

20. 環境調和型有機物循環システムに関する研究

STUDY ON THE ORGANIC MATERIALS RECYCLING SYSTEM FOR ENVIRONMENTAL HARMONY

楊 瑜芳* ・ 津村和志* ・ 内藤正明*

Yufang YANG, Kazushi TSUMURA, Masaaki NAITO

ABSTRACT; The regional and global environmental problems have become more and more serious with the increasing consumption of resources and energy, the exhaustion of large amount of wastes in human activities. A better way is to close the loop—recycling virtually all the materials we use and designing everything so as to minimize the materials requirement. The practical goal is to establish a recycling system of organic waste materials, which is lasting society achieve environmental harmony.

Less-polluting, less resources-intensive technology is one key to a society that can stand the test of time. This research is focused on following items: to investigate the present situation on production and treatment of organic waste materials; to evaluate the essential technology such as composting, thermophilic oxic process, etc., for recycling organic waste materials produced from domestic life and food industry; to develop a mass balance model for the recycling system of organic waste materials.

KEYWORDS; Organic waste material, Compost, Thermophilic oxic process, Recycling system

1. 研究の目的

資源を有効利用し環境負荷を削減することは、今日の地球問題の対応策の中でも重要な課題の一つである。現代の都市における物質の流れは、生産——流通——消費——廃棄という一過型の人工的な流れであるが、この流れが自然生態系の【分解】【再生】に相当するリングを欠いており、最終の廃棄から生産や流通へ循環する経路が確立されていないため、多大の環境負荷（特に廃棄物に加えて CO₂）が発生することとなってきた。1997 年末に第 3 回地球温暖化防止条約締約国会議(COP3)が京都で開催されたが、地球レベルでの環境問題がこの一過型大量生産消費の生活、生産に結局は帰結するものと認識された。そのことがいま世界全体で地球規模の環境問題への対応やそれに起因する現代産業社会の行き詰まりに対して、循環型社会とか環境共生社会といった新たな社会への転換を求めることとなった。本研究では持続的発展が可能な環境低負荷型循環社会を実現するため、環境調和型の有機物循環システムを構築することを目的とし、その重要な要素技術に関するデータを中心に紹介する。

*:京都大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Kyoto University

This work has been supported by the CREST (Core Research for Evolutional Science and Technology) of Japan Science and Technology Corporation (JST).

2.地域における有機物循環システムの構築

近年、廃棄物処分問題は生活環境問題の中でも最大の課題となり、すべての産業、生活過程において、ゼロエミッションが要請されている。中でも有機系廃棄物はかつて、自然界の土壌、水、大気間において自然生態系の循環メカニズムで完全にまわっていたが、今ではその発生は産業の集中大規模化、大都市圏への人口集中などにより、農業部門から遠隔化し、また一ヶ所で大量・集中化されるため、元の生態系循環ルートには全くなじまないものとなった。そこで、地域において改めて物質循環の完結を目指す“人間—自然共生系”の社会システムを形成することは、極めて有用と思われる。そのための新たな有機物循環システムをここで提案してみる。

有機物循環では自然生態系とのバランスを保つことが不可欠であり、そのためには、農・畜・林・工の社会システムと自然システムをバランスのとれた複合体として考えていくことが要件である。そこで、「食品工場に関する有機性物質の流れ」、「生活下水処理場の汚泥処理」および「村より発生した畜産ふん尿の堆肥化」それぞれモデル事例を取り上げ、その実データを基に都市と農村が連携する新たな地域形成の中での物の循環を検討する。

本研究で提案する有機性物質循環システムは、図1に示すように【人間生活系】—【食品製造業】—【畜産業】—【農業】間における有機物循環である。食品工場よりの食品を店舗に供給し、栄養分が多い食品系副産物が飼料化に活用され、家畜ふん尿は堆肥化して農地に還元されて、それによって作られた農作物は都市で消費されることにする。また、生活系からの汚泥類や生ゴミ、食品産業からのオカラや廃食用油などの有機廃棄物は適切に組み合わせて再資源化する。

環境調和型循環社会を目指すためには、まず地域において各業種から発生する有機廃棄物フローの調査を行う必要がある。次に、この発生有機物を最も有効に資源利用しうる最適な技術システムの開発が重要である。コンポスト化法は、家畜糞尿や生ごみのような生物系の有機性固体廃棄物を中心の対象物とする場合、農業を取り込め比較的負荷が少ない処理方法の一つとして、地域循環システムの中核に位置付けられる。

