

食品廃棄物を利用したバイオガス発電システムの事業化-持続的発展が可能な循環型社会の実現に向けて-

著者	福留 豊
発行年	2002-03
その他のタイトル	Business of Biogas Power Generation System Utilizing Food Waste as Fuel - A Step towards the Realization of an Ecologically Sustainable Society -
学位授与番号	26402甲第9号
URL	http://hdl.handle.net/10173/232

平成 13 年度

春季修了

博士（工学）学位論文

食品廃棄物を利用したバイオガス発電システムの事業化

持続的発展が可能な循環型社会の実現に向けて

Business of Biogas Power Generation System Utilizing Food Waste as Fuel

- A Step towards the Realization of an Ecologically Sustainable Society -

平成 13 年 12 月 28 日

高知工科大学大学院 工学研究科基盤工学専攻 起業家コース

学籍番号：1036019

福留 豊

Yutaka Fukudome

目 次

序 章.....	1
----------	---

第 1 部 事業化推進戦略の策定

第 1 章 食品廃棄物の資源性	11
-----------------------	----

1.1 バイオマスと有機性廃棄物	11
1.2 食品廃棄物	13
1.2.1 食品廃棄物の種類	13
1.2.2 食品廃棄物の現行処理法の問題点	13
1.3 食品廃棄物の資源価値	14
1.3.1 食品廃棄物の資源価値の評価項目	14
1.3.2 発生量	14
1.3.3 食品廃棄物の品質	21
1.3.4 リサイクル技術	22
1.3.5 リサイクル製品の市場性	23
1.3.6 資源性の総合評価	23

第 2 章 食品廃棄物の標準再資源化システム	25
------------------------------	----

2.1 要素技術の概要	25
2.2 メタン発酵	30
2.2.1 メタン発酵の原理	30
2.2.2 メタン発酵の条件	31
2.2.3 メタン発酵技術の開発状況	36
2.2.4 食品廃棄物処理に最適なメタン発酵プロセスの選定	37
2.2.5 固定床式メタン発酵プロセスの主要装置と運転実績	39
2.3 マイクロガスタービン	40
2.4 燃料電池	43
2.5 メタン発酵残渣の資源化技術	49
2.6 脱臭技術	50
2.7 食品廃棄物の標準再資源化システム	52

第3章 マクロ環境分析	56
3.1 マクロ環境分析の手順	56
3.2 マクロ環境分析	56
3.2.1 国際情勢	56
3.2.2 社会の価値観	58
3.2.3 政治・経済・法律	59
3.2.4 技術	66
3.2.5 資源・エネルギー・環境問題	66
3.3 マクロ環境分析結果のまとめ	67
第4章 ミクロ環境分析	71
4.1 業界の構造	71
4.2 関連法規と補助金制度	72
4.2.1 食品リサイクル法	72
4.2.2 補助金制度	74
4.3 ミクロ環境分析	74
4.3.1 顧客分析	74
4.3.2 競争業者分析	77
第5章 事業化推進戦略	82
5.1 業界における事業成功の要因	82
5.2 バイオガス発電事業の自己分析結果	85
5.3 事業化推進戦略	85
 第2部 事業化推進策の展開 	
第6章 事業化推進方針	87
第7章 地域の産業振興	90
第8章 マーケティング調査	93
8.1 マーケティング調査の基本的な考え方	93

8.2 魚市場に対する調査結果	94
第9章 事業主体	95
9.1 事業主体の条件	95
9.2 事業主体の経営資源	95
9.3 事業の実施体制と実施プロジェクト	98
第10章 事業スキーム	102
10.1 現行の事業スキーム	102
10.2 事業スキーム	102

第3部 事業実施計画の評価と課題

第11章 事業実施計画	106
11.1 プロジェクトの選定	106
11.2 計画条件	106
11.3 事業の範囲	107
11.4 補助金制度の活用	107
第12章 施設計画	109
12.1 プロセスフロー	109
12.2 設備仕様	110
12.3 運転計画	112
第13章 事業の経済性評価	114
13.1 経済性の評価条件	114
13.2 経済性の評価方法	115
13.3 試算結果	118
13.4 補助金の効果	122
第14章 事業化の課題	124
14.1 事業化時に想定される課題	124

14.2	ステークホルダーへの対応	124
14.3	廃棄物量の安定確保	127

第4部 環境経済学的観点からの考察

第15章	食品廃棄物の価格と市場リサイクルの条件	128
15.1	バツズの価格	128
15.2	食品廃棄物の価格	129
15.3	食品廃棄物の市場リサイクルの条件	131
第16章	公的補填の意義	132
第17章	環境コスト負担に関する考察	134
17.1	環境コスト負担の基本的な考え方	134
17.2	食品廃棄物の処理コストの負担	134

第5部 成果と展望

第18章	研究成果	135
18.1	研究結果	135
18.2	総合評価	137
18.3	結論	139
18.4	課題	139
第19章	今後の事業展開	141
19.1	環境ビジネスの変遷	141
19.2	環境ビジネス市場の動向	142
19.3	バイオガス発電事業の進むべき方向	143
第20章	循環型社会の展望	145

謝辞

付録 食品廃棄物の再資源化事業計画書

序 章

1. 大量廃棄社会から循環型社会へ

20 世紀文明は、経済合理性と効率優先の基盤の上にただひたすら便利で快適な暮らしを追求し、人類に驚くべき程の大きな繁栄をもたらした。しかし、世紀の後半になって、人類は、ボーダレスに拡散し広がる地球環境問題と環境制約の強まり、先進国だけでなく発展途上国でも深刻化してきた廃棄物処理の問題など今までに経験したことのないさまざまな難問を抱え込むことになった。そこで、その解決のために、1992 年にリオデジャネイロで世界 178 カ国の参加を得て開催された「地球サミット」(UN Conference on Environment and Development)では、「持続可能性 (Sustainability)」という概念が提唱され、これを具体化するために、「環境の質と持続可能な発展に関する目標を達成するには、生産の効率化を図り、消費パターンを変更して、資源を最大限に活用し、廃棄物を最小限に抑えることが必要である」という行動計画 (アジェンダ 21) が採択された¹⁾。

日本でも、このような世界の動向を受けて「持続可能性」に関する検討が行われ、その成果は環境基本法 (平成 5 年 11 月施行) と同法に基づく環境基本計画 (平成 6 年閣議決定) に反映された²⁾。さらに、こうした考えを実現するには、「循環型社会」に向けた飛躍的な進展が図られることが必要とされ²⁾、平成 12 年度に循環型社会形成推進基本法 (以下、基本法という) が成立し、循環型社会実現のための枠組みが決定された。同法では、『循環型社会とは、第一に製品等が廃棄物等になることを抑制し、第二に排出された廃棄物等についてはできるだけ資源として利用し、最後にどうしても利用できないものは適正に処分することが徹底されることにより実現される、天然資源の消費が抑制され、環境への負荷が低減される社会である』と定義している (第 2 条第 1 項)。発生した廃棄物等についてはその有用性に着目して「循環資源」としてとらえ直し、その循環的な利用 (再使用、再生利用、熱回収) を図るべきことを規定している (第 2 条第 2、3 項等)。さらにこの基本法を受けて、容器包装、家電、建設資材、食品廃棄物などのリサイクルを進める各種個別法も制定された。このように我が国においても、循環型社会の構築に向けて法律面からの整備は確実に進み、循環型社会づくりの理念や体系はみえてきたといえよう。

しかし、従来の大量廃棄社会から循環型社会への移行をどういう技術やシステ

ムを進めていくかについては確定的ではない。また、実際に循環型社会づくりを進めていくことになると、企業にとってはコストアップになることは明らかであり、地方自治体にとっても新しい制度をどのようにつくればよいのか模索の状態にあるというのが実態である。

今後、このような状況から一歩進んで循環型社会を実現していくためには、発生した廃棄物等については、新しい法体系のもとで、その特性を活かした技術やシステムに基づいた環境ビジネスを積極的に推し進めることが必要になってくる。

2. 循環型社会における食品廃棄物処理のあるべき姿

基本法第2条の制定趣旨を実効あらしめるためには、廃棄物についての量の問題だけでなく質の問題が重要である。現行の廃棄物処理において、この質の面が全く考慮されずに極めて乱暴な処理がされているものの一つに食品廃棄物がある。食品廃棄物の適正な処理・リサイクルは、循環型社会実現の鍵になると考えられ、本研究ではこの食品廃棄物を取り上げるものとする。

一般に食品廃棄物とは、食品加工業から排出される動植物性残渣、スーパー等から排出する売れ残り食料品、一般家庭から排出する生ごみなどをひっくるめたものを総称しているが、日本全体で年間約2,000万トンという膨大な量が発生している³⁾(後述の表1.2参照)。これらのほとんどのものは、腐敗しやすく含水率が高いという特性を持ち、有用成分を含有するにもかかわらずほとんどが地方自治体によって焼却処理されている。

その結果、次のような問題が発生しており、その解決は喫緊の課題である。

廃棄物の焼却処理に伴う問題点

わが国では、一般廃棄物の焼却処理の割合が76%と諸外国と比べて格段に高い⁴⁾。これは、国土が狭く最終処分場の立地が難しいことや廃棄物処理に当たって衛生対策上の観点が重視されてきたことを反映しているが、焼却施設は、ダイオキシン類の発生原因として80~90%を占めており⁴⁾、その削減対策が急務となっている。また、最近、ダイオキシン対策のために焼却の広域化、設備の大型化がいられているが、建設予定地周辺の住民の同意を得るのが難しくなっている。

食品廃棄物は一般廃棄物の中でも、特に、焼却率が高く、しかも焼却は食品廃棄物の特性を無視した処理法であるため、エネルギー効率が悪いなど、その悪影響は顕著である。

また、食品廃棄物は、本来、エネルギー、プラスチック、肥料などの原料として再資源化が可能であるにもかかわらず、焼却によって廃棄されており、資源保全面からの問題点も指摘される。

さらに、焼却の場合、収集処理、焼却炉の建設及び焼却灰の処分にかかる費用負担が、処理主体である地方自治体の財政圧迫の原因になっているといった問題点も指摘されている。

廃棄物の最終処分場の逼迫・コスト増加

産業廃棄物の最終処分場の全国的な残余年数は 3.0 年、一般廃棄物のそれは 8.5 年といわれている（平成 8 年 4 月現在）おり、厳しい状況にある⁴⁾。最終処分場の立地問題と相俟って、侵出水の管理の適正化を図るための遮水工又は侵出水処理設備の施工による立地コストの問題も大きくなっている。さらに、近年は立地そのものについて地域住民からの理解が得られなくなっている。このような状況にあることから、食品廃棄物のように焼却に代わる他の有効な活用方法のあるものについては、焼却を避け焼却灰の発生を削減する必要がある。

今後は、以上述べたような現状の焼却処理に伴う問題点を解決し、食品廃棄物本来の特性を活かした処理・リサイクルが望まれる。具体的には、焼却のような低含水率の廃棄物処理に適用されている熱化学的な技術にかわり、高含水率の食品廃棄物に適する生物学的な技術の活用が必要である。これが、食品廃棄物処理の本来の姿であると思われる。2001 年 5 月に施行された食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律（以下、食品リサイクル法という）もこうした趣旨のもとに制定されており、同法が猶予期間を経て 2006 年度から義務化されるまでにそのような処理・リサイクル体制が確立されていなければならない。

3．研究の目的と意義

1) 研究の目的

本研究は、食品廃棄物の現状処理の抱える問題点を正してその特性を活かした処理・リサイクル事業を確立し、循環型社会実現のための一助となることを目的として行うものであり、次の各事項について明らかにする。

実現性のある技術に基づいた食品廃棄物のリサイクルシステムを構築すること

そのシステムに基づいた事業モデルを提示し、その事業性を明確にすること

本事業により、地方自治体の財政改善を図り、地域産業の振興を図ること

2) 研究の意義

本研究の意義を資源保全、環境保全、地方自治体の財政改善及び産業振興の面から述べる。

(1) 資源保全面からみた研究の意義

食品廃棄物の資源としての利用方法には、肥・飼料化、エネルギー資源化、生分解性プラスチックの原料化など各種のものがあるが、第1部で詳述するように最も有望なのはエネルギー資源化である。そこで、エネルギー資源として利用する場合、他の自然エネルギーの使用と相俟って、現在の化石燃料・原子力一辺倒のエネルギー資源から脱却して多様化を図る上で大きな意義がある。

ここで、現在の日本のエネルギー事情についてみてみる。日本のエネルギー消費量は、高度成長期といわれた1960年代には大幅に増加した。特に、1973年の第一次石油危機までの10年間は、11%という高い伸びを示した。その後、73年と79年の2度にわたる石油危機の影響で、エネルギー消費の伸びは大幅に低下し、73~79年は0.9%、79~86年は-0.4%になった⁵⁾。しかし、その後は増加に転じ、86~97年には3.0%⁵⁾になっており、今後も同程度の伸びが見込まれる。

一方、この消費を賄う供給面の状況を見ると次のようになっている⁵⁾。

一次エネルギーの総供給量 559×10^{13} kcal

(構成)

化石エネルギー(石油、石炭、天然ガス): 82.0%

非化石エネルギー(原子力、水力、新エネルギー): 18.0%

原子力: 12.9%

水力: 3.8%

自然エネルギー(バイオマス、地熱、風力、太陽熱、廃棄物等)^(注)
: 1.3%

(注)用語の定義: 現在、日本では、「自然エネルギー」について「新エネルギー」、「再生可能エネルギー」といった用語も使用されており、それぞれの区分は明確でない。本論文では、これらの用語は同義に解し、原則として「自然エネルギー」という用語を使用する。

このように現状では、一次エネルギーの大部分を化石エネルギーが占めており、その枯渇の問題もさることながら、そのほとんどを政情の不安定な中近東からの輸入に依存していることから、極めて不安定な状況にあるといわざるをえない。さらに化石燃料の多用は、必然的に発生する二酸化炭素等による環境問題の原因になっていることも近年指摘されている通りである。

また、原子力エネルギーには 13% 近くを依存しているが、原子力エネルギーの利用には常に重大事故の危険性がつきまとい、バックエンド問題なども未解決のままである。さらに原子力発電には経済性の問題がある。これまで発電コストの電源別比較によれば原子力発電が最安値であるといわれてきた。しかし、間接費も含めた総合コストという視点からみれば必ずしもそうとはいきれない状況が出てきている。そのうえ、電力会社 10 社がほぼ独占してきた電力の小売業が、2000 年の電気事業法の改正によって、電力会社以外の企業でも自社で発電した電気の小売が可能になった。電力市場の自由化は、原子力発電にも経済合理性を要求することになってくる。原子力発電所を新設しようとするれば、建設費が巨額であるばかりか、立地交渉に長年月を要し、安全性確保のためのコスト、土地購入や各種補償金など立地に要するコストなど、先行的・間接的なコストが多く膨大な初期投資が必要であり、そのうえに廃棄物の処理コストが上乗せされる。今後は、こうした情勢を反映して原子力発電の新設はますます困難になると予想される。

従って、今後は、エネルギー消費量の削減とともに化石エネルギー及び原子力エネルギーの消費削減に努め、自然エネルギーの割合を増やし、エネルギー源の多様化を図っていくことが必要である。中でも、バイオマスは、古くから利用されており、そのストック及びフローの多さ、環境負荷の小さいことを考えると今後はより一層のエネルギー的な利用が望まれる。そのような状況の中でバイオマスの一種である食品廃棄物は広域分布という特性を持ち、近年、急速に発展している燃料電池やマイクロガスタービンの技術と相俟って小型分散型発電の燃料としての条件を備えている。本研究で対象とした食品廃棄物を利用したバイオガス発電システムの事業化は、日本のエネルギー供給構造の変革に貢献するという点から意義がある。

(2) 環境保全面からみた研究の意義

食品廃棄物のエネルギー資源としての利用では、焼却のようなダイオキシンの発生はない。炭酸ガスは発生するものの、これはもともと空気中に存在していた

ものが若干時間をずらして放出されるにすぎないので、新たな排出はない。この点、同量のエネルギーを得るために使用する化石燃料に比べ、炭酸ガスの排出量は少なく、環境保全という面からも食品廃棄物をエネルギー資源として利用することには意義がある。

(3) 地方自治体の財政改善及び地域の産業振興面からみた研究の意義

廃棄物処理法によれば、食品廃棄物は一般廃棄物（家庭系と事業系の廃棄物を含む）と産業廃棄物に分類され、一般廃棄物の処理責任は地方自治体に、産業廃棄物の処理責任は排出事業者にある。しかし、多くの地方自治体では、一般廃棄物と同様に産業廃棄物も地方条例で定める低額料金で排出業者から引き取り、焼却・埋立しているのが実態である。この結果、廃棄物処理は地方自治体の財政圧迫の原因の一つになっており、改善が求められている。例えば、代表的な地方都市の一つである高知市の場合、生ごみの1t当たり排出業者からは処理料として2,500円徴収⁶⁾し、収集・焼却に24,400円のコスト⁷⁾をかけている。これに焼却炉の建設費や焼却灰の処理コストを加算すれば1t当たり約42,500円の処理コストになるものと推定される（第15章参照）。この差額は地方自治体が補填しており、財政圧迫の原因の一つである。本研究で提示する事業モデルでは、廃棄物処理のトータルコストの圧縮、地方自治体の財政負担の低減が期待される。

また、地方の各地域では、国の慢性的な財政の悪化により公共投資に多くの期待をもてなくなっており、国からの外部資源の導入のみに地域経済発展の基礎を置けなくなっている。そこで、地域に現存する経済資源を結集して、地域での新たな産業の創出を核とした「地域経済の内発的・自立的な発展」⁸⁾が欠かせなくなっている。本研究で提示する事業モデルによる環境ビジネスの創出は、こうした地域の産業活動全体を活性化し、地域産業構造の変革促進につながるものと期待される。

4. 研究の内容

本論文は、序章、第1部「事業化推進戦略の策定」、第2部「事業化推進策の展開」、第3部「事業実施計画の評価と課題」、第4部「環境経済学的観点からの考察」、第5部「成果と展望」から構成される。

研究の背景、目的、意義等を述べた序章に続き、第1部では事業化を推進するための基本戦略を明確にする。第1部は第1章～第5章から構成され、第1章では食品廃棄物のエネルギー資源としての価値を、発生量、含有される有用成分、

品質等の観点から明らかにする。第 2 章では、食品廃棄物をエネルギー資源としてリサイクルするための要素技術を調査し、その結果をもとに「標準再資源化システム」を構築する。第 3 章では、第 2 章で構築した標準システムの事業化環境をマクロ的な観点、すなわち、国際情勢、社会的な価値観、政治・経済・法律、技術、資源・エネルギー・環境問題等の面から把握する。第 4 章では、同じく事業化環境をミクロ的な観点、すなわち、標準システムを事業化する業界における顧客及び競争業者の動向について分析する。第 5 章では、第 4 章の分析結果をもとに、業界で事業化するための KFS (= Key Factor for Success) を抽出し、その KFS に基づいた事業化の基本戦略を明確にする。

第 2 部では、第 1 部の結果を受けて具体的な事業化推進策について検討する。第 2 部は、第 6 章～第 10 章で構成され、第 6 章では基本戦略のもとで事業を推進するための基本方針について述べる。第 7 章では本事業と地域の産業振興との関連について述べる。第 8 章ではマーケティング調査の基本的な考え方とその結果について述べる。第 9 章ではこのプロジェクトを推進するための事業主体の適格条件を明らかにして、その条件に適う事業主体の選定を行い、事業会社の設立及び具体的な推進プロジェクトを示す。最後に、第 10 章では事業会社を中心としたモデル的な事業スキームについて検討する。

第 3 部では、第 2 部の結果を受けて、具体的なプロジェクトの実施計画を作成し、その事業性について評価・検討する。第 3 部は、第 11 章～第 14 章で構成され、第 11 章では、特定のプロジェクトを取り上げて具体的な実施計画を示す。第 12 章では、そのプロジェクトについて施設計画を行う。具体的には、基本となるプロセスフローを決定し、主要な設備設計、配置設計を行い、これらをもとに施設建設費の推定、施設の運営方法等について検討する。第 13 章では、第 12 章の結果を受けて、事業の経済性について評価する。評価の方法は、全事業期間にわたって、「金融機関への返済資金余裕」を調べると共に設備投資の採算性を「回収期間法」、「正味現在価値法」、「内部利益率法」などの手法を使って評価する。最後の第 14 章では、事業化する際の課題を取り上げその対処法について述べる。

第 4 部では、いわゆる静脈産業の事業化において問題となる「廃棄物の市場リサイクルの条件」、「補助金等の公的補填の意義」及び「環境コストの負担」の三つの項目を取り上げ、それぞれ第 15 章、第 16 章及び第 17 章で環境経済学的な観点から考察する。

第5部は第18章から第20章で構成され、第18章では本研究の結果と結論及び課題についてまとめる。第19章では今後の事業環境の予測のもとに本事業の進むべき方向について述べ、最後の第20章では食品廃棄物のリサイクル事業から見た循環型社会の展望について筆者の考えるところを述べる。

5. 過去の事業化研究

筆者の知る限り、日本では食品廃棄物を含む生物系廃棄物のリサイクル事業の事業化に関する報告は見出されない。海外においては、ヨーロッパを中心にいくつかの報告がなされている。ここではそれらについて紹介する。

1) デンマーク

デンマークでは、1997年から同国最大のバイオガスプラントが稼動している。これは農場から排出される家畜（牛、豚）ふん尿 120 t/日とその他の有機物 35 t/日処理して 10,000 m³/日のバイオガスを発生させ、その80%を使って 2MWの発電（ガスエンジン）を行うプラントであり、経済性データは次のように報告されている⁹⁾。

総コスト：約 51,000 万円（1 クローネ = 14.9 円で換算）

（この内、補助金は 23% の約 11,700 万円）

事業収入：売電料 約 1,800 万円/年

売ガス料 約 5,700 万円/年

廃棄物処分料 約 750 万円/年

事業支出：ランニングコスト 約 3,900 万円/年

回収期間：12 年

環境負荷：CO₂ 18,000 t/年削減

さらに、デンマークでは、1997年から埋立地で発生するバイオガスを使ったガスエンジン発電も行われている。発電機 1 基当たりの発電量は 736kw（発電効率 38%）であり、1,000kw の熱（熱効率 55～58%）も生産している¹⁰⁾。

2) オランダ

オランダでは、BIOCEL と呼ばれるプラントが 1997 年から稼動している¹¹⁾。これは、野菜、庭園、果物などの廃棄物を使い、好気性処理によってコンポストを製造し、嫌気性処理によってバイオガスを製造するもので、そのバイオガスを燃料にしてガスエンジン発電を行っている。その概要を次に示す。

廃棄物処理量：35,000 t / 年

バイオガス発生量：90kg (= 100m³) / t

発電量 3,150MWh / 年

自プラントでの使用量 1,365MWh / 年

売電量 1,785MWh / 年

(他に、同プラントで使用するだけの熱を発生)

経済性 (1ユーロ = 107円で換算)

総投資額 96,300 万円

節電料 995 万円 / 年

売電料 433 万円 / 年

廃棄物処理コスト 0.5 万円 / t (プラントの償却期間 15 年を基準)

年間収入 9,075 万円 / 年

回収期間 10.7 年

環境負荷

バイオガス (熱量 31.6MJ / m³) を使用することにより、天然ガスを使用する場合に比べて CO₂ 放出量を 3,870 t / 年削減できる。

3) ノルウェー

現在、ノルウェーにおいても、有機性廃棄物、下水汚泥の嫌気性消化によって発生するバイオガス (メタン 60% 以上)、ランドフィル・ガス (メタン 45%) を使ったガスエンジン (コジェネレーション) 発電のパイロットプラントが運転されている¹²⁾。

4) 韓国

韓国では、食品廃棄物を対象としたパイロットプラント (処理量 5 t / 日) と実証プラント (処理量 15 t / 日) が、それぞれ 1996 年、1997 年から稼働しているといわれている。発生したバイオガスがどのように利用されているか不明であるが、ランニングコストは、従来の焼却、埋立の US\$90 / t、US\$25 / t に対し、US\$60 / t であったと報告されている¹³⁾。

なお、食品廃棄物再資源化のための要素技術の開発状況については、第 2 章で詳述する。

参考文献

- 1) 原健、東アジアの開発と環境問題、勁草書房、p.192、2000
- 2) 環境白書(平成12年版)、pp.17-25
- 3) 循環型社会白書(平成13年版)、p.57
- 4) 生物系廃棄物リサイクル研究会、生物系廃棄物のリサイクルの現状と課題、1999
- 5) 日本エネルギー経済研究所 エネルギー計量分析センター、エネルギー・経済統計要覧、pp.15-18、1999
- 6) 高知市廃棄物の原料及び適正処理等に関する条例 第11条別表3
- 7) 高知市環境下水道部、清掃事業概要(平成12年度版)、p.17、2000
- 8) 島田晴雄、産業創出の地域構想、東洋経済、1999
- 9) CADDET Technical Brochure No.125
- 10) CADDET Technical Brochure No.99
- 11) CADDET Technical Brochure No.134
- 12) CADDET News letter, March 2001 Issue 1/01
- 13) CADDET Technical Brochure No.66

第 1 部 事業化推進戦略の策定

第 1 部では、まず食品廃棄物の資源性を検討し(第 1 章)、その結果をもとに現状の技術で事業化の可能な標準再資源化システムを構築する(第 2 章)。次に食品廃棄物のリサイクル事業環境をマクロ及びミクロ的な観点から分析し(第 3 章、第 4 章)、最後に総合的な事業化推進戦略を策定する(第 5 章)。

第 1 章 食品廃棄物の資源性

1.1 バイオマスと有機性廃棄物

最近、エネルギー資源の分野でバイオマスという言葉がよく聞かれる。これは元来、生物(生態)学の分野で生物(体)量、生物の現存量を表す用語であるが、エネルギー資源の分野では、「ある一定量集積した、生物体に由来する有機資源(ただし、化石燃料は除く)」と極めて大雑把に定義づけている¹⁾。

図 1.1 にバイオマス資源の代表的な分類を示す²⁾。また、表 1.1 には、バイオマス資源とその利用形態について示す³⁾。これらの中で、エネルギー資源として当面有望視されているのは、食品廃棄物、農畜産廃棄物など有機性廃棄物といわれるものである。

表 1.1 バイオマス資源の利用形態(注)

バイオマス資源		利用形態
糖質植物	サトウキビ、穀物、イモ類、キャッサバ、サゴヤシ等	アルコール
油脂植物	ラッカセイ、ナタネ、ヒマワリ、油ギリ、オリーブ、油ヤシ、ココヤシ、ユーカリ、アオサゴ、ホルト草	油脂類、炭化水素
森林等木質系廃棄物	里山(雑木林)、林産廃棄物	木炭、煉炭、薪、メタン、アルコール
有機性廃棄物	食品廃棄物、農・畜産廃棄物、下水汚泥、都市ごみなど	メタン、発電、熱源

(注)「エネルギー工学と社会」(牛山)³⁾をもとに筆者が作成した。

有機性廃棄物とは別に、バイオマスの中で生物系廃棄物という用語も使用される。これについても明確な定義があるわけではないが、生物系廃棄物リサイクル

研究会の報告書では、生物（動植物、微生物）に由来する廃棄物で、生ごみ、動植物性残渣、食品産業汚泥、畜産副産物、生活排水汚泥、わら類、木質系廃棄物など多岐にわたるものの総称として用いている⁴⁾。このように各種文献の記述から、上に述べた有機性廃棄物は、この生物系廃棄物から、わら類、木質系廃棄物などを除いた含水率の高い廃棄物の総称であると考えてよいと思われる。

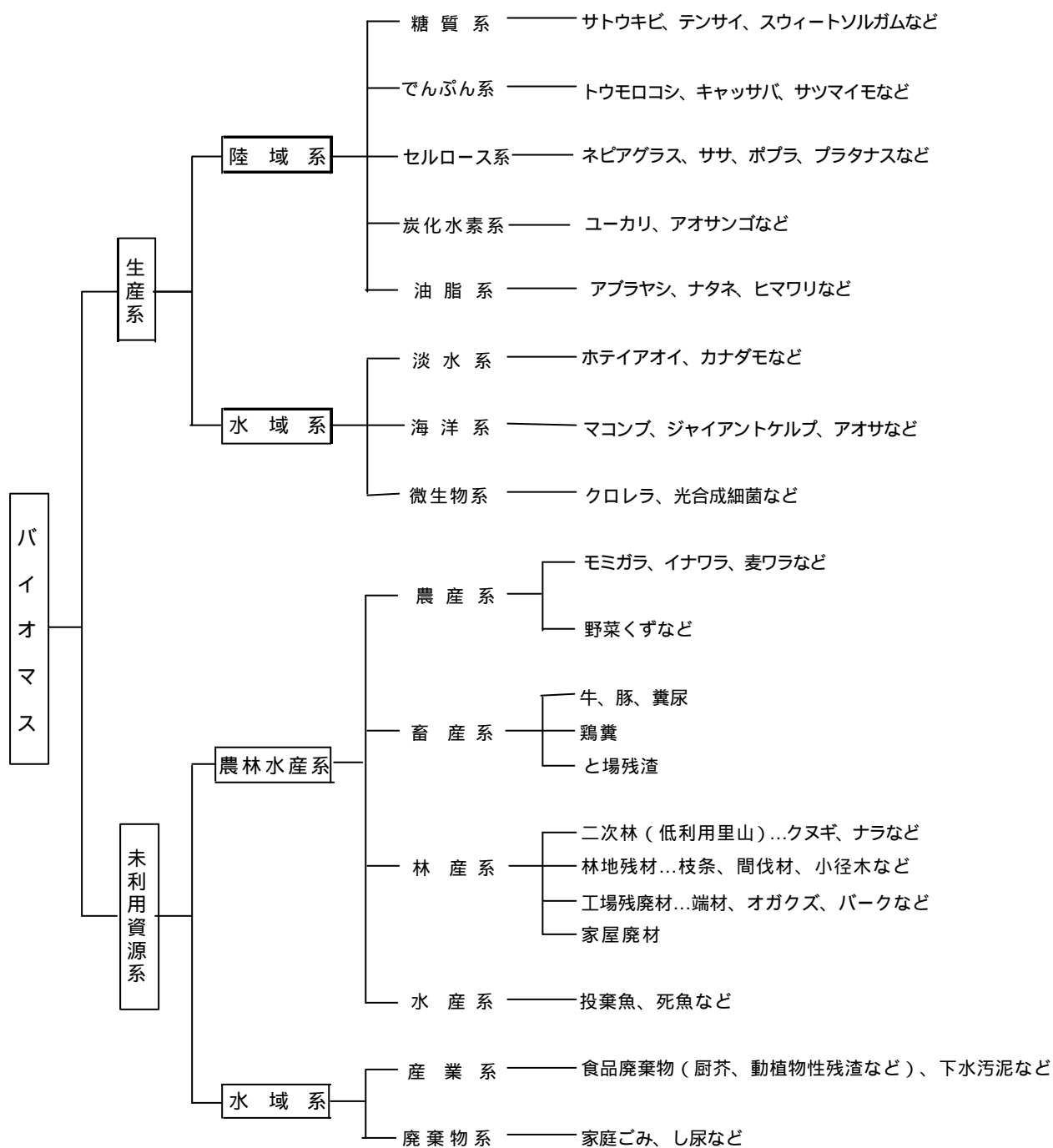


図 1.1 バイオマス資源の分類²⁾

1.2 食品廃棄物

1.2.1 食品廃棄物の種類

食品廃棄物を有用物ととらえ、その再資源化の面から規定する食品リサイクル法は、食品廃棄物を次のように定義している⁵⁾。(第4章4.2.1項参照)

食品が食用に供された後に、又は食用に供されずに廃棄されたもの
食品の製造、加工又は調理の過程において副次的に得られた物品のうち食用に供することができないもの

一方、廃棄物を処理の面から規定する「廃棄物の処理及び清掃に関する法律(以下、廃棄物処理法と略す。)」では、食品廃棄物という用語は用いられておらず、一般廃棄物と産業廃棄物という区分がされているにすぎない。

そこで、二つの法律の用語を対応させれば、図1.2に示すように食品廃棄物は、産業廃棄物の中の「動植物性残渣」と一般廃棄物の中の「食品に由来する生ごみ(事業系又は食品流通業及び外食産業から出るもの、家庭から出るもの)」に相当するということになる。

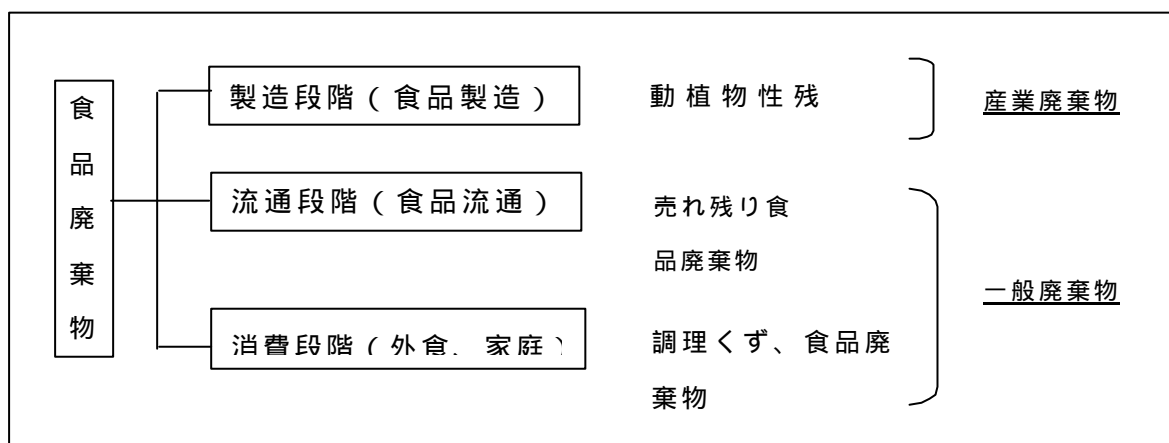


図1.2 食品廃棄物の分類

1.2.2 食品廃棄物の現行処理法の問題点

序章において簡単に触れたように、食品廃棄物は、高含水率で腐敗性が高く、広く少量分布して発生するという特性を持ち、その上分別が容易でないことから、多くは地方自治体の焼却施設で焼却処理され、焼却灰は埋立されてきた⁶⁾。しかし、このような食品廃棄物の特性を無視した処理法はエネルギー効率が悪いばかりでなく、ダイオキシン等の有害物質の発生といった問題を引き起こした。また、焼却処理に伴う費用を地方自治体が負担してきたことから、地方自治体の大きな

財政負担になっている。さらに、含有される有用物をそのまま廃棄しているという資源保全面からの問題点も指摘されている。

1.3 食品廃棄物の資源価値

1.3.1 食品廃棄物の資源価値の評価項目

食品廃棄物の資源価値は、発生量、品質、リサイクル技術及びリサイクル製品の市場性といった観点から評価されるべきである。この中で、資源価値としての品質は、リサイクル技術のレベルに依存するところが大きい。従って、現状の技術で扱える食品廃棄物は、産業廃棄物の中の「動植物性残さ」と一般廃棄物の中の「食品に由来する生ごみ(事業系又は食品流通業及び外食産業から出るもの)」に相当するということになり、異物混入の多い家庭から出るものは資源価値に乏しく除外せざるをえない。

1.3.2 発生量

1) 全国的な発生量の推計

全国規模でどれ位の食品廃棄物が発生するのか。現在、二つの推計結果が報告されている。一つは厚生労働省の報告であり、他の一つは生物系廃棄物リサイクル研究会の報告である。

表 1.2 に平成 13 年版循環型社会白書からまとめた食品廃棄物の発生量を示した。動植物性残渣(産業廃棄物)の排出量は年間 340 万トンで、そのうち 163 万トン(48%)が肥飼料等の原料として再利用されており、残りの 177 万トン(52%)が焼却埋立されている。これに対し、外食産業や流通段階で事業系一般廃棄物として排出される食品廃棄物は年間約 600 万トンに達し、家庭から出る食品廃棄物は年間約 1,000 万トンであり、合計約 1,600 万トンになっている。

廃棄物の再資源化においては、廃棄物が分別されて一定の品質を持ち、安定的に量を確保できることが条件となる。その点で、動植物性残渣 340 万トンと事業系一般廃棄物に分類される 600 万トンを合わせ、年間排出量 940 万トンが新たな資源として見込める。このことから、食品廃棄物のリサイクル事業の市場規模は年間排出量 940 万トンと推定され、将来的にもこの程度の発生量はあるものと考えられる。

今、この 940 万 t を食品リサイクル法に照らし合わせると、リサイクルが義務づけられる量は、 $940 \text{ 万 t} \times 20\%$ (義務率) = 188 万 t と推定され、この程度の

食料品廃棄物のリサイクル需要が新たな環境市場として生まれることになる。

一方、表 1.3 には生物系廃棄物リサイクル研究会が、平成 5 年～9 年のデータをもとに推計した生物系廃棄物の発生量を示す⁴⁾。同表より、生物系廃棄物の年間排出量は 2 億 8000 万 t と推定される。この中で、生ごみ（家庭、事業系）と呼ばれるものは 2,028 万トンで、その多くは焼却・埋立処分されて、リサイクルされているものはごく僅かである。また、動植物性残さは 248 万 t であり、合わせて約 2,500 万トンが発生すると推定されている。この推定値は、厚生労働省の推定値よりも約 500 万トン多いが、この種の推定値として、この程度のバラツキが存在するのは現状ではやむをえない。今後は、精度の高い推定値が望まれる。

以上の推定結果から、本研究では、全国で年間約 190 万トンの食品廃棄物がリサイクル対象になり、潜在的には約 940 万トンの市場規模があると考ええる。

表 1.2 食品廃棄物の発生量と処分の現状（注）

	発生量	処 分				
		焼却埋立	再生利用			
			肥料化	飼料化	その他	計
一般廃棄物 うち事業系 うち家庭系	1,600 万 t 600 万 t 1,000 万 t	1,595 万 t (99%) 598 万 t 997 万 t	5 万 t (0.3%) 2 万 t 3 万 t	-	-	5 万 t (0.3%) 2 万 t 3 万 t
産業廃棄物	340 万 t	177 万 t (52%)	47 万 t (14%)	104 万 t (31%)	12 万 t (3%)	163 万 t (48%)
事業系の合計 (合計から家庭系 一般廃棄物を除い たもの)	940 万 t	775 万 t (83%)	49 万 t (5%)	104 万 t (11%)	12 万 t (1%)	165 万 t (17%)
合計	1,940 万 t	1,772 万 t	52 万 t (3%)	104 万 t (5%)	12 万 t (1%)	168 万 t (9%)

（注）循環型社会白書（平成 13 年版）1-1-3 表⁶⁾をもとに筆者が作成した。

表 1.3 生物系廃棄物の発生量および成分含有量（推計）⁴⁾

	発生量 (万トン)	近年の増減傾向	成分含有量 (万トン)		
			窒素	リン酸	加里
わら類	1,172(H8)	減少(米収穫量及び麦収穫量減少)	6.9	2.4	11.7
もみがら	232(H8)	減少(米収穫量減少)	1.4	0.5	-1.2
家畜ふん尿	9,430(H9)	減少(家畜飼養頭数の低迷)	74.9	27.4	51.9
畜産物残さ	167(H7)	減少(と畜頭数の減少)	8.4	11.9	6.2
樹皮(パーク)	95(H8)	減少(木材生産量・素材輸入量の減少)	0.5	0.1	0.3
おがくず	50(H8)	同上	0.1	0.0	0.1
木くず	402(H8)	同上	0.6	0.1	0.6
動植物性残渣	248(H5)		1.0	0.4	0.4
食品産業汚泥	1,504(H5)		5.3	3.0	0.6
建設発生木材	632(H7)	減少	1.0	0.2	0.9
生ごみ(家庭、事業系)	2,028(H7)	横ばい(一般廃棄物の排出量)	8.0	3.0	3.2
木竹類	247(H6)	都市緑化、ガーデニング等の進展に伴い増加	1.9	0.5	0.9
下水汚泥	8,550(H8)	施設整備の進展に伴い増加	8.9	9.2	0.6
し尿	1,995(H7)	下水道・浄化槽の整備の進展に伴い減少	12.0	2.0	6.0
浄化槽汚泥	1,395(H7)	施設整備の進展に伴い増加	1.4	1.5	0.1
農業集落排水汚泥	32(H8)	同上	0.0	0.0	0.0
合計	28,143		132.1	62.1	84.6

