

一般廃棄物の焼却における 温室効果ガス排出に関する研究*

倉 田 泰 人**

キーワード ①一般廃棄物 ②焼却 ③温室効果ガス ④電力 ⑤燃料

要 旨

埼玉県における一般廃棄物の焼却により排出される温室効果ガスの排出量を推算し、考察した。焼却施設からの温室効果ガス排出に対する排出寄与率は、廃棄物焼却起源が81%、電力起源が17%、燃料起源が2%であり、廃棄物焼却起源以外からの排出寄与率も高いことがわかった。単位重量当たりの廃棄物の焼却により排出される温室効果ガスの排出原単位は焼却ごみの合成樹脂類組成割合に依存する一方、焼却施設稼働電力および燃料の使用による排出原単位は合成樹脂類組成割合に依存していないことが判明した。さらに、一般廃棄物焼却により排出される温室効果ガスの埼玉県からの排出量は、焼却ごみ量、焼却ごみの合成樹脂類組成割合、焼却施設の稼働電力を供給する電気事業者に対する二酸化炭素排出係数から推算できた。

1. はじめに

地球温暖化防止として温室効果ガスの排出削減が叫ばれる中、日本における廃棄物焼却による温室効果ガスの排出量は、1990年度の排出量と比較して増加している¹⁾。平成20年3月25日に閣議決定された循環型社会形成推進基本計画には、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の構築をめざすことが謳われ、廃棄物分野の温室効果ガス排出削減対策の目標が設定された²⁾。今後は、廃棄物処理における温室効果ガス排出量削減に向けた実効性のある対策を取ることが求められている。

廃棄物部門における温室効果ガス排出のうち、一般廃棄物焼却施設からの温室効果ガス排出量

は、廃棄物の焼却生成ガスに由来するものを対象としており、焼却に必要な施設稼働電力や燃料の使用に伴って排出される温室効果ガスは排出量に含まれていない。

そこで本研究は、埼玉県における一般廃棄物焼却施設を対象に、廃棄物焼却生成ガスのみならず、焼却施設稼働電力および燃料を起源とする温室効果ガスの排出について考察し、焼却における温室効果ガスの排出に関する知見を得ることを目的とした。

2. 研究方法

2.1 対象とした焼却施設

平成19～21年度に稼働していた埼玉県内の45カ所の一般廃棄物焼却施設を対象とした。焼却施設

*Study into Greenhouse Gases Emissions from Municipal Solid Waste Incineration

**Yasundo KURATA (埼玉県環境科学国際センター) Center for Environmental Science in Saitama

表 1 対象とした焼却炉のタイプと施設数

焼却炉タイプ	運転方式	焼却施設数	溶融炉施設数
ストーカ炉	全連続燃焼式	31	3
	准連続燃焼式	4	0
	機械化バッチ式	2	0
流動床炉	全連続燃焼式	2	0
	准連続燃焼式	5	0
流動床ガス化溶融炉	全連続燃焼式	1	1
合 計		45	4

は、焼却炉のタイプや運転方式の違いにより表 1 に示す 6 つに分類した。焼却施設は、施設数ベースでは全連続燃焼式ストーカ炉の割合が高く、全体の 69% を占めていた。他方、平成 19～21 年度における焼却量ベースでは、埼玉県で発生した一般廃棄物の 80% が全連続燃焼式ストーカ炉により焼却されており、全連続燃焼式流動床炉は 6.0%、全連続燃焼式流動床ガス化溶融炉は 5.6%、准連続燃焼式流動床炉は 4.5% であった。また、焼却残さの溶融処理は、ガス化溶融炉を含めて 4 つの施設で行われていた。

2.2 使用した廃棄物処理に関するデータ

本研究は、処理団体から埼玉県に報告された一般廃棄物処理実績データのうち、平成 19～21 年度の 3 カ年分を使用した。実績データは、焼却施設ごとの年間焼却処理量^{3～5)}、ごみ組成分析結果^{3～5)}、水分データ^{3～5)}、焼却施設を稼働するのに使用された電力および燃料の使用量データ⁶⁾を用いた。

