

A-2 オゾン層破壊物質及び代替物質の排出抑制システムに関する研究

(2) 廃家電からのフロン類の回収システムに関する研究

独立行政法人国立環境研究所

循環型社会形成推進・廃棄物研究センター 大迫政浩・川畑隆常
化学物質環境リスク研究センター 中杉修身

平成11～13年度合計予算額 6,849千円

(うち、平成13年度予算額 2,815千円)

[要旨]

電気冷蔵庫と小型冷凍空調機（ルームエアコン）由来のフロンの最適な回収・処理システムを設計することを目的として、平成11年度には、全国におけるフロンの長期的な廃棄量を時系列的に予測するとともに、都道府県別の面的な廃棄量分布を推定した。平成12年度には、家電製品からのフロン類の回収・破壊状況を、文献調査及びヒアリング調査することで、現状と問題点を明らかにした。この結果、冷蔵庫の冷媒に使用されているフロン類については、リサイクル施設で回収されているが、断熱材に使用されているフロン類については、回収が行われていない施設が相当数あることが明らかとなった。

また、家電製品に加えて自動車カーエアコン、業務用冷凍空調機器の廃棄により発生するフロン類の総量を経年的に把握し、この中で家電製品の廃棄により排出されるフロン類の割合を明らかにした。家電製品の寄与率は、フロン類の総廃棄量の30%台を占めることから、オゾン層破壊防止及び地球温暖化防止の観点から、確実な回収・破壊システムの構築が必要である。

平成13年度には、ライフサイクルアセスメント（LCA）の手法を用いて、フロン類の回収・破壊システムを評価した。インパクトカテゴリ別には、オゾン層の破壊の影響が大きく、地球温暖化に対する影響も無視できない。特定フロンは、特に影響が大きいことから確実な回収・破壊が求められているが、シクロペンタンについては回収・破壊を行うことにより環境負荷が大きくなるという結果となった。工程別には大気放散による環境負荷が最も大きいことから、環境負荷を低減するためには回収率の向上が重要なポイントである。製品別には、家電リサイクル法で回収・破壊が位置づけられていない冷蔵庫の断熱材に使用されているフロン類の影響が大きいことが明らかとなった。

[キーワード] 廃家電製品、フロン類、廃棄量予測、都道府県別、ライフサイクルアセスメント（LCA）

1. はじめに

フロン類は、冷蔵庫、ルームエアコン、カーエアコンなどの製品中に冷媒や断熱材として使用されている。フロン類の中で、オゾン層を破壊する特定フロンについては、既に製造や使用はされていないが、耐久消費財に使用された特定フロンについては、確実な回収・破壊が求められている。一方、代替フロンは、オゾン層の破壊に対する影響は特定フロンに比べて小さい

ものの、地球温暖化への影響があることから回収・破壊の必要性が指摘されている。

2. 研究目的

電気冷蔵庫、ルームエアコンの冷媒については、平成13年度から家電リサイクル法の施行により製造事業者による回収・破壊が義務づけられているが、回収後の破壊処理の実態については明らかにされておらず、回収・破壊量の実績も報告されていない。冷蔵庫の断熱材については、回収・破壊は義務づけられてはいないが、冷媒よりも大きな負荷をもたらしていることが指摘され、家電リサイクル施設では自主的に回収・破壊を行っているところもある。しかし、破壊処理の方向性については明確な方針が定まっていない。このような状況の中で、オゾン層保護及び地球温暖化防止の観点から、家電製品に使用されているフロン類の適正な回収・破壊処理システムの整備が早急に求められている。

本研究は、フロン類の回収・破壊のための最適な社会システムを設計するために、ライフサイクルアセスメント手法を用いて想定される技術システムについて評価し、併せて技術的、経済的、社会制度的側面から見た回収・処理ルート、関係者の役割分担のあり方について検討することを目的とする。

3. 研究方法

(1) フロン類の面的かつ時系列的な廃棄量予測^{1)~4)}

フロン類の利用量推移、電気冷蔵庫・ルームエアコンの利用年数の状況及び代替物質の開発状況などについての統計情報及び各種の既存調査結果を収集・分析し、都道府県別の電気冷蔵庫及びルームエアコンの排出実態と地域特性との関連性などを踏まえて、全国の面的（都道府県別）かつ時系列的なフロン類の廃棄量予測を行う。

あわせて、冷蔵庫・ルームエアコンの回収・処理ルートの現状及び動向について既存調査結果等を収集・整理する。

(2) フロン廃棄量中の家電製品の寄与

冷蔵庫とルームエアコンの他にも、自動車カーエアコンや業務用冷凍空調機器などの耐久製品には、フロン類が含まれている。これらの製品の廃棄により発生するフロン類の総量を経年的に把握し、この中で家電製品の廃棄により排出されるフロン類の割合を明らかにする。

(3) ライフサイクルアセスメントによる評価

冷蔵庫、ルームエアコンから廃棄されるフロン類を、家電リサイクル施設で回収し、廃棄物焼却施設で破壊することを仮定し、フロン類の回収・破壊の環境負荷をライフサイクルアセスメントにより分析する。なお、評価対象シナリオとして、特定フロンの代替についても検討するために、特定フロン及び代替物質の製造工程についてもLCAの評価範囲に含めた。

①インベントリ分析

インベントリ分析は、インプットとしてエネルギー消費量を、アウトプットとして大気への影響について評価する。エネルギー消費量については、フロン類の製造から破壊までに必要な、

電力、原油、LNG、蒸気等の量を算定し、エネルギー量 (MJ) に換算して評価する。なお、ナフサなどフロン類の原材料として使用するものについては計算から除外する。大気への影響については、二酸化炭素、窒素酸化物、硫黄酸化物、フロン類について評価する。なお、インベントリデータについては、「JEMAI-LCAの設定と解説」⁹⁾等から取得した。

②インパクトアセスメント

インパクトアセスメントは、インベントリ分析をもとに、①インパクトカテゴリへの割り振り
りとカテゴリインディケータの算出、②正規化、③重み付けを試みる。インパクトカテゴリとして、地球温暖化、オゾン層の破壊、酸性化という3つを選択し、各々、二酸化炭素、CFC-11、硫黄酸化物相当量として評価する。正規化については、日本における年間排出物量を規格値として用いる。重み付けについては、3つのインパクトカテゴリを1:1:1で重みを付けて統合化を行う。

③代替案

冷蔵庫・冷媒、冷蔵庫・断熱材、ルームエアコン・冷媒の各々について、フロン類の種類ごとに回収・破壊を行う場合と行わない場合のシナリオについて評価した。代替案は以下に示すとおりであるが、充填工程、使用工程、製品回収工程については、各代替案共通のため評価は行わず、製造工程、回収工程、運搬工程、破壊工程、廃棄について評価した。

