

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

Life Cycle Assessment on a Integrated Treatment System of Domestic Solid and Liquid Waste
by Watercarriage in Urban Areas

岩渕 省* 松本 亨** 井村秀文**
Akira IWABUCHI*, Tohru MATSUMOTO*, and Hidefumi IMURA*

ABSTRACT; Feasibility on integrated treatment system for food waste recycling is studied through a life cycle assessment. The systems are consisted of disposers, a drainage system, dewatering and separation devices, a swage treatment system, and a fermentation system. Life cycle energy consumption (LCE) of the construction of existing waste treatment facility which includes energy of construction, maintenance and operation is calculated as 282.7 Mcal/person/year. The LCE of the integrated systems are 356.3 - 396.8 Mcal/person/year. The integrated systems present smaller life cycle carbon dioxide emission (LC-CO₂) than that of the existing facility because of reductions of combustible refuses. Introducing the integrated systems in an urban area, the number of laborers for waste collection and transport could be reduced by 30 %, and the LCE would decrease to 45 %. Heating value of combustible refuses at the incineration plant would increase from 2,200 kcal/kg to 2,668 kcal/kg. However, the total heating value would decrease to some extent due to less amount of waste. Only 10 % of compost fertilizer made in the integrated systems could be consumed in the project area. Finding a new market of fertilizer outside of the project areas would be an issue to facilitate recycling of organic resources.

KEYWORD; life cycle assessment(LCA), life cycle energy(LCE), disposer, waste treatment system, sewage system

1. はじめに

都市の建設、都市機能の維持・管理のためには絶えず大量の資材・エネルギーが投入され、その結果として大量の廃棄物が発生している。これに対して、生産プロセスから出る廃棄物を他の分野の原料として活用し、廃棄物を限りなくゼロに近づけることを目指した「ゼロエミッション」の概念を都市活動に対しても適用し、その理想形を模索する議論がある。しかし、そこには、廃棄物の発生量を減らすこと、有効利用をすすめる廃棄物の排出量（最終処分量）を減らすこと以外にも、資源投入量を最小に抑えること、さらには域外における環境負荷誘発量を抑制することをも考慮される必要がある。そのためには、LCA（ライフサイクルアセスメント）の手法を援用することが有効である。また、都市インフラストラクチャーを評価する場合、その社会システムに与える影響が大きいことから、インフラ単体での評価だけでは十分ではなく、その評価対象のシステム境界を可能な限り拡大することも求められている¹⁾。

本研究では、家庭から排出される生ごみに着目し、それをめぐる廃棄物及び排水処理システム全体を分析対象とする。近年、家庭ごみの減量化や分別・リサイクルが進められているが、ここにおいてひとつの問題が露呈してきている。つまり、リサイクルを促進して廃棄物が減少しても、生ごみが廃棄物中に含まれる限り衛生上の問題から回収頻度を減少できないため、分別回収を促進するほど回収作業量が増加するという問題である。廃棄物の収集・搬送に係わる労力・エネルギー投入やコストについても問題視されているが、高齢化社会の到来とともにより一層の労力削減が求められよう。このような課題の解決策を探るためには、既存の廃棄物処理システム・排水処理システムにとらわれない発想も必要になってくると考える。

本研究は、これまで別々に構築されてきた廃棄物と排水処理システムに対して、それらを統合した技術選択のシナリオを提示しようとするものである。具体的には、生ごみを破砕した後、厨房系排水とともに排水管を経由して

* 日本工営株式会社上下水道部 ** 九州大学工学部環境システム科学研究センター

**Urban Water Engineering Dept., Nippon Koei CO.LTD

** Institute of Environmental Systems, Faculty of Engineering, Kyushu University

— 398 —

3. 分析結果

3. 1 ディスポーザーシステム

ここでは、ディスポーザーシステムを集合住宅やニュータウンへ導入したと仮定してLCAを実行する。さらに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ため、ニュータウン開発計画⁷⁾をもとにした3段階の整備規模を設定し、処理人口や処理量に応じた施設や機器を選定することとする(表1)。またモデルとした集合住宅は、福岡市内の一般的な中・高層住宅であり、容積率、生ごみ排出量や処理水量などは既存の文献および福岡市統計書⁸⁾より決定する。

