

・研究課題名・研究番号

有機再生廃棄物を対象とする多層複合型資源循環圏の設計と評価システムの構築
(K2023、K2162、K22050)

・国庫補助金精算所要額（円）71,322,000

・研究期間（西暦）2008-2010

・代表研究者名 藤田 壮（国立環境研究所）

・共同研究者名 大迫 政浩、徐 開欽、藤井 実、稲葉 陸太（国立環境研究所）
橋本 禪（京都大学）
玄地 裕、栗島 英明、井原 智彦（産業技術総合研究所）

・研究目的

都心部などの人口過密地域から比較的低密度な郊外都市、あるいは農村までも含む多様な首都及びその周辺地域を対象として、循環資源を最大限に有効活用し、低炭素化にも資するためのシステムのあり方を検討する。一方、循環資源は国際市況や季節変化により短・中期的な需給バランスが変化するばかりでなく、将来想定される人口減少や、より優先されるべきリデュース、リユースが進展すれば、循環資源供給量は長期的には減少に向かう可能性も高い。廃棄物の資源としての潜在能力は最大限活かしながら、社会の変化にも対応できるシステム（スマート資源循環）について検討し、効果を俯瞰的に評価できるモデルを作成することを目的とする。スマートグリッドが既存インフラを活用しながら太陽光や風力などの、低環境負荷だが変動の大きな電源を接続可能とするように、スマート資源循環では、質の高いマテリアルリサイクルと並行して、既存インフラ（動脈産業）を活用し、需給バランスや排出形態の変動する循環資源を安定的に受け入れ、高効率・低コストで利用できるシステムとすることを旨とする。これらの検討により、循環圏形成における環境技術の開発と政策、循環ビジネスの展開軸を明らかにする。具体的には、廃棄物の排出量分布や資源循環技術のデータベースを構築し、スマート資源循環システムの導入効果の検討を行うこと。資源循環圏の評価手法及び評価システムの検討及び試行的評価を行うこと。飼料化を介した食品廃棄物の循環システムを評価対象として、ライフサイクルで排出される温室効果ガス量の傾向およびリサイクル飼料を利用して生産した豚肉に対する消費者の受容性を定量的に把握することを目的とする。

・研究方法

(1) 地域循環圏研究の状況

循環型経済社会を形成することは、廃棄物の適正な処理にとどまらず、希少化する資源の効率的な利用や低炭素社会の実現に向けて重要な方策となる。2008年の第二次循環型社会形成推進計画では、「経済社会の物質循環では、地域の特性や循環資源の性質に応じて、最適な規模での循環を形成して」いくための地域循環圏の構築を謳っており、国と地方を中心に各主体が構想段階から協働して地域計画を策定し、循環型社会の形成のための基盤の整備を推進して」いくこととされている。廃棄物や資源はその種別、量によって適正な処理の技術があるとともに、循環の適正な規模が存在することは明らかであり、地域での主

体間の連携によって、循環可能な資源を地域内で循環させることで環境保全と経済活力を両立する仕組みを構築することが期待される。とくに近年の化石燃料を含む各種の天然資源価格の上昇により、廃棄物の循環利用に対する市場での需要が拡大している。その状況下で、廃棄物処理の公的サービスの機能や、新規資源との価格競争力を持つための基盤整備に対する公的セクターの関与を視野に入れた、適正な資源循環の方策とその圏域形成に向けての制度や施策、さらに技術開発と基盤整備の基本方針を構築することが社会的な急務となっている。

環境省の地域循環圏検討会等の情報共有を進めて、地域循環圏の構築に向けて、関係府省、関係都道府県・市町村、産業界、NGO/NPO等の関係主体の連携協働により、循環資源の性質に応じた複層的な望ましい循環の姿とそのために必要な取組・事業を整理した。循環型社会を低炭素社会、自然共生社会と一体的に構築していくために地域循環圏を総合的・計画的に実現するための知見を整理した。更に、国際的な地域循環圏形成の議論の背景について整理を行った。

(2) スマート資源循環の提案

リデュース、リユース、リサイクル(3R)の推進による社会の低炭素化や、枯渇性天然資源消費の削減が急務となっている。各地域には利用されていない、または利用されていても十分にその能力が活かされていない循環可能な資源や再生可能資源(バイオマスなど)が存在する。またその利用に際して、動脈産業等における製造プラントや中継・輸送システムなど、潜在的に利用可能な既存インフラが存在し、更に現在は主に非再生可能な天然資源を用いて供給されているが、これを循環資源、再生可能資源で代替することのできる、潜在的な需要が存在する。各地域においてこれら「供給」、「中継・変換」、「需要」の各潜在能力(未利用要素)を効果的に組み合わせることで、資源循環が高い費用対効果で、現在だけでなく将来に渡っても安定的に実施されるシステムを描出することができると考えられる。

一般廃棄物中の有機系固形廃棄物の現在のリサイクル・処理のフローを検討するとともに、鉄鋼、セメント、製紙などの動脈産業における既存施設を活用したリサイクルの有効性を検討することにより、現在だけでなく将来に渡っても安定して費用対効果に優れたリサイクルシステムについて検討した。

(3) 有機系廃棄物の循環技術調査

首都地域における循環資源の発生状況を踏まえ、大量に発生し、かつ今後循環利用のポテンシャルが大きいと考えられるプラスチック類及び食品廃棄物を循環資源の対象とする循環技術を抽出し、技術インベントリーデータの収集・整理を行った。特に、後述するスマート資源循環地域拠点に着目し、メーカー等へのヒアリング調査を通してプロセス設計を実施し、プロセスの入出力に関するインベントリやコストを算定した。また、費用対効果に優れたリサイクルシステムを構築するため、ある程度簡易でなおかつ高い資源循環効果の得られるプロセスフローを検討した。

