

アルミニウムおよび鋼製の自動車用フードとバンパー・レインフォースメントのライフサイクルインベントリ  
**Life Cycle Inventory of Aluminium Hoods and Bumper Reinforcements for Automobiles**

山口雅教、尾上俊雄、八木田浩史、稲葉 敦(独立行政法人産業技術総合研究所)  
大谷 眞(住友軽金属工業株式会社)、大久保正男(社団法人日本アルミニウム協会)  
大園智哉(財団法人金属系材料研究開発センター)  
綾田研三(神鋼リサーチ株式会社)

Masanori Yamaguchi, Toshio Onoye, Hiroshi Yagita, Atsushi Inaba(National Institute of Advanced  
Industrial Science and Technology)

Makoto Ootani(Sumitomo Light Metal Industries, Ltd.)

Masao Ookubo(Japan Aluminum Association)

Tomoya Oozono(Japan Research Center for Metals)

Kenzo Ayata(Shinko Research Co.,Ltd.)

アブストラクト)

運輸部門、特に自動車からの CO<sub>2</sub> 排出量削減は重要な課題である。自動車の軽量化は CO<sub>2</sub> 発生量抑制に有効であり、そのためにアルミ化が検討されている。アルミ部品を使用した自家用乗用車の製造から廃棄、リサイクルまでの物質フローおよびそれに対応する CO<sub>2</sub> 排出量を調査するにあたり、アルミ化の効果を定量的に検討する際に必要となる LCI データ構築の一環として、フードとバンパー補強材とをアルミ化したときの LCI を積み上げ法により試算した。

ABSTRACT)

Reduction of CO<sub>2</sub> emission from the transport sector especially from automobiles is an important subject for total CO<sub>2</sub> reduction in Japan. Weight reduction of an automobile is effective for the reduction of CO<sub>2</sub> emission and aluminum utilization is now being examined for this purpose. As part of the investigation of LCI data, which are needed in the numerical estimation of CO<sub>2</sub> emission reduction for every stage of an automobile, LCI data for hood and bumper reinforcement of steel and aluminum were calculated by a summing up method separately.

## 1. INTRODUCTION

運輸部門、特に自動車からの CO<sub>2</sub> 排出量削減は重要な課題である。自動車の軽量化は CO<sub>2</sub> 発生量抑制に有効であり、そのためにアルミ化が検討されている。しかし、自動車アルミ化の効果を評価するにあたり、自動車の LCA は必ずしも確立されておらず、部分的な LCI 調査に止まっている。しかも、各種材料に対する評価は前提条件がそれぞれ異なり、材料の横断的かつ客観的な評価が必要とされている。また、リサイクルについても種々の変動要因があり、その推移、予測をすることは難しい状況にある。それゆえ、自家用自動車のライフサイクルの各ステージ、使用材料の種類、自動車の部品構成及びこれらの因子の時間変化などを可変入力パラメータとしたシナリオ分析を容易に実行することが可能な CO<sub>2</sub> 排出量評価ツールを開発した。その評価ツール開発の一環として、現在一部の自動車に使用されているフードおよびバンパーの加工・組立てのインベントリを各種データに基づき、積み上げ法により試算した。

## 2. インベントリ分析 (INVENTORY ANALYSIS)

### 2.1 フード製造時のインベントリ分析 (Inventory analysis of hood production)

#### 2.1.1 機能と機能単位 (Function and functional unit)

アルミニウム製フードの加工・組立てプロセスを対象システムとする。比較システムとしては従来の鋼製フードの加工・組立てプロセスを対象とする。なお、工場内での搬送は考慮しない。

製造されるフード 1 個を機能単位とする。アルミニウム製フードは文献に紹介されているフードアウターとインナーの写真<sup>1)</sup>から、図 1 に示す形状のモデルを想定した。

