

展望

自動車用材料のリサイクル

川上正博

豊橋技術科学大学
生産システム工学系 教授

Masahiro Kawakami

Recycling of Materials for Automobiles

1 はじめに

地球上の限られた資源の有効利用、省エネルギーおよび環境保全の観点から資源のリサイクルの重要性が強調されてきている。リサイクルの中で一番効率が良いのは製品リサイクルで、ついで部品リサイクル、材料資源化(マテリアル)リサイクル、最後にサーマルリサイクルとなる。自動車の場合、製品リサイクルとは中古車のことで、何代にもわたって乗り継がれる場合がある。バブル崩壊後車齢は伸び、96年には9年を超えるに至っている。このような事情を反映して、大手自動車メーカーが中古車市場に参入してきている。一般に自動車リサイクルというと、廃車登録された後のことを指す。廃車後の自動車を通産省の用語では「使用済み自動車」という。実際の使用済み自動車のリサイクルに当たっては製造者側の技術的課題の他に、回収をはじめとするリサイクルのための社会システムにも大きな課題がある。豊橋地区においてもこの問題に対する関心は高く、平成9年度通産省委託事業を(株)サイエンス・クリエイトが受け、東三河地区を中心に、自動車部品のモデルリサイクルシステムの調査研究が行われた¹⁾。本稿では、そのような社会的動向、実際のリサイクルの流れ、製造段階における対策等を概観し、今後の動向を展望する。

2 社会的動向

2.1 自動車工業界の動き

通産省は、リサイクル率の向上、有害物質の低減、既存処理の効率化、関係者間の役割の明確化等を目的に、平成9年に「使用済み自動車リサイクル・イニシアティブ」を策定した。イニシアティブとは廃掃法、リサイクル法、環

境保全法など関連法案やガイドラインから自動車リサイクルに関連する部分を抜き出し、体系的に組み合わせた包括的政策パッケージのことである。これを受けて(社)自動車工業会は、今後取り組むべき方策を「自主行動計画」として策定し、以下のような数値目標を掲げた。

- 1) 自動車メーカーとして達成が求められる数値目標
(リサイクル率の数値目標)

新型車リサイクル可能率：2002年以降に販売が開始される新型車
リサイクル可能率90%以上

(有害物質質量の数値目標)

新型車の鉛使用率：2000年末までに1996年の約1/2以下
2005年末までに1996年の約1/3以下

- 2) リサイクル関係業界全体として達成が求められる数値目標

(リサイクル率等の数値目標)

使用済み自動車：2002年以降85%以上

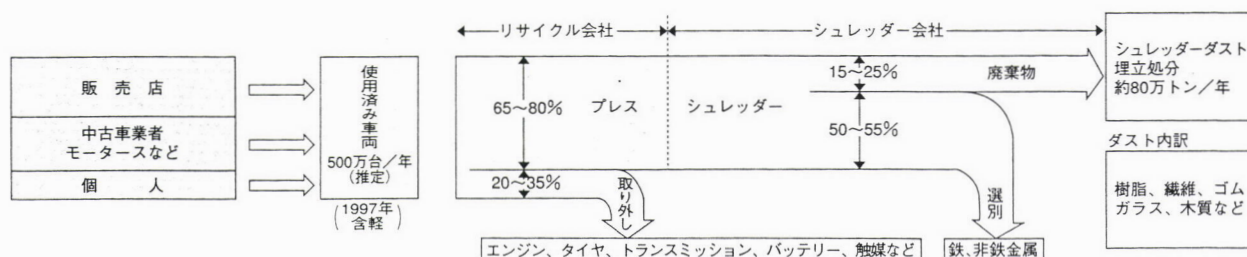
リサイクル可能率：2015年以降95%以上

埋め立て処分量*：2002年以降1996年の3/5以下
2015年以降1996年の1/5以下

1)は新しく自動車を設計する場合に材料の選択等における目標である。鉛の使用量は、1996年の時点で1,500～2000ccクラスで、1,850g(バッテリーを除く)となっている。これは主にはんだをはじめとする金属部品の接着材に含まれるものである。これを接着方法の変更や無鉛はんだの使用により減量しようとするものである。

