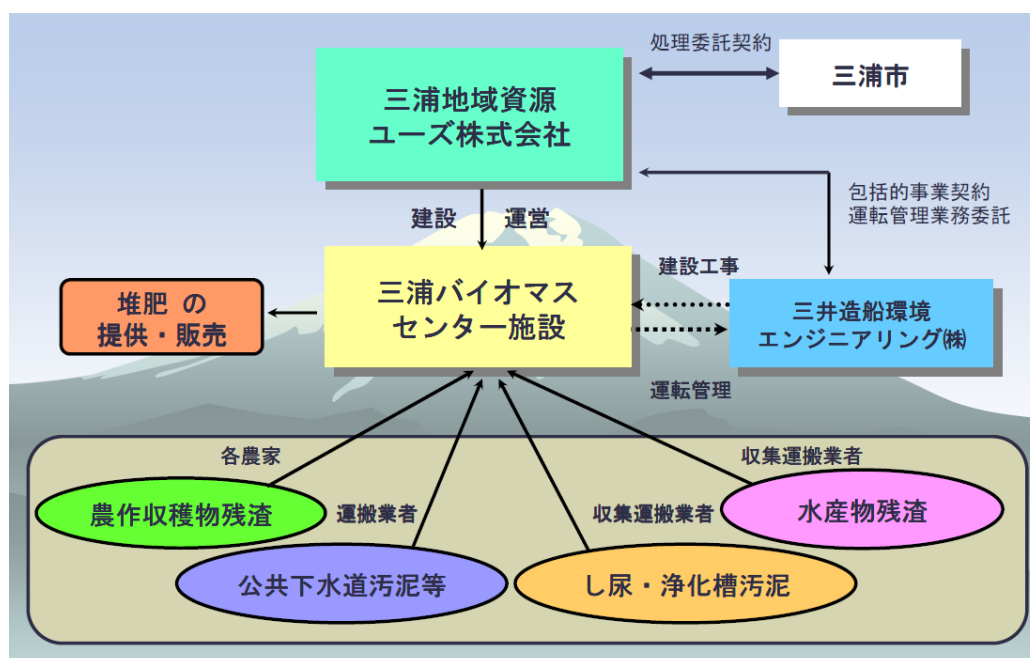


図 5-5 三浦バイオマスセンターの事業運営スキーム  
(三浦地域資源ユーズ株式会社の公表資料<sup>122)</sup>から引用)

いる。建屋内および敷地内には、各種残渣・汚泥の受入設備、前処理設備、メタン発酵設備、バイオガス利用設備、固液分離設備、水処理設備、堆肥化設備がある。

計画処理量は、し尿・浄化汚泥が 60～65kL/日、農作物残渣が約 20t/日、水産物残渣が 0.5t/日、公共下水道汚泥が約 4～6t/日である。計画処理量に対し、計画発生ガス量は約 1,000Nm<sup>3</sup>/日(メタン濃度 60%)である。

### 5.3.2.2 バイオマス事業実施前後のシステム設定

図 5-6 に事例 2 の機能単位と 2 つのシステム設定を示す。システムの設定とプラント GHG 排出量以外の推計値は、三浦市の取り組みのライフサイクル環境影響評価を行った先行研究<sup>59)</sup>に従っている。

バイオマス事業実施前は、各種残渣・汚泥を個別に処理していた。農作物残渣は市内の共同保管場で残置処理されていた。水産物残渣は、埼玉県まで輸送し飼料化されていた。し尿・浄化槽汚泥は、三浦市内の衛生センターで収集・処理され、脱水汚泥は市内埋立地で処分されていた。下水汚泥は、栃木県まで輸送し堆肥化されていた。

バイオマス事業実施後は、各種残渣・汚泥を収集し、MBC で処理することで、バイオガスの生成・利用と肥料生産が行われている。バイオガスは MBC でエネルギーとして利用し、肥料は市内農家に頒布されている。

なお、バイオマス事業実施前後で、飼料生産量と肥料生産量が異なる。そのため、事業実施前システムでは不足している肥料生産量を代替プロセスで補てんすると仮定している。事業実施後のシステムでは、不足する飼料生産分を代替プロセスで補てんすると仮定し、両システムの機能単位を同一にしている。

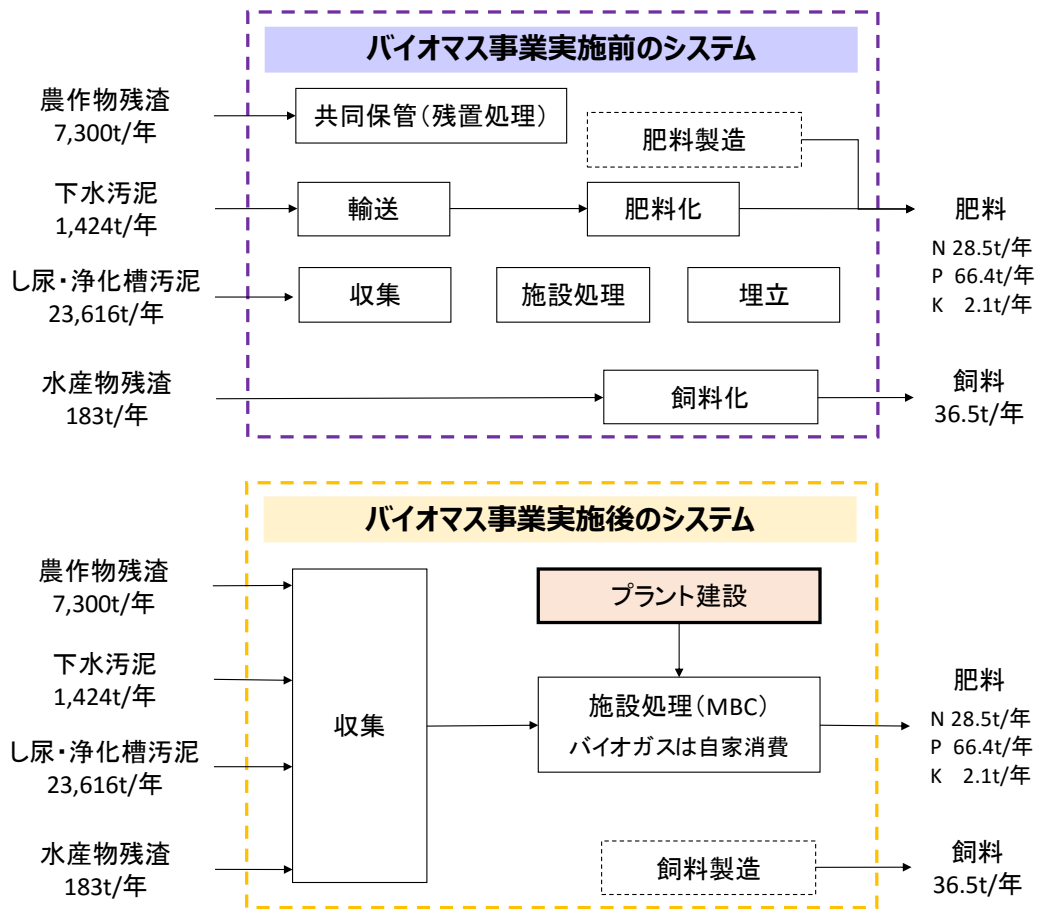


図 5-6 三浦バイオマス事業の事業実施前後のシステム

(鶴谷(2013)<sup>59</sup>)を参考に筆者作成)

## 5.4 結果・考察

表 5-7 はプラント GHG 排出量の推計結果を、表 5-8 はプラント GHG 排出量の推計に要した作業負荷量を示している。データ項目は、入手した物量データの項目数または、金額データの項目数を意味している。また排出係数は、各種データに対し使用した排出係数の数または部門数を意味している。

以下では、5.4.1 で積み上げ法と詳細 IO 法の比較、5.4.2 で詳細 IO 法と簡略 IO 法の比較、5.4.3 でプラント建設に伴う GHG 排出量がライフサイクル GHG 排出量に与える影響についてそれぞれ考察する。

表 5-7 プラント建設に伴う GHG 排出量

			積み上げ法	産業連関法	
				詳細IO法	簡略IO法
事例1	データ項目	[項目]	1,180	3,086	2
	排出係数	[項目、部門]	49	64	2
	GHG排出量	[t-CO <sub>2</sub> eq.]	3,203	6,109	4,724
	相対比率	(積み上げ法基準)	1.00	1.91	1.47
		(詳細IO法基準)	—	1.00	0.77
事例2	データ項目	[項目]	967	2,171	2
	排出係数	[項目、部門]	30	59	2
	GHG排出量	[t-CO <sub>2</sub> eq.]	3,835	7,310	5,774
	相対比率	(積み上げ法基準)	1.00	1.91	1.51
		(詳細IO法基準)	—	1.00	0.79

表 5-8 プラント GHG 排出量の推計に要した作業負荷量

				積み上げ法	産業連関法	
					詳細IO法	簡略IO法
事例1	データ入手・作成	WL <sub>1</sub>	[人・時間]	99	45	1
	GHG排出量の計算	WL <sub>2</sub>	[人・時間]	66	89	1
	合計	WL	[人・時間]	165	134	2
事例2	データ入手・作成	WL <sub>1</sub>	[人・時間]	81	32	1
	GHG排出量の計算	WL <sub>2</sub>	[人・時間]	54	63	1
	合計	WL	[人・時間]	135	95	2



#### 5.4.1 積み上げ法と詳細 IO 法の比較

ここでは積み上げ法と詳細 IO 法を比較し、データ入手可能性や推計結果の網羅性、推計手法の実用性について考察を行う。

##### 5.4.1.1 プラント建設に伴う GHG 排出量の比較

まず、プラント GHG 排出量の結果を比較する。図 5-7 と図 5-8 は、それぞれ事例 1 と事例 2 の結果を示している。図中の左のグラフが単純に推計結果を示している。真ん中のグラフでは詳細 IO 法の結果のうちの素材部門の結果と積み上げ法を比較し、右のグラフでは、それぞれの結果を土木・設備の内訳で比較した。

プラント GHG 排出量は、単純に比較すると詳細 IO 法が積み上げ法の 1.91 倍となった(表 5-7)。以下では、両者の推計差異について考察した。まず、積み上げ法の推計結果と詳細法で得られた結果のうち、素材部門由来の GHG 排出量を比較する。産業連関法の素材部門は、産業連関表の統合大分類 34 部門の中で 7 部門(鉱業、パルプ・紙・木製品、化学製品、石油・石炭製品、窯業・土石製品、鉄鋼、非鉄金属)に該当する部門(基本分類 403 部門中 94 部門が該当)とする。これらは、積み上げ法で用いた物量データの収集が比較的实施できた範囲に相当する。物量データが入手できた範囲は、建屋建設に投入されている資材量や燃料使用量、設備機器の主要構成素材(鉄、ステンレス、アルミなど)の重量である。両者を比較すると素材部門に由来する GHG 排出量は、積み上げ法の 1.14 倍(事例 1)、1.16 倍(事例 2)であった。つまり、推計範囲が同程度であれば、同程度の推計結果が得られることが示唆される。

次に、プラント GHG 排出量を土木・設備の結果で比較する。土木は敷地内の土地造成工事や建屋建設に伴う GHG 排出量であり、設備は設備機器の製造や設置工事に伴う GHG 排出量である。このとき、土木由来の GHG 排出量は、1.16 倍(事例 1)、1.44 倍(事例 2)、設備由来の GHG 排出量は、2.96 倍(事例 1)、3.86 倍(事例 2)となった。設備由来の GHG 排出量の推計差は、土木由来の GHG 排出量の推計差に比べ大きい。これは、設備由来の GHG 排出量の推計に必要な物量データが入手できていないことが影響している。設備機器の製造のようにプロセスが複数から成り、推計が煩雑であるほど、実際のデータ入手が難しく、既往研究でも示されているように打ち切り誤差が生じる。プラントの設備機器に関して、事業者が入手できるデータはその設備の主

たる構成素材量のみであることが多く、設備機器の組み立て加工や多数の部品から成る付属品データを手に入れることは現実的には極めて困難である。つまり、積み上げ法ではプラント GHG 排出量の推計に必要なデータが不足する傾向にあるため、詳細 IO 法より GHG 排出量は小さく推計される傾向が明らかとなった。

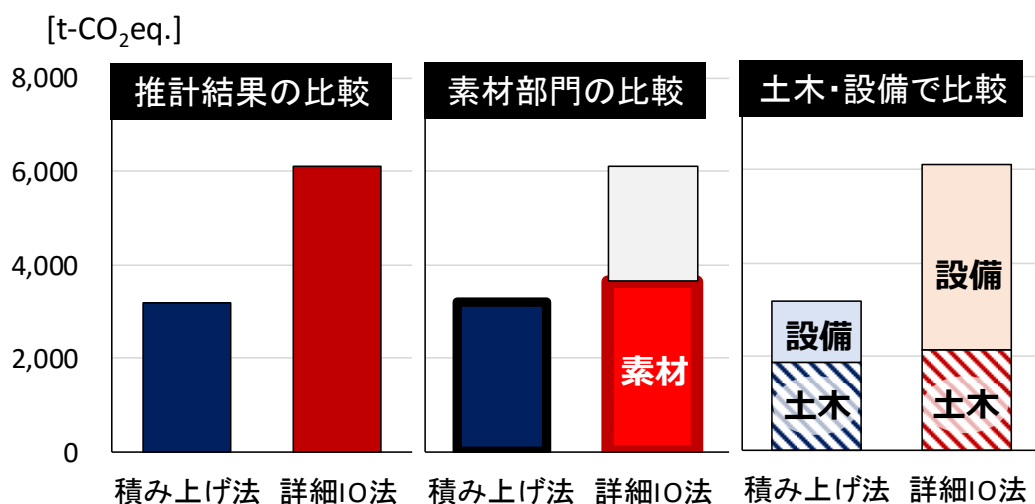


図 5-7 事例 1 積み上げ法と詳細 IO 法のプラント GHG 排出量の比較

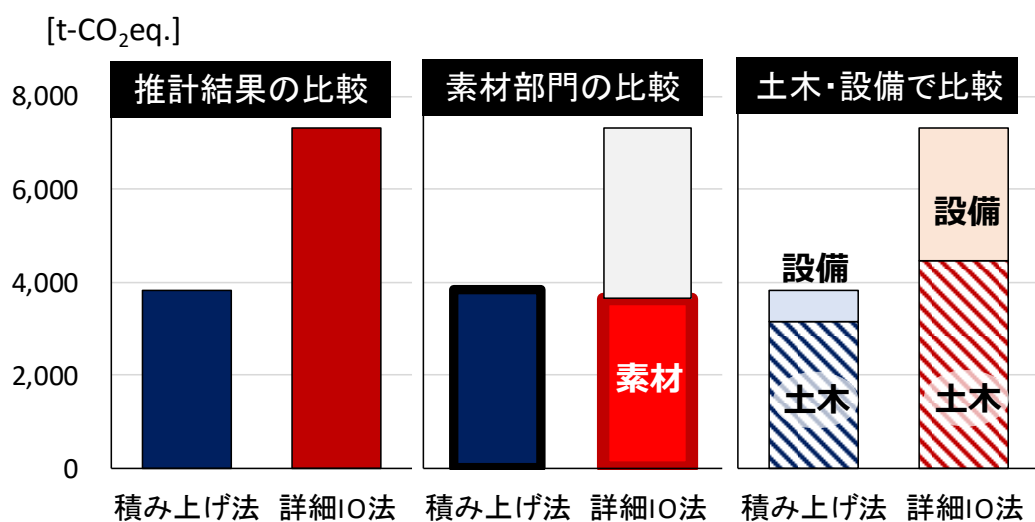


図 5-8 事例 2 積み上げ法と詳細 IO 法のプラント GHG 排出量の比較

#### 5.4.1.2 作業負荷量の比較

次に、プラント GHG 排出量の推計に要した作業負荷量を比較する。図 5-9、図 5-10 はそれぞれ事例 1 と事例 2 の作業負荷量の結果を示している。積み上げ法と詳細 IO 法はともに、作業負荷量が大きく、推計作業を 1 人で行った場合には 3~4 週間の時間を要する結果となった。作業手順別の内訳で見ると、手法による特徴がみられる。積み上げ法の場合、データ入手・作成の工数が大きく(事例 1 は 99 人・時間、事例 2 は 81 人・時間)、詳細 IO 法は計算に要する工数が大きい(事例 1 は 89 人・時間、事例 2 は 63 人・時間)。

