倉敷化工株式会社における サプライチェーン省資源化連携促進事業への取組み

─MFCA 手法の実践と LCA 評価の検証活動の成果

和気昭彦

倉敷化工株式会社産業機器事業部 開発部開発課課長

防振ゴム(自動車部品,産業防振,建築防振,精密防振各分野)の専門メーカーである倉敷化工㈱では、防振ゴムの製造工程から排出されるゴムスクラップを再利用した環境製品の製造,販売を手掛けてきた。現在、サプライチェーン(㈱ USS 東洋、くろがね産業㈱)で進めている工程内で排出される防振ゴム用天然ゴム(以下 NR)のゴムスクラップを再生ゴム化する「クローズドマテリアルリサイクル化」について報告する。また、防振ゴムのゴムスクラップから防振ゴム用ゴム材料をつくる目的で2軸押出方式による脱硫再生ゴムの製造技術を紹介し、この技術による環境負荷(ライフサイクルアセスメント(LCA)による二酸化炭素(CO₂)、省資源)の低減とマテリアルフローコスト会計(MFCA)手法を導入したコストダウンの成果について、「サプライチェーン省資源化連携推進事業(以下 SC 事業)」で取り組んだ成果と課題について報告する。

はじめに

倉敷化工㈱は、㈱USS東洋と共同で、地球環境負荷の小さい加硫ゴムの脱硫再生ゴムの製造技術の開発を進めてきた。この製法は、2軸押出方式による連続脱硫再生ゴム製造方式である。従来技術に比べて工程が飛躍的に短縮でき、省エネ効果が大きい。工程設備全体が密閉系であるため、製造工程で発生する可能性のある環境負荷物質(揮発性有機化合物(VOC)etc.)を大気中への放出を制御できる。また、薬剤による化学処理を必要としないので、高品位な(元のゴムの性能に近い物性を保つ)ゴム原料が再生できることである。著者らは、この製法が、省エネルギー・環境負荷に大きな特徴

を有していると考えているが、果たしてどれだけ環境負荷が低減できているか(LCAによる CO₂の低減、省資源)、具体的数値で表せていないことが課題であった。

また、防振ゴムの専門メーカーである倉敷化工機として、防振ゴムを製造する工程内で、射出加硫成形時に排出される加硫ゴムのスプールランナー(以下ゴムバリ)を回収して、上記製法により製造された再生ゴムを原料として、射出成形可能な防振ゴム製品を製造する上で(クローズドマテリアルリサイクル化)、工程上のコストダウンの効果をMFCAの手法を使い検証を行った(SC事業の取組みとして実施)。

1 SC 事業への取組みの背景

1.1 2 軸押出方式による連続脱硫再生ゴム 製造技術の紹介と従来の再生ゴム製造 技術(パン工法)について

倉敷化工㈱と㈱USS東洋が、共同で製造技術の開発を進めている2軸押出方式による連続脱硫再生ゴムの製造装置は、自動車用ゴム押出製品(窓枠ゴム、グラスランチャンネルetc.)の新リサイクル技術としてトヨタ自動車グループ殿(トヨタ自動車㈱、㈱トヨタ中央研究所、豊田合成㈱)が開発した「2軸押出機を用いた高温・高せん断脱硫技術」を用いて、防振ゴムの製造工程で排出されるNR系ゴムバリを脱硫再生ゴム化する技術である。この工程は、図1に示すプロセス図のように、ゴムバリを微粉砕処理した粉末ゴムを密閉系の押出機に投入し、一定の高温とせん断力により、硫黄架橋部を選択的に切断する脱硫工法である。

この工法の特徴は、従来工法(ここでは国内

外で一般的な「パン法」を指す)に比べ、工程 が飛躍的に短縮でき、省エネ効果が大きい。工 程設備全体が密閉系のため、製造工程で発生す る可能性のある環境負荷物質を大気中への放出 を制御できる。薬剤による化学処理を必要とし ないので、高品位な(元の性能により近いゴム 物性を維持できる)ゴム原料が再生できる。と いった環境対応型の製造技術であるといえる。

ここで、従来の再生ゴム製造工程を図2従来工法(パン法)の再生ゴム製造フロー図に示す。2軸押出連続脱硫再生ゴム製造工程(以下2軸押出工法)とは、廃ゴムの回収、微粉砕処理(粉末ゴム化)までの工程は同じだが、混油・脱硫工程とそれぞれの工程がバッチ式であり、各工程間で環境負荷物質(VOC etc.)の大気放出が懸念される。また、各製造工程でのエネルギー負荷が大きいことも予測される。また、一方では、混油工程で再生化を促進させるためのプロセスオイル・しゃ解剤を添加することは、化学処理によるゴム物性の劣化も起こり

