

1.1.2 容器包装—アルミニウム缶の LCI 分析

アルミニウム缶については、容器包装の一つとして多くの LCA 事例が報告されているが、機能、システム境界、データ品質、リサイクルの扱いなど、必ずしも適切とは言えない。

そこで、(社)日本アルミニウム協会では、アルミニウム缶の環境負荷について正しい認識を促すためにも、アルミニウム缶を対象とした実態に即したインベントリデータを作成し、アルミニウム缶の資源採取から廃棄・リサイクルに至る LCI を算出した。

(1) 調査の目的

フォアグラウンドデータに基づくアルミニウム缶にかかわるインベントリを作成し、リサイクルの実態を考慮した LCI 分析を行い、あわせてオープンループリサイクルの評価について提案する。ただし、ここではインベントリ作成に関する記述は省略する。

(2) 調査範囲

(i) 対象製品

飲料用アルミニウム缶を対象とする。

(ii) 機能単位

飲料用 350ml アルミニウム缶^{注1} 1本を機能単位とする。ただし、内容物は対象外とする。実測によるアルミニウム缶の平均重量を表 1 に示す。缶エンドにはタブを含む。

表 1 350ml アルミニウム缶の平均重量

	缶ボディ	缶エンド	350ml 缶
単 位	g/缶	g/枚	g/缶
本体 (Al 分)	11.898	3.484	15.382
塗料等	0.419	0.094	0.513
製品重量	12.317	3.578	15.895

(iii) システム境界

図 1 に示すように、アルミニウム新地金製造、板製造、製缶、流通、リサイクル（回収、再生地金製造）および輸送など、資源採取から廃棄に至るまでをシステム境界とする。充填については、その負荷を内容物が負担すべきか容器が負担すべきか議論の分かれるところであり、また使用段階については内容物に由来すると考え、ここでは対象外とした。

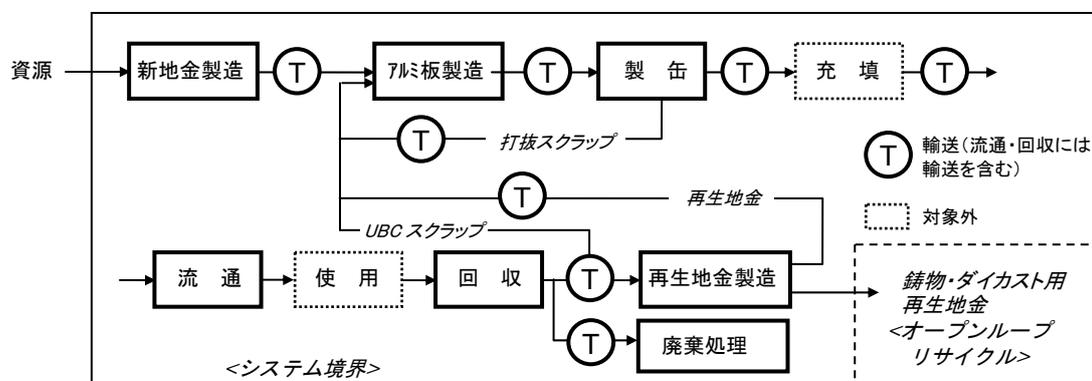


図 1 アルミニウム缶のライフサイクル

注1 とくに容器間の比較を行う場合には、炭酸飲料用など、さらに機能を特定する必要がある。

(iv) データ収集およびデータソース

積み上げ法により LCI を算出するには、各段階、各プロセスのインベントリデータが必要である。従来のアルミニウム缶の LCA においては、アルミニウムのインベントリとして一般的なアルミニウム板の値が用いられているが、アルミニウム缶ではボディ（胴部）とエンド（蓋）では材質が異なり、その環境負荷も異なる。また、再生地金も展伸材用、鋳物用など、用途によって原料、製造法が異なる。

ここでは（社）日本アルミニウム協会がアルミニウム缶を対象に調査・作成したインベントリを用いた。すなわち、板製造工程については、缶ボディ材（AA3004）および缶エンド材（AA5182）の国内 4 社の 1999 年度実測データに基づく加重平均値¹⁾である。なお、最近、使用済みアルミニウム缶（UBC）から再生地金を経ずに直接缶ボディ用スラブを製造するプロセスが稼動しており、缶ボディ材のインベントリはこれを含めて見直した値である。製缶工程については、350ml 缶ボディおよび缶エンドについて、製缶メーカ 4 社の 1999 年度実測データを同様に加重平均した値である。再生地金製造工程については、UBC を原料とした缶ボディ材用再生地金の国内 3 工場の 1999 年度実績値をもとに算出した。

これらのフォアグラウンドデータとは別に、アルミニウム新地金のインベントリが重要である。アルミニウム新地金についてはそのほとんどが輸入であり、1998 年度のわが国の輸入実績に即して各製錬所の電源構成を考慮し算出したインベントリ²⁾を用いた。また、アルミニウム新地金以外の原材料、副資材、電力・燃料などのエネルギーの製造に関わるいわゆるバックグラウンドデータについては、各種データベース等^{3,4)}によった。

