

平成14年度 調査研究報告書

平成14年度
インバース・マニュファクチャリング
フォーラム調査研究報告書

平成15年3月

財団法人 製造科学技術センター

目次

■ 活動概要

1. 調査研究の目的	1
2. 活動体制	2
3. 委員会活動	3
4. 普及・啓発活動	9

■ フォーラム委員会の活動

I. 企画委員会

I-1 循環型環境製造技術体系化部会

1. はじめに	10
2. QFDによる環境製造技術体系化	11
3. 自動車産業への応用迅速循環の環境への影響	13
4. 数量化IV類による解析	15
5. フォールトツリーによる体系化	19
6. リユースに関する技術開発動向	23
7. 経済的視点からの技術の展望	23
8. トップダウンアプローチ	25
9. まとめ	26

I-2 カスケードリユース調査部会

1. 調査の目的	28
2. 調査の内容	28
3. リユース事業の現状と問題点	29
4. ユース事業等の問題点の整理	38
5. 課題の抽出	42
6. カスケードリユースモデルの検討	44

II. ビジョン構築委員会

1. ビジョン構築委員会の趣旨	49
2. インバース・マニユファクチャリングをめぐる情勢	61
3. 講演会の開催	91
4. インバースビジョンの構築に向けて	97
5. インバース・マニユファクチャリング実現に向けた提言	119

III. インバース情報調査広報委員会	123
リサイクル推進関連予算の概要	124

活動概要

1. 調査研究の目的

近年、日本国内においては、廃棄物の量的増大と質的变化が生産環境及び住環境に大きな影響を及ぼしつつあり、焼却能力を超える大量の廃棄物の発生、最終処分埋立地の不足、処理が困難な廃棄物などによって、環境の悪化、廃棄物処理費用の負担増が国民生活や企業活動への制約につながる事が懸念されている。このような状況の中で、21世紀に向けて、活発な生産活動を持続しながら、環境悪化を引き起こすことなく資源の有効利用を図り、かつ、経済性を保持するためには、環境共生型の経済社会の構築が不可欠となっている。

このため、自然環境に放出することにより浄化を期待するという、現在の生産活動、すなわち「設計→生産→使用→廃棄」といった、順工程に注目した生産システムから、「回収→分解・選別→再利用→生産」といった、逆工程も重視した循環の製品ライフサイクルを前提とする新たなモノ作りへの転換が望まれており、そのため、従来、廃棄されていた使用済み製品を回収し、製品、コンポーネント、部品、材料の形で効果的に再利用する製造技術体系、すなわち「インバース・マニュファクチャリングシステム」の確立を目指すことが必要となってきた。

このような社会的要請に対し、通商産業省（現 経済産業省）でも、閣議決定された「経済構造の変革と創造のための行動計画」に掲げられているように、平成8年度から「リサイクルを意識した生産システム（インバース・マニュファクチャリングシステム）の開発」を予算化して、具体的な政策展開を進めてきた。

以上のような考え方を実際の製品設計及び製造プロセスに導入するとともに、社会全体の潮流としていくために、平成8年12月、（財）製造科学技術センター内にインバース・マニュファクチャリングフォーラムを設置した。このフォーラムを母体として広く産業界全体、学界、行政が一体となって議論を行い、循環型社会構築のため、技術面からの具体的な調査研究を進めようというものである。

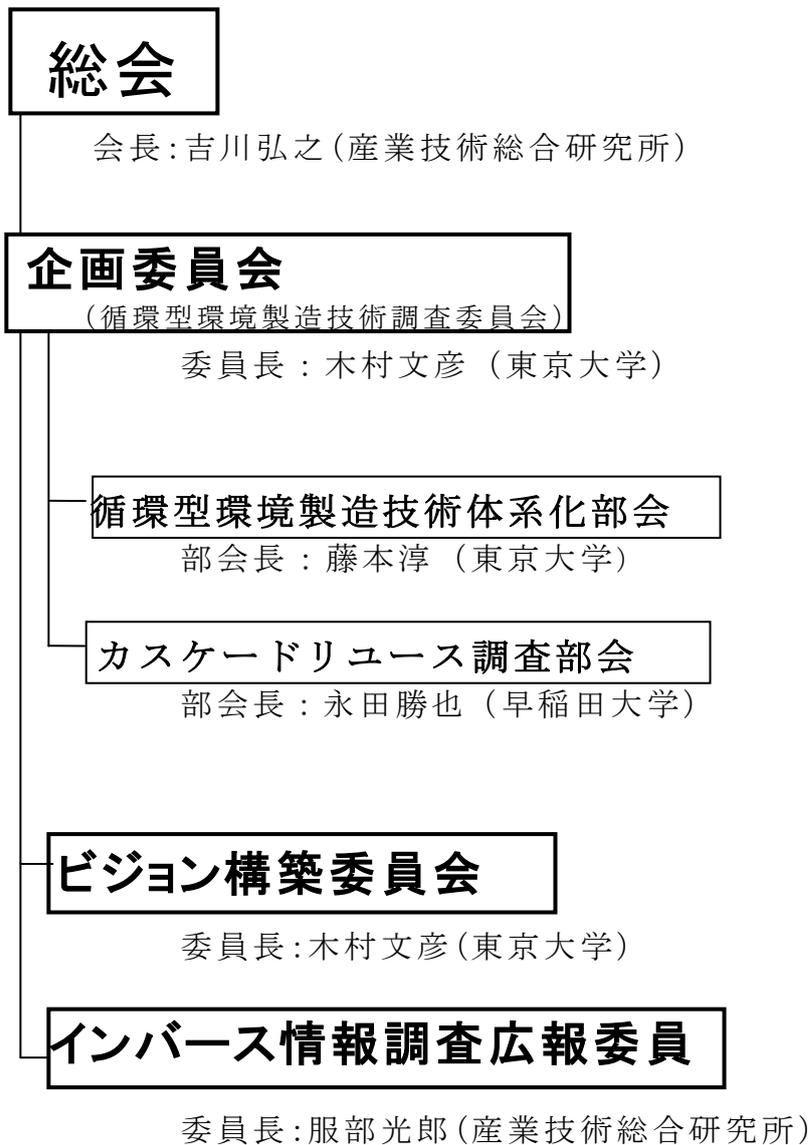
これまでに、進化型プロダクトとしての家庭用情報端末、インバース・マニュファクチャリング製品情報システム、新環境評価手法Eco-Efficiency Potential Assessment、ライフサイクル設計での課題、回収物流の分類整理、迅速循環の効果算定などをはじめとして、フォーラムとしての様々な成果が得られた。

一方、平成12年5月には、循環型社会形成推進基本法が成立、前後して、容器包装リサイクル法、家電リサイクル法、建設リサイクル法が施行され、自動車リサイクル法が準備されて来た。平成15年3月には循環型社会推進基本計画が閣議決定された。このように、我が国においても、持続可能な経済社会の構築に向けた取り組みが本格化してきており、当フォーラムへの期待も大きくなっている。

2. 活動体制

ライフサイクル設計委員会、新環境評価委員会は昨年度で終了し、企画委員会のもとでは、インバース型人工物システムタスクフォースが昨年度で終了し、本年度新たに、循環型環境製造技術調査委員会（企画委員会）のもとに、循環型環境製造技術体系化部会、カスケードリユース調査部会が新設され、また、インバース情報調査広報委員会が発足した。

平成14年度活動体制



3. 委員会活動

3. 1 委員名簿

企画委員会
(循環型環境製造技術調査委員会)

(順不同)

委員長

木村 文彦 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

木村 達也 NTTアドバンステクノロジー(株) シニア・アドバイザー
大見 孝吉 独立行政法人 産業技術総合研究所 国際部門 国際関係室 シニアリサーチャー
池田 三郎 筑波大学 社会工学系 教授
加藤 悟 東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 助手
馬場 靖憲 東京大学 先端経済工学研究センター 教授
藤本 淳 東京大学 先端科学技術研究センター 特任教授
梅田 靖 東京都立大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 助教授
永田 勝也 早稲田大学 理工学部 機械工学科 教授
山内 進吾 石川島播磨重工業(株) 技術開発本部 技監
木村 均 (株)荏原製作所 営業本部 総合事業統括・企画業務部長
三原 真一 (株)クボタ 技術開発本部 技術企画部 部長
後藤 輝正 シャープ(株) 生産技術開発推進本部 生産技術開発センター 研究開発推進室 室長
高松 信彦 新日本製鐵(株) 技術総括部 部長代理 技術総括グループ マネージャー
石森 義雄 (株)東芝 研究開発センター 新機能デバイスラボラトリ 研究主幹
山本 司 トヨタ自動車(株) 環境部 BRリサイクル法制化準備室 室長
高橋 哲哉 日産自動車(株) 先行技術開発本部 技術企画部 主管
国井 茂樹 (株)日立製作所 システム事業部 公共・社会システム本部 環境情報システムセンタ センタ長
渡辺 富夫 富士ゼロックス(株) アセット・リカバリー・マネジメント統括部 統括部長
十河 正親 松下電器産業(株) 生産技術本部 環境生産技術研究所 参事
相川 良雄 三菱マテリアル(株) 総合研究所 大宮研究センター 資源環境研究部 部長

オブザーバ

吉田健一郎 経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐
松下 公一 経済産業省 製造産業局 産業機械課 係長

循環型環境製造技術調査委員会 循環型環境製造技術体系化部会

(順不同)

部会長

藤本 淳 東京大学 先端科学技術研究センター 特任教授

委員

岡村 宏 芝浦工業大学 システム工学部 機械制御システム学科 教授

加藤 悟 東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 助手

梅田 靖 東京都立大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 助教授

遠藤 茂寿 独立行政法人 産業技術総合研究所 環境調和技術研究部門 再資源化グループ リーダー

小林 幹男 独立行政法人 産業技術総合研究所 環境調和技術研究部門 総括研究員

増井慶次郎 独立行政法人 産業技術総合研究所 機械システム研究部門 循環型生産システム研究グループ
研究員

山際 康之 ソニー(株) MNC 実装推進部 課長

伊藤 聡 (株)東芝 研究開発センター 新機能材料デバイスラボラトリー 研究主幹

三津石源一 日本MH協会 常務理事

石田 智利 (株)日立製作所 研究開発本部 日立研究所 情報制御第六研究部 主任研究員

オブザーバ

吉田健一郎 経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐

松下 公一 経済産業省 製造産業局 産業機械課 係長

干臺 俊 経済産業省 製造産業局 産業機械課

循環型環境製造技術調査委員会 カスケードリユース調査部会

(順不同)

部会長

永田 勝也 早稲田大学 理工学部 機械工学科 教授

委員

岡村 宏 芝浦工業大学 システム工学部 機械制御システム学科 教授

梅田 靖 東京都立大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 助教授

近藤 康雄 鳥取大学大学院 工学研究科 情報生産工学専攻 生産環境システム講座 助教授

臼井 慎一 オリックス(株) 資産管理部 部長

三岡 美樹 オリックス環境(株) 営業推進部 管理課長

福屋 二郎 キンキパートナーズ(株) 営業本部 本部長

小泉 善実 (株)啓愛社 専務取締役

神崎 浩 東電環境エンジニアリング(株) OA事業部 副部長

樋口 義弘 日本自動販売機工業会 技術部 主管

木村 幸雄 富士電機(株) 流通機器システムカンパニー 三重工場 開発第一部 マネージャー

吉田 啓一 松下電器産業(株) 環境本部 渉外・管理チーム 副参事

丹尾 泉 (株)ミスターコンセント 代表取締役 社長

清水 信夫 (株)ユーパーツ 代表取締役 社長

愛澤 政仁 ミクニヤ環境システム研究所(株) 代表取締役 所長

浅岡 建 ミクニヤ環境システム研究所(株)

オブザーバ

吉田健一郎 経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐

松下 公一 経済産業省 製造産業局 産業機械課 係長

干臺 俊 経済産業省 製造産業局 産業機械課

インバース・マニファクチャリングフォーラム ビジョン構築委員会

(順不同)

委員長

木村 文彦 東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 教授

副委員長

加藤 悟 東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 助手

委員

岡村 宏 芝浦工業大学 システム工学部 機械制御システム学科 教授

近藤 康雄 鳥取大学大学院 工学研究科 情報生産工学専攻 生産環境システム講座 助教授

高橋 淳 東京大学大学院 工学系研究科 環境海洋工学専攻 助教授

中西 友子 東京大学大学院 農学生命科学研究科 応用生命化学専攻 教授

馬場 靖憲 東京大学 先端経済工学研究センター 教授

藤本 淳 東京大学 先端科学技術研究センター 特任教授

梅田 靖 東京都立大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 助教授

服部 光郎 独立行政法人 産業技術総合研究所 機械システム研究部門 総括研究員

外山 良成 石川島播磨重工業(株) 技術開発本部 技術企画部 ナショナルプロジェクトグループ 課長

朝倉 紘治 (財)エンジニアリング振興協会 研究理事

大佐 茂和 (株)クボタ 技術開発本部 技術企画部 課長

西尾 清明 新日本製鐵(株) 技術総括部 技術総括グループ マネージャー

酒井 康一 ソニー(株)(ソニー教育財団 参事)

岡本 政弘 豊田工機(株) 技術研究所 研究開発センター 主査

三津石源一 日本MH協会 常務理事

岡本 享二 日本アイ・ビー・エム(株) 本社・環境 副部長

猪子 正邦 日本鋼管(株) 技術開発本部 技術企画部 主幹

上木 将雄 (社)ビジネス機械・情報システム産業協会(キャノン(株) 環境技術センター 環境企画部 課長)

国井 茂樹 (株)日立製作所 システム事業部 公共・社会システム本部 環境情報システムセンタ センタ長

渡辺 富夫 富士ゼロックス(株) アセット・リカバリー・マネジメント統括部 部長

十河 正親 松下電器産業(株) 生産技術本部 環境生産技術研究所 参事

上野 潔 三菱電機(株) リビング・デジタルメディア事業本部 渉外部 技術担当部長

片桐 知己 三菱マテリアル(株) 地球環境・エネルギーカンパニー 環境事業室 室長補佐

早川 勇一 (株)明電舎 環境事業本部 環境システム事業部 技術部 技術第二課 主管技師

オブザーバ

吉田健一郎 経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐

松下 公一 経済産業省 製造産業局 産業機械課 係長

インバース・マニュファクチャリングフォーラム 情報調査広報委員会

(順不同)

委員長

服部 光郎 独立行政法人 産業技術総合研究所 機械システム研究部門 総括研究員

委員

外山 良成 石川島播磨重工業(株) 技術開発本部 技術企画部 ナショナルプロジェクトグループ 課長

梅垣 淳一 日本電気(株) 生産技術研究所 環境エキスパート

片桐 知己 三菱マテリアル(株) 地球環境・エネルギーカンパニー 環境事業室 室長補佐

オブザーバ

吉田健一郎 経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐

松下 公一 経済産業省 製造産業局 産業機械課 係長

3. 2 委員会及びワーキンググループ開催状況（回数は平成14年度として表示）

（1）総会

平成14年 6月5日

（2）企画委員会

第1回 平成14年 4月 2日

第2回 平成14年 5月10日

（第3回、第4回は循環型環境製造技術調査委員会の第1回、第2回として開催）

（3）循環型環境製造技術調査委員会

第1回 平成14年 9月20日

第2回 平成15年 3月 4日

（4）循環型環境製造技術体系化部会

第1回 平成14年 7月30日

第2回 平成14年 9月 9日

第3回 平成14年10月16日

第4回 平成14年11月18日

第5回 平成15年 1月15日

第6回 平成15年 2月28日

（5）カスケードリユース調査部会

第1回 平成14年 8月 5日

第2回 平成14年 9月25日

第3回 平成14年11月 6日

第4回 平成14年12月11日

第5回 平成15年 2月17日

（6）ビジョン構築委員会

第1回 平成14年 5月23日

第2回 平成14年 9月17日

第3回 平成14年10月29日

第4回 平成14年11月22日

第5回 平成14年12月20日

第6回 平成15年 1月23日

第7回 平成15年 3月 4日

（7）情報調査広報委員会

第1回 平成14年10月29日

4. 普及・啓発活動

平成14年度は、インバース・マニュファクチャリングの普及啓発活動として以下のような活動を行った。

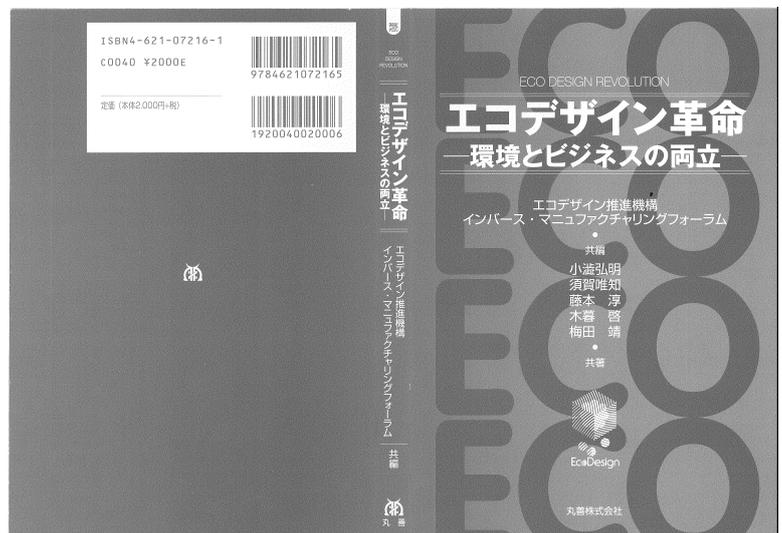
4.1 外部発表

平成12年12月5日、6日に日本科学未来館で開催された「エコデザイン2002」ジャパンシンポジウムにおいて、当フォーラムのインバース型人工物システムタスクフォースでの成果（主に平成13年度の活動）を発表した。

- ・迅速循環による地球温暖化防止の可能性—第1報 コンセンサスと評価結果—
藤本淳（東京大学）、小林英樹（東芝）、梅田靖（東京都立大学）、石田智利（日立製作所）、山際康之（東京大学）、増井慶次郎（産業技術総合研究所）
- ・迅速循環による地球温暖化防止の可能性—第2報 最適更新年数のモデル化—
梅田靖（東京都立大学）、石田智利（日立製作所）、藤本淳（東京大学）、小林英樹（東芝）、山際康之（東京大学）、増井慶次郎（産業技術総合研究所）
- ・迅速循環による地球温暖化防止の可能性—第3報 社会経済へのインパクト—
増井慶次郎（産業技術総合研究所）、山際康之（東京大学）、藤本淳（東京大学）、小林英樹（東芝）、梅田靖（東京都立大学）、石田智利（日立製作所）

4.2 出版

エコデザイン推進機構とインバース・マニュファクチャリングフォーラムの共編の形で、丸善株式会社から出版した「エコデザイン革命—環境とビジネスの両立—」の中に、これまでのフォーラムの成果の一部を記載した。（平成15年3月31日発行）



4.3 ニュースレターの発行

第12号（平成14年7月5日発行）

第13号（平成14年12月24日発行）

フォーラム委員会の活動

I . 企画委員会

(循環型環境製造技術調査委員会)

循環型環境製造技術体系化部会

I. 循環型製環境造技術体系化部会

1. はじめに

機械システム振興協会からの平成14年度受託「リユース拡大技術の調査研究」では、全体を統括する、循環型環境製造技術調査委員会のもとに、循環型環境製造技術体系化部会とカスケードリユース調査部会を設置して1年間活動を行ってきた。

我が国において、循環型社会基本法のもとで、3R（Reduce, Reuse, Recycle）の普及が進められており、その中でもリユースは、有限資源の有効利用という観点からも重要性が認識されているが、実際にはそれほど多くのリユースは実施されていない。この部会による今回の調査研究の目的は、いままで限られた範囲の中で進められていたリユースを拡大発展させるために、どのような技術が必要かを体系的に整理することにある。

具体的には、以下の手順で検討を進めた。

- 1) 品質機能展開（QFD）の手法を利用し、環境ニーズとそれを満たす技術を対応させ、現状の技術開発レベルや環境問題の重要性から、今後必要となる技術課題を抽出する。
- 2) フォールトツリー（Fault Tree）解析により、循環型社会形成を阻害するあらゆる原因事象を、論理ゲートを利用してツリー状に記述し、今後重要となる取組みを明らかにする。
- 3) リユース促進技術として、寿命予測、洗浄、易分解設計、およびモジュール設計（標準化、ユニット化）技術を選択し、それら分野の技術開発の状況を詳細に調査し、必要となる技術を明確にする。
- 4) 経済性（コスト、ベネフィット）の観点より技術を整理し、必要な技術開発課題を抽出する。
- 5) 循環型経済社会の形成において、メーカー、ユーザ、回収・廃棄業者が果たすべき役割から必要な技術開発課題を抽出する。

QFD（Quality Function Development）による関連技術の重み付けでは、ライフサイクル設計、再生品流通、材料関係の技術、選別技術などの重要性を指摘した。また、FT（Fault Tree）解析では、リユースがうまくいかない理由を検討した結果、技術、社会制度、ビジネス、消費者意識の有機的結合が必要なことが判明した。リユース促進技術に関しては、特許を中心に調査して、現状の技術レベルを明らかにした。経済性に関しては、家電4品目の処理に必要なコストが、エアコンを除く3品目（テレビ、冷蔵庫、洗濯機）で再処理化料金以上になっていること推算した。循環型社会に必要な技術開発課題は、QFD、FTから指摘された技術の他に、製品の使用者が製品をきちんと管理、メンテナンスして、後の利用や処理に都合の良いように、分別して回収に出すようにさせるための技術が重要であるということになった。製品の一生である、設計、製造、使用、（廃棄）回収、処理において、リユース、リサイクルの循環ループを完成させるためには、使用の段階でオープンループにならないための（技術も含む）しくみ、しかけが重要になってくることが指摘された。

2. QFD (Quality Function Development) による環境製造技術の体系化

QFD は、2 元表により、品質と機能のように異なる要素間の関連を示すもので、今回は環境負荷低減のためのニーズとそれを解決するための技術との関連づけを行った。その結果を、表 I-1 示す。

作業手順としては、

i. 環境に対する顧客要求の抽出

社会全体、消費者、企業など異なる集団からの要求項目を縦軸に並べた。

ii. 技術項目の抽出

循環のための基本技術である材料の開発から製造、販売、使用、回収、再生、流通までの他に、教育および法規制を抽出して横軸に並べた。

iii. 目標レベルの設定とウエートの計算

要求項目の重要度、現状の実現レベルを設定し、それを参考にして、5 年後、10 年後に目標とすべきレベルを設定した。現状レベルまではできるだけ客観化した。目標レベルには、主観（意思）が入っている。レベルアップは、目標レベル／現状レベル、5 年後、10 年後のウエートは、目標レベルとレベルアップの積として定まる。

iv. 相関マトリックスの設定と技術重要度の計算

要求項目と技術項目の相関関係をマトリックスに設定し、要求項目達成のためには、その技術がどの程度必要かを、5 段階で算定した。その値とウエートの積が、5 年後、10 年後の重要度の値となる。

この結果、5 年後、10 年後ともに、従来から重要と認識されていた材料開発、材料選別技術のほか、(a)循環を意識した設計技術、(b)再生品の利用、流通を進める技術が重要であることがわかった。(a)は単なる製品の設計に加えて、製品の循環方法自体の設計やそれに適した製品のあり方などの設計である。これはビジネス設計に近い。(b)は需要と供給をマッチングさせ再生品を有効活用する技術である。その中でもマッチする分野を探し出し、有効性を判断すること自体の重要度が高いことがわかった。これはビジネス開拓に相当する。いわゆる工学的な技術以上にビジネス開拓が重要なフェーズに入っていることがわかった。

表 I -1 QFD

3. 自動車産業への応用

自動車産業は、グローバル市場での製品戦略が生き残りのために重要になっている。即ち、商品力向上や環境問題をはじめとする社会的要求を満たすため新車の開発コストは膨大になり、地球規模の技術的統合、連携、協業が進んでいる。これらにより、各種の技術的イノベーションに関する開発コストリスクのシェアが可能となる。と同時に、各国市場における固有のモータリゼーション文化への適合も避けて通れなくなっている。以上のようなグローバル化とカスタマイゼーションが同時進行するような製品開発では、個別のニーズが相反するものが多く、それらをいかに克服するかが問われている。このような、相反する多くの課題をクリアするためには、既存のコンセプトや構造の踏襲による設計段階での手直しや製造工程の改善のレベルでは対応できず

- 1) 車全体での基本コンセプトや基本構造・レイアウトの互換性設計や最適化手法
- 2) 高付加価値機能コンポーネントの開発などのイノベーション改革
- 3) 厳しい構造への要求を実現する新しい機能材料の開発

等が、今後は更に重要である。よって、開発上流における最適化手法などの開発手法が注目され、更に上述の3項目の順番に沿ったマクロからマイクロへのニーズの明確な提示とその成果が必要となる。ここでの主題である自動車製品の循環型への対応としても、同様に避けては通ることができない。表Aでのリユースに関する機能展開では、キーテクノロジーとして、これら開発上流での各種開発手法の確立が重要であることが分かる。

表I-2による5年後や10年後の技術マップの予測としては、両者ともほぼ同じ分布をしており、その方向性には、あまり変化がみられない。即ち、燃料電池の普及など大きなインパクトがあるテクノロジーは、更に長いスパンの開発期間が必要とされており、この10年で実現を期待できることは、デジタル化などのIT技術の社会への普及あたりである。即ち、大きなベクトルの変更を誘発するような画期的なテクノロジー手法の出現は期待されていないことを示している。それよりも、社会の動きやユーザ層の購入後の使用過程への積極的な働きかけや逆の影響を正視した新しい視点でのキーテクノロジーを考慮してゆかなければいけない時代である。

表I-2の分析結果より、

- ① 材料工学での高付加価値となる機能材料開発への期待は大きい。
(開発設計者から新材料開発者への明確なニーズ伝達、即ちマクロからマイクロへのシフト)
 - ② 3R設計を基盤とした各種開発設計法、最適化手法が期待されている。
 - ③ 循環型社会への顧客の関心も含めた顧客のニーズに対する積極的アプローチ。
(使う側から見た文化や考え方、ものを大切にやグリーン志向などへのアプローチも)
 - ④ 製品使用過程での顧客、製品の情報把握、サービス・支援システムの整備が重要となる。
 - ⑤ 市場での付加価値を誘導するためにも、法的、税的施策も不可欠である。
- などが抽出された。

表 I -2 自動車 QFD

4. 数量化Ⅳ類による解析

QFD は「技術的課題の抽出をすることで（環境適合性）要求を満たすにはどうしたらよいか」を示すことはできるが、それぞれの技術課題の体系化を行うことは難しい。例えば、ある要求を満たすための技術課題は決して一つではない。全く視点の異なる技術課題であっても、要求に対してほぼ同じように貢献できる技術群が存在する。このような場合には、必ずしもその技術群のすべての技術開発を推進する必要はなく、その技術群の中で困難度の低いものから着手することで、要求を満たしていくことが可能である。このような観点から技術を整理・体系化することは従来から求められてきたものの、システムチックに解決する方法はこれまで提案されてこなかった。

数量化Ⅳ類（Quantification Theory type IV）は、いくつかの分析対象物があり、その任意の2つの間に「似ている程度」あるいは「似ていない程度」が量として与えられているとき、それを手がかりに直線上、平面上、空間上に各対象物をプロットし、視覚化を図る手法である。この手法では、「似ている程度」である「近親性」をデータとしてこのデータ解析をすることによって対象物の得点化を行う。この得点化された値を「固有ベクトル」と呼んでいる。

近親性を示す方法には、単相関係数を用いる方法、一致度数を用いる方法、クロス集計表を用いる方法などがある。単相関係数を用いる方法では、変数相互の単相関係数を近親性として分析する。分析においては、近親性行列から項目間の距離を算出して用いるため、近親性を単相関係数(γ)で示した場合には、1から単相関係数を引いた値($d_{ij} = 1 - \gamma$)を用いることになる。

求める対象物の固有ベクトルを x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) とすると、

$$Q = \sum_i^n \sum_j^n d_{ij} (x_i - x_j)^2 \quad (i \neq j)$$

を最大にするように $\{x_j\}$ を求めることになる。上式をラグランジュ未定乗数法を用いて展開し、 x_j で偏微分することで、固有ベクトルを算出するのがこの手法である。今回は、数量化に関するパッケージソフトを利用して、この計算を行った。

QFD（表 I-1）の各技術をベクトルとして、そのまま数量化Ⅳ類によって分析すると、消費者教育、法規制政策、税制に関する社会制度的技術だけが、他の技術と大きく異なることが示された。これらは、循環型社会構築を目指す企業の要求のうち、ビジネスとして認められるという要求に独立的に直接関係する技術であり、他の技術とは大きく異なっていることが明らかとなった。更に詳細に技術体系化を行うために、これら3つの技術を除いて、数量化Ⅳ類により分析を行った。

税制、法規制、消費者教育の3つを取り除いて分析を行った結果、異常診断技術と使用履歴管理技術が他の技術と大きく異なることが明らかとなった。どちらも社会的要求である地球環境への負荷低減には直接結びつかず、「ユーザが製品を安心して使える」という要求を主に満たす技術である。再度さらに異常診断技術と使用履歴管理技術を除いて数量化Ⅳ類による分析を行った。

全部で5つの技術を除外して分析した結果を I-1 図に示した。また、QFD により10年後の重要度が高いもの10個に丸を付した。この分析によると、技術に5つぐらいの領域が

図 I -1 環境技術の類似度

あることがわかる。一つは、一番下中央のかたまりで、主に省エネルギーを目指した技術群である。この中には、材料・設計・使用各分野での省エネ技術が集中している。次の技術群は中央の少し右下の資源節約を目指した技術群である。ここには、歩留まり向上やリサイクル材料開発、再利用梱包材開発など資源・廃棄物問題に対応した技術群が含まれている。次に、その少し上の集中していて丸で囲った技術群である。ここに含まれる技術群は特に特徴はないが、様々な分野に応用が可能な基礎技術であると言える。さらに右上の領域にある技術群は、販路開発、需給マッチング、利用可能性判定、余寿命判定技術など再生品流通に強く関係する技術である。最後の技術群は左上に位置するもので、ライフサイクル設計、多世代設計、部品共通化設計などの設計技術である。これに、法規制・税制と、使用履歴・異常診断技術を加えた7つの技術群があることが明らかとなった。

それぞれの技術分野で、将来的に重要視されている個別技術があり、この技術を推進することで、目標達成の視点から、その個別技術の近くにプロットされる技術を代替することができるといえる。特に重要視されている技術群は、利用可能性判定や需給マッチングなどの再生品流通に関する技術である。逆に重要視されていない技術は単純に資源節約、エネルギー節約に関する技術である。

このことから、今後必要になってくる技術は、多世代設計などのライフサイクル設計技術と、利用可能性判定や需給マッチング技術などの再生品流通に関する技術であることが明らかになった。

次に「自動車に関する環境 QFD」についても、同様の分析を行った。(図 I-2) 今回の分析は一回目で、おおよそすべての技術がほどよく分散した図が得られた。しかし、先ほどのような明確な技術領域はあまり見いだせなかった。

それでも、一番上の最適化設計という設計に関する技術、右の方に散在するメンテナンス管理や異常診断技術、使用チュートリアルという使用段階の質の高いサービス提供に着目した技術群、左中央の高機能材料開発や材料選択支援技術などの材料関係で、様々な要求に対応できる汎用性の高い技術群、などがあることが明らかとなった。

この分析の場合では、特に重要視されている技術群は、多世代設計などのライフサイクル設計技術と、使用段階でいかに適切なサービスを供給するかという異常診断技術やメンテナンス管理技術であることが明らかになった。

自動車の分野では、中古車流通は活発に行われており、再生品流通に関する技術はあまり重要視されておらず、すでに存在する技術のため特徴付けがあまり明確になされていない。また、最初の汎用性 QFD に比べて、自動車を例にしたことで、技術や要求が、具体的に読み替えられているが、このときに、概念が多少変わってしまったことが影響しているとも考えられる。

図 I -2 自動車に関する技術の類似度

5. フォールトツリー (Fault Tree) による体系化

“リユースの失敗原因に関するブレインストーミング”を行い、KJ法を用いてグルーピングした結果を図 I-3 に示す。これに基づき、を参考に作成した。FT 図は“循環型社会構築失敗”の FT 図を作成し、その原因を細分化・詳細化して記述した(図 I-4 から図 I-7)。記述に際しては、一般的に FT 図の作成に用いられる記号(論理積、論理和、中間事象、基本事象、未展開事象)を使用した¹⁾。また複数の中間事象に基本事象が現れる場合には、技術的により低位な中間事象に基本事象を記述した。

(1) FT 図概略

循環型社会は、ただ資源が循環すればよいというわけではなく、“二酸化炭素排出量増大”や“有害物質拡散”の防止なども考慮しなければならない。しかしながら、循環型社会構築失敗の最大の原因は“廃棄物量増大”であり、これを中心に展開していった。“廃棄物量増大”は“原材料投入量増大”かつ“リサイクル率が低い”ときに起きる事象である。“原材料投入量増大(図 I-4 参照)”に対する対策としては、3Rのうちリデュースが対応しており、メーカーでも個別の改善が行われている。“リサイクル率が低い”原因について分析した結果を図 I-5 に示す。原因としては、大きく分けて“製品回収量の低下”および“1台当たりのリサイクル率の低下”が挙げられる。“製品の回収量の低下”については、ユーザーのライフスタイルや環境意識などにも大きく影響される要因であり、生活習慣や社会システムの変革を必要とする問題である。そこで今回は“1台当たりのリサイクル率の低下”を、現在考え得る技術課題として深く掘り下げる。“1台当たりのリサイクル率の低下”は、“リユースできない”、かつ“マテリアルリサイクルできない”、さらに“サーマルリサイクルできない”場合に起こる。また現在、使用済み製品のリサイクルの多くは、マテリアルリサイクルまたはサーマルリサイクルであり、リユースの促進は今後の課題とされている。

これまでインバース・マニュファクチャリングフォーラムでは、より付加価値の高い状態での、そしてより環境負荷低減効果の大きい資源循環の方法として、リユースについて研究してきた。“リユースできない”原因(図 I-6 参照)には、“製品としてリユースできない”場合と、“部品としてリユースできない”場合がある。

(2) 製品としてリユースできない原因

図 I-6 を見ると、“製品としてリユースできない”原因の一つに中古品の需給バランスの悪さが示されている。基本原因の“事業規模が小さい”ために、“中古品は市場性が乏しい”ことが原因である。これまでの部会での議論でも、「規模が小さいから高い収益性が確保できているのであり、製造業のようなスケールメリットは期待できない」という指摘があった。したがって、製品としてリユースする場合には、地域ごとに小規模な形態で数多く流通の場を設けることが望ましい。そのため、

- 中古製品の再生・販売業のノウハウの蓄積によるフランチャイズ展開
 - 中古製品の卸売市場の整備
 - 中古製品の販売価格等適正化のための情報提供
- が必要と思われる。

図 I -3 リユースの障害

FT 図

図 I -4 循環型社会構築の失敗原因

図 I -5 リサイクル率が低い原因

F T 図

図 I -6 リユースできない原因

図 I -7 部品リユースができない原因

(3) 部品としてリユースできない原因

“部品としてリユースできない”原因としては、“次世代製品で利用できない”、“新造品で利用できない”、“補修部品として利用できない”が挙げられる。カスケード的な利用法ではなく、部品の機能を最大限に活用し製品に再利用するためには、“部品の品質保証”が鍵となる(図 I-7)。この品質保証において現在最も困難とされていることは、部品の“余寿命がわからない”ことである。これは基本事象である、検査による“余寿命判定の精度が悪い”かつ“部品の履歴が不明”であるために管理ができないことに起因する。

したがって、製品の回収期間等時間的な不確定要素は残るが、直近の課題としては、

- 余寿命判定技術の確立、または、
- 部品履歴管理技術の確立

が急務であると思われる。

参考文献

- 1) グローバルスタンダード時代における実践 FMEA 手法—品質管理と信頼性, 保全性, 安全性解析—、小野寺勝重、日科技連出版社、1998

6. リユースに関する技術開発動向

リユース技術として、洗浄、易分解性設計、モジュール設計、寿命予測の4つの技術分野を取り上げ、現状の技術開発の状況をまとめた。既存の環境技術という枠組みにとらわれずに、本来リユースの技術でないものを適用する可能性も想定した。洗浄、および寿命診断技術の分野で開発が必要な技術が比較的多く存在することが明らかとなった。このうち寿命予測技術に関しては、極めて個別的に技術開発が行われ、一般化、体系化されていない現状が見て取れる。(本報告書の資料編参照)

7. 経済的視点からの技術の整理

技術開発の目的を経済的視点から考えると、リサイクルコスト削減とリサイクル価値向上に分類できる。

図 I-8 は、現状の家電リサイクルシステムの調査より推測したコスト構成比である。リサイクルコストの試算値は、テレビで1,927円/台、冷蔵庫で3,280円/台、洗濯機で1,910円、エアコンで2,912円/台となった。どの製品も輸送費が大きな割合を占めていることが分かる。また手分解工程の多いテレビでは手分解コスト(人件費)が、また機械による処理が多い冷蔵庫、洗濯機、エアコンについては機械コストが高くなっている。

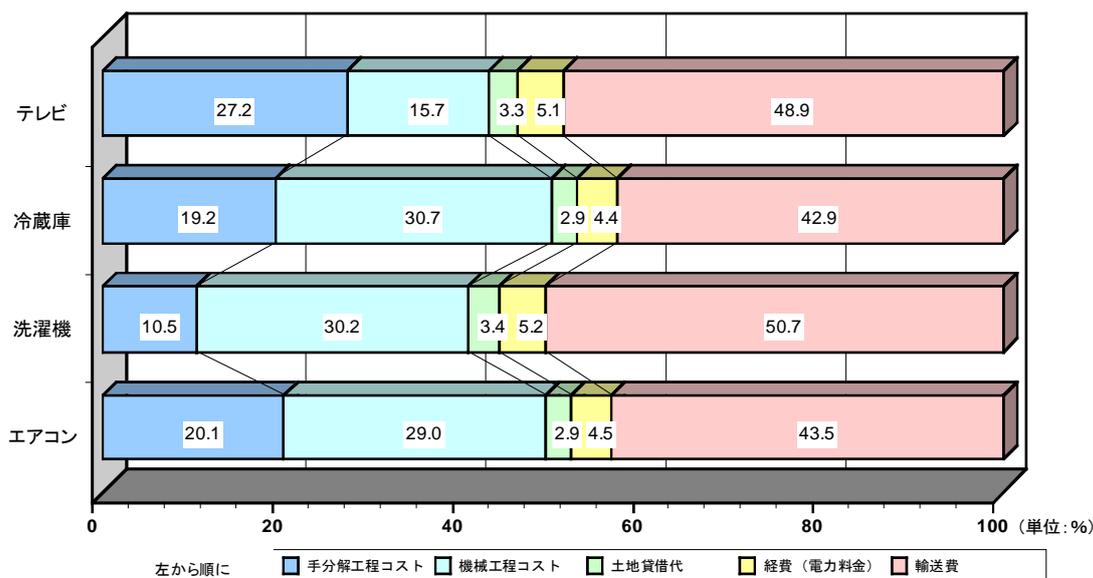


図 I-8 家電 4 品目のコスト構成

表 I-3 家電 4 品目の収益 (単位: 円)

	再処理化 料金	材料価値		リユース
		有価物売却益	バージン材料価格	
テレビ	2,700	-106	4,783	50,000
冷蔵庫	4,600	-345	6,495	100,000
洗濯機	2,400	-393	2,972	50,000
エアコン	3,500	1,235	5,910	100,000

表 I-3 は、リサイクルによる収益を推定したものである。まず、リサイクル時に消費者が支払う、再商品化代金が収入として挙げられる。次に、製品からの有価物回収・売却による収入が考えられる (有価物売却益)。スクラップ価格を低めに設定したことや埋立処分にかかる費用から、エアコンを除く三品目は全てマイナスとなっている。現状のリサイクルでは再商品化代金のように消費者から料金を徴収しないと事業として成立しないことが明らかである。表には、バージン材単価で試算した結果も合わせて示した。製品でプラスチック類の割合が高い冷蔵庫や洗濯機については、バージン材と同レベルでマテリアルリサイクルが可能となれば、大きく収益が増加することを示している。更に、部品や製品のリユースを実現できれば、材料価値よりもさらに高い収益 (最大値は製品売価) を得ることが可能となる。

以上の試算結果より、重要となる技術分野を抽出すると、コスト削減に大きく貢献するものとして、輸送費削減につながる回収物流最適化技術が、価値向上ではバージン材と同レベルのマテリアルリサイクルを可能とする高純度再生技術や易リサイクル材開発技術、さらに部品・製品リユースに関連した技術が挙げられる。

8. トップダウンアプローチ

現在の環境問題は、資源・エネルギーの大量消費を基盤としたライフスタイルや、モノを安く大量に生産することを目的とした企業活動など、我々の社会活動に起因している。社会の環境負荷削減を実現するには、経済の発展やライフスタイルの快適さを損なうことなく、社会活動を資源・エネルギー消費の少ない形態に変革しなければならない。それには、我々が目指すべき循環型経済社会の姿（ビジョン）を明確にして、技術だけではなく、技術が実際に組みこまれ活用される社会システムやライフスタイル全体を循環に適切な形態に変革する必要がある。しかし現状は、明確なビジョンなしに、専門領域という狭い範囲で、個別に技術開発が行われているに過ぎない。それには、2つの大きな要因がある。

一つは、技術の高度化に伴い、専門領域が細分化されてきた弊害である。技術開発者は、各自の専門領域を深く掘下げることにのみ価値を置いてきた。環境問題への対応も、この“常識”に捉われており、自分の専門の枠内のみで、解決しようとする傾向がある（技術指向：ボトムアップ）。環境対応は、本来、社会の環境負荷削減を目的に行われるべきものである（目的指向：トップダウン）。しかし社会の環境負荷削減においては、技術だけでなく、社会システムやライフスタイルなど考慮すべき領域があまりにも広く、更にこれらの間の横断的取組みが必要となる等、従来の技術開発の常識にはなじまない。このため、環境技術の開発は、主に技術指向のアプローチで行われてきた。技術指向の場合、各自の専門領域の維持・活性化という考えが根底にあり、技術の重要性を示すため、環境問題への貢献を針小棒大にアピールする傾向がある。「この技術さえ実現すれば、環境問題は解決する」、これは多くの場合、幻想である。技術開発が盛んになっても、循環型経済社会へ向かっている実感に乏しいのは、技術指向による技術開発が主体であるためである。今後、個別技術の開発よりも、その使い方（社会への普及のさせ方）を研究するトップダウンアプローチ（図 I-9）による環境対応を活発化すべきである。

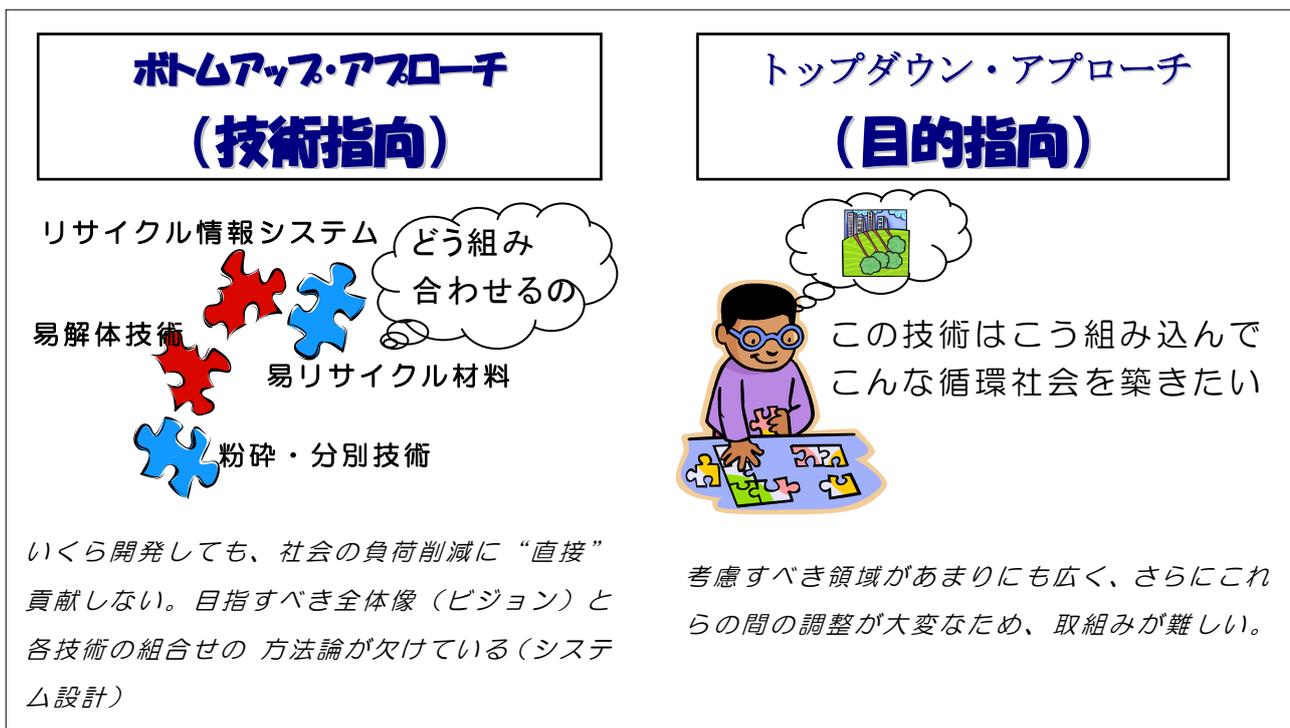


図 I-9 ボトムアップアプローチとトップダウンアプローチ

図 I-7 は、部品としてリユースできない要因を Fault Tree により階層的に記述したものである。図の右下には、「部品の品質が保障できていない」ことを解決するには、「余寿命が足りない」、「余寿命がわからない」および「品質が安定しない」という課題をすべて解決しなければならない。そして例えば「余寿命がわからない」ことを解決するには、「余寿命判定の精度が悪い」または「部品の履歴が不明」の課題を解決する必要がある。この課題の解決に様々な技術分野（材料、機械、システム）からのアプローチがある。従来のボトムアップ型の技術開発では、他各分野から「△△技術の開発で余寿命を精度良く判定できるようになり、リユースが促進される」との提案がなされていた。しかし図より明らかのように、実際にリユースが促進されるには、「余寿命を延ばす取組み」や「品質を安定させる取組み」を合せて実現し、その上位階層にある製品開発（リユース部品をいかに活用するか）やビジネス戦略（どのように利益をあげるか）を“リユース”を念頭において変革し、さらに廃製品の回収量を確保するためのユーザ行動（リユースが容易になるような購入・廃棄行動）や社会システム・制度（回収のためのインフラ、インセンティブ）を同じようにリユース適合型に変革しなければならない。これらがすべて実現して、リユースが促進されるのである。従来の大量生産型社会では、図のような「技術—製品—ビジネス—社会」のフロー（システム）が確立していたため、新しい技術が開発されれば、あまり大きな障害もなく、最終成果（社会）まで技術が“流れ”ていた。技術指向型の開発が有効であったと言える。しかし、循環型社会に適したツリーが形成されていない現状で、いくら技術開発を実施しても、それが有効に活用されないのは明らかである。

