

## 目次

1. 研究の背景と目的
2. エコフィードの概要
3. 食品循環資源の排出実態と飼料化への可能性
4. 事例調査
5. エコフィードを利用した資源循環システムの成立要件
6. 結論

## 1. 研究の背景と目的

近年、飼料価格の高騰に対する飼料費削減のため、自給率の向上のため、加えて資源の有効利用と環境影響低減のためから、「食品残さを利用した家畜飼料（以下、「エコフィード」と呼ぶ）」が注目を集めている。しかしながら、その一方で安全・安定的な原料の確保が難しいことやエコフィードの製造コストが高いことなどからエコフィードは普及していない。エコフィードに関する既存の研究を見ると、(1) エコフィードに利用できる食品残さの量やその品質、供給安定性等が把握されていないこと、(2) エコフィードに関する既存研究は飼料の栄養評価や環境評価を主に行なわれ、経営コストに関するものが少ないこと、(3) 資源循環システム（食品残さの収集－飼料製造－家畜肥育－畜産物の食品加工－消費－食品残さの排出－食品残さの収集…）を全体で評価した研究が少ないことが課題として挙げられる。

そこで、本研究では、第一に、現在、排出されている食品廃棄物のうち、どれほどの量がエ

コフィードとして利用可能なのか、排出側の取り組み状況や今後の意向を調査し、エコフィードの安定供給の可能性を検証すること、第二に、エコフィードを利用した資源循環システムを事例調査し、その成立要件を定性的に把握すること、そして第三に、エコフィードを利用した資源循環システムに取り組む事例について、環境面と経済面の両面からの分析を試みることで、その成立要件を定量的に把握し、より効率的なエコフィード利用システムにするための課題点を明らかにすることを目的とする。

以下、第2章では、エコフィードとはどのようなもので、どのような原料からどのように製造されるのかをまとめる。1節ではエコフィードとそれを利用した資源循環システムの概略、2節では原料として利用される食品残さについて、3節ではその原料の処理方法（エコフィードの製造方法）について記述し、エコフィードの概要を把握する。第3章では、今後のエコフィード普及に先立ち、エコフィードの原料となる食品循環資源のどれほどの量が家畜に供給できるかの把握を試みる。食品循環資源の排出源

である食品小売業に対して実施したアンケートをもとに、食品循環資源の排出状況とその食品循環資源の飼料化への取り組みについての意向を明らかにする。第4章では、実際にエコフィードを利用した資源循環システムに取り組む4つの事例を取り上げ、その概要と特徴をまとめる。これによりエコフィードを利用した資源循環システムにどのような課題があり、それぞれの事例がどのように対処しているのかを定性的に明らかにする。第5章ではエコフィードを利用した資源循環システムの事例対象に環境面と経済面の両面から分析を試みることにより、現在のエコフィードを利用した資源循環システムの問題点を明らかにし、今後のエコフィード普及に向けての課題を定量的に明らかにする。ここでの分析対象は、都市<sup>ちゆうかい</sup>厨芥を原料としたリキッド式エコフィードを利用した資源循環システムとし、環境面からの分析としてライフサイクル・アセスメント (Life Cycle Assessment; 以下、「LCA」と呼ぶ)、経済面からの分析としてライフサイクル・コストング (Life Cycle Costing; 以下、「LCC」と呼ぶ) を手法として分析・検証する。

本研究の特色は、分析対象を「エコフィードを利用した資源循環システムの全体」にまで広げ、環境面と経済面の両面から分析することにある。つまり、エコフィードを利用した資源循環システムの負担を、排出者である食品業者、利用者である飼料製造業者、畜産農家に留めるのではなく、消費者までをリサイクル・ループに組み込んだ社会全体で支えるシステムの構築の妥当性を論理的、実証的に明らかにすることにある。本研究が、資源供給側の都市と需要側の地域農業とを結びつけた資源循環型社会における畜産経営モデルの構築に寄与することを期待する。

## 2. エコフィードの概要

### 2.1 エコフィードの概念

平成13年5月に「食品循環資源の再生利用等

の促進に関する法律（平成12年法律第116号、以下「食品リサイクル法」）」が施行され、平成19年12月には食品リサイクル法の一部を改正する法律（平成19年法律8号、以下「改正食品リサイクル法」）が施行されている。食品リサイクル法では食品廃棄物等のうち飼料化や肥料化に有用なものを「食品循環資源」と定義しており、エコフィードとはその食品循環資源を原料にして、給餌のし易さや保存性の向上を目的として飼料用に加工されたものをいう。

エコフィードを利用した資源循環システムの流れを図1に示した。フードシステムの各段階で発生した食品循環資源は、収集運搬業者によって、処理業者に搬入される。搬入された食品循環資源は、処理業者によって異物や腐敗物等の混入のチェック、分別がなされた後、処理加工される。その主な処理方法には、乳酸発酵（サイレージ）方式、乾燥方式、湿式（リキッド）方式がある。また、取り組む事業主体も多様である。公共団体やその機関が取り組むものや、以前からの廃棄物処理業者が新たな処理方法として取り組むもの、食品企業、廃棄物処理業者、畜産農家などが複数で集まり、協同組合を立ち上げて取り組むもの、ビール企業などの大手企業が子会社を立ち上げて自社の食品循環資源の

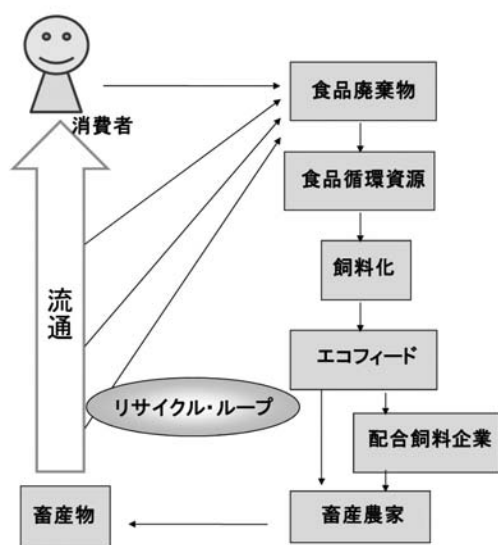


図1 エコフィード資源循環システム

処理に取り組むものなどがある。そのほかにも飼料会社やエコフィード製造プラントのメーカー、NPO法人が取り組む事例もある。

製造されたエコフィードは、畜産農家が製造した場合、自家で消費されるが、それ以外の場合、配合飼料メーカーもしくは畜産農家に販売される。配合飼料メーカーに販売された場合、その他の原料と配合し、配合飼料として畜産農家に販売される。畜産農家に販売された場合、畜産農家において、配合飼料などと混合・栄養調整され、給餌される。給餌対象となる家畜も、乳用牛、肉用牛、肥育豚、採卵鶏、ブロイラーなど様々である。豚・鶏への給与なら、牛の脊椎、死亡牛由来のものが含まれていなければ動物由来の蛋白質の使用も可能である。牛にエコフィードを給与する場合は、BSE発生防止の観点から、動物由来の蛋白質が含まれていないことに注意しなくてはならない。そして、エコフィードを利用して生産された畜産物は食材として流通し、資源循環システムが達成される。ちなみに食品リサイクル法では、排出された食品循環資源を再生利用し、生産された農畜産物を、食品循環資源を排出した当該食品関連事業者が購入・販売することによって達成される資源循環システムを「リサイクル・ループ」と呼ぶこととしている。

## 2. 2 原料となる食品循環資源

エコフィードの原料となる食品循環資源には、食品製造・加工の過程で発生し、食用として利用されなかったものや、食品流通段階で発生する売れ残り食品、消費段階で発生する未利用食品や食べ残しなどがある。一般に、利用される食品循環資源には発生の段階に応じて以下のような特徴がある。フードシステムの川上側に位置する食品製造段階や食品加工調理段階で発生する食品循環資源は、均質なものが大量にかつ安定的に発生するため、再生利用しやすい。一方で、川下側の食品流通段階、食品消費段階で

は、食品の加工・調理が進み、多種多様の内容物が混在した状態で発生する。そのため、分別が困難である。また、川下の事業所は小規模で食品廃棄物の発生量が少なく、かつ店舗も点在于ることから、収集が困難である。このため、食品循環資源の再生利用率は、川上側の事業者で高く、川下の事業者の取り組みは遅れている。また、食品循環資源に共通の特徴として、水分含量が高いため腐敗しやすく、保存や広域流通が難しいことがある。

飼料化において食品循環資源を利用する場合、異物や腐敗物の混入は家畜生産性に影響するため安全性が確保されなくてはならない。また、家畜飼料は日々利用するものであるため量と質の安定性が担保されなくてはならない。さらには、収集の困難性、コストの問題などに配慮されたものであることも必要である。排出段階によって発生する食品循環資源の特徴は異なるため、その特徴を把握したうえで飼料としての要求を満たすエコフィード製造システムを構築することが重要である。

## 2. 3 処理加工技術

食品残さは、いわゆる「残飯養豚」として古くから主に豚用の飼料として利用されていた。地域で発生したものがそのまま、あるいは簡単な処理をして利用され、それが一般的な養豚の姿でもあった。しかしながら、食品残さは水分含量が高いため腐敗しやすく、広域流通には不向きである。また、腐敗による悪臭の問題や安全性の問題、栄養調整がなされずに給餌されれば肉質の低下に繋がるといった問題もあり、扱いにくい。そのため、多頭飼育化に伴い、残飯養豚は衰退していった。現在のエコフィードはそうした問題点を解決し、給与のし易さや保存性を高めるための製造方法として、乳酸発酵(サイレージ)方式、乾燥方式、湿式(リキッド)方式が採用されている。その方式の概要を表1に示した。

表1 エコフィードの製造方法

方式	概要	
乳酸発酵(サイレージ)	原料を密封することで乳酸発酵を起こし、雑菌による変質を防止する方法。	
乾燥	高温乾燥	熱風によって原料を乾燥させる最もポピュラーな乾燥方法。
	ボイル乾燥	蒸気ボイラーにより高温で乾燥・殺菌をして製造する方法。
	高温発酵乾燥	微生物の発酵熱を利用して乾燥処理する方法。
	油温減圧脱水乾燥	廃食用油を熱媒体とし、天ぶらのように油によって脱水乾燥する方式。
湿式	リキッドフィーディング	原料と水を混合・攪拌し、液状にしたものをパイプラインで家畜に給餌する方法。
	発酵リキッドフィーディング	雑菌の繁殖を抑えるためにリキッドフィードを製造したすぐ後に乳酸発酵させ、pHを下げることで保存性を高めたもの。

サイレージ方式は、利用できる原料が限られ、水分調整や発酵管理が難しいものの、発酵により保存性が高まり、後述するように液状の飼料を製造するリキッド方式の難点である運搬の困難性もない。ただし、乳酸発酵させるためには同時にある程度の量の原料が必要であり、また、利用できる原料は加熱殺菌処理の必要のないものが中心となる。そのため、原料はビール粕や豆腐粕、果汁粕、醤油粕などの粕類、野菜屑等に限定される。

乾燥方式は、加熱・殺菌しながら乾燥させるため、安全性・保存性が高まる。また、減量化もなされるため、広域流通にも適している。しかしながら、水分量の多い食品循環資源を乾燥させるためにエネルギーの投入が大きく、コストが掛かり、また、再生利用により環境影響が増大してしまう可能性がある。加えて、ボイル乾燥方式、油温減圧脱水方式では、脱脂が必要となり、高額な脱脂機への投資や要求される脱脂技術の高さなど各方式の課題もある。

リキッド方式は、水分を多く含むため腐敗のリスクや輸送コストが問題となり、広域流通には不向きである。しかしながら、発酵リキッドフィーディングでは、乳酸発酵によりpHが下げられ、腐敗のリスクは低減される。また、水分の多い食品循環資源を幅広く扱えることや、給餌の際に粉塵が飛散しないために給餌ロスの低減や豚舎の環境・衛生面での向上に繋がることなど多くの利点も報告されている。エネルギー

消費量の大きい乾燥方式に対して、エネルギーを多く要しないため環境影響の観点からも近年注目されている処理方法である。

以上のようなエコフィード製造方式が、現在、一般に採用されている。ちなみに、乾燥方式、リキッド方式では、飼料化工場の設備投資が大きいことが課題として挙げられる。特にリキッド方式では、利用する農場においても給餌のためのパイプライン等への投資も必要であり、初期投資の大きさが問題とされている。

### 3. 食品循環資源の排出実態と飼料化への可能性

#### 3.1 調査の目的と方法

食品循環資源の飼料化は川下産業での取り組みが遅れている。川上の食品製造業に比べて、事業所が小規模・分散しており、食品廃棄物の発生量が少なく、効率的な収集が困難であること、また質・量ともに発生が不安定で、異物混入リスクも高いこと等が原因している。農林水産省(2007)によると平成18年度に食品小売業、外食産業から発生した食品廃棄物は5,662千トンであり、食品産業全体の11,352千トンのおよそ半分を占めている。しかしながら、発生した食品廃棄物のうち飼料化に仕向けられている割合は食品小売業で9%、外食産業で4%と低い。今後のエコフィードの広範な普及を考えると、川下産業から発生する食品循環資源は無視できない。