2) 個別発生量の推計

(1) 事業別発生量

表 1.4 は、既報のデータ⁷⁾を用い、第 4 章 4.3.1 項の顧客セグメンテーションの基準に従って、発生量等をまとめたものである(詳細は第 4 章参照)。

これによれば、食品廃棄物の発生量はデパート、スーパーが格段に大きく、次いでホテルの順である。もちろん、食品メーカーの発生量は大きいですが、その 50% 以上がリサイクルされている。外食産業・コンビニも全国的に考えると膨大な食品廃棄物発生源である。

(2) 特定スーパーからの発生量

全大阪魚蛋白事業共同組合が、大阪府内の中堅スーパーについて 2000 年 8 月に 1 週間にわたって調査した結果を表 1.5 に示す⁸⁾。これによると、1 週間に発生する食品廃棄物の量は約 1,150kg であり、野菜が量も多く、次いで、果物、御飯の順になっている。

本データから、1 月当たりの発生量は約 4.5 トンと推定されるが、この量は表

1.4 のスーパーの量に比べてかなり少ない。このように同じスーパーといっても規模などによって大きなバラツキのあることがわかる。

(3) 地域での発生量

人口 30 万人規模の地方の中核都市（高知市を想定）でどれ位の食品廃棄物の発生が見込めるか調査した。表 1.6 は、筆者が高知市周辺における有機性廃棄物の発生量について調査した結果である。また、表 1.7 は高知市内のスーパーから排出される食品廃棄物の量とその処理の現状について調査した結果である。

表 1.6 からわかるように資源として有望なものは、スーパー、ホテル等から排出されるものである。なお、調査時点では、飼料化が有望であり、エネルギー資源としては活用できないと考えられていた魚腸骨についても、その後の社会環境の変化によって有望な資源と考えられるようになっている(第2部 第8章参照)。

表 1.7 から、スーパー6社の排出量は約 10 t/日近くになることがわかる。これより、高知市内のスーパーからの発生量は6社以外の分や学校・病院等の給食分もあわせると 10 t/日を超えるものと推定される。

表 1.4 食品廃棄物発生業者に対するアンケート調査結果（注）

顧客セグメント	アンケート件数		分別状態	発生量	処理方法 (比率 %)	処理コスト (円/トン)	リサイクル率 (%)	今後の対応 (食品リサイクル法考慮) (比率 :%)		
	発送数	回収数								
食品メーカー		126	21		代表的6工場について 3.3 トン/日・工場	民間業者にリサイクル委託 (36) 産廃物処理 (28) 工場内にリサイクル装置導入 (18)	最低 2,000 最高 50,000 平均 17,900	平均 67.5	外部にリサイクル委託 (63%) 工場内にリサイクル機導入 (23%) 産廃物処理 (13%)	
食品調理業	ホテル	252	31		15ホテル 最少 15 トン/月・店 最大 90 トン/月・店 平均 30.4 トン/月・店	産廃物処理 (38) 事業系ごみ処理 (21) 民間業者にリサイクル委託 (14) 店内にリサイクル装置導入 (12)	13ホテル 最低 0.65 最高 7.38 平均 2.47	80～100 :39 % 0 :33 % 極端な差がある	民間業者にリサイクル委託 (35%) 他社の動向に注目 (26%) (注 ホテルの場合、社内での処理もある。外食産業ではない)	
	外食産業				11店舗 最少 0.2 トン/月・店 最大 25 トン/月・店 平均 1.07 トン/月・店		全店舗 平均 2.53 個別店舗 平均 2.36			
食料品販売業	デパート	126	21	比較的厳密に分別されている (外部業者への委託が多い)	7店舗 8.3～224.1 トン/月・店 平均54.3 トン/月・店 (全ごみの 1/3～1/2)	総合的にみて、処理体系は未確立であり、現状は産廃物処理が主である 産廃物処理 (36) 店内にリサイクル装置を導入 (20) 民間業者へリサイクルを委託 (16) 事業系ごみとして自治体に一任 (13)	9店舗 最低 5,000 最高 56,000 平均 23,000	ほとんどリサイクルは進んでいない	民間業者にリサイクル委託 (43) 他社の動向に注目 (20) 産廃物処理 (10) 社内一括で自社処理 (10)	
	スーパー			比較的厳密に分別されている (外部業者への委託が多い)	5店舗 8.6～90 トン/月・店 平均 43.6 トン/月・店		3店舗 最低 17,000 最高 30,000 平均 23,000			デパートに比べればややリサイクル率は高いが、あまり進んでいない
	コンビニ			発生量の少ないこともあり、可燃・不燃程度の粗分別が主である	4店舗 0.22～1.0 トン/月・店 平均 0.52 トン/月・店		5店舗 最低 10,000 最高 25,000 平均 18,000			全くリサイクルは進んでいない

(注) 本表は、既報のデータ⁷⁾を筆者がまとめたものである。

表 1.5 中堅スーパー 1 店舗における期限切れ食品の発生量⁸⁾ (単位 kg)

	1	2	3	4	5	6	7	週間計
	火	水	木	金	土	日	月	
野菜	98.5	68	95	120.5	98		145	625
果物	11	14	28.5	31	19.5		16	120
蒲鉾	2.5	1.5	0.5	0.5	1		0	6
練製品	5.5	0	1	0	1.5		1.5	9.5
漬物	5.5	9	14.5	3	7		0	39
麺類	13.5	2.5	6	4	1		2	29
肉	7.5	0	15	0	19		0	41.5
惣菜	4.5	16.5	11.5	8	3.5		30	74
豆腐	5	7	11	3.5	7		8	41.5
食パン	4.5	0.5	0.5	0	1		0	6.5
菓子パン	6	2.5	6.5	0	9		27.5	51.5
御飯	0	58	16.5	0	0		7	81.5
魚類	7	14	0	0	0			21
合計	171	193.5	206.5	170.5	167.5		237	1146
除去袋	10.5	12.5	12	5	5		5	50

(注1) 全大阪魚蛋白事業協同組合が、全国規模に展開する中堅量販店のモデル事例として 2000 年 8 月に調査した結果

(注2) 調査対象店舗：売場面積 6,600 m²、従業員 260 人

(注3) 全大阪魚蛋白事業協同組合：1977 年設立。26 業者から構成され、スーパー、ホテル、商業ビルなどが主な契約先。

表 1.6 高知市周辺における有機性廃棄物の発生量調査結果

調査年月：2000年2月

廃棄物の区分	調査対象団体・企業等	事業内容	排出廃棄物の種類	調査方法	調査結果			発電事業化の可能性	備考
					廃棄物発生量	現在の処理方法	今後の処理に向けた取り組み予想		
生ごみ・食品工場	(1)高知市内スーパー(取りまとめ：高知市)	スーパー	食品ごみ	アンケート調査(調査件数8件、内回答6件) <高知市と共同実施> 詳細は表1.7参照のこと	約10t/日(6社合計)	各スーパー毎に指定業者に引取り、処理を依頼 処理法 焼却	「食品リサイクル法」に対応するため、同法の施行までに発電設備を稼働させることを目標に検討中。	可能性大。 <課題> 事業主体の決定 助成金等の確保による初期投資額の削減	
	(2)K食品工業団地	食品加工	食品ごみ(和・洋菓子、豆腐、パン、うどん・ラーメン等のくず)	団地内事業協同組合事務所から聴き取り(組合企業数 19社)	組合では把握していない。企業毎に市指定の業者に処理依頼。	各組合企業毎に指定業者に引取り、処理を依頼 処理法 焼却	「食品リサイクル法」に対応せざるを得ない状況にあると思われる。	可能性大。 (1)に加えられることになると思われる。	
	(3)高知市内ホテル	ホテル	食品ごみ	Sホテルの担当部長から聴き取り	Sホテルでは発生量を把握していない。全て処理業者まかせ。	Sホテル毎に指定業者に引取り、処理を依頼 処理法 焼却	「食品リサイクル法」に対応せざるを得ない状況にあると思われる。	可能性大。 (1)に加えられることになると思われる。	他のホテルも同様であると思われる。
	(4)Jスーパー 高知店(計画段階)	スーパー	食品ごみ	同社四国事務所の担当者から聴き取り(電話)	現在、本社で施設計画中。廃棄物処理計画は未定。従って、廃棄物量も未定。	—	「食品リサイクル法」に対応せざるを得ない状況にあると思われる。	可能性大。 独自に設置か、(1)に加えられることになるか、現状では不明。	
農産	JA 高知(T支所、N支所)	農産物集荷	にら	生産農家から聴き取り	T、N支所管内でそれぞれ約2t/日(年間を通じほぼ一定)	各農家がそれぞれ空地等に廃棄	悪臭等の環境汚染の原因になり、処理対策が求められている。	可能性小。 理由：にらのみではガス発生量、メタン含有量が少ない。生ごみ、家畜糞尿等との混合処理ができれば有望。	土佐山田町、南国市のにら収穫量は、それぞれ約2000/年(高知県統計)。この内約40%が農家から廃棄物として出る(生産農家)。
水産	漁協 鮮魚店、魚市場等(高知県内中央部)	魚介類加工	魚腸骨	既設の魚さい加工公社からの聴き取り及び高知市の資料による。	既設の魚さい加工公社実績 建設時：10000t/年 現在：7000t/年	現在、高知県魚さい加工公社(日高村)で飼料化している。 プラントの処理能力：8t/時(注)日高村の現施設は平成9年に設置されたものであるが、平成16年には撤去する約束になっている。そのため、高知市は「魚腸骨飼料化施設」をエコタウン事業の一つに加え、平成16年度から稼働する計画である。	今後も全量、飼料化した(高知市)。	可能性小。 理由 現状では、実績のある飼料化と競合する。 メタン発酵の原料としては最適であり、次の可能性は残されている。 高知市エコタウン事業「魚腸骨の飼料化施設(計画中平成16年稼働)のエネルギー源としての提案 魚腸骨の大口発生もと(冷凍設備等所有)への提案	魚腸骨から製造した飼料の販売価格 5円/kg(高知市)
畜産	K大学農学部	研究機関	牛糞等	大学内担当者から聴き取り	約1t/日	放置	家畜排泄物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律の成立により対応が必要。大学では、プロジェクトチームを発足させ検討に入っている。	可能性中。 理由：コンポスト化と競合する。 メタン発酵の原料としては適しており、近隣地域の生ごみ等とあわせれば可能性もあ	

表 1.7 高知市における量販店からの食品廃棄物の発生量と処理の現状

1. 調査対象：高知市内の量販店
2. 調査方法：アンケート方式（高知市の協力のもとに実施）
3. 調査件数：8（回答件数：6）
4. 結果（実施：2000年2月）

店名 質問項目	A	B	C	D	E	F
現状の処理方法	生ごみは自社の専従員が専用車で回収し市内の清掃工場に運搬して焼却。魚のあらは業者に委託し県内の魚さい加工公社で処理。	自社で処理。この中で、一部（約1t/月）はコンポスト化。地元の農家で使用。	業者に委託。	業者に委託	業者に委託	業者に委託
排出量	生ごみ 約0.7 t/日 あら 約0.15 t/日	約0.5 t/日 （約15t/月）	約50 kg/日	5～6 t/日	1.5 t/日	0.6 t/日
現状の分別方法	生ごみと不燃物に分別	生ごみと不燃物に分別	生ごみ・不燃物・可燃物に分別（収集業者は収集時混載）	生ごみと不燃物に分別	生ごみ・不燃物・可燃物に分別	生ごみ・可燃物と不燃物の2種類に分別
業者への処理委託料金	平成11年度12月実績 収集料金 10,000円 （1店舗当り） 処理料金 16,250円 （4,880kg当り）	（無回答）	43,000円/月	2,500円/t 収集は業者委託及び自社で実施 （業者委託の場合：200万円/月）	320,000円/月	20,000円/t
将来の生ごみ・不燃物・可燃物の分別実施	（無回答）	（無回答）	（無回答）	（無回答）	（無回答）	実施したいが、費用負担が問題

1.3.3 食品廃棄物の品質

食品廃棄物の品質は、異物（プラスチック、ガラス、木など）の混入がないこ

と及び資源としての有用物（有機物）の含有量の多さにより規定される。

既に述べたように、事業系一般廃棄物（ホテル、スーパーマーケットなどから排出されるもの）と産業廃棄物（動植物性残渣）に分類されるものは異物混入がなく品質的に問題がないと考えられる。

次に、表 1.8 に有機物の含有量の目安を示した。これより、有機物含有量の点からは、魚肉類を含むスーパー、飲食店などの食品廃棄物が処理対象として適することがわかる。

一般に生ごみの組成は排出元によって、また季節によって変動する。複合商業施設を対象に調査した結果によると表 1.9 に示す結果が得られている。このデータからも残飯等を多く含む生ごみは再資源化の原料に適するといえる。

表 1.8 有機性廃棄物中の有機物量⁹⁾

	有機物量 (g/kg ごみ量)
家庭からの生ごみ	170
スーパー、旅館、飲食店、病院などからの生ごみ	204 ~ 298
下水汚泥	140
乳牛の糞尿	100
肉	770
魚類	320
野菜	130

表 1.9 生ごみの組成例¹⁰⁾

種類	厨芥・残飯等 ^{注1)}	野菜屑等	動物性生ごみ ^{注2)}
構成比 (%)	49.9	8.6	41.5

注 1：豆腐、オカラ等も含む

注 2：魚類、肉類、動物性油脂等

1.3.4 リサイクル技術

食品リサイクル法は、食品廃棄物の資源化の方法として「飼料」、「肥料」、「メタン」及び「乳酸その他の新素材」の原材料としてリサイクルすることを指定している。この中で飼料化と肥料化については、技術的には実用化レベルにあると考えられる。1.3.5 項で述べるように、これらの場合は、リサイクル物の需要量が問題である。乳酸その他の素材原料としてのリサイクルは、今後の研究成果に

待つところが多く、技術的にはまだ事業化レベルに達していないと考えられる。

一方、これらの方法に対して食品廃棄物をメタン発酵させることによってバイオガスを発生させ、それを発電燃料として利用する方法は技術的には完成している。^{10) 11)}

こうした点から食品廃棄物は、飼料化、肥料化またはメタンガス化することが、現状の技術では可能である。これらの中でいずれを選定するかは、主にリサイクル製品の市場性によって決まる。

1.3.5 リサイクル製品の市場性

食品廃棄物を現状技術でリサイクルの可能な飼料化、肥料化及びメタンガス化した場合の製品の需要について考える。

飼料化については、国内で使われる飼料の83%以上が輸入されている⁷⁾という現実を考えると、食品廃棄物からリサイクルした飼料に果たしてどれ位の需要があるのか疑問である。肥料化についても、減反、輸入肥料の増大、農業人口の減少の中で、食品廃棄物から製造された肥料市場が未成熟である⁷⁾ことや塩害(含有される塩分による農作物の生育阻害)¹²⁾の問題を考えると多くの需要は期待できない(詳細は第4章4.3.2項参照)。

一方、これらの方法に対して食品廃棄物をメタン発酵させることによってバイオガスを発生させ、それを発電燃料として利用する方法は、得られる製品である「電気」が使いやすく売電も可能であることから需要面での懸念は無い。

1.3.6 資源性の総合評価

以上述べた点から、食品廃棄物はエネルギー資源としての価値が最も高く、メタン発酵の原料としてリサイクルするのが、その特性を活かした最良の方法であると結論される。

参考文献

1) 小木知子、バイオマスエネルギーの特性、日本エネルギー学会誌、Vol.78、No.864、p.232、1999

2) エネルギー資源学会編、エネルギー・資源ハンドブック、オーム社、p.229、1997

- 3) 牛山泉、エネルギー工学と社会、放送大学教育振興会、p.181、1999
- 4) 生物系廃棄物リサイクル研究会、生物系廃棄物のリサイクルの現状と課題 - 循環型経済社会へのナビゲーターとして - 、1999
- 5) 食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律、平成12年6月公布、第2条
- 6) 環境省編、循環型社会白書（平成13年版）、p.57
- 7) シーエムシー、食品廃棄物処理の実態と生ごみ処理機器の展望、シーエムシー、pp.63-105、2000
- 8) 循環経済新聞、2000年11月6日記事
- 9) 坂上正美、“リネッサシステムの開発と適用事例～汚泥再生処理センター対応施設実証試験”、エヌ・ティー・エス、生物系廃棄物資源化・リサイクル技術、pp.58-88、2000
- 10) 東郷芳孝、多田羅昌浩、後藤雅史、“生ごみの高温メタン発酵システム”、鹿島技術研究所年報、47、pp.135-140、1999
- 11) 東郷芳孝、NEDO 委託研究報告書（平成11年度）、pp.822-827、2000
- 12) 日刊工業新聞、2000年4月20日記事

第 2 章 食品廃棄物の標準再資源化システム

第 1 章では、食品廃棄物はエネルギー資源として有望であることをみた。特に、メタン発酵によってメタンを主成分とするバイオガスを発生させ、それを発電燃料として利用するシステムは、循環型社会の構築に向けた一つの有力な手段である。本章では、これを具体化するために、メタン発酵、バイオガス発電及び発酵残渣の有効利用に関する要素技術について調査し、その結果をもとに食品廃棄物の標準的な再資源化システムを構築する。

2.1 要素技術の概要

ここでは、バイオガス発電システムを構成する要素技術の概要を述べ、それらの詳細は 2.2 項以下で述べる。

1) メタン発酵

嫌気性微生物の代謝活性を利用して、有機性の排水や廃棄物を処理する方法を一般に嫌気性処理法といい、このうち有機物を分解してメタンと二酸化炭素を生成する方法は嫌気性消化法またはメタン発酵法とよばれる。これは、有機物濃度あるいは BOD (生物化学的酸素要求量) の大きい廃棄物の処理に適した方法として実用化され、その対象は下水の生活污水、活性汚泥処理の余剰汚泥、畜産廃棄物、パルプ工場廃水、各種食品工業の廃水など、広範囲の廃棄物処理に使われている。

しかし、この方法は、一般に反応速度が小さいために装置が大型になり広大な敷地が必要になること、また嫌気性微生物の最適生育条件を保持するための運転管理が難しいこと、脱離液中の可溶性りん酸塩やアンモニアによる富栄養化への影響が懸念されることなど多くの問題があるため、一般の動植物性残渣の処理方式としてはほとんど利用されてこなかった。ところが、近年、高温メタン発酵技術の進展に加えて、食品廃棄物など有機性廃棄物の有効利用に対する要請もあって注目されるようになった。

メタン発酵技術の詳細は 2.2 項で紹介するが、図 2.1 にそのプロセスの概要を示す。

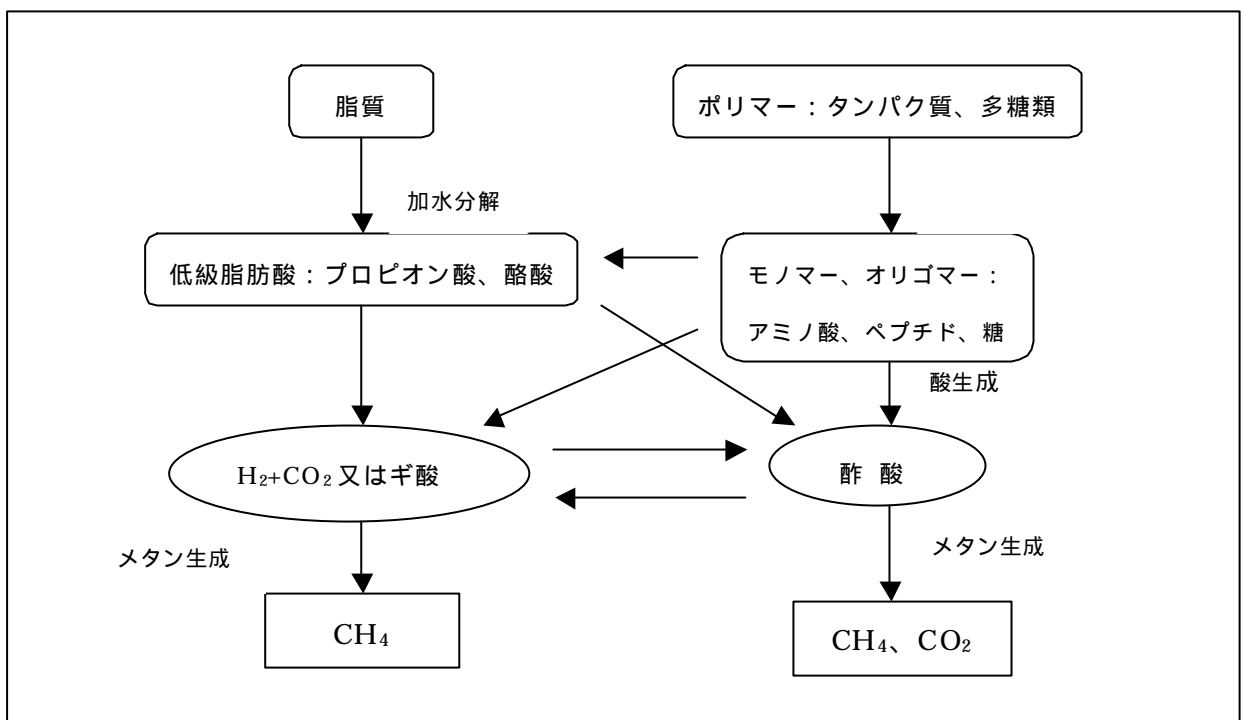


図 2.1 メタン発酵プロセスの概要¹⁾

2) バイオガス発電

有機性廃棄物を嫌気性消化し、メタンガスを主成分とするバイオガスを発生させ、エンジン等で燃焼して発電機を回すシステムである。システムの概要を図 2.2 に示す²⁾。わが国では、下水処理場から排出される有機性の下水汚泥を基質として嫌気性消化を行い、発生したメタンを含むガスを回収して発電するシステムが実用化されている。消化の対象となる有機性廃棄物としては、下水汚泥のほかに家畜の糞尿などの畜産廃棄物および農産廃棄物などがあるが、食品廃棄物については今実用化のめどがついたところである^{3) 4)}。エンジンとしては、通常使用されているガスエンジンやガスタービンの他、最近、進歩の著しい燃料電池あるいはマイクロガスタービンの活用が考えられる。

一般に、ガスタービンは同じ発電能力を持つエンジンと比較すると小型軽量で、原動機の冷却水設備も不要であるためシステムのコンパクト化が可能となる。また、構造がシンプルで部品点数も少ないためメンテナンスが容易である。さらに排ガス中の NOx 濃度が低く、防振対策が不要であるという長所を持つ。しかし、逆に発電効率が低いという短所を持つといわれる¹⁵⁾。

表 2.1 に各発電システムの適用性を比較した。これより処理量が少量の場合は燃料電池システム、又は、本表にはないがマイクロガスタービンにメリットがある(2.3項参照)。処理量が多い場合は、ガスエンジンシステムが有効である。

有機性廃棄物は少量で広く分散しているという特性があり、小規模分散型のエネルギー源に向いている。こうした点から、環境負荷が小さいという点もあわせ考えれば、マイクロガスタービンや燃料電池発電が最も適すると考えられる。これらの詳細は、2.3 項及び 2.4 項で述べる。

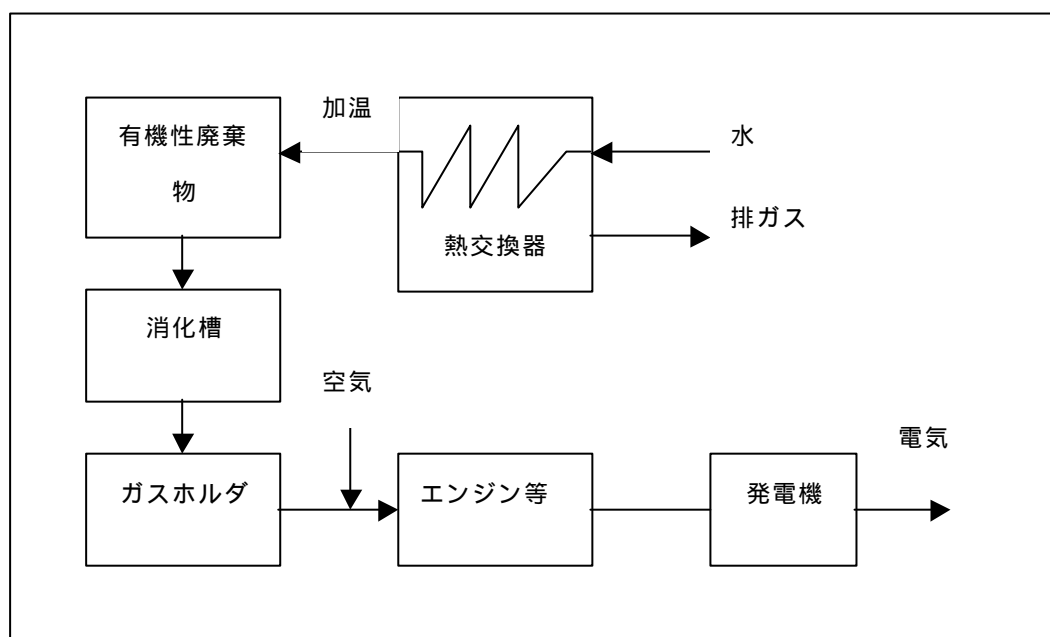


図 2.2 消化ガスエンジン発電システム²⁾

表 2.1 バイオガス発電システムの比較

項目	ガスエンジン発電	ディーゼルエンジン発電	ガスタービン発電	燃料電池（りん酸型）発電
燃料	天然ガス、都市ガス、LPG、下水消化ガス、バイオガス	灯油、A～C重油、バイオガス	灯油、A重油、LPG、バイオガス	天然ガス、メタノール、LPG、灯油、ナフサ、バイオガス
出力範囲	15～1200kW	100～13000kW	400～100000kW	スタック50～200kW程度
発電効率	25～35%	32～40%	20～30%	40～45%
排熱回収形態	排ガス：温水または蒸気 冷却水：温水または蒸気	排ガス：温水または蒸気 冷却水：温水	排ガス：温水主として蒸気	
総合効率	75～85%	70～80%	70～80%	80%以上
排気煙（煤）				
騒音	100dB（A）前後 102～105dB	ディーゼルよりやや少 95～97dB	高周波域が高い 105～110dB	
振動	防振対策必要	防振対策必要	防振対策不要	
価格	ガスタービンより安い	ガスエンジンより安い	比較的高い	最も高い
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・排ガスがクリーンであるので熱回収が容易 ・三元触媒による脱硝可能 ・排気の清浄化可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・発電効率が高い ・実績が豊富 ・部分出力時の効率低下少 ・三元触媒による脱硝難 	<ul style="list-style-type: none"> ・発電効率が高い ・冷却水不要 ・定期点検（1回/年）義務付け ・小型軽量 	<ul style="list-style-type: none"> ・CO含有率に制限 ・白金触媒使用 ・排熱利用が可能 ・中温型 ・オンサイト型 ・作動温度190～220 ・国内実績140基以上

* 1) 発電効率は出力レベル等により異なる。

* 2) 総合効率は排熱回収の形態により大きく異なる。

（注）本表は参考文献5）6）7）をもとに筆者が作成した。

3) メタン発酵残渣の資源化

メタン発酵槽から排出される発酵液（脱離液ともいう）には高濃度の有機物や固形物が残っている。有機物は再資源化することが望ましい。液は排水レベルまで浄化しなければならない。処理法として各種のものがあるが、大きく分けると図 2.3 に示す 3 タイプに分けられる。A タイプは、発酵液を好気性水処理によって処理し、残った污泥は污泥資源化施設に送り、コンポストなどとしてリサイクルを図るものである。B タイプは発酵液を直接、脱水機にかけ污泥はコンポスト化するものである。C タイプは発酵液から液肥をつくるものである。これらの中で、発酵液量が多く既存の水処理施設が利用できる場合は、A タイプが初期投資を節約でき有利である。発酵液量が少なく污泥資源化施設に多くの投資が必要でない場合には、良品のコンポストが期待できる B タイプが有利であると考えられる。

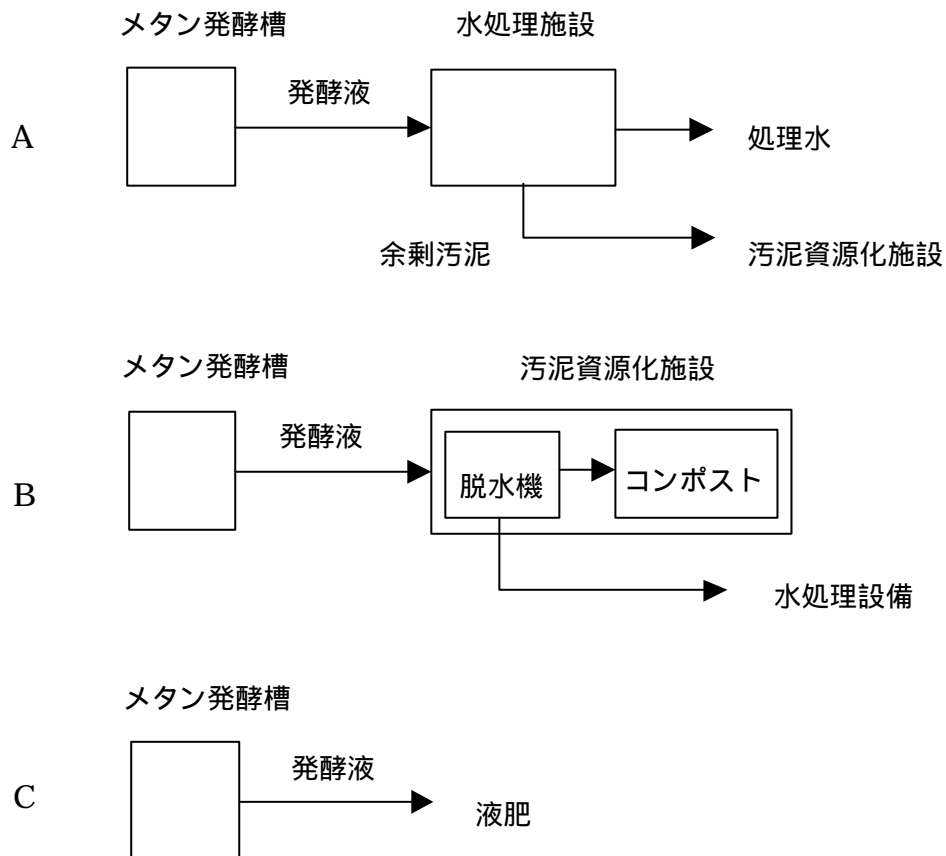


図 2.3 発酵液の再資源化法

2.2 メタン発酵

2.2.1 メタン発酵の原理⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾

有機性廃棄物のメタン発酵過程は3段階からなり、それぞれに異なった微生物群が関与している。第1段階では、有機性廃棄物中に含まれるタンパク質や多糖類などの高分子化合物が加水分解を受けて単糖類やアミノ酸などの構成単位にまで分割される(可溶化過程)。第2段階では、生成した単糖類やアミノ酸などの構成単位が代謝されてアルコール類、低級脂肪酸(酢酸、プロピオン酸、酪酸など)、水素ガス、炭酸ガスなどの中間生成物に分解される(酸生成過程)。第3過程では、低級脂肪酸の分解により、あるいは水素ガスによる炭酸ガスの還元により、メタンガスが生成される(メタン生成過程)。生成されるメタンの約70%が酢酸を主とする低級脂肪酸の異化代謝によって、残りが水素と二酸化炭素の代謝によってつくられると考えられている。この可溶化および酸生成過程に関与する細菌群は酸生成菌と総称され、自然界における有機物分解過程で広くみられる種々の通性嫌気性細菌および絶対嫌気性細菌からなる。第3段階のメタン生成過程は、メタン菌と呼ばれる一群の特異な絶対嫌気性菌によって進行し、この過程で有機物の無機化が行われるためBODが減少する。この過程での最適pH域は中性ないし弱アルカリ性側にある。メタン菌は酸生成菌とは対照的で、増殖速度が小さく、pH、水温、基質濃度などのわずかな変化によって影響を受ける(例えば、5以上の急激な温度変化は、メタン生成をほとんど停止させる⁹⁾)。さらにアンモニア態窒素などによる反応阻害をうけやすく、実際の廃水では基質以外の未分解物、ないし反応副生成物による可逆的または不可逆的な阻害を被ることがあるといわれる。従って、実廃水への適用に際しては、発酵原料の化学的組成がメタン生成に強く影響し、これがプロセスの適用可能性を支配するケースも多いといわれる¹⁰⁾。このことから、実装置の設計では、実原料を使用した試験により確認することが必要になる。

なお、メタン菌の基質となりうる物質は、ギ酸、酢酸、メタノール、メチルアミン類と水素、二酸化炭素のみであり、さらにメタン菌の生育の場によって利用できる基質はさらに限定される。通常メタン発酵においては、メタン生成過程が全体の反応速度の律速段階となるが、固形分を主とした原料のメタン発酵では、酸発酵までの過程、特に可溶化過程が大きな反応抵抗となる。従って、この場合は原料の前処理が重要な要素となり¹⁰⁾、食品廃棄物进行处理の場合は、前処理で微粒化することが必要である。

表2.2には、可溶化過程およびメタン生成過程における最適環境条件を示す。

表 2.2 メタン発酵の最適環境条件¹¹⁾

過程	酵素	温度 ()	有機酸濃度	pH	酸化還元電位 (mV)
可溶化過程	通性	30 ~ 40	2 ~ 4%	4.0 ~ 4.5	+100 ~ -100
メタン生成過程	嫌気性	中温発酵 30 ~ 40 高温発酵 50 ~ 55	3,000mg/l 以下	6.5 ~ 7.5	+150 ~ -400

2.2.2 メタン発酵の条件

メタン発酵の性能に影響を及ぼす因子について文献調査結果をもとにまとめておく。

1) 発酵温度¹⁰⁾¹¹⁾

メタン発酵には、中温発酵と高温発酵がある。発酵液温と有機物負荷およびガス生成量との間には、図 2.4 に示す傾向がある。同図より高温発酵は中温発酵の約 2.5 倍の処理能力があると考えられる¹⁰⁾。また、有機物濃度を 3%以上にすると加温に要する熱量を見込んででも高温発酵の方が発酵槽容量当りのガス発生量が多く、有利であるといわれる¹¹⁾。

従来は中温発酵の実績が圧倒的に多かった。その最大の理由は経済性にあると考えられた。一般に高温発酵を行うには処理物を高温まで加熱する必要があり、そのエネルギーに見合ったメタンガスの生成が期待できない中低濃度の排水、廃棄物の処理には高温発酵法は不適である。しかし、近年の技術の進歩により、投入有機物の高濃度メタン発酵が可能なプロセスも生まれている。このようなプロセスでは余剰のエネルギーが十分に得られ、高温メタン発酵のメリットを發揮しやすい技術的条件が確立されるようになり、その応用実績は増えている。

中温発酵に対する高温メタン発酵のメリットは次の通りである。

- 反応速度が早いので、負荷能力が高く、滞留時間を短縮できる。
- 病原性微生物の死滅率が高く、消化汚泥はより衛生的である。
- 分解率が高く、ガス生成量が多い。

デメリットは次の通りである。

- 廃棄物を加熱するのにより多くのエネルギーを消費する。
- 消化汚泥の脱水液の水質が悪いので、後段の排水処理に負担がかかる。

設計または運転条件によっては有機酸が蓄積しやすく、運転操作が難しくなる場合もある。

一般に高濃度発酵が可能な生ごみなどの処理には高温メタン発酵の利点が発揮されやすいと考えられ、逆に、廃棄物そのものの濃度が低い場合（し尿、下水汚泥など）には高温メタン発酵は不利になるとみられている。

また、エネルギー収支の視点から廃棄物の高温メタン発酵はなるべく高濃度、短い滞留時間で行うことが望ましいといわれる。

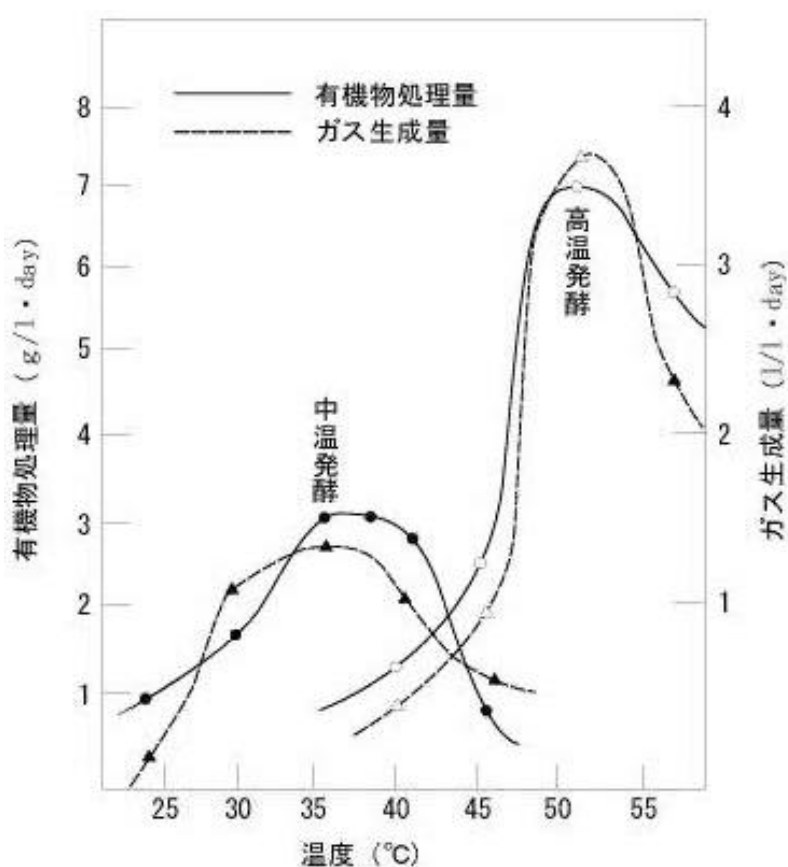


図 2.4 発酵温度と処理量の関係¹⁰⁾

2) 有機物負荷量¹¹⁾

有機物負荷量は菌体の性質や発酵温度などによってその適正量が決まってくる。過剰な有機物を入れると、栄養過多となり発酵がうまく行われぬ。1槽方式による高温発酵では、5~6kg・vs/m³/日が最適のようであるともいわれる¹¹⁾。また、メ

タン発酵の負荷量は発酵温度によっても異なり、図 2.3 に示したように高温発酵では中温発酵の約 3 倍である。

3) ガス発生量

ガス発生量とメタン濃度は、エネルギー資源としての利用価値を左右する重要な因子である。

理論メタンガス発生量

メタン発酵による分解 COD (kg) 当たりの理論メタンガス発生量は、 $0.35 \text{ Nm}^3 (= 22.4 \text{ Nm}^3/64 \text{ kg})$ となる^{1 2)}(下式参照)。



従って、発酵槽投入の COD に対するメタンガス発生量は次式で算出される。

メタンガス発生量 (Nm^3) = $0.35 (\text{Nm}^3/\text{COD}) \times \text{発酵槽投入 COD (kg)} \times \text{COD 分解率}$
 本式より、原料の有機物濃度が高いほど、また COD 分解率が高いほどメタンガス発生量が多くなる。

成分別実ガス発生量

バイオガスの発生量は、炭水化物、有機性脂肪、タンパク質などの成分構成に左右される。表 2.3 に各々のガス発生量及びメタンの含有率を示す。これより有機性脂肪からのガス発生量が最も多く、メタン濃度も高いことがわかる。タンパク質から発生するガスもメタン濃度が高いが、ガス回収量は少ない。炭水化物はガス発生量もメタン濃度も低い。

このことから脂肪およびタンパク質の多い廃棄物がメタン発酵に適しているといえる。

表 2.3 成分別ガス発生量と濃度^{1 3)}

	ガス量 (ml/g)	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)
炭水化物	790	50	50
有機性脂肪	1250	68	32
タンパク質	704	71	29

