第 21 回廃棄物学会研究発表会
企画セッション発表資料

循環型社会、低炭素社会時代に応える
都市ごみ焼却処理

2010 年 11 月

一般社団法人廃棄物資源循環学会　学術研究委員会　廃棄物焼却研究部会

廃棄物焼却研究部会　委員名簿		
	青木　勇	(株)神鋼環境ソリューション
	浅田　信二	ユニチカ(株)
	河端　博昭	ダイネン(株)
	上林　史朗	(株)クボタ
	木村　哲雄	クボタ環境サービス(株)
	小北　浩司	(株)タクマ
	近藤　守	Hitz 日立造船(株)
	澁谷　榮一	JFE ビーレック(株)
	瀬川　道信	京都市環境局
	高岡　昌輝	京都大学
◎	武田　信生	立命館大学
	谷川　昇	財団法人日本産業廃棄物処理振興センター
	手島　肇	(株)タクマ
	中村　一夫	京都高度技術研究所
	永山　貴志	(株)クボタ
	西谷　隆司	大阪市立環境科学研究所
	西野　雅明	JFE エンジニアリング(株)
	尾藤　俊文	カワサキプラントシステムズ(株)
	藤田　泰行	(株)タクマ
	古林　通孝	Hitz 日立造船(株)
	前田　洋	大阪ガス(株)
○	増田　孝弘	(株)タクマ
	三野　禎男	Hitz 日立造船(株)
	向井　明	ダイネン(株)
	安田　憲二	(株)エネルギー環境工学研究所
	安田　直明	(株)IHI 環境エンジニアリング
	山内　淳行	中日本建設コンサルタント(株)
	山形　成生	(株)神鋼環境ソリューション
	山田　明弘	三菱重工環境・化学エンジニアリング(株)
◎ 代　表 , ○ 連絡担当		

目　　次

Ⅰ　はじめに……1

立命館大学エコ・テクノロジーセンター　武田　信生

Ⅱ　分別等の取り組みが焼却処理におけるごみ量・ごみ質へ及ぼす影響……3

大阪市立環境科学研究所　西谷　隆司
中日本建設コンサルタント(株)　山内　淳行
(株)クボタ　永山　貴志

Ⅲ　ごみ発電の観点からみたごみ処理の広域化……33

(株)タクマ　小北　浩司、増田　孝弘

Ⅳ　循環型社会、低炭素社会に対応した都市ごみ中間処理方式……51

京都大学大学院工学研究科　高岡　昌輝
(株)タクマ　増田　孝弘

Ⅴ　新エネルギー導入推進におけるごみ発電の位置づけと課題……69

大阪ガス(株)　前田　洋
(株)神鋼環境ソリューション　山形　成生

Ⅵ　都市ごみ焼却・発電施設運営事業におけるリスク分担……81

JFE エンジニアリング(株)　西野　雅明
Hitz 日立造船(株)　近藤　守

Ⅶ　都市ごみ焼却施設の窒素酸化物自主規制値緩和による
発電量向上に関する検討……95

Hitz 日立造船(株)　古林　通孝
(株)IHI 環境エンジニアリング　安田　直明

日時：平成 22 年 11 月 4 日(木)　15:15～16:45
場所：金沢ニューグランドホテル　金扇(4F)

Ⅰ　はじめに

武田　信生　（立命館大学）

平成 20 年（2008 年）3 月に出された「循環型社会形成推進基本計画」（第二次循環基本計画）の前文には、＜循環基本計画は・・・資源の採取や廃棄に伴う環境への負荷を最小にする「循環型社会」を形成することにより、地球温暖化問題に対応した「低炭素社会」や自然の恵みを将来にわたって享受できる「自然共生社会」の構築と相まって、「持続可能な社会」を創り上げるための基本的な計画と位置付けられます。環境の保全を前提とし、3R の推進と適正処理の実施など、循環型社会の形成推進に当たっては、常に持続可能な社会に向けた視点を持ち、低炭素社会に向けた取組や自然共生社会に向けた取組と統合した取組を進めることが重要です。＞と謳われている。

狭い意味での＜廃棄物資源循環＞の立場からすると、物質（あるいは、エネルギーも含めて）の循環的利用を中心とした循環型社会の形成が大目的のように考えられがちであるが、大目的は「持続可能社会」なのであって、その大目的に向けて「循環型社会」、「低炭素社会」、「自然共生社会」が統合的に推進されなければならないのである。

公衆衛生の確保を命題としてはじまった近代日本のごみ処理は、衛生上最も信頼性が高い焼却処理法を軸として発展してきた。しかし、産業、経済、技術の発展に伴い、ごみ処理に期待されるものは、公衆衛生はもとより、環境保全、資源循環といったことにまで拡大してきた。

1990 年代に入り、資源の有限性や地球環境問題が強く認識されるようになると、ごみ処理の中心課題はそれまでの適正処理一辺倒から 3R に象徴されるように、発生抑制、再（生）利用に優先順位をおいた処理体系が求められるようになってきた。新たな資源の採掘ということを想定してみれば、3R は基本的に低炭素化や自然共生にとって有効であることは容易にイメージされることではある。しかしながら、Reduce-Reuse-Recycle の原則ののちに、適正な処理・処分が必要になった廃棄物であっても熱的価値は高く、その潜在する熱量を有効に活用することもまた、低炭素化、自然共生を推進し、持続可能社会を形成するために重要である。

廃棄物焼却からの廃熱回収とその利用はヨーロッパ諸国では古くから発展してきたが、わが国では、流体燃料が安価かつ豊富に入手可能であったことなどから十分にかえりみられてこなかった。また、先述したようにごみ処理が公衆衛生の確保を目的としてきたこと、1900 年以来、その処理責任を個々の市町村自治体に委ねてきたことから、ごみ焼却炉の単位容量は小さく、炉数が多いこと、中には准連続炉、バッチ炉といった非連続運転炉が存在するというのがわが国のごみ焼却システムの特徴となってきており、そのことが廃熱の利用を困難にしている要因の一つである。

過去に比べ交通の手段や便が飛躍的に向上した現代にあっては、廃熱利用の効率を重視し、環境対策の行き届きやすい、ごみ処理の広域化、焼却規模の大型化が図られる必要がある。そのことは必ずしも、住民の無関心を助長したり、自治をおろそかにすることに繋がるものではない。また、ごみ焼却施設は、ともすれば嫌悪施設として人里離れた土地に建設されることが多く、熱の利用先を見つけることが困難であったが、

環境規制と対策技術を極限にまで発展させてきたわが国にあっては、立地のあり方についても再検討されることが望まれる。

わが国では地域暖房熱などの需要が見込める地域が少ないことから、廃熱利用はほぼ発電に繋がるといっても過言ではない。廃棄物発電は未利用エネルギー、再生可能エネルギーとして有望であり一層発展させる必要がある。

筆者らは早くから廃棄物発電の重要性に注目し、廃棄物学会(現 廃棄物資源循環学会)研究委員会廃棄物焼却研究部会において廃棄物発電の位置づけならびにその高効率化について研究を進めてきた。

地球温暖化対策推進本部が平成 14 年(2002 年)3 月 19 日に決定した「地球温暖化対策推進大綱」では、＜廃棄物発電は、燃やさざるを得ない廃棄物の排熱を有効に活用するものであることから、「循環型社会形成推進基本法」の理念及び「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」の「廃棄物の減量化目標」との整合性を図りつつ、推進するものとする。＞とし、2010 年度導入目標量として廃棄物発電 417 万 kW、廃棄物熱利用 14 万 kℓを挙げている。また、2008 年 3 月 25 日閣議決定された「廃棄物処理施設整備計画」においては 2012 年度において、ごみ焼却施設の総発電能力を約 2,500MW まで向上させることを目標としている。

しかしながら2008年度におけるごみ焼却発電の能力は1,615MWにとどまっているなど、今後短期間の内に相当積極的な施策と取組がなされない限り、目標の達成は困難な状況にあるといえる。2009 年度から高効率のごみ発電施設については交付率 1/2 の積極的な財政支援が行われることになったが、ごみ処理施設の新設計画、基幹的施設整備計画、改築計画の中で、先見性をもって計画の中味が詰められていくことが望まれる。

本特集においてはごみの質と量、施設の規模と広域化、3R 時代の都市ごみ中間処理、新エネルギー体系における廃棄物発電の位置づけ、廃棄物発電の事業とリスク、環境規制と発電効率向上策の関係など、ごみ発電をとりまく現今、さらに近い将来の展望を検討した結果を取り上げている。諸兄姉方のご参考になれば幸いであり、また、いろいろなご意見をいただくことができれば、さらに議論が深まっていくものと期待される。

Ⅱ　分別等の取り組みが焼却処理におけるごみ量・ごみ質へ及ぼす影響

西谷 隆司　（大阪市立環境科学研究所）
山内 淳行　（中日本建設コンサルタント株式会社）
永山 貴志　（株式会社クボタ）

1　はじめに

都市ごみの衛生的な処理と減量化という目的を効率的に達成することができる焼却処理は，受入ごみの量や質への変動にも柔軟に対応できる技術であり，増え続けるごみの処理を迫られてきた自治体にとって，ごみ処理の根幹をなす技術とされてきた。

しかし，資源の消費と環境への負荷を拡大しつつ経済的な発展を追求し続けてきた社会システムのあり方も，資源と環境負荷の容量への限界が危惧され，持続可能社会へのシステム転換を迫られることとなった。廃棄物についても，循環型社会へ向けて，処理システムのあり方が問われるようになった。

本来は，社会全体，地球規模での資源・エネルギーの利用と環境への負荷の最小化を求めるシステムが追求されるところであるが，実際上は，各地域，国レベルでのそれぞれ最適な目標，システムを求めて，それぞれの地域における事情や条件に応じてシステム選択がなされている。

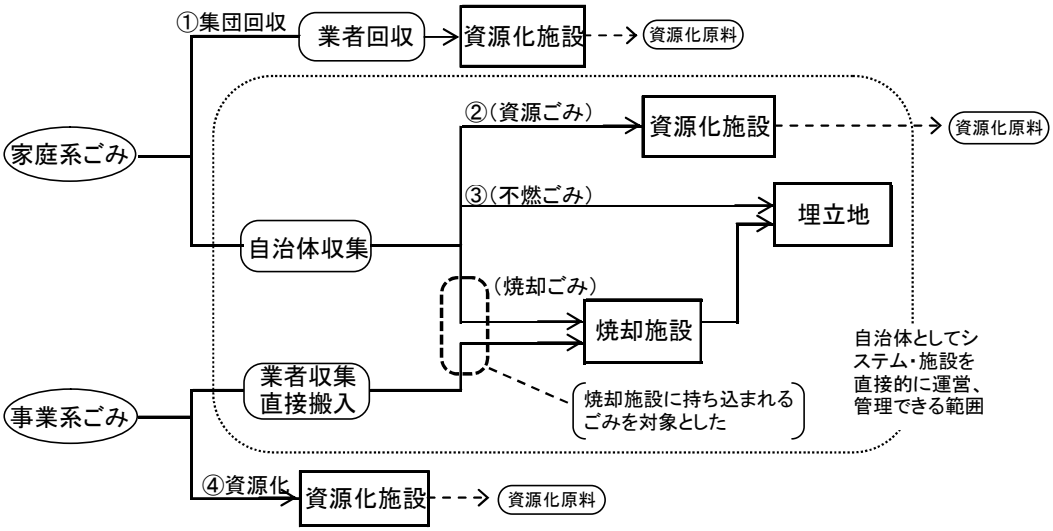
循環型社会基本法が制定され，リサイクル関連法が相次いで整備された平成 12 年頃を境にして，各自治体においても廃棄物の発生抑制や減量化，資源化の取り組みが進められ，焼却されるごみの量と質にも影響を及した。焼却処理施設にとっては，これまでの処理量および可燃物組成の増加という一方向の流れから，多様なごみ量，ごみ質への対応が想定されるようになってきた。今後は，資源化物を取り出した後のごみを適正に処理をしつつ，広域化なども視野に入れたエネルギー回収施設としての役割など，それぞれの地域におけるシステム全体の中における焼却施設の位置づけや役割が変化してくることも予想される。

本稿では，循環型社会を目指して導入された分別，資源回収等の各種取り組みが，焼却施設へ持ち込まれるごみ量とごみ質へどのような影響を与えたのかについて検討した。**図 1** に検討の対象としたごみの流れを示す。ここでは，焼却施設へ搬入されるごみの量と質について検討するため，破線で示した部分の可燃ごみに相当する部分を対象とした。ここには粗大ごみ破砕後の可燃物も含む。①～④の分別，資源化に関する取り組みを推進することによって，焼却ごみの量と質は変化することとなる。**表 1** には①～④の取り組みの対象品目と状況を示す。今回は，各種リサイクル法が相次いで施行された平成 12 年(2000 年)を区切りとしてその前後，および今から 10 年後の平成 32 年(2020 年)におけるごみ量とごみ質の予測値を比較することとした。

まず，ごみ量の現状を都市規模別に整理した上で，目標とするごみ原単位を都市規模別に設定し，人口予測も加味した上で，10 年後の平成 32 年の全国的なごみ量を推算した。次に，ごみ減量対策を自治体としての中心課題として取り組み，ごみ減量の効果を上げた代表的な事例として横浜市と名古屋市を取り上げ，分別等の施策がどのようにごみ量削減へつながったかを整理した。そして，分別等を先行して

実施している都市の事例を参考にして，分別等の施策によるごみ質の変化を試算した。最後に，自治体におけるごみ減量・資源化の取り組みでの課題について概観した。なお，全国的な統計資料については，環境省の一般廃棄物処理実態調査結果 [1)]（以下，実態調査結果）のデータを使用した。また，集団回収への移行分も考慮した焼却ごみ量の変化をみるため，本稿でのごみ削減率は，ごみ総排出量に対する割合を基本としている。

2



①～④の流れを推進する取組によって、焼却ごみの量と質は変化する。

図１　対象領域と影響要因となる分別等の取り組み項目

表１　各取り組み項目における H12 年の前と後における状況の変化

取り組み項目	対象品目	取り組み状況の変化 （H12年以前 → 以後）
① 地域における集団回収	びん、缶、古紙	地域での自主的な取組が主。 → 自治体による促進策や補助制度。
② 自治体による分別回収	容器包装（瓶・缶、PET、プラスチック、紙）、古紙	びん・缶、PETが先行。 → 先行品目の本格実施とその他プラ、紙製容器、古紙も実施へ。
③ 不燃ごみの分別回収	ガラス、陶器	一部実施している自治体も。 → 実施自治体が広がる。
④ 事業系ごみの資源化促進	古紙、木くず、プラスチック、食品残渣	資源ごみの持込や産廃の混入など。 → 搬入物検査等で持込を抑制。

丸数字は図１の数字に対応

ごみ量への影響

2-1　日本のごみ処理の現状

持続可能な社会として天然資源の消費抑制と環境負荷の低減を目指した循環型社会の構築が求められている近年，日本のごみ処理について，一般廃棄物処理実態調査結果[1)]から現状を整理する。

(1) ごみ総排出量の推移

近年のごみ総排出量は，平成12年度以降減少傾向を示している。これは，平成12年度(2000年)に循環型社会形成推進基本法が制定され，その後も廃棄物・資源に関する各法が整備されるなど，平成12年度を境に全国的にごみの減量化や資源化の取り組みが進んだ成果といえる。

その結果，平成20年度のごみ総排出量は，約4,800万tとなり，平成12年度に比べて約700万tの減少となっている。また，ごみ原単位(1人1日当たりごみ排出量)についても，**図2**に示すとおり，平成20年度は1,033g/人日であり，平成12年度に比べて約150g/人日(約13%)の減少となっており，第二次循環型社会形成推進基本計画における2015年度の数値目標の1つである1人1日当たりごみ排出量の平成12年度比約10%減を上回る値となっている。

(2) ごみ処理量の推移

ごみ総排出量から集団回収による事前の再資源化量を除いたごみ搬入量(ごみ処理量)の推移は，ごみ総排出量が減少していることから，**図2**に示すとおり同様に減少している。各処理別にその内訳の推移を見ると，ごみの減量化，再資源化を反映してか，直接焼却量と直接最終処分量が減少し，焼却以外の中間処理量と直接資源化量が増加している。ただし，減少していると言っても依然として直接焼却処理量の割合が最も多く，約80%を占めている。

また，**図3**に示す平成20年度のごみ処理フローにおいても，処理内訳として直接焼却量が約3,600万tと最も多く，さらに粗大ごみ処理施設や再資源化施設などの中間処理施設からの処理残渣約150万t(中間処理量の23%)を合わせると，焼却処理量の合計は約3,700万tとなり，その割合はごみ総排出量の77%となる。

(3) ごみ原単位の先進事例

全国のごみ減量化の先進事例として，実態調査結果[1)]から，人口規模別にごみ原単位の上位10市町村を挙げると**表2**に示すとおりである。人口10万人未満の上位の町村については，人口が1,000人未満と小規模であるためか，ごみ原単位が数百g/人日と極端に少なく，人口10万人未満の全体平均と比べても1/3程度である。

また，**図4**に示すように各人口規模別のごみ原単位の分布を見ると，平均値で897～1,100 g/人日の範囲にあるが，人口10万人未満の市町村については標準偏差が他の人口規模に比べて約3倍となっており，ばらつきが大きい。

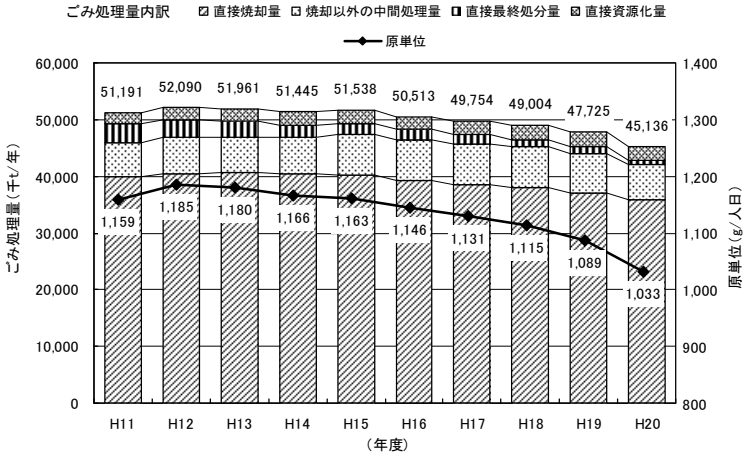


図 2　ごみ処理量とごみ排出量原単位の推移

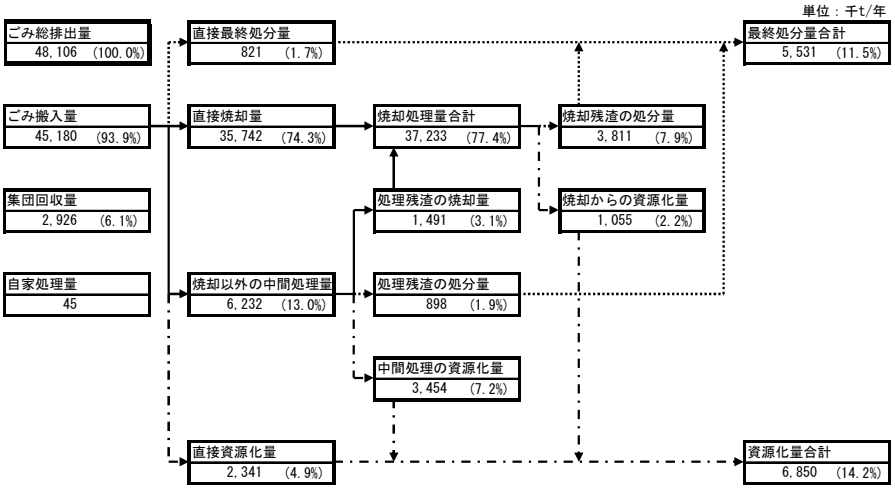


図 3　日本のごみ処理フロー（平成 20 年度）

表 2　ごみ原単位の上位 10 市町村（平成 20 年度）

単位：g/人日

人口10万人未満		人口10万人以上50万人未満		人口50万人以上	
1.	徳島県　神山町　265.4	1.	東京都　西東京市　704.6	1.	愛媛県　松山市　822.0
2.	福島県　葛尾村　286.5	2.	沖縄県　うるま市　705.5	2.	広島県　広島市　893.9
3.	福島県　飯舘村　288.7	3.	東京都　小金井市　718.8	3.	東京都　八王子市　900.4
4.	長野県　川上村　314.4	4.	長野県　佐久市　734.0	4.	神奈川県　横浜市　959.2
5.	長野県　南牧村　321.7	5.	静岡県　掛川市　794.7	5.	鹿児島県　鹿児島市　1,006.4
6.	徳島県　佐那河内村　324.9	6.	沖縄県　沖縄市　795.4	6.	神奈川県　相模原市　1,014.3
7.	長野県　中川村　341.9	7.	長野県　飯田市　802.2	7.	神奈川県　川崎市　1,020.5
8.	長野県　泰阜村　370.0	8.	東京都　日野市　802.9	8.	埼玉県　さいたま市　1,038.7
9.	福井県　池田町　373.5	9.	埼玉県　富士見市　806.9	9.	兵庫県　姫路市　1,053.5
10.	熊本県　球磨村　376.8	10.	東京都　東村山市　810.6	10.	静岡県　浜松市　1,073.4
人口10万人未満		人口10万人以上50万人未満		人口50万人以上	
規模別平均	897	規模別平均	1,022	規模別平均	1,100

注）・東京都23区は1市として集計した。
・市町村数は人口10万人未満が1,514、人口10万人以上50万人未満が237、人口50万人以上が27。

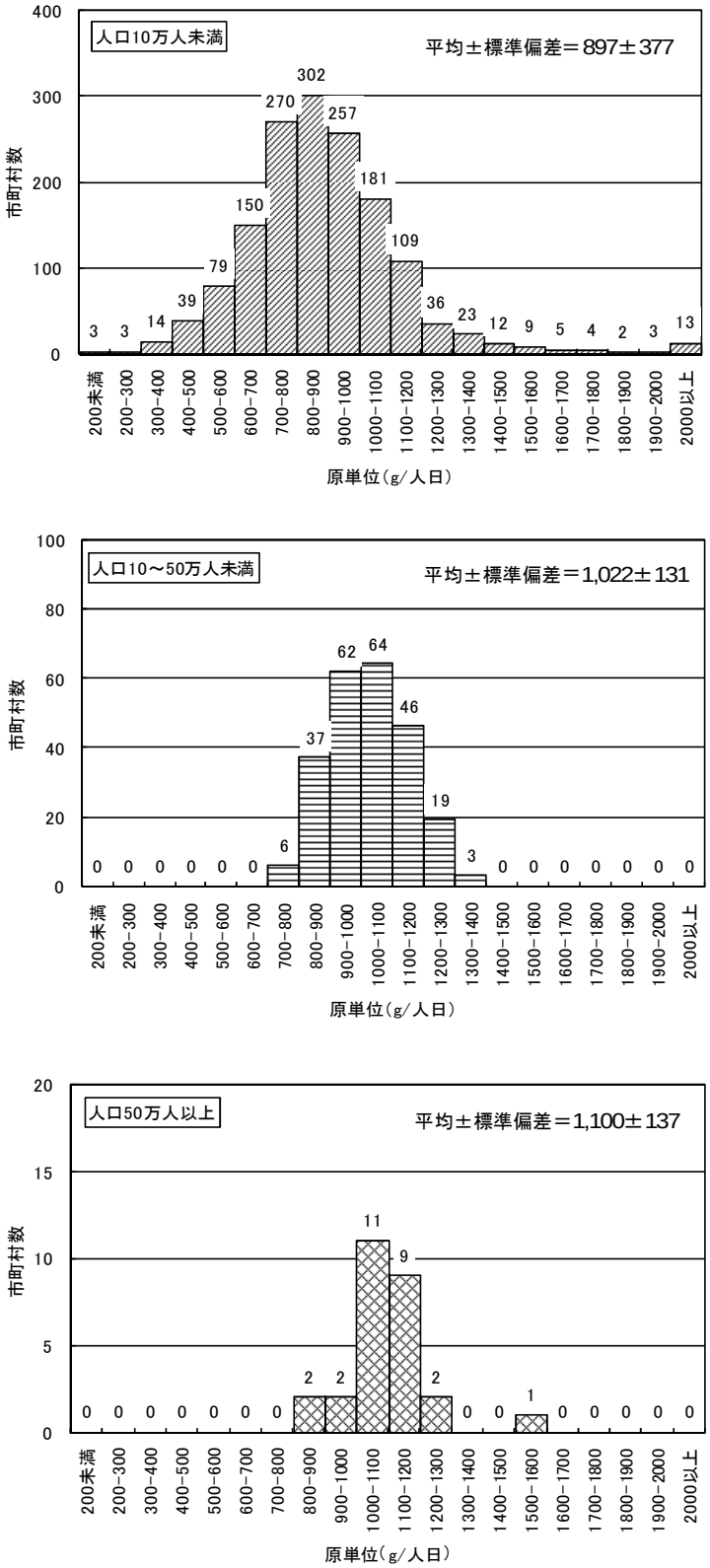


図 4　人口規模別ごみ原単位の分布状況（平成 20 年度）

2-2　日本の将来ごみ量

ここでは，前項までの日本のごみ処理の現状を踏まえ，日本の将来ごみ量として，今から10年後の平成32年のごみ量の予測を行う。将来ごみ量の予測方法は，将来人口と目標とすべきごみ原単位をそれぞれ設定し，それらを乗じて将来ごみ量とする。なお，目標とすべきごみ原単位については，人口 10 万人未満，人口 10 万人以上 50 万人未満，人口 50 万人以上の 3 区分でそれぞれ設定する。

(1) 将来人口の設定

日本の将来人口については，国立社会保障・人口問題研究所『日本の将来推計人口』(平成 18 年 12 月推計)によると,平成 32 年の人口は約 1 億 2,300 万人で,平成 20 年度に比べて約 4%の減少と推計されている。

ここで,この推計値を平成20年度の人口規模割合を用いて按分し，平成32年における各規模別の将来人口を設定する。各規模別の将来人口は，**表 3** に示すとおりとなる。

(2) 目標ごみ原単位の設定

目標とするごみ原単位については，人口規模別にそれぞれの先進都市のごみ原単位を参考に設定する。なお，目標ごみ原単位としては，ごみ処理の対象となるごみ搬入分と，対象とならない集団回収分を個別に設定する。

人口 10 万人未満におけるごみ搬入量と集団回収量のそれぞれのごみ原単位の上位 10 市町村は，**表 4** に示すとおりであり，ごみ搬入量と集団回収量の双方で上位の市町村が異なっている。人口 10 万人未満の市町村においては，先のごみ原単位の先進事例でも述べたように，上位と下位の格差が大きく，上位を目標とすることが困難であると考え，全体平均値 897g/人日(搬入量分 837g/人日，集団回収分 60g/人日)を将来目標として設定する。

人口 10 万人以上 50 万人未満における上位 10 市町村は，**表 5** に示すとおりであり，江別市と野田市が双方で上位となっている。このように，双方で上位にある都市については，ごみの減量化，資源化に対する意識が高く，他都市の目標となるものと考え，双方で上位にある都市の平均値 912g/人日(搬入量分 735g/人日，集団回収分 177g/人日)を将来目標として設定する。

人口 50 万人以上における上位 10 市町村は，**表 6** に示すとおりであり，船橋市，横浜市，川崎市，相模原市，名古屋市が双方で上位となっている。人口 50 万人以上の市町村についても人口 10 万人以上 50 万人未満の場合と同様に，双方で上位にある都市の平均値 1,035g/人日(搬入量分 904g/人日，集団回収分 131g/人日)を将来目標として設定する。

表 3　人口規模別の将来人口

単位：千人

人口規模	H20(実績)		H32(予測)
10万人未満	40,814	(32.0)	39,275
10万人以上50万人未満	48,471	(38.0)	46,639
50万人以上	38,245	(30.0)	36,821
合　計	127,530	(100.0)	122,735

（　）内は構成割合%

表 4　人口 10 万人未満の目標ごみ原単位（平成 20 年度）

単位：g/人日

	市町村		ごみ搬入量	市町村		集団回収量
1.	奈良県	野迫川村	138	愛知県	大口町	243
2.	徳島県	神山町	265	北海道	本別町	205
3.	福島県	葛尾村	287	北海道	えりも町	201
4.	福島県	飯舘村	289	京都府	宮津市	181
5.	長野県	阿南町	297	岐阜県	揖斐川町	175
6.	岐阜県	東白川村	297	岩手県	岩泉町	173
7.	長野県	豊丘村	303	奈良県	河合町	171
8.	長野県	川上村	314	京都府	精華町	170
9.	長野県	南牧村	322	北海道	黒松内町	169
10.	長野県	下條村	324	長野県	大桑村	167

人口10万人未満の目標原単位	ごみ搬入量	集団回収量	計
全体平均値	837	60	897

＊ 集団回収量の平均は、集団回収量の記載のある市町村のみの平均

表 5　人口 10 万人以上 50 万人未満の目標ごみ原単位（平成 20 年度）

単位：g/人日

	市町村		ごみ搬入量	市町村		集団回収量
1.	静岡県	掛川市	678	東京都	昭島市	286
2.	東京都	小金井市	690	神奈川県	横須賀市	210
3.	東京都	西東京市	705	北海道	江別市	196
4.	沖縄県	うるま市	705	神奈川県	藤沢市	165
5.	大阪府	河内長野市	722	大阪府	枚方市	158
6.	埼玉県	新座市	729	千葉県	野田市	157
7.	北海道	江別市	733	千葉県	流山市	152
8.	長野県	佐久市	734	神奈川県	平塚市	152
9.	千葉県	野田市	736	京都府	宇治市	152
10.	東京都	東久留米市	745	愛知県	半田市	151

人口10～50万人未満の目標原単位	ごみ搬入量	集団回収量	計
抽出都市平均値	735	177	912

表 6　人口 50 万人以上の目標ごみ原単位（平成 20 年度）

単位：g/人日

	市町村		ごみ搬入量	市町村		集団回収量
1.	愛媛県	松山市	822	愛知県	名古屋市	159
2.	神奈川県	横浜市	824	神奈川県	相模原市	151
3.	東京都	八王子市	839	神奈川県	横浜市	135
4.	神奈川県	相模原市	863	兵庫県	神戸市	127
5.	広島県	広島市	894	大阪府	堺市	120
6.	神奈川県	川崎市	918	千葉県	船橋市	110
7.	愛知県	名古屋市	936	宮城県	仙台市	103
8.	兵庫県	姫路市	973	新潟県	新潟市	103
9.	千葉県	船橋市	977	神奈川県	川崎市	102
10.	静岡県	浜松市	986	福岡県	北九州市	91

人口50万人以上の目標原単位	ごみ搬入量	集団回収量	計
抽出都市平均値	904	131	1,035

(3) 将来ごみ量の推算

前項までに設定した人口規模別の将来人口と目標ごみ原単位を用いて，平成 32 年におけるごみ総排出量を算出した結果は**表 7** と**図 5** に示すとおりである。

ごみ総排出量としては，平成 20 年度に比べて約 12%減少して約 4,200 万t，ごみ原単位は約 9%減少して 944g/人日となり，1,000g/人日を下回る結果となる。さらに，これらの将来ごみ量を第二次循環型社会形成推進基本計画における数値目標の基準年となる平成 12 年度と比べると，ごみ総排出量が約23%の減少，ごみ原単位が約20%の減少となる。また，平成32年におけるごみ搬入量と集団回収量については，それぞれ約3,700万t（平成20年度比19%減）と約560万t（平成20年度比93%増）となる。

表 7　平成 32 年度におけるごみ総排出量推計値

			10万人未満	10～50万人未満	50万人以上	合　計
人　　口		（千人）	39,275	46,639	36,821	122,735
原単位	ごみ搬入量	(g/人日)	837	735	904	818
	集団回収量	(g/人日)	60	177	131	126
	合　計	(g/人日)	897	912	1,035	944
ごみ量	ごみ搬入量	（千t/年）	11,999	12,512	12,149	36,660
	集団回収量	（千t/年）	860	3,013	1,761	5,634
	合　計	（千t/年）	12,859	15,525	13,910	42,294

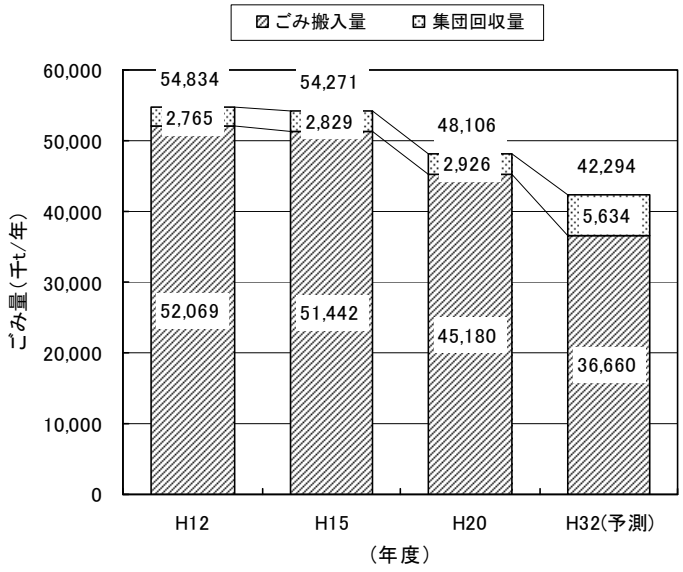


図 5　ごみ総排出量の将来推移

(4) 将来焼却処理量の推算

前項で算出した平成 32 年のごみ搬入量に焼却処理割合を乗じて，焼却処理の対象量を算出する。なお，焼却処理割合については，目標ごみ原単位の設定において抽出した先進都市の実態調査結果から，ごみ搬入量に対する直接焼却量と中間処理施設からの残渣焼却量の割合を算出し，それぞれの平均値を各人口規模別の焼却処理割合とする。

その結果，平成 32 年の焼却処理量としては，**表 8** に示すとおり 3,100 万 t となり，**図 6** のとおり平成 20 年度に比べて約 17%の減少となる。また，平成 32 年におけるごみ総排出量に対する焼却処理量の割合としては，平成 20 年度に比べて約 4%減少して約 73%となる。

表 8　平成 32 年度における焼却処理量

			10万人未満	10～50万人未満	50万人以上	合　計
搬 入 量		(千t/年)	11,999	12,512	12,149	37,061
処理割合	直接焼却率	(%)	73.7	77.7	85.6	78.2
	残渣焼却率	(%)	3.0	7.3	4.6	4.9
焼 却 量	直接焼却量	(千t/年)	8,843	9,722	10,400	28,965
	残渣焼却量	(千t/年)	360	913	559	1,832
	合　計	(千t/年)	9,203	10,635	10,959	30,797
	原単位	(g/人日)	642	625	815	687

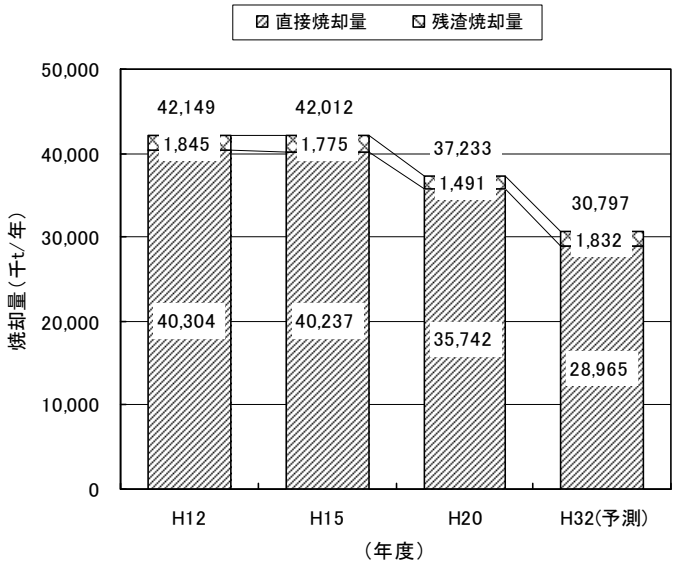


図 6　焼却処理量の将来推移

3　横浜市と名古屋市における減量化の事例

3-1　横浜市での取り組みと焼却処理量の変化

人口の伸びを上回ってごみの排出量が増加し，焼却灰を埋め立てる処分場が不足する状況となった横浜市は，「横浜 G30 プラン」を宣言し，整備費用の節減と環境保存に取り組み始めた。

(1)「横浜 G30 プラン」とごみ減量化の取り組み

平成 15 年 1 月に宣言された「横浜 G30 プラン」の主な施策としては，3R運動の推進，事業系古紙の分別搬出の徹底，建設木くずの資源化促進，食品関連事業者に対する食品リサイクルの推進，容器包装類の店頭回収促進，缶・びん・ペットボトルのリサイクルの推進で，以後これまでに**表 9** に示す展開を実施してきた。

