

ディスポーザー導入による家庭の生ゴミ 処理・再資源化システムの評価

松本 亨¹・鮫島和範²・井村秀文³

¹正会員 博(工) 九州大学助教授 工学研究院環境システム科学研究センター (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

²学生員 九州大学大学院 工学府都市環境システム工学専攻 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

³正会員 工博 名古屋大学教授 工学研究科地圏環境工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

ディスポーザーは、生活者の利便性向上のみならず、家庭からの生ゴミを分離・回収できるシステムとして注目されている。本研究は、ディスポーザーを導入することによる都市生活排水及び廃棄物処理システムへの影響を、ライフサイクルアセスメント (LCA) 及びライフサイクルコスト (LCC) により評価した。導入ケースとして、ディスポーザー対応型浄化槽を設置するケースとしないケースを想定した。浄化槽設置ケースではさらに、汚泥の再資源化としてコンポスト及び乳酸生成を比較評価した。また、階層化意志決定法を用いて、環境影響指標及び経済性指標の他、利便性、資源循環性を加え総合評価を試みた。

Key Words : wastewater management system, solid waste management system, disposer, life cycle assessment (LCA), life-cycle cost (LCC), analytic hierarchy process (AHP)

1. はじめに

ディスポーザーは、家庭などの厨房から出される生ゴミを破砕して排水管へ投入する装置で、これを導入することで家庭から出るゴミから生ゴミを分離・収集するシステムが注目されている¹⁾。我が国では、昭和35年前後、次いで、昭和60年代の日米構造協議における非関税障壁論議の際と、その普及の是非が議論になることがあった²⁾。現在、第3のブームにあると言われ、利用者にとっての利便性向上はもちろんのこと、ゴミのトラック輸送負荷の減少効果や、生ゴミを分離・収集できることによる資源循環効果に大きな期待が寄せられている³⁾。

ディスポーザーの使用に関しては、法律で禁止されているわけではないが、公共水域への負荷増大や、下水道整備地域では下水道システムへの負荷増大を恐れ、多くの自治体が行政指導や条例により使用自粛や禁止を要請している²⁾。また建築基準法令に基づく給排水設備の技術基準において予想しない特殊な設備であるため、これまでは建設大臣の認定を取得する必要があった⁴⁾。これに対し、89年から98年の

10年間に約30万台弱が輸入されている現実もあり(世帯普及率約0.6%)²⁾、平成12年度の建築基準法令の改正に伴い、ディスポーザーに関する取り扱いが緩和された⁴⁾。

このように、近年ディスポーザーをめぐる周辺状況が急速に変化しているが、その都市の物質代謝構造に与える影響の大きさに比して、環境影響に関しては下水道への負荷変化に関する研究にとどまるものがほとんどであった¹⁾。しかし、廃棄物処理側に与える影響も大きく、また都市環境インフラ全体のあり方を視野に入れてメリット・デメリットを総合的に分析することが求められる。筆者らは、このような視座から、これまでディスポーザーを導入した場合の都市環境インフラ全体のLCA、及び市民に対する社会的受容性調査を実施してきた⁵⁾。しかし、食物起因の物質収支に関する考察や、コストに関する分析については十分な分析がなされていなかった。また、ディスポーザーの導入ケースについても、排水処理装置付きのディスポーザー(いわゆるディスポーザー排水処理システム)のみしか想定しておらず、排水処理装置なしの場合の資源循環性の比較分

表-1 ディスポーザー導入によって想定される影響

評価の視点		排水処理に想定される影響		効用への影響	
		ケース ⁽¹⁾	主要な影響	生活者	公共部門
利用者の利便性	2	汚泥引込の必要性発生		-	
	2	最終処理の必要性発生		-	
	2	浄化槽のポンプ室		-	
	2	浄化槽の下水臭		-	
環境調和性	2	給・ハエ・ネズミ等の発生		-	
	1,2	ディスポーザー運転のための電力消費		-	-
	1,2	ディスポーザー運転・厨芥運送のための水消費 ⁽²⁾		-	- (または+)
	2	排水処理装置の運転のためのエネルギー消費		-	-
	2	汚泥引込運送のための輸送エネルギー消費		-	-
	1	下水管渠の汚濁回数増加		-	-
	1	下水放流水による公共用水域の汚濁負荷		-	-
	1	下水処理施設のアバーロード		-	-
	1	合流式下水道における雨天時流出負荷量の増大		-	-
	1	下水処理場における汚泥発生量の増大		-	-
経済性（個人負担分）	1	汚泥引込による大規模汚濁負荷の増大		-	-
	1	水消費量の増加 ⁽²⁾		- (または+)	
	1	下水処理費の増加 ⁽²⁾		- (または+)	
	1,2	ディスポーザー設置費、運転費		-	-
経済性（公共負担分）	2	排水処理装置の設置費、運転費		-	-
	2	汚泥引込運送のための費用		-	-
	1	下水管渠の汚濁回数増加 ⁽²⁾		-	-
	1	自治体全体の下水処理費用 ⁽²⁾		-	- (または+)
その他（公益性）	2	汚泥引込率による汚泥への影響（汚濁・安全面）		-	-
評価の視点		廃棄物処理に想定される影響		効用への影響	
		ケース ⁽¹⁾	主要な影響	生活者	公共部門
利用者の利便性	1,2	ゴミの収集回数の減少		+	
	1,2	ゴミの量の減少		+	
	1,2	臭気を気にしなくてよいのでゴミを出す時間をも自由に		+	
住居周辺の快適性	1,2	ゴミ収集のための占有空間が減少		+	
	1,2	生ゴミの滞留時間がなくなることによる衛生状態の向上		+	
	1,2	ゴミ収集場所周辺の衛生状態、景観の向上		+	
環境調和性	1,2	収集頻度の減少がもたらす輸送エネルギー消費減			+
	1,2	焼却量の減少にともなう環境負荷減			+
	1,2	最終処分量の減少にともなう環境負荷減			+
	1,2	ゴミの焼却量上昇による焼却発電のエネルギー効率増			+
	1,2	ゴミの分別収集向上による資源回収割合の増加			+
経済性（個人負担分）	1,2	ゴミ処理料金の減少		+	
経済性（公共負担分）	1,2	ゴミ減少による自治体全体のゴミ処理費用の減少			+
	1,2	焼却量の減少に伴う最終処分場の埋立率軽減			+
その他（公益性）	1,2	ゴミ収集頻度の減少による雇用への影響			+
	1,2	ゴミ収集車による交通への影響（汚濁・安全面）		+	+
	1,2	清掃従事者の環境意識の改善			+

