研究論文

使用済み自動車からの板ガラスリサイクルの環境性および事業採算性評価

醍醐 市朗・張 玄庚・松野 泰也

Evaluation of CO₂ Emissions and Economic Feasibility on Recycling System for Glass Sheets from End-of-Life Vehicles

Ichiro DAIGO, Hyun-Kyong JANG and Yasunari MATSUNO

Synopsis:

Objective. Recycling of glass from end-of-life vehicles (ELV) has been of interest since the enforcement of Law on Recycling of End-of-Life-Vehicles. The objective of this work is to investigate the environmental and economic aspects of the recycling system of glass sheets from ELV. Life cycle inventory analysis was conducted to analyze the reduction potential of CO₂ emissions by recycling the glass sheets from ELV. Cash flow analysis (CFA) was applied to the recycling system, in which internal rate of return, IRR, was used as an index of the economic feasibility. Sensitivity analyses were conducted to investigate the effect of the transport distances of collected glass sheets from ELV on CO₂ emissions and IRR, respectively.

Results and Discussion. It was found that the reduction potential of CO₂ emissions by recycling the glass sheets from ELV was 17 kg-CO₂/ELV, which was mainly attributable to the reduction of CO₂ emissions in production of glass sheet by the use of glass cullet and by avoidance of the treatment of automobile shredder residue (ASR). From the results of MFA by the authors reported in the previous paper, this result would be valid as long as the amount of glass cullet recovered from ELV would not exceed to 124 thousand t/year. CFA showed that the amount of inverse onerous contract, loading ratio of truck transport and collection area of glass sheets from ELV had significant effect on IRR.

Conclusions. This work has proved that there is a certain reduction potential of CO₂ emissions by recycling glass from ELV. The economical feasibility is significantly dependent on the amount of inverse onerous contract, loading ratio of truck transport, collection area, and prices of recovered materials, so it is recommended that stakeholders should discuss how to manage the recycling glass from ELV. This case study also shows integration of LCA, MFA and CFA is very effective when we assess environmental and economic aspects of recycling materials from end-of-life products.

Keywords: Automobiles; cash flow analysis; ELV; glass recycling; internal rate of return

1. 緒言

我が国におけるガラスの年間生産量は約3,000千tであり、大量に使用される素材の一つである。また、ガラスの年間総廃棄量は約1,500千tであり、廃棄されたガラスのほとんどは埋立処分され、日本全体の総最終処分量の約5%を占めている¹⁾。使用済み製品からガラスを回収しリサイクルができれば、天然資源の削減、省エネルギー、最終処分量削減の環境負荷削減効果が見込まれる²⁾。

著者らの日本を対象としたガラスのMFA(material flow analysis)からは、ガラスびんでは既にカレット利用率が

上限に近いことからこれ以上リサイクル率を上げることは容易でないが、板ガラスに関しては使用済み製品からの回収とリサイクルにポテンシャルがあることが示されている¹⁾。

板ガラスの主要な用途の一つである自動車用板ガラスは、ほとんどリサイクルされておらず、使用済み自動車(end-of-life vehicle, ELV)解体時にシュレッダーダスト(automobile shredder residue, ASR)に含まれ処理されているのが現状である³⁾。一方で、自動車リサイクル法により、2010年にASRの50%を、2015年に70%をリサイク

ルすることが目標とされており、2015年にはELVの再資源化率が95 wt-%になる見通しである⁴⁾。この目的を達成するためにも使用済み自動車からの板ガラスのリサイクルは重要な課題になっている。

近年、使用済み自動車に含まれる板ガラスを分別し、回収する技術が開発されている³⁾。しかしながら、そのようなガラスリサイクルシステムに関する環境性と事業採算性を評価した研究はほとんどない。そこで本研究では、使用済み自動車からの板ガラスの回収およびリサイクルシステムの環境性及び事業採算性を評価した。

2. 研究手法

環境性評価には、ライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment, LCA) を用いた。事業採算性に関しては、キャッシュフロー分析 (cash flow analysis, CFA) を用いて評価した。その際に、既報¹⁾でのマテリアルフロー分析 (material flow analysis, MFA) によるカレットの利用限度量を考慮するとともに、ELVからの使用済み板ガラス発生量の地理的分布とリサイクル施設の位置を考慮して、回収距離に応じた感度分析を行った。以下に詳述する。

