

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

On the Integration of Municipal Wastewater and Solid Waste Management Systems for Establishing the Recycle Society

松本 亨* ・ 中川慎司* ・ 波多江香苗** ・ 井村秀文*

Toru MATSUMOTO*, Shinji NAKAGAWA*, Kanae HATAE**, and Hidefumi IMURA*

ABSTRACT; The need for overall transformation of today's social, economic and technology systems has been advocated for realizing the "recycle society." With respect to the energy and material flows related to people's daily life, the waste management system plays an especially important role for promoting recycling: it governs the people's lifestyles and the reuse and recycle of municipal wastewater and solid wastes. However, the wastewater treatment and solid waste disposal systems have been designed and constructed based on different thoughts and principles. Although the both systems tended to rely on advanced technologies, solid waste management, in particular, has come to give more emphasis on the human role such as the change in lifestyles and the separation of items by households. This paper discusses the problems with these separated systems, and examines the possibilities of their integration. As a technological option for integration, the use of disposers and its effect on the existing systems are discussed.

KEYWORDS; wastewater management system, solid waste management system, recycle society, LCA, eco-efficiency

1. 緒言及び問題提起

近年、環境負荷の小さな持続可能な社会を目指して、資源循環型社会の形成が標榜されている。すなわち、大量消費、大量廃棄の使い捨て社会を見直し、資源の再生や再利用を重視することで、新たな資源（バージン資源）の投入や環境負荷の発生を最小限に抑えようとするものである。そのためには、現在実現している社会経済システム全体にわたっての劇的とも言える変化が求められているところであるが、まだその取り組みは緒についたばかりである。

循環型社会を実現するためには、製品の生産・消費・廃棄、あるいは資源の供給・需要の流れの全体を通しての改革が必要であるが、生活系について見た場合には、ライフスタイル・消費生活の変革とともに、資源フローの最下流部に位置する廃棄過程について現在採用されているシステムの見直しが求められる。廃棄過程の役割は、生活から排出される雑多な未利用資源を含む排水と廃棄物を処理するとともに、これから効率よく有用な資源を抽出し循環させることであるが、排水と廃棄物の両処理システムに関する従来の設計においては、資源循環の重要性と必要性は叫ばれながらも、それがシステム設計の絶対的要件として位置づけられてきたとは必ずしも言えない。また 排水処理と廃棄物処理がそれぞれ独立したシステムとして、それぞれの固有目的に従った技術開発と整備が図られてきており、両者を統合的にとらえた上でシステムの合理性を追求することはあまり行われなかった。その結果、両者を支配する技術思想には共通点とともに違いもみられる。すなわち、両者ともに高度処理技術導入を基本としつつ、その不十分を市民参加型施策で解決しようとする点に共通性がある一方で、市民参加型施策に依拠する度合いには差が見られる。排水処理システムについては、大都市に関する限り、衛生面及び利便性・快適性を追求した下水道システムという大規模・高度技術に依拠した処理が主流であった。これに対して、ゴミ処理については、圧倒的な焼却減容化の流れの中、高度技術に立脚したエンドオブパイプ処理を指向してきたものの、機械的処理によって資源循環を追求することの限界が認識され、分別など、市民の参加協力に立脚した資源リサイクルや生産・流通過程にまでさかのぼった対策を重視する動きが強くなっている。

しかし、ゴミ処理における近年のリサイクルの動きも、市民の参加だけでは必ずから限界がある。そこには、行政サイドや生産サイドにおける取り組みの他、システムの基盤となるインフラ整備や技術、制度、またそのための研究開発、環境教育といった総合的な取り組みが必要とされる。産業系の資源循環につい

* 九州大学大学院工学研究科附属環境システム科学研究センター

* Institute of Environmental Systems, Graduate School of Engineering, Kyushu University

** 福岡県甘木土木事務所

** Fukuoka Prefectural Government

ては、例えば北九州市のエコタウン事業¹⁾にみられるように、自治体のリーダーシップと企業による主導的取り組み、行政による補助金や法律（容器包装リサイクル法、家電リサイクル法等）制定といった動きによって、一気に取り組みが進展することがある。一方、都市生活系の場合、既存の排水及びゴミ処理システムのハードウェアとソフトウェアが確固として存在し、施設の耐用年数や予算的制約の問題から、その更新・改善は一朝一夕とはいかない場合が多い。また、一般市民と自治体が主要なアクターであって商業ベースのサービスではないために、市場メカニズムが働きにくいことも変革を困難にしている。

このように、都市生活系の資源循環を考えると、現行システムを形成しているハードウェアとソフトウェアを検証することは重要な意味を持つ。ところが、資源循環の最適効率化という目的を設定したとき、現在実現されているシステム設計が最善であるとはいいがたい。その理由としては、元々、資源循環の最大化を目的として設計されたものではないこと以外に、排水処理システムと廃棄物処理システムが別個に設計されており、いわば部分最適化を目指したシステム構築であることを指摘できる。つまり、現行のシステムは、排水と廃棄物が家庭から排出されると同時に、別々のシステムで処理することを大前提としているが、その前提条件を取り払った時、果たして現行システムは最適効率を生み出しているのかという疑問をここに提起できる。

そこで本研究では、排水及び廃棄物処理システムを統合的視点から捉えることの意義を考察する。トイレの水洗化と下水道または合併浄化槽の普及によって、既にし尿と家庭排水の統合処理は実現しているが、さらに厨芥ゴミ（いわゆる生ゴミ）と家庭排水の統合処理の可能性を探る。我が国では普及していないが、生ゴミを台所の排水口で破砕後、排水管を通して搬送する技術は、ディスポーザーとして確立している。そこで、排水及び廃棄物の統合処理システムとしてディスポーザー導入を想定し、生ゴミの処理・資源利用のための様々な処理シナリオとともに評価することによって、排水及び廃棄物処理に関する統合的視点の意義を検証する。また、家庭系ゴミのうち湿重量比で5割弱²⁾を占める厨芥ゴミに関しては、コンポストの需給ギャップ等もあり有効な再資源化策が見い出されていない現状があるが、ディスポーザーの導入は、厨芥ゴミの分別収集を容易にすることで新たな再資源化策を創出する可能性も秘めている。