2.3 焼却施設からの温室効果ガス排出量の算出

焼却施設から排出される温室効果ガスは、以下の 3 つの起源から排出されるものとした。すなわち、①廃棄物焼却起源(廃棄物自体の焼却に伴う排出)：焼却ごみ中のビニール、合成樹脂、ゴム、皮革類に含まれる炭素の焼却による CO₂ への変換および廃棄物焼却による CH₄、N₂O の発生、②電力起源(電力使用に伴う排出)：焼却施設の稼働に必要な電力の使用に伴う CO₂ の排出、③燃料起源(燃料使用に伴う排出)：焼却施設の稼働に必要な燃料の使用に伴う CO₂ の排出、である。

本研究では、廃棄物の焼却に伴う CO₂、CH₄、N₂O の排出量は、環境省が作成した「地球温暖

化対策地方公共団体実行計画(区域施策編)策定マニュアル」に従って算出した⁷⁾。排出量を算出するに当たり、焼却処理量、ごみ組成分析結果のうちの「ビニール、合成樹脂、ゴム、皮革類」の割合(以下、合成樹脂類組成割合)、水分データおよび焼却施設の運転方式に対する排出係数⁷⁾を用い、(1)～(3)式により求めた。また、電力使用に伴う排出量および燃料使用に伴う排出量は、電力あるいは燃料の使用量、燃料の発熱量⁷⁾および排出係数^{7～10)}をもとに、それぞれ(4)式、(5)式により求めた。

CO₂ 排出量(t-CO₂)

$$= \text{焼却ごみ量 (t)} \times (1 - \text{焼却ごみの水分\%} / 100) \times \text{合成樹脂類組成割合\%} \times \text{排出係数 (t-CO}_2\text{/t)} \quad (1)$$

CH₄ 排出量(t-CH₄)

$$= \text{焼却ごみ量 (t)} \times \text{排出係数 (t-CH}_4\text{/t)} \quad (2)$$

N₂O 排出量(t-N₂O)

$$= \text{焼却ごみ量 (t)} \times \text{排出係数 (t-N}_2\text{O/t)} \quad (3)$$

CO₂ 排出量(t-CO₂)

$$= \text{使用電力量 (kWh)} \times \text{排出係数 (t-CO}_2\text{/kWh)} \quad (4)$$

CO₂ 排出量(t-CO₂)

$$= \text{燃料使用量} \times \text{単位使用量当たりの発熱量} \times \text{単位発熱量当たりの炭素排出量} \times 44/12 \quad (5)$$

なお、使用した排出係数や燃料の発熱量を表 2 および表 3 に示す。各焼却施設とも複数種の燃料が使用されていたが、燃料の種類ごとに発熱量と排出係数から温室効果ガスの排出量を算出し、合計したものを燃料使用に伴う排出量とした。さら

表2 焼却処理および電力の使用における排出係数の一覧

対象となる排出活動	温室効果ガスの種類	区 分	単 位	排出係数	引用文献
廃棄物の焼却	CO ₂	廃プラスチック類	t-CO ₂ /t-廃棄物	2.69	(7)
一般廃棄物の焼却	CH ₄	連続燃焼式焼却施設	t-CH ₄ /t-廃棄物	0.0000096	(7)
		準連続燃焼式焼却施設		0.000072	(7)
		バッチ燃焼式焼却施設		0.000075	(7)
	N ₂ O	連続燃焼式焼却施設	t-N ₂ O/t-廃棄物	0.0000565	(7)
		準連続燃焼式焼却施設		0.0000534	(7)
		バッチ燃焼式焼却施設		0.0000712	(7)
東京電力㈱からの 供給電力の使用	CO ₂	平成19年度	t-CO ₂ /kWh	0.000425	(8)
		平成20年度		0.000418	(9)
		平成21年度		0.000384	(10)

表3 燃料種別の発熱量および使用に関する二酸化炭素排出係数の一覧

燃料の種類	発熱量値		排出係数	
	単位	値	単位	値
ガソリン	GJ/kl	34.6	t-C/GJ	0.0183
灯油	GJ/kl	36.7	t-C/GJ	0.0185
軽油	GJ/kl	38.2	t-C/GJ	0.0187
A 重油	GJ/kl	39.1	t-C/GJ	0.0189
B・C 重油	GJ/kl	41.7	t-C/GJ	0.0195
液化石油ガス (LNG)	GJ/t	54.5	t-C/GJ	0.0135
液化天然ガス (LPG)	GJ/t	50.2	t-C/GJ	0.0163
都市ガス	GJ/1,000Nm ³	41.1	t-C/GJ	0.0138
コークス	GJ/t	30.1	t-C/GJ	0.0294

