

都市規模を考慮した食品廃棄物の再資源化システムのライフサイクルインベントリ分析

寶 応瑛¹・松本 亨²

¹非会員 北九州市立大学 国際環境工学研究科 (〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの1-1)
E-mail:d10c0101@hibikino.nc.jp

²正会員 北九州市立大学教授 国際環境工学研究科 (〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの1-1)
E-mail: matsumoto-t@env.kitakyu-u.ac.jp

本研究では、オンサイト型の生ごみ処理機により家庭系生ごみ資源化の地域内循環を実現する循環・再生利用事業を対象に、そのライフサイクルの環境負荷低減効果を推計した。また、人口規模が139万人、43.5万人、16.4万人、6.9万人、2.5万人、0.5万人の架空モデル都市を設定し、それぞれの温室効果ガスの排出についてLCAを用いて評価した。その結果、人口規模が05万と2.5万人人以外のモデル都市では生ごみ資源化を行った方が温室効果ガスの排出量が若干少なくなることを明らかにした。都市規模が小さくなるとともに、温室効果ガスの削減幅も減少していくことが分かった。また、モデル都市について、生ごみ分別の有無に分けて、家庭系一般ごみ処理のコストについても分析した。その結果、人口3万人以下の市町村については、総合経費で生ごみ民間委託のケースが最も安価である結果が得られた。

Key Words : Food waste, Composite, LCA, Regional circulation system, Cost analysis

1. はじめに

食品リサイクル法が 2001 年に施行されて以降、食品産業から発生する食品廃棄物の再生利用率は徐々に向上し、2006 年時点で 46%である(発生抑制、減量を含めると 53%)。一方で、食品廃棄物全体の 55%を占める家庭系一般廃棄物は、ほとんどが焼却されているのが現状である。次いで発生量の多い事業系の食品廃棄物の再生利用率は 20%であるが、食品リサイクル法の 2007 年改正に伴い、年間 100 トン以上の排出事業者に再資源化が義務づけられたため、今後対策が進むことが予想される。

食品リサイクルの方法について、肥料化や飼料化の他、油脂や油脂製品、メタン、炭化、エタノール等の原材料として再生利用されているが、どの方法が良いか、環境面あるいは経済面から評価を実施することは、再資源化を検討する意志決定者に対して必要な情報となる。

2. 研究の目的

本研究では、オンサイト型の生ごみ処理機により食品廃棄物の地域内循環を行う再資源化システムを対象に、そのライフサイクルの環境負荷低減効果及びコスト削減

効果を推計する。その際、現状の生ごみ処理と比較することによって、地域循環システムの優劣を評価することを目的とする。その際、都市規模別に分析することで、可住地面積あたり人口密度等の地域特性を考慮した評価とする。

3. 評価の方法

3.1 対象とするシステム

評価の対象とするのは、住宅エリアに生ごみ処理機を設置し、発生現場で悪臭等を発生させずに速やかに減量するとともに、発酵分解床を半年に一度全て回収するサービスを提供するしくみである。回収した発酵分解床は専門リサイクルセンターで脱塩分・脱油脂工程後、二次・三次発酵させ硝酸塩低減化技術を加えて高付加価値の堆肥(土壌改良材)を製造する。堆肥は契約する有機栽培農家に販売し、そこで生産された安全・安心な有機野菜等を買って、食品工場や外食産業の顧客に販売していくという、都市部と農村部を経由して繋ぎ、安全・安心な食の循環を実現する事業である。

以上のような地域密着型食品廃棄物循環システム(以

下、地域循環システム)によって生ごみを処理した場合の環境負荷を現状ケースとライフサイクルアセスメント(以下、LCA)の手法を用いて評価する。

3.2 機能単位

LCAの機能単位を以下のように設定する。

- ①3トン/月の生ごみの処理[=生ごみ処理機の保有量(1台)×生ごみ処理機の処理能力(3トン/台・月)]
- ②堆肥(4kg/t-生ごみ・月)・液肥の量(0.107kg/t-生ごみ・月)
- ③発電回収量

