

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

(1) 廃自動車等からのフロン類の回収システムとハロン類の分解技術システムに関する研究

② 廃業務用機器からのフロン類の回収・再利用・分解の社会システムに関する研究

豊橋技術科学大学エコロジー工学系 藤江幸一

平成 11～13 年度合計予算額 6,000 千円

(うち、平成 13 年度予算額 2,000 千円)

[要旨]

オゾン層保護の取り組みの一つとして、家庭用冷蔵庫、カーエアコン、業務用冷凍空調機器の廃棄時にフロン回収し、再生・破壊することが求められている。しかし、現状ではこれらの機器からのフロン回収は、経済的・技術的問題からあまり進んでいない。また、フロン回収には回収費用が必要であり、関係者に大きな負担となっている。

そこで、本研究では業務用冷凍空調機器の収集→フロン抜取→運搬→フロン分解にかかる費用の試算を行い、回収費用の側面からフロン回収システムの問題点を明確にした。そして得られた結果から回収システムの改善について検討を行った。

まず、業務用冷凍空調機器の現状のフロン回収システムについて調査し、その回収費用の試算方法を構築した。その結果、フロン回収に必要な回収費用は、人件費と回収装置の減価償却費が大きな割合を占めていて、回収を促進するには回収装置のレンタル制度などの充実による回収装置の減価償却費の低減が効果的であるということを得た。現状では効果的なフロン回収促進のための対策・取り組みが行われていないので、回収作業時間短縮のための技術指導やフロン回収費用負担者の明確化、回収装置の性能向上・価格低下などが必要である。

次に、業務用冷凍冷蔵庫に関して、使用業種および使用機器種からフロンストック量を使用業種別ストック量に配分し事業所数を指標とする地域係数を乗じることによって、業務用空調機器に関しては建物床面積から、フロンストック分布量を推計する手法を開発した。フロンストック分布量より、回収対象地域における回収対象量や収集距離を考慮した回収システムにおける費用・環境負荷を計算することができ、保管拠点選定に役立てることができる。

[キーワード] 業務用冷凍空調機器、フロン、廃棄量予測、回収システム、地理情報システム

1. はじめに

1974 年にフロンによるオゾン層破壊及びそれに伴う生態系への影響が指摘されて以降、1985 年の「オゾン層の保護のためのウィーン条約」の採択、1987 年の「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」の採択などのオゾン層破壊物質の生産・消費に関する国際的な取組み・規制が進んだ。日本でも 1988 年に「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律」が制定・公布され、オゾン層保護の取り組みが進められている^{1),2)}。現在ではモントリオール議定書に基づく規制スケジュールによって、特定フロン (CFC) をはじめとする主要なオゾン層破壊

物質は 1995 年末を持って全廃となっている。

しかしながら、過去に生産されたこれらの物質については、現在も社会に蓄積し大気への放出が続いている。特に、オゾン層破壊能力の大きい CFC やその代替物質 (HCFC、HFC) は、冷媒、発泡剤、洗浄剤、エアゾールなど幅広い分野で使用されている。1995 年の CFC 生産中止以降出荷の中心は CFC から HCFC に移行しつつも依然出荷量は多い。そのため、今後はこれらのフロンを扱う関係者が、それぞれにおいてフロン放出削減のための取組みを行なう必要がある。

(1) 対象機種

特定フロンのうち冷媒として使用されるフロンは主に家庭用冷蔵庫、カーエアコン、業務用冷凍空調機器などに充填され、これらの機器の廃棄時にはフロンを回収し、再生・破壊などの適切な処理が求められている。

現在フロン回収の取組みは各分野の業界団体を主体としてシステム整備が行なわれている。2001 年 4 月から施行される「特定家庭用機器再商品化法(家電リサイクル法)」により家庭用冷蔵庫に関しては全国的な廃機器回収のルートが確立され、それに伴ってフロン回収の効率向上が期待される。カーエアコンに関しても業界団体の取組みにより既存の廃車処分ルートに乗ったフロンの回収システム整備が 1998 年に完了し、「使用済み自動車の処分に関する管理表制度(マニフェスト制度)」の導入により回収が積極的に行われている。³⁾しかしながら、現状において廃業務用冷凍空調機器からのフロン回収が、必ずしも順調に進んでいない。これは、経済的問題及び技術的問題によるシステム整備の遅れが大きな原因となっていると考えられる。これらの問題点を改善には、公平な費用負担考察のためにフロン回収費用の発生部分及び強度を、効率的な回収システムの構築の為に回収システム評価方法を明らかにすることが望まれる。

(2) フロン回収の現状^{1),3)}

CFC 等の回収・破壊の状況について、環境庁が平成 9 年 4 月に発表した都道府県・政令指定都市に対するアンケート調査の結果によれば、事業者については必ずしも十分把握されていないが、平成 8 年度における台数ベースの回収率は、回答のあった都道府県・政令指定都市を対象として計算すると、家庭用冷蔵庫は 20%(市町村ルート 56%、販売店ルート 2.4%)、カーエアコンは 7.2%であった。環境庁による調査について平成 8 年度の回収率を平成 7 年度と比較すると、家庭用冷蔵庫の市町村ルートについて相当程度の進展が見られるものの、カーエアコン、業務用冷凍空調機器および家庭用冷蔵庫の販売店ルートについては、回収率は依然として低い状況である。

廃棄機器からのフロン回収の対象となる家庭用冷蔵庫、カーエアコン、業務用冷凍空調機器は機種毎に異なるルートにより処理されている(図 1)⁴⁾。家庭用冷蔵庫については、自治体による収集と販売店・メーカーなどによる収集の主な二つ廃棄ルートが存在し、一般的に自治体ルートの廃棄率は約 20%、販売店・メーカールートの廃棄率は 80%といわれている。また、家庭用冷蔵庫とほぼ同様にルームエアコンからのフロン回収がある。これについては、先ほどの二つのルートに加え建築業者が一部処理作業に加わる。しかし、撤去時に機器からフロンが抜けていることが多く余りフロン回収は進んでいない。

業務用冷凍空調機器については、販売店、工事業者、機器保守契約者など機器の契約関係にある設備業者により撤去・処分が行なわれている。これらの機器は機種形態が多様なため設備業者は様々な分野に跨っており、フロン回収作業も機器形態の違いにより大きく異なると予想され

る。これとは反対に、家庭用冷蔵庫やカーエアコンは機器の形態に多少の違いがあるが、業務用冷凍空調機器に比べ機種に関係なく同じようにフロン回収作業が行なわれる。したがって、業務用冷凍空調機器の場合、機種ごとに様々なフロン回収ルートが存在していることが特徴といえる。

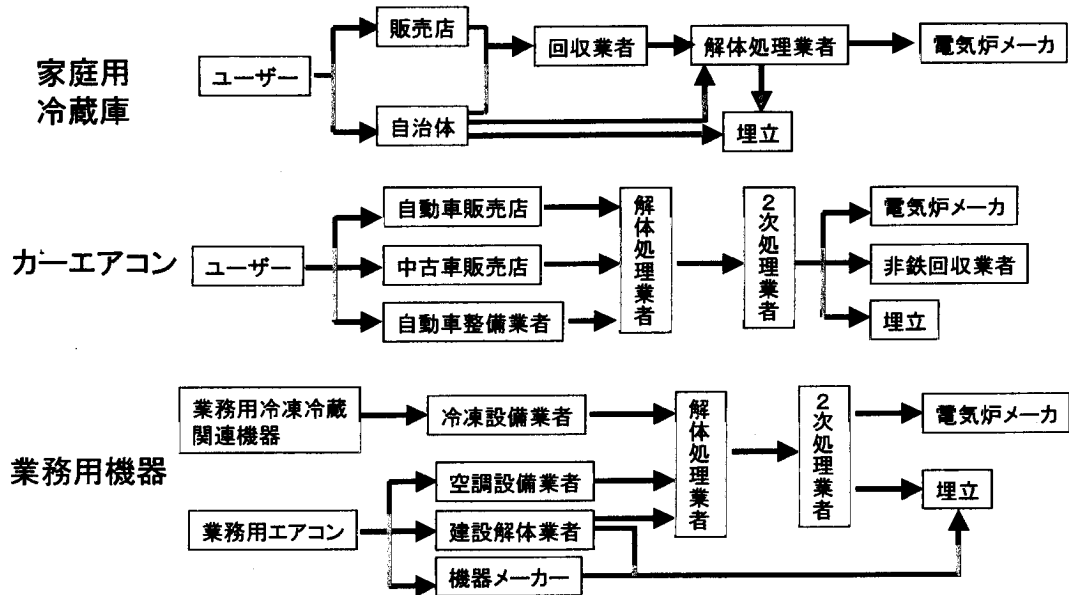


図 1 フロン使用機器の廃棄ルート

2. 研究目的

廃棄される業務用機器からのフロン回収は、現在社会および市場の中に効果的に組み込まれていない。原因としてフロン回収は、消費者、メーカー、行政などに直接の利益を与えるものでもなければ、損害を与えるものでもないという理由が考えられる。その上、フロン回収により余分に掛かってしまう費用を誰がどの様に負担するかという問題についてすっきりとした解決策が見出せていない。そのため、フロン回収の取組みは何らかの対策を行わない限り、自主的に進められることは非常に難しいと思われる。

