

(87) 廃プラスチック圧縮過程を模擬した実験における化学物質の放散

滝上 英孝^{1*}・渡部 真文¹・高菅 卓三²・久谷 和也²

¹ (独) 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

² (株) 島津テクノリサーチ (〒604-8435 京都市中京区西ノ京三条坊町2番地の13)

* E-mail: takigami@nies.go.jp

一般廃棄物からの廃プラスチック試料を用いて、圧縮工程の模擬試験を実施した。圧縮試験は5条件設定し、試料1 kg圧縮時の化学物質(揮発性有機化合物、アルデヒド類等の28物質)の気相放散量を求めた。廃プラスチック試料を圧縮した試験において対象物質の総放散量は、18–135 µg/kg試料の範囲にあり、スチレン、トルエン、エチルベンゼンにキシレン、ベンゼンを加えたBTX系5物質の放散量が、全体の6–9割(重量濃度ベース)を占めた。本研究で求めた放散量原単位を用いて、実際の廃プラスチック圧縮梱包施設の操業条件を仮定し、化学物質排出濃度を試算した結果、環境基準、有害大気汚染物質指針値、室内濃度指針値が設けられている対象物質はいずれも基準値、指針値よりも1桁以上、低いレベルにあると算定された。

Key Words : *compression, plastics, recycle, volatile and semi-volatile organic compounds, waste*

1. はじめに

循環型社会形成推進基本法に基づいて各種廃棄物のリサイクル法が施行された結果、廃プラスチックのリサイクル量が量・割合とも増加している。2003年には、総廃プラスチックの58%に相当する584万トンが様々な手法でリサイクルされている¹⁾。

廃プラスチックのリサイクル工程における化学物質の排出に関しては、処理温度が重要なファクターとなっている。リサイクルの工程としては、焼却や熔融処理、炭化など数百℃以上の高温域の処理工程、樹脂の再形成やペレット化などプラスチックの溶解温度150～300℃で処理される中温域の処理工程、破碎や減容化のための圧縮、廃棄物固形燃料の造粒など150℃以下で加熱される中低温域の処理工程に分類できる。このうち、高温処理工程は、生成・揮散する化学物質(特にダイオキシン類をはじめとする熱分解、燃焼生成物)の挙動に関する調査・研究例が数多くある²⁾。一方、中温域の工程についても、押出形成など上流側(ナフサ等からのプラスチック製品の製造過程)での研究がいくつかみられる^{3,4)}。この温度域では、樹脂の分解物の生成や含まれている不純物や添加物の揮発が多く認められる。しかしながら、

150℃以下で処理される圧縮梱包処理、廃棄物固形燃料の造粒工程での報告例はほとんどない。

本研究では、廃プラスチックを低温で処理するプロセスのうち、特に室温で実施される圧縮梱包過程に焦点を当てた。廃プラスチックの圧縮梱包処理は各種リサイクルの前処理として行うため、施設数が多い。それゆえ、廃プラスチック類の圧縮梱包施設の作業環境及び環境排出の上で化学的安全性を確保する観点から、放散される揮発性有機化合物(VOC)などの化学物質について、知見を充実する必要があると考えた。温度依存的な化学物質の放散特性を考慮した場合、常温の圧縮梱包過程では放散量が限定されるものと考えられるが、圧縮により廃プラスチックに含有、付着していた化学物質が放散される可能性や機械的な力が増えられることにより、化学物質が発生する可能性も考えられる。本研究では、実際の一般廃棄物データから得られた組成をもとに調製した廃プラスチック試料を用いて、圧縮梱包工程の模擬試験を実施し、そこで放散される化学物質の測定を行い、基礎的な知見の収集を図った。

2. 実験方法

(1) 廃プラスチック試料

一般廃棄物処理施設において収集された廃プラスチック類（容器包装リサイクル法に定めるペットボトルを除くその他プラスチック製容器包装を指す。ペットボトル及びプラスチック・金属の混成製品を除く）を対象とし、下記の順で調製を行った。①約34 kgの廃プラスチック

類を採取した。②プラスチック製容器包装品27項目及び異物に分類した。③各項目別に重量を測定し、組成比率を算出した(表-1)。④分類項目別に攪拌し、均一化を行った。⑤27分類項目ごとに必要量をポリ袋に取り分け、圧縮試験用試料(1kg)を必要数(10検体)作成した。