3.3 評価項目及び物質フロー

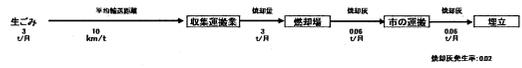
本研究が対象とする地域循環システムにLCAを適用する際に想定される評価項目を、表-1に挙げる。このうち、今回対象とする項目は○で表示した部分である。

評価項目		
A	生ごみの焼却回避による廃棄物減量化効果	○
	廃棄物の輸送	○
	廃棄物の焼却	○
	焼却灰の輸送	○
	焼却灰の埋立	○
	一次発酵の水・電気	○
	二次・三次発酵までの輸送	○
B	生ごみ堆肥化による地域資源循環システムの構築	
	B-1 生ごみの堆肥化、液肥化	○
	化学肥料の代替効果	○
	B-2 地産地消	
	野菜の輸送距離	
	B-3 竹割り箸のマテリアルリース	
	竹の利用	
割り箸製造地からの輸送		
廃棄物処理		
着床材の代替		
割り箸回収のための輸送		
C	生ごみ処理機	
	仕入	○
	納品	○
D	廃棄	○
	焼却場の建設	○
E	割り箸の代替効果	○

生ごみ処理機の導入により、生ごみの要処理量が減少するため、一般廃棄物の輸送・焼却・埋立に要する資源・エネルギーの減少、CO2排出量の減少が予想される。図-1に、評価対象システムの範囲(システム境界)と物質フローを示す。「ケースA」は比較対照としての現状処理システム、「ケースB」は本研究で対象とする地域循環システムである。「B」には、さらに、二次・三次発酵を行わないケース(B-1)と二次・三次発酵を行うケース(B-2)、二次・三次発酵+液肥製造を行うケース(B-3)を設定した。3トン/月の生ごみの処理[=生ごみ処理機の保有量(1台)×生ごみ処理機の処理能力(3トン/台・月)]を、比較対照システム共通の機能(機能単位)として設定した。つまり、3トン生ごみ処理する場合の、現在の処理システムと地域循環システムの環境負荷を比較評価した。評価指標はLC002

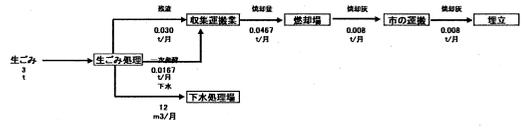
であるが、廃棄物焼却と二次・三次発酵の際のN2O及びCH4発生量を、GWP(地球温暖化係数)を用いてCO2に等価換算して加算している。

A 生ごみ処理機を使わない場合



B 生ごみ処理機を使う場合

1 一次発酵を行う場合



2 二・三次発酵を行う場合



3 二・三次発酵を行う場合+液肥

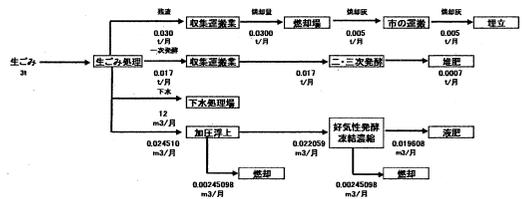


図-1 評価対象システムの物質フロー

4. シナリオの設定

4.1 シナリオの考え方

オンサイト型生ごみ処理機の設置により食品廃棄物の地域内循環を実現する循環・再生利用事業を対象に、そのライフサイクルの環境負荷低減効果を推計する。評価システムに対して3つの面からシナリオを設定し、ライフサイクルCO2の比較評価を行った。1つ目に、地域特性を反映させるために、廃棄物、生ごみ処理機、一次発酵物や割り箸等の輸送距離をシナリオとして評価する。2つ目に、生ごみ処理機の型別や生ごみの処理機への生ごみ投入率などをシナリオとする。3つ目に、現状の可燃ごみ処理システムについて、廃棄物発電の有無、発電効率大小、生ごみの発生割合などをシナリオとして評価する。