システム導入による、年間1人あたりのエネルギー消費量の算出結果を示す(表2)。ただし、施設の建設や

機器製造に投入されたエネルギー量をイニシャルエネルギー消費量、施設や機器の運転及び維持管理などのメンテナンスに投入されたエネルギー量をランニングエネルギー消費量としている。

結果より、整備規模が大きいくほど1人のエネルギー消費量が小さい傾向にあり、スケールメリットが読みとれる。また排水処理設備については、高度処理浄化槽の設置が容易であるとの条件の下で、都市部へ整備する際の設計にもとづいた評価をした。処理水は公共水域へ放流されると仮定しているが、放流水質のBOD基準(20 mg/ l以下)以外については厳密な設定を行っていない。

発酵処理で対象としたコンポスト製造機器は、生ごみをそのまま投入する業務用生ごみ発酵処理装置である。業務用機器は病院や飲食店に設置されるケースが多く、周辺の衛生状態を良好に保つために、生ごみを急速に処理することを必要としている。効率よく発酵を進めるには、加温用の直接エネルギー消費が多くなるが、ディスポーザーシステムを生活空間内に導入する際も同様の配慮が必要になると仮定した。ただし、実際には、ディスポーザーによって破碎された生ごみの汚泥を処理するため、生ごみを直接投入する機器の原単位を使用することでエネルギー消費を過大に評価していると考えられる。

表1 整備規模の設定条件

		大規模	中規模	小規模
整備対象人口	人	18,000	2,000	600
1世帯あたり人数	人	3.75	3.75	3.75
整備対象戸数	戸	4,800	532	160
全棟数	棟	40	4	1
延べ敷地面積	ha	45	5	2
延べ床面積	m ²	576,000	63,840	19,200
容積率	%	128	128	128
敷設管渠総延長距離	m	3,700	343	40
1人あたり生ごみ排出量	g/人/日	270	270	270
1人あたり増加水量	/人/日	9	9	9
1人あたり厨房用水量	/人/日	34.8	34.8	34.8
生ごみ処理量	kg/日	4,860	540	162
排水処理量	/日	788,400	87,600	26,280
プレス脱水機処理能力		4.0t/h×1台	0.25t/h×1台	0.25t/h×1台
浄化槽容量		500人槽×5槽	300人槽×1槽	100人槽×1槽
発酵装置処理能力		5,000kg×2台	500kg×2台	300kg×1台

表2 ディスポーザーシステム導入によるエネルギー消費量

処理段階		前処理段階		搬送段階		後処理段階			合計
		生ごみ破碎		屋内搬送	屋外搬送	脱水・分離	排水処理	コンポスト化	kcal/人/年
対象施設（設備）		ディスポーザー		屋内排水管	屋外排水管	脱水設備	排水処理設備	発酵処理設備	
大規模整備 対象人口 （人） 18,000	イニシャル	kcal/人/年	7,944	0	3,721	325	7,549	3,548	23,088
	ランニング	kcal/人/年	10,603	2,109	398	10,950	66,988	15,222	106,270
	合計	kcal/人/年	18,547	2,109	4,118	11,275	74,538	18,770	129,357
	割合	%	14.3%	1.6%	3.2%	8.7%	57.6%	14.5%	100%
中規模整備 対象人口 （人） 2,000	イニシャル	kcal/人/年	7,944	0	3,100	1,257	9,674	11,577	33,550
	ランニング	kcal/人/年	10,603	2,109	331	21,270	39,739	47,025	121,077
	合計	kcal/人/年	18,547	2,109	3,431	22,527	49,412	58,602	154,628
	割合	%	12.0%	1.4%	2.2%	14.6%	32.0%	37.9%	100%
小規模整備 対象人口 （人） 600	イニシャル	kcal/人/年	7,944	0	1,207	3,598	16,378	13,307	42,433
	ランニング	kcal/人/年	10,603	2,109	129	25,596	47,241	41,703	127,381
	合計	kcal/人/年	18,547	2,109	1,336	29,193	63,620	55,009	169,814
	割合	%	10.9%	1.2%	0.8%	17.2%	37.5%	32.4%	100%

