

有機物資源循環を目指した都市環境インフラシステムの設計に関する研究

Design of the Urban Infrastructure System Toward More Efficient Utilization of Organic Materials

市江達也¹ 馬籠信之² 森杉雅史² 井村秀文²
Tatsuya Ichie Nobuyuki Magome Masafumi Morisugi Hidefumi Imura

ABSTRACT : This paper presents a comparative study on the recovery of energy from various organic material cycle systems in cities. It assumes different combinations of technologies for the treatment and disposal of sewerage sludge and kitchen garbage from households, and compares the four cases: (i) the current system adopted in most cities in Japan, (ii) kitchen garbage is segregated from household garbage and treated, (iii) kitchen garbage is segregated from household garbage and treated together with waste water, and (iv) kitchen garbage is released into the sewerage system through disposers. Here, in all cases, it is assumed that an effort is made to recover energy by methane fermentation method. From the estimation of disposal costs of kitchen garbage and sewerage sludge and the amount of methane gas generation, it is shown that methane production from the mixture of kitchen garbage and sewerage sludge by using disposer is most efficient in terms of cost and the amount of methane gas generated.

KEYWORD ; carbon cycle, kitchen garbage, sewerage sludge, methane fermentation, disposer

1. はじめに

都市ゴミ（一般廃棄物）をめぐる資源循環は、食物起源の有機物資源循環と、それ以外の紙・プラスチック・ガラス・金属等の資源循環に大別できる。都市における資源循環を合理化し、循環型社会を形成するためには、これら各々の資源循環について、資源（バージン材）消費量の削減、再利用、回収・再資源化等を拡大していく必要がある¹。有機物資源循環については、食品の生産・流通・調理・摂取の各過程で発生する食品ロスや食べ残しの削減とともに、発生してしまった有機廃棄物の再資源化・有効利用の促進が必要である。現在の日本では、家庭で発生する有機廃棄物は、下水道管路を通過して下水処理場に収集されるルートと、家庭ゴミに含まれる生ゴミとして収集されるルートの2つの経路によって収集され、それぞれに応じた資源化と最終処理の技術システムが採用されてきている。この結果、下水道経由で収集された有機物は汚水処理過程を経た後に下水汚泥として処分され、家庭生ゴミの多くは焼却処理されるようになっている。しかし、有機廃棄物の再資源化は全く不十分な状況にある。下水処理場での消化ガス回収、ゴミ焼却発電などの事例は増大しているが、全体に占める比率はまだ低い。下水汚泥を肥料や建設資材（タイル、ブロックなど）として再資源化することも行われているが、付加価値の高い製品化とは言えない。

現在、有機廃棄物の資源化技術としては、飼料化、コンポスト化、メタンガス化、生分解性プラスチック化等が存在するが、まだどれも決定的とはなっていない。飼料化やコンポスト化は、有機物を有機物のまま資源化するという意味で魅力的な手法であるが、それを需要する土地の面積が圧倒的に不足しているという

¹ 名古屋大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Nagoya University

² 名古屋大学大学院環境学研究科 Graduate School of Environmental studies, Nagoya University

問題があり、特に大都市には不向きである。生分解性プラスチック化は、生ゴミ中に含まれる糖分から発酵によって乳酸及びポリ乳酸を製造するもので、有機廃棄物から高付加価値の資源を製造するという意味で有望な方法であり、特に飲食店等から大量に発生する業務系生ゴミの資源化としては注目される方法である。しかし、その実用化はこれからである。他方、メタンガス化は、下水・し尿処理における消化過程からの副産物回収として、既にいくつかの自治体で事業化され、都市ガス原料としてガス事業者への売却が行われている。また、家庭からの生ゴミもメタン製造の原料として注目されるが、現在、多くの自治体で行われているような家庭ゴミの収集方法では、有機廃棄物だけを選択的に収集するのは難しい。ここで注目されるのが、近年、普及の気配を示しつつある家庭用ディスポーザである。ディスポーザによって、家庭生ゴミを下水道に流すことになると、下水管路に流入する固形物が増え、管内の沈殿物増大・目詰まり、汚水処理負荷の増大などの問題発生が懸念される一方で、家庭ゴミから生ゴミが除去されるため、残った紙・金属等の乾燥ゴミの分別がより衛生的に実行可能になる。また、消化過程からのメタン回収をより効率的に実行すれば、より多くのエネルギー回収が可能となる。

