

研究論文

使用済みガス機器の回収・資源リサイクルシステムの環境保全効果評価

Environmental Protection Effect by Collection & Recycling of Used Gas Appliances

田中 敏英*・長谷 実**・田中 美津也***
Toshihide Tanaka Minoru Hase Mitsuya Tanaka

(原稿受付日2001年4月9日, 受理日2001年8月3日)

Abstract

Osaka Gas has been vigorous in its activities to collect used gas appliances and in recycling resources. Using the LCA (Life Cycle Assessment) method, we have evaluated the overall effectiveness of these company-wide activities. The results have proven the environmentally positive effectiveness of these activities, in comparison to the absence of collection and recycling. This is true in terms of environmental load (energy consumption, CO₂, NO_x and SO_x emissions, metal resource consumption, and generation of waste for burial) as well as of environmental impact (energy depletion, global warming, acidification, metal resource depletion, and difficulty in securing landfill areas). Particularly in comparison with instances of used gas appliance burial without recycling, OG's collection and recycling activities have proven highly effective, realizing approximately 64% reduction in CO₂ emissions, equivalent to a reduction of approximately 3,100 tons of CO₂ emissions.

Given these results, OG has reaffirmed that its used gas appliance collection and resource recycling activities not only promote resource reuse, but also contribute to environmental protection. In addition, we have accumulated data for use in environmental accountability disclosure via environmental reports and environmental accounting. As well, since the actual conditions and mechanisms of environmental load generation have thus been quantitatively clarified, we have derived several useful suggestions for further improving the environment by making improvements in processes and appliance design.

1. はじめに

20世紀の日本は大量生産, 大量消費, 大量廃棄システムのもとで社会経済の発展を遂げた時代であった。しかしながら, 昨今の環境問題の顕在化が示すように, このシステムは行き詰まりを見せており, 天然資源消費抑制と環境負荷低減を目指す資源循環型社会への移行が21世紀の必須課題となっている。

そうした中, 2000年5月に制定された循環型社会形成推進基本法や本法体系下の家電リサイクル法等の各法により, 循環型社会形成を目指す理念と手段が具体化されるとともに, 製品等を製造, 販売する事業者をはじめ, 国, 国民の責任と役割が明確化され注目を集めている。

当社は, 資源の循環利用促進の取り組みとして, ガス機

器を販売する事業者の立場から使用済みガス機器の回収・資源リサイクルシステムを1977年度に確立し, それ以降, 機器販売時に生じる使用済み機器の回収・資源リサイクルに努めてきた。

こうしたリサイクル活動は, これまで環境保全に貢献するものとして常識的に認識されてきたが, 今後は保全効果を実際に有するかどうかを事業者自らが分析し明らかにしていく環境アカウンタビリティの視点が必要になる。また, そうした活動を通じ, 更なる環境負荷低減を図ることが循環型社会における事業者の責務ともなる。

一方, 製品等のリサイクル活動の環境保全効果に関しては, 製品単体やリサイクルプラントを評価した事例¹⁻⁴⁾などがあるものの, 実際に回収されるすべての廃製品を対象に, 事業活動として回収から資源リサイクルまでのトータルの環境保全効果を評価した例はない。当社の使用済みガス機器回収・資源リサイクルのような活動をトータルで評価するには, 実際に廃棄される多種多様なガス機器を対象に, その回収・解体からスクラップ等の分別・再資源化・処理に至る一連の工程全体を実績ベースで分析する必要がある。

*大阪ガス(株)開発研究部情報技術研究センター副課長

〒600-8813 京都市下京区中堂寺南町17

** 〃 環境部地域環境チーム次長

*** 〃 リビング開発部需給物流チーム係長

〒541-0046 大阪市中央区平野町4-1-2

E-mail: tnk@osakagas.co.jp

また、家電リサイクル法等の取り組みによる製品リサイクルの更なる促進が期待される中で、こうしたエネルギー機器に関し、リサイクルの環境側面における有効性を検証することや、より効果的なリサイクル活動の指針を提案することは極めて重要と言える。