また、グリッドシティモデルを用いたシミュレーションを行い、既存の焼却施設や選別保管施設の規模を一定とした適性評価モデルによって、人口と人口密度を変化させた場合のCO₂排出量とごみ処理コストを算出し、クラスターの最適規模を検討した。

(4) 食品廃棄物の飼料化を介した循環利用の温室効果ガス排出量および生産物の消費者受容性の評価

有機性廃棄物を未利用資源として捉え、そのリサイクルを継続的に進めるためには、利活用システムに伴う環境影響を整理してより負荷の少ないシステムを検討することが必要となる。また、環境側面からの制約もさることながら、消費者が有機性再生資源を利用して生産された農畜産物を受容(購入)するかもシステムの継続性を考える上で極めて重要である。本研究では、都市圏において排出量が多いと考えられ

る食品廃棄物に注目し、食品リサイクル法で優先的な変換技術である飼料化を介した循環システムを評価対象として、その環境側面と生産した精肉の消費者の受容性について評価、分析を行った（図1）。

飼料化を介した食品廃棄物の循環システムの環境側面の評価では、LCA を用いて飼料化処理技術、循環的な豚肉生産システムでの温室効果ガス排出量の推計、慣行的な生産システムとの比較を行った。平成20年度は、食品廃棄物の乾燥飼料化、リキッド飼料化の先進的な取り組み事例についてインベントリ分析を行うとともに堆肥化および焼却処理との温室効果ガス（GHG）排出量を比較した。飼料化プロセスでの処理原料量、投入資材量などのデータは飼料化事業所（2社）へのアンケート、聞き取り調査から収集した。平成21年度は、食品廃棄物の飼料化段階、飼料の利用（家畜飼養）段階、と畜・小売段階を含めた循環システムについてLCA手法を用いた評価を行い、生産物（肥育豚または豚肉）当たりの温室効果ガス排出量（GHG 排出量）を推計した。評価では、配合飼料を用いた豚肉生産システム（慣行システム）と食品廃棄物由来飼料を利用した豚肉生産システム（循環システム）を設定し、シナリオ分析を行った。平成22年度は、平成21年度に行った食品廃棄物の飼料化段階、飼料の利用（家畜飼養）段階、と畜・小売段階を含めたシステムのLCAについて、飼料化プロセスでのGHG 排出量の変動を反映した感度分析を行った。飼料化プロセスでのエネルギー資材消費量の変動に関連した報告書から最小値、1/4位値、平均値、3/4位値および最大値のデータを分析に用いた。

また、有機性再生資源を利用して生産した農畜産物の消費者受容性、付加価値、情報提供の方法・効果について、主に消費者へのアンケート調査を用いて解明を試みた。平成20年度は、調査研究の足掛かりとして、有機性廃棄物の循環を意図した農畜産物に対する消費者の受容性や選好に関する先行研究のレビューを実施した。また、食品廃棄物を再生した堆肥および飼料を利用した農畜産物に対して、予備知識がほとんどない状況で消費者がどれくらいの付加価値を与えるのかについて、web アンケート調査を実施し、表明選好法のコンジョイント分析を用いて分析を行った。平成21年度は、食品廃棄物を再生した飼料（以下、食品廃棄物由来飼料）を給餌した豚肉に対して、飼料の安全性、味の情報をほとんど持たない消費者とそれらの情報を持っている消費者とでどれほど受容性が異なるのかについて、web アンケート調査を実施し、コンジョイント分析を用いて比較検討し、情報提供の効果を測定した。また、食品廃棄物由来飼料を給餌した豚肉に対する消費者意識に関して、web によるアンケート調査を実施するとともに、実際にそのような豚肉を扱う食品スーパーでのアンケート調査を実施した。平成22年度は、消費者にリサイクルループに関する情報、CO₂に関する情報をわかりやすく提示した場合における食品廃棄物由来飼料を給餌した豚肉に対する受容性の変化について、web 調査およびそのような豚肉を扱う食品スーパーでの販売実験・アンケート調査を実施してその効果分析を行った。

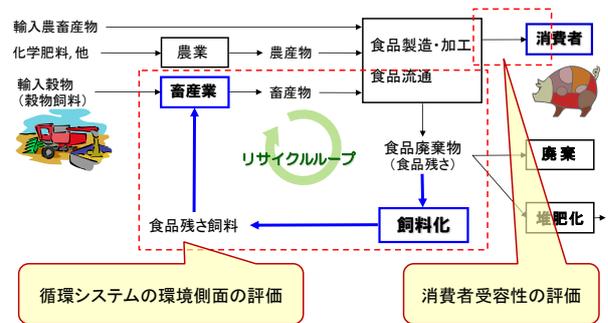


図1 飼料化を介した食品廃棄物循環システムの評価

（5）資源循環圏シミュレーションモデルの構築と評価

地域循環シミュレーションの基礎情報として、首都圏の廃棄物排出量分布（1km メッシュごとの将来ごみ量）、産業施設や焼却処理施設等の循環施設の空間分布に関するGISデータベース（以下「GIS データ」と表記）を整理した（図2）。

グリッドシティモデルシミュレーションを用いた適性評価モデルを一都三県に適用し、一都三県の市町村・一部事務組合の可住地面積及び可住地面積当たり人口密度をもとに、スマート資源循環地域拠点の導

入によって高い費用対効果が得られる範囲の市町村・一部事務組合を選定した（図3）。

そして、スマート資源循環地域拠点の適地として選定された市町村を対象として、GIS データを活用した地域シミュレーションを行い、スマート資源循環地域拠点の導入による現状の処理システムからの CO₂ 削減効果と費用の変化の算定を行った。また、算定されたスマート資源循環の費用対効果の良否について、主として廃棄物分野における他の CO₂ 削減効果との比較を行った。