2)は現在使用されているものが使用済みとなり処理される場合の解体以降の工程の改善に関する目標である。その大部分は、後に説明するように、シュレッダーダストの処理に関するものである。

* 埋め立て量は1996年と同等の処理形態が続いた場合に、当該年に発生すると計算されるシュレッダーダストの総容積を1とする。

図1 使用済み自動車のマテリアルフロー²⁾

2.2 リサイクル業界の諸問題

1) 解体業の零細体質

自動車解体業者の多くは零細企業であり、個人の私有地に使用済み自動車を野積みしておき、鉄スクラップの価格動向を見ながら、解体を進めているのが現状である。このような業者にあっては、解体時に必要なフロンガス等環境汚染物質の回収は行われ難い傾向にある。

2) 鉄スクラップ価格の低迷

最近のように鉄スクラップの価格が1万円/トンを超えるような状況では処理自体が採算割れになっている。(採算ラインは販売価格が1万5千円/トン)解体後の廃車ガラの受け入れは逆有償になってきている。

3) シュレッダーダスト埋め立て処分場の逼迫

シュレッダーダスト中には鉛やクロムのような有害元素を含むことがわかり、従来の安定型から、1996年4月より管理型埋め立てが義務づけられた。これによりダスト処理費用が高騰し、ひいては解体業の採算性を阻害している。

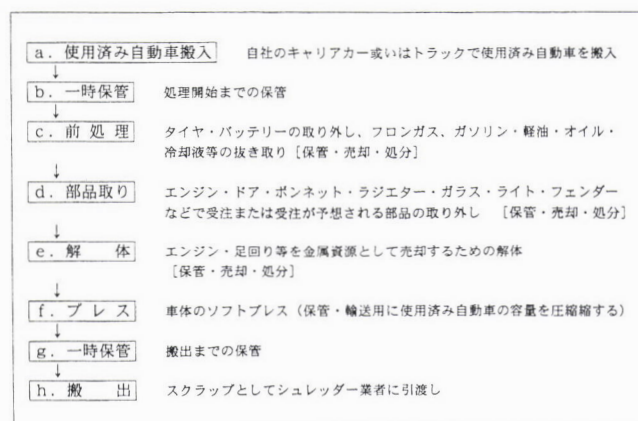
2.3 使用済み自動車解体センター

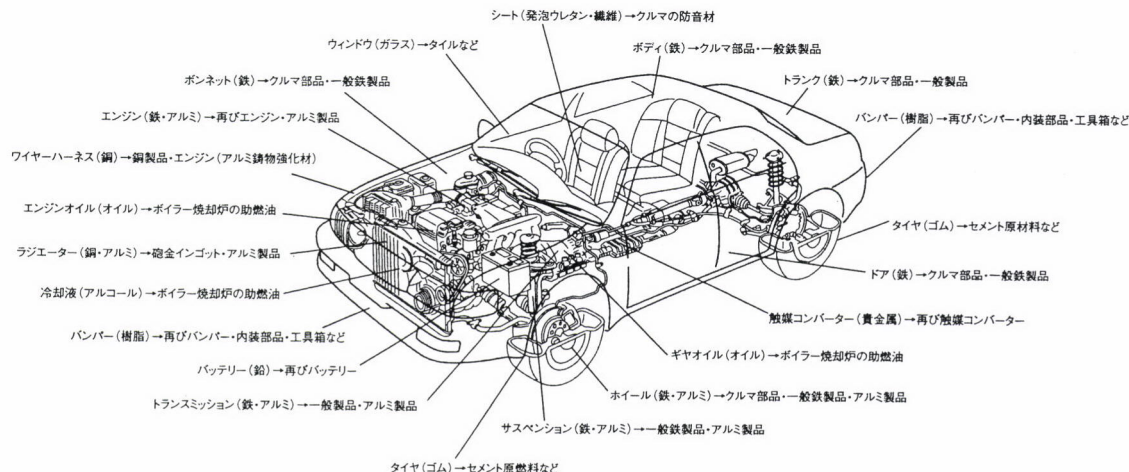
上記イニシアティブに対応し、零細体質を克服する動きとして、各地に使用済み自動車解体センターが建設されている。センターは①主に金属原料の回収を目的とする商社系の解体センター、②自動車ディーラーが自ら販売した自動車の適正処理・資源リサイクルを目的として共同設立した解体センター、③自治体为主导し廃棄物としての使用済み自動車を適正処理・資源リサイクルすることを目的とする解体センターの三つに分類される。①に分類されるものには三井物産系のものがあり、堺、姫路に工場を持っている。②に分類されるものには群馬県の「カースチール」、埼玉県「茨自販リサイクルセンター」、長野県「長野県中古自動車リサイクルセンター」等がある。③に分類されるものには北九州市のものがあり、エコタウン事業の一環として行われている。いずれも処理目標は1,000~2,000台/月であるが、実際の処理量はその半分程度の所が多く、赤字経営になっているところが多い。