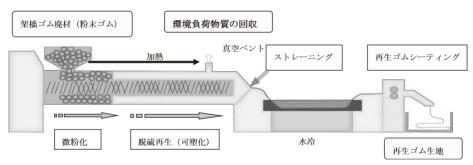


図1 2軸押出連続脱硫再生ゴム製造装置基本プロセス図

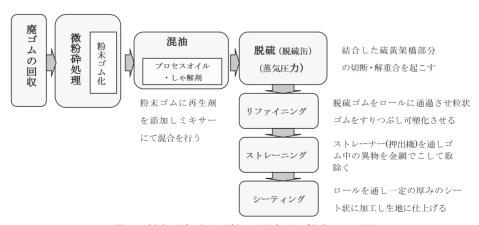


図2 従来工法 (パン法) の再生ゴム製造フロー図



ゴムキャップ 量産金型成形品 16個取



1ショット分のゴムバリ (スプール, ランナー) 重量 約 32g



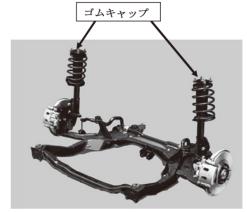


図3 ゴムキャップ

得ることが懸念される。

以上のように、「従来工法(パン法)と新工法である環境対応型の2軸押出工法の環境負荷評価(LCAによるCO2の低減、省資源)とMFCA手法を導入して再生ゴムを利用した防振ゴム製品のコストダウンの検証すること」を期待する成果として、SC事業に取組むこととした。

1.2 防振ゴム製品の選定

MFCA 手法の取組みに際し、防振ゴム製品の選定には、量産として安定的な数量を設定していること、試作評価が容易にできる(射出加硫成形ができる試作型がある)こと、製造工程が複雑でないことなどを基準として、自動車部品のゴムキャップ(図3フロントサスペンションの上部取付部位に使用)を選定することとした。このゴムキャップ(ゴム材質:NR)は、マツダ(株)殿の乗用車車種 MVP などに採用されている。サスペンションダンパー上部に取り付けられるボディマウントへの水漏れ(雨水)防止とそれによる異音防止として機能する部品である。量産は、射出成形機を使用し、ゴム型は

1ショット16個取りの金型を設定している。

2 MFCA の概要

2.1 廃ゴム材 (ゴムバリ) のクローズド マテリアルリサイクル化の製造工程

防振ゴム (ここではゴムキャップ) 製品の現行の製造工程とその廃材 (ゴムバリ) の流れと、新しいクローズドリサイクルにした場合のフロー図を図 4. 図 5 に示す。

(1) 現状のフロー図 (廃ゴムのサーマル リサイクル)

天然ゴムは、各種添加剤との混練工程で加工性を向上させるために天然ゴム単体による素練の工程がある。倉敷化工㈱での射出加硫成形工程で発生したゴムバリ(廃材)を廃棄物中間処理業者のくろがね産業㈱にて破砕し、製紙会社でサーマルリサイクルしている。

(2) SC 事業での改善案 (コストダウン) の フロー図 (クローズドマテリアルリサイ クル)

サプライチェーングループは, 倉敷化工㈱ (防振ゴム製品製造, ゴムバリの供給), くろが

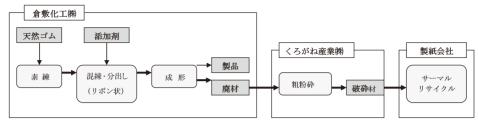


図4 中長期的な今後の取組み概要

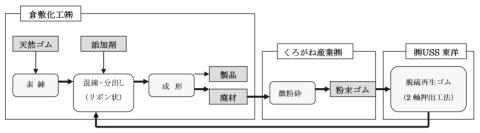


図5 SC事業での改善案 (コストダウン) のフロー図

ね産業㈱ (廃棄物収集運搬, ゴムバリの微粉砕), ㈱ USS 東洋 (NR 系再生ゴム製造) の3 社からなる。(1)で述べたと同様にゴムバリをくろがね産業㈱にて粒度管理された微粉砕粉末ゴムを㈱ USS 東洋で2軸押出工法により脱硫ゴム再生を行い,再度倉敷化工㈱の混練工程へ投入する。再生ゴムをブレンドすることで天然ゴムの素練工程を省略することができる。

