

システム技術開発調査研究
17-R-13

LCD 分離・解体技術に関する調査研究

報 告 書

一 要 旨 一

平成 18 年 3 月

財団法人 機械システム振興協会
委託先 財団法人 製造科学技術センター

KEIRIN



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです

目 次

序	I
はじめに	II
1. 調査研究の目的	1
2. 調査研究の内容	2
3. 実施体制	3
3. 成果の要約	6
4. 委員会・WG開催状況.....	7
第1章 LCD対応解体容易化技術調査	
1. 1 要約	9
1. 2 解体容易化技術開発の決定要因とプロセス	9
1. 3 最新LCD易解体技術の整理・体系化	11
第2章 製品搭載実用化（SMP等）調査	
2. 1 要約	13
2. 2 現状・ニーズ	14
2. 3 易解体技術の調査	18
2. 4 まとめ	28
第3章 最新LCD解体技術の整理・体系化	
3. 1 調査の概要	30
3. 2 LCD製品の現状	31
3. 3 LCD搭載製品の分離・解体実状調査	33
第4章 LCD分離・解体技術に関する動向調査	
4. 1 北九州調査（家電・パチンコ・蛍光灯・自動車）.....	40
4. 2 米国調査.....	44
4. 3 欧州調査.....	50
第5章 LCD対応解体容易設計、 解体容易締結部品開発－実用化ロードマップ作成－	
5. 1 LCD製品易解体技術ロードマップ	53
5. 2 導入シナリオ	55
第6章 今後の課題及び展開	59

序

わが国経済の安定成長への推進にあたり、機械情報産業をめぐる経済的、社会的諸条件は急速な変化を見せており、社会生活における環境、防災、都市、住宅、福祉、教育等、直面する問題の解決を図るためには、技術開発力の強化に加えて、ますます多様化、高度化する社会的ニーズに適応する機械情報システムの研究開発が必要であります。

このような社会情勢に対応し、各方面の要請に応えるため、財団法人 機械システム振興協会では、日本自転車振興会から機械工業振興資金の交付を受けて、機械システムの開発等に関する補助事業、新機械システム普及促進補助事業等を実施しております。

特に、システム開発に関する事業を効果的に推進するためには、国内外における先端技術、あるいはシステム統合化技術に関する調査研究を先行して実施する必要がありますので、当協会に総合システム調査開発委員会（委員長 政策研究院 リサーチフェロー 藤正 巖氏）を設置し、同委員会のご指導のもとにシステム技術開発に関する調査研究事業を民間の調査機関等の協力を得て実施しております。

この「LCD 分離・解体技術に関する調査研究報告書」は、上記事業の一環として、当協会が財団法人 製造科学技術センター に委託して実施した調査研究の成果であります。

今後、機械情報産業に関する諸施策が展開されていくうえで、本調査研究の成果が一つの礎石として役立てば幸いです。

平成18年3月

財団法人機械システム振興協会

はじめに

地球温暖化に端を発した環境問題は、刻一刻と深刻度を増し、いまや世界規模での取組みが不可欠な状況になってきています。また、我国がそのほとんどを輸入に頼っている資源そのものの枯渇も現実味を帯びた問題として危惧されています。しかし裕福さ・利便性を追求してきた現在の生活環境を変えることは容易ではありません。資源を有効に使い、無駄な排出物やエネルギーロスをおさえるためには、まずは、「ものづくり」の段階で「3R（リデュース、リユース、リサイクル）」を実現する循環型システムを構築していかなければならないというのは我国の共通認識になりつつあります。そのためには、環境を配慮した製品設計を行い、素材の無害化、標準化を加速させるとともに、製品寿命が尽きた製品や部品等を再利用したり、資源に戻す技術を開発することが求められています。なかでも、製品の高度分離・分解技術（易解体性）・資源毎の分別技術、再利用出来る部品・資源の流通システム、再利用を行う製品・部品の信頼性評価、そのための適正評価手法等は必要不可欠となってくると考えます。

本調査研究ではこのような背景のもと、国際的には、欧州のWEEE（解体容易性等）やRoHS（有害物質排除及び適正処理等）への対応、国内では2009年には施行予定の改正家電リサイクル法（テレビの範ちゅうにLCDが含まれる）への対応、2011年の地上波完全デジタル化によるテレビの買換による廃棄の急増等の諸情勢を鑑み、早急に取り組まなければならない対象のひとつとしてLCDをとりあげ、そのリユースやリサイクルに必要な易解体技術等の新たな技術展開を図るべく、技術ロードマップを作成することとしました。

本調査研究が今後日本で行わなければならない製品循環システム構築の足がかりとなり、幅広い分野での循環型システム構築のスタートとなればと考えております。

最後に 本調査研究を行うにあたり、ご指導頂きました経済産業省、ご協力を頂きました社団法人電子情報技術産業協会（JEITA）及び社団法人家電製品協会（AEHA）に御礼申し上げますと共に、委員会・WG委員をはじめとする関係各位のご協力に感謝申し上げます。

今後、本調査研究の内容が関係各位の今後のLCD製品等開発やリサイクル等に広くお役に立てば幸いに存じます。

平成18年3月

環境配慮設計解体容易化技術調査委員会
委員長 須賀唯知

1. 調査研究の目的

循環型社会の構築と、地球温暖化防止のためのCO₂削減や有限資源の有効活用等を推進するために経済産業省が取り組んでいる3R（リデュース、リユース、リサイクル）は、基本的な概念として環境を考慮した製造システム（インバース・マニュファクチャリングシステム）から発想されており、3Rの中心的な考え方となっている。昨年度から検討を行っている3Rの技術戦略ロードマップはインバース・マニュファクチャリング概念をベースに作成されており、ロードマップや導入シナリオはインバース・マニュファクチャリングと同意義的に扱われている。その中で、現在抱える問題点としては、有害物質の削減・削除、使用済み製品を何処まで解体し、リユース・リサイクルをすればよいかの評価・判断とその実用化、製品の製造と同様な解体の自動化（解体コストの削減）等があげられる。

もともと、製品には様々な素材が使われ、強度確保や難燃材添加のため成分が複雑になり、リユース・リサイクルが困難になる等多大な弊害を生じている。

例えば、現在のリサイクル法で義務づけられている、家電、PC、自動車の回収に関しては、回収義務を課すことを規定し、その後の処理方法までは言及していないため、経済的な観点から、再利用するよりも安価な破碎処理をしている場合が多い。本来であれば、使えるものは解体し、有効に活用することが資源・エネルギーの節約になり、資源の少ない日本にとってその様なシステムが完成すれば、原材料のコスト削減へつながらざるを得ない。

また、有害物質の使用削減は世界レベルでの共通課題であり、使用しないことが最善であるが、製品の仕様や性能を満たす代替材料や技術がない現状では、製品内に有害物質が含まれてしまうこともある。そのため、有害物質部分を取り外し、無害化処理すると同時にその他の部分を有効活用することが必要になってきている。これらの問題を解決するためには、極力部品レベルでの再利用を可能にするための、製品の適切な解体・分別技術が必要になっており、経済性を考慮すると、製品再利用のための解体容易設計等の確立は必須となっている。あわせて、資源の有効活用としての3R促進のためにもこれら技術の確立に向けた早急な対策が必要になってきている。

具体的問題の一つとして、欧州においては、2003年2月13日にLCD搭載製品の解体容易設計の指針を示し、ReLCDプロジェクトの中で、既に解体容易な締結部品等の開発を推進しており、2006年には解体容易性についての技術確立を目標としている。

解体容易締結設計、解体容易締結部品については、形状記憶材料の開発等で日本が世界にリードした技術分野ではあるが、上記欧州の技術の追い上げに対し、早い時期での対策が望まれている。特に具体的な製品例としては、LCD（液晶ディスプレイ）の取り扱いがあげられている。これは携帯電話、電卓、カーナビゲータ、TV、各種ゲーム機器、PCのモニター装置には必要不可欠なもので、世界のLCDの年間出荷額は約4.5兆円（米Stanford Resources調べ、2002年）と膨大な量となっており、しかも年15%の成長を続けている。

また、過去数年以上前に製品に搭載されたLCDは、その大多数が寿命に達し、廃却を待っているが、内在される液晶物質（LC）の無毒性が未だ明確にされていないため、その処理方法は、手付かずの状態にあるのが実態である。このような現状を打開するために、

The Council on Waste Electrical and Electronic Equipment in Europe (WEEE) はLCDによる環境汚染、土壌汚染を防止するために、LCDメーカーに対し、これらの回収義務付けを行った。

しかしながら、LCDの回収のために、製品と内蔵されたLCDの締結を、短時間に、低コストに解除する必要があるが、現状では適切な方法がなく、回収工程全体のボトルネックとなっている。

これら問題点を解決するために、本調査研究では、LCDを有する製品の解体容易設計、解体容易化技術の欧米での実情や動向、規制等の取り組みを調査し、また、国内においても、細分化されている解体容易化技術（素材、締結技術、解体技術等）の最新技術動向を調査し、体系化することで、LCD搭載製品への実用展開阻害要因等の課題を明確にする。これらの調査結果からニーズ（製品毎の解体要求特性）とシーズ（解体技術）とを適合をさせ、3Rの促進につなげることが可能となる。

また、その具体的な実用例のひとつとして、LCD製品を対象とした、解体容易締結技術（例、形状記憶ポリマー（SMP）など）を用いた解体容易ネジ、解体容易中空スナップ等を活用することの有効性・実用性調査を行い、欧米に対し当該分野でわが国がイニシアティブをとって、多品種少量生産自動化工程の逆として多品種少量製品自動解体工程の開発を進めて、新製品の製造と使用済み製品の分離・分解・分別（解体容易化技術の活用）とで構成される循環システムを日本の新たな機械システムとして確立することを目的とする。

2. 調査研究の内容

前記目的を達成するため以下の項目を調査し、技術開発につき提言を行う。

① 最新LCD解体技術の整理・体系化（シーズ）

LCDの解体に係る最新の解体容易性設計、締結部材等に関し、関係する技術情報を収集しLCD搭載製品の属性別や部材別等に整理・体系化を行う。

② LCD搭載製品の分離・解体実状調査（現状、ニーズ）

TV、PC、カーナビ、携帯電話、電卓、各種ゲームに使用させているLCD搭載製品解体の実状調査と搭載製品メーカー側のニーズをヒアリング等により把握する。

③ SMP（形状記憶ポリマー）等締結体適用性調査

LCDなどに適用可能な解体容易締結部材の1つの素材として、形状記憶材料（合金、ポリマー）を活用したネジやスナップフィット等の実用化への課題抽出、易解体締結システムのビジネスモデルを検討する。

④ LCDに関する解体容易設計、解体容易締結部品開発に関する欧米現状調査

・欧州（ReLCDプロジェクト）の現状を調査

EU本部およびプロジェクト参加の企業、大学等を訪問する。

・米国におけるLCD解体、再販、処理の現状調査

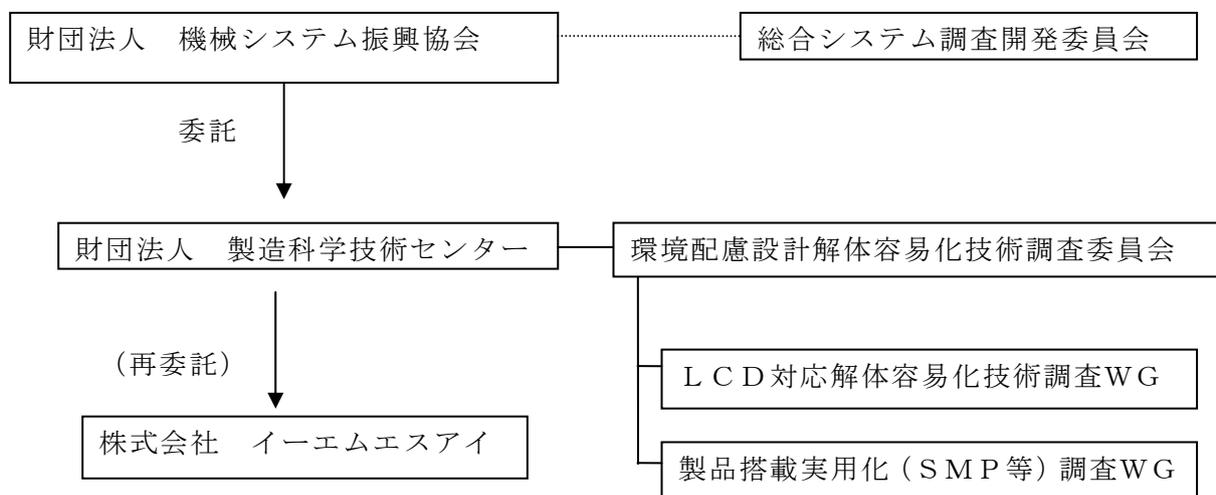
ハケット・エレクトロニクス社および米国政府環境関連機関等を訪問する。

- ⑤ LCD対応解体容易設計、解体容易締結部品開発・実用化ロードマップ作成
 LCD組み込み製品の解体容易化のための設計手法や締結部分のデザイン、締結部品の素材等製品ニーズに基づいた適正な解体手法の明確化と解体に関わる具体的な技術の実用化ロードマップ（実現する順番、時期と相互の関連）を作成する。

3. 実施体制

(1) 実施体制

(財)製造科学技術センター内に、学識経験者、研究所、企業（メーカ、ユーザ）から成る「環境配慮設計解体容易化技術調査委員会」、「LCD対応解体容易化技術調査WG」、「製品搭載実用化（SMP等）調査WG」を設け、討議、指導を得て、具体的作業を進めることにより、成果をまとめて報告書を作成した。



(協力) 社団法人 電子情報技術産業協会 (JEITA)
 社団法人 家電製品協会 (AEHA)

(2) 業務分担

「2. の調査研究の内容」のうち、「①最新LCD解体技術の整理・体系化」および「②LCD搭載製品の分離・解体実情調査」については、(株)イーエムエスアイに再委託して行った。

総合システム調査開発委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	政策研究院 リサーチフェロー	藤 正 巖
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 産学官連携部門 コーディネータ	太 田 公 廣
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 産学官連携部門 コーディネータ	志 村 洋 文
委 員	東北大学 未来科学技術共同研究センター センター長	中 島 一 郎
委 員	東京工業大学大学院 総合理工学研究科 教授	廣 田 薫
委 員	東京大学大学院 工学系研究科 助教授	藤 岡 健 彦
委 員	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授	大 和 裕 幸

環境配慮設計解体容易化技術調査委員会

委員長	須賀唯知	東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 教授
委員	野村 昇	独立行政法人 産業技術総合研究所 ライフサイクルアセスメント 研究センター 環境効率研究チーム 主任研究員
委員	瀬山康昭	財団法人 家電製品協会 環境部 次長
委員	森本 弘	シャープ株式会社 環境安全本部 本部長
委員	林 俊一	株式会社 ディアプレックス 常務取締役
委員	芝崎恒雄	社団法人 電子情報技術産業協会 電子デバイス部 部長 (ディスプレイ担当)
委員	材木正己	日東精工株式会社 取締役 ファスナー副事業部長
委員	村上治憲	日本板硝子株式会社 輸送機材カンパニー テクニカルセンター センター長

LCD対応解体容易化技術調査WG

主査	須賀唯知	東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 教授
委員	山際康之	東京造形大学 造形学部 サステナブルプロジェクト専攻領域 助教授
委員	野村 昇	独立行政法人 産業技術総合研究所 ライフサイクルアセスメント 研究センター 環境効率研究チーム 主任研究員
委員	瀬山康昭	財団法人 家電製品協会 環境部 次長
委員	森本 弘	シャープ株式会社 環境安全本部 本部長
委員	芝崎恒雄	社団法人 電子情報技術産業協会 電子デバイス部 部長 (ディスプレイ担当)
委員	村上治憲	日本板硝子株式会社 輸送機材カンパニー テクニカルセンター センター長
委員	星名久史	三菱マテリアル株式会社 資源・環境・リサイクル統括室 担当課長

製品搭載実用化 (SMP等) 調査WG

主査	林 俊一	株式会社 ディアプレックス 常務取締役
委員	小池誠一	コクヨS&T株式会社 テクニカルセンター 商品技術グループ グループリーダー
委員	谷川雅信	シャープ株式会社 環境技術開発部 副参事
委員	四方 修	日東精工株式会社 開発研究所 所長
委員	近藤 悟	三菱重工業株式会社 名古屋研究所 材料・化学研究室 主任
委員	村井弘一	ニプロ株式会社 第二研究開発部 部長

オブザーバ

経済産業省 中桐裕子 製造産業局 産業機械課 技術係長
興水裕樹 製造産業局 産業機械課 技術二係
菅原 洋 産業技術環境局 リサイクル推進課

株式会社イーエムエスアイ

浅岡 健 主席研究員
菊池 有 アソシエイト

財団法人 製造科学技術センター（事務局）

高橋慎治 生産環境室 主席研究員
間野隆久 調査研究部 課長代理

4. 成果の要約

下記①～④の調査を行い、LCD製品の適正な処理等を含め早急に技術開発や制度のあり方等を検討していかなければならないことが判明した。

① 最新LCD解体技術の整理・体系化（シーズ）

LCDの基本的な構成や最新締結技術などを調査した。液晶や電極からなるLCDパネル、バックライト、コントロール基板を含めてLCDモジュール、LCDモジュールを搭載した製品をLCD製品とした。使用済みのLCDモジュールのリサイクルとして、液晶は使用量が少なく、組成が多様であるため再利用は困難であると考えられる。また、パネルガラス上には様々なフィルターや光学シートが付着しているが、いずれも非常に薄いものであり、量的に材料リサイクルは困難であると思われる。そのほか、バックライト光源は水銀を含有しているため適正な処理を確保する必要があることが判明した。

② LCD搭載製品の分離・解体実状調査（現状、ニーズ）

LCD製品からLCDモジュールを取り出すためには、1)製品の筐体やカバーを開け、2)モジュールを固定している結合を解除し、3)電源やインターフェイス等の配線を取り外す、という手順が必要となる。調査した主要なLCD製品は、a. LCDTV、PC用モニタ、b. ノートPC、c. 携帯電話及び携帯ゲーム機、d. その他の製品（パチンコ台（液晶画面含）等）。