4.2 輸送距離の設定

①可燃ごみの収集

可燃ごみの発生源から焼却場までの輸送距離の計算方法は、確率分布シミュレーション³⁾を用いて計算した(以下、PDCM)。PDCMは、収集ブロックの分布関数の与え方によって、正方形以外の市町村形状や、市街地域の偏りなど様々な状況を再現することができる。このモデルは、収集面積とその内部の人口、収集地点数などの限られた情報から、シンプルな計算で収集車の年間総走行距離を推計するモデルである。表-2に示すように、可燃ごみの運送距離は人口、行政面積、可住地面積、世帯数、家庭系可燃ごみ発生量、収集回数、積載重量の7つの外生変数で推計することができる。表-2中の数値は人口規模43.5万人の都市モデルとして計算した結果である。

②その他の輸送過程

生ごみ処理機、割り箸等の輸送距離については、表-3のように設定した。これは評価システムのユーザーインターフェースであるが、ユーザによる入力、あるいはプルダウンメニューからの選択になっている。

表-2 可燃ごみの輸送条件の設定

項目	値	単位
人口	435000	人
行政面積	281	km ²
可住地面積	145	km ²
世帯数	186873	戸
家庭系可燃ごみ発生量	1562	g/1世帯・1日
収集回数	2	回/週
積載重量	1.21	t/台・回

表-3 輸送に関して入力条件

	輸送区間		輸送手段
	輸送区間	輸送距離	
製品(生ごみ処理機)の仕入れ	韓国(ソウル)	300 km	トラック①
	釜山港	230 km	船舶輸送
製品(生ごみ処理機)の納品	門司港	41.3 km	トラック②
	門司港⇒納品先	58 km	トラック②
製品(生ごみ処理機)の廃棄	生ごみ処理機使用場所	100 km	トラック②
	中国江西省(桂林市)	1500 km	鉄道輸送
製品(割り箸)の輸入	上海	950 km	船舶輸送
	門司港	12.5 km	トラック②
製品(割り箸)の納品	小倉北区	88 km	トラック②
	小倉先	88 km	トラック②
使用済割り箸の輸送	納品先	500 km	トラック②

4.4 可燃ごみ処理における廃棄物発電の有無

現状の可燃ごみ処理システムにおいては、廃棄物発電の設置有無、発電効率の大小と、生ごみの分別再資源化の関係を分析する必要がある。生ごみの量が減ると発電効率が高くなるが、可燃物の減少により発電量自体は減少する可能性がある。

4.5 生ごみ処理機の仕様

表-4に、生ごみ処理機の仕様(10種類)を示す。このように機種によって重量、処理能力、給水量、消費電

力量、粗殻投入量、微生物補充量が異なる。今回評価対象に対する生ごみ処理機の機種は処理能力100kg/日の機種3のデータを用いて評価した。

表-4 生ごみ処理機の機種別仕様

仕様	重量	処理能力	標準給水量	消費電力	粗殻投入量	微生物補充量
	(kg)	(kg/日)	(m ³ /月)	(Kwh/日)	(L/月)	(L/月)
機種1	250	25	5	1.8	50	0.5
機種2	310	50	5	1.8	70	0.5
機種3	455	100	10	3.15	130	0.5
機種4	575	150	15	5.74	240	1.0
機種5	680	200	20	5.74	300	1.5
機種6	800	250	20	10.8	380	1.5
機種7	1000	300	25	10.8	430	2
機種8	1150	400	30	10.8	600	2.5
機種9	1300	500	35	15.75	700	3
機種10	2400	1000	50	25.62	1400	6

5. モデル都市を対象としたLCA

5.1 モデル都市の設定

表-5に、設定したモデル都市の概要を示す。A~Fそれぞれの人口規模は139万人、43.5万人、16.4万人、6.9万人、2.5万人、0.5万人である。この6都市の人口、行政面積、可住地面積、世帯数の値は、地域経済総覧(2009年版)⁶⁾より、70万人以上、30万~70万人未満、10万~30万人未満、5万~10万人未満、1万人~5万人未満、0~1万人未満の順番に分けて、それぞれ平均値を計算し採用した。

