

使用済み家電製品および自動車シュレッダーダスト 由来の難燃性廃プラスチックのガス化による リサイクルシステムの環境および経済性評価

醍醐 市朗*・寺澤 崇*²・松野 泰也*・山下 勝*³・足立 芳寛*

Environmental and Economic Analysis of Recycling System Using Gasification Plant for Flame Retardance Waste Plastics from Used Home Appliances and Automobile Shredder Residue

Ichiro DAIGO, Takashi TERASAWA, Yasunari MATSUNO, Masaru YAMASHITA and Yoshihiro ADACHI

Synopsis : Recycling of waste plastics from household appliances and automobile shredder residue (ASR) is a major concern in Japan along with the enforcement of recycling law. Chemical recycling technology for waste plastics (including flame retardance plastics) has been developed by Japanese industries. In this work, life cycle inventory analysis and project finance method were applied to analyze CO₂ emissions and economic feasibility of this technology and compared with those of conventional technologies. It was found that chemicals (Br) recovery in conjunction with energy recovery by this recycling technology could lead to significant reduction of CO₂ emissions compared with those from conventional incineration. It was found that economic feasibility of this technology is strongly dependent on disposal cost of waste plastics and cost of electricity.

Key words: ASR, bromine, chemical recovery, electricity recovery, home appliance, flame retardance plastics, IRR, LCA

1. 緒言

我が国では、2000年6月に循環型社会形成推進基本法が施行され、循環型社会の形成について基本原則が定められた。また、個別物品の特性に応じた規制として、各種リサイクル法が施行されている。

2001年4月から施行されている特定家庭用機器再商品化法（通称：家電リサイクル法）は、廃家電4品目（テレビ、冷蔵庫、エアコン、洗濯機）の適正処理を要請しており、現在では、廃家電は順調に全国の指定引取場所やリサイクル施設に回収され適正処理されている。家電製品には、テレビのキャビネットなどに臭素を含む難燃性廃プラスチックが使用されている。それら難燃性廃プラスチックのクローズドリサイクルが試みられているが、バージン材と比較してコスト高になることが阻害要因となっている¹⁾。

また、2005年には使用済み自動車の再資源化等に関する法律（通称：自動車リサイクル法）が完全施行される予定になっている。この法律が制定された背景には、従来の解体業者や破砕業者による市場メカニズムに基づく使用済み自動車のリサイクル・処理システムが、埋立費用の高騰と鉄

スクラップ価格の下落を受け、機能不全になりつつあることがあげられる²⁾。この法律により、使用済み自動車から発生するシュレッダーダスト (Automobile Shredder Residue, ASR) をリサイクルすることが求められている。しかしながら ASR には、金属や臭素を含む難燃性廃プラスチック等多くの物質が混在しているので、リサイクル処理は容易ではない。

一方、我が国における廃プラスチックの排出状況は、2002年で990万tであり、廃プラスチックの排出量に占める最終処分（埋立および焼却）率は、45%となっている³⁾。家電リサイクル法や自動車リサイクル法により、廃製品のリサイクル率向上が求められていることに加え、廃プラスチック類の最終処分率が高く、近年の最終処分場の逼迫により、廃プラスチックのリサイクルに対する要望は大きい。その中でも、臭素や塩素を含むハロゲン系難燃性プラスチックのリサイクルは、大きな課題となっている。

そのような状況の下、近年、臭素を含む難燃性プラスチックを、高温ガス化溶融炉を利用し高温熱分解し、リサイクルするプロセスが開発され、実用化されつつある⁴⁾。このプロセスの特長として、臭素を回収・再商品化できる

平成16年3月15日受付 平成16年6月16日受理 (Received on Mar 15, 2004, Accepted on June 16, 2004)

* 東京大学大学院工学系研究科 (Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo Bunkyo-ku Tokyo 113-8656)

* 2 東京大学工学部 (現: 新日本製鐵 (株)) (School of Engineering, The University of Tokyo, now Nippon Steel Corp)

* 3 東京大学大学院工学系研究科 (現: (独) 新エネルギー産業技術総合開発機構) (Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, now New Energy & Industrial Technology Development Organization)

