The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	都市域で発生する食品残渣の最適循環システムに関する研究
Author(s)	池田, 由起
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/65
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

工9/0557

都市域で発生する食品残渣の最適循環システムに関する研究

２００５年2月

池　田　由　起

都市域で発生する食品残渣の最適循環システムに関する研究

２００５年2月

池　田　由　起

目　次

緒　論　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

望ましい食品資源循環システムの提案

第１章　都市域で発生する食品残渣の循環・再生利用における現状と課題　・・・・・・ 5
第１節　わが国における食品廃棄物の発生と再利用状況　・・・・・・・・・・・・・・ 5
第２節　大阪府内における食品残渣の発生・再利用状況　・・・・・・・・・・・・・・ 6
第３節　小括　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 10
参考文献

第２章　環境負荷の低減等を軸とした食品残渣の望ましい再生利用システムの方向性　・ 12
第１節　農産物の生産と貿易に伴う世界的な栄養塩の偏在　・・・・・・・・・・・・ 12
第２節　わが国の食料供給と消費に伴う栄養塩の収支　・・・・・・・・・・・・・・ 13
第３節　食品残渣の再生利用における資源利用効率　・・・・・・・・・・・・・・・ 19
第４節　小括―食品残渣の望ましい再生利用システムの方向性と課題　・・・・・・・ 20
参考文献

第３章　食品残渣の飼料化システムを組み込んだ望ましい食品資源循環システムの提案　22
第１節　飼料の供給・流通状況　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 22
第２節　飼料化において考慮すべき食品残渣の条件　・・・・・・・・・・・・・・・ 24
第３節　都市域から発生する食品残渣の特性　・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 26
第４節　現存する食品残渣のリサイクルシステム　・・・・・・・・・・・・・・・・ 35
第５節　小括―望ましい食品資源循環システムの提案　・・・・・・・・・・・・・・ 39
参考文献

望ましい食品資源循環システムを構成する再生利用システムとその技術課題

第４章　飼料化のための容器包装類の除去システム　・・・・・・・・・・・・・・・ 43
第１節　容器包装類の分離方式の選定　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 43
第２節　圧縮式袋除去機による容器包装類の除去実験・・・・・・・・・・・・・・・ 43
第３節　CO_2レーザーによる袋類の切断実験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 49
第４節　最適容器包装除去システムと処理コスト　・・・・・・・・・・・・・・・・ 51
第５節　小括　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 53
参考文献

第５章　食品残渣のマダイ用飼料化システム　・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 54
第１節　養魚用飼料原料に適した食品残渣　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 54
第２節　乾燥処理技術の検討　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 55
第３節　マダイ用ペレット飼料の作製　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 59
第４節　養殖マダイへの給餌試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 63
第５節　マダイ用ペレット飼料の製造コスト　・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 65
第６節　小括　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 70
参考文献

第6章　野菜・果実屑を利用した牛の飼料化システム　・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 72
第1節　スーパーマーケット等における野菜・果実屑の排出状況　・・・・・・・・・・ 72
第2節　乳酸発酵による高品質飼料化実験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 74
第3節　高速嫌気発酵・飼料化実験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 77
第4節　高速乳酸発酵飼料の製造コスト　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 82
第5節　小括　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 83
参考文献

第7章　残飯類の豚・鶏用乾燥飼料化システム　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 85
第1節　残飯類の既存飼料化技術とその課題　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 85
第2節　蒸洗クッカー・脱油乾燥飼料化実験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 88
第3節　蒸洗クッカー・脱油乾燥処理システムの最適化と製造コスト　・・・・・・・・ 95
第4節　小括　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・100
参考文献

第8章　メタン発酵処理等エネルギー・資源回収システム　・・・・・・・・・・・・・・・102
第1節　メタン発酵処理を中心とした最適エネルギー・資源回収システムの検討　・・102
第2節　加熱前処理・中温メタン発酵処理システムによるエネルギー回収　・・・・・107
第3節　中温メタン発酵処理におけるメタン収率と炭素転換効率の向上　・・・・・・112
第4節　消化液の浄化処理　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・120
第5節　ユーグレナ培養による消化液を利用したバイオマス生産の可能性　・・・・・123
第6節　メタン発酵・消化液処理・汚泥堆肥化システムの処理コスト　・・・・・・・126
第7節　小括　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・129
参考文献

望ましい食品資源循環システムを構成する再生利用システム実現における課題

第9章　食品資源循環事業モデル　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・131
第1節　大阪府内で発生する飼料化可能な食品残渣量の推計　・・・・・・・・・・・131
第2節　食品資源循環センター構想　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・132
第3節　食品資源循環事業の事業採算性　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・138
第4節　小括―食品資源循環事業実現への課題　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・145
参考文献

第10章　食品廃棄物から食品循環資源への転換のために　・・・・・・・・・・・・・・・147
第1節　廃棄物管理/資源循環型社会形成に求められる市民像　・・・・・・・・・・・147
第2節　先進的な市民活動が創り上げた地域文化　・・・・・・・・・・・・・・・・・149
第3節　牛乳パックの回収やリサイクル活動に見る市民意識　・・・・・・・・・・・152
第4節　女子大生の食への意識と行動に見る環境教育の効果　・・・・・・・・・・・152
第5節　廃棄物管理/資源循環システム形成への市民と行政の関係性　・・・・・・・156
第6節　小括　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・157
参考文献

総括ならびに結論　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・159

緒　論

現在においても、先進諸国で農産物過剰の国がある一方で、世界では 12 億の人々が栄養不良状態にあると言われている。さらに、地球の人口は21 世紀半ばに 90 億人に達するとも予測されているが、耕地面積の増加も単位面積当たりの収量の増加も期待できず、食糧生産は頭打ちになるという指摘があり、この人口をどう養うのかという大きな課題が目前にある。

一方、わが国の食料自給率は主要先進国の中で最低の水準であり、食料の多くを輸入農産物に依存している。従って、将来の日本の食料安全保障を論じるならば、自給率の向上が不可欠な課題といえる。

農業は、本来、その生産の過程で、土、水、動植物などの自然環境を形成・保全すると同時に、こうした自然環境において生産される資源を持続的に循環利用することを可能にする自然循環的な機能を持っている。しかし、安価に入手できる輸入資源やエネルギーを多量に投入して生産効率を追求してきた近代の農業は本来の姿を失い、有機物や栄養塩による環境汚染源ともなっている。

近年、環境汚染の一因といわれる資源浪費型農業から、環境負荷の低減を目指した持続的な循環型農業への転換が求められ、平成 11 年 7 月に「食料・農業・農村基本法」が制定されるとともに、「持続性の高い農業生産方式導入の促進に関する法律」、「肥料取締法の一部を改正する法律」、「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」のいわゆる農業環境三法が施行された。

「食料・農業・農村基本法」は、国内の農業生産の増大を図ることを基本とした食料の安定供給の確保と、農村で農業生産活動が行われることにより生ずる食料その他の農産物の供給の機能以外の多面にわたる機能が、将来にわたって適切かつ十分に発揮されることを目標として制定された。また、農業環境三法は、(1) 環境負荷を低減する農業を実践しようとしている人を「エコファーマー」として認定し、(2) 堆肥などの適切な利用を図るため、成分含量表示などを義務づけて品質の保全を図り、(3) 畜産糞尿を堆肥化して有機資源としての利用を促進させる、ことを主旨とするものである。すなわち、農薬や化学肥料の使用を減らし、畜産糞尿等有機物の堆肥化による土づくりで環境負荷を低減させ、農地の生産力を維持し、後の世代に良い環境と生産力の高い農地を残していくことを目標としたものである。

一方、食品関連産業から排出される生ごみや残飯などの食品廃棄物について、平成 12 年 6 月制定、平成 13 年 5 月 1 日より施行された「食品循環資源の再利用等の促進に関する法律」（食品リサイクル法）によって飼料や肥料、その他への再資源化が進められつつある。

しかし、本来の姿を失い有機物や栄養塩による環境汚染源となっているわが国の農業を持続的な循環型農業に転換していく中で、農業から分断され廃棄物として処理されてきた食品廃棄物をリサイクルすることがどのような影響を及ぼすのかについての検討や、持続的な循環型農業における食品廃棄物の望ましい循環とはといった議論や合意形成が十分に行われないまま、食品廃棄物の堆肥化やメタン発酵処理が進められているのが現状である。本来は、望ましい食料供給と環境保全対策を融合させるための十分な考察や合意形成が不可欠であるといえる。

食品リサイクル法によって、食品廃棄物とは、1)食品が食用に供された後に食用に供されずに廃棄されたもの、2)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、食品循環資源とは、「食品廃棄物のうち有用なもの」をいうと定義されている。しかし、食料として生産、供給された食品に対する有用か否かの判断でさえ、社会経済情勢によって変化してきたものである。実際に廃棄されている食品廃棄物のほとんどが、その食品を所有し、利用する人びとが「不要」と判断して廃棄したものであるが、「要、不要」の判断は食品として有用であるか否かだけに基づくものではなく、まして資源として有用であるか否かについて判断されたものではない。また、実際に廃棄されている食品をごみとして排出されている状態そのままで有用な資源として利用できるものでもない。廃棄と循環利用には大きな溝があり、食品廃棄物を食品循環資源として利用するためには、排出する人々の循環を意識した分別という行動と、資源として再生利用するシステムが不可欠である。すなわち、食品循環資源と呼び方を変えても、人々が食品廃棄物を廃棄物として見る限り循環資源にはなりえず、そこには食品廃棄物を食品循環資源に転換することを明確に意図した社会システムの構築と合意形成が不可欠である。そのためには、まず都市域での食品利用に関連して発生する副産物、売れ残り、食べ残しなど、廃棄物として処理されているものの有用性を把握して、資源に転換できる方策を確立するための検討が必要である。そこで、食品廃棄物ではないものの食品循環資源にもなっていない発生した段階での食品製造副産物、売れ残り、食べ残しなどをここでは食品残渣と呼び、これを廃棄物にするのではなく、資源として循環利用するための望ましいシステムについて、事業としての実現可能性をも含めて検討することとした。

本論文では、都市域から多量に発生する食品残渣の中でも、再生利用が遅れ一般廃棄物として処理されている食品残渣の望ましい資源循環システムの構築に向けて、多面的に循環システムのあり方を考察し、その中から選抜された資源利用効率が高く環境負荷が小さい飼料への再生利用システムと、飼料化できない食品残渣を利用したメタン発酵によるエネルギー・資源回収システムについて、その技術的特徴を整理するとともに事業採算性等を把握することによって、食品残渣の飼料への再生利用システムを組み込んだ望ましい食品資源循環システムを実現するために克服すべき社会・経済面における課題を検討している。本論文の構成は、以下のとおりである。

第1章では、わが国の食料生産、流通、消費のプロセスから排出される食品廃棄物の発生と再生利用状況、及び大阪府内における食品残渣の発生と再利用状況を把握し、食品残渣の再生利用を進めるために検討すべき対象とその課題を整理している。

第2章では、地球規模の環境利用によって成り立っているわが国の食料供給システムが窒素・リン循環に及ぼす影響と課題を概括し、窒素・リン及び炭素循環の適性化による環境負荷の低減、資源利用効率向上の視点から食品残渣の再生利用技術の特徴を把握し、都市域から多量に発生し一般廃棄物して焼却処理されている食品残渣の望ましい循環システムの方向性について考察している。

第3章では、飼料の流通状況や求められる品質等を把握し、都市域から発生する食品残渣を飼料として再生利用することを念頭にして食品残渣の排出特性等の調査結果を整理し、現存する食品資源循環システムの事例を参考として、食品残渣の飼料への再生利用を組み込んだ望ましい食

品資源循環システムを具体的に提案している。

第4章では、食料品小売業等から排出される容器包装類に入った食品残渣を飼料化するために、高速で異物がまったく混入しない精度に容器包装類を分離する技術について検討し、モデルシステムにおける処理コストを試算している。

第5章では、飼料経費が高騰し、多くの魚粉代替蛋白質源が検索されている養魚用飼料への再生利用が可能な食品残渣を選択し、分別排出、乾燥、副資材混合による飼料への加工からなる一連のペレット飼料化技術とその課題について検討し、飼料製造コストを試算している。

第6章では、卸売市場やスーパーマーケットなどから排出される食品残渣の一部である野菜・果実屑を乳牛の飼料として有効利用するための分別排出、選別した野菜・果実屑の乳酸発酵によるサイレージ化技術とその課題について検討し、サイレージ製造コストを試算している。

第7章では、都市域で多量に発生している残飯類を豚・鶏の飼料として広域的に流通・再生利用するために必要な乾燥処理や脱油処理技術について、既存の技術やシステムにおける課題を把握するとともに、より良質な飼料を生産するために試作した乾燥・飼料化設備を用いた乾燥飼料化実験によって得られた知見を基に、最適システムを設計して製造コストを試算し、残飯類の乾燥飼料化システム実現における課題を把握している。

第8章では、異物混入が避けられない食品残渣や腐敗したものなど飼料化できない食品残渣を対象とする資源・エネルギー回収システムとして、エネルギー回収効率が高い中温メタン発酵処理方式を採用した食品残渣のメタン発酵等処理実験によってメタン発酵特性を把握するとともに、消化液の硝化・脱窒素処理、汚泥の堆肥化処理等について実験的に検討し、さらに消化液中の栄養塩類を利用したバイオマス生産の可能性について考察している。

第9章では、第4章から第8章で検討した各システムを有機的に結合し、多様な食品残渣の排出特性に応じて資源利用効率を高めた飼料への再生事業を食品資源循環事業モデルとして提案し、その事業採算性を把握することによって、望ましい食品資源循環システム実現に向けての社会経済面における課題を考察している。

第10章では、飼料化を組み込んだ食品資源循環システムの成立にとって不可欠な分別する市民、事業者を増やすためには、経済的インセンティブのみではなく、より直接的に市民、事業者の共感と実践に結びつく働きかけやしくみが必要であるとの認識から、市民、事業者が食品残渣をはじめとする廃棄物/資源の分別排出や循環利用を意識し、実践するきっかけとなるしくみづくりや働きかけについて、活動する市民コンサルタントとして得られた経験を基に考察している。

望ましい食品資源循環システムの提案

第１章　都市域で発生する食品残渣の循環・再生利用における現状と課題

第２章　環境負荷の低減等を軸とした食品残渣の望ましい再生利用システムの方向性

第３章　食品残渣の飼料システムを組み込んだ望ましい食品資源循環システムの提案

第1章　都市域で発生する食品残渣の循環・再生利用における現状と課題

わが国の今日の豊かな生活は、海外からの輸入を含めた大量の資源を投入した大量生産による経済社会活動によって支えられてきたが、一方、大量消費の結果として発生する廃棄物は、自然の浄化能力を超えて環境中に排出され、環境汚染、環境破壊を引き起こしてきた。

わが国の食料自給率は、供給熱量自給率で40%、穀物自給率で28%(平成14年度)[1]でしかなく、海外からの大量の食料や飼料の輸入、空気中の窒素固定などによる大量の化学肥料の投入によって支えられてきた食料供給システムにおいても、生産、流通、消費のプロセスから大量の廃棄物が発生している。

本章では、わが国の食料生産、流通、消費のプロセスから排出される食品廃棄物の発生と再生利用状況、及び大阪府内における食品残渣の発生と再生利用状況を把握し、都市域で発生する食品残渣の再生利用を進めるために検討すべき課題を把握している。

第1節　わが国における食品廃棄物の発生と再利用状況

農林水産省の推計[2]によると、平成8年度の食品廃棄物の排出・処理状況は、一般廃棄物5,300万トンのうち家庭系1,000万トン、事業系600万トンが食品廃棄物であり、産業廃棄物として340万トンの合計1,940万トンの食品廃棄物が排出されているとしている(表1-1)。また、食品製造業から排出された動植物性残渣の48%が再資源化されているが、一般廃棄物中の食品残渣の再資源化率はわずかに0.3%にとどまっているとしている。

表1-1　平成8年度の食品廃棄物の発生・処理状況

	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)	1600万トン (600万トン) (1000万トン)	1595万トン (99.7%)	5万トン (0.3%)	-	-	5万トン (0.3%)
産業廃棄物	340万トン (100%)	177万トン (52%)	47万トン (14%)	104万トン (31%)	12万トン (3%)	163万トン (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)	940万トン (100%)	775万トン (83%)	49万トン (5%)	104万トン (11%)	12万トン (1%)	165万トン (17%)
合　計	1940万トン (100%)	1772万トン (91%)	52万トン (3%)	104万トン (5%)	12万トン (1%)	168万トン (9%)

平成14年度に農林水産省が実施した実態調査の結果[3]によると、表1-2に示すように食品産業全体からの食品廃棄物等の発生量は11,314千tで、平成8年度推計の事業系の合計940万トンと比べると120%に増加している。発生量の業種別割合は、産業廃棄物として処理される食品製造業から発生する量が4,834千tで43%、外食産業からの発生量が3,132千tで28%、食品小売業が2,602千tで23%、食品卸売業が746千tで7%と推計されている。一般廃棄物として処理される外食産業、食品小売業、食品卸売業からの発生量の合計は6,480千tで、平成8年度の事業系一般廃棄物と比較すると109%に増加しており、食品廃棄物の発生量が増加し続けていること

を示している。

一方、平成14年度の食品産業における再生利用率は45%となっており、平成8年度の17%から大きく増加している。特に、食品製造業の再生利用率が73%と平成8年度(48%)からが大きく前進したことを示している。しかし、外食産業、食品小売業では平成8年度に比べると再生利用が進んでいるものの、再生利用率は平成14年度でも15～29%にとどまっている。また、再生利用の用途を見ると、食品産業全体では、「肥料化」が37%と最も高く、次いで「飼料化」の36%の順となっている。業種別にみると、食品製造業では「飼料化」が41%と最も高く、食品卸売業及び食品小売業では「肥料化」がそれぞれ39%、42%と最も高くなっている。

このように、食品産業では食品廃棄物の減量化の進展が未だ十分ではなく、特に平成14年度の食品廃棄物発生量の57%を占め事業系一般廃棄物として処理されている食品卸売業、食品小売業及び外食産業における食品残渣の再生利用率は低く、その再生利用方法として肥料化がすすめられている状況となっている。

表1-2　平成14年度の食品廃棄物の発生・再生利用状況

	発生量		再生利用量		再生利用方法の内訳（%）				
	千トン	%	千トン	%	肥料	飼料	メタン	その他	不明
食品製造業	4,834	43	3,514	73	38	41	0	16	5
食品卸売業	746	7	340	46	39	31		7	23
食品小売業	2,602	23	744	29	42	21		25	12
外食産業	3,132	28	461	15	18	25		20	37
発生量合計	11,314	100	5,060	45	37	36	0	16	11

注：発生量の%は、発生量合計に対する割合。再生利用量の%は発生量に対する割合。

第2節　大阪府内における食品残渣の発生・再利用状況

1)既存調査の結果

一般廃棄物として処理されている食品残渣の多量発生源である水産物卸売・小売業，スーパーマーケット，百貨店，外食産業（食堂，レストラン等），給食産業，ホテル，病院などに関する大阪府の調査[4]によると、平成5年度(1993年)のこれらの事業所から発生する動植物性食品残渣は、1300ｔ/日程度で、その内訳は廃食用油が50ｔ／日程度，魚あらが350ｔ／日程度，その他の動植物性食品残渣が 900ｔ／日程度と推計されている。業種別の発生量は、外食産業、給食産業での発生量が多くなっている。業種ごとの1事業所当たりの発生量を表1-3に示すが、1つの事業所で1日に30～800kgの食品残渣が発生している。

発生する食品残渣のうち魚あらは，府内発生量の約40%，140トン／日程度が回収され再利用されており、廃食用油も8割程度が専門業者によって回収、再利用されている。しかし、その他の食品残渣は80トン/日程度が回収されて飼料に利用されているが、91%が廃棄物として焼却処理されていると推定されている。

一方、食品製造業から発生する食品残渣は、570ｔ／日程度で、おからが100ｔ／日、魚あらは9ｔ／日、廃食用油が6ｔ／日程度で、再資源化率は82.9%と推計されている[5]。

このように平成5年度の大阪府内においても、食品製造業から発生する食品残渣の再資源化は進んでいるが、さまざまな食品が混合して排出される食品残渣の再生利用は進んでいない状況であった。

表 1-3　大阪府内の 1 事業所当たりの食品残渣の平均排出量(kg/日)

	魚あら			廃食用油			その他の残渣			合計		
	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
水産物卸売業	2	140	32	0	10	0	0	0	0	2	140	32
水産物小売業	5	1500	166	0	0	0	0	0	0	5	1,500	166
総合スーパー	0	400	77	0	100	19	20	2,500	408	50	2,612	504
食料品スーパー	5	160	47	0	50	6	2	3,750	241	7	3,780	294
百貨店	3	140	123	0	100	26	30	2,300	671	45	2,680	820
外食産業	0	20	13	0	100	7	3	1,080	101	3	1,220	121
給食産業	0	50	4	0	98	7	15	1,000	182	17	1,000	193
病院	0	200	12	0	63	8	2	600	244	2	583	264
ホテル	0		59	0	279	49	10	2,300	530	15	2,540	638

次に、最近の大阪府の事業系一般廃棄物に関する調査[6]によると、平成 12 年度における府内の事業系ごみ総発生量は約 3,120 千トンであり、再生利用率は約 26%(約 810 千トン)、ごみ処理として許可業者または委託収集が約 53%(約 1,630 千トン)、市町村の処理施設への直接搬入が約 10%(約 320 千トン)、市町村の家庭ごみ収集に約 5%(約 200 千トン)と推定されている。このうち、食品残渣は府内全体で 42,234 トン/年(116 トン/日)が再生利用され、許可業者または委託収集ごみに 585,530 トン/年(1,604 トン/日)の厨芥類が排出されていると推定されている。すなわち、平成 12 年度の大阪府内では、家庭系ごみに混入して排出される事業系の食品残渣を除くと、事業系一般廃棄物に分類される食品残渣が約 627,764 トン(1,720 トン/日)発生し、その 7%である約 42,234 トン/年(116 トン/日) が再生利用されていると推定されている。

2)最近の発生・再利用状況の推計

平成 5 年度の調査以来、発生源別の食品残渣の品目ごとの発生量や再生利用状況に関する調査がなされていないため、平成 5 年度の大阪府調査[4]による原単位(表 1-4)を摘要し、平成 11 年事業所統計調査結果における事業所の従業者数より、多量に食品残渣を排出する事業所である水産物卸売・小売業、スーパー、百貨店、外食産業(食堂, レストラン等)、給食産業、ホテル、病院などの事業所等から発生する動植物性食品残渣の排出量を推計した。なお、水産物卸売・小売業は事業所統計の鮮魚卸売業、鮮魚小売業とし, 総合スーパーと百貨店は商業統計表、業態別統計編の百貨店、総合スーパーとし、食料品スーパーは事業所統計における各種食料品小売業, 外食産業(食堂, レストラン等) は事業所統計の日本料理店、食堂・レストラン、すし店、料亭とし、給食産業は事業所統計における仕出し・弁当、料理品小売業とし、ホテルは事業所統計におけるホテルとし、病院は大阪府統計年鑑における病院としている。

推計方法は、小規模事業所の廃棄物が家庭系廃棄物と分離されずに収集される状況等を考慮して、以下の 2 ケースとした。

ケース①: 上記業種の全事業所を対象として推定した場合。ただし、ホテルはレストラン等を有する施設に限るために従業者 30 人以上とした。

ケース②: ホテルは従業者 30 人以上、外食産業(日本料理店、食堂・レストラン、すし店、料亭)は従業者 5 人以上の規模で推定した場合。

なお、大量に食品残渣を排出する業種であって、この大阪府調査に含まれていないものとして青果卸売業がある。青果卸売業は大阪府中央市場、大阪市中央市場(本場及び東部)の 3 中央市場

と、府内25か所程度の地方卸売市場内にあり、野菜・果実屑などが廃棄物として処理されていると推察される。大阪府中央市場での生ごみ調査[7]、大阪市中央市場本場から排出される生ごみに関する調査[8]、及び大阪市中央市場東部でのヒヤリング調査によると、魚あら、段ボールや発泡スチロールのトロ箱などが分別、回収され、1カ所当たり1日平均40～48トンの廃棄物が焼却処理されている。大阪市中央市場東部での視認調査によると、廃棄物として処理されているものの半分程度は梱包材で、残りのほとんどが野菜・果実の売れ残りであった。従って、市場1ヶ所から1日に20トン、3市場合計で60トン程度の野菜・果実屑が廃棄されていることになる。また、近畿農政局大阪統計・情報センターの農林水産統計[9]によると、大阪青果物卸売市場の入荷量として、地方卸売市場の合計と大阪府中央市場、大阪市中央市場(本場及び東部)のそれぞれが1/4程度ずつであることから、大阪府内の卸売市場で廃棄されている食品残渣の量は1日に80トン程度と推計できる。

表1-4　推計に用いた従業者一人当たり発生量原単位(kg/人・日)

	魚腸骨	廃食用油	その他の食品残渣
水産物小売	12.81	0.07	0.02
水産物卸売	16.19	0	0
総合スーパー	0.38	0.09	2.02
食料品スーパー	0.99	0.12	5.11
百貨店	0.1	0.02	0.56
給食産業(料理品小売業)	0.1	0.19	4.79
ホテル	0.13	0.08	1.53
日本料理店	0.47	0.25	3.75
レストラン*	0.1	0.25	3.75
すし店	1.35	0.18	5.36
料亭	0.13	0.08	1.53
その他の飲食店	0.1	0.25	3.75
病院**	0.02	0.01	0.42

＊：日本料理店以外のレストラン
**:病院は、一病床当たりの発生量原単位(kg/病床・日)

以上の事業所からの食品残渣の発生量の推計結果を表1-5、1-6に示すが、ケース①では1,947トン/日、ケース②では1,774トン/日と推計された。

1)で述べたように、大阪府の事業系一般廃棄物に関する調査[6]では、家庭系ごみに混入して排出される事業系の食品残渣を除くと、事業系一般廃棄物に分類される食品残渣が約627,764トン(1,720トン/日)発生していると推定されており、ケース②の推定値は、これとよく一致した結果になっている。

一方、発生する食品残渣の再生利用状況は、魚あら、廃食用油の回収実態は平成5年度以降に大きな変化がないことから、大阪府調査の平成5年度の回収量と同様に魚あらは140トン／日程度、廃食用油は40t／日が回収されていると考えられる。また、平成11年の養豚農家数は平成5年頃から半減し、さらに食品残渣を飼料として利用している養豚農家はその半分となっていることから、その他の食品残渣の回収量は平成5年度の1/4の20トン/日程度と推定した。

以上によって、回収・再生利用されずに事業系一般廃棄物として処理されている食品残渣の量は、廃食用油が20トン/日程度、魚あらが220トン/日程度、その他の動植物性残渣が約1,340

トン/日程度の合計 1,580 トン/日と推計された。

平成 11 年度の大阪府の一般廃棄物発生量[10]は 4,309,414 トン、日平均 11,807 トンであり、うち焼却量は 3,937,475 トン/年、日平均 10,788 トンであった。市町村ごとの焼却量及び焼却対象ごみ質より、乾燥ベースでの厨芥量を算出し合計すると、焼却ごみに含まれる厨芥類は、610 トン/日となった。廃棄されている食品残渣の含水率を 80%とすると 3,050 トン/日、含水率を 81%とすると 3,210 トン/日となる。また、農林水産省[2] による平成 8(1996)年度の全国の食品廃棄物発生量は一般廃棄物として 1,600 万トン、うち家庭系が 1,000 万トンと推計されているが、この全国の一般廃棄物の発生量から人口比（8831390／125864000＝0.07）で府内の発生量を推計すると、一般廃棄物中の食品廃棄物発生量は年間 112 万トン、日量 3,070 トンと推計されることから、平成 8(1996)年度以降の増加傾向等を考慮して、平成 11(1999)年度に大阪府内で焼却処理されている食品残渣の量を 3,200 トン/日と推定した。そのうち、事業系が 1,580 トン/日であるとすると、家庭系として 1,630 トン/日が発生、廃棄されていると推定される。

以上によって、平成 11 年度に大阪府内では、家庭及び飲食店等の事業所において発生する食品残渣は 3,400 トン/日で、家庭及びごく小規模な事業所から排出される一般廃棄物が 1,620 トン／日、小規模な事業所を除く飲食店等の事業所から発生する食品残渣が事業所 1,780 トン／日で、そのうち 200 トン／日が再生利用されていると推定された(表 1-7)。

すなわち、平成 11 年度の大阪府内においても、一般廃棄物として焼却処理されている食品残渣が 3,200t／日もあり、特にさまざまな食品が混合して事業系一般廃棄物として排出される売れ残り、調理屑、残飯等との食品残渣の再生利用が進んでいない状況が把握できた。

なお、平成 13 年 5 月 1 日より施行された「食品循環資源の再利用等の促進に関する法律」（食品リサイクル法）をきっかけとして、大阪府内の事業所においても堆肥化設備の導入等による試行が行われつつある。しかし、食品リサイクル法が、年間排出量 100 トン以上の事業所を対象として、法施行後 5 年以内に排出量を 20%削減するという目標を示していることから、大阪府内では現時点でも実効的な循環システムが構築されないまま推移している状況がある。

表 1-5　大阪府内における事業所からの食品残渣発生量の推計結果(ケース①)

	事業所数	従業者数（人）	発生量（t/日）			
			魚あら	廃食用油	その他	合計
水産物小売	1,420	5,024	64	0	0	64
水産物卸売	1,048	11,057	179	0	0	179
総合スーパー	118	24,778	9	2	50	61
食料品スーパー	1,026	48,763	48	6	249	303
百貨店	25	16,510	2	0	9	11
料理品小売業	2,947	29,517	14	7	111	132
病院	5,394	52,093	5	10	250	265
ホテル	580	117,435	2	1	49	52
日本料理店	138	21,315	3	2	33	38
レストラン等*	15,355	116,009	12	29	435	476
すし店	3,676	21,709	29	4	116	149
料亭	557	4,547	1	0	7	8
その他の飲食店	5,323	31,367	3	8	118	129
青果卸売業					80	80
合　計			371	69	1,507	1,947

*: 日本料理店以外のレストラン

表 1-6　大阪府内における事業所からの食品残渣発生量の推計結果(ケース②)

	事業所数	従業者数（人）	発生量（t/日）			
			魚あら	廃食用油	その他	合計
水産物小売	1,420	5,024	64	0	0	64
水産物卸売	1,048	11,057	179	0	0	179
総合スーパー	118	24,778	9	2	50	61
食料品スーパー	1,026	48,763	48	6	249	303
百貨店	25	16,510	2	0	9	11
料理品小売業	1,686	26,326	12	7	99	118
病院	5,394	52,093	5	10	250	265
ホテル	580	117,435	2	1	49	52
日本料理店	138	21,315	3	2	33	38
レストラン等*	6,018	94,544	9	24	355	388
すし店	1,113	15,786	21	3	85	109
料亭	253	3,700	0	0	6	6
その他の飲食店	1,196	24,452	2	6	92	100
青果卸売業					80	80
合　計			356	61	1,357	1,774

*:日本料理店以外のレストラン

表 1-7　大阪府内における食品残渣の発生・処理状況の推計結果

		発生量	回収量	焼却処理量
家庭系		1,620	-	1,620
事業系	廃食用油	60	40	20
	魚あら	360	140	220
	その他の残渣	1,360	20	1,340
	小計	1,780	200	1,580
合　計		3,400	200	3,200

注：製造業から発生する食品残渣を除く。

第3節　小括

平成8年度では、わが国の一般廃棄物5,300万トンのうち、家庭系1,000万トン、事業系600万トンが食品廃棄物であり、産業廃棄物340万トンとの合計1,940万トンの食品廃棄物が排出されている。一方、食品製造業から排出された食品廃棄物の48%が再資源化されているが、一般廃棄物中の食品残渣の再資源化率はわずかに0.3%にとどまっている。

平成14年度では、食品産業全体からの食品廃棄物等の発生状況は、1,131万トン、平成8年度の120%となり、食品廃棄物の発生量が増加し続けていることを示している。一方、平成14年度の食品産業における再生利用率は45%と平成8年度の17%から大きく増加しているものの、外食産業、食品小売業での再生利用率は平成14年度でも15～29%にとどまっている。また、再生利用の用途は、食品卸売業及び食品小売業では「肥料化」の割合が最も高く、再生利用方法として肥料化がすすめられている状況がある。

平成11年度の大阪府内では、家庭及び飲食店等の事業所において発生する食品残渣は3,400

トン/日で、家庭及びごく小規模な事業所から排出される一般廃棄物が 1,620 トン／日、小規模な事業所を除く飲食店等の事業所から発生する食品残渣が事業所 1,780 トン／日で、そのうち 200 トン／日が再生利用されているが、一般廃棄物として焼却処理されている食品残渣が 3,200t／日にもなる。特に、事業系一般廃棄物として焼却処理されている食品小売業、外食産業等の事業所から排出される食品残渣は、売れ残り、調理屑、残飯等さまざまな食品が混合して排出されるためにその再生利用が遅れていることが推察され、これらの食品残渣の再生利用方法の確立が課題であることが明らかとなった。

第 1 章　参考文献

1) 農林水産省:http://www.kanbou.maff.go.jp/www/anpo/fbs/2-5-1.pdf(2004 年 6 月情報取得)
2) 農林水産省：http://www.maff.go.jp/work/saisei-sanko-1.pdf(2004 年 6 月情報取得)
3) 農林水産省：平成 15 年食品循環資源の再生利用等実態調査結果の概要, http://www.maff.go.jp/toukei/sokuhou/data/junkan-saisei2003/junkan-saisei2003.htm (2004 年 6 月情報取得)
4) 大阪府農林水産部流通対策室・大阪府動植物性残渣リサイクル事業協議会：動植物性残渣リサイクルモデル事業推進調査・検討報告書, pp. 1-25(1993)
5) 大阪府農林水産部流通対策室・大阪府動植物性残渣リサイクル事業協議会：飲食店等動植物性残渣リサイクルモデル推進事業調査報告書, pp. 1-36(1994)
6) 大阪府：事業系一般廃棄物調査報告書, pp. 55-58(2002) http://www.pref.osaka.jp/waste/jigyou/report_H14_3.html(2004 年 10 月情報取得)
7) 全大阪魚蛋白事業協働組合：食品残渣リサイクルモデルシステムの構築について, 平成 7 年度活路開拓調査指導事業報告書, pp. 25-26(1996)
8) 大阪市中央市場本場衛生組合,㈱地域計画建築研究所：大阪市中央市場本場における生ごみの処理方法等に関する調査報告書, pp. 2(2000)
9) 近畿農政局大阪統計・情報センター: 農林水産統計, http://www.osaka.info.maff.go.jp/ (2004 年 6 月情報取得)
10) 大阪府環境農林水産部環境整備室廃棄物対策課: 平成 11 年度 大阪府の一般廃棄物(2001)

第２章　環境負荷の低減等を軸とした食品残渣の望ましい再生利用システムの方向性

わが国の経済社会活動に起因する環境汚染、環境破壊のうち、食に関わる有機性資源の利用によって生ずる環境汚染には、主として有機物系（ＢＯＤ、ＣＯＤ）の水域環境汚染、窒素・リンによる水域の富栄養化に加え、これらの焼却処理による二酸化炭素濃度の上昇による温暖化問題などが挙げられる。こういった環境汚染への負荷を低減しうる手法は多数提案されているが、その一つに都市域で多量に発生する食品残渣を有効利用するための資源循環システムの構築が挙げられる。従って、そのシステムの構築には、少なくとも窒素、リンや炭素循環の適性化への考察が不可欠である。

本章では、地球規模で食料資源を輸入するとともに、高収率、高付加価値を求めるために過剰施肥に陥りがちな農業を内包するわが国の食料供給システムが、特に国内の窒素・リン循環に及ぼす影響と課題を概括し、環境負荷を低減する持続的な循環型農業の実現に寄与する窒素、リン循環の適正化と資源利用効率の向上の両視点から、これまで提案された食品残渣の再生利用システムを評価し、都市域から多量に発生し一般廃棄物して焼却処理されている食品残渣の望ましい資源循環システムの方向性について考察している。

第１節　農産物の生産と貿易に伴う世界的な栄養塩の偏在

近年、世界的に化学肥料の使用量が著しく増加し、栄養塩による閉鎖性水環境の富栄養化が顕在化している。ＵＮＥＰ(1999)は、全世界の窒素循環量は、人間活動の影響が顕在化する前の循環量の２倍に達し、その内訳は60%が化学肥料由来、25%が豆科植物由来、12%が化石燃料燃焼で、さらに全量の85%以上が農業活動に由来していると報告している[1)]。

一方、国際的な農産物貿易に伴う栄養塩(N、P、K)の移動によって、図1-1に示すように栄養塩の地域偏在が起こっていることが分かる[2)]。さらに、図から、農産物輸入と過剰施肥によって成り立っているわが国の食料供給システムは、地域・地球規模での資源の偏在と環境汚染につながっていることが示唆される。

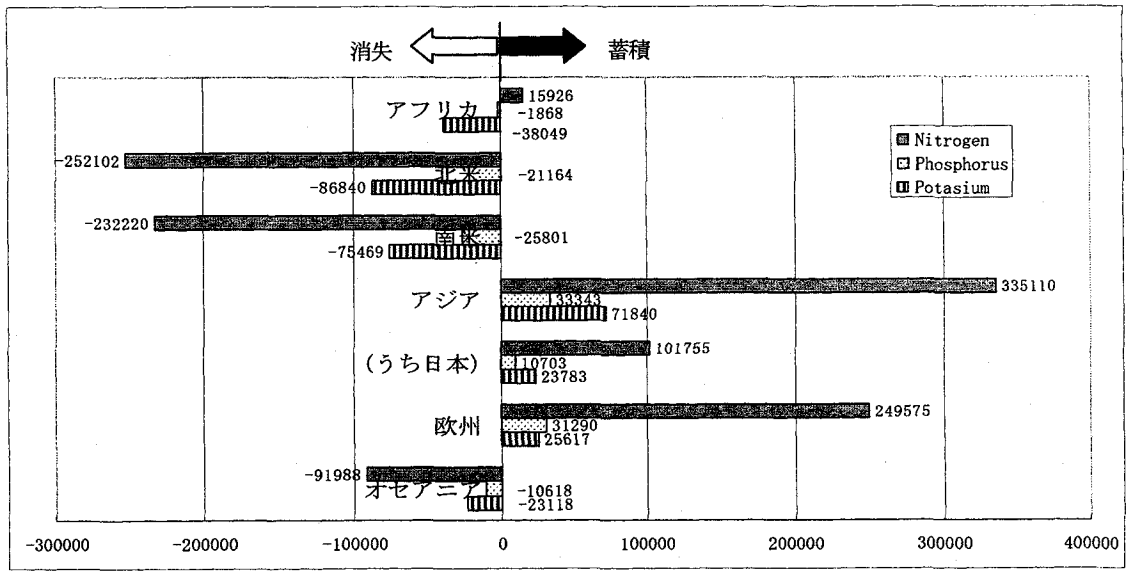


図2-1　主要農産物貿易における栄養塩の地域偏在（単位：トン／年）[2)] より引用

窒素は、エネルギー・資源を投入した大気中の窒素固定による工業的な窒素肥料の製造や、窒素を固定するマメ科植物や藻類による農地、水域への窒素固定があり、一方で生物的脱窒素による窒素ガスへの変換がある。また、人為的に生物的脱窒素を増大させるシステムを構築することなどにより、環境への負荷が変化する。しかし、リンについては、鉱石の採掘から供給されるリンそのものの貿易と農産物貿易に伴う人為的な移動が、リンの地域偏在へと繋がる。太平洋島嶼地域における島そのものの破壊によるリン鉱石採掘事業の歴史[3]を見るまでもなく、リン鉱石の採掘は自然環境の破壊そのものである。また、言うまでもなくリン鉱石の埋蔵量は有限であり、枯渇するとの予測からすでに肥料価格が上昇している、持続可能な資源循環共生型社会を築くためには、リンを使い捨てる生産システムから、利用効率を高めた循環利用システムに転換することが不可欠である。

第2節　わが国の食料供給と消費に伴う栄養塩の収支

食料、飼料の多くを輸入農産物に依存し、食料自給率が主要先進国の中で最低の水準となっているわが国において、農業基本法等によって資源浪費型農業から環境負荷の低減を可能にする持続的な循環型農業への転換が図られつつある。その方向性は、農地への窒素、リンの過剰な施肥量を削減し、畜産糞尿の堆肥化により有機農業を推進し、作物、飼料を増産するものである。そこで、農耕地を中心とした窒素、リン循環を把握することによって、環境負荷の低減を可能にする食品残渣の循環システムのあり方を考察する。

1) 窒素の動向

水谷は、1992年度を対象として、持続可能な栄養物質循環構築の基礎となる食料の輸入、生産、流通、消費に伴う窒素とリンの循環図を様々な統計資料を網羅して提示している[4]。これにより作成した1992年度のわが国における窒素収支を表2-1に、国内における窒素の移動を図2-2に示す。わが国に流入する窒素は輸入資源が979,700トン、無機質肥料が899,000トン（アンモニア合成による空気中の窒素固定）、漁獲が253,200トン、自然の窒素固定が280,000トン（農耕地での固定：155,000トン）で合計2,410,000トンである。一方、流出は、輸出に18,800トン、在庫40,400トンで、大気に266,500トン脱窒素されているものの、農地やし尿、下排水として沿岸海域へ880,800トン流出し、農耕地から土壌、地下水に750,000トン浸透、廃棄物処分地に448,000トン固定されていると推計されている。

次いで農耕地での窒素収支を表2-2に示す。畜産糞尿は水路や土壌に廃棄されていると推察されるが、推計では一旦農地に入るものとしている。農耕地への窒素流入量は1,903,000トンであり、その内訳は無機質肥料が899,000トン（アンモニア合成による空気中の窒素固定）、生物的窒素固定：155,000トン、畜産糞尿が712,700トン、有機質肥料・他が136,000トンである。一方、作物として258,000トン、飼料として200,000トンが生産に利用され、266,500トンが脱窒素されて大気へ戻っているが、429,000トンが河川や海域へ、750,000トンが土壌や地下水に浸透している。このようにわが国では、農業への投入窒素量過多で水域等に大量の窒素が流出し、汚染を引き起こしている。

その対策として、まず化学肥料の投入量を減らすこと、及び農地還元がほぼ唯一の利用方法である畜産糞尿の堆肥化利用が不可欠という認識から、農業環境三法を制定してその対策が進められている。しかし、農耕地から収穫される作物と飼料が持つ窒素量及び土壌からの脱窒素量の合計は724,000トンでしかなく、畜産糞尿とその肥料から発生する窒素量と生物的窒素固定量の合

計881,000トンより少ない。畜産糞尿中の窒素、リンの再利用は、現時点では堆肥化がほぼ唯一の方法であることから、作物の自給率を高めるとしても、肉の消費量＝生産量の維持を前提とすれば、農地では畜産糞尿に起因する窒素の利用促進を図らなければならない。このような見地から、食品残渣に起因する窒素を農地に投入することは農地の窒素過剰をさらに進めることになり、環境負荷の低減化という面から見れば望ましい方向性とはいえない。わが国への窒素投入量を低減するという点において、食料や飼料の輸入量低減は有効な方策であり、都市域で発生する食品残渣即ち食品循環資源の飼料利用は飼料の輸入抑制に寄与することから、窒素循環の適正化において有効な方策と考えられる。

表2-1　日本の窒素収支(1992年度)（文献4）より作成)　　(単位：千トン)

input			output		
輸入	有機質肥料	11.2	輸出	作物	0.1
(979.7)	特殊肥料	0.5	(18.8)	肉類	0.2
	作物	748.6		海産物	18.3
	肉類	76.8		油脂類	0.2
	海産物	140.7	在庫	在庫	40.4
	油脂類	1.9			
海洋より	漁獲	253.2	大気へ	脱窒素	266.5
空気より	無機質肥料	899.0	水域等へ	し尿等海洋還元	6.6
	生物的固定	155.3	(1637.4)	河川,海へ(排水)	880.8
自然より	有機質肥料へ	2.2		土壌・地下水へ	750.0
	特殊肥料へ	0.1	蓄積	廃棄物処分場	447.6
	河川へ	121.2			
合計		2410.7	合計		2410.7

表2-2　農耕地での窒素収支(1992年度)（文献4）より作成)　(単位：千トン)

input			output	
輸入	有機質肥料	11.2	作物	257.9
	特殊肥料	0.5	飼料	199.6
作物より	コンポスト、有機質肥料等	35.7	(利用量計)	(457.5)
肉類	特殊肥料+有機質肥料	7.8		
海産物	特殊肥料+有機質肥料	3.2	河川へ	429.3
油脂類	有機質肥料	0.1	土壌・地下水へ	750.0
汚泥	コンポスト	1	大気へ脱窒素	266.5
家畜より	特殊肥料+有機質肥料	13.1		
家畜より	糞尿	712.7		
自然より	窒素固定菌による固定	155.3		
	有機質肥料	2.2		
	特殊肥料	0.1		
し尿、汚泥		61.4		
大気	アンモニア合成(化学肥料)	899		
合　計		1903.3	合　計	1903.3

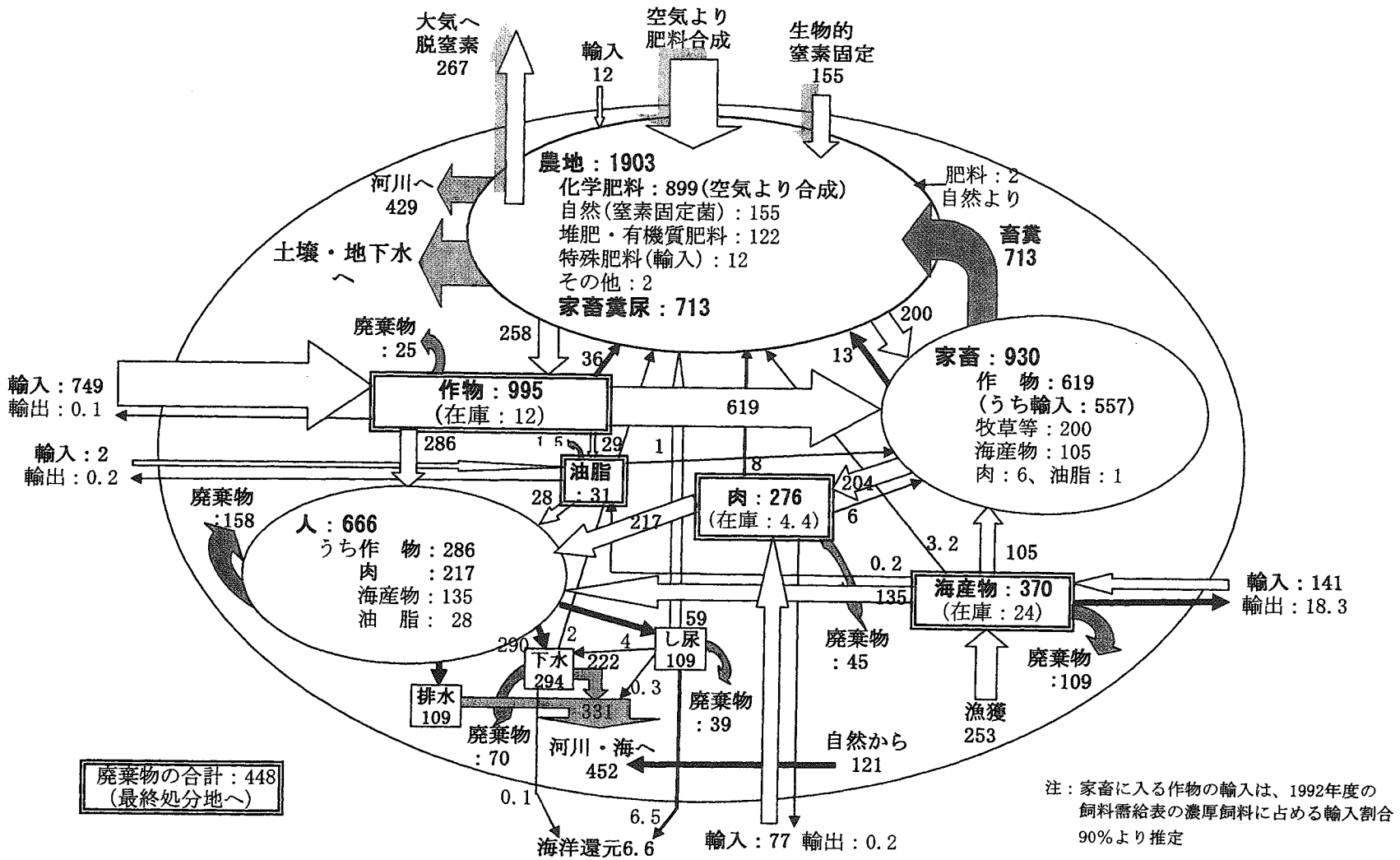


図 2-2　わが国の食料供給と消費に伴う窒素収支(1992 年度)（単位：千トン）[4] より作成

2) リンの動向

水谷の総リン物質循環図[4]より作成した1992年度のわが国におけるリン収支を表2-3に、国内におけるリンの移動を図2-3に示す。リン流入量は674,030トンで、その内訳は輸入資源が558,290トン、漁獲が108,780トン、自然より6,960トンである。輸入資源の558,290トンのうち、無機質肥料が最大で341,590トンである。一方、流出は、輸出に7,400トン、在庫25,880トンであるが、作物、肉などの生産、消費を通じてし尿、下排水として地下水や河川、沿岸海域へ81,900トン流出し、農地に482,200トン、廃棄物処分地に45,310トン固定されていると推計されている。

次いで農耕地でのリン収支を表2-4に示す。水路や土壌に廃棄されていると推察される畜産糞尿は、窒素と同様に推計では一旦農地に入るものとしている。農耕地へのリン流入量は604,620トンであり、その内訳は輸入された無機質肥料が341,590トンと61%を占めている。また、畜産糞尿と糞尿から作られた肥料として256,910トンが農地に投入されている。一方、作物に64,270トン、飼料に約30,000トンが利用されているが、28,150トンが河川や海域に流出し、482,200トンもが農地に残留し固定されている。このようにリンについても、農業への投入量過多となっているが、リンは土壌に固定されることによって水域等への流出が抑えられている。土壌のリン固定能は非常に高いといわれているが、その挙動は十分に解明されておらず、現在の閉鎖性水域の富栄養化問題を見れば、土壌に固定されたリンが新たな環境汚染負荷とならないように農地への投入量を減少させる対策は不可欠である。

リンについてもまず輸入されている無機質肥料の投入量を減らすこと、作物自給率の向上、及び農地還元がほぼ唯一の利用方法である畜産糞尿の堆肥化利用が不可欠である。しかし畜産糞尿とその肥料のリン量は農耕地から収穫される作物と飼料が持つリン量より多く、また畜産では家畜にリンを給与する必要があり、農地でリンが過剰となる状況の改善はむずかしい。いずれにせよ、リンについても窒素と同様に、農耕地においては畜産糞尿に起因するリンをまず利用すべきであり、都市域で発生する食品残渣に起因するリンを農地に投入することは、環境負荷の低減化という面においては望ましい方向性ではないことは明かである。

なお、畜産糞尿の年間発生量及び窒素、リンの排泄量が見直され、1996年度の畜産糞尿の年間発生量は94,770,000トン/年、窒素排泄量は744,000t／年、リンの排泄量は118,200t/年と見積もられており[5]、畜産糞尿からのリンの発生量は上記図表の半分程度となっている。しかし、いずれにせよ畜産糞尿からのリン発生量が作物や飼料に循環利用される量より多い状況に変わりはなく、農耕地へのリン投入量を減らす必要があることは明らかである。

わが国へのリン投入量を低減するという点において、窒素投入量の低減化におけると同様に、輸入食料や飼料の低減が有効であり、食品残渣即ち食品循環資源の飼料利用は、リン循環の適正化においても有効かつ不可欠な方策である。

表 2-3　わが国のリン収支(1992 年度)　(文献 4) より作成)　　(単位：千トン)

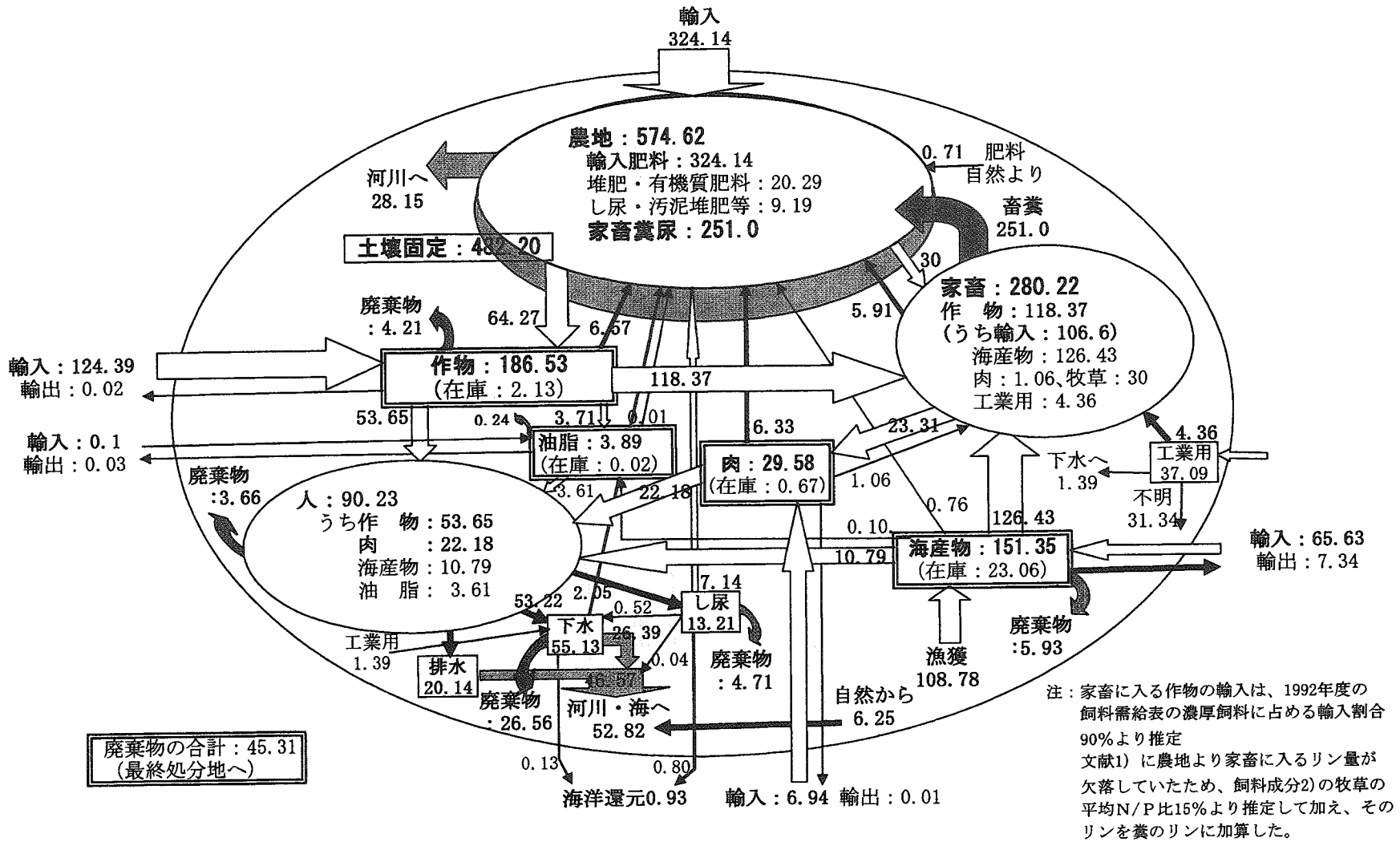
input			output		
輸入	無機質肥料	341.59	輸出	作物	0.02
(558.29)	有機質肥料	12.26	(7.4)	肉類	0.01
	特殊肥料	7.38		海産物	7.34
	作物	124.39		油脂類	0.03
	肉類	6.94	工業用	不明	31.34
	海産物	65.63	在庫	在庫	25.88
	油脂類	0.1			
海洋より	漁獲	108.78	水域へ	海洋還元(し尿等)	0.93
自然より	有機質肥料	0.63	(81.90)	河川、海へ(排水)	80.97
(6.96)	特殊肥料	0.08	蓄積	廃棄物処分場	45.31
	河川へ	6.25		土壌固定(農耕地)	482.2
合　計		674.03	合　計		674.03

表 2-4　農耕地でのリン収支(1992 年度) (文献 4) より作成)　(単位：千トン)

input			output	
輸入	無機質肥料	304.5	作物	64.27
	有機質肥料	12.26	飼料	30
	特殊肥料	7.38	利用量計	(94.27)
作物より	ｺﾝﾎﾟｽﾄ+特殊肥料+有機質肥料	6.57		
肉類より	特殊肥料+有機質肥料	6.33	河川へ	28.15
海産物より	特殊肥料+有機質肥料	0.76	土壌固定	482.2
油脂類より	有機質肥料	0.01		
汚泥より	コンポスト	0.41		
家畜より	特殊肥料+有機質肥料	5.91		
	糞尿	251.0		
自然より	特殊肥料+有機質肥料	0.71		
し尿、汚泥より		8.78		
合　計		604.62	合　計	604.62

注：・家畜に入る作物の輸入量は、1992 年度の飼料需給表の濃厚飼料に占める輸入割合 90%より推定

・文献 4) に農地より家畜に入るリン量が欠落していたため、飼料成分 2)の牧草の平均N/P比 15%より推定して加え、そのリンを糞のリンに加算した。



注：家畜に入る作物の輸入は、1992年度の飼料需給表の濃厚飼料に占める輸入割合90%より推定
文献1）に農地より家畜に入るリン量が欠落していたため、飼料成分2）の牧草の平均N/P比15%より推定して加え、そのリンを糞のリンに加算した。

図 2-3　わが国の食料供給と消費に伴うリン収支(1992 年度)（単位：千トン）[4] より作成

第3節　食品残渣の再生利用における資源利用効率

食品もその残渣も生物体であり、そのほとんどが、太陽エネルギーを利用した光合成によって太陽エネルギーが蓄えられた有機化合物を直接あるいは間接的に摂取して生命活動を行ってきたものである。これらの生命活動とは、炭酸ガスの有機物への変換と、有機物の二酸化炭素への変換による炭素を中心とした循環であり、人間社会もまたその循環の中にある。地球人口の増加が避けられない中で食料生産の頭打ちが指摘される今日、植物などが固定した炭素化合物である食品が持つエネルギーの利用効率を高めることは持続可能な共生社会の構築に向けての重要な課題である。また、炭酸ガスの増加による温暖化現象は、地下資源の過剰な採掘利用が主原因であるが、植物などが固定した炭素化合物であるバイオマスの有効利用と、その利用効率の向上は、地下資源への過度な依存を是正するためにも有効な対策であり、バイオマス・日本総合戦略[6]においても、変換効率の高い技術の開発の重要性が示されている。このように、食品残渣の循環利用においては、有機物が持つエネルギーの利用効率を高めること、すなわち炭素利用効率向上への認識が不可欠である。

また、生物体を構成する主要元素には、炭素、酸素、窒素、水素の他に、カルシウム、硫黄、リン、ナトリウム、塩素、マグネシウム、鉄、銅、マンガン、コバルトなどの微量元素が含まれ、これらも生命活動によって循環している。再生利用方法によってこれらの利用効率や環境中に放出される負荷量が異なることから、食品残渣の循環利用システムの検討においては、食品残渣を構成する有機物等に含まれる有効成分の利用効率への認識が不可欠である。ここでは食品残渣の主要な再生利用方法における資源利用効率を考慮して望ましい循環のあり方を考察する。

1)炭素の利用効率

食品残渣の循環利用においては、有機物質中の炭素をエネルギー放出しながら最終的に二酸化炭素に変換するプロセスの中で、有機物が持つエネルギーを人間社会がいかに効率的に利用するかということが大きな課題となる。

現在、食品残渣の再生利用方法として、食品化、飼料(エサ)化、肥料化、堆肥化、メタン回収、その他が進められている。ここではこれらの再生利用方法ごとの人間社会が利用する再生品レベルで残存する炭素量を利用可能量として、前述の有機物中の炭素の利用効率を概略的に把握する。

食品化や飼料化においては、一部の不適なものの排除や加工によるロスが見込まれるが、概ね80%から全量の炭素が製品となる。メタン回収では、メタン発酵処理の条件等によって有機物の分解率や分解有機物当たりの生成ガス量、生成ガス中のメタン濃度が異なるが、有機物の分解率を75%、生成ガス中のメタン濃度を60%とすると45%の炭素がメタンとなるので、メタンだけの炭素利用効率は約45%となる。さらに、消化液の農地還元が可能であれば、炭素利用効率は70%に上昇する。堆肥化では、好気性発酵の過程で有機性炭素は分解されて二酸化炭素になるが、20～40%の炭素が残存する。このように、食品残渣に含まれる有機物中の炭素の残存率は、再生利用方法によって大きく異なることから、各システムを多段に組み合すことによって食品残渣が持つ有機物の炭素利用効率を高めたシステムが構築できる。例えば、食品残渣を飼料利用し、その飼料によって肥育した家畜の糞尿をメタン発酵処理によってエネルギー回収し、消化液を肥料利用し、或いは消化液の処理汚泥を堆肥化するといったように食品残渣をカスケード利用することが炭素の利用効率をより高めることになる。このような食品残渣のカスケード利用システムの構築においては、飼料への再生利用システムが有効かつ不可欠である。

2)窒素・リンの利用効率

食品化や飼料化においては、食品残渣中の窒素やリンは炭素と同様に若干のロスが見込まれる

が、炭素と同様に概ね80%から全量が製品となる。

堆肥化においては、発酵初期にアンモニアが大気環境中に放出されるが、その量は少なく、概ね80～100%の窒素が利用可能であり、リンは100%堆肥中に残存する。

メタン回収では、消化液の利用状況によって窒素・リンの利用効率は大きく異なる。液肥として利用できれば、堆肥化と同様 80～100%の窒素・リンが利用できる。しかし、消化液の液肥利用が困難な場合、消化液の処理が必要となる。公共用水域への排水については水質汚濁防止法の排水基準に従って、1日当たりの平均的な排水量が $50m^3$ 以上である特定事業場の排水は、全窒素として120mg/L(日間平均60mg/L)以下、リンとして16mg/L(日間平均 8mg/L)以下に処理する必要がある。一方、都市域の下水処理区域内でメタン発酵処理を採用する場合、下水道放流を前提とすると、下水道法の水質規制に従うことになり、全窒素として通常の水質基準である 380mg/L以下に処理する必要がある。さらに、平成15年に下水道法施行令が一部改正になり、下水道放流水の高度処理が進められようとしている。このような状況においては、水処理によって消化液中の窒素の一部は脱窒素によって大気に還元されるが、一部は水域環境に放出されることになる。またリンは凝集処理などによって汚泥に移行するが、下水処理によって生じた汚泥の循環利用方法が未だ確立されていないことから、下水処理における窒素、リンの利用効率は低い。なお、消化液の脱窒素処理による窒素の大気還元は投入窒素過多のわが国においては望ましい方向であるが、消化液や汚泥の処理などを含むメタン回収プロセス全体からの窒素、リンなどの負荷は、都市からの新たな環境負荷として上積みされる可能性もある。食品残渣からのメタン回収は、消化液や汚泥の循環利用システムを確立した上で採用すべき再生利用方法であると考えられる。すなわち、窒素、リンの利用効率は、概ね、食品化=飼料化≧肥料化＝メタン回収(液肥利用)≫メタン回収(水処理)となり、食品中に含まれるカリウムやその他のミネラル分の利用効率についても同様であると考えられる。

なお、1)炭素の利用効率で述べたように、食品残渣を飼料利用し、その飼料によって肥育した家畜の糞尿をメタン発酵処理によってエネルギー回収し、消化液を肥料利用するといったように食品残渣をカスケード利用する多段の再生利用システムを構築することによって、窒素、リン、その他のミネラルについても、その利用効率をより高めることができる。

このように、資源の利用効率の向上という点においても、食品残渣の飼料への再生システムを組み込んだ食品資源循環システムの構築が望ましい方向性であると言える。

第4節　小括―食品残渣の望ましい再生利用システムの方向性と課題

近年、世界的に化学肥料の使用量が著しく増加し、栄養塩の流出による水環境の富栄養化が顕在化している。また、国際的な農産物貿易等に伴う栄養塩(N、P、K)の移動によって栄養塩の地域偏在が起こっている。中でも資源としてのリンは近い将来枯渇することが予測されている。

輸入農産物に多くの食料、飼料を依存し、食料自給率が主要先進国の中で最低の水準となっているわが国においても、有機物や栄養塩による環境汚染が進み、農業基本法等によって農地への窒素、リンの過剰な施肥量を低減し、畜産糞尿の堆肥化により有機農業を推進して、作物、飼料を増産する方向性で、資源浪費型農業から環境負荷の低減を可能にする持続的な循環型農業への転換が図られつつある。

しかし、わが国の農耕地から収穫される作物と飼料が持つ窒素、リン量は、畜産糞尿から発生する窒素、リン量の半分以下でしかない。畜産糞尿の循環利用がほぼ堆肥化、肥料化に限定され

ることから、畜産糞尿の農業利用を優先して促進する必要があり、農地に食品残渣を肥料として投入することは農地への窒素、リンの過剰投入をさらに進めることになりかねず、望ましい循環とは言えない。一方、わが国への窒素、リンの投入量を低減するという点において、食料や飼料の輸入量低減は有効な方策であり、都市域で発生する食品残渣の飼料利用は、窒素、リン循環の適正化において有効かつ不可欠な方策である。

また、食品残渣中の有機物に含まれる炭素や窒素、リン、その他ミネラル分の利用効率を高めるという点においても、食品残渣を飼料として再生し、これによって肥育した家畜のふん尿のメタン発酵処理によってエネルギー回収し、消化液を液肥利用するなど、飼料化を組み込んだ食品残渣のカスケード利用システムを構築することは優れた方策である。

以上の考察によって、わが国における環境負荷の低減化、資源利用効率の向上、さらには食料安全保障に寄与するためには、食品残渣の飼料への再生利用を組み込んだ食品資源循環システムの構築が望ましい方向性であることが明らかとなった。

しかし、第1章で述べたように、食品小売業、外食産業などから排出される食品残渣の用途として、現実には肥料化が進められている状況は、従来は養豚農家などによって維持されていた都市近郊での飼料化システムが消滅し、それに代わる新たなシステムが形成されていないことを示しており、都市域から大量に発生する食品残渣のカスケード利用を可能にする飼料化システムを中心とした再生利用システムの確立が喫緊の課題である。

なお、食品残渣の飼料化システムの実現には発生源において異物混入のない食品残渣が分別排出されることが不可欠である。すなわち、市民の分別排出への協力が不可欠であり、市民の意識を高めることが重要な課題となる。しかしながら一朝一夕でその意識を変えることは難しく、一つの方法として身近なリサイクル活動を組み込み、その中で自然に意識を醸成しつつ、協力体制を確立することが考えられる。その意味で家庭や地域における食品残渣の堆肥化、農業利用等の活動は、循環共生農業への意識の醸成や新しい循環型食文化、廃棄物管理/資源循環型コミュニティの実現を可能にする活動として積極的に持続すべき方向性であると考えられる。

都市域から発生する食品残渣については、飼料への再生利用を組み込んだ多段の再生利用システムを中心として、堆肥化と食料生産を結ぶ地域循環を組み込んだ多様な循環システムを確立することが望ましい方向性であり、まず都市域での食品利用に関連して発生する副産物、売れ残り、食べ残しなど、廃棄物となっている食品残渣の有用性を把握して、資源に転換できるシステムを確立するための調査や技術開発が不可欠である。