そこで今回は、次の新たな観点でガス機器リサイクル活動の環境保全性を分析した。

- ① 当社のガス機器回収・資源リサイクルシステム全体（家庭用機器全体の回収から資源リサイクル・廃棄処分まで）を対象とする。
- ② トータルの環境負荷を定量的に分析するLCA（ライフサイクルアセスメント）手法を適用する。
- ③ 規格化されて間もないLCA規格ISO14040～41（JIS/Q14040～41）に則って分析するとともに、外部専門家のレビューを受けることで妥当性及客観性の高い評価を行う。

2. 使用済みガス機器回収・資源リサイクルシステムの概要

使用済みガス機器回収・資源リサイクルシステムの概要を図1に示す。

サービスショップにより機器販売時に回収された使用済み機器は、当社の回収ルートでは配送センターに集約されたのち、中間処理業者に運搬され機器の解体・破碎後、金属スクラップとダストに分別される。金属スクラップは中間処理業者から再生業者に運搬され再資源化される一方、ダストは最終処理業者に運搬され焼却および発生焼却灰の埋立処理がなされる。再資源化された金属は有価物として市場に供給されており、資源のオープンリサイクルシステムを構築している。

1999年度の機器回収率は、回収実績ならびに機器処理方法に関する当社定例実態調査によると、当社ルートで79%に達し、サービスショップによる独自回収ルートの11%と合わせ、グループ全体で90%となっている。

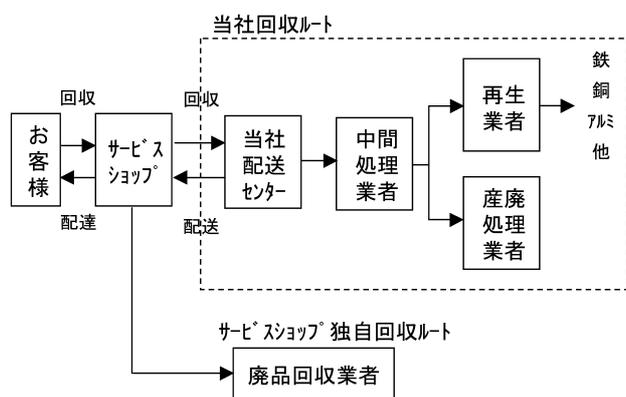


図1 機器回収・資源リサイクルシステムの概要

3. 評価の目的と方法

LCAは汎用性、柔軟性のある手法である反面、そこから曖昧さを回避する必要があることから、LCA規格では、分析の目的とそれに整合した前提条件（目的及び調査範囲）や分析方法を明確に設定することを求めている。

本分析で設定した内容を以下に示す。

3.1 目的の設定

当社が取り組む使用済みガス機器の回収・資源リサイクル活動全体の環境負荷発生実態を把握するとともに、その環境保全効果を定量的に評価することを本分析の目的とした。評価結果は、こうしたエネルギー機器リサイクルの環境側面における有効性を検証するとともに、更なる工程改善や環境に配慮した機器設計・開発を促進するための情報提供の役割を果たすと考えられる。

3.2 対象システムと環境保全効果評価方法

(1) 対象システム

当社ルートの回収・リサイクルシステムを評価対象とし、1998年12月～1999年11月（1年間）に回収した家庭用一般ガス機器（機器販売時に回収する他燃料機器も含む）411,738台（4,509t）について分析した。

(2) 機能単位

LCA規格で規定される機能単位（対象システムが提供する機能を定量的に示す尺度）には、この回収機器総量を適用し、これを基準に各工程のエネルギー消費や環境負荷排出を分析した。