廃棄物別実ガス発生量

バイオガスの発生量は、廃棄物の種類によっても異なり、表 2.4 のような報告が

ある。これによれば、残飯（生ごみ）からのガス発生量が最も多い。

表 2.4 廃棄物別ガス発生量¹³⁾

	ガス量 (Nm ³ / 廃棄物 1 トン当たり)
牛糞尿	10 ~ 30
豚糞尿	32 ~ 48
鶏糞	66 ~ 110
し尿	8 ~ 10
下水汚泥	5 ~ 7
残飯	176

また、食品廃棄物を対象にした実証試験では、生ごみ 1 t 当り約 220 ~ 240Nm³ のバイオガス量が得られたという報告もある³⁾。

4) 最適 pH^{11) 14) 15)}

メタン発酵における pH は表 2.2 に示したように可溶化過程、メタン発酵過程でそれぞれ 4.0 ~ 4.5、6.5 ~ 7.5 が最適であるといわれている。

pH 値は発酵の状態を推定する有力な手がかりとなる。過負荷に起因する低級脂肪酸の蓄積は、発酵槽内の pH の低下を生じ、メタン生成過程に致命的影響を与える。また、pH はメタン発酵に対する阻害物質である遊離のアモニアや硫化水素濃度にも影響するので、pH の維持管理には特に留意する必要がある¹⁴⁾。

メタン菌には栄養となる有機酸・アルコールなどの有機物と窒素源として NH₄⁺ 等の無機塩が必要である。有機物中の炭水化物の量が多すぎて窒素分の含有量が少ないと NH₄⁺ の生成量が少なく、炭水化物はメタンになるより炭酸ガスに変化してしまい、生成する酸のために pH が 6.0 以下に低下し、メタンを発生しなくなる。また、炭水化物に比較して、タンパク質など窒素含有量の多い有機物が多くなると、脱アミノ化反応の速度が上昇し、NH₄⁺ が過剰になる。その結果、pH は 8.0 以上になってしまいメタンの生成が低下する。メタン発酵では酢酸やプロピオン酸などの低級脂肪酸が 4,000ppm 以上蓄積すると発酵は阻害される¹⁵⁾。

5) 栄養条件

投入有機物のC/N比¹¹⁾

投入有機物のC/N比(炭素窒素比)は、メタン発酵を効率よく行うために重要である。炭素は微生物へのエネルギー供給源として、窒素は微生物体のアミノ酸、タンパク質、核酸の形成要素として最も重要な栄養源である。嫌気性の分解反応では、分解を受ける物質のC/N比の影響を受ける。実験によるとC/N比の適正範囲は10~20であるといわれる。C/N比が適正範囲より小さいときは炭素不足となって菌体増殖の低下により窒素が十分利用されず、過剰な窒素は遊離のアンモニアに変わる。これがメタン菌の活動に制約を与えらるといわれる。

微量元素¹¹⁾

微量元素としては鉄が重要である。鉄はメタン発酵過程で発生する硫化水素による阻害を抑制し、さらにメタン菌の槽外流出を抑制する効果があるといわれる。⁷⁾

6) 硫黄化合物の影響¹⁴⁾

発酵液中に SO_4^{2-} が過剰に含まれていると、発酵中に還元されて硫化水素となりメタン発酵の阻害原因となるが、50ppm以下の場合には、発酵液中の酸化還元電位を低下させ、発酵促進の効果があるといわれる。

7) 重金属濃度その他の物質の影響¹⁴⁾

CN^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- などはメタン発酵にかなりの阻害作用を示す。許容濃度はそれぞれ次の通りであるといわれる。

CN^- : 30~50ppm

NO_2^- : 40~70ppm

NO_3^- : 40~70ppm

また、重金属の許容濃度はそれぞれ次の通りであるといわれる。

Cu^{2+} : 200~400ppm

Cr^{6+} : 90~150ppm

Ni^{2+} : 60~120ppm

Hg^{2+} : <760ppm

2.2.3 メタン発酵技術の開発状況⁹⁾¹⁶⁾¹⁷⁾

メタン発酵による下水汚泥の処理又は工場廃水処理については古くから応用されてきており、その有用性は広く理解されている。

下水汚泥の処理ではメタン発酵・ガス発電は 1927 年イギリスで初めて実施され、国内では 1983 年大和市と横浜市で初めてガス発電実用化プラントが稼働して以来、各地で実用化され、成熟した技術となっている。

また、工場廃水処理の分野では、UASB プロセスなどのようなメタン発酵槽の開発により中・高濃度の有機性工場廃水処理において徐々に採用が増えている。

生ごみのような食品廃棄物や脱水汚泥のような固形有機性廃棄物のメタン発酵技術について、アメリカでは 1970 年代から長年基礎的な研究が行われてきているが、なかなか実用化には至らないといわれている。これに対し、ヨーロッパでは 1980 年代に、西ヨーロッパを中心にして積極的なプロセスの開発が行われ、1995 年までにすでに 40 基以上の生ごみなどを処理する実用プラントが報告されている。日本では、固形有機性廃棄物のメタン発酵技術は比較的新しいので、後述するようにヨーロッパからの技術導入に依存するところが多い。

次にメタン発酵装置についてみる。

酸素の液相への溶解速度が問題とならない嫌気性処理法では、プロセス内における微生物濃度が、結局は処理速度を支配することが多い。このことから、新しい技術は、いずれも嫌気性菌群の反応器内の濃度を高めることを目的としている。1980 年代以降に開発された各種の技術は次のようにまとめられる。

膜利用と包括固定化

発酵槽内に、菌を反応液と分離して滞留させるために、UF 膜を用いるメンブレンリアクターおよびアクリルアミド等の高分子材料で嫌気性菌を包む包括固定法がある。しかし、経済的理由から、これらの方法を付加価値の低い廃棄物処理へ適用することは難しいとみられる。

固体表面への菌の固定

多孔質の固体を用い、その表面近くの細孔に富んだ部分を利用して菌体を保持させるなどして、菌群の濃度を高める方法である。実装置としては、このような固体を発酵槽内に充填して用いる形式のほか、有効な固体表面積を増すために、固体の微粒子表面上にメタン菌を付着させた流動層も利用されている。さらには、この方式に高温発酵を組み合わせる方法も開発され、食品工場廃水処理

等に実用されている。

後述するように、本事業で採用する鹿島建設が開発したプロセス（以下、鹿島プロセスという）は、多孔質の固体を発酵槽内に充填した方式と高温発酵を組み合わせた技術である。このような固定床式の問題点は、微生物を付着させた担体を発酵槽内に充填するために、発酵槽の実容積が減少することであり、担体表面に過剰に微生物が増殖し、また無機物の晶析などで閉塞が起こるといった点である。従って、装置設計においては、特に、この点に考慮が払われねばならない。

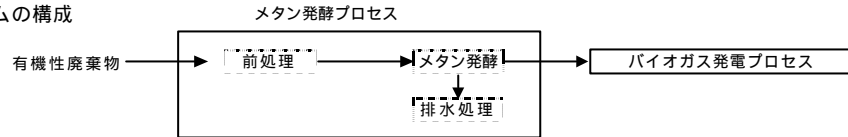
2.2.4 食品廃棄物処理に最適なメタン発酵プロセスの選定

食品廃棄物処理を対象としたメタン発酵装置を選定する際のポイントは、食品廃棄物をいかに細かく粉碎して分解性をよくし、発酵槽をいかにコンパクトにするか、ということである。そのためには、固定床式の発酵槽にメリットが多いが、ただ上記のような問題点への対応が必要となる。

筆者は、このような点を考慮しながら有機性廃棄物を対象とした各種のメタン発酵プロセスを調査した。その結果を表 2.5 に示す。現在、日本では、この分野で技術開発を進めている企業は 10 グループ以上ある。これらの中で、ほとんどのグループがこの分野の先進地域であるヨーロッパからの技術導入に依存しているが、鹿島プロセスのみは自主開発であり、燃料電池を使った発電を世界で最初に行うなど他に一步先行している³⁾⁴⁾。また、鹿島プロセスは、固定床式の高温発酵槽を採用しているが故に、槽が小型で発酵時間が他グループのものに比べて短いなど、大きな長所をもち、最も事業化の可能性の高いシステムである。次項で、既報をもとにその概要を説明する。

表 2.5 有機性廃棄物（生ごみ、食品工場廃棄物、畜産・農産・水産廃棄物等）ガス化発電システム

1. システムの構成



2. システムの比較

2000年6月末現在

開発企業グループ	システム名	処理対象	システムの特徴		開発・建設の状況		システムの評価		主な調査資料
			ガス化プロセス		実証試験	実用施設	強み	弱み	
			基本技術	技術的特徴					
鹿島建設	メタクレス	生ごみ	自社開発	・固定床式高温発酵（55） ・単槽（炭素繊維不織布） ・発酵日数約10日 ・発電量580kwh/生ごみ（効率40%） ・固形物濃度6～7%	（給湯ボイラー） 燃料電池	マイカル明石センター（1997～） ・処理量 1.5t/日 （他に、1件の実績） 生ごみ対象（1999） 処理量：200kg/日 （現状では実績なし）	・メタン発酵：長期の運転実績がある ・燃料電池発電：豊富な生ごみで実証済 ・他に比べて発電能力が大きい ・発酵期間が短い	・他のシステムに比べて固形物濃度が低い。 ・「食品廃棄物処理の実態と生ごみ処理機器の展望」（シーエムシー、1999）	・鹿島技術研究所年報 第47号（1999） ・「食品廃棄物処理の実態と生ごみ処理機器の展望」（シーエムシー、1999）
荏原製作所 三菱重工業 アタカ工業 クボタ 栗田工業 住友重機械工業 西原環境衛生研究所	メビウスシステム	し尿 余剰汚泥 生ごみ	WAASAシステム CITEC社 （フィンランド）	・従来のし尿処理施設に雑多な有機性廃棄物の受入を可能としたシステム ・湿式高温発酵（55） ・単槽（プレチャンバ、リアクタ仕切り） ・発酵日数16日 ・機械式攪拌 ・固形物濃度10～15% （以上、エバラメビウスシステム）	ガスエンジン	左記グループで実施（1997年度完了） <荏原製作所> 新潟県内行政組合（稼働中） 規模：240k l/日（生ごみ8t/日） 発電量：少 <三菱重工業> 奈良県生駒市（稼働中） 規模：80k l/日（生ごみ不明） 発電量：少	・雑多な有機性廃棄物に対応可 燃料電池発電の実績はない	・生物系廃棄物資源化・リサイクル技術」（エヌティーエス、2000）	・生物系廃棄物資源化・リサイクル技術」（エヌティーエス、2000）
新潟鉄工所 三井鉱山 三機工業 浅野工業 三菱化工機	REMシステム	し尿 余剰汚泥 生ごみ	ENROMAシステム BIMA社 （オーストリア）	・従来のし尿処理施設に雑多な有機性廃棄物の受入を可能としたシステム ・湿式中温発酵（35±2） ・単槽 ・発酵日数16日 ・無動力攪拌 省エネルギー ・固形物濃度10～15%	ガスエンジン （試算） 200kwh/t生ごみ	左記グループで実施 ・処理量：0.84t/日 （内生ごみ0.6t/日） ・エネルギー回収：温水 （1998年度完了） <三井鉱山> 新潟県内広域衛生組合（稼働中） 処理量：223k l/日（生ごみ3.5t/日） 発電量：少 <三菱化工機> 宮崎県串間市（建設中） 処理量：48k l/日（生ごみ0.9t/日） 発電量：少 <新潟鉄工所> 奈良市（建設中） 処理量：200k l/日（生ごみ不明） 発電量：少	・雑多な有機性廃棄物に対応可 高温発酵に比べてガス発生量少 ・メタクレスに比べて発電量少 燃料電池発電の実績はない	・生物系廃棄物資源化・リサイクル技術」（エヌティーエス、2000）	・生物系廃棄物資源化・リサイクル技術」（エヌティーエス、2000）
タクマ、新日本製鉄 日立造船、三井造船 日本鋼管 石川島播磨重工業 東レエンジニアリング 東芝・エキシー （両社は技術提携）	リネッサシステム	し尿 余剰汚泥 生ごみ	Schwarting-Uhde プロセス Schwarting-Uhde社 （ドイツ）	・従来のし尿処理施設に雑多な有機性廃棄物の受入を可能としたシステム ・湿式中温（37）・高温（55）二段発酵 ・発酵日数 各段7日（合計14日） ・固形物濃度10%	ガスエンジン	左記グループで実施（1998～） <左記7社のJ V> 長野県内衛生施設組合（稼働中） 処理量：16k l/日（生ごみ8t/日） 発電量：少	・雑多な有機性廃棄物に対応可 ・メタクレスに比べて発電量少 燃料電池発電の実績はない	・生物系廃棄物資源化・リサイクル技術」（エヌティーエス、2000）	・生物系廃棄物資源化・リサイクル技術」（エヌティーエス、2000）
大林組	大林・BIMAシステム	食品工場廃棄物 畜産廃棄物 下水汚泥 生ごみ	発酵槽（BIMA消化槽） ENTEC社 （オーストリア）	・湿式中温（35） ・単槽（BIMA消化槽：無動力攪拌） ・発酵日数 約33日 ・高濃度固形物の処理可	燃料電池	<エキシー> 生ごみ対象（1999） 処理量：400kg/日 発電量：5KWh 京都府八木町（1998.7～） 処理量：約45t/日 発電量：約3200kwh/日 （処理対象：家畜糞尿、おから）	・性状の一定な対象物については燃料電池発電技術は確立している ・生ごみのガス化技術の信頼性不明 ・メタクレスに比べて発電量少	・東芝レビュー Vol.53 No.8（1998） ・廃棄物新聞（2000.5.15）	・大林組ホームページ ・八木バイオエコロジーセンター資料

（注）上表の他に大成建設、日本製鋼所、AGR ジャパン、川崎製鉄などからも類似のシステムが提案されている。これらはいずれも欧州からの導入技術であり、現在のところ国内での納入実績はないようである。

2.3.5 固定床式メタン発酵プロセスの主要装置と運転実績

(1) 前処理装置

食品廃棄物の分解性をよくしメタン発酵槽での閉塞を防止するために、前処理プロセスでは受入れた有機性廃棄物を高圧圧縮によって粉碎し、同時に異物を除去する。こうして、ラップ、プラスチック容器、金属片、割り箸、ビニール等は分別・除去され、微生物分解に適した有機物のみがペースト化される。実績では、投入生ごみに対して重量比で約2～8%が異物として分別されている。高圧圧縮により分別された有機物は、ペースト状になっているが、ペースト化された有機物は粘度が高く、また粒度も大きいため、同量程度の希釈水を加えた後、連続湿式破砕機により微粉碎（粒径：約50μ）され、スラリー状にされる。

(2) メタン発酵槽

高濃度の有機性廃棄物はメタン発酵槽に投入され、槽内の嫌気性微生物群により、バイオガス（メタン、二酸化炭素を主成分とする）に変換される。メタン発酵槽は微生物反応効率を最大限に維持するために55℃での高温嫌気発酵法を採用し、さらに槽内の微生物濃度を高くするために炭素繊維不織布の微生物担体を流下方向に充填し、担体上に付着した嫌気性微生物と投入スラリーの接触を行う構造になっている。スラリーは槽の上部から投入され下向に流れ、槽底中央部から引き抜かれた発酵液は槽上部に循環される。

2) 運転実績

鹿島プロセスの運転実績を表2.6に示す。

表2.6 鹿島プロセスの運転実績（2001年7月現在）

件名	施主	運転期間	規模
焼酎廃液処理実証試験	酒造会社	1996.1～1998.3	0.5m ³ /日
川崎市大型商業施設	スーパー	1997.8～	1.0t/日
明石市大型商業施設	スーパー	1997.10～	1.0t/日
燃料電池発電実証試験	NEDO 平成10年度即効型提案公募事業	1999.4～2000.3	0.2t/日
神戸市生ごみ発電施設	環境省 地球温暖化対策実地検証事業	2001.末～	6.0t/日

この中で、神戸市生ごみ発電施設は、環境省が神戸市の協力を得て、市内のホテル

ル、スーパーなどから6 t/日の生ごみを回収し、3,000kwhの発電を行い、電気は地域の電気自動車サービス会社などに無料で提供される。余剰のメタンガスは、バスやごみ収集車の燃料にされる予定である¹⁸⁾。

なお、生ごみを燃料とした燃料電池発電の実績については、2.4項で示す。

2.3 マイクロガスタービン

1) マイクロガスタービン出現の背景とその特徴

近年、発電設備は、従来の大規模集中型電源に代わり小型分散型電源が重要性を増している。現在、国内で実績のある分散型電源の多くはコージェネレーションであり、そこで用いられているのは、ガスエンジン方式とガスタービン方式が主たるものであるが、一般的に発電容量が1,000kw以下のシステムではガスエンジン方式、1,000kwを超える規模のシステムではガスタービン方式が用いられることが多いといわれ¹⁹⁾、本事業で想定しているような小規模でガスタービン方式が採用されることは考えられなかった。

ところが、小型分散型電源の重要性が増すにつれ、ガスタービンを小規模容量の分野に投入することを目指し、マイクロガスタービンが開発されてきた。その開発の背景は次のように整理される²⁰⁾。

(1) 需要の増大

電力に対する需要の増大

- ・ 規制緩和により、より低コストの電力の要求
- ・ 良質の電力の要求（特に、離島、電力網未開地などに対して）

エネルギー効率面からの需要の増大

- ・ 分散型コージェネレーションによるエネルギー節約
- ・ 燃料の多様化
- ・ 原子力発電所の設置難

環境負荷低減の面からの需要の増大

- ・ 環境対応コストの上昇

(2) 技術的シーズの進展

マイクロガスタービンは、従来のガスタービンを小型化したものである。その出力は30～300kw程度であり、コージェネレーション・システムに使用した場合の総合効率は70～80%である。これは大規模発電所の40～50%を上回り、将来は発電源の主力に育つものと期待されている。その特徴は次のようにまとめられる²¹⁾。

コンパクトな原動機であり、同容量のエンジンと比べて小型軽量（重量比で約40%減）である。

原動機の冷却設備が不要であり、システムがコンパクトである。

構造がシンプルで部品点数も少ないため、メンテナンスが容易である。

タービン内への蒸気吹き込みにより、排出 Nox 濃度が低く抑えられる（目標：35ppm）

排熱は全て排ガスから回収するため、容易に蒸気または温水で回収できる。

2) マイクロガスタービンの開発状況

欧米ではエネルギー業界における自由化が進み、小型分散型電源の将来性に対する期待が高まっていることもあって、発電出力 100kw 以下のマイクロガスタービンの開発が進んでおり、1998 年末頃から市場への導入が開始されている。日本においても、1999 年から各社で評価試験を開始するとともに、海外メーカーの製品を販売する事業を始める企業も現れている²²⁾。

現在マイクロガスタービンのメーカーとしては次の 6 社が代表的なものであり、表 2.7 に各社製品の特長を比較した。

- ・ Capstone Turbine Corporation 社（アメリカ）
- ・ Honeywell Power Systems 社（アメリカ）
- ・ Elliott Energy Systems 社（アメリカ）
- ・ Bowman Power Systems 社（イギリス）
- ・ Northern Research & Engineering Corporation (NREC) 社（アメリカ）
- ・ Turbec 社（スウェーデン）

表 2.7 マイクロガスタービンの仕様^(注)

	Capstone	Honeywell	Bowman	NREC
基本構成	一軸+インバータ	一軸+インバータ	一軸+インバータ	二軸+減速機
定格発電出力	30kw	75kw	45kw	70kw
定格発電効率	26%	28.50%	22.50%	33%
定格燃料消費量	10.0Nm ³ /h	22.8Nm ³ /h	17.3Nm ³ /h	18.4Nm ³ /h
定格回転数	96000rpm	65000rpm	99750rpm	75000/4000rpm
本体重量	489kg	1540kg	1000 k g	1360 k g
電気仕様	3P 400/480V 50/60Hz	3P 200/120V 50/60Hz	3P 400V 50/60Hz	-
ガスタービン所要圧力	0.38Mpa 3.9kg/cm ²	0.52~0.86Mpa 5.3~8.8kg/cm ²	0.5~0.7Mpa 5.1~7.1kg/cm ²	0.28Mpa 2.8kg/cm ²
ガス圧縮機	低圧ロータリ型	低圧レシプロ型	低圧型	-

(注) 筆者が参考文献 24) をもとに作成した

上記 6 社の中で、Honeywell Power Systems 社と Capstone Turbine Corporation 社の製品が著名である。日本企業も開発しているが、まだ発売できる段階にはなっ

ていないようである。日本企業の開発又は前記 6 社との提携等の状況をまとめると次のようになっている。

明電舎は、Capstone Turbine 社から出力 30kw 級のガスタービン発電機の国内販売権を獲得して、受注活動を開始した。燃料には、灯油、都市ガスなどを使い、発電コストは一般的な発電所よりも 3 割程度安いといわれる。販売価格は、コージェネレーション・システムで約 800 万円といわれる。

日立製作所は、Honeywell 社製のマイクロガスタービンの輸入販売を検討しており、現在、実証試験中であるといわれる。

三菱重工は自社技術を活用したマイクロガスタービンを開発中で、2001 年夏には試作機を開発し、2002 年に商品化する計画であるといわれる。

東京電力をはじめ、電力会社もマイクロガスタービンの開発を進めている²³⁾。

さらに荏原は、Elliott 社製のマイクロガスタービンの独占販売に乗り出している。販売価格は、将来的には、1kw 当り 10 万円～15 万円まで下げることが目標であるといわれている²⁴⁾。

3) 法的規制の緩和²⁵⁾

現行の制度では、大型ガスタービンには厳しい規制が課せられており、マイクロガスタービンにもそれがそのまま適用されている。マイクロガスタービンの普及のためにはこのような障害を取り除くことが必要である。経済産業省は、コンビニエンスストアや小規模マンションなどの小型自家発電の普及を促すため、マイクロガスタービンに関する下記の規制緩和を 2001 年に実施する方針である。

ボイラー・タービン主任技術者の常駐義務の撤廃

現在の電気事業法では、出力 10kw 以上の発電設備には電気取扱主任者が必要になっている。しかし、出力 100kw 未満の装置では、運転温度や圧力が低く、専門家（ボイラー・タービン主任技術者）に爆発の危険などを監視させる必要性は小さいという判断によるものである。

安全装置の簡易機器の代替使用

電気保安協会への定期点検の委託義務の撤廃

出力数十 kw 未満のマイクロガスタービンを対象とするものである。これによって利用者は 2～3 万円/月の経費節減が図れるといわれる。

2.4 燃料電池

1) 燃料電池の特徴^{6)7)26)~34)}

環境に対する負荷が極めて小さく、低騒音・低公害発電システムであること
 大気汚染物質である窒素酸化物 (NO_x)、硫黄酸化物 (SO_x)、ばい塵の排出量は他の発電方式に比べて非常に少ない。表 2.8 に各種の発電方式による窒素酸化物と硫黄酸化物の発生量の比較を示す。

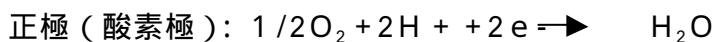
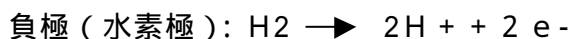
表 2.8 各種発電方式 (コージェネレーション用) の NO_x と SO_x の発生量の比較⁶⁾

項目	燃料電池発電	ガスタービン発電	ガスエンジン発電	ディーゼル発電
窒素酸化物 NO _x (対策前)	10ppm 以下	150ppm 以上	200ppm 以上	1500 ~ 2000ppm
硫黄酸化物 SO _x	なし	なし	なし	燃料の種類による

燃料電池発電は地球温暖化の原因となる二酸化炭素 (CO₂) の発生量も少なく、最も開発の進んでいるりん酸型燃料電池 (燃料: 天然ガス、発電容量: 200kw) によるコージェネレーションの場合で、「火力発電 + 重油ボイラー」に比べて 48% の削減効果があり、炭素換算で年間 220 トンが削減されるという試算もある²⁸⁾。さらに燃料発電システムは回転部分が無いので騒音、振動が極めて低い静かな装置である。

発電効率が高いこと

燃料電池は、燃料と酸化剤から電気化学反応を用いて、電気および熱を取り出すシステムである。現在、主流となっている水素 酸素燃料電池システムの場合、その反応は次のように表される。



このときの Gibbs の自由エネルギー (G) の減少分が電気エネルギーとして外部に取り出される。25 °C における 1 mol の水の生成エンタルピー (H₀) は -286kJ/mol、電気エネルギーに変換できる Gibbs の自由エネルギー (G₀) は -237 kJ/mol であるので、燃料電池の理論効率は 83% となる。残りの 49 kJ/mol (- T

S) は熱として外界に放出される。しかし、燃料電池の反応は発熱反応であるので温度が高くなるにつれて反応の Gibbs エネルギーは小さくなり、理論的に得られる電気エネルギーは減少する。つまり、燃料電池の理論効率は低温で作動させるほど高くなるといえる。一方、熱機関ではカルノー効率が理論上の上限と考えられるので、温度が高くなるにつれて高くなる。図 2.5 にはこの関係を模式的に示す。同図にみるように、700 (1,000 K) 以下では、燃料電池の方が熱機関よりも高い効率を示すが、それ以上の温度では逆転する。しかし、燃料電池の排熱を利用して熱機関を動かす複合発電システムを考えると、いずれの温度でも高い発電効率が得られ、温度に大きく依存することはない²⁶⁾。さらに、図 2.6 に示すように部分負荷時においても全負荷時とあまり変わらない高い発電効率が得られる⁶⁾。

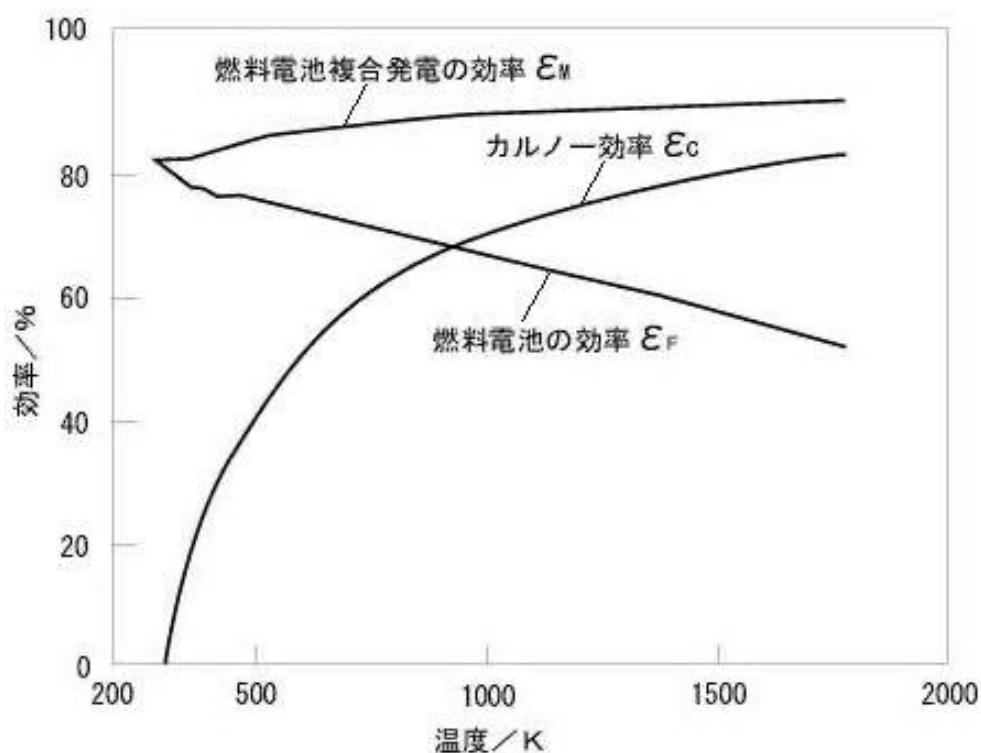


図 2.5 燃料電池の理論効率とカルノー効率²⁶⁾

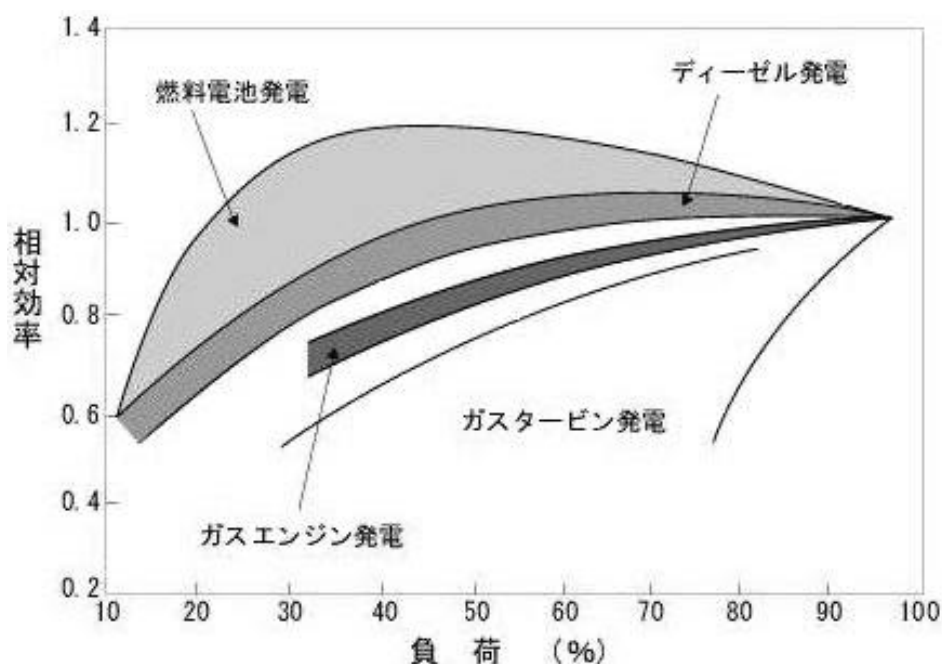


図 2.6 各種発電方式の部分負荷率⁶⁾

多様な燃料に対応できること

燃料電池の原料として、例えば、りん酸型燃料電池の場合は、天然ガス、都市ガス、プロパンガス、メタノール、水素、さらには食品排水や生ごみの処理過程で得られるバイオガスや下水汚泥の処理過程で得られる消化ガスなど多様な燃料を使用できる。

高品質な電力の供給が可能であること

電池本体で発生した直流電力をインバータ - で交流に変換し出力するため、高品質（定周波数、定電圧）の電力が得られる。

燃料電池本体は交換可能なモジュール単位で生産されること

燃料電池発電システムの経済性は発電規模に依存しないので、利用の目的に応じて自由に規模を選択して必要な量のモジュールで組み立てればよく、発電容量の増加にも柔軟に対応できる。また、故障時には、故障したモジュールのみを交換すればよいので、設備の高稼働率が期待できる。さらに燃料電池本体を含め燃料電池システムの周辺機器のほとんどは完成品に近い状態で工場出荷できるので、現地での工事費を節減できる。

燃料電池発電システムは大量の冷却水が不要であるので、火力発電所や原子力発電所のように海岸近くに立地を求めなくてよく、農山村や都市近郊を含め広く設置場所を選定できる。

燃料電池発電システムは、上述のように環境特性が良好であること、小規模発電に適すること、建設・設置の柔軟性があること、冷却水が不要であることなどから、都市部に分散設置することによって、送電損失を減少させ、電力とともに排熱を都市内の様々な用途に有効利用できる。

2) 燃料電池の種類と開発動向

各種タイプの燃料電池が開発されており、一般的には電池本体の電解質の種類によって分類されている。表 2.9 参照。

表 2.9 燃料電池の種類(注)

種類	ヒドラジン型アルカリ水溶液	直接メタノール型(DMFC)	アルカリ水溶液型(AFC)	固体高分子型(PEFC)	りん酸電解質型(PAFC)	溶融炭酸塩型(MCFC)	固体電解質型(SOFC)
作動温度(°C)	5~60	5~80	5~240	60~80	160~210	600~700	900~1000
燃料	ヒドラジン	アルコール	H ₂ (不含CO)	H ₂	H ₂	H ₂ , CO	H ₂ , CO
酸化剤	空気、過酸化水素	空気	O ₂ 空気(不含CO ₂ 空気)	O ₂ 空気	O ₂ 空気	空気	空気
電解質	KOH	H ₂ SO ₄	KOH	陽イオン交換膜	高濃度H ₃ PO ₄	Li ₂ CO ₃ /K ₂ CO ₃	ZrO ₂ (Y2O3)
電荷担体	OH ⁻	H ⁺	OH ⁻	H ⁺	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻
電極材料	ニッケル、銀、ステンレス、ホウ化ニッケル	多孔質炭素板	金、銀、ニッケル多孔質板、多孔質炭素板	ニオブ金網、PTFE	多孔質炭素板、PTFE	多孔性Ni-Cr焼結体、ニッケル多孔質板	ニッケル板、ランタンニッケル酸化物
電極触媒	白金、パラジウム	カーボン担持白金類	ラネーニッケル、白金類	白金類	白金類		
セル構成材料	ステンレス、銀、ニッケル、プラスチックなど	カーボン、テフロン、プラスチック類	ニッケル、金、銀、白金、カーボン、プラスチックなど	タンタル、ニオブ、カーボン、プラスチックなど	カーボン、シリコン、カーバイド、ステンレスなど	Ni-Cr合金板、NiO多孔板、ステンレスなど	LaMnO ₃ 、ZrO ₂ 、Ni、Co、ステンレスなど
発電効率(%)				30~40(改質ガスを用いた場合)	35~42	45~60	45~60
定格出力(kW)				1~1,000	100~5,000	100~100,000	100~100,000
燃料中のCOの存在	×(白金触媒が被毒)			×(白金触媒が被毒)	×(白金触媒が被毒)	(燃料となる)	(燃料となる)
燃料中のCO ₂ の存在	×(電解質のアルカリの機能低下)						

(注)本表は、筆者が参考文献6)、26)、35)、36)をもとに作成した。

これらの燃料電池の中で、りん酸型(PAFC)、固体高分子型(PEFC)、溶融炭酸塩

型（MCFC）および固体電解質型（SOFC）がよく知られている。

固体高分子型は最も作動温度が低く、出力密度が最大であり、自動車駆動用、家庭用/工事用の小型電源などに向いている。現在、2002年～2004年の実用車への搭載を目指して関係業気合間で熾烈な開発競争が続いているところであり、実証段階にあるといえる。

りん酸型は作動温度が固体高分子型より高く、排出ガスが熱源として使えるから業務用/生産用施設のコジェネレーション方式による効率の高い熱電併給システムに適している。現在、世界各地で多数の実証プラントが実績をあげつつあり商業化開始の段階にある。

熔融炭酸塩型、固体電解質型は作動温度が極めて高く、発電効率の高いシステムであるが、高温運転の難しさが伴い、実用化にはまだ時間を要するとみられている。

以下では、りん酸型に絞って開発動向をまとめる。

3) りん酸型燃料電池（PAFC）開発状況^{28) 34) 37)}

1960年代末にアメリカで研究開発がスタートした。日本では、1980年代の初頭に本格的な国家プロジェクトとしてスタートした。

りん酸型は現在最も開発が進んでいるもので、実用化されている。オンサイト用の国内メーカーは3社であり、東芝および三菱電機が200kw機を、富士電機が50kw、100kw、500kw機を開発している。

大きなものとしては、最近まで東京電力の五井火力発電所に世界最大（11MW）のアメリカ製の燃料電池が設置、運転されていた。現在ではこのような大型ではなく、200kw程度の小型オンサイト用の実証試験が多く行われており、運転時間が電池寿命の目標である5年間、すなわち4万時間を超えるものが数多くみられるようになってきた。特に、最近ではビール工場の廃水処理工程から発生するバイオガスを燃料とした燃料電池発電システムの実績が報告されている^{28) 37)}。また、下水汚泥のメタン発酵処理で発生する消化ガスを燃料とした燃料電池発電システムの実証試験も報告されている³⁸⁾。さらに、鹿島建設(株)によって食品廃棄物のメタン発酵処理で発生するバイオガスを燃料とした燃料電池発電システムの実証試験結果が報告されている³⁾（詳細は4)参照）。このようなメタンを含んだ消化ガスあるいはバイオガスを前処理し、改質して燃料電池に用いると、電力と熱エネルギーをともに利用することができ、廃棄物処理の効率化と未利用資源の有効活用になる。これらは200kwあるいはそれ以下の容量の燃料電池に適しているといわれている。

以上のように、りん酸型は200kWクラスの実用機が運転に入っている。電池に対する信頼性はここ2～3年で大きく改善されており、今後の課題はコストと市場の確保で

あるといわれている。従来の火力発電と比較すると、現在では効率の面でもコストの面でも不利である。しかし、小型で高効率を維持でき、環境適合性を考えた場合、地域での分散型電源として大いに可能性があると考えられる²⁶⁾。

4) 食品廃棄物を燃料とした燃料電池発電の実証試験結果³⁾

鹿島建設は、1999年度にNEDOと共同で生ごみによる燃料電池発電の実証試験を行った。これは前述の鹿島プロセスと燃料電池を組合わせたものである。

試験はスーパー等で発生する残飯、食品調理残渣、正味期限切れ食品等を受入れて行い、発電には定格出力50kwのりん酸型燃料電池(富士電機製)が使われた。この試験により確認された事項は次の通りである。

食品廃棄物を平均125kg/日処理し、バイオガス29.9Nm³が得られた。これよりバイオガス発生量は平均240 Nm³/t(生ごみ)と推定される。

メタンガス濃度は約63~67%で安定していた。

バイオガス中には比較的高濃度の硫化水素、アンモニア、塩化水素が含まれているが、これらの不純物は乾式の精製塔で燃料電池に悪影響を及ぼさない程度まで除去できた。表2.10参照。

燃料電池は、バイオガス中のメタンガス濃度が67~93%の範囲で、平均発電効率33.6%が達成された。表2.11参照。

表2.10 不純ガス成分濃度³⁾ (単位: ppm)

	精製塔入口			精製塔出口		
	最大濃度	最小濃度	平均濃度	最大濃度	最小濃度	平均濃度
硫化水素	970.0	367.0	654.7	< 0.0005		< 0.0005
水素	< 0.1		< 0.1	< 0.1		< 0.1
塩化水素	9.5	3.4	5.5	< 0.4		< 0.4
アンモニア	31.7	23.5	27.6	< 0.1		< 0.1

表 2.11 発電データのまとめ³⁾

RUN	使用ガス量 (m ³ /h)	平均ガス濃度 (%)	最大/最小 ガス濃度 (%)	燃料電池制御設定濃度 (%)	発電量 (kwh)	発電効率 (%)
1	9.50	92.50	92.0/93.5	90	30	34.3
2	11.08	86.11	84.8/86.6	90	30	31.6
3	10.85	80.15	79.9/80.4	80	30	34.7
4	10.99	80.38	80.2/80.5	80	30	34.2
5	10.84	84.80	84.2/86.3	80	30	32.8
6	12.18	71.64	69.7/74.2	70	30	34.6
7	13.60	66.60	66.1/67.9	70	30	33.2
(平均効率 33.6)						
都市 ガス					30	36.1

以上の結果から、食品廃棄物から発生するバイオガスを使った燃料電池発電は、技術的に完成され、事業化が可能であると判断される。

2.5 メタン発酵残渣の資源化技術

1) 脱水機

各種の脱水機が開発されているが、メタン発酵液の脱水には低濃度汚泥(2,000~3,000mg/l)を直接脱水できるアムコン社製のスクリー式脱水機(商品名:ヴァールト脱水機)³⁹⁾が適する。同脱水機には処理液と凝集剤の混和槽が組み込まれている。従って、発酵液を直接投入することによって含水率85%まで脱水することができる。脱水汚泥はコンポスト装置に投入しコンポストとすることができる。ただし、脱水機から出る処理水を下水道に放出するには処理が必要である。