本論では、新たに想定されるシステムが、総合的にみて環境にとって望ましいか、市民の側からの受容性はどうかといった検討課題に対する研究の枠組みと、その第一段階としての成果を示す。具体的には、まず、生ゴミの処置を中心に、現行の社会基盤による排水及びゴミ処理に対する認識を、市民意識調査により抽出する（第2章）。次いで、現在利用もしくは開発されている生ゴミの処理・再生利用技術に対する評価の論点を整理した上で、ディスポーザーを利用して生ゴミを排水管を通して搬送するシステムを例にとり、ILCA（Infrastructure Life Cycle Assessment）³⁾を適用した試算結果を示す（第3章）。それらに基づき、排水と廃棄物処理システムを統合的視点から総合的に評価する手法を検討する（第4章）。最終章では、循環型社会構築に向けた課題として、排水と廃棄物処理の統合の他、家庭系と事業系の統合の視点の重要性についても触れることで、今後の研究展開についての所論をまとめる。

2. 市民の生活環境意識から見た排水及び廃棄物処理の現状評価

2.1 分析の背景と視点

ここでは、生ゴミに対する市民の意識を抽出するために、少し広い視野から考察する。すなわち、生ゴミ処理のわずらわしさについてどのように感じているのか、今後どのようなことを希望しているのかという市民意識を、排水処理とゴミ処理全体の中で位置づける。

冒頭でも述べたとおり、近年の排水処理とゴミ処理整備の思想背景には違いが生じてきている。つまり、特に大都市における排水処理は、衛生面及び利便性・快適性を追求した水洗トイレ及び下水道システムという、ほとんど市民の手を煩わせず目にも触れることのないシステムとして構築されている。それに対してゴミ処理は、多分別化など市民の参加協力を期待する部分が大きくなってきている。費用面でも、廃水処理の場合、公共下水道、浄化槽にかかわらず受益者負担に近い（下水道の建設費用は除く）。しかし、ゴミ処理の場合は、有料化政策をとる自治体も増えてはいるが、自治体の一般会計（国からの補助金も含む）で運営するのが通例であり、有料化による収入は処理費用に遠く及ばないのが実情である。

排水及びゴミ処理に関する上記のような相違を念頭において、生ゴミ処理に関する現状と将来意向を市民意識調査から把握する。これは、今後の生ゴミ処理のあり方を探る上において、現状の問題点とともに、新システムの導入意向や社会的受容性を把握するために有益な情報となる。

表1 排水及びゴミ処理の重要度・満足度・不満度

排水処理の重要度・満足度の質問項目				ゴミ処理の重要度・満足度の質問項目				
	重要度	満足度	不満度		重要度	満足度	不満度	
利便性	・し尿のくみ取りの必要がない	2.73	2.58	0.39	・家からゴミの収集場所までの距離	2.26	2.39	0.46
	・維持管理(浄化槽の汚泥引抜など)の必要がない	2.51	2.36	0.54	・収集頻度	2.33	2.12	0.68
	・ドブ掃除の必要がない	2.34	2.20	0.62	・収集の時間帯	2.07	2.15	0.59
	平均	2.53	2.38	0.52	・分別数(分別に際しての分類の数)	2.20	1.85	0.85
快適性	・蚊、ハエの発生が少ない	2.70	2.24	0.68	平均	2.22	2.13	0.64
	・トイレやその周辺のおいが少ない	2.70	2.36	0.57	・ゴミの保管に場所をとらない	2.29	2.00	0.76
	・住居周辺の水路のおいが景観に問題がない	2.46	2.20	0.66	・ゴミの保管中、においがしない	2.56	1.83	1.00
	・住居周辺で音(浄化槽のポンプ音など)がしない	2.20	2.24	0.56	・ゴミ収集場所が衛生的に保たれている	2.49	1.83	0.93
	平均	2.51	2.26	0.62	・ゴミ収集場所の景観が見苦しくない	2.20	1.75	0.92
公益性	・お住まいのまち周辺の川や池の水を汚さないこと	2.82	1.89	1.05	・出されたゴミがガラスや缶に汚染されない	2.50	1.62	1.15
	・水洗トイレなどに、処理水を再利用すること	2.44	1.62	1.12	平均	2.41	1.81	0.95
	・水の無駄使い(水洗トイレなどの)にならないこと	2.39	1.70	1.03	・焼却処分によって大気が汚染されないこと	2.83	1.61	1.31
	平均	2.55	1.74	1.07	・最終処分の埋立によって地下水や海が汚染されないこと	2.80	1.51	1.39
公益性					・最終処分のために山の谷間や海面が汚染されないこと	2.54	1.44	1.32
					・分別やリサイクルによって資源を有効に使うこと	2.70	1.60	1.26
					・ゴミ焼却発電によってエネルギーを回収すること	2.52	1.43	1.31
	平均				平均	2.68	1.52	1.32

なお、市民意識調査の概要、回答者属性については、末尾に掲載している(注1)。

2.2 排水及びごみ処理における市民意識の比較：市民は何を重視し現状をどう考えているか？

市民の排水及びゴミ処理に対する意識の階層構造を整理するために、新規に処理システムを選択する場合、何を重視し(重要度)、それに対して現状はどうか(満足度)を問うた(表1)。質問項目は、利便性(排水3、ゴミ4項目)・快適性(排水4、ゴミ5項目)・公益性(排水3、ゴミ5項目)について、重要度と満足度を問っている(排水処理で計10項目、ゴミ処理で計14項目)。ここでいう公益性とは、地域や地球にできるだけ負担をかけずに処理することを指している。表中の重要度・満足度の点数は、質問項目ごとの回答(0～3点)の平均値である。不満度については、以下の式によって算出したものである。つまり、重要度が高く満足度の低い項目については、高い点数となる。

$$\text{不満度} = (3 - \text{満足度}) / 3 \times \text{重要度} \quad (1)$$

また、表2は、排水処理形態と重要度・満足度・不満度の関係を示している。なお、“*”は有意水準を0.05としたウェルチの検定で棄却され、全体平均値と有意な差があるとみなされた値である。

表1を見ると、排水処理の重要度では、3つの性質ともほぼ近い点数となっているのに対し、ゴミ処理は公益性の重要度が高いことがわかる。ここは、不満度も高いことから、リサイクルやダイオキシン問題、産業廃棄物処分場など、ゴミ処理の公益性に関わる近年のマスコミ報道による関心の高さが反映されていると推測される。その反面、ゴミ処理における利便性に対する

図2 ディスポーザーの導入意向

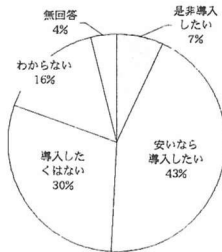


表2 排水処理に関する重要度・満足度・不満度

排水方式	重要度			満足度			不満度		
	利便性	快適性	公益性	利便性	快適性	公益性	利便性	快適性	公益性
下水道	2.57	2.51	2.54	*2.58	2.42	1.78	0.36	0.49	1.03
合併浄化槽	2.45	2.51	2.60	2.39	2.29	1.97	0.50	0.59	0.90
単独浄化槽	2.48	2.48	2.55	2.03	*2.01	1.72	0.80	0.82	1.09
簡易水洗	2.35	*2.27	2.39	*1.38	*1.69	*1.36	1.27	0.99	1.30
非水洗	*2.35	2.58	2.59	*1.69	*1.65	1.52	1.03	1.16	1.28
全体平均	2.53	2.51	2.55	2.38	2.26	1.74	0.52	0.62	1.07