こと、生成ガスによる発電により電力エネルギーが回収できること、ダイオキシン類を発生しないこと、溶融スラグをリサイクルすることで埋立処理が回避できること等がある。

本研究では、難燃性廃プラスチックを含んだ廃家電4品目由来の廃プラスチック（以下、家電廃プラ）およびASRを、高温ガス化溶融炉によりリサイクル処理するシステムの環境負荷と経済性を評価することを目的とする。具体的には、山口県小野田市に本システムを立地させ、リサイクルを行った場合のケーススタディを実施した。環境負荷の定量化にはLCI（ライフサイクルインベントリ）分析⁵⁻⁷⁾を用い、埋立処理、焼却処理をした場合と比較評価した。経済性評価に関しては、本システムにより家電廃プラとASRをリサイクル処理する事業者側の採算性を、プロジェクトファイナンス手法⁸⁾により分析した。廃棄物処理におけるLCI分析に関する研究は、いくつかなされている^{9,10)}が、同時に経済性まで評価をおこなった研究は数少ない¹¹⁾。本研究の手法は、環境性と経済性を同時に評価した点で新規性がある。

2. ケーススタディの概要

2.1 評価を行ったリサイクルシステム

Fig 1に、本研究において検討を行ったリサイクルシステムのプロセスフローを示す。

本システムは、(1) ガス化工程、(2) 廃水処理工程、(3) 臭素回収工程の3つの工程から成っている。

回収した家電廃プラとASRは、まず磁選により含有さ

れる鉄の分別・回収が行われた後、高温ガス化溶融炉に投入される。高温ガス化溶融炉では、PSA (Pressure Swing Adsorption)によって製造された酸素をはじめ、LNG、コークス、石灰石などが投入される。炉からは、生成ガスのほか、スラグが回収される。次に、高温ガス化された生成ガスは、減温塔で窒素と水が加えられ、170℃まで急冷される。水は後に凝縮器によって回収され、再利用される。生成ガスは、減温後、集塵機を通し、窒素、消石灰が加えられ、バグフィルターによって飛灰が回収される。回収された飛灰の9割は炉内に再投入され、残りの1割はBr含有材として抜きだされ、Br濃度10%の溶液となり廃水処理工程に回される。なお、飛灰の成分はBr、Cl、重金属のCa化合物などである。生成ガスは、脱硫塔を通り、ピクリン酸、苛性ソーダを投入し、固形物として硫黄ケーキが得られる。以上のように処理された生成ガスは、ガスエンジンにより発電に使用される。

ガス化工程から排出される廃水の処理工程では、前処理として、硫化ソーダを加え、その後、NaOHやHClによってpH調整をしつつ凝集剤を加え、重金属を塩化物にして沈殿・回収を行なう。

廃水処理工程において処理された処理廃水は、次の臭素回収工程において、塩素、低圧蒸気を加え臭素が回収される。また、廃水はNaOHを加え中和した後に放流される。

2.2 前提条件

本研究においては、モデル地区として山口県小野田市を想定し、上記のリサイクル施設を設置することとした。プラントの処理能力は年間5万トン、プラントの稼働日数は年間313日、稼働時間は24時間連続運転とした。

