

研究論文

自動車シュレッダーダスト処理に関する ライフサイクルアセスメント(第二報) — エネルギー回収 —

Life Cycle Assessment on Treatments of Automobile Shredder Residue (2nd Report)
— for Energy Recovery Cases —

船崎 敦* · 種田 克典* · 田原 聖隆** · 稲葉 敦**
Atsushi Funazaki Katsunori Taneda Kiyotaka Tahara Atsushi Inaba
上宮 成之*** · 小島 紀徳****
Shigeyuki Uemiya Toshinori Kojima
(原稿受付日2002年2月27日, 受理日2003年6月26日)

Abstract

In order to evaluate environmental performance for energy recovery systems of Automobile Shredder Residue (ASR), we implemented a Life Cycle Assessment (LCA) of a 2002-year ELV modeled in our first paper. We investigated three case studies : 1) Dry-distillation and gasification of Refuse Derived Fuel (RDF) made from ASR, 2) Direct ash melting in shaft type furnace (or cupola type furnace), 3) Pyrolysis gasification and ash melting in rotary kiln. The results are : (1) Recycling rate of the ELV is about 90% with energy recovery from ASR. Moreover, the rate can exceed 95% if melting slag and mix metals are recycled ; (2) The impact indicators (energy consumption, global warming, and acidification) at the end of life stage contributed 1 - 3% of the total life cycle ; (3) Improvements of these plants will be residue recycling and reduction of input energy and HCl emission in the future.

1. はじめに

自動車シュレッダーダスト(ASR: Automobile Shredder Residue)の適正処理, 減量化およびリサイクルが社会的課題になっており, 対策の一つとして自動車業界では使用済み自動車(ELV: End of Life Vehicle)のリサイクル率を, 2002年までに85%以上, 2015年までに95%以上とする数値目標をあげている¹⁾.

様々な物質が入り混じったASRをマテリアルリサイクルすることは技術的・経済的に極めて難しい。現在, いくつかのエネルギー回収システムが提案されているが, その評価には, ASR処理プラントを対象とするだけでなく, 自動車のライフサイクルの視点から総合的に考える必要がある。前報²⁾ではASRの埋め立て処分に着目して, 二つのケース(A: 直接埋め立て, B: 減容・固化後の埋め立て)のLCAを実施した。本稿では, 前報で整理されたデータ

を用いて, ASRのエネルギー回収に着目し, 次の三つのケース, C) RDF化・乾留ガス化方式³⁾, D) シャフト式直接灰溶融方式⁴⁾, E) ロータリーキルン式熱分解ガス化灰溶融方式⁵⁾を対象とした。また, 同時にライフサイクル全体を通してASRのエネルギー回収技術を評価した。

2. 評価方法

2.1 目的と対象

本LCAの目的は, ELVのリサイクル率向上に欠かせないASRエネルギー回収プラントのリサイクル技術を環境面から評価することにある。ここでは次の三つのASR処理プラントについて考察する。

C) RDF化・乾留ガス化方式(実証プラント: ASRの再分別→RDF化→ガス化→残さ埋め立て)³⁾

D) シャフト式(別名, キューボラ式)直接灰溶融方式(実証プラント: ASRの溶融炉への直接投入→灰溶融化)⁴⁾

E) ロータリーキルン式熱分解ガス化灰溶融方式(商用プラント: ASR再分別→ガス化→灰溶融化)⁵⁾

これら三つのプラントは, ASRの前処理の有無, 残さの溶融の有無などで異なるが, ASRから発生するガスをエネルギー利用できる点で共通している。

評価にあたっては同一条件での比較をおこなう必要があるが, 各プラントに投入されるASRの組成データはそれぞれ異なる。ここでは前報²⁾において対象とした2002年の