2) コンポスト化装置

農作物に有効な成分を含んでいる有機性汚泥を緑農地へ還元するための最も有効な方法としてコンポスト化(堆肥化)がある。コンポストの緑農地への施用効果は、土壌の改良効果(地力の向上)と作物への肥料的効果(養分供給)の二つの面をもっており、この効果はコンポスト中に含まれる腐植物質による機能と肥効成分による。コンポスト化は、嫌気性方式と好気性方式に大別されるが、一般に用いられているのは好気性方式である。この方式は、堆肥化に要する日数が短いなどの特長がある。この過程を、人為的にいかに効率よく促進させるかという観点から各種の方法が考え出されている⁴⁰⁾。

従来、この種の汚泥の農地還元法として次のような方法がとられてきた。

脱水のみ行なって農地に還元する方法

脱水後、乾燥させて農地に還元する方法

脱水後、コンポスト化して農地に還元する方法

この中で は、「雨水や水田の水が加わると元の状態にもどる」、「臭気が強く、農業者に嫌われる」、「未発酵のため、作物に悪影響がある」といった問題点があった。

においても乾燥により大幅な減量が図れるが、雨水等が加わると と同様な問題が生ずる。最も有効な方法として が残るが、従来のコンポスト化装置は大型で、汚泥が少ない場合には過剰設備になる嫌いがあった。そこで、筆者は少量発生する汚泥に対応できる低価格の小型コンポスト化装置を経済産業省の補助金を得て開発した。

本装置の特徴の一つは、エアレーション方式を採用することで発酵期間を短縮したことである。一般に発酵の過程は、1次発酵と2次発酵に分けられ、1次発酵は、原料中の糖やセルロースが高温で急速に分解される段階で、2次発酵は1次発酵に続きリグニン等が低温でゆっくり分解される段階である。1次発酵は65℃以上を48時間以上維持することが要件とされ、その間に病原菌や雑草の種子などが死滅し、この段階で農地等に還元することも可能である。標準的な1次発酵期間として10~14日が必要であるといわれているが、本装置ではあらかじめ加温した空気によるエアレーションを行うことにより、1次発酵期間を7日に短縮している。

2.6 脱臭技術

食品廃棄物の処理において脱臭は不可欠である。どのような脱臭方式を採用するかは、対象とする食品廃棄物の種類、組成、量によって異なる。脱臭技術は、「洗浄法」、「燃焼法」、「吸着法」、「生物脱臭法」、「オゾン酸化法」、「消臭剤噴霧法」、「プラズマ脱臭法」、「光触媒脱臭法」などに分類される。表2.10にこれらの脱臭技術に関する文献調査結果をまとめた。この中で、担体充填微生物脱臭法が、運転費が安く、設置面積が少なくすむなどの利点を持つので有機性廃棄物処理設備の脱臭法として適するようである。特に、充填材にボルカナイト（ペレット状）を使った「清掃工場の排気脱臭」や「下水処理場汚泥貯留槽の排気脱臭」では、アンモニアや硫化水素に対し、ほぼ100%の脱臭効率が安定的に達成されている⁴¹⁾。

表 2.10 脱臭方式の比較(注)

方式		原理	特徴	除去対象物質
洗浄法	水洗法	悪臭物質を気液接触によって水に溶解させ、物理的に除去する	<ul style="list-style-type: none"> ・設備が安価 ・ミスト、ダストの同時処理可 ・ガスの冷却効果がある 	アンモニア、低級アミン、低級脂肪酸、硫化水素等
	薬液洗浄法	悪臭物質を気液接触によって薬液に吸収させ、化学的に除去する	<ul style="list-style-type: none"> ・排水処理が必要 ・薬液濃度等の管理がシビア ・薬液に対する安全対策が必要 	酸洗浄：アンモニア、アミン アルカリ洗浄：硫化水素、メチルメルカプタン等
	薬液酸化法	悪臭物質に酸化剤の水溶液を気液接触させて酸化分解する	<ul style="list-style-type: none"> ・装置の腐植対策が必要 	アンモニア、硫化水素、メチルメルカプタン等
燃焼法	直接燃焼法	悪臭物質を 700 以上の高温で燃焼分解する	<ul style="list-style-type: none"> ・信頼性が高く温度管理のみでよい ・NOx の発生が少ない 	あらゆる物質に対応
	触媒燃焼法	悪臭物質を 250~300 のPt やPd系触媒層に通じて酸化分解する	<ul style="list-style-type: none"> ・安定した技術である ・設置スペースが大きい ・設備コストが高い ・NOx の発生が少ない 	
	蓄熱式燃焼法	蓄熱体により高効率で燃焼分解する	<ul style="list-style-type: none"> ・省エネルギー型である 	
吸着法	吸着剤法	活性炭、シリカゲル、ゼオライト、活性白土等の吸着剤に吸着する		吸着剤の組み合わせによってはほぼ全悪臭物質に対して効果あり
	イオン交換樹脂法	悪臭物質のイオン交換性を利用してイオン交換樹脂で吸着する	<ul style="list-style-type: none"> ・樹脂の含水率が吸着能力に影響(最適は 40~100%) 	アンモニア、硫化水素等
生物脱臭法	土壌脱臭法	悪臭物質を土壌、コンポストなどに吸着させ、存在するバクテリアによって酸化分解する	<ul style="list-style-type: none"> ・分解速度が遅い ・高濃度臭気、有機系ガスには効果的でない ・通気速度が小さく広い敷地が必要 ・気温、気候の影響を受け易い 	アンモニア、アミン、硫化水素、アルデヒド等
	活性汚泥法	悪臭物質を栄養源とする活性汚泥中の微生物で分解する	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的高速処理が可能 ・活性汚泥の維持管理が難しい ・活性汚泥による閉塞が起き易い 	
	担体充填生物脱臭法	微生物を充填材に着生させ、吸着・分解・洗浄により脱臭する	<ul style="list-style-type: none"> ・通気速度 0.1m/S 以上が可 ・微生物により、充填材の活性の回復可 ・汚泥管理不要で維持管理が簡単 ・脱臭効率が高い ・保水性が高く、微生物の着生良 	
オゾン酸化法		オゾンガスの酸化力により悪臭物質を酸化処理する	<ul style="list-style-type: none"> ・維持管理費が安価 	硫化水素、メチルメルカプタン、アルデヒド、フェノール等
消臭剤噴霧法	中和法	悪臭物質と化学的に反応(中和)する薬品を使用して分解する	<ul style="list-style-type: none"> ・感覚的に悪臭を和らげる ・安価、設置が簡単 ・基本的には悪臭物質を無臭化しない 	
	マスキング法	芳香性物質で悪臭を覆い隠す方法で、トイレ等でよく使用される		
プラズマ脱臭法		処理ガス中で放電させてプラズマを発生させ、悪臭物質を酸化分解する	<ul style="list-style-type: none"> ・ガスの前処理不要 	アンモニア、硫化水素、メチルメルカプタン等
光触媒(TiO ₂)脱臭法		TiO ₂ に光を当てて発生する活性分子、ラジカル、オゾンにより、悪臭物質を酸化分解する	<ul style="list-style-type: none"> ・実用化しているのはTiO₂のみ 	アルデヒド、硫化水素等

(注)本表は、筆者が参考文献(41)、(42)をもとに作成した。

2.7 食品廃棄物の標準再資源化システム

以上の調査結果をもとに食品廃棄物の標準的な再資源化システムを構築し、事業化の技術的なベースとした（図2.7参照）システムの基本は、有機性廃棄物をメタン発酵させ、発生したメタンを主成分とするガス（バイオガス）を使って発電し、残った発酵残渣はコンポストとして農地に還元することであり、「前処理プロセス」、「メタン発酵プロセス」、「バイオガス利用プロセス」及び「汚泥再資源化プロセス」から構成される。

中心になるのはメタン発酵プロセスであり、現状の技術では固定床式の高温発酵法が装置の小型化が図れ、分散型発電設備に適するものと考えられる。前処理設備は、有機性廃棄物をメタン発酵に適するように、粉碎処理するものである。バイオガス利用プロセスの発電設備には、マイクロガスタービン発電か、燃料電池が適する。これらのいずれにするかは、初期投資額と環境負荷の大小を比較して決定することになる。汚泥再資源化プロセスでは、メタン発酵プロセスで発生した汚泥を脱水、コンポスト化する。

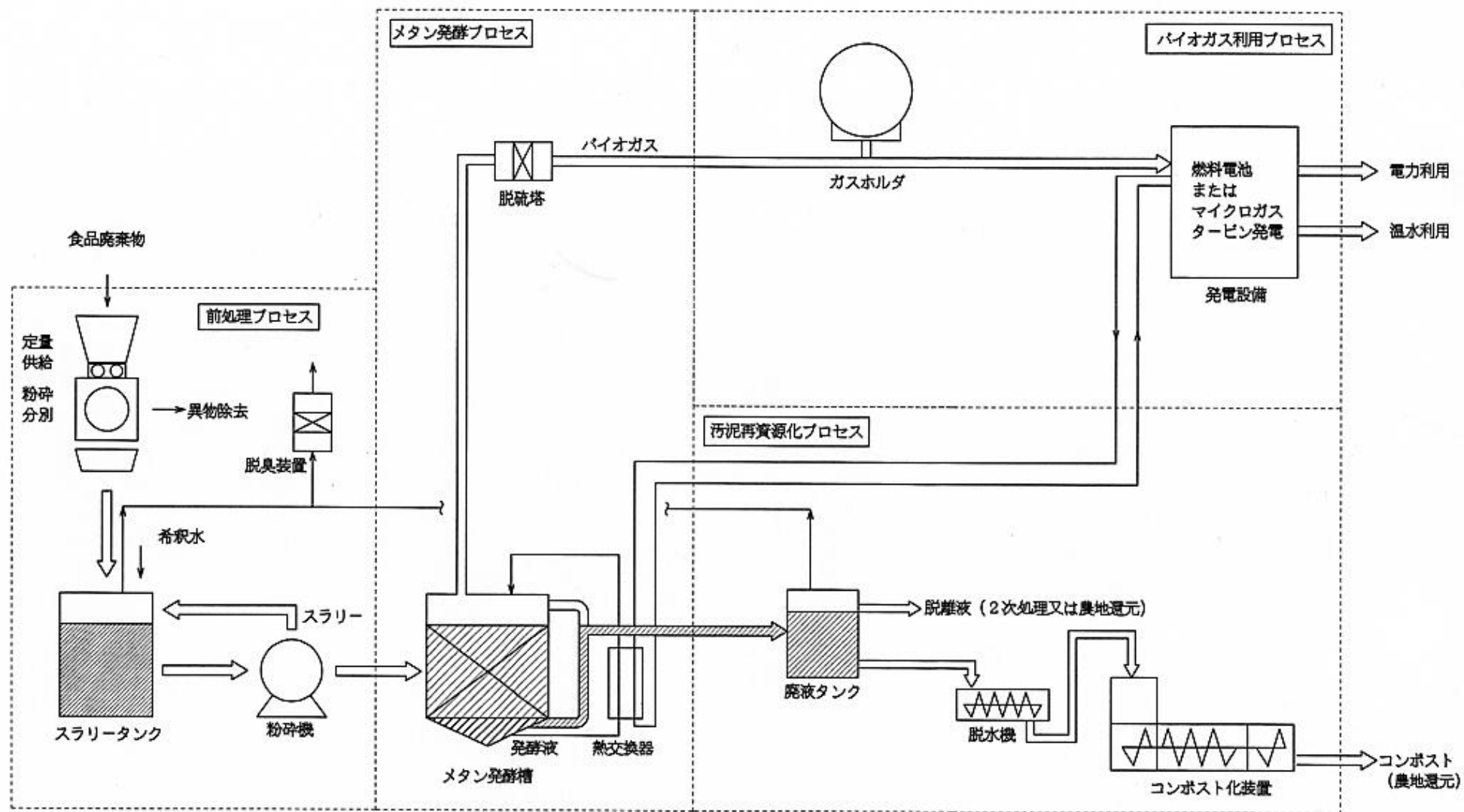


図 2.7 食品廃棄物の標準再資源化システム

参考文献

- 1) 澤山茂樹、日本エネルギー学会誌、78、864、pp.259-263、1999
- 2) エネルギー・資源学会、エネルギー・資源ハンドブック、オーム社、p.430、1997
- 3) 東郷芳孝、多田羅昌浩、後藤雅史、鹿島技術研究所年報、47、pp.135-140、1999
- 4) 東郷芳孝、NEDO 委託研究報告書（平成 11 年度）、pp.822-827、2000
- 5) 井上宇市、高田秋一、コジェネレーション技術入門、オーム社、p.25、1992
- 6) 広瀬研吉、燃料電池のおはなし、日本規格協会、1999
- 7) 電気学会エネルギー問題検討特別委員会、エネルギー技術のパラダイム、オーム社、p.72、1995
- 8) 福井三郎、斎藤日向、バイオテクノロジー事典、シーエムシー、pp.369-370、1986
- 9) 廃棄物処理・再資源化技術ハンドブック編集委員会、廃棄物処理・再資源化ドブック、建設産業調査会、1993
- 10) 園田頼和、鈴木智雄、微生物工学技術ハンドブック、朝倉書店（1990）、p.440 から転載
- 11) 山澤新吾、バイオマスエネルギー、朝倉書店（1982）、p.120 から転載
- 12) R.E.Speece, Anaerobic Biotechnology, Archae Press, Nashville, TN, USA, p.27, 1996
- 13) 坂上正美、生物系廃棄物資源化・リサイクル技術、エヌ・ティ・エス、pp.58-88、2000
- 14) 鈴木智雄、微生物工学技術ハンドブック、朝倉書店、1990
- 15) 村田徳治、“メタン化・堆肥化は酵素パワー（生物分解の化学）”、いんだすと、Vol.15、No.1、p.74、2000
- 16) 李玉友、ISS 産業科学システムズ主催『有機性廃棄物のメタン発酵エネルギー回収技術』セミナー資料、pp.51-52、1998
- 17) 永井史郎、“最近の嫌気性水処理技術”、食品工業のための最新バイオ水処理技術、恒星社厚生閣（1999）
- 18) 毎日新聞、2000 年 7 月 26 日記事
- 19) 高田秋一編集、ガスコジェネレーション、日本ガス協会、2000
- 20) 分散型電源システムの最新動向と将来展望、エヌ・ティー・エス、pp.317-336、2001
- 21) 東京ガス・広報部資料、“国産最小容量の都市ガス仕様 290kw マイクロガスタービン・コジェネレーション・システムの共同開発”

- 22) 庄司不二雄、高圧ガス、Vol.37、No.9、pp.39-46、2000
- 23) 日本経済新聞、2000年2月20日記事
- 24) 日刊工業新聞、1999年12月14日記事
- 25) 日本経済新聞、2000年8月20日記事
- 26) 平田賢監修、PEM・燃料電池入門、環境新聞社、1999
- 27) 大田健一郎、高圧ガス、Vol.36、No.10、pp.5-11、1999
- 28) 佐藤伸昭、草間伸行、高圧ガス、Vol.36、No.10、pp.12-16、1999
- 29) 大村俊哉、高圧ガス、36、10、pp.23-27、1999
- 30) 清水和夫、平田賢、燃料電池とは何か、日本放送出版協会、2000
- 31) 石丸公生、天然ガス燃料電池、日刊工業、1994
- 32) 高橋武彦、燃料電池、共立出版、1994
- 33) 石田政義、日本エネルギー学会誌、80、886、pp.48-57、2001
- 34) オーム社、技術情報ファイル テクノインフォ、8、pp.32-33、2001
- 35) エコビジネスネットワーク編、地球環境ビジネス、産学社、1999
- 36) 日刊工業新聞、1999年12月20日記事
- 37) 佐藤弘人、廃棄物処理・再資源化の新技術、シーエムシー、pp.241-250、1999
- 38) 高橋元洋、草間伸行、和田克也、東芝レビュー、Vol.53、No.8、pp.59-63、1998
- 39) ヴァルーツ脱水機、アムコン社資料
- 40) 環境事業団、コンポストの最新技術、化学日報社、1995
- 41) 檜山和成、事例に見る脱臭技術、工業調査会、1999
- 42) 藤田賢二、コンポスト化技術、技報堂出版、1993

第3章 マクロ環境分析

3.1 マクロ環境分析の手順^{1) 2) 3)}

事業化を考える場合、まず、事業を取り巻く外部環境を知る必要がある。外部環境はマクロ環境とミクロ環境に大別される。

本章では、食品廃棄物を燃料とするバイオガス発電事業のマクロ環境を分析し、事業に対する機会及び脅威を明らかにする。

マクロ環境分析とは、当該事業や競合他社、顧客などには直接的、短期的には影響は少ないが、中長期的に何らかのインパクトを与えると考えられる要因に関する分析である。本研究では、国際情勢、社会の価値観、政治・経済・法律、技術の進展、資源・エネルギー・環境問題など幅広い範囲にわたり、次の手順で実施した。

外部環境要因の抽出

広範囲なマクロ環境の中で事業化にある程度関係する項目を決め、それぞれの項目について主なトピックスを抽出する。

要因ごとの変化動向の調査

各要因について、書籍、新聞、雑誌等からデータを収集する。

事業化関連業界へのインパクトの考察

収集データをもとにマクロ環境が事業化を想定している業界にどのようなインパクトを与えるかを推測する。

最後に、「マクロ環境分析表」にマクロ環境分析の結果をまとめる。

3.2 マクロ環境分析

3.2.1 国際情勢

1) 全般

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change : 気候変動に関する政府間パネル) の第2次レポート⁴⁾では、BI シナリオ (BI : バイオマス促進) と NI シナリオ (NI : 原子力促進) が示された。BI シナリオでは、2025年には、1次供給エネルギーの15% (=72EJ/年) がバイオマスに依存し、NI シナリオでも12%がバイオマスに依存することになっている。

2) 地域・国別

欧州連合（EU）は、1997年12月に「自然エネルギー利用行動計画」を発表して2010年までには自然エネルギーの割合を現在の6%から12%まで増やすことを表明し、中でもバイオマスに重点を置くことを明らかにしてきたが、2000年9月にはこれをさらに進めて、加盟15カ国は石油、石炭、天然ガスのように二酸化炭素を排出せず、再生可能な自然エネルギーの消費を拡大するため新規制を導入することで合意した⁵⁾。各国ごとに全消費量に占める自然エネルギーの割合を目標値として示し、目標を達成できない国に制裁を科すというものである。詳細は今後詰める計画であるが、表3.1は欧州委員会が作成した案である。

表3.1 EU各国の代替エネルギー比率（%）⁵⁾

加盟国	1997年	2010年
オーストリア	73	78
スウェーデン	49	60
ポルトガル	39	46
フィンランド	25	35
スペイン	20	29
イタリア	16	25
フランス	15	21
デンマーク	9	29
ギリシャ	9	20
ドイツ	5	13
アイルランド	4	13
オランダ	4	12
ルクセンブルク	2	6
イギリス	2	10
ベルギー	1	6

（注）代替エネルギーは二酸化炭素を排出せずリサイクル可能資源で、原発ではないもの。電力総生産量に占める割合。1997年時点と2010年の目標案（欧州委員会作成）

アメリカでは、1999年8月に当時のクリントン大統領が2010年までにバイオマスエネルギーの導入量を3倍に拡大し、それによって年間20億ドル分の収入創出と温暖化ガス100万トンの削減によりバイオエネルギーを強化する方針を打ち出した⁶⁾。

さらにこのような動きを受けて、2000年6月にスペインのセルビアで欧州バイオマス会議とアメリカバイオマス会議が共催した第1回世界エネルギー・産業用バイオマス会議が開かれるなど、最近、欧米を中心にバイオマスを積極的に利用しよう

という動きが活発になっている。

スウェーデンでは、重油、石炭などの化石燃料にCO₂税、硫黄税を賦課し、その他非課税の木質系燃料のコストが化石燃料を下回り、木材を他の燃料源と併せて用いる燃焼発電が推進されている⁷⁾。

フィンランドは現在でもバイオマス燃料のシェアが15%と高いが(1994年)これをさらに増やし、21世紀初頭に総エネルギーの約20%をバイオマスによるもの検討を打ち出している⁸⁾。

ブラジルはサトウキビからエタノールを製造し、これを用いたガソリン-エタノール混合燃料(「ガソホール」という)自動車、エタノール自動車が全国で500万台駆動している⁹⁾¹⁰⁾。

3) 評価

世界的には欧米を中心にして、地球温暖化防止の観点からバイオマスを積極的に利用しようという動きが活発になっている。これは動きの鈍い日本にも大きな影響を及ぼすと考えられる。有機性廃棄物(食品廃棄物も含む)のリサイクル事業にとっては大きな「機会」になると捉えることができる。

3.2.2 社会の価値観

1) 環境保全型企業が受け入れられる社会が実現しつつあること

2000年版環境白書では、環境保全に関する事業者の行動を決定する要素を「法的な規制」と「市場」に分けて考察している。

法的な規制に反すれば、事業者は違法行為として罰せられ、事前の環境配慮不足のために引き起こされた環境汚染のために、莫大な汚染浄化費用や損害賠償金の負担を強いられる。

また、市場からは、環境への配慮が欠けていると、消費者からの批判、売上の減少などの制裁を受けることになる。事業者は、こうした事態を招かないよう、環境への負荷低減に努めることになる。現在、「グリーン購入^(注)」と呼ばれている消費者行動は、この市場の面からのアプローチであり、環境への配慮を欠いた事業者に対する批判であると同時に、環境対策に積極的な事業者に対する支援であるといえる。平成10年度に国立衛生研究所が行なった調査によれば、約70%の消費者が積極的なグリーン購入によって事業者を変えることができると考えている。

このような環境保全に対する消費者の意識の高まりは、事業者の環境保全に対す

る意識にも影響を与えており、平成 11 年度の調査では、上場企業、非上場企業とも「環境への取組は社会貢献の一つである」と答えた割合が最も多く、続いて「環境に対する取組は今後の業績を左右する重要な要素の一つとして取り組んでいる」、「環境に関する取組を最も重要な戦略の一つとして位置付け事業活動に取り組んでいる」の順になっており、事業者が環境保全に対する取組に大きなウェイトを置いていることを示している¹¹⁾。

こうした状況から、環境保全に寄与するバイオマス発電事業は、社会的にも受け入れられる素地ができたと考えることができる。

(注)「グリーン購入」とは、市場に供給される製品・サービスの中から環境への負荷が少ないものを優先的に購入することによって、これらを供給する事業者の環境負荷低減への取組に影響を与えていこうとする消費者一人一人の消費行動のことである。

2) 自然エネルギー推進に対する世論の支持が高まっていること

1999 年 2 月に総理府が実施した世論調査によれば、地球温暖化を防止するためのエネルギー対策として、67%もの人が「新エネルギーの推進」を挙げている。その一方、「原発推進」は 14%に過ぎなかった¹²⁾。こうした世論が、風力、太陽光、バイオマス発電といった自然エネルギーによる発電を後押ししており、いまやるべきは、原発につき込んでいた資金を自然エネルギー等の普及に振り替えることであろう。

3) 評価

社会的にみても、バイオマスエネルギーへの期待感が高まっており、有機性廃棄物のリサイクル事業にとっては「機会」になると考えられる。

3.2.3 政治・経済・法律

1) 電力の自由化

電力の自由化は抵抗しがたい潮の流れである。この流れをせき止めようとしても無理である。2000 年 3 月 21 日から大口需要家に対する電力小売りが自由化された。この自由化で一部の大口需要家は、営業地域以外の電力会社や一般企業から電力を買うことができるようになった。対象となる需要家は 20,000V 以上の電圧で受電し、使用規模が 2,000kw 以上のもので、大工場やホテル、商業施設、病院、事務所ビル

などが対象で、一般家庭など残りは従来どおり地域の電力会社から電気を買ひ、電力会社も供給責任がある。この制度は3年後に見直される予定で、自由化が不十分と判断されれば、さらに規制が緩和される。

電力の自由化を全米に先駆けて進めてきたアメリカのカリフォルニア州では、2001年1月17～18日には百万戸規模の計画停電がサンフランシスコやシリコンバレーを中心に発生するなど未曾有の電力危機に襲われた。これは、今後、日本が自由化を進める際の参考になる。佐波ら¹³⁾は、カリフォルニア州の事例を踏まえて、電力自由化とバイオマス発電などによる小規模発電について次のように分析している。

『従来は、火力・原子力発電所には、有意な「規模の経済」が働くため、大規模な火力・原子力発電所が主要な電源とされてきた。しかし、このような大規模発電所を建設するには、巨額の初期投資と少なくとも5年のリードタイム（環境影響評価、着工、建設、運転開始までの時間）を要する。電力需要の堅調な伸びが確実視される途上国では、大規模発電所の建設に伴うリスクはわずかだと見積もられる。しかし、経済が成熟化した先進国では、将来の電力需要の不確実性ゆえの大規模発電所への投資には大きなリスクが伴う。そのような先進国における長期的かつ安定的な収入の見込めない自由化された電力市場では、事業者はこのようリスクを伴う投資を手控えることになるので、電力自由化が大規模発電所を建設する民間企業のインセンティブを阻害することは確実である。そこでこの自由化を進めるには、需要・供給者が、市場や価格に対して影響を及ぼし得ない程度に小規模であることが必要であり、それを実現する方法は二つで、一つはマイクロガスタービン、燃料電池など小規模分散型電源の普及を急ぐこと、もう一つは送電線網の整備・拡充による電力供給市場の広域化である。特に、前者の小規模分散型電源は、初期投資が相対的に安価であり、建設期間も極めて短く、燃料の選択肢が豊富である。しかも、大気汚染物質の排出量の少なさ、起動後短時間での規定出力への到達、台数制御運転による出力調整の容易さ、コジェネレーションへの利用可能など、望ましい特性、とりわけ自由化された電力市場にふさわしい特性を数多く備えている。ただ、現状では経済性の面で従来の発電システムに及ばないが、今後の技術開発や量産効果によって十分な経済性を確保すると期待されている。また、バイオマスなどの再生可能な電源については、経済性におけるマイナス面を何らかの優遇策で補うことが必要である。』

以上のように電力自由化の観点からは、分散型発電に参入の機会が多くなり、有

機性廃棄物を利用したバイオマス発電事業にとっては追い風になるものと期待される。

2) グリーン電力制度

グリーン電力制度は風力や太陽光など自然エネルギーで発電した電力と火力・原子力などの電力とを区別し、消費者の環境保全意識や市場原理をテコに新エネルギーの普及を目指すものである。同制度の導入は、1996年スウェーデンで始まった。その後、オランダ、ドイツ、アメリカのカリフォルニア州などに拡大しており、日本でも具体的な取り組みがスタートしている。この背景にあるのは、地球温暖化対策の強化と電力自由化の流れである。

1999年3月、北海道生活クラブ生協は、北海道電力の協力を得て国内で初めて本制度による「グリーンファンド」をスタートさせている。これは、北海道電力から電力を購入した生協会員は、通常の電気料金に5%を加算して支払い、生協がこの5%分を積み立てて運用し、将来、自前の風力発電所を建てるというものである¹⁴⁾。

また、東京電力は、1999年12月、風力や太陽光など自然エネルギーの利用拡大を求める消費者に電気料金を上乗せして徴収する「グリーン料金」を2000年4月から導入することを明らかにしている。上乗せ幅は毎月5~10%程度とする方向で、集まった資金は自然エネルギーを利用する発電設備などに投資するものである。グリーン料金は、欧米では取り入れる電力会社が急増しているといわれるが、日本では東京電力が初めてである。これは自然エネルギーを求める消費者が増えていることに対応したものである¹⁵⁾。

日本でこの仕組みを定着させるには、電力会社による情報開示や柔軟な料金設定を認める規制緩和が必要であり、企業や消費者に環境保全コストを応分に負担するという意識が根付くことが前提となる。しかし、徐々にこのような意識は育っており、新エネルギーはコスト面で化石燃料や原子力に太刀打ちできないという常識は崩れつつある。従って、風量や太陽光、それに有機性廃棄物を利用した発電事業にとっては大きな機会になるものと考えられる。

3) 炭素税

2000年版環境白書¹¹⁾は、日本の環境政策のあり方について次のように指摘している。すなわち、『従来の環境政策は規制的手法が中心になっており、経済的手法は補助金制度くらいしかなかった。しかし、今後は地球環境問題や化学物質公害などに

対応していくためには、規制的手法と多様な経済的手法、企業との協定といった施策の組み合わせ「ポリシーミックス」が必要になる。確かに従来主流であった規制的手法は、汚染の発生源が特定されている場合には効果があった。しかし、二酸化炭素の排出などのような小規模な発生源が多数存在する問題には効率的に対応できない。』と述べている。そこで、経済的手法の一つとして注目されているのが地球温暖化対策を狙った炭素税である。

1997年に採択された地球温暖化に関する京都議定書で、わが国は2008～2010年までの温室効果ガス（二酸化炭素など）の排出量を1990年当時点と比べ6%削減することを目標としている。環境省は、この目標達成のために数年前から経済的手法による環境負荷の軽減方策の一つとして炭素税の導入に積極的な姿勢を示し、2002年度の税制改正での導入に意欲的である。また、政府の税制調査会も炭素税について検討に着手しており、2002年度の税制改正の答申には盛り込まれる可能性が高い¹⁶⁾。

産業界においても従来は反対の意向であったが、企業の価値を測る尺度に環境会計など環境対応がクローズアップされている昨今の状況もあって、業界によっては徐々に受入に向けた検討に入っているようである。こうした状況から炭素税導入の可能性が強まってきたと考えられ、その結果、バイオマス、風力、太陽光発電などの自然エネルギーは、脱化石エネルギーで環境適応型・需要直結型エネルギーとして政策的に推進されることになると思われる。

炭素税は、二酸化炭素の放出が少ない技術にとっては、事業化の大きな機会であるととらえることができる。

4) 廃棄物関連法（食品リサイクル法等）

平成12年度の通常国会において循環型社会形成推進基本法（以下、基本法と略す）をはじめ、各種の環境関連法が成立し、これで物質循環を促進する法体系がほぼ整った（図3.1参照）。ここで、食品廃棄物のバイオガス発電事業に直接関係のあるのは基本法と食品リサイクル法である。

基本法は、2000年6月2日に公布され、同日から施行されている全条32条からなる法律である。同法は、廃棄物・リサイクル対策に関わる基本的な枠組み法として、循環型社会形成に向けた基本原則を定め、個別の法律の解釈・運用に指針を与えることで個別法の中で行われてきた廃棄物・リサイクル対策を総合的・計画的に推進していこうとするものである。同法の特徴として、次の4つを挙げることができる。

循環型社会の定義づけをしたこと。

廃棄物処理の優先順位を「発生抑制（リデュース）」、「再利用（リユース）」、「再生利用（リサイクル）」及び、「熱回収（サーマル、リサイクル）」の順に想定したこと。

拡大生産者責任（EPR：extended producer responsibility）を想定したこと。

政府に「循環型社会形成推進計画の策定」を課したこと。

食品リサイクル法は、2000年6月に制定され、2001年5月から施行されている法律であり、食品廃棄物リサイクル事業のより所となるものである。

同法は、生ごみ減量、焼却による「ダイオキシンの発生抑制」、リサイクルによる「飼料の輸入抑制」、「食品自給率の向上」などを狙ったものであり、外食産業、ホテル、デパート、スーパー、コンビニ及び食品メーカーなどが排出する多量の生ごみや残飯類のリサイクルのために、大企業を対象として排出された食品ごみの一定量を肥料、飼料、エネルギー資源などにすることを5年の猶予期間を経て2006年度から義務付けている。同法によって各企業では廃棄物の再利用先の確保が必要となり、ここにビジネスの機会が生まれる。

なお、食品リサイクル法が規定する用語や各主体の役割については第4章4.2.1項で述べる。

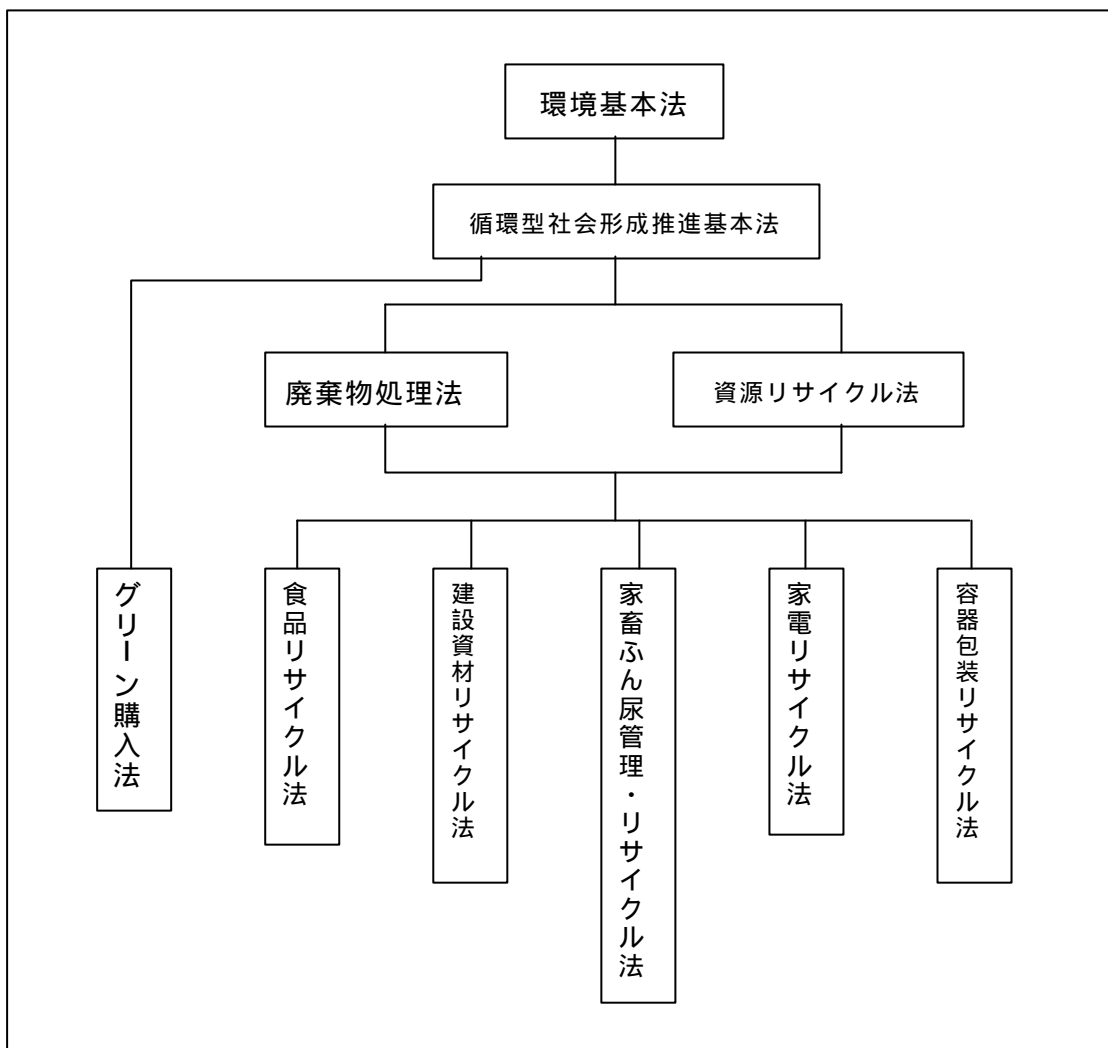


図 3.1 物質循環を促進する法体系

5) 自然エネルギー枠の設定、グリーン証書制度の導入検討

経済産業省は、電力会社に「年間販売電力量の一定割合を風力、太陽光、バイオマスなどの自然エネルギーで発電された電力にすること」を義務づける制度の導入を検討し始めている。

現在、総発電量の0.6%にとどまっている自然エネルギー発電の比率を2010年に2%程度まで引き上げ、発電所立地が停滞する原子力発電の穴を少しでも埋めるのが狙いである。その方法としては、政府が自然エネルギー発電実績の証明書を発行する制度（グリーン証書制度）を導入する案が有力で、義務枠を超えて発電した電力会社は他社に証書を転売して費用を回収できる。自然エネルギーは発電コストの高さが普及の障害になっているが、地理的条件を備えた電力会社に発電を集中してコストの引き下げを目指す。同制度はアメリカのウィスコンシン州などで導入されて

いる。この制度では、廃棄物発電や地熱発電も対象であるが、ダム開発に自然破壊が伴いがちな水力発電は除かれる方向にある¹⁷⁾。

こうした制度の導入により、バイオマス発電の普及においてネックになっている発電コストの高さが解消できると期待される。

6) 自然エネルギー発電促進法¹⁸⁾

2000年4月24日の議員連盟総会で、「自然エネルギー発電促進法」が「自然エネルギー発電の促進に関する法律(仮称)大綱(案)」として採択された。この法案によれば、「自然エネルギー発電を促進するための措置を講ずることにより、枯渇しない資源の有効な利用及び温室効果ガスの排出の抑制による地球温暖化の防止を図り、もって環境への負荷の少ない健全な経済の発展を図りながら持続的に発展することができる社会を構築することに資することを目的とする」とされており、自然エネルギー発電として、「太陽光発電」、「風力発電」、「小水力発電(小規模で、ダムを利用しないもの)」および「バイオマス発電(農業、林業又は製材業において副産物又は廃棄物として生ずるわら、家畜の排泄物、木くず等の全部又は大部分とする有機物を燃料として利用して行なう発電をいう)などが対象になる。また、この法案では、電力会社に自然エネルギー発電による電力の買い取り義務は課さないものの、買い取りに関して買い取り約款を定め、届け出ることになっている。また、電力会社に自然エネルギーの発電供給促進計画を毎年作成することを課して届けさせ、達成度合いについて報告することを求めている。

本法案の成立により、バイオマス発電に対する追い風が一層強まるものと期待される。

7) 肥料取締法の改正

最近、肥料取締法が改正され、汚泥肥料が普通肥料となり、肥料成分保証と有害成分に関する工程規格が定められたので、これをクリアしたものは、安心して使える肥料、堆肥としてリサイクルが進むと期待される。この点からもメタン発酵残渣のコンポストの利用などにも期待が持てる。

8) エコタウン事業¹⁹⁾

エコタウン事業は、地域における資源循環型社会の構築のために、1997年度から経済産業省などによって推進されているものである。これは、各地域のゼロ・エミ

ッションの実現に向けた取組みに対し、事業費用の1/2を補助する支援制度である。現在、いくつかの自治体が認可を受け具体的な事業を行っているが、高知市も長年にわたり準備を進めてきた努力が実り、2001年度に認可された。

エコタウン事業のポイントは、地域の産業・技術を活かすということにある。従って、本研究で対象としている食品廃棄物を使ったバイオガス発電事業も対象になる。

3.2.4 技術

有機性廃棄物の活用技術は第2章において述べたように、すでに実用の段階にある。特に、小規模発電技術の進展が著しい。これまで電力は、大規模集中化電源の開発を中心に技術開発されてきた。しかし、燃料電池やマイクロガスタービンなどの小規模電源が商業化されるに至り、様相が違ってきた。これらは、バイオマスなど、広く分散している自然エネルギーによる発電に適しており、これらはあい携えてともに発展していくことが期待されている。

マイクロガスタービンに関し、その技術開発の状況は第2章2.3項で述べたが、アメリカのCapstone Turbine Corporation社とHoneywell Power Systems社の製品は、2000年10月に当時の通商産業省資源エネルギー庁が開いた火力発電設備の技術適合評価委員会から適合品の評価を受けた。これにより国内の提携会社は、横須賀市でCapstone Turbine Corporation社製28kw機を稼働させ、国内初の商用運転となった²⁰⁾。今後、本格的な普及が期待されている。

3.2.5 資源・エネルギー・環境問題

長期的にみた日本の最終エネルギー消費量は現在も増え続けている(例えば、『エネルギー・経済統計要覧』²¹⁾による)。ところが、表3.2に示すように一次エネルギーの80%以上を海外に依存し²²⁾、その大半は石油に依存するという主要先進国の中で最も脆弱なエネルギー供給構造になっている。今後、日本が安定成長するためには、この脆弱なエネルギー構造を打破することが必要であり、そのためには、特定のエネルギー源に過度に依存しない各種エネルギー源の適切な組み合わせ、すなわちエネルギー源のベストミックスによるエネルギーの安定供給を確保することが不可欠である。特に、原子力が技術的にも立地においても厳しい状況におかれている現状では、バイオマス、太陽光、風力など資源供給面からの制約が少なく、地球環境問題の解決にもつながる自然エネルギーへの期待が大きくなっていくことは間違