生活系ごみの分別区分と処理方法について，平成 16 年度までと現在との比較を**表 10** に示す。平成 16 年度までは，燃えないごみ，スプレー缶，古紙，古布，プラスチック容器包装も家庭ごみとして収集され，焼却処理されていた。この家庭ごみを平成 17 年度から 6 区分し，資源化を推進し，現在は，10 区分 15 品目に分別されて処理されている。

表 9　横浜市におけるごみ減量化の主な取り組み

平成15年	1月	「横浜G30行動宣言」、**「横浜G30プラン」発表**
	10月	家庭ごみ分別収集品目拡大モデル事業開始
	12月	事業系ごみのリサイクル可能な古紙と産廃の木くず等の焼却工場への搬入を停止、搬入物検査の強化
平成16年	10月	家庭ごみ分別収集品目拡大の6区先行実施
平成17年	4月	家庭ごみ分別収集品目拡大の全市展開（6区→18区）
平成18年	12月	横浜市中期計画策定（新たなごみ35%減量目標を設定）
平成19年		資源物の売却収入を原資とした地域還元の実施
平成20年	2月	家庭ごみの収集回数の変更（燃やすごみ、古紙・古布）
	5月	分別ルールを守らない者に対する罰則（過料）制度の適用開始

表 10　横浜市の生活系ごみの分別区分の変化

平成16年度まで		現　在	
分別区分	処理方法	分別区分	処理方法
家庭ごみ	焼却処理	燃やすごみ	焼却処理
		燃えないごみ	資源化
			埋立処分
		スプレー缶	資源化
		古紙	資源化
		古布	資源化
		ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ製容器包装	資源化
粗大ごみ	焼却処理	粗大ごみ	焼却処理
乾電池	資源化	乾電池	資源化
資源ごみ(缶・ﾋﾞﾝ・ﾍﾟｯﾄﾎﾞﾄﾙ・小さな金属)	資源化	缶・ﾋﾞﾝ・ﾍﾟｯﾄﾎﾞﾄﾙ	資源化
	埋立処分	小さな金属	資源化

(2) ごみ総排出量の推移

環境省の実態調査結果 [1)]をもとにまとめた横浜市のごみ総排出量の推移を**図 7** に示す。平成 13 年度には約 178 万 t 排出されたごみは，平成 20 度には約 129 万tとなり，27.7%の削減となった。内訳としては，生活系ごみが約 21 万t(平成 13 年度比 21%減)，事業系ごみが約 34 万t(平成 13 年度比 50%減)減少しており，事業系ごみは半減したことになる。集団回収量は年々増加しており，約 6 万t(平成 13 年度比 50%増)増えた。

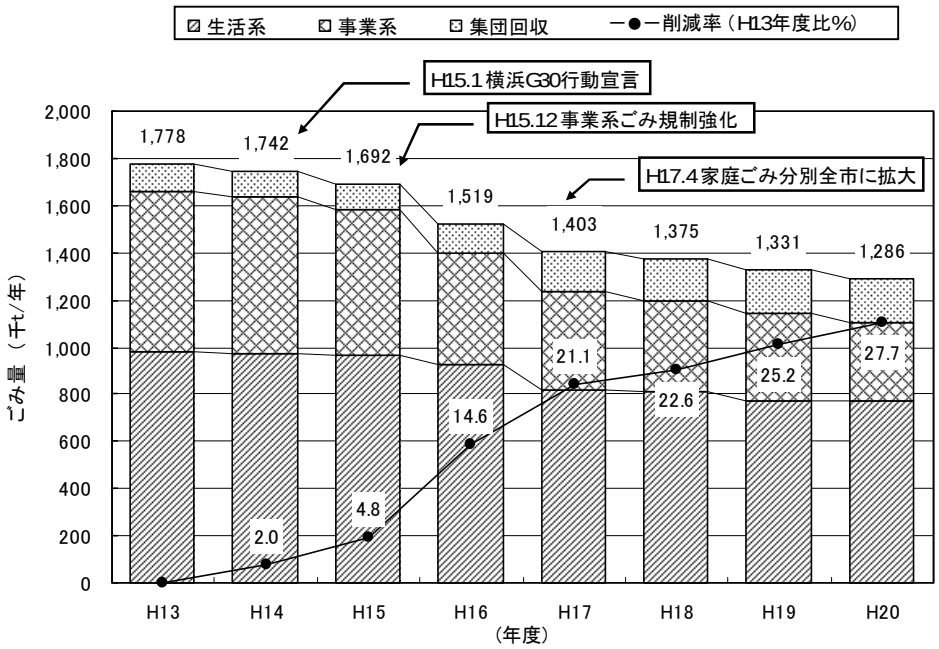


図 7　横浜市のごみ総排出量の推移

平成 13, 16, 17, 20 年度のごみ処理フローを，**図 8** に示す。横浜市は，図中の※印をつけた直接最終処分量，直接焼却量，処理残渣の焼却量及び処理残渣の処分量の合計量をごみ排出量と定義しており，平成 13 年度の 161 万tに対し，平成 22 年度には 113 万t(削減率 30%)とすることを，横浜 G30 プランの目標とした。全市的な取り組みが進む中で，平成 17 年度には，ごみ量 106 万t，削減率 34%と，5 年前倒しで目標を達成するという成果を得ることができた。

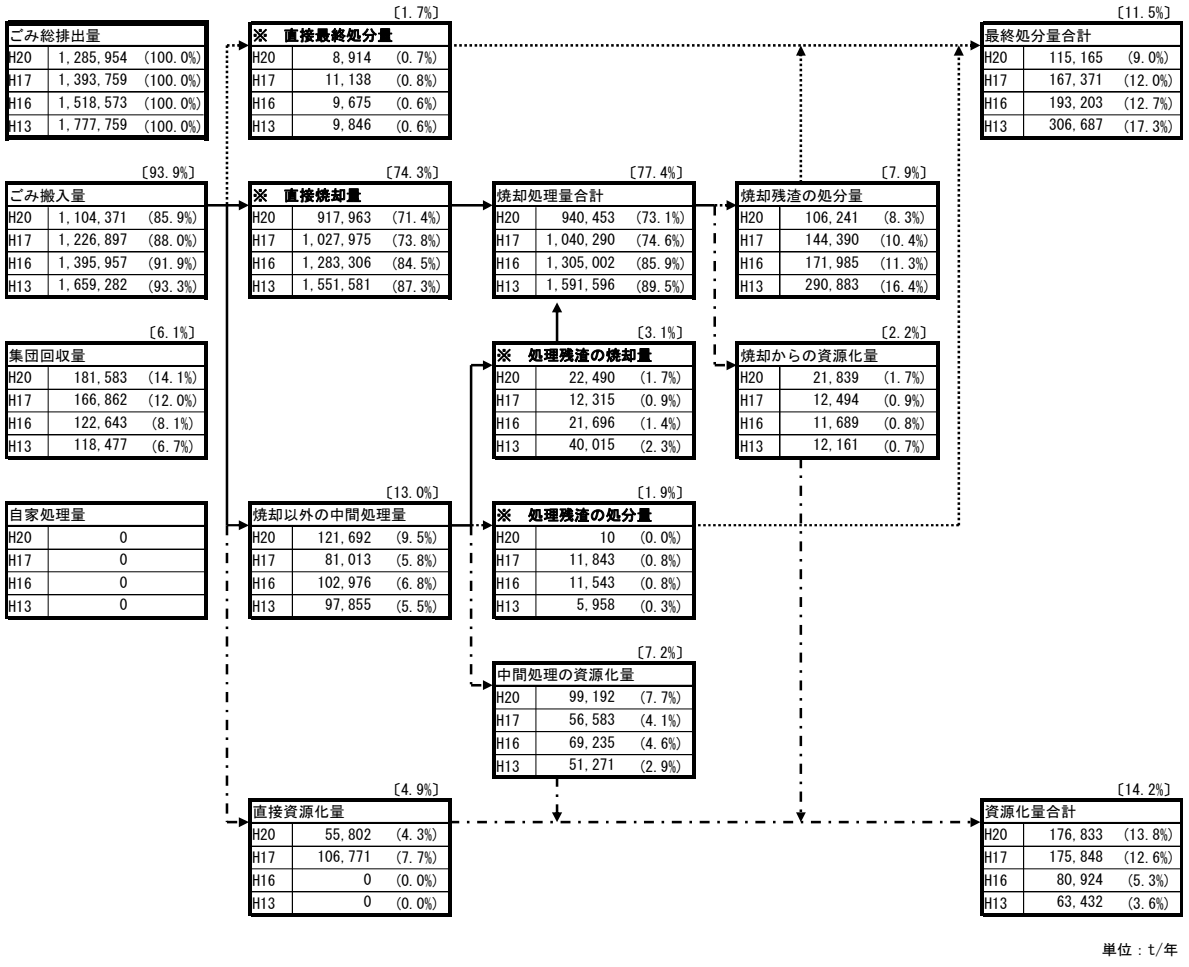


図 8 横浜市のごみ処理フロー(平成 13、16、17、20 年度)
〔〕内の%値は H20 年度の全国平均

(3) 生活系ごみ中の燃やすごみの推移

生活系ごみのうち，燃やすごみの組成別ごみ量の推移を**図 9** に示す。横浜市資源循環局の事業概要 [2)]で公表されている燃やすごみ量とごみ組成から組成別のごみ量を算出した。燃やすごみ量は，平成 16 年度の 82 万tから平成 17 年度は 62 万tと，20 万tも削減された。これは前述したとおり，平成 17 年 4 月から全市で家庭ごみを 6 区分に拡大した結果と考えられる。

燃やすごみの組成別で見ると，紙類とプラスチック類が大幅に削減された。紙類は平成 16 年度から平成 17 年度で 11 万t削減され，プラスチック類は同じく 6 万t削減されており，合わせて 17 万tの削減量となった。燃やすごみの削減量のほとんどが，紙類とプラスチック類といえる。

平成 16 年度までは，紙類に次いで多かった厨芥類が，平成 17 年度からは燃えるごみの中で最も多いごみとなり，その排出量にはあまり変化はない。木竹類においては，平成 17 年度以降逆に増加する結果となっている。

(4) 事業系ごみの推移

図 10 に事業系ごみの組成別ごみ量の推移を示す。事業概要 [2)]で毎年公表されている事業系ごみのごみ量とごみ組成から組成別のごみ量を算出した。

事業系ごみは，平成 15 年度から平成 16 年度で 15 万 t と大幅に削減されたことが分かる。事業系ごみに対して横浜市は，平成 15 年 12 月から，建設業などから発生する木くず，紙くず，繊維くずの焼却工場における受け入れを停止した。また，資源化可能な古紙についても，事業者自らが分別してリサイクルすることとし，焼却工場への搬入を断っている。さらに，焼却工場では，不正なごみの搬入を防止するため，搬入物検査を強化して実施しており，持ち帰り指導などを行った。これら対策の結果，事業系ごみが削減したと考えられる。

組成別に見ると，各組成とも削減しているが，事業系ごみの組成比率としては，あまり変化がない。よって，事業系ごみは分別による削減ではないと考えられる。事業系ごみの削減量は，排出事業者の努力による発生抑制によるものと，単純に産業廃棄物として横浜市の焼却工場以外で処理されたものとに分けられると考えられるが，それぞれの量は不明である。

(5) 資源化量の推移

図 11 に種類別資源化量の推移を示す。平成 17 年度に大幅に増加していることがわかる。種類別にみると，紙類とプラスチック類が大幅に増加している。紙類は，平成 16 年度から平成 17 年度で 9 万t増加しており，プラスチック類は同様に 4 万t増加している。燃やすごみの紙類とプラスチック類が平成 16 年度から平成 17 年度で，それぞれ 11 万tと 6 万t削減されたことと併せて考えると，それまで焼却処理されていた紙類とプラスチック類が資源化されたといえる。

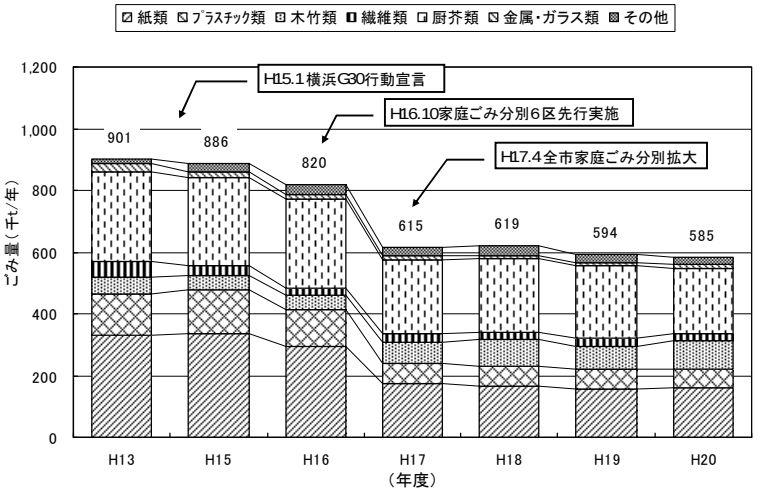


図 9　横浜市の燃やすごみの組成別推移

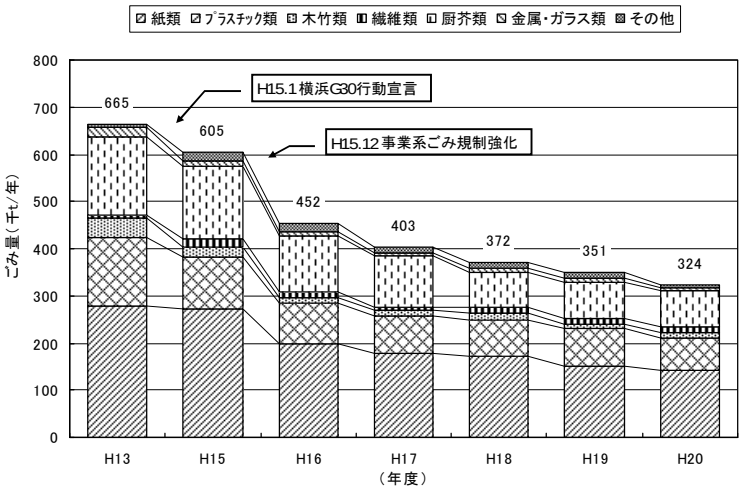


図 10　横浜市の事業系ごみの組成別推移

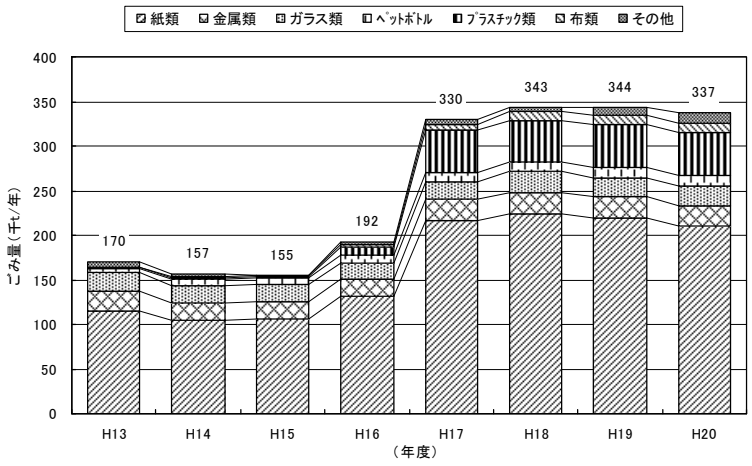


図 11　横浜市の資源化量の推移

3-2　名古屋市での取り組みと焼却処理量の変化

名古屋市では，藤前干潟埋立計画を断念し，ごみを減らすための「ごみ非常事態宣言」が出され，その後ごみの減量化に取り組み大幅な減量に成功した。

(1)「ごみ非常事態宣言」とごみ減量化の取り組み

「ごみ非常事態宣言」以降の主な取り組みは，**表 11** に示すとおりであり，容器包装リサイクル法の完全施行直後の平成 12 年 8 月には，ペットボトルの他に紙製容器包装及びプラスチック製容器包装についても早々と分別収集を開始するなど，**表 12** に示すようにごみの分別区分を「ごみ非常事態宣言」以前の 5 品目から 8 品目へ拡大し，「ごみは増えるのが当たり前」から「減らすのが当たり前」への大転換を行った。

表 11　名古屋市におけるごみ減量化の主な取り組み

平成11年	2月	「ごみ非常事態宣言」 **20世紀中で20%、20万tのごみ減量化「トリプル20」**
	5月	びん、缶の分別収集の全市拡大（9区→16区）、
	10月	指定袋制の導入、産業廃棄物の全面受入中止
平成12年	4月	事業系ごみ全量有料化
	8月	紙製、ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ製容器包装及びﾍﾟｯﾄﾎﾞﾄﾙの分別収集を開始
平成13年	4月	紙製、ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ製容器包装及びﾍﾟｯﾄﾎﾞﾄﾙの収集頻度を変更 （2週間に1回→毎週1回）
平成15年	10月	レジ袋削減に向けた市内共通還元制度を開始
平成19年	10月	レジ袋有料化促進モデル事業の開始
平成20年	10月	レジ袋有料化地区（東部8区）の拡大
平成21年	4月	レジ袋有料化の全市拡大

表 12　名古屋市の生活系ごみの分別区分の変化

平成10年度まで		現　在	
分別区分	処理方法	分別区分	処理方法
可燃ごみ	焼却処理	可燃ごみ	焼却処理
		紙製容器包装	資源化
不燃ごみ	埋立処分	不燃ごみ	埋立処分
			資源化
	資源化	ﾍﾟｯﾄﾎﾞﾄﾙ	資源化
		ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ製容器包装	資源化
びん（一部の地域）	資源化	びん（全市）	資源化
缶（一部の地域）	資源化	缶（全市）	資源化
粗大ごみ	埋立処分	粗大ごみ	埋立処分
	資源化		資源化

(2) ごみ総排出量の推移

ごみ総排出量の推移[1)]としては，**図 12** に示すように平成 10 年度では 100 万 t を超えていたごみ量が，平成 12 年度には 14%減少し，その後も大きなリバウンドもなく順調に減少して，平成 20 年度では約 87 万 t となり，平成 10 年度に比べて 18%の減少となっている。

また，その内訳としては，生活系ごみが約 52 万 t（平成 10 年度比 30%減），事業系ごみが約 22 万 t（平成 10 年度比 19%減），集団回収が約 13 万 t（平成 10 年度比 160%増）となっており，生活系ごみの減少と集団回収の増加が大きいことから，ごみ減量化に市民の協力が大きく影響しているといえる。

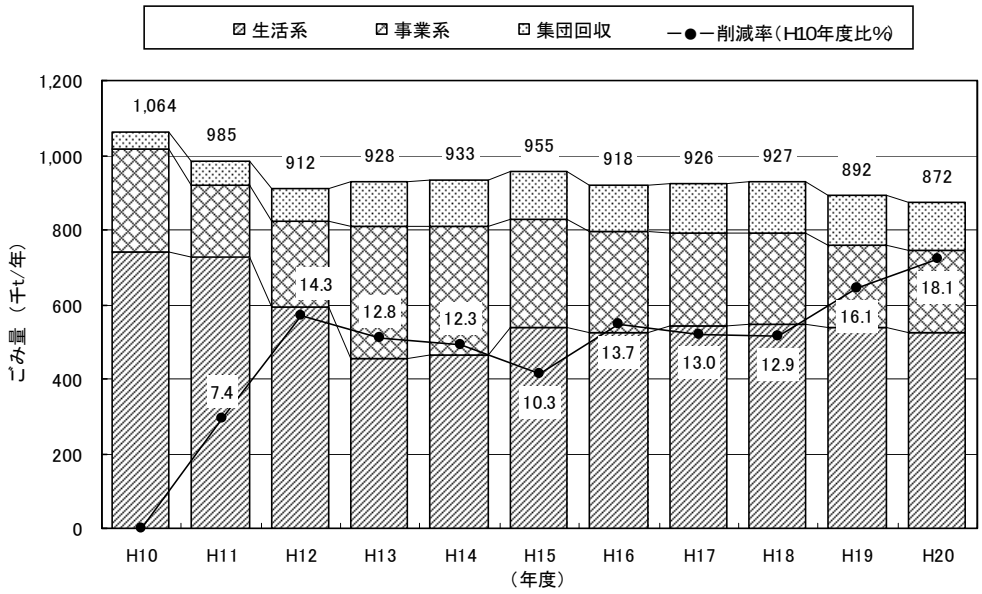


図 12　名古屋市のごみ総排出量の推移

次に，名古屋市のごみ減量化目標である「トリプル 20(20 世紀中で 20%，20 万tのごみ減量化)」について見ると，名古屋市が減量化の対象としているごみ量とはごみ総排出量ではなく，**図 13** のごみ処理フローに示すごみ搬入量から資源収集量を除いたごみ量を対象としており，その成果については，目標どおり「ごみ非常事態宣言」から 2 年後の平成 12 年度に 23%，23 万 t のごみ減量化を行い，市民，事業者，行政の協働の成果として厳しい目標と思われた「トリプル 20」を達成し，大きな成果を上げている。

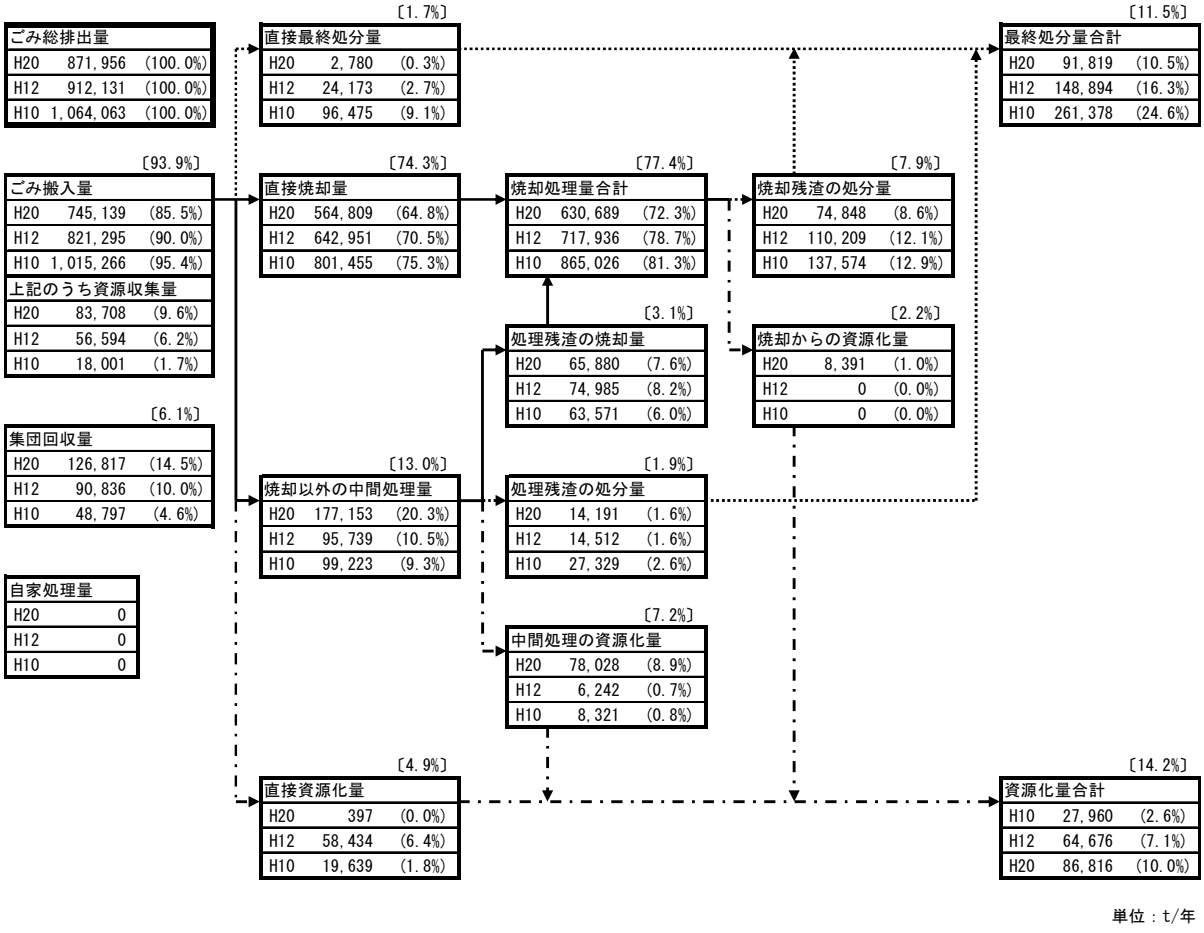


図 13 名古屋市のごみ処理フロー(平成 10、12、20 年度)
〔〕内の%値は H20 年度の全国平均

(3) 生活系ごみの推移

ごみ減量効果の大きかった生活系ごみに関して，ごみ減量化の取り組みによる効果を確認するため，名古屋市環境局の事業概要[3)]における可燃ごみ及び不燃ごみのごみ量とごみの組成を基に，それぞれのごみ組成別の推移について整理する。

各年のごみ量とごみ組成を乗じて算出した可燃ごみと不燃ごみのごみ組成別の推移は，それぞれ**図 14,図 15** に示すとおりであり，可燃ごみ及び不燃ごみ共に平成 10～13 年度におけるごみ減量化の取り組みにより大きく減少している。その中でも平成 12 年度から開始した容器包装類の分別収集による影響が大きく，これは単に資源の回収ということだけではなく，市民のごみへの意識の向上，名古屋の分別文化の定着に大きく影響したと思われる。

次に，可燃ごみと不燃ごみのごみ組成別の推移を個別に見ると，可燃ごみについては，平成 10 年度と平成 13 年度を比べると，紙類が約 9.5 万 t（42％減），プラスチック類が 5.1 万 t（68％減）と大きく減少しており，この間の可燃ごみ量の減少に関しては，紙類とプラスチック類の減少によるものといえる。この紙類とプラスチック類の減少については，全てが容器包装類の分別によるものではなく，紙類については同時期に紙類が大半を占める集団回収量が大きく増加していることから，集団回収による影響が大きい。プラスチック類については，名古屋市ではプラスチック類をもともと不燃物として扱っており，平成 10 年度から平成 11 年度において可燃ごみ中のプラスチック類が減少し，不燃ごみ中のプラスチック類が増加していることから，ごみ分別の向上による影響も少なくはない。

また，不燃ごみについても同様に平成 10 年度と平成 13 年度を比べると，ビン・ガラス類が約 2.5 万 t（83％減），金属類が約 1.4 万 t（58％減），プラスチック類が約 1.3 万 t（34％減），紙類が約 1 万 t（88％減）と大きく減少しており，この間の不燃ごみ量の減少に関しては，これらのごみの減少によるものといえる。このうち，ビン・ガラス類と金属類については，平成 11 年度に大きく減少していることから，びん，缶の収集拡大の影響が大きく，プラスチック類については，平成 12 年度，平成 13 年度で大きく減少していることから，容器包装類の分別の影響が大きい。紙類の減少については，紙類以外にその他可燃物も減少していることから，ごみ分別の向上による影響と思われる。

(4) 資源化量の推移

ごみ処理フローで示す集団回収量，直接資源化量及び中間処理の資源化量を合計した資源化量の推移については，**図 16** に示すとおりであり，前項で示した生活系ごみのごみ減量化の推移に対応するように，平成 10～13 年度の間で大きく増加している。平成 13 年度の資源化量は約 20 万 t で，平成 10 年度に比べて約 12 万 t（160％増）の増加となっている。

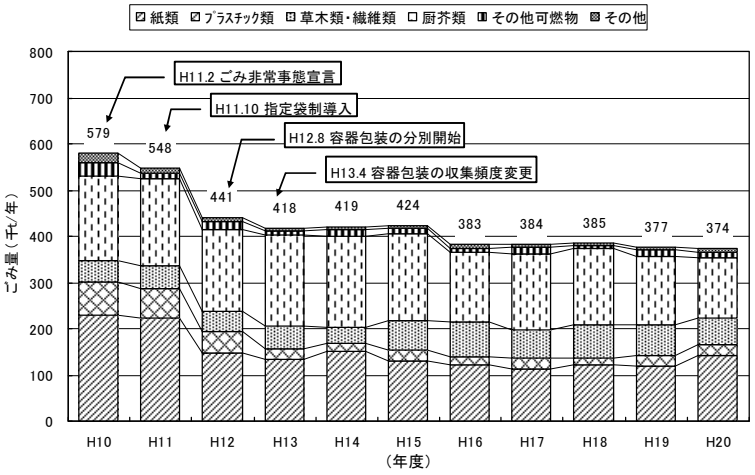


図 14　名古屋市の生活系可燃ごみの組成別推移

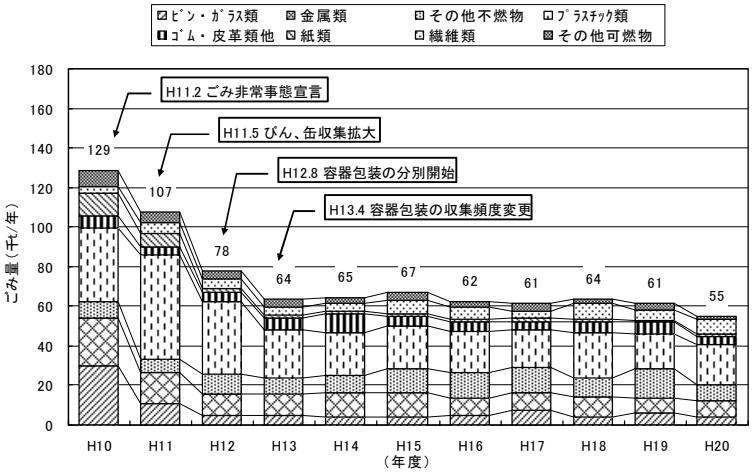


図 15　名古屋市の生活系不燃ごみの組成別推移

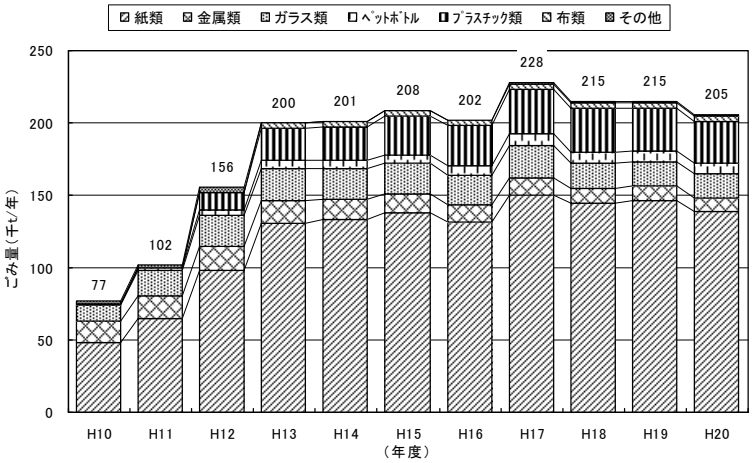


図 16　名古屋市の資源化量の推移

(5) 収集処理経費の推移

名古屋市環境局の名古屋ごみレポート'09版から収集処理経費の推移については，**図17**に示すとおりである。「ごみ非常事態宣言」以降のびん，缶の分別収集の拡大や容器包装類の分別収集の開始等により，収集処理経費の総額の推移としては，平成12年度にかけて増加し，平成12年度の総額は297億円となっており，その後は収集体制の効率化など経費の圧縮に努め，平成20年度では261億円となり，平成10年度に比べて約3%の削減となっている。

しかし，その内訳として，ごみと資源の推移を個別に見ると，資源収集に関する経費としては，平成11 年度のびん，缶の分別収集の拡大，平成 12 年度の容器包装類の分別収集の開始，さらに平成13年度の容器包装類の分別収集頻度の変更に伴って確実に増加し，平成13年度では79億円となり，平成10年度の約5倍となっている。その後は，資源収集に関する経費についても削減はされているものの，平成20年度の経費は平成10年度の約4倍の62億円となっている。

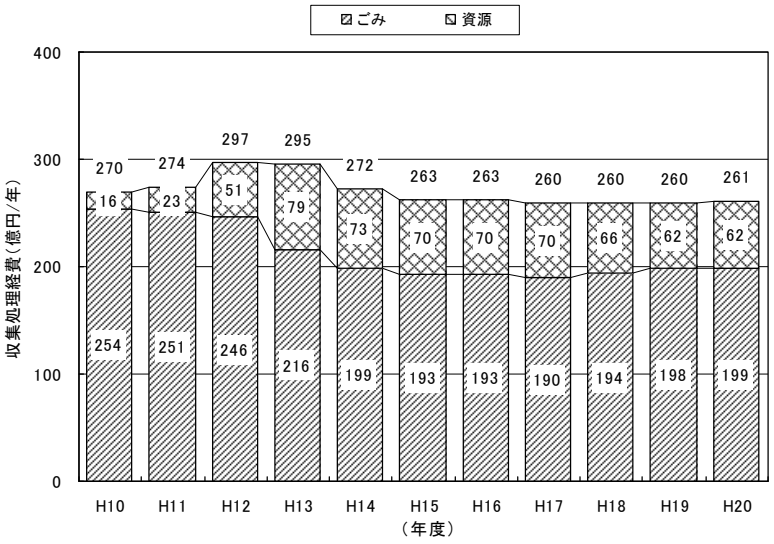


図17　名古屋市の収集処理経費の推移

4　分別等シナリオ別のごみ質への影響

4-1　分別等の取り組みの想定シナリオ

(1) 自治体の取り組み施策の選択肢

ごみ減量問題を市政の中心的課題とした横浜市や名古屋市においては，積極的な施策展開を行って成果を収めてきているが，他の都市においても，リサイクル法の制定が相次いだ平成12年頃から，それぞれの都市における地域の実情に合わせたごみ減量・資源化のシステムづくりが取り組まれてきている。

自治体が実施できる取り組みは，**図 1** に示した自治体が直接的に運営管理できるシステムの範囲内への施策とその範囲外への啓発，指導を通じた誘導策がある。システム範囲内における取り組みの中心は，資源化施設の設置，あるいはそれらの施設や既存の資源化施設へつなぐための各種分別回収の導入がある。システムの範囲外への働きかけについては，住民への啓発等を通じた発生抑制，地域における集団回収の拡充促進，事業系ごみにおける不適性物の排除や資源化促進へ向けてのごみ焼却施設への搬入抑制策などがある。

各種分別の導入による取り組みは自治体が手段や方法を自ら決定して実施できるため，それぞれの実情に応じた分別項目を組み合わせたシステムづくりが行われている。**表 13** に品目ごとの実施主体，焼却ごみへの影響について，分別実施市町村率の高い順に示す。びん，缶，古紙など，いわゆる「専ら4品目」に含まれるものは，古くから回収業者による資源回収ルートが確立しており，以前より地域において一定の分別回収がなされていたところに，平成 9 年の容器包装リサイクル法によって，さらに自治体による回収も加わり，早くから高い実施率に達している。ただし，自治体によって，拠点回収方式とステーション方式，直営回収と委託回収の違いもあり，その頻度や回収地点数も異なり，回収率にも差が出てくる。

プラスチック製・紙製容器包装は，平成 12 年になってから容器リサイクル法の対象となっており，また，破砕，選別等の前処理施設も自治体が実施主体となることが多いこともあって，実施率の上昇はまだ途上の段階である。厨芥の分別回収は，堆肥化，メタン発酵いずれも，製品原料化施設の設置まで自治体に求められることが多く，まだ実施率は低い。事業系ごみの抑制策は，監視，指導のみで実施でき，比較的取り組みやすい。

これら品目の分別等によるごみ質への影響としては，プラスチック，紙の分別によって焼却ごみの可燃物の減少へ，厨芥の分別によって焼却ごみの高カロリー化へとつながる。焼却ごみ量については，いずれの分別も減少へと向かうが，組成割合の大きな紙や厨芥の分別の影響は大きなものとなる。これらの分別項目が組み合わせられることにより，ごみ量・質は様々な変化をすることとなる。

(2) 想定シナリオ

ここでは，焼却施設に搬入されるごみを対象として，各種の分別等の導入が，ごみ質にどの様に影響するかを，既報 [4)] の手順を参考にしながら試算した。想定した分別等のシナリオについては，**表 14** に示す No.1～No.6 のとおりである。

シナリオの No.1 は，平成 12 年頃以前のごみ質を想定し，不燃ごみと粗大ごみの分別と事業系ご

みに対する業者による資源化回収については実施しているが，他の分別については実施せず，全量を焼却する場合で，基準となるベースのシナリオとして試算した。ただし，びん，缶や PET ボトルの分別回収は，当時より一部の自治体では導入されていたものと考えられ，また地域で自主的に実施される新聞紙，ダンボール等の古紙の旧来型の集団回収は，部分的に取り組まれていたものとしている。

シナリオの No.2～No.6 については，**表 13** に示した品目での実施市町村率[5,6)]の高いものから，容器包装 3 品目（びん，缶，PET ボトル），プラスチック製容器包装，紙製容器包装，厨芥の順に No.1 の全量焼却に分別項目を積み上げて追加していっている。なお，事業系ごみの搬入抑制策は，分別ではないが，自治体が直接的に管理でき，その減量効果も期待できることから，No.5 として組み入れている。なお，No.4 の古紙積極回収については，旧来型の集団回収にとどまらず，自治体による啓発や支援制度による集団回収の全域拡大とともに，横浜市でも実施された自治体による直営，ステーション回収方式による古紙収集もあわせて実施するものとしている。No.6 については，生活系ごみの厨芥・草木と事業系ごみの食品系廃棄物を対象として分別回収を追加することとし，堆肥化もしくはメタン発酵への資源化施設へつなぐことを想定している。

