

LCAからみたロジスティクスの環境負荷

洪 京和, 矢野 裕児

1. はじめに

国際的な環境問題対応に対する論議は、さらに活発化している。京都議定書での目標値を達成できるかということだけではなく、さらに長期的な目標値が、各国から提示されており、全世界的な課題として、議論されている。

企業においても、環境問題対応が重要となっており、取り扱い商品にかかわる環境負荷を削減しようという試みが多くなされている。そのなかでも、1990年代末から、商品のライフサイクル全体の環境負荷を把握し、負荷を削減しようとするLCA (Life Cycle Assessment) の考え方が浸透してきている。LCAは、ある商品の、例えば製造時の環境負荷を考えるだけでなく、商品の資源採取から製造、物流、使用、廃棄、リサイクルというライフサイクル全体での環境負荷を把握、検討し、削減に向けて対応を図るという考え方である。

LCAの進展と同時に、商品の環境負荷に関する情報を、広く消費者等に伝える環境ラベルの考え方も普及してきている。一般的には、エコマークが知られているが、エコリーフ、さらに最近はカーボンフットプリントについての検討が、注目されている¹⁾。

ある商品のライフサイクル全体の環境負荷を考える場合、そこにはロジスティクスに関わる輸送、保管時の環境負荷も含まれる。そして、物流、特にトラック輸送にかかわる環境負荷が大きいことから、ロジスティクス面での環境問題対応についても、ますます重要性が高まっている。

日本においては、社団法人産業環境管理協会（以下JEMAI）が、工業製品を中心に、「エコリーフ (EcoLeaf) 環境ラベル」の名称で、2002年からライフサイクル全体の温暖化負荷などの環境負荷を定量的に算出し、公開している。「エコリーフ環境ラベル」は、製品分類別にエコリーフ作成基準（以下PCR；Product Category Rule）を定め、

定量的な環境負荷を算出している²⁾。本論文は、ライフサイクル全体からみた、ロジスティクスの環境負荷、特に温暖化負荷に着目し、定量的に検討を行う。そこで、「エコリーフ環境ラベル」のデータを分析し、製品分類別の温暖化負荷の特性を検討するとともに、特に物流段階の製品分類別の温暖化負荷の特性、さらにライフサイクル全体に占める割合等について、定量的に検討し、商品のライフサイクル全体からみたロジスティクスの位置づけについて考察することを目的とする。

2009年12月現在、「エコリーフ環境ラベル」において、具体的な商品の記載があるのは48製品分類である。そのうち、物流段階が対象となっていない系統電力(AT)、卸電力(BF)、物流段階の温暖化負荷が算出されているものの、他の段階の分類が違う牛肉(CP)と1つの製品でなくシステムとなっている電子投票システム(BR)を外し、本論文は、44製品分類を分析対象とした³⁾⁴⁾。一般的な商品、サービスとして42製品分類(494商品)、物流関連サービスとして、食材配送システム(CE)、マネキンレンタルサービス(CZ)の2製品分類を分析対象とした。

2. 環境ラベルの概要と「エコリーフ環境ラベル」の特徴

(1) 環境ラベルの概要とエコリーフ環境ラベル

環境ラベルは、表-1のように、大きくは3つのタイプがある。タイプIは、第三者機関がその商品が設定された基準に対して合格、不合格かを判定し、合格の場合、マークの使用を許可するもので、基準合格を証明するものである。日本ではエコマークが該当する。タイプIIは、各事業者が独自に環境改善を実施し、自己宣言の形で環境主張するものである。タイプIIIは、資源採取から製造、物流、使用、廃棄、リサイクルまでの製品のライフサイクル全体を通じての環境負荷データを定量的に開示するものである。

表-1 環境ラベルのタイプと特徴

ISOにおける分類等	基本	運用	特徴例
タイプI (ISO14024)	基準合格の証明	<ul style="list-style-type: none"> ・基準に対し合格/不合格の判定をする ・製品分類と判定基準を運営機関が決める。 ・事業者の申請に応じて審査して、マーク使用を認可する。 	エコマーク(日本) ブルーエンジェル(ドイツ) ノルディックスワン (北欧諸国)等
タイプII (ISO14021)	事業者の自己宣言による環境主張	<ul style="list-style-type: none"> ・製品の環境改善を市場に対して独自に主張する。 ・宣伝広告にも適用される。 ・第三者による判断は入らない。 	各事業者
タイプIII (ISO14025)	定量的製品環境負荷データの開示	<ul style="list-style-type: none"> ・合格/不合格の判定はしない。 ・定量的環境負荷データを開示する。 ・評価は読み手に委ねられる。 	エコリーフ(日本) EPD(スウェーデン) EDP(韓国) EDPS(カナダ)等

出典：産業環境管理協会「エコリーフ環境ラベル」

定量的環境データを開示する一方、合格、不合格かの判定はしないことが特徴となっている。「エコリーフ環境ラベル」は、タイプⅢに該当する。

「エコリーフ環境ラベル」の特徴を、産業環境管理協会「エコリーフ環境ラベル実施ガイドライン2005年版」では、以下のように記述している。

- ・定量的環境情報表示であって、環境優位性判定を示すものではない。
- ・定量的環境データ作成には、ISO14020 シリーズの環境ラベル規格および14040 シリーズのLCA規格が適用されている。
- ・PCRを制定し、それに基づく製品環境データ作成、製品環境データの客観性の確認、そして登録公開のステップで構成されている。
- ・参加事業者における製品の定量的環境データ集積システムの存在とその有効運用が認定される。
- ・定量的環境データの客観性は、JEMAIが指名する適格な検証員によって検証され、担保される。
- ・製品等の定量的環境データを集約した製品環境情報（PEAD：Product Environmental Aspects Declaration）、その基礎となる定量データを示す製品環境情報開示シート（PEIDS：Product Environmental Information Data Sheet）および製品データシート（PDS：Product Data Sheet）によって構成され、表示される。
- ・JEMAIのホームページにおいて公開され、データベース化される。

