

13. CO₂排出量削減のための東京都区部における生活系廃棄物管理施策の評価

Evaluation of domestic wastes management policy scenarios for reduction of CO₂ emission in the Tokyo

荒巻 俊也^{*}・山田 拓也^{**}・松尾 友矩^{***}

Toshiya ARAMAKI, Takuya YAMADA and Tomonori MATSUO

ABSTRACT ; The purpose of this study is to evaluate domestic wastes management policy scenarios for reduction of CO₂ emissions in the Tokyo 23 wards area. The simple model of domestic wastes management system in this area were constructed, and CO₂ emission from the system were estimated. Using this model, the policy scenarios including low emission vehicles, RDF (Refuse Derived Fuel) and disposer system, were evaluated. Among these three policy options, disposer system has much effects for its reduction because of high recovery rate of carbon sources in waste incineration plants and in sewage treatment plants. Installing this system to all over the area, it brings about 1.8 % reduction of total CO₂ emission of the Tokyo Metropolitan Area. Introducing low emission vehicles for garbage trucks has positive, but small impact for its reduction. Clear positive impact was not seen in the scenarios of RDF systems.

KEYWORDS ; disposer, RDF, domestic wastes management system, Tokyo, CO₂ emissions

1. はじめに

地球温暖化防止のために、全てのCO₂排出源において可能な限り排出量を削減していくことが重要な課題となっている。なかでも、都市では人口やさまざまな産業活動が集中して、直接、あるいは間接的に大量のCO₂を排出しており、都市からの排出量の削減方法を検討していくことは重要であり、また効果的でもある。

東京都は年間約1600万t-C(1995年、バイオマスを除いた推計)、一人当たり約1.4tのCO₂を排出しており¹⁾、そのうち廃棄物からの排出量は1%程度でさほど大きな割合ではない。しかし、廃棄物中の炭素源は、他の部門と違って有効に活用されずに排出されているものが多く、これらを資源として活用していく必要がある。そのためにさまざまな新しい技術やシステムが検討されているが、そういった技術やシステムが与える影響を、実際の状況をできるだけ詳細に再現しながら、定量的に評価していく必要がある。

本研究では、東京都区部の一般廃棄物収集・処分システムからのCO₂排出量を算出するモデルを作成し、ディスポーザーやRDF、低公害車などの新しい技術やシステムを導入した場合のCO₂排出の削減量を定量的に評価することを目的とする。

2. CO₂排出量評価モデルの概要と現状の解析

2.1 前提条件

一般廃棄物の中の可燃ゴミを対象とする。東京都区部においては、可燃ゴミは図-1に示すように、局収集ゴミ、持ち込みゴミ、粗大ゴミに分けて収集されている。このモデルでは、この図の太枠で囲まれたプロセスにおけるCO₂排出を対象として、さまざまな発生源からの排出量を積み上げることで総排出量を推計する。具体的には、以下に示す発生源を考慮したモデルとなっている。

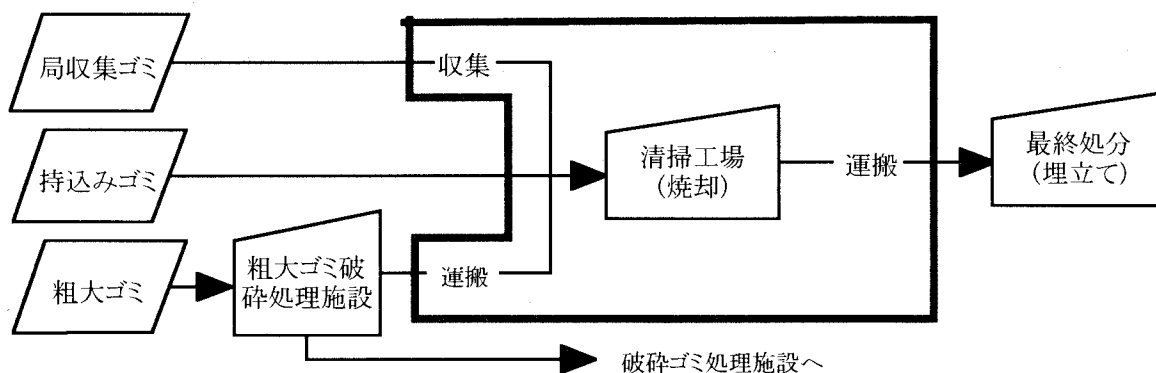
- ・清掃工場への収集・運搬時における車両からの発生。
- ・清掃工場での焼却時の廃棄物から、および補助燃料からの発生。
- ・清掃工場から焼却残灰の運搬時における車両からの発生。

