

## 建築用断熱材中フロン類の回収及び破壊について

辰市 祐久 上野 広行 天野 冴子 中浦 久雄

### 要 旨

建築用断熱材中のフロン類の回収・破壊の可能性を調査した結果、次のことが分かった。

- (1) 既施工の建築物用断熱材に残存するフロンの含有率は、ポリウレタンフォームでは 5.8%～8.0%と比較的多かったが、ポリスチレンフォームには残存していなかった。
- (2) 断熱材の引き剥がし作業時のフロンの放散量は、最大でも含有量の 13%程度である。また、既施工の断熱材を引き剥がしたものは、輸送により 1 日放置してもフロンがほとんど放散しなかった。これらの結果より、既施工の建築用断熱材中のフロンは、断熱材を引き剥がし、処理施設に輸送しても、回収率に大きく影響しないことが分かった。
- (3) フロン含有断熱材を焼却処理したところ、特定フロン、代替フロンとも、フロンの分解効率は 99.8%以上であった。

キーワード：フロン類、断熱材、放散比、産業廃棄物焼却炉

## The Collection and the Decomposition of Fluorocarbons in the Heat Insulator for Construction

TATSUICHI Sukehisa, UENO Hiroyuki, AMANO Saeko, NAKURA Hisao

### Summary

The possibility of the collection and the decomposition of fluorocarbons in the heat insulator for construction, were investigated, therefore the following results was obtained.

- (1) The content of fluorocarbons left to the heat insulator for construction was 5.8% ~ 8.0% in polyether foam. However, it did not remain in the polystyrene form.
- (2) The amount of the radiation of fluorocarbons when the heat insulator was peeled off, was about 13% of content at the maximum. Moreover, when the constructed heat insulator was peeled off, fluorocarbons were not radiated at one day by transportation. Therefore, when the heat insulator was transported to a processing institution, fluorocarbons does not influence a recovery rate.
- (3) When fluorocarbon in the heat insulator was incinerated, the decomposition rate of chlorofluorocarbons and hydrofluorocarbons were 99.8% or more.

**Key word** : fluorocarbons, heat insulator, radiation ratio, industrial waste incinerator

## 1 目的

### (1) はじめに

フロン類は、オゾン層破壊や地球温暖化の原因物質であり、家電リサイクル法やフロン回収破壊法により、電気冷蔵庫、業務用冷凍冷蔵庫、空調機器等は、廃棄時に、冷媒に使用されている特定フロン（CFC）や代替フロン（HCFC）を回収し、破壊することが義務づけられている。

一方、フロンは、断熱材にも発泡剤として含まれているが、断熱材中のフロンについては、電気冷蔵庫の断熱材中フロンが、家電リサイクル法により、廃棄時に回収・破壊することが義務づけられている以外は、法による規制措置が講じられていない。

断熱材中に残存するフロンは、その使用量からみて量的に多いと推定されており、例えば、建築用断熱材中に残存するフロン（CFC、HCFC）は全国で6万トン程度と試算されている<sup>1)</sup>。

このため、東京都では、建設リサイクルガイドライン<sup>2)</sup>により、建築用断熱材中の残存フロンが大気中に放出しないように断熱材を回収し、処理施設で破壊するように、発注者及び請負者に求めている。

当所では、断熱材中のフロンについて、環境省の委託を受け、16年度は、業務用冷凍冷蔵庫の断熱材中のフロンの残存状況と、家電リサイクル工場での回収・破壊の可能性を調査している<sup>3)</sup>。今回は、16年度に引き続き、建築用断熱材に残存しているフロンの回収及び破壊の可能性について調査を行った。

## 2 調査方法

### (1) 調査内容

建築物の断熱材は、電気冷蔵庫の断熱材のように処理施設内で解体されるのではなく、現場で引き剥がし、処理施設まで輸送する必要があるため、その間にフロンが放散するおそれがある。このため、本調査では、①断熱材中のフロン含有率と引き剥がす際のフロン放散量の調査、②引き剥がした断熱材の輸送を想定したフロン放散量の調査を行うとともに、③焼却処理による断熱材中フロンの分解効率の調査を行なった。また、④断熱材の引き剥がしに要した時間、費用等の調査も行なった。