（2）「エコリーフ環境ラベル」とライフサイクル段階

ライフサイクルは、製造、物流、使用、廃棄の4段階で構成され、各段階の内容は、具体的にはPCRで決定される。概要は次のとおりである。

① 製造段階

原料から、鉄、アルミニウム、プラスチック等の素材を製造する素材製造段階と、各種素材に加工を行って、部品や、複数の部品から構成されるユニットまで組み立てるか、さらに各種の部品やユニットを組み立てて製品を製造する製品製造段階で構成される。

② 物流段階

製造段階で製造された製品を使用場所まで輸送するものであり、輸送の具体的範囲、輸送方法や使用場所等はPCRで決める。輸送、保管時の環境負荷は、商品ごとに条件が変わること、さらに例えばメーカーにおいては、自らが輸送するあるいは直接物流業者に委託する場合には、比較的環境負荷を把握しやすいものの、自社の商品であっても、卸売、小売業が輸送するあるいは物流業者に委託する場合には、把握が困難となるという問題も抱えている。

国内輸送について、多くの製品分類では、輸送手段、積載率は、各社の実績あるいはモデルに基づいて、計算するものとしている。また、総輸送距離についてはPCRで定めている場合が多い。今回対象とした42製品分類では、500kmが最も多く22分類、100kmが8分類、300kmが5分類、10km、200km、400kmがそれぞれ1分類となっている。PCRで定めていないのは3分類である。

紙製飲料容器（BD）については細かく設定しており、PCRで最終製品（中身を水の比重で換算し含めた総重量）について計上するものとしており、常温流通可能型密閉紙容器、要冷蔵型密閉紙容器では、飲料プラント→デポは150km、デポ→スーパーマーケット28km、学校給食要冷蔵型密閉紙容器では80km、紙カップ飲料は250kmを計上すると定めている。

海外から国内への製品輸送は、各社が設定するものとしている。なお、使用、廃棄に関わる輸送は、それぞれ使用、廃棄段階に含まれる。

③ 使用段階

製品の作動および待機時の電力消費、製品の使用に必要な燃料の製造と消費に伴う負荷、各種交換部品や消耗品の製造、物流、使用および廃棄時の負荷が含まれる。

④ 廃棄段階

使用済み製品の最終処分までの回収、輸送、分別、破碎、選別、焼却、無害化、埋立、さらにリサイクル効果としてリサイクルおよびリユース工程が含まれる。

本論文では、素材製造段階、製品製造段階、物流段階、使用段階、廃棄段階、リサイクル効果の各段階に分けて分析を行った。

(3) 「エコリーフ環境ラベル」が対象とする製品、サービス

「エコリーフ環境ラベル」は、ほとんどすべての製品だけでなく、情報通信、運輸、流通といったサービスも対象となる。大分類として、製品は、電気製品（家電、情報機器、事務機器など）、機械製品（自動車、輸送用機器、工作用機械、精密機械など）、素材/部品製品（鉄、日鉄金属、プラスチック、ガラス、セメントおよびこれらを使用した製品など）、建設製品（建築、土木、建築資材、住宅設備など）、その他製品（日用品、文具、事務用品など）の5分類、サービスは、エネルギーサービス（電気、ガス、石油、天然ガスなど）、ITサービス（情報通信サービス）、運輸サービス（陸運、海運、空運）、その他サービス（容器包装、廃棄物処理など）の4分類に分けられる。本論文の分析対象では、電気製品、建設製品が多く、エネルギーサービス、ITサービスはなかった。

3. LCAからみた温暖化負荷の現状

(1) ライフサイクル全体の温暖化負荷

CO₂換算の動脈部分（リサイクル効果を除いた）の温暖化負荷は、10kg以上の製品分類が最も多く28.6%，続いて100kg以上が23.8%，1kg以上、1,000kg以上は、それぞれ16.7%となっている。電気製品は100kg以上が最も多いほか、機械製品も負荷が大きい傾向にある。一方、その他製品、その他サービスは1kg以上、1kg未満が多く、負荷は小さくなっている。なお、各製品分類の温暖化負荷は、該当する商品の平均をとって算出したものである。

温暖化負荷が最も大きいのは、低圧インバータ盤（CG）の96,426kg、プラント用制御盤（水処理向け）（CU）の12,209kgの2製品分類であり、10,000kgを超えている。このように大型の機械製品は、温暖化負荷が大きい。続いて、水栓金具（CD）が7,421kg、金属閉鎖形スイッチギヤ（高圧盤）（BW）が5,034kg、飲料およびたばこ自動販売機（CF）が4,374kg、低圧モータコントロールセンタ（BG）が3,477kg、PBXシステム（BS）が2,801kg、乾式間接静電式複写機（AA）が1,323kg、デジタル印刷機（AF）が1,080kgとなっている。水栓金具（CD）については、製品そのものは小さく、製造段階等においての温暖化負荷は小さいものの、15℃の水を40℃に昇温する使用段階の負荷が大きいことから、このような結果となっている。

逆に、温暖化負荷が小さいのは、紙製飲料容器（BD）の0.09kg、飲料および食品用金属缶（BC）の0.14kg、面ファスナー（BK）の0.30kg、電力用/通信用電線およびケーブル（CL）の0.32kgとなっている。

