

自動車用アルミニウム材のリサイクル

Recycling of Aluminum Material in Automotive Applications

大久保正男* Okubo Masao

1999年度に(社)日本アルミニウム協会が策定したアルミ産業の技術戦略では、「自動車用展伸材(板材および押出材)の需要拡大」などを主要戦略課題としたが、本稿ではその重要技術課題である「アルミニウム展伸材リサイクルシステムの構築」、「自動車用材料のLCA評価」について、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から(財)金属系材料研究開発センター(JRCM)が2002年度から2004年度の3年間にわたり受託して取組んだ自動車のリサイクルプロジェクトの活動について述べる。

1. アルミ産業における自動車用材料の位置づけ

国内におけるアルミニウムの原料、加工(素材製造)、用途(製品)分野における需給状況を図1に示す。原料となる新地金はほぼ全量(99.7%)を輸入する一方、国内でも二次合金業がスクラップを二次(再生)地金としている。これらを原料として、加工して得られる製品(素材)の61%が圧延品(板類、押出類)、32%が鋳造・ダイカスト、7%がその他の電線・鍛造・粉・製鋼用などとなっている。自動車材への用途はアルミニウム全需要の1/3、33.3%である。

日本における2003年度の自動車用アルミニウム板材、押出材、鍛造品、鋳造品、ダイカスト品の需要量および構成比率を図2に示す。鋳造品全体の92%、ダイカスト品では81%を占めているものの、板材では10%、押出材では14%と低く、今後、自動車の燃費向上に向けて軽量化が進むことで、圧延品(板材、押出材)での大きな需要拡大が期待されている。

2. 自動車のアルミニウムリサイクルの現状

使用済み自動車(ELV)のリサイクルフローを図3に示す。ELVはディーラー、中古車販売会社等で回収された後、中古車で輸出されるものを除き、解体事業者が輸出を含めた再販部品として売れ筋の高度に機能的な部品(エンジン、ラジエーターなど)およびアルミニウム再資源化部品(エンジン、ホイール、トランスミッション、熱交などに限定)を抜き取る。シュレッダー事業者は、アルミニウムの鋳鍛材および展伸材などを解体除去した後の廃車ガラをシュレッダーで破碎後、アルミニウムシュレッダーチップとして手選別、渦電流選別にて回収し、アルミニウム二次合金造業者に納め、その後、鋳物・ダイカスト用アルミニウム二次合金地金に再生される。

3. 自動車用アルミニウム展伸材スクラップから展伸材へのリサイクルのねらい

- (1)都市鉱山の確立：ボーキサイト資源を持たない日本が輸入に頼らずアルミニウムスクラップを原料にする。(自動車、サッシなど国内備蓄量は7年分)
- (2)アルミニウムはリサイクルすると大きなエネルギー節減となる。(再生地金は新地金の3%台)
- (3)やがて自動車用鋳物スクラップがオーバーフロ

ーする(2004年JRCM試算見直し結果では自動車の需要が2010年で頭打ちになった場合、2018年頃にスクラップが余剰となる)

(4)展伸材スクラップ価格は新地金価格の半額で、約100円/kg安く、これを効率的に再生し、自動車展伸材の原料に使用すると大きなコスト低減になる。

4. アルミ産業における(自動車の)技術戦略

4.1 自動車のアルミ化技術戦略の策定

1998年度にアルミニウム協会(以後、協会という)の受託事業として「圧延業の技術開発ロードマップ」を策定し、自動車用アルミニウム材料の需要拡大が最重要戦略として認識され、「高強度・高成形性材料開発と革新的な成形・接合の技術開発」および「安価なりサイクル材を原料として用いた安価な自動車材料の板製造プロセス開発」を技術課題とした。更に翌年1999年度に協会の受託事業として「アルミ産業における技術戦略」を策定し、今後の社会・経済環境の変化や社会的な要請に応えるべく、製品技術・プロセス技術・環境技術の開発課題とその達成の道筋をまとめ、2010年および2025年の自動車分野の欧州並みの需要目標(図4)およびコスト目標を設定した。自動車用材料として何故アルミニウムを用いることになるのか、そのコンセプトを図5に示す。