(3) 環境保全効果評価方法

機器回収・資源リサイクルによる環境保全効果については、回収・リサイクルがないケースを想定し、それとの比較で評価するものとした。分析ケースを表1に示す。

当社ルートの回収・リサイクルがないケースとして、機器回収・資源リサイクル活動自体の潜在的な環境保全効果を評価する比較対象に「原型埋立ケース」を、また、ガス機器といった家庭用機器の自治体等での処分・リサイクル実態を反映し、実質的な比較対象に「鉄のみリサイクルケース」を設定した。

表1 分析ケース

ケース	内容	
当社リサイクルケース	当社ルートの機器回収・資源リサイクル（分析対象のリサイクルは、鉄、銅、アルミ）	
当社ルートのリサイクルがないケース	原型埋立ケース	回収機器から資源リサイクルをせず機器原型のまま埋立処分
	鉄のみリサイクルケース	回収機器から鉄のみ資源リサイクルしその他は焼却・埋立処分
	鉄・銅リサイクルケース	回収機器から鉄と銅を資源リサイクルしその他は焼却・埋立処分

ース」および「鉄・銅リサイクルケース」を設定した。

機器回収・資源リサイクルシステムには、機器処分と再生金属製造の工程があることから、リサイクルがないケースには、リサイクルされる再生金属製造分をバージン金属として新たに製造する工程を加え比較の基準を揃えた。再生金属とバージン金属の品質は現実的に差があるが、ここでは簡略化のためにはないと考えた。

再資源化される金属には、使用量等から資源リサイクルによる環境保全効果が大きいと考えられる鉄、銅、アルミニウムを評価対象に選定した。鉄、アルミのスクラップから再資源化される再生金属は粗鋼およびアルミ二次地金とした。品質がよい銅スクラップの場合、バージン材と一緒に伸銅品等の製造原料になることが多いため、銅スクラップそのものを再生金属と位置づけた。

一方、リサイクルがないケースで製造されるバージン金属は、リサイクルによる再生金属と同程度の品質とし、鉄、アルミニウムはそれぞれ粗鋼、アルミ地金、銅は銅スクラップと共に伸銅品の原料となる電気銅とした。

3.3 評価範囲

機器回収・資源リサイクルシステムによる環境保全効果評価を主眼とし、本システムの有無により変化する工程に着目して評価範囲（システム境界）を図2のように設定した。

これには使用済みガス機器の回収および中間処理、金属スクラップの再資源化、廃棄物の処理・処分の工程が含まれる。リサイクルがないケースは、機器の廃棄から処分に加え、リサイクルケースの再生金属の代わりとなるバージン金属の資源採掘、輸送、製造工程を評価範囲に含めた。

なお、回収・資源リサイクルに関わる設備の建設・維持管理、化石燃料の採掘・輸送・生産、水資源や投入薬剤等の調達・製造等の各工程については、適用可能なデータの入手が困難であることから省略した。

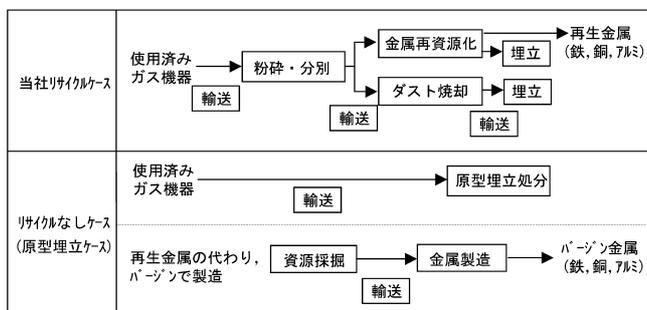


図2 評価範囲

3.4 環境保全効果の評価項目

ガス機器回収・資源リサイクル活動の環境保全効果を評価する目的に照らし合わせ、表2の評価項目（データ区分）を選定した。このうち、エネルギー消費は電力、都市ガス、

表2 評価項目

インベントリ	インパクト
<ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー消費 ・CO₂ 排出 ・NO_x, SO_x 排出 ・金属系資源消費 ・埋立廃棄物発生 	<ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー資源枯渇 ・地球温暖化 ・酸性化 ・金属系資源枯渇 ・埋立地確保困難化