表 13　品目ごとの分別等施策の概要と実施率

対象品目	分別等導入における主な実施主体 *1			焼却ごみ質への影響	実施市町村率（%）*3
	収集 *2	前処理施設（破砕・選別）	原料製品化・利用		
びん・缶	業者/自治体	民間/自治体	民間	不燃物の減少	95-99
PETボトル	業者/自治体	民間/自治体	民間	可燃物の減少	98
古紙（新聞紙、雑誌、段ボール等）	業者/自治体	民間/自治体	民間	可燃物の減少	90 *4
プラ製容器包装	自治体	自治体	民間	可燃物の減少	58 *5
紙製容器包装	自治体	自治体	民間	可燃物の減少	36
厨 芥	自治体	自治体	自治体	水分減少 高カロリー化	5 *6
事業系ごみ	業者	民間	民間	可燃物の減少	---

*1 自治体の実施には、直営と委託がある。
*2 収集には、拠点回収とステーション回収（頻度・地点多い）が
*3 文献 5)
*4 段ボールとしての実施率。委託・拠点回収も多い。
*5 白色トレイを除く
*6 文献 6)

表 14　ごみ処理システムにおける分別等導入想定シナリ

凡例：分別回収 一切なし／旧来型 集団回収／積極的分別・資源化等

		No.	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
		分別等のシナリオ	全量焼却	部分容リ(1)	部分容リ(2)	完全容リ＋古紙積極回収	完全容リ＋古紙積極回収 事業系抑制	完全容リ＋古紙積極回収 事業系抑制 厨芥資源化
家庭系ごみ	分別対象	びん						
		缶						
		PET						
		プラ製容器						
		紙製容器						
		古紙（新聞紙等、段ボール、紙パック）						
	分別対象外	厨芥・草木						
		紙・プラ等可燃物						
		ガラス・金属等不燃物						
事業系ごみ		資源化対象外						
		食品系廃棄物						
		資源化対象物						
		各シナリオでの実施項目（順次追加）	旧来型集団回収以外を全量焼却	プラ製・紙製容器以外の容器包装資源化	プラ製容器も再資源化	紙製容器と古紙の自治体回収	事業系の焼却持込抑制・監視	厨芥の再資源化

(3) 目標資源化率の設定

各シナリオのごみ質を試算するに当たっては，それぞれの項目の分別等実施によって，どれだけ各品目が減量されるかの割合を求める必要がある。3.でも述べたとおり，横浜市では，紙とプラスチックの資源化と事業系ごみの削減の効果が大きく，名古屋市では，紙の集団回収等の資源化の効果が大きかった。そこで，容器包装 3 品（びん，缶，PET ボトル），プラスチック製容器包装，古紙，事業系ごみの搬入抑制策については，横浜市のデータ[7]から，紙製容器包装については，名古屋市のデータ[8]から求めた実績値，厨芥については，名古屋市の目標値を使用した。これらの分別施策等の先行都市は，減量効果を確実に上げているとともに，施策実施前後の詳細なデータも公表されているため，また各都市においてもここまでは実施可能な事例でもあるとして採用した。

図 18 と**図 19** に横浜市のごみ減量施策「横浜 G30 プラン」実施の前後である平成 13 年度と平成 20 年度におけるプラスチック類と紙類の焼却・資源化量の内訳の算出結果を示す。横浜市では，平成 15 年度以降にプラスチック製容器包装の分別，古紙等の集団回収の促進，市による古紙回収の実施を新たに取り組んだ。その結果，**図 18** のとおり，プラスチック製容器包装が資源化されることで焼

却ごみ中のプラスチック量は大幅に減少し，焼却率としても 96.4%から 50.0%へと減少した。また，**図 19** のとおり，集団回収の増加と行政回収の実施によって古紙の資源化が進み，紙類の焼却量が減少し，焼却率としても 74.2%から 43.3%に減少した。これら施策実施後における PET ボトル，プラスチック製容器包装，古紙の資源化率をシナリオ No.4 と No.5 におけるそれぞれの目標資源化率として使用した。なお，プラスチック類，紙類の施策実施後における総量の減少率は，10.8%と 17.0%となっており，これらは排出抑制効果に相当することなる。この減少は排出抑制が相応の効果をもたらしていると考えられるが，今回の試算には含めなかった。

シナリオ No.4 と No.6 に関係する紙製容器包装と厨芥の目標資源化率については，名古屋市の紙製容器包装分別の実績値と厨芥の目標値を使用した。シナリオ No.5 に関係する事業系ごみの搬入物検査等による受入抑制，資源化促進の減量効果については，横浜市が搬入物検査を開始した H15 年度と 2 年経過後の H17 年度の事業系ごみ量の減量率を使用した。

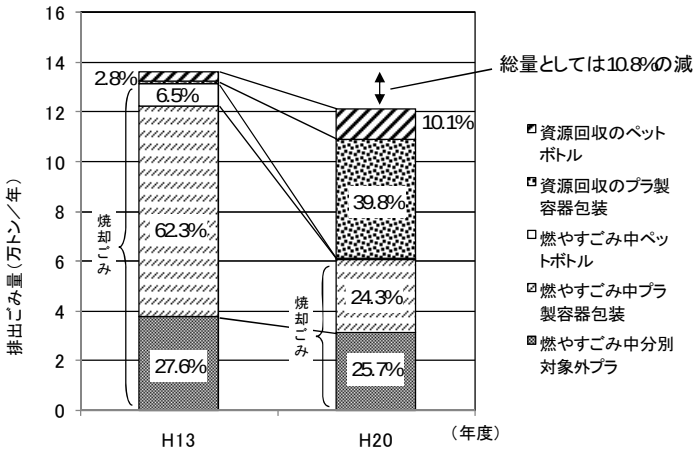


図 18　プラスチック類生活系ごみの焼却・資源化内訳の推移（横浜市）

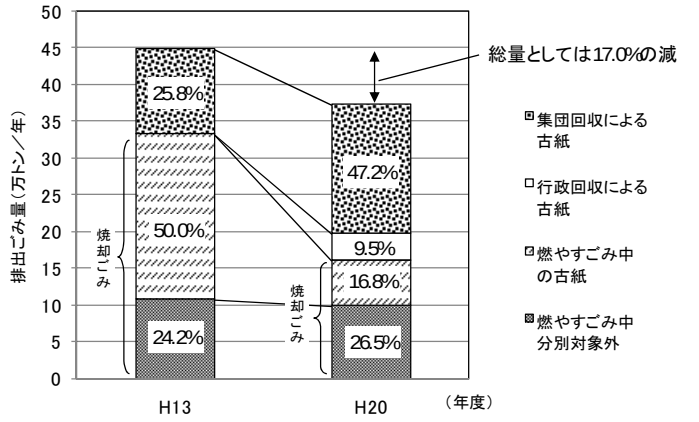


図 19　紙類生活系ごみの焼却・資源化内訳の推移（横浜市）

4-2　シナリオ別のごみ質変化

(1) 推算の手順

以上の先行自治体の資源化率の実績データを使って，焼却ごみに関するシナリオ別のごみ組成とごみ量，発熱量，水分の変化を湿重量ベースで試算した。ベースとなるごみ組成，ごみ原単位，水分については，H-IWM(北大－総合廃棄物処理評価プログラム)[9]を使用し，発熱量のうち文献[10,11]で実測値が得られたものは，その値を使用した。表中の排出ごみがベースとなる組成を示している。これらに横浜市や名古屋市の実績値等から得た目標資源化率分のごみが各分別等の実施において焼却ごみの減量となるとして，シナリオ別の組成等を計算した。

焼却対象となるごみ原単位については，2. において H23 年での値として推計された 687g/人日と**表 15** の No.5 の 706 g/人日はほぼ一致しており，平成 20 年度と平成 12 年度の実態調査結果[1]から計算した全国平均値の 911g/人日と800g/人日は，それぞれ No.2 と No.3～No.4 の値と同程度であり，計算手順は妥当なものといえる。排出ごみの原単位についても，平成 12 年度の実態調査結果では 1,185 g/人日であり，**表 15** の 1,190 g/人日と一致している。発熱量についても，シナリオ No.2 と No.3 の分別状況に相当する各都市の実績値[11]の範囲 8,100～9800 kJ/kg(平均値 9,300 kJ/kg，n=8)比較して，ほぼ妥当な値と考えられる。

(2) 推算結果

推算結果を**表 15** に示す。各シナリオのごみ原単位についてみると，No.3 と No.4 で 10%以上の大きな減量となっており，紙製容器包装や古紙の積極的資源化による焼却ごみの減量効果が大きいことがわかる。さらに，No.6 の厨芥の分別では湿重量ベースでもあり，大きな減量となっている。厨芥の資源化の実施については，条件が整った自治体に限られるものと思われ，No.5 までが全国的な規模で実施できる目標とすれば，現状を No.3 と想定した場合，焼却ごみの減量は最大で 20%程度と見込まれる。

発熱量については，減少の大きな No.3 のプラスチック製容器包装の分別においても，1,000kJ/kg 程度の低下であり，焼却条件の大きな変更を余儀なくされるほどの発熱量への影響はないとみなせる。No.5 まで分別等を進めることで，発熱量は 7,990kJ/kg まで低下するが，厨芥の分別をすることによって 11,000kJ/kg へと大きく上昇する。ごみ量は半減することとなるが発熱量は高くなり，広域的な収集や他の可燃性廃棄物との混焼などによる積極的な熱回収も選択肢となってくる。

表 16 には，生活系ごみについてのシナリオ別組成を大分類で整理し直したものを示す。No.4，No.5 まで進むと紙類，プラスチック類の組成の減少が明確になってくる。プラスチック類については，プラスチック製容器包装の回収をする N0.3 の段階で，紙類については，紙製容器包装の回収と古紙類の資源化徹底をする No.4 の段階で組成減少が大きく進んでいる。

表 15　シナリオ別での焼却ごみについてのごみ質推算結果

分類項目			低位発熱量 (kJ/kg)	目標資源化率 (%)	排出ごみの組成 *4 (%)	シナリオ別の焼却ごみの組成(%) No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
生活系ごみ	分別対象	びん	−99	94	3.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
		缶	−126	95	1.6	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
		PETボトル	20,500	98	0.8	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		プラ製容器	29,002	62	6.4	8.0	8.1	3.0	3.5	3.7	6.0
		紙製容器	8,530	54	6.0	7.7	7.8	8.2	4.1	4.3	7.0
		古　紙 *1	14,307	*5 13 *6 64	16.1	14.1	14.3	15.1	5.5	5.8	9.3
		厨芥・草木	3,193	*7 80	23.7	30.2	30.6	32.3	38.1	39.9	11.9
	分別対象外	紙・プラ等の可燃物	12,053	0	12.9	14.3	14.5	15.3	18.0	18.9	30.6
		ガラス・金属等の不燃物	−25	0	2.8	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.8
事業系ごみ		資源化対象外 *2	10,266	0	6.6	6.5	6.6	6.9	8.2	8.5	13.8
		食品系	2,680	*7 50	7.4	8.1	8.3	8.7	10.3	10.8	8.0
		資源化対象物 *3	13,356	*8 33	12.6	9.3	9.4	9.9	11.7	7.6	12.3
		ごみ量原単位 *9 (g/人・日)			1,190 ---	933 (100)	920 (98.6)	872 (93.4)	740 (79.3)	706 (75.7)	436 (46.7)
		低位発熱量 (kJ/kg)			---	9,940	9,930	8,870	8,230	7,990	11,000
		水　分 (%)			---	50	51	52	57	58	43

*1 新聞紙・雑誌等、段ボール、紙パック
*2 食品系、資源化対象物以外
*3 紙・プラ容器、古紙類、木くず、繊維、缶・びん等
*4 集団回収、不燃ごみ等も含めた総排出ごみ
*5 行政回収による古紙資源化
*6 集団回収促進策で家庭ごみから集団回収へ回った
*7 堆肥化・メタン発酵
*8 事業系ごみの受入抑制
*9 ( )内の数値は、シナリオNo.1に対する比率(%)

表 16　　シナリオ別の生活系焼却ごみの組成（大分類）

組成項目	シナリオ別の生活系焼却ごみの組成(%) No.1	No.2	No.3	No.4・5	No.6
厨芥	37.0	37.7	40.5	50.9	16.9
紙類	43.0	43.8	47.1	33.5	60.4
布類	2.3	2.3	2.5	3.2	5.7
プラスチック・ゴム類	13.2	12.4	5.9	7.4	13.4
金属類	0.9	0.3	0.3	0.4	0.8
ガラス・陶磁器類	0.6	0.3	0.3	0.4	0.8
草木類	2.7	2.7	2.9	3.7	1.2
粗大物	0.3	0.3	0.4	0.5	0.8

(3) 前提条件の変動による推算結果への影響

表 15 はベースのごみ組成について H-IWM におデフォルト値を使用したが，都市によって排出ごみの組成にも幅がある。それによる推算結果の変動をみるため，**表 17** に示した紙，プラスチックが多いケース 1 と厨芥，木草が多いケース 2 についての推算結果を**表 18** に示す。**表 15** の結果から 10%以上ずれる値となるのは，ケース 2 の No.4，No.5 のごみ原単位と No.1～No.6 の発熱量となる，厨芥が特別多い都市では，これらの値がやや変動すると考えられる。

図 20 には，横浜市の公表値 [12]と今回使用した発熱量と横浜市のごみ組成結果から計算した経年変化を比較した。経年変化の傾向は一致しているが，**表 15** の設定発熱量を使った値は，年が進むにつれ実測に比べて高くなる。**表 15** の紙とプラスチックの設定発熱量を 10%低くすると，H17 年以降は一致してくる。発熱量については，H12 年当時の実測値を参考に設定したが，プラスチックや紙の容器包装分別が進むと，発熱量の高いプラスチック，紙を中心に焼却対象となるごみが減少することも考えられる。ただし，その影響による誤差は，2000 kJ/kg 程度までと考えられる。

都市によって，生活系ごみと事業系ごみの割合は大きく異なる。H-IWM においては，事業所従業員数の人口に対する比率によって，事業系ごみの量を推算しており，**表 15** における計算では，その比率を 33%としている。大都市においては事業所比率が高く，50%程度の値となり，大阪市のように 80%を超える都市もある。実際に，大阪市では事業系ごみの量が家庭系ごみを上回っており，他都市とは大きく異なる排出実態となっている。仮にこの比率を 80%とした場合のシナリオ別の計算結果を**表 19** に示す。**表 15** と比べて，ごみ原単位は相当増加することがわかる。一方，発熱量については，やや高い値となるが，ごみ原単位ほどの影響は見られない。事業系ごみの比率は，発熱量へはさほど影響しないが，ごみ量へは大きく影響するといえる。

表 17　生活系焼却ごみの組成の変動に関する想定ケース（湿重量基準%）

実測データと想定ケース		紙類	木草類	プラ･ゴム類	厨芥
実測	H-IWMのデフォルト値 *1	44	2	13	31
	大都市平均(n=8) *2	37	5	15	33
	日環センター(n=431) *2	45	6	17	29
想定	ケース1（紙･プラ多い場合）	50	2	20	10
	ケース2（厨芥･木草多い場合	20	15	10	50

*1 文献 9)　*2 文献 11)

表 18　組成の変動による焼却ごみの原単位と発熱量への影響

項 目	組成想定ケース	シナリオ別の焼却ごみの原単位と発熱量					
		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
ごみ量原単位（g/人･日）	ケース1	969	956	881	731	698	470
	ケース2	1,007	997	960	897	866	395
低位発熱量（kJ/kg）	ケース1	11,400	11,300	9,830	9,280	9,100	12,000
	ケース2	8,360	8,330	7,530	7,180	6,970	10,200

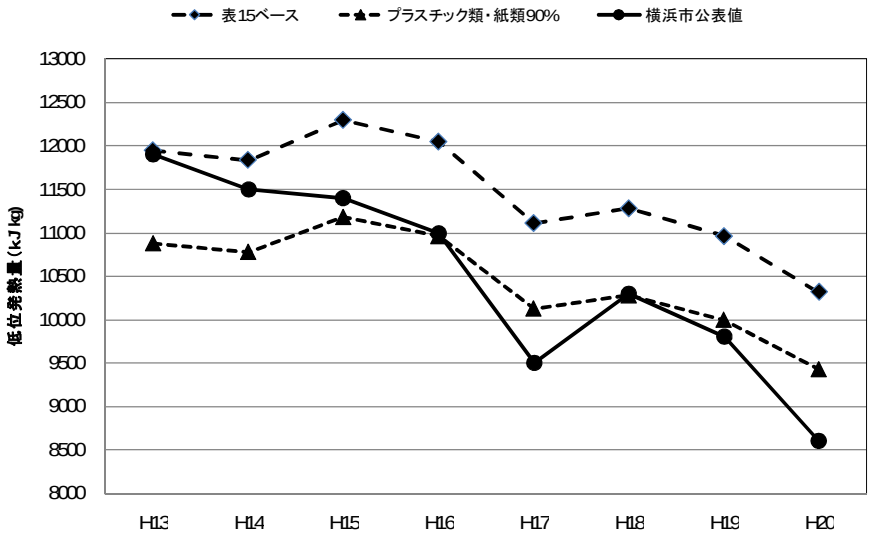


図 20　発熱量の経年変化についての横浜市実績値との比較

表 19　事業系ごみの比率が大きい場合の焼却ごみの推計結果
（事業所従業者数／人口＝80%）

シナリオNo.	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
ごみ量原単位 *1 （g/人・日）	1,303 (100)	1,286 (98.7)	1,237 (94.9)	1,096 (84.1)	1,019 (78.2)	678 (52.0)
低位発熱量 （kJ/kg）	9,650	9,670	8,890	8,410	8,030	10,500
水 分 （%）	49	49	50	53	56	43

*1 （ ）内の数値は、シナリオNo.1に対する比率(%)

5　おわりに

分別等のごみ減量資源化施策が進められることによって，焼却施設へ搬入されるごみの量とごみ質は影響を受けることとなるが，その中で，焼却施設が担うべき役割が変わっていくことも想定される。ただ，各資源を分別した後のごみを衛生的に減量化するための適正な処理を担うというこれまでの基本的な役割については変わらないと思われる。ごみ減量・資源化が進んでいる都市の実績を目標値として全国化した場合のごみ量の減量では 20%程度，様々な分別項目を最大限取り入れたシナリオでの減量では 25%程度と見込まれており，分別資源化を全国的に徹底して実施できたとしても，75～80%程度のごみは焼却処理に頼らなければならないこととなる。今後も，資源化物を取り除いた残渣を適正処理するための焼却施設の役割は大きいといえる。

ただし，個々の地域，自治体ごとに選択される資源化システムによっては，個別焼却施設におけるごみ量やごみ質は大きく変化することもあり得るため，広域化による量の確保や可燃性廃棄物の積極的受入など受入ごみの特化をしたり，他の資源化施設との連携の中で運転条件等が求められたり，資源化システム全体の中でコスト，エネルギー消費等の最適化を図るための対応も必要となってくる。

また，ごみ減量化・資源化のためのシステムづくりが個々の自治体ごとに取り組まれているため，**図 1** で示した自治体が管理運営できる範囲の中だけでの最適化のみを追求するあまり，その範囲の外も含めた視野からは適正を欠いたシステムの導入がなされることも危惧される。自治体が収集した回収物を自治体外の資源化施設へつなぐことによって，収集物はすべて資源化されたと見なされるが，実際は，資源化工程で利用できない残渣が発生し，一部が新たな廃棄物となっている。事業系ごみの持込抑制策も，他へ廃棄物として流れていきシステム境界の外へ問題をはじき出しているだけにならないよう注意する必要がある。

さらに，個別自治体で対応できない問題という限界もある。PET，容リプラの国外への流出，市場におけるリサイクル品需要の不安定さによる受け入れ先の喪失など，各自治体が直接的に運営管理できるシステム境界の外での情況変化や事情により，外部的要因が運営の障害となることもある。

自治体単位でのシステム作りを進めていくことが現実的ではあるが，本来の社会全体での資源消費の抑制と環境負荷の最小化という循環型社会を目指す観点から，個別システムの選択と柔軟性の確保も求められる。

参考文献

1) 環境省:一般廃棄物処理事業実態調査結果(各年度版)
http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/index.html
2) 横浜市資源循環局:事業概要(各年度版)
3) 名古屋市環境局:事業概要(各年度版)
4) 手島肇, 増田孝弘, 藤田泰行, 武田信生, 高岡昌輝:都市ごみの組成変化に応じた中間処理・再資源化システムの検討, 廃棄物学会論文誌, 第 17 巻, 第 6 号, pp.372-386 (2006)
5) 環境省:平成 20 年度容器包装リサイクル法に基づく市町村の分別収集及び再商品化の実績について(平成 21 年 11 月)
http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=14601&hou_id=11806
6) 藤井実, 大迫政浩, 村上雄亮, 志賀光洋, 新井秀澄, 米田理津子:戸別収集,生ごみ分別収集に関する実態調査, 廃棄物学会講演論文集, Vol.19, pp.179-181 (2009)
7) 横浜市一般廃棄物処理基本計画(横浜 G30 プラン)の振り返りについて(2009)
http://www.city.yokohama.jp/me/pcpb/shingikai/shiryou1-1/no1/4-1.pdf
8) 名古屋市環境局:名古屋ごみレポート'09 版 (2010)
9) 松藤俊彦:都市ごみ処理システムの分析・計画・評価ーマテリアルフロー・LCA 評価プログラムー, 技報堂出版 (2005)
10) 本多淳裕:ごみにならない製品の開発, 日刊工業新聞社, p76 (1993)
11) (財)日本環境衛生センター:Fact Book 廃棄物基本データ集 2000, pp.98-100 (2001)
12) 第 5 回横浜市廃棄物減量化・資源化等推進審議会・資料 2-2「ごみ発電量について」(2010)

Ⅲ　ごみ発電の観点からみたごみ処理の広域化

小北 浩司　　（株式会社タクマ）
増田 孝弘　　（株式会社タクマ）

1　はじめに

都市ごみ処理が循環型社会・低炭素社会に貢献するためのひとつの手段として，ごみ発電が挙げられる。「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」の制定や「循環型社会形成推進交付金」による支援を背景にごみ発電の総発電能力は年々向上しているものの，平成 20 年 3 月に閣議決定された「廃棄物処理施設整備計画」における平成 24 年度目標値 2,500MW に対し，平成 20 年度の総発電能力は 1,615MW にとどまっており[1)]，高効率ごみ発電の導入による更なる総発電能力の向上が望まれている。

高効率ごみ発電のひとつの手段として，広域化による施設の集約が考えられるが，一方で，広域化には地域性や制度面などのさまざまな課題もある。

本稿では，ごみ処理の広域化に関して，ごみ発電の視点に重きを置いた望ましい姿を提示するとともに，現実面の課題の整理を試みた。

2　ごみ焼却施設数と平均規模の推移

いわゆる平成の大合併により，市町村数は3,232（平成11年度末）から1,730（平成22年度末）へと減少[2]した。ごみ焼却施設数は，市町村数の減少やダイオキシン問題を一因とした小規模施設の廃止・集約により，ピーク時（昭和53年度）の2,025から1,269に減少した[1, 3]。平成11年度以降のごみ焼却施設数と平均ごみ処理能力（以降，施設規模と呼ぶ）の推移を**図1**に示す。平成20年度末の平均施設規模は148ton/日となっている。

環境省より公表されている循環型社会形成推進地域計画（平成22年1月29日時点）[4]に基づき，数年後のごみ焼却施設数を算出すると，現状の1,269からさらに減少し，1,179となる見込みである。このときの平均施設規模は157ton/日となる。

以上のように，施設の集約が着実に進んでいることがわかる。

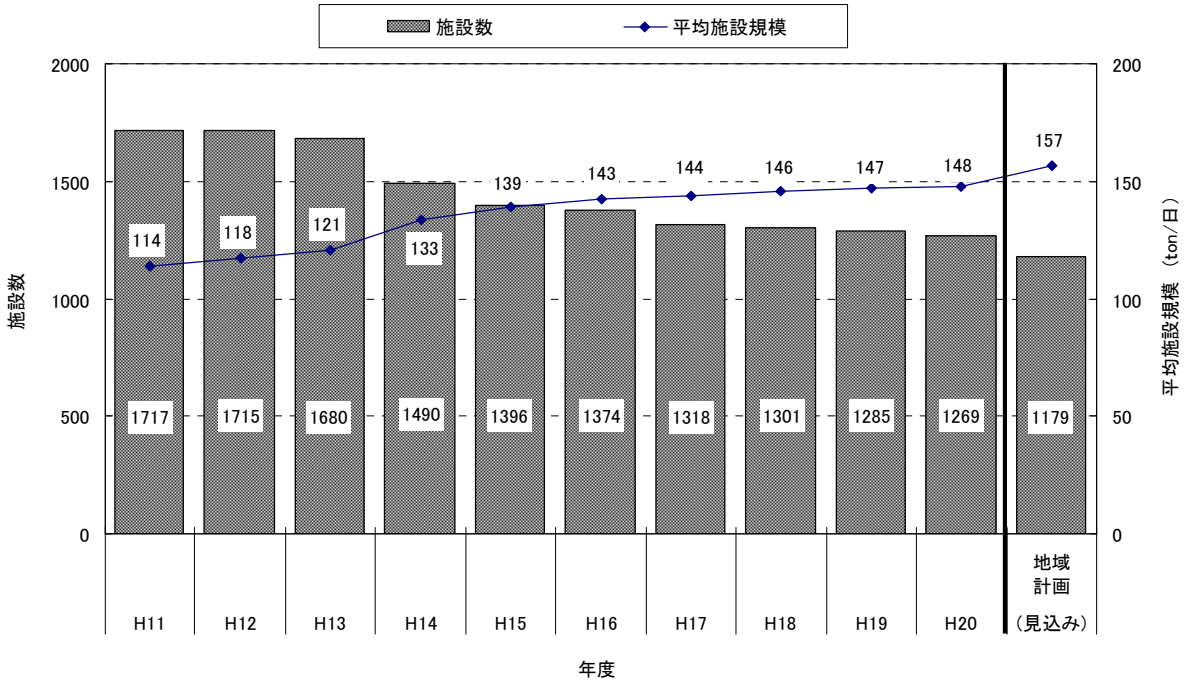


図1　ごみ焼却施設の施設数と平均施設規模の推移

3　望ましい施設規模，施設数

ごみ処理の広域化については「ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン」において，一定規模以上の全連続炉への集約化によりダイオキシン類の発生を防止することを狙いとして，その必要性が説明されている。また，「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」に基づき作成された基本方針（廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な方針，改正平成17年5月26日，環境省告示第43号）においても，「適正な循環的利用や適正処分を進める上での必要性を踏まえ，他の市町村との連携等による広域的な取組を図る」とされているように，一般廃棄物処理の計画にあたって広域化を検討することは基本的な方針といえる。広域化による施設規模の目安としては，前述のガイドラインにある「300ton/日程度以上の規模とすることが望ましく，最低でも一施設 100ton/日程度以上とすべきである」が参考にされていると思われる。さらに，具体的な広域化計画においては，地理的条件や社会的条件を踏まえた上で，地域毎に適正な規模を選定することが重要と考えられる。

本稿では，ごみ発電の観点からみた広域化の検討を行うため，以下のように望ましい施設規模を設定した。

3-1　欧州の例

欧州においては，ごみ焼却施設は発電施設または熱供給施設と位置づけられており，我が国の多くのごみ焼却施設に比べて，熱回収効率を追求した施設になっている。したがって，欧州のごみ焼却施設の施設規模は，ごみ発電の観点からみた望ましい施設規模の目安にできると考えた。欧州におけるごみ焼却施設の施設規模を**表 1** に示す[5)]。欧州のごみ焼却施設の施設規模の平均は，およそ500ton/日であり，我が国の平均施設規模148ton/日のおよそ3倍となっている。

表 1　欧州における都市ごみ焼却施設規模（2005 年）

	施設数	合計能力 (ton/h)	平均施設規模 (ton/日/施設)
Austria	9	91	243
Belgium	18	367	489
Czech Rep,	3	117	936
Denmark	34	577	407
Finland	1	8	192
France	127	1,909	361
Germany	68	2,445	863
Great Britain	22	386	421
Hungary	1	60	1,440
Italy	51	690	325
Netherlands	11	670	1,462
Norway	13	78	144
Portugal	3	205	1,640
Spain	10	245	588
Sweden	30	513	410
Switzerland	30	464	371
合計	431	8,825	491

3-2　温室効果ガス

2008 年, 1990 年における一般廃棄物焼却由来の温室効果ガス排出量を**表 2** に示す[6]。2009 年 9 月に開催された国連気候変動首脳会合において鳩山首相(当時)が 2020 年度までの温室効果ガス削減目標について 1990 年度比 25%削減を目指すと表明している。ここで, 単純に一般廃棄物焼却由来の温室効果ガス排出量を 1990 年度比で 25%削減すると, その削減量は 11,990$GgCO_2$×25%＝2,998$GgCO_2$, すなわち約 300 万トンとなる。この削減量は, 電力の使用による排出原単位を 0.561$kgCO_2$/kWh とすると, 5,344GWh に相当する。

平成 20 年度におけるごみ焼却施設の年間総発電電力量および発電効率は, それぞれ 6,935GWh/年, 11.19%であるため[1], 総発電電力量を 5,344GWh/年増やすには, 発電効率を 19.8%まで向上させる必要がある。これを達成するために必要な発電能力は, 平成 20 年度におけるごみ焼却施設の総発電能力 1,615MW[1]を用いて単純比例で計算すると 2,858MW となり, 前述の平成24年度目標値2,500MWを超える。ここで, ごみ発電の高効率化推進を目的に作成された「高効率ごみ発電施設整備マニュアル」[7]をみると, 施設規模ごとの交付要件として発電効率が 20%となる施設規模は, 450ton/日超, 600ton/日以下となっている。

以上の点から, 本稿では, ごみ発電の観点からみた望ましい施設規模として, 発電効率 20%が期待できる 500ton/日を用いた。

表 2　一般廃棄物焼却由来の温室効果ガス排出量

(単位:$GgCO_2$)

ガス	廃棄物の焼却形態	算定区分	1990年	2008年
CO_2	エネルギー回収を伴わない廃棄物焼却	プラスチック	5,041	2,312
		合成繊維くず	503	434
		その他バイオマス起源	―	―
	廃棄物が焼却される際にエネルギーが回収	プラスチック	5,857	4,786
		合成繊維くず	585	899
		その他バイオマス起源	―	―
	廃棄物が燃料として直接利用	プラスチック	0	368
	合計		**11,986**	**8,799**
CH_4	エネルギー回収を伴わない廃棄物焼却	―	0.5	0.1
	廃棄物が焼却される際にエネルギーが回収	―	0.5	0.1
	廃棄物が燃料として直接利用	プラスチック	0	0
	合計		**1.0**	**0.2**
N_2O	エネルギー回収を伴わない廃棄物焼却	―	1.0	0.5
	廃棄物が焼却される際にエネルギーが回収	―	1.5	1.0
	廃棄物が燃料として直接利用	プラスチック	0	0
	合計		**2.5**	**1.5**
合計			**11,990**	**8,801**

3-3　望ましい施設数

前項で求めた望ましい施設規模 500ton/日をベースに試算すると，日本全国で必要なごみ焼却施設は 345 施設となり，現状の 1,269 施設に比べて約 3 割となる。この試算では，ごみ排出量 1kg/人/日，施設運転日数 280 日/年，調整稼働率 0.96，日本の人口 1 億 2,700 万人とした。

ただし，実際には離島のように広域化に適さない地域もあるため，現実的な施設数はこの数値よりも多くなるはずである。

4　モデル地域における広域化の検討

本節では，モデル地域を選定し，望ましい施設規模，施設数となるよう広域化した場合の発電量，CO_2 排出削減量，コストについて検討した。

4-1　モデル地域の概要

近畿 2 府 4 県（大阪府，京都府，滋賀県，兵庫県，奈良県，和歌山県）をモデル地域に設定し，広域化の検討を行った。

近畿2府4県は，人口およそ 2,100 万人，面積 27,000km^2 であり[8]，平成 18 年度末時点のごみ焼却施設数は177 施設，そのうちボイラ発電設備付施設は49 施設となっている[9, 10]。ボイラ発電設備付施設 49 施設の平均発電効率は，約 12%である。近畿 2 府 4 県における処理方式別の施設数およびボイラ発電設備付施設数を**表 3** の左側の欄に，各施設規模の頻度分布を**図 2** に示す。

表 3　広域化検討に用いた近畿 2 府 4 県のごみ焼却施設数

処理方式	ごみ焼却施設数 （括弧内はボイラ発電設備付施設数）					
	実績値		検討条件			
	H18年度末		ケース1		ケース2	
焼却（燃料化以外）						
全連続式	101	(48)	131	(87)	55	(55)
准連続式	30	(1)	0	(0)	0	(0)
バッチ式	40	(0)	40	(0)	1	(0)
燃料化	6	(0)	6	(0)	0	(0)
合計	177	(49)	177	(87)	56	(55)

※休止中の施設は除く

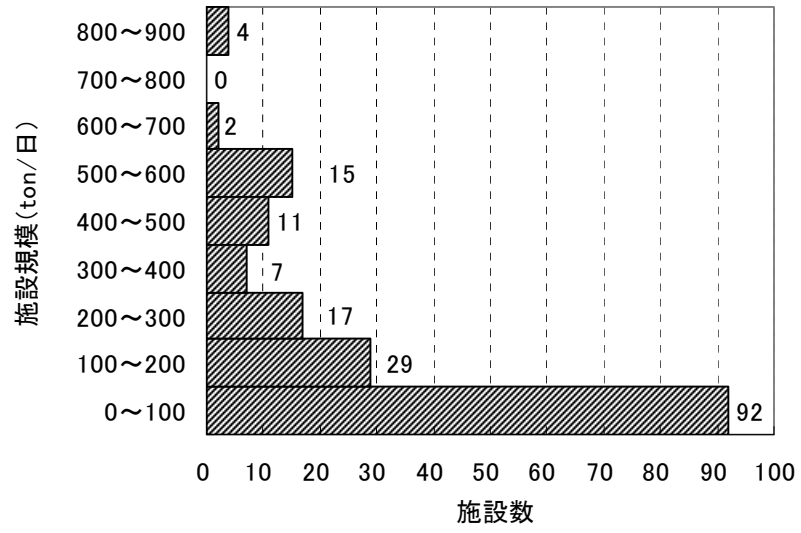


図 2　平成 18 年度末時点における近畿 2 府 4 県のごみ焼却施設規模頻度分布

4-2　試算条件

本稿では，ごみ発電の観点からみたごみ処理の広域化について，その最大限のポテンシャルを明らかにすることを目的に，大胆に理想的な状況を設定し，その効果を試算した。今回の試算では，広域化の効果を明確にするために，現状のごみ焼却施設と同じ施設規模・施設数のまま施設を更新し，可能な限り高効率ごみ発電を導入したケース 1 を設定し，このケース 1 と広域化を推進したケース 2 について比較検討を行った。以下に各ケースの設定の詳細を示す。

ケース 1:　現状（平成 18 年度末）のごみ焼却施設を同規模の新施設に更新する。ただし，准連続式焼却施設は全連続式焼却施設に変更し，全連続式焼却施設のうち施設規模が 100ton/日以上の施設はボイラ発電設備を設置する。このケースは，平成 18 年度末時点から広域化は進展しないが，施設の更新に伴って全連続化やボイラ発電設備の設置が積極的に行われた状況を想定している。

ケース 2:　施設規模 500ton/日程度を照準として広域化する。

ケース 1 およびケース 2 について，処理方式別の施設数およびボイラ発電設備付施設数を**表 3** に示す。ケース 1 では，ごみ焼却施設の更新により，准連続式焼却施設から全連続式焼却施設に変更となった施設は 30 施設，新たにボイラ発電設備を設置した施設は 38 施設である。ボイラ発電設備付施設は，平成 18 年度末時点の 49 施設から 87 施設へとおよそ 8 割の増加となっている。ケース 2 では，広域化に伴い施設数が 177 施設から 56 施設へと 3 割程度まで減少している。なお，ケース 2 における施設数の設定については，4.2.2 にて詳述する。