清掃工場において焼却時に発電を行い、それを外部に供給した場合、電力会社で発電される電力がその分減少

* 東京大学先端科学技術研究センター Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo

** 東京大学工学部都市工学科 Department of Urban Engineering, University of Tokyo

*** 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 Department of Urban Engineering, University of Tokyo



図－1 都区部における可燃ゴミのフロー

し、CO₂排出量を削減する効果が見込まれる。本研究では、このCO₂排出量の削減分を排出回避CO₂量と定義し、燃料転換の効果を評価する立場から、上記の発生量の総和から差し引くことにしている。なお、電力会社の発電分を代替する場合、CO₂排出量を削減するために火力発電所における発電分を代替するケースと、平均的に全ての発電源における発電分を代替するケースの二通りが考えられる。本研究ではこの二通りのケースを評価するために、排出回避CO₂量を算出する時の電力のCO₂排出係数について、後述する2種類の数値を使用している。

また、清掃工場での焼却時の廃棄物から発生するCO₂には厨芥や紙などのバイオマス由来とするものが含まれるが、これらは循環利用されているものとしてIPCCなどでは除外して推計していることから、本研究でもバイオマス由来のCO₂は除外して推計している。

2.2 基礎データ

可燃ごみの発生量や清掃工場への搬入量、補助燃料の使用量や発電量などについては、平成7年度の東京都清掃局の実績値²⁾を用いる。各燃料の二酸化炭素排出係数は表－1のものを、電力会社による発電時のCO₂排出係数については、東京電力のデータ³⁾より全発電所の平均値81(g-C/kWh)、あるいは火力発電所の平均値149(g-C/kWh)を用いる。

表－1 各燃料のCO₂排出係数¹⁾

燃料	単位	係数
軽油	kgC/L	0.7212
都市ガス	kgC/m ³	0.5839
灯油	kgC/L	0.6669
A重油	kgC/L	0.7357
B重油	kgC/L	0.7725
C重油	kgC/L	0.8016

2.3 現状のCO₂排出量の推計

(A) 清掃工場への可燃ごみの収集・運搬時、焼却残灰の運搬時のCO₂排出量

局収集ゴミの収集時の収集車による排出、粗大ゴミ破砕処理施設からの運搬時の排出、中央防波堤外の仮置き場からの逆送ゴミの運搬時の排出、焼却残灰の運搬時の排出を推計の対象とする。持込みゴミの運搬時については対象としていない。

収集車については全て2t車で軽油を利用しているものと仮定し、清掃事務所への聞き取り調査の結果から1台当たり949(t/年)のゴミを収集するものとして、各清掃工場ごとに必要車両数を算出する。また、1台当たり1日6回、平均7km走行しているという聞き取り調査の結果を用いて、52週×3回収集するという仮定からCO₂排出量を算出する。粗大ゴミ破砕施設、逆送ゴミおよび焼却灰の運搬時についても、局収集ゴミと同様の仮定により算出するが、走行距離については都区部の中心から中央防波堤外までを想定し、26kmとする。なお、焼却残灰量は東京都清掃局の実績値³⁾を用いている。CO₂排出量の推計値を表－2に示す。