これらのインベントリを表 2 に示す。表において、板製造、製缶、再生地金製造について上段はフォアグラウンドデータ（サイトデータ）を示すが、下段は原材料以外の副資材、エネルギー等の採掘・製造にかかわるインベントリである。したがって、それぞれの製品の LCI（環境負荷）は、それぞれの原材料の LCI と、上段の出力およびバックグラウンドデータを加算したものになる。なお、新地金はバックグラウンドデータとして扱った。

表 2 アルミニウム新地金、再生地金製造、板製造および製缶のインベントリ

		単位	新地金	再生地金 製造	板製造		製 缶	
					缶ボディ材	缶エンド材	缶ボディ	缶エンド
フォアグラウンドデータ	入 力	原材料	kg	1.160	1.070	1.022	1.236	1.212
		副資材等	kg	0.003	0.044	0.112	0.241	0.049
		電力	kWh	0.131	0.649	1.047	2.319	0.606
		燃料	MJ	7.217	6.718	9.512	8.025	0.541
		水	kg	2.427	8.134	19.376	25.342	0.105
	出 力	製品	kg	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
		スクラップ等	kg				0.239	0.223
		CO ₂	kg	0.568	0.443	0.508	0.762	0.119
		NO _x	g	0.231	1.355	0.680	1.659	
		SO _x	g	0.132	0.457	0.379		
		浮遊粒子状物質	g	0.000	0.024			
		t-P	g		0.0026	0.0077	0.0095	0.0001
		t-N	g		0.0164	0.0571	0.0231	0.0005
		BOD	g		0.0494	0.0817	0.0963	0.0014
COD	g		0.0746	0.1329	0.085	0.0014		
SS	g		0.0317	0.0389	0.0793	0.0006		
固形廃棄物	kg		0.013	0.012	0.013	0.058	0.009	

バックグラウンドデータ	入力	ボーキサイト	kg	3.675	0.040	0.005	0.002	0.000	0.000
		石灰石	kg	0.170	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
		岩塩	kg	0.054	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
		石炭	kg	1.354	0.023	0.039	0.061	0.127	0.034
		原油	kg	1.244	0.169	0.170	0.228	0.617	0.164
		天然ガス	kg	0.433	0.010	0.514	0.751	0.081	0.023
		その他鉱石	kg	0.000	0.000	0.010	0.010	0.000	0.000
		水	kg	8.615	0.000	0.030	0.043	5.132	1.912
		エネルギー	MJ	153.776	2.689	0.632	0.778	3.721	1.253
	出力	CO ₂	kg	9.601	0.173	0.321	0.518	1.222	0.330
		NO _x	g	18.300	0.240	0.318	0.488	1.602	0.547
		SO _x	g	58.300	0.114	0.366	0.878	1.445	0.313
		浮遊粒子状物質	g	24.000	0.247	0.029	0.050	0.093	0.021
		t-P	g					0.000	0.000
		t-N	g		0.000	0.002	0.002	0.000	0.000
		BOD	g	0.001	0.000	0.005	0.005	0.000	0.000
		COD	g	0.038	0.000	0.065	0.070	0.678	0.025
SS		g	1.180	0.012	0.007	0.008	0.001	0.000	
固形廃棄物	kg	1.192	0.021	0.006	0.008	0.007	0.004		

注) 再生地金、板製造、製缶のバックグラウンドデータには、それぞれの原材料以外のデータを示す。再生地金製造の原材料 1.16kg は投入量であり、アルミニウム缶以外の水分・異物も含まれている。

いっぽう、流通を含む輸送段階、廃棄段階・リサイクル段階についてはその形態が特定できず、ここでは文献、データベースあるいは他の報告書などを参考にし、必要に応じてモデルを設定した。廃棄・リサイクル処理プロセスに関するデータおよびデータソースを表 3 に、輸送に関するモデルを表 4 に示す。輸送のインベントリには JEMAI-LCA データベース³⁾を使用した。

表 3 廃棄・リサイクル処理プロセスに関するインベントリ

プロセス	データ	備考(出所)
中間処理	手選別・磁選・プレス： 電力 39.06kWh/t シュレツダ・磁選： 電力 28.5 kWh/t	野村総合研究所 ⁵⁾
廃棄	重機使用： 軽油 1.522 L/t	日本 LCA 研究会 ⁶⁾