* (財)日本自動車研究所 総合研究部

E-mail: afuna@jari.or.jp

〒305-0822 茨城県つくば市荻間2530

** (独)産業技術総合研究所 ライフサイクルアセスメント研究センター

〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1

*** 岐阜大学工学部応用精密化学科

〒501-1193 岐阜市柳戸1-1

**** 成蹊大学工学部応用化学科

〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町3-3-1

表1 自動車シュレッターダスト (ASR) の可燃分の元素成分および低位発熱量

材 料 名	三成分 (wt%)			分子式	可燃分の元素成分の構成 (wt%)						低位発熱量 (MJ/kg)
	灰分A	可燃分B	水分W		炭素 C	水素 H	酸素 O	窒素 N	硫黄 S	塩素 Cl	
PUR(軟質)	0.0%	100.0%	0.0%	—	62.7%	8.7%	23.1%	5.5%	0.0%	0.0%	28.26
PVC	1.8%	98.2%	0.0%	C ₂ H ₃ Cl	37.7%	4.7%	0.0%	0.0%	0.0%	55.8%	18.50
PE	0.0%	100.0%	0.0%	C ₂ H ₄	85.7%	14.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	46.39
PP	0.0%	100.0%	0.0%	C ₃ H ₆	85.7%	14.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	46.39
PET	0.0%	100.0%	0.0%	C ₁₀ H ₈ O ₄	62.5%	4.2%	33.3%	0.0%	0.0%	0.0%	21.13
ABS	0.0%	100.0%	0.0%	—	86.4%	7.8%	0.0%	5.8%	0.0%	0.0%	38.76
PA(6-ナイロン)	0.0%	100.0%	0.0%	C ₆ H ₁₁ ON	63.7%	9.7%	14.2%	12.4%	0.0%	0.0%	31.24
ゴムくず	5.0%	95.0%	0.0%	—	85.5%	7.6%	0.0%	0.5%	1.4%	0.0%	38.35
繊維類 (PET-GF10)	10.0%	90.0%	0.0%	—	56.3%	3.8%	30.0%	0.0%	0.0%	0.0%	19.01
塗料かす	18.3%	81.7%	0.0%	—	62.8%	6.5%	9.9%	1.0%	1.3%	0.3%	27.72
潤滑油	0.0%	100.0%	0.0%	—	86.5%	13.0%	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%	45.15

* 1) 低位発熱量は、下記に示すDulongの式とSteuerの式の平均値を採用した。なお、高位発熱量HHV=LHV+600・(9・H+W)
 Dulongの式 低位発熱量LHV(kcal/kg)=8100・C+34250・(H-O/8)+2250・S-600・(9・H+W)
 Steuerの式 低位発熱量LHV(kcal/kg)=8100・C-(3/8)・O+5700・(3/8)・O+34500・(H-O/16)+2500・S-600・(9・H+W)
 * 2) 繊維類は、PET繊維90%、ガラス繊維10%の重量比率と仮定した (PET-GF10)。

表2 投入ASRモデルの組成と低位発熱量

項 目	対象			
	ケース C, D, E 共通	ケース C	ケース E	
	湿り ASR	乾き ASR	乾留用 RDF	分別 ASR
水分 (W)	10.00%	0.00%	0.80%	10.00%
不燃分(灰分 A)	31.67%	35.19%	21.68%	26.95%
可燃分	58.33%	64.81%	77.52%	63.05%
三成分の合計	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
炭素 (C)	42.32%	47.03%	54.56%	45.76%
水素 (H)	5.24%	5.82%	6.89%	5.66%
酸素 (O)	5.95%	6.61%	9.86%	6.43%
窒素 (N)	1.29%	1.43%	1.66%	1.39%
可燃性硫黄 (S)	0.18%	0.20%	0.23%	0.19%
可燃性塩素 (Cl)	3.35%	3.72%	4.32%	3.62%
可燃分の合計	58.33%	64.81%	77.52%	63.05%
鉄鋼 (Fe)	6.60%	7.33%	0.85%	0.71%
アルミ (Al)	2.66%	2.96%	2.40%	2.01%
銅 (Cu)	4.77%	5.30%	6.15%	5.16%
鉛 (Pb)	0.18%	0.20%	0.16%	0.19%
亜鉛 (Zn)	0.38%	0.43%	0.35%	0.41%
ガラス類 (SiO ₂ など)	14.40%	15.99%	5.57%	15.57%
その他	2.68%	2.98%	6.20%	2.90%
不燃分(灰分)の合計	31.67%	35.19%	21.68%	26.95%
低位発熱量 (MJ/kg)	19.56	22.01	25.34	21.16
投入重量 (kg)	249.64	224.67	193.65	230.95

使用済み乗用車から発生するASR組成モデルをもとに、各プラントのASR組成や物質フローに関するデータを参考にして共通モデルを作成し、同じASRを投入するという条件を設定した。なお、可燃分の各材料の成分および低位発熱量は、文献^{6),7)}などより、表1のようにおいた。

各プラントに投入するASR組成モデルを表2に示す。投入前の湿りASR(水分10%)および乾きASRの組成はケースC, D, Eとも共通である。ケースCでは、湿りASRから金属・ガラス類を回収し、減容・固化によりRDF (Refuse Derived Fuel) をつくり、乾留炉に投入する。ケースDでは湿りASRを直に熔融炉に投入する。ケースEでは、湿りASRから金属を回収し、分別ASRをロータリーキルンに投入する。

2.2 評価項目

前報と同じく影響評価指数として、エネルギー消費量(高位発熱量基準)、温暖化指数(CO₂換算, IPCC-1995, 100年積算)、酸性化指数(SO₂換算, ライデン大学CML-1992)、およびリサイクル率を用いた。これらの特性化係数を表3に示す。なお、リサイクル率は、リサイクル率=(ELV重量-最終廃棄物重量)/ELV重量と定義した。ここで、最終廃棄物とは原則として最終処分場に埋め立てられるものを指し、無害化処理やリサイクルにおいて新たに発生した廃棄物も含める。また、液類の単純焼却や無害化処理ではほとんど焼却灰は発生しないが、リサイクルされていないので、これらの液類も最終廃棄物に含める。

