

# エコデザインを考慮した家庭用ガス機器の ライフサイクルアセスメント

古川 道信<sup>1</sup>    小山 俊彦<sup>1</sup>    棟田 佳宏<sup>2</sup>    大木 祐一<sup>3</sup>

<sup>1</sup>東京ガス株式会社エネルギー環境技術研究所

<sup>2</sup>東京ガス株式会社商品技術開発部

<sup>3</sup>東京ガス株式会社総合企画部

J. Japan Inst. Metals, Vol. 65, No. 7 (2001), pp. 596-603  
Special Issue on Ecomaterials Selection  
© 2001 The Japan Institute of Metals

## Life Cycle Assessment of Eco-Designed Residential Gas Appliances

Michinobu Furukawa<sup>1</sup>, Toshihiko Koyama<sup>1</sup>, Yoshihiro Muneta<sup>2</sup> and Yuichi Ooki<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Energy & Environmental Technology Laboratory Tokyo Gas Co., Ltd., Tokyo 105-0023

<sup>2</sup>Appliances and Pipeline R & D Department Tokyo Gas Co., Ltd., Tokyo 105-0022

<sup>3</sup>Corporate Planning Department Tokyo Gas Co., Ltd., Tokyo 105-0022

LCA (Life Cycle Assessment) has been conducted on residential gas appliances designed based on the eco-design guide that city gas suppliers planned, for certifying validity and clarifying problems of it. In other words, life cycle inventories of these gas appliances were generated, and Life Cycle Impact Assessment (LCIA) was carried out. Five environmental impact categories were considered: "Resources Consumption", "Global Warming", "Acidification", "Energy Consumption", and "Solid Waste". The following results were obtained. Components of residential gas appliances are mostly iron and nonferrous metals. The residential gas appliances designed to be light give lower environmental loads at the production stage than general gas appliances, but occasionally the environmental loads are increased. This suggests there is the trade-off relation between the designing for lightness and the environmental loads depending on the material. It is necessary to develop the optimizing techniques to minimize environment loads when the material is selected. It is necessary to develop a new LCA methodology by which the change of the inventory as time passes is considered with the product that has large environmental loads at the using stage.

(Received January 22, 2001; Accepted April 13, 2001)

**Keywords:** eco-design, eco-material, residential gas appliances, life cycle assessment

## 1. 緒 言

20 世紀において人類は大量生産、大量消費、大量廃棄型の社会経済活動を発展させかつてない生活の利便性を手に入れた。このような社会システムにおいて工業製品に代表されるように生産、流通、消費、廃棄等の製品ライフサイクルを通じて自然環境に負荷を与え続けた結果、自然の物質循環機能が限界を超え、局所から地域、地球規模に至るまでの環境問題を生じさせている。

こうした地球の物質循環機能の保全、回復を目指しかつ人類が持続的に発展するための新たな「循環型社会システム」を構築する必要性が国家を越えて共通の認識となった。

我が国でも法規制の整備を始めとし、製造業を中心とする企業の自主行動を通して取り組まれつつある。

大量生産、大量廃棄社会から循環型社会へ転換するためには製品の製造から廃棄までの全ての段階において環境に配慮したいわゆるエコデザインの必要性が今後さらに重要となるものと考えられる。エコデザインに関しては定義が明確でない点もあるが製品のライフサイクルを適切に管理しようとす

る点、その環境影響評価にライフサイクルアセスメント (LCA) を評価手法として用いようとする点では共通しているものと考えられる。ここで、LCA とは製品やサービスの環境負荷を製造から流通、使用、廃棄までの全ての過程を通じて環境負荷の状況を定量的に把握する手法のことである<sup>1)</sup>。

本研究の目的は家庭用耐久消費財の一つでありその製品質量比において 8~9 割が鉄と非鉄金属で構成されているガス・石油機器類<sup>2)</sup>の内、LNG を原料とした都市ガスを燃料とするガス機器類について都市ガス事業者が策定したエコデザイン指針の有効性の確認と課題の抽出のために LCA 手法に基づく評価を行った。すなわち、製品の製造、使用、廃棄、リサイクルの段階において環境に負荷を与える項目に対して棚卸しをするライフサイクルインベントリ分析を行った。次に、5 つの環境影響評価項目「資源消費」、「地球温暖化」、「酸性化」、「エネルギー消費」、「固形廃棄物」について解釈を行った。さらに家庭用耐久財を構成する材料がリサイクル循環を積み重ねる「物質循環システム」に組み入れられた場合について検討を行いライフサイクル環境負荷低減のための必要条件を探り今後の課題とした。

## 2. ガス機器の LCA 評価

ガス・石油機器類は用途およびエネルギー源により、熱調理機器、ガス温水機器、石油温水機器、ガス暖房機器、石油暖房機器の 5 つに分類される<sup>2)</sup>。今回評価対象とするものはこれらのうちエネルギー源に LNG を原料とした都市ガスを用いるガス機器類である。ガス機器類のうち、熱調理機器、温水機器、暖房機器の 3 種類のモデル機器について、LCA を実施した。LCA 実施にあたり入力した製品材料データは、市販されている機器について製造業者の協力のもと都市ガス事業者が 1995 年度に指針を策定したエコデザイン<sup>3)</sup>に基づき実施したエコデザインコンクルのものをベースにしたデータである。前述のように LCA を実施した主目的は策定したエコデザイン指針の有効性を確認、あるいは課題を抽出することである。そこで、市販されているソフトウェアのデータベースと本研究対象機器について特に適したインベントリ原単位を用いて、「LCA」を実施することでその第一歩とした。

### 2.1 ガス機器のエコデザイン

今回評価対象とした機器は以下に掲げる項目を環境負荷低減のための重点項目としたエコデザイン指針を策定し、これに基づき設計、製造されたものである。

- ① リサイクル可能な材料の使用率を 30% 向上。
- ② 環境負荷の大きい材料の使用量を 50% 削減。
- ③ 包装用発泡スチロールの使用量を 50% 削減。

