

有機廃棄物の循環利用における物質代謝アプローチの展開

Recycling of Organic By-products by Metabolism Approach

恒見清孝¹・楠部孝誠²・盛岡通¹

Kiyotaka Tsunemi, Takasei Kusube, Tohru Morioka

Abstract : In order to improve the organic material balance in one model urban city like Kobe City, the metabolism approach was applied by proposing the five recycle-oriented sub-models for urban-rural combination. This study has been carried to analyze sub-model of industrial recycle and took up various recycling paths of organic by-products from a food processing factory and a food industrial complex and alternatives of organic recycling are compared by estimating CO₂ emission. As the result, the network of industrial sectors with organic by-products by the combination of material recycling, composting and energy recovery by biomass use had much effect on improving the efficiency of the metabolism of organic materials in the model area.

Keyword : Metabolism Approach, Organic Recycling, CO₂ Emission, Food Industrial Complex, Energy Recovery

1. はじめに

有機物は自然の炭酸同化作用によって産み出され、植物生産を動物が利用した上に、高次の消費者である人間がそれを得る構造になっている。やがて有機物は生物的消費の残渣とともに微生物により分解され、再び自然界に還元され、元素レベルの循環が成立してきた。しかし、空中窒素を固定し始めて以来、人工的に生産される有機物によってもたらされている有機物のアンバランスが人工的圏域のみならず、自然圏域にまで影響を見せ始めている。特に我が国のような工業立国では、食料、肥料、飼料の形態で多くの有機物が国内に流入し、周辺環境へ蓄積され、環境問題へと発展している。この有機物バランスの崩壊は、化石燃料から合成された有機物の生産・消費とリン・鉱石採掘、空中窒素固定による化学肥料の農業利用が大きな要因である。前者は化石燃料を利用することにより地球温暖化現象に、後者は爆発的に増加する人口を支えるために拡大した食糧生産と豊かな食生活がもたらす負のインパクトに寄与している。

有機物の中でも特に食品に関連した有機物は生存に不可欠な要素であることに加え、同時に栄養水準以上の消費が、最大規模の固体の物質代謝の一つとして、大量生産・大量消費の経済社会システムの典型的な財としての様相を呈している。環境中に大量に排出されている窒素、リンといった元素物を循環させることは、省資源、最終処分場の不足、富栄養化現象といった多くの問題を解決する有効な手段の一つとなり得る。

食品に関連する有機廃棄物の循環利用を促し、地域内における有機物の収支バランスを適切な状態に戻すためには、有機廃棄物を転換し受け入れる農地や畜産業といった産業主体が立地する農村と有機廃棄物を排出し、生産物を加工・享受する側の都市に立地する複数の産業主体が連携することが重要である。この視点から農村と都市の連携を農と工において考察したものとして盛岡他(1998)¹があるが、本研究では工と工にお

¹ 大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻 Graduate School of Engineering, Osaka University

² 科学技術振興事業団 Japan Science and Technology Corporation

ける産業連携のあり方を物質代謝のアプローチを用いて考察し、その効果を定量的に評価することを目的とする。

最初に通商による有機物バランスの崩壊を窒素、リン、カリといった元素で換算した国内外でのマクロな有機物フローを把握した。その上で地域スケールで代謝をとらえ、都市及び都市周辺の産業セクターの間で流通する食品に関わる有機物の収支バランスを分析し、有機副産物の再資源化の方向性をもとに都市農村連携の多主体間循環モデルを提案した。そのモデルの中でもさらに複数の産業主体によって、描かれる幾つかの有機物循環の形態を提案し、有機物の循環形成上で発生側の主体として特に影響が大きい食品工場を中心とする工場主導型有機物循環について、複数の転換技術の組み合わせによる代謝効率を LCA で評価した。また特に食品工場が密集する港湾地域である神戸市東灘第四工区食品コンビナートをケーススタディとして、食品コンビナートが共同で運営するエネルギー回収事業を技術的側面からとらえた代替案を設定し、代謝効率を LCA で評価した。