### (2) 調査対象断熱材

鉄筋コンクリート製撤去予定建築物内の4部屋を使用

し、引き剥がし作業等を行なった。調査対象断熱材は、各部屋の天井に施工されていた断熱材と、調査用に新たに吹き付けた断熱材である。これらの断熱材及びフロンの種類等を表1に示す。断熱材のうち、ポリウレタンフォームは吹き付けタイプ、ポリスチレンフォームは押出法で成型したものを貼り付けたもので、使用フロンは、既施工断熱材は特定フロン、新たに吹き付けた断熱材は代替フロン（2種）である。

表1 調査対象断熱材及びフロンの種類

実験番号	測定場所	断熱材	フロン種類	想定厚さ mm	吹き付け時期
1	A室	ポリウレタンフォーム	CFC11	15	15年前
2	B室	ポリウレタンフォーム	CFC11	15	15年前
3	C室	ポリスチレンフォーム	CFC12	15	34年前
4	D室	ポリスチレンフォーム	CFC12	15	34年前
5	C室	ポリウレタンフォーム	HFC 2種	20	今回吹き付け
6	C室	ポリウレタンフォーム	HFC 2種	40	今回吹き付け
7	D室	ポリウレタンフォーム	HFC 2種	20	今回吹き付け
8	D室	ポリウレタンフォーム	HFC 2種	60	今回吹き付け
9	A室	ポリウレタンフォーム	HFC 2種	20	今回吹き付け

注) HFC2種は HFC245fa と HFC365mf

### (3) フロン含有率及び引き剥がし作業に伴うフロン放散量の調査

フロン放散量の算出のためには、3-(1)-エに示すように、断熱材の引き剥がし作業に要した時間、作業前後の室内フロン濃度、換気量等を測定する必要がある。また、断熱材中のフロン含有率と、引き剥がした断熱材重量を測定することにより、フロン含有量を求め、フロン放散比を算出できる。これらの調査方法を以下に示す。

#### ア 準備作業

引き剥がし作業を同一条件で行なうために、事前に、天井の解体作業を行い、既施工の断熱材を剥き出しの状態とした。また、新たな断熱材は、引き剥がし作業が完了後に、天井面の同一場所に、表1に示す想定厚さとなるように吹き付けを行ない調査に供した。

#### イ 換気量の測定

各部屋の換気量は、JISA1406「屋内換気量測定方法」に準拠して測定した。測定は、部屋の出入り口をテープ等で止め、換気が行なわれにくい状態にし、室内に注入したCO<sub>2</sub>の濃度（初期条件：約4,000ppm）の経時変化を求め、この結果より換気量を算出した。

#### ウ 断熱材の引き剥がし作業

換気量の測定と同様な条件下で、作業員がローリング

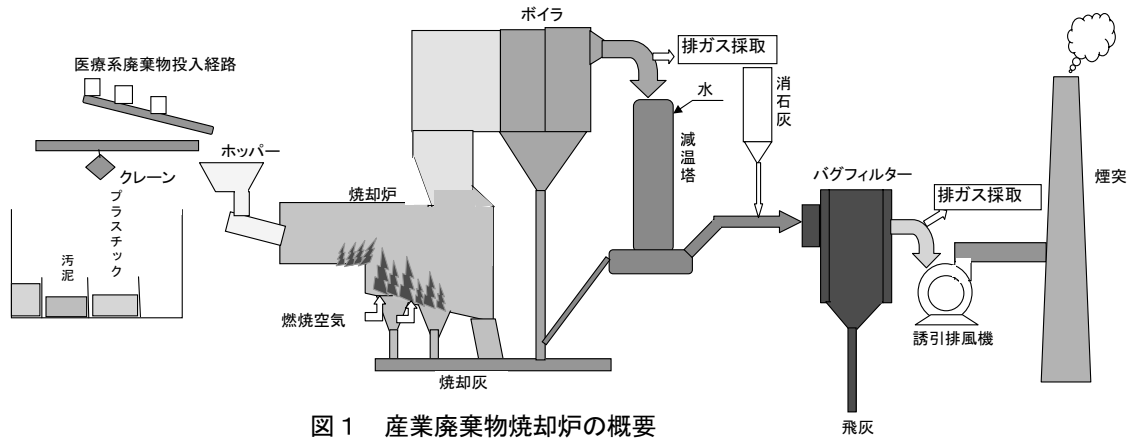


図1 産業廃棄物焼却炉の概要

タワー（作業台）に乗り、ケレン棒、電動ピック等を用いて断熱材の引き剥がし作業を行なった。作業に際しては、作業時間や作業内容の記録、引き剥がした断熱材の重量の計測等を実施した。

