

Title	地球温暖化抑制策としてのフルオロカーボン類の回収・処分可能性の評価： 現状ベースと対策後のケース・スタディー
Sub Title	
Author	花岡, 達也(Hanaoka, Tatsuya) 石谷, 久(Ishitani, Hisashi) 松橋, 隆治(Matsuhashi, Ryuji) 吉田, 好邦(Yoshida, Yoshikuni) 疋田, 浩一(Hikita, Koichi)
Publisher	慶應義塾大学産業研究所
Publication year	2000
Jtitle	KEO discussion paper. G : 『アジア地域における経済および環境の相互依存と環境保全に関する学際的研究』(KEO discussion paper. G : "Inter-disciplinary studies for sustainable development in Asian countries"). No.G-103
JaLC DOI	
Abstract	概要1974年にCFCによるオゾン層の破壊が指摘されて以来、先進国においてCFCの生産が1995年末までに全廃された。現在までは、オゾン層の保護を目的としてHCFCまたはHFCへと代替対策が取られてきたが、フルオロカーボン類による環境負荷は、オゾン層破壊だけでなく地球温暖化へ大きな影響を与える点にある。したがって、温暖化抑制の観点、からもフルオロカーボン類の対策を検討する必要がある。フルオロカーボン類は冷媒、断熱材、発泡剤、洗浄剤およびエアゾールなど様々な用途に使用されている。そこで、本研究では回収技術が導入されている冷媒用フルオロカーボン類に注目し、冷媒の将来の廃棄量を予測し、回収・破壊処理による温暖化抑制効果を検討した。その結果、評価対象機器中に充填されている冷媒の1999年から2010年までの各年のCO2換算廃棄量は、1990年の日本の1次エネルギー消費によるCO2排出量のそれぞれ7～3%に相当した。したがって、通常の温暖化抑制策は、長期的な取り組みにより効果が得られるのに対して、冷媒の回収は、短期・中期的に大きな効果が得られる優先順位の高い温暖化抑制策であることがわかった。ただし、2000年以降冷媒のCO2換算総廃棄量は急速に減少するため、早急に冷媒の100%回収を目指す必要があることがいえる。
Notes	表紙上部に"日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業複合領域「アジア地域の環境保全」"の表示あり
Genre	Technical Report
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA12113622-00000103-0001">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA12113622-00000103-0001</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

地球温暖化抑制策としての  
フルオロカーボン類の回収・処分可能性の評価  
～現状ベースと対策後のケース・スタディー～

花 岡 達 也  
石 谷 久  
松 橋 隆 治  
吉 田 好 邦  
疋 田 浩 一

No.G-103

学振未来 WG2-36

# 地球温暖化抑制策としてのフルオロカーボン類の

## 回収・処分可能性の評価

### ～現状ベースと対策後のケース・スタディー～

花岡 達也、石谷 久、松橋 隆治、吉田 好邦、疋田 浩一

2000年6月

#### キーワード

フルオロカーボン類(CFC、HCFC、HFC)、冷媒、LCA、地球温暖化抑制策、  
回収対策、破壊処理対策

#### 概要

1974年にCFCによるオゾン層の破壊が指摘されて以来、先進国においてCFCの生産が1995年末までに全廃された。現在までは、オゾン層の保護を目的としてHCFCまたはHFCへと代替対策が取られてきたが、フルオロカーボン類による環境負荷は、オゾン層破壊だけでなく地球温暖化へ大きな影響を与える点にある。したがって、温暖化抑制の観点からもフルオロカーボン類の対策を検討する必要がある。

フルオロカーボン類は冷媒、断熱材、発泡剤、洗浄剤およびエアゾールなど様々な用途に使用されている。そこで、本研究では回収技術が導入されている冷媒用フルオロカーボン類に注目し、冷媒の将来の廃棄量を予測し、回収・破壊処理による温暖化抑制効果を検討した。その結果、評価対象機器中に充填されている冷媒の1999年から2010年までの各年のCO<sub>2</sub>換算廃棄量は、1990年の日本の1次エネルギー消費によるCO<sub>2</sub>排出量のそれぞれ7～3%に相当した。したがって、通常の温暖化抑制策は、長期的な取り組みにより効果が得られるのに対して、冷媒の回収は、短期・中期的に大きな効果が得られる優先順位の高い温暖化抑制策であることがわかった。ただし、2000年以降、冷媒のCO<sub>2</sub>換算総廃棄量は急速に減少するため、早急に冷媒の100%回収を目指す必要があることがいえる。

# 地球温暖化抑制策としてのフルオロカーボン類の

## 回収・処分可能性の評価

### ～現状ベースと対策後のケース・スタディー～

花岡 達也<sup>\*</sup>、石谷 久<sup>†</sup>、松橋 隆治<sup>\*</sup>、吉田 好邦、足田 浩一<sup>‡</sup>

2000年6月

#### 1. はじめに

1974年にCalifornia大学のMolinaら<sup>[1]</sup>よりchlorofluorocarbon（以下CFCと略記）によるオゾン層の破壊が初めて指摘されて以来、国際的な協力によって、先進国においてCFCの生産は1995年末までに全廃された。

しかし、既設のCFC使用機器は現在もなお稼働しているため、これらの機器中に充填されたCFCを回収し、適正な処理をおこなうことが、オゾン層保護のための重要な課題となる。

一方、フルオロカーボン類による環境負荷は、オゾン層破壊だけでなく、地球温暖化へ大きな影響を与える点にあり、CFCは1kg当りの温室効果がCO<sub>2</sub>よりも約4000～10000倍とほるかに大きい<sup>[2][3]</sup>。また、hydrochlorofluorocarbon（以下HCFCと略記）や塩素原子を全く含まずオゾン層を破壊しないhydrofluorocarbon（以下HFCと略記）も同様に、温室効果がCO<sub>2</sub>の約500～3000倍である。したがって、オゾン層保護だけでなく、温暖化抑制の観点からもフルオロカーボン類に対する対策を検討する必要がある。特に、先進国においてCFCの生産は全廃されたが、途上国においては依然使用が許可されているため、これらのCFCを回収し、適正な処理をおこなうことはオゾン層保護だけでなく、地球温暖化抑制のためにも重要であり、早急に対応する必要がある。

そこで、本研究ではフルオロカーボン類の将来の廃棄量を予測し、それらの回収、運搬および破壊処理によるCO<sub>2</sub>排出量を考慮して、回収・破壊処理による温暖化抑制策としての効果を評価することを目的とする。

---

<sup>\*</sup> 東京大学大学院新領域創成科学研究科

<sup>†</sup> 東京大学大学院工学系研究科

<sup>‡</sup> 慶應義塾大学産業研究所

## 2. 評価対象機器の設定と評価方法

### 2.1 評価対象機器の設定

フルオロカーボン類は冷媒用・断熱材用・発泡剤用・洗浄用およびエアゾール用など様々な用途に使用されている。そこで、1985年から1998年までの時系列データ<sup>図2.1</sup>をみると、1991年頃までは冷媒、エアゾール、発泡剤（断熱材を含む）、洗浄剤の出荷量の比率はおおよそ20:5:25:50であったが、CFCの代替対策が進められると同時に洗浄剤の用途が急速に減少したため、現在の出荷比率はおおよそ60:5:25:10と冷媒用の比率が大きく拡大している。また、冷媒は密閉された機器内で使用され、気体または液体の状態であるため技術的に回収が実施しやすいという利点がある。そこで本研究では、冷媒の使用機器に限定し、表-2.1を評価対象とする。