また、回収費用の負担に留まらず、フロン回収を行うための社会基盤の整備は、今後さらに進められる必要がある。これらの課題を解決していくには、機器使用者を含めたフロン回収に関わる関係者間の社会的合意形成が大きく関わってくる。現時点ではフロン回収が廃機器の回収を行っている関係事業者には大きな負担となっており、今後は行政、機器使用者、メーカーなどが、それぞれの立場において役割を担って行くことが望まれる。つまり、フロン回収は関係者間の役割分担が進められることで大きく前進すると考えられる。業務用冷凍空調機器においては公的な回収推進施策がなく業界団体を中心にシステム作りが進められており、回収事業者の自主的行動に期待しているところが大きい。

これらの現状より、本研究では廃業務用冷凍空調機器からのフロン回収システムについて調査・研究を行い、費用、エネルギー消費量、二酸化炭素排出量の観点からシステムに対する評価手法を開発し、フロン回収システムの効率向上に資する提言を行うことを目的とする。

3. 研究方法

(1) フロンストック量分布

①対象フロン³⁾、機種

「フロン」全てがオゾン層破壊物質ではなく、その中でも塩素を含む CFC, HCFC が現在規制の対象となっている。「モントリオール議定書」のスケジュールに従い CFC の生産は全廃され、今後代替物、代替技術の開発と生産転換が必要なのは HCFC である。また、CFC, HCFC の代替物質として利用が増えつつある HFC、パーフルオロカーボン(PFC)が、気候変動枠組条約締結国会議(COP)により温室効果ガスとして指定され排出抑制等が求められ、排出削減目標値が設定された(1997年)。

本研究においてストック量分布推計の対象は業務用冷凍空調機器とする。業務用冷凍空調機器は一般に小売店や飲食店の冷凍冷蔵庫からビルや公共施設等に設備されている空調システムまで様々な分野で使用されている。大きさも小型のものから大型のものまであり、用途により使用される冷媒も様々である。機器の分類方法は(社)日本冷凍空調工業会の自主統計⁵⁾に従った。本研究ではより現状に即したストックの分布状況を推計する為、冷凍機器と空調機器のフロンストック量の推算を分けて行う。

②使用データ

冷凍・空調機器共にフロンストック量の推計値は(社)日本冷凍空調工業会がまとめた「冷媒の使用と回収可能量調査報告書」⁶⁾を参照した。各機器へのフロン充填量も「報告書」を参考とし、記載がないものについては「冷媒回収技術」⁷⁾及び「フロン回収の手引き」⁸⁾に従った。

冷凍機器の分布推測の際に用いた業種の売場面積は商業統計⁹⁾から引用した。空調機器の分布推測の際に用いた建物用途別面積は豊橋市統計書から引用した。空調機器の冷房負荷は「冷凍空調の SI 単位」¹⁰⁾を参照した。また、単位負荷あたりの機器へのフロン充填量はメーカーのカタログより推算を行った。

表 1 機器の種類別 CFC 回収率 (平成 10 年度)⁸⁾

機器の種類	回収台数又は回収量	推計廃棄台数又は推計回収可能量	回収率
家庭用冷蔵庫	1,215 千台	4,182 千台	29%(台数ベース)
うち市町村ルート (家電販売店からの持込分を含む)	1,080 千台	1,412 千台	77%(台数ベース)
うち家電販売店等ルート	135 千台	2,770 千台	5%(台数ベース)
カーエアコン	140 トン	1,200 トン	12% (量ベース)
業務用冷凍空調機器	690 トン	1,230 トン	56% (量ベース)

③冷凍冷蔵機器

ア 推計方法

現在、業務用冷凍空調機器は飲食店で使われる業務用冷凍冷蔵庫から大型建物における空調設備まで様々な分野で使用されている。これらの機器は小型の機器から大型の機器まで存在し、同時に機器の種類についても豊富に存在している。これら業務用冷凍冷蔵機器を大きく分類すると冷凍冷蔵関連機器、空気調和関連機器、冷凍空調圧縮機、自動販売機の 4 つに分けられ

る。本研究では冷凍冷蔵関連機器、冷凍空調圧縮機、自動販売機に着目し、それぞれのフロン回収のコストを試算することとした。

業務用冷凍機器の使用事業者として飲食関係事業所、小売事業所、ホテル、医療施設等が考えられる。本研究では中で最も機器使用量が多いと思われる小売業事業所を推計の指標とする。

フロンストック量の分布を推測のパラメータとなるのは冷凍機器を使用する事業所の分布状況である。しかしながら、統計的に推算されるフロンストック量は機種別ストック量となるのでそれから業種別ストック量へ再計算を行う必要がある。計算の流れは次のようになる。

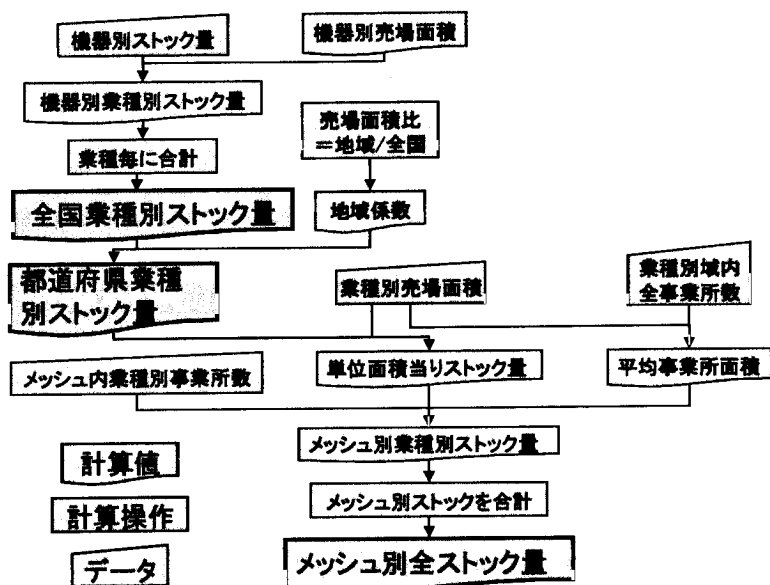


図 2 ストック量の分布推計(冷凍機器)

①全国の機器別ストック量から業種別ストック量を推計する。

②業種別機器別ストック量から都道府県別ストック量を推計する。

③都道府県別ストック量からメッシュあたりのストック量を推計する。

国内出荷台数と一台あたりの充填量から求められる機器別の値を業種別に再計算するに当り、どのようなパラメータで按分するのが良いか考察した。売場面積と事業所数及び事業所規模(売場面積、従業員数)をそれぞれパラメータとして結果を比較した。パラメータの違いにより、それぞれの業種の影響が大きく異なった。図3に示すように、特に百貨店の値の変動が大きく、事業所数では全体の1%に満たないが、売場面積で比較を行うと約20%となった。冷凍冷蔵ユニットやショーケースは店舗面積により使用に適不適があり、使用タイプが異なる場合がある。従って今後按分を行う際には売場面積を使用するのが適切と思われる。

次に機器毎に単位面積あたりフロン充填量を求めた。上記の結果より機器の大きさと事業所面積の関係の方が業種間による機器の使用形態の違いよりも大きいと思われる。従って今回は業種間の違いを無視して計算を行った。各業種での平均的な機器使用状況等のデータが入手可能であり、業種に拠る違いが大きければ業種間の違いも考慮に入れて計算を行う必要がある。

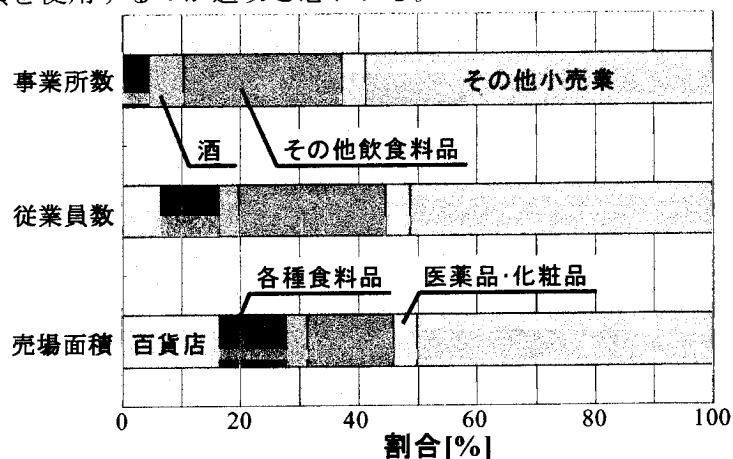


図 3 小売業の事業所数比、従業員数比、売り場面積比

イ 地域ストック量推算の為のパラメータ決定

業種別に再計算した値は全国値なので、これを各地域に按分する為のパラメータについて考

察を行った。先の業種毎の按分を売場面積で行ったことに基づき、地域への按分は全国と各地域の売場面積比で計算を行った。各地域の代表的な都道府県を選び、地域或いは業種に拠る特性を検討した（表 2）。全小売業の売場面積比と業種毎の売場面積比に 5%以上の差が見られなかったため、地域の産業構造を考慮に入れず小売業面積比を全国値に乘じるにより按分を行う。