従来の循環社会を目指したアプローチで欠けていたのは、循環型経済社会における新しい「技術—製品—ビジネス—社会」のフローをデザインし、社会での実証試験を通して、世の中に提示するとともに、ある程度“強制的”にシステムを稼働させ、社会に定着させるという取組みである（IM ソリューション）。この取組みにより、改良や新しく開発が必要となる社会制度、技術等が“真”に明らかになる。この、“IM ソリューション技術”は、リサイクルに比べて、実現において製品開発、ビジネス戦略、社会制度などで大きな変革が避けられない“リユース”の促進において、特に重要であろう。

9. まとめ

以上の検討結果を踏まえ、リユース拡大のために今後必要となる課題を明らかにする。

・トップダウンアプローチによる技術開発

目指すべき社会システム、ビジネス形態、ライフスタイル等を既存の技術をベースにデザインし（循環型経済社会における新しい「技術—製品—ビジネス—社会」のフロー作成）、社会での実証試験を通して、世の中に提示するとともに、システムの有効性や新たに改良や開発が必要となる社会制度、技術等を明らかにすると言った“IM ソリューション”への取組みが必要である。

・ユーザの環境行動を直接的に支援する技術開発

循環を考慮した製品を購入し、それを適正に使い、リサイクルやリユースに支障をきたさないように廃棄するといった、ユーザの環境行動を支援する技術開発が今まで欠けていた。ユーザの環境行動支援システム（グリーンマイレージ）の開発が必要である。

・循環を意識した設計技術と再生品の利用・流通を進める技術の開発

前者は、製品の循環方法自体の設計やそれに適した製品のあり方などの設計で、ビジネス設計に近い。後者は部品・材料の有効性判断など、需要/供給をマッチングさせ再生品を有効活用する技術と流通最適化が含まれる。個々の技術開発要素とは異なり、これらの全体をとりまとめる、いわゆる循環システムの管理技術は、未開拓の感がある。

- ・余寿命判定技術の開発

部品の機能を最大限に活用し製品に再利用するためには、“部品の品質保証”が鍵となるこの品質保証において現在最も困難とされていることは、部品の“余寿命がわからない”ことにある。汎用的な技術開発が必要である。

これらをまとめると、リユースの拡大には、循環型経済社会における新しい「技術—製品—ビジネス—社会」のフローをデザインし、実証することが必要である。その際、従来の技術開発の空白域であった、ユーザの環境行動を支援する“グリーンマイレージ・システム”から始めるのが効果的であろう。グリーンマイレージをベースに、ビジネス戦略（再生品の利用・流通を進める循環サプライチェーンマネジメント）、製品開発（サービス指向型製品）、および環境技術（余寿命判定技術など）を組み合わせ、 「技術—製品—ビジネス—社会」のフローを完成させるという、IMソリューション技術の開発が必要である。（第I-10図）

I . 企画委員会

(循環型環境製造技術調査委員会)

カスケードリユース調査部会

I-2. カスケードリユース調査部会報告

1. 調査の目的

循環型経済社会の構築において、製品や部品を繰り返し利用するリユースはその付加価値性の高さからビジネスとして成立するポテンシャルが高いと考えられる。実際に一部の業界では、リユースはそれ自体が利益を生み出す事業となっており、たとえば、複写機やレンズつきフィルムでは製造ラインへの活用が行われ、また自動車を初めとする多くの製造業で補修向けの部品リユースが進められている。

しかし、現状のリユース、特に製品製造に向けた部品リユースは、一方で回収された旧世代機種の子部品を利用しなくてはならないという制約でもあり、これに起因して新製品設計における制約や新技術の採用の阻害といった技術開発面での負荷となっている。

こうした問題の解決策として、クローズドループにとらわれないリデュース・リユースの多様なビジネスモデルの構築が必要であると考えられる。例えば、旧世代機種から回収される部品のポテンシャルを活かす可能性として、低位グレード機種の生産やリペア・アップグレード等への活用、あるいは全く別の製品生産に活用していく、といった方法が考えられる。こうしたオープンなリユースシステムを構築し、陳腐化した部品の用途を別途確保することで、より有効な資源の活用をすすめるとともに、新製品・新技術の開発における制約を軽減してリユース実施企業における製品競争力維持をはかることがリユースの拡大・普及定着をはかるうえで有効であると考えられる。

本調査は、リユースの拡大に向けて、国内外の既存のリデュース・リユースビジネスの実態把握を通じて、モデルの構築による経済性の定量検討、並びに市場創出に向けた課題の抽出をはかることを目的として実施した。

2. 調査の内容

(1) リユース技術の現状調査

既存のリデュース・リユースビジネス事例について資料整理、実態調査等を行い、既存のリデュース・リユースの現状把握ならびに問題点の整理分析を行い、ビジネスモデルとしての要件、成立に必要な要素等を抽出した。

(2) 異種製品部品活用事例の調査

オープンなリユース（異種製品部品の再利用）等の新しいリデュース・リユースについて、モデル事例によるコスト等の定量的分析による実現可能性の検討を行うとともに、民間ベースの独立したビジネスとして成立しうるために必要な施策等を検討した。

3. リユース事業の現状と問題点

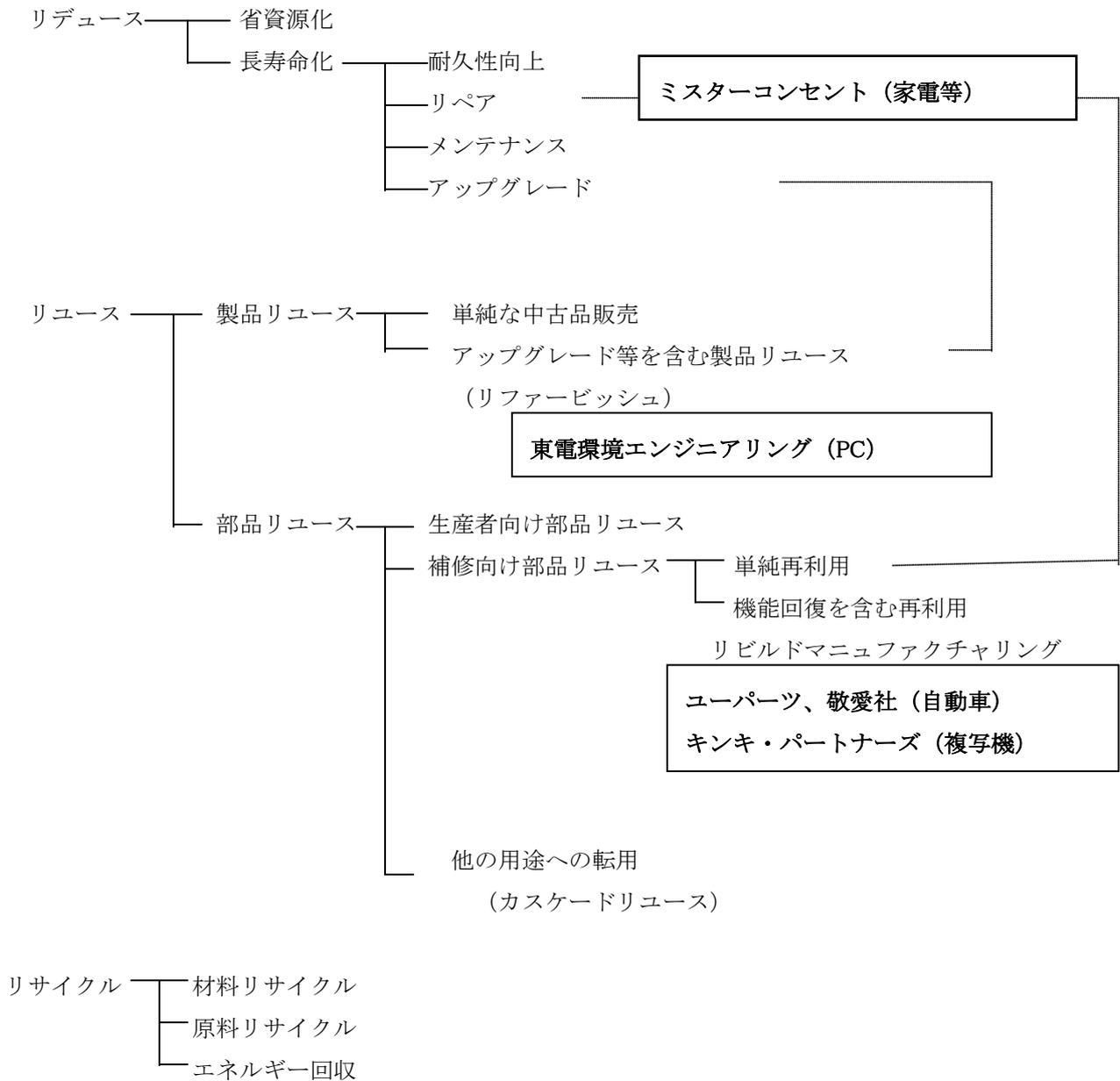


図 I-11 3R (Reduce Reuse Recycle) の整理と今回の調査対象

(1) 自動車部品リユース事業（ユーパーツ、敬愛社）

<p>現状</p>	<p>どちらも、ドアやバンパー等の構造部品、エンジンやミッション等の機能部品を対象として使用済み自動車から回収し検査・整備、ネットワークを介しての販売等を行っている。</p> <p>自動車部品については海外への販売も多い。啓愛社では、メーカーの海外ネットワーク向けの出荷を行っているほか、外人バイヤーによるエンジン等の買い付け等もなされている。ユーパーツでは、技術面等での提携等の海外連携等を行っている。</p>
<p>待 数</p>	<p>ユーパーツでは、主に事故車からの部品回収を行うことにより、部品ニーズの確保をはかっている。また、部品検査のためのテスターを開発しており、これにより部品検査の均質化をはかるとともに、リユース部品購入者への形のあるアピールとして活用している。</p> <p>ドアやボンネット等の部品はリユース品となると多少のキズ等があるため、これらを適確に顧客に開示することが重要とのことである。</p> <p>啓愛社は解体事業とリユース部品回収を兼業しており、車検切れ等の寿命による使用済み車が中心である。リユースするかどうかは入庫時の走行距離で判断しているが、全体の一部だけがリユース対象となる。エンジン等の機能部品の国内向けは少なめである。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p>株式会社ユーパーツ開発によるオートマミッションテスター及び4サイクルエンジンスターター</p>
<p>メ リ ツ ト 等</p>	<p>リユース部品のメリットとしては、純正パーツと異なりアセンブリとしてまると交換できるため、作業工賃を大幅に抑制できる。また、外装部品については、新品を取り付けると経年変化を受けている本体とは微妙に色合いが異なってしまうが、リユース部品であれば本体と同レベルの変化を受けているため目立ちにくい。自動車メーカー側としても、こうしたリユース部品を活用することで、部品の新造や金型保持といったコストダウンをはかれるため、純正部品よりもリペアサービス事業としての利益率が改善されるメリットがある。</p>

(株) ユーパーツの中古部品生産の流れ

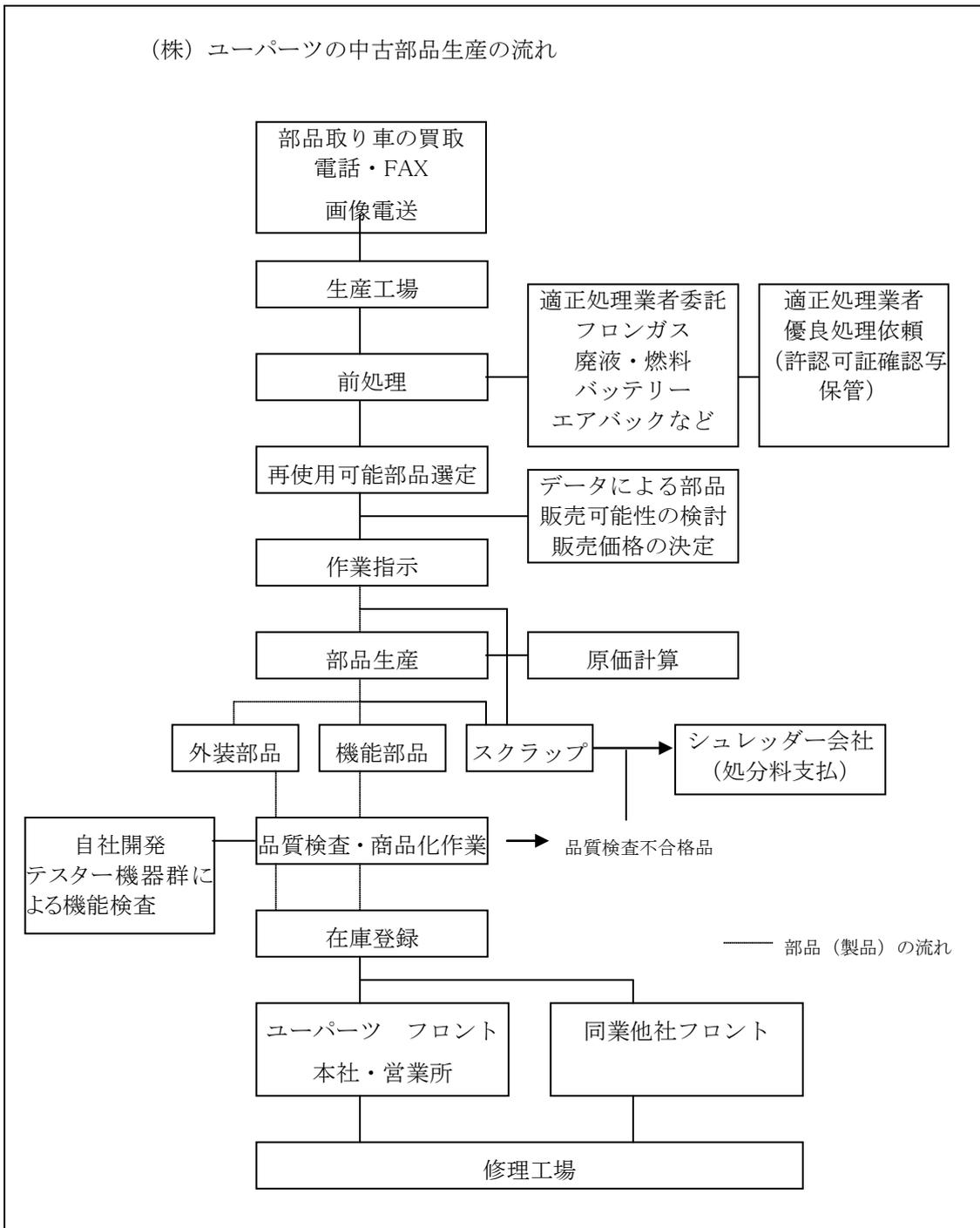


図 I-12 株式会社ユーパーツの部品リユースフロー

2) PCリユース事業（東電環境エンジニアリング）

現 状	<p>リースアップ品等の回収PCについて、整備・再生を行っており、ニーズを踏まえたOSのアップグレードやメモリ、HDの増強等により再商品化を行っている。海外からの引き合いもあるが、使用後・部品取り後の適正処理の担保がないため対応していないとのことであった、</p>
特 徴	<p>PC再生の特徴としては、内蔵HD上の情報の完全消去が前提となっており、その上でアップグレードを含むシステムを再構築する作業が必要となることが挙げられる。これは機種別に知識や技術を必要とする高コストな工程であるが、同じ機種であればシステムは一度作成すればコピーするだけでインストールできるため、まとまった回収がコストダウンのポイントとなることが挙げられる。また、破損箇所等についても同じ機種の在庫があれば取り外して利用できるため、仕入れ数量は重要なファクターとなる。</p>
メ リ ツ ト 等	<p>販売店にとっては、利益率が高く（新品PCは価格破壊のため利益が低い）、またアフターサポートも行いやすいとのことである。</p> <p>需要については、販売店に卸しているが、性能面よりも「値ごろ感」で売れているとのことである。また、再生PCをグリーン購入により自治体が求めるというケースも出てきている。</p>
問 題	<p>大きな問題としては、やはり新製品の性能向上が著しく、コストパフォーマンスだけでは競争は難しいこと、OSや共通規格部品の供給終了があるため再生できるPCの年代には限界があることが挙げられる。Linux等のフリーOSについては検討はしているものの、ビジネスソフトウェア等の面で劣っておりまとまったニーズが期待できないため対応していないとのことであった。</p> <p>また、自治体のグリーン調達への対応において、入札価格が低すぎるのが問題であるとのことであった。</p>

(3) 複写機部品リユース事業（キンキ・パートナーズ）

現状	使用済み複写機より部品を回収し、メーカーの補修向けに納品している（検査はメーカー側で行うこととしている）。部品回収については、メーカー側から機種と部品を指定した注文書がくるので、この中の作業手順に示された従って回収作業を行い、納品された部品に対して支払いがなされる。
待数	同社の対象としている複写機は売りきりであるため回収台数等のコントロールはないが、注文書の中に回収する部品の上限数を指定することで、メーカー側としては部品の過剰在庫防止をはかっている。 また、同社の事業全体としては、使用済み複写機を始めとするOA機器の回収、上のリユース部品、回収、リサイクル向けの回収物の売却があり、それぞれから収入を得ている。リユース部品回収による収入はこれらの中で最も大きなものとなっているとのことであり、付加価値の高さが利益となっている。
メリット等	この事業は、メーカーが補修部品を新造すると、補修の需要と生産ロット数の関係で非常に割高なものとなる（生産は数百個同時となるが、需要は数個程度）場合が多いため、多少コストをかけてでも回収したものを利用できれば大幅な経費削減になるとの考えに基づいている。

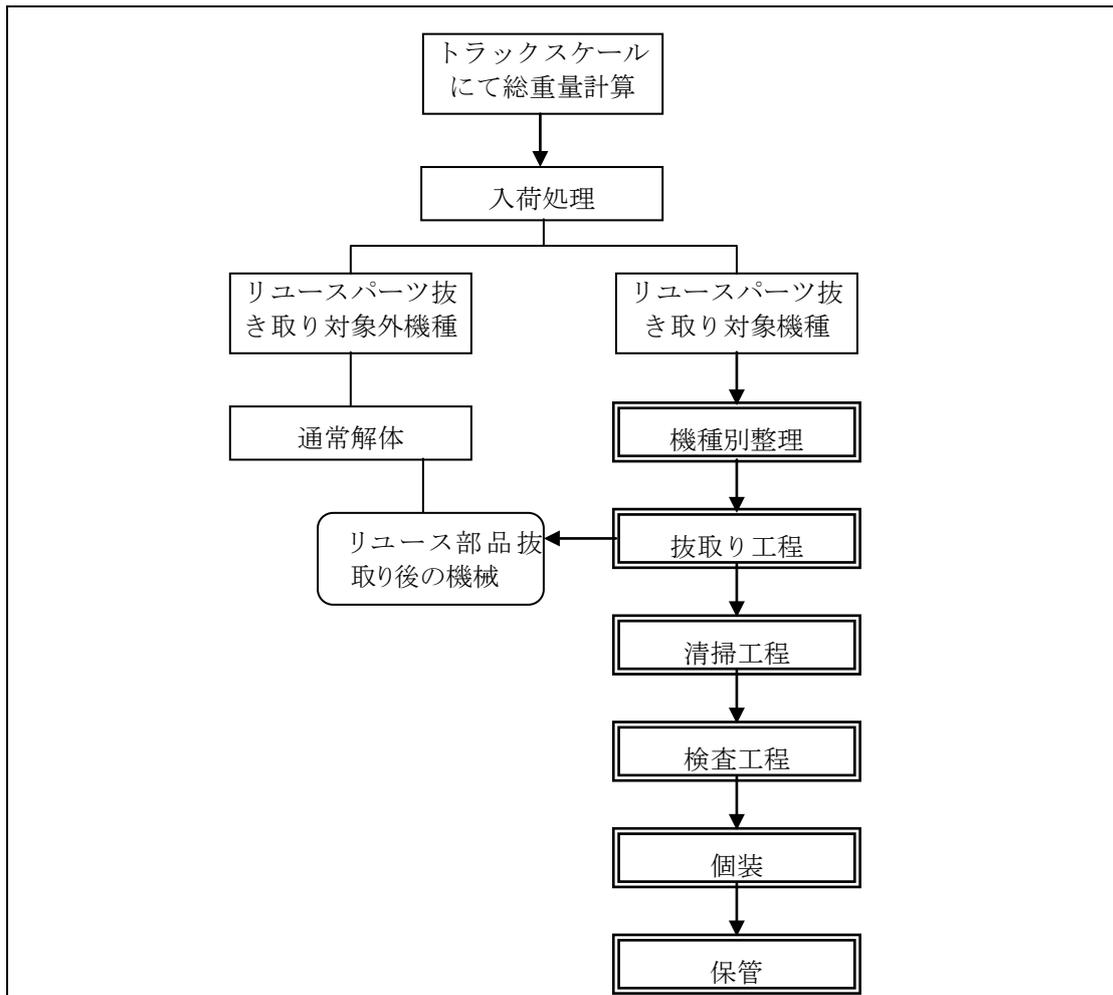


図 I-13 キンキ・パートナーズにおける複写機部品回収フロー

(4) リペア (ミスターコンセント)

現 状	<p>同社は、家電量販店等に附随してリペア専門店をフランチャイズにより各地に出店している。修理対象物は、地域（温暖地域と寒冷地域）性、季節によってかなりの変動があるが全体としては以下のとおりである。同社の修理は持込中心のため、出張の必要な冷蔵庫、洗濯機、エアコン等の構成比は低くなっている。</p> <table border="1" data-bbox="448 456 1018 840"> <thead> <tr> <th>製品内訳</th> <th>構成比 (台数)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>暖房機器</td> <td>17%</td> </tr> <tr> <td>パソコン</td> <td>16%</td> </tr> <tr> <td>プリンター等パソコン周辺機器</td> <td>11%</td> </tr> <tr> <td>ビデオ</td> <td>11%</td> </tr> <tr> <td>掃除機、炊飯器等白物家電</td> <td>11%</td> </tr> <tr> <td>テレビ</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>オーディオ</td> <td>8%</td> </tr> <tr> <td>冷蔵庫、洗濯機、エアコン</td> <td>5%</td> </tr> <tr> <td>電話機、FAX</td> <td>3%</td> </tr> <tr> <td>ビデオカメラ</td> <td>2%</td> </tr> <tr> <td>ゲーム機</td> <td>1%</td> </tr> <tr> <td>その他</td> <td>5%</td> </tr> </tbody> </table>	製品内訳	構成比 (台数)	暖房機器	17%	パソコン	16%	プリンター等パソコン周辺機器	11%	ビデオ	11%	掃除機、炊飯器等白物家電	11%	テレビ	10%	オーディオ	8%	冷蔵庫、洗濯機、エアコン	5%	電話機、FAX	3%	ビデオカメラ	2%	ゲーム機	1%	その他	5%
製品内訳	構成比 (台数)																										
暖房機器	17%																										
パソコン	16%																										
プリンター等パソコン周辺機器	11%																										
ビデオ	11%																										
掃除機、炊飯器等白物家電	11%																										
テレビ	10%																										
オーディオ	8%																										
冷蔵庫、洗濯機、エアコン	5%																										
電話機、FAX	3%																										
ビデオカメラ	2%																										
ゲーム機	1%																										
その他	5%																										
特 徴	<p>家電製品は新品の価格破壊が進行しているためリペア料金は圧迫されるものとなっており、コストダウン方策として、メーカーのようにサービスセンターへ輸送することなく、店舗内での修理の完結をはかっている。リペアに用いる部品はメーカーから取り寄せているが、一部の店舗では使用済み製品からの回収部品を用いる場合もある。リユースはメーカーの部品在庫のない古い製品（主にビデオデッキ）に限っており（供給可能なものはリユースしない）、廃棄依頼品をストックしておき、修理が発生した場合にはユーザーの了承を得て使用している。</p> <p>家電製品の場合、リペア事業は直接一般消費者と触れあうものであることから、宣伝を非常に重視しており、ローカルTVでのCMや新聞への折り込み広告等により常時アピールをはかっているとのことである。</p>																										
メ リ ツ ト	<p>部品在庫があって店内で修理を完結できる場合、メーカー修理と比較した場合、物流（メーカーまでの往復）が不要となっている分、修理費用、所用期間の面で有利となっている。また、メーカー修理と異なって受け付け現場で技術者が診断を行うことで、受け付け時に事前の費用の見積もりや原因の説明などの一種のインフォームドコンセントが確立しており、ユーザーの信頼獲得をはかっている。</p>																										
問 題	<p>家電についてはメーカーからの部品供給を受けているため、一部のメーカーで実施された部品値上げが事業を圧迫している。</p> <p>部品供給に関しては、海外生産による供給の長期遅れ、メーカーや事業部によって異なる管理コードの混乱、中国等の製品におけるサポート・部品供給体制の欠如（いわゆる売りっぱなし）が挙げられる。</p> <p>技術情報については、主要メーカーは有料で公開しているため問題ないが、例外として昨今のデジタル家電等（デジカメ、デジタルビデオカメラ、DVD、ハイビジョン等）は各社とも開発時期であるためか修理ノウハウ等の情報が非常に少ない。また、部品供給にも問題があるとのことである。</p>																										

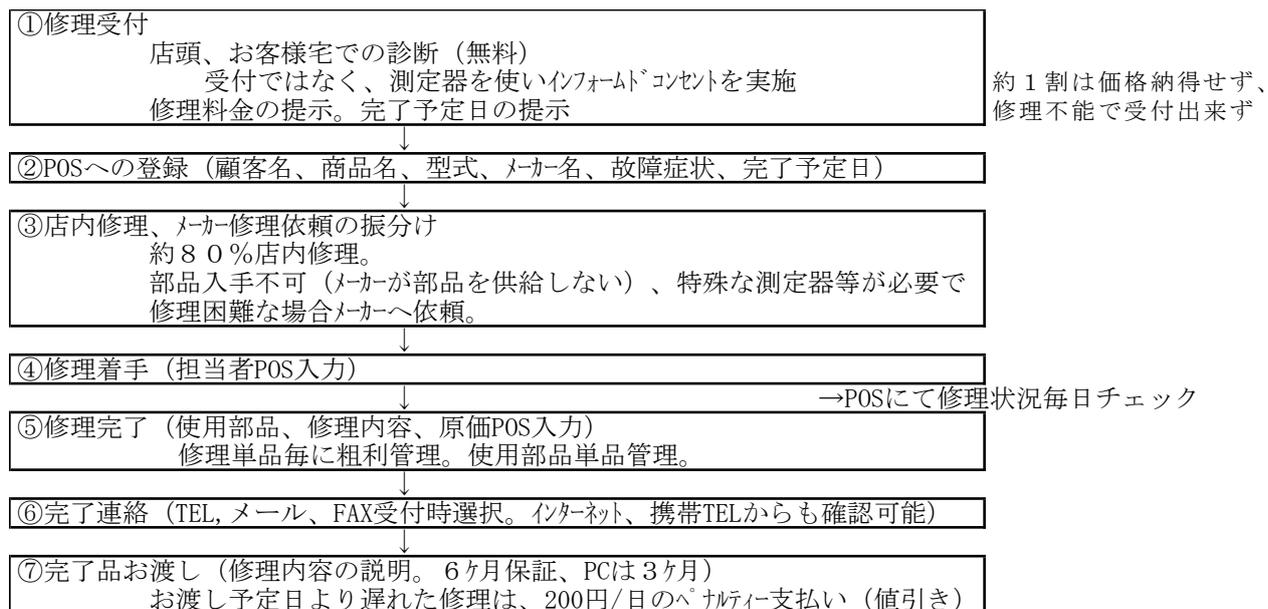


図 I-14 リペア事業のフロー

表 I-4 リペア費用の事例

商品名	故障症状	修理金額例
テレビ（～15インチ）	電源入らず	6,500
〃（16～23インチ）	〃	8,500
〃（24～27インチ）	〃	10,000
〃（28～29インチ）	〃	12,000
ビデオ（モラルタイプ）	テープからむ	6,000
〃（HiFiタイプ）	〃	6,500
〃（BS-HiFiタイプ）	〃	9,000
〃（S-VHSタイプ）	〃	10,000
ビデオカメラ	〃	15,000
ステレオ	CD音飛び	12,000
オーブンレンジ	温まらない	9,000
ジャーポット	電源入らず	3,500
クリーナー	〃	6,000
石油ファンヒーター	〃	6,500
洗濯機（全自洗）	〃	9,000
エアコン	〃	8,000

(5) その他（オリックス）

現状	<p>リースには大きくわけてプロジェクトリースとファイナンスリースがある。プロジェクトリースは予め中古売却を見込んだリース契約・リース金額となっている。ファイナンスリースはリース終了時で費用を回収できるため、回収後は必ずしも売却する必要性はない。</p> <p>取り扱い品の9割がパソコンやOA機器である。その他としては、什器、建設機械、事業用厨房機器、工作機械、測定機器等である。</p> <p>現在、PCはリースの継続を行い6～7年使用する場合が多い。これは、PCの入れ替えコストが大きいためである。</p>
特徴	<p>回収したPCの売却については、データ消去の契約が前提条件となる。オリックスのブランドがあるため、売却先の選定は慎重に行っている。</p>
問題点等	<p>PCに対するプロジェクトリースは税法上無理である。</p> <p>一般に、ファイナンスリース業はモノへの意識が希薄であり、スペック等を把握しない体質があるため、積極的な中古販売の展開が難しい。</p> <p>レンタルはオリックスレンテックが行っているが、1～2年で交換されるため、こちらは回収品をいかに売却するかがノウハウとなっている。産廃処分をせざるをえないような売れ残りはやはり発生するようである。</p>

表 I-5 リユース拡大・アンケート調査結果 (2R 事業の概要等)

事業者名		3	4	2	1	5	6
		株式会社啓愛社	株式会社ユーパーツ	東電環境エンジニアリング株式会社	キンキ・パートナーズ株式会社	株式会社ミスターコンセント	オリックス環境株式会社
2Rの対象	品目	自動車	自動車	PC	複写機、その他 (MRのみ)	家電、PC	OA機器等
	部品	・外装部品 ・機能部品	バンパー、ドア、エンジン、ミッション等	・PC本体	・モーター ・制御部品：メイン基板、電源基板、センサー、クラッチ (表示等含む)、操作基板、LCDパネル、リレー、駆動部コントロール基板、FAX基板	(各店舗技術者が個別レベルで行うのみ)	(委託処理先では一部実施の様様)
対象製品の排出者		・整備会社、中古事業者、リース・レンタル事業者等 (70%) ・自動車ディーラー (20%) ・個人 (5%)	◎個人 ○リース事業者	◎リース業者 ○法人 ○レンタル事業者	・メーカー系列販売店等	・個人	(法人が使用) リース事業者・レンタル事業者
2R実施内容		・補修むけ部品回収、販売 ・車両リサイクル ・部品取り、品質管理、在庫管理	・自動車中古部品卸売 ・部品取車、買取、前処理、回収部品選定、部品取、検査、在庫登録、販売	・PC製品リユース ・選別、データ消去、OS搭載、清掃・検査、出荷	・補修向け部品回収 (メーカー依頼) ・手解体、手分別	・家電修理 ・PC修理等 ・店舗内での修理完了	
2R以外の処理対象	MR対象	鉄、非鉄、プラスチック等		プリンタ、不良PC、不良部品、ダンボール類	鉄・アルミ・ステンレス・ハネス (銅)・プラスチック (ABS、PC、PP等)等トナー		(委託先では実施)
	TR対象処理処分	ポディープレスガラ 廃油、廃液、フロン、エアバッグ等			破砕くず		(委託先では実施)
リユース品のニーズ	購入者	ディーラーサービス工場、整備事業者、個人、輸出事業者	ディーラー、整備工場、板金工場、中古車センター等	・量販店経由個人ユーザ (初心者中心) ・商社経由法人・学校ユーザ	製品メーカー		
	利用目的	補修用、輸出入	修理費の圧縮、負担の軽減		サービスメンテナンス部品としての活用		
実施規模	量	61200台/年 (4工場) 在庫点数：10300点	受入：2155台/年 出荷：21000点/年	受入：12000~24000台/年 出荷：11000~22000台/年	受入300t/1.5y		
	人員	89名 (4工場)	132人		20人	71店舗・各4?5名程度の技術者	
コスト	主な要素		材料費 (部品取車)、品質検査費、梱包材費、配送料	MSに支払うOS料金		部品代、輸送費	処分費用、運送費用 (自社回収の場合)、倉庫運用費用
	削減工夫		・検査機器の開発による作業時間圧縮 ・作業の流れの見直し ・再利用による梱包材料費の軽減			・輸送費は店舗内で修理を完結することによりこれを抑制 ・一部部品はリユース等で店舗が個別対応	・中古売却の促進 ・リサイクルによる処分費用の低減 ・効率的な物流システムの構築
PR活動	主な活動		業界紙、損保会社記事による紹介、自社HP、訪問営業、会社案内	協力会社との協調上重要箇所につきコメント不能	特になし	ローカルTVでのCM、新聞チラシ等	特になし
	有効性		自動車部品の取り扱い・交換作業は整備工場やディーラーでありそれらの理解が必要不可欠なため、啓蒙の必要性が大きい	リユース品PRには、①国の認定制度、②同業者の協議体活動 (品質の統一化が必要) が有効と思われる	手分解・手解体作業、各許認可、認定、実績リサイクル率がPR可能か。	営業上非常に重要と考えている	特になし
ユーザーへの印象			・品質の内容と保証の明確化 ・価格の透明性	サポートがある、きれいである。といったエンドユーザーの印象は耳には入ってくる	今後の判断による。リユース事業展開を提案したことについては、シャープより評価された。		
リユースのメリット	購入者		・修理作業コストの低減 ・廃棄物削減による環境負荷の抑制	購入費用の節約	製造中止部品の入手やバージョンアップ費用の低減。(メモリ・HDD)		・既導入機種との同一機種調達 (メンテ・教育・システム構築コストの抑制)
	メーカー・販売店等		・補修部品調達コストの削減 ・消費者ニーズへの対応 (新品部品の利用が望まれない場合)	・メーカーにはメリットはないと思われる。 ・販売店には利益率、アフターサポートの容易さのメリットがある	〃		・補修部品生産、保管コストの削減

4. リユース事業等の問題点の整理

これまでの調査によって提示されたリユース事業等の問題点を表 1 に示す。ここでは、問題点を（１）リユース全般に共通性のあるもの、（２）製品リユース、（３）部品リユース、（４）リペアとして整理した。

（１）リユース全般の問題点

リユース全般の問題点としては、信用、技術、法規制が挙げられた。

- ・信用の問題としては、ユーザーへのアピールやコミュニケーションが挙げられた。具体的には、消費者の「中古品」という悪印象が根強いこと、ユーザーとのコミュニケーションを感覚的なものでなく、明確で客観的・定量的なものとしていくことが望まれること、並びに製品メーカー側等との信頼関係の構築が重要、という意見が見られた。
- ・技術面としては、リユース品の品質を確保するためには高度な技術や情報等が必要であることが挙げられた、具体的には、リユースにおける残存寿命の判定が一般的には難しいこと、リユース事業向きの機能検査機器がないこと、再生作業に必要な知識や技術が高度・複雑であること、が挙げられた。
- ・法規制としては、使用済み製品の回収において廃掃法の業の許可の問題、また古物商許可の問題がしばしばあることが指摘された。

（２）製品リユースの問題点

製品リユースの問題点としては、信用、コストが挙げられた。

- ・信用の問題としては、海外流出の不透明性が指摘された。引き取った使用済み製品等の海外への流出は、使用後の適切な処分や部品取り後の適切な残さ処分が担保できないことが問題であり、仕入れ上の信用のリスクを考えると実施できないとのことであった。
- ・コストについては、主にPCの再生作業にかかるコストと、それに対する新製品の性能向上の問題が指摘された。具体的には、OSライセンスを始めとするコストがかかるのに対して、新製品の性能が高いため単純にコストパフォーマンス面での競争は困難とのことであった。また、PCでは同じ機種を多数再生することによりコストダウンがはかれるものの（機種別にシステム構築に作業コストがかかるが、一度動作するシステムができればあとはコピーしてライセンスを添付するだけでよい）まとまった仕入れがあるとは限らず、負担となっているとのことであった。このほか、有価で仕入れを行っている場合には、相場の変動も問題となるとのことであった。

（３）部品リユースの問題点

部品リユースの問題点としては、信用、需給、技術面その他が挙げられた。

- ・信用については、自動車部品においてリビルドの定義が明確・共通でないという問題が挙げられた。
- ・需給については、使用済み製品からの回収部品の供給は、稼働中の同機種の減少と裏腹であるため、供給と需要にアンバランスが生じやすいことが示され、実際のリユース事業における対策

として、事故車の購入や回収量の上限設定が行われていた。

- ・技術については、自動車部品においては、購入者がユーザーではなくプロショップであるため、作業性などの技術面を含めたアピールが重要との意見があった。
- ・その他としては、部品回収を行った後の残さについてリサイクル・適正処分を確立することが2R推進の上で重要という意見があった。

(4) リペアの問題点

リユース部品の需要先でもあるリペアの問題点としては、技術面、コストとメリット、リユース部品ニーズが挙げられた。

- ・技術面の問題点としては、リペアを独立した事業として営もうとする場合に製品メーカーからの情報開示が不足していることが挙げられた。
- ・コストとメリットについては、家電製品などでは新製品の価格破壊が進行しているため、買換えに対するリペアの費用上のメリットが小さいことが挙げられた。また、リペア事業を圧迫するもう一つの要因として純正リペア部品の値上がりが指摘された。
- ・リユース部品のニーズについては、自動車部品において、我が国ではユーザーのスキルが低く自分で自動車整備ができないこと、保険システムが直接修理工場に支払う形になっていることが挙げられ、これらによりリユース部品をユーザーが選択する機会とメリットがなくなっていることが指摘された。
- ・中国メーカー等、サポート体制なしの売りっぱなしの製品が存在する。

(5) 部品供給

リペアに関連する部品供給上の問題点については、メーカーの影響、部品種類の混乱が挙げられた。

- ・メーカーの影響としては、我が国の問題として、自動車部品では自動車メーカーが強すぎサードパーティーが育たないこと、家電品などでは部品OEM元から直接購入できないためメーカーを介して高価な純正部品を購入せざるを得ないことが挙げられた。
- ・また、PCではOSメーカーがOSライセンス供給を5年で打ち切るため古いPCの再生ができなくなること、部品の共通規格も変遷が早く、古いものは供給がないことが挙げられた。
- ・部品種類の混乱については、同じ部品でも企業内部で事業部によってコードが異なっていたりすることがあり、できれば業界レベルでコードの共通化が望まれるという意見があった。また、微妙にネジ穴の位置など構造が違うだけの部品は共通化することが望ましいとの意見があった。

表 I-6 2Rの構築に向けた問題点の整理(1)

項目	問題の内容	望まれる対策、方向性		
リユース全般の問題点	(1) 信用	・消費者の認知	『中古』のイメージが悪い。 社会としてのリユースへの受け止めが不足している。ユーザーに安心感を与える材料が必要。	・信頼性の向上 保証を明確化することが必要。信頼感の高い企業が出てくるとユーザー認知が高まるだろう。 ・テスター等のアピール効果 テスター等の目に見える形があるアピールが有効性が高い
		・コミュニケーション	ユーザーは環境について定量的な情報を求めるようになってきている。	・定量的なアピール 二酸化炭素排出量をパッケージに記載するなど、環境への貢献を定量的にアピールすることも必要。定量評価でリユースの環境側面を明確化することができれば、高い、安いだけでない選択肢を顧客に提示できる。
		・製品メーカー等	技術支援等を受け、円滑に事業を進めていくためにはメーカーや一次使用者との信頼関係の維持が重要	・ユーザーコミュニケーション 定量的に品質を明確化するユーザーコミュニケーションの確立が必要
				・信用の確立 前のユーザーや製品メーカーからの信頼確保が重要。
	(2) 技術面	・寿命判定	リユース部品の残存寿命判定が難しい	・判定ノウハウの構築 ・履歴追跡の容易化
		・機能検査	機能部品の適切な検査機器がない	・検査機器の開発 リユース部品の検査のためのテスターを開発した。(自動車)
		・再生作業	リユースPCの再生作業には手間と専門知識が必要	・メーカーからの技術情報の入手 ・技術者の確保
		(3) 法規制	・回収の制約	リサイクル目的での回収は、輸送費を徴収したいが、廃掃法が障害となる。 リース会社は広域許可が貰えないため、効率的なシステムを組まず、各リース会社で共同処理するようなことが難しい。
	製品リユース	(1) 信用	・海外流出リスク	海外輸出のニーズはあるが、部品取りしたあとに不法投棄等の心配があり、リスク上対応しかねる
(2) コスト		・マスタの作成コスト	PCでは、マスタの作成にコストがかかるため、同機種をまとめて仕入れないと利益にならない	・リース会社等からの仕入れ PCでは、リースアップ品を対象とすることで同機種を数量としてまとめて仕入れることが可能となっている。
		・使用済み製品の仕入れ価格 ・廉価な新品との競合	対象の使用済み製品を有価購入している場合、仕入れ価格が上昇すると事業運営が苦しくなる PCでは、廉価な新品との性能、価格の両面のパフォーマンスを比較されると苦しい。	
部品リユース	(1) 信用	・業界の不整合	日本ではリビルドの定義があいまいで、事業者によって内容が異なっている。	・リビルド基準の確立
	(2) 需給	・リユース部品の供給不足	使用済み製品からの回収によりリペア部品を供給する場合、市中における当該製品の残存が多い状況では、需要に対する供給が不足する。	・共通化等 世代間・機種間での共通化等の製品設計が望まれる。
		・リユース部品の回収過剰	リペア向け部品を使用済み製品から回収する場合、市中における当該製品の残存が少なく回収過剰・需要不足が発生する。	・事故車の仕入れ 自動車では、事故車中心に仕入れることで対応している ・回収数量の抑制 複写機では回収数量を抑制することで対応している ・カスケード化 カスケード的用途開発、あるいは世代間での共通化等の流用可能な製品設計が望まれる。
	(3) 技術	・作業性	自動車部品は、ユーザーではなくプロショップが修理用部品の選択を行うため、コストだけでなく作業性等が求められてくる。	・プロショップ向けのアピール 末端消費者ではなくプロショップ向けのビジネスであるため、その理解をはかるべく、プロショップを意識した内容でのアピール(保証、利益、作業手数等のメリットを示す)を行っている。
	(4) その他	・3R対象物回収後の残さの処理	有価物や3R対象物が回収された後の残さの適正処理の担保が必要である。	

表 I-6 2R の構築に向けた問題点の整理(2)

項目	問題の内容	望まれる対策、方向性	
リペアの問題点	(1) 技術面	・情報開示 修理に必要な部品表が開示されていない	<ul style="list-style-type: none"> ・コミュニティサービスとしての修理 準ビジネス、マイクロビジネスといった形での修理。雇用の創出。地域を巻き込んでいくようなあり方が考えられないか。エコタウンのような集約型ではなく、都市に3R機能が分散しているようなありかたもあるのではないか。 ・処分コスト対策としてのリペア 新品価格が安くとも、処分コストが増大すれば、リペア需要がその分増えることになるのではないか。 ・リユース部品の活用 店舗レベルでは回収部品を活用して修理を行っていることがある。 ・保険システムの改善 ユーザーに直接支払うシステム、あるいはリユース部品利用を前提とした保険システムが必要である。
	(2) コストとメリット	・コストメリットの低下 新品の価格破壊により買い替えに対する修理のメリットが薄い	
	・補修部品の値上がり	家電では、メーカーから供給される補修部品が管理コストの上乗せのため相対的に割高となっており、修理コストが上昇している	
	(3) リユース部品のニーズ	・ユーザースキルの低さ 日本では一般ユーザーが自分の車をいじることが難しく、整備や部品交換はもっぱらプロショップまかせとなっていることが中古パーツ等の普及の妨げとなっている	
	・保険制度の問題	我が国の自動車の保険はユーザーではなく工場に支払われるため、ユーザーが安価なリユース部品を選択するチャンスと動機が奪われている。	
部品供給の問題点	(1) メーカーの影響	・純正の圧迫 日本では自動車メーカーが強すぎ、中小サードパーティー等がなかなか育たない。	<ul style="list-style-type: none"> ・規格化による市場解放 PCの場合、純正よりも互換パーツのほうが安い。修理の交換において互換品を使用することは普通に行っている。
		・部品の供給の独占 日本ではメーカーが部品の供給を独占しており、OEM元から入手できないため高額な純正部品を購入せざるを得ない。	<ul style="list-style-type: none"> ・OEM元からの供給 アメリカのようにOEM元からの部品供給も認めるべきである。
		・供給戦略 MSは戦略としてアプリやOSの供給を5年間で打ち切るため古いPCの再生の支障となっている。	
		・規格の変遷 PCの部品規格も変遷を辿っており、古いPCは部品不足で再生できない場合がある。	
	(2) 部品種類の混乱	・コードの混乱 家電業界では、同じ部品でも事業部によってコードが違うことがある。	<ul style="list-style-type: none"> ・部品コード規格化 メーカー間共通化については、秘密事項はそれほどないのではないかと思われる。相互に使えるコード体系、読み替え体系が望ましい。メーカー間でコードを規格化できれば管理コストが安くなるというメリットがあるはずである。
		・管理システム 既存のコード管理システムでは、製品は適合するが部品がうまくいかない。部品供給メーカーの発行しているコードを使ってほしい。	<ul style="list-style-type: none"> ・有害部品データベース 部品の有害物質について、部品メーカーが情報を出し、それを国内共通DB化し、共通部品コードの基礎とすることが考えられる。
		・微妙な構造の差 自動車エンジンコアでは、形状に微妙に違いがあったりして共通化できない。	
		・設計者の意識 メーカー設計者が、既存設計の利用を優先するため、部品の統合などの配慮を行っていないがゆきとどかない。	
		その他	(1) 業界の横並び性 ・環境対策の横並び実施 EPRが業界レベルで行われるのが我が国の常であるが、本来EPRはメーカー毎に行うものである。

5. 課題の抽出

以下にリユースの拡大に向けた課題を整理する。

(1) リユースのメリットの明確化、定量化

リユースは、現状では消費者等に概念として定着しておらず、一般的には「中古品」という劣悪なイメージで捉えられがちである。消費者に概念の普及定着をはかるためには、リユースのコストや環境の両面でのメリットを明確化し、また品質保証システム等を構築し、そのアピールを行っていくことが望まれる。

具体的には、コスト面の事例としてはリユース部品の活用による経費節減（部品在庫・管理コストの圧縮、部品需要が少ない場合の新造部品ロット生産のロス回避等）による低価格化、アセンブリでの交換による作業簡易化に伴うトータルコストダウン等があり、これらの定量的な分析に基づくアピールが可能と考えられる。また環境面としては、リユース部品と新造部品を比較しての資源の節約や CO2 排出量の抑制、廃棄物の抑制等の定量比較を行うことが考えられ、環境面とコスト面の両方でメリットがあることをアピールしていくことが望まれる。