表 4 輸送に関するインベントリモデル

輸送	モデル	備考
原材料輸送	新地金 40t トレーラ (70%) 120km (片道) 10t トラック (30%) 30km×2 (往復) 積載率 100%	
	再生地金 20t トラック 100km (片道) 積載率 100%	輸入地金は考慮せず
	市中スクラップ 20t トラック 100km (片道) 積載率 100%	プレス品
	UBC スクラップ 回収拠点～スラブ製造工場。 実績値 (軽油 11.6 L/t・scrap) を使用	再生スラブ製造用。
	加工スクラップ 圧延材輸送の復路を利用	製缶工場、スケルトン
圧延材輸送 (圧延～製缶工場)	25t トラック、積載率 90% 200km (往)、200km×0.5 (復)	
空缶輸送 (製缶～充填工場)	10t トラック、積載本数 67,830 本 (350ml)、 400km×2 (往復)	積載本数は、エンド・タブ混載
流通	4t トラック、積載本数 10,752 本 (350ml)、 200km×2 (往復)	64 ケースパレット
収集・回収	ステーション→清掃工場 (自治体回収) ・混合回収： 2t パッカー車、297.71 km/t ・不燃ごみ回収： 2t パッカー車、138.7 km/t ・資源ごみ回収： 2.9t 車、579.4 km/t 回収拠点→リサイクルセンター (回収業者) 2t トラック、積載量 0.5 t、 20 km×2 (往復)	日本 LCA 研究会 ⁶⁾

事業系 ・ 廃棄分（不燃ごみデータ使用）： 2tパッカー車、 46.23 km/t ・ リサイクル（混合回収データ使用）： 2tパッカー車、 99.24 km/t

UBC の収集・回収量については、図 2 に示すアルミ缶リサイクル協会による平成 12 年度リサイクルフロー⁷⁾に従った。

$$\begin{aligned} \text{アルミ缶リサイクル率} &= \frac{\text{再生利用重量}^{\text{注2)}}}{\text{消費重量}} = 80.6\% \\ \text{Can to Can 率} &= \frac{\text{缶材向け重量}}{\text{再生利用重量}} = 74.5\% \\ \text{缶材向け重量} / \text{消費重量} &= 60.1\% \end{aligned}$$

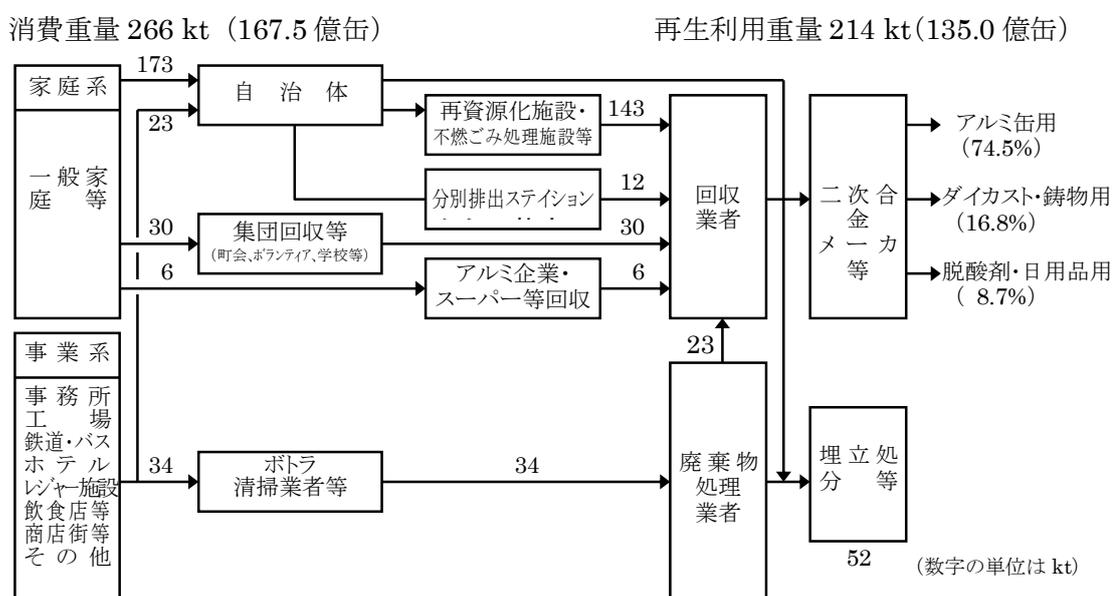


図 2 平成 12 年度アルミニウム缶リサイクルフロー（アルミ缶リサイクル協会による）⁷⁾

(3) アルミニウム缶の LCI 算出

(i) 前提条件

アルミニウム缶の LCI 算出にあたり、以下の前提条件をおいた。

- ・ マテリアルフローは、アルミニウムについて各工程の実績歩留まりによりバランスさせる。ここで、合金成分はアルミニウムとして扱う。
- ・ UBC からの再生地金は、ボディ材にのみリサイクルされる。
- ・ 板製造のインベントリは原料（新地金、再生地金、スクラップなど）配合により変わらない。
- ・ 図 3 に示すように各工程・段階においてスクラップが発生、リサイクルされるが、ここでは表 5 のよう扱う。なお、再生地金のオープンループリサイクルについては後述する。
- ・ 板圧延および再生地金製造時の溶解工程において 2~3% のドロスが発生し、大部分は有効利用されているが、ここでは評価の対象から外す。