4.2 自動車のアルミ化技術戦略の展開

自動車のアルミ化は、燃費向上および新地金製造を海外に依存していることなどにより国内CO₂排出量の大幅な減少が期待でき、京都議定書の削減目標達成に有効な手段の一つとなりうる。そこで、協会およびJRCMは、展伸材(板材、押出材)スクラップから展伸材へのクローズドリサイクルに向けての調査事業などをNEDOに提案し、2002年度より2004年度まで本事業をJRCMが受託し、本格的に取り組むこととなった。

5. 自動車用アルミニウム展伸材のリサイクルへの取り組み

5.1 自動車のアルミ化メリット算出モデルの構築

自動車のアルミ化に関するLCA(ライフサイクル・アセスメント)評価モデルを構築し、このモデルを用いた場合：

- (1)1500ccクラスの平均モデル乗用車を軽量化し、更に足回りの軽量化やエンジンを1300ccに変更する波及効果を含む究極の軽量化車では車体重量を

20.5%減量化し、製造、10年間で10万km走行及び廃棄を含むライフサイクルでの総CO₂排出量は20%減少する。

(2)これを300万台に適用した場合の削減量(300万台製造し、3000万台走行時)は日本の年間CO₂排出量の約1%に相当する。このことを第6回エコバランス国際会議で発表した⁹⁾。

これらの研究を行なうに当り、自工会 LCA 分科会と産業総合研究所から委員の参加を得て、

- ・自動車部品の加工に関しては、自工会 LCA 分科会から LCI データの提供を受けて評価した。
- ・軽量化による燃費低減に関しては、自動車技術会報告書と各車カタログ値のみならず、日本自動車研究所に実車試験を依頼し、両データを総合的に判断した上で評価に利用した。

・アルミニウム素材加工に関しては自前調査でボデーシートとバンパー用押出材の製造 LCI データを作成した。

- ・大物部材であるボンネット・バンパーについて鉄およびアルミニウムの素材製造段階と加工段階の LCI 比較を自前で実施し、自工会 LCA 分科会のチェックを受けた後、総合データに反映した。
- ・アルミ化による自動車軽量化に関し、独自調査で軽量化のルールを確立し、自工会 LCA 分科会のチェックを受けた後、総合データに反映した。
- ・以上のデータ処理に関しては、産業総合研究所ライフサイクルアセスメント 研究センターが公平な立場からプログラムを作成した。

5.2 リサイクルシステムの構築

(1) 易解体大型アルミ部品のリサイクル

解体工場での ELV 解体テスト結果⁹⁾：アルミ製フード(ボンネット)を以前から使用しているマツダ・ロードスターの解体テスト結果によると、前部に位置するフロントフード(8.1kg)、ラジエーター(2.2kg)、コンデンサー(2.0kg)などの大型部品は約1分で容易に手解体ができ、スクラップの価値が高いことからコストメリットが期待できる。しかし、約1割の鉄部品(補強部材、フック)などの異材を除去しようとするとなれば数倍の時間を要してしまう。従って、手解体された部品を小型シュレッダーにかけて鉄などを除去することが現実的である。また、車内にあるエバポレータ、ヒーターコアなどの熱交部品はニブラー(専用解体機械)で容易に摘み取れるが、材質が異なるクラッド(合わせ)板で構成されているので、再生用途はカラー板や現状の鋳造品などに限定される。

モデル工程：ボディパネル(ボンネットなど)の手解体 小型シュレッダー 異材選別除去

100kg 規模の塗料除去前処理および再生処理テスト結果⁷⁾：アルミ製フードの鉄製部品、樹脂、ゴムを事前に除去した上で、シュレッド、キルン加熱、乾留、圧延などの種々の塗料前処理試験を実施した後に再溶解試験を行った結果を表1に示すが、それによると小型シュレッダーのみでは塗料を除去できなかった。溶解歩留、悪臭・黒煙発生など環境面からみて一般的に前処理として行なっているキルン加熱が必要となった。6000系合金と5000系合金とのミックススクラップは6000系にリサイクル可能であった。

