

博士論文審査報告書

論 文 題 目

Environmental improvement methods for Printing Service
by utilizing multilateral LCA approaches

印刷サービスにおけるLCAを活用した環境配慮手法の構築
に関する研究

申 請 者

清水	宏和
Hirokazu	SHIMIZU

環境・エネルギー研究科 環境配慮デザイン研究

2012年 2月

いまや日本をはじめ世界各国の企業では、その経営に環境配慮を組入れることの必要性が増している。包装系ならびに情報系に大きく区分される印刷業もその例外ではない。わが国等の先進国の印刷業では、その売上の凋落傾向が続いているなかで、環境配慮が BtB や BtC の取引・販売環境のなかで強く求められ始めている。一方、経済成長の著しい新興国では、印刷業も急成長しており、自社の効率的経営へ資する点や海外取引先からの要請を受けて環境配慮への取り組みの必要性が高まっている。

経営における環境配慮の手段として、焦点となるのが製品のライフサイクルでの環境負荷を定量評価する LCA (Life Cycle Assessment) である。この手法によって、自社内での環境負荷削減に関する対応策が検討可能となるとともに、BtB 等における関係者に自社の取り組みの成果を通知・宣伝することが可能となる。印刷業では温暖化ガスである CO₂ に加え、PRTR 法や VOC 規制などに関係する有害化学物質も環境負荷として重要な意味を持っており、LCA では、こうした物質の評価も視野に入れる必要がある。

本研究では、幅広い環境影響評価が可能な LCA 統合化指標までを包括する“印刷サービス LCA”の構築を目的とし、先進的とされている欧州での取り組み事例を検証するとともに、東南アジアをはじめとする新興国においても利用可能な評価手法を開発することを目指している。最終的には、DfE (Design for Environment) の概念を印刷業に定着させることを目標としている。

本論文は、8章から構成されている。

第1章は序章であり、本研究の背景、目的を明確にするとともに、印刷業向けの LCA の開発の必要性について示している。

印刷業における日本ならびに世界各国での LCA への取り組みの状況を概観し、その少なさや対象範囲の不明確さなどの問題点を明らかにしている。

第2章では、日本と世界の印刷業および製紙業の売上・従業員数・事業所数等に関して、そのトレンドを解析し、印刷業が凋落する先進国と伸長著しい新興国における、それぞれの異なる LCA の必要性について述べている。

先進国では、情報系印刷業ではデジタル化の影響を強く受けており、環境負荷を LCA によって数値化し、紙と電子の両メディアの何れを選択すべきかを明確にすべきこと、他方、新興国では旺盛な印刷需要のなかで、資材調達や生産工程の効率化のためにも LCA の利用が必要なことなどを明らかにしている。

また、わが国の印刷業における中小企業比率の高さから LCA 開発においても、この点に配慮する必要があることを強調している。

第3章では、印刷業 LCA による環境負荷の数値化を推進するため、システムバウンダリの明確化とそのために必要なデータの整備を図るとともに、負荷の少ない資材や生産への置換・代替などの重要性について示している。これまで印刷業では、大豆油インキや再生紙の使用などについて、定評評価を十分に行わずに環境対応としての推奨が行われてきた。また一方で、LCA 評価のシステムバウンダリもあいまいであり、実

施者によって結果が異なるなどの問題があった。

ここでは包装系のCO₂削減を対象としたケーススタディのなかで、資材や工程までに対象範囲を広げたLCAのシステムバウンダリを設定し、また代替データによるCO₂排出原単位を使用してきた資材やプロセスについても、データを収集・整備することによって高度化を実現している。また、印刷資材の投入量低減や生産手法の変更による感度分析を実施し、環境負荷を決める主要因の特定を試みている。

次いで、CO₂以外の環境負荷である人間毒性・水域生態毒性・陸域生態毒性・酸性化・化石エネルギー消費などについても評価の範囲を拡大している。また、コストパフォーマンスによる評価も並行して実施することで、環境とコストの両面の検討から、環境負荷削減の有効性を検証している。

第4章では、日本と欧州を中心に開発された5種（永田研究室のELPを中心に、産業総合技術研究所のLIME・オランダのEco Indicator・スイスのEP・スウェーデンのEPAなど）のLCA統合化指標を用いて、包装系印刷の評価を実施し、それぞれの手法の特質と印刷業への適用の可能性を検証している。