3. 2 一般廃棄物処理への影響

(1) 家庭系可燃ごみ収集への影響

家庭系可燃ごみには腐敗しやすい生ごみが含まれている。そのため既存の家庭ごみ収集では収集頻度を減らすことができないことは前述した。しかし生ごみをごみ収集から分離することにより、収集頻度や収集量を削減することが可能である。さらにごみ集積場で問題とされている、病虫害や悪臭の発生を防ぎ、衛生的な環境を保つことにもつながる。

福岡市では、週2回の収集によって年間約250,000 tonの家庭系可燃ごみが収集されている⁹⁾。ごみ組成調査(福岡市平成7年度調査)によ

表3 家庭系ごみの組成

平成7年度調査	湿重量比	湿重量
分類	%	kg/人/日
紙類	31%	1.76
プラスチック類	13%	0.77
厨芥類	46%	2.65
繊維類	2%	0.13
金属類	3%	0.19
ガラス類	0%	0.03
その他	4%	0.24
合計	100%	5.77

ると、家庭系可燃ごみに含まれる生ごみは全体の45.95%（湿重量）と、最も割合が大きい（表3）。この生ごみをディスポーザーシステムで処理することは、ごみの収集作業に大きな影響を及ぼす。早朝や夜間の、人力に頼った収集作業の労働負荷軽減にもつながる。

まず現在の収集形態を整理し、ディスポーザーによって生ごみを分別処理したときの収集作業員や投入エネルギー量の削減量を算出する。まず現状の福岡市委託ごみ収集作業のデータをもとに、年間作業日数を313日、収集車の容量を全て6 m³、収集車の搬入回数を2.49回/台/日として試算した。

その結果を表4に示す。福岡市の委託収集に必要とされるのべ作業員の人数は117,375人から80,923人に削減が可能である。エネルギー消費量の面からは、ディスポーザー普及率100%で完全に生ごみが分別され週1回の収集を前提とすると、5割以上の削減が可能となる。

表4 ごみ収集形態の変化

		現状の収集 週2回収集	分別収集 週1回収集	削減率 %
のべ収集車台数	台/年	39,125	26,974	31.1%
のべ作業員数	人/年	117,375	80,923	31.1%
平均収集距離	km/台/日	75	54	27.5%
年間1台あたりエネルギー消費量	TOE/台/年	5.84	3.82	34.5%
年間1台あたり二酸化炭素排出量	T-C/台/年	4.53	2.95	34.8%
年間のべエネルギー消費量	TOE/年	730	329	54.9%
年間のべ二酸化炭素排出量	T-C/年	566	255	55.0%

(2) 焼却処理への影響

可燃ごみから生ごみを除去することは、収集段階のみならず、その後の処理にも影響を及ぼす。生ごみを除いたごみ組成の半分以上が紙類、4分の1がプラスチック類であることから、RDF（ごみ固形化燃料）のようなエネルギー源としての利用も容易となる。

一般に、収集された可燃ごみは、焼却処理された後に埋立処分されているが、一部の清掃工場では焼却処理段階で生じる熱を利用した発電が行われている。福岡市でも焼却熱を利用した蒸気タービン発電により、年間約120,000千kWh規模の発電量があり、その約4割を余剰電力として売電している。

ごみの焼却処理は単純に焼却量のみで決定されるわけではなく、その性状、特に低位発熱量との関連でとらえる必要がある。そこで家庭系可燃ごみから生ごみ除去した後の低位発熱量を次式により算出する。

