

業務用冷凍冷蔵機器からの断熱材フロン回収について

上野 広行 樋口 雅人

要 旨

使用済みの業務用冷凍冷蔵庫等を収集し、断熱材中のフロン含有率を測定するとともに、既存の家電リサイクルプラントを利用して断熱材中のフロン回収実験を行った。断熱材中のフロン含有率はCFC11の場合、廃棄時には10wt %程度であった。製造時の含有率が11～13wt %程度であることから、CFC11の残存率は高いと考えられた。しかし、HCFC22の場合は廃棄時の含有率が2.6wt %程度であり、使用中の放散が示唆された。前処理に時間を要するものの、家電リサイクルプラントによる断熱材フロン処理は可能と考えられた。

キーワード：業務用冷凍冷蔵機器、断熱材、フロン

Recovering Fluorocarbons from Insulating Foam in Commercial Refrigerators

UENO Hiroyuki, HIGUCHI Masato

Summary

The amount of fluorocarbons in insulating forms of fourteen used commercial refrigerators has been measured. CFC11 concentrations in the forms of used refrigerators are about 10 wt% while the initial concentrations are approximately 11-13wt%. This indicates most of CFC11 used is remaining in the form. For HCFC22, on the other hand, the concentrations of used refrigerators are around 2.6 wt% indicating HCFC22 tends to be released from the forms while the refrigerators were being used. The refrigerators were treated in a recycle plant for used electric products for household to recover the fluorocarbons from insulating form. Although the pretreatment before crushing is time-consuming, treatment of commercial refrigerators in the plant is technically possible.

Key words : commercial refrigerator, insulating foam, fluorocarbons

1 はじめに

フロン類は、空調機器や冷凍冷蔵機器等の冷媒として広く使用されているだけでなく、冷凍冷蔵機器や建材用の断熱材の発泡剤としても使用されてきた。フロン類は大気中へ放出されるとオゾン層の破壊及び地球温暖化の原因となるため、大気中への排出を抑制することが重要である。

冷媒フロン類については、家電リサイクル法により平成 13 年 4 月から家庭用エアコン、家庭用冷蔵庫の廃棄時に回収等が義務付けられている。また、フロン回収破壊法によって、平成 14 年 4 月から業務用冷凍冷蔵機器及びカーエアコンの廃棄時に回収等が義務付けられている。

また、家庭用冷蔵庫の断熱材中のフロンについては平成 16 年 4 月から家電リサイクル法に基づき回収等が義務化され、平成 16 年度には冷媒フロン 311 トンのほぼ 2 倍となる 625 トンが回収されている¹⁾。しかし、業務用冷凍冷蔵機器や建材用の断熱材のフロンについては、回収・破壊システムの構築が難しいこともあり回収は義務化されておらず、廃棄時に断熱材フロンのほとんどが大気へ放出されているのが現状である。

そこで、本研究では、回収・破壊システムの確立に向けた検討のための基礎資料を得ることを目的に、業務用冷凍冷蔵庫やショーケース等の機器に使用されている断熱材中のフロン類について、フロンの種類、廃棄時の含有率、残存率等を調査した。また、家庭用冷

表 1 収集した機器のリスト

No.	機器	冷媒フロン		重量 (kg)	メーカーヒアリング情報					
		種類	充 填 量 (g)		製造年	断熱材		断熱材(発泡剤)フロン		
						使用量 (m ³)	密度 (kg/m ³)	種類	含有量 (g)	含有率 (%)
1	冷凍庫	HCFC22	290	80.5	1997-2000	0.210	34	HCFC22	790	11
2	冷蔵庫	HCFC22	270	74.5	1997-2001	0.145	33	HCFC22	530	11
3	ショーケース	HCFC22	430	197	1996-2001	0.040	38	HCFC22 ²⁾	170	11
4	ショーケース	HCFC22	85	84	不明	不明	不明	不明	不明	不明
5	ショーケース	HCFC22		140	不明	不明	不明	不明	179.2	不明
6	冷蔵庫	HFC134a	220	114	1999-2001	不明	不明	不明	不明	不明
7	ショーケース	HFC134a	133	69	1995-1996	韓国からの輸入品のため詳細は不明				
8	ショーケース	HFC134a	190	106.5	1993-1994	0.100	33	CFC11 ²⁾	不明	不明
9	ショーケース	HFC134a	110	49.5	1997-2002	0.058	33	HCFC142b HCFC22	不明	不明
10	ショーケース	HFC134a	140	47.5	不明	不明	不明	CO ₂	不明	不明
11	冷凍冷蔵庫	CFC12		87.5	1991	不明	不明	不明	不明	不明
12	冷凍庫	CFC12	180	46	1992	6kg	26～32	CFC11	800	13.3
13	冷凍 冷蔵庫 ¹⁾	HCFC22, CFC115 (R502)	350	235	1990-92	不明	不明	不明	不明	不明
		CFC12	470		1990-92					
14	ショーケース	HCFC22,H CFC124,H FC152a (R401A)	70	54	1996-1999	0.100	33	HCFC22	360	11