表-2 製品分類大分類別にみた動脈部分のCO₂換算の温暖化負荷

大分類	1kg未満	1kg以上	10kg以上	100kg以上	1,000kg以上	10,000kg以上	総計
電気製品		1	3	8	4		16
	0.0%	6.3%	18.8%	50.0%	25.0%	0.0%	100.0%
機械製品			2		2	2	6
	0.0%	0.0%	33.3%	0.0%	33.3%	33.3%	100.0%
素材/部品製品			1				1
	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
建設製品	1	2	6	2	1		12
	8.3%	16.7%	50.0%	16.7%	8.3%	0.0%	100.0%
その他製品	1	2					3
	33.3%	66.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
その他サービス	2	2					4
	50.0%	50.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
総計	4	7	12	10	7	2	42
	9.5%	16.7%	28.6%	23.8%	16.7%	4.8%	100.0%

(2) 段階別の温暖化負荷

動脈でのライフサイクルの段階ごとの温暖化負荷割合の平均をみると、使用段階が40.3%と最も多く、続いて素材製造段階が37.1%、製品製造段階が16.6%となっている。それに対して、物流段階は2.2%、廃棄段階は3.8%と比較的小さくなっている。製品製造段階の温暖化負荷が大きいと考えがちであるが、使用段階が最も大きい結果となっている。ただし、製品の種類によって大きな差異がある。さらに動脈の温暖化負荷を100%としてみた場合、リサイクル効果の平均は-17.9%となる。すなわち、各段階の平均割合をまとめると図-1のようになる。この論文で最も主眼とする物流段階は、ライフサイクル全体からみれば2.2%と、小さいといえる。なお、リサイクル効果についてみると、主要な素材が再生PETである雨水貯留槽用貯留材（CN）では-189.3%、フリーアクセスフロア（BE）では-162.6%と、高い値となっている。

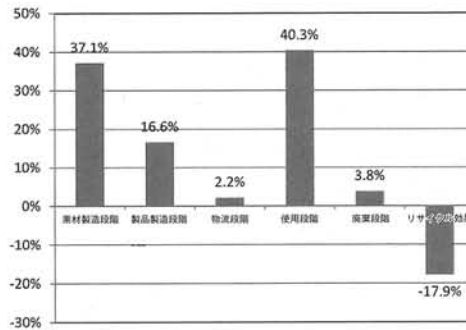


図-1 各段階の温暖化負荷の平均割合

素材製造段階の負荷割合は、50%以上の製品分類が28.6%と最も多く、続いて20%以上が21.4%となっている。建設製品とその他サービスでは50%以上が半数を占めている。特に、LPガス用マイコンガスメータ（CW）、電力用/通信用電線およびケーブル（CL）、

表-3 製品分類大分類別にみた素材製造段階の温暖化負荷割合

大分類	10%未満	10%以上	20%以上	30%以上	40%以上	50%以上	総計
電気製品	2	3	3	4	2	2	16
	12.5%	18.8%	18.8%	25.0%	12.5%	12.5%	100.0%
機械製品	2		2	1		1	6
	33.3%	0.0%	33.3%	16.7%	0.0%	16.7%	100.0%
素材/部品製品					1		1
	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	100.0%
建設製品	2	1	2		1	6	12
	16.7%	8.3%	16.7%	0.0%	8.3%	50.0%	100.0%
その他製品			1	1		1	3
	0.0%	0.0%	33.3%	33.3%	0.0%	33.3%	100.0%
その他サービス			1		1	2	4
	0.0%	0.0%	25.0%	0.0%	25.0%	50.0%	100.0%
総計	6	4	9	6	5	12	42
	14.3%	9.5%	21.4%	14.3%	11.9%	28.6%	100.0%

平版印刷用PS版（CTP版含む）（DA）、水道用メータボックス（AK）、発泡ポリスチレンシート（BV）では素材製造段階が70%を超えている。

製品製造段階の負荷割合をみると、10%未満の製品分類が45.2%と最も多くなっている。特に、機械製品、電気製品では10%未満が多くを占めており、これらの製品の温暖化負荷は製品製造段階が大きいようにみられるが、後述するように使用段階の方が大きい場合が多い。そのなかで、産業用チェーン（BZ）、面ファスナー（BK）は50%以上、フリーアクセスフロア（BE）、樹脂ペレットを用いて製造されるクリアホルダー（CV）、雨水貯留槽用貯留材（CN）は40%以上となっている。

物流段階の負荷割合は、素材製造、製品製造、使用の各段階に比べて、割合は非常に小さくなっている。物流段階の詳細については次章で検討することとする。

表ー4 製品分類大分類別にみた製品製造段階の温暖化負荷割合

大分類	10%未満	10%以上	20%以上	30%以上	40%以上	50%以上	総計
電気製品	10	5		1			16
	62.5%	31.3%	0.0%	6.3%	0.0%	0.0%	100.0%
機械製品	4		1			1	6
	66.7%	0.0%	16.7%	0.0%	0.0%	16.7%	100.0%
素材/部品製品					1		1
	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	100.0%
建設製品	5	1	4	1	1		12
	41.7%	8.3%	33.3%	8.3%	8.3%	0.0%	100.0%
その他製品		1			1	1	3
	0.0%	33.3%	0.0%	0.0%	33.3%	33.3%	100.0%
その他サービス		1	1	2			4
	0.0%	25.0%	25.0%	50.0%	0.0%	0.0%	100.0%
総計	19	8	6	4	3	2	42
	45.2%	19.0%	14.3%	9.5%	7.1%	4.8%	100.0%