(2) 圧縮試験

圧縮試験には、万能試験機（島津製作所UH-

表-1 採取した廃プラスチック類の分類項目及び重量

		重 量		圧縮試験 用試料 (1 kg)	
		(g)	(%)	重量(g)	
プラボトル (PET以外)	飲料水(ペットボトルを除く)	296	0.87	8	
	食料品・調味料(2種指定以外のペットボトル含む)	492	1.45	23	
	日用品(洗剤・シャンプー等)	1115	3.29	52	
トレイ・カップ・コップ・ バック等の容器	食料品・ 調味料	白色生鮮発泡トレイ	907	2.67	22
		有色・模様付き生鮮発泡トレイ	882	2.60	19
		トロ箱・アイスクリーム等発泡保冷容器	431	1.27	8
		透明(非発泡)カップ・バック・トレイ等容器	6535	19.27	266
		発泡カップ・バック等容器	434	1.28	19
		小型容器(プリン容器以下の大きさのもの)	1557	4.59	42
	日用品のカップ・バック・トレイ等容器(サービス業含む)		349	1.03	9
袋・シート・ フィルム等の包装	手提げ袋(大型も含む)		4859	14.33	66
	食料品の柄入りのプラ袋(商品名入りの袋)		4107	12.11	103
	無地の食料品の袋		2529	7.46	41
	日用品の袋(サービス業含む)		2030	5.99	46
	フィルム・シュリンク包装・シート		901	2.66	25
	ネット袋		53	0.16	1
	食料品のプラとアルミの複合袋(油性菓子等)		1404	4.14	22
	日用品のプラとアルミの複合袋		171	0.50	5
小さな袋・シート・ フィルム等の容器	小さな袋・包み(たばこの箱以下の大きさのもの)		587	1.73	102
	プラとアルミの複合小袋、小包装(あめの小袋など)		123	0.36	6
緩衝材(シート状やスポンジ状含む)		573	1.69	16	
スクイズ・チューブ・ スティック容器	食料品・調味料(マヨネーズ・わさび等)		328	0.97	6
	日用品(のり・口紅等)		327	0.96	8
ラップ		1513	4.46	39	
プラスチック製のふた		465	1.37	16	
ひも・バンド・結束テープ・ボトルの口巻き		155	0.46	3	
ごみ袋		790	2.33	27	
プラスチック製容器包装合計		33913	100.00	1000	

表-2 圧縮試験の設定条件

試験 No.	試料名	雰囲気 ガス	加圧 時間	静置 時間	圧縮圧	圧縮 荷重	圧縮 回数
1	ブランク	空気	0 分	5 分	0 kg/cm ²	0 ton	0 回
2	廃プラ	空気	0 分	120 分	0 kg/cm ²	0 ton	0 回
3	廃プラ	空気	5 分	5 分	20 kg/cm ²	12.3 ton	1 回
4	廃プラ	空気	5 分	5 分	20 kg/cm ²	12.3 ton	1 回
5	廃プラ	空気	5 分	5 分	30 kg/cm ²	18.5 ton	1 回
6	廃プラ	空気	5 分	5 分	30 kg/cm ²	18.5 ton	1 回
7	廃プラ	空気	30 分※	5 分	30 kg/cm ²	18.5 ton	10 回
8	廃プラ	空気	30 分※	5 分	30 kg/cm ²	18.5 ton	10 回
9	廃プラ	窒素	30 分※	5 分	30 kg/cm ²	18.5 ton	10 回
10	廃プラ	窒素	30 分※	5 分	30 kg/cm ²	18.5 ton	10 回

※試験7～10の加圧時間：1回目の加圧開始から10回目の加圧終了までの時間



図-1 圧縮試験装置

F500KNI)を用いた。試験は室温(23-24℃)で実施した。廃プラスチック試料1kg(ポリ袋入り、破袋したもの)を密閉チャンバー(470mmφ×450mm高さ)内の試料圧縮容器(300mmφ×280mm高さ)内に充填し(図-1)、密閉してから、高純度空気ガスあるいは窒素ガスを300L流し、装置内を清浄なガスで満たした。その後、廃プラスチック試料を実際の圧縮梱包過程での圧縮圧により圧縮した。試料圧縮後、フローメーターでガス量を

測りながら、圧縮試験で発生したガスをボンベの高純度ガスで追い出し、一旦300L(装置の容積は80L程度)バッグに採取し、発生したガスを均一化した。高沸点測定物質の減少が起こらないよう、その場で直ちに300Lバッグから各測定項目の採取方法で分取し、それぞれの分析方法にて分析した。圧縮実験は表-2に示すような条件で合計10回(試験1-10)実施し、①試料の有無による、②圧縮の有無による、③圧縮圧の差(実際の圧縮工程における圧縮圧に準拠、20kg/cm²または30kg/cm²)による、④圧縮回数の差(1回または10回、10回の圧縮回数は実際の梱包作成で行われるもの)による、⑤圧縮時の雰囲気ガス(空気または窒素ガス)の違いによる、⑥二重測定による、化学物質放出量の比較を各々実施した。なお、⑤の雰囲気ガスの違いによる比較実験は、圧縮時の空気雰囲気による酸化等の影響可能性を不活性ガスである窒素と比較しようとしたものである。