表 2 各地域の業種別売場面積の割合(小売業)

	小売業	百貨店	各種食料品	酒	その他飲食料品	医薬品化粧品
全国	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
北海道	0.05	0.05	0.06	0.04	0.05	0.05
宮城	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
東京	0.08	0.10	0.05	0.06	0.09	0.08
長野	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
愛知	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06
大阪	0.06	0.08	0.04	0.05	0.06	0.05
広島	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
愛媛	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01
福岡	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05
沖縄	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

全国を1とした場合の各都道府県の割合

ウ メッシュへのストック量配分

各地域へのフロストック量の按分後、各メッシュの計算を行う。これ以降は各地域での計算になるので売場面積、事業所数等は各地域の統計結果を用いる。電子地図のメッシュに収められている属性情報は各業種の事業所数である。各メッシュの事業所数からフロストック量を求める為、その地域の各業種の平均事業所面積及び単位面積当りストック量を計算し、メッシュ内事業所数に乘じるによりメッシュ内業種別フロストック量が求められる。業種毎にフロストック量を算出し、それらの和がメッシュ内の全ストック量となる。

④業務用空調機器

本研究で対象とする業務用空調機器を日本冷凍空調工業会の自主統計の分類に従い、業務用空調機器の分類を行った。その分類と出荷台数⁵⁾を表3にまとめた。機器別に出荷台数を見ると、パッケージエアコンの出荷台数が最も多いことがわかる。したがって、業務用空調機器の中でもパッケージエアコンを対象としてフロストック量分布の推計を行う。

表 3 空気調和関連機器の機器別出荷台数⁵⁾

空気調和関連機器	出荷台数			
	1999年	1998年	1997年	
パッケージエアコン	624,224	682,064	786,194	
ガスヒートポンプエアコン	42,187	39,393	39,838	
空調用設備機器	チリングユニット	8,913	10,213	12,014
	吸収式冷凍機	3,587	4,108	4,412
	ターボ冷凍機	247	333	336
	ファンコイルユニット	238,005	267,928	300,317
	エアハンドリングユニット	27,086	32,316	32,306

ア フロン充填量の推計

業務用空調機器に充填されているフロン量は、設置されている建物の床面積から推計できる。床面積が大きくなれば、より高い冷房能力を持つ空調機器が必要となる。冷房能力が高くなればフロン充填量も増える¹¹⁾ので、床面積とフロン充填量は比例関係があるといえる。しかし、空調機器の製造会社や機器によってフロン充填量は異なっている。また、空調機器の設置を計画する時に建物の冷暖房負荷計算¹⁰⁾をすることを考えると、床面積が同じでも建物ごとに空調機器に充填されるフロン量は異なっていることが考えられる。したがって、製造会社や機器による違いや建物の冷房負荷を考慮し、建物の床面積から空調機器のフロン充填量を推計する。

イ フロン充填量の冷却方式による違い

空調機器の製造会社や機器によるフロン充填量に違いはあるが、パッケージエアコンのシェアが最多の会社の製品について調査¹¹⁾したところ、冷却方式の違いによって充填量は大きく二分化されることが分かった(図4)。空冷式は水冷式と比べてフロン充填量が多くなっている。また、冷房能力が高くなればフロン充填量も多くなることが分かる。

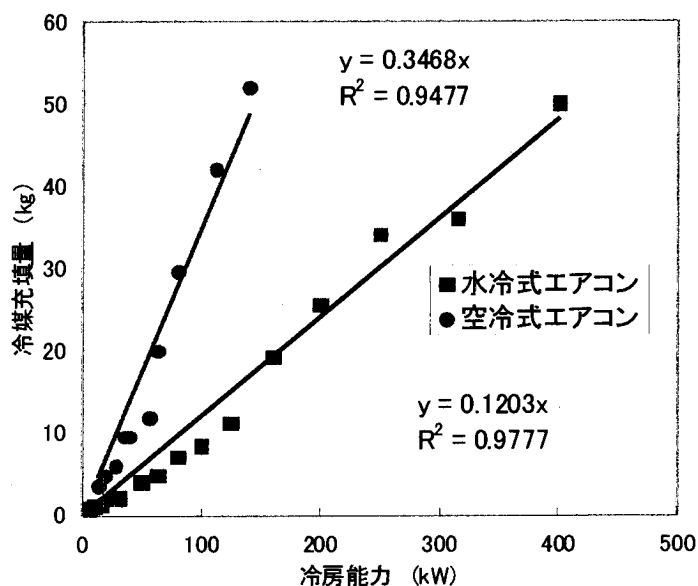


図4 空冷方式別の冷房負荷と冷媒充填量

ウ 建物の冷房負荷¹⁰⁾

建物の冷房負荷から、それに適した冷房能力を持つエアコンを選ぶことになるので、冷房負荷によってエアコンのフロン充填量が左右されるといえる。冷房負荷計算には計算する建物の多くのデータが必要となるが、空調機器設置の場合の冷房負荷計算は通常より簡単な方法が用いられている。(表4)。

表4 建物種類別冷房負荷¹⁰⁾

建物種類	冷房負荷 (W/m ²)		
	低	平均	高
アパート・ホテルの客室	41	63	94
美術館・図書館	94	162	236
百貨店(1階)	83	126	190
百貨店(上方階)	76	98	126
オフィスビル	72	114	164
小さい事務室	103	142	201
レストラン	284	372	488
美容室・理髪店	157	240	369
劇場	186	195	207

エ 冷房負荷と空調面積の関係

エアコンの冷房能力別に冷房負荷と空調面積の関係をグラフにした(図5)。空調面積は、周波数60Hzの時の平均値を用いた。冷房負荷が大きくなれば空調面積が狭くなるという結果が得られた。

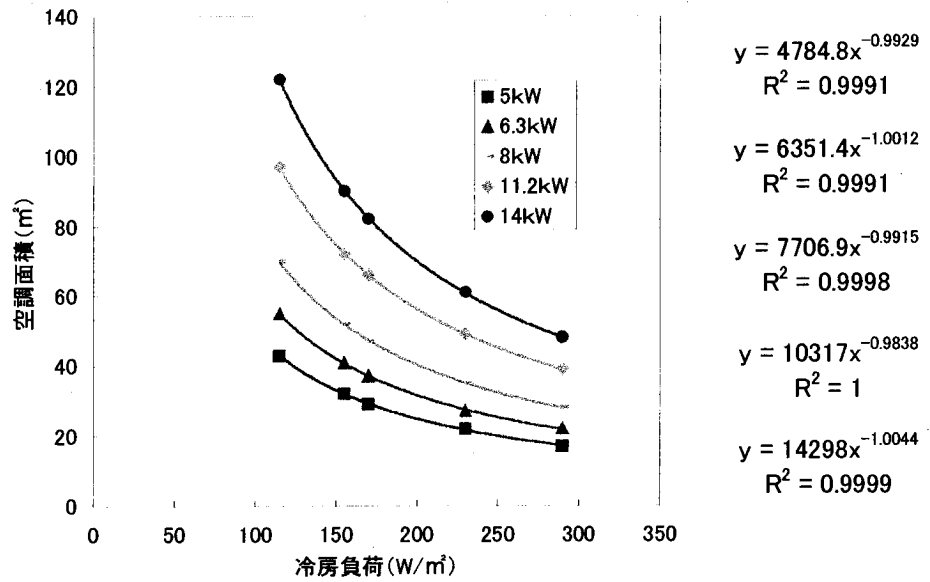


図5 エアコン冷房能力別冷房負荷と空調面積

オ 建物種類別単位床面積あたりのフロン使用量

図5より得られた関係式から、建物種類別(冷房負荷別)に空調面積の目安を逆算し、さらに、表5から、建物種類別の冷房能力と空調面積の関係から比例定数を求め、この比例定数と図4より、冷房能力と空調面積、冷房能力と冷媒充填量の関係から、空調面積と冷媒充填量の間を導き出すことができる(表5)。