引用文献：7)

に、焼却施設からの温室効果ガス総排出量は、3つの排出起源からの排出量を合算して求めた。

3. 結果および考察

3.1 焼却施設からの温室効果ガス排出量

埼玉県内の個々の一般廃棄物焼却施設から排出された温室効果ガス排出量を合計した総排出量を図1に示す。一般廃棄物の焼却により埼玉県全体で排出された温室効果ガスの起源ごとの排出寄与率は、CO₂換算ベースで、廃棄物焼却起源が

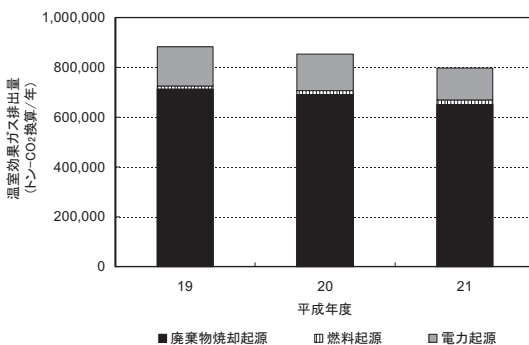


図1 埼玉県内の一般廃棄物焼却施設からの温室効果ガス排出量

81%，電力起源が17%，燃料起源が2%と推定された。また、排出された温室効果ガスの種類ごとの排出寄与率は、CO₂が96%，CH₄が0.04%（CO₂換算）、N₂Oが4%（CO₂換算）と推定された。平成19～21年度における北九州市の一般廃棄物焼却に伴うCO₂排出への排出寄与率は、廃棄物焼却起源が平均して80.3%，電力および燃料起源の合計が19.7%であった¹¹⁾。このことは、排出起源からの排出寄与率は、埼玉県と北九州市とではほぼ同程度であったことを示しており、他の自治体においても同様の排出状況にある可能性が示唆された。

以上の結果から、電力起源および燃料起源の温室効果ガスの排出寄与率は、総排出量に対して決して小さくなく、この両者を含めた温室効果ガス排出量を廃棄物焼却における排出量とすることが望ましいと考えられた。