モデル工程：小型シュレッダー キルン加熱
溶解再生処理

(2) アルミニウムシュレッダーチップのリサイクル⁹⁾

目視選別後の溶解再生結果：アルミ多用車を想定し、塗料を塗っていないアルミニウム板・押出材および鋳物を廃車ガラに入れ大型シュレッダーにかけ、シュレッダーチップを目視で手選別してから、溶解再生実験を行なったところ、表2のように溶解再生歩留は実用に値するものとなった。

不純物の混入量調査結果：調査結果を表3に示す。このときの溶解歩留は96.1%であり、リサイクルを繰り返すと一部の金属は表3のように不純物が蓄積することになる。

材質選別：解体部品については、安価な材質選別装置が実用化されているが、アルミニウムシュレッダーチップについても、材質選別する技術が開発されていて、米国ではアルミ缶、自動車、サッシなどのシュレッダーチップを集約してシュレッダーチップを処理している企業が存在する。⁹⁾

(3)不純物 Fe の無害化技術の開発：解体工程またはシュレッダー工程から回収されたアルミニウム展伸材スクラップには不純物である鉄分の混入増加は避けられず、無害化技術を開発している。今回開発した技術によって、自動車用アルミ製フードの解体スクラップについて不純物である鉄分を図6のように溶湯圧延で急凝固固し、さらに加工/熱処理を加えて金属間化合物を微細かつ均一に分散させることにより、現行管理レベルの2倍である0.4%の混入まで拡大しても、現行品と同等の機械的性質、成形性が維持可能である。なお、鋳造品およびダイカスト品の Fe 許容量は0.55%および1.3%と広いのでリサイクルしやすい。

5.3 展伸材リサイクルビジネスモデルと成立時期

(1) 易解体大型アルミ部品のリサイクル

ビジネスモデル

自動車製造(大型部品にアルミニウム材質識別バーコード付与) 解体業(ボディパネルなど手解体、室内熱交部品はニブラー解体) 再生業(小型シュレッダー、異材除去、キルン加熱、溶解・再生) なるリサイクル工程が想定されるが、この再生地金の正味製造費用はスクラップ持ち込み価格 131 円/kg (2005 年 3 月のビス付きのサッシアルミ 2 級価格) + 解体業 5 円/kg + 再生業 57 ~ 85 円/kg + 物流費が想定され、新地金 242 円/kg(2005 年 3 月)より回収量がまとまれば(物流費単価が安くなれば)採算が取れ、リサイクルビジネスとして成立すると考える。

ビジネスモデルの成立時期

ELV から回収されるアルミニウム展伸材スクラップリサイクルの経済性はその回収量に大きく左右されることから、需要見通しを 4 種類に分けて、該当するスクラップの発生量および回収量の予測を行い、更に ELV 回収から再溶解して展伸材再生地金にリサイクルするまでの処理コスト試算を行った結果、**2015 年前後にはスクラップ回収量が少ないために 4 トン程度の小規模炉での単発的な操業になるものの、新地金より安価な再生地金としてマテリアルリサイクルビジネスが成立すると推測した。**

(2) シュレッダーチップのリサイクル

ビジネスモデル

シュレッダー業(大型シュレッダー 材質選別 <手選別 将来は自動選別> 再生処理 圧延業(不純物無害化处理)

ビジネスモデル成立時期

安価な材質選別システムを開発して、より多くのシュレッダーチップを処理すれば日本でも数年後には実用化が進むが、先行している海外での技術開発に期待している。

(3) ビジネスモデル例を **図 7** に示す。

6. 今後の自動車のアルミ化に向けて

6.1 革新的な製造プロセスの実用化

「アルミニウム展伸材スクラップを用いた革新的な自動車用板製造プロセスの開発」を NEDO に提案している。それは、塗料・鉄分などの不純物を含む安価な展伸材スクラップをリサイクルするモデルプラントを新規開発し、高成形性・高強度の展伸材製品を製造するのに中核となる 薄板高速ダブル広幅(2m)圧延技術を実用化して、加熱・面削工

程、熱間圧延および冷間圧延工程を省略した革新的な製造プロセスを確立すると共にこの材料に適した熱処理技術を確立する。そして、将来の連続一貫製造モデルプロセスを設計することである。すなわち、安価でかつ高度な製品を製造するプロセスを開発することにより、自動車用鉄製部品をアルミニウム展伸材に置き換え、部品重量を半分に軽量化し、地球温暖化対策に大きく(日本の排出する CO2 の約 1%削減)寄与する。