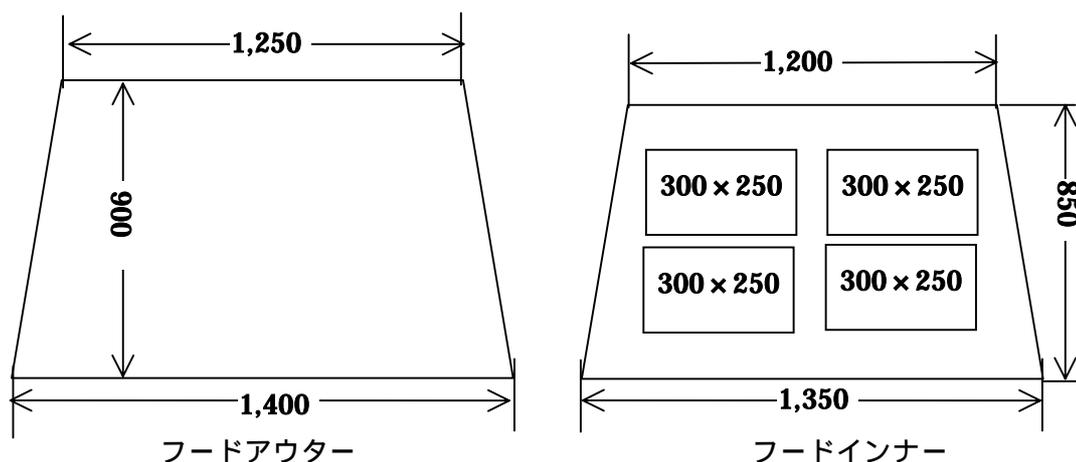


図 1 想定したフード (アルミニウム製、鋼製) の形状

アルミニウム製フードの場合、厚さはアウター、インナーとも  $1\text{mm}^1$ とし、鋼製フードの場合、厚さはアウター、インナーとも  $0.75\text{mm}^1$ とした図1のモデルとアルミニウム板厚、鋼板厚から計算されるアルミニウム製、鋼製のアウター材とインナー材の重量を表 1 に示す。軽量化率は52%と計算される。鋼製のアウター材とインナー材の合計は  $12.368\text{kg}$  となり、報告されているフェアレディ Z の場合の鋼製のフード重量  $14.9\text{kg}^2$ 、スカイライン GTR の鋼製フード重量  $16.8\text{kg}^2$  から見て比較的軽量であり、小型車のものに相当すると考えられる。

表 1 モデルにおけるアルミニウム製、鋼製フードの重量

	アウター材	インナー材	接合部品	塗料	合計
アルミニウム製	3.172 kg	2.085 kg	0.3 kg	0.418	5.975 kg
鋼製	7.030 kg	4.620 kg	0.3 kg	0.418	12.368 kg
軽量化率					52%

#### 2.1.2 システム境界 (System boundary)

アルミニウム製、鋼製フードとも、図 2 に示すように、システム境界 (データ収集範囲) はアルミニウムコイルまたは鋼板コイル搬入後から、フード製造までとした。

フードの製造工程としては、コイルから所定の長さ切断されたフードアウターとインナー用のアルミニウム板材をプレス加工機で 4~5 回程度プレス、孔あけし、フードアウターとインナーをスポット溶接する。その後ボデーとの接合部品を取り付け、焼付け塗装を行う。アルミニウム製、

