

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 7 日現在

機関番号：42674

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500747

研究課題名（和文）持続可能な衣類洗浄へ向けた商業洗濯のライフサイクルアセスメント

研究課題名（英文）Life cycle assessment of commercial washing for sustainable clothing washing

研究代表者

山口 庸子（YAMAGUCHI YOKO）

共立女子短期大学・生活科学科・教授

研究者番号：20201832

研究成果の概要（和文）：今日、専門業者が行っている主なクリーニングには、ドライクリーニングとランドリーが挙げられる。本研究では、クリーニングの工程別の LCA 分析から、温室効果ガス（GHG 排出量）の算定を行い、削減方法について考察した。その結果、ドライクリーニングは使用する溶剤の種類によって GHG 排出量は大きく異なり、溶剤回収用の蒸気の寄与が高く、次いで仕上げ工程の蒸気の寄与が高いことが分かった。ドライクリーニング、ランドリーいずれにおいても GHG 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である。

研究成果の概要（英文）：The most common professional laundry services available today are professional dry-cleaning and laundering. This study seeks to estimate greenhouse gas emissions (GHG emission) based on LCA analysis of each step of the cleaning processes and discusses methods for reducing emissions. As a result, the GHG 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 GHG emissions in both dry cleaning and laundry processes.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：生活科学・生活科学一般

キーワード：衣生活、被服整理、洗浄、クリーニング、ライフサイクルアセスメント

1. 研究開始当初の背景

(1) 地球温暖化や深刻化する環境問題の解決には、従来の環境安全性評価に加えて資源やエネルギーを節約して、廃棄物やエネルギー使用量を減らすような「持続可能な生産と消費」から、環境負荷を低減することが求められる時代を迎えていた。この環境負荷を評価

する新たな手法として、ライフサイクルアセスメント（LCA）の応用が期待された。さらに、消費者への環境喚起として、LCA 分析により算定した GHG 排出量を製品に直接表示する「カーボンフットプリント」が世界的に注目を集め、わが国でも 2009 年より経済産業省の試行事業が開始された。

(2) ドライクリーニングで使用されてきた揮発性有機溶剤は、地球温暖化やオゾン層の破壊、地下水の汚染などと深くかかわっており、使用・管理において法的な規制がされた。その一方で、ドライクリーニングは水洗いに比べて衣服素材への影響が少ない洗い方として必要不可欠な方法でもあった。また、ファッションの多様化に加えて高齢化社会の到来、女性の社会進出や単身世帯の増加等、今後のニーズが認められた。実際に、グリーン購入法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るなどクリーニングの環境負荷削減に向けた要求事項が増加している状況にあった。

2. 研究の目的

(1) 商業洗濯（以後、クリーンとする）の洗浄システムの解明に加えて、有機溶剤の環境リスク評価を加味したクリーニングの工程別の詳細な LCI 分析から、GHG 排出量の算定を行うと共に、家庭洗濯と比較することから環境負荷の低減について検討する。

(2) カーボンフットプリント（CFP）など一般的な GHG 表示に活用できる（業務用やリネンサプライの GHG 排出量を類推できる）など、汎用性の高いクリーニングに関する原単位の算定方法を提案する。

3. 研究の方法

(1) クリーニングの LCA では、大規模工場のドライクリーニングとランドリーを対象に、一般家庭用の衣類洗浄に関する LCI 分析を実施した。図 1 に示した大規模工場の一般的なプロセスに従って、システム境界の設定およびデータの収集を行った。

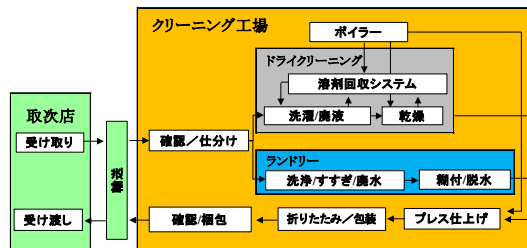


図1 大規模工場のクリーニングの工程

ドライクリーニングでは、背広一着（800g）を機能単位とし、仕上げ工程の大きくことなるニット製品のセーター（200g）を比較事例とした。また、ランドリーではワイシャツ（250g）の洗浄を機能単位として家庭洗濯と比較した。クリーニングと家庭洗濯のシステム境界を図 2、図 3 に示す。