使用段階の負荷割合をみると、50%以上の製品分類が半数を占める一方で、10%未満も35.7%となっており、使用が大きな割合を占める製品分類とわずかな製品分類に二分化している。さらに、製品分類の大分類でみると、電気製品、機械製品は多くの製品分類で50%以上を占めている。特に、電気製品では、PBXシステム（BS）、広帯域電力線搬送通信モデムおよびモジュール（CR）、ネットワークカメラ（BH）、POSターミナル（BY）、データプロジェクタ（AG）、EPおよびIJプリンタ（AD）、機械製品では低圧インバータ盤（CG）、プラント用制御盤（水処理向け）（CU）がそれぞれ70%を超えている。一方、素材/部品製品、その他製品、その他サービスは、10%未満が大半となっている。建設製品は50%以上と10%未満に大きく分かれており、水栓金具（CD）、温水洗浄暖房便座（AM）、固定電話機（AY）、インターホン（AX）がそれぞれ70%を超えている。

表-5 製品分類大分類別にみた使用段階の温暖化負荷割合

大分類	10%未満	10%以上	20%以上	30%以上	40%以上	50%以上	総計
電気製品		1	1	1	1	12	16
	0.0%	6.3%	6.3%	6.3%	6.3%	75.0%	100.0%
機械製品	1	1				4	6
	16.7%	16.7%	0.0%	0.0%	0.0%	66.7%	100.0%
素材/部品製品	1						1
	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
建設製品	7					5	12
	58.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	41.7%	100.0%
その他製品	3						3
	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
その他サービス	3	1					4
	75.0%	25.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
総計	15	3	1	1	1	21	42
	35.7%	7.1%	2.4%	2.4%	2.4%	50.0%	100.0%

例えば、低圧インバータ盤 (CG) は、機能ユニットの主回路定格電流の75%で、1日24時間、1年360日 (メンテナンス5日)、15年間給電するとして計算し、使用段階が98.2%、PBXシステム (BS) は、使用期間5年、年間240日稼働、8時間稼働16時間待機として計算し、使用段階が89.9%、さらに水栓金具 (CD) は、使用人数：4人家族、食器洗い回数：3回/日、年間使用日数：365日/年、使用期間：10年、使用流量：6L/分、使用温度：40℃の水を使用という条件で計算し、使用段階が99.9%、温水洗浄暖房便座 (AM) は、家族構成：男2人、女2人、温水洗浄：温度約38度、1回の使用量約200ml、12回/日使用、便座保温：1日16.3時間通電、タイマー節電、主電源24時間通電、使用期間：7年間という条件で計算し、使用段階が86.6%となっている。

廃棄段階の負荷割合をみると、物流段階と同様に、素材製造、製品製造、使用の各段階に比べて、割合は非常に小さくなっている。2%以上の製品分類が26.2%と最も多く、続いて0.5%未満、1%以上が21.4%となっている。そのなかで、紙製飲料容器 (BD) は20%以上、樹脂ペレットを用いて製造されるクリアホルダー (CV)、発泡ポリスチレ

表-6 製品分類大分類別にみた廃棄段階の温暖化負荷割合

大分類	0.5%未満	0.5%以上	1%以上	2%以上	5%以上	10%以上	総計
電気製品	3	2	3	6	2		16
	18.8%	12.5%	18.8%	37.5%	12.5%	0.0%	100.0%
機械製品	1	1	2	2			6
	16.7%	16.7%	33.3%	33.3%	0.0%	0.0%	100.0%
素材/部品製品				1			1
	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	100.0%
建設製品	4		4	2	1	1	12
	33.3%	0.0%	33.3%	16.7%	8.3%	8.3%	100.0%
その他製品	1					2	3
	33.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	66.7%	100.0%
その他サービス		1			1	2	4
	0.0%	25.0%	0.0%	0.0%	25.0%	50.0%	100.0%
総計	9	4	9	11	4	5	42
	21.4%	9.5%	21.4%	26.2%	9.5%	11.9%	100.0%

ンシート (BV)、面ファスナー (BK) がそれぞれ10%以上となっている。
各段階の割合から製品分類別の特性をまとめると、表-7のようになる。

表-7 製品分類ごとの各段階の割合特性

素材製造段階割合が高い製品分類	熱転写方式カードプリンタ (AJ) 電子黒板 (AZ) デジタルカメラ (AP) 水道用メータボックス (AK) タイルカーペット (BQ) 水道用メーターユニット(BT) 電力用/通信用電線およびケーブル (CL) LPガス用マイコンガスメータ (CW) ビニル床タイル(ホモジニアス) (DD) 平版印刷用PS版(CTP版含む) (DA) 飲料および食品用金属缶 (BC) 発泡ポリスチレンシート (BV)
製品製造段階割合が高い製品分類	産業用チェーン (BZ) 面ファスナー (BK)
使用段階割合が高い製品分類	乾式間接静電式複写機 (AA) EPおよびIJプリンタ (AD) データプロジェクタ (AG) ファクシミリ (AH) ネットワークカメラ (BH) パーソナルコンピュータ及びパソコン専用ディスプレイ (BJ) PBXシステム (BS) POSターミナル (BY) フラットベット/シートフェッドスキャナ (CA) 小型フォトプリンタ (CB) 飲料およびたばこ自動販売機 (CF) 広帯域電力線搬送通信モデムおよびモジュール (CR) 低圧モータコントロールセンタ (BG) 金属閉鎖形スイッチギヤ(高圧盤) (BW) 低圧インバータ盤 (CG) プラント用制御盤(水処理向け) (CU) 温水洗浄暖房便座 (AM) インターホン (AX) 固定電話機 (AY) 便器 (CC) 水栓金具 (CD)
その他(使用・素材製造段階が高い)	デジタル印刷機 (AF)
その他(素材・製品製造段階が高い)	インスタント写真方式プリンタ (BA) 雨水貯留槽用貯留材 (CN) フリーアクセスフロア (BE) 樹脂ペレットを用いて製造されるクリアホルダー (CV) 緩衝材 (AB) 紙製飲料容器 (BD)