生ごみ除去後の低位発熱量 (kcal/kg) =
$$\frac{\text{現在の低位発熱量 (kcal/kg)} \times \text{現在の総焼却量 (kg)} - \text{野菜類の発熱原単位 (kcal/kg)} \times \text{厨芥類重量 (kg)}}{\text{生ごみ除去後の焼却量 (kg)}}$$

福岡市のごみ焼却による低位発熱量は2,200 kcal/kg⁹⁾である。ディスポーザーシステムによって家庭系生ごみを除去すると、2,668 kcal/kgまで上昇する。ただし、生ごみの発熱量については不明であることから、野菜類の熱量原単位を利用した。すなわち、生ごみ等に付着した水分を考慮していないことから、実際にはさらに低位発熱量が上昇するはずである。また事業系一般廃棄物の厨芥ごみについては、そのまま焼却するとしている。現実には現状の焼却炉を高カロリーで運転することは難しいため、現状の施設と同等の発熱量回収率を前提として、エネルギー回収量を評価した（表5）。

ごみの低位発熱量は上昇するが、焼却量が減少するために、総発熱量はわずかに減少している。しかし焼却量の減少にともない、清掃工場の運転に使用されている灯油や重油、苛性ソーダなどの消費量が削減できる。さらに、場内で消費される電力も削減されるために、売電電力量も増加する。すなわち運用エネルギーについては、電力会社への逆送電による回収エネルギーが電力、燃料、薬品等の消費エネルギーの合計を上回っている。ただしエネルギー消費に対して、焼却処理の回収エネルギーを負の値としてエネルギー収支を算出している。

表5 ごみ焼却処理段階の運用エネルギー評価

		現状	生ごみ除去後
焼却量	ton/年	603,246	487,225
低位発熱量	kcal/kg	2,200	2,668
総発熱量	TOE	1,32,714	1,29,991
平均発熱量回収率	%	18.4%	18.4%
総発電量	kWh	108,812,260	106,579,372
場内消費電力量	kWh	66,456,340	53,674,886
売電電力量	kWh	42,355,920	52,904,486
エネルギー消費量	TOE	22,640	18,286
エネルギー回収量	TOE	-24,483	-23,980
合計（エネルギー収支）	TOE	-1,843	-5,695
1tonあたりのエネルギー消費量	kcal/ton	-30,548	-116,881

また、家庭系可燃ごみに起因する1人あたりの二酸化炭素排出量は、焼却量の削減によって大きく減少する。清掃工場で排出される二酸化炭素のほとんどは、焼却にともなう直接排出であるが、焼却ごみ中の有機物は、その分解過程において自然の状態でも二酸化炭素を発生する。しかし、清掃工場の運用には点火燃料や補助燃料、苛性ソーダ等が大量に投入されていることから、自然による排出と廃棄物処理による排出を同等に扱うことには問題がある。

分解による二酸化炭素の排出が長期間にわたって徐々に行われていくのに対して、焼却による直接排出は短時間に大量の二酸化炭素を排出するため、その発生量が環境に与える影響が大きい。そのため、ここでは直接排出される量も焼却処理段階の二酸化炭素排出量に含めた。なお廃棄物焼却による二酸化炭素排出原単位については、生ごみの分別処理によって低位発熱量が大きく変化することから、発熱量ベースの排出原単位を用いた。

なお、施設の建設におけるエネルギー消費量については、福岡市を対象とした既存のLCA研究¹⁰⁾をもとに、ごみの焼却量の減少に比例させてエネルギー消費量及び二酸化炭素排出量も減少させた。つまり、新規建設を前提とした場合、ごみの焼却量が少ない分施設規模も小さくすることができるという考えに立った試算である。

3. 3 下水処理への影響

ディスポーザーシステムからの排水は、コミュニティ単位で1次処理した後、公共下水道へ放流する場合と、そのまま公共水域へ放流できるまで処理する場合が考えられるが、本研究では後者を仮定している。厨房系排水はディスポーザーシステム内で処理されることから、その処理水量に比例して、下水道システムで消費されるエネルギー消費量及び二酸化炭素排出量は減少することとする。つまり、廃棄物焼却施設同様、処理量が少ない分施設が不要であるとの考えに立つ。

