循環型社会形成に向けた評価手法

第❸回

ライフサイクルアセスメント(LCA)
～プラスチック廃棄物を事例に



前回は、産業廃棄物処理業者が自社の廃棄物処理に関わる環境負荷を、指標を用いて排出事業者に提示することにより、信頼の向上と同業他社との差別化が可能となることについて論じた。今回は、環境負荷を評価する方法として、ライフサイクルアセスメント（LCA）がどのように活用できるかについて考えてみよう。

SUGIYAMA Ryoko
富士常葉大学 社会環境学部 教授　杉山 涼子

大阪大学工学部環境工学科卒業、米国インディアナ大学大学院修士課程修了、東京工業大学大学院博士課程単位取得退学。廃棄物・リサイクルコンサルタント会社勤務を経て、平成8年5月㈱杉山・栗原環境事務所設立。平成19年9月富士常葉大学准教授就任、平成22年4月より現職。 環境省中央環境審議会臨時委員、東京都廃棄物審議会委員、神奈川県環境審議会委員等。

LCAは環境配慮製品の開発など製品について行われることが多いが、同様に、廃棄物処理やリサイクル段階で発生する環境負荷を評価することも可能である。循環型社会は他の環境問題と密接に関わっており、たとえば、プラスチックをリサイクルすることで温室効果ガス（二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素など6種類）が削減されるなど、低炭素社会の実現にも役立つことになる。そこで、プラスチック廃棄物を事例に、LCAを用いて廃棄物処理・リサイクルから排出される温室効果ガスの算定方法について紹介する。

LCAとは

LCAとは、図1に示すように、製品の天然資源採取から素材製造、製品製造、流通、消費・使用、廃棄・リサイクルに至るまで、ものの一生（ライ

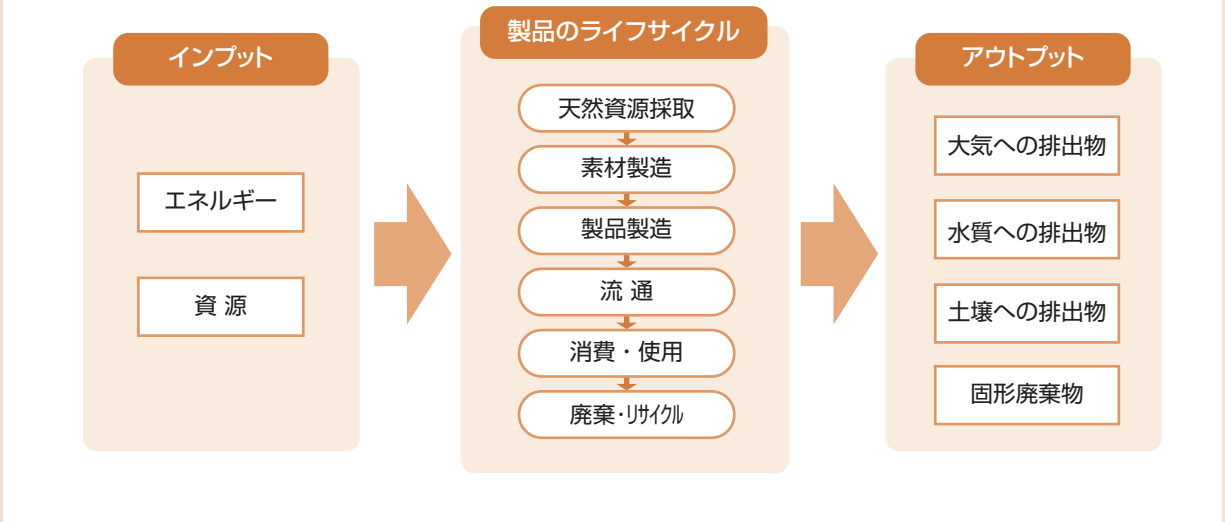


図1 LCAの概念図

フサイクル）にわたり、インプットとして投入する資源・エネルギーとアウトプットとして発生する環境負荷を定量的に評価する手法である。LCAは製品以外にも、サービスや生産プロセスなどのシステムも対象となり、たとえば廃棄物のリサイクルや処理についてそれぞれの手法の環境負荷の大小を比較することも可能である。