そこで、川下産業である東京都新宿区と世田谷区の2か所の商店街で、事業所の食品廃棄物の排出の現況把握、「排出」という処理行為における分別意識と分別にかかるコスト意識の関係についてアンケート調査を行った。限られた事例調査であるため、調査の中心的目的は、特に排出者側のエコフィード原料に仕向けるための分別作業への意識と、それにかかるコスト意識を知ることになった。それを知ることによってエコフィード仕向け可能量の潜在量の推定も可能になる。

目的の背景は、コスト観点、原料確保の観点で、エコフィード化に最も重要な「分別作業工程」の中心となる作業場をどこに置くかにある。エコフィード工場においてよりも排出者の意識的な行動として、日常の排出時に高いレベルで分別することがエコフィードのライフサイクルからみて費用最小の分別法であり、しかもそれがエコフィード仕向け原料の増大にも寄与すると考える。なぜなら、工場で分別する場合、機械分別するには分別機への莫大な投資、目視分別するには労働費を支払わなければならない。それらはエコフィード製造のための固定費として計上される。しかし、排出者側の高い意識での分別排出作業は分別労働費を相殺する効果がある。従って、分別作業の主要工程を排出者側に置きたいのである。

とは言っても、分別の水準が上がればそれに応じて分別作業にかかるコスト認識の高まりは避けられない。それでもエコフィード工場に分別工程を置く場合のコストより低いならば、エコフィード工場側が排出者側の分別水準に応じて処理料金を割引くという経済的インセンティブを用意するのは合理的である。そこで、排出者側の分別認識とこれに対応するコスト意識を明らかにしようとするのがこの調査の狙いである。

調査対象事業所は、東京都新宿区の早稲田大学周辺商店連合会と世田谷区の桜新町商店街・三軒茶屋商店街の2か所から抽出した。

早稲田大学を取り囲む「早稲田大学周辺商店連合会」には約170店舗の食品関連事業者が営業している。地域通貨「アトム」を流通させ、環境や国際支援活動で貢献した人、町内会イベントに参加した人に配布している。学生街で飲食店が多いことから、1998年に商店連合会が生ゴミ処理機を導入し、生産された堆肥を栃木県・茂木町の大豆農家に販売し、農家で完熟堆肥にして大豆を栽培し、これを同商店連合会の豆腐屋が購入し、豆腐を製造・販売するという食品リサイクル・ループができていた。残念ながら、この豆腐屋は、一昨年に廃業してこの取り組みは終了したが、茂木町のアンテナショップが出店する他、茂木町との各種農村交流を通じて環境、農業、食べ物への理解を深めるよう努めている。

桜新町商店街は国民的人気漫画「サザエさん」の作者である長谷川町子さんが住む街として有名で、サザエさんをテーマにした町興しをする一方、一帯が学生街であり、若者世代の住人が多いこの伝統的なマチの美化意識、環境意識高揚の活動の一環として、2003年に「温風乾燥式生ごみ処理機」を町内一角に設置した。ゴミの分別の知識を得ること、習慣づけることを狙いとしていて、買い物客も利用できるようにした。乾燥した生ごみは東京農大で有機肥料化し、その製品は商店街の買い物客に配付するという資源循環ループを形成している。

調査は2008年12月に実施した。調査方法は、対面による聞き取り調査と、訪問して調査回答を依頼し、これを受諾してくれた店舗に郵送回答を依頼する方式での調査の2種類の方法を採用した。調査対象は100店舗で、このうち郵送回答調査分の不回答の発生により、結局、61店舗からの有効回答を得た。

調査票は、回答事業所における食品廃棄物の発生状況、廃棄の際の分別状況、食品リサイクル法およびエコフィードの認知状況、飼料化への取り組み意思と取り組むための条件、飼料化

へ取り組む場合の処理料金等に関する15の質問項目を設け、主に選択式で回答を得た。

### 3. 2 結果

以下に、まずは全体的な単純集計結果を示す。

1) 回答を得た事業所の業種は、食品小売業が16事業所、飲食店が27事業所、分類困難なその他の18事業所であった。

2) 最低限の分別である食品廃棄物とそれ以外の廃棄物と分別は33事業所（55%）で実施している。想定していた水準よりもかなり低い。小売店と飲食店に分けて、最も多くが実施している分別は、小売店の売れ残り品では「食品部分と容器を分離すること」、飲食店・加工店の厨房・作業場では「廃食用油を回収する」であった。エコフィードは、野菜・果物類、穀類・麺類、魚介・肉類の種類分別を望みたいところであるが、これは全く実施されていない。

3) 食品廃棄物の種類、量に季節的な変動があるかの質問には、「変わらない」が36（59%）、「殆ど変わらない」が11（18%）で多数を占めていた。予想していたよりも季節変化は小さい。この点はエコフィードに好都合である。

4) 「食品リサイクル法」を知っていたかでは、「十分に内容を知っている」は2、「要点をある程度知っている」は15、「名称は聞いたことがある」は27、「知らない」は14の回答を得た。環境に対する意識が高いはずの調査地区商店街では

あるが、川下事業者への周知徹底はまだ不十分である。さらに、「エコフィード」という言葉を知っていたか聞いたところ、「十分に内容を知っている」は2、「ある程度知っている」は6、「名前は聞いたことがある」は16、「知らない」は34という回答を得た。1つの重要な資源循環の方法であるエコフィードについても、やはりその理解はまだまだ不十分である。しかしながら、エコフィードの意味、意義を写真付きで説明した後で、「エコフィード化のための分別に関心を持ちましたか」の質問では、「以前から関心があった」は11、「非常に関心を持った」が9、「少し関心を持った」が25、「あまり関心を持たない」が10、「全く関心を持たない」が3、という回答分布になった。程度の差を無視するなら「関心を持った」が74%を占め、エコフィードへの関心の高さを示した。

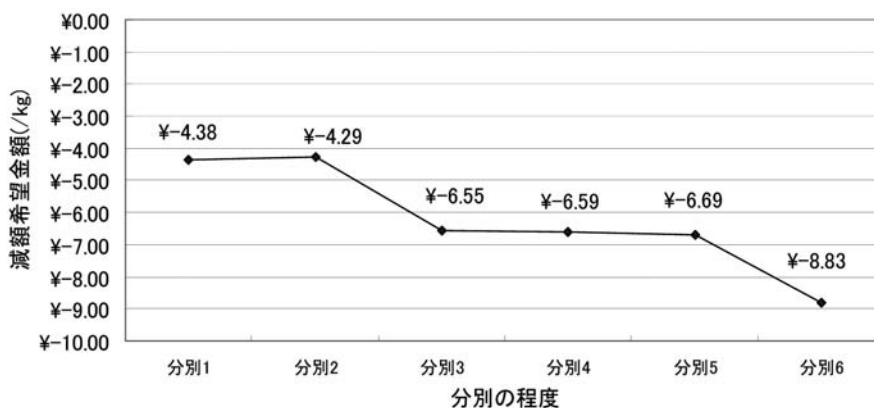
次に、エコフィード原料資源へ仕向ける場合の経済性と分別作業への意識の関係を整理する。

5) 「どのような条件であればエコフィード化に参加協力するか」を聞いた。表2に集計結果を示すが、圧倒的的回答数は「分別することによる処理料金の減額」であった。続いて「分別が簡素であること」、「収集システムが確立していること」、「収集容器等への初期投資に行政から補助があること」、という順に回答数が高かった。やはり経済的なインセンティブが用意されることが最大の関心事である。良質なエコフィード

表2 食品廃棄物の飼料化に参加協力するための条件

設問	回答数 (事業所)	割合 (%)
分別によって、廃棄物処理料金が安くなること	35	57.4
初期投資に行政から助成がつくこと	21	34.4
分別がなるべく簡素であること	28	45.9
エコフィードで生産された畜産物に消費者が理解を示し、購入してくれること	12	19.7
取り組みにより店のイメージの向上が図れること	10	16.4
飼料化業者から分別の仕方や廃棄量削減のアドバイスがもらえること	3	4.9
地方自治体や業者が食品廃棄物の収集システムを確立していること	24	39.3
飼料化業者と継続的な取引を行えること	6	9.8
エコフィードを推進している店として行政から認証が得られること	3	4.9
行政などから業者や農家に関する積極的な情報提供があること	3	4.9
その他	4	6.6

注1) 11の回答選択肢から3つまでを選択。



非食品の分別	分別1	非食品(食器・調理器具・つまようじ・タバコ・ビニール・ホイル・洗剤等)が混ざらないようにする。
	分別2	未開封品を容器(パック等)から中身を分離する。
不適切食品の分別	分別3	食品の中でも飼料化できないもの(カビ・腐敗したもの等)が混ざらないようにする。
	分別4	食品廃棄物の中でも水分が多いものを水切りする。
原料種類の分別	分別5	食品廃棄物の中で飼料化できないもの(コーヒー粕や卵のから・貝殻・生肉や魚のアラ等)を分別する。
	分別6	飼料化できる食品廃棄物を種類別に分別する(例えば「穀物類」、「野菜類」、「魚介・肉類」)。

図2 分別の程度と処理手数料の希望減免額の関係

原料を安定確保するためには経済的なインセンティブを与える手法を用意する必要がある。一方、分別作業の手間等の自己負担を軽減したいという心理も表明している。

6) 現状の処理方法である焼却埋め立ての処理料金は、条例で定められている125円/kgで一律であった。

7) 分別作業の程度(レベル)とそれに対するコスト意識との関係についてである。ここでの設問は、あらかじめ分別作業の程度を6段階に分けて設定し、各分別レベルを実施できる処理料金(引取り料金)の希望減免額を質問した。結果は図2に示す。6段階の分別レベルの具体内容も図2の下段に定義している。ここで、「希望減免額」とは「現状の焼却処理料金に比べて、どれくらい減免してくれるならばその分別に取り組むか」の金額である。ちなみに現状の焼却処理料金は条例で定められている125円/kgが相場であった。

集計結果によると、想定していた6段階の分別レベルを高めるにつれて、希望減免額は大きくなる。ただし、この減免額は、第1～2段階の分別と第3～5段階の分別、第6段階の分別

の3ステージに分かれた。第1～2段階の分別レベルは食品と非食品の区別である。この初歩的な分別レベルに対しては現状の処理料金よりも4円強の減額を求めている。この金額は第1～2段階の分別に対するコスト意識(分別費用の自己見積もり額)である。第3～5段階の分別レベルは、食品廃棄物の中で飼料化原料に不適なものを除去するというレベルの分別であるが、この分別を実施するためには、現状の処理料金よりも6～7円の減免額を求めている。最後の第6段階の分別レベルは、飼料化できる食品廃棄物を、さらに種類ごとに分別する最終レベルの分別である。種類ごとに分別することでエコフィードを製造する工程が大幅に合理化され、かつ成分調整が容易になる。この分別のメリットは大きいですが、これには9円の減額が求められた。

図2の右下がり線は一種のエコフィード原料供給曲線を表している。現状の焼却処理料金(引取り料)は125円/kgであるが、これは全く分別ができておらず、エコフィード原料には仕向けられない。この処理料金を引き下げてゆくほど、分別作業の水準を引き上げて、そして同

時にエコフィード原料を供給する意思表明線である。

複数の種類の食品廃棄物を排出している事業所は、食品廃棄物資源の種類に応じて分別のレベルを変え、仮に、それまで一部は焼却廃棄、一部は堆肥化していたとしよう。処理料金に、分別水準に応じた減免措置を導入するなら、一部をエコフィード用途に仕向ける分別作業を開始する。こうして、減免措置の導入は、エコフィード向け割合を高める効果もある。原料品質の改善と原料の安定確保の両方に寄与する。

この場合、図2から言えることは、分別5レベルを実施する7円程度の減免（最低限の減免額は5円/kg）を設定したい。なお、5～7円は輸送料金をやや下回る額であろう。輸送料金相当額が減免されるならエコフィード用原料はかなり確保されることになる。問題は、この減免額を如何にして確保するかであるが、これは後段の議論に繋ぎたい。なお、ここに得たエコフィード供給曲線は限られた事例調査からの試算値であることに留意しなければならない。

以上により、食品廃棄物の飼料化が進んでいない川下の食品事業所においては、まずは食品リサイクル法やエコフィードを十分に認知されること、そして、食品廃棄物の処理料金を引き下げるなどの経済的インセンティブを導入すること等が示唆された。次章からは、実際にエコフィードを利用した資源循環システムに取り組む事例をもとに、どのようなシステムや料金体系であれば、食品廃棄物の排出業者、飼料化事業者、畜産農家等が持続的に参加できるのかを明らかにしていく。