3 自動車リサイクルの概要

日本の自動車保有台数は平成8年末現在で7,200万台を超え、その約7%にあたる約500万台が毎年使用済み自動車となっている。このうち、約70%の350万台が国内処理され、残りは海外へ輸出されるものと推定される。国内処理のうち部品リサイクルされるものは20万台程度で、残りの大部分は金属およびプラスチックの資源化リサイクルのために解体・スクラップ処理される。現状のマテリアルフローは図1に示す通りである²⁾。取り外した部品、選別回収された鉄・非鉄金属類の合計が75%であり、これが上記のリサイクル率である。したがって、将来のリサイクル率の向上は廃棄されるシュレッダーダストの部分を如何に減らすかということが主要な問題である。

使用済み自動車の解体工程を図2に示す¹⁾。前処理として、タイヤ・バッテリーの取り外し、フロンガス、ガソリン・軽油、オイル、冷却液等の抜き取りが行われ、適宜、保管・売却・処分される。部品取りでは、図3に示すような部品が解体採取される²⁾。部品取りされた残りの廃車ガラは保管・輸送用の減容のためにソフトプレスされ、シュレッダー業者に引き渡される。シュレッダー業者は破碎して有価金属を分別回収し、残りのシュレッダーダストは埋め立て処分する。

図2 使用済み自動車の解体工程¹⁾

図3 使用済み自動車からリサイクルされる部品²⁾

4 自動車部品リサイクル

金属原料市況が低迷している現在では、この工程の重要性がクローズアップされてきた。ここでは、商品価値のある部品を瞬時に見分け、手際よく部品取りすることが要求され、高度な商品知識と熟練を要する作業となる。取り外された部品は、洗浄・検査・選別を経て商品(中古部品)として保管される。この中古部品は多種多様であり、中古部品専門業者の需要に応じて販売されるため、保管用スペースと在庫管理機能が必要となっている。また、一部処理の必要なものは再生処理を経て商品(再生部品)として、保管・販売される。中古および再生部品の例を図4に示す³⁾。

現在、国内のリサイクル部品市場は約500～600億円程度と推定される。国内の解体業者は約3,500社あり、そのうち90%は部品取りをし、何らかの形で流通を行っている。しかし、その中で国内向けに特化しているのは約10%の業者である。平成7年には、リサイクル部品流通業者350社により日本自動車リサイクル部品販売団体協議会が結成されている。リサイクル部品販売の全国ネットワークが二つある。

Aグループの事例を見ると、全国自動車中古部品商の組織化により、全国の顧客に少しでも多くの中古部品を供給することを目的に、昭和52年にスタートした。平成3年3月には情報ネットワークが整備され、現在約110社が会員登録をしている。会員に対する活動としては、品質基準の統一化、各社のオンライン在庫登録の調査・指導、ネットワークの使用指導、新会員の勧誘、各種研修会の開催、各社の販売や生産性向上への指導などを行っている。コンピュータ管理している部品在庫点数は約50万点、オンライン上の商品登録点数は一日平均4,000点、販売は一日平均3,500点となっている。

図4 中古および再生部品例(NGPグループ提供)³⁾

Bグループも同様なネットワークであるが、昭和54年に結成された。平成2年には日本初の国際自動車中古部品展覧会を開催する等の活動を行っている。会員数は約80社で、新たなコンピュータ・ネットワークの開発が進められている。

