特集「フットプリント」

研究論文

クリーニングのCO₂排出量の算定

山口 庸子・清井 えり子・永山 升三

Estimation of the CO₂ Emission for the Clothing Cleaning Process

Yoko YAMAGUCHI, Eriko SEII and Masuzo NAGAYAMA

Synopsis:

Objective. The most common professional cleaning services available today are professional dry cleaning, laundry, and wet cleaning. Many of the organic solvents used in dry-cleaning have been identified as factors contributing to global warming, destruction of the ozone layer, and groundwater contamination, among other problems, and are subject to legal restrictions and controls. Dry-cleaning remains an essential process, since it causes less damage to clothing than water-based cleaning. Requirements for clothing cleaning have grown increasingly restrictive as exemplified by the launch of the Carbon Footprint Pilot Project. Given these circumstances, this study seeks to estimate greenhouse gas emissions (in terms of GWP₁₀₀) based on LCI analysis of each step of the cleaning processes and discusses methods for reducing emissions. Cleaning is an essential aspect of the usage stage of clothing and its life cycle. To help create a system for establishing carbon footprints for clothing products, this study also examines a wide range of public information sources related to CO₂ emissions, based on cleaning site data collected in fiscal 2009.

Results and Discussion. In the dry cleaning process, the electric power consumed by the various activities at cleaning agencies, the steam required for solvent recovery, steam required for pressing, and packing materials, including hangers and carrier bags, contribute significantly to overall CO₂ emissions. At 0.369 kg-CO₂eq per clothing, the CO₂ emissions associated with the steam required for tetrachloroethylene recovery accounts for the highest fraction of CO₂ generated. The results suggest CO₂ emissions generated by tetrachloroethylene which used as the dry-cleaning solvent exceed those of petroleum-derived solvents. The results also show CO₂ emissions from solvents can be suppressed by reducing the solvent consumption rate to 4% or 20%, which also reduces the generation of photochemical oxidants. In laundry processes, steam for pressing and drying in the finishing processes contributes significantly to CO₂ emissions, followed by heating boilers, detergents, and cardboard use.

Conclusions. The CO₂ emissions generated by the dry cleaning process depend significantly on the types of solvents used. The steam required for solvent recovery contributes a large portion of these emissions, followed by the steam used in finishing processes. Improving boiler efficiency is a key factor in reducing CO₂ emissions in both dry cleaning and ordinary laundry processes. This paper also proposes a flexible method for estimating cleaning-related CO₂ emissions per clothing, based on a conversion proportional to weight, by accounting for differences in washing methods, finishing processes, and solvents.

Keywords: Carbon Footprint; Cleaning; Green House Gas; Life Cycle Assessment; Sustainable Consumption

山口 庸子・清井 えり子／共立女子短期大学生生活科学科／〒101-8437 東京都千代田区一ツ橋2-2-1

永山 升三／共立女子大学(現 洗濯科学協会)／〒101-8437 東京都千代田区一ツ橋2-2-1

Yoko YAMAGUCHI, Eriko SEII / Department of the science of living, Kyoritsu Women's Junior College / 2-2-1, Hitotsubashi, Chiyoda-ku, Tokyo 101-8437
Masuzo NAGAYAMA / Kyoritsu Women's University. Currently, Cleaning Science Association of Japan / 2-2-1, Hitotsubashi, Chiyoda-ku, Tokyo 101-8437

1. はじめに

今日、専門業者によって行われているクリーニングは、大別すると揮発性有機溶剤を使用するドライクリーニング（約70%）、温水を使用するランドリー（約17%）、ソフトな水洗いのウエットクリーニング（約13%）、その他パウダーや泡沫洗浄といった特殊クリーニング（約1%）に分類される¹⁾。ドライクリーニングで使用されてきた揮発性有機溶剤の多くは、地球温暖化やオゾン層の破壊、地下水の汚染などの問題から、使用・管理において法的な規制の対象となっており、我が国では石油系溶剤（炭化水素化合物）が82%、塩素系溶剤（テトラクロロエチレン：通称パークロロエチレンまたはパーク）が14%、その他フッ素系溶剤（HCFC-225）を含めて4%となっている²⁾。テトラクロロエチレンの使用割合が90%前後に達する欧米諸国³⁾に比べて、石油系溶剤の使用量が多い特異な状況にある。いずれの溶剤も、光化学スモッグの原因物質である揮発性有機化合物（VOC：Volatile Organic Compounds）として排出抑制が求められている^{4, 5)}。さらに、テトラクロロエチレンは、化学物質管理促進法（PRTR法）の第一種指定化学物質として環境への排出量を把握するとともに削減に向けた設備や使用の合理化が進められている。