インベントリの出力の調査範囲は次のとおりである。ライフサイクルにわたり調査した出力は、エネルギー、CO₂、NO₂、SO₂である。CH₄は自動車走行時のみを、HClと最終廃棄物は廃棄段階のみを調査した。

2.3 システム境界

対象車のライフサイクルフローの概要を図1に示す。ここでは、製造段階の工場スクラップ、使用段階の交換部品および廃棄段階の回収部品や材料のリサイクルは対象外とする。なお、図中では、ケースDおよびケースEで発生し

表3 環境影響評価の特性化係数

影響カテゴリー	環境負荷項目	特性化係数	出 所
エネルギー消費	燃焼エネルギー	発熱量	高位発熱量 熱効率 33.5%
	原子力発電	発熱量	
地球温暖化	CO ₂	1	IPCC-1995 (100年積算)
	CH ₄	21	
	HFC-134a	1300	
酸性化	SO _x as SO ₂	1.00	ライデン大学 (CML-1992)
	NO _x as NO ₂	0.70	
	HCl	0.88	
リサイクル率	最終廃棄物	1	

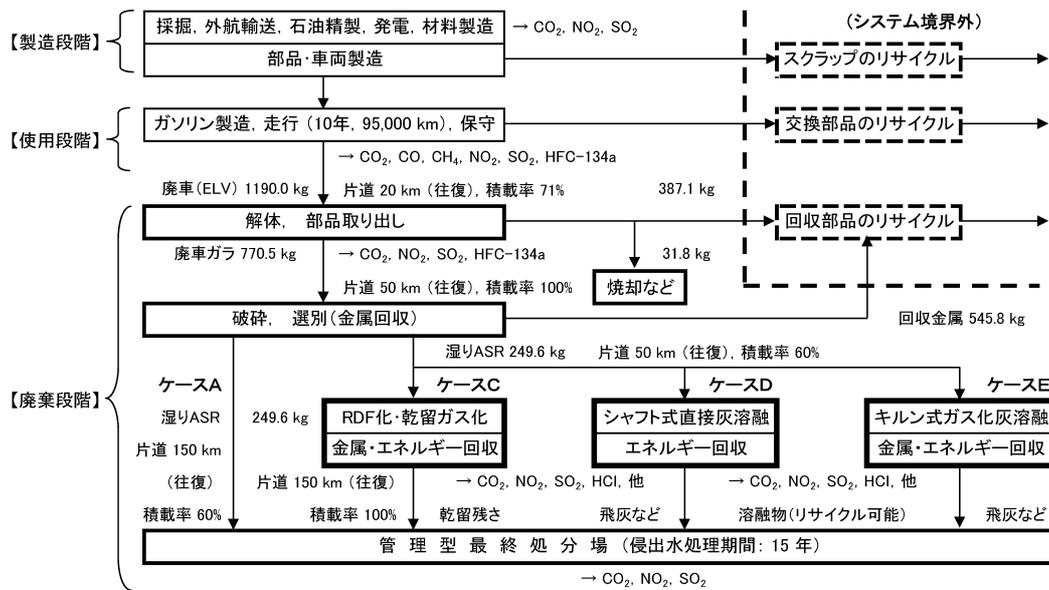


図1 対象車のライフサイクルフローとシステム境界

た溶融物（スラグ、メタル）は埋め立てとしているが、リサイクルについても考察した。

2.4 エネルギー回収の評価方法

対象とするプラントでは、金属回収、溶融物回収およびエネルギー回収がおこなわれる。これらのリサイクル効果を評価する方法として、インベントリの集計から代替システムの環境負荷を差し引く方法(Avoided Impact Method)が提案されている^{8), 9)}。ここでは、エネルギー回収について表4に示す代替システムをあてはめる。ただし、金属回収および溶融物回収については、オープンループリサイクルの評価方法が確定していないため、リサイクル率に反映させるものとし、代替システムによる減算処理は実施しない。

表4 代替システムのインベントリ（エネルギー回収）

対象	代替システム	単位	エネルギー (MJ/単位)	CO ₂ (kg/単位)	NO ₂ (g/単位)	SO ₂ (g/単位)
自家発電	購入電力	kWh	10.22	0.414	0.37	0.30
熱利用	ボイラー燃焼	liter	42.50	2.907	1.87	4.07

* 1) 購入電力は2000年度のインベントリ。発電のための燃料製造を含む。
 * 2) ボイラーの燃料はLSA重油。インベントリはLSA重油の製造を含む。
 なお、脱硝率70%、脱硫率0%とした。

3. 各プラントのインベントリ算出方法と結果

ここでは対象とする各プラントのインベントリ算出方法と結果について述べる。製造・使用段階のインベントリについては前報²⁾の結果を用いた。

3.1 RDF化・乾留ガス化方式（ケースC）

RDF化・乾留ガス化プラントのフローを図2に示す。図2(a)はASRの前処理（再分別・減容・固化・整形）のフローである。ガラス類および金属（鉄鋼、アルミ）は

減容・固化装置の摩耗の原因になるため、まずASRからこれらを分別する。分別後、ASRを減容・固化し、RDFを製造する。回収された鉄鋼とアルミはリサイクルされる。鉛などを含むガラス類は安定化処理（セメント固化）が施された後、管理型最終処分場に埋め立てられる。なお、乾留用RDFの製造では、塩化ビニルなどに含まれる塩素を吸収する消石灰（Ca(OH)₂）を添加した後、ASRを固化する。