(3) 分析項目と分析方法

28種類の個別の化学物質について、廃プラスチック

表-3 対象物質の採取、前処理及び分析方法

測定項目	目標採取 ガス量 (L)	試料1kg圧縮時の 採取ガス中の 定量下限値 (μg/kg試料)	採取方法	前処理方法	分析方法	参考文献
ベンゼン	6	0.006	キャニスター (6L) 捕集	気体試料自動濃縮装置を用いて試料を濃縮管に低温濃縮した後、濃縮管を加熱し試料を熱脱着により気化しGCに導入する。	GC-MS(SIM)	13)
トリクロロエチレン		0.006				
テトラクロロエチレン		0.006				
ジクロロメタン		0.006				
クロロホルム		0.006				
1,2-ジクロロエタン		0.006				
アクリロニトリル		0.006				
塩化ビニルモノマー		0.006				
1,3-ブタジエン		0.006				
トルエン		0.006				
キシレン		0.006				
エチルベンゼン		0.006				
スチレン		0.006				
ホルムアルデヒド	45	0.5	DNPHカートリッジ捕集	溶出(アセトニトリル)	HPLC	13)
アセトアルデヒド		0.5				
酸化エチレン	45	0.5	臭化水素酸コーティング活性炭カートリッジ捕集	抽出(トルエン/アセトニトリル(1:1)) 誘導体化(2-ブロモエタノール)	GC-MS(SIM)	13)
トルエンジイソシアネート	45	0.5	1-(2-ビベラジル)ピペリジン含浸紙捕集	溶出(90/10(v/v)アセトニトリル/ジメチルスルホキシド)	LC-MS/MS	14)
ベンゾ(a)ピレン	45	0.2	活性炭紙捕集	溶出(ジクロロメタン)	GC-MS(SIM)	15, 17)
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル		0.2				
フタル酸ブチルベンジル		0.2				
フタル酸ジ-n-ブチル		0.2				
フタル酸ジシクロヘキシル		0.2				
フタル酸ジエチル		0.2				
アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル		0.2				
ビスフェノールA	45	0.5	アスコルビン酸含浸カートリッジ捕集	溶出(アセトニトリル)	GC-MS(SIM)	16, 17)
ノニルフェノール		0.5				
4-t-オクタルフエノール		0.5				
シアン	45	15	0.1N水酸化ナトリウム捕集	4-ピリジンカルボン酸-ピラゾンにより発色	吸光度法	18)

試料1 kg圧縮時の採取ガス中への放散量を求めることとした。対象物質は有害大気汚染物質（継続的に摂取される場合には人の健康を損なうおそれがある物質で大気の汚染の原因となるもの）や作業環境測定上の特定化学物質、また内分泌攪乱化学物質等のうちから、揮発性有機化合物（ベンゼン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ジクロロメタン、クロロホルム、1,2-ジクロロエタン、アクリロニトリル、塩化ビニルモノマー、1,3-ブタジエン、トルエン、キシレン、エチルベンゼン、スチレン）、アルデヒド類（ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド）、酸化エチレン、トルエンジイソシアネート、ベンゾ(a)ピレン、フタル酸エステル類（フタル酸ジ-2-エチルヘキシル、フタル酸ブチルベンジル、フタル酸ジャブチル、フタル酸ジシクロヘキシル、フタル酸ジエチル、アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル）、アルキルフェノール類（ビスフェノールA、ノニルフェノール、4-オクチルフェノール）、シアンを選定した。試料採取、前処理及び分析方法について表-3にまとめた。ガス採取量、採取ガス（300 L）中の対象物質の定量下限値（試料重量当たりで算出）についても表中に示した。対象物質の分析及び精度管理については、いずれも公的なマニュアル¹³⁻¹⁸⁾に準拠して実施した。

3. 結果と考察

(1) 圧縮試験時の状況

圧縮回数1回の場合（試験3-6）の圧縮荷重及び試料容器の移動距離（圧縮時の試料容器と固定蓋間の距離変化）の経時変化について、試験3を例として図-2に示す。加圧開始後、試料容器は下方からの荷重により、所定の圧力に達するまで押し上げた（約5分間）。所定の圧力に達した後、試料容器をその位置で静置させ（約5分間）、その後減圧を行った。

圧縮回数10回の場合（試験7-10）の、圧縮荷重及び試料容器の移動距離の経時変化について、試験8を例として図-3に示す。加圧を開始し、所定の圧力に達した後、減圧・加圧を繰り返し行った。10回目の加圧後、圧縮容器をその位置で静置させ（約5分間）、その後減圧を行った。