第2章　参考文献

1) ＵＮＥＰ：Nitrogen-loading, NNEP Environment Outlook 2000,
http://www1.unep.org/geo-text/0036.htm(2004年6月情報取得)
2) 楠部孝誠：「有機物循環による社会システムの変革」、KIESS Annual Report No.1(2001)
3) 小川和美：太平洋島嶼地域におけるリン鉱石採掘事業の歴史と現在, 日本女子大学史学研究会『史艸』39号, pp.74-94(1998)
http://www.jaipas.or.jp/article/other_01.html(2004年6月情報取得)
4) 水谷潤太郎：総窒素・総リンの物質循環図, 土木学会論文集, No.566/Ⅶ-3, pp.103-108(1997)
5) 原田靖生：家畜ふん尿の特性と処理利用の基礎知識(平成9年度), 農林水産省農業研究センター, http://group.lin.go.jp/leio/data01/data05/data05b.html(2004年6月情報取得)
6) 農林水産省:バイオマス・ニッポン総合戦略, (2002)
http://www.maff.go.jp/biomass/senryaku/senryaku.htm##1~1(2003年6月情報取得)

第3章　食品残渣の飼料化システムを組み込んだ望ましい食品資源循環システムの提案

食品資源循環システムが社会的に成立するためには、食品残渣の回収効率、エネルギー・資源の投入量、運搬・保管の難易度等を含めた経済性と、排出、回収、再資源化及び再生資源に対する事業者や市民の衛生観念や感性を満足し、共感が得られるシステムであることが求められる。特に、飼料化を進めるためには、腐敗していない、異物が混入していない原料が必要であり、廃棄物としてではなく食品残渣、即ち残った食品や食べ残しとして新鮮なものを異物が混入しないままで回収し、需要側が必要とする品質の再生品を生産する必要がある。このためには、食品の利用形態にまで遡って排出される食品残渣の質を把握し、その有用性への認識を市民や事業者が共有しつつ、それぞれの事情を尊重しながらシステムを構築するという視点が不可欠である。

本章では、資源利用効率の優れた飼料化を組み込んだ望ましい食品資源循環システスムを提案することを目的に、飼料の流通状況や飼料に求められる品質等を把握し、都市域から発生する食品残渣を飼料として循環利用することを念頭にして食品残渣の排出成分等の調査結果を整理している。さらに現存する食品資源循環システムの事例を参考として、飼料化を組み込んだ望ましい食品資源循環システムを提案している。

第1節　飼料の供給・流通状況

飼料需給表[1)]によると、表3-1に示すように平成13年度のＴＤＮ(可消化養分総量)ベースでの飼料需要量は2537万トンあるが、国内供給は1024万トンと自給率は40.4%でしかない。粗飼料の供給量557万トンのうち国内供給は435万トンで自給率78%であるが、濃厚飼料では1980万トンのうち国内供給は200万トンでわずかに10.1%であり、飼料の総需要量に占める純国内産飼料の供給量はわずかに25%と低い状況である。これらの飼料は、平成13年度では88%が配・混合飼料として供給されており、配・混合飼料の割合は年々高まっている。ここで、配・混合飼料原料は、表3-2に示すように、その約30%は食品製造副産物となっているが、原料の半分以上がとうもろこしや穀物である[2)]。

平成8年度推計[3)]の一般廃棄物中の食品廃棄物1600万トン(うち、家庭系から1000万トン、事業系として600万トン)は、その含水率を80%とすると乾物換算で320万トンである。また、平成14年度実態調査[4)]で食品廃棄物の再生利用があまり進んでいないことが把握されている外食産業、食品小売業食品卸売業から発生している食品廃棄物の量は合計648万トンで、その含水率を80%とすると乾物換算で130万トンであり、ＴＤＮ換算するまでもなくこれらの全てが飼料化できたとしても濃厚飼料の5%程度でしかない。

平成11年7月制定の「食料・農業・農村基本法」の中で、食料の安定供給を確保するため、国内農業生産を基本として、可能な限りその維持・増大を図ることとされた。平成12年には、食料安全保障、食料自給率の向上、安定的な畜産経営、資源循環等の観点から「飼料増産推進計画」が策定され、その推進方策の中に「7.あらゆる地域資源の畜産的活用の推進」が謳われている[5)]。こういった状況は、食品残渣の再生飼料への需要が十分大きいことを示しているが、実際の流通においては、需要家が求める品質と価格を実現できるかどうかによるところが大きく、多様な食品残渣から配合飼料及び混合飼料生産に用いられている原料に代替できる品質や、需要側が求める付加価値を高めた飼料等を製造、加工する技術の確立が不可欠である。

表 3-1　飼料の需給状況

区　分					昭和 60	平成 2	11	13	14 年度(概算)
総需要量（TDN千トン）				A	27,596	28,517	26,003	25,373	25,529
供給区分 TDN(千トン)	国内供給	粗飼料		B	5,278	5,310	4,290	4,350	4,272
		濃飼飼料	国内産原料	C	2,310	2,187	2,039	1,995	1,905
			輸入原料	D	3,454	3,509	3,982	3,894	4,076
			小　計	E	5,764	5,696	6,021	5,889	5,981
		計　（B＋E）		F	11,042	11,006	10,311	10,239	10,253
	輸入	粗飼料		G	430	932	1,305	1,223	1,269
		濃厚飼料		H	16,124	16,579	14,387	13,911	14,007
		小　計		I	16,554	17,511	15,692	15,134	15,276
	供給計	粗飼料　（B＋G）		J	5,708	6,242	5,595	5,573	5,541
		濃厚飼料　（E＋H）		K	21,888	22,275	20,408	19,800	19,988
		合　　計		A	27,596	28,517	26,003	25,373	25,529
濃厚飼料(実量)(千トン)				L	29,574	29,858	28,184	27,294	27,481
うち配・混合飼料(実量)(千トン)				M	25,232	25,862	24,392	24,099	24,414
濃厚飼料に占める割合 M/L(%)					(85.3)	(86.6)	(84.7)	(88.3)	(88.8)
飼料自給率:F/A×100(%)					40.0	38.6	39.7	40.4	40.2
純国内産飼料自給率:(B+C)/A×100(%)					27.5	26.3	24.3	25.0	242.
純国内産濃厚飼料自給率:C/K×100(%)					10.6	9.8	10.0	10.1	9.5
純国内産粗飼料自給率:B/J×100(%)					92.5	85.1	76.7	78.1	77.1

注：1. TDN(可消化養分総量)とは、エネルギー含量を示す単位であり、飼料の実量とは異なる。
2. 供給量の国内産の濃厚飼料のうち「国産原料」とは、国内産に由来する濃厚飼料(国内産飼料用小麦・大麦等)で、輸入食料原料から発生した副産物(輸入大豆から搾油した後発生する大豆油かす等)を除いたものである。

表 3-2　配合飼料及び混合飼料生産に係る原料使用量[2)]

	平成 12 年度		平成 13 年度		平成 14 年度	
	数 量 (千トン)	割 合 (%)	数 量 (千トン)	割 合 (%)	数 量 (千トン)	割 合 (%)
とうもろこし	11,346	47.2	11,633	48.2	12,037	49.2
こうりゃん	2,106	8.9	1,846	7.7	1,683	6.9
穀類(大麦など)	1,728	7.2	1,665	6.9	1,618	6.8
アルファルファ	260	1.1	254	1.0	250	1.0
*ふすま	833	3.5	854	3.5	854	3.5
*糟糠類	1,305	5.4	1,230	5.0	1,286	5.4
*ビートパルプ	107	0.4	107	0.4	110	0.5
*大豆油かす	2,995	12.5	3,298	13.7	3,548	14.5
*菜種油かす	860	3.6	822	3.4	799	3.3
*油かす類	194	0.8	202	0.7	181	0.7
魚かす・魚粉	203	0.8	209	0.9	204	0.8
*肉骨粉	419	1.7	181	0.8	30	0.1
*動物性飼料	475	2.0	609	2.5	509	2.1
飼料添加物	73	0.3	74	0.3	78	0.3
特殊飼料	818	3.4	881	3.7	936	3.8
その他	304	1.2	272	1.1	323	1.3
合　　計	24,026	100.0	24,128	100.0	24,446	100.0
うち食品製造副産物*の計	7,188	29.8	7,292	30.2	7,317	29.9

第2節　飼料化において考慮すべき食品残渣の条件

「飼料の安全性の確保及び品質の改善に関する法律」（通称:飼料安全法）によって飼料の安全性が確保され、飼料の製造等に関する基準・規格が「飼料及び飼料添加物の成分規格等に関する省令」（昭和51年）によって定められている。通常、わが国における使用の経験が少ない新飼料等は、飼料製造業者による届出と、動物試験や含有成分の分析試験等についてのデータの提出によって、飼料の安全性が確認されている。対象となる家畜によって飼料として必要な条件は異なるが、平成13年の「飼料及び飼料添加物の成分規格等に関する省令」の一部改正により、牛を対象とする飼料は、家きん由来たん白質（家きんに由来するたん白質をいい、卵及び卵製品その他農林水産大臣が指定するものを除く）を含んではならないとされ、動物性残渣やその混合物は給与できないことが明確に示された。従って、様々な食品が混合した残渣は、豚・鶏の飼料として利用する方法を検討しなければならないことになる。

ここで、食品残渣を主として豚・鶏用の飼料に利用するために考慮すべき質的条件を整理すると以下のようらなる。

○安全性の確保

・異物混入がないこと。（重金属、化学物質などを含む。）

・カビ、病原性細菌、及びその代謝物による汚染がないこと。

○栄養価値があること。

○嗜好性がよいこと。

○肉質等生産物に悪影響を及ぼさないこと。

影響要因:脂質酸化物、高粗脂肪含量等

次にこれらの条件を具体的に示す。

1)安全性

配合飼料等の有害物質は「飼料の有害物質の指導基準」（昭和63年農水賞通知63蓄B2050号）によって、鉛：3.0ppm、カドミウム：1.0ppm、水銀：0.4ppm、ひ素：2.0ppm以下と定められている。異物混入がないように分別されれば、通常の食品残渣中に重金属や化学物質などが上記基準を超えて含有されることはないと報告されている[6]。従って、食品残渣の飼料利用は、異物の混入がないよう分別排出されることが前提であり、最大の課題である。

食品や飼料に繁殖するカビは好気性微生物であり、大部分のカビの最適温度は25～30℃であるが、－10℃という低温や60℃の高温でも生育できるカビもある。微生物が生息する水分については、細菌類が約50%以上であるのに対してカビの生育範囲は15～50%程度と低水分でも生育できるため、水分を低下させるだけではカビの増殖を防ぐことは難しい。特にカビによる中毒はその多くがカビの代謝物であるマイコトキシンによって引き起こされ、その1種であるアフラトキシンについては、「飼料の有害物質の指導基準」（昭和63年農水賞通知63蓄B2050号）では、配合飼料中では20ppb以下（乳用牛では10ppb以下）とされている。さらにアフラトキシンをはじめとしてマイコトキシンの多くが耐熱性であり、通常の調理加熱程度では分解されないことから、食品残渣の保存、処理・加工、飼料の流通、保存において、カビの生育を防ぐ対策が最大の要件となる[7]。

2)栄養価値

飼料安全法によって、配合飼料等の品質（栄養成分）について、粗蛋白質の成分量の最小値、粗脂肪の成分量の最小値、カルシウムの成分量の最小値、リンの成分量の最小値、粗繊維の成分量の最大値、可消化粗蛋白質の最小値（牛、豚）、可消化養分総量の最小値（牛、豚）、代謝エネルギ

一の最小値(鶏)の公定規格が定められ、成分の表示が義務付けられている。食品残渣の飼料利用においてもこれら栄養成分の含有量が一定化され、表示される必要があるとされている。

また、配合飼料等の公定規格は、昭和51年農林省告示第756号によって定められたのち平成6年農林水産省告示第745号まで改正が重ねられ、現在の公定規格は表3-3に示すようになっている。食品残渣の飼料利用においても、副資材等との混合調整を含めて最終的にこの規格を満足する必要があり、この規格を指標の一つとして加工方法等を検討することになる。

特に、蛋白質の消化性は、加工方法によって大きく低下する可能性がある。すなわち、100℃を大きく超える高温で乾燥した場合には蛋白質の熱変性が起こり、消化性が低下することが示されている。なお、租脂肪やNFE(可溶無窒素物)の消化率は乾燥方法によっても差が見られなかったと報告されている[8]。

表3-3(1) 飼料の公定規格

	成分量の最小量(%)				成分量の最大量(%)		代謝エネルギーの最小量 1kg中のkcal
	粗蛋白質	粗脂肪	カルシウム	りん	粗繊維	粗灰分	
鶏用	12.5～20.5	5～8	8～14.5	0.45～0.6	5～8	8～14.5	2600～3000

注:採卵鶏の週齢、ブロイラ鶏等により異なるものを範囲で示している。

表3-3(2) 飼料の公定規格

	成分量の最小量(%)				成分量の最大量(%)		可消化粗蛋白質の最小量(%)
	粗蛋白質	粗脂肪	カルシウム	りん	粗繊維	粗灰分	
豚用	11.5～17	1.5～3	0.45～0.7	0.35～0.55	4～10	9～10.5	9.5～15.5
(肉豚肥育用)	12	1.5	0.45	0.35	6.5	9	10
牛用	9～17	1～7	0.35～0.8	0.3～0.4	1～11.5	9～10.5	7.5～14.5
養殖魚用	37～50	3～4			1～5	15～17	

注:育成期、肥育期等によって異なるものを範囲で示している。
養殖魚用飼料の規格は淡水魚(うなぎ、こい、にじます、あゆ)用のみ。

3)その他の条件

嗜好性の面において、食品残渣の飼料利用が有効であることは、過去において都市周辺で残飯養豚が維持されてきたことからも明らかである。一般に、肉質等生産物に影響を与える要因として、粗脂肪含量、脂質酸化物含量がある。飼料中の脂肪は栄養成分として重要な役割を果たすが、脂質酸化物や脂肪の過剰摂取は家畜や肉質に悪影響を与える可能性がある。脂質酸化物は、脂質を構成する脂肪酸の不飽和部分に酸素が結合して生じるものであり、脂質酸化物を大量に摂取すると下痢、嘔吐などの急性毒性を呈することや発育障害を起こすことが知られている。家畜においても同様であり、さらに脂質酸化物が体脂肪に移行することによって脂肪が黄色の性状を示す黄豚や風味の低下が起こると報告されている[9]。

一般の食品でも保存や加工によって新鮮な状態から比べると脂質が劣化するため、人の食品では、食品衛生法施行規則及び食品、添加物等の規格基準の一部改正(昭和52年・環食第五二号)

によって、めんを油脂で処理した即席めん類を対象として、含まれる油脂の酸価が３を超え、又は過酸化物価が 30 を超えるものであつてはならないとされている。また、厚生省通達(昭和 52 年環食第 248 号)によって油菓子に含まれる脂質の過酸化物価が 30 以下でかつ酸価が５以下であること、または、酸価が３以下でかつ過酸化物価が 50 以下であることと定められている。

酸価、過酸化物価に関して飼料としての基準はないが、飼料用として流通している動物性油脂の酸価は 1～50 程度，平均 10 程度で，魚粉は 15～80 程度で、家畜飼料用として流通している動物性油脂の過酸化物価はおおむね 0.5～20 の範囲で，魚粉は 2～30 であると報告されている[9]。水分の高い食品残渣の加熱による乾燥処理等によって脂質の酸化が進みやすいことから、その加工において考慮すべき指標である。

飼料中の脂肪分が多いほど、またその構成脂肪酸に不飽和脂肪酸―特にリノール酸(C18:2)などの多価不飽和脂肪酸が多いほど、給与された豚の脂肪が軟らかくなる。冷蔵状態の枝肉において脂肪にしまりがないものは軟脂と呼ばれ、肉の市場価値が低下する。一方、飼料中の残飯には、他の食品残渣と比べて、粗脂肪含有量の高いものが多く、風乾飼料中の粗脂肪を７％以下にすることが望ましいと報告されている[10]。残飯をはじめとする食品残渣の加工や飼料の混合調整等において考慮すべき指標である。

第３節　都市域から発生する食品残渣の特性

食品残渣の再利用には、排出源での分別が重要であり、廃棄物として処理されているものでも、排出源で分別すれば安定した良質の食品残渣をえることができるものがあり、魚あらや廃食用油がその代表的な食品残渣である。

事業系一般廃棄物として処理されている食品廃棄物の排出源は、その排出特性によって大きく３つに分類できる。

スーパー，コンビニエンスストア、百貨店などの食料品の小売業では、さまざまな食品の売れ残りや惣菜の調理屑など、販売される多様な生鮮食料品のすべてが期限切れ、売れ残りとして廃棄されることになる。

ホテル、レストラン等の外食産業、給食産業や病院、学校など食事を提供する事業所からは、調理屑と食べ残しの残飯類が排出される。これらは、さまざまな食品が混合した状態で排出され、排出時点以降の分別や選別は困難であるが、例えば寿司レストランのように取り扱う食品の品目が限られ、ある程度一定であれば、排出される食品残渣の質は単純で安定したものとなる。

食品卸売業、特に大規模な卸売市場では、生鮮食料品即ち魚介類、野菜・果実類を中心とした食品残渣が大量に排出される。

このように業種に加えて個々の事業所の特性、例えば取り扱う食品や調理の有無などによって排出される食品残渣の質が決定される。これらの食品残渣の飼料化を中心とした再生利用を進めるためには、飼料化を念頭において排出状況や分別の可能性、それぞれの成分等を把握する必要がある。ここでは、魚あらや廃食用油以外の食品残渣の飼料化を進めるにあたって求められる条件を考慮しながら、文献調査と実態調査を含めて排出特性、成分等を把握する。

1) スーパーマーケットから排出される食品残渣

総合スーパーにおける夏季、秋季、冬季の各１週間に廃棄される食品残渣の内容と量について調査した結果を表 3-4～表 3-6 に示す[11]。このスーパーマーケットでは、魚あらを分別して回収業者に再生処理を委託しているため、食品残渣に魚あらは含まれていない。魚あら以外の食品残

渣は、廃棄物として許可業者が収集している。廃棄物として処理される食品残渣は、袋やダンボール箱に入れた状態で、冷蔵貯蔵庫に保管されている。ほとんどの食品残渣が容器・包装類に入ったままの状態で排出されており、容器・包装類の除去が必要である反面、排出時点や回収後に分別、選別することは比較的容易であると考えられた。野菜・果実屑は、包装された商品の売れ残りと、商品の外見を整えるために廃棄された例えばキャベツや白菜の外葉なども多く排出されていることが観察された。

魚あらを除く食品残渣の排出状況は、曜日や季節によって異なっているが、平均すると野菜、果実屑の排出量が夏季では65%、秋季では79%、冬季では82%を占めていた。

惣菜類は、容器包装類を除去すれば、いずれも食品として廃棄される直前まで販売されていたものであり、鶏や豚の飼料に再生利用する場合に衛生上の問題が生ずるものはほとんど含まれていないことが把握できた。また、排出源において、袋や箱ごとに概ね野菜・果実屑、パン類、麺類、その他に分けられており、この程度に分別することは容易であることを確認した。

野菜・果実屑、パン類、麺類、その他の惣菜類等に分けた場合のそれぞれの成分を表3-7に示す。野菜屑や果実屑は水分が高いが、野菜は乾物基準では粗蛋白が高く、果実屑は可溶無窒物の割合が高い。野菜・果実屑は水分が高いため、乾燥処理が必要な飼料化や堆肥化においては乾燥用エネルギーや調整材の使用量が増えることになるが、分別すれば野菜・果実屑の特性を活かした飼料に再生することができる。

食パン、麺類は、可溶無窒素物すなわちでんぷん質の割合が高く、肥育豚の肉質を向上させること、水分が比較的低く保存のための加工が容易であることなどから、パン製造業のようにまとまった量が排出される場合は最も好まれる飼料原料である。また、動物性食品が含まれていないという点で、牛の飼料としても利用可能である。一方、菓子パンや惣菜類は、多様な食品で構成された動植物性混合残渣であり、鶏、豚用の飼料原料に限られる。食品の構成内容によって成分が異なると考えられるが、概ね粗脂肪が高い傾向にあり、これらの飼料利用においては成分調整や加工が必要となるが、いずれも飼料原料として有効分であると考えられる。

表3-4　スーパーマーケットで発生する食品残渣（夏季）（単位：kg）

種類 ／曜日	月	火	水	木	金	土	日	週合計	日平均	構成比(%)
野菜屑	145.0	98.5	68.0	95.0	120.5	98.0	−	625.0	104.2	52
果実屑	16.0	11.0	14.0	28.5	31.0	19.5	−	120.0	20.0	10
蒲鉾	−	2.5	1.5	0.5	0.5	1.0	−	6.0	1.0	1
練り物	1.5	5.5	−	1.0	−	1.5	−	9.5	1.6	1
漬け物	−	5.5	9.0	14.5	3.0	7.0	−	39.0	6.5	3
麺類	2.0	13.5	2.5	6.0	4.0	1.0	−	29.0	4.8	2
肉	3.0	7.5	−	15.0	−	19.0	−	44.5	7.4	4
惣菜	30.0	4.5	16.5	11.5	8.0	3.5	−	74.0	12.3	6
豆腐	8.0	5.0	7.0	11.0	3.5	7.0	−	41.5	6.9	3
食パン	−	4.5	0.5	0.5	−	1.0	−	6.5	1.1	1
菓子パン	27.5	6.0	2.5	6.5	−	9.0	−	51.5	8.6	4
ご飯	7.0	−	58.0	16.5	−	−	−	81.5	13.6	7
魚類	−	7.0	14.0	−	−	−	−	21.0	3.5	2
食品残さ合計	240.0	171.0	193.5	206.5	170.5	167.5	−	1149.0	191.5	96
除去袋	5.0	10.5	12.5	12.0	5.0	5.0	−	50.0	8.3	4
排出量合計	245.0	181.5	206.0	218.5	175.5	172.5	−	1199.0	199.8	100
袋の割合(%)	2.0	5.8	6.1	5.5	2.8	2.9	−	4.2	4.2	

表3-5　スーパーマーケットで発生する食品残渣（秋季）（単位：kg）

種類 ／曜日	月	火	水	木	金	土	日	週合計	日平均	構成比(%)
野菜屑	174.5	197.5	193	138	128.5	81.5	−	913	152.2	70.1
果実屑	32	25.5	15	27	10	4.5	−	114	19	8.8
蒲鉾	1	−	−	−	−	−	−	1	0.2	0.1
練り物	−	−	−	−	−	−	−	0	0	0
漬け物	−	15	−	−	−	7.6	−	22.6	3.8	1.8
麺類	0.5	43	−	−	3	1.5	−	48	8	3.7
肉	3	8.5	8	10.5	9.5	18	−	57.5	9.6	4.4
惣菜	−	4	22	1	15	9	−	51	8.5	3.9
豆腐	1.5	0	0	0	0	1	−	2.5	0.4	0.2
食パン	−	−	26	1.5	−	−	−	27.5	4.6	2.1
菓子パン	4	21	0	17.3	12.5	9	−	63.8	10.6	4.9
ご飯	−	−	−	−	−	−	−	0	0	0
魚類	−	−	−	−	−	−	−	0	0	0
食品残さ合計	216.5	314.5	264	195.3	178.5	132.1	−	1300.9	216.8	100
除去袋	3	21	4.5	12	3	4	−	47.5	7.9	
排出量合計	219.5	335.5	268.5	207.3	181.5	136.1	−	1348.4	224.7	
袋の割合(%)	1.4	6.3	1.7	5.8	1.7	2.9	−	3.5	3.5	

表3-6　スーパーマーケットで発生する食品残渣（冬季）（単位：kg）

種類 ／曜日	月	火	水	木	金	土	日	週合計	日平均	構成比(%)
野菜屑	115	122	94.5	117	110.5	137	−	696	116	63.6
果実屑	33.5	34	49.9	38.5	22.5	24.5	−	202.9	33.8	18.5
蒲鉾	−	−	−	−	−	−	−	0	0	0
練り物	−	−	−	−	−	−	−	0	0	0
漬け物	3	−	3.1	5.5	12.5	2	−	26.1	4.4	2.4
麺類	−	−	−	−	−	−	−	0	0	0
肉	6	3.5	12.9	11	9.5	12	−	54.9	9.2	5
惣菜	8.5	11.4	9	5	19.5	5.5	−	58.9	9.8	5.4
豆腐	−	−	3	−	−	−	−	3	0.5	0.3
食パン	−	−	0.4	−	−	−	−	0.4	0.1	0.1
菓子パン	14	2	7.1	8.2	4	15.5	−	50.8	8.5	4.7
ご飯	−	−	−	−	−	−	−	0	0	0
魚類	−	−	−	−	−	−	−	0	0	0
食品残さ合計	180	172.9	179.9	185.2	178.5	196.5	−	1093	182.3	100
除去袋	2	2.5	9.5	3.5	1.5	4.5	−	23.5	3.9	
排出量合計	182	175.4	189.4	188.7	180	201	−	1116.5	186.1	
袋の割合(%)	1.1	1.4	5	1.9	0.8	2.2	−	2.1	2.1	

表 3-7　スーパーで発生する食品残渣の栄養成分の一例(%)

品　目	水　分	乾 物	粗蛋白質	粗脂肪	粗繊維	粗灰分	NFE*
野菜屑	82.4	17.6	3.3	0.4	1.8	2.2	9.9
果実屑	85.4	14.6	0.8	0.3	0.9	0.4	12.2
食パン	37.8	62.2	8.5	3.9	0.2	1.7	47.9
菓子パン**	35.1	64.9	7.5	8.5	1.7	1.2	46.0
うどん	76.3	23.5	2.6	0.5	0.1	0.1	20.4
和そば	68.2	31.8	5	1	0.2	0.2	25.4
中華そば	65.3	34.7	4.9	0.8	0.1	0.3	28.6
その他惣菜類**	66.9	33.1	8.1	4.1	0.8	1.4	18.7
豚検定用飼料	13.7	86.3	14.8	3.5	2.8	4.3	60.9
乾物換算							
野菜屑			18.8	2.3	10.2	12.5	56.2
果実屑			5.5	2.1	6.2	2.7	83.5
食パン			13.7	6.3	0.3	2.7	77.0
菓子パン**			11.5	13.1	2.6	1.8	71.0
うどん	－	100	11.1	2.1	0.4	0.4	86.0
和そば			15.7	3.1	0.6	0.6	80.0
中華そば			14.1	2.3	0.3	0.9	82.4
その他惣菜類**			24.5	12.4	2.4	4.2	56.5
豚検定用飼料			17.2	4.0	3.3	5.0	70.5

*NFE：可溶無窒素物
**: 内容物の構成例を基にした推計値

2)外食産業等から排出される食品残渣

ホテル、レストラン等の外食産業、給食産業などからは、調理屑と食べ残しの残飯類が排出されるが、調理屑と残飯類が混合して排出されている場合と分かれて排出されている場合がある。また、こういった事業所においても魚あらや廃食用油が回収されている事例が多くある。

大阪市の調査[12]によると、1 日の利用者が 1700 人である市役所食堂での食品残渣発生量は 187kg/日で、利用者 1 人当たりの発生量原単位は 0.11kg/人・日であった。また、分別排出を行っていないことから、排出される食品残渣中に含まれる異物は表 3-8 に示すように、主にプラスチック類と紙類で、食品残渣の 8%程度の異物が混入していた。

表 3-8　市役所食堂から排出される食品残渣の特性

	発生量	原単位		異物混入率(重量%)					
	(kg/日)	kg/校	kg／人・日	木類	プラ類	紙類	ガラス類	金属類	計
市役所食堂	187.0	－	0.11	0.4	2.5	5	0	0	7.9

一方、養豚農家が回収している食堂・飲食店からの残飯類には、目で見る限り異物はまったく混入していなかった。分別排出の可能性は事業者の意識によることが明らかであり、事業者の協力によって分別排出は可能と考えられる。

養豚農家が回収している食堂・飲食店からの残飯類の成分を表 3-9 に示すが、個々のサンプルごとにバラツキは大きいが、季節ごとの平均値に大差はなく、季節的な変動はあまりないことが示されている[10]。表 3-10 に示すように、ミネラル含量も同様の傾向を示すことが報告さ

れている[10]。年平均の乾物換算値と表3-7に示した豚検定用飼料とを比べると、粗脂肪が高く、粗蛋白と租灰分は若干高く、粗繊維が若干低い状況となっている。

また、養豚農家が回収している食堂・飲食店からの残飯類の成分を冬季に1週間ずつ2週分析した成分を表3-11に示す。いずれの成分も日変動は大きいが、14日間の平均では水分が74%、乾物ベースでの租蛋白質が15%、租脂肪が17%程度で、豚検定用飼料と比べると粗蛋白は同程度であるが粗脂肪が高い状況となっている。このように一般に、食堂・飲食店等の残飯類は粗脂肪が高い傾向にある。しかし、表3-12に示すように、回転寿司レストランから排出される食品残渣の成分は、飲食店等の食品残渣としては高蛋白質、低脂肪となっている。なお、回転寿司レストランから排出される食品残渣には、お茶パック、おはしが混入していたが、分別を依頼することによって、異物の混入はまったくない状態となった。

表3-9　養豚農家が回収している食堂・飲食店の残飯類の栄養成分[10]（単位：%）

	水分		粗蛋白質		粗脂肪		粗繊維		粗灰分		ＮＦＥ	
	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲
春	75.9	71.2～80.0	6.0	4.2～9.4	4.8	3.3～8.9	0.5	0.2～0.8	2.2	0.8～4.8	10.6	4.0～15.5
夏	73.4	66.3～80.9	5.5	1.9～7.8	5.1	2.3～8.8	0.6	0.4～1.3	1.9	1.0～4.0	13.5	7.9～18.6
秋	77.2	72.3～83.7	5.7	2.0～9.5	4.0	1.8～8.6	0.6	0.3～1.1	1.6	0.5～4.1	11.1	6.8～14.7
冬	75.9	67.4～80.5	5.5	2.6～8.1	4.7	3.2～9.7	0.7	0.3～1.5	1.7	1.1～3.5	11.4	8.7～13.5
平均	75.6	66.3～83.7	5.7	1.9～9.5	4.6	1.8～9.7	20.6	0.2～1.5	1.8	0.5～4.8	11.6	4.0～18.6
乾物換算	-	-	23.3	8.1～38.0	18.8	9.5～32.8	2.4	0.7～5.1	7.6	0.5～20.5	47.9	28.1～71.2

表3-10　養豚農家が回収している食堂・飲食店の残飯類のミネラル含量[10]

		原物		乾物		風乾物		豚要求量
		平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	
Ｃａ	%	0.39	0.06～1.77	1.59	0.20～7.24	1.40	0.17～6.37	0.50
Ｐ	%	0.19	0.03～0.62	0.78	0.12～2.53	0.69	0.20～2.24	0.20
Ｍｇ	%	0.02	0.01～0.05	0.08	0.04～0.21	0.07	0.03～0.19	0.04
Ｋ	%	0.08	0.04～0.16	0.32	0.14～0.65	0.30	0.12～0.57	0.17
Ｎａ	%	0.24	0.13～0.46	1.00	0.53～1.82	0.88	0.47～1.60	0.10
Ｆｅ	ppm	41	7～185	0.69	36～699	149	32～614	40
Ｃｕ	ppm	1.8	0.7～5.7	7.5	2.6～26.2	6.6	2.3～23.1	3
Ｚｎ	ppm	13	13～150	54	15～150	47	13～132	50
Ｍｎ	ppm	2	2～3	10	6～17	9	5～15	2.0

表 3-11　養豚農家が回収しているレストラン残飯の栄養成分の日変動例

	現物(%)						乾物換算(%)				
	水分	粗蛋白	粗脂肪	粗繊維	粗灰分	ＮＦＥ	粗蛋白	粗脂肪	粗繊維	粗灰分	ＮＦＥ
1	75.4	3.8	4.1		1.1	15.6	15.3	16.5		4.4	63.8
2	73.8	4.2	5.9		0.6	15.5	16.1	22.6		2.2	59.1
3	76.3	4.0	7.5		0.7	11.5	17.0	31.8		3.1	48.1
4	75.1	3.5	7.7		0.7	13.0	14.2	31.0		2.9	51.9
5	71.7	3.0	1.9		0.6	22.8	10.8	6.6		2.0	80.6
6	76.5	2.4	0.7		0.7	19.7	10.0	3.0		2.9	84.1
7	75.3	4.2	7.6		1.1	11.8	17.0	30.7		4.4	47.9
8	76.5	2.9	5.2		1.0	14.4	12.2	22.3		4.1	61.4
9	76.7	2.5	1.5		0.5	18.8	10.9	6.6		2.2	80.3
10	75.3	5.1	2.2		0.7	16.7	20.6	9.0		3.0	67.4
11	70.0	6.3	6.6		1.3	15.8	21.0	22.0		4.3	52.7
12	76.6	4.0	5.2		0.9	13.3	17.2	22.2		3.8	56.8
13	73.2	11.2	7.4	(1.5)	2.3	4.4	41.6	27.7	(5.5)	8.7	22.0
14	69.0	6.0	3.4	(1.5)	1.2	18.9	19.5	10.8	(4.8)	3.7	66.0
最大	76.7	11.2	7.7		2.3	22.8	41.6	31.8		8.7	84.1
最小	69.0	2.4	0.7		0.5	4.4	10.0	3.0		2.0	22.0
平均	74.4	4.5	4.8		1.0	15.2	17.4	18.8		3.7	60.2

注：粗繊維を NFE に含む。

表 3-12　その他の食堂・飲食店からの食品残渣の成分　　(単位：%)

	水分	乾物換算				
		粗蛋白	粗脂肪	粗繊維	粗灰分	ＮＦＥ
すしレストラン[13]	62.3	18.3	2.9	0.3	3.7	74.8
市役所食堂[12]	71.6	14.2	12.9	1.8	5.7	65.4

3)病院

大阪市が実施した調査[12]による病院における食品残渣の発生状況を表 3-13 に示す。調査した病院や食堂は、現状では分別排出を導入していない。従って、残飯以外の異物としていずれもプラスチックと紙類の混入が数%程度確認されており、容器包装由来の混入物が多い。ただし、D 病院の給食残渣には異物の混入がまったくなく、このことは病院で発生する給食残渣については、分別の協力を依頼すれば混入物をかなり除去できることを示している。

一方、その成分を表 3-14 に示すが、調理くずでは野菜くずなどが集中的に排出されることなどによって、水分が 90%を越えるものがある。乾物ベースでの粗蛋白質は、10～20%の広い範囲で変動しており、たまに突出した値が出現している。粗脂肪は、変動しているもののおおよそ 6～13%の範囲内にあり、平均 8.5%と飲食店等の残飯類に比べて低い値になっている。ただ、病院調理くずの変動は大きく、3%以下の野菜くずを中心としたものがある一方で、15%以上の高いものもある。調理くずは、その排出形態の特性から組成のかたよった物が集中的に排出されるためと考えられる。

なお、塩素イオンは調理の食塩由来であると考えられるが、まれに高いものがある。豚は食塩中毒を起こしやすいことから、食品残渣飼料の給与においては注意を要するとされており[10]、飼料化システムにおいても塩濃度についての配慮が必要である。

表 3-13　病院での食品残渣の発生状況[12)]

		発生量 (kg/日)	原単位 (kg/床・日)	異物混入率(重量%) 木類	プラ類	紙類	ガラス類	金属類	計
A 病院 (1063 床)	給食残飯	253.0	0.24	0	4.7	2.5	0	0	7.2
	調理くず	315.7	0.30	0.9	5.3	4.9	0	0	11.1
	食堂残飯	39.9	0.04	0	6	3	0.6	0	9.6
	計	608.6	0.57	0.3	5.3	3.5	0.2	0	9.3
B 病院 (1000 床)	給食残飯	357.0	0.36	1	4.6	1.5	0.6	1.8	9.5
	調理くず	185.4	0.19	0.4	4.7	2.4	0	1.2	8.7
	計	542.4	0.54	0.8	4.6	1.9	0.3	1.5	9.1
C 病院 (280 床)	給食+調理	157.4	0.56	0.5	1.9	2.6	0	0.6	5.6
	食堂残飯	15.8	0.06	1.6	9.2	6.1	0	0	16.9
	計	173.2	0.62	0.8	3.9	3.5	0	0.4	8.6
D 病院 (331 床)	給食残飯	142.1	0.43	0	0	0	0	0	0
	調理くず	30.5	0.09	0	1.7	8.5	1.1	1.3	12.6
	計	172.6	0.52	0	0.4	2.1	0.3	0.3	3.1
E 病院 (295 床)	計	168.4	0.57	0.9	4.4	0.9	0.8	1.1	8.1
5 病院計		1665.2	0.56	0.6	4	2.4	0.3	0.8	8.1

表 3-14　病院で発生する食品残渣の栄養成分[12)]

	水分 (%)	乾物換算値 粗蛋白質 (%)	粗脂肪 (%)	粗繊維 (%)	灰分 (%)	NFE (%)	塩素イオン (mg/kg)
給食残飯 (患者用)	76.3	17.5	9.2	2.2	5.0	66.1	14,900
	76.8	13.6	7.3	2.8	8.4	67.9	7,700
	80.3	56.1	14.5	1.0	10.5	17.9	5,510
	82.2	14.4	8.9	0.7	4.5	71.5	13,500
	76.8	12.2	7.4	0.4	4.0	76.0	7,940
平均	78.5	22.8	9.5	1.4	6.5	59.8	9,910
最小	76.3	12.2	7.3	0.4	4.0	17.9	5,510
最大	82.2	56.1	14.5	2.8	10.5	76.0	14,900
給食調理くず	74.3	22.9	16.8	0.7	9.4	50.2	7,930
	89.1	14.7	2.7	8.7	9.2	64.7	2,780
	81.8	19.5	12.9	1.4	4.3	61.9	9,610
	92.8	9.6	1.7	11.1	9.0	68.6	2,050
平均	84.5	16.7	8.5	5.5	8.0	61.3	5,593
最小	74.3	9.6	1.7	0.7	4.3	50.2	2,050
最大	92.8	22.9	16.8	11.1	9.4	68.6	9,610
病院食堂残渣	71.4	9.1	3.3	1.2	8.8	77.6	2,490
	71.9	12.6	9.0	1.9	5.0	71.5	13,000
平均	71.7	10.9	6.2	1.6	6.9	74.4	7,745
病院平均	79.4	18.4	8.5	2.9	7.1	63.1	7,950
最小	71.4	9.1	1.7	0.4	4.0	17.9	2,050
最大	92.8	56.1	16.8	11.1	10.5	76.0	14,900

4)学校

大阪市調査[12]によると、幼稚園、中学校、高校からは弁当の食べ残しが1校当たり1日に4～6kg程度排出されていた。小学校は給食の食べ残しで、1校当たり1日に25kg程度が排出されていた。いずれの学校でも分別排出を導入してはいないため、残飯以外の異物として小学校でわずかなプラスチックと紙類が確認されているものの、異物の混入はあまりない(表3-15)。

小学校の給食残渣では、水分60%に満たないものが排出されており、含水率の極端に低い排出があることで水分変動が大きくなっている。ほとんどがパンで占められるような場合には水分が著しく低くなる。48校を4つのグループに分け、混合した残渣の成分を表3-16に示すが、10校程度の食品残渣を混合したサンプルの変動は小さい。

表3-15　学校等での食品残渣の発生状況[12]

	発生量	原単位		不純物混入率(重量%)					
	(kg/日)	kg/校	kg／人・日	木類	プラ類	紙類	ガラス類	金属類	計
幼稚園(2園)	12.3	6.2	0.03	0	4.4	2.4	0	0	6.8
小学校(48校)	1175.5	24.5	0.06	0	0.3	0.3	0	0	0.6
中学校(2校)	8.5	4.3	0.02	0	0	0	0	0	0
高校(2校)	11.0	5.5	0.01	0	0	0	0	0	0

表3-16　小学校から排出される食品残渣の栄養成分等[12]

	水分	乾物換算値					
	(%)	粗蛋白質 (%)	粗脂肪 (%)	粗繊維 (%)	灰分 (%)	NFE (%)	塩素イオン (mg/kg)
①:9校	71.9	11.7	5.9	3.8	7.8	70.8	9,100
②:11校	78.4	21.4	10.7	2.6	7.4	57.9	17,000
③:11校	72.1	19.5	7.9	1.1	3.4	68.1	9,630
④:12校	79.0	23.7	7.0	2.0	3.8	63.5	11,500
平均	75.4	19.1	7.9	2.4	5.6	65.0	11,800
最小	71.9	11.7	5.9	1.1	3.4	57.9	9,100
最大	79.0	23.7	10.7	3.8	7.8	70.8	17,000

5)卸売市場

大規模な中央卸売市場は大阪府下に4ヶ所あるが、うち1ヶ所は食肉市場であり、3ヶ所の中央卸売市場で青果や鮮魚が取り扱われている。青果や鮮魚を取り扱う3ヶ所の中央卸売市場では、魚あらが回収され、段ボールや発泡スチロールのトロ箱なども分別排出されているが、1カ所当たり1日平均40～48トンの廃棄物が排出され、焼却処理されている。

視認調査によると、廃棄物として処理されているものの半分程度は梱包材であるが、残りのほとんどが野菜・果実の売れ残りで、わずかに花卉類が混入していた。すなわち、これらの市場の1ヶ所から1日に20トン程度の野菜・果実屑が廃棄されていることになる。この大量の野菜・果実屑はそのほとんどが段ボール箱やビニル袋に入れた状態で排出されていることから、事業者の意識の醸成により分別排出は比較的容易であると考えられた。再利用方法の確立が求められる。

6)食品残渣の成分に関する考察

食品残渣の排出特性と栄養成分を把握したが、栄養成分から見ると、表3-17に示すように大

きく3つに分類できる。すなわち、A：食パンや麺類の売れ残り、すしレストランの残飯など排出状況や成分が安定した食品残渣、B：食品小売業や卸売市場などから排出される水分が高い野菜・果実屑、C：食堂、学校給食などから排出される成分が変動しやすい食品残渣である。

A群は量がまとまれば飼料として活用しやすい食品残渣であるが、一般廃棄物として排出されるものを量としてまとめるためには、広い地域からの回収が必要になる。B群の野菜・果実屑は水分が高く、乾燥などによる飼料化はエネルギーコスト面から不利であり、その活用方法を開発する必要がある。C群は食堂・飲食店、病院、学校給食など排出源も排出量ももっとも多いが、飼料として活用する場合には排出源での確実な分別が必要であること、粗脂肪含量が高いことが再生利用における制限因子となる。さらに、食塩濃度に対する配慮も必要である。

しかし、いずれの食品残渣も栄養成分から見れば有用なものであり、それぞれの排出特性や栄養成分に応じた飼料化再生利用システムやそれを構成する要素技術が開発されれば、有効な食品資源となる。

なお、栄養成分としては以上の3群の食品残渣と同じであっても、異物が混入したものやカビが生えたものなどが排出される可能性があり、飼料化できない食品残渣の有効利用方法の確立も不可欠である。

飼料化以外の堆肥化、メタン回収などを検討する場合の基礎となる成分組成を表3-18に示す。炭素の変動はそれほど大きくないが、まれに粗蛋白質の含有量が高い残渣では窒素の割合が高くなっている。従ってC/N比は窒素含有量に大きく影響されるが、おおよそ10～25の範囲にあり、堆肥化、メタン回収においても有効な原料である。

表3-17　食品残渣の栄養成分による分類

排出源・品目＼成分			水分	乾物換算値					出典
				粗蛋白	粗脂肪	粗繊維	粗灰分	NFE	
A	食品小売	食パン	37.8	13.7	6.3	0.3	2.7	77.0	11)
		うどん	76.3	11.1	2.1	0.4	0.4	86.0	11)
		和そば	68.2	15.7	3.1	0.6	0.6	80.0	11)
		中華そば	65.3	14.1	2.3	0.3	0.9	82.4	11)
		おから	80.1	28.6	13.1	13.6	3.5	41.2	13)
	飲食店	すし残渣	62.3	18.3	2.9	0.3	3.7	74.8	13)
B	食品小売 卸売市場	野菜屑	82.4	18.8	2.3	10.2	12.5	56.2	11)
		果実屑	85.4	5.5	2.1	6.2	2.7	83.5	11)
C	小学校	給食	75.4	19.1	7.9	2.4	5.6	65.0	12)
	病院	給食(患者用)	78.5	22.8	9.5	1.4	6.5	59.8	12)
		調理屑	84.5	16.7	8.5	5.5	8.0	61.3	12)
		食堂	71.7	10.9	6.2	1.6	6.9	74.4	12)
	食品小売	市役所食堂	71.6	14.2	12.9	1.8	5.7	65.4	12)
		調理・菓子パン	35.1	11.5	13.1	2.6	1.8	71.0	11)
		その他惣菜類	66.9	24.5	12.4	2.4	4.2	56.5	11)
	食堂・飲食店	市役所食堂	71.6	14.2	12.9	1.8	5.7	65.4	12)
		養豚農家回収	75.6	23.3	18.8	2.1	7.6	47.9	10)
			82.0	21.4	18.2	2.2	5.0	53.2	14)
			73.9	26.4	18.8	5.6	5.6	43.6	15)

表 3-18　食品残渣の成分組成[12)]

		水分 (%)	乾物換算値					C/N 比
			塩素イオン (mg/kg)	炭素 (%)	水素 (%)	窒素 (%)	酸素 (%)	
病院	給食残飯 (患者用)	76.3	14,900	45.2	6.9	2.8	40.1	16.1
		76.8	7,700	39.7	6.7	2.2	43.0	18.3
		80.3	5,510	49.4	6.5	9.0	24.6	5.5
		82.2	13,500	45.4	6.8	2.3	41.0	19.7
		76.8	7,940	44.7	6.6	2.0	42.7	22.9
	平均	78.5	9,910	44.9	6.7	3.7	38.3	16.5
	最小	76.3	5,510	39.7	6.5	2.0	24.6	5.5
	最大	82.2	14,900	49.4	6.9	9.0	43.0	22.9
	給食調理くず	74.3	7,930	41.4	5.9	3.7	39.6	11.3
		89.1	2,780	43.4	5.5	2.3	39.6	18.5
		81.8	9,610	48.2	6.8	3.1	37.6	15.4
		92.8	2,050	41.4	5.8	1.5	42.3	26.9
	平均	85.0	5,593	44.0	6.0	3.0	40.0	18.0
	最小	74.3	2,050	41.4	5.5	1.5	37.6	11.3
	最大	92.8	9,610	48.2	6.8	3.7	42.3	26.9
	食堂残渣	71.4	2,490	42.4	6.3	1.5	41.0	29.1
		71.9	13,000	43.0	7.3	2.0	42.7	21.3
	平均	71.7	7,745	42.7	6.8	1.8	41.9	25.2
	病院平均	79.4	7,946	44.0	6.5	2.9	39.5	18.6
	最小	71.4	2,050	39.7	5.5	1.5	24.6	5.5
	最大	92.8	14,900	49.4	7.3	9.0	43.0	29.1
小学校給食	①:9 校	71.9	9,100	44.7	6.7	1.9	38.9	23.8
	②:11 校	78.4	17,000	47.1	6.5	3.4	35.6	13.8
	③:11 校	72.1	9,630	45.0	6.8	3.1	41.7	14.4
	④:12 校	79.0	11,500	45.1	6.7	3.8	40.6	11.9
	平均	75.4	11,800	45.0	7.0	3.0	39.0	16.0
	最小	71.9	9,100	44.7	6.5	1.9	35.6	11.9
	最大	79.0	17,000	47.1	6.8	3.8	41.7	23.8
市役所食堂		71.6	7,970	45.5	6.3	2.3	40.2	20.0
全体	平均	77.9	8,910	44.5	6.5	2.9	39.5	18.1
	最小	71.4	2,050	39.7	5.5	1.5	24.6	5.5
	最大	92.8	17,000	49.4	7.3	9.0	43.0	29.1

第 4 節　現存する食品残渣のリサイクルシステム

一般廃棄物として処理されている食品残渣の多量発生源である水産物卸売・小売業，スーパー，百貨店，外食産業（食堂，レストラン等），給食産業，ホテル，病院などにおいて分別排出され、回収され、再生利用されている食品残渣として魚あらと廃食用油がある。また、ごく一部であるが、前述したように残飯類が養豚農家によって回収され飼料として活用されている。食品残渣の飼料化再生利用システムの構築に向けて、現存する食品残渣のリサイクルシステムをモデル事例としてその状況を把握する。

1)魚あらのリサイクルシステム

魚あらは、主として水産物卸売・小売業から発生するが、その他にスーパー、外食産業からの発生量も多い。大阪府の調査[16]によると、水産物卸売業では1事業所当たり5～1500kg／日、平均170kg／日排出されている。水産物小売業では、1事業所当たり2～140kg／日、平均32kg／日排出されている。また、スーパーマーケットやデパート、外食産業、ホテルなど様々な事業所からも排出されている。

魚腸骨とも呼ばれるこの魚あらは、含水率が75～80%と高く、腐敗しやすい性状であるが、関東、東海、近畿、九州の大都市圏では、魚あらのみを対象とした回収システムが存続している。

大阪府下の事業所等で発生する魚あらは、全大阪魚蛋白事業協同組合によって140t/日程度が回収され、岸和田市にあるフィッシュミール工場に搬入されている。フィッシュミール工場に搬入された魚あらは、水分、固形物、油分を分離するように加工され、固形物はフィッシュミールに乾燥され、家畜の飼料として売却、流通している。

大阪府の事例では、回収業者と再生業者の主導により再資源化システムを構築し、大阪府下の市町村で構成する魚腸骨対策委員会の出資によって建設されたフィッシュミールプラント(平成8年度完成)を民間に運営委託するといった形の行政支援により維持されている。

回収された魚あらから製造されたフィッシュミールの成分を表3-19に示すが、鰯原料のフィッシュミールと比べると粗灰分が高く粗蛋白質が低いが、魚の加工残渣を原料とする他のフィッシュミールと同程度の成分となっている[16]。近年では、異常気象等によって漁獲量が激減した鰯原料の輸入フィッシュミールの価格が高騰していることもあって、魚あら原料のフィッシュミールへの需要は多い。

表3-19　回収魚あらから作られたフィッシュミールと他のミール成分(%)[1]

項　目	日本海鰯	道東地区鰯	加工残渣	スケソウ残渣	都市魚腸骨
水　分	7.5～8.5	7.5～8.5	8～9	8～9	8～9
粗蛋白質	70～71	67～68	58～59	57～58	59～61
粗脂肪	7.5～8.0	8.0～9.5	8～9	8～9	9～10
粗灰分	14～15	14～15	22～25	23～25	22～25

2)廃食用油のリサイクルシステム

家庭から排出される廃食用油は、ボランティア団体等の活動により集められたものだけが専門の再生業者等によって回収されているが、回収システムが一般に普及、確立されていないため回収量はごく少ない。しかし、家庭系の廃食用油の回収システムは地域や活動団体の特性に応じて団体が自発的に創り上げたものであり、行政支援の方法を含めて様々な形態があるが、住民主導・参加型システムとして貴重な事例となっている。愛東町で女性団体が主導して家庭から廃食用油を回収し、石鹸原料や肥料原料として再利用していた活動を町が支援し、ＢＤＦ(バイオディーゼルフューエル)化、公用車での利用というシステムへと発展してきた[17]。

京都市では市の主導によって廃食用油を回収し、公用車やごみ収集車の燃料しとして活用するというシステムを構築、現在も回収量が増えつつあるという。しかし、京都市では、市が関与する廃食用油の回収システムによって家庭から回収されるものはわずかに5%程度でしかなく、回収量の95%が従来は業者が回収・再生していた事業系の廃食用油である。これを無償で回収しているため、既存の回収再生利用システムが壊滅的打撃を受けているという指摘もあり、行政主導型リサイクルシステムのあり方への課題が示されている。

平成3年度の大阪府の調査[18]によると、主にレストラン、食堂等、給食センター、惣菜業等の外食産業と、食品工業等から排出される事業系の廃食用油を、無償～700円／20リットル程度の手数料を徴収して専門の再生業者等が回収し、用途別に加工して売却している。府下の推定廃食用油量は2,200トン／月程度のうち、1,300トン／月程度（年間15,600トン程度）が回収されているが（回収率59%）、99%以上が業務用であり、家庭用は1%以下である。従って平成3年頃では、事業系の廃食用油は推定発生量1,500トン／月程度に対して87%程度の回収率となっている。なお、回収業者による廃油の再利用方法は、その質により用途が異なるが、概ね45%が飼料化、45%が石鹸に再生されていたが、近年では塗料原料など新たな再生利用方法が開発されている。

・動物油：良質なものは飼料に再生

・植物油：飼料、肥料、石鹸、樹脂、塗料、燃料等

その後、安価なパーム油が大量に輸入されるなど廃食用油の回収・再生利用システムを取り巻く社会経済情勢は厳しく、システムの存続は予断を許さない状況にあるが、そういった状況の中で、現在でも回収再生業者により回収が維持されている。事業系廃棄物の処理手数料の見直し、食品リサイクル法の施行などの社会経済情勢の変化によって、回収の手数料が徴収しやすくなったこと、新たな廃食用油の再生利用方法が開発されてきたことなどが、システムの存続を可能にしていると考えられる。

3)残飯類の養豚飼料化システム

大阪府下の養豚農家は昭和37年の640戸をピークに年々減りつづけ、平成16年現在ではわずかに9戸となっている。現存する養豚農家のほとんどが肥育豚1000頭未満の家内規模経営であるが、こういった状況の中でも、多かれ少なかれ食品残渣を飼料として利用し、肉質向上への努力が行われている。

大阪府下の養豚農家の一つである有限会社関紀産業は泉佐野市にあり、母豚 90 頭で出荷頭数は年に1500頭以上、飼料は哺乳期の人工乳以外はすべて自家配合飼料でまかなっている。

食品残渣の飼料化には、何よりも異物の混入のない良質な食品残渣を得ることが大切で、排出者の協力によりスムーズな収集体制をつくることを目的として、泉州地域の養豚農家が「和泉食品残渣利用組合」を設立し、排出事業者が協力金という形で収集費用を負担することなどを含む収集上の取り決めを作っている。一方で「和泉食品残渣利用組合」の中に「肉質向上研究会」を設置し、肉質成績や経営データなどを公表、農業改良普及センター、農林技術センター、家畜保健衛生所、畜産会の支援を受けて養豚経営の改善努力をつづけている。

平成8年4月より「食肉処理業、販売業」の許可を得て、リサイクル豚肉「ブートン」の販売をはじめた。それ以来、リサイクル飼料の収集先である病院、給食販売業などを中心に販路を広げ、平成9年からはリサイクル飼料を収集している学校給食センターへの納入が始まるなど、販売、納品先はさらに広がりつつある。

ここでは、泉佐野市にある食品コンビナートのうち7社から日量3トン、学校給食センター、病院などから2トンの合計5トン／日の食品残渣が和泉食品残渣利用組合によって集められ、図3-1に示す加工、処理工程によって飼料等に有効利用されている。

このリサイクル養豚システムは、以下のサブシステムで構成されている。

①収集した食品残渣の選別、飼料化システム

②加工した「リサイクル飼料」による養豚システム

③飼料化不適物と養豚場で発生する糞尿混合物（液状）のメタン発酵処理によるエネルギー利用システム

④飼料化不適物と養豚場で発生する糞尿混合物（固形物）及びメタン発酵処理から発生する

汚泥の堆肥化による農地還元

集められる食品残渣の内容は、食品工場から出るうどん、ラーメン及びそれらの生地、ちくわなどの練り製品、菓子パン、ケーキ及び生地、ギョーザの皮や残飯類である。集められた食品残渣は、飼料として利用できるものと、そうでないものに選別される。

飼料として不適な物は糞尿と混合して圧縮脱水機で固液分離され、液状物はメタン発酵処理される。メタンガスは一日当たり約250m^{3}発生しているが、これはメタン発酵処理施設の保温と冬場の豚舎の暖房、飼料乾燥などに利用されている。一方、固形物は、堆肥舎で切り返して堆肥にし、近くの田畑に還元されている。

飼料は、子豚、肉豚、母豚と用途に合わせて調整、加工され、給与されている。例えば、子豚用には、スポンジケーキ、ラーメン、肉団子などの栄養価の高いものを乾燥し、これに大豆蛋白、魚粉、生のラーメン、うどん、残飯などの水分の多いものを加え、牛乳と発酵菌を添加して混合し、24時間発酵させたのち乾燥されている。

リサイクル養豚の最大の欠点は軟脂になりやすいことで、残飯類に多く含まれる不飽和脂肪酸(リノール酸やリノレイン酸)が原因で起こるとされている。こういった問題を解決するために、肉豚用の飼料は子豚用と異なり、肉質の締りを目的として、でんぷんを多く調整し、同様に発酵処理されている。

発酵処理することで、品質が安定し、保存性、作業性、豚の嗜好性がよくなり、豚舎の臭気が少なくなるなどのメリットがあるという。

以上の施設建設費用は1億円程度、維持管理費は年間700万円程度であるが、出荷までの飼料費は一頭当たり8,000円程度に抑えられているという。これは、配合飼料による養豚に比べて安価な飼料費であり、その結果飼養期間を長くできることにつながっている。こういった努力によって生産されている豚肉への評価は高く、配合飼料を給与した豚肉より高く取引されている。

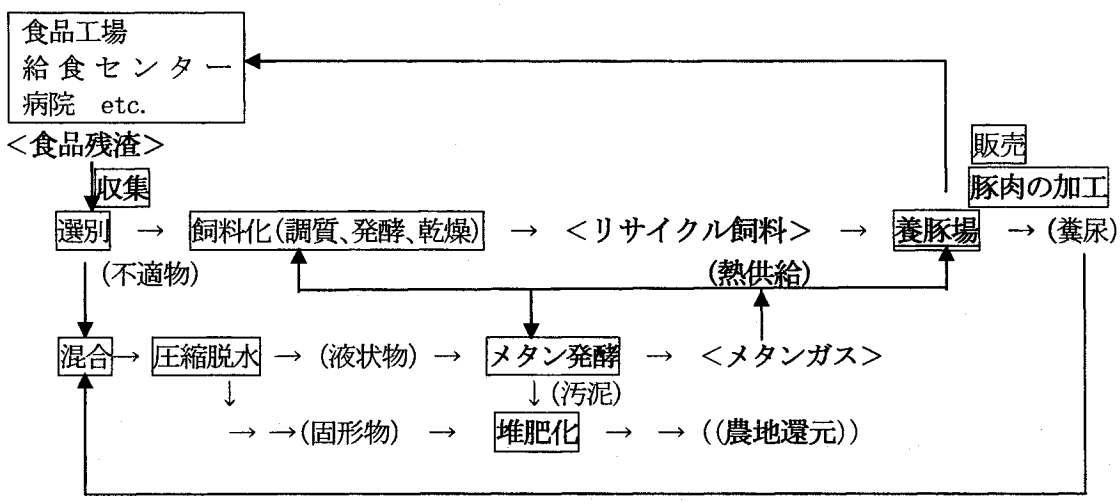


図3-1 リサイクル養豚システム概略図

4)現存する食品残渣のリサイクルシステムの処理料金

排出事業所が支払っている処理料金は、事業所ごとの回収作業の難易度、回収量、輸送距離等によって異なっている。大阪府調査[1)]によると平成4年度では、魚あらのリサイクル業者の処理

料金は平均6.33円／kg、養豚業は平均12.2円／kg、廃棄物処理業者は平均18.32円／kg、市町村処理は平均12.53円／kg、廃食用油の処理料金は、平均4.96円／kgとなっており、リサイクル業者に支払われる処理料金が概ね安い状況であった。過去においては、食品残渣が有価物として売却できていた経緯があることなどから、一部では処理料金を払うことへの理解を得ることが難しい状況や、また分別に手間をかける必要があることから処理料金を低く設定しなければ分別回収できない状況などが、この背景にあると推察された。処理コストが安くなることが排出事業所の分別意欲のインセンティブとなっているが、一方で処理料金を安くすることが食品残渣再生事業の採算性を悪化させることから食品残渣の再生事業が民間で拡大しなかった一つの要因となっていると推察された。

一方、リサイクル業者等へのヒヤリング調査によると、最近の処理料金は平成4年時点の1.2～1.5倍程度に上昇しているが、リサイクル業者に支払われる処理料金が廃棄物処理業者に支払われる処理料金より安い状況にあることは変りないとのことである。ただし、京都府下において民間で事業化されている飼料化施設においては、事業としての採算が成り立つ処理料金(30円/kg程度)が設定されている。こういった状況は、食品リサイクル法によって食品関連事業者の再生利用への取り組みが義務付けられたことによって可能となったものである。

第5節　小括－望ましい食品資源循環システムの提案

都市域から発生し事業系一般廃棄物として焼却処理されている大量の食品残渣について、窒素・リン循環及び炭素循環を適正化し、環境負荷の低減、資源利用効率の向上を可能にし、食料安全保障に寄与する食品残渣の望ましい循環システムとして、飼料化を組み込んだ多段の循環システムの確立が望ましいことを第2章において明らかとした。

本章では食品残渣由来の再生飼料への需要が十分大きいこと、飼料化において考慮すべき飼料の安全性や栄養価値、その他について把握した。また、食品残渣を需要側が必要とする品質の飼料に再生するためには、排出源において異物が混入しないよう分別した食品残渣が排出される必要があり、市民や事業者の分別排出への意識の醸成が不可欠であるが、事業系一般廃棄物として排出されている食品残渣についても、事業者が意識することによって異物の混入がない状態に分別され食品残渣として回収できること、これらの食品残渣が栄養成分から見て十分に飼料として有用なものであることを排出特性の調査・検討により明らかにした。

そこで、異物の混入がないように分別排出されることを前提として、食品残渣の排出状況、栄養成分等を基に、飼料化を組み込んだ食品資源循環システムを検討し、図3-2に示す望ましい食品資源循環システムを提案する。そのシステムの概要は以下のとおりである。

従来より分別回収、再生利用されている魚あら、廃食用油については、そのシステムが健全に維持されることが望まれる。

第3節では食品残渣をその成分によって大きく3つに分類したが、成分が安定したA群の食品残渣の中でも、食パンや麺類など炭水化物が多く粗脂肪が低い食品残渣は、豚の飼料として好まれるものである。また、すしレストランの残飯やおからは粗蛋白質の含有量が高く、成分が安定していることから、より価値の高い飼料への有効利用が可能であり、副資材との混合調整によって流通価格が高価な養魚用飼料への利用の可能性がある。また、食パンや麺類は、牛の飼料への利用も可能である。

B群の食品小売業や卸売市場などから排出される水分が高い野菜・果実屑は、飼料利用におい

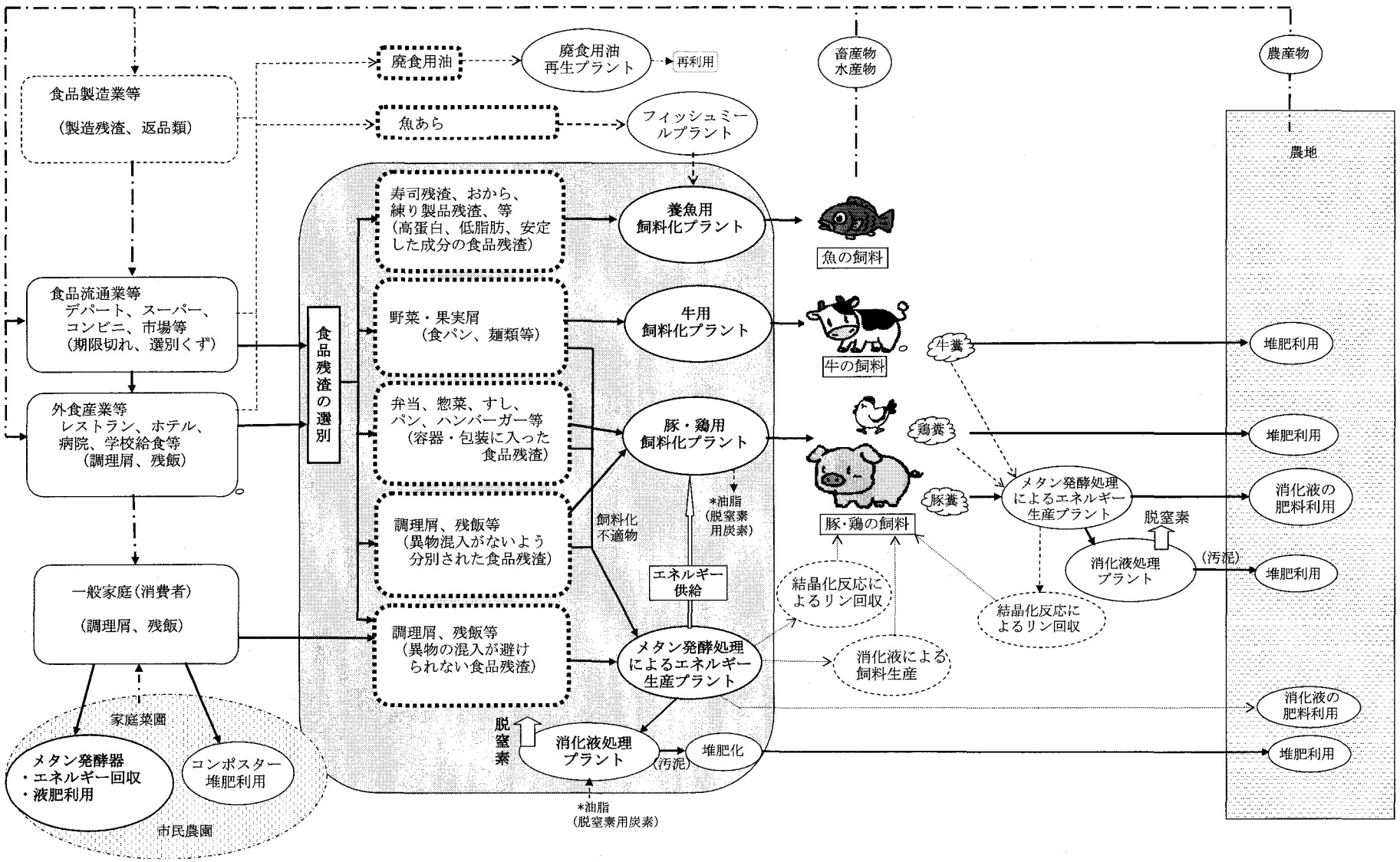


図 3-2　食品残渣の飼料化システムを組み込んだ望ましい食品資源循環システム

ても堆肥化においても利用方法が難しい食品残渣であるが、特にビタミン類をはじめとする有用な栄養成分を含んでいる。卸売市場やスーパーマーケットなどの生鮮食品小売業からまとまった量が排出されるが、こういった事業所では排出時点で動物性食品残渣と確実に分別できることから、牛の飼料として有効利用できる可能性が高い。

C群の食堂、学校給食などから排出される残飯類は、成分が変動しやすく粗脂肪含量が高いため、その飼料利用においては飼料成分の安定化や、粗脂肪、食塩濃度への配慮が求められる。しかし、豚や鶏の飼料として十分な栄養価値があり、排出源が多様で数多く存在することから、多量に回収して成分を均質化、安定化することを前提として、従来からの活用方法である豚や鶏の飼料への有効利用方法を検討する。