(2) データの収集では、グリーン購入法に対応した 2009 年度の収集データの提供を受け

て、取次店の取扱い衣類点数および消費電力量、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、包装資材、一般廃棄物等の情報を基に分析を行った。GHG 排出量の算定は、IPCC 第三次報告書に提示された GWP₁₀₀ を基に算定した。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。洗剤や溶剤については、先行研究より界面活性剤等のデータを引用した。

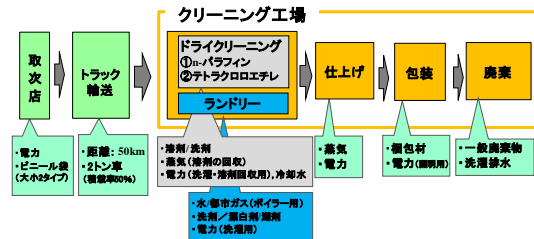


図2 クリーニングのエネルギー・物質フロー

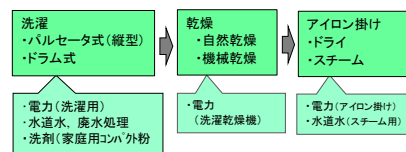


図3 家庭洗濯のエネルギー・物質フロー

4. 研究成果

(1) クリーニングの GHG 排出量

背広（800g）を事例としたドライクリーニング一回当たりの GHG 排出量の算定結果を図 4 に示す。石油系溶剤（n-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、工程別に GHG 排出量を示した。その結果、溶剤回収用及び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 GHG 排出量が大きいことが判明した。

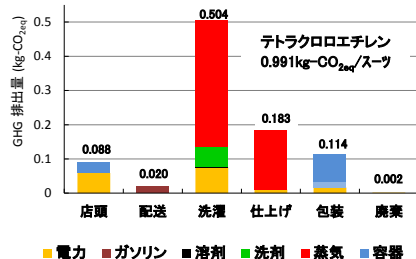
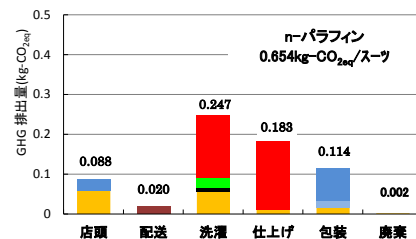


図4 ドライクリーニングのGHG排出量

特に、テトラクロロエチレン回収用の蒸気由来の GHG 排出量は多く、これによって石油系溶剤よりも GHG 排出量が高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上必要不可欠な工程であり、GHG 排出量削減にはボイラ効率の改良や規模の適正化を図ることが重要といえる。

(2) 溶剤の光学オキシダント生成

溶剤由来の GHG 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。LIME 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 $5.08E-05 \text{ kg-ethyleneeq}$ に対してテトラクロロエチレンでは $1.17E-08 \text{ kg-ethyleneeq}$ と非常に低く抑えられていた。わが国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の消費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。

(3) ランドリーの GHG 排出量

ワイシャツ (250g) を事例としたランドリーの GHG 排出量を工程別に図 5 に示す。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°C (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 0.00895 m^3 を求め、都市ガス燃焼時の GHG 排出原単位 $2.77 \text{ kg-CO}_{2\text{eq}}/\text{m}^3$ (JEMAI-LCA) から GHG 排出量を算出した。なお、取次店の電力、工場内の照明およ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 GHG 排出量となった。

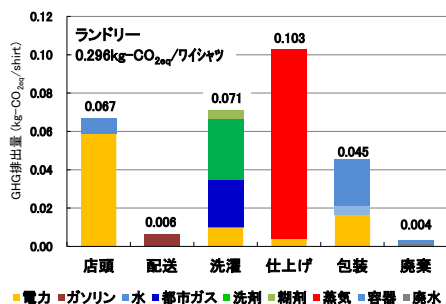


図5 ランドリーのGHG排出量

その結果、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 GHG 排出量が、ワイシャツ一枚当たり $0.099 \text{ kg-CO}_{2\text{eq}}$ 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 (包装工程の水色) の GHG 排出量が高い値を示した。ランドリーにおいても GHG 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。

