

## 廃棄物リサイクル施設等における化学物質排出実態の解明

高橋通正, 辻 祥代 (調査研究部), 坂本広美 (県央地域県政総合センター)

Clarification of the chemicals release from waste recycling facilities

Michimasa TAKAHASHI, Sachiyo TSUJI (Research Division) and  
Hiromi SAKAMOTO (Ken-o Region Prefectural Administration Center)

キーワード：資源循環型社会，廃プラスチック，有害大気汚染物質，排ガス処理

### 1 はじめに

近年，廃棄物による環境負荷低減のため資源循環型社会の形成に向けた取組が推進されており，神奈川県においても，ごみを資源として有効利用するための廃棄物リサイクル施設が多く設置されている。一方，化学物質の排出に対する規制としては大気汚染防止法の有害大気汚染物質，揮発性有機化合物（VOC）規制，特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律（化管法）及び神奈川県生活環境の保全等に関する条例（県条例）があるが，これらの施設に係る大気汚染物質の規制は県条例の規制基準値だけである。

しかし，杉並病の例もあり，施設から排出される化学物質の排出実態が明らかではないため，悪臭や安全性に対して住民が不安をいだくおそれもあり，行政においても，苦情対応や許可申請書などの審査・指導を行う上で，大気汚染物質の排出実態などの情報が必要となっている。

そこで，本研究では，プラスチックごみのリサイクル施設から排出される化学物質の排出実態を解明するとともに周辺環境への影響等について検討することとした。

### 2 調査方法

#### 2.1 調査対象施設

廃棄物リサイクル施設の中でも化学物質の排出が懸念されるプラスチックリごみのサイクル施設を調査対象とし，これまでに，プラスチック

を主体としたごみ燃料（RPF）製造施設 3 施設と容器包装プラスチックの圧縮梱包施設 4 施設の調査結果を報告したところであるが<sup>1)</sup>，今回の調査では，前回とは異なるプラスチックの圧縮梱包施設をはじめ破碎施設及び熔融施設について調査を実施した。

#### 2.1.1 プラスチック圧縮梱包施設

圧縮梱包施設は，市町村が収集した容器包装リサイクル法のその他のプラスチック製容器包装（ペットボトル以外の容器包装プラスチックで，ポリエチレン，ポリプロピレン，ポリスチレンなど主に食品の包装に用いられている）廃棄物を異物除去後，リサイクル工場へ搬送するために圧縮し，容積を小さくして梱包する施設である。

なお，その他のプラスチック製容器包装廃棄物のリサイクルフローは図 1 のとおりであり，圧縮梱包されたプラスチックは，再生プラスチックの原料，製鉄所のコークス代替品製造，高炉の還元剤，化学工場のアンモニア製造（プラスチックの熱分解により発生する水素と空気中の窒素を反応させて製造する。）などにより資源化されている。

調査対象のプラスチック圧縮梱包施設は，県内の市に多く設置されている小規模な施設とした。調査対象施設を表 1 に示す。なお，これらの施設には排ガス処理装置は設置されていない。



図 1 その他のプラスチック製容器包装廃棄物のリサイクルフロー

表1 プラスチック圧縮梱包施設

施設	処理能力	排ガス処理装置	設置場所	その他プラ以外の集積物
A	2t/日	なし	建屋内(解放型)	ペットボトル, びん, 缶
B	3t/日	なし	建屋内(解放型)	ペットボトル, びん, 缶
C	7.5 t/日	なし	建屋内	廃食油

2. 1. 2 プラスチック破碎施設

破碎施設は、図2に示すとおり産業廃棄物の廃プラスチックを再生プラスチックの原料、ごみ燃料、油化など資源化するために破碎する施設である。調査対象としたプラスチック破碎施設

は、表2に示す3施設である。施設Eは、油化施設を併設しており、細かく粉碎するため、粉じんが多く発生するので集塵装置(バグフィルタ)が設置されているが、施設D及びFには排ガス処理装置は設置されていない。