注1)2 種類の型式のうち、どちらかは不明。型式によって冷媒フロンが異なる。

注 2)メーカーヒアリング情報と実測結果(表 4)が異なっていた。

蔵庫の断熱材フロンを回収している既存の家電リサイクルプラントにおいて、形状が様々な業務用冷凍冷蔵庫機器の処理が可能であるかどうか確かめるため実験を行い、断熱材フロンの処理状況、処理に要する時間、費用等について検討した。

2 実験方法

(1) 対象機器

実験対象機器は、産業廃棄物処理業者に委託し、使用済みの業務用冷凍冷蔵庫・ショーケースを収集した。機器のリストを表 1 に示した。断熱材中のフロン含有率等について、メーカーにヒアリングして得られた情報も記載した。

収集した機器はすべて型式の異なるものであり、大きさもさまざまであった。製造年は 1991 年から 2000 年程度までわたっており、5 年から 15 年使用後に廃棄されたことになる。冷媒フロンの種類と充填量について

では、原則的に機器に貼られているシールに記載されている。種類としては HCFC22、HFC134a、CFC12 等であり、充填量は、70 ～ 400 g 程度であった。断熱材の使用量と其中的フロンの種類及び量については、メーカーにヒアリングしても情報が得られないものも多かったが、フロンの種類としては HCFC22、CFC11、HCFC142b があり、含有量は 170 ～ 800 g であった。

(2) 断熱材中のフロン含有率の測定方法

断熱材中のフロンの分析のため、後述のフロン回収実験の際に機器を切断し、断熱材の試料サンプル（10 cm 角程度）を採取した。フロン含有率の分析は、「日本工業規格（案）発泡プラスチック断熱・保温材中のフロン含有率の測定方法—加熱抽出・ガスクロマトグラフ法³⁾」を参考にして、各断熱材サンプルについて 3 回行った。概要は以下のとおりである。

① サンプルの保管：断熱材サンプルは分析の前日にデシケータに入れ乾燥した。

② 分析用試料の作成：フロン抽出工程の 1 ～ 3 時間前に、マイクローム用カッターで $1.2 \times 1.2 \times 5$ cm（100 ～ 300 mg）程度に切断した。この重量を電子天秤で計測した。

③ 加熱抽出：加熱抽出装置の概要を図 1 に示した。窒素を 250 ml/min で石英管に流し、これを管状電気炉で 220℃ 程度に加熱しておく。ここにアルミナボートに乗せた試料を挿入し、手早く 5 l テドラーバッグを接続した。15 分間加熱後、テドラーバッグを外し、分析用試料とした。なお、加熱時間 10 分間までにフロンがほぼ抽出されることを予備実験で確認した。

④ フロン分析：分析は表 2 の条件でガスクロマトグラフ（検出器 FID）により行った。なお、一部の試料についてはガスクロマトグラフ質量分析計（GC-MS）で定性分析を行った。分析条件を表 3 に示した。標準ガスは住友精化製フロン混合ガス 1,000ppm を使用した。

(3) 断熱材フロン回収実験

ア 家電リサイクルプラントの概要

実験を行った家電リサイクルプラントは、使用済みの家庭用冷蔵庫、エアコン、テレビ、洗濯機を収集し、破砕や各種選別機により資源回収を行っており、年間 60 万台の機器を処理する能力がある。家庭用冷蔵庫の