具体的には、福岡市下水道処理システムを対象とした既存のLCA研究¹¹⁾をもとに、現状の年間1人あたりのエネルギー消費量を181.3 Mcal/人/年、二酸化炭素排出量を14.8 kg-C/人/年とする。家庭からの排水のうち、厨房系排水の占める割合は15.8%であることから、ディスポーザーシステム導入後のエネルギー消費量は152.6 Mcal/人/年、二酸化炭素排出量は12.5 kg-C/人/年となる。

3. 4 生ごみの再資源化

従来、生ごみは焼却処分された後、その焼却灰を埋立処分しているため、生ごみを資源としてリサイクルすることはできなかった。ディスポーザーシステムでは、生ごみを発酵処理することによって、製造されたコンポストを有機肥料や土壌改良剤として循環利用することが可能となる。

廃棄物を利用したコンポストの製品化例としては、下水汚泥の利用がある。福岡市下水道による汚泥発生量は、約60,000 ton/年(平成8年度)⁸⁾であり、その10%にあたる5,993 ton/年がコンポスト工場で処理されている。その結果、約1,600 tonのコンポストが製造されている。そのコンポストは、ほとんどが農業利用や公共工事などの緑農地に利用されている。しかし一方で、公共利用以外でのコンポストの需要が必ずしも増加していないことも課題として認識されている。その理由の1つに、製品の安全性に対する不安の問題がある他、原料からくる製品に対するネガティブなイメージも問題として存在している。ただし、家庭の生ごみを利用したコンポストは、発酵処理されない不燃物や重金属などの有害物質が含まれる可能性が低く、均質で安全性の高い製品を製造することができることは明らかな材料といえる。

そこで、ここではディスポーザーシステムで製造されるコンポストの地域内消費の可能性を探る。まず生ごみの排出量から、製造可能なコンポストの量を決定する。生ごみの組成によって異なるが、発酵処理することによって体積は約7分の1、重量は1～3割まで減少する。したがって、生ごみをコンポスト化するときの減量率を20%と設定する。

次にコンポストの需要予測であるが、製造サイトをニュータウンや集合住宅と仮定しているため、その住宅整備地域内でコンポストを利用するには、周辺街路樹や芝生・公園花木への施用、家庭菜園などの個人消費を想定する。文献¹²⁾により住宅を主体としたニュータウン(団地)11カ所について調べると、特に住宅主体のニュータウンまたは団地開発敷地内の公園が、開発面積に占める平均的な割合は4.2%である。そこで、敷地面積のうち4.2%をコンポストの施用(消費)可能な対象面積とする。

単位面積あたりの施用量については、家庭からの生ごみを利用した数種類のコンポスト製品について業者ヒアリング及び製品パンフレットをもとに調査した結果、年間の施用量を0.2 ton/aと仮定する。

以上により試算した結果を表6に示す。これによってコンポスト製造量の約1割をディスポーザーシステム

表6 コンポスト製造量及び消費量

整備規模		大規模	中規模	小規模
整備対象人口	人	18,000	2,000	600
1人あたりの排出量	kg/人/日		0.27	
生ごみ	ton/年	1,774	197	59
減量率	%		20%	
コンポスト製造量	ton/年	354.8	39.4	11.8
延べ敷地面積	ha	45	5	2
開発面積に占める公園割合	%		4.2%	
公園面積	ha	1.87	0.21	0.06
年間施用量	ton/10a		2	
消費コンポスト	ton/年	37.4	4.2	1.2
余剰コンポスト	ton/年	317.4	35.3	10.6

整備地域内で消費することが可能である。すなわち9割の余剰コンポストについては、地域外での需要を確保しなくてはならない。安定した消費先を確保することが、ディスポーザー・システム全体を機能させるための重要な課題といえる。