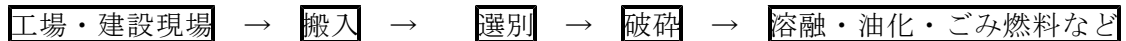


図2 産業廃棄物の廃プラスチックのリサイクルフロー

表2 プラスチック破碎施設

施設	処理能力	排ガス処理装置	廃棄物の種類	処理後のリサイクル
D	5.6 t/日	なし	OA 機器部品類 (ABS 樹脂, ポリプロピレン, ポリスチレンなど)	原料化・燃料化
E	4.8 t/日	バグフィルタ (粉じんの処理)	廃コンテナ類 (ポリプロピレン, 発泡スチロール, アクリル樹脂など)	油化
F	4.8 t/日	なし	建築廃材, 廃雨樋, パイプ類 (塩化ビニル樹脂など)	ごみ燃料 (ただし, 塩化ビニルは破碎後埋立)

2. 1. 3 プラスチック熔融施設

熔融施設は、図3に示すとおりポリエチレン、発泡スチロールなど均一な廃プラスチックを溶解して、ペレットまたはインゴットに成型し、再生プラスチック製品の原料とする施設である。

調査対象としたプラスチック熔融施設は、表3に示す3施設である。G施設は、排ガス処理装置を設置していないが、施設Hは活性炭吸着式排ガス処理装置、施設Iは直接燃焼式排ガス処理装置を設置している。

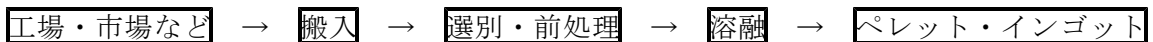


図3 プラスチック熔融施設の処理フロー

表3 プラスチック熔融施設

施設	処理能力	排ガス処理装置	廃棄物の種類	処理後のリサイクル
G	2.8 t/日	なし	ポリエチレン	エアパッキン
H	1.2 t/日	活性炭吸着式	発泡スチロール	断熱ボード
I	1.0 t/日	直接燃焼式	発泡スチロール	ハンガー・定規など

2. 2 調査地点及び調査回数

調査は、リサイクル施設(発生源)及びリサイクル施設を設置している事業場の敷地境界近

傍(敷地境界)で実施した。発生源においては装置前または排ガス処理装置の処理前後において排ガスを採取した。また、工場の敷地境界において

も同様に大気を採取したが、これは、発生源の濃度と敷地境界の濃度を比較することにより調査対象施設から発生している化学物質の排出状況を推定するとともに、その施設が周辺地域に及ぼす影響を把握するため実施したものである。