ただし、これら対象機器中の冷媒は冷媒用全体の一部分であり、1985年から1998年までの冷媒用総出荷量の30～50%に相当する。その他にも、航空機および列車用空調機、船舶用冷凍機、その他特殊大型施設の冷凍冷蔵機器および空調機器などに使用されているが、出荷台数や冷媒充填量などのデータの入手が困難なため、本研究では検討の対象外とする。また、京都議定書において、フルオロカーボン類のうちperfluorocarbon(PFC)やSulphur hexafluorideも温室効果ガスとして削減対象物質に指定されたが、本研究では冷媒を分析の対象としているため、ここでの検討の対象外とする。

表-2.1 評価対象の機器の設定

評価対象	分類	詳細
冷蔵庫	冷蔵庫	家庭用冷蔵庫
エアコン	カーエアコン	乗用車、トラック、バス
	ルームエアコン	小型ルームエアコン 中・大型ルームエアコン パッケージエアコン
業務用 冷凍空調 機器	大型冷凍空調機器 類	遠心式冷凍機 チリングユニット
	コンデンシングユ ニット類	輸送用冷凍冷蔵ユニット コンデンシングユニット 冷凍冷蔵ユニット
	一体型ショーケー ス類	内蔵型冷凍冷蔵ショーケース 別置型冷凍冷蔵ショーケース 業務用冷凍庫、製氷機、冷水機
販売機	自動販売機	飲料用自動販売機
その他	除湿機	除湿機

### 2.2 評価方法

#### 2.2.1 新規出荷台数の予測方法

冷媒用フルオロカーボン類は、空調機器および冷凍冷蔵機器等の冷媒として使用されている。そこで、表-2.1に定めた各機器の将来の出荷台数を予測することにより、それら機器内に充填さ

れている冷媒の将来の出荷量を算出する。

ここで、各機器の出荷台数が国内総生産の影響を受けると考え、(1)式を用いて新規出荷台数  $X_t$  を予測する。

$$\frac{X_t}{X_0} = A \left( \frac{GDP_t}{GDP_0} \right)^\alpha \quad \dots\dots (1)$$

$A$  ; 定数       $\alpha$  ; 所得弾性値

$X_0, GDP_0$  ; 分析初年度のデータ

(1)式の両辺の対数を取り、既存のデータを与えて回帰分析をおこなうことで、これらのパラメータを決定する。そして、(1)式に将来の予測された国内総生産を与えることにより、将来の新規出荷台数  $X_t$  を予測することができる。

ただし、評価対象機器が他の機器に代替されるなど、その出荷台数が GDP 以外の影響を受けると考えられる場合は、(2)式を用いる。ここで、 $Y$  は対象機器に影響を与える機器の出荷量を表す。

$$\frac{X_t}{X_0} = A \left( \frac{GDP_t}{GDP_0} \right)^\alpha \left( \frac{Y_t}{Y_0} \right)^\beta \quad \dots\dots (2)$$

これらの式を用いて算出された将来の各機器の出荷台数に対して、冷媒充填量を掛け合わせるにより、将来の冷媒用フルオロカーボン類の出荷量を求める。

## 2.2.2 廃棄量の予測方法<sup>[7]</sup>

冷媒の回収による温暖化抑制効果を検討するには、まず各機器からの将来の廃棄量を予測する必要がある。そこで、各機器の市場における残存率が、寿命分布としてよく用いられるワイブル分布に従うものとし、各年の廃棄量を次のように求める。

$\gamma$  年に出荷された寿命  $T$  年の機器  $i$  が、 $\tau$  年において市場で利用されている確率は、ワイブルのパラメータを  $m$  とすると次式で表せる。

$$R(\tau - \gamma) = \exp\left[-L(m)\left(\frac{\tau - \gamma}{T}\right)^m\right] \quad \dots\dots(3)$$

$$\text{ただし、} L(m) = \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \right\}^m \quad \dots\dots(4)$$

ここで、機器の使用時における冷媒漏洩率  $\Omega$  [%/台・年] を考慮すると、1 台当りの初期の冷媒充填量を  $Q_\gamma$  としたとき、 $\tau$  年における充填量  $Q_\tau$  は次のように表せる。

$$Q_\tau = Q_\gamma \times (1 - \Omega)^{\tau - \gamma} \quad \dots\dots (5)$$

したがって、 $\gamma$  年におけるある機器の出荷量を  $S_\gamma$  とすると、 $\tau$  年度 ( $\tau$  年から  $\tau + 1$  年の期間) に廃棄される冷媒の量  $w_\tau$  は次のようにして求められる。

$$w_\tau = S_\gamma \times \{R(\tau - \gamma) - R(\tau + 1 - \gamma)\} \times Q_\tau \quad \dots\dots (6)$$

以上より、 $\tau$ 年度における総廃棄量 $W_\tau$ は、 $\tau$ 年以前に出荷された機器の $\tau$ 年時点までの廃棄量 $w_\tau$ の総和となる。ただし、 $t_0$ を分析初年度とする。

$$W_\tau = \sum_{\gamma=t_0}^{\tau} [S\gamma \times \{R(\tau - \gamma) - R(\tau + 1 - \gamma)\} \times Q_\tau] \quad \cdots(7)$$

この冷媒廃棄量に、使用されている冷媒の GWP を掛け合わせることによって、CO<sub>2</sub>換算廃棄量が求められる。

### 3. 分析に関する前提条件の設定

#### 3.1 基礎データの設定

##### 3.1.1 評価対象機器の基礎データ<sup>図9-10[11]</sup>

各機器の平均寿命、冷媒充填量、初期冷媒、代替冷媒およびその移行比率を表-3.1 および表-3.2 に示す。ただし、下記の条件のもとに設定した。

- ・冷媒充填量は同一製品でも能力や容量により異なるが、各業界によって算出された代表的な値を用いる。
- ・カーエアコン、ルームエアコン、家庭用冷蔵庫および自動販売機の平均寿命は、ワイブル関数を用いて保有台数を推計し、その推計値が保有台数の実データと最適に合うように、最小二乗法を用いて平均寿命の値を決定する。その他の機器については、保有台数のデータが入手困難なため、平均寿命は文献[8]を参考に設定する。
- ・初期冷媒から代替冷媒への移行比率は文献[8]を参考に仮定する。ただし、HCFC を使用している場合は、モントリオール議定書で定められた削減スケジュールに間に合うように、2000 年以降、年間 10% ずつ新規代替冷媒へ移行すると仮定する。

ところで、将来的には新規代替冷媒に HFC 系混合冷媒や非フロン系冷媒が利用される可能性が考えられるが、しかし、新規代替冷媒の候補は未定であり、現在はまだ実用化されていないため、現在の冷媒が引き続き使用されると仮定して分析をおこなう。