表5 建物種類別単位床面積あたりのフロン使用量

建物種類	冷房負荷 (W/m²)	比例定数	フロン使用量 (g/m²)		
			空冷式	水冷式	平均
アパート・ホテルの客室	63	15.814	22	8	15
美術館・図書館	162	6.1734	56	19	38
百貨店(1階)	126	7.9291	44	15	29
百貨店(上方階)	98	10.184	34	12	23
オフィスビル	114	8.7602	40	14	27
小さい事務室	142	7.0391	49	17	33
レストラン	372	2.6977	129	45	87
美容室・理髪店	240	4.1738	83	29	56
劇場	195	5.1326	68	23	46

カ 単位床面積あたりのフロン使用量の原単位計算

建物種類によって単位床面積あたりのフロン使用量が異なっていると、地理情報システムを利用して行う床面積計算で建物種類ごとに床面積を求めることが必要となる。そこで、業務用空調機器が設置されていると思われる建物について種類別の床面積比を調査し、建物ごとのフロン使用量を加重平均することで原単位の決定をする。「商業用」、「サービス業用」、「公務・文教用」、「その他の建築物」の4つに分け、年度ごとの着工建築物床面積の割合について平均値を求めた。

表 6 非居住用における用途別着工建築物の床面積の割合¹²⁾

年度 (昭和)	床面積の割合 (%)					
	商業用	サービス業 用	公務・文教用		その他	
			文教用	その他		
62	25.5	19.1	18.3	50.4	49.6	37.1
59	20.8	16.0	19.5	—	—	43.7
56	19.3	14.8	24.8	—	—	41.1
平均	21.4	16.0	23.0	50.4	49.6	39.7

商業用建築物の代表的な建築物として「百貨店」を選び、その単位床面積あたりのフロン使用量の値を原単位計算に用いることにした。同様に、サービス業用建築物は「ホテル」を、公務・文教用建築物は「美術館・図書館」、その他の建築物では「オフィスビル」を代表建築物とした。計算の結果、単位床面積あたりのフロン使用量原単位は「0.028(kg/m²)」となった。

キ 地理情報システム (GIS : Geographic Information Systems) を利用した建物床面積の計算
GIS (エヌエスエンジニアリング (株) の「MapQuest コントロールキット version4.0」) を用いて第 3 次メッシュで網目状に区画された、メッシュ内の建物床面積の合計を計算するプログラムを作成した。居住用建築物などの業務用空調機器が設置されていない建物については、対象外としなければならない。そこで、非居住用建築物 1 棟あたりの平均床面積を求めて、その値以上の建物であれば業務用空調機器が設置されていると仮定して、メッシュ内の建物床面積の合計を計算する。表 7 より非居住用建築物 1 棟当たりの平均床面積は「478 (m²)」だったので、500 m²以上の建物を対象とした。

表 7 非居住用建築物 1 棟あたりの平均床面積¹²⁾

		建築物の数 (棟)	床面積の合計 (m ²)	1 棟あたりの床面積 (m ²)	平均 (m ²)	
商業用建築物		51,242	23,586,267	460	478	
サービス業用建築物		29,557	17,725,882	600		
公務・文教用建築物		33,534	16,971,513	506		
その他の 建築物	農林水産業用	33,193	5,748,393	173		347
	鉱工業用	46,574	22,347,813	480		
	公益事業用	11,360	6,009,562	529		
	その他	1,041	216,430	208		

(2) フロン回収システムのコスト、環境負荷の推計

回収システムは 3 つの工程に分け、それぞれ「抜取・収集」、「保管」、「処理」に分けて諸計算を行う。まず、回収事業者が保管拠点から機器設置場所まで行き、機器設置場所でフロンの抜取を行い、再び保管拠点まで戻る (抜取・収集)。保管拠点では一定量になるまで随時保管される (保管)。一定量が溜まった後、まとめて処理施設まで運搬し、破壊又は再生を行う (処理)。

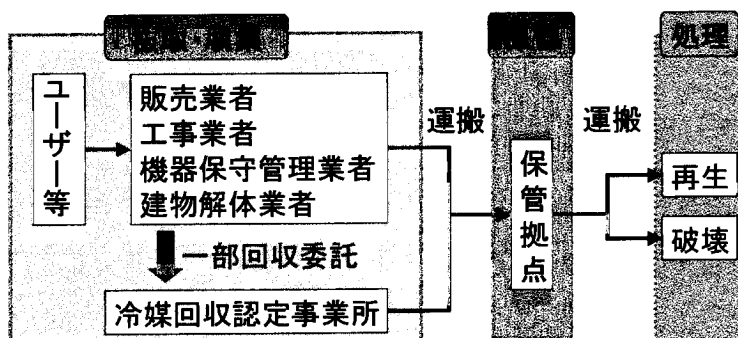


図 6 業務用冷凍空調機器のフロン回収システム

(3) 費用

回収システムにおける費用発生は大きく分けて人件費、抜取装置の運転費・減価償却費、回収容器の減価償却費、運搬費、保管費、処理費に分類される。抜取、収集、運搬における費用の計算に関わる各原単位を表 9 に、各数値の計算式を表 10 に示す。保管費用、破壊費用は中部冷凍空調協会¹³⁾の資料に従った。

表 8 費用概要

人件費	「抜取・収集」、「保管」から「処理」までの運搬により発生し、作業に掛かる時間及び作業人数に比例する。
抜取装置の運転費・減価償却費、回収容器の減価償却費	「抜取・収集」で発生し、年間の抜取量により単位当たりの金額が変わってくる。
運搬費	「抜取・収集」における保管拠点から機器設置場所までの往復距離と保管拠点から処理施設までの距離に比例する。
保管費、処理費	各施設により異なる。

表 9 試算に必要な原単位

人件費関連		保管施設関連	
人件費単価	2980 [円/h・人]	保管費単価	1000 [円/kg]
準備作業時間	0.25 [h/作業]	運搬関連	
後作業時間	0.25 [h/作業]	運搬距離	250 [k m]
回収作業数	2 [人]	輸送速度	40 [k m/h]
運搬作業数	1 [人]	燃料費単価	80 [円/L]
抜取装置関連		燃費	4 [k m/L]
・抜取装置価格	40 [万円]	破壊処理関連	
・抜取能力	12 [k g/h]	破壊処理単価	1000 [円/k g]
消費電力	0.6 [k W]	環境負荷関連	
・抜取装置耐用年数	4 [年]	二酸化炭素排出	
・抜取容器価格	3 [万円]	電力	0.104 [kg-C/kWh]
・抜取容器耐用年数	20 [年]	軽油	0.721 [kg-C/L]
・抜取容器容量	20 [k g]	消費エネルギー	
・抜取容器個数	50 [本]	電力	9.41 [MJ/kWh]
		軽油	38.5 [MJ/L]

表 10 コスト計算式

抜取	抜取装置運転費 [円]	(ストック量[kg]/抜取能力 12[kg/h])×消費電力 0.6[kW]×電力単価 20[円/kWh]
	抜取装置減価償却費 [円/kg]	抜取装置価格 400000[円]/定額年数 4[年]/年間抜取量[kg/年]
	回収容器減価償却費 [円/kg]	回収容器価格 30000[円/本]×回収容器本数[本]/定額年数 20[年]/年間抜取量[kg/年]
収集	運搬費 [円]	{運搬距離[km]/4 燃費[km/L]}×燃料費単価 80[円/L]
保管	回収容器保管費 [円]	保管量(=ストック量)[kg]×保管費単価 2000[円/kg]
運搬	運搬費 [円]	{運搬距離[km]/4 燃費[km/L]}×燃料費単価 80[円/L]
処理	破壊処理費 [円]	破壊量(=ストック量)[kg]×破壊処理費単価 500[円/kg]
人件費	人件費 [円]	{フロン抜取時間[h]×作業数 2[人]+運搬時間[h]×運搬者数 1[人]}×人件費単価 2980[円/人・h]

① 人件費単価

本研究では、「フロン回収・破壊モデル事業事例集」¹⁴⁾を基に 8 都市の人件費単価の平均値を用いることにした（労働時間を 7.6(時間/日)、年間労働日数 250 日として計算）。それにより人件費単価は約 2980 (円/h・人) となりこれを全国標準値として設定した。

② 準備作業時間・後作業時間

準備作業時間は事前の確認作業および抜取準備作業などに費やす時間である。確認作業は①フロンの種類②フロン充填量③サービスバルブの有無などの確認を行う。準備作業については、①油排出・注入②真空引き③フィルター交換などを行う。中でも小形の機器から回収作業をする場合、準備時間および後作業が回収時間全体の大きな割合を占め、人件費に大きく影響する。本研究ではフロン回収・破壊事業（環境庁）¹⁵⁾で行われた実践モデル事業の報告書を参考にした。

③ 回収作業人数

本研究では業務用機器分野の作業人数を標準値として設定することとした。業務用機器分野の標準値には、出荷台数の最も多い内蔵型ショーケースのフロン回収を想定した回収者数を用いることにし、機器の形態を考慮してここでは標準作業人数を 2 人とした。