著者ら²は、これまで互いに分離・独立であった下水道と廃棄物処理という2つの都市環境インフラシステムが、ディスポーザを介して相互に連結・統合された場合について、それが都市の資源循環、環境負荷発生に及ぼすプラス、マイナス両面の効果を分析してきた。本研究では、有機廃棄物からメタンガスとしてエネルギー回収することを都市環境インフラシステムの目的として設定し、現行の家庭ゴミ収集から徹底した分別収集によって生ゴミを回収する場合と、下水道に直結したディスポーザを通して回収する場合の2つのケースを比較検討する。このため、まず、有機物資源循環を構成する3つの元素（炭素、窒素、リン）のサイクルについて、物質フローを作成する。次に、下水、生ゴミ処理にかかる費用を調査するとともに、上記の2つのケースについて、コストとともに、生成が見込まれるメタンガス発生量についての推計を示す。分析のためには、下水道、ゴミ処理の方式を決める必要があるが、現行の名古屋市のものを仮に採用してみることにした。

2. 現行技術の現状と評価

2. 1 メタンガス化

下水からメタンガスを生成する事業は、既に多くの自治体において行われている。横浜市では、污泥処理センターで消化ガス発電を行っており、同センターの機械などの動力源に利用している。ヘルシンキ市（フィンランド）やストックホルム市（スウェーデン）では、下水処理污泥から消化ガスを回収し、下水処理場自身の加熱と発電に利用している³。他方、生ゴミをメタンガス化する試みは、例えば、神戸市や京都市での燃料電池あるいは発電のプラントなどがある。また、鹿島建設の開発した生ゴミを再資源化する高温メタン発酵式有機性廃棄物処理システムでは、複合商業施設から排出される生ゴミを固定床式高温メタン発酵処理することによりメタンガスを回収し、そのメタンガスから電力を発生させる実証実験⁴が行われている。

2. 2 ディスポーザ

ディスポーザは生ゴミを破碎して排水管へ投入する装置であり、アメリカでは1930年代に製品化され始めた。当初は普及しなかったが、現在では新築住宅の80%以上がディスポーザを設置している。日本においても、24,000戸以上にディスポーザによる生ゴミ処理システムの導入予定が採用されており（2000年10月末現在）、外国からの輸入も毎年1～2万台あるとされている⁵。ディスポーザによる排水を通常の下水と統合することで家庭から排出される有機廃棄物の経路を一つにすることが可能である。

国土交通省建築研究所による超高層タワーを用いた実験⁶や、農林水産省が行った農業集落排水施設に生ゴミ一体処理を導入した実証実験⁷などによると次の結果が示されている。

- ① 家庭から発生した生ゴミのうち約9割程度がディスポーザで処理できる。

② 使用後のアンケートでは、約 8 割の回答者が「便利である」と回答しており、利便性と衛生性が高く評価されている。

③ 余剰汚泥は乾量ベースで約 30%増加。設置後のゴミ排出量は設置前の約 47%に減少。

このように、ディスプレイは、利用者の利便性から考えると大変便利なものであるが、配管のつまり、下水処理にかかる負担増大、水相からの有機物回収の困難、分別回収努力の放棄などの環境問題に対する意識の低下などの問題点も指摘されている⁸。そのため、日本の場合、一部の自治体ではその判断によって部分的に導入が認められているものの、原則禁止しているところが多い。

