Technical Paper

Life Cycle Analysis of Environmental Load
from Polyvinyl Chloride ProductsKatsuhito NAKAZAWA *¹, Seiji SAKAI *², Keiichi KATAYAMA *³, and Itaru YASUI *⁴

(Received November 30, 2006)

ポリ塩化ビニル製品のライフサイクルにおける環境負荷分析

中澤克仁*¹, 酒井清次*², 片山恵一*³, 安井 至*⁴

Polyvinyl chloride (PVC) is a material with advantages of productivity, recyclability and economy, and that is applied to various products such as pipes, films and electric cables. On the other hand, it is limited that the PVC products are used because of excessive fear to chemical substances generated by the combustion, and to endocrine disrupters from the plasticizer. In this study, life cycle inventories of a pipe for water supply as rigid PVC products and an agro-film as flexible PVC products were analyzed, and the comparisons with alternative products were investigated in terms of environmental load, that is, energy consumption, CO₂ emission, SO_x emission, NO_x emission and solid waste.

As results, it was shown that the energy consumption from the pipe for water supply made from PVC was smaller than that from the alternative pipe for water supply. In addition, the environmental load caused by the PVC pipe was remarkably decreased by raising a ratio of Pipe to Pipe recycling. Considering the durability of each agro-film, the energy consumption of the agro-film made from PVC was the largest in all agro-films. It is necessary to extend the life period of PVC films in order to reduce the environmental load.

Key Words

PVC, Pipe for water supply, Agro-film, Alternative product, Life cycle inventory analysis

1. はじめに

ポリ塩化ビニル (以下, PVC) は, 耐久性, 加工性, 電気絶縁性, 難燃性等に優れた素材であることから, 年間215万tものPVC樹脂が生産されており, これはポリエチレン, ポリプロピレンに次ぐ生産量となっている¹⁾. このほとんどが食塩電解法により製造される苛性ソーダ (NaOH) の副産物である塩素 (Cl₂) を原料としており, この需要と供給のバランスを保ち続けることは, 素材産業におけるエネルギー・コスト増大を避ける意味でも必要不可欠な材料となっている。また, 使用済みPVC製品の多くが床材やパイプ等へマテリアルリサイクルされている現状を考えると, 今後の循環型社会形成の促進を

考えていく上でも重要な存在である²⁾. このように, PVCは生産性・経済性・リサイクル性にも優れた材料である一方で, 近年では環境への過剰なる警戒から, 製品へのPVCの使用が制限され, 新たに代替材料を用いた製品へと移行した経緯がある。これは, PVC製品を燃焼させた際に発生するダイオキシン類等の塩素系化合物による影響や, PVC中に含有される可塑剤等による人間健康・生態系への影響による懸念が主な理由であった。しかしながら, ある素材や製品が地球環境にもたらす影響を考える場合には, 一側面からの見解だけでなく, 多角的な視点から様々な環境への影響を定量的に把握し, 総合的に判断される必要がある。つまり, LCA (Life Cycle

* 1 Japan Science and Technology Agency
4-1-8 Motomachi, Kawaguchi-shi, Saitama 332-0012
(Present : Fujitsu Laboratories Ltd., 10-1 Morinosato-Wakamiya, Atsugi-shi, Kanagawa 243-0197)

* 2 Japan PVC Environmental Affairs Council
1-4-1 Shinkawa, Chuou-ku, Tokyo 104-0033

* 3 Graduate School of Engineering, Tokai University
1117 Kitakaname, Hiratsuka-shi, Kanagawa 259-1292

* 4 United Nations University
5-53-70 Jingumae, Shibuya-ku, Tokyo 150-8925

* 1 (独) 科学技術振興機構
〒 332-0012 埼玉県川口市本町 4-1-8
(現 (株) 富士通研究所
〒 243-0197 神奈川県厚木市森の里若宮 10-1)