本調査における発生源試料採取地点と敷地境界試料採取地点の位置関係の例を図4に示す。

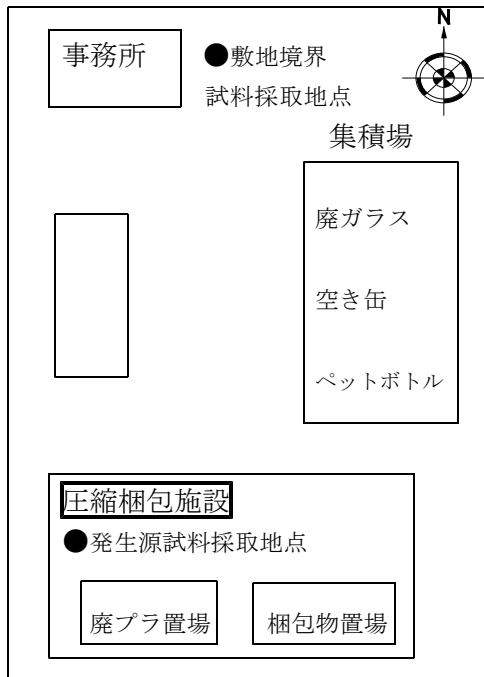


図4 試料採取地点の配置の例

さらに、季節による変化を見るため、各施設とも年4回（春季（4月）、夏季（8月）、秋季（10～11月）及び冬季（1月～2月））の試料採取を行った。

なお、敷地境界の測定地点については、環境基準値等と比較するため、風向にかかわらず年4回とも同じ地点で試料採取を行った。

## 2. 3 試料採取、分析方法

廃プラスチックリサイクル施設から発生する化学物質として、ベンゼン等のVOC類及びホルムアルデヒド等のアルデヒド類などを調査対象物質とした。

試料の採取・分析は、「有害大気汚染物質測定方法マニュアル」<sup>2)</sup>に準じて実施した。その概要は次のとおりである。

### 2. 3. 1 ベンゼン等（VOC類）

予め真空状態にしたキャニスターに試料採取し、ガスクロマトグラフ質量分析装置を用いて分析した（発生源濃度が濃い場合は、予め注射

筒に採取した試料100mLを6Lのキャニスターに注入し、純窒素で希釈した。）。

分析項目は、有害大気汚染物質等のVOC類50物質とした。

### 2. 3. 2 アルデヒド類

アルデヒド類をDNPH溶液含浸捕集剤を詰めたカートリッジに捕集し、アセトニトリルで抽出後、高速液体クロマトグラフを用いて分析した。分析項目は、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドである。

## 3 調査結果及び考察

### 3. 1 プラスチック圧縮梱包施設

#### 3. 1. 1 発生源濃度の季節変化

発生源濃度について季節による変化を見ると、気温が30℃を超えた夏季の濃度が他の測定時期に比べて数倍～90倍程度高い値であった。このことから、気温が高くなるとプラスチックの圧縮に起因するVOC類の発生量が増えることが確認された。B施設の測定結果を図5に示す。

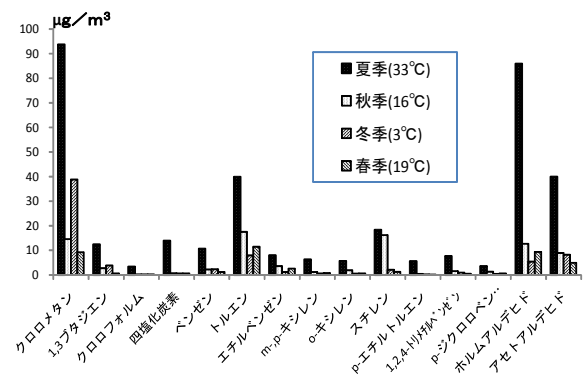


図5 装置前での測定結果（B施設）

#### 3. 1. 2 施設からの排出状況

3施設とも共通で、クロロメタン、1,3-ブタジエン、スチレンの発生源濃度が敷地境界濃度の10倍以上の高い値であり、これら3物質が発生している可能性が示唆された。その他、トルエン、キシレン、エチルベンゼン、ベンゼン、パラジクロロベンゼン及びアルデヒド類も敷地境界に比べて高い濃度であった。

クロロメタンは、プラスチックの原料及び発泡剤であり、スチレンは、ポリスチレン等のプラスチックの原料、1,3-ブタジエンは、プラスチック（乳酸飲料容器等の耐衝撃性ポリスチレンなど）及び合成ゴムの原料である。

その他の VOC 類も、プラスチック製造工程の未反応原料、中間生成物、接着剤成分などであり、これらの物質がプラスチック製造工程の未反応原料、中間生成物又は発泡剤としてプラスチック内部に残存しており、圧縮過程で発生したものと考えられた。

なお、調査時に圧縮梱包施設及び圧縮直後の梱包物の表面温度を非接触温度計を用いて測定したところ、気温とほぼ同じ温度であり、圧縮梱包時の摩擦などによる発熱は観測されなかったため、熱による分解生成物（アルデヒド類など）の発生はほとんどないものと考えられた。