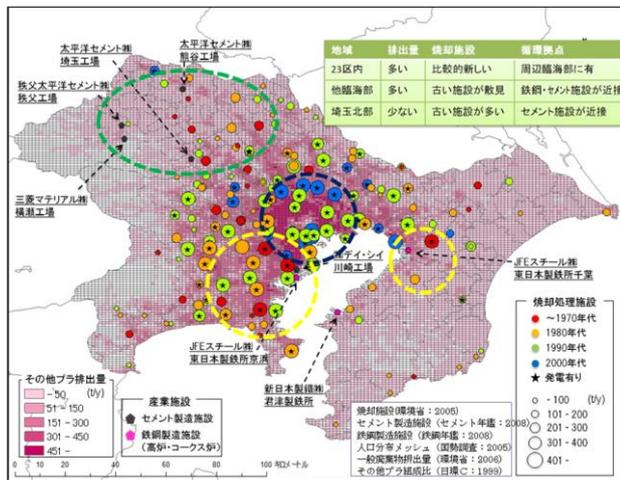


図2 循環資源排出分布(その他プラ製容器包装の例) とごみ焼却施設・循環拠点産業施設の立地

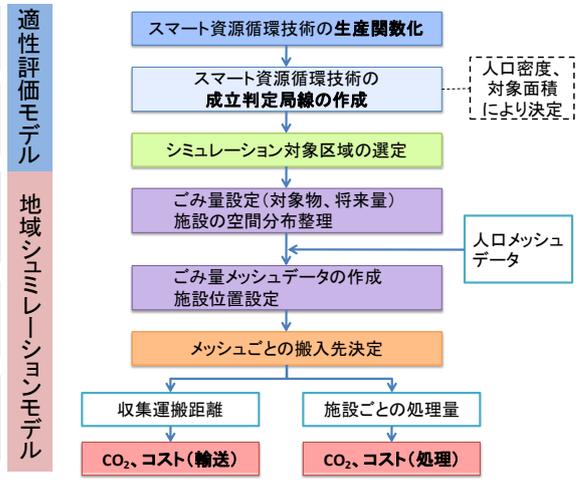


図3 地域循環シミュレーションの手順

・結果と考察

(1) 地域循環圏研究の状況

産業エコロジーの分野では1990年代の循環型の産業システムの理念的な議論に続いて、2000年に入って循環の範囲についての議論が行われてきた。産業地区内での資源循環の連携は産業共生（industrial symbiosis）と呼ばれて、デンマークのカルンボーを先例としてきた。Chertow (2000)は産業共生を「従来は産業工場毎に個別に行われてきた物質やエネルギー、水資源及び副産物の交換を主体間の連携によって競争力を持つこと」と定義して、特に地理的に近接する主体間で実現することが鍵であるとしている。また著者らは産業共生に対して都市共生（urban symbiosis）の概念を定義して「都市からの副産物を産業活動にとっての資源やエネルギーの代替利用すること」として定義し（van Berkel, 2009）、そこでは、都市・地域のスケールでの資源循環の有効性を議論している。その他にも、エコインダストリアルパークやエコタウンの実証研究を通じての資源循環の地域特性の研究がすすめられている（Chertow, 2007; Chiu & Yong, 2004; van Berkel et al., 2009）。

また、筆者らは産業共生や都市共生によって新規自然資源の消費を抑制して、環境負荷の発生を抑制する取り組みについて以下のように整理している（Chen & Fajita et al., 2010）。すなわち、産業共生についての学術的な定量的検証が進む一方で（Chertow & Lombardi, 2005; Jacobsen, 2006; van Berkel et al., 2009）、循環の拠点の形成にあたって計画的な事業を展開する例はいまだ多くはない。世界的にエコインダストリアルパーク（Eco-Industrial Park; EIP）の取り組みをみても、循環型の産業が事業として成立した例は多くなく、これは産業共生やEIPを自然発生的に生まれて市場経済で成立することを前提にして、適正な政策立案の下で推進されていない傾向があることが指摘されている（Chertow, 2007; Desrochers, 2002; Sterr & Ott, 2004）。

さらに、産業共生での行政による政策介入（Costa et al., 2010）や主体間の連携の形成や地域での連携と協働（Gibbs & Deutz, 2007）、情報共有（Sterr & Ott, 2004）に加えて、適正な空間規模が重要である（Desrochers, 2002; Sterr & Ott, 2004）ことの研究がそれぞれ進められている。また、筆者らは循環事業の規模と循環圏域の形成について循環資源の種類ごとに分析している（大西ほか, 2010）。

また、環境省の検討会での議論から「地域循環圏」について整理した。具体的には、地域の特性や循環資源の性質に応じて、最適な規模の循環を形成することが重要であり、地域で循環可能な資源はなるべく地域で循環させ、地域での循環が困難なものについては循環の環を広域化させていくという考え方が重要であり、この概念を実体化していくに当たって、地域循環圏のタイプ別に、関係者及び求められる施策が異なるとことが明らかになってきた。今後の地域循環圏に関する施策立案に資するため、市町村内におけるコミュニティ・レベルのものから、都道府県を跨ぐブロックレベルの大都市のもの、全国レベルの産業都市（広域）のものなどについて、循環の大きさと循環資源に着目して整理するとともに、それぞれのタイプ別に必要な支援のあり方が議論されている。