注 2) 再生利用重量 = 回収重量 × 再生利用率

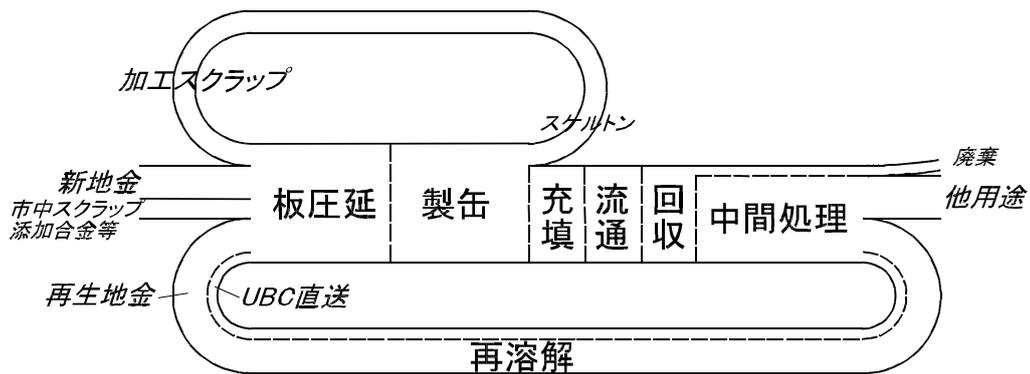


図3 スクラップリサイクルの取扱い

表5 インベントリ算出におけるスクラップの取扱い

発生工程	使用工程	取扱い
板製造:回転スクラップ	板製造(溶解原料)	原料としてのロスはない
製缶:加工(打抜)スクラップ	板製造(溶解原料)	ボディ材:ロス率*0.5% エンド材:ロス率*4%(塗装材のためロス増大)
使用済みアルミ缶(UCB)スクラップ	再生地金として板製造(溶解原料)	Can to Can リサイクル 再生地金製造時のAlロス5% すべてボディ材に使用
	UCBスクラップから直接ボディ用板製造(溶解原料)	1社のデータのため、ボディ材のインベントリに含めて集計
	再生地金として鋳物工場等	鋳物用等、オープンループリサイクル 再生地金製造時のAlロス5%

*溶解時のドロロス等へのロスは、別途インベントリに計上されている。また、加工(打抜き)スクラップは圧延工場内の専用炉で溶解する場合があるが、そのエネルギー等は、板材のインベントリに含まれている。

(ii) マテリアルフロー

350ml 缶 1 缶 (15.895g) あたりのマテリアルバランスを表6に示す。

表6 350ml 缶 1 本あたりのマテリアルバランス (単位 g)

	歩留/比率	インプット(原料)			アウトプット(製品)			アウトプット(スクラップ)			ロス・不明	
		総重量	アルミ	塗料等	総重量	アルミ	塗料等	総重量	アルミ	塗料等	アルミ	
板圧延	新地金(合金等を含む)	4.131	4.131	0.0								
	再生地金(UCB)	7.020	7.020	0.0								
	市中スクラップ(UCB)	2.084	1.847	0.237								
	加工スクラップ	2.941	2.941	0.0								
	工場内回転スクラップ	5.430	5.430	0.0								
	ボディ材(3004)	0.701	21.606	21.369	0.237	15.221	15.221	0.0	5.430	5.430	0.0	0.718
	新地金(合金等を含む)		2.369	2.369	0.0							
	再生地金		0.498	0.498	0.0							
	市中スクラップ		0.800	0.800	0.0							
	加工スクラップ		0.796	0.787	0.010							
工場内回転スクラップ		1.892	1.869	0.023								
エンド材(5182)	0.686	6.356	6.323	0.033	4.337	4.284	0.053	1.892	1.869	0.023	0.170	
製缶	ボディ材/ボディ	0.809	15.221	15.221	0	12.317	11.898	0.419	2.941	2.941	0.0	0.382
	エンド材/エンド・タブ	0.825	4.337	4.284	0.053	3.578	3.484	0.094	0.796	0.787	0.010	0.013
	350ml 缶					15.895	15.382	0.513				
廃棄・リサイクル	回収(リサイクル)	0.806				12.811	12.398	0.413				
	回収(埋立等)・未回収	0.194				3.084	2.984	0.100				
	UCB(再生スラブ用)	1.092	1.909	1.847	0.062	2.084	1.847	0.237				
	UCB 再生地金(Can)	0.950	7.636	7.389	0.246	7.020	7.020	0.0				0.369
	UCB 再生地金(オープン)	0.950	3.267	3.161	0.105	3.003	3.003	0.0				0.158
Can to Can 率	0.745											