6.2 軽量化を促進する燃費自主規制について

(1) 日本の燃費自主規制は車体重量と燃費(カタログ値)の関係(図 5 の一部)において、車体重量 250kg ピッチ毎のトップランナーの燃費を目指す大きな階段状の規制である。この自主規制は安全対策として重量を増やし、上のクラスに移ると燃費の悪化が許容されてしまう。よりきめ細かな階段状の規制および燃費測定方法(欧州は 110kg、米国は約 55kg ピッチで慣性重量を変えて測定)を行うことにより平滑化すべきと考える。

(2) 安全対策で重量アップするものを車体重量のみで 10%軽量化すると大衆車での実車走行試験から 4.9%の燃費向上にしかならず、エンジンの小型化や足回りの軽量化効果を含めた総合的な 10%軽量化を行うことによりやっとカタログ値並みの 10%の燃費向上になる。一方、アルミ化が進んでいる欧州での燃費自主規制方式(企業単位での加重平均燃費)は軽量化を大いに促進しているものと思われる。

7. あとがき

地球に優しい金属であるアルミニウムの良さを LCA, LCC などの観点から客観的な立場で定量的に評価し、これを情報発信し、その適用を拡大することおよび展伸材から展伸材へのリサイクル率を高めることはアルミ産業にとって重要なことである。現在、自動車業界ではシュレッダーダストの埋立量を削減し、リサイクル率の目標値を達成する努力がおこなわれているが、アルミ業界で展伸材から展伸材へのリサイクルを進めることへの一層の理解と今後の協力をお願いしたい。

この内容は、財団法人金属系材料研究開発センター(JRCM)が独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO技術開発機構)からの助成金の交付を受けて実施中の、「アルミニウムの不純物無害化・マテリアルリサイクル技術開発」助成事業の成果の一端を紹介したものである。

アルトピア 4月号原稿

- ン・ジャパン・センター、1999年3月、p26,99
- 2) 軽金属学会、第 107 回秋期大会講演概要、2004年 11 月、p331
 - 3) 我が国機械産業に資する非鉄金属産業技術戦略策定に係る調査研究報告書、(社)日本機械工業連合会、(社)日本アルミニウム協会、1999年5月
 - 4) アルミ産業の技術戦略の策定に関する調査研究報告書、(社)日本アルミニウム協会、2000年3月
 - 5) 第6回エコバランス国際会議、2004年10月、p531
 - 6) 軽金属学会、第 107 回秋期大会講演概要、2004年 11 月、p327
 - 7) 軽金属学会、第 108 回春期大会後援概要、2005年 5 月(予定)
 - 8) 軽金属学会、第 107 回秋期大会講演概要、2004年 11 月、p329
 - 9) アルミニウム、Vol.10、No.52、2003年、p49