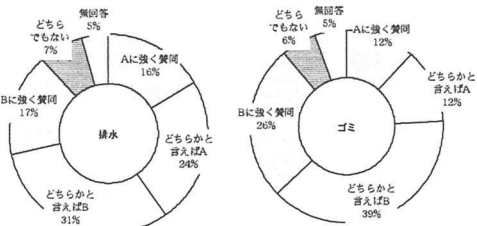


図1 ①A,Bのどちらに進むべきか

A：排水やゴミ対策には、技術の発展が必要である
B：対策には、個々の生活を変えていくべきだ

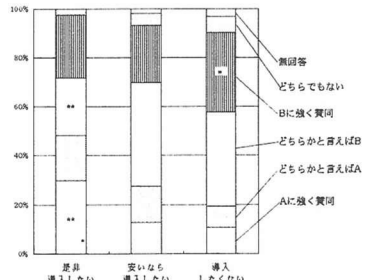


図3 ディスポーザー導入意志と①のゴミ処理に関する方向性とクロス集計

重要度・不満度は低い。その一方で、ゴミ処理に関わる快適性に対する重要度、不満度は比較的高い。ここは、生ゴミと密接な関係のある部分であるが、排水処理の中でも、全く個人レベルでの維持管理が不要である下水道の快適性に対する不満度(表2)と比較すると、その差は顕著である。

なお、ゴミ処理における収集形態の違いは、あまり影響がない結果となった。

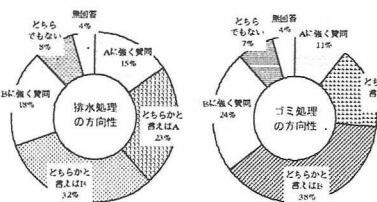


図4 ②A, Bのどちらに進むべきか
A: 処理方法は合理化して目に触れなくてすむようにすべきだ

2.4 今後の排水及びゴミ処理の方向性に関する市民の意識

今後の排水及びゴミ処理の方向性として、本調査では2つの設問を用意した。すなわち、①技術の高度化に頼るべきか/排出者の努力が重要か、②処理の合理化を進めるべきか/排出者の手を煩わすことを重視すべきか、という問いである。

まず①の視点であるが、排水処理よりもゴミの処理において、ライフスタイルの改善を重視する方向に進むべきと考えている人が多い(図1)。ここで、ゴミ対策における技術重視の方向の一つとしてのディスポーザー導入意向と、ゴミ処理の方向性に対する回答結果との関係を見る。まず、ディスポーザーの導入意向(注2)であるが、図2のように、約半数の回答者が導入意向があると答えている。この結果と図1のゴミ処理のクロス集計を見ると(図3)、ディスポーザーの導入を望む人ほど、①の問いでは技術に頼るべきと答えた割合が大きい結果となっている。

次いで、②の視点についてであるが、排水処理よりもゴミ処理の方が、手間のかかる方に進むべきと答えた人が圧倒的に多い結果が出ていた(図4)。ゴミ処理の方向性に関して調査対象地域別に見ると(図5)、多分別自治体である水俣市(注1,表7)は他の地域と比べて、排出者の手を煩わせることを重視し、環境意識を高めるべきとの回答者が多く、合理化せよとの意見は少数派であることがわかる。年齢階層別では(図6)、高齢層ほど、ゴミ処理を合理化するべきと答えた人が多い。この後の高齢化社会の到来を考えると、これも重要な示唆といえよう。

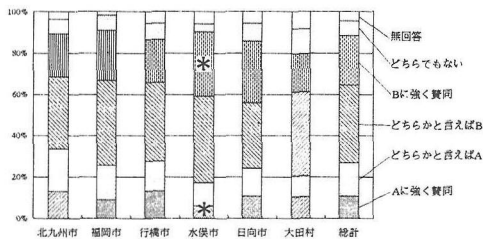


図5 居住地(市町村)と②のゴミ処理の方向性とのクロス集計

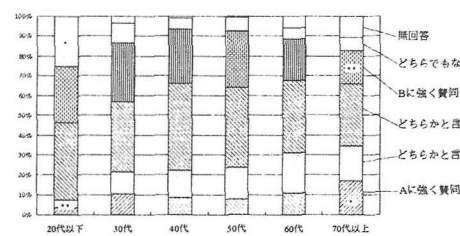


図6 年齢と②のゴミ処理の方向性とのクロス集計

3. 排水及び廃棄物処理システムの統合的環境負荷分析：ディスポーザーの例

3.1 生ゴミ(有機ゴミ)の処理・資源循環シナリオの整理

現在実証もしくは稼働中の技術について、その評価を整理したものが表3である。有機ゴミに特化した技術だけでなく、可燃物全体を対象とした新たな処理技術についても整理した。これらの要素技術または技術システムの有効性を評価するためには、コスト面や直接的な環境負荷の増減だけでなく、間接的環境負荷や社会的受容性、副産物の需要など、様々な因子が絡む。

本章では、評価例として、排水及び廃棄物処理システムの接点に位置するディスポーザーを対象として、そのライフサイクル環境負荷評価を試みる。

3.2 分析の対象及び方法

ディスポーザーを導入したシステムは、生ゴミ破砕器、排水配管、脱水・分離装置、排水処理システム、発酵処理システムから構成される⁶⁾。この利点は、腐敗の原因ともなる生ごみを家庭系廃棄物から分別す

ることによって、生活環境を衛生的に保つことができることにある。また、現在単体で動いているシステムを複合させること（例えば産業クラスター）がゼロエミッション構想のポイントとされるが、ディスポーザーもこれまで相互に分離独立であった排水と廃棄物の処理プロセスを結合あるいは統合する試みとして注目に値する。

そこで、新システムの評価をするために、図7のシステム全体及びこの範囲に該当する既存のシステムを分析対象として設定する。ただし、資源ごみの処理過程や、下水からのエネルギー回収についてはここでは分析対象外とする。なお、既存システムの評価対象としては福岡市のケース^{7,8)}を想定し、処理対象人口で除することにより、1人当たりの値で比較するものとする。