4. 物流段階の温暖化負荷の現状

(1) 物流段階の温暖化負荷

物流段階のCO₂換算の温暖化負荷は、0.1kg以上の製品分類が28.6%と最も多く、0.1kg未満が19.0%となっており、両者を足した0.5kg未満が半数弱の47.6%を占めている。一方10kg以上も19.0%となっている。

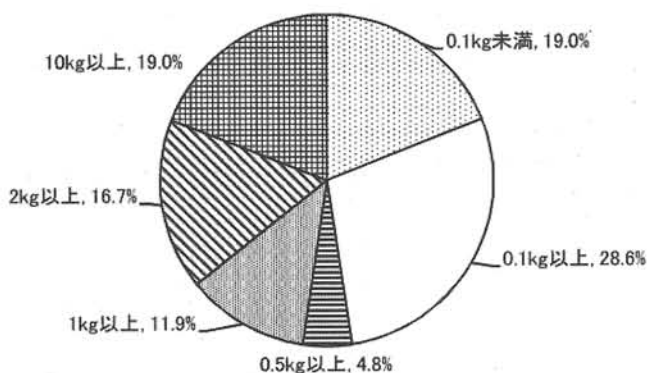


図-2 物流段階のCO₂換算の温暖化負荷

建設製品、その他製品、その他サービスでは、0.1kg以上あるいは0.1kg未満が大半を占め、それぞれ75.0%、100.0%、75.0%となっている。逆に機械製品では10kg以上が66.7%、電気製品でも1kg以上が81.3%と多くなっており、物流段階の温暖化負荷が大きくなっている。

物流段階の温暖化負荷が最も大きいのは、金属閉鎖形スイッチギヤ（高圧盤）（BW）であり54.6kg、続いてプラント用制御盤（水処理向け）（CU）が35.0kg、低圧インバータ盤（CG）が31.4kg、低圧モータコントロールセンタ（BG）が25.0kg、飲料およびたばこ自動販売機（CF）が23.2kg、電子黒板（AZ）が21.7kg、乾式間接静電式複写機（AA）が15.9kg、PBXシステム（BS）が12.2kgとなっている。一方、面ファスナー（BK）は0.003kg、飲料および食品用金属缶（BC）は0.008kg、電力用/通信用電線およびケーブル（CL）は0.009kg、紙製飲料容器（BD）は0.013kg、発泡ポリスチレンシート（BV）は0.020kgと小さくなっている。

表-8 製品分類大分類別にみた物流段階の温暖化負荷

大分類	0.1kg未満	0.1kg以上	0.5kg以上	1kg以上	2kg以上	10kg以上	総計
電気製品	0.0%	18.8%	0.0%	31.3%	25.0%	25.0%	100.0%
機械製品	16.7%	16.7%	0.0%	0.0%	0.0%	66.7%	100.0%
素材/部品製品	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	100.0%
建設製品	16.7%	58.3%	8.3%	0.0%	16.7%	0.0%	100.0%
その他製品	66.7%	33.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
その他サービス	75.0%	0.0%	25.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
総計	19.0%	28.6%	4.8%	11.9%	16.7%	19.0%	100.0%

既に述べたように、物流段階の温暖化負荷は、素材製造、製品製造、使用の各段階に比べて小さく、割合も小さくなっている。物流段階の負荷割合は、0.5%以上の製品分類が33.3%と最も多く、続いて0.5%未満、1%以上が19.0%となっている。そのなかで、その他サービスは10%以上、建設製品は2%以上が最も多くなっている。逆に、機械製品は0.5%未満、電気製品は0.5%以上が最も多くなっている。紙製飲料容器（BD）が15.0%と最も大きく、緩衝材（AB）も13.2%と10%を超えている。さらに雨水貯留槽用貯留材（CN）が8.2%、電子黒板（AZ）が5.5%、飲料および食品用金属缶（BC）が5.4%と、それぞれ5%を超え、物流割合が高くなっている。これらの商品は使用段階の負荷が小さい一方で、容器、緩衝材のように商品の嵩が大きいという特徴がある。逆に、水栓金具（CD）が0.002%、低圧インバータ盤（CG）が0.03%、デジタル印刷機（AF）が0.14%、POSターミナル（BY）が0.17%となっており、デジタル印刷機（AF）を除くと使用段階割合が高く、かつ商品そのものがコンパクトなものが多い。

表－9 製品分類大分類別にみた物流段階の温暖化負荷割合

大分類	0.5%未満	0.5%以上	1%以上	2%以上	5%以上	10%以上	総計
電気製品	4	6	4	1	1		16
	25.0%	37.5%	25.0%	6.3%	6.3%	0.0%	100.0%
機械製品	3	2	1				6
	50.0%	33.3%	16.7%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
素材/部品製品					1		1
	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	100.0%
建設製品	1	4	2	5			12
	8.3%	33.3%	16.7%	41.7%	0.0%	0.0%	100.0%
その他製品		1	1	1			3
	0.0%	33.3%	33.3%	33.3%	0.0%	0.0%	100.0%
その他サービス		1				1	2
	0.0%	25.0%	0.0%	0.0%	25.0%	50.0%	100.0%
総計	8	14	8	7	3	2	42
	19.0%	33.3%	19.0%	16.7%	7.1%	4.8%	100.0%