一方、カビが生えたものや異物分離が困難な生ごみ等については、メタン発酵処理によるエネルギー回収を検討する。第2章第3節で述べたように、メタン発酵処理によるエネルギー回収では消化液の利用方法によって資源利用効率が大きく変る。消化液を肥料として農地還元できる場合や、消化液中の栄養塩類を利用したバイオマス生産ができれば資源利用効率が大きくなるが、大都市近郊での大規模な消化液利用は困難であろう。その場合は、消化液が都市からの環境負荷として新たに上積みされることがないよう、消化液の脱窒素処理や凝集処理とその汚泥の堆肥利用が不可欠である。また、食品残渣に含まれるリンはメタン発酵処理によってリン酸にまで分解されていると考えられ、これをリン酸マグネシウムアンモニウム（MAP）やヒドロキシアパタイト（HAP）などへ結晶化し回収できれば、飼料添加物として再利用できる可能性もある。

なお、食品残渣の飼料化システムに不可欠な発生源における市民の分別排出への意識によって進められてきた家庭や地域における食品残渣の堆肥化、農業利用等の活動は、循環共生農業への意識の醸成や新しい循環型食文化や廃棄物管理/資源循環型コミュニテイの実現を可能にする活動として積極的に持続すべきあると考えられる。従って、分別収集の実現が容易ではない家庭系の生ごみの有効利用方法として、現在進められているコンポスト化に加えて、家庭でメタン発酵処理によるエネルギー回収と液肥利用ができれば、二酸化炭素の排出量を削減し資源利用効率をさらに高める方法として有効であり、その可能性について検討することが望まれる。

本章では、食品残渣の飼料化を軸とした再生利用システムと、食品残渣の再生飼料の利用を組み込んだ畜産、及び畜産糞尿等を利用した農業から生産される食料の供給システムからなる循環システムを望ましい食品資源循環システムとして提案したが、本システムを実現するためには、食品残渣の飼料化技術の確立と、食品残渣の分別排出への市民の合意形成が課題となる。

本論文では、望ましい食品資源循環システムを現実に近づけるための個別の技術的課題を解決し、飼料化システムが事業として成り立つための社会経済面における課題を把握することを目標としており、次章以下においては、主として技術的課題を解決するための取り組みについて述べる。

第3章　参考文献

1) 農林水産省：食糧需給表（平成14年度版），
http://www.kanbou.maff.go.jp/www/fbs/dat/3-2.xls
2) 社団法人配合飼料供給安定機構：食品残さの飼料化をめざして―そのマニュアルと参考資料，pp.7-8(2003)
3) 農林水産省：http://www.maff.go.jp/work/saisei-sanko-1.pdf pdf
4) 農林水産省大臣官房統計部：食品循環資源の再生利用等実態調査結果の概要(2003)，
http://www.maff.go.jp/toukei/sokuhou/data/junkan-saisei2003/junkan-saisei2003.htm
5) 農林水産省：飼料増産推進計画，
http://www.maff.go.jp/work/000425kihon-1.pdf
6) 小野雄策：重金属，未利用有機物資源の飼料利用ハンドブック，㈱サイエンスフォーラム，pp.203-205(2000)
7) 元井葭子：微生物・カビおよびその代謝物，未利用有機物資源の飼料利用ハンドブック，㈱サイエンスフォーラム，pp.197-202(2000)
8) 社団法人配合飼料供給安定機構：食品残さの飼料化をめざして―そのマニュアルと参考資料，pp21-23(2003)
9) 入江正和：脂質酸化物，未利用有機物資源の飼料利用ハンドブック，㈱サイエンスフォーラム，pp.211-213(2000)
10) 入江正和：都市厨芥(生)を用いた豚の飼養試験，未利用有機物資源の飼料利用ハンドブック，㈱サイエンスフォーラム，pp.293-279(2000)
11) ㈱コスモ：スーパー等小売業から排出される期限切れ食品残さの包装袋除去及び飼料化・堆肥化技術の実証、平成12年度食品製造業ゼロエミッションシステム構築事業成果報告書、(社)食品需給研究センター、pp.1-9－1-10(2001)
12) 西谷隆司、池田由起、山本攻、立道誠、新居広隆：病院・学校等の公共施設における食品廃棄物の排出実態と資源化の検討，公衆衛生，Vol.49，No.1，pp35-43(2005)
13) 近畿環境興産(株)：食品残渣の高品質加工処理による養魚用餌料の開発，平成12年度中小食品産業・ベンチャー育成技術開発支援事業　技術研究報告(下)，財団法人食品産業センター，pp.77-104（2001）
14) 大阪府農林水産部流通対策室・大阪府動植物性残渣リサイクル事業協議会：飲食店等動植物性残渣リサイクルモデル事業調査報告書，pp.42(1994)
15) ヤンマー農機(株)，釧路技研(株)，(株)モリプラント，(株)コスモ，(株)タクマ：食品廃棄物の高付加価値飼料化等再資源化システム技術の開発，平成13年度食品リサイクル技術開発事業成果報告集，社団法人食品需給研究センター，pp.135-189(2002)
16) 大阪府農林水産部流通対策室・大阪府動植物性残渣リサイクル事業協議会：動植物性残渣リサイクルモデル事業推進調査・検討報告書，pp.1-25(1993)
17) 馬場高志：廃食用油のリサイクル，平成10年度廃棄物計画部会研究活動報告「廃棄物計画論の確立をめざして（8)」第3期活動(その2)，pp 66-67(1999)
18) 大阪府環境保健部環境局環境整備課：ごみ減量リサイクルパイロット事業調査報告書(1992)

望ましい食品資源循環システムを構成する
再生利用システムとその技術課題

第４章　飼料化のための容器包装類の除去システム

第５章　食品残渣のマダイ用飼料化システム

第６章　野菜・果実屑を利用した牛の飼料化システム

第７章　残飯類の乾燥飼料化システム

第８章　メタン発酵処理等エネルギー・資源回収システム

第4章　飼料化のための容器包装類の除去システム

第3章で提案した望ましい食品資源循環システムに組み込む食品残渣の飼料化を実現するために克服すべき課題の一つに、異物分離、容器包装材の除去技術の確立がある。

スーパーマーケット、百貨店、コンビニエンスストアなど、食料品小売業から排出される食品残渣は容器包装類に入ったものが多く、異物がまったく混入しない精度でこの容器包装類を除去することが大きな課題となっている。その方法としては、人手による容器類の除去がもっとも確実な方法ではあるが、処理コストの上昇につながることなどから容器包装類に入った食品残渣の再生利用の大きな障害となっている。

そこで、本章では、容器包装類から食品残渣を分離するモデルシステムを検討し、その処理コストを試算している。

なお、本章は、(社)食品需給研究センターの平成 12 年度食品製造業ゼロエミッションシステム構築事業で、大阪府立農林技術センター(現、食とみどりの総合技術センター)の指導を受けて、株式会社コスモが実施した「スーパー等小売業から排出される期限切れ食品残さの包装袋除去及び飼料化・堆肥化技術の実証」研究事業[1)]に、研究協力者として参加し、一部の実験とデータ解析、及び報告書の作成を担当して得た研究成果を基に検討したものである。

第1節　容器包装類の分離方式の選定

食品残渣の飼料化を目的として容器包装類と内容物を分離する場合は、分離した食品残渣に容器包装類が混入することがない方法を確立する必要があり、堆肥化などを対象として開発されている容器包装を粉々に破砕して分離する方式では、その破片が分離側に混入する可能性が高く、飼料化を目的とした容器包装類の除去技術として適用できないことは明らかであった。

従来から食品残渣の飼料化を行っている養豚農家では、特に飼料に適したパンや麺類などを多量に利用する場合にはカッターなどで袋を切断して人手による除去作業を行っているが、カッターなどに内容物が付着して効率が低下する状況が多く見られた。そこで、容器包装類を粉砕せず、内容物に接触せずに容器包装類を切断、分離できるシステムが検索され、選択された圧縮式袋除去機とCO_2レーザー切断機の性能を実験によって把握している。

第2節　圧縮式袋除去機による容器包装類の除去実験

圧縮式袋除去機は、本来、蟹の肩肉を採取するために使われていたものであり、孔の明いたドラム（網目ローラ）とゴムベルトの隙間に対象物を入れ、圧縮することにより肉と異物（蟹がら）を分離する大変シンプルな構造をした機械である。実験では、この機械を容器包装に入った食品を容器包装から分離する目的で使用できるよう、本来の機械に新たにインバータを付けて回転数を可変できるように改良し、分離性能や運転条件等を検討している。

1) 実験方法

実験装置の構造図と外観を図 4-1、写真 4-1 に示す。実験は、回転数と 3 種類の異なった目幅の網目ローラの組み合わせを変えることによって、16 種類の容器包装入り食品を対象に、運転条件の把握と袋除去効率の測定を行った。

使用機械：(株)アブコ製、網目ローラ式採肉機
ドラム径：φ405mm、ベルト幅：210 mm、
動力：2.2kW×200V×60Hz
設定回転数：10～30 rpm
網目ロール目幅：φ3、φ5、φ8mm

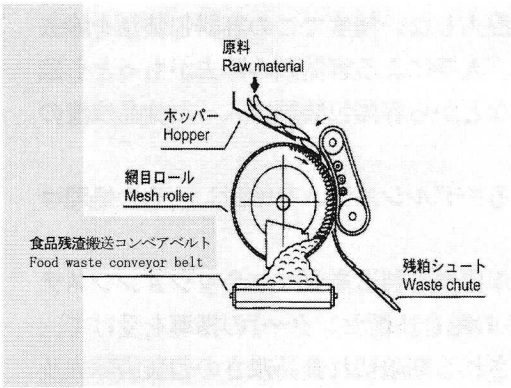


図 4-1　圧縮式袋除去機構造図

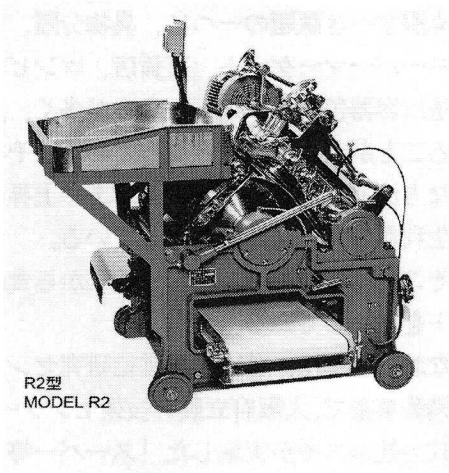


写真 4-1　圧縮式袋除去機

2)実験結果

品目ごとの袋除去の状況を写真 4-2～22 に、実験条件ごとの結果を表 4-1 に示す。

実験結果によると、回転数による除去率の変化はなかった。処理能力は回転数に比例するため、回転数を上げれば処理量が増えるが、30rpm で運転すると機械構造上ベルトに負担が掛かりすぎ、時々高い電流値を示すことがあった。

このことから、回転数 20rpm、目幅φ5mm を最適運転条件として、この条件における処理能力を次式によって算出した。算出した処理能力を表 4-2 に示す。

処理能力（袋／時間）＝πD×60n／（L×1.1）

D：網ロール径（φ405mm）

n：回転数（20rpm）

L：対象品の大きさ（mm）

ただし、ここで算出した処理能力はベルトスピードと対象品の大きさ(＝長辺)での計算値であり、実際はおにぎりなどの小さな形状のものは一度に数個処理できるが、ここではこの点を考慮していない。

①こんにゃく

除去状態：前処理のカットをしないで機械にかけたが、全く問題なく処理できた。但し、圧縮して袋がはじける際、水がまわりに飛び散った。

注：「前処理のカット」について
こんにゃく・豆腐・乳酸飲料・プリンや牛乳のようなパックが密閉されていて、なお且つ液状若しくは液が満たされている物については、圧縮した際、容器が破裂し内容物が飛散するため、あらかじめ前処理として、容器に切り目を入れた。

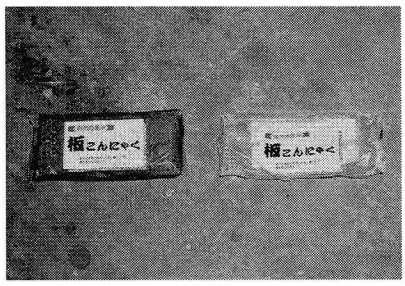


写真 3-2　実験前・後

②ねり製品

除去状態：回転数および目幅にかかわらず分離した。

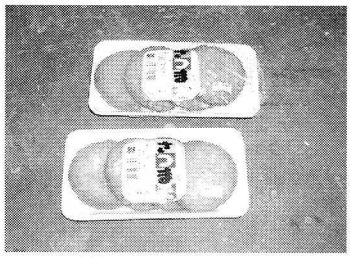


写真 4-3　実験前

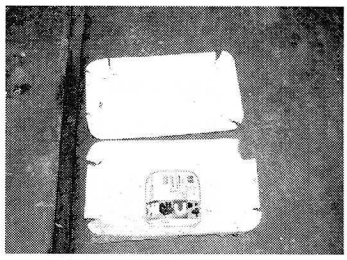


写真 4-4 実験後

③豆腐

除去状態：前処理のカットをしないで機械にかけたが、全く問題なく処理できた。
但し、圧縮して袋がはじける際、水がまわりに飛び散った。
また、容器の角部分にわずかではあるが、内容物が残った。

写真 4-5　実験前・後

④サラミ・チーズ

除去状態：回転数および目幅にかかわらず分離した。ただ、チーズは網目ローラ穴部に残った。
網目ローラに入り込んだチーズは次の除去対象物に押し出されたため、目詰まりはしなかった。

写真 4-6　実験前

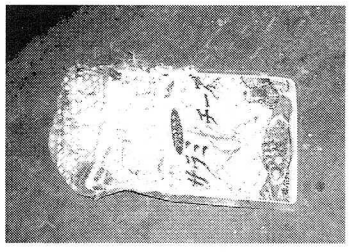


写真 4-7　実験後

⑤焼き鳥

除去状態：串があるのにもかかわらず、全く問題なく処理できた。

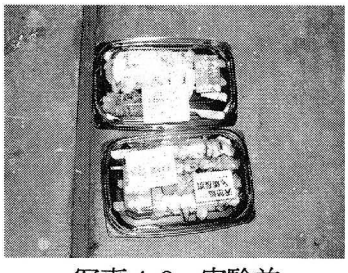


写真 4-8　実験前

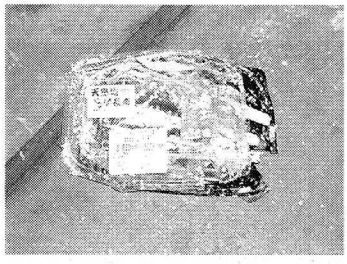


写真 4-9　実験後

⑥弁当

除去状態：焼き鳥と同様に、容器の上からラップフィルムの包装があったが問題なく分離した。目幅φ8㎜ では、ちぎれたバランが分離側に入ってしまった。また、容器側ローラ部に米粒が少し残った。

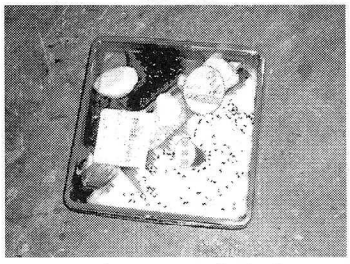


写真 4-10　実験前

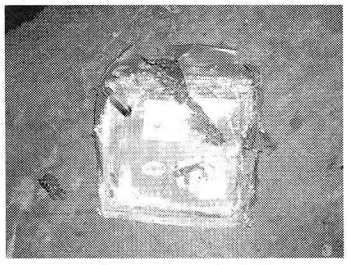


写真 4-11　実験後

⑦すし

除去状態：回転数にかかわらず分離した。

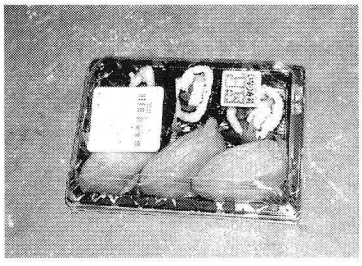


写真 3-12　実験前

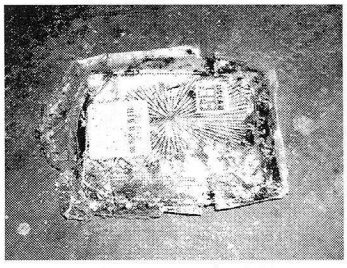


写真 3-13　実験後

⑧おにぎり

除去状態：回転数および目幅にかかわらず分離した。ただ、米粒および海苔は網目ローラ穴部にあたった部分に残った。

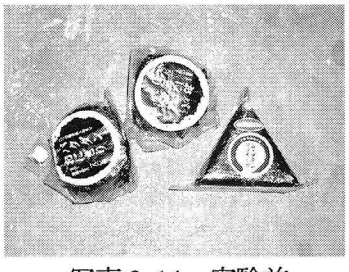


写真 3-14　実験前

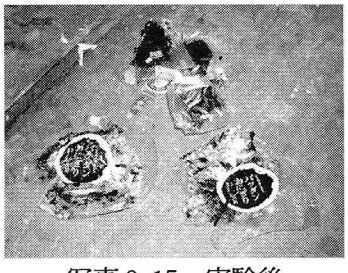


写真 3-15　実験後

⑨プリン

除去状態：前処理のカットをしないで機械にかけたが、全く問題なく処理できた。但し、容器の角部分にわずかではあるが、内容物が残った。

写真 4-16　実験前

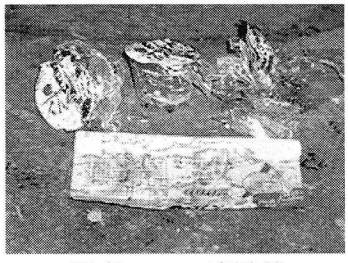


写真 4-17　実験後

⑩食パン

除去状態：スポンジのように圧縮されただけで網目ロールによってせん断されず、そのまま排出された。また、ちぎれた袋の残骸が分離側に入ってきた。回転数および目幅を変えても同じ結果だった。

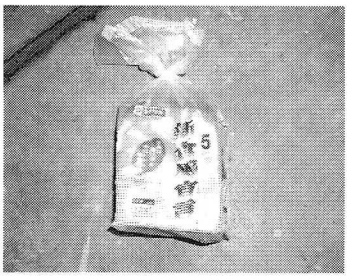


写真 4-18　実験前

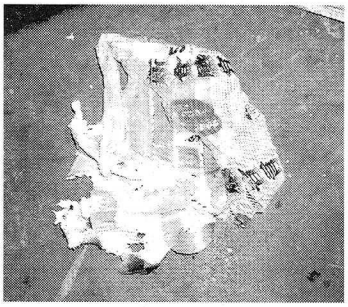


写真 4-19　実験後

⑪牛乳

除去状態：前処理のカットをして機械にかけたが、全く問題なく処理できた。但し、圧縮して袋がはじける際、液がまわりに飛び散った。

⑫厚揚げ

除去状態：回転数および目幅にかかわらず分離した。

⑬乳酸飲料

除去状態：前処理のカットをして機械にかけたが、全く問題なく処理できた。但し、容器の角部分にわずかではあるが、内容物が残った。

⑭ソーセージ

除去状態：小さなアルミの口金が付いていたが、分離側に入ることなく除去できた。但し、袋側に内容物が意外と残った。

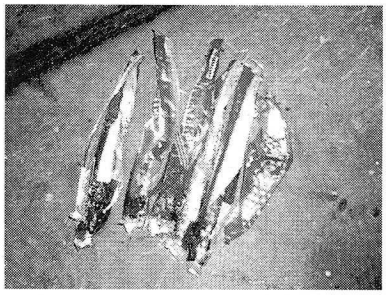


写真 4-20　実験後

⑮ロースハム

除去状態：真空パックの薄切りロースハムは、条件にかかわらず問題なく分離できた。

写真 4-21　実験前

写真 4-22　実験後

⑯めん類（うどん）

除去状態：一部は分離されたが、袋の中に多く(20～30%重量比）のめんが圧縮された状態で残った。回転数および目幅を変えても同じ結果だった。

表 4－1　圧縮式袋除去機の実験結果一覧表

	試験品	重量（g）			回転数（rpm）			目幅（mm）			サイズ（mm）
		Net	Gross	し渣	10	20	30	φ3	φ5	φ8	
①	こんにゃく	300	312	12	○	○	○	◎※	◎※	◎※	160×80×25
②	ねり製品	150	161	11	○	○	○	◎	◎	◎	78×150×25
③	豆腐	340	367	20	○	○	○	○※	○※	○※	115×115×35
④	サラミ・チーズ	40	45	5	○	○	○	○	○	▲	160×90×20
⑤	焼き鳥	120	142	20	○	○	○	○	○	○	150×90×35
⑥	弁当	480	510	45	○	○	○	○	○	●	180×180×40
⑦	すし	300	330	45	○	○	○	○	○	○	155×110×38
⑧	おにぎり	90	100	22	○	○	○	○	○	○	70×70×32
⑨	プリン80×3ヶ	240	290	40	○	○	○	○	○	○	180×60×65
⑩	食パン	350	365	－	×	×	×	×	×	×	120×115×135
⑪	牛乳	1000	1075	40	○	○	○	○	○	○	70×70×240
⑫	厚揚げ	230	250	20	○	○	○	◎	◎	◎	90×90×70
⑬	乳酸飲料	70	75	8	○	○	○	○	○	○	φ40×80
⑭	ソーセージ	35	37	4	○	○	○	○	○	▲	φ15×160
⑮	ロースハム	50	57	7	○	○	○	◎	◎	◎	100×100×20
⑯	うどん	217	220	3	▲	▲	▲	▲	▲	▲	130×130×25

◎：完全に分離できた。　○：概ね分離できた。　▲：袋に多くの内容物が付着していた。

×：全く除去できなかった。　●：容器が混入した。　※：液が飛散した

表 4-2　圧縮式袋除去機の処理能力

	品目	処理能力（袋/時間）	処理能力（kg/時間）		品目	処理能力（袋/時間）	処理能力（kg/時間）
①	こんにゃく	17,350	5,413.2	⑨	プリン@80×3ヶ	23,134	6,708.7
②	ねり製品	17,795	2,865.0	⑩	食パン		
③	豆腐	12,070	4,429.7	⑪	牛乳	19,829	21,316.2
④	サラミ・チーズ	15,422	694.0	⑫	厚揚げ	15,422	3,855.5
⑤	焼き鳥	15,422	2,189.9	⑬	乳酸飲料	34,700	2,602.5
⑥	弁当	7,711	3,932.6	⑭	ソーセージ	92,534	3,423.8
⑦	すし	12,618	4,163.9	⑮	ロースハム	13,880	791.2
⑧	おにぎり	19,829	1,982.9	⑯	うどん		

3)考察

圧縮式袋除去機の実験では、網目ロール目幅が最大のφ8mm 使用時に弁当のバランが一切れ混入したが、それ以外の異物混入はなく、網目ロール目幅φ5mm の最適条件での運転において異物の混入はないことを実験によって確認できた。

圧縮式袋除去機は、特に弁当・すしなど容器の上にラップフィルムで包装されたものや串に刺さった焼き鳥など、従来、分離に困難を極めたものにも優れた除去性能を示した。また、その処理速度は、少なくとも人手による容器包装除去速度の 10～20 倍程度になることが把握できた。

さらに、牛乳及び乳酸飲料のような液体でも分離することができた。ただし、流動性のある液状物の分離では、原料がホッパーから網目ロールとベルトにかみ込まれていく過程で圧縮されて後部に移動し、こらえきれなくなった密封容器が破裂、投入ホッパー側に液が勢いよく飛散した。実験では、人手により対象品を網目ロールに対しほぼ直角に入れたが、自動供給の場合、斜めに入ることも予想され、広い範囲での飛散防止カバーが必要と思われた。

パン類はスポンジのように圧縮されただけで分離できなかった。圧縮式袋除去機は、網目ロールとベルトにより圧縮しながら内容物を後部に押し出し、網目ロールの外周面と穴部との圧縮力の違いにより内容物をせん断し、穴から押出す構造である。生地の内部に多量の空気を含むパン類はスポンジのような物性であるため、圧縮されても袋から後部にスムーズに移動せず、容器と生地が複雑に絡みせん断に至らないと考えられた。

また、麺類は圧縮され、一旦穴部に入り込むが、袋との付着力が強く、ベルトエンドの加圧部を過ぎると袋側に戻ってきた。これは、めん類のフィルム状の袋に柔軟性や伸縮性があり、内容物が入った状態で圧縮されると変形して一部の（ある程度の）内容物を保持してしまうためと考えられた。しかし、フィルム状の袋に入ったこんにゃくはまったく問題なく分離できたことから、内容物と袋が簡単にはがれるかどうかが除去性能を決定する一つの要因と考えられた。

従って、フィルム状の袋に入ったもののうち、内容物と袋が簡単に剥離するものは圧縮式袋除去機によって分離できるが、袋と内容物との付着性が高い場合や内容物がスポンジのように圧縮されてしまう場合には圧縮式袋除去機による袋除去は難しいと考えられた。

以上の検討により、圧縮式袋除去機は、伸縮性の少ない硬めの容器に入った食品残さや、内容物と袋が簡単に剥離するフィルム状袋入り食品残さの分離に適した機械と考えられた。

このように、適用できない食品残さや容器包装類が一部あるものの、現状の人手による袋除去作業を考えると、圧縮式袋除去機は非常に価値がある機械と言える。

今後の導入に付いては、安全カバー兼用液飛散防止カバーと、原料自動供給機を設置することで連続運転が可能であるが、洗浄しやすい構造への改良が課題である。

第3節　CO_2レーザーによる袋類の切断実験

CO_2レーザーは、CO_2ガスを封じ込めたチューブ内でＲＦ放電された光が端部に設けられた全反射ミラーと反射出力カプラーにより増幅されビームとなり出力される。この光の共振に際してチューブ長が重要な要素となる(図 4-1)。樹脂の加工に特に適していて、そのほとんどのビームエネルギーは樹脂に吸収されて切断、融

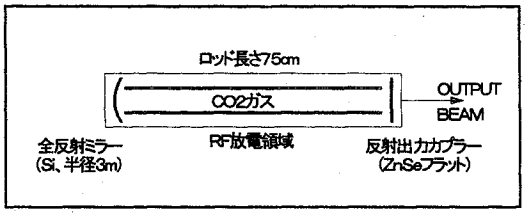


図 3-1　CO_2 レーザー発振器構造図

着、穴明け、接合、蒸発、重合などの作用を起こす。集光レンズにより光束を0.05㎜程度に絞り込むと、3000℃以上の熱でセラミックのような高温材料でも蒸発させ切断することができ、外部のミラーを動かすことによって自由な形状に非接触で加工することが可能であるとされている。

そこで、CO_2レーザーデモ機によって袋の切断性能について試験を行い、最適運転条件と処理能力を求めた。

1) 実験方法

レーザーデモ機（図4-2）を使用して、その切断スピードを変えながら、包装材質の種類別に効率的な切断スピードを確認した。

使用レーザー　：米国シンラッド社製
　　CO_2レーザー 空冷式
　　波 長：10.6μm
　　出 力：0～25 W

設定可能切断スピード：10～1000mm／s

なお、使用したデモ機のレーザー冷却装置が万全ではなかったため、出力を60%(15W)に固定して実験をおこなった。

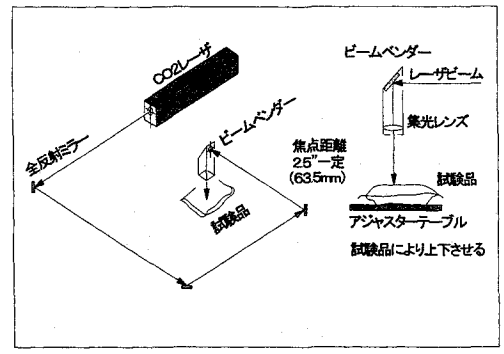


図4-2　レーザーデモ機イメージ

レーザーによる袋類の切断スピードは、主としてレーザー出力と切断対象物の材質によって決まる。実機設計に向けて、以下の(a)～(e)の実験対象品の切断スピードをレーザーデモ機によって確認した。

(a) 麺類（うどん・そば・ラーメン）
　サイズ：130×130×25（max）
　　160×150×25(袋)
　重　量：220g　(表示200g)
　袋材質：PP（ポリプロピレン）

(b) 食パン
　サイズ：120×115×135（max）
　重　量：365g
　袋材質：PE（ポリエチレン）

(c) 菓子パン（あんパン）
　サイズ：φ100～115×45　(max)
　　180×145×45(袋)
　重　量：115g
　袋材質：PE（ポリエチレン）

(d) その他トレー
　材　質：発泡スチロール

(e) ラップフィルム
　材　質：ポリ塩化ビニル

2)実験結果

品目ごとの切断結果を表4-3に示す。レーザー出力15Wにおける切断スピードはトレーについては20mm/s、それ以外のフィルム状の袋類では50mm/sであることが把握できた。

以上の実験結果から、次式により実機（25W）における切断速度推定値を求め、実機の切断速度を決定した。ただし、プラズマ放電の変動率が±2%であるため連続安定出力を95%として算出した。レーザー出力25Wでの切断速度換算値を表4-4に示す。

切断速度(mm/s)＝25（W）×95（%）÷15（W）×V（mm/s）

V(mm/s)：15W出力時の最適切断スピート

次に、以上によって求めた切断速度により、それぞれの袋を切断する実験を行ったところ、すべての袋は問題なく切断できた。

表 4-3　CO_2レーザー切断スピード実験結果（レーザー出力：15W）

No	品　目	切断速度：V（mm/s）									
		10	20	30	40	50	100	200	300	400	500
(a)	麺類・うどん・そば・ラーメン 材質：ポリプロピレン	◎	◎	◎	◎	◎	△				
(b)	食パン 材質：ポリエチレン	◎	◎	◎	◎	◎	△				
(c)	菓子パン（あんパン） 材質：ポリエチレン	◎	◎	◎	◎	◎	△				
(d)	その他のトレー 材質：発砲スチロール	◎	◎			×	×				
(e)	ラップフィルム 材質：ポリ塩化ビニリデン	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	

◎：完全に切断された。　△：一部切り残しがあった。
×：レーザービームが貫通しなかった。

表 4-4　実機における切断スピード

		最適切断速度（mm/s）
(a)	麺類（うどん・そば・ラーメン） 材質：ポリプロピレン	75　(79.2)
(b)	食パン 材質：ポリエチレン	75　(79.2)
(c)	菓子パン（あんパン） 材質：ポリエチレン	75　(79.2)
(d)	その他のトレー 材質：発砲スチロール	30　(31.7)
(e)	ラップフィルム 材質：ポリ塩化ビニリデン	600　(633.3)

（　）内：計算値

第4節　最適容器包装除去システムと処理コスト

実験結果から、圧縮式袋除去機で分離できなかったパン類と麺類の袋除去ではCO_2レーザーによって袋に切り目を入れ、圧縮式袋除去機で分離するというように2種の袋除去機を組み合わせることによって、スーパーのみならず一般に流通、販売されているほぼすべてのプラスチック製、紙製の容器包装に入った食品残渣の分離が可能であると考えられた。

すなわち、飼料化を目的とした食品残渣の容器包装類の除去方法として、CO_2レーザー切断・圧縮式袋除去機が、最適モデルの一つであると考えられる。

そこで、CO_2レーザー切断・圧縮式袋除去機によって容器包装類と食品残渣を分離するとして、袋除去工程のみの処理コストを試算する。試算の条件は、以下のとおりである。

稼動時間　：6時間／日×25日／月（年間300日稼動）
作 業 員　：4,500,000円／年・1人

1）圧縮式袋除去機の処理コスト

CO_2レーザー切断・吸引式袋除去機と同様にして圧縮式袋除去機の品目別の処理費を算出し

たところ、0.14～4.15円／kg、平均1.25円／kgとなった(表4-5、4-6)。圧縮式袋除去機は時間当たりの処理量が大きいことから、処理コストは非常に低いものとなる。

表4-5① 電力料金

電力量 (kWh)	単 価 (円／kWh)	料金 (円／日)	料金 (円／年)
1.76	12.3	130	38,966

表4-5② 機械償却費

機械価格 (円)	償却率 (10年)	償却費 (円／年)
7,200,000	0.100	648,000

表4-5③ 処理原単価

円／年	円／時
5,186,966	2,882

表4-6 圧縮式袋除去機の品目別処理費

品目	コスト (円／kg)	品目	コスト (円／kg)
こんにゃく	0.53	おにぎり	1.45
ねり製品	1.01	プリン@80×3ヶ	0.43
豆腐	0.65	牛乳	0.14
サラミ・チーズ	4.15	厚揚げ	0.75
焼き鳥	1.32	ヤクルト	1.11
弁当	0.73	ソーセージ	0.84
すし	0.69	ロースハム	3.64

2) CO_2レーザー切断・圧縮式袋除去機の処理コスト

圧縮式袋除去機での袋除去が困難であったパン、麺類の袋にCO_2レーザーによって切り目を入れ、その後に圧縮式袋除去機で袋を除去するとした場合のそれぞれの処理量を表4-7に、作業員が1名で対応するとした処理コストを表4-8に示す。また、レーザー切断機の袋に切り目を入れる作業を人手によって行うとした場合の処理コストを作業員2名として試算した。

試算結果より、レーザーによって切り目を入れ、その後に圧縮式袋除去機で処理すれば、人手によって切り目を入れる場合より処理費が低減できることが分かった。

表4-7 レーザ切断・圧縮式袋除去方式の処理能力

品　目	レーザー		圧縮式	
	(袋/時間)	(kg／時間)	(袋/時間)	(kg／時間)
うどん	2,077	457	10,672	2,348
そば	2,077	457	10,672	2,348
食パン	2,348	857	12,064	4,403
あんパン	1,862	214	9,568	1,100

表 4-8　レーザー切断・圧縮式袋除去方式の処理費(単位：円／kg)

	レーザー切目	圧縮式袋除去	合計	人手切目+圧縮式
うどん	0.7	1.2	1.9	2.3
そば	0.7	1.2	1.9	2.3
食パン	0.4	0.7	1.1	1.2
あんパン	1.5	2.6	4.1	4.9

第5節　小括

スーパーマーケット等から排出される容器包装類に入った食品残渣を、異物がまったく混入しない精度で、容器包装類を分離するシステムについて、CO_2レーザーによる切断機と圧縮式袋除去機を用いた実験結果を基に検討した結果、次の点が明らかとなった。

圧縮式袋除去機の最適運転条件は、回転数 20rpm、目幅φ5mm であり、この条件において分離した食品残渣に異物の混入はまったくなく、特に弁当・すしなど容器の上にラップフィルムで包装されたものや串に刺さった焼き鳥など、従来、分離に困難を極めたものにも優れた除去性能を示してた。しかし、パン類は分離できず、麺類は内容物の一部が袋に残った。このように適用できない食品残さや容器包装類が一部あるものの、現状の人手による袋除去作業と比較すれば圧縮式袋除去機の処理速度は少なくとも 10～20 倍程度は大きいことが分かった。

パン類や麺類の袋のように袋と内容物との付着性が高い場合や内容物がスポンジのように圧縮されてしまう場合にはCO_2レーザーによって切り目を入れ、圧縮式袋除去機で分離するというように組み合わせることによって、スーパーのみならず一般に流通、販売されているプラスチック製や紙製の容器包装に入った食品残渣が、ほぼ全て高速で分離できると考えられた。

人件費、機械の減価償却費、電力費を含む袋除去工程のみの処理コストは、圧縮式袋除去機のみで分離可能なものは高く見積もっても 0.53～4.15 円/kg で、パンや麺類のようにCO_2レーザーによって切り目を入れ、圧縮式袋除去機で分離するものでは、1.9～4.1 円/kg と計算された。

第4章　参考文献

1) 株式会社 コスモ：スーパー等小売業から排出される期限切れ食品残さの包装袋除去及び飼料化・堆肥化技術の実証，平成 12 年度食品製造業ゼロエミッションシステム構築事業報告書，社団法人食品需給研究センター，pp1-25(2001)

第5章　食品残渣のマダイ用飼料化システム

我が国の養殖業は昭和 40 年代に始まり急速に発展、近年ではハマチ、マダイ、その他フグやエビ、クエなどの高級魚も養殖されている。これらの餌は主にイワシの魚粉を主原料とする配合飼料が給与されており、わが国での需要量は年間約 50 万トン程度で、タイ用はその 1/3 程度と推定されている [1)]。近年、養魚用飼料原料であるイワシの漁獲量が激減し、飼料経費が高騰しているため、多くの魚粉代替蛋白質源が検索されている。

マダイについては完全な肉食性ではなく海藻類も食べることから、エネルギー源として植物性蛋白質や炭水化物をある程度利用できると考えられており、マダイ用飼料に適した成分の食品残渣を選択することによって、食品残渣のマダイ用飼料への再生利用が可能であると考えられる。また、養魚用飼料は、他の飼料と比べて流通価格が高価なことから、食品残渣の再生利用が可能であれば事業としての採算性も期待できる。

そこで、本章では、第 3 章で提案した望ましい食品資源循環システムに組み込む食品残渣の飼料化システムの一つとして、食品残渣をマダイ用飼料として再生利用するシステムを確立するために、食品残渣の排出状況や成分を基にマダイ用ペレット飼料の原料に適した食品残渣を選択し、保存性、加工性等を高める乾燥技術と、栄養的にバランスのとれた高品質の養魚用飼料を製造するための原料と副資材の配合による加工技術を明らかにし、マダイ用ペレット飼料の製造コストを試算して、システムの実用化への課題について検討している。

なお、本章は、(財)食品産業センターの平成 12 年度中小食品産業・ベンチャー育成技術開発支援事業において、大阪府立農林技術センター(現、食とみどりの総合技術センター)、大阪府水産試験場の指導を受け、近畿環境興産㈱が実施した「食品残渣の高品質加工処理による養魚用餌料の開発」研究事業 [2)]に、研究協力者として参加し、一部の実験、データ解析、及び報告書の作成を担当する業務を通じて得た研究成果を基に検討したものである。

第1節　養魚用飼料原料に適した食品残渣

養魚用飼料には、蛋白質が多く、脂肪分が少なく、比較的発生量と質が安定していて回収しやすい食品残渣が適しており、実験では食品製造業から排出される練り製品残渣と、事業系一般廃棄物として処理されている寿司残渣やおから、及び魚あらから再生されているフィッシュミール(以下、あらミールと呼ぶ)と再生時に副生するソリュブルを主原料に選択した。

大阪府の調査 [3,4)]によると、府下の魚あら発生量は 360 t／日程度であり、約 40%が回収されフィッシュミールに加工・再利用されている。また、府下のおからの発生量は 250 t／日程度あり、排出段階での異物混入の可能性は極めて少ない。寿司残渣は回転寿司チェーン店から時間切れで廃棄される寿司で、府下に広く展開している 3 社 127 店舗で 1 店舗当たり平均 45kg／日、計 5 t／日程度廃棄されている。飼料として再利用するための分別協力を依頼し、異物(はし、お茶パック等)混入のない寿司残渣を回収することができた。食品コンビナートの練り製品製造業から製品残渣が概ね 1 t／日発生しているが、その分別状況は良好であった。回収したおから、寿司残渣、練り製品残渣の一般成分組成を表 5-1 に示す。水分は常圧加熱乾燥法、粗蛋白質はケルダール法、粗脂肪はジエチルエーテル抽出法、粗繊維はろ過法、灰分は直接灰化法による [5)]。

表 5-1　原料の一般成分組成（%）

	水分	粗蛋白質	粗脂肪	粗繊維	粗灰分
豆腐粕(おから)	80.1	5.7(28.6)	2.6(13.1)	2.7(13.6)	0.7(3.5)
練り製品残渣	71.4	9.5(33.2)	0.9(3.1)	0.1(0.3)	2.1(7.3)
寿司残渣	62.3	6.9(18.3)	1.1(2.9)	0.1(0.3)	1.4(3.7)

注:()内は乾物換算値

第2節　乾燥処理技術の検討

食品残渣を含水率が充分に低く蛋白質変性等が少ない状態に乾燥するための機器の選択を目標に、ドラムドライヤ、気流乾燥機など数種類の乾燥機の性能調査を目的とした実験が行われている[6-8]。蒸気循環利用による気流乾燥方式は乾燥品の品質やエネルギー効率面で優れていたが、“ごはん”を多く含むと団子状になり、団子状にならないように乾燥品を循環して混合すると焦げが生じやすくなるなど運転面に課題が残っていた。そこで、本研究では、上記の中で目的に適した装置と予測された汚泥乾燥に利用されている解砕機付き気流乾燥機を採用し、その機能と対象とした食品残渣に適した運転条件等を把握するとともに、伝熱解析によって食品残渣ごとの乾燥特性を把握し、“ごはん”を多く含む食品残渣や練り製品残渣の乾燥に適した気流乾燥機の設計諸元を得た。

1)乾燥設備の仕様

実験に用いた気流乾燥機は、ＬＰＧを燃料とした熱風（ＬＰＧ排ガス＋空気）により直接加熱乾燥するもので、解砕機はディスクとバーを組み合わせ、高速で回転させることによって被乾燥物を粉砕する機能を持つものである。被乾燥物は熱風を吹き込んでいる解砕機に投入され、解砕と同時に受熱乾燥し、所定粒度まで繰り返し解砕機に降下して粉砕乾燥されるため、解砕機の運転条件、上昇管高さと気流速度を適切に設定すれば所定粒度に粉砕しながら乾燥することができる。実験に使用した気流乾燥設備の概略図を図 5-1 に、主要機器仕様を表 5-2 に示す。

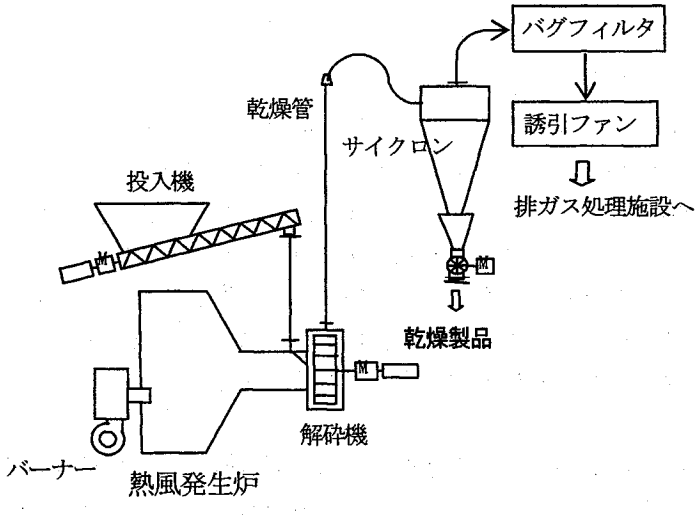


図 5-1　気流乾燥設備の概略図

2) 乾燥機の運転条件と処理結果

各種実験を通じ、選択した食品残渣の乾燥に適した熱風温度は 125℃前後で、140℃を超えると減率乾燥域になり乾燥品温度が上がって熱効率が悪くなり、また、100℃以下では解砕機内での乾燥が不十分で、原料が上昇管に飛出さず解砕機内に堆積することが明らかとなった。解砕機回転数が遅い場合(500rpm 以下)は、投入量に関係なく原料の詰まりなどが発生した。実験機の最適運転条件は解砕機回転数 600rpm、熱風温度 125℃、64m³/min で、その条件での処理状況を表 5-3 に示す。おからの含水率は 10%以下となったが、練り製品残渣や寿司残渣では気流管長さ不足のため 25%程度となった。

表 5-2 実験プラント主要機器リスト

機器名称	基数	仕様	電動機(kW)
投入機	1	ホッパ付スクリューコンベヤ	1.5
熱風発生炉	1	内容積3.6m³ 内面耐火キャスタブル張り	—
バーナ	1	ＬＧＰ用バーナ 20 Nm³/h	1.1
解砕機	1	ロータ径 900 mm インバータ	11
乾燥管	1	上向管 φ700 下降管 φ620	—
サイクロン	1	単槽サイクロン 胴径 φ1、700	—
サイクロンロータリーバルブ	1	ロータリーバルブ	0.4
バグフィルター	1	ろ過面積323 m2 パルスジェット洗浄式	—
バグフィルタースクリューコンベヤ	1	スクリューコンベヤ	0.75
バグフィルターロータリーバルブ	1	ロータリーバルブ	0.4
誘引ファン	1	ターボファン 350m³/min 700 mmH_2O	55
制御ダンパ	1	コントロールモータ付ダンパ	0.4
コンプレッサ	1	レシプロタイプ 圧力タンク付	

表 5-3 原料別の処理状況（解砕機 600rpm、熱風 125℃×64m³/min）

原料	処理量 (kg/h)	原料含水率 (%)	製品量 (kg/h)	製品含水率 (%)	蒸発水分 (kg/h)
豆腐粕	57	80	13	10	44
練り製品残渣	73	70	29	25	44
寿司残渣	94	60	50	25	44

3) 伝熱解析

食品残渣は解砕機で解砕・乾燥されながら上昇管に飛出すが、大きな粒子は解砕機に降下して解砕・乾燥を繰り返す。伝熱解析では、冷間で求めた解砕機の回転数に対する各原料の粒度分布関数と熱収支より解砕機から排出される粒子の個数、密度、粒子径、水分率を計算し、気流管の微小高さ方向での粒子径分布（微小ピッチの粒子径に対する水分率、個数、密度）変化と蒸発量を微小時間で逐次計算して気流管での定常状態の熱収支と一致させた。以上の計算を繰り返し、乾燥品の物理的性状、乾燥域の滞留時間分布が測定値と一致する係数を用いて乾燥特性を把握した。伝熱解析に用いた測定値及び解析式は以下のとおりである。

3)-1 乾燥品の物理的性状

乾燥品の性状を表 5-4 に、レーザー干渉法による球形近似フーリエ級数演算による測定器での乾燥品の粒度分布を図 5-2 に示す。おからは 0.5mm をピークとする広い範囲に分布したが、練り製品残渣は殆どが 0.3～0.6mm 間に分布し、寿司残渣は 0.3mm 付近を中心に 0.2～0.4mm に 85%が分布した。

表 5-4　製品の物理的性状

項目	単位	豆腐粕	練り製品残渣	寿司残渣
重量	g	75	98	122
容積	cm^3	302	298	380
嵩比重	g/cm^3	0.25	0.33	0.32
空隙率	-	0.55	0.55	0.7
真比重	g/cm^3	0.55	0.73	1.07
含水率	%	8.70	25.10	25.75

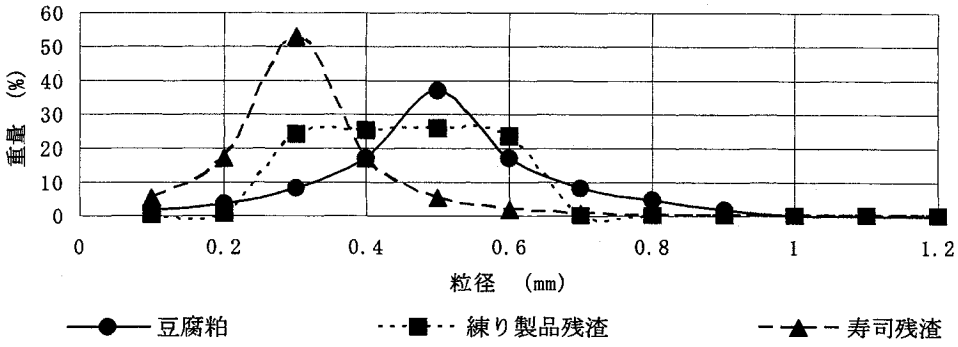


図 5-2　乾燥品の粒度分布

3)-2 乾燥域(解砕機＋上昇管)での滞留時間

実装置の設計基礎データとして乾燥域の滞留時間を知る必要がある。乾燥実験での立上げ、停止時の乾燥品排出量分布から乾燥域の滞留時間分布を求めたものを図 5-3 に示す。おから、練り製品残渣、寿司残渣の平均値を示しているが、3 原料ともほぼ同じ分布で、投入してから乾燥域を出るまでの平均滞留時間は 15～20 分であり、解砕機と上昇管内はかなり濃い濃度の原料が滞留している事がわかった。

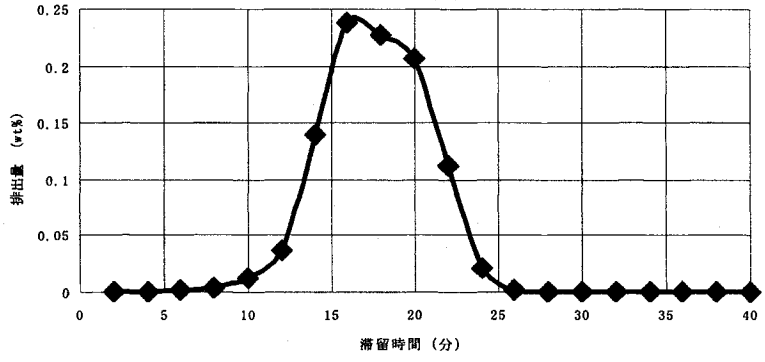


図 5-3　乾燥域(解砕機+上昇管)での滞留時間分布

3)-3 伝熱解析式

①解砕機の伝熱式

解砕機の伝熱では、下記の解砕機の伝熱式[9]を用いた。

$$haV=250\ \{log(W/d\rho)-1.8\}$$

ha:熱容量係数　(kcal/m³h℃)　　V: 解砕機容積 (m³)　　W: 無水原料重量 (kg/h)

d：粒子径（m）　　ρ：密度　(kg/m³)

②気流管中の粒子速度の計算

スリップ速度＝0として仮定粒径のRe数を計算し、それぞれのRe数に対応した3式（ストークス式、アレン式、ニュートン式）で粒子速度を計算した。

③気流乾燥部の伝熱式

気流乾燥部の伝熱では、下記の伝熱式[9]を用いて伝熱係数hを計算した。

$240<(Re)_{rel}<1300$　　$(Nu)=4.35\times10^{-4}(Re)_{rel}^{1.95}$

$0.05<(Re)_{rel}<240$　　$(Nu)=1.44(Re)_{rel}^{0.47}$

$(Re)_{rel}$：熱風と粒子の相対速度基準のRe数：$d'(Vg-vm)\rho_{gas}/\mu_{gas}$

d'：粒子径(m)　　Vg：熱風速度(m/s)　　vm：粒子速度(m/s)

ρ_{gas}：熱風密度(kg/m³)　　μ_{gas}：熱風粘度(kg/m・s)

(Nu)：hd'/k_{gas}

h：伝熱係数(kcal/m²h℃)　　d'：粒子径(m)

k_{gas}：熱風の熱伝導度(kcal/mh℃)

④物質・熱収支

実験測定データから物質、熱収支計算を行った。熱風物性値は、ＬＰＧ排ガスと空気組成を計算し、化学工学便覧に記載されている物性定数を使用した。

3)-4 伝熱解析結果

伝熱解析によって把握した主な乾燥特性は以下のとおりである。

①解砕機と上昇管での伝熱

解砕機の解砕・伝熱計算による原料の伝熱代表径を表5-5に、熱容量係数を表5-6に、各原料に対する総伝熱量の解砕機と上昇管での伝熱量の比を表5-7に示す。比重の軽いおからは上昇管での乾燥率が大きく、比重の重い寿司残渣は解砕機での乾燥率が高いく、上昇管からの落下による解砕機での再解砕・伝熱が各原料とも15分程度繰り返されている計算結果となった。

表5-5　原料別の伝熱代表径

原料	豆腐粕	寿司残渣	練り製品残渣
伝熱代表径(mm)	0.05	0.1	0.5

表5-6　解砕機の原料別熱容量係数

原　料	豆腐粕	寿司残渣	練り製品残渣
熱容量係数(kcal/m3h℃)	900	550-650	325

表5-7　解砕機と上昇管の伝熱量

原料	豆腐粕	寿司残渣	練り製品残渣
解砕機	14%	28%	20%
上昇管	86%	72%	80%
合計	100%	100%	100%

②上昇管中の粒径と滞留時間

おからは、細かく解砕された粒子はガスの平均滞留時間と同じ約２秒で排出されるが、0.5～0.9mmでは20秒以上、１mm程度では上昇管を降下して解砕機でさらに解砕される。練り

製品残渣は、細かい粒径（0.1mm 以下）で約 3 秒、0.6mm 以上になると解砕機へ降下し、その間の粒径では 5～20 秒程度の滞留時間である。寿司残渣も、細かい粒径(0.1mm 以下)は約 2 秒の滞留時間であり、0.4mm では 30 秒程度、0.5mm 以上は解砕機へ降下する計算結果となった。

4)乾燥機の最適化

乾燥実験および伝熱解析を基に、おから、練り製品残渣、寿司残渣を含水率 10wt%に乾燥する解砕機付き気流乾燥機を設計した。設計機では上昇管及び下降管を長く、解砕機の電動機を大きくし、原料の投入をプッシャー方式、除塵をスクラバーによる方式とした。燃料コスト低減と乾燥品への排ガス臭の付着を避けるため、重油ボイラで発生させた蒸気で加熱した熱風により乾燥する方式とし、蒸気を循環させるとともに、熱風用空気を排ガスと熱交換して熱効率を高める方式とした。その設備概要を表 5-8 に示す。なお、設計した乾燥機による単位時間当たりの処理量は、おから 283kg/h、練り製品残渣 330kg/h、寿司残渣 396kg/h となる。

表 5-8　最適プラントの主要機器仕様

機器名称	基数	仕　様
投入機	1	ホッパ付電動プッシャー　2.2kW
蒸気式空気加熱器	1	フィンチューブ式、伝熱面積163m^2
蒸気ボイラ	1	A重油501/h、1、000kg/h×10kgf /cm^2
ドレン回収装置	1	1t/h　3kgf/cm^2 ドレンラインポンプ
軟水装置	1	1、000kg/h
解砕機	1	ロータ径900 mm インバータ制御　15kW
乾燥管	1	上向管φ1、000×12mH、下降管φ800×5mH
サイクロン	1	単筒サイクロン胴径φ1、700、 ロータリーバルブ:0.4kW
脱臭設備（スクラバー）	1	処理ガス量　120m^3/min
誘引送風機	1	ターボファン　350m^3/min×350 mmH_2O、35kW
制御ダンパ	1	コントロールモータ付ダンパ　0.4kW
循環ダンパ	1	コントロールモータ付ダンパ　0.4kW

第 3 節　マダイ用ペレット飼料の作製

マダイ養殖において、餌の安定供給、肉質の改善、作業性の改善、海洋の汚染防止などから、生餌から配合飼料への転換について古くから研究されている[10-12]。また安価で安定した蛋白質供給の面から魚粉代替飼料の研究も多くなされている[13-15]。

魚の生命を維持し、成長を促進するために、養魚用飼料にはエネルギー源のみならず、充分量の必須アミノ酸、必須脂肪酸などが含まれるとともに、魚に悪影響を及ぼす可能性がある脂質酸化物の含有量が低いこと、マダイが効率的に捕食する形状であるとともにその嗜好性を満たすことなど、品質面での様々な課題を克服する必要がある。そこで、3. で乾燥した食品残渣及び回収された魚あらから再生されたフィッシュミール（以下あらミールと略す）等を主原料として上記の観点から必要な副資材を添加してペレット飼料を製造し、その栄養成分、脂質酸化物等について分析した結果を市販配合飼料と比較した。

1)飼料原料の混合調整

給餌試験によるリサイクル飼料の有効性の実証を目的として 2 種のペレット飼料（以下、Ⅰ区

用、II区用）を作製した。原料の一般成分組成を表5-9に、配合率を表5-10に示す。I区用ペレット飼料では、おから乾燥物、練り製品残渣乾燥物、寿司残渣乾燥物の等量混合物を36%、あらミールとソリュブル（回収魚あら再生時の副産物）をそれぞれ20%ずつ配合し、粗蛋白含量が約50%となるようにイワシ原料のフィッシュミールを20%添加した。II区用ペレット飼料では食品残渣乾燥物の等量混合物を20%、あらミールを20%とし、イワシ原料のフィッシュミールを55%添加した。I、II区用とも市販のビタミン、ミネラル類製剤を添加して撹伴混合し、ペレッターで直径10mm、長さ約15mmのペレット飼料に成形、平板乾燥機で水分約10%になるように乾燥した。従ってI区用ペレット飼料は原料の76%が、II区用ペレット飼料は原料の40%が食品残渣によって構成されている。なお、対照とした市販のマダイ用ペレット飼料はフィッシュミール65%、穀類17%、植物性油粕類5%、米糠2%及びその他から構成されている。

表5-9　ペレット飼料の主原料の成分組成(%)

項目	乾燥品			あらミール*1	ソリュブル*2	ホールミール
	豆腐粕	練り製品残渣	すし残渣			
水分	9.8	21.9	7.5	7.4	56.6	9.7
粗蛋白質	20.7(22.9)	21.9(28.0)	26.9(29.1)	64.1(69.2)	38.0(87.6)	67.2(74.4)
粗脂肪	6.2(6.9)	5.4(6.9)	8.9(9.6)	10.0(10.8)	1.5(3.5)	9.6(10.6)
粗繊維	13.0(14.4)	10.5(13.4)	5.6(6.1)	0.4(0.4)	0(0)	0.2(0.2)
灰分	4.1(4.5)	5.2(6.7)	5.0(5.4)	18.1(19.5)	5.3(12.2)	14.8(16.4)

あらミール*1：回収魚あらから作られたフィッシュミール
ソリュブル*2：魚あらからフィッシュミールを作るときに出る副産物
(　)：乾物換算値

表5-10　ペレット飼料の原料配合率(%)

原　料	I区用	II区用	対照区用
豆腐粕乾燥品	12	6.7	
練り製品乾燥品	12	6.7	
すし残渣乾燥品	12	6.7	
あらミール	20	20	
ホールミール	20	55	65
ソリュブル	20	—	
CMC	—	1	
穀類			17
植物性油粕類			5
米糠			2
その他	4	3.9	11

2)ペレット飼料の成分

作製した食品残渣配合ペレット飼料の一般成分組成とアミノ酸組成、抽出油の理化学的性状を測定した。一般成分組成は、2.に述べた分析方法[5]により、可溶無窒素物（NFE）は100－（水分＋粗蛋白質＋粗脂肪＋粗繊維＋灰分）とした。アミノ酸組成は過ギ酸酸化処理後、塩酸で加水分解し、アミノ酸自動分析法により分析した。なお、トリプトファンは加水分解後、高速液体クロマトグラフ法により分析した。各飼料から脂質をクロロホルム・メタノール混液で抽出し、抽出油の酸価、過酸化物価、ヨウ素価を基準油脂分析法（日本油化学会編）により測定した。

作製したペレット飼料の一般成分を表 5-11 に示すが、いずれの飼料も蛋白質を主体としたものとなっている。魚類の栄養素に対する要求量についての研究の歴史は浅く、養魚用飼料の公定規格については、ウナギ、コイ、ニジマス、アユの育成用、稚魚用餌付用飼料について粗蛋白質、粗脂肪では最小成分量、粗繊維と粗灰分では最大成分量が定められているが、海産魚用飼料については未だ公定規格は定まっていない[16]。淡水魚の公定規格（養殖水産動物用配合飼料の公定規格）によれば、上述の魚種や成長によって異なるが、粗蛋白質では 37.0～50.0%以上、粗脂肪では 3.0～4.0%以上、粗繊維では 4.0～1.0 以下、粗灰分では 15.0～17.0%以下となっている。一般に、海水魚は淡水魚に比べて蛋白質の要求量が多いといわれている。マダイの至適蛋白質含量については約 55%という報告[17]や、40%が適当ではないかという報告[18]があり、これらのことから食品残渣配合ペレット飼料の蛋白質含量についてはほぼ満足のゆく水準であると考えられた。また、ペレット飼料の粗脂肪含量は 12%、粗繊維は 2.1%以下、灰分含量 13%以下で、淡水魚の基準をほぼ満たすものであった。

表 5-11　マダイ用ペレット飼料の一般成分(%)

項　目	Ⅰ区用	Ⅱ区用	対照区用
水　　分	13.8	12.1	6.6
粗蛋白質	45.8	52.5	46.6
粗脂肪	12.4	12.3	13.7
粗繊維	2.1	1.2	1.0
粗灰分	10.4	13.0	15.3
可溶無窒素物	15.5	8.9	16.8

摂取された蛋白質は消化管内でアミノ酸まで分解、吸収され、体内で蛋白質に再合成されるが、必須アミノ酸の種類は動物によってそう異ならないとされ、動物体を構成する蛋白質の必須アミノ酸組成は、動物が要求する必須アミノ酸のパターンを示すものと考えられている。表 5-12 に食品残渣配合ペレット飼料のアミノ酸組成と、トリプトファンを 1.0 として計算したマダイの筋肉ならびに飼料における必須アミノ酸比率を示した。調査したすべての必須アミノ酸が食品残渣配合ペレット飼料中に含まれ、各種アミノ酸含量はⅠ区用とⅡ区用で異なるものではなかった。また、トリプトファンを 1.0 として計算したマダイの筋肉ならびに食品残渣配合飼料における必須アミノ酸比率は、Ⅰ区用とⅡ区用でほぼ同様な値を示し、タイ肉に比べて大きな差はなかった。この比較からすれば、2 種の食品残渣配合ペレット飼料のアミノ酸組成は、極端な過不足はなく、そのバランスは、ほぼ満足できるものであった。

次に食品残渣配合ペレット飼料の脂質中の脂肪酸組成を表 5-13 に示した。ペレット飼料中の主な脂肪酸は、パルミチン酸（C16：0）、オレイン酸（C18：1）、リノール酸（C18：2）、アラキドン酸（C20:4）、エイコサペンタエン酸（C20：5；ＥＰＡ）、およびドコサヘキサエン酸（C22：6；ＤＨＡ）であった。ペレット飼料Ⅰ区用とⅡ区用では脂肪酸組成に多少の違いはあるものの、ほぼ類似した結果であった。また対照区用飼料と比較しても脂肪酸組成に顕著な違いはみられなかった。近年、魚の脂質の栄養価についての研究が進み、脂肪のエネルギー源としての価値、必須脂肪酸等が各魚種について明らかになりつつある。特に必須脂肪酸については、初期餌料のワムシ、および稚魚を用いた研究の結果、海産魚類の必須脂肪酸は、陸上動物の必須脂肪酸であるリノール酸、リノレン酸ではなく、炭素数 20 以上の高度不飽和脂肪酸、すなわちＥＰＡ（C20:5）、ＤＨＡ（C22:6）などであることがわかった。このＥＰＡおよびＤＨＡは海産の魚介類に多く含

まれ、イワシ等の生餌給与の場合は十分量含まれているのであまり問題はないが、配合飼料の場合は不足気味なため添加する必要がある。これらの脂肪酸の飼料中含量は、マダイの場合、飼料の0.5～1.0%とされている。食品残渣配合ペレット飼料中のＥＰＡとＤＨＡの割合は、ＥＰＡがⅠ区用1.0%、Ⅱ区用0.7%、ＤＨＡがⅠ区用1.2%、Ⅱ区用0.9%となり、充足されていた。

表5-12　ペレット飼料のアミノ酸組成(%)とトリプトファンを1とした各種アミノ酸の比率

項目	組成（%）		トリプトファンを1とした比率		
	Ⅰ区用	Ⅱ区用	マダイ筋肉[19]	Ⅰ区用	Ⅱ区用
アルギニン	2.3	2.7	5.6	5.9	5.0
リジン	3.0	3.8	8.8	7.5	7.0
ヒスチジン	1.4	1.7	2.5	3.4	3.2
フェニルアラニン	1.6	1.9	3.7	3.9	3.6
チロシン	1.1	1.5	3.1	2.8	2.7
ロイシン	2.8	3.5	7.5	7.1	6.5
イソロイシン	1.5	1.9	4.4	3.9	3.6
メチオニン	0.9	1.3	2.8	2.3	2.3
バリン	1.9	2.3	5.0	4.7	4.3
アラニン	2.7	3.2	5.4	6.8	5.9
グリシン	3.3	3.4	4.4	8.2	6.2
プロリン	2.1	2.2	3.2	5.3	4.1
グルタミン酸	5.8	6.7	13.5	14.5	12.3
セリン	1.7	2.0	3.5	4.4	3.7
スレオニン	1.7	2.1	4.3	4.2	3.9
アスパラギン酸	3.8	4.5	9.7	9.5	8.3
トリプトファン	0.4	0.5	1.0	1.0	1.0
シスチン	0.4	0.5	1.0	1.1	0.9

表5-13　供試飼料の脂肪酸組成（%）

種　類	Ⅰ区用	Ⅱ区用	対照区用
C14:0	4.9	3.5	5.2
C16:0	19.9	18.8	18.5
C16:1	5.5	4.3	6.1
C18:0	4.6	5.1	4.0
C18:1	21.8	25.0	20.4
C18:2	7.9	13.7	5.2
C18:3	1.3	2.1	1.1
C18:4	1.5	1.0	1.7
C20:1	1.5	1.6	2.0
C20:4	10.3	9.4	10.3
C22:1	1.5	1.5	1.8
C20:5(EPA)	8.4	5.3	10.8
C22:5	1.4	1.1	1.5
C22:6(DHA)	10.0	7.6	11.3

次に抽出油脂におけるヨウ素価と酸価、過酸化物価を表 5-14 に示した。ヨウ素価は 136～150 と高く、食品残渣配合ペレット飼料の抽出油脂の不飽和度が高いことを示している。このことは表 5-13 で示したように脂肪酸組成からも明らかである。脂質酸化物は飼料の安全性として重要な要因であるため、酸価、過酸化物価を測定したが、魚では明確な基準がなく、ヒトや家畜、実験動物では脂質酸化物が大量に含まれる、あるいは、ひどい酸化物を含む飼料を与えると、下痢、嘔吐などの急性毒性を呈し、重症の場合には死に至ることもある。慢性毒性の場合でも発育や飼料効率が低下したり、生産物に悪影響を与える[20]。Ⅰ、Ⅱ区用ペレット飼料の抽出油脂の酸価は 13～15 の範囲であった。酸価の基準はヒト食品の JAS における植物油脂で 5.0 以下と定められ、飼料用として流通している動物性油脂では 1～50 程度、平均 10 程度で、魚粉は 15～80 程度である。つまり、酸価において食品残渣配合ペレット飼料は家畜飼料の平均的な値であった。食品残渣配合ペレット飼料中の過酸化物価は 9～12 の範囲であった。過酸化物価は油脂の初期の酸敗を知る指標である。参考までに、ヒトの油菓子では 50 を越えてはならないと通達されており、家畜飼料用として流通している動物性油脂の過酸化物価はおおむね 0.5～20 の範囲で、魚粉は 2～30 である。つまり、過酸化物価においても食品残渣配合ペレット飼料は問題のない値であった。

表 5-14　飼料から抽出された油脂のヨウ素価、酸価、過酸化物価

項　目	Ⅰ区用	Ⅱ区用
ヨウ素価	136	150
酸　価	14.3	13.5
過酸化物価(meq/kg)	11.1	9.7

第 4 節　養殖マダイへの給餌試験

作製した食品残渣配合ペレット飼料を養殖マダイに給与して、マダイの成長、肉の化学成分および色調に対する影響等について、市販配合飼料と比較検討した。ここでは成長について報告する。

1)試験方法

試験用の生け簀は、黒色ポリエチレン 5 節 3.6m 角(3.6×3.6×3.6m)を 6 面用い、1 面にマダイ 2 歳魚 205 尾を収容した。また、生け簀の上面は遮光率 90%の寒冷紗で覆った。試験区はⅠ区：食品残渣配合ペレット飼料（ソリュブル入り)、Ⅱ区：食品残渣配合ペレット飼料（ソリュブル無し)、Ⅲ区：市販配合飼料(対照区)とし、隣接しない 2 面を 1 組とした。試験前の 8 日間の内 5 日間は予備飼育として食品残渣配合ペレット飼料 2 種と市販配合飼料の混合飼料(1:1:1)を魚体重の 1 %給餌した。

試験期間の給餌量は、魚体重の 1%を目処とし、6 日間連続給餌後、1 日無給餌とした。給餌は 1 日 1 回、午前中に手撒きによったが、摂餌の不良時には、午後にも分けて行った。試験期間は 2000 年 9 月 13 日～11 月 15 日までの 63 日間で、期間中の給餌量の補正は供試魚の成長、斃死に対しては行わず、21 日目の中間測定のための尾数の減少とその時点での成長にあわせてのみ行った。

2)試験項目

試験開始時の測定には、生け簀各面から 5 尾ずつ計 30 尾を、中間及び最終測定には生け簀各面から 20 尾ずつ試験区毎に 40 尾を標本とした。なお、サンプリングの前日は餌止めし、試験当

日に現地で活け締めした後、氷冷にて運搬、測定に供した。マダイの成長は、全長、体長、体重、内臓重量、肝膵臓重量を計測し、雌雄、肝膵臓の色調などを記録した。成長測定結果はThompsonの棄却検定の後、飼料の種類を因子とした一元配置分散分析法により処理した。また、有意差のみられた場合はTukey[21]の方法により多重比較を実施した。

3)試験結果

試験期間中の水温は9月では25.5～24.8℃、10月では23.6～21.6℃、11月では21.6～9.6℃で、9月と11月は平年並み、10月はやや低めに推移した。塩分量は32.2～32.9‰で安定しており、水温、塩分共に、マダイの飼育に大きな影響を与えるものではなかった。飼育密度は試験終了時で約6.3Kg/m^{3}となり、一般的な出荷前の飼育密度例[22、23] 7～17Kg/m^{3}などより小さく、特に問題はないものと考えられる。

各区とも摂餌は良好で、ほとんどの場合残餌はなく、残餌がある場合にも、午後からの給餌で全てを摂食した。試験期間中の斃死は、Ⅰ区で3尾(斃死率0.75%)、Ⅱ区で2尾(同0.5%)、Ⅲ区で5尾(同1.25%)と僅かであった。試験開始時の平均魚体重は1115.7±24.6gで、終了時のそれはⅠ区1411.1±29.3g、Ⅱ区1488.5±35.3g、Ⅲ区1353.2±23.4gであり、Ⅱ区の成長が良く、Ⅰ区がそれに次ぎ、Ⅱ区とⅢ区の間に有意な差がみられた。体長の成長では、試験終了時のⅡ区に良い傾向があったが、他区との間に有意差はなかった。比内臓重では、Ⅰ区が他の区に比べ高く、内臓の重量が増加していた。これは、主に腹腔内の脂肪塊の増加に起因するものと思われた。

肥満度(＝体重／(体長)^3×1000)では、Ⅰ、Ⅱ区がⅢ区に比べ有意に高かった。天然マダイの肥満度24～26に比較し、試験開始時の供試魚の肥満度(33.6)は高い値であったが、各区とも試験終了時にはさらに大きな値(34.0～35.5)を示した。中村[24]は、固形飼料の給餌率として、水温20～21℃で魚体重1Kg以上に於いて、0.7～1.5を適当としている。我妻[25]は高油脂含有飼料の給餌例として、水温20℃で給餌率0.5、22℃で同0.6としている。本試験における給餌率1.0は過給餌であったと考えられる。市販配合飼料に比べ、試験飼料でさらに肥満度が増加したのは、過給餌のほかに、試験飼料が高カロリーであったものか、効率よく栄養が取り込まれたものかは明らかでない。

日間成長率、飼料転換効率、増肉係数[18]を表5-15に示すが、食品残渣配合ペレット飼料2種は市販飼料との比較においていずれの値も優れていた。マダイ1kgサイズでの市販配合飼料の増肉係数は2.3～2.5と示されているが[26]、試験結果はそれに比べ遜色はなかった。以上のことから、試験で使用した食品残渣配合ペレット飼料は、マダイへの63日間給餌において、市販マダイ用配合飼料に劣らない効果を持ち、十分実用的であることが判った。

表5-15　マダイ給餌試験結果

		前期	後期	全期
日間成長率 (%)	Ⅰ区	0.75	0.18	0.37
	Ⅱ区	0.68	0.34	0.45
	Ⅲ区	0.50	0.21	0.31
飼料転換効率 (%)	Ⅰ区	70.40	19.23	35.82
	Ⅱ区	63.38	36.92	45.31
	Ⅲ区	45.13	21.28	28.97
増肉係数	Ⅰ区	1.44	5.61	2.88
	Ⅱ区	1.64	2.71	2.25
	Ⅲ区	2.45	4.85	3.69

<参考>
日間給餌率(%) $B = F / [\{(N_0 + N_t)/2\} \times \{(W_0 + W_t)/2\} \times t] \times 100$
日間成長率(%) $I = (W_t - W_0) / [\{(W_0 + W_t)/2\} \times t] \times 100$
飼料転換効率(%) $E = I / B \times 100$
増肉係数 $R = F / (W_t - W_0)$
N_0：養成開始時の尾数(尾)
N_t：t期間養成後の時の尾数(尾)
W_0：養成開始時の魚体の平均体重(g)
W_t：t期間養成後の時の魚体の平均体重(g)
F ：養成期間中の総投餌量(g)
t ：養成期間(日)

第5節　マダイ用ペレット飼料の製造コスト

実験で得られた知見から、熱効率を高めコスト低減を図った最適乾燥システムにおける物質収支や熱収支から、2 つのモデルケースにおいて1時間当たりの用役費及び乾燥品当たりの製造コスト等を試算した.