積み上げ法のデータ入手・作成負担が大きいのは、ライフサイクル評価の実施を意図した物量データは整備されておらず、データ作成に時間を要するためである。他方、詳細 IO 法に用いる金額データは、事業者の手元にあるがプラント建設を構成する財・サービスが多種多様で、データ項目数が多いため計算の負担が大きい。

作業負荷量は、評価実施状況や方法の選択によって、本研究の結果と異なる可能性がある。例えば、データ入手・作成では、物量データの場合、データ抽出・作成に時間を要し、金額データの場合は電子化(紙媒体から表計算ソフト(Microsoft Excel 2010)への入力)に時間を要している。これらは、ライフサイクル評価の実施を意図した電子データの整備があらかじめ行われていれば、作業負担を減らすことが可能である。計算段階では、積み上げ法の場合、データベースに対応していない物量データを換算するのに時間を要しているので、あらかじめデータベースに対応したデータ整備ができれば負担を減らすことができる。詳細 IO 法の場合は、金額データをひと項目ずつ部門格付けするのに時間を要しているので、統合大分類(34 部門)に基づく分析に変えたりすればその負担を減らすことができる。ただし、その場合、基本分類(約 400 部門)での分析に比べて粗くなることに留意が必要である。現状ではライフサイクル評価の実施を意図したデータ整備が行われていることは少なく、プラント建設のように推計対象のデータ項目数が多い場合、積み上げ法も詳細 IO 法も推計に要する作業負荷量が大きいことが明らかとなった。

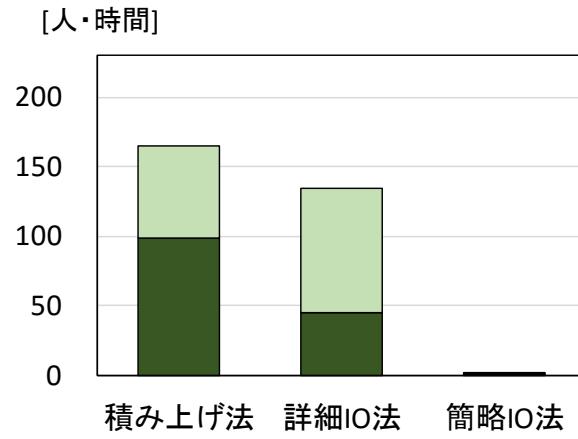


図 5-9 事例 1 プラント GHG 排出量の推計に要した作業負荷量

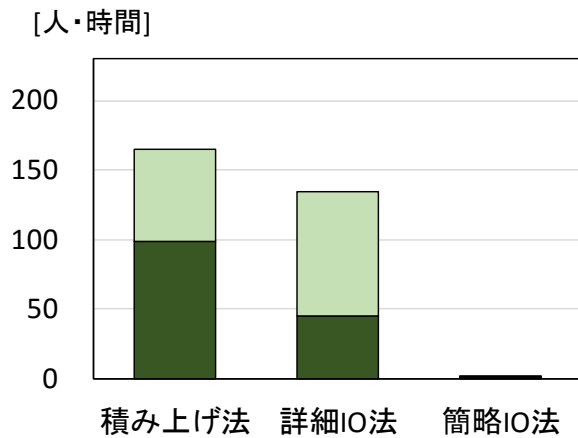


図 5-10 事例 2 プラント GHG 排出量の推計に要した作業負荷量

#### 5.4.1.3 積み上げ法と詳細 IO 法の比較結果まとめ

図 5-11、図 5-12 はそれぞれ事例 1 と事例 2 の GHG 排出量の結果と作業負荷量に結果を示している。プラント GHG 排出量は左軸に対応しており、作業負荷量が右軸に対応している。

積み上げ法は、物量データの収集に時間を要する手法であり、さらに入手可能な物量データの範囲が限定的であるため、詳細 IO 法よりも過小な推計値となることが示唆された。事例 1 では、事業者が管理しているデータのほかに電気計装品関係の物量データを施工業者に問い合わせることで入手して推計を行っている。このとき得られた物量データは 164 項目で、推計値は 65t-CO<sub>2</sub>eq.であった。さらに言えば、このデータを入手するために、施工業者への問い合わせ後から約 2 週間の時間を要している。つまり、プラント GHG 排出量の推計に必要な物量データを短期間で全て収集することは現実的に困難であることが示唆される。このことより、詳細 IO 法の方が、限られた時間の中でプラント GHG 排出量を網羅的に推計できる手法であることがわかる。

しかし、作業負荷量に着目して比較した結果、詳細 IO 法はデータ項目数が多く、GHG 排出量の推計に時間を要することが明らかとなった。つまり、詳細 IO 法は積み上げ法に比べ、網羅的な推計が可能であるが、両手法共に推計作業に要する時間を考えると、実用面では優位ではないことが明らかとなった。

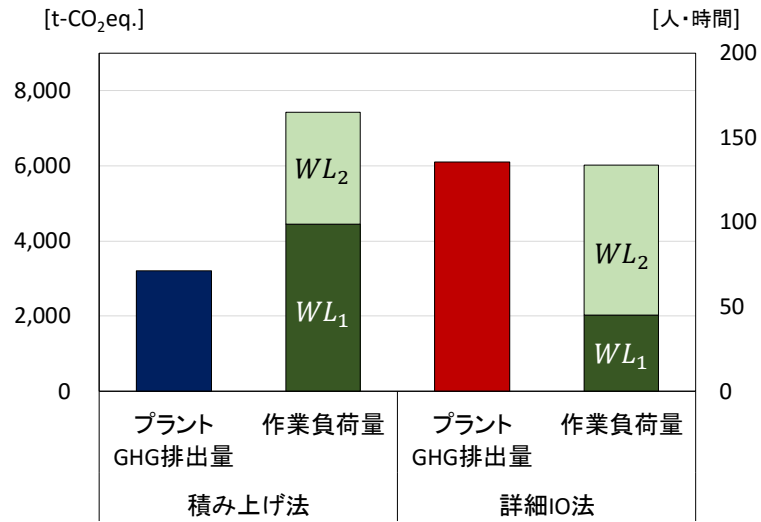


図 5-11 事例 1 積み上げ法と詳細 IO 法の比較

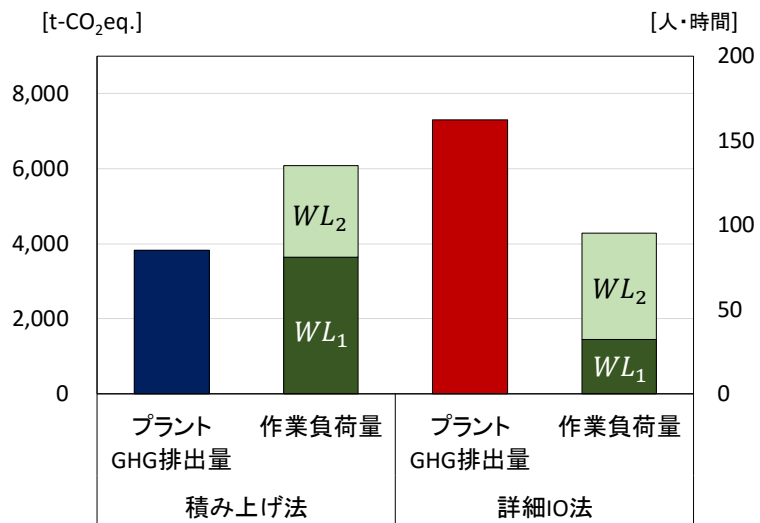


図 5-12 事例 2 積み上げ法と詳細 IO 法の比較

#### 5.4.2 詳細 IO 法と簡略 IO 法の比較

ここでは、詳細 IO 法と簡略 IO 法を比較する。図 5-13、図 5-14 は事例ごとの GHG 排出量の結果と作業負荷量の結果を示している。プラント GHG 排出量は、簡略 IO 法が詳細 IO 法の 0.77 倍(事例 1)、0.79 倍(事例 2)となった(表 5-7)。プラント建設の主たる GHG 排出要因は、設備機器の構成素材(鋼材、プラスチック製品)や土木・建屋工事での生コンクリート、鉄筋・鉄骨など GHG 排出係数が大きい素材類の製造である。簡略 IO 法の場合、排出要因となっているこれらの項目が平均化されて、推計結果が小さくなる傾向にある。平均化というのは、例えば土木工事の場合、詳細 IO 法では生コンクリート、熱間圧延鋼材、その他の土木建設、土木建築サービス、その他の対事業所サービス等、それぞれに対応した排出係数を用いて推計するが、簡略 IO 法ではその他土木建設工事部門の排出係数だけを用いて推計を行うため、平均的な値となる。推計対象のプラントはエタノール製造プラントと、廃棄物処理施設であるが、他のバイオマスプラントであっても、設備機器は主に化学機械であり、そこに使用されている鋼材やプラントの土木工事に必要な素材類が GHG 排出要因となる可能性が高い。つまり、他のプラントにおいて同様の推計方法を適用したとしても、結果は同じ傾向となることが予想される。

簡略 IO 法では、建設費をかなり大胆に 2 項目に分類し、推計を行っているが、データを簡略化するとき、例えば工種・設備の分類に基づいて 10 項目前後に分類する方法が考えられる。その場合においても、排出要因の大きい項目は同様に平均化されるため、得られる推計結果は詳細 IO 法よりも小さくなる傾向があることが確認されている。

簡略 IO 法の場合は作業がほぼ機械的な操作であるため、作業負荷量の観点からが非常に小さい。このことから、詳細 IO 法に比べてかなり容易な推計方法であることが定量的に明らかとなった。

以上のことから、簡略 IO 法は詳細 IO 法に比べて、推計結果が 20%程度小さくなる傾向があるが作業負荷量は非常に小さく、実用面で優れていることが明らかとなった。

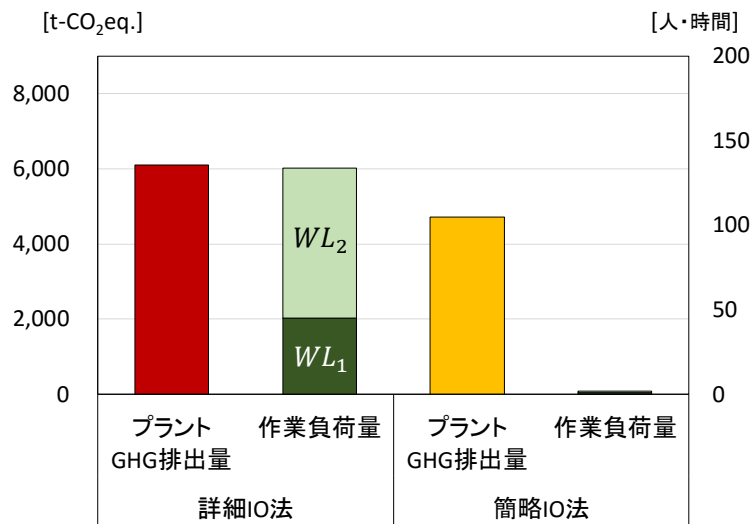


図 5-13 事例 1 詳細 IO 法と簡略 IO 法の比較

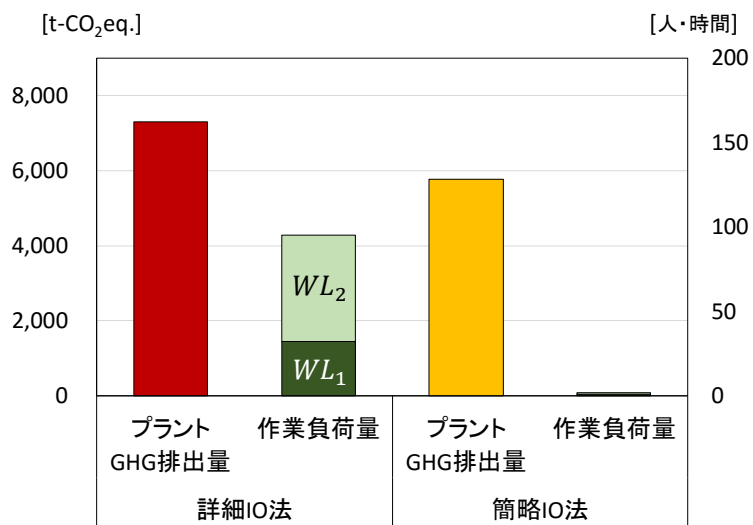


図 5-14 事例 2 詳細 IO 法と簡略 IO 法の比較



### 5.4.3 プラント GHG 排出量がライフサイクル評価に与える影響

次に、2 つの産業連関法（詳細 IO 法、簡略 IO 法）で得られるプラント GHG 排出量が、LC-GHG 排出量に与える影響を示す。表 5-9、表 5-10 は事例ごとのプロセス別 GHG 排出量と変化量を示している。前章で述べたように、プラント GHG 排出量以外の値は、先行研究<sup>58),59)</sup>の推計値に従っている。