表-3.1 初期冷媒が CFC の機器に関する仮定<sup>図9-10[11]</sup>

対象機器	充填量 [kg]	大気寿命 [年]	初期冷媒	代替冷媒	代替への移行比率 (初期:代替)			
					1992	1993	1994	1995
家庭用冷蔵庫(冷媒)	0.15	13.3	CFC-12	HFC-134a	10:0	7:3	5:5	2:8
家庭用冷蔵庫(断熱材)	0.6	13.3	CFC-11	HCFC-141b	10:0	7:3	5:5	2:8
乗用車用エアコン	0.75	11.9	CFC-12	HFC-134a	9:1	6:4	2:8	0:10
トラック用エアコン	0.75	8.5	CFC-12	HFC-134a	9:1	6:4	2:8	0:10
バス用エアコン	4.2	12.4	CFC-12	HFC-134a	9:1	6:4	2:8	0:10
遠心式冷凍機	420	25	CFC-11	HCFC-123	10:0	8:2	7:3	0:10
輸送用冷凍ユニット	3	6	R-502	HCFC-22	8:2	7:3	5:5	3:7
輸送用冷蔵ユニット	2.7	7	CFC-12	HFC-134a	8:2	7:3	6:4	3:7
半密閉型コンデンシングユニット	32	10	R-502	HCFC-22	10:0	4:6	0:10	0:10
密閉型コンデンシングユニット	2.2	10	CFC-12	HCFC-22	10:0	5:5	3:7	2:8
冷凍冷蔵ユニット (冷凍用)	2	10	R-502	HCFC-22	10:0	10:0	3:7	0:10
冷凍冷蔵ユニット (冷蔵用)	2	10	CFC-12	HCFC-22	10:0	10:0	3:7	1:9
内蔵型冷凍ショーケース	1.7	10	R-502	HCFC-22	10:0	3:7	2:8	1:9
内蔵型冷蔵ショーケース	0.45	10	CFC-12	HCFC-22	10:0	7:3	5:5	3:7
別置型冷凍ショーケース	14.4	10	R-502	HCFC-22	10:0	3:7	2:8	1:9
業務用冷蔵庫	0.4	10	CFC-12	HFC-134a	10:0	10:0	8:2	5:5
製氷機	0.3	8	CFC-12	HCFC-22	10:0	8:2	5:5	0:10
冷水機	0.1	10	CFC-12	HFC-134a	10:0	7:3	5:5	2:8
自動販売機	0.3	7.5	CFC-12	HCFC-22	10:0	7:3	5:5	2:8
除湿機	0.1	8	CFC-12	HFC-134a	10:0	7:3	5:5	2:8

注)家庭用冷蔵庫は、冷媒だけでなく断熱材も評価対象に含める。



表-3.2 初期冷媒が HCFC の機器に関する仮定<sup>[6]</sup>

対象機器	充填量 [kg]	大気寿命 [year]	初期冷媒	代替冷媒	代替への移行比率
小型ルームエアコン	0.7	13.2	HCFC-22	R410A	2000 年以降、年間 10%ずつ 代替冷媒へ移行する。
中・大型ルームエアコン	0.83	12	HCFC-22	R410A	
パッケージエアコン	5.4	10	HCFC-22	R410A	
チリングユニット	30	15	HCFC-22	HFC 系	
別置型冷蔵ショーケース	7	10	HCFC-22	HFC 系	

注) 「HFC 系」とは、「HFC-134a」と仮定する。

### 3.1.2 環境負荷データ<sup>[2]</sup>

評価対象となるフルオロカーボン類の環境負荷データを表-3.3 に示す。本研究では、最も代表的な温室効果ガスである CO<sub>2</sub> を基準物質としたときの地球温暖化係数 (Global Warming Potential ; 以下 GWP と略記) を用いることとし、GWP100 年値を使用する。

また、オゾン層破壊係数 (Ozone Depletion Potential ; 以下 ODP と略記) を用いて、オゾン層破壊への影響量の計算をおこなう。ただし、ODP とは CFC-11 のオゾン層破壊能力を基準とした、他のフルオロカーボン類のオゾン層破壊能力を表している。

表-3.3 フルオロカーボン類の環境負荷データ<sup>[2]</sup>

種類	大気寿命	地球温暖化係数 (GWP)	オゾン層破壊係数 (ODP)
CFC-11	50	4000	1
CFC-12	102	8500	1
R-502	—	5600	0.344
HCFC-22	13.3	1700	0.055
HCFC-141b	9.4	630	0.11
HCFC-123	1.4	93	0.02
HFC-134a	14.6	1300	0
R-410A	—	1700	0

注) ただし、GWP は 100 年値を用いる。

## 3.2 分析の前提条件の設定

### 3.2.1 回帰分析における条件<sup>[12][13][14][15][16][17][18][19][20][21]</sup>

主に実質国内総生産<sup>[13]</sup>を説明変数とし、(1)式または(2)式を用いて各機器の新規出荷台数を予測する。ただし、次の仮定のもとで回帰分析をおこなうものとする。

- 乗用車、トラック、バスについて、新車登録台数と新規出荷台数は同様の意味のものとし、新車登録台数を用いて計算をおこなう。また、エアコン搭載率が 100%搭載と仮定して分析をおこなう。
- トラックおよびバスは、1991 年から保有台数が一定する傾向にあるため、過去 5 年間の

平均値をとり、保有台数がその値を保つように新規出荷台数を求める。

- c. 遠心式冷凍機およびチリングユニットは、吸収式冷凍機の増加に伴い出荷台数が減少するため、吸収式冷凍機の出荷台数を説明変数に加え、(2)式を用いる。
- d. パッケージエアコンは、1990 年以降出荷台数が減少し、ビル空調設備の一体化による影響と考え、吸収式冷凍機の出荷台数を説明変数に加え、(2)式を用いる。
- e. コンデensingユニットは、冷凍冷蔵ユニットや別置型冷凍冷蔵ショーケースなどと同時に使用される。そこで、回帰分析によって高い相関が得られた冷凍冷蔵ユニットの出荷台数を説明変数に加え、(2)式を用いる。
- f. 内蔵型冷凍冷蔵ショーケースは、別置型へと代替され、出荷台数が 1990 年以降急減するため、別置型の出荷台数を説明変数に加え、(2)式を用いる。
- g. 冷水機は、出荷台数が 1990 年以降急減するが、清涼飲料水の出荷量の増加による影響と考え、ミネラルウォーターの出荷量を説明変数に加え、(2)式を用いる。

ところで、輸送用冷凍冷蔵ユニット、コンデensingユニット、冷凍冷蔵ユニット、内蔵型および別置型冷凍冷蔵ショーケースは、冷凍用と冷蔵用で使用冷媒および充填量が異なるため、用途ごとに分類して検討する必要がある。そこで、文献[8][13][14]よりそれらの出荷比率を求め、その比率を表-3.4 のように仮定し、回帰分析によって各機器の新規出荷台数を求めた後に、表-3.5 を用いて冷凍用および冷蔵用の用途別にその出荷台数を分配する。

表-3.4 冷凍冷蔵用機器の用途別出荷比率<sup>[8][13][14]</sup>

対象機器	出荷台数比率 [%]
輸送用冷凍冷蔵ユニット	冷凍用 : 冷蔵用=40 : 60
コンデensingユニット	半密閉型 : 密閉型=30 : 70
冷凍冷蔵ユニット	冷凍用 : 冷蔵用=20 : 80
内蔵型冷凍冷蔵ショーケース	冷凍用 : 冷蔵用=35 : 65
別置型冷凍冷蔵ショーケース	冷凍用 : 冷蔵用=10 : 90