(2) リユース事業への信頼確立

・寿命、品質の確認、保証

リユース品は新品に比べて使用による劣化や疲労を経験していると考えられるため、部品・製品の品質検査、残存寿命の把握並びにこれらについてのユーザーへの保証が重要な課題となってくる。残存寿命については情報が十分に集まれば解析できる場合もあるが、そうした情報を集められるリユース事業は少ないと考えられ、また、あらかじめ製品に寿命の指標となる情報を履歴として記録する機構が備わっている必要がある（複写機のカウンタ、自動車のタコメータ等）ことからリユース事業者単独では実施は困難である。

品質については、構造部品等であれば外観が全てであるが、機能部品は正しく動作するかをチェックする必要があり、熟練の技術者か、あるいは専用のテストが必要となってくる。

厳密な品質検査や寿命把握の難しいリユース事業においては、品質保証システムの構築とアピールはリユースの普及定着において不可欠と考えられる。

・メーカー、一次利用者との信頼の確立

リユース事業として継続的に運営していくためには、ユーザーだけではなく仕入れ元となる一次利用者と安定した信頼関係を確立していく必要がある。また、整備等においてはメーカーからの技術情報も必要となることから、信頼を確立することが必要であり、リユース品の追跡や事業者の資質の認証等のシステムが有効と考えられる。

(3) 需要と供給

・リペア部品の需要とリユース部品の供給のバランス（部品リユース）

リユース部品は製品の廃棄に伴って回収されるため、製品の稼働数が減少すると部品供給に対する需要が減少するというバランス問題を抱えている。梅田（2001）はこの問題をリユース限界率と定義し、生産台数に対するリユース可能台数の比率として表現した。この分析によれば、レンズ付きフィルムのようにサイクルの短い製品では回収率の向上が有効であり、複写機のように

数年間のライフサイクルの製品であれば多世代での共通化設計、特に回収と販売が一致する世代、機種間での共通化が有効という結果が示されている。

実際のリペア向け部品リユース事業における対応としては、同機種の稼働数の事故車のみを対象とする、リユース向けに回収する数量の上限を設定するといった方法が執られている。これらの方法はビジネスとしては有効であるもの、回収された使用済み製品の有効活用という視点からは、利用可能な部品が廃棄されるという問題点がある。将来的な対策としては、世代間の部品共通化や汎用化といったメーカー側の協力、カスケードリユースによる需要開拓が望まれるところである。

(4) リユースコスト

- ・新品との価格競合の回避（製品リユース、リペア）

家電製品、PCのように価格破壊が進行している製品や技術進歩の著しい製品では、リペアやリユース品の購入は、消費者にとって新品の購入に対するコスト面での魅力が低い。コスト低減のための努力として、リペアプロセスの合理化やリユース部品の活用等が必要であるが、その一方でコスト面以外での魅力を打ち出していく必要があり、例えば、リペアやリユースによる環境負荷の削減量の定量表示等が考えられる。

(5) その他

- ・定義の明確化（リユース、リビルド等）

リユースには部品リユース、製品リユースをはじめ、リビルド、リマニュファクチャリング等様々な形態、方法が存在しているが、我が国ではオーソライズされた体系整理はまだなされていない。特に、リビルド等は実施している事業者によって定義がまちまちであることから、利用者にとってのアピールが難しい状態にある。少なくとも業界レベルでの統一化が望まれるところである。

- ・消費者のスキル向上（部品リユース）

我が国においては、消費者は整備や修理を全てメーカーに任せてしまう場合が殆どであり、アメリカのように自力で行える人はほとんどいない。このため、消費者自らがリユース品の使用等について判断する機会がないことがリユース促進を妨げていると考えられる。消費者への普及活動においては、単なるリユース品のアピールに留まらず、こうしたスキルを向上しうるような情報提供を行っていくことが望まれる。

- ・部品種類の統合化（製品リユース、リペア）

リペア部品には、同じ部品であるにも関わらず部品コードが違っていたり、あるいは僅かな差だけがあったりするという管理上の問題があり、コスト増大の一因となっている。コード体系の統合化、共通化設計の普及定着といったメーカー側の取り組みが望まれる。なお、理想的には部品はベンダーから直接入手できることが望まれるところである。

6. カスケードリユースモデルの検討

自動車エンジン利用による家庭用コージェネレーションについて以下で検討する。

(1) 目的

我が国では原子力発電の休止による電力不足が深刻な問題として危ぶまれており、また将来に渡っては電力需要の増加が重大な問題となると考えられる。対応策としては 1) 火力発電の再開・増設、2) 省エネルギー対策の徹底による電力消費削減、3) 自家発電・コージェネレーション、4) 風力・太陽光等の新エネルギーの活用が考えられる。現状では主として 1) による対策が電力会社により進められているところであるが、地球温暖化問題を考慮するとむしろ 2) 並びにエネルギー効率の高さが期待できる 3) の普及が望まれるところである。4) は理想的ではあるが、エネルギーの安定供給性やコストの問題から近い将来の対策としては困難と考えられる。

3) の中でも、電力だけでなく熱利用の可能なコージェネレーションは以前からエネルギーの利用率が高いものとして注目され、工場や事業所等を中心に導入されてきた。反面、既存のシステムは大掛かりで高価かつ高い信頼性の求められるものであり、リユース品ゆえの一定のリスクを伴うカスケードリユース製品の入り込む要素は考えにくい。他方、家庭向けであれば、故障や動作不良程度のリスクは無料保証サービスによりカバーすることが一般に受け入れられており、カスケードリユース製品の導入は可能性があると考えられる。

既存のコージェネレーション製品のうち家庭用として開発されたものはごく少数であり、今だほとんど競合のないニッチ市場であると考えられる。そこで、資源の有効利用、二酸化炭素の排出抑制、電力負荷の削減に寄与することを目的として、使用済み自動車エンジンのカスケードリユースによる家庭用コージェネレーションシステムを検討するものである。

(3) システムの概要

1) 構成

- ・軽自動車用エンジン
(リユース品・LNG用改造)
- ・発電機
- ・熱交換機
- ・貯湯タンク

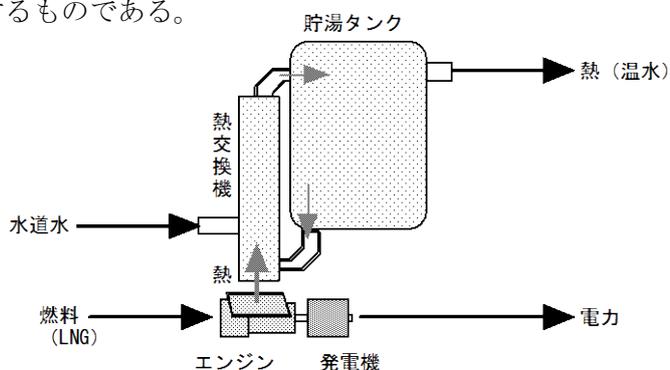


図 I-15 カスケードリユースによる家庭用コージェネレーションシステム構成

構成

システムは、電力と温水を家庭用に供給するものとした。温水は蓄積可能であるが電力は蓄積できないため、電力需要に応じて発生する熱を温水とし蓄積し、後で使用するためのタンクを備えるものとした。また、システムの効率は、燃料の低位発熱量に対して電力 20%、熱供給 60%とした(タンクからの熱損失は含まない)。

2) 定格出力

- ・エンジン最大出力：52ps (38kw)
- ・最大発電量：25.3kwh (システムの発電効率 20%)
- ・最大熱供給量：63.3wh (システムの熱効率 50%)
=54,500Kcal (総合熱効率 70%)

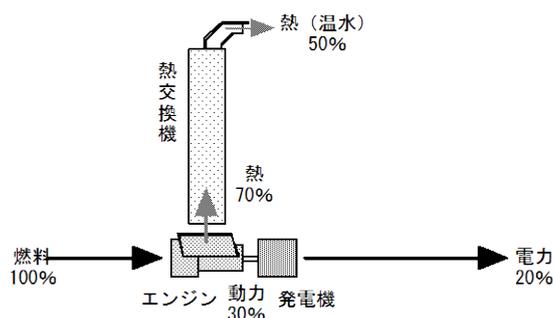


図 I-16 カスケードリユース家庭用コージェネレーションのエネルギー効率
-44-

このシステムを最大出力で運転すると、100V で 253A 供給となり、通常の家庭向けとしては過大である。常時は、この最大定格の 10% 程度で運転する (25A) ことと考えられる。この場合の熱供給は 6.3kwh (=5,450Kcal) となり、例えば風呂用に 200 リットルの水を 40°C 加熱するとした場合、

$$1.47\text{h} = 200\text{リットル} \times 40^\circ\text{C} / 5,450\text{Kcal}$$

となり、給湯の熱ロスとは考慮しない場合約 1 時間半で供給可能である。実際には、家庭用の電力は数時間に渡って必要とされると考えられることから、例えば貯湯タンクを 80°C × 300 リットルとすると、25A で 4.4 時間、12.5A で 8.8 時間の運転が可能となる。

(4) 検討項目

1) 運転コスト試算

比較対象の H 社家庭用小型コージェネレーションユニットのコストは以下の通りである。

価格：45 万円 (ハードウェアのみ)

出力量：電力 1.0KW、熱 3.25 KW=2,795Kcal (総合熱効率 85%)

燃料消費量：LNG 0.5Nm³/h (32 円/h)

エネルギー単価：

電力のみの場合 32 円/kwh

電力+熱 7.5 円/kwh (熱と電力を等価換算した場合)



図 I-17 H 社小型コージェネレーションユニットの概要

今回のシステムのコストは以下の通りである。熱効率をやや低く設定したため、22%ほど割高という結果となった。

出力量：電力 2.5kwh 熱 6.3kwh (10%運転時)

燃料消費量：LNG 1.27 Nm³/h (81 円/h)

エネルギー単価：

電力のみの場合 32.5 円/kwh

電力+熱 9.2 円/kwh (熱と電力を等価換算した場合)

2) 本体価格での比較

今回のシステムの本体価格は以下のとおり設定した。比較対象のH社ユニットは貯湯タンクなしの価格であるので、少なくとも 65 万円となり、本体価格ではカスケードリユースシステムが有利となる。

表 I-7 カスケードモデルの本体価格の推定結果

費目	価格	備考
エンジン (リユース品)	100,000	600CC
発電機	50,000	
熱交換機	70,000	
貯湯タンク	200,000	300リットル
フレーム、配管等	30,000	
加工費	50,000	
計	500,000	

3) 使用期間を踏まえた比較

使用を、1日に風呂2杯分の熱供給(熱:2×200×40Kcal)と想定した場合の1日あたりの費用(本体価格/総経過日数+燃料費)は以下の通りである。(燃料費はカスケード238円/日、H社183円/日)

使用期間が7年目までであればカスケードが有利となり、その後の差も小さい。H社製品に比べて遜色ないコストパフォーマンスを発揮できるポテンシャルがあることが示された。

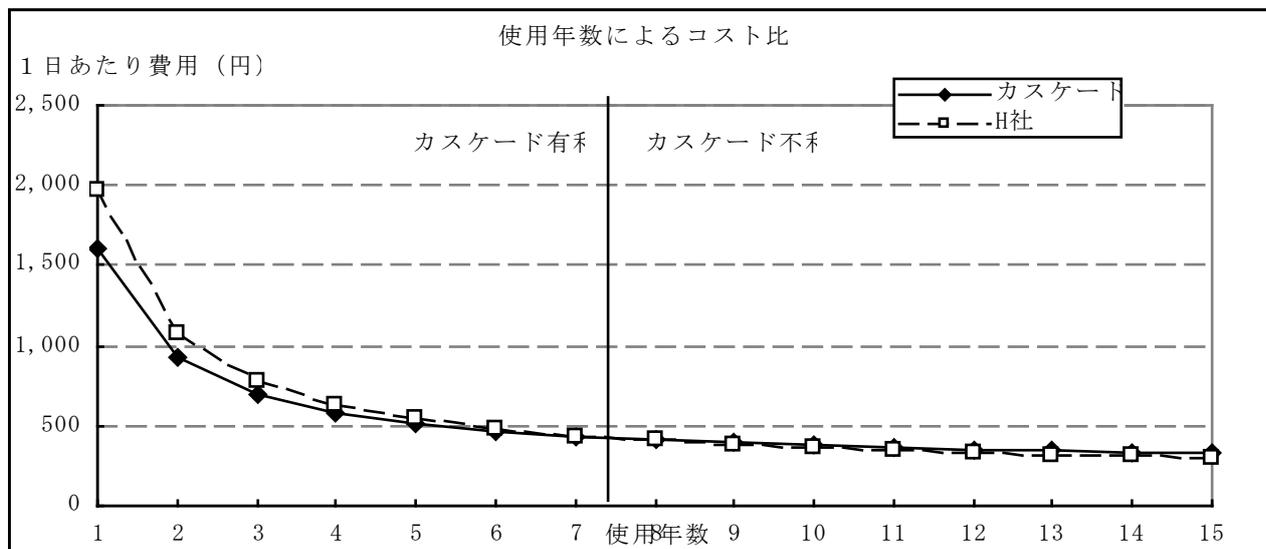


図 I-18 使用期間による1日あたりのコストの比較

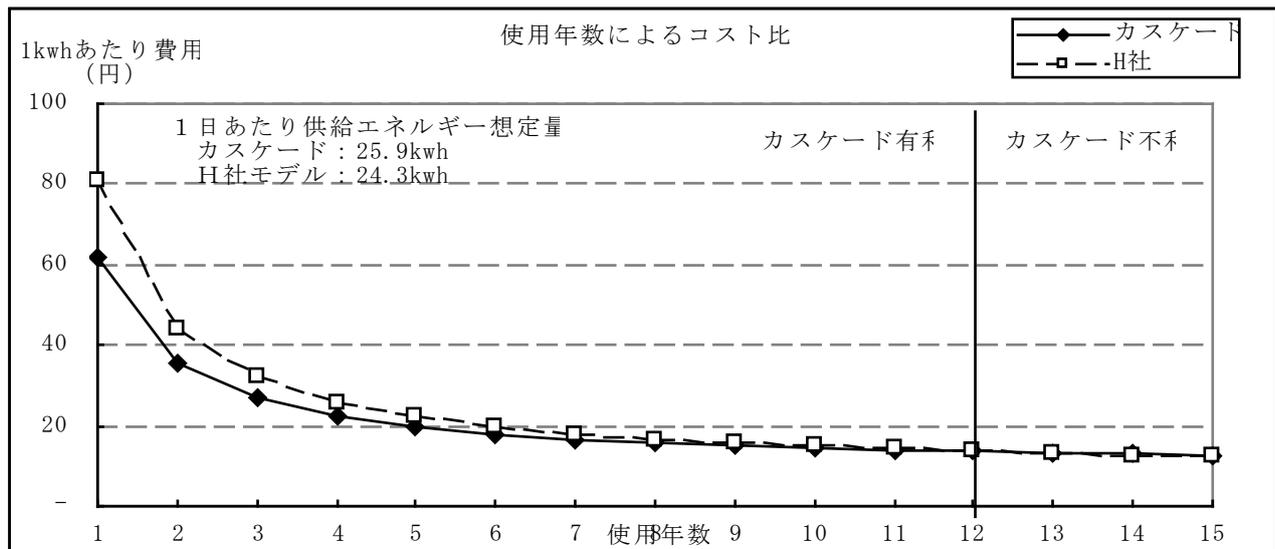


図 I-19 使用期間による 1kwh たりのコストの比較

同条件で1日ではなく供給エネルギー量あたりで費用比較した場合、カスケードが有利な期間は使用年数 12 年までと大幅に延長される。この時のエネルギー単価は 13.6 円/kwh となる。これは、エネルギー効率のバランス上カスケードモデルのほうが供給する電力量が多くなるためである。一般の商業電力（家庭用）と比較すると、日中ベースであれば地域、契約形態によっても異なるが 15～22 円/kwh であるため遜色ないと言える（夜間料金（6 円/kwh 前後）を含めて検討した場合、熱供給部分を夜間で換算すると商業電力は 9 円/kwh 程度になるため、コジェネレーションはやや割高という結果となる。）

表 I-8 東京電力従量電灯 B の料金 (円)

基本料金	契約	単位	料金
	10A	1契約	260
	15A	〃	390
	20A	〃	520
	30A	〃	780
	40A	〃	1,040
	50A	〃	1,300
	60A	〃	1,560

電力量料金	段階	単位	料金
	最初の120kWhまで (第1段階料金)	1kWh	15.58
	120kWhをこえ300kWhまで (第2段階料金)	〃	20.67
	上記超過 (第3段階料金)	〃	22.43

4) CO2 発生量について

各モデルのエネルギー供給量あたりの CO2 発生量は以下の通りである。

LNG の消費量は以下の通りである。これを用いて、

表 I-9 各モデルの燃料消費量

	単位	カスケードモデル	H社モデル
エネルギー供給量あたりの燃料消費量	Nm3/kwh	0.14	0.12

カスケードモデルの CO2 発生量 (LNG は CH4 換算)

$$0.28\text{kg-CO}_2/\text{kwh} = 0.14\text{Nm}^3 / 22.6 \text{リットル/mol} \times 16\text{g/mol} \times (12/16) \times (44/12)$$

H社モデルの CO2 発生量 (LNG は CH4 換算)

$$0.23 \text{ kg-CO}_2/\text{kwh} = 0.12\text{Nm}^3 / 22.6 \text{リットル/mol} \times 16\text{g/mol} \times (12/16) \times (44/12)$$

比較対象として、商業電力の CO2 発生量は以下の通りである。

我が国の商業電力の構成比率と、各発電施設における消費資源量は以下の通りである。

表 I-10 我が国の商業電力の構成比率と各発電施設における消費資源量

各種発電方式におけるエネルギー 1 Kwh 当たりの化石燃料投入量				
	日本の電源構成 (1996)	石炭 Kg	LNG Kg	原油 Kg
石油火力	17.7%			0.21
LNG 火力	23.3		0.17	
石炭火力	14.2	0.29		
原子力	34.6			
水力	9.6			

燃料消費量は以下の低位発熱量と発電効率より算出

燃料の低位発熱量	石炭	LNG	原油
Kcal/Kg	7,597	12,966	11,005
Kwh/Kg	8.8	15.1	12.8

発電施設の効率	石炭火力	LNG火力	石油火力
発電効率	39.6%	40.0%	37.9%

これらから、(発電方式の消費資源量×電源構成比)として商業電力 1kwh あたりの消費資源を求めると以下の通りである。(設備分、原子力分含まず)

表 I-11 我が国の商業電力の 1kwh あたりの化石燃料消費量

	石炭 kg	LNG kg	原油 kg	計 kg
燃料消費量	0.04	0.04	0.04	0.12

石炭起因 CO2 $0.14\text{kg-CO}_2 = 0.04\text{kg-石炭} \times 3.38\text{kg-CO}_2/\text{kg-石炭}$

LNG 起因 CO2 $0.11\text{kg-CO}_2 = 0.04\text{kg-石炭} \times 2.75\text{kg-CO}_2/\text{kg-石炭}$

石油起因 CO2 $0.11\text{kg-CO}_2 = 0.04\text{kg-石炭} \times 3.38\text{kg-CO}_2/\text{kg-石炭}$

合計 $0.36\text{kg-CO}_2/\text{kwh}$

となる。カスケードによるエネルギーあたりの CO2 発生量は商業電力の約 78%であり、約 22%の削減効果があるという結果となった。

Ⅱ. ビジョン構築委員会

1. ビジョン構築委員会の趣旨

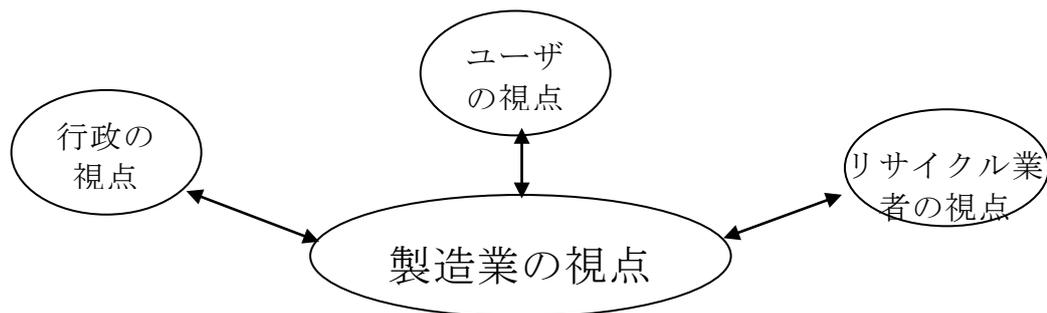
1.1 ビジョン構築委員会設立の背景

インバースマニュファクチャリングフォーラムが1996年12月に発足して、様々な活動を行ってきた。この間に循環型社会基本法の制定や、個別具体的な環境、リサイクル関係の法律の制定や京都議定書の批准などを通して、環境重視の考え方についての社会全体の認知度は、当フォーラムの発足当時に比べて、大きく高まってきている。ところが、製造業におけるインバースマニュファクチャリングは、一部特殊製品を除いて、フォーラムの活動にもかかわらず、表面的なものに終わっている。

この現実を分析し、インバースマニュファクチャリング実現の障害になっている事項(課題)を明らかにし、これを乗り越える方法や将来ビジョンからなるロードマップを提示することを目的として、2001年6月の総会で承認された「ビジョン構築委員会」がスタートした。このような活動が、日本の製造業にこれからの発展方向を示すことになり、製造業の今後の発展につながるものと確信している。

循環型社会には、複数の目標(省資源、省エネ、廃棄物削減、環境汚染防止など)が存在するが、それに取り組む立場もいろいろある。ビジョン構築委員会の活動として、製造業を中心としつつも次のような視点を盛り込んで活動を行うものとする。循環型社会構築のためには、プロダクトフローに関係するさまざまな主体を考慮する必要があり、従来からの製造業中心の視点のみでは対応できない点が生じるからである。

- ①製造業の視点：個別企業のインバース化へのビジョン(自動車、情報機器、家電ほか)
- ②行政の視点：経済産業省(産業機械、資源エネルギー)、環境省、厚生省、地方自治体等
- ③ユーザ：ユーザとしての行動、Public Acceptance、倫理/教育など
- ④廃棄物/リサイクルビジネス業者：事業ビジョン



特に④の廃棄物業者は、3R(reduce, reuse, recycle)の進み方によっては、自己の事業が消滅する可能性もあり、どのような将来展望を持っているかは今後の循環型社会構築のためにも考慮すべき重要なことからである。

また、ビジョン構築委員会の活動形態は、各視点からの調査検討結果を全体委員会で討論する形で進めるものとする。すなわち、各視点からの考え方や課題は相互に影響しあい、時にはコンフリクトを生じさせているという認識から、それらの構造を明確化し、これをブレークスルーするためのビジョンを描くことに主眼をおく。

現時点におけるインバースマニュファクチャリングのビジョン構築にあたっての課題を抽出し、インバースマニュファクチャリングをめぐる情勢を整理する。並行して、製品ライフサイクルに関与するさまざまな主体からの講演会活動・ヒアリング活動を実施し、課題を整理する。これをもとに、インバース社会へのロードマップ、ビジョンを構築し、そのために必要な中核技術やプロジェクト例を提示し、社会に対して提言を行う。

1.2 インバースビジョン構築にあたって必要な4つの視点

1.2.1 廃棄物・リサイクルビジネス業者の視点

廃棄物・リサイクルビジネス業者は、現在大きな活動の転機を迎えている。まず、マニフェスト制度の強化や、企業の廃棄物処理責任強化、あるいは相次ぐ産業廃棄物投棄が社会問題化したことにより、とにかく目の前の廃棄物を見えなくすればよい、という考えから、適切に無害化し処理するあるいは管理するということが重要になってきた。廃棄物処理法の強化により、不適切な業者の排除傾向も強くなってきた。その反面、廃棄物を排出する側の責務を強化することで、廃棄物処理することはコストがかかることという認識が強くなり、廃棄物処理費用が徐々に上昇している。最終処分場の容量が逼迫しているというだけでなく、適切な廃棄物処理・廃棄物管理のコストが目に見えるかたちになってきたと言える。廃棄物処理コストの増加は、製造業内部でのリサイクル活動を活発化させたり、廃棄物処理業者がさまざまなリサイクル活動を行うようになってきた。製造業の中には、ゼロエミッションを掲げ、廃棄物処理行為を一切なくすことを目標とする企業も目につき、従来の廃棄物処理業者は、適正コストで適正処理を行う業者と、リサイクル活動を推進する業者になる傾向に二分される。リサイクル活動を推進する業者は、同業者との競合だけでなく、企業内部のリサイクル活動との競合関係も生じ、中期的にどのような方針を持って活動しているかは、インバースビジョンを構築する上で重要な点である。

1.2.2 ユーザの視点

一般に消費者と呼ばれる、製品の使用者（ユーザ）は、循環型社会構築の上で一番大きなポテンシャルを持っていると言える。例えば、3人に2人にまで普及した携帯電話は、使用者が自ら携帯電話が提供するサービスを受け入れて自ら選択して購入した結果であり、この普及率の急増が、中継局などの携帯電話インフラ構築の資本になり、携帯電話が提供するコンテンツサービスの拡大につながり、好循環を生んでいる例である。現在では、携帯電話で自動販売機から商品が購入できたり、列車の運賃を自動的に徴収するシステムの開発を開始したり、本人認証機能を付加させたり、配送中の荷物が今どこにありいつ配達されるかといった情報もオンデマンドで入手できるようになった。現在の情報ネットワークは社会は、それが意図的、非意図的に関わらず、製品使用者が関与した結果である。インバース社会を構築する上でも、製品使用者に対してどのようなサービスを提供できるか、あるいは製品使用者がどのようなサービスを望んでいるかということは、考慮すべき重要な点である。

1.2.3 行政の視点

現在の我が国での循環型社会・リサイクル社会構築は、当初のきっかけは環境問題の高まりであったり、NGO などの地道な活動であったりするが、実効的な取り組みとなったのは、平成3年に制定された「再生資源の利用の促進に関する法律（通称：リサイクル法）」や平成7年に制定された「容器包装に係る分別収集および再商品化の促進等に関する法律」などの法律や、平成11年にまとめられた「循環型経済システムの構築について（循環経済ビジョン）」などの政策的な検討報告書のような政策・行政主導によるところが大きい。平成13年まで、我が国の産業政策は通商産業省が、環境政策は厚生省と環境庁が主に担ってきたが、省庁再編により、産業政策を経済産業省が、環境政策は環境省が受け持ち、政策検討プロセスは多少単純化した。さらに、産業政策と環境政策が対立していた時代から、産業政策と環境政策融合が図られ、「産業の環境化」「環境の産業化」という言葉に象徴されるように、徐々にではあるが、総合的な視点で政策が検討されるようになってきた。しかし、経済と環境のトレードオフがすべて解消したわけではなく、環境問題のなかでも地球温暖化対策と廃棄物対策がトレードオフになっていたり、一筋縄ではいかない局面も多く見られ、政策的にどのようなトレンドにあるかというのはインバースビジョン構築においても重要な点である。

1.2.4 製造業の視点

製造業や産業界は全体としてみると、「規制的対応」でなく「自主的対応」を基調として環境対応を推進するとアピールしている。これは法制度による規制的対応は自由な企業活動が阻害される恐れがあるという判断が背後にある。このため、経済界全体が直面する重要課題の解決を図り、自由主義経済の維持・活性化を目的とする経済団体連合会（経団連）は、1991年4月には1992年のリオサミット（地球サミット）に先駆けて「経団連地球環境憲章」を制定し、1997年には「経団連環境自主行動計画」を策定し、地球温暖化対策と廃棄物対策の両面から各業界の自主的行動をとりまとめて、計画を遂行している。この計画の中で、例えば日本電機工業会では、廃棄物対策の目標として、「2010年には、事業所からの排出物の再資源化率を75%に向上させる（1991年54%）。同様に最終処分委託率を10%にする（1991年26%）。リサイクルし易い家電製品設計。」を掲げている。また、ゼロエミッション団地やエコタウン計画などでも、産業クラスターと呼ばれる異業種企業連合を形成し、産業界主導型の循環型地域形成を推進しようとしている。

1.3 ビジョン構築にあたっての課題の抽出と整理

1.3.1 インバースと部品再利用と循環型社会の理念の明確化

循環型社会形成推進基本法による循環型社会とは、大量の廃棄物、リサイクルの低迷、廃棄物処理施設の立地の困難性、不法投棄の増大、といった問題の解決のため、「大量生

産・大量消費・大量廃棄」型の経済社会から脱却し、生産から流通、消費、廃棄に至るまで物質の効率的な利用やリサイクルを進めることにより、資源の消費が抑制され、環境への負荷が少ない社会である。

具体的には、事業者・国民の「排出者責任」を明確化し、規制を強化するとともに、生産者が、自ら生産する製品等について使用され廃棄物となった後まで一定の責任を負う「拡大生産者責任(EPR, Extended Producer Responsibility)」の一般原則を定めた。

拡大生産者責任には、発生抑制、製品の事前評価、リサイクルしやすい商品設計、事業者回収(製品の引取)、循環的な利用の実施、デポジット制、リターナブル容器、レンタル・リース・メンテナンス事業の拡大などが検討されている。

これに対して、梅田靖によると、インバースマニュファクチャリングとは、ライフサイクル設計、製品の長寿命化、メンテナンス技術、自己修復、成長する人工物などを基礎技術としたライフサイクル産業としての新しい製造業のあり方であり、めざすべき製品ライフサイクルの特徴は次の5点である。

- ① 閉ループによる循環型ライフサイクルの実現
- ② リサイクルだけでなく、製品を長寿命化するメンテナンス、補修・部品交換などによる製品の再生、部品リユース、を中心とした「小さな閉ループ」の実現。
- ③ 製品機能により社会的要求を充足する「量的充足から質的充足への転換(脱物質化、dematerialization)」
- ④ 足りない人工物だけを新たに作る。つまり社会ストックとしての人工物の存在を前提とし、その循環を実現させる適量生産。
- ⑤ 製品の製造販売のみを対象とする製造業から、人工物のライフサイクル全体で付加価値を追求し、脱物質化と閉ループ型ライフサイクルを実現する「ライフサイクル産業」への転換。

循環型社会とインバースを比較すると、循環型社会は、主として廃棄物処理における問題点を解決するために、排出者責任(長期使用、再生品の使用、回収協力、事業者への引き渡し)と拡大製造者責任(製品の事前評価、製品引取、レンタル・リース業への業務拡大)を位置づけているのに対して、インバースマニュファクチャリングにおいては、製造業者が主体となり製品のライフサイクルを管理することにある。特徴的に記述すると、循環型社会は、社会における環境パフォーマンスの向上であり、インバースは、製造業によるライフサイクルマネジメントシステムの構築といえる。

例えば、中古市場の場合、循環型社会の立場からは、活性化しているかどうか重要であり、インバースの立場からは、(できれば製造業によって)管理されているかどうか重要なのである。この意味では、製造業傘下のメンテナンス専門業者が製品管理をしている産業機械においてはインバースの優等生であり、アルミ缶のようにほとんど管理されていないがリサイクルされ最終処分量がほとんどないものは循環型社会の優等生ということになる。

1.3.2 インバースと現実の社会システムのすり合わせ

(1) 法規制

我が国の環境に関する法規制はすでに制定されており、強制力も持っている。これらの法規制を無視しては、現実的なインバース社会を実現することはできない。平成3年に制定された「再生資源の利用に促進に関する法律（リサイクル法）」は平成12年5月に抜本的な改正がなされ、名称も「資源の有効な利用の促進に関する法律（資源有効利用促進法）」に改められた。これは平成13年4月から施行されており、政省令によって対象となる業種や品目が定められている。今回の改正に伴い、「指定省資源化製品」として、自動車、家電、パソコン、パチンコ台、金属製家具など19品目が指定され、「指定再利用促進製品」として、既指定の自動車、家電4品目、ニカド電池使用機器の20品目に加えて、電子レンジ、衣服乾燥機、複写機、パチンコ台、金属製家具、小型二次電池使用機器など32品目が追加された。「指定省資源化製品」においては、原材料の使用の合理化、長期間の使用促進、修理にかかる安全性の確保、修理の機会の確保、安全性の配慮などが改善項目になっている。また、「指定再利用促進製品」については、原材料の工夫、構造の工夫、分別のための工夫、処理にかかる安全性の確保、事前評価、情報の提供などが改善項目になっている。この法律により、パソコンと小型二次電池については再資源化の数値目標が定められた。

また家電リサイクル法では、家電4品目について再商品化率の数値目標が定められている。

なお、自動車については、平成12年7月以来、法制化も視野に入れた自動車リサイクルシステムについて検討を行っており、平成13年4月に「自動車のリサイクルの促進に向けて」をとりまとめ提言を行った。

(2) 業界の自主的対応

業界としてさまざまな自主的対応も行っている。事業者が廃棄物処理・リサイクルとして取り組むべき事項を提示することにより、事業者の自主的な取り組みを促進することを目的として、廃棄物処理・リサイクルガイドラインが策定されている。資源有効利用促進法の施行を踏まえ、ガイドラインの改定案が提出された。この改定案では、事業者の3Rの取り組みの進展を背景に、携帯電話、PHS、蛍光灯、自動販売機、レンズ付フィルム、建設資材、浴槽・浴室ユニット、システムキッチンの7品目が追加された。

家電製品については、「家電製品製品アセスメントマニュアル（平成13年3月）」に基づいて、省資源化に配慮した設計、長期使用が可能な部品の採用等による製品の長期使用に資する設計、リサイクル容易な素材の選択等によるリサイクルに配慮した設計等についての製品アセスメントを実施する、製品アセスメントの実施状況の広報などが盛り込まれる予定である。

パーソナルコンピュータ及びその周辺機器については、製品アセスメントを着実に実施し、設計・製造での取り組み状況および効果公表する方策について検討し公表すること、（社）日本電子工業振興協会が策定した「パーソナルコンピューターのリデュース、リユース、リサイクルに関する自主行動計画（平成11年12月）」を踏まえた活動を行うことが盛り込まれる。

携帯電話・PHSについては、製品全体のリデュース、リユース、リサイクル配慮設計を推進するため、「携帯電話・PHSの製品環境アセスメントガイドライン（平成13年3月）」を指針として製品アセスメントを実施すること、全国の携帯電話・PHS専売店約7,000店

舗における事業者ブランドおよびメーカーブランドを問わない使用済み端末の回収の実施などが盛り込まれる。

自動販売機については、日本自動販売機工業会の自主基準である「製品アセスメントマニュアル（平成9年4月）」に基づき、設計段階での製品アセスメントの実施を促進するとともに、リユース容易な設計、リデュースに配慮した設計を含めたマニュアルの見直しを行うこと、また、日本自動販売機工業会、日本自動販売協会、全国清涼飲料工業会、日本自動販売機保安整備協会が制定した「自販機の適正廃棄マニュアル（平成13年2月）」に基づき、リサイクルの向上とフロン回収等の適正処理に努めることが盛り込まれる予定である。

(3) 企業の自主的対応

業界という大きなくくりでなく、一企業の自主的対応も行っている。この場合は、企業間の競争が存在する場合がほとんどで、他企業より先行してシェアを確保したい、行動によって利潤が生まれるという実メリットがある場合である。

資源有効利用促進法の施行に伴い、パソコン企業の自主的な取り組みも始まっている。

東芝は電機業界で初めて中古家電のレンタルサービスに乗り出す。平成13年4月に施行された家電リサイクル法に伴い、消費者とメーカー双方のコスト負担を低減し、製品寿命を有効に活用する事業モデルを構築することを目的としている。東芝の子会社で家電製品の保守・点検を手がける東芝テクノネットワークを通じて中古家電を回収・整備し、レンタルサービスを開始する。回収した自社製品を、絶縁状態など20項目を確認したうえで清掃・抗菌処理して貸し出すもので、レンタル期間は2-4年。利用者はインターネットに開設した同社のホームページで申し込む。単身赴任者や学生向けを中心に洗濯機、冷蔵庫、ビデオ付きテレビ、電子レンジの4製品セットを月額3000円程度で貸し出す。2002年度に1万件の利用を見込んでいる。賃貸物件を探す際に利用する不動産業者と連携して、不動産業者の店頭でも申し込めるようシステムを構築する。

日本IBMとソフマップは、パソコンのリユース・ビジネスや中古PC市場の活性化を目指し、日本IBM製の使用済みPCの下取り回収およびリユース販売で協業する。耐久性や信頼性、デザイン性から中古市場でも高い人気をもつ「ThinkPad」を始めとした日本IBMと、下取り査定、販売などに関するソフマップの豊富な実績とノウハウを組み合わせることで、中古PC市場を定着、活性化し、両社ビジネスの拡大を図ることが目的である。具体的には、日本IBMの直販サイト「ibm.com」で新規購入を予定しているユーザーを対象に特定機種の下取りを行い、回収した使用済みPCを日本IBMがソフマップに対して転売、それをソフマップが自社の販売網を利用してリユース販売するシステムである。使用済みPCの下取り交換によるダイレクト・ビジネスの拡大を見込んでいる。ソフマップでは、この協業によって下取り差額交換によるPC買い替えの方法を一般化、中古PC市場の活性化を目指す。

NECは、パソコン顧客の電話相談に応じる大規模コールセンターを都内に新設する。約200人の専門要員を配置し、年中無休体制をとる。アフターサービスを拡充し、顧客の再購入率を現在の32%から2003年度までに64%に引き上げる。パソコンの4生産子会社を統合したNECカスタムテクニカの営業開始に合わせて大型コールセンターを新設する。全国14カ所に分散していたコールセンターを今年度内に東京、大阪、沖縄に集約。3カ所

にパソコンの専門知識を持つ電話対応要員を置き、手厚く対応する。国内パソコン最大手のNECは初心者の購入が多い半面、再購入者が少なく、シェアが伸び悩んでいたことに対応する。

(4) 産業界全体のトレンド

このように、産業界の循環型社会構築に関する全体的な傾向としては、法制度の制定によって、①排出者が回収に協力するという排出者責任の明確化、②事業者が3R+適正処理を行うという拡大生産者責任、そのための③再資源化事業者の登録制度、④管理のためのマニフェスト制度、⑤再資源化率（リサイクル率）の数値目標設定、という5本柱を定め、これに応じて各業界が自主的にガイドラインやマニュアル、指針などを作成して、「製品アセスメント」を実施するという流れになっている。

また、製造業、流通業、メンテナンス業などの垂直連携によって、新しいビジネスモデルも構築されつつある。流通業の合理化に製造業が乗り出すことにより、従来の複雑な流通が整理されるという流通革命がさらに進化し、サプライチェーンマネジメントが構築されつつある。流通における中間マージンを節約することで利益率を確保するねらいと、顧客の囲い込み（シェアの確保）するねらいがある。従来の松下やコカコーラ、最近のコンビニエンスストアチェーンのように小型店を組織化する形態、大規模量販店（ディスカウントストア）の実績とノウハウを活用する形態、アパレル業界を中心としたSPA（製造小売）的な形態など多様な形態が想定されるが、これらの動きは、環境負荷低減やライフサイクル管理といった視点とは全く別の次元で行われているが、資源利用効率は向上しているであろうし、ライフサイクル管理も進展していることは間違いない。

(5) 既存の法規制に対するアプローチ

既存の法制度を所与の条件として考えるのではなく、よい活動の障害になっている法制度を指摘し改正することを提案することも重要なことである。秩序ある競争社会を実現するためのルールづくり、あるいは安全性・消費者保護の観点からの法規制は必要だが、それ以外の場合については、規制緩和が社会の主流になっている。環境の面から個別法が障害になっている場合も少なからずある。例えば、ペットボトルのリサイクルは現在は繊維（ファイバー）リサイクル（服やカーペット）が主流である。本来閉ループ実現の観点からは、ボトル to ボトルのリサイクルが望ましいし、技術的には多少のコストの問題はあるにせよ可能である。問題は、食品衛生法との整合性であり、食品容器については、食品衛生法の第8、9、10条によって規制されており、食品添加物等の規格基準（昭和34年厚生省告示第370号）に適合する必要がある。この基準を確実に満たすためには、リサイクル品の品質を保証しなければならない。リサイクル材料も基本的にはこの基準を満たしているが保証できるとは限らないため、バージン材料によるサンドイッチ構造にするなどの提案がなされている。

電子機械製品については、PL法、電気用品取締法など関連法規の対応が必要とされている。例えば、使用者が違法な改造を行い、回収された製品をリユースする際に、製造業者がその改造を検出できずに、次の使用者の手に渡り、そこで事故に至った場合であっても、リユース業者が製造物責任法第2条第3項の三「当該製造物の製造、加工、輸入又は販売

に係る形態その他の事情からみて、当該製造物にその実質的な製造業者と認めることができる氏名等の表示をした者」に該当する場合には、製造物責任の責任主体となる。また、製造物責任法での製造業者に該当しない場合でも、改造を検出できないまま危険物を出荷した過失について、民法上の不法行為責任あるいは債務不履行責任を負う可能性があり、このような問題発生の可能性を回避したいと考えるのは自然の行動である。

これらの具体的な制度上の障害を解決しなければ、インバースマニュファクチャリングの実現は困難である。現状の社会における個別問題を取り上げ、インバース社会実現に向けて細かい規制緩和を図ることも重要な課題の一つである。

1.3.3 IT 技術をどうインバースに組み込むか

IT 技術の最大の活用ポイントは、管理の自動化・効率化である。ISO14001 では、環境方針を作成すること、環境側面の特定と環境影響の評価を実施すること、目標を設定すること、記録をとることなど、いくつもの点について文書化し、継続的改善を行うことが重要なポイントとなっている。自動記録技術、文書管理などは IT 技術の最も得意な分野であり、IT 技術の活用が行われている。

インバースマニュファクチャリングにおいては、製品のライフサイクル管理がキーワードであり、

- ・どのような情報をどのように記録するか
- ・誰がどのようにその記録を管理するのか

の 2 点が IT 技術を活用するポイントである。

インバースマニュファクチャリングにおいて、重要な製品ライフサイクル情報は、①設計情報、②使用履歴、③製品状態の 3 つである。設計情報は、どのような部品があり、それぞれの部品はどのような材料が使用され、個々の部品の寿命や信頼性はどの程度であり、メンテナンスやオーバーホールのための分解工程手順などで構成される。使用履歴は、使用時間、使用強度、使用環境条件など、製品の劣化状況を予測できる情報で構成される。製品状態は、まさに劣化度合いを示す情報であり、自動車であれば、エンジンオイルの流量、ブレーキパッドの残量、燃費、バッテリーの電圧などの情報で構成される。さらに詳細な製品状態情報として、エンジンオイル流量を決定する、オイルフィルターの圧力損失、オイル粘性、不純物度、というように情報詳細度を上げることも可能である。この分野における課題は、部品レベルの設計情報は技術情報である場合が多く、インバースマニュファクチャリング実現のための設計情報と、知的所有権の生じる可能性がある内部技術情報を整理する必要があるということである。また、使用履歴や使用状態については、センサ技術の開発と、いくつかの状態情報の階層化が必要である。

次に誰がこれらの情報を管理するかである。インバースマニュファクチャリングにおいては、製造業が中心となる製品ライフサイクル管理という考え方が基本であるので、製造者が情報を集中的に管理するというのが一番明快である。しかし、使用履歴や製品状態は製造工場における情報ではない。さらに、製造業に比べ、流通の方が力を持っている場合が多く、製品管理の主導権を製造業が持っていない場合が多い。こうした状況を考慮して、製造業、流通業、利用者などがネットワーク上に製品ライフサイクル情報を提供し、共同

管理するという形態も想定される。

1.3.4 ビジョンとロードマップ(工程表)の必要性

(1) 循環経済ビジョン

インバースのビジョンを構築し、ロードマップ(工程表)を作成することが大きな課題であろう。もちろん本委員会の目的もここにあるが、まずビジョンと呼ばれるものにどのような内容が必要なのか、関連する「ビジョン」である産業構造審議会が作成した「循環経済ビジョン(循環型経済システムの構築に向けて、平成11年7月)」について整理する。

これは平成12年6月に公布された「循環型社会形成推進基本法」のきっかけになった報告書であったが、基本法と比較すると、経済と環境の調和に重点が置かれるとともに、包括的な取り組みについて記述されている。

まず、循環型経済システムについて、環境制約や資源制約への対応を産業活動や経済活動のあらゆる面にビルトインされ、環境と経済が統合されたシステム、と定義し、そのための課題として、①社会全体における環境対策について取り組みの実施にかかるコストが適切に内部化されるシステムの構築、②各主体が担うべき役割分担のルールが社会の明確な制度として確立すること、③取り組みに関する情報提供・開示とそのルール・枠組みが確立すること、をあげている。

また、循環型経済システムのコンセプトとして次の5点に整理している。

① 投入と排出を最小化し、資源・エネルギーの利用効率(環境パフォーマンス)の最大化

また、社会全体に環境保全コストの内部化

② 事業者・消費者・行政のパートナーシップ

③ LCA技術の開発、機能アップグレードや長期使用促進技術などのリデュース技術、余寿命予測技術や製品使用履歴の管理技術などのリユース技術、素材等の高度分別やリサイクルしやすい素材・製品の開発などのリサイクル技術、生産プロセスの合理化や異なる事業者間での廃棄物の再利用などの生産プロセス技術、廃棄物の発生とリユース・リサイクルを結ぶ静脈物流の効率化技術など、新たな産業技術体系(コア技術)の確立

④ 複写機の部品リユースなどの生産システム、自動車中古部品ネットワークなどのリペア・リユース市場の出現、運送業による広域的な廃棄物輸送サービスの伸長、ガス化熔融炉などのリサイクルビジネスの高度化、エコセメントやRDFなどの廃棄物の新たな利用など、産業の環境化活動の進展

⑤ リデュース・リユースによる経済縮小均衡に対する危惧の回避

また、パートナーシップ及び役割分担については、排出者責任の原則を中心に据えつつ、製品設計や、製造プロセス、異業種間の連携、リユースやリサイクルビジネスの実施、ライフサイクルアセスメントの実施など、事業者が取り組むことが環境改善に対して効果が大きい、とした上で、事業者の環境配慮の取り組みを促進する要因として、社会や消費者の環境配慮型製品へのニーズの高まり、廃棄物処理コスト等の環境対策コストの上昇への対応、環境規制への対応などをあげ、外部化されている環境対策コストを内部化すること

の意義を説明している。また、消費者行動の環境配慮の行動を促進する要因についても、消費者がコストにより動機づけられることを提示している。

(2)ロードマップの作成

ロードマップを作成するためには、時間軸を入れたさまざまな活動のマッピングをすることが必要になる。ここには大きく分けて3つの内容が必要になる。一つはインバース社会構築に向けてのアクション群と実効までの時間を示したものである。例えば、使用するプラスチックの種類を革新的に減らすリサイクル設計を行っても、その製品の平均寿命が10年あれば、実効性を持つのは実施してから約10年後である。もう一つは、これから開発される技術のタイムテーブルである。マクロ的には文部科学省（昔は科学技術庁）が行っている技術予測調査がある。ミクロ的には各企業が開発している技術がいつ頃社会に普及しそうかをマッピングすることである。自動車業界では、燃料電池技術の開発時期などをマッピングして企業の技術開発戦略に活用されている。最後に、法制度などの改革に関するマッピングである。すでに問題が指摘されている法制度や計画がある程度明確になっている。これらをマッピングして、制度改革に合わせたアクションを検討することが必要となる。