図2(b)はRDFの乾留ガス化フローである。RDFは乾留炉の中で、可燃性ガス（乾留ガス）と乾留残さに分解される。乾留のための高温ガスは、LPGを燃料とする高温ガス炉から供給される。本プラントでは乾留ガスを二次燃焼炉で単純焼却したが、ここでは回収エネルギー（乾留ガスとその顕熱）の75%が有効利用されると仮定し、ごみ発電効率10%（低位発熱量基準）、熱利用65%とした。乾留残さは管理型最終処分場に埋め立てられる。乾留残さの輸送距離はASRの埋め立てにおける場合と同じと仮定した。

乾留ガス化のインベントリを算出するにあたり、原則として文献³⁾の実験Run15とRun16のデータ（投入燃料、電力量、乾留ガス成分と流量、排出ガス成分と流量など）を参考にした。各工程の物質収支については、炭素Cを基準に、H、O、N、S、Clの収支が10%以内のばらつきに収まるように、空気量、乾留残さ成分、タール成分などを推定した。乾留ガス、乾留残さ、燃焼ガスなどの顕熱を算出するにあたり、各物質の定圧比熱は文献値¹⁰⁾を用いた。燃焼ガス量は、O₂やN₂濃度をもとに空気比を求め、燃焼式から算出した¹⁰⁾。

3.2 シャフト式直接灰溶融方式（ケースD）

シャフト式直接灰溶融プラントのシステムフローを図3に示す。この方式は高炉技術を転用したもので、ASRの

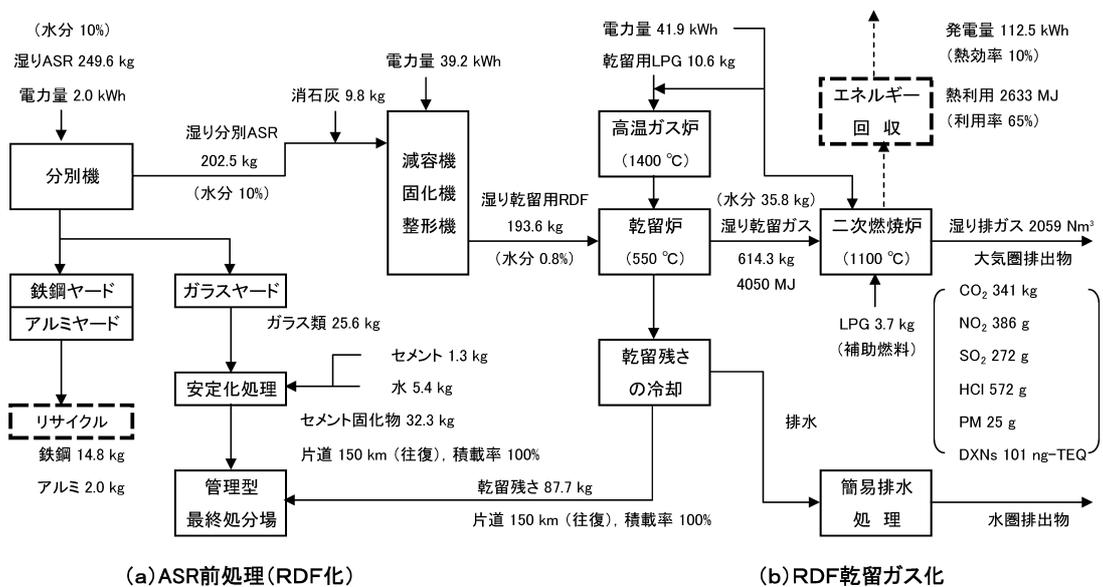


図2 RDF乾留ガス化プラントのシステムフロー (ケースC)