2.1 研究対象システム

自動車用板ガラスには、フロントガラス、サイドガラス、リアガラスの3種類がある。衝突時の乗員の安全を確保するために、フロントガラスには樹脂の中間膜を挟んだ合わせガラスが用いられている。サイドガラスには、強化ガラスが用いられている⁵⁾。リアガラスには、銀プリント付きの強化ガラスが用いられている。したがって、リサイクル時には、フロントガラスからは中間膜の分離が、リアガラスからは銀プリントの分離が必要となる。ELVから発生するカレットを使用することによる板ガラス製品の品質への影響について以下のように報告されている⁶⁾。まず、フロントガラスの中間膜は、PVBという有機膜であり、膜がカレットから許容濃度以下に除去できれば、回収されるカレットはフロート板ガラス用原料として扱うことが可能である。無機化合物顔料を含むセラミックプリントが、自動車のフロントガラスやリアガラスの室内側外周囲に黒く着色されたドットパターンとして付着している。このセラミックプリントがカレットに混入した場合、光学特性管理が困難になるため、透視性が重視される自動車用板ガラスの製造に使うことができなくなる。リアガラスの銀プリントは、リアガラスに付着している曇り止めの加熱線であり、銀が主成分である。銀は、ガラス溶解炉の寿命を短くすると考えられており、カレットから除去する必要がある。一方、中間膜も銀も、ガラスから単体で分別回収されれば、比較的高い価格での引

き取りが見込まれる素材である。また、自動車用板ガラスから回収されるカレットは、板ガラス以外にはガラス短繊維に利用可能である。しかし、ガラス短繊維の原料としては、既にカレットを多く利用しており、さらにカレットを原料として消費することは難しい¹⁾。また、自動車用板ガラスは、着色剤として様々な金属が添加されており、そのほとんどが無着色である建築用には利用が難しいと考えられる。そのため、本研究で対象としたELVからの回収されるカレットは、再び自動車用板ガラスの原料として利用することが妥当であると考えられる。ただし、自動車用板ガラスには、緑色ガラスや濃色ガラスなど着色されたガラスが用いられており、色によって添加される物質が異なるため、異なる色のガラスが混在すると同じ品位のガラスへリサイクルできない³⁾。そのため、色によってガラスを分類し、同色のガラスの生産原料に戻すことが、自動車用板ガラスへの水平リサイクルの前提になる。

本研究では、ELVから自動車用板ガラスの原料とできるカレットを回収する技術として、湿式により銀プリントやセラミックプリントを分離し、中間膜も単体分離するリサイクルシステムを取り上げる³⁾。処理プロセスでは、まず自動車用板ガラス表面に付着しているセラミックプリントと銀プリントが分離され、銀は単体で回収される。次に、フロントガラスを破碎し、挟まれている中間膜を単体で回収し、板ガラスはカレットの状態でも回収する。また、中間膜は分離回収された後、中間膜に再生でき、銀プリントも銀として再資源化されるとした。

2.2 環境性評価 (LCI)

2.2.1 目的と範囲の設定

使用済み自動車から板ガラスをリサイクルした場合とリサイクルをしなかった場合について、LCIによりCO₂排出重量を評価することを目的とする。機能単位は、1台の自動車用板ガラス (32kg) とした。システム境界を図1に示す。システム境界は、天然資源を用いたガラス製造から、最終処分あるいはリサイクルされるまでとした。ELVに含まれ排出されたのち、リサイクルされない場合は、破碎工程を経て、ガラスは分離回収されずASRに含まれるものとし、ASRが溶融処理され生成されたスラグとして全て埋立処理されるとした。リサイクルを行う場合は、使用済み自動車からガラスを回収し、中間処理を行ったのち、ガラスカレットとして再び自動車用板ガラスとして水平リサイクルされるとした。なお、リサイクルする／しないに関わらず、板ガラスの自動車での使用段階はシステム境界に含めない。