③ SMP（形状記憶ポリマー）等締結体適用性調査

SMPは素材や特殊加工のためコストがかかってしまう。そのため、実用化を目指し、他製品（家電製品、文房具等）への展開も検討し、SMPが持つ優位性を検証した。

◎LCD製品：3、4年前からリサイクル対象品に追加される議論があり、各社解体技術の必要性を感じている。

◎家電製品：家電リサイクル法対象製品を中心に、易解体設計・易解体締結法のニーズはあるが、その実用化は、部品だけではなく、エネルギー、人件費も含めたトータルコストで判断される。

◎文具・事務用品：消費者のエコマーク認定品の購入割合及び消費者の需要度が高い商品群。消費者の認知度・信頼性調査においても裏付けられている。ニーズも高く各社開発を推進中。

④ LCDに関する解体容易設計、解体容易締結部品開発に関する日米欧現状調査

◎日本（北九州）：北九州市エコタウンセンターの家電リサイクル、自動車リサイクル、蛍光管リサイクル（水銀処理技術）、パチンコ台リサイクルの調査を行った。

◎米国：製品の易解体性、モジュール化に関してはその重要性を十分に認知しているが、LCD製品の場合、製品がリサイクル、リユース市場に出てきていないことやパネルそのものの有害性が立証されていないため、取組としてはこれから分解分離の取組を行う状況で、基本的には州単位の環境法令化を進めている。特にカルフォルニア州は全米最先端の環境作りを目指しており、大半の家電製品は本年4月中旬より埋め立て処理が出来なくなる法律を制定している。LCD製品に関しては、パネルそのものよりバックライトに使われている蛍光灯内の水銀の様な有害物質が問題化している。同様に銅等の有害物質にも敏感になっている

◎欧州：欧州全体として、ReLCDプロジェクトが進行しており、各国の企業、研究者が参加している。最新の情報としては、欧州各国で当初有害とされていたLCの危険性、（急性）毒性はないとの認識になっている。但し、廃棄時に揮発有機物としての拡散が問題である。また、バックライトに使用されている水銀の方が問題との見解になっている。解体容易設計（ADSM、SMP、SMA）に関する重要性を認識しているが特にこれらの取り組みは行っていない。

⑤ LCD対応解体容易設計、解体容易締結部品開発・実用化ロードマップ作成

LCDの有害性は、短期的な視点から無害であることが判明した現状で、欧州でも電気・電子機器廃棄物リサイクル指令（WEEE:Waste from Electrical and Electronic Equipment）でのLCD製品の易解体性に関し見直しを図る動きがあることも判明した。しかしながら、LCD製品内に使用されているバックライトの蛍光灯には水銀が含まれているため、欧米双方等もLCDの解体・分別・処理は確実にを行う方向性であることが明確になった。少なからずWEEE同様の規制を行う可能性も強いと考えられる。また、日本国内でも、2009年家電リサイクル法の改正・施行時には液晶テレビが品目として加わることが確定されている。そのため、日本内でも早期に適正な易解体・分離・分別・処理技術を確立する必要性があることが判明した。

5. 委員会・WG等開催状況

○ 環境配慮設計解体容易化技術調査委員会

第1回 平成17年12月 7日（水）

（プロジェクトの概略、作業計画等の検討）

第2回 平成18年 3月 2日（木）

（プロジェクト成果報告内容の検討）

- LCD対応解体容易化技術調査ワーキンググループ
 - 第1回 平成17年12月 7日(水)
(技術ロードマップや導入シナリオ等の説明・検討)
 - 第2回 平成18年 1月19日(木)
(LCD関連商品の製品出荷や技術動向検討)
 - 第3回 平成18年 3月 2日(木)
(LCD等高度分離・解体技術の検討)

- 製品搭載化(SMP等)調査ワーキンググループ
 - 第1回 平成17年12月 7日(水)
(SMP等解体容易性締結部品の現状・検討)
 - 第2回 平成17年12月27日(火)
(高度分離・解体実用化対象製品等の検討)
 - 第3回 平成18年 1月13日(金)
(SMP適用事例紹介と検討)
 - 第4回 平成18年 2月 6日(月)
(SMP適用性評価手法の検討(コスト))
 - 第5回 平成18年 2月27日(月)
(実用化製品等の技術や動向のまとめ検討)

- 北九州製品実用化調査
 - 平成18年 2月 6日(月) 家電・パチンコ製品リサイクル状況調査
 - 平成18年 2月 7日(火) 蛍光管・自動車リサイクルの現状調査

- 米国調査
 - 平成18年 2月13日(月)～ 2月19日(日)

- 欧州調査
 - 平成18年 2月19日(日)～ 2月26日(日)

第1章 LCD対応解体容易化技術

1.1 要約

LCD製品をターゲットにした場合、LCDそのものの解体性と製品に組み込まれたLCD部分の解体の2通りの考え方がある。LCDパネルそのものの解体は硝子2枚およびその間に介在する希少元素、電子基板、バックライト等であるがコスト的に経済性が出せるものとしては希少元素であるが、一枚のLCD内には0.0Xグラム程度しかなく、回収出来たととしてもかなりの大量回収が出来ないと割に合わない。ただし、有害物質指定を受けている水銀はバックライトに使用されており、これらの回収、再使用または無害化は重要な技術となっている。また、筐体等に使用されるプラスチックの回収再使用は、メーカー内でも高いニーズを持っている。

これらの背景から、LCD製品に関する技術ロードマップと導入シナリオを作成し、適正な時期に開発を進めていかなければ回収・分離・解体技術が後手後手に回る可能性が生じる。また、将来的に水銀を含むバックライトの蛍光管のLED化や新たな技術の導入も考えられ、技術ロードマップは年々見直しを図り、時代時代に沿った技術開発テーマ等を戦略的に考えていかなければならない。

1.2 解体容易化技術開発の決定要因とプロセス

製品のメンテナンス、アップグレード、リユース、リサイクルにおいて、解体（分解）容易化は共通して求められる技術といえる。これに対応するために、解体（分解）装置、締結方法、や解体（分解）性設計などさまざまな技術が提案されている。

しかしながら、製品を開発する企業では、必ずしもこれらの技術が効果的に活用されているとはいえない。例えば、解体容易な締結方法を製品に取り入れても、実際のリサイクルの現場では、解体していない、または、切断、破砕しているなどである。

これらの課題の多くは、解体（分解）することを目的とした技術開発へのアプローチが原因といえる。すなわち、解体（分解）は手段であり、その目的であるシナリオを明確にしなければ、解体（分解）は容易でも本来の目的を達成することができず、効果は発揮しないといえる。

解体（分解）の目的を明確にし、より具体的に明示するためのシナリオの基本は、まず、製品のメンテナンス、アップグレード、リユース、リサイクルの循環モデルを明らかにすることからはじまる。そのうえで、マクロシナリオからミクロシナリオへと検討していくことが重要である。

図1.2は、マクロシナリオ～ミクロシナリオ～解体技術へのアプローチを示している。ここでは、リサイクルの場合を例に、各シナリオの要素を述べる。

マクロシナリオでは、消費者のリサイクルへの意識、購買動向の市場動向やリサイクルに関連する国内外の法律、規制などがあげられる。特に、法律、規制における対象製品、基準は、どの製品をどこまで解体（分解）する必要があるか、いわゆる、製品の解体（分解）技術の活用範囲を決定するものである。

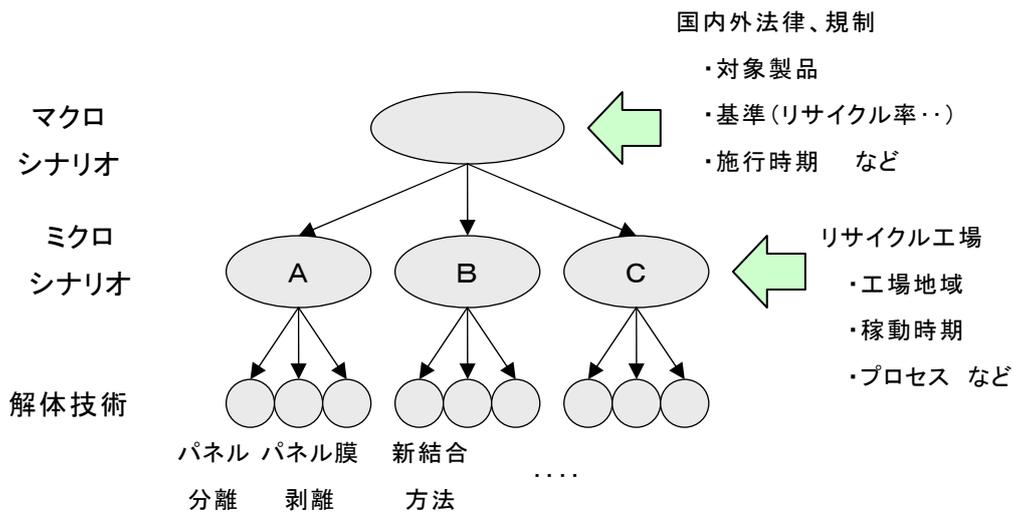


図1.2 マクロシナリオ～ミクロシナリオ～解体技術へのアプローチ

次のミクロシナリオでは、マクロシナリオに基づいて、稼動時期、プロセスなど具体的にリサイクル工場を想定するものである。これにより、どのくらいの精度で解体（分解）する必要があるのかを決定する。

このように、マクロシナリオによる製品の解体（分解）技術の活用範囲と、ミクロシナリオによる解体（分解）技術の精度により、要求される解体技術が異なってくる。すなわち、要求される解体（分解）技術は、マクロシナリオとミクロシナリオにより大きく変化していく。

マクロシナリオ～ミクロシナリオ～解体技術へのアプローチにより、開発と現場での乖離をなくし、効果的な解体（分解）技術の開発を行うことが重要である。

参考文献

- [1] 山際康之：環境調和型製品における組立性、分解性設計のプロセス，日本設計工学会設計工学 Vol. 36No. 11, (2001)pp479-484
- [2] 山際康之：情報機器における環境調和性設計戦略，日本機械学会誌 Vol. 108No. 1034, (2005)pp29-30
- [3] 山際康之：リサイクルシナリオに対応した分解性設計，日本設計工学会設計工学 Vol. 40No. 8, (2005)pp385-390
- [4] 山際康之：サステナブルデザイン，丸善，(2004)

1. 3 最新LCD易解体技術の整理・体系化

LCD製品においては、易解体のニーズとして以下のものがあると考えられ、これに従って技術を整理する。

(1) インジウムの回収

LCDの製造には希少元素であるインジウムが必須である。独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）によると、地球上のインジウムの可採埋蔵量は5700トン程度（亜鉛鉱石ベース/1999年）であるとされており、一方消費量は日本だけでも491トン（2004年/バーजनのみ）に達しており、枯渇の懸念される資源であると言える。我が国のLCD産業の安定した発展のためには、使用済みのLCDモジュールからのインジウム回収は非常に重要であると考えられる。

インジウムの分離技術は以下のように整理できる。

1) LCDパネルガラスからITO膜の分離

インジウムはパネルガラス上にITO膜として付着しているため、これを効率よく低コストで分離する技術が必要である。

2) インジウムの抽出・製錬

分離したITO膜からインジウムを抽出する。酸や溶媒を使用する場合には、コストが問題となる。ガラスに付着したまま亜鉛製錬所に投入する技術も考えられるが、その場合、ガラスは他の物質と混合熔融したスラグとなるため水平利用できない。

(2) パネルガラスの水平リサイクル

2006年に予定されている法改正によりLCDTVが家電リサイクル法の対象となる公算は高く、メーカーには数値目標を掲げてのリサイクル実施が求められると考えられる。現在のCRTTVのリサイクル率目標は55%であるが、仮にこの値がLCDTVにも適用されるとすると、パネルガラスは全体の8%程度の重量を占めるとされていることから、その水平リサイクルは重要であると考えられる。

パネルガラスの分離技術は以下のように整理できる。

1) パネルの開封

LCDモジュールは2枚のパネルガラスを接合して作られており、その内側には液晶や電極、フィルター等が付着している。これらを除去するためには接合を開封する必要がある。加熱して封止剤を蒸発・分解する技術等が検討されている。

2) パネルガラス上の回路、フィルターの除去

パネルガラスを水平リサイクルするためには、不純物となる回路やフィルター等を効率よく低コストで除去する必要がある。酸や溶剤等で溶解除去する方法、ブラッシング等で機械的に除去する方法等が検討されている。

(3) プラスチック類の水平リサイクル

プラスチック類はLCDTVの重量の40%前後を占めるとされており、パネルガラスと同様、改正家電リサイクル法下でのリサイクル率目標の達成においてプラスチック類の水平リサイクルは必須となる可能性が高いと考えられる。

1) プラスチック類の材料識別

プラスチックは、材質別、色や添加剤等のグレード別に、量を集めることができれば、材料リサイクルは技術的に可能となっている。分別のためには材質等の識別技術（表示、自動判別装置等）の実現が必要である。

(4) 蛍光管の破損防止・取り外し容易化

LCD製品のリサイクルにおいて、蛍光管の含有する水銀が問題視されつつある。蛍光管を取り外さずにリサイクルしようとするとう汚染のリスクがあり、一方蛍光管を破損させずに取り外すことは構造的に難しい。

1) 蛍光管の破壊防止

取り外し時に蛍光管の破損を防止するため、保護カバー等でモジュール化するという設計が考えられている。

2) 取り外し容易な蛍光管の結合

蛍光管や光源モジュールの取り付け方法として、形状記憶合金製の結合具などの解除の容易な結合を用いることが考えられている。

第2章 製品搭載実用化（SMP等）調査

2.1 要約

2.1.1 背景

LCD(液晶ディスプレイ)は携帯電話、計算機、カーナビゲータ、TV、各種ゲーム機器、PCのモニター装置として必要不可欠なものとなっている。世界のLCDの年間出荷額は約4.5兆円(米Stanford Resources調べ、2002年)と膨大であり、しかも年15%の成長を続けていると言われている。LCDは以前から販売されており、寿命に到達し、廃却を待っているものも多いが、内在される液晶物質(LC)の無毒性が実証されおらず、その廃棄は手つかずの状態にあると言われている。

このような現状を打開するために、The Council on Waste Electrical and Electronic Equipment in Europe(WEEE)はLCによる環境汚染、土壌汚染を防止するために、LCDメーカーに対し、これらの回収を義務付け始めている。

しかしながら、LCの回収のために、LCDのネジ締結を、短時間に、低コストに解除する必要があるが、良い方法がなく、本回収工程全体のボトルネックとなっている。

これら問題点を解決するためには、当該提案者らが開発を進めている技術(Active Disassemble of Using SMArt Material(ADSM)、形状記憶ポリマー(SMP)等を用いた易解体ネジ、易解体中空スナップ)を適用する事により、LCDの解体を容易にする技術開発もひとつの方法である。欧米に先駆け技術開発を実施し、当該分野でわが国がイニシアティブを取っていくための事前検討として、LCD業界あるいは他分野の現状・ニーズを知ることが重要である。

2.1.2 調査内容

調査内容、方法と期間を以下に示す。

現状調査・Needs調査 / 他のHearing /2005.12~2006.01

ADSM締結体適用性調査/Potential User、W/G内部 /2005.10~2006.01

国内外動向調査 / 西日本エコタウン、欧州ReLCD、米 /2006.02

今後の展開策定 / 2006.02~03

2.2 現状・ニーズ

今回調査した対象分野毎に以下に示す。

2.2.1 LCD

(1) LCDの解体性について

世界における液晶テレビの易解体設計の現状、ニーズ、課題、対策について表2.2.1.1にまとめる。

表2.2.1.1 液晶テレビの易解体設計について

	現状	ニーズ	課題	対策
日本	<ul style="list-style-type: none"> ・リサイクル処理義務なし ・リサイクル対象品に追加予定 ・ねじ本数削減中（3割程度削減） ・相溶化ラベル採用 ・液晶パネルは非鉄精錬に珪石代替として投入処理 	<ul style="list-style-type: none"> ・リサイクル対象品に追加される動向が3、4年前から論議されているため、各社解体設計の必要性を感じている。(特に液晶パネル, 蛍光管) 	<ul style="list-style-type: none"> ・液晶パネルガラス（破損時の取扱い） ・液晶パネルの液晶（破損時の取扱い） ・蛍光管中の水銀飛散（破損時の水銀飛散） 	<ul style="list-style-type: none"> ・蛍光管クリップに形状記憶ポリマー採用（課題：耐熱温度, コスト） ・スナップフィットに形状記憶ポリマー（課題：コスト）
欧州	<ul style="list-style-type: none"> ・蛍光管処理と100cm²以上の液晶パネルを取外し処理（WEEE） 	<ul style="list-style-type: none"> ・リサイクラーより液晶パネル処理方法について問合せ多数。 	<ul style="list-style-type: none"> ・同上 	<ul style="list-style-type: none"> ・同上
米国	特になし	特になし	特になし	特になし
他国	特になし	特になし	特になし	特になし

液晶テレビの解体方法で、メリット、デメリットについて整理したものを表 2.2.1.2 にまとめる。同様に中小型液晶テレビ(20インチ以下)及び大型テレビ(20インチ以上)の液晶テレビの構造を示す。

表 2.2.1.2 液晶テレビの解体方法

手段	メリット	デメリット
コンベア式加熱炉	大量に処理可能	全体加熱になるため、キャビネットなどが変形する可能性がある
湯中解体	大量に処理可能	水だと 100 解体まで。100 以上の解体では、シリコンオイル酸化の臭い対策が必要
ホットガン式加熱	瞬間に外れる	時間が長くなると、キャビネット変形 締結場所を加熱しないと解体できない
過熱蒸気	瞬間に外れる	締結場所を加熱しないと解体できない