モデルケース①

設計とおりの重油ボイラで発生させた蒸気で加熱した熱風により乾燥し、蒸気を循環させるとともに、熱風用空気を排ガスと熱交換して熱効率を高める方式である。用役条件、公害防止条件等は実験ケースと同じとし、脱臭設備排水は下水道放流として、下水道料金を積算した。

モデルケース②

既設工場等の余剰蒸気と脱臭設備が利用できる場合。用役条件、公害防止条件は実験ケースと同じとした。

1)乾燥コストの試算

試算にあたっての条件は以下のとおりである.

○用役条件（用役単価）

プロパン：412 円／Nm³、重油：35 円/L、

電力料金： 電力量料金　12.3 円／kWh、

65%硫酸: 32 円/kg、24%苛性ソーダ: 32 円/kg、12%次亜塩素酸ソーダ: 36 円/kg

○公害防止条件

排ガス、騒音、振動、悪臭防止は法規に従う. 脱臭設備の処理目標を表 5-16 に示す。

○その他：一日 6 時間、月 25 日、年 300 日稼動とする.

表 5-16　脱臭設備による処理目標臭気成分

臭気成分	処理後濃度(ppm)
硫化水素	0.02
メチルメルカプタン	0.002
硫化メチル	0.01
二硫化メチル	0.009
酢酸	3
アンモニア	1
トリメチルアミン	0.005

試算結果を表 5-17～5-26 に示すが、モデルケース①では乾燥製品 1kg 当たりの用役費は、豆腐粕で 35 円、練り製品残渣で 24 円、寿司残渣では 13 円となった.

モデルケース②の余剰蒸気や脱臭設備の支援があるケースでは、乾燥製品 1kg 当たり用役費として豆腐粕で 12 円、練り製品残渣で 8 円、寿司残渣では 5 円となり、余熱利用などによる乾燥エネルギーの支援策があれば、乾燥コストが大きく低減できることが把握できた。

○モデルケース①の試算

表 5-17　1 時間当たり処理量及び製品量 (kg/h)

	豆腐粕	練り製品残渣	寿司残渣
処理量	283	280	395
水分割合(%)	80	70	60
製品量	63	93	176
水分割合(%)	10	10	10

注：試算は 25℃における結果

表 5-18　乾燥伝熱量(kcal/h)

	豆腐粕	練り製品残渣	寿司残渣
解砕機	28,467	9,540	15,528
伝熱割合(%)	22	9	12
上昇乾燥管	103,376	102,471	116,175
伝熱割合(%)	78	91	88

表 5-19　製品粒度(代表粒径)の重量割合 (wt%)

代表粒径(mmφ)	豆腐粕	練り製品残渣	寿司残渣
0.1	14	20	22
0.5	86	80	78
合　計	100	100	100

表 5—20　用役費：使用電力(kWh/h)及び電力料金(円/h)

	豆腐粕	練り製品残渣	寿司残渣
プラント	33	33	39
合　計(kWh/h)	33	33	39
使用電力料金(円/h)	406	406	480
契約電力料金(円/h)	320	320	320
合　計(円/h)	726	726	800
製品当たり(円/kg)	11.5	7.8	4.5

注：脱臭設備及び給排水に要する電力量はプラント電力量に含む.

表 5-21　用役費：燃料費(重油使用)

	豆腐粕	練り製品残渣	寿司残渣
使用量(kg/h)	33	33	33
使用量(㍑/h)	38.4	38.4	38.4
単価(円/㍑)	35	35	35
燃料費(円/h)	1,344	1,344	1,344
製品当たり(円/kg)	21.3	14.5	7.6

表 5-22　用役費：薬品使用量(kg/h)と薬品費

	豆腐粕	練り製品残渣	寿司残渣
65% 硫酸	0.08	0.08	0.08
24% 苛性ソーダ	0.53	0.52	2.02
12% 次亜塩素酸ソーダ	1.36	1.35	1.35
薬品費(円/h)	68.5	67.8	115.8
製品当たり(円/kg)	1.1	0.7	0.7

表 5-23　用役費：給排水費

	豆腐粕	練り製品残渣	寿司残渣
給水量(kg/h)	198	199	198
排水量(kg/h)	199	200	199
給排水費(円/h)	79.4	79.8	79.4
製品当たり(円/kg)	1.3	0.9	0.5

表 5-24　用役費合計(円/h)と乾燥製品 1 kg 当たり用役費(円/kg)

	豆腐粕	練り製品残渣	寿司残渣
電力料金 (円/h)	726	726	800
燃料費　(円/h)	1,344	1,344	1,344
薬品費　(円/h)	68.5	67.8	115.8
給排水費(円/h)	79.4	79.8	79.4
合　計(円/h)	2,218	2,218	2,339
製品当たり(円/kg)	35	24	13

○モデルケース②の試算

1 時間当たり処理量及び製品量 (kg/h)、乾燥伝熱量(kcal/h)、製品粒度(代表粒径)の重量割合 (wt%)は、モデルケース①と同じであり、燃料費(重油使用)、薬品使用量(kg/h)と薬品費、給排水費は不要となる。

表 5-25　用役費：使用電力(kWh/h)及び電力料金(円/h)

	豆腐粕	練り製品残渣	寿司残渣
プラント	33	33	39
合　計(kW/h)	33	33	39
使用電力料金(円/h)	406	406	480
契約電力料金(円/h)	320	320	320
合計(円/h)	726	726	800
製品当たり(円/kg)	11.5	7.8	4.5

注：脱臭設備及び給排水に要する電力量は微小であり、
　　プラントに要する電力量に含まれるとした.

表 5-26　用役費合計(円/h)と乾燥製品 1 kg 当たり用役費(円/kg)

	豆腐粕	練り製品残渣	寿司残渣
電力料金(円/h)	726	726	800
燃料費　(円/h)	0	0	0
薬品費　(円/h)	0	0	0
給排水費(円/h)	0	0	0
合　計(円/h)	726	726	800
製品当たり(円/kg)	12	8	5

2)ペレット飼料製造の製造コストの試算

次に、豆腐粕、練り製品残渣、寿司残渣の乾燥品を用いて調整用の添加物を混合し、ペレット飼料に成形するのに要する用役費を試算した。

食品残渣の乾燥とペレット飼料の製造における用役費は、乾燥工程の用役費に加えて、調整用の添加物の材料費及びペレット飼料の製造工程での電力費を加算する必要がある．ペレット飼料の原料と添加物の材料費を表 5-27 に示す.

食品残渣配合ペレット飼料製造における用役費の算出は、乾燥工程における用役費の算出条件と同様に、モデルケース①及び②の乾燥プロセスによって乾燥した食品残渣乾燥物と調整用添加物をⅠ区用及びⅡ区用の配合比率で混合してペレット飼料を製造したとしている．ケースと配合区分ごとの用役費の試算結果を表 5-28～表 5-31 に示すが、試算結果は、モデルケース①Ⅰ区用ペレット飼料製造の用役費はペレット飼料 1 kg 当たり 46 円、モデルケース①Ⅱ区用ペレット飼料製造の用役費は 70 円、モデルケース②Ⅰ区用ペレット飼料製造の用役費は 40 円、モデルケース②Ⅱ区用ペレット飼料製造の用役費は 67 円となった.

表 5-27　飼料原料と原料コスト

餌原料	単価	Ⅰ区用			Ⅱ区用		
	(円/kg)	配合割合 (%)	原料量 (kg/日)	材料費 (円/日)	配合割合 (%)	原料量 (kg/日)	材料費 (円/日)
豆腐粕乾燥物		12	180		6.7	180	
練り製品乾燥物		12	180		6.7	180	
寿司乾燥物		12	180		6.7	180	
あらミール	50	20	300	15,000	20	537.3	26,865
ホールミール	65	20	300	19,500	55	1477.6	96,044
ソリュブル	1	20	300	300	—		0
魚油	160	3	45	7,200	3	80.6	12,896
プレミックス	1,200	0.2	3	3,600	0.2	5.4	6,480
ビタミンーC	2,400	0.2	3	7,200	0.2	5.4	12,960
コリン	150	0.05	0.75	113	0.05	1.3	195
トリムミネラル	550	0.05	0.75	413	0.05	1.3	715
マグトップ	300	0.04	0.6	180	0.04	1.1	330
リジン	250	0.3	4.5	1,125	0.3	8.1	2,025
CMC	550	—		0	1	26.9	14,795
合計			1497.6	54,630		2,685	173,305
1kg 当たり単価				36.5			64.5

以上の用役費にプラントの施設建設費の減価償却(表 5-32)と人件費(表 5-33)を加えて製造コストを試算した(表 5-34)。試算結果は、モデルケース①Ⅰ区用ペレット飼料の製造コストはペレット飼料 1 kg 当たり 115 円、モデルケース①Ⅱ区用ペレット飼料製造コストは 109 円、モデルケース②ではⅠ区用、Ⅱ区用ともペレット飼料 1 kg 当たりの製造コストは 96 円となった.

養魚用ペレット飼料は比較的高価で、市販価格は 1kg あたり 140 円程度となっている。試算した製造コストから、食品残渣を原料とする養魚用ペレット飼料が流通する可能性は十分にあることが把握できた。

表5-28　モデルケース①Ⅰ区用ペレット飼料製造の用役費：1日当たり製品量1,500kg/日

電力料金	プラント電力(kWh)	電力(kWh/日)	料金(円/日)
気流乾燥機	35	198	2,435
攪拌混合機	3.85	3.85	47
ペレッタ	11.025	11.025	136
平板乾燥機	2.1	10.5	129
小　計	51.975	214.945	2,748
契約電力	60kw		2,880
合　計			5,628
用役費			
燃料費			8,064
薬品費			446
給排水			463
ペレット材料費	1,500 kg/日	36.5 円/kg	54,750
合　計			69,351
ペレット1kg当たり			46円/kg

表5-29　モデルケース①Ⅱ区用ペレット飼料製造の用役費：1日当たり製品量2,685kg/日

電力料金	プラント電力(kWh)	電力(kWh/日)	料金(円/日)
気流乾燥機	35	198	2,435
攪拌混合機	3.85	6.93	85
ペレッタ	11.025	19.845	244
平板乾燥機	2.1	18.9	232
小　計	51.975	243.675	2,997
契約電力	60kw		2,880
合　計			5,877
用役費			
燃料費			8,064
薬品費			446
給排水			463
ペレット材料費	2,685 kg/日	64.5 円/kg	173,183
合　計			188、033
ペレット1kg当たり			70円/kg

表5-30　モデルケース②Ⅰ区用ペレット飼料製造の用役費：1日当たり製品量1,500kg/日

電力料金	プラント電力(kWh)	電力(kWh/日)	料金(円/日)
気流乾燥機	35	198	2,435
攪拌混合機	3.85	3.85	47
ペレッタ	11.025	11.025	136
平板乾燥機	2.1	10.5	129
小　計	51.975	214.945	2,748
契約電力	60kw		2,880
合　計			5,628
用役費			0
ペレット材料費	1,500 kg/日	36.5 円/kg	54,750
合　計			60,378
ペレット1kg当たり			40円/kg

表5-31　モデルケース②Ⅱ区用ペレット飼料製造の用役費：1日当たり製品量2,685kg/日

電力料金	プラント電力(kWh)	電力(kWh/日)	料金(円/日)
気流乾燥機	35	198	2,435
攪拌混合機	3.85	6.93	85
ペレッタ	11.025	19.845	244
平板乾燥機	2.1	18.9	232
小　計	51.975	243.675	2,997
契約電力	60kw		2,880
合　計			5,877
用役費			0
ペレット材料費	2,685 kg/日	64.5 円/kg	173,183
合　計			179,060
ペレット1kg当たり			67円/kg

表5-32　施設建設費と減価償却費（単位：円）

項　目		事業費（円）	償却年	償却率	償却費（円／年）
ケース①	建築設備一式	70,297,000	22年	0.046	2,910,000
	機械設備一式	41,543,000	10年	0.1	3,739,000
	合　計	111,840,000			6,649,000
ケース②	建築設備一式	60,792,000	22年	0.046	2,517,000
	機械設備一式	30,13,000	10年	0.1	2,773,000
	合　計	91,605,000			5,290,000

表 5-33　人件費

職　種	単　価 (円／年・人)	ケース①		ケース②	
		人　数 (人)	金　額 (円／年)	人　数 (人)	金　額 (円／年)
管理者	8,000,000	1	8,000,000	1	8,000,000
運転員	4,500,000	3	13,500,000	2	9,000,000
補助員	3,000,000	1	3,000,000	1	3,000,000
合　計		5	24,500,000	4	20,000,000

表 5-34　製造コスト

ケース	飼料区別	製造単価
①	Ⅰ	115
①	Ⅱ	109
②	Ⅰ	96
②	Ⅱ	96

第6節　小　括

養魚用飼料に適した食品残渣として、排出特性や成分を基に食品製造業から排出される練り製品残渣と、事業系一般廃棄物として処理されている寿司残渣とおからを選択し、これらを乾燥処理して回収した魚あらから再生されているフィッシュミール等を加え、養魚用ペレット飼料を製造する技術について検討した。

“ごはん”を多く含む食品残渣を含水率が充分に低く蛋白質変性等が少ない状態に乾燥する技術として、汚泥乾燥に利用されている解砕機付き気流乾燥機を採用した乾燥実験によって対象とした食品残渣に適した運転条件等を把握し、伝熱解析によって食品残渣ごとの乾燥特性を把握した。この実験結果から“ごはん”を多く含む食品残渣や練り製品残渣の乾燥に適した気流乾燥機の設計諸元を得て、これを基に重油ボイラ利用の熱風乾燥方式の解砕機付き気流乾燥機を設計し、それぞれの食品残渣の乾燥コストを試算した。

乾燥した食品残渣を原料として副資材を混合して製造されたマダイ用ペレット飼料は、蛋白質含量についてはほぼ満足のゆく水準で、アミノ酸組成や脂肪酸組成にも極端な過不足はなく、抽出油脂の酸価、過酸化物価においても問題のない値であることを把握した。

このペレット飼料による 63 日間の養殖マダイの給餌試験結果は、市販マダイ用配合飼料に劣らない効果を示しており、食品残渣由来マダイ用ペレット飼料が十分実用的であることが分かった。

マダイ用ペレット飼料を製造する場合の用役費、施設建設費の減価償却費と人件費を含む製造コストは、製品 1kg 当たり 115 円となり、熱や脱臭設備などの支援があれば製品 1kg 当たり 96 円程度となった。マダイ用ペレット飼料は比較的高価で、市販価格は 1kg あたり 140 円程度となっていることから、食品残渣を原料とするマダイ用ペレット飼料が流通する可能性は十分にあることが把握できた。

第5章　参考文献

1) 飼料日報：http://www.e-chikusan.com/etc/gyokaishi
2) 近畿環境興産（株）：食品残渣の高品質加工処理による養魚用餌料の開発，平成12年度中小食品産業・ベンチャー育成技術開発支援事業技術研究報告(下)，財団法人食品産業センター，pp.77-104（2001）
3) 大阪府農林水産部流通対策室・大阪府動植物性残渣リサイクル事業協議会：動植物性残渣リサイクルモデル事業推進調査・検討報告書，pp.1-25(1993)
4) 大阪府農林水産部流通対策室・大阪府動植物性残渣リサイクル事業協議会：飲食店等動植物性残渣リサイクルモデル推進事業調査報告書，pp.1-36(1994)
5) 前川昭男，菅原龍幸(監修)：「新食品分析ハンドブック」，建帛社，pp.19-60(2000)
6) 全大阪魚蛋白事業協働組合：食品残渣リサイクルモデルシステムの構築について，平成7年度活路開拓調査指導事業報告書，pp.25-26(1996)
7) 全大阪魚蛋白事業協同組合：食品残渣リサイクルシステムの確立をめざして，平成8年度活路開拓ビジョン実現化事業報告書，pp.1-8(1997)
8) 全大阪魚蛋白事業協同組合：豆腐粕の連続乾燥及びパウダー化による食品素材化技術の実証，食品製造業ゼロエミッションシステム構築事業成果報告書，社団法人食品需給研究センター，pp.1-8(1998)
9) 三澤忠則編：乾燥(新増補三版)，化学工業社，pp114-118(1995)
10) 隅田征三郎，石原勝，市来忠彦：人工固形飼料によるマダイ養殖，昭和43年度熊本水試事報，pp.301-308(1968)
11) 隅田征三郎，石原勝，田俊秀，浦田勝喜：マダイ養殖に関する養殖試験，昭和44年度熊本水試事報，pp.242-252(1969)
12) 隅田征三郎，浦田勝喜，石原勝：２年養成マダイの配合飼料による飼育試験，昭和44年度熊本水試事報，pp.227-235(1969)
13) H.Aoki，T.Watanabe，M.Furuichi and H.Sakamoto: Use of Deffated Soybean Meal as Substitutive Source for Fish Meal in a Newly Developed High Energy Diet for Red Sea Bream 、SUISANZOSHOKU 44(3)，pp.345-351(1996)
14) H.Aoki、T.Watanabe、M.Furuichi and H.Tsuda: Use of Alternative Protein Sources as Substitutes for Fish Meal in Red Sea Bream、SUISANZOSHOKU 45(1),pp.131-139 (1997)
15) H.Aoki、 M.Furuichi、 K.Watanabe、 S.Satoh、 Y.Yamagata and T.Watanabe: Use of Low or Non-fish Meal Diets for Red Sea Bream、SUISANZOSHOKU 8(1)、pp.65-72(2000)
16) 永井康豊：養魚版　気になる用語と数字の総チェック(上)，養殖，pp.56(1996)
17) 荻野珍吉：”魚類の栄養と飼料”，恒星社厚生閣，pp.111-139.（1988）
18) 山口正男：”タイ養殖の基礎と実際”，恒星社厚生閣(1978)
19) 食品成分研究調査会編：”五訂日本食品成分表”，医師薬出版株式会社(2001).
20) 入江正和：脂質酸化物，サイエンス・フォーラム社，pp.211-213(2000).
21) 吉村功：毒性・薬効データの統計解析，サイエンティスト，pp.57-59（2000）
22) 養殖編集部：出荷間近の飼育管理(上)マダイ，養殖，34(11)，pp.61-62(1997)
23) 養殖編集部：出荷間近の飼育管理(下)マダイ，養殖，34(13)，pp.58-59(1997)
24) 中村烈：魚種別 育成飼料の適正給餌プラン マダイ，養殖，34(5)，pp.122-127(1994)
25) 我妻隆介：魚種別 成長期の最適給餌プラン(下)マダイ，養殖，31(10)，pp.64-67(1994)
26) 永井康豊：給餌管理の善し悪しを点検する方法，養殖，34(5)，pp.56-59(1997)

第6章　野菜・果実屑を利用した牛の飼料化システム

卸売市場やスーパーマーケットなどから排出される食品残渣の一部である野菜・果実屑は含水率が高いため、乾燥による飼料化ではエネルギーコストを増大させ、堆肥化では発酵を阻害する要因になりやすいなど、いずれの処理においてもこれらが除かれていることが望ましい。一方、これらの野菜・果実屑は、適切に分別されれば牛の飼料として利用できるものが多く、本章では、第3章で提案した望ましい食品資源循環システムに組み込む食品残渣の飼料化システムの一つとして、これらの野菜・果実屑を長期保存や広域的な流通が可能な牛の飼料として有効利用する技術について検討している。

一般に大規模な畜産農家では、牧草類を乳酸発酵させてサイレージとして貯留・保管したり、機械設備によって配合飼料と牧草を混合してTMR(Total Mixed Ration:必要な栄養成分がすべて配合されている飼料)を自家製造するが、都市近郊の小規模な畜産農家では、その作業を人手によって行うため、老齢化と相まって農家にとって大きな負担となっており、質のよいサイレージやTMRに対する需要は大きい。

そこで、食品残渣に含まれる野菜・果実屑に副資材を混合して発酵処理することにより、サイレージやTMRとして牛の飼料に有効利用する技術を確立するために、(社)食品需給研究センターの平成12年度食品製造業ゼロエミッションシステム構築事業において、大阪府立食とみどりの総合技術センターの指導を受けて、株式会社コスモが実施した「スーパー等小売業から排出される期限切れ食品残さの包装袋除去及び飼料化・堆肥化技術の実証」研究[1)]において、乳牛の飼料(サイレージ)化を対象として、精度の高い選別を実現する排出源における野菜・果実屑の分別排出実験、乳酸発酵等による牛の高品質飼料(サイレージ)化実験を実施している。さらに、(社)食品需給研究センターの平成13年度食品リサイクル技術開発事業において、ヤンマー農機株式会社、釧路技研株式会社、株式会社モリプラント、株式会社コスモ、株式会社タクマが共同で実施した「食品廃棄物の高付加価値飼料化等再資源化システム技術の開発」研究[2)]において、野菜・果実屑を利用した実プラントによる高速嫌気発酵・飼料化実験を行い、サイレージの品質、牛の嗜好性等を把握している。

本章では、上記2つの研究事業に研究協力者として参加し、実験、データ解析、及び報告書の作成等の業務を通じて得た知見を基に、野菜・果実屑を牛の飼料として再生利用する技術と課題について整理し、実機レベルでの処理コストを試算している。

第1節 スーパーマーケット等における野菜・果実屑の排出状況

スーパーマーケットの食品売り場から発生する食品残さの内容を第2章第3節に示したが、魚あらを分別して回収業者に再生処理を委託しているこのスーパーマーケットでは、夏季には1日当たり173～245kg、平均200kgの食品が排出され、野菜屑が52%、果実屑が10%を占めていた。秋季は1日当たり136～336kg、平均225kgで野菜・果実屑が79%、冬季は1日当たり173～197kg、平均182kgで野菜・果実屑が82%を占めていた。また、卸売市場では1ヶ所で1日に20トン程度の野菜・果実屑が廃棄されていた。これらの調査によって、スーパーマーケットの食品売り場や卸売市場から排出される食品残渣の中には、乳牛の飼料（サイレージ）への再利用が可能な野菜屑、果実屑が多く含まれていることが明らかとなった。同時に、排出される野菜・果実屑には、乳牛の飼料（サイレージ）として不適当なものも含まれているため、野菜・果実屑の分別排出と

ともに、牛の飼料に適さないものを選別する必要があることが分かった。

次に牛の飼料化の原料から除外すべきものの一般的な条件を示すと以下のとおりである。

- 腐ったものやカビの生えたもの（腐敗菌やカビの代謝産物によって牛の消化器や肝臓の機能低下が起こる可能性があるため）
- 牛の嗜好性の低いもの
- 高脂肪含有物
- 物理的形状によってルーメン内微生物の活動に障害を起こす可能性があるもの
- 臭いのあるもの（臭いが牛乳に移ることがあるため）
- 高含水率のものや塩分濃度が高すぎるもの

乳牛の飼料化対象物とした野菜・果実屑についても、以上の条件に合致するものがあり、排出状況や仕入れ品目を参考に分別リスト(表 6-1)を作成した。また、これらの野菜・果実屑は、従来からごみとして廃棄されていたため、梱包用テープや紙、ビニル袋などが混入した状態で排出されていた。そこで、飼料として有効利用することを伝え、廃棄物を分別して排出する協力をスーパーマーケットに依頼し、排出時に飼料化不適物を分別する可能性を検討した。

分別排出への協力依頼によって廃棄物の混入はなくなり、さらにごく少量の牛の飼料に不適な野菜の混入はあるものの、良好な分別状況となった。このことから、分別排出によれば回収後の選別作業効率を大幅に高められることが示唆された。ただし、より完全な選別状況を実現するためには回収後の再選別が不可欠であると考えられた。

冬季、及び秋季に 1 週間ずつ実施した分別排出、選別実験において、排出される野菜・果実屑のうち牛の飼料に適した野菜・果実屑の量を表 6-2 及び表 6-3 に示す。牛の飼料に適した野菜・果実屑は、秋季は平均 122kg/日で、野菜・果実屑の排出量の 55～86%、平均 71%であり、冬季は平均 125kg/日、野菜・果実屑の排出量の 77～85%、平均 84%であった。秋季の曜日変動は大きいが、平均排出量は冬季と大差なかった。

表 6-1　牛の飼料に適した野菜・果実屑

飼料化できる野菜	飼料化できる果実	飼料に適さない野菜	飼料に適さない果実
サニーレタス	桃	生椎茸	レモン
レタス	バナナ	えのき茸	すいか
きゅうり	りんご	ぶなしめじ	カビが生えている物
とまと	みかん	大根	
枝豆	グレープフルーツ	カイワレ	
スイートコーン	オレンジ	ねぎ	
キャベツ	メロン	ふき	
なす	デラウェア	もやし	
ホーレン草	キーウィ	ピーマン	
小松菜	なし	玉ねぎ	
はくさい		男爵	
人参		メークイン	
かぼちゃ		春菊	
長芋		にら	
いんげん		おくら	
ブロッコリー		モロヘイヤ	
チンゲン菜		にんにく	
アスパラ		バセリ等ハーブ類	
		カビが生えている物	

表 6-2　牛の飼料化に適した野菜・果実屑の排出量（秋季）　　（単位：kg）

種類／曜日	月	火	水	木	金	土	日	週合計	日平均
野菜屑計	174.5	197.5	193	138	128.5	81.5		913	152.1
飼料化可能野菜	152	146	153	78.5	70	44.5		644	107.3
飼料化不適野菜	22.5	51.5	40	59.5	58.5	37		269	44.8
飼料化可能率(%)	87	74	79	57	54	55		71	71
果実屑計	32	25.5	15	27	10	4.5		114	19
飼料化可能果実	26	23	6	27	6	1		89	14.8
飼料化不適果実	6	2.5	9		4	3.5		25	4.2
飼料化可能率(%)	81	90	40	100	60	22		78	78
野菜・果実屑計	206.5	223	208	165	138.5	86		1027	171.1
飼料化可能物	178	169	159	105.5	76	45.5		733	122.1
飼料化不適物	28.5	54	49	59.5	62.5	40.5		294	49
飼料化可能率(%)	86	76	76	64	55	53		71	71

表 6-3　牛の飼料化に適した野菜・果実屑の排出量（冬季）　　（単位：kg）

種類／曜日	月	火	水	木	金	土	日	週合計	日平均
野菜屑計	115	122	94.5	117	110.5	137		696	116
飼料化可能野菜	95	98	78	101	92.5	102	−	566.5	94.4
飼料化不適野菜	20	24	16.5	16	18	35	−	129.5	21.6
飼料化可能率(%)	83	80	83	86	84	74		81	81
果実屑計	33.5	34	49.9	38.5	22.5	24.5		202.9	33.8
飼料化可能果実	31.5	33	42.7	34.5	20	23	−	184.7	30.8
飼料化不適果実	2	1	7.2	4	2.5	1.5	−	18.2	3
飼料化可能率(%)	94	97	86	90	89	94		91	91
野菜・果実屑計	148.5	156	144.4	155.5	133	161.5		898.9	149.8
飼料化可能物	126.5	131	120.7	135.5	112.5	125		751.2	125.2
飼料化不適物	22	25	23.7	20	20.5	36.5		147.7	24.6
飼料可能率(%)	85	84	84	87	85	77		84	84

第2節　乳酸発酵による高品質飼料化実験

水分率が高い野菜・果実屑と穀類や糟糠類を混合して乳酸発酵に適する水分含量に調整してサイレージ化し、乳酸菌添加の必要性や発酵条件等を把握するとともに牛の嗜好性を調査した。

1)実験方法

野菜・果実屑の成分の分析値を表 6-4 に示すが、野菜・果実屑の水分が 80%以上と高いため、野菜・果実屑等 100kg に対して加熱圧ペントウモロコシ 20kg、皮付き大麦圧ペン 20kg、専管フスマ 30kg、大麦外皮 20kg、乾燥豆腐粕 20kg の割合とし、この原料を攪拌機で混合してフレコンバッグに詰め、バッグ内の空気を電気掃除機で吸引した後保管した。

サイレージ化にあたって野菜・果実屑などの破砕と乳酸菌の添加の必要性を検討するため、店舗から回収され、飼料用に販売されている回収乳酸飲料（ｐH1.96）を添加する場合は、全飼料

重量の 1.5%を添加した。また、乳酸菌を添加する場合は混合物 1kg 当たりグラスサイレージ用乳酸菌 *Lactobacillus plantarum* を 9.9×10^{8} ＣＦＵ添加した。また、野菜・果実屑等を破砕する場合は破砕機でおよそ５～10mm に破砕した。なお、使用した主要機器の仕様は以下のとおりである。

破砕機：3 相 200V　3.7kW

攪拌機：3 相 200V　2.2kW

混合したサンプルの一部をビニル袋に 1ｋｇずつ詰め、冬場を想定した 5℃、春と秋を想定した 20℃、夏場を想定した 35℃で保存した。

5ｇのサイレージ試料をビーカーに取り、50ml の蒸留水を加えて 5℃で 30 分間保存後 pH メーターを用いてサイレージの pH を測定した。フレコンバッグに詰めた飼料の有機酸組成とビタミンＡおよびＥを高速液体クロマトグラフィで調べた。また、乳酸、酢酸、酪酸を分析し、その割合から発酵の品質を評価するフリーク法でサイレージの発酵品質を把握した。さらに作製した野菜・果実屑サイレージ中の農薬残留を調べるため、野菜や果実の収穫に近い時期に使われる代表的なバリダマイシン A とベノミルを高速液体クロマトグラフ法で測定した。

また、野菜・果実屑サイレージへの牛の嗜好性を調査するため、乳用育成牛と黒毛和種繁殖牛に野菜・果実屑サイレージと市販の濃厚飼料を 1kg ずつ給与し、摂取状況や残飼量を調べた。

表 6-4　野菜・果実屑の成分(%)

品　目	水　分	乾 物	粗蛋白質	粗脂肪	粗繊維	粗灰分	ＮＦＥ
野菜屑	82.4	17.6	3.3	0.4	1.8	2.2	9.9
果実屑	85.4	14.6	0.8	0.3	0.9	0.4	12.2

2)実験結果

5℃、10℃、35℃の 3 温度で保存したサイレージは、保存温度が高いほど速やかに pH が下降した。35℃で野菜・果実屑サイレージを保存した場合、乳酸菌を添加することによって保存 1 日目と 3 日目に最も低い pH を示した。これは、乳酸菌の添加によってサイレージ中の糖類が速やかに有機酸に代謝されたためと考えられる。5℃と 20℃での保存では乳酸菌の添加効果が明らかではなかった。

野菜・果実屑を破砕しないで混合した場合、見た目が悪いこと、材料が均一に混ざらないためカビが生えることがあったので、野菜・果実屑をサイレージ化するには破砕することが必要であることがわかった。

水分調整後、回収乳酸飲料と乳酸菌を添加し、フレコンバックに詰めた野菜・果実屑サイレージの 35 日後(1)と 79 日後(2)のサイレージの一般分析値を表 6-5 に、有機酸組成を液体クロマトグラフィで調べた結果を表 6-6 に示した。その結果、乳酸菌を添加したサイレージ(1)と(2)のフリーク法の評点はそれぞれ95点と100点でいずれも良好なサイレージであることがわかった。また、サイレージ中のビタミンＡとＥの含量を調べた結果 β-カロテンが 0.09mg/100g、ビタミン E が 2.1mg/100g 含まれていることがわかった。さらに、サイレージ中の農薬残留を調べたところ、バリダマイシンＡは検出されなかった（検出限界 0.05ppm)。一方、ベノミルはサイレージ中に 0.08ppm 検出された。

作製した野菜・果実屑サイレージを濃厚飼料と同時に牛に給与したときの嗜好性を調べた結果を表 6-7 に示す。すべての牛がまず野菜・果実屑サイレージを食べ、そのあとで濃厚飼料を食べた。従って、嗜好性の面では、野菜・果実屑サイレージは濃厚飼料と同等またはそれ以上の有効

性があることを確認できた。また、野菜・果実屑サイレージの中では野菜・果実屑を破砕し、乳酸菌を添加して作製したサイレージに対する嗜好性が最も良好であった。

表6-5　サイレージの一般分析値（%）

試　料	水　分	乾物	粗蛋白質	粗脂肪	粗繊維	粗灰分	NFE
サイレージ(1)	51.9	48.1	8.5	2.4	4.8	2.7	29.7
サイレージ(2)	47.3	52.7	9.8	2.9	5.0	2.9	32.1
平　均	49.6	50.4	9.2	2.7	4.9	2.8	30.9

値は全飼料中の%

表6-6　回収乳酸飲料と乳酸菌を添加した食品残渣サイレージの有機酸組成（%）

試　料	乳酸	酢酸	プロピオン酸	イソ吉草酸	酪酸	フリーク法評点
サイレージ（1）	2.37	0.69	検出せず	検出せず	検出せず	95点
構成比（%）	(77.5)	(22.5)	—	—	—	
サイレージ（2）	3.82	0.66	検出せず	検出せず	検出せず	100点
構成比（%）	(85.3)	(14.7)	—	—	—	

値は全飼料中の割合、（　）内は総有機酸にしめる割合

表6-7　食品残渣サイレージの牛の嗜好性に及ぼす残さ破砕と乳酸菌添加の影響

調査飼料	嗜好性
非破砕食品残渣サイレージ	△
破砕食品残渣サイレージ(無添加)	○
破砕食品残渣サイレージ(乳酸菌添加)	◎
濃厚飼料	◎

◎：すぐに喰いついて全量摂取した。
○：すぐには喰いつかないが、全量摂取した。
△：すぐに喰いつかず、食べ残した。
×：全く食べなかった。

3)考察

野菜屑と果実屑に乾物である穀類や糟糠類と混合して含水率を概ね50%程度に下げることでフリーク法の評点で95点と100点の良質なサイレージが作製できた。35℃保存の場合、乳酸菌を添加することによってpHが速やかに下がった。この結果は豆腐粕のサイレージ化における夏場の乳酸菌添加によって品質が改善されることを示した森らの結果[3]と一致する。夏に乳酸菌を添加すると良質な食品残さサイレージができるが、春秋と冬には200円／gと高価な乳酸菌を必ずしも添加する必要がないと考えられた。pH1.96で、糖類含量が高い回収乳酸飲料の食品残さサイレージへの添加はpHの変化に明らかな影響を示さなかったが、1.5%の糖蜜添加によって総有機酸に占める乳酸の割合が増えること[3]から糖分の多い回収乳酸飲料を添加した方が良いと考えられる。

野菜・果実屑サイレージを作製する場合、野菜・果実屑を予め破砕することはトウモロコシや大麦などの飼料と粒の大きさを同じにすることによって混合しやすくなるほか、混合した飼料をフレコンバックに詰めて電気掃除機で吸引する際に嫌気状態を作りやすいと考えられる。

35℃で3週間保存した場合、pHが4.2に下がった。したがって、品質の安定した良質な野菜・果実屑サイレージを作製するには、夏では3週間の保存期間が必要であり、その他の季節にはもっと長い保存期間、もしくは保温が必要であると思われた。

野菜や果実の収穫に近い時期に使われる代表的な農薬であるバリダマイシンAとベノミルについて、野菜・果実屑サイレージ中の濃度を調べた結果、バリダマイシンAは検出されず、ベノミルは0.08ppmであった。ベノミルの平成11年度12月現在の環境庁農薬登録保留基準値がお茶で5ppm、野菜で0.8ppm、果実で0.7ppmであり、野菜・果実屑サイレージ中の濃度はこれらよりず

っと低かった。このことから野菜・果実屑サイレージが比較的安全である可能性が示唆された。

作製した野菜・果実屑サイレージの乾物中のTDN(可消化養分総量)は85.96%、DCP(可消化蛋白質)が15.46%、粗繊維が9.62%で市販配合飼料(TDN 83.9%, DCP 16.09%, 粗繊維 10.34%)と同等の栄養価があることがわかった。配合飼料並の水分含量13%に換算した場合、TDNが74.79%、DCPが13.45%、粗繊維8.37%で、原物中にβ-カロテンが0.09mg/100g、ビタミンEが2.1mg/100g含まれていることと、嗜好性がよいことから、牛の濃厚飼料として有効に活用できる可能性が高い。

スーパー等の小売業から排出される野菜・果実屑の種類と量は季節変動が大きいので、安定した野菜・果実屑サイレージを作製するには野菜以外の飼料原料の混合割合を季節別に調製する必要があろう。

第3節　高速嫌気発酵・飼料化実験

野菜・果実屑に乾牧草、穀類、糟糠類を混合して水分含量を調整し、乳酸菌やパン酵母を添加して高速嫌気発酵する装置を考案し、その装置を用いて高速嫌気発酵した飼料の品質について検討し、飼料の安全性と牛の嗜好性を調査した。

1)実験方法

野菜・果実屑と乾牧草、穀類、糟糠類を混合、乳酸菌やパン酵母を添加して高速嫌気発酵する装置を図6-1に示す。この高速嫌気発酵システムは、原料を投入するためのベルトコンベア、食品残渣と乾牧草等を混合するための突起がついた螺旋状の撹拌スクリュー3 本及び加温のためのヒーターを備えた撹拌混合装置、この槽を嫌気状態に保つための窒素発生装置、野菜・果実屑サイレージを取り出すベルトコンベア、野菜・果実屑サイレージをフレコンバッグに詰めるパッキング装置(フレコンバッグを膨らませる送風機付き)、及びサイレージ充填後にフレコンバッグ中の空気を抜く吸引装置から成る。主要機器の仕様を表6-8に示す。

スーパーマーケット等から回収してきた野菜・果実屑を選別し、牧草、穀類や糟糠類等を添加して含水率を調整し、撹拌混合装置で30分間混合した後、撹拌混合装置内を嫌気状態に保つために窒素ガスを封入して約24時間静置して培養した。培養終了後、フレコンバッグに詰めて空気を抜き、室温で保存した。

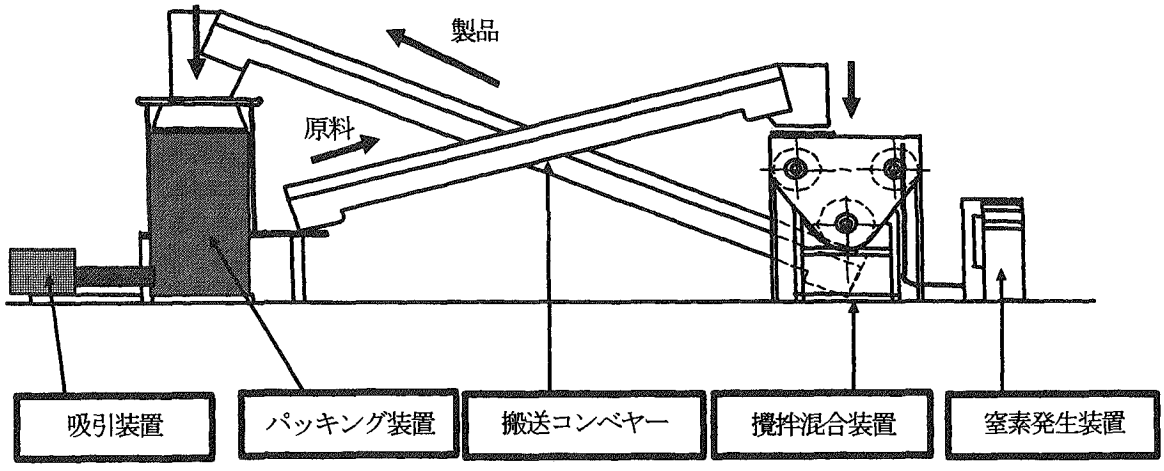


図6-1　高速嫌気発酵・飼料化システム概略図

表 6-8　高速嫌気発酵・飼料化システム機器仕様

機器名称	数量	仕様、容量、動力
攪拌混合装置	1	横型 3m³機、所要動力 200V/5.5kW スクリュー：ボトム　Φ490＊530　回転数 11.7rpm リターン　Φ430＊430　(左)4.2rpm、(右)3.5rpm
搬送ベルトコンベアー	1	投入用：200V/1.0kW　400mm　45m/分 移送用：200V/1.5kW　500mm　53m/分
パッキング装置	1	送風機：200V/400W　346rpm　20m³/分
吸引装置	1	バキュームクリーナー：200V/1.0kW　2.4m³/分 タンク容量 50L
窒素発生装置	1	200V/0.75kW　発生量 1.3m³/時、ガス圧 0.6MPa

発酵飼料の品質や保存性を左右する培養条件として、含水率、有用菌添加の有無、培養温度、窒素封入の有無などがあり、この培養条件を変化させて発酵飼料化に適した条件を求めた。

野菜・果実屑の水分は 84%前後であり、発酵条件や保存状況を考慮して含水率が 32.3%と 43.5%になるように牧草、穀類や糟糠類を添加した。それぞれの飼料の混合割合と投入順序を表 6-9、表 6-10 に示す。混合飼料を発酵させる乳酸菌(*Lactobacillus plantarum*) とパン酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)添加の有無、攪拌混合装置への窒素ガス封入の有無、培養時の温度の組み合わせを変えて 24 時間培養し、その後フレコンバッグに詰めて室温で保存した発酵飼料のｐＨの変化を調べた。このｐＨ測定値と、高速液体クロマトグラフィによる有機酸含量測定値を基にしたフリーク法で飼料の発酵品質を評価した。飼料中のアフラトキシンを酵素抗体法(FAST アフラトキシンキット：r-Biopharm 社製：アゾマックス(株))で測定した。乳用育成牛と黒毛和種繁殖牛に野菜・果実屑サイレージと市販の濃厚飼料を 1kg ずつ給与し、摂取状況や残飼量を調べた。また、野菜・果実屑サイレージ作製に要する資材、積算電力、作業時間等を把握した。

表 6-9　水分 32.4%の野菜・果実屑サイレージ原料の混合割合

	飼料混合順	飼料名	混合量 (kg/日)	乾物 (g)	可消化粗蛋白 (g)	可消化養分総量 (g)	粗脂肪 (g)
粗飼料	1	ルーサンアルファルファ	40	36,720	5,236	20,800	720
	3	ヘイキューブ	60	53,520	6,240	29,580	1,560
	4	野菜・果実屑	100	17,600	2,310	11,130	400
	2	オーツヘイ	40	33,640	2,840	20,240	1,360
	小　計		240	141,480	16,626	81,750	4,040
濃厚飼料	5	トウモロコシ圧片	20	17,300	1,380	15,980	780
	10	大麦圧片皮付き	40	35,280	3,040	29,640	840
	7	大豆(加熱処理)	20	18,860	7,260	20,060	3,860
	6	専管フスマ	15	13,035	1,590	11,085	450
	11	糖蜜	3	2,181	27	1,815	15
	8	バイミルク	1	920	0	0	0
	9	塩	1	850	0	0	0
	小　計		100	88,426	13,297	78,580	5,945
合　計			340	229,906	29,923	160,330	9,985
現物中の組成割合(%)				67.6%	8.8%	47.2%	2.9%
乾物中の組成割合(%)					13.0%	69.7%	4.3%

表 6-10　水分 43.5%の野菜・果実屑サイレージ原料の混合割合

	飼料混合順	飼料名	混合量 (kg/日)	乾物 (g)	可消化粗蛋白 (g)	可消化養分総量 (g)	粗脂肪 (g)
粗飼料	1	ルーサンアルファルファ	20	18,400	2,620	10,800	420
	3	ヘイキューブ	30	26,760	3,120	14,790	780
	4	野菜・果実屑	100	17,600	2,310	11,130	400
	2	オーツヘイ	20	16,820	1,420	10,120	680
	小　計		170	79,580	9,470	46,840	2,280
濃厚飼料	5	トウモロコシ圧片	10	8,650	690	7,990	390
	10	大麦圧片皮付き	20	17,640	1,520	14,820	420
	7	大豆(加熱処理)	10	9,430	3,630	10,030	1,930
	6	専管フスマ	7.5	6,518	795	5,543	225
	11	糖蜜	3	2,181	27	1,815	15
	8	バイミルク	1	920	0	0	0
	9	塩	0.6	510	0	0	0
	小　計		52.1	45,849	6,662	40,198	2,980
合　計			222.1	125,429	16,132	87,038	5,260
現物中の組成割合(%)				56.5%	7.3%	39.2%	2.4%
乾物中の組成割合(%)					12.9%	69.4%	4.2%

2)実験結果

野菜・果実屑を、牧草、穀類や糟糠類を添加して 30 分間混合した場合、レタスやキャベツなどの軟弱野菜はほとんど原型をとどめていなかった。ジャガイモ、リンゴ、ニンジンなどは破砕されて細かくなっていた。乾牧草は 10cm 程度に裁断されて十分に混合されており、野菜・果実屑サイレージは外見的に商品として十分に流通できるものになっていると思われた。

野菜・果実屑サイレージの水分を 32.4%に設定し、10℃、22.5℃および 35℃で 24 時間培養した後、20 日室温で保存した場合、10℃よりも 22.5℃と 35℃培養での pH が下降した。水分を 43.5%に調整した場合、35℃で窒素封入し、乳酸菌とパン酵母を添加することによって 21 日目に pH が 4.0 以下に下降した。

フリーク法による品質評価の結果を表 6-11 に示すが、フリーク法評点は高水分で乳酸菌と窒素封入したものが良いことがわかった。水分 32.4%の場合、水分 43.5%のサイレージと比べて、有機酸の生産量は少なかった。低水分の野菜・果実屑サイレージは乳酸菌と窒素封入するとフリーク法評点が 100 点と高くなることがわかった。

作製した野菜・果実屑サイレージを牛に給与したときの嗜好性を調べた結果を表 6-12 に示した。野菜・果実屑サイレージに対する牛の嗜好性は非常に良く、特に乳酸菌を添加することで濃厚飼料並の飼料となることがわかった。また表 6-13 に作製した飼料中のアフラトキシン濃度を示すが、すべての飼料のアフラトキシン濃度が 10ppb 以下であった。

表 6-11　保存温度、微生物添加、窒素封入が野菜・果実屑サイレージの有機酸組成に及ぼす影響

水分	保存温度	乳酸菌添加	パン酵母添加	窒素封入	フリーク法評点	サイレージに占める有機酸組成（%）				
						乳酸	酢酸	ﾌﾟﾛﾋﾟｵﾝ酸	酪酸	ｲｿ吉草酸
43.5%	10℃	×	×	○	100	2.15	0.43	0	0	0
	10℃	○	×	○	100	2.82	0.38	0	0	0
	10℃	○	○	×	100	3.91	0.46	0	0	0
	10℃	○	○	○	0	0	0	0	0	0
	22.5℃	×	×	○	100	2.28	0.27	0	0	0
	22.5℃	○	×	○	100	3.2	0.17	0	0	0
	22.5℃	○	○	×	100	4.05	0.25	0	0	0
	22.5℃	○	○	○	95	5.1	1.45	0	0	0
	35℃	×	×	○	100	2.43	0.18	0	0	0
	35℃	○	×	○	100	3.84	0.41	0	0	0
	35℃	○	○	×	100	2.8	0.23	0	0	0
	35℃	○	○	○	100	3.78	0.45	0	0	0
32.4%	10℃	×	×	×	100	0.69	0.06	0	0	0
	10℃	×	×	○	100	0.01	0	0	0	0
	10℃	○	×	×	95	0.24	0.01	0	0	0
	10℃	○	×	○	100	0.01	0	0	0	0
	22.5℃	×	×	×	70	0.26	0.33	0	0	0
	22.5℃	×	×	○	100	0.41	0.04	0	0	0
	22.5℃	○	×	×	100	0.41	0.04	0	0	0
	22.5℃	○	×	○	100	0.58	0	0	0	0
	35℃	×	×	×	100	1	0	0	0	0
	35℃	×	×	○	88	0.41	0.27	0	0	0
	35℃	○	×	×	95	0.86	0.25	0	0	0
	35℃	○	×	○	100	0.21	0	0	0	0

表 6-12　野菜・果実屑サイレージの牛の嗜好性に及ぼす残渣破砕と乳酸菌添加の影響

調　査　飼　料	嗜好性
野菜・果実屑サイレージ(無添加)	○
野菜・果実屑サイレージ(酵母添加)	○
野菜・果実屑サイレージ(乳酸菌添加)	◎
濃厚飼料	◎

◎:すぐに喰いついて全量摂取した。
○:すぐには喰いつかないが、全量摂取した。
△：すぐに喰いつかず、食べ残した。
×：全く食べない。

表 6-13　野菜・果実屑サイレージのアフラトキシン濃度(単位：ppb)

培養条件	濃度	培養条件	濃度
水分 33%・10℃・乳酸菌	2.02	水分 33%・22. 5℃・乳酸菌・窒素	7.23
水分 33%・10℃・乳酸菌・窒素	3.63	水分 33%・22.5℃・窒素	5.83
水分 33%・10℃	5.99	水分 33%・22.5℃	5.52
水分 33%・10℃・窒素	6.47	水分 33%・22.5℃	5.36
水分 33%・35℃	3.69	水分 45%・35℃・窒素	3.51
水分 33%・35℃・乳酸菌	4.62	水分 45%・35℃・酵母+乳酸菌・窒素	3.13
水分 33%・35℃・窒素	2.03	水分 45%・35℃・乳酸菌・窒素	5.11
水分 33%・35℃・窒素	2.76	水分 45%・35℃・酵母+乳酸菌	3.80

3)考察

スーパーマーケットから排出される野菜・果実屑は比較的異物の混入が少ないと考えられるが、試験期間を通じて大型ホッチキスの針２本とカッターナイフの小刃１枚を高速嫌気発酵装置の取り出し口に備え付けた磁石部で付着・除去した。同装置のフレコンバッグへの移送ベルトコンベアの最終部にも磁石を装備しているが、その部分に異物の付着はなかった。これらのことから、野菜・果実屑を回収する場合、異物混入防止のための排出者への徹底した協力要請が必要であることがわかった。

野菜・果実屑は含水率が高く、排出される種類が季節的に変動する可能性が高い。また、回収した野菜屑はキャベツの外葉や白菜の外葉が多く、栄養的に低蛋白、低エネルギーであるので、牛の飼料として用いる場合、TDN で 70%を確保するために本試験で用いた水分 33%と 44%の配合割合では 33%の方が良いと考えられる。また、畜産農家に野菜・果実屑サイレージを持ち込んだ場合、低水分の方が二次発酵の可能性が低く、その点からも水分 33%のものが良いと思われる。

野菜・果実屑に副資材とともに乳酸菌を添加して混合した飼料を冬季に窒素下で１日加温することによって発酵品質が向上することがわかった。これは牛の嗜好性にも同じ結果が得られており、窒素を封入しなかった場合はパッキング後給与時にヘイキューブにカビが生えることがあり、牛の嗜好性が低下する要因になったと考えられる。したがって、冬季に安定した良好な発酵品質の野菜・果実屑サイレージを作製するには混合飼料の窒素封入、乳酸菌の添加および加温が欠かせないと考えられた。

飼料安全法ではアフラトキシンの許容基準が 1ppm 以下、「飼料有害物質の指導規準」（畜産局長通知）では乳牛が 10ppb 以下とされている。本事業で測定したすべての野菜・果実屑サイレージ中のアフラトキシン含量が 10ppb 以下であったことから、アフラトキシンの許容基準をクリアしていることがわかった。

酵母は糖からアルコールを生産する微生物で、アルコール以外に多種類のフレーバーも生産し、牛の嗜好性を向上する可能性がある。酵母で発酵させた豆腐粕を乳牛に給与して乳量と乳質が調べられている [4]他、ニンジン搾汁粕に糖を添加してアルコールを生産することを目的とした研究もされている [5]。本実験で、パン酵母を乳酸菌と同時に添加すると野菜・果実屑サイレージの有機酸が検出できない場合があった。これはパン酵母によるアルコール生産が乳酸菌による乳酸生産に先行して起こったものと考えられる。酵母を添加した野菜・果実屑サイレージに対する牛の嗜好性は酵母を添加しなかったものと大きな差は見られなかったことと、乳牛に野菜・果実屑サイレージを給与する場合、アルコールの牛乳への移行が心配されるので、野菜・果実屑サイレージの調製には乳酸菌のみを用いた方が良いように思われる。

野菜・果実屑サイレージ調製における高速嫌気発酵装置への資材の投入順序は乾草類、野菜・果実屑、ヘイキューブ、穀類糟糠類、その他とした。野菜・果実屑を先に投入すると多量の水分が装置の下部から流出する。また、ヘイキューブを野菜・果実屑に先だって投入しないと撹拌混合初期にキャベツ、白菜、コマツナ、チンゲンサイなど軟弱野菜が原形を留めなくなるが、ジャガイモ、ニンジン、リンゴなどの根菜類や果実はなかなか破砕されない。野菜・果実屑サイレージを給与した場合、野菜や果実の原型がそのまま残っていると原形を留めたものを牛が残す傾向があり、その点からこの投入順序に従うのが妥当と考えられる。

以上のことから、スーパーマーケット等から排出される野菜・果実屑は他の飼料と混合撹拌して乳酸菌を添加し、冬季に窒素下で加温して袋詰めすることで、嗜好性の良い牛の飼料が製造できることがわかった。今後これらを牛に給与して、牛への生理的影響や生産物の品質を検討していく必要があると思われる。

第4節　高速乳酸発酵飼料の製造コスト

高速乳酸発酵・飼料化システムにおいては乳酸発酵が飼料の品質を左右するため、冬季に安定した良好な発酵品質の野菜・果実屑サイレージを製造するには、水分33%の混合原料に窒素封入、乳酸菌の添加および加温が必要であり、プラント中で24時間静置培養することが望ましい。しかし、この方法では製造コストが高くなるため、経済性を考慮して、窒素封入、乳酸菌添加および加温によって発酵の初期条件を整え、これを袋詰めして20℃に維持して保管することによって発酵を促進する方法をとることとした。

実験では、野菜屑の分別に1時間30分、高速乳酸発酵装置への材料投入と調整に平均43分、取り出しと袋詰めに30分かかった。消費電力は35℃に設定した場合、約1.5kW、23℃に設定した場合1.25kW、培養しない場合0.64kWであった。1回の混合量を222.1kgまたは340kgとしたので、稼働時間は0.65～1.0分/kgであった。従って、高速乳酸発酵実験装置で1日に4回の培養が可能となり、1,360kgの製品を製造できることになる。

野菜・果実屑を利用した乳酸発酵飼料（サイレージ）の原料と消耗品のコストは表6-14、表6-15に示すように水分33%では製品1kg当たり35円、水分43%では製品1kg当たり28円となった。

次に、この高速乳酸発酵・飼料化プラントを1日8時間稼動することによって製造できる飼料のコストを試算した。ただし、試算条件は以下のとおりである。

①運転条件：8時間／日×25日／月（年間300日運転）

②減価償却　残存割合：0.100、設備耐用年数10年、定額法年率：0.100

③用役単価

電気料金:基本料金：1,200円／kW×設備電力（設備電力は、定格負荷の80%とした）

電力量料金：10.96円/kWh、灯油：40円/L

④人件費　運転員一人:4,500,000円／年、補助員一人:3,000,000円／年

表6—14　水分33%の野菜・果実屑サイレージの原料+消耗品費

飼料名		混合量 (kg/日)	金額 (円)
粗飼料	ルーサンアルファルファ	40	1,920
	ヘイキューブ	60	2,460
	野菜屑	100	0
	オーツヘイ	40	1,640
	小　計	240	6,020
濃厚飼料	トウモロコシ圧片	20	710
	大麦圧片皮付き	40	1,580
	大豆(加熱処理)	20	1,200
	専管フスマ	15	435
	糖蜜	3	66
	バイミルク	1	140
	塩	1	50
	小　計	100	4,181
乳酸菌			200
フレコンバッグ			1,350
合　計		340	11,731
製品1kg当たり			35

表 6-15　水分 43%の野菜・果実屑サイレージの原料+消耗品費

飼料名		混合量 (kg／日)	金額 (円)
粗飼料	ルーサンアルファルファ	30	1,440
	ヘイキューブ	45	1,845
	野菜屑	150	0
	オーツヘイ	30	1,230
	小　計	255	4,515
濃厚飼料	トウモロコシ圧片	15	533
	大麦圧片皮付き	30	1,185
	大豆(加熱処理)	15	900
	専管フスマ	11	319
	糖蜜	4.5	99
	バイミルク	1.5	210
	塩	0.9	45
	小　計	78	3,291
乳酸菌			200
フレコンバッグ			1,350
合　計		333	9,356
製品 1kg 当たり			28

作業に要する人員を専任 1 人と補助 1 人とした人件費及び減価償却費、電力費の合計は表 6-16 に示すように製品 1kg 当たり 21 円であり、水分 33%のサイレージ製品 1kg 当たりの製造コストは 56 円、水分 43%のサイレージ製品 1kg 当たりの製造コストは 49 円となった。

TMRやサイレージが販売されている事例は少なく、その価格は不明であるが、牛用の配合飼料が 40 円/kg 程度であることから、付加価値の高いTMRやサイレージは配合飼料の価格を上回ることが可能であると考えられ、野菜・果実屑を利用した牛の飼料製造は、事業として成り立つ可能性が高いと考えられる。

表 6-16　高速乳酸発酵・飼料化システムの原価償却、電力、人件費

項目 ＼ 金額	円/年	円/日
減価償却費*	831,411	2,771
電力費**	228,000	750
人件費	7,500,000	25,000
小計		28,521
製品 1kg 当たり (円/kg)		21

*：プラント一式：¥9,237,900
**：基本料金+使用料金、
プラント消費：2.5kWh/日
保温用：20kWh/日 (冬季のみ)

第 5 節　小括

スーパーマーケットの食品売り場から発生する食品残渣の内容を調査し、1 日当たり平均 200kg の食品が排出され、野菜・果実屑が平均 70%を占めていることが分かった。これらの野菜・果実屑の排出状況や仕入れ品目を参考に分別リストを作成し、飼料として有効利用するために野菜・果実屑の分別排出への協力をスーパーマーケットに依頼したところ、廃棄物の混入はなくなり、さらにごく少量の牛の飼料に不適な野菜の混入はあるものの、良好な分別状況となった。

排出される野菜・果実屑のうち牛の飼料に適した野菜・果実屑は、秋季は平均 122kg/日で、野

菜・果実屑の排出量の 71%程度であり、冬季は平均 125kg/日、野菜・果実屑の排出量の 84%程度であった。秋季の曜日変動は大きいが、平均排出量は冬季と大差なかった。

この野菜・果実屑に加熱圧ペントウモロコシ、皮付き大麦圧ペン、専管フスマ、大麦外皮、乾燥豆腐粕を加えて含水率を概ね 50%程度に下げることでフリーク法の評点で 95 点と 100 点の良質なサイレージが作製できた。より良質のサイレージを製造するためには、野菜・果実屑を破砕し、夏では 3 週間、その他の季節にはもっと長い保存期間、もしくは保温が必要であることが把握できた。作製した野菜・果実屑サイレージへの牛の嗜好性は良好で、野菜・果実屑サイレージは濃厚飼料と同等またはそれ以上の有効性があることが確認されている。

実機規模の高速乳酸発酵装置を用いたサイレージ化実験においては、資材の投入順序を乾草類、野菜・果実屑、ヘイキューブ、穀類糟糠類、その他として 30 分間混合した場合、軟弱野菜はほとんど原型をとどめず、ジャガイモ、リンゴ、ニンジンなどは破砕されて細かくなり、乾牧草は 10cm 程度に裁断されて十分に混合されていた。測定したすべての野菜・果実屑サイレージ中のアフラトキシン含量が 10ppb 以下であり、サイレージに対する牛の嗜好性も良く、野菜・果実屑サイレージは商品として十分に流通できるものになっていると思われた。

野菜・果実屑は含水率が高く、排出される種類が季節的に変動する可能性が高く、また、栄養的に低蛋白、低エネルギーであるので、ＴＤＮで 70%を確保するためや、畜産農家に野菜・果実屑サイレージを持ち込んだ場合に低水分の方が二次発酵の可能性が低いことなどから、水分 33%と 44%の配合割合では 33%の方が良いと考えられる。

野菜・果実屑サイレージの原料と消耗品のコストは水分 33%では製品 1ｋｇ当たり 35 円、水分 43%では製品 1ｋｇ当たり 28 円となった。人件費と減価償却費を含む製造コストは水分 33%のサイレージ製品 1ｋｇ当たり 56 円、水分 43%のサイレージ製品 1ｋｇ当たり 49 円となった。

ＴＭＲやサイレージが販売されている事例は少なく、その価格は不明であるが、牛用の配合飼料が 40 円/kg 程度であることから、付加価値の高いＴＭＲやサイレージは配合飼料の価格を上回ることが可能であると考えられ、野菜・果実屑を利用した牛の飼料製造は、事業として成り立つ可能性が高いと考えられる。

第 6 章　参考文献

1) 株式会社コスモ：スーパー等小売業から排出される期限切れ食品残さの包装袋除去及び飼料化･堆肥化技術の実証，平成 12 年度食品製造業ゼロエミッションシステム構築事業報告書，社団法人 食品需給研究センター，pp. 1-25 (2001)
2) ヤンマー農機株式会社，釧路技研株式会社，株式会社モリプラント，株式会社コスモ，株式会社タクマ：食品廃棄物の高付加価値飼料化等再資源化システム技術の開発，平成13年度食品リサイクル技術開発事業成果報告集，社団法人食品需給研究センター，pp. 135-189 (2002)
3) 森 達摩、西村和彦、亀岡俊則、松永 寛：豆腐粕サイレージの品質に及ぼす乳酸菌および糖蜜の添加効果，大阪府立農林技術センター研究報告，30，pp. 42-45 (1994)
4) 西村和彦、奥村寿章、崎元道男、亀岡俊則：豆腐粕へのワイン酵母と糖の散布による飼料化，大阪府立農林技術センター研究報告，38，pp. 42-49 (2002)
5) 廣藤祐史、塚谷忠之、古田正範：食品廃棄物を利用した有効物質及びその製造プロセスに関する研究，食品産業廃棄物を利用したアルコール生成装置の開発 (2)，福岡県工業技術センター平成 8 年度研究報告，pp. 72-75 (1997)

第7章　残飯類の豚・鶏用乾燥飼料化システム

都市域では様々な食品が混入する残飯類が多様な排出源から多量に排出され、その大部分が廃棄物として焼却処理されている。本章では、第3章で提案した望ましい食品資源循環システムに組み込む食品残渣の飼料化システムの一つとして、多様な残飯類を多量に回収して成分を均質化、安定化し、豚や鶏用の良質な飼料として再生利用する技術について検討している。