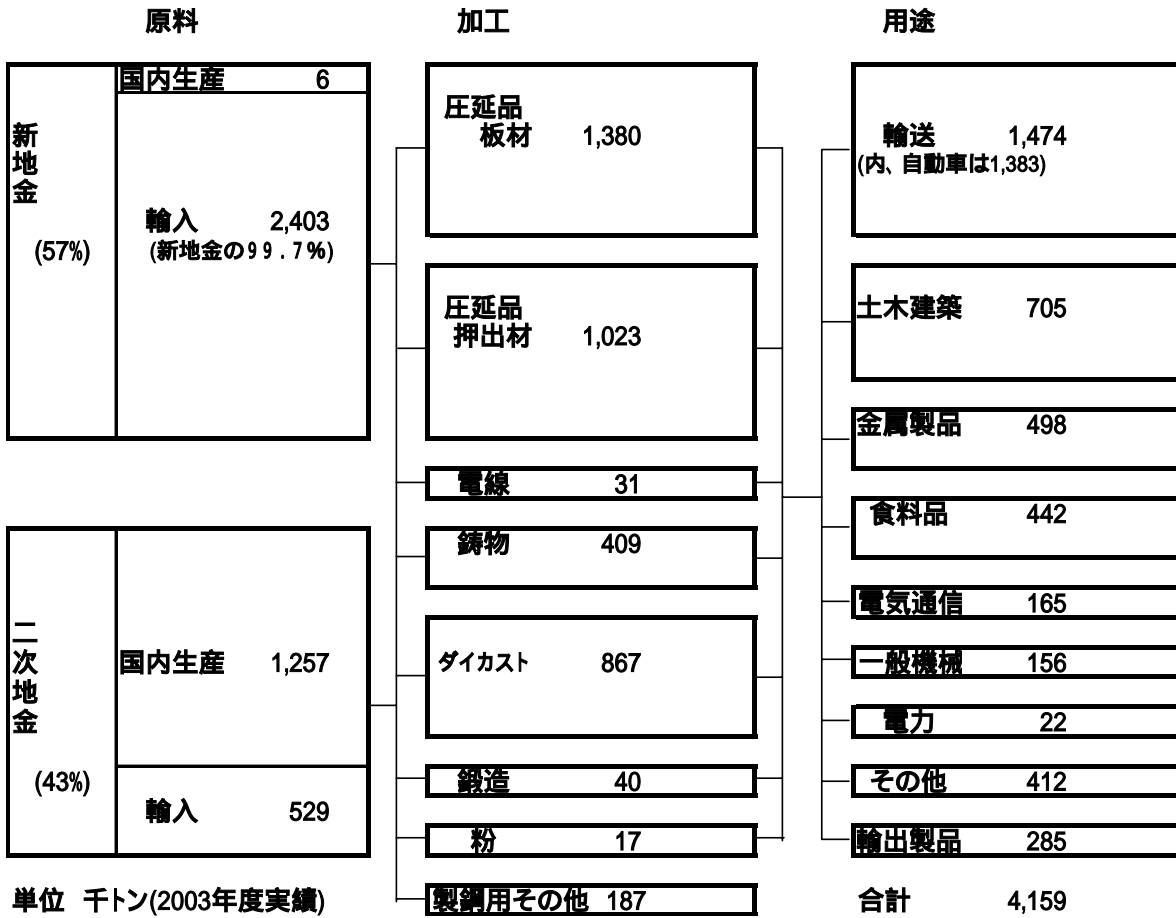


図1 日本におけるアルミニウムの需給状況

日本のアルミ産業における自動車用途の位置づけ(自動車比率:2003年度)

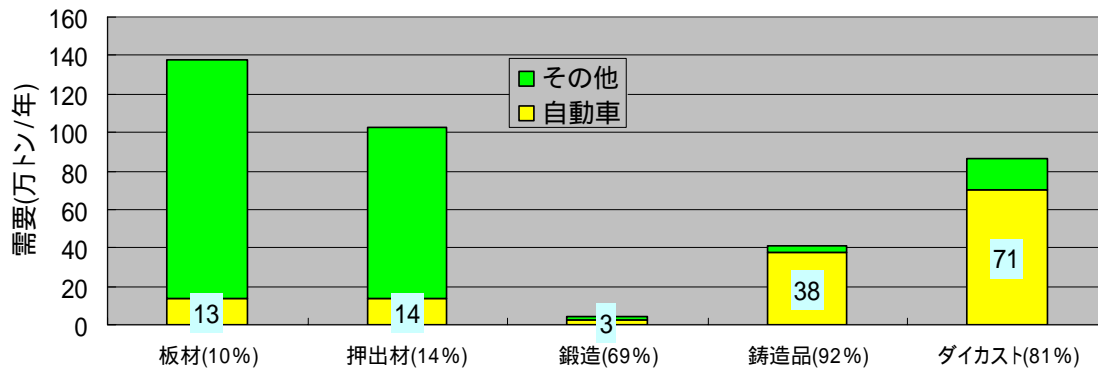


図2 日本のアルミ産業における自動車用途の位置づけ(2003年度需要量および構成比率)