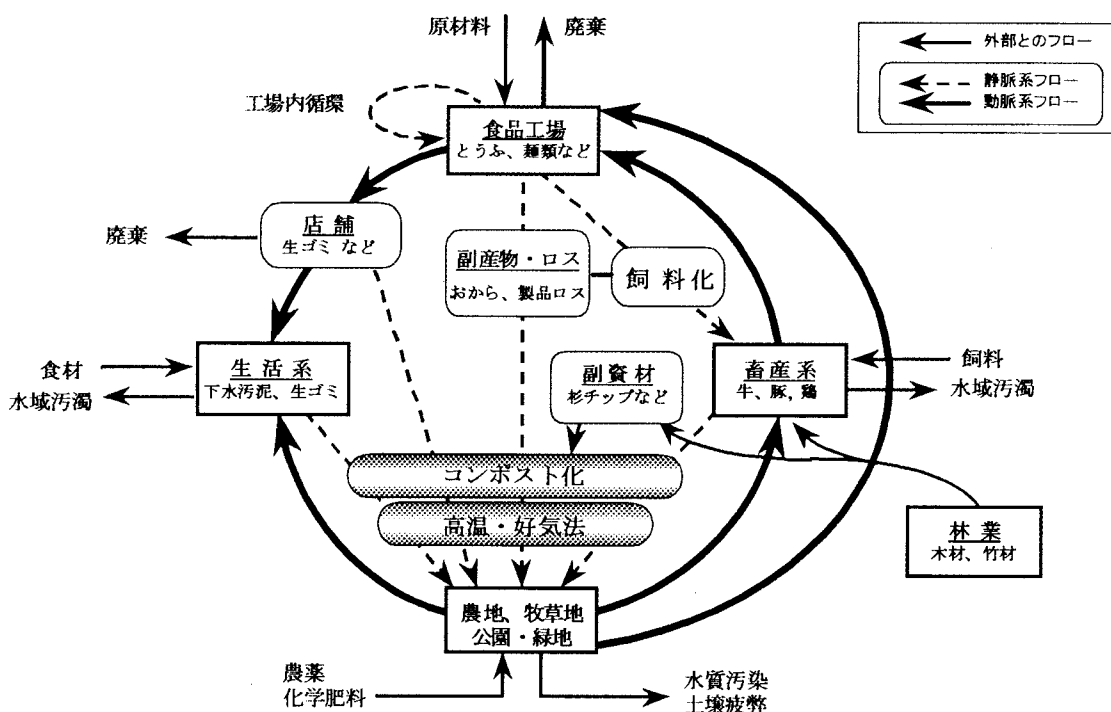


図1 有機性物質循環システム

3.研究手順

- 研究手順としては、以下の通りである。
- ①まず対象地域において食品工場、流通過程、家庭から発生する有機廃棄物フローを調査し、有機廃棄物の発生現状を把握した。
 - ②これに基づいて最も有効な循環システム形成のあり方を検討するため、最適なバランスと規模が存在する。また、技術や経済など循環要因を分析することが必要である。ここで、有機廃棄物の循環に対して必要な要素技術の開発を行った。
 - ③そして食品系と生活系における有機廃棄物の循環形成に寄与するコンポスト化および高温・好気法処理を検討した。

3.1 有機廃棄物の発生とフローの現状

図1に示すように、対象としたモデル食品工場における年間製品生産量は3万トンである。食品の製造過程で発生するいわゆる副産物と呼ばれるおから、パン耳、ギョウザ皮などは製品量に対して27%(8167トン/年)となり、製品量の1トンベースで計算すると、267kgの副産物が発生していた。現在、副産物の7割が飼料として利用されており、他の副産物が産業廃棄物として処分されている。表1に食品工場における副産物の発生量と発生性状を示す。揚げ類製品生産量に対する廃油の発生率は26.5%(265kg 廃油/1トン揚げ類製品)であり、この工場で年間380トン揚げ油廃油が業者に回収される。表2には副産物の性質を示すが、大部分は含水率50%以上で、有機分含有量(VS)が高いことも示されている。