### 3.2.2 経済成長率<sup>[22][23]</sup>

国内総生産を説明変数として新規出荷量の予測をしているため、まず、将来の国内総生産の数値を設定しなければ、各機器の新規出荷量を求めることができない。そこで、短期・中期の経済成長率を文献より表-3.5 のように仮定し、また、長期経済成長率の予測は困難であるため、2004 年以降は経済成長率が基準ケースの 2%であると仮定する。

表-3.5 経済成長率の設定<sup>[22][23]</sup>

年度	1999	2000	2001	2002	2003
成長率 [%]	-0.5	0.5	1.9	2.2	2.4

### 3.3 回収および破壊処理に関する前提条件の設定

#### 3.3.1 冷媒の漏洩率

冷媒の使用過程における漏洩率を表-3.6 に設定する。ただし、漏洩率のデータが入手困難であった部分については、本研究では0%と仮定して分析をおこなう。また、生産時漏洩率と設置時漏洩率とは次のように意味を持つ。

- ・「生産時漏洩率」とは、機器の生産時において、冷媒を機器内に充填する際に生じる漏洩率を表す。
- ・「設定時漏洩率」とは、機器製造時には冷媒は充填されず、現地での機器および配管等の設置時において、そこで冷媒を充填する際に生じる漏洩率を表す。

表-3.6 各機器における冷媒の漏洩率<sup>124)</sup>

分類	生産時漏洩率 [%/台]	設置時漏洩率 [%/台]	使用時漏洩率 [%/台・年]
家庭用冷蔵庫	1		0.3
カーエアコン	0.5		2
ルームエアコン	0.1	4	-
業務用冷凍空調機器類	0.1	0.1	1.5
自販機類	-		-

#### 3.3.2 現在の回収率

冷媒の「回収率」を次のように定義する。

「回収率」＝「機器回収率」×「冷媒回収率」…(8)

ただし、右辺の各項を次のように定義する。

- ・「機器回収率」とは、廃棄された各機器に対して、冷媒の回収が実施された割合を表す。
- ・「冷媒回収率」とは、各機器1台当りの充填冷媒量から、回収可能な冷媒量の割合を表す。

表-3.7 1997年の各機種別および事業者別の機器回収率

機器の種類	回収ルート	機器回収率 [%]
家庭用冷蔵庫	自治体	78
	産業廃棄物処理業	35
カーエアコン	ディーラー	22
	中古車小売業	18
	整備業	20
	解体業	9
業務用 冷凍空調器	管工事業	49
	ビル整備業	92

回収実施状況については、数件<sup>[25][26][27]</sup>の報告書が公表されているが、これらのデータにはばらつきが見られる。これは、データが抽出調査から拡大推計されているため、調査対象の範囲によって違いが生じるからである。また、自治体と業者のどちらを対象に調査しているかによる違いもある。そこで本研究では、より詳細にデータが報告されている文献<sup>[26]</sup>を用いることにし、その機器回収率を表-3.7に示す。ただし、これは1997年の各事業所における機器回収率を表している。また、断熱材、ルームエアコンおよび自動販売機に関しては機器回収率のデータが入手困難であったため、1997年時点では冷媒の回収実施率が0%であると仮定する。

また、(8)式において「冷媒回収率」とは「機器1台から最低限可能な冷媒を回収できる割合」を表し、すなわち「回収の効率」を表しているが、回収方法や回収機器の高性能化および回収時間の延長などにより冷媒回収率を向上させることが可能である。そこで、現在の回収技術をもとに推定される値<sup>[8][11][28]</sup>を参考にして冷媒回収率を表-3.8のように仮定する。

ところで、回収された冷媒のうち数%は、補充用冷媒として再利用される。しかし、実際の再利用量の統計データが入手困難であるため、本研究では再利用を考慮しない。

表-3.8 機器1台当りからの冷媒回収率<sup>[8][11][28]</sup>

	回収可能率
カーエアコン	60
家庭用冷蔵庫	80
ルームエアコン	60
大型冷凍空調機器類	90
コンデンシングユニット類	80
一体型ショーケース類	60

### 3.3.3 将来の回収率目標数値

各業界ごとに提示された、2010年における回収率の目標数値<sup>[24]</sup>を表-3.9に示す。これを用いて、将来予測される冷媒の廃棄量に対して、そのときの冷媒の回収量を求め、回収による温暖化抑制効果を評価する。

ただし、カーエアコンについて「回収可能カバー率を70%」とは「国内出荷量について、予測される廃棄量のうち70%が回収可能である」として分析する。また、業務用機器について「80%以上を回収」とあるが、大型冷凍空調機器類はすでに92%実施されているため2010年では100%回収達成とし、コンデンシングユニット類および一体型ショーケース類は、回収制度が整備され始めた段階であるため、2010年における回収目標率を80%と仮定する。

表-3.9 2010 年における各業界ごとの回収目標率<sup>[24]</sup>

分類	目標数値
家庭用冷蔵庫	・メーカーに引き渡された廃棄家庭用冷蔵庫内の冷媒の 100%を処理する。
カーエアコン	・使用済自動車の回収カバー可能率を 70%程度に想定する。
ルームエアコン	・メーカーに引き渡された廃棄家庭用エアコン内の冷媒の 100%を処理する。
業務用冷凍空調機器	・メーカー・設備業者の関与する廃棄業務用冷凍空調機器の 80%以上を回収する。
自動販売機	・メーカー・設備業者の関与する廃自動販売機の 70%を回収する。

### 3.3.4 冷媒の廃棄経路<sup>[28][29]</sup>

現在、各機器は表-3.10 から表-3.12 のような経路をたどって廃棄されるものとする。

表-3.10 冷蔵庫の廃棄経路

経由	割合 [%]	内訳	割合 [%]
家電販売店	80	スクラップ業	20
		産業廃棄処理業	65
		市町村	15
市町村	20		

表-3.11 カーエアコンの廃棄経路

経由	割合 [%]
ディーラー	25
中古車販売業	15
整備業	55
解体業	5

表-3.12 ルームエアコンの廃棄経路

経由	割合 [%]	内訳	割合 [%]
家電販売店	90	産業廃棄処理業	60
		市町村	40
市町村	10		

ただし、業務用機器類に関しては参考資料がないため、ヒアリングにより、大型冷凍空調機器類は「ビル整備業」へ、コンデンシングユニット類は「装置製造・管工事業」へ、一体型ショーケース類はスクラップされると仮定する。

### 3.3.5 冷媒の運搬・破壊処理方法

フルオロカーボン類を回収所から破壊処理施設へ運搬する際に、エネルギー消費によって CO<sub>2</sub>

が発生する。そこで、アンケート調査によりフルオロカーボン類の運搬方法およびその距離を表-3.13 に設定する。

また、各破壊処理施設によって破壊処理方法やそれに伴うエネルギー消費量が異なるが、本研究では破壊処理技術として代表的なロータリーキルン法を用いるとし、文献[28]およびアンケート調査を基にして表-3.14 に設定する。