3. ゴミ処理と下水処理の統合的システム評価

3.1 有機物に関する物質フロー

システム評価を行う第一段階として、まず物質収支をとらえる必要がある。そこで、日本人 1 人 1 年当たりについて炭素、窒素、リンの物質収支を求めた。流入成分は食料中に含まれるものであり、排出されるものは呼吸による二酸化炭素、一般廃棄物中の生ゴミ、下水中のし尿に含まれる各成分である。データとしては、平成 10 年度の食料需給表、11 年度のその他の統計書を用いた。データによって年の違いがあるが、それによって結果に大きな違いはないと考えられる。

食料の供給量は食糧需給表の純食料の値⁹を用い、食品成分表¹⁰から各組成ごとの 100 g 当たりの蛋白質、脂質、炭水化物、リンの量を求めることにより、1 人 1 年当たりに摂取する蛋白質、脂質、炭水化物、リンの量を算出した。さらにその値から、食料中の炭素、窒素の量を算出した。算出には、既存研究の値¹¹（蛋白質中の炭素含有率を 53%、窒素含有率を 16%、脂質中の炭素含有率を 77%、炭水化物中の炭素含有率を 40%）を利用した。また今回、「その他食料」におけるリンの値のデータが入手できなかったが、「その他食料」は全供給量の 0.8%にすぎないので、無視できるものとした。

表 3-1 日本人 1 人の年間炭素摂取量、窒素摂取量及びリン摂取量（平成 10 年度）

	1人1年		100g当たり					1人1年当たり						
	供給純食料		蛋白質	脂質	炭水化物	リン	蛋白質	脂質	炭水化物	リン	炭素	窒素		
	kg	g	g	g	mg	kg	kg	kg	kg	kg	kg			
穀類	98.7	8.4	2.0	74.6	316	8.3	1.9	73.6	0.31	35.3	1.32			
いも類	21.4	1.8	0.2	19.8	53	0.4	0.0	4.2	0.01	1.9	0.06			
でんぷん	16.7	0.1	0.4	85.3	18	0.0	0.1	14.2	0.00	5.7	0.00			
豆類	9.2	29.9	15.3	38.1	432	2.8	1.4	3.5	0.04	4.0	0.44			
野菜	99.0	1.9	0.1	6.5	40	1.8	0.1	6.4	0.04	3.6	0.29			
果実	37.6	0.7	0.9	12.3	17	0.3	0.3	4.6	0.01	2.3	0.04			
肉類	28.0	18.6	15.0	0.3	154	5.2	4.2	0.1	0.04	6.0	0.83			
鶏卵	17.3	12.3	11.2	0.9	200	2.1	1.9	0.2	0.03	2.7	0.34			
乳製品	92.3	3.1	3.4	4.8	95	2.9	3.1	4.4	0.09	5.7	0.46			
魚介類	33.8	19.3	8.3	0.5	195	6.5	2.8	0.2	0.07	5.7	1.04			
海藻類	1.4	18.1	1.6	51.4	404	0.3	0.0	0.7	0.01	0.4	0.04			
砂糖類	20.0	0.0	0.0	99.0	0	0.0	0.0	19.8	0.00	7.9	0.00			
油脂類	14.6	0.0	100.0	0.0	0	0.0	14.6	0.0	0.00	11.3	0.00			
みそ	4.5	12.5	6.0	21.9	170	0.6	0.3	1.0	0.01	0.9	0.09			
しょうゆ	8.5	7.5	0.0	7.1	140	0.6	0.0	0.6	0.01	0.6	0.10			
その他食料	4.2	8.7	6.0	6.6	-	0.4	0.3	0.3	-	0.5	0.06			
合計	507.3					32.1	31.2	133.9	0.67	94.6	5.14			

