

# ASRの細粒部に含まれる構成物の調査

古山 隆

東北公益文科大学総合研究論集第45号 抜刷

2023年7月31日発行

# ASRの細粒部に含まれる構成物の調査

古山 隆

## 1. はじめに

自動車産業は資材調達・製造・物流をはじめ販売・整備など各分野にわたる広範な関連産業を持つ総合産業であり、また、戦後から現在に至るまで日本における経済成長の牽引車の役割を果たしている産業である。日本自動車工業会の統計によると、2018年の自動車製造業の製造品出荷額等は62兆3,040億円で、全製造業の製造品出荷額等に占める自動車製造業の割合は18.8%、機械工業全体に占める割合は40.7%であった。2018年度の自動車製造の設備投資額は1兆5,349億円、2018年度の研究開発費は2兆9,317億円となり、ともに主要製造業において2割を超える割合を占めている<sup>1)</sup>。また、自動車産業の発展に伴って国内の自動車保有台数も年々増加しており、2012年から2021年までの国内の自動車保有台数は7,600万台から7,850万台を推移し<sup>2)</sup>、四輪車販売台数は444万台から556万台を推移している<sup>3)</sup>。一方、廃車台数は「前年の保有台数+当年の新車台数 - 当年の保有台数」で算出することが可能であり、1998年以降は毎年500万台前後を推移している状況にある。

廃車には有価物である鉄、銅、アルミニウムなど金属が含まれていることから、通常は破碎して物理的な選別により有価物を回収する処理が行われる。有価物を回収した後に残る残渣は廃自動車シュレッダーダスト（Automobile Shredder Residue：ASR）と呼ばれており、1990年代にはその大量不法投棄が社会問題となったが、2005年以降は自動車リサイクル法が施行され、自動車メーカーはASRを適正処理することが義務付けられている。

日本におけるASRリサイクルの研究は1990年後半から2000年頃にかけて行なわれ、主に乾留ガス化<sup>4)</sup>や溶融<sup>5)</sup>を行なう技術が開発された。これらの技術開発により、現在のASRリサイクルでは専ら溶融炉やセメント焼成炉を利用したサーマルリサイクルが適用されている。しかしながら、ASR中に残留している銅やアルミニウム等の非鉄金属は高温処理によりスラグ化してしまっ

おり、結果的に、多大なエネルギーを利用して価値のある非鉄金属をスラグという価値の低い産物にしている状況にある。また、ASR中のガラスについても、それ自体は無害であるにもかかわらず高温で処理されてスラグ化されている。不燃物を高エネルギーで処理してスラグにすることは非効率であるので、ガラスについても事前に選別回収されることが望まれている。ガラスの比重は2.6程度であり、プラスチックやゴムよりも重いことから比重差を利用した比重選別で理論上は分離が可能である。

本調査では、ASRを効率よく選別して有価物を回収するための第一歩として、ASRの細粒部がどのような状態であるかを調べた。具体的には、ASRに対して空気選別を行った際の沈下物の中で15mm以下の産物に着目し、10-15mm、6-10mm、3-6mm、1.5-3mmの4産物に含まれる、金属、銅線・被覆線、ガラス、プラスチック、石、その他についてそれらの構成割合を調べた。また、1.5-3mmの産物についてはポケットエアテーブル選別機を用いてガラスの濃縮の可能性について検討を行った。

## 2. 実験試料

本調査では、兵庫県姫路市にあるA社のシュレッダープラントで発生しているASRを試料として用いた。A社はシュレッダーマシンによって解体済自動車を破碎し、素材ごとの分別を徹底的に行っており、その実績は30年以上に及んでいる。現在に至っても、長年培った知識・経験を活かし、今まで回収困難とされていた資源の回収にも取り組んでいる。分別された金属などは、A社の取引先の製鋼所や非鉄精錬所においても一度素材として再生されている。さらに、ASR再資源化施設の環境・経済産業大臣認定を取得し、ASR中に含まれる金属類の徹底回収に加えて、ASRからセメントメーカー向けの原燃料となる材料や鉄鋼メーカー向けの固形化燃料を製造し、ASRの再資源化を図っている。