軽油、A重油、C重油、石炭、コークスを、金属系資源消費は鉄鋼石、銅精鉱、ボーキサイトの消費を選定した。

3.5 回収機器の素材構成比率推計

機器から分別した鉄、銅、アルミニウムの再資源化や廃棄物処理等の各々の工程を分析するには、回収した機器全体の素材構成を知る必要がある。回収機器は種類、型式、生産年度等多種多様にわたっているため、次の推計を行った。

32区分で管理されている回収機器の台数を12区分の代表機器でまとめ直し、現状の回収機器を想定して約10年前の機器の重量と素材構成比率を代表機器毎に用い、全体の素材構成比率を算定した。この値で中間処理業者の分別構成比率実績を配分し、本評価で用いる回収機器全体の素材構成比率推定値（表3）とした。

表3 回収機器の素材構成比率推計結果

鉄	66.9%
銅	8.6%
アルミニウム	2.6%
その他金属	11.9%
非金属	10.0%

3.6 インベントリ分析方法

各工程におけるエネルギー・資源消費や環境負荷排出を定量化するインベントリ分析は、以下の方法で行った。

なお、LCA規格では調査の目的に整合したデータ品質要件が求められる。今回は、機器等の輸送、解体、廃棄物処理といった工程では機器の回収時期におけるエネルギー消費等の実績データをベースとし、バージン金属製造等の一般的な工程では最近の信頼性の高い文献値を採用し、データ品質を確保した。

(1) 機器や金属スクラップ等の輸送工程

各輸送工程の距離、積載量、トラックのトン数の実績とトラック燃費^{5,6)} からエネルギー消費、CO₂排出⁷⁻¹¹⁾ を算定した。NO_x・SO_x排出には文献⁵⁾ を適用した。

(2) 機器の破碎・解体・分別工程

中間処理業者のエネルギー消費実績からCO₂排出を算定し、NO_x・SO_x排出はエネルギー種およびその使用形態を

鑑み文献¹²⁻¹⁴⁾ からそれぞれの排出原単位を選定し算定した。当処理施設の全処理量に対する対象のガス機器分の重量比によってこれらの環境負荷を配分した。

(3) 金属スクラップの再資源化工程

鉄の再資源化業者のエネルギー消費実績から同様に算定した。アルミスクラップについては文献¹⁵⁻¹⁷⁾ による二次地金製造原単位を適用した。

(4) ダスト焼却処理工程

最終処理業者と自治体の処理におけるエネルギー消費およびNO_x・SO_x排出実績から算定した。当処理施設の全処理量に対する対象のガス機器ダスト分の重量比によってこれらの環境負荷を配分した。

(5) 廃棄物の埋立処理工程

文献¹⁶⁾ によるエネルギー消費からCO₂・NO_x・SO_x排出を算定した。廃棄物量は、リサイクルケースではダスト焼却で発生する焼却灰と埋立にまわる金属屑の量として、原型埋立ケースでは発生した使用済みガス機器の量として算定した。

(6) バージン金属製造工程

粗鋼、電気銅、アルミ地金の資源採掘、国内までの輸送、バージン金属製造の各工程におけるエネルギー消費およびCO₂・NO_x・SO_x排出の原単位を文献¹⁵⁻¹⁸⁾ より適用した。金属資源消費量は、バージン金属製造に必要な資源量として算定した。

3.7 インパクト評価方法

上記で算出したインベントリ分析結果を表4に示すように各カテゴリに分類化し、特性化係数を用いてインパクト(環境影響)を算定した。埋立地確保困難化インパクトは、本来、廃棄物容積で特性化の方が妥当と考えられるが、容積算定が困難であったため、重量を代替の特性化係数として用いた。