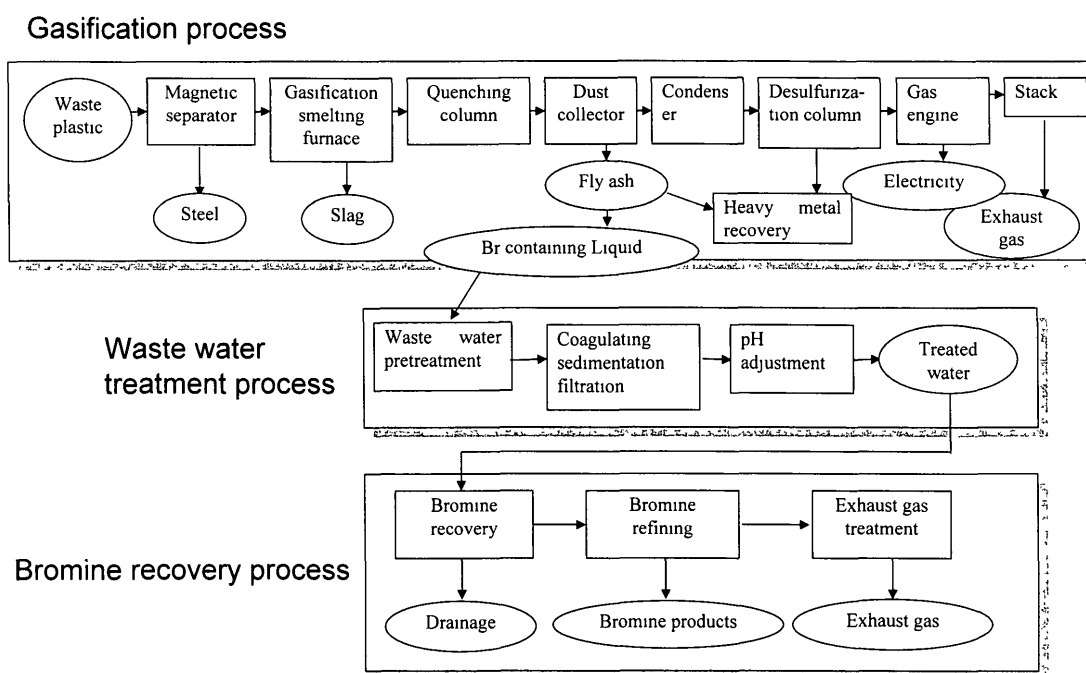


Fig. 1 Process flow of the recycling system using gasification plant for waste plastics from used home appliances and automobile shredder residue.

Table 1. Annual discharge of waste plastics from home appliance recycling plants located in the west region in Japan.⁴⁾

Name of recycling plant	Location	Capacity (1,000 sets/year)	Annual discharge of waste plastics (1,000 tons/year)
Matsushita Ecotechnology Co, Ltd	Hyogo	550	5.9
RPN Co, Ltd	Hyogo	496	6.8
Hirabayashi metal Co, Ltd, Minato factory	Okayama	60	0.5
Hirabayashi Metal Co, Ltd, recycling farm Mitsu	Okayama	260	3.7
Nishimhon electric Household appliances Recycling Co, Ltd	Fukuoka	500	5.6
Kumamoto Shinmyo Industry Co, Ltd	Kumamoto	26	0.2
Actpy Recycling Co, Ltd	Kumamoto	265	3.6

家電廃プラおよびASRに含有される臭素は、文献値に基づき、2.00 wt%および0.06 wt%であるとした⁴⁾。ケミカルリサイクルの特長を生かし多くの臭素を回収するためには、臭素含有量の大きい家電廃プラを処理することが望ましい。しかしながら、ヒアリングによる調査結果から、廃家電リサイクルプラントから排出される家電廃プラの発生量は、プラントから500 km圏内を全て収集した場合でも、年間2.5万トン程度であることが分かった⁴⁾(Table 1)。輸送にかかる時間を考慮した場合、500 kmを超える廃家電処理プラントからの収集は困難と考えられる。従って、家電廃プラの収集量による制限から、処理量の50 wt%を家電廃プラによりまかない、残り50 wt%はASRによりまかなうこととした。ASRの発生量は、山口県内ならびに隣接の島根県からの発生はほとんど見込まれず、隣接の福岡県において年間5万トン、広島県においては年間2,000トンの発生量が見込まれるので、全量を福岡県から輸送することとした⁴⁾。以上により、本ケーススタディにおいて収集する廃棄物は以下の2通りとした。

- ・小野田市から500 km圏内の廃家電処理プラントから発生する家電廃プラ（年間総排出量2.63万トンのうち2.5万トン）
- ・福岡県から発生するASR（年間総排出量5.0万トンのうち2.5万トン）

家電廃プラおよびASRの輸送に関しては、発生地とプラント位置間の道路距離を算出し、4トントラック（積載容量6 m³）を用いた場合の所用時間と消費燃料を算出した。なお、全ての輸送においてトラックは往復することとし、復路は積荷しないこととした。なお、輸送物のかさ密度は、家電廃プラ：0.29 g/cm³、ASR：0.30 g/cm³、減溶化後の灰・スラグ2.3 g/cm³とした⁴⁾。これより、家電廃プラ、ASRに関しては容量により積載量が制限される。

2.3 比較評価した従来システム

本研究で検討したリサイクルシステムの比較対象となる従来システムを設定した。従来、廃家電処理プラントから

発生する廃プラスチックや廃自動車解体工場から発生するASRは、近隣の最終処分場へ直接輸送され埋立、あるいは産業廃棄物焼却施設において焼却処分による減容化の後、灰塵を最終処分場へ輸送され埋立られている。そこで、比較対象とする従来システムとして、埋立処理（以下、直接埋立）と焼却後埋立処理を検討した。ただし、後者においては、単純焼却と、10%の発電によるエネルギー回収（ごみ発電）を行なう2つの場合を想定し、合計3つの従来システムと比較検討した。

