

自動車シュレッダーおよびダスト中のトランプ エレメント濃度の測定と重量バランス分析

松野 泰也*・五十嵐 佑馬*²・林 誠一*³・鶴岡 正顯*⁴・小田部 和美*⁴・長坂 徹也*⁵

Measurement of Concentrations of Tramp Elements in Shredder Scrap and Automobile Shredder Residue (ASR)
and Their Mass Balance Analyses

Yasunari MATSUNO, Yuma IGARASHI, Seiichi HAYASHI, Masaaki TSURUOKA, Kazumi OTABE and Tetsuya NAGASAKA

Synopsis : Contamination of undesirable tramp metals in steel scraps from end-of-life vehicles has been of interest for many years. In this work, typical 5 mini-vehicles and 5 small-size passenger cars were dismantled and put into shredder process, in which most of the parts end-of-life vehicles were removed thoroughly before shredding process. The weights of removed parts, shredder scrap, separated non-ferrous metals and automobile shredder residue (ASR) were measured to figure out the mass balances of the end-of-life vehicles. Then, the concentration of Cu, Cr, Sn in shredder scraps and ASRs were measured. It was found that the concentrations of Cu, Cr, Sn in shredder scrap were 0.078%, 0.004%, 0% for mini-vehicles, and 0.08%, 0.015%, 0.001% for small-size passenger cars. On the other hand, relatively high concentrations of Cu, Cr, Sn in ASR were observed, which was 0.42–0.85%, 0.03–0.04%, 0.05–0.06% for mini-vehicles, and 0.59–0.74%, 0.02%, 0.04–0.15% for small-size passenger cars, respectively. It was found that most of Cu contained in the end-of-life vehicles were removed before shredding process.

Key words: automobile shredder residue (ASR); mini-vehicle; shredder scrap; small-size passenger car; tramp element.

1. 緒言

わが国では循環型社会形成推進のための法整備が進められ、自動車に関しても新たな法規制が2005年1月から施行されている。廃自動車は、解体事業所において、液類、エンジン、バッテリー、タイヤ、フロン、エアバック、有価部品などが採取され、廃車ガラとなる。その後、廃車ガラは、鉄スクラップ中間処理事業所に渡り、「全部再資源化」か「シュレッダーによる破砕化」により製鋼原料としてリサイクルされる¹⁾。しかしながら、これらのリサイクル工程において、自動車に使用されるハーネスやモータなどに使用されている銅等のトランプエレメントが、鉄スクラップに混入する可能性を有している。

今後の鉄スクラップなどによる鉄源の持続可能な利用形態について検討を行うためには、鉄スクラップの発生量のみに着目するのではなく、リサイクルの阻害要因である、鉄スクラップ中のトランプエレメントの濃度についても解析する必要がある¹⁾。特に、廃自動車からのスクラップは、わが国において毎年発生する量が多いため、AシュレッダーおよびAプレス中の銅をはじめとする各種元素の組成

分析に関する調査がなされてきている。

財団法人金属系材料研究開発センターは、2002年度に「シュレッダーダスト等廃棄物の処理技術等に関する調査研究」²⁾を実施し、文献調査により、自動車リサイクル工程で生じるAプレス、シュレッダー、およびダスト(Automobile Shredder Residue, ASR)中の、鉄、非鉄金属(銅、アルミ、鉛、亜鉛)、非金属(樹脂類、ゴム、ガラス、繊維、その他)の成分を推定した。また、電炉メーカーへのアンケート調査により、当時の電炉で使用されているAプレス中の銅濃度が、1.0~1.5%程度であることを確認した。2003年度には、「自動車リサイクルに係る処理技術等の調査」³⁾が実施され、廃自動車の解体作業の内容に応じたAプレス中の銅濃度が、溶解試験を行い調べられている。廃車ガラを電気炉で溶解し、Aプレス中の残留銅濃度を測定した結果、従来の解体方法では1.14%、精緻解体実施した場合には0.29%となり、解体作業工程の違いにより残留銅濃度は大きく異なることが示された。また、大型車と普通車を比較したところ、同一の作業方法でも車種により残留する銅の重量が大きくなることが示されている。さらに財団法人金属系材料研究開発センターは、2004年度に

平成18年9月4日受付 平成18年10月25日受理 (Received on Sep. 4, 2006; Accepted on Oct. 25, 2006)

* 東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻 (Dept. of Materials Engineering, Graduate School of Engineering, University of Tokyo)

*² 東京大学大学院生 (Graduate Student of Dept. of Materials Engineering, Graduate School of Engineering, University of Tokyo, 7-3-1 Hongo Bunkyo-ku Tokyo 113-8656)

*³ (株) 鉄リサイクル・リサーチ (Steel Recycling Research Co., Ltd.)