④ 運搬作業人数¹⁶⁾

運搬に必要な作業人数は 1 人で可能と考えられる。これは、前述した回収作業人数とは、異なり機器の種類やそれに伴うフロン量などの関係なく全ての状況において同じといえる。また、この作業行程は一般的に行なわれているプロパンガスの取り扱いと同様なものと考えられる。これら状況を踏まえ、フロンの運搬時の運搬者数は 1 人と設定した。

⑤ フロン抜取装置価格⁷⁾

抜取装置はの購入価格は抜取装置メーカーの製品カタログおよび自治体におけるフロン回収事業の報告例¹⁷⁾を参考に標準的な価格を設定した。移動形抜取装置の価格は一台あたり、平均 100 万円、携帯形抜取装置については一台あたり平均 40 万円と推測される。ただし、ここでの価格は抜取装置本体および付属品の価格も含めたが、回収容器については対象外とした。

⑥ 抜取装置の回収能力

業務用機器からのフロン回収は、移動形抜取装置と携帯形抜取装置の使用が想定できる。したがって、抜取装置の回収能力はこの二機種を対象に調査した。回収能力は冷媒回収促進・技術センターの冷媒回収技術(1998 年)¹⁸⁾を参考にした。回収能力は、移動形抜取装置が約 30kg/h、携帯形抜取装置で約 8kg/h と設定した。

⑦ 抜取装置の消費電力

消費電力については移動形抜取装置と携帯形抜取装置の二機種とも同じ値を設定した。また、消費電力はフロン回収・破壊モデル事業(事例集)¹⁷⁾を参考にした結果、0.6 kW と設定した。

⑧ 抜取装置の耐用年数

抜取装置メーカー数社のヒアリング調査を行った結果、耐用年数は 4～6 年程度との回答があった。この値の理由には、抜取装置の法定年数が 4 年とされていることによる。しかし、実際の使用状況は不明な部分が多く、明確な回答は得られなかった。この状況を考慮した結果、抜取装置の耐用年数を法定年数と同じ 4 年に設定した。

⑨ 回収容器の価格

フロン回収に用いられる回収容器は、高圧ガス保安法の規制⁵⁾により定められている。抜取装置に接続される容器は内容積の合計が25リットル以下に制限されているため、通常フロン回収に用いる回収容器は20kgボンベである。また、抜取装置によっては専用ボンベが必要となり、20kgボンベ以外の容器を使用することもある。20kgボンベの価格は、抜取装置のカタログ等から調査した結果、一本あたり25000～50000円と装置の種類によってばらつきがあった。本研究では回収容器の価格はその他の付属品等も考慮して、一本あたり50000円と少し高額に設定した。

⑩ 回収容器の容量

回収容器の容量は、前述のように通常、20kgボンベが用いられる。しかし、カーエアコンからのフロン回収には、1リットルボンベも使用されている。環境庁大気保全局のアンケート調査¹⁾の結果、冷凍冷蔵設備業者が使用する回収容器の容量と本数は約8割が20kgボンベを使用している。これらのことから回収容器の容量、つまり回収容器の種類は20kgボンベと設定した。

⑪ 回収容器の耐用年数

回収容器の耐用年数は、フロン回収以外にボンベを扱う「愛知県LPガス協会」にヒアリング調査した結果から設定した。これはフロン回収の取り組みが始まって間もないため、フロン回収専用の回収ボンベが現時点では廃棄されていないと考えられるためである。そのため、同様にボンベを扱う業界の意見を参考にした。製造されてから20年間は、5年おきに検査が行なわれるが、20年以上過ぎると2年もしくは1年おきに行なわれる。以上のことから、回収容器の耐用年数は20年程であると考えられる。

⑫ 運搬距離

運搬距離を想定すると県内に施設を持つ場合50km、他県の施設を利用する場合最大250kmが一般的な距離と判断した。ただし、回収費用を試算するときは、この距離を片道と考え実際は2倍することで往復の距離(100～500km)で設定した。

⑬ 運搬速度

運搬速度は基本的に走行する道路や都心部、市街地といった条件により大きく異なる。例えば都心を走行する場合、運搬速度は約20km/h、一般道では40km/h、であると推測されている⁶⁾。ここでは一般道の走行を対象として運搬速度は40km/hと設定した。

⑭ 燃料費単価

本研究では設備業者の所有する車両を2tトラックと仮定した。この理由は、自動車工業会にヒアリング調査した結果、2tトラックが日本で最も普及しているトラック車両であると回答がであったことによる。そのため、この車両の燃料は必然的に軽油を使用することになり、燃料費単価は軽油1リットルあたり80円とした。

⑮ 燃費

自動車工業会および自動車メーカーにヒアリング調査した結果、一般道における車両の燃費の明確な回答は得られなかった。しかし、おおよその燃費としては一般的に40km/hのときには、燃費が4km/Lと推定できるとの意見があった。したがって、燃費については4km/Lと設定した。

⑩ 保管費単価

保管費については、現在に保管施設が既に運用されている大阪府の事例を参考にした¹⁴⁾。これによると、回収容器一本の保管費用は、20kg ボンベで 13500 円、10kg ボンベで 8000 円となっている。この費用には、フロンの破壊処理費、ボンベ保管費、運搬量が含まれている。しかし、フロンの破壊処理費は 1kg あたり 500 円である。そのため、保管費から破壊処理費分を差し引くと 3500 円となり、さらに運搬費分を差し引くと 2000 円がボンベ管理費(保管費)である。これらの結果から回収容器一本あたりの保管費は 2000 円と設定した。

⑪ 破壊処理費単価

回収したフロンは、設備業者が再利用するか再生処理施設に運ばれる以外は、破壊処理施設で破壊される。破壊処理施設はここ最近になりその数を増やしてきた。実用化されている大部分の施設については 500kg/円で処理を実施している。そこで、破壊処理費用についてはフロン 1kg あたり 500 円と設定した。

(4) 環境負荷(発生二酸化炭素量、消費エネルギー量)

回収システムにおける環境負荷の計算において、それぞれの原単位は「産業連関表による二酸化炭素排出原単位」¹⁹⁾を参照した。環境負荷は大きく分けて抜取装置の運転(電力)、運搬(化石エネルギー)、処理(燃焼)により発生する。今回処理方法は全て破壊すると仮定し破壊方法には現在一般的に用いられている燃焼法を選択するとした。燃焼法で破壊する場合、廃棄物やセメントキルンの燃焼と同時にフロンの分解を行う為、ここで発生する環境負荷はフロン破壊を行う・行わないに関わらず発生するため、フロン処理に由来するとはいえない。従って今回は破壊による環境負荷は考慮の対象外とした。想定する回収システムにおいて、保管拠点から処理施設までの片道距離は一律 250km(県外を想定)とした。

表 11 環境負荷計算式

抜取	消費エネルギー量[MJ]	= 消費電力 0.6[kW] × 運転時間 [hour] × 消費原単位 9.414[MJ/kWh]
	CO ₂ 排出量[kg-C]	消費電力 0.6[kW] × 運転時間 [hour] × 消費原単位 0.1042[kg-C/kWh]
収集	消費エネルギー量[MJ]	輸送距離[km] × 消費原単位 38.493[MJ/L]/燃費 4[km/L]
	CO ₂ 排出量[kg-C]	輸送距離[km] × 排出原単位 0.7212[kg-C/L]/燃費 4[km/L]
運搬	消費エネルギー量[MJ]	輸送距離[km] × 消費原単位 38.493[MJ/L]/燃費 4[km/L]
	CO ₂ 排出量[kg-C]	輸送距離[km] × 排出原単位 0.7212[kg-C/L]/燃費 4[km/L]

表 12 環境負荷概要

抜取装置の運転	電力	環境負荷はその時の抜取量及び装置の性能に依存する
運搬	化石エネルギー	「抜取・収集」における保管拠点から機器設置場所までの往復距離と保管拠点から処理施設までの距離に比例する。
処理	燃焼	処理方法は全て破壊すると仮定した。 破壊方法には現在一般的に用いられている燃焼法を選択するとした。 燃焼法で破壊する場合、廃棄物やセメントキルンの燃焼と同時にフロンの分解を行う為、ここで発生する環境負荷はフロン破壊の有無に関わらず発生するため、フロン処理に由来するとはいえない。従って破壊による環境負荷は考慮の対象外とした。

4. 結果・考察

(1) 年間の撤去台数による考察

これまでに設定した手法を用いて、廃業務用冷凍冷蔵庫からのフロン回収システムにかかる費用の試算を行う。まず、①抜取・運搬・分解にかかるコストの試算、次に②収集にかかるコストの試算をそれぞれ行い、それらをあわせてトータルのフロン回収システムのコストとした。