(4) 家庭洗濯との比較

綿 100% のワイシャツ (250g) 当たりに換算した家庭洗濯の GHG 排出量を図 6 に示す。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、機械乾燥を含めて工程別に GHG 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。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一枚当たりの平均消費電力量 (0.062 kWh) を使用した。図 7 に新型と旧型アイロン (1993 年製造) を比較した GHG 排出量を参考として示す。なお、この家庭洗濯の LCI 分析では、洗濯機とアイロンの製造は含めていない。

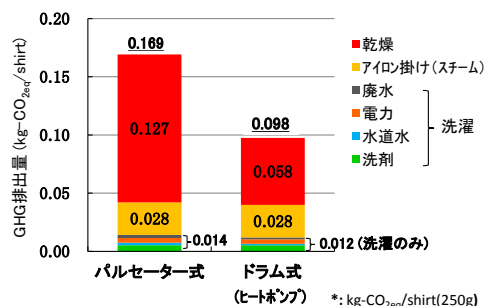


図6 家庭洗濯のGHG排出量

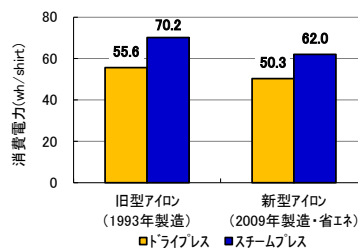


図7 アイロンのGHG排出量

家庭洗濯では、機械乾燥に次いでアイロン掛けの GHG 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 加工など仕上げ工程の容易な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することは可能である。一方、図 5 に示したランドリーの洗浄・仕上げ工程の GHG 排出量の合計値 ($0.174 \text{ kg-CO}_{2\text{eq}}$) と比較すると、ほぼ同程度の GHG 排出量となった。家庭洗濯では、天日干しが GHG 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。環境負荷削減には、いかに効率よくスリム化していくかが重要と考える。

(5) クリーニングの原単位

汎用性の高いクリーニングのGHG排出原単位として、洗浄方法（ドライクリーニングとランドリー）、仕上げ工程（織物とニット）、溶剤（石油系、塩素系）別に、衣類重量当たりの比例換算により算定した。クリーニング一回当たりのGHG排出量と一着の衣類重量との関係を図8に示す。また、GHG排出量の算定式をタイプ別に、以下に示す。

ドライクリーニング（石油系）織物

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

ドライクリーニング（塩素系）織物

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

ドライクリーニング（石油系）ニット

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

ドライクリーニング（塩素系）ニット

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

ランドリーの算定式

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

ここで、 y はGHG排出量 ($\text{kg-CO}_{2\text{eq}}$)、 x は一着の衣類重量 (kg)を示す。

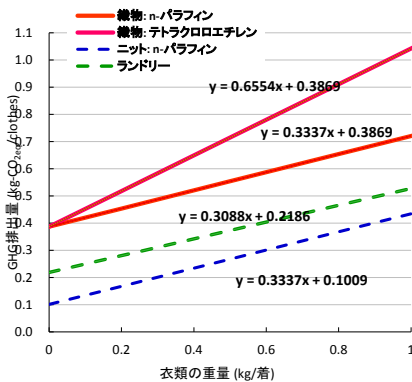


図8 クリーニングの原単位

(1)式と(2)式の比較、(1)式と(3)式の比較から、GHG排出量に及ぼす「溶剤」「仕上げ工程」の違いを示すことができた。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GHG排出量が多い傾向にあることも明示できた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

- ① 山口庸子、家庭洗濯のライフサイクルアセスメント—省エネ・省資源の観点から—、日本衣服学会、査読無、Vol. 55、No. 2、2012、85-88
- ② 清井えり子、板垣昌子、尾畑納子、多賀谷久子、山口庸子、家庭洗濯の衣類乾燥に関する地域間の比較研究、日本家政学会誌、査読有、Vol. 62、No. 4、2011、223-231
- ③ Yoko Yamaguchi、Eriko Seii、Masako