2. 農産物の通商による有機物の地域的偏在

一般に有機性廃棄物と称されるものは多種多様であり、その中でも多量に発生するものとして、家庭・飲食業等からの厨芥類（2028 万 t）、下水汚泥（8550 万 t）、畜産業の家畜糞尿（9430 万 t）、食品製造業における動植物性残渣（248 万 t）、産業汚泥（1504 万 t）等がある²。このような多量の有機性廃棄物の源は、工業立国である我が国が海外から輸入する食糧・飼料などに由来し、その輸入量は先進諸国の中でも突出したものとなっている。これが国内の廃棄物問題だけでなく、地球規模での物質の偏在に及んでいる。

主要農産物の国際収支を窒素、リン、カリで換算した結果を図 1 に示す。農産物貿易の収支がプラスの地域（主にアジアとヨーロッパ）は最終的に有機物がなんらかの形で、その地域内の環境中に蓄積され、一方で収支がマイナスの地域（主に北米、南米、オセアニア）は、土壌の肥料成分が国外へ持ち出されて、それを化成肥料等で補っていると推測される。我が国はアジア地域における農産物貿易収支の約 30% を占めており、その結果、相当量の肥料成分が長期間環境中に蓄積され、それが地下水汚染や水域の富栄養化を引き起こしてきたと推測される³。農産物を含めた有機物の国内での収支に関しては水谷（1997）⁴、川島（1998）⁵らによって推計されている。

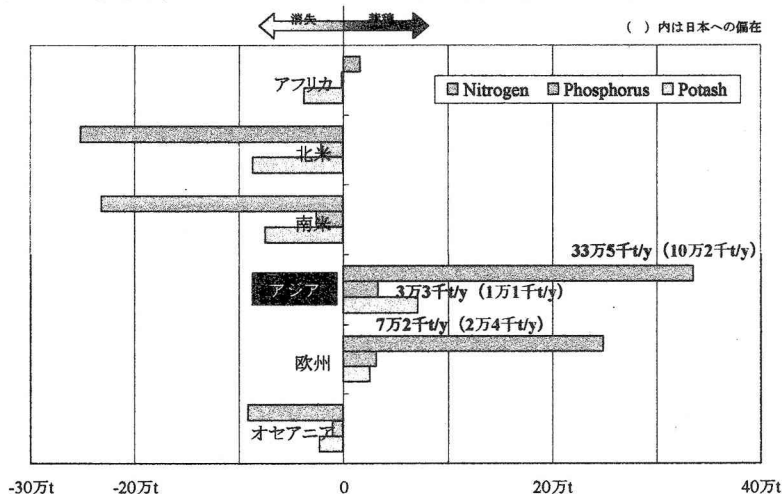


図 1 主要農産物による有機物の地域偏在

3. 神戸市における有機

物収支と都市と農村の循環モデル

3. 1. 神戸市における有機物収支

前述した国外からの有機物の流入による栄養塩の環境中への過剰な蓄積に対して、ここでは地域スケールで代謝効率を考え、具体的に都市周辺地域における有機物循環を形成するという視点からケーススタディとして神戸市において分析を進める。まず、食品のライフサイクルを構成する経済主体から発生する有機廃棄

有機物の循環性の高い飼料化、堆肥化でリサイクルを図る場合のマクロバランスを考慮すると、農産地、畜産地における飼料、堆肥需要量に対し、食品工場の副産物だけで供給過剰になり、有機物のバランスは大幅に崩れていることがわかる。さらに卸売市場、店舗から発生する有機副産物は飼料、堆肥としての需要先が得られないのが現状である。そこで神戸市を代謝体としたときの、飼料化、堆肥化以外の有効活用としてのバイオマス利用も図りながら、有機物循環を形成する必要がある。

舗主導型有機物循環、④流通主
導型有機物循環、⑤公共セク
ターおよび市民主導型有機物循環
の複数の循環サブモデルで構成
される都市農村連携の多主体間
循環モデルのデザインを図4に
示す。