大都市臨海部周辺で、循環資源の大きな受け皿である素材産業（セメント、鉄鋼、製紙等）を中心とした循環圏が成立する可能性があり、既存インフラ活用、近隣都市からの大規模な循環資源の集積等により効率的な循環を形成することが重要であることが議論されている。都市近郊においては、循環資源の排出側である都市と受入側である近郊（農村）との連携を中心とした循環圏が重要であり、農村で受入可能なバイオマス資源の連携事例が中心である。生産した農産物を都市部で消費するという循環を形成することが重要であり、都市での回収がポイントとなるケースが多く、先進的な事例では回収の部分における優位性が見られることが議論された。

（2）スマート資源循環の提案

仮に現時点で費用対効果の高いシステムが存在しても、将来の国内人口の減少、国際的な景気動向による資源価格高騰などの中長期の変動要因によって、循環資源の発生量や需要が大きく変化する可能性がある。また、2R（リデュース、リユース）の推進によって、循環資源の発生量自体を削減することが、リサイクルよりも優先されるべき対策である。従って、循環資源の需給バランスの変化にも対応できる、柔軟性のあるリサイクルシステムを構築しておく必要がある。

一方、動脈産業のなかでも特に鉄鋼、セメント、製紙、化学等の素材産業は、原料や燃料として大量の化石資源を使用している。これらの製造工程を低炭素化することが求められるが、高温・高圧条件を安定して維持する必要があるため、太陽光や風力の利用は難しく、また国内の工場では省エネルギー化も既に相当進んでおり、更なる低炭素化には、循環資源やバイオマスの活用が有効であると考えられる。

これらの背景を踏まえ本研究では、

- 一般廃棄物中のプラスチック及び紙を対象に、最大限のCO₂削減量及び化石資源消費削減量が見込め、変動に対して頑強で長期的にも費用対効果の高いリサイクルシステムを検討すること。
- 既に省エネルギー化が進んでいる国内の動脈産業の、更なる低炭素化を促すリサイクルシステムを検討すること。

を実現可能なシステムを描出した。

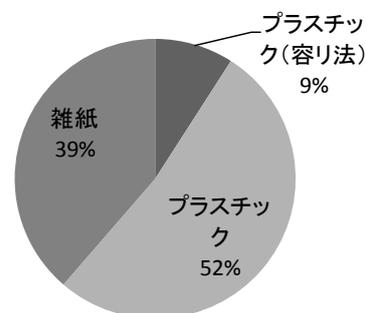


図4 一都三県における一般廃棄物中のPETボトルを除くプラスチックと雑紙の構成（発熱量基準、平成20年度）

まず、循環資源の供給側のポテンシャルについて記す。リサイクルの対象となる一般廃棄物中のプラスチックと雑紙（ただし、異物の付着が多いと考えられるティッシュ、紙おむつを除く）のもつ総発熱量のうち、容リ法で回収されているのは1割ほどであり（図4）、残りは大部分が焼却処理されている。最大ポテンシャルとして、一都三県において、残りの9割を総て有効利用した場合を想定すると、等価な発熱量を持つ石炭を代替したとすれば約260万t/年分に相当し、その燃焼回避によるCO₂削減効果は640万t/年となる。このポテンシャルを極力活かし、同時にその発生量の変化にも対応できるリサイクルシステムが必要である。

次に循環資源の需要側のポテンシャルについて記す。循環資源の利用効率が高いリサイクルシステムを検討する上で、リサイクル効果の理論的な限界を把握しておくことが、適切なシステムの設計に役立つと考えられる。理論最大効率は、1kgの循環資源が、それ自身と同じ種類の素材で、天然資源から新たに製造される新規素材1kgを代替するリサイクルが、プロセスのためのエネルギー投入なしに達成される場合と考えることができる。これは、素材をリユースする場合に相当する。理論最大効率に比べて、動脈産業を活用したリサイクルの利用効率がどの程度であるかを図5に示す。ただし図では利用効率を発電効率に換算して示している。潜在的に大きな需要のある動脈産業施設を利用したリサイクルは、最大効率とそれほど遜色ないリサイクルであることが分かる。一方、利用効率を更に高めるには、プラスチックのマテリアルリサイクルを併用することが望ましいと言える。現在の容リ法ルートでのマテリアルリサイクルは、回収されるプラスチック製容器包装に様々な種類のプラスチックが混合し、異物も多いために収率や再生樹脂の品質の低さが問題となっているが、分別収集の高度化や、企業の易リサイクル設計が進めば、利用効率が高まることが期待される。

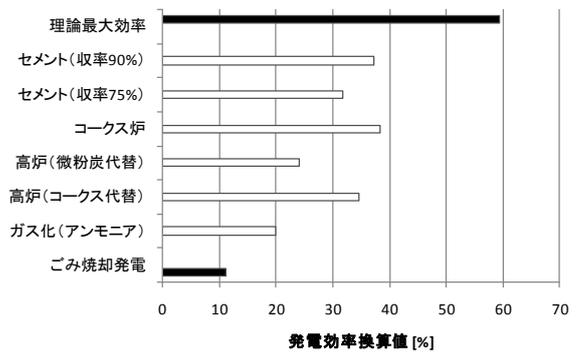


図5 プラスチック製容器包装の動脈産業施設を利用したリサイクルの利用効率（発電効率換算値）

これら供給と需要のポテンシャルをシンプルに繋ぐ、スマート資源循環と呼ぶ以下のような特長を満たすシステムを提案した。

- 循環資源の利用効率が高いリサイクルシステムであること。
- 可能な限り既存施設を利用することで、リサイクル費用が低減できること。
- 十分な受け入れキャパシティが有り、循環資源供給量の変動にも対応できること。
- 動脈産業の低炭素化に繋がること。
- 将来の分別の高度化や製品、容器包装の易リサイクル設計の進展など、循環資源の質的向上に合わせてより利用効率の高いマテリアルリサイクルが行えること。
- 特性の似た循環資源をまとめてリサイクルすることで、リサイクル量を拡大し、リサイクル単価を削減すること。