*⁴ (株) ツルオカ (Tsuruoka Co., Ltd.)

*⁵ 東北大学大学院環境科学研究科環境科学専攻環境創成計画学講座ライフサイクル評価学分野 (Eco-Material Processing, Dept. Metall., Tohoku Univ.)

†1 廃車ガラをシュレッダーにかけたスクラップをAシュレッダー、シュレッダー工程を介さずに直方体にプレスしたものを、Aプレスと呼ぶ。

「自動車リサイクルに係わる最適解体システム等に関する調査研究」⁴⁾を実施し、1500ccクラスの典型的な大衆普通車について、精緻解体を実施した後、溶解試験を行い、Aプレス中の、鉄、銅、亜鉛、錫など13元素の濃度を測定している。

このような既存の調査事例があるが、スクラップ中のトランプエレメントの濃度、およびASRの成分分析に関するデータは非常に限られており、車種別に体系立てた測定は行われていない。また、現在の使用済み自動車のリサイクル率は約85%であり、他の工業製品と比較して高い数字が実現されているが、2015年にはリサイクル率95%達成の目標となっている²⁾。この目標を達成するためには、自動車解体にあたり精緻な解体が必要となるとともに、ASRを資源として有効活用することが必須となってきている。そのためには、シュレッダー工程において、銅などのトランプエレメントをはじめとする各種金属が、シュレッダースクラップとASRにどのような割合で移行するかについて、明確にする必要がある。

そこで本研究は、廃自動車の解体およびシュレッダー工程により発生するシュレッダースクラップ、非鉄金属スクラップ、およびASRの成分分析を行うことで、廃自動車の解体からシュレッダー処理工程に至るまでの、自動車一台の金属成分のマスパランスを把握することを目的とする。なお、解体工程や車種の違いにより、シュレッダースクラップやASR中の金属成分は大きく異なることが予想される。本論文で取り上げた解体工程および車種、そしてその趣旨を以下に記す。

解体工程に関しては、今後はリサイクル率を向上させるために、精緻な解体が促進されることが予想されることから、本論文では、精緻解体を行った場合を検討する。また、近年では、燃費の良い小型車が販売シェアを伸ばしてきている。2005年末での乗用車保有台数5,700万台のうち、軽自動車（排気量660cc以下）は25%、小型普通乗用車は46%である⁵⁾。従って、今後、廃車となる乗用車の中でも、軽自動車や小型普通乗用車が増大することが予想される。そこで、本研究では軽自動車および小型普通乗用車（1000～1500cc）の代表的な車を5台ずつ解体し、シュレッダー工程にかけることにした。

なお、分析対象とした金属は、鉄シュレッダースクラップでは、鉄、銅、錫、クロム、非鉄金属では、銅、真鍮、および混入するステンレス、アルミ、鉄、亜鉛合金、そしてASRでは銅、クロム、錫である。なお、マグネシウムは、このサイズの乗用車にはほとんど用いられておらず、回収されたものもシュレッダーにおいて発生する熱により蒸発することがヒアリングによりわかったので、今回の調査対象とはしなかった。

2. 測定方法

2.1 対象車両

本論文での対象車両をTable 1に示す。製造年は1986年から1996年までであり、軽自動車の5台平均車体重量は663kg、小型普通乗用車は955kgである。

2.2 解体工程における取り外し部品と重量の測定

解体作業は栃木県小山市に所在する（株）ツルオカのオートリサイクル事業部にて行った。この事業所での自動車解体は、精緻な解体を実施している。工程は、Fig. 1に示すように、引き取り、ヤード保管の後、4工程に分けられており、一部の工程にてニブラを使用する以外は手作業が主体となっている。以下、各工程の詳細を記す。

引き取り：ディーラー、中古車業者、修理業者などから使用済み自動車を引き取る。

ヤード保管：車体No、車種、色、フロン、エアバック付帯状況を確認後、入庫手続きを行い、ヤードに保管される。フロン回収、エアバック処理を順に行い、廃車の程度により部品販売のため海外向けと国内向けに分ける。海外分は販売ルートへ、国内分は部品販売ネットワークに登録する。その後、解体車両は解体工場に搬入され

Table 1. Automobiles dismantled in this work.