製造工程：フロン類を製造する工程

回収工程：廃製品からフロン類を回収する工程

運搬工程：回収したフロン類を破壊場所まで運搬する工程

破壊工程：フロン類を破壊する工程

廃棄：廃製品に残存するフロン類の大気放散

○冷蔵庫：冷媒

(網掛け部分が評価対象)

代替案1-1

CFC-12製造	充填	使用	製品回収	フロン回収	運搬	破壊
----------	----	----	------	-------	----	----

代替案1-2

CFC-12製造	充填	使用	製品回収	廃棄
----------	----	----	------	----

代替案1-3

HFC-134a製造	充填	使用	製品回収	フロン回収	運搬	破壊
------------	----	----	------	-------	----	----

代替案1-4

HFC-134a製造	充填	使用	製品回収	廃棄
------------	----	----	------	----

○冷蔵庫：断熱材

代替案2-1

CFC-11製造	断熱材製造	使用	製品回収	フロン回収	運搬	破壊
----------	-------	----	------	-------	----	----

代替案2-2

CFC-11製造	断熱材製造	使用	製品回収	廃棄
----------	-------	----	------	----

代替案2-3

HCFC-141b製	断熱材製造	使用	製品回収	フロン回収	運搬	破壊
------------	-------	----	------	-------	----	----

代替案2-4

HCFC-141b製	断熱材製造	使用	製品回収	廃棄
------------	-------	----	------	----

代替案2-5

シロペンタン製造	断熱材製造	使用	製品回収	フロン回収	運搬	破壊
----------	-------	----	------	-------	----	----

代替案2-6

シロペンタン製造	断熱材製造	使用	製品回収	廃棄
----------	-------	----	------	----

○ルームエアコン：冷媒

代替案3-1

HCFC-22製造	充填	使用	製品回収	フロン回収	運搬	破壊
-----------	----	----	------	-------	----	----

代替案3-2

HCFC-22製造	充填	使用	製品回収	廃棄
-----------	----	----	------	----

代替案3-3

R407製造	充填	使用	製品回収	フロン回収	運搬	破壊
--------	----	----	------	-------	----	----

代替案3-4

R407製造	充填	使用	製品回収	廃棄
--------	----	----	------	----

4. 結果

(1) フロン類の面的な廃棄量予測

① 冷蔵庫

冷蔵庫の廃棄予測台数及びフロン類の廃棄予測量は図4-1-1、図4-1-2、表4-1-1に示すとおりである。また、地域別に見た廃棄予測量の例として表4-1-2にCFC-12についての結果を示す。

単位（千台/年）

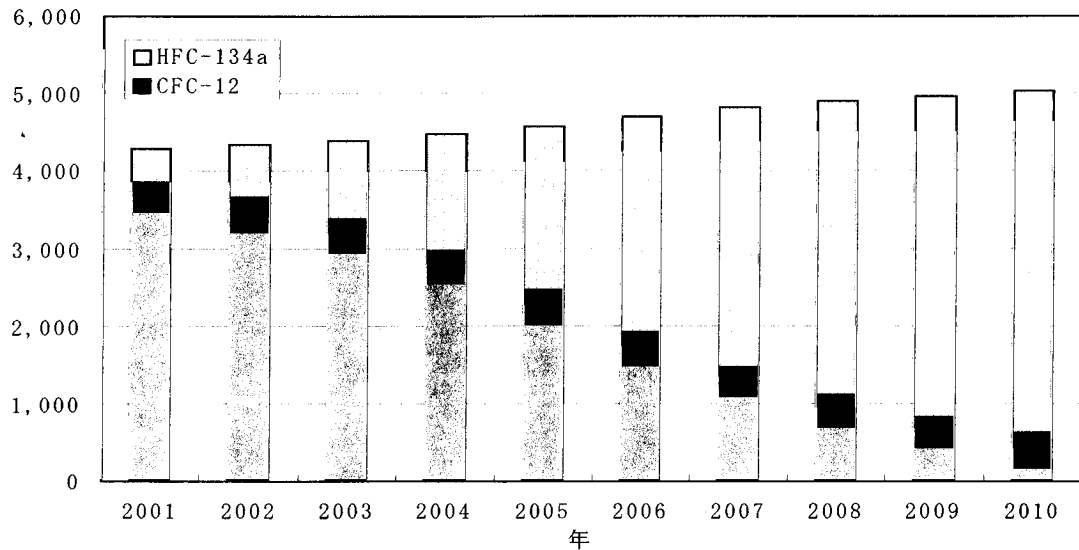


図4-1-1 冷蔵庫・冷媒フロン類の種類別の冷蔵庫の廃棄予測台数

(出荷台数統計値に㈱日本電機工業会予測による使用年数別廃棄率を乗じて推定。フロン類の種類毎割合はヒアリング調査に基づく。)

単位（千台/年）

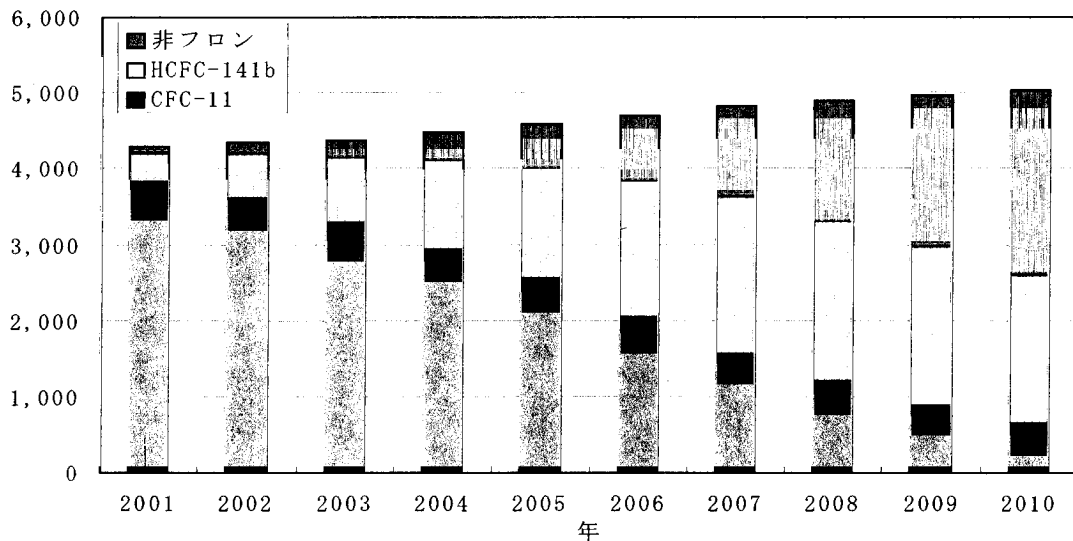


図4-1-2 冷蔵庫・断熱材フロン類の種類別の冷蔵庫の廃棄予測台数

(出荷台数統計値に㈱日本電機工業会予測による使用年数別廃棄率を乗じて推定。フロン類の種類毎割合はヒアリング調査に基づく。)