一方、ドライクリーニングは水洗いに比べて衣料素材への影響が少ない洗い方として不可欠な方法でもある。また、ファッションの多様化に加えて、女性の社会進出あるいは単身者や高齢者世帯の増加に伴うライフスタイルの変化、さらにはカーボンフットプリント制度試行事業の開始など、リネンサプライ（ホテルやレストランのリネン類、ユニホーム等のレンタルクリーニング業）を含めてクリーニングへの要求事項も増加している。実際に、グリーン購入法の環境物品等の調達推進に関する2010年度の見直しでは、役務分野にクリーニングが追加された⁶⁾。これによって、①ドレンの回収および再利用、②エコドライブの推進、③ハンガーの回収および再使用等の仕組みの構築の3項目が判断基準として加わった。さらに、配慮事項として、①VOCの発生抑制、②ランドリー用水・洗剤の適正使用、③事業所・営業所等のエネルギー使用量の把握および削減、④低燃費・低公害車による集配等の実施、⑤包装材の削減、⑥省エネルギー型のクリーニング設備・機械・空調設備の導入の6項目が示されるなど、クリーニングの環境負荷削減に向けた要求事項は増加している。

クリーニングのLCAに関する先行研究は少なく、甲斐荘らの報告では⁷⁾、クリーニング工場の規模、洗濯方法の違いによる環境影響への寄与として、地球温暖化効果および光化学オキシダント効果を評価している。これによって、クリーニングでは温水製造や仕上げ工程で使用する蒸気の寄与が高く、大規模工場では蒸気製造を抑えた処理が行

われていることが示された。しかし、いずれの工程も取扱い枚数による案分のため、溶剤の違いや処理工程特有の環境負荷の明示には至っていない。

本研究では、グリーン購入法に対応した2009年度収集データの提供を受けて、クリーニングの工程別の詳細なLCI分析から、温室効果ガス排出量（GWP₁₀₀（Global Warming Potential：地球温暖化係数）を用いて換算したGHG排出量；以下CO₂排出量とする）の算定を行うと共に、その削減方法について考察した。一方、クリーニングは衣類のライフサイクルにおいて「使用段階」として欠くことのできない工程でもある。衣類製品のカーボンフットプリント（CFP）^{8, 9)}算定支援に向けて、衣類の使用段階の汎用性の高い情報としてクリーニングのCO₂排出量の提示について検討した。

2. 評価対象範囲の設定

2.1 クリーニングの概要と評価対象

クリーニングのCFP算定を念頭に、我が国のクリーニング業の概要を示す。現在のクリーニング業は、貸しおしほり業やリネンサプライ業と一般の衣類を対象としたクリーニング業に大きく分けられる。さらに、一般衣類のクリーニング業は、企業や病院を対象とした業務用と一般家庭を対象としたものに細分される。本研究では、主として家庭からの衣類クリーニングを対象に、業務用やリネンサプライについてもCO₂排出量の算定が類推できるように工程別のLCIを実施した。

一般家庭用のクリーニングには、ドライクリーニングとランドリー、ウエットクリーニングが実施されている。本研究では、大規模工場のドライクリーニングとランドリーを評価対象とした。両者の一般的なプロセスをFigure 1に示す^{7, 10, 11)}。ドライクリーニングでは、有機溶剤の種類によって洗浄工程が異なる。PRTR法に該当するテトラクロロエチレンでは、洗浄から乾燥、溶剤回収までの工程が完全密閉式の一体型の洗浄機を使用しており、溶剤回収には蒸気と冷却水が使用される。石油系溶剤では、洗浄と乾燥が分離されたコールド式が一般的で、別途装備された蒸留器で溶剤の回収が行われる。その後、プレス機やアイ