評価は各カテゴリの特性化までとし、インパクトの標準化、グループ化、カテゴリ間の重みづけは、手法が未確立なことおよびISO14040で要求されていないことから実施しなかった。

表4 インパクト評価方法

インパクト (Σインベントリ×特性化係数)	インベントリ	特性化係数	
地球温暖化	CO ₂ 排出 (t-CO ₂ /年)	1	地球温暖化係数 ¹⁹⁾
酸性化	NO _x 排出 (kg-NO _x /年)	0.7	酸性化ポテンシャル ²⁰⁾
	SO _x 排出 (kg-SO _x /年)	1.0	
金属資源枯渇	鉄鉱石消費 (t/年)	0.00920	可採年数 ²¹⁾ の逆数(1/年) 可採年数：鉄鉱石=109年、 銅精鉱=56年、ホークサイト=226年
	銅精鉱消費 (t/年)	0.01801	
	ホークサイト消費 (t/年)	0.00442	
エネルギー枯渇	エネルギー消費 GJ/年	1	エネルギーの種類によらず熱量
埋立地確保困難化	埋立廃棄物発生 (t/年)	1	廃棄物の種類によらず重量

4. 評価結果

4.1 インベントリ分析結果

インベントリ分析結果を表5にまとめ、CO₂・NO_x・SO_x排出の工程別内訳を図3(a)～(c)に、金属系資源消費量を図4に示す。

表5 インベントリ分析結果

	当社リサイクル ケース	原型埋立 ケース	鉄リサイクル ケース	鉄銅リサイクル ケース
エネルギー消費量 (GJ/年)	20,175	82,530 <75.6>	41,753 <51.7>	32,132 <37.2>
CO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /年)	1,790	4,906 <63.5>	3,315 <46.0>	2,751 <34.9>
NO _x 排出量 (kg-NO _x /年)	2,240	17,520 <87.2>	3,151 <28.9>	2,442 <8.3>
SO _x 排出量 (kg-SO _x /年)	1,816	24,256 <92.5>	9,845 <81.6>	2,751 <34.0>
金属系資源消費量 (t/年)	0	5,803 <100.0>	1,480 <100.0>	447 <100.0>
埋立廃棄物発生量 (t/年)	294	4,509 <93.5>	1,162 <74.7>	815 <63.9>

※<>内は、各ケースに対する当社リサイクルケースの負荷発生抑制率(%)

インベントリ分析結果から、評価した環境負荷のいずれについても、リサイクル活動による環境保全効果が明らかになった。特に原型埋立ケースに対しては、CO₂排出抑制量が約3,100t-CO₂/年、排出抑制率が約64%、NO_x、SO_xの排出抑制率ではそれぞれ約87%、93%に達するなど大きな効果がある。これは、ガス機器は平均的に鉄の構成比率が高いことから、鉄の再資源化によってバージン鉄の資源採掘から製造工程に伴う負荷排出を抑制する効果が大きく現れるためである(図3)。原型埋立ケースにおける金属系資源消費量の7割強を鉄鉱石が占めていることもその要因である(図4)。

一方、鉄や銅のリサイクルがある他の2ケースとの比較においても、一定の環境保全効果を有している。銅のリサイクルにより、バージン銅の資源採掘から製造工程までのエネルギー消費に伴うSO_x排出を抑制する効果が特徴的である(図3(c))。また、アルミニウムリサイクルにより、ガス機器の平均的なアルミ構成比率が小さいにもかかわらず、バージンアルミ製造工程での環境負荷を抑制する効果を十分有していることがわかる(図3)。