3.2 焼却ごみの合成樹脂類組成割合と排出起源ごとの原単位の関係

焼却に伴う温室効果ガスの排出量は焼却ごみの合成樹脂類組成割合をもとに算出するため、ごみ質の違いに依存する。個々の焼却施設について、

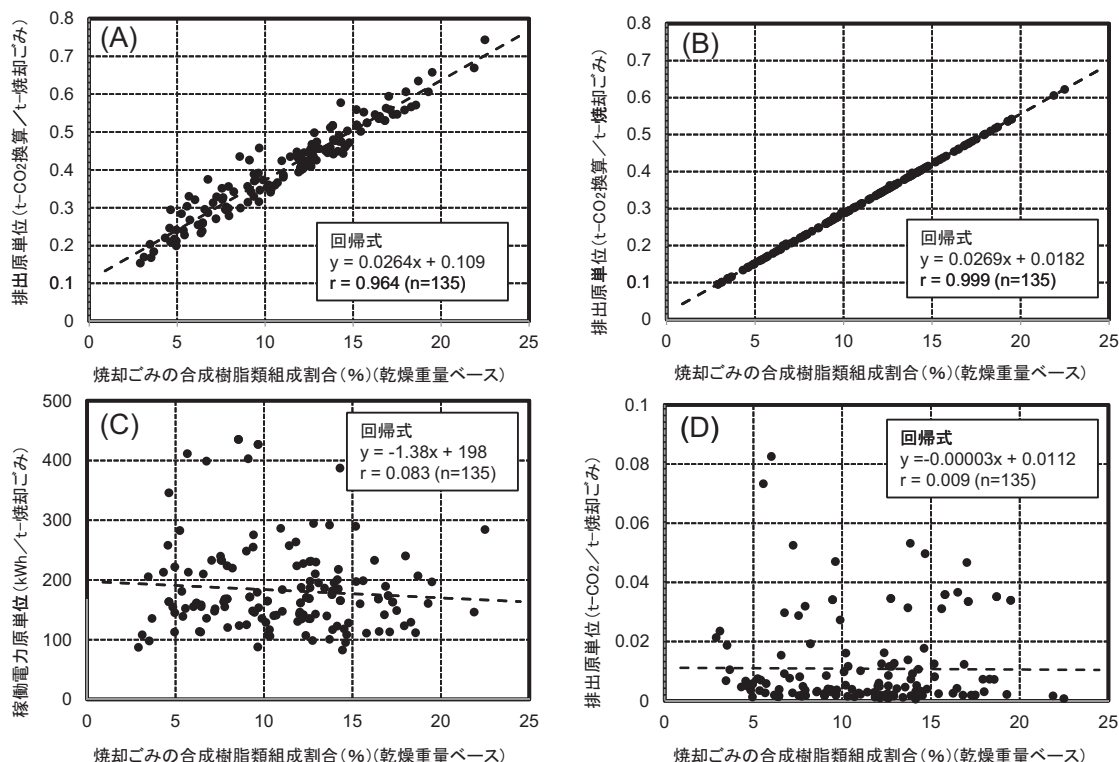


図2 焼却ごみの合成樹脂類組成割合と原単位の関係

(A) 焼却処理における3つの排出起源に対する排出原単位の合計, (B) 廃棄物焼却起源の排出原単位, (C) 稼働電力原単位, (D) 燃料起源の排出原単位

廃棄物焼却起源に電力起源および燃料起源を含めた温室効果ガスの総排出量を年間焼却ごみ量で除した温室効果ガス排出原単位は、焼却ごみの合成樹脂類組成割合に対して図2(A)の関係にあり、合成樹脂類組成割合が同じである焼却施設であっても、施設の違いにより排出原単位が異なることが判明した。この排出原単位の違いを明らかにするため、合成樹脂類組成割合に対する合成樹脂類の焼却あるいは燃料使用に伴う温室効果ガス排出についての排出原単位を、さらに電力の使用については合成樹脂類組成割合に対する単位重量当たりの廃棄物を焼却するのに必要な電力量の関係を求めた。

図2(B)に、焼却ごみの合成樹脂類組成割合に対する合成樹脂類焼却に伴う温室効果ガスの排出原単位の関係を示す。45の焼却施設についてそれぞれ3年間のデータを調べたところ、正の高い相関関係が認められた。

他方、電力および燃料起源についても同様に合

成樹脂類組成割合と原単位の関係調べたところ、それぞれ図2(C)、図2(D)の関係が得られた。電力起源の場合、有意な相関関係は認められないことから、ごみ質の違いが電力使用量に与える影響はないものと考えられた。また、燃料起源についても合成樹脂類組成割合と排出原単位の間には有意な相関関係は認められず、排出原単位は各焼却施設の運転管理条件に影響されるものと推察された。

廃棄物焼却、電力、燃料の各起源の原単位について直線回帰式を求めたところ、それぞれ(6)、(7)、(8)式の関係式を得た。これら関係式をもとに、焼却処理における温室効果ガス総排出量を求める関係式を(9)式として求めることができる。

$$\begin{aligned} & \text{排出原単位 (t-CO}_2 \text{ 換算/t-焼却ごみ)} \\ & = 0.0269 \times \text{合成樹脂類組成割合} \% + 0.0182 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
 & \text{排出原単位 (t-CO}_2 \text{ 換算/t-焼却ごみ)} \\
 & = (-1.38 \times \text{合成樹脂類組成割合} \% + 198) \\
 & \quad \times \text{東京電力排出係数} / 1000 \quad (7) \\
 & \text{排出原単位 (t-CO}_2 \text{ 換算/t-焼却ごみ)} \\
 & = -0.00003 \times \text{合成樹脂類組成割合} \% + \\
 & \quad 0.0112 \quad (8) \\
 & \text{焼却処理における温室効果ガス排出量} \\
 & \text{(t-CO}_2 \text{ 換算)} \\
 & = [(0.02687 \times \text{合成樹脂類組成割合} \% + \\
 & \quad 0.0294) + (-0.00138 \times \text{合成樹脂類組成} \\
 & \quad \text{割合} \% + 0.198) \times \text{東京電力排出係数}] \times \\
 & \quad \text{焼却ごみ量 (t)} \quad (9)
 \end{aligned}$$