エ フロン濃度の測定等

原則として、引き剥がし作業の前と後に、室内空気をテフロンバッグに採取し、フロン濃度を測定した。また、フロン含有率の算出のために、引き剥がした断熱材の比較的大きな片を実験毎に3検体ずつ採取し、断熱材中央の断片を切り取り、重量を計測後、フロン濃度を測定した。これらのフロン分析方法は2-(7)に示す。

この他、引き剥がした断熱材から代表的な試料を30～50片程度採取し、容量と重量を計測し、その平均値から断熱材の比重を算出した。

(4) 輸送に伴うフロン放散量の調査

輸送に伴うフロン放散量は、引き剥がした断熱材をテドラバックに入れ、20km程度輸送して1日経過した後のバック内のフロン濃度を測定し、バッグ内の空気量に乗じることにより、引き剥がし作業後、処理までに1日要する場合のフロン放散量を推定した。また、2-(3)-エで求めた断熱材中のフロン含有量からフロン放散比も推定した。

(5) 引き剥がし作業に要した時間、費用等の調査

2-(3)-イの調査結果等に基づき、作業時間当たりの引き剥がし面積や、単位面積あたりの費用等を比較、検討した。

(6) 焼却処理による断熱材中のフロンの分解効率の調査

引き剥がしたフロン断熱材を用いて、焼却によりフロンの分解とそれに伴う分解生成物を調査した。焼却に用いた産業廃棄物焼却炉は処理能力65t/dであり、最高温度が950℃程度で運転され、減温塔、バグフィルター等

の排ガス処理設備を有している（図1参照）。

焼却炉へのフロン断熱材の投入は、ベルトコンベアで容器を一定量ずつ供給できる投入口より、フロン投入量を3段階に分けて表2の条件で実施した。

排ガスの採取は減温塔の前とバグフィルターの後より行った。

表2 断熱材の焼却条件

実験番号	フロン種類	断熱材投入重量Kg/h
①	CFC11	2.7
②	CFC11	5.4
③	CFC11	9.5
④	HFC245fa	3.3
	HFC365mfc	
⑤	HFC245fa	6.7
	HFC365mfc	
⑥	HFC245fa	11.1
	HFC365mfc	

(7) フロンの分析方法

ア テドラバック採取ガス中のフロンの分析方法

テドラバックに採取したガス中のフロンは以下のガスクロマトグラフ分析条件により分析した。CFC11の標準ガスはガス研製フロン混合ガス100ppm及び0.1ppmを使用した。また、HFCは標準品を窒素ガスで希釈して使用した。

① CFC11のガスクロマトグラフの分析条件

GC:HP5890 シリーズII INJ:230℃ DET (ECD):300℃  
 カラム: PoraBond Q 0.53mm×50m  
 オープン: 40℃(1分) - 5℃/分 - 110℃ - 20℃/分 - 230℃(5分)

キャリアーガス: He 220 kPa at 40℃  
 試料注入量: 1ml ガスタイトシリンジ

② HFCのガスクロマトグラフの分析条件

GC:HP5890 シリーズII INJ:230℃ DET (FID):300℃

カラム：PoraBond Q 0.53mm×50m  
 オープン：40℃(1分)－7℃/分－110℃－20℃/分  
 －230℃(5分)  
 キャリアーガス：He 220 kPa at 40℃  
 試料注入量：液体酸素により約1Lに濃縮した。

イ 断熱材中のフロン分析

断熱材中のフロン分析は、日本工業規格(案)の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を参考に前法<sup>3)</sup>と同様に行った。

3 結果及び考察

(1) フロン含有率及び引き剥がし作業に伴うフロン放出量の調査

ア 換気量の測定結果

各部屋の換気量の測定結果、及び換気量を部屋の容積で除した換気比率を、部屋の容積とともに表3に示す。換気比率は全般に小さかったが、部屋の容積の大きいB室は特に小さかった。また、C室とD室はほぼ同じ条件の部屋であったが、換気比率はかなり異なっていた。