## 4. 事例調査

### 4.1 エコフィードに取り組む事例とその概要

#### 1) 単一製造副産物を利用したリキッド式エコフィード

鹿児島県の有限会社A牧場は、所有する2牧

場のうちの1牧場で焼酎粕を利用したリキッド式エコフィーディングに取り組む養豚農家であり、地域で発生する単一の製造副産物原料を利用する事例である。A牧場は母豚数780頭、出荷頭数17,000頭（平成17年の実績）の一貫経営で、全ての飼育期間でリキッドフィーディングに取り組んでいる。子豚期は配合飼料のみを利用したリキッドフィードを給与し、その他の期間は焼酎粕と配合飼料を混合したリキッドフィードを給与している。平成16年に設立された同農場は、当初から焼酎粕を利用する計画で設立されており、設備投資は約1億円と比較的安価で、補助金は利用していない。一般に、リキッドフィーディングを導入する場合、飼料調製のためのキッチン、コンピュータ管理システム一式、給餌のためのパイプラインなどの設備投資が大きくなるのが課題として挙げられる。しかしながら、A牧場の場合、利用する食品循環資源を焼酎粕のみと決めているため、必要最小限の設備投資に抑えることができています。また、購入していた配合飼料が、処理料金を受け取れる焼酎粕に代替されるため、飼料費削減効果が大きく、計算上、設備投資は5～6年で回収できている。

原料となる焼酎粕は、鹿児島県内の焼酎メーカーから受け入れている。内容物は、芋焼酎粕と麦焼酎粕の混合物である。委託した運搬業者により週110トンの焼酎粕が搬入され、A牧場は焼酎メーカーから処理料金を受け取る。運搬業者には運搬料金を支払う。処理料金は、以前の海洋投棄した場合の処理費用と同程度である。焼酎粕は、焼酎メーカーで発生した焼酎粕を農場に輸送するだけであるため、異物混入のリスクはほとんどない。また、焼酎の製造段階で加熱処理されていることに加え、発生の段階ですでにpHが低くなっていることから、運搬中の腐敗リスクも低い。輸送された焼酎粕は、農場のコンクリート・タンクに貯蔵される。焼酎粕との混合用に委託配合された配合飼料が準備され



ており、飼料給与の際に、焼酎粕、配合飼料、水分調整用の水をミキサーで混合し、給与する。毎日、豚が食べるだけの量を調製し、その生産量は乾物重量で日量15トンになる。

給与するエコフィードは、焼酎粕と配合飼料の成分データを基に、豚日本飼養標準（独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構、2005）の値を満たすように調製される。水分含量は78%で、繊維分はやや高めになっている。焼酎粕の配合割合は、乾物量で1割である。原料が焼酎粕のみであるため、栄養の偏りをなくすために、配合割合は低くならざるを得ない。生産された豚肉の販売は、配合飼料のみで生産された豚と同様に扱われ、地域のと畜場や農協に出荷されている。

## 2) 都市厨芥を利用したリキッド式エコフィードー大規模養豚経営の取り組みー

千葉県のある有限会社Bは、首都圏の食品工場から排出される副産物や、コンビニエンスストアから排出される賞味期限切れの弁当等を自社工場に収集し、リキッド式エコフィードに加工し、自社関連の4農場にて利用している。大規模な養豚経営法人が飼料化工場を設立して、都市厨芥を原料にリキッドフィーディングに取り組む事例である。関連農場全ての母豚飼育頭数は3,600頭、肥育豚出荷頭数は年間66,000~70,000頭で、日本有数の大規模養豚経営である。有限会社Bでは、以前は農場毎に食品循環資源を収集し、エコフィードを製造、給与していたが、2007年に自社飼料化工場を建設し、現在は、分別や調製に手間のかかる原料を工場に集め、エコフィードを製造し、各農場に輸送する体制となっている。工場の建物とシステムの設置費用は、5億5,000万円で、うち2億4,150万円が農林水産省からの補助金である。各牧場のエコフィード関連の設備投資については、当農場は工場開設前からエコフィードの利用に取り組んでおり、長期間に渡って継足し投資をしてきていることか

ら正確な金額は把握できていない。千葉県リキッドフィーディング実用化地域技術検討会（2004）が関連農場に対して実施した調査によると、コンピュータ制御による肥育豚6,000頭規模のリキッド飼料給与設備への設備費用が5,890万円で、うち2,802万円が補助金であった。以前の設備の減価償却が完了してから、次の投資を行っているとのことであったが、かなり大規模な投資となっている。

有限会社Bが利用する食品循環資源の取引先の多くは千葉県内の食品工場やコンビニエンスストア向けのベンダー企業や大手外食チェーンのセントラルキッチンである。内容は、パン類、米飯類、弁当類、惣菜類などである。2008年4月からはコンビニエンスチェーンの販売期限切れ弁当の扱いも始めている。熱をかけないでエコフィードを製造するため、内容がはっきりしない原料は取り扱わないようにしている。処理料金は、各排出事業所と契約で決めており、原料の内容や処理の手間、配合飼料の相場などを考慮して決められている。工場が欲しい原料は処理料を安くしたり、買い取りをし、手間がかかるものや迅速に処理しなければならない物については処理料を高く設定している。平均すると送料込みで15円/kg前後の処理料金である。収集を始めた当初は排出側に「いらぬもの」という認識があり、異物が多く混入していたが、そうしたものは引き取らないようにするなど厳然たる規則の貫徹で、排出側の理解、協力を求めてきている。排出側としても、有限会社Bが引き取る場合の処理料金がその他の処理料金よりも安いと、分別の徹底を行うようになってきている。

原料が工場に搬入されると、まず計量される。排出者名、内容物、内容量をチェックし、コンピュータに入力する。この時の入力データと有限会社Bが独自にもつ各食品循環資源の栄養成分データ・ベースを用いて、各原料の混合割合を調整してエコフィードの栄養設計が行われて

いる。次に、原料は選別用ラインで原料の種類ごとに分類、および前処理が行われる。前処理では人手により包装・容器から食品循環資源を分別する。弁当、惣菜は、分別機を通され、プラスチック容器類が機械分別される。破碎・混合された原料は、発酵タンクに貯留され、pH 4以下まで下げられ、製品（エコフィード）となる。製造されたエコフィードは、タンクローリーで各農場へ輸送される。

農場に輸送されたエコフィードは、ストレージ槽と呼ばれるタンクに一時貯留され、2～3日以内に使い切られる。給与する際に、飼料化工場製造のエコフィード、農場が直接調達したパンや牛乳、委託配合した配合飼料を混合・調整して、パイプラインで給与する。食品循環資源の利用割合は乾物重量で6割と比較的高い。様々な種類の食品循環資源を利用していること、データ・ベースを用いた正確な栄養調製が可能であることがエコフィードの高い混合給与割合に寄与しているといえる。また、エコフィードの混合給与割合や給与方法、飼養管理は、飼料化工場で一括管理・指導しており、農場は、工場からの指示に従って混合給与割合を農場に設置したコンピュータで管理している。給与量や給与時間もコンピュータで管理されている。

こうして、飼料化工場が各農場を管理・指導することで、会社全体で生産される豚肉の肉質の管理が可能となっている。エコフィードを利用して生産された豚肉は、卸売業者を通して契約で取引され、店頭では一般豚と同様に販売されている。その肉質は、「やわらかい」、「サシが多い」等の特徴があり、一般の豚肉よりも美味しいという分析結果も出ている。しかしながら、ほとんどの店舗ではエコフィードを利用した豚肉であることは表示されず、一般の豚肉と区別した販売はされていない。小売側が「食品残さを利用して生産された豚肉」に対する消費者の反応に不安を持っているためであり、エコフィードを利用した豚肉への消費者評価を明らかに

することが今後の研究課題である。

### 3) 都市厨芥を利用したリキッド式エコフィード—大手食品小売業の取り組み—

第3の事例は、神奈川県D電鉄の100%子会社が運営する食品循環資源の飼料化センター（Cセンター）である。食品リサイクル法への対応や企業価値の向上を目的として2005年12月に開設された。D電鉄グループが運営する食品小売店から発生する都市厨芥を利用してリキッド式エコフィードを製造し、契約養豚農家に販売している。食品小売業が食品循環資源の飼料化に取り組む事例である。また、エコフィードの給与により生産された豚肉は、D電鉄グループの店舗で販売され、リサイクル・ループを実現している。

Cセンターの1日の飼料製造能力は計画値で、産業廃棄物19.5トン、一般廃棄物19.5トンの計39トンで、365日稼働である。現在の食品循環資源の処理量は約20トン/日で、約30トン/日のエコフィードを製造している。工場の設置費用は約1億5,000万円で、他企業で不要となったタンクを再利用するなどして、設備費用を削減している。補助金の利用はない。

原料となる食品循環資源は、D電鉄グループの事業所35ヶ所に、東京都と神奈川県D電鉄沿線の食品小売業、食品工場等を加えた、計95ヶ所の事業所から集められている。産業廃棄物と一般廃棄物、牛乳やヨーグルトなどの液状原料のそれぞれに専用の容器が用意され、排出業者が食品循環資源の種類ごとに分別している。多くは小売店での売れ残りや食品工場の製造副産物で、コンビニエンスストアの弁当など、分別の手間を要するものは受入れない。収集運搬は、地域ごとに12～13の業者に委託しており、収集業者は食品循環資源収集の専用車両を用意しなければならない。食品循環資源の処理料金は20～25円/kg（送料含まず）で、内容により料金は変化する。飼料に好適な原料、大量に入

荷できるものは処理料金を安く設定している。

Cセンターに搬入された食品循環資源は、まず計量され、コンピュータに情報が入力される。原料の収集・運搬に使用される容器には事業社名と内容物名とともにバーコードが記されており、搬入された原料は容器ごと重量を計測し、バーコードを利用したPOS管理システムで排出年月日、内容物等の情報をコンピュータに入力する。そのデータを用いて、エコフィード原料の栄養設計がなされる。このデータの管理は、原料のトレーサビリティにも活用されている。また、毎月、蓄積されたデータは排出業者にフィードバックされる。データには、内容物と入荷量、混入していた異物等が記載されており、排出側の分別の徹底や廃棄物の発生抑制にも役立っている。

計量を経た原料は、容器から出され、ベルトコンベアを移動し、人の目と磁石による異物のチェック・除去がなされる。そして、粉碎機で粉碎され、ボイラーで加熱殺菌（90～100℃）される。殺菌後、タンクで冷却し、乳酸菌を添加し、pHを4以下にまで下げられる。また、搬入した原料のみでは不足する栄養素を補うサプリメントを添加し、6つの発酵・貯留タンクで半製品として保管される。6つのタンクには、それぞれ成分の異なる半製品が貯留され、出荷の際に混合・調整され、製品として出荷される。

Cセンターのシステムでは加熱殺菌工程で燃料を消費しているが、乾燥処理に比べると消費量は少なく、環境影響は小さいシステムとなっている。将来的には廃食油の利用も検討しており、環境影響のより小さい処理システムを目指している。原料の入荷からエコフィード給与までの時間は短い。前日の売れ残りが午前中に搬入され、投入から発酵までが約4時間かかる。製造された次の日に農場へ出荷され、農場では2～3日で使い切っている。製造されたエコフィードは、品質管理のため、工場にサンプルが10日間保存される。また、月に2回、神奈川県

畜産試験場・分析センターへ分析を依頼し、Cセンターの保有する飼料調製データとの整合性を確認し、製品の品質保持にも努めている。製造されたエコフィードは自社のタンクローリーで契約農家に出荷される。現在、10戸の養豚農家と契約しており、うち5戸はCセンターで製造されたエコフィードを100%利用している。残りの5戸は、肥育前期のみで利用したり、配合飼料と混合して利用している。後者の取り組みは、生産される畜産物に特徴を出すためであり、Cセンターもできる範囲で戸別の要望に応じている。

エコフィードの販売価格は、飼料の内容に応じて5～8円/kg（送料込み）に設定されている。Cセンターが配送しているが、輸送の経費が最低5円/kg（距離により変化）かかるため、エコフィードの価格は実質ゼロに等しい。Cセンターでのエコフィード製造の経費は排出者側からの処理料で賄っているといえる。このエコフィードの価格は、現在の一般配合飼料と比較して、飼料コストが50～60%に抑えられる価格帯で設定されている。また、Cセンターは、養豚農家のリキッドフィーディングの導入やエコフィードの利用法に関しても、導入設備費用を抑えるアドバイスや飼養のアドバイスをするなどのサポート面も充実している。