輸送については、最終処分場や産業廃棄物焼却施設が、各地に多数散在していることから、一律に廃家電処理プラントから焼却施設までの輸送距離を25 km、廃家電処理プラントから最終処分場までの輸送距離は20 km、また焼却施設から最終処分場までの輸送距離も20 kmと仮定した。

3. LCI分析による環境性評価

3.1 目的と調査範囲の設定

本研究においては、LCI（ライフサイクルインベントリ）分析を用い、家電廃プラとASRの高温ガス化熔融炉を用いたリサイクルシステムの環境負荷の定量評価を行い、従来システムと比較評価した。機能単位は、混合廃プラ1トン処理とした。本システムと従来システムのシステム境界をFig. 2に示す。

本システムのシステム境界は、廃棄製品が解体・分別され、家電廃プラやASRとして発生した後から、輸送工程とリサイクル工程を経て、リサイクル材やエネルギーとして生成されるまでとした。一方、従来システムのシステム境界は、家電廃プラやASRが埋立されるまで、または焼却により灰塵となり最終処分されるまでを考慮した。ただし、輸送工程、リサイクル工程、最終処分工程の運用時の原料およびエネルギー消費のみを考慮し、機器・装置などの製造・廃棄にかかる環境負荷は境界外としている。また、リサイクルシステムでは、臭素、電力、鉄等が回収される。

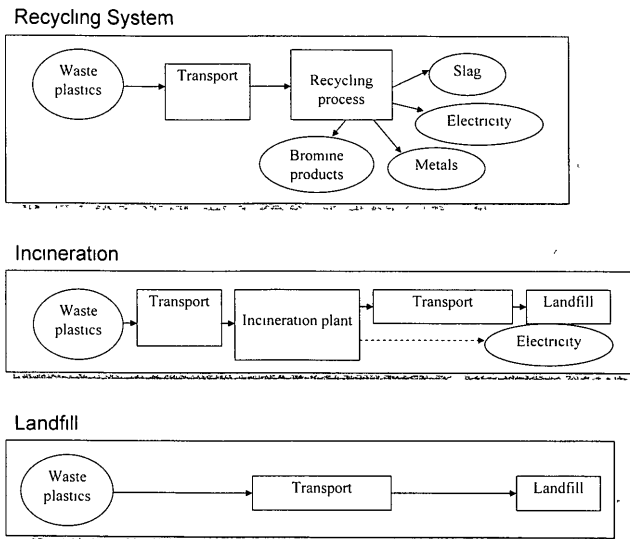


Fig. 2. System boundaries for the LCA

本研究ではその効果を評価するため、リサイクルにより、バージン材の生産が回避できるものとして、バージン材の生産により誘発される環境負荷量を差引いた。臭素は海水法（ソーダ吸収法）により、硫酸、塩化ガス、NaOH等を用い、海水中に含まれている臭素を抽出するプロセスを検討した¹²⁾。電力は、当該地域に電力を供給している中国電力において、発電により誘発されるCO₂排出分を計上した¹³⁾。鉄は、鉄鉱石から粗鋼が製造されるまでのCO₂排出分を計上した。

なお、本研究では、環境負荷としてCO₂排出量のみを検討した。

3.2 LCI分析に用いたデータ

LCI分析を実施するにあたり、本システムの各プロセスにおける、投入燃料、原料及び得られる製品の物質収支とエネルギー収支を求めた。それらを基にリサイクルシステムの機能単位あたりの主要な物質収支とエネルギー収支をFig. 3に示す。なお、前述したように本プロセスでは、ピクリン酸、NaOH、HCl、凝集剤、硫化ソーダ、塩素が投入されているが、調査の結果、それらの重量は相対的に微量であったため考慮していない。また、変動する値や分布を持つ値については平均値となっている。

既存システムのうち、単純焼却とごみ発電に関しては、助燃材を用いずに焼却あるいは発電するものとした。また、他の既存システムに関して、海水法による臭素製造プロセスと中国電力の発電プロセスのインベントリデータは文献値^{12,13)}を用い、粗鋼生産や埋立などその他のバックグラウンドデータは、市販のLCAソフトウェア「JEMAI-LCA」¹⁴⁾に収録されているデータを用いた。なお、埋立に関しては、埋立後の廃棄物に由来するCO₂誘発量は考慮さ

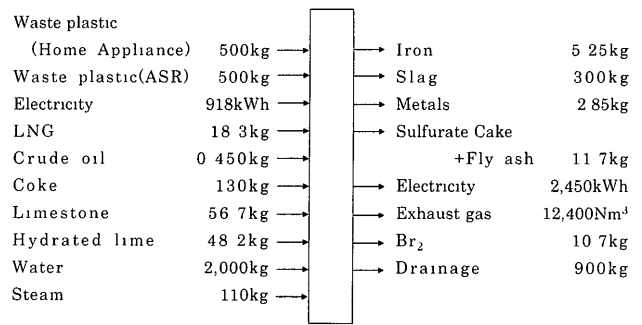


Fig. 3. Inputs and outputs for the recycling system.