ILCAの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、廃棄ステージは対象外とする。建設重機や設備は、その製造段階も含めることになる。インフラ施設のような複合的な構造物の場合、全ての資材や工法に関して積み上げることは困難である。そのためにマイ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。

各評価指標の、誘発分を含んだ環境負荷原単位としては、産業連関表407部門表から算出されたエネルギー、CO₂、SO_x、NO_x、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¹²⁾。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

表3 有機ごみ処理シナリオの長所・短所

処理方法	長 所	短 所
現行（焼却焼灰化）	- ごみの減容化による埋立空間の節約に効果が大い。 - 電力消費の増大と発電所の立地確保、地球温暖化防止などの環境保全の必要性等から、ごみ焼却熱から回収したエネルギーを用いて最大限の発電を行って電力会社に売却することが可能。	- 煙突から排出するばいじん、窒素酸化物、揮発性ガスや水素臭気などによる大気汚染、焼却灰を冷却した排水による公共水域の水質汚染、ごみピット及び搬入車による悪臭への対応が必要である。 - 焼却過程において、発がん性物質であるダイオキシンが発生する。 - 現在では、埋立地の確保が困難で、焼却灰の処分が困難である。また、ごみの主成分が動植物で工業製品などが少ない場合には、埋立処分でも問題ないが現在ではごみが多様化しており、土壌汚染、水質汚染などの公害が考えられる。
ディスポーザー	- 家庭ごみから生ごみを分離させ、ごみの減量化並びにごみの収集・運搬の効率化、さらに資源ごみの再利用の促進などごみ処理の合理化を図ることが可能である。 - 高齢化社会に向けた利便性の高い衛生的なシステムである。	汚水処理施設への負荷量の増大や、配管のつまりなどの問題、下水処理場や合併処理浄化槽などの汚水処理施設に導入した場合の処理機能への影響が考えられる。
有機ごみ処理施設	ごみの収集が行われない生ごみの処理、あるいは生ごみの減容化処理と併用すること、生成した有機肥料の活用方法を考える必要がある。	処理する生ごみの量と容器の大きさや、配管のつまりなどの問題、下水処理場や合併処理浄化槽などの汚水処理施設に導入した場合の処理機能への影響が考えられる。
家庭でのコンポスト化	業者が収集するごみの量を減らすことができる。手間がかからない。	- 悪臭、ウジが発生する。 - 集合住宅での使用は困難である。 - 生成した有機肥料の活用方法を考える必要がある。
大規模資源堆肥化	資源の有効利用、農家への有機肥料の提供という面で評価され、野草や、もみ殻の農業廃棄物や、し尿を合わせてコンポスト化されるケースが多い。	良質なコンポストを生産するには、プラスチック製やガラス製など不燃物をできるだけ分別することが必要で、これを達成し続けることによって行うのはコストが高くなり不経済である。
家庭用肥料	- 生ごみのコンポスト化をすすめる上において、一旦は家庭での肥料と併用し、その上で堆肥化を行うということで利便性が高い。 - 肥料の多くを輸入に頼っている我が国では、生ごみの肥料化が重要な役割を担っている。	- 腐った生ごみでは、肥料として使えない。 - 農産物の肥料として利用したい場合、このシステムの稼働性に問題がある。
可燃ごみ全体に開く技術	RDF	- 焼却行程がなく、公害の心配がない。焼却場に比べコンクリートな施設がコスト面でも有利といった特徴がある。 - 固形化された燃料は一度乾燥させるため、熱エネルギーの回収率が低い。 - 最終処分場の延命化及び二次災害の防止につながる。 - スラック（焼却灰を燃点以上の温度で加熱処理したもの）は土木、建築材料として再利用が可能である。
溶融固化	- 最終処分場の延命化及び二次災害の防止につながる。 - スラック（焼却灰を燃点以上の温度で加熱処理したもの）は土木、建築材料として再利用が可能である。	- 製造したRDFを使用する際の設備が必要である。 - 不燃物の処理が必要である。 - 多大なエネルギーを必要とする。 - 処理中は非常に高温であるため溶融炉の耐火材の消耗、電機やハーネスなどの消耗、そして溶融炉や低温金属塊が高温に加熱されることによって溶融炉内となって再燃するので再びそれを燃焼する排ガス処理設備が必要になるとともに、その溶融炉内を別の方法で処理しなければならないといった懸念を抱えている。

(出所) 文献4)、5) などより著作作成

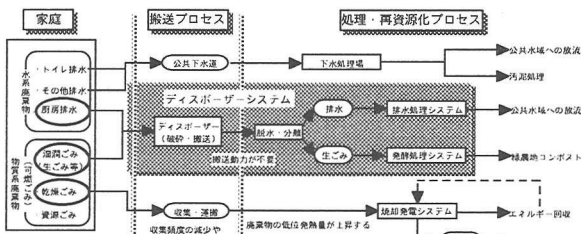


図7 ディスポーザーを導入した場合の処理システム

表4 計算に使用した物量単位の原単位例

	エネルギー	CO ₂	SO _x	NO _x	水消費	BOD	COD	T-N	T-P	埋立廃棄物
	単位	kg-C	kg-SO ₂	kg-NO _x	リットル	g-BOD	g-COD	g-N	g-P	kg
水道	キログラム	2.843	0.141	1.650	0.569	1,003.174	0.082	0.105	0.087	0.542
電力	MWh	4,009.513	123.553	38.022	395.284	223.460	5.672	6.552	5.476	0.724
軽油	キログラム	10,093.346	778.354	6,201.601	20,007.467	1,317.724	40.574	98.345	11.791	0.875
灯油	キログラム	9,371.305	719.753	1,932.899	9,532.568	695.195	21.406	51.884	6.221	0.462
A重油	キログラム	9,746.450	764.263	2,933.508	12,800.017	658.533	20.277	49.148	5.893	0.437
苛性ソーダ	t	3,593.058	249.822	1,153.885	1,113.986	17,343.126	1,906.970	1,332.847	334.941	3,417.501
消石灰	t	299.795	26.480	87.430	167.086	2,649.623	10.623	4.243	70.954	1.889
硫酸	t	1,653.869	13.950	54.357	68.437	3,514.605	91.960	139.957	122.783	5.261
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
コンクリート	t	1,714.446	27.082	44.759	235.175	241.845	3.043	3.124	6.066	0.249
鋼材	t	4,248.111	393.072	975.967	1,149.513	13,891.100	274.764	169.477	164.797	16.073
ガス	キログラム	11.130	0.610	2.169	3.314	1.497	0.044	0.053	0.036	0.005