表3 各部屋の換気量

場所	室内容積 m <sup>3</sup>	換気量 m <sup>3</sup> /h	換気比率 %/h
A室	61.5	11.4	19
B室	589.1	49.8	8
C室	220.6	22.7	10
D室	216.2	37.4	17

イ 断熱材の引き剥がし状況

断熱材の引き剥がし面積と重量の測定結果、及び比重から求めた容量、並びに(容量/面積)で求めた平均厚さを表4に示す。

表4 断熱材の引き剥がし状況

実験番号	場所	剥がし面積 m <sup>2</sup>	剥がし重量 kg	剥がし容量 m <sup>3</sup>	平均厚さ mm
1	A室	12.2	8.1	0.30	25
2	B室	105.7	90.4	3.35	32
5	C室	56.4	46.1	1.15	20
6			101.3	2.53	45
7	D室	55.9	52.6	1.32	24
8			138.2	3.46	62
9	A室	12.2	10.9	0.27	22

注1) 実験番号1、2の断熱材の比重：0.027 g/cm<sup>3</sup>

注2) 実験番号5以降の断熱材の比重：0.040 g/cm<sup>3</sup>

なお、実験番号3、4のポリスチレンフォームは押出法で成型したものであるため、厚さはそのままの15mmであった。

ウ 断熱材中のフロン含有率

断熱材中のフロン含有率を表5に示す。既施工の断熱材のうち、A室、B室はフロンが各8.0%、5.8%と、新たに吹き付けた断熱材と比較して半分以上の割合で残存していたが、実験番号3、4(表1参照)のC室、D室ではフロンは検出されなかった。C室、D室は、A室、B室よりも施工時期が古く、断熱材からのフロンの放散はポリウレタンフォームよりも、押出法ポリスチレンの方が早いため<sup>4)</sup>、C室、D室の試料ではフロンがなくなっていたと考えられる。また、新たな吹き付けの場合、HFC245faにHFC365mfcを混合して使用していた。これは、調査時期が気温の比較的高い9月であったため、沸点の低いHFC245fa(15℃)に、沸点の高いHFC365mfc(40℃)を比較的多く混合する必要があったためと考えられる。

表5 断熱材中のフロン含有率

実験番号	場所	CFC11	HFC245fa	HFC365mfc
1	A室	8.0	—	—
2	B室	5.8	—	—
5	C室	—	5.1	3.4
6		—	6.3	4.2
7	D室	—	5.0	3.4
8		—	5.0	3.2
9	A室	—	5.3	3.4

エ 放散フロン量の算出方法

換気により、室外からフロンを含まない空気が部屋に入り、断熱材の引き剥がし作業に伴い、フロンが部屋に放出され、換気量だけフロンが部屋から出ていくことになる。部屋のフロン濃度はこの差し引き分だけ上昇していく(図2、3)。簡単のために、各作業工程ごとの放散量は単位時間あたり一定と仮定し、室内は完全に混合されていると仮定した。

実際の引き剥がし作業は表6に示すように、引き剥がし作業の合間に休憩を含んで行われた。以下、物質収支から、放散フロン量推定の考え方を示す。

部屋の容積をV、換気量をv、時間tにおけるフロン濃度をcとする。例示的な作業工程をI、II、III、IV、V

とする（Ⅱ、Ⅳは休憩時間）。作業工程のフロン放散速度は、各工程で一定と仮定し、それぞれ  $K_{fi}$  ( $i=1, 3, 5$ ) とする。作業工程の模式図を図2、3に示す。