変化量に対しプラント GHG 排出量が占める割合は、事例 1 が詳細 IO 法 11%、簡略 IO 法 9%で、事例 2 が詳細 IO 法 22%、簡略 IO 法 19%である。どちらの事例からもプラント GHG 排出量の変化量に与える影響は無視できないことが示唆される。そのため、適切な推計実施が求められるが、詳細 IO 法のようにひとつのプロセスの推計に 2 週間以上の時間を要するのは、あまり実用的とは言えない。

表 5-9 事例 1 プロセス別 GHG 排出量と事業実施前後の変化量

	事業実施前	詳細IO法			簡略IO法		
		事業実施後	変化量	割合	事業実施後	変化量	割合
サトウキビ栽培・製糖 [t-CO <sub>2</sub> eq.]	87,705	82,590	5,115 減少	9%	82,590	5,115 減少	10%
エタノール製造_運用 [t-CO <sub>2</sub> eq.]	0	17,310	17,310 増加	32%	17,310	17,310 増加	33%
エタノール製造_建設 [t-CO <sub>2</sub> eq.]	0	6,109	6,109 増加	11%	4,724	4,724 増加	9%
燃料消費 [t-CO <sub>2</sub> eq.]	1,262,820	1,236,825	25,995 減少	48%	1,236,825	25,995 減少	49%
合計 [t-CO <sub>2</sub> eq.]	1,350,525	1,342,834	54,529	100%	1,341,449	53,144	100%
GHG削減効果 [t-CO <sub>2</sub> eq.]			7,691 削減			9,076 削減	

（事業実施後のプラント建設以外（サトウキビ栽培・製糖、エタノール製造\_運用、燃料消費）の GHG 排出量は菊地（2011）<sup>58)</sup>から引用）

表 5-10 事例 2 プロセス別 GHG 排出量と事業実施前後の変化量

	事業実施前	詳細IO法			簡略IO法		
		事業実施後	変化量	割合	事業実施後	変化量	割合
輸送・収集 [t-CO <sub>2</sub> eq.]	8,445	7,650	795 減少	2%	7,650	795 減少	3%
廃棄物処理_運用 [t-CO <sub>2</sub> eq.]	16,635	15,360	1,275 増加	4%	15,360	1,275 増加	4%
廃棄物処理_建設 [t-CO <sub>2</sub> eq.]	0	7,310	7,310 増加	22%	5,774	5,774 増加	19%
埋立 [t-CO <sub>2</sub> eq.]	9,855	0	9,855 減少	30%	0	9,855 減少	32%
共同保管 [t-CO <sub>2</sub> eq.]	6,015	0	6,015 減少	19%	0	6,015 減少	19%
肥料化・飼料化 [t-CO <sub>2</sub> eq.]	7,365	105	7,260 減少	22%	105	7,260 減少	23%
合計 [t-CO <sub>2</sub> eq.]	48,315	30,425	32,510	100%	28,889	30,974	100%
GHG削減効果 [t-CO <sub>2</sub> eq.]			17,890 削減			19,426 削減	

（事業実施後のプラント建設以外（輸送・収集、廃棄物処理\_運用、埋立、共同保管、肥料化・飼料化）の GHG 排出量は鶴谷（2013）<sup>59)</sup>から引用）

そこで、推計に要する時間を優先して、詳細 IO 法の代わりに簡略 IO 法でプラント GHG を推計した時に、変化量に与える影響について考察する。図 5-15、図 5-16 は事例ごとの変化量を示している。変化量のうち減少は斜線で示している。また、プラント建設については、詳細 IO 法から得られた結果を赤で示し、簡略 IO 法で得られた結果を橙で示した。

推計方法が異なることによって生じる推計差は、事例 1 が 1,385t-CO<sub>2</sub>eq.、事例 2 が 1,536t-CO<sub>2</sub>eq. であった。これはそれぞれ詳細 IO 法の変化量 2.5% (事例 1)、4.7% (事例 2) に相当する。

事例 1 ではガソリンの年間消費量の設定が 25,000kL/年であるが、国土交通省の自動車輸送統計<sup>123)-127)</sup>の変動率を参考に 5%変動すると仮定した場合、実施前後で約 1,300t-CO<sub>2</sub>eq. 変動する。事例 2 では、電力の排出係数として 5 年平均値の 388gCO<sub>2</sub>eq./kWh を用いているが、実際には 5 年間で 339~425gCO<sub>2</sub>eq./kWh の変動<sup>128)-132)</sup>があり、最小値を適用した場合と最大値を適用した場合では、約 1,500t-CO<sub>2</sub>eq. の差が生じる。

以上の結果より、プラント GHG 排出量の推計に簡略 IO 法を適用すると詳細 IO 法に比べ 1,300~1,500t-CO<sub>2</sub>eq. 程度の推計差が生じるが、これは他の変動によっても生じるレベルの推計差であることが明らかとなった。このことから、実用性を重視するのであれば、簡略 IO 法は有効な手法のひとつであることが示唆される。

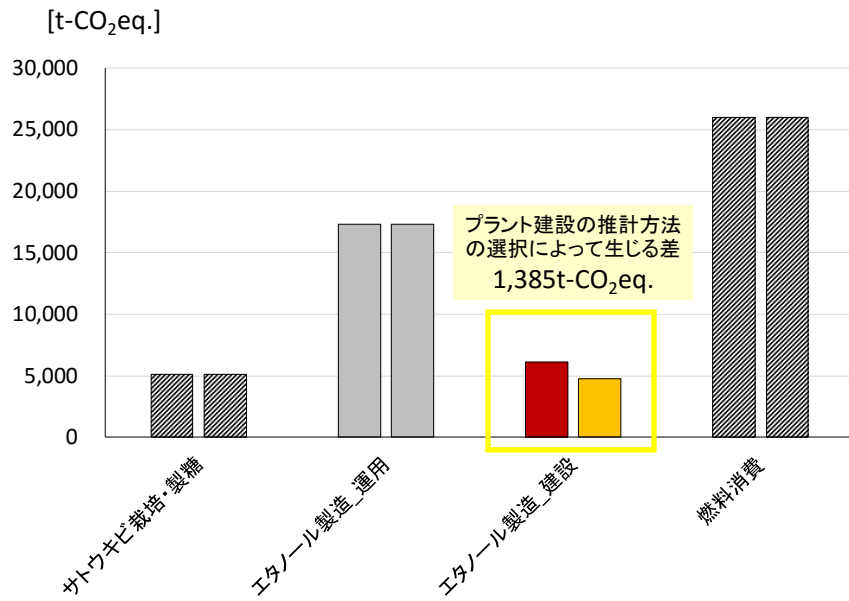


図 5-15 事例 1 詳細 IO 法と簡略 IO 法で生じる変化量の差

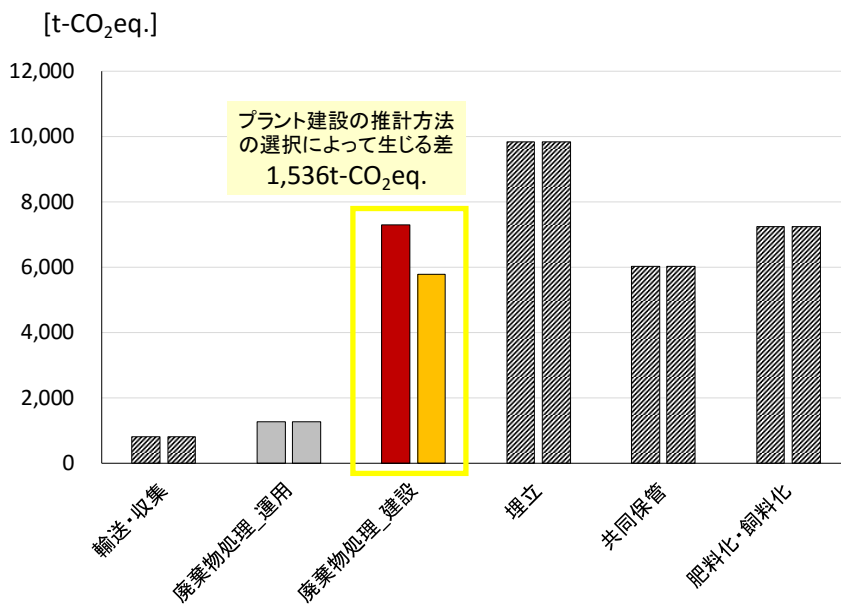


図 5-16 事例 2 詳細 IO 法と簡略 IO 法で生じる変化量の差

## 5.5 おわりに

第5章では、これまであまり議論されていなかった積み上げ法と産業連関法の作業負荷量に着目し、バイオマス事業のライフサイクルの一部であるプラント建設のGHG排出量の推計を対象に、推計結果と作業負荷量のバランスを考慮した推計手法の基礎的分析を行った。実際のプラント建設データに基づき、物量データを用いた積み上げ法と金額データを用いた2種類の産業連関法(詳細IO法と簡略IO法)を、推計結果の妥当性と作業負荷量の観点から比較した結果、以下の知見が得られた。

- ・ 積み上げ法は、物量データの入手・作成に多くの時間が必要であり、さらに現実的に得られるデータ範囲が限定的となるため、産業連関法に比べ過小な推計結果となる。
- ・ 詳細IO法は、網羅的な推計が可能であるが、プラント建設は多種多様な財・サービスで構成されており、費用項目数が1,000を超えるため、GHG排出量推計に時間を要する。
- ・ 簡略IO法は、平均化された推計値となるため、詳細IO法に比べて推計値は20%程度小さくなる。しかし、簡略IO法の作業負荷量は、詳細IO法のその2%程度と極めて小さい。

プラント建設のGHG排出量がライフサイクル全体に与える影響を分析した結果、ライフサイクルGHG排出量の推計においてプラント建設は無視できないことを明らかにした。海外で導入されているような、大規模な事業であれば、プラント建設の影響が小さい<sup>67)</sup>が、国内のような小規模な事業ではその影響が無視できないことが示唆される。

そのため、プラント建設に伴うGHG排出量の推計が必要となるが、上述したように、網羅性の観点から産業連関法の活用が有効であると考えられる。ただし、1,000以上の費用項目に基づいて詳細な分析を行うことは、作業に要する時間を考えると実用性の観点から難しい場合がある。このように推計結果と作業負荷量のバランスを考えると、バイオマス事業のGHG排出量の推計においては、粗い金額データを用いた産業連関法でも一定の妥当性を持つことが明らかとなったため、実用性を重視する場合簡略IO法が有効な手段のひとつであると結論づけられる。

また本研究は、プラント建設のGHG排出量推計を例とした基礎的分析であるが、簡略IO法の作業負荷量が小さいことは、他の評価を行うときにも共通である。そのため、

より効率的に評価・分析作業を進めていくために、分析の優先度で積み上げ法と産業  
連関法を使い分ける場合には、推計の確からしさ(確度)と作業負荷量のバランスを考  
慮して使い分けていくことが重要となる。

## 第6章 結論

### 6.1 総括

本研究は、バイオマス事業者にとって実用的なライフサイクル評価手法を提案することによって、効果的なバイオマス事業の導入促進に資することを目的とした。

第 2 章では、バイオマス事業の実用的なライフサイクル評価手法に向けた論点整理を行った。インベントリ分析の分類を整理したうえで、バイオマス事業の事業化プロセスに求められているライフサイクル評価手法を検討するために、実際の事業化プロセスの調査とライフサイクル評価に活用できるデータ種を明らかにした。その結果、事業化プロセスは、構想、計画、設計、施工、運用の 5 段階となった。事業化プロセスの前半にあたる構想・計画段階では、他の先行事例等を参考に作成する想定値が利用可能であり、事業化プロセスの後半である設計・施工・運用段階では、設計値や実績値のように事業の実態を反映した詳細な情報が利用可能であることが分かった。これらの結果を踏まえて、事業化プロセスに合わせた実用的評価手法の提案を行っていくうえでの 3 つの論点を設定し、第 3 章から第 5 章に展開した。

第 3 章では、想定値を活用した簡易なライフサイクル評価手法として、産業連関表を活用した評価ツールの構築を行った。2 種類のバイオガス発電事業のモデルプラントを設定し、その情報を既存産業連関表に組み込んだバイオガス発電事業部門拡張産業連関表を作成した。また、拡張表を用いてライフサイクル環境・社会経済影響評価を行うことで、バイオガス発電事業の特性を明らかにした。対象とした種類のバイオガス発電事業は、家畜排せつ物を用いたバイオガス発電事業と、厨芥類を用いたバイオガス発電事業である。拡張表を用いた評価対象プラントの分析結果より、家畜バイオの GHG 排出要因は副産物である消化液の貯留に伴う  $\text{CH}_4$  と  $\text{N}_2\text{O}$  であったのに対し、厨芥バイオはメタン発酵時の電力消費が誘発する GHG 排出量となっていた。一方、雇用量はどちらの事業においても、施設の運用や原料収集などに伴う雇用創出量が大きく、次いでサービス業に伴う雇用が大きい結果となった。

第 4 章では、設計値・実績値を活用した有益な情報作成手法として、バイオガス発電事業の導入に伴う影響が生じる場所に着目した実用的なライフサイクル評価手法の開発に取り組んだ。提案手法は、事業実施前後の 2 つのシステムを設定し、両者の差分として得られる便益を、積み上げ法と産業連関表を用いることで、地域区分別に簡易

に分析できる手法となっている。提案手法を北海道鹿追町の雇用変化のライフサイクル評価に適用し、影響が生じる範囲を①事業が実際に行われる場所、②近隣地域（北海道）、③近隣地域を除く国内（46 都府県）、④国外の 4 つに区分して分析を行った。その結果、バイオガス発電事業の導入はいずれの地域においても雇用量の増加に寄与しており、その内訳で見ると事業スポット内の直接的な増加量よりも事業スポット以外で生じる間接的な増加量の方が大きいことがわかった。そのため、特定地域に生じる直接的な雇用だけでなく、波及的に別の地域で生じる変化も考慮することが重要となる。また、得られた結果に基づき、北海道外における設備の保守・修繕や燃料製造に伴う雇用量の増加分を、近隣地域の企業や広域連携の活用によって、事業スポットにより近い地域（北海道内）で雇用を生み出せる可能性について議論した。