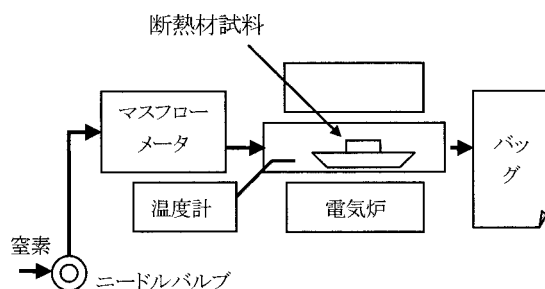


図 1 断熱材フロン加熱抽出装置

表 2 ガスクロマトグラフ分析条件

GC:HP5890
 カラム:J&W GS-Q 内径 0.53mm 長さ 30m
 キャリアガス:He 5ml/min
 メイクアップガス:He 30ml/min
 オープン温度:40℃(1 分)—10℃/分—210℃
 注入口温度:250℃ 検出器(FID)温度:250℃
 試料注入:1mL(ガスタイプシリンジ)

表 3 GC-MS 分析条件

GC-MS:島津製作所製 QP5000
 カラム:CP-PoraBondQ 内径 0.32mm 長さ 50m
 キャリアガス:He 65kPa
 オープン温度:40℃(1 分)—10℃/分—210℃(7 分)
 注入口温度:230℃
 試料注入:スプリットレス 0.1mL(ガスタイプシリンジ)
 MS:スキャンモード

廃棄時の残存率を計算し表 5 に示した。残存率は CFC11 については 74 % であった。CFC11 については、メーカー情報が得られなかった機器 2 台（機器 No. 11 と No. 13、いずれも 経過年数 13 年程度）とも含有率がいずれも No. 12 と同様に 10 % 程度（表 5）であり、同様の残存率と思われる。

表 4 断熱材中のフロン含有率 n = 3

機器 No.	フロン	含有率 (wt%)	合計 (wt%)
1	HCFC22	2.60	2.60
2	HCFC22	2.83	2.83
5 ¹⁾	CFC12	1.67	11.1
	CFC11	9.46	
6	HCFC141b	7.66	7.66
7	HCFC141b	8.76	8.76
8	HCFC22	2.00	6.57
	HCFC142b	4.57	
9	HCFC22	1.82	4.52
	HCFC142b	2.70	
11	CFC11	11.9	11.9
12	CFC11	9.80	9.80
13 ¹⁾	CFC11	9.80	9.80
14	HCFC22	2.46	2.46

注1) No.5、No.13 にはクロロメタン、イソペンタン、1,2-ジクロロエタンと思われる成分を検出した。

一方、表 5 に示したように、HCFC22 についての残存率は 25 % 程度と小さくなっており、CFC11 に比べ大気への放散が進みやすいと考えられた。また、明確ではないものの、HCFC22 は各断熱材 3 回の測定で時間がたつと含有率が小さくなる傾向も見られたことか

表 5 廃棄時のフロン残存率

機器 No.	製造年	経過年数	フロン	製造時フロン含有率 (wt%) ¹⁾	廃棄時フロン含有率 (wt%)	廃棄時フロン残存率 (%)
1	1997-2000	7 年程度	HCFC22	11	2.6	24
2	1997-2001	7 年程度	HCFC22	11	2.8	25
12	1992	13 年	CFC11	13.3	9.8	74
14	1996-1999	8 年程度	HCFC22	11	2.5	23

注1) メーカー情報

ら、断熱材サンプルの保存時にも多少は放散が進んでいる可能性もある。

HCFC141b についてはメーカー情報が得られず明確な結論は得られないが、機器 No. 6（経過年数 5 年程度）、No. 7（経過年数 10 年程度）の含有率は 8 % 程度であり、製造時のフロン含有率を 11 % 程度⁴⁾ と仮定すると廃棄時の残存率は 70 % 程度であると推察される。

イ 廃棄時のフロン含有量

廃棄時のそれぞれの機器 1 台ごとのフロン含有量 (g) を推算し、表 6 に示した。フロン含有量は下記の式により求めた。

$$\text{フロン含有量 (g)} =$$

$$\text{断熱材容量 (m}^3\text{)} \times \text{断熱材密度 (kg/m}^3\text{)}$$

$$\times \text{フロン含有率 (wt \%)} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、断熱材容量については 6 台についてはメーカー情報が得られたが、その他の機器については次のように推定した。各機器について、前述の実験方法⑤に記したように、天面、側面、正面、背面、底面ごとに使用されている断熱材の厚さを実測し、これに外形寸法（表 1）からもとめた面積を乗じて和を算出した。この体積は、メーカー情報で得られた断熱材容量の概ね 1.5 倍であったことから、この体積を 1.5 で除した