5 シュレッダー処理の概要

ソフトプレスされたボディーガラはシュレッダーマシンで破碎される。これにより、拳大の鉄屑、配線屑、部品屑、ガラス屑、ダストが発生する。それらを強磁場、比重差、強電場等を利用して選別する。金属は鉄が大部分であるが、

銅、アルミ等も含まれており、種類別に分別回収され、各金属素材メーカーへ販売される。鉄屑の中に銅が微量でも含まれると、それを原料とする銅の性質を阻害するため、銅の分離回収は重要である。ダストは、以前はそのまま埋め立てられたが、重金属類の溶出の可能性が指摘され、現在は管理型埋め立て処分場に投棄されている。このための費用が嵩み、リサイクル事業の収益性を阻害しているといっても過言ではない。豊橋地区内には明海リサイクルセンターがあり、月間5000～6000トンのスクラップを処理している。鉄屑は、同じく豊橋地区内の電気炉メーカーであるトピー工業に送られ製鋼原料として使われている。

6 シュレッダーダストの処理

シュレッダーダストの組成の一例を図5に示す⁴⁾。体積的には樹脂と繊維・木材・紙で80%以上を占めているが、ガラスや選別しきれなかった金属も残っている。これらをさらに粉碎・分別し、残りをRDF(Refused Drived Fuel)化し、ガス化溶融炉等を用いてマテリアルリサイクルするプラントが自動車メーカーによっても建設されているが、ここでは、(社)自動車工業会によって進められているシュレッダーダストの減容固化技術、さらには乾留ガス化技術

の開発を紹介する。減容・固化実証実験装置のシステムフローを図6に示す⁵⁾。フィーダに投入されたダストは傾斜ローラ型セパレータ、風力選別機、磁選機、渦電流選別機により選別され、鉄ヤード、非鉄ヤード、ガラス・土砂ヤード、固化用ダストヤードに集積される。各ヤードへの分別率は図7に示す通りである⁶⁾。すなわち、89.4%が固化用ダストで、ガラス・土砂が6.4%、非鉄が0.3%、鉄の総計が3.9%となっている。ヤードに集積された金属片は、各々金属素材メーカーへ販売される。一方、鉄、アルミ、銅の各ヤードへの分別率は図8の通りである⁶⁾。鉄は約90%が鉄ヤードに、アルミは35%が非鉄ヤードに分別されているが、銅は99%以上固化用ダストに混入していた。これらを更に分別回収し、分別されたプラスチック類は、二軸スクリー式の加圧装置により圧力と熱を加えて、減容固化する。この段階で投棄しても、従来に比べ処分場の負荷はかなり軽減される。

更に、減容固化されたものの乾留ガス化のパイロットプラントが1998年の6月に完成した。その実証実験装置のフローを図9に、主な仕様を表1に示す^{5,7)}。この装置の処理能力は、乾留炉一基当たり250kg/h、トータル1t/hである。前工程で作成された固化物は、厚さ20mm、幅150mm、長さ200～300mmの形状で、比重は約1.2g/cm³程度である。

重量%	樹脂 34%	繊維・木・紙 26%	ガラス・セラミック・金属 22%	ゴム・その他 18%
体積%	樹脂 52%	繊維・木・紙 30%	ガラス・セラミック・金属 14%	ゴム その他 4%