図1 リサイクルを行う場合(上)とリサイクルを行わない場合(下)のシステム境界

2.2.2 インベントリ分析

LCAソフトウェア「JEMAI-LCA」⁷⁾ を利用しインベントリ分析を行うことで、ガラスの製造時のCO₂誘発量(1.11 kg-CO₂/kg)を導出した。また、公海上の原料の輸送(0.042 kg-CO₂/kg)に関しても考慮した。ガラス製造時に利用されるカレットの量が多くなるのに伴い、製造にかかるエネルギーが減少するため、CO₂発生量も減る²⁾。Krögerの式²⁾によると、カレット利用率に応じて、ガラス製造に必要なエネルギーは線形に変化する。また、カレットの利用によって回避される原料粉体中の炭酸塩の分解で放出されるCO₂も考慮し、カレット利用量あたりのガラス製造時に回避されるCO₂量を0.237 kg-CO₂/kg-culletと求めた。本研究では、回収されたカレットは、全て自動車用ガラスの原料として水平リサイクルできるものとした。なお、ガラス製造時の原料に占めるカレット利用率には技術的上限がある。工場内で発生する内部カレットが既にある程度使われているため、外部カレット利用率の上限は生産量の20%とされる¹⁾。著者らの既報¹⁾でのMFAの解析結果より、外部カレット利用率の上限を鑑みた場合、本論文にて実施するLCAの前提が成り立つのは、2008年ではELVから発生する板ガラス124千t程度(ELV約390万台分)までである。

解体処理工程では、1台の廃車ガラ(610 kg/台)から鉄鋼、アルミ、銅などを分離し、ASR(187 kg/台)が残るとした⁸⁾。溶融処理プロセスでは、ガラス類も分離されずにロータリーキルン式熱分解ガス化溶融プラントを用い、ASR(187 kg/台)から溶融スラグ(34.2 kg/台)が得られるとした⁹⁾。ここで、廃車ガラやASRには、ガラス以外の素材が多く含まれることから、解体処理工程ならびに溶融処理プロセスで消費されるエネルギーに起因して排出されるCO₂量のうち、重量基準によってガラスに配分された分を計上した。解体処理工程、溶融処理工程のプロセスにかかるエネルギーやユーティリティの消費原単位は、文献⁸⁾のインベントリデータを用いた。リサイクルする場合の、中間処理・再資源化工程に関しては、1 kgの廃板ガラスの処理にかかる消費電力量をヒアリングより6.5 Whと得た。その他の中間処理・再資源化工程に必要なも

のは計上しなかった。ここでは、板ガラスに付随する中間膜、銀プリント、セラミックプリントに関しては評価対象から除外した。また、埋立処理にかかるCO₂誘発量は、0.2%程度と相対的に微量であることからカットオフした。

ガラス原料の輸送以外のASRや溶融スラグ、廃板ガラスの輸送に関しては、文献^{6,9)}を参考に解体処理施設から溶融処理施設まで100 km、溶融施設から最終処分場まで150 km、解体処理施設から板ガラス工場まで400 kmと設定した。また、輸送機関については、10 tトラック¹⁰⁾を用いることとし、その燃費は、トラックの最大積載量8,000 kg以上10,000 kg未満の燃料使用量、軽油0.0575 L/トンキロ¹¹⁾を使用した。

2.3 事業採算性評価(CFA)

2.3.1 評価指標

本事業の採算性を、CFAに基づき評価した。特定の事業に対する融資における収益分析においては、損益計算書、キャッシュフロー表、貸借対照表による総合的な検討が望まれる¹²⁾。本研究では、詳細な収益分析が目的ではないため、それらのうち事業における融資の返済可能性をより直接的に分析する手段として有効なCFA¹²⁾によって分析した。評価においては、事業の収益性を測る指標である内部収益率(Internal Rate of Return, IRR)¹²⁾を用いて評価した(式1)。IRRとは、当該事業が支払うことのできる最大利子率を示す指標であり、投資の費用対効果を測る指標と言える。本研究では、初期投資分を含め0期目の支出分を全額借り入れ、返済期間を10期までの11年とした元金均等返済とした。なお、設備投資費、運用コスト、金利、各種税金について考慮した。

$$\sum_{t=1}^T \frac{A(t)}{(1+IRR)^t} - C = 0 \quad \text{式1}$$

ここで、tは借入期間内のある年、Tは借入期間、A(t)はt年における資金調達前キャッシュフロー、Cは借入金である。事業開始後の将来における各年の収益(オペレーティング・キャッシュフロー)を、事業開始時点における価値として評価する際には、経年分の利子率(割引率)を考慮する必要がある。そのため、t年においては、(1+IRR)

のt乗が分子にある。つまり、式1は、収益の現在価値としての総計と借入金等しいことを意味している。IRRとは、それらが等しくなる場合の利子率であり、先に記したプロジェクトの支払える最大利子率と定義できる。