注1) ケースの番号は図3～4に合わせている。
 ディスポーザー導入ケース1：排水処理装置なしの場合
 ディスポーザー導入ケース2：排水処理装置つきの場合
 注2) ケース2で処理水を循環利用する場合、逆にコスト減、水消費量減となる。
 注3) 直接的な影響のみを取り上げており、波及的な影響はここでは考慮していない。

析についても残された課題であった。

そこで本研究では、ディスポーザー導入を想定した都市環境システムの評価について、コスト面からの評価を加えて、現行システムとの総合比較を行うことを目的とした。環境影響評価に関しても、前述のように、食物由来の汚濁負荷を詳細に検討したほか、ディスポーザー導入シナリオの違いによって有機物資源循環の付加価値が異なることも考慮に入れた分析を行った。

2. 分析の枠組み

(1) ディスポーザー導入によって想定される影響

ここで、ディスポーザーの導入が、排水及び廃棄物処理システムに及ぼすと想定される影響を整理する。表-1のように、排水処理と廃棄物処理に分けた上で、評価項目を利便性、快適性、環境調和性、経済性及びその他(公益性)という視点から、その主要な影響を挙げた。概ね、廃棄物処理側ではプラスの効用があり、排水処理側ではマイナスの効用が予想さ

れる。ただし、排水処理においても排水処理装置なしの場合(図-3：ケース1)は、利便性及び快適性の面で現状と比較して変化は生じない。また、各影響項目によって、影響の大小にばらつきがあることは言うまでもない。

このように、ディスポーザーの導入は個人の生活にも社会全体にも大きな影響があると考えられるが、ディスポーザー関連の研究においてこれまでの中心であった水域(排水処理)への負荷変化以外にも、多次元からの評価が必要であることがわかる。また、ディスポーザー導入による個人の利便性・快適性向上と社会全体の公益性とのバランスは微妙であり、その意味からも多面的な評価軸が必要である。

(2) 研究全体の枠組みと今回の範囲

表-1で想定した影響はそのほとんどは推測の域を出ていないため、それぞれの評価対象項目に対し定量的な調査・研究が必要になる。そこで、図-1に示すような、ディスポーザー導入の環境影響及び社会経済影響を評価し、その最適システム設計、最適導入シナリオを求めるための研究フレームを描いている。

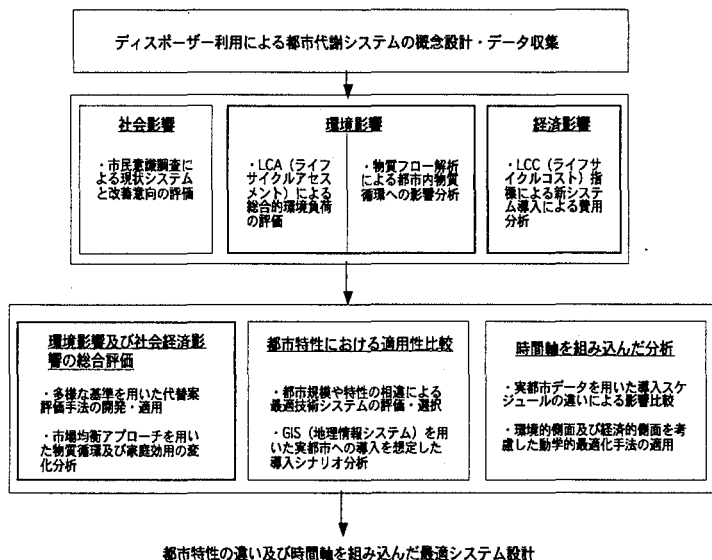


図-1 研究全体の枠組み
注) 太枠が本論文の範囲

筆者らは、これまで図-1のうち、ディスポージャーの社会受容性調査及びLCAを実施してきた⁵⁾。しかし、LCAにおいて有機物の再資源化過程が評価に組み込まれていないこと、ディスポージャー排水処理システムのみしか考慮しておらず排水処理装置のないケースの評価がなされていないことなどの点で不十分といえ、本研究ではその点の改善を試みる(第3章)。また、経済性としてシステム全体にわたるライフサイクルコスト(LCC)の算定を行う(第4章)。これらによって得られた環境影響指標及び経済性指標の他、利便性、資源循環性を加え総合評価を行うために、多目的意思決定法のうち階層化意思決定法(AHP: Analytic Hierarchy Process)の適用を試みる(第5章)。

(3) 評価対象システムとプロダクトバスケット法について

図-2~4に、評価対象システムとその境界を示す。ケース1(図-3)は、厨芥ゴミを直接下水道に流し汚泥を再資源化するケース、ケース2(図-4)は、ディスポージャー排水処理システム(排水処理装置付き)である。ケース2の排水処理装置導入の設定条件としては、100戸規模の集合住宅を対象として設定した^{6),7)}。なお、現行システムの評価対象としては、福岡市のケースを想定し、基本的には既往の研究成果を利用した^{8),9)}。