また、熱電対を圧縮装置内の試料中に入れ、圧縮試験中の試料部分の温度を連続測定した。その結果、装置内の温度は23-24℃程度で、ほとんど変動はなかった。

(2) 化学物質放散量

図-4に試験1-10においてガス中に放散された化学物

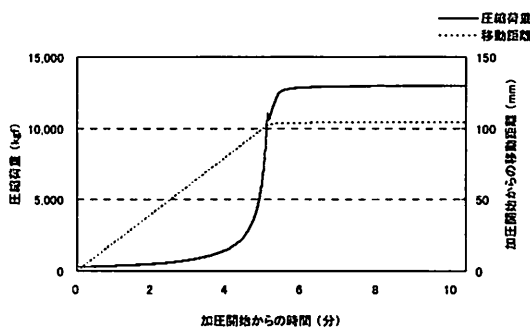


図-2 圧縮回数1回の場合の圧縮荷重及び試料容器の移動距離の経時変化（試験3）

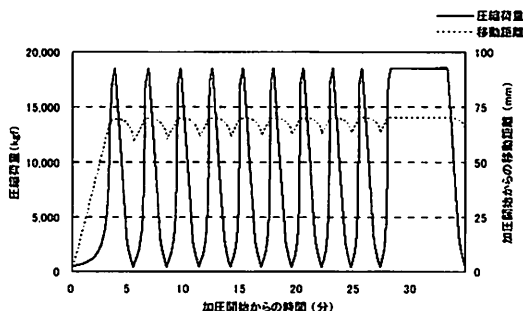


図-3 圧縮回数10回の場合の圧縮荷重及び試料容器の移動距離の経時変化（試験8）

質量（試験に用いた1 kg試料あたりの化学物質放散量）を示す。圧縮の有無によらず、廃プラスチック試料が関連する実験（試験2-10）においてはブランク試験（試験1）と比較して有意に高い量の化学物質の放散が確認され、その放散量は、18-135 $\mu\text{g/kg}$ 試料の範囲にあった。試験5（圧縮回数1回、圧縮圧30 kg/cm^2 ）の放散量が最大となった。圧縮試験ではない試験2（破袋試験）においても45 $\mu\text{g/kg}$ 試料の放散量がみられた。なお、試験7では、試験時の不具合によりガスの系外への漏れが考えられており、以降の考察からは試験7の結果を除外するものとする。試験2-10を通じて最も検出量が高かった物質はスチレンであり、試験2-10において69-75 $\mu\text{g/kg}$ 試料の範囲で検出された。次いで放散量の高かった物質はトルエン、エチルベンゼン、アセトアルデヒドであり、それぞれ3.4-21 $\mu\text{g/kg}$ 試料、2.7-20 $\mu\text{g/kg}$ 試料、3.1-22 $\mu\text{g/kg}$ の範囲で検出された。放散量の多かった物質のうちスチレン、トルエン、エチルベンゼンは、同種の化学物質群（BTX系）であり、さらにキシレン、ベンゼンを加えた5物質の放散量は図-5に示すように、全体（個別測定物質濃度の和）の6-9割を占めていた（試験1は除く。定量下限値未満は0とした）。BTX系の物質は数~数十 mmHg（室温）の蒸気圧を有する揮発性物質である。