(B) 焼却プロセスからの排出

平成6年度の東京都の可燃ゴミ組成のデータ¹⁾と各ゴミ成分の水分率と炭素比率⁵⁾を用いて、可燃ゴミ1kg当りのCO₂排出係数(バイオマス由来のものを除いた場合)を0.0440(kg-C)と算定している。清掃工場への搬入ゴミ量の実績値とこの値からCO₂排出量を推定している。

補助燃料からの排出については、東京都清掃局の実績値²⁾から表-1の原単位により推計する。不燃物専用の清掃

工場で用いられている補助燃料については除外している。推計結果を表－2に示す。

(C) 焼却時の発電によるエネルギー回収によるCO₂排出の削減

清掃工場における発電量のうち場外利用量については東京都清掃局の実績値²⁾を用いて、前述したように全発電所の平均値と火力発電所の2通りの排出係数を用いて排出回避CO₂量を評価する。推計結果を表－2に示す。

(D) 現状の総CO₂排出量

以上、(A)、(B)における排出量の和から、(C)の排出回避量を差し引いて、総排出量とし、表－2に示す。都区部の生活系廃棄物収集・処分システムからの総排出量は118(千t-C)、一人当たり14.9(kg-C)で、焼却時の廃棄物由来のものがそのほとんどを占めていることがわかる。東京都全体のCO₂排出量試算例

¹⁾における一般廃棄物由来の排出量では129(千t-C、1995年)、一人当たり11.2(kg-C)となっており、今回の試算はこれよりやや大きな値となっているが、都区部では業務系由来のゴミが特に大きいことから、東京都全体の試算例と比較して妥当な値になっているものと考えられる。

表－2 都区部の生活系廃棄物収集処分システムからのCO₂排出量

	CO ₂ 排出量 (t-C)
運搬・収集	
局収集	5,321
破碎処理施設から	188
仮置き場から	81
焼却残灰輸送	3,405
焼却プロセス	
廃棄物由来	140,488
補助燃料由来	301
排出回避CO ₂ 排出量	
全発電所平均	22,587
火力発電	41,550
総排出量(平均)	118,201
総排出量(火力)	99,239

3. 施策シナリオの概要と評価

3.1 低公害車の導入

可燃ゴミの収集・運搬および焼却残灰の運搬用に、低公害車を導入するというシナリオを仮定する。現状では軽油使用の車両を用いており、これを低公害車に代えることによるCO₂削減量を評価する。低公害車として、LPG(液化石油ガス)車と電気自動車を対象とする。

CO₂排出係数については、軽油利用およびLPG利用の乗用車についての排出係数¹⁾の比が57.2%であることから、LPG車については表－3に示した値を用いる。電気自動車については伊藤⁹⁾が用いている0.269(kWh/台km)という値を基に表の値を算出している。なお、電力のCO₂排出係数としては全発電所の平均値を用いる。排出削減量の結果も合わせて表－3に示すが、表－2の廃棄物全体からの排出量と比較しても1オーダー小さく、CO₂削減効果はそれほど大きくないことが分かる。

表－3 車種別の走行距離当りCO₂排出係数と排出削減量

	CO ₂ 排出係数 (g-C/km)	CO ₂ 排出削減量 (t-C/year)
現状(軽油利用)	318	
LPG車	183	3,845
電気自動車	22	8,380

3.2 RDF(Refuse Derived Fuel)の導入

都区部の可燃ゴミ全量をRDFにして、効率よくエネルギーを回収することによりCO₂削減を図るというシナリオを想定する。CO₂排出量の評価に当たっては、群馬県企業庁の調査例⁷⁾とエンジニアリング振興協会の調査例⁸⁾を参考にすることとし、前者の調査例を参考にして評価を行うケースをCaseR-A、後者をCaseR-Bとする。なお、CaseR-Aについては、RDF発電システムとして流動床炉(従来型)を対象とした例と、ガス化溶融炉を対象とした例があり、それぞれCaseR-A1(流動床炉)、CaseR-A2(ガス化溶融炉)として評価を行う。CaseR-Bも流動床炉を採用している例である。なお、それぞれのCaseにおけるRDF発電システムの発電端効率は、それぞれ27%、24%、30%と設定してある。