鋼製フードとも同様な加工工程とした。

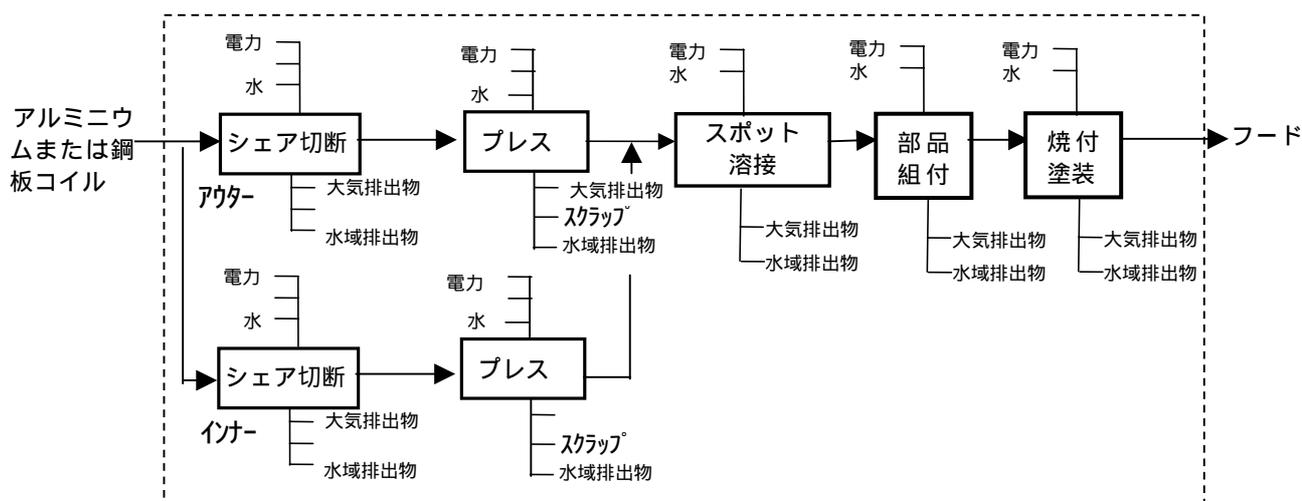


図2 フードの製造のシステム境界およびデータ収集範囲

### 2.1.3 データ収集とデータソース(Data collection and data sources)

フード製造のインベントリについては、図2に示す工程に沿って、文献、資料<sup>3) 4) 5)</sup>のデータを参考に算出した。なお、電力のエネルギー換算は 2,250 kcal/kWh とした。

### 2.1.4 インベントリの算出( Calculation of the inventory)

アルミニウム製フードの場合、厚さはアウター、インナーとも 1mm<sup>1)</sup>とし、鋼製フードの場合、厚さはアウター、インナーとも 0.75mm<sup>1)</sup>とした。

コイルのシエア切断に要するエネルギーはアルミニウム板材、鋼板の厚さと強度から見て同一とした。

コイル幅はアルミニウム、鋼とも 1,700mm幅とした。

フードアウターとインナー用のアルミニウム板材、鋼板をプレス加工機で5回プレスした後、孔をあけるとした。プレスに要するエネルギーはアルミニウム板材、鋼板の厚さと強度から見て同一とした。

アウター材、インナー材の外側からの発生屑の割合は自動車のプレス加工における発生屑の割合が一般的に 40%程度とされているため 40%とした。

フードアウターとインナーのスポット溶接点は 35 点とした。

アルミニウム製フード、鋼製フードに取り付けるボデーとの接合部品の重量は共に 300g とした。

アルミニウム製フード、鋼製フードとも焼付け同様な工程で塗装を行い、塗料の原単位は 0.035kg/kg とした。

以上よりアルミニウム製フード、鋼製フード各 1 個あたりの加工・組立てのインベントリを図3に示す様に推定される。

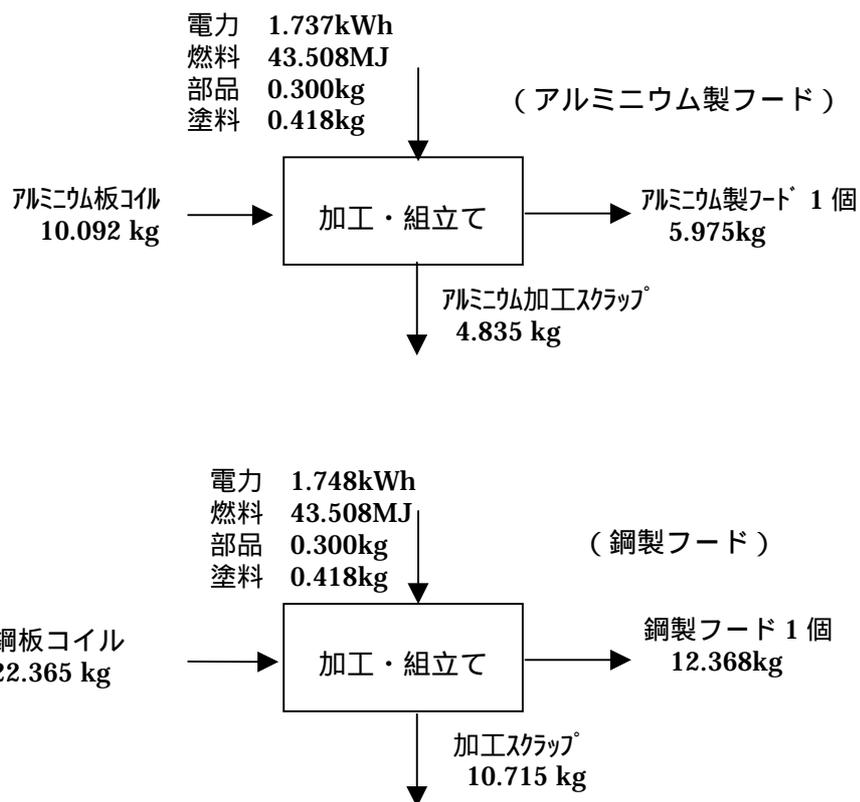


図3 アルミニウム製および鋼製フードの加工・組立てのインベントリ

### 2.1.5 フードのライフサイクルインベントリ(LCI of hood)

フード製造のインベントリをもとに、公表されているバックグラウンドデータ<sup>7)8)9)</sup>を用いて資源採取まで遡って環境負荷を算出した。塗料についてはキシレン 50%とポリウレタン 50%からなるものとして文献<sup>9)</sup>のバックグラウンドデータを使用して計算した。