流入空気中のフロン濃度  $c_{in}$

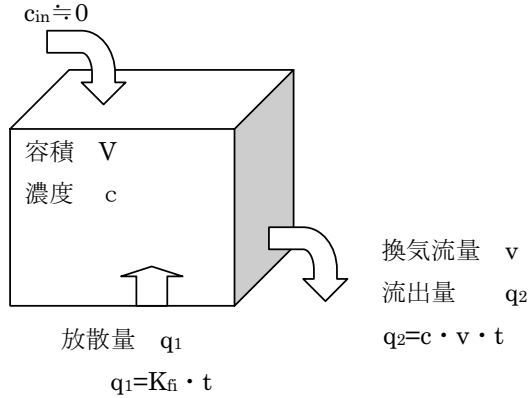


図2 フロン放散と換気の模式図

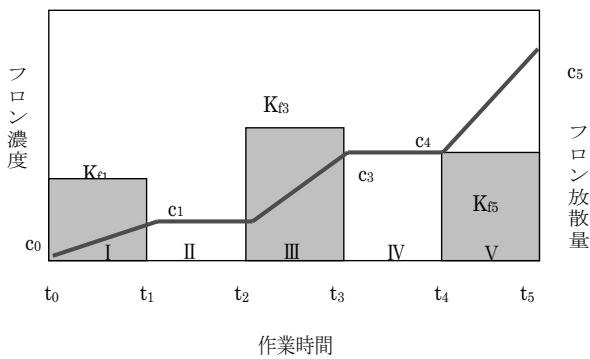


図3 作業工程の模式図

時間当たりのフロン放散量  $\Delta q_1$  と、換気による室外へのフロン流出量  $\Delta q_2$  から、物質収支によって、部屋の単位時間当たりの濃度変化は(3)式で表される。

$$\Delta q_1 = K_f \Delta t \dots (1)$$

$$\Delta q_2 = -cv \Delta t \dots (2)$$

$$\Delta c = \frac{(\Delta q_1 + \Delta q_2)}{V} \dots (3)$$

$$= \frac{K_{f\Delta} \Delta t - cv \Delta t}{V} \dots (4)$$

$$= \frac{1}{V} (K_{f\Delta} \Delta t - cv \Delta t) \dots (5)$$

(5)式より、最終的に作業工程中の部屋のフロン濃度の一般式が(6)式で示される。(一般式への変形の手順は付録に示す。)

$$c = \frac{K_{f1}}{v} + e^{c'} e\left(-\frac{v}{V}t\right) \dots (6)$$

(6)式より、作業工程  $t$  における測定されたフロン濃度  $c$  と  $V$ 、 $v$  より  $K_{fi}$  が求められる。

フロン放散量  $Q_{all}$  は次式により得られる。

$$Q_{all} = \sum_i K_{fi} t_i \dots (7)$$

ただし、 $t_i$  は各作業工程時間

オ 放散フロン量の推計

各実験の作業工程毎に、経過時間とフロン濃度測定値、及び(6)、(7)式から求めた放散速度と放散量を表6に示した。

次に得られた放散量と、フロン含有率から求めた断熱材中のフロン重量とから、引き剥がし作業によって発生したフロンの放散比（放散重量／断熱材中の重量×100）を計算し、表7に示した。

表6 測定フロン濃度と計算された放散フロン量

実験番号	場所	作業工程	経過時間 (分)	測定フロン濃度 ppm			放散速度 (L/min)			放散フロン量 g		
				CFC11	HFC 245fa	HFC 365mfc	CFC11	HFC 245fa	HFC 365mfc	CFC11	HFC 245fa	HFC 365mfc
1	A室	開始 剥がし	0 64	0.011 68			0.072			28.3		
2	B室	開始 剥がし 休憩 剥がし 昼休み 剥がし 休憩 剥がし 計	0 85 35 82 61 117 37 126	3.5 10.82 10.3 37.1 34 70.8 67.2 88.9			0.080 0.212 0.229 0.166			41.5 107 164 129 442		
5	C室	開始 剥がし	0 145	0.11 169	0.07 91		0.290	0.156			252	150
6	C室	開始 剥がし 休憩 剥がし 昼休み 剥がし 計	0 61 31 92 60 58	0.8 36 34.1 130 129 157	0.2 17 16.1 69 67 82		0.137 0.261 0.161	0.065 0.143 0.085		50 144 56 250	26 87 33 146	
7	D室	開始 剥がし 休憩 剥がし 休憩 剥がし 計	0 94 22 57 63 57	0.13 101 98.4 162 145.7 186	0.06 52 48.8 83.5 75 95		0.265 0.336 0.257	0.137 0.173 0.129		149 115 88 351	85 65 49 199	
8	D室	開始 剥がし 休憩 剥がし 剥がし 計	0 65 27 135 65	0.1 144 137.5 196 252	0.08 76 72.6 101 130		0.525 0.199 0.326	0.277 0.100 0.169		204 160 127 492	119 89 72 281	
9	A室	開始 剥がし	0 72	0.02 82	0.03 42		0.078	0.040			35	19