試算にあたり，以下の前提条件を設定した。

① 試算するごみは，焼却処理対象分のみとし，焼却以外の中間処理，直接資源化，直接最終処分の対象となるごみは考慮していない。
② ごみ発生量は一律の原単位を使用して算出するものとし，自治体による分別方法の違いや居住地区（都市部，山間部など）の差によるごみ発生量原単位の差は考慮しない。
③ 広域化を図るケース2では，収集したごみの中継輸送を行う。中継輸送では，海上輸送，鉄道輸送は考慮しない。
④ ごみ焼却施設や中継施設は，現状のごみ焼却施設の跡地に建設する。
⑤ 中継輸送では，国道等の幹線道路を優先するが，幅員や高さ制限，最低回転半径といった道路事情の詳細は検討しない。
⑥ 広域化を図るケース 2 では，現状のごみ焼却施設建設位置には必ずごみ焼却施設または中継施設を建設すると仮定する。この仮定により，各戸・各収集ステーションからの収集に係るコストや CO_2 排出量は同等とみなす。
⑦ 施設建設費の算出には，建設時期の相違による物価変動を考慮しない。（試算上は一律での

建替となる。)

⑧ ごみ処理に係る薬品，水，燃料，消費電力(中継施設含む)や処理残渣の搬出は，両ケースについて大差ないものとし，ランニングコストの試算では比較検討しない。

⑨ 人件費は，中継輸送車のドライバー分のみを対象とする。ケース 2 では，ごみ焼却施設の施設数減少に伴いごみ焼却施設の必要人員は減少するものの，中継施設において人員が必要となる。本稿では，ごみ焼却施設と中継施設に必要な人件費については，詳細な検討は省き，同等と仮定して，試算を行った。

⑩ 制度面の障壁はないものとする。

本検討では，財団法人廃棄物研究財団による「ごみ焼却施設台帳(平成 18 年度版)」[9]および環境省による「一般廃棄物処理実態調査結果　平成 18 年度」[10]のデータを利用した。その他，試算に用いた設定値を**表 4** に示す[11, 12, 13]。

(1) ごみ発生量

広域化後のごみ焼却施設の施設規模や同一施設で処理する自治体の範囲(広域化の範囲)を設定するためには，各自治体から発生するごみ量を算出する必要がある。各自治体のごみ発生量は，近畿 2 府 4 県のごみ発生量原単位と各自治体の計画収集人口から算出した。近畿 2 府 4 県のごみ発生量原単位は，平成 20 年度の実績データ[1]から算出した 927g/人/日を使用した。ごみ発生量は直接焼却量と処理残さの焼却量の合計としたが，近畿 2 府 4 県の処理残渣の焼却量の記載がなかったため，全国の直接焼却量と処理残さの焼却量の比率から算出した値を用いた。

表 4　モデル地域における広域化検討に使用した設定値

項目	値		根拠
中継輸送日数	310	日/年	12)
中継輸送車			
運搬量	6.5	t	11)
費用	16,900	千円	12)
ドライバー人件費	7,000	千円	※1
燃費	3.9	km/L	11)
輸送速度	30	km/h	※1
積み込み、積み下ろし時間	0.33	h/回	12)
1日当たりの作業時間	5	h/日	12)
予備車率	0.12	ー	12)
耐用年数	7	年	12)
中継輸送車燃料			
種類	軽油		
単位発熱量	37.7	GJ/kL	13)
排出係数	0.0187	tC/GJ	13)
単価	100	円/L	※1
電気料金単価 ※2	7	円/kWh	※1
他人から供給された電気の使用 排出係数	0.000561	tCO_2/kWh	13)※3
建設費			
ごみ焼却施設			
基準となる建設費(ボイラ発電設備付)	15,000	百万円	※1
基準となる施設規模(ボイラ発電設備付)	300	ton/日	※1
基準となる建設費(水噴射式)	10,500	百万円	※1
基準となる施設規模(水噴射式)	300	ton/日	※1
中継施設			
基準となる建設費	300	百万円	12)
基準となる施設規模	100	ton/日	12)
整備補修費			
建設費に対する整備補修費の割合	0.02	ー	12)
中継輸送車	1,200	千円/台/年	12)

※1 :焼却部会による設定
※2 :同一単価として売電量増加と購入電力量減少の両方を評価
※3 :電気事業者以外の者から供給された電気を使用している者であって係数を把握することができない者の値を使用

(2) 広域化後の収集範囲と施設規模の設定

本検討で設定した広域化後の収集範囲を**図 3** に示す[14)]。図中の最小区域は近畿 2 府 4 県の各自治体の行政区域である。ただし，京都市，大阪市，堺市，神戸市については各区の行政区域を示している。地図データは国土地理院の基盤地図情報を利用した[14)]。

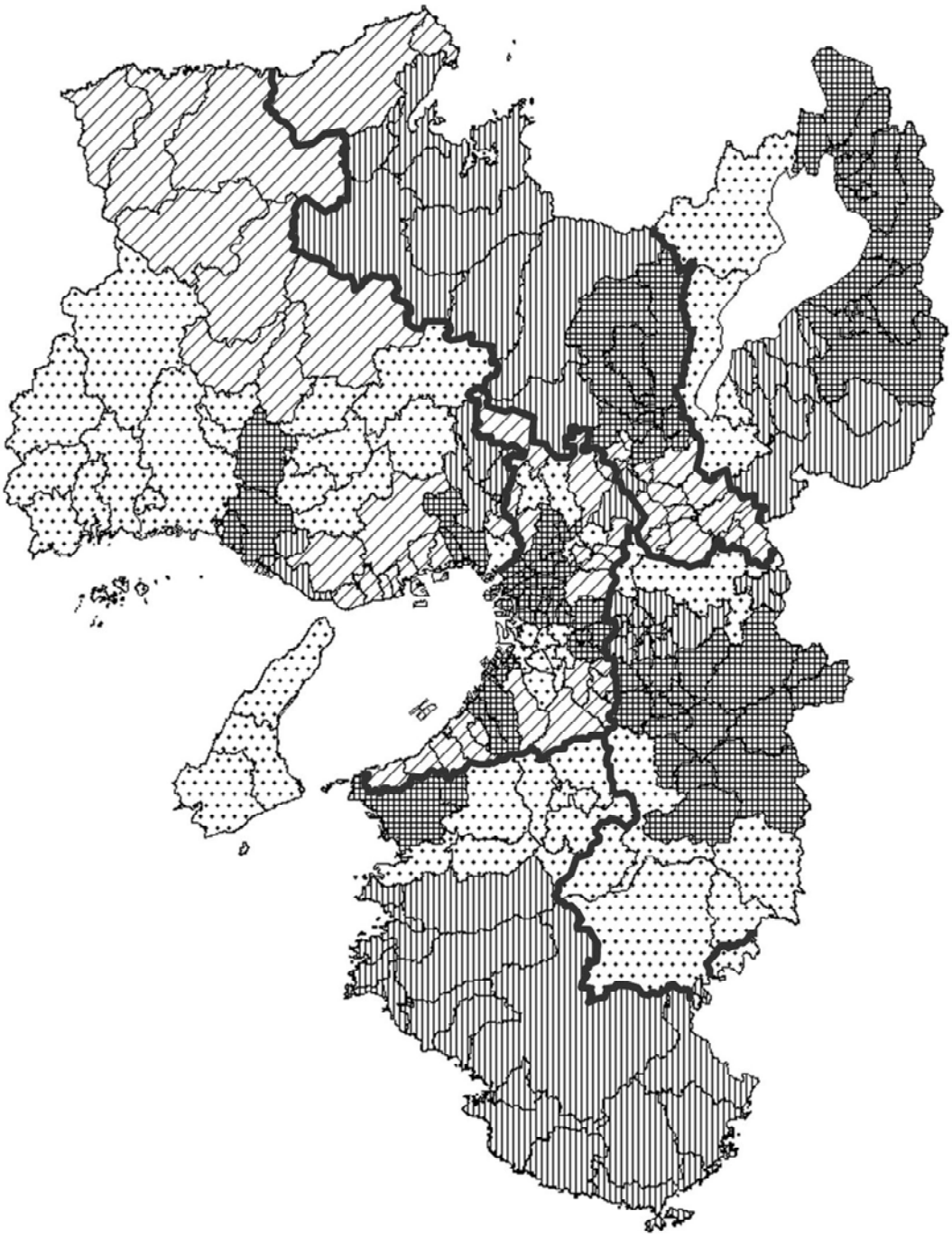


図 3 広域化後（ケース 2）の収集範囲

広域化後の収集範囲は，(1)で算出した各自治体のごみ発生量を基に施設規模が 500ton/日程度以上になること，および国道等の幹線道路を利用して中継輸送することを考慮して設定した。ただし，京都市，大阪市，神戸市については，市内に複数のごみ焼却場を有し，かつ高効率発電が期待できる施設規模であることから，他の自治体との広域化・合同処理は考慮せず，既存のごみ焼却施設の数と施設規模を維持するものとした。なお，現状では同一の広域組合を構成する自治体であっても，別の収集範囲に区分している所や，京都府北部と兵庫県北部のように府県をまたいでいる箇所もある。

以上のように広域化後の収集範囲を設定した結果，ケース 2 の施設数は 56 施設（全連続式，ボイラ発電付 55 施設，バッチ式 1 施設）となった。なお，施設規模は，年間ごみ発生量（ton/年）÷年間運転日数 280（日/年）÷調整稼働率 0.96(－)として算出した。ケース 2 の各施設の施設規模の分布を**図 4** に示す。収集範囲の設定上，500ton/日程度に満たない施設もある。図中の 0～100ton/日に記載する施設は，瀬戸内海に位置する姫路市南部の群島部（旧家島町）を対象としたバッチ式ごみ焼却施設である。本施設は，安全性や利便性を考慮して広域化対象から外し，同規模のバッチ式ごみ焼却施設に更新するものと仮定して検討を行った。

なお，ケース 1 は平成 18 年度末時点のごみ焼却施設を同規模のまま更新しているため，ケース 1 の施設規模の分布図は**図 2** と同じである。

(3) 中継輸送

中継輸送に関するランニングコストおよびCO_2排出量の算出には**表 4** に示した設定値を使用した。中継施設から広域化後のごみ焼却施設への輸送距離は Google マップ[15)]を利用して算出した。輸送ルートの設定に関しては，可能な限り国道等の幹線道路を優先したが，本節試算条件で述べたように，幅員や高さ制限等について現実的に通行可能であるかの検討は行っていない。中継輸送ルートの例を**図 5** に示す。

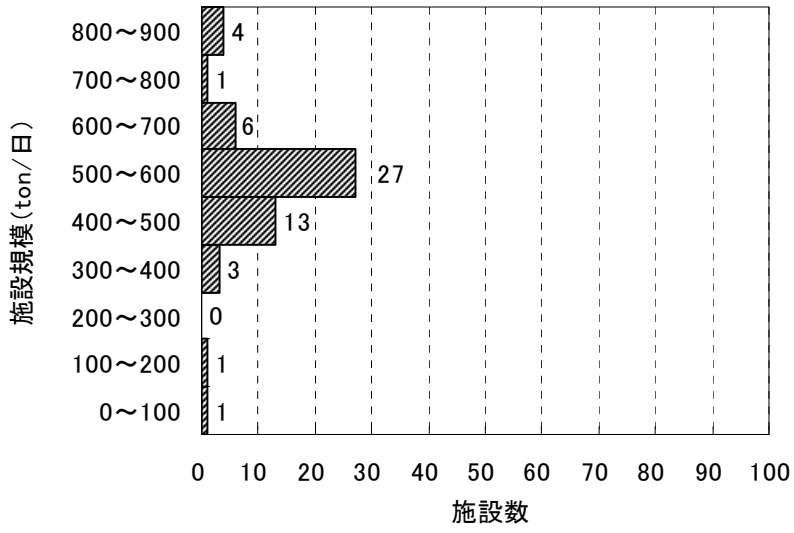


図 4 モデル地域における広域化検討に用いたごみ焼却施設規模頻度分布(ケース 2)

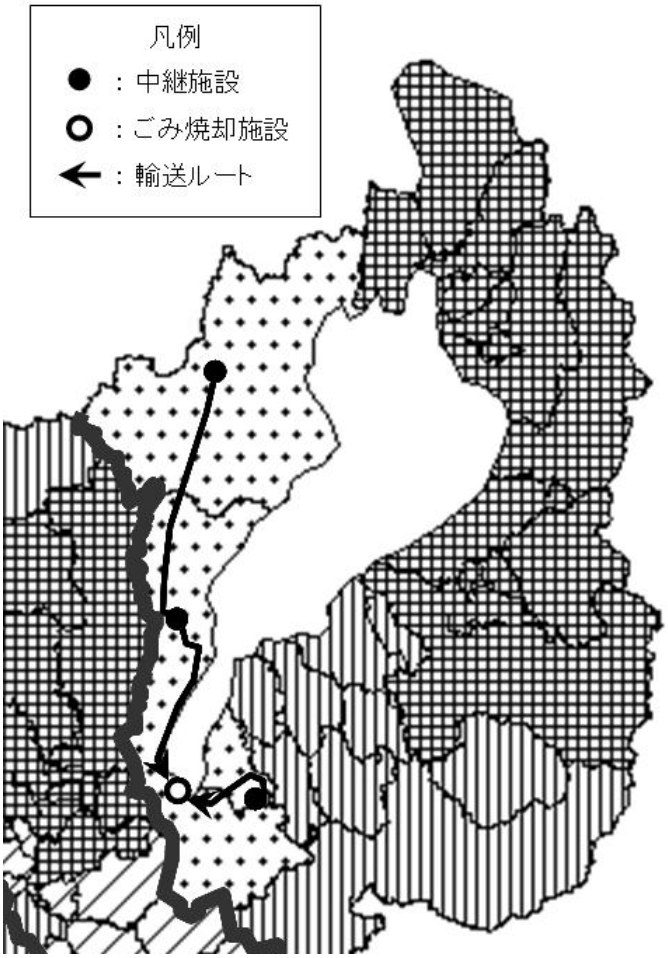


図 5　中継輸送ルートの例

(4) イニシャルコスト

ごみ焼却施設の建設費は，ボイラ発電設備の有無により異なる式を用いて算出した。算出式は建設費が 0.7 乗則に従うものと仮定して，以下のように設定した。

a) ボイラ発電設備付ごみ焼却施設

$$C_a = C_{a0} \times \left(\frac{S_a}{S_{a0}} \right)^{0.7}$$

ここで，　C_a　:ボイラ発電設備付ごみ焼却施設の建設費［百万円］

C_{a0}　:基準となるボイラ発電設備付ごみ焼却施設の建設費（15,000 百万円）

S_a　:ごみ焼却施設規模［ton/日］

S_{a0}　:基準となるボイラ発電設備付ごみ焼却施設の施設規模（300ton/日）

b) **水噴射式ごみ焼却施設**

$$C_b = C_{b0} \times \left(\frac{S_b}{S_{b0}} \right)^{0.7}$$

ここで, Cb :水噴射式ごみ焼却施設の建設費［百万円］
Cb0 :基準とな水噴射式ごみ焼却施設の建設費(10,500 百万円)
Sb :ごみ焼却施設規模［ton/日］
Sb0 :基準となる水噴射式ごみ焼却施設の施設規模(300ton/日)

中継施設の建設費は以下の式を用いて算出した[12)]。

$$C_c = C_{c0} \times \left(\frac{S_c}{S_{c0}} \right)^{0.7}$$

ここで, Cc :中継施設の建設費［百万円］
Cc0 :基準となる中継施設の建設費
(コンパクタ・コンテナ方式として 300 百万円[12)])
Sc :中継施設規模［ton/日］
Sc0 :基準となる中継施設の施設規模(100ton/日[12)])

ごみ燃料化施設の建設費は, 水噴射式ごみ焼却施設と同じ式を用いて算出した。

中継輸送車のイニシャルコストについては, 中継輸送車の耐用年数 7 年とごみ焼却施設や中継施設の耐用年数 20 年との差を考慮して, 必要台数の 3 倍の費用を計上した。

(5) 発電量

発電量算出にあたっては, 以下の式を用いて算出した。

$$G = W \times Hu \times \frac{\eta}{100} \times \frac{1}{3600} \times \frac{1}{1000}$$

ここで, G :年間発電量［GWh/年］
W :年間ごみ焼却量［ton/年］
Hu :ごみの低位発熱量(8,800kJ/kg)
η :発電効率［%］

ごみ焼却量は 4.2.1 で算出したごみ発生量を使用した。

ケース 1, ケース 2 のいずれについても, 新施設の建設にあたり高効率発電システムの導入を前提としたため, 各施設の発電効率には「高効率ごみ発電施設整備マニュアル」[7)]に記載されている施設規模ごとの交付条件の値を用いた。

4-3　検討結果

本検討では，現状のごみ焼却施設を同規模の新施設に更新するケース 1 と広域化を図るケース 2 とを比較しているが，実際には現状（平成 18 年度）とケース 1 の間にも相当量の発電能力の増加が見られる。したがって，次項以降に示す発電量と CO_2 排出削減量の試算結果に関しては，現状との違いが明確になるように平成 18 年度実績値を参考値として示した。

(1) 発電量

図 6 にケース 1 とケース 2 の年間発電量試算結果と近畿 2 府 4 県の平成 18 年度年間発電量実績値を示す。広域化の影響により，年間発電量はケース 1 の 2,717GWh/年からケース 2 の 3,486GWh/年まで増加した。

数値の詳細は示していないが，広域化に伴う発電量増加分（ケース 1 とケース 2 の差）のうち，約 7 割が水噴射式ごみ焼却施設での焼却処理からボイラ発電設備付ごみ焼却施設での焼却処理への変更によるものであり，残りの約 3 割がボイラ発電設備付施設の大規模化に伴う発電効率向上によるものであった。

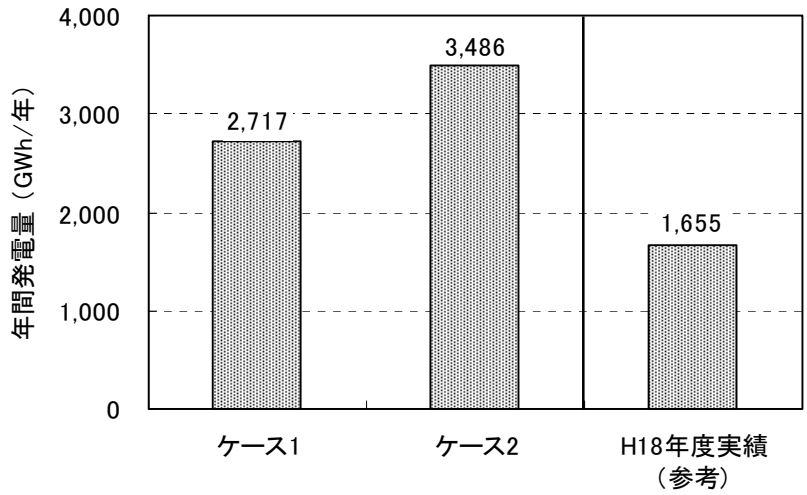


図 6　年間発電量

(2) CO_2 排出削減量

図 7 に中継輸送による CO_2 排出量を加味して算出した，ごみ発電による CO_2 排出削減量を示す。参考値として，平成 18 年度実績の年間発電量 1,655GWh/年[10)]から計算した CO_2 削減量を併記した。ケース 2 の値は，ごみ発電による CO_2 排出削減量から中継輸送による CO_2 排出量を減じたものである。

CO_2 排出削減量は，ケース 1 の 1,524 千 tCO_2/年に対し，ケース 2 では 1,943 千 tCO_2/年となり，約 28%増加した。中継輸送による CO_2 排出量は 12 千 tCO_2/年であり，広域化により増加したごみ発電量に由来する CO_2 排出削減量のおよそ 3%であった。

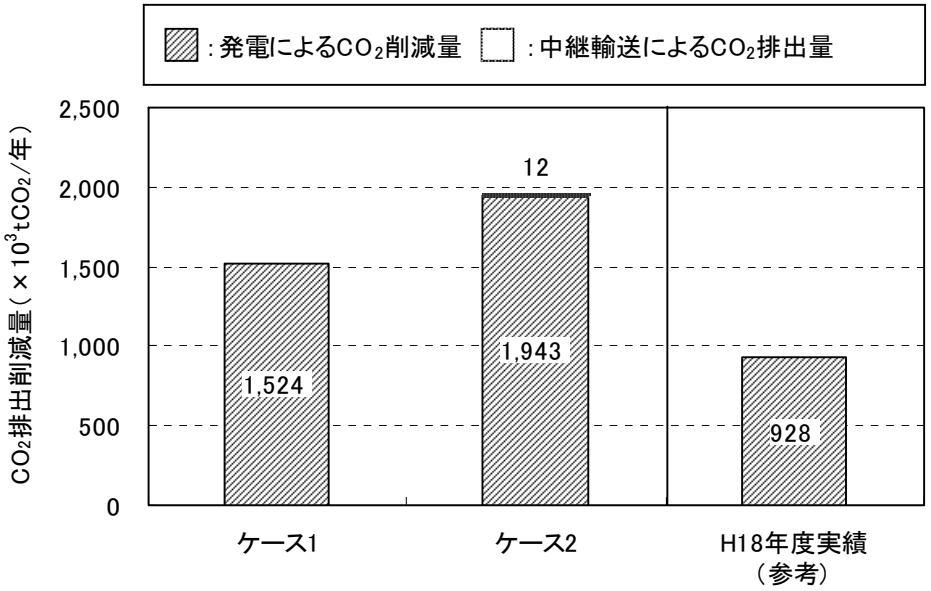


図 7　中継輸送による CO2 排出量を加味したごみ発電由来の CO2 排出削減量

(3) コスト

イニシャルコストおよびランニングコストの試算結果を**表 5** に示す。

イニシャルコストは，ケース 1 が 1,690,000 百万円，ケース 2 が 1,369,000 百万円となり約 19%減少している。ただし，ケース 1 における施設規模の合計が約 35,000ton/日であるのに対し，ケース 2 では約 31,000ton/日となっており，施設規模の合計はおよそ 1 割減少している。これは，年間ごみ焼却量の減少傾向と施設規模の適正化によるものと考えられる。したがって，**表 5** に示したイニシャルコストの減少分には施設規模減少の影響も含まれていることに留意が必要である。試算の結果，イニシャルコスト減少分のうち，施設規模の減少に由来する減少分は約半分であった。

表 5　コスト試算結果

分　類	項　目	単位	ケース1	ケース2	備考
イニシャルコスト	ごみ焼却施設	百万円	1,690,000	1,310,000	
	中継施設	百万円	0	25,000	
	中継車両	百万円	0	34,000	
	小計	百万円	1,690,000	1,369,000	①
ランニングコスト	用役費				
	電気料金	百万円/年	-19,000	-24,400	
	中継輸送用燃料料金	百万円/年	0	500	
	中継輸送運転手人件費	百万円/年	0	4,900	
	整備補修費				
	ごみ焼却施設	百万円/年	31,300	26,100	
	中継施設	百万円/年	0	500	
	中継車両	百万円/年	0	800	
	小計	百万円/年	12,300	8,400	
	小計(20年)	百万円/20年	246,000	168,000	②
合計		百万円/20年	1,936,000	1,537,000	＝①＋②

ケース 2 のイニシャルコストに占める中継施設建設費の割合は 1.8%，中継輸送車購入費の割合は 2.5%であった。

ランニングコストは，用役費（電気料金，中継輸送用燃料料金，中継輸送車ドライバー人件費）および整備補修費（ごみ焼却施設，中継施設，中継輸送車）を考慮した。電気料金の負数は，ごみ発電によって売電収入増加および電力購入量減少となることから，電力料金を収入として扱っていることを意味する。ケース 1 は 12,300 百万円/年，ケース 2 は 8,400 百万円/年となり，広域化後に必要となる中継輸送に関わるコストを考慮した上でも，広域化によりメリットがある試算結果となった。

本検討では，電力単価として 7 円/kWh を使用したが，2010 年 8 月に経済産業省資源エネルギー庁より「再生可能エネルギーの全量買取制度の大枠について」が公表され[16)]，その掲載資料の中で，太陽光発電等を除いた再生可能エネルギーの買取価格については「標準的な再生可能エネルギー設備の導入が経済的に成り立つ水準，かつ，国際的にも遜色ない水準とし，15～20 円/kWh 程度を基本とする[16)]」という制度イメージが示されており，将来的に電力買取単価が 15～20 円/kWh となった場合，ごみ処理の広域化によるメリットはさらに大きくなる。

イニシャルコストと 20 年間のランニングコストの合計は，ケース 1 の 1,936,000 百万円/20 年から，ケース 2 の 1,537,000 百万円/20 年まで減少している。その差額を年平均に換算すると 19,950 百万円/年となり，これは近畿 2 府 4 県におけるごみ処理事業経費平成 20 年度実績値約 320,000 百万円/年[1)]の約 6%にあたる。

また，本検討では，中継輸送速度を一律 30km/h と設定したが，現実には市街地と郊外では走行速度が異なることから，中継輸送平均速度は本検討の設定値30km/hよりも遅くなる可能性がある。その影響を評価するため，仮に 20km/h として計算すると，中継輸送車の台数およびドライバーの人数が増加し，イニシャルコストと 20 年間のランニングコストの合計は，ケース 2 に対して約 3%増加した。

4-4 まとめ

モデル地域とした近畿 2 府 4 県について，理想的な状況と様々な前提条件を設定した上で，現状のごみ焼却施設を同規模のまま更新したケース 1 と，ごみ焼却施設規模を 500ton/日程度まで広域化したケース 2 を比較した結果，ごみ処理の広域化を推進することにより，中継輸送が発生するものの，ごみ発電量の増加が貢献し，CO_2 排出量，イニシャルコスト，ランニングコストのいずれに関してもメリットがあることがわかった。

なお，収集・中継輸送に関する分析手法としては，松井ら[11)]による，詳細かつ実用的な研究が報告されており，広域化の実際的な検討を行う際には，このような手法を活用して最適な施設建設位置や施設規模，中継施設等を検討することが重要と考えられる。

また，本検討においては中継施設は全て新設と設定したが，ごみ焼却施設の跡地に旧施設の建屋を利用して中継施設を建設した事例も報告されている[17)]。ここでは，中継施設の設備としてコンパクタ・コンテナ方式を採用し，既設のごみピットおよびごみクレーンを流用している。このようにごみ焼却施設の跡地を利用する場合，旧施設の建屋を利用し，経済面，実際面，環境面で効率的な方法も有効である。

5　広域化への課題

ここまで，ごみ発電の観点からみた広域化について理想的な側面を見てきたが，次に現実的な側面として課題について触れる。

広域化が進まない理由および広域化を更に推進するための課題として，例えば以下の項目が挙げられる。

- 自区内処理の考え方が強く，施設の大型化に抵抗がある。
- 施設更新時期の相違や長期運営委託の有無により，広域化導入の検討時期が一致しない。
- 長距離輸送用の中継輸送車が通行可能な幹線道路の整備が十分でない。
- 交通網の乱れや通行停止の際にごみ処理が滞るリスクがある。
- ごみ焼却施設数が減るため，災害時やごみ処理施設運転停止時における相互扶助の柔軟性が低くなる。
- 鉄道輸送や海上輸送の積極的な利用による輸送効率の向上。
- ごみ処理の主体は市町村となっているが，広域化処理の場合，各市町村の合議制では進展が困難となる懸念がある。現状の広域処理組合の枠を拡げる等が必要である。都道府県や道州（道州制が採用された場合），国の広域化推進に果たす役割が重要になると思われる。
- 離島，山村，過疎地域については，広域化に伴う経済面，環境面，運用面等のメリットが大きいことが明らかな場合に限定すべきである。

6　おわりに

本稿では，都市ごみ処理が循環型社会・低炭素社会に貢献するためのひとつの手段として，ごみ発電の観点からみた広域化を取り上げ，その理想像と現実の課題をみてきた。日本のごみ処理は，全連続炉化によるダイオキシン類の排出抑制や効率的な熱回収を目的とした緒政策を背景として着実に広域化が推進されているが，高効率ごみ発電の観点からみた場合，更なる広域化の推進が望ましい。

ごみ処理の広域化には，地域性や制度面による課題もあるが，本稿で行ったモデル地域での検討のように発電量，CO_2 排出削減量，コストにおいてメリットが期待できることも事実である。

したがって，都市ごみ処理が循環型社会・低炭素社会に貢献するために，課題を克服し，少しでも理想に近づける努力が望まれる。

参考文献

1) 環境省：日本の廃棄物処理 平成 20 年度版（2010）
http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h20/data/disposal.pdf
2) 総務省：「平成の合併」について，p. 6（2010）
http://www.gappei-archive.soumu.go.jp/heiseinogappei.pdf
3) 財団法人 日本環境衛生センター：Fact Book 廃棄物基本データ集 2000，p. 88（2001）
4) 環境省：循環型社会形成推進地域計画一覧 平成 22 年 1 月 29 日時点（2010）
http://www.env.go.jp/recycle/waste/3r_network/5_region/project_list.html
5) ISWA：Energy from Waste state-of-Art-Report Statistics 5th Edition August 2006，p. 5（2006）
6) 国立環境研究所地球環境研究センター 温室効果ガスインベントリオフィス（GIO）編 環境省地球環境局地球温暖化対策課 監修：日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2010 年 4 月，pp. 8-32,33（2010）
http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/2010/NIR_JPN_2010_v3.0J.pdf
7) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：高効率ごみ発電施設整備マニュアル 平成 22 年 3 月改訂（2010）
8) 総務省統計局：第 59 回日本統計年鑑 平成 22 年（2010）
http://www.stat.go.jp/data/nenkan/index.htm
9) 財団法人 廃棄物研究財団：ごみ焼却施設台帳 平成 18 年度版（2008）
10) 環境省：一般廃棄物処理実態調査結果 平成 18 年度（2009）
http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h18/index.html
11) 松井康弘，藤原健史，藤井 実，大迫政浩，村上進亮，田中 勝：分別収集・中継輸送に関する費用対効果・費用便益の分析，平成 20 年度廃棄物処理等科学研究費補助金総合研究報告書，pp. 52－54（2008）
12) 松藤敏彦：都市ごみ処理システムの分析・計画・評価－マテリアルフロー・LCA 評価プログラム－，pp. 79－83，技報堂出版（2005）
13) 環境省，経済産業省：温室効果ガス排出量算出・報告マニュアル Ver.3.0，pp. Ⅱ-26（2010）
14) 国土地理院：基盤地図情報（縮尺レベル 25000）
http://fgd.gsi.go.jp/download/GsiDLSelItemServlet
15) Google マップ
http://maps.google.co.jp/maps?hl=ja&tab=wl
16) 経済産業省資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部電力・ガス事業部：再生可能エネルギーの全量買取制度の大枠について（2010）
http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004629/framework.html
17) ShinMaywa 新明和工業株式会社環境システム事業部営業部：ごみ処理広域化におけるごみ中継施設（圧縮・積替施設），JEFMA No.58，p. 61（2010）

Ⅳ　循環型社会、低炭素社会に対応した都市ごみ中間処理方式

高岡　昌輝　　（京都大学）
増田　孝弘　　（株式会社タクマ）

1　はじめに

2000 年に循環基本法が制定されて以降、各種リサイクル法が次々に施行され、溶融施設やガス化溶融施設が導入されて、熱操作処理からのダイオキシン類排出の最小化および生成したスラグの建設資材等への有効利用が進み、資源循環がより強調された 10 年であった。**図 1** に現在の中間処理の比率を示す[1)]。リサイクルの進展から、ごみを分別して製品原料とする方式が広く浸透し始めており、若干ではあるが、10 年前よりは焼却の比率は減少している。とはいうものの、焼却は現在でも中間処理の形式としては圧倒的なシェアを占めている。また、バイオマス廃棄物の処理については、高速堆肥化だけでなく、メタン化や燃料化といった新しい中間処理が実用化されている。このように再資源化能力は着実に向上しており、10 年前は焼却の 1/10 程度であったものが 1/4 程度にまで上昇している。

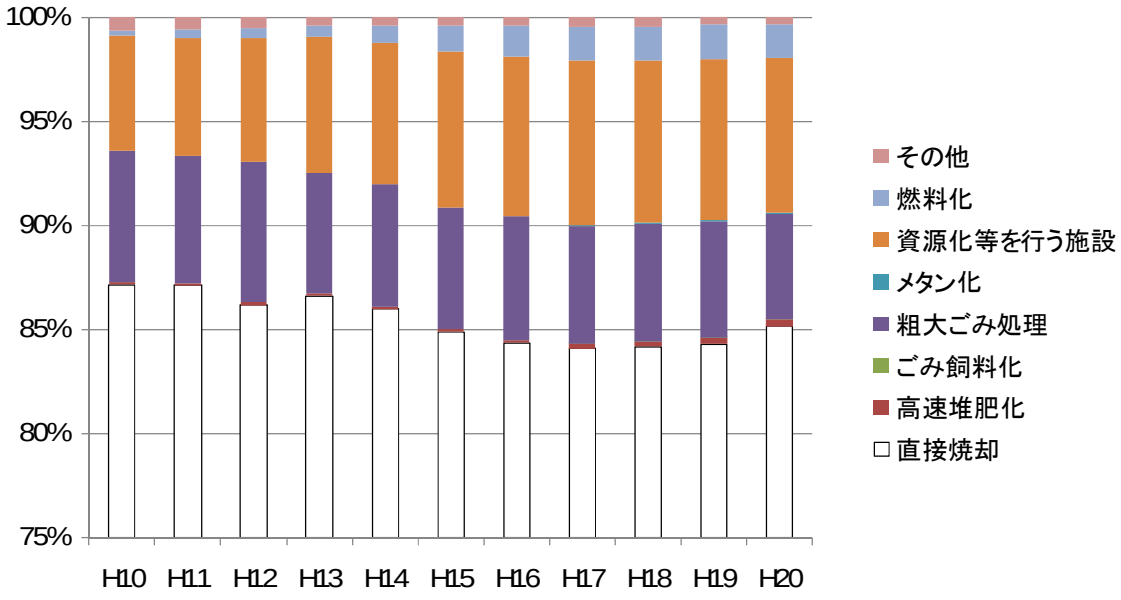


図 1　中間処理の推移

今後、循環型社会、低炭素社会に対応し、中間処理技術システムはどのように変遷していくべきであろうか？本論では、都市ごみとして排出されるごみを如何に中間処理していくのかについて考えたい。最初に、個別焼却技術の高度化、先端化について比較的最近の事例からその技術の可能性を見出したい。つまり、技術自身の向上である。ただし、個別のプラスチックのマテリアル・ケミカルリサイクル技術（ペレット化、高炉還元、コークス炉原料化）や、有機性廃棄物のリサイクル技術などについては、最近学会誌で特集（学会誌

Vol.21、No.1 および Vol.21、No.5）が組まれていることもあり、ここでは取り上げない。

次に、現在の都市ごみという枠組みの中で、どのように分別し、中間処理していくことが都市ごみ処理システムの中でエネルギー、コスト面から望ましいかを LCA の考え方を適用して議論をする。筆者らは過去に、資源化、メタン発酵処理および焼却処理を組み合わせた都市ごみ中間処理について検討・評価している [2)]。同様の手法を用いて、先に述べた都市ごみの量・質の変化に対応した中間処理の複合化の効果を確認する。次に、現在の都市ごみの中間処理の枠にとらわれないで枠組みを広げると、どのような技術システムが可能であるかを考えるため、廃棄物の枠組みの変更や処理施設の共同化・複合化によるシステムの効率を上げる試みについてレビューする。また、中間処理とは最終処分を前提にした言葉であり、残渣が発生する。この残渣の資源化について現状および今後の課題と方向を示す。最後に全体的な都市ごみ中間処理を技術的かつシステム的にどのようにしていくべきかを述べる。

2　個別技術の効率化・先端化

ここでは、低炭素化に対応する焼却技術として熱回収能力向上あるいは化石燃料低減のための技術開発状況を 6 項目に分けてレビューする。

(1) 低気比燃焼

廃棄物の焼却処理においてボイラによる廃熱回収率を向上させるためには、ボイラの放熱損失を少なくすることが必要である。このためには排ガス量を少なくすることが必要であり、低空気比での燃焼が有効な手段である。ただし、空気比が減少した場合、一般に燃焼が不安定になると考えられ、安定燃焼との兼ね合いから困難であった。各社が 10 年ほど前から取り組み、従来の空気比が 1.6～1.8 程度であったものが、1.3～1.4 程度に減少している。これには給じんや一次空気・二次空気の最適な制御が必要であるが [3-5]、排ガス再循環方式も採用されている。これには、バグフィルタ後流の排ガス [6-8]や炉内の排ガス [9,10]を再循環させている。また、酸素富化した空気を導入する方式 [11,12]なども開発されている。また、低空気比燃焼は NOx やダイオキシン類の低減にも寄与する。最近の報告では、蒸発量は約 10％程度増加し、NOx は 20-50%程度、ダイオキシン類は 40-70%程度削減されることが示されている。

(2) 低温エコノマイザ

ダイオキシン類の再合成抑制のため、排ガスを急冷する水噴霧減温塔の設置が一般的であるが、水噴霧では排ガスの湿度が上がり、白煙発生の頻度も上昇することになる。最近では、できる限り熱回収量を増加させるため、減温塔を設置せず、低温エコノマイザを設置する施設がでてきている [13]。排ガス温度の低温化により硫酸露点腐食が懸念されるため、実験室および実機耐食試験が行われている [14]。実機試験の結果から、露点温度付近であれば炭素鋼でも十分な耐食性が得られると考えられる。標準的なごみ質の露点温度については 130～140℃程度であると推定されることから、給水温度が 140℃以上の部位には炭素鋼を、それ以下の場合には耐食鋼管を採用することが必要であると評価されている。低温エコノマイザの温度低下に応じた発電効率の上昇は大きいと試算されている [15]。