関係式(9)は、平成19～21年度に埼玉県内で稼働していた焼却施設のタイプや運転方式、さらに焼却施設で使用された電力および燃料の各使用量に基づいて得られたものである。本研究で対象とした埼玉県以外の地域では、焼却施設のタイプの割合や運転管理状況が異なることにより電力および燃料の使用による排出原単位が異なるものと考えられることから、(9)式とは異なる関係式が得られるものと考えられる。

関係式(9)によれば、焼却施設からの温室効果ガス総排出量は、焼却ごみ量、ごみ質データ(合成樹脂類組成割合、水分)、焼却施設の稼働電力を供給する電気事業者に対する二酸化炭素排出係数が入手できれば推算することができる。平成19, 20, 21年度について、関係式(9)により求めた埼玉県における温室効果ガス総排出量推算値と個々の焼却施設からの温室効果ガス排出量の合計を比較したところ、各年度において、排出量の合計値に対して+0.82%, +1.2%, +1.3%の誤差で総排出量推算値を求めることができた。

さらに関係式(9)からは、温室効果ガス総排出量に占める3つの排出起源からの平均的な排出寄与率を算出することが可能である。平成13年度から22年度までの10年間に東京電力(株)から供給された電気に係る排出係数の平均値である0.000385 (t-CO₂/kWh)を関係式(9)に適用した場合の焼却ごみの合成樹脂類組成割合に対する各排出起源からの排出寄与率の関係を図3に示す。

焼却ごみの合成樹脂類組成割合が大きい焼却施

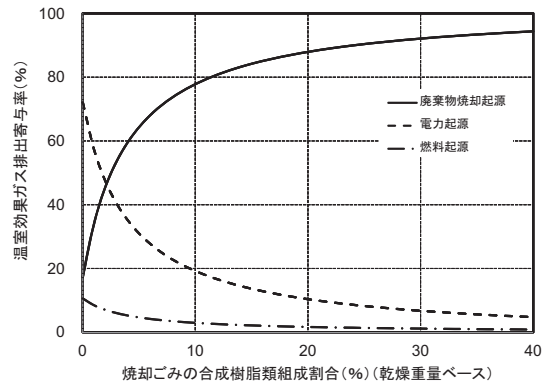


図3 焼却ごみの合成樹脂類組成割合に対する起源ごとの温室効果ガス排出寄与率

設では合成樹脂類の焼却に伴う排出の寄与率は高いが、乾燥重量ベースで組成割合が2%以下にまで低下すると、電力起源の排出寄与率より小さくなると試算された。平成19年度～21年度では、県内の焼却施設における焼却ごみの合成樹脂類組成割合は乾燥重量ベースで、最高22.5%, 最低2.9%, 平均11.0%であったことから、廃棄物焼却起源と電力起源の排出寄与率はそれぞれ89～53%, 9～40%と推算された。この結果は、合成樹脂類組成割合が低い焼却施設からの電力起源の排出寄与は決して無視できないことを示している。他方、合成樹脂類組成割合が22.5%のもっとも高い場合の燃料使用による排出寄与率は1.5%と小さいが、合成樹脂類組成割合が2.9%のもっとも低い場合では6.5%にまで上昇することから、電力起源および燃料起源の排出寄与率は合わせて46.5%に達し、合成樹脂類の廃棄物焼却に伴う排出寄与率に近づくものと推察された。

対象とする個々の焼却施設からの温室効果ガス排出における各起源からの排出寄与率を調べたところ、図4の結果を得た。図4によれば、廃棄物焼却起源の排出寄与率と焼却ごみの合成樹脂類組成割合の間には(10)式の関係があり、正の有意な相関関係($r=0.711$)が認められた。電力起源に対しては(11)式の関係があり、負の有意な相関関係($r=-0.716$)が認められた。他方、合成樹脂類組成割合と燃料起源の排出寄与率の間には相関関係は認められなかった。