注) フロン濃度の斜体の値は前後の測定値から推定した値

表7 断熱材のフロン放散量と放散比

実験番号	場所	断熱材実厚さmm	発泡剤の種類	断熱材中のフロン重量 kg	フロン放散量 g	放散比 %	
1	A室	24.6	CFC11	0.65	28.3	4.4	
2	B室	31.7	CFC11	5.24	442	8.4	
5	C室	20.4	HFC245fa	2.35	252	10.7	10.3
			HFC365mfc	1.57	150	9.6	
6	C室	44.9	HFC245fa	6.38	250	3.9	3.7
			HFC365mfc	4.26	146	3.4	
7	D室	23.5	HFC245fa	2.63	352	13.4	12.5
			HFC365mfc	1.79	199	11.1	
8	D室	61.9	HFC245fa	6.91	492	7.1	6.8
			HFC365mfc	4.42	281	6.4	
9	A室	22.3	HFC245fa	0.58	34.5	5.9	5.6
			HFC365mfc	0.37	19	5.1	

各室の引き剥がし作業によるフロンの放散比は最大でも、13%程度であった。C室、D室の場合、断熱材の厚さが40、60mmの方が20mmに比べ放散比が半数近く又はそれを下回る値となっていた。理由として、断熱材の厚さが厚い方が断熱材を剥ぎ取る形状が大きく、体積に対する切断面積が小さいため、フロンの放散比が小さくなることが考えられる。また、これらの形状の違いに加え、引き剥がし道具として用いた電動ピックの方がケレン棒より大きく引き剥がせたので、これらの道具の使用時間も影響していた。

同じ断熱材から出るHFC245faとHFC365mfcとで放散比に相違があるのは、HFC245faの沸点がHFC365mfcより低いのが、一つの理由と考えられる。

(2) 輸送時の断熱材からのフロン放散比の推定

テドラバッグに断熱材を入れて、20km程度輸送し1日経過後にバッグ内のフロン濃度を測定し、フロン放散量を求めた。このフロン放散量と断熱材に含有されるフロン重量から放散比を求め表8に示した。

表8 輸送時の断熱材からのフロン放散比

実験番号	場所	フロンの種類	放散比 %
1	A室	CFC11	0.3
2	B室	CFC11	0.5
5	C室	HFC245fa	4.7
6		+HFC365mfc	3.1
7	D室	HFC245fa	3.8
8		+HFC365mfc	0.8
9	A室	HFC245fa +HFC365mfc	1.6

1日経過後に放散したフロン量は、放散比で4.7%以下であり、どの実験も、引き剥がし作業時のフロン放散比を下回っており、特に、既施工の断熱材のフロンの放散比は小さかった。これは、引き剥がし作業時は、電動ピックなどで直接カットされた断面から放散されるので、既施工と新たな吹き付けとの差が少ないのに対し、放置時は、新たな吹き付けの場合、既施工に比べ、断熱材中のフロンが飛び出し易いなどの要因が考えられる。

(3) 引き剥がし作業に要した時間、費用

断熱材の引き剥がしに要した作業時間、延べ作業時間、1日当たりの作業費と、これらの値と表4の引き剥がし面積に基づき算出した作業効率及び単位作業費を表9に示す。

また、引き剥がし器具別の作業時間を表10に示す。

表9 引き剥がし作業の作業効率及び単位作業費

実験番号	部屋	厚さ (mm)	作業時間 (min)	延べ作業時間 (min)	作業費 (円/日)	作業効率 (m <sup>2</sup> /人・h)	単位作業費 (円/m <sup>2</sup> )
1	A室	25	64	107	51,000	6.8	557
2	B室	32	410	693	123,000	9.2	993
3	C室	15	265	590	94,000	5.7	920
4	D室	15	150	235	71,000	14.3	397
5	C室	20	145	290	84,000	11.7	450
6	C室	45	211	412	64,000	8.2	499
7	D室	24	208	300	62,000	11.2	481
8	D室	62	265	495	64,000	6.8	632
9	A室	22	72	72	62,000	10.1	763

注) 作業効率：(引き剥がし面積/延べ作業時間) × 60 (min/h)  
 単位作業費：作業費 × {作業時間 / (60min × 8h)} / 引き剥がし時間

