

季刊誌「アルミニウム」2002年1/2月号掲載

アルミニウムのリサイクル

(社)日本アルミニウム協会

理事 大久保 正男

1. ま え が き

アルミニウムはスクラップの価値が高いこと、再生エネルギーが少なくて済むことにより、リサイクル性に優れた金属であると言われている。アルミニウム新地金はボーキサイトを原料として、多大な電力を要する電解製錬によって製造される。日本は、オイルショック後電力費の高騰により競争力を失い、水力発電を主とする海外からの輸入新地金に頼るようになった。アルミニウムスクラップを溶解再生するエネルギーは新地金の製造エネルギーの3~5%台と少なくて済み、日本国内に製品として備蓄されている約7年分のアルミニウムをリサイクル原料として有効に活用することは、重要なことである。

今後の社会・経済環境の変化や社会的な要請にアルミニウム産業が応える技術戦略を近年策定した。とりわけ、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、(社)日本アルミニウム協会(以後協会という)および(財)金属系材料研究開発センター(以後JRCMという)は、新規な高成形性自動車用材料開発および展伸材(板材、押出材)スクラップから鋳物より価値の高い展伸材へのリサイクルに2002年度より本格的に取り組むことを経済産業省に提案し、プロジェクト化して取り組んでいる。

本稿では、主に自動車のアルミ化におけるリサイクルへの取り組みについて述べることにする。

2. アルミニウムリサイクルの現状

2.1 アルミニウムリサイクルの全体概要

1998年度におこなった日本でのアルミニウムリサイクル調査¹⁾によると、1997年度のアルミニウム含有使用済み製品からの排出量、回収量は表1のように推定され、全体の回収率は54%であった。金属製品分野の印刷板の回収率がほぼ100%、輸送分野(自動車、船舶、航空機、鉄道車両等)の自動車からのアルミニウム回収率が91%、土木建設分野のなかのサッシ回収率がほぼ80%、食料品分野のなかのアルミ缶の回収率が73%(2000年は80.6%)等と比較的リサイクルが進んでいる。

なお、アルミニウム含有使用済み製品からの排出量は、製品分野毎に耐用年数(n 年)を仮定し、図1における n 年前の(素材)需要量、製品化率(歩留)より最終製品のアルミニウム量を算出し、これに輸出货量、輸入量を補正して推定する。

製品の耐用年数は用途により異なり、例えば、土木建築(非木造30年、木造25年)、輸送(鉄道車両20年、自動車9年、自転車5年)、食料品(飲料缶3ヶ月)と仮定している¹⁾。

日本におけるアルミニウム産業の基本構造とスクラップ・新地金のマテリアルフローを図2に示す。原料としては新地金を6割以上使用している。

アルミニウムの回収スクラップをリサイクルして、二次(再生)地金を製造するエネルギーは海外で新地金を製造するエネルギーの3.3%で済む²⁾。日本には、消費するアルミニウムの約7年分が、将来の有用な資源として都市に備蓄されていることになり¹⁾、これを回収し再生することは重要なことである。

2.2 自動車のアルミニウムリサイクルの現状

使用済み自動車のアルミニウム回収フローを図3に示す。ディーラー、中古車販売会社等で回収された使用済み自動車は解体業者によってエンジン、トランスミッション、カーエアコン、ラジエーター、ホイール等の主要部品が取り除かれた後、シュレッダー処理され、手選別、渦電流選別にてアルミニウムチップとして回収される。

使用済み自動車は中古車で輸出されるものを除き、ほぼ全量が解体、シュレッダー処理されて回収される体制が整っている。解体等により回収されたアルミニウムスクラップで、比較的高品質のものは、鋳物・ダイカストメーカーに納入される場合もある。一般的にはアルミニウム二次地金製造業者に納められ、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。

鉄スクラップ価格は3年前の14千円/トンから昨年の7千円/トン割れまで急落し、採算割れの状態になっている。シュレッダー業にとって、非鉄金属回収による収入が、売上高の5~20%に上るなど収益の柱になっていることも、非鉄金属の中で最も使用量が多くてスクラップ価値の高いアルミニウム(鋳物スクラップで90~110千円/トン)の回収が進んでいる要因と考えられる。