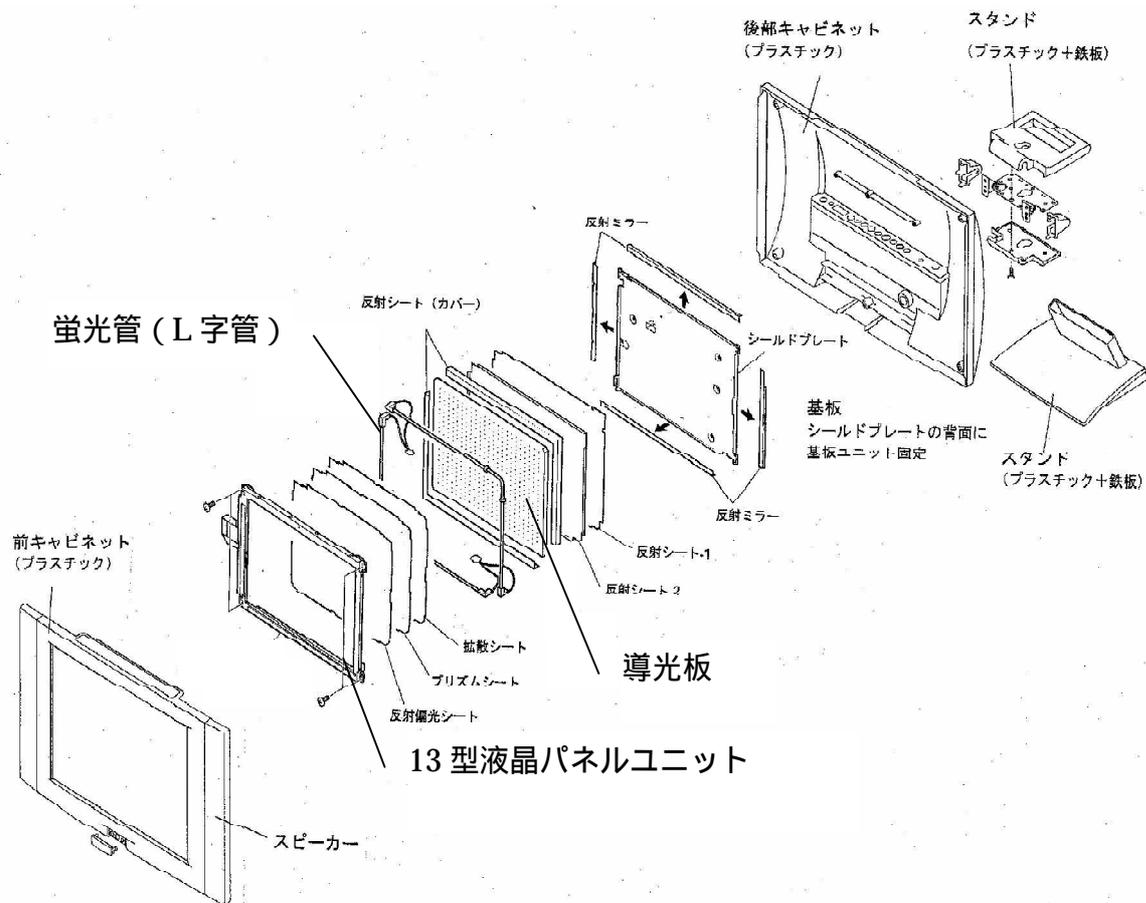


図 2.2.1.1 液晶テレビの構造 中小型液晶テレビ(20インチ以下)

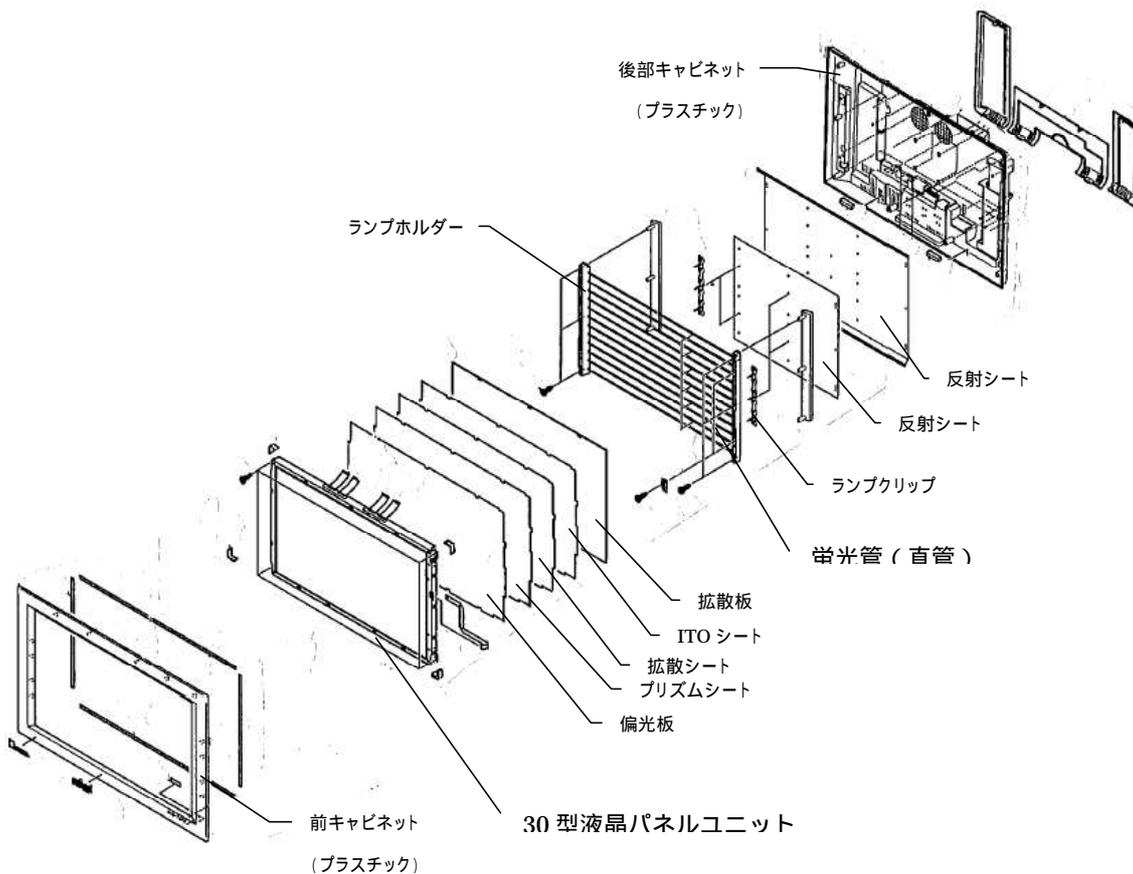


図 2 . 2 . 1 . 2 液晶テレビの構造 大型液晶テレビ (2 0 インチ以上)

(2) 分解方法と注意事項

液晶テレビの分解方法の作業工程を図 2 . 2 . 1 . 3 に示す。

分解作業に当たって、蛍光管は細く、割れやすいため、割らないように気をつけて分解することが重要である。また、液晶パネルもガラスが割れると、分解作業が危険となるので、割らないように気をつけて分解することが重要である。

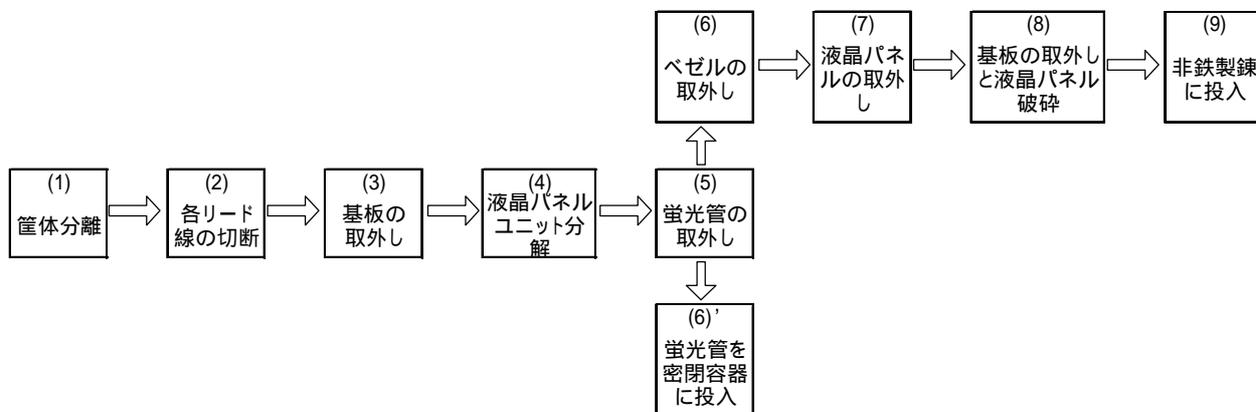


図 2 . 2 . 1 . 3 液晶テレビの分解作業フロー

2.2.2 文具

(1) 概要

文具製品は消費者の認知度・信頼性調査におきまして、エコマーク認定品の購入割合及び消費者の需要度が高い商品群であります。

エコマーク商品の類型名は「文具・事務用品」と称し、切る、綴じる、書く・消す、整理するなど、その使用用途によって多くの種類の品目が存在する。それらの設計の流れは、リサイクル素材の利用、リサイクルしやすい工夫、廃棄時の環境負荷の低減、の大きく三つに集約することができる。

(2) リサイクルしやすい工夫

文具・事務用品が使用後の廃棄時に資源となりうるように、分別が容易にでき、リサイクルに回せるかが課題となる。

ファイルの事例

背巾が厚く用紙の収容枚数が500枚前後のファイルの事例である。このファイルは主に一般文書や参考資料、法規約などの整理保管に利用されることが多く、ファイルの使用期間は長期にわたることが多い。こうした使用環境から、製品機能としては特に堅牢製が重視され、表紙は耐久性を高めるため板紙にPPフィルムを貼っている。綴じ具は耐久・対荷重などが求められ、書類の加重に耐えられる構造になっている。

しかし、このパイプ式のファイルもいずれは表紙の傷みが現れ、買い替えの時期が訪れる。

ただ、この商品は、交換用の替え表紙が用意され、先に傷む表紙を交換する、ロングライフ設計になっている。

金属製の綴じ具は、表紙から工具なしで、容易に取り外しできる分別構造になっている。樹脂製のロックをはずすことにより、金属綴じ具と樹脂ベースと表紙とに簡単に分離できる。

綴じ具を外した古い表紙はそのまま廃棄することなく、綴り紐を利用すれば、保存文書用のファイル表紙として再使用できる工夫もされている。

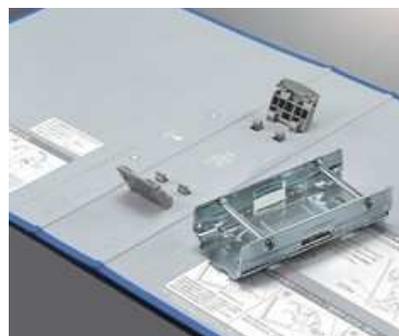


図 2.2.2.1 ファイルの事例

はさみの事例

はさみの刃はステンレス製だが、ハンドル部分は指にソフトに触れるように多くはプラスチック製である。刃とハンドル部との接合は、従来は力がかかっても外れないように加工されていたが、環境設計を取り入れ、接合構造を設計から見直し、形状と加工方法に工夫がなされた結果、廃棄時に分別が容易にできる、はさみが市販されるようになった。

通常の使用時は、ほとんど従来のはさみと外観も丈夫さも変りはないが、廃棄時には、ハンドル部分の隙間にマイナスドライバーの先端を押し当てることにより、ハンドル部から刃部を容易に取り外すことができる構造である。



図 2 . 2 . 2 . 2 はさみの事例

2 . 3 易解体技術の調査

この種技術開発を積極的に実施している会社、機関は少ない。5,6年前、欧州中心に易解体技術の実証も含めた開発が EU 政府のファンドを投入して実施されたが、大きな成果が得られたとの報告はない。

一方、この分野におけるわが国の技術は一步欧米に先んじている。ここでは代表的な以下の技術について紹介する。

(株)ディアプレックス-日東精工-三菱重工が提案している「形状記憶ポリマーを利用した易解体技術」

シャープ、NECトーキン(株)、東海大学、(株)ユニオン精密と共同開発した、形状記憶合金ワッシャと金属製ネジを組み合わせた「易解体ネジ」

また、液晶ディスプレイ(LCD)を選定し、使用されているねじをほどく作業にかかるコストについて『現行の方法』と『易解体ねじ(SMP等)を用いた昇温による方法』について試算し考察する。

2 . 3 . 1 形状記憶ポリマー等締結体

(株)ディアプレックス/日東精工/三菱重工業 提案の形状記憶ポリマーの機能を利用した「易解体技術」について紹介する。なお、本技術は既に商品化されている。

(1) 形状記憶ポリマー概要

形状記憶ポリマー(Shape Memory Polymer 以降 SMP と称す。)
「DiARY」は、ポリウレ

タンをベースとして高分子のガラス転移による物性変化を利用した、射出成形や押出成形が可能な熱可塑性材料であり、その機能は弾性率変化による力学的な形状記憶特性を始めとし、エネルギー散逸特性、ガス透過率の温度依存性などの特徴をもった材料で、航空、宇宙、化学、医療、化粧品、衣料、産業資材、食品、健康、生活雑貨に適用及び検討されている。SMP の代表的な特性である弾性率の温度依存性、形状回復性及び固定性について記述する。

弾性率の温度依存性

動的粘弾性測定により SMP の温度による弾性率変化の測定結果を図 2.3.1.1 に示す。横軸は温度、縦軸は弾性率を示す。ポリマーがマイクロブラウン運動を開始するガラス転移点(以下 T_g と称す)前後でポリマーの弾性率(やわらかさ)が大きく変化している。SMP は、一つの材料の中に T_g 以下での硬質プラスチックの性質と T_g 以上でのエラストマーの二つの性質が常温付近に設定された T_g を境に可逆的に変化する機能を有する。

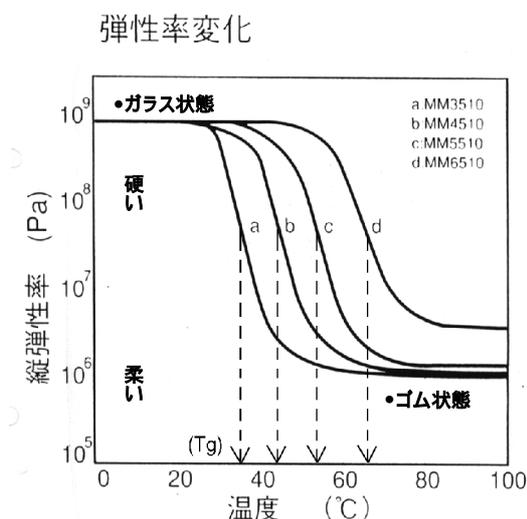


図 2.3.1.1 弾性率の温度依存性

T_g の設定

SMP はポリマー設計することで $-40 \sim +120$ の範囲で T_g を自由に設定することが可能です。締結耐として、夏場の車の室内環境を考慮した高温での設定温度にも対応可能である。

形状回復性と形状固定性

図 2.3.1.2 は形状記憶ポリマーの形状変形、形状固定及び形状回復性を示したもので、横軸は歪、縦軸は応力を示す。 T_g 以上のゴム状態でポリマーを引張ると応力を発生しながら変形する。ある歪を与えたまま温度を下げた時 (T_g 以下) ポリマーは歪んだままの形状を保持した状態となり、変形した形状は固定される。形状固定された SMP に熱を加える (T_g 以上) とポリマーの歪みは開放され元の形状に形状は回復する。

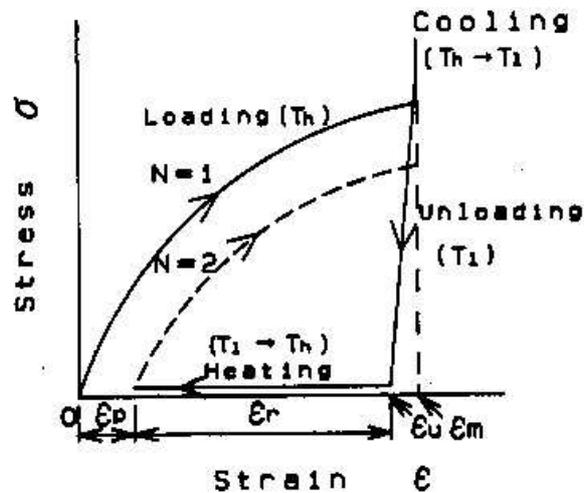


図 2 . 3 . 1 . 2 SMP の形状固定及び回復性

図 2 . 3 . 1 . 3 は上記と同様な形状の変形、固定回復を繰返し実施したもので、若干の歪みは発生するが、形状変形、固定、回復を複数回繰り返してもほぼ同じ様に形状回復する。

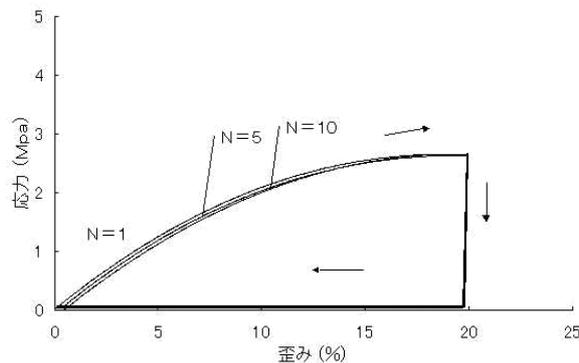


図 2 . 3 . 1 . 3 SMP の繰り返し性

(2) SMP の強度の向上

SMP をネジや中空スナップ等の締結体として使用する事を考えた時、現状の物性では強度の不足やネジや中空スナップ形状への加工性（塑性変形性）が不足と考えられる為、SMP の強度向上と加工性改善の為、次に示す打ち手にて改質を実施した。

- * 結晶性高分子とのポリマーアロイ
- * 無機フィラー添加による弾性率の向上

改質した SMP の引張り試験を実施し、その S - S 曲線を図 2 . 3 . 1 . 4 に示す。その結果、PP（ポリプロピレン）とのポリマーアロイでは弾性率、引張り強度共に SMP 単体よりも低い値を示し、改善は認められなかった。無機フィラー（ガラス繊維）の添加では弾性率、引張り強度共に SMP 単体よりも高い値を示し、改善が認められた。無機フィラーを 2

5 w t %添加した結果、引張り強度は無添加の170Nに対し240Nとなり、約1.4倍の強度が得られた。また、ネジとして転造加工する時の加工速度も無添加に対し焼く10倍の加工速度となった。