大阪の養豚業は元来残飯養豚として発展し、昭和 50 年には6万頭以上の豚が飼養され、その殆どが残飯類を飼料としていた[1)]。すなわち、1頭1日当たり 5kg(原物)の給与量とすれば、1日に300 トン以上の残飯類が回収され、利用されていたと推定されている。しかし、高度成長期を経て都市化が進むにつれ、残飯をボイルする際の悪臭による環境問題の発生や、過剰な残飯投与による肉質の低下が市場のニーズに合わなくなってきたことなどにより、都市近郊の養豚業は徐々に衰退してきた。大阪府下の養豚農家は昭和37年の640戸をピークに年々減りつづけ、平成16年現在ではわずかに9戸となっている。現存する養豚農家のほとんどが肥育豚1000頭未満の家内規模経営であるが、その中でも食品残渣を飼料として利用しつつ肉質向上への努力が続けられている。その努力によって残飯類を利用した養豚技術が蓄積され、今では生産される豚肉への評価は高く、配合飼料を給与した豚肉より高く取引されるようになっている。

しかし都市域からの残飯類の排出量は多量で、都市近郊での利用可能量が極めて少ないことから、残飯類を飼料として有効利用するためには、残飯由来飼料利用によるメリットの確保と広域的な流通を図る必要がある。そのためには長期保存が可能で良質な乾燥飼料への処理・加工技術の開発が不可欠であり、さまざまな乾燥飼料化システムが検討され、一部稼動を始めているが、それぞれに課題を有している。

本章では、都市域で多量に発生し、異物の混入がないように分別排出された残飯類を広域的な流通を可能にする良質な乾燥飼料に加工する技術について、既存の飼料化技術等を含めてその課題を把握するとともに、より良質な脱油乾燥飼料を製造する蒸洗クッカー・脱油乾燥飼料化システムの課題について整理し、製造コストを試算している。

なお、本章の残飯類の脱油・乾燥技術は、(社)食品需給研究センターの平成 13 年度食品リサイクル技術開発事業において、大阪府立食とみどりの総合技術センターの指導を受けて、ヤンマー農機株式会社、釧路技研株式会社、株式会社モリプラント、株式会社コスモ、株式会社タクマが共同実施した「食品廃棄物の高付加価値飼料化等再資源化システム技術の開発」研究事業[2)]の成果であり、その事業に研究協力者として参加し、実験、データ解析、及び報告書の作成等の業務を通じて得た知見を基に残飯類の飼料化技術について検討している。

第1節　残飯類の既存飼料化技術とその課題

残飯類は、古くから養豚用飼料として利用されてきたが、近年では安い輸入穀物類をベースにした配合飼料の利用増加に伴って、その利用は極めて少なくなった。残飯類は水分が多く腐敗が早いこと、そのため悪臭の発生源になりやすいこと、その収集や加熱処理に手間がかかることなどに加えて、原料の粗脂肪含量が高く軟脂になるなど肉質に問題を生ずることが利用の障害となっているが、これらの欠点を改善できれば、養豚農家にとって残飯養豚は飼料コストの低減につながるなどのメリットがある。

事業系一般廃棄物として処理される都市から発生する残飯類を対象とし、現在実用化が試みら

れている飼料化システムは、主として乾燥技術と湿式のリキッドフィーディング方式で、その他に化学処理や灰化処理などがある。

残飯類を豚・鶏の飼料として広域的に流通させて再利用するための対策の中心は、水分を下げる乾燥処理技術である。また、飼料の品質を改善するために粗脂肪含量を低減させる技術が検討され、原料や用途に応じて、この2種の技術を組み合わせて飼料が製造されている。

粗脂肪含量を低減する方法には、残飯類に副資材を混合する方法、残飯類から粗脂肪分を分離する処理や乾燥飼料を搾油する方法が試みられている。

水分の多い生残飯は攪拌などによって団子状になりやすく、効率よく均一に乾燥するための技術が検討され、熱風によって乾燥する乾熱乾燥法、減圧によって水分を蒸発させる減圧乾燥法、煮沸殺菌処理と乾燥処理を一体化したボイル乾燥法、微生物の発酵熱を利用する発酵乾燥法、油温脱水法などが開発され、実用化されている。

ここでは、都市域から発生する一般的な残飯類を対象として、広域的に流通可能な良質な乾燥飼料を製造する技術を検討するために、既存の残飯類の乾燥飼料化技術とその課題を把握する。

1) 油温脱水法による残飯類の乾燥飼料化システム

油温脱水法は、従来からのレンダリング(動物残滓の油脂分離)の処理法として広く採用されている加工技術である。食用油を熱媒として原料中の水分を蒸発させて乾燥処理する方法で、調理技術の応用である。大阪府では、昭和62年からこの油温脱水法による残飯類の乾燥飼料化の研究を行っている[3]。水分や澱粉質が多く乾燥が難しい残飯類を、廃食用油を熱媒体として乾燥し、から揚げ状の乾燥残飯をプレスにより搾油し、粉砕することによって乾燥飼料として製品化し、熱媒体として利用した廃食用油は、その酸価が5以上にならないように10～15回循環利用した後、加熱用燃料として利用するシステムである。

表7-1に乾燥飼料の成分の一例を示すが、水分約8%、粗蛋白質約21%、粗脂肪約10%、可溶化無窒素物約61%と、高蛋白、高エネルギー飼料である。また、可消化養分総量(TDN)が約86%と、配合飼料(約74%)と比べても消化性が高い飼料である。豚に対する嗜好性は非常に良好であるが、高脂肪であるため肉質の軟脂防止のためには給与量等の調整が必要であると報告されている。

表7-1　残飯類の油温脱水法による乾燥飼料の成分(%)

	水分	乾物換算				
		粗蛋白	粗脂肪	粗繊維	粗灰分	NFE
原料(残飯)	82.0	21.4	18.2	2.2	5.0	53.2
乾燥飼料	7.4	21.2	12.1	1.4	5.1	60.2
豚の消化率		93.9	96.9	85.1	-	93.9

このシステムをさらに発展させた油温減圧脱水乾燥方式が札幌市の事業系一般廃棄物を対象とした飼料化プラントとして平成10年より稼動している。この油温減圧脱水乾燥プラントで作られた乾燥飼料製品の成分と豚に給与した場合の成長や肉質への効果と影響について、次のように報告されている[4]。

乾燥飼料製品は褐色で油臭があり、容器や袋類に起因するプラスチック類等が完全には除去されていなかった。表7-2に示す成分は、月2回1年間採取した24サンプルの分析値であるが、成分の含有率の変動幅は熱量を除いて広く、水分は4.7%と低かったが、粗蛋白質と粗脂肪の含有率が高かった。市販試料に30～50%の乾燥飼料製品を混合して給与した飼養試験では、粗蛋白質

の消化率が47～59.9%程度で、豚産肉能力検定飼料の粗蛋白質消化率88%、生残飯で報告されている蛋白質消化率80～90%と比べて低かった。豚産肉能力検定飼料の15%、20%、30%を乾燥飼料製品で代替し、30kgの大ヨークシャー豚に110kgまで給与した飼養試験では、発育は良好で解体成績にも有意差はなかったが、代替率を増すに従い豚体脂肪の融点が低下する傾向があった。また、代替率を増すに従い、豚体脂肪では飽和脂肪酸の割合が減少し、多価不飽和脂肪酸の割合が増加した。乾燥飼料製品の代替率を増すに従い、粗脂肪の摂取量が増加し、不飽和脂肪酸の摂取量も増加、多価不飽和脂肪酸が蓄積したものと考えられる。軟脂豚の発生を防止するためには、乾燥飼料製品の代替率を10%程度までと考えられる。

この報告[4]によれば、残飯類に多く含まれる粗脂肪が豚体脂肪の脂肪酸組成に大きく影響し、軟脂豚を発生させる可能性が高いが、残飯類の粗脂肪含有率を下げることができれば、良好な飼料として利用できることを示している。なお、この乾燥飼料製品は、2000年5月に家畜の配合飼料用原料として農林水産省の許可を受け、飼料原料として日本標準飼料成分表(2001年版)にはその成分が表7-3に示すように記載されている。

表7-2　油温減圧脱水乾燥方式による乾燥飼料の成分[2]

	水分(%)	乾物換算					
		粗蛋白質(%)	粗脂肪(%)	粗繊維(%)	粗灰分(%)	NFE(%)	熱量(Mcal/kg)
平均	4.7	22.7	11.7	5.1	7.7	52.8	4.98
最大	7.0	26.6	14.5	7.2	10.4	56.8	5.16
最小	2.5	19.0	9.8	3.5	5.7	43.9	4.81
標準偏差	±0.96	±1.94	±1.17	±0.79	±1.19	±3.79	±0.089

表7-3　日本標準飼料成分表(2001年版)による食品副産物の成分(%)

	水分(%)	粗蛋白質(%)	粗脂肪(%)	NFE(%)	粗繊維(%)	粗灰分(%)	豚・TDN(%)	鶏・ME(Mcal/kg)
食品副産物*	4.7	22.3	9.3	52.2	4.3	7.4		
		23.4	9.7	54.7	4.5	7.8	83.1	3.08

*:食品副産物を油温減圧式乾燥機で脱水し、CPが約19～25%のもの
TDN:可消化養分総量、ME:代謝エネルギー

2)蒸煮クッカー法による乾燥飼料化システム

残飯類を良質な豚の飼料に加工するために、残飯中の粗脂肪含有量を低減させる方法として、原料に少量の水を加えて加熱し、油分を遊離させて水分とともに分離し、油分を分離した残飯類をドラムドライヤーによって乾燥させて飼料原料とする方法が検討されている[1]。この方法によると、乾燥飼料中の粗脂肪は3%程度に低下している(表7-4)。また、分離した廃液からの回収油分の燃料化、廃液処理などが総合的に検討され、その処理に要するコストも試算されている。1日15時間稼動で200t/日の残飯類を蒸煮クッカー・乾燥処理して27.2t/日の乾燥飼料を製造する場合、排ガス脱臭処理、排水のメタン発酵・消化液処理と汚泥の堆肥化処理を含む施設建設費は3,342,000,000円で、減価償却費、人件費を含む処理経費は原料1トン当たり6,457円と報告されている。製品1kg当たりでは47円である。

参考までに、乾燥飼料中のアミノ酸組成を表7-5に示す。乾燥飼料①の粗蛋白質含有量が高く、アミノ酸も高い傾向にあるが、いずれの必須アミノ酸においても体重60～100kgの豚の成育に必

要とする飼料中のアミノ酸含有量のほぼ2倍程度が含まれ、植物飼料に少ないリジンやメチオニンについても十分な量が含まれていることから、栄養組成のバランスにおいても非常に良好な飼料であると報告されている。なお、この飼料化技術では、ごはんが多量に含まれる残飯類のドラムドライヤーによって乾燥すると焦げが発生しやすいことや、連続処理が可能なシステム化等が課題として残っていた。

表7-4　蒸煮クッカー法による乾燥飼料の成分(%)[2)]

	水分	粗蛋白	粗脂肪	粗繊維	NFE	粗灰分
乾燥飼料①	5.7	29.9	15.2	1.5	35.6	12.1
乾燥飼料②	5.4	19.2	2.8	1.4	66.8	4.4

表7-5　乾燥飼料のアミノ酸組成(%)

項目	乾燥飼料①	乾燥飼料②	豚必要量*
アルギニン	1.08	1.18	0.16
リジン	1.73	1.26	0.57
ヒスチジン	1.00	0.54	0.15
フェニルアラニン	1.24	0.84	0.57
ロイシン	2.24	1.51	0.48
イソロイシン	1.26	0.83	0.41
メチオニン	0.73	0.45	0.30
バリン	1.53	0.99	0.41
スレオニン	1.21	0.79	0.37
アラニン	1.76	1.06	
グリシン	1.79	0.83	
チロシン	0.9	0.64	
プロリン	1.45	0.85	
セリン	1.21	0.84	
グルタミン酸	4.37	3.25	
アスパラギン酸	2.80	1.78	

*：体重60～100kgの豚が必要とする飼料中のアミノ酸含有率

第2節　蒸洗クッカー・脱油乾燥飼料化実験

レストラン等から排出される残飯類は、一般的に水分が75～80%、乾物当たり粗脂肪が約18%程度あり、その粗脂肪や塩分は配合飼料と比べて高い。特に、脂肪は家畜の栄養成分として重要な役割を果たすが、その内容は肉質に大きな影響を及ぼす。油温脱水法や油温減圧脱水乾燥方式による乾燥飼料製品は粗脂肪が高く、より良質な乾燥飼料とするためには粗脂肪を低下させる必要がある。そこで、原料に少量の水を加えて加熱し、遊離した油分を水とともに分離した後乾燥する蒸煮クッカー法による乾燥飼料化システムが検討されたが、乾燥処理技術の改善と連続処理システム化等が課題として残っていた。

そこで、「食品廃棄物の高付加価値飼料化等再資源化システム技術の開発」研究において、原料中から脂肪分及び塩分を効率よく除去して良質の豚・鶏用飼料に再生利用するために、蒸洗クッカー・乾燥飼料化装置を試作し、残飯類の乾燥飼料化実験を行い、その処理性能と乾燥飼料の成分、

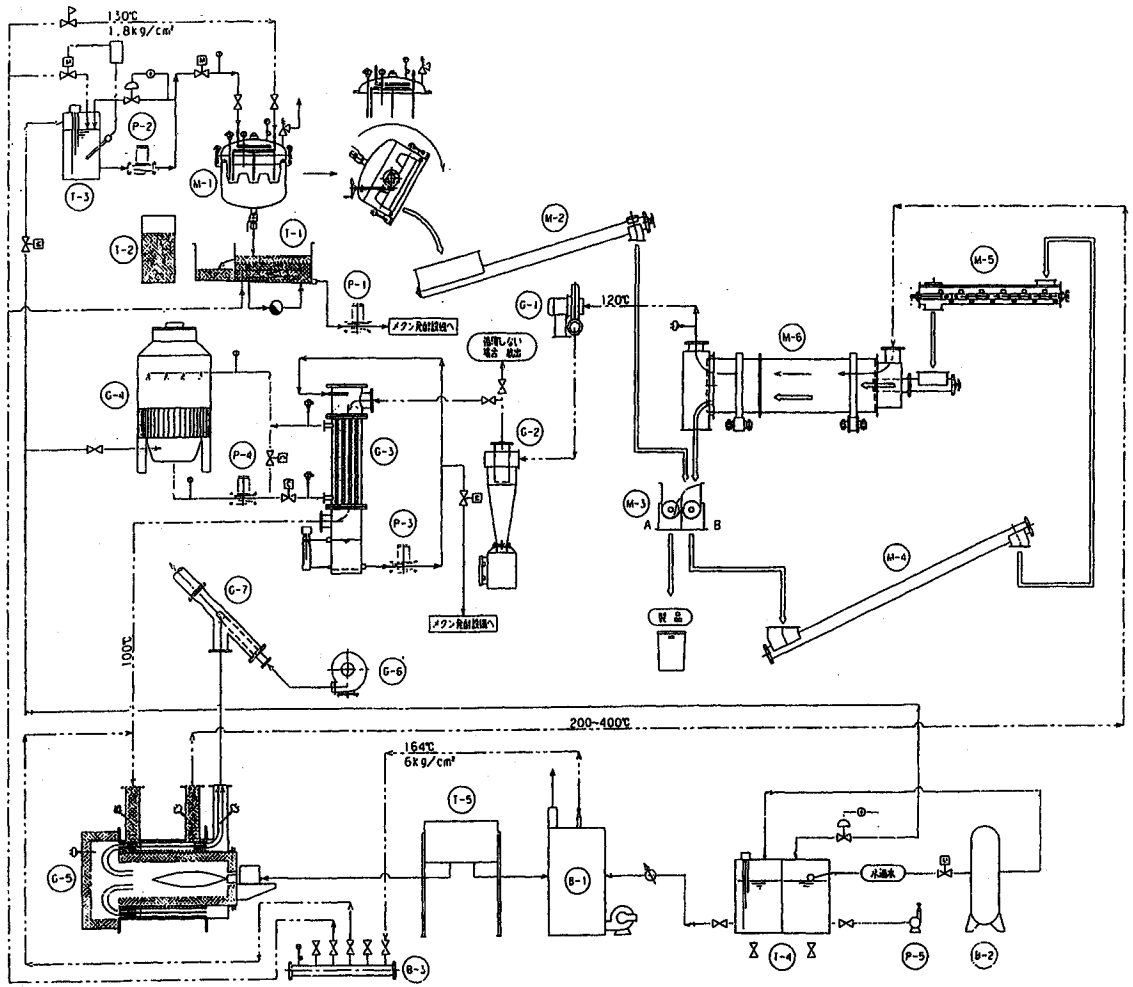
製品コスト等が把握されている。以下に試作された装置の概略を示すとともに、本装置を用いた飼料化実験の検討結果を示す。

1)蒸洗クッカー・乾燥飼料化システム

蒸洗クッカー・乾燥飼料化システムは、蒸気による加熱・加圧、温水噴霧によって脱油するメッシュバッグ付きバッチ式クッカー（以下、蒸洗クッカーと略す）、洗浄液の油分離装置、及び脱油した残飯を乾燥する過熱蒸気循環・ロータリーキルン乾燥機から成る（図 7-1）。主要機器の仕様を表 7-6 に示す。

表 7-6　蒸洗クッカー・乾燥飼料化システムの機器仕様

番号	機器名称	数量	仕様、容量、動力	備　考
M－1	バッチ式蒸洗クッカー	1	ＳＳ、25kg SUS メッシュバック付	
M－2	原料供給フィーダー	1	ＳＳ、50kg ホッパー、φ125 スクリューコンベア付、0.1kW	インバータ制御
M－3 A，B	製品振分けスクリューコンベア	1	ＳＳ、φ125、0.4kW	M－３Ｂ:インバータ制御
M－4	フィードバックスクリューコンベア（破砕機付）	1	ＳＳ、φ125、0.4kW　120W（100V）	
M－5	パドル混合機	1	二軸型、可変羽根付　0.75kW	インバータ制御
M－6	過熱蒸気循環・ロータリーキルン乾燥機、投入スクリューコンベア付	1	φ610×2600Ｌ　0.4kW　4rpm ＳＳ、φ125、0.2kW	インバータ制御
G－2	サイクロン	1	ＳＳ、φ340×1630Ｈ　チャンバー付	
G－3	コンデンサー	1	φ360＊2100Ｌ　伝熱面積 4.0 ㎡	
G－4	クーリングタワー	1	ＲＣＴ－5ＬＮ	
G－5	過熱蒸気発生器	1	φ900×1750　伝熱面積 6.6 ㎡	バーナー付
G－6	エゼクターファン	1	U75－2－R313	インバータ制御
G－7	エゼクター	1		
B－1	ボイラー	1	ＥＨ－500	
B－2	軟水器	1	ＭＳＱ	
B－3	スチームヘッダー	1		
T－1	油分離タンク	1	ＳＳ　400×250×790Ｈ　0.067m^3	スチームヒーター付
T－2	分離油タンク	1	ＳＳ　□320×900Ｈ　0.09m^3	
T－3	温水タンク	1	SUS　□400×1000Ｈ　0.16m^3	
T－4	原水、軟水タンク	1	SUS　500×1500×1000　各 0.375 m^3	
T－5	灯油タンク	1	400Ｌ	
P－1	メタン発酵設備移送ポンプ	1	40ＦＶＤ61.5Ａ　1.5kW	
P－2	温水加圧ポンプ	1	32ＬＰＤ61.5Ａ　1.5kW	
P－3	コンデンサー循環ポンプ	1	32ＬＰＤ6.75Ａ　0.75kW	
P－4	冷却水ポンプ	1	32ＬＰＤ6.75Ａ　0.75kW	
P－5	原水ポンプ	1	25ＲＱＦ6.4Ｂ	
A	制御盤	1		



番号	名　称
M-1	バッチ式蒸洗クッカー
M-2	原料供給フィーダー
M-3 A, B	製品振り分S. C.
M-4	フィードバックS. C.
M-5	パドル混合器
M-6	S. H. Sドライヤー
G-1	排気ファン
G-2	サイクロン
G-3	コンデンサー
G-4	クーリングタワー
G-5	過熱蒸気発生器
G-6	エゼクターファン
G-7	エゼクター
B-1	ボイラー
B-2	軟水器
B-3	スチームヘッダー
T-1	油分離タンク
T-2	分離油タンク
T-3	温水タンク
T-4	原水、軟水タンク
T-5	灯油タンク
P-1	廃液移送タンク
P-2	温水加圧ポンプ
P-3	コンデンサー循環ポンプ
P-4	冷却水ポンプ
P-5	原水ポンプ

図 7-1　蒸洗クッカー・乾燥飼料化システムフローシート

2)蒸洗クッカー・過熱蒸気乾燥実験

①実験方法

バッチ式蒸洗クッカーは、メッシュバックに一定量の原料を投入、上部ノズルより蒸気及び温水で加温、洗浄、加圧することにより、原料中から脂肪分、食塩分を除去する装置である。

レストラン等から養豚飼料として回収されている残飯を 25～50ｋｇずつメッシュバッグに入れ、蒸気で90℃まで加熱･加圧して2分間維持した後、90℃の温水7.5～10Ｌを直接残飯に噴霧、その後10～15分間蒸気圧を0.2MPaに維持して、残飯からのさらなる脱油を促すことにより蒸洗処理した。蒸洗終了後、蒸洗クッカーの内圧を大気圧に戻し、油分を含む洗浄液を油分離装置に投入した。

過熱蒸気乾燥は、ボイラーより供給された蒸気を過熱蒸気発生炉で再熱することにより高温の蒸気を作り乾燥機の熱媒体とするものであり、過熱蒸気の顕熱を利用して乾燥を行い、常圧で運転される。乾燥機内部は蒸気だけしか存在せず、製品酸化の恐れがなく、ガスの容積比熱が空気の4～6倍となるためガス流量で決定される装置容量が小さくてよく、運転操作もきわめて安定しているといった利点がある[5]。実験では、蒸洗クッカー処理後の残飯類の乾燥における過熱蒸気循環・ロータリーキルン乾燥機の最適運転条件を求め、灯油、電力等の用役使用量を把握した。

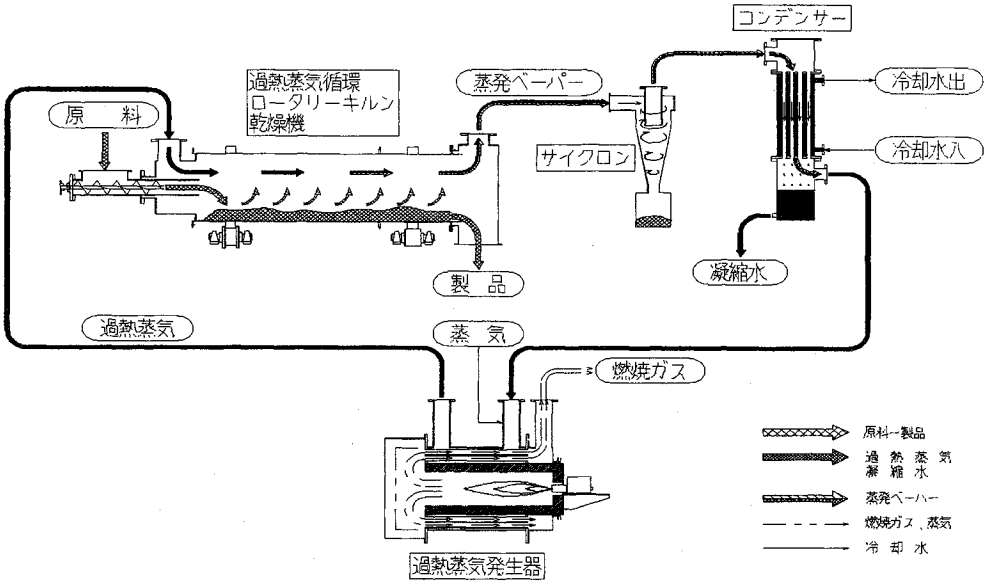


図7-2　過熱蒸気循環・ロータリーキルン乾燥システム構造図

②実験結果

最適蒸洗処理条件は25kgの残飯を90℃で2分加熱後、90℃の熱湯を10ℓ噴霧し0.2MPaで10分間維持する条件であった。

水分73.8～74.4%、粗脂肪5.7～8.7%（乾物換算で22.3～33.2%）の残飯が、温水量10Ｌの蒸洗処理によって重量21.8～23ｋｇ、水分72.8～76.1%となり、粗脂肪が3.7～4.4%（乾物換算で15.4～16.2%）に低下した。その際、蒸洗廃液が16～18Ｌ発生した。蒸洗処理によって、重量が平均8%～13%減少し、粗脂肪濃度が27.4～53.6%低下した。なお、原料の鮮度が悪くなると、可溶化して廃液量が増えた。

原料中に脂肪分が吸収されているレストラン残飯では、加温及び温水噴霧による除去効果が低く、原料中に含まれる脂肪分を効果的に除去できるような装置の改良が必要と考えられた。

蒸洗処理後の残飯類の過熱蒸気乾燥では、ミキサーの攪拌羽根に原料が付着し乾燥機内部で団子状になるため、乾燥物と原料との比率が5：1となるように循環量を設定した。

乾燥品の水分を低下させつつ熱変性を極力抑えるための運転条件は、過熱蒸気との接触時間は5～6分、過熱蒸気の乾燥機入口温度が240℃～260℃、乾燥機排ガス温度が110～120℃であった。

表7-7に示すように10ℓの温水で蒸洗処理した原料を乾燥処理することによって、水分8.7～9.4%、粗脂肪7.2～8.5%(乾物換算で7.9～9.3%)の乾燥飼料を製造できた。また、蒸洗クッカー・乾燥処理によって粗脂肪が59.1～79.7%除去でき、製品の歩留まりは18.4～21.7%となった。一方、蒸洗クッカーから発生した油分を含む煮汁廃液からの油分分離は、廃液中に含まれる油分量が少なく、またエマルジョン化した廃液からの油分分離は困難であったため、油分量の定量はできなかった。このことから油分の分離槽の改造が必要と考えられた。

表7-7　蒸洗クッカー・乾燥処理による水分と粗脂肪の変化

項　目＼　条件、原料		温水量：１０Ｌ	
		レストラン残飯	麺類混合残飯
原料	重量（kg）	25	25
	水分（%）	74.4	73.8
	粗脂肪（%）	5.7	8.7
	乾物換算	22.3	33.2
乾燥後	重量（kg）	5.4	5.2
	水分（%）	9.4	8.7
	粗脂肪（%）	7.2	8.5
	乾物換算	7.9	9.3
	減少率（%）	64.6	72.0
製品の歩留まり（%）		21.6	20.8
粗脂肪量	原料中（kg）	1.425	2.175
	蒸洗後（kg）	0.959	0.850
	乾燥後（kg）	0.389	0.442
	除去率（%）	72.7	79.7

3)製造した飼料等の品質

蒸洗クッカー及び乾燥処理した飼料の品質を以下の方法によって把握した。

①分析方法

一般成分組成の水分は常圧加熱乾燥法、粗蛋白質はケルダール法、粗脂肪はジエチルエーテル抽出法、粗繊維はろ過法、灰分は直接灰化法による。乾燥製品の性状は、脂質をクロロホルム・メタノール混液で抽出し、メチルエステル化後、ガスクロマトグラフ法によって脂肪酸組成を求めた。抽出油の理化学的組成は酸価、過酸化物価、ヨウ素価を基準油脂分析法（日本油化学会編）により測定した。食塩分及びカドミウム、銅、鉛を原子吸光光度法により、総水銀を還元気化原子吸光光度法により測定した。ヒ素をＤＤＴＣ－Ａｇ吸光光度法、鉄をｏ－フェナントロリン吸光光度法により、アフラトキシンを酵素抗体法(FAST アフラトキシンキット ： r-Biopharm 社製：アヅマックス(株))で測定した。

②乾燥製品の品質

蒸洗・乾燥処理実験に用いた原料の性状を表 7-8 に、乾燥製品の品質を表 7-9 に示す。処理によって粗脂肪を 70%以上除去できた。粗脂肪が若干高めであるが、乾燥品の品質は概ね良好であり、蒸洗クッカー・乾燥処理によって塩分が 56%程度に減少した。また、抽出油の酸価、過酸化物価が若干高かった。また、飼料のアフラトキシン濃度は 10ppb 以下であった。

原料及び乾燥製品中の油脂における脂肪酸組成を表 7-10 及び図 7-3 に示す。残飯類を原料とする飼料には、不飽和脂肪酸、特にリノール酸（C18:2）などの多価不飽和脂肪酸が多く含まれ、これが豚に軟脂を発生するといわれている。本実験の原料である残飯中の油脂もオレイン酸（C 18：1）とリノール酸で 60%以上を占めており、蒸洗クッカー・乾燥処理した製品でも同様の傾向となったが、蒸洗クッカー・乾燥処理によって低分子の脂肪酸が相対的に少なくなる傾向が伺えた。

蒸洗クッカー・乾燥処理によって粗脂肪を 70%以上除去できたが、目標である製品の粗脂肪 5%以下を達成することはできなかった。この原因は、蒸洗クッカー処理において蒸気ノズル、温水ノズルと原料との接触不良により蒸気温度が原料の内部まで十分に伝わりにくいことにあると考えられた。原料表面に付着する脂肪分の除去のみならず、様々な性状の原料に含まれる脂肪分を効率良く除去するためには、原料厚を薄くして内部温度を高めるとともに洗浄温水が内部まで行き渡るような構造にする必要がある。さらに、これを連続式に改造することにより、熱損失を抑え、人手を軽減できるなどのさまざまなメリットが生じ、コスト低減が実現できると考えられた。

また、洗浄廃液からの油分離を効率的に行うためには、フィッシュミールプラントなどで利用されている、煮汁をスクリューデカンターで固液分離しその煮汁を縦型三相分離機で油分、煮汁、スラッジに分離する設備が最適であると考えられた。

食品残渣の脂肪はオレイン酸、リノール酸等の不飽和脂肪酸が多く、これらは酸素、光線、温度環境によって過酸化物を生成するため、乾燥工程において原料や製品と空気との接触を最小限度にすることを考慮して、蒸洗クッカー処理した食品残渣の乾燥に過熱蒸気循環・ロータリーキルン乾燥機を採用した。しかし、実験によって得られた乾燥製品の酸価、過酸化物価はかなり高い数値を示した。この原因として、澱粉質が多い残飯等が乾燥機内部で団子状にならないよう乾燥製品を循環してパドルミキサーで混合しているが、その混合状態を確認するために点検口を開けていたため空気が流入し、無酸素状態がつくれなかったこと、及び循環する乾燥製品が複数回乾燥機を通過するため製品に含まれている油分の酸化が進んだことが考えられる。

過酸化物価は飼料中の脂質の劣化を知る指標であり、飼料としての基準はないが厚生省の安全基準では人の場合、油菓子で 50 を超えてはならないとされている。飼料用として流通している動物性油脂の過酸化物価は概ね 2～30 で平均 15 程度である。酸価は酸敗や油脂の精製度を知る指標であり、ＪＡＳの植物油脂では約 5.0 以下、飼料用として流通している動物性油脂の酸価は概ね 1～50、平均 10 程度である。本実験の乾燥製品は飼料として不適当と判断されるものではないが、よりよい品質を目指して、今後、酸価、過酸化物価を下げるための改造が必要である。乾燥工程での酸価、過酸化物価の上昇を抑えるためには、空気の流入を遮断することと循環量を減らすための改造が必要である。

表 7-8　原料の性状

項　目	分析結果
水分	73.9%
粗蛋白	6.9%
粗脂肪	4.9%
粗繊維	1.47%
塩分	0.52%
抽出油の酸価	8.39
抽出油の過酸化物価	6.4meq/kg
抽出油のヨウ素価	97.4
抽出油の上昇融点	19.2℃
PH	5.1
乾物換算	
粗蛋白	26.4%
粗脂肪	18.8%
粗繊維	5.6%
塩分	2.0%

表 7-9　乾燥製品の品質

項　目	分析結果
水分	9.07%
粗蛋白	21.25%
粗脂肪	9.35%
粗繊維	4.73%
灰分	3.81%
塩分	1.12%
抽出油の酸価	4.29
抽出油の過酸化物価	50.1meq/kg
抽出油のヨウ素価	101
抽出油の上昇融点	22.4℃
PH	5.21
カドミウム	0.07ppm
ヒ素（Asとして）	0.3ppm
鉄	183mg/100g
銅	0.56mg/100g
鉛	0.43ppm
総水銀	0.01ppm
カビ毒(アフラトキシン)	2.095ppb

表 7-10　原料と乾燥製品中の脂質の脂肪酸組成

	原料	製品
C12：0		0.2
C14：0	0.5	1.2
C15：0		0.2
C16：0	19.1	16.85
C16：1	2	1.5
C17：0	0.2	0.25
C17：1		0.2
C18：0	6.8	6.6
C18：1	36.5	34.35
C18：2	27.4	29.3
C18：3	2.9	4.35
C18：4		0.2
C20：0	0.2	0.3
C20：1	0.3	1.05
C20：2	0.2	0.2
C20：4	0.9	0.3
C20：5		0.55
C22：0	0.1	0.3
C22：1		0.5
C22：5	0.3	0.35
C22：6	0.4	0.85
未同定	2.2	0.8

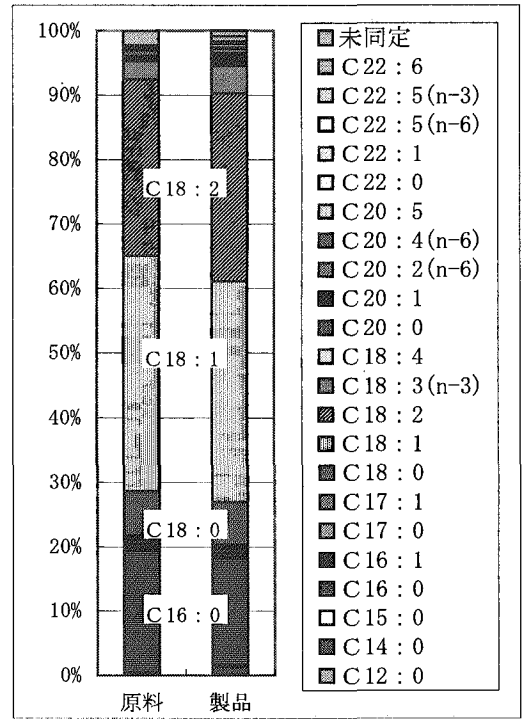


図 7-3　原料及び製品中の抽出油の脂肪酸組成

第3節　蒸洗クッカー・脱油乾燥処理システムの最適化と製造コスト

1)蒸洗クッカー・脱油乾燥処理システムの最適化

実験によって得られた知見を基に、連続運転できるように改造することを含め、処理性能と処理効率を改善した最適システムを設計した。その最適蒸洗クッカー・乾燥処理システムは、ロータリーキルン乾燥機 1 台の最適最大処理能力を基に 2ｔ/h の処理能力とした。機器リストを表7-11に、マテリアルバランスを図7-4に示す。

表7-11①　蒸洗クッカー・脱油乾燥飼料化最適システム機器リスト

機器名称	数量	仕様、容量、動力	備　考
原料受入ホッパー	1	SUS、W1.5×L3.0×H1.7、 φ300ＳＣ×2基、2.2kW×2基	$3m^3$ 計量機付
原料移送バケットコンベア	1	SUS、W0.6×L0.9×10m 8ｔ／時、2.2kW	
原料保冷サイロ （チラユニット付）	1	SUS、W2.2×L4.5×H5.2 φ300ＳＣ×2基、3.7kW×2基	$38m^3$
Ｎｏ１原料移送ＳＣ	1	SUS、φ300×6.5m、2.2kW	
Ｎ０２原料移送ＳＣ	1	SUS、φ300×5m、2.2kW	
連続式蒸洗クッカー	1	SS, SUS、φ2.3×8.7m、 3.7kW、第一種圧力容器	インバータ制御
Ｎｏ１ドライヤー移送ＳＣ	1	SUS、φ300×7.7m、2.2kW	
Ｎｏ２ドライヤー移送ＳＣ	1	SUS、φ300×7.0m、2.2kW	
分散機	1	ターボファン、１１kW	インバータ制御
過熱蒸気乾燥機	1	SUS、φ2400×12m、7.5kW ロータリーキルンタイプ	インバータ制御
ドライヤー抜出ＳＣ	1	SUS、φ250×6.0m、2.2kW	
フルイ機移送ＳＣ	1	SUS、φ250×6.5m、2.2kW	
振動フルイ	1	円筒縦型、三種分け、5.5kW	
Ｎｏ１粉砕機移送ＳＣ	1	SUS、φ250×6.0m、2.2kW	
Ｎｏ２粉砕機移送ＳＣ	1	SUS、φ250×4.5m、1.5kW	
粉砕機（集塵機付）	1	ハンマー式、15kW、塵機ファン2.2kW	
粉砕機抜出ＳＣ	1	SUS、φ250×4.5m、1.5kW	
振分フィーダー移送ＳＣ	1	SUS、φ250×7.0m、2.2kW	
振分フイダー	1	SUS、φ250×3.0m、 0.75kW×2基	$5m^3$ インバータ制御
フィードバック供給ＳＣ	1	SUS、φ250×5.5m、1.5ｋW	

注：「ＳＣ」はスクリューコンベアの略

表 7-11②　蒸洗クッカー・脱油乾燥飼料化最適システム機器リスト

機器名称	数量	仕様、容量、動力	備　考
クーリングタワー	1	RC-S250 J 、7.5kW 冷却水量　195m³／時	
ボイラー設備	1	1000kg／時・蒸発、軟水装置、 薬注ポンプ、原水軟水タンク、 スチームヘッダー他　5.3kW	
汚水タンク	1	SS、φ1.5×H3.0、　5m³	
デカンター受けタンク	1	SS、W0.75×L1.0×H0.75　0. 5m³	
加熱タンク	1	SS、W1.0×L1.0×H1.0 1.0m³、攪拌機　0.75kW	
オイル、スラッジ受けタンク	1	SS、W0.75×L0.75×H0.5 二分割式、各 0.14m³	
抽出油タンク	1	SS、W0.35×L0.75×H0.5　0.13m³	
温水タンク	1	SUS、φ1.0×H2.0　1.5m³	
水中ポンプ	1	15m³／分、40×32、　0.75kW	
メタン発酵設備移送ポンプ	1	0.1m³／分、50×40、1.5kW	
デカンター供給ポンプ	1	0.1m³／分、50×40、1.5kW	
加熱タンク移送ポンプ	1	0.1m³／分、50×40、1.5kW	
油分離機供給ポンプ	1	0.1m³／分、50×40、1.5kW	
スラッジポンプ	1	0.05m³／分、40、0.75kW	
分離油移送ポンプ	1	0.01m³／分、25、0.75kW	
分離油出荷ポンプ	1	0.1m³／分、40、1.5kW	
凝縮水移送ポンプ	1	0.1m³／分、50×40、1.5kW	
冷却水循環ポンプ	1	3.0m³／分、150×125、　11kW	
温水ポンプ	1	0.1m³／分、50、3.7kW	
コンプレッサー	1	3.7kW、エアードライヤー付	
デカンター	1	1.5m³／時、5.5kW	
油分離機	1	1.5m³／時、5.5kW	

注：「ＳＣ」はスクリューコンベアの略

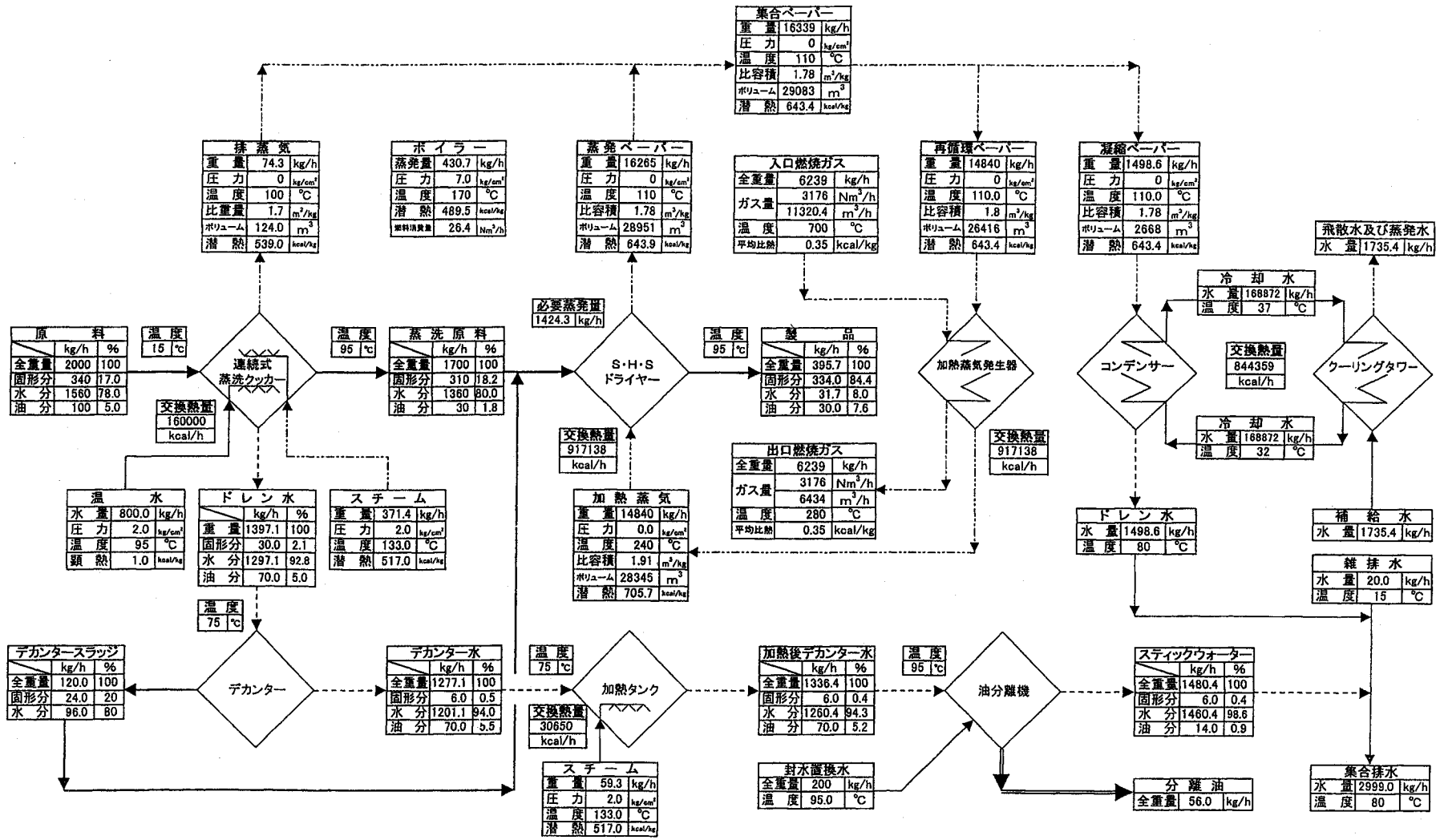


図 7-5　最適蒸洗クッカー・脱油乾燥処理システムのマテリアルバランス

2)最適システムでの製造コスト試算

最適蒸洗クッカー・乾燥処理システムは、ロータリーキルン乾燥機1台の最適最大処理能力より2t/hの処理能力とし、1日8時間稼動(立ち上げ、立ち下げが各1時間)で蒸洗クッカー乾燥処理することによって12t/日の残飯類から脱油乾燥飼料2.5t/日を製造し、0.25t/日の油を回収する規模とした。なお、同じプラントを24時間稼動すれば48t/日を蒸洗クッカー乾燥処理することによって脱油乾燥飼料10t/日を製造し、1t/日の油を回収することができる。

公害防止条件は表7-12のとおりとし、蒸洗クッカー処理によって発生する廃液を下水道放流、騒音、振動についても法規に従うとして、製造コストを試算した。

用役費の試算結果を表7-17に示すが、稼動時間24時間では製品1kg当たりの用役費は45円、乾燥エネルギーが貰える場合には、製品1kg当たりの用役費は21円となった。

次に人件費を、8時間稼動では管理者1名、運転員を1名、補助員を1名とし、24時間稼動では管理者1名、運転員を3名、補助員を2名として、設備の減価償却費を加えて、製造コストを試算した結果を表7-20に示す。蒸洗クッカー・乾燥飼料化システムによる脱油・乾燥飼料の製品コストは、8時間稼動で138円/kg、24時間稼動では72円/kgとなった。ただし、必要な乾燥エネルギーを余熱等で支援されれば、8時間稼動で112円/kg、24時間稼動では50円/kgとなり、乾燥用エネルギーに要するコストが大きいことが把握できた。なお、製造コストを原料の食品残渣1kg当たりの処理費としてみれば、8時間稼動で29円/kg、24時間稼動では15円/kgで、廃棄物の処理経費とほぼ同程度となった。

表7-12　公害防止条件

臭気成分	処理臭気 (ppm)
アンモニア	1.0
トリメチルアミン	0.005
硫化水素	0.02
硫化メチル	0.01
二硫化メチル	0.009
メチルメルカプタン	0.002
アセトアルデヒド	0.05

表7-13　電気料金：基本料金

項　　目	設備電力 (kW)	単　価 (円／kWh)	料　金 (円／月)	料　金 (円／年)	
製造設備	136.35	1,200	163,620	1,963,440	
脱臭設備	164.16	1,200	196,992	2,363,904	
使用料金					
項　　目	電力量 (kWh/日)	単　価 (円／kWh)	料　金* (円／月)	料　金* (円／年)	料　金** (円／年)
製造設備	927.2	10.96	254,053	3,048,634	9,145,901
脱臭設備	1116.32	10.96	305,872	3,670,460	11,011,380
総電気料金	(円／年)	料　金*	11,046,438	料　金**	24,484,625

注：　*は1日8時間稼動、**は1日24時間稼動の場合

表 7-14　燃料費

	使用量 (L/h)	単価 (円/L)	燃料費 (円/h)	料　金* (円/年)	料　金** (円/年)
重　油	280	35	9,800	20,580,000	70,560,000

注：　*は1日8時間稼動、**は1日24時間稼動の場合

表 7-15　給排水費

項　　目	使用量 (m^3／日)	単　価 (円/m^3)	料　金* (円／日)	料　金* (円／年)	料　金** (円／年)
給水費(製造設備)	15	37	555	166,500	499,500
(脱臭装置)	130	37	4,810	1,433,000	4,329,000
下水道費	130	200	26,000	7,800,000	23,400,000
総給排水費	(円／年)	料金①	9,409,500	料金②	28,228,500

注：　*は1日8時間稼動、**は1日24時間稼動の場合

表 7-16　脱臭装置薬剤費

項　　目	使用量 (kg/日)	単　価 (円/kg)	料　金* (円／日)	料　金* (円／年)	料　金** (円／年)
硫酸（濃度65%）	30	40	1,200	360,000	1,080,000
次亜塩素酸ﾅﾄﾘｳﾑ（12%）	250	35	8,750	2,625,000	7,875,000
水酸化ナトリウム(24%)	70	35	2,450	735,000	2,205,000
総薬剤費	(円／年)	料金①	3,720,000	料金②	11,160,000

注：　*は1日8時間稼動、**は1日24時間稼動の場合

表 7-17　製品 1kg 当たりの用役費

項　　目			8時間稼動	24時間稼動
乾燥用燃料が必要な場合	用役費合計	(円／年)	44,755,938	134,433,125
	製品量	(kg／年)	750,000	3,000,000
	製品 1kg 当たり	(円／kg)	60	45
	原料量	(kg／年)	3,600,000	14,400,000
	原料 1kg 当たり	(円／kg)	12.4	9.3
乾燥用燃料が必要ない場合	用役費合計	(円／年)	24,175,938	63,873,125
	製品量	(kg／年)	750,000	3,000,000
	製品 1kg 当たり	(円／kg)	32	21
	原料量	(kg／年)	3,600,000	14,400,000
	原料 1kg 当たり	(円／kg)	6.7	4.4

表 7-18　設備建設費と減価償却費

項　　目	事業費（円）	償却年	償却率	償却費（円／年）
建築設備一式	109, 160, 000	22 年	0. 046	4, 519, 220
機械設備一式	440, 840, 000	10 年	0. 1	39, 675, 600
合　　計	550, 000, 000			44, 194, 820

表 7-19　人員と人件費

職　種	単　価（円／年・人）	8 時間稼動		24 時間稼動	
		人　数（人）	金　額（円／年）	人　数（人）	金　額（円／年）
管理者	8, 000, 000	1	8, 000, 000	1	8, 000, 000
運転員	4, 500, 000	1	4, 500, 000	6	27, 000, 000
補助員	3, 000, 000	1	3, 000, 000	2	6, 000, 000
合　計		3	15, 500, 000	9	41, 000, 000

表 7-20　製品 1kg 当たりの製造コスト

項　　目			8 時間稼動	24 時間稼動
乾燥用燃料が必要な場合	製造費合計	(円／年)	103, 715, 758	217, 107, 945
	製品量	(kg／年)	750, 000	3, 000, 000
	製品 1kg 当たり	(円／kg)	138	72
	原料量	(kg／年)	3, 600, 000	14, 400, 000
	原料 1kg 当たり	(円／kg)	29	15
乾燥用燃料が必要ない場合	製造費合計	(円／年)	83, 870, 758	149, 067, 945
	製品量	(kg／年)	750, 000	3, 000, 000
	製品 1kg 当たり	(円／kg)	112	50
	原料量	(kg／年)	3, 600, 000	14, 400, 000
	原料 1kg 当たり	(円／kg)	23	10

第 4 節　小括

残飯類を用いて高品質の飼料を製造する上で課題となる乾燥飼料中の粗脂肪含量を低減させるために、蒸気によって加熱・加圧し、温水噴霧によって脱油するバッチ式クッカー（以下、蒸洗クッカーと略す）、洗浄液の油分離装置、及び脱油した残飯を乾燥する過熱蒸気循環・ロータリーキルン乾燥機から成る蒸洗クッカー・乾燥飼料化システムが試作され、残飯類の乾燥飼料化実験が行われた。水分 8%、粗脂肪 5%程度の乾燥製品に処理することを目標としたバッチ式蒸洗クッカー・過熱蒸気循環・ロータリーキルン乾燥機による実験では、乾物ベースで粗脂肪が 20～30%、塩分が 2%程度の残飯類の粗脂肪を 70%以上除去できたが、乾燥製品の粗脂肪含量は 7～10%程度となった。塩分が 56%に減少し、乾燥品の品質は概ね良好であったが、粗脂肪と抽出油の酸価、過酸化物価が若干高かった。この原因は、蒸洗クッカー処理において蒸気ノズル、温水ノズルと

原料との接触不良により蒸気温度が原料の内部まで十分に伝わりにくいこと、澱粉質が多い残飯等が乾燥機内部で団子状にならないよう乾燥製品を循環してパドルミキサーで混合しているが、その混合状態を確認するために点検口を開けていたため空気が流入し、無酸素状態がつくれなかったこと、及び循環する乾燥製品が複数回乾燥機を通過するため製品に含まれている油分の酸化が進んだことが考えられた。

そこで、実験によって得られた知見を基に、様々な性状の原料に含まれる脂肪分を効率良く除去するために原料厚を薄くして内部温度を高め、洗浄温水が内部まで行き渡るような構造や空気の流入を遮断し循環量を減らす構造とし、熱損失を抑え、人手を軽減し、コストを低減する実機レベルでの連続式最適蒸洗クッカー・乾燥処理システムを設計した。

残飯類を2t/h、1日8時間稼動で蒸洗クッカー乾燥処理することによって、12t/日の残飯類から脱油乾燥飼料2.5t/日を製造し、0.25t/日の油を回収するケースと、24時間稼動して残飯類48t/日から脱油乾燥飼料10t/日を製造し、1t/日の油を回収するケースにおける製造コストを試算した。蒸洗クッカー・乾燥飼料化システムによる脱油・乾燥飼料の製品コストは、8時間稼動で138円/kg、24時間稼動では72円/kg、必要な乾燥エネルギーを余熱等で支援されれば、8時間稼動で112円/kg、24時間稼動では50円/kgとなった。この製造コストを原料の食品残渣1kg当たりの処理費としてみれば、8時間稼動で29円/kg、24時間稼動では15円/kgで、廃棄物の処理経費とほぼ同程度である。以上のコスト試算によって、食品残渣の乾燥飼料化システムでは、乾燥に要するエネルギーコストが製造コストの大きな部分を占めていることが把握できた。その点から、飼料の品質に課題が残っているが、廃食用油を熱媒体として乾燥し、使用済み廃食用油を燃料として利用する油温脱水法による残飯類の乾燥飼料化システムは、燃料費を低減できるシステムである。従って、含水率が高い食品残渣由来の飼料の製品価格には、飼料化システムにおける乾燥処理の必要性、すなわち燃料費の有無が大きな影響を及ぼすことになるため、安価な燃料を検索する必要がある。

配合飼料の販売価格は製品1kg当たり40円程度となっているが、既存の残飯乾燥飼料の引き取り価格は10～14円/kg程度でしかなく、飼料原料として品質が良好なものであっても引き取り価格が大幅に既存価格を上回ることは不可能であると考えられる。従って、残飯類の乾燥飼料化システムの成立には、乾燥用燃料等に要するコストの低減や、徴収できる食品残渣の処理料金が大きな要因となることが把握できた。

第7章　参考文献

1) 社団法人大阪府畜産会：全大阪養豚農業協同組合食品残渣利用養豚部会の活動, http://osaka.lin.go.jp/membersfiles/yusyu13/zenton.htm(2004年6月情報取得)
2) ヤンマー農機株式会社、釧路技研株式会社、株式会社モリプラント、株式会社 コスモ、株式会社タクマ：食品廃棄物の高付加価値飼料化等再資源化システム技術の開発, 平成13年度食品リサイクル技術開発事業成果報告集, 社団法人食品需給研究センター, pp. 135-189(2002)
3) 大阪府農林水産部流通対策室・大阪府動植物性残渣リサイクル事業協議会：飲食店等動植物性残渣リサイクルモデル推進事業調査報告書, pp. 60-98(1994)
4) 蒔田秀夫, 渡部　敢：都市厨芥・油温脱水法処理製品を用いた飼養試験, 未利用有機物資源の飼料利用ハンドブック, ㈱サイエンスフォーラム, pp. 288-292(2000)
5) 化学工学協会編；化学工学便覧改訂四版, 丸善, pp. 766

第8章　メタン発酵処理等エネルギー・資源回収システム

食品残渣を飼料化するシステムは完全な分別によって支えられるシステムであるが、現実には異物混入が避けられない食品残渣やカビが生えたもの、腐敗したものなど飼料化できない食品残渣が排出されることは避けられない。こういった飼料化できない食品廃棄物を対象とするプロセスとして、第3章の望ましい食品資源循環システム図3-2の下段に示すように、メタン発酵によるエネルギー回収と消化液中の窒素等栄養塩類の有効利用方法が提案できる。

第2章で考察したようにメタン発酵処理によるエネルギー回収では消化液の利用方法によって資源利用効率が大きく異なる。消化液を液肥として農地還元できれば資源利用効率が大きくなるが、大都市近郊での大規模な消化液利用は困難であろう。その場合は、消化液中の栄養塩類を利用してバイオマスを生産し、飼料利用するといった方向性や、消化液が都市からの環境負荷として新たに上積みされることがないよう、消化液の硝化・脱窒素処理、凝集処理等の高度処理と処理によって発生する汚泥の有効利用方法を考慮する必要があり、その可能性やコスト面等での課題の把握が不可欠である。

そこで、本章では、エネルギー回収効率が高いメタン発酵処理方式を検討し、その特性を把握するとともに、消化液の硝化・脱窒素処理、汚泥の堆肥化処理等について検討し、さらに消化液中の栄養塩類を利用したバイオマス生産の可能性についても考察した。

なお、本章の食品残渣のメタン発酵処理システム等に関する研究は、(社)食品需給研究センターの平成13年度食品リサイクル技術開発事業において、大阪府食とみどりの総合技術センターの指導を受けて、ヤンマー農機株式会社、釧路技研株式会社、株式会社モリプラント、株式会社コスモ、株式会社タクマが共同実施した「食品廃棄物の高付加価値飼料化等再資源化システム技術の開発」研究成果[1)]の一部であり、この研究事業に研究協力者として参加し、実験、データ解析、及び報告書の作成等の業務を通じて得た研究成果を基に新たな考察を加えたものである。

第1節　メタン発酵処理を中心とした最適エネルギー・資源回収システムの検討

メタン発酵による食品残渣からのエネルギー回収では、食品残渣中の有機物が持つエネルギーをどれだけ利用可能なエネルギーとして回収できるか、すなわち食品残渣中の有機物が持つ炭素をどれだけメタンに転換できるかという炭素転換効率に注目しなければならない。同時に、消化液処理などを含むメタン発酵処理システム全体でのトータルとしての消費エネルギーの低減化も重要な課題である。

近年、生ごみ類の有効利用方法の一つとしてメタン発酵処理によるエネルギー回収が注目され、高負荷、高速運転が可能な高温メタン発酵処理への評価が高い。しかし、一般に高温メタン発酵では高い有機物負荷、短い滞留時間での運転が可能であるが、加温に要するエネルギー消費が大きいことや、消化液の水質が悪い、安定性が悪いなどといった点や、特にアンモニアの影響を受けやすいことなどが指摘されている。

李らは、鉄、ニッケル、コバルトの塩化物を添加した人工生ごみのメタン発酵処理において、滞留時間(ＨＲＴ)が5～30日、ＶＳ容積負荷2.95～17.6kg/m^3/日の条件で、高温と中温の処理性能を比較し、以下の結果を得ている[2)]。

(1)中温と高温のいずれの条件においても、ＨＲＴ5日で安定運転を実現できた。

(2)ＨＲＴが15日以上と十分長い場合、有機物の減量化と消化ガスの生成量において中温消化

と高温消化に顕著な差はない。

(3) ＨＲＴが 10 日以下では、高温消化による有機物分解率は中温のそれより 10%程度高い。

(4) 中温発酵ではいずれのＨＲＴでもＶＦＡ濃度は 180mg/Ｌと低いが、高温消化では 2000～4760 mg/Ｌの濃度である。これは高温消化での加水分解が速く、プロピオン酸と酢酸が残存しているためである。

(5) いずれのＨＲＴでも高温処理の消化液の遠心上澄み水のＢＯＤ、ＣＯＤは中温の数倍高い。一方、中温処理の消化液の遠心上澄み水のＢＯＤ、ＣＯＤは、ＨＲＴが長いほど低濃度となり、ＨＲＴ30 日の消化液の遠心上澄み水のＢＯＤ、ＣＯＤはＨＲＴ5 日の 1/2 程度である。

以上の結果は、高温メタン発酵処理では固形物の加水分解効率が高く、短いＨＲＴでの運転が可能であるが、その加水分解物が十分メタン化されずにかなりの部分が消化液中に残存することを示しており、一方中温処理は高温処理と比べて加水分解が遅いものの、加水分解物を低濃度までガス化できる利点を有していることを示している。

メタン発酵消化液の水質は、水処理への負荷を決定し、処理コストに大きく影響するので、中温メタン発酵の消化液のＢＯＤ、ＣＯＤが低濃度であることは優れた特性である。従って、中温処理において、加水分解効果を高めることができれば、加水分解物を低濃度までガス化できる=ガス化効率が高く、消化液の水質が良く、消費エネルギーが小さい中温処理の特性を生かすことが可能であると考えられる。

一方、生ごみのメタン発酵処理に対して、わが国では必ずしもエネルギー回収技術として積極的なイメージが持たれているわけではない。この要因の一つとして、特に夏期に生ごみが腐敗して悪臭を発生することによる悪いイメージや保存面での嫌悪感があるのではないかと考えられる。

メタン発酵処理によるバイオガスプラントが実用化されてから 100 年以上の歴史を持つが、この間メタン発酵処理の対象となった食品残渣、動物糞尿、下水汚泥等が病原菌を伝達する可能性について、特に消化液を肥料として用いる場合の問題として、多くの研究が進められてきた。その結果、メタン発酵後の消化液が病原菌を伝達する可能性は極めて小さいことが様々な研究によって確認されている[3]。

しかし、今後、都市域で生ごみのメタン発酵処理、すなわちバイオガス化を進めるためには、この腐敗、悪臭のイメージや嫌悪感を払拭し、安全、安心なエネルギー回収技術というイメージに転換することが不可欠である。

生ごみの腐敗や病原菌伝達に対する不安、不潔感を払拭し、中温メタン発酵処理の効率向上を実現する一つの方法として、前処理として生ごみの高温殺菌処理が有効であると考えられる。生ごみの高温殺菌処理＝加熱処理を行うことによって、バイオガスシステム全体の衛生面での安全性を高めるとともに、バイオガスシステム全体の効率向上が期待できる。

そこで、本研究では、高温処理と比較べて維持管理が容易で、消費エネルギーが小さく、消化液水質が良好で安定した処理が可能な中温メタン発酵処理の特長を活かしつつ、処理効率を向上させることを目的として、前処理に余熱を利用した食品残渣の加熱処理を加え、エネルギー消費を抑え汚泥滞留時間(SRT)を長くする槽構造を持つ間欠攪拌方式による中温メタン発酵処理システムを採用し、メタン収率及び炭素転換効率から中温メタン発酵処理の有効性を検討した。また、消化液の脱窒素処理実験においては、脱窒素用炭素源として廃食用油の利用の可能性を把握した。さらに、消化液の栄養塩類を利用したユーグレナ培養によるバイオマス生産実験を行い、その可能性を検討した。

本研究におけるメタン発酵・エネルギー・資源回収実験システムは、加熱前処理槽とメタン発酵槽、発生したメタンガスの精製・貯留設備からなる中温メタン発酵処理システムと、凝集処理

槽、生物学的硝化脱窒槽、生物ろ過槽等からなる消化液浄化システム、発生した汚泥の堆肥化設備及びユーグレナ培養装置からなる。一連のシステムのフローシートを図8-1に、主要設備の仕様を表8-1、8-2に示す。

表8-1　メタン発酵実験設備機器一覧表(1)

機器名称	数量	主要材料	仕様・容量	備　考
加熱前処理槽	1	SUS	容量：249L	70℃～120℃ 常圧～1.2MPa
投入ホッパ	1	SUS	容量：60L	
メタン発酵槽	1	SS/塗装	容量：1470L、保温施工	付属品 超音波レベル計 pH指示調節計及びセンサー
凝集槽	1	SUS	容量：125L	
分離槽	1	SS/塗装	充填材：モミガラ、川砂、砂利 充填量：650L 液容量：150L	
第1脱窒槽	1	PVC	容量：60L	
硝化槽	1	SS/塗装	容量：398L	
硝化カラム	1	PVC	充填材：木炭、カキガラ 充填量：74L	
第2脱窒槽	1	PVC	容量：60L	
再曝気槽	1	PVC	容量：60L	
沈殿槽	1	PVC	容量：38L	
生物ろ過槽	1	SS/塗装	充填材：木炭、カキガラ 充填量：158L 容量：170L	
貯留槽	1	PE	容量：20L	
ユーグレナ培養槽	1	アクリル製	72L×3槽	
CP溶解槽	1	PVC	容量：50L	
CP原液貯留槽	1	HDPE	容量：20L	
塩鉄貯槽	1	HDPE	容量：20L	
No.1 ガスセパレーター	1	PVC	圧力調節槽容量：29.4L ガスセパレータ容量：39.3L 充填材：トリカルパッキン 充填材容量：39.3L	
脱硫カラム	1	PVC	脱硫材容量：19.6L 活性炭容量：9.8L	
ガスホルダー	1		本体材料：PVC ホルダー材料：ハイパロン＋ ネオプレンゴム引布×t1.2mm	付属品 ガス流量計

表 8-1　メタン発酵実験設備機器一覧表(2)

機器名称	数量	主要材料	仕様・容量	備　考
No. 2 ガスセパレーター (圧力調圧と安全装置)	1	PVC	容量：29.4L	
投入ポンプ	1		55L／時～150L／時 (圧力 0.2MPa) 動力：0.4kW×200V×3P	インバータ制御
水中ミキサー	1		撹拌能力：1.3m³／分 動力：0.4kW×200V×3P	インバータ制御
凝集撹拌機	1		回転数：0～60rpm 動力：0.04kW×200V×2P	可変速型
移送ポンプ	1		15～145mL／分 (圧力 0.17MPa) 動力：0.025kW×100V×2P	
No. 1 脱窒ミキサー	1		回転数：60rpm 動力：0.025kW×200V×3P	
散水ポンプ	1		120L／時～1000L／時 (圧力 0.2MPa) 動力：0.4kW×200V×3P	インバータ制御
曝気ブロワー	1		80L／分 (圧力 0.022MPa) 動力：0.1kW×100V×2P	
循環ポンプ	2		26～145mL／時 (圧力 0.17MPa) 動力：0.025kW×100V×2P	
No. 2 脱窒ミキサー	1		回転数：60rpm 動力：0.025kW×200V×3P	
返送汚泥ポンプ	1		0.9L／時～4.3L／時 (圧力 0.17MPa) 動力：0.025kW×100V×2P	
移流ポンプ	1		15L／分～4.3L／時 (圧力 0.17MPa) 動力：0.025kW×100V×2	
送気用ブロワー	1		30L／分 (圧力 0.013MPa) 動力：0.022kW×100V×2P	
液温調節ヒーター	3	SUS	ヒーター容量：2kW	
照明カラム	3		植物育成用蛍光灯 20W×100V	
ＣＰ溶解撹拌機	1		回転数：240rpm 動力：0.04kW×200V×3P	
堆肥発酵槽	1	SS/塗装	容量：230L 動力：0.75kW×200V×3P	

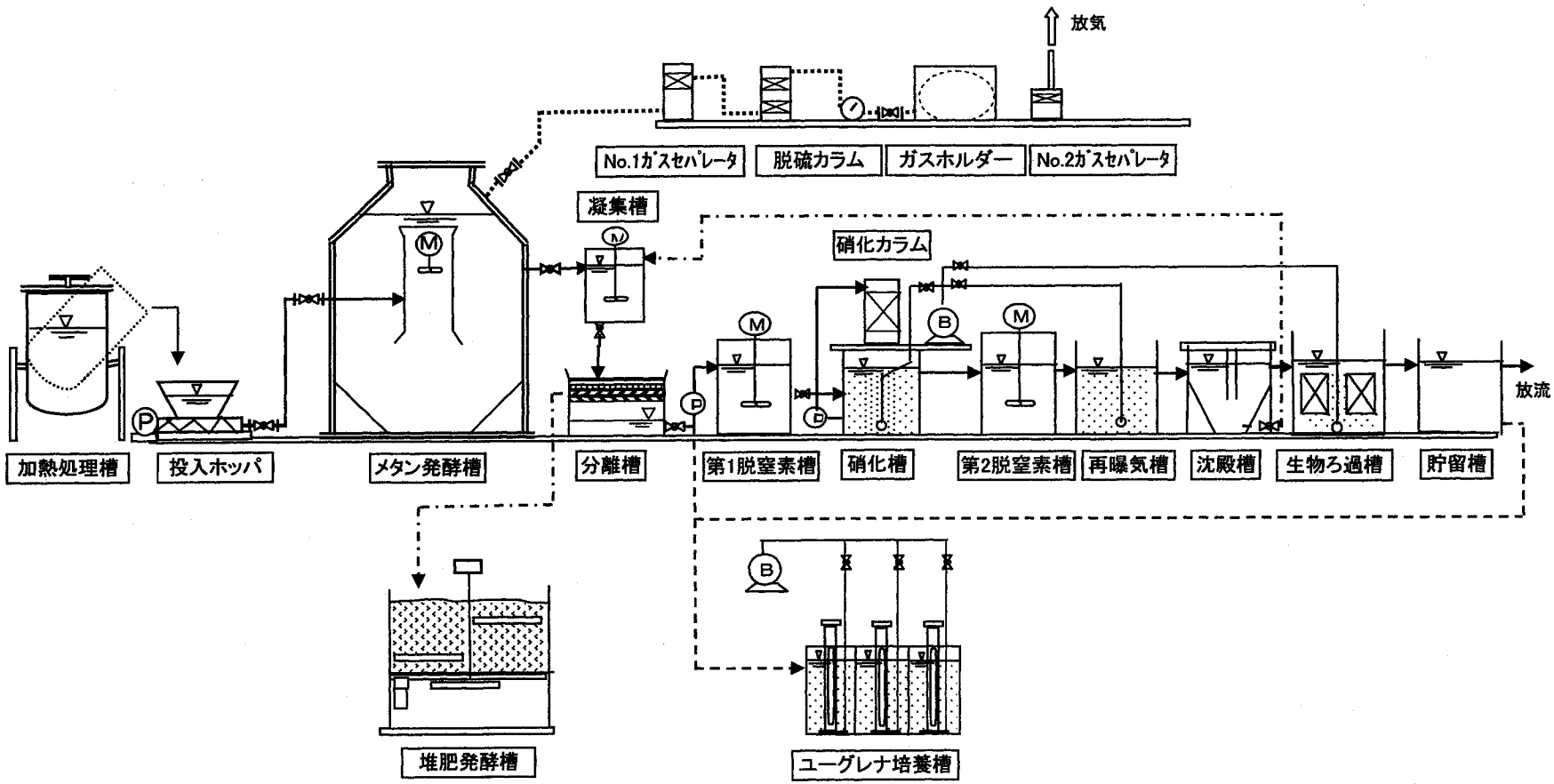


図 8-1　メタン発酵によるエネルギー回収とバイオマス生産実験システムフロー図

第2節　加熱前処理・中温メタン発酵処理システムによるエネルギー回収

食品残渣の加熱前処理と中温メタン発酵実験によって、中温メタン発酵の処理特性を把握し、加熱による前処理の効果を検討するとともに、メタン収率及び炭素転換効率から中温メタン発酵処理の有効性を評価した。