4. システム全体の統合評価
4. 1 システム全体の LCA 評価

個別に評価をしてきたシステムや施設についての統合評価を行う。焼却処理される生ごみと下水道で処理される厨房系排水をディスポーザーシステム内で一括して処理することから、下水道及び一般廃棄物処理システムも合わせた評価とする。ただし、導入するシステム及び施設の規模や性能がそれぞれ異なることから、年間1人あたりのエネルギー消費量および二酸化炭素排出量について比較する。

エネルギー消費量については（図4）、生ごみの分別処理による一般廃棄物焼却時の電力回収の効果が小さく（マイナスの値）、ディスポーザーシステムにより新たに消費されるエネルギーが大きいことがわかる。建設・製造などのイニシャル段階の増加に比べて、運転・維持管理などのランニング段階での影響が大きいことから、処理水を排水管の洗浄に利用するなどの効率的な運用システムを開発していくことで、ディスポーザーシステム導入のメリットが表れてくると思われる。

二酸化炭素排出量については（図5）、焼却処理されていた生ごみをコンポスト処理することによって、焼却時に直接排出される二酸化炭素の削減効果が大きい。二酸化炭素排出量もエネルギー消費量と同じく、整備規模が大きいほど1人あたりの排出量が小さくなる。

4. 2 有効性評価に向けた考察

都市インフラストラクチャーを評価する場合、その評価対象のシステム境界を広くとる必要があることは冒頭で述べた。そのため、新システム導入によって影響を受けるであろう廃棄物処理システム及び下水処理システム全体を分析対象を拡げた。しかし、評価指標に関してはエネルギー消費量及び二酸化炭素排出量のみにとどまっている。

これは、次の点で問題を有している。今回は、新システム（ディスポーザーシステム）と既存システムという2つの社会システムを比較しているわけであるが、機能が完全に一致しているわけではない。例えば、ごみの収集形態について、既存システムが各家庭でごみをストックし週2回の収集日にそれを収集ステーションまで運ぶことを要求しているのに対し、新システムでは生ごみについてはその必要がなくなる。つまり、ごみを出す頻度が週1回で済むばかりか、生ごみによる不衛生面からも開放される。このように双方に共通しない機能について適切な評価を施さなければ、それは公平な評価と言えない。表7に評価対象とすべき項目を整理する。

ところで、ここに挙げた評価項目は当然異なる単位系を有している。これらのうち環境負荷項目に関しては、LCAのインパクトアセスメント（impact assessment）と呼ばれる評価フェイズにおいてその集約法が検討されている。しかし、さらに便益側の項目まで含めた総合評価については、LCAに関連しては理念のみが示されている段階にある^{1,13)}。ここで方法論としては、すべてを貨幣換算して比較する費用便益分析、重み付けによって評価関数を作成する手法（例えばAHP手法）、多様な評価項目をそのまま提示する整理手法（例えばファクタープロフィール法¹⁴⁾）のほか、線形計画法を適用することも考えられる¹⁵⁾。これらはそれぞれに課題を有しており完璧な手法とはいいがたく、ケースに応じて使い分けられるべきであろう。今回のケースでは、判断を一部の意思決定者にゆだねるべきも