Cセンターの取り組みではリサイクル・ループが達成されている。D電鉄グループの小売店で発生した食品循環資源からエコフィードが製造され、そのエコフィードを利用して生産された豚肉がD電鉄グループ系列のスーパーで販売されている。豚肉はブランド化され、店頭では、食品循環資源を利用して生産された豚肉であることを表示して販売している。D電鉄では、従来の、格付けによる畜産物の価格決定ではなく、美味しさや安全性、ヘルシーさ、環境負荷軽減への取組みのアピール等、消費者目線の価値判断基準で豚肉を評価することが顧客獲得にも繋がると考え、ブランド化や店頭での表示を積極

的に実施している。

#### 4) 都市厨芥を利用した乾燥式エコフィード

神奈川県のエ協同組合は、神奈川県内で発生する食品循環資源を収集し、乾燥式エコフィードの製造に取り組んでいる。廃棄物運搬処理業者が協同組合形式で取り組む事例である。E協同組合の構成員は、以前は廃棄物収集運搬業を営んでいた。取引先から飼料化処理をしてほしいとの要望があったが、当時、飼料化の受け入れ先がなかったため、同業者4名が集まり、2007年3月に飼料化センターを設立した。しかしながら、経営難により、設立時の4名のうち、2名が脱退したため、2008年9月に再発足し、株式会社化した。

E協同組合では、ボイル乾燥方式によりエコフィードを製造している。燃料には製造工程で出る廃油を利用する。処理量は、計画値は115トン/日であったが、現在はおよそ5分の1の量の約2.3トンが飼料として製造される。現在の稼働率は約60%であるが、100kg/月のペースで処理量は増加している。飼料化センターの設立に際しての設備投資は、建物に1億円、施設に2億円の計3億円で、うち1.4億円が農林水産省からの補助金である。飼料化センターの設立にあたっては、神奈川県横浜市で食品循環資源の飼料化に先進的に取り組んでいるF協同組合の指導を受けている。

利用する原料は、神奈川県内の6つの食品関連業者から受け入れている。3業者はスーパーマーケットで、入荷する原料の内容は、90%が野菜、残り10%が惣菜や豆腐などの売れ残り品である。分別していないものもあり、分別していないものはE協同組合で分別をしている。1業者は市の給食センターで、調理屑やセンターに戻ってきた食べ残しを給食センターで前処理(水切り、粉碎)したものが搬入される。給食センターとの取引の場合、長期休暇に入ると原料の入荷がストップすることが問題として挙げら

れる。残りの2業者の形態は、コンビニエンスストアでの売れ残り商品、食品加工工場で製造される弁当や惣菜である。処理料金は、20円～35円/kg(送料含まず)で設定しているが、原料の分別の程度に応じて、価格は変化させている。

原料は、排出段階で種類ごとに分別されて搬入される。搬入された原料は、受け入れホッパーに投入され、機械により破碎と異物の分別除去が行われる。E協同組合では、全て機械によって異物が分別される。破碎された原料は、その内容ごとに「パン類」、「おから」、「野菜屑」、「弁当類」の4つのタンクに分類、貯留される。乾燥機へは、タンクごとに投入量を調整して投入される。乾燥機に投入された原料は、煮沸殺菌、高温乾燥された後、冷却され、篩い機にかけられ、半製品となる。この半製品は脂肪分が11%と高く、飼料として製品化するためにはこれを5%にまで脱脂する必要がある。しかしながら、必要となる脱脂機は高価であり、また5%にまで脱脂するためには高い技術も要する。E協同組合には、脱脂機が設置されていないため、製造されたエコフィードは脱脂機を備えている横浜市内のF協同組合に出荷し、脱脂処理を委託している。こうして最終製品となる。製品出荷までの期間は1日間である。前日に発生した食品循環資源が次の日の午前中に入荷し、処理、冷却がなされ、翌日にはF協同組合へ出荷される。

E協同組合で製造されたエコフィードは、F協同組合で脱脂された後、神奈川県と千葉県の4戸の養豚農家に販売されている。販売料金は15円/kgで、これに送料が加わり、養豚農家の購入金額は20円/kg程度となる。養豚農家は、エコフィードと配合飼料とを混合して給与しているが、エコフィードの混合給与割合は2割を上限としている。F協同組合が販売するエコフィードを利用して神奈川県内で生産された豚肉はブランド豚肉として販売されている。このブランドはエコフィードを利用して肥育され、横

浜市食肉市場において「上物」に格付けされた豚肉に与えているブランドである。その肉質には、臭がない、色味がよい、肉が柔らかく、甘みがあるなどの特徴があり、消費者の信頼も得ている。エコフィードを利用したブランド豚肉として、注目を集めている。

#### 4. 2 調査事例における飼料化のポイント

以上の4事例を踏まえると、食品循環資源を飼料化する際のポイントは、原料となる食品循環資源の量的な変動、質的な変動（成分の変動）、異物・腐敗物の混入といったリスクをいかに回避するかにある。量的な変動、質的な変動には、日々の変動だけでなく、季節的な変動もある。こうした変動やリスクを回避するそれぞれの取り組みがあり、その処理方法によりコストも変わってくる。

取り上げた4事例は、利用する原料から2つに分類される。1つは、地域の食品産業からまとも発生する「単一製造副産物」を利用するもので、焼酎粕を利用するA牧場がこれにあたる。もう1つは、都市部で発生し、多様なものが含まれる「都市厨芥」を利用した事例で、有限会社B、Cセンター、E協同組合の取り組みである。

単一製造副産物では、ある食品製造工場で製造される製品は限られており、それに伴い発生する製造副産物も毎日一定の物が、一定の量で排出される。商品の変更なども製造スケジュールに沿ってなされるため、把握しやすい。従って、食品製造工場から排出される食品循環資源の量や質の変動のリスクは低い。また、製造管理がなされている工場であれば、異物混入のリスクも低いといえる。A牧場の利用する焼酎粕も季節変動はあるものの供給は安定的である。そのため、利用を焼酎粕に限定することで、①設備投資が抑えられる、②飼料設計が容易である、③異物混入のリスクが低く、分別のコストが掛からないといったメリットがある。しかし

ながら、単一製造副産物の利用に限定する場合、成分の偏りを防ぐために食品循環資源の給与割合は高くできない。A牧場でも焼酎粕の給与割合は乾燥重量で1割にとどまる。ただし、利用する養豚農家への経営効果を考えると、1割の給与であっても配合飼料の利用を削減し、代わりに利用する焼酎粕の排出者からは処理料金を受け取れるため、飼料費削減効果は大きい。

一方で、都市厨芥は、食品加工工場やスーパーマーケットやコンビニエンスストアといった食品小売業など、様々な食品関連事業者から発生し、収集される。そのため、成分や発生量は、日々変化する。また、加工・調理が進むにつれて、異物混入や包装容器の混入のリスクは高まり、分別コストを要する。一方、都市厨芥を利用する3事業者は、原料とする都市厨芥を飼料化のための拠点施設に集約することにより、都市厨芥の特徴である成分や発生量の変動幅を収斂させている。佐伯他（2004）は、食品循環資源の利用スケールを大きくすることで、素材個々の組成の日々変動が大きくても、その組成が一定値に収斂させる効果を確認している。

都市厨芥を利用する場合に残る問題は、異物の混入や包装容器等の分別である。異物や包装容器の分別が徹底していないものを扱う場合、その処理に多額のコストがかかることになる。これに対して、どの事業者も受け入れる原料の内容に応じて処理料金を変え、飼料化に向く原料を経済的に有利にすることで、排出者側での分別を徹底させている。さらにCセンターでは、①排出側への指導の徹底、②弁当などのように包装されたものについては受け入れないようにするなどの原料選抜により、異物混入のリスクを低くし、分別のコストを抑えている。有限会社BやE協同組合では分別機による異物の除去を行っている。有限会社Bは、人の手による分別も行っており、コストがかかっているが、その分、利用できる原料の幅を広げている。対して、E協同組合では、廃棄物処理費用とエコフ

フィードの売上による収入で経費をぎりぎり賄っている状況であり、処理コストを下げるのが課題となっている。

しかしながら、都市厨芥を利用する場合、様々な原料を利用できるメリットもある。十分な分別がなされた原料であれば、多様な種類の原料の混合割合を変えることで飼料の栄養調製が可能であり、エコフィードの混合給与割合を高めることができる。有限会社Bでは乾物重量で6割、Cセンターではすべてエコフィードでの飼育を可能としている。

また、処理方式によってもコストが変わる。乾燥式エコフィードであれば、利用する畜産農家は今までの配合飼料と同じように給与すればよく、追加投資は不要である。しかしながら、リキッド式を取り入れる場合、畜産農家は配合調製するキッチンやコンピュータ、給与するためのパイプラインなどの導入が必要であり、その初期投資が課題となる。ただし、焼酎粕のように水分の多い原料や都市厨芥を利用した細やかな成分調整にはリキッド方式が適している。Cセンターはエコフィードの利用者である養豚農家へのアドバイスも行い、手動のバルブや塩化ビニール管を利用した簡易な設備設計とすることで投資を抑え、中小の養豚農家でも比較的少ない投資でリキッドフィーディングを導入することを可能としている。また、有限会社Bにおいては、大規模経営というスケールメリットを活かしてリキッドフィーディングに取り組んでおり、コンピュータで管理するリキッドフィーディングと食品循環資源の利用により、飼料費の大幅な削減効果が認められている（川島、2007）。

現状で再生利用が進んでいない川下側の食品循環資源の利用を考えると、多様な食品残さが発生している都市厨芥の特徴を利用し、エコフィードの混合給与割合も高めることができるリキッドフィーディング方式は有用である。ただし、利用する原料、それに合わせて採用する処

理方式によりメリット、デメリットがあり、それらを理解した上でエコフィードを利用した資源循環システムを構築することが必要である。

## 5. エコフィードを利用した資源循環システムの成立要件

### 5.1 分析視点

リサイクルによる資源循環システムが成立し、普及していくための主要要件として以下の2要件が考えられる。

1つには、その資源循環システムに取り組むことで環境への影響を低減することである（以下、これを「環境要件」と呼ぶ）。環境影響の小さい社会システムを創ることは、環境問題が顕在化した現代における社会的な要請である。例えば、エコフィード製造方式の1つである乾燥方式の場合、保存性を高めるために、水分を多く含む食品循環資源をボイラー等により乾燥させる。この乾燥処理に化石燃料や電気が使用されるが、このときのエネルギー消費量や環境への影響が食品循環資源を焼却処理した場合より大きければ、その資源循環システムに取り組む意義は消滅する。つまり、環境要件を満たすことが資源循環システム成立の必要条件であり、その資源循環システムが環境要件を満たしていなければ普及は進まない。

2つ目の要件は、その資源循環システムを構成する各事業者が、システムを採用することで何らかの経済的利益を得ることである（以下、これを「経済要件」と呼ぶ）。環境影響の小さい社会システムを創ることが社会的要請であるとはいえ、従来の市場経済では環境影響は考慮されていない。システムを構成する各事業者は私的経営体であり、利益を得ることを目的として経営している。たとえ非営利の企業であったとしても再生産活動のための資金は最低限確保できなければならない。もし資源循環システムに取り組むことで経済的負担が増えるならば、システムは成立しない。つまり、経済要件を満た

すことは資源循環システム成立の十分要件である。エコフィード資源循環システムを成立・普及させるためには、取り組む事業体に経済的インセンティブが存在し、継続可能でなければならない。ただし、ここでいう経済的インセンティブは直接の利益に限らない。資源循環システムを採用することによる「企業の社会的責任」(CSR)の達成や法令順守による企業価値の向上といった間接的な利益も各事業体がシステムに参加するインセンティブとなり得る。

公的な要件である環境要件と私的な要件である経済要件は、必要条件・十分条件の関係にあり、この2要件を満たすシステムこそが、成立・普及が可能な資源循環システムである。エコフィードを利用した資源循環システムにおいても、この2つの要件が満たされなくてはならない。現在のエコフィードによる資源循環システムの多くは、この要件のどちらかに何らかの課題があり、普及を妨げていると考えられる。特に注目したいのが経済要件であり、食品循環資源のもつリスクや再生利用にかかるコストの負担が偏在していることにエコフィードの普及が進まない原因があると考えられる。

そこで、以下では、エコフィードを利用した資源循環システムに取り組む事例を対象に環境面と経済面の両面から分析を試み、現在のシステムのどこにどのような問題があるのか、また、今後のエコフィード普及に向けてどのようなシステムを構築することが望ましいのかを定量的に明らかにする。分析では、都市厨芥を利用したリキッドフィーディングに着目する。事例調査で取り上げた都市厨芥を利用したリキッド式エコフィードの取り組みには千葉県のある有限会社Bと神奈川県のあるCセンターがある。Cセンターの取り組みは、原料の選別を徹底し、リスクやコストを低減するものであった。これも1つの有効な取り組み形態ではあるが、資源の有効利用を考えると、受け入れる原料の幅を広げ、コンビニエンスストア等の小売段階で発生する弁