設計仕様について考慮した点は小型化・軽量化、部品の標準化に加えて、電装基板の小型化・集積化によるハンダ使用量の削減、点火方式の省電力化等があり、また包装についても簡素化・軽量化、発泡スチロールの全廃、再生段ボールや古紙成形緩衝材(パルプモールド)等の再生包装材の活用および促進等が「製造」、「製品輸送」、「使用」、「廃品輸送」に関わるシステムにおいて考慮された。「リサイクル」および「廃棄」では使用済みガス機器等の回収、再資源化システムの構築を重点に取り組まれた。

### 2.2 評価対象

Table 1 に評価対象としたガス機器および機器仕様を示す。本研究では旧来機種(1994~95 年)とエコデザインを考慮した現行モデル機種との比較評価を行う。そこで両者の提供する熱エネルギーサービスは同等である必要があり、機器能力を同一とした。なお比較評価対象機器は同一製造者によるものである。

次に対象機器類の素材別質量比率を求めた。Fig. 1 に各機

器の素材構成および質量比を示す。ガステーブル、ガス風呂給湯器については質量比で約 9 割、ガスファンヒーターは約 8 割が鉄・非鉄金属から構成されている。

### 2.3 調査範囲

評価する範囲は Fig. 2 に示すように、機器のライフサイクル、つまり「機器製造」から「使用」、「廃棄」、「リサイクル」および「輸送」とし、「資源採掘」から「環境への排出」までを対象としている。リサイクルを考慮した評価事例は数多くあるが、幾つかの都市ガス事業者が行っているリサイクルシステムのようなオープンリサイクルの場合、評価システムを拡張して評価することが望ましい<sup>4-6)</sup>。しかし今回の評価においてはスクラップがヴァージン資源と等価であるとして扱い、回収された分だけ資源消費が減るとしてリサイクル効果を考慮した。

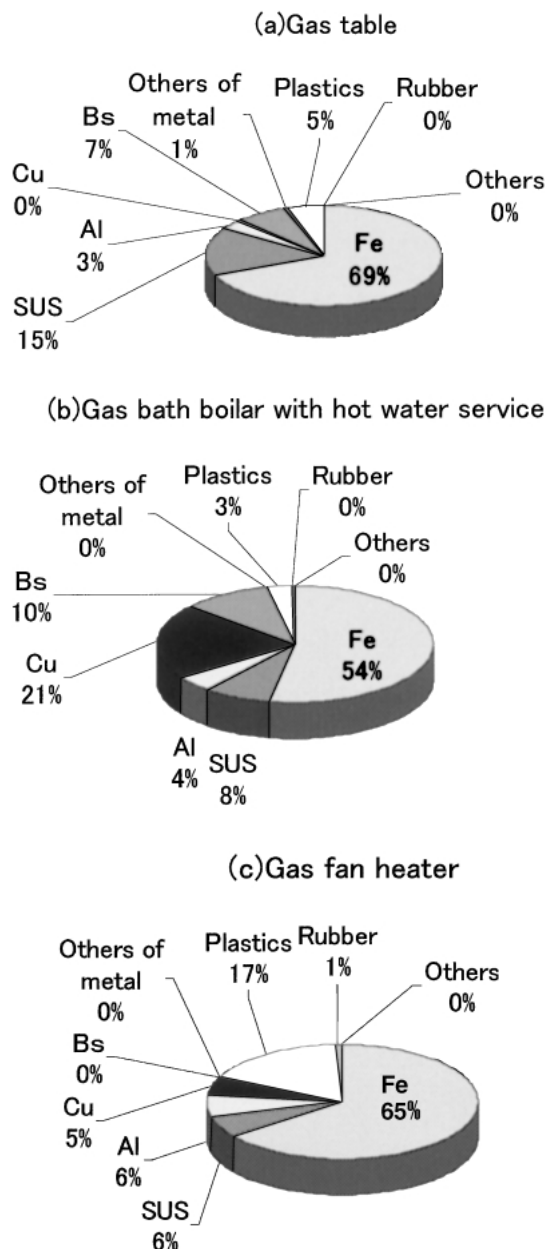


Fig. 1 The material composition ratio of residential gas appliances.

Table 1 The classification of the evaluated gas appliances.

Classification	Appliance	Capacity
Gas cookers	Gas cooking table with one side grill	8.95 kW
Gas fired water heaters	Gas bath boiler with hot water service	52.3 kW
Gas space heaters	Gas fan heater	2.79 kW

環境影響評価項目については、LCA ソフトウェア「JEMAI-LCA」<sup>7)</sup>を基に、「資源消費」、「地球温暖化」、「酸性化」、「エネルギー消費」、「固形排出物」の5つのカテゴリとした。各々の環境カテゴリにおける特性化、正規化の方法および使用した数値は上記ソフトに準じている。単位当たりの各インベントリ項目が環境カテゴリに与える影響度を基準物質との比で表した特性化係数と、環境カテゴリごとに算出されたポイントどうして比較するために正規化を行う際に用いた世界全体における数値(規格値)を Table 2 に示す。ただし「固形排出物」のカテゴリだけは日本全体の数値のみ入手可能だったためこの数値で規格化している。カテゴリごとの環境への影響度  $I$  は物質ごとのインベントリ結果と特性化係数を用いて式(1)のように表される。影響度  $I$  を算出後、式(2)のようにカテゴリごとに算出された結果を規格値でわることで正規化を行い、最終的な数値  $NI$  とした。

$$I_i = \sum_{k=1}^{n_i} C_{k,i} \times R_k \quad (1)$$

$$NI_i = I_i / S_i \quad (2)$$

$I_i$  : 環境カテゴリ  $i$  における影響度

$C_{k,i}$  : インベントリ項目  $k$  の環境カテゴリごとの特性化係数

$R_k$  : 項目  $k$  のインベントリ分析結果

$NI_i$  : 正規化された影響度

$S_i$  : 環境カテゴリごとの規格値

資源採掘から素材製造に関わるバックグラウンドデータについては上記ソフトのデータベースに加えて、本研究のガス

機器評価用に必要な素材および原単位データを追加して用いた。エネルギー機器は一般に使用時の影響度が大きいことが知られている<sup>8)</sup>。そこで特に使用段階における燃料となる都市ガスについては天然ガスの産地国における生産、液化、輸送、国内気化、供給を考慮したデータから算出した原単位データ<sup>9)</sup>を利用している。