表 6 断熱材使用量及び廃棄時のフロン含有量推定値

機器 No.	断熱材使用量 (m ³) ¹⁾	フロン	含有量 (g)	合計 (g)
1		HCFC22	180	180
2	0.145	HCFC22	136	136
5	0.057	CFC12	31	209
		CFC11	178	
6	0.229	HCFC141b	578	578
7	0.084	HCFC141b	242	242
8	0.100	HCFC22	66	217
		HCFC142b	151	
9	0.058	HCFC22	35	86
		HCFC142b	52	
11	0.111	CFC11	436	436
12	0.200	CFC11	647	647
13	0.434	CFC11	1405	1405
14	0.100	HCFC22	81	81

注1) 網掛けは推定値、それ以外はメーカー情報

ものを断熱材容量推定値とした。

断熱材の密度はメーカー情報（表 1）及び断熱材サンプルで確認したので、一律 33 kg/m^3 と仮定をした。

表 6 に示したように、廃棄時のフロン含有量は機器の大きさにより当然異なるものの、合計で $80 \sim 1400 \text{ g}$ の範囲となった。このうち、前述のように、断熱材に HCFC22 を使用しているものは放散が進むことにより製造時よりも含有量が小さくなっていると思われるが、残存率の高い CFC11、HCFC141b のみを使用している機器については、表 1 に示した冷媒フロン量よりも数倍多いフロンが含有されていることがわかる。

(2) 家電リサイクルプラントにおける断熱材フロン処理の状況

家電リサイクルプラントにおける破碎処理は 1 台ずつ行い、図 2 に示した測定ポイント 2 箇所（破碎機後、微粉碎機後）において、フロン濃度の変化を全炭化水素計（FID）でモニターした。また、それぞれのダクトでガス温度も記録した。例としてその結果の一部を図 3 に示した。

図 3 のように、破碎後まず、破碎機後のフロンガス濃度が上昇した。次いで微粉碎機後のフロンガス濃度が上昇したが、これは微粉碎機までウレタンが移動するまでにはタイムラグがあるためである。なお、脱気されるフロンの種類が複数であるため、これらの連続計によるフロン濃度の定量は行っていない。ガス温度

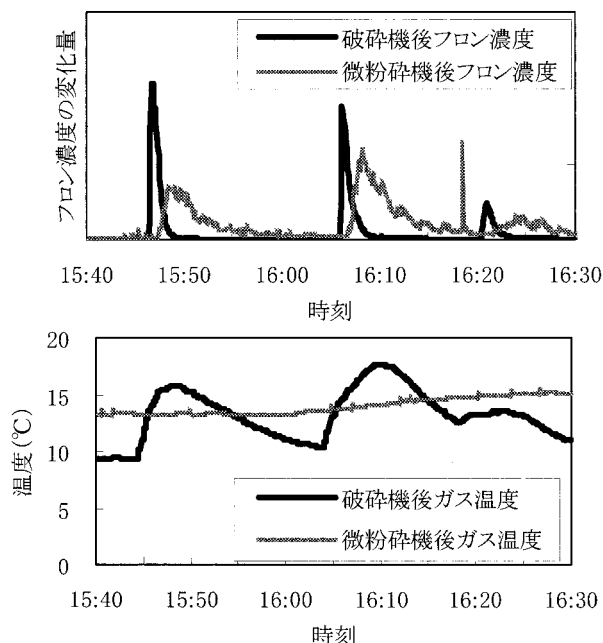


図 3 破碎時におけるフロン濃度とガス濃度の変化

については、破碎時に熱が発生するため破碎機後のガス温度の上昇が観察された。

フロンの定量は、破碎中に破碎機後と微粉碎機後において一定流量（ 400 ml/min 又は 200 ml/min ）で 5 分から 10 分程度、 5 l テドラバッグにガスを採取し、別途ガスクロマトグラフ（FID）で表 2 の条件により行った。フロン濃度は破碎機後の方が高く最大 200 ppm 程度に達したが、微粉碎機後では最大 10 ppm 程度であった。フロン濃度とダクトのガス流量から、1 台ごとの断熱材フロンの脱気量を求め、表 7 に示した。表 7 に示したように、フロンの $70 \sim 95 \%$ が破碎過程で脱気されていた。