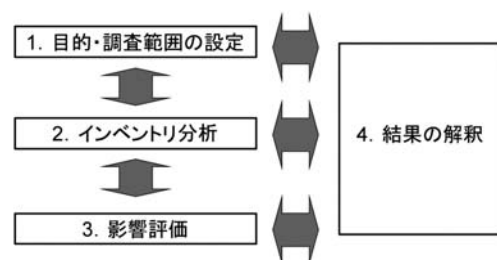
当・総菜類を広く利用することを考えなくてはならない。そこでこれらの食品循環資源を幅広く利用している千葉県の有限会社Bをモデルとし、環境要件と経済要件について分析・検証していく。

## 5. 2 環境要件—LCA分析—

### 1) 分析方法

環境要件の分析には、「LCA」を用いる。LCAとは分析対象とするシステムの物質収支、エネルギー消費量から、環境影響を計測する手法である。LCAの分析手法はISO(国際標準化機構)により規格化され、改編を経て、現在は、「ISO14040:2006」と「ISO14044:2006」が国際標準規格として発効している。

本研究ではISOの規格に従い、LCAを実施した。ISOによるLCAの構成を図3に示した。まず、分析の目的、機能単位、システム境界等を設定する。機能単位とは、対象とするシステムが提供する製品の単位のこと、製品やシステムを比較する際には機能単位を基準として比較する。また、システム境界とは、取り上げる製品システムの中で分析の対象となる範囲のこと、LCA分析によって、そのシステム境界を通過して出入りする物質の流れを明らかにする。次にインベントリ分析では、対象となるシステムの各プロセスにおいて投入される資源量、および排出される環境影響物質について、データ収集を行い、明らかにしたい環境影響項目に関する入出力明細表(これを「インベントリ」と呼ぶ)を作成する。そして環境影響評価では、インベ



出所：松藤(2007)

図3 ISOによるLCAの構成

ントリ分析で明らかになった物質の消費量・排出量に重み付け係数を乗じ、対象とする環境問題（これを「影響領域」と呼ぶ）への影響を定量的に評価する。結果の解釈では、インベントリ分析および環境影響評価の結果を、目的と調査範囲の設定に従って結論、提言および意思決定への根拠として要約する。以上の手順に従い、エコフィードによる資源循環システムが、従来の焼却処理による非循環システムに比べて環境影響を低減し、環境要件を満たしているかどうかを明らかにする。

食品循環資源の飼料化による環境影響については、湯他（2007）が「食品循環資源の処理量 1 kg」を機能単位として、Ogino et al.（2007）が「生産される飼料乾物 1 kg」を機能単位として、計測を行っている。しかしながらそのシステム境界は「食品循環資源の収集からエコフィードの製造」までであり、その流通・消費は評価対象に含まれていない。畜産農家でエコフィードの利用をみると、エコフィードのみを給与するのではなく、エコフィードと配合飼料を混合した飼料（以下、「エコフィード混合飼料」と呼ぶ）を給与する事例が多い。そこで本研究では、資源循環システム全体の環境影響の推計を視野に、分析範囲を農場段階での飼料利用にまで広げ、農場でのエコフィードと配合飼料との混合を考慮してシステム境界を図 4 のように

設定した。ただし、本研究ではシステムの運用段階のみを評価対象とし、エコフィードや配合飼料の製造にかかわる工場の建設や自動車、プラント等の製造による環境影響は考慮しない。

機能単位は「乾物換算した飼料 1 kg（以下、乾物換算値を「DM」と記す）」とした。有限会社 B では、独自の成分データと調製技術に基づいてエコフィードを製造し、このエコフィードとの混合用に委託配合された配合飼料を混合・調製し、給与している。原料とする食品循環資源の栄養価データを把握し、正確な栄養設計を行うことによりエコフィードの混合給与割合を乾物重量で 60% にまで高めている。このようにして生産された豚肉は、配合飼料のみを利用して生産された従来の豚肉と同様に流通・販売されており、エコフィードにより生産された肥育豚の出荷後の流通・販売経路は、配合飼料のみを利用して生産された場合と変わらないと考えられる。そこで本研究では、十分に栄養調製された飼料の場合、エコフィード混合飼料と配合飼料とで給与豚の発育や肉質への差は生じないと仮定し、それぞれの飼料の水分含量のみを考慮した。

システム境界は、有限会社 B の取り組みを参考に、食品循環資源の発生から農場での飼料の調整・利用までを考慮したシステム境界を設定した。上述したように、有限会社 B で生産された豚肉は配合飼料のみを利用した従来の豚と同様に流通・販売されており、エコフィードを利用した資源循環システムと従来の非資源循環システムとの環境影響の違いは、「食品循環資源の収集－エコフィード製造－農場での利用」のプロセスの範囲でのみ生じていると考える。

以下では、事例に基づきエコフィードと配合飼料を混合給与した場合と、従来の方法として配合飼料のみ利用した場合の環境影響の大きさを比較する。それぞれのシナリオは以下の通りである。

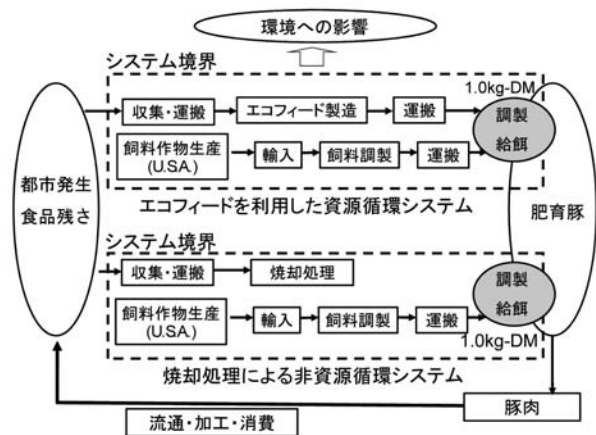


図 4 本研究のシステム境界



[シナリオ1] エコフィード混合飼料給与

- ①原料となる食品循環資源を収集・運搬する。
- ②工場でエコフィードを製造する。
- ③工場で製造したエコフィードを農場へ運搬する。
- ④農場でエコフィードと配合飼料を混合し、給与する。

※混合給与する配合飼料は、後述するシナリオ[2]と同様に、原料をアメリカ合衆国で生産し、輸入したものを利用するとした。

※エコフィードの混合給与割合は、有限会社Bの実績を参考に乾物重量で6割(60%-DM)とした。

[シナリオ2] 配合飼料給与

- ①配合飼料の原料となる飼料穀物はアメリカ合衆国で生産する。
- ②生産した飼料穀物を日本へ海上輸送し、国内で配合飼料を製造する。
- ③製造した配合飼料を農場へ運搬する。
- ④農場で配合飼料を給与する。

※現在、日本で利用される濃厚飼料は約1割(TDNベース)を国内で自給しているが、ここでは全量をアメリカ合衆国から輸入するものとした。

※[シナリオ1]と比較するため、エコフィードに利用されない食品循環資源は焼却処分されたとした。その場合、焼却される食品循環資源の量は、[シナリオ1]においてエコフィードの製造に仕向けられる食品循環資源量と同量とした。食品循環資源の処理方法には、飼料化のほかにも肥料化、メタン化等があるが、本研究では、エコフィードの環境影響低減効果の測定を目的とするため、従来の食品循環資源の処理方法である焼却処理と比較する。

比較したシステムに由来する環境影響は化石燃料の燃焼と電力の消費によるものが主であることから、評価項目は、資源消費によるエネルギー消費量と温室効果ガス(Greenhouse Gas ;

以下、「GHG」と呼ぶ)の排出による地球温暖化への影響の2項とした。地球温暖化への影響評価においては、気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC)で定められる「GWP100年値」を地球温暖化係数に用いた。GWP100年値は、CO<sub>2</sub>を基準物質として、GHGの熱放射の力を大気中での存在期間を考慮して表したもので、地球温暖化現象を引き起こす物質の影響力を示している(田原、2007)。GHGとしてCO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oを対象物質とし、CO<sub>2</sub>=1、CH<sub>4</sub>=23、N<sub>2</sub>O=296という重み付け係数を乗じて合計し、地球温暖化への影響をCO<sub>2</sub>等量(CO<sub>2</sub> eq.)で表した。

各シナリオのデータは、聞き取り調査と既存文献より得た。エコフィードの製造に関しては、有限会社Bへの聞き取り調査から、食品循環資源の収集状況、エコフィードの製造に関する物質収支と製造量、エコフィードの農場へ輸送に関するデータを得た。データ期間は、2007年4月から2008年3月までの1年間である。エコフィードの製造過程で発生し、焼却処理される廃棄プラスチックは、プラスチック処理促進協会(2007)が公表しているデータを用いた。

食品循環資源の焼却処理は、収集・運搬については有限会社Bのデータを用い、焼却については、電気の使用による環境影響、重油の燃焼による環境影響を既存文献から算出した。焼却プラントの運転時に消費される電力量は焼却量に比例すると考え、平井他(2001)の値を用い、100kWh/トンとし、ごみ発電効率を10%とした。焼却時に消費される重油量は、焼却対象物の水分含量に影響されるが、その推計はOgino et al.(2007)に従った。食品循環資源の水分含量は、有限会社Bのデータをもとに76%と設定した。以上のプロセスにおける化石燃料や電気の消費に由来する環境影響についてはJEMAI-LCA(産業環境管理協会、2008)の公表データを用いた。配合飼料に由来する環境影響については小

林 (2006) の分析結果を用いて「トウモロコシ、ダイズ、ソルゴーをアメリカ合衆国で生産－茨城県鹿嶋港へ海上輸送－配合飼料を製造－有限会社Bの所在する千葉県に輸送」した場合のエネルギー消費量とGHG排出量を求めた。各原料作物の配合割合は、Ogino et al. (2007) を参考に、トウモロコシ54%、ダイズ20%、ソルゴー26%とした。

以上より、まず「エコフィード1kgの製造・調達」、「配合飼料1kgの製造・調達」、「食品循環資源1kgの焼却処理」に由来するエネルギー消費原単位、GHG排出原単位を算出した。そしてこの原単位と各シナリオにおけるそれぞれの必要量から、農場でエコフィード混合飼料1kg-DMを利用した場合と配合飼料1kg-DMを利用した場合の環境影響を求めた。

## 2) 結果および考察

表3が「エコフィード1kgの製造・調達」、「配合飼料1kgの製造・調達」、「食品循環資源1kgの焼却処理」に由来する環境影響の原単位で

ある。表4は農場でのエコフィード混合給与割合に応じたエコフィードの利用量と配合飼料の利用量を示す。焼却処理される食品循環資源量は、シナリオ[1]において農場で利用するエコフィード2.48kgの製造に必要となる食品循環資源2.50kgが焼却処理されるとした。第1表、第2表をもとに、各シナリオのエネルギー消費量、GHG排出量を図示したものが図5、図6である。

まず、配合飼料のみを給与した場合をみると、エネルギー消費量が7.69MJ/kg-DM、GHG排出量が447.33 g-CO<sub>2</sub> eq./kg-DMである。一方、エコフィードを60%-DMで混合給与したエコフィード混合飼料を利用した場合をみるとエネルギー消費量が2.94MJ/kg-DM、GHG排出量が188.57g-CO<sub>2</sub> eq./kg-DMであり、それぞれ61.77%、57.85%の環境影響の低減がみられた。その要因は、第一に食品循環資源の処理方法として、従来の焼却処理に比べて、飼料化処理した方が環境影響が小さいため、第二に飼料の製造方法としてエコフィード製造の方が配合飼料の製造よりも環境影響が小さいためである。特に

表3 各プロセスの原単位

プロセス	エネルギー消費原単位 (MJ/kg)	GHG排出原単位 (g-CO <sub>2</sub> /kg)
エコフィード	0.14	16.22
配合飼料	5.65	322.77
焼却処理	0.48	30.53

出所:筆者作成。

注:1)エコフィードは、食品循環資源の収集、リキッド式エコフィード製造、農場輸送による環境影響を表す。

2)配合飼料は、アメリカ合衆国での原料生産、海上輸送、調製、農場輸送による環境影響を表す。

3)焼却処理は、食品循環資源の収集、焼却処理による環境影響を表す。

表4 エコフィードの混合給与割合と原物量の関係

シナリオ		[1]エコフィード混合飼料	[2]配合飼料のみ
乾物量	エコフィード	(kg-DM) 0.60	0.00
	配合飼料	(kg-DM) 0.40	1.00
原物換算量	エコフィード	(kg) 2.48	0.00
	配合飼料	(kg) 0.46	1.15
	焼却処理される食品循環資源	(kg) 0.00	2.50