## 2.4 各段階におけるインベントリ作成

### 2.4.1 製造段階

機器を構成する素材の資源採掘から製造に関わる環境負荷データについては、まず LCA ソフトウェア「JEMAI-LCA」<sup>7)</sup>のデータベースを基に、ガス機器評価にあわせた原単位データを作成した。この原単位データと各モデルガス機器の素材構成データを用いて、機器製造段階のインベントリを作成した。

ただし機器製造に関わる組立工程についてはデータが得られなかったため、検討除外している。また新機種においても従来機種と生産工程が大きく変わらないと考え、評価範囲から外している。

### 2.4.2 使用段階

使用段階の評価は対象とする機器の稼働率によって異なるため、使用のモデルケースを設定して評価を行った。モデルケースとして新築集合住宅の1住戸を想定し、年間におけるガス使用量を与えている<sup>10)</sup>。また、本研究では製品使用による機器性能は使用期間内において同一であるものとした。天然ガスの採掘・液化および LNG 輸送・気化・供給等の都市ガス製造に関わる上流側の環境負荷はソフトウェアのデータベースを改良することで算出し、燃焼に伴い環境に排出される主要物質である  $\text{CO}_2$  と  $\text{NO}_x$  については文献<sup>9)</sup>のデータを考慮することにより排出量を算出した。モデル条件を Table 3 に示す。なお製品輸送に伴う環境負荷排出は 5 t トラック(積載率 80%)による 10 km 圏内への輸送モデルを設定し、使用段階に含めて評価している。

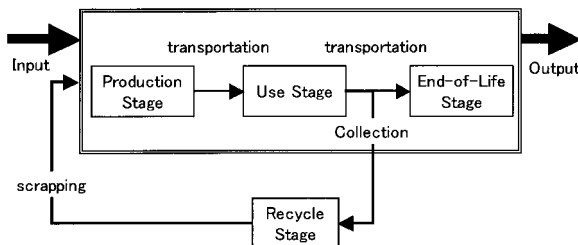


Fig. 2 Scope of Life cycle assessment.

Table 2 Environmental impact category and characteristic factors.

Impact category	Resources consumption		Global warming		Acidification		Energy consumption		Solid waste	
unit	(1/kg)		GWP(CO <sub>2</sub> =1) IPCC95 (100 years)		AP(SO <sub>2</sub> =1)		(MJ/kg)		(kg)	
Input/output and characterization factor	Al	2.94E-02	CO <sub>2</sub>	1.00E+00	NO <sub>x</sub>	7.00E-01	coal for coke	3.18E+01	CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	1.00E+00
	coal for coke	1.93E-03	CH <sub>4</sub>	2.10E+01	SO <sub>x</sub>	1.00E+00	coal for elect.	2.59E+01	red mud	1.00E+00
	coal for elect.	1.93E-03					LNG	5.44E+01	sludge	1.00E+00
	Cr	2.39E+00					oil	4.50E+01	waste PP	1.00E+00
	Cu	1.54E+00					U	3.67E+05	unspecified solid waste	1.00E+00
	Fe	1.32E-02					water hydro	1.00E-02	Landfill	1.00E+00
	LNG	9.70E-06								
	Mn	2.00E-01								
	Ni	7.14E+00								
	oil	7.26E-03								
	Pb	7.14E+00								
	U	2.22E+02								
Zn	2.27E+00									
Normalization value(World)		7.64E+10	8.65E+11		2.21E+09		1.26E+13		1.20E+09*1	
unit	(kg/Ms)		(kg/Ms)		(kg/Ms)		(MJ/Ms)		(kg/Ms)	

<sup>\*1</sup> all Japan

### 2.4.3 廃棄・リサイクル段階

ガス機器は製品質量の 8~9 割が鉄・非鉄金属から構成されリサイクルシステムに適し易く、現状においても販売店を通じガス製品の回収、金属リサイクルが積極的に推進されている<sup>1)</sup>。Fig. 3 にガス・石油機器の廃棄フローを示す。現

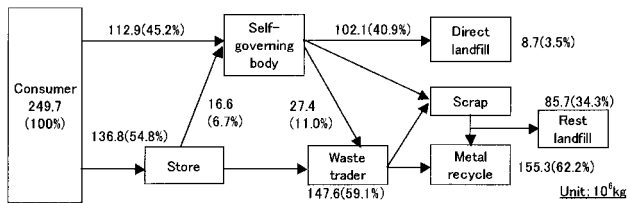


Fig. 3 The waste flow of gas and oil appliances (Researched in the fiscal year 1999)<sup>11)</sup>

Note: The value inside round brackets means the percentage of the whole amount of wastes of gas and oil appliances.