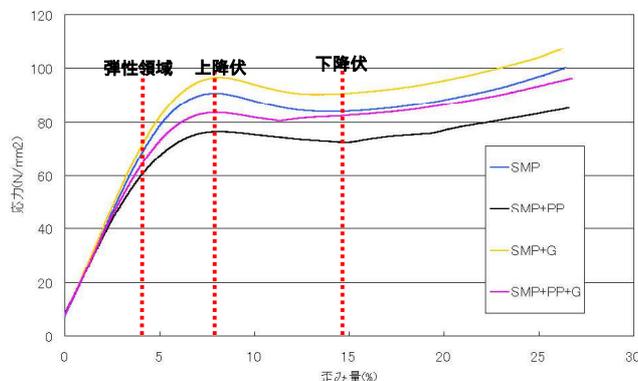


図 2 . 3 . 1 . 4 SMP 改質材の S · S 曲線

(3) SMP の締結体適用実施例

SMP を締結体として適用する為にネジと中空スナップの開発例を下記に示す。

SMP ネジ

この SMP ネジは素材に記憶された解放温度以上にネジを加熱することで、ネジ山が消失して締結力が解除される為、ドライバー等を用い無くとも筐体等の分解ができる事を特徴する。この SMP は Tg を 120 に設定したものを使用した。

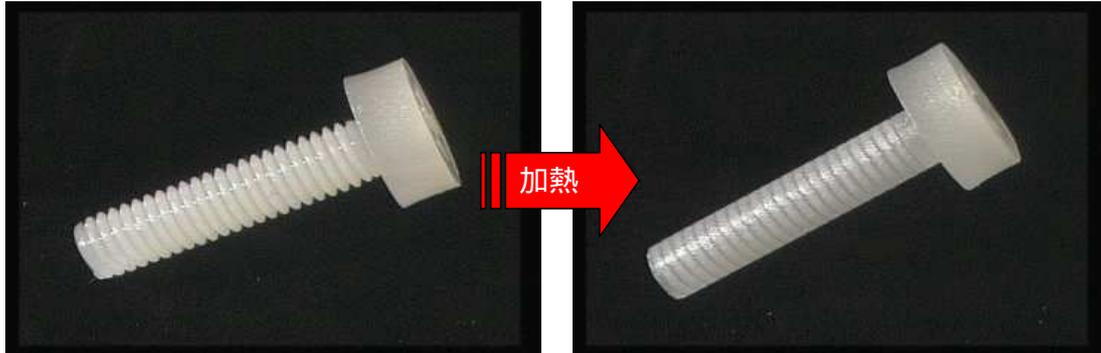
SMP ネジの概要を表 2 . 3 . 1 . 1 に示す

材 種	サイズ	ナット内径 (mm)	引張破壊強度 (N)	ねじり破壊トルク (N · m)
SMP(Tg=120)	M 3	2 . 5 7	2 4 0 ₂	0 . 1 9 ₃
参考 P C ₁	M 2 . 6	·	2 2 7	·
参考 P C ₁	M 3	·	3 0 0	·

表 2 . 3 . 1 . 1 . SMP ネジの概要

- 1 日本ケミカルスクリュー(株) HPより
- 2 5mm/min、掛かり山：3山
- 3 300rpm、非締結体/鉄ワッシャー

SMP ネジのネジ山消失状態を図 2 . 3 . 1 . 5 に示す。射出成形により形成した SMP リベットを転造し、ネジに加工したものを図 2 . 2 . 4 . 5 の左側の写真に示す。このネジを 120 の温度に設定されたシリコンオイルの中に3分間保持した後のネジ形状を図 2 . 3 . 1 . 5 の右側の写真に示す。3分後に取り出された SMP ネジのネジ山が消失することが確認された。



加熱：120 × 3min (シリコンオイル中)

図 2.3.1.5 .SMP ネジの易解体機能

中空スナップ

素材に記憶された Tg 以上にスナップを加熱することで、今まで取り外す事ができなかったスナップを容易に取り外すことができる事を特徴とする。取り付けは今までの打機をそのまま使用することが可能。この中空スナップの Tg は 65 のものを使用した。表 2.3.1.2 に SMP 中空スナップの概要を示す。

表 2.3.1.2 .SMP 中空スナップ概要

材種	胴部径 mm	最大引張強度 kgf	剪断強度 kgf
SMP (Tg=65)	6.0	51.1	106.6
参考 POM	6.0	34.0	94.0

SMP 中空スナップのカシメ状況と形状回復状況を図 2.3.1.6 に示す。射出成形により形成した SMP 中空スナップを、常温下で打機を用いカシメ、変形させる。その後ドライヤーを用いカシメた SMP 中空スナップを Tg 以上に加温する。その結果、SMP 中空スナップはカシメ前の形状に回復する事を確認した。

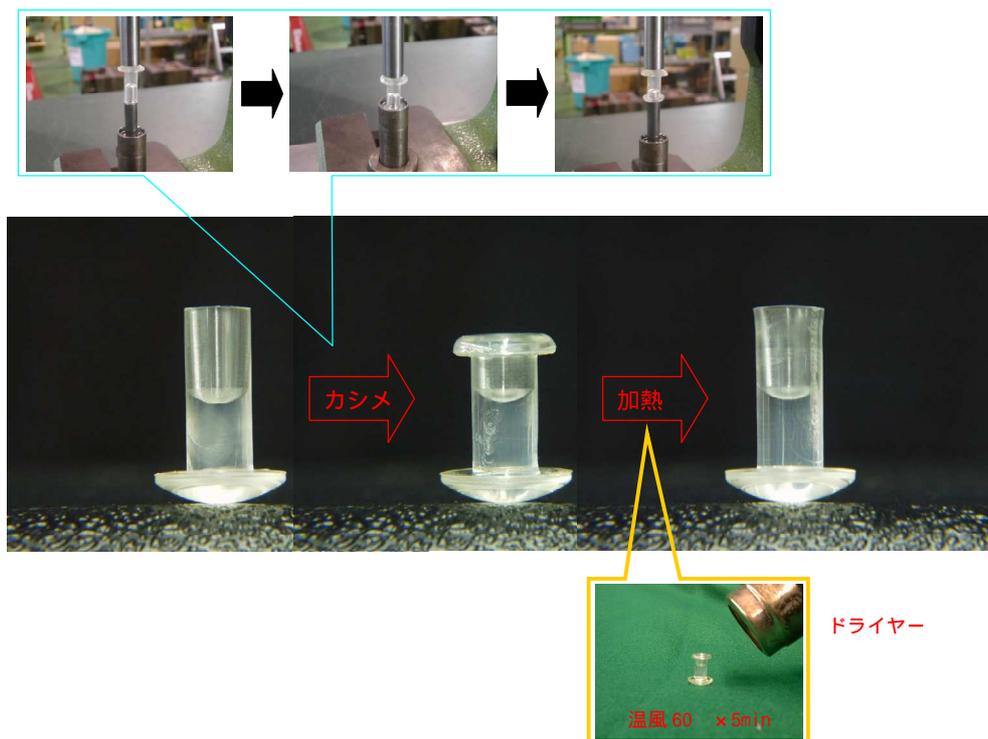


図 2 . 3 . 1 . 6 . SMP 中空スナップの易解体機能

2 . 3 . 2 家電製品の解体を容易にする「易解体(いかいたい)ネジ」の開発

シャープは、NECトーキン(株)、東海大学、(株)ユニオン精密と共同で、形状記憶合金ワッシャ¹と金属製ネジを組み合わせた「易解体ネジ」を開発した。新開発のネジは加熱するだけで締結部分がはずれるので、家電製品に採用した場合、リサイクル時の解体効率が高まり再資源化率の向上も図ることができる。

当社は今後、このネジの自社製品への採用をすすめるとともに、他メーカーへも積極的に採用をすすめる。

1 「ワッシャ」：ボルトなどを締めるときにナットの下へいれる金属製の輪

(1) 開発の経緯

本件は、2000年4月より経済産業省および製造科学技術センターからの委託テーマとして、NECトーキン(株)と連名で受託し開発に取り組んだ。リサイクルコストの低減を目指し、廃家電の解体効率を飛躍的に向上させる新技術として材質や形状の工夫改善を重ね、2003年4月にはあらたに東海大学と(株)ユニオン精密をメンバーに加え、全く新しい発想の形状記憶合金ワッシャを使用する方式を開発することに成功した。

(2) 今後の取り組み

今回開発した「易解体ネジ」は、2005年度上期中をメドに通信機器や液晶テレビなどの自社製品に採用する計画です。今後は、形状記憶合金ワッシャのさらなる重量削減や量産効果によるコストダウンに取り組む。

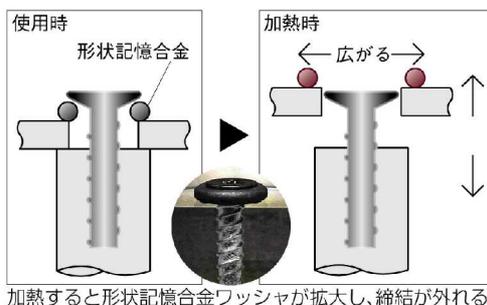
シャープは、本件のような「スーパーグリーンテクノロジー」の開発を通じ、「環境先進企業」としての取り組みをさらに強化する。

(3) 易解体技術の特長

「易解体ネジ」の機能特長

切れ目を入れた形状記憶合金ワッシャを用いた「易解体ネジ」で部品を締結しておけば、約100度に加熱するだけでワッシャの径が拡大し、容易に締結が外れる。形状記憶合金ワッシャには、チタンとニッケルが50%ずつ含まれている。

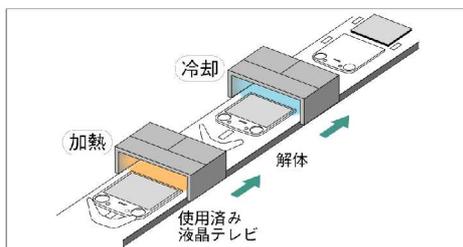
● 形状記憶合金ワッシャ締結部品の仕組み



リサイクルプラントでの解体効率向上

家電リサイクルプラントにおける廃家電の解体は、現在は手作業が主となっており非常に手間と時間のかかる工程となっている。「易解体ネジ」を使った製品の解体では、ベルトコンベアに加熱・冷却装置を設置するだけの簡単な設備で、人手に頼らず自動的に部品単位に分解できるため、従来の約1/10の時間で解体処理が可能²である。

● 加熱による自動解体のイメージ



2「易解体ネジ」で外装キャビネット部品を締結した液晶テレビ試作品による当社実験結果

再資源化率向上に向けたリサイクル配慮設計が可能

工具を使った手作業による解体作業では、キズをつけずに取り出すことが困難な液晶パネルや基板などの重要部品、また手が届きにくい部分に配置された部品なども、あらかじめ「易解体ネジ」を使用していれば、容易に部品単位に分解できるので、リサイクル工程に

おける再資源化率向上が図ることができる。

2.3.3 解体における「ねじほどき」に関する調査および考察

調査対象として液晶ディスプレイ(LCD)を選定し、使用されているねじをほどく作業にかかるコストについて『現行の方法』と『易解体ねじ(SMP等)を用いた昇温による方法』について試算し考察する。なお、易解体ねじを使用した場合の「ねじほどき」とは、昇温によってねじの締結機能が失われ、工具を用いなくても容易にねじを取り除くことができるようになった状態と定義する。

(1) 調査対象のLCDとねじの使用本数

調査対象のLCD

対象製品； パソコン用17インチ液晶ディスプレイ(LCD) 図2.3.3.1

商品名； MITSUBISHI 液晶ディスプレイ

型式； RDT1865

メーカー； NEC三菱電機ビジュアル(株)

使用されているねじの本数

調査対象のLCDに用いられているねじの本数は、スタンド部を除いたディスプレイ本体において、ねじ径3mmから5mmまでのものが41本であった(図2.3.3.1.~2.3.3.4)。



図2.3.3.1

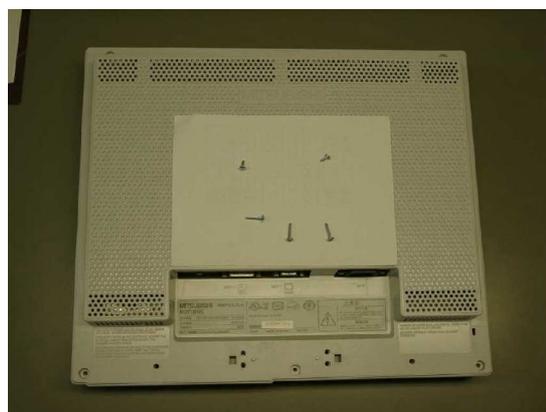


図2.3.3.2

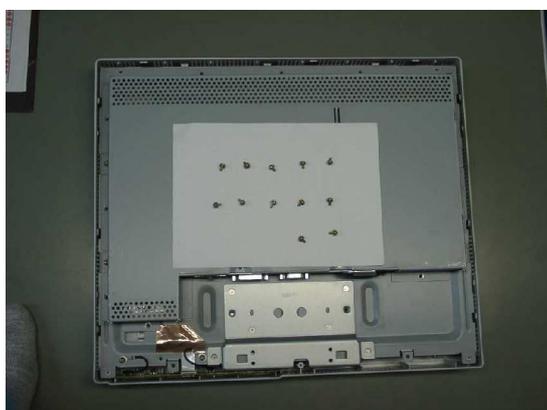


図2.3.3.3



図2.3.3.4

(2) 現行の「ねじほども」に関する解体コスト

現行の方法により、対象の LCD に使用されているねじを手作業により、パワードライバの回転工具を用いてほどもとく時のコスト（人件費）を以下の手順で求める。

パワードライバによりほどもとく時のねじ 1 本当たりの所要時間

ねじがほどもとけるまでの回転数を 10 回、ドライバの回転速度を毎分 600 回転とすると、ドライバがねじをほどもとくのに要する時間は

$$t = 10 \times 60 / 600 = 1 \text{ 秒、つまり、1 本あたり 1 秒となる。}$$

また作業者がドライバビットの先端をねじの駆動穴（たとえば十字穴）に嵌合させるのに要する時間をねじ 1 本あたり平均 1 秒とすると、すべてのねじをほどもとくための合計所要時間は、

$$41 \text{ 本} \times (1 \text{ 秒} + 1 \text{ 秒}) = 82 \text{ 秒} \text{ となる。}$$

1 台の LCD のねじをほどもとくために要するコスト（人件費）

作業者の人件費の単価を 30 円 / 分とすると、1 台の LCD のねじ 41 本をすべてほどもとくには $30 \text{ 円} / 60 \text{ 秒} \times 82 \text{ 秒} = 41 \text{ 円}$ のコストがかかる。

(3) SMP 等、易解体ねじを使用した場合の解体コスト

使用されている 41 本のねじをすべて SMP 等の易解体ねじに置き換えた場合の解体コストを求める。SMP 等の易解体ねじを用いた LCD は、解体するためには、加熱炉などにおいてねじが締結機能を喪失する温度まで加熱されねばならない。そのときの消費エネルギーのコストを易解体ねじを用いた場合の対象 LCD の解体コストとして求める。計算手順として、まず対象 LCD の等価比熱を求める。次にその LCD を易解体ねじが締結機能を消失する温度まで昇温するために必要な熱量を求める。次にその熱量を電力エネルギーによってまかなうとして電力料金に換算し、それを解体コストとする。なお、ここでは加熱炉など設備の減価償却費はコストに含めないものとする。

計算手順

a. LCD の等価比熱 (Ce)

対象となる LCD は各種の材質で構成されているため、等価比熱を求める必要がある。ただしスタンド部は金属鋳物製であり形状、質量とも他の部品に比べて過大であり取り扱いも難しく、熱容量も大きいいために加熱炉に投入するまでに取り外されているものとして計算から除外する。

LCD の質量 (m); $m = 5 \text{ kg}$ (ただし、金属製のスタンド部は除く)

LCD の主な構成材質; ポリプロピレン、鉄、アルミ

構成材質の概算質量; ポリプロピレン (1.5kg)、鉄 (2.5kg)、アルミ (1.0kg)

構成材質の比熱; ポリプロピレン (0.49kcal / kg・)、鉄 (0.15kcal / kg・)、アルミ (0.20kcal / kg・)

従って LCD の等価比熱 (Ce) は以下ようになる。

$$\begin{aligned} C_e &= (1.5 \times 0.49 + 2.5 \times 0.15 + 1.0 \times 0.2) \div 5 \\ &= 0.262 \text{ kcal / kg} \cdot \end{aligned}$$

b. LCD を室温 (20) から易分解温度まで加熱するのに要する必要な熱量 (Q)

ここでは SMP 等の易分解ねじが、ねじとしての締結機能を失う温度を 120 (Tg)

として、室温 20 からその温度まで昇温させるときに必要な熱量を計算する。

$$Q = C_e \times m \times (T_g - 20) = 0.262 \times 5 \times (120 - 20) \\ = 131 \text{ kcal}$$

c. LCD の加熱に要する消費電力 (W)

LCD を 120 まで加熱炉で加熱するとき、発生熱量の 30% が有効に使われると仮定して、そのときの消費電力を求める。ただし、1 kW・h = 860 kcal

$$W = Q \div 860 \div 0.3 = 131 \div 860 \div 0.3 \\ = 0.508 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

d. 電力コスト (P)

1 kW・h の電力単価を 16 円と仮定すると、対象 LCD の加熱に要する電力コストは

$$P = W \times 16 = 0.508 \times 16 \\ = 8.128 \text{ 円} \quad \text{約 8 円となる。}$$

計算結果

調査対象の 17 インチの LCD を 1 台易解体するために要する熱エネルギーは、およそ 131 kcal であり、熱効率 30% の加熱炉を用いた場合、その消費電力は 0.508 kW・h、その電力コストは約 8 円となる。

(4) まとめ

調査対象の 17 インチ型液晶ディスプレイ (LCD) の「ねじほども」に関わる解体コストは現行のねじを使用した場合は 1 台あたり 41 円、易解体ねじ (SMP ねじ等) を使用した場合は 8 円となる。