ところで、破壊処理施設では廃プラスチックや廃油などの廃棄物に混合してフルオロカーボン類が焼却分解され、このとき補助燃料に A 重油が使用される。そこで、各フルオロカーボン類の結合<sup>[31]</sup>を分解するのに十分な熱量が得られるように、焼却分解する際の A 重油の熱利用効率を 70%と仮定して A 重油の投入量を決定し、これより破壊処理する際のエネルギー消費による CO<sub>2</sub>排出量を求める。

表-3.13 運搬に関する基礎データの設定

運搬方法	サイズ	主に 20kg ボンベ
	手段	主に 10t トラック
	フロン積載量 [kg/台]	約 5600kg (20kg×約 280 本)
運搬距離 (往復)	県内近郊	約 150km(100~200 km)
	圏外遠方	約 500km(200~800 km)
エネルギー 消費	燃料	軽油
	燃費	3.5km/L
	軽油の CO <sub>2</sub> 原単位	2644.26 g-CO <sub>2</sub> /L

注)軽油の CO<sub>2</sub>原単位は電力中央研究所の報告書の値<sup>[30]</sup>

表-3.14 破壊処理に関する基礎データの設定

破壊処理方法		ロータリーキルン法
廃棄物との混合比		2%
フロン 1kg 当たりのエ ネルギー消 費量	電力	約 2kWh/kg(1~3kWh/kg)
	電力の CO <sub>2</sub> 原単位	429 g- CO <sub>2</sub> /kWh
	燃料	主に A 重油
	A 重油の CO <sub>2</sub> 原単位	290.08 g- CO <sub>2</sub> /Mcal

注 1) 電力の CO<sub>2</sub>原単位は 1990 年度産業連関表より算出された値

注 2) A 重油の CO<sub>2</sub>原単位は電力中央研究所の報告書の値<sup>[30]</sup>

## 4. 分析結果

### 4.1 分析における各係数の算出結果

#### 4.1.1 回帰分析の係数の決定

本研究では、(1)式および(2)式を用いた回帰分析によって、各機器の新規出荷台数を求める。そこで、本分析で決定した各係数  $A$ 、 $\alpha$  および  $\beta$  の値とそれぞれの  $t$  値を表-4.1 に示す。また同様に、このときの決定係数を表-4.1 に示す。これより、十分に高い決定係数が得られたため、これらの係数を用いて各機器の将来の新規出荷台数を求める。

表-4.1 回帰分析の各係数と  $t$  値

対象機器	回帰分析の係数 ( $t$ 値)			決定係数
	$A$	$\alpha$	$\beta$	
家庭用冷蔵庫	1.06(1.99)	0.44(9.03)		0.76
乗用車用エアコン	0.91(-2.59)	0.79(13.34)		0.87
小型ルームエアコン	0.73(-5.53)	2.54(15.01)		0.93
中・大型ルームエアコン	0.83(-2.65)	5.82(26.61)		0.98
パッケージエアコン	0.74(-0.97)	-17.27(-3.76)	8.74(1.43)	0.77
遠心式冷凍機	1.17(1.46)	-3.10(-5.04)	1.27(3.01)	0.68
チリングユニット	0.84(-3.80)	-0.72(-2.73)	-0.21(-1.16)	0.76
輸送用冷凍冷蔵ユニット	1.60(3.77)	3.69(9.81)		0.86
コンデンシングユニット	0.99(-0.36)	-0.93(-5.19)	0.39(3.65)	0.67
冷凍冷蔵ユニット	1.08(1.11)	1.48(7.44)		0.78
内蔵型冷凍冷蔵ショーケース	1.02(0.43)	-6.33(-2.78)	0.68(1.47)	0.86
別置型冷凍冷蔵ショーケース	0.92(-2.55)	4.73(9.24)		0.93
業務用冷蔵庫	1.05(1.13)	9.14(12.91)		0.97
製氷機	1.01(0.42)	0.79(11.00)		0.88
冷水機	1.12(1.29)	-5.93(-2.06)	-0.29(-1.43)	0.93
自動販売機	1.75(5.48)	1.56(9.29)		0.77
除湿機	1.02(0.22)	2.68(11.78)		0.90

#### 4.1.2 ワイブル関数の係数の決定

カーエアコン、ルームエアコン、家庭用冷蔵庫および自動販売機について、ワイブル関数によって決定したパラメータを表-4.2 に示す。ただし、その他の機器については、保有台数の実データが入手困難なため、表-3.1 および表-3.2 に示した平均寿命  $T$  が機器の寿命の半減期と一致すると考え、 $m \approx 3.44$  と仮定する。ワイブル関数による保有台数の推計値と実データとの間に十分な相関関係が得られたため、これらを用いて各機器の将来の廃棄台数を求める。

表-4.2 ワイブルパラメータmの値

対象機器	パラメータ m	平均寿命 T	推計値と実データの 相関係数
家庭用冷蔵庫	4.23	13.3	0.949
乗用車	4.02	11.9	0.999
トラック	3.79	8.5	0.986
バス	5.56	12.4	0.997
小型ルーム	5.02	13.2	0.983
自販機	1.13	7.5	0.861

#### 4.2 フルオロカーボン類の総廃棄量

冷媒の廃棄量の予測結果を図-4.1 に示す。ただし、本研究は冷媒を対象としているが、家庭用冷蔵庫は断熱材のデータも入手可能なため、評価対象に含まれている。

また、冷媒の廃棄量によるオゾン層破壊への影響量を図-4.2 に示す。ただし、「ODP トン」とはフルオロカーボン類を ODP 換算した単位を表し、図-4.2 は CFC-11 のオゾン層破壊能力を基準としたときの、フルオロカーボン類の廃棄によるオゾン層破壊への影響を表している。

さらに、これらの冷媒の廃棄量について、それらを GWP 換算した結果を図-4.3 に示す。ただし、これは冷媒の CO<sub>2</sub>換算廃棄量を表す。

図-4.1 より、初期の冷媒の廃棄量は 1998 年をピークに減少するが、1995 年以降代替後の冷媒の廃棄量が増加するため、全体としての総廃棄量は増加する傾向が見られる。

図-4.2 より、初期の冷媒の廃棄によるオゾン層破壊への影響は大きい。これは CFC の廃棄による影響が大きく、全体として、オゾン層破壊への影響量は 1998 年をピークに急速に減少するため、CFC の回収に早急に取り組むことが、オゾン層保護対策として有効であるといえる。

図-4.3 より、初期の冷媒の CFC は GWP も大きいため、これらの廃棄による温暖化への影響は大きい。しかし、HCFC および HFC は CFC と比較して GWP が小さいため、代替後の冷媒の廃棄による影響は小さく抑えられている。全体として、これらの冷媒の CO<sub>2</sub>換算廃棄量は 1998 年をピークに急速に減少していくため、早急に回収対策を実施することが温暖化抑制策としても有効であるといえる。



