

早稲田大学大学院 環境・エネルギー研究科

博士論文概要書

論文題目

家電製品の環境配慮デザインと
リサイクルシステムに関する研究

A study on DfE(Design for Environment) and the material
recovery system of home appliances

申請者

氏名

中嶋	崇史
Takafumi	Nakajima

研究科・研究指導
(課程内のみ)

環境・エネルギー研究科 環境配慮デザイン研究

2012年12月

我が国をはじめとする先進諸国においては、大量生産・大量消費・大量廃棄の社会システムにより経済発展を遂げる一方で、廃棄物処理問題が顕在化し、環境配慮型社会システムへの転換が喫緊の課題となっている。このような情勢の中、我が国においては、循環型社会形成推進基本法をはじめとし、個別物品を対象としたリサイクル法が制定されてきた。こうした中、2000年に制定された循環型社会形成推進基本法では、生産者が製品の生産・使用段階だけでなく、廃棄・リサイクル段階まで責任を負うという考え方である拡大生産者責任(Extend Producer Responsibility: EPR)の考え方が導入され、各種製造業者では、3R(Reduce、Reuse、Recycle)に対応した設計手法の導入が求められている。

一方で、大量生産・大量消費・大量廃棄の従来型社会システムは、廃棄物問題のみならず、エネルギーの使用に由来する二酸化炭素を代表とした温室効果ガスの排出を原因とする地球温暖化問題も生じさせており、1999年には地球温暖化対策推進法が制定された。同法の中では、京都議定書で我が国に課せられた目標である、温室効果ガスの1990年比6%削減を達成するために、国、地方公共団体、事業者、国民の責務、役割が明記された。また、エネルギーの使用の合理化に関する法律(省エネ法)は、社会情勢に合わせて改正され、規制対象の一つである製品については、エアコンやテレビといった23の指定機器を対象に、各指定機器の特性に応じて、現在商品化されている製品のうち最も優れている機器の性能以上にする「省エネ基準」を設ける「トップランナー制度」が導入されており、製造業者に使用時の省エネルギー化が義務化されている。

さらに、環境配慮型製品の識別やリサイクル業者に有害物質の含有情報を提供することを目的に、2006年には「資源有効利用促進法」が一部改正され、指定省資源化製品及び指定再利用促進製品に指定されている製品のうち、パーソナルコンピュータ等の製品を対象に、有害物質の含有量に関する表示が義務化された。

このように、製造業者に対しては、製造プロセスで直接消費するエネルギー以外の環境負荷も含めて、使用段階、廃棄・リサイクルを含む「製品のライフサイクルの全般にわたって環境への影響を配慮すること」の重要性が増しており、その概念を導入した「環境配慮デザイン」の導入が強く求められるようになってきている。環境配慮デザインを推進していくためには、その導入効果を評価し、製品設計へとフィードバックすることが重要であり、家電製品では、「家電製品アセスメントマニュアル(財団法人家電製品協会)」が定められている。本マニュアルにおいては、環境配慮デザインに含まれる項目の評価基準や評価方法が定められており、各製造業者において取組みが進められている。

しかしながら、環境配慮デザインの評価基準について、統一的な判断基準がないことや、対象品目が限定されているという課題が存在する。特に、環境配慮型社会を構築していくには、製造業者のみならず、製品のライフサイクルに関わる主体間での情報共有が極めて重要であり、広範な製品を対象に、統一的な客観的評価を実施していくこと、すなわち環境配慮デザインの定量評価が必要である。

そこで本研究では、幅広い家電製品を対象に、環境配慮デザインを定量評価するための「DfE 定量評価データベース」の構築を行った。また、そのデータベースを活用し、各種家電製品のリユース・リサイクルへの対応としての「解体性」と「ライフサイクル全般の環境影響」を評価することで、環境配慮デザインの向上に関する提案を行った。さらに、製品が使用済みとなった後のリサイクルプロセスの効率化も環境配慮型社会の構築に向けて重要であることから、製品の企画・設計段階で得られる情報を活用した環境性・経済性評価を通して、製品の使用済み後に位置づけられるリサイクルプロセスの設計手法に関する検討を行った。

本論文は、6章から構成されている。

第1章では、本研究の背景、目的を明らかにするとともに、環境配慮デザインの定量評価やその評価に必要な製品情報のデータベースと大型家電・小型家電のリサイクルプロセスに関する従来研究を整理し、本研究の新規

性・独自性・必要性を示した。さらに、家電製品のリサイクルプロセスについて、現状の法的枠組みを整理することで、個別製品から複数製品を対象としたリサイクルシステムが要求されることについて述べる。

第2章では、家電製品の環境配慮デザインの定量評価の基本情報となる DfE 定量評価データベースの構築とその解析について述べている。

環境配慮デザインの要点を整理し、製品の企画・設計段階で得られる情報を基に、環境配慮デザインとして求められる「解体性」と「ライフサイクル全般にわたる環境負荷」を定量評価可能な分解性評価指数 DPI(Disassembly Property Index)と環境効用ポテンシャル評価手法 E2-PA(Eco-Efficiency Potential Assessment)の活用を前提とした「DfE 定量評価データベース」の構築を行った。本データベースは、型番・発売年度といった製品情報や素材構成、結合方法・点数などの7種類を97項目に分類している。特に、製品の素材構成と各素材・部品の結合方法や解体に使用する工具は、実際に製品を手解体することで情報を入手している。このように、製品を分解して、評価に必要なデータ収集を行うという点については、環境配慮デザインが製品の企画・設計段階で取り入れられる必要があるという考え方に基づいている。これまでに、89製品300製品のデータを搭載した。