Figure 1. Cleaning process for clothing and textiles

ロンで仕上げを行う。一方、ランドリーは、温水洗浄、すすぎ、糊付け、脱水を行った後、乾燥を兼ねてプレス機やアイロンで仕上げを行うなど、ドライクリーニングとは処理工程が大きく異なる。

2.2 システム境界の設定

クリーニングというサービスを対象としたため、本研究では、取次店での衣類の受取りから、輸送、工場内での洗浄、仕上げ、包装、取次店での受渡しまでを評価範囲とする大規模工場特有のライフサイクルフローを設定した。さらに、工場内での洗浄は、使用率の高いドライクリーニングとランドリーとした。ドライクリーニングでは、背広一着 (800g) の洗浄を機能単位とし、さらに仕上げ工程の大きく異なるニット製品のセーター (200g) を比較事例とした。ランドリーでは、ワイシャツ一枚 (250g) の洗浄を機能単位として、ドライクリーニングとは異なるシステムとして評価した。Figure 2にドライクリーニングとランドリーのシステム境界と使用したエネルギー・物質フローを示す。

取次店で消費した電力は、全取次店の消費電力量を取扱い点数で案分した値とした。手提げ用ビニール袋は、背広用とワイシャツ・セーター用の大小の2タイプの実測値を使用した。輸送は、トラック輸送 (2トン車) にて、積載率50%、輸送距離50kmのCO₂排出量を衣類重量にて比例案分した。ドライクリーニングの洗浄工程は、パラフィン系を主成分とする石油系溶剤とテトラクロロエチレンの2タイプを対象に、実際の使用マニュアルに従って、溶剤、洗剤、電力、溶剤回収用の蒸気、冷却水を評価範囲として衣類重量で案分した。ただし、溶剤のろ過用フィルター、カーボンは除いた。ランドリーの洗浄工程も使用マニュアルに従って、50℃～60℃の温水洗濯 (2回) とすすぎ (3回) に要した工業用水、ボイラ燃料用の都市ガス、糊付け剤を評価範囲とした。なお、蒸気由来のCO₂排出量の寄与は非常に高いとの指摘から⁷⁾、本研究では洗浄および仕上げ工程で使用する蒸気は用途別の消費量を求めて、CO₂排出量の算定を行った。洗浄工程の溶剤回収・乾燥用の蒸気は

実際の消費量から、仕上げ工程の蒸気使用量は、背広、ワイシャツともに仕上げ機のカatalog値より一着当たりの消費電力量と蒸気消費量を類推した。背広の包装は、手作業で行うものとしてハンガーとカバーの実測値を用いた。ワイシャツの包装は、台紙供給機能付のフォルダー機を用いて、カバー、台紙の実測値にCatalogの消費電力量を加えた。また、工場内の照明は、照明の本数と電力、総使用時間から消費電力量を求め処理衣類枚数で案分した値とした。算定した衣類一枚当たりの照明のCO₂排出量は包装工程に含めて示した。廃棄は、特別管理産業廃棄物は除き、一般産業廃棄物のみとした。ランドリーでは、下水処理を廃棄に含めた。なお、この下水処理には下水処理・污泥処理に下水污泥の焼却を含めている。

ランドリーの比較事例として、ワイシャツ (250g) の家庭洗濯を対象とした。Figure 3に家庭洗濯のシステム境界とエネルギー・物質フローを示す。これまで、家庭洗濯のLCAでは¹²⁻¹⁵⁾、洗濯機を含めたインベントリ分析を行ってきたが、クリーニングとの比較であることから洗濯機を除き、洗濯一回当たりの洗剤、水道水、電力、下水処理を対象範囲とした。

2.3 データの収集

2009年度に収集した取次店の取扱い衣類点数および総消費電力量、クリーニング工場の衣類処理点数、溶剤供給量、水量、洗剤量、消費電力量、都市ガス消費量、包装材、一般廃棄物量および処理方法に関する情報の提供を基に分析を行った。Table 1に詳細を示す。CO₂排出量の算出には、IPCC第三次報告書に提示されたGWP₁₀₀から、CH₄では