表4-1-1 冷蔵庫のフロン類の排出予測量

単位 (t/年)

	冷媒		断熱材	
	CFC-12	HFC-134a	CFC-11	HCFC-141
2001	694	70	2,675	270
2002	660	108	2,531	407
2003	608	162	2,304	602
2004	535	242	2,062	821
2005	445	339	1,789	1,020
2006	346	445	1,430	1,261
2007	265	537	1,103	1,434
2008	202	604	841	1,479
2009	150	661	627	1,455
2010	111	708	465	1,360

※1台当たりの充填量は、環境庁調査結果に基づく

表4-1-2 冷蔵庫のCFC-12の地域ブロック別廃棄予測量

単位 (t/年)

地域	全体	北海道	東北	関東	中部	近畿	中国・四 国	九州
割合	100.0%	5.1%	7.0%	33.3%	16.7%	16.7%	9.5%	11.7%
2001	694	35	48	231	116	116	66	81
2002	660	34	46	220	110	110	63	77
2003	608	31	42	202	102	101	58	71
2004	535	27	37	178	89	89	51	63
2005	445	23	31	148	74	74	42	52
2006	346	18	24	115	58	58	33	41
2007	265	13	18	88	44	44	25	31
2008	202	10	14	67	34	34	19	24
2009	150	8	11	50	25	25	14	18
2010	111	6	8	37	19	19	11	13

※都道府県毎の廃棄量を地域ブロックごとに合算して予測

※※全国一律の普及率を仮定し、世帯数で接分。

②エアコン

エアコンの廃棄予測台数及びフロン類の廃棄予測量は図4-1-3、表4-1-3に示すとおりである。また、地域別に見た廃棄予測量の例として表4-1-4にHCFC-22についての結果を示す。

単位 (千台/年)

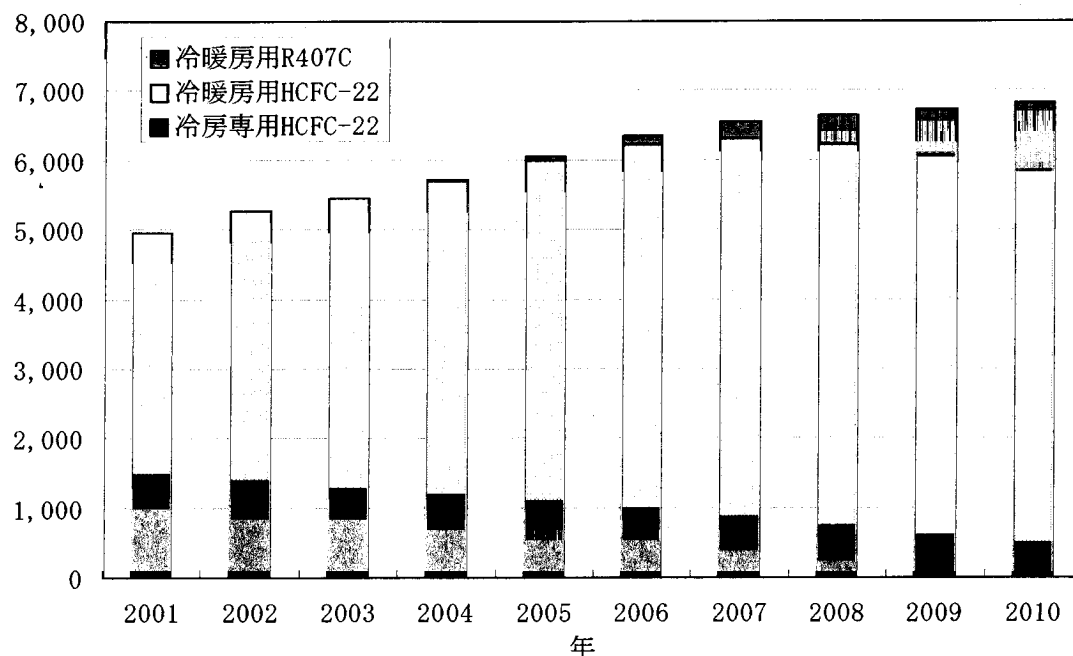


図4-1-3 フロン類の種類別使用エアコンの廃棄予測台数

(出荷台数統計値に㈱日本電機工業会予測による使用年数別廃棄率を乗じて推定。フロン類の種類毎割合はヒアリング調査に基づく。)

表4-1-3 エアコンのフロン類の廃棄量予測

単位 (t/年)

	冷房専用		冷暖房用		合計	
	HCFC-22	R407C	HCFC-22	R407C	HCFC-22	R407C
2001	744	0	2,780	0	3,523	0
2002	702	0	3,098	0	3,800	0
2003	644	0	3,335	2	3,979	2
2004	597	0	3,606	15	4,203	15
2005	551	0	3,922	47	4,473	47
2006	497	0	4,189	105	4,686	105
2007	437	0	4,350	197	4,787	197
2008	373	0	4,380	336	4,752	336
2009	308	0	4,361	531	4,668	531
2010	246	0	4,283	794	4,529	794

※1台当たりの充填量は、環境庁調査結果に基づく

表4-1-4 エアコンの冷媒・HCFC-22の地域別廃棄量予測

単位 (t/年)

地域	全体	北海道	東北	関東	中部	近畿	中国・四 国	九州
割合	100.0%	0.5%	4.2%	36.5%	17.0%	19.0%	10.2%	12.6%
2001	3,523	18	149	1,284	600	669	359	444
2002	3,800	19	161	1,386	648	722	387	478
2003	3,979	20	168	1,451	678	756	405	501
2004	4,203	21	178	1,532	716	798	428	529
2005	4,473	23	189	1,631	762	849	456	563
2006	4,686	24	198	1,708	798	890	477	590
2007	4,787	24	203	1,745	816	909	488	603
2008	4,752	24	201	1,733	810	902	484	598
2009	4,668	24	198	1,702	795	887	475	588
2010	4,529	23	192	1,651	772	860	461	570