第 5 章では、インベントリ分析の作業負荷量と推計結果のバランスに着目した実用性に関する分析を行った。バイオマスプラント建設の GHG 排出量の推計を対象事例とした基礎的分析において、物量データに基づく積み上げ法と金額データの粗さが異なる 2 種類の産業連関法（詳細 IO 法、簡略 IO 法）を①推計結果、②推計に要する作業負荷量、③プラント建設の GHG 排出量の推計結果がライフサイクル評価に与える影響の 3 つの観点から比較した。その結果、積み上げ法は物量データの入手・作成に多くの時間が必要であり、かつ現実的に得られるデータ範囲が限定的となるため、産業連関法に比べ過小な推計値となった。詳細 IO 法は網羅的な推計が可能な手法であるが、プラント建設は多種多様な財・サービスで構成されているため、費用項目が 1,000 以上となり GHG 排出量の推計に時間を要する。簡略 IO 法は、平均化された推計値となることから詳細 IO 法に比べ 20%程度小さい値となったが、簡略 IO 法の作業負荷量は詳細 IO 法のその 2%程度と極めて小さい。また、詳細 IO 法と簡略 IO 法の推計差は、ライフサイクル評価における他の不確実性（例えば、電力排出係数の変動など）と同程度であることから、簡略 IO 法の結果は一定の妥当性をもつことが明らかとなった。そのため、推計における実用性を重視する場合には、簡略 IO 法が有用な手段のひとつであると結論づけた。

## 6.2 研究成果のまとめ

本研究では、バイオマス事業の事業化プロセスに沿った実用的なライフサイクル評価手法の検討を行った。事業化プロセスの前半に対しては、想定値の活用を前提とした簡易評価ツールの構築、事業化プロセスの後半に対しては、設計値・実績値の活用を前提として、事業導入効果が生じる地域に着目した実用的なライフサイクル評価手法の開発および、作業負荷量と推計結果のバランスに着目したインベントリ分析の実用性に関する議論を行った。

簡易な評価ツールとして作成した拡張表は評価実施者が、最終需要として建設費・運用費を与えることで事業特性を反映した分析が容易に可能となっている。つまり、事業検討の初期段階(事業化プロセスの前半)において、他の先行事例を参考に作成した想定値を用いれば、検討事業のライフサイクル評価を簡易に実施できる。そのため、事業設計の参考となる定量的情報が得られ、場合によっては事業導入に伴う不測の事態を回避することが可能となる。また、ライフサイクル評価を実施できずに、様々な情報収集をやみくもに行いつつ事業設計を進めるよりも、目安となる数値がある分、効率的な事業設計につながることを期待される。換言すると、事業システムの設計を詰める前段階において、ライフサイクル評価のためだけに導入検討事業の詳細な情報を収集・作成する作業時間を設けることは困難である可能性が高いことから、導入検討事業の特性を簡易に分析するツールとして拡張表は有用である。

なお、本研究で対象とした2種のバイオマス発電事業システム以外の事業システムについても、国内の実態を反映したモデルプラントの設定および情報収集を進め、拡張表を作成することが重要となる。様々なバイオマス事業システムを含めた拡張表が揃えば、バイオマス産業都市構想のように複数のバイオマス事業を含めた地域社会づくりにおいて、その地域の導入目的に合った事業システムを定量的な情報に基づく議論を経て決定していくことが可能となり、より効率的かつ効果的にバイオマス事業システムの導入促進に寄与することが期待される。

事業化プロセスの後半では、設計値や実績値のような詳細な情報が入手可能であることから、これらのデータを活用して有益な情報作成が可能なライフサイクル評価手法を提案した。提案手法は、空間的に地域をとらえたライフサイクル雇用分析が可能となっている。提案手法を用いることによって、バイオマス事業の導入効果を把握できると同時



に、より地域社会に適した事業の設計・発展に寄与することが期待される。なお、本研究では社会経済面から分析を行ったが、GHG 排出量などの環境面からの評価も同様に行っていくことが可能である。

バイオマス事業は、事業システムが多岐にわたるため、特に分析に要する作業時間が大きい。また、事業化プロセスの早い段階でライフサイクル評価の実施しなければ、より良い事業システム設計を見落としてしまう、あるいは改善が非効率に進んでしまう可能性が大きくなる。そのため評価実施者は、有しているデータで実施可能なライフサイクル評価手法を積極的に活用し、効果的かつ効率的な事業導入を進めていくことが重要となる。他方、政府や研究機関においては、ライフサイクル評価手法の選択肢を充実されていくこと、すなわち統一されたルールに基づく産業連関表の作成や、拡張表の整備、LCA データベースの整備を引き続き展開していく必要がある。また、ライフサイクル評価手法は状況に応じて選択することができ、それぞれの手法が一長一短ありながらも、効果的な事業システムの設計・改善において有益な使い方ができるということを広く周知していくことが重要となる。

### 6.3 今後の展開

詳細な情報に基づくライフサイクル評価では、各プロセスの分析上の優先度に応じて積み上げ法と産業連関法を使い分けるハイブリッド法の適用が実用的である。他方、そのようなハイブリッド法を行う場合、プロセスの優先度を他の先行研究などを参考とした経験則に基づく主観的判断で行っている場合が多い。そのため、どのプロセスが結果に大きく影響するのか、換言すると優先的に精緻な分析を行っていく必要があるプロセスなのかを客観的に判断でき指標づくりを行っていくことが、恣意的な分析を回避するために必要となる。そのように両手法を使い分ける客観的な判断指標のひとつとして、産業連関表を用いた予備的インベントリ分析手法によって得られる変動率感度<sup>133)</sup>が挙げられる。変動率感度は、特定プロセスの入出力の重要性を表しており、値が大きいほど結果に変動を与える可能性が高いプロセスであるという客観的判断を可能とする指標である。ただし、この変動率感度の算出には産業連関表に独立した部門が存在している必要がある。既存の産業連関表ではバイオマス事業の変動率感度は推計できないため、例えば第3章の拡張表を、第4章の提案手法による評価実施前の予備的インベントリ

分析に活用することで、分析の信頼性向上に寄与する可能性がある。このように拡張表の応用の幅を広げていくことが重要となる。

本研究は、バイオガス発電事業を主な対象事例として、バイオマス事業の実用的なライフサイクル評価手法に関する研究を行ったが、例えば他の再生可能エネルギーによる発電・熱利用事業においても共通する点がある。拡張表は対象事業の情報を組み込めば、簡易な評価ツールとして有益であるし、地域に着目したライフサイクル評価手法で、事業実施前後の変化量を見ることは他の事業においても重要となる。例えば、メガソーラー設置場所として耕作放棄地を選択し、耕作放棄地として放置するシステムと農地利用するシステム、そしてメガソーラー事業システム間の比較を行う場合、システム間での程度便益が異なるのか、導入地域に生じる効果の大きさや、他地域への効果の大きさを議論する必要がある。そのため、バイオマス事業システムのみに着目した評価手法の開発に留まることなく、他の再生可能エネルギー技術とバイオマス事業を組み合わせた事業システムの導入に伴うライフサイクル環境・社会経済影響評価を実践するための手法開発を行っていくことが重要となる。

なお、本研究では事業化プロセスの各段階で利用可能なデータ(想定値、設計値、実績値)を活用することに焦点をあてて研究を行ったが、構想・計画段階における想定値は、さらに2段階に分かれる可能性がある。導入検討の初期段階は、第3章で示したように想定値と拡張表を用いて、一般的な事業システムでの導入効果を評価することが、事業システムの理解を進める上では重要となる。ただし、その次のステップとして、一般的な事業システムに地域特性を反映した場合の影響を考えていく必要が生じる。例えば、家畜バイオの事業システムで考えると、地域によっては消化液を散布する圃場が十分に確保できず、消化液の何割かを水処理する必要が生じる可能性がある。このステップは、プラントエンジニアリング等による設計が始まる前段階、つまり構想・計画段階から設計段階の前までに行うのが理想となる。このとき、評価に使うデータ種を計画値とする。計画値は想定値よりも地域特性などを反映した詳細な値であり、設計値に近い情報量を有していることが理想的であるが、プラントエンジニアリング等有している専門的スキルを反映させたレベルの計画値作成を事業者が行うのは難しい。そのような計画値の作成問題を支援するためにも、国内の先行事例に関する公の統計情報の整備や、計画値作成自体を支援する政策あるいはツール開発等を進めていくことも重要となる。

## 参考文献

- 1) 環境省, 第四次環境基本計画(平成 24 年 4 月 27 日閣議決定), 環境省ホームページ, [https://www.env.go.jp/policy/kihon\\_keikaku/plan/plan\\_4/attach/ca\\_app.pdf](https://www.env.go.jp/policy/kihon_keikaku/plan/plan_4/attach/ca_app.pdf), (参照日 2016.5.30)
- 2) 環境省, 第三次環境基本計画—環境から拓く新たなゆたかさへの道—(平成 18 年 4 月 7 日閣議決定), 環境省ホームページ, [https://www.env.go.jp/policy/kihon\\_keikaku/kakugi\\_honbun20060407.pdf](https://www.env.go.jp/policy/kihon_keikaku/kakugi_honbun20060407.pdf), (参照日 2016.5.30)
- 3) 環境省, 21 世紀環境立国戦略(平成 19 年 6 月 1 日閣議決定), 環境省ホームページ, [https://www.env.go.jp/guide/info/21c\\_ens/21c\\_strategy\\_070601.pdf](https://www.env.go.jp/guide/info/21c_ens/21c_strategy_070601.pdf), (参照日 2016.5.30)
- 4) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(2014):”NEDO 再生可能エネルギー技術白書[第 2 版]”, 森北出版株式会社, 東京, p.1-45, 207-311
- 5) 総務省, 分散型エネルギーインフラプロジェクトについて 分散型エネルギーインフラによる地域経済活性化とサービス・イノベーション, 経済産業省関東経済産業局ホームページ, <http://www.kanto.meti.go.jp/webmag/series/event/images14/1503event4-1.pdf>, (参照日 2016.5.30)
- 6) 経済産業省資源エネルギー庁, なっとく!再生可能エネルギー 固定価格買取制度, 資源エネルギー庁ホームページ, [http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/kaitori/](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/), (参照日 2016.1.14)
- 7) 今井伸治.バイオマス活用推進の取り組み, 産業と環境, 41(1), p.33-39, (2012)
- 8) 公益社団法人化学工学会, 一般財団法人日本エネルギー学会(2012):”バイオマスプロセスハンドブック”, 株式会社オーム社, 東京, p479-481
- 9) 農林水産省, バイオマス活用推進基本計画, 農林水産省ホームページ, [http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b\\_kihonho/pdf/keikaku.pdf](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kihonho/pdf/keikaku.pdf), (参照日 2016.1.14)
- 10) 総務省, バイオマスの利活用に関する政策評価, 総務省ホームページ, [http://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/39714.html](http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/39714.html), (参照日 2016.1.14)
- 11) 農林水産省, バイオマス・ニッポン, 農林水産省ホームページ, <http://www.maff.go.jp/j/biomass/>, (参照日 2016.1.14)

- 12) 農林水産省, バイオマス事業化戦略～技術とバイオマスの選択と集中による事業化の推進～, 農林水産省ホームページ, [http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b\\_kihonho/pdf/senryaku.pdf](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kihonho/pdf/senryaku.pdf), (参照日 2016.1.14)
- 13) バイオマス産業都市関係府省連絡会議, バイオマス産業都市について(平成 28 年 4 月), 農林水産省ホームページ, [http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b\\_kihonho/pdf/h28\\_sangyou.pdf](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kihonho/pdf/h28_sangyou.pdf), (参照日 2016.4.25)
- 14) 農林水産省, 選定地域のバイオマス産業都市構想(平成 27 年度分), 農林水産省ホームページ, [http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b\\_kousou04.html](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kousou04.html), (参照日 2016.1.14)
- 15) 農林水産省, 選定地域のバイオマス産業都市構想(平成 26 年度分), 農林水産省ホームページ, [http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b\\_kousou03.html](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kousou03.html), (参照日 2016.1.14)
- 16) 農林水産省, 第二次選定地域のバイオマス産業都市構想(平成 25 年度分), 農林水産省ホームページ, <http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b-kousou02.html>, (参照日 2016.1.14)
- 17) 農林水産省, 第一次選定地域のバイオマス産業都市構想(平成 25 年度分), 農林水産省ホームページ, [http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b\\_kousou01.html](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kousou01.html), (参照日 2016.1.14)
- 18) 一般社団法人日本有機資源協会, 平成 27 年度地域バイオマス産業化支援事業(全国段階)参考資料「バイオマス産業都市構想作成の手引き」(20140322 版), 一般社団法人有機資源協会ホームページ, [http://www.jora.jp/tiikibiomass\\_sangyokasien/pdf/140322biomass\\_tebiki.pdf](http://www.jora.jp/tiikibiomass_sangyokasien/pdf/140322biomass_tebiki.pdf), (参照日 2016.4.14)
- 19) 北海道帯広市(十勝 19 市町村), 十勝バイオマス産業都市構想, 農林水産省ホームページ, [http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/pdf/01\\_tokati.pdf](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/pdf/01_tokati.pdf), (参照日 2016.4.25)
- 20) 北海道別海町, 別海町バイオマス産業都市構想, 農林水産省ホームページ, [http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/pdf/03\\_betukai.pdf](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/pdf/03_betukai.pdf), (参照日 2016.4.25)

- 21) 新潟県新潟市，新潟市バイオマス産業都市構想～田園型環境都市にいがたを指して～，農林水産省ホームページ，[http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/pdf/06\\_niigata.pdf](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/pdf/06_niigata.pdf)，（参照日 2016.4.25）
- 22) 北海道興部町，興部町バイオマス産業都市構想，農林水産省ホームページ，[http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/pdf/02\\_okoppe.pdf](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/pdf/02_okoppe.pdf)，（参照日 2016.4.25）
- 23) 島根県奥出雲町，奥出雲森林総合活用協議会，奥出雲バイオマス産業都市構想，農林水産省ホームページ，[http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/pdf/06\\_okuizumo.pdf](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/pdf/06_okuizumo.pdf)，（参照日 2016.4.25）
- 24) 富山県射水市，射水市バイオマス産業都市構想，農林水産省ホームページ，<http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/pdf/imizu.pdf>，（参照日 2016.4.25）
- 25) 兵庫県洲本市，洲本市バイオマス産業都市構想，農林水産省ホームページ，<http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/pdf/sumoto.pdf>，（参照日 2016.4.25）
- 26) 隠岐の島町役場，緑のコンビナート推進協議会，隠岐の島町バイオマス産業都市構想，農林水産省ホームページ，<http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/pdf/oki.pdf>，（参照日 2016.4.25）
- 27) 栃木県茂木町，茂木町バイオマス産業都市構想，農林水産省ホームページ，<http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/pdf/motegi.pdf>，（参照日 2016.4.25）
- 28) 大分県臼杵市役所，臼杵市バイオマス産業都市構想～100年の森づくりから、有機の里づくりと海のほんまもんへ、臼杵型地域内循環システムの構築をめざして～，農林水産省ホームページ，<http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/pdf/usuki.pdf>，（参照日 2016.4.25）
- 29) 日本太陽エネルギー学会編集委員会（2008）：“持続可能エネルギー講座 第2巻 持続可能エネルギーとLCA”，日本太陽エネルギー学会，東京，p.1-25, 51-88
- 30) JISQ14040(2010)：“環境マネジメント—ライフサイクルアセスメント—原則および枠組み”，日本工業標準調査会審議，日本規格協会発行
- 31) 日本エネルギー学会（2006）：“講座ライフサイクルアセスメント(LCA)，東京，p.50-