表 7 に示したフロン脱気量の合計と、表 6 に示した廃棄時のフロン含有量推定値（ g ）から、プラントに

表 7 断熱材フロン脱気量測定結果
単位： g （括弧内の数値は％）

機器 No.	フロン	場所	HCFC22
1	HCFC22	破碎後	85.4 (90)
		微粉碎後	10.0 (10)
2	HCFC22	破碎後	53.8 (92)
		微粉碎後	4.4 (8)
5	CFC12	破碎後	3.2 (100)
		微粉碎後	—
	CFC11	破碎後	58.2 (100)
		微粉碎後	—
6	HCFC141b	破碎後	122 (93)
		微粉碎後	8.7 (7)
7	HCFC141b	破碎後	39.6 (100)
		微粉碎後	—
8	HCFC22	破碎後	50.5 (91)
		微粉碎後	5.1 (9)
	HCFC142b	破碎後	83.2 (89)
		微粉碎後	10.2 (11)
9	HCFC22	破碎後	27.7 (89)
		微粉碎後	3.4 (11)
	HCFC142b	破碎後	30.7 (96)
		微粉碎後	1.2 (4)
11	CFC11	破碎後	206 (100)
		微粉碎後	—
12	CFC11	破碎後	179 (100)
		微粉碎後	—
13	CFC11	破碎後	90.7 (71)
		微粉碎後	36.3 (29)
14	HCFC22	破碎後	31.4 (95)
		微粉碎後	1.6 (5)

おける脱気率を求め表 8 に示した。脱気率は 16 ～ 90 % となり大きくばらついたが、断熱材使用量をメーカー情報で得られた比較的信頼性の高いデータに限ると 41 ～ 95 % となった。ウレタン中のフロンは独立気泡中に存在する他、樹脂中に溶解しているといわれており、後者の割合は 30 ～ 50 % 程度^{2, 4)}と考えられ

表 8 フロン脱気率推定値

機器 No. ¹⁾	フロン	脱気率(%)
1	HCFC22	53
2	HCFC22	43
5	CFC12	10
	CFC11	33
6	HCFC141b	23
7	HCFC141b	16
8	HCFC22	84
	HCFC142b	62
9	HCFC22	90
	HCFC142b	61
11	CFC11	47
12	CFC11	28
13	CFC11	25
14	HCFC22	41

注 1) 網掛けはフロン含有量を断熱材容量推定値から求めた機器

る。木村ら²⁾の報告では、微粉碎工程において微粉の温度が 100℃程度に上がると樹脂中のフロンもその 80 % 程度が脱気されるとしている。本実験では、図 3 に示したように微粉碎後の排ガスの温度上昇は観察されず、微粉の温度が上がらずに樹脂中のフロン脱気が進まなかった可能性がある。また、断熱材サンプルを採取するため、破碎処理の前に手作業で機器を切断しており、その過程で断熱材フロンが揮散した影響も考えられる。

(3) コスト分析

ア 回収に伴う追加的時間

実際の回収処理を考えた場合、処理に係る時間はコストに影響する大きな要因である。業務用冷凍冷蔵機器の場合、家庭用冷蔵庫と異なり形状が多種多様であるため、前処理に最も時間がかかる。前処理に要した時間を計測した結果を表 9 に示した。前処理のうち、パッキン・ガラス等の取り外し工程はすべて手作業になることもあり、平均的には概ね 1 台当たり 2 人がかりで 19.1 分となった。ここで、後述の人件費算出のため、1 人で作業した場合に換算した所用時間も示した。