* 2 塩化ビニル環境対策協議会
〒 104-0033 東京都中央区新川 1-4-1

* 3 東海大学工学研究科
〒 259-1292 神奈川県平塚市北金目 1117

* 4 国際連合大学
〒 150-8925 東京都渋谷区神宮前 5-53-70

Assessment) 手法のような総合的な環境評価手法を用いて、PVC製品のライフサイクルにおける環境負荷を分析することは、その素材・製品の代替性を評価する際に、判断材料の一つとして有効と考えられる。

これまでにPVC樹脂やPVC製品のライフサイクルを通じての環境負荷評価は幾つか報告されているが³⁾⁴⁾、PVC製品と代替製品を同じ条件下において各プロセスを詳細に分析し、評価を行った事例は少なかった。そこで本研究では、同一工場内で製造されている特定のPVC製品と代替製品を対象にしたライフサイクルインベントリ (LCI: Life Cycle Inventory) 分析を行い、PVC製品と代替製品の環境負荷排出における特性を明らかにした上で、PVC製品のさらなる環境負荷低減に向けた対策について検討した。

2. 調査範囲と前提条件

2.1 対象製品

一般にPVC製品は、“硬質製品”、“軟質製品”、“電線・その他の製品”に大別することができるが、PVC樹脂の製品用途別構成を見た場合、硬質製品であるパイプ・継手が約38%、次いで軟質製品である農業用フィルム等のシート類が約12%と、これら製品への需要が特に大きくなっている⁵⁾。また、近年では、これらPVC製品から代替製品への移行も著しいことから、本研究では硬質PVC製品として水道管、さらに軟質PVC製品として農業用フィルムを対象にして調査を行った。なお、現状の代替製品への移行を考慮して、水道管ではポリエチレン (以下、PE) 製水道管、農業用フィルムではPE製農業用フィルムとポリエチレンテレフタレート (以下、PET) 製農業用フィルムを対象とした。

2.2 機能単位

水道管および農業用フィルムの機能単位については、調査を行った製造業者において、PVC製品からの代替製品として生産・販売が行われており、市場規模の大きな製品を選択とした。

水道管の機能単位については、呼び径100mmの水道管1mの製品を対象とした。この場合、PVC製水道管では質量：

3.4kg/m、厚み：7.1mm、代替製品であるPE製水道管では質量：4.2kg/m、厚み：11.4mmとなる。

また、農業用フィルムの機能単位は、厚み0.15mmの農業用フィルム1m²の製品を対象とし、製品の耐用年数を考慮した上で、使用期間1年あたりに換算して評価を行った。この場合、PVC製農業用フィルムでは質量：0.186kg/m²、使用期間：4年、代替製品であるPE製農業用フィルムでは質量：0.144kg/m²、使用期間：5年、PET製フィルムでは質量：0.206kg/m²、使用期間：10年となる。

2.3 システム境界と前提条件

本LCI分析では、Fig. 1に示した“原料樹脂製造 (Stage I)”、“製品加工 (Stage II)”、“リサイクル (Stage III)”、“廃棄処理 (Stage IV)”までをシステム範囲とし、リサイクル工程については再生材製造までをシステムバウンダリ内に入れた。また、システム境界や原単位、シナリオ設定等の前提条件を同じにして分析するために、調査データについては同じ文献から引用し、またヒアリングデータについても同じ製造業者・製造場所におけるデータを使用した。なお、“リサイクル (Stage III)”や“廃棄処理 (Stage IV)”のシナリオについては、各業界で公開されているリサイクル率等の実績値を参考に設定した。

各ステージにおけるインベントリデータの詳細については、以下に述べた。

2.3.1 原料樹脂製造 (Stage I)

原料樹脂製造ステージでは、原油採取、輸入、石油精製から原料樹脂製造までを対象とした。各種樹脂製造に関するデータをTable 1に示した。水道管および農業用フィルムにおける代替製品におけるPE樹脂製造およびPET樹脂製造に関するインベントリデータは、“石油化学製品のLCIデータ調査報告書”から引用した⁶⁾。また、PVC樹脂製造に関するインベントリデータは、PVC製品には軟質性を出すために可塑剤 (フタル酸エステル) が混合されるため、上記の文献に可塑剤製造データを含ませている“塩化ビニル樹脂加工製品のLCIデータ調査報告書”を参考とした^{7) 8)}。さらに、PE樹脂製造デー