ここではそれぞれの循環サ
ブシステムが互いに独立してい
るのではなく、代謝体全体の環
境負荷を小さくするようにサブ
システムを相互に組み合わせる
ことで都市の有機物循環を図り、
地域ゼロエミッションをめざし
た循環複合体を構築することを
意図している。

食品に限らず、原料が加工されるほど再資源化の手段が限定され、新たなエネルギーを必要とする。この
視点から考えれば、港湾地域に立地する食品工場からの有機副産物は発生量も大規模であることから、再資
源化の選択肢の幅が広い。

食品工場からの有機副産物の排出に関する特徴は以下に類型化できる。

- ①大きなロットの副産物が毎日排出される。副産物の成分も比較的安定しているため、飼料化、堆肥化に適している。
- ②包装後の廃棄物は、有機物と包装材との分別が困難であり、焼却にまわさざるを得ないのが現状である。
- ③大量の食品汚泥が発生するが、あまり有効利用されていない。
- ④排水の BOD 値が高く、排水処理によって濃度を下げて放流されるが、その時得られるガス等の有効利用も可能である。

以上の特徴をもとに、食品工場および食品コンビニートから発生する有機副産物の再資源化を検討する。

4. 単独の食品工場の代謝改善のアプローチ

調査対象として流通業 K が直営す
る食品工場を取り上げる。食品工場の
実績をもとに算出したマテリアルフロ
ーの結果を図5に示す。ここでは、コ
ジェネレーションによる熱と電気の時
同時供給、工場敷地内での排水処理など、
工場起因の環境負荷を小さくするよう
な一通りの工夫がなされている。しか
し廃棄物の最大のものは食品に由来す
る有機性副産物である。

現在でも豆腐製造時のおからやパ
ンの切り落としなどは牧場に送られて
家畜の飼料として再資源化されている。

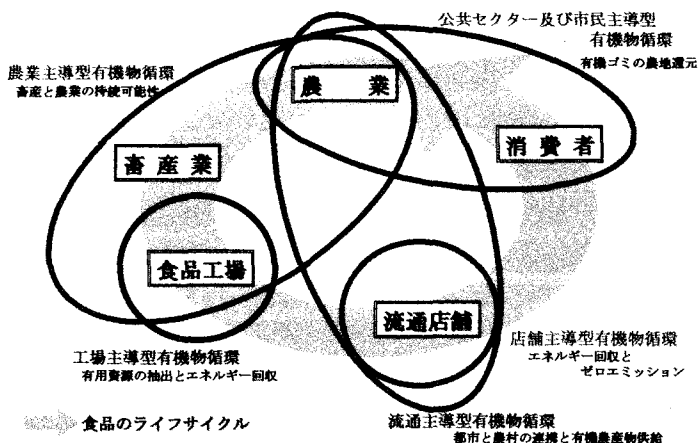


図4 都市農村連携の多主体間循環モデルのデザイン

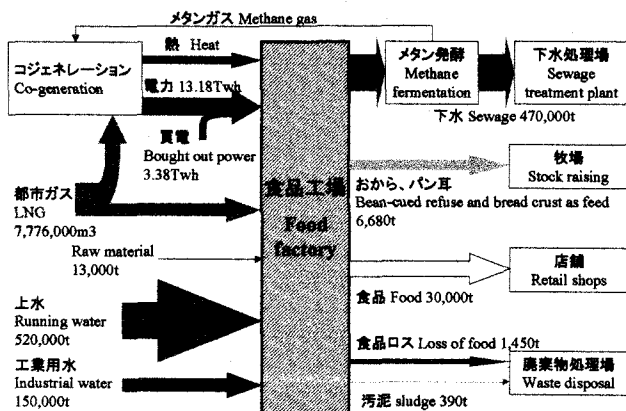


図5 食品工場の年間マテリアルフロー

しかし内容物に全く問題はなくてもフィルム切断面がずれるなどのために商品価値が無くなった袋入り商品の場合には、包装フィルムを人手ではずすしかなく、アルバイトの作業賃金も出ないような現状ではこれらの再資源化は難しい。