易解体ねじを用いることは計算結果を見る限り、この対象 LCD に用いられているねじの本数、加熱炉など必要設備の減価償却費、ねじのコストアップ分などを考慮すると、採算面で決して有利なことではないと感じても不自然ではない。それは本項の試みが解体における「ねじをほども」作業にのみ焦点を当てているがためにそのように感じられるのではないかと思われる。しかし現状の解体作業現場においては、市場に出回っている多種多様な製品を想像するとき、破壊を伴わないで、パワードライバでねじを探し当て、すべてのねじを忘れずに完全にほどもという作業は、よほど習熟した作業でない限り困難であると想像される。また、現行の製品設計は組立コストの削減を重視しており、はめ込みなど、できる限りねじを減らす方向で複雑な設計が行われている。これは解体技術の視点からすると、解体作業に困難を伴う設計である場合が多く、計算で得られた数値以上の解体時間を必要としているであろうと想像される。

易解体ねじを用いることは、製品設計や解体作業が容易になり、解体作業中に破壊が伴わないために資源リサイクルのみならず、リユースが増えると考えられることは想像に難しくなく、全体としてコストダウンにつながるとともに環境面での貢献が増進されるのではないかと思われる。

なお、この調査に用いられた LCD において、使用されているねじの内、半数以上がセルフタッピングねじであった。このタッピングねじに関しては SMP ねじでは対応は困難であるが、最近開発された形状記憶合金 (SMA) の座金を用いれば、従来型の鋼製タッピングねじが使用できるために、この問題は解決することができる。

2.4 まとめ

2.4.1 成果の概要

(1) 易解体のニーズ

家電製品、文房具、医療器具、自動車内装材関連部品を中心に調査した。その結果の概要を以下に示す。

家電製品

家電リサイクル法対象製品を中心に、易解体設計・易解体締結法のニーズはあるが、その実用化は、部品だけではなく、エネルギー、人件費も含めたトータルコストで判断される。つまり、安くしないと使えない。

LCD

リサイクル対象品に追加される動向が3、4年前から論議されているため、各社解体設計の必要性を感じている。(特に液晶パネル, 蛍光管)

文具・事務用品

文具製品は消費者のエコマーク認定品の購入割合及び消費者の需要度が高い商品群である。消費者の認知度・信頼性調査においても裏づけられている。したがって、ニーズも高く、各社開発に力を注いでいる。

医療器具

国内で年間30億本以上の注射器、シリンジが医療廃棄物として処分されている。感染防止の徹底、廃棄物のコンパクト化のために易解体ニーズはあるが、ほとんど未実施である。

自動車内装

金属(鉄、銅、アルミニウム他)の回収が主体である。したがってワイヤーハーネスの銅が鉄、アルミの不純物とならないよう分離している現状にある。

(2) ADSM 技術の調査

SMPの形状回復性(加熱により形状回復し、同時に締結が解除され、分離・解体が容易となる)を利用したADSM技術の提案(日東精工-三菱重工業-ディアプレックス)、SMA(形状記憶合金)を利用したADSM技術の提案(シャープ、NECトーキン、東海大)がある。いずれの技術も独自性・差別性の高い技術であり、本格的な実用化には至っていない。また、SMPでは解体のトータルコスト試算が資質従来の締結方法と比較しても十分な経済性を保有することが分かった。

(3) 今後の進め方提案

欧州・米国動向調査でも明らかとなったが易分解、易解体のための有望な技術が見当たらない中で、SMP、SMAを用いたADSM技術は独自性が高く、かつトータルコストの面からも成立する可能性は高い。いずれも、わが国の独自技術であり、今後積極的に開発を進め、ますます、ニーズが高くなる当該分野で我が国がイニシアチブをとるべきである。

具体的には、

LCD(LCパネル、蛍光パネル)の易解体技術開発

LCパネルはLCの毒性の有無に関係なく回収を目的として、蛍光管は水銀回収を目的とする。

医療器具（シリンジ、輸液セット等）の易解体分離技術開発

大きな社会問題になりつつある医療廃棄物の易解体、分離の技術開発により、廃棄の容易性、低コストか、安全性を確保することを目的とする。

第3章 LCD製品解体技術の整理・体系化

3.1 調査の概要

3.1.1 調査の目的

一般的な解体容易化技術の整理・体系化を行い、今後の実用化が望まれる技術をピックアップし実用化・普及シナリオを作成するとともに、今後問題となってくるLCD製品の解体技術の現状と望まれる方向性を分析した。

3.1.2 調査の期間

自 平成17年11月 至 平成18年3月

3.1.3 調査の内容

(1) 最新LCD解体技術の整理・体系化

解体に関する最新の解体容易性設計、締結部材等に関し、関係する技術情報を収集しLCD搭載製品の属性別や部材別等に整理・体系化を行った。

(2) LCD搭載製品の分離・解体実状調査（現状、ニーズ）

TV、PC、カーナビ、携帯電話等LCD製品の解体の実状と製品メーカー側のニーズをヒアリング、既存資料等により把握した。

(3) LCDに関する解体容易設計、解体容易締結部品開発に関する欧米現状調査

1) 欧州（ReLCDプロジェクト）の現状調査

ReLCDプロジェクト プロジェクト参加の企業、大学等を訪問、ヒアリング及びディスカッションを行った。

2) 米国におけるLCD解体、再販、処理の現状調査

メーカー、電子廃棄物処理業者社および米国政府環境関連機関等を訪問、ヒアリング及びディスカッションを行った。

3.2 LCD製品の現状

2005年の主要な液晶製品の生産・国内出荷台数は以下のとおりである。TVでは約380万台、ノートPCは約680万台、PC用モニタは約590万台、カーナビは約400万台、携帯電話は4500万台が1年間に国内で出荷されている。重量ベースで推計した場合、PC用モニタが最も多く、次いでTV、カーナビとなっている。

表3.2.1 主要なLCD製品の国内年間出荷（生産）台数

液晶製品の国内年間出荷（生産）台数

品目		数量(千台)	出典
液晶テレビ	30型以上ワイド	1,016	民生用電子機器国内出荷統計 2004.11～2005.10
	10型以上	2,618	
	10型未満	215	
計		3,849	
カーナビゲーションシステム		4,002	"
カーTV		226	"
ノートPC	モバイルノート	1,755	PC出荷実績 H16下半期 + H17上半期
	A4ノート	5,042	
計		6,797	
PC用液晶モニタ		5,860	JEITA2004年国内出荷実績
PC用CRTモニタ		480	JEITA2004年国内出荷実績
携帯電話		45,404	携帯電話国内出荷実績 2004.11～2005.10

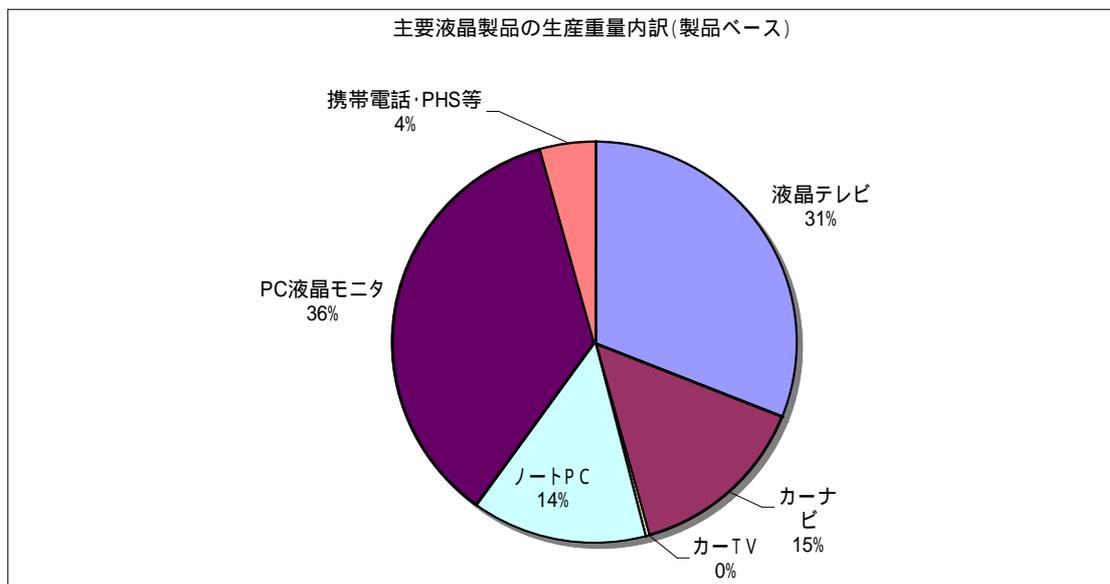


図3.2.1 主要なLCD製品の国内年間出荷（生産）内訳（製品重量ベース）

表3.2.2 主要なLCD製品の国内年間出荷(生産)内訳(製品重量ベース)

液晶製品の国内年間出荷(生産)重量

品目		推定重量(t)	備考
液晶テレビ	30型以上ワイド	16,256	32インチ・平均16kgとした
	10型以上	9,163	15インチ・平均3.5kgとした
	10型未満	129	5インチ・0.6kgとした(ポータブル)
計		25,548	
カーナビゲーションシステム		12,006	7インチ3kgとした
カーTV		136	5インチ・0.6kgとした(ポータブル)
ノートPC	モバイルノート	5,265	15インチ3kgとした
	A4ノート	6,555	12インチ1.3kgとした
計		11,820	
PC用液晶モニタ		29,300	17インチ5kgとした
PC用CRTモニタ			15インチ
移動電話		3,632	0.08kgとした(社団法人電気通信事業者協会回収実績より)
合計		82,442	

また、従来のCRT(ブラウン管製品)とのシェアを比較すると、PC用モニタではLCDが92%、TVでも47%に達し、LCD製品は急速に普及しつつある。

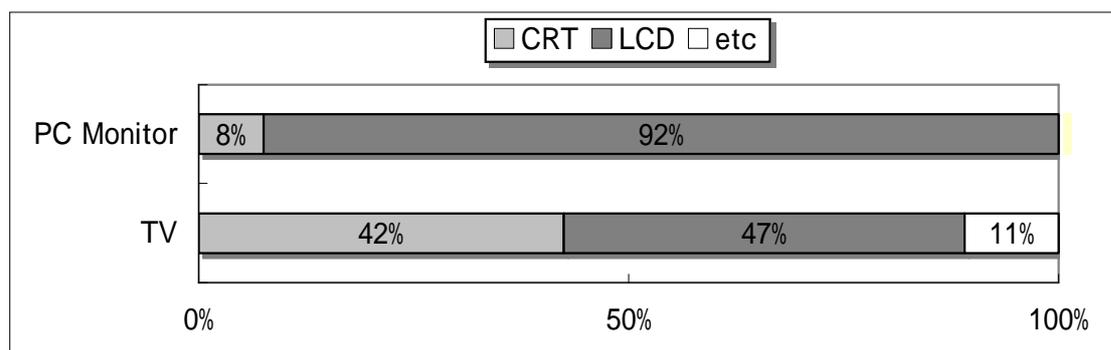


図3.2.2 CRT製品とのシェアの比較

表3.2.3 CRT製品とのシェアの比較

TV	Items		Amount(1000)	Percentage
	LCD TVs	over 30inch		
over 10inch			2,618	
under 10inch			215	
計			3,849	47%
CRT TVs			3,502	42%
PDP TVs			901	11%
Total Amount			8,252	100%

Monitor	Items		Amount(1000)	Percentage
	LCD Monitor for PCs		5,860	92%
CRT Monitor for PCs		480	8%	
Mobile Phones		0	100%	

3.3 LCD搭載製品の分離・解体実状調査

3.3.1 LCDモジュールの構成

ここでは、液晶や電極等からなるLCDパネル、バックライト、コントロール基盤を含めてLCDモジュールと呼び、このLCDモジュールを搭載した製品をLCD製品と呼ぶ。なお、バックライトを持たない、外部光に依存するLCDモジュールもある。

各要素の技術的なディテールは割愛するが、LCDモジュールの通常の機械的解体で分離できる構成要素は以下のとおりである。

この構造は、各種のLCD製品でも概ね共通するものである。小型の反射型LCD製品（腕時計等）には光源を持たないものもあるが、全体の量から見れば例外的であると言える。

イメージ	要素	概要
	パネルガラス	<p>1モジュールに2枚あり、それぞれに電子回路、希少元素であるインジウム（ITO膜）光学シート等が付着している。各要素を損傷させずに分離することは困難である。厚さは0.4～0.7ミリ程度。</p> <p>ガラスの材質は無アルカリガラスや石英ガラス等であり、通常の建材等とは異なる。</p>
	液晶	<p>パネルガラスの内部に充填されている。</p> <p>累代生殖毒性等の有無は未確認であるが、急性毒性はない。液晶層の厚さは数ミクロン。</p>
	バックライト	<p>光源として、大型モジュールでは蛍光管、小型モジュールではLED等が使用されている。この光源の光をパネルに均等に導くために厚さ数ミリの導光板が設置されている。導光板の材質は高価なエンジニアリングプラスチックである。</p>
	コントロール基盤	<p>液晶上の回路への電流を制御する回路基板である。</p>
	フレーム等	<p>各要素を固定する金属等の枠がある。</p>

使用済みのLCDモジュールのリサイクルとして、実用的な可能性があると考えられるものは以下のとおりである。液晶は使用量が少なく、組成が多用であるため再利用は困難であると考えられる。また、パネルガラス上には様々なフィルターや光学シートが付着しているが、いずれも非常に薄いものであり、

量的に材料リサイクルは困難であると思われる。

そのほか、バックライト光源は水銀を含有しているため適正な処理を確保する必要がある。

3.3.2 LCD製品の構造及び解体の現状

LCD製品からLCDモジュールを取り出すためには、1)製品の筐体やカバーを開け、2)モジュールを固定している結合を解除し、2)電源やインターフェイス等への配線を取り外す、という手順が必要となる。

主要なLCD製品の構造及び解体の現状について以下に示す。

(1) LCDTV、PC用モニタ

我が国においても、LCDTV、PC用モニタは最近普及が始まったばかりであるため廃棄は現時点ではごく少数であり、事業としての処理は行われていない。しかし、バックライト光源の蛍光管が水銀を含有しておりリサイクル上のリスクとなると考えられるため、その安全な取り外しが検討されている。

シャープ株式会社によるLCDTVの構成及び解体性に示す。

1) 主な構造

液晶テレビの構造は20インチを境に大きく2つに分類されており、主として蛍光管の数及び固定方法に違いがある。

20インチ未満製品では蛍光管はL字管2本であり、液晶の4辺から照明を行い、ベゼルによりパネルユニットにねじ止めされている。

20インチ超過製品では、液晶の背面から多数の直管で照明を行い、両サイドのランプクリップで固定されている。

20インチでは両タイプが混在している。なお、PC用では蛍光管は画面下方のみであり、また携帯テレビや携帯電話などの小型液晶製品ではキセノン管やLED等が使用されているとのことである。

2) 液晶製品の解体性

現状の解体時間は20インチ未満品で10分程度である。同サイズのブラウン管TVでは解体時間は30インチ品でも7分、20インチ未満品で5分程度とされている。ブラウン管TVの再商品化券の価格は2835円であり、家電リサイクル法の改正をにらんで、解体性の向上が必要と考えられている。

液晶製品の解体においては特に蛍光管の分離が難しいものとなっている。

結合数は、17インチ製品の解体ではネジを40本程度解除する必要がある。

(2) ノートPC

ノートPCは、LCDを含む上蓋部分は取り外し後非鉄製錬等に投入されている場合が多いようである。ノートPCにおけるLCDモジュールの組み込みには、デザイン上の配慮から嵌め合わせ結合や隠しネジ等が使用されることがあり、知識がないと解体が難しい機種も多いようである。逆に情報があれば解体の難度は低く、熟練工による解体時間では、LCDモジュールの取り出しに30秒程度、蛍光管(2本)の分離にさらに60秒程度という報告がある。

処理の実態としては、取り出されたLCDモジュールは非鉄製錬所でスラグ化、電子基板類は同じく非鉄製錬所での金属回収、蛍光管は専門の処理業者における水銀回収及びガラスリサイクルがなされて

いる。

(3) 携帯電話及び携帯ゲーム機

小型LCD製品では、バックライトはLED等であるため水銀の問題はない場合が多いため、水銀による汚染のリスクは低いものと考えられる。携帯電話のリサイクルにおいては、分解後に材料別にリサイクルが行われる場合と、解体せずに溶融させて金属回収が行われる場合とがある。

携帯電話の解体性については、メーカーやショップ以外での分解は違法改造等の電波法上問題があるため、解体を防止するための特殊ネジ等による締結がなされており、知識や専門工具がないと解体は困難である。

携帯ゲーム機においても、ユーザーの安全上の配慮から同様に解体が困難な構造となっているものが多いようである。

(4) その他の製品

パチンコ遊技機等には数インチ程度の小型LCDモジュールが使用されている。一般にパチンコ遊技機の製品寿命は短く、例外的な人気機種を除くと数週間～数ヶ月でホールから撤去され、処分対象となる。このためパチンコ遊技機からは、良質かつ規格の揃ったLCDモジュールが同時に多数回収できるため、部品リユース向けに回収・出荷が行われている。モジュールの用途は玩具、カーナビ等であると言われており、出荷先は中国とされている。

3.4 LCD製品易解体技術の整理・体系化

3.4.1 前提条件の整理

LCD製品の易解体技術整理にあたっての前提条件として、易解体技術の目的及びアプローチの整理を行った。

(1) 一般的な易解体技術の目的

製品の易解体化は、その目的を把握し、必要な技術を選択することが必要である。易解体化の目的としては、以下のものが考えられる。

1) リサイクルの高度化、リサイクル率の向上

使用済み製品を材料別に分別することで、リサイクル率を向上させたり、あるいはより高度な水平リサイクルの実現をはかるものである。

2) 有害物質含有部品、危険部品の回収

処理において有害物質が放出されたり、爆発等の危険がある部品を事前に回収し、リサイクル等の容易化をはかるものである。

3) リユース容易化

使用後の再販売や部品利用のため、分解整備・部品交換や部品回収の容易化をはかるのである。

4) メンテナンス容易化

使用中の故障、整備等を容易化し、製品のランニングコストダウンと長期使用化をはかるものである。

5) 生産段階での不良品の修理

生産段階で発生した不良品の修理容易化をはかるものである。

6) 輸送の容易化

大型製品を分割可能にすることで、販売や回収時の輸送の容易化をはかるものである。

(2) LCD製品の易解体化の目的

LCD製品に望まれる易解体技術を検討するためには、前提として易解体の目的を明らかにする必要がある。WGでの検討結果や各種調査結果より、LCD製品における易解体の目的としては以下のものがあると考えられる。