※都道府県毎の廃棄量を地域ブロックごとに合算して予測

※※地域別の世帯別保有率を考慮して接分

(2) フロン全廃棄量中の家電製品の寄与

電気冷蔵庫及びルームエアコンからのフロン類の廃棄量を推計した結果、2010年度には電気冷蔵庫から2,643t/年、ルームエアコンからは5,323t/年のフロン類が廃棄されると推計された。一方、自動車のカーエアコンからは4,010t/年、業務用冷凍空調機器からは12,499t/年のフロン類が廃棄されると推計された。これらの廃棄フロン類の総計は24,475t/年であり、家電製品からのフロン類の廃棄量は7,966t/年であることから、全体のフロン類の廃棄量に占める家電製品の寄与率は33%である。寄与率は2001年度の38%から徐々に減少する傾向が見られる。これは、冷蔵庫の断熱材にフロン類を使用しない断熱技術が普及している結果と考えられる。

表4-2-1 フロン類の廃棄量に占める家電製品の寄与率の推移

	冷蔵庫	ルームエ アコン	カーエア コン(自 動車)	業務用冷 凍空調機 器	家電合計	総計	家電の寄 与率
2001	3,708	3,523	3,034	9,014	7,232	19,280	38%
2002	3,706	3,800	3,213	9,580	7,507	20,299	37%
2003	3,675	3,982	3,350	9,974	7,657	20,981	36%
2004	3,659	4,218	3,501	10,460	7,877	21,837	36%
2005	3,593	4,519	3,650	11,022	8,112	22,784	36%
2006	3,482	4,791	3,819	11,575	8,273	23,667	35%
2007	3,338	4,984	3,901	11,926	8,322	24,150	34%
2008	3,126	5,089	4,000	12,182	8,214	24,396	34%
2009	2,893	5,200	4,027	12,358	8,093	24,477	33%
2010	2,643	5,323	4,010	12,499	7,966	24,475	33%

(3) 工程別インベントリ分析

冷蔵庫・冷媒、冷蔵庫・断熱材、ルームエアコン・冷媒に関する製品1台当たりの工程別のインベントリデータは、表4-3-1～3に示すとおりである。インベントリデータを算定するに際しての主な仮定は次に示すとおりである。

①製造工程

既存データベースより、製造1台当たりに使用するフロン類を製造するためのインベントリデータを収集した。インベントリデータの収集できなかった物質については、類似物質のインベントリデータを参考にすることによりインベントリデータを算定した。

②回収工程

回収率を冷蔵庫・冷媒は70%、冷蔵庫・断熱材は30%、ルームエアコンは60%と仮定して、回収装置を製造するためのイニシャルと、回収装置を運転するためのランニングに分けて算定した。

③運搬工程

20kgボンベに回収したフロン類を、2トン車で往復100kmを輸送すると仮定して、年量（軽油）の消費量と排気ガスについて算定した。

④破壊工程

廃棄物焼却施設に注入して破壊した場合を仮定した。廃棄物焼却施設を稼働するための電力と、フッ素や塩素分を除去するための水酸化ナトリウムを製造するためのインベントリデータについて算定した。

⑤大気放散

フロン類を回収・破壊しない場合には、フロン類はすべて大気に放散されるとして算定した。

フロン類を回収・破壊した場合には、回収及び破壊（破壊率は99.5%と仮定）できなかったフロン類とフロン類の破壊によりフロン類に含まれる炭素分に由来する二酸化炭素が排出されるとして算定した。

表4-3-1 冷蔵庫・冷媒の製品1台当たりの工程別インベントリデータ

工程	製品種別・ 7c種別	エネルギー					大気への環境負荷					
		電力 kwh	蒸気 kg	原油 kg	LNG kg	軽油 kg	エネルギー 一換算 MJ	二酸化 炭素 kg-CO ₂	窒素酸化物 kg	硫黄酸化物 kg	CFC-12	HFC-134 a
製造工程	CFC-12	0.25532	0.12623	0.03308	0.01390		5.06255	0.32004	0.00050	0.00041		
回収工程	HFC-134a 共通	0.21670	0.29957	0.02616	0.02969		5.81917	0.31573	0.00050	0.00030		
運搬工程	CFC-12	0.08025				0.00112	0.05194	0.00349	0.00000	0.00001		
破壊工程	HFC-134a					0.00100	0.04617	0.00000	0.00000	0.00001		
大気放散	CFC-12	0.32537					3.06451	0.15012	0.00012	0.00026		
	HFC-134a	0.28927					2.72452	0.13346	0.00011	0.00023		
	CFC-12						0.03911				0.07254	
	HFC-134a						0.08241					0.06448

表4-3-2 冷蔵庫・断熱材の製品1台当たりの工程別インベントリデータ

工程	製品種別・ 7c種別	エネルギー					大気への環境負荷					
		電力 kwh	蒸気 kg	原油 kg	LNG kg	軽油 kg	エネルギー 一換算 MJ	二酸化 炭素 kg-CO ₂	窒素酸化物 kg	硫黄酸化物 kg	CFC-11 14	HCFC- 14 a
製造工程	CFC-11	0.99290	0.49088	0.12866	0.05404		19.68771	1.24460	0.00196	0.00161		
回収工程	HCFC-141b シクロペンタン 共通	1.62283	1.05000	0.18963	0.03581		29.20938	1.79025	0.00273	0.00189		
運搬工程	CFC-11	0.07221	0.89041	0.06611	0.04732	0.01176	9.71169	2.06016	0.00360	0.00340		
破壊工程	HCFC-141b	8.84915					83.22626	3.88906	0.00238	0.00339		
大気放散	CFC-11	0.63274				0.00218	0.10100	0.00678	0.00001	0.00002		
	HCFC-141b						5.95960	0.29193	0.00024	0.00050	0.49105	
	シクロペンタン						0.06691					
							0.15716				0.49105	
							0.70722					0.49105

表4-3-3 ルームエアコン・冷媒の製品1台当たりの工程別インベントリデータ

工程	製品種別 7種別	エネルギー						大気への環境負荷				
		電力 kwh	蒸気 kg	原油 kg	LNG kg	軽油 kg	エネルギー 一換算 MJ	二酸化 炭素 kg-CO ₂	窒素酸 化物 kg	硫黄酸 化物 kg	HCFC-22	R407C
製造工程	冷暖房用・HCFC-22	1.13474	0.56101	0.14704	0.06176		22.50024	1.42240	0.00224	0.00184		
	冷房専用・HCFC-22	0.70921	0.35063	0.09190	0.03860		14.06265	0.88900	0.00140	0.00115		
	冷暖房用・R407C	1.08351	1.49784	0.13080	0.14847		29.09584	1.57864	0.00248	0.00152		
回収工程	共通	0.10030					0.94334	0.04335	0.00003	0.00004		
運搬工程	冷暖房用						0.23086	0.01550	0.00002	0.00005		
	冷房専用						0.14428	0.00969	0.00001	0.00003		
破壊工程	冷暖房用	1.44634					13.62259	0.66731	0.00055	0.00115		
	冷房専用	0.99545					9.37454	0.45582	0.00037	0.00075		
大気放散	冷暖房用・HCFC-22							0.24294			0.32240	
	冷房専用・HCFC-22							0.15184			0.20150	
	冷暖房用・R407C							0.41205				0.32240