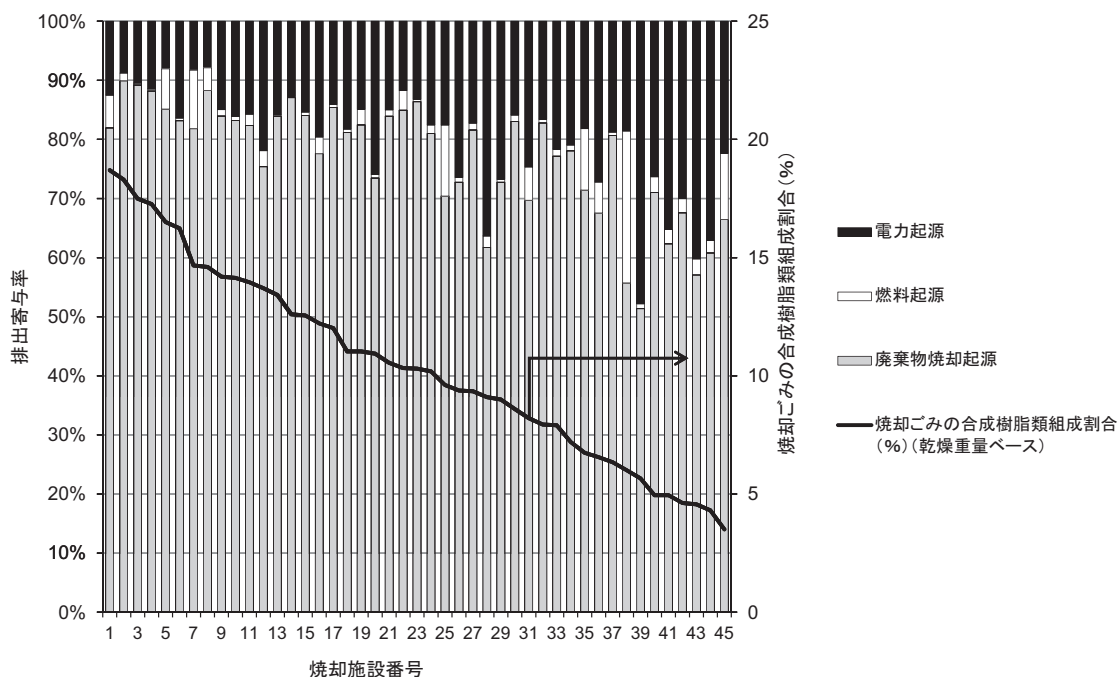


図4 焼却施設ごとの温室効果ガス排出に対する起源ごとの排出寄与率(平成21年度実績)

廃棄物焼却起源の排出寄与率%

$$= 1.734 \times \text{合成樹脂類組成割合} \% + 59.782 \quad (10)$$

電力起源の排出寄与率%

$$= -1.479 \times \text{合成樹脂類組成割合} \% + 34.27 \quad (11)$$

3.3 電力起源および燃料起源の温室効果ガス排出原単位間の関係

焼却に要する電力や燃料を起源とする温室効果ガスの排出原単位は焼却施設ごとに異なる。電力および燃料について、実焼却施設の各排出起源の排出原単位の大きさを評価するため、焼却ごみの合成樹脂類組成割合ごとの平均的な排出原単位を図2(C)、図2(D)で得られた回帰式により算出し、それを評価基準排出原単位と定義した。次に、個々の焼却施設において焼却されたごみの合成樹脂類組成割合に対する電力起源および燃料起源の排出原単位と評価基準排出原単位との比率を算出した。各焼却施設について、燃料についての評価基準排出原単位との比率に対する電力についての評価基準排出原単位との比率の関係を求めたところ、図5の関係を得た。

図5では、焼却施設を大きく3つに類型化することができる。すなわち、①燃料消費型焼却施設：電力についての評価基準排出原単位との比率が0%に近く、平均的な電力消費であるが、燃料についての評価基準排出原単位との比率が大きく、燃料をより多く使用している施設、②電力消費型焼却施設：燃料についての評価基準排出原単位との比率は小さい(0%以下)が、電力についての評価基準排出原単位との比率は0%より大きい施設、③省エネルギー型焼却施設：電力および燃料についての評価基準排出原単位との比率がいずれも0%より小さい施設、に分類された。

燃料消費型に分類された焼却施設の多くはストーカ炉であり、31カ所のストーカ式焼却施設のうち、7施設がこれに該当した。燃料消費型に該当する焼却施設は燃料の消費量を削減できる可能性があり、温室効果ガスの排出量および燃料コストを削減する余地があるものと考えられた。他方、電力消費型には溶融施設を併設した焼却施設が含まれる。省エネルギー型に属する焼却施設は23施設あり、本研究で対象とした45施設のうちの約半分が該当した。