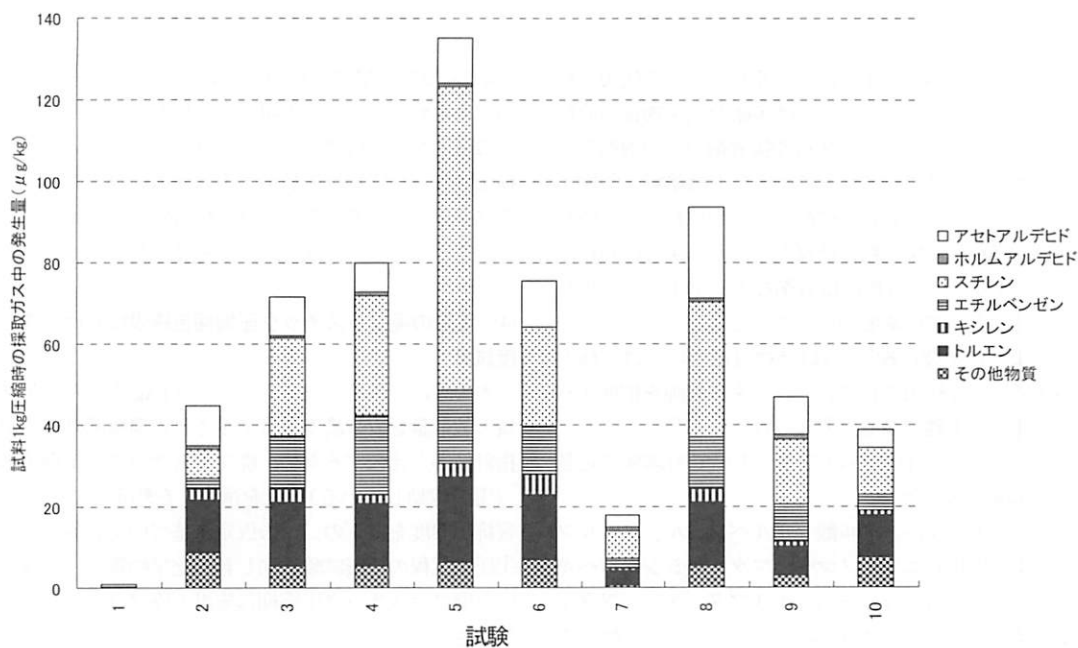


図-4 放散化学物質測定結果放散量原単位

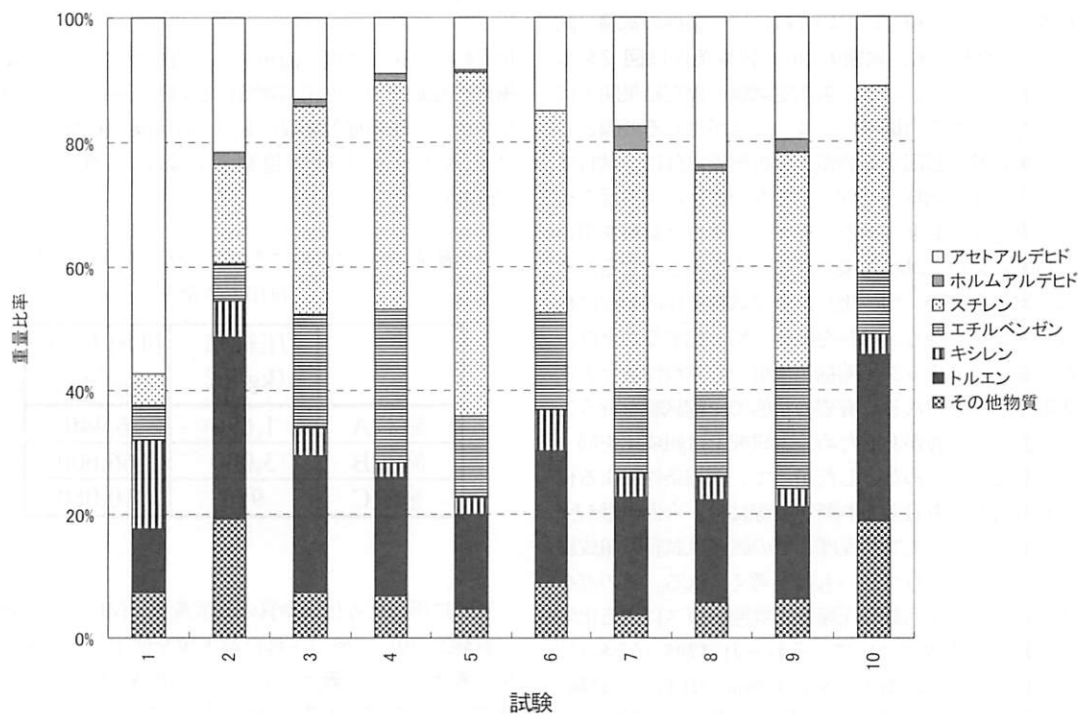


図-5 放散化学物質測定結果(放散量の比率)

スチレンはポリスチレンなどの合成樹脂、合成ゴムや合成樹脂塗料の原料であり、エチルベンゼンも、スチレン等の合成中間体や各種の溶剤、希釈剤として使用されている¹⁹⁾。トルエン、キシレンは多様な化学物質の原料として使われるほか、油性塗料や接着剤などの溶剤として使用されている¹⁹⁾。アセトアルデヒドは塗料、印刷インキなどの溶剤に使われる酢酸エチルの原料として使われているほか、化学原料、防腐剤や防かび剤等の用途がある¹⁹⁾。最近では、合板の接着剤など、ホルムアルデヒドの代替品としての需要が増えている¹⁹⁾。

このように主に検出された5物質については、様々な用途で幅広く使用されており、厳密に起源を把握することが非常に困難であると考えられている²⁰⁾。

なお、以下の項目については、すべての試験で定量下限値未満であった。

アクリロニトリル、フタル酸ブチルベンジル、ノニルフェノール、塩化ビニルモノマー、フタル酸ジシクロヘキシル、4-オクチルフェノール、1,3-ブタジエン、フタル酸ジエチル、シアン、酸化エチレン、アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル、トルエンジイソシアネート、ビスフェノールA