(3) 高効率乾式排ガス処理

湿式法では、湿式洗浄塔内で多量の水を循環し、排ガス中の酸性ガスを吸収・除去しており、触媒反応塔前での排ガス再加熱が必要である。乾式法を用いれば、蒸気量を削減して発電効率を向上させることが可能となる。最近では、高反応性消石灰 [16]やナトリウム系薬剤 [17,18]の利用により乾式法で厳しい排出基準が達成できるようになっている。特にナトリウム系薬剤は塩化水素ガスを高度に除去する場合、消石灰に比べ使用量を削減することが可能である。現在のところ価格に差があり、導入は限定的であるが、処分場の浸出水や今後の灰処理・および灰の用途を考えた場合にその利点が評

価され、導入がより一層進む可能性がある。現在、バグフィルタ材料の耐熱温度の限界やダイオキシン類や水銀などの除去率を考慮して、バグフィルタは低温で運転されている。しかし、単に排ガス中ばいじんの集じんを考えるならば、高温集じん技術が注目される。ダイオキシン類の生成はばいじんの表面上での不均一反応が主体であり、高温でばいじんを捕集すれば、その生成量は減少するはずである。そうすれば、ダイオキシン類対策としての急冷塔の設置は必要なく、熱回収も低温まで可能となる。現時点では、都市ごみ焼却施設ではセラミックフィルタを導入している施設は限られているが[18]、下水汚泥焼却においては導入が進んでいる[19]。今後、コストおよび耐久性などのデータがさらに明らかになれば、廃熱利用の観点から導入は進む可能性はあろう。このほか排ガス処理の高度化としては NOx 対応技術があるが、これについては古林らの報告に譲る。また、ダイオキシン類の制御と熱回収向上技術がトレードオフの関係になる可能性があることから抜本的な再合成抑制を目指す技術が研究開発されている[20]。

(4) 監視・制御技術

高度燃焼技術には、ボイラの材料開発や排ガス再循環装置などのハード面の開発だけでなく、制御などのソフト面での開発が求められる。燃焼場での迅速な計測技術として、レーザーO_2 分析計が挙げられる[21]。レーザーO_2 分析計によりリアルタイムで計測した炉出口 O_2 濃度から応答性の良い二次空気量制御が可能となり、上記の低空気比燃焼技術を支えている。レーザー計測技術は適切な吸収線を選べばH_2O や HCl、CO など他のガス組成も計測可能である。また、レーザーは距離の測定についても精度が高く、これを利用したごみの供給管理システムの開発も行われている[22]。その他、ステレオ画像処理を用いたごみ供給管理システム[23]や赤外線カメラでのごみ層表面温度分布に基づくストーカ上での燃焼安定制御手法が開発されている[24]。また、ボイラの高温腐食防止の観点から過熱器管の腐食モニタリングは重要である。過熱器管の高温腐食は付着灰中の溶融塩に起因するという考え方をもとに、金属と溶融塩界面の抵抗の測定値から腐食速度を求め、実機において減肉モニタリングが開始されている[25,26]。

(5) 高温・高圧ボイラ

1991 年通産省により廃棄物発電は積極的に推進すべきものと位置づけられ、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）を中心として目標を 100ata(9.8MPa)、500℃、発電効率 30%として高効率発電技術開発が進められた。NEDO の技術開発は、高 Ni、高 Cr の耐食性材料の探索とそのフィールド試験評価およびガス温度を考慮した過熱器配置や塩類の付着対策を施したボイラ構造の研究を経て、神奈川県津久井にパイロットプラントが建設され実証研究が進められた。この開発が契機となり、4MPa、400℃の高温・高圧ボイラが実用化された[13]。本実証施設が組合に移管された後も高耐食セラミックスコーティングの実証試験が行われ、溶射皮膜の耐久性が確認されている[27]。一方でガス化溶融炉ではその排ガス組成はストーカ炉排ガスと異なる。このことから、シャフト炉においてボイラー過熱器管の材料評価が行われ、NF709（火-SUS310J2TB）が選択され、実機でのモニタリングにより減肉が少ないことが報告されている[28]。また、ストーカ上の腐食性ガスの発生は乾燥段、燃焼段、

後燃焼段により異なり、後段に進むほどより腐食性の低いガスとなる。Madsen らはストーカ上部に中間壁を設けて、後段のガスを用いることにより、8MPa、500℃まで蒸気条件を向上させることができるシステム(SteamBoost^{TM})を開発している。[29)]

(6) ガス化溶融

ガス化溶融炉は、排ガス規制の強化、物質回収や熱回収の一層の推進、脱埋立処分、施設のコンパクト化といった要求を解決するため、1990 年代後半に開発され、現在では多くの施設で導入されている[30)]。ただ、ガス化溶融炉の場合、焼却炉よりも高い温度で無機成分を溶融するため、一般に補助燃料の使用が大きくなる[13)]。したがって、最近では補助燃料削減[31)]やコークス使用量の削減のための技術開発[32)]がなされ、CO_2 排出量の削減が図られている。また、ガス化溶融ではないが、Hunsinger はストーカ上のガスはその位置により組成・発熱量が異なることを利用して、一部の熱分解ガスを図 2 に示すようなバイパスプロセスに導き、腐食性ガスを処理してメインパスで過熱された400℃、12Mpa の蒸気をさらに 540℃まで過熱するプロセスを考案している。この方法によると、現在の4MPa、400℃での発電効率から約 4%程度上昇させることができると報告している。また、低空気比燃焼や排ガス処理の最適化などすべての技術を駆使すれば、廃棄物単体の焼却施設で 35%以上の発電効率が望めると結論付けている[33)]。

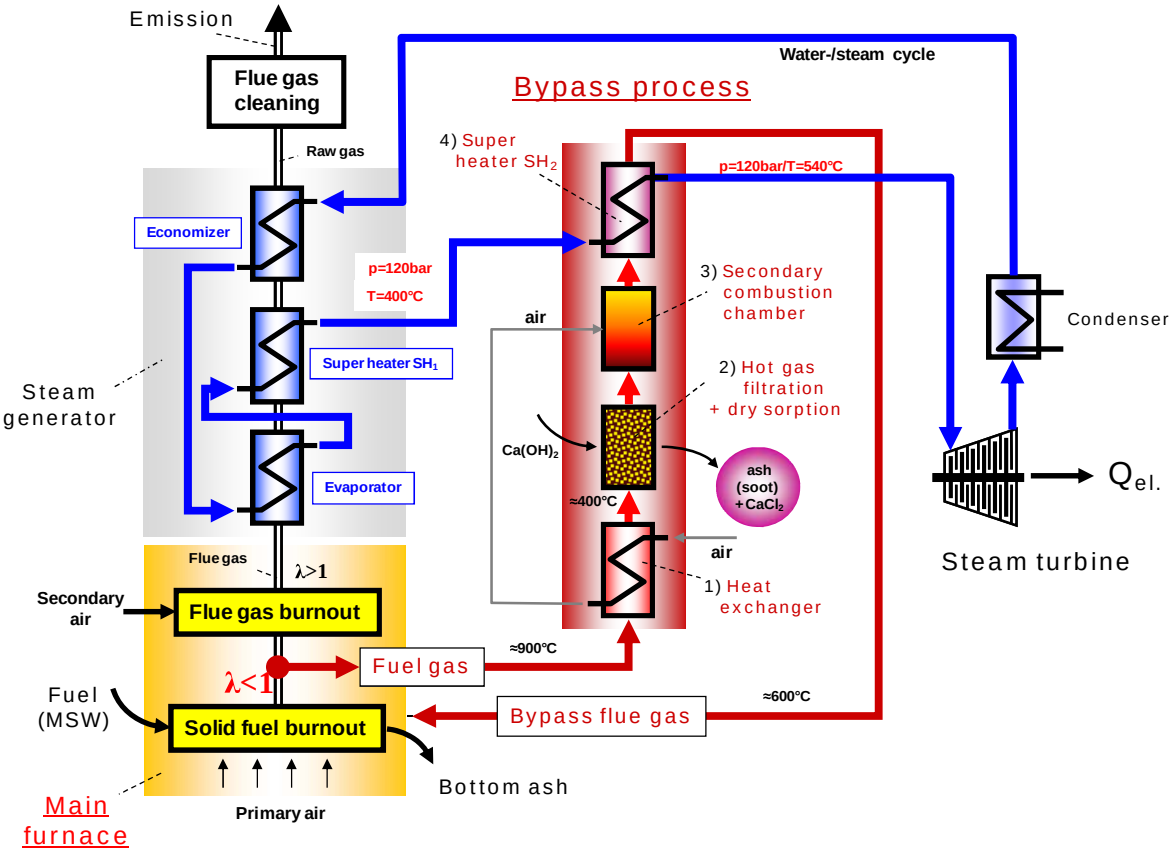


図 2 Hunsinger により提案されているプロセス[33)]

3　中間処理の複合化

本資料 NoⅡで西谷らが示したように、容器包装リサイクル法の浸透や、自治体等によるごみ減量化の取り組みが進展するにつれ、ごみ量やごみ質が変化していくため、中間処理もその変化への対応が求められる。筆者らは過去に、容器包装廃棄物の資源化処理、バイオマス廃棄物のメタン発酵処理、および焼却処理を組み合わせた都市ごみ中間処理について検討し、コストやエネルギー、CO_2排出量等を評価した[2)]。以下、論文Aとする。ここでは論文Aで設定したモデルを再度用いて、西谷らが示したごみ量・質の変化に対応する複合型中間処理を評価する。論文Aと同様、人口30万人の都市を想定してごみの発生量を算出し、ごみの種別ごとに中間処理方法を選択していくつかのシナリオを作り各種指標を評価した。

3-1　計算方法

論文Aでは松藤が開発したH-IWMモデル[34)]をベースにして、一部独自のモデルを併用した。今回は論文Aのモデルに一部変更を加えた。まず、焼却施設はボイラ、発電設備付とし、論文AではH-IWMモデルの発電効率を採用していたが、今回は環境省の高効率ごみ発電施設整備マニュアルで施設規模ごとの交付要件として示された発電効率に従うものとした。具体的には、前提とされたごみの低位発熱量8,800kJ/kgと施設規模の範囲の下限を掛け合わせてごみの燃焼熱に換算し、それを横軸にとり、縦軸に発電効率をとって点列を作成し、近似曲線式(1)を求めた。

$$E = 3.7842 \times \ln Q - 20.752 \qquad (1)$$

ここで、E:発電効率[%]、Q:ごみの燃焼熱[kW]

論文Aでは焼却施設は電気式灰溶融を併設するものとしたが、今回は焼却灰は埋立処分を想定する。容器包装等の資源化施設については、回収率や再商品化委託単価を最新のデータに更新した。

論文Aでは、対象とした都市ごみすべてに自治体が関与することを前提とし、自治体による収集運搬、自治体の施設である資源化施設、メタン発酵施設、焼却施設、最終処分場をシステム境界内に含めたが、今回、西谷らは古紙の集団回収や事業系ごみの積極的資源化を想定しており、一部のごみがシステム境界の系外へと流出するため、それらの評価ができなくなってしまう。そこで、便宜上これら系外へ流出するごみが民間の資源化施設で処理されるものとし、自治体の資源化施設と同じモデルで各種計算を行い、得られた結果のうちエネルギー消費量とCO_2排出量、および最終処分量について計上した。コストについては、古紙の集団回収においては自治会などの地域グループと古紙回収業者との取引であること、事業系ごみについては事業者が負担し、いずれも自治体の負担はないことから、計上していない。なお、論文Aでは、電力のCO_2原単位としてH-IWMのデフォルト値である0.129kg-C/kWh (0.473kg-CO_2/kWh)を採用していたが、本稿では平成20年度の電気事業者によるCO_2排出源単位の代替値である0.561kg-CO_2/kWhを用いた[35)]。

表1に本稿のシナリオを示す。評価するシナリオとしては、西谷らが設定したものと同じNo1～6のシナリオに加えて、No7～11のシナリオを追加した。No1は全量を焼却するシナリオ、No2から5にかけては家庭系ごみの容器包装や古紙、事業系ごみの資源化可能物について、順次資源化を推進す

るシナリオ、No6 はさらに厨芥等のメタン発酵を付加するシナリオである。No7～11では、紙製容器の資源化が実際にはあまり進展していないことから、紙製容器を資源化対象から外し、他の雑紙や事業系の古紙も含めてメタン発酵の範囲を広げたシナリオを設定した。なお、ごみの種類組成の分類について一部本稿のモデルに合うように、西谷らの分類を拡張している。また、各ごみ種類組成別の資源化率は西谷らの設定値を踏襲した。

表 1 本稿のシナリオ

		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11
家庭系ごみ	びん		資源化									
	缶											
	PET											
	プラ製容器											
	紙製容器										メタン発酵	
	古紙				古紙回収							
	雑紙									メタン発酵		
	厨芥・草木						メタン発酵					
	プラ等可燃物											
	ガラス・金属等不燃物											
事業系ごみ	資源化困難物											
	食品系廃棄物						メタン発酵		メタン発酵			
	資源化可能物(古紙)					資源化						
	資源化可能物(その他)											

分別回収なし
旧来型集団回収
積極的分別・資源化等

図 3 に本稿のモデルのフローを示す。モデルは基本的に自治体の関与範囲(図中で着色した範囲)を対象としているが、前述のとおり民間資源化施設を想定し、また再商品化事業所で発生する再商品化残渣を考慮するなど、一部拡張して評価した。なお、論文 A と同様、再商品化残渣は埋立処分を仮定したほか、本稿で想定した民間資源化施設から発生する残渣も埋立処分を仮定した。これらの残渣のうち、可燃性のものについてはさらに熱回収を行うことも考えられるが、少量であることから影響は少ないと考え、考慮していない。

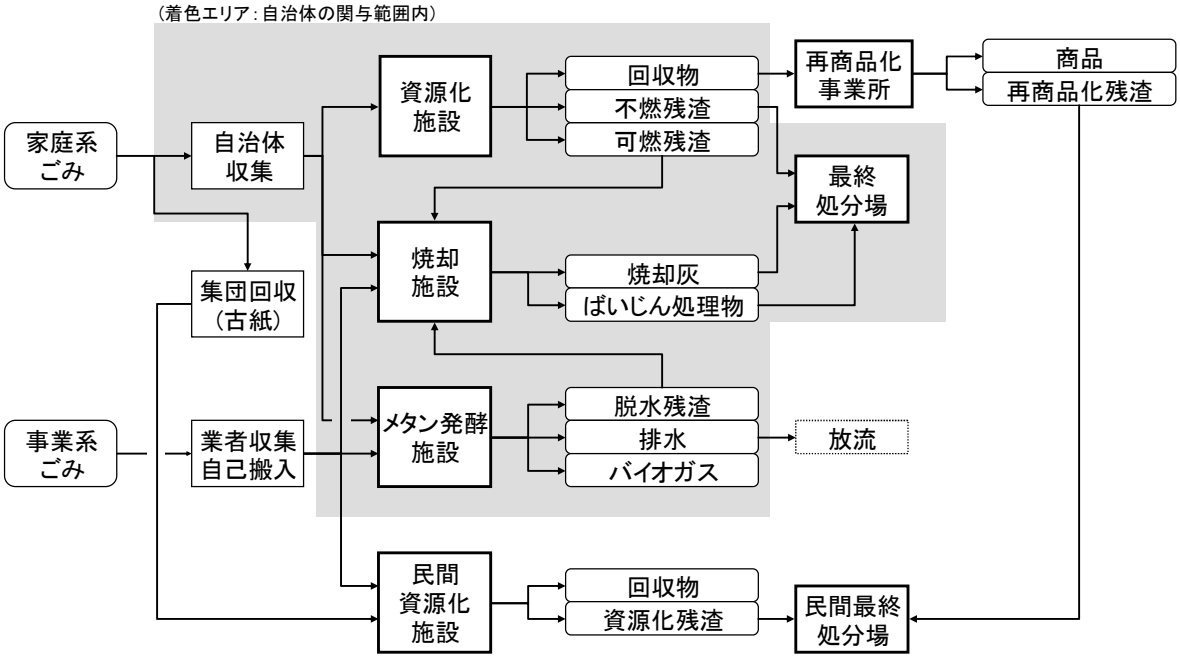


図 3 モデルのフロー

3-2　計算結果

(1) ごみの行き先および発熱量変化

表 2 に各中間処理施設へのごみ搬入割合と焼却施設でのごみ低位発熱量を示す。焼却ごみの量やごみ低位発熱量が西谷らの計算値と若干一致しないが、本稿では他の中間処理施設で発生する各種残渣の焼却を考慮していることによる。シナリオ No1 から No5 にかけて、資源化の推進によりごみの焼却量が減少し、低位発熱量も低下する。No5 では No1 に対して焼却量が約 3/4 に減少し、発熱量は約 2 割低下する。メタン発酵施設を設置する No6 では焼却施設の規模が No1 の半分程度となり、一方で厨芥等が焼却対象から外れることで低位発熱量が回復して No1 を上回る。No7,8 は紙製容器包装の行き先が No5,6 と異なるケースで、紙製容器包装を焼却対象としているため、焼却量が No5,6 より若干多い。No9～11 にかけてメタン発酵の対象を順次拡大しているため、焼却量が減少している。低位発熱量はメタン発酵を併用する No6 および No8～10 でほぼ同等である。No11 はメタン発酵の対象量が最も多く、水分が比較的高い発酵残渣が焼却対象ごみに占める割合が最も高くなり、若干低位発熱量が低下している。

表 2　各施設へのごみ搬入割合、および焼却施設でのごみ低位発熱量

	No1	No2	No3	No4	No5	No6	No7	No8	No9	No10	No11
資源化施設(自治体)	0.0%	1.5%	6.4%	12.4%	12.4%	12.4%	8.3%	8.3%	8.3%	8.3%	8.3%
資源化施設(民間)	0.0%	0.0%	0.0%	9.0%	13.4%	13.4%	13.4%	13.4%	13.4%	13.4%	10.1%
メタン発酵施設	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	28.4%	0.0%	28.4%	37.2%	43.3%	48.3%
焼却施設	100.0%	98.5%	93.8%	78.9%	74.6%	51.2%	78.6%	55.2%	50.8%	47.7%	49.4%
焼却ごみの低位発熱量(MJ/kg)	9.9	9.9	8.9	8.2	8.0	10.5	8.1	10.4	10.3	10.3	9.9

注)各施設へ搬入されるごみの質量比を示す。焼却施設では他施設から発生する残渣の一部も搬入されるため、全施設の合計が100%を超える場合がある。

(2) コスト

図 4 に各シナリオの建設費、維持補修費、用役費等を含めたライフサイクルコストを示す。

コストにおいては収集運搬費用が全体の半分程度を占める。家庭ごみの資源化を推進することで分別種別が増え、収集運搬費用が上昇するとともに、資源化施設のコストや再商品化のための委託費が計上される。なお、収集運搬の頻度は、可燃ごみおよび厨芥類については腐敗や臭気を考慮してそれぞれ週 2 回収集、その他の資源系のごみは 2 週に 1 回収集と仮定している。

焼却施設は処理対象となるごみが少なくなるにつれ、施設の規模が小さくなり、その分建設費や維持補修費、薬品などの用役費が低下するが、一方でごみ量、発熱量が低下すると式(1)に従って発電効率が低下し、売電収入が減少してコスト上昇要因となるため、両者が複合された結果が示されている。メタン発酵施設を組み合わせた場合、同施設のコストが計上されるとともに、焼却施設のごみ量、ごみ質(低位発熱量)にも影響を与える。シナリオ No5 に対してメタン発酵施設を追加した No6 ではごみ量が約2/3に減少するが、低位発熱量が約30%上昇するため、ごみ燃焼熱としては10%減に留まり、式(1)に従ったごみ発電の効果により、焼却施設のコストは減少する。

シナリオ No3～5 では、No1 に対して約 2 割のコスト増大がみられる。シナリオ No5 が No4 に対してコストが減少しているのは、事業系廃棄物の積極的な資源化により、自治体施設の負担が減少するこ

とによる。なお、事業系ごみを自治体施設で受け入れる際の処理費用(手数料)については考慮していない。No7～11 については、紙製容器包装の資源化を行わないことから、分別収集のコスト低下、資源化施設のコスト低下の効果が若干みられる。

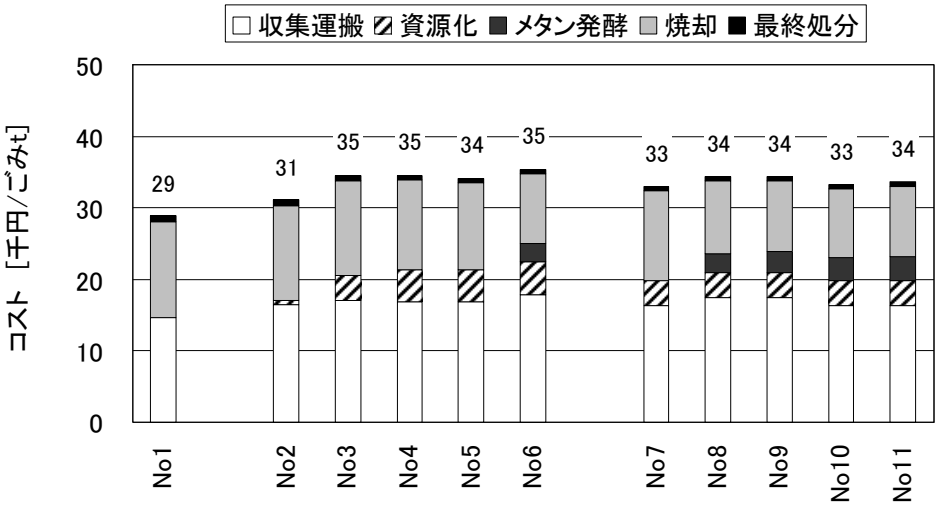


図 4 ライフサイクルコスト

(3) エネルギー消費量

図 5 に各シナリオのエネルギー消費量を示す。シナリオ No1 では焼却施設でのごみ発電によるエネルギー回収が主であるのに対して、資源化の推進によりバージン材等の消費抑制として計上されたエネルギー回収が大きく寄与する一方、焼却施設が占める割合が小さくなっていく。メタン発酵施設ではバイオガス発電による余剰電力が生じるためエネルギー回収効果が現れる。いずれのシナリオも No1 より改善する方向となり、資源化の推進(No2～5,7)によりシナリオ No1 に比べて約 1～3 割の改善、メタン発酵の追加(No6,8～11)により No1 より約 3～4 割の改善がみられた。

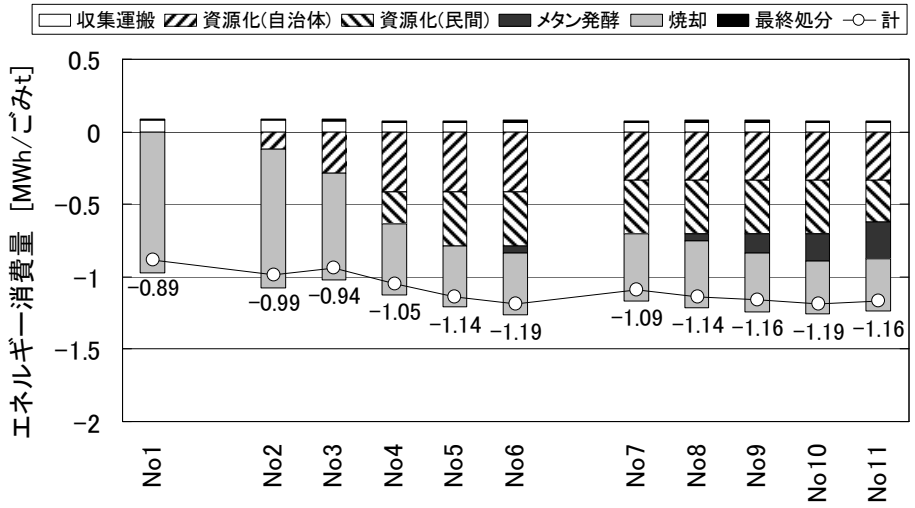


図 5 エネルギー消費量

(4) CO_2 排出量

図 6 に各シナリオの CO_2 排出量を示す。コスト、エネルギーに比べて、CO_2 排出量の変化は顕著に現れた。焼却施設においては、資源化の推進によってプラスチックが焼却対象から外れるとプラスチック由来の CO_2 排出が減少するが、一方でごみ量、ごみ質が低下することによるごみ発電効率および発電量の減少により CO_2 削減効果が小さくなる。シナリオ No2 に対して No3 ではプラスチック製容器包装の資源化推進により焼却施設由来の CO_2 排出量が減少し、No3 に対して No4 以降ではごみ発電低下により焼却施設由来の CO_2 排出量が増大している。資源化施設においては、バージン材等の消費抑制による CO_2 削減効果が大きく計上される。メタン発酵施設においては、余剰電力による CO_2 削減効果がみられる。

トータルの CO_2 排出量は、シナリオ No1 に対して No2 で半減し、No3 以降はマイナス、すなわち CO_2 削減側となっている。No3 と No4 で大きなギャップがあるが、両者の違いは紙製容器包装と古紙の資源化であり、特に古紙はごみの中でも量が多いため、影響が大きく出ている。No5 では事業系ごみの積極資源化による効果がみられる。

メタン発酵を追加したシナリオ(No5 に対して No6、No7 に対して No8～11)では、概ね CO_2 削減量効果が大きくなっている。一方で同じメタン発酵を行うシナリオである No10 と No11 を比較すると、No11 のほうが小さくなっている。これは、No11 で事業系ごみのうちの古紙をメタン発酵の対象としたことで、メタン発酵施設での CO_2 削減量は若干増えたが、紙の資源化による CO_2 削減効果が小さくなり、その差が影響したものである。シナリオ No7～11 は紙製容器包装を資源化対象としないパターンであるが、これにより No5 や No6 に比べて CO_2 削減量が小さくなる結果となっており、本モデルでは紙を資源化したほうが焼却やメタン発酵を行うよりも CO_2 削減効果が大きいことがわかる。

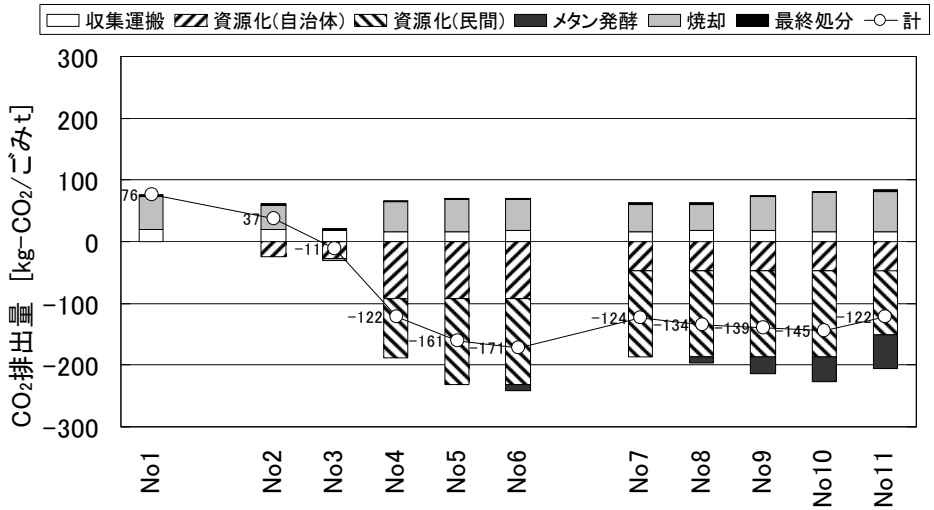


図 6 CO_2 排出量

(5) 最終処分量

図 7 に各シナリオの最終処分量を示す。シナリオが進むにつれ若干の減少傾向がみられるが、大幅な変化はない。焼却灰＋ばいじん処理物の量は減少するが、資源化プロセス等での発生残渣が埋立処分されると仮定しているため、それら残渣の量が増えるためである。したがって各種残渣が最終処分されず、さらなる有効利用に供される場合には、最終処分量の減少傾向はさらに大きくなるこ

ともありうる。

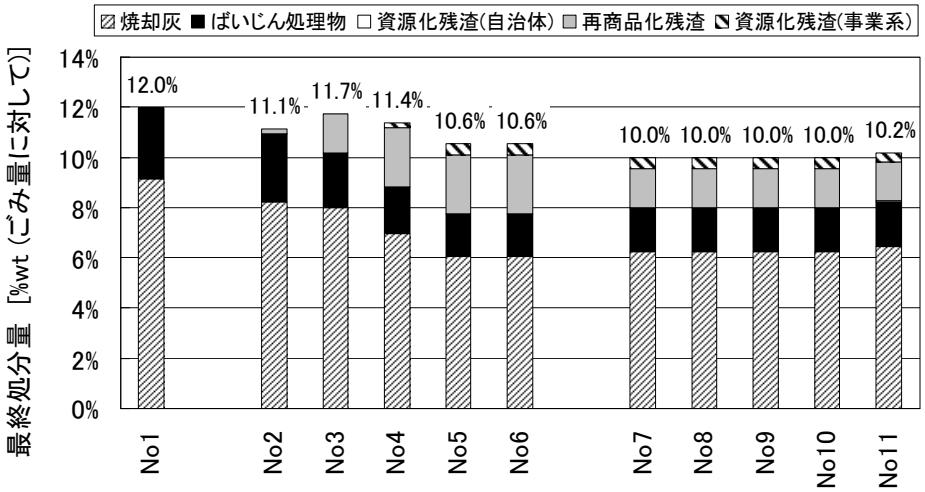


図 7 最終処分量

3-3 まとめ

資源化やメタン発酵といった焼却以外の中間処理を組み合わせることで、処理コストは最大 2 割程度上昇するが、エネルギー消費量は最大 4 割程度改善し、CO_2 排出量はプラス側(排出)から大きくマイナス側(削減)に改善する結果となった。CO_2 に関してはプラスチックや紙の資源化の効果が大きく現れ、またメタン発酵を組み合わせることによる効果もみられた。今回設定したシナリオにおいて CO_2 排出量が最も少なかった(削減量が最も多かった)のは、資源物を徹底回収し、厨芥類をメタン発酵し、その他のごみと処理残渣を焼却するシナリオ No6 であった。ごみの中間処理に際しては、コスト面だけでなくエネルギーや CO_2 といった評価軸も加味しながら、ごみの種類や分別収集計画、事業系ごみの状況、地域の特性等を考慮して最適な処理システムを構築することが望ましい。

4　都市ごみと産業廃棄物の複合処理

前節では、都市ごみとしての枠組みの中で複合的な処理（焼却とメタン発酵及び資源化）を考えた。また、本資料NoⅢでは、別途、都市ごみ処理の広域化について500トン/日規模をベースにした理想的な場合が論じられている。本節では、都市ごみの枠を超えて、関連する産業廃棄物を広く集めて大規模発電を考えた場合、および混合メタン発酵を中心に考えた場合、それから、下水処理施設と焼却施設との施設間の複合化が検討されている事例等を示し、今後の中間処理システムを考える上での一助とする。

4-1　複合大型発電構想

日本では事業系産業廃棄物の一部以外は一般廃棄物との混合処理は行われていない。しかし、廃プラスチック類、紙・繊維類および木くず類は一般廃棄物と産業廃棄物の両方に分類されているが、組成はほぼ同じである。これらの廃棄物は発熱量が高く、焼却過程で大量の廃熱が得られる。したがって、仮に大型焼却施設で混焼できれば、発電効率を高める効果が期待できる。法制度上や住民の感情等の問題など、検討すべき課題も多いが、過去に検討された事例があり、紹介する。

神奈川県で検討された事例では、廃棄物のリサイクル施設と連携し高効率発電システムにより、クリーンな電力供給を行うことを目的として、パワーセンターを設置する構想である[36)]。安定した電力供給や電力需要の変動に柔軟に対応するため、一部天然ガスを利用した発電施設を補助システムとして用意している。主たる発電ごみは、一般廃棄物系のリサイクルできない可燃物・廃プラスチック類、産業廃棄物系の廃プラスチック類・廃油・紙くず・繊維くず等とし、施設は4期に分けて建設され最終的には7350トン/日の施設が想定された。42ヶ所の焼却施設を20ヶ所のリサイクルセンターに再構築し、リサイクルセンターから1ヶ所のパワーセンターに発電ごみを輸送し、発電するシステムである。ボイラの蒸気条件を500℃、9MPaとおき、将来の技術の向上も見込んで、発電効率は34%と高く設定されている。神奈川県全域を対象に、焼却ごみの減量化およびパワーセンター方式を導入した場合、**表3**に示すように1990年と比較してCO_2排出量は約227万トン-CO_2/年削減できると推算されている。

表3　パワーセンター導入に伴うCO_2排出量の削減効果（1990年との比較）[36)]

	単　位	1990年	パワーセンター方式
県内の焼却ごみ量	万トン/年	314	220.6
焼却に伴うCO_2排出量	万トン-CO_2/年	204	143
焼却ごみ減量によるCO_2削減量	万トン-CO_2/年	基準	60.9
ごみ発熱量	kJ/kg	—	17,000
発電効率	%	—	34
発電量	万kWh/年	16,200	348,856
火力発電所でのCO_2排出量原単位	g-CO_2/kWh	498.7	498.7
ごみ発電によるCO_2削減量	万トン-CO_2/年	7.85	174
パワーセンター導入によるCO_2削減量	万トン-CO_2/年	基準	167減
発電ごみ輸送によるCO_2増加量	万トン-CO_2/年	基準	0.1増
1990年との比較	万トン-CO_2/年	基準	227減

4-2　混合メタン発酵施設

混合メタン発酵施設については、既にいくつかの地域で始まっている。大分県日田市では、豚糞（約 20t/日）、生ごみ（約 20t/日）、農業集落排水汚泥（2-3t/日）、焼酎粕（3-4t/日）を混合して、中温湿式メタン発酵を行い、発生させたバイオガスで発電を行っている[37]。生成した消化液は一部を液肥として使用し、電力自給率は 90%に達している。また、同様の事例として、石川県珠洲市では、浄化センターに下水汚泥（23t/日）、し尿（11t/日）、浄化槽汚泥(15t/日）、農業集落排水汚泥(1t/日）、事業系生ごみ(2t/日）を受入れて、メタン発酵を行っている[38]。本施設では、発生したバイオガスは燃焼させ、ボイラーで熱回収し、発酵槽の加温とメタン発酵残渣の乾燥に熱が利用されている。乾燥残渣は、肥料として地域に還元されている。従来の個別処理をした場合と比べて、90％以下の事業費で集約処理できていると試算されている。地域によって、対象となる廃棄物は異なり、規模も異なるが、今後複合バイオガス化施設は増加してくるものと思われる。

4-3　施設の共同化・複合化

上記では、焼却およびメタン発酵施設、それぞれでこれまでの枠組みをこえて、関連する廃棄物を共同処理するという考えに基づいていた。ここでは処理施設自体の共同化・複合化を検討している例を取り上げる。すでにこのような考え方は以前から提案されており、一部実施している事例もある[39,40]。しかしながら、その取り組みは十分とはいえず、静脈施設間の複合化は低炭素社会・循環型社会形成の観点からは大いに見直されるべきものである。

メタン発酵の場合、排水の処理に多くのエネルギーが消費されることが指摘されている[41]。そのことから、下水汚泥と都市ごみとの複合システムには利点が多い。例えば、渡辺らによると、生ごみ処理について現状の焼却処理システムと同時嫌気性消化システムを LCA により比較評価している。それによると、同時消化システムは嫌気性消化設備増設分があったとしてもコスト面で焼却システムとは大差がないこと、同時嫌気性消化後汚泥をたい肥化することで、地球温暖化、埋立地消費、健康被害の環境影響で優れていることが示されている[42]。著者らも下水および下水汚泥処理システムと都市ごみ処理システムをより包括的にとらえ、両者の排水のやりとり、電力、熱のやり取り、同時嫌気性消化と発生汚泥の一括焼却処理を想定し、その相互依存した場合のシステムを計算している[43]。運転コストはほぼバイオガスおよび高効率発電による売電にまかなうことが可能で、それぞれの個別処理に比べてエネルギー収支はプラスになり、共同・複合化は極めて効果が高いことが試算されている。また、堀尾らは、WET 系ごみと DRY 系ごみを分けて、WET 系は下水汚泥と一緒にメタン発酵し、その他の可燃ごみは 1000t/日規模の焼却施設で燃焼させる場合（集約型）と、発電施設で燃焼させても支障のない廃棄物（紙、草木類、プラスチック類）を選び、それらを高効率発電施設で燃焼させる場合（横断型）についてエネルギー収支と CO_2 排出量を試算している。集約型においてもエネルギー収支はプラスに、CO_2 排出量はマイナスにすることが可能で、横断型では集約型に比べ、エネルギー収支で3倍、CO_2 では 8 倍以上の効果があると述べている。この試算は上記の大型焼却発電構想に近く、発電施設での発電効率は 45％と設定されている[44]。