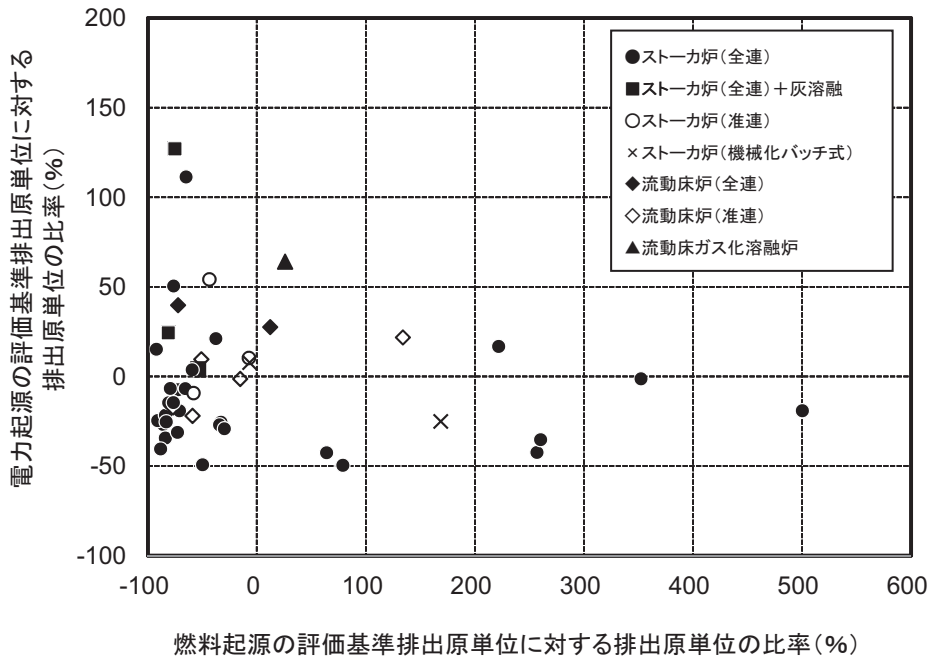


図5 燃料および電力起源の評価基準排出原単位に対する排出原単位の比率間の関係(n=45)

4. ま と め

焼却により排出される温室効果ガスは、廃棄物焼却に伴う排出、施設稼働電力および燃料使用による排出の3つの起源があり、焼却により排出される温室効果ガスの排出原単位は焼却ごみの合成樹脂類組成割合に依存する一方、施設稼働電力および燃料使用による温室効果ガスの排出原単位は、合成樹脂類組成割合に依存しない。現状の焼却ごみのごみ質では合成樹脂類の焼却に伴う排出寄与率は大きいですが、廃プラスチック類の資源化を積極的に行い、合成樹脂類組成割合が小さいごみを焼却している施設では、電力起源および燃料起源の排出寄与率が高くなることから、それら起源からの排出寄与を無視することはできない。埼玉県全体での電力起源および燃料起源の排出寄与率は19%であり、温室効果ガス排出に対する寄与を今後は評価する必要があると考えられた。

また、焼却施設のうち一部のストーカ炉では、燃料起源の排出寄与率が高い場合があり、燃料の使用量削減の可能性が示唆された。焼却に要するコスト削減の観点から、該当施設については詳

細に評価することが必要と考えられた。

一引用文献一

- 1) 環境省：2011年度(平成23年度)の温室効果ガス排出量(確定値)について、<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2011ghg.pdf>(2013年5月確認)
- 2) 環境省：循環型社会形成推進基本計画，2008
- 3) 埼玉県環境部資源循環推進課：一般廃棄物処理事業の概況(平成19年度)
- 4) 埼玉県環境部資源循環推進課：一般廃棄物処理事業の概況(平成20年度)
- 5) 埼玉県環境部資源循環推進課：一般廃棄物処理事業の概況(平成21年度)
- 6) 未公表データ
- 7) 環境省：地球温暖化対策地方公共団体実行計画(区域施策編)策定マニュアル(第1版)【資料編】(ver.1)，2009
- 8) 環境省ホームページ：平成19年度の電気事業者別二酸化炭素排出係数 <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=10574>(2013年6月確認)
- 9) 環境省ホームページ：平成20年度の電気事業者別二酸化炭素排出係数 <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=11956>(2013年6月確認)
- 10) 環境省ホームページ：平成21年度の電気事業者別二酸化炭素排出係数 <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=13319>(2013年6月確認)
- 11) 北九州市：北九州市循環型社会形成推進基本計画，pp. 48，2011