図1にA社のASRの細粒部の資源化フローを示す。ASRの沈下物の15mm以下の産物はエアテーブル選別機と渦電流選別機により、金銀銅率、ヘビーメタル、10-15mm、集塵回収物、0-10mmの産物に分けられている。なお、0-10mm産物は一旦6-10mm、3-6mm、1.5-3mm、1.5mm以下に分けられ、金属を回収した後に、

残差を統合している（0-10mm産物）。10-15mm、6-10mm、3-6mm、1.5-3mmの産物のサンプリング状況を写真1－1から写真1－4に示す。

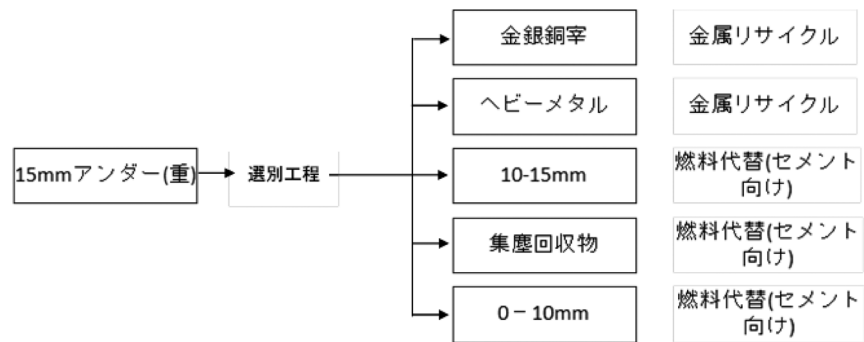


図1 A社のASRの細粒部の資源化フロー  
(出典：A社から提供していただいた資料をもとに作成)



写真1－1 10-15mmのサンプリング



写真1－2 6-10mmのサンプリング



写真1-3 3-6mmのサンプリング



写真1-4 1.5-3mmのサンプリング

### 3. ASRの細粒部の調査

#### 3. 1 10-15mmの構成物

10-15mm産物の金属、銅線・被覆線、ガラス、石、その他の構成物を写真2-1から写真2-5に示す。プラスチックについては水を用いて浮沈試験を行い、浮上物と沈下物に分けた。それぞれに対して黒色プラスチック、白色プラスチック、その他色プラスチック、透明の4種類の構成物を写真2-6から写真2-12に示す。また、表1-1に10-15mmの構成物の構成割合、表1-2に10-15mmの構成物の浮沈試験結果を示す。

手選の結果、金属9.9%、銅線・被覆線4.3%、プラスチック82.3%、ガラス0.7%、石0.7%、その他2.1%で、プラスチックが最も多く含まれていた。浮沈試験の結果、浮上物の黒色プラスチックは59.5%、白色プラスチックは40.2%、その他色プラスチックは0.4%含まれており、透明プラスチックは含まれていなかった。また、沈下物の黒色プラスチックは49.4%、白色プラスチックは34.8%、その他色プラスチックは3.3%、透明プラスチックは12.5%含まれていた。



写真 2-1 10-15mmの金属



写真 2-2 10-15mmの銅線・被覆線



写真 2-3 10-15mmのガラス



写真 2-4 10-15mmの石



写真 2-5 10-15mmのその他



写真 2-6 浮いた黒色プラスチック



写真 2-7 浮いた白色プラスチック



写真 2-8 浮いたその他色プラスチック



写真 2-9 沈んだ黒色プラスチック



写真 2-10 沈んだ白色プラスチック



写真 2-11 沈んだその他色プラスチック



写真 2-12 沈んだ透明プラスチック



表 1 - 1 10-15mmの構成物の構成割合

構成物	重量(g)	重量(%)
金属	140.0	9.9%
銅線・被覆線	60.0	4.3%
プラスチック	1160.0	82.3%
ガラス	10.0	0.7%
石	10.0	0.7%
その他	30.0	2.1%
合計	1410.0	100.0%