なお、排出するアルミニウムのうち10%程度(4万トン)が非回収となっていると推定されるが、その要因はシュレッダー処理工程におけるシュレッダーダストへの混入、鉄スクラップへの混入

溶解して鉄から分離する際のアルミニウムの酸化ロスである。これは現在、1980年代後半に製品設計されて製造された古い自動車が使用済みとなっている段階であり、今後は

- (1)2002年以降の新型車のリサイクル可能率90%以上を目標とする。
- (2)2002年以降のすべての使用済み自動車のリサイクル率85%以上を目標とする。
- (3)2015年以降のすべての使用済み自動車のリサイクル率95%以上を目標とする。

を実現するため自動車製造業者、部品製造業者、車体製造業者、解体業者、シュレッダー業者および素材業者等が協力することになっている。

自動車の平均使用年数は9年であり、現在廃棄されているものは、1990年代前半のものが主体である。自動車1台当りのアルミニウム使用量は1980年代後半には42~55kgであり、1990年代前半で60~70kg、1990年代後半には約100kgで推移しており、今後、アルミニウムの排出量は増加する。

3. アルミニウム産業における(自動車)技術戦略

3.1 主な経緯

(1)1998 年度:協会の受託事業にて「圧延業の技術開発ロードマップ」を策定した 3)。

製品技術およびプロセス技術の 7 つの優先すべき研究開発テーマを選出した。このうち、自動車用アルミニウム需要拡大が最重点戦略として認識され、技術課題として次の 3 課題があがった。

低コストな高強度・高成形性材料開発と革新的な成形・接合の技術開発による自動車のアルミ化推進

安価なりサイクル材を用いた熱延上がり等の安価な自動車材料の製造プロセス開発

押出加工の高生産性と高品質化を目的とした等温等速押出技術開発

(2)1999 年度:協会の受託事業にて「アルミニウム産業における技術戦略」を策定した 4)。

今後の社会・経済環境の変化や社会的な要請に答え、アルミニウム産業の成長が期待される「自動車分野」、「土木・建築構造物分野」および先端材料利用による「新規需要創出分野」の 3 分野について、2010 年および 2025 年の目標を設定して、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た。

(3)2000 年度:技術戦略展開に向けての準備をおこなった(協会の組織確立と展開準備)。

2001 年度から技術戦略を具体的に展開するべく、技術戦略推進委員会などの常設委員会を設置した。

3.2 自動車のアルミ化戦略の策定

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 4 に示す。

すなわち、近年地球温暖化対策として CO₂ 削減のため、燃費規制が強化されつつある。燃費向上の方策の一つに、従来材に代えて比重の小さいアルミニウム材料を用いての自動車の軽量化があり、その効果は車体総重量と 10・15 モード燃費との関係グラフより推定される。

軽量化にはリサイクル性に優位なアルミニウム材料が適している。

しかし、現在、自動車へのアルミニウムの適用は鋳物がほとんどを占めており、使用率は全重量の 8.5%と低位に留まるに過ぎず、今後、自動車の軽量化の飛躍的な増大は展伸材が多い車体部分に残されていることになる。自動車用材料としてアルミニウムの需要を拡大するための戦略課題、目的、技術課題を表 2 に示す。

この他、板・押出・鋳物製造プロセスにおける、自動車用材料のアルミニウム適用拡大のための課題をまとめた 4)。

3.3 自動車のアルミ化戦略の展開

軽量化に貢献する展伸材の適用については、材料供給側である各アルミニウムメーカーが、材料使用側の各自動車メーカーと既に企業ベースで推進中である。従って、軽圧 7 社、協会、JRCM からなる自動車のアルミ化プロジェクト準備会を 2001 年 2 月に結成して、進行中の固有技術の開発に触れることなく、これらの車の廃車リサイクル、さらには新規な高成形性自動車用材料開発を実施することを経済産業省に提案し、自動車の軽量化推進の加速を図ろうとしている。