ライフサイクルにおけるマテリアルフローを図 4 に示す。ここで、インプットのアルミニウム（メタル分）とアウトプット（製品およびスクラップ）との差をドロロス・不明分等とした。また、廃棄・リサイクル段階においては、リサイクル率（80.6%）で振り分け、さらにリサイクルされる UBC については、再生スラブ用 UBC スクラップと缶ボディ材向け再生地金用 UBC を Can to Can として戻すものとした（アルミニウム分で配分）。

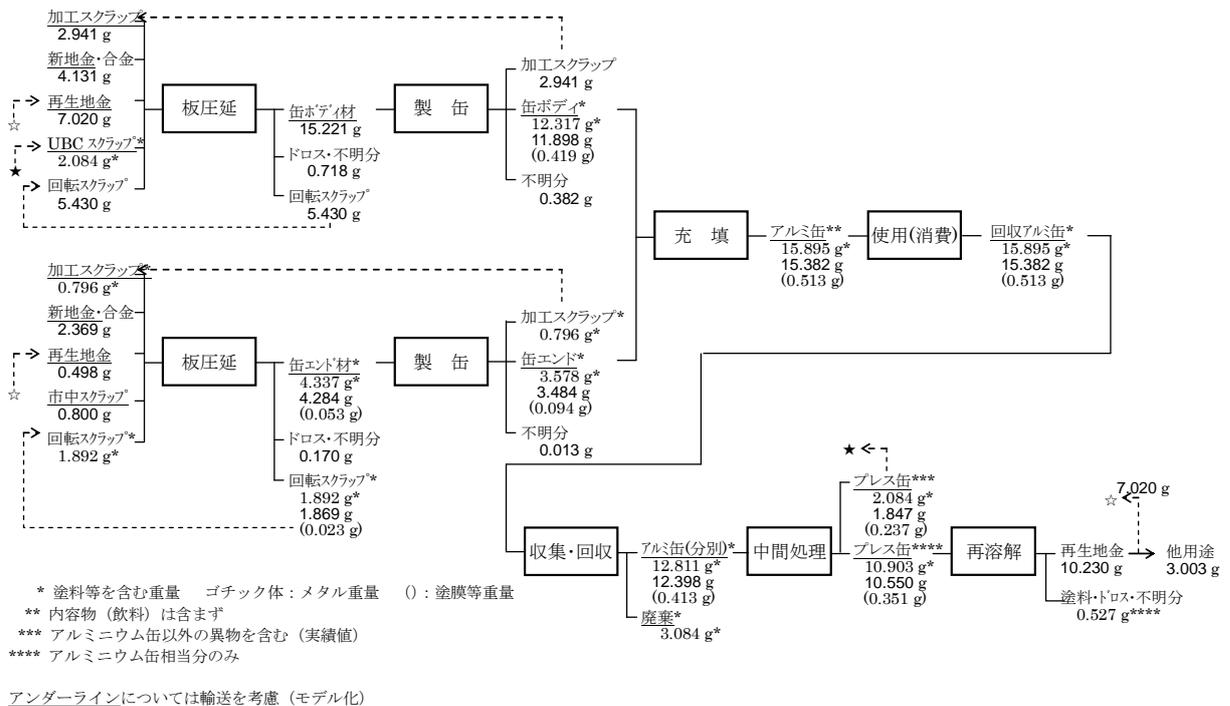


図 4 アルミニウム缶のライフサイクルにおけるマテリアルフロー

(iii) オープンループリサイクルの扱い

UBC のリサイクルについては、前述のようにシステム内でリサイクルされるもの以外に、鋳物・ダイカスト用再生地金としてシステム境界外へのリサイクルがある。これらは本来 Can to Can リサイクルが可能であるにもかかわらずシステム境界外で使用されており、新地金代替原料として評価してもよい。しかしながら客観的な評価基準という観点からは、経済価値で評価することが合理的と考えられる。そこで、本調査では、再生地金の新地金に対する市場価格比が 95%であることから、[新地金の環境負荷×0.95]をオープンループリサイクルの評価として控除することにした。ただし、このような市場価格を用いる評価の前提として、次のような条件を満たす必要があると考える：

① 素材そのものとして価格を合理的に算定できること

加工品の市況価格しかなく、素材のみの単価を合理的に算定できない場合は適用できない。

第三者に容易に検証できる素材の市況価格がある（公開されていることが望ましい）ことが必要である。

<合金メーカー購入平均価格> アルミ缶プレス (A) ; 110~115 円/kg

＜非鉄市中相場＞ アルミ地金； 215~219 円/kg
 二次合金地金ダイカスト用； 250~255 円/kg
 2002年2月15日(金) 日刊産業新聞による

② 常に需要があること

景気変動や需要の振れが大きく、価格がつかない期間があるような素材は適当でない。
 アルミニウム缶スクラップは、缶にリサイクル可能であり、他用途としても自動車用鋳物、ダイカスト等の需要が常にある。