表10 引き剥がし器具別作業時間

実験番号	場所	器具別引き剥がし総作業時間 min	
		電動ピック	ケレン棒、パール
1	A室	-	107
2	B室	658	35
3	C室	58	532
4	D室	90	145
5	C室	145	145
6		364	48
7	D室	150	150
8		495	-
9	A室	57	15

なお、表9において各実験番号の作業時間は表6の剥がし時間の合計、延べ作業時間は表10の引き剥がし器具別の作業時間の合計である。また、作業費は人件費と機器損料が主体であり、人件費の占める割合が大きい。

作業効率は、各部屋の作業性、断熱材の厚さ、引き剥がし器具などの相違により、最大で2.5倍程度異なっていた。なお、同一部屋の場合に、作業効率は、断熱材の厚い方が低下し、厚さがほぼ同一であれば、電動ピックの使用割合の高い方が向上する傾向にあった。

また、単位作業費は、作業効率にほぼ反比例し、作業効率と同じく、最大で2.5倍程度異なっていた。ただし、A室の1と9のように作業時間が短い場合には、機器損量の寄与が大きくなり、作業効率の良い9の方が割高となるケースもあった。

いずれにしても、断熱材の引き剥がし作業が特別作業となったため、作業効率や単位作業費の変動幅が大きくなり、フロン回収へ施策化を図るためには、作業方法の検討が必要になると考える。

表 11 産業廃棄物焼却炉におけるフロン断熱材の焼却結果

実験番号	フロンの種類	1時間あたりの 投入フロン重量 g	排ガス量 m <sup>3</sup> N/h	排出フロン 推定濃度 ppm	排出ガスフロ ン濃度 ppb	分解率 %
①	CFC11	158	16900	1.52	0.13	99.9 以上
②	CFC11	315	15400	3.33	0.09	99.9 以上
③	CFC11	551	16500	5.44	0.14	99.9 以上
④	HFC245fa	170	16800	1.69	1以下	99.9 以上
	HFC365mfc	113		1.02	2以下	99.8 以上
⑤	HFC245fa	340	17100	3.32	1以下	99.9 以上
	HFC365mfc	226		2.00	2以下	99.9 以上
⑥	HFC245fa	566	16700	5.67	1以下	99.9 以上
	HFC365mfc	377		3.42	2以下	99.9 以上

(4) フロン断熱材の焼却実験

産業廃棄物焼却炉を用いた断熱材フロンの焼却実験結果を表 11 に示した。排出フロン推定濃度は、投入フロン重量と排ガス量から算出した。この排出フロン推定濃度と実測フロンした排ガス濃度からフロンの分解率を求めた。

その結果、各フロンの分解率は各条件とも 99.8%以上を示し、産業廃棄物焼却炉において焼却操作をすることによりフロンはほとんどが分解することが確認された。なお、周辺環境大気中のフロンを実測したところ、CFC11 濃度は平均 0.17ppb であり、HFC245fa では 1ppb 以下、HFC365mfc では 1ppb 以下であった。排出ガス中のフロン類は周辺大気濃度と同程度である。

フロンの焼却により構成元素から生じた副生成物についても測定した。その結果、塩化水素濃度は、産業廃棄物焼却炉に同時に投入された医療系廃棄物等の影響で処理装置前では数百 ppm であったが、排ガス処理後の濃度は消石灰と反応して数 ppm 程度に低下しており、ダイオキシン類濃度も排出基準(1ng-TEQ/m<sup>3</sup>N)に比較して低かった。また、フッ化水素はボイラー出口で 10mg/m<sup>3</sup>N を超える場合もあったが、処理後は 1 mg/m<sup>3</sup>N 未満であった。

4 まとめ

建築用断熱材中のフロン類の回収・破壊の可能性を検討するために、断熱材中のフロン含有量と引き剥がし作業時のフロン放散量、輸送をした場合のフロン放散量、回収した断熱材を焼却処分したときのフロン分解効率等を調査した結果、次のことが分かった。

(1) 既施工の断熱材中のフロン含有量を調査した結果、ポリスチレンフォーム中には残存していなかったが、ポリウレタンフォーム中には 5.8%~8.0% (W/W) と、新たに吹き付けた断熱材と比較しても半分以上の割合で残存していた。