Fig. 1 System boundary of pipes for water supply and agro-films in this LCI

Table 1 Detailed data for environmental load of resin production (Stage I)

	PVC resin-kg (pipes for water supply)	HDPE resin-kg (pipes for water supply)	PVC resin-kg (agro-films)	LDPE resin-kg (agro-films)	PET resin-kg (agro-films)
Process energy (kcal)	5,675	4,989	6,237	5,843	6,052
Feedstock energy (kcal)	4,600	10,710	4,722	10,689	8,301
CO ₂ (kg)	1,354	1,231	1,748	1,421	1,416
SO _x (g)	1,837	2,534	2,382	2,705	3,205
NO _x (g)	2,018	2,355	4,977	2,632	2,541
Solid waste (g)	0.842	2,369	0.576	1,828	3,489
Reference	7)	6)	7)	6)	6)

タについては、水道管用には高密度ポリエチレン (HDPE) 樹脂、農業用フィルムには低密度ポリエチレン (LDPE) 樹脂のデータを使用した。なお、各種製品では、製品特性を高めるために安定剤等の添加剤が微量ながら混入されている。しかしながら、これらに関する明確な製造データが得られなかったため、本調査では対象外とした。

2.3.2 製品加工 (Stage II)

ある製品とその代替製品の定量的な評価を実施する際に、製造業者や製造場所が異なることで、データ精度・信頼性の問題が大きくなり、適切に評価ができないことが多い。そこで本研究では、製品加工ステージでの水道管および農業用フィルムの加工データについては、それぞれPVC製品と代替製品を同一工場内で製造している製造業者からインベントリデータを収集した。そのデータをTable 2に示したが、水道管の加工データについては、原料混合(原料貯蔵含む)、押出成型、冷却(ユーティリティ含む)、切断、積載の各工程について調査した。また、農業用フィルムの加工データについては、PVC製農業用フィルムはカレンダー法、PE製農業用フィルムはインフレーション法、PET製農業用フィルムはTダイ法と、それぞれ製造方法が異なるが、フィルム加工、表面塗工、巻き取りの各工程を対象に調査を行った⁹⁾。

なお、以上の水道管および農業用フィルムの加工データについては、PVC製品と代替製品の生産規模は同等で、生産量当たりの平均値を引用した。

2.3.3 リサイクル (Stage III)

リサイクルステージについては、各種製品を可能な限り同じシステム境界内で評価を行うために、再生材製造までを対

象とし、現状の各種製品のリサイクル率を反映させて調査を実施し、そのデータをTable 3に示した。水道管のリサイクルステージでは、PVC製水道管およびPE製水道管のリサイクル率を60%として、輸送(4tトラックで1,875kg積載, 84.9km輸送)、フレーク・粉砕、ペレット化(再生材製造)までを範囲とした¹⁰⁾。農業用フィルムのリサイクルステージでは、PVC製農業用フィルムのリサイクル率を48.1%、PE製農業用フィルムのリサイクル率を28.0%、PET製農業用フィルムのリサイクル率を12.1%として、輸送(4tトラックで1,875kg積載, 84.9km輸送)、グラッシュ・フレーク、ペレット化(再生材製造)までを範囲とした¹¹⁾。各工程のデータについては、PVC製品は“塩化ビニル樹脂製品のリサイクル・処理処分のLCI調査報告書”を、PE製品およびPET製品は“プラスチック廃棄物の処理・処分に関するLCA調査研究報告書”を参考とした¹²⁾。なお、ここで製造された再生材については、リサイクルによってフィードストックエネルギーが保持されるものと考え、再生材の材料エネルギーを負の材料エネルギー消費として評価した。