- 32) Sangwon Suh, Gjalt Huppes. Methods for Life Cycle Inventory of a product, Journal of Cleaner Production, 13(7), p.687-697, (2005)
- 33) Robert H. Crawford. Validation of a hybrid life-cycle inventory analysis method, Journal of Environmental Management, 88(3), p.469-506, (2008)
- 34) Samantha Islam, S.G. Ponnambalam, Hon Loong Lam. Review on life cycle inventory: methods, example and applications, Journal of Cleaner Production, (IN PRESS), (2016)
- 35) 社団法人産業環境管理協会, カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム  
カーボンフットプリント算定・宣言に関する要求事項(改定平成 24 年 10 月 2 日),  
CFP プログラムホームページ, <http://www.cfp-japan.jp/regulation/pdf/C-09-03.pdf>,  
(参照日 2016.4.14)
- 36) (社)産業環境管理協会:新 LCA ソフトウェア MiLCA, 新 LCA ソフトウェア MiLCA  
ホームページ, <http://www.milca-milca.net/>, (参照日 2016.5.28)
- 37) 小林謙介, IDEA (Inventory Database for Lifecycle Anlysis), 県立広島大学ホ  
ームページ, [http://www.pu-hiroshima.ac.jp/~kensuke/lca\\_idea.html](http://www.pu-hiroshima.ac.jp/~kensuke/lca_idea.html), (参照日  
2016.5.28)
- 38) 総務省,産業連関表,総務省ホームページ, [http://www.soumu.go.jp/toukei\\_toukatsu/data/io/](http://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/) (参照日 2016.5.28)
- 39) 経済産業省北海道経済産業局,平成 17 年北海道地域産業連関表,経済産業  
省北海道経済産業局ホームページ, <http://www.hkd.meti.go.jp/hoksr/h17renkan/index.htm>, (参照日 2014.8.2)
- 40) 経済産業省東北経済産業局,平成 17 年東北地域産業連関表,経済産業省東  
北経済産業局ホームページ, [http://www.tohoku.meti.go.jp/cyosa/tokei/renkan\\_hyo.html](http://www.tohoku.meti.go.jp/cyosa/tokei/renkan_hyo.html), (参照日 2014.8.2)
- 41) 経済産業省関東経済産業局,平成 17 年関東地域産業連関表,経済産業省関  
東経済産業局ホームページ, <http://www.kanto.meti.go.jp/tokei/hokoku/20091015iohyo12.html>, (参照日 2014.8.2)

- 42) 経済産業省中部経済産業局, 平成 17 年中部地域産業連関表, 経済産業省中部経済産業局ホームページ, <http://www.chubu.meti.go.jp/tyosa/io17/io17.htm>, (参照日 2014.8.2)
- 43) 経済産業省近畿経済産業局, 平成 17 年近畿地域産業連関表, 経済産業省近畿経済産業局ホームページ, <http://www.kansai.meti.go.jp/1-7research/I-O/lead.html>, (参照日 2014.8.2)
- 44) 経済産業省中国経済産業局, 平成 17 年中国地域産業連関表, 経済産業省中国経済産業局, <http://www.chugoku.meti.go.jp/stat/io/h17io/h17.html>, (参照日 2014.8.2)
- 45) 経済産業省四国経済産業局, 平成 17 年四国地域産業連関表, 経済産業省四国経済産業局ホームページ, [http://www.shikoku.meti.go.jp/soshiki/skh\\_a4/4\\_to\\_ukei/091030/091030.html](http://www.shikoku.meti.go.jp/soshiki/skh_a4/4_to_ukei/091030/091030.html), (参照日 2014.8.2)
- 46) 経済産業省九州経済産業局, 平成 17 年九州地域産業連関表, 経済産業省九州経済産業局ホームページ, <http://www.kyushu.meti.go.jp/keiki/chosa/chosa.html>, (参照日 2014.8.2)
- 47) 経済産業省沖縄経済産業局, 平成 17 年沖縄地域産業連関表, 経済産業省沖縄経済産業局ホームページ, [http://www.pref.okinawa.jp/toukeika/io/2005/sanren\\_top.html](http://www.pref.okinawa.jp/toukeika/io/2005/sanren_top.html), (参照日 2014.8.2)
- 48) 南斉規介, 森口祐一(2012):産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID):2005 年表, 独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センターホームページ, <http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/index-j.html>, (参照 2012.3.20)
- 49) 総務省,平成 17 年(2005 年)産業連関表(確報)雇用表(生産活動部門別従業員内訳表)基本分類表, 政府統計の総合窓口ホームページ, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001019588&cycode=0> (参照日 2014.8.2)
- 50) William G. Mezzullo, Marcelle C. McManus, Geoff P. Hammond. Life cycle assessment of a small-scale anaerobic digestion plant from cattle waste, Applied Energy, 102, p.657-664, (2013)

- 51) Aikaterini K. Boulamanti, Sara Donida Maglio, Jacopo Giuntoli, Alessandro Agostini. Influence of different practices on biogas sustainability, *Biomass and Bioenergy*, 53, p.149-161, (2013)
- 52) Ishikawa, S., Hoshiya, S., Hinata, T., Hishinuma, T., Morita, S. Evaluation of a biogas plant from life cycle assessment (LCA), *International Congress Series*, 1293, p.230-233, (2006)
- 53) 菱沼竜男, 井原智彦, 志水章夫, 楊翠芬, 玄地裕. LCA 手法を用いた肥育豚糞尿処理システムの環境影響の比較, *農業施設*, 38(1), p.43-56, (2007)
- 54) ベスピャトコリュドミラ, 多田千佳, 柳田高志, 佐賀清崇, バウティスタエルマー, 藤本真司, 美濃輪智朗. バイオマスタウンの現状の評価および情報提供のツールとしてのバイオマス会計の提案, *日本エネルギー学会誌*, 88(12), p.1081-1094, (2009)
- 55) 堀尾正靱, 白石克孝, 重藤さわ子, 定松功, 土山希美枝 (2010): “地域からエネルギーを引き出せ! PEGASUS ハンドブック(環境エネルギー設計ツール”, 公人の友社, 東京, 148pp.
- 56) 環境省, バイオ燃料の温室効果ガス削減効果に関する LCA ガイドライン ver1.0, 環境省ホームページ, <https://www.env.go.jp/earth/ondanka/lca/lcaguideline/guideline01.pdf>, (参照日 2015.2.6)
- 57) 環境省, バイオガス関連事業の LCA に関する補足ガイドライン ver1.0, 環境省ホームページ, <https://www.env.go.jp/earth/ondanka/lca/lcaguideline/guideline02.pdf>, (参照日 2015.2.6)
- 58) 菊地克行, 本藤祐樹. 地域におけるバイオマス資源の利活用に伴う環境影響と雇用効果 -一宮古島のバイオエタノール事業を事例に-, *日本エネルギー学会誌*, 90(7), p.643-653, (2011)
- 59) 鶴谷昌洋, 兵法彩, 工藤祐揮, 本藤祐樹. 廃棄物系バイオマスの利活用に伴う環境影響 -三浦バイオマスセンターを事例として-, *日本エネルギー学会誌*, 92(10), p.944-1005, (2013)
- 60) 朝野賢司. バイオマスタウン構想の実施過程の分析, 電力中央研究所研究報告書, Y08033, 28p.



- 61) 松本直也, 本藤祐樹. 拡張産業連関表を利用した再生可能エネルギー導入の雇用効果分析, 日本エネルギー学会誌, 90(3), p.258-267, (2011)
- 62) 稗貫峻一, 本藤祐樹. 拡張産業連関モデルを用いた地熱発電のライフサイクル雇用分析, 日本エネルギー学会誌, 92(1), p.164-173, (2013)
- 63) 水本佑樹, 内山洋司, 岡島敬一. ハイブリッド産業連関法を用いた太陽光発電システム導入の経済・環境分析, エネルギー・資源学会誌, 34(5), p.296, (2013)
- 64) 氏川恵次., 横浜国際社会科学研究所. 拡張産業連関表による再生可能エネルギー導入の波及効果—デンマークにおける風力発電の事例—, 19(1・2), 1-13, (2014)
- 65) Satoshi Nakano, Akito Murano, Ayu Washizu. Economic and Environmental Effects of Utilizing Unused Woody Biomass, 日本エネルギー学会誌, 94(6), p.522-531, (2015)
- 66) 森泉由恵, 本藤祐樹, 中野諭. 再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の開発と応用, 日本エネルギー学会誌, 94(12), p.1397-1413, (2015)
- 67) Isaias C. Macedo, Joaquim E. A. Seabra, Joao E. A. R. Silva. Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020, Biomass and Bioenergy, 32(7), p.582-595, (2008)
- 68) 池上真紀, 新妻弘明. 福島県天栄村湯本地区における持続可能な木質バイオマス利用と雇用の創出, エネルギー・資源学会誌, 29(5), p.22-28 (2008)
- 69) 中村良平, 中澤純治, 松本明. 木質バイオマスを活用した CO<sub>2</sub> 削減と地域経済効果—地域産業連関モデルの構築と新たな適用—, 地域学研究, 42(4), p.799-817, (2012)
- 70) Reinhard Madlener, Reinhard Madlener. Economic and CO<sub>2</sub> mitigation impacts of promoting biomass heating systems: An input-output study for Vorarlberg, Austria, Energy Policy, 35(12), p.6021-6035 (2007)
- 71) Sara Herreras Martínez, Janske van Eijck, Marcelo Pereira da Cunha, Joaquim J.M. Guilhoto, Arnaldo Walter, Andre Faaij. Analysis of socio-economic impacts of sustainable sugarcane-ethanol production by means of inter-regional Input-

- Output analysis: Demonstrated for Northeast Brazil, Renewable and Sustainable Energy Reviews., 28, p.290-316 (2013)
- 72) Thapat Silalertruksa, Shabbir H. Gheewala, Katja Hünecke, Uwe R. Fritschec. Biofuels and employment effects: Implications for socio-economic development in Thailand, Biomass and Bioenergy, 46, p.409-418 (2012)
- 73) 酒井寛二, 漆崎昇, 下山真人, 相賀洋. 建築物のライフサイクル二酸化炭素排出量とその抑制方策に関する研究, 日本建築学会計画系論文, 484, p.105-112, (1996)
- 74) 伊藤武美, 花木啓祐, 本多博. 公園建設にともなう二酸化炭素排出量に関する研究, 土木学会第4回地球環境シンポジウム講演集, 東京, 4, p.63-68, (1996)
- 75) 中嶋芳紀, 河野幸次, 松本亨, 井村秀文. 港湾整備事業のライフサイクルアセスメントに関する研究:福岡市アイランドシティのケーススタディ, 土木学会論文集, 566, p.35-47, (1997)
- 76) 一般社団法人日本建築学会(2013):“建物の LCA 指針 温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール”, 一般社団法人日本建築学会, 東京, 171pp.
- 77) 本藤祐樹, 内山洋司. 産業連関表を用いた実用的なインベントリー分析手法の確立—財多価による配分問題および積み上げ法との融合方法, 日本エネルギー学会誌, 78(10), p.861-868, (1999)
- 78) 石川明, 加藤丈佳, 鈴置保雄. 産業連関表を用いた機械装置重量と CO<sub>2</sub> 排出量の関係の検討:CO<sub>2</sub> 排出量の簡易推計のために, 日本 LCA 学会誌, 4(4), p.349-358, (2008)
- 79) 社団法人地域資源センター, バイオマス利活用技術情報データベース ver.2.1, 社団法人地域資源センターホームページ, <http://www2.jarus.or.jp/biomassdb/>, (参照日 2016.4.24)
- 80) 三井造船株式会社, 2014年5月15日 国内最大規模のバイオガス発電事業を開始, 三井造船株式会社ホームページ, <http://www.mes.co.jp/press/2014/20140515.html>, (参照日 2016.4.24)
- 81) 別海バイオガス発電株式会社, 施設概要, 別海バイオガス発電株式会社, <http://www.mes.co.jp/bbp/service.html>, (参照日 2016.4.24)

- 82) 北海道鹿追町長，鹿追町におけるバイオガスの現状，社団法人地域資源センターホームページ，<http://www.jarus.or.jp/workshop/etc/1412symposium1.pdf>，（参照日 2016.4.24）
- 83) 農林水産省，畜産環境問題とは，農林水産省ホームページ，[http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t\\_mondai/01\\_mondai/index.html](http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t_mondai/01_mondai/index.html)，（参照日 2016.4.24）
- 84) 北海道鹿追町，鹿追町環境保全センター，北海道鹿追町ホームページ，<http://www.town.shikaai.lg.jp/machizukuri/seisaku-keikaku/kakusyusengen/kankyoubikasengen/kanyouhozencenter/biogasplant>，（参照日 2016.4.26）
- 85) 環境省，廃棄物処理施設整備計画（平成 25 年 5 月 31 日閣議決定），環境省ホームページ，<https://www.env.go.jp/press/files/jp/22341.pdf>，（参照日 2016.4.24）
- 86) 一般社団法人経済調査会積算研究会（2013）：“工事歩掛要覧 平成 25 年度版[上]（土木編上）”，一般社団法人経済調査会，東京，1816pp.
- 87) 一般社団法人経済調査会積算研究会（2013）：“工事歩掛要覧 平成 25 年度版[下]（土木編下）”，一般社団法人経済調査会，東京，1129pp.
- 88) 一般社団法人経済調査会積算研究会（2013）：“改訂 19 版 工事歩掛要覧＜建築・設備編＞”，一般社団法人経済調査会，東京，691pp.
- 89) 一般社団法人建設物価調査会（2014），“月刊 建設物価 2014 年 1 月”，一般社団法人建設物価調査会，東京
- 90) 政府統計の総合窓口，平成 23 年（2011 年）産業連関表（確報），総務省統計局ホームページ，<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001060671&cycode=0>，（参照日 2016.4.25）
- 91) 政府統計の総合窓口，平成 17 年（2005 年）産業連関表（確報），総務省統計局ホームページ，<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001019588&cycode=0>，（参照日 2016.5.28）
- 92) 温室効果ガスインベントリオフィス(GIO)編，国立研究開発法人国立環境研究所，日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2015 年 4 月，国立研究開発法人国立環境研