1) リサイクルの高度化、リサイクル率の向上

LCDパネルは希少なインジウムを含有しており、またパネルガラスも特殊材料であることから、元と同等の材料に再生する水平リサイクルの実現が望ましい。そのためには、LCD製品の解体や分離等が必要である。

2) 有害物質含有部品、危険部品の回収

中型以上のLCDモジュールの光源となっている蛍光管は水銀を含有しており、欧州や米国では廃棄時にはこれを外すべきであるとしている。蛍光管は壊れやすいため、安全に取り外すことが困難な現状にある。

3) メンテナンス容易化

LCDモジュールでは蛍光管の寿命がもっとも短い(6万時間程度)ため、これを交換容易化することは製品寿命の長期化やリユース容易化に繋がる。

3.4.2 LCD製品における易解体のニーズと課題の整理

LCD製品における易解体技術を整理・体系化するにあたり、LCD製品の易解体の主要なニーズと課題を検討した。なお、ヒアリング結果より、中型以上の製品の場合、モジュールへのアクセス自体はさほど困難ではないと考えられることから、ここではLCDモジュールの分離解体について検討する。

(1) リサイクルの高度化、リサイクル率向上に向けたニーズと課題の整理

LCD製品の急速な普及に伴い、近い将来LCD製品が多量に廃棄されると予測される。LCD製品には高価・希少な材料が使用されており、循環型社会を構築していくために、またリサイクル率を向上させていくためにも、構成材料を合理的に分離し水平リサイクル等を実現していくことが望ましい。

表3.4.2.1 リサイクルの高度化、リサイクル率向上に向けたニーズと課題の整理

対象	ニーズ	課題
インジウム (ITO膜)	LCD製造にはインジウムが必要不可欠であるが、その供給量、賦存量は限られたものであることから、回収・再資源化が望ましい。	・LCDパネルの開封容易化、開封技術 ITO膜はパネルガラスの内側に形成されているため、これらを回収するには、フレームや封止剤で固定されている2枚のパネルガラスの開封容易化ないし開封技術が必要である。 封止剤には熱硬化樹脂、紫外線硬化樹脂が用いられている。

パネルガラス	パネルガラスは無アルカリガラス、石英ガラス等であり、水平リサイクルによりガラス生産時のエネルギー消費の抑制や資源としての売却利益が期待される。	・ITO膜、フィルター等の効率的分離回収 インジウムを含むITO膜をガラスごと亜鉛精錬プラントに投入した場合、ガラスはスラグになってしまうため水平リサイクルできない。また、ガラスをリサイクルするには、ITO膜や各種の回路類は不純物となる。ガラス水平リサイクルとインジウム回収を両立するために、小規模低コストの膜・回路等の分離回収技術が必要である。
導光板	導光板はエンジニアリングプラスチックであり、水平リサイクルにより樹脂生産時のエネルギー消費の抑制や資源としての売却利益が期待される。	・材質判別の容易化 導光板の樹脂の材質・グレードは多岐に及ぶ。リサイクルに際しては同材質・同グレードのものを集積する必要があるが、作業現場での判別は難しい。樹脂材質・グレードに関する情報提供が必要である。

(2) 有害物質含有部品、危険部品の回収/メンテナンス容易化

中型以上のLCDモジュールで使用されている蛍光管は水銀を含有しており、その安全な取り外しは、リサイクル上重要な課題である。また、LCD製品の長寿命化やリペアには蛍光管光源の交換が重要であるため、リデュース・リユースの面からも光源の易解体化は有効であると考えられる。

表3.4.2.2 有害物質含有部品、危険部品の回収/メンテナンス容易化に向けたニーズと課題の整理

対象	ニーズ	課題
蛍光管	蛍光管には水銀が使用されている場合が多いが、破損せずに取り外すことが難しく、解体・リサイクルにおける環境汚染が懸念されている。	・蛍光管の破損防止 解体時に蛍光管が破損しないような対策が望まれる。
	製品の長期使用化やリユースのためには、消耗性の光源(蛍光管、有機EL等)の交換が必要であるが、現状では作業が困難である。	・蛍光管取り外しの容易化 迅速かつ容易に蛍光管を取り外しうるような結合技術の開発が必要である。

3.4.3 特許情報等からみた技術の整理

特許庁データベースより、LCD製品の解体、リサイクルに関する技術情報を整理した結果を以下に示す。

(1) 蛍光管に関する易解体技術の整理

課題	分類	出願番号	出願者
蛍光管破損防止、取り外し容易化	光源の保護ユニット化 蛍光管を含む光源部分をユニット化することで、取り外しの容易化と破損防止をはかる	2003-370608 H3-208722 H5-276633 H7-123241 H4-241008 2004-171161	奥村遊技機 カシオ計算機 IBM カシオ計算機 日本電気 セイコーエプソン」
蛍光管取り外し容易化	SMP結合具 形状記憶樹脂のネジ等により、蛍光管を加熱で容易に分離可能とする	2001-342305 2002-366321	三菱重工 富士写真フィルム
	SMA結合具 形状記憶樹脂のワッシャ等により、蛍光管を加熱で容易に分離可能とする	2004-139414 2003-111861	シャープ シャープ
	破断型結合具 途中で破断して頭部が分離するようなネジ等により、蛍光管を容易に分離可能とする	2004-133540 平7-176262	イリノイ トゥール ワークス インコーポレイテッド 青山製作所
	解除可能なリベット等 簡単な操作で解除可能なピンやリベットにより固定する	実平5-46250 平9-300789	ポップリベット・ファスナー ポップリベット・ファスナー
	面ファスナー 面ファスナー（ベルクロ等）を用いて固定する	2001-59951 平5-220951	倉敷繊維加工 ミネソタ マイニング アンド マニュファクチャリング カンパニー
	外部光源 モジュール外に光源を置き、光ファイバー等で導光する	H9-334146	日立製作所

4.4 易解体技術の体系化

製品の易解体技術は、以下の3つのアプローチに大別できると考えられる。

4.4.1 易解体結合

部品や部材どうしの結合方法として、解除の容易なものを開発・採用する。

- ・SMP 結合具
- ・SMA 結合具
- ・破断型結合具
- ・解除可能なリベット等
- ・面ファスナー

4.4.2 解体配慮設計

モジュール化や材料の統一、メンテナンスハッチの設置など、製品の設計・開発において解体を容易化するDfE設計を行う。メーカーごと、個別製品ごとの対応であり、汎用的な技術開発には繋がらない場合が多い。

- ・光源の保護ユニット化
- ・光源の単一方向からの取り出し化
- ・外部光源
- ・RFID、二次元バーコード等による情報提供

4.2.3 解体（分離）技術

解体自動化や解体作業の支援器具、材料別の選別・分別の開発など、使用済み等の製品を解体する技術である。

- ・パネル開封
- ・酸、溶液加熱処理
- ・空気中での加熱による揮発、熱分解
- ・研磨、ブラッシング
- ・解体の自動化等

第4章 北九州調査（エコタウン：家電、パチンコ、蛍光灯、自動車）

4.1 日本の最先端エコタウン

4.1.1 目的

国内のリサイクル技術の最新動向について把握することを目的に、北九州市エコタウンセンターを訪問し、家電リサイクル、自動車リサイクル、蛍光管リサイクル、パチンコ台リサイクルの視察を行った。

4.1.2 エコタウンセンターの概要

北九州エコタウンセンターのある北九州市は国内初の本格的近代溶鉱炉をもつ官営八幡製鉄所があり、日本の近代産業を支えていたが、その一方で深刻な産業公害をもたらした。この公害問題に対し、産・官・民が一体となって公害を克服した。

その際に得た環境の技術、ノウハウ、人材を活かし、まちづくり国際協力を積極的に進めています。これまでのノウハウ等を活かし、「資源循環型経済社会」を創っていくため、環境・リサイクル産業の振興を柱にゼロエミッション構想を推進する「北九州エコタウンプラン」を策定し、若松区響灘地区において具体的な事業に着手しています。

4.1.3 家電リサイクル

(1) 会社概要

特定家庭用機器再商品化法（家電リサイクル法）で指定されている再商品化製品（ブラウン管テレビ、冷蔵庫、洗濯機、エアコン）のをリサイクルしている西日本家電リサイクル株式会社は、家電メーカー8社が出資して設立した九州地域最大規模の施設である。

設立：1998年12月4日

処理能力：約50万台/年（2交代制）

(2) リサイクルの方法

1) ブラウン管テレビ

ブラウン管テレビは手分解によりキャビネットの取り外し、スピーカーや銅線の回収、基板の取り外し、ブラウン管の取り外し、ブラウン管周りの金属の回収、ブラウン管のパネルガラスとファンネルガラスの分離、パネルガラスの回収、シャドウマスク（鉄）の回収を行う。

その後、機械処理によりファンネルガラスとキャビネットは廃再処理を行う。

2) 冷蔵庫

冷蔵庫は手分解により扉パッキン（ガスケット）の回収、冷媒フロンと冷凍機油の回収、コンプレッサーの取り外しを行う。フロンは断熱材中にもある場合があるため、解体に際しては中が必要である。また、回収したフロンは厳格な管理のもと、最終的に分解処理を行う。また、取り外したコンプレッサーは有価売却を行う。

機械処理により破砕機で破砕し、ウレタン、鉄、非鉄、プラスチックに分別する。ウレタン、プラスチックは燃料として再資源化される。

3) 洗濯機

洗濯機は手分解によりモーター、ドラムロールを取り外す。その後機械処理により粉砕し、鉄、非鉄、プラスチックを分別する。

4) エアコン

室内機は手分解により 外枠のプラスチックの取り外し、 熱交換器の回収、 銅線及び銅パイプの回収を行う。

室外機は手分解により 外枠のプラスチックの取り外し、 冷媒フロンとオイルの回収、 コンプレッサーの回収、 ラジエーターの回収、 ファンモーターの回収、 基板の取り外しを行う。

室内機、室外機はその後、機械処理により破砕機で破砕し、鉄、非鉄、プラスチックに分別する。

(3) 問題点

洗濯機は、乾燥機と一体化したモデルがあり、近年少しずつリサイクルセンターに運搬されてくる。従来の洗濯機に比べ作業時間がかかるため、一次保管してまとめて熟練作業員により実施している。

また、液晶テレビも今後廃棄され、リサイクルしなければならないことが予想される。

4.1.4 パチンコ台リサイクル

(1) 会社概要

廃パチンコ台をリサイクルしているユーコーリプロは、徹底した分別によりマテリアルリサイクル率 80%を実現している。現在 200万台/年の廃パチンコ台を処理できる体制を整えている。

設立：平成14年9月29日

敷地面積：約 22,000m²

処理能力：約 200万台/年(5,500台/日)

(2) リサイクルの方法

1) パチンコ台のデータベース化

指定の運送会社により搬入された廃パチンコ台は、ハンドスキャナで表記されているQRコードを読み込み、生産から廃棄・再利用までの機歴を管理している。

2) 分解

QRコードを確認した廃パチンコ台は、手分解により混合物、ゲージ板、木枠、プラスチック樹脂、液晶・基板に分解される。液晶・基板はその一部が製造メーカーや商社にリユースされるため、在庫管理される。

ゲージ板はセルロイドと、木に分け、セルロイドは原燃料化(サーマルリサイクル)される。木枠は再生ボードとしてリサイクルされる。プラスチック類は樹脂原料として、鉄類は鉄原料としてリサイクルされる。このように徹底的に材質毎に分解される。

3) その他

廃パチンコ台にある釘は、真鍮材料として高価で取り引きされるため、専用の釘抜き機で回収している。

4.1.5 蛍光管リサイクル

(1) 会社概要

蛍光管のリサイクルをしている株式会社ジェイ・リライツは、九州電力の出資が出資し、使用済み蛍光管の回収・リサイクル(使用済み電球の再処理加工による製品の製造、販売)等を行っている。

設立：平成12年5月1日(操業開始：平成13年10月3日)

敷地面積：約 9,000 m²

処理能力：18.3 t / 日 (111,600 本 / 日、12 時間稼働)

(2) リサイクルの方法

1) 蛍光管の構成

表 4.1.5.1 蛍光管の材質構成

内訳	重量 (g)	比率 (%)
ガラス	235	92.189
蛍光体	6	2.354
口金	4	1.569
電極他	9.9	3.884
水銀	0.01	0.004
合計	254.91	100

(株) ジェイ・リライツHP より

2) リサイクルシステムの特徴

本リサイクルの特徴として、蛍光管の回収方法が挙げられる。蛍光管の回収に当たっては、拠点回収方式としており、また専用ラック(回収容器)を複数用意し、多様な蛍光管を破砕することなく回収している。

3) リサイクルの流れ

回収された蛍光管は「秤量選別エリア」で、直管と丸管に分けられ、それぞれ蛍光管の大きさ毎に選別される。選別された蛍光管は、口金部分を専用の機械で切断を行い、破砕される。その後、洗浄乾燥を実施し、水銀分離を行い、ガラス、金属体、蛍光体に分離して、それぞれリサイクルされる。

リサイクル原材料は、ガラスはガラス製品、路盤材に、アルミ、鉄などの金属は金属原材料に、蛍光体はセメント原料に、粗水銀は精製水銀に利用される。このうち、ガラス、金属の一部は蛍光管の原料としてリサイクルされる。蛍光管にリサイクルされる割合はバージン材料の1~2割程度である。

リサイクル原料で製造された蛍光管は平成14年11月から販売されている。

4.1.6 自動車リサイクル

(1) 会社概要

自動車のリサイクルを行っている西日本オートリサイクルは日本初のシュレッダーレス方式でのリサイクル事業者であり、リサイクル率86%以上(リユース含まず)で月間約1,000台の処理を実施している。

営業開始：平成12年2月

敷地面積：約20,000 m²

処理能力：1,000台 / 日 (18時間稼働 / 日操業の場合)

(2) リサイクルの方法

リサイクルにあたり以下の作業方法で行う。

1) パーツの回収

ドア、フェンダー、ボンネット、エンジンなどリユースできる物を回収する。回収に

当たっては、リユース製品として有価で販売できるか市場のニーズなどを踏まえた目利きが必要である。

2) 液抜き工程

燃料・オイルなど油類を除去する。車体をリフトで持ち上げ、作業効率を向上させている。

3) 前処理工程

シート・カーペット・コンソール・タイヤ・バッテリーなどを取り外す。作業に当たっては大きなアームを活用する。

4) 解体工程

エンジン・ミッション・燃料タンク・排気系部品類・足廻り部品類を取り外す。撤去に当たってはアームやリフトを活用して作業する。ここで撤去された物は、鉄くずとして材料リサイクルされる。

ハーネス関係が車体全体にあるため、アームを使って撤去を行う。

5) プレス

最終的に残ったものをプレスによりサイコロ状にする。

(3) ハーネスの撤去

ハーネスに含まれる銅は鉄の材料リサイクルに含まれていると鉄の品質を下げることから、リサイクル率向上のためにはその撤去が重要である。西日本オートリサイクルではフロント、リア、車内に張り巡らされているハーネスをアームとリフトを活用して撤去している。

4.2 米国調査

本調査は、LCD製品を中心とした高度分離・解体技術等に関し、米国内ではどのような技術プログラムが行われ、また、製品等の回収や分離・解体がどの様に行われているかの調査を行った。

詳細の日程内容は以下のとおり

期間：平成18年 2月13日(月)～19日(日)

調査者：野村 昇 独立行政法人 産業技術総合研究所

ライフサイクルアセスメント研究センター 環境効率研究チーム 主任研究員

浅岡 健 株式会社 イーエムエスアイ 主席研究員

間野隆久 財団法人 製造科学技術センター 調査研究部 課長代理

N S F The National Science Foundation

(1) 日米比較

日本のリサイクル政策等についてプレゼンテーションを行い、質疑応答を行った。

- ・リサイクルに関する議論について、リサイクル達成のために多量のエネルギーを消費してしまうのでは問題である。
- ・部品の革命、アップグレードによる長寿命化には興味がある。
- ・自動車リサイクル法における販売済み車両からの料金徴収システムはどうなっているか？ 日本では車検制度を利用している。
- ・アメリカの制度は州によって異なり、車検は1年に1回だがカリフォルニアではもっと規制が厳しい。一般に、オレゴン、カリフォルニア、マサチューセッツは環境関連の規制が特に厳しい州である。

(2) LCD、自動車ガラスについて

LCDや自動車ガラスのリサイクルについて意見交換を行った。

- ・ガラスについては、ボトルの場合、テキサス、オクラホマ等、州によってはデポジット制度が機能している。
- ・自動車は中古マーケットが大きく、廃車は地域内で処理されることが多いようである。
- ・処理方法は特に決まっておらず、不要部分は埋め立てられることが多い。
- ・リサイクルの促進要因としては、ビジネス上の損得がまずあり、次いで地方における法規制があり、最後にごみ税制等の順番で効果を及ぼすと考えられる。
- ・環境への取り組みについては、グリーン調達や炭素取引等、業界のステータス的な要素もある。
- ・自動車については、スクラップヤードでの部品取り、シュレッダーが一般的な処理である。廃車処理については、特に共通的な規制は行われていない。
- ・アメリカにはWEEEのようなものはない。グローバルマーケットのルールのほうが良いと思う。
- ・TVについてはCRTが問題視されて法制化されている。CRTのTVやPCディスプレイは、ローカルのリサイクラーに処理が委託されている。
- ・ヨーロッパでは、中古車は東ヨーロッパに流れてそこで処理されているようだ。

(3) その他

その他の意見交換としては以下のとおりである。

- ・製品のリサイクル促進上、設計開発などのライフサイクルの早い段階でのプロセス改善が有効であることは理解している。

- ・ W E E E は規制にひっかかって初めて製品に問題点があることが分かる。N S F では企業と連携し、こうした問題点の事前予見手法について研究している。
- ・ 製品の評価システムとして環境と経済の両方を見るのが望ましい。
- ・ S B I R では新しいガラス材料の研究を行っており、商品化されつつある。
- ・ 一般的にリサイクルにおいては、マテリアルをできるだけ利用可能な状態に保つことが重要である。水平リサイクルと材料性能維持の技術開発が必要である。
- ・ N S F では、製品分解技術、化学分解等についてファンディングがなされている（自動車窓、シーリング、ファスナー解体等）。また、廃棄物を抑制する上で、素材のバイオ化ということの研究している。
- ・ メーカーは売れば終わりという姿勢が強い。特に中国の企業はその傾向が強い。
- ・ 環境にうるさいとされている州はオレゴン、カリフォルニア、バーモント、メイン等とされている。