れていない。輸送プロセスにおいては、消費燃料は軽油とし、一律3.6 km/Lとして、走行距離から軽油消費量を計算した。

4. 経済性評価

4.1 経済性評価手法

リサイクル事業者側の事業性を分析するにあたり、本システムによって生み出されるキャッシュフロー(Cash flow, CF)について分析し、いくつかの分析指標を用いることで、本システムの経済性を検討した。CFは、事業により生み出される現金収支を示すことから、事業の採算性を示す指標としても重要なものである⁹⁾。今回の分析では、投資効果を測る尺度としてIRR (Internal Rate of Return : 内部収益率)、借入元本の返済についての尺度としてLLCR (Loan Life Coverage Ratio)とDSCR (Debt Service Coverage Ratio)の3つの指標について検討した(指標の詳細説明はAppendixを参照)。なお、CF分析では、設備投資、運営収支、金利、各種税金について考慮した。

4.2 経済性評価に用いたデータおよび前提条件

設備投資については、ヒアリングにより機器費、土建・機械工事費、電気・計装工事費、間接費、一般管理費を求めた結果、合計約7,500百万円となった。その他の初期投資費用は、敷地単価30,000円/m²において敷地面積10,000m²の土地を購入することとし、建物、建物付属設備については評価の対象外とした。また、定額法にて10年間で償却し、残存価格は取得原価の10%とした。

運営収支については、家電廃プラおよびASRの引取時の処理価格を逆有償4万円/トン⁴⁾とし、発電電力売電価格は6.0円/kWhを用いた。なお、家電廃プラおよびASRの引取時の処理価格と発電電力売電価格¹¹⁾は、変動が大きいと予想されるため感度分析を行った。その他の発生した有価物等の販売、引取価格については近年の市況を調査し、スラッジ(Sb) : 234円/kg、臭素 : 135円/kg、磁選鉄 :

†1. 現在「総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会新市場拡大措置検討小委員会」においてRPS制度の構築とともに発電電力売電価格の議論が進められている¹⁶⁾。

5円/kg, メタル: 5円/kgと想定した。また, スラグは販売益も処理費も発生せずに0円/kgとし, 硫黄ケーキはPb(鉛)やZn(亜鉛)を高濃度で含有しているので実質は有価物であるが, 非鉄製精錬メーカーで山元還元されることから50円/kgの逆有償で取引されるとした。ユーティリティ費は約2,760円/t処理と見積もられた。また, 輸送に関しては, 容器包装リサイクル法での取り決めに基づき, 排出源からリサイクル施設までの輸送工程にかかる費用は排出者側負担とした。

さらに, プラント稼動にかかる費用として, 補修費が機器に対して取得原価の4%毎期発生すると仮定し, 人件費については, プラントの運営管理および事務要員として30名を想定し, 平均的な賃金¹⁵⁾として6,262千円/人とした。

また, 金利は, 当該期間中3%固定とし, 各種税金については, 不動産取得税を取得価格の4%とし, 固定資産税を課税標準の14%, 減価率0.206%(定率法)とし, 法人税を法人税, 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。