表1 モデル食品工場における副産物発生量と性状

製品	製品量 (トン/年間)	食品副産物	発生量 (トン/年間)	製品量に対する 発生率 (%)	発生頻度	形状	形態
とうふ類	8499	おから	6500	76.5	毎日	湿粉末	パウ
		とうふロス	350	4.1	毎日	湿固形	バック入り・パウ
揚げ類	1432	揚げロス	90	6.3	毎日	製品	パウ
		揚げ油廃油	380	26.5	3日に一度	油状	パウ
麺類	5912	ゆで麺類ロス	150	2.5	毎日	製品	袋入・パウ
	583	生麺類ロス	10	1.7	毎日	製品	袋入・パウ
	269	ぎょうざ皮ロス	150	55.8	毎日	面帯状	パウ
こんにやく類	2548	こんにやくロス	40	1.6	毎日	製品	袋入・パウ
納豆類	916	納豆ロス	40	4.4	毎日	製品	バック入り・パウ
食パン類	5880	パン類ロス	410	7.0	毎日	製品	袋入・パウ
菓子類	4551	菓子類ロス	47	1.0	毎日	固形	パウ

表2 モデル食品工場における副産物の性質

食品副産物	エネルギー (kc)	水分 (g)	蛋白質 (g)	脂質 (g)	炭水化物 (g)	灰分 (g)	VS (%)	C/W
おから	89	81.1	4.8	3.6	9.7	0.8	95.8	1.9
とうふロス	77	86.8	6.8	5	0.8	0.6	95.5	1.5
揚げロス	388	44	18.6	33.1	2.9	1.4	97.5	15.1
揚げ油廃油	921	0	0	100	0	0	100.0	
ゆで麺類ロス	101	76.5	2.5	0.5	20.4	0.1	99.6	2.3
生麺類ロス	280	33	6.8	1.3	57.1	1.8	97.3	14.6
ぎょうざ皮ロス	368	42.6	5.3	1.1	50.5	0.3	99.5	14.8
こんにやくロス		9.8	2.9	0.1	81.6	5.6	93.8	
納豆ロス	200	59.5	16.5	10	12.1	1.9	95.3	5.8
パン類ロス	260	38	8.4	3.8	48.1	1.7	97.3	11.7
菓子類ロス								

*各成分値はすべて100g当たりの数値で示す。
出所：日本食品標準成分表 科学技術庁資源調査会編

食品流通過程における食品系廃棄物とは、本来市場で取り引きされる食品が値崩れを起こした場合や輸送中に形が崩れたりして商品価値が低下した場合、それらの製品が販売されずに廃棄されたものである。販売過程では、賞味期限あるいは時間制限の関係からまだ十分に食べることができるが、衛生・法律上の関係で焼却・廃棄処理されている。これらの食品系廃棄物は、図1に示した食品流通過程において、店舗からの生ゴミとして、店舗の食料供給量に対し 0.89%～1.0%であった。この生ゴミについては毎日の成分が違うため、性質が不安定であるが、店舗からの生ゴミの平均含水率が 87%～90%であった。

店舗から発生した 4000 トン（年間）の生ゴミのうち、約 30%の 1333 トンが堆肥原料になっている。これは農地の許容量といった農系からの制約によるものである。また、副産物（モミガラ、オガクズ、コーヒークス）667 トンの添加により、含水率や通気性を調整し、易分解性有機物の分解がすすむことで、1000 トンの有機肥料が作られている。店舗の生ゴミを用いたコンポスト化実験の結果より、コンポスト製品のヒ素、カドミウム、水銀の測定値が肥料の有害物質基準値より極めて低く、土壌への影響が無視されることが分かったため、コンポスト化により生成した有機肥料が農地へ施用され、収穫した作物が店舗へ供給されている。

次に、生活系における前述の食品工場、店舗と関連する地域において、1 人当たりの年間の生ゴミ排出量は 64.8kg～170kg となっている。また、下水汚泥の発生量については、住宅地からの脱水ケーキ量換算で 1 人当たり年間 44.4kg（含水率 80%で計算した）であった。この生活廃水処理フローは図2に示したように、【濃縮】—【脱水】方式である。脱水ケーキの一部がコンポスト化され、その他は焼却されている。表 3 に示すように余剰汚泥の場合には、含水率が 99%、BOD₅ が 1200 mgO₂/l であり、濃縮汚泥の場合には、含水率が 95%、BOD₅ が 100mgO₂/g-ds、脱水ケーキの場合には、含水率が 77.6%、BOD₅ が 93 mgO₂/g-ds であった。ここで生活系と食品系における有機性廃棄物の循環形成に寄与する要素技術として、コンポスト化および高温好気処理法の必要性が認識される。