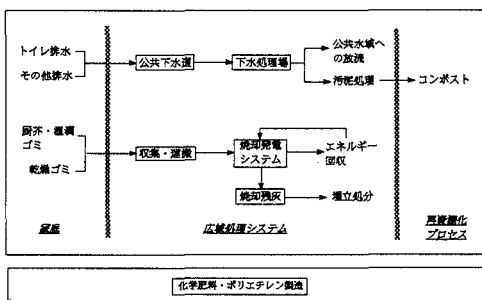


図-2 現行システム

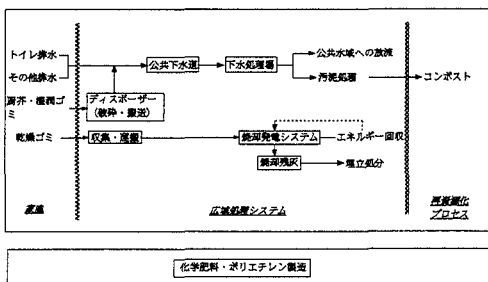


図-3 ディスポージャー導入ケース1

ケース2は、排水処理装置における再資源化方策によって、さらに3タイプに分ける。すなわち、汚泥からのオンサイト型コンポスト製造ケース、雑用水としての処理水再利用ケース、集中型の乳酸生成ケースである。ディスポーザーの搬送用に1人1日約8リットルの水が必要²⁶⁾と言われるが、これについてはまだ確定的とは言えず、現行からの増加はほとんどないとの実験結果もある²⁷⁾。ケース2の雑用水利用ケースでは、これを雑用水でまかなうと想定した。また、乳酸生成ケースについては、厨芥の10%の量¹¹⁾の収率で乳酸が生成されるとした。乳酸は生分解性プラスチックの原料であり、ゴミ袋の代替品も含めて広く用途が想定される。図-5に乳酸の生成工程を示す。

なお、汚泥の再資源化のLCAやLCC評価に際しては、プロダクトバスケット法¹²⁾を援用した。これは、再資源化のない（もしくは少ない）ケースにおいて、再生資源が代替している製品をバージン資源から製造すると仮定した場合の製造プロセスを評価対象範囲に含むことで、システム全体の機能を統一して評価する手法である。コンポストについては化学肥料を代替しているとして計算した。コンポストと化学肥料の物質構成を窒素分についてみると、重量あたり窒素含有率で化学肥料がコンポストの約5~10倍多く窒素分を含んでいる^{13),14)}。そこで、本研究ではコンポストと化学肥料の窒素含有率比を1:5と仮定し、重量比で化学肥料に対してコンポストは5倍で同機能とした。また乳酸については、ポリエチレンを代替しているとの前提で、乳酸生成ケース以外ではポリエチレンの製造を考慮した。なお、化学肥料及びポリエチレンの製造においては全国平均による値を用いた。

3. LCAによるシステムの環境負荷比較

(1) ディスポーザー排水が下水道処理及び再資源化過程に及ぼす影響

図-3のケース1では、ディスポーザー排水をそのまま下水道に流すため、下水処理施設の負荷が高まり、ケース2では逆に現行より負荷を抑えることができる。そこで、既存の実験結果⁹⁾より、表-2のように下水処理場の流入水の水質と負荷除去量を設定した¹⁵⁾。これをもとに、管渠については堆積物の増加により清掃回数が増えるものとし、SSの変化で比例させた。また処理場についてもやはりBODの変化量をイニシャル及びランニングの計算に反映させた。コンポスト化施設では、処理場の負荷の変化に

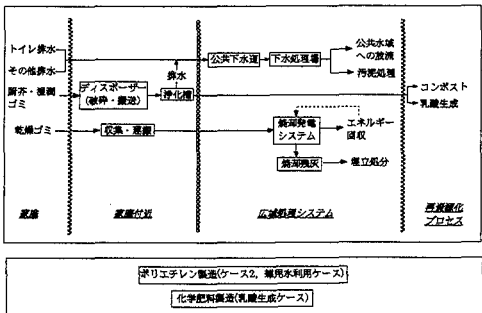


図-4 ディスポーザー導入ケース2
(ディスポーザー排水処理システム)

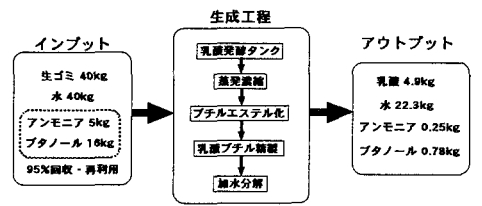


図-5 乳酸生成工程フロー図

表-2 再生資源物製造に関する各製造単価

製造物	製造単価(万円/t)
コンポスト	10.6
化学肥料	7.9
乳酸(原料:生ゴミ)	7.6
ポリエチレン	16.4

生ゴミを原料とする場合の乳酸の生産単価

整備規模(/年)	100,000t
設備費	42円/kg
消耗品費	24円/kg
人件費	10円/kg
総額	76円/kg

表-3 下水処理場における水質汚濁負荷の流入量及び除去量

	現状ケース	導入ケース1	導入ケース2
SS流入量(t/年)	32,030	58,377	31,338
SS除去量(t/年)	31,151	45,989	25,357
BOD除去量(t/年)	27,630	39,539	23,398

注)下水処理場から放流される水質汚濁負荷濃度は一定とする

表-4 ライフサイクルインベントリ分析に使用した物量単位の原単位例

	生産量単位	エネルギー Mcal	CO ₂ kg-C	SOx g-SO ₂	NOx g-NO _x	水消費 リットル	BOD g-BOD	COD g-COD	T-N g-N	T-P g-P	埋立廃棄物 kg
水道	キロリットル	2,843	0.141	1,650	0.569	1,003.174	0.082	0.105	0.087	0.010	0.542
電力	MWh	4,009.513	123.553	38.022	395.284	223.460	5.672	6.552	5.476	0.724	2.934
軽油	キロリットル	10,093.346	778.354	6,201.601	20,007.467	1,317.724	40.574	98.345	11.791	0.875	2.472
灯油	キロリットル	9,371.305	719.753	1,932.899	9,532.568	695.195	21.406	51.884	6.221	0.462	1.304
A重油	キロリットル	9,746.450	764.263	29,833.508	12,800.017	658.533	20.277	49.148	5.893	0.437	1.255
苛性ソーダ	t	3,593.058	249.822	1,153.855	1,113.986	17,343.126	1,906.970	1,332.847	334.941	3,417.501	10,214
消石灰	t	299.795	26.480	87.430	167.086	2,649.623	10.623	4.243	70.954	1.839	2.849
硫酸	t	163.869	13.950	54.357	68.437	3,514.605	91.960	139.957	122.783	5.261	2.070
セメント	t	1,021.668	193.449	162.817	1,436.833	455.527	229.325	3.114	11.426	0.469	6.363
コンクリート	t	171.446	27.082	44.759	235.175	241.845	3.043	3.124	6.066	0.249	3.378
鋼材	t	4,248.111	393.072	975.967	1,149.513	13,891.100	274.764	169.477	164.797	16.073	70.191
ガス	キロリットル	11.130	0.610	2.169	3.314	1.497	0.044	0.053	0.036	0.005	0.010
化学肥料	t	3,831.749	254.383	729.072	1,138.858	19,664.975	29.559	15.691	788.428	680.969	518.196
石油製品	t	2,712.454	195.262	424.112	640.052	4,417.533	2.934	8.286	41.600	39.529	38.148
金額当たり原単位データの出典		①産業連関表 407部門 (外貨価格) 90生産者価格	②産業連関表 407部門 (国産価格) 90生産者価格	③産業連関表 405部門 (外貨価格) 90生産者価格	④産業連関表 91部門 (国産価格) 90生産者価格	300~400種の産業連関表商品出荷額当たり原単位 (1988年)					⑤産業連関表 91部門 (国産価格) 90生産者価格