在消費者からの使用済みガス石油機器全体の総廃棄量約 25 万 t のうち、約 62.2% が金属回収され残りが破砕処理後あるいは直接埋立られている。消費者から回収後、主に自治体と処理業者の 2 ルートがあるが、ガス石油機器の処理・リサイクルの実態調査報告<sup>11)</sup>によると自治体における金属回収率(回収量/処理量)は鉄 61.3%, アルミ 33.1%, 銅 4.2% であり、処理業者では鉄・アルミ・銅ともに約 80% の回収である。全体では鉄 71.7%, アルミ 62.8%, 銅 62.0% である。今回の評価では現状のリサイクルシステムにおいて製品が廃棄されたものと仮定し、製品中の再生可能な素材のうち、鉄・アルミ・銅・黄銅については現行の回収率を、その他に関しては 60% の回収率を設定した。鉄・非鉄金属のリサイクルにより削減される効果を評価するには本来評価システムの拡張が必要となるが、ベースメタルについては既にリサイクルシステムが存在しており、スクラップをヴァージン資源により希釈して原料として使用されている。そこで今回

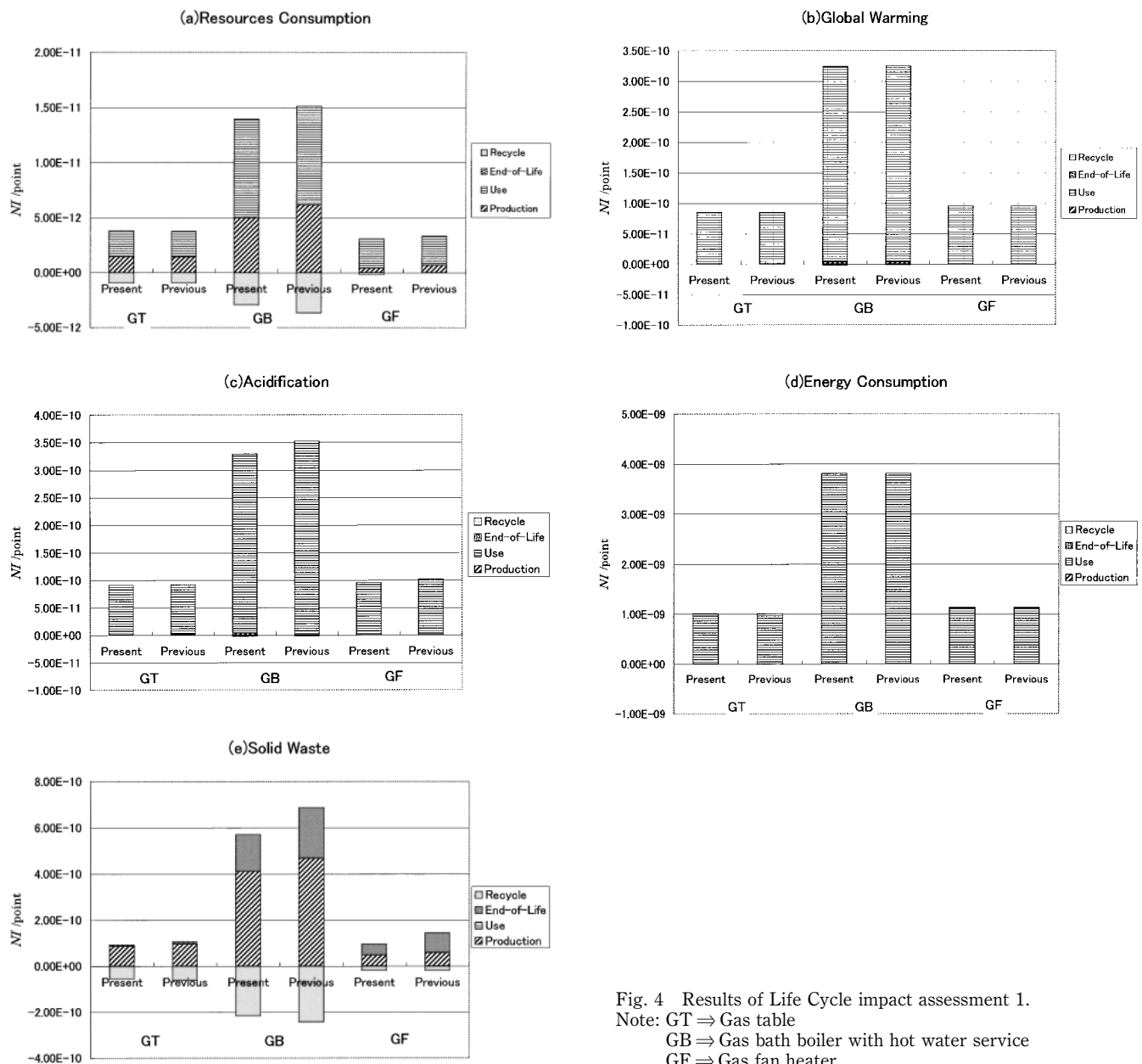


Fig. 4 Results of Life Cycle impact assessment 1.

Note: GT ⇒ Gas table

GB ⇒ Gas bath boiler with hot water service

GF ⇒ Gas fan heater

Table 3 Calculation condition of use stage.

	Gas cookers		Gas fired water heaters		Gas space heaters	
Purpose of energy use	Cooking		Hot water supplying		Supplementary space heating	
Energy demand per year (GJ)	1.7		13		4.2	
Model	Present	Previous	Present	Previous	Present	Previous
Efficiency (%)	45	45	80	80	100	100
NO <sub>x</sub> emission (ppm)	100	100	60	120	42	100
Durability (Ms)	316	316	316	316	316	316

Table 4 Results of Life Cycle inventory analysis.