Figure 3. System boundaries and flow of materials diagram for the home laundry

Figure 2. System boundaries and flow of materials diagram for the cleaning

Table 1. Inventory for the cleaning process

Type	Ingredient/Energy source	Amount	Unit	Calculation*	CO ₂ emission factor	Unit	Source
Shop	Electricity	0.1304	kwh	Number	0.452	kg-CO ₂ eq/kwh	JEMAI-LCA
	Carrier bag for suit: HDPE	0.0344	kg	Measure	0.847	kg-CO ₂ eq/kg	JEMAI-LCA
	Carrier bag for shirt or sweater: HDPE	0.0094	kg	Measure	0.847	kg-CO ₂ eq/kg	JEMAI-LCA
Transportation:							
	Truck diesel 2t / Distance 50km	0.8 or 0.25	kg	Weight	0.0249	kg-CO ₂ eq/kg	JEMAI-LCA
Dry-cleaning/suit (800g)	Washing: Paraffin solvent	0.0334	kg	Weight	0.249	kg-CO ₂ eq/kg	H. Kainosho et al. ⁷⁾
	Detergent: LAS,AE	0.004	kg	Weight	5.95	kg-CO ₂ eq/kg	Tenside. Surf. Det. ¹⁷⁾
	Steam for solvent recover	0.636	kg	Weight	0.248	kg-CO ₂ eq/kg	JEMAI-LCA
	Electricity for washing	0.127	kwh	Weight	0.452	kg-CO ₂ eq/kwh	JEMAI-LCA
	Washing: Tetrachloroethylene	0.00131	kg	Weight	0.979	kg-CO ₂ eq/kg	H. Kainosho et al.
	Detergent: LAS,AE	0.01	kg	Weight	5.95	kg-CO ₂ eq/kg	Tenside. Surf. Det.
	Steam for solvent recover	1.49	kg	Weight	0.248	kg-CO ₂ eq/kg	JEMAI-LCA
	Electricity for washing	0.166	kwh	Weight	0.452	kg-CO ₂ eq/kwh	JEMAI-LCA
	Water for cooling	2.40	liter	Weight	0.00011	kg-CO ₂ eq/liter	JEMAI-LCA
	Finishing: Steam	0.70	kg	Number	0.248	kg-CO ₂ eq/kg	JEMAI-LCA
	Electricity for finishing	0.0217	kwh	Number	0.452	kg-CO ₂ eq/kwh	JEMAI-LCA
	Packaging: LDPE for cover	0.0157	kg	Measure	1.07	kg-CO ₂ eq/kg	JEMAI-LCA
	PP for hanger	0.0488	kg	Measure	1.66	kg-CO ₂ eq/kg	JEMAI-LCA
Laundry/shirt (250g)	Washing: Water	0.00433	m ³	Weight	0.110	kg-CO ₂ eq/m ³	JEMAI-LCA
	Town gas for boiler	0.00895	m ³	Weight	2.77	kg-CO ₂ eq/m ³	JEMAI-LCA
	Electricity for washing	0.02115	kwh	Weight	0.452	kg-CO ₂ eq/kwh	JEMAI-LCA
	Detergent: AE	0.0045	kg	Weight	6.61	kg-CO ₂ eq/kg	Tenside. Surf. Det.
	Builder (Sodium silicate)	0.0015	kg	Weight	0.33	kg-CO ₂ eq/kg	H. Kainosho et al.
	Builder (Soda ash)	0.001	kg	Weight	1.30	kg-CO ₂ eq/kg	JEMAI-LCA
	Sizing (PVAc)	0.0025	kg	Weight	1.84	kg-CO ₂ eq/kg	JEMAI-LCA
	Finishing: Steam	0.40	kg	Number	0.248	kg-CO ₂ eq/kg	JEMAI-LCA
	Electricity for finishing	0.00793	kwh	Number	0.452	kg-CO ₂ eq/kwh	JEMAI-LCA
	Packaging: LDPE for cover	0.0043	kg	Measure	1.07	kg-CO ₂ eq/kg	JEMAI-LCA
	Mount paper	0.017	kg	Measure	1.43	kg-CO ₂ eq/kg	JEMAI-LCA
	Electricity for packaging	0.00055	kwh	Number	0.452	kg-CO ₂ eq/kwh	JEMAI-LCA
Disposal: Drain for laundry	Common waste: Plastic	0.00637	kg	Number	0.033	kg-CO ₂ eq/kg	JEMAI-LCA
	Copying paper	0.00984	kg	Number	0.137	kg-CO ₂ eq/kg	JEMAI-LCA

* Calculation of the amount of inventory data by the use of proportional division or distribution.