1.3.5 インバースのための要素技術開発

ここまでに繰り返し述べてきたし、5年間のインバースマニュファクチャリングフォーラムでも充分議論されてきたと思うので、ここでは項目をあげるにとどめる。

従来からあるが基礎設計技術として重要なもの

- ・易分解性、易分離性設計
- ・LCA 評価
- ・信頼性設計
- ・構造の単純化、部品数の削減、軽量化
- ・易リサイクル材料
- ・規格・標準化、高互換性化
- ・メンテナンス性設計

インバースマニュファクチャリング型製品のために新しく必要となるもの

- ・アップグレード設計
- ・モジュール化設計
- ・リユース設計
- ・運搬、回収性設計
- ・洗浄、検査の容易化
- ・適性品質設計、寿命設計
- ・余寿命診断
- ・外観の更新

1.3.6 インバース社会を評価する目標・指標の必要性

(1) 環境評価の指標

一般に環境評価については、LCA が環境パフォーマンス評価で議論されることが主流となりつつある。

LCA においては、製品の環境影響は、その製品の全ライフサイクルを通じて評価する。したがって、製品を作るための資源の採取からはじまり、寿命を終えた製品が廃棄され、環境に戻るまでの全ライフサイクルにわたっての環境に対する負荷を積算し、環境に対するインパクト（影響）を評価するものである。LCA に関しては、国際標準規格 ISO14040 (Life Cycle Assessment - Principles and Framework) が規定されている。この中で、LCA の手法の枠組みについて詳細に記述されている反面、LCA として完成されたものではないという記述も盛り込まれている。規格の 1 章の部分では、「基本原則と枠組みおよび手法上の最小必要要件を示す」「詳細な LCA 手法を規定するものではない」「LCA は環境管理手法の一つ」「すべての状況に対して最適な手法ではない」などの表現もされている。また、「LCA は開発途上の手法」であり「環境影響評価手法については初歩段階」であるとしている。このように、ISO レベルでも LCA は普遍的な手法として確立している状況ではない。

また、実際に LCA を実施するにあたっては、プロセスをどこまで細分化できるかや、負荷分配をどのような方法で行うか、必要なデータが得られるかなど、さまざまな課題が残されたままである。我が国においては、産業環境管理協会が中心となり国家プロジェクトを立ち上げ、データの収集を行い、LCA の標準化をめざして努力しているが、手法としてどの程度確立することができるのかはまだ未知数である。

これに対して、環境パフォーマンス評価は、企業の環境管理システム構築、あるいは環境報告書作成の一環として、さまざまな提案が行われている。一つの組織の投入資源と廃棄物発生量のデータを単位時間（通常は一年）ごとに収集し、前回と比較してどの程度投入量と排出量が少なくなっているかを評価している。企業によっては、売上額や製品出荷量などで割ることで、指標化を図っているケースも見られる。この評価手法は、さまざまな組織によって前提条件は異なるものの、同一条件の組織において、時系列的な改善効果を定量的に評価することができるという意味で有効である。ただし、この評価手法についてもさまざまな提案がなされている段階であり、とても標準化するという段階ではない。また、組織全体の指標であることから、個別の取り組みと関連が見えにくいという欠点も持っている。

(2) インバース社会構築のための指標

このように環境評価については、最終的な環境影響評価は難しいものなるべく細かなプロセスにおける投入量と排出量計測するという流れになっている。製品のライフサイクルに関するすべての段階においてこの測定がなされれば、ライフサイクルインベントリーについては、データが整備されることになる。少なくともこれらのデータ整備に向けての環境整備は重要な課題となっている。

しかし、これらの環境指標はあくまで環境負荷からの観点のみの評価であり、インバース社会構築のための評価や目標、メルクマークとして活用することはできない。インバース社会の究極的な目標は、環境負荷を削減しつつ製品管理によってユーザに最適サービス

を供給し、閉ループ構築、脱物質化を図ることであり、効用や付加価値といったものも目標に融合させていくことが必要となる。

2. インバースマニュファクチャリングをめぐる情勢

2.1 インバース・マニュファクチャリングの定義

これまでの設計・生産の基本的な目標は「機能・品質の高いものを設計し、いかに効率よく無駄なく作るか」ということであった。資源・エネルギーの枯渇問題、地球温暖化や廃棄物処分場問題などの環境問題、使用時や廃棄時も含めた製品ライフサイクル全体におけるリスク安全問題などが社会問題化することによって、設計・生産に対する要求は更に高まってきたと言える。これらの要求に対応するため、「要求されるサービスを満足させ、利益を確保しつつ、いかに無駄に資源・エネルギーを消費しないですませるか」という視点が重視されている。

すなわち、従来の設計・生産の目標をさらに発展させ、高度化させることがものづくりの現場に要求されているのである。我々の提唱する「インバース・マニュファクチャリング」はこのような新しい社会要求を実現する設計・生産システム全般を指す。

したがって我々の定義するインバースマニュファクチャリングは一部で認識されているような、「クローズドループの下で、使用済み製品を回収し、製品、部品、材料の形でリユース・リサイクルが実施されている場合使用済み製品がリース契約の終了などによりメーカーに戻されるものについて、使用済み製品の中に含まれる部品のうち再使用が可能なものを、新製品を製造する工程に部品として投入する」ことのみを指すのではなく、「製品ライフサイクル全体の視点から資源・エネルギー消費量、廃棄物量、及び環境負荷を最小化するような循環型製品ライフサイクル・システムを実現すること」である。

2.2 インバース・マニュファクチャリングに関する我が国の法制度

2.2.1 循環型社会形成推進基本法

現在まで、「循環型社会形成推進基本法」をはじめとして、廃棄物・リサイクル対策に関する法律が多数整備された。循環型社会形成推進基本法は、人類の活動によって発生する環境負荷が自然の循環を阻害し、これまでのような経済社会活動のあり方そのものが限界を迎えているのではないかという認識のもと、21世紀の経済社会のあり方として考えられた「循環型社会」の実現に向けた道筋を明らかにするために平成12年6月2日に公布され、制定され、平成13年1月6日に完全施行された。

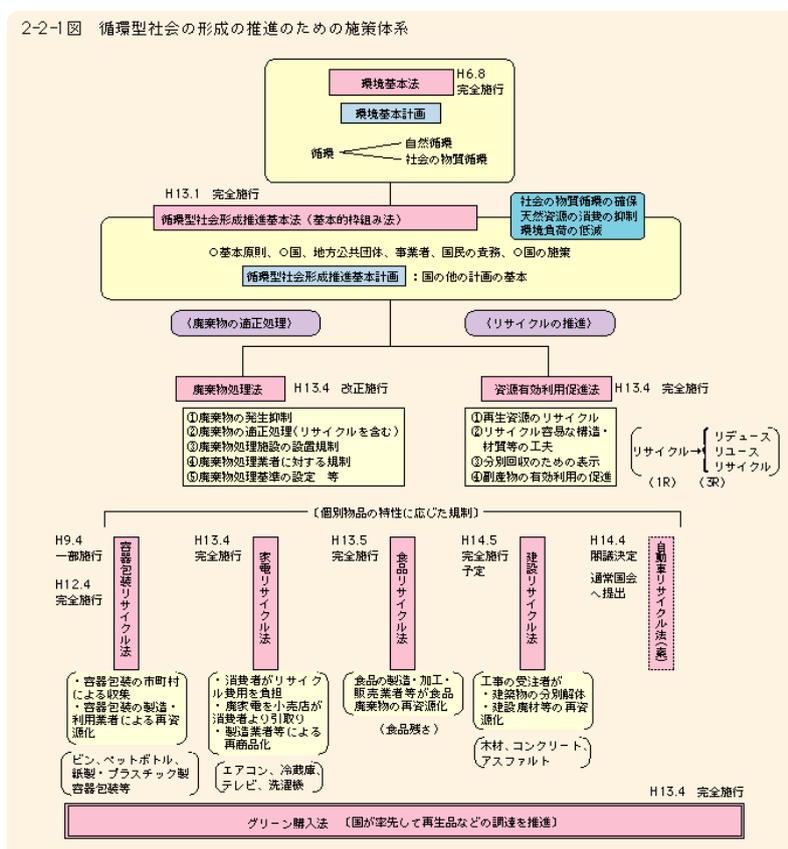
この法律において、「循環型社会」とは、製品が廃棄物になることを抑制し、排出された廃棄物をできるだけ資源として利用し、どうしても利用できないものは適正処分することを徹底する社会と定義した。この循環型社会においては、天然資源の消費が抑制され、環境への負荷が低減される。

廃棄物に対する施策の優先順位を明示したこともこの法律の特徴の一つである。すなわち、第一に発生抑制、第二に再使用、第三に再生利用、第四に熱回収、最後に適正処分というものである。ただし、この順位に従わないことが環境負荷の低減に有効である場合はこの順位に必ずしも従わなくてもよいものとしている。

また、事業者及び国民の排出者責任を明らかにするとともに、拡大生産者責任を明確に位置づけた点が大きな特徴となっている。排出者責任とは、廃棄物の排出者が適正なリサイクルや処理に関する責任を負うべきであるという考え方であり、廃棄物・リサイクル対策の基本的な原則の一つである。

これに対して拡大生産者責任は、生産者が、製造する製品の耐久性の向上、設計の工夫、材質や成分の表示等を行う責務、一定の製品について引き取り、引き渡し、循環的な利用を行う責務である。

さらに、循環型社会の形成に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るため政府に「循環型社会形成推進基本計画」の策定を義務づけている。この基本計画には施策の基本的な方針、政府が総合的かつ計画的に講ずべき施策、施策を総合的かつ計画的に推進するために必要な事項について定めることとされている。これについては、環境省の中央環境審議会の循環型社会計画部会を中心に検討が進められており、平成15年3月までに策定されることになっている。



2.2.2 廃棄物処理法

廃棄物処理法は、1970年に成立した法律で、事業者の産業廃棄物の処理責任を明確にし、産業廃棄物についての処理体系を確立させ、生活環境の保全と公衆衛生の向上を目的として制定された。その後1991年には、大量生産、大量消費を基調とする経済規模の拡大、利便性を求める消費者要求の高まり、産業構造の高度化などを背景として、廃棄物の排出量の増大、最終処分場などの確保難、不法投棄の社会問題化などに対応して改正が行われ

た。また、1997年には、廃棄物の減量化とリサイクルの推進、廃棄物処理の安全性と信頼性の向上、不法投棄対策の三つを柱とする総合対策を講じるために廃棄物処理法の改正を行った。さらに、2000年には、廃棄物の処理や処理施設に関する規制を強化し、産業廃棄物管理票制度（マニフェスト制度）の見直し、不法投棄等が行われた場合に原状回復等を命ずる措置命令制度の強化、野外での廃棄物焼却の禁止などを盛り込んだ法改正が行われた。

2.2.3 資源有効利用促進法

この法律は2000年に成立した。この法律は、事業者による製品の回収・リサイクルの実施などリサイクル対策を強化するとともに、製品の省資源化・長寿命化による廃棄物の発生抑制対策、回収した製品からの部品等の再使用対策を新たに講じた法律である。これをそれぞれ、リサイクル、リデュース、リユースとよび3Rと一般的に呼んでいる。

具体的には2001年4月より10業種、69品目がこの法律の対象業種・対象製品として事業者に対して3Rの取り組みを求めている。まず業種と品目に大きくわけ、業種については省資源を主とした「特定省資源業種」と再利用を主とした「特定再利用業種」を指定している。品目については、「指定省資源化製品（リデュース）」「指定再利用促進製品（リユース）」「指定表示製品」「指定再資源化製品（リサイクル）」「指定副産物」の4つに分けて、それぞれの取り組みを求めている。

2.2.4 特定家庭用機器再商品化法(家電リサイクル法)

これまで、一般家庭から排出される使用済みの廃家電製品は、その多くが破碎処理の後に鉄などの一部の金属のみ回収が行われている場合があったものの、おおよそ半分はそのまま埋め立てられていた。

廃家電製品には、鉄、アルミ、ガラスなどの有用な資源が多く含まれ、また、我が国の廃棄物最終処分場の残余容量が逼迫していることから、使用済み廃家電の製造業者および小売業者に新たに義務を課すことを基本とする新しい再商品化の仕組みを定めた家電リサイクル法が1998年に制定された。

この法律では、家庭用エアコン、テレビ、冷蔵庫、洗濯機の家電4品目について、小売業者による引き取りおよび製造業者（輸入業者含む）による再商品化（リサイクル）が義務づけられた。また消費者（排出者）には家電4品目を廃棄する際に、収集運搬料金とリサイクル料金を支払うことなどをそれぞれの役割分担として定めた。

製造業者は引き取った廃家電製品の再商品化（リサイクル）を行う場合、定められているリサイクル率を達成し、エアコンと冷蔵庫に含まれるフロン回収を義務づけた。

2.3 インバース・マニュファクチャリングに関連する我が国の審議会等

我が国では、産業政策を経済産業省が、環境政策を環境省が、その他に国の方針として

内閣府の総合科学技術会議や経済財政諮問会議などが主体的に、審議会を主催しさまざまな情報を集約し、検討を行っている。

さまざまな会議の資料や報告書は公開されており、これらの情報を整理することで、政策の全体の動きや、各省庁の考え方の違いなどを読みとることができる。ここでは、環境省の中央環境審議会、経済産業省の産業構造審議会、経済財政諮問会議の循環型経済社会に関する専門調査会の資料から、それぞれの検討事項や方針などを整理する。

2.3.1 産業構造審議会(経済産業省)

経済産業省の「産業構造審議会」において、インバース・マニュファクチャリングに関する議論は「環境部会」の「廃棄物・リサイクル小委員会」を中心に行われている。この小委員会にもいくつかのWG(ワーキング・グループ)があり、特に「企画WG」と「環境ビジネスWG」が現在活発に活動を行っている。企画WGでは、「循環型経済システムの高度化に向けて(2002.2)」を公表した。また、環境ビジネスWGでは、「環境ビジネスの自律的發展を目指して(2002.6)」を公表した。

(1)循環型経済システムの高度化に向けて

①現状ルールでの問題点

- ・負担の公平感(事業者や地方公共団体に負担集中)
- ・対象業種や対象製品の範囲(従来は、排出量、含有資源の有用性、市町村の処理困難性)
- ・リサイクル手法の妥当性
- ・事業者のEPRの受け皿
- ・国際取引の扱い(使用済み製品の海外流出と、輸入製品への対応)

②EPRと役割分担

- ・リサイクル関連法案やリサイクルガイドライン外のものへの検討
- ・廃棄物処理法に対して
 - リサイクル法対象物について廃棄物処理法からの除外
 - 排出源でなく製品ごとにリサイクルを運用
 - 再生利用認定制度の柔軟運用
 - (廃タイヤのセメント原料、建設汚泥の築造材、廃プラの高炉還元、肉骨粉のセメント原料)
- ・自治体処理の有料化とコスト情報の公開

③業種・製品に関する取組クライテリア

- ・排出量
- ・製品に含まれる資源の有用性
- ・製品の処理困難性
- (希少性、地域偏在が高く代替可能性の低い資源、有害性、処理困難性の高い物質の含有量・率の大きいもの)

④製品アセスメント手法の確立・普及と3R取組の情報提供・コミュニケーション

- ・製品アセスメント
- ・環境報告書／環境ラベル
- ・グリーン購入

⑤リサイクル率の定義と算出方法

- ・数値目標→「わかりやすさ」、「信頼性」、「正当性」、「国際整合性」
- ・寿命が長いもの、退蔵があるものの回収率測定は困難
- ・完全指標や単一指標は困難（ミスリーディングの危険性）
- ・部品リユースの扱い
- ・中古市場とリサイクルルートは別に扱う必要性（例：中古自動車）
- ・副産物（廃棄物）は発生抑制（減量化）や最終処分量の削減について指標として見る
- ・リユース部品使用量（使用期間による重み付け）
- ・リデュースは設計段階での省資源化や長寿命化に関する指標

⑥国際的側面での対応

- ・製品や素材のマテリアルフローの実態把握
- ・日系企業の現実ニーズやアジア諸国の技術的能力の調査
- ・クリーンエイドプランなどの経済・技術協力の活用

(2)環境ビジネスの自律的發展を目指して

①環境ビジネスの範囲

- ・環境の産業化（環境制約・資源制約への対応を通じた市場価値の創造）
- ・産業の環境化（事業活動への環境制約・資源制約への対応のビルトイン）
- ・環境負荷の低減に貢献できる可能性がある新たなビジネスモデル

ものづくりを循環の観点から見直し、分離・選別が容易な製品設計や、廃棄物が発生しない生産工程、さらには多様な長寿命化製品の生産やメンテナンスサービスの提供、人体や生態系に害を与える化学物質等の使用低減など。また製品の所有から機能の利用への転換というビジネスモデルも含む。

②環境ビジネスの創出・発展に向けた企業の取組

- ・環境マネジメントシステムの導入（ISO14001、京都マネジメントシステム）
- ・ゴミゼロ（ゼロエミッション）の推進
 - 工場ゼロエミッション（複写機、ビール）
 - エコタウン事業（経済産業省、環境省）
- ・環境情報の公開
 - 環境報告書（環境アカウンタビリティとステークホルダーの要求）
 - 環境会計（環境保全コストと効果を定量的に把握、分析、公表）
 - 環境ラベル（第三者認証、自己宣言、定量的情報）
- ・環境調和型製品の開発

資源有効利用促進法では、事業者に対し製品の設計に際して、リサイクルの促進や省資源化のための部品材料や構造の工夫等について事前評価を行うことなどを求めている。（代替フロン、コメットサークル、リサイ

クル材料の使用)

- ・グリーン購入・グリーン調達の推進
- ・小売業における環境負荷の低減
- ・使用済み製品等の回収・リサイクルの推進

各種リサイクル法に基づき、使用済み製品等の回収・リサイクルが実施
(例：容器包装、家電製品、パソコン、小型二次電池)

使用済み製品等が基本的に有償で取り引きされている

(例：古紙、くず鉄、空きビン、古繊維)

使用済み製品が逆有償で取り引きされている(廃棄物処理よりコスト安)

(例：焼却灰のセメント原料化、廃プラの高炉還元剤としての利用)

インバース・マニュファクチャリング

クローズドループの下で、使用済み製品を回収し、製品、部品、材料の形でリユース・リサイクルが実施されている場合、使用済み製品がリース契約の終了などによりメーカーに戻されるものについて、使用済み製品の中に含まれる部品のうち再使用が可能なものを、新製品を製造する工程に部品として投入するというビジネス形態。

(例：複写機、レンズ付きフィルム)

一般廃棄物への PFI 手法の導入

地方自治体の廃棄物処理サービスの民間資本の導入

新たなビジネスモデルの出現

ハードウェアの商品を提供するだけでなく、製品に関連して、寿命延長、修理、機能向上、リフォーム、建て替え、再製造、中古品販売、リサイクル、廃棄物処理などの環境調和型のサービスを提供したり、製品の提供形態についてもリース、レンタルやシェアリングなどによって、製品そのものを提供するのではなく、製品の機能を提供するサービス(PSS: Product Service System: 消費者のニーズを満たし市場で取引可能な製品とサービスの組み合わせ)

(例：家電のリペア体制、リペア専門店、カーシェアリングなど)

③環境ビジネスの課題

- ・環境経営上の課題

環境報告書や環境会計の記載内容や環境対策の評価の共通化することで、比較可能性や信頼性を確保することができる。

- ・環境調和型製品の供給上及び需要上の課題

- ・環境コストの内部化
- ・需要の見通しや今後の市場に対する不透明感
- ・環境投資リスクコストの低減
- ・資源循環型システムの波及

- ・環境配慮を含めた総合的な品質を示す基準（規格）作成
- ・再生資源の逆有償化
- ・国内での需要者の欠如
- ・技術上の課題
 - ・将来の（その）技術の需要が見通せずリスクが高い
 - ・技術開発の成果を市場において評価するための基準（規格）が未整備
 - ・LCAの確立
 - ・新たなビジネスモデルを実験する場の提供
- ・リサイクル対象となる使用済み製品の計画的調達上の課題
 - ・品質面、数量面で安定した循環資源の回収（原料供給）システムの整備
- ・他の政策目的に基づく規制の課題
 - ・廃棄物処理法の地方自治体ごとの運用がまちまち
 - ・リサイクル原材料であっても廃棄物として取り扱われる

④政策対応の方向

- ・環境経営の推進
- ・環境調和型製品の供給及び需要の拡大
- ・技術・システム開発の推進・普及
- ・ITの活用
- ・法制度の整備・運用

2.3.2 中央環境審議会（環境省）

環境省の「中央環境審議会」において、インバース・マニュファクチャリングに関する議論は、「廃棄物・リサイクル部会」を中心に行われている。この部会の「廃棄物・リサイクル制度専門委員会」では、「廃棄物・リサイクル制度の基本問題に関する中間取りまとめ（2002.3）」を公表した。この要旨を以下に示した。

①制度見直しの三つの基本的視点

- ・適切な役割分担による廃棄物の排出抑制の推進
 - 排出者責任の徹底、拡大生産者責任の拡大・強化
- ・合理的な制度の確立による効率的な廃棄物処理・リサイクルの推進
 - 規制は厳しく、手続きは合理的に
- ・不適正処理の防止、適正処理の確保
 - 廃棄物の定義、区分をより明確にし、リサイクル体制の適切かつ安定的な運営

②廃棄物の定義（廃棄物処理法の対象物）

廃棄物の性状、排出の状況、取り扱い形態、占有者の意思、取引価値の有無（総合判断説）

重要なのは「不適正処理の防止」

占有者の意思と取引価値については曖昧

個別事例について具体的に決める方法／廃棄物性状と排出状況を重視す

る方法

リサイクル可能物を廃棄物の定義から除外することについて
豊島事件などリサイクル名目での不適正処理事例が多い
廃棄物処理と再生処理は同じような工程で行われることが多い
バーゼル条約などでリサイクル可能物も含めて廃棄物と定義している

③廃棄物区分

家庭系と事業系などは区分すべき
廃棄物の効率的処理の観点から、性状、発生量、処理困難性で区分する方法もある
リサイクルされる廃棄物に関する特別区分の必要性
事業系一般廃棄物と一般廃棄物の区分は困難
小規模事業者の排出事業者責任をどこまで負担できるか
産業廃棄物処理施設の不足
市町村責任の下で適正処理が行われてきたという実態
事業系一般廃棄物と生活系廃棄物がほぼ同様の性状であることもある
爆発性、毒性、感染性等有害性のある廃棄物は独立した区分を設ける必要がある

④廃棄物処理法による規制（許可制度）の弊害

不適正処理を防止する観点から現行を維持
規制は厳しく、手続きは合理的に
広域再生利用指定制度（業の許可の免除）
・広域的な再生利用・処理に対する環境大臣の指定
・家電リサイクル法に係る収集運搬を行う運輸事業者に対する環境大臣の指定
・一般廃棄物の再資源化に協力することが適切である製造業者に対する環境大臣の指定
・再生利用が確実と認められる一般廃棄物処理に対する市町村長の指定
・再生利用が確実と認められる産業廃棄物処理に対する都道府県知事の指定
・再生利用認定制度（業、施設の許可の免除）
・再生利用の内容が生活環境保全上の支障がなく、再生利用を行うもの及び施設が一定基準に適合していることが認定基準
セメント原材料として廃ゴムタイヤを再生利用
製鉄還元剤として廃プラスチック類を再生利用
セメント原材料として廃肉骨粉を再生利用
スーパー堤防の築造材として建設無機汚泥を再生利用

⑤排出者責任

家庭系の廃棄物については、排出者の国民も一定の責任を負うべき
廃棄物処理事業についての収支の透明性や効率性の確保
住民の自主的取り組みに支援・協力すること
処理については、市町村が責任を果たす
産業廃棄物については処理費用の負担を義務づけ

⑥拡大生産者責任 EPR

特殊・高度な処理が必要な廃棄物、設計・製造時に 3R が促進されるものは生産者

が責任

生産者が費用負担、使用済み製品の独自回収

拡大生産者責任の具体的手法

- ・製品の引き取り・処理
- ・デポジットリファンドなど経済的手法
- ・製品規格に関する措置（一定率以上の二次原料の利用等）

処理費用の内部化→技術開発の推進力になる場合は進めるべき

2.3.3 資源循環指標調査検討委員会（経済産業省）

経済産業省の資源循環指標調査検討委員会では、現在の「リサイクル率」等の指標について、製品・業界別に「リサイクル率」「再商品化率」「再資源化率」「リサイクル可能率」「再生資源利用率」など様々な指標が定められ公表されているが、名称が多様であるばかりか、同じ名称でも定義が異なるなど混乱していることから、理解しやすく、検証可能で、比較可能かつ、国際的に整合性のとれる指標を検討するために、議論を行った。その結果「資源循環指標策定ガイドライン」をとりまとめた。以下に概要を示した。

①リデュースを評価する手法

省資源化（軽量化率、小型化率、部品点数削減率）

長期使用化（耐用年数延長期間）

リペア・メンテナンス（補修可能期間、無料保証期間、部品共通化率、部品標準化率）

アップグレード（アップグレード可能部品点数）

②リユースを評価する手法

リユース可能部品率

リユース部品利用率

リターナブル容器利用率

部品共通化率

部品標準化率

部品モジュール化率

③リサイクルを評価する手法

再資源化可能率

材料種類削減率

リサイクル阻害物削減率

解体時間削減率

解体工程削減率

再生資源利用率

素材等表示率

焼却不適物削減率

④回収・再資源化率

回収率×再資源化率

(回収と再資源化を総合的に評価する手法)

⑤回収率

国内で消費され使用済みとなり、回収・再資源化されるべき製品のうち、再資源化を目的として回収された割合

⑥再資源化率

使用済みとなって排出され、再資源化を目的に回収された製品のうち、再資源化(部品リユースやリサイクル)された割合

2.3.4 内閣府の経済財政諮問会議

経済財政諮問会議の専門委員会の一つである「循環型経済社会に関する専門調査会」では「中間とりまとめ(2001.11)」を公表した。主な骨子は次の通りである。

①循環型経済社会のビジョン

廃棄物の発生を抑制することが最も重要であり、廃棄物を「不要なもの」から「有用な物質資源・エネルギー資源」とするような認識を国民が共有する経済社会システムに転換することにより、資源の循環利用や環境負荷の低減を自然な形で市場に取り入れていく。

静脈産業の高度化・近代化を推進すると同時に、「ものづくり」を循環の視点から見直し、分離・選別が容易な製品設計や、廃棄物が発生しない生産工程、さらには多様な長寿命化製品の生産やメンテナンスサービスの提供等「動脈産業のグリーン化」を推進し、資源生産性の向上を図ることが重要である。

こうした経済社会システムの転換を通じて、生態系の保全や安全・安心な国土、美しい住環境および都市景観等の形成に向けた活動が国民全体に普及され、活気に満ち持続可能な、魅力に溢れた次世代に誇りを持って継承しうる社会が実現される。

②目標と基本的視点

- ・最終的に埋め立てによって処分する量を最小化する究極的な「ごみゼロ社会」を目標とする。また、均一性の高い廃棄物を同一の種類に分別して広域的に収集し大規模なリサイクルプラントに供給し、規模の効率性を追求する(廃プラ発電もよい)

- ・公平性の追求

 - 地域間の公平性(効率的な配置計画と周辺住民に一定の便益が提供される工夫)

 - 費用負担の公平性(廃棄物を排出する人が処理に必要な費用を適切に負担)

 - 世代間の公平性(負の遺産の解消)

- ・安全性の追求

 - 有害物質の適正処理

③ビジョン実現のためのシナリオ1 — 責任と費用負担のルール

- ・回収/リサイクル体制(→EPR)

 - 製造・販売業者が回収・リサイクルシステムを構築・運営する統括的な役割を担う

- ・費用負担方式(→PPP)

 - 排出者が環境負荷低減の責任を負う「排出者責任」の徹底

 - リサイクルコストの内部化のためには、販売時点での消費者負担が基本(自動車、パソコン方式)

- ・公的施設のインフラチェンジ（→PFI、RPS 等）
廃棄物処理施設整備からリサイクル施設整備へ
民間活力の導入と効率化の追求
- ・経済的手法の導入
埋め立て処分がリサイクルより安い構造がネック
廃棄物税や優遇措置、グリーン購入の推進などが必要
- ④ビジョン実現のためのシナリオ2 — 合理的な循環システムの構築
 - ・静脈物流システムの構築
 - 分別の徹底
 - 生ごみの別処理（コンポスト、メタン発酵、デイスポージャー）
 - 素材に着目した一廃と産廃の一体的取り扱い
 - ・産業横断的な連携の推進
 - 循環資源の統一的な規格・基準作り
 - ・エネルギー活用を含めたリサイクルの推進
 - 3R の優先順位（循環型社会形成推進基本法）
 - サーマルリサイクルを行うと再び繰り返して利用することができない
 - マテリアルリサイクルした後でもサーマルリサイクルは可能
 - 非効率な優先順位は無意味→LCA などの客観的な評価により合理的な選択を行う
- ⑤ビジョン実現のためのシナリオ3 — 革新的な技術開発
 - ・環境負荷の少ない素材・製品の開発
 - ・有害物質の分解・除去・安全性評価技術
 - ・廃棄物の高度な選別・分離
 - ・再利用技術
 - ・「基盤技術」－「要素技術」－「全体設計技術」の組み合わせが重要
 - ・基盤技術：ナノテクノロジー、バイオテクノロジー
 - ・要素技術：物質の分離や製品の分解、省エネルギー
 - ・全体設計技術：これらを適切に組み合わせ課題を解決する
- ⑥ビジョン実現に向けた具体的実験として考えられる事例
 - ・高効率ごみ発電による地域エネルギー自給
 - ・経済的インセンティブを活用した二次電池の回収
 - ・家庭ごみの末端収集（デイスポージャー、コンポスト、メタン発酵）
 - ・広域的な静脈物流体系の構築（廃家電、廃自動車、廃プラなどのリサイクルプラント建設）

2.4 インバース・マニファクチャリングフォーラムにおける過去の調査

2.4.1 リサイクル設計手法の事例調査

インバース・マニファクチャリングにおいても、廃棄製品の再利用、再循環などのリ

サイクル技術は重要である。最近のリサイクル設計は、リサイクルという活動に関して製品設計段階にさかのぼって製品構造、製品機能を見直すことが行われるようになってきた。

素材設計段階では、リサイクル性の高い素材の最大化、有害素材の最小化などがあり、部品設計段階では、部品数の減少、標準化、長寿命化などがある。また、製品設計段階では、部品統合化、分離・解体の容易化などがある。これらを中間目標として、製品全体としてのエントロピーを低下させる設計方法をとるべきである。

次に、製品設計段階でのリサイクル対応技術の代表事例として、電気製品の分解性評価手法がある。この手法はすでに実用化段階に入っており、系統的な評価法を設計者の実用に供するものとなっている。

分解性評価法の特徴は、設計者が設計改良を効果的に行えるよう、設計プロセスにおける位置づけを明快に行っていることである。すなわち、設計図面に対して、分解性評点と分解性コスト指数を定量的、かつ容易に算出する手順と基準をつくりあげた。また、従来から用いられてきた生産における組立性評価手法と同じ手順を採用しており、準備、分解動作分析、評価指標計算、評価判定の各段階での作業を具体的に規定している特徴を持っている。

環境を考慮し、リサイクル性を徹底的に追及した製品開発の事例として、エコ製品としてのパーソナルコンピューターの開発・試作事例を示した。この事例では、技術革新のもとでの長寿命化をねらって、スタック構造、標準化部品を採用し、リサイクル性を考慮した材質による、しかも意匠性の高い形態を持つコンピュータのコンセプトモデルを設計・試作した。スタック構造により、拡張性が高く、モジュール交換によるグレードアップも容易に行うことができる。また、モジュールの結合も、ネジあるいは工具を不要とする構造とし、分解性を高めている。

複写機では、全社的なリサイクル対応活動のもとで、リサイクル対応設計方針として、詳細な設計規定を定め、これに準拠した設計を行いつつ、設計方針のレベルアップを続けている。設計方針は、製品・部品の再使用、プラスチック類のマテリアルリサイクル、金属類のマテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、エネルギーリカバリ、埋め立てに関する具体的な目標・準拠規定から構成されている。金属類リサイクルに関しては、使用済み感光体ドラムのリサイクルと再利用の技術を開発・実施した。またプラスチック類のマテリアルリサイクルについても、再生利用の実験を繰り返して新規材料と同等の混合再生材を開発した。これらの設計方針に準拠して、リサイクル性を飛躍的に高めた新複写機製品を、すでに市場に供給しており、この製品は分解・分別時間とコストが従来製品の半分にまで低減することができた。

2.4.2 インバース・マニュファクチャリング概念に関する調査研究

(1) インバース・マニュファクチャリングに関する構想

地球環境問題の社会的関心の高まりから、企業の環境政策も規制の遵守から自主的な取り組みを進める重要性を認識する段階に入ってきた。その自主的な枠組みの一つが環境管理・環境監査である。そのため企業が事業活動に伴う環境への負荷を評価し、環境に関する経営方針や目標、行動計画を上げるとともに、目標や計画の実施にあたっての責任体制

を明確にし、目標の達成状況や計画状況を点検しつつ、さらに全体の管理システムの見直しを図るものである。

環境管理・監査システムに関しては、国際的な認証制度をつくる動きが活発になってきた。1990年には、EUが地域内の環境保護を目的とした環境監査計画案を発表した。その後1992年には、「環境監査規則(Environmental Audit Scheme)」としてまとめられた。また、1992年にはイギリス規格協会がBS7750(Specification for Environmental Management System)として環境管理システムの統一を図った。

エコスタンダードは、環境負荷低減に向けての活動の基準となる考え方である。たとえば、LCAは、製品が環境に与える影響を、つくられてから廃棄するまでの各段階ごとに分析し総合評価するシステムである。具体的には、消費エネルギー量、排出される二酸化炭素、固形廃棄物などを測定・分析し、環境への影響を評価して、環境負荷を減少させる対策に役立てようとするものである。この標準化が実現すると、他国で生産された製品でも自国内の基準により判断可能となる。しかし、データの選択方法、計算方法などを世界共通の基準値とすることについては、各国の思惑や認識基盤のずれなどがある。

循環型の産業構造の構築に向けて、国連大学では、1994年から廃棄物ゼロをめざす「ゼロ・エミッション」計画を推進している。これは自然の持つ無駄のないシステムにならい、他業種が連携して資源の有効利用と廃棄物ゼロへの道を研究する構想である。

また、環境負荷の小さい製品づくりで、製品の設計から生産、解体、再生のすべてのレベルで環境への負荷を少なくするために、各システムの確立だけではなく、全体を体系化する統合システムも必要になる。たとえば我が国では、エンジニアリング振興協会、工業技術院機械技術研究所などのグループで研究されている。設計段階において製品の廃棄から再生までをあらかじめ考慮した「環境負荷軽減設計技術」、生産段階では、生産廃棄物を減らす「廃棄物削減加工技術」、解体段階では、その作業を単純で簡単にする「自動解体システム技術」、再生段階では、再生物の品位をなるべく元の製品レベルに近づける「高品位・高効率材料再生技術」、そして全体の「統合システム」などがあり、それぞれの成果が期待されている。

インバース・マニュファクチャリング構想は、逆工程の負荷を軽減させるように、ライフサイクルの各段階（製造、運用、保全、再利用／リサイクル、廃棄など）における従来研究、技術を組み合わせ、閉ループ実現のための方法論を提唱するものである。これにより、製品／部品の再利用を推進し、廃棄物問題を解決するとともに、製品機能の長寿命化を実現し、ものの使用方法を「量的充足から質的充足へ」転換させることにより、物質・エネルギーの使用量を減少させる。検討すべき項目としては、「社会・文化的視点」「政策・法律的視点」「経済的視点」「技術的視点」などがあげられる。インバース・マニュファクチャリング構想は、これらの視点をあわせて閉ループ化を検討することであり、結果として製造業をライフサイクル産業として再定義し、新産業分野を低減したい。

「ポスト大量生産パラダイム」は、インバース・マニュファクチャリングの背景理論である。従来の大量生産パラダイムは、本質的に大量生産／大量消費を促進するため、地球規模への拡大とともに、自然環境の有限性、すなわち、資源、エネルギーの枯渇、廃棄物のオーバーフローなどの諸問題を引き起こしている。これに対し、「ポスト大量生産パラダイム」は、現在の生活水準を維持しつつ人工物の生産／消費量を自然的、社会的に許容さ

れる範囲に減少させ、持続的生産の可能性を提案するものである。このポスト大量生産パラダイムのポイントは、「量的充足から質的充足への転換」と「資源、エネルギーの消費と経済成長を切り離す」ことにある。この新しいパラダイムを実現するために必要な技術として、知識集約型工学とやわらかい人工物がある。知識集約型工学は、資源・エネルギー消費によらず、製品価値を高めるため、ライフサイクルの各プロセスにおけるタスクを知識を用いてよりやわらかく行うことである。またやわらかい人工物は、機能的長寿命化、高付加価値、ものでなくサービスの提供により、量的充足でなく質的充足を実現する人工物であり、たとえば、レンズ付きフィルムのような「社会資本化人工物」と一眼レフのような「成長可能な人工物」が提案されている。

従来製品の設計や生産準備のために構成されてきた「プロダクトモデル」の概念を、ライフサイクル全般を可視化し、それに関わる諸活動を計算機支援するために、「ライフサイクルプロダクトモデル」として拡張することが、インバース・マニュファクチャリングに重要である。そのための技術的な課題として次のようなものがあげられる。

- (1) 製品機能や製品構造のモジュラー化
- (2) 製品品質や機能の記述
- (3) モジュラー構造に基づく製品品質や機能の要求適応化
- (4) 製品利用時における製品劣化評価
- (5) モジュラー構造に基づく劣化製品の部分的機能改善
- (6) 再利用のための劣化製品、部品の品質保証

これらはいずれも技術的には極めて困難な課題であるが、従来からの製品設計技術、CAD/CAM 技術、品質保証技術などは、視点を変えて体系化することで、これらの技術の基礎となる。

(2) インバース・マニュファクチャリングに関する概念

インバース・マニュファクチャリング QFD は、信頼性設計、リユース設計などの製品設計に着目し、従来の使い捨て製品からインバース・マニュファクチャリング型の製品に移行する場合、どのような設計項目が重要になってくるか、また、インバース型の製品に移行する場合には、前提としてどのような社会システムが必要であるかを検討するツールである。QFD は一般には、製品の品質管理、概念設計での製品の機能を決めるために使用するツールである。ここでは、インバース・マニュファクチャリング社会を概念設計するために、製品設計項目を中心に、その前提となる社会システム、要求項目などとの相関を抽出するためこのツールを活用した。ここで開発したインバース・マニュファクチャリング QFD を以下に示す。

表2.2.3.1 IM QFD-1

解決指針										分類	設計項目	
小さい循環型 ライフサイクル												
リマニユファクチャリング 製品単位、リビルドを含む	リユース 部品単位	リサイクル 素材レベル	メンテナンス			物理的長寿命化	ライフサイクルサービス	ライフサイクル管理				
			従来型 メンテナンス	機能保全 (含アップグレード)	モジュラー メンテナンス (含アップグレード)							
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	★	アップグレード設計
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	★※	運搬、回収性設計
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	★	リユース設計
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	★	洗浄、検査の容易化
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	☆	規格、標準化、高互換性
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	☆	メンテナンス性設計
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◆	易リサイクル材料
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◆※	易分解性、易分離性

解決指針に対して支配的な設計項目

凡例：
 ○ 関係あり ★ インバース的
 - 関係なし ◆ 従来から実行、提案されている
 ● 負の相関 ☆ 従来からあるが、意味づけが変わる(?)
 ■ 将来影響度大 ※ 基礎的な設計技術(広い範囲で重要性を持つ)
 ◎ 各列の中で最も重要な要因(例：リサイクルには易リサイクル材料設計が最重要)
 † 各行のなかで最も影響を与える項目(例：アップグレード設計は機能保全に最も影響を与える)

表2.2.3.2 IM QFD-2

(凡例は表 2.2.3.1 参照)

解決指針に対して支配的な設計項目	この表をいかに重く見るか										情報共有化		社会システム		
	アップグレード設計	運搬、回収性設計	リユース設計	洗浄、検査の容易化	規格、標準化、高互換性	メンテナンス性設計	易リサイクル材料	易分解性、易分離性	物理的長寿命化	ライフサイクルサービス	ライフサイクル管理	消費者意識/価値観		消費利益	
◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	◎	◎	情報共有化	消費者意識/価値観
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	中古/再生品市場
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	市場
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	市場変化管理
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	価値体系
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	環境コストの評価
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	国際標準/規格
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	高機能
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	環境保全型製品の認証
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	回収システムの構築推進
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	静脈産業の育成推進
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	静脈産業の認可・資格制度
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	税制
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	法規制
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	廃棄物処理場の整備
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	メンテナンスシステムの構築
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	回収システムの構築

このインバース QFD による分析の結果、基礎的・設計技術として「易分解性、易分離性設計」および「運搬・回収性設計」がまず重要であり、次いで「洗浄・検査の容易化」と「規格、標準化、高互換性」によりリマニユファクチャリング、リユースの基礎固めを行い、その上でアップグレード設計やリユース設計という高付加価値をねらうという三段階のステップが必要であることがわかる。また、社会システムについては、「情報共有化」「消費者意識/価値観」「中古/再生市場」「国際標準/規格」「認証」「税制」「廃棄物処理場の整備」「回収システムの構築」がインバース・マニユファクチャリング型製品ライフサイクル

ル実装の前提条件である。

また、今後の課題として、「アップグレード設計」「リユース設計」「運搬回収性設計」「規格、標準化、高互換性設計」の検討がインバース設計を考える上での鍵となることが明らかとなった。また、多くの設計者が「何をもってライフサイクル設計したといえるか」がわからずにいることも明らかになった。ライフサイクル設計についての定義までできなくても、最低必要条件の要素を列挙することが必要と考えられる。インバース・マニファクチャリング全体を考える場合には企業や業界が単独で動いていても無理である。これに伴う回収ルート、リサイクル、リユース製品を供給する廃棄再生業界の育成、保険業界の参入による保証の社会的コンセンサスを構築する必要がある。

2.4.3 ライフサイクル設計に関する調査研究

ライフサイクル設計は、製品のライフサイクルができるだけ小さい閉ループ循環系を構成するように、製品だけでなく、製品ライフサイクルをも設計することである。ここでは、インバース・マニファクチャリングの実現を目的として製品のライフサイクルがある程度管理されていることを前提に、製品ライフサイクルの設計方法論を議論することとする。すなわち、現状の大量生産、大量販売、大量消費、大量廃棄型の製品ライフサイクルに対して本設計方法論を適用することで容易にインバース・マニファクチャリング型の製品、製品ライフサイクルが実現できるというよりは、インバース・マニファクチャリング型製品の開発に対する強いモチベーションを持つ企業が、ある程度の対象製品のライフサイクル管理や回収システムなどの社会インフラを整えることができることを前提とした上で、どのようにしたらインバース・マニファクチャリング型製品ライフサイクルを設計できるのかを明らかにする。

このようなインバース・マニファクチャリング型製品ライフサイクルの設計方法論を「設計ガイドライン」としてまとめる。すなわち、インバース・マニファクチャリング型製品ライフサイクルの設計方法論を、企業の製品企画者、設計者、学生などと、企業の意志決定者を想定して、わかりやすく、かつできるだけ実践的な形でまとめることを試みる。

この設計ガイドラインを適用することによって、消費者にとっては環境調和型製品を低コストで使用することが可能になり、製造業にとっては次のようなメリットが生まれる。

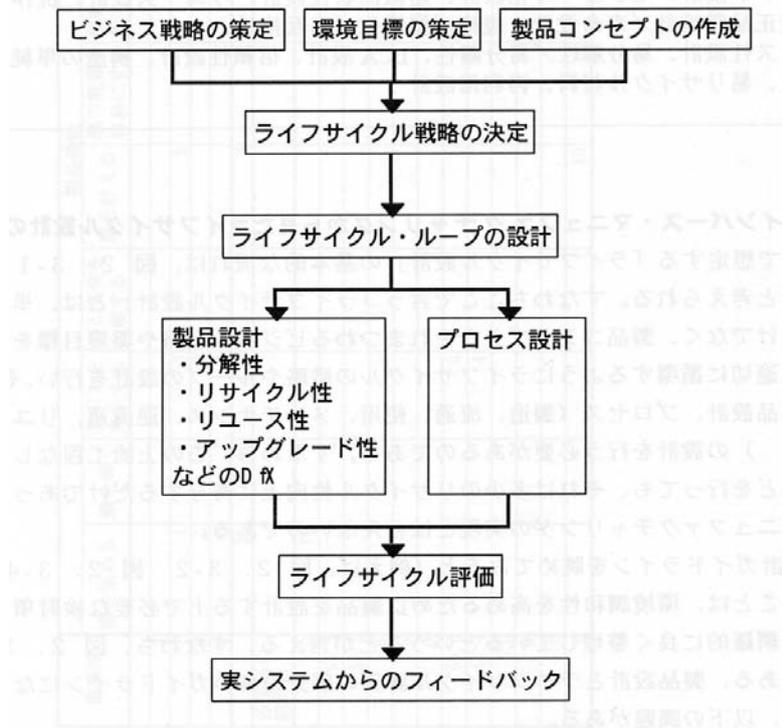
- (1) 市場競争力のある環境調和型製品（インバース・マニファクチャリング型製品）の設計可能
- (2) インバース・マニファクチャリング型製品の開発期間の短縮と開発資源の削減
- (3) 開発した製品の LCA 的な環境負荷をライフサイクル全体として大幅に削減可能
- (4) ライフサイクル全体で見たときにゴミ処理型のリサイクルよりも低コストかつ再生品質の高い循環型製品ライフサイクルを実現することが可能

インバース・マニファクチャリング型の製品ライフサイクルを実現するためには次の三つの基本戦略が重要となる。

- ・資源使用量、廃棄物量削減のための部品リユースやマテリアルリサイクル
- ・製品の物理的寿命を長寿命化する、メンテナンスや製品のリマニュファクチャリング
- ・製品の機能的寿命を長寿命化する、製品機能のアップグレード

ライフサイクル設計の基本的な流れは次のようになる。まず、企画／ライフサイクルの概念設計がある。これは、ライフサイクル戦略、サービス戦略、環境実現目標、利益獲得戦略、製品コンセプト、製品の長期的戦略などの基本戦略を決定する段階である。このためには、LCA などによるライフサイクル全体の可視化と、ライフサイクルシミュレーションなどによるライフサイクルループの設計が重要になる。ライフサイクルシミュレーションでは、再生部品や再生材の品質、量が製品製造に必要な品質、量にバランスしていることが非常に重要である。製品群全体のライフサイクルで見たときに、循環する部品、資源のバランス、企業利益の確保、消費者コストの削減、エネルギーバランスなどを目標に、リユース率、製品の寿命や信頼性、回収率、リサイクル率などの目標を設定することにより、ライフサイクルループを設計することが非常に重要である。つぎに、製品設計がある。ここで目標となる設計項目がリユース性設計、アップグレード設計、メンテナンス性設計、再利用設計である。次の段階は、プロセス設計がある。ここでは、メンテナンス・サービスの実現、回収システムの構築、逆工場などの各工程の設計、ライフサイクル管理の方法、システムの設計などがある。次に、ライフサイクル評価の段階がある。環境影響や経済性、消費者の必要性などの評価を行う。最後に、後工程からの情報収集、フィードバックがある。