表-5 モデル都市の設定

モデル都市	設定人口(人)	行政面積(km ²)	可住地面積(km ²)	世帯数(戸)	家庭系			
					可燃ごみ排出量		生ごみ排出量	
					(g/人・日)	(t/月)	(g/人・日)	(t/月)
A市	1390000	582	294	626780	671	27881	49	2043
B市	435000	281	145	186873	671	8757	49	638
C市	164000	241	108	67127	661	3252	84	315
D市	69000	224	78	26376	573	1186	89	184
E市	25000	198	57	9832	500	375	105	78
F市	5000	180	39	2133	438	66	83	14

5.2 LCAの結果

表-6に、人口規模43.5万人のモデル都市における発電を考慮しないケースのLCAの結果を示す。

現状ケースが469 kg-CO₂/月、ケースB-1、ケースB-2、ケースB-3が463 kg、467 kg、467 kgである。ケースB-1~ケースB-3のLCO₂の結果は、現状ケースと比較して、それぞれ-6.04、-2.57、-2.42ほど少ない結果となった。なお、ケースB-2とB-3の差は、堆肥並びに液肥による化学肥料代替効果による削減分である。

表-7と図-4に、6つのモデル都市に対して、地域循環システムの評価を実施した結果を示す。表-7は、現状ケースを基準とした、人口規模別のケースB中の各項目と比較したLCA評価を示している。都市規模が2.5万

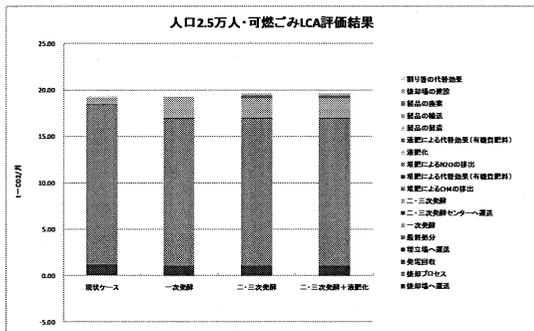
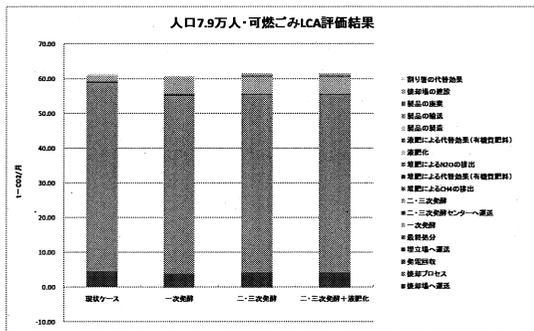
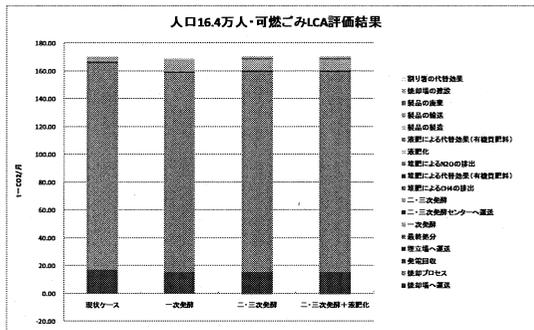
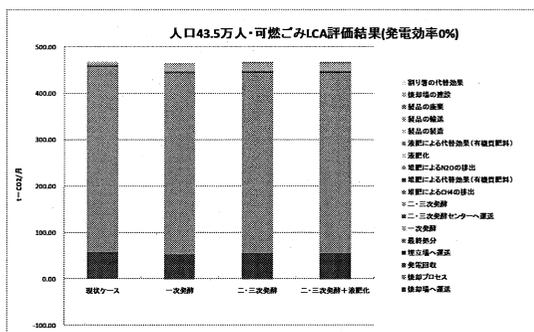
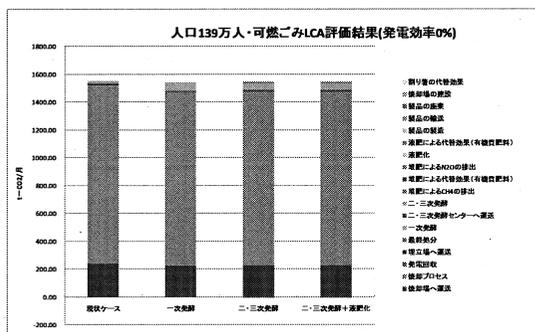
人と0.5万人のケースでは、二・三次発酵と二・三次発酵+液肥化差の値は、現状より温室効果ガス(CO₂換算値)排出量が増加する結果となった。人口が少ない地域の場合、堆肥並びに液肥を製造する時に排出される温室効果ガス(CH₄、N₂O)の量は、生ごみ分別・再資源化により削減されるCO₂の量より大きいことによる。