業務用冷凍冷蔵関連機器の中で最も出荷台数の多い内蔵型ショーケースは、ショーケース型冷凍冷蔵庫の中でも比較的小型の機種で、扱う食料品については冷凍食品から生鮮食品まで様々である。それにより、内蔵型ショーケースからのフロン回収は業務用機器の中でも小形もしくは中形の機器を扱う分類に入ると想定され、扱う業者の数も多数存在すると考えられる。

図7に内蔵型ショーケースのフロン回収コストの試算結果を示す。回収を行う設備業者が一年間に扱う廃棄台数(年間撤去台数)を5台から30台の範囲で変動させ、回収コストの違いを見た。この試算結果を解析すると、人件費と抜取装置の減価償却費が回収コストの大部分を構成している。その他の費用については、人件費、抜取装置の減価償却費と比較しても僅かな金額であった。人件費が高価な理由としては、件費単価が2980円/人・hと高額なこと、作業人数が2人であることによる。しかし、回収システムの改善による人件費の削減は、抜取装置の性能向上、フロンの抜き易い機器の設計などを行わない限り、人件費自体の削減は難しい。つまり、回収者の技術熟練による作業時間の短縮などの対策以外に人件費の削減方法はないと考えられる。

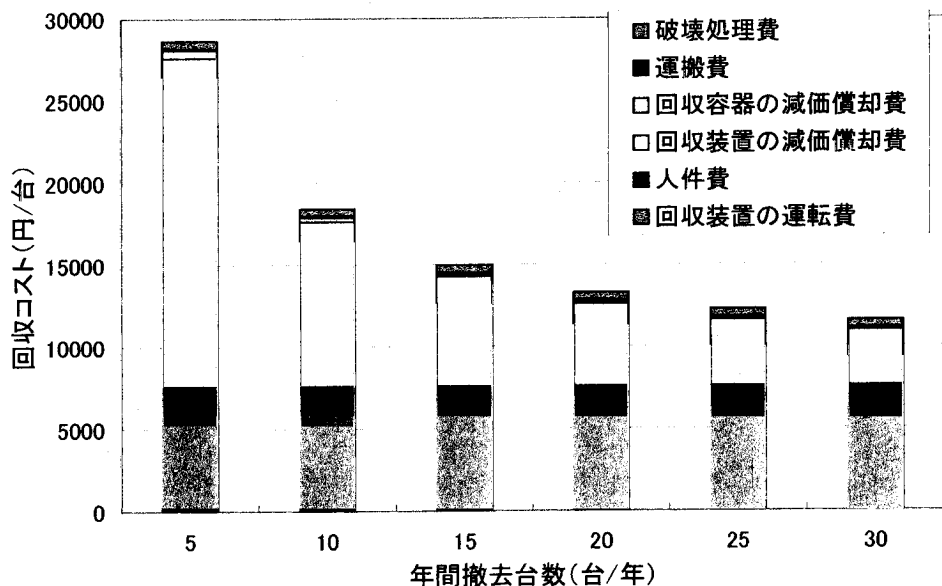


図7 内蔵型ショーケースのフロン回収コスト

抜取装置の減価償却費については、年間撤去台数によって大幅に金額の差が生じている。この理由としては、抜取装置の購入価格が高価なこと、年間撤去台数が少数であることが最大の理由と考えられる。年間撤去台数が5台のときには、約20,000円の抜取装置の減価償却費が必要となり、半分以上をこの費用で構成している。しかし、年間撤去台数が10台になれば、抜取装置の減価償却費は半分の約10,000円と大幅に減少している。これにより年間撤去台数が多くなる

にしたがって、抜取装置の減価償却費は大幅に減少している事が分かる。愛媛県の行ったアンケート調査では、業務用冷凍冷蔵機器を扱う設備業者の年間撤去台数は、8割以上が10台未満と報告されている。この調査結果から判断すると、業務用冷凍冷蔵機器の分野では大量に廃棄機器を扱う業者は存在しないことがわかる。

さらに、フロン回収・破壊モデル事業（事例集）の家庭用冷蔵庫における回収コストの試算結果では、廃棄台数が大量であることから抜取装置の減価償却費は全体の1%以下の場合が殆どである。つまり、抜取装置の減価償却費は年間撤去台数に直接影響を与え、業務用機器のような廃棄機器を数台から数十台しか扱うことない分野では、特にその影響が大きいといえる。これらの試算結果から、内蔵型ショーケースのフロン回収コストは人件費と抜取装置の減価償却費の二つで構成されていることが示唆された。また実際に業務用機器における回収業者の取り扱う年間撤去台数は少数であるため、業者の違いにより10000円以上の差が生じることが示唆された。

(2) 収集工程を含めたフロン回収システムの評価

①豊橋市におけるフロンストックの分布

先述の方法に従い豊橋市のフロンストック分布を求めた。フロン種別に計算を行い、それらの和を全ストック量とした。メッシュ毎フロンのストックの最小値、最大値及び平均値を表13に示す。

表 13 豊橋市のフロンストック分布データ

	CFC-12	HCFC-22	R-502	合計
最小値 [kg/km ²]	2.2	1.3	0.28	3.5
最大値 [kg/km ²]	640	3500	310	4400
平均値 [kg/km ²]	55	210	20	290
ストック量合計[×10 ³ kg]	8.3	32	3.0	43

愛知県にストックされていると思われる CFC12,HCFC22,R502 はそれぞれ 113t, 562t, 53t でそのうち 8.3t, 32t, 3.0t

が豊橋におけるストック量となった。豊橋市に該当する 258 メッシュのうちストックがあるのは 152 メッシュであった。どのフロンにおいても事業所数の多い駅を中心とした市の北部にストックが集中している。それ以外の地域では幹線道路に沿ってストックの分布が見られた。これは対象機器を扱う事業所が道路に沿って分布していることによるものと思われる (図 8)。

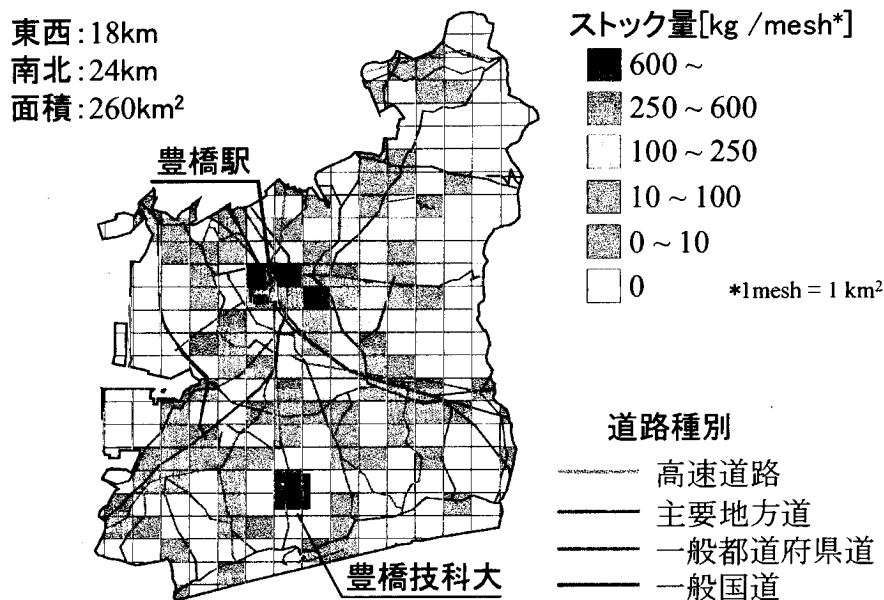
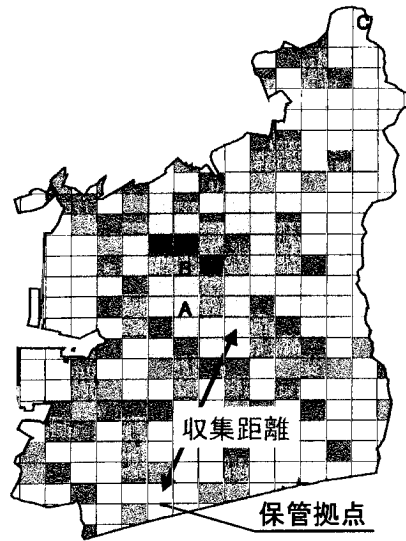


図 8 豊橋市のフロンストック分布(1997)

②保管拠点の違いによる比較

保管拠点の位置により「採取・収集」における費用や環境負荷の発生量が異なってくる。そこで任意の場所に保管拠点を設置した場合に収集距離の違いが費用や環境負荷にどのような影響を及ぼすのかを比較した。収集距離は保管拠点を置くメッシュとストックがある各メッシュの中心を結んだ直線往復距離の総計とする。計算では、収集距離に関係なくフロン採取、保管拠点から処理施設までは別個に計算を行い、最後にまとめて足した。