以上のマテリアルフローに対し、有機副産物の質を考慮して最適化を図ると、次の3つの代替策が提案できる。

- ①まず現在の取り組みに対する比較評価として、おから、パン耳の飼料化による環境負荷の削減効果をみる。飼料の需要地は神戸市に隣接する三木市の農地を想定し、輸送距離を40kmと設定する。
- ②食品ロスの分別後、堆肥化をおこなう。農地は①と同様に三木市を想定し、輸送距離を40kmと設定する。
- ③有機汚泥のメタン発酵によるバイオマス利用を図る。発生したメタンガスは燃料電池を介して熱と電気に転換し、食品工場内で利用する。

代替案の比較評価をライフサイクルCO₂で評価した結果を図6に示す。

結果の考察を以下に示す。

- ①飼料化に転換できる高栄養価の有機副産物がまとまって発生するため、飼料化による環境負荷の低減効果が大きい。輸送による環境負荷の増加も招く。できるだけ近郊地域に飼料需要地をもつ必要がある。
- ②飼料化、堆肥化、バイオマス利用を組み合わせると、環境負荷の低減効果は大きい。

高栄養価の副産物を発生する工場は、単独で飼料化が可能で利潤を生み出すことができるが、低栄養価あるいは高含水率、腐食性が高い副産物を発生する工場では単独では可能性はほとんどない。そこで、食品コンビナートにおいて複数の工場がネットワークを組んで有機物循環を形成し、外部との交渉や調整をおこなうコーディネーターの存在のもとで副産物資源化にむけての検討を進めることが望ましい。

5. 食品工場コンビナートの複合体形成による代謝改善のアプローチ

調査対象である東部第4工区は昭和40年代に形成された全国5つの食品コンビナートの1つでワンウェイ型の代表であるが、それを環境配慮型に転換することによって他コンビナートの転換のインセンティブを与えることが期待できる。まず、コンビナート全体を代謝体としたときのマテリアルフローを図7に示す。

排水処理とエネルギー供

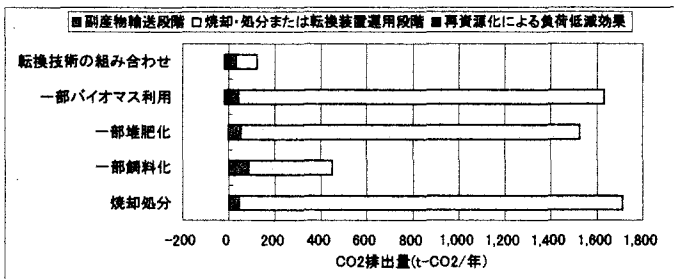


図6 単独の食品工場における有機物循環によるリサイクル段階の環境負荷の削減効果

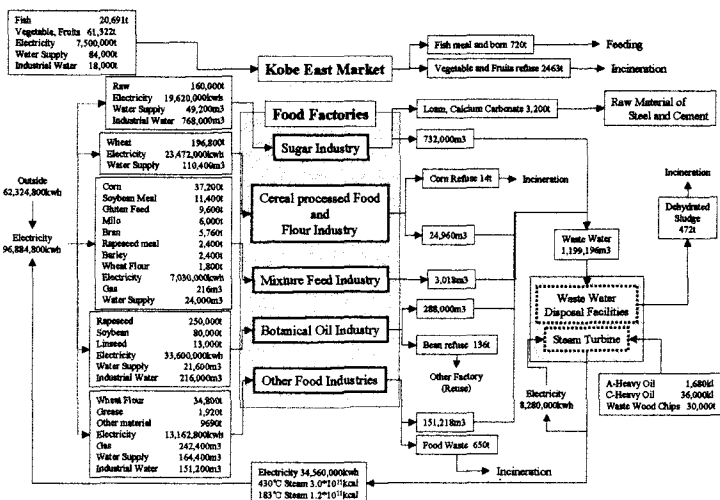


図7 東部第四工区における年間マテリアルフロー

給とともに有機副産物の再資源化も共同化することにより、カスケードリサイクルの形をとった以下の複数の代替策が考えられる。

①まず、コンビナート内における副産物のやりとりによるマテリアルリサイクルの可能性を検討する。

②次に、マテリアルリサイクルに適さない有機副産物を堆肥化し、工場周辺の緑地帯に使用することを検討する。

④さらにコンビナートから排出される有機汚泥は水分が多く堆肥化には向かないため、共同発電・排水処理施設を利用してメタン発酵させ、コジェネレーションで電気・熱をコンビナート内に供給する。