表-6 LCA評価結果

可燃ごみLCA評価結果(発電効率0%)	単位:t-CO ₂ /月			
	現状ケース	一次発酵	二・三次発酵	二・三次発酵+液肥化
焼却場へ運送	57.12	53.24	54.12	54.12
焼却プロセス	400.66	390.02	390.02	390.02
発電回収	0.00	0	0	0
埋立場へ運送	1.99	1.95	2.10	2.10
最終処分	2.13	2.09	2.09	2.09
一次発酵	0	15.33	15.33	15.33
二・三次発酵センターへ運送	0	0.00	0.00	0.00
二・三次発酵	0	0.00	0.10	0.10
堆肥によるCH ₄ の排出	0	0.00	1.34	1.34
堆肥による代替効果(有機質肥料)	0	0.00	-0.20	-0.20
堆肥によるN ₂ Oの排出	0	0	1.19	1.19
液肥化	0	0	0.00	0.14
液肥による代替効果(有機質肥料)	0	0	0.00	0.00
製品の製造	0	0.65	0.65	0.65
製品の輸送	0	0.12	0.12	0.12
製品の廃棄	0	-0.33	-0.33	-0.33
焼却場の建設	5.33	0	0	0
割り寄りの代替効果	1.88	0	0	0
合計	469.12	463.08	466.55	466.69
現状との差		-6.04	-2.57	-2.42

表-7 モデル都市に対するLCA評価

モデル都市		現状ケース	一次発酵	二・三次発酵	二・三次発酵+液肥化
139万人	合計	1557.47	1532.93	1543.67	1543.13
	差	-	-24.55	-13.8	-13.34
43.5万人	合計	469.12	463.08	466.55	466.69
	差	-	-6.04	-2.57	-2.42
16.4万人	合計	170.52	168.08	169.63	169.71
	差	-	-2.44	-0.89	-0.82
7.9万人	合計	61.4	60.36	61.18	61.23
	差	-	-1.04	-0.21	-0.17
2.5万人	合計	19.41	19.14	19.48	19.5
	差	-	-0.26	0.08	0.1
5千人	合計	3.42	3.54	3.6	3.61
	差	-	0.13	0.19	0.19



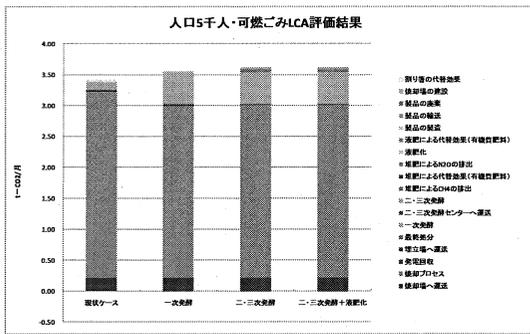


図-4 モデル都市についてLCA評価

5.3 廃棄物発電設置ケース

図-5、図-6に、人口43.5万人規模のモデル都市において、発電効率が13%時(全国平均値)と発電効率24.5%時(北九州市皇后崎スーパーごみ発電を想定)の廃棄物発電を設置した場合のLCA結果を示す。可燃ごみの焼却時に発電する量に相当する電気事業者でのCO2排出量(火力相当)を控除している。図-4の同規模の都市のケースの結果と比較により、発電効率が高くなるとそれだけ電気事業者のCO2排出量相当の代替効果の値が大きくなることことがわかる。