5. 結果と考察

5.1 環境性評価結果

本システムおよび従来システムにおける発生要因ごとのCO₂排出量を求めた結果をFig. 4に示す。ここで, 補助燃料(Auxiliary Fuel)は, LNG, コークス, 重油を含み, 用役(Utility)は, 石灰石, 消石灰, 水, 低圧蒸気を含み, 回収資源(Recovered Materials)は, 鉄スクラップ, スラグを含み, 発電電力(Generated Electricity)は, 発電電力量からプロセス内消費電力量を差し引いた電力量としている。また, 臭素回収や発電によって回避されるバージン材のCO₂排出量は負の値で示されている。なお, 副産物として取引されるスラッジ, メタル, 硫黄ケーキの取引後の回避効果などは, 相対的に取引量が少ないことからシステムバウンダリ外として計上していない。総CO₂排出量は, 本システムが1,300 kg/tであるのに対し, 単純焼却において1,900 kg/t, ごみ発電において1,400 kg/t, 直接埋立において260 kg/tであった。本システムにおいては, 家電廃プラとASRの混合廃プラの燃焼によるCO₂排出量と, 発電による回避分が相対的に大きな割合となっている。次に補助燃料による寄与が大きく, これはコークスの燃焼による負荷量が約9割を占めている。また, 本システムの特長である臭素の回収により, 天然資源からの製造時のCO₂排出量88 kg-CO₂が回避できることがわかり, 臭素回収によるCO₂排出削減効果が認められた。また, 今回の想定は年間処理量5万トンと大規模であり, 廃プラスチックの長距離輸送が想定されたため, 輸送によるCO₂排出割合が総CO₂排出量分の12.1%を占めた。従来システムに関しては, 単純焼却, ご

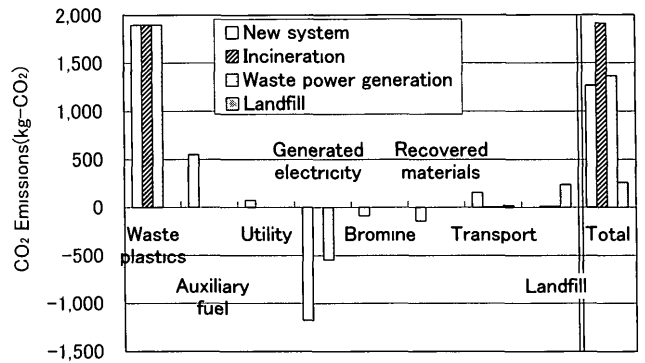


Fig. 4. Life cycle CO₂ emissions and contribution of each source for the systems.

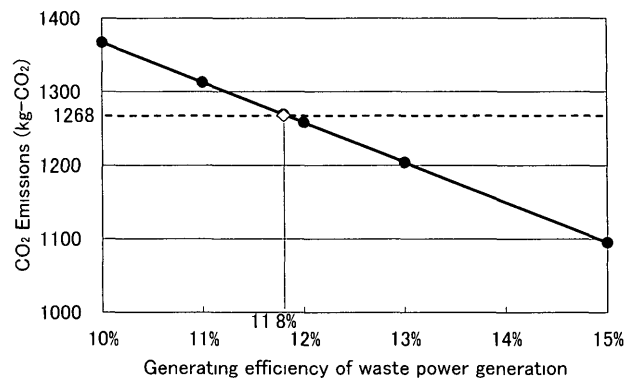


Fig. 5. Effect of efficiency of waste power generation on life cycle CO₂ emissions

み発電において, 廃プラスチックの燃焼に由来するCO₂排出量が大きく寄与していた。

なお, 従来システムのごみ発電に関し, 発電効率を10~15%まで変動させた場合の総CO₂排出量の変化をFig. 5に示す。本システムの総CO₂排出量を点線にて示しているが, ごみ発電の発電効率が11.8%において交わっており, ごみ発電の発電効率が11.8%を超えない限り, 本リサイクルシステムの方がCO₂排出量は小さいことがわかる。

5.2 経済性評価結果

CF分析の結果をTable 2に示す。このときIRRは13.4%であり, 金利の3%を大きく上回っていることがわかる。また, LLCRが1.32, DSCRが平均1.37となり, 各年度を通して1以上となることから, 当該事業主は元利金支払いに関して余裕を有することが示されている。

次に, 要因別に損益を算出した結果をFig. 6に示す。ここで, 補助燃料(Auxiliary Fuel)と発電電力(Generated Electricity)の含む入出力物質は, Fig. 4と同じである。用役(Utility)は, 消費電力, 石灰石, 消石灰, HCl, 塩素, 水, 低圧蒸気を含み, 回収資源(Recovered Materials)は, 鉄スクラップ, スラグ, 硫黄ケーキを含み, 設備(Facility)は, 設備関連の減価償却費と補修費を含み, その他支出(Other Expenditure)は, 人件費, 各種税金, 借入金利が含まれている。税金などの経年により変動する値は, 10年間の平

Table 2 Results of cash flow analysis for the recycling system.

Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sale	0	2,636	2,636	2,636	2,636	2,636	2,636	2,636	2,636	2,636	2,636
Operation expenditure	12	1,209	1,192	1,178	1,167	1,159	1,152	1,146	1,142	1,139	1,136
Operating Cash Flow	-12	1,427	1,444	1,458	1,469	1,478	1,484	1,490	1,494	1,498	1,500
Initial investment	7,823	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tax	0	117	232	247	260	273	285	297	308	319	329
Cash Flow before financing	-7,835	1,310	1,213	1,211	1,208	1,204	1,199	1,193	1,186	1,179	1,171
Finance	7,823	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cash Flow before repayment	-12	1,310	1,213	1,211	1,208	1,204	1,199	1,193	1,186	1,179	1,171
Total repayment	235	994	970	947	923	900	876	853	829	806	782
Payment of the interest	235	211	188	164	141	117	94	70	47	23	0
Payment of the principal	0	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782
Net Cash Flow	-247	317	242	265	285	305	323	340	357	373	389

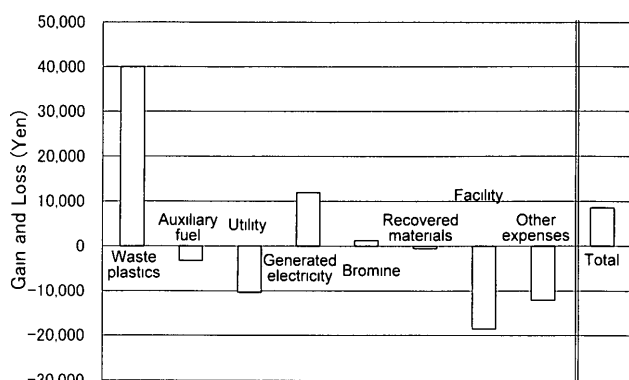


Fig. 6. Economical gain and loss for the recycling system based on 1 ton of waste plastics.

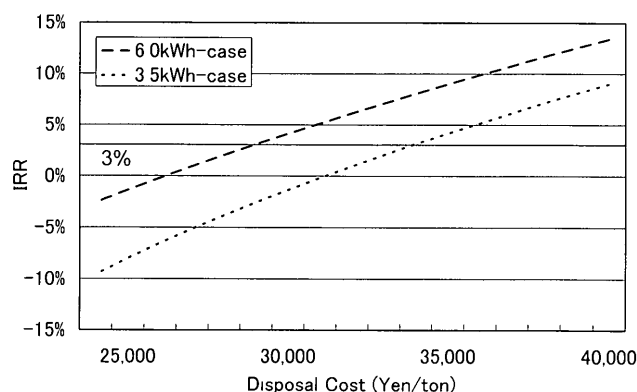


Fig. 7. Results of sensitivity analysis of disposal cost and cost of electricity on IRR

均値としている。また、正の値がかかる費用による損失を、負の値が収益による利益を示している。これより、リサイクル施設における物流に関係する損益だけを取り出すと、約3.9万円/t処理の利益が見込めることがわかる。家電廃プラとASRの混合廃プラの引取による収益が4万円であることから、燃料費とユーティリティ費が電力や臭素などの回収物の利益によりまかなわれていることがわかる。また、施設費（減価償却、補修）、人件費、税金、金利支払の支出も考慮すると、8,400円/t処理の利益が見込める。なお、最も寄与割合の高い要因は、家電廃プラとASRの混合廃プラの引取による収益である。

Fig 6から分かるように本システムの要因分析において、経済性に大きな寄与を示したのは、混合廃プラの処理費用による収益と発電電力の売却益であるため、この2つの要素について感度分析を行った。Fig 7に結果を示す。発電電力の売却単価が60円/kWhの場合、混合廃プラの処理費用単価が約29,000円以上に、発電電力の売却単価が3.5円/kWhの場合、混合廃プラの処理費用単価が約34,000円以上でなければ、IRRは3%を越えず、事業の採算性は悪いことが示された。

6. 結言

本研究では、難燃剤プラスチックを含む廃家電廃プラおよびASRを、高温ガス化炉を用いリサイクルするシステムに関して、ケーススタディを実施し環境性および経済性について評価した。

本リサイクルシステムは、電力エネルギーの回収と臭素のケミカルリサイクルを同時に実現することにより、CO₂誘発量を削減することに特長がある。従来、臭素含有難燃剤プラスチックはリサイクルが困難とされていたが、天然資源からの臭素製造のCO₂排出原単位は相対的に大きいため、リサイクルによるCO₂削減効果は大きい。既存技術であるごみ発電と比較した場合でも、本システムで設定したシステム境界と前提条件に基づいてCO₂誘発量を算出した結果、ごみ発電の発電効率が11.8%を越えない限り、本システムに環境優位性があることが示された。