2.3.4 廃棄処理 (Stage IV)

廃棄処理ステージでは、リサイクル工程に入らなかった使用済み製品と、リサイクルステージで発生した残渣の廃棄処理を対象とした(Table 4参照)。ここでの処理方法としては焼却処理と埋立処理を対象として、各種使用済み製品の割合については、現状における統計データを参考とした。また、各処理施設への輸送については、4tトラックで1,875kg積載, 84.9km輸送とした。PVC製水道管およびPE製水道管の場合、リサイクル工程(リサイクル率60%)に入らない40%が直接埋立処理されるとして、またリサイクルステージで発生した

Table 2 Detailed data for environmental load of pipes and films manufacturing (Stage II)

	PVC -m (pipes for water supply)	PE -m (pipes for water supply)	PVC -m2 (agro-films)	PE -m2 (agro-films)	PET -m2 (agro-films)
Process energy (kcal)	1,979	5,140	784	371	1,574
CO ₂ (kg)	0.397	1.031	0.160	0.075	0.347
SO _x (g)	0.354	0.918	0.068	0.038	0.385
NO _x (g)	0.375	0.975	0.190	0.082	0.477
Solid waste (kg)	0.0	0.0	0.0	0.004	0.010
Reference	Mearsured	Mearsured	Measured	Mesured	Measured

Table 3 Detailed data for environmental load of recycling process (Stage III)

	PVC -m (pipes for water supply)	PE -m (pipes for water supply)	PVC -m2 (agro-films)	PE -m2 (agro-films)	PET -m2 (agro-films)
Transport (4t-Truck)					
Process energy (kcal)	258.2	318.1	14.09	10.91	15.56
CO ₂ (kg)	0.073	0.090	0.004	0.003	0.004
SO _x (g)	0.086	0.106	0.005	0.004	0.005
NO _x (g)	0.224	0.276	0.012	0.009	0.013
Reference	12)	12)	12)	12)	12)
Pulverization					
Process energy (kcal)	3,211	832.8	137.2	28.55	171.2
CO ₂ (kg)	0.618	0.164	0.027	0.006	0.034
SO _x (g)	0.563	0.120	0.020	0.004	0.025
NO _x (g)	0.638	0.138	0.023	0.005	0.028
Solid waste (kg)	0.454	0.003	0.100	0.000	0.025
Reference	5)	12)	5)	12)	12)
Pelletization					
Process energy (kcal)	1,463	599.5	—	20.55	—
CO ₂ (kg)	0.311	0.118	—	0.004	—
SO _x (g)	0.298	0.086	—	0.003	—
NO _x (g)	0.379	0.099	—	0.003	—
Solid waste (kg)	0.063	0.0	—	0.0	—
Reference	Measured	12)	—	12)	—
Extrusion (Fig.4 data)					
Process energy (kcal)	3,566	—	—	—	—
CO ₂ (kg)	0.660	—	—	—	—
SO _x (g)	0.587	—	—	—	—
NO _x (g)	0.623	—	—	—	—
Solid waste (kg)	0.025	—	—	—	—
Reference	Measured	—	—	—	—

Table 4 Detailed data for environmental load of waste process (Stage IV)

	Transport (/kg)	Incineration (/kg)	Landfill (/kg)
Process energy (kcal)	75.74	73.31	97.47
CO ₂ (kg)	0.021	0.015	0.009
SO _x (g)	0.025	0.012	0.027
NO _x (g)	0.066	0.016	0.007
Reference	12)	12)	12)

残渣については、焼却処理された後、埋立処理されるものとした。PVC製農業用フィルム、PE製農業用フィルム、PET製農業用フィルムの場合、焼却処理された後に埋立処理される割合が9.4%、25.7%、24.4%、直接埋立処理される割合が42.5%、46.3%、63.5%とした¹¹⁾。リサイクルステージで発生した残渣についても、焼却処理された後、埋立処理されるものとした。これらの輸送、焼却処理、埋立処理に関するデータは、“プラスチック廃棄物の処理・処分に関する LCA 調査研究報告書”を参考とした¹²⁾。