以上をまとめた食品コンビナートの有機物循環のデザインを図8に示す。また、代替案をライフサイクルCO₂排出量で比較評価した結果を図9に示す。結果の考察を以下に示す。

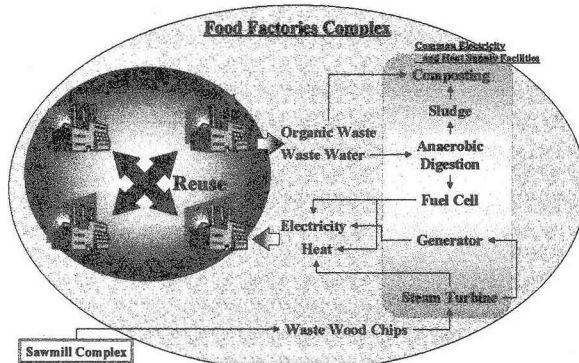


図8 食品工場群における有機物循環のデザイン

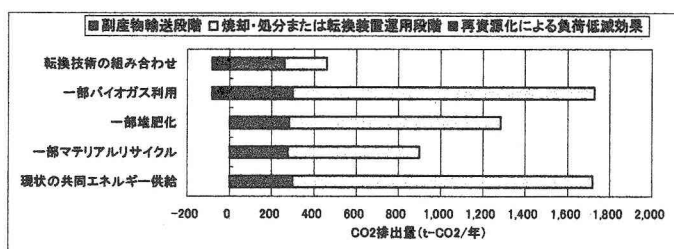


図9 食品工場群における有機物循環による
リサイクル段階の環境負荷の削減効果

- ①コンビナート内に立地する飼料製造業者を通じて食品副産物のマテリアルリサイクルが可能となった。
- ②コンビナート内で共同運営されているエネルギー供給および排水処理事業所によるメタン発酵、燃料電池のエネルギー回収方式による効果があった。
- ③コンビナート内でマテリアルリサイクル、堆肥化、バイオマス利用を組み合わせることで有機副産物の有効活用を図ると、副産物輸送による影響も少ないため環境負荷の低減効果は大きい。

6. さいごに

本研究では、地域内の有機物収支に注目し、物質代謝アプローチを通じて地域内の有機物循環の形成における産業主体の連携のあり方を考察した。特に食品工場および食品コンビナートにおける複数の転換技術の組み合わせによる効果を LCA で評価した結果、地域内における有機物の代謝効率の向上が見込めることを定量的に把握した。今後は物質的側面、技術的側面にとどまらず、経済的側面、社会的側面まで視野に入れて、食品副産物で他セクターと相互に結びつく 21 世紀型の食品工場への転換の戦略を発展させていくことが課題となる。

参考文献

- 1 盛岡、恒見、吉田他 (1998) フードシステムにおける循環志向の廃棄物管理のライフサイクル評価、第3回エコバランス国際会議講演集、pp189-192
- 2 生物系廃棄物リサイクル研究会 (1999) 生物系廃棄物のリサイクルの現状と課題、有機質資源化推進会議、p2
- 3 内藤、楠部 (2000) 有機物循環の現状と課題、月刊廃棄物、pp11-16
- 4 水谷 (1997) 総窒素・総リンの物質循環図、土木学会論文集 No.566VII-3、pp103-108
- 5 川島 (1998) 日本における食料供給と窒素循環、環境科学会誌 9 (1)、pp27-33
- 6 有機質資源化推進会議編 (1997) 有機廃棄物資源化大辞典、農山漁村文化協会