

## RRCにおける回収冷媒の再生利用と破壊処理の

## LIME手法を用いたLCA比較

## LCA comparison of refrigerant reclamation and destruction applying LIME method

○馬場範夫<sup>1)</sup>、河西詞朗<sup>2)</sup>、伊坪徳宏<sup>3)</sup>

Norio Baba, Shiro Kasai, Norihiro Itsubo

1) 冷媒回収推進・技術センター・技術委員会, 2) 冷媒回収推進・技術センター, 3) 東京都市大学

\*norio.baba@daikin.co.jp

## 1. はじめに

冷凍空調の分野では、使用済みの機器に使われているフルオロカーボン冷媒を回収することが法により義務付けられている。家庭用冷凍冷蔵庫やルームエアコンは、家電リサイクル法、カーエアコンは自動車リサイクル法、それ以外の業務用の冷凍空調機器はフロン回収・破壊法により廃棄時だけでなく、整備時についても規制されている。

しかしながら、廃棄時回収された冷媒は、貴重なフッ素資源であるにもかかわらず、その多くは再生再利用されずに破壊されているのが現状である。この理由としては、フルオロカーボン冷媒のうち、従来から使われてきたCFC、HCFC冷媒はオゾン層の破壊物質であり、破壊したほうが環境にやさしいと考えられていることが挙げられる。しかし、破壊を行うにしてもエネルギーが必要であり、かつ廃棄物も大気に排出されるため、再生・破壊のどちらが、より環境にやさしいのか評価することが必要であると考えられる。

冷媒回収推進・技術センター(RRC)では、市場から回収された冷媒を再利用可能なレベルまで高純度に再生する技術を確認し、再生を行う事業者を認定再生事業所として認定し、技術指導なども行って来ている。回収冷媒の、より一層の再生を普及させる為には、LCAによる比較検討が必要と考え、認定再生事業所3社の協力を得て、蒸留再生と破壊処理に架かるデータを集め、検討を進めてきた。昨年度の第4回LCA学会研究発表会では、再生と破壊のLCA比較(二酸化炭素換算ベース)を報告した。本年度はLIMEを用いた環境影響度評価を行ったので、その結果を報告する。

## 2. 評価対象に関する条件設定

現在、発売されている冷凍空調機器に使用されているフルオロカーボン冷媒の主流はHFC冷媒のR410Aである。しかし、廃棄される冷凍空調機器に使用されているフルオロカーボン冷媒の主流はHCFC冷媒のR22である。将来のことを考えると評価冷媒としてはR410Aがよいと考えられるが、特許及び擬似共沸混合冷媒等の問題もあって、現在R410Aの蒸留再生は行われていない。このよ