Weight: Proportional division based on the weight of clothes, Number: Proportional division based on the number of clothes at the cleaning site, Measure: Measurement of the sample weight.

23、N₂Oでは296を地球温暖化の特性化係数として¹⁶⁾、CH₄とN₂OについてもCO₂排出量に換算した値を評価指標とした。なお、溶剤として使用したパラフィンとテトラクロロエチレンの原単位は文献値⁷⁾より0.249kg-CO₂eq/kg、0.979kg-CO₂eq/kgである。データベースとしては、主としてJEMAI-LCA Pro Ver.2.1.2を使用した。溶剤の回収および仕上げ工程に使用した蒸気の原単位も、JEMAI-LCA Pro Ver.2.1.2よりAIST作成の0.248kg-CO₂eq/kg(産業連関表2000年を基準に熱量によって推算)を用いた。この他、洗剤のLCIに関する先行研究¹⁷⁾より界面活性剤のCO₂排出量を、家庭洗濯の評価では洗剤成分の一部¹⁴⁾について産業連関表を用いてCO₂排出量を算出した。

3. 結果と考察

3.1 クリーニングのCO₂排出量

3.1.1 ドライクリーニングのCO₂排出量

背広(800g)を事例としたドライクリーニングのCO₂排出量を工程別にFigure 4に示す。石油系溶剤(パラフィン)と塩素系溶剤(テトラクロロエチレン)を比較して、ドライクリーニング一回当たりのCO₂排出量を算出した。溶剤回収用の蒸気、プレス仕上げ用の蒸気、取次店の電力、ハンガーや取次店の手提げ袋を含む包装材のCO₂排出量が大きいことが分かる。特に、テトラクロロエチレン回収用の蒸気に由来するCO₂排出量は0.369kg-CO₂eq/着と非常に高い値を示し、これによってテトラクロロエチレンを溶

Figure 4. Estimated CO₂ emissions for dry-cleaning based on different types of solvent

剤に使用したときのCO₂排出量は石油系溶剤よりも多くなることが判明した。しかし、乾燥・溶剤回収用の蒸気は安全確保の上でも必要不可欠な工程であり、CO₂排出量削減にはボイラ効率の改良や規模の適正を図ることが重要である。

溶剤由来のCO₂排出量は、溶剤の消費率を石油系溶剤では20%、テトラクロロエチレンでは4%とすることで、石油系溶剤では背広一着当たり0.00831kg-CO₂eq、テトラクロロエチレンでは0.00128kg-CO₂eqと非常に低く抑えていることが判明した。一方、石油系溶剤では光化学オキシダント生成への影響が指摘されてきた^{4, 5, 7)}。LIME¹⁶⁾のオゾン変換等量係数(OCEF)を用いて、背広一着当たりの石油系溶剤とテトラクロロエチレンの光化学オキシダント生成を求めると、石油系溶剤の5.08E-05kg-ethylene eqに対してテトラクロロエチレンでは1.17E-08kg-ethylene eqと非常に低く抑えられていた。我が国のクリーニングでは石油系溶剤の使用割合が高いことを鑑みると、溶剤の回収率を高めて一回当たりに消費する溶剤使用量を抑えることからVOC排出量を抑制することが重要である。

また、2010年のクリーン購入法の見直しにより、クリーニングの判断基準に「ハンガーの回収及び再使用等の仕組みの構築」が加わり、リユースのための洗浄工程を考慮する必要はあるものの、ハンガー一本では0.0811kg-CO₂eq弱のCO₂排出量の削減が期待できる。さらに、消費者のマイバックの利用により、店頭使用の手提げ袋背広用では0.0292kg-CO₂eq、ワイシャツ・セーター用では0.00797kg-

CO₂eqの削減が期待できる。いずれも、消費者の協力を必要とするものであるが、ハンガーを利用する背広では手提げ袋を含めると石油系溶剤のクリーニングでは最大17%程度のCO₂排出量の削減効果が期待できる。