- 究所, [http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-archives\\_j.html](http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-archives_j.html), (参照日 2016.4.25)
- 93) 松井康弘, 藤原健史, 藤井実, 大迫政浩, 村上進亮, 田中勝(2008), 分別収集・中継輸送に関する費用対効果・費用便益の分析(平成19年度廃棄物処理等科学研究報告書概要版(K1962)), 19pp.
- 94) 坂本直久, 谷昌幸, 小池正徳, 倉持勝久, 岸本正, 梅津一孝. 貯留中の乳牛ふん尿スラリーから発生する環境負荷ガスを抑制する撥水加工肥料資材の開発と評価, 廃棄物学会論文誌, 19(3), p.175-181, (2008)
- 95) 環境省地球環境研究総合推進費 再生可能エネルギー技術の価値評価と導入戦略のための基盤構築, 再生可能エネルギー部門拡張産業連関表, 横浜国立大学本藤祐樹研究室ホームページ, <http://www.hondo.ynu.ac.jp/renewables/result/refio.html>, (参照日 2016.5.7)
- 96) 文部科学省 科学技術・学術政策研究所 科学技術動向研究センター, 拡張産業連関表による再生可能エネルギー発電施設の経済・環境への波及効果分析(2013年8月), 科学技術・学術政策研究所ホームページ, <http://www.nistep.go.jp/wp/wp-content/uploads/NISTEP-DP096-FullJ.pdf>, (参照日 2016.5.7)
- 97) 次世代科学技術経済分析研究所, 拡張産業連関表, 次世代科学技術経済分析研究所, <http://www.f.waseda.jp/washizu/table.html>, (参照日 2016.5.7)
- 98) 大分県日田市, 日田市バイオマス資源センター, 大分県日田市ホームページ, <https://www.city.hita.oita.jp/content/000022011.pdf>, (参照日 2016.4.25)
- 99) 山口県防府市, 防府市クリーンセンター設備工事の概要, 山口県防府市ホームページ, <https://www.city.hofu.yamaguchi.jp/uploaded/attachment/36390.pdf>, (参考文献 2016.4.25)
- 100) 森本慎一郎, 宮本耕一. 持続可能なバイオマス・バイオ燃料開発における社会影響評価の現状と動向, 日本エネルギー学会誌, 88(2), p.133-139, (2009)
- 101) Catherine Macombea, Pekka Leskinenb, Pauline Feschetc, Riina Antikainend. Social life cycle assessment of biodiesel production at three levels: a literature review and development needs, Journal of Cleaner Production, 52, p.205-216, (2013)

- 102) 北海道鹿追町, 鹿追町の概要, 北海道鹿追町ホームページ, <http://www.town.shikaoi.lg.jp/files/material/01.pdf>, (参照日 2014.8.10)
- 103) 北海道鹿追町, 鹿追町環境保全センターパンフレット表紙, 北海道鹿追町ホームページ, <http://www.town.shikaoi.lg.jp/files/material/bioplant-hyoushi.pdf>, (参照日 2016.4.25)
- 104) 北海道鹿追町, 鹿追町環境保全センターパンフレット裏表紙, 北海道鹿追町ホームページ, <http://www.town.shikaoi.lg.jp/files/material/bioplant-ura.pdf>, (参照日 2016.4.25)
- 105) 北海道電力, FACT BOOK 2011, 北海道電力ホームページ, [http://www.hepc.o.co.jp/corporate/ir/ir\\_lib/pdf/factbook2011.pdf](http://www.hepc.o.co.jp/corporate/ir/ir_lib/pdf/factbook2011.pdf), (参照日 2014.8.2)
- 106) 北海道電力, FACT BOOK 2013, 北海道電力ホームページ, [http://www.hepc.o.co.jp/corporate/ir/ir\\_lib/pdf/factbook2013.pdf](http://www.hepc.o.co.jp/corporate/ir/ir_lib/pdf/factbook2013.pdf), (参照日 2014.8.2)
- 107) 厚生労働省, 就労条件総合調査, 厚生労働省ホームページ, <http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/11-23.html>, (参照日 2014.8.2)
- 108) 内閣府, 2012 年度国民経済計算(2005 年基準・93SNA), 内閣府ホームページ, [http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data\\_list/kakuhou/files/h24/h24\\_kaku\\_top.html](http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/kakuhou/files/h24/h24_kaku_top.html), (参照日 2014.8.2)
- 109) 藤田直聡. 酪農経営におけるふん尿の内部処理困難性と作業委託 : 北海道十勝地域における酪農経営を事例として, 農業経営研究, 41(3), p.15-27 (2003)
- 110) フードバレーとかち, バイオマス産業都市, フードバレーとかちホームページ, [http://www.foodvalley-tokachi.com/?page\\_id=7147](http://www.foodvalley-tokachi.com/?page_id=7147), (参照日 2016.5.7)
- 111) 環太平洋産業連関分析学会(2010):“産業連関分析ハンドブック”, 東洋経済新報社, pp.207
- 112) 芦谷恒憲. 地域産業連関表データ提供の現状と課題について, 産業連関, 15(3), p.22-32, (2007)
- 113) 中澤純治. 市町村地域産業連関表の作成とその問題点, 政策科学 9(2), p.113-125, (2002)
- 114) 片田敏孝, 森杉壽芳, 宮城俊彦, 石川良文. 地域内産業連関分析におけるはね返し需要の計測方法, 土木学会論文集, 488(IV-23), p.87-92 (1994)

- 115) 浅利一郎,土居英二.「全国」-「静岡県」-浜松市の連結産業連関表とその応用分析,静岡大学経済研究,17(4),p.51-76(2013)
- 116) 稗貫峻一,本藤祐樹,中野諭.再生可能エネルギー技術評価のための国/県産業連関表の効果的な利用,第23回日本エネルギー学会大会講演要旨集,23,p.282-283(2014)
- 117) IPCC:IPCC Fourth Assessment Report Climate Change 2007, IPCC ホームページ, [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/tssts-2-5.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/tssts-2-5.html), (参照日 2012.1.16)
- 118) 総務省(2009):平成17年産業連関表 総合解説編 計数編(1)(2), (財)全国統計協会連合会
- 119) 総務省,日本標準産業分類(平成19年11月改定),総務省ホームページ, <http://www.stat.go.jp/index/seido/sangyo/19index.htm>, (参照日 2012-3.20)
- 120) 経済産業省,平成19年工業統計調査商品分類表,経済産業省ホームページ, <http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/gaiyo/sonota/bunrui/pdf/h19-reiji.pdf>, (参照日 2012.3.20)
- 121) 独立行政法人農畜産業振興機構,沖縄産糖蜜によるバイオエタノール製造とE3実証試験,独立行政法人農畜産業振興機構ホームページ, [http://sugar.alic.go.jp/japan/view/jv\\_0705a.htm](http://sugar.alic.go.jp/japan/view/jv_0705a.htm), (参照日 2016.4.25)
- 122) 三浦地域資源ユーズ株式会社,三浦バイオマスセンター事業(施設)の紹介(平成27年8月),三浦地域資源ユーズ株式会社ホームページ, <http://www.shigen-use.biz-web.jp/biomass%20center.pdf>, (参照日 2016.4.25)
- 123) 国土交通省,平成17年度自動車輸送の概要,国土交通省ホームページ, <http://www.mlit.go.jp/k-toukei/search/pdf/06/06200500a00000.pdf>, (参照日 2016.4.25)
- 124) 国土交通省,自動車輸送統計年報(平成18年度分),国土交通省ホームページ, <http://www.mlit.go.jp/k-toukei/search/pdf/06/06200600a00000.pdf>, (参照日 2016.4.25)

- 125) 国土交通省，自動車輸送統計年報(平成 19 年度分)，国土交通省ホームページ，<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/search/pdf/06/06200700a00000.pdf>，(参照日 2016.4.25)
- 126) 国土交通省，自動車輸送統計年報(平成 20 年度分)，国土交通省ホームページ，<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/search/pdf/06/06200800a00000.pdf>，(参照日 2016.4.25)
- 127) 国土交通省，自動車輸送統計年報(平成 20 年度分)，国土交通省ホームページ，<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/search/pdf/06/06200900a00000.pdf>，(参照日 2016.4.25)
- 128) 環境省，平成 18 年度の電気事業者別排出係数の公表について，環境省ホームページ，<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=8836>，(参照日 2016.4.25)
- 129) 環境省，平成 19 年度の電気事業者別二酸化炭素排出係数の公表について，環境省ホームページ，<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=10574>，(参照日 2016.4.25)
- 130) 環境省，平成 20 年度の電気事業者別実排出係数・調整後排出係数等の公表について(お知らせ)，環境省ホームページ，<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=11956>，(参照日 2016.4.25)
- 131) 環境省，平成 21 年度の電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等の公表について(お知らせ)，環境省ホームページ，<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=13319>，(参照日 2016.4.25)
- 132) 環境省，平成 22 年度の電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等の公表について(お知らせ)，環境省ホームページ，<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14702>，(参照日 2016.4.25)
- 133) 本藤祐樹，酒井信介，丹野史郎．産業連関表を用いて推計された CO2 排出原単位の感度分析，エネルギー・資源学会誌，22(4)，p.321-328，(2001)

## 謝辞

本論文は横浜国立大学大学院環境情報学府環境イノベーションマネジメント専攻の博士課程前期・後期在籍期間(2011年4月～2016年6月)における研究成果をまとめたものとなっています。

責任指導教員の横浜国立大学環境情報研究院の本藤祐樹教授には、長きにわたり、研究方法の基礎から社会の一員としてのあるべき姿まで、数多くの丁寧なご指導・ご指導を賜りました。深く感謝するとともに厚く御礼申し上げます。

同大学環境情報研究院の工藤祐揮客員准教授には、ゼミやワークショップ・学会発表などの機会に、最大限の的確なご支援・ご指導を賜りました。同じく副指導教員である志田基与師教授には、異分野の観点より研究室のゼミでは得られない貴重なご支援・ご指導を賜りました。また、本論文の審査を快く引き受けてくださった鳴海大典准教授、遠藤聡講師に深謝いたします。

研究遂行にあたっては、本当にたくさんの国内バイオマス事業者の皆様には、ヒアリング調査やデータ提供にご協力をいただきました。特に、沖縄県宮古島市の奥島憲二様、喜世盛正春様、神奈川県三浦市の君島篤様、吉田茂様、千葉智様、北海道鹿追町の城石賢一様には、度重なる連絡にご対応いただき、研究を進めていくうえでの貴重な知見およびご助言を頂戴しました。皆様に深謝いたします。

本藤研究室の皆様には、常日頃から自らの研究に対する議論の場を多く設けていただき、率直なご意見・ご指導を頂戴しました。特に、森泉由恵氏には、産業連関表の基礎から応用までたくさんのご指導を頂戴しました。また、同期で博士課程前期の2年間を共に過ごした溝口由華さんは、博士論文を書き終える最後の最後まで叱咤激励をかけてくれました。お互いが社会人となった今でも、共に励まし合う関係が築けたことに、心から感謝いたします。

最後に、27歳からスタートした大学院生活を温かく見守り続けてくれた家族に心から感謝・御礼申し上げます。

2016年6月14日

兵法 彩



# 付録

## 図一覧

付録-図 1	固定価格買取制度の基本的な仕組み.....	4
付録-図 2	バイオマス産業都市について.....	6
付録-図 3	バイオマス産業都市の選定地域（平成 28 年 4 月現在） .....	6

## 表一覧

付録-表 1	バイオマス資源の分類例.....	1
付録-表 2	バイオマスの年間発生量と利用率 .....	2
付録-表 3	2020 年目標に向けたバイオマスの利用方法.....	3
付録-表 4	バイオマスによる発電の買取価格一覧.....	4
付録-表 5	バイオマス利活用に関する政策評価の結果及び勧告事項.....	5
付録-表 6	バイオマス産業都市一覧.....	7
付録-表 7	地域波及効果の記載例（No.1~18） .....	8
付録-表 8	地域波及効果の記載例（No.19~34） .....	9

## 写真一覧

付録-写真 1	堆肥舎 .....	10
付録-写真 2	マニュアルスプレッダ.....	10
付録-写真 3	バイオガスプラントのトラックスケール.....	11
付録-写真 4	原料槽 .....	11
付録-写真 5	発酵槽 .....	12
付録-写真 6	ガス発電機.....	12
付録-写真 7	消化液貯留槽 .....	13
付録-写真 8	消化液散布車両.....	13
付録-写真 9	バイオエタノールプラントの外観.....	14
付録-写真 10	糖蜜タンク .....	14
付録-写真 11	プラント内部 1.....	15
付録-写真 12	プラント内部 2.....	15
付録-写真 13	バイオエタノールタンク .....	16
付録-写真 14	生成されたバイオエタノール.....	16
付録-写真 15	E3 給油所・給油の様子.....	17

付録-表 1 バイオマス資源の分類例

廃棄物系 資源	木質系バイオマス	製材工場残材	建設発生木材
	製紙系バイオマス	古紙 黒液	製紙汚泥
	家畜排せつ物	牛ふん尿 鶏ふん尿	豚ふん尿 その他家畜ふん尿
	生活排水	下水汚泥	し尿・浄化槽汚泥
	食品廃棄物	食品加工廃棄物 卸売市場廃棄物 家庭系厨芥	廃色用油 食品小売業廃棄物 事業系厨芥
	その他	埋立地ガス	紙くず・繊維くず
未利用系 資源	木質系バイオマス	林地残材 未利用樹 その他の木質系バイオマス（剪定枝など）	間伐材
	農業残渣系	稲わら 麦わら その他農業残渣	もみ殻 バガス
生産系 資源	木質系バイオマス	短周期栽培木材	
	草本系バイオマス	牧草 海藻	水草
	その他	藻類 パーム油	糖・でんぷん 菜種油

(NEDO (2014) 再生可能エネルギー技術白書[第2版]を参考に筆者作成)

URL: <http://www.nedo.go.jp/content/100544819.pdf>

付録-表 2 バイオマスの年間発生量と利用率

バイオマスの種類	年間発生量	利用率	
		直近※1	2020年目標
家畜排せつ物	約 8,800 万トン	約 90%	約 90%
下水汚泥	約 7,800 万トン	約 77%	約 85%
黒液	約 1,400 万トン※2	約 100%	約 100%
紙	約 2,700 万トン	約 80%	約 85%
食品廃棄物	約 1,900 万トン	約 27%	約 40%
製材工場等残材	約 340 万トン※2	約 95%	約 95%
建設発生木材	約 410 万トン	約 90%	約 95%
農作物非食用部	約 1,400 万トン	約 30% (約 85%)※3	約 45% (約 90%) ※3
林地残材	約 800 万トン※2	ほとんど未利用	約 30% 以上※4