1)実験材料及び方法

加熱溶解処理条件を決定するための2つの予備実験と、加熱溶解処理した残飯と加熱溶解処理しない残飯を原水とする連続メタン発酵処理実験を行った。

①生ごみ(残飯)類の調整

予備実験では、市販の弁当を同量の水と混合、ブレンダーで破砕処理した。李らは、生ごみのメタン発酵に及ぼす投入濃度の影響を検討し、エネルギー回収効率の向上と処理の安定化を考慮した場合、高温発酵にとって適切な投入ＴＳ濃度は10%程度であることを報告している[4]。また、連続実験では、ポンプによって原水を安定的に投入できるＴＳ濃度は 10%以下であることから、レストランから回収した残飯をＴＳ濃度が 10%以下となるように水で希釈混合したものを原水とした。原水の性状を表8-2に示す。

表8-2　原水の性状

	予備実験	連続実験
ｐＨ		5.3
ＴＳ　(kg/m³)	185	88.1
ＶＳ　(kg/m³)	159	74.5
ＶＳ　(kg/m³)		65.1
ＣＯＤ　(kg/m³)		108.0
Ｔ－Ｎ　(kg/m³)		4.2
Ｔ－Ｐ　(kg/m³)		0.85

②実験方法

予備実験(1)では①無処理、②110℃・30分加熱処理、③110℃・60分加熱処理した原水を、透析膜（ultra PURE Dialysis tubing　3/4in：GIBCO BRL 社製）に10ｇずつ充填し、室温にて24時間蒸留水中に浸漬後、溶出重量を測定した。

予備実験(2)では①15℃1日静置、②80℃30分間、③100℃30分間、④120℃30分間　処理した原水100mlを、35℃に維持した発酵槽(容量：8Ｌ、有効容量：６Ｌ、連続攪拌)に投入し、ガス流量計で1日分のガス生成量を測定した。

連続実験装置のメタン発酵槽は、間欠攪拌方式と槽構造によって汚泥滞留時間(SRT)が水理学的滞留時間(HRT)より大きくなっている。メタン発酵槽（有効容量1.47m³）を35℃～36℃に維持して、原水を1日に50Ｌ、12回に分けて発酵槽に投入し、原水投入時、加温用ボイラー稼動時及び設定時間に間欠的に攪拌した。約1月馴養後、生成ガス量がほぼ一定になった時点から6日間連続で投入原水及び消化液の性状、生成ガス量及びガスの性状を測定した。食品残渣を 100℃で30分加熱処理した原水についても同様の操作を行った。

メタン発酵汚泥は、食品残渣を中温メタン発酵処理している実施設((有)関紀産業)の汚泥を負荷をかけずに35℃で1週間維持したのち実験に供した。

ｐＨ、化学的酸素要求量(以下、ＣＯＤ)、全蒸発残留物(ＴＳ)、強熱減量(ＶＳ)、浮遊物質(ＳＳ）の分析はＪＩＳ・K0102[5]に従った。生成ガス中の硫化水素（H_2S）濃度は北川式ガス検知管

(光明理化学工業(株)製)によって測定した。水分凝縮、脱硫後に北川式ガス検知管によって二酸化炭素（CO_2）濃度を測定し、残りをメタンガス（CH_4）濃度とした。原水の固形分中の炭素、水素は燃焼管法により、窒素はケルダール法によって分析した[6]。

実験によって求められたメタンガス収率を用いて、有効容量3,000m^3の中温メタン発酵槽において食品残渣を処理する場合の冬季のエネルギー収支を試算した。

2)実験結果及び考察

①加熱溶解処理条件と低分子化効果

予備実験(1)の結果を表8-3に示す。①無処理の場合と比べて②110℃・30分の加熱処理により溶出量が10.5%、③110℃・60分処理では11.2%増加した。実験に用いた透析膜は、分子量3～4万以下の低分子が通過するとされており、加熱処理により有機物が低分子化し、溶出量が増加したことを示している。反応時間30分と60分の加熱条件の違いによる溶出量の差はわずかに0.7%であり、反応時間を長くしても有機物の低分子化が大きく促進されることはないことが示唆された。

表8-3　加熱処理条件と透析チューブからの溶出量

加熱処理条件	溶出重量 (mg)	加熱処理なしに対する割合
加熱処理なし	119.9	1.00
110℃30分加熱処理	132.5	1.11
110℃60分加熱処理	133.3	1.11

②加熱処理条件とバッチ式メタン発酵処理における生成ガス量

TS容積負荷3.10kg-TS/m^3・日、VS容積負荷2.65kg-VS/m^3/日のバッチ式中温メタン発酵処理における加熱溶解処理条件ごとのガス生成量を表8-4に示す。投入有機物当たりの生成ガス量は加熱溶解処理によって12～22%増加し、③の100℃30分の処理が最大となった。100℃30分間の加熱溶解処理によって最大のガス生成量が得られるものの、加熱溶解処理に要する熱量を考慮すると100℃未満での処理が適当と考えられた。

表8-4　バッチ式メタン発酵実験における加熱処理条件と生成ガス量

加熱処理条件	生成ガス量 (ml /g-投入VS)	加熱処理なしに対する割合
加熱処理なし	730	1.00
80℃30分加熱処理	815	1.12
100℃30分加熱処理	890	1.22
120℃30分加熱処理	840	1.15

容積負荷：2.65kg-VS/m^3/日

③連続式メタン発酵処理における加熱溶解処理の効果

ＨＲＴ29.4日、VS容積負荷2.5kg-VS/m^3/日における連続処理実験結果を表8-5に示すが、加熱溶解処理をしない原水のＶＳ除去率は71%、ガス生成量は投入ＶＳ当たり0.69m^3/kg-VS、除去ＶＳ当たり0.97m^3/kg-VSであった。加熱処理した原水のＶＳ除去率は75%、ガス生成量は投入ＶＳ当たり0.82m^3/kg-VS、除去ＶＳ当たり1.09m^3/kg-VSであった。加熱溶解処理により、投入ＶＳ当たりのガス生成量が19%増加した。生成ガス組成のメタン含有率は平均68%で、加熱処

理による差はなかった。

加熱処理によってＶＳ除去率が高くなっていることから、中温メタン発酵処理で加水分解されない有機物が加熱処理によって低分子化され、メタン化されたと考えられた。

表 8-5　連続実験におけるメタン発酵処理状況

		加熱前処理あり	加熱前処理なし
滞留日数（日）		29.4	
容積負荷	kg-TS/m³/日	3.0	
	kg-VS/m³/日	2.53	
消化液 pH		7.8	7.8
TS 除去率(%)		62	62
VS 除去率(%)		75	71
SS 除去率(%)		67	66
ガス生成量	m³/日	3.08	2.56
	m³/kg-投入 VS	0.82	0.69
	m³/kg-除去 VS	1.09	0.97
生成ガスのメタン含有率(%)		68	68

④メタン収率と炭素転換効率

表 8-6 に示すように、本実験のレストラン残飯のメタン発酵処理における除去ＶＳ当たりのメタン収率は、加熱処理しない場合では 0.66 m³/kg-VS and であり、加熱処理した場合は 0.74 m³/kg-VS であった。一方、人工生ごみの高温高負荷メタン発酵処理では 0.51～0.604 m³/kg-VS と報告されている[7),8)]。原水の有機物中の炭素の構成比は 42.9%であった。炭素のメタンガスへの転換効率は、加熱処理をしない場合では 51%で、加熱処理によって 59%に増加した。一方、人工生ごみの高温高負荷メタン発酵処理では 43～48%であった。

表 8-6　本実験と高温メタン発酵処理における生成ガス量、メタン収率及び炭素転換効率

前処理条件		本研究		Ikbal ら[7)]			佐々木ら[8)]				
		加熱前処理あり	加熱前処理なし	人工生ごみ(+Ni^{2+}, Co^{2+}, Fe^{2+})							
発酵温度		中温		高温							
発酵槽の滞留日数(日)		29		24.6	16.4	12.3	30	15	10	7.5	5
容積負荷	(kg-TS/m³/日)	3.0		4	6	8	3.25	6.51	9.74	14.4	19.8
	(kg-VS/m³/日)	2.53		3.83	5.74	7.66	2.95	5.91	8.83	12.5	17.6
ガス生成量	(m³/kg-投入 VS)	0.82	0.69	0.84	0.87	0.84	0.77	0.77	0.74	0.67	0.76
	(m³/kg-除去 VS)	1.09	0.97				0.94	0.95	0.94	0.86	1.02
メタン収率	(m³/kg-投入 VS)	0.56	0.47	0.40	0.46	0.43	0.44	0.44	0.43	0.40	0.45
	(m³/kg-除去 VS)	0.74	0.66				0.54	0.55	0.55	0.51	0.60
炭素転換効率 (%)*		60	51	43	48	45	43	46	44	39	45

*炭素転換効率(%)=メタンガス中の炭素量／原水中炭素量×100

⑤ 生成ガスの性状と化学量論的検討

佐々木らは生ごみの高温メタン発酵処理実験において、次の化学量論式が、実験結果とほぼ一致することを報告した[8)]。

$$C_{17}H_{29}O_{10}N + 6.5H_2O \rightarrow 9.25CH_4 + 6.75CO_2 + NH4^+ + HCO_3^-$$

また、奥野らは生ごみと汚泥を混合処理する高温メタン発酵においてはガス生成量やメタン含有率が、次式によっておおよそ推定できることを報告した[9]。

$$C_nH_aO_bN_c + (n - 0.25a - 0.5b + 1.75c)H_2O \rightarrow (0.5n + 0.125a - 0.25b - 0.375c) \cdot CH_4 + (0.5n - 0.125a + 0.25b - 0.625c) \cdot CO_2 + cNH_4^+ + cHCO_3^-$$

本実験の連続メタン発酵処理の原水の平均元素組成は、C:42.9%, H:6.8%, O:30.2%, N:4.7%で、その近似分子式は$C_{11}H_{20}O_6N$であった。上記の実験式によって擬似分子式から計算した生成ガス量とメタン含有率を表8-7に示すが、生成ガス量及びメタンガス含有率の実測値は実験式による計算値より高かった。このように生成ガス中のメタン含有率が化学量論式による計算値より高くなった要因は、生成ガス中の二酸炭素の消化液への溶解や、溶解した炭酸の炭酸水素イオンへの解離によるものではない。なぜならば、メタン発酵によって生成するとされている炭酸水素イオン濃度が炭酸から解離する炭酸水素イオン濃度とほぼ等しく、二酸炭素の消化液への溶解量は生成ガス量のわずかに1%程度でしかないためである。

加熱処理が生成ガス組成のメタン含有率に影響しなかったことから、生成ガス量及びメタンガス含有率の実測値と理論値の違いは、報告されている高温高負荷メタン発酵と本実験での中温メタン発酵のメタン生成プロセスの違いにあると考えられた。すなわち、本実験のＨＲＴが十分に長く、ＳＲＴがＨＲＴより長くなる槽構造と間欠攪拌方式によってメタン発酵槽内の菌叢が異なっている可能性が示唆された[10]が、そのメカニズムは今後検討する必要がある。

加熱前処理による中温メタン発酵におけるガス生成量及びメタン含有率が、高温消化において一致したと報告されている擬似分子式と化学量論式による計算値より十分に高くなったことは加熱前処理による中温メタン発酵処理の有効性を示唆している。

表8-7 ガス生成量とメタン含有率の実測値と計算値

	本研究			佐々木ら[6]					
	実測値		計算値	実測値					計算値
前処理条件	加熱前処理あり	加熱前処理なし		人工生ごみ(+Ni^{2+}, Co^{2+}, Fe^{2+})					
擬似分子式	$C_{12}H_{21}O_7N$			$C_{17}H_{29}O_{10}N$					
容積負荷(kg-VS/m³/日)	2.53			2.95	5.91	8.83	12.5	17.6	
ガス生成量(m³/kg-除去VS)	1.09	0.97	0.85	0.94	0.95	0.94	0.86	1.02	0.88
生成ガスのメタン含有率(%)	68	68	61	57.4	57.5	58.3	59.0	59.1	57.8

6) エネルギー回収効率への加熱溶解処理の効果

冬季の中温メタン発酵処理における加熱処理ありとなしのケースでのエネルギー収支を試算した。有効容量3000m³のメタン発酵槽で、TS容積負荷3kg/m³/日で本実験と同じ攪拌方法で食品残渣をメタン発酵処理するとした。試算条件は、食品残渣の含水率を75%、ＶＳ／ＴＳ=0.85とし、メタン発酵槽に投入する原液はＴＳ濃度が9.0%になるよう希釈するものとした。食品残渣の比熱を4.184 kJ/kg・℃とし、直接蒸気による加熱処理における熱損失を投入熱量の50%とした。また、冬季の食品残渣及び希釈水の温度は8℃、冬季のメタン発酵槽の放熱量は槽内の汚水が持つ熱量の3%とした[11]。実験結果と同様に、加熱処理をしない場合のガス生成量を投入ＶＳ当たり0.69 m³/kg-VS、加熱処理をした場合のガス生成量を投入ＶＳ当たり0.82 m³/kg-VS、生成ガスのメタン含有率を68%、生成ガスの発熱量を24.3MJ/m³とした。ガス発電の電力生産効率を

35%、熱回収効率を45%と仮定している。以下の2つのケースについて試算した。

ケース(1):食品残渣を希釈した後、直接蒸気により加熱処理し、処理した原液が持つ熱量を槽の加温に利用する。

ケース(2):食品残渣を直接蒸気により加熱処理した後希釈し、原液が35℃になるまで可溶化処理した後、発酵槽に投入する。加熱処理された原水は、35℃で槽に投入される。

以上の試算結果を表8-8に示すが、加熱処理によって発電量が増加し、余熱利用可能量も加熱処理しない場合より大きくなることが把握できた。

表8-8　エネルギー収支の試算結果

項　目	加熱前処理あり		加熱前処理なし	備　考
	ケース(1)	ケース(2)		
メタン発酵槽有効容量(m^3)	3 000			
TS容積負荷 (kg-TS/m^3/日)	3.0 (2.55*1)			VS/TS = 0.85
TS投入量(kg-TS/日)	9 000 (7 650*2)			
原水条件				
食品残渣(t/日)	36			TS : 25%
希釈水(t/日)	64			
原水(t/日)	100			TS : 9%
原水の加熱前処理、及び加温に要する熱量の計算				
原水量(t/日)	100	36	100	食品残渣及び希釈水温度: 8℃
上昇温度(℃)	92	92	27	
熱損失(%)	50	50	20	食品残渣の比熱
必要熱量(MJ/日)	57 739	20 786	13 556	: 4.184kJ/kg/℃
発酵槽の熱損失と加温(35℃)に要する熱量の計算				
発酵槽の熱損失(MJ/日)	13 180	13 180	13 180	発酵槽液が持つ熱量の3%
加温に要する熱量(MJ/日)	0	13 180	13 180	
生成ガス熱量の計算				
投入VS当たりガス生成量(m^3/kg-VS)	0.82	0.82	0.69	実験結果
ガス生成量 (m^3/日)	6 273	6 273	5 279	メタン含有率: 68%
生成ガスの熱量(MJ/日)	152 434	152 434	128 280	ガス熱量: 24.3MJ/m^3
発電可能量の計算				
発電量(kWh/日)	14 820	14 820	12 470	生成ガス熱量の35%
熱回収可能量と余熱利用可能量の計算				
熱回収可能量(MJ/日)	68 595	68 595	57 726	生成ガス熱量の45%
必要熱量				
原水の加熱前処理、加温用熱量(MJ/日)	57 739	20 786	13 556	
発酵槽の加温に要する熱量(MJ/日)	0	13 180	13 180	
余熱利用可能量(MJ/日)	10 856	34 629	30 990	

*1 VS容積負荷(kg-VS/m^3/日)

*2 VS流入量(kg-VS/日)

第3節　中温メタン発酵処理におけるメタン収率と炭素転換効率の向上

第2節では、前処理として余熱を利用した食品残渣の加熱処理を加え、エネルギー消費を抑え汚泥滞留時間（ＳＲＴ）を長くする槽構造を持つ間欠攪拌方式による中温メタン発酵処理システムの有効性を把握した。実験結果から、メタン発酵処理における生成ガス量とメタン含有率、すなわちメタン収率は、生ごみの高温メタン発酵処理実験の結果によく一致すると報告されている擬似分子式と化学量論式によって計算される理論値より高く、本研究の中温メタン発酵が高温メタン発酵より有利である可能性が示唆された。また、生成ガス量及びメタンガス含有率の実測値と理論値の違いは、高温高負荷メタン発酵と本実験での中温メタン発酵のメタン生成プロセスの違いにあると考えられた。すなわち、槽構造と間欠攪拌方式によってＳＲＴが十分に長くなっている本実験のメタン発酵槽内の菌叢が高温高負荷メタン発酵と異なっている可能性が示唆された。

一方、養豚廃水の総合的なメタン発酵処理技術確立に向け、維持管理の容易さ、運転に要するエネルギーの低減、消化液処理への負荷の軽減などを念頭に、中温メタン発酵処理施設、消化液処理施設、堆肥化施設等を含む一連の養豚廃水処理施設がＳ養豚場に建設され、2000年6月の稼動より約4年が経過している。その運転において、生成ガス中のメタン含有率が高く、廃水に含まれる炭素のメタン転換効率が高い優れた特性を有することが明らかとなってきた。ここでは、第2節の食品残渣のメタン発酵処理実験から得られた知見にこの養豚廃水の中温メタン発酵処理特性の把握によって得られた知見を加え、中温メタン発酵処理におけるメタン収率と炭素転換効率向上の可能性について考察する。

1）養豚廃水処理施設の概要

Ｓ養豚場は、従来1万頭規模の養豚場として、糞尿分離方式により、尿汚水を活性汚泥処理し、分離糞を堆肥化処理する方式が採用されていた。しかし、豚舎の悪臭が強く、糞尿処理の管理の複雑さや非効率な点などから、平成12年に20,000頭規模の豚舎に建て替えされたことに伴い、糞尿混合型でメタン発酵処理法を中心とした廃水処理システムが採用された。その廃水処理システムの概要を図8-2に示す。排出された糞尿は、豚舎内の糞尿溜めに集められ、一定量になると密閉系により処理施設に移送され、原水槽に流入する。糞尿溜め、及び3日程度滞留する原水可溶化槽で廃水中の有機物が酸生成細菌によって加水分解され低分子化される。次に、搾汁処理によって粗大固形物が除去され、液分はメタン発酵槽（有効容量：3,100m3 ，中温）において処理され、搾汁残さは堆肥化処理されている。また消化液は凝集・脱窒・硝化・凝集沈殿・生物ろ過処理の工程で高度処理が行われ、発生する汚泥は搾汁残渣とともに堆肥化されている。一方、消化ガスは発電等により処理系内及び養豚場内で利用されており、省エネルギー・環境保全型の処理施設となっている。なお、このＳ養豚廃水処理施設は、平成12年6～8月試運転後、平成12(2000)年9月1日に本格運転が開始され、現在、約4年が経過している。

メタン発酵処理の性能に関連する本廃水処理システムの特徴の一つは、メタン発酵槽での分解効率を改善するために、流入廃水を可溶化処理した後、搾汁処理している点である。もう一つは、メタン発酵処理におけるエネルギー消費を抑え、消化液処理への負荷を軽減するために中温発酵法を採用し、槽構造及び原水投入と間欠攪拌をコントロールした運転によって汚泥の流出を抑え、汚泥滞留時間（ＳＲＴ）が水理学的滞留時間(HRT)より大きくなるようにしている点である。

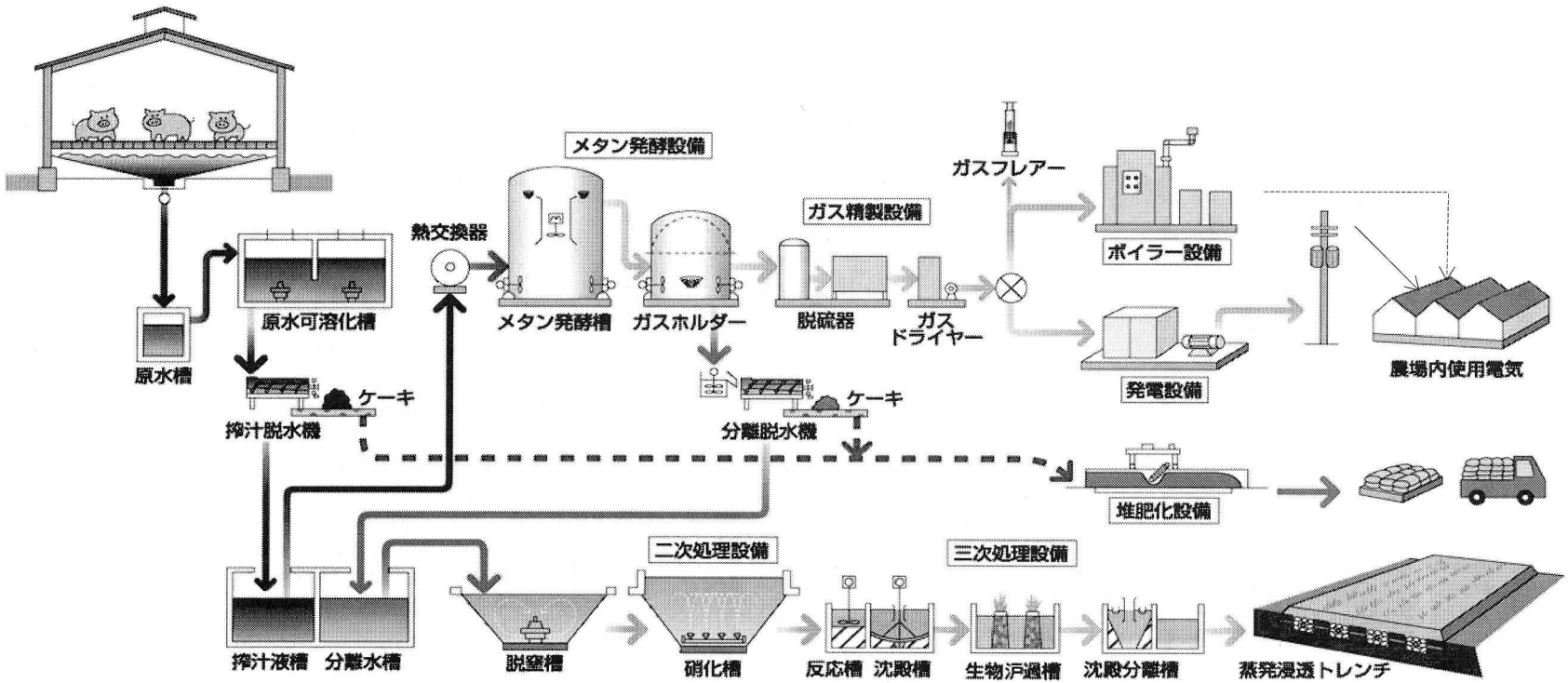


図 8-2　S養豚廃水処理施設の概要

2) メタン発酵処理に関連する処理状況

投入水は発酵槽流入部分で、消化液はガスホルダー下部の消化液貯槽から採取した。ｐＨ、二クロム酸カリウムによる化学的酸素要求量（以下、ＣＯＤ）、全蒸発残留物（ＴＳ）、強熱減量（ＶＴＳ）、Ｔ－Ｎ、NH4－Ｎ、Ｍ－アルカリ度、ＴＯＣ（ＴＣ、ＩＣ）の分析は下水試験方法に従った。Ｃ、Ｈ、ＮはＪＩＳ-M8819 に従い、ＣＨＮコーダーMT-700HCN（ヤナコ製）によって分析した。水分凝縮、脱硫、乾燥後の生成ガスの二酸化炭素（CO_2）濃度を北川式ガス検知管：光明理化学工業（株）製によって測定し、残りをメタンガス（CH_4）濃度とした。

①搾汁処理による水質変化

流入廃水は3日程度貯留する間に酸性発酵による低分子化、可溶化が進むが、この後、等ピッチのスクリュー脱水機によって廃水は搾汁処理される。この搾汁処理によりＴＳは30%程度、ＶＳは35%程度、Ｔ－Ｎは5%程度低下している。一方、ＢＯＤの除去率は10%程度、ＣＯＤ除去率は20%程度であることから、微生物分解しにくい固形物や有機物が搾汁処理によって除去されていると考えられる。

②メタン発酵処理状況

運転開始後から徐々に処理量が増加し、1年後のメタン発酵槽への月平均投入量は190m³/日、滞留日数（ＨＲＴ）16日で、生成ガス量が4,150m³/日、投入水1m³当たりの生成ガス量は21.8m³/m³/日で安定した処理が行われていた。生成ガス中のメタン濃度は72%であった。その後、給与飼料の変化により投入水中の窒素濃度が1000ppm程度上昇し、これに伴って消化液のpHは7.9から8.1に、Ｔ－Ｎ濃度が3900ppmから5500ppm程度に、アンモニア濃度が3,300ppmから4,600ppm程度に上昇した。この時期の生成ガス量は4,000 m³/日、投入水1m³当たりの生成ガス量は21.4 m³/m³/日で、ガス量は従来と同程度であったが、生成ガス中のメタン濃度が62%に低下した。

その後、原水性状に大きな変化はなく、図8-3に示したメタン発酵槽への月平均投入量と生成ガス量の推移に見られるように安定した処理状況が維持されている。

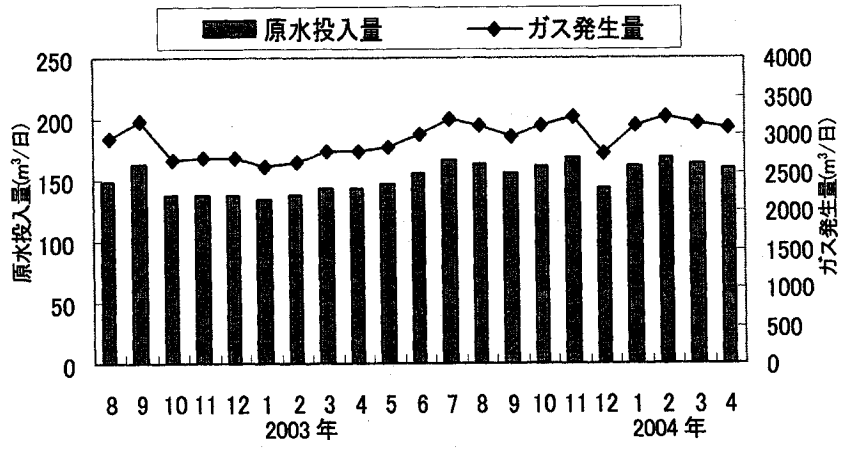


図8-3　処理水量とバイオガス発生量の推移（2002年8月～2004年4月）

稼動後約4年経過した2004年3月から4月にかけての1月間のメタン発酵槽への投入量と生成ガス量を図8-4に示す。1日当たりの投入量は111m³から198m³まで変動し、投入量の変動に従って1日当たりのガス発生量は2,140 m³から3,780 m³まで変動している。一方、投入量に対する生成ガス量の割合はほぼ一定となっている。このことは投入量の変動に関わらず投入水質及びメ

タン発酵処理が安定した状態にあることを示している。この期間の平均投入量は 160m³／日、平均生成ガス量は3,080 m³／日で、投入量当たりの平均生成ガス量は、19.3 m³／m³であった。

この調査期間の3週目に採取した投入水及び消化液の性状を表8-9に示す。この時、メタン発酵槽への投入水量167 m³/日、HRT19日の処理条件において、バイオガス発生量は1日当たり3,210 m³で、メタン含有率は76%であった。ＶＳ除去率は54%、ＣＯＤ除去率は51%、Ｔ-Ｃ除去率は56%であった。一方、ＴＯＣは、86%と高い除去率を示した。

小川らは、豚糞尿、牛糞尿、おからを混合したものを原水とした中温メタン発酵処理においてＶＴＳ、ＣＯＤ、ＴＣの除去率がほぼ同じであることから、高濃度有機性廃棄物のメタン発酵処理においてＶＴＳ、ＣＯＤ、Ｔ-Ｃを有機物指標として活用できることを報告した[10]が、本養豚廃水のメタン発酵処理においても同様の状況となっている。

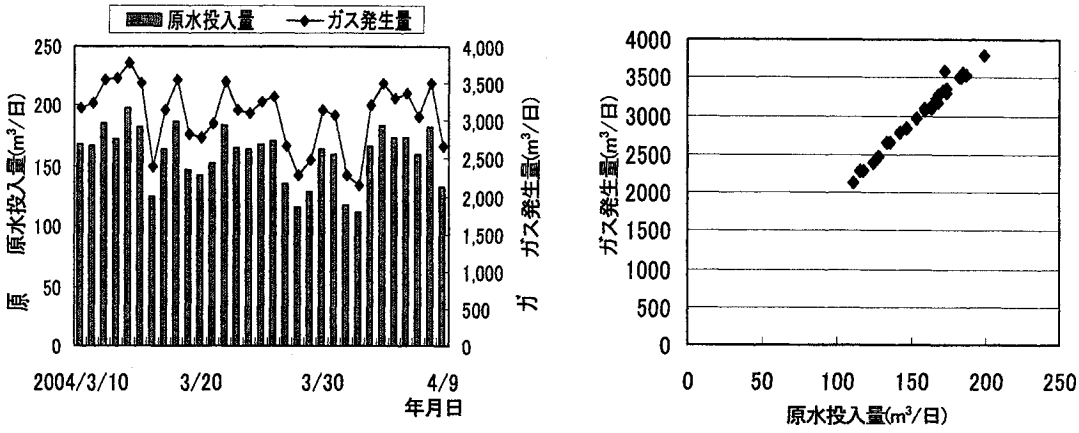


図8-4　処理量と生成ガス量の日変動（2004年3月10日～4月8日）

表8-9　メタン発酵処理状況

投入量		167m³/日		
滞留日数		19日		
ガス発生量		3,210 m³/日		
メタン含有率		76%		
		原水	処理水	除去率(%)
pH		6.7	7.8	
TS	%	4.45	2.63	41
VS	%	3.11	1.42	54
COD	mg／kg-wet	57,000	28,000	51
TOC	%wet	1.78	0.25	86
TC	%wet	1.87	0.82	56
IC	%wet	0.09	0.57	
T－N	mg/L	5,380	5,400	
NH_4^+－N	mg/L	3,240	3,910	
M－アルカリ度	mg-$CaCO_3$/L	9,300	15,000	
C	%/TS	38.95	29.79	
H	%/TS	5.5	4.06	
N	%/TS	3.74	3.41	

3) メタン収率と炭素転換効率

①Ｓ養豚廃水メタン発酵処理の特長

養豚廃水には生物分解し難い有機物が多く含まれているため、滞留日数 15～20 日の中温メタン発酵処理事例[11]では、ＶＳ分解率は 47～52%、ガス発生量は 495～579 m^3/t-投入 VS（平均 530 m^3/t-投入 VS）、メタン含有率は 65～66%（平均 65%）となっている（表 8-10）。これらとの比較において、Ｓ養豚場廃水のメタン発酵処理では投入原水の VS 濃度と VS 容積負荷が低いが、VS 除去率は 54%と他事例より高く、投入 VS 当たりバイオガス生成量も 620m^3/t と他事例の 1.07～1.25 倍高くなっている。このように VS 除去率が高く、投入 VS あたりの生成ガス量が高い状況は、搾汁処理によってメタン発酵処理で分解されにくい有機物が除去された効果であると考えられる。

一方、生成ガス中のメタン含有率は他事例が 65～66%であるのに対してＳ養豚場メタン発酵処理では 76%と高くなっており、投入ＶＳ当たりのメタン収率は 471m^3-CH_4／t-VS と他事例の 1.23～1.46 倍、除去 VS 当たりのメタン収率は 866 m^3-CH_4／t-VS と他事例の 1.18～1.30 倍高くなっている。このように、生成ガス中のメタン含有率が高く、メタン収率が高いことがＳ養豚廃水のメタン発酵処理の優れた特長である。

表 8-10　養豚廃水のメタン発酵処理事例

項　目		Ｓ養豚場	他の養豚廃水処理事例[12]より作成			
			A	B	C	D
発酵槽温度(℃)		35	36	36	35	35
滞留日数(日)		19	20	20	15.4	20
原水ＴＳ(%)		4.5	4.4	8.1	5.8	8.9
原水ＶＳ(%)		3.1	3.3	6.2	4.2	6.6
ＶＳ容積負荷(kg-VS/ m^3/日)		1.7	1.6	3.1	2.7	3.3
ＶＳ除去率（%）		54	49.8	47.9	52	47.4
ガス生成量	m^3/m^3-投入	19	17	31	25	34
	m^3/t-投入 VS	620	510	495	579	520
	m^3/t-除去 VS_r	1,140	1,024	1,033	1,113	1,097
発生ガスのメタン含有率（%）		76	65	65	65.9	65
メタン収率	m^3-CH_4/m^3-投入	14.4	10.9	20	16.1	22.4
	m^3-CH_4/t-投入 VS	471	332	322	382	338
	m^3-CH_4/t-除去 VS_r	866	666	672	734	713

②炭素収支と炭素転換効率

メタン発酵槽における炭素収支を表 8-11 に示す。投入原水中の炭素 3,123kg/日の 95%が有機炭素で、5%が無機炭素であった。メタン発酵処理によって投入水中の炭素の 55%がバイオガスになり、44%が消化液に残存していた。バイオガス中のメタン含有率が 76%と高いことで、投入水中の炭素の 42%がメタンに転換したことになる。養豚廃水にはメタン発酵処理によって分解し難い有機物が多いため、第 2 節で示した食品残渣の加熱前処理によるメタン発酵処理における原水中炭素のメタンへの転換率 60%と比べて低い状況となっているが、養豚廃水処理の他事例に比べると高いものと推察される。

一方、メタン発酵処理によって消化液中にはＩＣとして検出される炭素が増加し、消化液に含まれる炭素の 70%がＩＣであった。しかし、消化液に残存した炭素の割合は 44%で、これはＴＣ、ＶＳ、ＣＯＤの除去率と同程度である。また、消化液のＭアルカリ度は 15,000 mg-$CaCO_3$/Ｌ（0.15mol/Ｌ）であり、Ｍアルカリ度がすべて炭酸水素塩であるとするとHCO_3^-は 0.30 グラム

イオン/Lで、その炭素量は600kg/日である。これはＩＣの６割程度でしかないことから、ＩＣとして検出されているもののすべてが無機炭素ではなく、化学的酸化によって酸素を消費する有機物が含まれていると考えられた。

表8-11　メタン発酵槽における炭素収支

項　目	流入	ガス		流出	ガス＋流出	備　考
		CH_4	CO_2			
全炭素(kg/日)	3,123	1,307	413	1,369	3,089	流入水と流出水のTC、ICから算出
うち有機炭素(kg/日)	2,973			418		
無機炭素(kg/日)	150			951		
構成比(%)	100	41.9	13.2	43.8	98.9	
炭素(kg/日)	2,895	1,307	413	1,308	3,028	TS中の炭素量から算出
構成比(%)	100	45.2	14.2	45.2	104.6	

③発生ガスの性状と化学量論的検討

第２節で述べたように、佐々木らは生ごみの高温メタン発酵処理実験において、次の化学量論式によって推定したガス生成量やメタン含有率が、実測値とほぼ一致することを報告した[8]。また、有機物の理論酸素要求量1g当たりのメタン生成量は0.35L-CH_4/g-ThODであり、実測除去ＣＯＤ1g当たりのメタン生成量がよく一致すると報告している。

$$C_{17}H_{29}O_{10}N+6.5H_2O \rightarrow 9.25CH_4+6.75CO_2+NH_4^+ +HCO_3^-$$

また、奥野らは生ごみと汚泥を混合処理する高温メタン発酵において次の化学量論式によって推定したガス生成量は実測値の84～99%(実測値は推定値の119～101%)、メタン含有率は98～101%(同様に102～99%)、除去ＶＳ当たりのアルカリ度は70～100%(同様に142～100%)、NH_4-Nは90～120%(同様に111～83%)であり、化学量論式による推定値は、実験結果とほぼ一致すると報告している[9]。

$$C_nH_aO_bN_c+(n-0.25a-0.5b+1.75c)H_2O \rightarrow (0.5n+0.125a-0.25b-0.375c)\cdot CH_4 +(0.5n-0.125a+0.25b-0.625c)\cdot CO_2+cNH_4^+ +cHCO_3^-$$

Ｓ養豚廃水のメタン発酵投入水のＴＳ中の平均元素組成は、C:38.95%、H:5.50%、N:3.74%、O:21.61%であり、投入水に含まれるＴＳ中の有機物の擬似分子式は$C_{12}H_{20}O_5N$と推定できた。上記の式によって擬似分子式から推定した発生ガス量とメタン含有率、除去ＶＳ当たりのアルカリ度、除去ＶＳ当たりのNH_4－N、除去理論酸素消費量当たりのメタン生成量、及びそれぞれの実測値を表8-12に示す。

Ｓ養豚廃水のメタン発酵処理におけるガス生成量は擬似分子式からの推定値の111%で大差ないが、メタン含有率が、推定値64%に対して実測値は76%で、実測値は推定値の119%になっている。その結果、Ｓ養豚廃水のメタン発酵処理における除去ＶＳ当たりのメタン収率は、推定値605m^3-CH_4／t-VSに対して866 m^3-CH_4／t-VSと143%にまで高まっている。

また、除去ＶＳ当たりのNH_4－N生成量は推定値の74%、アルカリ度生成量は175%であり、実測値は推定値と大きく異なった状況となっている。一方、他事例の投入原水の擬似分子式は不明であるが、Ｓ養豚場と類似しているとすれば、これらの事例では上記の式によって推定したメタン含有率とほぼ一致した状態であろうと推察できる。

表 8-12　ガス生成に関する実測値と化学量論式からの推定値

	S養豚廃水	
	実測値	計算値
擬似分子式	$C_{12}H_{20}O_5N$	
ガス発生量(m³/t-除去 VS)	1,140	960
発生ガスのメタン含有率(%)	76	63
メタン収率(m³/t-除去 VS)	866	605
Mアルカリ度生成量(g-$CaCO_3$/g-除去 VS)	0.337	0.194
NH_4－N生成量(g-N/g-除去 VS)	0.040	0.053
除去COD当たりCH_4生成量 (m³/kg-除去 COD)	0.50	0.32

そこで、生成ガス中のメタン含有率が上記計算値より高くなっている理由として、消化液への二酸化炭素の溶存とイオン解離の可能性について検討した。

メタン含有率 76%、二酸化炭素含有率 24%の気体下では、水温 37℃の真水に 0.006mol/Lの二酸化炭素が溶存し、pH7.8 では[HCO_3^-]=0.163 グラムイオン/Lが解離することになる。

メタン発酵槽投入水は、pH6.7、Mアルカリ度は 9,300mg-CaCO3/Lで、消化液の pH7.8、Mアルカリ度は 15,000mg-CaCO3/Lであった。Mアルカリ度がすべて炭酸水素イオンだとすると、それぞれ 0.186 グラムイオン/L、0.30 グラムイオン/Lであり、これ以上の炭酸水素イオンが解離することはない。しかし、実際にはメタン発酵槽においてMアルカリ度が 5,700mg-CaCO3/L、炭酸水素イオンとすれば 0.114 グラムイオン/L増加している。一方、メタン発酵によって除去されたVS量は 16.9g/Lであり、これは擬似分子式の分子量に対して 0.066mol/Lで、上記化学量論式に従えば、このVSが分解されることによって生成した炭酸水素イオンは 0.066 グラムイオン/Lと推計できる。従って、増加したMアルカリ度からVSが分解されることによって生成した炭酸水素イオン 0.066 グラムイオン／Lを引いた 0.048mol／Lの炭酸水素イオンが消化液に溶存二酸化炭素からイオン解離している可能性がある。すなわち、消化液 1L中には二酸化炭素の溶存とそのイオン解離によって 0.054mol/Lの二酸化炭素が含まれている可能性があり、これは消化液 1m³中に 1.2m³、167m³/日の処理水量に対して 200 m³/日の二酸化炭素が溶存していることになる。これらが 3210m³/日の生成ガスに含まれるとすれば生成ガスのメタン含有率は 72%となる。一方、養豚廃水にはアンモニア性窒素が 3,000mg/L(0.214mol/L)～4,000mg/L(0.286mol/L)程度あり、さらにカルシウム、カリウム、マグネシウム、リンなどがそれぞれ 500～1800ppm 程度含まれており、これらが消化液の炭酸種の化学平衡に影響を及ぼしているものと推測できる。

また、2)で述べたように、給与飼料の変化により投入水質が変化し、消化液のアンモニア濃度と pH が上昇したにもかかわらず、生成ガス中の二酸化炭素濃度が上昇しメタン含有率が低下した状況がある。さらに、一旦低下したメタン含有率が 70%以上に回復するためには 1 年以上の運転期間が必要であった。もし二酸化炭素が消化液に溶存、イオン解離することによって生成ガス中のメタン含有率が高まっているのであれば、メタン含有率の上昇に要する時間はもっと短くなり、また他のメタン発酵処理施設においても同様の現象が生じるものと考えられる。

さらに、擬似分子式から求めた理論酸素要求量 1g 当たりのメタン生成量 0.32L-CH_4/g-ThOD に対して、除去COD当たりのメタン生成量実測値は 0.50L-CH_4/g-COD と大きく、除去VS当たりのNH_4^+－N生成量実測値は推定値の 74%でしかない状況がある。なお、メタン発酵槽投入水のVS当たりのCODは、1.833g-COD/g-VS に対して、擬似分子式から計算されるVS当たりの理論酸素要求量 1.884g-ThOD/g-VS と大差ないことから、除去COD当たりのメタン生成量が大きいことが、CODの測定方法に問題があるために生じたものではない。

以上を総合的に考察すれば、生成ガス中のメタン含有率が高いことが、生成ガスの二酸化炭素が消化液に溶存、イオン解離することなど化学反応によって生じた現象ではないと考えられる。

一方、第1節の残飯類からなる食品残渣の中温メタン発酵処理実験においても、生成ガス中のメタン含有率が、擬似分子式と上記の化学量論式によって計算した生成ガス中のメタン含有率より高い状況が出現し、それによってメタン収率と原水中の有機物がもつ炭素のメタンへの転換効率が高くなることを示した。この実験では、食品残渣を加熱処理して原水中の有機物を低分子化した後メタン発酵処理を行った場合と加熱処理をしない場合の生成ガス中のメタン含有率が同じであったことなどから、生成ガス中のメタン含有率が化学量論式による計算値より高くなった要因は、加水分解プロセスにあるのではなく、メタン生成の機序にあると考えられたが、S 養豚廃水のメタン発酵処理においても、メタン濃度を高めうるメタン生成の機序すなわちメタン濃度を高めうる菌叢が発現していると推察される。

4) メタン生成プロセスのメカニズムへの考察

メタン生成の直接の基質は、大部分が酢酸またはH_2+CO_2であり、廃水処理過程において生成されるメタンの70～80%は酢酸を直接の基質として生成されるものと考えられている。木田らは、酢酸ナトリウムと酢酸からなる合成培地を用いた完全混合型連続培養装置(1.7L、37℃)での実験おいて、希釈率(=日供給量／槽有効容量)を0.025から0.8まで変化させて、ガス生成量、TOC除去率等を測定し、Ni^{2+} とCo^{2+}を添加することによって、0.6日$^{-1}$の高い希釈率においても優れたTOC除去能とガス生成能を持ちうること等を報告した[10]。同時に、酢酸資化性メタン生成細菌及び水素資化性メタン生成細菌の両方によるメタン生成に関与するニッケル・テトラピロールである補酵素F_{430}とコバルトを含むコリノイド、及び水素資化性メタン生成菌によるH_2-CO_2からのメタン生成に関与する補酵素F_{420}の相対活性の変化を把握した。希釈率が0.1日$^{-1}$以上においてF_{430}とコリノイド濃度は一定であるが、希釈率が0.1日$^{-1}$以下に低下するとともにF_{430}とコリノイド濃度が低下、一方Ni^{2+}とCo^{2+}の添加の有無に関わらずF_{420}の相対活性が希釈率の低下とともに大きく増加し、残存する酢酸濃度が低下したこと、Ni^{2+}とCo^{2+}添加で0.12日$^{-1}$より高い希釈率における生成ガスのメタン濃度が62%で一定であったのに対し、0.025日$^{-1}$と0.05日$^{-1}$の低希釈率での生成ガス中のメタン濃度はNi^{2+}とCo^{2+}添加の有無に関わらず65-67%と相対的に高かったことを報告し、酢酸を経由したメタン生成には、酢酸資化性メタン生成細菌によってアセチルCoAからメチルCoMを経てメタンに還元される直接的な変換経路と、酢酸酸化性細菌と水素資化性メタン生成菌による栄養共生的変換で、酢酸が酢酸酸化性細菌によって分解され、その分解生成物である水素と二酸化炭素から水素資化性メタン生成菌によってメタンが生成される経路の2つの経路があり、高い希釈率で酢酸資化性メタン生成菌による酢酸塩からのメタン生成が支配的であり、低い希釈率においては酢酸酸化性細菌と水素資化性メタン生成菌による栄養共生的変換がかなりの割合を占めるかもしれないことが示唆されたと報告している[10]。

また、木田は、FISH(Fluorescent *in situ* Hybridization)法によって希釈率0.025日$^{-1}$と0.6日$^{-1}$での菌叢分布を観察し、両培養液から抽出したDNAのクローン解析を行って次のように報告している[13,14]。i)両条件ともアーキアに属する細胞が優先していたが、バクテリアに属する細胞が希釈率0.025日$^{-1}$で比較的多く観察された。ii)クローン解析によれば、希釈率0.025日$^{-1}$の培養液から得られたクローン(103個)の構成は、アーキア40.8%、バクテリアが59.2%であった。一方、希釈率0.6日$^{-1}$の培養液から得られたクローン(112個)の構成は、アーキア64.3%、バクテリアが35.7%であった。iii)培養条件によらず、アーキアでは酢酸資化性を示す*Methanosarcinaseae*科に分類されるクローンのみが観察され、バクテリアでは

Bacillus/Clostridium グループに分類されるクローンが優先していた。なかでも、酢酸を酸化分解する能力を持つものが報告されている *Clostridiaceae* に属するクローンが多く、希釈率 0.025 日$^{-1}$では全クローンの 18.4%を、希釈率 0.6 日$^{-1}$では全クローンの 10.7%を占めていた。なお、酢酸酸分解菌の平均世代時間は 20-40 日と報告されている。

一方、Schnurer らは酢酸酸化性バクテリアの培養において、約 1 ヶ月の培養後に小さなコロニーが出現したこと、酢酸酸化性細菌と水素資化性メタン生成菌が結合された時に酢酸塩の分解が始まり、メタンはその約 2 ヶ月後に作り出されたことを報告している[15]。

木田らの実験においてメタン濃度が高くなった希釈率 0.025 日$^{-1}$と 0.05 日$^{-1}$はＨＲＴ40 日と 20 日にあたる。Ｓ養豚廃水のメタン発酵処理における調査期間中のＨＲＴは 15～25 日、平均 19 日であるが、槽の構造と、原水の投入と間欠攪拌とが連動した運転方法などによって、メタン生成細菌類が発酵槽に長く滞留できる状況を意図的に作り出している。発酵槽ＳＳと消化液ＳＳから推定したＳＲＴは 40～50 日になっており、これによって、酢酸酸化性バクテリアが集積し、酢酸がアセチル－ＣｏＡからメチル－ＣｏＭを経てメタンに分解されるプロセスに加えて、酢酸酸化性バクテリアと水素資化性メタン生成菌の栄養共生的変換経路によるメタン生成が高い割合で発現し、生成ガス中のメタン濃度が高くなった可能性があると推察している。

メタン含有率を高めるメタン生成の化学量論的検討は現時点で不十分であるが、除去ＶＳ当たりのアルカリ度が化学量論式による推定値より大幅に大きいことなどから、Ｓ養豚廃水のメタン発酵処理においては、例えば $9CO_2+6H_2O \rightarrow CH_4+8HCO_3^-$ といった反応が一部に生じ、前述の化学量論式で示された以上の炭酸水素体や炭酸体が消化液中に排出されている可能性が考えられる。また、除去ＶＳ当たりのＮＨ４－Ｎ生成量が化学量論式による推定値より低いことから、窒素を含む有機物が生成されて消化液中に排出されている可能性が考えられる。例えばメタン生成細菌の培養終期に補酵素 F_{420} の部分構造物である FO(7,8-didemethyl-8-hydro-5-deazariboflavin)が培地中に蓄積する[16]ことが知られており、Ｓ養豚廃水のメタン発酵処理においてもこのような現象が生じている可能性が考えられる。しかし、現時点では以上の考察を裏付ける微生物学的な調査、研究が不十分であり、今後の課題である。

第 4 節　消化液の浄化処理

第 1 節の食品残渣を加熱前処理してメタン発酵処理した消化液を対象として、凝集処理、生物学的硝化脱窒素処理実験を行った。

1) 消化液の凝集処理実験

①実験方法

メタン発酵消化液を対象として、①カチオン系高分子凝集剤のみ、②カチオン系高分子凝集剤とポリ硫酸第二鉄の併用、による凝集処理実験を行い、ランニングコストの削減効果と処理水の性状確認を行った。

②実験結果

消化液の凝集処理において、高分子凝集剤のみの場合の添加量は 800ppm とＳＳ濃度の 3.7%必要であったが、ポリ硫酸第二鉄と高分子凝集剤を併用する場合はポリ硫酸第二鉄 2,000ppm 添加において高分子凝集剤は 450ppm（ＳＳ濃度の 2.1%）必要であった。この添加量での凝集処理水の性状を表 8-13 に示すが、高分子凝集剤単独よりポリ硫酸第二鉄と高分子凝集剤を併用する方が COD とＴ－Ｐの除去が良好であった。これはポリ硫酸第二鉄の Fe^{2+} イオンと PO_4^{2-} イオンとが凝集し

た結果と考えられる。一方、薬剤費はＣＰ高分子凝集剤(25%濃度、比重 1.19)：300 円／kg、ポリ硫酸第二鉄（比重：1.45）：50 円／kg とすると、高分子凝集剤単独では 1,142 円／m³、ポリ硫酸第二鉄と高分子凝集剤を併用した場合は 759 円／m³ となり、約 34%のコスト削減となった。

表 8-13　消化液の凝集処理状況

	メタン発酵消化液	凝集処理水			
		高分子凝集剤のみ		ポリ硫酸第二鉄＋高分子凝集剤	
	濃度（mg／L）	濃度（mg／L）	除去率（%）	濃度（mg／L）	除去率（%）
pH	7.79	7.94	—	7.05	—
EC	30.2	30.7	—	31.2	—
BOD	4,270	1,120	73.8	1,090	74.5
COD	7,850	1,590	79.7	1,130	85.6
SS	21,400	150	99.3	150	99.3
T-N	4,820	2,650	45.0	2,630	45.4
T-P	880	85	90.3	40	95.5
TS	33,900	12,800	62.2	12,600	62.8
VS	18,600	6,510	65.0	6,370	65.8

2)消化液の凝集処理水の生物学的硝化脱窒処理実験

ポリ硫酸第二鉄＋高分子凝集剤で処理した消化液の凝集処理水を、図 8-5 に示すフローで生物学的硝化・脱窒処理を行った。メタン発酵消化液及びその凝集処理水は、窒素過剰でＢＯＤ／Ｎが低く、生物学的硝化脱窒素処理しにくい性状になっている。生物学的硝化脱窒処理の効率化のために、一般にはメタノール等の脱窒用炭素源を添加するが、これがメタン発酵処理のコスト増に繋がっている。本実験では、このコスト削減のため、食品残渣の蒸洗処理プロセスから排出される油分や廃食用油を脱窒処理の炭素源として利用する方法を検討した。

①実験方法

実験では、実験においては、通水量 57.6Ｌ／日、硝化脱窒槽の循環比を 100%、返送汚泥率を

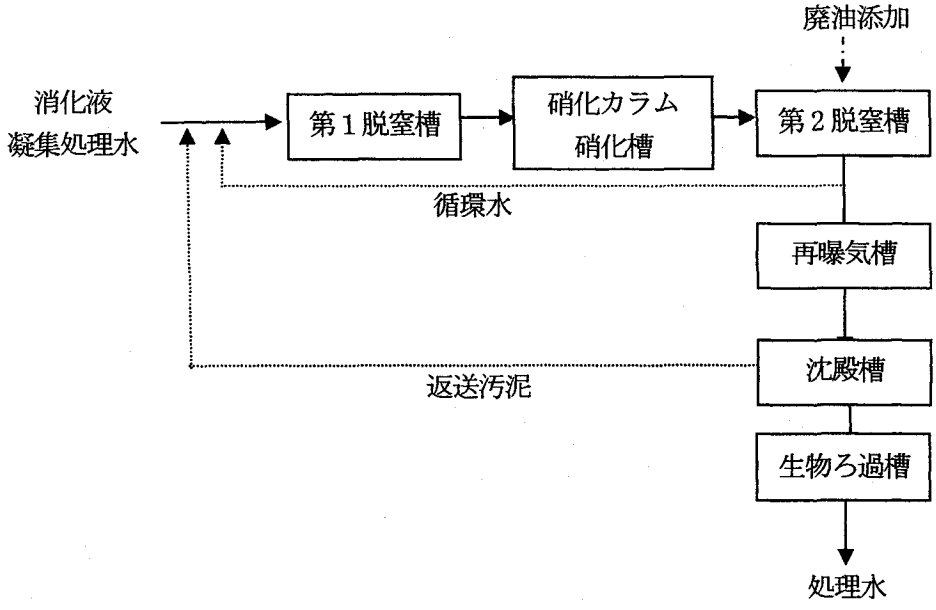


図 8-5　消化液凝集処理水の生物学的硝化脱窒素処理基礎実験フローシート

100%として、炭素源を無添加で硝化脱窒素処理をおこなった。続いて、生物学的硝化脱窒処理工程内の活性汚泥濃度を高めるために、ＢＯＤ／Ｎが20程度となるよう第2脱窒槽に廃油を添加した。その2つのケースでの処理水質を測定した。

②実験結果

通水量57.6Ｌ／日、硝化脱窒槽の循環比を100%、返送汚泥率を100%として、ＭＬＳＳ濃度を3,000ppmに維持した実験で、廃油無添加の場合の処理水質、及び廃油をＢＯＤ／Ｎ比が20程度になるように添加した場合の処理水質を表8-14に示す。廃油無添加においても、窒素が除去されているが、廃油添加では無添加に比べてＢＯＤ、ＣＯＤ、Ｔ－Ｎ、Ｔ－Ｐの除去能力が高くなり、特にＴ－Ｎの除去率が2.8倍となった。しかし、廃油の添加量が脱窒素に必要な量よりはるかに多いことから、この処理においてどの程度の窒素が脱窒素されたかが不明であった。ただ廃油が菌体の増殖のための炭素源として利用されたことは確認できた。一方、廃油無添加においてはＢＯＤ／Ｎ=0.4しかないにもかかわらず窒素が除去されていることから、消化液の凝集処理水に残存しているBODが脱窒素に利用された可能性があると考えられる。

メタン発酵から生物学的硝化脱窒処理に至る一連の処理システムにおいて、処理性能が安定するためには長期に亘る微生物の馴養期間が必要であり、実験期間はメタン発酵処理性能が安定した後硝化脱窒素処理性能が安定するには不十分であった。このため、本実験では廃油が微生物処理されて菌体の増殖に利用されることは確認できたが、メタン発酵消化液の凝集処理水の生物学的硝化脱窒処理における廃油添加量等の運転条件を確定するまでには至らなかった。

表8-14　廃食用油添加による生物学的硝化脱窒処理状況

	消化液凝集処理水	廃油無添加での処理状況		廃油添加での処理状況	
	濃度（mg／L）	濃度（mg／L）	除去率（%）	濃度（mg／L）	除去率（%）
ｐＨ	7.05	6.73	—	6.59	—
ＥＣ	31.2	10.8	—	11.7	—
ＢＯＤ	1,090	40	96.3	15	98.6
ＣＯＤ	1,130	150	86.7	82	92.7
ＳＳ	150	20	86.7	10	93.3
Ｔ-Ｎ	2,630	270	89.7	95	96.4
Ｔ-Ｐ	40	19	52.5	3	92.5

3)凝集処理汚泥の堆肥化実験

20Lの凝集汚泥に種堆肥100Lを添加し、含水率65%の状態から20日間発酵試験を行った。図8-6に示すように、開始から3日目までは温度50℃以上を維持、6日目から32℃程度となった。20日経過後の顕微鏡観察では放線菌が多く認められ、土壌臭のする堆肥となった。

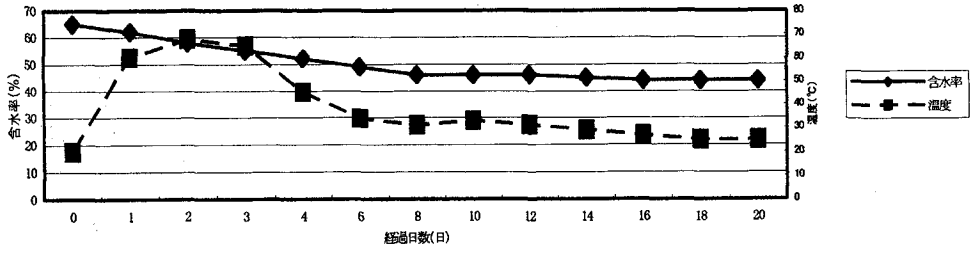


図8-6　堆肥化実験の経日変化

第5節　ユーグレナ培養による消化液を利用したバイオマス生産の可能性

メタン発酵処理において発生する消化液中の栄養塩類の利用方法として、液肥としての農地還元が最も望ましい方法である。しかし、多くは液肥の農地還元が困難な場合が予想されることから、液肥を利用してバイオマスを生産し、飼料利用する方法の可能性を検討した。

1)実験材料及び方法

①予備実験

メタン発酵消化液やその浄化処理水によるユーグレナの培養実績はなく、培養条件などが不明であったため、培養条件を求める予備実験を行った。予備実験は100ml の振とうフラスコに調整試料とユーグレナ原液を入れ、26℃±1℃に維持した電気定温器中で 40W の蛍光灯を光源としてユーグレナの沈殿が生じないように振とう器の回転数を調節して振盪培養し、2 日毎に目視による色相の変化と顕微鏡によるユーグレナの活動状況を観察した。

メタン発酵消化液は、ＴＳ、ＶＳ、ＳＳ濃度が高いため、凝集処理水及び硝化脱窒素処理水をさまざまに調製して培養実験をおこなった。

②連続培養実験

本実験装置は72Ｌの透明容器で、光源は20W の蛍光灯と太陽光の併用で、常時エアレーションする構造である。本実験では予備実験の結果を基に調整した試料50Ｌにユーグレナ原液10Ｌ添加して培養し、ＣＯＤとNH_4-N、ＳＳの変化によってユーグレナの増殖状況等を把握した。

2)実験結果及び考察

①予備実験結果

凝集処理水、凝集処理水をオートクレーブで滅菌した場合、凝集処理水をアンモニアストリッピングし pH を 6.5 に調整した場合、凝集処理水を活性炭処理して pH を 6.5 に調整した場合のいずれにおいてもユーグレナが死滅した。凝集処理水を 2 倍希釈した場合には培養直後から徐々に褐色に変化したが、凝集処理水を 4 倍以上に希釈しリン酸カリウムを 0.1%添加した場合にはユーグレナは活発に活動した。

4 倍希釈の凝集処理水にリン、マグネシウム、鉄等ミネラル分を添加し、ユーグレナ濃度を高めた原液と 1：1 で混合して振盪培養した予備実験において測定した水質の 15 日後の測定結果を表 8-15 に示す。消化液凝集処理水 4 倍希釈水だけで振盪培養したものは 10 日で 1.6 倍に増殖したのに対し、ミネラル添加を行ったものは、10 日で 2 倍に増殖した。消化液凝集処理水にミネラルの添加を行った試料が培養に効果的であることがわかった。

表 8-15　ユーグレナ培養予備実験③)の培養結果

試料 No.	実験条件	実験結果					
	凝集処理水の調整内容	培養開始			10 日目		
		COD	NH_4-N	SS	COD	NH_4-N	SS
1	4 倍希釈液を pH6.5 に調整	300	210	2000	240	160	3200
2	4 倍希釈液にリン酸カリウム 0.1%添加後 pH6.5 に調整	300	210	2000	185	100	4000
3	4 倍希釈液にリン酸カリウム 0.1%、硫酸マグネシウム 200ppm、硫酸第 1 鉄 200ppm 添加後 pH6.5 に調整	300	210	2000	175	110	4200

注：調整した試料とユーグレナ原液を 1：1 で混合して培養。

②本実験結果

消化液凝集処理水を 50 倍に希釈し本装置で培養した結果を表 8-16 と図 8-7 に示すが、消化液凝集処理水だけのものが 5 日で 1.4 倍に増殖したのに対し、ミネラル添加では 2 倍の増殖を示した。また、本装置における 5 日後の水質の性状変化では、消化液凝集処理水だけの培養での COD 及び NH_4-Nの除去率がそれぞれ 20%、49%であるが、ミネラル添加の場合は COD で 43%、NH_4-Nで 75%程度となり、さらに 15 日後には 100%近くを示した。

凝集処理水を 3 倍希釈し、同量のユーグレナ原液と混合して本装置で培養した実験 No. 4 では、培養開始後 6 日間ユーグレナは順調に増殖した。6 日目以降に停電により攪拌等が停止、培養を中止したものであり、6 日目までのユーグレナ増殖のデータは十分信頼できるものである。No. 4 では培養開始時NH_4-N濃度 408ppm、ＳＳ濃度 2,120ppm が 6 日間の培養によってNH_4-N濃度 171ppm に減少、ＳＳ濃度が 6,794ppm に増加した。

表 8-16　本装置でのユーグレナ培養実験結果

試料 No.	実験条件	実験結果					
	凝集処理水の調整内容	培養開始			5 日目		
		COD	NH_4-N	ＳＳ	COD	NH_4-N	ＳＳ
1	pH6.5 に調整したもの 1Ｌを 50Ｌに希釈	150	49	700	120	25	1000
2	リン酸カリウム 0.4%添加後 pH6.5 に調整、50 倍希釈	150	49	700	99	14	1350
3	リン酸カリウム 0.4%、硫酸マグネシウム 800ppm、硫酸第 1 鉄 800ppm 添加後 pH6.5 に調整、50 倍希釈	150	49	700	85	11	1450
4	リン酸カリウム 0.4%、硫酸マグネシウム 800ppm、硫酸第 1 鉄 800ppm 添加後 pH6.5 に調整、3 倍希釈	－	408	2120	－	171	6794

注：Ｎｏ.４は培養開始６日目の測定値

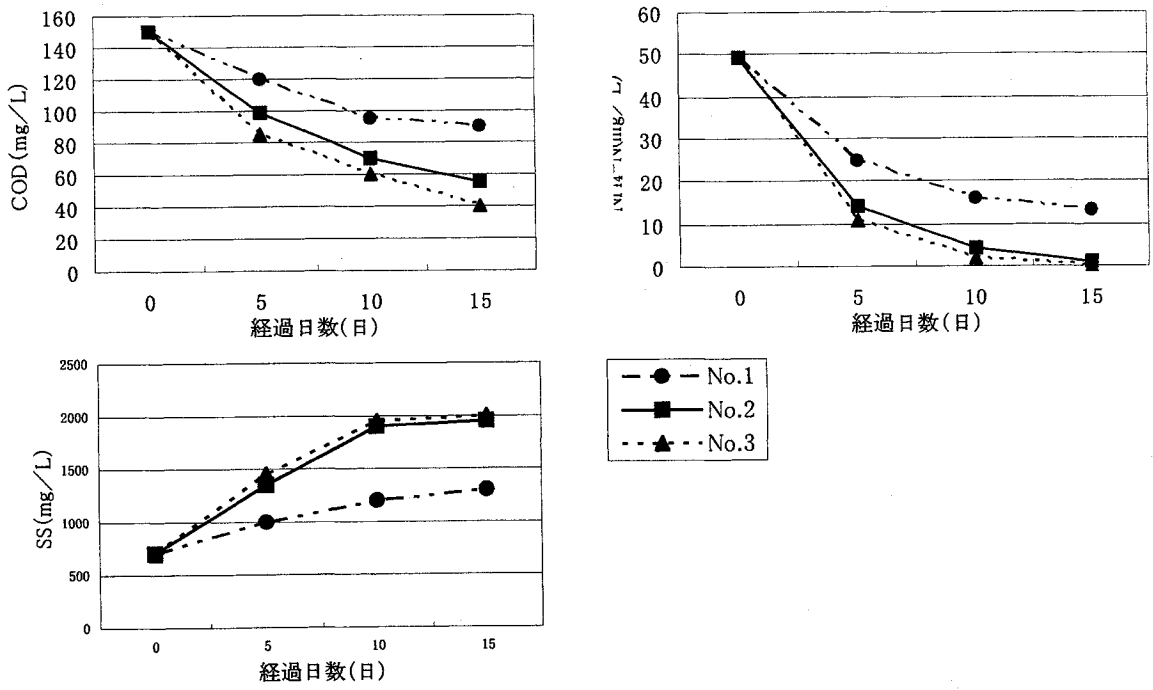


図 8-7　本実験装置によるユーグレナ培養の経日変化

4倍希釈の凝集処理水にミネラル分を添加し、ユーグレナ原液と1:1で混合して振盪培養した予備実験及び本装置実験の5日間の変化をまとめて表8-17に示す。予備実験、本装置実験ともNo.1とNo.2、No.3の窒素除去速度、比増殖速度及び収率には明らかな差があり、ミネラル分の添加が効果的であることを示している。また、予備実験と比べ本装置実験の窒素除去速度、比増殖速度及び収率が大きいことは人工光と人工光＋太陽光の光量の違いと考えられる。