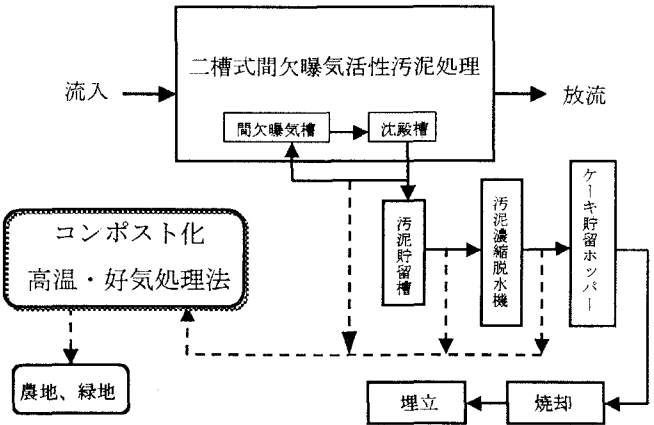


図2 H処理場の下水処理フロー

表3 H処理場の下水汚泥

下水汚泥	含水率 (%)	VS (%)	BOD5	TN	発熱量 (kcal/kg-ds)
余剰汚泥	99.2	70.8	1200	530	4460
濃縮汚泥	95.4	70.9	100	84.2	4500
脱水ケーキ	77.6	70.2	93	84.2	4375
廃食用油			1365		9487

*BOD5, TNの単位について、余剰汚泥の場合 mg/l、他は mg/g-dsである。

3.2 循環システム形成のあり方

(A)システム形成におけるコンポスト化の位置

コンポスト化法は、家畜糞尿や生ごみのような生物系の有機性固体廃棄物を中心の対象物とする場合、農業を取り込め比較的負荷が少ない処理方法の一つとして、地域循環システムの中核に位置付けられる。コンポストとは堆肥ことである。堆肥は昔から農家でつくられていた。食品系廃棄物および下水汚泥の中には、易分解性有機物質が多い。これらをそのまま多量に緑農地に施用すると急速に分解され、土壌中の酸素の欠乏をまねく。これは発芽や根ぐされの原因となる。コンポスト化により不安定な有機物をあらかじめ分解、除去して安定化させる。しかし、肥料の需要量は季節に応じて変動するため、コンポスト施設の休止・稼働率低下による生産コストの上昇が予想される。有機廃棄物の再利用ルートの確立も困難である。そこで一つの方式として、コンポストの非需要期は「高温・好気法」による有機物の分解を行い、処理後混合

物を高品質土壌改良材として資源化する技術システムの開発を行った。

(B)開発要素技術からみたシステム形成の要件

ここでは一つの要素技術である高温・好気法を事例に、有機系廃棄物の循環システム形成について一考察をくわえる。

高温・好気法の原理は微生物により有機物を分解することであり、これは堆肥化に用いられているコンポスト化法と同様であるが、コンポスト化の処理施設も利用できる。高温・好気法の操作方法としては、まず装置の中に水分を保持できる性質を持つ担体を充填して高濃度有機廃棄物を投入し、好気条件下で有機物分解速度が速いとされる高温菌により反応を進行させる。この中の担体は微生物の住处、水分調整の役割を果たし、担体に付着した微生物が担体間の間隙に送気された酸素を得て呼吸し有機物を分解する。担体に高濃度有機性排水を吸収させ、含水率を調節する。これは、従来のコンポスト化技術に対して原料の水分と有機物の調整が困難である対象について、有効な解決策と指摘されている。

高温好気処理法は本来、高濃度有機物含有排水の処理法として森らによって研究されてきた¹⁾。この方法は最初に製餡排水の処理から、焼酎排液の処理に適用されたという報告があった²⁾³⁾。また、Liu らは高温好気処理法における処理対象に不足するエネルギーを、高エネルギー物質である廃食用油の添加で豚糞尿の処理を行った⁴⁾。それから、Zhu らは杉チップを利用して下水ろ過した際の捕捉有機物を高温好気処理し、エネルギー源として米糠を加えることにより 85% の BOD 除去率を達成した、と報告している⁵⁾。これらの結果より、高温好気法の特徴は、高い発熱量を持つ有機物を好気性微生物により生物反応させ、その際に発生する熱を利用して水分を蒸発させることである。筆者らは高温好気法における下水汚泥の処理を行った⁶⁾。表 3 に示すように下水汚泥の含水率は高く、反応の熱収支および物質収支計算により、多量の水分蒸発が求められるため汚泥のみの有機物を分解した発生熱量では熱量が不足することが分かった。そのため、他の熱源の添加が必要であると考えられた。実験用の熱源としては家庭から回収した廃食用油とした。日本では廃食用油の年間総発生量は 37～46 万トンと見込まれ、さらに、廃食用油の BOD は非常に高濃度であり、家庭における廃食用油の排水中への排出は、排水の汚濁負荷量の著しい増加につながる。また、前述の食品工場からの揚げ油廃油の発生量も多かったが、廃食用油による環境負荷の軽減、資源の有効利用、ゴミの減量化などの観点から、生物燃料として廃食用油を利用できると思われる。