2.2 MFCA 計算の前提条件の設定

今回設定したゴムキャップは、表1に示すゴム配合設計検討に基づいてゴム材質を決定した。すなわち、配合 A は現行量産ゴム材料の配合であり、ゴム原料は100%NRである。再生ゴム材をブレンドする配合は、試作等のテスト結果に基づいて、配合 B で比較検討を実施することとした。配合 B では、再生ゴム材が、ゴム原料の約46%混合する。

配合コストにおいては、現行量産配合に比較して18.8%のコストダウンが可能となることがわかった。

次に, ゴムキャップの見積原価表より, 生産 ベースの緒元を設定した。

生産数量:19,000 個/月 製品重量:38 g/個(実測値)

ゴムバリ重量 約32 g/1 回成形 (1ショット16 個取りのゴムバリ重量 実測値)

また, ロス分析のための, 各コストは実測値 ではなく, 原価データ, 技術データを基に推計 を行った。

MFCA 計算の前提条件をフロー図に示すと図6となる。1か月のゴムキャップの製造数の原材料投入から,添加剤を投入し最終工程から出てくる完成品,製造工程から排出される廃棄ロスを重量で示す。このフロー図をみてわかるようにロスは,ほぼ最終工程である射出成形時のゴムバリであることがわかる。正の製品(ゴムギャップ)と同じ工程を経た負の製品(ゴムバリ)は,材料ロスコストだけではなく,正の製品と同じ加工/エネルギーコストを掛けたロスコストとしてみることができる。

ゴムキャップの製品1個の重量が36g, 金型1ショット16個取りのゴムバリの重量が約32gとすると, ゴムバリがゴムキャップ1個分に相当する。よって,17個成形して1個不良を出していると考えると理解しやすい。

2.3 MFCA 計算結果

ゴムキャップの MFCA 計算結果を表 2 マテリアルフローコストマトリックス及び図 7 のグラフに示す。

結果をまとめると.

 費目別では、システムコストが78%を 占め、マテリアルコストは17%、エネル

表 1 ゴム材質配合検討表

			現行 NR 配合	再生ゴムブレンド配合		
	材質番号		A	В	С	
	材料名 (2008年9月末現在)	単価 比較検討				
ゴ	KGR-3 (天然ゴム)	100	90	70	40	
ム原料	NR 再生ゴム (USS 東洋)	65		60	120	
	充填剤系					
	カーボンブラック					
	可塑剤					
	老化防止剤					
	加工助剤					
添	充塡剤系 合計		85	76	76	
添加剤	加硫剤系					
	加硫促進剤					
	硫黄					
	加硫剤 合計		4	4	4	
	総部数		179	210	240	
	コスト (比較評価)		100	81.2	74.5	

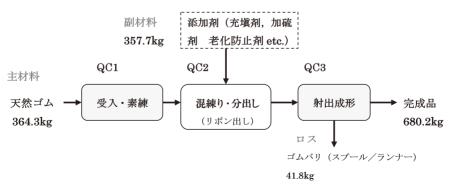


図6 MFCA 計算の前提条件設定フロー図

マテリアル エネルギー システム 廃棄処理 計 コスト コスト コスト コスト 良品 (正の製品) 15.7% 4.7% 73.7% 94 % マテリアルロス 1.0% 0.3% 4.5% 6 % (負の製品) 廃棄/リサイクル 0.1% 100.1% 小計 16.7% 5 % 78.2% 0.1% 100 %

表 クマテリアルフローコストマトリックス

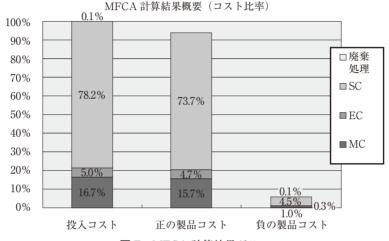


図7 MFCA 計算結果グラフ

ギーコスト5%である

- 2) 費目別の1か月のコストは、システムコ スト約98万円、マテリアルコスト約21万 円
- 3) エネルギーコスト約6万円となる
- 4) システムコスト 98 万円のうち 80 万円強 は混練/射出成形の加工費である
- 5) 全工程を通して、正の製品コストが 94%, 負の製品コストが6%である。その 負の製品コストは、射出成形工程で発生し ているゴムバリ (スプール/ランナー) に 起因するもので、1か月当たり73.507円発 生している。
- 6) 今回対象としたゴムキャップは、倉敷化 工(株)の防振ゴム製造工程の極一部であり. 同様のゴムバリが月に約15 t/月に発生し ていることを考えると、 倉敷化工㈱全体の ロスコストは、2.500万円/年以上となり、 かなり大きなものとなる。