3.4 自動車のアルミニウムリサイクルへの取組み

(1) コンセプト: 図 5

地球温暖化対策 温室効果(CO₂)ガス削減 車体軽量化 アルミ化 (鋳物等の低品位スクラップのオーバーフロー) 原料の自給自足化

自動車部材から、アルミニウム(展伸材)を選別し、再度自動車部材として利用可能な再資源化技術を確立する。

(2) 期待される効果(乗用車分のみ)

革新的加工性向上技術の開発などとあわせて、自動車用材料をスチールからアルミニウムに変更した場合のメリット試算例を表 3 に示す。

参考までに、国内での CO₂ 削減効果の試算条件を以下に列挙する。また、今後のデータ見直し・検討予定を()内に示す。

燃費向上分:

- a. アルミニウムの使用量: 技術戦略策定時 3), コスト目標と共に設定した。
- b. 車体重量の軽量化効果は、板材・押出材・鋳鍛材のアルミ重量構成とアルミニウム / スチール部材重量比率を考慮した。
- c. 軽量化による燃費の向上効果は、車両総重量と 10・15 モード燃費との相関グラフより算出した。

(同一車種で、総重量を変えて燃費の影響調査)

d. 乗用車の生涯寿命は 10 年で 10 万 km 走行する。

(将来の寿命期間と走行距離の予測)

e. 国内での乗用車の保有台数は 4,000 万台のまま。

(将来予測: 中央環境審議会の目的達成シナリオ小委員会では 2010 年度に 6,108 万台と予測しており、この値を用いると効果は 1.5 倍となる)

f. ガソリンの CO₂ 排出係数は、精製・配送を含めた 2.57kg- CO₂ / l を用いた。

素材製造分:

- a.年間国内生産台数は750万台(将来予測)。
- b.アルミ材料として板材・押出材・鋳鍛材の構成を考慮した。
- c.スチールおよびアルミニウムの部材重量/素材重量 = 0.5 で同一とみなした。
- d.アルミニウムの素材/地金の歩留,スクラップ原料使用比率は,板材・押出材の現状値を用いた。(可変パラメータとして,将来目標を検討)

(全体の報告書まとめ:2001年度,2004年度)

表3における2010年度の国内CO₂削減量334万t-CO₂/年は,京都議定書における基準年(1990年)の温室効果ガス総量の0.3%に相当し,6%の削減目標達成の一助にしたい。

自動車のアルミ化の推移を表3の試算例をもとに図6にモデル化した。

(3)リサイクルに関して取組む技術課題

リサイクルシステムの提案:アルミニウム多用およびオールアルミニウム製廃車からのアルミニウム展伸材スクラップを再び展伸材に product to product しやすい解体,回収,流通システムを提案する。例えば,自動車の新車出荷時,現品識別バーコードを付与しておいて,廃車解体時これを読み取り,スクラップ価値の高いアルミニウムボンネットなどの推奨解体部品を除去するシステムなどは有効と思われる。

合金別分離回収技術:シュレッダーからのアルミニウムスクラップを合金系別に固相選別することにより,高効率に展伸材スクラップを展伸材に戻すことを可能にする。

自動車のアルミニウム化に関するLCA調査:自動車のLCAを調査し,LCAの観点からアルミニウム産業がなすべき技術課題などを明確にする。特にリサイクル材の原料としての使用比率などを,前提の不明確な一点のデータで表現せず可変パラメータとして扱い,今後の目標値設定に役立てたい。

組織制御による不純物許容量の拡大技術の開発:スクラップからの混入が避けられない不純物を無害化して,展伸材スクラップを展伸材に戻すことを容易にする。

これらの課題への取り組み予定を表4に示す。

3.5 選別技術

展伸材から展伸材へのリサイクルを実現する上で,重要な固有技術となる選別技術について述べる。

(1)固相選別技術

主な固相選別法としては次のようなものがある。

磁力選別(鉄スクラップとの分別)