いない。中でも有機性廃棄物のリサイクル利用は資源の有効活用の面からも望まれる。

表 3.2 主要先進国におけるエネルギー供給構造の比較（1993 年）²²⁾

国名	エネルギーの輸入依存度 (%)	エネルギーの石油依存度 (%)	石油の輸入依存度 (%)
日本	81.7	55.9	99.7
アメリカ	20.3	37.9	47.5
ドイツ	55.7	40.2	97.2
フランス	49.3	38.3	96.2
イギリス	1.2	38.3	23.9

出典：OECD エネルギーバランス（1992～93 年）

また、坂井は、21 世紀のエネルギーの条件として次の 5 項目に整理し、この条件に合うのはバイオマスを原料とするメタノール燃料であるとしている²³⁾。

- 持続可能な恒久的エネルギー源であること
- 地球環境を乱さないエネルギー源であること
- 生産量は世界人口に対して石油換算 1.5～2.5kl/人・年を供給できること
- 世界経済を破壊しないエネルギーコストであること
- 石油に代替できるエネルギー源であること

このように、広くバイオマスを活用する事業は、資源・エネルギー・環境問題の点からも今後大きな機会を持つと期待できる。

3.3 マクロ環境分析結果のまとめ

以上の分析の結果を表 3.3 にまとめた。定性的ではあるが、有機性廃棄物のエネルギー資源としてのリサイクル事業にとって最近の外部環境の変化は、「脅威」より「機会」になるものと捉えることができる。

また、第 19 章の 19.2 項において述べるように環境問題に対する企業の積極的な取り組みや地方自治体による廃棄物処理軽減の要請なども当該事業にとっては有利に作用するものと考えられる。

表 3.3 マクロ環境分析表

脅威（マイナス）		環 境 要 因	機会（プラス）	
内 容	度 合		度 合	内 容
	5 4 3 2 1	[国際情勢]	5 4 3 2 1	
・ 自然破壊		地球環境問題		・ 欧米を中心にバイオマスの利用を拡大し、炭酸ガスの放出量削減の動き
		エネルギー源		・ 欧米ではエネルギー源としてバイオマスを積極的に活用
		[政治・経済・法律]		
・ 供給不安定		電力の自由化		・ 分散型発電の導入
・ 環境保全コストの負担増		グリーン電力制度の導入（将来）		・ 自然エネルギーの普及
・ 環境保全コストの負担増		炭素税の導入（将来）		・ 自然エネルギーの普及
・ 環境保全コストの負担増		廃棄物関連法の整備		・ 有機性廃棄物のリサイクルの進展
		自然エネルギー発電促進法の制定（将来）		・ 自然エネルギー導入の下地整備 ・ 廃棄物のリサイクルの進展
		肥料取締法の改正		・ 有機性廃棄物のリサイクルの進展
		[社会]		
		国民の環境意識		・ 環境保全意識の高まり ・ 自然エネルギーの普及
		[技術]		
		小型発電		・ 分散型発電の普及 ・ 送電ロスの防止
		廃棄物リサイクル		・ 有機性廃棄物からの効率的なエネルギー回収
		[資源・エネルギー]		
		エネルギー源の構成		・ エネルギー源の多様化

参考文献

- 1) David A. Aaker、Strategic Market Management、John Wiley & Sons、Inc.、New York、U.S.A.、1984 (野中郁次郎、他訳、『戦略市場経営』、ダイヤモンド社、pp.138-166、1997)
- 2) 川島実、谷川昌司、戦略的経営のための経営分析(1)、中小企業大学校広島校テキスト、1997
- 3) ネットワーク ダイナミクス コンサルティング、事業計画書の作り方、日本能率協会マネジメントセンター、pp.62-63、1999
- 4) Climate Change 1995 (contribution of WG , IPCC the 2nd Assessment Report), 1996
- 5) 日本経済新聞、2000年9月9日記事
- 6) The White House, Office of the Press Secretary, Thursday, August,12,1999
- 7) 小木知子、“バイオマスのエネルギー変換技術と今後の展望”、高圧ガス、Vol.38、No.2、pp.26-35、2001
原典：Rensfelt, E., PyNE (Pyrolysis Network for Europe), Issue 2, October 1996, 13
- 8) 7)に同じ
原典：“Finland Naturally High-Tech”, “Energy Efficiency in Finland” 在日フィンランド大使館よりの提供資料
- 9) 7)に同じ
原典：De Freitas, M.A.V., and Moreira, J.R., Proc.3rd, Biomass Conference of the Americans, vol2, 1263, 1997
- 10) 7)に同じ
原典：Macedo, I. de C., “Converting Biomass to Liquid Fuel; Making Ethanol from Sugar Cane in Brazil”, Energy as an Instrument for Socio-Economic Development, ed. By Goldberg, J., and Johansson, T.B., UNDP (1995)
- 11) 環境白書(2000年版)
- 12) 朝日新聞、2000年4月30日記事
- 13) 佐波隆光、早田裕一、“小規模電源、自由化に最適”、日本経済新聞、2000年2月2日記事
- 14) 日本経済新聞、1999年8月30日記事

- 15)朝日新聞、1999年12月18日記事
- 16)日刊工業新聞、2000年9月1日記事
- 17)日本経済新聞、2000年7月11日記事
- 18)「自然エネルギー促進法」推進ネットワーク会員向け資料、2000.5.15
- 19)エコビジネスネットワーク、地球環境ビジネス、pp.156、1999
- 20)ECO VISION、重化学工業通信社、第238号(2000年11月1日発行)
- 21)日本エネルギー経済研究所エネルギー計量分析センター、エネルギー・経済統計要覧、省エネルギーセンター、1999
- 22)足立芳寛、新エネルギー技術入門、オーム社、p.21、1997
- 23)坂井正康、バイオマスが拓く21世紀エネルギー、森北出版、pp.9-10、1998

第4章 ミクロ環境分析

4.1 業界の構造

ミクロ環境の分析に先立ち、業界の構造を特定する必要がある。本論文で対象とする業界とは、食品リサイクル法に定める食品関連事業者（以下、「食品廃棄物供給者」という）が排出する食品廃棄物をエネルギーとして回収する事業を行う者（以下、発電事業者という。）を中心として、その直接的・間接的な競争業者（他の発電事業者および飼料・肥料の製造業者）、顧客（食品廃棄物供給者、エネルギー利用者）、サプライヤー（発電設備等の供給者）の集合をいう。

図 4.1 に業界の基本的な構造を示す。当該発電事業者は、食品廃棄物供給者（食品加工業者、スーパー、ホテル等）から食品廃棄物と処理料金を受取り、所有する発電設備を使って発電を行う。得られたエネルギー（電気及び熱）はそれらの利用者に供給し、使用料金を受取ることで事業を営むとともに廃棄物問題、エネルギー問題といった社会的な諸問題の解決を図る。ここで食品廃棄物の供給者とエネルギー利用者は、まとめて顧客と呼ぶことができる。当該発電事業者の競争業者としては、他発電事業者と代替品の競争業者（飼料・肥料製造業者）がある。他発電事業者としては、食品廃棄物を原料とした同業のバイオガス発電業者と既存の電力会社等がある。電力会社等は、回収したエネルギーの供給において競合するが、本事業における回収エネルギー量が少なく既存の電力会社等と競合することはないと思われるので、ここでは競争業者から外すことにする。さらにサプライヤーとして発電設備、飼料化設備、肥料化設備等、食品廃棄物処理設備の供給者がある。

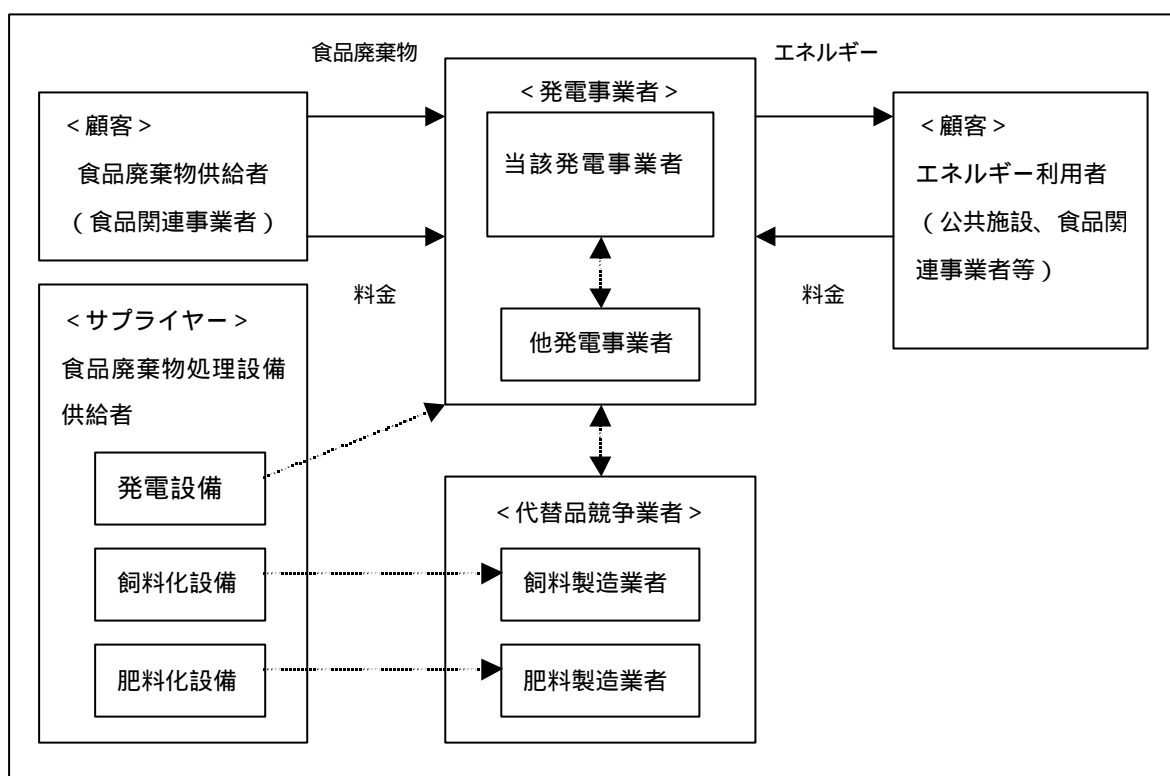


図 4.1 業界の構造

4.2 関連法規と補助金制度

4.2.1 食品リサイクル法

発電事業者が知っておかなければならないのは食品リサイクル法である。その概要は、既に第 3 章 3.2.3 項で述べた。ここでは、同法が規定する用語と各主体の役割について触れておく。

1) 食品リサイクル法で使用される用語

(1) 食品廃棄物 (2 条 2 項)

食品が食用に供された後に、又は食用に供されずに廃棄されたもの
食品の製造、加工又は調理の過程において副次的に得られた物品のうち食用に供することができないもの

(2) 食品循環資源 (2 条 3 項)

食品廃棄物のうち有用なもの

(3) 食品関連業者 (2 条 4 項)

食品の製造、加工、卸売又は小売を業として行う者

飲食店業その他食事の提供を伴う事業として政令で定めるものを行う者

従って、食品関連業者は、図 4.1 の食品廃棄物供給者に相当する。

(4) 再生利用(2条5項)

自ら又は他人に委託して食品循環資源を肥料、飼料その他政令^(注)で定める製品の原材料として利用すること

食品循環資源を肥料、飼料その他前号の政令で定める製品の原材料として利用するために譲渡すること

(注)食品廃棄物からメタンを発酵させ、それを利用する本事業は政令で定められている。

2) 主体の役割

食品リサイクル法では、各主体の役割が明確にされている。表 4.1 にそれらをまとめた。

発電事業者は、同表における登録再生利用事業者に該当する。登録再生利用事業者は、再生利用事業の内容を明確にして主務大臣の登録を受けなければならない(第10条第1項)。また、登録再生利用事業者は再生利用事業を行なう場合は、再生利用事業計画を作成して主務大臣の認定を受けなければならない(第18条第1項)。

表 4.1 食品リサイクル法における各主体の役割¹⁾

区分	役割等
消費者及び事業者	食品廃棄物の発生抑制に努めるとともに、食品循環資源の再生利用等により得られた製品の使用等に努めるものとする。
国	〔基本方針〕政令で再生利用等に関する基本方針を定めるものとする。 再生利用等の促進の基本的方向 再生利用等を実施すべき量に関する目標 再生利用等の促進のための措置に関する事項 等 再生利用等を促進するための資金の確保等、研究開発の推進、啓蒙活動等に努めるものとする。
地方公共団体	区域内の再生利用等の促進に努めるものとする。
食品関連事業者	食品の製造、加工、卸売又は小売を業として行う者 飲食店業その他食事の提供を事業として政令で定めるものを行う者
登録再生利用事業者	肥料、飼料等の製造(特定肥飼料等)を行う者で、その事業場について大臣の登録を受けた者
認定事業者	食品関連事業者又はそれを構成員とする事業協同組合その他の政令で定める法人で、登録再生利用事業者及び農林漁業者等又はそれを構成員とする農業協同組合その他の政令で定める法人と共同して、再生利用事業の実施及び特定飼料等の利用に関する計画(再生利用事業計画)を作成し主務大臣の認定を受けた者

4.2.2 補助金制度

循環型社会を構築するには、従来からのいわゆる動脈産業に加えて静脈産業の積極的な育成を図らねばならない。しかし、静脈産業で扱う多くのものは逆有償であり、それを市場メカニズムにのせるための一つ的手段として補助金制度の活用がある（第16章参照）。現在、国や地方自治体では、廃棄物処理に関して各種の補助金等の制度が整備されている。これまでに示されている制度の中で活用できるものは「エコタウン事業法」関連の補助金である。その場合、事業費の1/2の補助が受けられる。この他にも発電に燃料電池システムを採用する場合には、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の補助も期待できる。

4.3 ミクロ環境分析

ミクロ環境分析は、顧客分析と競争業者分析からなる。

4.3.1 顧客分析

1) 分析方法

本事業における顧客は、食品廃棄物供給者とエネルギーの利用者であるが、本事業で想定している小規模発電設備では得られるエネルギー量は少なく、収集処理料に比べて収益は少ない。従って、本事業における顧客分析の対象としては、食品廃棄物供給者のみを想定してよい。以下では、この食品廃棄物供給者のみに焦点を当てて分析する。分析は次の手順²⁾で既報データをもとに実施した。

(1) セグメントの基準決定

ここでは、次の視点を基準としてセグメントを決定する。

食品リサイクル法の適用を受ける食品関連業者であること

食品廃棄物の発生量の多い業者であること

上の条件を満足する業者であって、特定の地域に限定されない業種であること
(ここでこの項目を加えたのは、特定地域に限定せず広く事業の展開を考えるからである)

(2) 顧客セグメンテーションの実施

(3) セグメントに対する調査

調査は次の観点から行う。

現状における廃棄物の発生量（市場規模）はどれ位か

現状はどんな方法で処理し、どれ位の処理料金をとっているか

市場の発展性はあるか

顧客の関心はどこにあるか

2) 分析結果

(1) セグメンテーションの実施結果

食品リサイクル法の定める食品関連事業者（表 4.1 参照）で上記のセグメントの基準に従うものは、全国で外食産業、ホテル、デパート、スーパー、コンビニ、食品メーカーなどの大手企業 2,000~3,000 社が対象になり、次のように選定した³⁾。

- ・食品メーカー：1999 年 JF 年鑑の賛助会員名簿、その他から 126 社
- ・ホテル：日本ホテル協会のホテル名簿から、100 以上の室数と併設レストラン席の多いもの 132 店
- ・外食産業：1999 年 JF 年鑑の正会員の中で、チェーン店が 100 店以上のもの 120 社
- ・デパート：日本百貨店協会の会員名簿から、売場面積 1 万 m²以上のもの（本社・本店をできるだけ選ぶ）合計 79 店。
- ・スーパー：日本チェーンストア協会名簿、その他からチェーン店舗数の多いもの 27 社。
- ・コンビニエンスストア：「日本のフランチャイズチェーン '98」（商業界）から直営店および FC 店合計 100 店以上のもの 20 店（本店）

本研究では、これらの企業を第 1 章図 1.2 の分類に従って次のようなセグメントに分けた。

製造段階：食品メーカー

流通段階：食料品販売者（デパート、スーパー、コンビニエンスストア等）

消費段階：食品調理業（ホテル、外食産業等）

(2) 市場規模と発展性

市場規模は食品廃棄物の発生量で測ることができる。既に第 1 部第 1 章 1.3.2 項で述べたように、現状の技術でリサイクルの対象になる食品廃棄物は年間 940 万 t 発生しており、将来的にもこの程度の量が維持されると見込まれることから、市場規模としてはこの程度が想定される。

(3) 食品廃棄物の処理法と処理料金

第1章の表1.4でセグメントごとの処理法と処理料金について調査した結果を示した。また、表4.2には全国の主要な自治体における収集処理料金を示す。これらのデータからも、スーパーやデパートなどではリサイクルはほとんど行われておらず、もっぱら焼却処理に依存していることがうかがえる。一方、収集処理料金は1トン当たり2,000円から50,000円まで大きくばらついている。筆者が、高知市内のスーパーに聴き取り調査したところでは1トン当たり20,000円位なら受入れられるということであった^(注)。

(注)現状は、食品関連事業者は高知市条例に従い、トン当たり2,500円支払っている(第7章参照)。

表4.2 主要都市の事業系一般廃棄物処理手数料⁴⁾

	収集・処理料金	処理施設受入料金
札幌市	・許可業者：生ごみ 60 円/20L その他 70 円/20L (上限 80 円/20L)	・焼却 9 円/kg ・飼料化 8 円/kg
仙台市	・許可業者収集：平均 1500 円/45L	・7 円/kg
千葉市	・許可業者収集：(上限 24 円/kg)	・14 円/kg
東京都 23 区	・市収集：25.8 円/kg(50kg/日以下の者) ・許可業者収集：(上限 28.5 円/kg)	・12.5 円/kg
川崎市	・市収集：14 円/kg	・7 円/kg
横浜市	・市収集：26 円/kg ・許可業者収集：(上限 26 円/kg)	・9.5 円/kg)
名古屋市	・市収集：30 円/kg(10kg/日以上) ・市収集：25 円/kg(小規模 10kg/日以上) ・許可業者収集：(上限 30 円/kg)	・10 円/kg
京都市	・許可業者収集：(上限 700 円/100L)	・7 円/kg
大阪市	・市収集：24 円/kg・毎日 ・許可業者：(上限 24 円/kg)	・2.9 円/kg(許可業者) ・5.8 円/kg(一般)
神戸市	・許可業者収集：(上限 17 円/kg)	・7 円/kg
広島市		・8.4 円/kg
北九州市	・許可業者収集：(上限 15 円/kg)	・4.5 円/kg
福岡市	・許可業者収集：(上限 157 円/50L) ・許可業者収集：(上限 4250 円/2t 車の 1/4)	・7 円/kg
(参考) 関東圏	・許可業者：10～40 円/kg(施設受入料金から推計)	・0～30 円/kg

(4) 顧客の関心

食品関連事業者が、発電設備の導入に際し関心をもつ事項は次のように整理できる³⁾。

食品リサイクル法で、どの程度の量のリサイクルが義務づけられるか

処理負担が現状に比べてどれくらい増えるか

処理方法として発電、コンポスト化、その他の中でいずれにメリットがあるか
企業イメージとしていずれがよいか(環境経済的に)

これらの中で、高知市のスーパーから聞き取り調査した結果によれば、
、
に
関心が高かった。このことはおそらくすべてのセグメントに共通することであろう。

(5) 顧客分析のまとめ

以上の顧客分析の結果、当該事業の主な顧客として食料品販売業、特に、スーパー、デパートが考えられる。顧客の負担となる処理料金は 20,000 円/ t 前後が妥当なものと思われる。第 13 章の経済性評価では、この料金を標準料金として検討する。

4.3.2 競争業者分析

1) 競争業者の特定

本事業における競争業者は、次の二つのグループに分けられる。

インプット(発電燃料:食品廃棄物)に関する競争業者(図 4.1 の他発電事業者と代替品競争業者)

アウトプット(電力)に関する競争業者(図 4.1 の他発電事業者)

本事業は、既に第 2 章で述べたように、技術的に優れている鹿島プロセスを採用しているので同業のバイオガス発電事業者との差別化が図れていると考えられる。競争業者として考えなければならないのは、食品リサイクル法で指定されている「飼料化」、「コンポスト化」及び「生分解性プラスチック等新素材の生成」の三つの事業者である。この中で、「生分解性プラスチック等新素材の生成」は、まだ技術が事業化レベルに達していないので現時点では問題になることはないと思われる。結局、本事業の競争業者として分析対象に取りあげなければならないのは、飼料化業者とコンポスト化業者ということになる。

次に、顧客セグメントごとに調査した結果からこれらの競争業者について考えてみる。表 4.3 は顧客(食品廃棄物供給者)が廃棄物処理機の種類についてどのよう

な要望を持っているか調査した結果をまとめたものである³⁾。

表 4.3 今後導入したい生ごみ処理機（業務用：処理能力 10～500kg/日）³⁾

顧客セグメント		処理機の種類								
		発酵分解式	消滅式	乾燥式	炭化式	メタン発酵式	飼料式	その他	未記入	合計
食品メーカー		6	5	2	4	0	7	0	5	29
食品調理業	ホテル	1	2	4	1	0	1	1	8	18
	外食産業	2	2	2	1	0	1	1	4	13
食料品販売業	デパート	3	0	0	0	0	2	2	4	11
	スーパー	1	0	0	0	0	0	1	4	6
	コンビニ	2	1	0	0	0	2	0	2	7
合計		15	10	8	6	0	13	5	27	84

表 4.3 で発酵分解式とは、生ごみを加熱・攪拌させて分解発酵を加速させ、コンポストを生成する方式である。これは最も広く利用されている技術であり、基材などの使用は不要である。長所は生ごみ、畜産廃棄物への適用が可能で、ランニングコストが少ないということである。短所は1次発酵時に悪臭が発生すること、2次発酵に1～2ヶ月の長期間が必要であることなどである。

消滅式とは、生ごみを人工基材と共に加熱・発酵・分解させて、最終的に二酸化炭素と水に分解する方式である。長所は最終的に処理すべき残渣量が少ないこと、その残渣はコンポストにできることである。短所は発酵時の悪臭がひどいこと、人工基材、発酵菌を使いコスト高になること、多量の処理では課題があることである。

乾燥式とは、生ごみを温風あるいは攪拌によって水分を蒸発させ、乾燥ごみにする方式である。長所は処理残渣量が少ないこと、残渣の焼却処理が可能なことである。短所は乾燥時の悪臭がひどいこと、乾燥用のエネルギー消費が大きくなることなどである。

メタン発酵式とは、本研究で取り上げている方式であり、生ごみを加熱してメタン発酵させ、生成メタンは発電の原料に、発酵残渣はコンポスト化するものである。生ごみ、汚泥、畜産廃棄物などへ適用できる。短所は、設備投資額が他の方式に比べて大きくなることである。この調査で、顧客に導入の希望がないのは、調査対象とした顧客では処理量が少なく、設備費が一層割高に感じられたということ、

得られたメタンガスの有効な利用法が見出せなかったこと、によるものと考えられる。

炭化式とは、生ごみの乾燥化を進め、低温炭化によって炭化物にする方式である。長所は生ごみの減容率が 1/30~1/100 と大きいことである。短所は炭化のためのエネルギーが必用になること、悪臭処理が必要であること、生成炭化物の処理が必要であることなどである。

飼料式とは、廃棄物を飼料として再利用するものであるが、処理時の悪臭、製品の需要などに問題がある。アンケートの結果に、飼料式が多いのはコンポストの処理困難の風潮が流れているため、この方が製品の処分が容易であるためであろう。

表 4.3 の結果からしても、競争業者として取り上げなければならないのは飼料化とコンポスト化であると考えられる。

そこで、以下では飼料製造業者と肥料製造業者に的を絞ってそれぞれの特徴を分析する。

2) 飼料製造業の分析

日本の飼料の生産量³⁾

日本の飼料の生産量は、2,480 万 t(平成 9 年度)である。主な用途は鶏用 43.1%、乳牛用・肉牛用 27.9%、養豚用 25.3%であり、全飼料中の 96.3%は配合飼料である(残りは、混合飼料)。

飼料の原料構成³⁾

飼料の原料面では、平成 9 年度の場合、「とうもろこし」が多く 45.4%を占め、次いで「大豆油かす」13.7%、「こうりゃん」11.4%の順で、穀物系原料が全原料の 62.1%を占めている。

飼料原料の輸入状況³⁾

穀物原料のほとんどが輸入品である。平成 9 年度の場合、輸入比率は穀類：100%、糟糠類：43%、植物油かす類：90%であり、総計でも約 83%が輸入品で占められている。一方、動物性飼料も 84 万 t が使用されているが、その 90%は輸入品で、国内生産量は約 8 万 t 程度である。

以上述べたように飼料の原料はほとんど輸入されている。このような状況からいえることは、大量に発生する食品廃棄物のリサイクル飼料が飼料市場に参入することは極めて難しいということである。

食品廃棄物の中には、魚腸骨のように飼料として利用されているものもある⁵⁾が、このような例は特定の廃棄物に限られ、雑多なものを含むスーパー等から出る廃棄物には難しい。

また、野菜くず、果実くず、残飯などを直接畜産用飼料にするルートは一部のデパート、ホテルなどで見られるものの、含水率が高く腐敗しやすい多量の食品廃棄物を飼料化する技術は未開発である⁴⁾といわれる。

以上の調査結果から総合的に考えて、飼料製造業がバイオガス発電事業の脅威になることはないと考えられる。

3) 肥料製造業の分析

古来生ごみは貴重な有機物として土に還元されてきたが、1950年代以降、化学肥料の普及や焼却設備の整備により焼却・埋立処理が主流になってきた。しかし、近年になって一般廃棄物の処理費用の増加による自治体の財政圧迫やダイオキシン問題をはじめとする焼却処理への逆風などを背景に、食品廃棄物の肥料化が自治体、企業、一般家庭で活発化している。

それに合わせて肥料化装置の需要も増加し、さまざまなタイプの装置が開発されている。

しかし、生ごみのコンポスト化は容易ではない。日本の食料自給率は42%で、堆肥を使用する農地や農業人口は激減しており、肥料の需要に問題のあることが指摘されている⁵⁾。

また、肥料化には次の問題点も指摘されている⁶⁾。廃棄物中に含まれる塩分が肥料に再生される過程で濃縮され、肥料として多量に使用されると土壌を汚染する「塩害」となる。塩類が土壌に蓄積すると農作物の生育を阻害し、さらに蓄積が進むと砂漠化の危険があると指摘されている。従って、肥料化を行うには、このような点を考慮することが必要である。なお、メタン発酵残渣は有効な肥料成分を含んでいるため肥料に適し、残渣からは塩分が除去されているので塩害の懸念はない。

また、処理能力が500kg/日以下の小規模装置を使った肥料の製造はいろいろ行われているが、少なくとも数トン/日規模で処理する場合には次のような問題点をクリアしなければならない。

収集コスト、施設コストを考慮して事業としての採算がとれるか
臭気対策が十分にとれるか

しかし、一般的にはこのような問題への対応は極めて難しいと考えられる。

以上述べたような状況から、肥料製造業が本事業の脅威になることはない判断される。

参考文献

- 1) 食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律、2001年5月施行
- 2) David A. Aaker, Strategic Market Management, John Wiley & Sons, Inc., New York, U.S.A. (1984) (野中郁次郎、他訳、『戦略市場経営』、ダイヤモンド社、pp.73-80、1997)
- 3) シーエムシー、食品廃棄物処理の実態と生ごみ処理器の展望、2000
- 4) 廃棄物新聞、2000年7月10日記事
- 5) 生物系廃棄物リサイクル研究会、生物系廃棄物のリサイクルの現状と課題、1999
- 6) 日刊工業新聞、2000年2月24日記事

第5章 事業化推進戦略

5.1 業界における事業成功の要因

業界における『業成功の要因（KFS：Key Factors For Success）』、すなわち、食品廃棄物のリサイクル事業を行う上で、この機能を押さえておけば業界で優位に立てるとか、この技術さえ開発できれば高収益が得られるといった、事業の成否を握るポイントを整理する。

1) 既存の食品廃棄物処理設備に対する顧客の不満

顧客が、既存の食品廃棄物処理設備（肥料化装置）に対してどのような点に不満を感じているのか、既報のデータ¹⁾を第4章でのべたセグメンテーションに従って整理する。これは、顧客のもつ不満点が、その業界におけるKFSを示唆していると考えられるからである。

(1) 小規模装置（処理能力10～500kg/日）

表5.1は、顧客が現在導入している生ごみ処理機（肥料化装置）のどのような点を問題であると感じているのか、まとめたものである。

表5.1 現在の生ごみ処理機の問題点^(注)

顧客区分		価格	ランニングコスト	設置スペース	発生臭気	機器の使い方	生成品の処分	故障時のメーカーの対応	生ごみの前処理	その他	未記入	合計
食品メーカー		9	6	3	8	2	9	0	2	0	4	43
食品調理業	ホテル	11	10	7	6	2	6	1	5	0	3	51
	外食産業	7	4	6	5	2	4	4	2	1	4	39
食品販売業	デパート	4	2	2	4	0	7	2	2	0	3	26
	スーパー	2	3	3	3	0	0	2	1	1	2	17
	コンビニ	3	1	0	0	0	3	0	0	0	1	8
合計		36	26	21	26	6	29	9	12	2	17	184

(注) 本表は参考文献1)をもとに筆者が作成したものである。

表 5.1 に示されるように、現状の装置における問題点は、「価格」、「生成品の処分」、「ランニングコスト」、「発生臭気」、「設置スペース」の上位の五つ（全体の 75% を占める）に集約される。この結果から、これらの五つが装置の導入において顧客が重要と考える因子であるといえる。なお、この中で、「生成品の処分」が多いということは、肥料の処分に困っているということを示している¹⁾。肥料の場合、生ごみの状態でどれだけ分別が徹底しているかにその品質がかかっているといわれており、これらの結果からも肥料化はリスクの大きい選択であるといえ、第 4 章で述べたような肥料製造業者に対する評価は妥当なものである。

(2) 大規模施設（処理能力 10～100 トン/日）

大規模な肥料化施設の多くは、地方自治体あるいは肥料製造業者を対象としている。処理廃棄物としては、一般家庭の厨芥ごみ、下水汚泥、し尿汚泥、畜産廃棄物まで広範なものを対象としているが、製造された肥料の品質に問題があるといわれ良好に稼働しているものは少ないようである。

大規模肥料化施設では、広い敷地が必要であり、攪拌等に要する電力も多量になるといわれる。10～20 トン/日程度の生ごみ類の処理でも、3,000～4,000 m²程度の敷地が必要で、建設費も 5～10 億円と推定されている。

1～100 トン/日程度の大規模肥料化設備になると、小型の肥料化装置とは異なり次のような問題があることも指摘されている。

設置場所の確保が問題である。生ごみ収集車の頻繁な出入り、悪臭発生が問題視されて、住民の反対運動につながりやすい。

行政と住民の協力が必要である。

製造した肥料の販売あるいは処理のルートが確保されていることが必要である。

2) 事業の収益に影響を及ぼす因子

食品廃棄物のバイオガス発電事業は、「食品廃棄物の収集」「製造（発電）」「製品（電気）の販売」といった一連のプロセスからなる。このプロセスのどの段階で価値が付加されるか明らかにすることは、成功の鍵（KFS）を把握する上で重要である。表 5.2 では、このプロセスの流れに従って、1) 項で述べた顧客が問題視する事項を含む事業化に重要と考えられる項目を取り上げ、エネルギー化、飼料化及び肥料化の特徴を比較した。同表よりエネルギー化は、設備費は大きいですが、用地、運転費は少なく、環境負荷も小さい。また、回収物の販売においても問題はない。飼料化、肥料化

はこの逆になる。事業化にあたっては、それぞれの長所を生かし、欠点をいかに補うかということが重要となる。

表 5.2 食品廃棄物のリサイクル方法の比較

プロセスの流れ	条件項目	顧客の要求内容		
		エネルギー化	飼料化	肥料化
廃棄物の収集	収集量	多く、安定的に	多く、安定的に	多く、安定的に
	品質	食品廃棄物であればよい。異物不可。	用途に応じて特定のものに限定される。	食品廃棄物であればよい。異物不可。
	価格	極力高価格で収集	極力高価格で収集	極力高価格で収集
製造	設備費	最も大きい	中間	最も小さい
	用地	最も少なくてもよい	中間	広大な土地が必要
	運転費	最も少ない (エネルギーは自給)	最も大きい	中間
	保守費	中間(発電設備による)	大きい	小さい
	環境負荷	小さい	非常に大きい	非常に大きい
製品の販売	販売量	処理量に依存	処理量に依存	処理量に依存
	品質	問題なし(ただし、処理量が安定していること)	厳しい要求が課せられる	厳しい要求が課せられる
	価格	現行法のもとでは低く抑えられる	用途によっては高価格で販売できる	安い
	需要	限定されない	限定される	限定される

3) 事業成功の要因

1) 項の分析結果から、業界の KFS は重要度の高いものから順に次のように推定される。

初期投資額(設備費、用地代)

製品品質

製品需要

環境負荷(悪臭対策の要否)

ランニングコスト
保守費

5.2 バイオガス発電事業の自己分析結果

表 5.2 の比較をもとに、バイオガス発電事業が肥料製造業や飼料製造業に対し、KFS に関してどのような利点を有するのか定性的に分析した。図 5.1 にその結果を示す。

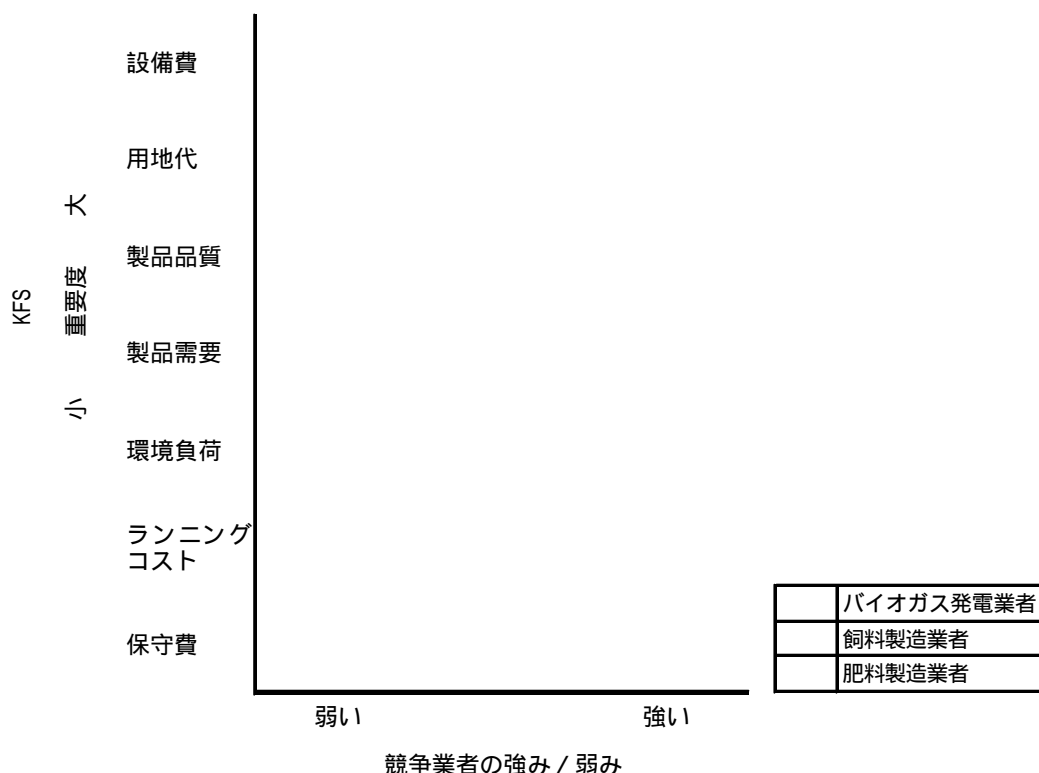


図 5.1 KFS に関する競争業者間の比較

この結果から明らかなようにバイオガス化発電事業は、飼料製造業者や肥料製造業者に比べて設備費が高く初期投資の負担が大きいですが、事業に要する用地代が少ないこと、製品である電力には品質や需要面でほとんど問題がないこと、環境負荷が小さいことなど他の点では圧倒的に有利である。ランニングコストについても、バイオガス化発電事業では自設備で必要とする電気は自設備で賄うことができることを考慮すれば利点が多い。

5.3 事業化推進戦略

事業化戦略の策定に当たっては、本事業が競争する事業領域で持続的な競争優位を

開発すること、あるいは競争業者の持続的な競争優位を避けたり打ち消すことが基本となる²⁾。こうした考え方のもとに、図 5.1 の結果を咀嚼し、事業を展開するための基本戦略は次のようにまとめられる。

バイオガス発電事業は、飼料化事業、コンポスト化事業に対しては、用地代、製品品質、製品需要、環境負荷及びランニングコストの点で優位性をもつ。すなわち、設備の設置面積が少なくてすみ、製品である電気の使い勝手がよく、品質や需要の面で問題がなく、悪臭の問題が最も少ないことは大きな利点である。一方、設備費、保守費の点では逆に優位性がない。従って、バイオガス発電事業は優位性のある用地、製品品質、製品需要、環境負荷及びランニングコストの面では一層の差別化を進め、設備費、保守費においてはコスト低減戦略をとることが基本となる。

特に、最重要因子である設備費が高いという弱みを克服するには徹底的なコスト低減化戦略をとることが不可欠である。そのためには、次の ~ を徹底させることと、国や自治体の補助金制度の積極的な活用が必要となる。

立地

当該事業の公共性という点から考えても自治体等の所有する土地を活用することである。

保守

バイオガス化発電の事業会社が、専任の保守スタッフをおくとか、あるいは保守業務を外部に委託すればコストアップの要因になる。そこで、地域で機械製造などを営む企業が自社の業務拡大の一環として本事業に進出し、自社の抱える要員で保守を含め運転業務全般を行うとすれば、本事業にかかる人件費の削減が可能となる。

設備

極力既存の施設を利用することなどにより初期投資額を抑えることである。

以上の基本戦略は、第 2 部以降で具体化される。

参考文献

1) シーエムシー、食品廃棄物処理の実態と生ごみ処理機器の展望、pp.63-105、2000

2) David A. Aaker, Strategic market management(野中郁次郎、他訳、戦略市場経営、ダイヤモンド社、p.310、1997)

第 2 部 事業化推進策の展開

第 2 部では、第 1 部で述べた事業化推進戦略を具体的に展開するための方策について検討する。初めに方針を述べ（第 6 章）、環境ビジネスの地域の産業振興に対し期待される効果（第 7 章）を示す。次に事業化想定地域でのマーケティング調査の考え方（第 8 章）、事業主体となる企業の紹介（第 9 章）を行い、最後に事業のスキームについて検討する（第 10 章）。

第 6 章 事業化推進方針

食品廃棄物を利用したバイオガス発電事業を起業するに先立ち、まず、明らかにすべきは、どこで（事業地域）、誰が（事業主体）、どのような方法で事業を行うのか、また、その事業にはどのようなリスクがあり、それいかに対処するのか、といった点を明確にしなければならない。本章では、まず、こうした事項に対する基本的な考え方を述べ、次章以下で個別に検討する。

1) 事業地域

廃棄物のリサイクルは、地域社会での取り組みが基本である。その方が全国規模よりもはるかに実効性があり、地域特性が活かされるからである¹⁾。地域から排出された廃棄物は地域で回収し、リサイクルし、地域へ戻していく地域対応が基本であり、それが一番効果的で的確な取り組みができる。

従って、事業地域としては廃棄物が比較的集めやすく、リサイクル製品の有効な活用が期待できる地方都市が適するものと考えられる。本研究では、地方都市の代表として高知市を想定する。

2) 事業主体

地域で取り組むためには地域の企業が主体にならなければならない。しかも、食品廃棄物は少量分散して排出されるので、その対応は小規模になり、中小企業が適する。事業主体になるべき中小企業の適格条件として次のような事項があげられる。