(出所) ①埼玉大学外周による

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¹⁰⁾

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、1997¹¹⁾

④流域下水処理施設総合計画調査・設計と解説、日本下水道協会、平成5年

⑤、⑥、⑦については参考文献9)の表に示すように整理である

を用いて適宜換算する（表4）。

ディスポーザースystemを集合住宅やニュータウンへ導入した場合を想定してLCAを実行する。ディスポーザーからの生ゴミを含んだ排水の処理については、コミュニティ単位で処理する方式とそのままだ下水道に流す方式が考えられるが、ここでは前者を前提としている。そこで、ニュータウン開発計画を元に3段階の整備規模を設定し、処理人口や処理量に応じた排水浄化施設や機器を選定することとする（表5）。これにより、整備規模に応じた採用施設・機器の違いによる比較を行う。

		大規模	中規模	小規模
整備対象人口	人	18,000	2,000	800
1人あたり人口	人	3.75	3.75	3.75
整備対象戸数	戸	4,800	532	180
全戸数	戸	40	4	1
1人あたり排水量	m ³ /日	45	5	2
排水処理能力	m ³ /日	330,000	2,660	13,200
排水処理率	%	128	128	128
排水処理施設設置数	台	3,720	342	40
1人あたり排水処理量	m ³ /日	270	270	270
1人あたり排水処理量	m ³ /日	9	9	9
1人あたり排水処理量	m ³ /日	24.6	24.6	24.6
排水処理能力	m ³ /日	4,800	540	180
排水処理能力	m ³ /日	788,400	87,600	28,800
排水処理能力	m ³ /日	4,017/h×1台	2,287/h×1台	2,287/h×1台
排水処理能力	m ³ /日	500人×9台	300人×3台	100人×1台
排水処理能力	m ³ /日	5,000kg×9台	3,000kg×3台	1,000kg×1台

表5 整備規模の設定条件

3.3 ライフサイクルインベントリー分析

評価指標として、エネルギー消費量、CO₂、SO_x、NO_x、水消費量、BOD、COD、T-N、T-P、埋立廃棄物の10項目を取り上げた、ライフサイクルインベントリー分析の試算結果を図8に示す。図中に表示しているケースは、表9のうちの中規模を除いた、大小2つの規模のディスポーザー導入ケースと、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¹⁴⁾と言われるが、これを排水処理システムによって汚濁負荷削減後の処理水によってまかなう「雑用水導入ケース」である。

エネルギーについては、急速コンポスト化のためのエネルギー消費が影響して、ディスポーザー導入ケースが大きくなっている。SO_x、NO_xは、焼却処理されていた生ゴミをコンポスト処理することによって、焼却時の直接排出量の削減効果が大きい。その結果、トータルの比較では、大規模ケースの排出量は現状よりも小さくなっている。水消費に関しては、単にディスポーザーを導入するよりも、雑用水を利用した場合、かなりの削減が可能となる。また水系の汚濁物質では、ゴミ焼却量の減少により、苛性ソーダの使用量が削減され、リンの排出量が減少している。

どの指標にも共通して言えることは小規模よりも大規模の方が負荷量が小さく、スケールメリットが読み取れる。

3.4 環境インパクトカテゴリーへの指標の統合化

ここでは、図8の各環境負荷項目を、ある程度の環境問題の領域に集約する。つまり、LCAにおけるインパクトアセスメント（影響分析）のうちの、Classification（分類）の段階の作業である。インパクトカテゴリー内の重み付けには、既報の文献より下式のような方法を用いる。

$$\text{酸性化ポテンシャル (AP)}^{13)} : AP = SO_x + 0.7 \times NO_x$$

$$\text{大気汚染}^{13)} : SO_x \times 1 + NO_x \times 1.4$$

$$\text{水質汚濁 (全酸素要求量)}^{14)} : TOD = 3 \times COD + (T-N \times 19.7 + T-P \times 143) / 2$$

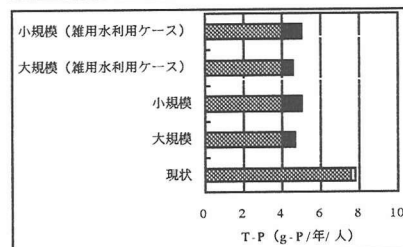
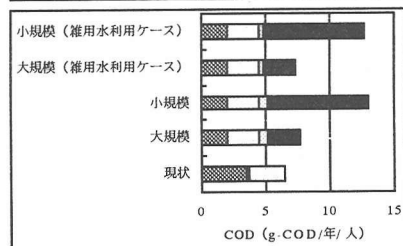
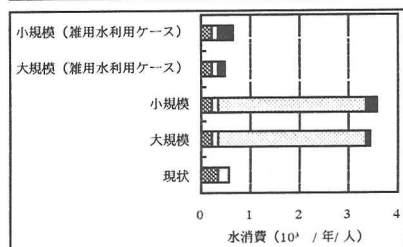
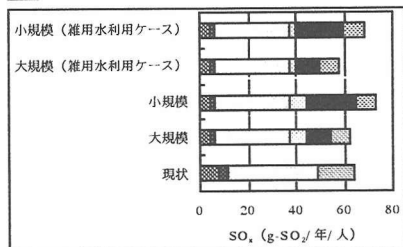
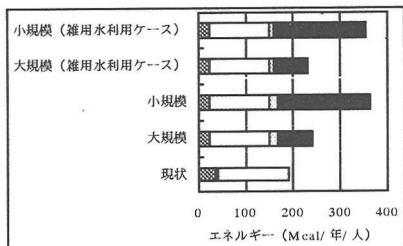
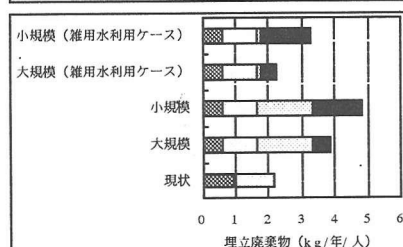
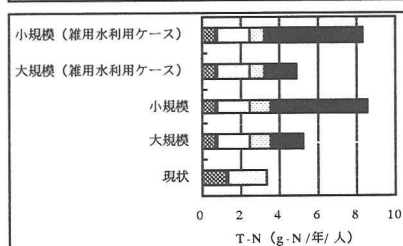
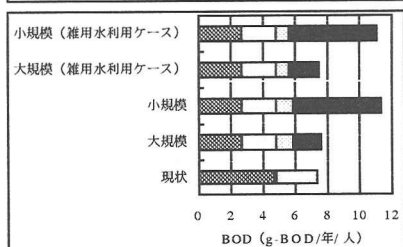
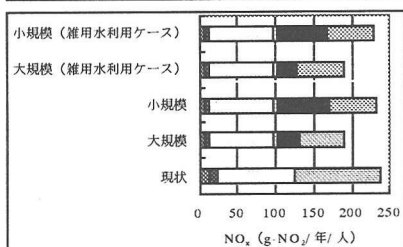
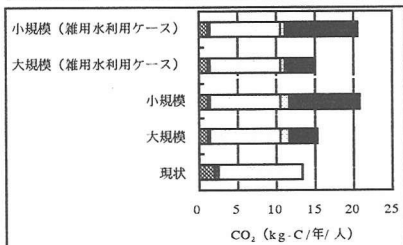
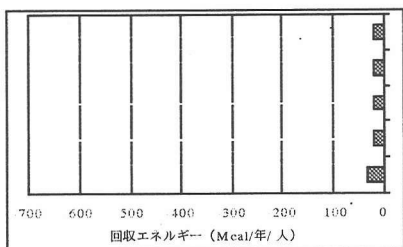
水質汚濁指標については環境基準の逆数で等価換算する方法もあるが、ここでは、全酸素要求量を採用した。また、エネルギー枯渇（エネルギー消費）、地球温暖化（CO₂）、廃棄物処理（埋立廃棄物）及び水消費については、図8のインベントリー分析の結果をそのまま用いる。