スマート資源循環は、既存インフラを活用しながら、太陽光発電等の変動の大きな自然エネルギーの利用も可能にするスマートグリッドと、目指す方向性は類似している。

具体的には図6のようなシステムを考える。現在、容器包装リサイクル法によってリサイクルされるプラスチックや紙に加え、更に範囲を拡大して有効活用することを想定する。また必要に応じて、産業廃棄物と一般廃棄物の統合処理も検討する。尚、既にリサイクルルートが確立している新聞紙等の古紙や、個々にリサイクルが行われているペットボトルは対象外とする。

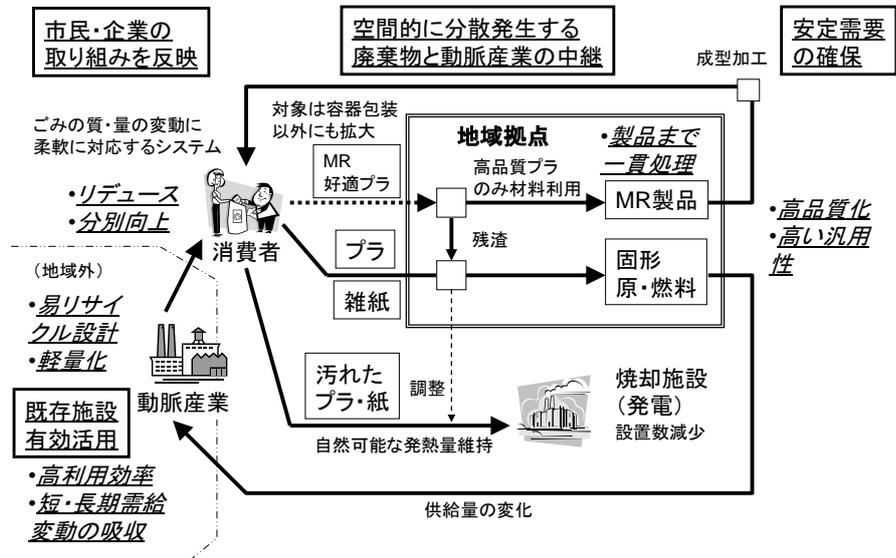


図6 スマート資源循環の概略

スマート資源循環地域拠点は、廃プラスチックと紙を集積し、固形原燃料及び再生プラスチックに加工する施設である。容リ法下では、自治体と再商品化事業者でそれぞれ選別設備を備えているが、これらを一本化することになる。また、適材を適量だけマテリアルリサイクルすることで、マテリアルリサイクルの高品質化(=代替率の向上)が見込まれる。次に、マテリアルリサイクルの残渣も含めて、動脈産業での用途に合わせて、品質の整った固形原燃料を作成する。ただし、分別後に残る焼却ごみの熱量が焼却炉で自然するレベルを維持する必要がある。固形原燃料は、動脈産業で大量の化石資源と共に大規模、高効率で利用され、発生量の変動にも対応が可能である。リサイクルのための特別な追加施設の設置も最小限となり、低コスト化が期待される。

(3) 有機系廃棄物の循環技術調査

1) 循環技術のインベントリ調査とスマート循環地域拠点のプロセス設計

再資源化事業者やプラントメーカー等の協力を得ながら、表1に示す循環技術について当該技術を工程ごとに整理し、技術インベントリーデータとしてとりまとめを行った。図7にその例を示す。

また、スマート循環地域拠点施設として、雑紙とプラスチック(プラスチック製容器包装及びそれ以外のプラスチック)を分別収集し、RPF、コークス・還元剤及び再生ペレットを製造するシステムを設計した。その際、費用対効果を勘案したシステムとして、再生ペレットの製造(マテリアルリサイクル)の有無により、システム(A)及び(B)に区分してシステム構成を設定した。

設定したシステム構成ごとに、施設規模に対する費用及びCO₂排出量を関数化した(図8)。

表1 対象とした循環技術

対象とする循環資源	着目する循環技術	技術の内容
廃棄物全般(分別しない場合)	○焼却処理施設	・高効率焼却発電
プラスチック類 (容リプラ、その他プラ)	○スマート地域循環拠点 (資源化施設の集約化)	・MR原料製造&RPF製造
	○コプロセッシング施設 (動脈連携循環技術)	・鉄鋼製造施設(高炉・コークス炉) ・セメント製造施設
紙類	○マテリアルリサイクル	・ミックスペーパー製紙原料化
	○エネルギー回収	・RDF製造/RDF発電
バイオマス(食品廃棄物) (家庭・事業系一廃、産廃)	○バイオガス(高効率ER)	・バイオガス発電/産業ガス利用
	○農業飼料化	

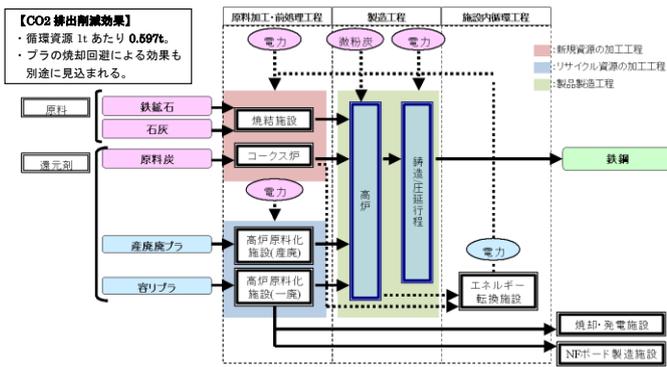


図7 循環技術の評価フレームの例(廃プラの高炉還元技術)