うな理由から、評価冷媒をR22とした。

## 2.1 評価対象と計算方法

## 2.1.1 評価の対象とするプロセスの範囲

図1に蒸留再生プロセス、図2に破壊処理プロセスのシステム境界を示す。

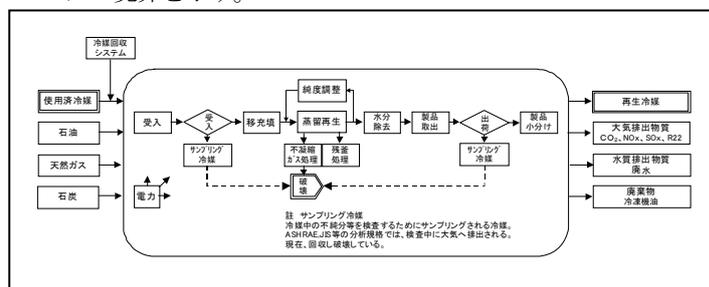


図1 蒸留再生プロセス

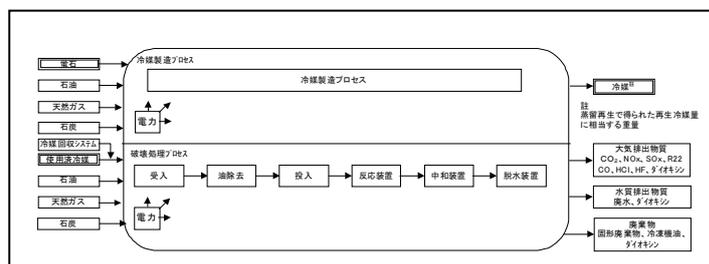


図2 破壊処理プロセス

本調査では、回収されたフルオロカーボン冷媒(R22)が認定再生事業所に輸送され受け入れられた時点を開始とし、蒸留再生では再生冷媒として出荷されるまで、破壊処理では廃棄物として出荷されるまでをLCA調査対象とした。なお、破壊処理のプロセスの範囲には、蒸留再生と比較する為、再生できた冷媒量に相当する量を、破壊後に新たに従来方式で製造するところまでをプロセスの範囲に加えることとした。

## 2.1.2 インベントリー項目

本調査では、表1の地球環境に影響を与える環境負荷項目に示すように、「エネルギー・薬剤などの消費」と「環境(大気、水質、固形廃棄物)への排出」の2つの観点から、環境負荷項目とインベントリーの作成を行う。

エネルギー消費については、蒸留再生装置、破壊処理装置の使用に伴う「電力消費」と灯油・LPG等の「燃料消費」を考える。薬剤消費については、破壊処理装置でフル

オロカーボンが破壊した際に発生する酸の中和剤及び凝集剤、水を考える。

環境(大気、水質、固形廃棄物)への排出については、エネルギー消費及びフルオロカーボンを破壊した際に、大気、水質に排出される、又は固形廃棄物として排出される二酸化炭素、窒素酸化物、硫黄酸化物、ダイオキシン、廃水、残渣などについて考える。

表1 地球環境に影響を与える環境負荷項目

【入力】			
環境負荷項目	詳細項目	単位	備考
エネルギー消費	電力	kWh	
	灯油	L	
	LPG	m <sup>3</sup>	
薬剤消費	毒性ソダ	kg	
	塩酸	kg	
	水酸化カルシウム	kg	
	凝集剤(硫酸アルミ)	kg	
水	m <sup>3</sup>		
【出力】			
環境負荷項目	詳細項目	単位	備考
温暖化	CO <sub>2</sub>	kg	
	R22(接続時漏洩冷媒) R22(排ガス中フロン含有量)	kg	フロン回収破壊法基準値: ≤1ppm at 分解効率99%以上 ≤15ppm at 分解効率99.9以上
オゾン層破壊	R22(接続時漏洩冷媒) R22(排ガス中フロン含有量)	kg	フロン回収破壊法基準値: ≤1ppm at 分解効率99%以上 ≤15ppm at 分解効率99.9以上
	大気汚染(酸性化)	SO <sub>x</sub>	kg
大気汚染(健康被害)	NO <sub>x</sub>	kg	灯油・LPG使用設備のみ
	CO(12%O <sub>2</sub> )	kg	フロン回収破壊法基準値: <100mg/Nm <sup>3</sup>
	HCl	kg	フロン回収破壊法基準値: <100mg/Nm <sup>3</sup>
	HF	kg	フロン回収破壊法基準値: <8mg/Nm <sup>3</sup>
大気汚染(健康被害)	ダイオキシン	kg	フロン回収破壊法基準値: ≤1.0ngTEQ/Nm <sup>3</sup>
水質汚染	廃水	m <sup>3</sup>	
	水素イオン濃度(今回調査せず) フッ素含有量(今回調査せず)	mg/L	フロン回収破壊法基準値: 5.8~8.6 ≤8mg/L
廃棄物	ダイオキシン	kg	フロン回収破壊法基準値: ≤5pgTEQ/Nm <sup>3</sup>
	冷凍機油	kg	
固形廃棄物	ダイオキシン	kg	フロン回収破壊法基準値: ≤3ngTEQ/Nm <sup>3</sup>
	ダイオキシン	kg	