全工程での 1 台当たり所要時間は、機器ごとに大きな差があるが、平均で 27.3 分であった。

なお、破碎処理に要する時間は、1 台あたり 5 ～ 10 分程度と短いため、前処理工程が律速となる。

表 9 前処理工程における所要時間

機器 No.	パッキン・ガラス等の 取り外し工程			冷媒フロン回収工程			コンプレッサ-取外し工程			コンプレッサ油回収工程			全工程 ⁴⁾	
	1台当たり 所用時間 (分)	作業人数 (人) ¹⁾	1台当たり 所要時間 (分) 1人作業 換算	所用時間 (分)	備考 ²⁾	1台当たり 所用時間 (分)	所用時間 (分)	備考 ²⁾	1台当たり 所用時間 (分)	所用時間 (分)	備考 ²⁾	1台当たり 所用時間 (分)	1台当たり 所用時間 (分)	1台当たり 所要時間 (分) 1人作業 換算
1	7.2	2	14.4	12.6	1,3,4,5計	3.2	6.7	1,3,4,計	2.2	4.1	1,3,4計	1.4	13.9	21.1
2	11.0	2	22.1	11.65		11.7	2.4		2.4	2.3		2.3	27.4	38.4
3	55.6	2	111.2	12.6	1,3,4,5計	3.2	6.7	1,3,4,計	2.2	4.1	1,3,4計	1.4	62.3	117.9
4	15.0	2	30.0	12.6	1,3,4,5計	3.2	6.7	1,3,4,計	2.2	4.1	1,3,4計	1.4	21.8	36.8
5	59.5	3	178.4	12.6	1,3,4,5計	3.2	9.2		9.2	³⁾			72.9	191.8
6	11.2	2	22.4	8.15	6-10計	1.6	³⁾			³⁾			17.3	28.5
7	6.3	3	18.8	8.15	6-10計	1.6	5.8	7-10計	1.4	2.8	7-10計	0.7	10.0	22.6
8	7.5	3	22.5	8.15	6-10計	1.6	5.8	7-10計	1.4	2.8	7-10計	0.7	11.3	26.2
9	10.6	2	21.2	8.15	6-10計	1.6	5.8	7-10計	1.4	2.8	7-10計	0.7	14.4	25.0
10	48.0	2	96.0	8.15	6-10計	1.6	5.8	7-10計	1.4	2.8	7-10計	0.7	51.8	99.8
11	8.8	2	17.6	4.7		4.7	1.7		1.7	³⁾			16.2	25.0
12	3.5	3	10.6	2.8		2.8	0.7		0.7	³⁾			8.2	15.3
13	16.3	3	49.0	14.01		14.0	15.0	2基	15.0	³⁾			46.4	79.1
14	6.2	2	12.3	回収済			1.1		1.1	³⁾			8.3	14.5
平均	19.1	2.4	44.8	9.6		4.1	5.6		3.3	3.2		1.1	27.3	53.0

注 1) パッキン・ガラス等の取り外し工程以外の作業人数は 1 人とみなす。

注 2) 同時に複数台処理可能であった。

注 3) 確な所要時間は測定できなかったことを示す

注 4) 1 台当たり所要時間の実測値がない場合は、平均値を用いて算出した。

イ 回収に伴う費用

今回の実験における処理費用を推定した。回収に伴う費用としては、人件費、プラントを稼働させるための設備用役費（ほとんどが電力料）、産業廃棄物処理費に大別される。

① 人件費

人件費は、前処理工程における所要時間によって決まる。ここでは、表9に示した所用時間から、作業員単価を2,500円/時（当該プラントの標準単価）として計算した。

表9に示したように、本実験では1台当たり概ね2名の作業員で前処理に要した時間が27.3分であり、1人作業に換算すると53.0分となる。したがって、

2,210円/台の作業コストがかかったことになる。

② 電力料

当該プラントでは、1日工場を操業させ、破砕機等の設備を稼働させた場合、約7万円の電力料を要する。また、通常の操業状態では1日の処理台数は約1,000台の家電を処理でき、平成15年度の実績⁴⁾をもとに、家電の重量内訳を推定すると、