出典：平成10年度食糧需給表、食品成分表から計算

人体の代謝によって消費される炭素量は、呼吸によって排出される二酸化炭素量（200ml/分）を基にして計算し、56kg/人・年とした。

家庭系の生ゴミ量は家庭系一般廃棄物量の湿基準、重量割合¹²で 34.33%である。大都市部において生ゴミ組成は地理的特性を受けないとして考え、東京都の世帯構成人数別の生ゴミ組成値¹³に記されている 2 人と 3 人の値の平均を取って、平均世帯（構成人数 2.5 人、名古屋市の場合）の生ゴミ組成、各組成別の生ゴミ量とし、これから 1 人当たりの各組成別の生ゴミ量を算出した。また、摂取食料の場合と同様にして 100g

当たりの蛋白質、脂質、炭水化物、リンの量を求め、1 人が年間に生ゴミとして排出する蛋白質、脂質、炭水化物、リンの量を算出した。炭素、窒素の量も同様にして算出した。なお、事業系廃棄物については考慮していない。

表 3-2 市民 1 人の生ゴミによる年間炭素排出量、窒素排出量及びリン排出量（平成 11 年度）

	世帯構成人数			1世帯1年	1人1年	100g当り				1人1年当たり					
	東京都 名古屋市			生ゴミ量	生ゴミ量	蛋白質	脂質	炭水化物	リン	蛋白質	脂質	炭水化物	リン	炭素	窒素
	2人	3人	2.5人	kg	kg	g	g	g	mg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
残飯類	3.6	4	3.8	8.3	3.3	8.4	2.0	74.6	316	0.3	0.1	2.5	0.01	1.2	0.04
茶殻など	7.6	7.3	7.5	16.2	6.5	20.9	10.1	49.8	290	1.4	0.7	3.2	0.02	2.5	0.22
野菜	54.2	47.1	50.7	110.2	44.1	1.9	0.1	6.5	40	0.8	0.0	2.9	0.02	1.6	0.13
果物	19.6	20.6	20.1	43.7	17.5	0.7	0.9	12.3	17	0.1	0.2	2.2	0.00	1.1	0.02
肉類	2.9	2.7	2.8	6.1	2.4	18.6	15.0	0.3	154	0.5	0.4	0.0	0.00	0.5	0.07
魚類	3.5	4.7	4.1	8.9	3.6	19.3	8.3	0.5	195	0.7	0.3	0.0	0.01	0.6	0.11
卵類	1.3	1.7	1.5	3.3	1.3	12.3	11.2	0.9	200	0.2	0.1	0.0	0.00	0.2	0.03
油脂類	2.3	4.6	3.5	7.5	3.0	0.0	100.0	0.0	0	0.0	3.0	0.0	0.00	2.3	0.00
その他	5	7.3	6.2	13.4	5.4	9.1	3.4	40.9	164	0.5	0.2	2.2	0.01	1.3	0.08
合計				217.6	87.0					4.4	4.9	12.9	0.07	11.3	0.70

出典：平成12年度名古屋市環境局事業概要、生ごみの形状と排出量、食品成分表から計算

下水処理量は処理水量を用い、下水に含まれる窒素、ならびにリンの量は水質調査での流入段階での全窒素量と全リン量¹⁴の平均と処理水量の積から算出した。ただし、ここでのデータは、名古屋市の現行システムのものを利用している。また、含まれる炭素量は流入側である食料の含有炭素量から、流出側である呼吸による二酸化炭素の含有炭素量と生ゴミの含有炭素量を減ずることで推定した。なおここに示した下水処理量は、下水道が合流式のものもあり雨水も含んでいるため、家庭からの排水量よりも多めになっている。

表 3-3 市民 1 人の下水による年間窒素排出量及びリン排出量（平成 11 年度）

処理水量 (m ³)	処理人口 (人)	全窒素量 (mg/l)	全リン量 (mg/l)	1人1年当たり		
				下水処理量 (m ³)	窒素 (kg)	リン (kg)
430,969,200	2,087,300	27.38	3.85	206	5.65	0.80