ロチェスター工科大学総合工学研究所 C I M S (Center of Integrated Manufacturing Studies)

(1) LCDについて

LCD製品のリサイクルについて意見交換を行った。

- ・ アメリカでもLCD製品は増えつつあるが、まだ普及して間もないので廃棄物は少ない。
- ・ 企業の委託により、LCDがリユース可能かをチェックする事業を行ったことがある。チェック項目は色、明るさ、反応速度、物理的ダメージ、コネクタの状態等である。
- ・ CIMSとしてはLCDモジュールのリマニファクチャリングは実施したことはない。
- ・ 欧州のLCDガイドライン作成により、高価なLCDモジュールの再使用が進むのではないか。
- ・ LCDモジュールのリサイクルには新しいインフラの整備が必要と思われる。

(2) レーザープリンタ部品の検査システム

CIMSで開発したレーザープリンタ部品の検査システムについて見学した。

- ・ レーザープリンタのトナークリーニングローラーの再使用はリングを通して大きな付着物を落とす。14～60%が汚れを落とすことで再生される。新品は2\$だが、ごくわずかな費用で再生できる。HPでは、86%がリユースされており、チェコやメキシコ工場でもリユースが行われている。
- ・ ラバーローラーは曲がりがないか等テストする。
- ・ ギアモーターは数億回転の寿命があるが、製品1ライフあたり数%しか使用されないのでもリユース対象となる。負荷をかけて動作をチェックする。ゆれにより摩耗が判定できる。
- ・ トナーワイパーのブレードを検査する検査装置を開発した。1秒以下で検査可能である。刃の欠けをグラフで表示し、検査できる欠けはミクロンサイズである。検査装置は日本にも販売されている。

カリフォルニア州環境局 California Integrated Waste Management Board

(1) 電子廃棄物リサイクルシステムについて

カリフォルニア州の電子廃棄物リサイクルシステムについてプレゼンテーションを受けた。

- ・ 州の電子廃棄物のリサイクルペイメントシステムはアメリカで最初のものである。
- ・ D T S C (Department of Toxic Substances Control) はC R Tを有害物質として2001年より廃棄への規制を開始した。これにより不法投棄が増加し、自治体のコスト負担が増加したが、2003年に開始されたこのシステムにより不法投棄問題は軽減された。
- ・ 消費者は6～10ドルをシステム維持のために支払う。
- ・ 電子廃棄物1ポンドあたりコレクターに20セント、リサイクラーに28セントが支払われる。概

ね適正な価格と考えている。

・2005年は60百万ドル分、回収量で60万ポンドの処理があった。対象とするデバイスの範囲が広いのでこの金額になっている。

・消費者は電子廃棄物にラベルを貼りメーカーに連絡する。電子廃棄物の処理後、メーカーは処理報告をDTSCに出す。

・州内にはコレクターは350、リサイクラーは40以上いるが、支払い対象でない、登録のないものを含めるとリサイクラーは100以上いる。

・このリサイクルシステムはCRTリサイクルをベースとして構築されている。

(2) LCDについて

LCDのリサイクル実態について質疑応答を行った。

・米国でもLCD製品は定着しつつある段階にある。

・法整備や技術開発等、LCDの処理体制構築には5年かかると考えている。

・LCDの解体については、蛍光管の水銀が問題である。安全に解体できるか、壊れた場合の対策をどうするか等が課題となっている。

・LCDのガラスリサイクルでは回収ガラスを何に使うかが課題だろう。

・自動車ガラスについては特にリサイクルは行っていない。ガラスびんのリサイクルは活発であるが。

Hewlett-Packard社のリサイクルサービス概要 (U.S.国内の例)

(1) Recycle computer hardware

HPではコンピュータ、プリンター、その他多機能ハードウェアをどのメーカーの製品でも回収しており、その量は300,000lb/月に上る。オンラインサービスの価格は、回収されるハードウェアのタイプや個数により異なるが、一個当たり約\$13から\$34であり、利用者は上のサイトからオンラインで申し込むことができる。

<回収可能な製品>

プリンター、スキャナー、ファックス、PC、デスクトップサーバー、モニター、携帯端末、コピー機、ケーブルやマウス・キーボードなどの外部部品など

<回収していない製品>

ガラスが破損したモニター、VCR、DVDプレーヤー、テレビ

HPでは回収されたハードウェアについてまずNP0に寄贈できる基準をもとに検査を行う。基準を満たさないものについては鉄、アルミ、銅、プラスチックなどに解体し、それぞれを再生材料として新製品の製造に使用できるメーカーを検索する。HP社では自社のリサイクル施設もっており、最初の施設はカリフォルニア州のRosevilleに1997年に設立された。

また、HPは、リサイクルや回収、処理が責任を持って行われるよう、実際にハードウェアのリサイクルや処理をHPから受託して行う業者や処理方法についての基準を定めている。

(2) Computer Recycling Coupon

2007年4月までの期間、HPのリサイクルサービスの利用客はHPのオンラインストアHP Home&Home Office Storeでハードウェアを購入する場合に利用できる、最大50ドル相当のe-couponをもらうことができる。クーポンの相当価格はリサイクルした製品により異なり、以下のサイトで説明されている。

<http://www.hp.com/hpinfo/globalcitizenship/environment/recycle/ecoupon.html>

C E A R (California Electronic Asset Recovery, INC. 電子廃棄物リサイクル業者)

電子廃棄物の集積・分別業者である同社の施設見学及び質疑応答を行った。

(1) 受け入れエリア

トラックで搬入されてくる使用済み家電やPC等を製品の品質や有害性などについてチェックし、どのように処理するかを決定するエリアである。

- ・品質のよいものはリユース向けのエリアに運搬する。リユース品向けに売却したり、慈善団体等へ寄付することもある。PCの場合、20～55%がリユースされる。ディスプレイは状態をテストする。
- ・受入量は各種製品合計で10000台/月。能力的には90000台まで可能と考えている。
- ・2月からカリフォルニア州では全ての電子廃棄物が埋立禁止となる。有害物質を封じ込めないと埋立は違法行為となる。不法投棄、放置されたテレビ等も回収され運ばれてくる。
- ・アメリカでは、ガレージに古いTV等が残っていることが多い。
- ・建物は元UPSの倉庫であったが、2年前から州政府が買い取っており、10年契約でレンタルしている。貨物空港に隣接して立地している。
- ・白モノ家電と医療関係は扱っていない。もともとTV処理から始めた事業であること、フロン回収やオイル処に関する新しいライセンスや設備投資が必要なことが主な理由である。しかし、業態を広げることは考えている。
- ・PC等はアメリカ国内15州から持ち込まれている。
- ・TV、PCのほか、プリンタ、コピー、周辺機器、メインフレーム、ラジオなども受け入れている。2月から法規制により埋立禁止となる品目が増えるので、もっと量が増えるだろう。
- ・現在全米のトイザラスからおもちゃの電動バイク（不良品ないし返品）が多量に持ち込まれている。バッテリーとモーター、タイヤを取り外してそれぞれ売却し、残りのプラスチックカバーと金属ハーネスはまとめて圧縮処理する。この混合物は買い取ったディーラーが分別する。処理料金は1台5～10セントである。

(2) 処理エリア

受け入れた電子廃棄物の解体・処理を行うエリアである。持ち込まれる廃棄物に応じて、様々な処理が行われている。

- ・ハードディスクは破砕する。顧客への安全性・安心感を与えるためである。顧客に破砕状態を見せるために、破砕装置にフェンスを張り巡らし、モニタリング用カメラを取り付ける予定である。
- ・TVなどの解体はベルトコンベアで行う。作業員が自分の机に電子製品を取り、手作業で分解する。
- ・TVなどから取り出したブラウン管は有姿のまま出荷する。州内はブラウン管に関する規制（処理も含む）が厳しいので、破砕や分割の許可は高価な施設が必要となるためである。処理先はミズーリ等で、ファンネル/パネルの分離や金属部分の分別等によりリサイクルを行う。労働者の健康問題も厳しく管理されている。
- ・6月に全設備を完成させる予定である。州政府が求める提出書類が膨大なため時間がかかっている。
- ・トナーカートリッジ、インクカートリッジ、ワイヤー、ニカド電池、水銀電池、鉛電池、CPU、メモリ等を分別している。
- ・圧縮機は100馬力。大出力のものは規制が厳しい。州の規制では、75馬力以上の大型のシュレッダーは密閉しなくてはならない。埃も毎月検査が必要である。圧縮は規制が緩いため、なるべ

く圧縮するようにしているが毎回帳簿をつけることが義務づけられている。

- ・蛍光管やバッテリーを処理するためには法律により数千万円もの設備投資が必要になるため、分別して外部に引き渡すだけである。また、処理しない場合は3ヶ月しか保管できない。

- ・CRT破砕設備を設置するとなると、2億円の保険や閉鎖・汚染時の処理費用として数億円の預金が必要される。

- ・保健当局による労働者の血中鉛濃度検査が義務づけられている。また、エアコン等の空調設備やマスクも必要である。

- ・州EPAも近いうちにこの施設にモニタリング用カメラを設置する予定である。

(3) 有価物について

回収物の売却等について話を伺った。

- ・回路基板、バッテリー等は取り外して製錬業者によりリサイクルされる。

- ・プラスチックはブローカーが来て入札する。原油高騰によりリサイクルの相場が上昇しており、主に中国に輸出されている。

- ・銅が主体のブラウン管ヨークコイルもブローカーが入札する。

- ・金を含有する基盤やドライブ類も入札があり、日本の製錬業者向けに買い付けが来たこともある。

- ・ライセンス取得条件が厳しいため、バッテリーリサイクルは州内に2カ所しかない。

- ・メモリやCPUは製錬業者に売却している。

(4) LCD製品について

LCD製品の処理実態について話を伺った。

- ・LCDモニタの今のところの受入量としては月に5台程度である。いずれは増えると思われる。解体は難しいが、量が少ないので今のところは大きな問題とはなっていない。

- ・蛍光管の水銀があるため、法規制上そのままでは破砕処理ができない。手作業で分離する実験を行っている。蛍光管は壊れやすく、労働安全上問題が大きい。これを壊さずに外すのが一番難しい問題である。

- ・15インチLCDモニタの解体は4分ほどで出来ているが、これは蛍光管が壊れてしまっている。

- ・蛍光管について、州環境局は壊すべきではないとの見解である。

- ・蛍光管を頑丈なシールドに収めて破損しにくくできないだろうか、というアイデアがある。

- ・LCDに含まれる水銀により、いずれは州当局によりLCD処理に対しても特殊な設備や許可が義務づけられるのではないかと考えている。近い将来、ファンディングされるのではないかと思う。

- ・現在、一人一日あたりCRT100台を処理しているが、これは壊れにくいためハイペースで出来ている。

- ・今後の対策を考えるために、来月、欧州で開かれるRE LCD会議を傍聴する予定である。

(5) メーカーへの要望

環境配慮設計についての意見を伺った。

- ・素材の統合を進めてほしい。プラスチックは同種類に、金属も同じものを使ってほしい。現在のところ選別コストの安い中国に持ち込むことを前提にブローカーは購入している。選別の手間が減れば国内でのリサイクルも可能になってくる。

- ・電子製品が増えていくにはリサイクル性の向上が必要である。

- ・中国は規制がないため、排水や残さの不法投棄が横行している。

- ・LCD製品については、もっとネジを減らしてほしい。大型で単一種類のネジどめなら比較的簡

単だが、小型、多種類のネジとなると大変である。

(6) 州の電子廃棄物処理システムについて

電子廃棄物処理システムについて意見交換を行った。

- ・法律により、州外や国外で生産させた製品でも、州内で販売されたものは全て同じ扱いとなっている。

- ・電子廃棄物の量は増えており、2004年の3倍になっている。

- ・リサイクラーも増加しており、競合が発生しつつある。3年前、リサイクルの会議には30社しか出席していなかったが、今は500社が出席してきている。通常の廃棄物処理業者からの転換も多いようだ。

- ・電子廃棄物の処理許可(州環境局所管)として、リサイクラーとコレクターの両方を取得している。州の電子廃棄物処理システムにより、電子廃棄物1ポンドの回収・処理について48セントが支払われることになっている。

- ・州政府と契約して大量に処理するためにはCIAMBの許可を受け、DTSCにレポートを逐次提出する必要がある。書類の量がとても多くて大変である。消費者向け書類もあるため電子化できない。

- ・政府の契約をせず、処理量が少ないなら許可不要だが、州の電子廃棄物処理システムから料金を貰うことはできない。

- ・カリフォルニアの方式は良いと思うが書類が多く、また手続きが遅い。まだ去年の10月に受け入れ処理した分の支払いを受け取っていない。2004までは消費者が直接支払っていたので翌月には入金があったのだが。

- ・日本の方式ではどうか？ 最終的に消費者が負担する点では同じである。

- ・4インチ以上のCRTは消費者は無料で廃棄できる。PCやPDAは有料。

- ・アメリカではゴミバケツに電子廃棄物を放り込む人もいる。

- ・法人は実費負担である。ゲームセンター等も法人である。料金は13セント/ポンドである。

- ・日本での電子廃棄物処理はどうか？ 大体同じ。ブラウン管はガラスT0ガラスがあるがタイ等へ輸出。回路基板やプラスチックは中国行きも多いし、製錬業者が主体となっている。

- ・中国はリサイクルファンディングが出来ていない。コンシューマーは支払わない方式だが、インフラやプログラムができていない。アメリカのように収集もない。

(7) SMPネジについて

形状記憶樹脂のネジについてデモンストレーションを行い、意見を伺った。

- ・州では処理に熱や水を使うことは禁止されている。加熱禁止の理由としてはプラスチック等の化学変化が問題であるとされている。水は廃水処理上の問題がある。従ってこの技術の導入は難しいだろう。

4.3 欧州調査出張報告

目的

LCD は携帯電話、TV など幅広い分野で使用されており、今後、製品寿命に到達した LCD の廃棄とその処分方法が懸念される。EU では LC による環境汚染、土壌汚染を防止するために The Council on Waste Electrical and Electronic Equipment in Europe (WEEE) により、LCD メーカーに対し規制を検討している。欧州の研究機関や企業、大学等を訪問して、LCD の処理についての動向を調査する。

出張先 C-Tech 社 (Chester、イギリス) Gaiker 社 (Zamudio BIZKAIA、スペイン)
Delft 工科大学 (Delft、オランダ) Sony Europe (Stuttgart、ドイツ)
Stuttgart 大学 (Stuttgart、ドイツ)

期間 平成18年2月19日～2月26日

出張者 林俊一 (株)ディアプレックス 常務取締役
高橋慎治 (財)製造科学技術センター 主席研究員
(菊池 有 (株)イーエムエスアイ アソシエイト)

調査結果概要

- ・ どの訪問先でも LC (液晶) の急性毒性は、「無い」との見解だった。慢性毒性についても、「あるとしても重大視するほどのものではない」ということである。Sony Europe では、WEEE のガイドラインを示して、LCD においては、LC 自体より、むしろ、バックライト中の水銀の取り扱いのほうを重要であると強調していた。
- ・ 解体容易性については、必要性和有効性は認めていたが、緊急に対応しなければならないとは感じていないようであった。リユースではなく、リサイクルを中心に考えると、後工程での分別もあるので、必要性が下がるのであろう。
- ・ 形状記憶ポリマー (SMP) については、応用可能性という点で興味を示していた。
- ・ 今回の訪問調査では、液晶自体のリサイクルを考えているところがあったり、家電製品 40 品目の環境特性評価という膨大なベンチマークをやったなどの新しい知見も得られた。

C-Tech Innovation

Q : Re-LCD プロジェクトとの違いは何か

A : Re-LCD プロジェクトでは LCD の分離・解体を行っており、C-Tech では川下の LC 自体のリユース、リサイクルを行う事を目的としている。Re-LCD プロジェクトで言っている Disassembly の重要性は理解しているが、それ自体に関する取り組みは特に実施していない。

Q : 液晶 (LC) には、いろいろの物質がドープされていて、純粹に原料に再生するのは大変で、コストもかかるのではないか

A : LC は高価で取り引きされており、LC の回収とリユースの事業が成立する。

Q：液晶（LC）の毒性が取りざたされているが、回収してリユースするまでの処理でも問題が生じないか

A：LCの毒性に関する認識では、Re-LCDプロジェクトのホームページにあったようなLCの危険性や急性毒性はないと認識している。

Gaiker社

Q：Re-LCDプロジェクトのホームページに記載のあった、「液晶（LC）の毒性がはっきりしないから、液晶デバイス（LCD）の廃棄では、LCDを保管しておくようにすべき」ということについてどう思うか

A：LCの毒性に関する認識では、Re-LCDプロジェクトのホームページにあるLCの危険性、毒性はないと認識している。むしろ、VOC(Volatile Organic Compounds)、つまり、廃棄した際、空気中に揮発、拡散することが問題であると認識している。また、バックライトに使用されている水銀の方が問題であると認識している。

Q：解体容易設計については検討しているか

解体容易設計（ADSM、SMP、SMA）に関する重要性を認識しているが特にこれらの取り組みは行っていない。

Q：Re-LCDプロジェクトの進捗はどうなっている。

A：当社は、プラスチック筐体のリサイクルを担当しており、リサイクルの見込みが付いている。全体の最終会議が3月6、7、8日に開かれて、成果の最終報告が審議される。

デルフト工科大学

富山先生による欧州での循環への動向の説明

- ・現在、欧州では中古品より部品等を摘出し、調整して販売する Remanufacturing がある。新品でなくとも部品の機能が確保されるよう整備して販売する。企業の資金が乏しい際に、このような備品の調達が行われる。半導体の製造設備などでやられている。
- ・また、欧州では自動車排ガス規制ユーロ3がある。今後、ユーロ4（～2007）、ユーロ5（2010～）と規制が強化される動きにある。今後、これ以降の規制強化に対し、企業がどのような取り組み、対応できるか検討を行っている。
- ・オランダでは新車の購入時に、廃棄車両の費用を納めている。