No	Size	Manufacture	Year of manufacture	Engine displacement	Total weight (kg)
1	Mini-vehicle	A	92	659	752
2		B	94	657	618
3		C	94	658	750
4		D	86	545	575
5		E	93	657	621
Average					663
1	Small-size passenger car (1000~1500 cc)	F	94	1,498	1,030
2		G	94	1,343	950
3		F	94	1,331	828
4		F	96	1,331	917
5		H	95	1,497	1,052
Average					955

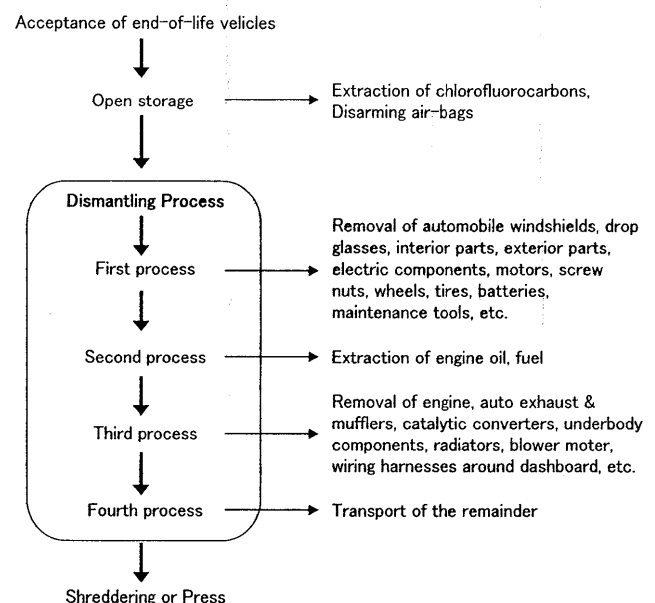


Fig. 1. Processes for dismantling end-of-life vehicles.

る。

解体第1工程：50mのコンベア上での人手による連続作業（コンベアラインスピード1m/分）である。ドアガラス、フロントガラス、タイヤ、工具類、内外装パーツ、バッテリー、モータ、電装品などが取り外され、専用ラックやドラム缶などに保管される。

解体第2工程：フォークリフトにより移動され、台上に設置して、ガソリン、オイル類を種類別に抜き取る。ガソリンは自家給油所があり自社消費される。

解体第3工程：エンジン、マフラー、触媒などを手作業で取り外したあと、反転機とフォークリフトにより車体を横にし、足回りをガス切断する。取り外した足回りは、部品販売に回るものと製鋼原料として電気炉メーカーに販売されるものがある。その後ニブラにより、ラジエータ、ブローモータ、ダッシュボードハーネス等を抜き取り、シュレッダーやプレス母材（解体ガラ）とする。

解体第4工程：ニブラ処理以降のシュレッダーあるいはプレス工程へ運搬する。

（株）ツルオカでの自動車解体は、この工程に至るまで、部品を徹底的に採取している点に特徴があり、採取された部品点数は、現在では160点ほどに及んでいる。中型乗用車に対して、従来の軽微な解体を実施した場合、解体ガラに残留する銅濃度は1%程度になるが、このように精緻な解体を実施した場合、残留する銅濃度は0.3%以下となることが知られている³⁾。

本論文では、それらの部品を銅関連と銅以外とに分け、銅関連はモータ類、ハーネス類、オーディオ類、その他の4区分に分けて整理し、重量を測定した。

2.3 シュレッダー工程における物質濃度の測定

前述した軽自動車及び小型普通乗用車を、5台分の解体

ガラをまとめて、シュレッダーに投入し、採取されるシュレッダースクラップ、非鉄スクラップ、ASRの重量を計測すると共に、成分濃度の測定を行った。

シュレッダースクラップの成分分析は、磁選により採取されたシュレッダースクラップを高周波溶解炉（1t炉）にて溶解し、鉄及び銅-スパーク放電発光分光分析方法（JIS G 1253）にてCu, Cr, Snの3元素を測定した。