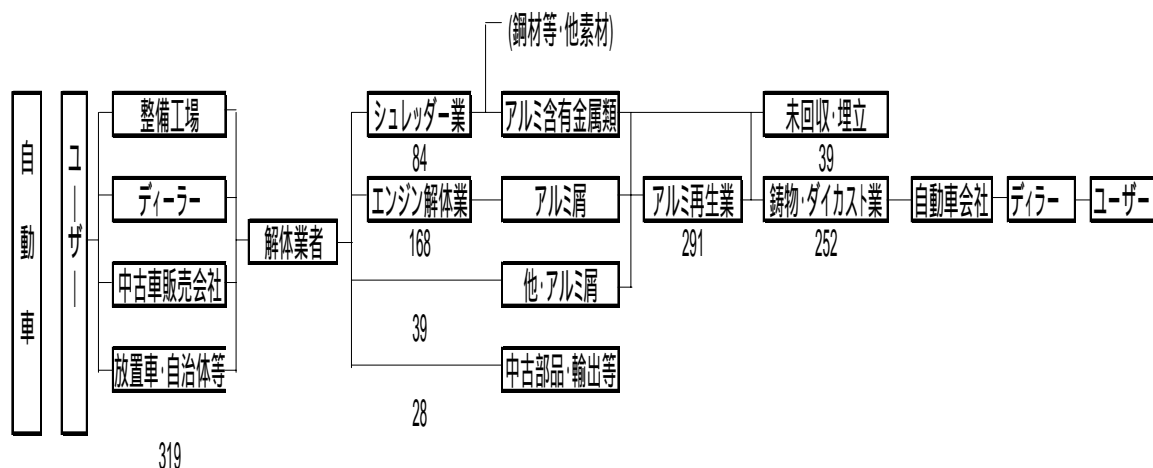


図3 ELV のリサイクルフロー(単位は千トン/年)

区分	年	1998年	2010年	2025年	備考
アルミ化率(%)		7	11	21	欧州並みにする
生産台数(万台)		800	750	700	一部、海外シフト
板部材(kg/台)		8	35	80	蓋物の増加
(万トン/年)		6.4	26.3	56.0	生産台数 × 板部材
板材(万トン/年)		11.0	45.3	96.6	フード歩留=部材/板材=0.58
板材増加量(万トン/年)	基準	34.3	85.6		板総計138の+62%相当
押出材(kg/台)		10	15	50	フレーム類の増加
(万トン/年)		8.0	11.3	35.0	生産台数 × 押出部材
押出材(万トン/年)		8.0	11.4	35.2	バンパ-歩留=部材/押出材
押出材増加量(万トン/年)	基準	3.4	27.2		押出総計102の+27%相当
鋳鍛材(kg/台)		87	100	120	エンジン、足回り類
合計(kg/台)		105	150	250	

図4 自動車用各種アルミニウム部材および展伸素材の需要動向(現状と目標値)