(a) Gas table								
Unit : kg	Previous model				Present model			
	Production	Use	End-of-Life	Recycle	Production	Use	End-of-Life	Recycle
Al	3.11E-01	0.00E+00	0.00E+00	-1.82E-01	2.86E-01	0.00E+00	0.00E+00	-1.75E-01
Coal for coke	5.07E+00	0.00E+00	0.00E+00	-3.49E+00	4.21E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.93E+00
Coal for elect.	2.84E+00	5.61E+00	3.83E-05	-1.88E+00	2.61E+00	5.61E+00	2.56E-05	-1.75E+00
Cr	3.10E-01	0.00E+00	0.00E+00	-2.22E-01	3.15E-01	0.00E+00	0.00E+00	-2.24E-01
Cu	5.19E-02	0.00E+00	0.00E+00	-3.11E-02	5.31E-02	0.00E+00	0.00E+00	-3.20E-02
Fe	6.37E+00	0.00E+00	0.00E+00	-4.39E+00	5.14E+00	0.00E+00	0.00E+00	-3.60E+00
LNG	5.89E-01	6.70E+03	4.19E-05	-3.72E-01	5.36E-01	6.70E+03	2.80E-05	-3.46E-01
Mn	7.78E-02	0.00E+00	0.00E+00	-5.47E-02	7.05E-02	0.00E+00	0.00E+00	-4.98E-02
Ni	2.29E-01	0.00E+00	0.00E+00	-1.64E-01	2.33E-01	0.00E+00	0.00E+00	-1.66E-01
Oil	2.30E+00	7.63E+02	3.26E-04	-1.37E+00	2.07E+00	7.63E+02	2.18E-04	-1.31E+00
Pb	6.77E-02	0.00E+00	0.00E+00	-4.16E-02	6.95E-02	0.00E+00	0.00E+00	-4.28E-02
U	3.77E-05	3.77E-04	2.60E-09	-2.48E-05	3.41E-05	3.77E-04	1.74E-09	-2.27E-05
Zn	1.60E-01	0.00E+00	0.00E+00	-9.83E-02	1.64E-01	0.00E+00	0.00E+00	-1.01E-01
Water hydro	7.82E+02	1.02E+01	0.00E+00	-4.75E+02	7.30E+02	1.02E+01	0.00E+00	-4.57E+02
CO <sub>2</sub>	2.98E+01	2.31E+03	1.22E-03	-1.99E+01	2.62E+01	2.31E+03	8.14E-04	-1.77E+01
CH <sub>4</sub>	9.24E-05	1.01E-03	6.95E-09	-6.10E-05	8.31E-05	1.01E-03	4.64E-09	-5.55E-05
N <sub>2</sub> O	1.98E-03	1.24E+00	2.06E-07	-1.28E-03	1.84E-03	1.24E+00	1.37E-07	-1.21E-03
NO <sub>x</sub>	3.09E-02	3.12E+00	1.19E-06	-2.01E-02	2.86E-02	3.12E+00	7.98E-07	-1.89E-02
SO <sub>x</sub>	4.55E-02	4.11E+00	5.67E-07	-3.00E-02	4.20E-02	4.11E+00	3.79E-07	-2.81E-02
CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Red mud	6.66E-01	0.00E+00	0.00E+00	-3.91E-01	6.14E-01	0.00E+00	0.00E+00	-3.74E-01
Sludge	2.95E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.97E+00	2.61E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.75E+00
Waste PP	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Solid waste	8.57E-02	0.00E+00	0.00E+00	-5.03E-02	7.89E-02	0.00E+00	0.00E+00	-4.81E-02
Landfill	0.00E+00	0.00E+00	3.58E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.39E-01	0.00E+00

(b) Gas bath boiler with hot water service								
Unit : kg	Previous model				Present model			
	Production	Use	End-of-Life	Recycle	Production	Use	End-of-Life	Recycle
Al	1.49E+00	0.00E+00	0.00E+00	-5.34E-01	2.27E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.01E+00
Coal for coke	1.40E+01	0.00E+00	0.00E+00	-8.00E+00	1.03E+01	0.00E+00	0.00E+00	-6.22E+00
Coal for elect.	1.02E+01	2.13E+01	8.93E-04	-5.14E+00	1.10E+01	2.13E+01	6.53E-04	-5.69E+00
Cr	7.08E-01	0.00E+00	0.00E+00	-4.71E-01	7.03E-01	0.00E+00	0.00E+00	-4.55E-01
Cu	1.31E+00	0.00E+00	0.00E+00	-6.85E-01	1.03E+00	0.00E+00	0.00E+00	-5.40E-01
Fe	1.60E+01	0.00E+00	0.00E+00	-9.04E+00	1.17E+01	0.00E+00	0.00E+00	-7.09E+00
LNG	2.75E+00	2.54E+04	9.76E-04	-1.29E+00	2.98E+00	2.54E+04	7.14E-04	-1.45E+00
Mn	1.87E-01	0.00E+00	0.00E+00	-1.14E-01	1.59E-01	0.00E+00	0.00E+00	-9.98E-02
Ni	5.23E-01	0.00E+00	0.00E+00	-3.48E-01	5.19E-01	0.00E+00	0.00E+00	-3.66E-01
Oil	8.81E+00	2.90E+03	7.59E-03	-4.03E+00	9.93E+00	2.90E+03	5.55E-03	-4.39E+00
Pb	6.12E-01	0.00E+00	0.00E+00	-3.45E-01	4.10E-01	0.00E+00	0.00E+00	-2.26E-01
U	1.61E-04	1.43E-03	6.06E-08	-8.61E-05	1.35E-04	1.43E-03	4.43E-08	-7.20E-05
Zn	1.16E+00	0.00E+00	0.00E+00	-6.68E-01	7.70E-01	0.00E+00	0.00E+00	-4.36E-01
Water hydro	3.71E+03	3.87E+01	0.00E+00	-1.49E+03	5.12E+03	3.87E+01	0.00E+00	-2.36E+03
CO <sub>2</sub>	1.02E+02	8.76E+03	2.84E-02	-5.34E+01	9.47E+01	8.76E+03	2.08E-02	-5.04E+01
CH <sub>4</sub>	3.95E-04	3.84E-03	1.62E-07	-2.15E-04	3.11E-04	3.84E-03	1.18E-07	-1.69E-04
N <sub>2</sub> O	8.31E-03	4.71E+00	4.80E-06	-4.08E-03	8.90E-03	4.71E+00	3.51E-06	-4.41E-03
NO <sub>x</sub>	1.14E-01	1.27E+01	2.73E-05	-5.51E-02	1.29E-01	1.01E+01	2.00E-05	-6.42E-02
SO <sub>x</sub>	1.73E-01	1.56E+01	1.32E-05	-8.65E-02	1.86E-01	1.56E+01	9.65E-06	-9.51E-02
CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	3.82E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.72E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Red mud	3.20E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.14E+00	4.87E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.17E+00
Sludge	1.41E+01	0.00E+00	0.00E+00	-7.98E+00	1.01E+01	0.00E+00	0.00E+00	-5.81E+00
Waste PP	1.92E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.87E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Solid waste	4.01E-01	0.00E+00	0.00E+00	-1.44E-01	6.14E-01	0.00E+00	0.00E+00	-2.72E-01
Landfill	0.00E+00	0.00E+00	8.34E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.10E+00	0.00E+00