シュレッダー工程内で回収された非鉄金属の組成分析と計量は、1. 色（赤銅色は銅、黄金色は真鍮）、2. 光沢の有無（光沢があるのをステンレス）、3. 重さ（軽いのはアルミ、重いのは亜鉛合金の手順によって、銅、真鍮、アルミ、ステンレス、亜鉛合金、その他（ガラスが主）の6分類に手選別し、それぞれ計量した。

ASRの成分分析は、軽自動車及び小型普通乗用車の2種につき、それぞれ2サンプルを採取し焼却した後にCu, Cr, Snの3元素を測定した。

3. 結果

3.1 解体工程における取り外し部品と重量の測定

本論文において検討した解体工程において、軽自動車および小型普通乗用車の2車種につき各5台（延べ10台）の部品採取状況を Figs. 2, 3 に示す。車体平均重量に対する部品採取重量は、軽自動車で50.2%、小型普通乗用車で52.1%であり、いずれも部品採取重量は50%を超えていた。さらに、採取部品のうち銅関連部品の割合は、軽自動車では10.5% (35 kg/333 kg)、小型普通乗用車では10.6% (53 kg/498 kg) であり、いずれの車種でも10%台だった。

また、小型普通乗用車の銅関連部品重量53kgの、部材別内訳と取り外し方法について Table 2 に示す。主として

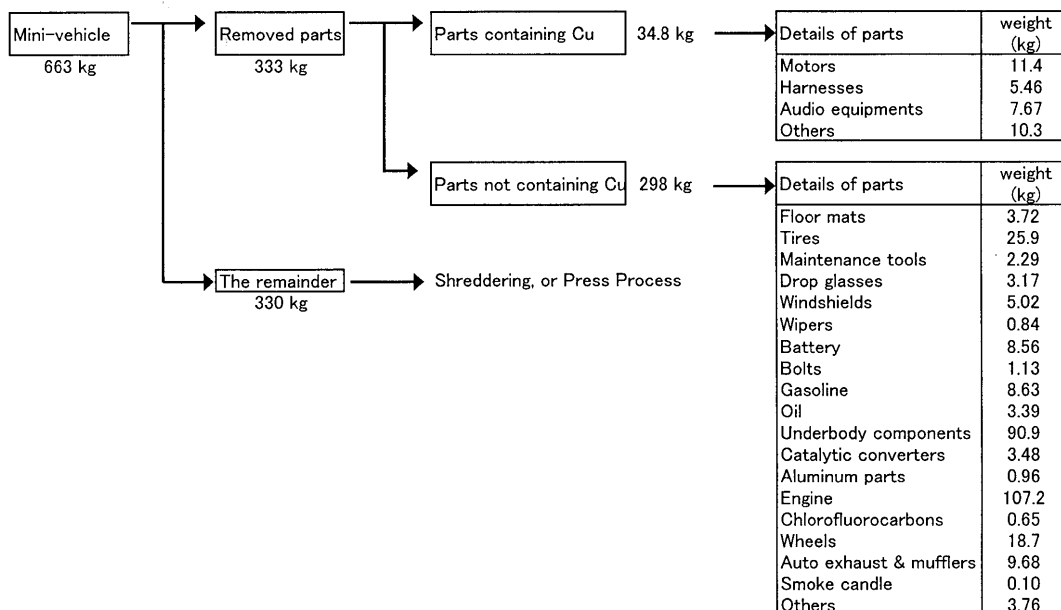


Fig. 2. Average weight of the removed parts and remainder of mini-vehicles dismantled in this work.