比重選別(他の金属に比較して軽いことを利用)

電磁選別(比重と電気伝導度を利用)

静電分離(電気伝導度と静電力を利用)

色彩選別(エッチングなどによる色彩を利用)

レーザーによる発効分光分析や X 線分析を利用した分離法

があるが、展伸材から鋳物まで広範囲なアルミニウム合金からなるアルミニウムシュレッダーチップを合金別に選別できるのは および であるが、 は量産には向かず、現在、実用化の可能性のあるのは の方法である。すなわち、シュレッダーされた約 35mm 以下のアルミニウムスクラップを一行に整列させ、発光分光分析、レーザー分析、蛍光 X 線分析などを活用して一個ずつを迅速分析し、その情報をアクチュエーターに伝えて機械的に合金別に分別する方法である。この方法について、米国では Automotive Aluminum Alliance の一プロジェクトとしてパイロットプラントにて試験中であり、ドイツでは Sortec 社が開発している。

この技術が確立された場合は、選別された展伸材用スクラップ価格と従来の鋳物用スクラップ価格との差により、設備投資の判断がなされるものと思われる。このようなことは「リサイクルシステムの提案」として考察したい。

(2)液相選別技術

固相選別できなかったアルミニウムスクラップを選別する方法としては液相選別が考えられる。

表 4 の課題 「合金別分離回収技術」にて固相選別が不十分で不純物が多い場合、またはリサイクル原料の使用比率が高くなり、課題 「組織制御による不純物許容量の拡大技術の開発」にても対応できないほど不純物が多くなってしまったアルミニウムスクラップは、液相選別にて前処理することが考えられる。

1993 年に通商産業省(現、経済産業省)の補助金を新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が受け、研究期間 10 年の「非鉄金属系素材リサイクル促進技術研究開発」が発足した。この内、アルミニウムについては、JRCM が軽圧大手 7 社とスクラップ精製技術、介在物除去技術などの要素技術研究 11 テーマを 1998 年度末までに終了し、1999 年度からは 4 テーマに絞って実用化を念頭においた実証研究を開始し、2002 年度に最終評価をおこなう予定である 5)。

近年、自動車用材料の鋳物スクラップを原料として、結晶分別法を用いて押出材用アルミ合金へのアップグレードリサイクルの実例がある 6)。

4.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、リサイクル、LCA、LCC などについて客観的な立場で定量的に評価し、これを情報発信し、その適用を拡大していくことはアルミニウム産業に關与するものとしての当然の使命である。近年、これらのデータの蓄積が進みアルミニウムの良さが

客観的に理解できるようになってきた。しかし、最初から競合材料と比較しうる公平なデータが取られていないことも事実であり、2002 年度から展開するリサイクル関係の事業では関係者の協力を得て、普遍的なデータを整備したいと考えている。

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、アルミニウム業界で展伸材から展伸材へのリサイクルを進めようとしていることへの理解と今後の協力をお願いしたい。

今後、展伸材から展伸材へのリサイクル率を高めることは、製錬を外国に頼る日本にとって、資源の有効活用および世界規模での CO2 削減に寄与することとなる。

参 考 文 献

- 1) 廃棄物減量化のための社会システム評価に関する調査研究 - 非鉄金属素材における「循環型経済システムのあり方」に関する調査研究 - 1999 年 3 月 (財)クリーン・ジャパン・センター
- 2) 基礎素材のエネルギー解析調査報告書 - 1993 年 9 月, (社)化学経済研究所
- 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 - 1999 年 5 月, (社)日本機械工業連合会, (社)日本アルミニウム協会
- 4) アルミニウム産業の技術戦略の策定に関する調査研究報告書 - 2000 年 3 月, (社)日本アルミニウム協会
- 5) アルミニウムリサイクル技術の実用化に向けて
- 2001 年 5 月, (社)日本アルミニウム協会「アルミニウム」8, No.42
- 6) 自動車用アルミニウムハイブリッドボディの開発 - 2000 年 3 月, (社)軽金属学会「軽金属」50, No.3