アルミニウム製および鋼製フードの製造に関わるインベントリを再整理した結果を表2に示す。

表 2 アルミニウム製および鋼製フード製造のインベントリ

		単位	アルミニウム製	鋼製	備考
入 力	素材(板材)	kg	10.092	22.365	
	接合部品	kg	0.300	0.300	
	塗料	kg	0.418	0.418	
	電力	kWh	1.737	1.748	
	燃料	MJ	43.508	43.508	
	一般炭	kg	0.265	0.265	燃料の内訳 (文献 3 による)
	ガソリン	L	0.013	0.013	
	A 重油	L	0.484	0.484	
	LPG	kg	0.002	0.002	
	ブタン	kg	0.159	0.159	
ブタンエアガス	Nm <sup>3</sup>	0.014	0.014		
都市ガス 6A	Nm <sup>3</sup>	0.216	0.216		
出 力	製品(フード)	kg	5.557	11.950	
	加工スクラップ	kg	4.835	10.715	
	CO <sub>2</sub>	kg	3.237	3.237	文献 3)による (電力分は含まず)
	NOx	kg	0.006	0.006	
	SOx	kg	0.003	0.003	

素材の LCI については、6000 系自動車用アルミニウム板材<sup>7)</sup>および冷延鋼板<sup>8)</sup>の値を用い、接合部品についてはその影響が少ないと考え無視した。電力および燃料の LCI については、データベース<sup>9)</sup>の値を用いて算出した。なお、燃料については、自工会による工程(MP)原単位<sup>3)</sup>から燃料別に集計した。これらのデータは、資源採取まで遡った値であるが、それぞれのシステム境界および使用したバックグラウンドデータなど詳細は不明であり、必ずしも同一でないと考えられる。また、データベース<sup>9)</sup>の資源量は資源相当量(reserves)であり、実際の採掘量とは必ずしも一致しない。

LCI 算出結果を図4の左側に示す。ここでは素材のアルミニウム板材をバージン(新地金)配合とし、加工スクラップの市場価格を考慮して 95%の評価を行い控除している。参考までに、冷延鋼板のスクラップ配合比率 2.8%と同一と仮定した場合、及びスクラップ配合比率 50%、100%とした場合の算出結果をあわせて示した。また、発生する加工スクラップ及び廃棄されたフードも新地金相当として扱い、加工スクラップの市場価格を考慮して 95%の評価を行い、控除した結果をスクラップ配合 2.8%、50%、100%の場合について図4右側に示した。フード廃棄、回収時のエネルギーは考慮されていないが、手解体によって解体される場合、エネルギーをほとんど要しないと見られる。廃棄加工スクラップ及び廃棄されたフードを新地金として控除することにより、アルミニウム製フードの環境負荷は鋼製フードを下回り、新地金 100%でも鋼の半分以下となる。また、スクラップ配合比率 50、100%の場合にアルミニウム製フードの環境負荷がマイナスとなり、加工スクラップ、廃棄時フードを控除した場合、アルミニウムのフード環境負荷は鋼製フードに比べ、かなり低くなるのがわかる。いっぽう、自動車用冷延鋼板については、品質要求が厳しいため、環境負荷はさらに若干高いものとなると考えられる。