出典：平成12年度名古屋市上下水道局下水道事業概要から計算

以上の結果を図 3-1 に示す。現在、ゴミ、および下水処理され焼却されている炭素は摂取する炭素の約 40%を占めている。また、窒素やリンの量が流入側よりも排出側で多くなっているのは、下水には排泄物のほか洗濯や風呂等の生活排水、工場排水なども含まれていることが原因であると考えられる。

ここで得られた 1 人当たりの資源収支の値は、資源回収可能量の上限値を考察する上で重要な意味を持つ。生ゴミと下水を合わせた C の回収可能量の上限は 1 人 1 年で 38kg であるから、メタン (CH₄) として回収可能な上限値は 50.7kg、標準状態で 71m³ である。もちろん、実際の回収効率はこれよりかなり低い。同様に、ポリ乳酸（生分解性プラスチック）等の形での物質回収の場合の上限値もこれで決まっている。また、N、P は肥料としての回収可能な有効成分の上限値を考えるために重要である。

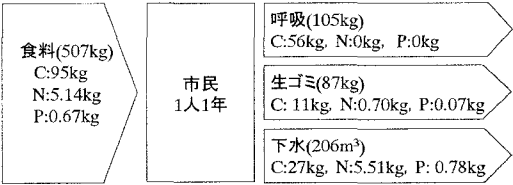


図 3-1 有機物に関する物質フロー (C,N,P)

3. 2 ゴミ処理費と下水処理費

生ゴミの処理にかかる現在の費用は、ゴミ処理単価（収集、焼却、埋立）¹²により表すことができる。この値は会計年度を原価計算期間とし償却期間は鉄筋コンクリート造建築 50 年、木造建物 30 年、設備工作物 15 年、車両 5 年とし定額法を用いて算出している。生ゴミの収集費と焼却費は、生ゴミ量と処理原価の積に

より算出した。埋立費については、焼却灰の量と埋立処理原価の積により算出した。焼却灰の量を算出する際には、生ゴミの水分含有量を 80%と仮定し、また 1t のゴミが焼却処理されると 0.1578t の灰になった実績から、焼却により 16%の容量に減容化するとした。

下水の処理にかかる費用は、名古屋市上下水道局の事業概要¹⁴で営業費用と計上された下水管費、下水処理費、受託工事費、総係費、減価償却費費、資産減耗費、他会計負担金を合計したものととして算出した。生ゴミを混入した場合の下水処理費用は、下水処理場における除去物質の量に比例するととして算出した。つまり、生ゴミを混入した場合、窒素は 12%、リンは 9%増加するので、現在の下水処理費の 1.12 倍を、生ゴミを混入した場合の下水処理費用とした。

その結果を表 3-4、3-5 に示す。生ゴミを下水に混入して処理した場合、ゴミ処理費は生ゴミ処理の方である 4,567 円減少し、下水処理費は 3,216 円増加する。ゴミ処理と下水処理を 1 つの系とみなすと、生ゴミは下水側で処理したほうが、1,351 円費用が減少する。

今回の検討では、炭素の最大限の有効利用効率を調べるため、家庭系生ゴミ全てが下水道に入った場合を仮定して検討している。また、生ゴミ中には水分が 80%程度含まれているため、ゴミの焼却時にエネルギー損失を発生させているが今回はそれを考慮していない。生ゴミの全てを下水道に流すことになれば、それがゴミ処理に及ぼす効果はやや複雑である。まず、生ゴミが完全に除去されて発熱量が変化するため、現在の炉でそのまま燃やすことが出来ないとすれば、炉の回収が必要である。他方、ガラス、金属等の不燃物が容易に分別されるから、紙、プラスチック等の高カロリーのものだけを分離して RDF 化する方法もある。また、これらの資源を個別に物質として再資源化することも容易となる。