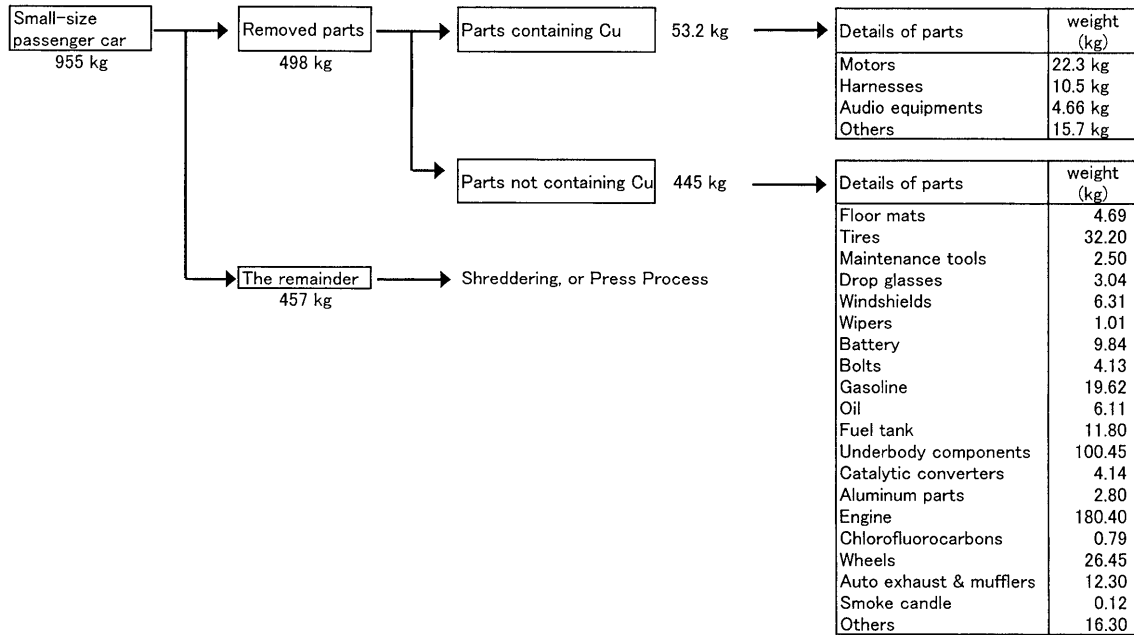


Fig. 3. Average weight of the removed parts and remainder of small-size passenger car dismantled in this work.

Table 2. Details of removed parts containing Cu from small-size passenger car.

Parts	Total weight (kg)	Details of parts	Weight (kg)	Share of removal method (%)			
				by hand	by nibbler		
Motors	22.3	Window motors	5.68	100	0		
		Wiper motors	2.08	100	0		
		Compressor motors	5.41	100	0		
		Blower motors	1.33	10	90		
		Dynamo starters	7.78	100	0		
Harnesses	10.5	Floor harnesses	1.01	20	80		
		Harnesses in trunk	0.56	100	0		
		Door harnesses	1.00	100	0		
		R-tray harnesses	0.13	100	0		
		Dashboard harnesses	4.57	0	100		
		E/G harnesses	1.58	10	90		
		E/G room harnesses	1.62	0	100		
Audio equipment	4.66	Stereo, speakers, etc.	4.66	100	0		
Others	15.7	Window switches	0.37	100			
		Cigar lighter	0.03	100			
		Horns	0.30	100			
		Fuse box	0.94	100			
		Fuel pump	1.38	100			
		Radiators	5.93	10	90		
		A/C condensers	3.48	10	90		
		Meters	0.72		100		
		Evaporators	1.85		100		
		Heater cores	0.74		100		
		Total	53.2		53.2		

ニブラにより取り外される部品は、フローハーネス、ダッシュボードハーネス、エンジンハーネス、プロアモータ、ラジエータ、エアコンコンデンサ、メータ、エバポレータ、ヒータコアであり、その他は、人手により解体されている。

3.2 シュレッダー工程における不純物質濃度の測定

3.2.1 シュレッダースクラップ成分分析

磁選により採取されたシュレッダースクラップのCu, Cr, Snの濃度測定結果をTable 3に示す。分析の結果、Cu値は、軽自動車が0.078%、小型普通乗用車が0.08%となり、いずれも0.1%以下であった。また、CrやSnについても低水準であることが分かった。

Table 3. Concentrations of Cu, Cr, Sn in shredded scrap (%).

Type	Cu	Cr	Sn
Mini-vehicle	0.078	0.004	0
Small-size passenger	0.08	0.015	0.001

3.2.2 シュレッダー工程内で回収された非鉄金属の組成分析と計量結果

シュレッダー工程にて、非鉄金属として回収される金属の計量した結果をTable 4に示す。Table 4中の重量は各車種5台分である。シュレッダー工程内で回収された非鉄金属の量は、軽自動車と小型普通乗用車ではほぼ同じで、10kg程度であった。また、各車種ともアルミの回収量が多い。Cuは回収された金属中に、2%程度存在していた。

Table 4. Weight of metals collected in shreddering processes for end-of-life vehicles.