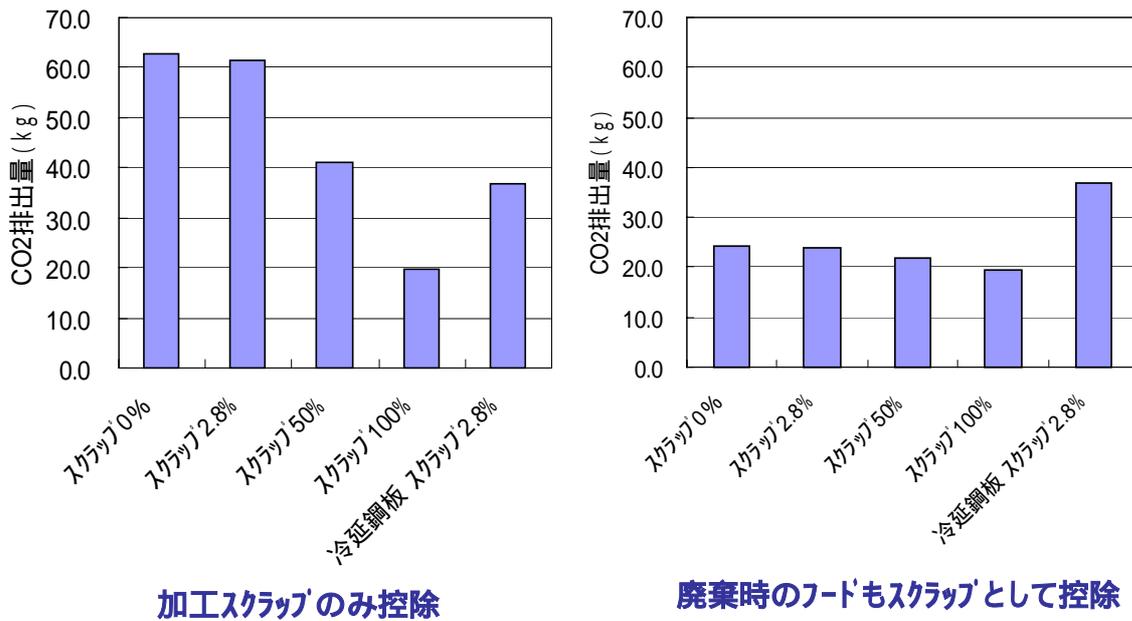


図4 アルミニウム製および鋼製フードの LCI

## 2.2 バンパー補強材製造時のインベントリ分析 (Inventory analysis of bumper reinforcement production)

### 2.2.1 機能と機能単位 (Function and functional unit)

アルミニウム製バンパー補強材の加工・組立てプロセスを対象システムとする。比較システムとしては従来の鋼製バンパー補強材の加工・組立てプロセスを対象とする。なお、工場内での搬送は考慮しない。

製造されるバンパー1本を機能単位とする。バンパー補強材の形状は装着される自動車の種類によって様々であるため、図5に示す形状をアルミニウム製バンパー補強材と鋼製バンパー補強材のモデルとした。参考までに、セドリックとユーノスロードスターのアルミニウム製バンパー補強材の重量はそれぞれ 4.0kg、2.1kgであった。