3. 3 メタンガス発生

前述した通り、生ゴミをメタンガス化することは有効な方法である。ここでは有機廃棄物を再資源化する方法としてメタンガス化を考え、期待されるガス発生量を推計する。名古屋市では現在、下水処理においてメタン発酵による消化ガス化を行っていない。そこで消化ガス化を行っている横浜市の処理実績(平成 12 年度)から原単位を求め、名古屋市において見込まれる発生消化ガス量を算出した。生ゴミから発生が見込まれるメタンガス量は、鹿島建設の実証試験の結果⁴から原単位を求め算出した。また、メタン発酵は C/N、C/P の値により処理効率が異なるので、(a)生ゴミのみ、(b)下水のみ、(c)生ゴミと下水加えたものの各ケースについて C/N、C/P の値を求めた。メタン発酵は C/N 値が 10~20 の範囲で最も処理効率がよく、C/P 値では 100 程度が適当であるとされている¹⁵。C/N に対するガス発生量は明確にされていないが、本研究においては、 $4 < C/N < 20$ の範囲では発生ガス量と C/N 値は線形性が成り立つと仮定し、生ゴミが混入した場合に見込まれるガス発生量を算出した。汚泥の濃度は 1.5%、生ゴミの水分量は 80%とした。

その結果を表 3-6、3-7、3-8 に示す。「下水+生ゴミ」から得られるガス量は 1 人 1 年当たり 33m³である。都市ガ

表 3-4 市民 1 人の年間生ゴミ処理費(平成 11 年度)

生ゴミ量(kg/人・年)	87
焼却灰量(kg/人・年)	3
収集処理単価(円/t)	31,661
焼却処理単価(円/t)	20,388
埋立処理単価(円/t)	13,109
生ゴミ収集費(円/人・年)	2,756
生ゴミ焼却費(円/人・年)	1,774
生ゴミ埋立費(円/人・年)	37
生ゴミ処理費(円/人・年)	4,567

*名古屋市環境局事業概要(H13年度)から計算
**生ゴミの水分は80%、焼却により16%に減容化

表 3-5 市民 1 人の年間下水処理費(平成 11 年度)

	下水のみ	下水+生ゴミ	増加割合(%)
窒素(kg/人・年)	5.65	6.35	12
リン(kg/人・年)	0.80	0.87	9
下水処理費(円/人・年)	26,058	29,274	12

*下水処理費=下水管費+下水処理費+受託工事費+総係費+減価償却費+資産減耗費+他会計負担金

表 3-6 下水からの発生ガス量

	汚泥量(m ³)	汚泥量(DSt)	発生消化ガス(m ³)
横浜市	6,577,300	101,000	28,463,817
名古屋市	9,339,147	143,410	40,415,941
1人1年当たり	4.474	0.069	19.4

*汚泥の濃度は1.5%

表 3-7 生ゴミからの発生ガス量

	生ゴミ量(t)	固形分(t)	発生ガス量(Nm ³)
鹿島の実証試験	1	0.2	240
名古屋市	188,261	37,652	45,182,702
1人1日当たり	0.087	0.017	20.9

*生ゴミの水分は80%

スは天然ガス、消化ガスはメタンを主成分としており性質は若干異なるが、メタンガスは都市ガスの50%程度の熱量を持つことから、東邦ガスの業務用・工場用料金(1m³当たり 39.03 円)の半分の値段を用いて、得られたガスを貨幣換算すると643円である。下水からのメタン発生量は生ゴミの場合と比較して効率が悪いことが知られているが、これは下水中の窒素分によって発酵が阻害されるためと考えられる。これは生ゴミからの炭素を混入することでC/N値を改善し、効率はさらに上がるものと期待される。

表 3-8 生ゴミを下水に混入した場合の発生ガス量

	下水	生ゴミ	下水+生ゴミ
C/N	4.8	16.2	6.1
C/P	34.3	156.8	44.5
発生ガス量(m ³ /t)	282	1,200	383
発生ガス量(m ³ /人・年)	19	21	33
ガス収益(円/人・年)	378	407	643