(出所) ①埼玉大学外関らによる

②産業連関表による二酸化炭素排出原単位、環境庁国立環境研究所、平成9年2月¹⁹⁾③鶴巻、野池：LCAにおける多項目環境負荷量の定量化に関する研究、環境システム研究、Vol.25, p.217-227, 1997¹⁸⁾

④流域下水道整備総合計画調査・指針と解説、日本下水道協会、平成5年

①、②、④については参考文献¹⁸⁾の城戸による整理である

より汚泥量が変化するので、やはりBODの変化量によってコンポスト化施設のインシヤル及びランニングの環境負荷も比例的に変化するものとして計算を行った。

なお、ディスポーザー排水による炭素分の増加によるC/N比の変化が脱窒反応にプラス方向に働き、脱窒効率が向上することが知られている²¹⁾。しかし、LCA計算のために十分なデータを入手できなかったことから考慮していない。

(2) ライフサイクルインベントリ分析

評価対象ステージは、建設、設備の製造、施設の維持・運用から廃棄に至るが、廃棄ステージについては、インフラの寿命設定の困難性やデータの信頼性の問題により対象外とする。また、全ての資材や工法に関して積み上げることは困難が伴うため、ミクロなデータの積み上げと、産業連関分析等のマクロなデータとを併用した分析とする。

評価指標としては、エネルギー消費量、CO₂、SOx、NOx、水消費量、BOD、COD、T-N、T-P、埋立廃棄物の10項目とした。各評価指標の誘発分を含んだ環境負荷原単位として前報⁵⁾同様、産業連関表407部門表から算出されたエネルギー、CO₂、SOx、NOx、91部門表から算出された水消費量、埋立廃棄物と、日本下水道協会によるBOD、COD、T-N、T-Pを使用している¹⁸⁾。これらの値は、製品の生産額当たりのライフサイクル環境負荷原単位として表されているため、物量単位(製品の生産量)当たりの原単位が必要な場合には、製品別の生産額と生産量を用いて適宜換算した(表-4)。

ライフサイクルインベントリ分析の結果を図-6に示す。これによると、エネルギー、CO₂は、ディス

ポーザー導入ケースが現状に比べて増加している。特に、オンサイトの排水・発酵処理装置のあるケース2では、現状に比べてかなり増加している。水消費に関しては、ディスポーザーの運用のための消費量の寄与が大きい。しかし、導入ケース2の雑用水利用ケースでは、ディスポーザー水量が大幅に削減され、現状と同レベルとなる。また、SOx、NOx、埋立処分量については、ディスポーザー導入によりゴミ焼却量がほぼ半減することの影響で現状に比べて削減される。水系の汚濁物質負荷については下水処理場から排出される負荷量が大部分を占めている。ケース1では現状よりも処理場への負荷が増大している。一方、導入ケース2では下水処理場への負荷が減少するため、現状よりも少なくなっている。

(3) 環境インパクトカテゴリーへの指標の統合化

ここで図-6の各環境負荷項目に関して、環境インパクトカテゴリーへの指標の集約化を図る。インパクトカテゴリー内の重み付けには、前報⁵⁾同様、下式の方法を用いる。

酸性化ポテンシャル(AP)²⁰⁾：AP=SOx+0.7×NOx

大気汚染²⁰⁾：SOx×1+NOx×1.4

水質汚濁(全酸素要求量)¹⁰⁾：TOD=3×COD+(T-N×19.7+T-P×143)/2

エネルギー消費、地球温暖化(CO₂)、埋立廃棄物、水消費については図-6のインベントリ分析の結果をそのまま用い、合計7つの指標によりレーダーチャートを作成した(図-7)。

この結果によると、大気汚染及び酸性化ポテンシャルではどのケースもほとんど変わらないのに対し、水質汚濁ではケース2では現状よりも負荷が小さくなっていることが見てとれる。