いずれにせよ、これからは循環型および低炭素社会を目指していくには、より効率的で様々な垣根を越えた中間処理の取り組み、共同化・複合化をしていかねばならない。

5　中間処理後の残渣

一般廃棄物から排出される焼却残さ(飛灰も含む)の発生量は487万トン程度である。このうち、106万トン程度は再生利用(資源化)され、381万トンが最終処分されている[1)]。図8に2006-2008年の一般廃棄物焼却灰・飛灰の資源化量の推移を示す。統計の項目の違いにより、2006 年では、焼却灰・飛灰の資源化の具体的な行き先が示されていなかったが、最近の 2 年の動向からその多くはセメント原料化が占めているものと思われる。

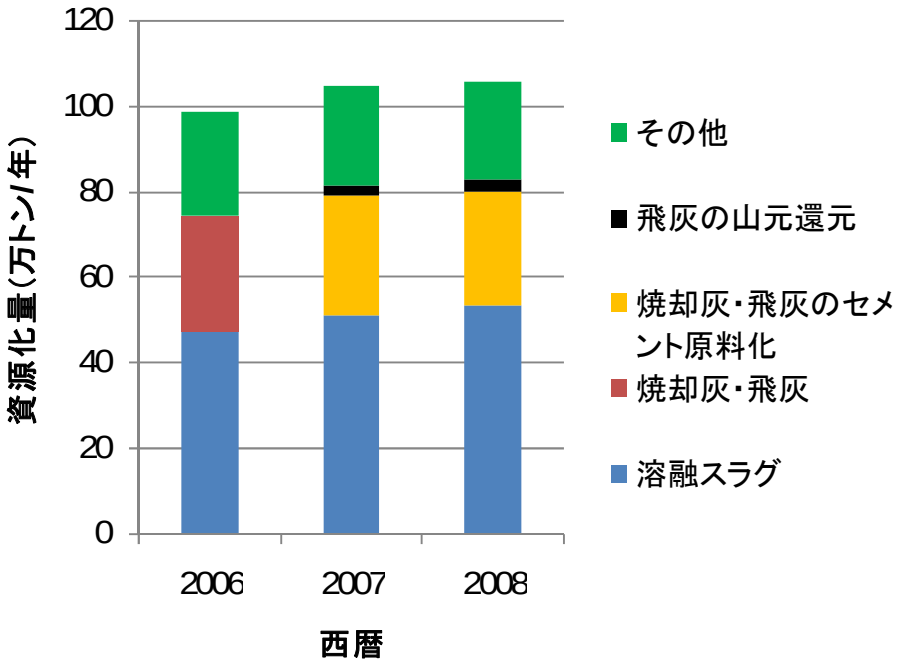


図8　一般廃棄物焼却灰・飛灰の資源化量

この図からは約半数以上が溶融スラグとして利用されている。スラグの有効利用率は 2002 年以降上昇し、2008 年度は 83.2%に達している[45)]。2009 年以降に稼働予定のガス化溶融施設および灰溶融施設はそれぞれ 15 施設、13 施設あることから、今後とも溶融スラグの生産量は増加するものと思われる。しかしながら、溶融処理は相対的にエネルギー多消費型技術であり、維持管理コストが相対的に高いことなどから、以前のような勢いで採用される状況にはない。ただ、溶融施設の是非については、現状と比較すると溶融炉を導入し、その他プラスチックを補助燃料源として利用することによって、現状よりも CO_2 の発生量やコストに大きな影響を与えずに、最終処分量を大幅に減らせることが試算されている[46)]。したがって、地域におかれた状況によって溶融の採否は決められるもので一概にエネルギー使用量の観点からだけでは解を求めることはできない。

溶融スラグ以外の焼却残渣の有効利用では、セメント原料化が大きな割合を占めている。ただし、セメント工場の立地などに左右されるため、その比率の高い地域と低い地域が混在している。また、我が国のセメント生産量は2000年度が8237万トンであったものが、2009年度で5838万トンまで落ち込んでいる[47)]。その間、セメント工場でのリサイクル技術の発達で、1トンあたり450kgまで廃棄物・副産物が利用可能となっているが、今後も安定的に焼却残渣を受け入れられるかどうかは不透明な部分がある。

焼却灰に対しては比較的簡単な前処理（分級）をして土木資材として利用する事例がでてきている[48]。また、ヨーロッパで行われているエージング技術もメカニズムも含めて解明されつつある[49、50]。今後、製品中の重金属の使用が減少し、また金属を多用している電化製品などが家電リサイクルルートにより抜けていくことを考えれば、焼却灰中の重金属等の濃度はより減少していくと考えられる。これまでに開発されてきた焼却灰に対する有効利用方法は、重金属含有量の減少に伴い、再度注目される可能性がある。

一般廃棄物の焼却残渣中には様々な金属が含有され、金属によっては日本における年間需要の 5%程度を占める[51]。2007 年度から新たに資源化の項目として山元還元が挙げられ、2.5 万トン程度となっている。現在のところ、排出側自治体の約 1/3 はすでに山元還元を実施しており、また前向きな意向も含めると約半数に達する[52]。溶融飛灰からの山元還元は、CO_2 排出量の面では通常の埋立処分に比べると不利であり、重量ベースでのリサイクル量では極めて小さいが、関与物質総量（TMR）の考え方を適用すると、山元還元によって貴金属の採掘に伴って移動・撹乱される多くの「隠れたフロー」を回避できることが示されている[53]。金属資源は有限であり、世界における金属消費がこのまま続いていくと、埋蔵量および埋蔵量ベースさえも超えてしまうことが試算され、警告されている[54]。今後、飛灰および溶融飛灰からの金属回収に関しては、資源リサイクルと環境負荷削減の観点から有価金属の回収あるいは将来の資源としての保管を指向していくべきであろう。

6　おわりに

循環型社会、低炭素社会に対応した都市ごみの中間処理としては、先の計算でも明らかなようにできるかぎり資源化し、残ったごみをより組成に基づいた合理的な方法により処理していく選択に迫られるであろう。またそれぞれの処理には特徴があることから、個別プロセスの効率化とともに、システムの効率をあげるために集中・大型化することと、また逆に集中・大型化に向かない部分では、小規模・分散化の両極端のシステム構成になっていくであろう。他の静脈系施設との処理の共同化・複合化は行政の縦割り構造や周辺住民の理解などその実現には困難が予想されるが、システム全体の効率を上げるためには必要である。本論では、容器包装プラスチックで行われている高炉還元などにはあえて触れなかったが、これからは中間処理として産業インフラとの連携も、今後より一層もとめられていくであろう。

参考文献

1) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課:日本の廃棄物(平成11年度版、平成20年度版)(2002,2010)
2) 手島肇、増田孝弘、藤田泰行、武田信生、高岡昌輝:都市ごみの組成変化に応じた中間処理・再資源化システムの検討、廃棄物学会論文誌、Vol.17、No.6、pp.372-386(2006)
3) 石見忠之、山口尚夫、鎌田充彦、松川英次:ごみ焼却炉における低空気比燃焼の実証、第 13 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.621-623(2002)
4) 宮本博司、伊藤正、山上恵造:ストーカ式焼却炉における低空気比燃焼、第 16 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.737-739(2005)
5) 冨山茂男、古林通孝、近藤守、小林幸司:次世代ストーカ炉における長期運転、第19回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.165-167(2008)
6) 宮越靖宏、西野雅明、立福輝生、山本浩、横山隆、鈴木実:次世代ストーカ式焼却炉による低空気比燃焼の実現とその効果、第14回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.638-640(2003)
7) 山本充利、岡部裕、塚本輝彰、山田康登、井口哲治、神谷淳一、佐々木稔:排ガス再循環を用いたストーカ式焼却プラントにおける低空気比燃焼、第 14 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.641-643(2003)
8) 片畑正、金岡秀幸、加藤定史、葉成洋:排ガス再循環による低空気比燃焼試験報告(中間流焼却炉での適用事例)、第15回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.854-856(2004)
9) 秋山仁、大森耕作、玉邑隆年、劉大偉:還流式ごみ燃焼技術実証試験、第13回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.636-638(2002)
10) 常泉慎也、田熊昌夫、滝川靖史、柳澤良夫、倉西実:低LCC型ストーカ炉・炉内排ガス再循環システムの開発、第19回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.164--166(2008)
11) 馬渡匡之、田熊昌夫、倉西実、柳澤良夫:次世代ストーカ炉・酸素リッチ燃焼システムの開発(燃焼条件の最適化)、第14回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.635-637(2003)
12) 松澤克明、三宅徹、若松秀樹、瀬尾康二、三村正文、櫻井健士、上野俊一郎、西野順也、久保田伸彦:実証機と実機による酸素富化と排ガス再循環試験、第 15 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.860-862(2004)
13) 守岡修一:低炭素社会に向けて廃棄物発電の評価に関する研究、岡山大学博士論文(2009)
14) (社)日本環境衛生施設工業会:高効率ごみ発電の最新技術について、都市清掃、Vol.62, pp.502-514 (2009)
15) 廃棄物学会学術研究委員会 廃棄物焼却研究部会, 地球温暖化防止における都市ごみサーマルリサイクルの役割の現状と可能性, 第 18 回廃棄物学会研究発表会小集会発表資料(2007)
16) 石原正行、山下一夫、小松政美、消石灰の SO_2 ガスとの反応性に対する粉体物性の影響、第 12 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.619-621(2001)
17) 杉本富男、宮川満、馬場健、実炉でのナトリウム系薬剤による乾式排ガス処理実績、第 17 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.743-745(2006)

18) 麻生知宣、倉田昌明、田口雅一、前田紀男、宮川透、鮎川大祐、セラミックフィルタとナトリウム系薬剤による新排ガス処理システム、第 17 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.746-748(2006)
19) 上野孝司、清水洋治、セラミックフィルターを用いた汚泥焼却排ガス処理システム、第 36 回下水道研究発表会講演集、pp.863-865 (1999)
20) 服部成真、高岡昌輝、松本忠生、大下和徹、森澤眞輔: 尿素による焼却飛灰上でのダイオキシン類再合成抑制機構の解明、第 19 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.582-584(2008)
21) 劉大偉、秋山仁、吉本聡、片岡静夫:ごみ焼却炉燃焼場のレーザー計測技術とその応用、第 15 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.611-613(2004)
22) 辻本進一、藤川博之、玉邑隆年:焼却炉におけるごみ供給熱量制御、学会誌「EICA」、Vol.7、No.2、pp.75-78(2002)
23) 伊藤大輔, 高岡昌輝, 中塚大輔, 角田芳忠, 武田信生, 藤原健史, 大下和徹: ステレオ画像処理を用いたごみ焼却炉ホッパ内のごみ体積の計測, 廃棄物学会論文誌, Vol.16, No.5, pp.378-389 (2005)
24) 高津戸康弘、戸田信一、田熊昌夫、倉西実:赤外線カメラで計測したごみ層表面温度分布に基づく高度燃焼制御、第 15 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.866-868(2004)
25) 亀井祐次、水田明能、藤井健一、藤本裕史、香西幸男:ごみ焼却炉ボイラ向け高温腐食センサの実炉試験、第 17 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.704-706(2006)
26) 竹田航哉、菅田雅裕、前川勇、上原伸基、村田英彰、下村育生、亀井祐次:高温腐食センサによるごみ焼却炉ボイラ伝熱管の減肉モニタリング、第 17 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.704-706(2006)
27) 今泉幸男、鎌倉宏樹、桜田敏生、川原雄三、中川裕二、入江政信、水戸芳一、高効率廃棄物発電ボイラの過熱器管用高耐食セラミックスコーティングの実証試験、第 14 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.662-664(2003)
28) 木下弘志、峯武、松村家寿栄、竹田雅文、瀬戸俊之、林和幸、栗田雅也、藤田源治、加藤敏郎、森浩一郎:高効率廃棄物発電ボイラー過熱器の技術開発と稼働実績、第16回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.790-792(2005)
29) Madsen O. H., Bojer M., Jensen P. A., Johansen K. D.: High Electrical Efficiency by Dividing,The Combustion Products, Proc. of the 16th North American Waste-to-Energy Conference, Philadelphia, USA (2008)
30) 武田信生:次世代型ごみ焼却技術の動向と展望、環境技術、Vol.28、No.12、pp.858-862(1999)
31) 皆川公司、岩本益幸、細田博之、田頭成能:流動床式溶融炉での燃料使用量低減、第 19 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.175-177(2008)
32) 西猛、芝池秀治、小椋茂樹、佐藤美喜雄、小川政雄:直接溶融炉におけるガス羽口吹込み技術の開発(第 2 報)、第 17 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.707-709(2006)
33) Hunsinger H.: A New Technology for High Efficient Waste-to-Energy Plants, Proceeding of the 6th International Conference on Combustion, Incineration / Pyrolysis and Emission Control (i-CIPEC), Kuala Lumpur, Malaysia(2010)
34) 松藤敏彦:都市ごみ処理システムの分析・計画・評価ーマテリアルフロー・LCA 評価プログラムー、技法堂出版(2005)

35) 環境省報道発表資料：平成20年度の電気事業者別実排出係数・調整後排出係数等の公表について（平成 21 年 12 月 28 日）、http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=11956 (2009)
36) （社）日本機械工業連合会、産業と環境の会、廃棄物分野における温暖化対策に関する動向等調査報告書(2010)
37) 川嶋淳、山下哲生、宇良伸之、赤司昭、斉藤彰：「日田市バイオマス資源化センター」の運転実績と微生物群集解析、第 19 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.151-153(2008)
38) 日本下水道協会：Sewage Works in Japan 2007、pp.42-43(2008)
39) 平岡正勝：汚泥処理・再資源化技術とシステム、ティー・アイ・シィー（1994）
40) （社）日本下水道協会：エネルギーリサイクルのススメ～下水汚泥をエネルギー源に～、事例紹介 http://www.jswa.jp/energy/index03.html 2010 年 9 月 16 日取得
41) 松澤裕、山田健一、杉岡賢治、老松和俊、庵原一水：生ごみ等利用発電システムにおける有効エネルギー評価について第 18 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.57-59(2007)
42) 渡辺勇、小松俊哉、姫野修司、藤田昌一：生ごみと下水汚泥の同時嫌気性消化システムの LCA による評価、環境工学研究論文集、Vol.40、311-320 (2003)
43) 岩本敬弘、大下和徹、高岡昌輝、朱芬芬、水野忠雄、森澤眞輔：中国深センにおける都市下水・ごみ処理システムでの有機性廃棄物管理に関する研究、環境衛生工学研究、Vol.24,No.3,188-191 (2010)
44) 志賀光洋、堀尾正靱、小林久、岡田久典、重藤さわ子、日高正人、桑原 洋享、米田 理津子、横断的ごみ処理システムによる大幅なエネルギー回収・CO_2 排出削減ポテンシャル評価、第 18 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.49-51(2007)
45) （社）日本産業機械工業会エコスラグ利用普及センター、2009 年度版エコスラグ有効利用の現状とデータ集 (2010)
46) 寶正史樹、釜田陽介、林広和、佐藤淳、阿部清一：都道府県・市町村の一般廃棄物処理の現状分析と溶融処理導入による影響評価、第 20 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集、pp.11-12(2009)
47) セメント協会：セメント需給実績、2010 年 7 月度
48) 作田淳也、柏木和幸、永野加奈、分級処理焼却灰の有効利用について、第 31 回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集、pp.135-137（2010）
49) （財）廃棄物研究財団：廃棄物処理残渣物に係わるダイオキシン類の分解・安定化技術に関する研究、平成 13 年度報告書(2002)
50) 井澤琢磨、高岡昌輝、大下和徹、松本忠生、武田信生: エージングによる都市ごみ焼却主灰中重金属の安定化機構の解明、第 15 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.1075-1077(2004)
51) 高岡昌輝: ごみ焼却灰から有害金属を取り除く、科学、Vol.76、No.1、pp.91-94 (2006)
52) 小西洋紀、胡浩、小野田弘士、永田勝也：溶融飛灰資源化の現状と展望、第 20 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集、pp.173-174(2009)
53) 山口直久、都築淳、大迫政浩：都市ごみ溶融飛灰を対象とした山元還元システムの評価－TMR による評価を含めて－、第 19 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.221-223(2008)
54) Halada K., Shimada M. and Ijima K., Forecasting of the Consumption of Metals up to 2050, Materials Transactions, 49(3) , pp. 402 - 410 (2008)

Ⅴ　新エネルギー導入推進におけるごみ発電の位置づけと課題

前田 洋　（大阪ガス株式会社）
山形 成生 （株式会社神鋼環境ソリューション）

1　はじめに

地球温暖化の防止やエネルギーの需要・供給構造の変化に伴うエネルギーセキュリティー確保の必要性の高まりに伴い、我が国のエネルギー政策を取り巻く環境は大きく変化している。これを受けて、平成 9 年 6 月に「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」が施行され、資源制約や環境負荷の少ない新エネルギーの加速的な開発および導入が不可欠とされた。その後、経済成長、エネルギー価格等の諸前提の見直しによる長期エネルギー需給見通しの再計算が実施され、現状において 2020 年度最大導入ケースで原油換算にして太陽光発電が 700 万 kL、風力発電 200 万kL、廃棄物発電＋バイオマス発電で 408 万kL の導入が想定[1)]されている。

本稿では、現在導入されている新エネルギー導入推進のための取り組みについて紹介するとともに、発電コストという観点から新エネルギー導入推進におけるごみ発電の位置づけと今後ごみ発電を普及させていく上での課題について整理する。

2　新エネルギー導入促進のための取り組み

新エネルギーの導入目標の達成に向けて様々な施策が推進されているが、ここでは、代表的な新エネルギーについて、施設整備および発電電力購入に係る助成制度や、その導入推進のための取り組みについて述べる。

2-1　施設整備に係る助成制度

新エネルギー導入推進のため、様々な助成制度や支援事業が行われているが、以下では最も取り組みが進んでいる「太陽光発電」と本稿で検討の対象とする「ごみ発電」について述べる。

(1) 太陽光発電

① 住宅用

一般社団法人　太陽光発電協会において太陽光発電システム設置に対する補助が実施されている。補助金額は、太陽電池モジュールの公称最大出力 1kW あたり 7 万円であり、2010 年において全国で約 145,000 件の補助制度利用申し込みがなされ、受理されている。[2)]

② 公共・産業施設用[3)]

公共施設および産業施設に対しては、**表 1** に示す助成制度が設けられている。また、税制面では**表 2** に示す支援制度が設けられている。

(2) ごみ発電

平成 20 年 3 月に閣議決定された「廃棄物処理施設整備計画」において、地球温暖化防止に配慮した廃棄物処理施設の整備推進が謳われており、ごみ焼却施設の総発電能力について、現状の約 1,630MW（平成 19 年度）から平成 24 年度には約 2,500MW にまで大幅に増強する目標が新たに設定された。

このようななか、平成 21 年度より高効率発電が達成可能な場合について、施設整備に係る交付金の交付率を従来の 1/3 から 1/2 にアップするメニューが追加され、上記の目標達成に向けて官民一体となった取り組みが推進されている。本メニューの交付要件の概要は以下のとおりである[4)]。

- 発電効率 23%相当以上の施設に限る。（ただし、発電効率は施設規模の影響を受けるため、規模ごとに交付要件（**表 3**）が定められている。）
- 施設長寿命化のための維持管理計画を策定すること。
- 原則として、ごみ処理の広域化・集約化に伴い、既存施設の削減が見込まれること。
- 交付率が 1/2 の対象となる設備は、高効率発電に必要な設備に限ること。
- 平成 25 年度までの時限措置とすること。

表 1　公共・産業用施設に対する助成制度

所轄官庁／窓口	助成制度（制度名／制度概要）
経済産業省／ 一般社団法人 新エネルギー 導入促進協議会	地域新エネルギー等導入促進対策事業 【対象】 (1)地方公共団体(2)非営利民間団体（学校法人など含む） (3)社会システム枠（地方公共団体と民間事業者の共同事業） 【補助額】1/2 以内又は 40 万円/kW の低い額
	新エネルギー等事業者支援対策事業 【対象】事業者、【補助額】1/3 以内又は 25 万円/kW の低い額
環境省	ソーラー環境価値買取事業 【対象】事業者、20～200kW（二次公募で対象が 500kW に拡大）、【補助額】30 万円/kW
	地域グリーンニューディール基金事業 (1)公共施設省エネ・グリーン化推進事業 (2)民間施設省エネ・グリーン化推進事業 H21 年度基金創設、3 年間で基金取り崩し 【対象】 (1)公共施設：都道府県等が、自ら又は市町村への補助により実施する事業 (2)民間事業者：都道府県等が補助又は利子補給により実施する事業
農水省	低炭素村づくり支援事業 【対象】事業者、地域協議会、【補助率】1/2　【期間】H21 採択、H21-25 実施
	地域資源利用型産業創出対策事業 【対象】 民間事業者、NPO 法人、公社、地方公共団体、農林漁業者の組織する団体、第 3 セクター、消費生活協同組合、事業協同組合、環境バイオマス政策課長が適当と認めるもの 【支援内容】補助率：1/3、地方公共団体、NPO は 1/2
国交省	住宅、建築物省 CO2 推進モデル事業（H24 年度まで実施） 省 CO2 に優れた住宅及びオフィスビル等の建築物の新築/改修に対し、整備費等の 1/2 を補助
文科省/内閣府	スクール・ニューディール構想 【対象】公立幼・小・中・特別支援学校・私立学校 【支援内容】実質補助率：97.5%（国負担 95%＋元利償還金に交付税措置 2.5%）

表 2　公共・産業用施設に対する税制制度

所轄官庁／窓口	税制制度（制度名／制度概要）
経済産業省／ 一般社団法人 新エネルギー 導入促進協議会	エネルギー需給構造改革推進投資促進税制 H21 年度改正（初年度即時償却の適用期間 2 年間） 【税額控除】所得税または法人税の額から取得額の 7%を税額控除 【特別償却】普通償却に加え、取得価額の全額が初年度即時償却
	太陽光発電設備に対する課税標準の特例措置 H21 年度創設、適用期間 2 年間 【対象設備】国の補助金を受けて設置された 10kW 以上のもの 【税額控除】固定資産税の課税標準を最初の 3 年間 2/3 に軽減
東京都	中小企業者向け省エネ促進税制（法人事業税・個人事業税の減免） 【対象】中小企業 【税額控除】取得価額の 1/2 以内（上限 1,000 万円） 【期間】（法人）H22.3.31～H27.3.30、（個人）H22.1.1～H26.12.31

表 3 施設規模ごとの交付要件

施設規模(t／日)	発電効率(%)
100以下	12
100超、 150以下	14
150超、 200以下	15.5
200超、 300以下	17
300超、 450以下	18.5
450超、 600以下	20
600超、 800以下	21
800超、 1000以下	22
1000超、 1400以下	23
1400超、 1800以下	24
1800超	25

2-2 発電電力購入に係る助成制度

(1) RPS 制度

2003 年 4 月より RPS 制度が全面施行され、電気事業者には RPS の保有が義務付けられた。新エネルギー等電気の利用の目標量は**表 4** のとおりである。

RPS 法下における新エネルギー等電気等に係る取引価格の調査結果では、平成 21 年度においてバイオマス発電での「RPS 相当量＋電気」の加重平均価格は 8.7 円/kWh[6]となっている。また、「RPS 相当量」のみの価格は、加重平均で 5.2 円/kWh[6]である。

表 4 利用目標量[5]

年度（平成）	19年度	20年度	21年度	22年度	23年度	24年度	25年度	26年度
目標量（億 kWh）	86.7	92.7	103.8	124.3	128.2	142.1	157.3	173.3

(2) 太陽光発電システムの余剰電力固定買取制度

2009 年 11 月より太陽光発電システムの余剰電力の固定買取制度が施行されている。

- ○ 対象　太陽光発電システムで発電された電力のうち余剰電力
- ○ 期間　10 年間(価格固定)
- ○ 価格　**図 1**(ただし、設置用途や年度により価格は異なる)
- ○ 費用負担　買取費用の負担は電力を使用する者で薄く広く負担
  (電気料金に上乗せ:一般家庭で数十～100 円の負担増)

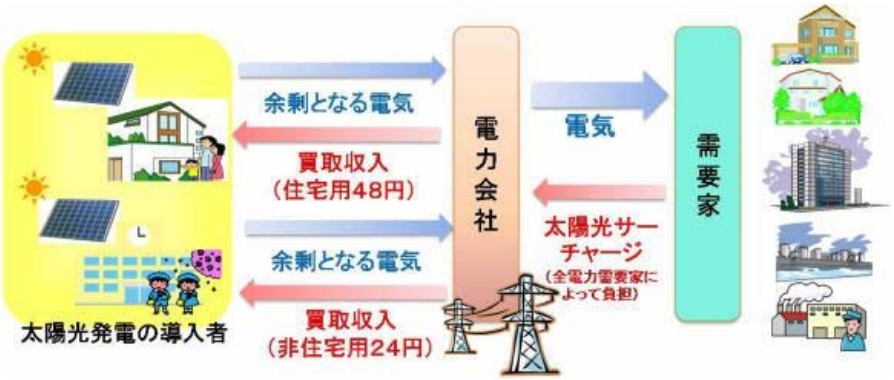


図 1　太陽光発電システムの余剰電力の固定買い取り制度の概要[7)]

(3) 再生可能エネルギーの全量買取制度

経済産業省再生可能エネルギー全量買取に関するプロジェクトチームを中心に、再生可能エネルギーの需要の創出を図り、これを我が国の経済成長につなげていくことを目的として、再生可能エネルギーの全量買取制度の導入が検討されている。その概要は以下のとおりである。

- ○ 対象　　実用化されているすべての再生可能エネルギー
- ○ 期間　　15～20 年程度を基本
- ○ 価格　　15～20 円/kWh 程度（エネルギー間の競争による発電コスト低減を促すため、一律の買い取り価格を想定）
- ○ 費用負担　　標準家庭の負担額は約 150～200 円/月程度
- ○ その他　　固定買取制度を実現するため、RPS 法の廃止も含め、法制度面の検討を進めること、また、住宅用太陽光補助金は、適切な見直しをはかりつつ当面存続することで、一般家庭の初期費用負担を軽減し、さらにシステム価格の低下を誘導していくことが提言されている。

なお、再生可能エネルギーの全量買取制度の枠組みは、**図 2** のとおりである。

図 2 再生可能エネルギーの全量買取制度の枠組み [8)]

3　ごみ焼却施設における発電コスト

3-1　ごみ発電コストの定義

最近建設されるごみ焼却施設では、高効率なごみ発電を行う事例が増え、「熱回収施設」や「エネルギーセンター」として位置付けられるようになっている。一方で、ごみ焼却施設には、「公衆衛生の確保」という、当初からの大きな役割を有することも事実であり、社会インフラとして必要不可欠な施設である。つまり、ごみ焼却施設の発電コストを算出するにあたって、発電付施設の建設費や運営管理費のすべてを対象とすると、社会インフラとしてのコストも含まれることになってしまう。よって、本試算においては、以下に基づいて算出するものとする。

① 同施設規模において、発電付施設と水噴射施設のごみ処理に係るコストの差額を総発電量で除したものとする。
② ごみ処理に係るコストは、「建設費」および「運営管理費」とで構成される。運営管理費は、「ごみ収集費」、「電力費（契約電力、消費電力）」、「用役費（水道、燃料、薬品）」、「人件費」、「点検補修費」および「残渣処分費」の合計とする。
③ 施設の耐用年数が 20～30 年あるため、運営管理費についてはトータルコストを用いる必要がある。最近のDBO案件での運営期間は15～20年と設定されることが多いため、本試算における運営管理費は 20 年間の合計を用いるものとする。

以上を模式的に示すと**図 3** のとおりとなり、**図 3** の「A」を総発電量で除したもの（式①）を、ごみ発電コストとする。

$$\text{ごみ発電コスト}=\frac{(\text{建設費}+20\text{年間の運営管理費})\text{の差額}(=A)}{20\text{年間の総発電量}}\cdots\cdots\text{式①}$$

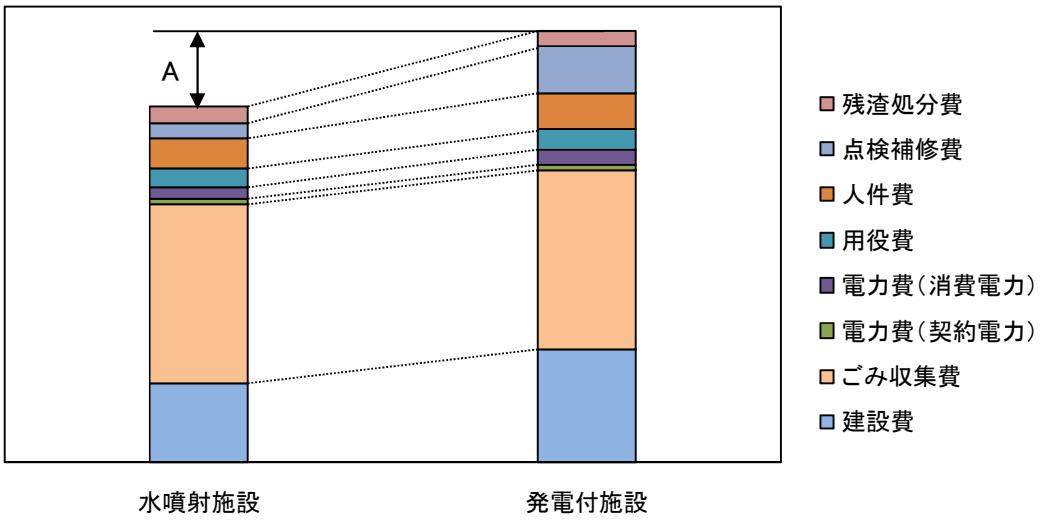


図 3　ごみ処理に係るコスト構成

3-2　ごみ発電コストの試算

施設規模やごみ質などの基本条件については、第 18 回廃棄物学会研究発表会小集会発表資料「地球温暖化防止における都市ごみサーマルリサイクルの役割の現状と可能性」(廃棄物学会学術研究員会　廃棄物焼却研究部会)に準じるものとする。また、3-1　②に記載のコスト項目については、実績調査および廃棄物資源循環学会　廃棄物焼却研究部会に参加のプラントメーカへのヒアリング結果に基づき以下のとおり設定した。

(1))建設費

発電付施設の方が、ボイラや蒸気タービン関連機器が必要になるため、施設建設費は水噴射施設より高くなる。本試算においては、発電付施設は 50,000 千円/施設規模ごみt、水噴射施設は 35,000 千円/施設規模ごみtとする。

(2))運営管理費

①　ごみ収集費

発電の有無にかかわらず同額であるため差額は生じない。

②　電力費(契約電力、消費電力)

電力費(契約電力)については、発電付施設が 1 炉立ち上げ時の電力相当の契約電力となることに対し、水噴射施設では 2 炉運転時の所内動力相当の契約電力が必要となるため、ほぼ同程度の契約電力(1,500kW 程度)が必要になると試算された。よって、差額は生じないものとした。

消費電力量については、焼却部会参加のプラントメーカへのヒアリング調査によるものとし、施設稼働に必要な電力は全て電力会社等から購入するものとした。

③　用役費(水道、燃料、薬品)

「燃料」、「排ガス処理」および「飛灰処理」に係る薬品については、水噴射施設および発電付施設の両方に共通の項目であり、差異は生じない。

「水道」については、水噴射施設の方がガス冷却用で用いる水量が多くなるため、発電付施設に比べて高くなる。一方で、発電付施設では水噴射施設と比較し「ボイラ用薬品」が別途必要になるが、水道費用とほぼ相殺されると試算された。

以上より、用役費については、その構成項目では違いがあるものの、トータルはほぼ同額と試算されため差額は生じないものとした。

④　人件費

発電付施設は、ボイラ・タービン主任技術者が必要となる。また、水噴射施設と比較して機器点数も多くなるため、運転人員および整備人員とも多くなる。本試算では、発電付施設は水噴射施設に比べて 7 名(ボイラ・タービン主任技術者＋運転人員 4 名(1 名/班)＋整備人員 2 名)の差異があるもの

とする。なお、人件費単価は 7,000 千¥/人と設定した。

⑤ 点検補修費

発電付施設と水噴射式施設の主要な差異は、ボイラ設備および蒸気タービン発電設備関係の点検・補修になる。本試算では、点検補修費は建設費に対する比率を用いるものとし、発電付施設は 2%、水噴射施設は 1%と設定した。

⑥ 残渣処分費

発電の有無にかかわらず同額であるため差額は生じない。

式①および上記設定に従い、ごみ発電の発電コストを試算した結果、約 14 円/kWh となった。その詳細については、**表 5** に示す。

表 5 ごみ焼却施設における発電コストの試算例

項目			単位	水噴射施設	発電付施設	差額
一般緒元	施設規模		t/日	300	300	
	低位発熱量		kJ/kg	8,800	8,800	
	灰分		%	8	8	
	年間運転日数		日/年	280	280	
	年間ごみ処理量		t/年	84,000	84,000	
	運営年数		年	20	20	
	年間発電量		kWh	0	36,000,000	36,000,000
	発電効率(年間平均)		%	0	17.5	
	消費電力量		kWh	9,240,000	12,600,000	
	消費電力量原単位		kWh/ごみt	110	150	
建設費		t単価	千円/施設規模ごみ t	35,000	50,000	
		建設費	千円	10,500,000	15,000,000	
運営管理費	消費電力	電力量	kWh/年	9,240,000	12,600,000	
		単価	円/kWh	8.5	8.5	
		費用	千円/年	78,540	107,100	28,560
	人件費	人数	人	28	35	
		単価	千円/人	7,000	7,000	
		費用	千円/年	196,000	245,000	49,000
	点検補修費	単価	%(建設費に対して)	1	2	
		費用	千円/年	105,000	300,000	195,000
建設費と運営管理費(20 年間)における差額			千円/20 年			9,951,200
ごみ発電コスト			円/kWh			13.8

4　新エネルギー導入推進にあたってのごみ発電の特長と普及のための課題

4-1　新エネルギー導入推進におけるごみ発電のポテンシャル

新エネルギーの導入推進にあたってのごみ発電のポテンシャルを評価するため、新エネルギーのうち代表的なものである太陽光発電と風力発電の発電コストとごみ発電コストを比較してみる。太陽光発電と風力発電の発電コストは、太陽光発電が約 49 円/kWh[9]、大規模な風力発電が 9～14 円/kWh[10]との報告がある。

一方で、上記で試算したごみ発電コストは約 14 円/kWh であり、太陽光発電より安価、大規模な風力発電と比べても遜色のないレベルとなっている。

また、太陽光発電や風力発電は、その発電量が気象状況によって左右されることに対し、ごみ発電は日常収集される廃棄物を燃料とするため、より安定した電源であるといえる。

以上より、発電コスト、および、発電の安定性の観点から、ごみ発電は今後の新エネルギー導入推進の取り組みにおける有望なエネルギー源のひとつであると考えられる。

4-2　ごみ発電普及のための課題と方策

(1) ごみ発電電力の買取制度の拡充

新ネルギーの導入推進によるCO_2削減の観点からRPS制度や高効率ごみ発電施設への交付率アップなどの諸制度が整備されごみ発電の高効率化が推進されている。今後のさらに新エネルギー導入推進を図るためには、これまでと同様にごみ発電をバイオマス発電の一つとして位置付け、例えば、「再生可能エネルギーの全量買取制度」の買い取りの対象とし発電コストに応じた価格設定がなされるなど、より一層の高効率化のためのインセンティブが付与されることを期待する。

(2) ごみ発電施設周辺の社会インフラの整備

ごみ発電は、周辺インフラの整備状況や立地条件による影響を受け、発電効率が上げられない場合がある。例えば、施設内で発生した排水を外部へ放流できない、いわゆるクローズドシステムを求められた場合、排水を排ガスのエネルギーを用いて蒸発させる必要があるため、ボイラでの熱回収量が低下し発電効率アップの阻害要因となる。これに対しては、下水道と接続することが解決策の一つとなる。また、余熱を回収できてもそのユーザとの距離が離れている場合は、有効利用できないことも多い。

いずれにしても、ごみ焼却施設を都市計画策定当初から地域のエネルギーセンターとして位置付け、そのポテンシャルを最大限発揮できる環境とする必要がある。

(3) 発電施設に係る有資格者の育成

これまで、ごみ発電を実施する施設は施設規模 300t/日程度以上がほとんどであったが、最近では 100t/日程度の施設でもごみ発電が導入されるケースが増えてきている。一方で、ごみ発電を実施するにあたっては、電気事業法の適用を受けることになり、ボイラ・タービン主任技術者の設置が必要

となるが、地方都市ではその確保が困難な場合も少なくない。今後、ごみ発電を普及していく上では、技術面に加えて資格者の養成プログラムの整備などのソフト面での支援が必要と考える。