企業としての環境活動への取り組み姿勢が「機会追求型」であること（注：この点については第9章で詳しく述べる）

機械・電気設備の設計・製造・運転・保守などに経験を有すること。

筆者の所属する企業は、これらの条件を満たす。そこで、本事業は、筆者の所属する企業が事業主体（スポンサー）となり、新たに事業会社を設立して実施するものとする。

3) 事業の進め方

第1部第5章で示した事業化戦略に従い進める。具体的には次のような方針で実施する。

敷地は地方自治体の所有する土地を借用する。

廃液処理設備には、既存の設備（例：し尿処理場）を有効に使う。

事業会社の社員は事業主体の社員が兼務し、事業会社が雇用するのは作業者のみとする。特に、これを実行するためには、前記の事業主体の適格条件が重要性をもつ。

国の補助金を活用する（例：エコタウン事業）。

4) 予想されるリスクと対処法

環境ビジネスほど不確実性の高い事業環境下で戦略構築を迫られるビジネスはないといわれる。食品廃棄物のリサイクル事業環境の変動要因として、既に第1部の第1章～第4章で述べたような廃棄物の発生量、競合技術、マクロ環境（社会の価値観、法規制など）、ミクロ環境（顧客の動向、競合事業の動向など）があげられるが、その他に、リスクとして考慮すべきものにステークホルダー（地方自治体、既存の廃棄物回収・処理業者、リサイクル品の利用者など）への対応がある。中でも問題になるのは次の2者である。

既存の収集処理業者

施設設置地域周辺の住民

これらの2者への対応は、事業主体や事業会社のみでは対応できない。公共性が強く、現状では地方公共団体が対応しているものであり、本事業においても地方公共団体主導で進める必要がある。また、この種の対応は時間のかかることが多いので、この点も事業化に当たり考慮に入れておかなければならない。

参考文献

- 1) エコビジネスネットワーク編、地球環境ビジネス、産学社、p.176、1999

第7章 地域の産業振興

1) 地域の産業振興の方向

一般に、地域の産業振興には、大きく二つの方向があるといわれる¹⁾。一つは企業誘致型といわれるものである。これは地域外からの資本や原料の投入を待って、地域内の労働力の利・活用によってその地域の活性化を狙うものである。他の一つは地域産業型といわれるものであり、地域内の資源（労働力、資本、生産物）の利・活用によって地域の振興をはかる原動力にしようとするものである。

最近の産業構造の転換と日本経済の国際化は、企業城下町の著しい落ち込みにみられるように企業誘致型を破綻させ、逆に地域産業型を基調とした内発型発展に転換することを求めている。今後、地域の産業振興は、ますますこの傾向を強めるものと思われる。

高知県においても、企業誘致のみに依存した地域経済の発展は困難となっている。また、わが国の慢性的な財政の悪化により、公共投資の増大に多くの期待をもてない現状では、国からの外部資源のみに地域経済の基礎を置けなくなっている。こうして高知県では、県内の経済発展のためには地域に現存する経済資源を結集して新たな産業を創出し、内発的・自立的な発展に切り替えていかなければならない状況にある。

2) 高知県内の機械産業の現状

事業主体の所属する一般機械産業の現状について次の点が指摘されている²⁾。

一般機械産業の全産業に占める生産額構成比を全国と高知県で比較した結果によると、高知県の一般機械産業の地域経済に占める割合は平均全国よりも小さい。しかし、製造業の脆弱な高知県にあっては、一般機械産業は重要な役割を課せられた分野である。

一般機械産業は、需要構造の面からは、企業間の生産活動において原材料として取引される中間財を供給する部門ではなく、設備投資などのような最終需要（最終財）として取引される最終需要産業と位置づけられる。建設業などはこの傾向が顕著な産業部門である。最終需要的産業の地域連関的な特徴は、当該部門が他の産業部門から需要発注をほとんど受けないため、当該部門の最終需要の増加は高次の中間需要派生を生み出さない点にある。つまり、このような部門に連なる形で産業構造が形成されている場合は、当該部門に継続した最終

需要の増加が発生しなければ、地域経済は停滞する可能性が大きい。

以上の指摘から考えても、高知県内産業が現在の停滞から脱して内発的・自発的な発展をするには、地域経済において重要な役割をもつ一般機械産業が従来のような最終需要産業の範疇にとどまるのではなく、中間需要派生を生み出す産業に脱皮していかなければならない。

3) 一般機械産業の振興とバイオガス発電事業

一般機械産業が発展していくためには、それを構成する個々の企業がそれぞれに蓄積してきた技術をベースに中間需要派生を生み出す企業へ変貌するしかない。幸いにも筆者の所属する企業は、小規模ながらも機械分野において開発・設計、製造、運転・保守など多岐にわたる技術を蓄積してきており、これを活用してバイオガス発電のような事業への進出が可能である。

一方、県内の中核都市である高知市では、国の循環型社会構築に向けた諸施策を受けて、「高知市総合計画 1990」の第四次実施計画において環境に配慮したまちづくりを最重点課題として位置づけ、特に廃棄物分野においては、減量化・リサイクルの推進と共に産業廃棄物のダイオキシン対策とゼロエミッション化に取り組んでおり、循環型社会経済システムの構築に向けての施策の強化を図っている。また廃棄物を中心とした物質循環の従来の担い手であった公共主体に代わって、近年の潮流としては民間事業体にこのようなビジネスへの参加を求めている。

このような高知県内の状況の中で、筆者の所属する企業が、高知市が収集して焼却処理している食品廃棄物を高知市に代わって有効利用するバイオガス発電事業に進出することは、地域の産業振興の期待に応え得るものである。

4) バイオガス発電事業による地方財政負担の軽減

高知市においては、バイオガス発電事業を起業することは、産業振興の面だけでなく逼迫する廃棄物処理財政との関係においても重要な意味をもつ。廃棄物処理に重点をおいた現行の法体系のもとでは、全国のどの都市においても廃棄物処理は財政の大きな負担になっている。高知市の場合、清掃費は年々増え続け、一般会計に占めるその割合は平成 11 年度には 9.6% に達しており³⁾、確実に財政負担が増大している。収集処理コストについてみると、生ゴミの場合は 24,500 円/t と算出されている³⁾(注: これに焼却炉の建設コスト 17,800 円/t (高知市の資料をもとに筆者が推定) と埋立

コストを加算すると 42,530 円/ t となる：第 15 章の表 15.1 参照）。これに対し、高知市は排出業者からは 1 トン当たり 2,500 円しか徴収していない⁴⁾。差額は高知市が補填しているのが実態であり、財政負担が大きくなっているのも当然といえよう。

5) 食品廃棄物を利用したバイオガス発電事業と地域の産業振興

上述のように、高知県では地域内資源を活用した産業の振興と廃棄物処理に伴う財政負担の軽減が大きな課題である。食品廃棄物は、地域内の有用な資源と考えられ、これを活かした産業であるバイオガス発電事業は、こうした自治体の要望にそった地域の産業振興に貢献し得る。

地域での環境ビジネスの創出は、地域の産業活動全体を活性化し、循環配慮型への地域産業構造の変革につながっていくと考えられる。

参考文献

- 1) 竹中久二雄、岡部守、白石正彦、地域産業の振興と経済、pp.167-169、1995
- 2) 四銀経営研究所、地域企業の発展分析、p.18、1996
- 3) 高知市環境部、清掃事業概要（平成 12 年度）、pp.16-17、2001
- 4) 高知市廃棄物の原料及び適正処理等に関する条例 第 11 条別表 3

第 8 章 マーケティング調査

8.1 マーケティング調査の基本的な考え方

本論文の随所でマーケティング調査の結果を引用した。ここでは、本研究におけるマーケティング調査の基本的な考え方を述べる。

1) 調査の対象

食品廃棄物を含む有機性廃棄物を利用したバイオガス発電のマーケットとしては、これらの廃棄物の発生事業者とリサイクル製品であるエネルギーの利用業者の二つである。既に述べたようにエネルギーの利用者については、得られる電気については全く需要面での懸念がないことからあらためてマーケティング調査を行う必要性は低い。これに対し、廃棄物の発生側はバイオガス発電事業を成否の鍵を握っており調査が欠かせない。そこで、本研究では廃棄物の発生業者を対象としたマーケティング調査を実施した。

2) 調査の方法

調査は、主に次の方法によった。

既報データの調査

調査資料：国・地方自治体の各種公表資料、民間による調査資料、新聞等

筆者による直接調査

調査方法：筆者が地方自治体（高知市）の協力のもとに実施したアンケート調査及び筆者が単独で実施した聞き取り調査

3) 調査の要領と結果

調査は次の要領で実施した。

(1) 食品廃棄物供給者のセグメンテーション：考え方と結果は第 4 章 4.3.1 項に示した。

(2) 調査地域の選定

全国的な調査

セグメントごとの調査

事業化地域における調査

(3) 調査項目

バイオガス発電事業において、事業の経済性に最も影響するのは、食品廃棄物の

発生量と収集処理料である。従って、この二つの項目を調査に選んだ。

発生量：結果は第1章1.3.2項に示した。

収集処理料：結果は第1章の表1.4及び第4章の4.3.1項に示した。

8.2 魚市場に対する調査結果

第1章の表1.6に、水産廃棄物（魚腸骨）について筆者が調査した結果を示した。この調査時点では、この水産廃棄物についてはエネルギー資源としての利用の可能性は小さいと判断したが、その後の状況の変化により、エネルギー資源としての利用が有望になってきたので、ここに追調査した結果を含めて詳細を示す。なお、第9章の9.3項で取り上げるプロジェクト2は、この魚腸骨を対象としたものである。

現在、魚腸骨は高知県内の既存の魚さい加工公社で飼料化されているが、同公社は地元との協定で平成15年度に操業停止することになっている。それに代わる飼料施設は悪臭に対する住民の反対で断念せざるを得ない状況になっており¹⁾、こうした問題のないバイオガス発電が有望な方法として考慮の対象になっている。

表8.1は高知県中央部での魚腸骨の発生量を示す²⁾。これによると平成12年4月～平成13年3月の1年間の実績では7,715tであり、1日当たり20t以上が安定的に発生する。さらにこの発生元を辿れば、その60%は高知市内の弘化台魚市場から発生する。従って、同魚市場からの魚腸骨発生量は、約12t/日と推定され、これが本事業の対象になる。

表8.1 高知県中央部における魚腸骨発生量^(注) (単位：t)

年	2000									2001			合計
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
発生量	607	715	659	668	689	656	738	681	727	468	505	603	7,715

(注) 本表は参考文献2)をもとに筆者が作成した。

参考文献

1) 高知新聞、2001年9月15日記事

2) 高知市資料

第9章 事業主体

9.1 事業主体の条件

第6章で事業主体の適格条件を示し、筆者の所属する企業がその条件を満たすことを述べた。その際、条件の一つに「機会追求型」であることを挙げた。ここでは、まずこのことについて考える。

平成11年版環境白書は、企業の環境活動への取り組み姿勢を次の四つにパターン化している¹⁾。

規制対応型：各種の法規制に対応するために、受動的な形で環境保全に関する取り組みを行うもの。

予防的対応型：環境対策を事業活動のリスク対応として認識し、社内の環境管理体制の整備を行い、予防的な取り組みを行うもの。

機会追求型：環境保全を経営戦略又はビジネスチャンスと捉え、環境ビジネスを展開したり、より環境負荷の少ない製品の展開を図っていくもの。

持続発展型：環境保全は企業の社会的責任であり、持続可能な企業経営のために不可欠なことでありと捉え、事業活動全体における環境負荷の削減を図っていくもの。

さらに、同白書は、以上のパターンの中で、¹⁾については、公害対策や自然保護のなどの見地からこれまでも多くの企業によって行われてきたが、今後は、²⁾が相互に結びつき企業経営の不可欠な柱になると述べ、とりわけ³⁾は環境負荷を低減するための設備投資、廃棄物の再資源化、未利用エネルギーの活用など、新たな環境ビジネス市場の新規開拓に連なり、地域の中小企業にとっては重要であるといっている。

こうした点からも明らかなように、事業主体となるには環境保全を経営戦略に据えるか、またはそれをビジネスチャンスと捉える社風であることが欠かせない。以下、事業主体の適格性について具体的に検討する。

9.2 事業主体の経営資源

本事業は、従来の食品廃棄物処理の担い手であった地方自治体に代わって、民間企業がリサイクル事業化して、従来の処理が抱えていた社会的な諸問題の解決を図るものである。そこで、民間企業の中で事業主体となる筆者の所属企業（以下、K社という）の事業領域、経営戦略、経営資源について述べ、事業主体としての適格性の証とする。

1) 事業領域

図9.1にK社の事業領域を示す。同社は、一般産業機械の開発・設計、加工、組立、据付・サービスを一貫として手がけ、小規模ながらも全国的な市場を視野に入れた事業の展開を図っている。最近は、事業環境の変化に対応して、長年にわたり蓄積してきた技術をもとに環境分野への進出を図ると共に中国を中心とした海外との取引の強化など、従来の事業領域にとらわれない積極的な事業展開を行っている。また、大企業に比べて劣る経営資源を補うため国内企業との業務提携を積極的に進め、大学等の研究機関とは共同研究を行うなどして連携を深めている。

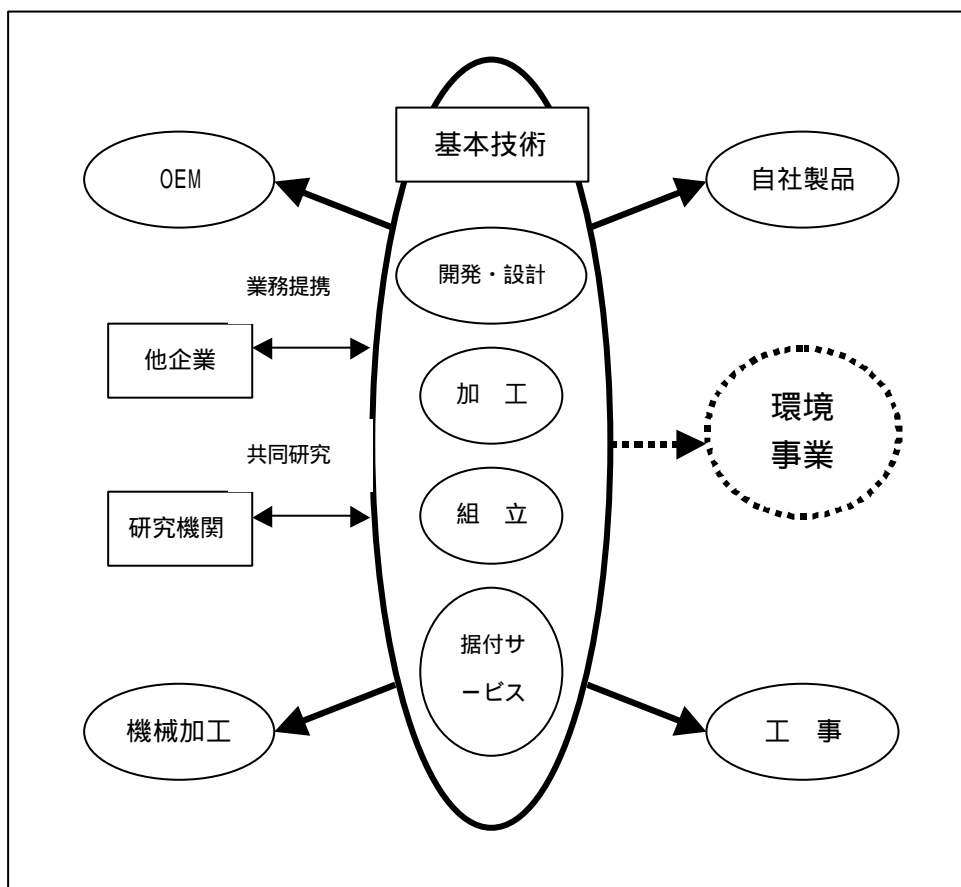


図9.1 K社の事業領域

2) 経営戦略

図9.2にK社の経営戦略の概要を示す。同社は、従来、主力としてきた建設機械分野の長期低迷のため、将来有望な環境分野に自社の蓄積技術をもとに参入し、事業の多角化を進める戦略をとっている。特に、今後は機械単独ではなく、プラントの受注

を目指し運転開始後の保守業務など継続的に安定した収益の期待される分野に力を入れており、食品廃棄物を利用したバイオガス発電事業もその一つである。本発電事業は、公共性の強い環境事業であり、高収益にはなりにくいと考えられるが、経営効率を徹底的に追及することにより現行の社会経済システムの枠組みの中でも確実に収益が上がり、安定した事業の構築が期待できる。

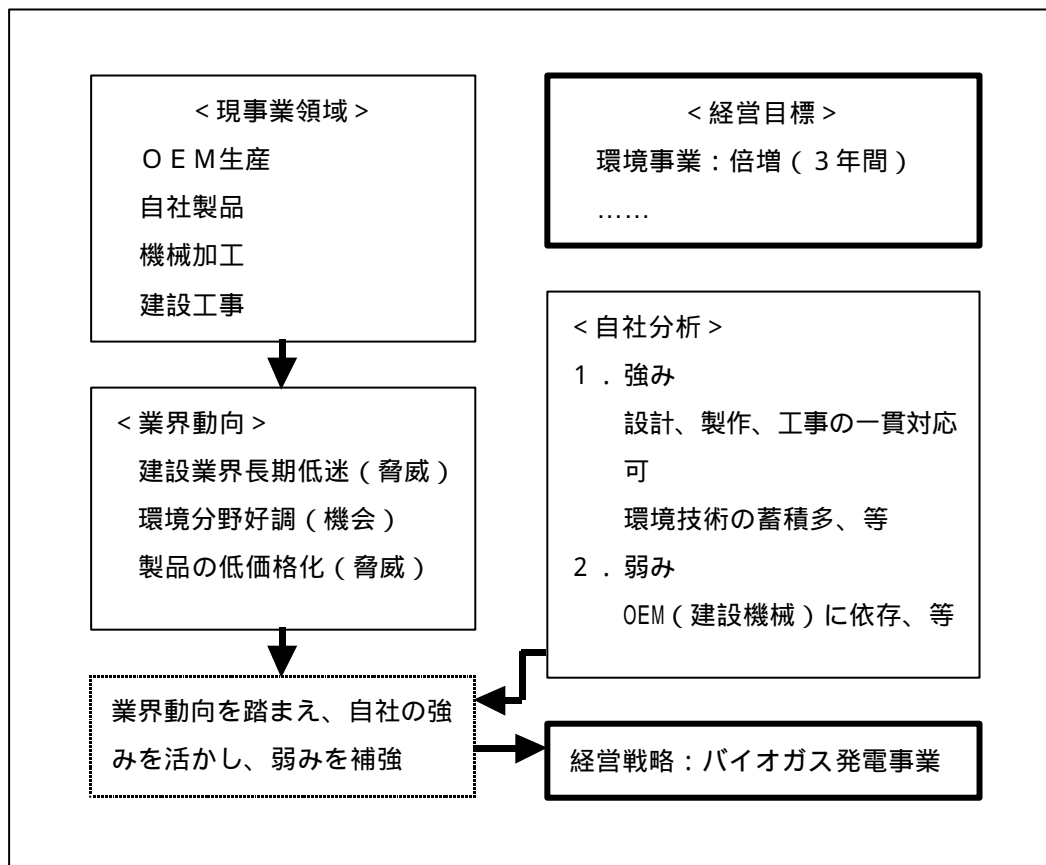


図 9.2 K社の経営戦略

3) 経営資源

K社は財務面では健全である。その他においても、図 9.1 に示す既存の事業領域においてK社を中心とした同業者のグループが形成されており、環境事業を拡大する上で、障害になるものはない。ただ、今回のバイオガス発電の中核技術となるメタン発酵のような化学プロセスには弱く、この面では外部の協力を必要とする。

9.3 事業の実施体制と実施プロジェクト

1) 実施体制

K社は、経営戦略に従い環境事業を積極的に展開するために平成13年7月にKテクノサービス(株)を設立した。図9.3参照。現在、Kテクノサービス(株)はバイオガス発電事業の起業準備を進めると共に既に医療廃棄物処理事業にも参入し、現在は大手建設会社と組んで大学病院をターゲットにした医療廃棄物の高周波滅菌処理施設の具体化を行っている。

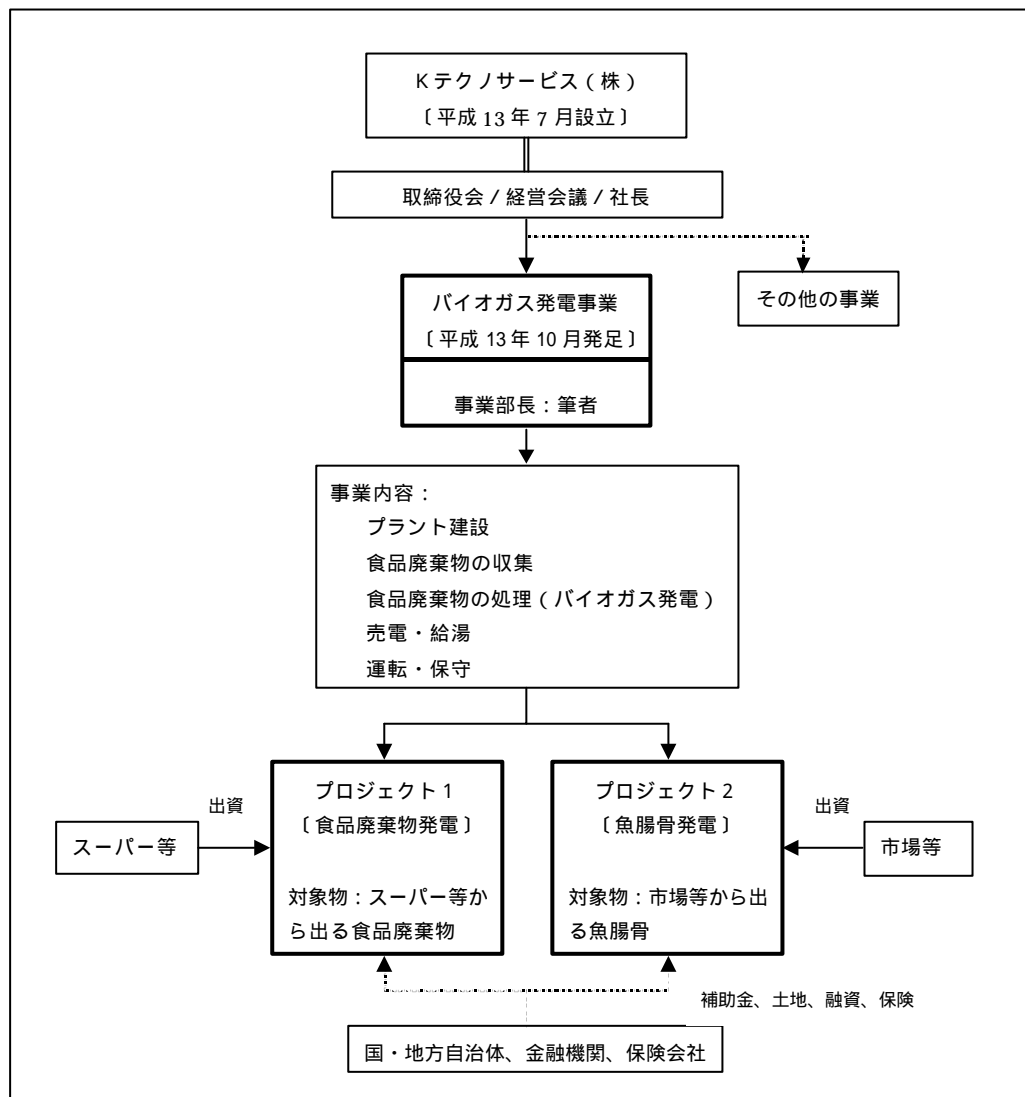


図9.3 バイオガス発電事業の実施体制

2) 実施プロジェクト

図9.3に示したように、平成13年10月にバイオガス発電事業部を発足させ、筆者

が責任者となって次の二つのプロジェクトに取り組んでいる。

プロジェクト1：スーパー等から排出される食品廃棄物を発電燃料としたバイオガス発電事業（処理量10t/日）。平成14年度の操業を目指す。図9.4参照。

プロジェクト2：魚市場等から排出される魚腸骨を発電燃料としたバイオガス発電事業（処理量10t/日）。平成15年度の操業を目指す。図9.5参照。

図9.4は、プロジェクト1における食品廃棄物の発生者（スーパー等）、バイオガス発電事業者（本事業会社）、電気・熱の利用者（公共施設）、電力会社及び現行の収集業者の関係を示したものである。同図において、実線はスーパー等から排出する食品廃棄物を使ったバイオガス発電事業における物（廃棄物）、金（収集処理料）及びリサイクル製品（電気、熱、発酵残渣）の流れを示したものである。本事業によって得られた電気は、自設備内で使用し、残りは同一敷地内の公共施設に所定料金で供給する（場合によっては、電力会社に売電することも考えられる）。熱は高温の湯として取り出し、公共施設で使用する。発酵残渣は、コンポスト装置で一次発酵させた後に近隣の農家に配給し農地に還元する。破線は既存の流れを示し、収集業者が集めた食品廃棄物は市の焼却設備に持ち込まれて焼却され、公共施設に必要な電力はすべて電力会社から購入していることを表している。本プロジェクトの特徴は、次の2点である。

食品廃棄物の発生者と電気・熱の利用者が異なること。

食品廃棄物を収集・運搬する必要があること。

図9.5は、プロジェクト2における食品廃棄物の発生者（魚市場等）、バイオガス発電事業者（本事業会社）、電気・熱の利用者（魚市場等）、電力会社及び現行の収集業者の関係を示したものである。同図においても、図9.4と同様に、実線はバイオガス発電事業における物（廃棄物）、金（収集処理料）及びリサイクル製品（電気、熱、発酵残渣）の流れを示す。本事業によって得られた電気は、自設備内で使用し、残りは同一敷地内の魚市場に所定料金で供給する（場合によっては、電力会社に売電することも考えられる）。熱は高温の湯として取り出し、魚市場で使用する。発酵残渣は、プロジェクト1と同様に農地に還元する。破線は既存の流れを示している。本プロジェクトの特徴は、次の2点である。

食品廃棄物の発生者と電気・熱の利用者が同一であること。

食品廃棄物を収集・運搬する必要があること。

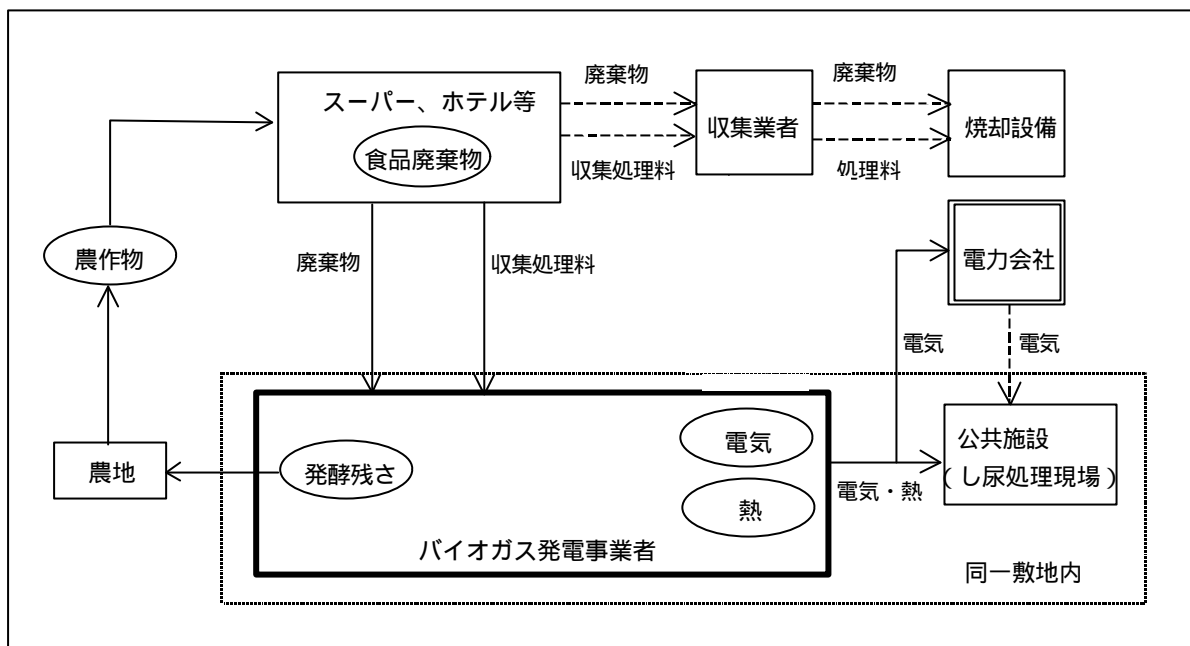


図 9.4 プロジェクト 1 におけるモノ、金、エネルギーの流れ

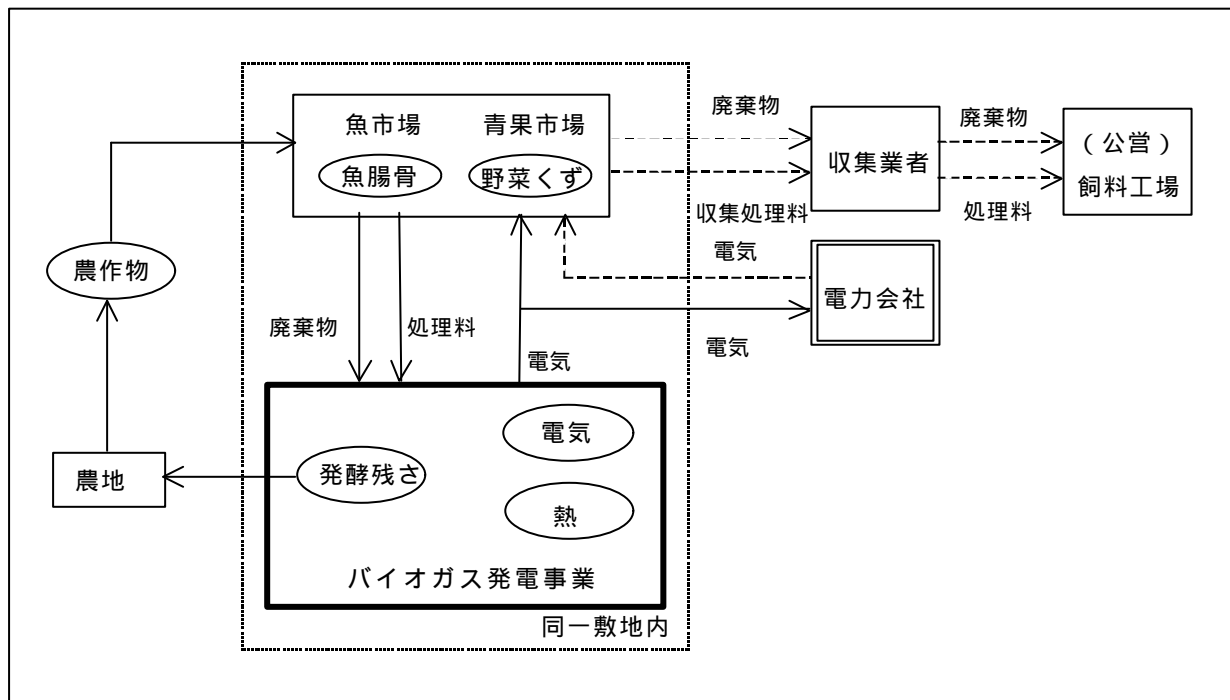


図 9.5 プロジェクト 2 におけるモノ、金、エネルギーの流れ

参考文献

- 1) 環境白書 総説(平成 11 年版) p103

第 10 章 事業スキーム

10.1 現行の事業スキーム

日本国内で発生する食品廃棄物は、第 1 章で示したように総量で約 940 万 t/年(ただし、一般家庭から排出されるものは除く)にもなる。再生利用率は、事業系一般廃棄物では 1%にも満たず、産業廃棄物系を含めても事業系全体で 17%程度であり、残りはほとんど焼却処理されている(第 1 章の表 1.2 参照)。特に、高知市においては、食品廃棄物は全くリサイクルされておらず、すべて焼却されている。表 10.1 に平成 11 年度のデータを示す。

表 10.1 高知市における生ゴミの収集・処理法¹⁾

総収集量 (t/年)	収集方法		処理法
	108,228	直営収集	
許可業者収集		39,080 (t/年)	
自己搬入		7,767 (t/年)	

注：本表における生ゴミには、家庭系及び事業系の全てが含まれる。

高知市では、食品廃棄物の収集は、表 10.1 に示すように 直営収集、 許可業者収集(6社指定) 自己搬入 の三つの方法がとられている。食品廃棄物の発生事業者(スーパー等)は、収集業者に委託する場合、収集手数料と焼却料(市条例で規定)を廃棄物につけて収集業者に渡す。収集業者は、焼却料を高知市に支払って焼却する(第 9 章の図 9.4 及び図 9.5 参照)。

このように食品廃棄物は、廃棄物処理法の規定のもとでは処理することのみに重点がおかれ、食品廃棄物を効率よく処理し、資源として回収するにはどのような方法がよいのか、それを事業として成立させるにはどのような事業スキームにすればよいのか、といった考慮は全く払われていない。このような事業スキームが多くの問題点を持つことは序章等で触れた通りである。

そこで、本章では現行の事業スキームに代わり、プロジェクト 1 及びプロジェクト 2 におけるモノ、金、エネルギーの流れをを念頭におき、事業会社(Kテクノサービス)がバイオガス発電事業を行う場合の事業スキームについて考察する。

10.2 事業スキーム

一般に、公共性の強い事業の場合には、第三セクター方式と PFI(Private Finance

Initiative) が考えられる。第三セクターは利益追求を目的とする手法ではなく、もっぱら公共的事業をコストミニマムに実行するための手法であり、逆に PFI は、利益が見込まれ、公共補填が不要な独立採算性のとれる事業に適する手法であるといわれる²⁾。このような考え方からすると、本事業は利益の追求を一つの目的とするため PFI 方式がより適するものと考えられる。また、食品廃棄物のリサイクル事業に FPI を導入するメリットは、自治体の財政負担が軽減でき、事業会社に事業を一括で負わせることによるトータルコストの削減が期待できる点にある。一方、民間にとっても事業機会が得られるというメリットがある。図 10.1 はこのような考えのもとに想定した事業スキームである。同図に示されるように、事業会社は、地方自治体（高知市）と処理委託契約（仮称）を結び事業を行う。なお、事業会社には K 社の外に食品廃棄物発生事業者、建設会社などにも出資を求めることになる。

ところが、このような事業スキームには問題がある。というのは、地方自治体が処理している一般廃棄物をすべて一括請負で処理するのであれば、このような PFI 方式の利点を活かすことが可能であるが、一般廃棄物の中から所要の事業系食品廃棄物のみを取り出してこのような事業スキームで扱い、残りの廃棄物は従来通り地方自治体が処理するというのであれば PFI のメリットがなくなるからである。

従って、食品廃棄物のバイオガス発電事業では図 10.2 に示す事業スキームが適すると考えられる^(注)。これは、食品リサイクル法への対応ケースともいえるものであり、事業会社と地方自治体の間には契約関係は不要である。事業会社は、自らの責任において食品廃棄物を収集して発電事業を営み、地方自治体は食品リサイクル法の規定に従ってその区域の食品廃棄物のリサイクルを促進するよう努める責務を果たすのみである。

(注) 図 10.2 は第 9 章 9.3 項で説明したプロジェクト 1 を想定して作成したものである。

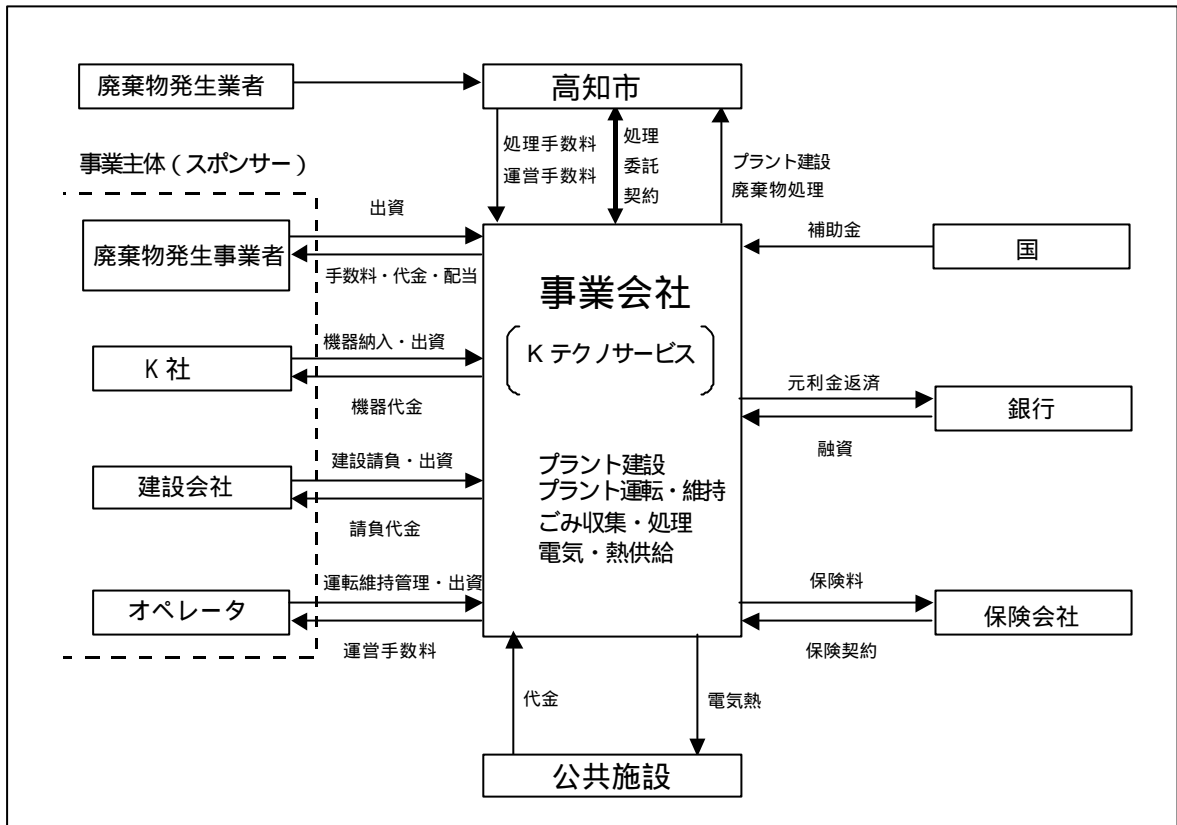


図 10.1 食品廃棄物処理の事業スキーム (PFI 方式)