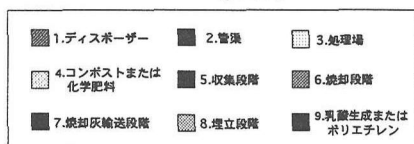
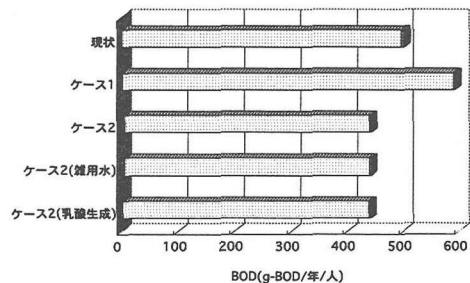
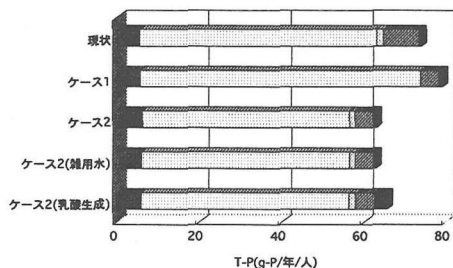
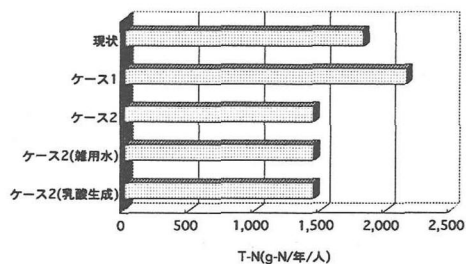
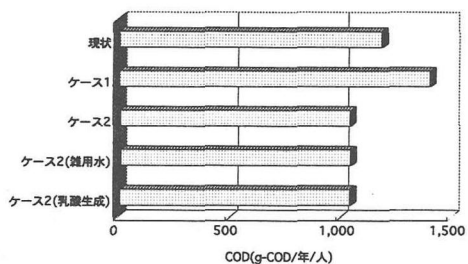
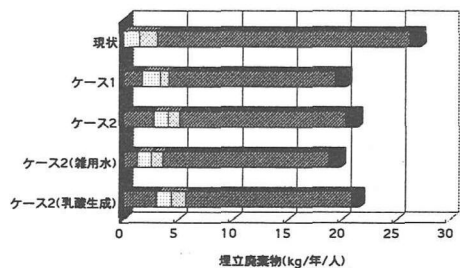
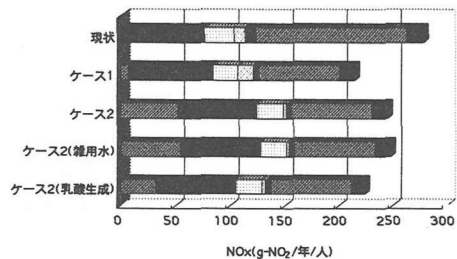
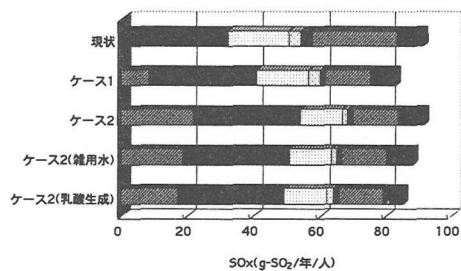
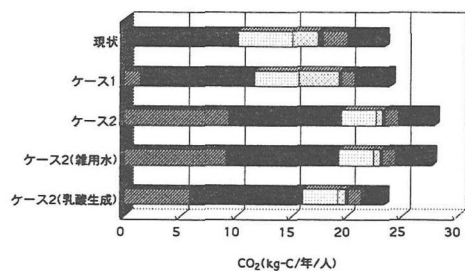
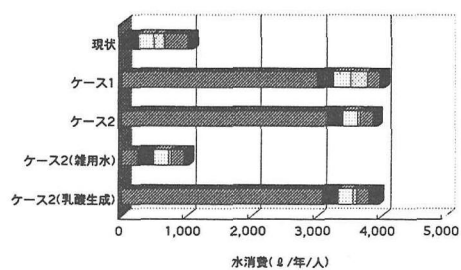
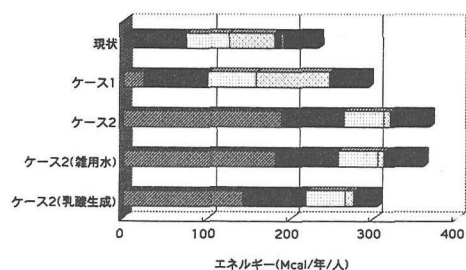


図-6 ライフサイクルインベントリ分析の結果

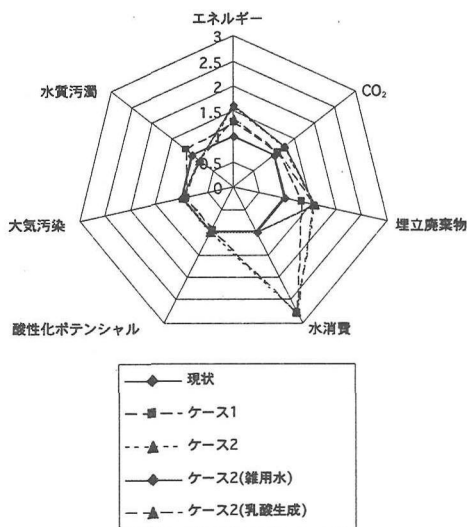


図-7 インパクトカテゴリーによる比較

4. ライフサイクルコスト (LCC) 指標によるシステム比較

(1) 分析対象及び分析手法

3章と同様に、図-2～4のシステム全体を分析対象として設定する。

排水処理、廃棄物処理各施設の建設費・維持管理費については、文献値^{8),9),22)}及び福岡市より入手したデータを用いた。また、ディスポーザー関連システムに関しては、複数のメーカー資料⁶⁾により算出した。貨幣価値は年度によって変動するため、GDPデフレーター²³⁾を用い1992年価格に統一した。イニシャルに要するコストについては、ライフサイクルインベントリー分析と同様、算出された総コストを各施設の耐用年数で除した値をイニシャルコストとした。

また、再資源化過程についてはここでもプロダクトバスケット法を援用するが、その施設規模に関しては、コンポスト及び乳酸については福岡市の事業規模を考慮し、また化学肥料及びポリエチレンについては全国平均とした。これにより、表-2のように製造単価を設定した。なお、乳酸を利用した生分解性プラスチックは乳酸生成工場の近接地で生産されるとし、生分解性プラスチック生成工場までの輸送距離は考慮しない。

(2) 分析結果

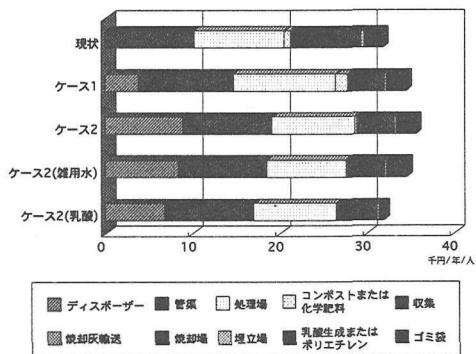


図-8 各ケースのLCCとその内訳

図-8に現状ケース及びディスポーザー導入ケースの一人当たりLCCの算出結果を示す。ケース1及び2には、それぞれディスポーザー導入に伴う費用が上乗せされる。一方、ごみ収集及び焼却にかかるコストがディスポーザー導入により低減されることにより、コスト上昇幅が抑えられていることがわかる。ケース2の乳酸生成ケースは現状よりもコストが低くなっているが、これは乳酸とポリエチレンとの製造単価の差と、ディスポーザーシステムにおける発酵過程が不要であることを反映した結果である。