ドライクリーニングでは、衣料素材によって仕上げ工程が大きく異なる。背広のように立体形成仕上げを必要とするものと、セーターのように短時間のスチーム仕上げで十分なものが挙げられる。セーター(200g)を事例として、背広と比較した工程別のCO₂排出量をFigure 5に示す。衣類重量を考慮しても、仕上げ工程のCO₂排出量は大きく異なり、成形を要する織物の仕上げ工程とニット素材の仕上げ工程は区別を必要とした。

3.1.2 ランドリーのCO₂排出量

ワイシャツ(250g)を事例としたランドリーのCO₂排出量を工程別にFigure 6に示した。洗浄工程の温水には、ボイラを使用していることから、ボイラの熱効率を0.9として、平均水温約20℃(平成20年度の千代田区の年間実測値より)の水を洗浄温度およびすすぎ温度と総使用水量からワイシャツ一枚当たりのガス使用量0.00895m³を求め、都市ガス燃焼時のCO₂排出原単位(Table 1)からCO₂排出量を算出した。なお、取次店の電力、工場内の照明およ

Figure 5. Estimated CO₂ emissions for dry-cleaning using paraffin solvent for different types of clothing: suit or sweater

Figure 6. Estimated CO₂ emissions to launder a single article of clothing: one white shirt

び一般廃棄物については、ドライクリーニングと同様に処理衣類点数で案分したため、軽量のワイシャツであっても背広と同一のCO₂排出量となった。ランドリーでは、仕上げ工程で使用したプレス・乾燥用の蒸気由来のCO₂排出量が、ワイシャツ一枚当たり0.099kg-CO₂eqと高い値を示した。次いで、取次店の電力、昇温用のボイラ、洗剤、台紙（Figure 6の包装工程の二重斜線）のCO₂排出量が高い値を示した。ランドリーでは、仕上げ工程のプレス処理が乾燥を兼ねており、仕上げ機の機能によっては電力、蒸気とも2倍以上必要とするものもあり、ワイシャツ一枚当たり0.198kg-CO₂eqとなった。ランドリーにおいてもCO₂排出量削減に向けて、ボイラ効率を高めることが重要と言える。なお、ドライクリーニング、ランドリーともに寄与率の高い蒸気に着目して、ボイラ燃料のガス総使用量と処理衣類枚数の案分からCO₂排出量の概算を求め算定値の検証を行った。ガス由来のCO₂排出量の概算値は一着当たり0.288kg-CO₂eqに対して、算定値の平均CO₂排出量（処理枚数換算：ドライクリーニングは実際の処理割合、すなわち石油3割に対してパーク7割、背広8割に対してセーター2割の処理枚数から換算したCO₂排出量、ランドリーの実処理枚数から換算したCO₂排出量を加えた平均値）は0.306kg-CO₂eqと近似していることから、一部カタログを利用した算定値の適正を確認した。

一方、家庭洗濯に関するLCAの報告^{14, 15)}を基に、綿100%のワイシャツ（250g）当たりに換算した家庭洗濯のCO₂排出量をFigure 7に示した。保有率の最も高いパルセータ式洗濯機とドラム式洗濯乾燥機（ヒートポンプタイプ）を比較して、洗濯、アイロン掛け、機械乾燥のCO₂排出量を算出した。アイロン掛けは、20～50歳代の女性5名をパネルとして、消費電力量を実測した（Figure 8）。Figure 7では、新型アイロン（2009年製造）を用いて、スチームアイロン掛けを行ったワイシャツ（綿100%）一枚当たりの平均消費電力量0.062kWhを用いた。なお、この家庭洗濯のLCIでは、洗濯機とアイロンの製造は除くも

Figure 7. Estimated CO₂ emissions for home laundry for two types of washer-dryers: one white shirt