また、この調査において、プラスチックの可塑剤などに使用されるフタル酸エステル類についても同時に調査したところ、圧縮梱包施設から排出されている可能性が示唆された<sup>3)</sup>。

図 6 に C 施設の発生源濃度と敷地境界濃度の夏季の測定結果を示す。

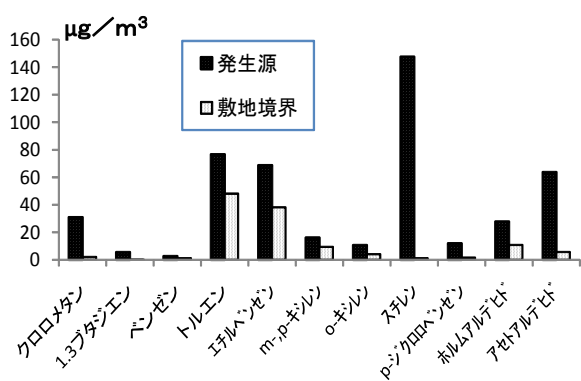


図 6 発生源濃度と敷地境界濃度 (C施設)

なお、渡部ら<sup>4)</sup>のプラスチック圧縮梱包施設の調査においても、プラスチック由来の物質（トルエン、1,3-ブタジエン、スチレンなど）及びプラスチック付着物由来と考えられる悪臭物質（トリメチルアミン、二硫化メチルなど）が検出されていた。

本調査においても、夏季には VOC 濃度が高くなり、プラスチックに付着した生ごみなどの臭気も発生していたため、圧縮梱包施設、貯留場所などの密閉化や適正な維持管理、梱包物のフィルム包装による密閉化などが重要と考えられた。

### 3. 1. 3 敷地境界濃度

環境基準値または環境指針値がある有害大気汚染物質の敷地境界における年 4 回の測定の平

均値は、表 4 に示すとおりであり、3 施設とも環境基準値や環境指針値を超える物質はなかった。

また、各施設の敷地境界濃度の平均値は、環境科学センター屋上での環境濃度と同程度の濃度であり、本調査においては、プラスチック圧縮梱包施設による環境への影響は問題ないレベルであると考えられた。

なお、B 施設のジクロロメタン濃度が他の施設に比べて高いが、この原因は、隣接するジクロロメタン使用工場の影響を受けているためであると思われる。

表 4 敷地境界濃度と一般環境濃度との比較

(単位: µg/m³)

物質名	A施設	B施設	C施設	一般環境	環境基準値等
ベンゼン	0.70	0.95	1.7	1.1	環境基準値 3
テトラクロエチレン	0.20	0.28	0.87	0.57	// 200
トリクロエチレン	0.15	0.14	0.31	0.23	// 200
ジクロロメタン	0.78	20	2.5	1.8	// 150
アクリロニトリル	0.02	0.05	0.12	0.04	環境指針値 2
塩ビモノマー	0.01	0.06	0.06	0.02	// 10
クロホルム	0.09	0.11	0.13	0.58	// 18
1,2-ジクロロエタン	0.05	0.07	0.08	0.18	// 1.6
1,3-ブタジエン	0.11	0.10	0.25	0.13	// 2.5

注) 一般環境: 環境科学センター屋上 (平成20年度)

## 3. 2 プラスチック破碎施設

### 3. 2. 1 調査時の施設稼働状況

D 施設は、OA 機器部品生産工場の廃プラスチック (ABS 樹脂、ポリプロピレン樹脂、ポリスチレン樹脂など) を破碎していた。E 施設は、建設現場や工場から排出されたコンテナなど、主にポリプロピレン樹脂、発泡スチロール、アクリル樹脂を、F 施設は建設現場から排出された雨樋、パイプなどの塩化ビニル樹脂を主に破碎していた。