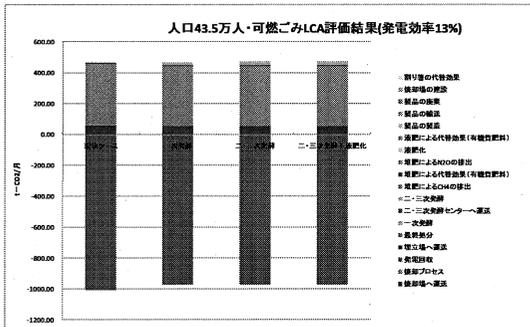


図-5 人口43.5万人・可燃ごみLCA評価(発電効率13%)

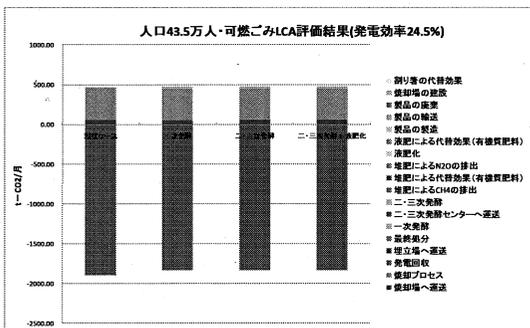


図-6 人口43.5万人・可燃ごみLCA評価(発電効率24.5%)

6. モデル都市を対象としたコスト分析

第5章で想定したモデル都市を対象に、生ごみ分別・再資源化について原価計算方法5)(収集原価+中間処理・最終処分原価)を用いてコスト分析を行った。収集原価のうち、6つのモデル都市については可燃ごみ、生ごみの収集を一括して委託業者に委託しており、収集原価は廃棄物会計基準に基づき容量比で案分した数値である。中間処理・最終処分の原価のうち、中間処理の方式は全部焼却と想定して、廃棄物会計基準に基づき容量比で案分した数値である。中間処理施設が大規模になると、中間処理原価が生ごみ処理原価より安いケースも想定される。

表-8 コスト分析の結果

人口規模	生ごみ分別有無	中間処理・最終処分部門			合計	収集運搬部門		総合計コスト
		可燃ごみ処理原価	最終処分原価	生ごみ処理原価		可燃ごみ収集運搬原価	生ごみ収集運搬原価	
1390000	生ごみ分別なし	4297836	738090	-	5035926	6715368	11751894	
	生ごみ分別有り・市町村処理	4108484	684747	355534	5146766	7554789	12703555	
	生ごみ分別有り・処理委託	4108484	684747	367794	5161026	7554789	12715815	
	生ごみ分別なし	1366022	231173	-	1597195	2126791	3723886	
435000	生ごみ分別有り・市町村処理	1305230	214291	112799	1632320	2385284	4017604	
	生ごみ分別有り・処理委託	1305230	214291	115101	1634622	2385284	4019906	
	生ごみ分別なし	741483	100886	-	842369	843820	1486189	
	生ごみ分別有り・市町村処理	707405	85098	70017	822518	727044	1595622	
164000	生ごみ分別有り・市町村処理	707405	85098	56678	850791	727044	1582233	
	生ごみ分別なし	441233	48109	-	489342	227733	717075	
	生ごみ分別有り・市町村処理	402756	40877	52373	496006	265800	761806	
	生ごみ分別有り・処理委託	402756	40877	33161	476794	256200	732994	
25000	生ごみ分別なし	152550	20700	-	173250	58400	232650	
	生ごみ分別有り・市町村処理	132850	18488	32888	184222	66625	251047	
	生ごみ分別有り・処理委託	132850	18488	14175	165513	66625	232338	
	生ごみ分別なし	54636	7048	-	61684	19426	81111	
5000	生ごみ分別有り・市町村処理	49214	6707	2946	58867	21847	80714	
	生ごみ分別有り・処理委託	49214	6707	2511	58432	21847	80278	