本装置実験No.3とNo.4の培養開始時のユーグレナに対するNH_4-Nの負荷量は、0.07g-NH_4-N/g-SSと0.19g-NH_4-N/g-SSと3倍近い差があるが、ユーグレナの1日窒素除去量は0.007g-NH_4-N/g-SS・日と0.009g-NH_4-N/g-SS・日でその差は3割増程度であった。一方、負荷の大小によって収率＝単位窒素除去量当たりのユーグレナ増殖量には差がなく、19～20g-SS/g-Nであった。予備実験における状況を考慮すると、窒素負荷を0.19g-NH_4-N/g-SS以上にしてもユーグレナの増殖速度や窒素除去速度はあまり大きくならないと考えられる。

以上の実験結果から、メタン発酵消化液の凝集処理水によるユーグレナ培養においては、適切にミネラル分を添加するなど生育環境を整えることによって、NH_4-Nを指標とするユーグレナ・窒素負荷量0.2g-NH_4-N/g-SS程度で培養可能であり、収率20g-SS/g-NH_4-N程度のユーグレナ回収が可能であると推定できる。

表8-17　ユーグレナの水処理特性と増加特性

	経過日数	予備実験 No.1	予備実験 No.2	予備実験 No.3	本実験 No.1	本実験 No.2	本実験 No.3	本実験 No.4
COD (ppm)	0	300	300	300	150	150	150	
	5	245	210	199	120	99	85	
NH_4-N (ppm)	0	210	210	210	49	49	49	408
	5	170	130	120	25	14	11	171
SS (ppm)	0	2,000	2,000	2,000	700	700	700	2,120
	5	2,600	3,400	3,600	1,000	1,350	1,450	6,794
培養開始から5日目までの変化から算出した指標								
NH_4-N/SS負荷(g-N/g-SS)		0.11	0.11	0.11	0.07	0.07	0.07	0.19
NH_4-N除去速度(g-N/g-SS・日)		0.0034	0.0060	0.0064	0.0056	0.0068	0.007	0.009
比増殖速度 (g-SS/g-SS・日)		0.05	0.10	0.11	0.07	0.13	0.14	0.17
収率(g-SS/g-N)		14.29	16.95	17.19	12.5	19.12	19.72	19.32

3)メタン発酵消化液の利用方法への考察

メタン発酵では食品残渣の成分のうち炭素と水素だけが利用され、消化液には窒素、リン、その他のミネラル成分がすべて残存していることになる。この残存する成分を利用して、もう一度有機物を生産できれば望ましい循環であり、特に消化液の液肥利用では残存する有機物をも利用できることから、最適な循環利用である。

しかし、ユーグレナ培養実験では、生産物にとって不純物である消化液中に残存する有機物を除去する必要があり、消化液を凝集処理して培養に利用することになった。消化液の凝集処理によって消化液中のリンやミネラル分が除去され、ユーグレナを培養するために新たなリンやミネラルの添加が必要となり、窒素分のみを利用したことになった。

一方、凝集処理水での培養は、ユーグレナの増殖を阻害することが明らかとなった。凝集処理

水を4倍希釈すればユーグレナが増殖できたことから、その原因として、BOD、CODで250ppm以上の有機性汚濁物質が高濃度に存在する環境はユーグレナの生育環境として不適である可能性や、消化液や凝集処理水に増殖を阻害する物質が含まれている可能性などが考えられるが、今回の実験ではその原因を特定できなかった。

消化液中の窒素、リンやその他のミネラルを利用するためにユーグレナを培養するのであれば、凝集処理せずに直接、好気性微生物処理などによって消化液中の有機物を分解した後の処理水で培養するべきであり、メタン発酵消化液の好気性微生物処理特性の把握とユーグレナ培養の可能性の検討が今後の課題である。

一方、消化液中の窒素、リンやその他のミネラルを利用してユーグレナを培養できる場合には、ユーグレナの利用方法を確立する必要がある。生産したユーグレナを脱水処理しても含水率は75%程度と考えられ、これを飼料利用するためには食品残渣の飼料化と同じ課題が残る。すなわち、乾燥、サイレージ化等の処理加工が必要となる。

乾燥処理に要するエネルギーをメタン発酵によって回収できるエネルギーで賄うことは、メタン発酵のエネルギー回収効率を低下させることになる。消化液を利用してバイオマスを生産する場合は、乾燥を必要としないバイオマス(野菜、果実)を生産するか、生産したユーグレナ等のバイオマスをサイレージ化するなどの保存、利用方法の確立が不可欠であろう。

なお、食品残渣に含まれるリンはメタン発酵処理によってリン酸にまで分解されていると考えられ、これをリン酸マグネシウムアンモニウム(MAP)やヒドロキシアパタイト(HAP)として結晶化し回収できれば、飼料添加物として再利用できる可能性がある。消化液の硝化・脱窒素処理、及び発生汚泥の堆肥化と組み合わせることによって、環境負荷の低減と資源利用効率の向上を図る方策として検討することが今後の課題である。

第6節　メタン発酵・消化液処理・汚泥堆肥化システムの処理コスト

第2節6)で冬季の熱収支を検討したケース②のモデルプラントでの処理コストを試算する。

1)試算条件

処理システムは、加熱前処理、中温メタン発酵処理、消化液の凝集、硝化脱窒素処理及び汚泥の堆肥化処理からなる。第2節6)のケース②では、加熱処理条件を100℃・30分としているが、多量の食品残渣の内部温度を確実に上昇し100℃を30分間維持すること、メタン発酵槽への投入量のコントロール機能を持たせることを考慮して、90℃以上100℃未満で2時間維持できるように処理槽容量及び必要熱量を算出している。メタン発酵処理では、VS負荷 2.55kg-VS／m^3・日、HRT30日で、ガス発生量を0.81L／g-VS、発生ガスの熱量を24.3MJ／m^3としている。排水は下水道放流とし、施設からは発生する臭気、振動、騒音については法規に従うものとしている。メタン発酵・消化液処理・汚泥堆肥化施設の概略仕様を表8-19に示す。

表8-18　処理残渣量と処理残渣の理化学的性状

項　目	水　質	
処理量	食品残渣	36 t／日
TS	250,000 mg／L	
	9,000 kg-TS／日	
VS	212,500 mg／L	
	7,650 kg-VS／日	

表8-19　メタン発酵によるエネルギー回収システムの主要設備リスト

機器名称	主仕様	数量
受入槽	構造：鉄筋コンクリート 容量：200m³ 付属品：撹拌機・ポンプ・破砕機他	1式
加熱前処理槽	構造：SUS304 容量：4m³ 付属品：撹拌機・ポンプ他	
固液分離機	構造：スクリュープレス型、動力：2.2kW	1
中継槽	構造：鉄筋コンクリート 容量：50m³、付属品：撹拌機・ポンプ他	1式
メタン発酵槽	構造：グラスライニング鋼板＋外断熱 容量：3000m³ 付属品：撹拌機・熱交換器他	1式
ガスホルダー 消化液槽	構造：グラスライニング鋼板＋ハイパロンゴム 容量：ガスホルダー　800m³、消化液槽　300m³ 付属品：撹拌機・ポンプ他	1式
遠心分離脱水機	材質：SUS304、動力：22kW、 付属品：凝集槽・薬剤ユニット他	1式
第一脱窒素槽	構造：グラスライニング鋼板 容量：400m³ 付属品：撹拌機・ポンプ・薬剤ユニット他	1式
硝化槽	構造：グラスライニング鋼板 容量：800m³×2槽 付属品：曝気用ブロワ・ポンプ・薬剤ユニット他	1式
第二脱窒素槽	構造：グラスライニング鋼板 容量：400m³、付属品：撹拌機・ポンプ・薬剤ユニット他	
再曝気槽	構造：グラスライニング鋼板 容量：400m³ 付属品：曝気用ブロワ・ポンプ・薬剤ユニット他	
沈殿槽	構造：SUS304 容量：33m³、　付属品：ポンプ他	1式
生物ろ過槽	構造：SUS304 容量：200m³、　付属品：曝気装置・充填剤他	1式
放流沈殿槽	構造：SUS304 容量：20m³、　付属品：ポンプ・薬剤ユニット他	1式
ガス精製ユニット	形式：ミストセパレータ、乾式脱硫(吸着式)、ガスドライヤー 処理能力：250Nm³／時	1式
ガスブロワー	能力：160Nm³／時、動力：1.5kW	2式
フレアー(余剰ガス燃焼装置)	形式：自然通風式、能力：230Nm³／時 付属品：ガスバーナー他	1式
蒸気ボイラー	形式：貫流ボイラー、熱出力：1800MJ／時 燃料：バイオガス、プロパン切替え方式、 付属品：給水装置他	1式
発電機	形式：燃料電池、設備容量：350kW、発電効率：40% 付属品：廃熱回収ボイラー他	2式
堆肥化処理設備	処理能力：12t／日(WET　76.4%) 一次発酵処理方式：スクープ式発酵処理 二次発酵処理方式：堆積方式発酵処理 付属品：袋詰設備、脱臭設備	1式

2)試算結果

管理者1名、運転員2名とした人件費、用役費と減価償却費を加えた処理コストの試算結果を表8-21に示す。本システムによって食品廃棄物をメタン発酵処理する場合の食品廃棄物1kg当たりの処理単価は13円となった。

本システムでの発電可能量14,820kWh/日のうち、場内消費電力6,220kWh/日を除いた残り8,600kWh/日を売電するとした場合、売電価格を5円/kWhとすると、年間15,695,000円が収入になる。この収入を考慮した場合の食品廃棄物の処理単価は12円/kgとなった。この試算結果は、売電収入が処理費全体の1割程度にしかならないことを示している。

表8-20① 償却費

項　目	事業費（円）	償却年	償却率	償却費（円／年）
建築設備一式	654,060,000	22年	0.046	27,078,000
機械設備一式	981,770,000	10年	0.1	88,359,000
合　計	1,635,830,000			115,437,000

表8-20② 薬剤費

薬剤名	使用量 (kg／日)	単価 (円／kg)	料金 (円／日)	料金 (円／年)
CP高分子凝集剤	181	300	54,300	19,819,500
ポリ硫酸第二鉄	230	50	11,500	4,197,500
脱硫剤	41	250	10,250	3,741,250
硫酸（65%）	12	50	600	219,000
水酸化ナトリウム（24%）	6.5	35	228	83,038
次亜塩素酸ナトリウム	15	35	525	191,625
合　計				28,251,913

表8-20③ 上、下水道費

項　目	使用量 (m3／日)	単価 (円／m3)	料金 (円／日)	料金 (円／年)
上水道費	60	180	10,800	3,942,000
下水道費	90	200	18,000	6,570,000
合　計				10,512,000

表8-20④ 人件費

職　種	人　数	単価（円／年・人）	金　額（円／年・人）
管理者	1	8,000,000	8,000,000
運転員	2	4,500,000	9,000,000
合　計			17,000,000

表8-21 食品残渣1t当りの処理コスト

総処理費(円／年)	170,762,913	売電収入（円／年）	15,695,000
食品残渣処理量(t／年)	13,140	総処理費－売電収入(円／年)	155,067,913
処理単価(円／t)	12,996	売電を考慮した処理単価（円／t）	11,800

第6節　小括

異物分離が困難な食品残渣や飼料原料に適さない食品残渣を対象として、メタン発酵によるエネルギー回収と消化液中の窒素等栄養塩類の有効利用、消化液の処理方法等を検討した。

メタン発酵処理では、高温処理と比べて維持管理が容易で、消費エネルギーが小さく、消化液水質が良好で安定した処理が可能な中温メタン発酵処理の特長を活かしつつ、処理効率と衛生面での機能を向上させることを目的として、余熱を利用した食品残渣の加熱前処理を加え、汚泥滞留時間（ＳＲＴ）を長くする槽構造と間欠攪拌方式による中温メタン発酵処理システムを採用した。

食品残渣の加熱前処理は、ＶＳ除去率を高め、投入ＶＳ当たりのガス生成量を19%増加させたが、生成ガス中のメタン濃度には差がなかった。これらの結果から、中温メタン発酵処理で加水分解できない分子量の大きな有機物が加熱処理によって低分子化され、ガス生成量が増加したと考えられた。メタン収率は、加熱前処理によって十分に高められ、生ごみの高温メタン発酵処理実験の結果によく一致すると報告されている擬似分子式と化学量論式による計算値より十分に高かったことから、食品残渣の加熱前処理による中温メタン発酵処理は、メタン収率と炭素転換効率の面において、高温メタン発酵処理より効果的な処理方式である可能性が示唆された。

また、エネルギー収支の試算によって、加熱処理によって発電量と余熱利用量が増加することが明らかとなった。従って、加熱前処理による中温メタン発酵処理はエネルギー回収技術として優れた特性を持ち、さらに二酸化炭素の排出量低減化にも繋がることが確認できた。

一方、エネルギー消費を抑え、消化液処理への負荷を軽減するために中温発酵法を採用し、槽構造及び原水投入と間欠攪拌をコントロールした運転によって汚泥の流出を抑え、汚泥滞留時間（ＳＲＴ）が水理学的滞留時間（ＨＲＴ）より大きくなるように運転している養豚廃水の中温メタン発酵処理においては、生成ガスのメタン含有率が高まり、高温メタン発酵処理の結果とよく一致すると報告されている化学量論式によって推計したメタン収率の1.43倍、除去ＣＯＤ当たりのメタン生成量は1.56倍と高い状況が出現している。すなわち、食品残渣のメタン発酵処理においても、養豚廃水のメタン発酵処理においても、メタン生成細菌類が発酵槽に長く滞留できる中温メタン発酵処理では、生成ガス中のメタン含有率を高め、メタン収率及び原水中の炭素のメタンへの転換率を高めうることが示唆された。

消化液の凝集処理水の脱窒素処理実験においては、残存しているＢＯＤや廃食用油が脱窒素に利用できる可能性が示唆された。また、消化液の凝集処理によって発生する汚泥を堆肥化できることが実験によって確認できた。消化液中の栄養塩類の利用方法として、ユーグレナ生産による飼料利用を検討したが、生産物にとって不純物である消化液中の有機物を凝集処理によって除去したため、ユーグレナ培養に新たなリンやミネラルの添加が必要となった。メタン発酵消化液の好気性微生物処理特性とユーグレナ培養の可能性の検討が今後の課題である。なお、食品残渣に含まれるリンはメタン発酵処理によってリン酸にまで分解されていると考えられ、これをリン酸マグネシウムアンモニウム（ＭＡＰ）やヒドロキシアパタイト（ＨＡＰ）として結晶化し回収できれば、飼料添加物として再利用できる可能性がある。環境負荷の低減と資源利用効率の向上を図る方策としてリンの回収方法の検討が今後の課題である。

加熱前処理・中温メタン発酵、消化液の凝集、硝化脱窒素処理及び汚泥の堆肥化処理からなる一連のシステムの処理コストは食品廃棄物1kg当たり12円と試算された。これは廃棄物の処理コストとしては安価であるが、売電価格を5円/kWhとすると売電収入は処理費全体の1割程度にしかならないことが把握できた。

第8章　参考文献

1) ヤンマー農機株式会社、釧路技研株式会社、株式会社モリプラント、株式会社 コスモ、株式会社 タクマ：食品廃棄物の高付加価値飼料化等再資源化システム技術の開発，平成13年度食品リサイクル技術開発事業成果報告集，社団法人食品需給研究センター，pp. 135-189 (2002)

2) 李玉友，佐々木宏，鳥居久倫，奥野芳男，関広二，上垣内郁夫：生ごみの高濃度消化における中温と高温処理の比較，環境工学研究論文集，第36巻，pp. 413-421 (1999)

3) H. Schulz and B. Eder，浮田良則監訳：バイオガス実用化技術，オーム社，pp. 193-203 (2002)

4) 李玉友，佐々木宏，奥野芳男，関広二，上垣内郁夫：生ごみの高濃度メタン発酵に及ぼす投入濃度の影響，環境工学研究論文集 第35巻，pp. 29-39 (1998)

5) 日本規格協会編：ＪＩＳハンドブック，環境測定Ⅱ，pp. 439-442 (2003)

6) 環整第95号厚生省環境衛生局水道環境部環境整備課長通知によるごみ質の分析方法(1977)

7) Ikbal, Tang, Y., Shigematsu, T., Morimura, S., and Kida, K.：Methanogenic activity and repression of hydrogen sulfide evolved during high rate thermophilic methane fermentation of municipal solid waste, *Japanese J. Wat. Treat. Biol.*, 39(1), 17-24 (2003)

8) 佐々木宏，李玉友，関広二，上垣内郁夫：生ごみの高温・高濃度メタン発酵に及ぼす滞留時間と負荷の影響，水環境学会誌，Vol. 22, No. 12, pp. 983-989 (1999)

9) 奥野芳男，李 玉友，佐々木宏，関 廣二，上垣内 郁夫：汚泥と生ごみを混合処理する高温高濃度メタン発酵における汚泥比率の影響，廃棄物学会論文誌，Vol. 14, No. 1, pp. 27-35, (2003)

10) Kida, K., Shigematsu, T., Kijima, J., Numaguchi, M., Mochinaga, Y., Abe, N., Morimura, S., :Influence of Ni^{2+} and Co^{2+} on Methanogenic Activity and the Amounts of Coenzyme Involved in Methanogenesis, *J. Biosci. Bioeng.*, 91, pp. 590-595 (2001)

11) 小川 幸正、藤田 正憲，中川 悦光，ふん尿・食品残渣のメタン発酵施設における運転データの解析，廃棄物学会論文誌，Vol. 14, No. 5, pp258-267 (2003)

12) (財)畜産環境整備機構，家畜排せつ物を中心としたメタン発酵処理施設に関する手引き，pp20, pp. 37 (2001)

13) 坂志朗編著：バイオマス・エネルギー・環境，アイピーシー，pp366-368

14) 木田建次：メタン発酵の代謝経路とその変換、環境管理，35，539-546 (1999)

15) Schnurer A., Schink B., Svensson B. H.,：*Clostridium ultunense* sp. nov., a Mesophilic Bacterium Oxidizing Acetate in Syntrophic Association with a Hydrogenotrophic Methanogenic Bacterium. Int. J. Syst. Bacteriol., 46, pp. 1145-1152 (1996)

16) 上木勝司，永井史郎編著：嫌気微生物学，養賢堂，pp. 121-124 (1993)

望ましい食品資源循環システムを構成する
再生利用システム実現における課題

第 9 章　食品資源循環事業モデル

第 10 章　食品廃棄物から食品循環資源への転換のために

第9章　食品資源循環事業モデル

本章では、第4章から第8章で検討した、すし残渣やおから等高蛋白質の食品残渣を乾燥し、副資材を混合して養魚用ペレット飼料を製造するシステム、食品小売業、卸売市場等から排出される野菜・果実屑を高速嫌気発酵・飼料化するシステム、野菜・果実屑以外の惣菜類の売れ残り、調理屑や、レストラン・給食産業等から排出される残飯類を脱油・乾燥して飼料化する蒸洗クッカー・乾燥飼料化システム、及び異物混入が避けられない食品残渣や生ごみを対象とするメタン発酵によるエネルギー・資源回収システムを有機的に結合し、多様な食品残渣の排出特性に応じて資源利用効率を高めた食品資源循環事業モデルを具体的に提案し、その事業採算性を把握することによって望ましい食品資源循環事業実現に向けての課題を考察している。

第1節　大阪府内で発生する飼料化可能な食品残渣量の推計

第1章では、大阪府内では1日に3,400トンの食品残渣が発生し、そのうちの3,200トン/日が一般廃棄物して焼却処理されていると推計した(表9-1)。

表9-1　大阪府内の食品残渣発生処理状況の推計結果

		発生量	回収量	焼却処理量
家庭系		1,620	-	1,620
事業系	廃食用油	60	40	20
	魚あら	360	140	220
	その他の残渣	1,360	20	1,340
	小計	1,780	200	1,580
合　計		3,400	200	3,200

注：製造業から発生する食品残渣を除く。

本章では、一般廃棄物として焼却処理されている食品残渣3,200トン/日のうち、既存の再生利用ルートが存在する魚あらや廃食用油は既存ルートでの回収をさらに拡大するものとして、その他の食品残渣のうち再生利用されずに焼却処理されている1,340トン/日と、家庭系一般廃棄物として処理されている1,620トン/日を対象として循環再資源化システムを検討する。

4～8章において検討してきた食品残渣の飼料化、メタン発酵によるエネルギー回収技術によって再生利用できる量を以下の方法によって推計する。なお、平成11年度時点で養豚農家によって回収されている食品残渣は、すべてレストラン残飯と仮定している。

・2章に示したスーパーマーケットの食品残渣の発生状況を基に、総合スーパー、食料品スーパー、百貨店から発生するその他の食品残渣のうち、70%を野菜・果実屑とし、30%を惣菜、残飯類と推定した。また、野菜・果実屑の75%を牛の飼料に適したものとした。惣菜、残飯類のうち、70%を豚鶏用飼料原料に適したものとし、いずれの飼料原料にも適さないものをメタン発酵によるエネルギー・資源回収処理の対象とした。

・青果卸売業から発生する野菜・果実屑の75%を牛の飼料に適したものとし、残りをメタン発酵によるエネルギー・資源回収処理の対象とした。

・すし店から発生する食品残渣のうち、府下の回転すしチェーン店から排出される残渣の合計5t／日を養魚用飼料の原料に適したものとした。残りの70%を豚鶏用飼料原料に適したものとし、

いずれの飼料原料にも適さないものをメタン発酵処理によるエネルギー・資源回収処理の対象とした。

・ホテルから発生する残飯類は、質と量の変動が大きいなどから、メタン発酵処理によるエネルギー・資源回収処理の対象とした。

・以上の業種以外の病院、レストラン等から発生する残飯類のうち70%を豚鶏用飼料原料に適したものとし、残りをメタン発酵によるエネルギー・資源回収処理の対象とした。

以上の条件を適用して推計した内訳を表 9-2 に示す。ここで、牛用飼料に適したものが、222トン/日、養魚用飼料に適したものが5トン/日、鶏・豚用飼料に適したものが697トン/日となり、メタン発酵処理対象が416トン/日となった。なお、家庭系一般廃棄物である1620トン/日を加えると、メタン発酵処理対象量は2,036トン/日となる。

表 9-2　大阪府内で新たな食品資源循環事業の対象となる食品残渣

	その他の残渣	発生量内訳		用途別内訳			
		野菜・果実屑	惣菜・残飯類	牛用飼料	養魚飼料	豚鶏用飼料	メタン発酵
総合スーパー	50	35	15	26	0	11	13
食料品スーパー	249	174	75	131	0	53	65
百貨店	9	6	3	5	0	2	2
料理品小売業	250	0	250	0	0	175	75
レストラン等	620	0	620	0	5	422	193
病院	33	0	33	0	0	0	33
ホテル	49	0	49	0	0	34	15
青果卸売業	80	80	0	60	0	0	20
合　計	1,340	295	1,045	222	5	697	416

第2節　食品資源循環センター構想

大阪府下において一般廃棄物として焼却処理されている食品廃棄物を対象とする食品資源循環事業を遂行するためのセンター構想を検討した。

1) 食品資源循環センターの概要

回収される食品残渣の良好な分別状況を前提として、食品資源循環センターの処理加工システムを以下のように設定した。

①すし残渣、おから等高蛋白質な食品残渣を回収して乾燥し、これにフィッシュミール等の副資材を混合し、ペレット飼料を製造する(第5章参照)。

②牛の飼料に適した野菜・果実屑に、牛に必要な栄養成分をすべて配合するように副資材を添加し、高速嫌気発酵・飼料(TMR)化する(第6章参照)。

③売れ残り、残飯類を蒸洗クッカー・乾燥システムによって脱油・乾燥処理し、豚・鶏の飼料を製造する(第7章参照)。

④以上の飼料化システムに燃料や熱エネルギー、及び電力を供給できるメタン発酵・消化液処理・汚泥堆肥化システムとする(第8章参照)。

提案する食品資源循環センターの最適システム全体の処理フローを図9-1に示すが、本センターでは、食品残渣及び食品廃棄物を1日に300ｔ程度を処理・加工する施設と設定した。

蒸洗クッカー・乾燥システムは、1系列での安定処理量が2ｔ/ｈの規模であることから、食品資源循環センターでは、24時間稼動で食品残渣48ｔ/日を乾燥飼料化する規模とする。これは府下の売れ残り、残飯類の発生量の7%に相当する。

府下の牛の飼料に適した野菜・果実屑の発生量の7%である野菜・果実屑15ｔ/日に副資材36ｔ/日を加えて高速嫌気発酵処理し、TMR(Total Mixed Ration:必要な栄養成分がすべて配合されている飼料)51ｔ/日を生産するものとする。さらに、すし残渣、おから等を日量5トン程度回収して乾燥し、これにフィッシュミール等の副資材を混合し、ペレット飼料を6t/日製造する。

メタン発酵処理施設では、蒸洗クッカー乾燥処理から発生する廃液35m3/日及び異物混入が避けられない食品残渣や生ごみ230ｔ/日(含水率75%)を発酵処理し、850GJ/日の熱量を持つメタンガスを産出し、センター内で消費する電力47MWh/日と、冬季にセンター内で消費するガス及び熱エネルギーの合計550GJ/日を供給する。またその消化液の消化・脱窒素、凝集処理によって発生する汚泥を堆肥化し、13ｔ/日の堆肥を製造することになる。

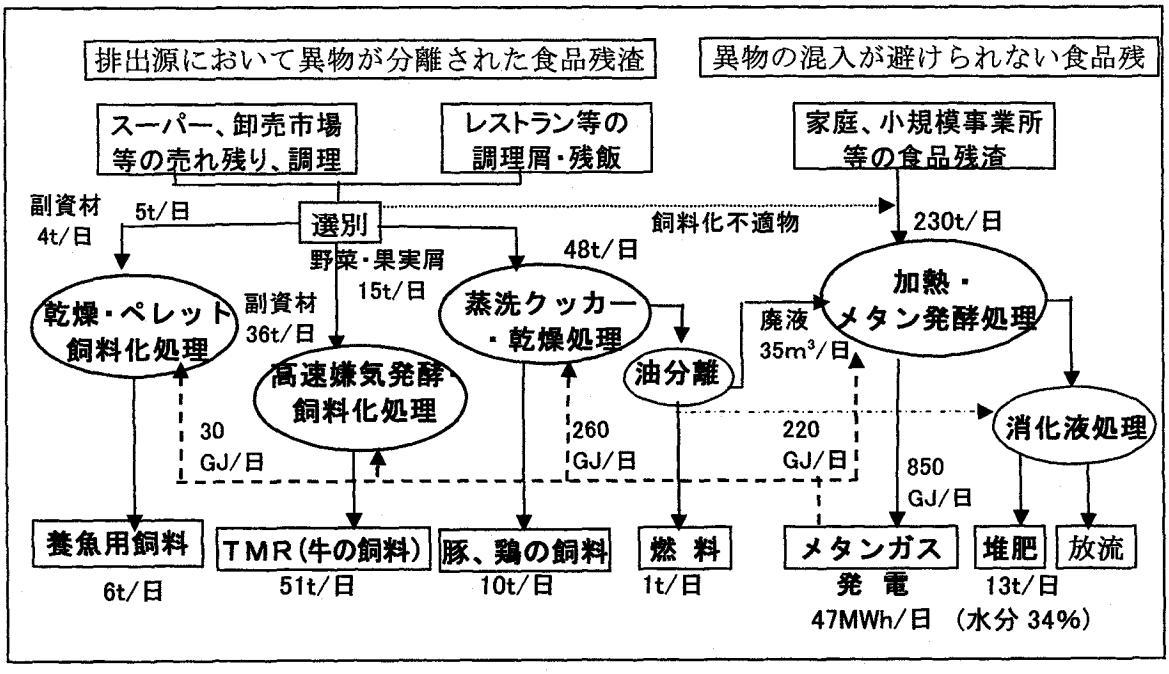


図9-1　食品資源循環センターシステムフロー図

2)食品資源循環センターを構成する個々のシステムの概要

①マダイ用飼料化システム

すし残渣、おから等を日量5トン回収して乾燥し、これにフィッシュミール等の副資材を混合してペレット飼料を6t/日製造する場合の主要設備の機器仕様を表9-3に示す。

マダイ用飼料化システムにおいて必要な電力量は、1日あたり890kWhであり、乾燥に必要な熱エネルギーは1日あたり30GJであった

表 9-3　マダイ用飼料化システム機器リスト

機器名称	数量	仕様、容量、動力
解砕機付き気流乾燥機	3	第 4 章、表 4-8 に示す。
攪拌混合機	1	最大攪拌混合容量：2m³, 材質：SS400 回転数：8RPM, 動力：5.5kW×60hz×200V
ペレッター	1	ホッパー及びフィーダ供給 2 軸圧縮方式 成形能力：1.5 t／時 動力：供給モータ, 0.75kW×60hz×200V 駆動モータ, 15kW×60hz×200V
平板型ペレット乾燥機	3	

②高速嫌気発酵飼料化システム

食品資源循環センターでは牛の飼料に適した野菜・果実屑 15 t/日に副資材 36 t/日を加えて高速嫌気発酵・飼料化し、TMR製品 51 t/日を製造することとした。なお、牛 1 頭は、1 日に乾燥重量で約 28 k g のエサを食べるので、これをTMRにおきかえると 1 頭あたり 1 日に約 45 k g 食べることになる。大阪府下の牛の飼養頭数は 3000 頭程度であり、すべてをTMRで賄うと日量 135 トン必要となることから、TMR製品 51 t/日は十分府下で消費できると考えられる。

食品資源循環センターの高速嫌気発酵・飼料化システムを構成する各機器類の仕様を表 9-4 に示す。この飼料化システムにおいて必要な電力量は、1 日あたり 483kWh であった。

表 9-4　高速嫌気発酵・飼料化システム機器リスト

機器名称	数量	仕様、容量、動力
攪拌混合装置	15	横型 10m³機、所要動力 200V/ 15kW
搬送ベルトコンベアー	15	投入用：200V/1.0kW　400mm　45m/分 移送用：200V/1.5kW　500mm　53m/分
パッキング装置	15	送風機：200V/400W　346rpm　20m³/分
吸引装置	15	バキュームクリーナー：200V/1.0kW　2.4m³/分 タンク容量 50L
窒素発生装置	15	200V/0.75kW　発生量 1.3m³/時、 ガス圧 0.6MPa
保温装置付き倉庫	1	灯油ヒーター付き、500m²

③蒸洗クッカー・乾燥飼料化システム

24 時間稼動で食品残渣 48 t/日を蒸洗クッカー乾燥処理し、脱油乾燥飼料 10 t/日を製造、1 t/日の油を回収するシステムとしたが、その機器リストは第 7 章、表 7-11 に示したものに、レーザー切断機付き圧縮式袋除去機 1 台を加えたものとなる。

蒸洗クッカー・乾燥飼料化システムにおいて必要な電力量は、1 日あたり 6,130kWh であり、乾燥に必要な熱エネルギーは 293GJ であった。

④メタン発酵・消化液処理・汚泥堆肥化システム

メタン発酵・消化液処理・汚泥堆肥化システムでは、飼料化に適さない食品残渣や飼料化工程から発生する廃液の処理を行うとともに、食品資源循環センターにおいて冬季に必要な燃料、熱エネルギー、及び電力をメタン発酵処理から発生するメタンガスとガス発電によって賄うものとし、第 8 章のメタン発酵・消化液処理・汚泥堆肥化システムについての検討を基に設備の概略仕様を検討した。この場合のメタン発酵処理対象残渣の性状を表 9-5 に、メタン発酵処理条件を表

9-6 に、メタン発酵処理及び消化液処理設備の概略仕様を表 9-7 に、マテリアルバランスシートを図 9-2 に示す。

メタン発酵・消化液処理・汚泥堆肥化システムは、加熱前処理を付加した間欠攪拌方式の中温メタン発酵方式とし、消化液処理と発生汚泥の堆肥化処理を行うものとした。また、生ごみを対象としていることから、加熱前処理後に希釈水と混合した後、破砕、搾汁処理によって固液分離を行うシステムとした。その固液分離処理によって、ＴＳが 15%除去され、VS/TS が 0.85 から 0.88 に改善されるものとした。なお、分離された固形物を堆肥化するものとした。メタン発酵処理におけるガス生成量等の条件は、第 7 章の実験結果を用いた。また、加熱前処理は、100℃30 分であるが、処理槽の容量は 2 時間分を見込んだ。

表 9-5　メタン発酵処理対象残渣の性状

項　目	水　質	
処理残渣量	蒸洗廃液	35 m^3／日
	食品残渣	230 t／日
ＴＳ	218,300 mg／L	
	57,850 kg-ＴＳ／日	
ＶＳ	185,600 mg／L	
	49,170 kg-ＶＳ／日	

表 9-6　メタン発酵処理条件

有機物投入量	44,800 kg-VS／日
有機物負荷	2.55 kg-VS／m^3／日以下
滞留日数	25 日以上
発酵槽必要容量	17,600 m^3以上
生成ガス量と性状	
ガス発生量	36,280 Nm^3／日 (0.81 L／g-VS)
ガス熱量	24.3MJ／Nm^3(メタン含有率:68%)
ガス発熱量	881,600 MJ／日

メタン発酵処理によって生産できるエネルギーは 850G J/日であり、これによって蒸洗クッカー・乾燥飼料化システムの必要熱量 290G J/日と、本システムの加熱溶解処理及び保温に要する熱量 220G J/日、マダイ用飼料製造の必要熱量 30G J/日を賄い、50MWh/日発電することができる。すなわち、蒸洗クッカー・乾燥飼料化システムの必要電力 6,130kWh/日、高速嫌気発酵・飼料化システムの必要電力 483kWh/日、マダイ用飼料化システムにおいて必要な電力量は、1 日あたり 890kWh/日、及びメタン発酵、消化液処理、堆肥化施設での必要電力 40,400kWh/日の合計 47,020kWh/日となるセンターでの必要電力を賄えることになる。

表9-7　メタン発酵、消化液処理、汚泥堆肥化システムの主要設備リスト

機器名称	主仕様	数量
受入槽	構造：鉄筋コンクリート 容量：700m³ 付属品：撹拌機・ポンプ	1式
加熱前処理槽	構造：SUS304 容量：35m³ 付属品：撹拌機・ポンプ他・破砕機他	4式
固液分離機	構造：スクリュープレス型　動力：2.2kW	6式
中継槽	構造：鉄筋コンクリート 容量：400m³ 付属品：撹拌機・ポンプ他	1式
メタン発酵槽	構造：グラスライニング鋼板＋外断熱 容量：3000m³ 付属品：撹拌機・熱交換器他	6式
ガスホルダー 消化液槽	構造：グラスライニング鋼板＋ハイパロンゴム 容量：ガスホルダー1600m³、消化液槽1000m³ 付属品：撹拌機・ポンプ他	2式
遠心分離脱水機	材質：SUS304、動力：22kW 付属品：凝集槽・薬剤ユニット他	6式
第一脱窒素槽	構造：グラスライニング鋼板 容量：2500m³（500m³×5槽） 付属品：撹拌機・ポンプ・薬剤ユニット他	1式
硝化槽	構造：グラスライニング鋼板 容量：7500m³（1500m³×5槽） 付属品：曝気用ブロワ・ポンプ・薬剤ユニット他	1式
第二脱窒素槽	構造：グラスライニング鋼板 容量：2500m³（500m³×5槽） 付属品：撹拌機・ポンプ・薬剤ユニット他	1式
再曝気槽	構造：グラスライニング鋼板 容量：2500m³（500m³×5槽） 付属品：曝気用ブロワ・ポンプ・薬剤ユニット他	
沈殿槽	構造：SUS304 容量：300m³、　付属品：ポンプ他	1式
生物ろ過槽	構造：SUS304 容量：700m³、　付属品：曝気装置・充填剤他	1式
放流沈殿槽	構造：SUS304 容量：200m³、　付属品：ポンプ・薬剤ユニット他	1式
ガス精製ユニット	形式：ミストセパレータ、乾式脱硫（吸着式）、ガスドライヤー 処理能力：1650Nm³／時	1式
ガスブロワー	能力：160Nm³／時、動力：1.5kW	1式
フレアー（余剰ガス燃焼装置）	形式：自然通風式、能力：500Nm³／時 付属品：ガスバーナー他	1式
蒸気ボイラー	形式：貫流ボイラー、熱出力：5800MJ／時 燃料：バイオガス、プロパン切替え方式、付属品：給水装置他	1式
発電機	形式：燃料電池、設備容量：300kW、発電効率：40% 付属品：廃熱回収ボイラー他	8式
堆肥化処理設備	処理能力：72.2t／日（WET　76.4%） 一次発酵処理方式：スクープ式発酵処理 二次発酵処理方式：堆積方式発酵処理 付属品：袋詰設備、脱臭設備	1式

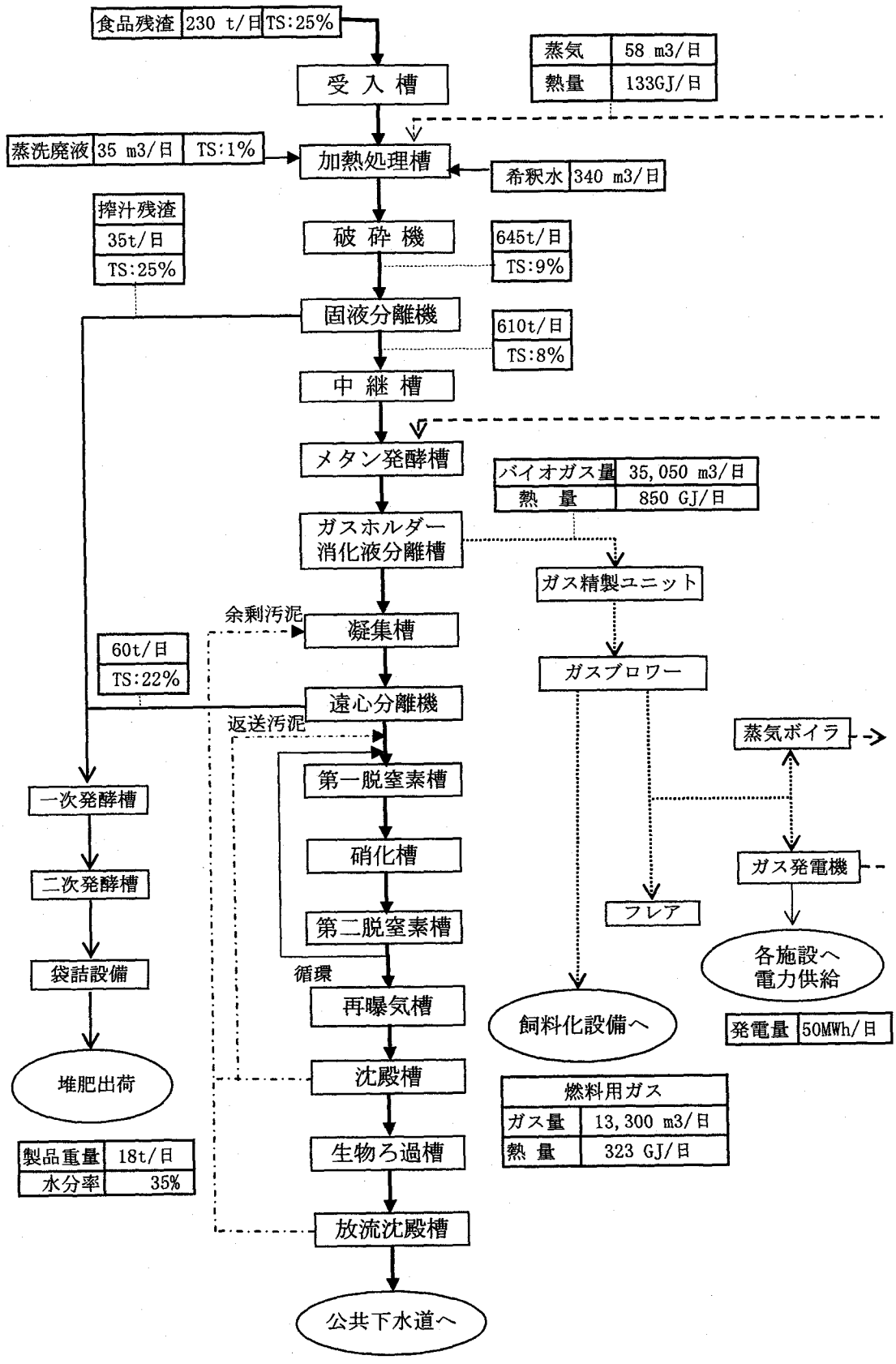


図9-2　メタン発酵、消化液処理、汚泥堆肥化システムのマテリアルバランス

第3節　食品資源循環事業の事業採算性

ここでは、飼料化システムを個々に事業化するとした場合と、第2節の食品資源循環センターを事業として推進する場合の事業採算性について検討する。

設備投資においてその投資案を評価する方法には、貨幣の時間価値を考慮しない回収期間法、投資利益率法、時間価値を考慮する正味現在価値法、内部収益率法などがある。日本においては実務上、計算方法の簡便さ等の理由から「回収期間法」が多く用いられているが、回収期間法、投資利益率法では、時間価値概念を考慮しないために収益性の判定基準とならず、欧米では「正味現在価値法」や「内部利益率法」が多く用いられている[1)]。

ここでは、資金の時間価値を考慮して設備投資の採算性、安全性、有利性等を判定する場合の代表的な手法である内部利益率法[2)]用い、15年間の内部収益率（ＩＲＲ：Internal Rate of Return）を把握することによって事業採算性を評価した。

食品資源循環事業における売り上げは、飼料製品の販売と食品残渣の処理料金、メタン発酵・エネルギー資源回収システムでは食品残渣の処理料金と売電がある。食品残渣が一般廃棄物として処理される場合に、排出者が市町村の処理施設に搬入して支払う処理手数料は市町村によって大きな幅があるが、平成11年度の大阪府下の事業系廃棄物の処理手数料は概ね3円～15円/kgとなっており[3)]．これより試算の目的に応じて徴収できる処理料金を設定し、余熱利用やエネルギー回収による発電事業の事例を参考に売電価格を設定した。

以上の売上げと製造・処理に係る人件費、用役費、減価償却費、借入金の利息等を含む損益計算書を作成し、経常利益から算出した法人税を差し引いて当期利益とした。次に資金繰り表を作成してキャッシュフローを把握し、設備投資額と剰余金から算出したＩＲＲが0%，10%となる製品価格を求めた。ここで、ＩＲＲ=0%とは事業は破綻しないが採算性は良くない公益事業レベルであり、ＩＲＲ＝10%とは株主への配当が期待されている民間事業の採算性として最低レベルの条件である。

なお、試算においては，土地に関わる費用，事業登録税，資本金，短期借入等は含まず，建設費は借入れ（所定金利，据置期間なし，10年間の元利均等返済）とした。減価償却は，残存価格10%で，建屋（鉄骨スレート造）22年，設備10年とした。施設の点検・修理費を施設建設費の5%とした。各施設において必要な人員に対して，管理者を8,000,000円/人・年、運転員を4,500,000円/人・年、補助員を3,000,000円/人・年として人件費を見込み、飼料化プラントの稼動日数を月25日，年300日としている。ＩＲＲは、資金繰り表で，倒産しない条件で計算している。

1)マダイ用ペレット飼料の事業採算性

すし残渣、おから等を乾燥し、フィッシュミール等の副資材を混合して第4章で検討したＩ区、Ⅱ区平均成分のペレット飼料を6.3t/日（4章の3倍規模）製造する場合に、以下の3つのケースにおいてＩＲＲが0%、10%となる製品価格を試算する。

ケース①：公害防止条件を満足する脱臭設備を設置し，脱臭排水を下水道放流する。

ケース②：他工場等の余剰蒸気と脱臭設備を利用する。

ケース③：ケース②に加えて、電力が供給される。

第4章で試算したように、用役費は、ケース①ではペレット飼料1kg当たり62円、ケース②では57円、ケース③では55円となった。必要人員はケース①では管理者1名、運転員6名、補助員2名、ケース②、③では管理者1名、運転員5名、補助員2名としている。施設の建設費の試算結果を表9-8に示す。

以上の条件により，処理料金収入を設定して試算した製品価格を表 9-9 に示す。

処理料金収入がない場合，採算性のある事業(ＩＲＲ＝10%)として継続するための製品価格は，ケース①では 141 円/kg，食品残渣の処理料金として 5 円/kg を徴収すれば，137 円/kg，15 円/kg では 128 円/kg となった。ケース②の他施設等の余剰蒸気と脱臭設備を利用することができれば，処理料金を徴収しない場合でも 123 円/kg，処理料金 5 円/kg では 118 円/kg，15 円/kg では 110 円/kg となった。

様々な飼料の中でも養魚用ペレット飼料の市販価格は概ね 140 円/kg 程度と高価であり，本システムはこれと同程度の製品価格設定で，事業としての採算が取れる（ＩＲＲ＝10%）可能性があることが明らかとなった。しかし、食品残渣由来の再生飼料を流通させるためには、従来から流通している養魚用ペレット飼料より低価格に設定することが望ましく、そのためにはケース②、③のようにエネルギーや電力が無償で供給される必要がある。

表 9-8　施設建設費（単位：千円）

ケース番号	機械設備費	土木・建築費	合　計
①	89,637	151,678	241,315
②、③	66,484	131,169	197,653

表 9-9　ペレット飼料の製品価格の試算結果(単位:円/kg)

徴収する処理料金	ケース	ＩＲＲ=0%	ＩＲＲ=10%
食品残渣 1kg 当たり 0 円	①	124	141
	②	109	123
	③	106	121
食品残渣 1kg 当たり 5 円	①	120	137
	②	104	118
	③	101	116
食品残渣 1kg 当たり 15 円	①	111	128
	②	96	110
	③	93	108

2)高速乳酸発酵・TMR化システムの事業採算性

牛の飼料に適した野菜・果実屑に副資材を加えて高速乳酸発酵・TMR化する場合に、ＩＲＲが 0%、10%となる製品価格を試算する。製造するTMRは第 6 章第 3 節の表 6-9、表 6-10 と同じ構成のTMRを製造するとした 2 ケースについて製品価格を試算している。

ケース①: 含水率が 33%となるように 15 トン/日の野菜・果実屑に、36 トン/日の副資材を添加し、1 日に 51 トンのTMRを製造する場合。

ケース②: 含水率が 44%となるように 22 トン/日の野菜・果実屑に、副資材 28 トン/日を添加し、1 日に 50 トンのTMRを製造する場合。

高速乳酸発酵・飼料化システムの材料・消耗費を表 9-10～表 9-11 に示す。また、高速乳酸発酵・飼料化における電力費を表 9-12 に、施設建設費を表 9-13 に示す。

この施設建設費、及び用役費、及び人員を管理者 1 名、運転員 18 名、補助員 9 名として 15 年間の事業採算性においてＩＲＲが 0%，10%となる製品価格を試算した。

表 9-10　材料、消耗品費(ケース①:含水率 33%の場合)

	使用量 (kg／日)	単　価 (円／kg)	金　額 (円／日)	金　額 (円／年)
ルーサンアルファルファ	6,000	48	288,000	86,400,000
ヘイキューブ	9,000	41	369,000	110,700,000
野菜・果実屑	15,000	0	0	0
オーツヘイ	6,000	41	246,000	73,800,000
トウモロコシ圧片	3,000	35.5	106,500	31,950,000
大麦圧片皮付き	6,000	39.5	237,000	71,100,000
大豆(加熱処理)	3,000	60	180,000	54,000,000
専管フスマ	2,250	29	65,250	19,575,000
糖蜜	450	22	9,900	2,970,000
バイミルク	150	140	21,000	6,300,000
塩	150	50	7,500	2,250,000
乳酸菌	0	200,000	29,000	8,700,000
小　計	51,000		1,559,150	467,745,000
フレコンバッグ	150	550	82,500	24,750,000
保温用灯油（L/年)	9000	40	360,000	4,320,000
合　計		32	1,656,050	496,815,000

表 9-11　材料、消耗品費(ケース②:含水率 44%の場合)

	使用量 (kg／日)	単　価 (円／kg)	金　額 (円／日)	金　額 (円／年)
ルーサンアルファルファ	4,500	48	216,000	64,800,000
ヘイキューブ	6,750	41	276,750	83,025,000
野菜・果実屑	22,500	0	0	0
オーツヘイ	4,500	41	184,500	55,350,000
トウモロコシ圧片	2,250	35.5	79,875	23,962,500
大麦圧片皮付き	4,500	39.5	177,750	53,325,000
大豆(加熱処理)	2,250	60	135,000	40,500,000
専管フスマ	1,688	29	48,938	14,681,250
糖蜜	675	22	14,850	4,455,000
バイミルク	225	140	31,500	9,450,000
塩	135	50	6,750	2,025,000
乳酸菌	0.145	200,000	29,000	8,700,000
小　計	49,973		1,200,913	360,273,750
フレコンバッグ	147	550	80,850	24,255,000
保温用灯油（L/年)	9000	40	360,000	4,320,000
合　計		26	1,296,163	388,848,750

表 9-12　電気料金

設備電力 (kW)	単　価 (円／kWh)	料　金 (円／月)	料　金 (円／年)
238	1,200	285,600	3,427,200

使用料金

電力量 (kWh/日)	単　価 (円／kWh)	料　金 (円／月)	料　金 (円／年)
483	10.96	132,342	1,588,104

総電気料金	(円／年)	5,015,304

表 9-13　高速乳酸発酵・飼料化システムの施設建設費（単位：千円）

	機械設備費	土木・建築費	合　計
施設建設費	302,612	381,462	684,074

試算結果を表 9-14 に示すが、野菜・果実屑の割合が高いケース②のＴＭＲでＩＲＲが 10%となる製品価格は、食品残渣の処理料金として 5 円/kg を徴収すれば 51 円/kg, 15 円/kg を徴収すれば 47 円/kg となった。野菜・果実屑の割合が低いケース①のＴＭＲでは、食品残渣の処理料金として 5 円/kg を徴収すれば 58 円/kg, 15 円/kg を徴収すれば 55 円/kg となった。なお、電力、熱が他施設等から供給される場合の製品価格は、表 9-14 と差がなかった。これは、本システムの電力や熱の消費量が少ないことや、添加する副資材の割合が高く、副資材のコストが製造コスト大きな影響を与えるためである。従って、野菜・果実屑の割合が高ければ副資材の割合が低下して用役費が安くなり、その上処理料金収入も増えることになる。本システムでは、ＴＭＲの成分と需要家が求める品質を前提として、経済的な野菜・果実屑の割合を考慮する必要がある。

ＴＭＲが販売されている事例は少なくＴＭＲの価格は不明であるが、牛用の配合飼料が 40 円/kg 程度であることから、付加価値の高いＴＭＲは配合飼料の価格を上回ることが可能であると考えられ、野菜・果実屑を利用した牛のＴＭＲ製造事業は、十分に採算性があると考えられる。

表 9-14　ＴＭＲの製品価格の試算結果(単位:円/kg)

徴収する処理料金	ケース	ＩＲＲ=0%	ＩＲＲ=10%
食品残渣 1kg 当たり 0 円	①	53	59
	②	47	53
食品残渣 1kg 当たり 5 円	①	52	58
	②	45	51
食品残渣 1kg 当たり 15 円	①	49	55
	②	41	47
食品残渣 1kg 当たり 20 円	①	47	53
	②	38	44

3)蒸洗クッカー・乾燥飼料化システム

第 7 章第 2 節で検討した蒸洗クッカー・乾燥処理システムによって、廃棄物として処理されている多量の残飯類や売れ残り食品など24時間稼動で48 t/日から脱油乾燥飼料10 t/日を製造し、1 t/日の油を回収する場合に、ＩＲＲが 0%、10%となる製品価格を以下の 3 ケースについて試算する。なお、この試算における用役費は、第 7 章第 3 節、蒸洗クッカー・乾燥処理システムの最適化と製造コストの項における表 7-17 に、施設建設費は表 7-18 に、人員は表 7-19 に示したも

のである。

ケース①:公害防止条件を満足する脱臭設備を設置し，脱臭排水を下水道放流する。

ケース②:ケース①に燃料が支援される。

ケース③:ケース①に燃料と電力が支援される。

試算結果を表 9-15 に示す。ＩＲＲが 10%となる製品価格は処理料金として 15 円/kg を徴収しても 59 円/kg 程度となった。燃料と電力が支援されれば、ＩＲＲが 10%となる製品価格は 27 円/kg となった。以上の試算によって、本システムのように副資材を添加せずに残飯類を乾燥して飼料化する場合には、徴収できる食品残渣の処理料金や乾燥用熱エネルギーや電力の支援の有無によって事業採算性が大きく左右されることが明らかとなった。

残飯類の乾燥飼料を商社が引き取る価格は、製造する脱油乾燥飼料の品質と製造量の安定性等によって決まると考えられるが、既存の残飯乾燥飼料の引き取り価格は10～14 円/kg 程度である。本システムで製造した脱油乾燥飼料が 15 円/kg で引き取られるとすれば、民間ベースで採算が取れる事業であるＩＲＲが 10%となるためには、燃料や蒸気等乾燥用エネルギーの支援があっても、処理料金 18 円/kg を徴収する必要があることが分かった。

表 9-15　豚・鶏用脱油乾燥飼料の製品価格の試算結果(単位：円/kg)

徴収する処理料金	ケース	ＩＲＲ=0%	ＩＲＲ=10%
食品残渣 1kg 当たり 0 円	①	108	131
	②	84	107
	③	76	99
食品残渣 1kg 当たり 5 円	①	84	107
	②	60	83
	③	52	75
食品残渣 1kg 当たり 10 円	①	60	83
	②	36	59
	③	28	51
食品残渣 1kg 当たり 15 円	①	36	59
	②	12	35
	③	4	27
食品残渣 1kg 当たり 18 円	③	-	15

4) メタン発酵・消化液処理・汚泥堆肥化システムによるエネルギー・資源回収

食品残渣を 230 t／日処理し、850G J/日のガスを生産するメタン発酵・消化液処理・汚泥堆肥化システムの施設建設費と減価償却費を表 9-16 に、薬剤費を表 9-17 に、上・下水道費を表 9-18 に示す。このメタン発酵・消化液処理・汚泥堆肥化システムで、食品残渣 1t の処理に要する用役費は 2,531 円となった(表 9-19)。

本システムで生成するガスをすべて発電に利用すると 96MWh/日の電力が得られ、施設での消費電力 40MWh/日を除いた 56MWh/日を売電するものとして、メタン発酵・消化液処理・汚泥堆肥化システムを事業として実施する場合の採算性を試算する。なお、本システムは 365 日稼動とし、人員を管理者 2 名、運転員 5 名、収入を売電と処理料金徴収として、売電単価と処理料金単価を変化させて、ＩＲＲが 0%、10%となる条件を求めている。

試算結果を表 9-20 に示すが、ＩＲＲが 0%となるためには電力を 12 円／kWh で売却しても食

品残渣 1kg 当たりの処理料金を 27 円／kg、電力が 5 円／kWh でしか売却できないと処理料金を 29 円／残渣 kg 徴収しなければならないことが明らかとなった。また、補助金などによって施設建設費の負担が 50%となれば、ＩＲＲが 0%の事業とするには電力を 12 円／kWh で売却しても処理料金を 15 円／残渣 kg、売電価格 5 円／kWh では処理料金 17 円／残渣 kg を徴収する必要があることが把握できた。以上の結果は、環境負荷の低減を考慮したメタン発酵・消化液処理・汚泥堆肥化システム単独での発電事業が現状では民間事業として成り立ち難いことを示している。

表 9-16　償却費

項　目	事業費（円）	償却年数	償却率	償却費（円／年）
建築設備一式	3,335,706,000	22 年	0.046	138,098,228
機械設備一式	5,494,150,000	10 年	0.100	494,473,500
合計	8,829,856,000			632,571,728

表 9-17　薬剤費

薬　剤　名	使用量 (kg／日)	単　価 (円／kg)	料　金 (円／日)	料　金 (円／年)
CP 高分子凝集剤	985	300	295,500	107,857,500
ポリ硫酸第二鉄	1425	50	71,250	26,006,250
脱硫剤	235	250	58,750	21,443,750
硫酸（65%）	84	50	4,200	1,533,000
水酸化ナトリウム(24%)	46	35	1,610	587,650
次亜塩素酸ナトリウム	105	35	3,675	1,341,375
			合　計	158,769,525

表 9-18　上、下水道費

項　目	使用量 (m3／日)	単　価 (円／m3)	料　金 (円／日)	料　金 (円／年)
上水道費	300	180	54,000	19,710,000
下水道費	466	200	93,200	34,018,000
合　計				53,728,000

表 9-19　処理残渣 1t 当たりの用役費

用役費	(円／年)	212,497,525
処理量	(t／年)	83,950
処理コスト	(円／t)	2,531

表 9-20　メタン発酵、消化液処理、堆肥化システムの事業採算性

施設建設費負担割合	処理料金 (円/残渣 kg)	売電価格 (円/kW)	ＩＲＲ (%)
100%	27	12	0
	29	5	0
50%	15	12	0
	17	5	0
33%	15	5	5

5)食品資源循環センターの事業採算性

ここまで個別に検討してきた食品資源循環事業を第2節で検討したように有機的に結合し食品資源循環センターとした場合の事業採算性について試算する。

各システムの施設建設費のうち機械設備費は各システムの合計とし、土木・建築費は3つの飼料化施設の土木・建築費合計の80%にメタン発酵等システムの土木・建築費を加えたものとした。人員は、兼務できるものを想定し、4システム合計より運転員を4名減とし、燃料費、電力費を除く用役費は4システムの合計とした。試算に用いた施設建設費を表9-21に、センターの人員配置を表9-22、センターの処理量と燃料費、電力費を除く用役費を表9-23に示す。

表9-21　食品資源循環センターの施設建設費（単位：千円）

システム	機械設備費	土木・建築費	合　計
マダイペレット飼料化システム	66,484	131,169	197,653
高速乳酸発酵・飼料化システム	302,612	381,462	684,074
蒸洗クッカー・乾燥飼料化システム	440,840	109,160	550,0000
メタン発酵・消化液処理・堆肥化システム	5,494,150	3,335,706	8,829,856
合　計	6,304,086	3,957,497	10,261,583
試算条件	6,304,086	3,833,139	10,137,225

表9-22　食品資源循環センターの人員配置(単位:人)

職　種	マダイ飼料化	乳酸発酵飼料化	蒸洗・乾燥飼料化	メタン発酵等	合計	試算条件
管理者	1	1	1	2	5	5
運転員	5	15	6	5	31	27
補助員	2	9	3		14	14
合　計	8	28	10	7	50	46

表9-23　食品資源循環センターでの処理量と燃料費、電力費を除く用役費

システム	食品残渣量		製品量		用役費
	(t/日)	(t/年)	(t/日)	(t/年)	(円/年)
マダイ飼料化	5.0	1,500	6.0	1,800	103,950,000
高速乳酸発酵・飼料化システム	15.0	4,500	50.0	15,000	442,831,875
蒸洗クッカー・乾燥飼料化システム	48.0	14,400	10.0	3,000	39,388,500
メタン発酵・消化液処理・堆肥化システム	230.0	83,950	−	−	212,497,525
合　計	298.0	104,350	66.0	19,800	798,667,900

食品残渣由来の飼料製品の販売、流通が可能で大きな支障とならない製品価格に設定した場合に、徴収する処理料金ごとのＩＲＲの試算結果を表9-24に示すが、食品循環資源センターの事業採算性は飼料製品の価格よりも徴収できる食品残渣の処理料金によって大きく左右されることが把握できた。また、施設建設費の全額を負担する場合では、食品残渣の処理料金を19円/kg徴収しなければＩＲＲ:10%程度の事業とならないことや、食品残渣の処理料金を13円/kg徴収しなければ、ＩＲＲ:0%の事業としても成り立たないことが明らかとなった。一方、補助金などによって施設建設費の負担が50%になれば、食品残渣の処理料金を10円/kg徴収すれば、ＩＲＲ:10%程度の事業として成り立つことが明らかとなった。

表 9-24　試算結果

施設建設費負担割合	処理料金(円/kg)	製品価格(円/kg)			ＩＲＲ(%)
		マダイ飼料	ＴＭＲ	脱油乾燥飼料	
100%	13	100	50	15	0
	15	100	50	15	4
	19	100	50	15	10
	18	110	55	20	10
50%	7	100	50	15	0
	10	100	50	15	10
	15	100	50	15	26

第 4 節　小括―食品資源循環事業実現への課題

本章では、大阪府下における食品残渣の排出特性を基に、第 4 章から第 8 章で検討した養魚用ペレット飼料製造システム、野菜・果実屑の高速乳酸発酵・飼料化システム、残飯類の脱油・乾燥飼料化システム、及び異物混入が避けられない食品残渣や生ごみを対象とするメタン発酵によるエネルギー・資源回収システムを有機的に結合し資源利用効率を高めた食品資源循環センター構想を提案した。

個々の飼料化システムの事業採算性の検討によって、マダイ用ペレット飼料のように流通価格が高い飼料や、牛のＴＭＲ化のように副資材を添加して付加価値が高い飼料を製造するシステムでは、処理料金として 15 円/kg を徴収できれば、概ね採算がとれる事業であることが把握できた。

一方、食品残渣から良好な品質の飼料を製造することを目的とした蒸洗クッカー・乾燥飼料化システムでは燃料費の有無によって製品価格が製品 1kg 当たり 24 円変化することから、含水率が高い食品残渣由来の飼料の製品価格には、飼料化システムにおける乾燥処理＝燃料の必要性の有無が大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。同時に、乾燥用エネルギーが支援されても、製品価格が 15 円/kg であれば、ＩＲＲが 10%の事業とするためには、処理料金を食品残渣 1kg 当たり 18 円徴収する必要があることが把握できた。

食品残渣を 230 t／日処理し、870G J /日のガスを生産するメタン発酵・消化液処理・汚泥堆肥化システムでの食品廃棄物 1kg あたりの処理原価は 10 円程度であり、一般廃棄物処理システムとして見ればコストの安い処理システムであるが、ＩＲＲが 0%となるためには電力を 12 円／kWh で売却できても食品残渣 1kg 当たりの処理料金を 27 円／kg 徴収しなければならず、後述するように、現在の社会経済情勢において廃棄物処理とエネルギー生産による発電事業単独では民間事業として成り立ち難いことが把握できた。

本章で提案した必要なエネルギー・電力をメタン発酵・消化液処理・汚泥堆肥化システムによって賄う食品資源循環センター全体の事業収支では、施設建設費をすべて負担する場合でも食品残渣 1 kg 当たり 19 円、施設建設費が半額であれば食品残渣 1 kg 当たり 10 円の処理料金を徴収すれば民間事業として成り立つことから、各システムを個々に事業化するよりも、センター事業では採算性が良くなることが明らかとなった。

しかし、平成 11 年度の大阪府下の市町村の事業系廃棄物の処理手数料は概ね 3 円～15 円/kg となっていることから、食品資源循環センターが処理料金 19 円/kg を徴収することは難しいと考えられる。こういった状況は、望ましい食品残渣の資源循環システムである飼料化コストが、廃棄物処理コストより高いことによって生じたものではない。平成 11 年度の大阪府下の市町村や一

般廃棄物処理施設組合の廃棄物処理事業の歳出の状況[1]から一般廃棄物の処理コストを推算すると、大阪府下の市町村や一般廃棄物処理施設組合のごみ処理における「処理及び維持管理費」のうち、「中間処理費」と「最終処分費」の合計を排出総量で除した排出されたごみ1トン当たりの処理費は5,400円程度となる。ただし、「処理及び維持管理費」と別に人件費や委託費が記載されていることから、中間処理と最終処分に要する人件費や委託費はこの金額に含まれていないと推察される。一方、建設改良費が別の項目として記載されている。廃棄物行政の処理コストの算出方法については改めて議論が必要であるが、中間処理施設と最終処分場に要した建設改良費を排出総量で除した排出されたごみ1トン当たりの建設改良費は14,600円/tとなる。この両方の合計のみで20,000円/t、すなわち20円/kgである。京都市は、持ち込み可燃ごみの焼却、埋立処分の処理原価は、ごみ1t当たり24,899円と示している[4]。また、山川らは、事業系一般廃棄物の処理手数料の設定に関する議論はほとんどなされていないことや、全国のごみ処理事業費の歳入に占める手数料収入の割合は4.4%にすぎず事業系一般廃棄物の処理費用の大半は自治体が負担しているという報告等を示して、事業系一般廃棄物の処理手数料による廃棄物処理経費の負担率は多くの自治体でかなり低いものと考えられると報告している[5]。

このように、大阪府下のみならず全国的な傾向として、排出者が市町村の処理施設に搬入して支払う処理手数料が実際の処理に要する費用より安く設定されていることが、食品残渣の飼料化システムを中心とした食品資源循環事業の実現への大きな障害となっていることが明らかと成った。

第9章　参考文献

1) 柴川林也：財務管理，同文舘出版(1991)
2) 例えば、財団法人 北海道中小企業総合支援センター：投資の意思決定について
http://www.hsc.or.jp/onepoint/k06.htm　(2004年10月情報取得)
3) 大阪府環境農林水産部環境整備室廃棄物対策課：平成11年度 大阪府の一般廃棄物(2001)
4) 京都市環境局循環型社会推進課ホームページ:
http://www.city.kyoto.jp/kankyo/recycle/information/toukei.html
(2004年10月情報取得)
5) 山川　肇，植田和弘：ごみ有料化研究の成果と課題文献レビュー，廃棄物学会誌，Vol.12, No.4, pp.245-258(2001)

第10章　食品廃棄物から食品循環資源への転換のために

前章までに検討してきた望ましい食品資源循環システムに組み込む食品残渣の飼料化システムの構築には、排出源における分別が前提であり、分別する市民、事業者の積極的な関与が不可欠である。

食品残渣の分別排出へのインセンティブの一つとして、排出者が負担する食品残渣の処理費用の軽減が考えられるが、食品資源循環事業が成り立つ状況が政策的に実現すれば、分別排出する市民や事業者が自然に増加するとの期待は楽観的すぎよう。

ごみ処理の有料化や処理手数料の改正がごみの発生抑制に効果があると考えられるものの、事業系ごみの処理手数料がその処理原価に近く設定されていない自治体が多いことなどが報告されている[1)]。また、大阪府の調査[2)]によると、食品廃棄物を排出する事業者がリサイクルに反対する理由として、「手間がかかる」が54%で「コスト高」の24%を大きく上回っている。

このような社会状況において、市民、事業者が食品残渣の分別排出を意識し、行動するためには、経済的インセンティブのみではなく、もっと直接的に市民、事業者の共感と実践に結びつく働きかけやしくみが必要である。本章では、市民、事業者が食品残渣をはじめとする廃棄物/資源の分別排出や循環利用を意識し、実践するきっかけとなるしくみづくりや働きかけについて、市民コンサルタントとしての活動等を通じて得た経験から考察している。

第1節　廃棄物管理/資源循環型社会形成に求められる市民像

1) 資源循環型社会形成と市民の活動

資源が国内での調達に限られていた江戸期においては、ものが大切に使われ、様々なリサイクルが行われていた[3)]。リサイクル活動は、市民の生活そのものであったろう。明治、大正初期における廃棄物処理の姿は江戸期と大きく変らず、有価物はリサイクルされており、明治以降、高度経済成長が始まるまでの日本は基本的にリサイクル社会であったという

第二次大戦後、農地改革を契機とする農村の大きな変化と化学肥料の普及により、農村がし尿を肥料として利用しなくなると、それまでの有機物循環がまず破綻することになった。

戦後の復興期を経て高度経済成長が始まると、大量消費は美徳であるとされ、日本は消費社会へ移行した。その結果としての都市域から排出される大量の廃棄物をごみ行政がひたすら処理することとなった。食品の残りである食品残渣をも生ごみと呼び、腐敗しやすい不衛生な生ごみをできるだけ速やかに人々の生活環境から遠ざけ、衛生的に処理するために焼却処理が導入され、都市と農村の循環はまったく途絶えてしまうことになった。その上、ごみ処理費用の大半が税金によって賄われてきたために、ごみを排出する消費者にも使い捨て製品を製造する事業者にも、ごみ処理の現実は忘れ去られてきた。