すなわち、「ライフサイクル設計」とは、単に製品を設計するだけでなく、製品コンセプトと、それにまつわるビジネス戦略や環境目標を策定し、その製品が適切に循環するようにライフサイクルの戦略や環境目標を策定し、その製品が適切に循環するように、ライフサイクルの戦略やループの設計を行い、その上で具体的な製品設計、プロセスの設計を行う必要がある。これらライフサイクル設計の基本的な流れを下図に示した。



このライフサイクル設計の中で、リデュース、リユース、リサイクルなどのライフサイクルオプションの選択条件を明確にすることは重要な点の一つである。それらの条件を順に検討する。

リデュースは、ビジネス戦略、製品形態の変革によって達成すべき、インバース・マニュファクチャリングの最重要課題の一つである。省エネルギー、廃棄物の削減、小型化・軽量化、共通化、歩留まり向上などは有効な方策であり、設計者が常に意識しなければならないことである。省資源化は機能的寿命部分に、長寿命化は物理的寿命部分に特に重要である。

メンテナンスは、アップグレードを含むか否かで性質が異なり、アップグレード・メンテナンスは機能的寿命部分に、機能維持のメンテナンスは、物理的寿命部分に有効である。メンテナンスによる長寿命化は、インバース・マニュファクチャリング実現に非常に有効である。

リユースを実現させるためには、次の三つの式を同時に成立させる必要がある。

$$\text{モジュール物理寿命} / \text{製品物理寿命} > \alpha$$

$$\text{リユースコスト} / (\text{新品コスト} + \text{処理コスト}) < \beta$$

$$\text{モジュール価値} / \text{要求価値} > \gamma$$

マテリアルリサイクルが成立する条件は、「マテリアルリサイクルすることにより、バージン材料やバージンエネルギーの生産量・使用量が減少する場合」である。逆に言うと、回収量と再生材の使用量がバランスしていない場合や、リサイクル品質が要求品質を満たしていない場合、リサイクル価値がバージン品と比べて高く使用されない場合などは、インバース・マニュファクチャリング的には、安定的循環になっていない。

エネルギーリカバリは次の条件を満たす必要がある。

燃焼させても有害物質が発生しない

回収エネルギー／処理エネルギー> δ

減容化の重要度がCO2問題に比べて重要

適正廃棄は、以上のようなライフサイクルオプションすべてが有効でないとされた場合、考慮すべきことである。また、適正廃棄には、将来の資源利用のために適切に貯蔵すべきである場合もある（都市鉱山の発想）。このための必要条件は、

貯蔵するための最適な形態にまで安全かつ容易に処理が行えること

長期貯蔵の間に有害物質が漏出しないこと

長期貯蔵コストが容認可能なこと

長期貯蔵後に容易に資源が取り出せる方法で貯蔵すること

この中で、リユースの条件が厳しく、リユース最大の課題はその適用範囲の狭さにあるといえる。また、リユースにも製品への組込（製品組込リユース）、スペアパーツリユース、グローバルリユースの3つがある。

製品組込リユースは、レンズ付きフィルム、複写機のモデルである。基本はある使用済み製品から部品を取り出し、部品再生処理を行った後、同一機種の商品製造工程に投入することであり、展開として、シリーズ内複数機種間での共用化、複数世代間での部品固定化があげられる。ここで、投入先製品を「新製品」と呼ぶか「中古品」と呼ぶかは、技術的な意味で区別不能であり、それは対象とする商品のビジネス環境、ビジネス戦略に依存する。また「リユース」と呼ぶか「リマニュファクチャリング」と呼ぶかも商品中のバージョン部品と再使用部品の割合に依存して連続的に変化すると考えられる。

スペアパーツリユースは、自動車の部品取り、リビルトのモデルである。使用済み商品から部品を取り出し、部品再生処理を行った後、メンテナンス用の交換部品として使用することである。製造メーカーは販売した商品に対して一定の期間サービスパーツを保有することが義務づけられているが、これは大幅な在庫コストを抱えることと同義である。スペアパーツリユースが軌道に乗れば、スペアパーツの倉庫が市場の稼働商品ということになり、この在庫コストが大幅に削減できる可能性があるため、ビジネス的に成立可能性が高いリユースタイプである。

グローバルリユースは、建設機械の東南アジアへの輸出モデルである。使用済み商品を需要のある市場に持っていくことにより、長寿命化する。または、使用済み商品から部品を取り出し、再生処理の後、別目的、同機能で使用する。これは商品の価格が高く、異なる二つの市場間で商品に対する要求機能、性能に格差が存在する場合に有効に機能するリユースタイプである。中古車市場が一つの例であるし、日本の国内における使用済み建設機械もその大部分が外国に輸出され、国内では廃棄処分をほとんどしていないという事例もある。

製品組込リユースに適した商品とは以下の特徴を有するものである。

- ・技術がある程度安定し、部品の共有化や固定化が可能なこと
- ・限界リユース率が高いこと、すなわち販売期間がより長く商品使用期間がより短いこと
- ・回収率やリユース対象部品の良品率が高いこと

また、スペアパーツリユースに適した商品の条件は次のようになる。

- ・商品が長寿命でメンテナンスが容易なこと

- ・廃棄の分布が広いこと

2.4.4 インバース・マニファクチャリング技術に関する調査研究

製品性能と生産性による市場競争のもとで進歩してきた製造業にとって、材料、部品、製品とその製造設備のライフサイクル全体による環境への影響を最小化するための技術開発が急務になってきたことを受け、産業と社会におけるモノの流れと費用の連関を考慮し、将来の製造業の共通技術となる可能性の高い技術課題を広く探索し、重要課題の選択とその研究開発方法の検討を行う。

検討をふまえてインバース・マニファクチャリング実現のために開発すべき技術を製品ライフサイクルの観点から、技術を「改良的技術」「新技術」「社会的技術」の3つの大別し、次の表にまとめた。「改良的技術」とは従来から有する技術ポテンシャルの延長ではあるが開発難易度の高い技術、「新技術」とは開発難易度が非常に高い技術、「社会的技術」とは、社会的コンセンサスを得ながら開発すべき技術を指す。

設計段階では、インバース型設計が現状の処理工程において、分解性が向上するので協力を推進すべき技術である。当面は単一組成となるような部品設計、易分解性構造設計などから始まり、ライフサイクルコスト、ライフサイクルアセスメントの評価が確立されるに従い、部品の共通化や部品の可換性を考慮したオープン構造へと設計は進むと考えられる。情報システムと連動したCAD、CAEなどの設計支援技術も重要となる。

材料製造段階では、ダイオキシンや環境ホルモンなどの環境汚染が着目され、当面は無害あるいは低環境負荷材料の開発への期待が大きくなるが、部品の再使用や再利用の割合が大きくなるに従い、分離・分別しやすい材料あるいは繰り返し使用しても劣化度の少ない材料などが望まれる。材料開発は比較的長い時間を必要とするので、製品設計側からのニーズ使用を早期に明確にする必要がある。それと同時に材料の標準化および材質の管理技術やリサイクルPL基準の制定も重要となる。

部品製造、製品製造の段階では、リサイクルあるいはリユースしやすい構造の部品の開発とともに、検査や劣化度を判定する技術の開発が重要である。究極的には、部品に履歴情報を埋め込む自己記述技術とその標準化が望まれる。

販売・回収の段階では、市場に出回った製品を低コストで回収するため、地域に密着した物流システムの改善が必要となる。また、メンテナンス段階では、低コストで実現するために販売・回収と同様に地域に密着した物流・情報システムの改善が必要となる。情報管理システムによる個体管理や劣化予測技術の開発が期待される。

原料化段階では、使用後回収された製品の状態は非常に多様であるので、リサイクルあるいはリユースをきめ細かく展開するための多様な技術が必要となる。情報システムを用いた設計部門との密な情報交換による効率的な技術開発が望まれる。共通基盤的な技術としては、回収直後に行う区分部門での選別技術、すなわちリサイクルあるいはリユース可能か否かの診断システムは最も重要となる。

情報システム関連では、各工程を有機的に連携させるために情報システムが必要不可欠である。現状のシステムの低コスト化や高効率化はもとより、今後重要度をまず製造物責任(PL)や拡大製造者責任(EPR)の観点からも製品情報の透明化が不可欠である。そのため、

早期にプロトタイプングを行い、実効あるシステムを実現すべきと考える。また、各工程での支援管理技術およびデータベース技術のみならずそれらの工程間の情報交換ネットワーク技術の開発が必要である。適正処理が行われるための地域環境検査あるいは認証システムなどの電子化も必要となる。

プロセス管理評価技術では、すべての工程を管理しそのパフォーマンスを評価する技術が必要となるが、この技術の確立を待っている、インバース・マニュファクチャリングの構築は不可能に近く、個々の工程の改善実績をふまえながら、時々々の完成度で評価しつつ技術開発をすすめる必要がある。その際、評価システムは、評価項目あるいはパラメータにより評価結果が大きく変わるような構造ではなく、多少適切さを欠いても外乱の影響に対して頑強な構造とすべきであろう。

表3.2.5 インバース・マニュファクチャリング開発技術課題

	改良的技術	社会的技術・機構・基準	新技術・革新的技術
設計	複雑形状成形を実現する金型設計支援 第一組成で構成される複合部品の設計 設計情報統合設計、設計情報統合設計 長寿命メンテナンス構造設計 C A E、C A D 分析/評価機能との連携 組立・分析、特性評価手法との統合 L C A 評価との連携	インバース型設計基準 インバース設計支援 O B フォーマット (公共、企業内) 部品共通化 L C A 評価基準 分析/評価基準 分析/評価データベース	オープン部品構造 進化型構造 新化炭素/炭素系材料 材料別/形状別適合材料 異分層適合材料 精密加工材料 組立/組立自動化、加工法
材料製造	熱害・環境負荷低減材料 超フリーはんだ、熱害軽減材料など 遠隔レス高機能材料	標準化材料 リサイクル P L 基準	リサイクル/リユース適合材料 新化炭素/炭素系材料 材料別/形状別適合材料 異分層適合材料 精密加工材料 組立/組立自動化、加工法
部品製造 製品製造	リサイクル系組立型形状構造部品 熱媒体構造組立技術 リサイクル/リユース部材組立技術 リサイクル/リユース部材使用部品の組立技術	加工・組立・分析評価技術 加工・組立データベース 標準化部品	異分層適合技術 新化炭素/炭素系材料 機能・構造自己形成部品
販売・回収	高品質回収技術 分類/保管技術 顧客情報管理システム 適正回収システム	顧客製品情報ネットワーク 適正回収ネットワーク 回収ステーション	使用者 I D タグシステム
メンテナンス	メンテナンス情報管理システム メンテナンスカルテ	共同メンテナンス部品センター	メンテナンストレーサ 新化予測技術
区分・原料化	分析マニュアル 異質層分離技術 複合部材分離技術 設計情報活用型分析支援システム 高速ダストミニマム切削分離 マンマシンハイブリッド分析 ハイブリッドセンシング・イメージング 高度材料 (炭素系、炭素系、炭素系) ソフトウェアソリューション 熱害・環境負荷低減 洗浄技術 熱害・環境負荷低減 洗浄技術 リサイクル/リユース可能材料技術	製品/部品 I D 標準化 有害部材 I D 標準化 リサイクルステーション 再生部材供給ステーション 再生部材情報システム	性能保証技術 部品再生用可溶性溶媒 再生用可溶性溶媒センター 有害部材 I D システム 製品/部品 I D トレーシングシステム 信頼のモノマー還元
カスケード リサイクル フィードバック リサイクル リサイクル 最終処理	複合材料分離技術 熱害低減技術 二酸化炭素回収・蓄エネルギー技術	熱害低減基準	高度熱害低減技術
情報システム	設計-製造情報連携システム インバースマニュファクチャリングデータベース	インバース マニュファクチャリング データネットワークシステム ライフサイクル評価基準 L C C 評価基準 物流情報ネットワーク	電子情報セキュリティシステム 地域連携検査システム 電子認証システム
プロセス 管理評価技術		エコデータベース	生態系負荷評価技術 環境負荷・経済性総合評価技術 ライフサイクル環境影響シミュレーション

2.4.4 インバース・マニュファクチャリング指標・評価の調査研究

(1) 新しい環境評価指標の目的

循環型社会の構築に向け、インバース・マニュファクチャリングの普及を推進するためには、その環境負荷を明らかにし、循環システムを最適化するための評価技術が必要と考えられる。製品やサービスなどのライフサイクルにわたる環境負荷を評価する手法として、LCA が注目されているが、まだ定まった手法はない。製品やサービス等の供給サイドにある企業の立場からは、インバース・マニュファクチャリングシステムや環境配慮設計の普

及のために、以下のような視点を持った環境評価システムの構築が望まれている。

- (1) 手法の合理性を理解した上で簡便に使用できること
- (2) 製品やサービスの総体とした環境負荷をライフサイクル全体にわたって評価したものであること
- (3) 設計者・企画者が環境配慮を行う上でのインセンティブとなること
- (4) 製造やサービス提供における資本集約型（機械化型）と労働集約型方式の差違を比較できること

インバース・マニユファクチャリング評価のためのアプローチは次のようになる。

評価手法の合理性と作業上の簡便さの両立は難しい問題である。ここではポテンシャルとしての環境負荷を評価することによってこの問題に対処する。すなわち、回収金属やスラグ等の最終的な排出物はすべて有効利用可能な品位にまで加工することを前提とする。これによって実際の廃棄物処理等で実施されている様々な方法を調査・評価する必要がなくなるとともに、一定の合理性や説得力をもって評価が行えるようにする。

製品やサービスの総体を取り上げ、ライフサイクルわたり、実体に即して評価するのが LCA である。ここでの評価法では上述したポテンシャルの概念を導入し、またすべての投入・排出についてエネルギーを含めた資源量に換算する方法を採用することで、通常 LCA とは異なるが、ある程度の合理性をもったライフサイクルで評価することを試みている。

環境に配慮した製品やサービスの提供に当たって、その設計者や企画者の役割は重要である。しかし、家電製品等の耐久消費財を例にとると、このような環境配慮への評価は従来の「機能」や「価格」といった評価軸と異なることや、耐久年数が長く、製造側の努力の成果が直ちに判定できないこともあり、必ずしも強いインセンティブが働いているとはいえない。ここでは前述のようなポテンシャルの概念を採用するとともに、最終的には経済性に換算できるようにすることで、インセンティブ機能の強化を図る。

既存の LCA の中には、工程の機械化をすすめると環境負荷が増大し、人力を使用するほど環境負荷が減少するという手法上の問題がある。我が国の企業関係者に対するアンケートでも、LCA に人間の労働を反映させるべきとの意見が多く、労働を機械で代替させ、省人化・省力化すれば環境負荷が増加することになることへの反発がある。我が国の場合、人件費の節減の必要性からくる生産現場の海外移転の現実があり、さらに言えば世界的には環境と人口という奥の深い問題を抱えている。

(2) 新環境評価指標のイメージ

このようなインバース・マニユファクチャリングに関する新環境評価手法のイメージは次のようになる。

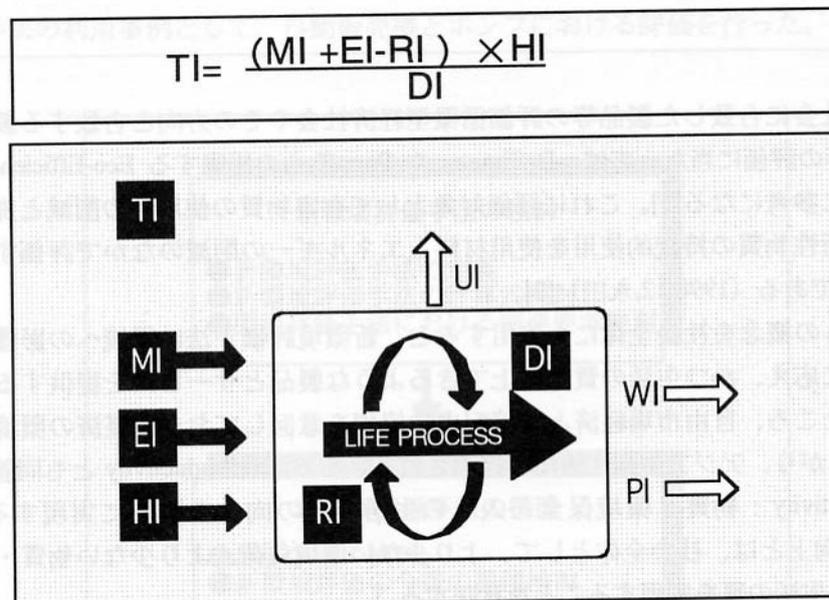
環境負荷としては、環境からの投入と環境への排出の両者を評価すべきであるが、「排出の環境負荷は投入のそれとおおむね比例する」との前提からは、投入のみの評価も、本格的な評価のスクリーニングなどに用いるものとして、それなりの意味を持っているといえる。

総体としてのライフサイクルでの環境負荷を評価するにあたっては、エネルギーを含めた資源量で評価するが、これを可採年数を考慮した換算値で示すこととする。これによって経済性への読替も可能となる。

人間のエネルギー消費を考慮することで環境負荷量の換算に組み入れる。今後はエネルギーのみでなく、その他の資源や食物の消費等も考慮することが必要となる。

プロダクトリサイクルやパーツリサイクル、さらにはマテリアルリサイクルやフィードストックリサイクル、サーマルリサイクルを比較し、環境負荷からはどの EOL 戦略が好ましいかを判断できるようにする。

循環型経済社会やその方向と合致する製品並びにサービス、技術等の評価にあたっては環境効率(Eco-Efficiency)の定義が参考になる。環境効率を計量する尺度として、物質強度(MI; Material Intensity)やエネルギー強度(EI; Energy Intensity)が提案されている。これらは製品などにおける材料使用量やエネルギー使用量をその効用で除したものである。これに追加分を含めて各強度を下記の図のように定義する。効用強度は、他の項目を変化させない場合の効用を評価するものである。各強度の中では、製品やサービスの長寿命化・長期使用化の評価軸である長期使用強度(DI; Duration Intensity)が重要である。軽薄短小の我が国の弱点がこの DI である。



- TI : (統合指標[kg/y] : Total Indicator)
- MI : (物質強度[kg/y] : Material Intensity)
- EI : (エネルギー強度[kg/y] : Energy Intensity)
- HI : (有害物質強度[無次元] : Hazardous Intensity)
- RI : (再資源化強度[kg/y] : Recovery Intensity)
- DI : (長期使用強度[無次元] : Duration Intensity)

※ UI, WI, PIはMI, EI, HI, RI, DIと相関があるものとして評価範囲から除外する

- WI : (廃棄物強度 : Waste Intensity)
- PI : (汚染強度 : Pollution Intensity)
- UI : (効用強度 : Utility Intensity)

(3)新環境評価手法

この新環境評価手法は、製品の 3R 性、環境配慮性の評価指標であり、製品に投入される資源・エネルギー収支によって評価する手法である。また、これらの評価には、有害物質リスク、再資源化及び長期使用性を加えることで、製品が持つポテンシャルとして 3R 性及

び環境配慮性を考慮していく。

TI(統合指標)は次式で示される。すなわち、製品に投入される物質強度とエネルギー強度に、有害強度および長期使用強度を加味したものとなっている。

$$TI = \{(MI + EI - RI) * HI / DI\}$$

MI(物質強度)は、製品及びその材料製造に投入される様々な物質全体についての強度とする。ただし、製品の再資源化あるいはリニューアルにかかわるものはRIとして製品の運転・使用にかかるものはDIに含むものとする。また、物質の持続性区分にあわせた計算式の設定、物質種類ごとの可採年数による重み付けを行うことで、MIとしての統合化を図る。

EI(エネルギー強度)は、材料の製造、製品製造に投入されたエネルギー投入量を評価する。ただし、材料リサイクルによる再生物質および再使用製品・部品はこれらの工程に要したMI及びEIを含めてMIとして評価する。また製品の使用段階でのエネルギー投入量はDI(長期使用強度)に依存する部分が多いことから、DIのなかで評価するものとしてEIの評価対象から除外する。

HI(有害物質強度)は、製品に投入される有害物質のうち、ライフエンドにおいての管理から見たリスクについて、改良製品と標準製品・従来製品とで改善率を評価する。

RI(再資源化強度)は、活用対象の資源強度から、再資源化に要した投入資源強度を減じたものの総和とする。対象となるプロセスは、製品リニューアル、部品リニューアル、材料リサイクル、原料リサイクル、エネルギー回収、処理処分などが考えられる。RIは得られる資源・エネルギーとこれに対する活用あるいは廃棄物として処理処分する工程に投入される資源との収支とすることができる。すなわち、活用対象量の資源としての評価値である活用資源強度から、各リサイクル工程に必要な投入資源強度、活用対象外物質を安定化するための投入資源である処理処分強度を差し引いたものがRIである。

DI(長期使用強度)は、アップグレード設計、長寿命設計やメンテナンスシステム等の導入による製品の長期使用化について、効率を考慮した使用期間として改良製品(評価対象製品)と標準製品(比較対象製品)での改善率を評価する。DIでは、長期使用化について資源に対する効率を考慮に含め、使用期間として算出、評価する。すなわち、使用期間内に発揮される性能の累積値 α に対して、製品及び消耗品、交換部品、エネルギーや燃料等の使用期間内に投入されるすべての資源・エネルギーで除した資源性能効率を求め、改良製品と標準製品とを改善率により相対評価するものである。

これらの新環境評価指標によって次のような応用用途が考えられる。材料リサイクルにおいては、技術的な課題の他に、対象物の量と組成が問題になり、適切な組成の材料をどれだけ集積できるかが事業の成否に影響する。前処理の投入資源量の内訳に、物流に要する資源量を含めていけば、より実用性の高い手法となる。リサイクル方法の選択手法としては、材料リサイクルと原料リサイクルという大きなカテゴリーを対象として例示したが、実際には個々の材料ごとに様々なリサイクル方法が存在し、物流等の要素も関連する。多数のリサイクル方法や物流を含めた実用的な選定手法への応用が期待される。また、新機種への更新条件の評価手法としては、環境に有利となるような後継機種の性能・効率の目標を設定することで、トータルでの環境負荷の削減につながる製品開発サイクルの確立を図ることができ、製造業界の持続可能な経済社会への適応の一助となるものと考えられる。このような定量的な指標が開示されていけば、ユーザー側においても資源収支的・環境負

荷的に合理的な製品選択・ライフサイクル計画を普及させることが可能となる。

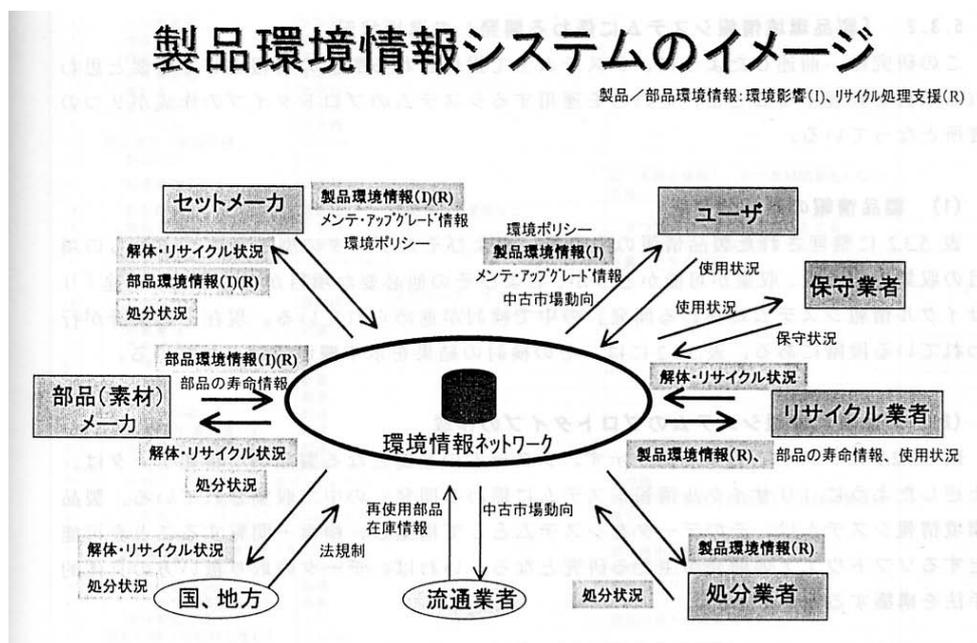
2.4.5 製品情報システムの研究開発

単純に廃棄処分の技術開発だけでは、リユース・リサイクルなどを含む循環型社会は構築できない。例えば、製造段階では、リユース・リサイクルを前提とした製品設計が求められる。したがって、製造者と廃棄処分業者協力することが必要となる。

具体的には、製品のリサイクルおよび適正処理の促進のために、製造業者は、リサイクル業者への製品情報の開示が必要であり、リサイクル・処理情報の入手による製品設計が必要である。また、処理業者は、リサイクル技術・情報の開示とともに、処理適正化、効率化のための製品情報の利用が必要である。

また、自社製品だけを回収・処理することは経済的に成り立たないと思われ、各社それぞれの対応は高コスト化を招き、結果的に消費者の負担が増大することが予想される。これに対応するためには、リサイクルビジネス、リサイクルネットワークの創生が必要であり、リサイクル市場を形成するための情報インフラが必要と考えられる。製造者の発信する情報を活用し、適正処理を推進するために、既存処理業者のリサイクルネットワークへの参加が必要とされている。

リユース・リサイクル推進のためには、製造者と処理者が情報を共有することが必要である。その情報システムのイメージを下の図に示す。家電製品の製造者・処理者のみならず、製造に必要な部品の製造業者、流通業者、および現在処理を分担している自治体の参加も望まれる。



製品環境情報システムが実用に耐えるものになるためには、利用者が何らかのメリットを享受することができるシステムであることが必要である。この情報システムの利用者が

処理業者とするならば、処理業者が魅力を感じるほど多機種のデータが収集されていなければならない。製造者による自主的な製品データの収集・公開が必要となる。家電製品に限定しても、機種・モデルを考慮すれば、製品数は膨大である。したがって、製造者が低コストで収集でき、役に立つデータの範囲を検討することが必要である。現在の情報項目には、製造工程の環境負荷が含まれている。製造工程では、単一の製品だけを製造していることは少なく、製造工程の環境負荷は算出困難である場合が多い。処理者の視点からは、製造工程での環境への情報は必要がないとも思われる。さらに、現在廃棄される製品は、かなり古い製品であるため、過去の製品情報を収集する必要もあると考えられる。

家電リサイクル法で検討されているように、製品の処理責任が製造者の責務であるという傾向を考慮すれば、適正処理を推進するために、処理業者を考慮した情報システムの提供は製造者の責務であるという考え方もある。しかし、情報システムへの参加がコスト高であれば、製造メーカーは躊躇することになるか、消費者にコストが価格転嫁され、消費者の負担が増大することにつながる。また、組立産業においては、製造者は部品を購入しているのみで部品に関する情報を収集することが困難であるという現状がある。したがって開発する情報システムには、部品・素材メーカーの参入が必要不可欠である。

以上のような考え方のもと、情報システムのプロトタイプを作成し、インターネットを用いて一般への公開を開始した。このシステムの公開にあたって次のような説明を加えた。

近年、廃棄物による環境の悪化、廃棄物処理費用の負担増が国民生活や企業活動へ制約につながることに懸念されている。このため、自然環境に放出することにより、浄化を期待する現在の「生産→使用→廃棄」という順工程のみに注目した生産システムから、「回収→分解・選別→再利用→生産」という逆工程にも注目した循環型の製品ライフサイクルを前提とする新たな生産システムへの転換が望まれている。そのため、使用済み製品を回収し、製品、部組品、部品、材料の形で効果的にリサイクルする製造技術体系すなわち「インバース・マニュファクチャリングシステム」の確立が必要となってきた。現在、レベルの高いリサイクルは成立していないが、それは製品の処理コストが高いという経済的理由からである。この原因は、製品設計技術にリサイクル対応設計技術が不足しており、また廃製品リサイクル処理の段階で製品やその構成部品に関するリサイクル情報が不足しているため、分解に時間がかかり、再生物の品質が低い。この問題点を解決し、インバース・マニュファクチャリング的社会への道を開くために、業種、業界を超えて利用できる「製品環境情報データベース」と「検索システム」のプロトタイプを開発した。

2.4.6 システム検討委員会

(1) インバース・マニュファクチャリング社会のイメージ

製品ライフサイクルを管理し、産業資源の循環を実現できるインバース・マニュファクチャリングシステムについて、できる限り具体的な対象を想定してインバース・マニュファクチャリングシステムの構想を検討し、システムイメージを提示できるようにする。特に、産業界が現実の社会的要請に直面しつつあり、経済性維持という使命のもとで、環境との調和の具体的な行動を検討し始めていることを考慮して、産業界から見て実現性のある方向と将来像に焦点を当てる。

これまでの調査研究では、多くの課題について検討が行われてきたが、物流循環の視点からの分析、システム検討は行われてこなかった。そこで「循環（またはインバース）サプライチェーンモデルの検討」を調査研究の主題とし、回収から再利用、再資源までの物流系について、サプライチェーンとして成立させるための必要条件、業種別チェーンモデル、コスト推定等の検討を行う。

循環型社会構築へのアプローチとしては、「静脈システムの構築を中心に考え、これに適合した新しい動脈システムを構築する」方法がその一つである。このアプローチに即して、リサイクリングを新たな資源・素材・部品等の調達工程（すなわち生産工程）と考え、現存する生産システムとの比較により、現状の静脈システムの課題を抽出する（リサイクルマーケットの形成）。また、現状の生産システムで検討されるサプライチェーン・マネジメントなどの仕組みを取り入れた循環システムのベースを提案する（循環型社会におけるビジネスモデル）。

リサイクルにマーケットメカニズムを働かせるためには、消費者（静脈ではメーカ）の要求を生産者（静脈ではリサイクリング業者）に伝えるなど、需要と供給が会う「場」の形成や、消費者の要求（需要）にフレキシブルに対応できる生産（供給）体制の構築が必要である。従来の静脈システムでは、「リサイクリングは廃棄物処理の観点より実施されていたため、消費者の需要を集める必要がなかった。」新しい静脈システムの実現では、需要と供給のマッチングをとる「場」の形成、需要にフレキシブルに対応した生産を実現するための生産管理の手法が必要となる。

リサイクリングを新たな資源・素材・部品等の生産工程と考え、現存する生産システムとの比較により、現状の静脈システムの課題を抽出した。その結果下記のような結論を得た。まず、循環システムを構築するためには、需要と供給が会う場の形成や、需要にフレキシブルに対応できる供給体制の構築が必要である。そして、供給体制の構築のためには、リサイクル部品・材料の生産において、生産管理手法の導入が不可欠である。法人向け製品のリサイクリングは、製品の提供形態に関わらず、量や質の管理がある程度可能である。このため、法や情報インフラの整備によりある程度高度なりサイクリングが実現する可能性がある。さらに高度なりサイクリングまたは一般向け製品を対象としたリサイクリングの高度化を実現するためには、製品提供形態を「売り切り」から「レンタル/リース」に変える必要がある。

循環型社会におけるビジネスモデルを提案するために、「インバース・サプライチェーン」「新ビジネスモデルにおける課題」「RTO(Recycle to Order)」についての検討を行った。

インバース・サプライチェーンとは、不確実性の高いマーケット変化にシステム全体を機敏に対応させ、最適化を図るためのサプライチェーンマネジメント(SCM)に、静脈側のサプライチェーンについても検討を加え、チェーンを閉ループ化した新しいビジネスモデルの構築である。インバース・サプライチェーンにおいて、資源を循環させるためには、製造者が安心して生産計画の中に再生材料および再生部品を組み入れられるようなシステムを構築しなければならない。そのためには、現在のリサイクル業者から所定量の品質保証(Quality)された再生材料・再生部品が所定期間内(Delivery)に安いコスト(Cost)で製造者に納入されなければならない。さらに、消費者から排出される使用済み製品は、リサイクル業者にとっては再生材料・再生部品を製造するための資源であり、消費者からの使用済

み製品排出についても時間的な制御が必要である。

再生品（リサイクル）のQCDを考える場合、消費者からリサイクル業者への排出、さらにリサイクル業者から製造者への再生品の供給において、排出量（供給量）季節変動および材料・部品に対する新技術導入による再生品の質的变化を制御する必要がある。リース・レンタル社会移行に関するメリット・デメリットを製造者、リサイクル業者および消費者の立場から整理し、下の表に示した。

リース・レンタル社会のメリット・デメリット		
	製造者・リサイクル業者	消費者
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・品質の良い製品の提供 ・顧客ニーズの把握 ・設計のためのデータベース構築を促進する ・製品使用履歴の把握 ・使用段階での管理が容易 ・材料および部品に関しての時間的な変化が管理できる ・使用済み製品の回収量が増える ・使用済み製品の回収単価が下がる ・使用済み製品の回収時期・回収量が明確になる ・使用済み製品のストックヤードを減らせる ・使用済み製品の処理の最適化 ・余寿命の判定が容易 ・再生品納入（量・時期）の明確化 ・新品の購入量が減らせる 	<ul style="list-style-type: none"> ・品質の良い製品の享受 ・初期払いの負担が軽減できる ・新しい製品に交換しやすい ・オーバースペックでない適正な機種を選択できる ・使用時の満足度が高い ・使用終了時の廃棄に気を使わなくてよい ・リサイクル費用負担が軽減される
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・市場規模が未知 ・技術革新への対応が不可欠 ・製品サポートが煩わしい ・製品管理工数が増えてコスト上昇 ・使用後の査定が煩わしい ・製品処理について責任を負う 	<ul style="list-style-type: none"> ・製品に対する所有願望がある ・割高感がある ・新品が欲しい（再生品が内在している事への不安） ・使用に関する制約が煩わしい ・使用後の査定が心配 ・メーカーによるアクセスが煩わしい

リース・レンタル社会実現のためには、その中核的な存在となる製造者側の効率的なシステムを検討しなければならない。そのためのRTOの概念を図に示した。使用済み製品の排出者であった消費者は都市に存在する鉱山とみなし、現在の組立メーカーは部品及び材料の品質・余寿命などを管理するライフサイクルマネジメント(LCM)会社の役割を担うこととしている。また、製品管理・メンテナンスを行っている会社は、製品使用中の顧客満足度を高めるためのサービスを提供する。現在のリサイクル業者に関しては、新品と再生品の区別がなくなるため、素材メーカーまたは部品サプライヤーという位置づけとなっている。その効果としては、使用済み製品が原料と同等の扱いとなり、使用済み製品の分解コストが加工コストとなる他、使用済み製品の処理が行われるまで製品が使用されていることから、リサイクル業者での脱ストックヤードが実現できる。

(2) 現状の回収・再利用システムの調査分析

現状の工業製品の回収・再利用システムを調査し、システム構築の背景、回収、製品リ

ユース、部品リユース、再資源化、現状、の6つの視点で整理を行った。

まず、システム構築の背景は、トリガーが何であるかによって、企業戦略、社会環境問題、経済原理の3つに分類できる。企業戦略の例としては、レンズ付きフィルム、複写機、自動販売機、トナーカートリッジなどがあげられる。次に社会環境問題の例としては、パソコン、家電、自動車用バッテリー、小型二次電池などがあげられる。最後に経済原理の例としては、貴金属類回収としての各種プリント基板回収などがある。

回収は製品特性によって大きく異なるが、消費者が購入する場合と、リース・レンタル契約で使用する場合の販売形態によって回収形態が大きく変化する。家電、自動車、レンズ付きフィルム、小型二次電池などの消耗品は購入する製品であり、使用後に消費者が不要と判断した時点で廃棄物となることが多い。下取り扱いで販売会社に引き取らせるなど回収をうまく行っているケースもある。一方、複写機、企業向けパソコンなどのOA機器はリース・レンタル契約で借用使用している場合が多く、使用済み製品になると消費者は持ち主へ返却することとなる。この場合、メーカー側の資産として有効活用するため、消費者は契約書に基づき返却回収費用を負担する。また、リユース・リサイクルシステムのレベルによって輸送形態は異なる。企業が下取り回収する場合は、納品時の帰り便で回収することが多いが、これは配送空きスペースの有効利用とメーカーに戻しやすい「逆販売ルート」が形成される。二次回収以降や、発生量の多い都市では専用便を活用して所定の場所まで搬送している。回収量が比較的少なく、発生頻度も一定しない、地域的に広いなどの場合には、宅配便が利用される。

製品リユースについては、5つの条件が抽出された。

- ・商品寿命がある間はサービス契約つきで行われている（複写機）
- ・最新機能を必要としない場合には可能（パソコン、複写機）
- ・陳腐化が少なければ需要がある（パソコン、家電）
- ・陳腐化の影響が少ない場所への移設・再使用が可能（自販機）
- ・高価な場合は商品寿命がある限り需要がある（自動車）

部品再利用は、回収された使用済み製品から取り出された部品を再生し、再生部品として再利用するケースであり、これは、生産する製品に組み込んで利用する場合と使用されている製品の補修に使用する2つの場合が考えられる。再生部品を適用できる製品の特性は次の二つである。まず、再生品部品を生産する製品に組み込んで利用する場合には、再使用設計（ユニット化・モジュラー化・易分解性）が進んでおり、消耗品以外の部品の耐用寿命が製品の価値寿命より長い場合である。また、再生部品を補修部品として利用する場合には、製品の価値寿命が長くさらにその部品の耐用寿命が長い場合、新製品が高価であるため製品の価値寿命があるうちは製品を補修して利用する場合である。逆に部品の再利用に不適切な製品として、製品の価値寿命がなくなると同時に部品の価値寿命がなくなる場合である。

再資源化は、エネルギーとして利用するサーマルリサイクル（エネルギーリカバリー）とマテリアルリサイクルがある。マテリアルリサイクルについては、同一製品の材料として再利用する水平リサイクルと、他の製品の材料となる再利用されるカスケードリサイクルがある。水平リサイクルの製品特性は、製品の素材の統一化が進んでおり、品質の管理が容易であること、再利用設計が進んでいること、プラスチックなどの

使用された材料が同一製品の成形材として利用可能なこと、有価金属類などが同一素材として同一製品内で利用可能なことである。レンズ付きフィルム、複写機、小型二次電池、自動車用バッテリー、自動車バンパーなどがこれにあてはまる。また、カスケードリサイクルの製品特性は、新たな製品となる品質に影響を及ぼさない材料であることである。

回収・再利用システムが現状で稼働中のものは、そのシステムを構築した主体により、次の3つに分類することができる。

- ・ 製造企業がその生産活動の一部として回収再利用している場合
- ・ 市場原理／経済原理に基づき回収再利用が行われている場合
- ・ 工業会が指導的立場に立ち回収再利用が行われている場合

3. 講演会の開催

3.1 自動車部品リユースデータベース 翼システム株式会社

翼システムは、ソフト・データベース・ハード・ユーザーサポートにこだわった独自の戦略で、経営や事務合理化のための業種別に特化したパッケージシステムを開発・販売している企業である。2000年5月下旬よりインターネット上の自動車リサイクル部品の在庫情報を検索、およびネット上への登録ができる自動車用リサイクル部品共有在庫ネットワーク「パーツステーションNET」を運用開始した。これは、登録共有部品在庫40万点からスタートし、最終的には200万点を目指している。リサイクル部品の全国共有化により、リサイクル部品流通を飛躍的に拡大し、リサイクル部品の利用促進により、21世紀のリサイクル問題に対応したものである。

「パーツステーション」は、リサイクル部品流通における品質向上とリサイクル率の向上を図ることで、業界全体の販路・流通量の拡大と、在庫の共有化・均質化を実現し、業界の未来が膨張的発展を遂げるための「ビジネスイノベーション」となることを目的に具現化されたものである。

「パーツステーション」は、日本自動車リサイクル部品販売団体協議会に加盟しているSSG(SSグループ)、独自の中古部品専門業者及び自動車リサイクル部品商を中心とした非組織化業者ネットとのネットワークを構築する。今後日本自動車リサイクル部品販売団体協議会の他団体にも積極的に参加を呼びかけると共に、独自に中古部品専門業者及び自動車リサイクル部品商の部品情報を加えていくことでネットワークを拡大する計画を持っている。

「パーツステーション」の利用により、リサイクル部品の主要ユーザーである自動車整備工場、钣金工場においては、顧客の要求により補修費用を安くするような場合、ネット上の在庫から手ごろで、安価なリサイクル部品を簡単に入手することが可能となる。

これらのデータベース作成のための枠組みである自動車型式と標準部品の対応表を作成するための情報収集が必要であり、ネットワーク構築とともにこれが大きな作業内容となっている。本来自動車メーカーが持っている単純な情報だが、この対応表がないと部品が登録されても、どの車に適用可能かがはっきりしなければ、意味のないものになってしまう。

また、部品ごとの性能・品質基準の標準化を図ることも重要な作業の一つである。例えば、バンパーなどはキズ情報、エンジンはピストン圧などの情報など、部品ごとに性能・品質を決定する仕様・検査項目を明確にし、検査の方法なども明文化し、具体的な検査マニュアルを作成することで、信頼性の高い品質ランク表の作成することが可能となる。この品質ランクは部品の取引価格を決定する重要な項目であり、この精度を高めることが円滑な取引を可能にする。

また、車業界の商習慣に対応することも重要な点である。従来車の部品取引では、ものと金は現場で同時にやりとりをしていたが、今回のパーツステーションでは基本的に仲介なので、部品輸送時間のタイムラグがどうしても生じてしまい、このシステムを利用する人にとっての障害になっていた。これについて、取引金額を翼システムが立替前払いする決済代行システムをとり、円滑な取引が進むように体制を整えたことも重要な点であった。

3.2 PC 部品リユースの調査について 株式会社富士総合研究所

我が国では、循環型社会形成推進基本法が成立し、最終処分場が逼迫するなど循環型社会に移行していく中で、情報化社会が進展し、パソコン普及台数が急激に増加している。パソコンは商品サイクルが早いことから、リユースの主役になることが予想されている。パソコンの部品リユースは、循環型社会構築に貢献するとともに、デジタルデバイド（情報格差）を解消することに貢献する。ここでは、国内企業の PC 部品リユースに関する取り組み動向を整理した。

各企業の主要動向としては、

- ・ リサイクルを中心とした体制を構築している
- ・ 部会を中心としたリサイクル拠点を形成している
- ・ リユースについては保守用が中心である
- ・ IBM などの外資系企業は世界規模で体制を構築していること
- ・ 直販メーカーは提携体制を構築している

などの特徴が見られた。

NEC では、保守用部品としてのリユースフローを構築しており、レンタルバック品を主対象として、リペア・補修用部品として再利用を行っている。富士通では、ハードディスク、電源、ケーブルについて主に自社の保守用に使用しており、IC やプリント基板については、海外に輸出している。日本 IBM は、自社製品のデータベースを構築し、部品の市場価格などの情報をもとに収入を最大にする分解工程を選択している。分解工程、リユース、リサイクルの品目を市況に合わせて頻繁に見直している。また、リユースできないものについては、リサイクル（材料）用に販売している。GARS で管理されている部品は、ブローカーやディストリビューターには 1,000 個単位で低価格で供給し、サードパーティメンテナーやセルフメンテナーには 1 個単位で、比較的高めの値段設定にしている。その他にヒューレットパッカーも IBM と同様に、世界的な体制を整備している。物流については日通に委託している。DELL については、中古・再生業者の TAO と提携して部品リユースを進めている。

PC メーカーの製造データ管理における技術的課題としては、

- ・ 社内品番が共通化していない
- ・ OEM の場合、内部の部品構成、部品情報を持っていないこと
- ・ 同じ製品モデル内で含有部品が異なる場合があること

などがあげられる。また、技術的でない課題としては、パソコンメーカーにとって、製品にどの部品メーカーの部品が組み込まれているかを開示することが難しいこと、パソコンメーカー側から取り出し可能な部品種情報と、個々の需要者からのニーズとして挙がる部品種情報のマッチングを図る必要があることなどがある。

また、メーカー横断的な部品情報データベースとしては、パソコン製品モデル別の含有部品情報データベースの必要性は低く、メーカー毎の部品データベースとの連携が現実的である。

リユースシステム構築のポイントとしては、リユースもビジネスの一環であり、資産としての意識を持つことの重要性が第一である。さらに、コスト低減が目標ならば提携や委

託方式、製品競争力に主眼を置く場合には、できる限り自社で取り組むことが好ましいといえる。さらに、強者がリユースを行う場合には、既存組織を最大限に活用して規模のメリットを生かすことが重要であり、弱者（新規参入者）はアウトソーシングなどを活用して低価格による切り込み戦略を採ることが好ましいと言える。

3.3 IBM の戦略的リユースシステム GARS(Global Asset Recovery Services)

日本ではコンピュータの中古部品の市場はまだ大きくないが、海外ではかなり大きな市場に成長している。IBM のリユース・センターでは、リース期間が終わって回収されたコンピュータと、IBM 社内で使っているパソコンを中古品として再生すること、廃棄されるコンピュータから抜き取ったまだ使える部品を在庫して、リユースに回すことを行っている。

具体的には、IBM 資産の保護、再販（中古）機械と再生部品の供給、技術支援の3つがリユースセンターの役割となっている。

作業としては、まず返ってきたコンピューターが IBM の資産かどうかを確認する。これによって使用されている部品のリストを作成し、必要な部品が何であるかを明確にしたり、改造されてメーカー保証できないものをチェックすることができる。また、回収の途中で、不正な部品抜き取りなどが行われないように機密梱包もしている。これは実は資産回収という考え方では重要な点である。

返ってきた PC は、最初に損傷、付属品のロス、内部の部品などを点検する。次に機械のエラー状況と履歴を確認する。さらに、ハードディスク内などに残っているデータを完全に消去し、動作確認を行う。中古市場のニーズに対応するために、場合によってはアップグレードも行う。それから、品質保証テストを行い中古機の品質を確認する。出荷前にクリーニングして、梱包・出荷している。

また、廃棄される機械の中から、使える部品は抜き取って在庫します。再生された中古品や部品の在庫情報は、IBM の世界ネットワークを通じて、必要な場所に供給する。これは 24 時間体制で、部品の需要に対応している。世界のネットワークといっても世界各国で法規制や仕様などが異なるため、使用できる場合とそうでない場合がある。たとえば、アメリカは 60Hz、ヨーロッパは 50Hz のため、部品によっては、ヨーロッパ部品がアメリカで使用できない場合も生じる。また、北半球と南半球ではコイルの巻き方が異なるなどの違いもある。中古製品や部品の具体的なデータを世界中で共有化することで、全世界の IBM 内で需要と供給を調整している。これをパーツ・バランスングと呼んでいる。このような、部品や中古製品の需要と供給を、IBM コーポレーションのネットワークを利用して調整するサービスが GARS (Global Asset Recovery Services) である。

GARS では、適切に部品や中古製品の需要と供給をマッチングさせるために、マッチングの優先順位（ポテンシャル）を設けている。Remarket（再販）→Dismantle（部品交換）→TearDown（取り外し）→Reuse Parts（部品リユース）→Sell Parts（部品販売）→Disposal（廃棄）。この順位にしたがって、より価値の高いレベルでの資産回収を行えるようにしている。