2.4 環境負荷項目

本研究では、石油資源等の枯渇問題が懸念されているエネルギー消費、地球温暖化への寄与が考えられているCO₂排出、

酸性化に影響を及ぼしているSO_x・NO_x排出、最終処分場の逼迫が問題視されている固形廃棄物を環境負荷項目とした。エネルギー消費量については、工程エネルギー（プロセスエネルギー）と材料エネルギー（フィードストックエネルギー）とに区分して表示した。

3. 結果および考察

3.1 水道管における環境負荷分析

上述した調査範囲と前提条件より、PVC製水道管およびPE製水道管におけるエネルギー消費量を分析した。その結果をFig. 2に示したが、両水道管共に、原料樹脂製造 (Stage I) におけるエネルギー消費量が大きく、プロセスエネルギーに限れば、PVC製水道管で全体の79%、PE製水道管で全体の76%を占めていた。PVC製水道管とPE製水道管のライフサイクルでのエネルギー消費量を比較した場合、PE製水道管の原料樹脂製造におけるフィードストックエネルギーが極めて大きいことから、PVC製水道管のエネルギー消費量が小さくなる結果が得られた。また、プロセスエネルギーのみで比較した場合でも、PVC製水道管のエネルギー消費量がやや小さい結果となった。製品加工 (Stage II) においてエネルギー消費量に差が生じているが、これはPE製水道管がPVC製水道管に比べ、熔融粘度が高く、冷却効率が低いために、エネルギー

Fig. 2 Energy consumption in life cycle of pipes for water supply made from PE and PVC

消費量が大きくなるためである。両水道管共に、製品加工 (Stage II), リサイクル (Stage III), 廃棄処理 (Stage IV) におけるエネルギー消費量は相対的に小さく、水道管のライフサイクルにおけるエネルギー消費量が原料樹脂製造 (Stage I) に大きく依存していることから、ここでのエネルギー削減対策が重要であることが示唆された。

次に、PVC製水道管およびPE製水道管のライフサイクルにおけるCO₂排出量、SO_x排出量、NO_x排出量および固形廃棄物量の結果をFig. 3に示した。この結果においても、エネルギー消費量の結果と同様に、PE製水道管からのCO₂排出量、SO_x排出量、NO_x排出量が大きくなり、これらは原料樹脂製造に起因する排出であった。固形廃棄物量については、わずかにPVC製水道管が小さいが、大きな差はなかった。

さらに、PVC製水道管については、クローズド (Pipe to Pipe) リサイクルが行われた場合のエネルギー消費量についても試算を行った。PVC製水道管とPE製水道管における大きな違いは、PE製水道管はカスケード・リサイクルが行われるのに対して、PVC製水道管ではクローズド・リサイクルが行われ、社会的にもシステムが確立している点にある。したがって、再生材製造 (ペレット化) までのPVC製水道管のシステムバウンダリを、その後の押出成形工程まで拡大して分析を行った (Table 3参照)。なお、ここで定義するリサイクル率とは、使用済みになった水道管がリサイクル工程において処理される

Fig. 3 Environmental loads in life cycle of pipes for water supply made from PE and PVC

Fig. 4 Relationship between recycling ratio and energy consumption of pipe for water supply made from PVC

重量比率とした。また、リサイクルによって保持されるフィードストックエネルギーは、クローズド・リサイクルによって再生される水道管のフィードストックエネルギーとして相殺されるものと考えた。PVC製水道管のライフサイクルにおけるエネルギー消費量とリサイクル率 (Pipe to Pipe 率) の関係を Fig. 4 に示したが、リサイクル率が高くなるに従って、著しくエネルギー消費量が減少する結果が得られた。特に、リサイクル率100%のPVC製水道管は、リサイクルを行わなかった場合と比較して、リサイクル工程でのエネルギー消費量が増加するものの、ライフサイクル全体でのエネルギー消費量を67%削減できることが示された。また、Pipe to Pipeリサイクルを行うことで、大部分を占めていた原料樹脂製造 (Stage I) におけるエネルギー消費量を約90%削減できることが確認された。