こうして求めた結果が図9のレーダーチャートである。これは、各規模別（表5）の、雑用水使用ケースにおけるイニシャル及びランニング段階のインパクトと、その合計を示している。これによると、ランニング段階では、エネルギー、地球温暖化、廃棄物処理を除く全てのインパクトカテゴリーにおいて現状よりも環境インパクトが削減されている。また、合計を見ても、その3つ以外は、現状とほぼ同様に下回っている。水質汚濁については、新システムにおけるリンの削減の効果で、現状値を下回る結果となった。

3.5 LCAとしての残された課題

インパクトアセスメントとして完成させるためには、図9の各カテゴリー間の重み付けを試みるか、「カテゴリーエンドポイント」や「影響の行き着く先（守るべき環境：Safeguard Subject）」¹⁵⁾を設定し、やはりそこまでの影響の重み付けと統合化を検討する必要がある。また、インベントリー分析とインパクトアセスメントの結果に基づき解釈（interpretation）を加えることも必要であるが、これについては次章で検討する。

ここでは、ディスポーザーのインベントリー分析において残されている課題として2点挙げる。まず第



- 一般廃棄物処理システム (焼却施設)
- 一般廃棄物処理システム (焼却施設以外)
- 下水道システム
- ディスポーザーシステム (ディスポーザー機器)
- ディスポーザーシステム (ディスポーザー機器以外)
- 焼却による直接排出

図8 ライフサイクルインベントリー分析の試算結果

一に、処理方式のシナリオを増やして、各シナリオごとの厳密な比較をすることである。ディスポーザーと下水道の関係については、①そのまま下水道に放流するタイプ、②下水道への排水基準以下まで浄化槽で処理した後、下水道に放流するタイプ、さらに③自然界への排水基準以下まで浄化槽で処理した後、直接自然界に放流するタイプが考えられる。今回は、処理レベルの厳密な設定を行っていないが、③のタイプを前提としている。これに関して、排水処理レベルや配管の長さなど、ある程度厳密に設定して、3タイプの比較評価を行う必要がある。また、分流式と合流式の違いを考慮した評価や、下水道未整備地域（合併浄化槽）への導入を前提とした評価も必要である。さらに、有機資源の再利用法についても、コンポスト製造方法の違いや、他の再資源化法へと評価を拡大していく必要があろう。

第二に、普及に関する時間概念と面的概念の導入である。今回の試算は、全ての施設・機器において、新規建設・新規導入を前提としているが、現実の都市への導入を考える場合、新設住宅への導入と既存住宅へのレトロフィットの比較も必要である。そのためには、新システムへの移行期の評価や、それに伴う最適な移行シナリオの検討も重要なテーマである。

4. 総合評価手法の提案と分析の枠組み

ここでは、LCAの結果をシステム評価にどう結びつけるかを考察し、その評価手法の提案及び分析の枠組み、必要なデータ等に関して試論を述べる。

図10のように、排水・ゴミ処理システムと資源再生システム全体を1つの大きなシステムと捉えと、最終廃棄分及び再生資源も含めて、そのシステム全体のinputとoutputを評価することができる。このシステム内に新しい要素技術または技術システムを導入した場合、都市生活に関連した資源循環の構造を大きく変化させることになるが、排水とゴミを統合し、また廃棄過程全体を評価することで、いくつかの指標のもと既存システム等と比較することが可能となる。

ここで、環境効率（Eco-Efficiency）を考える。これは同じ機能・役割を果たす財・サービスの生産の比較の際、それに伴う環境負荷が小さいほど効率性が高いという概念または指標である^{16),17)}。本論におけるサービスとは、発生源（排出者）から発生した環境負荷を削減することである。そこで、下式に従って考察する。

$$\text{環境効率} = \text{環境効果} / \text{環境負荷} \quad (2)$$

ここで環境効果とは、環境負荷削減量（ $\Sigma(W_i - F)$ ）である。一方、分母の環境負荷についてはライフサイクルで評価することが必要であり、本章で試算したような分析が有効で