2.3.2 利用するデータ及び前提条件

使用済み自動車は自動車解体業者の解体処理施設において解体される。評価にあたっては、解体処理施設で解体され、回収された廃板ガラスの輸送から、板ガラス工場に設置された中間処理プラントで、ガラスをカレットとして回収するまでを考慮した。CFAでは、使用済み自動車1台分の廃板ガラス全てを回収するものとし、フロントガラスに付随する中間膜1 kg/台ならびにリアガラスに付随する銀プリント2 g/台も回収するものとした。

プラント規模は、稼働率も考慮し、3,000 t/年の処理量を持つプラントを想定し、主にヒアリングにより得た各種費用を用いた。なお、プラント規模によるスケールメリットがあることも考えられるが、本研究では規模の違いによる効率の差はないものと仮定した。

初期投資については、敷地の取得、設備の設置にかかる費用を合わせて、約7,700万円とし、建物、建物付属設備については計上しなかった。また、定額法にて10年間で償却することとした。運転にかかるコストとして、プラントの補修費、電力と水によるユーティリティ費、プロセスに必要な溶液の購入ならびに廃液処理費などを含め、合計で約600万円/年とした。なお、廃板ガラスの回収にかかる輸送費に関しては、LCAにおける仮定と同様に、解体処理施設から板ガラス工場までの400 kmと設定した。処理費用について、ガラス1 kg当り15円の逆有償額として考え、1台分の廃板ガラスの受け入れにつき480円の収益とした。回収物の売却益に関して、分離回収されるカレット、銀、中間膜の売却単価については、カレットは文献から8.2円/kg¹³⁾と得られ、中間膜はヒアリングにより100円/kgと得られ、銀は2007年から3年間の平均価格より50,000円/kgと設定した。10年間の事業を見越した評価であるため、その間の価格変化についても検討すべきである。価格推移の得られた板ガラスと銀の過去のデータを基に、3.3において価格変化による採算性への影響を検討した。

借入額は、初期投資額とそれに伴って発生する不動産取得税ならびに0期目の借入金利分に相当する金額とした。また、借入金利は、当該期間中3%固定とし、税金は、不動産取得税を4.0%、固定資産税を課税標準の1.4%、減価率0.206%(定率法)とし、法人税を各種法人にかかる税金(法人税、法人住民税、法人事業税)の合算として課税所得の40%とした。支出の中で最も大きな割合を占める人件費については、プラントの運営管理及び事務要員として

4名の常用労働者と4名のパートタイム労働者を想定し、平均的な賃金¹⁴⁾に社会保険料等を考慮し、それぞれ5,437千円/人、2,038千円の労務費とした。積載率は、100%と仮定し、復路は何も積まずに運行するとした。

2.4 回収範囲の感度分析

ELVは日本全国に分散的に分布している6000社以上の自動車解体業者において解体される¹⁵⁾。それに対し、自動車用板ガラス生産工場は地域的に偏在している¹⁶⁾。そのため本リサイクルシステムにおいて、使用済み自動車から回収される板ガラスの輸送距離は、環境性と事業採算性を評価する上で重要な要因になると考えられる。そこで、輸送距離に応じた回収量、環境性および事業採算性を感度分析した。

まず、ELV由来の廃板ガラス発生量の地理的分布を検討した。2007年のデータに基づいて、都道府県別の人口¹⁷⁾に対し都道府県別のELV発生台数¹⁸⁾をプロットすると、図2に示すように強い正の相関を示した。自動車1台あたりの板ガラス使用量の地域差はないものとし、日本全体での1 kmメッシュの人口分布データ¹⁹⁾を用いて、回収範囲の総人口を計算し、その人口に対応したELV由来の使用済み板ガラス発生量を推計した。

次に、自動車解体業者から板ガラス製造工場への輸送距離を検討した。日本に板ガラスを製造している工場は8か所あるが、その中でも自動車用板ガラスを製造している工場は3か所である。そこで、当該3か所へ廃板ガラスを収集することを想定し、実際の工場立地を反映して回収距離を検討した。なお、1 kmメッシュの人口分布データに基づいているため、平均回収距離と回収範囲半径の間には線形の関係は成り立たない。回収範囲を広げることで、回収重量は増大するが、CO₂の誘発量が増加し、輸送費も増加する。事業採算性に関してIRRは3%が採算の合う下限とし、廃板ガラスの逆有償単価を可変なパラメータとしてIRRが3%となるときの逆有償単価と回収距離との関係を検討し