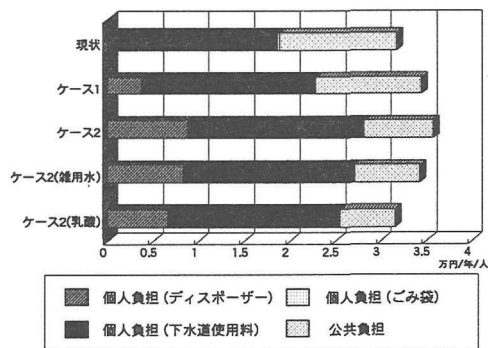


図-9 LCCにおける個人負担と公共負担の内訳

図-9は図-8の結果から、ディスポーザー関連費用・下水処理費用・ゴミ袋を個人負担とし、それ以外を公共負担として、その負担割合を比較したものである。これによると、ディスポーザーを導入した場合、ケース1、2ともに現状に比べて個人負担が増加し、公共負担が減少している。個人負担の上昇

は、そのほとんどがディスポーザー機器設置及び運用によるが、これに関しては、ディスポーザー導入による負担増と利用による利便性向上との費用便益関係の分析が必要である。また、近年ゴミ処理の有料化により個人負担を増加させゴミ処理の汚染者負担原則の側面を強化する動きがあるが、この傾向は個人負担の割合を増加させることを意味し、ディスポーザー導入によるゴミ処理費用減少を考えるとディスポーザー導入ケースに有利に働く。

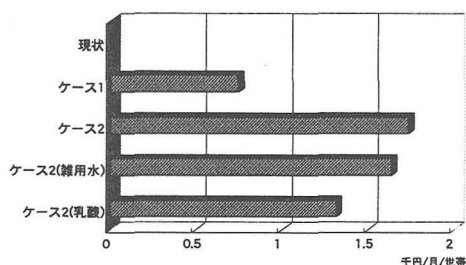


図-10 一世帯当たり一月にディスポーザーに支払う費用

図-10は、月間一世帯当たりディスポーザーにかかる費用を計算したものである。これによると、ディスポーザー導入によるコスト上昇幅は、約700～1,700円/月/世帯である。これに対して、ディスポーザーを導入している集合住宅の住民を対象とした意識調査では、支払い意思額（WTP）が約2,000円/月/世帯という報告もある²³⁾。仮に、実際に導入を検討している地域で大多数の人が2,000円/月/世帯支払っていいと考えているならば、費用と便益の関係からみるとディスポーザー導入は利用者にとって有利な選択であるといえる。

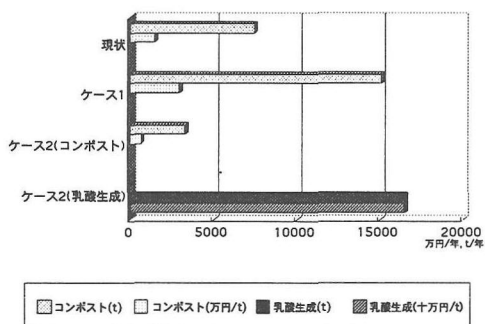


図-11 再生資源の生産量及び資源売却費の比較

次に、図-11に有機系廃棄物の再資源化の付加価値を検討するために、その販売単価と見込まれる売却費を示した。すべてのケースのうち余剰汚泥が最低となるケース（ケース2の乳酸生成）を基準として比較しているため、乳酸生成ケースではコンポストは製造されない。乳酸生成ケースを見ると、販売単価がコンポストの約10倍と付加価値が高く、資源売却費が圧倒的に高くなっている。都市部について考えると、コンポストは生産しても単価が低く、かつ都市の緑農地面積は少ないため利用価値が低いと考えられる。しかし、生分解性プラスチックの原料となる乳酸は単価が高く、都市部での利用価値も高いと考えられる。これは、ケース2がディスポーザー排水処理装置を設置しており、ここで下水汚泥より高品位の有機系資源（厨芥由来のみ）を抽出できることの大きなメリットである。

5. 総合的な施策判断のための評価：AHPによる多目的意思決定問題

(1) 解析手法

階層化意思決定法（AHP）は、多様な評価基準に基づいた一対比較の結果をもとに、代替案の合成重要度（総合ウェイト）による序列化を行う方法である。その過程で、最終目標－評価基準－代替案の階層図を作成し、最終目標からみた評価基準の重要度を求め、次に各評価基準からみた代替案の重要度を評価し、最終的に、最終目標からみた代替案の評価に換算する²⁴⁾。この手法は、人間の主観を取り入れ、意思決定者の感覚に近い判断が行える手法であるとされ²⁵⁾、さらに感度解析を行える特徴も有している²⁴⁾。本章では、住民・行政の意向を考慮した総合的な政策判断を行うために、主観やあいまいさの取り込みにすぐれたAHPを採用することで、環境影響指標及び経済性指標を含めた複数の評価基準から最適な代替案を選択することを目指す。そのための基本的な判断材料、分析評価の視点を得るために、評価基準のウェイトを変化させることによって感度解析を行うことに主眼を置く。

(a) 階層図の作成

代替案としては、図-2～図-4から現行システム、ケース1、ケース2、ケース2（雑用水利用）、ケース2（乳酸生成）の5つを用意する。評価基準は、3章のインパクトカテゴリーから地球温暖化（CO₂）、水域環境負荷（TOD）、4章の経済性（LCC）のほか、再資源化可能量として資源循環性と、生活者にとっての利便性を加えた（図-12）。