回収対象面積：260 km²
全ストック量：43 t

	収集距離 [km]	仕事量 [t·km]
A	1667	300
B	1730	260
C	4633	1256

図 9 保管拠点の違いによる収集距離の違い

収集距離が最短・最長になるメッシュと運搬距離と運搬フロン量(=メッシュストック量)を乗じた仕事量が最小・最大になるメッシュを特定し、各々どのような費用、環境負荷を発生させるか比較を行った。収集距離が最短になるメッシュを A、仕事量が最小になるメッシュを B、収集距離、仕事量共に最大となるメッシュを C として費用と環境負荷の計算を行った (図 9)。

ア 費用

各工程別に費用の発生比較を行った場合、今回の解析では保管及び破壊に関わる費用が最も多くなった (図 10)。これは市内にある全ストックを計算の対象としたためであると考えられる。収集に関わる費用は非常に少なく全体の費用にあまり影響を及ぼさなかった。

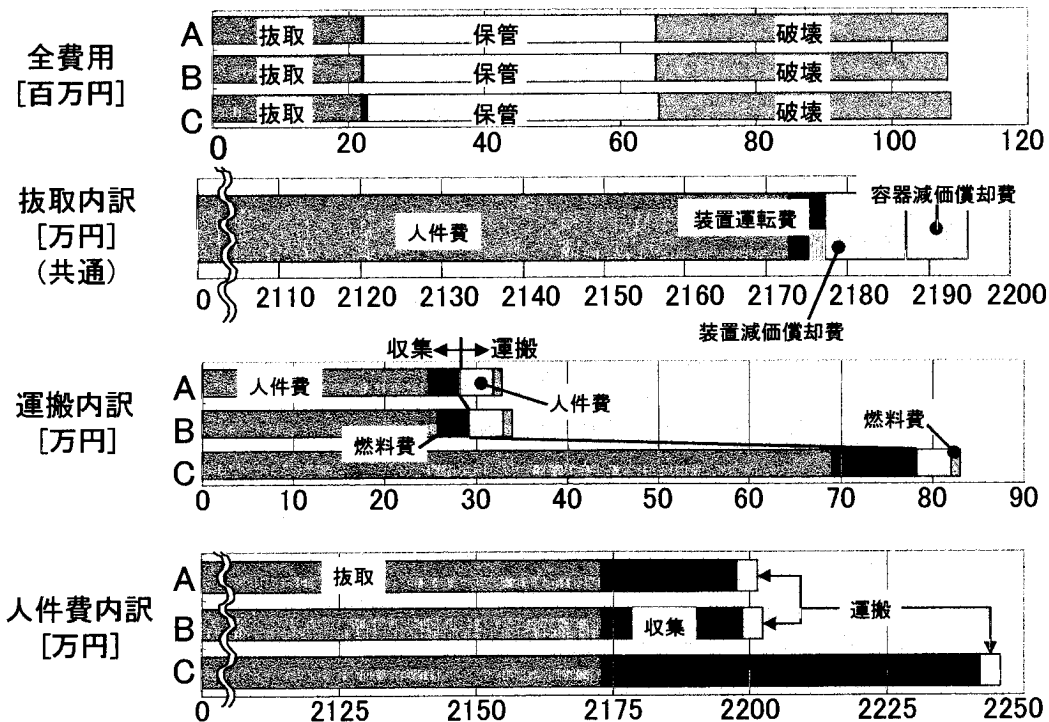


図 10 豊橋市全域における費用内訳

イ 環境負荷

本研究では環境負荷として発生二酸化炭素量と消費エネルギー量を用いた（図 11）。環境負荷の大小は保管拠点と機器設置場所間の距離に依存し、距離が長くなれば環境負荷が増大し、短くなると減少する。収集距離の合計が同じメッシュは豊橋市の中心からほぼ同心円状に広がっているが、機器設置場所にストックされているフロン量を考慮して単位距離あたりに回収できる量を比較してみると、ストック量が市の北側に偏っているせいか、同じ効率のメッシュを調べていくと収集距離よりもやや北側に効率のよいメッシュが分布していた。

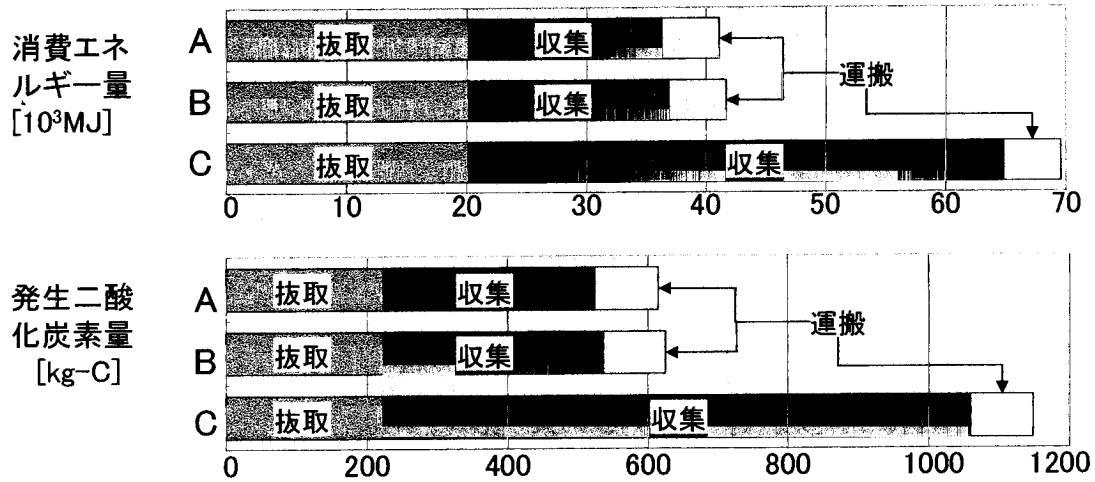


図 11 豊橋市全域における費用・環境負荷の発生比較

(3) 業務用空調機器のフロンストック分布の推計

① 豊橋市におけるフロンストック量分布

対象地域を豊橋市とし、業務用空調機器におけるフロンストック量を求めた（図 12）。豊橋市全体のフロンストック量は 193 (t) という結果になった。

「冷媒の使用と回収可能量調査報告書⁶⁾」によると、2001年のパッケージエアコンにおける R22 の全国ストック量は 70,290 (t) であると推測されている。豊橋市のストック量は全国のストック量の 0.27 (%) であった。

ここで、業務用空調機器のフロンストック量は、機器が設置されている建物の数に比例すると考えられる。「商業統計表⁹⁾」より計算した結果、豊橋市にある飲食店数は全国の 0.32 (%)、百貨店数は 0.25 (%) となった。フロンストック量の比率とほぼ近い値を示していたので、本手法は妥当であるといえる。

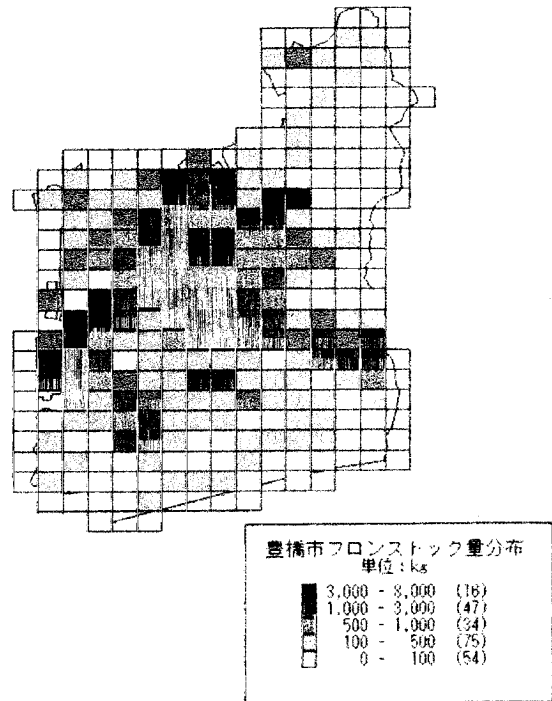


図 12 豊橋市における業務用空調機器のフロンストック量分布

(4) 冷凍冷蔵機器と空調機器の計算結果の比較

豊橋市における業務用冷凍冷蔵機器の回収費用、環境負荷と業務用空調機器のそれらを比較してみた(図13,14)。「運搬1」は機器設置場所と保管拠点間の移動、「運搬2」は保管拠点と処理施設間の移動である。なお、保管拠点はそれぞれ運搬拠点が最小となったメッシュAを選じた。