図2 都道府県別廃車台数と人口の関係

た。なお、輸送コストに関しては、排出物における営業用トラック（トレーラー）の輸送単価11.3円/トンキロ²⁰⁾を使用した。また、10年間のプロジェクト期間中に、工場立地が変更される可能性も考えられるが、考慮しなかった。

3. 結果

3.1 環境性

リサイクルした場合としない場合における自動車用板ガラスのCO₂誘発量を求めた結果を、図3に示す。ガラスカレットの水平リサイクルは、ガラス製造時のCO₂誘発量と比較して21%の削減効果があることが示された。また、ガラス処理に関しても、リサイクルした方がCO₂削減効果がある。これは、粉碎・破砕処理ならびに溶融処理されることによって、それらプロセスで消費するエネルギー量が回避できることに起因している。しかし、リサイクルする場合は、廃ガラスを板ガラス工場まで再び輸送する必要があるため、リサイクルしない場合より解体処理後の輸送距離が長くなり、原料の輸送も含めた全ての輸送により誘発されるCO₂は28%増加すると示された。全体のCO₂誘発量は、

図3 ELVからの板ガラスリサイクルシステムのLCA結果

リサイクルした方が、リサイクルしない場合より36%少なく、使用済み自動車から板ガラスをリサイクルするシステムの導入によりCO₂が大きく削減されることが示された。

3.2 事業採算性

本論文において設定した前提条件において作成されたキャッシュフロー表を表1に示す。売上高は、逆有償によるものと回収物の売却益がほぼ半分ずつを占めた。運営支出における1年目の内訳は、人件費が41%、回収輸送費が37%を占めた。CFAの結果、IRRは8.5%となり投資に対する収益率の最低限度とされている3%を大きく上回り、事業として成り立つことが示唆された。ただし、本評価では廃板ガラス受入れによる逆有償額を480円/台としているが、解体工場において板ガラスを取り外す工程が追加的に必要となり、実際には、追加のプロセスに必要なコストにより変化することも考えられる。逆有償額が、432円/台となるとIRRが3%となり、本システムの事業採算性は逆有償額に大きく影響を受ける。また、本評価では輸送時の積載率を100%としているが、実際に積載率100%で運用できるとは考えにくい。逆有償額480円/台において、積載率90%ではIRR 5.0%、積載率80%ではIRR0.1%、積載率70%では-9.8%となり、積載率によってもその事業採算性が大きく変わることが示された。

3.3 回収範囲の感度分析

2.2.2で先述したように、自動車用板ガラスの製造工程における外部カレットの最大利用可能量は、生産量の20%であるため、自動車用板ガラスのMFAから考えると、ELVから発生するカレットをすべて国内で自動車用板ガラスの原料とすることは難しい。3つの工場の立地も考慮した上で、これら工場へ、この最大利用可能量を回収するための回収範囲は、半径310km（平均回収距離156km）と推計された。

表1 使用済み自動車からの板ガラスリサイクルシステムのCFAの結果

		(単位：千円)										
期 (年)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	売上高	0	88,550	88,550	88,550	88,550	88,550	88,550	88,550	88,550	88,550	88,550
B	運営支出	0	72,826	72,739	72,670	72,615	72,571	72,537	72,509	72,487	72,470	72,456
C	オペレーティング・キャッシュフロー (A - B)	0	15,724	15,811	15,880	15,935	15,979	16,013	16,041	16,062	16,080	16,094
D	設備投資	77,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	税金支払い	1,080	2,022	3,552	3,676	3,794	3,908	4,019	4,126	4,232	4,335	4,437
F	資金調達前キャッシュフロー (C - D - E)	-78,080	13,702	12,259	12,204	12,141	12,070	11,994	11,914	11,831	11,744	11,656
G	借入元金返済額計	2,415	10,223	9,981	9,740	9,498	9,257	9,015	8,774	8,532	8,291	8,049
H	ネットキャッシュフロー (F - G)	0	3,479	2,278	2,464	2,642	2,813	2,979	3,140	3,298	3,453	3,607

*0年のネットキャッシュフローは、資金調達分80,495千円が合算される。

図4 カレットの利用限度及び逆有償額を考慮したリサイクル施設の位置²²⁾と回収可能範囲

図5 回収距離を240 kmとした際の積載率によるIRRの変化

これは、日本で発生する自動車用板ガラスに対して、約73%分が回収されることとなる。ただし、現在では中古車の輸出などにより、国内で発生したELVの約130万台が輸出されている²¹⁾ことを考慮して、輸出されるELVの発生地は考慮せずに、全体の物量だけで計算すると、日本で発生する自動車用板ガラスのほぼ全量を回収することが可能になると推計された。