次に、当社リサイクルケースの工程別環境負荷排出を見ると、鉄の再資源化とダスト焼却による負荷排出が支配的であり、機器やスクラップ等の回収・輸送、破碎・分別処理工程等の割合は比較的小さいことがわかる(図3)。したがって、更なる環境負荷低減のためには、こうした工程の省エネルギー化(効率向上や排熱利用等)や脱硝・脱硫設備の高度化等が効果的な対策になるとともに、焼却処理されるダスト分の減量化、すなわち、ガス機器での再資源化可能素材の使用促進や解体・分別容易設計、樹脂材の再資源化への取り組みも重要な課題と考えられる。

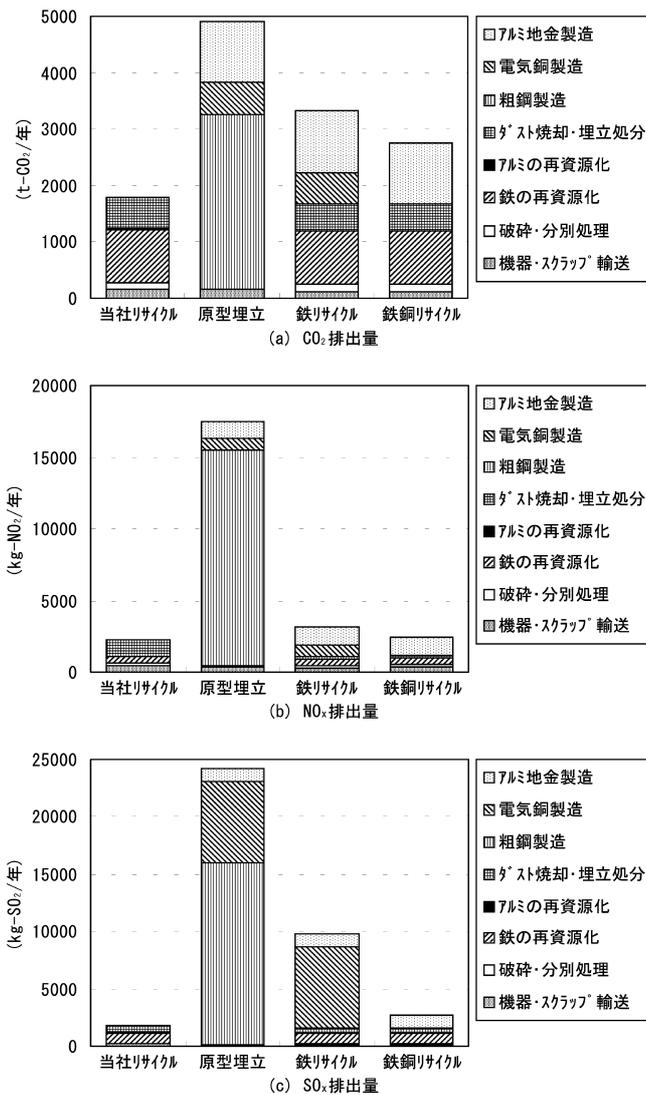


図3 (a)~(c) 工程別CO₂・NO_x・SO_x排出量

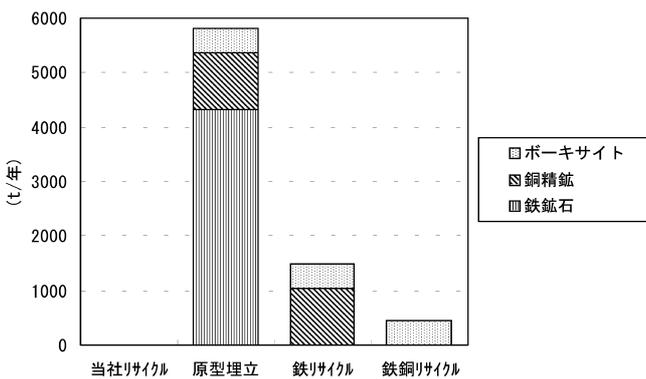


図4 金属系資源消費量

4.2 インパクト評価結果

各ケースの環境インパクト評価結果を原型埋立ケースのインパクトを100とした相対値で図5に示す。

評価したインパクトのいずれについても、リサイクル活動によるインパクト抑制効果が明らかになった。ただし、地球温暖化、エネルギー枯渇、埋立地確保困難化については、上述のインベントリ分析結果と同様である。