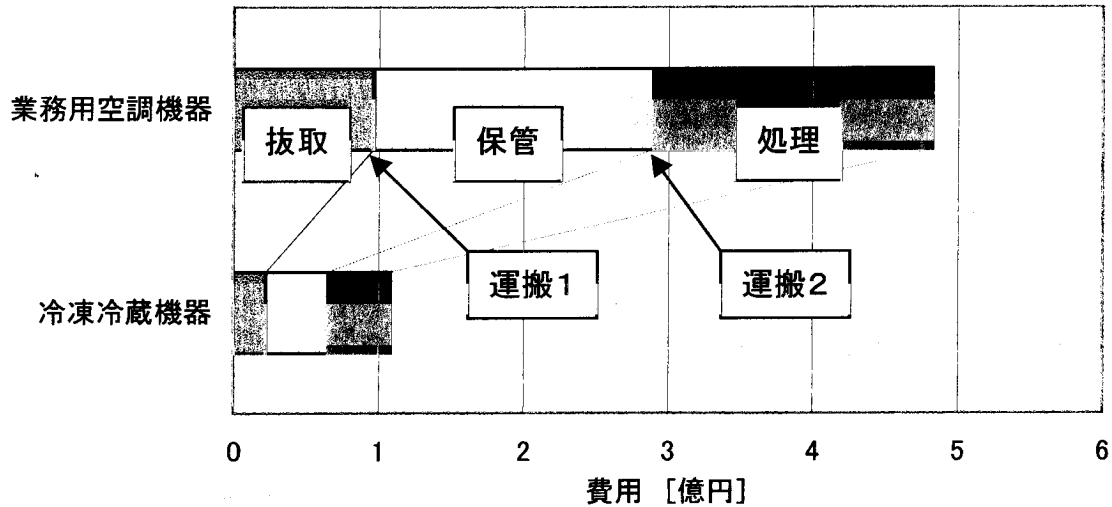


図13 回収費用の比較

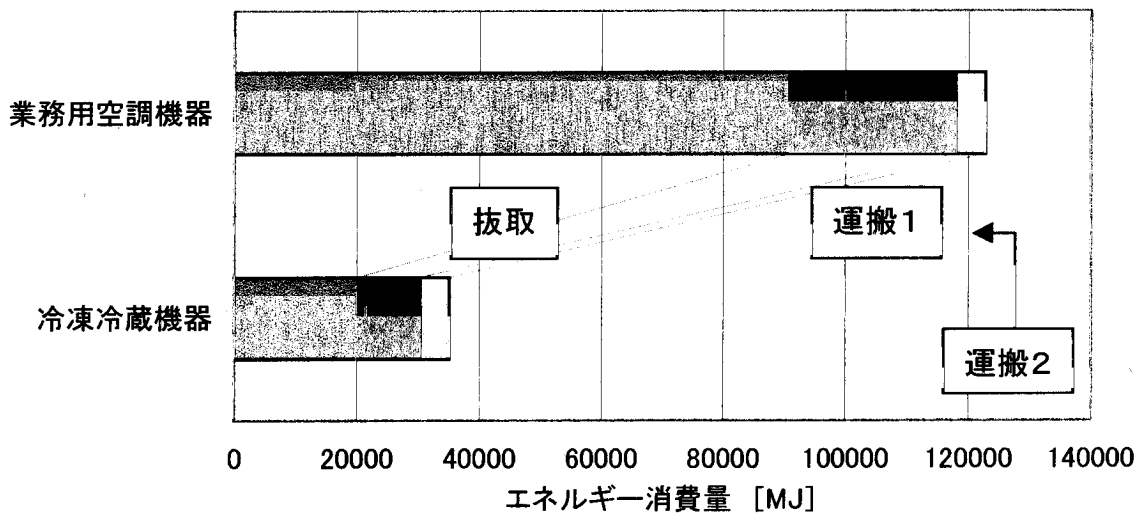


図14 エネルギー消費量の比較

比較してみると、全体のフロンストック量が冷凍冷蔵機器よりも多かったため、業務用空調機器の回収費用、環境負荷が冷凍冷蔵機器の結果よりも全体的に大きくなった。また回収費用において、運搬に必要な費用は費用全体からみると、その割合は極端に低い結果となった。これは、「運搬1」の機器設置場所と保管拠点間の移動回数が各メッシュ一回と仮定していること、「運搬2」の保管拠点から処理施設までの運搬を1台のトラックを用いて1度で全てのフロンを運搬すると仮定している、運搬回数が考慮されていないからであると考えられる。

5. 本研究により得られた成果

本研究では廃業務用冷凍空調機器からのフロン回収システムを対象として、費用、環境負荷(エネルギー消費量、二酸化炭素排出量)によるシステムの評価を目的として行った。

使用業種及び使用される機器種を選択し全国機器別ストック量を使用業種別ストック量に配分する為の方法を示した。事業所数を指標とする地域係数を乗じることにより対象地域の全フロンストック量及びフロンストックの平面分布の推測を行った。

フロンストックの平面分布より、任意の回収対象範囲におけるフロンストック分布が可視化され、域内でのフロンストック量が計算可能となる。これにより回収対象量や収集距離を考慮した地理的な回収システム構築の為の有益な情報を得ることができる。費用及び環境負荷を比較することにより保管拠点の選定の指標となる情報が得られ、効率的なフロン回収システムの構築に寄与できることが示された。

業務用機器からのフロン回収システムについて、回収費用の側面から現状を解析した結果、以下の知見が得られた。

- 1) 業務用冷凍冷蔵関連機器からのフロン抜取・運搬・分解工程にかかる費用は、抜取工程の人件費と抜取装置の減価償却費に大きく影響している。
- 2) 廃機器の収集工程に費用は抜取工程の人件費および抜取装置の減価償却費よりも少ない。
- 3) フロン回収促進には、抜取工程の人件費および抜取装置の費用の低減が効果的である。抜取装置の性能向上、レンタル制度の充実などの対策が考えられる。

以上のことから効率的なフロン回収システム構築のための、有用な情報を得ることができた。しかしながら、効果的なフロン回収促進のためには、以下に示す取り組みが期待される。

- 1) 人件費削減のためには回収作業時間の短縮が必要であり、作業者の技術向上に向けた技術指導が必要である。
- 2) 抜取装置の性能向上による耐用年数の長期化、さらには価格の低下による抜取装置の普及促進が必要である。
- 3) 業務用機器のフロン回収費用及びその負担者を明確にしていく必要がある。

フロン回収には、関係者間のコンセンサス形成が最も重要である。よって、フロン回収を促進させるための回収費用の軽減および適正な負担のための社会システムについての検討が必要である。特に、フロン回収に対する国民の理解が大切であり、今後はフロン回収の必要性などの情報が国民全体に普及していくシステムを構築することが期待される。

6. 引用文献

- 1) 環境庁大気保全局(1999)平成 11 年度版オゾン層保護対策資料集
- 2) 環境庁大気保全局(2000)フロン回収の手引き
- 3) (社) 日本冷凍協会(1994)冷媒フロンの放出削減と代替技術, 19-28
- 4) (財) 日本環境衛生センター、フロン回収・破壊モデル事業 事例集、1996
- 5) (社) 日本冷凍空調工業会(2000)冷凍空調機器データブック, 48-51
- 6) (社) 日本冷凍空調工業会(1993)冷媒の使用と回収可能量調査報告書, 57-98
- 7) 冷媒回収推進・技術センター(1998)冷媒回収技術 28
- 8) 環境庁大気保全局(2000)フロン回収の手引き, 3-5

- 9) 通商産業大臣官房調査統計部(1998)平成9年商業統計表第2巻産業編(都道府県表)
- 10) (社)日本冷凍空調工業会(1994)冷凍空調実務テキスト 冷凍空調のSI単位, 23-26
- 11) ダイキン工業株式会社 (1998) 98・99 ダイキン設備用エアコン技術資料
- 12) 建設省建設経済局調査情報課 (1988) 建築統計年報 昭和63年度版
- 13) 中部冷凍空調協会(1997)フロン回収・再利用の実務技術, 65-68
- 14) (財)日本環境衛生センター(1996)フロン回収・破壊モデル事業 事例集
- 15) (社)日本機械工業会、(社)日本冷凍空調工業会(1989)フロンを冷媒とする冷凍空調機器フロン漏洩低減方法及び回収方法に関する調査研究報告書
- 16) (社)プラスチック処理促進協会(1997)、廃プラスチック固形原燃料供給システムのフィージビリティスタディ
- 17) 環境庁大気保全局(1998)平成10年度 フロン回収等システム構築モデル事業 事例集
- 18) 冷媒回収促進・技術センタ(1998)冷媒回収技術
- 19) 環境庁国立環境研究所地球環境研究センター(1997)産業連関表による二酸化炭素排出源単位,

5

[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 佐久間元成、後藤尚弘、胡 洪營、藤江幸一：第65回化学工学会年会 (2000)

「廃業務機器からのフロン回収システムの評価手法の検討」

- ② 水野博幸、後藤尚弘、藤江幸一：第67回化学工学会年会 (2002)

「業務用空調機器のフロンストック量分布とその回収における費用・環境負荷の推計」

(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