(2) 断熱材の引き剥がし作業によるフロンの放散比は、最大でも 13%程度であるが、作業条件により異なる可能性が示唆された。また、同一作業条件下では、断熱材が厚いほど、放散比が低下する傾向にあった。

(3) 断熱材を輸送し、1 日放置したときのフロンの放散比を求めた結果、引き剥がし作業時よりも小さい値となった。特に、既施工の断熱材の場合は、ほとんどフロンが放散せず、処理施設までフロンを放散させずに輸送することが可能なことを示唆された。

(4) 断熱材の引き剥がし作業に係る作業効率、単位作業費は、同一部屋の場合は、断熱材の厚さや使用器具との関連がみられたが、部屋により作業性が異なることもあり、変動幅が大きかった。

(5) 断熱材中のフロンを焼却処理した結果、フロンの分解率は、特定フロン、代替フロンとも 99.8%以上になることを確認した。

以上のことから、建築物に使用されている断熱材のうち、ポリウレタンフォームについては、現場で引き剥がし、輸送して焼却処理することにより、残存フロンの大部分を破壊処理することが可能であると考えられる。しかし、今回の調査のように、断熱材を特別に引き剥がす場合は、化粧版や配管等の取り外しなど、断熱材を剥き出しにする準備作業も必要なことから、コストがかかり、



コストの変動も大きくなることを見込まれる。このため、今後は、特別作業ではなく、解体現場での建築廃棄物リサイクルに係る作業の中で、フロン含有断熱材（ポリウレタンフォーム系）を分別することによるフロン回収の可能性について検討する必要があると考える。

なお、この報告は環境省委託「平成 17 年度断熱材フロン回収システム実証調査報告書」の一部である。

### 参考文献

- 1) 化学物質安全確保・国際規制対策推進等（断熱材フロン回収・処理調査）成果報告書、建材試験センター：（平成 17 年 3 月）
- 2) 東京都建設リサイクルガイドライン：（平成 16 年 4 月）
- 3) 上野広行、樋口雅人：業務用冷凍冷蔵機器からの断熱材フロン回収について、東京都環境科学研究所年報 2005, pp.43-52 (2005)
- 4) 平成 15 年度建材用断熱材フロン対策検討調査報告書、財団法人 建築環境・省エネルギー機構：（平成 16 年 4 月）

### 付録

#### 放散フロン量の算出計算の手順

本文の図 3 の条件を物質収支からの計算式で以下に示す。

作業工程ごとの放散量（ $\Delta q_1$ ）は単位時間あたり一定と仮定すると、(1)で表される。また、室内は完全に混合されていると仮定すると、換気による室外への流出は(2)で表される。物質収支から、単位時間当たりの濃度変化は(3)で表される。

$$\Delta q_1 = K_f \Delta t \dots (1)$$

$$\Delta q_2 = -cv \Delta t \dots (2)$$

$$\Delta c = \frac{(\Delta q_1 - \Delta q_2)}{V} \dots (3)$$

$$= \frac{K_{f\Delta} \Delta t - cv \Delta t}{V} \dots (4)$$

$$= \frac{1}{V} (K_{f\Delta} \Delta t - cv \Delta t) \dots (5)$$

(5) を変形して

$$\frac{1}{\left(c - \frac{K_{f1}}{v}\right)} \Delta c = -\frac{v}{V} \Delta t \dots (6)$$

ここで、 $\Delta c = dc$  ,  $\Delta t = dt$  とする。

$$\frac{1}{\left(c - \frac{K_{f1}}{v}\right)} dc = -\frac{v}{V} dt \dots (7)$$

ここで、

$$u = c - \frac{K_{f1}}{v} \dots (8)$$

と置くと、

$$du = dc \dots (9)$$

であるから、(7)式は次のようになる。

$$\frac{1}{u} du = -\frac{v}{V} dt \dots (10)$$

(10)は積分できて、

$$\ln u = -\frac{v}{V} t + c^1 \dots (11)$$

ここで、 $c^1$ は積分定数

$$\therefore u = e^{c^1} e^{\left(-\frac{v}{V} t\right)} \dots (12)$$

(8)を代入して、整理すると、次の一般式が得られる。

$$c = \frac{K_{f1}}{v} + e^{c^1} e^{\left(-\frac{v}{V} t\right)} \dots (13)$$