3 ゴムキャップ製造工程の環境負荷 評価

3.1 システム境界の設定

今回の SC 事業の目的の一つがこのクローズ ドマテリアルリサイクルの環境負荷の評価であ る。まず、システム境界の設定を下記のように 行う (図8)。

- 1) 粉砕:ゴムバリを粉砕する。熱回収向け に粗粉砕するケース. 再生ゴム化の前処理 である微粉砕を2段階工程(従来)で粉砕 するケース、1段階工程(改善)で粉砕す るケースを評価する。
- 2) 熱回収:石炭代替燃料になるケースを評 価する。
- 3) ゴム再生:加硫ゴム(粉末ゴム)を加熱 し、脱硫する。パン法(従来)ケースと2 軸押出式(新規工法)ケースを評価する。
- 4) 射出成形:ゴムキャップの射出成形を想

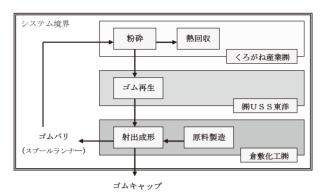
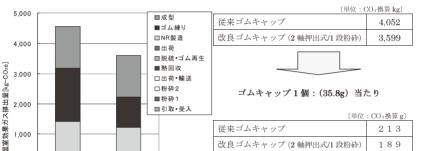


図8 システム境界の設定



[単位: CO2換算 g] 従来ゴムキャップ 2 1 3 改良ゴムキャップ (2 軸押出式/1 段粉砕) 189

ゴムキャップ生産量:680.2kg 当たり

								キャップ 1 個当たり [gCO2e]			
	引取/受入	粉砕	出荷/輸送	熱回収	脱硫/ゴム再生	出荷	NR 製造	ゴム練り	射出成形	合計	
従来キャップ	0.2	0.2	0.7	-26,2	0.0	0.0	73.3	92.7	72.4	213	
改良キャップ	0.2	0.2	1.2	-0.2	12.3	1.2	48.4	53.0	72.4	189	

図10 ゴム再生工程

定し、バージン材 (NR) のみ利用する ケース. 再生ゴムをブレンド配合するケー スを評価する。

1,000

0

Ĭ

ゴムキャップ生産量:680.2kg 当たり

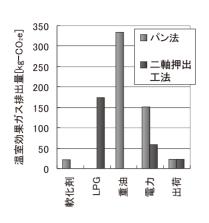
5) その他:射出成形工程より発生するゴム バリ以上に再生ゴムを利用可能である。不 足分のゴムバリは他製品システムにおいて 余剰に発生していると考え、環境負荷ゼロ でシステムに投入されるとした。ただし、 サーマルリサイクルとマテリアルリサイク ルの比較になるため、外部システムからの 入力量は対象比較システム間において同一 とし、結果に影響しないようにした。

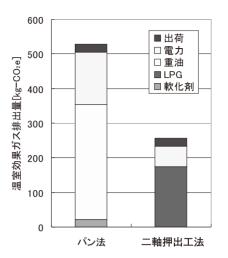
3.2 環境負荷評価結果 (温室効果ガス)

(1) ゴムキャップ製造工程(図9)

ゴムキャップ1か月の生産量 680.2 kg 当た り従来の製造工程では、4,052 kg の CO₂ の排 出量に対して新工法(2軸押出式)による再生 ゴムを配合した製造工程では、3,599 kg とな り、ゴムキャップ1個当たり24gのCO₂削減 が期待できる(約5,472 kg/年 CO₂ 削減)。

この削減効果は、再生ゴム利用により天然ゴ ムと添加剤の使用量削減, 天然ゴムの素練り工 程の削減である。また、ゴムバリの熱回収分と 比較して、再生ゴムの製造工程は、運送分を含 んでも十分CO。削減に効果がある。

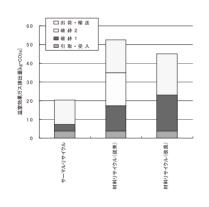


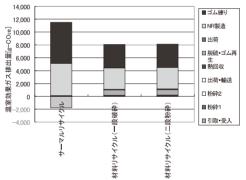


出荷再生ゴム 1kg 当たり [g--CO2e]

	軟化剤/しゃ解剤	LPG	重油	電力	出荷	合計
パン工法	77	0	1,212	548	85	1,920
2軸押出工法	0	633	0	214	85	931

図10 ゴム再生工程





ゴムバリ受入 1kg 当たり [g--CO:e]