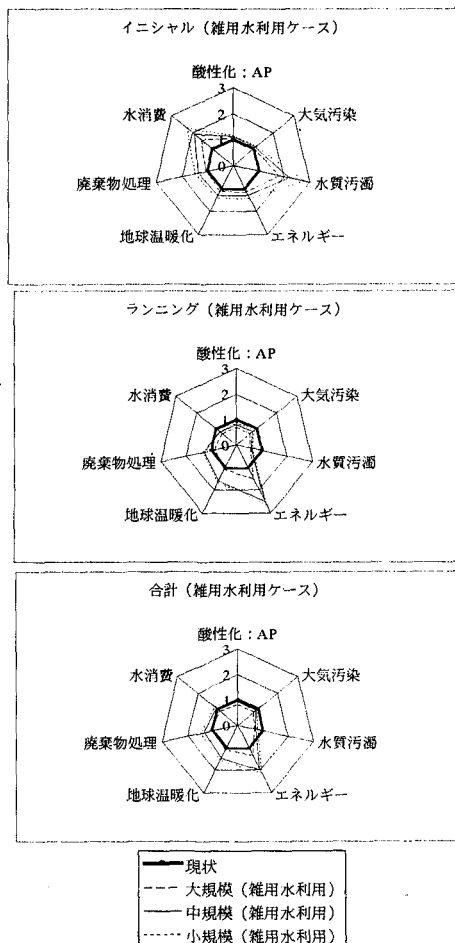


図9 インパクトカテゴリーによる比較

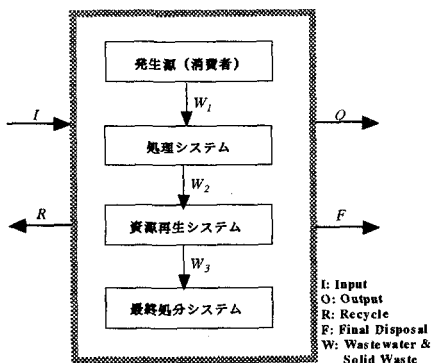


図10 排水及び廃棄物処理の統合モデル

ある。その上で、環境効率を高める要素としては、環境負荷量 ($\Sigma O + \Sigma F$) の削減、資源投入量 (ΣI) の削減、資源循環量 (ΣR) の拡大である。異なる指標の統合がすめば、(2) 式により総合環境効率を算出することができるし、指標の集約を放棄して、複数の制約条件のもとで環境効率を最大化するような線形計画問題として扱うことも可能である。

また、冒頭でも述べたが、新システムにより、家庭からの排出物の処理過程におけるマテリアルフローが大きく変わる可能性がある。例えば、炭素分を考えても、焼却されて大気中に排出されていたものが、水域に放出されたり、コンポストに取り込まれることもある。そこで、図10の範囲で、特定の元素分に着目して、その流れを追うことも重要である。

以上は、物理的な評価であるが、新しい技術システムを導入すると、生活者の利便性等、心理的な要素にも大きく影響する。新しい技術システムは、ユーザーフレンドリーで市民の生活感覚に合致し、しかも総合的に見て環境負荷の低減、環境にやさしい生活の実現に貢献するものでなければならないが、そのための評価法は、物理的な指標のみでは表せない。例えば、ディスポーザーは、利用者、特に集合住宅に住む高齢者には多大な便益を生む。しかし、物理的な評価のみでは評価できない。

このような視点から、費用便益的な分析の枠組みを用意する必要がある。試算のフレームとしては以下のように定式化できる^{(18),(19)}。

$$NPV (\text{純現在便益}) = Bd + Be - Cd - Ce \quad (3)$$

ここで、Bd (直接的便益): 資源回収

Be (外部経済効果): 環境改善効果、利用者の享受する利便性・快適性

Cd (直接的費用): 建設・維持管理費用

Ce (外部不経済効果): 環境負荷による影響

ここにリストアップされている全ての項目について金額表示で評価を行うことができれば、費用便益分析が可能となる。そのために必要となるデータ収集に向けた課題を、以下に整理する。

- (1) 資源回収: 新システム導入後のライフスタイルの変化と資源循環効果を考慮しなければならない。
- (2) 利用者への外部効果: 利用者に対するアンケート調査。環境価値の経済評価手法を応用できるが、多属性評価が可能なコンジョイント分析²⁰⁾ が利用できよう。
- (3) 環境改善効果、環境負荷による影響の貨幣換算: 代替法 (RCM) や仮想評価法 (CVM) を適用することが必要となる。

ここで提示したのは、システム評価の1つの試論であるが、第2章で行ったような利用者への意識調査^(注2)とも結合させつつ、循環型社会の理念に基づいて実現すべき技術システム、社会システムのあり方を議論するための土台として、今後、具体的な分析を進めていかなければならない。

5. 結言: 統合的評価の視点

本論文では、これまで別々に扱われてきた都市の排水処理システムと廃棄物処理システムを統合的に扱うことを、いくつかの視点から試みた。その前段として、まず生ゴミを中心に、市民が排水及び廃棄物処理システムに対して抱いている認識を分析した。次に、厨芥ゴミを中心としたゴミ処理技術・システムの課題整理を行った後、排水処理と廃棄物処理の接点に位置するディスポーザーを対象としたLCAを実行した。

今後、統合的評価としての研究の深度及び包括度を高めるために必要となる研究を、以下にまとめる (図11)。

第一に、排水・廃棄物処理システムに関わる資源循環構造全体をLCAの網にかけることである。そのためには、表7の整理を含めた要素技術・技術システム全体のLCA研究を蓄積することが必要となる。また、それぞれの技術に関して、資源循環にどのような変化が生じるのか、環境負荷や資源循環も含めて全ての物質について網羅的にデータを集計できれば、式(2)の環境効率による総合的な評価が可能となる。

この第一の課題について、当面は家庭系に絞った研究として進めることになるが、次のステップとしては、家庭系と事

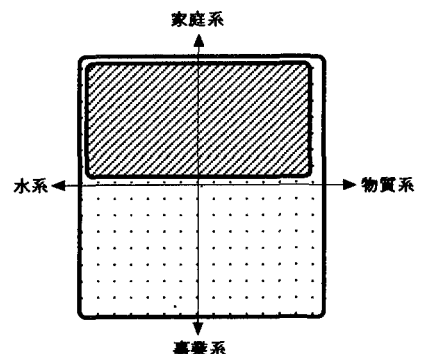


図11 統合のイメージ

業系の統合評価を研究ターゲットに据えるべきである。現在のところ、様々な規制や法律等の枠組みによって、一部事業系も含めた生活系廃棄物の処理は自治体の固有事務として市町村が担っているが、経済効率及び環境効率を重視した場合それが適切なのかどうか、改めて評価に付ける必要がある。これが第二の課題である。

例えば、近年相次いで法制化されている容器包装リサイクル法、家電リサイクル法などでは、すでに家庭から排出されるごみは全て自治体の業務との考えから脱却している。また、冒頭で触れた北九州市のエコタウン事業の計画によると、ペットボトル、家電・電子機器、自動車、有機資源、プラスチック、ガラスを対象品目として、資源リサイクル産業の一大集積をねらっているが、公共セクターと民間セクターの役割分担という意味では、既に従来の枠組みを逸脱している。つまり公共側の関与は、補助金以外は企業間の触媒的な役割に徹しており、基本的には民間の技術と効率性を最大限に活用する方向である。これは、環境産業による新たな産業及び雇用の創生としても今後の大きな潮流といえる。