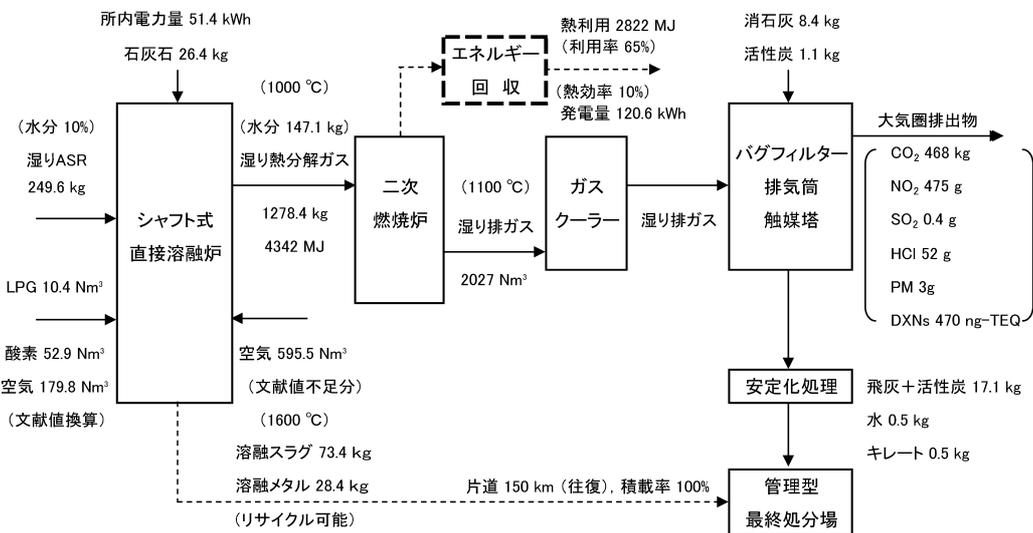


図3 シャフト式直接灰溶融プラントのシステムフロー (ケースD)

乾燥から溶融までをASRと補助燃料の燃焼熱を利用して一段でおこなう。補助燃料には、コークスの代わりに安価で制御が容易なLPGが利用されている。ASRの不燃分は溶融スラグまたは溶融メタルとなる。溶融スラグは路盤材など、溶融メタルは重りとしてリサイクルできると報告されている^{4), 11)}。

インベントリ算出にあたり、熱分解ガス、溶融スラグ、溶融メタル、飛灰の成分は不明なため、類似プラントのデータ^{12), 13)}を参考に、物質収支を考慮して算出した。所内電力量については聞き取りから推定した。飛灰処理については、後述のケースEの場合と同じと仮定し、薬品(キレート剤)処理とした。キレート剤の投入量は、処理物(飛灰と活性炭)の3wt%とし、水も同量(50%希釈)とした。このプラントも熱分解ガスを二次燃焼炉で単純焼却したが、ここではケースCと同じエネルギー回収を仮定した。

3.3 ロータリーキルン式熱分解ガス化灰溶融方式(ケースE)

ロータリーキルン式熱分解ガス化灰溶融プラントのシステムフローを図4に示す。このプラントでは、ASRの前処理工程で金属(鉄鋼、アルミ)を回収する。ガラス類は溶融スラグにするため、回収しない。分別ASRは外熱式回転ドラム(ロータリーキルン)の中に圧縮供給され、450°Cの無酸素状態で1.5時間ほど回転・攪拌することにより熱分解が促進され、熱分解ガスと熱分解残さに分かれる。熱分解残さは冷却され、再び金属(鉄鋼、アルミ、銅)が回収される。銅線が絡まった樹脂類が柔らかい炭化物になっているため、銅の回収は容易になる。金属回収された残さ(カーボン残さ)は、熱分解ガスとともに燃焼溶融炉で燃焼し、溶融スラグとなる⁵⁾。溶融スラグは粒度を整え、路盤材などとして販売される。また、このプラントではすでに自家発電(熱効率10%)がおこなわれている。

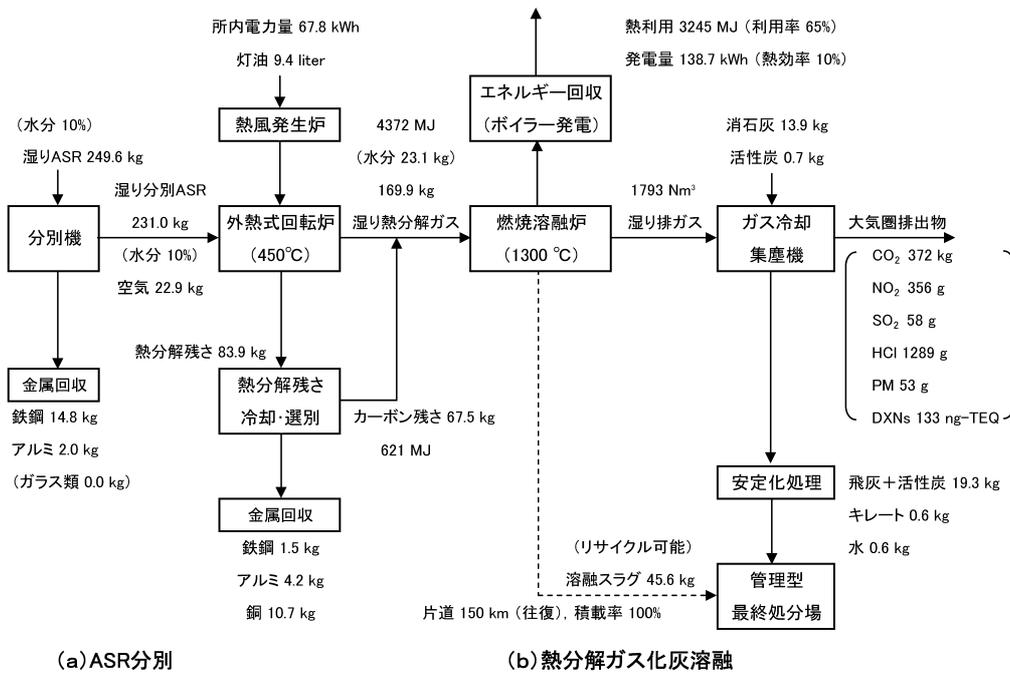


図4 ロータリーキルン式熱分解ガス化灰溶融プラントのシステムフロー（ケースE）

インベントリ算出にあたり、熱分解ガス成分や物質収支は文献^{14), 15)} および聞き取りから推算した。エネルギー回収についてはケースC, Dと同じと仮定した。飛灰処理フローは聞き取りから推定した。