実験結果より、高温好気法処理では有機廃棄物中の炭素と水分との比率が、非常に重要なファクターであることが判明した。すなわち、高濃度有機物を好熱性細菌により完全分解し、同時に廃棄物中の水を全部蒸発させるためには、装置内に投入されたものの有機分が持つエネルギーと投入されたものの水の蒸発潜熱の比が重要であると考えられる。実験および文献値より C/W(カロリー/潜熱)比が 2 程度で高温好気法の処理が最適に行われる⁷⁾。これより、表 2 に示す食品工場から発生した副産物を処理対象とすると、C/W 値がほとんど 2 以上である。しかし一方、高温好気法は微生物反応であるため、微生物に対して水分量が低くすぎると、有機物の分解が抑制されるため、食品副産物については、おから、とうふロス、ゆで麺類ロスが高温好気法処理の単独適用が可能であることを示している。また、含水率が低く、有機濃度が高い他の副産物は地域内の他の有機廃棄物(例えば、余剰汚泥)と組み合わせて、水分を調整した混合物として反応させることが必要だと考えられる。

高温好気法は有機廃棄物をエネルギー源として微生物により有機物を完全処理し、水分を蒸発させる方法であるため、低コストでの運転となることが分かった。

4.結論と今後の課題

高温好気処理法はコンポストの非需要期に有機物の分解法として極めて簡便で、低コストの方法である。地域において発生する有機物の質、量を組み合わせて高温好気処理方法を見出すためには、そのメカニズム

を解明し、モデル化を行う必要がある。このような要素技術の特性把握と、これを組み込んだ農工系のトータルの有機物循環は今後の持続的社会形成の第一歩と位置づけられる。

また、地域、および地球上の有機物循環システムを再生するためには、地域内資源・物質循環を可能な限り高め、環境負荷を軽減化することが切望される。循環技術要素としては、コンポスト化および高温好気処理法のプロセスに加えて、他の微生物処理法、エネルギー回収法（メタン発酵法など）のプロセスを多様に組み合わせることも必要であると考えられる。更には、食品産業、流通工程、畜産業、林業など多分野からの副産物を組み合わせた、完全な地域資源循環システムが成立する条件を解明するためのモデルを開発することが最終的なテーマとなる。

参考文献

- 1) 森忠洋、劉宝鋼、趙敬淑：高温好気法による高濃度有機排水処理－有機物の完全酸化と蒸発－、化学工業、Vol.11, 52-58 (1993)
- 2) Liu B.G., Noda S., Mori T.: Complete Decomposition of Organic Matter in High BOD Wastewater by Thermophilic Oxidic Process, Proc. of Environ.Eng.,26,77-84(1992)
- 3) Liu B.G. and Mori T. : Complete Treatment of Shochu Processed Wastewater by Thermophilic Oxidic Process,Proc.Env.Eng.,30,165-174(1993)
- 4) 劉宝鋼、蔡恵良、森忠洋：高温好気法による豚ふん尿の完全処理、環境工学研究論文集、Vol. 31, 209-214 (1994)
- 5) Zhu L.P. and Mori T. : Direct Filtration of Raw Sewage and Decomposition of Captured Organic Materials by Thermophilic Oxidic Process, Prof. of Environ. Eng. (1995)
- 6) 楊 瑜芳、林 里香、津村和志、内藤正明：竹チップを担体とする下水汚泥の高温好気処理法の適用研究、第8回廃棄物学会研究発表会講演論文集、237-239 1997
- 7) 梁在景、清水由紀子、趙敬淑、森忠洋：高濃度有機排水の高温好気処理におけるカロリー/水(C/W)比の重要性、水環境学会誌、Vol.18, No.7, 583-588 (1995)