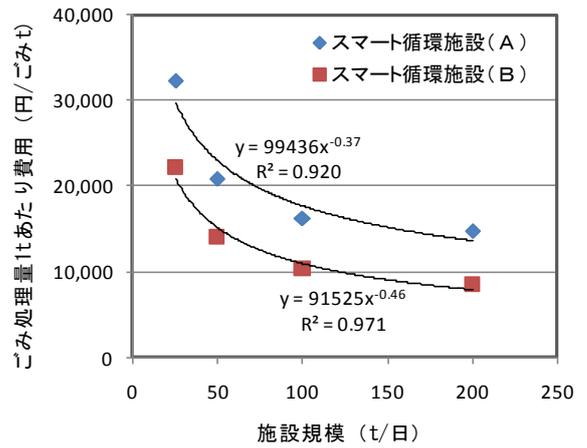


図8 スマート循環施設の費用関数

3) グリッドシティモデルによるスマート資源循環地域拠点の評価

グリッドシティモデルを用いたシミュレーションの結果、スマート循環施設の導入により、主に動脈産業での石炭の焼却回避によるCO₂削減効果が得られ、また、施設整備費のスケールメリットと収集運搬効率から、高人口密度地域ほど低コストとなり、かつ最適な規模が存在することが明らかとなった(図9)。

また、現状ではスマート資源循環地域拠点を低人口密度地域に導入することはコスト的に難しいものと考えられるが、仮に全国で、分別回収率7割程度でスマート施設が導入されたとすると、最大で日本のGHG排出量の1%程度に相当する追加的削減効果が得られ、費用は可住地当たりの人口密度やクラスター面積の違いによる地域特性に依存するもののスマート資源循環地域拠点の導入前後でおおむね同程度であることが示された。

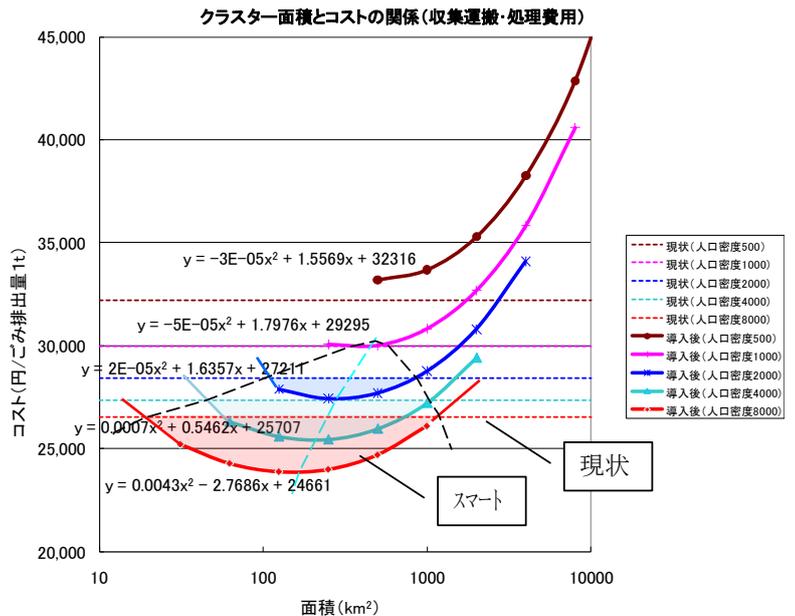


図9 クラスタ面積とコストの関係

スマート資源循環地域拠点の導入による費用構造の変化からは、リサイクルのための費用増と焼却処理費の削減はおおむね同等であり、輸入資源である石炭の削減分だけ国内に経済的メリットが生ずることが示された(図10)。また、固形原・燃料の買取制度等による利益の適切な配分によって地域経済を活性化することが可能となることが示唆された。