Type	Copper	Brass	Stainless steel	Aluminum	Steel	Zinc alloys	Others	Total
Mini-vehicle	0.21	0.11	0.81	6.5	0.26	2.11	0.4	10.4
Small-size passenger	0.24	0.41	0.71	6.96	0.16	1	0.5	9.98

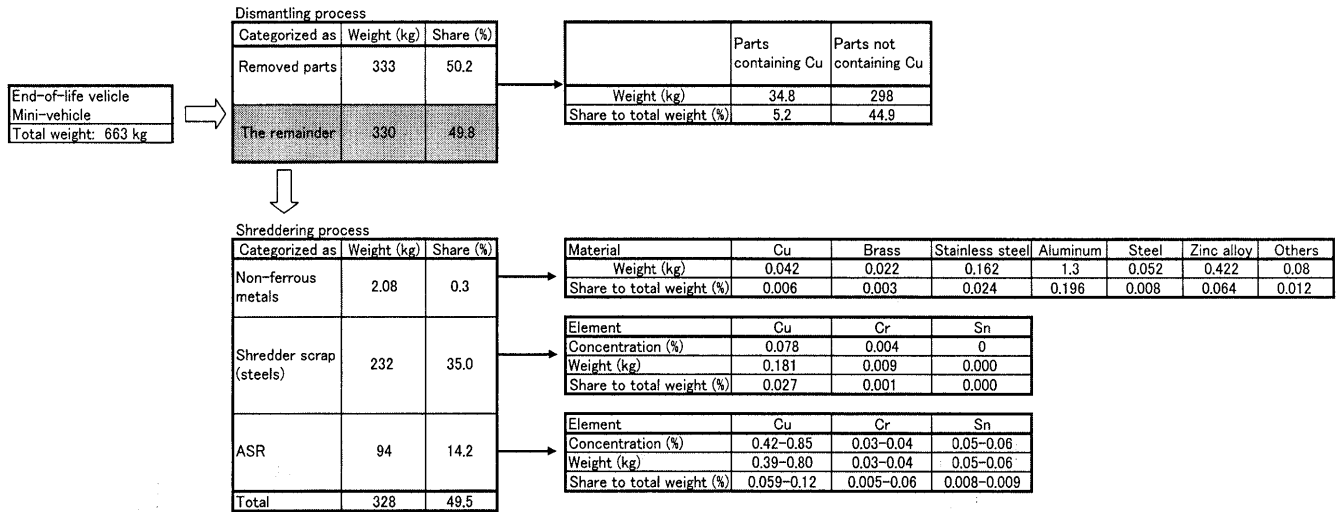


Fig. 4. Mass balance for mini-vehicles during dismantling process.

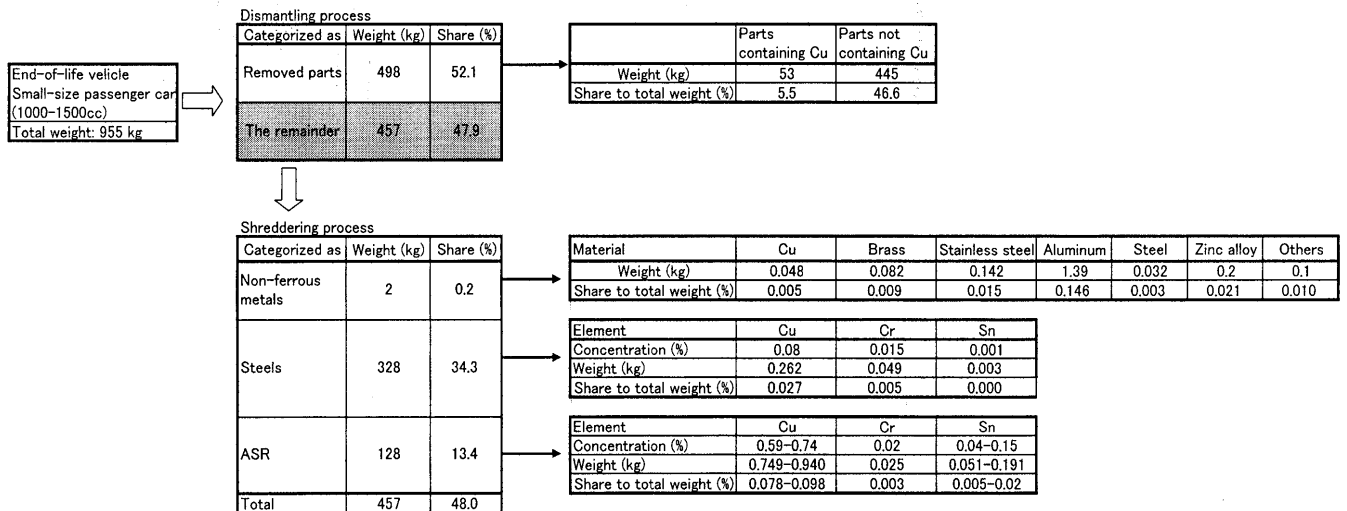


Fig. 5. Mass balance for small-size passenger car during dismantling process.