*4<C/N<20ではガス発生量とC/Nは線形関係にあると仮定
*発生ガス1m³:19.5円

4. 統合するシステムの違いによる比較

最後に、上で求めた結果を用いて、図 4-1 に示す4つのケースについて下水処理、生ゴミ処理システム全体を資源回収やコストの面から検討した。ただし、今回の検討ではメタンガス化に関わる装置の建設・運転等の費用はデータが入手できなかったため考慮していない。

ケース1は、生ゴミは可燃ゴミとして収集、焼却・埋立処分され、また、下水から生じる汚泥は濃縮、乾燥され焼却されるシステムで、ほぼ現状通りの処理システムである。生ゴミ処理費、下水処理費ともに現在値を用いてシステム全体の費用を算出した。

ケース2は、生ゴミは分別回収し、ゴミ処理場側に設けられたガス発生施設でメタン発酵、下水のほうも下水処理場側に設けられたガス発生施設でメタン発酵するシステムである。生ゴミ処理費としては収集費用がかかり、下水処理費は現在の値を用いてシステム全体の費用を求めた。またメタンガス発生量は、生ゴミから発生するガス量と下水から発生するガス量を足し合わせて算出した。

ケース3は、生ゴミを分別回収し、下水と共に下水処理場側のガス発生施設でメタン発酵するシステムである。もともと、別に回収・分離された生ゴミを下水と一緒に処理するという前提そのものが合理的とは言えないが、ディスポーザで生ゴミを回収する場合との比較のために、このケースを設定した。分別回収するため、生ゴミ処理費として収集費用を計上し、また、下水処理費は生ゴミを下水と共に処理するため、生ゴミが混入した場合の下水処理費を用いてシステム全体の費用を算出した。ガス発生量も同様の理由で、生ゴミを下水に混入した場合の値を用いた。

ケース4は、ディスポーザを通じて生ゴミを下水に混入して処理した場合のシステムである。ディスポーザを用いると、収集費がかからないため生ゴミ処理費はゼロとし、下水処理費、ガス発生量はケース3と同様に、生ゴミが混入した場合の値を用いた。

以上の検討結果を表 4-1 に示す。ケース1（現行システム）は、炭素資源をまだ十分有効に利用しているとは言い難い。ケース2（下水、ゴミ処理のそれぞれでメタン

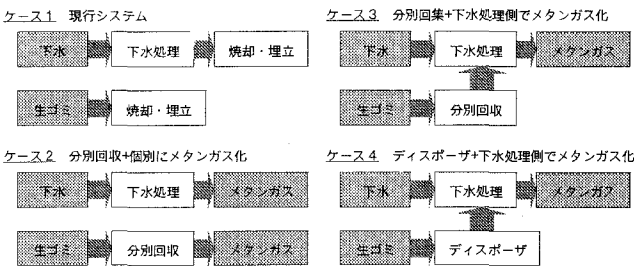


図 4-1 比較検討する 4 つの方式

表 4-1 統合システムによる費用、ガス発生量の違い

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
生ゴミ処理費(円/人・年)	4,567	2,756	2,756	0
下水処理費(円/人・年)	26,058	26,058	29,274	29,274
発生ガス量(m ³ /人・年)	0	40	33	33
発生ガスによる収益(円/人・年)	0	785	643	643
システム全体の費用	30,624	28,028	31,386	28,631
現状との比較(円/人・年)	0	-2,596	762	-1,994