LCAに関してはISO（国際標準化機構）が国際規格を発行しており、「ISO14040：環境マネジメント－ライフサイクルアセスメント－原則及び枠組み」では図2で示すようなLCAの枠組みが示されている。

目的及び調査範囲の設定

まず調査を実施する理由、結果の利用方法等の目的を明らかにし、目的にしたがって算出すべき排出物を定め、そのデータを収集する範囲を設定しなければならない。

インベントリ分析

ライフサイクルの各段階におけるインプットデータとアウトプットデータを算出する。たとえば、資源採取、製品製造などの段階で、原油や鉄鉱石などの消費量や二酸化炭素などの排出量を算出し、インベントリ（一覧表）を作成する。

影響評価

インベントリ分析で得られた結果を、たとえば「地球温暖化」や「大気汚染」といった環境影響領域に分類し、各領域ごとに環境への影響度を評価する。

解　釈

インベントリ分析や影響評価から得られた結果をもとに、実施方法やデータ誤差による結果への影響を解釈して考察する。

プラスチック廃棄物のLCA

廃棄物処理・リサイクル工程のうち、収集・運搬、焼却、プラスチックリサイクルの各工程から発生する温室効果ガスの算定方法について見てみよう。

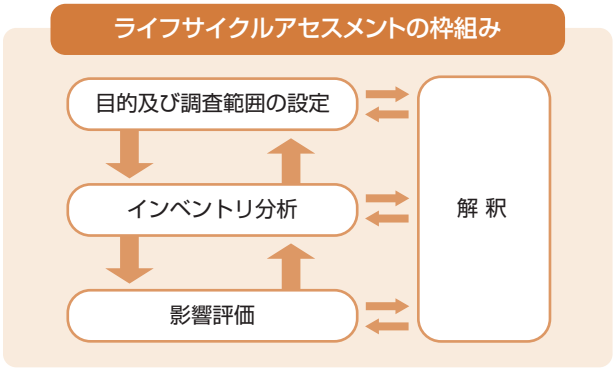


図2 LCAの枠組み

収集･運搬

❶二酸化炭素

廃棄物の収集・運搬には、ガソリンや軽油、LPGなどが使用され、燃料の使用量と種類に応じた二酸化炭素が排出される。二酸化炭素排出量については、「物流分野のCO_2排出量に関する算定方法ガイドライン」（経済産業省・国土交通省）で紹介されている。収集・運搬工程からの主な二酸化炭素排出量の測定方法として、燃料法、燃費法、改良トンキロ法がある。

〈燃料法･燃費法〉

燃料法とは、車両の燃料の使用量を測定し、表1に示す燃料の種類ごとの二酸化炭素排出係数を乗じて算定する方法である。燃費法とは、燃料使用量を直接測定できない場合に、走行距離と燃費から燃料使用量を算定する方法である。燃料法と燃費法は、燃料使用量や走行距離を直接測定するため、手間はかかるが精度が高

表1 燃料種類ごとの二酸化炭素排出係数

	①単位発熱量	②排出係数	③二酸化炭素排出係数
ガソリン	34.6MJ/リットル	0.0183kg-C/MJ	2.32kg-CO_2/リットル
軽油	38.2MJ/リットル	0.0187kg-C/MJ	2.62kg-CO_2/リットル
A重油	39.1MJ/リットル	0.0189kg-C/MJ	2.71kg-CO_2/リットル
B・C重油	41.7MJ/リットル	0.0195kg-C/MJ	2.98kg-CO_2/リットル
LPG	50.2MJ/kg	0.0163kg-C/MJ	3.00kg-CO_2/kg
都市ガス	41.1MJ/Nm^3	0.0294kg-C/MJ	4.43kg-CO_2/Nm^3