これに関連して、最後にディスポーザーに関連した新たな技術開発に触れておきたい。ディスポーザーに関しては、厨芥ゴミを含んだ排水を処理する段階で乳酸を取り出し、生分解性プラスチック製造の原料にすることが、著者らも参加したプロジェクトにおいて検討されている^(注3)。まだ実験室レベルの試算段階ではあるが、人口100万人規模の都市において、家庭及び事業系から排出される生ゴミから最大年間16,000トンの乳酸生産が潜在的に可能とされる。国際的競争力を持つための国際価格を100円/kgとすると、6,000トン/年の生産規模があれば競争できると試算されている⁽²⁾。つまり、このシステムが実現すると、これまで下水処理への負荷を増大させるために規制されてきたディスポーザーが、資源循環産業への原料提供装置へと転換されることになる。このアイデアには、水系と物質系、家庭系と業務系といった垣根はなく、両者は1つの統合的なシステムとなっている。また、排水及び廃棄物処理の技術システムだけでなく、現行の法制度や規制も循環型社会に最適なかたちとは言えず、改善が求められている。循環型社会構築をめざした研究や技術開発のためは、現行のシステムにとらわれないことが肝要と言える。

注 釈

1) 調査概要及び調査対象地域

アンケートの調査概要は表6の通りである。また、表7は調査地域別の配布数及び回答率、さらに、各調査対象自治体毎の排水及びゴミ処理システムの特性を示している。このように、調査地域の選定にあたっては、さまざまな特性の処理形態がそろうことを考慮に入れた。図12は、調査対象世帯の排水処理方式の内訳である。

なお、回答者属性として、性別、年齢、家族数、高齢者居住の有無、世帯の年収、居住地域について質問しているが、本文で引用しているクロス集計以外、属性による有意な差は得られていない。

2) ディスポーザーの導入意向

図2のディスポーザーの導入意向については、回答者に、ディスポーザーを導入した場合、表8のような影響があることを説明したうえで尋ねている。

3) 科学技術庁平成10～12年度科学技術振興調整費

表 6 調査の概要

調査名	家庭のゴミと生活排水の処理に関する生活意識調査
実施方法	郵送及び郵便受けへの投函(北九州、福岡市各160通)による方法
標本抽出方法	無作為抽出(郵送は電話帳から)
調査期間	平成11年1月下旬～2月上旬
調査内容	1.排水処理方式、料金について 2.排水処理に対する重要度・満足度 3.ゴミ処理の方式、収集場所までの距離 4.ゴミ処理に対する重要度・満足度、ゴミ収集の恩恵 5.これからの処理の方向性 6.Face Sheet、経費、ライフスタイル

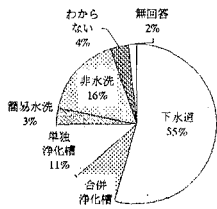


図12 調査対象地域の排水処理方式内訳

表 7 調査地域の特徴と配布数・回収率

調査地域	全配布数	回収数	回答率	下水道普及率	特 徴
福岡県北九州市	640	340	53%	96%	大都市、ゴミの収集はステーション方式
福岡県福岡市	640	302	47%	98%	大都市、ゴミの収集は各住宅の玄関前
福岡県行橋市	288	167	58%	9%	下水道普及率が低い、北九州市のベッドタウン
熊本県水俣市	298	161	54%	33%	ゴミの分別数が多い(21分別)
宮崎県日向市	293	140	48%	37%	ゴミの処理場への直接搬入が多い(3～4割)
大分県大田村	99	59	60%		自治体によるゴミ収集サービスが最近はじまった
全体	2,258	1,169	52%		

表 8 ディスポーザーと利便性、快適性、公益性の関係

利便面	生ゴミを台所の排水口から流すだけですむので、便利になる
快適面	生ゴミがなくなるので、ゴミから汚水がたれず、においも少なくなる
公益面	生ゴミを排水と一緒に流すので、川や海を汚さないための処理施設が必要になる

生活・社会基盤研究による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」

謝 辞

本研究は、科学技術庁の平成10年度科学技術振興調整費による「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。

参考文献

- 1) 北九州環境局・経済局：平成9年度 北九州エコタウンプラン実施計画策定調査，平成9年度
- 2) 福岡市環境局管理部計画課：家庭系可燃性ごみ排出実体調査報告書，1996
- 3) 松本 亨，井村秀文：都市インフラ整備のLCA，クリーンエネルギー，第7巻第1号，pp.37-45，1998
- 4) 脇坂宣尚：日本のゴミ問題，中央法規，1995
- 5) 押田勇雄：都市のゴミ循環，日本放送出版協会，1985
- 6) 岩淵 省，松本 亨，井村秀文：水系管路輸送を用いた都市生活廃棄物及び排水の統合処理システムのLCA的評価，環境システム研究 第26巻，pp.397-404，1998
- 7) 井村秀文，銭谷賢治，中嶋芳紀，森下兼年，池田秀昭：下水道システムのライフサイクルアセスメント：LCE及びLC-CO₂による評価，土木学会論文集，No.552/VII-1，pp.75-84，1996
- 8) 井村秀文，中嶋芳紀，森下兼年，前田利家：一般廃棄物処理システムのライフサイクルアセスメントに関する研究－エネルギーを指標として－，環境システム研究，Vol.23，pp.261-268，1995
- 9) 城戸由能：LCAのための基礎データ，科研費基盤研究(A)(1)「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」報告書（印刷中），1999
- 10) 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
- 11) 鶴巻峰夫，野池達也：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
- 12) 楊 新泌，国安克彦，大森英昭：デイスポージャーによる生活廃棄物の合理化，月刊生活排水，pp.1-15，1997
- 13) 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
- 14) 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
- 15) 寺園 淳，森口祐一，松橋啓一：インパクトアセスメントにおける「環境問題領域」と「影響の行き着く先」の検討，環境科学会 1998 年会講演要旨集，pp.138-139，1998
- 16) OECD: Eco-Efficiency, 86pp., 1998
- 17) 環境庁：環境白書 総論 平成10年版，平成10年度
- 18) 長谷川弘：環境経済アセスメント－環境保全と経済発展の接点を求めて－，東京出版株式会社，1998
- 19) 劉 庭秀，安田八十五：一般廃棄物を用いた固形燃料化システムの有効性評価－エネルギー回収における環境負荷と社会的費用便益分析－，廃棄物学会論文誌，Vol.10，NO.2，pp.67-76，1999
- 20) 栗山浩一，石井 寛：リサイクル商品の環境価値と市場競争力－コンジョイント分析による評価－，環境科学会誌，Vol.12，NO.1，pp.17-26，1999
- 21) 白井義人ら：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」，平成10年度科学技術振興調整費生活・社会基盤研究のうちの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」 成果報告書，1999
- 22) 建設省土木研究所下水道部下水道研究室：下水道整備による周辺環境改善効果の評価，土木研究所資料，1998
- 23) デイスポージャーによる生ごみリサイクルシステムの開発：建設省総合技術開発プロジェクト，平成6年度～平成8年度