図5 シュレッダーダストの組成例⁴⁾

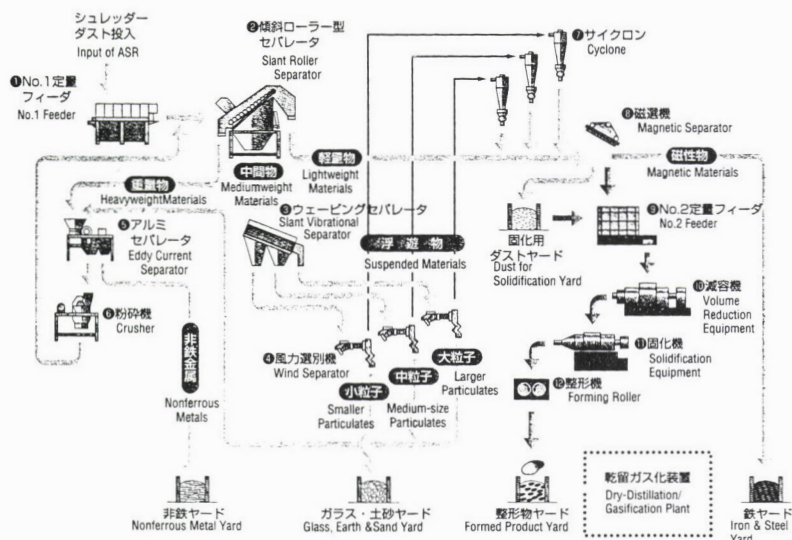
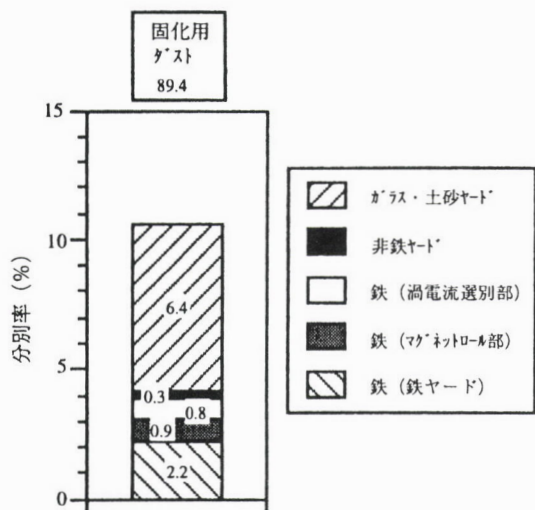
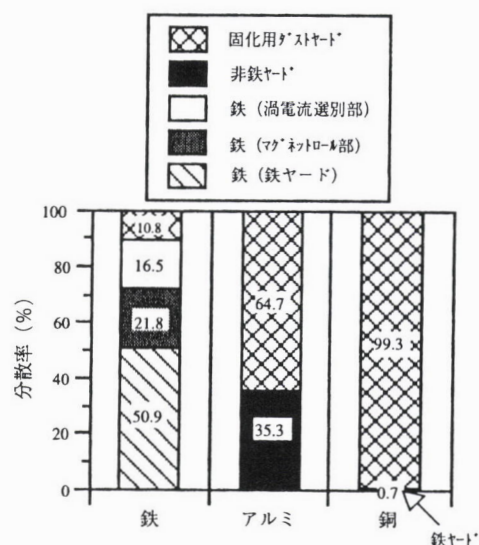
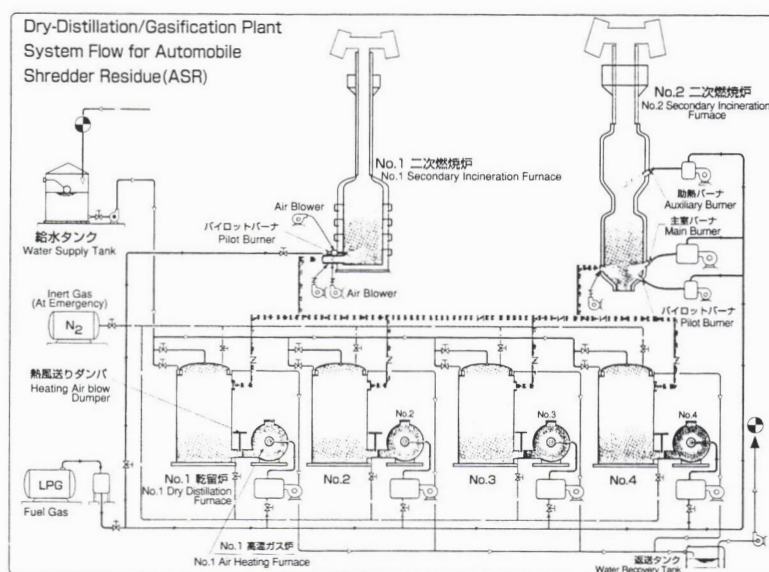