Table 4

Unit : kg	Gas fan heater							
	Previous model				Present model			
	Production	Use	End-of-Life	Recycle	Production	Use	End-of-Life	Recycle
Al	3.05E-01	0.00E+00	0.00E+00	-1.18E-01	2.75E-01	0.00E+00	0.00E+00	-1.24E-01
Coal for coke	2.50E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.12E+00	1.92E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.06E+00
Coal for elect.	1.86E+00	6.31E+00	3.47E-04	-5.71E-01	1.46E+00	6.31E+00	2.01E-04	-6.84E-01
Cr	1.44E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.18E-02	0.00E+00	0.00E+00	-4.34E-02
Cu	1.01E-01	0.00E+00	0.00E+00	-7.54E-05	7.85E-02	0.00E+00	0.00E+00	-7.54E-05
Fe	3.19E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.57E+00	2.50E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.42E+00
LNG	4.79E-01	7.53E+03	3.80E-04	-1.62E-01	3.95E-01	7.53E+03	2.19E-04	-1.70E-01
Mn	3.77E-02	0.00E+00	0.00E+00	-1.00E-02	2.58E-02	0.00E+00	0.00E+00	-1.43E-02
Ni	1.07E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.04E-02	0.00E+00	0.00E+00	-3.21E-02
Oil	2.51E+00	8.58E+02	2.95E-03	-9.20E-01	1.98E+00	8.58E+02	1.71E-03	-8.57E-01
Pb	2.54E-02	0.00E+00	0.00E+00	-1.02E-04	2.10E-02	0.00E+00	0.00E+00	-1.01E-04
U	2.54E-05	4.24E-04	2.36E-08	-7.81E-06	1.95E-05	4.24E-04	1.36E-08	-8.39E-06
Zn	4.41E-02	0.00E+00	0.00E+00	-2.44E-04	3.62E-02	0.00E+00	0.00E+00	-2.65E-04
Water hydro	6.91E+02	1.51E+01	0.00E+00	-2.42E+02	6.05E+02	1.15E+01	0.00E+00	-2.65E+02
CO <sub>2</sub>	1.85E+01	2.60E+03	1.10E-02	-6.88E+00	1.46E+01	2.60E+03	6.37E-03	-7.11E+00
CH <sub>4</sub>	6.10E-05	1.14E-03	6.30E-08	-1.87E-05	4.63E-05	1.14E-03	3.64E-08	-1.98E-05
N <sub>2</sub> O	1.56E-03	1.40E+00	1.87E-06	-5.01E-04	1.24E-03	1.40E+00	1.08E-06	-5.46E-04
NO <sub>x</sub>	2.26E-02	3.51E+00	1.06E-05	-7.45E-03	1.80E-02	2.77E+00	6.12E-06	-8.39E-03
SO <sub>x</sub>	3.13E-02	4.63E+00	5.13E-06	-9.58E-03	2.47E-02	4.63E+00	2.96E-06	-1.13E-02
CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	8.40E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.38E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Red mud	6.55E-01	0.00E+00	0.00E+00	-2.53E-01	5.90E-01	0.00E+00	0.00E+00	-2.65E-01
Sludge	1.47E+00	0.00E+00	0.00E+00	-4.75E-01	1.14E+00	0.00E+00	0.00E+00	-4.53E-01
Waste PP	4.23E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.72E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Solid waste	8.47E-02	0.00E+00	0.00E+00	-3.32E-02	7.60E-02	0.00E+00	0.00E+00	-3.44E-02
Landfill	0.00E+00	0.00E+00	3.25E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.87E+00	0.00E+00

の評価ではリサイクル資源がヴァージン資源と同等の価値を持つと考え、リサイクルされた分量だけヴァージン資源の使用量およびその採掘・精製に伴う環境負荷を削減できるものとして評価した。

廃品回収輸送に伴う環境負荷については 10 t トラック(積載率 80%)による 10 km 圏内輸送モデルを設定した。また廃品破碎処理に関わる負荷はリサイクル段階において、埋立に関わる環境負荷は廃棄段階において考慮した。

## 2.5 ライフサイクルインベントリ分析および環境影響評価結果

以上の条件設定におけるライフサイクルインベントリ分析結果を Table 4 に示す。リサイクル分についてはマイナスカウントとして表現している。ライフサイクル全体に対する割合をみると、エネルギー関連の石炭・LNG・石油・ウランを除く天然資源に関しては機器製造段階が、エネルギー関連資源および大気圏への負荷排出は使用段階が 90%以上を占める結果となった。

次に評価対象の新旧機器を環境影響カテゴリごとに Fig. 4 に示し、ライフサイクル全体に対する各段階の占める割合を Fig. 5 に示す。環境影響評価においては正規化を行った結果で比較を行っているため、Fig. 4 の縦軸の値は無次元数である。図においてリサイクル段階の値は負の値となっており、リサイクルを行うことにより改善される効果が縦軸のマイナス方向に示されている。Fig. 5 ではリサイクルの実施により削減される環境負荷を機器製造段階に含めて、製造・使用・廃棄の 3 段階で評価した。