### 3. 2. 2 発生源濃度

D 施設では、プラスチック (ABS 樹脂、ポリスチレン等) の原材料等に由来すると思われるスチレン、トルエン、エチルベンゼン、キシレンなどの発生源濃度が敷地境界濃度に比べ高かった。

図 7 に D 施設の発生源濃度と敷地境界濃度の夏季の測定結果を示す。

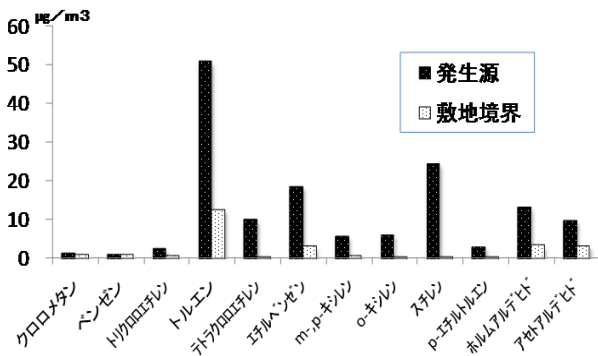


図7 発生源及び敷地境界濃度（D施設）

E施設では、発泡スチロール、アクリル樹脂等の原材料に由来すると思われるトルエン、スチレン、クロロメタンなどの発生源濃度が敷地境界濃度に比べ高かった（ベンゼンも敷地境界と比べ高かったが、併設している油化施設での分解生成物の影響を受けている可能性があると考えられる。）。

図8にE施設の発生源濃度と敷地境界濃度の秋季の測定結果を示す。

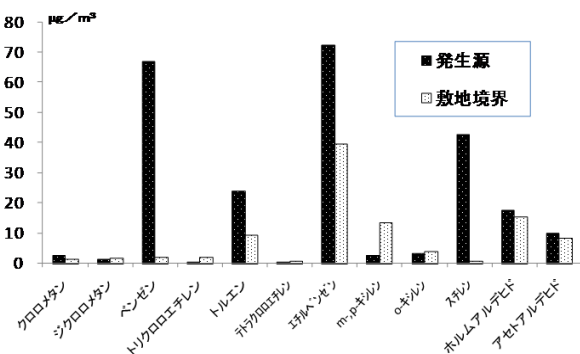


図8 発生源及び敷地境界濃度（E施設）

このことから、D、E施設では、破碎によってプラスチック製造工程の未反応原料、中間生成物、発泡剤などが発生していると考えられた。

また、この他、D施設ではプラスチックに付着している接着剤の成分（トルエン、テトラクロロエチレン、ホルムアルデヒドなど）も発生していると考えられた。

F施設では、塩ビモノマー濃度などのVOC類はほとんど発生していなかったが、これは、雨樋やパイプなど長期にわたって使用された後の塩化ビニル製品を破碎していたため、プラスチック製造工程の未反応原料、中間生成物などは

ほとんど揮散していたためと考えられた。

なお、調査時に破碎施設及び破碎直後の破碎物の表面温度を非接触温度計を用いて測定したところ、気温とほぼ同じ温度であり、破碎による発熱は観測されなかったため、熱による分解生成物（アルデヒド類など）の発生はほとんどないと考えられた。

### 3. 2. 3 敷地境界濃度

敷地境界における年4回の測定の平均値は、表5に示すとおりであり、3施設とも環境基準値や環境指針値を超える物質はなかった。

また、各施設の敷地境界濃度の平均値は、環境科学センター屋上での環境濃度と同程度の濃度であり、本調査においては、プラスチック破碎施設による周辺環境への影響は問題ないレベルであると考えられた。