RDFの導入によりCO₂排出量が増加するものと想定される以下の排出源について、CO₂排出量の変化を解析する。

- ・RDF製造時の電力、灯油の消費に伴うCO₂排出量。
- ・RDF発電による排出回避CO₂量。
- ・RDFを導入したために清掃工場が発電されなくなった電力分の生産に伴うCO₂排出量。

なお、RDF運搬時のCO₂排出量については、ここでは考慮していない。

表－4に示すように、前述した2つの調査例⁷⁾⁸⁾を参考に発電量や燃料使用量の増加分とそれに伴うCO₂排出量の変化を推定している。発電量純増分は、外部供給電力からRDF製造時の消費電力と清掃工場発電量減少分を引い

表－4 RDF導入に伴うCO₂排出削減量

		CaseR-A1	CaseR-A2	CaseR-B
発電量純増分		354	380	1,050
外部供給電力量	GWh/y	1,373	1,399	1,965
RDF製造時の消費電力量*1		-479	-479	-375
清掃工場発電量減少分*1		-540	-540	-540
発電量増加に伴う排出回避CO ₂ 量(平均)	t-C/y	28,700	30,777	85,071
発電量増加に伴う排出回避CO ₂ 量(火力)		52,794	56,615	156,488
RDF製造時の灯油使用に伴うCO ₂ 排出増加量*1		-35,325	-35,325	-117,041
CO ₂ 排出削減量(平均)	t-C/y	-6,625*2	-4,548*2	-31,971*2
CO ₂ 排出削減量(火力)		17,469	21,290	39,447

*1 電力消費量、清掃工場発電量減少分、CO₂排出増加量を負の値で表現している。

*2 負の値はCO₂排出量が増加していることを意味する。

たものとなっている。排出回避CO₂量について平均か火力発電のものを使用するかで、いずれのケースでも結果が変わっており、火力発電を代替するものとしてRDFを利用した場合にはCO₂削減効果が認められている。CaseR-A1(流動床炉)とCaseR-A2(ガス化熔融炉)を比較すると、CaseR-A1の方が発電端効率がよいのであるが、内部消費電力が多いためにCO₂の削減効果が小さくなっている。また異なる手法を用いて評価したCaseR-Bでは、CaseR-Aと比べて発電量の増加分は大きいものの、灯油使用量もそれと比例して大きくなっており、結果的にCaseR-Aとそれほど差がないという結果になっている。

都区部では既に清掃工場において発電が行われているため、RDF導入によるCO₂削減効果が明確には現れなかった。ただしRDFによるCO₂削減効果は、清掃工場での発電効率とRDFによる発電効率の差、およびRDF製造時のエネルギー消費等の関係で決まってくるものであり、発電効率等をどのような値にするかについては更なる検討が必要であろう。

3.3 ディスポーザーの導入

ディスポーザーの導入により、下水処理施設では回収エネルギー源が多くなること、廃棄物側では厨芥分の収集量が減少すること、廃棄物のカロリーが上がることによりエネルギー源として高質なものになること、ということからCO₂削減効果が期待できる。ここでは、東京都区部全域にディスポーザーを導入すると仮定して、造水促進センターの調査例⁹⁾を参考に、以下に示す下水処理・廃棄物処理のシステムに関するシナリオを想定する。

CaseD-0(現状)：現状の都区部の下水処理システムと廃棄物処理システムを想定し、ディスポーザーを導入していない場合である。下水処理系のCO₂排出量については下水道統計の処理場における燃料使用量の実績値¹⁰⁾を用いて表－5のように推定している。この他の下水処理システムにおけるCO₂発生源については考慮していない。

CaseD-A0:図－2(1)に示したシステムで、ディスポーザーを導入していない場合である。現状の下水処理、廃棄物処理にはここで想定したシステムが全域に導入されていないので、このシナリオと後述するCaseD-Aを比較することにより、ディスポーザー本体の効果と想定したシステムを導入したことによる効果を区別することが可能である。