Figure 8. Electricity for ironing per one cotton shirt

のとした。家庭洗濯では、機械乾燥に次いでアイロン掛けのCO₂排出量が高く、洗濯工程では洗剤の寄与が高いことが判明した。ポリエステル混紡のW&W加工のワイシャツを使用することで、アイロン掛けの電力消費量の削減や削除を可能とする。しかし、ワイシャツの製造段階や洗濯段階のLCIデータは大きく異なることから、今後の検討課題とする。一方、ランドリーの洗浄・仕上げ工程のCO₂排出量の合計値（0.174 kg-CO₂eq / ワイシャツ）と比較すると、ほぼ同程度のCO₂排出量となった。家庭洗濯では、天日干しがCO₂排出量削減に大きく寄与しており、ランドリーでは、取次店や輸送、包装にかかる環境負荷分が加算されている。いかに効率よくスリム化していくかが重要と考える。

3.2 クリーニングの原単位（重量比例換算表示）

クリーニングの消費科学的な表示として、汎用性の高いクリーニングのCO₂排出原単位の算定を行った。算定では、洗浄方法（ドライクリーニングとランドリー）、仕上げ工程（繊維物と編物）、溶剤（パラフィン系を主成分とする石油系、テトラクロロエチレンの塩素系）の影響を考慮した衣類重量当たりの比例換算を行った。クリーニング一回当たりのCO₂排出量と一着の衣類重量との関係をFigure 9に示した。また、CO₂排出量の算定式を以下に示す。

Figure 9. Relationship between CO₂ emissions from one cleaning cycle and weight of clothes washed

ドライクリーニング（石油系）織物の算定式

$$y = 0.333x + 0.386 \quad (1)$$

ドライクリーニング（塩素系）織物の算定式

$$y = 0.655x + 0.386 \quad (2)$$

ドライクリーニング（石油系）ニットの算定式

$$y = 0.333x + 0.100 \quad (3)$$

ドライクリーニング（塩素系）ニットの算定式

$$y = 0.658x + 0.100 \quad (4)$$

ランドリーの算定式

$$y = 0.308x + 0.218 \quad (5)$$

ここで、 y はCO₂排出量 (kg-CO₂eq)、 x は一着の衣類重量 (kg) である。なお、輸送、クリーニングの洗浄工程およびランドリーの廃水は一回当たりの使用量を衣類重量で案分した値である。また、取次店の電力、クリーニング仕上げ工程の蒸気および電力、工場照明の電力、一般廃棄物は処理衣類枚数で案分した値、手提げ袋および包装材・ハンガーは実測値に基づく着当たりの値である。Table 1に詳細を示す。これらの着で案分したCO₂排出量は定数とした。従って、例えばハンガーのリサイクル率が向上するとこの定数に反映される。

(1) 式と (2) 式の比較、(1) 式と (3) 式の比較から、CO₂排出量に及ぼす「溶剤」「仕上げ工程」の違いを明示した。また、ランドリーでは、仕上げ工程の蒸気の寄与率が大きく、衣類の重いものほどCO₂排出量が多い傾向にあることを明示した。

4. まとめ

本研究では、クリーニングのCO₂排出量 (GWP₁₀₀により換算したGHG排出量) を明らかにするために、大規模工場の2009年度収集データの提供を受けて、クリーニングの実態に即したLCI分析を実施した。さらに、得られた結果を基に、クリーニングのCO₂排出量の削減およびCFPへ向けた汎用性の高い情報の提供を検討した。

ドライクリーニングでは、溶剤回収用の蒸気、プレス仕上げ用の蒸気、取次店の電力、ハンガーや手提げ袋を含む包装材のCO₂排出量が大いことが分かった。特に、テトラクロロエチレンの回収用蒸気由来のCO₂排出量は背広一着当たり0.369kg-CO₂eqと、最も高い値を示した。これによってテトラクロロエチレンを溶剤に使用した場合のCO₂排出量は石油系溶剤よりも多くなることが判明した。一方、溶剤由来のCO₂排出量は、溶剤の消費率を4%あるいは20%に抑えることで、CO₂排出量も光化学オキシダント生成も抑えていることが分かった。ランドリーでは、仕上げ工程で使った蒸気由来のCO₂排出量が大きく、次いで、取次店の電力、昇温用のボイラ、洗剤、台紙のCO₂排出量が高い値を示した。家庭洗濯では、機械乾燥、アイロン掛