表5 敷地境界濃度と一般環境濃度との比較

(単位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

物質名	D施設	E施設	F施設	一般環境	環境基準値等
ベンゼン	1.2	2.3	1.5	1.1	環境基準値3
テトラクロロエチレン	1.5	1.0	0.89	0.57	// 200
トリクロロエチレン	4.7	0.23	0.13	0.23	// 200
ジクロロメタン	4.1	8.0	1.1	1.8	// 150
アクリロニトリル	0.16	0.04	0.11	0.04	環境指針値2
塩ビモノマー	0.05	0.01	0.05	0.02	// 10
クロロホルム	0.20	0.10	0.11	0.58	// 18
1,2-ジクロロエタン	<0.01	0.13	0.16	0.18	// 1.6
1,3-ブタジエン	0.17	0.34	0.07	0.13	// 2.5

注) 一般環境: 環境科学センター屋上 (平成20年度)

### 3. 3 プラスチック溶融施設

#### 3. 3. 1 G施設の稼働状況と発生物質

G施設は、廃ポリエチレンフィルムを200℃で溶融してペレット化している施設である。

この施設では、プラスチック原料、中間生成物であるデカン、ノナン等の鎖式飽和炭化水素類及びメチルエチルケトンが発生していた。しかし、発泡スチロールを溶融しているH、I施設と違い、トルエン、スチレン等の芳香族炭化水素類及び熱分解によって生成するアルデヒド類はほとんど発生していなかった。

図9にG施設の発生源濃度と敷地境界濃度の冬季の測定結果を示す。

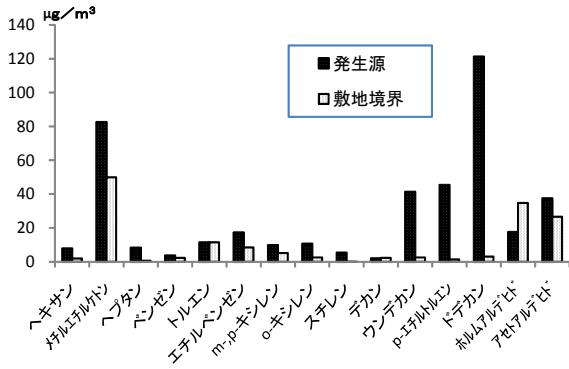


図9 発生源及び敷地境界濃度 (G 施設)

### 3. 3. 2 H 施設の稼働状況と発生物質

H 施設は、発泡スチロール製の魚箱などを約 190 °C で溶融してペレット化している施設である。

この施設では、主にプラスチック原料であるスチレン、トルエン等の芳香族炭化水素類及び熱分解生成物のアルデヒド類等が発生していた。

なお、活性炭吸着方式で排ガスを処理しており、各物質のスチレン、トルエン、キシレン等の処理効率は 90 % 以上であった。

図10に H 施設の秋季の排ガス処理装置の処理前、処理後の測定結果を示す。

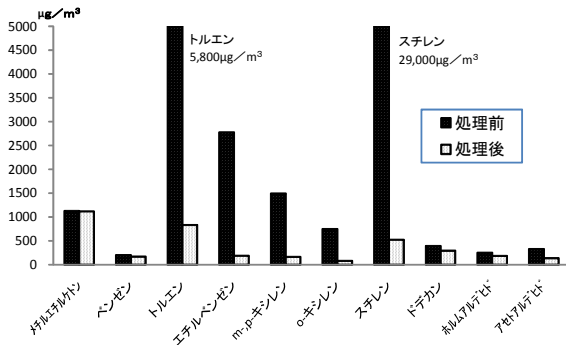


図10 処理前、処理後濃度 (H 施設)