各機器ともにエコデザインを考慮した現行機器が旧来機器より改善されていることがわかる。エネルギー消費機器の場合、使用時のエネルギー消費量が大きいため、「地球温暖化」

「酸性化」「エネルギー消費」の 3 つのカテゴリについてはライフサイクルにおける使用段階の占める割合が 98~99%とほとんどであることがわかる。資源消費についてはライフサイクル全体に対する製造時の占める割合がガステーブル・ガス風呂給湯器において約 40%、ガスファンヒーターにおいて約 15%あるが、リサイクルの実施によりそれぞれ約 10%程度まで小さくなっている。同様に「固形排出物」においてもリサイクルをさらに適正に行うことでより環境負荷の低減を図ることが出来ることがわかった。

ガステーブルでは「固形排出物」のカテゴリにおいて 17%程度の改善が得られているがこれは再生不可能な材質から再生可能な材質への転換により廃棄物量が削減されたことが寄与している。ガス風呂給湯器では「資源消費」が 4%、「酸性化」で 7%、「固形排出物」で 20%の改善が得られている。これは軽量化と燃焼器の改善による低 NO<sub>x</sub> 燃焼、解体性や再生可能性等のリサイクル性能向上による。ガスファンヒーターでは「資源消費」が 11%、「酸性化」が 7.5%、「固形排出物」が 37%の改善が得られており、ガス風呂給湯器以上に軽量化・低 NO<sub>x</sub> 化・リサイクル性能向上が進められた結果と考えられる。

またモデルガステーブルにおいては約 15%の軽量化が図られていたが、熱硬化性樹脂等のリサイクル不能な樹脂製品の使用によりリサイクルによる負荷低減効果を考慮した製造段階の負荷が増えてしまうことがあることもわかった。

## 3. 環境影響評価解釈

都市ガス事業者が策定したエコデザイン指針について LCA を実施することにより以下の項目につき解釈および考察を行った。

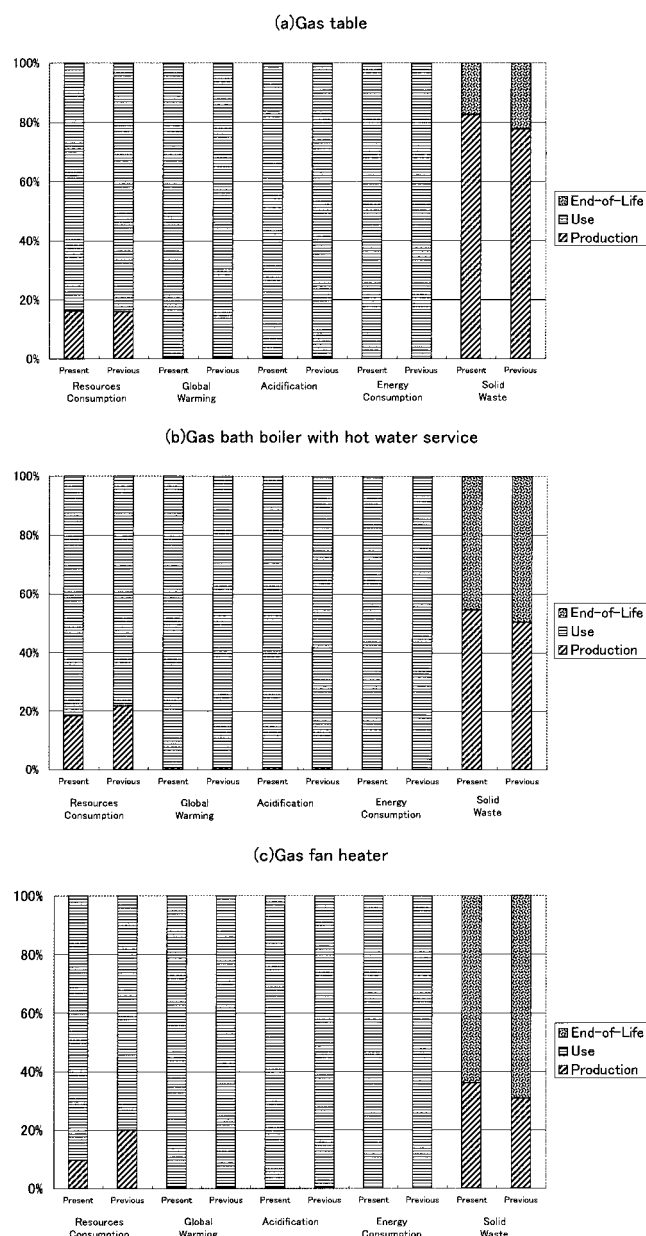


Fig. 5 Results of Life Cycle impact assessment 2.  
Note: The present model is on the left side and the previous model is on the right side at each environmental impact category.