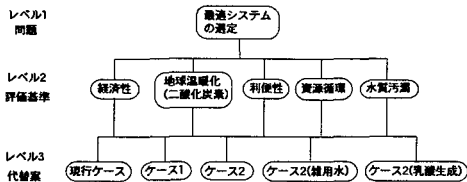


図-12 階層分析法の階層図

(b) 一対比較行列の作成と重要度の計算

5つの代替案に対して、3・4章の結果と、資源循環性及び利便性を加えた評価基準別比較を表-5に示す。資源循環性は単純な量ではなく、付加価値（製品単価）の違いを考慮した（図-11）。また、生活者の利便性については生ゴミに対する煩わしさからの解消を重視して設定した。これをもとに一対比較行列を作成する（階層図中のレベル1→2）。ここでは評価基準のうち、経済性と地球温暖化影響について感度解析を行うこととし、表-6及び表-7のような感度解析対象基準を除いた基準表を設定した。これをもとに、例えば経済性を全く考慮しない場合から、かなり考慮する場合という変化に対応するようにウェイトをパラメトリックに変化させ、総合ウェイトの変化によって感度解析を行う。

次に、階層図のレベル2→3に該当する一対比較であるが、表-8に資源循環性に関する一対比較表を例示する。これら表-6・7と表-8から総合ウェイト（総合合成重要度）を合成する。

なお、表の下にC.I.は整合度（Consistency Index）と呼ばれ、以下で表される。

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

ここで、 $\lambda_{\max}$ は、各一対比較行列の最大固有値、 n は行列の列数（行数）であり固有値1である。この値が大きくなるほど不整合度が高いと考え、0.1（あるいは0.15）以下である場合に経験的に合格とする

24)

(2) 経済要因による感度解析

図-13は、その他の要因に対する経済要因のウェイトを横軸にとり、現行システムの総合ウェイトを1.0とした場合のその他のケースの総合ウェイトを縦軸にとり、経済要因のウェイトを、他の基準間の重要

表-5 代替案の評価基準別比較

	現状	ケース1	ケース2	ケース2(雑用水)	ケース2(乳醸)	単位
地球温暖化(CO ₂)	23	24	28	28	23	kg-C/年/人
経済性	42	45	46	45	42	千円/年/人
水質汚濁(TOD)	26,849	31,153	21,904	21,898	22,107	g/年/人
利便性	△	○	○	○	○	
資源循環	1,468	2,973	646	646	16,457	万円/年

表-6 評価基準間の一対比較及び重み付け例1

（経済性を考慮しない場合）

	利便性	水質	資源循環	CO ₂	ウェイト
利便性	1	5	3	6	0.560
水質	1/5	1	1/3	1/2	0.080
資源循環	1/3	3	1	4	0.260
CO ₂	1/6	2	1/4	1	0.010

C.I.=0.054

表-7 評価基準間の一対比較及び重み付け例2

（経済性をかなり重要と見た場合）

	利便性	水質	資源循環	CO ₂	経済性	ウェイト
利便性	1	5	3	6	1/7	0.180
水質	1/5	1	1/3	1/2	1/9	0.040
資源循環	1/3	3	1	4	1/9	0.090
CO ₂	1/6	2	1/4	1	1/9	0.040
経済性	7	9	9	9	1	0.640

C.I.=0.115

表-8 代替案間の一対比較及び重み付け例

（資源循環から見た場合）

	現状	ケース1	ケース2	ケース2(雑用水)	ケース2(乳醸)	ウェイト
現状	1	1/3	3	3	1/9	0.080
ケース1	3	1	5	5	1/9	0.160
ケース2	1/3	3	1	1	1/9	0.040
ケース2(雑用水)	1/3	3	1	1	1/9	0.040
ケース2(乳醸)	9	9	9	9	1	0.670

C.I.=0.10

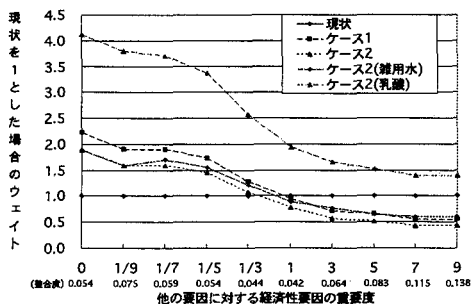


図-13 経済性要因の影響度

度を一定としておいてパラメトリックに変化させた結果を表している。この図では、横軸が1.0のラインを堺に、これより上にあるケースは採用されるべき

と判断される。結果をみると、ケース2（乳酸生成）以外は、他の要因に対する経済要因のウェイトが1と3の間から右側において現行システムが有利となっている。つまり、経済要因を若干重視した場合以降である。

なお、経済要因のウェイトを変化させるにあたって、C.I.=0.042~0.138の範囲内にあり、整合度は保っている。

6. おわりに

本研究では、ディスポーザーを導入することによって描かれる資源循環システムの評価を行った。それは、生ゴミをディスポーザーによって破碎・搬送することで他のゴミと分別し、その生ゴミ由来の有機系廃棄物の積極的な再資源化を想定したシステムである。具体的な評価対象システムとしては、下水道に破碎した生ゴミをそのまま流すタイプと、排水処理装置で前処理をしてから下水道に流すタイプとを想定した。また、再資源化にはコンポスト製造のほか、生分解性プラスチック原料となる乳酸生成を対象とした。評価手法には従来からのLCAのほか、経済性を評価するためにライフサイクルコストを算定した。また、環境調和性、経済性、利便性を考慮した総合評価を、多目的意思決定法のうちの階層化意思決定法（AHP）を用いて行い、その感度解析を行った。

その結果、以下の結論を得ることができた。

- 1) 実在都市のデータを利用し、複数のケースを設定することによって、団地規模（100世帯）でディスポーザーを導入することによる影響を、環境面及びコスト面から評価することができた。
- 2) LCAでは、ディスポーザーを導入することによりエネルギー消費量、CO₂排出量、水消費量が増加するが、大気汚染及び酸性化ポテンシャルではどのケースもほとんど変わらない。また、水質汚濁負荷では、排水処理装置がある場合、トータルでも現状より負荷が小さくなることを示した。埋立処分量も減少する。
- 3) LCCの分析では、ディスポーザー導入により全体的なコストは増大する。増大する部分は現在個人負担であり、公共負担分は減少する。そのため、ディスポーザー導入に当たってはゴミ処理の負担割合に関する再考が必要となる可能性を示した。また、個人負担上昇分はケースによって700~1,700円/月/世帯であり、これと便益との関係

について考察を行った。

- 4) 階層化意思決定法を適用することで、多軸的な評価基準の中から総合評価を行うことが可能であることを示した。また、適用に際しては感度解析を重視し、意思決定者による複数の評価基準間の選好関係と、それによる総合評価結果のとりうるレンジを明らかにした。