Table 5. Concentrations of Cu, Cr, Sn in automotive shredder residue (%).

Type	Cu	Cr	Sn
Mini-vehicle Sample A	0.85	0.04	0.05
Mini-vehicle Sample B	0.42	0.03	0.06
Small-size passenger car Sample A	0.74	0.02	0.04
Small-size passenger car Sample B	0.59	0.02	0.15

3・2・3 シュレッダーダスト (ASR) 不純成分分析結果

回収された ASR 中の Cu, Cr, Sn の分析結果を, Table 5 に示す。前章で述べたように, ASR は 2 サンプルに分けて, 焼却したのち分析した。Table 5 に示されるように, ASR は採取する部位により, 含有される非鉄金属元素の濃度がばらつくことに留意する必要がある。それでも, 軽自動車,

小型普通乗用車とも, Cu 成分値は 0.4~0.8% と高い値が計測された。Cr, Sn 値においてもシュレッダースクラップ分析結果と比較して, 相対的に高い値となることが示された。

4. 乗用車における全体バランス

以上の分析結果につき, 軽自動車および小型普通乗用車の 1 台平均全体バランスを整理すると Figs. 4, 5 のようになった。

シュレッダー工程から産出されるシュレッダースクラップ, 非鉄金属, ASR 中に含有される銅の濃度は, 全車重に対して, 軽自動車で 0.092~0.15% 程度, 小型普通自動車

で0.11~0.13%程度である。これらの値を解体ガラ重量に対する濃度で表すと、それぞれ0.18~0.30%、0.23~0.27%程度となり、既存の一車種を対象とした測定結果⁴⁾の0.24%と、ほぼ同程度であることが示された。

軽自動車、小型普通乗用車とも、モータ、ハーネス、オーディオなど銅の含有率が高い部品が、全車重に占める割合は5%程度である。今回の測定では、それらの部品中に含有される銅の重量を詳細に測定することはできなかったが、仮に部品重量の半分が銅であるとした場合でも、全車重の2%を越している。その値は、解体ガラ中に含まれる銅濃度と比較して、相対的に非常に大きな値であり、精緻解体により自動車に含まれていた銅の大半が取り除かれていることが分かった。

5. 結言

2005年1月より施行されている自動車リサイクルの主体となっているシュレッダー処理に関して保有台数の多い軽自動車および小型普通乗用車(1000~1500cc)クラス各5台について、前工程での部品取り外し状況、及びシュレッダー投入後回収されたシュレッダースクラップ、非鉄金属、

ASRについて調査分析を行った。

その結果、シュレッダースクラップの銅濃度は軽自動車、小型普通乗用車ともに0.1%以下であった。投入母材は解体行程を自社内にもつ事業所の母材であり、部品取りなど事前選別の精緻性が反映していると想定される。すなわち、解体段階での精緻な対処がシュレッダースクラップに含まれる不純物質濃度を軽減しているとみられる。また、ASRの成分分析結果では、いずれの車種もシュレッダースクラップの銅濃度を上回る結果が示された。

本研究の遂行にあたり、社団法人日本鉄鋼協会の2005年度学術部会共通費から支援を頂いた。ここに謝意を表す。

文 献

- 1) I.Daigo, D.Fujimaki, Y.Matsuno and Y.Adachi: *Tetsu-to-Hagané*, **91** (2005), 171.
- 2) The Japan Research and Development Center for Metals, *JRCM News*, 200, (2003), 2.
- 3) The Japan Research and Development Center for Metals, *JRCM News*, 212, (2004), 2.
- 4) 財団法人機械システム振興協会, 自動車リサイクルに係る最適解体システム等に関する調査研究 報告書, (2005), 27.
- 5) 社団法人日本自動車工業会, 2006版 日本の自動車工業, 社団法人日本自動車工業会, 東京, (2006), 12.