輸送により誘発されるCO₂を考慮し、リサイクルしない場合のCO₂排出重量と比較した結果、回収距離が3,000 kmを超えても新技術を導入したリサイクルシステムにCO₂排出削減効果があることが分かった。つまり、想定したリサイクルシステムでは、北海道から鹿児島まで輸送しようとも、削減効果が見込めることが分かった。CFAの結果は、廃板ガラスの受け入れによる逆有償額により変わるため、逆有償額の変化にともないCFAによりIRRが3.0%となる回収範囲を求めた。カレット利用限度を考慮した回収範囲は、逆有償額250円/台における回収範囲である半径294 kmと逆有償額260円/台における回収範囲である半径322 kmの間であった。さらに、図4に結果を示すように、逆有償額を200円/台や300円/台とした場合、IRRが3.0%となる回収範囲半径は、それぞれ157 km、433 kmとなった。

ELVから回収される廃板ガラスのリサイクルシステムは、回収範囲、逆有償額、積載率の3つに大きく影響される。

そこで、回収距離を回収されるカレットが利用限度となる310 kmと固定し、逆有償額と積載率を変化させたときのIRRの変化を図5に示した。積載率90%において逆有償額268円/台であればIRRが約3%であるのに対し、積載率が70%であれば、IRR約3%を達成するためには逆有償が304円/台、同様に50%であれば368円/台でIRR3%となると推計された。逆有償額、積載率ともに採算性に大きく影響を与えていることが再確認されたとともに、変化率に対する結果に与える影響は、積載率の方が大きいことが分かった。

また、10年間での回収資源の価格の変化も考えられる。1999年から2009年の10年間の価格推移において、板ガラスと銀は、月次別最安値に対し最高値がそれぞれ120%、350%程度となる変動があった^{23,24)}。この変動率を、2.3.2にて設定した価格に乗じた場合と除した場合、回収物の売却益として、板ガラスの売却益が+41円/台から-6円/台、銀の売却益が+247円/台から-71円/台となった。採算性に対して、回収物の売却益の違いは、図5に示した逆有償額の違いと同様の影響を与える。図5の結果からは、50円/台の収益の違いによりIRRが約5%異なることが分かるので、銀の価格が過去10年の傾向のように350%も変動すれば、IRRは+25%ポイントから-7%ポイントまで影響する可能性があることが示唆された。

本ケーススタディにおける結果は、ガラス製造工程において廃板ガラスの処理を行うことを前提としたが、実際は別途リサイクル施設を設け、本ケーススタディよりも効率的にシステムを構築することも考えられる。本論文で示したLCA、CFA、MFAを統合した評価手法は、今後、廃板ガラスのリサイクル拠点を設置する場合や、カレットリサイクルを見込んだ新たなガラス製造工場を新設する場合、その立地を考慮する際に役立つと考えられる。

5. 結言

本研究では、2015年の自動車リサイクル率の達成に向けて必要となる自動車用板ガラスのリサイクルシステムに対する、環境性、事業採算性を評価した。さらに、現在のガラス製造工場の立地も考慮し、回収可能な範囲を、MFA、LCA、CFAを用い評価した。その結果、CO₂排出削減の観点からは、使用済み自動車から板ガラスをリサイクルすることは、輸送距離に関わらず効果が見込めることが分かった。事業採算性に大きく影響を与えているのは、使用済み板ガラスの逆有償額、回収距離、回収時の積載率、ならびに回収資源の価格である。

最後に、本論文で取り上げた使用済み自動車からの板ガラスの回収・リサイクルにおいては、回収や輸送段階においてガラスに金属など不純物が混入しないこと、板ガラス

を色別に分別し、同色の製造原料として使用することが、技術的な要件となる。本研究における推計では、これら不純物の混入がない色別リサイクルが前提になっているものの、実際のリサイクルにおいては、それら要件を満たすような回収ならびにリサイクルにかかる追加的なコストが課題と考えられる。それに対し、リサイクルシステムの整備と普及により、どこまで逆有償額を大きくできるかが重要な課題になろう。