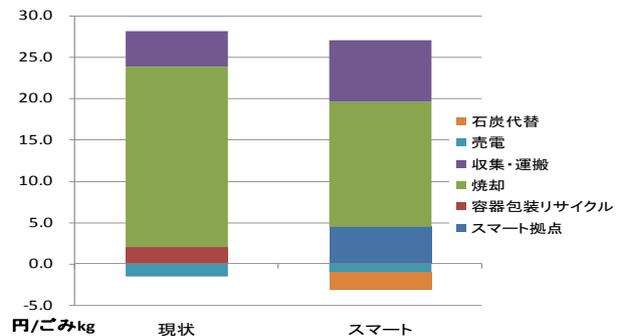


図10 スマート施設導入による費用構造の変化

(4) 食品廃棄物の飼料化を介した循環利用の温室効果ガス排出量および生産物の消費者受容性の評価

平成 20 年度に行った飼料化処理技術のインベントリ分析から、評価対象とした乾燥化は電力による乾燥工程であったことから、乾燥プロセスでの消費電力量が大きくなり、食品廃棄物 1t の処理に伴う GHG 排出量は堆肥化や焼却処理より多かった。また、リキッド飼料化での作業は機械的な破碎と混合であり消費電力量は比較的少なく、GHG 排出量は堆肥化、焼却処理に比して小さいことが分かった。平成 21 年度に行った食品廃棄物を利用した循環的な豚肉生産システムの LCA から、慣行システムでの肥育豚あたりの GHG 排出量は 440 kgCO₂e であり、その影響割合はふん尿処理(47%)、飼料生産(23%)、卸・小売(15%)、飼養管理(11%)、と畜(4%)であった。一方、循環システムでの GHG 排出量は、乾燥飼料を利用した場合で 550 kgCO₂e、リキッド飼料の場合で 400 kgCO₂e であった。また、精肉 1kg あたりの GHG 排出量は慣行システムで 5.71 kgCO₂e、乾燥飼料シナリオで 7.12 kgCO₂e、リキッド飼料シナリオで 5.17 kgCO₂e であった。平成 22 年度の乾燥プロセスでのエネルギー消費量の変動を考慮した食品廃棄物を利用した循環的な豚肉生産システムの感度分析から、飼料化段階の GHG 排出量の平均値で推計した肥育豚 1 頭当たりの GHG 排出量は 495kgCO₂e (6.43kgCO₂e/精肉 1kg) であった。また、最小値および最大値を用いた推計値は 441、548kgCO₂e/肥育豚 1 頭 (5.72、7.12kgCO₂e/精肉 1kg) で、乾燥プロセスでの GHG 排出量の変動がシステム全体にもたらす影響は±10%程度であった。以上より、食品廃棄物の飼料化に伴う GHG 排出量を定量的に把握することができた。また、飼料化を介した食品廃棄物の循環利用システム(豚肉の場合)での GHG 排出量は、慣行システムでの GHG 排出量を低減する可能性があった。ただし、原料や輸送距離、家畜管理、冷蔵保管などで変動要因の影響について分析を進め、循環システムの制約を整理する課題が残されている。

また、平成 20 年度に行った食品廃棄物由来飼料を給餌した「豚ロース肉 100g」を対象としたコンジョイント分析から、「再生飼料の材料」に対する効用は、材料によらずすべてプラスとなった(食品製造副産物は有意とならなかった)。このことは、消費者が再生飼料を利用した豚肉に対して付加価値を感じていることを意味する。また、余剰食品や家庭系調理残さなど消費者が内容を把握しやすい食品廃棄物に対する効用が他の材料よりも高いこと、食品製造副産物が有意とならなかったことから、飼料材料について十分な情報開示を求めていることが示唆された。平成 21 年度は、食品廃棄物由来飼料を給餌した「豚ロース肉 100g」を対象としてコンジョイント分析を実施し、食品廃棄物由来飼料の安全性や食品廃棄物由来飼料を給餌した豚肉の味についての情報を与えていないグループ(以下、情報なし群)とそれらの情報を与えたグループ(以下、情報あり群)とに同じ選択型実験のアンケート調査を実施して、比較分析を行った。結果として、「エコフィード使用」に対する効用は情報なし群・情報あり群ともにプラスとなり、限界支払意志額(MWTP)は約 17~19 円/ロース肉 100g となった。また、情報あり群の MWTP の方が高かったことから、安全性や味の情報の提供でより受容性が高まることが示唆された。「CO₂変化量」については、排出増加に対する効用がマイナス(削減に対する効用がプラス)となり、どちらの群も CO₂が 1g 削減されることに対する MWTP が約 0.4 円と推定された。

平成 22 年度は、リサイクルループに関する情報、CO₂に関する情報をわかりやすく記載した広告材料(POP)を作成し、調査協力店舗の精肉売場に提示して販売実験を行うとともにアンケート調査を実施した。アンケート調査の結果、POP を購買時に確認した消費者はわずか 21%に過ぎなかった。そのため、情報提供による購買行動の変化を確認することは難しかった。一方、提示した POP と同様のものを見せ、情報のわかりやすさや購入意図等を尋ねたアンケート調査から、情報提供に対する評価はおおむね高いことが分かった。また、食品廃棄物由来飼料を給餌した豚肉に対する追加支払意志を尋ねたところ、約半数の消費者が通常の国産豚肉 100g に対して 20 円程度の追加支払意志があることが確認された。以上の 3 か年の調査研究より、有機性再生資源を利用した農畜産物については、消費者の多くが受容し、かつ付加価値を感じていることが確認された。また、環境や安全、味に関する情報提供を行うことで、消費者の受容性

また、CO₂排出量（図 14）からは、現状継続に比べスマート資源循環地域拠点を導入した方が、焼却処理量の減少及び RPF 等の製品利用により CO₂ 排出量は削減された。また、スマート（A）と（B）を比べた場合、プラスチックの材料リサイクルを行わないスマート（B）の方がやや有利となった。

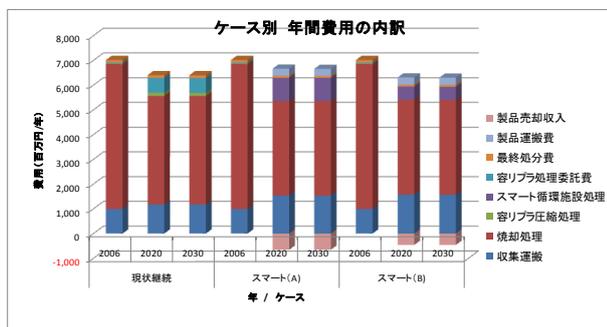


図 13 ケース別年間費用の内訳

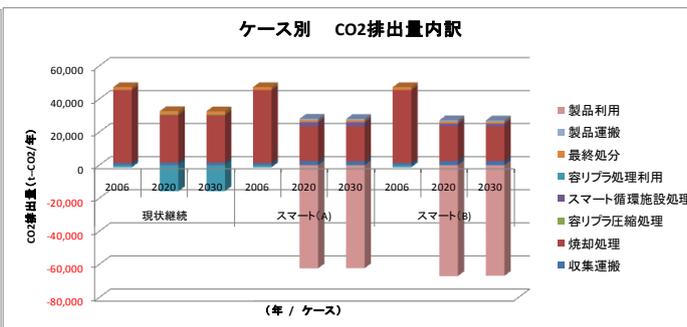


図 14 ケース別 CO₂ 排出量内訳

3) スマート資源循環地域拠点の費用対効果

現状継続に比べスマート資源循環施設を導入する場合の費用対効果（追加的削減費用）は、

スマート（A）2020 年で、 -7.65 （千円/t-CO₂） 2030 年で -7.67 （千円/t-CO₂）

スマート（B）2020 年で、 -9.78 （千円/t-CO₂） 2030 年で -9.75 （千円/t-CO₂）

となり、現状継続に比べ費用が安価になるとともに CO₂ 排出量も削減できる。

よって、その他容器包装プラスチックを分別収集し再商品化を行う現状継続に対し、その他容器包装プラスチック以外のプラスチック及び雑紙も分別収集し、スマート資源循環拠点施設にこれらの分別物を搬入し、RPF 等も併せて製造し利用する費用対効果は、十分に大きい可能性が示された。