参考文献

1) 経済産業省:長期エネルギー需給の見通し(再計算) 平成 21 年 8 月、pp.9、
(http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g90902a01j.pdf)
2) 一般社団法人太陽光発電協会太陽光発電普及拡大センターHP
(http://www.j-pec.or.jp/)
3) 京セラ株式会社 HP
(http://www.kyocera.co.jp/solar/es/guide/hojyo.html#12)
4) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課:高効率ごみ発電施設整備マニュアル
(http://www.env.go.jp/recycle/misc/he-wge_facil/index.html)
5) 経済産業省告示第二百七十九号
(http://www.rps.go.jp/RPS/new-contents/pdf/rpskokuji-riyoumokuhyou_h210831.pdf)
6) 資源エネルギー庁:RPS 法下における新エネルギー等電気等に係る取引価格の調査結果について
(http://www.rps.go.jp/RPS/new-contents/pdf/chosa_kekka_H21.pdf)
7) 資源エネルギー庁 HP
(http://www.enecho.meti.go.jp/kaitori/)
8) 経済産業省:「再生可能エネルギーの全量買取制度」の導入に当たって
(http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004629/framework02.pdf)
9) 総合資源エネルギー調査会 新エネルギー部会:新エネルギー部会調査報告 平成 21 年 8 月 31 日、
pp.7
10) 総合資源エネルギー調査会 新エネルギー部会:新エネルギー部会調査報告 平成 21 年 8 月 31 日、
pp.10

Ⅵ　都市ごみ焼却・発電施設運営事業におけるリスク分担

西野 雅明 （JFE エンジニアリング株式会社）
近藤 守　 （Hitz 日立造船株式会社）

1　はじめに

最近，廃棄物処理施設整備事業では建設後の運営を含めた DBO（Design Build Operation）案件が主流となってきている。更に，高効率発電の導入による CO_2 排出量削減，並びに発電電力の売電事業による廃棄物処理施設運営事業の低コスト化が求められている。

DBO 案件においては，廃棄物の収集を官が実施する一方で，発電事業を含めた運営事業については民間事業者の責任となっている。廃棄物処理施設整備の第一目的は安定した廃棄物処理の継続であるが，発電電力量は燃料であるごみ量・ごみ質に依存しており，運営費において大きな割合を占める売電電力収入の変動が廃棄物処理施設運営事業の継続性に及ぼす影響は決して小さくない。

以上の背景を踏まえ，ごみ量・ごみ質の変動などが廃棄物処理施設運営事業に及ぼす影響や課題，及び DBO 案件に適用される官民リスク分担のあるべき姿について検討した。

2　事業に係るリスク分担と問題点

2-1　DBO 事業におけるリスク分担の現状

DBO 事業の入札図書における一般的なリスク分担における「電力」及び発電に大きく影響を及ぼす「ごみ量・ごみ質」に関する官と民の分担は**表 1** の通りとなっている。

リスク分担を個別の案件について確認するために，平成 20 年から 21 年にかけて発注された主要な案件の電力およびごみ質，ごみ量に関連する契約条件（公募時の条件にて示されたもの）について**表 2** にまとめた。これによると，ごみ収集責任はすべて官の分担となっている一方，発電による売電収入は，DBO 案件においては，すべての案件において民間事業者の収入とされており，上記の一般的なリスク分担と同様である。しかしながら，リスク分担に関する詳細条件については違いが見られる。

表 1　DBO 事業の入札図書における一般的なリスク分担

リスク項目	概要	官分担	民分担
ごみ量・ごみ質	搬入する廃棄物の量・質が規定した範囲を著しく逸脱した場合のコスト変動リスク	○	
電力	電力の供給未達に関するリスク（発電量の減少に起因する場合）		○

(1) ごみ量変動条件

ごみ量変動による影響については，電力費も薬剤など他の用役費とともに運営委託費の一部の変動費として契約されているケースが多い。しかしながら，計画と大きく異なった場合の変動費単価の修正に関して明確に規定されているケースは少ない。

(2) ごみ質変動条件

ごみ質変動については，民間の費用分担となる規定範囲をいわゆる計画ごみ質（低質～基準～高質）範囲としているケースが多い。ごみ質の出現頻度を基準ごみ質を中心とした正規分布として規定している案件もあるが，特に規定されてないケースの方が多い。一部の案件では，ごみ質，ごみ量の影響による費用の補正を事業者に提案させているケースも見られる。

2-2　設定されるごみ質・ごみ量と電力収入の関係

上記のように，委託料は，固定費と変動費(ごみ量×変動費原単位)に区分することで支払が予定され，ごみ量変動に対しては変動費で調整するケースが多い。

ごみ量が減少した場合，ごみ処理に必要な用役費等は追従するとしても，発電設備を有する施設での発電収入に対しては**図 1** に示す通り，単純には追従しないという問題が生じる。ごみ質についても，想定ごみ質の範囲内での変動リスクは民負担となっている。

ユーティリティ消費量は技術的にあらかじめ想定範囲内で余裕を考慮して対応しているものの，発電量については変動を予測し売電量と買電量との収支変動を的確にリスクとして事業収支の盛り込

む事は困難である。また，ごみ質が範囲内で基準より低品位で維持されることをリスクとして見込むことは大きなコスト負担となり，結果的に価格競争力のないものとなる。このような規定された範囲内でのごみ量・ごみ質の変動による発電への影響の大きさを理解し，実情を踏まえた条件設定となっている例は少ない。

また，ごみ質が想定範囲を著しく逸脱した場合のリスクは官負担であるとされているが，現実には「著しく逸脱」の解釈やその証明にはかなりの時間及び費用を要すること，並びにリスク分担の履行内容が具体的になっていないなど，改善されるべき点がある。

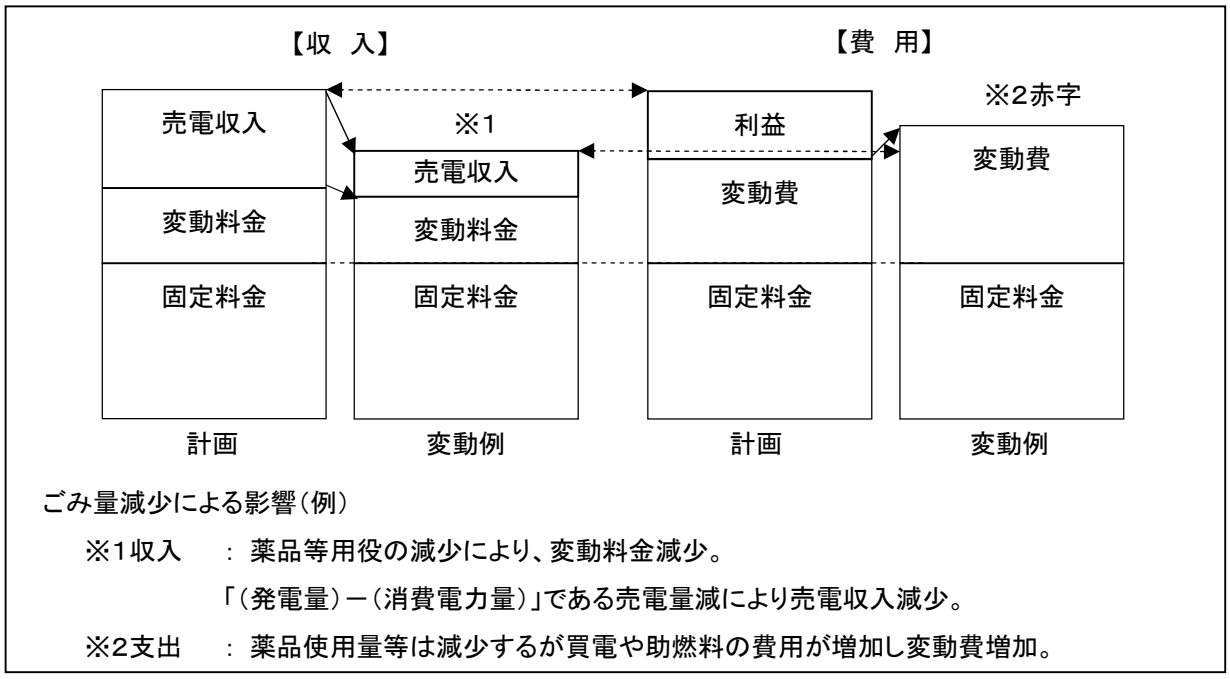


図１　ごみ量が減少した場合の収入・支出の関係（例）

表2 運営事業に係る契約条件およびリスク分担

案件	発注形態	施設規模		契約条件					リスク分担												
									ごみ質変動				ごみ量変動			売電条件			物価変動		
		処理量（t/d）	発電容量（kW）	ごみ搬入責任	ごみ量による変動費	売電収入所掌	電力（売電）費用の扱い	その他条件	条件範囲内	条件範囲外	条件範囲規定	補正等の方法	条件範囲内の場合	条件範囲を逸脱した場合	ごみ量逸脱条件負担方法	電力の供給未達リスク	単価設定	RPS権利	一定の範囲未満（見直し対象外範囲）	一定の範囲以上	インデックス
A	DBO	330	8,700	官	官	民	変動費内		民	官	正規分布に基づく発生頻度を考慮した範囲		民	官		民	民		民（1%）	官	消費者物価
B	DBO	315	5,900	官	官	民	変動費内	ごみ質、量、単価の違いによる売電の予実差分は50%ずつ負担	民	官	正規分布に基づく発生頻度を考慮した範囲	5%以上費用変動時のみ売電は別途規定有り	民	官				民	民（1%）	官	消費者物価
C	DBO	288	9,700	官	官	民	単独	計画からの売電超過分は官：民、3：7按分、未達分は民	民	官	9,000～12,000KJ/kg（低質～高質の約1/2範囲）	5%以上費用変動時のみ	民	官	65,000t/年以下（85%以下）		民		民（3%）	官	消費者物価 勤労統計調査賃金指数
D	DBO	235	4,000	官	官	民	変動費内		官民	官民	低質～高質		民	民		民	民	民	民（3%）	官	消費者物価指数
E	EPC＋長期運営委託	280	7,200	官	官	官90%民10%	単独	発電インセンティブ費として、発電収入の10%を民	民	官民協議	低質～高質		民	規定なし	±20%		官	収益は官90%民10%	5年毎契約個別契約期間内の変動は民	契約更新時は官	企業物価、 勤労統計調査賃金指数
F	DBO	420	6,600	官	官	民	変動費内		民	官	正規分布に基づく発生頻度を考慮した範囲	5%以上費用変動時のみ	民	官	7年目70%以下の場合	民	民	民	民（1%）	官	消費者物価指数
G	DBO	160	2,850	官	官	民	変動費内		官（変動費条件）	官	低質～高質	事業社の提案による補正式	官	官	規定なし	民	民	民	民（1%）	官	企業物価指数 消費者物価指数
H	DBO	165	2450	官	官	民	単独		民	官	低質～高質		民	官		民	民	民	官	官	費用項目別に指数を設定
I	DBO	380	8,300	官	官	民	固定費内		民	官	低質～高質		民	官			民	民	民（1.5%）	官	費用項目別に指数を設定
J	DBO	220	4,300	官	官	民	変動費内		官（変動費条件）	官	低質～高質	事業社の提案による補正式	民	施設許容量以内：民 施設許容量超過：官		民（条件なし）	民	民	官	官	企業物価指数 消費者物価指数
K	DBO	150	3,600	官	官	民	変動費内		民	官	正規分布に基づく発生頻度を考慮した範囲	費用の増減が3%を超えた場合	民	官		民		民	民（1%）	官	消費者物価指数
L	DBO	96	1,400	官	官	民	変動費内		民	官	低質～高質	低質～高質の範囲において補正なし	民		量の変動による増経費は官	民（条件なし）	民	民	官	官	消費者物価指数
M	DBO	150	4,000	官	官	官	－	事業者には発電義務量有（入札時に量提案）	民	官	低質～高質		主：民 従：官		官：変動費支払い	民	官	官	民（0.5%）	官	消費者物価指数

3　運営事業費に対する影響

以上のように，DBO 事業においては，ごみ量やごみ質の変動による売電収入の変動を別枠で調整するメカニズムがないと安定した事業継続が困難と考えられる。ここでは，ごみ量・ごみ質の変化が委託料に与える影響について，具体的に試算して示す。

3-1　試算条件

試算にあたり，各種条件を以下のように設定した。

施設規模	300t/日（150t/日×2 炉）	
年間ごみ処理量	84,000t/年 なお，ごみ量による感度分析を行うため，84,000t/年に対して，−15%と−30%のごみ量を設定した。	
低位発熱量	8,800kJ/kg なお，施設設計のための高質ごみの発熱量は，11,730kJ/kg とした。 また，ごみ質による感度分析を行うため，8,800kJ/kg に対して，＋10%～−20%までのごみ質を設定した（表 3 参照）。	
ボイラ・タービン条件	過熱器出口	4MPa，400℃
	タービン形式	抽気復水タービン
	定格発電出力	5,600kW（発電端効率 18.3%）
公害防止条件	塩化水素	50ppm
	硫黄酸化物	50ppm
	窒素酸化物	50ppm
	ダイオキシン類	0.1ng−TEQ/m^3N
人件費	245,000 千円/年（35 名×7,000 千円）	
維持管理費	300,000 千円/年（建設費 15,000 百万円の 2%）	
売電単価	7 円/kWh	
買電単価	8.5 円/kWh	
助燃必要負荷	高質ごみ定格処理時の入熱に対し，検討ケースの入熱が 65%以下となった場合に，65%となるように助燃するものとした。	
処理フロー	下記のとおり。	

炉・ボイラ→減温塔→ろ過式集じん器→ガス再加熱器→触媒反応塔→煙突

検討ケースを**表 4** に示す。

また，処理負荷ごとの運転パターンは，ごみ量の変動を吸収するために 1 年間の運転パターンを

変えず(2 炉運転 202 日, 1 炉運転 156 日)に炉負荷を変更する場合と一日あたりの焼却量(300t/日)を変えずに運転日数を変更する場合とを考慮し**表 5** のとおりとした。

表 3 本試算のための設定条件

			基準ごみ	変更ごみ A	変更ごみ B	変更ごみ C
低位発熱量		kJ/kg	8,800	9,680	7,920	7,040
三成分	水分	%	45.6	42.11	49.09	52.57
	可燃分		46.4	49.71	43.09	39.79
	灰分		8.00	8.19	7.81	7.62

表 4 検討ケース

	7,040kJ/kg	7,920kJ/kg	8,800kJ/kg	9,680kJ/kg
84,000t/年	ケース④	ケース③	ケース①	ケース②
71,400t/年			ケース⑤	
58,800t/年	ケース⑦		ケース⑥	

表 5 年間運転パターン

	84,000t/年	71,400t/年		58,800t/年		備考
	ケース ①～④	ケース ⑤	ケース ⑤'	ケース ⑥,⑦	ケース ⑥',⑦'	
2 炉運転	202 日	202 日	118 日	202 日	34 日	
1 炉運転	156 日	156 日	240 日	156 日	324 日	
全炉停止	7 日	7 日	7 日	7 日	7 日	

3-2 試算結果

運営事業費の試算結果を**表 6** に, 基本条件であるケース①における費用構成を**図 2** に示す。本試算の結果では, 各ケースにおいて電力費は売電超過となり, 運営事業費においては収入となった。また, ケース①における電力費(収入)はそれ以外の費用合計の約 24%分となった。発電が本試算よりもさらに高効率になると, 電力費の影響はさらに大きくなる。

年間ごみ処理量と運営事業費の関係を**図 3** に示す。年間ごみ処理量が減少した場合(ケース①, ⑤, ⑥およびケース①, ⑤', ⑥')には, 処理量の減少に伴い運営事業費が増大している。また, 処理量が一定であってもごみ質が変わった場合(ケース①～④)には運営事業費は大きく変化し, 特にごみ質が低下した場合(ケース③, ④)は運営事業費が大きく増加する。これらは, 処理量あるいは低位発熱量の低下に伴い, 発電量が低下し電力収入が減少すること, あるいは助燃燃料費が増加することによる。

表 6　試算結果

（単位：百万円/年）

ケース	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑤’	⑥’	⑦’
入熱(TJ/y)	739.2	813.1	665.3	591.4	628.3	517.4	414.0	628.3	517.4	414.0
電力費	△145	△155	△107	△88	△109	△115	△105	△107	△68	△28
燃料費	11	11	11	123	37	309	560	11	11	90
給水費	5	6	5	5	5	5	5	5	4	4
薬品費	36	39	34	33	31	30	30	31	26	23
用役費	△93	△99	△57	73	△36	229	490	△60	△27	89
人件費	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
維持費	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
固定費	545	545	545	545	545	545	545	545	545	545
運営事業費計	452	446	488	618	509	774	1,035	485	518	634
用役費比較	0	△6	36	166	57	322	583	33	66	182

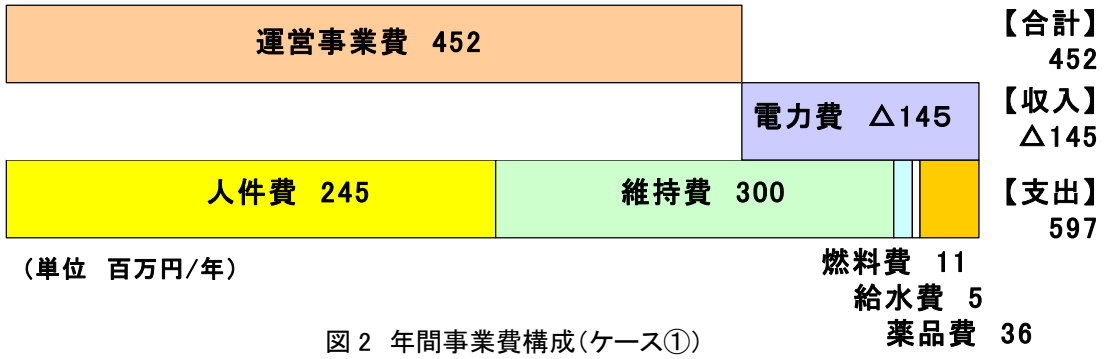


図 2　年間事業費構成（ケース①）

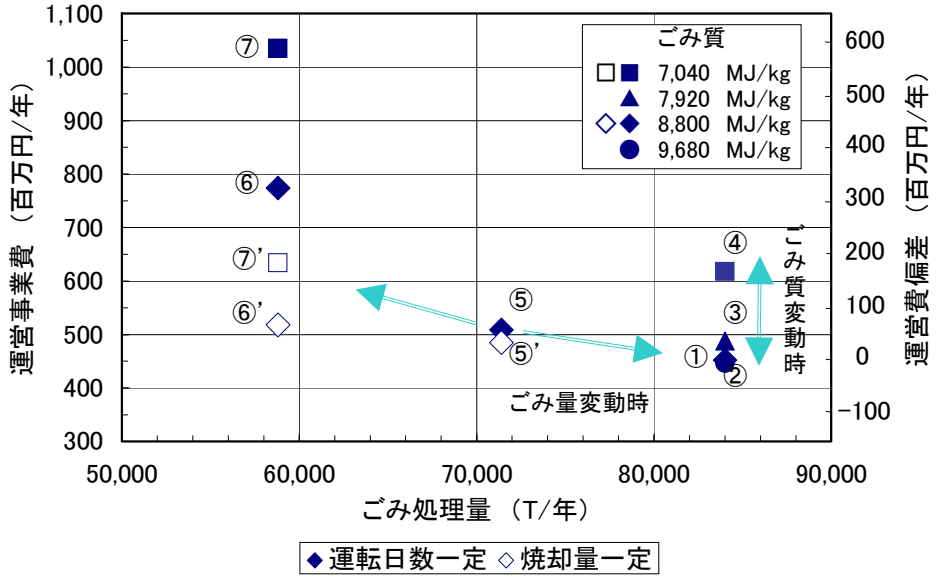


図 3　ごみ処理量と運営事業費の関係

運営事業費の変動費部分は通常ごみ処理量を変数として定義され，ごみ処理量に対して正の相関となることを想定されているケースが多いが，発電効率が高く，かつ，電力費が含まれる場合には，運営事業費はごみ処理量と負の相関となり，また，当然のことながらごみ処理量のみではなく，ごみ質の違いによる変動を考慮しないと予定した運営事業費との乖離が大きくなることを示している。

ごみ量，ごみ質双方の変動を考慮するために(ごみ量)×(ごみ質)で表される総入熱と用役費およびケース①に対する用役費の偏差(右軸)の関係を**図 4** に示す。

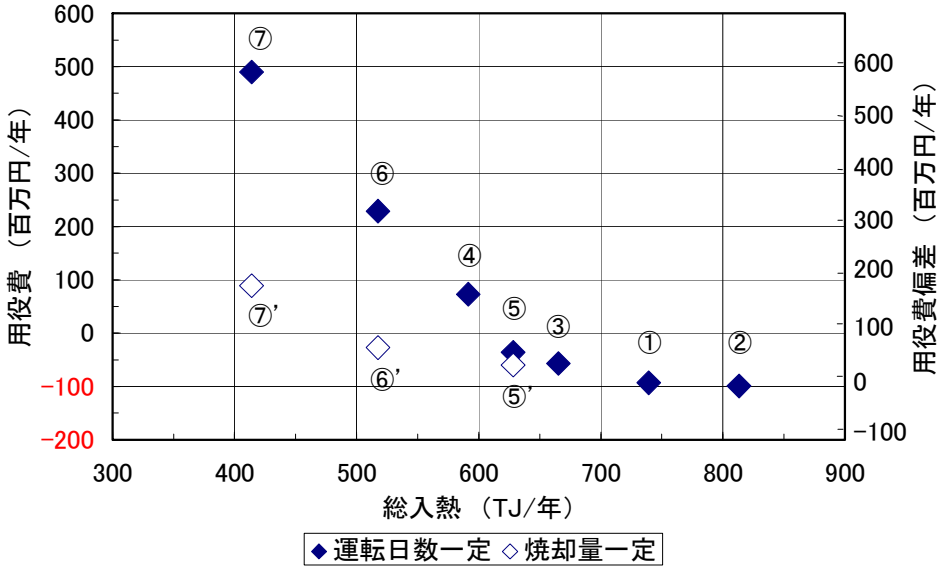


図 4　総入熱と用役の関係

この図より，用役費がほぼ総入熱の関数として表されることがわかる。また，入熱の上ブレが 10%程度であれば，変動費の偏差はほとんどないが，下ブレについては，10%下回っただけでも用役費は年間 36 百万円増加し，基準ケース①に比べ運営事業費として約 8%悪化することがわかる。

図 5～**図 7** に用役費の各費目と総入熱との関係を示す。

図 5 より，ケース⑤，⑥，⑦の電力費に差異がほとんどないことがわかる。これは，ごみ量が減少しても運転パターンを変えずに炉負荷を変更した場合，ごみ入熱が施設規模の計画入熱(985TJ/年)の 65%(640TJ/年)を下回ったときには，850℃，2 秒以上の滞留時間を維持するために助燃が必要となるので，排ガス量や蒸発量がほぼ同じとなり，ほぼ同等の発電量が得られるからである。

一方，ごみ量変動時に一日あたりの焼却量を一定とし，運転パターンを変更した場合(ケース①，⑤’，⑥’，⑦’が相当)，電力費には負の相関が見られる。これは，2炉運転の日数が増えるほど，売電収入が増加するためである。

燃料に関しては，65%以下の領域で助燃が必要となるため，総入熱が低くなるほど，費用が嵩むことになる。**図 6** に示すように，特にごみ量の減少に伴い焼却量を減じ，運転日数を維持したケースで

は，費用の増大が顕著となる。

薬品についても，電力費と同様にケース⑤，⑥，⑦では，ほとんど差異がない。その理由は上述のとおりである。

一方，それ以外のケースでは，薬品費には，正の相関が見られる。

給水に関しては，入熱に関らず，ほぼ同額となる。

運営事業においては，これらの変動の影響を極力小さくし安定した運営を行うことが求められる。本試算では，ごみ量，ごみ質が変動した場合に，採用する運転パターンによっても用役費の変動幅が異なることが判った。運転パターンは民間事業者の工夫を盛り込む部分であるが，ごみの収集条件など調整可能な範囲を明確にしておく必要がある。

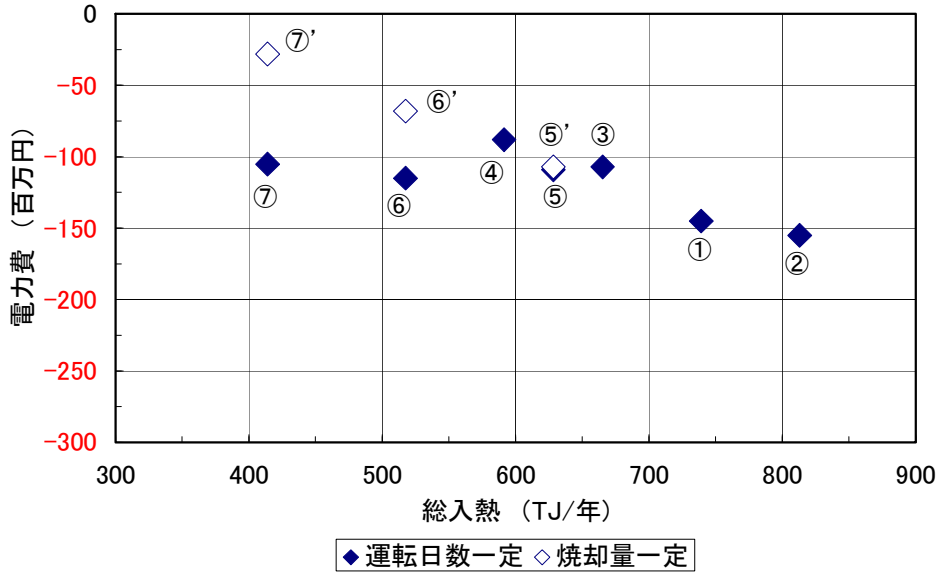


図 5　総入熱と電力費の関係

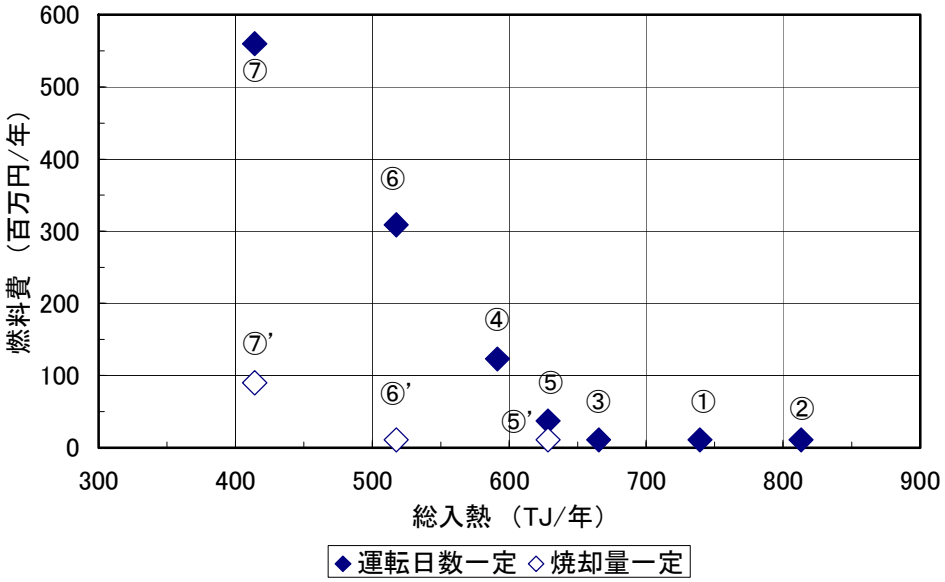


図 6　総入熱と燃料費の関係

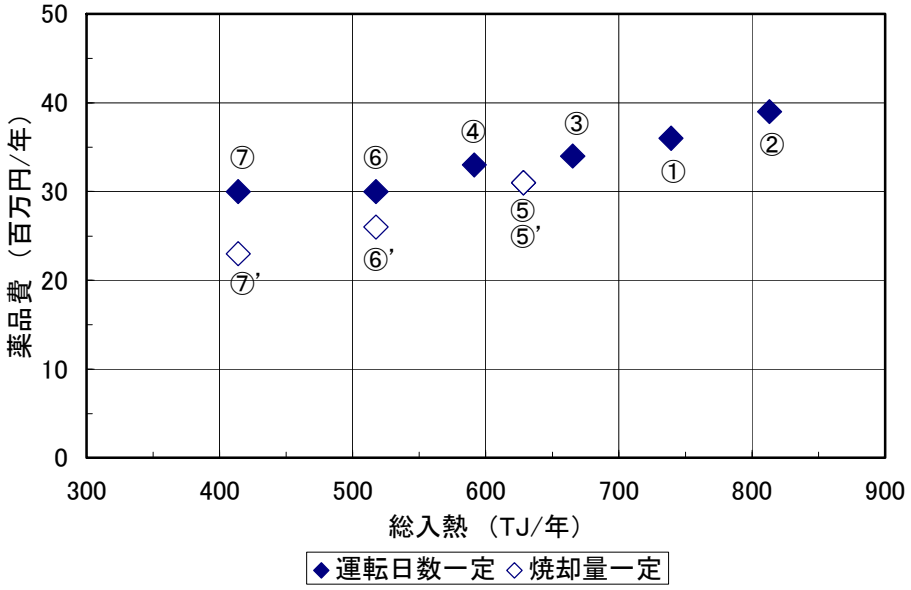


図 7　総入熱と薬品費の関係

4　売電単価

ごみ発電電力の売電単価は，再生可能エネルギーの導入政策・制度によって大きな影響を受ける。例えば，2014 年に RPS 法の見直しにおける RPS 導入目標の変更や，現在，検討が進められている電力全量買取制度の適用，その価格及び期間の設定等が挙げられる。

多くの DBO 案件では，15～20 年の長期に亘る事業継続のために，売電量と収入を確保することが必要であり，政策・制度が引起こす売電単価の変動は事業継続への大きなリスクとなっている。

上述のケース①において，売電単価が 1 円悪化したときと 3 円悪化したときの試算結果を**表 7** に示す。電力単価が安価側に変化すると，1 円では電力コストに約 24 百万円（約 5%）の影響が，3 円では，約 94 百万円（約 21%）の影響が発生することがわかる。

表 7　売電単価悪化時の試算結果

（単位：百万円/年）

	売電単価			備考
	7 円/kWh	6 円/kWh	3 円/kWh	
電力費	△145	△121	△49	
その他	52	52	52	燃料費＋給水費＋薬品費
用役費	△93	△69	3	
固定費	545	545	545	人件費＋維持費
運営事業費計	452	476	548	

5　課題解決に向けて

ごみ量・ごみ質が想定（設計条件）の範囲で変動した場合，日々のごみ処理を確実に実施することは民間事業者の責務であり，そのリスクを民間事業者が分担することは理解できる。しかし，一方でごみ量やごみ質によって変動する発電電力による売電収入に依存した運営事業は，売電収入の減少（又は買電費の増大）による事業破綻の可能性があり，安定したごみ処理の継続が危ぶまれる。高効率発電，かつ省エネルギーの施設を指向することは重要であるが，事業者は設備対応や計画に捉われるだけでなく，現実の運用面でのリスクを十分に検討し，その適正な分担について根本的な解決を見出さなければならない。

以下に，適正なリスク分担による持続的な運営事業の実現や技術の適正な評価に向けた方策について提案する。

【提案 1】

ごみ量・質の変動に対して売電，買電の収支変動を別枠の委託料で調整する方法を考案し事業の安定性を図る。一例として，基準ごみ質±X%は民の負担とするが，計画ごみ質範囲内であっても，それを逸脱する場合は官民が応分のリスク負担を行う。また，運営事業の中で蓄積されたごみ量・ごみ質のデータにより負担率を見直すなど，運営開始後の実態に即して柔軟に対応する。

【提案 2】

発電電力での売電事業は一種の独立採算的要素が潜在する。サービス購入型事業にはなじまないので，売電事業は廃棄物処理施設の運営事業計画には含めない。ただし，発電量増加，消費電力低減，売電量増加にインセンティブのある仕組みは必要と考えられるので，ごみ量やごみ質に起因せず計画に比べ改善あるいは悪化した電力収支については，官民での応分の分担を協議し取り決めておく。

【提案 3】

電力費を他の用役費と共に変動費の一部として委託料を設定する場合には，変動費の調整はごみ量変動のみではなく，ごみ質変動も含めた調整方法を構築する。

なお，本試算から“（ごみ量）×（ごみ質）”で表される総入熱で調整することが比較的有効であることが示唆された。

【提案 4】

DBO 案件の入札は“(建設費)＋(運営費)”にて実施され，運営費においては発電事業が占める割合が大きい。当然，ごみ量やごみ質に起因する発電事業費の変動をどのように運営事業費に見込むかにより，入札額が変わってくる。したがって，入札においては運営事業費の基準となるごみ量，ごみ質条件が同じとなるように，極力明確に提示することが望ましい。その上で，如何に発電収支を向上させるかについて民間事業者の競争を促すことやごみ量やごみ質に変動に対する事業の安定性に関して技術評価の対象とすることが考えられる。

以上，解決に向けた提案を示したが，一方で，入札公示から提案書提出・入札までの期間では時間およ

び発注者と応札者のコンタクトが限られている。20 年に及ぶ運営事業の諸条件を定義した上での入札実施は不可能であるともいえる。したがって，入札金額の基準となる条件を明確とした上で総合評価にて民間事業者を選定した上で，変動時の条件については，発注者と落札者の十分な協議により契約条件として設定することが望ましいと考える。

また，高効率発電を導入した廃棄物処理施設運営事業におけるごみ質の変動リスクを低減し事業の安定性を確保し，加えてエネルギー回収・環境保性向上を図る観点から，国・自治体・住民・民間事業者は各々責任を持った対応が必要である。

例えば，国はエネルギー回収向上や安定した運営事業継続に向けた支援の充実，自治体は3R の原則に沿った分別収集体系の構築・住民への周知・啓発，住民は分別収集への協力やごみの水切り徹底など発熱量向上に向けた取組み，民間事業者はごみ質・ごみ量に応じた柔軟な施設運転を行うことなどが挙げられる。

6　おわりに

本報告では，運営事業に係るリスク分担の状況，ごみ質やごみ量の変動が運営事業に及ぼす影響検討と問題の整理を行ったが，問題解決に向けてはいくつかの提案提示にとどまった。

売電収入の減少や燃料費の増大など，官民いずれにおいても制御しきれない受入ごみ量やごみ質の影響を受ける運営事業費の変動は，運営事業を受託した民間事業者の経営のみではなく，本来の目的であるべき官が請け負う廃棄物の安定処理の継続性低下に直結する。

今後とも，わが国が高効率発電や省エネルギーに資する廃棄物処理施設を指向する中で，持続的な運営事業実現のためには官民でリスクを適正に分担していかねばならない。

本報告が，国・自治体・住民・民間事業者が互いに協力し責任を果たす持続的な廃棄物処理の実現，並びに運営事業に係わるリスクの適正な分担について実情を踏まえた具体の解決を見出す一助となれば幸いである。

Ⅶ 都市ごみ焼却施設の窒素酸化物自主規制値緩和による発電量向上に関する検討

古林 通孝 （Hitz 日立造船株式会社）
安田 直明 （株式会社 IHI 環境エンジニアリング）

1 緒言

平成 20 年度の一般廃棄物排出量は 4,811 万 t/年であり，その内 79.2%が焼却処理されている[1)]。一方，一般廃棄物処理分野における平成 20 年度の温室効果ガス排出量は 930 万 t/年(二酸化炭素換算)程度であり[2)]，国内で排出される温室効果ガス総排出量の 0.7%程度を占めているが，平成 20 年度の一般廃棄物焼却処理における総発電量は 6,935GWh/年であり[1)]，これから推算される温室効果ガス削減量は 389 万 t/年(二酸化炭素換算：二酸化炭素の排出係数に 0.561kg-二酸化炭素/kWh を使用)となる。しかしながら，平成 20 年度の一般廃棄物焼却処理の発電効率は平均 11.19%と[1)]，十分な値とは言い難いことから，低炭素社会・循環型社会形成に向け，より一層の発電量向上が望まれている。

このような中，ごみの燃焼に伴い生じるエネルギのより一層の有効利用をおこなう高効率ごみ発電施設に対して，交付率 1/2 の積極的な拡充支援をおこなうことが，平成 21 年度より「循環型社会形成推進交付金」のメニューに加わった。また，この制度の充実および強化を踏まえ，高効率ごみ発電施設の計画に資する情報を市町村等に対して提供し，ごみ発電施設の高効率化を推進することを目的に，「高効率ごみ発電施設整備マニュアル」が策定された[3)]。このマニュアルでは，発電量向上策の一つとして，低温触媒脱硝を採用することにより，排ガス再加熱器を削除し，そこで使用する蒸気を発電に供する方法が記載されている。