### 3. 3. 3 I 施設の稼働状況と発生物質

I 施設は、発泡スチロール製の魚箱などを 320 ~ 330 °C で溶融してインゴットを製造している施設である。

この施設では、プラスチック原料のスチレン、トルエン等の芳香族炭化水素類及び熱分解生成物のアルデヒド類等が発生していた。

なお、直接燃焼方式で排ガスを処理しているが、除去率 50 % 以下の物質が多く、アルデヒド

類等は処理後の濃度の方が高かった。

この原因は、直接燃焼炉の炉内温度が低い(350 °C 程度) ためと考えられるので、排ガス処理装置の運転管理に留意する必要がある。

図11に I 施設の秋季の排ガス処理装置の処理前、処理後の測定結果を示す。

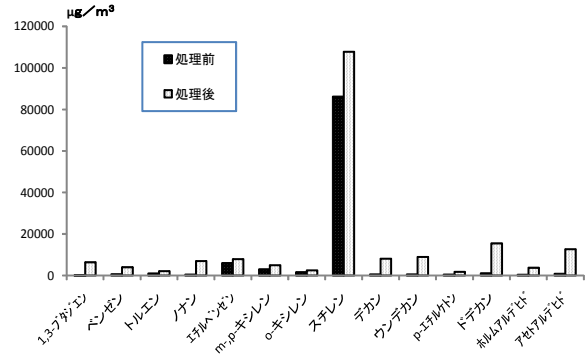


図11 処理前、処理後濃度 (I 施設)

### 3. 3. 4 敷地境界濃度

敷地境界における年 4 回の測定の平均値は、表 6 に示すとおりであり、3 施設とも環境基準値や環境指針値を超える物質はなかった。

また、各施設の敷地境界濃度の平均値は、環境科学センター屋上での環境濃度と同程度の濃度であり、本調査においては、プラスチック溶融施設による周辺環境への影響は問題ないレベルであると考えられた。

表 6 敷地境界濃度と一般環境濃度との比較

(単位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

物質名	G施設	H施設	I施設	一般環境	環境基準値等
ベンゼン	1.6	2.0	1.1	1.1	環境基準値 3
テトラクロロエチレン	0.81	2.7	0.38	0.57	// 200
トリクロロエチレン	0.26	0.18	0.18	0.23	// 200
ジクロロメタン	1.8	1.9	0.95	1.8	// 150
アクリロニトリル	0.04	0.02	0.02	0.04	環境指針値 2
塩ビモノマー	0.01	0.12	0.01	0.02	// 10
クロロホルム	0.11	0.14	0.12	0.58	// 18
1,2-ジクロロエタン	0.09	0.01	0.05	0.18	// 1.6
1,3-ブタジエン	0.13	0.07	0.08	0.13	// 2.5

注) 一般環境: 環境科学センター屋上 (平成20年度)

### 3. 3. 5 排ガス処理対策

廃プラスチック溶融施設の調査として、望月<sup>5)</sup>

や水越ら<sup>6)</sup>が行ったプラスチックマテリアルリサイクル工場の調査があるが、操業条件や気象条件（接地逆転層の形成など）により、周辺環境における VOC 濃度の上昇、悪臭被害の発生が示唆されていた。

本調査においても、プラスチック溶融施設の排ガスの VOC 濃度は、圧縮梱包施設や破碎施設と比較して非常に高く、また、悪臭物質（アセトアルデヒド、スチレン、トルエンなど）の濃度も高く、同時に実施した臭気の調査においても、発泡スチロール溶融施設の排ガス処理前の臭気指数は 40 以上（臭気濃度 10,000 以上）であり、前述のとおり排ガス処理装置（脱臭装置）を含む施設の運転管理に留意する必要があることが分かった<sup>7)</sup>。

なお、VOC の排ガス処理装置としては活性炭吸着方式又は燃焼方式が考えられるが、H 施設は活性炭吸着方式、I 施設は直接燃焼方式を採用している。

H 施設では活性炭処理装置の脱臭効率は 99 % 以上であった。活性炭処理装置の運転においては、処理装置入口の処理ガス温度を 40 °C 以下にすることと、活性炭の交換頻度を適切に行うなど運転管理を適切に行えば高い処理効率が得られることが分かった。