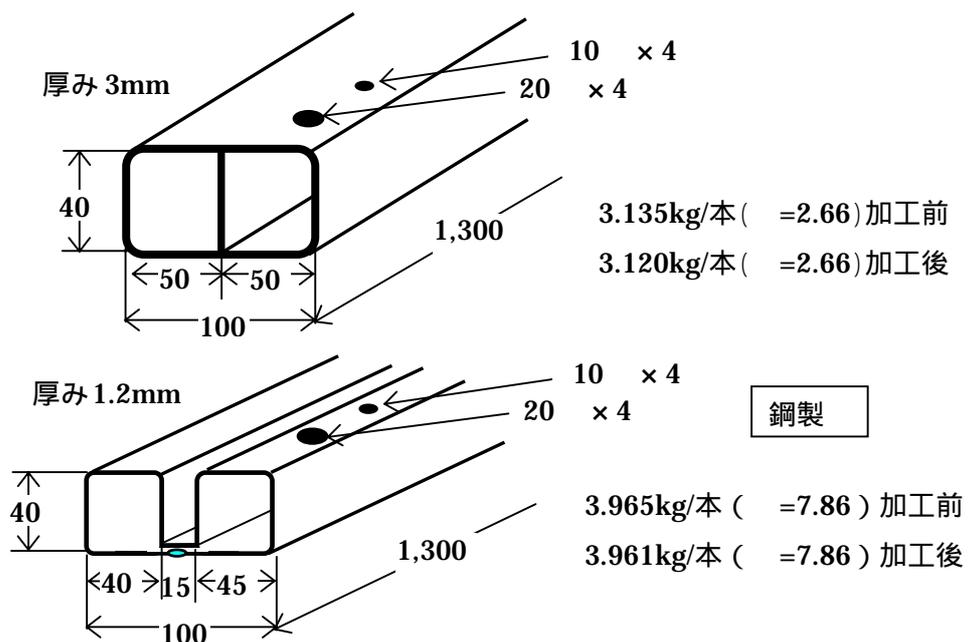


図5 アルミニウム製および鋼製バンパー補強材の形状

### (3)システム境界

アルミニウム製バンパー補強材の場合、図 6 に示すように、システム境界(データ収集範囲)は押出し材搬入後から、バンパー補強材製造までとした。

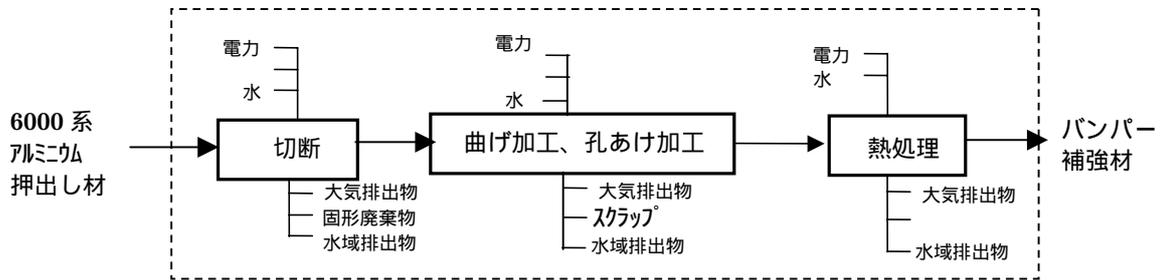
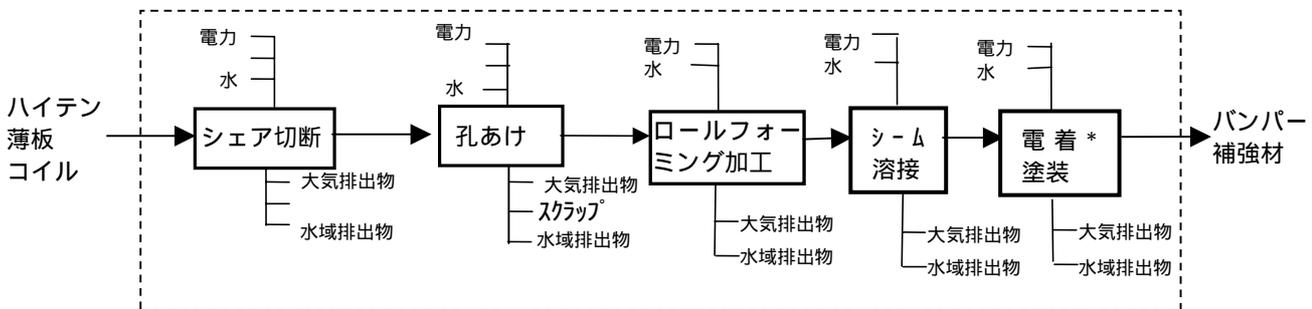


図6 アルミニウム製バンパー補強材製造のシステム境界およびデータ収集範囲

アルミニウム製バンパーの場合、押出し材を所定の長さに切断した後、曲げ加工、孔あけ加工を経て製造される。

鋼製バンパー補強材の場合もアルミニウム製バンパー補強材と同様に、図7に示すように、システム境界(データ収集範囲)はハイテン薄板コイル搬入後から、バンパー補強材製造までとした。鋼製バンパー補強材には口の字型、Bの字型などがあり、ハイテン薄板のコイルから所定の長さを打ち抜き機で切断、孔あけ加工した後、ロールフォーミングまたは、プレスにより加工され、シーム溶接される。ロールフォーミングの場合、単一の設備で一連の工程が終了し、その後、塗装工程を経て鋼製バンパー補強材が製造される。



\* 電着塗装についてはボディと同時に塗装する場合もある。

図7 鋼製バンパー補強材の製造のシステム境界およびデータ収集範囲

#### 2.2.3 データ収集とデータソース(Data collection and data sources)

アルミニウム製バンパー補強材、鋼製バンパー補強材のインベントリについては、図6および図7に示す工程に沿って、文献、資料<sup>3)4)5)</sup>を参考に算出した。なお、電力のエネルギー換算は 2,250 kcal/kWh とした。