また、本データベースを解析し、家電製品の環境配慮デザインの特徴を示した。素材構成と発売年度という点から携帯電話を対象に解析することで、リサイクルの容易性の観点で重要である素材の単一化については、発売時期・タイプ別・メーカー別に大きな差は見られないことや、合成樹脂、基板が全体を占める割合が高いことを示した。また、分解容易性という観点で各種家電製品の解体時に重要な情報である結合形式・使用工具について解析することで、ネジ類が多用されている製品群など、製品間で特徴があることを示した。さらに、データベースと DPI、E2-PA を組み合わせることで、リサイクルプロセスの環境性・経済性の簡易評価が可能な EXCEL ベースのソフトを構築し、データベースの活用方法を提示した。

一方で、データベースの高度化に向けて、搭載する製品数は今後も増やしていく必要がある。多種多様な家電製品を搭載していくことが望ましいが、製品を解体することで情報取得をしている現状に鑑みると、その拡張に当たっては、重点的に情報取得する家電製品を絞る必要がある。そこで、現状のデータベースに搭載されている製品を対象に、素材構成割合と製品重量を説明変数としたクラスター分析を行い、ポータブル MD プレイヤー・カセットプレイヤー、デジタルカメラに関する情報を優先的に収集することが効率的であることを示した。

第3章では、DfE 定量評価データベースを活用し、環境配慮デザインの定量評価を通して家電製品を類型化することで、設計改善策について述べている。

製品の環境配慮デザインにおいて、ライフサイクル全般の環境負荷を低減していくことは重要であるが、ライフサイクルのどの段階において特に取組みが必要であるかを考慮しながら、効率的に改善していくことが求められる。まず、製品の製造時と使用時の環境負荷に着目し、家電製品を類型化した。大型家電と小型家電は使用時の環境負荷が多くを占めることから、省エネ設計や省エネに関する情報を積極的に公開することが求められる一方で、モバイル機器は製造時の環境負荷が多くを占め、3R へ配慮した設計や使用済み製品の回収システムの構築が求められることを示した。次に、資源セキュリティの観点から重要性が増している希少金属に着目し、家電製品を類型化した。希少金属は実装基板に含まれる金、銀と液晶パネルのインジウムを評価対象としている。希少金属による環境負荷が多く占める製品は回収ルートがある程度構築されている携帯電話、ノート・デスクトップパソコンと家庭に退蔵しているデジタルカメラ、旧型の音楽プレイヤーやゲーム機などの希少金属による環境負荷が高いことから、それらの回収方法を構築する必要性を示した。さらに、リサイクル段階で回収される素材の資源節約効果に着目し、製品の DfE 向上とリサイクル施設における機器効率の向上の2点から、家電製品を類型化した。その結果、複合材や表示なしプラの質量割合が高いデジタルカメラやドライバー、冷蔵庫などは、複合材の減少や表示なしプラを表

示化することが設計段階で有効であり、デジタルカメラ、携帯電話、プラズマテレビなどは、積極的に基板などを回収すべき製品であることを示した。携帯電話やハンドクリーナー、ハンドマッサージャー、空気清浄機、アイロンといった製品は、表示ありプラの割合が高く積極的に手回収することが有効であることを示した。この結果から、基板の積極的な回収が望まれるデジタルカメラを取り上げ、その解体性を評価することで、点在化している基板の偏在化といった設計改善策を提案した。

第4章では、大型家電の例として冷蔵庫を取り上げ、そのリサイクルプロセスの環境性・経済性について改善策を検討するとともに、大型家電の混合処理について述べている。

冷蔵庫のリサイクルプロセスを対象に、実際の解体時間に相当する指数である DPI を活用することで、手解体工程の導入レベルに応じて設定した3モデルの環境性・経済性の評価を行った。その結果、手解体工程を最も多く導入するモデルは、他の2モデルと比較して資源売却益が3倍程度増加する一方で、人件費も3倍程度に増加し、収益性が劣っていることから、環境性を維持しながら収益を向上させる必要があることを示した。そこで、存在する複数の手解体工程を省略した際の、環境性・経済性評価を実施し、冷蔵庫本体切断工程前の手解体工程を省略することが有効であることを示した。このように、DPIを活用することで、リサイクルプロセスの設計改善を検討することが可能となる。

また、評価対象とした冷蔵庫のリサイクルプロセスでは、破碎機の処理能力に余裕があることから、冷蔵庫に加えて洗濯機を同一プロセスで混合処理することを想定し、DfE 定量評価データベースを活用して、環境性・経済性の評価を行った。その結果、洗濯機を混合処理することで、環境性・経済性が向上することを示した。また、リサイクルプラントの冷蔵庫処理台数が減少するケースも想定し、同様の評価結果を得た。

第5章では、小型家電のリサイクルプロセスの設計手法の構築について述べている。

第3章で述べた通り、小型家電の中には、希少金属の割合が高い製品が含まれており、資源回収が望まれるが、現状では、効率的なリサイクルプロセスが構築されているとはいえない。一部、先進的な取組みが行われているものの、どういった小型家電を回収することが、環境性・経済性の観点から効率的かという点については、十分な検討がなされていない。そこで、小型家電を対象にして、民間のリサイクルプロセスを活用した際のマテリアルバランスを把握するための実験を行うとともに、DfE 定量評価データベースを活用し、そのマテリアルバランスを推定することで、回収品目について環境性・経済性の両面から検討可能な設計手法を構築した。具体的には環境性・経済性両立指数を定義し、各家庭から排出される小型家電の量を設定することで、最適な回収品目を選定することができる手法である。この手法を活用することで、ある地域での小型家電のリサイクルプロセスを設計するにあたって、受入側であるリサイクルプラントが要求する処理規模とその周辺地域において想定される小型家電の排出量を考慮しながら、小型家電のリサイクルプロセスが設計できることを示した。

第6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、今後の研究展望について述べる。