CaseD-A:図－2(1)に示したシステムで、ディスポーザーを導入する場合である。下水処理において、厨芥を含む下水を一般的な水処理システムで処理し、汚泥は分離濃縮して消化、脱水した後焼却し、発生した消化ガスを用いて発電する方式である。厨芥以外の可燃ごみは焼却し、発電を行う。

CaseD-B:図－2(2)に示したシステムで、ディスポーザーを導入する場合である。下水処理において、厨芥を含む下水を一般的な水処理システムで処理し、汚泥は分離濃縮して消化、脱水した後ゴミ焼却炉で混合焼却するとともに、発生した消化ガスをゴミ発電のスーパーヒートのためのエネルギーとして利用する方式である。これは厨芥をディスポーザーを使って下水道に流すようにした場合のエネルギー回収効率の最も高いシステムとして想定している。

これらのシナリオによりCO₂排出量が増加するものと想定される以下の発生源について、CaseD-0(現状)からのCO₂排出量の変化を解析する。

表－5 現状の下水処理システムからのCO₂排出量

燃料種	CO ₂ 排出量(t-C)
電力(平均)	52,200
電力(火力)	96,023
重油	11,251
灯油	4,082
都市ガス	9

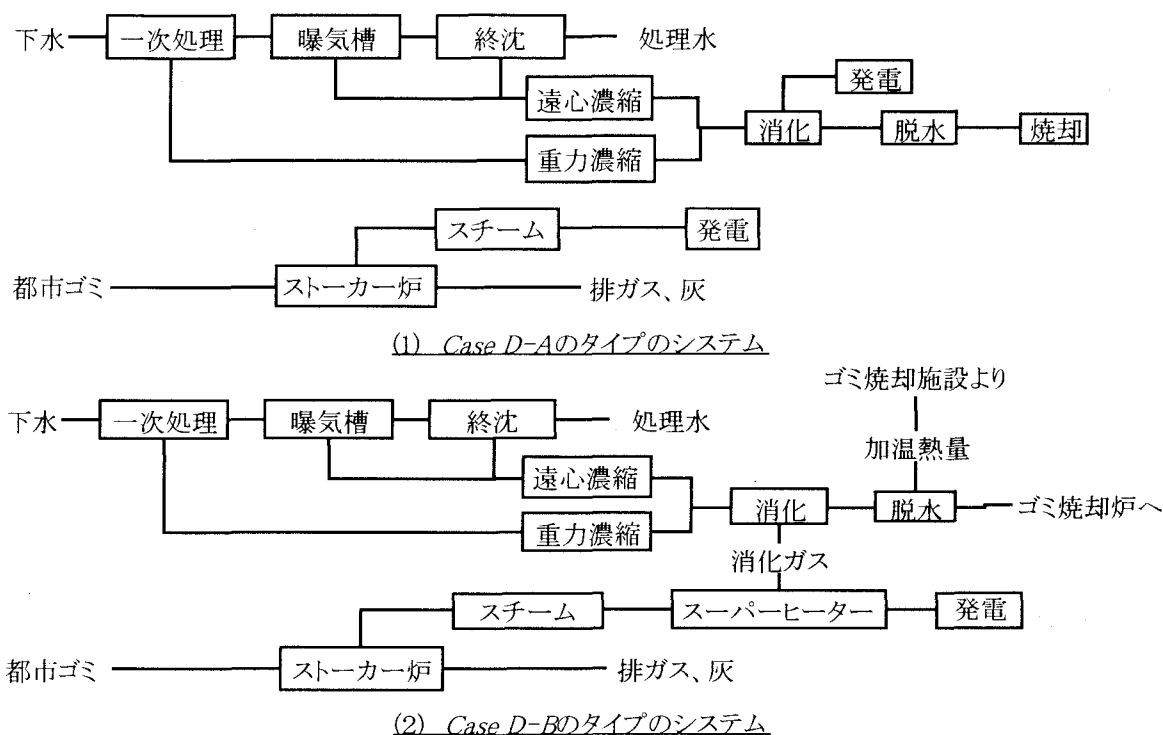


図-2 ディスポーザーシステム導入のシナリオ

- ・下水処理場でのエネルギー回収量の増加に伴う排出回避CO₂量。
- ・下水処理場での補助燃料使用量減少に伴うCO₂排出削減量。
- ・ディスポーザー使用時の電力消費に伴うCO₂排出増加量。
- ・清掃工場での発電量増加に伴う排出回避CO₂量。
- ・清掃工場での補助燃料の使用量の減少、あるいは増加に伴うCO₂排出量の変化。
- ・可燃ゴミの収集量減少に伴うCO₂排出削減量。

廃棄物由来で燃焼等に伴って排出されるCO₂についてはシステム全体として不変であるとする。ディスポーザー製造や新施設建設に伴う負荷は運用時と比較して小さいものとして考慮に入れていない。また、下水管やポンプ場における負荷の増大に伴う排出量についても考慮していない。

下水処理場でのエネルギー回収量や補助燃料使用量については、造水促進センターの調査例⁹⁾を参考に表-6のように処理施設の各プロセスにおけるエネルギー収支を算出している。この値とCaseD-0(現状)におけるエネルギー収支を比較してCO₂削減量を推定している。