3.4 東電環境エンジニアリングのPC再生事業

パソコンリサイクルの事業化のきっかけは、2000年1月13日のJEITA（当時JEIDA:社団法人電子工業振興協会）の活動である、「パーソナルコンピューターのリデュース、リユースおよびリサイクルに関する自主行動計画」のプレスリリースである。この内容は、循環型経済システムへの転換と地球環境保全への配慮を推進するため、3Rに配慮した製品づくり、使用済みパソコンの回収の一層の推進、回収したパソコンのリサイクル率の向上の3点を推進するとともに、リサイクル率の算定方法と目標を設定し公表すること、製品のリユース・アップグレードの適正化のための情報公開、関係業界との連携・技術協力・情報交換などを行うことであった。その他のきっかけとして、一般市場向けの新規事業開拓が急務であったこと、地球温暖化や産業廃棄物の不法投棄など様々な環境問題が社会問題化してきたことなどがあげられる。

また、使用済みパソコンは1999年値で、デスクトップが年間4.5万トン、ラップトップが0.5万トンも排出されており、JEIDA予測によると2006年には倍増すると見られている。JEIDAはパソコンリサイクルを推進しており、企業の使用済みパソコンの処理費用も今後高騰することが予想される。IT化の進展により、自治体や学校教育の分野で中古パソコンの市場が拡大するなどの考えから、中古パソコンの再生事業を開始した。

しかし、使用済みパソコンを扱う上でのソフトウェア的な留意点として、ソフトや使用許諾条件による各種の制限、ソフトの種類や数の多さと対応可能なソフトの限定、個人情報や重要データ漏洩問題と対策にかかる時間、ウイルス感染防止等のセキュリティ対策が重要、などの課題がある。また、ハードウェア的な留意点として、パソコンメーカー数や製品種類が多いこと、OSやハードとの相性問題があること、記憶容量の飛躍的な増加や高速化（機能陳腐化の早さ）があること、周辺装置が多く新製品開発スピードもはやいことなどがあげられる。

2000年7月から第一次事業化を開始したが、当時は事業系のパソコンのみを買い取り、自社直接販売が主体であった。2000年12月のエコプロダクツ展でPRするなどして、様々なネットワークを広げ、2001年7月からは、3社共同事業とし、パソコンリース会社からの買い取り、販売する製品は6ヶ月保証、三井物産デジタルと住商リースを販売代理店として企業や学校向けに再生パソコンの販売を行った。

今後の課題としては、取扱量の確保と平準化、販売店側への安定供給と品揃えの確保、顧客ニーズへの対応、再生パソコンのブランド化などがあげられる。

3.5 産業廃棄物処理の現状と課題(全国産業廃棄物連合会)

まず、循環型社会を円滑に進めるためには、行政、市民、排出事業者、静脈産業の四者がうまく連携をとらなければならない。

いままでの産業廃棄物処理の現状は、基本に「廃棄物処理法」があり産業廃棄物処理は排出事業者の責任となっていた。静脈産業の市場を形成し、自由経済のもとで処理をすることにより、健全な静脈産業市場に委ねることにより、適正な処理が行われるというのが理想であった。しかし、現実には、廃棄物は排出事業者の責任のもと、目の前からなくな

ればいいものとなり、処理費用の安い処理業者に流れ、これらの業者は適切な処理を行わず、処理業者や処理施設に対する不信が高まり、静脈産業市場が健全化していないという状況になっている。

すなわち、静脈産業経済（廃棄物経済）の特質は、商品価値を持たないモノをビジネスとする点にあり、対価性を持たないため、廃棄物処理にコストを支払う動機は、環境汚染を防止し、人類及び自然生態系の環境を保全する、あるいは資源の枯渇を防止し有限な資源の保護をするというような高い社会的意識を必要とする動機となっている。この動機のみで循環経済を成立させるのは難しい。

リサイクルに関する諸問題として、廃棄物処理法と各種リサイクル法の整合性がある。リサイクル法で規定されれば廃棄物処理法の規制がはずされるが、リサイクル法で規定されない限り、廃棄物処理法の考え方が適用される。廃棄物処理法と、各種リサイクル法の考え方には大きな隔たりがある。また、リサイクル品がバージン原料に対して、品質が劣る上に価格が高いのであれば、リサイクル品の市場は形成されない。リサイクル市場確立に向けて政府が助成することは、健全な市場創設にはあたらぬ。また、リサイクル品市場が健全に形成したとしても、バージン原料の製造業は空洞化することになる。このようにリサイクルには本質的な問題も抱えており、今後の政府や業界、市民などの対応が期待される。

3.6 環境省の環境政策と環境ビジネス(環境省)

環境省での環境ビジネスの取り組みの講演。

近年、消費者団体の関心も高く、環境省としても、環境ビジネス研究会（座長：山本良一東大教授）を6回開催し、15の企業トップから発表してもらい、研究している。環境ビジネスの市場規模、成長率は大きい。H12年の調査によると、下の表のようになる。廃棄物処理、リサイクルビジネスが50%以上を占めている。この表には、燃料電池自動車などが入っていないので、実際には、もっと大きな市場が形成されるであろう。今後の環境ビジネスの振興には、情報の公開／整備、地域資源の活用や海外への展開などがポイントになるであろう。実際、鉄やプラスチックのくず、古紙などが資源として輸出されている。

	H9	H22
市場規模（億円）	247,426	400,493
雇用規模（人）	695,145	867,007

3.7 循環型社会実現に向けたシナリオのシミュレーション(国立環境研究所)

社会の発展形態によって、将来の環境がどのようになるかのシミュレーションの紹介。社会の進歩を、化石燃料依存型、高度技術指向型、地域共存型など7つに特徴付けして、それぞれで、世界規模の二酸化炭素消費量、大気汚染物質排出量、温度上昇がどうなるか、さらに経済活動への影響等を推算した。社会政策の評価や、環境対策が経済を回復させる理由等も検討されている。

3.8 情報ネットワーク家電の動向 東芝

ネットワーク情報家電が実現するユビキタス・コンピューティング社会は、常時接続、ブロードバンド、双方向、ワイヤレスにより、IT家電コンセプトが日本主導で発信されるようになり、新しい産業分野の創出になると期待されている。東芝のネット家電としては、FEMINITYシリーズが発売されており、冷蔵庫、洗濯乾燥機、電子レンジ、ホーム端末がインターネットやBluetoothで接続されている。これらの家電により、食材管理、レシピ配信、ランドリーサービス、コミュニケーションエンターテインメント、ドアモニター、省エネモニター、家電機器メンテナンス、生活トラブルサポートなどの生活サービスが提供される。

エコーネットという生活家電機器及び住宅設備機器のコントロール用ネットワーク規格を考えるエコーネットコンソーシアムがあり、このA会員としてシャープ、東京電力、東芝、日立、松下電産、三菱の6社が参加している。ここでは電灯線を活用した家電ネットワークを構築し、快適生活支援サービスやエネルギーサービスに加え、機器のリモートメンテナンスサービスや、セキュリティサービス、ホームヘルスケアサービスなどが提案されている。

IT家電がめざすべき特徴としては、使いやすさ、環境への配慮、安心の提供、購入後のサービス提供、常に最新の家電を使いたいというような新しい生活スタイルの提案などがあげられる。

4. インバース・ビジョンの構築に向けて

4.1 インバース課題の構造化

ビジョン構築委員会では、委員を対象としてインバース・マニュファクチャリングの具体的実現方法についての課題と効果の抽出についてアンケートを実施した。

インバース・マニュファクチャリングは、「使用を終えた製品から再利用可能な部品、材料を生み出すプロセスを含め、製品の全ライフサイクルを管理することによって、環境負荷を大きく低減する活動」と言うことができる。また、ビジョン構築委員会の究極目標は、「将来インバース社会になったらどうなるか」を示すことであり、そのための要件や道筋もあわせて示す必要がある。

今回のアンケート調査では、インバース社会を実現する要素である、「製品のライフサイクル管理」、「リース／レンタル社会」、「中古市場の創設」について、異業種連携の具体的なイメージを描き、そのイメージにしたがって、課題を整理することにした。

この整理によって、インバース実現のためには、生産者責任の明確化や、廃棄物と資源の法律的な定義の変更が必要であることがわかる。また、技術面の課題では、余寿命診断技術、品質保証技術、故障予知診断技術、解体・分別技術などが共通事項として指摘される。経済的な課題としては、管理コストの大きさと、管理したことによるメリットのバランスが必要となることが明らかとなった。

	具体的イメージ	法制面の課題	技術面の課題	経済的課題
製品のライフサイクル管理	遠隔診断 メンテナンス 緊急保全 予防保全 個体管理	顧客の理解 生産者責任 受益者負担 損害賠償	システム構築 余寿命診断 故障予知診断 信頼性保証 安価なICチップ 履歴管理	センサコスト 管理センタ維持 通信費用 リユース品の価値 マーケット縮小
レンタル／リース	オーバーホール リニューアル	生産者責任 適正使用の範囲 規定	余寿命診断技術 品質保証技術 リニューアル技術 使用実績の情報 把握	メーカーへのメリットのなさ
中古市場の創設	データ管理会社 オンライン検索 幅広い連携 系列の消失	恩典制度 品質保証方法 購入者登録制度	電子データ化 解体・分離技術 の機械化と自動化 余寿命診断技術 品質保証技術	端末の配置
使用済み製品のリサイクルと適正処理	分別品の受け入れ先をつなぐ流通機構の構築 解体性の明示 受け入れ先とのマッチング	廃棄物とリサイクルの区分 法制度でコストを決める弊害	解体技術開発 分別技術開発 受入条件明確化	輸送コスト 解体費用 リサイクル費用 競争原理導入

すなわち、生産者責任が明確化されれば、製造業はユーザの手に渡った製品であっても、製品を管理する権利と義務が生じ、あとは、チップをつけてオンライン管理するのか、コストのかからない緩やかな管理方法を製品の特性やコストによって選択をして、その追加的に生じる管理コストに見合うだけのメリットが得られるよう、余寿命診断技術や故障予知診断技術を開発すれば、製品のライフサイクル管理やインバースマニュファクチャリングが実現に向けて動き出すと考えられる。

4.2 インバース・マニュファクチャリング技術の体系化

4.2.1 品質機能展開(QFD)を用いた技術の体系化

QFD（品質機能展開、Quality Function Deployment）は、新製品を開発するときに用いられる品質保証論の一つである。QFDは、赤尾洋二によって1960年代の後半から研究が進められ、1970年代に入ってから提案された。それ以降、各社で事例を蓄積しつつ実績手順が整備されるとともに、1980年代より欧米をはじめ中米やアジア諸国その他の国でも注目を浴びている。QFDとは二元表により顧客要求（顧客の声）を技術特性に変換して製品の設計品質を定め、これを機能部品の品質に展開しさらに個々の部品や信頼性など工程の要素にいたるまで系統的に展開する総合的品質管理の手法である。例えば、「お客様の声、市場ニーズを抽出し、製品仕様に的確なフィードバックを行うとともに、技術的課題の抽出をすることで開発期間の短縮や品質の安定、信頼性確保をするにはどうしたら良いのか？」という問いに対して、QFDは「何をすればよいのか」、「どこに重点を置くべきか」ということをシステムティックに検討するツールとなる。

（1）循環型社会構築のための必要技術分析

QFDを利用して、循環型社会における社会の要求に対して実現が必要な技術を対比させ、技術開発の重要度を分析する。

・要求項目の抽出整理

表 1.2-1 は、QFD で一般的に用いられる、顧客要求と関連技術要素を対比させた二元表である。縦軸には、社会全体の立場、消費者の立場、企業の立場に分類して要求項目を整理した。社会全体の立場での要求は、人類の持続的発展を継続するための必要性という観点で抽出した。消費者の立場での要求は、企業などから購入する製品、サービスに対する要求を、循環させたときに新品製品と異なる可能性がある観点で抽出した。企業の立場での要求は、企業が循環型社会で成立する条件として、ビジネスが成立すること、ビジネスが社会的に認められるための観点で抽出した。

・技術項目の抽出整理

技術項目としては、循環のための基本技術である材料の開発から製造、販売、使用、回収、再生、流通までの他に、教育および法規制を抽出した。循環型社会の構築には教育や法規制の充実が不可欠と考えたからである。法規制は、現状の法規制状況に対して、循環型社会構築のために必要であれば適切な法改正、税制改正を行うべきという考え方で盛り込んだ。

・目標レベルの設定とウェートの計算

要求項目の重要度、現状の実現レベルを設定し、それを参考にxして、5年後、10年後に目標とするべきレベルを設定した。現状レベルまではできるだけ客観化したつもりであるが、目標レベルは報告者の意思を表したものである。コストパフォーマンスを考慮し、このレベルが妥当と考えた。

循環型社会構築に向けた必要技術の分析表

		材料	設計	製造	物流・販売	使用	回収	再生	再生品流通	教育	その他	5年後		10年後																							
												重要度	現状レベル	重要度	現状レベル																						
		省エネルギー生成材料開発	多世代設計技術	歩留まり向上	歩留まり向上	省エネ駆動技術	待機電力低減技術	異形診断技術	使用履歴管理技術	有害物質無害化技術	有害物質無害化技術	物品追跡技術(10タグなど)	有害物質無害化技術	洗浄技術	解体技術	選別技術	製品情報配布調査技術	材料再生率向上技術	再生工程の省エネルギー化技術	供給/需要マッチング技術	流通(量/場所/時間)最適化	消費者教育	法規制政策	重要度	現状レベル	重要度	現状レベル										
地球環境への負荷が少ない	エネルギー資源を長期利用できる	5	2	3	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	3	3	3	3	1.0	3.0	3	1.0	3.0								
	鉱物資源を長期利用できる	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	3	2	2	2	3	2	3	1.5	4.5	3	1.5	4.5					
	最終処分場の拡大が遅い	3	5	2	2	1	1	4	2	2	3	3	5	2	4	2	2	2	3	3	4	2	2	2	5	1	3	3.0	15.0	5	5.0	25.0					
	地球環境が変わらない(大気温度が安定している)	5	2	3	2	1	1	1	2	1	2	3	5	3	5	3	5	5	5	5	2	2	2	2	4	3	4	1.3	5.3	4	1.3	5.3					
	有害物質が拡散しない	2	5	2	1	2	3	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	4	4	5	1	4	4.0	20.0	5	5.0	25.0						
消費者の要求	ユーザーが安心して使える	4	4	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5	4	3	3	3	4	1.3	6.7	5	1.7	8.3						
	製品を安心して使える	2	2	2	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	4	2	4	2.0	8.0	4	2.0	8.0					
	製品を長く使える	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	4	1.3	4.0	4	1.3	4.0						
	使用後引き取ってくれるところがある	4	5	4	3	4	4	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5	5	4	4	2	2	3	3	4	1.3	4.0	5	1.7	5.0			
	故障が少ない	2	2	2	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4	1.3	4.0	5	1.7	5.0					
	故障が修理できる	4	4	4	4	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5	5	3	3	3	4	1.3	4.0	5	1.7	5.0						
	メンテナンスが簡単である																				5	5	3	3	3	4	1.3	4.0	5	1.7	5.0						
	質の高いサービスが提供される	5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5	5	3	3	3	4	1.3	4.0	5	1.7	5.0						
	最新の機能が提供されている	3	3	3																																	
	価値に見合った料金体系である	3	3																																		
	省エネの進んだ製品に早切り変えができる		4	4	3																																
	部品交換によるグレードアップができる		4	4	3																																
	取付けが簡単で壊れにくい		3	3	3																																
	望んだときにサービスを受けられる		2	2																																	
	望んだ場所でサービスを受けられる		2	2																																	
企業の要求	ビジネスが成立する																																				
	リサイクル品の市場がある																																				
	適正な価格で売れる																																				
	安定的に資材が調達できる																																				
	障害となる法規制がない																																				
	ビジネスが認められる																																				
	企業姿勢が評価される社会になってほしい																																				
	リサイクル/リユース品が価値をもつ社会になってほしい																																				
	5年後重要度																																				
	10年後重要度																																				

・ 相関マトリックスの設定と技術重要度の計算

要求項目と技術項目の相関関係をマトリックスに設定し、技術の重要度を計算した。この結果、5年後、10年後ともに、従来から重要と認識されていた材料開発、材料選別技術のほか、(a)循環を意識した設計技術、(b)再生品の利用、流通を進める技術が重要であることがわかった。(a)は単なる製品の設計に加えて、製品の循環方法自体の設計やそれに適した製品のあり方などの設計である。これはビジネス設計に近い。(b)は需要と供給をマッチングさせ再生品を有効活用する技術である。その中でもマッチする分野を探し出し、有効性を判断すること自体の重要度が高いことがわかった。これはビジネス開拓に相当する。いわゆる工学的な技術以上にビジネス開拓が重要なフェーズに入っていることがわかった。

(2) 自動車産業への応用

表 1.2-2 に、自動車関連における循環型社会のニーズと期待される対応適合技術の将来動向に関する分析をおこなった結果を示す。ここでは、循環型として、最も効果の大きいとされるリユースを中心に、それを実現するための5、10年後のキーテクノロジーの抽出を試みている。

自動車産業は、グローバル市場での製品戦略が生き残りのために重要になっている。即ち、商品力向上や環境問題をはじめとする社会的要求を満たすため新車の開発コストは膨大になり、地球規模の技術的統合、連携、協業が進んでいる。これらにより、各種の技術的イノベーションに関する開発コストリスクのシェアが可能となる。と同時に、各国市場における固有のモータリゼーション文化への適合も避けて通れなくなっている。以上のようなグローバル化とカスタマイゼーションが同時進行するような製品開発では、個別のニーズが相反するものが多く、それらをいかに克服するかが問われている。このような、相反する多くの課題をクリアするためには、既存のコンセプトや構造の踏襲による設計段階での手直しや製造工程の改善のレベルでは対応できず

- 1) 車全体での基本コンセプトや基本構造・レイアウトの互換性設計や最適化手法
- 2) 高付加価値機能コンポーネントの開発などのイノベーション改革
- 3) 厳しい構造への要求を実現する新しい機能材料の開発

等が、今後は更に重要である。よって、開発上流における最適化手法などの開発手法が注目され、更に上述の3項目の順番に沿ったマクロからマイクロへのニーズの明確な提示とその成果が必要となる。ここでの主題である自動車製品の循環型への対応としても、同様に避けては通ることができない。表 A でのリユースに関する機能展開では、キーテクノロジーとして、これら開発上流での各種開発手法の確立が重要であることが分かる。

しかし、自動車製品の循環型への対応には、そのニーズがビジネスとして企業のニーズと合致しない限り、このような開発上流での基本構造からの見直しへの強い動機づけにはならない。即ち、動機づけがないと、企業では上述の各種開発手法が使われることはない。

循環型社会とビジネスとしての市場からの新しい付加価値に対する要求が必要である。そうでないと、企業を刺激し、製品を最適化する上記の開発設計やビジネスプロセス構築の最適化を動かす力にはならない。

一つは、社会的観点から、リサイクル法などの法的規制や税法上の動きである。既に施行されつつあるリサイクル法での企業での動きは敏感であり、開発設計に大きな影響を及

ぼし、リサイクル作業の効率化への試みが進行している。しかし、過度な規制は産業界の活性化を疎外するため、バランスのとれたコンセンサスがどのように導入されるかが問われている。表 1.2-2 での大きな影響因子として、リストアップされている。

第二には、ビジネスとしての対象である市場の拡大が必要となる。即ち、製品開発・製造プロセスだけではすぐに限界に達してしまい、製品使用過程・リサイクルプロセスへのビジネス展開や協業などが大切であり、ものを造って販売することで利潤を得る製品誕生のプロセスだけでビジネスを行うことが困難になりつつある。製品使用へのフォロー、サービス、メンテナンス、整備・修理、バージョンアップ、買い替え、リサイクル回収などが対象となる。既に、米国では、メンテナンスフリー期間の長さが高級車としてのイメージに定着しており、当然ではあるが下取り価格の高い車種は人気がある。自動車のデジタル化が進み、各種情報の相互通信が可能となりつつあり、交通渋滞、位置認識情報、IC カードの通行料精算などが実現している。自動車の状態情報の活用は、車の使用状態のモニターを活用したより高度のサービスを通じ、環境負荷とユーザ層の満足を両立させることが可能であり、これからの重要なアプローチ法として、注目されるべきであると考えられる。表 A でも、一種のキーテクノロジー群として、注目すべきことを示している。

以上のように、自動車と言う製品の一生に渡って、木目の細かい適応技術が用意され、製品に反映され、それとリンクした市場、社会、政策面での仕組みと協調してゆくシステム技術が問われることになる。即ち、「いかに造るか？」と同時に、「いかに使うか？」も大きな主題となっている。この「いかに使うか？」には、上述のビジネス化の視点だけでなく、今後は、「ものを大切に使う」といったユーザ層の文化、「消費者なのか？ユーザなのか？」といった使う側からの考え方へのアプローチも重要となっている。

表 1.2-2 による 5 年後や 10 年後の技術マップの予測としては、両者ともほぼ同じ分布をしており、その方向性には、あまり変化がみられない。即ち、燃料電池の普及など大きなインパクトがあるテクノロジーは、更に長いスパンの開発期間が必要とされており、この 10 年で実現を期待できることは、デジタル化などの IT 技術の社会への普及あたりである。即ち、大きなベクトルの変更を誘発するような画期的なテクノロジー手法の出現は期待されていないことを示している。それよりも、社会の動きやユーザ層の購入後の使用過程への積極的な働きかけや逆の影響を正視した新しい視点でのキーテクノロジーを考慮してゆかなければいけない時代である。表 A の分析結果より、

① 材料工学での高付加価値となる機能材料開発への期待は大きい。

(開発設計者から新材料開発者への明確なニーズ伝達、即ちマクロからミクロへのシフト)

② 3R 設計を基盤とした各種開発設計法、最適化手法が期待されている。

③ 循環型社会への顧客の関心も含めた顧客のニーズに対する積極的アプローチ。

(使う側から見た文化や考え方、ものを大切にやグリーン志向などへのアプローチも)

④ 製品使用過程での顧客、製品の情報把握、サービス・支援システムの整備が重要となる。

⑤ 市場での付加価値を誘導するためにも、法的、税的施策も不可欠である。

などが抽出された。

(3) 数量化Ⅳ類による解析

QFD は「技術的課題の抽出をすることで（環境適合性）要求を満たすにはどうしたらよいか」を示すことはできるが、それぞれの技術課題の体系化を行うことは難しい。例えば、ある要求を満たすための技術課題は決して一つではない。全く視点の異なる技術課題であっても、要求に対してほぼ同じように貢献できる技術群が存在する。このような場合には、必ずしもその技術群のすべての技術開発を推進する必要はなく、その技術群の中で困難度の低いものから着手することで、要求を満たしていくことが可能である。このような観点から技術を整理・体系化することは従来から求められてきたものの、システムチックに解決する方法はこれまで提案されてこなかった。

数量化Ⅳ類（Quantification Theory type IV）は、いくつかの分析対象物があり、その任意の2つの間に「似ている程度」あるいは「似ていない程度」が量として与えられているとき、それを手がかりに直線上、平面上、空間上に各対象物をプロットし、視覚化を図る手法である。この手法では、「似ている程度」である「近親性」をデータとしてこのデータ解析をすることによって対象物の得点化を行う。この得点化された値を「固有ベクトル」と呼んでいる。

近親性を示す方法には、単相関係数を用いる方法、一致度数を用いる方法、クロス集計表を用いる方法などがある。単相関係数を用いる方法では、変数相互の単相関係数を近親性として分析する。分析においては、近親性行列から項目間の距離を算出して用いるため、近親性を単相関係数(γ)で示した場合には、1 から単相関係数を引いた値($d_{ij} = 1 - \gamma$)を用いることになる。

求める対象物の固有ベクトルを x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) とすると、

$$Q = \sum_i^n \sum_j^n d_{ij} (x_i - x_j)^2 \quad (i \neq j)$$

を最大にするように $\{x_i\}$ を求めることになる。上式をラグランジュ未定乗数法を用いて展開し、 x_i で偏微分することで、固有ベクトルを算出するのがこの手法である。今回は、数量化に関するパッケージソフトを利用して、この計算を行った。

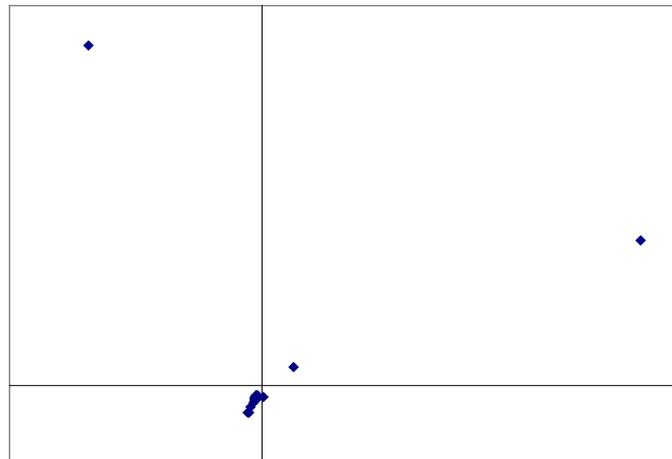
・環境 QFD を用いた技術の体系化

環境 QFD では、環境適合性と環境対応技術を二元表で表現している。したがって環境 QFD を用いて技術の体系化を行うということは、「環境適合性の観点から、類似した環境技術を、平面上にプロットし、視覚化・体系化を図る」ということである。

まず、前述の環境 QFD を下記に再掲する。

			材料		設計					製造			物流・販売		使用		回収		再生			流通		教育		その他																
			省エネルギー 生成材料開発	易リサイクル 材料開発	無害代替材料 開発	高性能材料 開発	多世代設計 技術	ライフサイクル 設計技術	材料の標準化	材料選択支援 技術	組立性・分解 設計技術	モジュール設計	LOA(環境負荷 評価)技術	低エミシオン 製造技術	省エネ加工 技術	歩留まり向上	副資材削減 技術	再利用梱包材 の開発	物流(量/場所/ 時間)最適化 技術	需要予測技術	異常診断技術	待機電力削減 技術	省エネ駆動 技術	廃棄物量予測 技術	使用履歴管理 技術	物品追跡技術 (ICタグなど)	有害物質無害 化技術	解体技術	洗浄技術	破砕技術	選別技術	製品情報配布 調査技術	材料再生率向 上技術	材料高純度再 生技術	再生工程の省 エネ化技術	再生品供給/ 需要マッチ ング技術	流通(量/場所/ 時間)最適化	消費者教育	法規制政策			
社会的 要求	地球環境 への負担 が少ない	エネルギー資源を長期間利用できる 鉱物資源を長期間利用できる 最終処分場の拡大が遅い 地球環境が変わらない(大気温度が安定 有害物質が拡散しない)	5 3 3 5	2 2 2 2	3 2 2 1	1 1 1 1	2 2 1 1	1 1 1 1	2 2 1 1	3 2 2 2	3 3 3 3	5 3 2 2	3 3 5 2	2 2 2 2	1 2 5 5	5 5 5 5								5 1 2 2	2 2 2 2	5 2 2 2	3 3 3 5	2 2 4 3	3 3 3 4	5 4 4 4	5 4 4 4	2 2 2 2	2 2 4 2									
消費者 の 要求	ユーザー が製品を 安心して 使える	安心感・信頼感がある 火事にならない 製品の価値が落ちない 製品を長く使える 使用後引き取ってくれるところがある 故障が少ない 故障が修理できる メンテナンスが簡単である		4 2 5 3	4 2 3 2	2 2 2 2	2 2 2 2	2 2 2 2	2 2 2 2	2 2 2 2	3 3 3 3	4 4 4 4	4 4 4 4	4 4 4 4	3 2 2 2	2 2 2 2	5 5 5 5	4 4 4 4	3 3 3 3	2 2 2 2	2 2 2 2	4 4 4 4	3 3 3 3	2 2 2 2	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	5 5 5 5	4 4 4 4	2 2 2 2	2 2 2 2										
	質の高い サービス が提供さ れる	魅力的なサービスが生まれる 最新の機能が提供されている 価値に見合う料金体系である 省エネの進んだ製品に早く切り替えがで 部品交換によるグレードアップができる 取りつけが煩わしくない 望んだときにサービスを受けられる 望んだ場所でサービスを受けられる			5 3 3 3	4 3 3 3	3 2 2 2	2 2 2 2	2 2 2 2	2 2 2 2	2 2 2 2	2 2 2 2	2 2 2 2	3 3 3 3	2 2 2 2	2 2 2 2	2 2 2 2	2 2 2 2	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1									
	企業 の 要求	ビジネス が成立す る	リサイクル品の市場がある 適正な価格で売れる 安定的に資材が調達できる 障害となる法規的な制約がない																																							
		ビジネス が認めら れる	企業姿勢が評価される社会になってほ しい																																							
			リサイクル/リユース品が価値をもつ社 会																																							

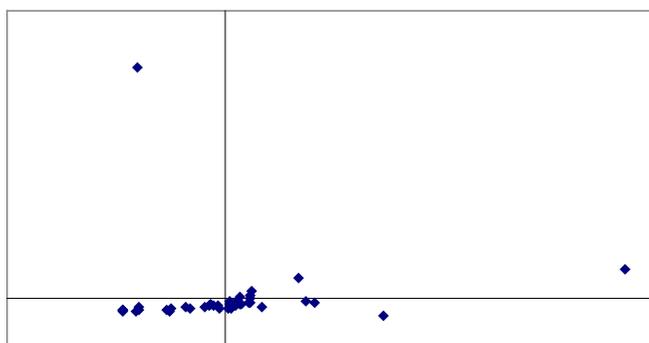
この環境 QFD 表をそのまま数量化IV類によって分析すると次のようになった。



環境技術の固有ベクトル(1)

消費者教育、法規制政策、税制に関する社会制度的技術は、循環型社会構築を目指す企業の要求のうち、ビジネスとして認められるという要求に独立的に直接関係する技術であり、他の技術とは大きく異なっていることが明らかとなった。更に詳細に技術体系化を行うために、これら3つの技術を除いて、数量化IV類により分析を行った。

税制、法規制、消費者教育の3つを取り除いて分析を行った結果、異常診断技術と使用履歴管理技術が他の技術と大きく異なることが明らかとなった。どちらも社会的要求である地球環境への負荷低減には直接結びつかず、「ユーザが製品を安心して使える」という要求を主に満たす技術である。再度さらに異常診断技術と使用履歴管理技術を除いて数量化IV類による分析を行った。

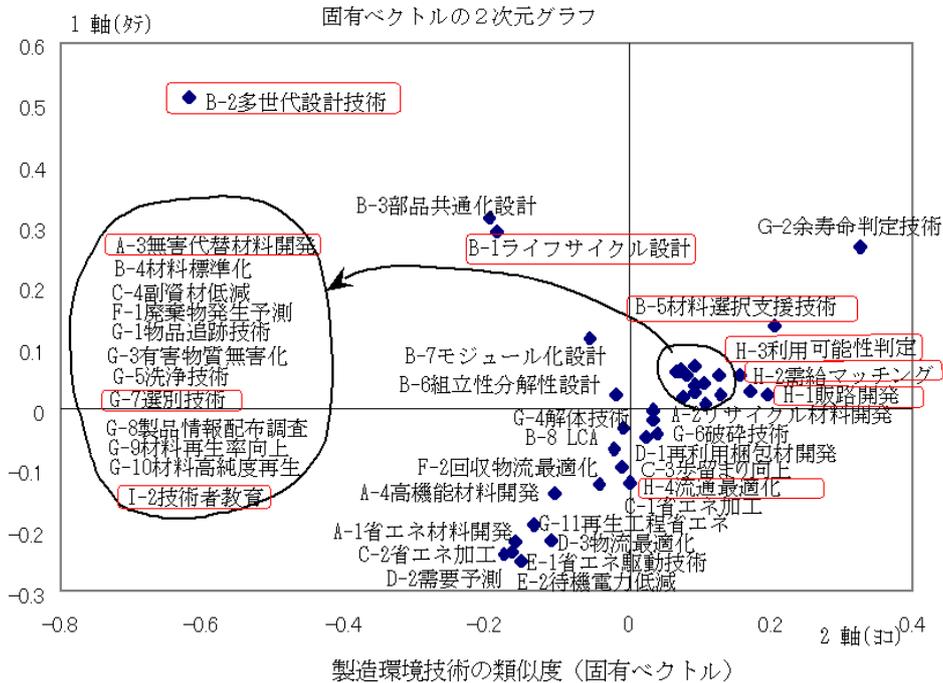


環境技術の固有ベクトル(2)

全部で5つの技術を除外して分析した結果を次の図に示した。また、QFDにより10年後の重要度が高いもの10個に丸を付した。この分析によると、技術に5つぐらいの領域があることがわかる。一つは、一番下中央のかたまりで、主に省エネルギーを目指した技術群である。この中には、材料・設計・使用各分野での省エネ技術が集中している。次の技術群は中央の少し右下の資源節約を目指した技術群である。ここには、歩留まり向上やリサイクル材料開発、再利用梱包材開発など資源・廃棄物問題に対応した技術群が含まれている。次に、その少し上の集中して丸で囲った技術群である。ここに含まれる技術群は特に特徴はないが、様々な分野に応用が可能な基礎技術であると言える。さらに右上の領域にある技術群は、販路開発、需給マッチング、利用可能性判定、余寿命判定技術など再生品流通に強く関係する技術である。最後の技術群は左上に位置するもので、ライフサイクル設計、多世代設計、部品共通化設計などの設計技術である。これに、法規制・税制と、使用履歴・異常診断技術を加えた7つの技術群があることが明らかとなった。

それぞれの技術分野で、将来的に重要視されている個別技術があり、この技術を推進することで、目標達成の視点から、その個別技術の近くにプロットされる技術を代替することができる。特に重要視されている技術群は、利用可能性判定や需給マッチングなどの再生品流通に関する技術である。逆に重要視されていない技術は単純に資源節約、エネルギー節約に関する技術である。

このことから、今後必要になってくる技術は、多世代設計などのライフサイクル設計技術と、利用可能性判定や需給マッチング技術などの再生品流通に関する技術であることが明らかになった。



・自動車に関する技術の体系化

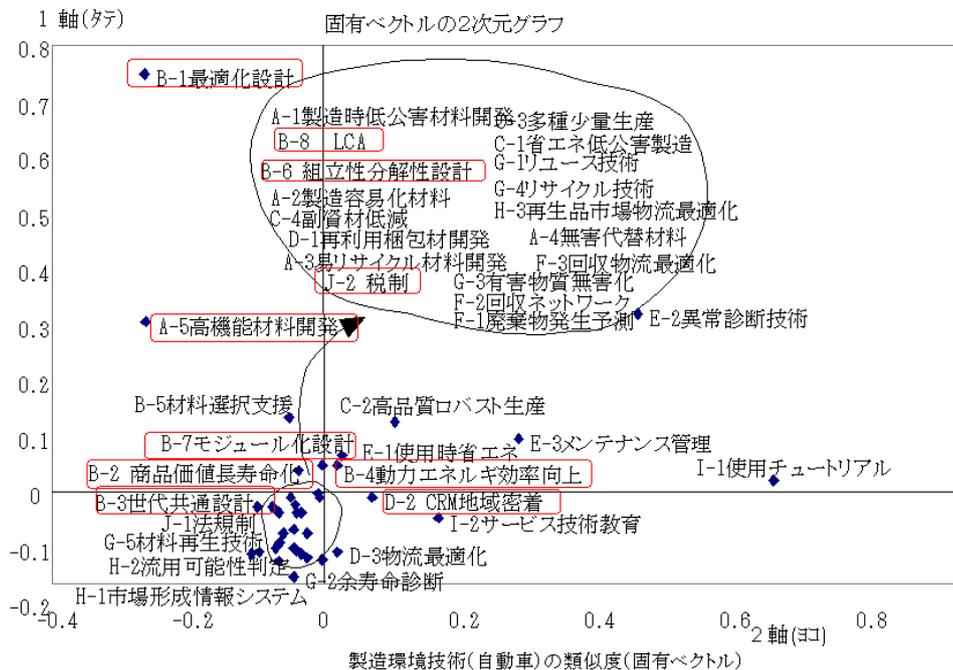
次に「自動車に関する環境 QFD」についても、同様の分析を行った。

今回の分析は一回目で、おおよそすべての技術がほどよく分散した図が得られた。しかし、先ほどのような明確な技術領域はあまり見いだせなかった。

それでも、一番上の最適化設計という設計に関する技術、右の方に散在するメンテナンス管理や異常診断技術、使用チュートリアルという使用段階の質の高いサービス提供に着目した技術群、左中央の高機能材料開発や材料選択支援技術などの材料関係で、様々な要求に対応できる汎用性の高い技術群、などがあることが明らかとなった。

この分析の場合では、特に重要視されている技術群は、多世代設計などのライフサイクル設計技術と、使用段階でいかに適切なサービスを供給するかという異常診断技術やメンテナンス管理技術であることが明らかになった。

自動車の分野では、中古車流通は活発に行われており、再生品流通に関する技術はあまり重要視されておらず、すでに存在する技術のため特徴付けがあまり明確になされていない。また、最初の汎用性 QFD に比べて、自動車を例にしたことで、技術や要求が、具体的に読み替えられているが、このときに、概念が多少変わってしまったことが影響しているとも考えられる。



4.2.2 フォールトツリー(Fault Tree)による体系化

循環型社会構築に向けた FT (Fault Tree) 図を作成し、構築の失敗原因を分析した結果を報告する。

循環型社会構築 FT 図 (以下、FT 図) は、“リユースの失敗原因に関するブレインストーミング”を行い、KJ 法を用いてグルーピングした結果 (図 1.2-5) を参考に作成した。FT 図は“循環型社会構築失敗”に始まり、その原因を細分化・詳細化して記述した (図 II-1 から図 II-4)。記述に際しては、一般的に FT 図の作成に用いられる記号 (論理積、論理和、中間事象、基本事象、未展開事象) を使用した 1)。また複数の中間事象に基本事象が現れる場合には、技術的により低位な中間事象に基本事象を記述した。

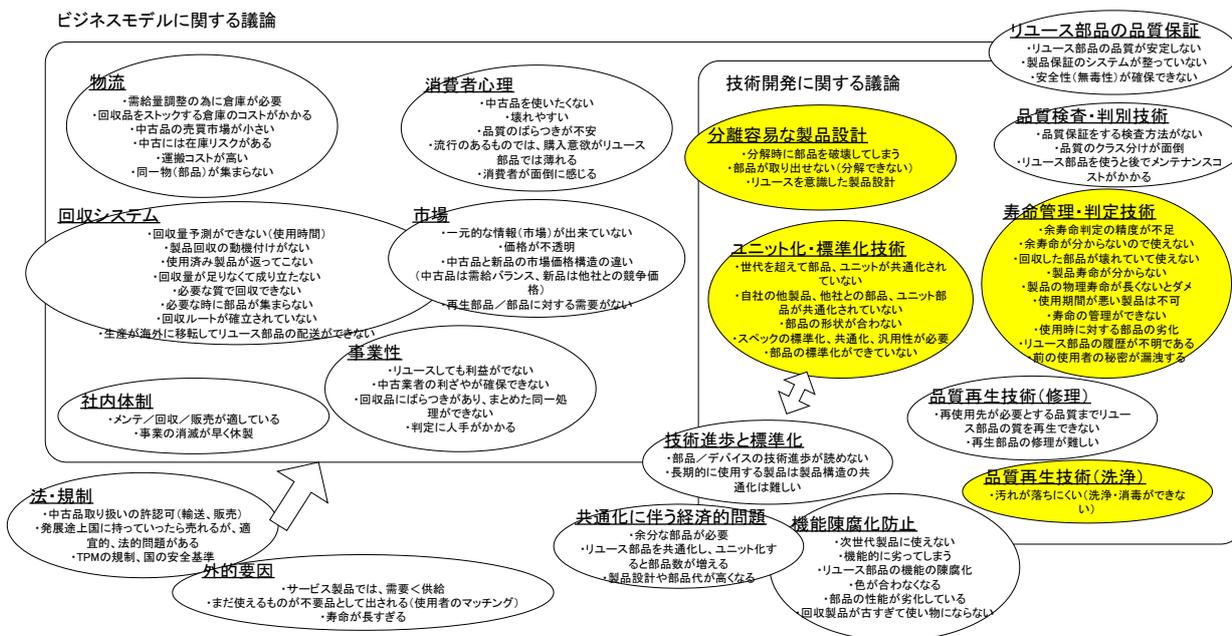
(1) FT 図概略

循環型社会は、ただ資源が循環すればよいというわけではなく、“二酸化炭素排出量増大”や“有害物質拡散”の防止なども考慮しなければならない。しかしながら、循環型社会構築失敗の最大の原因は“廃棄物量増大”であり、これを中心に展開していった。“廃棄物量増大”は“原材料投入量増大”かつ“リサイクル率が低い”ときに起きる事象である。“原材料投入量増大 (図 II-1 参照)”に対する対策としては、3R のうちリデュースが対応しており、メーカーでも個別の改善が行われている。一方の“リサイクル率が低い”についても、家電や自動車の分野では対応が進んでいるが、コストや再生材料の品質や用途などについて問題も多い。“リサイクル率が低い”原因について分析した結果をに示す。原因としては、

大きく分けて“製品回収量の低下”および“1台当たりのリサイクル率の低下”が挙げられる。“製品の回収量の低下”については、ユーザーのライフスタイルや環境意識などにも大きく影響される要因であり、生活習慣や社会システムの変革を必要とする問題である。そこで今回は“1台当たりのリサイクル率の低下”を、現在考え得る技術

課題として深く掘り下げる。“1台当たりのリサイクル率の低下”は、“リユースできない”、かつ“マテリアルリサイクルできない”、さらに“サーマルリサイクルできない”場合に起こる。また現在、使用済み製品のリサイクルの多くは、マテリアルリサイクルまたはサーマルリサイクルであり、リユースの促進は今後の課題とされている。

これまでインバース・マニュファクチャリングフォーラムでは、より付加価値の高い状態での、そしてより環境負荷低減効果の大きい資源循環の方法として、リユースについて研究してきた。“リユースできない”原因(Ⅱ-3図を参照)には、“製品としてリユースできない”場合と、“部品としてリユースできない”場合があるが、それぞれについてより詳細に以下の項目で分析する。



(2) 製品としてリユースできない原因

図Ⅱ-3を見ると、“製品としてリユースできない”原因の一つに中古品の需給バランスの悪さが示されている。基本原因の“事業規模が小さい”ために、“中古品は市場性が乏しい”ことが原因である。これまでの部会での議論でも、「規模が小さいから高い収益性が確保できているのであり、製造業のようなスケールメリットは期待できない」という指摘があった。したがって、製品としてリユースする場合には、地域ごとに小規模な形態で数多く流通の場を設けることが望ましい。そのため、

— 中古製品の再生・販売業のノウハウの蓄積によるフランチャイズ展開

- 中古製品の卸売市場の整備
- 中古製品の販売価格等適正化のための情報提供が必要と思われる。

(3) 部品としてリユースできない原因

“部品としてリユースできない”原因としては、“次世代製品で利用できない”、“新造品で利用できない”、“補修部品として利用できない”が挙げられる。カスケード的な利用法ではなく、部品の機能を最大限に活用し製品に再利用するためには、“部品の品質保証”が鍵となる(図Ⅱ-4)。この品質保証において現在最も困難とされていることは、部品の“余寿命がわからない”ことである。これは基本事象である、検査による“余寿命判定の精度が悪い”かつ“部品の履歴が不明”であるために管理ができないことに起因する。