	引取/受入	粉砕 1	粉砕 2	出荷/輸送	熱回収	脱硫/コ゚ム再生	出荷	NR 製造	ゴム練り
サーマルリサイクル	13	13	0	47	-1,800	0	0	5,042	6,375
マテリアルリサイクル	13	70	0	80	-12	843	84	3.328	3,647
(1 段粉砕)	13	/0	0	80	-12	043	04	3,320	3,047
マテリアルリサイクル	13	50	64	80	-12	843	84	3.328	2.647
(2 段粉砕)	13	50	04	80	12	043	04	3,326	3,647

図 11 粉砕工程

(2) ゴム再生工程 (図 10)

㈱ USS 東洋でのゴム再生工法をパン工法から 2 軸押出式工法に変更することで、再生ゴム 1 kg 当たり 990 gの CO₂ 排出量が削減された。従来のパン工法は、バッチ式であり、エネルギー源を重油に依存している。物流(出荷

USS 東洋→倉敷化工)の影響は小さい。

(3) 粉砕工程(図11)

サーマルリサイクルとマテリアルリサイクル では回収物が異なるため単純比較はできない。 本結果は、純粋に工程起因の環境負荷を表示し ただけである。粉砕時のみに焦点を当てると、 マテリアルリサイクル時は、 CO_2 排出量が増加したことがわかる。粉砕工程の改善(2 段階から1 段階粉砕)することで排出量が 15%削減できた。

リサイクル手法によって環境負荷が異なる部分のみを抜粋して表示した。サーマルリサイクルからマテリアルリサイクル(2 段粉砕)にすることで、ゴムバリ受入量 1 kg 当たり 1,595 g の CO_2 排出量削減となる。また、1 段粉砕に改善すると削減量は 1,638 g となる。

4 活動成果と課題

4.1 MFCA による工程改善の効果と課題

SC 事業の取組みにより、MFCA の手法によるコストダウンの効果が、下記のように明確になってきた。

- 1) 再生ゴムをブレンド配合することにより、配合単価、ゴム練り単価を合わせて約30%のコストダウン効果が期待できる。 MFCAによる工程の見える化を進めてきて、天然ゴムの素練工程に、コストダウンと省エネの大きな効果があることが明らかになった。
- 2) ゴムバリ (スプール・ランナー) のロスコストが、防振ゴム製品製造工場全体で、2,500万円/年以上と大きなコストを廃棄していることがわかった。

ゴムバリのロスコストを事前に認識することで、ゴムバリの排出を極力少なくする金型構造を検討することで、不要な投資もせず、廃棄物も削減でき、コストダウンもできるということである。

また、今後の課題は下記に述べる。

- 1) 2 軸押出連続脱硫工法による再生ゴム製造技術は、NR 系加硫ゴム材については、まだ技術確立ができているとはいえない。品位の高いゴム再生を行うためには、ゴムバリ回収時の分別回収の徹底が不可避である。「廃棄物」から「原料」という意識で、分別回収のできる仕組づくりを構築していく必要がある。
- 2) 再生ゴムブレンド配合が、NR 材のバー

ジン配合とゴム物性が全く同じであるわけでもない。しかし、防振ゴムとして使用する用途、再生ゴム配合の物性値を十分把握しておけば、十分実用上問題ないレベルと考える。しかし、今後防振ゴム設計、ゴム配合設計の技術/ノウハウを蓄積していく必要がある。

4.2 環境負荷評価による成果

SC 事業による環境負荷評価において下記の成果が得られた。

- 1) ゴムバリ (スプール・ランナー)をサーマルリサイクルからマテリアルリサイクル に変更することで, CO₂ 排出量が, 約40%削減できた。今回の場合サーマルリサイクルよりマテリアルリサイクルのほうが. CO₂ 排出量の削減効果が大きい。
- 2) ゴム再生技術において、従来のパン工法 に比べ、2軸押出工法はCO₂排出量を 51%は削減できた。再生ゴム1kg当たり 990gの削減効果が得られる。
- 3) 今回選定したゴムキャップの製造工程において、ゴムキャップ1個当たり 24 gの CO_2 排出量の削減ができた。5,472~kg/年の削減効果が期待できる。

この結果が、大きな成果であるかどうかの議論は、別としても低炭素社会が到来している今日において、販売戦略として環境対応型製品の一つの尺度として、今後ますます社会的要求がでてくると考えられる。

謝辞

以上でSC事業の取組みについての報告を終えるが、SC事業に参加くださった、くろがね産業㈱、㈱USS東洋の方々、SC事業において、診断員としてご指導いただいた安城泰雄氏、白濱信也氏、山田朗氏らに謝意を表明する。

参考文献

- 社団法人産業環境管理協会:サプライチェーン省 資源化連携促進事業成果報告書
- 2) 経済産業省産業技術環境局リサイクル推進課:サ プライチェーン省資源化連携推進事業事例集