清掃工場における発電量については、造水促進センターの調査例⁹⁾からゴミ量当りの発電量を推定し、それをもとに算出しているが、CaseD-Aについてはゴミ量当りの発電量のデータがなかったため、松尾ら¹¹⁾が仮定している厨芥を含む可燃ゴミと含まない可燃ゴミの発熱量の比を用いてゴミ量当りの発電量を算出している。補助燃料の使用量についてはゴミ量に応じて比例計算している。

ディスポーザー使用時の消費電力については、処理能力2.5(kg/分)、出力400(W)と仮定して算出している。ゴミ収集に伴うCO₂排出量の変化についても、ゴミ収集量に応じて比例計算している。

表-7にCaseD-0に対する各シナリオでのCO₂

表-6 ディスポーザーシステム導入に伴う下水処理場におけるエネルギー収支

	CaseD-A0	CaseD-A	CaseD-B
消費電力量(MWh/d)			
水処理設備	1,480	1,504	1,504
汚泥濃縮設備	150	121	121
汚泥消化設備	38	55	55
汚泥脱水設備	154	217	217
汚泥焼却設備	168	235	
消費重油量(kl/d)			
汚泥焼却設備	85	119	
消化ガス発生量(m ³ /d)	375,019	591,443	591,443
消化ガス発熱量(Gcal/d)			3,253
消化ガス発電量(MWh/d)	720	1,135	
設備必要熱量(Gcal/d)			1,237
消費エネルギー(MWh/d)	2,024	2,179	1,897
回収エネルギー(MWh/d)	720	1,135	2,343

表ー7 ディスポーザーシステム導入に伴うCO₂排出削減量

	CaseD-A0	CaseD-A	CaseD-B
清掃工場での発電量増加に伴う排出回避CO ₂ 量(平均)	36,343	95,207	77,422
清掃工場での発電量増加に伴う排出回避CO ₂ 量(火力)	66,852	175,134	142,418
清掃工場での補助燃料使用量の減少に伴うCO ₂ 削減量	0	75	-103*1
可燃ゴミの収集量減少に伴うCO ₂ 排出削減量	0	2,610	2,610
下水処理場でのエネルギー回収量増加に伴う発生回避CO ₂ 量(平均)	13,623	21,320	65,404
下水処理場でのエネルギー回収量増加に伴う発生回避CO ₂ 量(火力)	25,060	39,219	120,311
下水処理場での補助燃料使用量減少に伴うCO ₂ 排出削減量	5,830	1,975	15,341
ディスポーザー使用時の電力消費に伴うCO ₂ 排出量*2	0	-173	-173
CO ₂ 排出削減量(平均)	55,796	121,015	160,502
CO ₂ 排出削減量(火力)	97,742	218,841	280,405