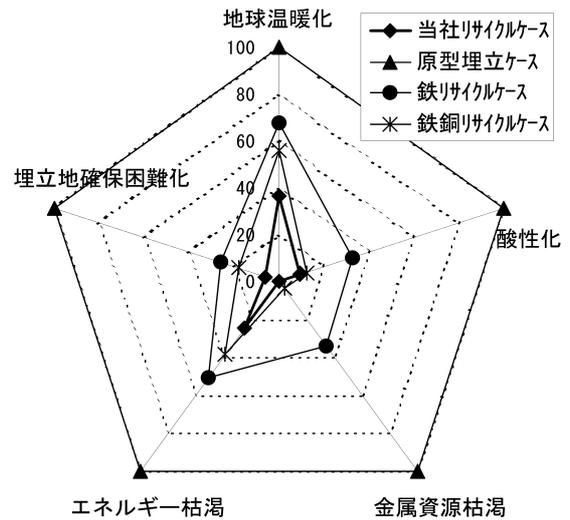


図5 インパクト評価結果

地球温暖化、エネルギー枯渇、埋立地確保困難化の各インパクトでは、鉄・銅リサイクルケースが当社リサイクルケースと鉄のみリサイクルケースの中間的位置づけにあるのに対し、酸性化および金属資源枯渇インパクトでは、当社リサイクルケースに近い。これは、銅のリサイクルが、酸性化インパクトを引き起こすSO_x排出と、金属資源枯渇インパクト特性化係数の大きい(すなわち可採年数の小さい)銅の資源消費を抑制させることが主な要因である。したがって、ガス機器の平均的な銅の構成比率は10%に満たないものの環境インパクトの抑制には銅のリサイクルが重要であり、分別・再資源化時の歩留り向上のための機器設計やプロセス改善が課題となる。

4.3 クリティカルレビュー

本分析に対しては、ISO/LCA技術委員会日本代表団エキスパートの経済産業省産業技術総合研究所 赤井 誠研究調査官により、調査範囲設定後、データ収集後、および分析終了後の統合3段階レビューと、最終報告書に対する事後レビューを組み合わせ実施していただいた。

レビューの結果、適切な前提条件設定等が図られたとともに、本分析方法のLCA規格への適合性、科学的・技術的な妥当性ならびにデータ使用の合理性等が客観的に確認された。

5. おわりに

当社の使用済みガス機器の回収・資源リサイクルシステムを対象に、廃棄される多種多様の機器の回収から再資源化・廃棄物処理に至るリサイクル活動全体の環境保全効果を、ISO規格に則ったLCA手法で分析した。その結果、評価対象としたエネルギー消費、CO₂・NO_x・SO_x排出、金属資源消費、埋立廃棄物発生各インベントリや、エネルギー枯渇、地球温暖化、酸性化、金属資源枯渇、埋立地確

保困難化の環境インパクトのいずれの項目に関しても、回収・資源リサイクルがない場合に比べ環境保全効果を有することを定量的に明らかにできた。原型埋立処分を行う場合と比較した主な結果は次の通りである。

- ・エネルギー消費：約62,000GJ/年の抑制，抑制率76%
- ・CO₂排出：約3,100t/年の抑制，抑制率64%
- ・NO_x排出：約15t/年の抑制，抑制率87%
- ・SO_x排出：約22t/年の抑制，抑制率93%
- ・金属資源消費：約5,800t/年の抑制，抑制率100%
- ・埋立廃棄物発生：約4,200t/年の抑制，抑制率94%