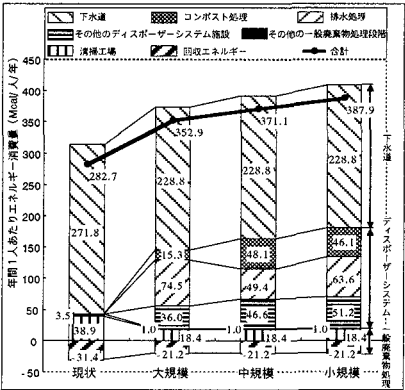


図4 エネルギー消費量

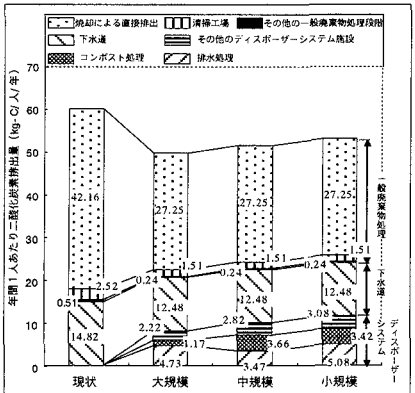


図5 二酸化炭素排出量

表7 評価対象とすべき項目

評価項目	評価対象
枯渇性資源	化石燃料消費量 リサイクル容易性
地球環境	二酸化炭素排出量
地域環境	大気汚染物質排出量 水質汚濁物質排出量
最終処分	処分地空間消費
公衆衛生	公衆衛生の確保
快適性	住環境の快適性
資源循環	コンポスト製造価値
直接コスト	ごみ処理コスト 下水処理コスト 上下水供給コスト

のではなく、なるべく客観的な指標を必要とすることから、費用便益的な考え方を採用することで今後新システムの有効性評価を試みたいと考えている。

5. おわりに

本研究では、ディスポーザー・システム導入による都市生活廃棄物及び排水処理のLCA的評価を行い、有効性評価のための今後の課題を考察した。

その結果、次のような結論を得た。

- (1) 現状の下水道システム及び一般廃棄物処理システムと比較すると、年間1人あたりのエネルギー消費量は増加する。また焼却量の削減により、二酸化炭素排出量は減少する。
- (2) 福岡市家庭系可燃物収集に必要な年間のべ作業員数は、117,375人から80,923人に3割が削減できる。
- (3) 焼却ごみの低位発熱量は、現在の2,200 kcal/kg から2,668 kcal/kg まで上昇する。しかし焼却量が減るため、総発熱量は減少する。清掃工場の運用段階全体では、場内消費される電力や資材が削減されることから、場外への売電電力量が増加する。
- (4) 生ごみ汚泥をコンポスト化した場合、ディスポーザーシステム設置地域内で消費できる量は約1割にすぎない。したがって、農地への施用や公共事業への利用なども含めて、供給先を検討する必要がある。

なお、(4)のコンポストに関しては、商品価値だけでは論じることができない面、例えば資源の循環やごみの中間処理としての位置づけを明らかにしていくことにより、コンポストの価値の再評価も必要であるといえる。また、今回は処理水の循環利用による効果をLCAの分析対象に含めていないが、これについても今後対象に含める予定である。

参考文献

- 1) 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, 1998.1.
- 2) 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: 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.
- 3) 楊 新泌, 国安克彦, 大森英昭: ディスポーザーによる生活系廃棄物処理の合理化, 月刊生活排水, p.1-15, 1997.6.
- 4) 西守信二, 龍野信人: 集合住宅向け生ごみ処理システム<ディスポーザーによる生ごみ排水処理化システム>, 建築設備と配管工事, p.13-18, 1997.4.
- 5) 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, p.217-227, 1997
- 6) 資源エネルギー庁長官官房企画調査課: 総合エネルギー統計, 通商産業研究社, 1995.
- 7) 財団法人福岡都市科学研究所: アイランドシティ環境モデル都市検討委託報告書, 平成8年3月
- 8) 福岡の下水道 平成9年度版, 福岡市下水道局, 平成9年度
- 9) 福岡市環境局事業概要 平成6年度版, 福岡市環境局, 平成9年度
- 10) 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, p.261-268, 1995.
- 11) 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 / -1, p.75-84, 1996.11.
- 12) 伊藤武美, 花木啓祐, 本多 博: ニュータウン建設における二酸化炭素排出量の概略推計方法の検討, 環境システム研究 Vol.25, p.379-384, 1997.
- 13) UNEP: Life Cycle Assessment: What It Is and How to Do It, pp.3-35, 1996
- 14) 道路投資評価研究会: 道路投資の社会経済評価, 東洋経済新報社, 1997
- 15) Shunsuke MANAGI and Hidefumi IMURA: OPTIMIZATION OF URBAN INFRASTRUCTURE SYSTEMS CONSIDERING THE ENVIRONMENTAL IMPACT AND THE COST, 環境システム研究, Vol.26, (印刷中)