出所:筆者作成。

注:1)カッコ内の数値は、エコフィードと配合飼料の乾物割合を示す。この割合をもとに乾物量を原物量に換算した。

2)有限会社Bの事例を参考に、1.008kgの食品循環資源から1kgのエコフィードが製造されるとした。

3)焼却される食品循環資源は、シナリオ[1]でエコフィードの原料として利用される「2.50kg」が飼料化されずに焼却処理されるとした。

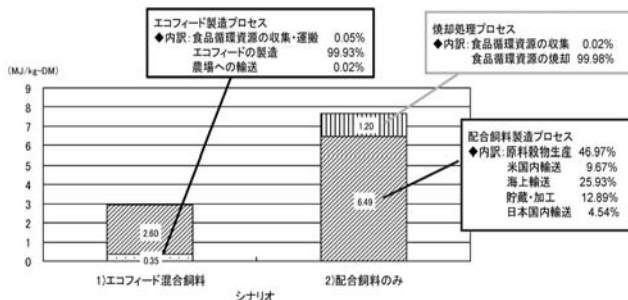


図5 エネルギー消費量

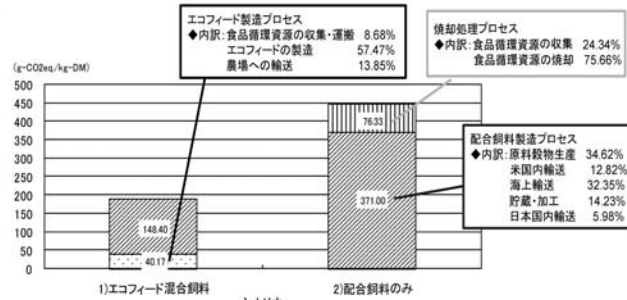


図6 GHG排出量

リキッド式エコフィードにより配合飼料を代替していることが大きく影響している。

その内訳によると海上輸送が原料穀物の生産に並ぶ環境影響を及ぼしていることがわかる。ちなみにエコフィードを利用した資源循環システムの環境影響は農場での利用を考慮することにより変化する。例えばエコフィードの混合給与割合が30%–DMであれば、環境影響の大きい配合飼料の利用割合が増えることから環境影響の低減量は小さくなる。有限会社Bの取り組みリキッド式エコフィードの場合、その混合給与割合を高め、配合飼料を代替することが環境影響の低減に寄与することがわかる。

それでは、環境影響の小さい資源循環システム構築の要件としてリキッド式エコフィードの混合給与割合を高めるにはどうすればよいのであろうか。農場でのエコフィード混合給与割合は、エコフィードの原料となる食品循環資源の栄養価を把握し、豚の成長段階に合わせた栄養設計ができるかどうかによる。肥育のステージに対応する栄養要求量に合わせた飼料調製ができればエコフィードのみでの飼養も可能であり、エコフィードのみでは栄養調製ができない場合や不足する栄養素がある場合は配合飼料やサプリメントが必要となる。そのため、原料となる食品循環資源には、異物・腐敗物の除去といった安全性の担保はもとより、種類ごとに分別された状態で飼料化工場へ搬入されることも求められる。つまり、環境影響の小さい資源循環システムを構築するためには、農場でのエコフィ

ード混合給与割合を高めることが一つの方法となり、そのためには原料となる食品循環資源の分別を徹底し、リキッド式エコフィードの成分調整を容易にすることが重要である。

### 5. 3 経済要件 –LCC分析–

#### 1) 分析方法

経済要件の分析には「LCC」を適用した。LCCは、対象とするシステムの各段階で生じるコストを計測し、ライフサイクル全体のコストを定量把握するものである。LCAはライフサイクルにわたる環境影響を定量的に把握する手法であったのに対し、LCCはライフサイクル全体のコスト（Life Cycle Cost）を把握する分析手法である。ここでは、LCCの考え方をを用いて、食品循環資源の収集から農場での利用までの各段階で負担しているコストを計測し、これによりリキッド式エコフィードの取り組みにおいて、システムを成立、持続させる経済要件を明らかにする。LCCの分析については、LCAのISO規格のような統一的な分析枠組みは確立されていないが、LCAの手順と同様に、プロセスごとの費用とその流れを把握し、ライフサイクル全体の費用を算定する。

資源循環システムに関する経済分析の先行研究には、植田（1992）、吉野（1996）、細田（1999）などがあり、リサイクルが成立するための条件を挙げている。その中でも、細田（1999）は、リサイクル技術が市場で稼動するのは、最終処分場が節約できたかどうか（本研究で言う

「環境要件」のひとつ)ではなく、もっぱりリサイクルされた製品が市場性をもつかどうかであることを指摘している。さらに、排出側に着目し、一般廃棄物の処理を例に、廃棄物の処理が税金で賄われていることで排出者に処理費用の負担感が生じず、廃棄物をリサイクル業者に供給する誘引がないことをリサイクル技術が普及しない原因に挙げている。この考えに従えば、エコフィードによる資源循環システムにおいて、システムを構成する各経営体の経済要件を考えなくてはならないことがわかる。これを踏まえ、現状のエコフィードを利用した資源循環システムの経済要件について考える。

その際、吉野(1996)の「経営式」(経営を成立させる算式)の考え方は有用である。吉野は、廃棄物を処理する静脈産業においても市場経済が存在し、私的企業体として静脈市場の中で営利を営んでいることに着目し、静脈産業の経営式について検討している。本研究は、この考え方を参考に、食品循環資源の飼料化システムを構成する事業体の経営式を考える。なお、静脈産業の経営式を記述するにあたり、簡単な記号と数式を用いる。記号の意味は次の通りである。  
 RD: 食品循環資源1単位を飼料化に仕向けたときの処理料金(飼料化処理料金)。

d: 食品循環資源1単位を焼却処理に仕向けたときの処理料金(廃棄物処理料金)。

RS: エコフィード1単位の販売価格。

s: 配合飼料1単位の販売金額(配合飼料価格)。

RC: 食品循環資源1単位を飼料化するための費用(エコフィード化費用)。

P: 利潤。

また、各記号に付す数字サフィックスは、その費用を負担する各事業体を示しており、0は排出事業体、1は収集運搬業者、2はエコフィード工場、3は農場を表している。

各事業体間の食品循環資源と処理料金の関係を図7に示した。現在のエコフィードの取引状

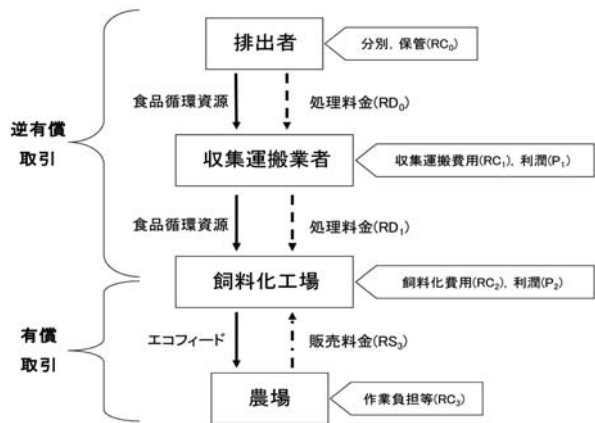


図7 食品循環資源の取引関係

況は、排出～飼料製造段階までは逆有償、飼料製造～畜産農家段階では有償となっている。これを参考に各事業体の経営式を考える。

まず、排出者側における経営式は以下のようになる。

$$RD_0 + RC_0$$

排出者は、処理料金を支払い、食品循環資源を収集運搬業者にひき渡す。RC<sub>0</sub>は、飼料化に仕向けるために必要となる分別や保存にかかる費用を表し、特別な分別などを行わない場合、分別・保管のコストが発生しないため、RC<sub>0</sub>はゼロとなる。静脈市場での取引を考えた場合、排出側では費用のみが発生していることに注意したい。

次に、収集運搬業者の経営式は以下のようになる。

$$RD_0 = RD_1 + RC_1 + P_1$$

収集運搬業者は、排出者側から引き受けた食品循環資源を飼料化工場に引き渡す。このとき、処理料金RD<sub>1</sub>を飼料化工場へ支払う。この他に、収集運搬の際に発生する人件費、燃料費、施設や車両といった設備の減価償却費などの費用RC<sub>1</sub>が発生し、また、経営が成り立つために一定の利潤P<sub>1</sub>を要求する。これらは、排出者側から受け取る処理料金RD<sub>0</sub>により賄われている。

次に、エコフィード化工場の経営式は以下のようになる。

$$RD_1 + RS_3 = RC_2 + P_2$$

飼料化工場では、飼料製造のための人件費や光熱費、工場設備の減価償却費などの費用 $RC_2$ と利潤 $P_2$ が必要となる。これらは、収集運搬業者から受け取る処理料金 $RD_1$ と畜産農家から受け取るエコフィードの販売価格 $RS_3$ で賄われることになる。

最後に、農場での経営式は以下のようになる。

$$RS_3 + RC_3$$

農場では、エコフィードの購入料金として費用 $RS_3$ が発生する。また、エコフィードを利用することによって作業負担が増えるなら費用 $RC_3$ が発生する。農場においても排出側と同様に費用のみが発生していることに注意したい。

以上の各事業体の経営式より、その連結式を求めると、

$$RD_0 + RS_3 = RC_1 + RC_2 + P_1 + P_2$$

となる。収集運搬業者と飼料化工場で必要な費用及び利潤の合計 ( $RC_1 + RC_2 + P_1 + P_2$ ) が、食品循環資源を飼料化するための総費用である。排出者の支払う処理料金 ( $RD_0$ ) と農場の支払う購入料金 ( $RS_3$ ) によって、食品循環資源をエコフィード化する費用を賄わなければならないことが分かる。

ところが、上の条件式では、排出者が、焼却処理するよりも、分別費用 ( $RC_0$ ) を加えてエコフィード原料仕向けするか、また農場が、通常の配合飼料のみを給与するよりも、エコフィードを給与する場合に追加的に要する費用 ( $RC_3$ ) を負担してもエコフィードを購入するかの経済選択が考慮されていない。これらを考慮する必要がある。この観点から、排出者、農場がエコフィード化資源リサイクルに持続的に取り組むための次の3つの条件式が導かれる。

- ① 廃棄物処理料金  $\geq$  エコフィード仕向け処理料金 + 分別・保管費用 ( $d_0 \geq RD_0 + RC_0$ )
- ② 配合飼料価格  $\geq$  エコフィード価格 + エコフィード給与費用 ( $s_3 \geq RS_3 + RC_3$ )
- ③ 飼料化処理料金 + エコフィード価格 = 飼料化

処理総費用

$$(RD_0 + RS_3 = RC_1 + RC_2 + P_1 + P_2)$$

第一要件は、排出者が食品循環資源をエコフィード向けに分別・保管し、処理を依頼した場合の費用負担が、焼却処理した場合の費用負担より安価でなければならないことを意味する。第二要件は、農場段階において、配合飼料よりもエコフィードを利用したほうが、畜産農家の飼料費負担が安価でなければならないことを意味している。そして、第三要件は、第一、第二の要件を満たす排出者の処理料金と畜産農家が支払うエコフィード価格により、食品循環資源の飼料化にかかる全ての費用と企業利益（正常利潤）が賄われなければならないことを意味している。つまり、食品循環資源が逆有償で取引され、エコフィードが有償で取引される現状の資源循環システムにおいては、排出側にとっての食品循環資源をエコフィード原料に仕向ける経済的インセンティブ、畜産農家側にとってのエコフィードを選択・利用する経済的インセンティブが用意され、かつ、エコフィード製造にかかわる収集運搬業者、飼料化工場で要する費用と企業利益が、食品循環資源の処理料金、エコフィードの販売料金で賄われる必要があるのである。

## 2) 結果と考察

有限会社Bのエコフィード資源循環システムをモデルとして、一般論としてこの方式による資源循環システムが成立する可能性があるかどうかの現段階の見通しを得る目的で、有限会社Bの方式の一般的なシステムを想定しながら、同社への聞き取り調査から得たデータ、既存文献や先行研究等のデータを援用しつつ、上の3つの経済要件の推計を試みる。(言うまでもなく、収益や費用に関するデータは企業にとっての最重要機密事項であり、それらの直接的なデータを得ることはできない。以下の推計は、有限会社Bを対象にして経済要件を検討したものである)

ない。)

### 排出側の経済要件

排出側の経済条件である、

①廃棄物処理料金 $\geq$ 飼料化処理料金+分別保管費用 ( $d_0 \geq RD_0 + RC_0$ )