(3) 圧縮条件の違いによる化学物質放散量の比較

圧縮条件の違いによる化学物質放散量の差異について比較を行った。本研究においては、同一条件の試験（試験3と4、試験5と6、試験9と10。試験条件は図-2を参照）において、いわゆる二重測定試験の測定結果間のばらつきがみられた（図-4）。ばらつきが生じる要因として、圧縮試験に起因する誤差、分析誤差以外に、試料由来のばらつき（試料が「同一」でないことによるばらつき）を考慮する必要がある。廃プラスチック試料を用いた本研究において試料由来のばらつきを小さくするためには、試料を破碎、均一化した上で試料を作成しなければならない。しかし、試料を破碎、均一化することは、実際の廃プラスチック圧縮梱包現場での試料性状と大きく乖離することになる。有姿の状態で圧縮試験を行うことに実的な意義があるため、本研究では組成比を同一にする程度にとどめた。したがって、圧縮条件による化学物質放散量の有意差を判断する際には、今回試験5と6の結果間でみられた70%程度までの誤差は試料の組成詳細の誤差による寄与が高いものと考えられる。その点を考慮すれば、圧縮回数や圧縮圧、雰囲気ガスによる化学物質放散量の差異について、それぞれ試験5、6と8（圧縮圧が同じで圧縮回数を変えた試験間の比較）、試験3、4と5、6（圧縮回数が同じで圧縮圧を変えた試験間の比較）、試験8と9、10（圧縮回数、圧縮圧が同じでガス雰囲気が異なる試験間の比較）の各結果間で放散量のオー

ダーが変わるなどの有意差が見出せなかった。

本研究では、廃プラスチックの圧縮を行わない場合（破袋試験、試験2が相当）においても化学物質の放散が認められており、この場合の放散要因としては熱分解や機械的な分子破壊による可能性が考えにくいことから、検出された化学物質の放散メカニズムのひとつとして、廃プラスチック表面あるいは、付着物からの単純な放散が起こっている可能性が高いと考えられる。

(4) 実際の廃プラスチック圧縮梱包施設における排出濃度試算

本実験にて求めた廃プラスチック1 kg 当たりの化学物質の放散量をガス濃度単位で示される環境基準値や関連指針値等と比較するため、廃プラスチック圧縮梱包施設（実際稼動している3施設を選定）を想定して、化学物質排出濃度を以下の二つの仮定に基づいて試算した。

①圧縮工程の模擬試験と同じ量の化学物質が、試算に用いた廃プラスチック圧縮梱包施設の廃プラスチックから放散される。

②同施設に設置された排気設備から排出される。

実際の3施設から聞き取りを行った単位操業時間当たりの廃プラスチック圧縮量と排気設備からの排ガス量（表-4）から、以下に示す式に基づいて対象化学物質の排出濃度を算定した。

化学物質の排出濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) = 廃プラスチック1 kg圧縮時の採取ガス中の化学物質放散量 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) × 廃プラスチック圧縮梱包施設における圧縮量 (kg/hr) ÷ 廃プラスチック圧縮梱包施設における排出ガス量 (m^3/hr)

表-4 3施設におけるプラスチック圧縮量及び排出ガス量

	圧縮量 (kg/hr)	排出ガス量 (m^3/hr)
施設A	1,690	6,440
施設B	3,000	66,600
施設C	950	10,080

算定に用いた各化学物質の放散量原単位は、圧縮試験（試験2～10）で検出された最大値を使用した。算定結果を表-5に示す。表-5によれば、施設A～施設Cからの個別の化学物質排出濃度（算定値）は、排出ガスの段階で、有害大気汚染物質（ベンゼン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ジクロロメタンが該当）に係る環境基準（平成9年2月4日環境庁告示4号、改正平成13年

表-5 廃プラスチック圧縮梱包3施設の排出濃度試算結果

単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (20℃、1気圧)