ここで再資源化製品の需要について簡単な考察を加えておきたい。需要を考える際には、総需要量とその地域的な分布、及びコストについて考慮する必要がある。表-2から、下水汚泥からのコンポストが化学肥料に比べて価格的に苦戦していることは明白であるが、需要面でも生産地（都市）と需要地（農村）が乖離しているという難点がある。これに対して、乳酸によって製造される生分解性プラスチックの潜在需要は100万トン/年とも言われ¹¹⁾、また工業原料であるため都市内立地が可能であり輸送面でも有利に働く。価格面でも有利さは表-2のとおりである。

今後の課題としては、利用者の効用変化をアンケート等により計測しディスポーザー導入による個人負担増との比較を行うことである。階層化意思決定法に関しては、異なる属性から意思決定者（アンケート対象者）を選択し意識調査を実施することで実際の選好データに基づいた評価を行い、属性別の評価の違いを確認することが残されている。また、実際のインフラの導入を想定したとき、対象地域による適用可能性の差や、導入スケジュールまで考慮した動的分析を行うことも必要である。

謝 辞：本研究は、科学技術振興調整費委託事業生活者ニーズ対応研究（平成10~12年度）「都市ゴミの生分解性プラスチック化による生活排水・廃棄物処理システムの構築（代表：井村秀文）」の一環として行ったものである。記して謝意を表する。

付録

注）都市基盤整備公団へのヒアリングによる

参考文献

- 1) 建設省建築研究所：ディスポーザーによる生ゴミリサイクルシステムの開発（平成6年度~平成8年度）報告書、平成9年
- 2) 酒井憲司：ディスポーザー問題と下水道、下水道協会誌、Vol.36, No.442, pp.35-41, 1999
- 3) 山海敏弘：ディスポーザーによる生ごみリサイクルシステムの開発、月刊下水道、Vol.22, No.5, pp.42-48, 1999

- 4) 山海敏弘：デスポーザーに関する社会的動向，科学技術振興調整費委託事業生活者ニーズ対応研究「都市ゴミの生分解性プラスチック化による生活排水・廃棄物処理システムの構築」成果発表会 講演要旨集，pp.1-10，2000
- 5) 松本 亨，中川慎司，波多江香苗，井村秀文：循環型社会構築をめざした都市生活排水・廃棄物処理システムの統合的評価の視点，環境システム研究，Vol.27，pp.153-163，1999
- 6) TOTO：デスポーザーシステムパンフレット（集合住宅用），平成11年2月
- 7) 建設省：デスポーザーによる生ゴミリサイクルシステムの開発，平成6年度-平成8年度
- 8) 福岡市下水道局：福岡市の下水道 平成10年度版，平成10年
- 9) 福岡市環境局：平成10年度 事業概要，平成10年
- 10) 城田久岳，浮田正夫，中西 弘：紙の生態学的価値に関する研究，土木学会論文集，No.521/Ⅱ-32，pp.163-172，1995
- 11) 白井義人：2班「生ゴミからの生分解性プラスチックの製造に関する研究」成果報告要旨，1999
- 12) 田中 勝ら：インベントリ分析に基づく都市ごみ処理代替案の比較研究，第3回エコバランス国際会議，pp.497-500，1998
- 13) (社)日本下水道協会：下水汚泥処理総合計画策定マニュアル，平成3年
- 14) 肥料協会新聞部：肥料年鑑，平成9年度
- 15) 福岡市下水道局管理部：福岡市水処理センター管理年報，平成10年度
- 16) (社)日本下水道協会：平成9年度版 下水道統計行政編，平成9年
- 17) 環境庁国立環境研究所：産業連関表による二酸化炭素排出原単位，1997
- 18) 鶴巻峰夫，野池竜也：LCAにおける多目的環境負荷量の定量化に関する研究，環境システム研究，Vol.25，pp.217-227，1997
- 19) 井村秀文編：社会資本整備に係わるLCA手法の体系化と環境評価の総合化，科学研究費補助金研究成果報告書，2000
- 20) 新エネルギー・産業技術総合開発機構，(財)地球環境産業技術研究機構，(社)化学工学会：環境負荷分析におけるインパクトアセスメントに関する調査，1997
- 21) 高橋正宏，鈴木 穰，吉澤正宏：デスポーザー導入に対応した高度処理施設の開発に関する研究，下水道関係調査研究年次報告書集，pp.43-51，平成7年度
- 22) (社)日本下水道協会：平成9年度版 下水道統計財政編，平成9年
- 23) 大蔵省印刷局：国民経済計算年報 平成10年版経済企画庁編，1998
- 24) 刀根 薫，真鍋 龍太郎：AHP事例集，日科技連，1990
- 25) 小畑経史，白石俊輔：WWWを利用したAHPシステムの構築，http://impala.csis.oita-u.ac.jp/AHP/Web_DE_AHP/WDA9809.pdf
- 26) 白井義人：生ゴミからの生分解性プラスチックの製造に関する研究，科学技術振興調整費委託事業生活者ニーズ対応研究「都市ゴミの生分解性プラスチック化による生活排水・廃棄物処理システムの構築」成果発表会講演要旨集，pp.17-32，2000

EVALUATION OF DISPOSAL AND RECYCLING SYSTEM FOR KITCHEN GARBAGE, USING DISPOSER SYSTEM

Toru MATSUMOTO, Kazunori SAMESHIMA and Hidefumi IMURA

The mass-consumption, mass-waste society faces problems such as a major increase in the volume and types of waste, and increased difficulty in optimal waste processing. As a result, the attainment of a recycling society is thought to require a total restructuring of today's social, economic and technical systems. It is hoped that a system will be developed capable of separating out raw garbage from household wastes, including from disposers. This paper discusses methods of comprehensive assessment from the simultaneous viewpoints of environmental effect, user convenience and economy. The urban environmental infrastructure, including disposers and recycling systems, are evaluated based on the methodology of life cycle assessment (LCA) and life cycle cost (LCC). In addition, Analytic Hierarchy Process (AHP) is examined as a tool to integrate criteria evaluation for multi-objective decision-making.