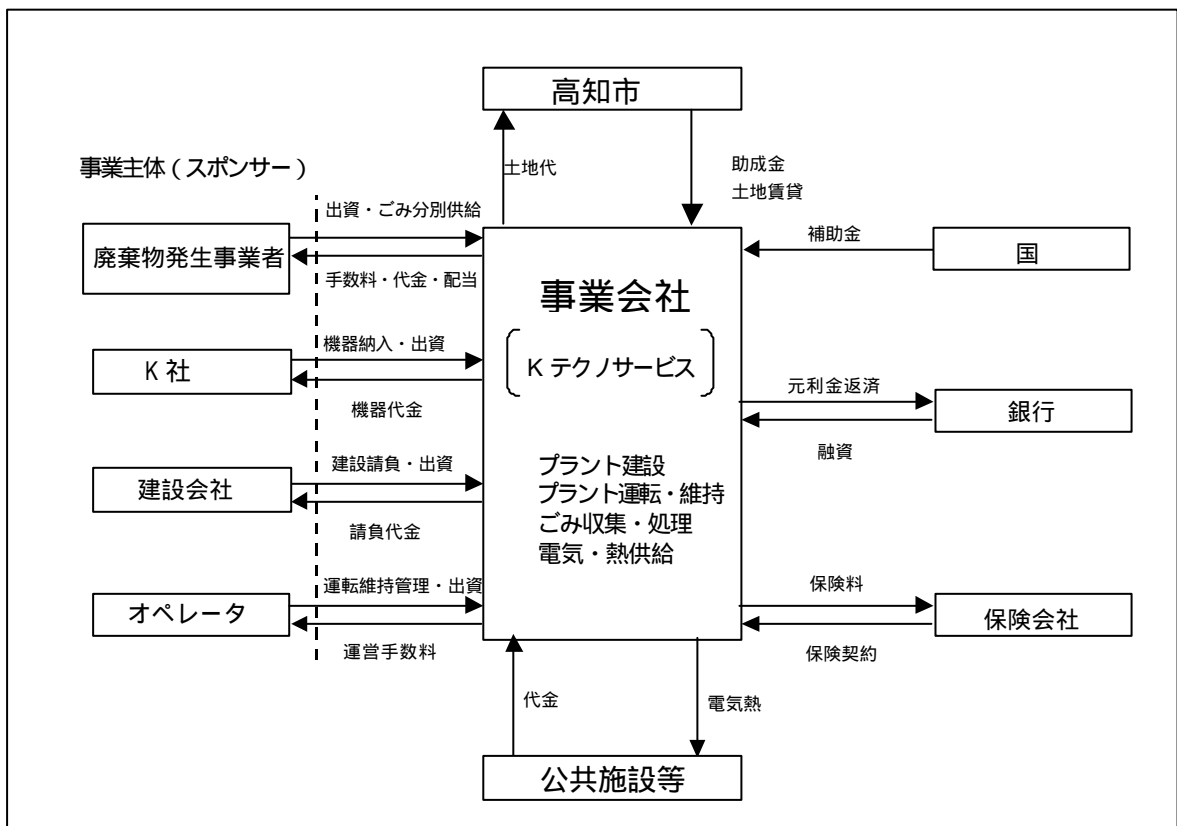


図 10.2 食品廃棄物処理の事業スキーム (食品リサイクル法対応ケース)

参考文献

- 1) 高知市環境部、清掃事業概要(平成12年度版) p33、2001
- 2) 宮本康夫、第三セクターとPFI、ぎょうせい、2000

第3部 事業実施計画の評価と課題

第3部では、第2部で提示したプロジェクトの実施計画を示し（第11章）、それをもとに具体的な施設計画を行い（第12章）、事業としての経済性について評価する（第13章）。最後に、事業化を進める上での課題を整理し、その対応策を検討する（第14章）。なお、本事業に対する資源保全、環境保全、自治体財政の改善、地域産業の振興といった面からの総合的な評価は第5部にまわす。

18

第11章 事業実施計画

11.1 プロジェクトの選定

第9章の9.3項で、筆者が進めている二つのプロジェクトについて説明した。両プロジェクトとも処理量が同じあるので施設規模も同じになり、いずれか一方で検討すれば得られる結論は類似のものになる筈である。従って、ここでは、操業時期の早いプロジェクト1を選んで具体的な事業化の計画を行うものとする。

11.2 計画条件

1) バイオガス発電プロセス

バイオガス発電の基本となるプロセスは、第2章の図2.7「食品廃棄物の標準再資源化システム」である。設備には、初期投資額を抑えるという事業戦略に沿って次の方式を採用する。

発電方式：マイクロガスタービン発電

廃液処理：既存の処理設備（し尿処理場）で処理

2) 受入廃棄物

種類：スーパー、学校給食等から排出される生ゴミ

受入量：10 t/日

3) 用地

高知市から借用する。高知市には、市条例によって規定された賃貸料を支払う。

4) 営業収入項目

収集処理料：20,000 円/ t < 標準条件 > (第 4 章の 4.3.1 項参照)

売電料

(注) 給湯料は少額であるので考慮しない。

5) 資金調達方法

資本金

補助金：初期投資額の 50%

金融機関からの借入

6) 施設の運営

運営管理は事業主体 (K 社) の社員 (兼務) が行い、事業会社 (K テクノサービス) の経費を削減する。

作業員 (パート) 2 人を雇用し、運搬収集業務を行わせる。

7) 事業のスキーム

第 10 章の図 10.2 のスキームとする。

11.3 事業の範囲

図 11.1 に示す範囲とする。

11.4 補助金制度の活用

第 4 章 4.2.2 項で述べたように、本事業のような静脈産業を市場メカニズムにのせるには何らかの経済的な支援が欠かせない。その一つの方法が補助金制度である。ここではエコタウン事業を想定し、初期投資の 1/2 の補助を受けることを前提に検討する。なお、補助率を変動させた場合の事業の経済性への影響については第 13 章の 13.4 項で検討する。また、このような公的補填の意義については第 16 章で考察する。

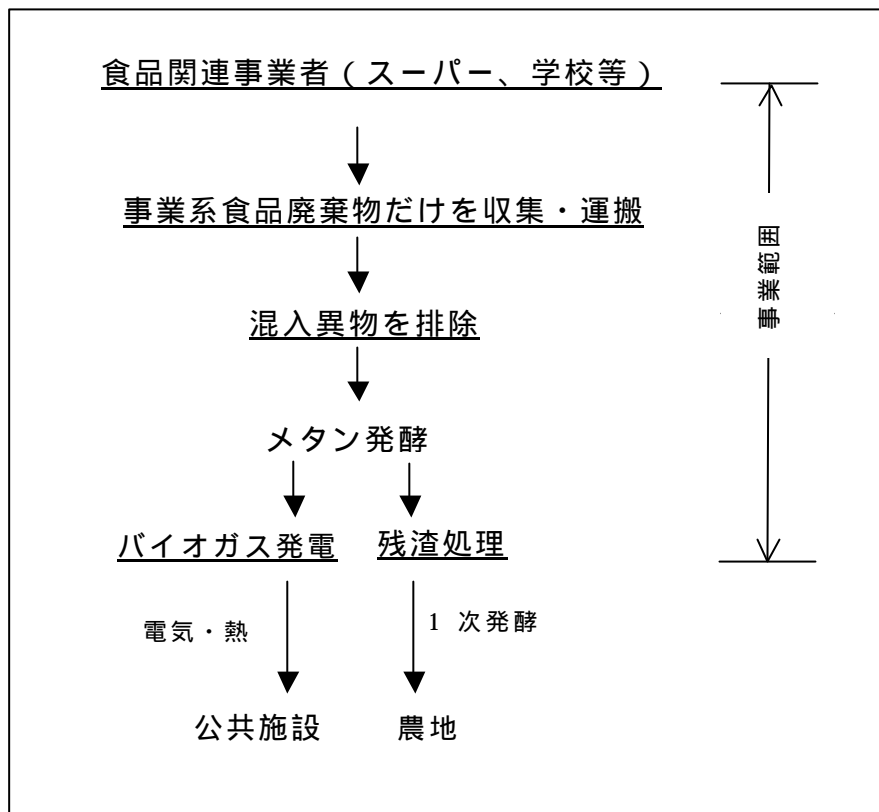


図 11.1 事業の範囲

第 12 章 施設計画

12.1 プロセスフロー

図 12.1 に第 2 章の図 2.7 から展開したバイオガス発電設備のプロセスフロー図を示す。本設備は前処理、メタン発酵、バイオガス利用及び汚泥再資源化の四つの基本プロセスから構成される。

前処理プロセスは、受入ホッパー、定量供給機、粉碎分別機、混合槽、粉碎ポンプから構成され、10 t/日の食品廃棄物を受入れて、メタン発酵に適するように粉碎した後、約 10m³ の希釈水を加えてスラリー化し、断続的に次段のメタン発酵プロセスに送る。メタン発酵に不適な異物は粉碎分別機で除去される。系内で発生する悪臭物質は、脱臭装置に送られ微生物の作用によって大気に放出可能なレベルまで除去される。

メタン発酵プロセスは、メタン発酵槽、脱硫塔及び付属のポンプ類からなる。前処理プロセスから受け入れたスラリー状の食品廃棄物は、メタン発酵槽で分解され、メタンガスを主成分とするバイオガス 2,400Nm³/日（メタン約 60～70%、炭酸ガス約 30～40%、他に微量の有害成分である硫化水素約 300～1,000ppm、アンモニア約 20～30ppm を含む）を連続的に発生させる。バイオガス中の有害成分は、脱硫塔（酸化鉄、活性炭を充填）で除去され、バイオガス利用プロセスに送られる。メタン発酵槽から排出される発酵残渣は、随時、抜き出して汚泥再資源化プロセスに送られる。中心となるメタン発酵槽は、内径 6,000 mm、高さ 10,000 mm の円筒形で、内部に炭素繊維製の固定膜が充填されている。槽内では、スラリー状の食品廃棄物は、バイオガス利用プロセスで得られた温水を使って約 55℃ に維持され、常時循環されている。食品廃棄物の平均滞留期間は約 8 日である。

バイオガス利用プロセスは、発電設備（マイクロガスタービン、発電機）、ガスホルダー及び付属装置からなる。マイクロガスタービン発電による発電量は約 3,600kwh/日であり、同時に温水（約 70℃）も得られる。これらの一部は自設備で使用され、残りは同一敷地内の公共施設（し尿処理設備）に送られて使用される。なお、本プロセスには都市ガスの補給ラインを設けている。これはバイオガス中のメタンガス濃度が変動した場合でも安定した発電を行うための補助的設備である。

汚泥再資源化プロセスは、廃液タンク、脱水機、コンポスト化装置からなる。メタン発酵槽からの排水量は約 10m³/日であり、その中に投入食品廃棄物の約 10% の固形分（約 1 t/日）が含まれている。これらの廃水は脱水機で含水率約 85% まで脱水

され、コンポスト化装置に送られる。コンポスト化装置（事業主体が開発）では、約7日間かけて1次発酵（約70℃を2日間維持）まで行い、残留する有機物は農地還元可能なレベルまで分解される。最終的に得られるコンポストは約200kg/日（含水率約30%）である。

12.2 設備仕様

1) 主要機器設備

下表に主要な機器設備の仕様を示す。

表 12.1 主要機器仕様

名称	仕様	数量
受入ホッパー	食品廃棄物1日分(10t)保有、容量：20m ³ 材質：鋼製、下部スクリーフィーダ 3.7kw 付属	1
破碎分別機	前処理用破碎、処理量：2t/hr、5.5kw	1
混合槽	円筒型、内径2,800mm×高さ5,000mm 必要槽容量：20m ³ (全容量：30m ³) 材質：SUS304	1
メタン発酵槽	円筒型、内径6,000mm×高さ10,000mm、外面：保温、 材質：SUS304、充填材：炭素繊維担体 230m ³	1
ガスホルダー	メンブレイン製ドライガスホルダー、容量：30m ³ シール用ブローワー付属 0.4kw	1
マイクロガスタービン	出力150kw、バイオガス量：80Nm ³ /hr、温水回収可	1
脱水機	スクリー式脱水機、材質：SUS304 処理量：0.5～1.0m ³ /hr、駆動：1.25kw	1
コンポスト化装置	エアレーション付、材質：SUS304、生産量：200kg/日 動力：20kw	1
脱臭塔	40m ³ /min用バイオ脱臭装置、循環ポンプ付	1

2) 建築設備

延面積：220m²

外部仕上	内部仕上
屋根：シングル折板 不燃エース t4 内張り 外壁：角波鋼板	床：RC、防塵塗装 壁：外壁現わし、鉄骨 SOP 塗装、 防音材（グラスウール 50mm） 天井：屋根現わし、鉄骨 SOP 塗装

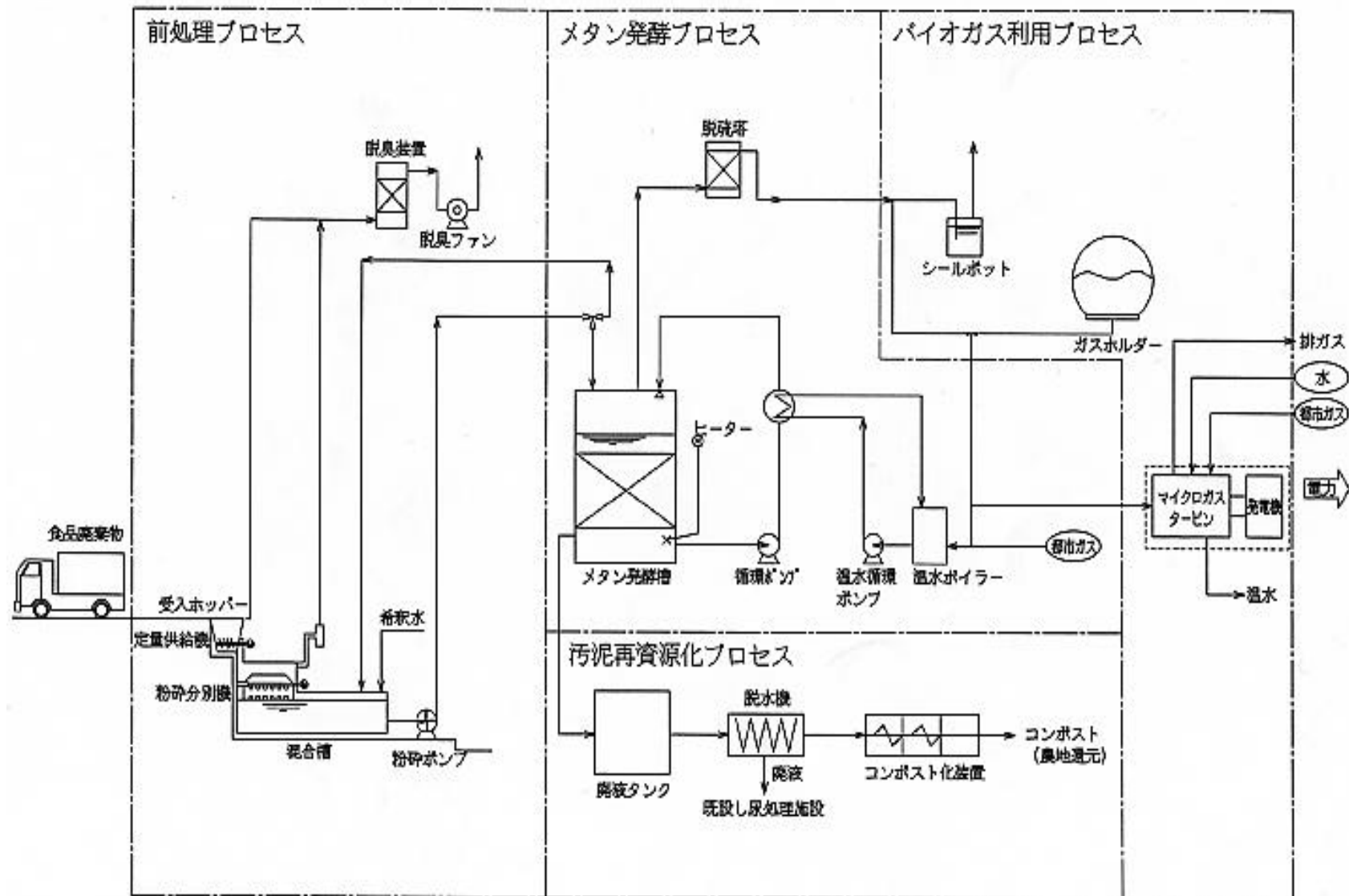


図 12.1 バイオガス発電設備 プロセスフロー図

3) 設備配置

図 12.2 に設備配置の概要を示す。敷地は 30m×28mであり、建屋（10m×22m）内には、発電装置などの主要設備を配置し、屋外にはメタン発酵槽、ガスホルダーなどを設置している。

12.3 運転計画

- 1) 前処理プロセス、汚泥再資源化プロセス：8 時間/日
- 2) メタン発酵プロセス、バイオガス利用プロセス：連続
- 3) 年間稼働日数：330 日

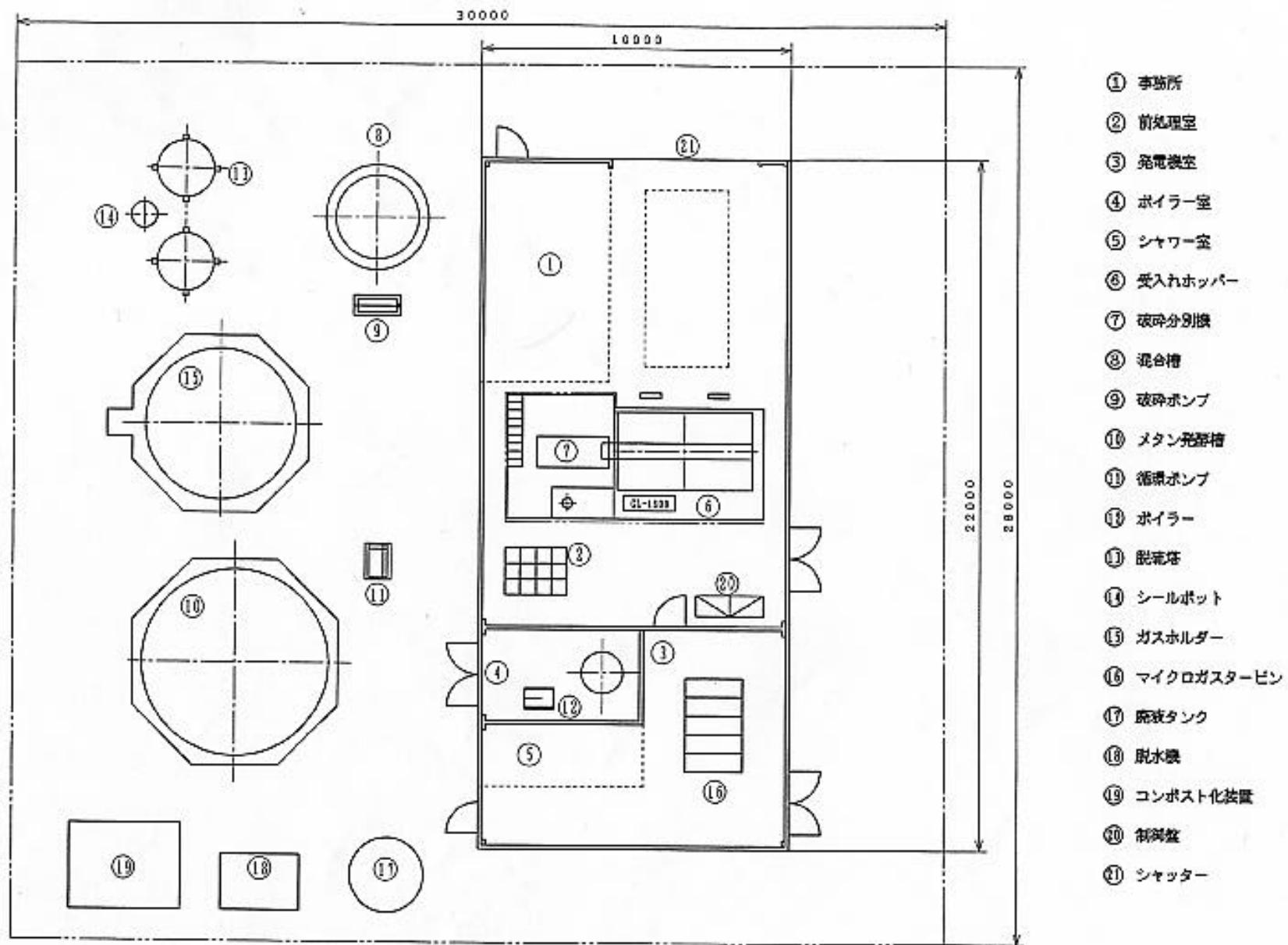


図 12.2 バイオガス発電設備 配置図

第 13 章 事業の経済性評価

13.1 経済性の評価条件

事業の経済性評価の条件をつぎのように設定する。

1) 建設費

土木・建築工事、プラント設備工事：440,000 千円

(を除く図 12.1、図 12.2 に含まれる全設備とトラック、容器を含む)

発電設備工事：60,000 千円

(マイクロガスタービン、発電機を含む)

2) 用地費

高知市からから評価額に対し年率 4% (注) で借用する。2001 年 10 月の時点では下記となる。

$25 \text{ 千円/m}^2 \cdot \text{年} \times 0.04 \times 840 \text{m}^2 = 840 \text{ 千円/年}$

(注) 高知市の条例で規定されている。

3) 開業費

一式 19,000 千円

4) 営業収入

廃棄物の収集処理料：20 千円/t × 3,300 t/年 = 66,000 千円/年

売電料

売電可能量：1,400kwh/日

売電単価：昼間 (8~22 時) 27.7 円/kwh

夜間 (22~8 時) 6.56 円/kwh

(注) ここで、売電単価は高知市内公共施設の購買単価と同一とした。

従って、売電による総収入は

$26,449 \text{ 円/日} \times 330 \text{ 日/年} = 8,700 \text{ 千円/年}$

となる。

5) 資金調達

補助金：建設費および開業費の合計額 (519,000 千円) の 50% (259,500)

千円)を補助金で手当とする。

資本金：60,000 千円

銀行借入：259,500 - 60,000 = 199,500 千円を借入れる（利率：4%、15 年返済）

6) 人件費

作業員：3,500 千円/人・年 × 2 人 = 7,000 千円/年

7) 維持管理費（電力、上水道、吸着剤交換）：10,700 千円

8) 点検・補修費：13,400 千円

9) 減価償却：定額法（償却期間 15 年）とする。ここで、定額法を採用するのは、次の理由による。

設備が機械装置などと違って機能的減価が少ない。

定率法を用いることによって起こる初期の大幅な赤字の発生を避ける。

10) その他

- ・ 法人税率 : 50%
- ・ 償却資産税率 : 1.40%
- ・ 損害保険料 : 50 千円/月 × 12 月/年 = 600 千円/年

13.2 経済性の評価方法

1) 試算フォーマット¹⁾

表 13.1 に試算のフォーマットを示す。試算は、借入金の返済期間（15 年）にわたって行った。同表において「返済原資」は次式で計算される。

借入金の返済原資 = 税引後利益 + 減価償却費

「差引資金過不足」は、「返済原資」から金融機関への「返済額」を差し引いたもので、借入金の返済能力をチェックするものである。「キャッシュ・フロー」は、正味現在価値の計算に使用するものと同じで、次の式に従って求められる。

キャッシュ・フロー = 税引後利益 + 支払利子 + 減価償却費

ここで支払利子を加えるのは、現在価値に割り引くことによる利子の二重引きを避けるためであり、後述の回収期間法で用いるキャッシュ・フローとは異なる。「現在価値」は後述するように 5%で割り引いた。「現在価値累計」は、現在価値の累計値から初期投資額を差し引いたものを示し、15年目の値は「正味現在価値」となる。

表 13.1 試算フォーマット

年数	目標売上高	変動費	限界利益	固定費	目標営業利益	支払利息	税引前利益	法人税	税引後利益	減価償却費	返済原資	返済額	差引資金過不足	キャッシュフロー	現在価値	現在価値累計
1																
...																
15																

正味現在価値

2) 投資採算性

設備投資の採算性のチェックには、回収期間法、正味現在価値法あるいは内部利益率法などが使われる。本研究で使用したこれらの方法の概要を述べる。

回収期間法

投資のリスクを考えると、投資額をできるだけ早く回収したい。そのため、投資の採算をみる場合に、次式で計算される投下資本の回収期間が重要な要素となる。

$$\text{回収期間(年)} = \text{設備投資額} / \text{年平均キャッシュ・フロー}$$

$$\text{年平均キャッシュ・フロー} = \text{税引後利益} + \text{減価償却費}$$

回収期間法は、回収期間をリスクの尺度とみて、その期間が短いほど安全であるという基準にたって、投資の可否を判断する方法である。

正味現在価値法

正味現在価値法は、投資がもたらす正味現金収入の時間価値を考慮して、投資

計画を評価する方法である。

$$\text{正味現在価値 (NPV)} = [\{R_1 / (1+i)\} + \{R_2 / (1+i)^2\} + \dots + \{R_n / (1+i)^n\}] - C_0$$

ここで、

- i : 割引率 (資本コスト)
R₁、R₂... R_n : 毎期のキャッシュ・フロー
C₀ : 投資額

正味現在価値法の特徴は、あらかじめ割引率を設定しておくことである。この割引率の大きさによって現在価値が変わるので、これをどのように設定するかは重要である。ふつう割引率は、企業が必要とする最低限の利益率を意味しており、投資に伴うリスクを織り込み、資本を調達するためのコストや従来の資本利益率などを参考にして決めるべきものである。ここでは、割引率 = 5% で設定した。

正味現在価値法による投資案は次の基準で採否が判断される。

- 正味現在価値 > 0 投資案を採用する
正味現在価値 < 0 投資案を採用しない

(注) 割引率 (資本コスト) の算出根拠

- 借入金 : 利子率 4% 調達割合 77%
自己資本 : 利子率 10% 調達割合 23%
税率 : 50%

平均資本コストは双方を加重平均して

$$4\% \times (1 - 0.5) \times 0.77 + 10\% \times 0.23 = 3.84\% \quad 5\%$$

として求めた。この値は、現在のような低金利時代では妥当なものと考えられる。なお、計算方法については参考文献 2) 3) 4) を参考にした。

内部利益率法

内部利益率法は、設備の使用期間にわたって発生するキャッシュ・フローの現在価値を合計し、その金額が投資額に等しくなるような割引率、つまり、正味現在価値をゼロにするような割引率 (内部利益率: i) を求める方法である。下式参照。

$$C_0 = [\{R_1 / (1+i)\} + \{R_2 / (1+i)^2\} + \dots + \{R_n / (1+i)^n\}]$$

投資の採否は次のように判定される。

内部利益率 > 企業の必要利益率	投資案を採用する
内部利益率 < 企業の必要利益率	投資案を採用しない

13.3 試算結果

1) 全般

事業の経済性に最も大きく影響するのは、食品廃棄物の収集処理単価であり、次いで処理量である。試算では、標準条件（収集処理単価：20,000 円/t、処理量：10 t/日）を中心にそれぞれ次のように変動させて、それらが差引資金過不足や投資採算性に及ぼす影響の程度を調べた。

収集処理単価：15,000～25,000 円/t（1,000 円/t 刻み）
処理量：7～10 t/日（1 t/日 刻み）

一般に、事業の収益性の面からは、廃棄物処理量は多いほど有利である。しかし、メタン発酵方式では、技術的に許容される処理量の増加は数%以内であり、計画処理量を大幅に超過した処理はできない。従って、最大処理量は10 t/日となる。

図 13.1 はこれらの試算結果をまとめたものである。同表において、白抜きの部分は15年間返済資金過不足が常に正值で、正味現在価値が正值である条件、つまり事業に経済性があると判断したところを示す。黒く塗りつぶした部分はこれらの条件が満たされないところ、つまり経済性が無いと判断したところを示す。

この結果、処理量10 t/日の場合、収集処理料は標準条件（20,000 円/t）より低く17,000 円/t程度に設定しても経済性があるといえる。また、収集処理料金が標準条件（20,000 円/t）であるなら、処理量は最低でも9 t/日は確保する必要がある。

収集処理料金 (円/t)	25,000				
	24,000				
	23,000				
	22,000				
	21,000				
	20,000				
	19,000				
	18,000				
	17,000				
	16,000				
	15,000				
			7	8	9
処理量 (t/日)					

図 13.1 試算結果

2) 詳細結果

(1) 差引資金過不足

図 13.1 において、事業性があると判断した条件ではいずれも返済原資をもとに借入返済を行った後に資金に余裕がある。図 13.2 は、その中の代表的なものについて返済資金過不足の営業年ごとの変化を示した。標準条件（印）では、初年度から 1,000 万円以上の余裕が認められる。

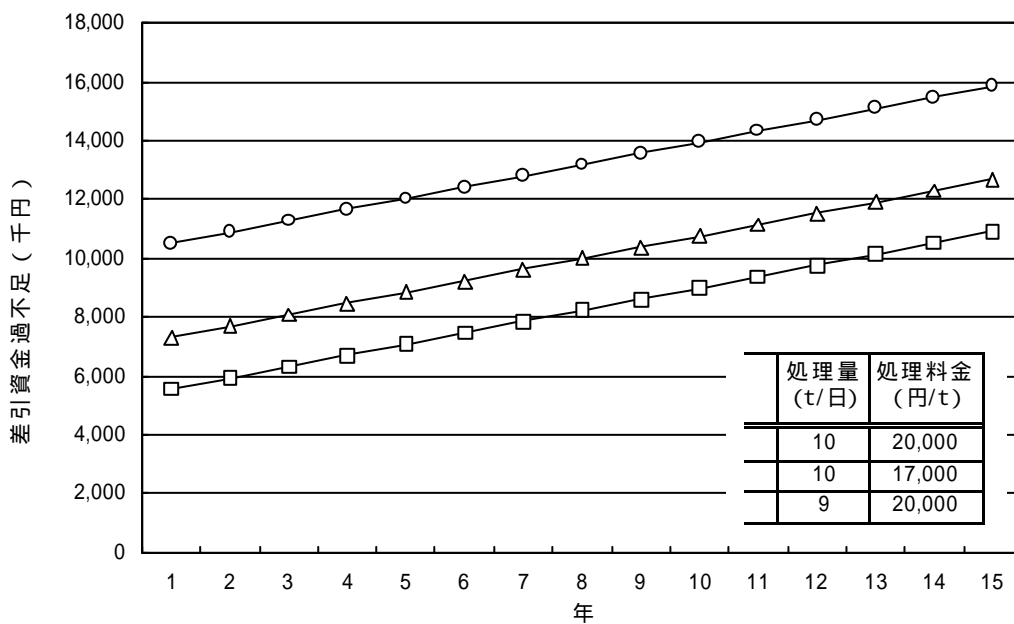


図 13.2 差引資金過不足

(2) 現在価値累計

処理料金を変化させた場合

図 13.3 は、処理量 10 t/日一定で、処理料金を 17,000 ~ 25,000 円/t に変化させた場合について、現在価値累計の営業年ごとの変化を示した。同図において、グラフが現在価値累計「0」の軸を切るところが割引回収期間を示し、15 年目における現在価値累計は正味現在価値を表す。従って、この正味現在価値が正值のものは投資の価値があると判断される。標準条件では、割引回収期間は 11 年目となり、正味現在価値は約 58,000 千円である。

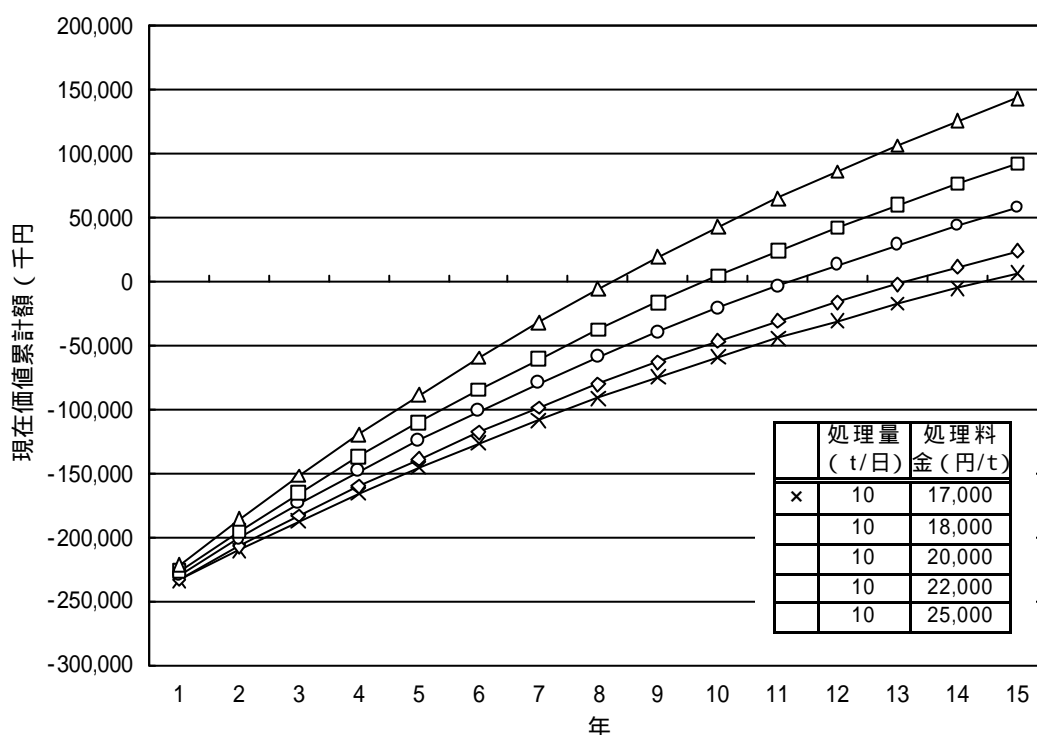


図 13.3 現在価値累計図 (その 1)

処理量を変化させた場合

図 13.4 は、処理料金が 20,000 円/t 一定で、処理量が 8 ~ 10 t/日の範囲で変わる場合の現在価値累計の変化を示す。処理量 8 t/日では、正味現在価値は負値であり、このような条件では投資案は採用されない。同図は、処理料金 20,000 円/t では、少なくとも 9 t/日の処理量を確保することが必要であることを示している。

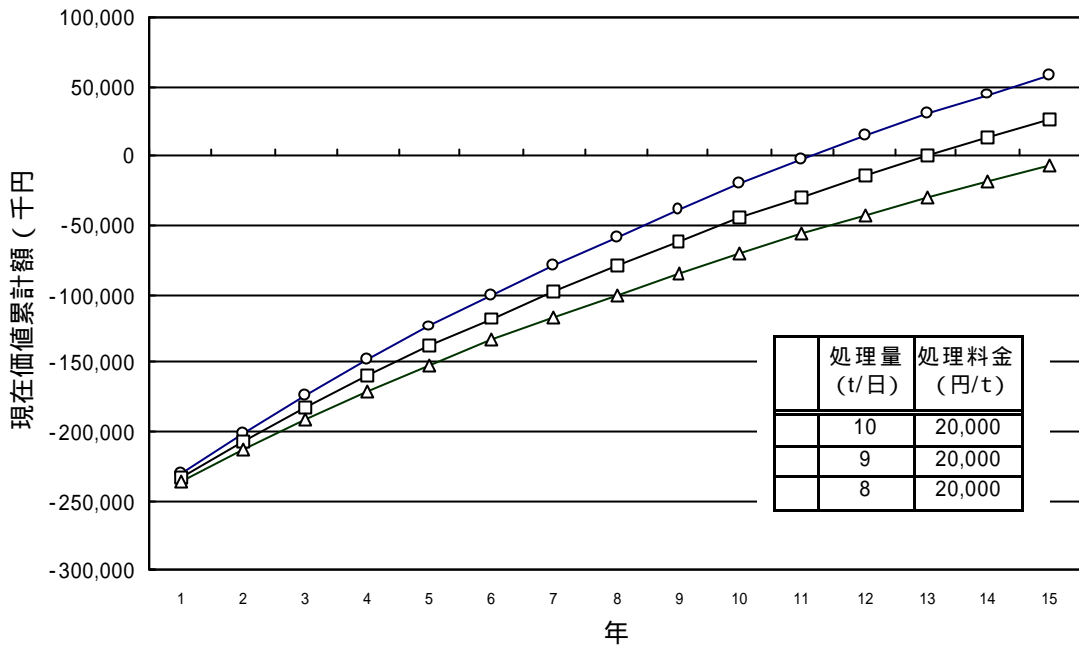


図 13.4 現在価値累計図 (その 2)

内部利益率

図 13.5 は、事業の採算性に最も大きな影響を及ぼす因子である収集処理単価を 15,000 ~ 25,000 円/ t に変動させた場合の内部利益率の変化を示したものである。

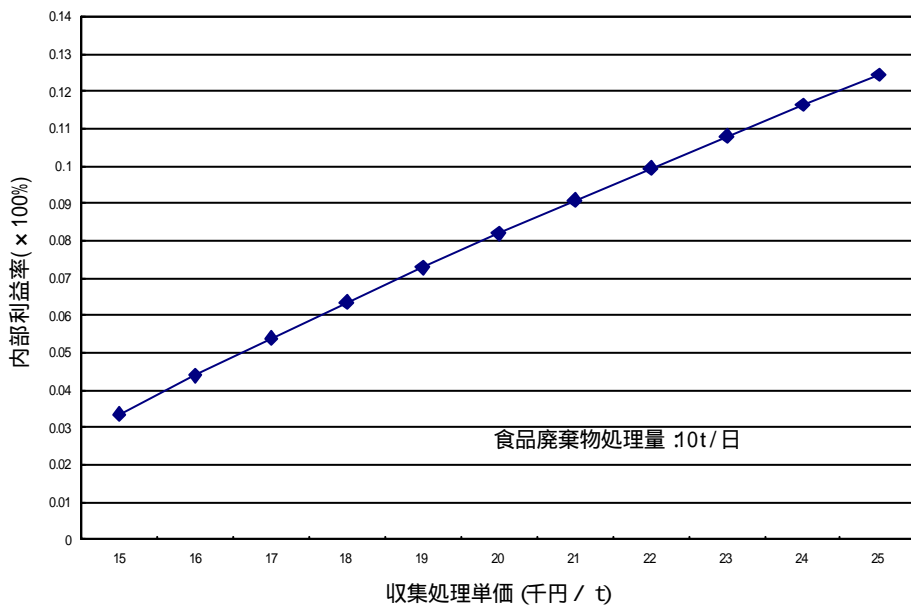


図 13.5 内部利益率の収集処理単価依存性

(4) 投資評価

回収期間法

標準試算条件の場合、

$$\text{回収期間} = 259,500 \text{ (千円)} / 30,477 \text{ (千円)} = 8.5 \text{ 年}$$

となる。一方、資本コスト 5% で割引きした回収期間は、前述したように 11 年目である。

正味現在価値法

標準条件の場合、

$$\text{正味現在価値 (NPV)} = 317,740 - 259,500 = 58,240 \text{ 千円} > 0$$

これより、標準条件では「採算性がある」と判断される。

内部利益率法

図 13.5 より、資本コスト 5% では 17,000 円/ t 以上の収集処理単価が確保できれば「採算性がある」と判断される（ただし、処理量：10 t/日）。

13.4 補助金の効果

図 13.6 及び表 13.2 には、補助率の差引資金過不足と正味現在価値へ影響の程度を示した。これよりバイオガス発電事業を採算ベースに乗せるためには、少なくとも 30% 以上の補助率が必要であるといえる。なお、公的補填の意義については第 16 章で議論する。

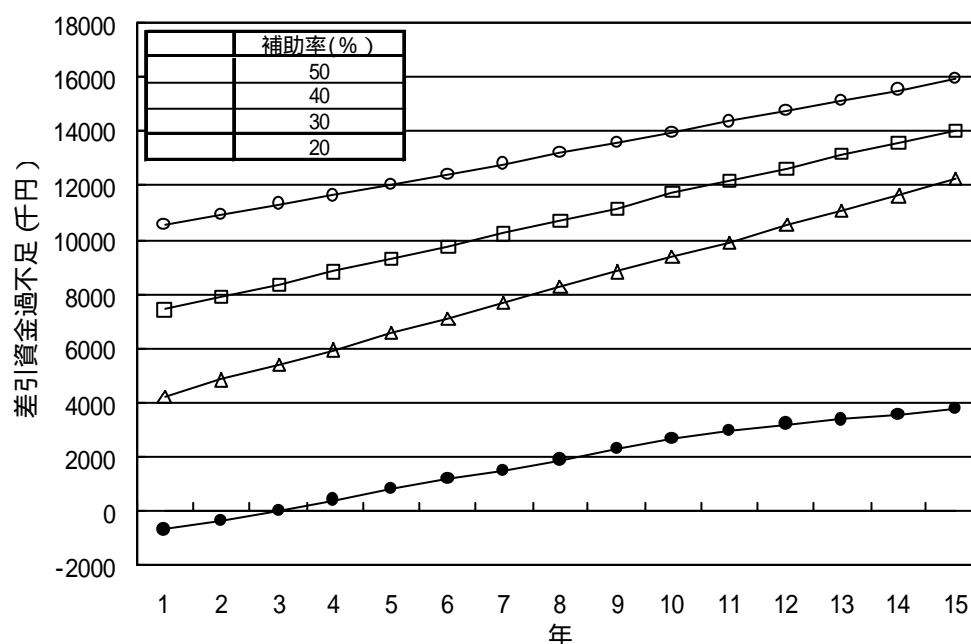


図 13.6 補助率の影響（処理量：10 t/日，収集処理単価：20000 円/ t）

表 13.2 補助率の正味現在価値への影響

補助率 (%)	正味現在価値
0	< 0
10	< 0
20	< 0
30	0
40	> 0
50	> 0

参考文献

- 1) 中央監査法人広島事務所編、ベンチャー企業の資金繰り実務、中央経済社、p.147、1998
- 2) 筒井英治、設備投資と資金計画の進め方、税務研究会出版局、p.107、1999
- 3) 西山茂、企業分析シナリオ、東洋経済新報社、p.23、2001
- 4) 久保田政純、設備投資計画の立て方、日経文庫、p.119、1999