一方、直接燃焼方式の I 施設では処理後の臭気指数が処理前の臭気指数を上回っていた。この原因は前述のとおり直接燃焼炉の炉内温度が低かったためであった。燃焼炉内温度を 650 ~ 800 °C とし、炉内での滞留時間を 0.4 ~ 1.0 秒にして運転すれば活性炭処理装置と同様に高い脱臭効率が得られるものと考えられた。

#### 4 おわりに

廃プラスチックのリサイクル施設（圧縮梱包施設、破碎施設及び溶融施設）について、発生源（施設前または排ガス処理装置の処理前、処理後）及び敷地境界において、有害大気汚染物質などの化学物質の測定を実施したところ、次のことが明らかとなった。

##### 4. 1 プラスチック圧縮梱包施設

クロロメタン、1,3-ブタジエン、スチレンなどが発生していた。これらの物質は、プラスチックの製造時の原料、中間生成物、発泡剤などであり、プラスチック内に残留していた物質が、

圧縮工程において排出されたものと考えられた。

また、各季節の測定結果では、気温の高い夏季の濃度が他の季節に比べて数倍~90 倍程度高い値であった。

しかし、敷地境界濃度については、環境基準値、環境指針値以下の濃度であったことから、周辺環境への影響は問題ないレベルであると考えられた。

##### 4. 2 プラスチック破碎施設

スチレン、トルエンなどが発生していた。圧縮梱包施設と同様に、プラスチックの原材料に由来する物質であり、プラスチック内に残留していた物質が、破碎工程において排出されたものと考えられた。

敷地境界濃度については、環境基準値、環境指針値以下の濃度であったことから、周辺環境への影響は問題ないレベルであると考えられた。

##### 4. 3 プラスチック溶融施設

芳香族炭化水素類、アルデヒド類などが発生していた。

特に、発泡スチロール溶融施設は、溶融温度（200 °C ~ 300 °C）によりアルデヒド類などの熱分解生成物が発生するなど、圧縮梱包施設や破碎施設に比べて高い VOC 濃度が認められた。

しかし、敷地境界濃度については、環境基準値、環境指針値以下の濃度であったことから、周辺環境への影響は問題ないレベルであると考えられた。

##### 4. 4 排ガス処理装置の運転管理

今回のプラスチックリサイクル施設の調査から、発泡スチロール溶融施設については、溶融時に発生する VOC 濃度が高く、強い臭気も発生するため排ガス処理装置（脱臭装置）による対策をとり、その運転と維持管理を適切に行うことが必要と考えられた。

#### 参考文献

- 1) 高橋通正, 坂本広美: 廃棄物リサイクル施設から発生する大気汚染物質, 神奈川県環境科学センター研究報告第 30 号, pp.80-81 (2007)
- 2) 環境省水・大気環境局大気環境課: 「有害大気汚染物質測定方法マニュアル」(1997 年) 最新

改正 2010 年

- 3) 坂本広美, 高橋通正: 容器包装プラスチック圧縮梱包施設における化学物質の排出実態, 環境科学 Vol.19, No., 3pp.361-370 (2008)
- 4) 渡部真文ら: 廃プラスチックのリサイクル施設における化学物質の挙動, 第 19 回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp.274-276 (2008)
- 5) 望月康平: 容器包装プラスチックマテリアルリサイクル施設による悪臭被害の実態把握, 第 49 回大気環境学会年会講演要旨集, pp.289 (2008)
- 6) 水越厚史ら: プラスチックリサイクル施設周

- 辺の VOC による局所的な大気汚染の評価, 第 50 回大気環境学会年会講演要旨集, pp.278 (2009)
- 7) 高橋通正, 辻 祥代: プラスチックリサイクル施設の臭気発生実態について, 第 23 回におい・かおり環境学会講演要旨集, pp.60 (2010)

プロジェクト研究〔平成 19～21 年度〕

課題名: 循環型社会形成に関する研究

テーマ: 廃棄物リサイクル施設等における化学物質排出実態の解明