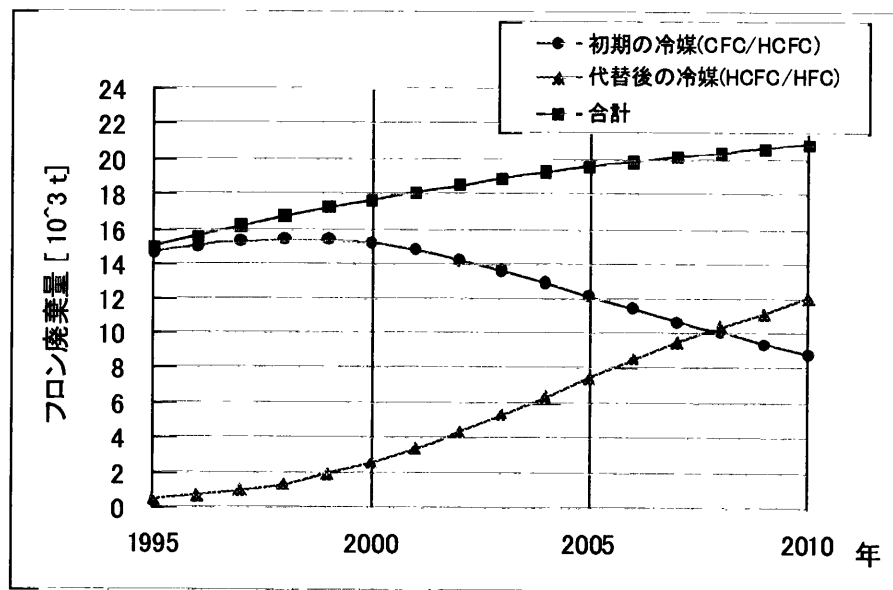


図-4.1 フルオロカーボン類の総廃棄量

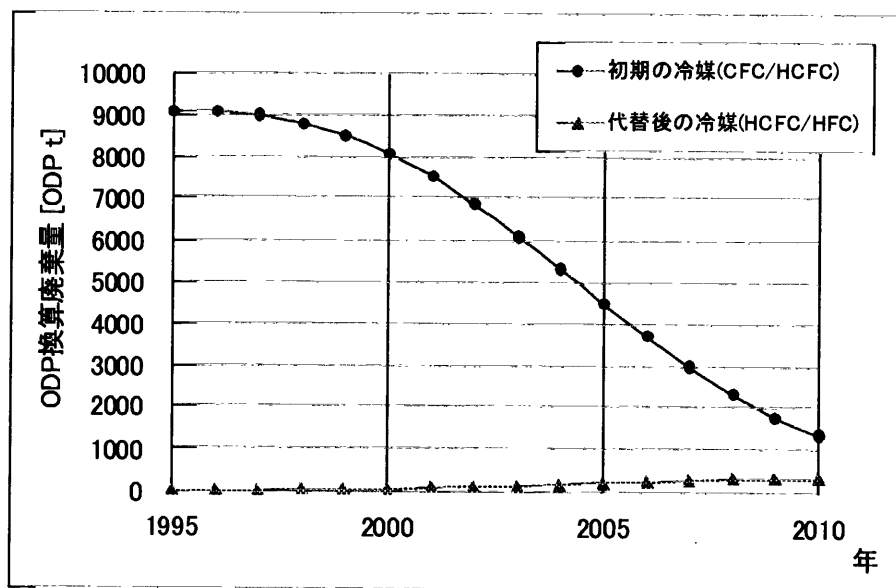


図-4.2 フルオロカーボン類のオゾン層破壊への影響量

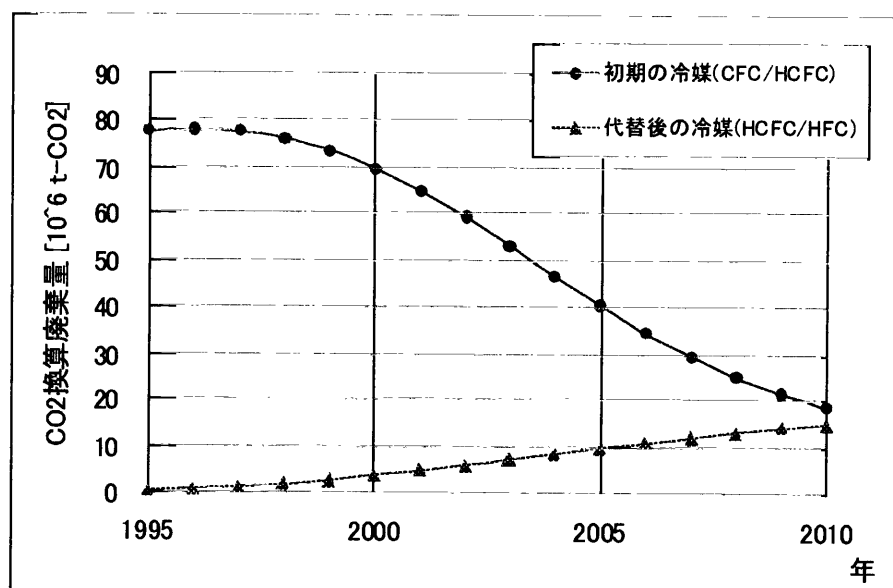


図-4.3 フルオロカーボン類の総 CO<sub>2</sub>換算廃棄量

これら冷媒の CO<sub>2</sub> 換算廃棄量を 1990 年の日本の 1 次エネルギー消費による CO<sub>2</sub> 排出量 (=1053×10<sup>6</sup> [t-CO<sub>2</sub>])と比較した結果、1995 年では 7.4%、2010 年では 3.2%に相当する。したがって、通常の温暖化抑制策は、長期的な取り組みにより効果が得られるのに対して、フルオロカーボン類の回収は、短期・中期的に大きな効果が得られる優先順位の高い温暖化抑制策であることがいえる。

#### 4.3 各機器別の CO<sub>2</sub>換算廃棄量

図-4.3 により、冷媒全体の CO<sub>2</sub> 換算総廃棄量を示したが、それらの廃棄量を各機器別に分類した結果を図-4.4 にまとめる。ただし、これは各機器別の CO<sub>2</sub>換算廃棄量について、2000 年から 2010 年までの合計値を表している。

図-4.4 より、全体の CO<sub>2</sub>換算総廃棄量に対して、家庭用冷蔵庫(冷媒、断熱材)の廃棄量は 22.0%、カーエアコン(乗用車、トラック、バス)の廃棄量は 35.4%、ルームエアコン(小型、中・大型、パッケージ)の廃棄量は 23.4%、およびコンデンシングユニットの廃棄量は 9.7%と、これらの機器からの廃棄量が対象機器全体の CO<sub>2</sub>換算総廃棄量の約 90%を占めている。