### 3.1 エコデザイン指針について

全体として旧来機種よりも現行機種において改善が見られたが、これはエコデザイン項目として取り上げた「小型化・軽量化」による点が大きいと言える。エネルギー消費機器をLCA手法で評価した場合、仮に使用時の能力が同じであれば、線形性を仮定しているLCA手法上の特徴のために質量の軽いものほど良好な結果となる。リサイクルされないレアメタルの使用や鉛・塩ビ等の環境負荷の大きいと考えられる物質の使用を制限しつつ軽量化を図っていくことは製品製造、廃棄の段階においてエコデザイン項目が効果を発揮すると言える。

素材を金属から樹脂製品へ変えることで軽量化を図ることは可能であるが、それによりリサイクル効果が小さくなり、

ライフサイクル全体ではむしろ環境負荷が大きくなる可能性があることも分かった。この様にトレードオフの関係になる項目については優先順位付けを行うことも検討する必要がある。設計段階においては軽量化だけではなくむしろ製品の分解容易性を向上させてリサイクルによる削減効果を大きくするように配慮する必要がある。両者のトレードオフを考慮したエコデザイン項目が必要である。

本研究の結果では機器使用段階での環境負荷が最も大きい。今回の評価で与えている使用状況の設定は新築集合住宅の1住戸の使用例をモデルケースとしていた。このモデルケースでの燃料消費を機器の耐用年数(10年)まで継続して消費するものとしている。しかし、実際には長期使用する間、家庭の場合、家族構成や年齢変化に伴う消費構造が変化するため一律の燃料消費量を与えることは実形態と乖離する危惧がある。このように廃棄までに時間を要し、その間使用に関わる原単位が変化してゆくような耐久財を評価するLCAの手法を「ダイナミックLCA」と定義しようとする考えもある<sup>12)</sup>。本研究が対象とする機器は長期間使用され更に耐久性が追求された製品が開発される傾向にあるため、こうした手法の適用も検討する必要がある。

### 3.2 機器構成材料のエコマテリアル化

本研究ではリサイクルの段階で回収された鉄および非鉄金属類はヴァージン資源に希釈され原料として使用されるとした。このような金属のリサイクルに関してはマテリアルリサイクルではなくケミカルリサイクルであるとする報告がある<sup>13)</sup>。このケミカルリサイクル材料は回収された材料の微妙な組成の違いや表面処理などが施されていたものが不純物として混入するため材料の品質低下をもたらす。しかし、本研究ではこのようなりサイクル材料がガス機器に再利用できるものとして評価している。ガス機器における主要構成材料の主な物性要件は耐熱性、熱伝導性、耐高温酸化性、化学耐久性である。しかし、現状の材料選択の優先順位は必要物性を満たす材料で入手可能なもの、次に価格である。これは全ての製品について言及されるものであるが、今後国内に大量に蓄積されたガス機器を有効にリサイクルして行く「物質循環システム」に組み入れるためにはサービスを提供するための限界的な材料についての機器ごとの知見とその結果に基づく材料設計が必要である。またこの「物質循環システム」に組み入れるために「資源の有限性」という観点で製造時・廃棄リサイクル時に重きをおくあまり、使用時の環境負荷増大につながるといったようなことがないように製品をライフサイクルで評価して材料選定を行うことも欠かせない。製品使用時の安全に関する位置づけは従来と同一であることは当然である。そこで問題となるのが「どの環境カテゴリーを重視するのか」ということであり、これは製造者あるいは設計者の思想によって決定されるものであるが、その根拠となるべき科学的知見は地球的・地域的な差異はあれ長期的には全ての人に共通のものであることが望まれ、社会経済システムも含めて考慮したエコマテリアルの方向性を研究していく必要がある。少なくともライフサイクルで評価するためには環境配慮型設計を行うのに適したマテリアルデータベースの整備

は必要条件であると言える。

#### 4. 結 言

ガス事業者が策定したエコデザイン指針に基づくモデル機器に関して LCA を行い、環境影響解釈を行った結果以下の結論を得た。

(1) 製品の軽量化設計は製品製造段階の環境負荷に良好な結果を与えるが廃棄段階において逆転する可能性があるトレードオフの関係にあり優先順位もしくは環境ミニマムに最適化する手法が必要である。また、機器使用段階での環境負荷が大きい製品についてはその製品が置かれる環境におけるインベントリの時間変化を考慮した新たな LCA 手法の開発と適用が必要とされる。

(2) ライフサイクルで環境負荷を抑えるガス機器を提供するためには、従来から取り組まれている効率の向上と低 NO<sub>x</sub> 燃焼技術に加えて製造・廃棄リサイクルに関する「資源の希少性」を考慮した共通のマテリアルデータベースにより材料選定を行い機器の安全性を確認した材料を用いて設計することが必要である。さらに製品製造に対する事業者の自主的な取り組みばかりでなく、社会システムの側面からのアプローチとして、消費者に受け入れられる製品提供と廃製品回収システムの構築も欠かせない。

常に密接に協力してガス機器のエコデザイン化を推進してきた、大阪ガス株式会社、東邦ガス株式会社に感謝します。

#### 文 献

- 1) Japanese Industrial Standards Committee: *JIS Q 14040*.
- 2) The conference about recycling of gas and oil appliances: *The interim report* (2000).
- 3) Y. Oki: *1th Int. Ecomaterial Selection*, (Society of Non-Traditional Technology, 2000).
- 4) S. Sano: *Proc. 4th Int. Conf. on EcoBalance*, (Japan LCA Forum, 2000) pp. 497-500.
- 5) A. Funazaki and K. Taneda: *Proc. 4th Int. Conf. on EcoBalance*, (Japan LCA Forum, 2000) pp. 535-538.
- 6) K. Nakajima, H. Ino and K. Halada: *Proc. 4th Int. Conf. on EcoBalance*, (Japan LCA Forum, 2000) pp. 291-294.
- 7) The Japan Environmental Management Association for Industry: *JEMAI-LCA* (2000).
- 8) T. Okamura, R. Matuhashi, H. Ishitani and Y. Yoshida: *Proc. 19th Meeting of JSER* (2000) pp. 53-58.
- 9) S. Y. Yoon and T. Yamada: *Energy Economics, Japan* **25** (1999) pp. 22-48.
- 10) Institute for Building Environment and Energy Conservation: *The recommended values for planning an apartment house based on investigation during 1986-1989*.
- 11) MITI: *Investigation the actual disposal and recycling of gas and oil appliances* (1999).
- 12) A. Inaba: *Proc. AIST Symposium* (1999) pp. 1-7.
- 13) K. Halada: *BOUNDARY* **6** (1999) pp. 14-23.