経済性に関しては、本事業の採算性は家電廃プラおよびASRの引取時の処理価格と発電電力売却価格に大きく依存することが示された。

素材のリサイクルは、環境合理性と経済合理性の両視点

から検討する必要がある、今回実施した評価手法を適用することで他の素材のリサイクルも適正に評価することができる。

本研究は、中国経済産業局地域新生コンソーシアム事業における「電気・電子、自動車等使用済みプラスチックのゼロエミッション・ケミカルリサイクル技術の開発」において得られた成果である。また、本研究を行なうにあたり、情報提供などの面で多大な支援をくださった以下の多くの企業や官公庁に対してこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

(社) プラスチック処理促進協会、(株) 住友金属、(株) 宇部興産、(株) 東ソー、(株) カネカテクノリサーチ、(株) ドゥー・リサーチ、環境省廃棄物・リサイクル対策部、広島県環境調査室、(株) 東京エルテック、(株) カムテック、(株) 日立造船、(株) 富士クリーン

文 献

- 1) K Ueno *Jpn Inst Energy*, **80** (2001), 1100
- 2) 経済産業省、環境省：自動車リサイクル法の概要（使用済み自動車の再資源化等に関する法律）、東京、(2002).
- 3) (社) プラスチック処理促進協会：プラスチック製品・廃棄物・再資源化フロー図（2002年）、(社) プラスチック処理促進協会、東京、(2003).
- 4) (社) プラスチック処理促進協会：電気・電子、自動車等使用済みプラスチックのゼロエミッション・ケミカルリサイクル技術の開発、東京、(2003), 1, 92
- 5) ISO Environmental management—Life cycle assessment—Principle and framework, Reference number ISO 14040, (1997)
- 6) ISO ISO/FDIS 14041 Environmental Management—Life cycle assessment—Goal and scope definition and inventory analysis, (1998)
- 7) ISO ISO/FDIS 14043 Environmental Management—Life cycle assessment—Life cycle interpretation, (1999)
- 8) 小原克馬：プロジェクト・ファイナンス、金融財政事情研究会、(1997)、東京、33.
- 9) R G Hunt *Resour Conserv Recycl*, **14** (1995), 225
- 10) J R Barton, D Dally and V S Patel *Waste Manage*, **16** (1996) No 1-3, 35
- 11) P Beigl and S Salhofer *Resour Conserv Recycl*, **41** (2004), 83
- 12) S Izawa and T Yamaguchi *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **36** (1972) No 6, 621
- 13) Y Matsuno and M Betz *Int J LCA*, **5** (2000), 295

- 14) (社) 産業環境管理協会：JEMAI-LCA Ver 1.1.5、東京、(2003).
- 15) 労働大臣官房統計情報部賃金統計課編：賃金構造基本統計調査報告、労働大臣官房政策調査部、東京、(2001).
- 16) 総合資源エネルギー調査会 新エネルギー部会新市場拡大措置検討小委員会：新市場拡大措置検討小委員会報告書（案）、東京、(2001).

補 遺

本研究において採用した、事業性を評価する3指標について以下に説明する。なお、式中に用いている記号や関数は、末尾の記号一覧を参照されたい。

IRR (Internal Rate of Return)

IRRは次式で定義され、当該事業が支払うことのできる最大利子率を示す指標。

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

LLCR (Loan Life Coverage Ratio)

LLCRは次式で定義され、借入期間にわたる元利金返済前キャッシュフローの現在価値の総和が、借入金に対し何倍に相当するかを示す指標。

$$LLCR = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{B(t)}{(1+r)^t}}{C}$$

DSCR (Debt Service Coverage Ratio)

DSCRは次式で定義され、各年の元利金返済前キャッシュフローが、当該年度の返済元利金の何倍かを示す指標。本研究では、各年の値と、借入期間内の各年において算出された値の平均値を考慮している。

$$DSCR(t) = \frac{B(t)}{D(t)}$$

補遺中の記号一覧

- t : 借入期間内のある年
 T : 借入期間
 $A(t)$: t 年におけるオペレーティング・キャッシュフロー
 C : 借入金
 $B(t)$: t 年における元利金返済前のキャッシュフロー
 $D(t)$: 当該年度の返済元利金