## 2.2.4 インベントリの算出 (Calculation of the inventory)

以上よりアルミニウム製および鋼製バンパー補強材各 1 個あたりの加工・組立てのインベントリは図8の様に推定される。

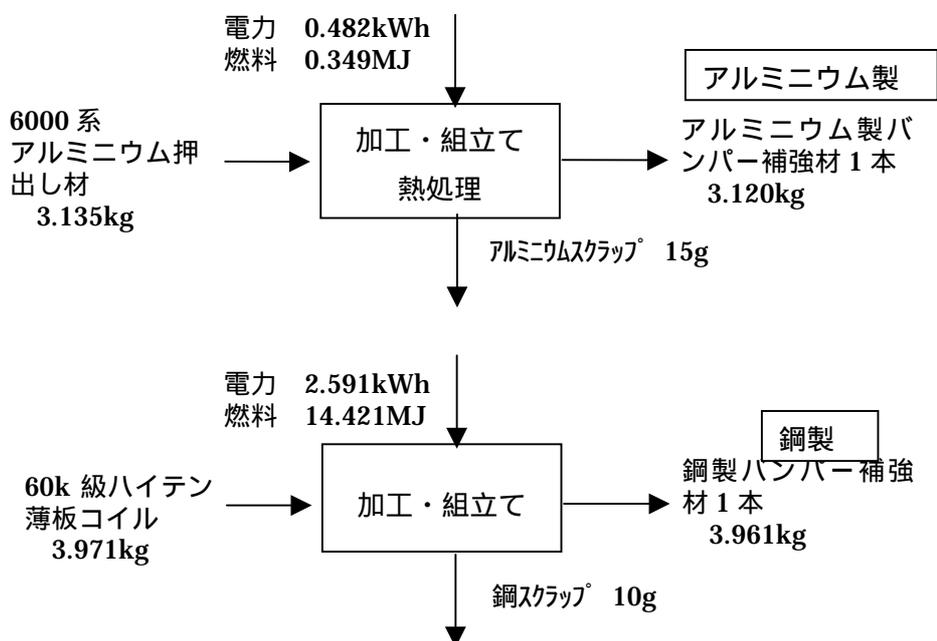


図8 アルミニウム製および鋼製バンパー補強材各 1 本あたりの加工・組立てのインベントリ

## 2.2.5 バンパー補強材のライフサイクルインベントリ(LCI)

バンパー補強材製造のインベントリをもとに、公表されているバックグラウンドデータ<sup>7)8)9)</sup>を用いて資源採取まで遡って環境負荷を算出した。

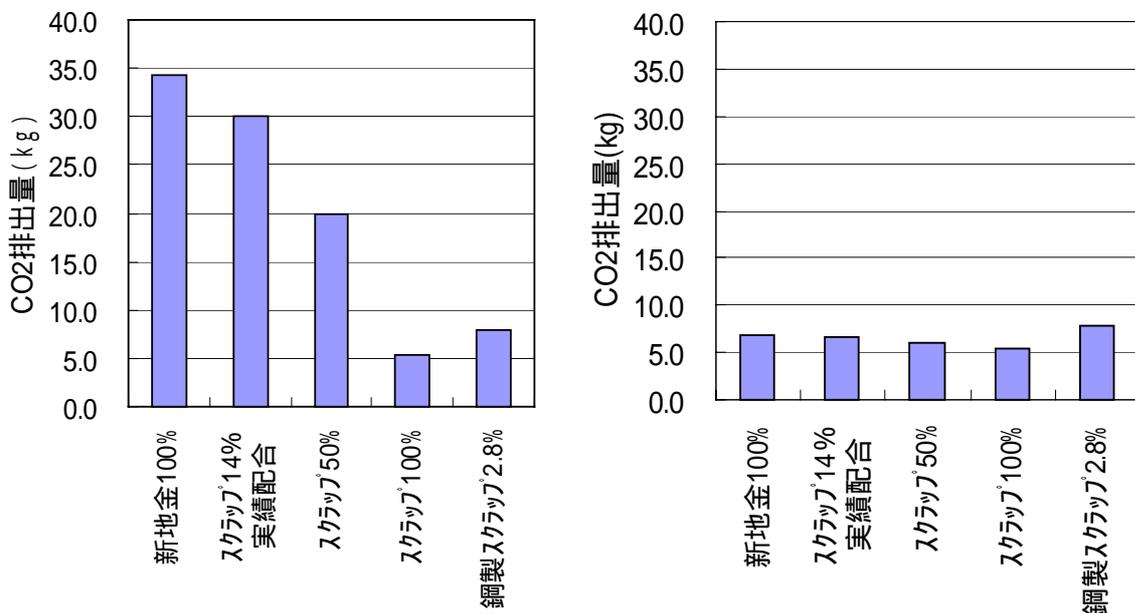
アルミニウム製および鋼製バンパー補強材の製造に関わるインベントリを再整理した結果を表 3 に示す。