3.4 各プラントのエネルギー回収効果

ここでは、ASRのエネルギー回収に関する代替システ

ムとその効果について考察する。各プラントにおける Avoided Impactの結果を表5～7に示す。

左欄 ①) ではASR処理のための投入燃料の製造インベントリと処理プラントの燃焼インベントリが記載されている。処理プラントの燃焼インベントリには、投入燃料、ASRの一部、熱分解ガスおよび残さの燃焼が含まれる。なお、前述のエネルギー回収の前提条件では所内電力量は自家発電でまかなえるため、計上されていない。右欄 ②) の Avoided Impact分は、売電の電力量に相当する購入電力インベントリと熱利用に相当するボイラー燃焼のインベントリ (LSA重油製造も含む) を記載している。右端の ①-②) はエネルギー回収の効果を表し、数値が小さいほど効果的である。

ケースC (表5) では、カーボンを含む乾留残さを有効利用していないため、回収されるエネルギーは最も少ない。一方、ケースD (表6) では、投入されるLPGや酸素の製造に係わる環境負荷が比較的大きいため、ケースCより回収エネルギーは多いにも関わらず、Avoided Impactを差し引いたエネルギーやCO₂排出は多くなる。ケースE (表7) は、エネルギーおよびCO₂とも最も少ないが、HCl排出は最も多い。ただし、図4に示すようにある程度の中和処理はなされており、HCl濃度は条例の基準を満たしている。

表5 エネルギー回収効果 (ケースC)

環境負荷	単位	① ASR 処理		② Avoided Impact		①-②
		LPG製造	プラント	購入電力	ボイラー	
エネルギー	MJ	71	5197	338	3025	1905
CO ₂	kg	4	341	14	207	124
NO ₂	g	40	386	12	133	281
SO ₂	g	50	272	10	126	186
HCl	g	-	572	-	-	572

*) - : 不明だが、相対的に微量と考えられる。

表6 エネルギー回収効果 (ケースD)

環境負荷	単位	① ASR 処理			② Avoided Impact		①-②
		LPG製造	O ₂ 製造	プラント	購入電力	ボイラー	
エネルギー	MJ	114	405	6392	707	3243	2961
CO ₂	kg	7	16	468	29	222	241
NO ₂	g	64	14	475	24	143	386
SO ₂	g	80	12	0	21	136	-65
HCl	g	-	-	52	-	-	52

* 1) 酸素(O₂)製造: 0.75kWh/Nm³-O₂

表7 エネルギー回収効果 (ケースE)

環境負荷	単位	① ASR 処理		② Avoided Impact		①-②
		灯油製造	プラント	購入電力	ボイラー	
エネルギー	MJ	52	5627	724	3729	1226
CO ₂	kg	3	372	29	255	91
NO ₂	g	29	356	25	164	196
SO ₂	g	36	58	22	156	-83
HCl	g	-	1289	-	-	1289

4. インベントリ分析および影響評価の結果と考察

4.1 自動車シュレッターダストのエネルギー回収

各エネルギー回収プラント (ケースC, D, E) と前報²⁾ のASR全量埋め立て (ケースA) について、廃棄段階において比較した結果を表8に示す。

表8 廃棄段階における環境負荷および影響評価の比較 (Avoided Impactの結果を含む)

環境負荷および 影響評価の項目		ケース A	ケース C			ケース D			ケース E		
		廃棄合計	廃棄合計	プラント	その他	廃棄合計	プラント	その他	廃棄合計	プラント	その他
環境負荷	CO ₂ (kg)	65	185	124	60	301	241	60	148	91	57
	CH ₄ (g)	11	9	—	9	9	—	9	8	—	8
	HFC-134a (g)	418	418	0	418	418	0	418	418	0	418
	NOx as NO ₂ (g)	350	576	281	294	680	386	294	470	196	274
	SOx as SO ₂ (g)	45	228	186	42	-23	-65	42	-44	-83	40
	HCl (g)	0	572	572	—	52	52	—	1,289	1,289	—
	最終廃棄物1 (kg)	257.0	152.0	120.0	32.1	152.0	119.9	32.1	98.1	66.1	32.1
最終廃棄物2 (kg)	—	—	—	—	50.2	18.1	32.1	52.5	20.5	32.1	
影響評価	エネルギー消費 (MJ)	1200	3047	1905	1143	4104	2961	1143	2316	1226	1091
	エネルギー消費の比率 (%)	100%	254%	159%	95%	342%	247%	95%	193%	102%	91%
	温暖化指数 (kg-CO ₂)	609	728	124	604	845	241	604	692	91	601
	温暖化指数の比率 (%)	100%	120%	20%	99%	139%	40%	99%	114%	15%	99%
	酸性化指数 (g-SO ₂)	290	1134	886	248	500	252	248	1419	1188	231
	酸性化指数の比率 (%)	100%	391%	306%	86%	172%	87%	86%	489%	410%	80%
	リサイクル率1 (%)	78.4%	87.2%	—	—	87.2%	—	—	91.8%	—	—
リサイクル率2 (%)	—	—	—	—	95.8%	—	—	95.6%	—	—	