(出典：著者作成)

表 1 - 2 10-15mmの構成物の浮沈試験結果

構成物	浮上物		沈下物	
	重量(g)	重量(%)	重量(g)	重量(%)
黒	126.1	59.5%	302.0	49.4%
白	85.1	40.2%	212.8	34.8%
その他色	0.8	0.4%	20.3	3.3%
透明	0.0	0.0%	76.7	12.5%
合計	211.9	100.0%	611.8	100.0%

(出典：著者作成)

### 3. 2 6-10mmの構成物

6-10mm産物の金属、銅線・被覆線、ガラス、石、その他の構成物を写真3-1から写真3-5に示す。プラスチックについては水を用いて浮沈試験を行い、浮上物と沈下物に分けた。それぞれに対して黒色プラスチック、白色プラスチック、その他色プラスチック、透明プラスチックの4種類の構成物を写真3-6から写真3-13に示す。また、表2-1に6-10mmの構成物の構成割合、表2-2に6-10mmの構成物の浮沈試験結果を示す。

手選の結果、金属5.0%、銅線・被覆線3.0%、プラスチック77.7%、ガラス6.2%、石1.8%、その他6.2%で、プラスチックが最も多く含まれていた。浮沈試験の結果、浮上物の黒色プラスチックは58.3%、白色プラスチックは40.9%、その他色プラスチックは0.4%、透明プラスチックは0.5%含まれていた。また、沈下物の黒色プラスチックは49.3%、白色プラスチックは32.0%、その他色プラスチックは3.9%、透明プラスチックは14.7%含まれていた。



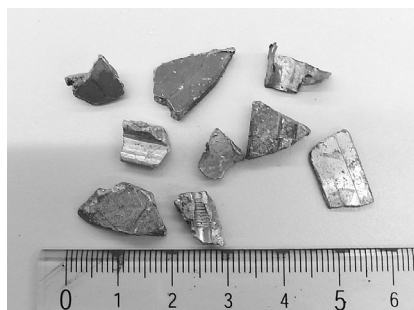


写真3-1 6-10mmの金属



写真3-2 6-10mmの銅線・被覆線



写真3-3 6-10mmのガラス



写真3-4 6-10mmの石



写真3-5 6-10mmのその他



写真3-6 浮いた黒色プラスチック



写真3-7 浮いた白色プラスチック



写真3-8 浮いたその他色プラスチック

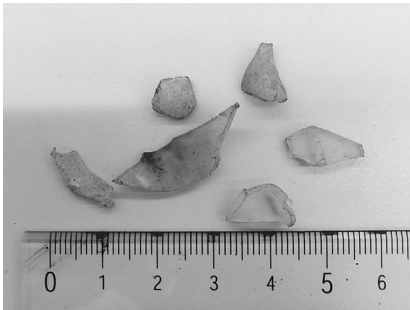


写真3-9 浮いた透明プラスチック



写真3-10 沈んだ黒色プラスチック



写真3-11 沈んだ白色プラスチック



写真3-12 沈んだその他色プラスチック



写真3－13 沈んだ透明プラスチック

表2－1 6-10mmの構成物の構成割合

構成物	重量(g)	重量(%)
金属	85.0	5.0%
銅線・被覆線	50.0	3.0%
プラスチック	1310.0	77.7%
ガラス	105.0	6.2%
石	30.0	1.8%
その他	105.0	6.2%
合計	1685.0	100.0%

(出典：著者作成)

表2－2 6-10mmの構成物の浮沈試験結果

構成物	浮上物		沈下物	
	重量(g)	重量(%)	重量(g)	重量(%)
黒	73.5	58.3%	131.3	49.3%
白	51.5	40.9%	85.2	32.0%
その他色	0.5	0.4%	10.5	3.9%
透明	0.6	0.5%	39.1	14.7%
合計	126.1	100.0%	266.0	100.0%