したがって、製品の回収期間等時間的な不確定要素は残るが、直近の課題としては、

- 余寿命判定技術の確立、または、
- 部品履歴管理技術の確立

が急務であると思われる。

参考文献

- 1) グローバルスタンダード時代における実践 FMEA 手法—品質管理と信頼性, 保全性, 安全性解析—、小野寺勝重、日科技連出版社、1998

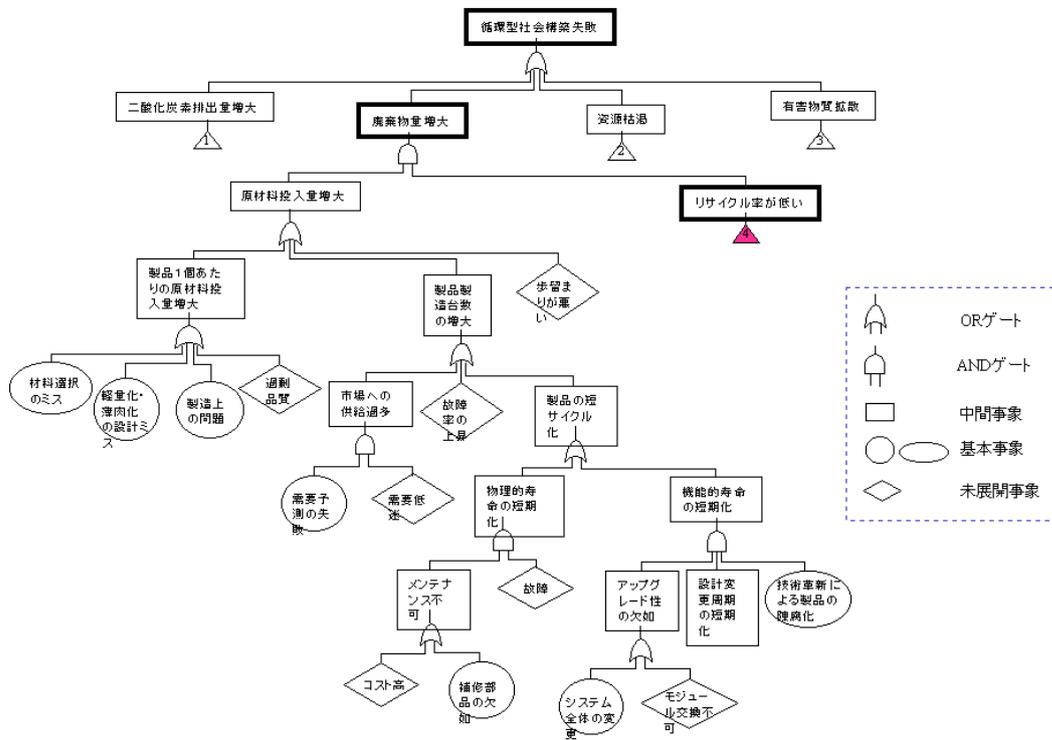


図 II - 1 循環型社会構築の失敗原因

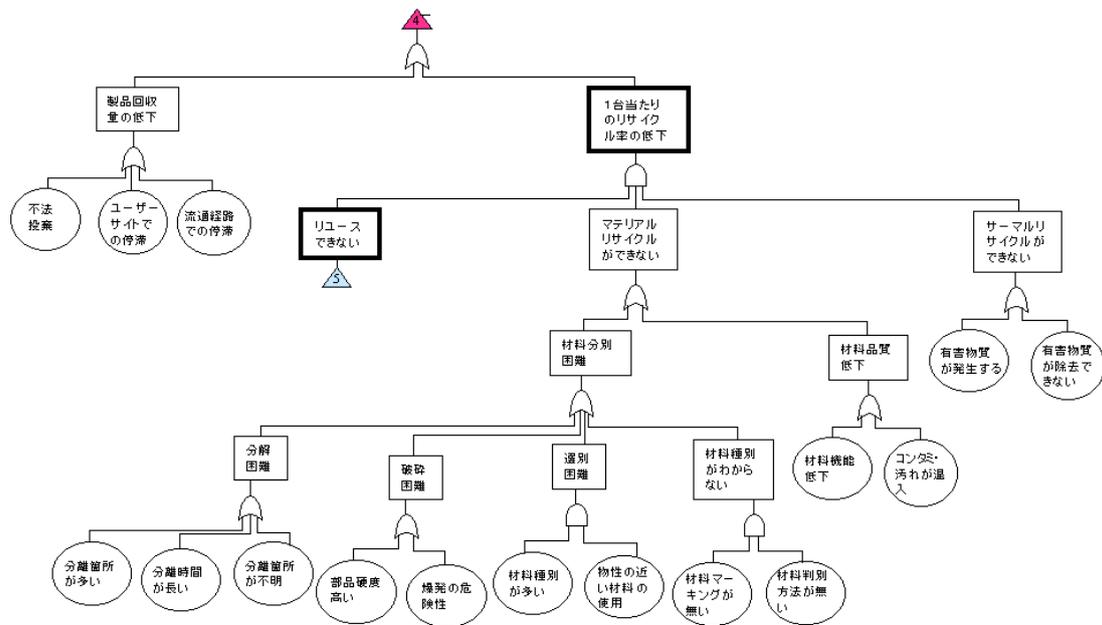


図 II - 2 リサイクル率が低い原因

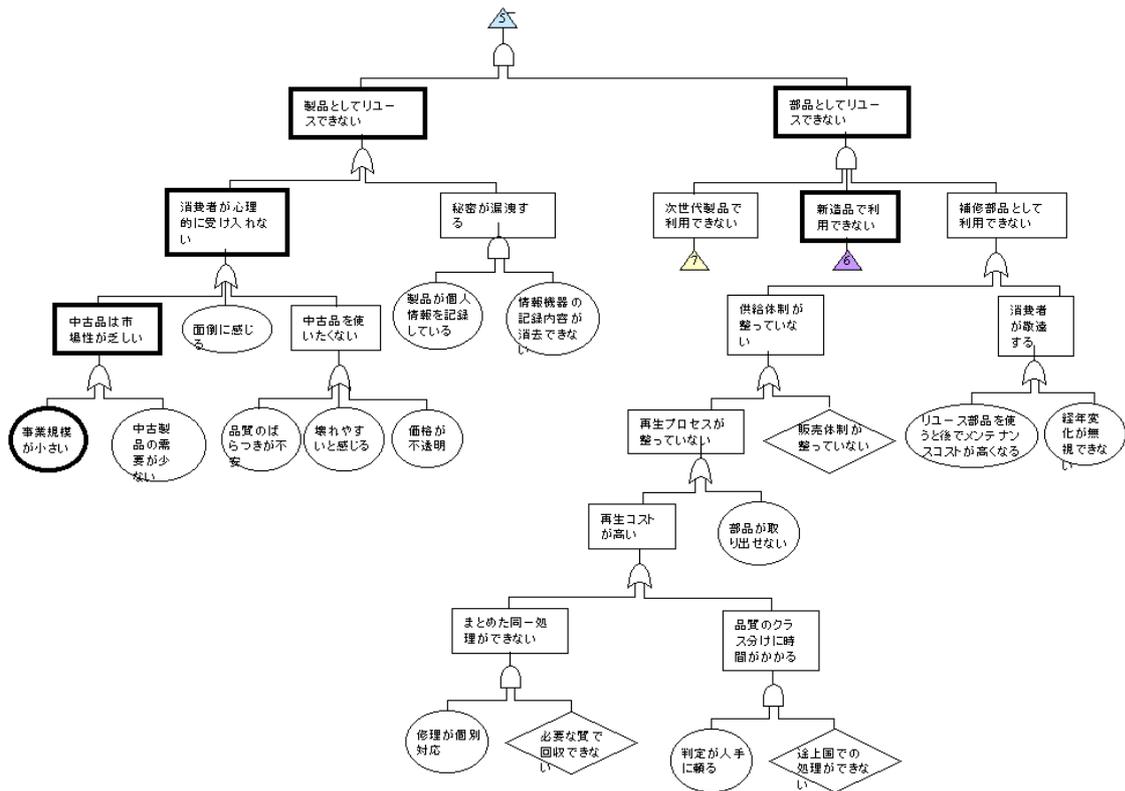


図 II - 3 リユースできない原因

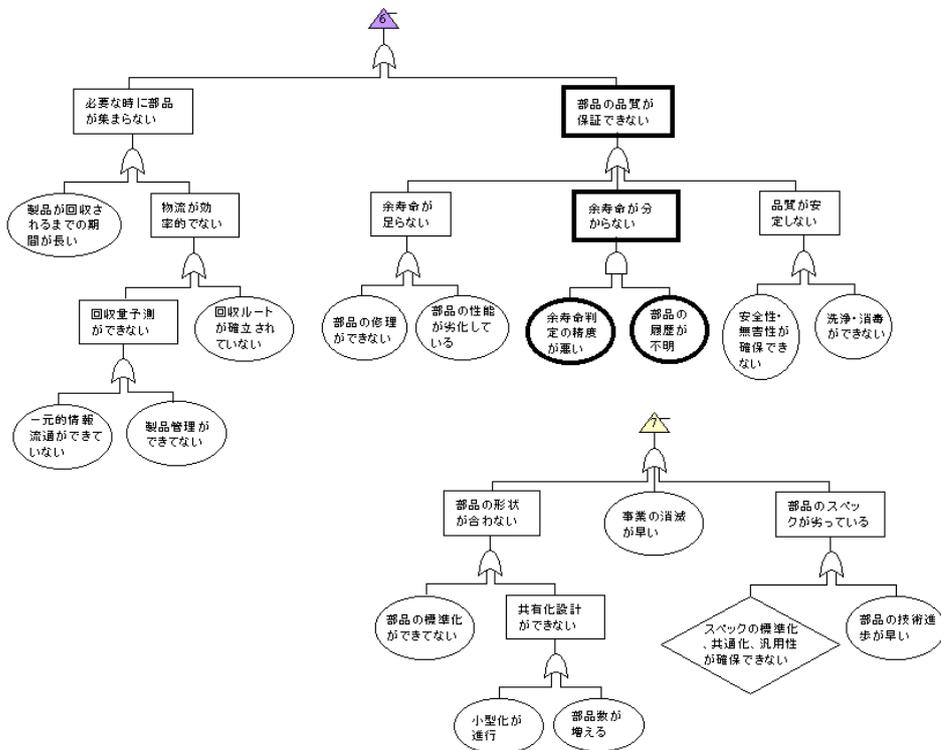


図 II - 4 次世代製品および新造品で部品リユースできない原因

4.3 インバースマニュファクチャリング実現に向けたシナリオ

4.3.1 ライフサイクルの各主体間の連携

インバースマニュファクチャリング実現に対する役割分担やパートナーシップについては、ほとんど議論されていない。基本的に製造者が取り組めばよいというスタンスだったのであるが、製造業は使用者の要求にあわせた製品サービスを提供することが役割であることから、使用者の役割分担について無視することはできない。例えば、製品を回収デポまで使用者が運んでくるというシステムを構築するためには、使用者の手間や労働に対する何らかの対価について設計しなければならない。これがデポジット制という購入時に使用者が余分に支払った金額を取り戻す制度のような金銭的対価によるものか、買い換え時に走行距離に応じて新車価格から割引するもの、あるいは特別会員登録により限定的な情報が得られるようにする（例えば、携帯電話の限定会員サイトで付加価値のある情報を提供する）など、インセンティブを与える制度設計が必要となる。すべての主体にとって何らかのインセンティブが必要となる。

工場内だけの生産プロセス管理については、従来から常に進歩してきた領域であり、最近の ISO14001 取得やゼロエミッション推進活動などによって更に高度化されてきている。現在、最も大きな無駄・ロスのある部分は、見込みミスで売れなかった製品在庫、家庭で死蔵・退蔵されている少し古い製品、中古ショップの倉庫に山積みになっている使用済み製品の山などである。また、「分ければ資源、混ぜればゴミ」の標語で理解されるような、純度が高まれば優良な資源であるのに、材料選別度が低いため使用用途が限られ市場価値もゼロに近いようなリサイクル材料である。さらには、非効率にあちらこちらにたらい回しにされ、長距離輸送されている製品や使用済み製品と、返り便で空車で走っている輸送車などである。あるいは、一年のうちほとんどの時間駐車場に止まっている自家用車である。

ライフサイクルの各主体が連携し、情報を交換することによって、ライフサイクル全体で資源利用効率などを向上させることができる。

4.3.2 コスト問題

一般的にエコプロダクトは、価格が高いと言われる。その原因について整理すると、生産ロットが小さくてスケールメリットが生かせない場合、もともと価値のないものに莫大なコストや手間をかけて付加価値をつけて無理矢理利用しようとしている場合、日本と他地域との間で、人件費と材料費のバランスなどのコスト構造が異なる場合、エコプロダクト生産のコストが正確に割り出せない場合などに分けられる。グリーン調達や消費者の意識の高まりによって、エコプロダクトが一定の需要を獲得できるようになり、経済性をもったエコプロダクトも徐々に増加してきている。

また、環境会計や環境マネジメントシステムが構築されるようになり、生産コストの適切な配分なども明確化され、総合的な波及効果も明らかになることで、製品単体としてはコ

スト高でも、生産システム全体としてはコスト増にならないケースも見られるようになった。ライフサイクルの各ステージで発生するコスト構造が異なる場合には、ライフサイクルコスト評価手法により評価を行い、ライフサイクル全体でコスト安となることを享受できる ESCO 事業や PFI 事業なども認められるようになってきた。

環境コストを内部化するという議論では、環境税や廃棄物税、バージン資源税などが検討されているが、税収の使用法、社会での公平性、意図していない影響発生の不確実性、国際社会との整合性など、解決すべき課題が多く、現実的には、三重県で 2002 年度より実施される見込みの産業廃棄物税（法定外目的税）のように、ローカルな問題に対応する形態で進んでいくことが予想される。

廃棄物処理コストが上昇することで、リサイクル材料の使用量割合が増加することが予想され、環境パフォーマンスは向上する可能性があるが、インバースマニュファクチャリングの理念である、製品ライフサイクルを管理するためには、リユース以外に課税するなど詳細な規定が必要となる。

4.3.3 技術開発

インバースマニュファクチャリングは、生産・輸送・使用・廃棄などの各製品ライフステージに対応した広範な技術を必要とする。歩留まり改善技術、工程内リサイクル技術、多品種処理技術、在庫管理技術、マーケティング技術、需給マッチング技術、リサイクル技術、全体を支える情報共有技術などである。これらの技術のほとんどは、コストさえかければ実現可能なものばかりだが、対象とする製品カテゴリーごとに、コストターゲットや重要度（必要度）が異なる。

家庭用冷蔵庫に比べて自動販売機は、品種が少なく、使用される材料も鉄が多く、コストにシビアである。そのため、多品種処理技術やリサイクル技術はあまり重要でなく、故障診断、余寿命診断技術、（再販のための）低価格洗浄技術などが重要になる。

4.3.4 ユーザ要求の多様化と品質保証

これまで、製品の故障はマイナスの意味しかなく、製造業者は信頼性の高いオーバースペックの製品を設計・生産してきた。しかし、100 円ショップの台頭で分かるように、ユーザは必ずしも信頼性や品質が高いだけの商品を選択しているわけではない。中古ショップが独自に保険会社と契約を締結し、長期の製品保証を付加するサービスも出現してきている。このように品質、リスクをコストとのバランスで選択するユーザが増えており、それを支える制度も多様化してきている。これにより、ユーザの要求レベルに適合した適切スペックの製品を提供することで、無駄やロスを排除することが可能となる。

4.4 インバース実現のための取り組み

インバース・マニュファクチャリング実現のための取り組みとして、成立のための社会条件づくり、製品情報の共有化、技術開発、社会全体のコミュニケーションの 4 つに分類

し、以下に箇条書きで示す。

4.4.1 インバース・ビジネス成立のための条件づくり

- ・「インバース・マニファクチャリング支援法」の提言
- ・拡大生産者責任の明確化
- ・グリーン税制
- ・使用済み製品の扱い、価値
- ・近隣諸国との連携／輸出入対応、技術移転
- ・インバース指標の開発

4.4.2 異業種協業による製品情報の共有化

- ・情報の共有効果（データベース）
- ・ユーザニーズと製造者ニーズのマッチング
- ・リサイクル設計の促進
- ・企業グループ化によるワンストップサービスの提供
- ・ライフサイクルコストニング
- ・情報共有を前提とした保険商品
- ・情報提供によりユーザに使い方を判断させるシステム開発

4.4.3 インバースマニファクチャリングの技術開発

- ・余寿命診断技術
- ・故障予知診断技術
- ・品質評価技術／品質保証技術
- ・リユース判定技術
- ・解体・選別技術
- ・洗浄・検査技術

4.4.4 社会全体のコミュニケーション深化

- ・インバース社会の普及啓発
- ・情報発信
- ・セミナー／パンフレット／ニュースレター／インターネット
- ・ロビー活動

4.5 プロジェクト実施によるインバース・マニファクチャリングの牽引

インバース・マニファクチャリングを社会のなかで牽引・実現するためのプロジェクト

トの例として8点リストアップを行った。

①永久家電プロジェクト

省エネ、省資源、材料、設計基準、安全
リユース、リサイクル下での寿命・信頼性管理
極限的な長寿命化

②分散メンテナンスとサービス提供

持続的サービス、ライフサイクルコストニング
どこでも生産、どこでもメンテナンス
いつでも生産、いつでもメンテナンス

③回収物流のための製品管理

IC タグ技術と製品システム
社会インフラなどとの関連：製造プロセスとの連携

④循環ポータルサービスと e-manufacturing

部品・製品の相場、コスト情報を公開、データベース化
制御エージェントにより、静脈系の最適処理方法の決定を支援

⑤環境管理のための Activity Based Costing

適正コストの配分、インフラ管理
従来の製造活動の統合

⑥産業間連携によるリサイクル技術

新しいビジネスモデル、社会インフラとの統合
解体技術とのリンク
現状のエコタウン事業

⑦インバースコミュニティの創設

製品ライフサイクル管理、機能所有、サービス提供
インバースタウン

⑧製品ライフサイクル情報の活用

保険、補償制度
ネット家電でのサービス提供、付加価値

4.6 インバース・マニファクチャリング実現のためのロードマップ

インバース・マニファクチャリング実現のためのロードマップを、4.4 で示した4つ

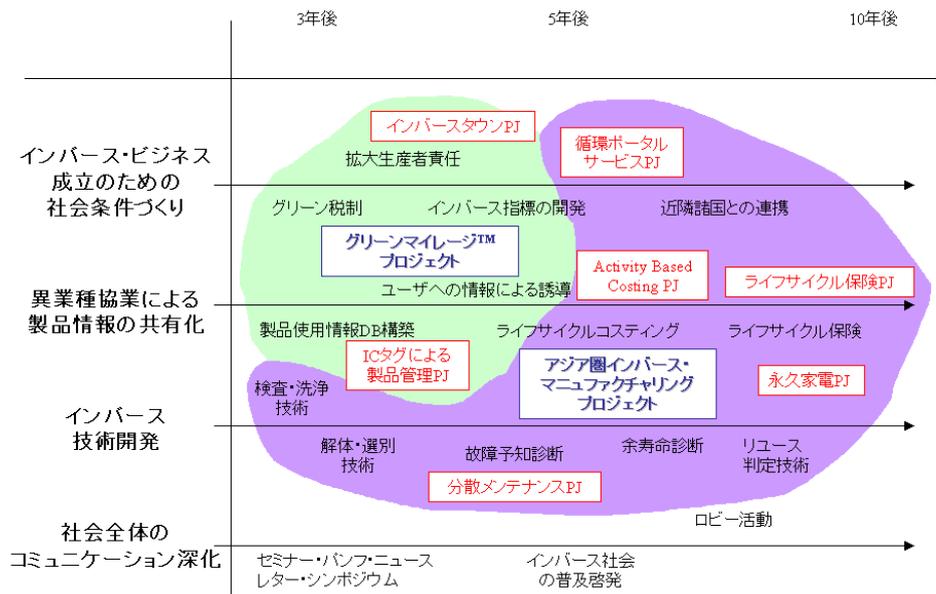
の視点を軸に、4.4で述べた具体的なテーマ、4.5で示したプロジェクトをプロットして整理を行った。

インバース・ビジネス成立のための社会条件づくりは、主に制度や目標づくりに関することであり、現在自動車リサイクル法の施行、パソコンリサイクル法の制定、廃棄物処理法の改正といった法規制だけでなく、炭素税やデポジット、環境負荷の小さい製品の税優遇などのグリーン税制も徐々に進められている。また、日本学術会議で検討されているような環境負荷の小さい社会のための指標づくりなども着実に進んでおり、今から5年後の2008年頃には、インバースにとって障害となっている規制の緩和、環境低負荷社会のための税制改革の開始、インバースのためのブレークダウンされた目標づくりなどが完成しているものと考えられる。拡大生産者責任については、現状では産業界の反対が強いものの、国際的な流れであることから考えて、排出者負担との関係を明確にする作業が進めば、早期に確立した概念となるだろう。廃棄物や再生材料の輸出入については、必要に応じて徐々に認められるようになるだろう。しかし、国際情勢や国際世論とも関係するので、有害物質の管理体制や管理システムが整備されるのに合わせて認められるので、多少の時間が必要と見られる。

異業種協業による製品情報の共有化については、IT技術の進展によりかなり早い段階で、製品使用情報をデータベース化することが可能になる。そののちこれらの情報の有用性をユーザに還元するしくみが構築されるであろう。当初はユーザに対する新規のサービス提供という形でなくても、メーカーや小売での在庫リスク減少によるコスト低減効果を消費者に還元するようなデルモデルや、消費電力ピーク時に自動的に節約モードに設定することで基本料金を低減するDSMのビジネスモデルなどが参考になる。また、使用情報が製品に付随されていることで、リユースプロセスの効率性がある効果を活用して、タグをつけた製品は購入時は高くとも、引き取り価格が無料になるなどの工夫を行うことが考えられる。冷蔵庫やエアコン購入時にライフサイクルコストを表示することも、もう少し精度を上げることが可能となる。その土地の気候、使用パターンなどに合わせた製品購入診断をユーザに提供することができる。これを発展させれば、松下電工の「あかり安心サービス」にみられる、使用料を払って機能を享受するという形態も可能になる。同時に故障率などの情報が収集されれば、保険制度なども充実し、メーカーが新しいサービスをリスクなく提案することが可能になるだろう。

インバースの要素技術開発は、様々な場面で今後も必要となる。直ちに必要となり、また実現すると考えられるものは検査・洗浄技術や解体・選別技術であろう。これらはマテリアルリサイクルの効率を上げるための前処理技術として開発されるかもしれないが、インバースのためにも必要な技術である。しかし、最もインバース実現に必要な要素技術は、故障予知診断や、製品や部品の余寿命診断技術、及び品質保証技術である。

インバース・ロードマップ



中古製品をメンテナンスして再販したり、中古部品を用いて製品を製造する場合には、品質保証が重要な概念となる。PL法が厳しいことで、従来の製造業者は中古製品や中古部品を取り扱うのを企業イメージや企業ブランドの保護のため避けることが予想される。すると中古専用業者が再生と品質保証を両方行うことになり、そのための製品情報を収集する。このとき中古製品の流通は新品市場を食うことになり、利害関係が対立するため製品情報は円滑に流通しない。翼システムやソフマップなどの大手中古取り扱い業者は独自に製品情報を収集し、保険会社とも協力してビジネスを行っている。新品製造業は、中古品が世に出回ることを嫌って、リユース設計を行わないようにしたり、知的財産権などで市場を確保しようとするだろう。中古業者は、拡大せず縮小せずニッチな市場のみを相手にすることになり、多くの製品はこれまでと同じ大量生産と大量廃棄の流れとなる。これはインバース実現に向けた最悪のシナリオである。これを変える、製造業と小売業が協業する例がいくつか見られはじめた。自動車メーカー各社が保証をつけた中古自動車販売（アップグレードカー販売）に乗りだし、車検ビジネスにも着目するようになり、自動車ショップが独自チューンした新製品を販売したりするようになった。これは、従来製品固有情報は製造メーカーが、使用時の情報はディーラーが持っていたものを共有化した場合に、それぞれの主体がどのような付加価値を生み出せるかを追求したものと解釈される。情報共有することで効率化が図られ、それだけだとマーケットは小さくなる可能性があるが、それを活用したより高品質なサービス、付加価値を提供することが重要といえる。

社会全体のコミュニケーション深化も重要である。3Rという言葉は実によく社会に浸透した。3つのRをandで結ぶことにより、環境主義者あるいは環境を意識したいと考えている人を広く巻き込んだ。しかし、これから重要なのは単にリサイクル率などの数値を上げることではなく、きちんと製品ライフサイクルが管理されているかどうかである。折しも食品の分野では、BSEや雪印事件などいくつかの問題が引き金となり、製品の履歴管理が重要視されるようになった。環境対策の代名詞でもあるISO14001は、目標達成システム

ではなく、環境管理システムである。グリーンマイレージもアジア圏インバース・マニュファクチャリングも実現するためには、製品のライフサイクル管理が必要不可欠であり、このような製品ライフサイクル管理を活用して環境負荷低減を実現することがインバース・マニュファクチャリングの目標像なのである。

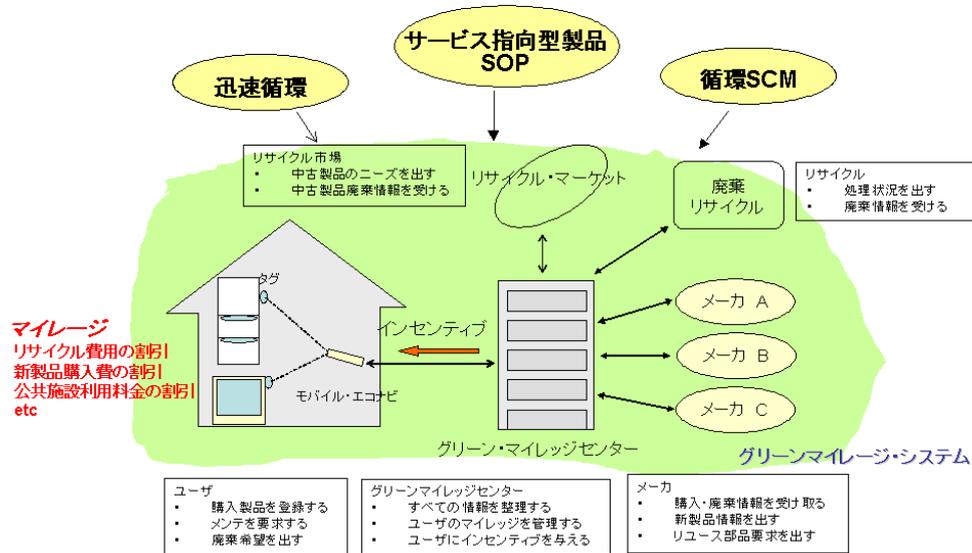
5. インバース・マニュファクチャリング実現に向けた提言

5.1 グリーンマイレージ™—循環型社会形成のための技術とライフスタイルの統合的対策

従来、循環型社会形成を目指して、新材料、リサイクル設計技術、回収分離技術など様々な技術開発が行われてきた。これらの開発は、現状大量に排出される廃棄物に対しての緊急処置的リサイクルを実現するのに少なからず貢献した。しかし、循環により新たに投入される資源・エネルギーを削減する“循環型社会”へ向けた大きなうねりを創造するには至っていない。従来の対応では、材料、部品、製品組み立て、販売、メンテ、回収、リサイクル、および廃棄という産業界の各工程において循環のための活動を支援する技術開発が主体であり、製品の循環に大きな役割を果たすユーザでの活動を支援する技術開発が欠けていたからである。いくら、リサイクルが容易な製品を開発しても、また効率的なリサイクルシステムを開発しても、ユーザが、価格だけを基準に製品を購入し安易に廃棄していたのでは、循環型社会が実現しないことは明らかである。環境教育によるユーザの意識向上や、法によるユーザの行動規制等だけでなく、ユーザの環境行動を直接的に支援する（ライフスタイルを環境配慮型に導く）技術の開発が喫急の課題となっている。

ライフスタイルを環境配慮型に導くには、ユーザと産業界・自治体との間で、製品やリサイクルに関する情報やユーザでの使用・廃棄情報を流通させる“環境コミュニケーションシステム”と、情報の提供や活用といったユーザの適切な環境行動に対してインセンティブを与える仕組みから構成される“グリーンマイレージ”システム構築の推進が必要である。前記システムの構築により、材料から廃棄までのすべてのライフサイクル段階が“循環”の意識で結ばれるようになり、省エネが進む製品を迅速に普及させる“迅速循環”や、ハードウェアではなく、それが提供するサービスを販売し部品のリユース等を促進させる“サービス指向型製品”などを容易に実現できるようになる。さらに、ユーザとメーカーとのコミュニケーションの活発化により、新たな視点からのビジネスの構築が期待される。

グリーンマイルージ・システム



5.2 アジア圏インバースマニュファクチャリング

生産拠点の海外移転が相次いでいる。三洋電機は中国のハイアールグループと提携し、最新の技術を必要としない製品については、三洋電機の設計監理のもと中国で生産を行い、日本に逆輸入するようになった。また、他の家電メーカーや光学機器メーカーについても、人件費や物価の安いアジア諸国に生産拠点を移行し、低コストの製品を製造しようと努力を続けている。自動車においても、ホンダ技研がタイで組立を行った自動車を日本で販売するなど、アジア圏を広く見た形で生産拠点の配置が進んでいる。

このような動きが盛んになるにつれ、生産地と消費地が国境を隔てることになり、完成された製品という形で日本に多くの製品が流入することになる。これに対して、使用済みの製品については、廃棄物処理法が廃棄物の国外輸出を認めていないことから、国内で処理されることになる。容器包装や家電などについては、個別にリサイクル法が制定され、国内での販売者が使用済み容器や使用済み製品についての処理責任を負うことになって、国内全体として対応しているが、一般廃棄物においては、廃棄物処理法の自区内処理の原則にのっとり、各自治体単位で処理が行われているのが現状である。

マテリアルリサイクルを行う場合、使用済み製品を再生材料資源として、生産工程に投入することになるが、これまで述べてきたように生産地と消費地が離れることにより、再生材料資源をそのまま生産工程に投入することは難しくなる。すなわち、再生材料資源は物質の純度を上げて材料としての価値を高め、有価で取引されるようにしなければならないし、移動の途中で不法投棄されることを考慮して、無害化を厳密に行わなければならない。この問題の典型的な例がブラウン管のマテリアルリサイクルである。ブラウン管には2種類のガラスが使用されるが、ブラウン管の生産設備はすべて国外に移転してしま

った。使用済みブラウン管から2種類の材料を分別する技術は開発されたが、これらの再生材料を生産工程に投入する場合には、生産工場のある海外に輸出しなければならない。しかし、ブラウン管に使用されるガラスは特殊加工がしてあり、有害物質を含むため、原則として輸出はできなかった。今後輸出が認められる見通しだが、輸出量と受け入れ先、確実に資源として使用されるという管理体制が必要不可欠である。これらの輸出を管理システムの下で行わない場合には、国外で不法投棄され、当該国の環境汚染を引き起こすおそれもある。

このような国境を越えたマテリアルリサイクルは、結局のところ我が国で回収した使用済み製品をある程度破碎処理し、ある程度分別したのち、再生材料の品質や組成、受け入れ先、受入量などを明確にした上で、一定の管理の下で輸出が行われることになる。ならば、管理体制はそのまま、使用済み製品をそのまま輸出して、現地で製品として再使用できるものは使用し、部品が使えるものは部品取りを行い、それ以外のものは現地で破碎・選別を行い、再生材料として生産工程に投入すればよいのではないだろうか。

国際間のマテリアルリサイクルであっても、インバース・マニュファクチャリングであっても、製品の管理システムは必要不可欠である。これまでのインバースマニュファクチャリングの成功事例から見ても、このような国際間の循環を成立させるためには、回収システム・管理システムを構築することが重要であり、その手段としては、レンタルやリースといった方法がもっとも適していると考えられる。もしくは簡単に廃棄行為ができないようにし、登録制度として製品を管理する方法も考えられる。また、製品デポジット制度などを利用する方法もある。とにかく、製品の生産国は消費地である日本のユーザに対して直接レンタル・リースを行い、使用済み後は生産国に返却するというプロジェクトを提案したい。

複写機の例でもわかるように、製品のメンテナンスやインバース・マニュファクチャリングは労働集約的な作業が多く必要となる。そのためには、我が国のような、生産を自動化して大量に処理することによりコストを削減するような工業化思想の強い国ではなかなか困難な状況にある。このことは、富士写真フィルムが、循環工場でほとんどオートメーションで行っているのに対し、イーストマンコダックがボランティアや障害者を活用したリサイクルプログラムを実施していることからわかる。したがって、物価や人件費の安いアジア諸国でインバース工程を実施することは、実現可能性が高いことであると考えてよい。もちろん、製品の寿命管理システムや、製品や部品の余寿命診断技術などは、我が国で技術開発を行い、現地に技術移転する必要があることは言うまでもない。

アジア圏インバース・マニュファクチャリング



以上

Ⅲ. インバース情報調査広報委員会

インバースマニュファクチャリングフォーラムも発足以来7年を経過したが、この間に様々な成果を挙げてきた。発足当時と違って、社会環境も環境重視に大きく変わってきている。循環型社会基本法が制定され、国の3Rプログラムも計画／実施されている。しかし、「インバース・マニュファクチャリング」という言葉自体ももうひとつ普及が進んでいないように感じられ、また、現在が循環型社会となっているとは言えない状況にある。

製造業も環境重視の姿勢を示しているが、昨今の景気低迷から、その取り組みにも多少及び腰のところも見られる。21世紀の製造業の使命は、ユーザに如何に便利で、エネルギー消費の少ない長寿命製品を、如何に少ない資源／エネルギーの投入で製造して、届けるのはもとより、その製品が使い終わった段階での回収処分が効率よく行われるようにすることであり、そこからリユース、リサイクルしたものを、次の製品に使うことである。すべての企業がそうなるまでには、一層の普及啓蒙が必要である。

一方、基本的な調査や研究開発でも、やるべきことが多く残っており、今後も注力して行かなければならない。課題を調査し、プロジェクトを起こして、調査研究を行い、その成果を普及啓蒙するという循環ループをうまくまわしていくことが求められている。普及啓蒙のための広報手段としては、学会発表、新聞雑誌への発表、展示会、ホームページ、パンフレット等印刷物配布などが考えられる。またプロジェクトの実施には資金が必要で、公的資金がうまく活用できれば好都合である。

本委員会では、これら、プロジェクトの提案、成果の普及展開につき、2回の委員会を開催（2回目は平成15年4月3日となった）して、活動の方向性を議論した。議論の要旨、その他コメントを以下に記す。また、委員会で配布した資料の一部も、活動の記録とフォーラムメンバーに参考にして頂くために添付した。

インバース・コミュニティ（グリーン・マイレージ）については、実際に実施するフィールドテストの形になるのか、エコマネーなどでの類似の活動はないのかなどが議論になった。プロジェクトの提案は技術開発と結びつけた形がよい。グリーンマイレージもRFIDと結びつけての（技術開発を含んだ）提案をしたらどうか、環境配慮型の携帯電話と解体設備の共通化、解体分別システムをまとめた提案などの意見が出された。官庁の公募情報も積極的に会員に配布すると良いとの意見もあった。（MSTCが提案サポートする）

- ・インバース思想の普及では、地域による情報格差が大きいので地方での講演会などは効果が多いと思われる。
- ・当フォーラムと他の環境団体（例えばCJC）などどう違うかを示す必要がある。
- ・フォーラムメンバー企業の環境活動（広報記事、環境報告書掲載記事等）をまとめる。
- ・フォーラム成果を企業や団体でどう使っているかなどの具体的波及効果を調査して示す。

平成14年度は、委員会のスタートが年度半ばだったため、時間不足もあって、十分な活動はできなかったが、プロジェクト提案や、成果の普及啓蒙などの重要性は、他の委員会でも指摘されており、平成15年度は精力的な活動を進めていきたい。

平成14年度 リサイクル推進関連予算の概要

平成14年4月
経済産業省

	平成14年度予算額	平成13年度予算額
一般会計	12,315,891千円	(5,580,700千円)
石特会計	6,767,837千円	(3,983,026千円)
電特会計	2,238,532千円	(3,080,014千円)
合 計	21,322,260千円	(12,643,740千円)

14年度内示額(13年度予算額)

1. リサイクルの総合的な推進 2,075,751千円(2,087,812千円)

- (1) 循環型社会システム動向調査<リサイクル推進課> (一般) 91,235千円(107,705千円)
循環型社会の構築のため、我が国における3Rに関する取り組み状況の実態を把握するとともに、産業廃棄物の発生抑制等に関する具体的な3R対策を立案する。また、政策を立案するにあたって、先行的な取り組みがなされている諸外国の制度や状況等についても調査・分析等を行う。
- (2) リサイクル教育支援事業<リサイクル推進課> (一般) 8,242千円(9,765千円)
地域のリサイクル関連事業者の講師を登録し、小中学校等の授業で講師として派遣したり、生徒にリサイクル工場を見学させる等により、リサイクルの必要性を実体験を通じて教育する。
- (3) モデル循環システムの実施<リサイクル推進課> (一般) 59,997千円(59,997千円)
個別分野におけるリサイクルシステムを構築するため、排出源毎及び廃棄物毎の特性に応じたりサイクルシステムの実効性を検証するためのモデル実験等を強化・拡充する。
- (4) 循環型製品・システム評価研究<リサイクル推進課> (一般) 47,231千円(15,501千円)
各製造事業者が自らの製品・製法を廃棄物の減量化、リサイクルしやすい製品作り等の観点から評価するためのアセスメント手法を開発する。

(5)循環型製品・システム開発調査<リサイクル推進課> (一般) 99,940千円(100,764千円)
再生資源の新規用途の開発・拡大等を図るため、試作品の製造、性能試験、安全性試験、市場調査等を実施するとともに、試作品の展示会等を開催する。

また、3Rを推進し循環型経済システムを構築するため、先導的かつモデル的な循環ビジネスシステムについて調査する。

(6)副産物・再生品電子取引市場環境整備調査<リサイクル推進課>

(一般) 18,852千円(18,852千円)

上市される副産物・再生品に係る品質、性状、数量、発生場所等の情報をホームページ上に掲載した、副産物・再生品のモデル的電子取引市場を調査する。

(7) (エネルギー使用合理化事業者支援補助金の内数
(旧先導的エネルギー使用合理化整備導入モデル事業費補助金))

リサイクルモデル事業の推進<省エネルギー対策課、リサイクル推進課>

(石特) 1,537,088千円(1,537,088千円)

企業のリサイクル(再資源化)、リデュース(廃棄物の発生抑制)、リユース(商品の再使用)対策について省エネルギー化にも資する先進的な取り組みをモデル事業として支援する。

《啓発普及等》

(1)循環型経済情報提供事業<リサイクル推進課> (一般) 56,072千円(49,574千円)

パンフレット、ポスター等により資源有効利用促進法、容器包装リサイクル法等の廃棄物・リサイクル関連法の周知徹底を図る。

(2)省資源・再資源化に関する指針策定等<リサイクル推進課>

(一般) 27,434千円(33,154千円)

資源有効利用促進法等を円滑に施行するため、以下の事業を行う。

主要事業場に対する再生資源利用促進のための個別指導等を行う。

省資源・再資源化に関する基本的事項の指針策定等を行う。

民間におけるリサイクル活動等の支援を行う。

各経済産業局を通じて地域ごとのリサイクル実態調査を行う。

(3) 中小企業環境・安全等対応情報提供事業のうち

循環型社会対応情報提供事業<中小企業庁経営支援課>

(一般) 129,660千円(155,412千円)

容器包装リサイクル法、家電リサイクル法、資源有効利用促進法、改正廃棄物処理法、建設資材リサイクル法、食品リサイクル法、自動車リサイクル法への対応を促進するために中小企業総合事業団が中小企業に対する情報提供を行う。

2. 容器包装リサイクルの円滑な推進

156,985千円（ 197,221千円）

(1) 容器包装リサイクル法の施行に必要な費用<リサイクル推進課>

（一般） 77,056千円（ 77,056千円）

容器包装リサイクル法の円滑な施行を図るため、特定事業者に課される再商品化義務量の算定の基礎となる使用量の把握、計数整備等のための再商品化義務量算定基礎調査（承認統計）を実施する。また、地方局においては、法律に基づく立入検査及び調査に係る説明会を行う。

(2) 容器包装リサイクル推進調査<リサイクル推進課>

（一般） 79,929千円（ 120,165千円）

- ・再商品化計画の策定・見直し等に資するため、再商品化事業者の動向、再商品化能力の見通しに関する調査・検討を行う。
- ・容器包装リサイクル法の改正施行に伴い、再商品化の義務がありがなら指定法人と委託契約を締結していない事業者や過少申告者といったフリーライダーの捕捉及び監査システムの構築を図る。

3. 家電リサイクルシステム等の構築

164,001千円（ 149,449千円）

(1) 特定家庭用機器等再商品化関係事業<情報通信機器課>

（一般） 134,000千円（ 149,449千円）

平成13年4月1日に改正施行された特定家庭用機器再商品化法（家電リサイクル法）の円滑な施行を確保する。また、同じく平成13年4月1日に改正施行された資源有効利用促進法による事業系パソコン、小型二次電池のリサイクル、事務機のリユース、家電製品のリデュース・リサイクル配慮設計への取り組みについて、制度の円滑な施行を確保する。さらに、平成14年度に必要な措置を講ずることとなっている、家庭系パソコンのリサイクルについて、制度の円滑な施行を確保する。

(2) 特定家庭用機器等不法投棄対策<情報通信機器課>

(一般) 30,001千円(新規)

家電リサイクル法に関する普及啓発努力の一環として、小売業者、自治体による取組に加え、各地域における地域住民団体等を活用した地域に密着した取組を促進することにより、家電リサイクル法の各地域における円滑な定着を図る。

4. 古紙、自動車等その他の分野別リサイクルの推進

183,712千円(126,507千円)

(1) 古紙再利用促進対策<紙業生活文化用品課>

(一般) 56,250千円(68,171千円)

古紙のリサイクルを促進するための啓発・普及事業、分別回収・有効利用システムに係るモデル事業等を実施。

(2) 自動車無公害化等推進調査<自動車課>

(一般) 30,000千円(30,000千円)

自動車リサイクル法(仮称)の円滑な施行に向け、我が国の使用済み自動車の流通実態及び海外の動向等について綿密な情報を収集し、現状の問題点を抽出する。

(3) 自動車リサイクル促進普及情報提供事業<自動車課>

(一般) 70,919千円(新規)

自動車リサイクル法(仮称)の円滑な施行に向け、パンフレット、ポスター等の作成・配布(委託事業)及び本省及び経済産業局担当者等による47都道府県でのユーザー向け、関係事業者向けの説明会を行う。

(4) 循環型基礎素材産業構築対策<化学課・非鉄金属課>

(一般) 14,281千円(15,289千円)

基礎素材産業においてリサイクル等の推進を図るとともに、製品等の設計、開発段階から環境負荷の低減やリサイクルに配慮し、その的確な転換等の推進を図るため、所要の調査検討を行う。

(6) 生活用品再利用促進対策費<紙業生活文化用品課>

(一般) 12,262千円(13,047千円)

生活用品のリデュース・リユースの促進に向けた方策を検討するため、排出実態、再使用状況等に係る実態調査を行う。

5. リサイクル関連技術開発の推進

8,393,539千円(5,622,569千円)

(1)環境調和型超微細粒鋼創製基盤技術の開発<鉄鋼課>

(石特)470,000千円(新規)

合金成分を添加せずに従来鋼の2倍の高強度を有する超微細粒鋼は、鋼材量の削減により廃棄物の排出減が可能である。また、合金添加元素を含まないため、リサイクル性に優れている。このため、自動車材料等として広く使用されている鋼材への適用を目指し、超微細粒鋼の成形・加工技術、利用技術等の基盤技術の開発を行う。

(2)低コストかつコンパクトなフロン再利用・分解技術の開発<オゾン層保護等推進室>

(構造改革特別枠)49,500千円(新規)

低温プラズマ、マイクロ波、高性能吸着剤等の複合化により、自動車等から回収されたフロン類を低コストで再利用・分解する、コンパクトで省エネ型のシステムを開発する。

(3)アルミニウムの不純物無害化・マテリアルリサイクル技術開発<非鉄金属課>

(石特)270,000千円(新規)

現在、埋立処分されている自動車スクラップ(シュレッダーダスト等)から回収されたアルミニウムを再度自動車用に高度利用するため、再生材に含まれる不純物の悪影響(強度を弱くする等)をなくす技術を開発する。

(4)電炉技術を用いた鉄及びプラスチックの複合リサイクル技術<鉄鋼課>

(構造改革特別枠)249,500千円(新規)

シュレッダーダストに代表される産業廃棄物を電気炉で処理し、金属を回収し、同時に、電気炉の使用電力の削減を図るため、シュレッダーダストに含まれる有機系廃棄物の燃焼熱を金属の融解に利用する技術開発を行う。

(5)非鉄金属の同時分離・マテリアルリサイクル技術開発<鉱物資源課>

(石特)375,000千円(新規)

非鉄金属製錬業が有している製錬技術および製錬施設等を有効に活用し、シュレッダーダスト中に含まれる銅、鉛、亜鉛等の有価金属の同時分離回収(有害物質の除去)と燃焼熱の利用・回収を効率的に行う技術を開発する。

(6)高塩素含有リサイクル資源対応セメント製造技術開発<住宅産業窯業建材課>

(構造改革特別枠)149,500千円(新規)

廃棄物最終処分場の逼迫等の解消のため、今後、セメント産業において廃棄物受け入れ量の増大、種類の多様化を図っていく上で、阻害要因となっている塩素、重金属等の回収・利用に係る技術開発

(7) 電子・電機製品の部品等の再利用技術開発< 産業機械課 >

(一般) 155,000千円(180,225千円)

事務機器等の製品・部品において、「回収 分解・分別 再利用 生産」という製品・部品のクローズドループを完成させ、「リユース・リサイクル率」を向上させるために最大のネックとなっている「設計段階」、「分解・分別段階」における共通基盤的技術開発等を行う。

(8) 建築廃材・ガラス等リサイクル技術開発< 住宅産業窯業建材課、研究開発課 >

(一般) 279,912千円(279,912千円)

建築物の解体の際、大量に発生する廃木材等について、リサイクル用途拡大に向けた異物分別・除去技術や木質ボード生産技術など廃木材等のリサイクルを飛躍的に向上させるための技術開発及びガラスの着色・脱色を容易にするための技術開発を行う。

(9) 資源循環型住宅技術開発の推進< 住宅産業窯業建材課 >

(一般) 250,000千円(181,356千円)

住宅における資源の投入量及び廃棄量の最小化により循環型経済社会に対応した資源循環型の住宅システム開発を推進する。

(10) 新規環境産業創出型技術研究開発(廃プラ含有塩素と廃ガラスびん含有アルカリの同時回収に関わる研究を除く)< 研究開発課 >

(一般) 249,670千円(779,997千円)

() 内予算は即効的・革新的環境技術研究開発の12年度予算を含む

逼迫する廃棄物最終処分場問題等の環境問題を解決しつつ循環型経済システムを構築するための新たな環境関連技術、容器放送等のリサイクルが求められている廃棄物を減量とした新製品の技術開発を実施する。(平成13年度より、即効的・革新的環境技術研究開発(新規リサイクル製品等関連技術開発)を統合)

(11) 廃プラ含有塩素と廃ガラスびん含有アルカリの同時回収に関わる研究< 研究開発課 >

(一般) 75,330千円(120,000千円)

廃プラスチックをセメント製造の代替原料としてリサイクルする際に障害となる廃プラスチックに含有される塩素を中和するため、廃ガラスびんに含まれるアルカリを利用し、双方のリサイクル率向上に資する同時回収技術の確立を図る。

(12) 非鉄金属系素材リサイクル促進技術開発< 非鉄金属課・鉱物資源課 >

(石特) 325,000千円(480,000千円)

非鉄金属スクラップ中に含まれる不純物を除去し、同時に石油代替エネルギーを利用するプロダクト・トゥ・プロダクトを可能とするリサイクル技術を開発する。

(13)断熱材ウレタンのリサイクル工程に係る安全技術の開発実証<情報通信機器課>

(構造改革特別枠) 149,500千円(新規)

家電リサイクルプラントにおいて大量に発生するウレタンを埋立処理せずに有効利用するためのリサイクル技術の実証と併せ、破碎、粉碎、圧縮等、これら一連のウレタン等リサイクル工程の実運転下における安全性検証及び必要となる安全技術の開発、実証を行う。

(14)循環型社会構築促進技術開発の推進<リサイクル推進課>

(構造改革特別枠) 449,996千円(415,000千円)

リサイクル関連法の円滑な施行を確保し、循環型社会の加速的な構築を進めるために、民間事業者の有する効率的な関連技術(3R技術=リデュース(排出削減)・リユース(再使用)・リサイクル(再利用))の実用化支援を行う。

(15)製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発<環境政策課>

(石特) 199,996千円(259,938千円)

環境に配慮した製品の開発等を促進するため、製品等の原料調達、生産、流通、使用、廃棄・リサイクルの各段階での二酸化炭素等の環境負荷を定量的に評価するための手法(ライフサイクルアセスメント(LCA)手法)を開発するとともに、共通使用を目的としたデータベースを構築する。

(16)廃棄物の少ない循環型プラスチックの設計・製造技術開発<化学課>

(構造改革特別枠) 144,000千円(220,141千円)

プラスチックについてのライフサイクル全体を俯瞰したリサイクルシステムを評価・解析するシステムを開発する。

(17)石炭灰有効利用技術開発<石炭課>

(石特) 166,000千円(166,000千円)

石炭灰を資源として有効利用するため、従来のセメント原料としての利用のみならず、土木・建設分野等における各種資材への利用など、石炭灰の有効利用の拡大に資する技術開発を行う。

(18)エネルギー使用合理化製錬/リサイクルハイブリッドシステムの開発<鉱物資源課>

(石特) 50,000千円(新規)

シュレッダーダスト又は廃二次電池等の廃棄物から有価金属を回収し、溶融処理によって生成されるスラグを再資源化する技術を開発する。14年度は、素材性状等の調査、基礎的な技術研究および技術動向調査を実施し、トータルシステム構築のための検討、評価を行う。

(19)植物利用エネルギー使用合理化工業原料生産技術開発<環境政策課、生物化学産業課>
(石特)1,455,000千円(500,000千円)

効率的に太陽エネルギーを化学エネルギーに変換して蓄積する植物の機能を有効に利用するため、有用物質の生産に係わる重要な生合成プロセスに関するデータを取得し、工業原料を生産するための生合成プロセスを制御する基盤技術を開発するとともに、有用物質生産や環境耐性の向上に關与する遺伝子など複数の遺伝子を同時に導入する多重遺伝子導入技術の開発を行う。

(20)生物機能を活用した生産プロセスの基盤技術開発<研究開発課、生物化学産業課>
(一般)930,000千円(1,000,000千円)
(石特)1,000,000千円(1,000,000千円)