*パターン1: 現行システム

*パターン2: 分別回収+個別にメタンガス化

*パターン3: 分別回収+下水処理側でメタンガス化

*パターン4: ディスポーザ+下水処理側でメタンガス化

ガス化)は、システム全体の年間費用が最も安くなっており、ガス発生量も最も多い。しかしながら、初期の施設投資額が大きいエネルギー回収には規模の経済が働くので、メタンガス化施設をゴミ処理場、下水処理場側のそれぞれに建設することには改善の余地がある。この点では、処理量が多く、規模の経済が働く下水処理場側においてガス発生施設を設けたほうが有利である。それを改善しようとしたのがケース3である。これは、資源回収の面から見ると優れているが、費用面では、収集費と汚水処理費の両方がかかり、システム全体の費用は現在よりも高くなってしまう。ケース4は、資源回収の面から見ると優れており、また費用面でもシステム全体の費用が2番目に優れている。ディスプレイの導入によって家計サイドにもたらされる効果、すなわち、利便性、衛生性、ゴミ分別作業などの時間費用の節約分などを考えると、費用対効果はさらに改善される。

6. 結論

本研究では、日本人1人1年当たりの物質フローを炭素、窒素、リンに着目して算出した。また、既存のデータや実証実験結果を基に、家庭系の生ゴミが下水に混入して処理されメタンガス化された場合のゴミ処理費用、下水処理費用の変化を推定した。さらに生ゴミが混入した場合に見込まれるガス発生量を推定した。その値を基に異なる生ゴミ、下水処理の統合システムを考え検討した。以下にその結論を述べる。ただし、分析は簡略化した仮定に基づいており、費用対効果の評価にはさらに精密な分析が必要である。

- ① 炭素循環から見ると、人間が排出する有機物のうち、呼吸による損失を除いた約40%が資源化可能量の上限である。
- ② メタン生成のためには、下水と生ゴミを混入したほうが、下水だけでメタン発酵するよりも効率がよい可能性がある。
- ③ 大都市部においては、ディスプレイを通じて生ゴミを下水道に受け入れ、集中的に処理することによって炭素資源のより有効な利用が可能である。

本研究においては、算出した値の見積もり方法や処理場に対する負荷の増減などについて、いくつかの仮定を立てている。しかし、この方針を出発点とし、LCA等による分析を詳細に行うことで、資源循環型社会を目指した今後の都市環境インフラの設計に関する新たな知見が得られるものと考えられる。

参考文献

- 1 環境省編：平成13年版循環型社会白書
- 2 松本了，鮫島和範，井村秀文：ディスプレイ導入による家庭の生ゴミ処理・再資源化システムの評価，環境システム研究論文集，Vol.28，2000
- 3 海賀信好：北欧の下水処理システム，用水と廃水，Vol.41，1999年
- 4 東郷芳孝：固定床式高温メタン発酵と燃料電池の組み合わせによる生ごみのエネルギー資源化に関する研究，NEDO平成11年度提案公募事業成果報告会 予稿集，2000
- 5 奥水知：超高層集合住宅のごみ処理設備，空気調和・衛生工学，Vol.75，2001
- 6 山海敏弘：生ごみ処理・リサイクル技術(2)ディスプレイによる生ごみの処理，空気調和・衛生工学，Vol.74，2000
- 7 農林水産省農村振興局事業計画課，財団法人日本環境整備教育センター：平成12年度 農村集落における生活排水・生ごみ一体処理システム検討調査事業 報告書，2001
- 8 村田徳治：有機資源化に逆行するディスプレイ，月刊廃棄物2001年3月号，2001
- 9 農林水産省：平成10年度食糧需給表，1999
- 10 女子栄養大学出版部：四訂食品成分表，2000
- 11 松本了，岩尾拓美，大迫洋子，井村秀文：都市の有機物資源循環システムの評価指標の開発，環境システム研究論文集，Vol.28，2000
- 12 名古屋市環境局：事業概要（平成12年度，平成13年度）
- 13 谷川昇：生ごみの性状と排出量，空気調和・衛生工学，Vol.74，2000
- 14 名古屋市上下水道局：下水道事業概要 平成12年度
- 15 高橋義昌：廃水の生物処理，地球社，1980