(出典：著者作成)

### 3. 3 3-6mmの構成物

3-6mm産物の金属、銅線・被覆線、ガラス、石、その他の構成物を写真4－1から写真4－5に示す。プラスチックについては水を用いて浮沈試験を行い、

浮上物と沈下物に分けた。それぞれに対して黒色プラスチック、白色プラスチック、その他色プラスチック、透明プラスチックの4種類の構成物を写真4-6から写真4-13に示す。また、表3-1に3-6mmの構成物の構成割合、表3-2に3-6mmの構成物の浮沈試験結果を示す。

手選の結果、金属4.2%、銅線・被覆線2.6%、プラスチック48.4%、ガラス43.5%、石1.2%、その他0.2%で、プラスチックが最も多く含まれていた。浮沈試験の結果、浮上物の黒色プラスチックは57.4%、白色プラスチックは40.0%、その他色プラスチックは1.5%、透明プラスチックは1.1%含まれていた。また、沈下物の黒色プラスチックは61.0%、白色プラスチックは25.5%、その他色プラスチックは1.9%、透明プラスチックは11.7%含まれていた。



写真4-1 3-6mmの金属



写真4-2 3-6mmの銅線・被覆線



写真4-3 3-6mmのガラス



写真4-4 3-6mmの石



写真4-5 3-6mmのその他



写真4-6 浮いた黒色プラスチック



写真4-7 浮いた白色プラスチック



写真4-8 浮いたその他色プラスチック



写真4-9 浮いた透明プラスチック



写真4-10 沈んだ黒色プラスチック



写真4-11 沈んだ白色プラスチック



写真4-12 沈んだその他色プラスチック



写真4-13 沈んだ透明プラスチックs

表3-1 3-6mmの構成物の構成割合

構成物	重量(g)	重量(%)
金属	90.0	4.2%
銅線・被覆線	55.0	2.6%
プラスチック	1040.0	48.4%
ガラス	935.0	43.5%
石	25.0	1.2%
その他	5.0	0.2%
合計	2150.0	100.0%

(出典：著者作成)



表 3 - 2 3-6mmの構成物の浮沈試験結果

構成物	浮上物		沈下物	
	重量(g)	重量(%)	重量(g)	重量(%)
黒	28.3	57.4%	102.6	61.0%
白	19.7	40.0%	42.8	25.5%
その他色	0.7	1.5%	3.2	1.9%
透明	0.6	1.1%	19.7	11.7%
合計	49.3	100.0%	168.2	100.0%

(出典：著者作成)

### 3. 4 1.5-3mmの構成物

1.5-3mm産物の金属、銅線・被覆線、ガラス、石の写真5-1から写真5-4に示す。なお、1.5-3mmについては水を用いて浮沈試験を行い、浮上物と沈下物の判定のみを行った。それらを写真5-5および写真5-6に示す。また、表4に1.5-3mmの構成物の構成割合を示す。

手選の結果、金属0.9%、銅線・被覆線1.1%、プラスチック23.9%、ガラス72.9%、石0.7%、その他0.4%で、ガラスが最も多く含まれていた。



写真5-1 1.5-3mmの金属



写真5-2 1.5-3mmの銅線・被覆線





写真5-3 1.5-3mmのガラス



写真5-4 1.5-3mmの石



写真5-5 浮いたプラスチック



写真5-6 沈んだプラスチック

表4 1.5-3mmの構成物の構成割合

構成物	重量(g)	重量(%)
金属	25.0	0.9%
銅線・被覆線	30.0	1.1%
プラスチック	645.0	23.9%
ガラス	1965.0	72.9%
石	20.0	0.7%
その他	10.0	0.4%
合計	2695.0	100.0%

(出典：著者作成)