表-8に示すように、人口規模別に、生ごみ分別なし/あり、市町村処理/処理委託に分けて、計算を行った。その結果、中間処理と最終処分において、人口規模が16.4万人以上では、生ごみ分別を行わないケースの処理費が最も安価となった。これは、可燃ごみ処理施設が大規模となり、建設単価の低減や発電の実施等による維持管理費の低減が要因であると考えられる。また、人口規模が6.9万人以下となると、生ごみの分別処理を民間委託するケースの処理費が最も安価となった。可燃ごみ処理施設が小規模になることによる建設単価の上昇、発電等が困難なことによる維持管理費の上昇のためと考えられる。

さらに、収集・運搬コストを含んだ場合でも、人口規模が2.5万人以下のモデル都市については、生ごみを分別収集しても、総経費で生ごみ民間委託のケースが最も安価な結果が得られた。

7. まとめと今後の課題

本研究では、食品廃棄物の分別・再資源化を想定した地域循環システムによって、生ごみを処理した場合のライフサイクルCO2並びにコストを評価した。その結果、7.9万人以上の都市規模では、現状の生ごみ処理に比べCO2の排出量の削減に寄与する結果が得られた。

なお、食品廃棄物以外の一般廃棄物処理を評価のシステム境界に含め、廃棄物発電の有無や発電効率の違いに

についても評価した結果も示した。しかし、全国に約1,800箇所ある一般廃棄物焼却工場のうち、廃棄物発電施設があるのは18%にすぎない。現状では、200トン/日のような大型の清掃工場だけである。処理能力200トン/日未満の焼却場が大多数であるので、今回の結果のうち、発電効率0%（図-4）も十分意味を持つといえる。

生ごみ資源化実施都市モデルにおけるコスト分析結果については、収集・運搬コストを含んでも、人口規模が2.5万人以下のモデル都市については、生ごみを分別収集しても、総経費で生ごみ民間委託のケースが最も安価となる結果が得られた。

今後の課題は、表-1のうち、今回評価範囲に含めていない項目を評価に加えることである。

参考文献

- 1) 図表一覧(平成15年度循環型社会の形成の状況に関する年次報告)
<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/>
- 2) 国土交通省都市・地域整備局下水道部、(ディスプレイ導入時の影響判定の考え方)、2003年7月
- 3) 藤井実ら(2006):家庭系容器包装プラスチックごみの収集と運搬に関する評価モデル、廃棄物学会論文誌、NO.5, pp.331-341.
- 4) 週刊東洋経済(2008年度地域経済総覧)
- 5) 環境省・「地域循環圏に関する取組」地域循環圏に関する九州会議、平成21年度報告書
- 6) 環境省・九州地方環境事務所(平成22年度市町村のための廃棄物政策力向上セミナー)

LIFE CYCLE INVENTORY ANALYSIS OF FOOD WASTE WASTE RECYCLING SYSTEM CONSIDERING CITY SCALE

Yingying DOU, and Toru MATSUMOTO

As the evaluated objective, on-site food waste disposal units were presumed to be installed and used at waste treatment centers in populated areas, and the amount of garbage was considered to be decreased without the production of unpleasant odors. Six model cities were assumed, with populations of 1,760,000, 435,000, 164,000, 69,000, 25,000 and 5000 respectively. Result, Model cities other the populations of 5000, 25,000 recyclable of food scraps emission by greenhouse gases is go down. We know that when the scale of the Urban becomes small, the reduction of greenhouse gases also decreases. This time, about the model of the Urban, we divide whether it has garbage classification, The cost of the process of garbage from home was calculated. As a result, on the case that the population of the city is no more than 30000, it was the cheapest when food waste is processed by community with the total expanse.