〔出典:「市町村における循環型社会づくりに向けた一般廃棄物処理システムの指針」〕

いとされている。

収集・運搬に伴う廃棄物１tあたりの二酸化炭素排出量を算定するためには、燃料法や燃費法で算定した年間の二酸化炭素排出量を、年間の収集・運搬量で除すことで算定できる。また、顧客別の二酸化炭素排出量を算定することや、LPG車やハイブリッド車など、二酸化炭素排出量が比較的少ないとされる車両に買い替える際の効果を測定することも可能である。

〈改良トンキロ法〉

一方、燃料使用量や走行距離を直接測定できない場合の算定方法として、改良トンキロ法がある。改良トンキロ法は、輸送重量に輸送距離、車種別積載率別燃料使用原単位、二酸化炭素排出係数を乗じて算定する方法である。表2に車種別積載率別燃料使用原単位を示す。

〔燃料法〕
二酸化炭素排出量 ＝ 燃料使用量 × 二酸化炭素排出係数

〔燃費法〕
二酸化炭素排出量 ＝ 輸送距離 ÷ 燃費 × 二酸化炭素排出係数

〔改良トンキロ法〕
二酸化炭素排出量 ＝
輸送重量 × 輸送距離 × 車種別積載率別燃料使用原単位
× 二酸化炭素排出係数

❷メタン・一酸化二窒素

前回紹介した「市町村における循環型社会づくりに向けた一般廃棄物処理システムの指針」（平成19年6月環境省、以下、「システム指針」という）では、車両走行距離に伴うメタンと一酸化二窒素の排出係数（表3）を記載している。なお、メタンと一酸化二窒素の温室効果への影響を二酸化炭素量に換算するためには、それぞれの結果に21と310を乗じる必要がある。これらは、二酸化炭素排出量と比較すると影響が小さいが、より高い精度を求める場合には参考にされたい。

焼 却

❶二酸化炭素

廃棄物の焼却には、電力や重油などの燃料が使用され、廃棄物に含まれる炭素分が二酸化炭素として排出される。一方、廃棄物発電を併設している施設では、焼却により電力が生み出されることから、発電した電力分の二酸化炭素削減量を控除する必要がある。

〈燃料および電力の使用に伴う二酸化炭素排出量〉

焼却施設の運転には助燃用や点火用に燃料が使用されることがある。また、焼却施設の運転には電力が必要である。燃料使用に伴い排出される二酸化炭素量は、種類別の燃料使用量に二酸化炭素排出係数を乗じることで算定できる。電力については、使用量に国が公表している電気事業者別調整後排出係数（表4）を乗じて算定できる。

〈廃プラスチック等の二酸化炭素排出量〉

焼却によって廃棄物に含まれる炭素分のほぼ

表2 改良トンキロ法による燃料使用原単位

燃料	最大積載量(kg)		輸送トンキロ当たり燃料使用原単位(gC/t･km)					
		中央値	積載率10%	積載率20%	積載率40%	積載率60%	積載率80%	積載率100%
ガソリン	軽貨物車	350	2.74	1.44	0.758	0.521	0.399	0.324
	～1,999	1,000	1.39	0.730	0.384	0.264	0.202	0.164
	2,000以上	2,000	0.886	0.466	0.245	0.168	0.129	0.105
軽　油	～999	500	1.67	0.954	0.543	0.391	0.309	0.258
	1,000～1,999	1,500	0.816	0.465	0.265	0.191	0.151	0.126
	2,000～3,999	3,000	0.519	0.295	0.168	0.121	0.0958	0.0800
	4,000～5,999	5,000	0.371	0.221	0.120	0.0867	0.0686	0.0573
	6,000～7,999	7,000	0.298	0.170	0.0967	0.0696	0.0551	0.0459
	8,000～9,999	9,000	0.253	0.144	0.0820	0.0590	0.0467	0.0390
	10,000～11,999	11,000	0.222	0.126	0.0719	0.0518	0.0410	0.0342
	12,000～16,999	14,500	0.185	0.105	0.0601	0.0432	0.0342	0.0285