(4) インベントリ分析 (代替案の評価)

工程別の製品1台あたりのインベントリデータを足し合わせて、代替案のインベントリ評価を行う。フロン類の回収・破壊を行う代替案は、製造、回収、運搬、破壊、大気放散の工程のインベントリ結果を、フロン類を回収・破壊しない代替案は、製造、大気放散のインベントリ結果を足し合わせて算定する。各代替案の評価結果は表4-4-1～3に示すとおりである。

①冷蔵庫・冷媒 (1台あたり)

表4-4-1 代替案1-1～1-4に関するインベントリ結果の比較

	エネルギー	二酸化炭素	窒素酸化物	硫黄酸化物	CFC-12	HFC-134a
	量					
	M J	kg	Kg	kg	kg	kg
代替案1-1	8.93377	0.54747	0.00065	0.00071	0.07254	
代替案1-2	5.06255	0.32004	0.00050	0.00041	0.18000	
代替案1-3	9.34462	0.56941	0.00063	0.00057		0.06448
代替案1-4	5.81917	0.31573	0.00050	0.00030		0.16000

②冷蔵庫・断熱材 (1台あたり)

表4-4-2 代替案2-1～2-6に関するインベントリ結果の比較

	エネルギー	二酸化炭素	窒素酸化物	硫黄酸化物	CFC-11	HCFC-141b	シクロペンタン
	量						
	M J	kg	Kg	kg	kg	kg	kg
代替案2-1	108.97457	5.49929	0.00459	0.00552	0.49105		
代替案2-2	19.68771	1.24460	0.00196	0.00161	0.70000		
代替案2-3	118.49624	6.13518	0.00536	0.00580		0.49105	
代替案2-4	29.20938	1.79025	0.00273	0.00189		0.70000	
代替案2-5	98.99855	6.95516	0.00623	0.00731			0.49105
代替案2-6	9.71169	2.06016	0.00360	0.00340			0.70000

③ルームエアコン (冷暖房用) (1台あたり)

表4-4-3 代替案3-1～3-4に関するインベントリ結果の比較 (冷暖房用)

	エネルギー	二酸化炭素	窒素酸化物	硫黄酸化物	HCFC-22	R407C
	量					
	M J	kg	Kg	kg	kg	kg
代替案3-1	37.29703	2.39150	0.00284	0.00308	0.32240	
代替案3-2	22.50024	1.42240	0.00224	0.00184	0.80000	
代替案3-3	43.89263	2.71685	0.00308	0.00276		0.32240
代替案3-4	29.09584	1.57864	0.00248	0.00152		0.80000

(5) インパクトアセスメント（廃製品1台当たりのフロン類に対する代替案の評価）

地球温暖化については二酸化炭素量に、オゾン層の破壊についてはCFC-11量に、酸性雨については硫酸化物量に換算し、代替案をインパクトカテゴリ別に評価し、これを日本における年間排出物量（規格値）で除して足し合わせることで、統合化をした結果は表4-5-1～3に示すとおりである。

表4-5-1 冷蔵庫1台の冷媒の代替案に関するインパクトアセスメント結果

	インパクトカテゴリ別の評価								
	地球温暖化 (kg-CO ₂)				オゾン層破壊 (kg-CFC-12)		酸性雨 (kg-SO _x)		
	二酸化炭素	CFC-12	HFC-134a	合計	CFC-12	合計	窒素酸化物	硫酸化物	合計
代替案1-1	0.55	616.59	0.00	617.14	0.07254	0.07254	0.00046	0.00071	0.00117
代替案1-2	0.32	1,530.00	0.00	1,530.32	0.18000	0.18000	0.00035	0.00041	0.00077
代替案1-3	0.57	0.00	83.82	84.39	0.00000	0.00000	0.00044	0.00057	0.00102
代替案1-4	0.32	0.00	208.00	208.32	0.00000	0.00000	0.00035	0.00030	0.00065

	正規化			統合化
	地球温暖化	オゾン層破壊	酸性雨	
規格値	1.36E+12	1.86E+06	2.21E+09	
代替案1-1	4.54E-10	3.90E-08	5.30E-13	3.95E-08
代替案1-2	1.13E-09	9.68E-08	3.47E-13	9.79E-08
代替案1-3	6.21E-11	0.00E+00	4.60E-13	6.25E-11
代替案1-4	1.53E-10	0.00E+00	2.95E-13	1.53E-10

表4-5-2 冷蔵庫1台の断熱材の代替案に関する統合化の結果

	地球温暖化	オゾン層破壊	酸性雨	統合化
代替案2-1	1.45E-09	2.64E-07	3.95E-12	2.65E-07
代替案2-2	2.06E-09	3.76E-07	1.35E-12	3.78E-07
代替案2-3	2.32E-10	2.90E-08	4.32E-12	2.93E-08
代替案2-4	3.26E-10	4.14E-08	1.72E-12	4.17E-08
代替案2-5	6.20E-12	0.00E+00	5.28E-12	1.15E-11
代替案2-6	3.06E-12	0.00E+00	2.68E-12	5.74E-12

表4-5-3 ルームエアコン1台の冷媒の代替案に関する統合化の結果

	地球温暖化	オゾン層破壊	酸性雨	統合化
代替案3-1	4.05E-10	9.53E-09	2.29E-12	9.94E-09
代替案3-2	1.00E-09	2.37E-08	1.54E-12	2.47E-08
代替案3-3	3.64E-10	0.00E+00	2.22E-12	3.66E-10
代替案3-4	8.99E-10	0.00E+00	1.47E-12	9.00E-10

(6) インパクトアセスメント（日本全体での推計）

使用フロン類の種類別の製品廃棄量予測と、代替案のインベントリ結果を掛け合わせることで、フロン類を回収・破壊した場合と回収・破壊しない場合の、我が国全体の経年的なインベントリデータを算定する。これを、地球温暖化は二酸化炭素量に、オゾン層の破壊はCFC-11の量に換算して比較する。冷蔵庫・冷媒、冷蔵庫・断熱材、ルームエアコンの地球温暖化及びオゾン層破壊に対する評価結果は、図4-6-1～3に示すとおりである。