図6 減容・固化実証実験装置のシステムフロー⁵⁾

図7 シュレッダーダストの各ヤードへの分別率⁶⁾図8 鉄、アルミ、銅の各ヤードへの分散率⁶⁾図9 乾留ガス化実験装置のシステムフロー⁵⁾

これを乾留炉内に3段積みし、高温ガス炉から吹き込まれる無酸素状態の高温(1,500~1,600℃レベル)ガスにより加熱される。このプロセスの物質収支を図10に示す⁷⁾。乾留ガスはメタンを主成分とし、H₂およびCOを数%含んでいる。本システムは実験装置であるため、これを二次燃焼炉で高温(1,200~1,300℃)で完全燃焼することにより無害化処理される。なお、実用炉では、自装置の熱源や電力熱エネルギー源として、有効利用されることになる。すなわち、サーマルリサイクルされる。乾留残渣中の銅、アルミ等の金属類は酸化されず、有価金属として回収できる。さらに残った炭素分には活性炭のような作用があり、汚水浄化等への応用が期待できる。ダイオキシン発生源の塩素は微量に混

入するガラス中のナトリウムと反応してNaClの形で固定される。

7 自動車メーカーによるリサイクル設計

従来、樹脂類はシュレッダーダストとなり、処理されてきたが、これをリサイクルするための努力が始まっている。構造上の工夫として、インストルメントパネルやバンパーのビス止め箇所を減らして、取り外しやすくする工夫、部品の材質を識別しやすくする工夫、材料を分離しやすくする工夫、部品の単一素材化等がはかられている。たとえば、

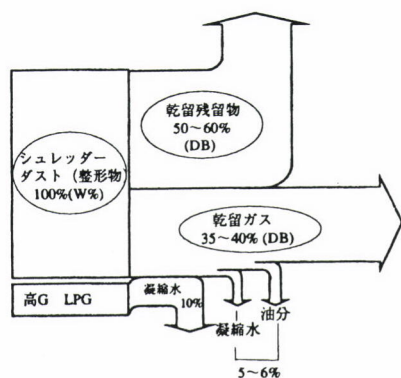


図10 プロセスの物質収支(概略値)⁷⁾

表1 乾留ガス化実証実験装置の主な仕様⁷⁾

☆形式 : 外熱による固定床式/機械式バッチ炉 ☆処理能力 : 1トン/日級 ☆プラント全体面積 : 1,220m ² (51m×21m) (道路, LPGボンベ置場除く)		
	主な仕様	備考
高温ガス炉	☆大きさ: 内径0.9m×長さ1.7m (外径1.4m×長さ2.4m) ☆燃焼ガス: LPG ☆燃焼熱量(Max): 250,000kcal/hr	☆LPG燃焼熱量に対し炉体からの熱損失は十分小さい構造になっている。
乾留炉	☆大きさ: 内径2.3m×高さ3.2m (外径2.9m×高さ3.8m) ☆炉本体材質: SUS310S (内筒) ☆ダスト供給量: 1.5ton/基 ☆ダストケージ: φ2.1m×高0.5m×3段積	☆炉本体は外部からの空気流入を遮断する構造になっている。 ☆ダストケージを3段積みにして、乾留効率の向上を図った。
二次燃焼炉	【No.1号炉】 ☆大きさ: 外径2.4m×高4.2m 煙突含め全高13.0m ☆燃焼形態: 旋回流燃焼	☆1200~1300℃レベルの温度で熱分解ガスと未燃カーボンを完全燃焼し、無害化処理する。 ☆内部の燃焼状況が外部から確認できる。
	【No.2号炉】 ☆大きさ: 主室外径2.3m×助燃室外径2.5m×高13m 煙突含め全高18.5m ☆燃焼形態: 二段燃焼	
給水タンク	☆容量: 5m ³	
返送タンク	☆容量: 2m ³	
冷却タンク	☆容量: 14m ³	
N ₂ ガスボンベ	☆容量: 7m ³ ×10本	

部品の単一素材化では、インストルメントパネルのオールオレフィン化、トランクトリムのオールPP(ポリプロピレン)化、フロアーカーペットのオールPET(ポリエチレンテレフタレート)化等である。

バンパーのリサイクルはかなり進んでいる。従来、回収バンパーは粉碎再生され、エンジンアンダーカバー、フットレスト、バッテリーカバー等他部品に再利用されていた。バンパーは熱可塑性樹脂のポリプロピレン(PP)の上に熱硬化性のメラミン架橋型塗膜が被覆されているため、そのまま再生しようとすると、塗膜粒子が内部に分散して衝撃強度や脆化温度特性が低下する。そこで、図11に示すような反応押し出し機が考案された²⁾。この中にバンパーを粉碎したものを入れると、PPは加熱溶融しスクリュエにより混練される。混入した塗膜粒子は分解剤として水を注入す