Boks 助教授より、業績の紹介と質疑

- ・フィリップ社の依頼により家電に関する環境に関する評価を実施した。評価項目として分解性（分解時間、作業回数、パッケージの重量、毒性、リサイクル性など）
- ・液晶モニタについても評価を実施したことがある。
- ・Active Disassembly のプロジェクトをやっていた Joseph David Chiodo との共著の論文「Assessment of end-of-life strategies with active disassembly using smart materials」もある。

Sony Deutschland

先方から LC の毒性についての EU の見解の説明があり、質疑を行った。

先方の意見の要点

- ・一時期、EU でも LC の有毒性に関する議論があった。LC が（長期的、慢性で）無毒と証明することは困難だが、現在 EU では、LC に有毒性は無いとして扱っている。（このことは、EU のガイドラインにも記述がある・入手資料）
- ・ソニーでも LC 自体の有毒性、希少性に関する認識はない。
- ・物質としての LC 自体は製品に使用されている割合が少ないため、大きな問題にはならない。（再生利用は考えない）
- ・LC の有毒性より LCD に使用されているバックライトの水銀が問題である。これらの回収技術は加熱、蒸留、過熱等がある。
- ・解体容易性については、スピーカー等の易解体の技術開発をしたことがある。
- ・日本のソニー本社で、環境についてより詳しい話は、堀さん（ソニー、日本）に聞くのが良い。
- ・解体性、リサイクルなどに関しての Re-LCD のプロジェクトはこの 3 月で終了するはずだ。結果が出るだろう。

IKP Stuttgart University / PE Europe

（IKP: Institute for Polymer Testing and Polymer Science）

先方から PE 社の事業内容の説明；

- ・IKP Stuttgart University では、PE Europe GMBH と業務提携し、LCE ソフト GaBi を活用したコンサルティングを実施している。（PE 社は GaBi の改良、普及販売を目的に創設された）クライアントは主に EU、国、企業であり、特に自動車メーカーなど多くの企業にコンサルティングを実施している。スタッフは 10 名である。
- ・日本にも支社がある。
- ・現在、薄膜太陽光パネルの LCA 解析を実施している。LCD などの LCA 評価を実施したことはない。
- ・DfE の考え方は普及しているものの、それは大企業によるものがほとんどであり、中小企業ではこれから浸透するものと思われる。
- ・GaBi には解体容易性評価のモジュールがある。（部品相互の関連付けがされる）

第5章 LCD対応解体容易設計、解体容易締結部品開発・実用化ロードマップ作成

5.1 LCD製品易解体技術ロードマップ

5.1.1 LCD製品易解体技術のニーズの背景

LCD製品の製造と廃棄から見た、実用的な易解体技術が必要と考えられる時期は以下のとおりである。

(1) 2008年 改正家電リサイクル法の施行

2006年に予定されている法改正によりLCDTVが家電リサイクル法の対象となる公算は高く、メーカーには数値目標を掲げてのリサイクル実施が求められると考えられる。現在のCRTTVのリサイクル率目標は55%であるが、仮にこの値がLCDTVにも適用されるとすると、LCDモジュールや筐体プラスチックのリサイクルが必要となることから、2008年以降のLCD製品製造にあたっては、リサイクル容易化のための方策として、易解体技術の実現が望まれるところである。

(2) 2011年 地上波TVの完全デジタル化

電波帯域の有効利用のために、2011年には現在の地上波TVのアナログ放送は廃止され、全局がデジタル放送に切り替わる。従来のアナログ放送用TVはそのままでは利用できなくなるため、その前後には大幅な買い換え需要が発生すると考えられる。将来のリサイクルを容易化するために、この大量需要の時点でLCDTVが易解体設計に完全に対応していることが望まれる。

(3) 2015年以降 LCDTVの大量廃棄時代の到来

LCDTVの寿命に関する情報はいまだないが、経済産業省の調査によりCRTTVの平均寿命は12年前後であることが分かっており、現在販売されているLCDTVの寿命もこれに近いものと考え、本格的な廃棄は2015年ころから始まるものと推測される。従って、その時期までには全国的なLCDTVのリサイクルシステムが構築されていることが必要である。

1.3.1 LCD製品易解体技術ロードマップ

図5.1に、LCD製品易解体技術について、実現が望まれる時期から逆算しての研究・開発ロードマップを作成した。なお、技術の分類区分はNEDOの技術戦略マップに基づくものである。

(1) インジウム回収

NEDOの技術戦略マップでは、希少元素の回収は2020年以降に実現するものとなっている。しかし、LCD大量廃棄は2015年～2018頃には始まると考えられることから、回収・抽出・精製システムの実現は前倒しが必要であると考えられる。現状では経済的な回収・精製技術は目処が立っていないことから準備・開発期間は長期にわたるものとした。また、LCD1台ごとでは使用されているインジウムはごく少量であり抽出は少数の施設で集約的に行うようになるであろうこと、精製は既存の非鉄製錬施設が利用できる可能性が高いことから、インジウム再生システムの構築は比較的短期間で可能であるものとした。

(2) LCDパネルの開封

LCDパネルガラスの水平リサイクルやインジウム回収に重要な技術であると考えられることから、これらに先行しての研究開発が望まれる。ここでは、パネルガラス上の回路・フィルター除去やインジウム抽出・精製に先駆けて2010年頃の実現するべきものと設定した。

(3) パネルガラス上の回路、フィルター等の除去、ITO膜の分離回収

パネルガラスを水平リサイクルするためには付着する回路や膜、フィルター類を除去することが必要である。また、この技術によりインジウムも回収可能と考えられる。NEDOの技術戦略マップでは、これらの分離は2020年以降に実現するものとなっている。しかし、LCDTVの改正家電リサイクル法によるリサイクル率目標達成するにはパネルガラスの水平リサイクルは重要であると考えられることから、本調査では分離回収システムの構築を大量廃棄時代に先駆けて2015年までには実現するべきものと設定した。これらの分離・除去は実験室レベルでは実現しているものの、パネルガラスの水平リサイクルが事業として成立するためには大幅なコストダウンが必要であることから、調査・開発期間は長期に渡るものとした。

(4) 導光板の材料リサイクル、筐体プラスチックの材料リサイクル

LCDTVにおいては、改正家電リサイクル法によるリサイクル率目標達成上、これらのプラスチック類の水平リサイクルは非常に重要であると考えられることから、大量廃棄時代に先駆けての回収・リサイクルシステム構築が望まれる。

LCD製品の重量のうちこうしたプラスチック類の割合は比較的大きいことから、廃棄LCD製品が大量でなくても事業として成立する可能性があるものと考え、大量廃棄に先立つ2010年ころには分別・再生システムが実現するべきであると設定した。また、これらのプラスチックのリサイクルは技術としては確立済みのものであるため、開発期間は比較的短期であるものとした。

(5) 蛍光管の破損防止、取り外し容易化

LCD製品のリサイクルの前提となる技術として、早急に蛍光管を破損させずに容易に取り外すことのできる設計・技術の実現が求められている。現状ではコスト的に実用に耐えるレベルの技術はないが、遅くとも地上波デジタル化による大規模需要が発生する前までには全製品が蛍光管の破損防止、取り外し容易化の対策がなされていることが必要と考えられることから、2010年までには技術として完成し、LCD製品メーカーに普及するべきものと設定した。

5.2 導入シナリオ

5.2.1 液晶TVとリサイクル法規の新たな動き

家電リサイクル法が施行(2001年4月)され、電機業界は拡大生産者責任の一端を担うため、家電4品目(ブラウン管テレビ・エアコン・冷蔵庫・洗濯機)の回収・材料の再資源化・製品への応用等に取り組んできた。2004年度の実績として年間1,121万台の廃家電製品を処理し、107万トンの廃材料を有価の素材として再資源化するまでの規模になり、現在世界で稼働しているリサイクルの仕組みとしては最もうまく機能していると内外から評価を受けている。

制度施行から5年経った現在、仕組みの見直しがスタートし、2009年頃から液晶テレビ等の新たな品目追加が行われる見通しである。一方、市場でも液晶テレビ等の薄型テレビ普及が本格的となり、2005年度にもブラウン管テレビの出荷台数を上回ることが予想されている。また、2011年のアナログテレビ電波の停止の前後から、ブラウン管テレビから薄型テレビへの買い替え需要が一段と高まることが想定される。

このような情勢のなか、液晶テレビや液晶ディスプレイ関連商品の適正なリサイクルは循環

型社会形成において克服しなければならない課題となってきた。

液晶テレビのリサイクルにおいて重要な技術としては、
テレビセットの解体と材料分別、
プラスチック部品のクローズドマテリアルリサイクル、
バックライトの安全な取り外し、
液晶パネルの処理

が考えられる。このうち については、短時間で能率よく解体・材料分別が行われることが必要で、締結部品（主として締結ねじ）の数量削減に、各メーカーとも設計段階から取り組んでいる。この一年の間に、32 型液晶テレビにおいて、210 本から 180 本に本数を削減した例がある。 については、複数本のバックライト（蛍光灯）をユニット化して組み立て・解体時の取り扱いの簡素化をはかるような取組もあるが、バックライト解体手順を明確にして、安全な作業を実施することを旨とする。

やはり、このリサイクルにおいて最大の課題は、「プラスチック部品のクローズドマテリアルリサイクル」と「液晶パネルの処理」である。 では、プラスチックの種類毎の分類とそれぞれの再資源化技術、塗装やシール等の剥離技術が課題である。すでに、ポリカーボネート ABS 製筐体において、シャープ（株）が再資源化に目処をつけた。電機電子各社で液晶テレビ筐体プラスチック材料の再資源化技術開発が活発化し、改正家電リサイクル法が施行される 2009 年までには、再資源化技術が出揃うのではないかと推測される。塗装やシールの剥離技術については、すでにいくつかの試みがあるが、シャープでは大気中でのプラズマ放電による塗装の剥離技術開発を行い実用化への目処をつけた。この技術も、2009 年を目標に実用化が進む。また、シールについても筐体材料と相溶性のあるシールを用いることによって、リサイクル時に剥がす必要が無いものや、剥がす時に簡単に剥がすことができるシールを既に採用しているメーカーもあり、このようなシールの採用は拡大していくものと予想される。

「液晶パネルの処理」については、すでに非鉄精錬炉の珪石代替材料として活用できることが確かめられている。この方法は、新規に設備投資する必要も無く、安全に、しかも、材料として利用できることから、有望な処理方法と考えられる。すでに液晶ディスプレイの回収リサイクルが WEEE 指令で義務付けられている欧州においても、液晶パネルを非鉄精錬へ珪石代替用と投入処理する本技術を積極的に活用する。

5.2.2 ガラスのリサイクル率向上に向けて

ガラスは、その製造工程を 重油の燃焼による熱に依存しているが、ガラスカレットを入れることにより、重油消費量の削減が期待される。既に、ガラスのリサイクルは、かなり進んでおり、加工工程で出る不要となったガラスのほとんどは、原料としてガラスに再生されており、現在カレットの原料に占める割合は 40・60%程度となっている。

一方、ガラスの透過率を含む、規格に対するユーザーの要求は、厳しくなっており、これに対応するためには、原料に対する規格選別を、厳しくせざるを得ない状況にある。使用するカレットに異なる種類のガラスカレットが、混入すると、製品ガラスの品質の維持が出来なくなる。このため、ガラスをリサイクルするには、リサイクル時に、ガラスの原料情報が容かるシステムの構築が望まれている。

ガラスは、そのまま使用するケースは少なく、接着材により複数のガラスを接着したり、表面に印刷したりして使用されるケースが多い。

今回、委員会として検討されてきた「易解体技術」は、機械的締結を工夫することにより、解体の容易化を図るもので、この検討により、ガラスを使用された製品から外しやすくすることは可能になるが、取り外したガラスを元のガラスにリサイクルするには、表面の印刷物の除去や接着剤で接着されたガラスを剥がす技術の開発が必要となる。

現在、その廃棄量が多い建築、自動車用ガラスについて、表面印刷物をサンドブラストで除去し接着剤で接着したガラスを粉砕して、ガラスだけを取り出す方法他が活発に検討されているが、先に記した、ガラスの種類が難しく、比較的材料の許容範囲が広いガラス繊維の材料としての活用が先行しており、元のガラスへのリサイクルに対する検討は実施されているが、実用化レベルになっているとは言い難い。

前述したとおり、

(1) . ガラス表面の印刷物の除去や接着剤などで接着されたガラスから、ガラスを分別してガラスに戻す開発は、ガラスメーカーで積極的に取り組まれており、一部で 試用されているが、処理費用が、回収されるカレットの価値に対して高く、普及するには、さらなる改良が必要。

(2) . 前述で取り出されたカレットも、ガラスの組成情報が明確でないものはガラスの品質維持の障害となるため、ガラスの原料としては使用できず、比較的 原料に対する規制が少ないガラス繊維の原料として使用されている場合が多い。

より価値の高いカレットを得るためには、ガラスを使用する場合、その原料情報をガラスに記しておくようなシステムが必須である。このような検討は、既に、樹脂材料ではかなり進んでおり、同様の展開が必要である。

以上のように、ガラスのリサイクルについては、ガラスメーカーが進める、製品からガラスを取り外し、ガラスに着けられているものを除去する技術の開発と、ガラスの材料が分かるシステムの構築を両輪として今後進められることが期待されている。

しかし、その検討は樹脂などに比べると遅れており、よって、対象もガラスの使用量の多い建築、自動車が先行しており、製品中に占めるガラスの比率が8%程度のLCDについては、まだ具体的な検討が着手されていないのが現状である。

先に記したとおり、今後、重油使用量の削減、CO₂の排出量削減などの要求が強くなるにつれて、本技術開発はさらに加速され、ガラスへの材料情報の記録に対する規制も検討されることが考えられるが、現段階で、そのシナリオは明確になっていない。

5.2.3 ITO膜

液晶ガラスには、透明電極としてITOが使用されている。このITO中のインジウムが、レアメタルとして、リサイクルの回収対象としてクローズアップされている。

国内におけるインジウムの供給量は、2004年度で721tにのぼる。この内、国内生産量は70t、スクラップの再利用は230tで残りは輸入である。

一方インジウムの用途については、透明電極のITOが470tと全体の65%を占め大きな需要先となっている。(以上データ出典：JOGMEC ホームページ<http://www.jogmec.go.jp/index.html>)

液晶ガラスからのインジウム回収には、大別して以下2つの可能性が考えられる。

なお、以下の回収方法検討に際しては、液晶ガラス中のインジウム品位は200~300ppm程度と仮定し、ガラス中の不純物が与える影響については考慮していない。

(1) 山元還元法

液晶ガラスを山元還元する際にインジウム回収が可能となるのは、錫製錬の溶鉱炉で処理した場合である。

錫とインジウムは親和性がよく、溶鋳炉より産出する粗錫中にインジウムが効率よく濃縮回収される。

ここでの問題点は、錫製錬所が国内に1ヶ所しかないこと、また処理能力が小さくインジウム品位を10倍以上に濃縮してから投入する必要がある点などである。

また、溶鋳炉に投入されたガラスは製錬スラグとなり、ガラスとしてリサイクルできない点にも注意が必要である。

(2) 湿式回収法

液晶ガラス表面のITO被膜を酸などにより溶解し、液化インジウムとして濃縮回収する方法が、現在有効な手段として検討されている。

液晶ガラス中のインジウム品位が低いため、その実現のためには、新規に要素技術の組み合わせを検討・調査の上、設備導入などする必要があるが、湿式処理後のガラスを水平リサイクルできる可能性が出てくる点にこの技術の優位性がある。

そのため、液晶テレビの急激な生産量増加により、将来増大する廃液晶ガラスを総合的にリサイクルするため実用化が急がれる技術である。

第6章 今後の課題及び展開

今回の調査研究は、膨大な製品や部品の中からLCDをターゲットにおき、高度分離・解体技術の調査を行った。本来、循環型製造システムを構築するにあたり、リユース・リサイクルしやすい製品設計や素材構成などを考え、また、回収された製品・部品をいかに効率よく回収し、使える部品や素材をいかに製品製造(動脈)側へ戻せるかが重要なポイントとなる。しかしながら、現実はそのようになっておらず、その原因は、流通コスト高、製品・部品製造の海外からの移転・流入、廃棄する段階での消費者の意識問題等々があげられる。当然技術開発も必要だが、それだけでなく社会システムや制度の充実も必要条件と考える。

とかく環境問題は何から手をつければ良いのか、また、卵鶏論的に何を優先するのかで議論が空転する状況が多い。まず、取り組むことの重要性を認知し、問題意識を共有化することで循環型製造システム、すなわちインパース・マニュファクチャリングの実現を目指していくべきかと考えている。

LCD調査では、特に有害物質の将来的な影響問題が明らかになった。また、国内では2009年施行の家電リサイクル法や2011年地上波完全デジタル化による旧製品の買換需要等を考慮し、前倒しの調査や開発、制度検討を行わなければならない。それらの解決するための取り組むべく社会システムや技術開発を、その時の最先端技術等を利用し解決していくためには、要素技術のその場限りの開発ではなく、製品・システム単位で取り組むべき事項を整理し、戦略的な技術ロードマップを描く必要がある。

平成16年度16分野の技術ロードマップ、技術マップ、導入シナリオを作成した経済産業省は、平成17年度その見直しを行っており、今後毎年または定期的なローリング(見直し)を行う予定でいる。その中で現在の技術ロードマップでは今回調査研究対象のLCD等へ対応は、2010年以降の展開となっており、上述の状況では、問題が顕在化してからの後手後手対応になると予想せざるを得ない。今回本調査研究で作成した技術ロードマップを基に、早期の対応を図るべくシステムや制度、技術開発の提案を国に対して行っていきたいと考えている。

・ 禁無断転載 ・

システム技術開発調査研究 17・R・13

L C D分離・解体技術に関する調査研究報告書
・ 要 旨 ・

平成18年3月

作 成 財団法人 機械システム振興協会
東京都港区三田一丁目4番28号
TEL 03(3454)1311

委託先 財団法人 製造科学技術センター
東京都港区虎ノ門三丁目11番15号
TEL 03(5472)2561