※1 公表当時（2010年2月）の直近データから算出した値となっている。

※2 黒液、製材工場等残材、林地残材については乾燥重量、他のバイオマスについて湿潤重要である。

※3 農作物非食用部の利用率、上段はすき込みを除いた数値、下段はすき込みを含んだ数値である。

※4 試算値であり、今後「森林・林業再生プラン」に掲げる木材自給率50%達成に向けた具体的施策とともに検討し、今後策定する森林・林業基本計画に位置付ける予定となっている。

（農林水産省、バイオマス活用推進基本計画を基に筆者作成）

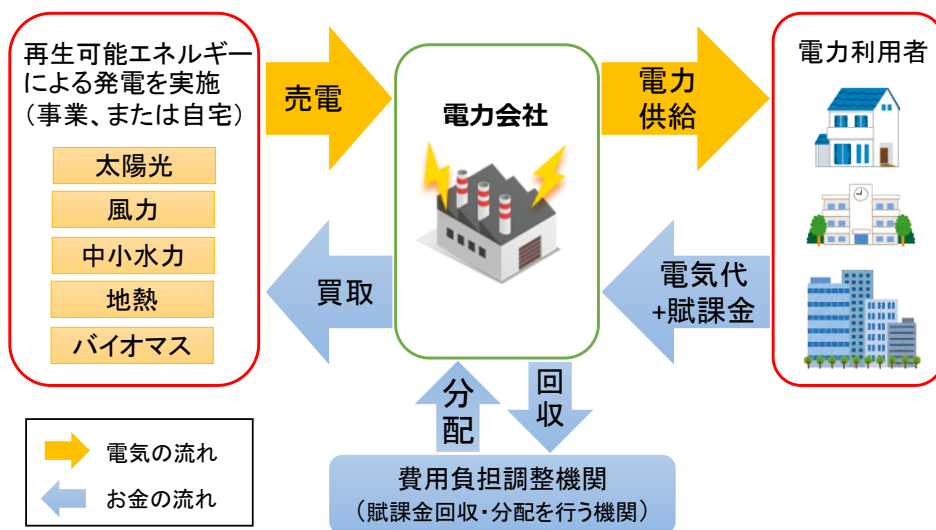
URL: [http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b\\_kihonho/pdf/keikaku.pdf](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kihonho/pdf/keikaku.pdf)

付録-表 3 2020年目標に向けたバイオマスの利用方法

バイオマスの種類	2020年目標に向けて
家畜排せつ物	年間発生量のうち90%（物理的回収限界率）が堆肥等として利用されている。堆肥需要量を超えて過剰に発生している地域等では、堆肥化・焼却処理、メタン発酵等のカスケード利用を推進することで、従来の肥料利用に加えて、 <b>エネルギー利用を推進</b> する。
下水汚泥	年間発生量のうち77%が利用されており、その大半が建設資材等となっている。今後さらに、バイオガス化や固形燃料化等による <b>エネルギーとして利用を推進</b> することにより、85%利用を目指す。
黒液	製紙工場においてパルプ生産段階で生じる黒液は、100%が直接燃焼によりエネルギー利用されている。引き続き、その活用を推進する。
紙	年間発生量のうち80%が古紙として回収されマテリアル利用されている。再生紙としての利用を促進するとともに、再生が困難な紙のエタノール化、バイオガス化等も含めた <b>エネルギー利用の高度化を推進</b> することにより、85%の利用を目指す。
食品廃棄物	食品関連事業者の廃棄分は、食品リサイクル法に基づき飼料や肥料等への再生利用が行われている一方で、一般家庭から排出される食品廃棄物は利用率が6%となっている。引き続き、飼料や肥料等への再生利用を推進する。飼料・肥料等への再生利用が困難なものは、 <b>メタン発酵等によるエネルギー利用を拡大</b> することで、40%利用を目指す。
製材工場等残材	年間発生量の95%（物理的回収限界率）が、製紙原料やエネルギー等として再生利用されている。引き続き、その活用を推進する。
建設発生木材	1991年からのリサイクル推進施策等によって、約90%が製紙原料、ボード原料、家畜飼料等やエネルギー（主に直接燃焼）として利用されている。引き続き、様々な施策を着実に推進するとともに、木質系バイオマスの利用技術の研究開発を推進することで、95%利用を目指す。
農作物非食用部	30%が堆肥、飼料、畜舎敷料、燃料等として利用され、残り55%が稲わらの農地へのすきこみとなっている。農地へのすきこみは引き続き地球温暖化対策として実施するのに加え、セルロース系バイオマスのエタノール化技術の進展を見極めつつ、すきこみから堆肥、飼料、燃料等への転換を進める。
林地残材	年間発生量のほとんどが利用されておらず、間伐等の際に森林に残されている。新たな用途の開発も含めて、より多段階に活用し、利用方法の高度化を進めるとともに、施策の集約化や路網の整備等の木材自給率向上のための施策の推進を通じ、木材の安定的かつ効率的な供給体制を確立し、30%利用を目指す。

（農林水産省、バイオマス活用推進基本計画を基に筆者作成）

URL: [http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b\\_kihonho/pdf/keikaku.pdf](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kihonho/pdf/keikaku.pdf)



国(経済産業大臣)が、設備認定、買取価格、賦課金単価を決定  
買取価格・買取期間については、調達価格等算定委員会が検討

付録-図 1 固定価格買取制度の基本的な仕組み

(経済産業省資源エネルギー庁, なっとく! 再生可能エネルギーの図を基に筆者作成)

URL: [http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/kaitori/](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/)

付録-表 4 バイオマスによる発電の買取価格一覧

バイオマスの種類		バイオマスの例	調達価格 1kWhあたり	調達期間
メタン発酵ガス (バイオマス由来)		下水汚泥・家畜ふん尿 食品残さ由来のメタンガス	39円+税	20年間
間伐材等由来の 木質バイオマス	2,000kW未満	間伐材、主伐材	40円+税	
	2,000kW以上		32円+税	
一般木質バイオマス・農作物残渣		製材端材、輸入材、パーム椰子殻 もみ殻、稲わら	24円+税	
建設資材廃棄物		建設資材廃棄物 (リサイクル木材) その他木材	13円+税	
一般廃棄物・その他の廃棄物		剪定枝・木くず、紙、食品残さ、 廃食用油、汚泥、家畜ふん尿、黒液	17円+税	

(経済産業省資源エネルギー庁, 再生可能エネルギー固定価格買取制度ガイドブック  
2016年度版を基に筆者作成)

URL: [http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/data/kaitori/2016\\_fit.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/data/kaitori/2016_fit.pdf)

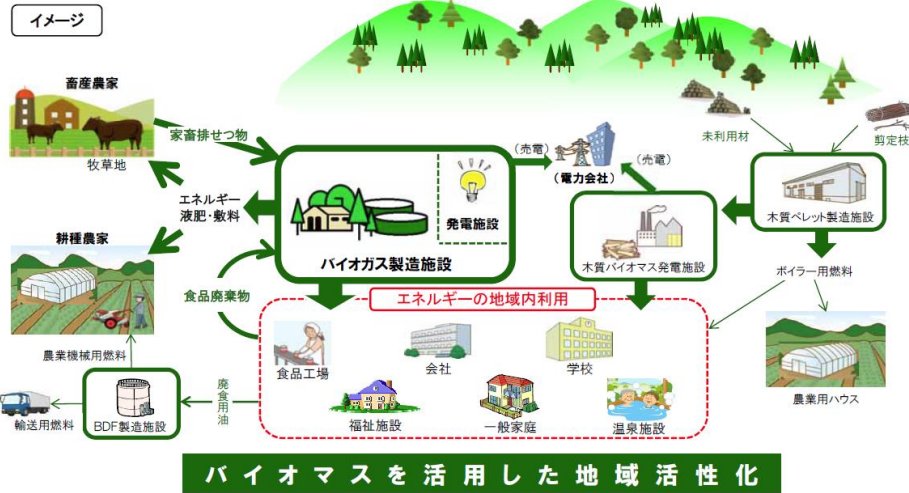
付録-表 5 バイオマス利活用に関する政策評価の結果及び勧告事項

評価項目	政策目的の達成度等を測る指標の設定	政策全体のコストや効果の把握	バイオマスタウンの効果の検証等	バイオマス関連事業の効果の発現状況	バイオマスの利活用によるCO <sub>2</sub> の削減
施策の概要等	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆政策目標の達成を測る指標として、平成22年の数値目標を設定</li> <li>◆地球温暖化防止等の4つの効果に期待</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆施策の効果等を評価し、必要な見直しを行うことを規定</li> <li>◆推進会議で平成18年度から平成20年度までの実績を取りまとめ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆バイオマスタウンの構築を重要施策に位置づけ、農林水産省を中心にバイオマスタウン構想の作成や実現を支援</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆平成15～20年度に6省で計214事業を実施</li> <li>◆施設導入が予算規模で全体の8割以上を占める</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆カーボンニュートラルにより、地球温暖化防止に貢献</li> <li>◆バイオマスタウンの構築が削減に寄与する見込み(京都議定書目標達成計画)</li> </ul>
主な問題・課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>①数値目標の具体的根拠が明確でない</li> <li>②期待される効果の発現を測る指標設定がない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①数値目標の達成度把握が不十分</li> <li>②バイオマス関連の決算額が特定できず、政策全体の効果も把握できていない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①取り組みの進捗が低調</li> <li>②実施による効果が、ほとんど把握されていない</li> <li>③バイオマス賦存量/利用量の算出根拠が明確でない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①バイオマス関連事業が効果的かつ効率的に実施されていない。</li> <li>②バイオマス関連施設の稼働や採算性が低調</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①CO<sub>2</sub>収支を把握状況が132施設中、3施設のみ</li> <li>②総務省の試算では、効果を発現しない取り組みがある</li> </ul>
勧告事項	政策目的の達成度及び政策効果を的確に把握するための指標の設定	政策のコストや効果の把握及び公表	バイオマスタウンの効果検証及び計画の実現性の確保	バイオマス関連事業の効果的かつ効率的な実施	バイオマスの利活用によるCO <sub>2</sub> 削減効果の明確化

(総務省、バイオマス利活用に関する政策評価 概要を基に筆者作成)

URL: [http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000102147.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000102147.pdf)

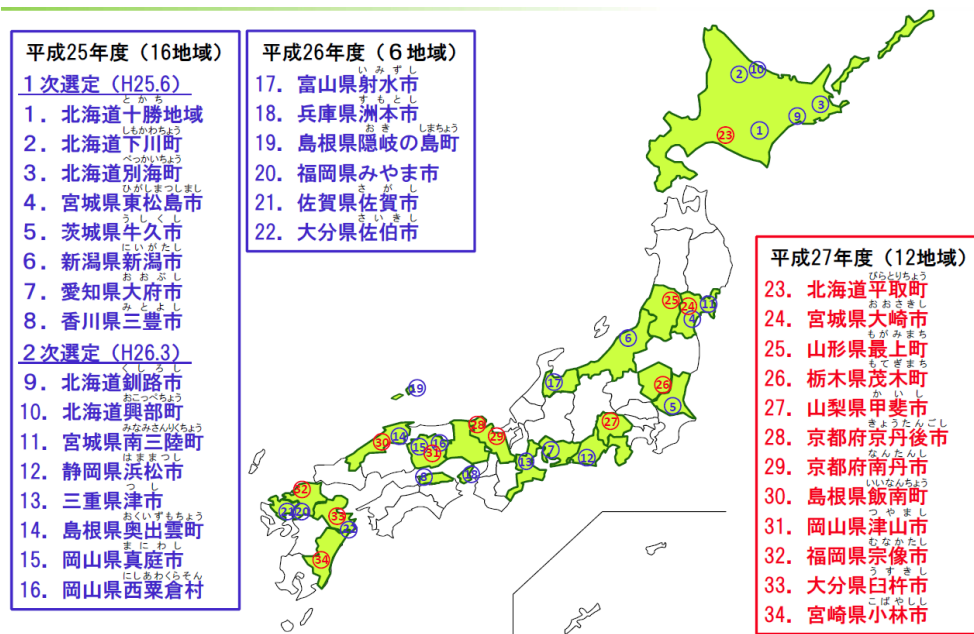
○ バイオマス産業都市とは、経済性が確保された一貫システムを構築し、地域の特色を活かしたバイオマス産業を軸とした環境にやさしく災害に強いまち・むらづくりを目指す地域であり、関係7府省が共同で選定。  
 ※関係7府省:内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省



付録-図 2 バイオマス産業都市について

(バイオマス産業都市関係府省連絡会議、バイオマス産業都市についてから引用)

URL: [http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b\\_kihonho/pdf/h28\\_sangyou.pdf](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kihonho/pdf/h28_sangyou.pdf)



付録-図 3 バイオマス産業都市の選定地域 (平成 28 年 4 月現在)

(バイオマス産業都市関係府省連絡会議、バイオマス産業都市についてから引用)

URL: [http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b\\_kihonho/pdf/h28\\_sangyou.pdf](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kihonho/pdf/h28_sangyou.pdf)