③ 素材として汎用性があること

ユーザーが限定されており、価格が政策的に付けられるような素材は適当でない。また、特定の用途がなくなれば、すぐに余剰となるような素材でないこと。
 アルミニウム缶スクラップは添加されている元素にも価値があり、アルミニウム原料としての用途も広く、素材としての汎用性は高い。

(iv) ライフサイクルインベントリ (LCI)

マテリアルフローに沿って、原材料、各プロセスおよび輸送のインベントリを積み上げた結果を表7に示す。また、ライフサイクルにおける二酸化炭素排出量(LCCO₂)を図5に示す。なお、図において地金など原材料の国内輸送は板圧延段階、圧延材の輸送は製缶段階、空缶の輸送は充填段階、充填された飲料缶の飲料メーカーから販売店までの輸送は流通段階に含め、使用済み缶の消費者から自治体あるいは業者を経てリサイクルセンターおよび中間処理業者までの輸送は廃棄・リサイクル段階に含めた。前項のオープンなループリサイクルによる控除は、地金製造(原材料)に反映されている。

表7 350mlアルミニウム缶1本あたりのLCI

項目		単位	オープンループリサイクル	
			考慮なし	考慮あり
資源	(r)ボーキサイト	kg	0.0243	0.0203
	(r)石灰石	kg	0.0011	0.0009
	(r)岩塩	kg	0.0004	0.0003
	(r)石炭	kg	0.0299	0.0254
	(r)原油	kg	0.0294	0.0282
	(r)天然ガス	kg	0.0152	0.0147
	(r)ウラン(鉱石)	g	0.0000	0.0000
	(r)その他鉱石	kg	0.0002	0.0002
	水	kg	0.6293	0.6229
	エネルギー	MJ	2.2559	2.1011
排出物	(a)二酸化炭素(CO ₂)(計算値)	kg	0.1372	0.1275
	(a)窒素酸化物(NO _x)	g	0.4188	0.3993
	(a)硫黄酸化物(SO _x)	g	0.4286	0.3650
	(a)浮遊粒子状物質(特定せず)	g	0.1599	0.1338
	(w)りん(t-P)	g	0.0002	0.0002
	(w)窒素(t-N)	g	0.0008	0.0008
	(w)生物化学的酸素要求量(BOD)	g	0.0024	0.0024
	(w)化学的酸素要求量(COD)	g	0.0127	0.0127
	(w)浮遊物質(SS)	g	0.0095	0.0083
	固形廃棄物	kg	0.0128	0.0115

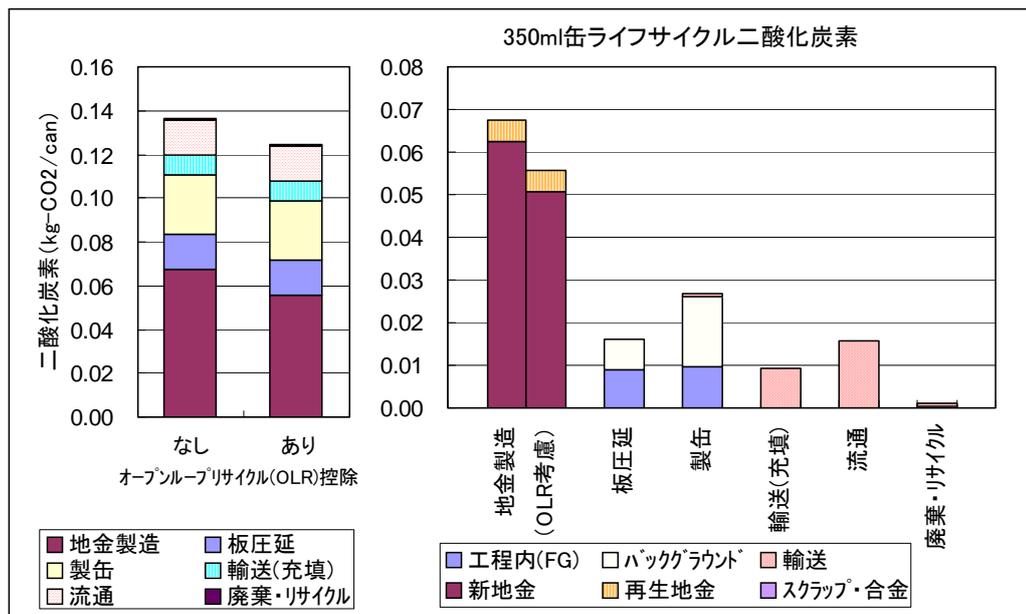


図5 350ml アルミニウム缶の各段階における二酸化炭素排出

(4) 考察

(i) 寄与分析

350ml 缶のライフサイクルエネルギー消費 (LCE) および LCCO₂ に対する各段階の寄与率を表 8 に示す。いずれも、地金製造が約 50%、製缶段階で約 20% 近くを占め、残りを板圧延、充填 (空缶輸送) および流通段階等で占めている。このことからリサイクルが重要であることがわかる。いっぽう、空缶輸送および流通段階における輸送の影響も無視できず、実態に即したモデルの設定および適切な輸送にかかわる燃費データが必要である。