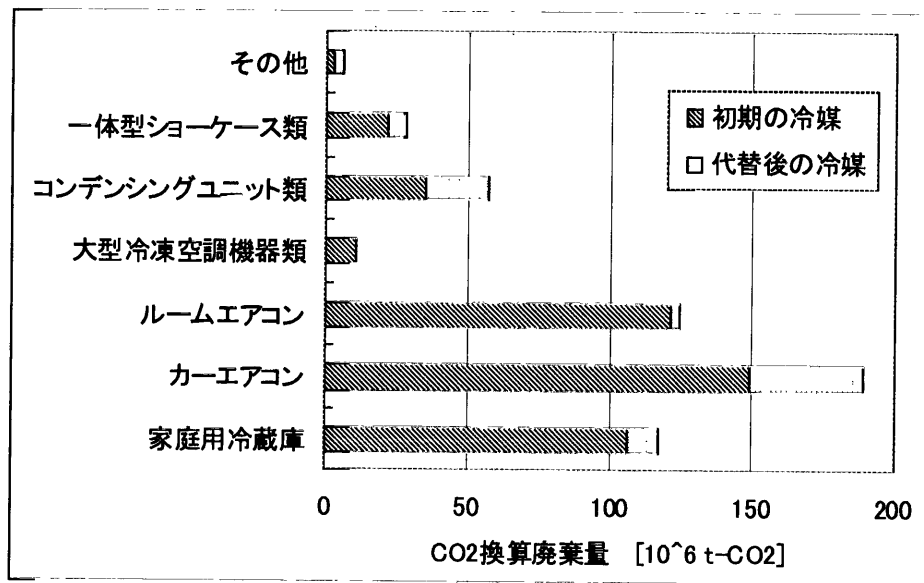


図-4.4 各機器別の CO<sub>2</sub>換算廃棄量

#### 4.4 1997 年の回収量

1997 年における各機器からの冷媒の回収量を表-3.7 および表-3.8 に基づいて算出し、その結果を図-4.5 に示す。ただし、1997 年では断熱材の回収は実施されず、また HCFC の回収は試験段階であるため、これらの回収率をゼロと仮定した。また、自動販売機については回収率のデータが入手困難なため、機器回収率をゼロと仮定している。

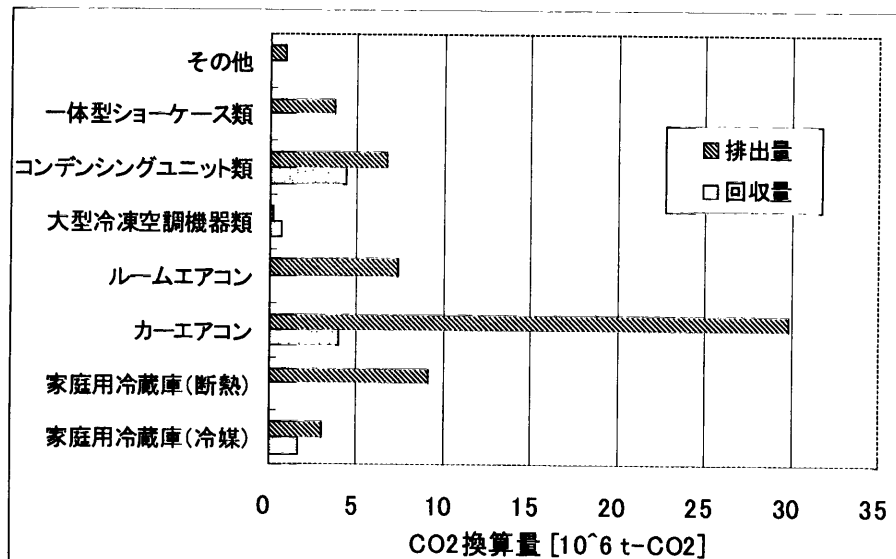


図-4.5 1997 年の回収量と排出量

1997 年における総 CO<sub>2</sub> 換算廃棄量は  $78.8 \times 10^6$  [t-CO<sub>2</sub>] であり、これは 1990 年の日本の CO<sub>2</sub> 排出量の 7.7% に相当する。そのうち、漏洩量を除いた機器からの廃棄量が  $71.5 \times 10^6$  [t-CO<sub>2</sub>] となり、本分析では、機器廃棄時における冷媒を回収の対象とする。図-4.5 より、CO<sub>2</sub> 換算回収量は  $11.7 \times 10^6$  [t-CO<sub>2</sub>] であり、1990 年の CO<sub>2</sub> 排出量の 1.1% に相当する。しかし、残りの冷媒はすでに大気中に排出され、将来の温暖化へ大きく寄与していると考えられる。

#### 4.5 2010 年の回収量の予測

1997 年において、多くの冷媒が未回収のまま排出されているが、これは回収制度の不備が要因となる。そこで、各業界により 2010 年における目標回収率（表-3.9 参照）が定められたため、この目標回収率が達成された場合の冷媒の CO<sub>2</sub> 換算回収量を求め、その結果を図-4.6 に示す。

2010 年における対象機器からの CO<sub>2</sub> 換算総廃棄量の予測値は  $33.6 \times 10^6$  [t-CO<sub>2</sub>] であり、これは 1990 年の日本の CO<sub>2</sub> 排出量に対して 3.2% に相当する。そのうち、漏洩分を除いた機器からの廃棄量が  $31.2 \times 10^6$  [t-CO<sub>2</sub>] となり、本分析では、機器廃棄時における冷媒廃棄量を回収の対象とする。図-4.6 より、2010 年に回収される冷媒の CO<sub>2</sub> 換算回収量は  $18.7 \times 10^6$  [t-CO<sub>2</sub>] であり、1990 年の CO<sub>2</sub> 排出量の 1.8% に相当する冷媒が回収されると予測される。

ところで、2010 年における回収による温暖化抑制効果を検討するため、表-3.13 および表-3.14 を用いてフルオロカーボン類の運搬および破壊処理する際のエネルギー消費等による CO<sub>2</sub> 排出量を求め、それらを用いて補正することにより、回収による CO<sub>2</sub> 換算排出削減効果を算出する。その結果を表-4.3 に示す。

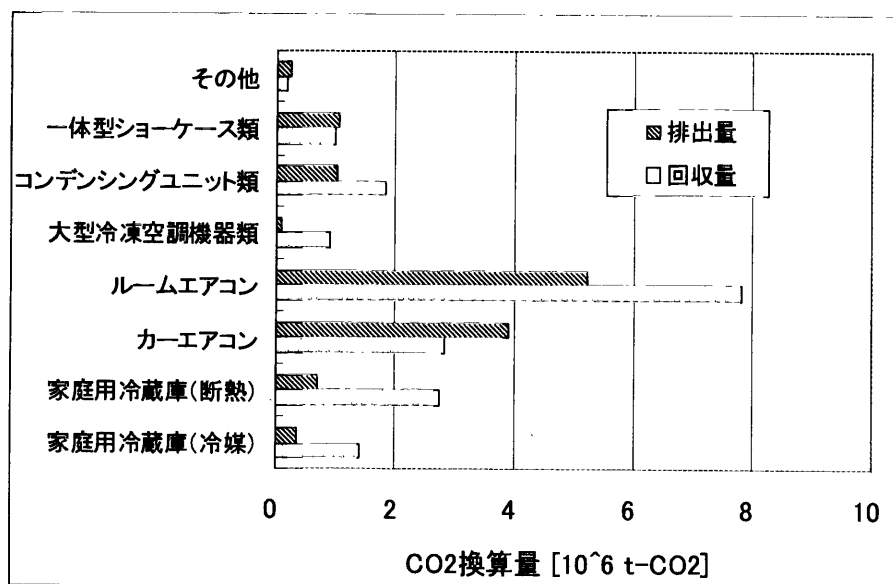


図-4.6 2010 年の回収量と排出量

表-4.3 2010 年における CO<sub>2</sub>換算回収量 単位 [10<sup>6</sup>t-CO<sub>2</sub>]