以上の結果から、クローズド・リサイクルの促進は、ライフサイクル全体でのエネルギー消費量を大幅に削減できることから、原料樹脂製造 (Stage I) でのエネルギー削減対策と共に、今後のPVC製水道管の環境負荷低減に向けた対策の一つとして考えられる。

3.2 農業用フィルムにおける環境負荷分析

PVC製農業用フィルム、PE製農業用フィルムおよびPET製農業用フィルムにおけるエネルギー消費量について、製品の耐用年数を考慮して分析を行った。農業用フィルムは、野外で長時間使用されることから、天候等による影響を受けやすく、定期的に交換が必要な製品である。製造業者によれば、PVC製農業用フィルムは4年、PE製農業用フィルムは5年、PET製農業用フィルムは10年の耐用年数とされており、これらの使用期間を1年当たりに換算してエネルギー消費量を算出した。その結果を Fig. 5 に示したが、水道管の結果と同様に、PVC製農業用フィルムとPE製農業用フィルムでは、原料樹脂製造 (Stage I) におけるエネルギー消費量が大きく、プロセスエネルギーに限れば、それぞれ全体の59%, 69%を占めていた。これに対して、PET製農業用フィルムでは、製品加工 (Stage II) におけるエネルギー消費量が大きくなり、プロセスエネルギーの53%を占める結果となったが、これはフィルム加工方法の違いに起因するものと考えられる。また、PVC製農業用フィルム、PE製農業用フィルムおよびPET製

Fig. 5 Energy consumption per a year of agro-films made from PE, PET and PVC

農業用フィルムのライフサイクルにおけるエネルギー消費量の比較では、使用期間の最も長いPET製農業用フィルムが最も小さくなり、プロセスエネルギーのみの評価では、PE製農業用フィルムが最も小さくなる結果が示された。使用期間の最も短いPVC製農業用フィルムのエネルギー消費量が著しく大きくなる結果が得られたことから、PVC製農業用フィルムの課題が耐用年数の向上にあると考えられる。

次に、PVC製農業用フィルム、PE製農業用フィルムおよびPET製農業用フィルムのライフサイクルにおけるCO₂排出量、SO_x排出量、NO_x排出量および固形廃棄物量の結果をFig. 6に示した。その結果、PE製農業用フィルムのCO₂排出量、SO_x排出量、NO_x排出量が最も小さくなることが確認された。それに対して、PVC製農業用フィルムは、全ての環境負荷項目で大きくなり、特にNO_x排出量が極めて大きく、これは原料樹脂製造(Stage I)、特に可塑剤製造に起因するものであった。

そこで、PVC製農業用フィルムの耐用年数を現状の2倍(8年)に延長した場合を想定して、エネルギー消費量について試算を行った。その結果をFig. 7に示したが、PVC製農業用フィルムの使用期間を延長させることで、PE製農業用フィルムよりも27.5%、PET製農業用フィルムよりも23.2%のエネルギー消費量を削減できることが示された。PVC製農業用フィルムにおける代替製品とのエネルギー消費量の差は、プロセスエネルギーにおいては小さいものの、フィードストック

Fig. 6 Environmental loads per a year of agro-films made from PE, PET and PVC

Fig. 7 Reduction effect of energy consumption from PVC agro-film by extending life period

クエネルギーにおいて特に大きくなることが確認された。

以上の結果から、PVC製農業用フィルムの耐用年数を延ばすことが可能になれば、単位年当たりのエネルギー消費量の低減化を図ることが示されたことから、今後は使用期間の長期化が環境負荷低減へ向けての一施策になるものと推察された。ただし、上記の試算では、農業用フィルムへの技術的対策(例えば、フィルム表面のコーティング処理等)に係わる環境負荷は見積もられておらず、ここでのプロセスエネルギーを考慮した上で、さらなる検証が必要と考えている。