表 8 350ml 缶の LCE および LCCO₂ に対する各段階の寄与 (%)

段 階	地金製造	板圧延	製缶	充填*	流通	廃棄・リサイクル処理
エネルギー	49.2	12.3	21.5	0.0	0.0	0.2
同 (輸送)		0.1	0.6	5.8	9.8	0.5
二酸化炭素	50.8	11.1	18.7	0.0	0.0	0.2
同 (輸送)		0.0	0.7	6.6	11.3	0.6

* 充填は製缶メーカー～飲料メーカーの輸送のみを考慮

(ii) スクラップ配合率の影響

原材料となる地金製造については、新地金の寄与が極めて大きく、スクラップ配合率の向上はそのまま環境負荷の低減に繋がる。そこで、このリサイクル率 (スクラップ配合率) および Can to Can 率の影響について、以下のような仮定をおいて検討した。

- ・溶解原料の種類によって溶解鋳造時のエネルギー消費、副資材投入量、溶解歩留りは変わらない。
- ・溶解原料は、新地金、再生地金、再生スラブ用 UBC スクラップ、市中スクラップ、加工スクラップおよび添加合金等であるが、加工スクラップは全量リサイクルされ、

また、添加合金等は一定であるとする。実質的に投入されるスクラップは（再生地金+UBCスクラップ+市中スクラップ）であり、スクラップ配合率を次式のように定義する。

なお、原料配合は缶ボディ材と缶エンド材の区別はせずに同一とした。

$$\text{スクラップ配合率 (\%)} = \frac{\text{スクラップ配合量}}{\text{(新地金配合量+スクラップ配合量)}} \times 100$$

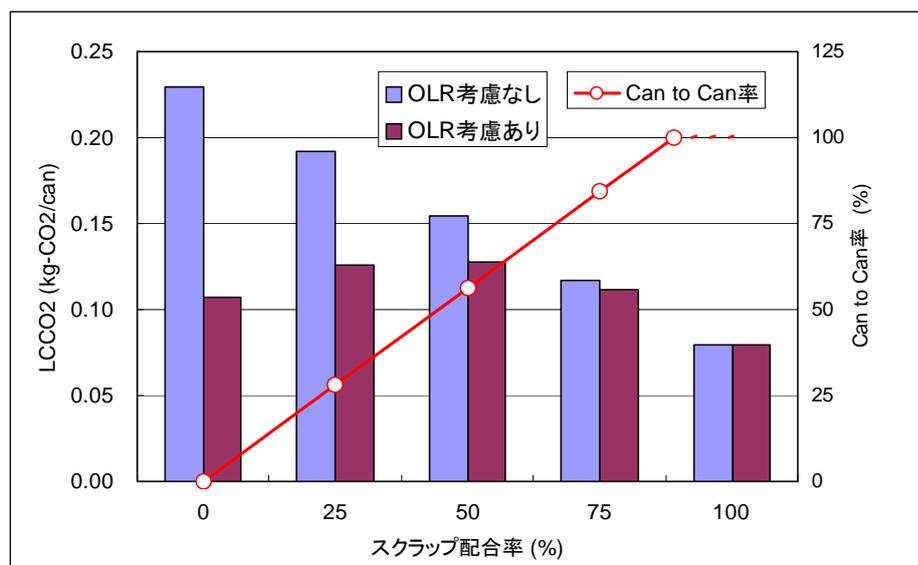
- ・ UBC は、再生地金および再生スラブ用スクラップの形で Can to Can リサイクルされ、余剰となったものが鋳物用再生地金としてオープンループリサイクルされるとする。したがって、Can to Can 率は次式で表される。

Can to Can 率 (%) = (再生スラブ用 UBC 量+再生地金用 UBC 量) / 回収 UBC 量
 なお、Can to Can リサイクルされる再生スラブ用 UBC スクラップと再生地金用 UBC スクラップの割合は 20/80 とした。

- ・ 再生地金製造時の再溶解歩留りは、アルミニウム分で 95%^{注2)}とした。
- ・ オープンループリサイクルされる再生地金の評価は 3-(iii)項に準じた。

スクラップ配合率を変化させた場合の LCCO₂ を図 6 に示す。ここでは、原料のスクラップは Can to Can リサイクルによるものとしたため、スクラップ配合率 88.9%において Can to Can 率が 100%となり、これ以上のスクラップ配合率とするためには、計算上は他からスクラップの供給が必要となる。また、オープンループリサイクル (OLR) を考慮した場合の値がスクラップ配合率 50%付近で最大となっているが、これはオープンループリサイクルとなる再生地金の評価を、スクラップ配合率に応じた原料の 95%として控除したためである。