第 14 章 事業化の課題

14.1 事業化時に想定される課題

前章において、食品リサイクル法を拠り所とする本事業は、一定の経済的補助のもとに事業性を有するというを示した。しかし、事業化に際し次に示すような課題も存在する。

食品廃棄物の発生業者は、法に従って廃棄物をリサイクルに回すのか。

補助金がなければ市場メカニズムに乗らないものを事業といえるのか。

廃棄物の処理コストは誰がどの程度負担するのが妥当か。

事業化に際し、ステークホルダーにはどのように対応すればよいのか。

将来も、食品廃棄物を安定的に確保できるのか。

これらの中で、～ については、第 4 部で取り上げる。、 については本章で検討する。

14.2 ステークホルダーへの対応

1) ステークホルダーの存在

環境ビジネスには多くのステークホルダーが存在する。このステークホルダーへの対応が事業化に際し、最も大きな問題となる。本事業の場合、ステークホルダーの主なものには食品廃棄物の発生業者、既存の廃棄物収集業者、施設周辺の住民、自治体があげられる。しかし、これらのステークホルダーに対する影響の度合いは同じではない。表 14.1 に、これらのステークホルダーが本事業によって受ける便益と障害について整理し、その動向について予測した。

表 14.1 ステークホルダーの受ける便益と障害

ステークホルダー	便益	障害
既存の収集業者	・ 事業拡大の期待	・ 既得権益喪失の恐れ
地元住民	・ 電気、熱が利用できる	・ 処理施設が地元にあるということのマイナスのイメージ ・ 臭気に対する懸念
地方自治体 (高知市)	・ 廃棄物処理費用の軽減	・ 適正な処理費用の徴収が要求され、条例の改正が必要 ・ 既存の収集業者や地元住民への主導的な対応
廃棄物発生業者	・ 廃棄物の処理委託費の基準が明確になり、不正業者に必要以上の支払いをする恐れがなくなる。 ・ リサイクルにより、企業イメージが良くなる。	・ 業者によっては処理費の増加 ・ 法による規制強化

2) ステークホルダーへの対応

(1) 既存の収集業者への対応

第 10 章の 10.1 項で述べたように、高知市では、食品廃棄物を 直接収集、許可業者収集、自己搬入の三つの方法で行っているが、ここで問題になるのはである。現在、この許可業者が取扱っている廃棄物量は全体の 40%弱である(表 10.1 参照)。彼らは、廃棄物発生業者から収集料に市条例で定める処理料(2,500 円/t)上乗せして受取り、廃棄物を高知市の焼却施設に持ち込んで焼却している。その際、高知市には処理料(2,500 円/t)を納めている。彼らは長年こうした方法で業を営んでおり、本事業の事業会社が収集業務をおこなうとすれば、その職が奪われることになる。図 9.4 及び図 9.5 において破線で示した取引がなくなるのである。環境ビジネスは、経済性だけ追求してもうまくいかないのではないか、という懸念がここにある。こうした問題は、事業会社だけでは対応できない。今後、高知市の協力を求めながら、こうした既存の収集業者との

対立回避の方策を見出していく必要がある。対策として、コストアップにはなるが、収集業務を委託することも含めて検討する必要がある。

(2) 地元住民への対応

バイオガス発電施設周辺の住民の懸念は、迷惑施設の設置による地域のイメージ低下と悪臭に対する懸念である。この問題についても、技術的事項については事業会社に対応するのは当然だとしても、一私企業が全面的に責任をもつことはできない。高知市の協力の下に、現状のし尿処理施設や魚市場から発生する臭気以上のものは発生しないこと、電気や温水の利用によってむしろイメージアップになることの地道な説明を行っていく必要がある。

(3) 地方自治体への対応

当事業によって、高知市の財政負担は確実に減少する。高知市にとっては便益の大きい事業であることは間違いない。その反面、食品廃棄物を循環資源としてリサイクルすることを促進する責務を負う（食品リサイクル法第6条）。既存の処理業者や地元住民へ主導的に対応してその責務を果たさなければならない。さらに、現状の収集処理料を実際のコストを踏まえた適正なものに改める必要がある。現状の料金 2,500 円/ t は実態を反映していない。東京都では、収集処理料金として 28,500 円/ t を徴収している。これでも処理設備の建設コストや維持管理のコストを考えると適正なものとはいえないが、より実態に近い料金である。高知市においても、料金の改定を行わなければ、いつまでもたっても焼却を主体とした処理から脱却できず、食品リサイクル法の制定趣旨が全うできないことが懸念される。このように高知市の果たすべき役割は非常に大きいので、事業会社としては、その方向にリードしていくよう求めていかなければならない。

(4) 食品廃棄物発生業者への対応

発生業者の現状の経済的負担はまちまちである。当事業によって、ある業者は負担が増えることもある。しかし、本研究でマーケティング調査をした際の業者の発言にもあったが、一定額の負担は受け入れることもやむを得ないという状況が生まれつつあるように思われる。今後、外部不経済の内部化が進むことは間違いない。食品を取り扱う業者にとって、廃棄物のリサイクルに積極的に貢献し、回収したエネルギーを利用しているということは、企業イメージの向上になると

いう考え方が徐々に定着していくものと考えられる。

事業会社としては、こうした環境の変化を読み取り、地方自治体の協力を得ながら積極的な営業活動を行っていくことが必要である。

14.3 廃棄物量の安定確保

ステークホルダーへの対応は、主に起業時に問題となる。これに対し、起業後には一定品質の廃棄物をいかに安定的に確保するか、ということが問題になる。

現在の予想では食品廃棄物の絶対量には大きな変動はなく、バイオガス発電事業は、競合する飼料製造業や肥料製造業に比べて優位性がある。従って、現状では、廃棄物量の安定確保に問題はないと予測される。しかし、今後開発されるであろう新技術（例えば、生分解性プラスチック化）によって、食品廃棄物が奪われることの可能性は、事業を行う上で考慮に入れておく必要がある。対策として、発生業者と長期の処理契約を結ぶなどでそのような事態に備えておかなければならない。

バイオガス発電事業は装置産業であるので、急激な環境の変化に機敏に対応することは難しい。起業時にこのようなりスクへの対応を織り込んでおかなければならない。

第4部 環境経済学的観点からの考察

第4部では、食品廃棄物のバイオガス発電事業において論点となる項目を取り上げて環境経済学的な観点から考える。初めに、食品廃棄物の価格と食品廃棄物をバイオガス発電の燃料として市場でリサイクルするための条件について検討する（第15章）。次に、現状の市場メカニズムの中で、静脈産業に事業性を持たせるために重要な意味をもつ公的補填の意義について考える（第16章）。最後に、食品廃棄物処理に伴い発生する環境コストの負担の考え方について述べる（第17章）。

第15章 食品廃棄物の価格と市場リサイクルの条件

15.1 バズの価格

経済学において、通常の財はグズ（Goods）とよばれる。これは通常の市場取引でプラスの価格がつけられ、生産者や消費者のために使用される物（又は、サービス）である。グズの取引では、消費者は金を支払って物を受け取る、つまり、物の流れと金の流れが逆方向である。これはグズの基本的な特徴であり、このようなものについては市場経済がうまく取引を遂行でき、価格は需給のバランスによって決まると考えられる。

これに対して、どのように有用な物であっても、それにプラスの価格をつけて購入しようとする者がなく、それを無処理で廃棄すると外部不経済を引き起こす物はバズ（Bads）といわれる。このようなバズを適正に処理するためには、それにマイナスの価格がつけられねばならない。いわゆる逆有償とよばれる現象で、物と金の流れが同じ方向になるという点でグズと異なる。通常、このように金を付けてまでして不要物を引き取ってもらう必要はないわけで、バズの価格は需給バランスによって調整されにくく、市場は機能しにくいといわれる¹⁾。

一般に、バズについてそのリサイクルコストとリサイクル製品の価格の間には次の不等式で示される関係がある。

$$\text{リサイクルコスト} > \text{リサイクル製品の価格}$$

ここで、「リサイクル製品の価格 - リサイクルコスト」は常にマイナス値であり、これはバズの価格を表す¹⁾。

15.2 食品廃棄物の価格

本事業で取り扱う食品廃棄物について考えてみる。表 15.1 に高知市における食品廃棄物の現状の処理コストとバイオガス発電によるリサイクルコストを比較した。これより、現状の焼却処理コストは 42,530 円/ t であり、バイオガス発電のコストは 23,100 円/ t と推定される。バズとしての価格はそれぞれ - 42,530 円/ t、- 20,500 円/ t となり、バイオガス発電では絶対値が大幅に小さくなっている。

この価格は誰かが負担しなければならない。バズ価格あるいはリサイクルコストの負担については第 17 章で議論するが、今の場合、負担者は発生業者と自治体である。同表でバズ価格の負担割合をみると、現状処理では発生業者が高知市条例で定める 2,500 円/ t のみ支払い、残りは高知市が補填しているのに対し、バイオガス発電事業では発生業者に現状と同じ 2,500 円/ t を負担させた場合でも高知市の負担は 18,000 円/ t となって大幅に低減される（ケース 1）。第 3 部で検討した標準条件、すなわち、発生事業者に収集処理費として 20,000 円/ t を負担させる場合（ケース 2）では、高知市の負担はほとんどゼロになると推定される。図 15.1 には、食品廃棄物の発生業者と自治体のコスト負担の関係を併せて示した。

本事業の狙いは、ケース 2 を実現することである。この場合、発生事業者の負担額は第 4 章 4.3.1 項(3)で述べたように、高知市内の業者からの聴き取り調査の結果をベースに全国的なデータも考慮して決定したものであるが、高知市のように 2,500 円/ t で一般廃棄物を収集処理し続けるとすれば、発生業者は食品リサイクル法に違反してもコストの安い方に廃棄物を回すのではないかということが懸念される。

表 15.1 高知市における食品廃棄物の現状処理コストとリサイクルコストの比較

項目	現状処理 (焼却)	バイオガス発電 (補助率50%)	
		ケース1	ケース2
収集単価 (円/ t)	16,300 ^{*1}	5,000 ^{*5}	
処理単価 (円/ t)	8,200 ^{*1}	8,000 ^{*6}	
埋立単価 (円/ t)	230 ^{*2}	0	
設備単価 (円/ t)	17,800 ^{*3}	10,100	
(合計)	42,530	23,100	
<有害物質の発生の可能性>	高い	低い	
<処分場への影響>	ある	ない	
<リサイクル製品価格> (円/ t)	0	2,600 ^{*7}	
<食品廃棄物のバツズ価格> (円/ t)	-42,530	-20,500	
<バツズ価格の負担割合>			
発生業者 (円/ t)	2,500 ^{*4}	2,500	20,000
自治体 (円/ t)	40,030	18,000	500
		(注)発生業者から収集処理料金として20,000円 / t(標準条件)徴収する場合、自治体の負担額は500円/ となり、現状の40,030円/ から大幅な減額となる。	

- * 1 清掃事業概要 平成12年度版 (高知市環境部) による。
- * 2 上記の清掃事業概要をもとに焼却による減容率1/10として筆者が推定した。
- * 3 高知市の新設焼却設備データ (建設費320億円、処理量400 t/日、稼働日数300日/年×15年) をもとに筆者が推定した。
- * 4 高知市条例による。
- * 5 収集用トラック1台、収集容器1式、人件費からなる。
- * 6 施設の維持管理費、点検 補修費からなる。人件費は* 5 に含めた。
- * 7 売電料 (第3部参照)

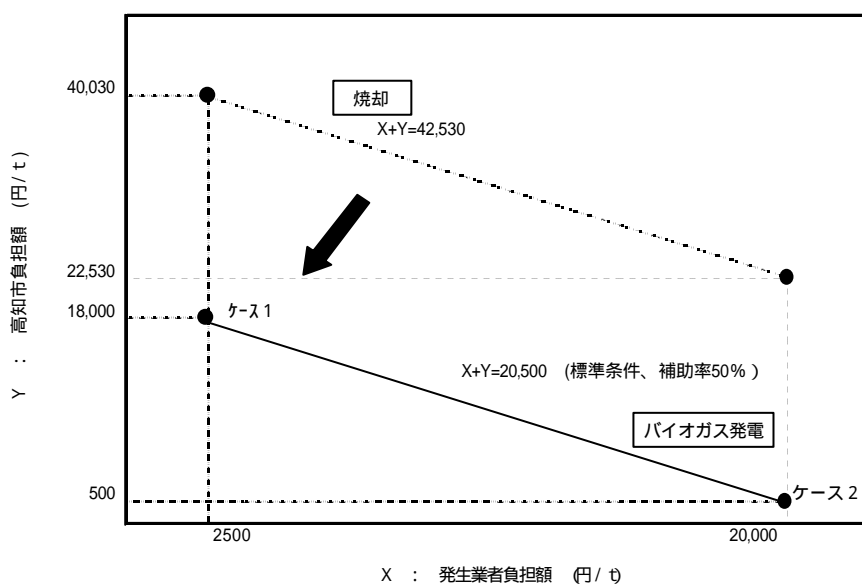


図 15.1 高知市と発生業者のバツズ価格の負担割合

15.3 食品廃棄物の市場リサイクルの条件

食品廃棄物のリサイクル事業にとって、原料となる廃棄物量は、収集処理単価と共に事業の経済性を左右する重要な因子である。ところが、前項において述べたような懸念される状況が起こり得ることを考えると、一定廃棄物量の安定的確保は、発生事業者の考え方に依存しているという極めて不安定な状況に置かれていることになる。

一方、発生事業者は廃棄物処理の意思決定に際し、経済的ダメージと対応コスト（徴収される収集処理料）増の中で常にトレードオフの選択を迫られることになる。発生事業者にとって、経済的ダメージとは、例えば次のようなものがあげられる。

- 環境対応の姿勢に対する消費者の批判や企業イメージの悪化
- 法的制裁
- 競合他社の積極的対応による競争優位性の低下

これらの経済的ダメージと対応コストを比較したとき

対応コスト > 経済的ダメージ

という関係になっているときは、発生事業者は何も高いコストをかけてまでして廃棄物をリサイクルに回すようなことはせずに、現状通り焼却に回し、少なくとも経済性の面からはどの企業もリサイクルには協力しないと思われる。

そこで、食品廃棄物をリサイクルするためには、企業及び自治体に次のことが要請される。すなわち、近年の循環型社会の構築に向けた意識の高まりを受け、企業に対しては必ずしも短期的な経済性のみで意思決定をするのではないという価値観の転換が望まれ、地方自治体（高知市）に対しては条例で規定している安い収集処理料金を適正なものに直すことが求められる。

参考文献

- 1) 細田衛士、グズとバズの経済学、東洋経済新報社、1999

第 16 章 公的補填の意義

廃棄物だからといって必ずしもバズになるわけではない。廃棄物であってもプラスの価格で過不足なく取引されればグズである。ある廃棄物がグズになるかバズになるかは、需給のバランスによって決まり、しかもこの需給のバランスは制度的な枠組みに規定される¹⁾。しかし、どんなにうまく枠組みを作っても、市場メカニズムのみではグズにできないものがある。本研究で対象としている食品廃棄物は、まさに“それ”である。こうしたものをグズとして取引するためには、バズからグズへ変える仕掛けが必要である。市場の中ではどうしても逆有償であったものを、再資源化してプラスの価格をつけるため、どこかの段階で再資源化に要するコストを補填しなければならない。そうすれば再資源化の実質費用は安くなり、その価格で過不足なく需要される可能性がある。

このコストの補填方法としては、経済学的にいろいろな方法が検討あるいは実施されているが、一つは「補助金」である。すでに第 13 章でみたように、食品廃棄物のバイオガス発電事業においては少なくとも建設資金の 30% の補助が得られるならば経済的に事業が成り立ち、食品廃棄物をバズからグズの転換することが可能となる。

世の中には、産業の動脈部分のみに着目して、補助金等の政策的な支援なしに現状の市場メカニズムの中で事業性がなければ事業としての価値がないといった類の議論もあるが、それは産業の静脈部分を切り捨てた暴論である。今後、循環型社会の構築に向けて、静脈部分を取り込んだ健全な産業の育成が求められており、それに必要な産業政策が実施されねばならない。そのためにも、今後、補助金等の公的補填の意義が高まるものと考えられる。

高知市では、表 15.1 に示したように、食品廃棄物処理に 42,530 円/ t もかけて、わずか 2,500 円/ t しか発生業者から徴収していない。不足分は税金で補填している。その年間補填額を食品廃棄物の 10 t / 日処理の場合について試算してみると次のようになる。

$$(42,530 - 2,500) \text{ 円/ t} \times 10 \text{ t / 日} \times 330 \text{ 日/年} \times 15 \text{ 年} = 20 \text{ 億円/年}$$

これに対し、バイオガス発電事業では、50% の補助率でもその金額はたかだか 2 億 5,000 万円（事業期間 15 年）であり、年間 1,700 万円にも満たない。

こうした比較からも現状の処理方法にいかに無駄が多いかがわかる。今後、静脈産業を育成して循環型社会を実現するためには、こうした無駄を省き、有効な

公的補填制度の一層の充実が望まれるところである。

参考文献

- 1) 細田衛士、グッズとバズの経済学、東洋経済新報社、1999

第 17 章 環境コスト負担に関する考察

17.1 環境コスト負担の基本的な考え方

一般に、環境コストの負担には次の三つの選択肢がある。

公共負担：税金等によって国民全員で負担する。

受益者負担：環境改善によって利益を受ける者が負担する。

汚染者負担：環境を悪くした者が負担する。

この中で、の考え方が、国際的な環境政策の原則として 1972 年の OECD（経済協力開発機構）によって提唱されて以来、「汚染者負担の原則」として世界中に普及し、社会的コンセンサスを得るに至っている¹⁾。しかし、これがすべての環境問題に適用できるわけではなく、その問題の種類に応じた取捨選択が必要であることはいうまでもない。

17.2 食品廃棄物の処理コストの負担

15 章で述べたように、高知市では食品廃棄物というバズを焼却処理しており、そのためのコストのほとんどを公共で負担している。一般家庭から排出される生ごみはともかく、事業によって排出されるものまでも公共負担するというのは明らかに不合理である。このような事業系食品廃棄物の処理には汚染者負担、言い換えれば発生者負担が妥当なものであろう。

そもそもこのような理不尽なことが行われているのは、廃棄物処理法が、事業系一般廃棄物の処理を地方自治体に義務づけているからであるが、平成 13 年 5 月に施行された食品リサイクル法では食品廃棄物を排出する「食品関連事業者」にリサイクルを義務づけており、この点は徐々に改善されている。

本研究では、食品関連事業者に収集処理費用のほぼ全額を負担させ、地方自治体の負担をなくすことが可能であることを明らかにした（第 15 章）。今や、食品廃棄物処理においては、発生者負担の原則を実施に移すべき時であろう。

参考文献

1) 石村多門、白川直樹、環境問題へのアプローチ、東京電機大学出版局、pp.102-104、2001

第5部 成果と展望

第5部では、まず、第1部～第4部の研究成果についてまとめ、研究の総合的な評価を行い、起業する場合の課題について整理する（第18章）。次いで、本研究の結果をもとに、バイオガス発電事業の今後の展開について述べる（第19章）。最後にバイオガス発電事業からみた循環型社会の展望を述べる（第20章）。

第18章 研究成果

18.1 研究結果

本研究によって得られた結果を以下に要約する。

1) 事業化推進戦略の策定結果（第1部）

(1) 調査によって、事業系の食品廃棄物は一定の品質（異物混入が極力少ないこと）で有用物（有機物質）を含み、まとまった量が集められることを確認し、そのリサイクル製品（電気）には需要面での問題がないことから、食品廃棄物はエネルギー資源としての利用価値が高いことを明らかにした（第1章）。

特に、一定品質の廃棄物を一定量集めることは、事業を進める上で最も重要である。人口30万人規模の代表的な地方都市である高知市の場合には、スーパー等の量販店から10t/日、魚市場等から10t/日の食品廃棄物を安定的に収集できることを確認した。

(2) 食品廃棄物のエネルギー資源としての利用技術には、「メタン発酵」、「バイオガス発電」、「メタン発酵残渣のコンポスト化」を組み合わせたシステムが最適であり、「標準再資源化標準システム」として選定した（第2章）。

(3) バイオガス発電事業を取り巻くマクロ環境及びミクロ環境について分析し（第3章及び第4章）、その結果をもとに事業成功の要因（KFS）を重要度の高いものから順に次のように抽出した。

KFS：設備費 用地代 製品品質 製品需要 環境負荷 ランニングコ

スト 保守費

(4)バイオガス発電事業は、他の事業（飼料化等）比べてKFSの重要度の高い設備費が高く、弱点となっている。従って、事業戦略としてはこの設備費を抑制することが最重要課題になることを明らかにした（第5章）。

2) 事業化推進策の展開結果（第2部）

(1)事業化推進の方針を明確にし、それに従って筆者の所属するK社が事業主体になり、事業会社「Kテクノサービス」を設立した（第9章）。

(2)Kテクノサービスが最初に手がける案件として、高知市内で次の二つのプロジェクトに取り組むことにした。

プロジェクト1：スーパー等の量販店から排出する食品廃棄物を対象としたバイオガス発電事業（処理量10t/日）

プロジェクト2：魚市場等から排出する魚腸骨を対象としたバイオガス発電事業（処理量10t/日）

(3)本事業には多くの組織が関係する。これらの関係組織からなる事業のスキームを示した（第10章）。

3) 事業実施計画の経済性評価の結果（第3部）

(1)プロジェクト1を代表に選び、標準再資源化システムに従って施設の計画を行った（第12章）。

(2)施設建設費の見積もりを行い、それを基に事業の経済性を評価した。その結果、次の条件で事業が経済的に成り立つことを示した（第13章）。

食品廃棄物の処理量：10t/日（標準条件）

収集処理単価：17,000円/t以上（発生業者から徴収）

売電単価：公共施設の電力会社からの購買単価に同じ

（ただし、補助率50%の場合）

(3)標準条件（処理量：10t/日、収集処理単価：20,000円/t）の場合、事業成立のための最低補助率は30%であることを示した（第13章）。

(4)ステークホルダーとして、既存の食品廃棄物収集業者、地元住民、地方自治体、食品廃棄物発生業者を取り上げ、それぞれへの対応の考え方を示した(第14章)。

4)事業化における重要事項に対する検討結果(第4部)

第4部では、食品廃棄物の処理・再資源化事業におけるいくつかの重要事項を取り上げて検討した。その中で、食品廃棄物を高知市に代わって本事業で処理すれば、トータルコストの削減が可能であり、高知市の財政負担を大幅に軽減できる見通しを示した。すなわち、高知市の場合、現状では焼却処理のために40,030円/tの負担をしているが、本事業によってこの負担額を“ゼロ”近くまで引き下げることができる。

18.2 総合評価

一般に、廃棄物のリサイクル事業を市場経済のメカニズムに乗せるための基本条件として次の二点があげられる。

リサイクル製品の需要があること

“リサイクルコスト リサイクル製品の価格”の関係が成立すること

本事業の場合、リサイクル製品である電気には需要面ではほとんど問題がないので、この条件はクリアできる。問題は、である。第15章で述べたように、食品廃棄物に対してはこの関係は成立しない。しかし、食品廃棄物のようなバズの処理を市場経済のメカニズムに乗せるためには、一事業の経済的側面のみ限定して判断するべきではなく、広く環境への影響、資源エネルギー問題への対応などを含めて評価することが必要になってくる。また、食品廃棄物のリサイクル事業による地方自治体の財政負担の軽減といった面からも評価しなければならない。そこで、食品廃棄物のリサイクルについては、市場リサイクルの条件として、に代わって次の、が考慮されるべきである。

資源・環境保全等も含めた総合的なリサイクルコストとして評価すること
自治体の財政負担の軽減に対する貢献度を評価すること

本研究の結果は、こうした観点から定性的ではあるが次のように評価される。

1) 現行処理の抱える問題点への対応

(1) 資源保全

本研究で取り上げたプロジェクトは処理量が10t/日で小規模ではあるが、それでも食品廃棄物1トン当たり140kwhの売電が可能である。これに相当する分だけ化石燃料が節約できる。このことから、本事業は確実にエネルギー資源の保全、多様化に貢献するといえる。

(2) 環境保全

現行の焼却処理に比べて、本事業で採用したシステムはダイオキシンなどの有害物質を排出しない。硫化水素やアンモニアは工程内で発生するが、それらは無害なレベルまで除去されるので問題はない。二酸化炭素もメタン発酵の過程で発生するが、その一部は元々空気中に存在していたものが光合成によって植物性食品に取り込まれたものであり、さらに食品中に取り込まれるという循環システムを考えれば、化石燃料の使用によって放出される二酸化炭素とは比較にならない程度に少ないものと思われる。

こうした点から考えて、本事業は環境保全の点でもその期待に応え得るものである。

(3) 地方自治体の廃棄物処理財政の改善への貢献度

第15章の表15.1及び図15.1に示したように、本事業は、現状の焼却処理に依存した地方自治体の廃棄物処理に伴う財政負担の軽減に貢献することができる。

2) 事業性の有無

第13章で検討したように、本事業は補助金の支援を必要とはするが、事業として成り立つ。その結果、地域の産業振興にも貢献し得ると期待される。

3) 循環型社会の構築に対する貢献度

以上述べた各観点からの評価を総合して、本事業は目標とする循環型社会を構築するための一つ的手段として貢献しうるものと評価される。

18.3 結論

本研究は次のように結論される。

食品廃棄物を利用するバイオガス発電事業には事業性がある。

同事業によって、食品廃棄物処理のトータルコストを自治体による現行の処理法（焼却）に比べて大幅に削減でき、自治体の財政負担を軽減することができる。

同事業は地域の産業振興に寄与する。

同事業は循環型社会構築の一つの手段となる。

18.4 課題

第14章で事業化の課題について述べた。ここでは、それらも含め本事業を進める上での当面の課題を整理しておく。

1) 事業面での課題

(1) 起業時

ステークホルダーへの対応

既存廃棄物収集業者の既得権の扱い

発電設備設置地域周辺の住民に対する事業説明と了解を得ること

初期投資額の低減化

高知市条例の改正による廃棄物収集処理料の適正化

この中で は事業会社が単独で解決することはできない。地方自治体主導で解決すべきことはいうまでもない。 は事業化の絶対条件ではないが、食品リサイクル法を実効あるものにするためには、現行の収集処理量 2,500 円/t を適正なものに改正することが望まれる。

(2) 将来

将来的には、食品廃棄物の安定的確保が課題となる。現在の予想では、食品廃棄物の総発生量の減少はないと考えられるが、今後の技術開発の動向によっては食品廃棄物が発電以外の原料にまわることもありうる。例えば、生分解性プラスチックの原料化である。対策として、起業時に廃棄物の発生業者との間で「食品廃棄物の長期受入契約（仮称）」を結び、リスクの回避を図る必要がある。

2) 技術面での課題

本事業による二酸化炭素の削減効果については、定量的な評価をしておくことが望ましい。

第19章 今後の事業展開

19.1 環境ビジネスの変遷

環境問題は、図19.1に示したように、大きく次の4つの世代に分けて考えることができる¹⁾。

第1世代：公害への対応時代

第2世代：省エネルギー追及の時代

第3世代：地球環境問題への対応の時代

第4世代：ゼロ・エミッション追求の時代

こうした環境問題の変遷に応じ環境ビジネスも変わってきた。現在は、第3世代に位置するものの、既に第4世代に分類すべき傾向も現れ始めているといわれる。第3世代型のビジネスとしては、廃棄物のリサイクルや環境調和型の商品・材料等が挙げられ、第4世代型のビジネスとしては、環境修復(河川・湖沼・土壌などの浄化や修復)、環境調和型のエネルギー(太陽光発電、風力発電、バイオマスなど自然エネルギーの使用、天然ガス、アルコール、水素など大気汚染の少ない燃料の使用、等)等が挙げられる。

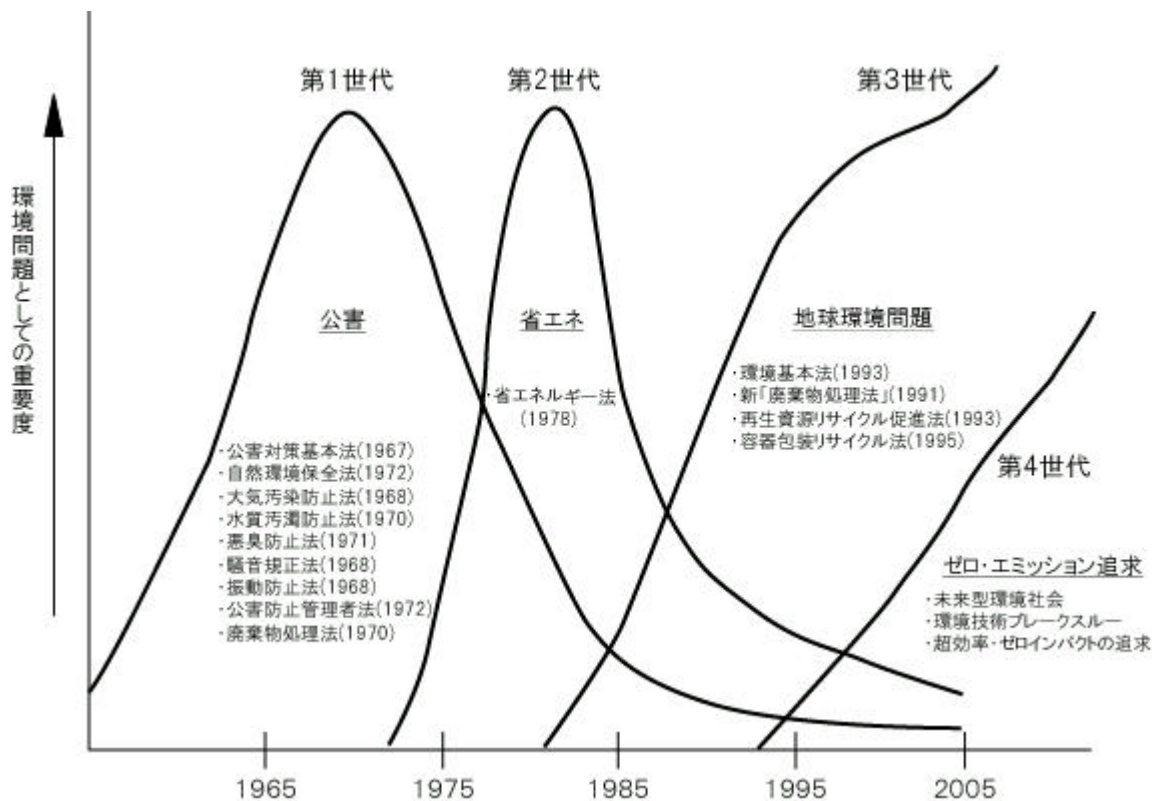


図19.1 環境ビジネスの変遷

19.2 環境ビジネス市場の動向

前記のような環境ビジネスの変遷の中で、今後、市場環境も変わってくると思われる。その動向は次のように予想される。

環境問題に対する企業の姿勢の変化

企業にとって環境問題に対応するかどうかの判断は、「対応することによるコスト」と「対応しないことによる経済的ダメージ」の大小による（第15章15.3項参照）。従来は、前者が後者を上回り、法的規制でもない限り対応しなかった企業も経済的ダメージの大きさを評価し、環境問題に積極的に対応することによって競合他社に対する差別化を図ろうとする傾向が強まるものと思われる。

地方自治体の財政負担の軽減に対する要請の強まり

現行の法制下では、一般廃棄物の収集処理は地方自治体が行うように義務づけられている。これは既に述べたように地方自治体の財政にとって大きな負担になっている。今後は、廃棄物処理のトータルコストの低減とともに地方自治体の財政負担の軽減化に対する要請が強まり、自治体は民営化や参入事業者の制限の規制緩和によって環境問題を解決しようとする傾向が拡大するものと思われる。

電力事業、廃棄物処理事業への参入企業の増加

電力の規制緩和による売電の自由化や廃棄物処理に関する収集・運搬などの許可の緩和により電力事業、廃棄物処理事業への参入企業が増加するものと思われる。

こうした環境ビジネスの市場は右肩上がりで成長していく市場というよりは、さまざまな環境問題が出現しそれを解消するために市場が形成され、それが社会システムにビルトインされる形で解決され、やがて市場が縮小していくといわれる¹⁾。例えば、廃タイヤの処理である。かつて、廃タイヤは廃棄物中間処理と最終処分業者により処理され、その費用は自動車ユーザ、自動車ディーラー、解体業者によって負担されていた。それが一時期の社会問題化をきっかけにして、それを解消するための市場が形成され、現在では溶鉱炉やセメントキルンで燃料として使用されるという形で社会システムにビルトインされ、大幅な処理コストの低減になっている。

食品廃棄物の処理も同様な経過をたどり、社会システムの中に定着していくものと思われる。すなわち、食品リサイクル法の制定によってリサイクル市場が形成され、バイオガス発電事業等の事業化が進み社会システムへビルトインされる。その結果、トータル処理コストの低減とともに地方自治体の負担の低減になっていくものと予想される。そこでは従来のような地方自治体が事業主体で処理設備メーカーが設備を提供するといったシンプルなビジネスから、民間の事業主体が地方自治体のもつ様々な問題（トータルコストの低減、財政負担の軽減等）そのものを解決する型のビジネスになっていくと思われる。

19.3 バイオガス発電事業の進むべき方向

1) バイオガス発電事業の特徴

本事業の主な特徴を、既に述べたものも含めてあげれば次のようになる。

大企業の持つ技術と地方の中小企業の持つ技術を組合わせた地域振興型の新しい事業モデルであること

本事業は、事業化という点では、『地域の中小企業が中心となって自らの技術と大企業の所有する技術を組合わせた技術を基に地域内で起業し、地域内で発生する廃棄物資源を活用してエネルギーを取り出し、それを地域内で利用する。同時に発生した有機性の固形物は地域内の農地に還元する。さらに、同じ地域企業が設備の運転・保守を行い事業を継続する。』ということに最も大きな意義がある。こうした意味で、本事業は一つの社会実験でもある。

地方自治体にとっては財政負担の低減化が図れること

食品廃棄物の発生事業者にとっては食品リサイクル法へ対応し、企業イメージの向上が図れること

電力の自由化に対応できること

2) 今後の事業展開の方向

本事業は上記の特徴を有し、日本の環境ビジネス市場の今後の動向に沿うものである。特に、食品廃棄物のリサイクル市場が形成され、バイオガス発電事業等が社会システムにビルトインされるまではかなりの速度で発展するものと予測される。

そこで、本事業は次の手順で展開されるべきであると考える。

前章で指摘した起業時の課題の解決を図り、高知県で事業化する。

その結果、社会実験としての成果を出し、地域の産業振興に寄与し得る一つのモデルであることを実証する。

高知県での実績をもとに他の地方都市へ事業展開する。

参考文献

- 1) マーサー・D・リトル社環境ビジネスプラクティス、環境ビジネスの成長戦略、ダイヤモンド社、p.14、1997

第20章 循環型社会の展望

循環型社会とは、豊かな環境を将来の世代にまで維持し持続的成長が可能な社会であり、そこでは資源として再利用できる廃棄物は分別回収・リサイクルすることにより資源として再生し、また、そもそも廃棄物を発生させないモノ作り・消費行動が社会の隅々まで浸透することにより、製品・部品の長期使用・再使用がなされる社会がイメージされる。

こうした循環型社会をつくるには次の二つの条件を満たさねばならない。

資源保全

環境保全

さらに、この二つの条件を満たすためには、次の二つを実現する必要がある。

再生が可能な資源の徹底活用

廃棄物の再資源化

これら二つのことを実現するには、地域という実際に人々が仕事をし、生活をしている暮らしの場で実践することが必要であり、そのために地域で排出する廃棄物は可能な限り、排出された地域で資源化して利用することが求められる。すなわち、地域のゼロ・エミッションが基本となる。

ここで、地域のゼロ・エミッションをエネルギー資源と廃棄物処理の面から考えてみる。まず、エネルギーの分野では、「分散型エネルギー供給体制」が求められよう。従来のような化石燃料と原子力に支えられたエネルギー供給体制は、持続不可能な供給体制で、いつまでも継続できない。今後はこれに代わり、再生可能でクリーンなエネルギーを活用する技術を開発し、その事業化を進めることが重要になってくる。分散型エネルギー供給源としては燃料電池、太陽光発電、風力発電、地熱発電、小型水力発電、バイオマス発電などがあげられる。これらのいずれか一つでもって化石燃料にとって代わることは難しいので、今後は複数の分散型エネルギーを上手に組み合わせて使う「ベストミックス」の積極的な展開が必要になってこよう。分散型エネルギーには、CO₂の排出量が相対的に少ないこと、再生可能なエネルギーであること、小型の施設であるため周辺環境への負荷が相対的に小さいこと、などの特長がある。地域がこのような分散型エネルギーを取り入れていくには、長期的な視点で取り組み、経済的にも採算が合うシステムを作りあげることが必要である。

次に廃棄物処理の面についてみると、戦後日本の廃棄物排出量は景気などによ

る若干の影響を受けながらも総じて増加し続けてきた。その処理は、焼却に大きく依存し、広域化が進んできた。しかし、廃棄物処理の広域化は、大量廃棄社会の仕組みと指摘されるように、すでに限界に達している。また、国はダイオキシン対策から広域化による廃棄物の大容量集中管理を推進しようとしているが、新たな焼却施設の建設が難しくなってくる中、いずれ廃棄物処理は分散化に向かわざるを得ない。廃棄物は、発生地域で処理し無害化するとともにエネルギーや資源を可能な限り取り出すシステムが求められている。

このようにみえてくると食品廃棄物を利用したバイオガス発電は、エネルギー供給の面においても、また廃棄物処理の面においても地域のゼロ・エミッションの要請に応え得るものであるといえる。従って、バイオガス発電の事業化が各地域で進展することは、循環型社会の実現につながると期待される。

最後に、外国人が日本の環境ビジネスをどのようにみているのか、ということに触れておきたい。ボストンにあるベンチャーキャピタル Zero Stage Capital の創業者であり、MIT の教授でもある Gordon Baty 氏は、今後の日本においてはエネルギー・環境分野が有望であり世界をリードするであろうと述べ、その理由に化学・金属、機械設計、大規模プロジェクトの運営経験など日本の強みが活かせることを挙げている¹⁾。また、その市況ドライバーとして次のような項目を挙げている。

- 発電施設の分散化
- 電力産業の規制緩和
- 石油代替燃料
- 環境保護の強制化
- 原発への反抗感情
- 非集中化（テロ対策）等

これらの項目は、本研究の動機とも一致するところが多く、バイオガス発電事業の将来性を裏付けるものといえよう。

循環型社会の実現に向けて、エネルギー・環境分野では、ビジネスチャンスの拡大が見込まれる。そうした中で、事業を志す者は、事業の経済性だけでなく、環境保全や資源保全といった社会の要請に応えていかなければならない。本研究はこうした要請に対する一つのソリューションであると結論できる。

参考文献

- 1) Gorton Baty、高知工科大学大学院講義資料 (November 4, 2001)

謝 辞

終りに臨み、研究の遂行に際し終始懇篤なご指導を賜り、論文の取りまとめにおいても適切な助言を与えてくださった高知工科大学の馬場敬三教授に心から御礼申し上げます。

また、貴重な技術情報をご提供くださった鹿島建設株式会社の関係者の方々並びに勤務時間内の研究に多くの便宜をおはかりくださった株式会社垣内の垣内敬陽社長に深く感謝致します。

さらに資料の整理等にご協力いただいた株式会社垣内の片岡雅美さん並びに高知工科大学大学院生の伊野部雄策君に感謝致します。