Itagaki, Masuzo Nagayama, Evaluation of domestic washing in Japan using life cycle assessment (LCA)、International Journal of Consumer Studies、査読有、Vol. 35、No. 2、2011、243-253

DOI:10.1111/j.1470-6431.2010.00975.x

- ④ 山口庸子、清井えり子、永山升三、クリーニングのCO₂排出量の算定、日本LCA学会誌、査読有、Vol. 6、No. 2、2010、209-216
- ⑤ 山口庸子、衣類洗濯のライフサイクルアセスメント (LCA) に関する研究、洗濯の科学、査読無、Vol. 54、No. 4、2009、37-44
- ⑥ 山口庸子、環境の現状と今後の展望—持続可能な生産と消費へ向けて—、日本繊維製品消費科学会、査読有、Vol. 50、No. 10、2009、173-179
- ⑦ 山口庸子、永山升三、持続可能な生活 (ライフスタイル) と LCA —家庭洗濯の Social/Dynamic LCA を事例として—、オレオサイエンス、査読有、Vol. 9、2009、257-262

[学会発表] (計11件)

- ① 山口庸子、清井えり子、永山升三、毛100% 婦人用セーターの洗濯に関する LCA、日本油化学会第43回洗浄に関するシンポジウム (ポスター発表)、2011年10月26・27日、タワーホール船堀 (東京都)
- ② 山口庸子、清井えり子、永山升三、ライフサイクルアセスメントへ向けた超コンパクト洗剤の使用実態と消費性能について、日本油化学会第43回洗浄に関するシンポジウム (ポスター発表)、2011年10月26・27日、タワーホール船堀 (東京都)
- ③ Yoko Yamaguchi、Eriko Seii、Masuzo Nagayama、Evaluation of the clothing cleaning process in Japan using life cycle assessment (LCA)、5th International Consumer Sciences Research Conference (Oral presentation)、July 19, 2011、Bon University (Germany)
- ④ 山口庸子、クリーニングのCO₂排出量の算定、アパレルLCA研究会第8回、2010年11月19日、文化女子大学遠藤記念館
- ⑤ 山口庸子、清井えり子、永山升三、商業洗濯の温室効果ガス (GHG) 排出量の算定、日本油化学会主催第40回洗浄に関するシンポジウム、2010年10月21日、タワーホール船堀 (東京都)
- ⑥ Yoko Yamaguchi、Eriko Seii、Masuzo Nagayama、Life Cycle Assessment of Home Laundry Based on Changes in Japanese Consumer Lifestyles、7th World Conference on Detergents、October 7th、2010、Montreaux (Switzerland)

- ⑦ 山口庸子、環境との関わりから見た衣生活の諸問題、全国私立中学高等学校私学教員研究会家庭科研修会、2010年8月17日、幕張・海外職業訓練協会センターOVTA
- ⑧ 山口庸子、清井えり子、高坂孝一、永山升三、衣類クリーニングのCO₂排出量削減へ向けた検討、日本LCA学会第5回研究発表会、2010年3月5日、東京都市大学
- ⑨ 山口庸子、清井えり子、高坂孝一、永山升三、商業洗濯のライフサイクルアセスメント、日本油化学会主催第40回洗浄に関するシンポジウム、2009年10月15日、京都繊維工芸大学
- ⑩ 板垣昌子、清井えり子、山口庸子、家庭洗濯における衣類乾燥の世帯間の比較調査、日本油化学会主催第40回洗浄に関するシンポジウム、2009年10月15日、京都繊維工芸大学
- ⑪ 山口庸子、使用・消費段階のLCA－商業洗濯と家庭洗濯－、アパレルLCA研究会第6回、2009年8月3日、文化女子大学遠藤記念館

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 庸子 (YAMAGUCHI YOKO)
共立女子短期大学・生活科学科・教授
研究者番号：20201832

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：