この流れの中で、1972年(昭和47年)のローマクラブの報告や73年(昭和48年)の石油ショックをきっかけに、限りある資源の有効利用の必要性が認識され、市民団体や婦人団体による資源有効利用への取組が始まった。その市民活動ではリフューズ(refuse)、リデュース(reduce)、リユース(reuse)、リサイクル(recycle)の「4つのR」が活動の理念とされ、人々は個々の暮らしの中での実践に取り組みつつ、社会システムの構築が不可欠なリサイクル活動に力を注いできた。

1991年(平成3年)の廃棄物処理法の改正、1995年(平成7年)の容器包装リサイクル法成立、その後2001年(平成13年)までの環境基本法やリサイクル関連法の成立によって、市民や事業者の責務として排出抑制やリサイクルへの協力が明確化されたが、こういった法制度の整備を求め、

実効性のある環境・リサイクル各法の成立を後押ししてきたのは、廃棄物の発生抑制と資源循環の重要性を認識し、実践し活動してきた多くの市民である。

さらに、平成 15 年 7 月に環境教育推進法がＮＰＯのイニシアティブで議員立法によって成立した[4] ことは、こういった市民活動の集大成の一つと言える。

このように、市民意識は社会変化とともに大きく変化し、今や活動する市民が廃棄物管理/資源循環・共生型社会の形成に向けてのイニシアティブをとる時代になってきている。

2) 活動する市民と“Silent majority”

市民の活動が後押しして法整備が進んでも、実際の社会が循環型社会に変化したわけではない。それは、意識が高く活動する市民はごく一部に限られていて、大部分の市民は循環や環境を考えて暮らしているわけではないからである。すなわち、循環や環境に配慮して暮らす市民を確実に増やすことが廃棄物管理/資源循環・共生型社会の形成に向けての最大の課題である。

環境教育推進法によって、学校や職場での環境教育があるレベルまでは進められることになった。そのスタートにはたったものの、これから環境教育のあり方を具体的に議論しつつ、試行錯誤を重ね、実効性のある環境教育を推進することになる。また、学校や職場での環境教育が重要かつ有効であることは間違いないが、廃棄物管理/資源循環・共生型社会の形成には地域での実践的な活動こそが求められるのであり、地域での環境教育こそが大きな課題である。

廃棄物管理／資源循環システムの実現は、“もの＝資源”の利用を抑制し、資源を循環に載せる行動を実践する市民＝“廃棄物管理／資源循環システムの担い手”をどれだけ多く生み出せるかにかかっている。例えば「指定ごみ袋排出制」や「有料化」、「処理手数料の見直し」などの施策は、“ごみ”を出す時に“ごみ”や“もの＝資源”を意識するきっかけになり、「ごみを減らそう」という意識を創ることや、さらにはごみを排出する人が「なぜごみ減量や分別が必要なのか」を考え、自らそのための工夫や行動を考えるきっかけになることなどを期待できるが、現実には必ずしもそういった効果をもたらすとは言えない不明確な部分が大きい。確かに、経済的な負担が大きくなればなるほど、ごみを減量することが利益に繋がると判断する市民や事業者が増えるであろうが、環境保全を目指した資源循環システムを支える担い手づくりにとって本質的に必要なことは、損得や自分の都合だけを判断基準にするのではなく、例えば次世代のために自分の欲望を抑制しようという気持ちを持つ人や実践する人を増やすこと、事業として実際に稼動する循環システムを形成するために努力する事業者を増やすことなどであろう。そこで、廃棄物管理／資源循環システムの担い手を増やすことを念頭に、市民の姿を考察してみる。

市民活動への参加や実践への意識という視点から市民を見ると、第一に廃棄物問題に関心があって積極的に発言し法整備を求める活動やリサイクル活動に取り組んできた前述の“活動派”の人びとの存在がある。

その一方で、具体的に声を上げない“Silent majority”の存在に気付く。この“silent majority”には「環境問題に関心があるけれど特に前に出て発言はしないが実践する人」が多くいる。

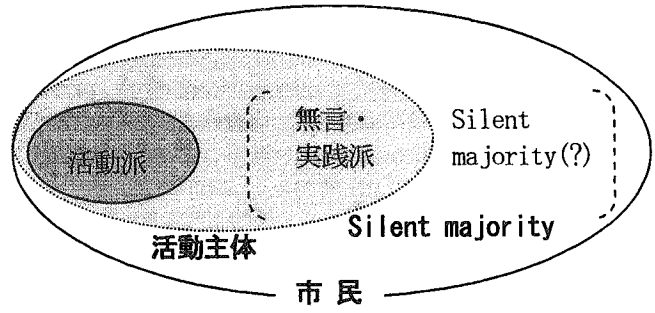


図 10-1 市民を分けると

ここでは、この人々を“無言・実践派”と呼ぶ。廃棄物管理／資源循環システムの担い手とは、活動派と“無言・実践派”からなる“活動主体”である。

一方、活動主体ではない“silent majority”を“silent majority(?)”と呼ぶと、この中には「廃棄物問題に特に関心はないが、みんながやっていることはやる人」から「地域や周辺住民にもまったく関心がなく、ルールさえ守らない人」まで、実に様々な人がいる。このような個々に様々な事情や感情を持つ“Silent majority(?)”を廃棄物／循環資源管理の“担い手”に変化させ、あるいは“担い手”として持続させることが、廃棄物管理／資源循環システムの実現には不可欠である。

第2節　先進的な市民活動が創り上げた地域文化

より多くの市民が実践し、参加するためには、地域全体で高いレベルの環境への意識が醸成されていることがまず必要である。ここで、より多くの市民が実践し、参加する活動とその基盤は、どのような経緯によって醸成されるのかについて先進的な事例から考察する。

廃棄物問題に限らず、環境に関連する様々な活動が地道に実践されている地域の筆頭に滋賀県を挙げることができる。「環境立県・滋賀」、「環境先進県・滋賀」、「環境熱心県・滋賀」と行政と住民で滋賀県への愛称は異なるものの、多くの人びとが環境問題に高い意識をもち、行動する地域である。こういった状況に至った経緯には、県行政自身が様々な施策を推進していることもあるが、特に昭和40年代半ばからの「合成洗剤追放・せっけん使用運動」の影響が大きいと考えている。ここでは“石けん運動”とその後をふり返り、市民意識を醸成する要因を検討する。

1)石けん運動の経緯と「富栄養化防止条例」[5)]

琵琶湖は、昭和30年代半ばころから始まった著しい都市化現象と高度経済成長による生活水準の向上に伴って急速に汚染されていったが、昭和44年に京都市の水道水がかび臭くなり市民の苦情が殺到、その後活性炭処理が始まるまで京阪神地区では毎年かび臭問題が発生し、琵琶湖の富栄養化現象が一般に認識されるようになった。

昭和45年、滋賀県地域団体連合会などの婦人団体が各河川で合成洗剤による泡公害が見られることに問題意識を持ち、飲み水の安全性、水質汚濁防止の面などから合成洗剤に関する学習活動を開始、昭和46年秋には地評主婦の会が「合成洗剤の追放」と「石けんの協同購入」に取り組むことを決定、昭和47年には滋賀県地評主婦の会が各労働組合、県地婦連、農協婦人部、漁連、生協に呼掛け、石けんの協同購入と合成洗剤の学習会を組織、各地にグループがつくられ日本婦人会議や各地の消費研究グループ、生活改善グループ、自治会婦人部、母親連絡会などにも運動の輪が広がっていった。

琵琶湖の豊かな生態系を含む自然環境を日々認識した生活文化を持つ人びとは、その変化に強い危機感を持ち、“病める琵琶湖”の回復を願って、自らを加害者と位置づけ、自らの生活の中でできる様々な汚濁負荷軽減への努力を実践し、特に高度経済成長と歩調を合わせるように身近な生活で多種多様に使われるようになってきた合成化学物質の象徴でもある合成洗剤が、琵琶湖の生態系に直接及ぼす影響と合成洗剤に含まれるリンが富栄養化の大きな要因になっていることを危惧し、生態系の一員である“人”として、琵琶湖からその下流へ、海から地球へと視野を広げつつ、すべての生物にとっての健全な自然環境の保全を念頭に「琵琶湖の水といのちを守る合成洗剤追放運動」へと発展させていった。私自身、昭和48年4月から昭和51年12月まで大津市に居住し、近所の主婦から「粉せっけん使ってる？」と声をかけられるなど、地域の多くの人びとが持った危機感と運動への連帯感や盛り上がりを実際に体験することができた。

これに呼応する形で、滋賀県は「琵琶湖環境保全対策」として基本方針を策定、産業排水に上乗せ基準による排水規制を実施し、家庭系も含むすべての発生源に対する施策としてリンを含む

合成洗剤の使用削減を打ち出した。

昭和 49 年の滋賀県知事選では、地評主婦の会が候補者に「合成洗剤対策、琵琶湖水質保全対策」に関する公開質問状を提出した。

知事に就任した武村氏は琵琶湖の汚濁防止に強い意欲を持ち、合成洗剤追放の住民運動を「琵琶湖を愛する運動、ふる里をよくしようとする運動」と捉えてこの運動を支援、琵琶湖の富栄養化を防止するための施策を推進した。

昭和 52 年から有機汚濁の危険信号ともいうべき淡水赤潮が大量発生したが、この赤潮発生を契機として、滋賀県の人びとは、自分たちの財産としてのみではなく近畿 1,300 万人の貴重な「水がめ」である琵琶湖に起きたこの深刻な状況をなんとか食い止めるために、抜本的な対策と個々になされていた具体の行動をさらに県下全体へと展開する必要性を認識し、同様の認識を持つ行政とともに「びわ湖を守る粉せっけん使用推進県民運動連絡会議」を発足させた（昭和 53 年(1978 年)）。昭和 54 年(1979 年)、県民運動を背景とした行政のリーダーシップにより様々な難航をへて「滋賀県琵琶湖の富栄養化の防止に関する条例」が制定された。

2)せっけん運動からの展開

せっけん使用運動で醸成された県民運動は、やがて石けん問題だけでなく水環境全般に取り組む「びわ湖を守る水環境保全県民運動」県連絡会議（通称：びわ湖会議）として内容を充実し、現在まで河川を含む身近な水環境の継続的調査や各種研究会、地域におけるリーダー等としてのアドバイザー制度の創設、機関誌の発行等々の多様な幅広い活動へと展開されている。

また、県民の環境への意識と県行政の取り組みの姿勢は、昭和 62 年に策定された「湖国環境プラン」に 21 世紀の望ましい環境像を「自然と人との共生」として引き継がれ、さらには「新しい淡海文化の創造」の理念へとつながっている。

一方、琵琶湖の環境保全のために家庭から地域へと広がった活動は、「びわ湖を美しくする運動」として様々な活動主体による地域清掃・美化活動や自主的なリサイクル運動（集団回収、資源ごみの分別、牛乳パックの回収運動等）にも継承されてきた。そして、これらの活動が、平成 4 年度施行の「滋賀県琵琶湖のヨシ群落の保全に関する条例」や「滋賀県ごみの散乱防止に関する条例」による取り組みへと展開されている。

また、琵琶湖の自然環境保全のために自発的に取り組まれた活動は、全国で初めて環境保全をテーマ・事業内容とした「滋賀県環境生活協同組合：エコロジー・コープびわ湖」の発足の土台ともなっている。「滋賀県環境生活協同組合」では、生態系の一員として自らの廃物を自然の循環に戻すシステムの構築を念頭に、新しい資源・エネルギーの投入量を可能なかぎり抑制するための自己完結型リサイクルシステム（廃食用油の回収と再生せっけんや燃料への利用、牛乳パック回収と再生紙の利用等）の事業化が行われている。

地域清掃・美化活動では、県民と行政、事業者等が連携して「びわ湖一斉清掃」、「びわ湖をきれいにする運動」、「湖岸クリーンアップ事業」、「漁場クリーンアップ事業」など複数の活動が多様に推進されている。こういった地域清掃・美化活動は、地域によって異なった活動形態となっているが、様々な団体（自治会、婦人会、老人会、子供会などの地域団体、小・中学校、ＰＴＡ、ボーイスカウト、スポーツ少年団、漁協、ロータリー・ライオンズクラブ、生活改善グループ、商工会、企業、等々）が積極的に参加している。

特に自治会、婦人会、老人会、子供会などの地域団体を中心として多数の市民が日常的、定期的に地域環境保全のための活動に参加している。こういった習慣は旧くから地域の文化として継承されてきたものであろうが、これを事業者、行政等が連携した「びわ湖一斉清掃」などのイベント性をもつ広域的な活動へと展開してきたことが大きな特徴であろう。

このような地域団体を中心として多数の市民が日常的、定期的に地域環境保全のための活動に参加する場合、地域では活動の意義を認識しボランティア精神を持つ自発的、自立的住民と無関心、無頓着、なるべく参加したくないと考えている住民等との間で常に対立、反目と説得、和解等々が繰り返されている。その長い時間の経過の中で多くの市民が無関心、無頓着派から、ボランティア精神を持つ自発性、自立性ある市民へと育てられ、地域環境保全のための活動が継続されているのであろう。

また、せっけん運動における市民参加(主導)型施策づくりの経験が、市民、行政の両方にその後の市民参加型町づくりへの意欲、ひいては地域文化として継承されている。例えば大津市では、「ごみ減量と資源再利用推進会議」(昭和56年(1981年)設立)での市民からの施策提言を尊重する形で清掃行政が展開されてきた。

3)滋賀県のせっけん運動の特長

滋賀県のせっけん運動とその後の特長をまとめると以下のとおりである。

①自主的な活動を進める意識の高い市民の存在(すべての市民活動に当てはまる。)

②具体的な活動目標(目に見える姿)の存在(琵琶湖の水質悪化→赤潮発生→生態系の変化)

③活動の意義認識の深まり(地域環境→琵琶湖の生態系→近畿の水がめ→地球規模の生態系)

④行政の強力なリーダーシップによる市民活動への支援

⑤行政に支持され自信を持った市民相互の声かけによるきめ細かな運動の拡がり

・合成洗剤の使用禁止に85.2%の県民が賛成(昭和53年11月アンケート調査結果)

⑥継続的な活動への展開(行政の先見的な認識と活動基盤づくり)

→「びわ湖を守る水環境保全県民運動」県連絡会議(通称:びわ湖会議)

・身近な水環境の継続的調査、各種研究会、アドバイザー制度創設、機関誌の発行等

⑦日常的な環境保全活動の展開、定着、継続→市民相互の対立、理解による育ちあい

→地域清掃・美化活動の展開:県民、行政、事業者等が連携した多様な活動

→ごみ処理への市民参加(分別排出)

→自主的なリサイクル運動(集団回収、牛乳パックの回収活動、環境生協)の展開

⑧人びとの活動を支援するイベントへの展開(マスコミの応援)

⑨活動の成果のルール化

・昭和54年(1979年)「滋賀県琵琶湖の富栄養化の防止に関する条例」制定

・昭和62年(1987年)「湖国環境プラン」策定

21世紀の望ましい環境像「自然と人との共生」→「新しい淡海文化の創造」理念

・平成4年「滋賀県琵琶湖のヨシ群落の保全に関する条例」、「滋賀県ごみの散乱防止に関する条例」施行

様々な環境問題に係わる市民運動の優れたリーダーが存在しても、活動が充分に地域全体に浸透しないという多くの現実と比べて、せっけん運動の優れた点は地域の多くの人びとに活動の意義が伝わり、実践者、支援者が多かった(例えば85.2%もある)ことである。他の地域では見られないこういう状況を生み出した最も大きな要因は、「⑤行政に支持され自信を持った市民による活動の地域への浸透」にある。すなわち地域の人びとに声かけできるまでの自信と認識を育てたものは「④行政の強力なリーダーシップと支援」である。

また、せっけん運動が一時の活性を失いながらも今日に至るまで滋賀県が環境先進県たりえたのは、行政のリーダーシップによる市民活動への支援の年月に加えて、一般の人々を巻き込む地域清掃・美化活動の継続の効果が大きいと考えている。

第3節　牛乳パックの回収やリサイクル活動に見る市民意識

昭和 50 年代後半から主婦の自主的な活動として始められた牛乳パックの回収運動が、せっけん運動とよく似た、しかしそれ以上の共感とひろがりを見せてきた。

市民の自主的な活動であるにもかかわらず、平成3年時点で全国平均16%、大阪府下では20%程度の牛乳パックが回収されていた[6]。地域によっては40%以上のパックが回収されているとも言われていた。洗って、乾かして、開いて、保管して、回収拠点まで持って行く、などの手間のかかる仕事を自発的に実践する人びとが20～25%以上も存在するのである。

牛乳パックの回収運動がここまでの成果を挙げてきたのは、3)で述べた「①自主的な活動を進める意識の高い市民の存在」が大きい。そして回収は“ものを大切にする心を育てる”ことや“緑の地球を守る”ことにつながるという「②具体的な活動目標」への認識もある。牛乳パックを集めて再生品を使うことによって循環型の経済活動を支え、使い捨て社会を変えていこうとする意識、あるいは地球環境問題の解決にも寄与するといった「③活動の意義認識の深まり」も市民によって形成されてきた。パックの回収活動は、市民自らが育てた共通認識に見られるように、啓発活動として大きな意義を持つようになっている。

そして、容器包装リサイクル法によって飲料用紙パックが分別収集計画の対象となった。「⑨活動の成果のルール化」に位置づけられる。

その後の家庭からの牛乳パックのリサイクル率は、平成8年度で18.5%、行政による回収が本格化するに従って、平成14年度で23.2%と着実に増加している。なお、製造工程まで含めた全体の紙パックリサイクル率（損紙を含む）は、31.1%となっている[7]。

省資源・資源循環型社会構築への担い手づくりには、こういった高い意識を持つ市民相互の声かけによるきめ細かな運動の拡がりが必要不可欠である。パック回収活動などに自主的に参加してきた人びとが、活動へのさらなる意欲を持って、地域の他の人びとに活動の意義を語りかけ、参加を求めて行くことができれば、さらなる担い手の誕生が期待できる。

こういった活動に自発的に参加してきた人々がそれぞれの地域で資源回収や環境保全の担い手として活動しやすいしくみ＝大勢の市民との接点をつくることが、一般の市民に資源の大切さや地球環境への認識を醸成するキッカケとして働くことになり、「省資源・資源循環型社会構築への担い手づくり」につながると考えている。

第4節　女子大生の食への意識と行動に見る環境教育の効果

地域における実践活動は、中高年の主婦層が中心となって進められている傾向がある。昭和50年代のせっけん運動を支えたのは40代女性たちが中心であったが、既婚女性を対象にした環境と食行動の実態調査[8]によると、若年の主婦は高齢の主婦に比べ環境問題に対する関心が低く、環境負荷低減化の食行動の実践状況も劣ることが報告されている。

そこで、近い将来「食」の担い手になるであろう女子学生(兵庫県および大阪府に所在の女子大学および女子短期大学の在学生)817名を対象として、平成14年10月～12月に以下に示す内容のアンケート調査を実施し、環境問題全般に対する意識と食行動の実態との関係を分析し、あわせて環境教育の効果について検討している。環境保全の意欲を持って「食」を考え行動する学生を育てるために、どのような取り組みが必要であるかについて、実施したアンケート調査結果を基に具体的に考察する。

調査内容は①環境問題に対する関心の程度、関心を持っている環境問題。環境汚染物質が健康

に与える影響の認識。②食事作りの程度、食事構成の基準。③食品の購入、食品の保存、調理、食べ方における諸行動に対する環境負荷低減化の認識と実践状況。④食行動に伴って生じるごみの処理方法。⑤環境負荷低減化行動に対する実践意欲。⑥回答者の属性（所属分野、居住地、居住形態、祖父母との同居、年齢）などである。

1）食行動における実践と認識

食品の購入、保存、調理、食べ方の4分類において、それぞれについて環境負荷が低いと考えられる行動を10項目ずつ列挙し、実践している項目、および環境負荷が低いと思う項目を尋ねた（複数回答）ところ、全項目の平均の実践率は41.5%、平均の認識率（環境負荷が低いと思う者の割合）は48.8%であり、認識率が実践率より高かった。

食品の購入に関する行動においては、「スプーンや箸はもらわない」「容器が使い捨てのものは避ける」「買い物袋を持参」および「過剰包装を避ける」を環境負荷が低い行動であると認識している者がいずれも認識率70%以上と多かったが、実践率が低いのが特徴であった。

一方、「旬の食材を選ぶ」「地元・国産のものを選ぶ」は、約40%の者が実践しているが、環境負荷低減化に寄与するという認識率は約10%と極めて低かった。これらを実践している場合の基準は、食品のおいしさや安全性であると考えられ、環境負荷とのつながりが理解されていないものと思われる。

食品の保存に関する行動においては、「食品表示に気を配り、期限内に食べる」「各食品に適した保存方法をとる」「残った食材は適切な方法で保存する」はいずれも実践率が65%以上と高かった。しかし、それらの行動が環境負荷低減化に寄与するという認識率は実践率よりも低かった。期限内に消費することや適正に保存することは食味上、食品衛生上必要であり、経済性においても必要であるために実践されているが、食品を廃棄することがエネルギーの損失とごみの増量をきたし、環境負荷を高めるということはあまり認識されていないと考えられる。「ラップフィルムを使わない」は非常に認識率が高いにも関わらず実践率が極めて低く、利便性を優先した行動がとられていることを象徴的に現わしていた。

調理に関する行動では、環境負荷低減化に寄与するという認識率が高い項目が多かった。しかし、認識率に対して実践率は概ね低く、特に水やエネルギーの節約に直結する行動や使用済み油の取り扱いに関する行動において、認識と実践とのギャップが大きかった。これらの項目は自己の経済的損失になることが明らかであり、支出を抑えることよりも利便性を優先した行動をとる者が多いことを示している。

食べ方に関する行動においては概ね認識率と実践率との差が小さかった。これは、食べる行為は女子学生が主体的に行うことができるからであると思われる。ただし、「外食の残りを持ち帰る」は実践率が4.9%と極めて低く、社会システムの問題であると思われる。

上記の40項目個々について、環境負荷が低いと認識しているかどうかと実践しているかどうかとについて、クロス集計を行った結果、認識している者の方が実践しているといえた項目は、食べ方における「家族が一緒に食卓を囲む機会を多くする」のみであった（$p<0.05$）。その他の項目については、認識の有無と実践の有無とに有意な関係はなし（20項目）、あるいは認識している者の方が実践している割合が少ない（19項目）であった。つまり、項目ごとに見た場合には、女子学生の食行動は環境負荷との関係よりも、その他の要因との関係に起因していることが多いと考えられた。

2）環境問題に対する関心と環境負荷低減化食行動

環境問題への関心は、「大いにある」が16.6%、「少しある」は60.9%であった。一方、「ほとんど関心がない」は1.9%と少なかった。

1)で述べた 40 項目について、実践項目数を基準にして、回答者を実践度合い別の 3 群に分類し、環境問題への関心の強さと環境負荷が低い食行動の実践状況との関係を検討した。ここで、40 項目中の実践項目数が「平均値±標準偏差」の範囲内の個数の者を平均的に実践している群(以後中群とする) とし、項目数がそれ以下の者を実践度合いが極めて低い群 (以後低群とする)、項目数がそれ以上の者を実践度合いの極めて高い群(以後高群とする) としたところ、低群は 18.6%、中群は 66.3%、高群は 15.1%であった。環境負荷が低いとの認識についても実践の場合と同様の処理をして認識度合い別の 3 群に分類し、環境問題への関心の強さと環境負荷が低い食行動の実践度および認識度とのクロス集計を行った。

その結果、環境問題への関心が強いほど実践度が高く、関心が強いほど認識度も高いといえた。従って、環境問題に対する関心を高めることが認識を深め、実践につながることが確認できた。

女子学生が最も関心を持っている環境問題は「地球の温暖化」であり、81.3%の者が関心を持っていると答えた。次いで「オゾン層の破壊」「家庭ごみ」「水質の汚染」「ダイオキシン」「飲み水の汚染」「大気の汚染」であり、女子学生が関心を持っている「環境負荷低減化のための行動・制度」では、「リサイクル」が 58.4%と最も多く、次いで「容器の回収」、「ごみの分別」であった。このことから、女子学生は日常生活の中で実践しやすいリサイクルやごみの分別に関心を持っていることが示された。

環境汚染物質が、自らの健康、および次世代の健康に影響を与えると考えている割合は、自らの健康に対して「大いに影響を与える」60.8%、「少し影響を与える」35.1%であり、「あまり影響を与えない」「まったく影響を与えない」は合わせても 4.1%と少なかった。次世代の健康に対しては、「大いに影響を与える」が 71.3%であり、環境汚染物質が自身への影響よりも次世代へ与える影響が大きいと受け止めている結果となった。

環境問題に注意を払うきっかけになった媒体として「学校の授業」をあげたものは58.5%と多く、その時期としては「大学」が、科目としては「環境の専門科目」が最も多かった。

本調査の回答者の中には、私が担当する「地球環境論」の受講者が31.9% (256名) 含まれている。そこで、「地球環境論」受講の有無による比較を行ったところ、「地球環境論」を受講している群の方が環境問題に強い関心を持っていた (有意確率：$p<0.001$)。また、受講している群の方が、環境汚染物質が自らの健康に及ぼす影響が大きいと受け止める ($p<0.01$)とともに、次世代の健康に及ぼす影響も大きいと受け止めていた($p<0.001$)。

表 10-1　環境問題に関する関心の強さと「地球環境論」受講の有無

環境問題に対する関心の強さ	地球環境論受講***		回答者
	していない (n=542)	している (n=253)	全体 (n=795)
大いに関心がある	11.6	27.3	16.6
少し関心がある	59.2	64.4	60.9
あまり関心がない	26.6	7.9	20.6
ほとんど (全く) 関心がない	2.6	0.4	1.9

*** : $p<0.001$

「地球環境論」受講の有無と環境負荷低減化食行動の実践度および認識度との関係は表 10-2 に示すように、認識度 ($p<0.05$)、実践度 ($p<0.01$) のいずれにおいても、受講している群の方が高かった。また、本調査の回答者のうち所属分野が「食」の者は、全員が地球環境論を受講していなかった。そのため、食に関する興味は強いはずにもかかわらず、他の所属分野の者に比

べて環境問題への関心度、環境負荷低減化食行動の実践度、認識度が高いとはいえなかった。すなわち、環境問題に関する専門科目を受講することが、学生に環境問題に対する関心を持たせる機会として寄与し、実際の食生活面における環境負荷低減化行動に良い影響を与えたことが確認できた。しかし、「地球環境論」受講による実践度や認識度の差は大きなものとは言えず、学校における環境教育だけでは、不十分であることが把握できた。

表 10-2　「地球環境論」受講の有無と環境負荷低減化食行動の実践度および認識度

「地球環境論」受講の有無	実践度**			認識度*			回答者全体
	低群 (n=148)	中群 (n=526)	高群 (n=120)	低群 (n=129)	中群 (n=527)	高群 (n=139)	(n=802)
受講している	25.5	31.0	43.8	23.5	32.6	37.4	31.9
受講していない	74.5	69.0	56.2	76.5	67.4	62.6	68.1
受講している(n=254)	15.0	64.1	20.9	11.8	67.7	20.5	100
受講していない(n=541)	20.4	67.2	12.4	18.3	65.6	16.1	100

*：p<0.05、**：p<0.01

3) ごみ分別、リサイクル活動への協力

暮らしの中で不用になった「調理屑・残飯類」、「かん・びん類」、「食品トレー」、「ペットボトル」、「牛乳パック」、「卵パック」の排出方法を尋ねた。「調理屑・残飯類」の分別収集や回収ルートはほぼ皆無であり、堆肥化する、庭に埋めるといった個人的な有効利用方法に限られるが、回答者では 9.5%がそういった方法によってリサイクルを行っていた。「かん・びん類」は地域のごみの分別方法によって排出方法が決まっている状況が見られた。その他の品目では「回収拠点等に持参」「他の用途に利用」「資源ごみ収集に出す」を協力していると分類すると、「ペットボトル」、「牛乳パック」は協力率が 60%以上と高く、「卵パック」は協力率が 26.3%と低かった。卵パックについては回収ルートが確立されていない地域が多いことを反映していると考えられる。

環境問題に対する関心の強さとリサイクル協力率との関係は、すべての品目において、関心が強いほど協力率が高い傾向が認められた。この意味で、環境問題への関心を高める教育は、学生の実践行動に影響を与えることが期待できる。

女子大は神戸市と富田林市に立地しているが、「かん・びん類」以外の容器包装類である「食品トレー」、「ペットボトル」、「牛乳パック」、「卵パック」については、富田林市にある女子大では「回収拠点へ持っていく」人の割合が平均より 3～8%高かった。大学の位置が居住地と一致するものではないが、周辺地域でのリサイクルの受け皿の存在やリサイクルへの意識の高さが反映された結果であると推察された。また、居住形態において、「家族と同居」の者は、「一人住まい」「寮」の者に比べてリサイクル協力率が 1.5～2 倍程度高かった。このことは、家庭や地域において実践されている分別やリサイクル活動を日常的に意識する機会や活動との接点の有無が、女子大生の意識と行動に大きな影響を与えていることを示している。

4)環境教育のあり方

環境専門科目の受講は、環境問題への関心を高める効果があり、環境問題への関心を高めることが、女子大生の環境負荷低減化食行動の実践度、認識度を高めることに繋がると期待できる。しかし、食行動に伴って生じるごみの処理方法においては受講の有無との関係は認められず、市町村ごとの分別方法や、リサイクルの受け皿と地域や家庭でのリサイクル活動の有無などが大きく影響することが把握できた。すなわち、地域や家庭での実践的な分別・リサイクル活動を認識することが有効な環境教育になっていることが示された。この点から、女子大生の廃棄物管理/

資源循環への意識を高めるためには、学校などの教育の場の日常生活おいても、リサイクルや分別・処理方法を体験し実行する機会を与えることが重要であると考えられた。

近年、市民や学生によって自発的に進められている「お祭りのエコロジー化」、すなわち大学祭や地域のお祭りなどのイベントで、ごみの分別、回収ステーションをつくり、多くの人びとに声をかけながら分別、リサイクルやリユースの実践行動を求めていく取り組みは、楽しく実効性のある環境教育、環境学習の場となっている[9)、10)、11)]。

大学祭において、使用済み使い捨て容器などを洗浄して分別するリサイクルステーションを設置したところ、多くの女子大生の共感と協力を得ることができた。“Silent majority”予備軍を実践する活動主体へと変える効果があったと考えている。

第5節　廃棄物管理/資源循環システム形成への市民と行政の関係性

近年、循環型社会形成推進基本法が成立し、廃棄物管理/資源循環型社会の形成が推進される中で、活動主体である市民と自治体・行政がどのように協働をすすめるべきかが課題となっている。山本ら[12)]は、廃棄物計画における市民参加では、よりいっそう市民と自治体が協力する必要が生じていることを指摘すると同時に以下のような課題を示している。

『シェリー・アーンスタインは、市民参加のレベルを 1：世論操作、2：セラピー(住民の不満をそらす操作)、3：情報提供(一方通行)、4：意見聴取、5：懐柔(形式的参加)、6：パートナーシップ、7：(一部)権限委譲、8：住民によるコントロール、の8つの段階として示したが、廃棄物処理計画策定における市民参加とは、どの段階の参加であるかが問われるようになっている。形式的な住民参加と住民の権利としての参加は区分され、今自治体が市民参加といっている場合、どの段階の参加であるのかを明確に意識する必要がある。市民参加への批判は、もう一方で、市民の欲求のレベルが上がってきていることも関係している。マズローが唱えた欲求階層説では、図10-2に示すように人の欲求は階層構造となっており、下位の欲求が満足されると上位の欲求へと高度化していくとしている。今日の日本のように成熟しつつある社会では、人びとはより高度な欲求の充足を求めていると見ることができる。しかも、価値観が多様化するとともに自由に使用できる時間が増加することにより、人々はいくつかの集団に帰属し、その中で自己実現の欲求を満たすことを目指している。このような人々の一部が廃棄物問題に興味を持ち、市民団体や自治体が組織する団体の中で自己実現を果たしていこうとしているのであり、その人たちが図10-1の「活動主体」に該当すると考えられる。このような人々にとっての市民参加とはアーンスタインの参加の階梯で言えば、6の段階を越え7から8の段階を目指そうとしているのである。今後の市民参加における課題は、自治体等が市民参加という場合、どの段階の参加であるのかを明確に意識する必要があることである。』

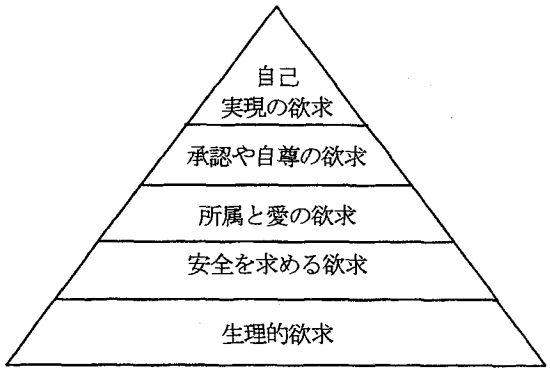


図10-2　マズローの欲求階層
(文献12より引用)

以上の山本らの指摘は、廃棄物計画の策定における市民参加における課題を示したものであるが、具体的な廃棄物管理/資源循環システムの構築やその運用における市民の活動と環境・ごみ行政の関係においても、同様の課題があると考えている。

本章では、廃棄物管理/資源循環システムが多くの市民によって形成されてきた状況と、市民主導によって形成されたシステムが行政の支援や協働によって飛躍的に実効性を高め、社会システムとして確立されてきたことを示した。その意味で、様々な法整備も含めて、廃棄物管理/資源循環型社会形成への転換は、活動主体である多くの市民と環境・ごみ行政の連携によって進められてきたものである。

市民の活動は、その多くが次世代に健全な生活環境を遺すといった高潔な意識と自己実現の欲求とに支えられている。一方、環境・ごみ行政は、ごみの適正処理や社会経済活動との調和など、活動する市民とはまったく異種の課題を眼前に抱えていて、その課題を克服することが、行政としての責務であると考えている。このように、活動する市民と環境・ごみ行政を担う人びととの状況や課題への認識には大きな違いがある。だからこそ、お互いの違いを尊重した協働が大きな力に成りうるのであるが、その協働が成り立つまでには対立が生じやすい。本来、対立は相互理解を深めてくれるが、市民と行政との対立は市民の活動意欲の喪失に繋がりかねず、行政の配慮が最も求められるところである。

今後、より実効性のある多様な廃棄物管理/資源循環システムを構築するためには、次世代に健全な生活環境を遺すという意識を持つ活動主体としての市民を尊重しつつ、リーダーシップを発揮して、市民、事業者の活動を支援し、協働する姿勢が環境・ごみ行政が求められる。

第6章　小括

望ましい食品資源循環システムの構築に不可欠な排出源における分別を実践する市民や事業者が増えるためには、経済的インセンティブのみではなく、もっと直接的に市民、事業者の共感と実践に結びつく働きかけやしくみが必要である。

1991年の廃棄物処理法の改正、1995年の容器包装リサイクル法成立、その後2001年までの環境基本法やリサイクル関連法の成立の背景には、こういった法制度の整備を求め、実効性のある環境・リサイクル各法の成立を後押ししてきた活動派の市民の存在がある。

その一方で、具体的に声を上げないものの、ごみ処理やリサイクルのための分別を実践する多くの人びと＝活動主体が存在する。こういった実践する多くの人びとが廃棄物管理／資源循環システムの担い手であり、関心がなく実践をしない人びとを一人でも多く活動主体に変えるしくみが求められている。

環境先進県として、地域全体で高いレベルの意識や活動が醸成されている滋賀県においては、昭和40年代から始まった主婦たちを中心とした「石けん使用運動」が、行政に支援されて地域での活動をより充実させ、多くの意識の高い市民を醸成してきた。そして今でも環境を守るための多くの活動として地域の人びとに継承されている。

また、1980年頃から主婦の自主的な活動として始められた牛乳パックの回収運動は、大きな共感とひろがりを見せ、牛乳パックを集めて再生品を使うことによって循環型の経済活動を支え、使い捨て社会を変えていこうとする意識や、地球環境問題の解決にも寄与するといった活動の意義認識の深まりが市民によって形成され、啓発活動として大きな意義を持つようになった。容器包装リサイクル法によって飲料用紙パックが分別収集計画の対象となったように、市民の活動が廃棄物管理／資源循環システムを作り上げてきた。

一方、多くの若年の主婦や大学生は、廃棄物管理／資源循環システムを作る活動や環境に配慮した暮らしへの関心が低いという指摘があり、担い手づくりの大きな課題となっている。近い将来「食」の担い手になるであろう女子学生を対象としたアンケート調査によると、多くの女子学

生が関心を持っている「環境負荷低減化のための行動・制度」は、「リサイクル」が最も多く、次いで「容器の回収」、「ごみの分別」であった。環境問題への関心が強いほど環境負荷を低減する食行動の実践度が高いといえた。環境問題に関する専門科目を受講することが、学生に環境問題に対する関心を持たせ、実際の食生活面での環境負荷低減化行動に良い影響を与えていることが分かった。しかし、食行動に伴って生じるごみの処理方法においては受講の有無との関係は認められず、市町村ごとの分別方法やリサイクルの受け皿、地域や家庭でのリサイクル活動が女子大生にとって有効な環境教育になっていることが示唆された。

近年、市民や学生によって自発的に進められている「お祭りのエコロジー化」、すなわち大学祭や地域のお祭りなどのイベントで、ごみの分別、回収ステーションをつくり、多くの人びとに声をかけながら分別、リサイクルやリユースの実践行動を求めていく取り組みは、楽しく実効性のある環境教育、環境学習として大きな期待を感じさせてくれる。

廃棄物管理/資源循環システムの成立に不可欠な市民意識の醸成を担ってきた市民の活動は、その多くが次世代に健全な生活環境を遺すといった高潔な意識と自己実現の欲求とに支えられている。一方、環境・ごみ行政は、ごみの適正処理や社会経済活動との調和など、活動する市民とはまったく異種の課題を眼前に抱えているため、協働が成り立つまでに対立が生じやすく、行政の配慮が最も求められるところである。今後、より実効性のある多様な廃棄物管理/資源循環システムを構築するためには、次世代に健全な生活環境を遺すという意識を持つ活動主体としての市民を尊重しつつ、市民、事業者の活動を支援し、協働する姿勢が環境・ごみ行政に求められる。

第10章　参考文献

1) 山川　肇，植田和弘：ごみ有料化研究の成果と課題：文献レビュー，廃棄物学会誌，Vol. 12, No. 4, pp. 245-258 (2001)
2) 大阪府農林水産部流通対策室・大阪府動植物性残渣リサイクル事業協議会：動植物性残渣リサイクルモデル事業推進調査・検討報告書，pp. 10 (1993)
3) 環境省：わが国における廃棄物・リサイクル対策の系譜，平成13年度版循環白書・序章第2節，http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/hakusyo.php3?ki d=214
4) 藤村コノエ：ＮＰＯのイニシアティブで成立した環境教育推進法，廃棄物学会編集・市民がつくるごみ読本Ｃ＆Ｇ，中央法規出版，No. 8, pp. 22-27 (2004)
5) 川名英之：日本の公害，緑風出版，第10巻，pp8-76 (1994)
6) 大阪府廃棄物減量化・リサイクル推進会議：牛乳パックの回収に関する調査報告書 (1992)
7) 全国牛乳容器環境協議会：http://www.yokankyo.jp/change/index.html
8) 松島悦子：環境に関する生活者への調査・その3・エコ・クッキング，東京ガス(株)都市生活研究所 (1997)
9) ＥＣＯ学園祭ネットワーク編著：お祭りエコロジーのすゝめ，全国青年環境連盟(エコ・リーグ) (2003)
10) 坂東淳子：祭りでの環境対策と環境教育，廃棄物学会編集・市民がつくるごみ読本Ｃ＆Ｇ，No. 8, pp. 36-39, 中央法規出版 (2004)
11) 太田航平：お祭りと環境のいい関係，廃棄物学会編集・市民がつくるごみ読本Ｃ＆Ｇ，No. 8, pp40-43, 中央法規出版 (2004)
12) 山本攻、西谷隆司：廃棄物計画と市民参加，廃棄物学会誌，Vol. 13, No. 6, pp341-346 (2002)

総括ならびに結論

本論文では、都市域から多量に発生する食品残渣の中でも、再生利用が遅れ一般廃棄物として処理されている食品廃棄物の望ましい資源循環システムの構築に向けて、多様な視点からそのあり方を考察し、資源利用効率が高く環境負荷が小さい食品残渣の飼料への再生利用を組み込んだ食品資源循環システムを提案した。また、飼料化できない食品残渣については、これをメタン発酵によってエネルギーに変換し、できる限り資源回収を図ることを提案し、システム全体のコンセプトを示した。同時に、飼料化することが比較的容易と考えられた重要な食品残渣の飼料化技術について、種々の開発研究の成果をとりまとめ、個々の要素技術の特徴を明らかにするとともに、その経済性についても評価した。同様に、飼料化しにくい食品残渣のメタン発酵と周辺技術についても検討し、これらを組み合わせたトータルな資源循環システムの事業モデルの提案とその採算性について検討したうえで、望ましい食品残渣の資源循環システムを実現するために克服すべき社会的・経済的課題についても検討した。

第1章では、わが国と大阪府下における食品残渣の発生状況を把握した。

平成8年度のわが国の一般廃棄物5,300万トンのうち、家庭系1,000万トン及び事業系600万トンが食品廃棄物であり、産業廃棄物340万トンを加えた合計1,940万トンの食品廃棄物が排出されていた。このうち、食品製造業から排出された産業廃棄物の 48%は再資源化されているが、一般廃棄物中の食品残渣の再資源化率はわずかに0.3%にとどまっていた。また、平成14年度では、食品産業全体から平成8年度の120%に当たる1,131万トンの食品廃棄物が発生しており、その量が増加し続けていることが示されている。一方、平成14年度の食品産業における再生利用率は45%となり、平成8年度の17%からは大きく増加したものの、事業系一般廃棄物に分類される外食産業、食品卸売業、食品小売業などから排出される食品残渣の再生利用率は24%にとどまり、再生利用の用途は肥料化の割合が最も高くなっている。

平成11年度の大阪府下では、比較的大規模な事業所等からの食品残渣の発生量は1,540トン／日で、廃食用油、魚あら、残飯の合計230トン/日が回収・再生利用される一方、事業系一般廃棄物として1,310トン／日、さらに家庭から1,900トン／日の合計3,200トン／日の食品残渣が一般廃棄物として焼却処理されていた。特に、事業系一般廃棄物として焼却処理されている食品小売業、外食産業等の事業所から排出される食品残渣は、売れ残り、調理屑、残飯等さまざまな食品が混合して排出されるためにその再生利用が遅れており、これらの食品残渣の再生利用方法の確立が喫緊の課題であることが明示された。

第2章では、食品残渣の望ましい資源循環システムを検討する上で考慮すべき課題として、地球規模の資源循環の適正化、及び環境負荷を低減する持続的な循環型農業の実現に寄与すると考えられる窒素、リン循環の適正化に着目し、窒素、リン及び炭素循環における資源利用効率の向上という視点から食品残渣の再生利用システムを評価するとともに、その課題を把握した。

輸入農産物に多くの食料、飼料を依存し、食料自給率が主要先進国の中で最低の水準となっているわが国では、畜産糞尿から発生する窒素、リン量が、収穫される作物と飼料が持つ窒素、リン量の2倍以上もあり、多量に投入される化学肥料とともに農地は環境汚染源となっている。畜産糞尿の循環利用方法がほぼ堆肥化、肥料化に限定されることから、さらに食品残渣を肥料として農地に投入することは農地への窒素、リンの過剰投入につながるものと考えられた。一方、わが国への窒素、リンの投入量を低減するという点において、食料や飼料の自給による輸入量低減

は有効な方策であり、都市域で発生する食品残渣の飼料利用は、この方策を推進するために大きく貢献するものといえる。また、食品残渣中の有機物に含まれる炭素や窒素、リン、その他ミネラル分の利用効率によって資源化法を評価した場合には、食品化≧飼料化＞メタン回収（液肥利用）＞堆肥化＞メタン回収（水処理）となることから、食品残渣の飼料利用はこのような視点からも優れた方策であると考えられた。従って、地球規模の資源循環の適正化、環境負荷を低減する持続的な循環型農業の実現という面から、都市域で多量に発生する食品残渣を飼料として再生利用することが最も望ましい方向であると考えられた。

一方、食品残渣の飼料化システムの確立においては、発生源において異物混入のない食品残渣が分別排出されることが不可欠であり、重要な前提条件といえるが、市民の分別排出への意識は、身近なリサイクル活動によって醸成されるものであり、家庭や地域における食品残渣の堆肥化、農業利用等の活動は、循環共生農業への意識の醸成や新しい循環型食文化や廃棄物管理/資源循環型コミュニテイの実現を可能にする活動として積極的に持続すべき方向性であるとも考えられた。

以上の検討から、都市域から発生する食品残渣については、飼料化を中心としながら、堆肥化と食料生産を結ぶ地域循環を組み込んだ多様な循環システムを確立することが望ましい方向性であると結論した。

第3章では、現状の食品残渣由来再生飼料への需要についての調査と、飼料化において考慮すべき安全性や栄養価値等についての考察、食品残渣の成分や栄養価値等についての調査結果に基づいて、飼料化を中心とした各種食品残渣の再生システムを検討し、食品残渣の再生飼料を利用した畜産と水産、畜産糞尿を利用した農業から生産される食料供給システムからなる循環システムを望ましい食品資源循環システムとして提案した。

現在、都市域で発生し事業系一般廃棄物として焼却処理されている多くの食品残渣の排出特性、収集形態などを調査した結果によれば、栄養成分から見てその多くは飼料化するうえで十分有用であり、排出者の意識の醸成と合理的な収集ルールの設定により安全性にかかわる異物の混入をさけるための分別収集も可能となるものと考えられたことから、それぞれの特性に応じて飼料として有効利用することができるものと結論した。また、魚あら、廃食用油、残飯等についての既存の食品残渣のリサイクルシステムを参考事例として解析し、事業系一般廃棄物として処理されている各種食品残渣の飼料化等再生利用システムを具体的に提案することができた。

すなわち、①従来より分別回収、再生利用されている魚あら、廃食用油の回収システムの維持、②食パンや麺類、おからやすしレストランの残渣など成分が安定した食品残渣の流通価格が高価な養魚用飼料原料への再生利用、③食品小売業や卸売市場などからまとまった量が排出される野菜・果実屑の牛の飼料への再生利用、④数多く存在する食堂、学校給食などから排出される残飯類の多量回収による成分の均質化、安定化と、脱油・乾燥処理による豚・鶏の飼料への再生利用、さらに⑤カビが生えたものや異物分離が困難な生ごみ等のメタン発酵処理を中心としたエネルギー・資源回収システムからなる再生利用システムである。

以上の食品残渣の飼料化システムを軸として、家庭や地域における食品残渣の堆肥化、メタン発酵処理によるエネルギー回収と液肥の農業利用を加え、食品残渣の再生飼料を利用した畜産、水産と、畜産糞尿等を利用した農業から生産される農産物の食料供給システムからなる循環システムを望ましい食品資源循環システムとしている。

第4章では、スーパーマーケット等から排出される容器包装類に入った食品残渣から、異物がまったく混入しない精度で容器包装類を分離するための袋除去技術開発のための実験結果を基に

選定した最適システムを適用した際の処理コストを試算した。

圧縮式袋除去機は、分離した食品残渣に異物の混入はまったくなく、特に弁当・すしなど容器の上にラップフィルムで包装されたものや串に刺さった焼き鳥など、従来、分離に困難を極めたものにも優れた除去性能を示した。また、パン類や麺類のように袋と内容物が分離しにくい残渣にはCO_2レーザーによって切り目を入れた後、圧縮式袋除去機で分離することによって、スーパーのみならず一般に流通、販売されているプラスチック製や紙製の容器包装に入った食品残渣が、ほぼ全て高速で分離できることが示された。本システムについて、人件費、機械の減価償却費、電力費を含む袋除去工程のみの処理コストを試算すると、圧縮式袋除去機で分離可能なものは高く見積もっても 0.53～4.15 円/kg、CO_2レーザーによって切り目を入れ、圧縮式袋除去機で分離するものでは、1.9～4.1 円/kg となり、十分に実用可能な試算となった。

第5章では、養魚用飼料に適した食品残渣として、排出特性や成分を基に食品製造業から排出される練り製品残渣と、事業系一般廃棄物として処理されている寿司残渣とおからを選択し、これらを乾燥し、回収した魚アラから再生されているフィッシュミール等を加えて養魚用ペレット飼料を製造する技術を検討するとともに、製造したペレット飼料の有効性をマダイへの給餌試験から確認した上で、本飼料化事業におけるペレット飼料の製造コストを試算した。

“ごはん”を多く含む食品残渣を含水率が充分に低く蛋白質変性等が少ない状態に乾燥するために、汚泥乾燥に利用されている解砕機付き気流乾燥機による食品残渣の乾燥特性を伝熱解析によって把握し、“ごはん”を多く含む食品残渣や練り製品残渣の乾燥に適した気流乾燥機の設計諸元を得て、これを基に重油ボイラ利用の熱風乾燥方式の解砕機付き気流乾燥機を設計した。乾燥した食品残渣等から養魚用ペレット飼料を製造する場合の用役費、施設建設費の減価償却費と人件費を含む製造コストは、製品 1kg 当たり 115 円となり、熱や脱臭設備などの支援があれば製品 1kg 当たり 96 円となった。養魚用ペレット飼料は比較的高価で、市販価格は 1kg あたり 140 円程度となっていることから、食品残渣を原料とする養魚用ペレット飼料が流通する可能性は十分にあることが明らかとなった。

第6章では、スーパーマーケットや卸売市場から発生する野菜・果実屑から牛の飼料に適した野菜・果実屑を選別し、トウモロコシ、フスマや乾燥豆腐粕等の副資材を加えて含水率を調整し、乳酸発酵によって良質なサイレージやTMR(Total Mixed Ration:必要な栄養成分がすべて配合されている飼料)を製造する技術について検討し、製造コストを試算した。

実機規模での高速嫌気発酵装置を用いたサイレージ化実験によって、製造された野菜・果実屑サイレージ中のアフラトキシン含量は 10ppb 以下で安全性も高く、牛の嗜好性も良く、野菜・果実屑サイレージは商品として十分に流通できるものであることが把握できた。また、水分 33%の野菜・果実屑サイレージの原料と消耗品のコストは製品 1kg 当たり 35 円となった。人件費と減価償却費を含む製造コストはサイレージ製品 1kg 当たり 56 円となった。TMRやサイレージが販売されている事例は少なく、その市場価格は不明であるが、牛用の配合飼料が 40 円/kg 程度であり、付加価値の高いTMRやサイレージは配合飼料の価格を上回ることが可能であると考えれば、野菜・果実屑を利用した牛の飼料製造は、事業として成り立つ可能性があると考察した。

第7章では、古くは養豚用飼料として利用されていた都市域で多量に発生する残飯類を鶏・豚用飼料として再生利用するために、広域的な流通を可能にする乾燥処理や脱油処理の既存技術とその課題を把握した。さらに、粗脂肪含量が高い残飯類を脱油・乾燥して良質な飼料を製造する

ために試作されたバッチ式蒸洗クッカー処理及び過熱蒸気循環ロータリーキルン乾燥機による乾燥飼料化実験から得られた知見をもとに、残飯類の最適脱油・乾燥飼料化システムを設計し、製造コストを試算した。

バッチ式蒸洗クッカー・過熱蒸気乾燥処理によって、乾物ベースで粗脂肪が20～30%程度の残飯類の粗脂肪を70%以上除去できたが、乾燥製品の粗脂肪含量は7～10%程度となった。このように粗脂肪が若干高めであるが、乾燥品の品質は概ね良好であった。実験によって得られた知見を基に、粗脂肪含量をさらに低下させるとともに、熱損失を抑え、人手を軽減し、コストを低減する実機レベルでの最適蒸洗クッカー・乾燥処理システムを設計した。残飯類を2ｔ/時、1日24時間稼動して残飯類48ｔ/日から脱油乾燥飼料10ｔ/日を製造し、1ｔ/日の油を回収するケースにおける製造コストは乾燥飼料1kg当たり72円、必要な乾燥エネルギーを余熱等で支援されれば50円/kgとなった。また製造コストを原料の食品残渣1kg当たりの処理費としてみれば15円/kgで、廃棄物の処理費とすれば安価であることが把握できた。配合飼料の販売価格は製品1kg当たり40円程度となっているが、既存の残飯乾燥飼料の引き取り価格は10～14円/kg程度でしかなく、残飯類の乾燥飼料化システムの成立には乾燥用燃料コストの低減や、徴収できる食品残渣の処理料金が大きな要因となることが明らかとなった。

第8章では、異物分離が困難な食品残渣や飼料原料に適さない食品残渣を対象として、メタン発酵によるエネルギー回収技術と消化液中の栄養塩類の有効利用方法や処理方法等を検討し、総合的な処理コストを試算した。

メタン発酵処理では、高温処理と比較べて維持管理が容易で、消費エネルギーが小さく、消化液水質が良好で安定した処理が可能な中温メタン発酵処理の特長を活かしつつ、処理効率と衛生面での機能を向上させることを目的として、前処理に余熱を利用した食品残渣の加熱処理を加え、汚泥滞留時間（ＳＲＴ）を長くする槽構造を持つ間欠攪拌方式による中温メタン発酵処理システムの性能を実験によって把握した。食品残渣の加熱処理は、ＶＳ除去率を高め、投入ＶＳ当たりのガス生成量を19%増加させた。ガス生成量とメタン含有率から計算されるメタン収率と炭素のメタンガスへの転換効率は、生ごみの高温メタン発酵処理実験の結果によく一致すると報告されている擬似分子式と化学量論式による計算値より十分に高く、エネルギー収支の試算によると加熱処理によって発電量と余熱利用量が増加することから、食品残渣の加熱前処理による中温メタン発酵処理は衛生的なエネルギー回収技術として優れた特性を持つことが明らかとなった。なお、ＳＲＴを長くする槽構造を持つ間欠攪拌方式による養豚廃水の中温メタン発酵処理においても、メタン収率と炭素のメタンガスへの転換効率を向上させうることを明らかにしている。

消化液の凝集処理水の脱窒素処理実験においては、残存しているＢＯＤや廃食用油が脱窒素に利用できる可能性が示唆された。また、消化液の凝集処理によって発生する汚泥を堆肥化できることが実験によって確認できた。消化液中の栄養塩類の利用方法として、ユーグレナ生産による飼料利用を検討したが、生産物にとって不純物である消化液中の有機物を凝集処理によって除去したため、ユーグレナ培養に新たなリンやミネラルの添加が必要となった。メタン発酵消化液の好気性微生物処理特性とユーグレナ培養の可能性の検討が今後の課題である。また、食品残渣に含まれるリンはメタン発酵処理によってリン酸にまで分解されていると考えられ、これをリン酸マグネシウムアンモニウム（ＭＡＰ）やヒドロキシアパタイト（ＨＡＰ）として結晶化し回収できれば、飼料添加物として再利用できる可能性がある。環境負荷の低減と資源利用効率の向上を図る方策としてリンの回収方法の検討が今後の課題である。

加熱前処理・中温メタン発酵、消化液の凝集、硝化脱窒素処理及び汚泥の堆肥化処理からなる

一連のシステムの処理コストは食品廃棄物 1kg 当たり 12 円と試算され、廃棄物の処理コストとしては安価であるが、売電価格を 5 円/kWh とすると売電収入は処理費全体の 1 割程度にしかならないことが把握できた。

第 9 章では、大阪府下における食品残渣の排出特性に基づいて、第 4 章から第 8 章で検討した養魚用ペレット飼料製造システム、野菜・果実屑の高速乳酸発酵・飼料化システム、残飯類の脱油・乾燥飼料化システム、及び異物混入が避けられない食品残渣や生ごみを対象とするメタン発酵によるエネルギー・資源回収システムを有機的に結合し資源利用効率を高めた食品資源循環事業モデルを提案した。

個々の飼料化システム及び食品資源循環センターの事業採算性についてＩＲＲを指標として検討したところ、マダイ用ペレット飼料のように流通価格が高い飼料や、牛のＴＭＲ化のように副資材を添加して付加価値が高い飼料を製造するシステムでは、処理料金として 15 円/kg を徴収できれば、概ね採算がとれる事業であることが把握できた。一方、残飯類の脱油・乾燥飼料化システムのように含水率が高い食品残渣の乾燥飼料化においては、徴収できる処理料金と乾燥用燃料コストが製品価格に大きな影響を及ぼすことが明らかとなり、安価な燃料の検索が一つの課題であることが把握できた。また、乾燥用エネルギーが支援されても、製品価格を 15 円/kg としてＩＲＲ10%の事業とするためには、処理料金を食品残渣 1kg 当たり 18 円徴収する必要があることが把握できた。

食品残渣を 230 t ／日処理し、870G J /日のガスを生産するメタン発酵・消化液処理・汚泥堆肥化システムの事業化においても、ＩＲＲが 0%となるためには電力を 12 円／kWh で売却できても食品残渣 1kg 当たりの処理料金を 27 円／kg 徴収しなければならないことが把握できた。

一方、メタン発酵処理等のシステムによってエネルギーと電力を供給する食品資源循環センターでは、施設建設費をすべて負担する場合でも、食品残渣 1 kg 当たり 19 円の処理料金を徴収できれば民間事業として成り立つことから、個々のシステムを事業化するよりも、事業採算性が良くなることが把握できた。しかし、大阪府下や京都市におけるごみ処理原価は少なくとも 1kg 当たり 20 円以上であるにもかかわらず、平成 11 年度の大阪府下の市町村の事業系廃棄物の処理手数料は概ね 3 円～15 円/kg となっており、食品資源循環センターが処理料金 19 円/kg を徴収することは難しいと考えられた。

このように排出者が市町村の処理施設に搬入して支払う事業系廃棄物の処理手数料が実際の処理に要する費用より安く設定されている状況は、大阪府下のみならず全国的な傾向であり、このことが食品残渣の飼料化システムを中心とした望ましい食品資源循環事業の実現への大きな障害となっていることを明らかにした。

第 10 章では、飼料化を組み込んだ望ましい食品資源循環システムの成立にとって不可欠な、排出源において分別する市民や事業者、すなわち廃棄物管理／資源循環システムの担い手を増やす働きかけやしくみについて考察した。

廃棄物処理法改正、環境基本法やリサイクル関連各法成立の背景には、法制度の整備を求め、実効性のある環境・リサイクル各法の成立を後押ししてきた活動派の市民が存在し、地域や家庭において実践活動に取り組む市民とともに、廃棄物管理／資源循環システムを作り上げてきた。

一方、多くの若年の主婦や大学生は、リサイクル活動や環境に配慮した暮らしへの関心が低いという指摘があるが、環境問題に関心を持つことが女子大生の食行動における実践につながることを把握した。また食行動に伴って生じるごみの処理においては地域や家庭での実践的な分別・

リサイクル活動が有効な環境教育になっていると考えられた。近年、市民や学生によって自発的に進められている「お祭りのエコロジー化」、すなわち大学祭や地域のお祭りなどのイベントで、ごみの分別、回収ステーションをつくり、多くの人びとに声をかけながら分別、リサイクルやリユースの実践行動を求めていく取り組みは、楽しく実効性のある環境教育、環境学習として有効であり、その拡がりに大きな期待が持てると考えられた。

廃棄物管理/資源循環システムの成立に不可欠な市民意識の醸成を担ってきた市民の活動は、その多くが次世代に健全な生活環境を遺すといった高潔な意識と自己実現の欲求とに支えられており、今後より実効性のある多様な廃棄物管理/資源循環システムを構築するためには、活動主体としての市民を尊重しつつ、市民、事業者の活動を支援し、協働する姿勢が環境・ごみ行政に求められることを示した。

本研究では、食品残渣の飼料化を組み込んだ望ましい食品資源循環システムを具体的に提案し、飼料等への再生利用技術とその課題を明らかにするとともに、食品資源循環システムの実現に不可欠な分別やリサイクル活動を実践する担い手づくりのための働きかけやしくみ作りについて考察した。

食品残渣を食品循環資源として再生利用するためには、最も重要な前提条件である排出源での分別排出を実現しなければならない。排出者が分別排出する意思を持つか否かを決める要因として、環境保全、資源の有効利用などへの意識とともに、多くの事業者にとってはその処理に要する費用負担が大きい。従って、意識の醸成とともに、処理費用負担の軽減が、排出事業者による分別排出実現への大きなインセンティブとなる。

一方、本研究で明らかになったように、食品資源循環事業は、徴収できる食品残渣の処理料金によってその採算性が大きく影響されるが、大阪府下のみならず全国的な傾向として、食品残渣が一般廃棄物として処理される場合に、排出者が市町村の処理施設に搬入して支払う処理手数料が実際の処理に要する費用より安く設定されている状況、すなわち事業系一般廃棄物の処理費用の大半を自治体＝税金で負担している状況が、食品資源循環事業の成り立ちを困難にしている。

これは、廃棄物処理が都市の公衆衛生対策の一つに位置づけられてきた過去の経緯の中で生じた状況であろうが、近年の資源使い捨て社会にあっては、その主旨と現実が大きく解離し、食品残渣のみならず、資源循環のための再生に関連する様々な事業の実現における障害となっている。

この障害を取り除くには、廃棄物処理手数料の見直しが必要であるが、事業系一般廃棄物の処理手数料の設定等に関する議論は未だ不十分であり、市町村における廃棄物処理手数料を処理原価とすることは前途多難な状況にある。

このような社会状況において、持続可能な資源循環共生社会の構築に不可欠な望ましい食品資源循環事業が遂行されるためには、公衆衛生確保のために廃棄物処理事業を政策的に進めてきたように、望ましい資源循環事業が成立し、かつ排出者による分別排出実現へのインセンティブとなるような支援策が、持続可能な資源循環共生社会の形成に寄与するという趣旨を明確にしつつ、政策的に進められることが必要不可欠である。

環境負荷を低減し、資源利用効率を高め、食料安全保障にも寄与する飼料化を組み込んだ望ましい食品資源循環システム形成に向けて、廃棄物/資源管理分野における適切な政策決定とその遂行が求められている。

本論文が、子どもたちの未来に健全な生活環境と食料生産システムを遺すための食品資源循環システムの構築に寄与することを願っています。

謝　辞

本研究の遂行と本論分の作成にあたり、終始御懇篤なる御高配と御指導を賜りました大阪大学大学院 工学研究科 教授 藤田正憲博士に、心より感謝の意を表します。

また、本論文の査読並びに御校閲を賜り、貴重な御助言を頂きました大阪大学大学院 工学研究科 教授 盛岡 通博士、同 助教授 池 道彦博士に謹んで感謝の意を表します。

本論分の作成にあたり、有益な御指導、御助言を頂きました静岡県立大学 環境科学研究所 教授 岩堀恵祐博士に深く感謝の意を表します。また、様々に御指導、御支援を賜りました大阪大学大学院 工学研究科 助手 清 和成博士、同 技官 山岡ゆり子氏、同 事務補佐官 多胡知子氏に深謝いたします。

本研究の遂行にあたり、多大なる御支援と御指導を賜りました大阪府立食とみどりの総合技術センターの亀岡俊則博士(現、財団法人畜産環境整備機構 特別研究員)、西村和彦博士、入江正和博士(現、宮崎大学農学部 教授)、石塚 譲研究員に深く感謝し、心より御礼を申し上げます。また、有益な御助言を頂きました㈱モリプラントの森 忠明社長、倉橋美彦氏、中村恒二氏、並びに全大阪魚蛋白事業協同組合 事務局長 今井光夫氏に厚く御礼申し上げます。

最後になりましたが、本研究の遂行にあたり、終始有益な御助言と励ましを頂いた廃棄物学会研究委員会廃棄物計画部会関西グループの皆様と、甲南女子大学 教授 倉賀野妙子博士に、心より御礼を申し上げます。

本論文に関連のある主な業績

1．論　文

1) 池田由起，石塚　譲，入江正和，亀岡俊則，石渡　卓，鈴木孝彦，松田行雄
食品残渣のマダイ用飼料化システムの開発と事業採算性の検討
廃棄物学会論文誌、Vol.15，No.4，pp.246-255(2004)

2) Ikeda Y.，Kurahashi Y.，Nakamura K.，Mori T.，Kameoka T.
Effect of Heat Pretreatment on Mesophilic Methane Fermentation of Food Refuse in Municipal Solid Waste
Japanese Journal of Water Treatment Biology，40(4)，pp.153-160(2004)

3) 西谷隆司，池田由起，山本攻，立道誠，新居広隆
病院・学校等の公共施設における食品廃棄物の排出実態と資源化の検討
生活衛生，Vol.49. No.1，pp.35-43(2005)

4) 大喜多祥子，花﨑憲子，池田由起，倉賀野妙子
環境負荷低減化のための食行動に関する女子学生の意識と教育効果
日本調理科学会誌，Vol.38，No.3(2005)(印刷中)

5) 池田由起，倉橋美彦，中村恒二，森　忠明，亀岡俊則
養豚廃水の中温メタン発酵処理におけるメタン収率と炭素転換効率
廃棄物学会論文誌(審査中)

6) 西村和彦，斉藤　貢，野原克一，崎元道男，亀岡俊則，池田由起，藤井昌之，古田東司，入江直樹，豊田　薫，三嶋弘次，倉橋美彦，中村恒二，渡邊一仁
蒸洗クッカーで脱油した食品残渣由来飼料の品質
大阪府食とみどりの総合技術センター研究報告，40，pp.24-28(2004))

7) 石塚　譲，入江正和，亀岡俊則，石渡　卓，松田行雄，池田由起
マダイ *Chrysophrys major* の発育と肉質に及ぼす食品循環資源飼料の影響
大阪府食とみどりの総合技術センター研究報告，pp.41(2005)（印刷中）

2．その他

1) 池田由起：食に関わる有機性資源の望ましい循環を考える
平成15年度廃棄物計画部会研究活動報告－廃棄物計画論の確立をめざして（13）－
廃棄物学会研究委員会廃棄物計画部会，pp.132-139(2004)

2) 池田由起：21 世紀の循環資源(管理)計画を考える－有機性資源～食品残渣～の循環利用を考える－
平成12年度廃棄物計画部会研究活動報告－廃棄物計画論の確立をめざして(10) －，
廃棄物学会研究委員会廃棄物計画部会，pp.121-123(2001)

3) 池田由起：リサイクル養豚
平成11年度廃棄物計画部会研究活動報告－廃棄物計画論の確立をめざして（9）－
廃棄物学会研究委員会廃棄物計画部会，pp. 96-100(2000)
4) 池田由起：廃棄物計画と市民参加－「市民はこんなに頑張っている」事例・総括
平成 14 年度廃棄物計画部会研究活動報告－廃棄物計画論の確立をめざして(12)－
廃棄物学会研究委員会廃棄物計画部会，pp. 134-139(2003)
5) 池田由起：活動する市民コンサルタントの立場から市民参加型の廃棄物計画を考える
平成 13 年度廃棄物学会研究シンポジウム講演論文集，廃棄物学会，PP35～40(2001)
6) 池田由起：「市民参加を促す“しくみ”を捜す」―省資源・資源循環型社会構築への担い手づくり―
平成 8 年度廃棄物計画部会研究活動報告，
廃棄物学会研究委員会廃棄物計画部会，pp. 112-116(1997)