## 4. ポケットエアテーブルによるASRの細粒部からのガラスの濃縮の検討

### 4. 1 エアテーブルの原理と実験装置

エアテーブル選別機は主に比重と摩擦抵抗を利用して選別が行われる。まず、デッキ上に投入された実験試料は、デッキ下から吹き上げる風によって、低比重物は浮き、高比重物はデッキと接触を保つ。この時デッキ上ではエンドスロープに沿う振動が起きている。これによりデッキと接触している高比重物にはデッキの振動により慣性力が働き、エンドスロープ上側へ移動する。上昇流によって浮いている低比重物は、エンドスロープの傾きが作られていることでエンドスロープ下側へと流れ落ちる。つまり重いものは上側へ、軽いものは下側へと移動する。また、デッキにはサイドスロープの傾きも設けられているので、デッキ上の試料は投入口から排出口へと向かうことになる。エアテーブル選別機は送風ファンの周波数、サイドスロープ角度、デッキの振動数を変化させることによって、様々な条件下で選別を行うことが可能である。図2にエアテーブル選別機の模式図を示す。

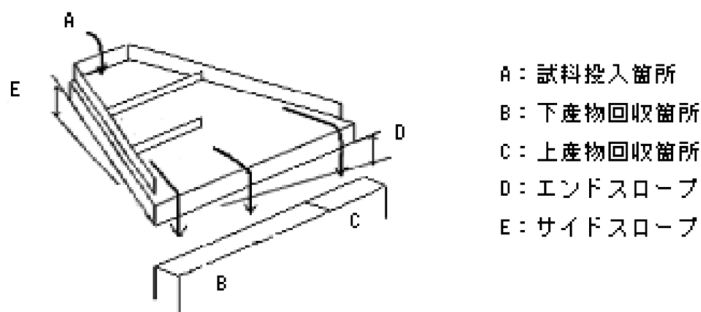


図2 エアテーブル選別機の模式図  
(出典：著者作成)

実験には日本エリーズマグネチックス(株)のポケットエアテーブルを使用した。本装置はデッキ面積がA4サイズ以下(0.0446㎡)のデスクトップ型試験機である。わずか200ccの試料と短時間の試験で最適分離効率となる仕切位置を決定でき、ベンチスケール試験機とほぼ同等の選別精度を発揮する新提案・精密選別試験仕様となっている。連続回収仕様により、従来通りの選別試験も可能

であり、独自の最新式国産特殊スクリーンの採用により、従来モデルよりも高い選別効率が期待できる。

4. 3 実験試料の前処理

試料は1.5-3mmの産物から高磁力機で磁着物を除去したものを用いた。使用した高磁力選別機を写真6-1、磁着物を写真6-2に示す。磁着物については、SciAps社の蛍光X線分析計（X-250）を用いて金属の定量分析を行った。その結果を表5に示す。含まれる金属の中でFeは75.5%含まれていたが、その他に、Znは10.0%、Siは3.3%、Pbは2.5%含まれていることが分かった。



写真6-1 高磁力選別機

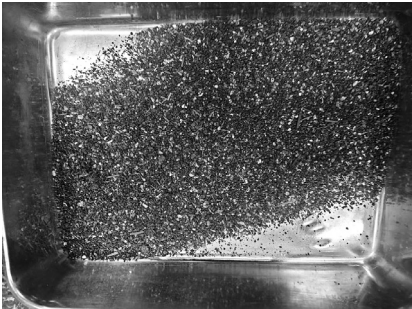


写真6-2 高磁力選別機の磁着物

表5 磁着物の金属の総量を100とした場合の割合

Fe	Zn	Si	Pb	Mn	Al
75.5%	10.0%	3.3%	2.5%	2.5%	1.6%
Ti	P	Cu	Ni	その他	合計
1.5%	1.1%	0.8%	0.5%	0.7%	100.0%

（出典：著者作成）

4. 2 実験結果

実験はスプリッターの位置を20cmとし、そのスプリッターの間隔で回収された産物を上産物、それ以外を下産物とした。また、エンドスロープの角度を7°、サイドスロープの角度を1°、振動数をメモリ8.5（最大が10.0）に固定し、送風ファンの振動数を20Hz、40Hz、60Hzと変化させた。なお、採取時間は