また、本分析に関しては、LCA規格適合性の観点から外部専門家のレビューを受けることにより、評価方法や内容の妥当性、客観性を高めた。

今回の分析は、実際に廃棄される多種多様な家庭用ガス機器の回収から再資源化・廃棄物処理に至るリサイクル活動全体を評価する初めての試みであったが、家電リサイクル法等で促進が期待されるエネルギー機器のリサイクルの環境保全性と、工程改善や機器設計改善によるより効果的なリサイクル活動に対し、有効な示唆を示すことができた。今後はこれらの知見を活かし、これからの循環型社会に一層貢献していけるリサイクルシステムの提案などにつなげていきたい。

謝辞 本評価の外部レビューを実施していただいた経済産業省産業技術総合研究所の赤井 誠研究調査官、ならびに本評価に必要なデータのご提供とご協力をいただいた関係各社の皆様には、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 吉田卓弥ほか3名；家電製品リサイクルのLCA-予測と実証結果-，第四回エコバランス国際会議講演集，(2000)，551-554
- 2) 武末浩人；情報機器リサイクルの環境負荷評価，第四回エコバランス国際会議講演集，(2000)，555-558
- 3) 添田信一ほか2名；富士通りサイクルシステムが及ぼすパソコンの環境影響評価，第三回エコバランス国際会議講演集，(1998)，277-280
- 4) 和田安彦；家電製品のリサイクルへのLCAの適用，エネルギー・資源，17-6 (1996)，38-42
- 5) (社)プラスチック処理促進協会；プラスチック製品の使用量増加が地球環境に及ぼす影響評価報告書【改訂版】，(1993)，32
- 6) 運輸省運輸政策局情報管理部；運輸関係エネルギー要覧，(1998)，72，大蔵省印刷局
- 7) 資源エネルギー庁企画調査課；総合エネルギー統計，(1998)，16，(株)通商産業研究社
- 8) エネルギーの使用の合理化に関する法律施行規則（省エネ法省令），(1999)
- 9) 通商産業省資源エネルギー庁公益事業部；平成10年度電力需給の概要，(1999)，中和印刷(株)
- 10) 「気候変動に関する国際連合枠組条約」に基づく日本国報告書，(1994)
- 11) NEDO・(財)エネルギー総合工学研究所；地球環境対策技術としてのグローバルエネルギーシステムの評価に関する調査研究，(1997)，91
- 12) 電気事業連合会ホームページ <http://www.fepec.or.jp>
- 13) 公害研究対策センター；窒素酸化物総量規制マニュアル，(1994)，262-267
- 14) 石油連盟；石油製品の品質と規格，(1997)
- 15) (社)未踏科学技術協会エコマテリアル研究会；H6年度環境負担性評価システム構築のための基礎調査研究調査報告書（別冊）-金属素材インベントリデータ-，(1995)
- 16) NEDO・(社)産業環境管理協会；H6年度エネルギー使用合理化手法国際協力調査報告書，(1995)
- 17) (社)化学経済研究所；基礎素材のエネルギー解析調査報告書，(1993)
- 18) NEDO・(社)産業環境管理協会；H7年度エネルギー使用合理化手法国際協力調査報告書，(1996)
- 19) IPPC，Climate Change，(1995)，22
- 20) 戦略LCA研究フォーラム；LCA製品の環境ライフサイクルアセスメント，(1995)，109，(株)サイエンスフォーラム
- 21) 資源エネルギー庁長官官房鉱業課；鉱業便覧平成11年版，(1999)

協賛行事ごあんない

「循環型社会における環境・リサイクル技術」

開催日時：2002年12月2日(月) 9:10~17:35

開催場所：日本私立学校振興・共済事業団5階講堂(千代田区富士見1-10-12 TEL 03-3230-1326)

募集定員：100名

受講料(テキスト代含む・税込)：会員 25,000円 非会員 50,000円 学生 5,000円

問合先：〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉 日本金属学会 TEL 022-223-3685