なお、日本全国における年間排出量（規格値）で正規化した場合、オゾン層破壊が地球温暖化に比較して2オーダー程度大きな値となる。

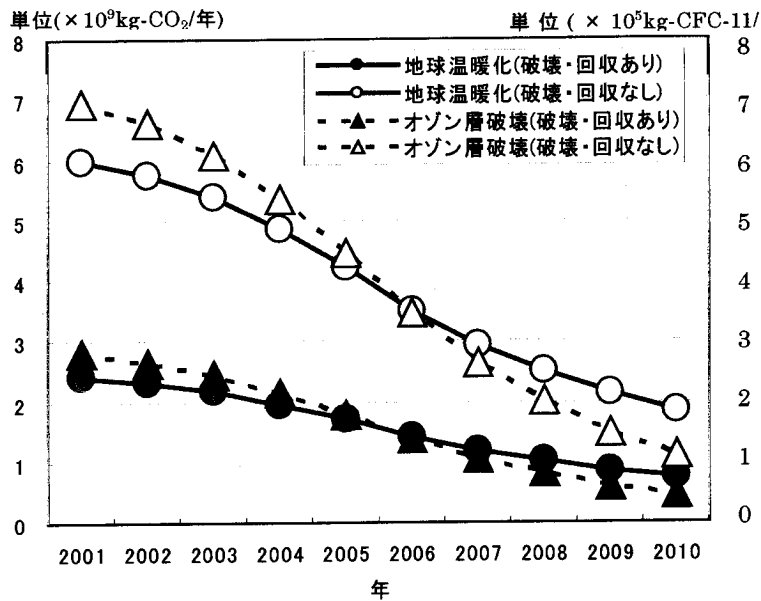


図4-6-1 日本全体の冷蔵庫・冷媒フロン類の地球温暖化への影響

単位($\times 10^9 \text{kg-CO}_2/\text{年}$)

単位($\times 10^5 \text{kg-CFC-11}/\text{年}$)

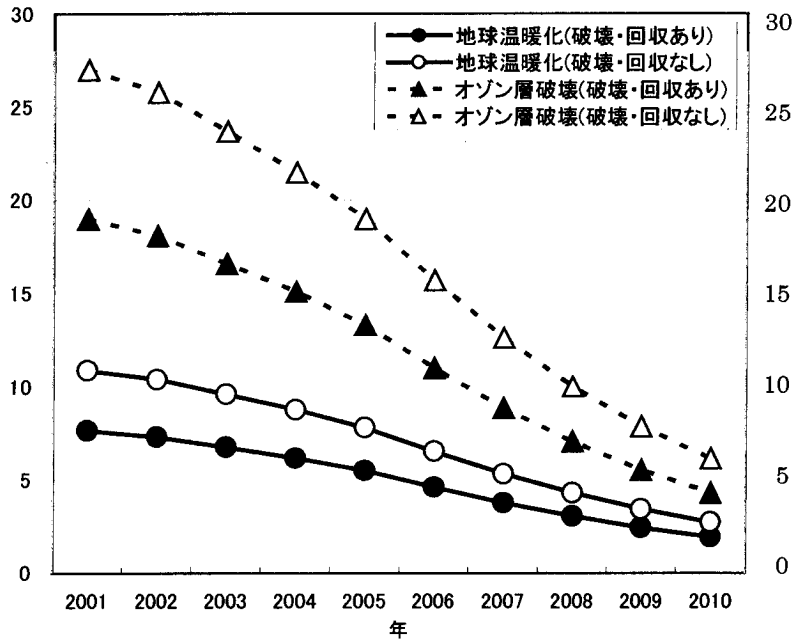


図4-6-2 日本全体の冷蔵庫・断熱材フロン類の地球温暖化への影響

単位($\times 10^9 \text{kg-CO}_2/\text{年}$)

単位($\times 10^5 \text{kg-CFC-11}/\text{年}$)

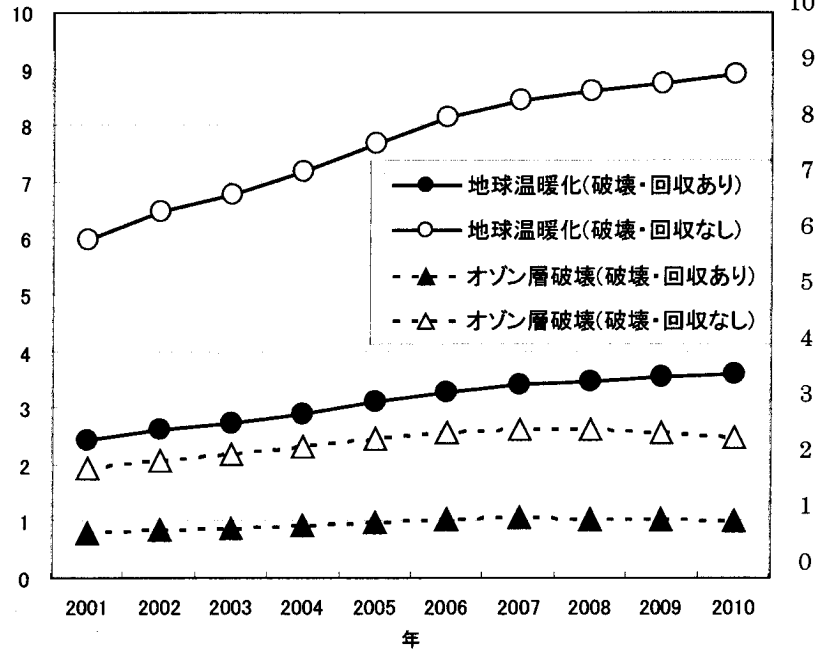


図4-6-3 日本全体のルームエアコン・冷媒フロン類の地球温暖化への影響

5. 考察・本研究により得られた成果

①早急な回収・破壊体制の構築

フロン類の総廃棄量に占める家電製品の寄与率は30%台と推定されることから、オゾン層破壊防止及び地球温暖化防止の観点から、家電製品からのフロン類の確実な回収破壊システムの構築が望まれる。フロン類を回収・破壊した場合の環境負荷は、冷蔵庫・冷媒、冷蔵庫・断熱材については、2001年が最も大きく、年を経るごとに小さくなっていくという結果となった。そのため、製品の性状やフロン類の種類に応じた回収・破壊体制の早急な構築が求められている。