エアコン：6.6 t/日（150台/日処理）、

洗濯機：7.5 t/日（250台/日処理）、

テレビ：9.5 t/日（350台/日処理）、

冷蔵庫：14.5 t/日（250台/日処理）

となり、1日の総処理重量は35.1 tとなる。

これをもとに単位重量当たりの電力料を求めると、

表10 フロン回収実験における再商品化、適正処理の状況

区分		一次再資源化業者＝手分解工程				二次再資源化					
		分 類	小分類	発生量		再商品化 対象物 (○)	適正 処理 (○)	処理業社 の種別	処理、再利用 の形態	単価 (円/kg)	適正処理 費用 (千円/14 台)
				分別単位 [kg]	分別単位 [%]						
再 商 品 化 対 象 物		ミックスメタル		40.7	3.0%	○	資源売却可能品	非鉄金属回収			
		ミックスメタル (銅線入り)		14.600	1.1%	○		〃			
	鉄	鉄	777.500	57.3%	○	鉄回収					
		雑鉄	7.700	0.6%	○	〃					
	パッキン		12.100	0.9%	○	鉄、非鉄、プラスチック原料 化					
	コンプレッサ		127.100	9.4%	○	鉄、非鉄回収					
	プリント基板		1.100	0.1%	○	貴金属回収等					
	電線コード		9.700	0.7%	○	非鉄金属回収					
	部品類(トランス等)		8.100	0.6%	○	鉄、非鉄回収					
業 務 用 冷 蔵 庫	適 正 処 理 対 象 物	断熱材フロン	R11	4.000	0.3%		○	産廃処理会社	熱分解	600	2.4
		冷媒フロン	R12	0.700	0.1%		○	〃	〃	600	0.4
			R134a	0.680	0.1%		○	〃	〃	600	0.4
			R22	0.700	0.1%		○	〃	〃	600	0.4
										小計	3.6
		プラスチック		157.00	11.6%		○	セメント会社	焼却熱利用後焼却灰 をセメント副原料化	0～150	9.0
		圧縮ウレタン		44.50	3.3%		○	セメント会社	焼却熱利用後焼却灰 をセメント副原料化		
		ダスト		4.40	0.3%		○	最終処分場	管理型埋立		
		ガラス		136.80	10.1%		○	ガラス加工会社	路盤材として再利用		
		コンデンサー		2.70	0.2%		○	産廃処理会社	選別、金属回収		
		冷凍機油		2.80	0.2%		○	産廃処理会社	精製後、再利用		
		木材		3.30	0.2%		○	産廃処理会社	焼却熱利用後焼却灰 をセメント骨材原料化		
		蛍光灯、 水銀灯ソケット		1.80	0.1%		○	産廃処理会社 (特管物)	水銀等金属回収		
			合計	1,357.980	100.0%	73.54					

再商品化率(%)

注1)再商品化率：一次再資源化業者が分解して得られた資源の中で、マテリアルリサイクル用途で売却可能な資源の比率

注2)今回の14ヶの冷蔵庫サンプルにおける再商品化率：73.54%

注3)処理コストの算定：再商品化対象以外の資源について、適正処理および再資源化するために一次再資源化業者が二次再資源化業者に委託する費用
非再商品化資源：26.46% 今回の冷蔵庫14台あたりの資源の適正処理コスト：12,600円となり、1台あたりに換算すると900円となる。

表 11 フロン含有量から求めた単位重量当たり処理費用推定値

機器 No.	断熱材 フロン	フロン含有量から求めた 1kg 当たりのコスト(円)					
		ODP 換算なし			ODP 換算		
		処理費	収集 運搬費	合計	処理費	収集 運搬費	合計
1	HCFC22	11,000	22,200	33,100	199,500	403,000	602,500
2	HCFC22	19,900	29,500	49,400	362,200	536,600	898,700
5	CFC11,CFC12	43,500	19,100	62,600	43,500	19,100	62,600
6	HCFC141b	4,000	6,900	10,900	36,000	62,900	98,900
7	HCFC141b	8,400	16,500	24,900	76,600	150,200	226,800
8	HCFC22,HCFC142b	10,100	18,500	28,600	163,000	297,800	460,800
9	HCFC22,HCFC142b	24,700	46,200	71,000	405,700	758,300	1,164,000
11	CFC11	4,900	9,200	14,100	4,900	9,200	14,100
12	CFC11	2,700	6,200	8,900	2,700	6,200	8,900
13	CFC11	3,100	2,800	6,000	3,100	2,800	6,000
14	HCFC22	20,900	49,200	70,200	380,500	895,200	1,275,700
最小		2,700	2,800	6,000	2,700	2,800	6,000
最大		43,500	49,200	71,000	405,700	895,200	1,275,700
平均		13,900	20,600	34,500	152,500	285,600	438,100