（2）物流段階と他の段階との関係

段階ごと温暖化負荷の相関をみると、段階間の相関係数が高い傾向にあることが分かる。特に、製品製造段階と物流段階は0.930（P値＝5.41E-19）、素材製造段階と製品製造段階は0.908（P値＝1.07E-16）、物流段階と素材製造段階は0.897（P値＝9.16E-16）と、素材製造段階、製品製造段階、物流段階の相関係数が高い。さらに、廃棄段階についても、素材製造段階（相関係数＝0.738、P値＝2.47E-08）、製品製造段階（相関係数＝0.760、P値＝5.37E-09）、物流段階（相関係数＝0.711、P値＝1.31E-07）との相関係数はいずれも0.7強となっており、比較的相関が高い。使用段階負荷については、素材製造段階との相関係数は0.602（P値＝2.47E-05）と比較的高いものの、他の段階とは相関係数は低い状況にある。ここで対象としている製品分類は、機械製品などのように容積

が大きく、重量が重いものから、例えば面ファスナー（BK）、飲料および食品用金属缶（BC）、紙製飲料容器（BD）のように容積も小さく、重量が軽いものもある。前者のような製品分類は、一般的には素材製造、製品製造、物流の各段階の温暖化負荷が大きくなることが想定される。

表-10 各段階の温暖化負荷の相関係数

	素材製造 段階負荷	製品製造 段階負荷	物流段階 負荷	使用段階 負荷	廃棄段階 負荷
素材製造段階負荷	1.000	0.908	0.897	0.602	0.738
製品製造段階負荷	0.908	1.000	0.930	0.383	0.760
物流段階負荷	0.897	0.930	1.000	0.412	0.711
使用段階負荷	0.602	0.383	0.412	1.000	0.028
廃棄段階負荷	0.738	0.760	0.711	0.028	1.000

(3) 重量あたり温暖化負荷

物流段階の温暖化負荷と製品の重量（商品本体と包装などの合計の重量）との相関をみてみると、相関係数が0.901（P値=4.64E-16）と相関が高くなっている。散布図は図-3のとおりである。さらに、製品の重量と素材製造段階の温暖化負荷との相関係数は0.982（P値=1.56E-30）、製品製造段階とも0.902（P値=3.48E-16）と高くなっている。同じく、使用段階とは0.640（P値=4.91E-06）、廃棄段階とは0.693（P値=3.57E-07）と、比較的高くなっている。このように、製品の重量は各段階の温暖化負荷に大きく影響していると考えられる。

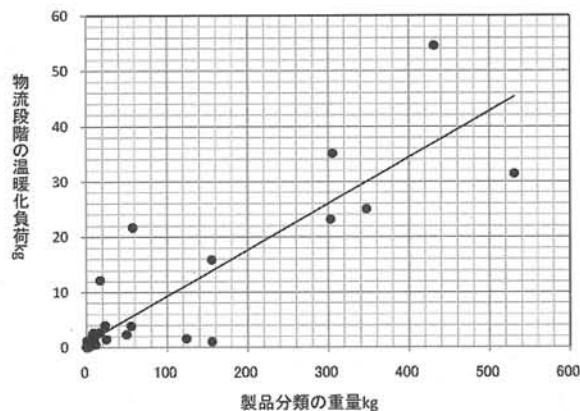


図-3 物流段階の温暖化負荷と製品分類の重量の散布図

各段階の温暖化負荷（kg-CO₂）を重量（kg）で除した、重量あたり温暖化負荷の各段階間の相関をみると、重量あたり製品製造段階と重量あたり廃棄段階の相関係数は0.568（P値=8.62E-05）で、相関がみられるほか、重量あたり物流段階と重量あたり素

材製造段階は0.405 (P値=0.0079)、重量あたり物流段階と重量あたり廃棄段階は0.398 (P値=0.0091) となっており、弱い相関があるといえる。他の段階での相関はほとんどみられない。

表-11 各段階の重量あたり温暖化負荷の相関係数

	重量あたり 素材製造段 階負荷	重量あたり 製品製造段 階負荷	重量あたり 物流段階負 荷	重量あたり 使用段階負 荷	重量あたり 廃棄段階負 荷
重量あたり素材製造段階負荷	1.000	0.368	0.405	-0.082	0.274
重量あたり製品製造段階負荷	0.368	1.000	0.201	0.011	0.568
重量あたり物流段階負荷	0.405	0.201	1.000	-0.039	0.398
重量あたり使用段階負荷	-0.082	0.011	-0.039	1.000	0.005
重量あたり廃棄段階負荷	0.274	0.568	0.398	0.005	1.000

(4) 製品分類ごとの物流段階の温暖化負荷特性

物流段階の温暖化負荷を横軸、重量あたり物流段階の温暖化負荷を縦軸にとり、製品分類をまとめたのが、表-12である。右上は物流段階の温暖化負荷が大きく、かつ重量あたりの温暖化負荷も大きい群であり、電気製品が多くなっている。環境面からみて、問題が多い可能性が高いといえる。逆に、左下は物流段階の温暖化負荷が小さく、かつ重量あたりの温暖化負荷も小さい群であり、建設製品が多くなっている。環境面からみて、問題が小さいといえる。左上は物流段階の温暖化負荷が小さいものの、重量あたりの温暖化負荷は大きい群であり、容器、緩衝材などが入っており、効率が悪い輸送をせざるをえない状況がうかがえる。