また、面的な廃棄量予測の結果を踏まえて、適正な回収・破壊施設の配置など面的な最適システムの構築が必要であり、既存の産業廃棄物及び一般廃棄物処理施設の活用をベースとしたシステム整備が効率的である。

②インパクトカテゴリ間の比較

各代替案のインベントリデータのうち、地球温暖化に影響するものは二酸化炭素排出量に換算した。これを、我が国の温暖化ガスの総排出量（二酸化炭素量換算値）で除すことで、我が国に占める影響の大きさを算定した。オゾン層の破壊に影響するものはCFC-11の排出量に、酸性雨に影響するものは硫酸化合物の排出量に換算し、同様の計算を行った。

今回評価した3つのインパクトカテゴリ間の比較では、オゾン層破壊物質（CFC、HCFC）がある代替案ではオゾン層の破壊による影響が最も大きく、これに比べて地球温暖化は $10^1 \sim 10^2$ 、酸性雨は $10^3 \sim 10^5$ 程度小さくなるという結果となった。

③工程別の比較

本研究では、製造工程、回収工程、運搬工程、破壊工程の4つの工程と大気放散に分けて評価を試みた。オゾン層の破壊に影響を及ぼす工程はオゾン層破壊物質を大気放散する場合のみである。地球温暖化に対する影響が最も大きいのは大気放散であり、他の工程より $10^2 \sim 10^3$ も影響が大きいことが明らかとなった。環境負荷を低減させるためには、フロン類の回収率を向上させるなど、大気への放散量を減らすことが重要である。

④回収技術の向上

「フロン回収の手引き」⁶⁾による目標回収量から、冷蔵庫・冷媒及びルームエアコン・冷媒のフロン類の回収率を算定すると約60%となる。一方で、破壊工程では、一般廃棄物焼却炉は約99.5%が破壊されるというデータがあり、溶融施設などではより高い破壊率が報告⁷⁾されている。

破壊技術については、一般廃棄物焼却施設でも十分な破壊能力を持っていることから、フロン類の回収・破壊を確実に進めていくためには、回収技術の開発が不可欠である。

⑤特定フロンの確実な回収・破壊

冷蔵庫・冷媒の代替案でみると、オゾン層の破壊に対しては特定フロンのみが影響を及ぼす。地球温暖化に対する影響は、特定フロンを回収・破壊しない場合（代替案1-2）には1,530kg

-CO₂、特定フロンを回収・破壊した場合（代替案1-1）には617kg-CO₂、代替フロンを回収・破壊しない場合（代替案1-3）には208kg-CO₂、代替フロンを回収・破壊した場合（代替案1-4）には84kg-CO₂である。すなわち、特定フロンを回収・破壊した場合には回収・破壊しない場合に比べて913kg-CO₂削減効果があるが、代替フロンを回収・破壊した場合には回収・破壊しない場合に比べて削減効果は124kg-CO₂である。

本研究では、回収工程におけるフロン類の回収率を60%と仮定しているが、回収率を70%に10%高めれば、特定フロンの場合には概算で $1,530\text{kg-CO}_2 \times 10\% = 153\text{kg-CO}_2$ と、代替フロンのフロン回収による削減効果(124kg-CO₂)を超える削減効果が期待できる。フロン類の回収率は、回収機器の運転時間に比例して向上することから、特定フロンの回収・破壊を確実に進めるためには、特定フロンでは回収時間を長くして回収率を上げることも、全体の環境負荷を低減する効果があると考えられる。

⑥代替フロンの回収・破壊

代替フロンに関する代替案については、地球温暖化及びオゾン層の破壊の観点からみると、フロン類を回収・破壊した場合の方が回収・破壊しない場合に比べて、環境負荷が低減されることが明らかとなった。代替フロンについては、特定フロンに比べて影響が小さいものの、回収・破壊することにより環境負荷を低減することができる。

冷蔵庫・断熱材のシクロペンタンについては、回収・破壊する場合には回収・破壊しない場合に比べて、地球温暖化と酸性雨への影響が大きくなるという結果となった（オゾン層破壊の影響はどちらもゼロ）。シクロペンタンについては、引火性や毒性などの他の要素も含めて、回収・破壊の可否について検討する必要がある。シクロペンタンを回収しない場合には、回収現場で見分けがつくように、断熱材の内容がわかるような表示が必要である。

⑦冷蔵庫・断熱材の回収・破壊

フロン類を回収・破壊した場合の2001年から2010年までの累積の環境影響について、製品別の比較を表5-1-1に示す。オゾン層の破壊では、冷蔵庫・断熱材、ルームエアコン、冷蔵庫・冷媒の順である。地球温暖化では、冷蔵庫・断熱材、冷蔵庫・冷媒順、ルームエアコンの順である。

冷蔵庫の断熱材は冷蔵庫の冷媒に比べて、オゾン層の破壊で約7倍、地球温暖化で約3倍の影響がある。冷蔵庫の断熱材については、家電リサイクル法での回収が義務づけられていないが、フロン回収・破壊法には、調査研究を速やかに推進し、結果に基づき必要な措置を講ずるよう附則に盛り込まれている。影響力の大きさを考慮すると、早急な対応が求められる。

表5-1-1 製品別のフロン類を回収・破壊した場合の累積（10年間）の環境影響の比較

	地球温暖化	オゾン層破壊
	kg-CO ₂	kg-CFC-11
冷蔵庫・冷媒	1.58E+10	1.62E+06
冷蔵庫・断熱材	4.92E+10	1.19E+07
ルームエアコン	3.11E+10	9.62E+05

⑧ルームエアコン取り外し時の漏洩防止

ルームエアコンのうち主流であるセパレートタイプのもは、室外機と室内機がチューブでつながった構造になっている。そのため、室外機と室内機を分離する際などの取り外し時にフロン類が漏れてしまう可能性がある。ルームエアコンについては、取り外し時の取り扱いに注意する必要がある。また、製造メーカーにはルームエアコンの設計・製造時に漏れのない構造にすること、使用者には冷媒が漏れないような機器の取り扱いが求められる。

6. 引用文献

- 1) (財)家電製品協会：「廃家電製品発生量の予測調査研究報告書」1993年3月
- 2) (社)日本電気工業会：「2003年に至る家電製品の国内需要予測」1999年3月
- 3) (財)家電製品協会：「家電産業ハンドブック1999」1999年10月
- 4) (財)日本電機工業会：「2003年に至る家電製品の国内需要予測経済・社会要因から導く需要構造の変化」1999年4月
- 5) (社)産業環境管理協会「JEMAI-LCAの設定と解説」
- 6) 環境省：「フロン回収の手引き」2000年7月
- 7) ㈱三菱総合研究所：「平成8年度フロン破壊モデル事業評価調査報告書」1997年3月