調査にあたっては、各プロセスの投入と排出のデータを収集し、事業所に入荷した回収冷媒 R22 の1トン当り(冷凍機油は除く)に換算して集計した。

蒸留再生時に、不凝縮ガスを排出する際に排出される冷媒及び検査に使用されるサンプリング冷媒については、回収し破壊を行っているため、その排出量を加算した。

入力には電力、灯油・LPG、各種薬剤、水等があり、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>の排出原単位として産業関連表による環境負荷原単位データブック(3EID)より算出した。なお、水については単価の記載がないため、消費者庁のホームページ「公共料金の窓」に掲載されている水道料金内々価格差の推移の表より、平成12年の値を代用した、

出力にある廃水の単価については、下水に排出時は水道水料金、河川排出時は0円、固形廃棄物の単価については実際の引取価格、冷凍機油については有償引取りのため、0円とした。

R22の製造時のデータについても、R12についての報告(NEDO平成6年度事業報告書)しかない為、産業関連表による環境負荷原単位データブック(3EID)により算定した。

LIMEによる特性化については、社団法人産業環境管理協会発行のJEMAI-LCA-Proの特性化係数による。

3. 調査及び算定結果

蒸留再生と破壊処理について、各認定再生事業所の協力を得て、集めたデータをもとに、蒸留再生における各社の環境負荷物質の算定(不凝縮ガスの破壊分は含まず)

結果を表S1に、破壊処理における各社の環境負荷物質の算定(R22の新規製造分を含まず)結果を表S2に示す。

蒸留再生時の不凝縮ガスの処理分、破壊処理時のR22新規製造分を反映した蒸留再生と破壊処理について、環境負荷物質の算定結果を表2に示す。

表2 蒸留再生と破壊処理の環境負荷物質の算定

項目	内容	単位	【蒸留再生処理】		【破壊処理】			
			蒸留再生の平均(①)	不凝縮ガス処理(破壊)	破壊処理の平均(①)	新規冷媒製造量②		
製品	回収冷媒量(冷凍機油除く)	kg/ト	1000.0		1000.0	949.9		
	再生後の冷媒量	kg/ト	949.9					
	収率	%	95.0					
	不凝縮ガス処理量	kg/ト	49.0	49.0				
【排出量(冷媒1ト当り)】								
項目	内容	単位	蒸留再生の平均(①)	不凝縮ガス処理(破壊)	①+②	破壊処理の平均(①)	新規冷媒製造量②	①+②
入力	エネルギー	kWh/ト	274.67	93.31	367.98	1,904.33	1,904.33	1,904.33
	灯油	L/ト	42.43	0.00	42.43	0.00	0.00	0.00
	LPG	lit/ト	3.59	0.00	3.59	23.27	23.27	23.27
	薬剤	kg/ト	73.30	73.30	146.60	1,495.93	1,495.93	1,495.93
	水酸化ナトリウム	kg/ト	1.30	1.30	2.60	26.57	26.57	26.57
	塩酸	kg/ト	0.55	0.55	1.10	11.27	11.27	11.27
	凝集剤(硫酸アルミ)	kg/ト	0.03	0.03	0.06	0.65	0.65	0.65
	氷凍水	m <sup>3</sup> /ト	0.48	113.35	113.83	2,313.33	2,313.33	2,313.33
【排出量(冷媒1ト当り)】								
項目	内容	単位	蒸留再生の平均(①)	不凝縮ガス処理(破壊)	①+②	破壊処理の平均(①)	新規冷媒製造量②	①+②
出力	環境負荷物質の排出(大気)	kg/ト	99.67	133.54	233.21	691.15	3,867.99	4,559.14
	CO <sub>2</sub> (冷媒由来)	kg/ト	25.09	25.09	50.18	512.00	0.00	512.00
	CO <sub>2</sub> 計	kg/ト	58.95	58.95	117.90	1,203.15	3,867.99	5,071.14
	NO <sub>x</sub>	kg/ト	0.08	9.99E-02	1.83E-01	2.04E+00	7.30E+00	9.34E+00
	SO <sub>x</sub>	kg/ト	0.07	9.12E-02	1.58E-01	1.86E+00	6.07E+00	7.93E+00
	R22(大気排出)	kg/ト	3.33E-03	3.33E-03	6.66E-03	6.80E-02	6.80E-02	6.80E-02
	CO(12%O <sub>2</sub> )	kg/ト	4.17E-03	4.17E-03	8.34E-03	8.50E-02	8.50E-02	8.50E-02
	HCl	kg/ト	9.64E-04	9.64E-04	1.92E-03	1.97E-02	1.97E-02	1.97E-02
	HF	kg/ト	7.51E-04	7.51E-04	1.50E-03	1.53E-02	1.53E-02	1.53E-02
	ダイオキシン	kg/ト	2.92E-09	2.92E-09	5.84E-09	5.18E-08	5.18E-08	5.18E-08
	環境負荷物質の排出(水質)	kg/ト	0.74	113.35	114.09	2,313.33	2,313.33	2,313.33
	ダイオキシン(緑液中)	kg/ト	4.59E-12	4.59E-12	9.18E-12	9.36E-11	9.36E-11	9.36E-11
	廃棄物	kg/ト	12.60	113.24	125.84	2,311.00	2,311.00	2,311.00
	ダイオキシン	kg/ト	9.51E-07	9.51E-07	1.90E-06	1.94E-05	1.94E-05	1.94E-05