図 6 アルミニウム缶の LCCO₂ に及ぼすスクラップ配合率の影響



いっぽう、リサイクル率（アルミニウム缶の回収率に相当）および Can to Can 率を変数とし、それぞれ 70~100%に変化させた場合の LCCO₂ を図 7 に示す。

注2) 塗料等の実測値を考慮すると、アルミニウム缶としての再溶解歩留りは 91.93%となる。

オープンループリサイクルを考慮しない場合には、リサイクル率の向上とともに Can to Can 率の向上が環境負荷低減に寄与することになるが、オープンループリサイクルを考慮した場合には、リサイクルが適切に評価されているため、Can to Can 率の差はなく、アルミニウム缶の回収率を含めたリサイクル率そのものの向上が必要である。

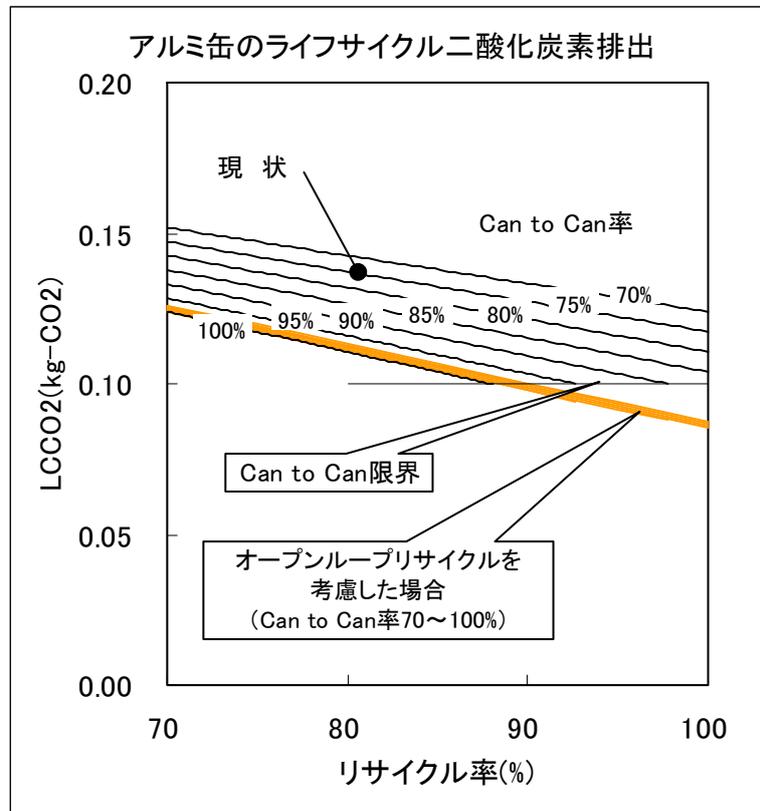


図7 アルミニウム缶の LCCO₂ に及ぼすリサイクル率および Can to Can 率の影響

(5) まとめ

アルミニウム缶の LCA に必要なインベントリデータのうち、板製造、製缶および再生地金製造プロセスについて実態に即したインベントリを作成し、350ml アルミニウム缶の LCI 分析を実施した。また、鋳物・ダイカスト等へのオープンループリサイクルの評価について検討した。その結果、

- ・アルミニウム缶の LCI について、地金製造の寄与が約 50%を占め、リサイクル率の向上が重要である。
- ・アルミニウム缶の LCI として、

LCE : 2.26 (2.10) MJ/can LCCO₂ : 137 (128) g-CO₂/can

が得られた。() 内はオープンループリサイクル考慮

- ・輸送、流通、廃棄・リサイクルなどについてはモデルを設定してインベントリを算出したが、とくに流通段階の影響は無視できず、各プロセスのインベントリとともに今後の課題である。
- ・使用済みアルミニウム缶の鋳物・ダイカストへのオープンループリサイクルについては、アルミニウム原料としての経済価値で評価することができる。

参考文献

- 1) Makoto Ootani et al.:” Life Cycle Inventory of Wrought Aluminum Products for Various Usages”, Proc. 5th Int. Conf. Ecobalance, (2002) p.219
- 2) (社)日本アルミニウム協会 LCA 委員会:「わが国におけるアルミニウム新地金のインベントリ」、アルミニウム、Vol.8(2001),No.40, p.35 ; <http://www.aluminum.or.jp>
- 3) (社)産業環境管理協会:LCA ソフトウェア “JEMAI-LCA (NIRE-LCA ver.3)” 付属データベース (2000)
- 4) Pré Consultant : LCA ソフトウェア “SimaPro ver.4” 付属データベース (1997) (社)化学経済研究所:「基礎素材のエネルギー解析調査報告書」、(1993)
- 5) 包装廃棄物のリサイクルに関する定量的分析研究会、野村総合研究所:「包装廃棄物のリサイクルに関する定量的分析」、(1995)
- 6) 日本 LCA 研究会:私信
- 7) アルミ缶リサイクル協会:「平成 12 年度アルミ缶リサイクルフロー」(2001)