[国際共同研究等の状況]

なし

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表(学術誌・書籍)

なし

(2) 口頭発表

- ①栗原和夫、杉山涼子、大迫政浩、中杉修身、田中 勝：第11回廃棄物学会(2000)

「廃家電製品及び廃自動車からのフロン類の経年的及び面的な廃棄量予測」

- ②栗原和夫、大迫政浩、杉山涼子、中杉修身：第13回廃棄物学会(2002)(予定)

「廃家電製品及び廃自動車からのフロン類の回収・破壊に関するLCA評価」

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

なし

(6) その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について

なし

[巻末資料]

表-1 フロン類の種類別使用冷蔵庫の廃棄予測台数 (図4-1-1~2資料)
単位 (千台/年)

	冷媒		断熱材		
	CFC-12	HFC-134a	CFC-11	HCFC-141	非フロン
	2001	3,854	438	3,821	385
2002	3,666	675	3,616	582	144
2003	3,377	1,010	3,292	859	236
2004	2,970	1,513	2,945	1,172	366
2005	2,470	2,118	2,556	1,458	575
2006	1,921	2,782	2,043	1,801	859
2007	1,471	3,354	1,575	2,049	1,201
2008	1,121	3,774	1,202	2,113	1,580
2009	835	4,130	896	2,078	1,991
2010	617	4,424	664	1,942	2,435

表-2 フロン類の種類別使用エアコンの廃棄予測台数 (図4-1-3資料)
単位 (千台/年)

	冷房専用		冷暖房用	
	HCFC-22	R407C	HCFC-22	R407C
2001	1,487	0	3,474	0
2002	1,404	0	3,873	0
2003	1,288	0	4,169	3
2004	1,193	0	4,508	19
2005	1,102	0	4,902	58
2006	994	0	5,236	132
2007	873	0	5,437	247
2008	745	0	5,475	420
2009	615	0	5,451	664
2010	493	0	5,353	993

表－3 日本全体の冷蔵庫・冷媒フロン類に関するインパクト結果（図4-6-1資料）

	①回収破壊する場合		②回収破壊しない場合		①÷②	
	地球温暖化	オゾン層破壊	地球温暖化	オゾン層破壊	地球温暖化	オゾン層破壊
	kg-CO ₂	kg-CFC-11	kg-CO ₂	kg-CFC-11	kg-CO ₂	kg-CFC-11
2001	2.42E+09	2.80E+05	5.99E+09	6.94E+05	0.403	0.403
2002	2.32E+09	2.66E+05	5.75E+09	6.60E+05	0.403	0.403
2003	2.17E+09	2.45E+05	5.38E+09	6.08E+05	0.403	0.403
2004	1.96E+09	2.15E+05	4.86E+09	5.35E+05	0.403	0.403
2005	1.70E+09	1.79E+05	4.22E+09	4.45E+05	0.403	0.403
2006	1.42E+09	1.39E+05	3.52E+09	3.46E+05	0.404	0.403
2007	1.19E+09	1.07E+05	2.95E+09	2.65E+05	0.404	0.403
2008	1.01E+09	8.13E+04	2.50E+09	2.02E+05	0.404	0.403
2009	8.64E+08	6.06E+04	2.14E+09	1.50E+05	0.404	0.403
2010	7.54E+08	4.48E+04	1.87E+09	1.11E+05	0.404	0.403
累積	1.58E+10	1.62E+06	3.92E+10	4.01E+06	0.404	0.403

表－4 日本全体の冷蔵庫・断熱材フロン類に関するインパクト結果（図4-6-2資料）

	①回収破壊する場合		②回収破壊しない場合		①÷②	
	地球温暖化	オゾン層破壊	地球温暖化	オゾン層破壊	地球温暖化	オゾン層破壊
	kg-CO ₂	kg-CFC-11	kg-CO ₂	kg-CFC-11	kg-CO ₂	kg-CFC-11
2001	7.65E+09	1.90E+06	1.09E+10	2.70E+06	0.703	0.702
2002	7.31E+09	1.81E+06	1.04E+10	2.58E+06	0.703	0.702
2003	6.76E+09	1.66E+06	9.60E+09	2.37E+06	0.704	0.702
2004	6.17E+09	1.51E+06	8.77E+09	2.15E+06	0.704	0.702
2005	5.50E+09	1.33E+06	7.81E+09	1.90E+06	0.704	0.702
2006	4.60E+09	1.10E+06	6.53E+09	1.57E+06	0.705	0.702
2007	3.76E+09	8.84E+05	5.33E+09	1.26E+06	0.706	0.702
2008	3.05E+09	7.04E+05	4.31E+09	1.00E+06	0.707	0.702
2009	2.44E+09	5.52E+05	3.44E+09	7.87E+05	0.709	0.702
2010	1.94E+09	4.31E+05	2.73E+09	6.14E+05	0.711	0.702
累積	4.92E+10	1.19E+07	6.98E+10	1.69E+07	0.705	0.702

表-5 日本全体のルームエアコン・冷媒フロン類に関するインパクト結果 (図4-6-3資料)

	①回収破壊する場合		②回収破壊しない場合		①÷②	
	地球温暖化	オゾン層破壊	地球温暖化	オゾン層破壊	地球温暖化	オゾン層破壊
	kg-CO ₂	kg-CFC-11	kg-CO ₂	kg-CFC-11	kg-CO ₂	kg-CFC-11
2001	2.42E+09	7.81E+04	6.00E+09	1.94E+05	0.404	0.403
2002	2.62E+09	8.42E+04	6.47E+09	2.09E+05	0.404	0.403
2003	2.74E+09	8.82E+04	6.78E+09	2.19E+05	0.404	0.403
2004	2.90E+09	9.32E+04	7.18E+09	2.31E+05	0.404	0.403
2005	3.11E+09	9.91E+04	7.68E+09	2.46E+05	0.404	0.403
2006	3.29E+09	1.04E+05	8.13E+09	2.58E+05	0.404	0.403
2007	3.42E+09	1.06E+05	8.45E+09	2.63E+05	0.404	0.403
2008	3.48E+09	1.05E+05	8.60E+09	2.61E+05	0.404	0.403
2009	3.54E+09	1.03E+05	8.76E+09	2.57E+05	0.404	0.403
2010	3.61E+09	1.00E+05	8.92E+09	2.49E+05	0.404	0.403
累積	3.11E+10	9.62E+05	7.70E+10	2.39E+06	0.404	0.403