一方，大気汚染防止法に基づく廃棄物焼却炉の窒素酸化物(以下，NOx)排出基準は，総量規制指定地域を除いて 250ppm(酸素 12%換算，連続炉以外は排ガス量が 4 万 m^3_N/h 以上に限る)であるため，都市ごみ焼却施設では触媒脱硝に代表される NOx 低減技術を採用しなくても，本基準をほぼ満足することができる。しかし，新しく建設されるほとんどの焼却施設では，立地が困難であることなどを理由に，法定基準値よりも厳しい自主規制値が設定され，この値を満足するための NOx 低減技術が付加されている。したがって，NOx 自主規制値が緩和されれば，低温触媒脱硝などを採用しなくても，排ガス再加熱器を削除でき，発電量を向上させることが可能になる。

そこで，本報では，都市ごみ焼却施設における NOx 自主規制値緩和によって増加する NOx 排出量とそれに伴う周辺地域の大気環境濃度を予測するとともに，NOx 自主規制値緩和によって期待される発電増加量や温室効果ガス削減効果について検討した。

2　大気環境における NOx 濃度

大気環境における NOx 濃度の年平均の推移を**図 1** に[4)]，二酸化窒素(以下，NO_2)濃度の環境基準達成率の推移を**図 2** に示す[4)]。なお，平成 20 年度の NO_2 の有効測定局数(年間測定時間が 6,000 時間以上の測定局)は 1,787 局(内，一般環境大気測定局(一般環境大気の汚染状況を常時監視する測定局，以下「一般局」):1,366 局，自動車排出ガス測定局(自動車走行による排出物質に起因する大気汚染の考えられる交差点，道路および道路端付近の大気を対象にした汚染状況を常時監視する測定局，以下「自排局」):421 局)である。

平成 20 年度の一般局の NOx 濃度(年平均値)は，一酸化窒素(以下，NO)で 0.005ppm，NO_2 で 0.013ppm である。一方，平成 20 年度の自排局の NOx 濃度(年平均値)は，NO も NO_2 も 0.024ppm である。また，一般局，自排局とも，近年，緩やかな改善傾向がみられる。

平成 20 年度の環境基準達成局は，一般局で 1,366 局(100%)，自排局で 402 局(95.5%)であり，一般局では近年ほとんどすべての有効測定局で環境基準を達成し，自排局では平成 19 年度と比較すると達成率が 1.1 ポイント改善した。

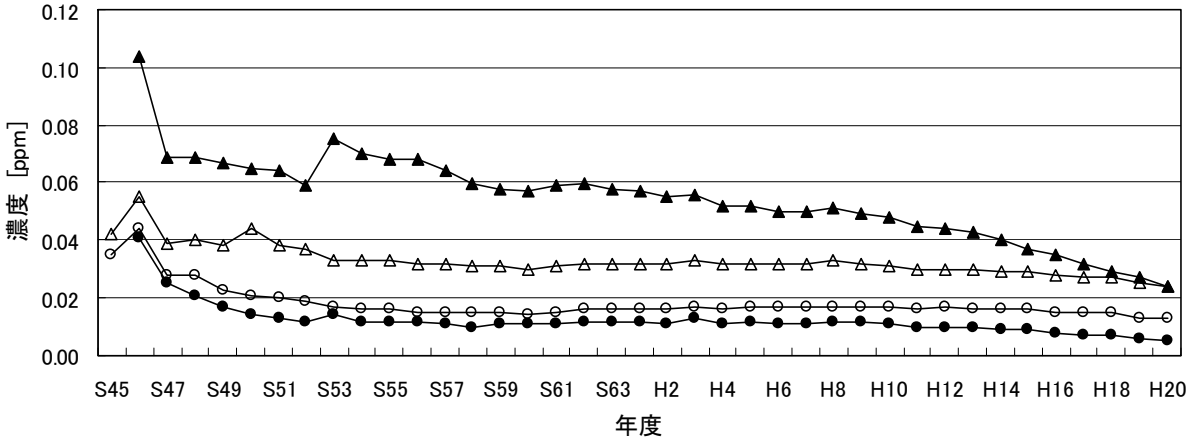


図 1　大気環境における NOx 濃度の年平均の推移
(●:一般局-NO，○:一般局- NO_2，▲:自排局-NO，△:自排局- NO_2)

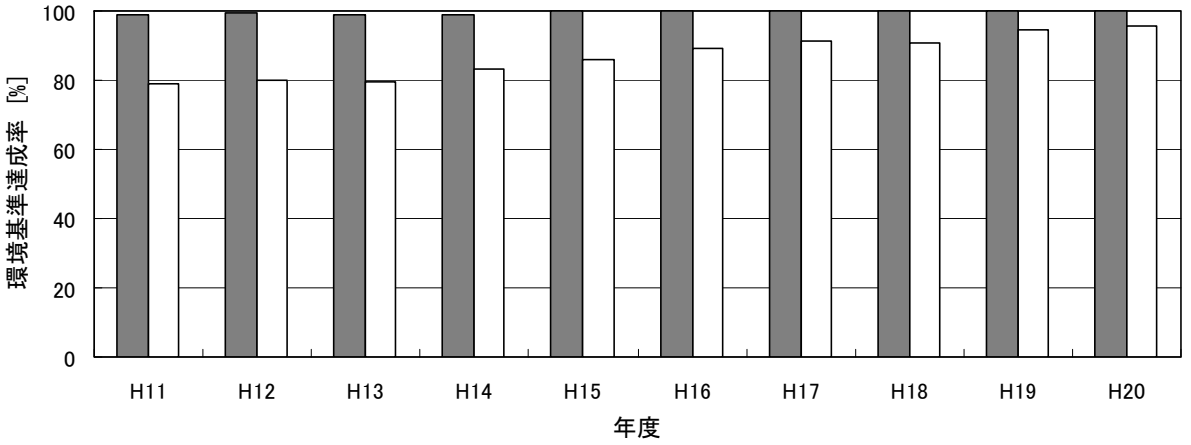


図 2　NO_2 濃度の環境基準達成率の推移(■:一般局，□:自排局)

3　国内の NOx 排出状況

国内の NOx 排出状況の推移を**図 3** に示す[5)]。

国内の NOx 総排出量は，平成 14 年度以降は減少傾向にあり，平成 17 年度では 934,735km^3_N/年(1,919,545t/年)であった。

NOx の排出元は，ばい煙発生施設やビル･家庭の厨房･暖房施設などの固定発生源と，自動車･船舶･飛行機などの移動発生源に大別される。それぞれの発生源の NOx 排出状況について，代表例を以下に示す。

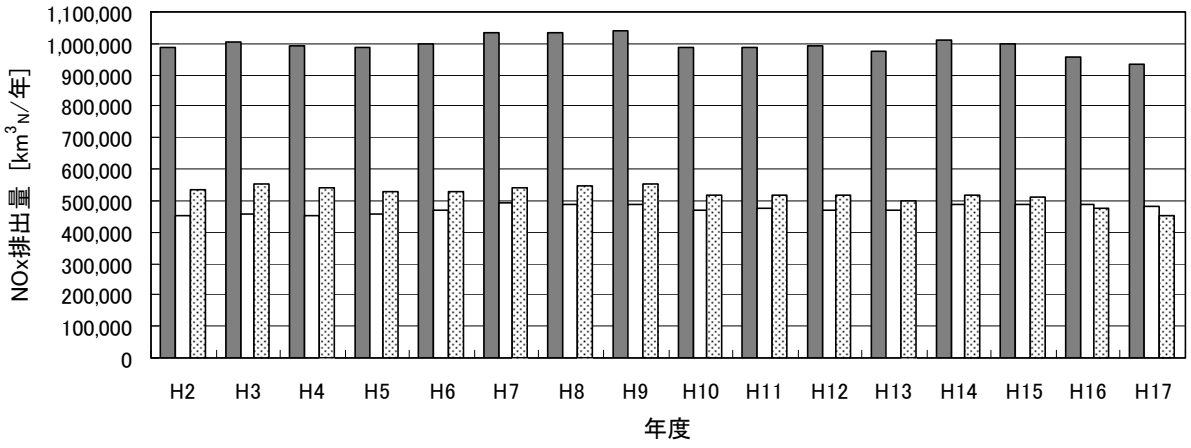


図 3　国内の NOx 排出状況の推移（■:総量，□:固定発生源，▨:移動発生源）

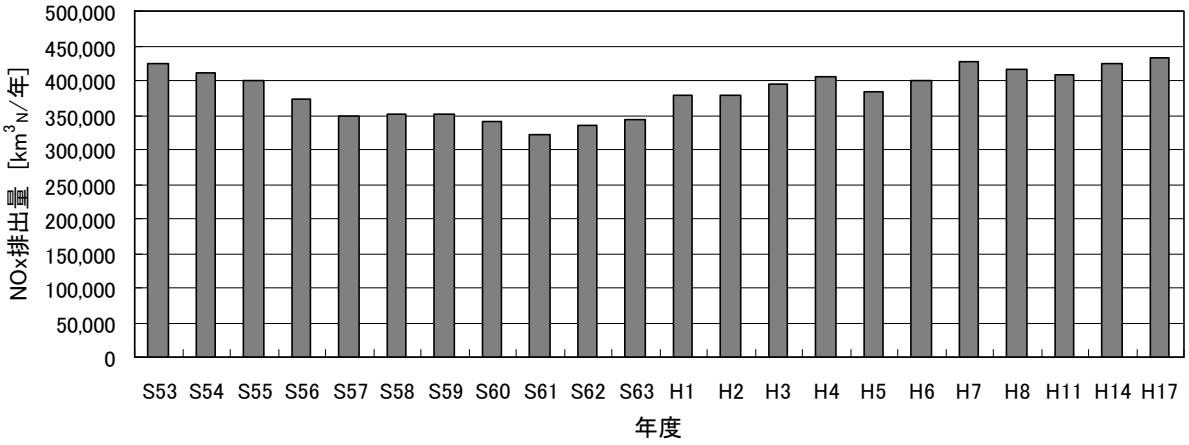
3-1　大気汚染防止法に定めるばい煙発生施設の NOx 排出状況

大気汚染防止法に定めるばい煙発生施設からの NOx 排出状況の推移を**図 4** に示す[6)]。

NOx 排出量は，昭和 53 年以降，320,000～440,000km^3_N/年で推移している中，昭和 61 年以降は増加傾向にあり，平成 17 年度では 433,483km^3_N/年(890,188t/年)であった。

大気汚染防止法に定めるばい煙発生施設別の NOx 排出状況の推移を**表 1** に示す[6-8)]。また，廃棄物焼却炉からの NOx 排出状況の推移を**表 2** に示す[5-11)]。

廃棄物焼却炉の NOx 排出量は，平成 11 年度以降，国内のばい煙発生施設の中で上位 4 番目に位置している。しかし，平成 17 年度における廃棄物焼却炉の NOx 排出量は，平成 11 年度に比べて 1 割ほど削減されており，また国内の NOx 総排出量に対する割合も，大気汚染防止法に定めるばい煙発生施設からの NOx 排出量に対する割合も減少傾向にある。なお，廃棄物焼却炉 1 施設あたりの NOx 排出量が増加傾向にあるのは，施設規模の大型化によるものと考える。



※1 昭和 62, 63 年度および平成 2, 3, 5, 6 年度については抽出調査の結果である。
※2 平成 9, 10, 12, 13 年度は調査未実施である。

図 4 大気汚染防止法に定めるばい煙発生施設からの NOx 排出状況の推移

表 1 ばい煙発生施設別の NOx 排出状況の推移 [km^3_N/年]

業種	平成 11 年度	平成 14 年度	平成 17 年度
ボイラ	173,304	179,687	177,218
焼成炉※1	63,310	52,672	59,698
ディーゼル機関	59,823	78,613	80,612
廃棄物焼却炉	33,321	29,522	29,842
焙焼炉※2	27,421	26,016	26,754
その他	50,530	56,711	59,359
合計	407,709	423,220	433,483

※1 14 年度と平成 17 年度は窯業製品製造用焼成炉等に相当する。
※2 成 14 年度は金属精錬用焙焼炉等, 平成 17 年度は金属精錬･無機化学工業品製造用焙焼炉等に相当する。

表 2 廃棄物焼却炉からの NOx 排出状況の推移

		平成 11 年度	平成 14 年度	平成 17 年度
施設数	[施設]	10,116	7,361	6,584
NOx 排出量	[km^3_N/年]	33,321	29,522	29,842
国内の NOx 総排出量に対する割合	[%]	3.4	2.9	3.2
大気汚染防止法に定めるばい煙発生施設からの NOx 排出量に対する割合	[%]	8.2	7.0	6.9
1 施設あたりの NOx 排出量※1	[km^3_N/(年･1 施設)]	3.29	4.01	4.53

※1 1 施設あたりの NOx 排出量= NOx 排出量/施設数

3-2　自動車の NOx 排出状況

自動車排出ガスの車種別 NOx 排出量の推計を**図 5** に示す[12,13]。

自動車交通量の増加やディーゼル車の増加によって，大都市を中心に長い間，NOx 排出量が改善されない状況が続いていた。しかしながら，大気汚染防止法に基づく自動車への度重なる排出ガス規制強化と，「自動車から排出される窒素酸化物及び粒子状物質の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法(自動車 NOx･PM 法)」の制定などによって，**図 1～図 3** にも示すように，近年，自動車からの NOx 排出量は減少傾向にあり，自排局の NOx 濃度も徐々に改善しつつある。

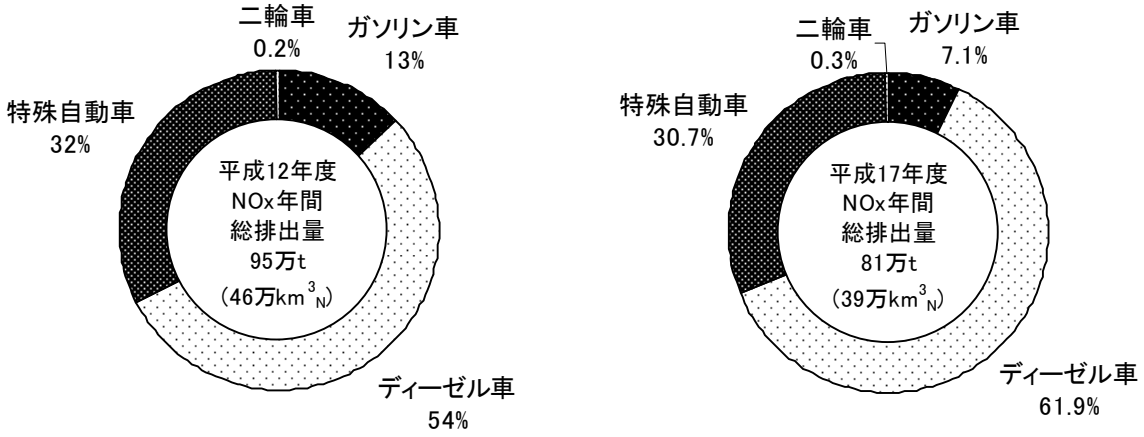


図 5　自動車排出ガスの車種別 NOx 排出量の推計

4　都市ごみ焼却施設の NOx 排出状況

4-1　都市ごみ焼却施設の NOx 自主規制値

平成 18 年度版ごみ焼却施設台帳 [14,15]を参考に，施設規模もしくは NOx 自主規制値が不明な施設を除く都市ごみ焼却施設(全連炉 616 施設，准連炉 214 施設)について，NOx 自主規制値をヒストグラムで整理した。結果を**図 6** に示す。

全連炉の場合，半数以上の施設が 100ppm 以下の NOx 自主規制値を設けているのに対し，准連炉では 8 割以上の施設が 120ppm 以上の NOx 自主規制値を採用している。

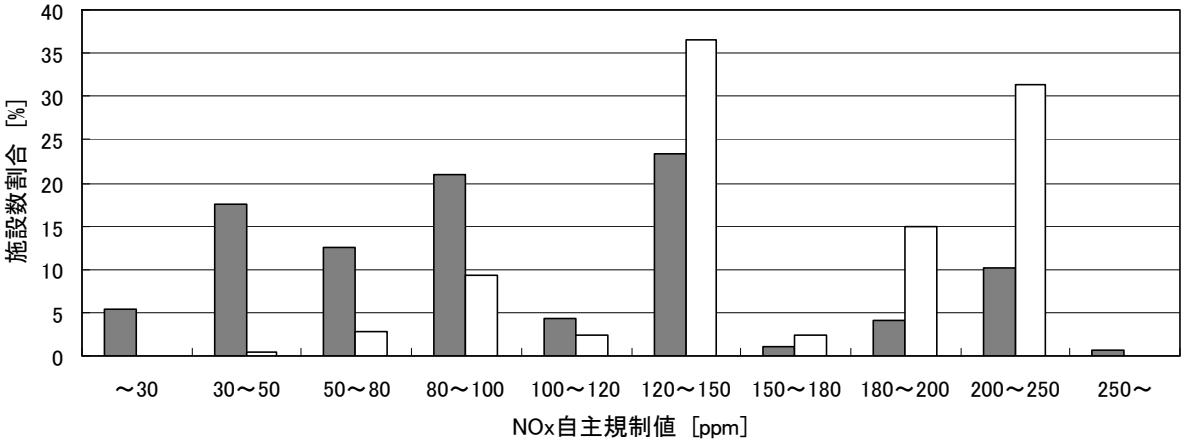


図 6　都市ごみ焼却施設の NOx 自主規制値のヒストグラム（■：全連炉，□：准連炉）

4-2　都市ごみ焼却施設における NOx 低減技術

NOxの生成経路は，主にThermal NOx(燃焼空気中の窒素と酸素が高温状態で反応して生成するNOx)とFuel NOx(燃料中の窒素分が燃焼中に酸化されて生成するNOx)に分類され，都市ごみ焼却で生成するNOxの7～8割以上はFuel NOxといわれている[16]。また，Fuel NOxの生成量は，燃焼温度が高くなるほど，また酸素濃度が高くなるほど増大する。

都市ごみ焼却施設で採用されている主なNOx低減技術とその性能を以下に紹介する。なお，これら以外にも，排煙脱硝技術として活性炭法や湿式酸化還元法があるが[17]，設備が大掛かりになるため，ほとんど採用されていない。

(1) 排ガス再循環システム

排ガス再循環システム(以下，EGR)とは，熱回収後の低酸素な排ガスを焼却炉に戻し，燃焼空気の代替として用いることで，ごみ中の可燃成分を緩慢燃焼させて，局所的な高温場や高酸素濃度場をなくす方法であり，NOxを従来燃焼の半分程度まで抑制する効果がある[18,19]。

(2) 無触媒脱硝技術

焼却炉内にアンモニア(以下，NH_3)や尿素などの還元剤を吹き込み，触媒を使用せずに脱硝する

無触媒脱硝技術(以下，SNCR)は，設備コストおよびランニングコストが安価で，また尿素の場合は取り扱いも容易なことから，NOx 低減対策として広く採用されている方法である。ただし，還元剤に尿素を用いる場合，温室効果ガスとして二酸化炭素の 310 倍の効果を持つ一酸化二窒素が，還元されたNOx の 20%程度生成するとの報告がある[20)]。

これまでの SNCR の脱硝性能は，NH_3/NO モル比 1～2 で脱硝率 30～40%程度であり，また排ガス中のリーク NH_3 が 10ppm を越えると，NH_3 由来の白煙が発生するため[21)]，還元剤の吹き込み量を増やして，脱硝率を向上させることが困難であった。しかし，最近では，脱硝に対して最適な温度域に還元剤を供給することで，白煙を発生させることなく 60%以上の高い脱硝率を得ることができるとの報告がある[22)]。

(3) 触媒脱硝技術

触媒脱硝技術(以下，SCR)とは，ろ過式集じん器出口の排ガスを 210℃程度に昇温し，NH_3/NO モル比 1.0 以下の NH_3 を混合させて，触媒に通すことにより，NOx と NH_3 を窒素と水に変換させる技術である。この技術の場合，触媒充填量を増すことで，脱硝率を上げることができる。

触媒には，酸化チタンに酸化バナジウムを担持させ，ハニカム状に成形加工したものが広く使用されている。この酸化バナジウム系触媒は，二酸化硫黄の酸化能力を持つため，排ガス温度が 250℃以下で使用すると，未反応 NH_3 が硫黄酸化物と反応して，硫酸水素アンモニウムが生じ，その結晶が触媒面に付着して活性を低下させる原因となる。そのため，排ガスの低温化に対応するため，酸化バナジウムの量を少なくし，酸化タングステンや酸化モリブデンを加えることで，二酸化硫黄の酸化を抑えている。

(4) 性能比較

近年の都市ごみ焼却施設において，これらの技術の採否により期待される NOx 排出濃度を**表 3** に示す。これらの値は，文献値[18,19,22,23)]や廃棄物資源循環学会廃棄物焼却研究部会の調査に基づく値である。

燃焼技術の進歩によって，NOx 排出濃度はいずれの技術も採用しない場合で 100～120ppm 程度が期待される。これに対し，EGR を採用すると 40～70ppm まで低減でき，また SNCR を採用すると 40ppm まで低減できる。一方，SCR については，触媒充填量を増やすことで，20ppm 以下まで低減可能である。

表 3 都市ごみ焼却施設において期待される NOx 排出濃度

条件	NOx 排出濃度（酸素 12%換算）[ppm]
a) いずれの技術も採用しない場合	100～120
b) EGR を採用	40～70
c) SNCR を採用	40
d) SCR を採用	20 以下

5　都市ごみ焼却施設における NOx 自主規制値緩和による影響

5-1　NOx 自主規制値緩和による排出増加量の推定

都市ごみ焼却施設からの NOx 排出濃度は，前章の NOx 低減技術を活用することによって，最大 20ppm 以下までの低減が可能である。しかし，いずれの技術も付帯設備が必要である上，特に SNCR の場合は，運転時に還元剤が必要であるとともに，N_2O 排出の懸念があり，また SCR の場合は，運転時に還元剤や排ガスを数十℃程度に昇温するための熱源が必要となる。そのため，都市ごみ焼却施設における NOx 自主規制値が 80ppm まで緩和されれば，EGR の付加のみで対応可能となり，さらに 120ppm まで緩和されれば，いずれの NOx 低減技術も不要となる。

そこで，前述の全連炉 616 施設と准連炉 214 施設を対象とし，その内，総量規制指定地域外で，触媒脱硝装置を備えた全連炉 138 施設について，現行の NOx 自主規制値が最大 120ppm まで緩和されたときの NOx 排出量の増加割合を式(1)から算出した。結果を**図 7** に示す。

$$R = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^{N_b} W_i (C_s - C_i)}{\sum_{i=1}^{N_a} W_i C_i} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

ここで，　C_i :現行の NOx 自主規制値［ppm］

C_s :緩和後の NOx 自主規制値［ppm］

（$C_s < C_i$ のときは，$C_s - C_i = 0$ とする）

N_a :全施設数(全連炉 616 施設+准連炉 214 施設)［-］

N_b :NOx 自主規制値の緩和対象となる施設数(全連炉 138 施設)［-］

R　:NOx 排出量の増加割合［%］

W_i :施設規模(定格)［t/day］

NOx 自主規制値が 80ppm まで緩和されれば，NOx 排出量は 7.4%の増加となり，また最大 120ppm まで緩和されても，NOx 排出量は 17.6%の増加にとどまる。ここで，平成 17 年度における廃棄物焼却炉の NOx 排出量 29,842km^3_N/年が 17.6%増加すると仮定すると，このときの増加分は，国内の NOx 総排出量に対しては 0.6%の上昇に，また大気汚染防止法に定めるばい煙発生施設からの NOx 排出量に対しては 1.2%の上昇に相当する。

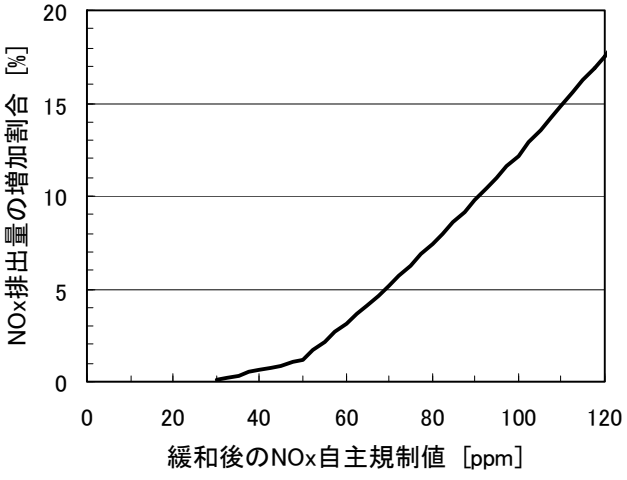


図 7　NOx 自主規制値緩和による NOx 排出量の増加割合

5-2　NOx 自主規制値緩和による周辺地域の大気環境濃度の予測

前節において，NOx 自主規制値緩和が国内の NOx 総排出量へ与える影響は少ないことを確認したが，その一方で都市ごみ焼却施設が設置された周辺地域の大気環境影響についても考慮する必要がある。そこで，下記の条件を基に，いくつかの事例において大気拡散計算をおこない，NOx 排出濃度の増加が周辺地域の大気環境濃度に及ぼす影響について検討した。得られた結果を**表 4** に示す。

NOx 最大着地濃度は，NOx 排出濃度が 50ppm では 0.00023～0.0011ppm に対し，120ppm では 0.00060～0.0029ppm と 2.6 倍程度の増加になるが，周辺地域の大気環境濃度(バックグラウンド濃度 0.013～0.032ppm)は，NOx 排出濃度が 50ppm の場合では 0.014～0.033ppm に対し，120ppm でも 0.015～0.034ppm と，わずかに増加する程度であり，また NO_2 環境基準の 0.04～0.06ppm に対して，1～4%程度の増加にとどまることが推算された。

表 4　都市ごみ焼却施設の周辺地域の大気環境濃度の推算結果

施設名	施設規模	平成 20 年度の日平均値の年間 98%値 [ppm]	最大着地濃度 [ppm]		周辺地域の大気環境濃度※1 [ppm]	
			NOx 排出濃度 50ppm	NOx 排出濃度 120ppm	NOx 排出濃度 50ppm	NOx 排出濃度 120ppm
A	435t/day×3 炉	0.026	0.0011	0.0029	0.027	0.029
B	282t/day×3 炉	0.022	0.00079	0.0021	0.023	0.024
C	143t/day×2 炉	0.021	0.00043	0.0011	0.021	0.022
D	117t/day×3 炉	0.025	0.00039	0.00099	0.025	0.026
E	450t/day×3 炉	0.023	0.00088	0.0023	0.024	0.025
F	100t/day×1 炉	0.023	0.00023	0.00060	0.023	0.024
G	149t/day×2 炉	0.017	0.00037	0.00095	0.017	0.018
H	200t/day×2 炉	0.025	0.00057	0.0015	0.026	0.027
I	200t/day×2 炉	0.022	0.00046	0.0012	0.022	0.023
J	339t/day×3 炉	0.032	0.00077	0.0020	0.033	0.034
K	174t/day×3 炉	0.024	0.00059	0.0015	0.025	0.026
L	330t/day×3 炉	0.013	0.00073	0.0019	0.014	0.015
M	150t/day×2 炉	0.017	0.00037	0.00096	0.017	0.018
N	300t/day×2 炉	0.020	0.00062	0.0016	0.021	0.022

※1 周辺地域の大気環境濃度=平成 20 年度の日平均値の年間 98%値+最大着地濃度

＜検討条件＞

①対象施設　：平成 22 年 9 月現在において，国内で建設が検討されている熱回収施設の中から 14 施設を選択した。また，周辺地域の大気環境のバックグラウンド濃度には，平成 20 年度の日平均値の年間 98%値を用いた 24)。

②排ガス量，排ガス密度および排ガス比熱の算出

：環境省「一般廃棄物処理実態調査結果 平成 20 年度調査結果 施設整備状況」25)に記載されているデータから，対象施設地域のごみの三成分と組成分析結果を抽出し，簡易推算法 26)により，元素組成を推算して，空気過剰率 1.8 で排ガス量を算出した。また，排ガス密度と排ガス比熱は，このときの排ガス組

成を基に算出した。なお，簡略化のため，燃焼室以降にて供給される空気やガス冷却用水は考慮していない。

③大気拡散計算　：有効煙突高さの計算には CONCAWE 式を，拡散計算にはプルーム式を用いて，NOx 最大着地濃度を算出した。計算条件を以下に示す。

・煙突実体高さ　:59m
・天候条件　:大気安定度 D，風速 6m/s，大気温度 15℃
・平均化時間　:1 時間
・NOx 排出濃度　:50ppm と 120ppm の 2 ケース
・排ガス温度　:NOx 排出濃度が 50ppm のときは 210℃，120ppm のときは 170℃
(触媒脱硝装置の有無を考慮)

5-3　NOx 自主規制値緩和によって期待される効果

NOx 自主規制値緩和により得られる利点は，排ガス再加熱器と触媒脱硝装置が不要になることであり，これに伴って，設備コストおよび NH_3 消費や触媒交換に関するランニングコストの低減，さらには排ガス再加熱で使用分の蒸気を発電に供することによる発電量向上が期待できる。そこで，下記の条件を基に，これらの効果を定量的に評価した結果を**表 5** に示す。

NOx 自主規制値が 50ppm から 120ppm まで緩和されると，NOx 排出量は 35.3 km^3_N/年増加する。しかし，排ガス再加熱器と触媒脱硝装置が不要になるため，施設更新を触媒脱硝なしで計画すると，設備コストとして 147 百万円削減できる。また，ランニングコストについては，新設，既設に限らず，発電量が 2,205MWh/年増加することで，15.4 百万円/年の発電収益が見込め，さらに NH_3 消費分として 6.1 百万円/年，触媒交換分として 22.4 百万円/年が削減でき，合計で 43.9 百万円/年のコストメリットが見出せる。また，この発電増加量は 1,237t/年の二酸化炭素削減量に相当する。

表 5　NOx 自主規制値緩和による効果

発電増加量	[MWh/年]	2,205
二酸化炭素削減量	[t/年]	1,237
NOx 増加量	[km^3_N/年]	35.3
設備コスト		
排ガス再加熱器	[百万円]	41
触媒脱硝装置	[百万円]	106
削減費用の合計	[百万円]	147
ランニングコスト		
発電収益	[百万円/年]	15.4
NH_3 消費削減	[百万円/年]	6.1
触媒交換削減	[百万円/年]	22.4
削減費用の合計	[百万円/年]	43.9

＜試算条件＞

①施設条件

施設規模　:150t/day×2 炉
稼動日数　:280 日

②排ガス性状

排ガス量　　:6,000m^3_N/t-ごみ(乾き，酸素 12%換算)

水分　　:20%

酸素　　:9%・dry

排ガス比熱　:1.4kJ/(m^3_N・K)

③排ガス再加熱器の運転条件

排ガスを 170℃から 210℃まで昇温

④触媒脱硝装置に関する条件

触媒充填量　:7.5m^3×2 炉

触媒交換頻度 :4 年/回

⑤NOx 自主規制値

緩和前　　:50ppm(酸素 12%換算)

緩和後　　:120ppm(酸素 12%換算)

⑥各種単価

電力価値　　:7 円/kWh

NH_3 単価　　:55 円/kg-25%NH_3 水

触媒単価　　:6,000 千円/m^3

⑦排ガス再加熱器で不要となる蒸気熱量が電力に変換される割合

30%

⑧二酸化炭素の排出係数

0.561kg-二酸化炭素/kWh

6　まとめ

都市ごみ焼却施設の発電量向上策の一つの考え方として，窒素酸化物自主規制値緩和を取り上げ，NOx 排出濃度の違いによる周辺環境への影響の度合いと，期待される発電増加量や温室効果ガス削減効果について整理した。得られた結果を以下に示す。

① 廃棄物焼却炉の NOx 排出量は，平成 11 年度以降，国内のばい煙発生施設の中で上位 4 番目に位置している。また，平成 17 年度における廃棄物焼却炉の NOx 排出量は，平成 11 年度に比べて 1 割ほど削減されている。

② 都市ごみ焼却施設からの NOx 排出濃度は，いずれの NOx 低減技術も採用しない場合で，100～120ppm 程度が期待される。

③ 都市ごみ焼却施設の NOx 自主規制値が最大 120ppm まで緩和されても，NOx 排出量は 17.6%の増加にとどまる。この増加分は，国内の NOx 総排出量に対しては 0.6%の上昇に，また大気汚染防止法に定めるばい煙発生施設からの NOx 排出量に対しては 1.2%の上昇に相当する。

④ 国内で建設が検討されている都市ごみ焼却施設について，NOx 排出濃度が 50ppm(触媒脱硝装置を採用)から 120ppm(触媒脱硝装置を不採用)に緩和されても，周辺地域の大気環境濃度は，NO_2 環境基準の 0.04～0.06ppm に対して，1～4%程度の増加にとどまることが推算された。

⑤ 施設規模 150t/day×2 炉の都市ごみ焼却施設について，NOx 自主規制値が 50ppm から 120ppm まで緩和されると，NOx 排出量は 35.3km^3_N/年増加するが，排ガス再加熱器が不要になるため，発電量として 2,205MWh/年の増加が見込める。また，この発電増加量は 1,237t/年の二酸化炭素削減量に相当する。

＜参考文献＞

1) 環境省:平成 22 年度版 環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書 (2002)
2) 独立行政法人国立環境研究所:日本国温室効果ガスインベントリ報告書 (2010)
3) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課:高効率ごみ発電施設整備マニュアル 平成 22 年 3 月改訂 (2010)
4) 環境省水・大気環境局:平成 20 年度大気汚染状況について,
http://www.env.go.jp/air/osen/jokyo_h20/
5) OECD:OECD Environmental Data Compendium,
http://www.oecd.org/document/40/0,3343,en_2649_34283_39011377_1_1_1_1,00.html
6) 環境省水・大気環境局大気環境課:平成 19 年度大気汚染防止法施行状況等調査 大気汚染物質排出量総合調査(平成 17 年度実績),
http://www.env.go.jp/air/osen/kotei/haishutsu/h18_rep.pdf (2008)
7) 環境省水・大気環境局:大気環境に係る固定発生源状況調査結果,
http://www.env.go.jp/air/osen/kotei/haishutsu/h12.pdf
8) 環境省水・大気環境局:大気環境に係る固定発生源状況調査結果,
http://www.env.go.jp/air/osen/kotei/haishutsu/h15.pdf
9) 環境省水・大気環境局:平成 12 年度大気環境に係る固定発生源状況調査(結果概要),
http://www.env.go.jp/air/osen/kotei/h12.pdf
10) 環境省水・大気環境局:平成 16 年度大気環境に係る固定発生源状況調査(結果概要),
http://www.env.go.jp/air/osen/kotei/h16.pdf
11) 環境省水・大気環境局:平成 18 年度大気汚染防止法施行状況調査結果概要(平成 17 年度実績),
http://www.env.go.jp/air/osen/kotei/h18.pdf
12) 国立環境研究所:自動車排ガス対策技術(脱硝触媒、DPF),
http://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=35
13) 数理計画:平成 19 年度環境省委託業務結果報告書 自動車排出ガス原単位及び総量算定検討調査 (2008)
14) 財団法人廃棄物研究財団:ごみ焼却施設台帳 全連続燃焼方式編 平成 18 年度版 (2008)
15) 財団法人廃棄物研究財団:ごみ焼却施設台帳 准連続燃焼方式編 平成 18 年度版 (2008)
16) 四阿秀雄, 沼野英樹, 西山七郎, 小沢敏朗:窒素酸化物の低減対策, 東京都清掃局 清掃技報, 第 9 号, pp.37-55 (1984)
17) 社団法人産業環境管理協会:新・公害防止の技術と法規 2010 大気編, 丸善,Ⅱ-107 (2010)
18) 片畑正, 加藤定史, 臼井勝久, 岩崎陽介:次世代ストーカ式焼却炉における低空気比燃焼運転の達成, 第 28 回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, pp.168-170 (2007)
19) 吉永健太郎, 横山唯史, 中川知紀, 小俣孝二:次世代型ストーカ式焼却炉の運転状況報告, 第 31 回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, pp.193-195 (2010)
20) 辻本雄次, 渡辺信久, 井上三郎:ごみ焼却工場排ガス中の N_2O に対する排ガス脱硝の影響, 大阪市立環境科学研究所報告 調査・研究年報, 第 61 集, pp.22-25 (1999)
21) 岩本健二, 関川朋樹, 中島義男, 藤井邦一:無触媒脱硝に関する基礎調査について, 都市清掃,

第 43 巻，第 176 号，pp.296-300 (1990)
22) 松本暁洋，鈴木智子，長谷川直人，金子正利，天尾正夫，大下和徹，高岡昌輝：無触媒脱硝システムの最適化，第 19 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.558-600 (2008)
23) 秋山仁，大森耕作，玉邑隆年，劉大偉：還流式ごみ焼却技術実証試験，第 13 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.636-638 (2002)
24) 国立環境研究所：環境 GIS 大気汚染状況の常時監視結果，
http://www-gis2.nies.go.jp/taiki/
25) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：一般廃棄物処理実態調査結果 平成 20 年度調査結果 施設整備状況，
http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ ippan/h20/index.html
26) 社団法人全国都市清掃会議：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2006 改訂版，145 (2006)