	施設 A 最大値	施設 B 最大値	施設 C 最大値	環境基準等 (環境基準が定められていない物質 は、有害大気汚染物質指針値、 室内濃度指針値を示した。)	
				$\mu\text{g}/\text{m}^3$	参照した基準等
ベンゼン	0.084	0.014	0.030	3	環境基準
トリクロロエチレン	0.063	0.011	0.023	200	環境基準
テトラクロロエチレン	0.031	0.0054	0.011	200	環境基準
ジクロロメタン	1.2	0.20	0.42	150	環境基準
クロロホルム	0.10	0.017	0.036	18	有害大気汚染物質指針値
1,2-ジクロロエタン	0.002	0.0004	0.0008	1.6	有害大気汚染物質指針値
アクリロニトリル	<0.002	<0.0003	<0.0006	2	有害大気汚染物質指針値
塩化ビニルモノマー	<0.002	<0.0003	<0.0006	10	有害大気汚染物質指針値
1,3-ブタジエン	<0.002	<0.0003	<0.0006	2.5	有害大気汚染物質指針値
トルエン	5.5	0.95	2.0	260	室内濃度指針値
キシレン	1.3	0.23	0.17	870	室内濃度指針値
エチルベンゼン	5.2	0.90	1.9	3,800	室内濃度指針値
スチレン	20	3.4	7.1	220	室内濃度指針値
ホルムアルデヒド	0.3	0.05	0.09	100	室内濃度指針値
アセトアルデヒド	5.8	0.99	2.1	48	室内濃度指針値
酸化エチレン	<0.1	<0.02	<0.05	—	—
トルエンジイソシアネート	<0.1	<0.02	<0.05	—	—
ベンゾ(a)ピレン	<0.05	<0.009	<0.02	—	—
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	1.6	0.27	0.57	120	室内濃度指針値
フタル酸ブチルベンジル	<0.05	<0.009	<0.02	—	—
フタル酸ジ-n-ブチル	0.39	0.068	0.14	220	室内濃度指針値
フタル酸ジシクロヘキシル	<0.05	<0.009	<0.02	—	—
フタル酸ジエチル	<0.05	<0.009	<0.02	—	—
アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル	<0.05	<0.009	<0.02	—	—
ビスフェノール A	<0.1	<0.02	<0.05	—	—
ノニルフェノール	<0.1	<0.02	<0.05	—	—
4-tert-オクチルフェノール	<0.1	<0.02	<0.05	—	—
シアン	<3.9	<0.68	<1.4	—	—

4月20日 環境省告示30号、1年平均値)、有害大気汚染物質指針値(有害大気汚染物質による健康リスクの低減を図るための指針となる数値(1年平均値)、クロロホルム、1,2-ジクロロエタン、アクリロニトリル、塩化ビニルモノマー、及び1,3-ブタジエンが該当)、室内濃度指針値(厚生労働省が定める室内空気中化学物質の室内濃度指針値、トルエン、キシレン、エチルベンゼン、スチレン、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル、フタル酸ジ-n-ブチルが該当)よりも低いレベルであった。この排出ガスの算定濃度は、施設から環境中に放出される段階を想定した濃度であり、排出ガスの大気環境中での拡散を考慮すると、大気環境中の濃度は、さらに低い値になると考えられる。

なお、総揮発性有機化合物(TVOC)については本研究では測定を実施しておらず、仮に表-5の物質濃度を合計して比較を行った場合、厚生労働省から出されている室内空気質のTVOC暫定目標値: $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GC-MS測定

による個別物質のトルエン換算値の総和)よりも十分に低い。また、大気汚染防止法による触媒酸化-非分散形赤外線分析測定による規制基準値(メタン、HCFCを除外したもの、揮発性有機化合物排出施設別に400-60,000 ppmCの範囲で定められている)と比較しても同様に十分低い。しかし、未測定のVOC成分もあるため、この点に関してさらなる調査検討が必要であると考えられる。

4. まとめ

実際の一般廃棄物から廃プラスチック試料を調製し、圧縮工程を模擬した試験を実施した。圧縮試験は、破袋試験(圧縮操作を行わない)を含めて、圧縮圧、圧縮回数、雰囲気ガスを変えて5条件設定し、試料1 kg圧縮時の化学物質(揮発性有機化合物、アルデヒド類等の28物質)の気相放散量(放散量原単位)を求めた。廃プラス

チック試料を圧縮した試験において対象物質の総放散量は、18–135 µg/kgごみの範囲にあった。内訳として、スチレン、トルエン、エチルベンゼンにキシレン、ベンゼンを加えたBTX系5物質の放散量が、全体の6–9割（重量濃度ベース）を占めていた。破袋試験においても化学物質の放散が認められており、化学物質の放散要因として、熱分解や機械的な分子破壊とは異なり、廃プラスチック表面あるいは、付着物からの単純な放散が起こっている可能性が高いと考えられた。本研究で求めた対象物質の放散量原単位（最大値を採用）を用いて、実際の廃プラスチック圧縮梱包施設の操業条件を3パターン仮定し、化学物質排出濃度を試算した結果、環境基準、有害大気汚染物質指針値、室内濃度指針値が設けられている対象物質はいずれも基準値、指針値よりも1桁以上低いレベルにあると算定された。