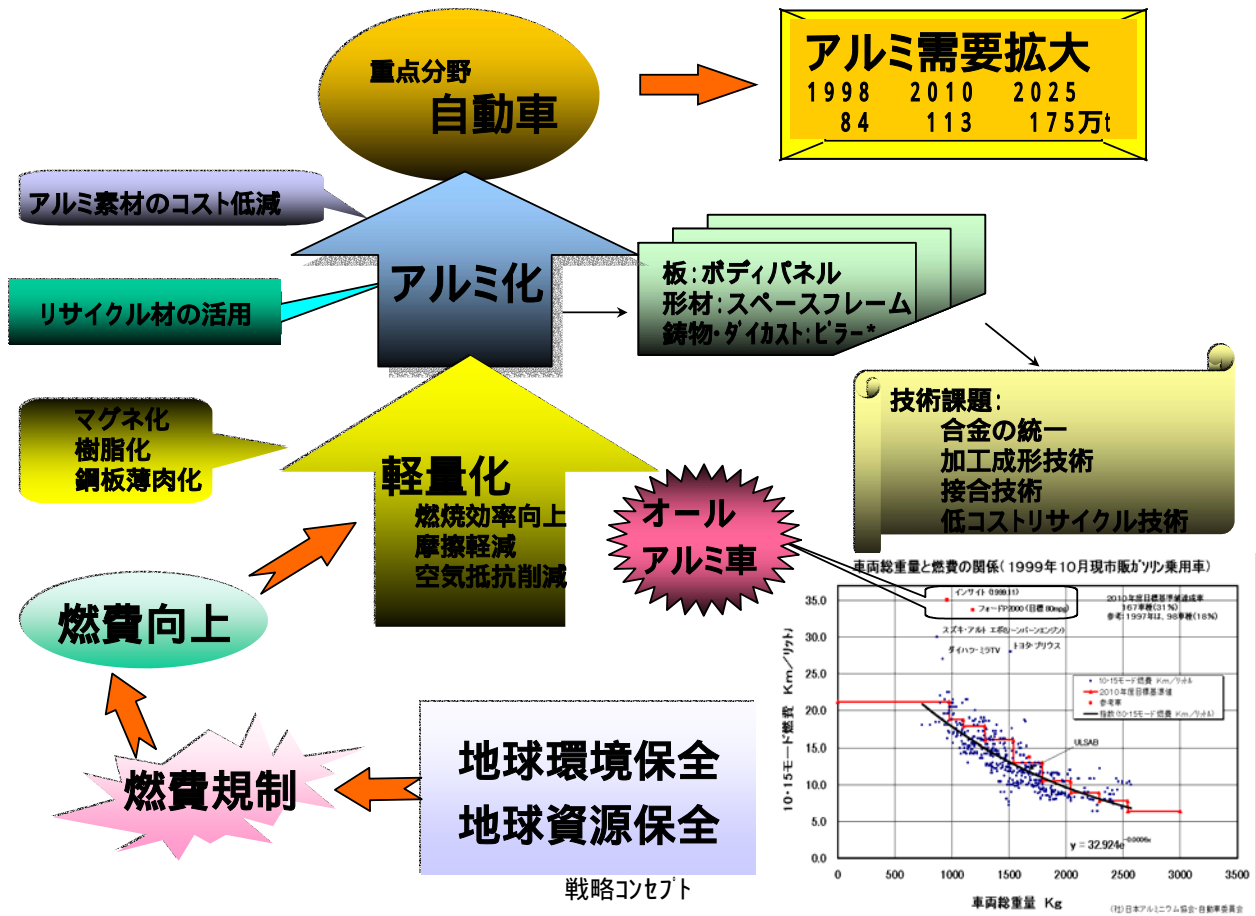


図5 自動車用アルミニウム材の需要拡大のコンセプト

表1 アルミ製フードスクラップを用いての各種前処理(塗料の除去)方法と溶解テスト結果

前処理工程	前処理後の塗料残留	溶解時の作業環境		溶解歩留 (%)	溶解後不純物(%)		
		発煙	異臭		Fe	Si	Cu
なし	×あり	×激しい	×きつい	87.4	0.12	0.16	0.37
小型シュレッド	×あり	×激しい	×きつい	87.4	0.18	0.14	0.34
圧延	×あり	×あり	×あり	92.2	0.14	0.29	0.50
乾留				91.2	0.16	0.08	0.37
キルン加熱				92.8	0.14	0.29	0.50
シュレッド+キルン加熱				95.0	0.11	0.08	0.42
比較) 鋳造品スクラップ溶解時				94.8	0.13	0.14	0.37

補足)溶解時に使用したフラックスの量はシュレッド+キルン加熱では1.2%の添加が必要であり、比較材である鋳造品(材質ADC12)のスクラップ溶解時の0.4%より増加している。

表2 板材、押出材、鋳物材を装入しての大型シュレッダー後の手選別・溶解テスト結果例

ELV に装入した アルミニウム材料	装入量 (kg/ELV10 台)	溶解歩留(%)	
		ミックスメタル	メッシュアンダー
6000 系板材	350	96.1	95.8
6000 系押出材	200	96.9	95.2
AC4H 鋳物材	150	97.1	-