表 12 オゾン破壊係数 (ODP)

フロン	ODP
CFC11	1.0
CFC12	1.0
HCFC22	0.055
HCFC141b	0.11
HCFC142b	0.065

70,000 円/35.1 t = 2,000 円/t = 2 円/kg

となる。したがって、業務用冷凍冷蔵機器の 1 台あたりの重量を 100 kg と仮定すると、電力料は 200 円/台となる。

③ 廃棄物処理費

今回の実験における再商品化率、適正処理に関するコスト等を表 10 に示した。適正処理が必要となるのは、断熱材フロン、冷媒フロンの他、圧縮ウレタンやプラスチック類等がある。これらの適正処理に要したコストは 14 台で 12,600 円となり、1 台当たり 900 円であった。

④ 収集運搬費

収集運搬費は重量や距離等によりかなり異なると考えられるが、ここでは、非常におおまかであるがコストを設定する。仮に排出者が都区内のいずれかの場所に定める保管場所まで運搬したとして、その保管場所から同じく都区内の再資源化工場まで、15 台単位（総重量 2 t 程度）で運搬するまでの費用を試算する。現

状では、4 t ユニーク車を用いて運搬すると約 60,000 円程度と考えられ、1 台当たり約 4,000 円となる。

⑤ 処理費用合計

以上の①～④を合計すると、今回の実験における処理費用は、平均で人件費が 2,210 円、電力料が 200 円、廃棄物処理費が 900 円、合計 3,310 円と推計された。これに対し収集運搬費は 4,000 円と相対的に高くなっている。

このうち、人件費については、今回は通常業務用冷凍冷蔵庫を処理していない作業員が対応したため前処理に時間を要したが、現実には業務として処理する場合には作業時間の短縮が見込まれるため、コストは低くなると考えられる。また、運搬費については、条件により大きく変わることには注意を要する。

次に、フロンはその種類によってオゾン層への影響度合いが異なっているため、断熱材フロン単位重量 (g) あたりのコスト及びオゾン破壊係数 (ODP) により換算した重量あたりのコストを、含有量 (表 6) について計算し、表 11 に示した。使用した ODP の数値は表 12 に示した。ODP 換算した場合、CFC11、CFC12 を使用していた No. 5、No. 11、No. 12、No. 13 の処理コストが低くなり、係数が小さい HCFC22、HCFC142b、HCFC141b を使用していた他の機器の費用が高くなること分かる。このことと、HCHC22 の残存率が低いことをあわせると、CFC11 を使用して

いる比較的古い機器を対象に早急に対応をすることが望ましいといえる。

4 まとめ

使用済みの業務用冷凍冷蔵庫等 14 台を収集し、断熱材に含まれるフロンの分析を行った。また、既存の家電リサイクルプラントにおいて業務用機器の断熱材フロンの回収処理実験を行った。

断熱材中のフロンのうち、CFC11、HCFC141b は製造時の含有量の 70 ～ 80 % 程度が廃棄時まで維持されていたが、HCFC22 は断熱材からの放出率が高く、廃棄時の残存率は低いと考えられた。

既存の家電リサイクルプラントにおける処理は、前処理に時間を要するものの、技術的には可能であると考えられる。

断熱材中のフロンは今後も代替品への転換が進んでいくため、比較的古い機器に使用されておりオゾン破壊係数が高く、かつ残存率も高い CFC11 の回収を早期に行うことが、費用対効果の面から最も効果的であると考えられる。

なお、本研究は環境省委託業務「平成 16 年度断熱材フロン回収システム実証調査」において実施したものである。

参考文献

- 1) 環境省・経済産業省：家電メーカー各社による家電リサイクル実績の公表について（平成 16 年度）
- 2) 木村信夫ら：冷蔵庫断熱材からのフロン回収装置の開発、廃棄物学会論文誌、10(3)、pp.160-191 (1999)
- 3) 日本工業規格（案）発泡プラスチック断熱・保温材中のフロン含有率の測定方法－加熱抽出・ガスクロマトグラフ法
- 4) 財団法人建築環境・省エネルギー機構、平成 15 年度環境省委託業務 建材用断熱材フロン対策検討調査報告書（2004）
- 5) 環境省・経済産業省：家電メーカー各社による家電リサイクル実績の公表について（平成 15 年度）