表 3 アルミニウム製および鋼製バンパー補強材製造のインベントリ

		単位	アルミニウム製	鋼製	備考
入力	素材(板材)	kg	3.135	3.971	
	電力	kWh	0.482	2.591	
	燃料	MJ	0.112	14.421	
	一般炭	kg	0	0.088	鋼製バンパーの燃料の内訳(文献 1 による)
	ガソリン	L	0	0.004	
	A 重油	L	0	0.160	
	LPG	kg	0	0.001	
	ブタン	kg	0	0.053	
ブタンエアガス	Nm <sup>3</sup>	0	0.005		
都市ガス 6A	Nm <sup>3</sup>	0.0083	0.072		
出力	製品(バンパー補強材)	kg	3.120	3.961	
	加工スクラップ	kg	0.015	0.010	
	CO <sub>2</sub>	kg	0.018	1.072	文献 1)による (電力分は含まず)
	NO <sub>x</sub>	g	0.153	2.595	
SO <sub>x</sub>	g	0.182	1.689		

素材(押出材および板材)の LCI については、6000 系小型形材<sup>5)</sup>および冷延鋼板<sup>6)</sup>の値を用いた。アルミニウム製バンパー補強材については、品質的な要求がそれほど厳しくないと考えられるため、小型形材の実績平均である新地金配合 50%のケースについても算出した。電力および燃料の LCI については、データベース<sup>7)</sup>の値を用いて算出した。なお、燃料については、自工会による工程(MP)原単位<sup>1)</sup>から燃料別に集計した。これらのデータは、資源採取まで遡った値であるが、それぞれのシステム境界および使用したバックグラウンドデータなど詳細は不明であり、必ずしも同一でないと考えられる。また、データベース<sup>7)</sup>の資源量は資源相当量(reserves)であり、実際の採掘量とは必ずしも一致しない。

図12の左側に発生する加工スクラップを市場価格を考慮して 95%の評価を行い、控除した LCI 算出結果を示す。ここではスクラップの実績配合率である 14%および 50%、100%の場合について示す。アルミニウム新地金の環境負荷は大きいですが、スクラップの実績配合率である 14%では 1 割程度小さくなり、スクラップ 50%配合ではほぼ半減する。なお、加工スクラップは、切断代および穴あけにより発生するもののみの値であり、素材の端材は含まれていない。また、図12の右側に発生する加工スクラップ及び廃棄されたバンパー補強材も新地金の 95%相当の評価を行い、控除した結果を示す。フードの場合と同様に廃棄、回収時のエネルギーは考慮されていないが、手解体によって解体される場合、エネルギーをほとんど要しないと見られる。廃棄加工スクラップ及び廃棄されたバンパー補強材を控除することにより、アルミニウム製フードの環境負荷はスクラップ配合率に関わらず鋼製フードを下回る。



### 3. 結論

鋼製とアルミニウム製のフード、バンパー補強材について LCI を試算した。この結果、アルミニウム製フード、バンパー補強材とも新地金から製造した場合、加工スクラップを控除しても鋼製のものに比べ、LCCO<sub>2</sub> の排出量が高くなる。いっぽう、加工スクラップに加え、使用済み自動車解体後に回収されたアルミニウム製フード、バンパー補強材が、新地金の代わりに素材原料として利用される場合を想定し、加工スクラップに加え、アルミニウム製フード、バンパー補強材を控除した場合は、鋼製に比べ、LCCO<sub>2</sub> の排出量は低くなるのがわかった。

## 参考文献 (REFERENCE)

- 1) プレス技術、第 36 巻、1 号(1998),p.34
- 2) 甚田昌彦: プレス技術、第 32 巻、9 号(1994),p.19
- 3) 自動車工業会より提供された「2002 年版素材・加工(MP)原単位の平均値一覧(1997 年製造段階、乗用車用)」
- 4) NEDO 平成 14 年度「製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発」報告書
- 5) Pré Consultants 社の「SimaPro ver.5」付属データベース
- 6) 社団法人自動車技術協会編集、自動車技術シリーズ5、自動車の材料技術(1996)、p.45
- 7) (財)金属系材料研究開発センター:「アルミ自動車材の LCI データ調査報告書」(2003.2); 「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」平成 14 年度成果報告書(2003)
- 8) 産業環境管理協会:「LCA 試験公開データベース」(2003)
- 9) 産業環境管理協会: LCA 解析ソフトウェア JEMAI-LCA 付属データベース
- 10) プレス技術、第 30 巻、14 号(1992),p.16