4. まとめ

硬質PVC製品として水道管、軟質PVC製品として農業用フィルムを対象としてLCI分析を行い、PVC製品と代替製品の環境負荷排出における特性を明らかにした上で、PVC製品のさらなる環境負荷低減に向けた対策について検討し、以下のような結論を得た。

- (1) 水道管のライフサイクルでのエネルギー消費量の比較では、PVC製水道管のエネルギー消費量が小さいものの、原料樹脂製造におけるエネルギー消費量に依存する結果が得られたことから、ここでのエネルギー削減対策が重要であることが示唆された。
- (2) PVC製水道管のPipe to Pipeリサイクルによる効果を分析した結果、クローズド・リサイクルの促進は、ライフサイクル全体でのエネルギー消費量を大幅に削減できることから、今後のPVC製水道管の環境負荷低減に向けた対策の一つとして考えられた。
- (3) 農業用フィルムのライフサイクルでのエネルギー消費量の比較では、使用期間の最も長いPET製農業用フィルムが小さくなり、使用期間の最も短いPVC製農業用フィルムが大きくなる結果が示され、PVC製農業用フィルムの耐用年数の向上が課題として考えられた。
- (4) PVC製農業用フィルムの使用期間を延長した場合を想定してエネルギー消費量を分析した結果、代替製品よりもエネルギー消費量を削減できることが示されたことから、PVC製農業用フィルムの使用期間の長期化が環境負荷低減へ向けての一施策になるものと推察された。

文 献：References

- 1) 塩ビ工業・環境協会, 塩ビファクトブック(2005): Vinyl Environmental Council, PVC Fact Book(2005)
 - 2) 環境省, 循環型社会形成推進基本計画(2003): Ministry of the Environment, Basic Plan for Establishing a Sound Material-Cycle Society(2003)
 - 3) 成田暢彦, 稲葉敦, 石油学会誌, **43**(3), 3(2000): Narita, N., Inaba, A., *Journal of the Japan Petroleum Institute*, **43**(3), 3(2000)
 - 4) ケムシステムズ社調査報告書, 塩化ビニル樹脂製品のライフサイクル評価(1995): Chem Systems Survey Report, Life Cycle Assessment of Polyvinyl Chloride Products(1995)
 - 5) 塩ビ工業・環境協会, 塩化ビニル樹脂製品のリサイクル・処理処分のLCI調査報告書(2001): Vinyl Environmental Council, Report on Investigation of LCI Concerning Recycling and Waste Management of PVC Products(2001)
 - 6) (社)プラスチック処理促進協会, 石油化学製品のLCIデータ調査報告書(1999): Plastic Waste Management Institute, Survey Report for LCI Data of Petrochemical Products(1999)
 - 7) 塩化ビニル環境対策協議会, 塩化ビニル樹脂加工製品のLCIデータ調査報告書(1999): Japan Environmental Affairs Council, Report on Investigation of LCI Data Concerning PVC Products(1999)
 - 8) (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): Chemical Economy Research Institute, Report of Energy Analysis on Basic Materials(1993)
 - 9) (社)プラスチック処理促進協会, 樹脂加工におけるインベントリデータ調査報告書(2000): Plastic Waste Management Institute, Survey Report for Inventory Data of Plastic Processing(2000)
 - 10) 塩化ビニル管・継手協会, <http://www.ppfa.gr.jp/index.html>(2006): Japan PVC Pipe and Fittings Association(2006)
 - 11) (社)日本施設園芸協会, 施設と園芸, 124(2004): Japan Greenhouse Horticulture Association, Shisetsu-to-Engei, 124(2004)
 - 12) (社)プラスチック処理促進協会, プラスチック廃棄物の処理・処分に関するLCA調査研究報告書(2001): Plastic Waste Management Institute, Survey Report of LCA study for Recycling and Waste Management of Plastics(2001)
-