〔出典:「物流分野のCO_2排出量に関する算出方法ガイドライン」より加筆修正〕

100%が二酸化炭素として排出されるが、二酸化炭素排出量として算定するのは化石燃料由来の炭素分のみである。植物は成長する過程で二酸化炭素を吸収するため、焼却しても結果として吸収したものと同量の二酸化炭素を排出することになるので、二酸化炭素排出量は増加しないというカーボンニュートラルという考え方に基づいて、化石燃料由来以外の炭素分は算入されない。

システム指針では、プラスチックの炭素含有率を73.5%としている。また、「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」（2010年4月国立環境研究所）では、産業廃棄物中のプラスチックの炭素含有率を70%、鉱物油の炭素含有率を80%としている。それぞれの焼却量に炭素含有率、炭素と二酸化炭素の重量比（44/12）を乗じることで、二酸化炭素排出量を算定できる。

〈発電による二酸化炭素削減量〉

焼却施設での発電量に電気事業者別調整後排出係数を乗じて、二酸化炭素削減量を算定できる。

❷メタン・一酸化二窒素

その他、「システム指針」では、総焼却量に対するメタンと一酸化二窒素の排出係数（表5）を記載している。

リサイクル

リサイクルシステムを評価する場合は、リサイクルを行うための環境負荷に加えて、もし、そのものを廃棄物として処理した場合にどのくらい環境負荷が生じるか、あるいは、リサイクル製品の代わりに他の資源を用いて製品を製造する場合にどのくらい環境負荷が生じるかを推計して、これらを控除するという作業が必要である。

プラスチックリサイクルについては、「プラスチック製容器包装再商品化手法に関する環境負荷等の検討」（平成19年6月 (財)日本容器包装リサイクル協会）で、リサイクル手法ごとに環境負荷の評価を行っている。報告書では、リサイクルを行うための環境負荷を「リサイクルシステム」、リサイクルを行わずにそのものを処理した場合と、リサイクル製品の代わりに他の資源を用いて製品を製造するための環境負荷の合計を「オリジナルシステム」として環境負荷を算定している。

リサイクルを行うことによる環境負荷は、LCA実施者が自らデータを収集して算定する必要があるが、LCAでは自社工程以外のデータを収集することが極めて難しいため、自社では行っていない工程の評価はこのような文献を活用することが不可欠であろう。

今回は、LCAを用いて環境負荷を評価する方法についてプラスチック廃棄物を事例に紹介したが、次回はLCAの結果を用いて「見える化」を行う事例について報告したい。

表3 収集運搬に伴うメタンと一酸化二窒素の排出係数

		メタン (kg-CH_4/kg)	一酸化二窒素 (kg-N_2O/kg)
焼却	連続燃焼式	0.0000096	0.0000565
	准連続燃焼式	0.000072	0.0000534
	バッチ焼却式	0.000075	0.0000712

表5 焼却に伴うメタンと一酸化二窒素の排出係数

			メタン (kg-CH_4/km)	一酸化二窒素 (kg-N_2O/km)
収集・運搬	ガソリン・LPG	普通貨物車	0.000035	0.000039
		小型貨物車	0.000015	0.000026
		軽貨物車	0.000011	0.000022
		特殊用途車	0.000035	0.000035
	軽油	普通貨物車	0.000015	0.000014
		小型貨物車	0.0000076	0.000009
		特殊用途車	0.000013	0.000025

表4 電気事業者別調整後排出係数（平成20年度）

事業者名	排出係数 (kg-CO_2/kWh)
北海道電力株式会社	0.588
東北電力株式会社	0.340
東京電力株式会社	0.332
中部電力株式会社	0.424
北陸電力株式会社	0.483
関西電力株式会社	0.299
中国電力株式会社	0.501
四国電力株式会社	0.326
九州電力株式会社	0.348
沖縄電力株式会社	0.946

表3、表5〔出典:「市町村における循環型社会づくりに向けた一般廃棄物処理システムの指針」〕
表4〔出典:環境省「電気事業者別のCO_2排出係数（平成21年12月28日公表）」〕