表-12 製品分類ごとの物流段階の温暖化負荷特性

		物流段階の温暖化負荷	
		1kg未満	1kg以上
重量 あたり 物流 段階 の 温暖 化 負 荷	0.1以上	紙製飲料容器 (BD) インスタント写真方式プリンタ (BA) インターホン (AX) 固定電話機 (AY) ネットワークカメラ (BH) 飲料および食品用金属缶 (BC) 樹脂ベレットを用いて製造されるクリアホルダー (CV) 小型フォトプリンタ (CB) 緩衝材 (AB) 面ファスナー (BK) 水道用メーターユニット(水道用メーター周辺機器) (BT)	広帯域電力線搬送通信モデムおよびモジュール (GR) PBXシステム (BS) 電子黒板 (AZ) データプロジェクタ (AG) 温水洗浄暖房便座 (AM) ファクシミリ (AH) EPおよびIJプリンタ (AD) フラットベッド/シートフェッドスキャナ (GA) 熱転写方式カードプリンタ (AJ) パーソナルコンピュータ及びパソコン専用ディスプレイ (BJ) 金属閉鎖形スイッチギヤ(高圧盤) (BW) プラント用制御盤(水処理向け) (CU) 乾式間接静電式複写機 (AA)
	0.1未満	水栓金具 (CD) 平版印刷用PS版(CTP版含む) (DA) ビニル床タイル(ホモジニアス) (DD) 電力用/通信用電線およびケーブル (CL) 産業用チェーン (BZ) タイヤカーペット (BQ) LPガス用マイコンガスメータ (CW) デジタルカメラ (AP) フリーアクセスフロア (BE) 水道用メータボックス (AK) 発泡ポリスチレンシート (BV)	飲料およびたばこ自動販売機 (CF) 低圧モータコントロールセンタ (BG) 雨水貯留槽用貯留材 (CN) 低圧インバータ盤 (CG) POSTターミナル (BY) 便器 (CC)

5. 物流関連サービスにおけるLCAからみた温暖化負荷

前章までは一般的な商品、サービスの「エコリーフ環境ラベル」について検討してきた。それ以外に、物流に関連するサービスとして、食材配送システム（CE）とマネキンレンタルサービス（CZ）の2製品分類があり、物流段階が細かく分析されている。

(1) 食材配送システムの温暖化負荷

食材配送システム（CE）は、ハンバーガーチェーンが（レタス・トマト・タマネギ（カットタマネギを含む））の店舗到達食材1tあたりの温暖化負荷を計算したものである。物流段階は、産地（日本国内の収穫後の集積地及び生産加工場）から拠点（日本国内の産地からの食材を収集し、店舗へ配送する手段を整える倉庫）までの産地配送、拠点から店舗（日本国内の輸送食材の納品地、例えば、スーパー、デパート、ファストフードなどの飲食取扱店ならびにデリバリー店）までの拠点配送の、各温暖化負荷を合計したものである。さらに輸送媒体の製造・廃棄に必要な材料・エネルギーとして、トラック、鉄道車両、船舶、飛行機の製造および解体・廃棄時に投入するエネルギー等の使用による温暖化負荷を計算したものである。拠点に関するものとしては、拠点エネルギーは、拠点内のエネルギー等の使用、食材残渣排出、食材加工のエネルギー、拠点包装材等は段ボール、袋、通い箱、結束バンドに関する温暖化負荷が含まれている。なお、ここでのリサイクル効果は包装材のリサイクルによるものである。

店舗到達食材1tあたりの温暖化負荷は263.8kgである。内訳をみると、輸送に関連して、日常の物流業務における産地配送段階が79.4kgで30.1%、拠点配送段階が37.4kgで14.2%、さらに輸送媒体の製造・廃棄が18.1kgで6.9%、合計51.1%を占めている。

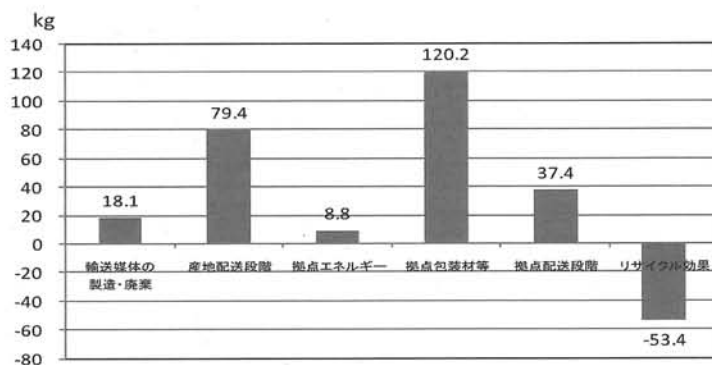
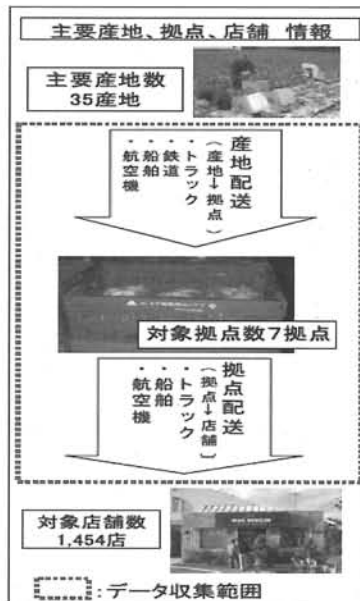


図-4 食材配送システムの各段階の温暖化負荷

表-13 食材配送システムの配送段階の温暖化負荷

	産地配送段階(産地→拠点)			拠点配送段階(拠点→店舗)		
	t・km	kg-CO ₂	%	t・km	kg-CO ₂	%
2t冷蔵車	6.96	67.80	85.4	0.00	35.20	94.1
2tトラック	1.04			0.00		
4tトラック	29.94			0.00		
10tトラック	399.51			0.00		
4t冷蔵車	0.02			125.53		
鉄道輸送	64.55	1.42	1.8	0.00	0.00	0.0
船舶輸送	60.56	2.50	3.1	0.82	0.03	0.1
航空機輸送	4.80	7.69	9.7	1.36	2.19	5.9
合計	567.38	79.41	100.0	127.71	37.42	100.0