具体的には、各種LCA統合化指標のインパクトカテゴリーへの重み付けを精査し、地球温暖化・資源消費・エネルギー枯渇等の何れが全体の評価に影響を及ぼすかを明らかにしている。また、各種手法のなかでは以下の理由によりELPが最適な評価手法であるとしている。すなわち、ELPでは廃棄物問題を算定対象にしており、またNO_xやSO_xなど印刷サービスにおける重要な項目からの環境影響を考慮していること、さらに幅広いインパクトカテゴリーを総合的に評価できることなどである。

第5章では、包装系及び情報系の印刷におけるELPやLCCO₂による評価を実施し、その適用対象と有効性を確認するとともに、環境負荷削減のための対応策について検討を行っている。

包装系印刷のELPでは、リサイクルの重要性を示し、そのための対応策として筆者の経営企業で易解体性パッケージを設計・生産して、その効果を検証している。これにより紙使用量の削減を図りながら構造設計の変更により耐荷重強度も向上させたパッケージの開発に成功している。一方LCCO₂による評価では、リサイクルによる負荷が廃棄によるそれを上回ることからリサイクルが否定される結果となり、ELPのような多面的なアプローチが重要となることを実践から確認している。

情報系では、現在注目されている電子書籍（電子メディア）について、紙メディアとのLCCO₂による比較を行っている。具体的には、電子メディアとしてiPadを活用した場合、その使用頻度によっては紙メディアよりも負荷が高くなる場合があることを示唆している。

第6章では、上記で確立したELPとLCCO₂を柱とする印刷LCAを、タイのチュラルンコン大学との共同研究を通じて現地化を図り、新興国向けの具体例として展開している。

まず、学生・主婦・印刷業者の3グループに対するAHP法によるアンケートからELPのカテゴリー重要度を整理し、現地で収集可能な基礎データからタイ国版のELPとし

て完成させている。新興国では収集できる基礎データが限定的であることから、日本での完全データとの差異について検証し、誤差が許容範囲内であることを確認している。

また、この過程のなかで大学教科書と大学に併設される印刷工場に関して、カーボンフットプリントの認証取得を実現させている。実際の大学教科書のLCCO₂では、日本で一般的な生産方法とタイでのそれを比較するとともに、電力などのユーティリティの排出原単位の相違による変化なども検討している。

さらに、タイで現地化したELPをマレーシアにおいても展開し、大きな成果を挙げている。

第7章では、欧州の按分方式のLCAを、先に確立したELPやLCCO₂と比較検証するとともに、その有用性について検討を行っている。

欧州印刷連合会ではLCAとして、事業所の年間総環境負荷から特定の対象に紙使用量をベースに配分を行う按分方式を取っている。実在の中小印刷会社の年間投入/排出データから按分方式にて算定した場合と、日本で一般的に行われている積み上げ方式との生産ロット別の感度分析を実施することで、両者の差違についての検証を行っている。ELPとLCCO₂についての比較では、生産ロットによって大きく異なることが示され、按分方式の使用には慎重を期す必要があることを確認している。一方で按分方式では組織活動全体の環境負荷を算定できることから、省エネの推進などの見地からは検討に値するものであり、按分・積上両式による多面的な対応を実施していくことが有効であると結論づけている。

第8章では、本論文のまとめとして本研究で得られた成果を要約するとともに、今後の研究の展望について述べている。

以上、要するに本論文は、印刷業におけるLCA手法を構築し、わが国でのその活用推進ばかりでなく、タイやマレーシア等、新興国での展開を図っている。わが国の印刷業での環境負荷削減のための対策の具体例について、LCA評価から定量的な効果を示すとともに、新興国ではカーボンフットプリント対応を実現にまで導いており、その意義は高く評価される。

これらの成果は、わが国をはじめ、世界の印刷業におけるLCAの進展さらには環境配慮経営の展開に対して多大の貢献と示唆を与えるものであり、高く評価される。よって、博士(学術)の学位論文として価値あるものと認める。

2012年2月

(主査)早稲田大学教授

永田 勝也

早稲田大学教授

友成 真一

早稲田大学准教授

博士(工学) 早稲田大学

納富 信

早稲田大学准教授

博士(工学) 早稲田大学

小野田 弘士