謝辞：本研究は、環境省「平成19年度一般廃棄物処理施設からの未規制物質の排出実態及びその低減化に関する調査委託業務」の一環として実施した。

参考文献

- 1) 西谷吉憲，豊島元敬：廃プラスチック・リサイクルの現状と課題，廃棄物学会誌，Vol. 16，pp. 265-275, 2005.
- 2) Wilhelm M., Matuschek G., Kitrup A.: Determination of basic nitrogen-containing polynuclear aromatic hydrocarbons formed during thermal degradation of polymers by high-performance liquid chromatography-fluorescence detection, *J. Chromatogr. A*, Vol. 878, pp. 171-181, 2000.
- 3) Esperanza, M.M., Font R., Garcia A.N.: Toxic by-products from the combustion of varnish wastes based on polyurethane in a laboratory furnace., *J. Hazard. Mater.*, Vol. B77, pp.107-121, 2000.
- 4) Weber R., Kuch B.: Relevance of BFRs and thermal conditions on the formation pathways of brominated and brominated-chlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans, *Environ. Int.*, 29, pp. 699-710, 2003.
- 5) Font R., Aracil I., Fullana A., Conesa J.A.: Semivolatile and volatile compounds in combustion of polyethylene, *Chemosphere*, Vol. 57, pp. 615-627, 2004.
- 6) Font R., Fullana A., Caballero J.A., Candela J., Garcia A.: Pyrolysis study of polyurethane., *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, Vol. 58/59, pp. 63-77, 2004.
- 7) Kim K.S., Hong K.H., Ko Y.H., Kim M.G.: Emission characteristics of PCDD/Fs, PCBs, chlorobenzenes, chlorophenols, and PAHs from polyvinylchloride combustion at various temperatures, *J. Air Waste Manage.* Vol. 54, 555-562, 2004.
- 8) Pacakova V., Leclercq P.A.: Gas chromatography-mass spectrometry and high-performance liquid chromatographic analyses of thermal degradation products of common plastics, *J. Chromatogr.* Vol. 555, pp. 229-237, 1991.
- 9) Patel S.H., Xanthos M.: Volatile emissions during thermoplastics processing-a review, *Adv. Polym. Technol.* Vol. 14, pp. 67-77, 1995.
- 10) Barlow A., Contos D.A., Holdren M.W., Garrison P.J., Harris L.R., Janke B.: Development of emission factors for polyethylene processing, *J. Air Waste Manage.* Vol. 46, pp. 569-580, 1996.
- 11) Adams K., Bankston J., Barlow A., Holdren M.W., Meyer J., Marchesani V.J.: Development of emission factors for polypropylene processing, *J. Air Waste Manage.* Vol. 49, pp. 49-56, 1999.
- 12) Xiang Q., Mitra S., Xanthos M., Dey S.K.: Evolution and kinetics of volatile organic compounds generated during low-temperature polymer degradation, *J. Air Waste Manage.* Vol. 52, pp. 95-103, 1995.
- 13) 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 排出ガス中の指定物質の測定方法マニュアル（平成23年3月）
- 14) (社) 日本作業環境測定協会：作業環境測定ガイドブック [3] 特定化学物質関係 平成23年5月16日 第3版第3刷 pp. 393, 2011.
- 15) 環境庁環境保健部環境安全課：化学物質分析法開発調査報告書（平成7年度）（平成8年5月）
- 16) 環境省環境管理局大気環境課：平成12年度内分泌攪乱化学物質大気環境調査結果（平成13年10月）
- 17) 環境庁水質保全局水質管理課：外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアル（水質、底質、水生生物）（平成10年10月）
- 18) (財) 日本規格協会：日本工業規格 JIS K 0109：1998 排ガス中のシアン化水素分析方法
- 19) 環境省：化学物質ファクトシート 2008 年度版，<http://www.env.go.jp/chemi/communication/factsheet.html>
- 20) 坂本広美，高橋通正：容器包装プラスチックの圧縮梱包施設における化学物質の排出実態，環境化学，Vol. 19，pp. 361-370, 2009.

(2011.5.30 受付)

Emission of Volatile and Semi-volatile Organic Compounds
During Compression Experiment of Plastic Wastes

Hidetaka TAKIGAMI¹, Mafumi WATANABE¹, Takumi TAKASUGA² and
Kazuya HISATANI²

¹Center for Material Cycles and Waste Management Research,
National Institute for Environmental Studies

²Shimadzu Techno-Research Inc.

Emission of volatile and semi-volatile organic compounds was studied in the compression experiment of plastic fractions from municipal solid waste. Compression experiment was conducted at five operating conditions, changing compression pressure, the number of compression times and gaseous atmosphere. 28 volatile and semi-volatile organic compounds in the emission gas phase were quantitatively determined and their emission intensity was calculated. The total amount of the determined compounds ranged at 18–135 µg/kg waste throughout the compression experiment runs, and BTX (styrene, toluene, ethylbenzene, xylene and benzene) occupied 60–90%wt of the total determined. Based on the experimental result, emission concentrations of the compounds from actual plastic recycling facilities were tentatively estimated assuming their plastic recycling activities and gas emission rates. The calculated concentrations of the target compounds, for which environmental air quality standards and guideline values for environmental and indoor air have been set, were all far below the level of concern.