謝辞

日本板硝子株式会社 猪子兼行氏、板硝子協会 木原幹夫氏、守川勝氏、荒木宏昌氏には、本研究を進めるにあたり、多くの助言を賜りました。この場を借りて御礼申し上げます。

(平成22年7月21日受付、平成22年11月17日採択)

参考文献

- 張玄庚, 醍醐市朗, 松野泰也, 足立芳寛 (2010): 日本LCA学会誌, 6(4), 288-294
- C. Kröger (1953): Glastechn. Ber, 26, 202-215
- (財)製造科学技術センター (2007): 板ガラスリサイクルシステムに関する調査研究報告書, 44 pp.
- Kenichi Togawa (2007): Journal of the Japan institute of energy, 86, 25-31
- 財団法人 機会システム振興協会 (2007): 板ガラスリサイクルシステムに関する調査研究報告書, 23 pp.
- 工藤透 (2008): Reports Res. Asahi glass co., Ltd., 58, 7-15
- 独立行政法人 産業技術総合研究所, 社団法人産業環境管理協会, JEMAI-LCA Pro ver1.1.5, オプションデータバック, 東京, 社団法人 産業環境管理協会, 2003
- 社団法人 産業環境管理協会 (2003): 製品等ライフサイクル二酸化炭素排出評価実証等技術開発報告書, 292pp.
- 舟崎敦, 種田克典, 田原聖隆, 稲葉敦, 上宮成之, 小島紀徳 (2004): エネルギー・資源, 25(1), 56-62
- 板硝子協会 (2009): 板ガラス製造業における地球温暖化対策の取り組み, 産業構造審議会 環境部会 地球環境小委員会製紙・板硝子・セメント等ワーキンググループ 2009年度 (平成21年11月18日) 資料6, 11
- 経済産業大臣 (2006): 平成18年経済産業省告示第66号「貨物輸送事業者に行わせる貨物の輸送に係るエネルギーの使用量の算定の方法」, 3
- 小原克馬 (1997): プロジェクトファイナンス, 社団法人 金融財政事業研究会, 東京, 32-34pp.
- 元田欽也, 大山長七郎 (1999): 廃棄物処理・リサイクルの実務計算, オーム社出版局, 東京, 85 pp.
- 労働大臣官房統計情報部賃金統計課編, 平成13年賃金構造基本統計調査結果速報 (全産業), 厚生労働省ホームページ, 入手先<<http://www.mhlw.go.jp/toukei/itiran/roudou/chingin/kouzou/z01/index.html>>, (参照 2009-8-1)
- 産業構造審議会環境部会廃棄物・リサイクル小委員会自動車リサイクルワーキンググループ中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会自動車リサイクル専門委員会合同会議 (第24回) 配付資料6, 2009年7月7日 入手先<<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/data/g90707aj.html>>, (参照 2010-10-17)
- 岩本雄二 (2004): 使用済み自動車リサイクルにおける広域収集に関する研究成果報告書, 財団法人 日産科学振興財団 2004年度研究助成No.2, 2
- 総務省統計局・政策統括官・統計研究所, 人口推計/推計結果, 総務省統計局ホームページ, 入手先<<http://www.stat.go.jp/data/jinsui/2.htm>>, (参照 2009-8-1)
- 財団法人 自動車検査登録情報協会 (2008): 初度登録年別自動車保有車両数 No.36, 財団法人 自動車検査登録情報協会, 東京, 814
- 総務省統計局・政策統括官・統計研究所, 平成17年国勢調査に関する地域メッシュ統計, 総務省ホームページ, 入手先<http://www.stat.go.jp/data/mesh/h17_w.htm>, (参照 2009-10-01)
- 財団法人 運輸政策研究機構 (2007): 第8回物流センサス, 199
- 船崎敦, 布施正暁, 八木田浩史 (2007): 日本エネルギー学会誌, 86(1), 32-38
- Global Administrative Areas, GADM database of Global Administrative Areas, Global Administrative Areasホームページ, 入手先<http://www.gadm.org/data/shp/JPN_adm.zip>, (参照 2010-11-20)
- 田中貴金属工業株式会社, 月次銀価格推移, 田中貴金属工業株式会社ホームページ, 入手先<<http://gold.tanaka.co.jp/commodity/souba/m-silver.php>>, (参照 2010-10-17)
- 島田理久 (2009): 板ガラス価格の長期時系列決定要因分析, 建築コスト研究 2009WINTER, 56-61