LIMEの統合化係数を用いて、統合化を図った結果を表3の示す。但し、CO(12%O<sub>2</sub>)、HCl、HFについてはデータベースがなく、計算結果に含めていない。

表3 LIMEによる統合化(回収冷媒1ト当り)

排出先	環境負荷物質名	再生処理の統合化(円)	破壊処理の統合化(円)
大気	CO <sub>2</sub>	370	11,816
	NO <sub>x</sub>	31	1,607
	SO <sub>x</sub>	334	16,738
	R22(温暖化)	15	305
	R22(オゾン層破壊)	4	113
水質	ダイオキシン(大気)	0	0
	ダイオキシン(水質)	0	0
廃棄物	冷凍機油	310	174
	固形廃棄物	1,880	38,363
	ダイオキシン(土壌)	0	0
計		2,944	69,116

4. まとめ

昨年度の当研究発表会において、蒸留再生と破壊処理の温暖化の影響について、CO<sub>2</sub>換算した認定再生事業所3社の平均で、蒸留再生が破壊処理の約1/12であると報告した。LIMEによる統合化の結果を比較すると、蒸留再生が破壊処理の約1/24であり、温暖化以外の各種環境負荷の影響が予想以上に大きい事が確認できた。

また、冷媒の品質を確認する為に検査で使用する冷媒を検査後に従来のように大気へ排出したと仮定し計算すると、統合化の結果は約1/7となり、影響が大きいことも再確認できた。

今回の調査対象は既存冷媒のR22であり、現在主流となっている代替冷媒のR410Aについては、将来再生が行えるようになった際に再度調査を行いたいと考える。

末尾ながら、3年間実施した本調査研究にあたり、ご指導いただいた東京都市大学伊坪先生、データの収集に協力いただいた認定再生事業所の方々、日本冷凍空調学会、当技術委員会委員の方々に感謝申し上げます。

表S1 蒸留再生における各社の環境負荷物質の算定  
(不凝縮ガスの破壊分は含まず)

【蒸留再生処理】							
項目	内容	単位	A社	B社	C社	平均	
製品	製品移動量	回収冷媒量(冷凍機油除く)	kg/日ト	1,000.0	1,000.0	1,000.0	1,000.0
		再生後の冷媒量	kg/日ト	984.6	955.8	909.2	949.9
		収率	%	98.5	95.6	90.9	95.0
		不凝縮ガス処理量	kg/日ト	14.3	43.1	89.7	49.0

【使用量(再生前回収冷媒1トン当り(冷凍機油除く))】							
項目	内容	単位	A社	B社	C社	平均	
入力	エネルギー	電力	kWh/日ト	111.7	497.4	214.9	274.67
		灯油	L/日ト	36.9	0.0	90.4	42.43
		LPガス	Nm <sup>3</sup> /日ト				
薬剤など	消石灰	kg/日ト					
	水酸化ナトリウム	kg/日ト					
	硫酸	kg/日ト					
	凝集剤(硫酸アルミ)	kg/日ト					
	水道水	m <sup>3</sup> /日ト	0.32	0.00	1.12	0.48	