* 1) ケース A: ASRの埋め立て, ケース C: RDF化・乾留ガス化, ケース D: シャフト式直接灰溶融, ケース E: ローターキルン式熱分解ガス化灰溶融
 * 2) プラント: 各ASRエネルギー回収プラント, その他: ELV分解, 破碎・選別処理, 輸送 (ASR, 残さ, 溶融物など), 管理型最終処分場
 * 3) —: データは不明だが, 相対的に微量と考えられる.
 * 4) CH₄は, トラック走行時 (輸送時) のみ算出.
 * 5) 各比率は, ケース Aを基準 (=100%) としている.
 * 6) 最終廃棄物1とリサイクル率1は溶融スラグおよび溶融メタルをリサイクルしない場合, 最終廃棄物2とリサイクル率2はリサイクルする場合.

表9 使用済み乗用車のライフサイクルインベントリ分析および影響評価の結果 (ケース E)

環境負荷および 影響評価の項目		ライフサイクル			製造段階			使用段階			廃棄段階		
		合計	海外	国内	合計	海外	国内	合計	海外	国内	合計	海外	国内
環境負荷	CO ₂ (ton)	29.0	1.4	27.6	5.6	0.7	4.9	23.3	0.7	22.6	0.1	0.0	0.1
	CH ₄ (kg)	4.6	NK	4.6	0.0	NK	0.0	4.5	NK	4.5	0.0	—	0.0
	HFC-134a (g)	568	—	568	0	—	—	150	—	150	418	—	418
	NOx as NO ₂ (kg)	40.5	14.3	26.2	9.1	6.3	2.8	31.0	8.0	23.0	0.5	0.0	0.5
	SOx as SO ₂ (kg)	21.8	16.4	5.4	7.8	5.7	2.1	14.0	10.7	3.3	0.0	0.0	0.0
	HCl (kg)	1.3	NK	1.3	0.0	NK	—	0.0	NK	—	1.3	NK	1.3
影響評価	エネルギー消費 (GJ)	434.8	21.6	413.1	78.7	9.9	68.8	353.7	11.7	342.0	2.4	0.0	2.3
	エネルギー消費の比率 (%)	100.0%	5.0%	95.0%	18.1%	2.3%	15.8%	81.4%	2.7%	78.7%	0.5%	0.0%	0.5%
	温暖化指数 (t-CO ₂)	29.9	1.4	28.5	5.6	0.7	4.9	23.6	0.7	22.9	0.7	0.0	0.7
	温暖化指数の比率 (%)	100.0%	4.8%	95.2%	18.7%	2.4%	16.3%	79.0%	2.4%	76.6%	2.3%	0.0%	2.3%
	酸性化指数 (kg-SO ₂)	51.3	26.4	24.9	14.2	10.1	4.1	35.7	16.3	19.4	1.4	0.0	1.4
	酸性化指数の比率 (%)	100.0%	51.5%	48.5%	27.6%	19.7%	7.9%	69.6%	31.8%	37.8%	2.8%	0.0%	2.8%

* 1) NK: Not Known, —: データは不明だが, 相対的に微量と考えられる. * 2) CH₄は, 国内の乗用車とトラックの走行時のみ算出した.

ケース Cでは, 約1/2に減量化された乾留残さを埋め立てるため, リサイクル率は87.2%と向上し, 2002年の数値目標85%を越える. 一方, ケース Aに比べ, エネルギー消費および酸性化指数が2~4倍増加する. 温暖化については, ELV解体時のフロン放出のため, 20%程度の増加にとどまる. また, ASR中の鉛などの有害物質はほとんど乾留残さに移動するため, 管理型最終処分場の有害物質の蓄積量はケース Aとほぼ同じと考えられる. さらなるリサイクル率の向上には, 乾留残さのリサイクルが課題である.

ケース Dでは, 溶融スラグや溶融メタルが最終処分場に埋め立てられるとすると, リサイクル率は87.2%である

(表中のリサイクル率1). 溶融スラグと溶融メタルがリサイクルされるならば95.8%と2015年の数値目標95%を越える. 一方, 他の影響指数の増加についてはケース Cとほぼ同じ傾向にある.