10秒とした。

送風ファンの振動数を20Hzから60Hzに変化させた場合の上産物の構成物の割合を表6に示す。選別前のガラスの割合は74.8%であったが、送風ファンの振動数を20Hzにした場合、ガラスは88.2%まで濃縮されことが分かった。その後、送風ファンを40Hz、60Hzと増加させたが、ガラスの割合は90.6%、88.0%となり、20Hzの場合とあまり変わらない結果となった。ガラスは構成物の中では比較的比重が大きいため、風よりも振動の力の方が選別成績に影響すると考えられる。

表6 送風ファンの振動数を変化させた場合の上産物中の構成物の割合

構成物	選別前	20Hz	40Hz	60Hz
ガラス	74.8%	88.2%	90.6%	88.0%
その他(プラスチック等)	23.5%	10.7%	8.7%	10.6%
銅線	0.8%	0.5%	0.5%	0.7%
金属	0.8%	0.5%	0.3%	0.6%
木	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
合計	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

(出典：著者作成)

## 5. おわりに

本調査では、ASRを効率よく選別して有価物を回収するための第一歩として、ASRの細粒部の構成物の調査を行った。具体的には、ASRに対して空気選別を行った際の沈下物の中で15mm以下の産物に着目し、10-15mm、6-10mm、3-6mm、1.5-3mmの4産物に含まれる、金属、銅線・被覆線、ガラス、プラスチック、石、その他についてそれらの構成割合を調べた。また、1.5-3mmの産物についてはポケットエアテーブル選別機を用いてガラスの濃縮の可能性を検討した。

10-15mm産物および6-10mm産物ではプラスチックが最も多く、ガラスはほとんど含まれていなかったが、3-6mm産物ではプラスチックとガラスがほぼ同じ重量であり、1.5-3mm産物では72.8%もガラスが含まれていることが分かった。また、プラスチックについては水を使った浮沈試験を行い、黒色および白色以外の色のついたプラスチックおよび透明なプラスチックはほとんど水に沈むことが分かった。

1.5-3mmに対しては日本エリーズマグネチックス(株)のポケットエアテーブルを用いてガラスの濃縮を試みた。スプリッターの位置を20cmとし、エンドスロープの角度を7°、サイドスロープの角度を1°、振動数をメモリ8.5（最大が10.0）に固定し、送風ファンの振動数を20Hz、40Hz、60Hzと変化させた場合、上産物のガラスの割合は88.2%、90.6%、88.0%となった。このことから、ガラスは構成物の中では比較的比重が大きいため、風よりも振動の力の方が選別成績に影響すると思われる。

## 謝辞

本研究の成果の一部は東北公益文科大学令和4年度学内研究助成の支援を受けたものである。

## 参考文献

- 1) 一般社団法人自動車工業会HP：日本の自動車産業 基幹産業としての自動車製造業,  
<https://www.jama.or.jp/industry/industry/index.html>  
(2023-05-31 参照)
- 2) 一般社団法人自動車工業会HP：日本の自動車産業 四輪車生産台数,  
[https://www.jama.or.jp/industry/four\\_wheeled/four\\_wheeled\\_1t1.html](https://www.jama.or.jp/industry/four_wheeled/four_wheeled_1t1.html)  
(2023-05-31 参照)
- 3) 一般社団法人自動車工業会HP：日本の自動車産業 四輪車新車販売台数,  
[https://www.jama.or.jp/industry/four\\_wheeled/four\\_wheeled\\_2t1.html](https://www.jama.or.jp/industry/four_wheeled/four_wheeled_2t1.html)  
(2023-05-31 参照)
- 4) 堀井光雄他：自動車研究,Vol.20, p.603-606 (1998)
- 5) 加藤涼一他：自動車研究,Vol.23, p.662-667 (2001)