【排出量(再生前回収冷媒1トン当り(冷凍機油除く))】							
項目	内容	単位	A社	B社	C社	平均	
出力	環境負荷物質の排出(大気)	CO <sub>2</sub>	kg/日ト	40.5	180.5	78.0	99.67
		CO <sub>2</sub> (冷媒由来)	kg/日ト				
		CO <sub>2</sub> 計	kg/日ト				
		NO <sub>x</sub>	kg/日ト	3.71E-02	1.36E-01	7.60E-02	0.08
		SO <sub>x</sub>	kg/日ト	2.96E-02	1.09E-01	6.21E-02	0.07
		R22(検査排出)	kg/日ト	0.0	0.0	0.0	0.0
		CO(12%O <sub>2</sub> )	kg/日ト				
		HCL	kg/日ト				
		HF	kg/日ト				
		ダイオキシン	kg/日ト				
		環境負荷物質の排出(水質)	排出先		河川	下水	下水
排出量	m <sup>3</sup> /日ト		0.32	0.00	1.12	0.74	
ダイオキシン(排液中)	kg/日ト						
廃棄物	冷凍機油	kg/日ト	4.6	8.3	24.9	12.60	
	固形廃棄物	kg/日ト					
	ダイオキシン	kg/日ト					

表S2 破壊処理における各社の環境負荷物質の算定  
(R22の新規製造分は含まず)

【破壊処理】							
項目	内容	単位	D社	E社	F社	平均	
製品	製品移動量	回収冷媒量(冷凍機油除く)	kg/日ト	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
		再生後の冷媒量	kg/日ト				
		収率	%				
		不凝縮ガス処理量	kg/日ト				

【使用量(回収冷媒1トン当り(冷凍機油除く))】							
項目	内容	単位	D社	E社	F社	平均	
入力	エネルギー	電力	kWh/日ト	1.126	2.897	1.700	1904.33
		灯油	L/日ト	0.0	0.0	0.0	0.00
		LPガス	Nm <sup>3</sup> /日ト	47.4	47.4	125.0	73.27
薬剤など	消石灰	kg/日ト	1,369	1,369	1,750	1495.93	
	水酸化ナトリウム	kg/日ト	0.0	0.0	79.7	26.57	
	硫酸	kg/日ト	0.0	0.0	33.8	11.27	
	凝集剤(硫酸アルミ)	kg/日ト	0.8	0.95	0.2	0.65	
	水道水	m <sup>3</sup> /日ト	480	560	5,900	2313.33	

【排出量(回収冷媒1トン当り(冷凍機油除く))】							
項目	内容	単位	D社	E社	F社	平均	
出力	環境負荷物質の排出(大気)	CO <sub>2</sub>	kg/日ト	409	1,048	617	691.15
		CO <sub>2</sub> (冷媒由来)	kg/日ト	512	512	512	512.00
		CO <sub>2</sub> 計	kg/日ト	921	1,560	1,129	1203.15
		NO <sub>x</sub>	kg/日ト	1.22E+00	1.80E+00	3.10E+00	2.04
		SO <sub>x</sub>	kg/日ト	1.49E+00	2.06E+00	2.04E+00	1.86
		R22(排ガス中)	kg/日ト	0.110	0.090	0.004	0.07
		CO(12%O <sub>2</sub> )	kg/日ト	0.139	0.070	0.046	0.09
		HCL	kg/日ト	0.013	0.009	0.037	0.02
		HF	kg/日ト	0.005	0.030	0.011	0.02
		ダイオキシン	kg/日ト	9.69E-08	5.73E-08	1.91E-10	5.15E-08
		環境負荷物質の排出(水質)	排出先		下水	下水	河川
排出量	m <sup>3</sup> /日ト		480	560	5,900	2313.33	
ダイオキシン(排液中)	kg/日ト		8.03E-11	2.00E-10	5.90E-13	0.00	
廃棄物	冷凍機油	kg/日ト	8.3	8.3	4.6	7.07	
	固形廃棄物	kg/日ト	2.033	2.296	2.604	2311.00	
	ダイオキシン	kg/日ト	3.56E-05	2.26E-05	0.00E+00	1.94E-05	