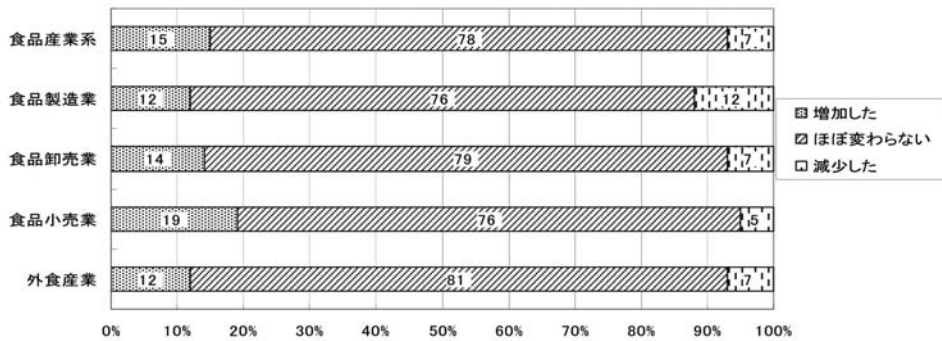
について分析する。

中央畜産会が公表している「エコフィード情報公開事業所および利用意向農家情報」によると、食品循環資源をエコフィード化する際の一般的な処理料金は1kgあたり1円~40円と幅広い価格帯で取引されている(例外的であるが、250円~300円というケースさえもある)。この価格差は内容物によるもので、飼料化に適した栄養価の高い食品循環資源や異物混入のリスクが少なく、発生量、発生頻度、成分ともに安定した食品循環資源は、飼料化し易いため、安く処理料金が設定される。反対に、包装や異物の分別に手間を要する食品循環資源や入荷量や成分等が変化しやすい食品循環資源は処理料金が高く設定される。

農林水産省「平成17年食品循環資源の再生利用等実態調査」より、再生利用による事業者の費用負担を図8に示す。調査対象がエコフィードに限られていないものの、食品循環資源の再生利用に取り組む事業者の費用負担の状況を発生段階ごとに把握することができる。食品循環資源の再生利用が進んでいない川下側では、経

費が増加したとする回答が僅かながら高く、減少したという回答が少ない。そのため、食品産業系の全体で見ると、再生利用に取り組むことで経費が「増加した」と回答した事業者は全体の15%で、「減少した」7%の2倍になるが、しかし78%は「変わらない」と回答している。つまり、85%の排出者は経済損失を被っていない。すでに再生利用に取り組んでいる事業者は、再生利用に取り組むことによって、少なくとも排出者側に費用負担を増大させないことが再生利用に取り組む条件であることが示唆されている。

以上より、排出段階においては、食品循環資源の飼料化に取り組む際の経費が、食品循環資源を廃棄物処理した場合の費用と同じであることが、最低限必要な条件であることがわかる。しかしながら、一般廃棄物処理料金が首都圏平均で14円/kg(送料含まず)であるのに対し(表5)、排出者が食品循環資源を飼料化に仕向けた場合に一般に支払われる費用は、食品製造業でおよそ15円/kg(送料含まず)、食品小売業、外食店舗でおよそ30円/kg(送料含まず)であり、一般廃棄物として処理したほうが、飼料化処理するよりも排出側の費用負担が軽くなる。排出側において食品循環資源を飼料化へ仕向ける経済的インセンティブが働きにくい状況となっている。しかしながら、有限会社Bの場合には、処理料金を送料込みで15円/kg前後で設定しており、送料を考慮すると首都圏の廃棄物処



出所：農林水産省(2005).

図8 再生利用にかかる排出者の費用負担の変化

表5 主要都市における事業系一般廃棄物処理にかかる処分料金

都道府県名	都市名	搬入手数料 (処分手数料)	都道府県名	都市名	搬入手数料 (処分手数料)
北海道	札幌市	(収集運搬及び処分料 100円/200)	滋賀県	大津市	10円/kg
青森県	青森市	10円/kg	京都府	京都市	定額5円/kg
岩手県	盛岡市	6.6円/kg	大阪府	大阪市	5.8円/kg
宮城県	仙台市	10円/kg		堺市	17円/kg
秋田県	秋田市	9円/kg	兵庫県	神戸市	8円/kg
山形県	山形市	10円/kg	奈良県	奈良市	10円/kg
福島県	福島市	10円/kg	和歌山県	和歌山市	10円/kg
茨城県	水戸市	13円/kg	鳥取県	鳥取市	10円/kg
栃木県	宇都宮市	15.75円/kg	島根県	松江市	15円/kg
群馬県	前橋市	15円/kg	岡山県	岡山市	13円/kg
埼玉県	さいたま市	17円/kg	広島県	広島市	9.8円/kg
千葉県	千葉市	14円/kg	山口県	山口市	5.25円/kg
東京都	23区	12.50円/kg	徳島県	徳島市	5円/kg
	神奈川県	横浜市	13円/kg	香川県	高松市
川崎市		12円/kg	愛媛県	松山市	9.45円/kg
山梨県	甲府市	15.8円/kg	高知県	高知市	5円/kg
長野県	長野市	9円/kg	福岡県	福岡市	14円/kg
静岡県	静岡市	7.3円/kg		北九州市	10円/kg
新潟県	新潟市	12円/kg	佐賀県	佐賀市	8円/kg
富山県	富山市	-	長崎県	長崎市	(収集運搬及び処分料 100円/450袋)
石川県	金沢市	8.4円/kg	熊本県	熊本市	10円/kg
福井県	福井市	4円/kg	大分県	大分市	8円/kg
岐阜県	岐阜市	-	宮崎県	宮崎市	3.15円/kg
愛知県	名古屋市	20円/kg	鹿児島県	鹿児島市	7円/kg
三重県	津市	15円/kg	沖縄県	那覇市	6.3円/kg

出所：農林水産省『主要都市における事業系一般廃棄物処理に係る処分料金一覧表』。

注：平成18年11月28日時点の料金。

理料金よりも安く、排出側において食品循環資源を飼料化に仕向ける経済的インセンティブが認められた。

### 畜産農家の経済要件

畜産農家段階の経済条件に着目し、

②配合飼料価格 $\geq$ エコフィード価格+エコフィード利用費用 ( $s_3 \geq RS_3 + RC_3$ )

について検討する。有限会社Bでは、工場と農場の経営主体が同じであったため、正確なエコフィードの販売価格は得られなかった。そこで、農林水産省が公表している全国の食品残さ飼料化業者のリキッド式エコフィードの販売価格平均5.5円/kg(工場渡し価格)と同等程度の価格であると仮定する(農林水産省、2008)。(この価格は仮定値ではあるが、有限会社Bでの各種聞き取りデータから推測される価格と大きな離れはなさそうである。)そこで、販売価格平均5.5円/kgを前提に、リキッド式エコフィードを

利用した場合の畜産農家の飼料費を推計した。

エコフィードの価格は5.5円/kg(送料含まず)に運搬費用を5円/kgとして加え、10.5円/kgとし、配合飼料の価格は配合飼料供給安定機構のデータをもとに肉豚肥育用農家購入価格の平成18年1月から平成20年9月の平均値を用い、46円/kg(送料込み)とした。エコフィードの混合給与割合を6割-DMとしたとき、利用されるエコフィードは原物量で2.48kg、配合飼料は0.46kgであり、これにそれぞれの単価を乗じて算出したエコフィード混合飼料乾物1kgあたりの飼料価格は47円となる。同様にして、配合飼料を利用した場合の乾物1kgあたりの飼料価格は53円と算出され、飼料乾物1kgあたり6円の飼料費削減効果が認められた。

千葉県リキッドフィーディング実用化地域技術検討会(2004)の調査結果をもとに、肥育豚の30kg-112kgの期間に豚1頭に給与される飼料量を、リキッド式のエコフィード混合飼料で

306kg-DM、配合飼料で294.5kg-DMとすると、肥育豚1頭あたりの飼料費は、エコフィードを利用した場合に14,428円、配合飼料のみを利用した場合に15,571円となり、肥育豚1頭あたりの飼料費削減効果は1,143円と試算された。

ただし、この推計はリキッドフィーディングに取り組む際の設備投資や、作業負担を考慮していない。リキッドフィーディングを導入する場合、農場における設備投資の大きさが課題となる。有限会社Bの場合、リキッド飼料給与設備への設備費用が5,890万円で、うち3,088万円を自社負担している。この農場では年間20,000頭を出荷しているため、エコフィードを利用したリキッドフィーディングによる肥育豚1頭あたりの飼料費削減効果を1,143円とすると、年間2,286万円の飼料費が削減されることになる。この場合、5,890万円の投資はおよそ3年で回収できる。その結果、設備投資を考慮しても、有限会社Bでは、農場段階においてエコフィードを給与するに十分な経済的インセンティブがあると言えそうである。

### 飼料化工場の経済要件

3つ目の経済条件である、

③飼料化処理料金+エコフィード価格=飼料化処理総費用

$$(RD_0 + RS_3 = RC_1 + RC_2 + P_1 + P_2)$$

について検討する。この場合、収集運搬業者にとっては焼却処分する場合と比較して作業内容とその費用は変わらないものと見なし、飼料化工場のみを分析対象とする。

有限会社Bでは、約1kg(1.008kg)の食品循環資源から1kgのエコフィードが製造される。先述に引き続き、有限会社Bの送料込みの処理料金を15円/kgとし、うち収集運搬料金を5円/kgとすると、飼料化工場が受け取る食品循環資源の処理料は10円/kgである。エコフィードの販売価格を5.5円/kgとすると、エコフィード1kgにつき飼料化工場が受け取る金額は15.5円とな

る。この15.5円がエコフィードを製造する際に飼料化工場が負担可能な製造費用の上限となる。この点に関して、有限会社Bにおける製造費用のデータを推測する手掛かりは全くないが、聞き取り調査から、およびエコフィード製造、給与の長期継続実績からして、採算はクリアされていると容易に推測されるところである。

参考として、神奈川県でリキッド式エコフィードを製造するCセンターの経営をみると、Cセンターでは処理量25t/日、生産量37.5t/日で採算がとれる計画となっている。Cセンターでの食品循環資源の処理料が平均18円/kg、エコフィード販売価格が平均1円/kgであることから勘案するとエコフィード1kgを製造するときの経費はおよそ13円と推計される。この13円には工場運営のための人件費、光熱費、家賃、施設の減価償却費等が含まれている。有限会社BとCセンターとでは規模やシステムに違いはあるものの、リキッド式エコフィードの製造費用の参考値となる。仮に有限会社Bにおけるエコフィード1kgの製造販売による収入を15.5円/kg、製造費用を13円/kgとすると2.5円/kgの利潤が発生する。有限会社Bのエコフィード年間製造量は18,502.8トンであるから、年間の利潤は4,513万円と試算される。推計による結果ではあるが、有限会社Bをモデルにしたエコフィード工場の経済条件は満たされている。

以上の分析は、推計値によるものの、有限会社Bはエコフィードによる資源循環システムを成立させる3つの経済要件を満たしている。それでは、エコフィードによる資源循環システムが普及しない原因はどこにあるのであろうか。その原因の1つは、排出者側の経済要件にあるといえる。先述したように、食品循環資源を飼料化する場合、その処理料金は、一般に、食品製造業でおよそ15円/kg(送料含まず)、食品小売業、外食店舗でおよそ30円/kg(送料含まず)である。一般廃棄物として焼却処理した場合の処理料金が14円/kg(首都圏平均、送料含まず)



だとすると、特に食品小売業、外食店舗においては焼却処理したほうが費用負担は軽くなる。

この点、有限会社Bは排出者側からの飼料化処理料金を焼却処理した場合の処理料金よりも安く設定できており、資源循環システムを成立させることができた。有限会社Bでこの料金設定が可能であるのは、第一に大規模な飼料化工場でエコフィードを製造することでスケールメリットが発揮されていることによる。第二には、飼料化工場と養豚経営とが同じ経営体であるため、飼料化工場のみで利潤を上げる必要はなく、経営全体で採算が取ればよい仕組みであり、その分、飼料化処理費用を抑えることができているからであろう。つまり、有限会社Bにおいて排出側の経済要件が満たされているのは、有限会社Bの取り組み形態によるところが大きい。エコフィードを利用した資源循環システムを一般に普及させるためには、排出段階において食品循環資源を飼料化に仕向けるインセンティブを生み出すことが重要であるといえる。

## 6. 結論

本研究では、近年注目されつつあるものの普及が進んでいないエコフィードとそれを利用した資源循環システムを取り上げ、第一に、現在、排出されている食品廃棄物のうち、どれほどの量がエコフィードとして利用可能なのか、排出側の取り組み状況や今後の意向を調査し、エコフィードの安定供給の可能性を検証すること、第二に、エコフィードを利用した資源循環システムの事例を調査し、その成立要件を定性的に把握すること、そして第三に、エコフィードを利用した資源循環システムに取り組む事例について環境面と経済面の両面からの分析を試みることでその成立要件を定量的に把握し、より効率的なシステムにするための課題点を明らかにすることを目的とした。

食品循環資源の排出源である食品小売業に対するアンケートより、川下の中小食品小売業に

おいては食品リサイクル法やエコフィードの認知度が低いことが明らかとなった。そのような状況の中で食品循環資源の飼料化への取り組みへの参加を促すには、取り組みやすいシステムや分別の程度に応じた処理料金体系を設けることが必要であることが明らかになった。