機器の分類	回収量 (破壊処理前)	CO <sub>2</sub> 排出量 (破壊処理後)	漏洩等による 大気放出量
家庭用冷蔵庫(冷媒)	1.40	0.0022	0.35
家庭用冷蔵庫(断熱材)	2.74	0.0080	0.68
カーエアコン	2.83	0.0079	3.91
ルームエアコン	7.83	0.0160	5.22
大型冷凍空調機器類	0.91	0.0004	0.10
コンデンシングユニット類	1.84	0.0010	1.04
一体型ショーケース類	0.98	0.0006	1.06
その他	0.16	0.0002	0.21
合計	18.69	0.0363	12.57

表-4.3 より、運搬および破壊処理のエネルギー消費等による CO<sub>2</sub>排出量は非常に小さいため、回収後に適切な処理をおこなえば、温暖化抑制策として有効であるといえる。ただし、冷媒回収率および使用時の漏洩率等を考慮すると、廃棄量のうち約 40%が回収されずに大気へ排出されているため、今後は、機器回収率の向上だけでなく、回収時の漏洩をより小さく抑えることが、温暖化抑制対策として重要な課題となる。

## 5. 研究成果のまとめ

- (1) 評価対象機器中に充填される冷媒の廃棄量を CO<sub>2</sub>換算すると、2000 年から 2010 年までの各年の CO<sub>2</sub>換算廃棄量は、1990 年の日本の 1 次エネルギー消費による CO<sub>2</sub>排出量の 3～7%に相当する。
- (2) 通常の温暖化抑制策は、長期的な取り組みにより効果が得られるのに対して、冷媒の回収は、短期・中期的に大きな効果が得られる優先順位の高い温暖化抑制策である。ただし、2000 年以降、冷媒の CO<sub>2</sub>換算総廃棄量は急速に減少するため、早急に冷媒の回収を実施する必要がある。
- (3) カーエアコン、家庭用冷蔵庫、ルームエアコンからの廃棄による影響が大きく、これらの機器からの CO<sub>2</sub>換算廃棄量は対象機器全体の約 80%を占める。
- (4) 回収・運搬および破壊処理のエネルギー消費等による CO<sub>2</sub>排出量を考慮しても、それらの CO<sub>2</sub>排出量は冷媒の大気放出による CO<sub>2</sub>換算排出量と比較して非常に小さいため、冷媒を回収し、適切な処置をおこなうことは温暖化抑制策として有効である。

## 6. 今後の課題

本研究では、冷媒用として使用しているフルオロカーボン類の廃棄量の予測および回収・破壊処理対策による温暖化抑制策としての効果を検討したが、これらの対策による費用対効果も検討する必要があるため、今後はコスト評価もしていきたいと考えている。

また、フルオロカーボン類は冷媒・断熱材・発泡材・洗浄およびエアゾールなど様々な用途に使用されているが、本研究では冷媒用のみを評価対象としている。しかし、温暖化抑制策を総合的に評価するためには、冷媒だけでなく断熱材・発泡材・洗浄およびエアゾールについても分析をおこなう必要がある。したがって、今後は冷媒以外の用途についての情報も集めていく予定である。

さらに、本研究では CFC、HCFC および HFC を評価対象としているが、COP-3 で新たに削減対象物質に指定された温室効果ガスには PFC および SF<sub>6</sub> などがある。したがって、これらの代替フロンについても同様に分析をおこなう必要がある。

最後に、温暖化抑制のためには、他の先進国および途上国におけるフルオロカーボン類の回収も不可欠であるため、生産量の抑制だけでなく廃棄時に回収を実施することに対する国際的な対応が望まれる。

## <参考文献>

- [1] Molina, M.J., and Rowland, F.S.; Nature, Vol.249, pp.810-812, (1974)
- [2] 日本フルオロカーボン協会;フルオロカーボン類の環境・安全データ一覧表
- [3] IPPC; Climate Change 1995,121
- [4] 日本フルオロカーボン協会; 特定フロン品種別・用途別出荷量
- [5] 日本フルオロカーボン協会; HCFC 品種別・用途別出荷量
- [6] 日本フルオロカーボン協会; HFC 品種別・用途別出荷量
- [7] 真壁肇; 信頼性データ解析, 岩波書店, (1987)
- [8] (社)日本冷凍空調工業会フロン委員会フロン回収リサイクル WG.; 冷媒フロンの使用量と回収可能量調査報告書, (1993)
- [9] オゾン層保護対策産業協議会; 代替フロンの地球温暖化対策動向に関する調査報告書, 平成 8 年度調査報告書 NEDO-GET-9602, pp.109-113, (1997)
- [10] (社)日本自動販売機工業会; 自販機レポート Vend, Vol.2, pp.18, (1998)
- [11] 化学品審議会オゾン層保護対策部会回収再利用等対策分科会; 特定フロンの回収等に関する今後の取組の有り方について (中間報告) ,(1997)
- [12] (財)日本エネルギー経済研究所エネルギー計量分析センター; エネルギー・経済統計要覧'99, (財) 省エネルギーセンター, (1999)
- [13] (社)日本冷凍空調工業会; 冷凍空調機器データブック, (1990)
- [14] (社)日本冷凍空調工業会; 冷凍空調機器データブック, (1998)
- [15] (社)日本電機工業会家電部調査課資料; 国内出荷数量の推移
- [16] (社)日本自動販売機工業会; 自販機 30 年のあゆみ, pp.32, (1993)
- [17] (社)日本自動車工業会; 自動車統計月報, Vol.32, No.11, (1999)
- [18] (社)日本自動車工業会; 自動車統計年報, 第 26 集, (1998)
- [19] (社)日本自動販売機工業会; 自販機データブック, pp. 6, (1999)
- [20] (社)日本自動販売機工業会; 自販機普及台数及び年間自販金額, pp.2 ,(1990-1998)
- [21] 日本ミネラルウォーター協会; ミネラルウォーター生産量の推移
- [22] (社)日本電機工業会; 2003 年に至る家電製品の国内需要予測ー経済・社会需要から導く需要構造の変化ー, pp47-53, (1999)
- [23] 関西経済研究センターマクロ経済分析プロジェクト; 第 45 回景気分析と予測, (1998)
- [24] 通商産業省基礎産業局; 第 6 回化学品審議会地球温暖化防止対策部会, (1999)
- [25] 環境庁大気保全局企画課;平成 8 年度フロン回収等に関する調査報告結果について,(1997)
- [26] 環境庁大気保全局企画課; 平成 9 年度 CFC 回収などに関する調査結果, (1998)
- [27] 通商産業省化学品審議会オゾン層保護対策部会回収再利用等対策分科会;特定フロンの回収等に関する今後の取組の有り方について (中間報告) ,(1997)
- [28] 環境庁大気保全局企画課広域大気管理室; フロン回収・破壊モデル事業事例集, (財)日本環境衛生センター, (1996)

- [29] 環境庁大気保全局企画課資料; フロン使用機器の使用・廃棄に際してのフロン排出の可能性
- [30] 電力中央研究所; 産業連関分析による財・サービス生産時のエネルギー消費と CO<sub>2</sub>排出量, Y95013
- [31] 日本化学会編; 化学便覧基礎編II改訂4版, 丸善, pp.301-302, (1993)