付録-表 6 バイオマス産業都市一覧

		(発電・熱利用) バイオガス	(発電・熱利用) 木質バイオマス	ペレット 燃料化	B D F	堆肥化・ 燃料化	資材化	炭材	マテリアル化
件数		23	23	9	12	12	4	1	6
平成25年度 (1次選定)	1 北海道十勝地域	家畜排せつ物等	剪定枝等		廃食用油				
	2 北海道下川町		林地残材等	ヤナギ・ススキ	ヤナギ・ススキ				
	3 北海道別海町	家畜排せつ物 水産廃棄物等							
	4 宮城県東松島市	食品廃棄物等	間伐材等						
	5 茨城県牛久市			剪定枝等	廃食用油	食品廃棄物			
	6 新潟県新潟市	下水汚泥 食品廃棄物等	間伐材等		廃食用油				
	7 愛知県大府市	食品廃棄物 し尿等							
	8 香川県三豊市					食品廃棄物等	竹		
平成25年度 (2次選定)	9 北海道釧路市	家畜排せつ物 食品廃棄物等	林地残材等	林地残材等	廃食用油				
	10 北海道興部町	家畜排せつ物 食品廃棄物等	林地残材						
	11 宮城県南三陸町	食品廃棄物 下水汚泥		林地残材等					
	12 静岡県浜松市	食品廃棄物 下水汚泥	間伐材等						
	13 三重県津市	有機性汚泥 食品廃棄物	林地残材等			間伐材 下水汚泥等			
	14 島根県奥出雲町			林地残材等				林地残材等	
	15 岡山県真庭市		林地残材等		廃食用油	食品廃棄物等			
	16 岡山県西粟倉村		林地残材等						
平成26年度	17 富山県射水市		間伐材等			樹皮 剪定枝等	もみ殻		
	18 兵庫県洲本町	下水汚泥 食品廃棄物等			廃食用油	竹	竹		微細藻類
	19 島根県隠岐の島町	食品廃棄物 間伐材等	間伐材等						間伐材等
	20 福岡県みやま市	食品廃棄物 し尿汚泥等	剪定枝等		廃食用油	廃棄海苔			
	21 佐賀県佐賀市	食品廃棄物 下水汚泥等		林地残材等					微細藻類
	22 大分県佐伯市	下水汚泥 食品廃棄物等	林地残材等						
平成27年度	23 北海道平取町		間伐材等						
	24 宮城県大崎市	家畜排せつ物等	間伐材等	ヨシ	廃食用油				
	25 山形県最上町	家畜排せつ物 食品廃棄物等	間伐材等			もみ殻			
	26 栃木県茂木町			間伐材 堆肥	廃食用油		竹		
	27 山梨県甲斐市		間伐材						
	28 京都府京丹後市	食品廃棄物				生ごみ 下水汚泥			間伐材 竹
	29 京都府南丹市	食品廃棄物 家畜排せつ物等	間伐材 剪定枝		廃食用油				微細藻類
	30 島根県飯南町	生ごみ 下水汚泥	間伐材 竹			家畜排せつ物 間伐材			
	31 岡山県津山市		間伐材						製材残材 間伐材
	32 福岡県宗像市	下水汚泥 食品廃棄物			廃食用油	消化汚泥 食品廃棄物等			
	33 大分県臼杵市	食品廃棄物	間伐材						
	34 宮崎県小林市	家畜排せつ物	間伐材 製材残材						

(バイオマス産業都市関係府省連絡会議，バイオマス産業都市についてに基づいて筆者作成)

URL: [http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b\\_kihonho/pdf/h28\\_sangyou.pdf](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kihonho/pdf/h28_sangyou.pdf)

付録-表 7 地域波及効果の記載例 (No.1~18)

地域波及効果の記載例			
1	北海道十勝地域	・生産誘発額 183億円 ・GDP押し上げ 92億円 (北海道内地域間産業連関表で推計)	・新規雇用誘発 1,423人
2	北海道下川町	・林業・林産業生産額 7億円増 ・地域経済波及効果 13,000千円/年 ・燃料コスト削減 42,000千円/年	・雇用創出効果 107人増 ・視察者 1,350人増 ・温室効果ガス 4,728t-CO2/年削減 ・資源量 (ヤナギ) 1,970t/年増加
3	北海道別海町	・経済効果 4億9,390円 (売電、排せつ物輸送、消化液販売等) ・経済波及効果 2億2,100万円 (北海道内地域間産業連関表で推計)	・町内雇用者 23人増か (雇用者見込内訳 25人) ・視察者数 2,000人目標 ・温室効果ガス 2,778~4,346t/年削減 (発電量から算出) ・廃棄物 111,325t/年削減
4	宮城県東松島市	・関連産業の創出規模 26億円 ・廃棄物処理費 600万円/年削減	・雇用創出規模 139人 ・温室効果ガス 41,000千t-CO2/年削減 ・廃棄物再生利用率 生活生ごみ0→61%
5	茨城県牛久市	・経済波及効果 6億7千万円 (産業連関表で推計)	・二酸化炭素排出量 440t/年削減 ・廃棄物処理量 28,128t/年削減
6	新潟県新潟市		・温室効果ガス排出量 161,944t-CO2/年削減 ・災害時エネルギー確保 BDF 26kL/年 ・発電量 5,000,000kWh/年 ・汚泥燃料生産量 850t/年 ・二酸化炭素 2,261t/年
7	愛知県大府市	・農産品直売部門の売上 20億円 ・経費削減効果 37,000,000円/年	・雇用 230名以上 (食品加工・飲食・入浴施設など) ・二酸化炭素 2,261t/年
8	香川県三豊市	・経済波及効果 20,597百万円/年 (総務省HP分析シートを用いて算出)	・雇用創出 19人 ・二酸化炭素 10,725t-CO2/年
9	北海道釧路市	・関連産業の創出規模 209,245千円	
10	北海道興部町	・直接効果 6,400万円/年 ・一次波及効果 1,300万円/年 ・二次波及効果 900万円/年 (分析支援ツールで算出)	雇用量 (新規、合計) 9名 ・プラント管理 3名 ・排せつ物輸送 4名 ・戻し堆肥製造販売 1名 ・メンテナンス (技術者) 1名 ・温室効果ガス 2,186t-CO2/年削減 ・廃棄物処理量 54,100t/年削減
11	宮城県南三陸町	・関連産業の創出 2.1億円 ・経済波及効果 3~4億円/年 ・町の歳入 6,000~7,000万円増	・雇用創出 40~50人 ・人口増加 120~150人 ・温室効果ガス 1,873t-CO2/年
12	静岡県浜松市	・廃棄物処理費 (単純計算) 18億円削減	
13	三重県津市	経済波及効果 ・生産誘発額 730億円/10年間 ・粗付加価値誘発額 322億円/10年間 ・雇用者所得誘発額 115億円/10年間 (三重県産業連関分析シートで推計)	・新規雇用創出 96人 ・温室効果ガス 89,500t-CO2/年削減 ・廃棄物処理量 10,560t/年削減 ・災害時の燃料供給量 1,800t/年
14	島根県奥出雲町	・産業の創出 作業路整備 400百万円/10年 伐採搬出 480百万円/10年 加工センター 900百万円/10年	・雇用創出 関連産業 136名以上 作業路整備 20名 伐採搬出 100名 加工センター 16名 ・二酸化炭素排出量 1,200t/年
15	岡山県真庭市	・経済波及効果 5,809百万円/年	・雇用効果 200人 直接雇用 15人 燃焼収集・供給事業者等 180人 ・二酸化炭素排出量 80,000t
16	岡山県西粟倉村	・燃料コスト 10,000千円/年削減	・雇用の創出 林業従業者数 55名~100名 木質バイオマス関連従業者数 0~5名 ・観光客数 1,400~3,500名 ・環境教育プログラム利用者 500名増加 ・温室効果ガス 1,600t-CO2/年削減
17	富山県射水市		・二酸化炭素排出量 BDFによる灯油代替 2,492kgCO2/L もみ殻による燃料代替 3,000kgCO2/t
18	兵庫県洲本町		・期待される雇用創出人数 BDF 10人 バイオガス発電事業 12人 BTL 13人 ・温室効果ガス 2,935t-CO2/年削減 ・廃棄物 11,791t/年削減

付録-表 8 地域波及効果の記載例 (No.19~34)

地域波及効果の記載例			
19	島根県隠岐の島町	・関連産業の雇用創出 51名 ・観光客数の増大 80名/年	
20	福岡県みやま市	・雇用の創出 メタン発酵発電 26人 紙おむつ資源化 4人 はたき海苔資源化 2人	・温室効果ガス メタン発酵発電 1,160t-CO2/年削減 廃食用油BDF化 21t-CO2/年削減 はたき海苔資源化 78t-CO2/年削減 紙おむつ資源化 55t-CO2/年削減
21	佐賀県佐賀市	・地域経済活性化効果 10,000千円/年 (視察者などの増加に伴う効果) ・廃棄物処理費 35,166万円/年	・雇用効果 二酸化炭素分離回収事業 50人 エネルギー創出事業 3人 ・視察者の増加 1,000人/年 ・温室効果ガス 二酸化炭素分離回収事業 6,600t-CO2/年 エネルギー創出事業 2,800t-CO2/年
22	大分県佐伯市	・発電所等建設への投資見込み額62億円 ・燃料費ほか 4,200万円削減 ・処理手数料 1,200万円削減	・地元雇用の創出 65人 ・化石燃料使用量 11,642t削減(石炭換算) ・二酸化炭素 70,288t削減
23	北海道平取町	・雇用の創出 熱供給公社 2人 関連事業社 5人	
24	宮城県大崎市	・経済波及効果 1,219,000千円 ・雇業者所得 316,000千円増 (宮城県の経済波及効果分析ツールで算定 構想期間内~平成36年度の効果)	・新規雇用者数 63人 ・災害時のエネルギー供給量 1,242GJ ・二酸化炭素抑制効果 1,382t-CO2/年
25	山形県最上町	・経済波及効果 805百万円 (山形県産業連関表を用いて算出) ・化石燃料代替費 1.3億円/年	・新規雇用創出効果 23人 ・観光交流人口 20%増加 ・化石燃料代替量 電気7,000MW/年 ・温室効果ガス 32,357t-CO2/年 ・災害時エネルギー供給可能量 1,000kWh
26	栃木県茂木町	・経済効果 338,000千円/年 (波及効果 270,000千円/年)	・新規雇用創出 18人 (波及効果 38人) ・二酸化炭素 1,350t-CO2/年削減 (波及効果 5,450t-CO2/年削減)
27	山梨県甲斐市	・経済波及効果 68.3億円 (総務省産業連関分析シートで試算) ・化石燃料代替費 15,005千円/年 ・一般廃棄物処理費 118,7440千円/年削減	・新規雇用創出効果 73人 ・化石燃料代替量 電気71,280MWh/年 ・温室効果ガス排出量 38,150t-CO2/年 ・一般廃棄物処理量 3,536t/年削減
28	京都府京丹後市	・化石燃料代替費 7.8億円/年 ・チップ売上額 2億円	・新規雇用者数の増加 34人 ・化石燃料代替量 電気 8,760MWh/年 ・温室効果ガス 15,895t-CO2/年 ・災害時燃料供給量 チップ 9,670t/年
29	京都府南丹市	・経済波及効果 BDF化事業 3,500万円/年 バイオマス資源複合利用 3,462百万円/年	・新規雇用創出 2~5人 ・温室効果ガス(液肥利用) 2,723t/年削減
30	島根県飯南町	・経済波及効果 8.0億円 (島根県の波及効果分析ツールを使用) ・化石燃料代替費 8,460千円/年	・新規雇用創出 18人 ・化石燃料代替量 熱 3,450GJ/年 ・温室効果ガス 246t-CO2/年
31	岡山県津山市	・経済波及効果(10年間) 113億円 (津山市産業連関分析シートで試算) ・化石燃料代替費 3,900万円/年	・新規雇用創出 30人 ・化石燃料代替量 電気 2,500MWh/年 ・温室効果ガス 1,338t-CO2/年 ・災害時の燃料供給量 チップ 5,900t/年
32	福岡県宗像市		・廃棄物処分量 6,500t/年削減
33	大分県臼杵市		・年間発電量 3,357,780kWh/年 ・二酸化炭素削減量 2,058t/年 (九州電力の排出係数から推計)
34	宮崎県小林市	・経済波及効果(10年間) 19.59億円 ・化石燃料代替費 1.5億円/年	・新規雇用者数 19人増加 ・化石燃料代替量 電力 460MWh/年 ・温室効果ガス 4,104t-CO2/年 ・産業廃棄物処理量 7,200t/年 ・災害時燃料供給量 チップ・ペレット 4,542t/年

(農林水産省 Web ページから各地域のバイオマス産業都市構想書入手し、構想書の地域波及効果に関する記述に基づいて筆者作成)



付録-写真 1 堆肥舎

有限会社小野鉄工ホームページから引用

URL: <http://www.onotekko.com/lst17992/dt4079.html>



付録-写真 2 マニュアルスプレッダ

(ぐんまアグリネット Web ページから引用

URL:<http://aic.pref.gunma.jp/agricultural/management/technology/soil/01/01020403.html>)



付録-写真 3 バイオガスプラントのトラックスケール  
(2013年9月に筆者撮影)



付録-写真 4 原料槽  
(2013年9月に筆者撮影)



付録-写真 5 発酵槽  
(2013年9月に筆者撮影)



付録-写真 6 ガス発電機  
(2013年9月に筆者撮影)



付録-写真 7 消化液貯留槽  
(2013年9月に筆者撮影)



付録-写真 8 消化液散布車両  
(2013年9月に筆者撮影)



付録-写真 9 バイオエタノールプラントの外観  
(2011年6月筆者作成)



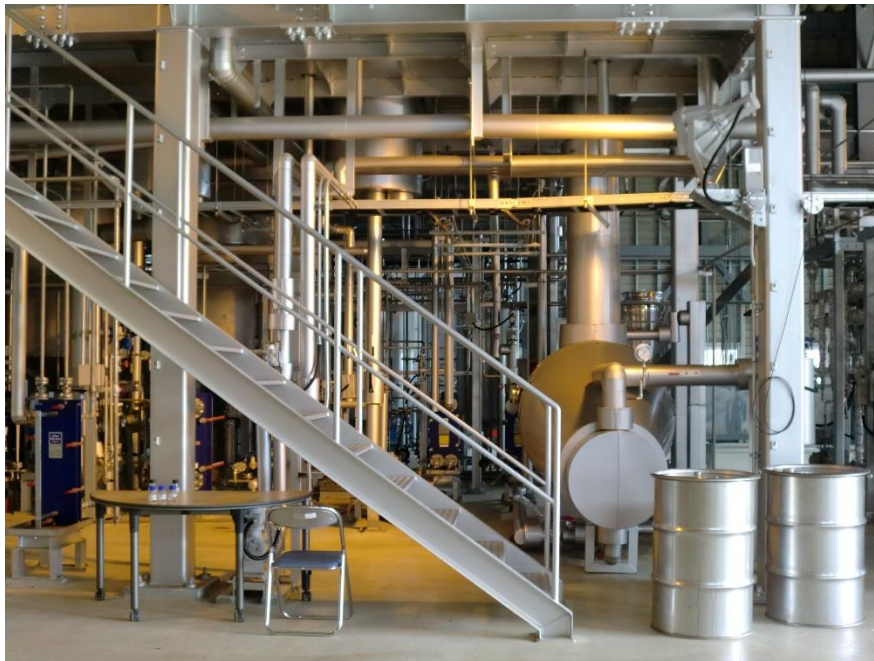
付録-写真 10 糖蜜タンク  
(2011年6月筆者作成)





付録-写真 11 プラント内部 1

(2011年6月筆者作成)



付録-写真 12 プラント内部 2

(2011年6月筆者作成)



付録-写真 13 バイオエタノールタンク  
(2011年6月筆者作成)



付録-写真 14 生成されたバイオエタノール  
(2011年6月筆者撮影)



付録-写真 15 E3 給油所・給油の様子  
(2011年6月筆者作成)