また、廃棄物分野における温暖化対策（廃棄物発電の導入促進や余熱利用（事業所外への熱供給））の費用対効果と比較すると、スマート資源循環地域拠点の導入は費用対効果が優れたものであった。

・結論

- 空間・時間的な廃棄物発生量及びリサイクル製品需要の変動に対して頑強で、循環資源の利用効率が高く、またリサイクルのための費用増加も限定的で、長期的にも高い費用対効果を期待し得る、スマート資源循環と呼ぶシステムを、より詳細に描出した。
- 有機系廃棄物の循環技術について、工程ごとに整理し、技術インベントリーデータとしてとりまとめた。
- スマート資源循環地域拠点の機能を設計し、費用対効果を勘案した 2 つのシステムについてプロセス評価を行うとともに、施設規模に対する費用及び CO₂ 排出量を関数化した。
- グリッドシティモデルを用いた適性評価モデルにより、スマート資源循環地域拠点の立地に適した条件をクラスター面積と人口密度が明らかになった。
- スマート資源循環地域拠点の導入により、最大で我が国の GHG 排出量の 1% に相当する追加的削減効果が得られることが示唆された。
- 飼料化を介した食品廃棄物の循環システムで生産した豚肉 1kg の GHG 排出量は乾燥飼料シナリオで 6.43 kgCO₂e、リキッド飼料シナリオで 5.17 kgCO₂e と推計され、慣行的な生産システムから排出される GHG を低減する可能性があった。
- 有機性再生資源を利用した農畜産物については、消費者の多くが受容し、かつ付加価値を感じていることが確認された。また、環境や安全、味に関する情報提供を行うことで、消費者の受容性や付加価値

値が高まることが示唆された。

- 一都三県において、スマート資源循環地域拠点の導入による資源循環システムの費用対効果の高い市町村等を具体的に示した。
- GIS による地理的分布と、経時変化を考慮したシミュレーションモデルの構築により、地域特性を考慮した技術の組み合わせにより、スマート資源循環地域拠点の導入によって費用が安価になるとともに CO₂ 排出量も削減できることが示唆された。
- 廃棄物分野の他の温暖化対策と比較して、スマート資源循環は費用対効果に優れたものとなり得る。

英語概要

- ・ 研究課題名

Planning and Evaluation System of Multilayer Integrative Circulation Region for Organic Wastes

- ・ 研究代表者名及び所属

Tsuyoshi FUJITA (National Institute for Environmental Studies (NIES))

- ・ 共同研究者名及び所属

Masahiro OSAKO, Kaiqin XU, Minoru FUJII, Rokuta INABA (NIES)

Shizuka HASHIMOTO (Kyoto University)

Yutaka GENCHI, Hideaki KURISHIMA, Tomohiko IHARA (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

- ・ 要旨

This study aims to provide basic information for supporting the policy planning on the formation of resource circulation region. The information about technologies, projects, perspective on systems and problems related to the creation of resource circulation region was collected and summarized through literature survey and hearings.

Plastics and mixed paper in municipal solid waste are valuable resources with high calorific value. However, the recycling cost to utilize them tends to be expensive. In addition, recycling system has to be consistent with the reduce of wastes on which should be put higher-priority to lower carbon emission and save resources in the long term.

In this research, we proposed a recycling system (smart recycling system) which consists of a local center and existing facilities in arterial industries. It was suggested that, by utilizing existing facilities in arterial industries which have enough and flexible capacity to accept those wastes, the system can be a robust system even if the amount of wastes generation fluctuates widely.

The resource circulation technology of organic waste was summarized as technological inventory data. Especially, for Smart Resources Center (SRC), processes of two systems were designed from the viewpoint of cost-effectiveness, and cost curve and CO₂ emission curve which related to the facilities scale were calculated. Conditions suited for the location of the SRC was shown from cluster areas and population density by using the aptitude evaluation model which consists of Grid City Model. It was evaluated that the GHG emission in Japan will be reduced by up to 1% by the introduction of SRC.

We assessed the GHG emissions from the pork production systems feeding the feed from food residues (FRs) to confirm environmental availability of feed from food residuals, using LCA methods. GHG emissions from the systems using the feed from dehydration process were varied $\pm 10\%$ compared to GHG emissions at conventional

pork production system.

We estimated the acceptability of the consumer to the pork produced with feed made from food residuals using a web marketing survey and an in-store survey. Many consumers accepted and assigned added value such pork. It is suggested that the high acceptance is also due to the information provided about food residual-recycling and GHG reduction.

Local authorities' areas where the recycling system is cost-effective by the introduction of Smart Resources Center (SRC) were selected from Tokyo metropolitan and around prefectures by using the aptitude evaluation model which consists of Grid City Model. As a result of regional simulations using the GIS database for the local authorities' area which selected as cost-effective, it was shown that cost will be decreased and that the GHG emissions will be reduced by the introduction of SRC. It has been understood that the SRC is excellent in cost-effectiveness compared with Global warming countermeasures in the waste sector.

・キーワード

Organic renewable waste, Circulation Region, Arterial Industry, Vein Industry, Food residues