ケース Eでは, ASRおよび熱分解残さからの金属回収をおこなっており, 溶融スラグが最終処分場に埋め立てられるとしても, リサイクル率は91.8%に達する. 溶融スラグがリサイクルされる場合, リサイクル率は95.6%となる. ケース Dと同程度のリサイクル率ではあるが, ケース Eでは回収金属が鉄鋼, アルミ, 銅と分別されており, 品質は高いといえる. また, ケース Eではエネルギー回収率が高

く、エネルギー消費および温暖化指数はケースAとほとんど変わらない。一方、酸性化指数は約5倍と高い。HClは熱効率の低下の原因となるため、今後の改善が必要である。

4.2 ライフサイクルにおける廃棄段階の評価

ライフサイクルからみたケースEの結果を表9に示す。製造および使用段階の結果は前報²⁾から引用した。廃棄段階のエネルギー消費、温暖化指数、酸性化指数は、概ねライフサイクルの1～3%である。これらの影響指数をみるかぎり、ASRのエネルギー回収をおこなった廃棄段階の影響指数は、製造・使用段階に比べ小さい。しかし、これらの環境指数の増加とリサイクル率の向上（埋め立て地の延命）とのトレードオフの定量的評価は今後の課題である。また、鉛などの有害物質は安定化されるが、管理型最終処分場に蓄積されるため、使用量の減量化およびELV解体時の選別を徹底することが重要である。

5. おわりに

使用済み自動車（ELV）を対象に、自動車シュレッダーダスト（ASR）の三つのエネルギー回収プラントについてLCAをおこない、以下の結果を得た。

(1) ASRをエネルギー回収することにより、リサイクル率は90%前後となる。特に、溶融スラグや溶融メタルのリサイクルを含めると95%を越える。

(2) 一方、ライフサイクルにおけるエネルギー消費、温暖化指数、酸性化指数は1～3%程度である。これらの影響指数の増加とリサイクル率の向上（埋め立て地の延命）とのトレードオフの定量的な評価については、今後の課題である。

(3) ケースC（RDF化・乾留ガス化）では乾留残さのリサイクル、ケースD（シャフト式直接灰溶融）では投入エネルギーの削減、ケースE（ロータリーキルン式熱分解ガス化灰溶融）ではHCl対策が課題であることがわかった。

今後、上記以外のASRのエネルギー回収および部品リサイクルを調査し、ELVにおけるマテリアルリサイクル、エネルギー回収および埋め立ての最適システムの評価につ

なげたいと考えている。

謝辞 シャフト式直接灰溶融プラントについては浅川薫氏（日産自動車㈱）、ロータリーキルン式熱分解ガス化灰溶融プラントについては小篠秋治氏（㈱カネムラ）の情報を参考にさせて頂いた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 外川健一；自動車とリサイクル，(2001)，日刊自動車新聞社。
- 2) 船崎敦，種田克典，田原聖隆，稲葉敦；自動車シュレッダーダスト処理に関するライフサイクルアセスメント（第一報）－埋め立て処理－，エネルギー・資源，24-6（2003），62-67。
- 3) 使用済み自動車シュレッダーダスト減容・固化・乾留ガス化技術の研究開発CD-ROM版，(1999)，日本自動車工業会。
- 4) 浅川薫；シュレッダーダストのエネルギーリカバリー技術，自動車研究，21-12（1999），687-691。
- 5) 村上信夫，シンプソン・ジェイ；シュレッダーダスト熱分解ガス化溶融発電システム，自動車研究，20-12（1998），586-587。
- 6) 三菱重工業㈱・横浜研究所編；特集 フレッシュマンのための廃棄物処理技術，(1999)，化学装置。
- 7) 志垣政信；改訂3版絵とき廃棄物の焼却技術，(2000)，19，25，オーム社。
- 8) 中野加都子；プラスチック・リサイクルとLCAを適用した環境負荷評価，環境管理，35-3（1999），7-14。
- 9) TEAM Ver. 3 ユーザーマニュアル，エコピラン社。
- 10) 山崎正和；新版 熱計算入門Ⅲ－燃焼計算－，(1989)，省エネルギーセンター。
- 11) 進藤照浩，福本健，浅川薫；シュレッダーダスト直接溶融処理技術の開発，日本機化学会第9回環境工学総合シンポジウム'99講演論文集，No. 99-12（1999），234-237。
- 12) 浜井満彦，近藤元博，山口正隆，森滋勝；シュレッダーダストのガス化燃焼特性に関する研究，自動車技術会学術講演会前刷集，No. 75-00，20005214（2000），17-20。
- 13) 吉田朋広，松平恒夫，中村直，須藤雅弘，山川裕一，鈴木康夫；高温ガス化直接溶融炉によるカーシュレッダーダストの処理，日本機化学会第8回環境工学総合シンポジウム'98講演論文集，No. 98-6（1998），148-151。
- 14) 金村勇，小篠秋治，田辺満之，村上信夫，鮎川大裕，田口彰，川井美久；シュレッダーダスト熱分解ガス化溶融発電プラント運転報告，PLASPIA，105（1999），11-15。
- 15) ㈱カネムラのSD燃料熱分解ガス化溶融発電システムの物質フロー図，<http://www.kk-kanemura.co.jp/>