出典：食材配送システム（PCR番号：CE-01）

図-5 食材配送システムのデータ収集範囲

拠点関連としては、拠点エネルギーが8.8kgで3.3%、拠点包装材等が120.2kgで45.5%、合計48.8%となっている。全体としては、拠点包装材等の占める割合が最も大きい。ただし、包装材等のリサイクル効果の53.4kgを含めて考えると、産地配送段階が37.7%で最も大きく、拠点配送段階、輸送媒体の製造・廃棄をあわせると64.1%を占めることになる。さらに配送の温暖化負荷でのトラック輸送の割合は、産地配送段階で85.4%、拠点配送段階で94.1%を占め、食材配送システム（CE）において、トラック輸送は非常に大きな排出源となっている状況がうかがえる。

(2) マネキンレンタルサービスの温暖化負荷

マネキンレンタルサービス (CZ) は、製造プロセスとレンタルプロセスに大きく分かれる。レンタル1回使用時の場合は図-6のように、製造プロセスの割合が高くなる。ただし、レンタル回数が増えると1回あたりの温暖化負荷が減少し、レンタルプロセスの割合が増加する。レンタル回数が1回の場合は52.8kg (製造プロセスが31.1kg, レンタルプロセスが21.7kg) なのに対し、5回の場合は累計から1回あたりの温暖化負荷を算出すると27.9kg (製造プロセスが6.2kg, レンタルプロセスが21.7kg) となる。レンタルサービスは、仕上げ等の製品製造段階の14.5kgが大きいですが、物流段階は2.4kgであり11.1%を占めている。物流段階は、PCRで規定している2tトラック、積載率62%、移動距離実測平均値の往復274kmで計算し、納品物流、返品物流の2段階を計算している。

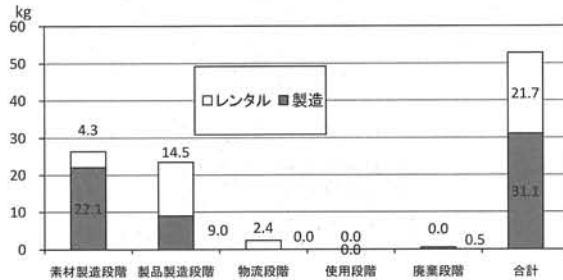


図-6 マネキンレンタルサービスの各段階の温暖化負荷 (1回使用の場合)

6. まとめ

本論文では、「エコリーフ環境ラベル」の定量的データを分析し、ライフサイクル全体からみた、ロジスティクスの環境負荷の検討を行った。ライフサイクルの段階ごとの温暖化負荷割合の平均からみると、使用段階、素材製造段階が多く、それに対して、物流段階は2.2%にとどまっていることが明らかとなった。

物流段階のCO₂換算の温暖化負荷は、0.5kg未満が製品分類の半数弱の47.6%を占め、建設製品、その他製品、その他サービスが多くなっている。一方、10kg以上の製品分類は19.0%となっており、機械製品が多い。1kg以上においても電気製品が多くなっており、これらの製品分類は物流段階の温暖化負荷が大きい傾向がみられる。物流段階のCO₂換算の温暖化負荷は、製品の重量との相関が高い。そこで、重量あたりの負荷をみたが、電気製品が特に大きい傾向がある。電気製品の物流段階の温暖化負荷をいかに削減していくかが大きな課題といえよう。

また、物流関連サービスとして、食材配送システムの温暖化負荷を検討したが、特

にトラック輸送の負荷が大きい。LCAからみてもトラック輸送の負荷を下げるのが、非常に影響が大きいことが明らかになった。

LCAの検討が進むなかで、物流段階については、定量的把握が難しいこともあり、これまで検討があまりなされてこなかった。今後は、ライフサイクル全体の環境負荷削減、そして物流段階の環境負荷削減のためには、LCAとロジスティクスの関係を明確にしたうえで、検討することが重要な課題と考えられる。

注

- 1) 「エコリーフ環境ラベル」は、その製品に関わる環境負荷全体（温暖化、酸性化、オゾン層破壊、水質汚濁などの環境排出負荷、エネルギー資源や資源枯渇などの資源消費負荷）を定量的に算出し、その環境負荷量はWEB上で公開される。対象は、工業製品が中心となっている。それに対して、カーボンフットプリントは温室効果ガスのみを定量的に算出し、その環境負荷量は商品に直接表示される。さらに、食品、日用品が中心という特徴がある。
- 2) 2009年12月現在、72製品分類について、PCRが定められている。
- 3) 牛肉（CP）については、物流段階の温暖化負荷は計算されているものの、他の段階の区別が違うため、分析対象から外した。なお、牛肉1kg当りCO₂換算の温暖化負荷は、繁殖・育成段階が13.3kg、肥育段階が2.3kg、と畜・加工段階が0.1kg、物流段階が0.7kgとなっている。電子投票システム（BR）は、1つの商品ではなく、有権者数10万人、投票所数50箇所、開票所数1箇所の自治体を想定して算出していることから、分析対象から外した。
- 4) 製品分類名のあとにつけられている括弧書きのアルファベットは、製品分類の適用PCR番号である。

参考文献

- 産業環境管理協会「エコリーフ環境ラベル」
産業環境管理協会「エコリーフ環境ラベル実施ガイドライン2005年版」
稲葉敦「LCAシリーズ LCAの実務」産業環境管理協会
稲葉敦「カーボンフットプリント」工業調査会
加地靖「カーボンフットプリントの算定方法・表示方法について」包装技術2009年5月号
富士総合研究所「企業のためのLCAガイドブック」日刊工業新聞
スマートエナジー「カーボン・オフセットのしくみ」中央経済社
みずほ総合研究所「カーボンフットプリント制度の試行と本格導入に向け解決すべき課題」