けの電力の寄与が高く、ランドリーの洗濯・仕上げ工程と比較すると、ほぼ同程度のCO₂排出量であった。

ドライクリーニングは使用する溶剤の種類によってCO₂排出量は大きく異なり、特に溶剤回収用の蒸気の寄与が高く、ランドリーでは仕上げ工程の乾燥用蒸気の寄与が高い結果となった。ドライクリーニング、ランドリーいずれにおいてもCO₂排出量削減に向けて、ボイラ効率を高めることが最も重要と言える。一方、家庭洗濯では、天日干しがCO₂排出量削減に大きく寄与していることを再確認した。また、取次店の電力消費や輸送、包装など直接洗浄と関係のないCO₂排出量が加算されており、如何に効率よくスリム化していくかが重要である。衣類一着当たりのクリーニングのCO₂排出量原単位として、洗い方の違い、仕上げ工程の違い、溶剤の違いを考慮した算定式を示した。

謝辞

本研究を行うにあたり、(株) 白洋舎洗濯科学研究所 所長高坂孝一氏に多大なご協力をいただきました。執筆にあたり、工学院大学大学院教授稲葉敦先生よりご助言をいただきました。また、分析にあたり東京大学大学院平尾雅彦先生ならびに(社) 産業環境管理協会小関康雄氏よりご助言をいただきました。記して感謝します。

本研究は、科学研究費基盤 (A) (19200050) および科学研究費基盤 (C) (21500747) の助成を受けたものである。

(平成22年4月9日受付、平成22年6月18日採択)

参考文献

- 1) 齋藤昌子 (2008) : 被服整理学, 衣料管理協会, 東京, 77
- 2) 山田稔 (2007) : 洗濯の科学, 52(1), 26-33
- 3) 山本侑一 (2008) : 洗濯の科学, 53(4), 36-42
- 4) 竹下圭 (2008) : 洗濯の科学, 53(1), 2-7
- 5) 揮発性有機化合物 (VOC) 排出インベントリ検討会, 揮発性有機化合物 (VOC) 排出インベントリ報告書, 環境省ホームページ, 入手先 <http://www.env.go.jp/air/osen/voc/inventory/rep_h2003/01main.pdf>, (参照 2010-3-13)
- 6) 環境省総合環境政策局環境経済課, 報道発表資料 環境物品等の調達の推進に関する基本方針の変更について (お知らせ), 環境省ホームページ, 入手先 <<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=12078>>, (参照 2010-2-20)
- 7) 甲斐荘秀生, 平尾雅彦 (2007) : 第2回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, 東京, 266-267
- 8) 稲葉敦 (2009) : 日本LCA学会誌, 5(2), 220-228
- 9) カーボンフットプリント算定・表示試行事業, 商品種

別算定基準 (PCR) ユニホーム, Carbon Footprint of Products ホームページ, 入手先 <http://www.cfp-japan.jp/common/pdf/nintei/nintei_015.pdf>, (参照 2010-2-20)

- 10) 財団法人 全国生活衛生営業指導センター編著 (2004): よくわかるクリーニング講座, ERC 出版, 東京, 135-199
- 11) 全国クリーニング生活衛生同業組合連合会 (2008): クリーニングの基礎知識, 信英堂, 東京, 9-10
- 12) Yamaguchi Y., Kuwamura N., Nagayama M. (2002): J. Oleo Sci., 51(10), 627-636
- 13) 山口庸子, 桑村典子, 土屋みさと, 永山升三 (2004): 日本エネルギー学会誌, 83(12), 1021-1029
- 14) 山口庸子, 土屋みさと, 永山升三 (2007): 日本 LCA 学会誌, 3(4), 221-231
- 15) 山口庸子 (2009): 洗濯の科学, 54(4), 37-44
- 16) 伊坪徳宏, 稲葉敦 (2005): ライフサイクル環境影響評価手法, 丸善, 東京, 91, 165-190
- 17) Stalmans M., Berenbold H., Berna L. J., Cavalli L., Dillarstone A., Franke M., Hirsinger F., Janzen D., Kosswig K., Postlethwaite D., Rappert Th., Renta C., Scharer D., Schick P. K., Schul W., Thomas H., Van Sloten R. (1995): Tenside Surf. Det., 32(2), 84-107