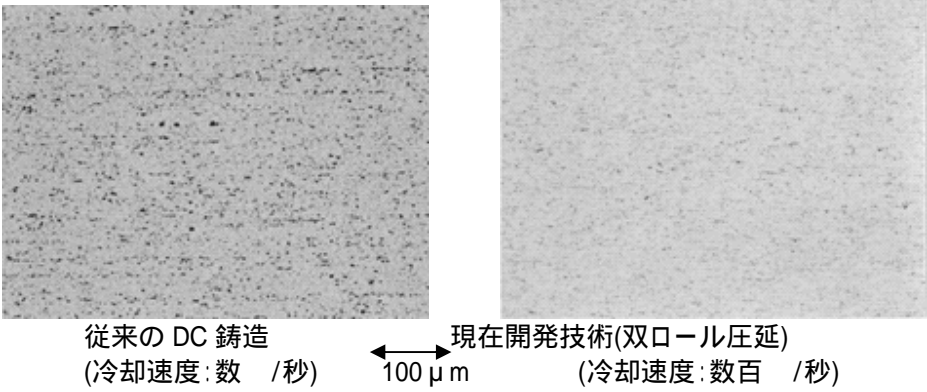
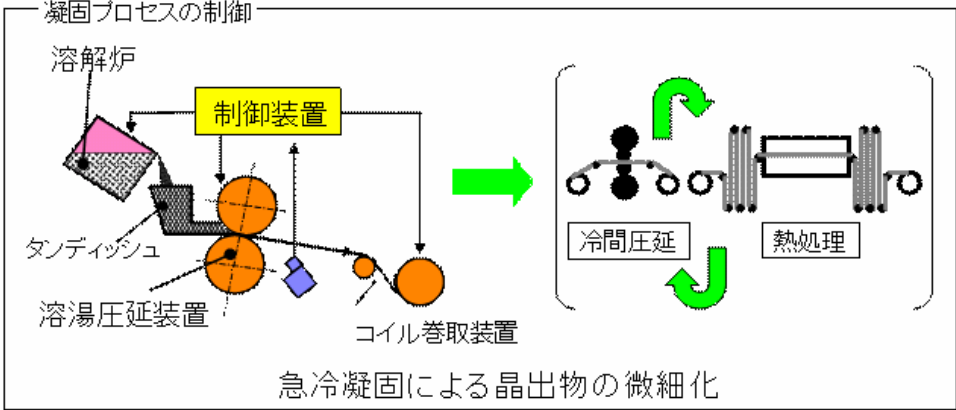
補足) 廃車からアルミ部品などを抜き取った廃車ガラにアルミニウム多用車を想定してアルミニウム材料を強制的に装入して大型シュレッダーにかけた。磁力選別、風力選別を経て回収されたシュレッドチップ(ミックスメタル、メッシュアンダー[10mm 以下の重質ダスト]、シュレッダーダスト)を手選別で回収し溶解した。ミックスメタルとして大半(90~96%)のアルミニウムが回収されている。

表3 6000 系板材の大型シュレッダー工程後の不純物の混入状況

構成%	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
規格	<0.20	0.8-1.50	0.5-0.70	<0.15	0.4-0.70	<0.20	<0.1	<0.15
新地金	0.081	0.062	0.0017	0.0012	0.0011	0.0004	0.0033	0.0066
板材	0.15	1.06	0.67	0.06	0.47	0.04	0.01	0.01
再生材	0.34	1.07	0.71	0.07	0.14	0.04	0.30	0.01
混入量	0.19	0.01	0.04	0.01	-0.33(燃焼)	0	0.29	0
初代	0.15	1.06	0.67	0.06	0.47	0.04	0.01	0.01
第2世代	0.33	1.07	0.71	0.07	-	0.04	0.29	0.01
第3世代	0.50	1.08	0.74	0.08	-	0.04	0.55	0.01
第4世代	0.66	1.09	0.78	0.09	-	0.04	0.80	0.01
対応	無害化	-	初期添加減	-	-(添加)	-	異材減	-

補足) リサイクルを繰り返すことによる不純物の蓄積の検討: 回収率を 95%とすると新地金の補充量は5%+溶解ロス分(95×0.039) = 5.04%であり、これによる不純物の希釈効果を考慮した。亜鉛(Zn)の混入は亜鉛ダイカスト品の使用によるもので、リサイクルを繰り返すためには、アルミニウムなどで代替することが必要となる。

手法: 凝固プロセスの制御 と 加工熱処理プロセスの制御



補足) 最近、薄板高速(冷却速度:数千 /秒)の溶湯圧延技術のテストが行われている。

図6 不純物(Fe)の無害化技術のコンセプト



図7 アルミニウム展伸材のリサイクルビジネスモデル(イメージ例)