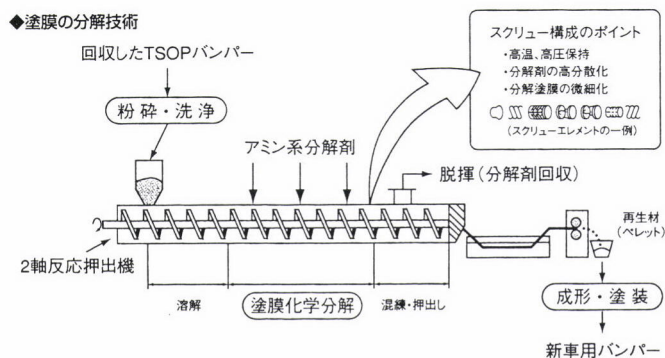


図11 ポリマーリサイクルのための反応押し出し機²⁾

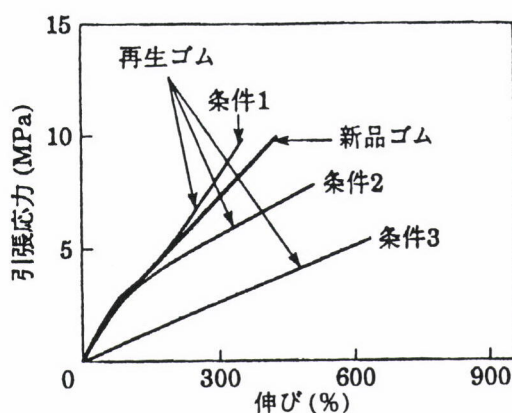


図12 再生ゴムの引張り特性⁸⁾

ることにより加水分解して細くなり、無害化される。これによりバンパーをバンパーとして再生することが可能になった。同様に図11に示す反応押し出し機を用いてせん断流動場を設定することにより、加硫ゴムの再生を行い、図12に示すように新品と同等の引張り特性を持つ再生ゴムを得ている⁸⁾。さらには、熱硬化性ウレタンの熱可塑性樹脂への変換も試みられている。また、自動車の設計段階で、使用する樹脂の種類をリサイクル可能なものに統一する等の努力も始まっている。

8 今後の動向

自動車メーカーの動向は、すでに記したように、「使用済み自動車リサイクル・イニシアティブ」に対応する「自主行動計画」の数値目標を達成する方向の努力が続けられる。一方、社会的には、スクラップの市場価格が低迷し、その取り扱いが逆有償化されると、廃掃法の規制対象となり、処理業者は登録が必要となる。そうすると従来の零細処理業者は成り立たなくなる。一方、地方自治体はエコタウン事業として、使用済み自動車の処理センターを持つ動きが増えている。現在、君津、鳥取でそのような動きがあり、

豊橋においても、国際自動車コンプレックスのなかで、輸入車に特化したリサイクルセンターの設置を検討中である。このような状況の中で、中古および再生部品の流通の増大が見込まれ、近々リサイクル部品市場は約2倍の1,000億円程度になることが見込まれている。

参考資料

- 1) 平成9年度通商産業省委託事業モデルリサイクルシステム調査研究報告書, (株)サイエンス・クリエイト, (1998)
- 2) 自動車と環境―人と地球にやさしい車づくり―, 第5

版, トヨタ自動車(株), (1998)

- 3) リサイクルパーツで地球の未来を創造する, NGPグループ, (1998)
- 4) 自動車リサイクルの取り組み, 自主行動計画, 日産自動車(株), (1998)
- 5) シュレッターダスト減容・固化・乾留ガス化技術の研究開発, (社)日本自動車工業会, (1998)
- 6) 日下清隆:自動車研究, 20 (1998), 591.
- 7) 堀井光雄, 菊島常弘:自動車研究, 20 (1998), 603.
- 8) 佐藤紀夫:高分子, 45 (1995), 474.

(1999年2月1日受付)