エコフィードを利用した資源循環システムに取り組む4つの事例からは、原料となる食品循環資源に、日ごとや季節ごとの発生量の変動、成分の変動といったリスクや、異物や腐敗物の混入といった安全性にかかわるリスクがあり、こうしたリスクを如何に回避するかが飼料化のポイントとなること、また、それに伴う設備費や処理費用といったコストが共通の課題であることが明らかになった。特に再生利用が進んでいない都市厨芥は量や成分変動のリスク、異物混入のリスクが高いため、エコフィードを製造するための施設や分別にコストを要する。さらにリキッド式エコフィードは、都市厨芥の利用に適し、環境影響も低いとされるが、その利用には大規模な設備投資を要する。こうしたことから、都市厨芥の利用やリキッド式エコフィードは普及が望まれる一方で、そのコストが普及の障害となっていることを明らかにした。

この事例調査を踏まえ、都市厨芥を利用したリキッド式エコフィードに取り組む事例を対象に、環境面、経済面から分析・考察した。分析対象とした有限会社Bでは、環境要件、経済要件の2つの要件が満たされていることが推測された。まず、LCAによる分析からは、有限会社Bの取り組みが従来の焼却処理に比べて環境影響を低減していることが明らかになった。環境要件を満たす大きな要因は、環境影響の大きい配合飼料をエコフィードにより代替していることにあった。このことから、環境要件は有限会社Bの取り組みに限らず、エコフィードを利用した資源循環システム全般において満たされると考えられた。

一方、LCCによる分析より、システムを構成

する各経営体に飼料化に取り組む経済的インセンティブが存在することを明らかにした。特に有限会社Bにおいては、食品循環資源を飼料化処理する場合に排出側の支払う処理料金を、焼却処理する場合の処理料金よりも安く設定できることが望ましいが、少なくとも同等水準に維持することがシステムを成立させる大きな要因であることが分かった。有限会社Bがそれを実現していたのは、大規模な飼料化工場でスケールメリットを発揮させていること、農場と飼料化工場が一体の経営であり、農場全体でエコフィード給与の採算が取ればよいという点にあった。

以上の分析から、現在のエコフィードを利用した資源循環システムは、食品循環資源の排出段階に普及の阻害要因が存在することが分かった。一般には飼料化処理料金が廃棄物処理料金よりも高くなるケースが多く、排出側で食品循環資源を飼料化へ仕向ける経済的インセンティブが働きにくいことがエコフィードの普及が進まない原因となっている。その背景には、現在、食品循環資源に由来するリスクやそれに伴うコストを飼料化工場が負担しており、そのために食品循環資源の飼料化処理料金が高くなっていることがある。今後の普及のためには、排出側が食品循環資源の飼料化に取り組むためのインセンティブを創出することが必要である。

そこで排出側において食品循環資源を飼料化に仕向けるインセンティブを提案する。まず、1つ目は、廃棄物処理料金の正常化である。現在、廃棄物の処理費用の多くは税金によって賄われており、食品循環資源を飼料化する場合よりも安い処理料金となっている。社会厚生観点から、税金の投入を否定するものではないが、しかし、その税負担額を見直し、有用な食品循環資源の再生利用に仕向けられる処理料金体系にしなければならない。また、食品循環資源の飼料化処理業者に対し、CO<sub>2</sub>排出量削減名目の補助金（クロス・コンプライアンス方式での環境

負荷軽減直接支払い金）による経済的支援で飼料化処理費用負担を軽減することも処理料金正常化の方策として考えられる。

2つ目に、食品循環資源の飼料化にかかる費用を下げることで、排出側が負担しなければならない飼料化処理費用を削減することである。そのためには、技術イノベーションによるエコフィード製造技術の改善はもとより、排出側の分別意識を徹底することで、現在、飼料化工場が負担している分別コストを削減することも重要である。

3つ目に、エコフィードを利用した畜産物への消費者の需要を高めることがある。食品循環資源の排出業者は、食品製造業や食品小売業である。つまり、食品販売を主業としているのであるが、農畜産物の生産や加工においても、従来の「環境に優しい生産工程」、「安全・安心な生産工程」に加えて、「地球温暖化防止の生産工程」による商品への社会的認識を高めれば、商品価値をさらに高め、ひいては商品選好を高める。それは同時に食品廃棄物の排出者にも畜産農家にも、いわばCSRへの認識を高め、いわば企業価値を高めるインセンティブを高める。こうして、消費者のみならず生産者も加工・流通業者もが積極参加する社会的資源リサイクル・ループの形成を促進する。なお、そのためには、消費者、関係業者に環境問題に対する責任感を喚起する情報提供、環境に優しい商品の購買選択への情報提供が必要であり、例えば、本研究で取り上げたLCAの分析結果である温室効果ガス削減量などの情報提供が重要である。

以上の方策の中で、まず取り組みやすく、効果があがると考えられるのが、食品循環資源の「分別」である。異物の除去や飼料に不向きなものとの分別はもとより、エコフィードの原料となる食品循環資源を種類ごとに分ける作業を、排出側が「排出者責任」として行うことを強く訴えたい。分別により食品循環資源に由来するリスクが軽減されれば、飼料化工場の分別費用を

削減することができる。それが食品循環資源の処理料金の低下にまで繋がれば、排出側の取り組みを活性化させるインセンティブとなりえる。また、それは食品残さのエコフィード原料化率を向上させられる。

さらに、分別により原料の栄養成分が正確に把握できれば、エコフィードの緻密な栄養設計が可能となり、エコフィードを給与する際の混合給与割合を高めることもできる。エコフィードの混合給与割合を高め、配合飼料の使用が削減されることで、エコフィードを利用した資源循環システムの環境影響低減効果を発揮できる。排出側での分別への取り組み意識を高めるためにも、「食品残さ」はしっかりと分別されれば「資源」となり、それは自分たちの食べ物となること、また、飼料化への取り組みが環境、社会にどのような意味を持つのかを食品循環資源の排出者、つまりは川下の食品産業、そして消費者に指導・啓蒙し、社会的全体で資源循環システムの推進に取り組むことがエコフィード普及に必要である。

- [1] 阿部亮「食品廃棄物の飼料利用－その1. 飼料化素材と飼料化手法および飼料化の要件－」、『畜産の研究』、Vol.58、No.2、2004、pp.233-247.
- [2] 淡路和則「畜産経営からみた食品残さ飼料の価格条件」、『農業経営研究』、Vol.45、No.1、2007、pp.62-66.
- [3] 千葉県リキッドフィーディング実用化地域技術検討会『千葉県におけるリキッドフィーディング実用化促進事業調査報告書』、千葉県畜産総合研究センター、2004.
- [4] 独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構『日本飼養標準・豚(2005年版)』、社団法人中央畜産会、2005.
- [5] 平井康宏・村田真樹・酒井伸一・高月紘「食品残差を対象とした循環・資源化処理方式のライフサイクルアセスメント」、『廃棄物学会論文誌』、Vol.12、No.5、2001、pp.219-228.
- [6] 堀与志美「食品残さを利用した養豚経営での飼料化への取り組み」、『技術と普及』、Vol.44、No.12、2007.
- [7] 細田衛士『グッズとバズズの経済学』、東洋経済、1999.
- [8] 入江正和「食品廃棄物の飼料利用－その2. 乾燥飼料の調整と給与および肉質－」、『畜産の研究』、Vol.58、No.2、2004、pp.238-244.
- [9] 伊坪徳宏「ライフサイクル影響評価」、稲葉敦・青木良輔／監修『LCA概論』、社団法人産業環境管理協会、2007、pp.99-199.
- [10] 川島知之「日本型発酵リキッドフィーディングの構築を目指して」、『畜産の研究』、Vol.57、No.9、2003、pp.975-986.
- [11] 川島知之「食品残さ飼料化の技術的課題」、『畜産の研究』、Vol.61、No.1、2007、pp.129-133.
- [12] 清和記「食品廃棄物てんぷら方式で飼料化」、『日廃振センター情報』、Vol.8、No.3、2007、pp.22-23.
- [13] 小林久「輸入飼料の地域別ライフサイクル・エネルギー消費量およびGHG排出量データ・ベース」、農林水産省バイオリサイクル研究「システム化サブチーム」『バイオマス活用システムの設計と評価』、2006、pp.253-261、および訂正頁.
- [14] 松藤敏彦「ライフサイクルアセスメント」「費用と便益の分析」、田中勝／編著『循環型社会評価手法の基礎知識』、技報堂出版、2007、pp.103-155.
- [15] 農林水産省『平成19年食品循環資源の再生利用等実態調査結果の概要』、2007.
- [16] 農林水産省『主要都市における事業系一般廃棄物処理に係る処分料金一覧表』、食料・農業・農村政策審議会総合食料分科会 第10回食品リサイクル小委員会中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会 第4回食品リサイクル専門委員会 第3回合同会合(平成18年11月28日)参考資料20-1、  
([http://www.maff.go.jp/sogo\\_shokuryo/recycle/10/](http://www.maff.go.jp/sogo_shokuryo/recycle/10/))、2009年1月13日確認.
- [17] 農林水産省『食品残さ飼料化業者の状況』、平成20年度飼料自給率向上・生産性向上に関する合同会議(平成20年4月22日)資料、

([http://www.maff.go.jp/j/chikusan/souti/lin/l\\_siryu/kou do/h200422/index.html](http://www.maff.go.jp/j/chikusan/souti/lin/l_siryu/kou do/h200422/index.html))、2008年12月30日確認。

[18] Ogino, A., Hirooka, H., Ikeguchi, A., Tanaka, Y., Waki, M., Yokoyama, H., Kawashima, T., “Environmental Impact Evaluation of Feeds Prepared from Food Residues Using Life Cycle Assessment”, J. ENVIRON. QUAL., Vol.36, 2007, pp.1061-1068.

[19] 佐伯真魚・川島知之「食品廃棄物の飼料利用－その3. 食品残さ飼料の栄養特性－」、『畜産の研究』、Vol.58、No. 2、2004、pp.245-250.

[20] 社団法人配合飼料供給安定機構『配合飼料・混合飼料の生産動向』、

(<http://mf-kikou.lin.go.jp/>)、2008年12月26日確認。

[21] 社団法人プラスチック処理促進協会「事業系プラスチック廃棄物の処理処分に係るLCA評価」、産廃プラスチック小口回収システム検討会『事業系プラスチック廃棄物リサイクルのための小口回収システムモデル事業』、2007、pp.61-105.

[22] 社団法人産業環境管理協会『ライフサイクルアセスメント実施支援ソフトウェアJEMAI-LCA Pro』、2008.

[23] 田原聖隆「LCAとは」、稲葉敦・青木良輔／監修『LCA概論』、社団法人産業環境管理協会、2007、pp.1-29.

[24] 高橋巧一「食品廃棄物の発生抑制の事例」、『廃棄物学会誌』、Vol.19、No. 4、2008、pp.171-176.

[25] 湯龍龍・伊坪徳宏「食品循環資源の再生利用による環境影響削減効果」、『第2回日本LCA学会研究発表講演要旨集』、2007、pp.70-71.

[26] 植田和弘『廃棄物とリサイクルの経済学』、有斐閣選書、1992.

[27] 牛久保明邦「食品廃棄物等と資源循環の促進－改正食品リサイクル法を中心として－」、『フードシステム研究』、Vol.15、No.2、2008、pp.4-11.

[28] 吉野敏行『資源循環型社会の経済理論』、東海大学出版会、1996.

[29] 柳京熙「食品循環資源の飼料化に伴う経済的効果についての一考察」、『J A 総研レポート』、Vol. 5、2008、pp.21-25.

[30] 全国食品残さ飼料化行動会議・社団法人配合飼料供給安定機構『食品残さの飼料化（エコフィード）をめざして－飼料化マニュアル（平成20年度版）－』、2008.

島知之氏には、エコフィードに関する筆者の疑問に丁寧に  
対応して頂き、多くの助言を頂きました。記して感謝申し  
上げます。なお、本研究のLCAにかかる部分に焦点を当  
てて論文として再構成して2009年3月に開催された日本農  
業経済学会でポスター発表したところ、学会からポスター  
賞を受賞しました。さらにその後、「エコフィード資源循  
環システムの環境影響評価LCA」と題する論文に加筆修  
正、取りまとめて同学会誌『農業経済研究別冊－2009年度  
日本農業経済学会論文集』（2010年2月発刊）に投稿し、掲  
載決定されたことを報告します。

## 謝 辞

本研究は、筑波大学名誉教授永木正和先生（農林学系農  
業経済学教室）のご指導によるものです。また、「平成20  
年度J A 共済総研研究助成」による研究資金を得て実施し  
たものです。このような有意義な研究活動の機会を与えて  
下さった「社団法人農協共済総合研究所」に厚く御礼申し  
上げます。次に、本研究の遂行に当たって、多くの方にご  
指導、励ましのお言葉を賜りました。特に、財団法人配合  
飼料供給安定機構の松田一郎氏からは、エコフィードに関  
する技術的情報や事例調査の便宜を得ました。独立行政法  
人農業・食品産業技術総合研究機構・畜産草地研究所の川