*1 負の値はCO₂排出量が増加していることを意味する。

*2 CO₂排出の増加分を負の値で表現している。

排出削減量の推計結果を示す。合計では、CaseD-B>CaseD-A>CaseD-A0となっており、いずれのケースでもCO₂排出量が削減されている。CaseD-Bでは汚泥を処理場で焼却しないことにより、下水処理過程でのCO₂排出量が効果的に削減されており、CaseD-Aでは高カロリーのゴミを用いて発電することにより、清掃工場でのエネルギー回収の過程でCO₂排出量が効果的に削減されている。また、CaseD-A0とCaseD-Aの比較からディスポーザー導入により7～12万t-Cが削減されており、CO₂削減策として有望である。また、清掃工場、下水処理場でのエネルギー回収プロセスにおいてディスポーザー導入によるCO₂削減効果が大きくなっており、ディスポーザーを導入とともに清掃工場や下水処理場に適切なエネルギー回収プロセスを設置することが重要である。

CO₂削減量が最大となるCaseD-Bの削減量(火力発電の排出係数を利用した場合)は、年間280(千t-C)、一人当たり35.4(kg-C)となっている。現状の一般廃棄物収集処分システムからの排出量が一人当たり14.9(kg-C)であることから、廃棄物システムからの排出量を削減するだけでなく、エネルギー転換により他部門からの排出量も20.5(kg-C)削減していることがわかる。また、これを1990年の東京都全体の一人当たりのCO₂排出量と比較してみると2.70%の削減となっており、CO₂削減策として有望である。ただし、ディスポーザーについては、合流式下水道における雨天時越流水の問題など、ここでは考慮していないさまざまな問題があるので、それらも合わせて考慮していく必要がある。

4. まとめ

本研究では、東京都区部の一般廃棄物収集・処分システムを対象として、ディスポーザーやRDF、低公害車を導入したときのCO₂排出量の変化を定量的に評価し、なかでもディスポーザーがCO₂排出量削減に有効であることが示された。今後の課題としては、利用しているパラメータの再検討や、GISデータを用いることなどにより、評価の精度を上げていくこと、CO₂排出量以外の環境負荷やコストの評価、清掃工場や下水の持つ熱利用の可能性の探索、施策立案をするうえでの合意形成を促す情報提供手段として利用できる形にすることが挙げられる。

参考文献

- 1) 富士総合研究所、「地球環境保全に向けたアクションプラン」(仮称)に係る基礎調査報告書、1997
- 2) 東京都清掃局、清掃局年報・平成8年度一事業実績一、1997
- 3) 東京電力、環境行動レポートーエネルギーと環境問題への取り組みー、1997
- 4) 東京都清掃局、96'清掃のあらまし
- 5) 新エネルギー・産業技術総合開発機構・造水促進センター、平成7年度高効率メタンガス製造技術開発成果報告書、1996
- 6) 伊藤武美、ライフサイクル分析を援用した都市環境計画、東京大学博士論文、1997
- 7) 群馬県企業局、環境調和型エネルギーコミュニティ形成促進補助事業「高効率廃棄物発電(産廃等RDF利用)事業化調査」調査報告書、1997
- 8) エンジニアリング振興協会、平成8年度ごみ固形燃料(RDF)化エネルギー利用社会システムの総合評価に関する調査研究、1997
- 9) 造水促進センター、平成6年度地球環境改善に資する研究開発調査報告書、1995
- 10) 日本下水道協会、下水道統計・行政編、平成8年版
- 11) 松尾友矩・味埜俊・花木啓祐・一ノ瀬俊明、下水の有効利用に係わる基礎調査ー下水熱の有効性評価とディスポーザー導入効果ー、東京大学総合試験所年報、Vol.55、1996