近年急速に蓄積されているゲノム情報を有効に活用することによって、これまでの経験に基づく、不確実性の多いプロセス開発から、ゲノム情報に基づき生産プロセスをデザインすることを可能とする技術開発を行い、もって、化学工業を中心とした生産プロセスのバイオ化を進め、循環型産業システムへの変革を目指す。

(21)生分解・処理メカニズムの解析と制御技術開発<研究開発課、生物化学産業課>
(石特)800,000千円(新規)

分解・処理技術は、従来から微生物を用いた技術が使用されてきたが、分解・処理菌群の構成やメカニズムについては未解明であり、主にエンジニアリング的手法による改良等が行われてきた。本技術開発は、近年急速に発展しているゲノム関連の技術を有効に活用し、分解・処理菌群の構成やメカニズムを解明することにより、有機性廃棄物の嫌気処理や難分解性化学物質の分解を対象に、生物学的知見に基づいた制御技術の開発を行い、生分解・処理技術の高度化を図る。

(22)再生重油の燃料化に関する標準化調査研究<標準課>(石特)40,000千円(40,000千円)
廃潤滑油を簡易精製し、燃料油化した再生重油について標準化調査研究を行う。

(23)廃プラスチックのリサイクルシステムに関するLCA手法の標準化調査研究<標準課>
(石特)20,000千円(新規)
ライフサイクル全体を通じてエネルギー使用量などの環境負荷を最も低減できる廃プラスチックのリサイクルシステムを選択するための手法の標準化調査研究を行う。

(24)リサイクル建設資材製造開発評価ガイドおよび建築分野の製品ガイドの作成に関する調査研究<標準課>(石特)8,000千円(新規)
リサイクル製品の開発製造の際に、ライフサイクル全体を通じた評価方法指針の制定、およびリサイクル製品を吸収可能な規格改正ガイドの作成に関する標準化調査研究を行う。

(25)資源循環型プラスチック材料の標準化調査研究<標準課>(石特)23,000千円(新規)
リサイクル成形材料の試験・評価方法の標準化調査研究を行う。

6. サーマル・リサイクルの推進

2,267,285千円(3,080,014千円)

(1) 廃棄物発電促進対策費補助金 <資源エネルギー庁電力・ガス事業部政策課技術室>

(電特) 1,252,032千円(1,501,000千円)

廃棄物発電を行う事業者に対し、廃棄物発電施設の建設費の一部を補助することにより、その導入の促進を図る。

(2) 廃棄物発電導入技術調査等 <資源エネルギー庁電力・ガス事業部政策課技術室>

(電特) 120,000千円(100,020千円)

廃棄物発電を導入しようとする自治体等を技術的側面から支援し情報提供を行う。

(3) 高効率廃棄物発電技術開発 <資源エネルギー庁電力・ガス事業部政策課技術室>

(電特) 600,000千円(526,998千円)

これまで導入が遅れていた比較的小規模の一般廃棄物処理施設に適し、ダイオキシン対策の観点からも有効な高効率廃棄物ガス変換発電技術開発を実施する。

(4) 先進型廃棄物発電フィールドテスト事業費補助金 <資源エネルギー庁電力・ガス事業部政策課技術室>

(電特) 266,500千円(951,996千円)

ガス化溶融発電方式や耐腐食性材料等を採用した先進的な廃棄物発電設備の設置に際し事業者とNEDOが共同研究を行い、技術的課題の解決を行う。

(5) 廃棄物リサイクルシステムエネルギー効率化調査 <リサイクル推進課>

(石特) 28,753千円(新規)

リターナブル容器の普及促進及びEPR(拡大生産者責任)手法の導入検討を図るために、これらの手法について、製品の製造・使用・廃棄・収集・処理に亘るエネルギー使用量及びCO₂発生量等の環境負荷といったライフサイクルアセスメントの観点から総合的な検証を行い、廃棄物の燃料化に加え、社会的にエネルギーの効率的な容器包装リサイクルシステムを検討する。

(参考)

未利用エネルギー活用地域熱供給システム普及促進対策 <熱供給産業室>

(石特) 148,000千円(190,076千円)

清掃工場等の廃熱、河川水等の温度差エネルギー等の未利用エネルギー活用地域熱供給システムの調査事業等に対する補助を行う。

注) 合計に含めず。

7. 地域におけるゴミゼロ型のまちづくり（エコタウン事業）の推進

8,080,987千円（1,380,168千円）

平成13年度のうち6.86億円は日本新生特別枠

民間企業がリサイクル施設の建設、運営を行う際に、国が施設建設費を助成するエコタウン事業により、民間としての事業の採算性を確保させ、ゴミゼロ型のまちづくりを実現し、併せて新規産業としての環境産業の育成を図る。これまでの実績を活かし、引き続き地方展開するとともに、都市再生の柱としても、東京湾臨海部（東京、川崎）における先行的事業展開を行う。

（1）資源循環型地域振興施設整備費補助金＜環境政策課＞

（一般）8,000,495千円（1,296,000千円）

地方公共団体と民間企業が連携して行うリサイクル施設建設費を助成（補助率1/2）する。

（2）資源循環型地域振興事業費補助金＜環境政策課＞

（一般）80,492千円（84,168千円）

地方公共団体が行う、エコタウンプラン計画策定、環境に係る展示会、住民等に対する情報提供などのソフト事業を助成（補助率1/2）する。

8. その他

（参考）

民間能力活用特定施設緊急整備費補助金＜民間活力推進室＞

（一般）100,000千円の内数（345,000千円の内数）

民活法の対象施設となっているリサイクル施設に対して、民活法に基づく助成制度を活用し、リサイクル施設整備事業に対しインセンティブを与え、その整備を一層推進する（補助率5%）。

注）合計に含めず。

資料編

リユースに係わる技術データ

リユースに係わる技術データ

〈目次〉

1.	洗浄技術	A- 1
1. 1	洗浄技術の定義	A- 1
1. 2	汚れ別洗浄技術の現状	A- 2
1. 3	個別洗浄技術の現状と技術課題	A- 4
1. 4	再生・修理等で使用されている洗浄技術	A-14
2.	易分解性設計	A-23
2. 1	解体の目的と易分解性設計	A-23
2. 2	対象とする範囲	A-25
2. 3	個別技術の現状と課題	A-26
2. 4	論文にみる技術動向	A-33
3.	モジュール設計技術	A-38
3. 1	モジュール化設計技術の定義	A-38
3. 2	モジュール化設計支援システム	A-39
3. 3	特許から見たモジュール化設計技術	A-40
4.	寿命予測関連技術	A-41
4. 1	寿命予測技術の定義	A-41
4. 2	寿命予測技術の現状	A-42
4. 3	個別寿命予測技術の現状と開発課題	A-45

リユースにかかわる技術データ収集

ここでは現状、製品や部品のリユースが出来ない原因について抽出されたものの中から技術的な課題分野を取り上げ、それらを解決する可能性のある技術についてそのデータを収集する。既存の環境技術にとらわれず、他分野で導入されている技術についても調査をおこない、本来リユースの技術でないものを適用することを想定して技術概略をまとめた。

具体的には下記の技術分野について、データを収集した。

- ①洗浄技術
- ②易分解性設計
- ③モジュール設計技術
- ④寿命予測関連技術

1-1 洗浄技術

1-1-1 洗浄技術の定義

洗浄技術とは、希望する表面を再現性良く作る技術である。洗浄工程は一般的に、①汚れの除去——>②すすぎ——>③乾燥 で構成される主工程とこれに付随して排出される廃水処理、発生気体の処理、使用材料の再利用、管理および評価に関する技術で構成される副工程からなる。この中で、液体を一切使用しない乾式洗浄技術では乾燥が省略される。洗浄技術の中で最も重要なものは汚れの除去工程である。汚れとは表面にあっては困る物質である。そのため、適切な洗浄技術を適用するためには汚れを系統化しておくことが便利である。以下はその系統である。

形態面からの分類

層状の汚れ

- ・ 有機性汚れ（加工時に付着した油、指紋、取り扱い時に付着した物質、雰囲気から吸着した物質）
- ・ 無機性汚れ（金属の錆、半導体表面の酸化膜）

粒子状の汚れ（加工時に付着した粒子（研磨材など）。雰囲気から付着した粒子）

性質面からの分類

極性の汚れ

無極性の汚れ

1-1-2 汚れ別洗浄技術の現状

表 1-1 現状における洗浄技術一覧

汚れ	洗浄技術		除去理論	特徴・課題
層状汚 れ	乾式洗 浄技術	紫外線利用洗浄 技術	紫外線によって発生 した原子状酸素やオ ゾンによる分解反応	<ul style="list-style-type: none"> ・ 洗浄液による汚染の 可能性がない ・ 洗浄工程が単純化で きる ・ 大量の汚れの除去は 困難
		プラズマ洗浄技 術	プラズマ中の活性化 されたイオン、原子、 分子などによる分解 反応	<ul style="list-style-type: none"> ・ 洗浄装置と運転コス トがかかる ・ 洗浄液による汚染の 可能性がない ・ 洗浄工程が単純化で きる ・ 大量の汚れの除去は 困難
		ブラスト洗浄技 術(乾式ブラスト 技術)	加速度と砥粒による 剥離	<ul style="list-style-type: none"> ・ 洗浄液による汚染の 可能性がない ・ 洗浄工程が単純化で きる ・ 大量の汚れの除去可 能 ・ 砥粒噴出装置による 汚染に注意が必要
		ブラスト洗浄技 術(コールドジェ ット法)	ドライアイス粒子衝 撃による汚れと表面 との付着力の低減	<ul style="list-style-type: none"> ・ 洗浄液による汚染の 可能性がない ・ 洗浄工程が単純化で きる ・ 大量の汚れの除去可 能 ・ ドライアイス粒子噴 出装置による汚染に 注意が必要
	湿式洗 浄技術	水系洗浄技術(界 面活性剤アルカ リ系、界面活性剤 アルカリ溶剤液、 アルカリ系、オゾ ン水溶液系、酸 系)	アルカリによる分解 作用、界面活性剤に よる界面化学作用、 電気化学的作用	<ul style="list-style-type: none"> ・ 有機質、無機質の汚 れの除去が可能 ・ 不燃性のため安全性 が高い ・ 一般的には排水処理 施設が必要 ・ 乾燥性に難あり ・ 金属の場合には防錆 が必要
		準水系洗浄技術	溶剤による溶解作用	<ul style="list-style-type: none"> ・ 有機質汚れに対する 溶解力が大

				<ul style="list-style-type: none"> 排水設備不要 水溶性汚れの除去性が弱い 安全性、大気汚染性に注意が必要
		非水系洗浄技術 (溶剤:炭化水素系、アルコール系、ハロゲン系、グリコールエーテル系、ポリビニルピロリドン)	溶剤による溶解作用	<ul style="list-style-type: none"> 有機質汚れに対する溶解力が大 排水設備不要 水溶性汚れの除去性が弱い 安全性、大気汚染性に注意が必要
粒子汚 れ	乾式洗 浄技術	ブラスト洗浄技術(乾式ブラスト技術)	砥粒の衝撃力による除去	<ul style="list-style-type: none"> 洗浄液による汚染の可能性がない 洗浄工程が単純化できる 大量の汚れの除去可能 砥粒噴出装置による汚染に注意が必要
		ブラスト洗浄技術(コールドジェット法)	ドライアイスの衝撃力による除去	<ul style="list-style-type: none"> 洗浄液による汚染の可能性がない 洗浄工程が単純化できる 大量の汚れの除去可能 ドライアイス粒子噴出装置による汚染に注意が必要
	湿式洗 浄技術	水系洗浄技術	界面活性剤やその他イオンによる界面化学作用	<ul style="list-style-type: none"> 不燃性のため安全性が高い 一般的には排水処理施設が必要 乾燥性に難あり 金属の場合には防錆が必要
		準水系洗浄技術	表面と粒子との間への洗浄液の浸透と機械的作用による除去	<ul style="list-style-type: none"> 排水設備不要 粒子汚れの除去性が弱い 安全性、大気汚染性に注意が必要
		非水系洗浄技術	表面と粒子との間への洗浄液の浸透と機械的作用による除去	<ul style="list-style-type: none"> 排水設備不要 粒子汚れの除去性が弱い 安全性、大気汚染性に注意が必要

出所：角田光男雄、「これからの洗浄技術と環境問題」、エコインダストリー 2000年8月

号、p. 9～10 をまとめた。

1-1-3 個別洗浄技術の現状と技術開発課題

1) 超音波洗浄技術

① 基本原理

機械的作用を利用して汚れを除去する技術である。洗浄液中に超音波を伝播させ、洗浄液中の被洗浄物に超音波による物理的な力を作用させることにより汚れを除去する洗浄方法である。超音波を伝播させる最も一般的な方法としては、超音波振動子を暑さ1～3mm程度のステンレス板に接着させ、超音波を伝播させる方法がある。超音波振動子には超音波発生器により電気エネルギーが与えられる。

超音波洗浄のメカニズムについては、全てが解明されているわけではない。しかし、現在分かっている範囲では、a)キャビテーションによるものと、b)媒体の加速度あるいは直進流による作用、c)超音波による微小振動、乳化作用などによる物理化学的反応促進作用がかかっていると考えられている。

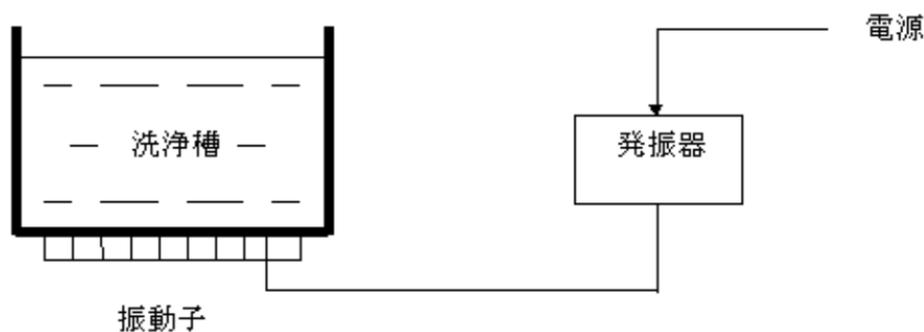


図1-1 超音波清浄装置

出所：特許庁

② キャビテーションによる超音波洗浄

キャビテーション（空洞現象）は、超音波の音圧がある一定のレベルを超えると液体が突然引き裂かれ空洞が生じる現象で、これが、正のサイクル時に液圧によって潰され瞬時に壊滅し、その際に強力な衝撃波が局所的に発生、これ

が液の局所的攪拌や付着粒子の剥離を引き起こすことで、洗浄される。通常の超音波洗浄に使われる周波数は15～50 KHzで油污れなどに適用される。キャビテーションには、気体性キャビテーションと蒸気性キャビテーションがある。気体性は低圧であるが、蒸気性は高圧（気体性の10倍高い閾値が必要）となり、強い衝撃力と洗浄力が得られる。

③ キャビテーションによらない超音波洗浄

精密洗浄あるいは超精密洗浄といった半導体ウェハー、液晶基板の洗浄ではキャビテーションによるダメージを嫌うために高い周波数による加速度（950KHzで重力加速度の10万倍）を利用した洗浄を行っている。

a) 高周波超音波洗浄（メガソニック洗浄）

周波数を1 MHz付近まで高めたメガソニック洗浄は、主として、液晶、半導体分野に採用されている。振動加速度が極めて大きい。ミクロン、サブミクロンの大きさの微粒子（ごみ）を対象とする。

b) 流水式高周波超音波清浄

流水に超音波を印加する方法で、ノズルからの放射水流を超音波の伝播媒体にすると同時に、超音波作用で剥離した汚れの輸送媒体としても利用する洗浄方法である。超音波は水柱を伝播して被洗浄物に印加され、微小付着粒子の剥離を行う。洗浄面は絶えず、純水で洗い流されており、浮き上がった粒子は直ちに洗い流され、再付着が起りにくい。

④ 特許出願からみた技術開発動向

超音波洗浄特許の出願上位10社は以下の通りである（1971～95年出願）。

- 1, 島田理化工業
- 2, 日立製作所
- 3, 東芝
- 4, 松下電器産業
- 5, カイジョー
- 6, シヤープ
- 7, 松下電工
- 8, 新日本製鉄
- 9, キヤノン
- 10, 本多電子

特許としては、震動源に特徴のあるもの、洗浄槽内で洗浄するものが多い。震動源としては、複数の周波数の超音波を用いるものは古くからあるが、その変調法や時間ファクターを取り入れたもの、振動板の材質に関するもの（ステンレス板に代えてタンタルやナイロン、塩化ビニル、ポリエチレンなどのプラスチック利用）、周波数や出力強度を検出表示するモニターを備えたものなどが出願されている。

また、最近、既存のカテゴリーに入らないその他の技術分野のものが多くなっている。洗浄装置に新しいシステムを付与したり、洗浄液を移動、噴射させたり、また、洗浄液にガスや薬剤を混合するなどの新技術が生まれてきていることを示している。

2) 乾式洗浄技術

表 1-2 乾式洗浄技術一覧

洗浄技術名	洗浄方式	洗浄対象	洗浄目的
ブラスト洗浄	コーン粒子吹きつけ、 氷粒子吹きつけ、 ドライアイス吹きつけ	プラスチック 電子部品 金属表面	バリ取り 塗膜剥離 脱脂
プラズマ洗浄	イオン照射 真空プラズマ 大気圧プラズマ	有機フィルム 水晶 ガラス	接着性改善 有機汚染除去
ガス洗浄	蒸気吹きつけ ハロゲンガス	プラスチック 金属表面	表面還元 脱脂
光洗浄	レーザー照射 UV-オゾン	Si ウェハ LCD ガラス基板 水晶振動子	接着性改善 レジスト塗布前洗浄

出所：エコインダストリー P.46 表 1 Vol.5 NO.8 2000

- ① ブラスト洗浄
- ② ガス洗浄
- ③ プラズマ洗浄
- ④ 光洗浄

3) 超臨界流体技術による洗浄

①基本原理

超臨界流体とは、臨界点を越えた温度、圧力範囲にある流体と定義され、気体と流体の中間的な性質をもち、温度・圧力の制御により密度などの特性を大幅、かつ連続的に変化させることが可能である。こうした媒体として二酸化炭素が期待されている。二酸化炭素はそれ自身油分溶解力を持つことから、非極性溶媒（例えばヘキサン）の

代替溶媒として注目されている。その理由は、31.1℃という室温付近に臨界温度をもつこと、大気成分であること、不燃・無毒性であることから環境にやさしい溶媒であること、微細、複雑な構造物の溝や細孔の汚れも容易に除去できること、水や熱を使うことがなく、洗浄後の乾燥工程が不要であること、処理時間が短く、コスト安であることなどである。

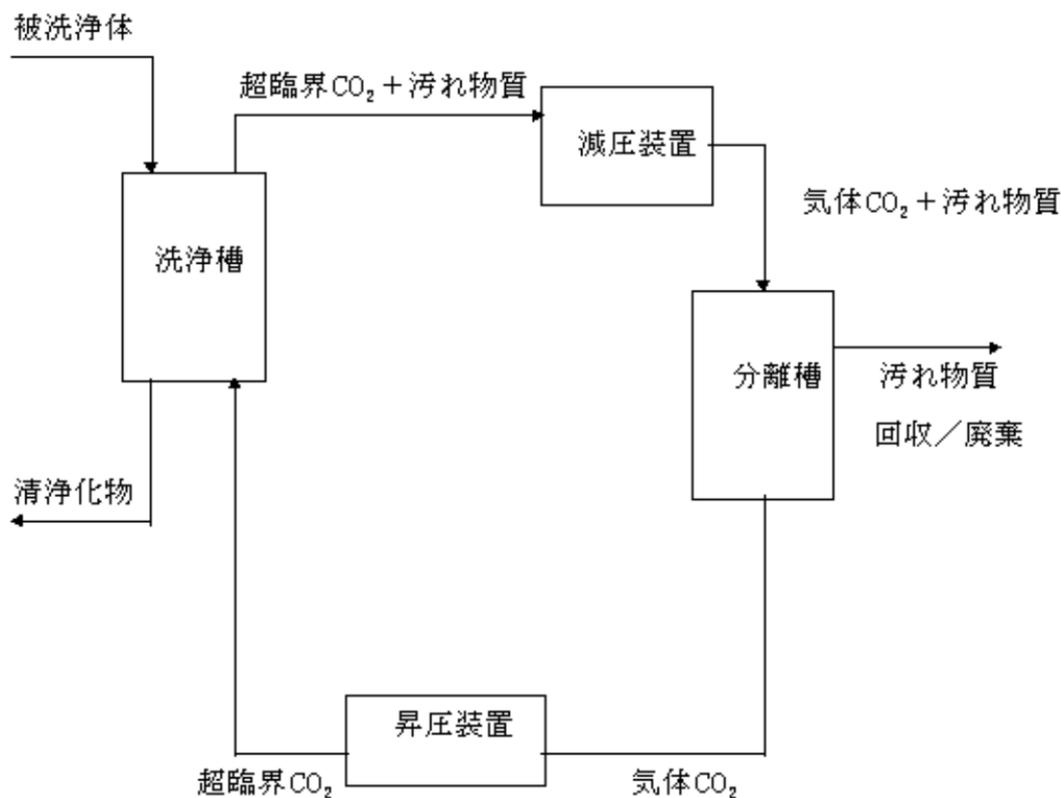


図1-2 超臨界CO₂洗浄法のブロック図

出所：特許庁

②応用可能分野

従来の技術では品質的に対応が難しいもの、特にサブミクロンスケールの微細加工品への利用が可能となり、機械、電子、光学、医療機器製品の見直しも期待されている。従来のCFC洗浄が禁止されたことによって、水系洗浄やアルコール系洗浄、炭化水素系洗浄への移行が進められているが、複数の工程が必要であり、また、廃水処理装置に莫大な費用とスペースが必要となったり、溶剤回収のために蒸留、乾燥時間がかかり、引火・爆発性などの課題があるため、中小企業では、小型、易操作性、低コ

ストで環境にやさしい洗浄法が渴望されている。超臨界二酸化炭素洗浄はこうした期待に応えようとしている。以下には現在、検討されている応用分野を示す。

表 1-3 超臨界二酸化炭素洗浄の応用分野

分類	対象物	汚れ物質
精密機械部品	精密ベアリング 精密バルブ	鉍物油
航空宇宙部品	ジャイロスコープ ベリリウム系合金部品 パッキン・Oリング類	動植物油 グリース・ワックス
エレクトロニクス	コンピュータ用ディスクドライブ コンパクトディスク 液晶 半導体材料 電子部品	離型剤 未反応モノマー
光学材料	光ファイバー カメラ部品 レーザー関連部品	オリゴマー 有機溶剤
医療用材料	コンタクトレンズ 医療用インプラント（心臓、血管などの人工臓器） 透析、カテーテル用チューブ	残留水分
メッキ	メッキ母材表面	

出所：「エコインダストリー」p.58 表2 8月号 Vol.5 No.8 2000

③課題

課題は、操作圧力が亜臨界でも6Mpa以上となり、装置は高圧設備になり、高圧ガス保安法に準拠した設計・運用が必須であることである。また、現状では、洗浄装置としての価格と実績の蓄積が検討課題となっている。

④特許の動向

この技術での特許出願の上位10社は以下の通りである（1971～1995年）。

- 1, 日立製作所
- 2, シャープ
- 3, ヒューズエアクラフト（米）、松下電工、日本酸素
- 6, イスコ（米）、HEホールディング（米）、パプコック日立、ブリティッシュニュークリア（英）、ホーヤ、三菱重工、日立プラント建設

超臨界流体としては、二酸化炭素(CO₂)、亜酸化窒素(N₂O)、六フッ化イオウ(SF₆)、

窒素、キセノンなどがあるが、実用化されているのは、全て二酸化炭素である。被洗浄体としては、以下のものを対象としたものが特許に示されている。

表 1-4 特許動向

被洗浄体	出願件数	備考	登録件数
食品関係	11	コーヒー、米、果実種子含有物、小麦粉など	8
半導体関係	20	半導体基板、電極形成材料、液晶ディスプレイなど	3
装置関係	17	超臨界ガス抽出装置、クロマトグラフ、汚染量モニター、洗浄システムなど	4
その他	21	ウェットゲル、ジルコニア触媒、膨潤性無機物、高沸点留分、多孔質シリカ、靴、粉体プラスチックなど	3
計	69		18

※1997年11月7日現在

4) 水系洗浄技術

① 洗浄原理

水は地球上に大量に存在し、安価で不燃性、毒性もない。また、水は様々な物質を溶解する性質をもっている。一方、水は極性が大きく表面張力も大きいことから、電解質（イオン性）の物質には高い溶解力が発揮するが、油などの非極性の物質を溶解することはできないし、非洗浄体と汚れの界面への浸透もできない。このような欠点を補うために用いられるのが、界面活性剤である。界面活性剤は、溶液中で溶質が気体—液体、液体—液体、または液体—固体界面に吸着して、それら界面の性質を著しく変える性質（界面活性）を顕著にもつ物質を指す。化学構造的には、分子内に水と親和性をもつ親水基と炭化水素基に代表される親油基とをもつ化合物である。界面活性剤は、その親水基の示すイオン性により、陰イオン性界面活性剤、陽イオン性界面活性剤、両イオン性界面活性剤、非イオン性界面活性剤に大別される。主として洗浄で用いられるのは、陰イオン性のものと非イオン性のものである。洗浄機構として、親油性の液体汚れと固体状、粒子状汚れでは異なるので、以下にそれぞれ解説する。

親油性の液体汚れの場合は、洗浄液中の界面活性剤が汚れの界面に吸着してその界面張力を低下させ、被洗浄体表面に広がっていた汚れを収縮、油滴化して除去する（ローリングアップ機構）。この場合界面張力が重要な因子となる。これ以外にも、油状汚れへの浸透、洗浄液中への取り出し（乳化）、洗浄液中への安定化（乳化、可溶化）などの機能も関与している。

固体状、粒子状汚れの場合は、粒子表面に負の電荷を与え、静電的反発作用により被洗浄体表面からの脱離を容易にし、再付着を防止する考え方（ヘテロ凝集論）

を応用している。

② 応用可能分野

機械加工部品、プレス部品、トランスミッション部品、コンプレッサー部品などの油性切削油、防錆油、プレス油、エマルジョンソリュブルなどの洗浄に用いられている。

③ 課題と開発の方向

中性ないしは弱アルカリ性の濃厚界面活性剤を主成分とする高濃度界面活性剤型洗浄剤が注目されている。これは、水で希釈せず、濃厚な原液で洗浄するものである。引火性がないこと、さらに油水分離装置により洗浄剤成分と汚れを分離できるタイプのものは、排水処理が非常に容易になっている。プリント基板上のフラックス汚れの洗浄などの利用されている。

5) 準水系洗浄技術

① 洗浄原理¹

洗浄目的に適合した洗浄を行う場合の中心となるのが、洗浄剤である。そのため、洗浄剤の選択によって洗浄システムの構成や洗浄プロセスの骨格が決まることになる。準水系洗浄剤として使用されるものは主としてグリコールエーテル系の溶剤である。洗浄段階では、洗浄溶剤による侵漬洗浄が行われるが、リンスでは水が使われる。そのため、品物に付着しているリンスに使われた水を蒸発させて乾燥させる。洗浄を重ねることによって蓄積してきた汚れで洗浄性能が低下した洗浄剤は新しい洗浄剤と取り替え、劣化した古い洗浄剤は産業廃棄物となる。グリコールエーテル系洗浄剤は 60°C前後に加温して用いられるが、溶剤の蒸発はほとんどない。

② 応用先

有機性の汚れとイオン性の汚れの両方が除去できる特徴がある。プリント基板の半田フラックス残差の洗浄に適しており、その用途の大半は電子・電気工業におけるプリント基板の洗浄である。

6) 非水系洗浄技術

¹ 日本産業洗浄協議会、産業洗浄工業（平成14年3月改訂）、平成12年度化学物質排出量算出マニュアル、中小企業総合事業団 http://www.jasmec.go.jp/kankyo/h12/book/2csb/sansyutu/12cs_koutei.htm

① 洗浄原理

使用される洗浄剤としては、不燃性溶剤（塩素系溶剤、フッ素系溶剤）と可燃性溶剤（炭化水素系溶剤）がある。どちらの溶剤も蒸留再生ができる有機溶剤を洗浄剤にしていることから水系と異なる工程が用いられる。洗浄は洗浄層に侵漬して行うが、リンスは加熱沸騰させて発生させた洗浄剤蒸気を用いて蒸気洗浄する。品物を溶剤蒸気にさらし、品物の表面で凝縮したきれいな溶剤で品物を洗い流す。蒸気加熱によって品物の温度が上昇してくると凝縮が止まるので、その状態で取り出せば乾燥する。蒸気洗浄槽で発生させた蒸気のは半分は洗浄装置の上部に設置された冷却コイルで回収して清浄な洗浄液として洗浄槽へ供給する。洗浄で汚れた洗浄槽の液はポンプで蒸気洗浄槽へ供給する。こうして同じ洗浄装置内で洗浄剤は循環再生しながら洗浄が継続される。

塩素系洗浄剤やフッ素系洗浄剤は蒸気圧が高い上に、蒸気洗浄を行うため沸騰温度まで加熱しているから通常の洗浄装置では大量の溶剤蒸気が装置外に逃散する。その蒸気ロスには溶剤使用料の80%にも及ぶと言われる。

可燃性の炭化水素系溶剤は安全性の観点から引火点の高いものが用いられる傾向にある。この場合、リンスに蒸気洗浄は使えず、清浄な洗浄剤に侵漬洗浄することになる。洗浄槽で汚れた洗浄剤を抜き取り、それを減圧蒸留再生器で蒸留回収し、得られたきれいな溶剤をリンス槽へ供給する。リンスが終わった洗浄物は、濡れている洗浄溶剤を蒸発させるために加熱して乾燥させる。乾燥で蒸発させた溶剤や洗浄槽やリンス槽から蒸発した溶剤は装置から大気へ排出する。

② 応用先

フロン溶剤によるプリント基板を初めとする電子部品関係の精密洗浄に使用されている。

7) 電解水による洗浄技術

① 基本原理

特殊な機能を謳った種々の機能水がでてきているが、多くがその作用メカニズムが解明されていない。その中で、電解水はそのメカニズムや効果、効能が明らかになってきている。

電解水とは、0.1～1%程度の希薄食塩水などの電解質水溶液を電気分解して得られる水溶液の総称で、強酸性水、強酸化水とも呼ばれ、他種類の微生物に対して強い殺菌力を持っている。殺菌原理は、電気分解により超活性状態の次亜塩素酸が生成し、それから派生する塩素やヒドロキシラジカルが殺菌力をもつことによる。

電解水の生産方式にはバッチ式と連続流水式があり、さらにイオン交換膜など

隔膜で陽極槽と陰極槽を仕切った2槽式のものゝ隔膜仕切のない1槽式のものゝがある。これらは、直流10ボルト程度の電圧、1アンペア前後の電流で白金電極を用いて電気分解を行うため、ランニングコストは従来の紫外線、オゾンなどに比べて格段に安価でメンテナンスも簡単である。さらには、塩素の代わりにオゾンによる殺菌を目的に飽和食塩水を入れた中間槽をもつ3槽式のものもある。

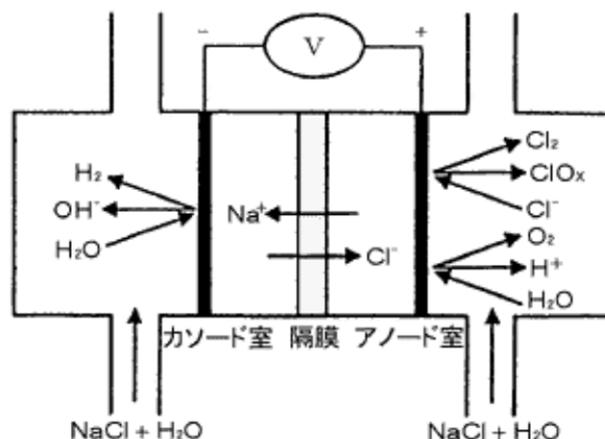


図1-3 2槽式の電解槽

出所:「食品と開発」1995年7月号「強酸化水の開発と利用」

(ウォーターデザイン研究会 久保田昌治 著 (株)健康産業新聞社 発行)

② 応用先

電解質の状態によってその機能が異なることから、用途は次のようになっている。用途は、医科歯科分野から食品・水産加工、農業への応用、半導体産業への利用と拡大しつつある。

表1-5 電解水の応用先

電解水	特性	効能	用途
強酸性水	pH2.0~3.5 ORP +1000~+1150mV	洗浄殺菌効果 アストリルゼン効果	生鮮食品の洗浄殺菌と鮮度保持 使用器具、床壁、従事者の殺菌 洗浄 植物栽培の病気発生予防と防除
強アルカリ水	pH11.0~12.2 ORP -850~-1000mV	除菌洗浄効果 成長促進効果	息剤の除菌洗浄と鮮度維持 食品加工における調理用水 種苗や植物の発芽・成長の促進

			用散布 土壌の中和と改良
アルカリ水	pH8.5～9.8 ORP -450～ 700mV	胃腸内の働きの正常化 飲料・調理用の美味化	胃腸内不良、胃酸過多の諸症状 用飲料 食品調理用 食肉類の変色防止、生鮮食品鮮度保持
酸性水	pH5.5～6.5 ORP +700～ +800mV	洗浄殺菌効果 アストリンゼン効果	食材の滅菌洗浄や調理前発酵菌抑制 調理器具、床などの洗浄や手洗い用 魚肉などの冷凍食品の解凍

出所：「食品と開発」1996年7月号「注目される機能水と水処理技術」編集部編、(株)健康産業新聞社発行

特許の出願状況からみると、用途分野としては、以下の順になっている。

1, 医療	35件
2, 食品	34件
3, 飲料	15件
4, コンタクトレンズ洗浄	12件
5, 入浴	7件
6, 半導体	6件
7, その他	41件

③ 課題

電解水装置は、装置内でのスケール、特に陰極やアルカリ水流路・タンクで主としてカルシウムのスケール付着が重大な問題となっており、定期的な電極反転などのスケール防止や除去方策が採られている。

8) 高圧噴射による洗浄技術

① 基本原理

基本的には水を高速で吹き付けて汚れをたたき落とす方法で、洗浄剤を混入する場合もあるが、通常は水だけを用いる。高速で衝突する水の力は大きく、ノズルを通過する流速が400m/sの場合は、時速に換算すると1440km/hとなる。対象物を破壊したり表面を荒らさないように汚れだけを除去するにはその勢いを調整する必要がある。噴射洗浄の方法としては、a)噴射ガン洗浄、b)ホース洗浄、c)装置型洗浄がある。

② 応用先

設備の外壁、建物の壁、配管内部のようなものには、噴射ガンやホースによる洗浄が多く、高精度の部品には装置洗浄が中心となる。機械加工部品では切削によるバリなども高圧噴射洗浄の対象となる。原理が簡単であるため、実際の応用先は多様である。特許出願に現れた分野を列挙してみると以下のごとくであった。

- 1, スケール熱延鋼帯の製造方法
- 2, 脱脂洗浄装置
- 3, コンクリートミキサーの自動洗浄装置
- 4, ワークロール表面洗浄法
- 5, 鋳物砂除去方法
- 6, スクリーン洗浄用高圧洗浄装置用ローターノズル
- 7, 基板洗浄装置
- 8, 熱間圧延時のデスクーリング方法
- 9, 機械部品の洗浄乾燥方法及び装置
- 10, 金属帯の洗浄方法
- 11, 電池の製造方法
- 12, 洗車場装置
- 13, 構築物表面の洗浄装置
- 14, 半導体装置の洗浄方法と洗浄装置
- 15, 建築・土木用部材における付着物の除去
- 16, 清掃方法・清掃装置
- 17, 超高圧水を利用した軽便な洗浄・切断・剥離装置
- 18, 精密部品の洗浄方法
- 19, 容器洗浄機
- 20, 舗装面付着物の除去方法
- 21, 水中清掃ロボット
- 22, 建設機械の自動洗浄装置

1-1-4 再生・修理等で使用されている洗浄技術

再生・修理等で使用されている洗浄技術を、①汚れの除去、②塗装除去、③油脂など油の除去、④錆の除去という目的別に特許公開技術を分析すると以下のようなものが開発されている。

(1) 汚れ除去

1) 研磨と水洗浄技術の利用

メダル用汚れ除去装置及びメダル遊技設備（特許公開2001-118110、2001年4月27日、株式会社ジェッター）

布式研磨装置と流体洗浄研磨装置で効果的にメダルの研磨を行ってゴミ、手の汚れ、脂、油などを確実に除去してメダルを循環できるようにしたもの。具体的には、研磨布をメダルに押し当てて汚れを取り除く布式研磨装置とメダルを洗浄水に濡らして下方ブラシと上方ブラシで研磨を行う流体洗浄研磨装置を直列的に設けたもの。

2) 乾式洗浄技術の利用

① 廃プラスチックの汚れ除去方法（特許公開2001-105432、2001年4月17日、日立造船株式会社）

廃プラスチックの表面に付着した泥などの汚れを予め乾式で除去して、破碎機の損傷を防ぎ、湿式分級に用いる水の負担を軽減することができる廃プラスチックの汚れ除去方法を提供するもの。具体的には、汚れの付着した廃プラスチックを解碎機1に掛けて破碎するとともに乾式洗浄して汚れを落とす。次いで廃プラスチック破碎物を落ちた汚れ分と共にサイクロン8へ送って同破碎物から汚れ分を取り除く。廃プラスチック破碎物をサイクロンから解碎機へ戻す。以降は解碎機による廃プラスチックの破碎と乾式洗浄およびサイクロンによる汚れ分の取り除きを繰り返す。解碎機とサイクロンの間の廃プラスチック循環物の一部を循環路から取り出して篩分機に掛け廃プラスチック破碎物から更に汚れ分を取り除く。

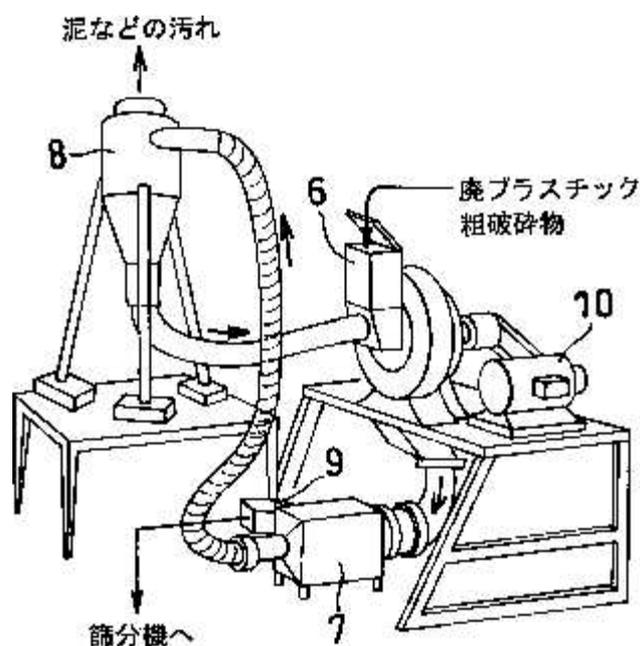


図1-4 廃プラスチックの泥等の除去

② サンドブラスト用研磨材組成物及び前記サンドブラスト用研磨材組成物を用いたサンドブラスト方法（特許公開 2000-129242、2000年5月9日、株式会社不二製作所）

公害発生のない除去の可能な研磨材とサンドブラスト方法を提供する。具体的には、イオン結合を除く配位結合による有機結合であって結晶水を含有する有機化合物から成るサンドブラスト用研磨剤組成物およびこの研磨材組成物によるサンドブラスト後、研磨材及び研削屑を空気噴射及び／又は水洗浄により除去するサンドブラスト方法。該有機化合物としてブドウ糖、乳糖、果糖等の糖類、デキストリン等の水溶性澱粉が例示できる。

③ 氷粒の高速空気流による噴射方法による汚れ除去方法及び装置（特許公開平 11-153373、1999年6月8日、三菱重工業株式会社）

伝熱管 10 の内面等の汚れ面に付着した汚れを容易、かつ、安価に除去するもの。氷製造装置 100 により製造された氷粒をコンプレッサ 15 で圧縮された高速の空気流に乗せて伝熱管 10 の内面等の汚れ面に噴射してこの汚れ面に付着した汚れを除去する。

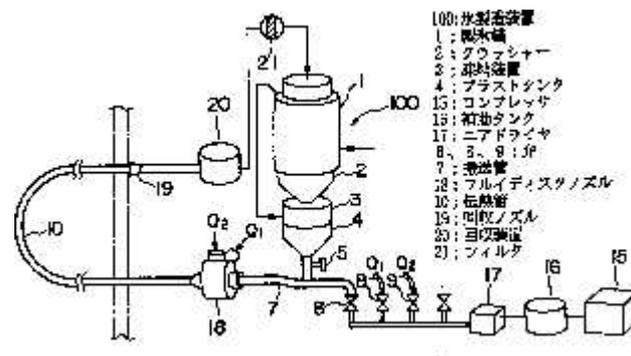


図 1-5 氷粒の高速空気流による噴射方法

④ プラズマ洗浄技術を用いた金属薄膜表面の汚れ除去方法（特許公開平7-228989、1995年8月29日、キヤノン株式会社）

平板状金属結晶群からなる金属薄膜表面の極めて高い平滑性を損なうことなく、例えば、加工時に金属薄膜表面に塗布されるフォトレジスト等の有機膜を、走査型プローブ顕微鏡の原理を応用した記録再生に問題のない程度にまで完全に除去することの出来る金属薄膜表面の汚れ除去方法。具体的には、極めて平滑性の高い金属薄膜表面にプラズマ又はプラズマより発生する荷電粒子を1kV以下の加速電圧で印加して照射し、金属薄膜表面に付着している汚れを除去することを特徴としている。

3) 湿式洗浄技術の利用

自動車用鉄粉汚れ除去剤（特許公開平10-245597、1998年9月14日、株式会社ソフト九九コーポレーション）

自動車用鉄粉汚れ除去剤はチオカルボン酸またはその塩とアルキルグルコシドを含有することによって通常の洗浄方法では全くとれないか、とるのに多大の労苦を要する鉄粉の汚れを塗装面上に悪影響を与えることなく、きわめて安全、簡便に除去できるという効果を奏する。

4) 高圧噴射洗浄技術の利用

極めて一般的に利用されているもので、家庭用の高圧洗浄機（70kg/cm²～80kg/cm²）や温水スチーム洗浄（車体下部）機器などがある。

(2) 塗装除去

1) 乾式洗浄技術の利用

① 鋼粒投射による塗装除去方法

付着塗料の除去方法 塗装された被処理品に蒸し、0.2～2.5mmの鋼粒を拘束で投射して、塗料の剥離・除去作業を機械化し、作業容易とするもの。

② ショットブラスト技術による樹脂部品の表面塗装除去方法及び装置（特許公開2000-94446、2000年4月4日、日産ディーゼル工業株式会社）

構成が単純で、低コスト、大量・迅速・高品質な樹脂部品の表面塗装除去方法及び装置である。塗装付き樹脂部品の形状、性状別に選別してショット処理を連続処理にするかバッチ処理にするかを選別しショット処理およびバッチ処理のそれぞれに応じて前記樹脂部品にショット放射して塗膜を剥離するショットブラスト装置と、該ショットブラスト装置

で塗膜を剥離された樹脂部品を水洗する水洗処理装置と、水洗された樹脂部品をエアブローで乾燥させるエアブロー乾燥装置と、該エアブロー乾燥装置で乾燥された樹脂部品を粉碎して樹脂素材にする粉碎処理装置と、ショットブラスト装置から排出されたショットおよび塗膜片の混合物を分離するショット・塗膜分離装置とからなっている。

③ レーザによる塗装除去方法及びレーザー処理装置（特許公開平10-309515、1998年11月24日、住友重機械工業株式会社）

化学薬品を用いることなく、塗装膜の除去が可能な塗装膜除去方法、及びその塗装膜除去に適したレーザー処理装置。レーザー光を処理対象物の表面に照射し、かつ処理対象物の表面におけるレーザー光のエネルギー密度を変化させることができるエネルギー密度可変光学系を用いて、表面に塗装膜が形成された処理対象物の表面にレーザー光を照射する。塗装膜の少なくとも上層部分がアブレーションにより除去される。塗装膜を除去する工程において、処理対象物の表面のレーザー光照射部もしくはその近傍の温度を観測する。温度を観測する工程で得られた温度を基準温度と比較し、基準温度よりも高い場合には異常処理を実施する。

実施例におけるレーザ処理装置

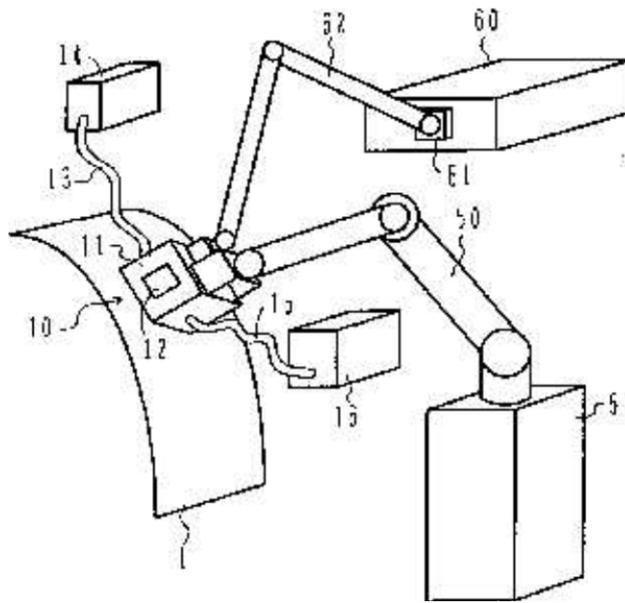


図 1-6 レーザ処理装置

2) 湿式洗浄技術の利用

① 樹脂塗膜の剥離除去剤および剥離除去方法 (特許公開平5-9419、1993年1月19日、日産自動車株式会社)

効果的な塗装除去性能、良好な作業性、高い環境安全性を有する樹脂塗膜の剥離除去剤および剥離除去方法を得る。具体的には、非プロトン性溶媒或いはイミン類またはケトン類などの異種原子間に不飽和結合を有する化合物Aを10~90重量%および沸点が250℃以下の常温で液体状態を呈する一価以上のアルコール類或いはその誘導体から成る化合物Bを10~90重量%含有する樹脂塗膜の剥離除去剤。上記樹脂塗膜の剥離除去剤を50~150℃で樹脂塗装部品に噴霧若しくは塗布するか、或いは前記剥離除去剤に樹脂塗装部品を浸漬して樹脂塗膜を剥離除去する。

② 合成樹脂部分の化学・機械式塗料分解方法 (特許公開平7-228723、1995年8月29日、ダイムラーベンツ アクチエンゲゼルシャフト)

廃棄合成樹脂から塗料の除去において、環境に優しい媒体を用い、低コストで、且つ自動

(3) 油脂除去

特許にみられるのは、洗浄促進剤や洗剤が主体である。

① 垂直および水平なガラス面等の滑らかな面の清掃法およびそのための装置 (特許公表平8-507223、1996年8月6日、レルー、ウイリイ)

垂直および水平なガラス面等の滑らかな面の清掃法およびそのための装置。本方法は、洗浄促進剤とこの洗浄促進剤に物理的、化学的または熱的に作用する低圧蒸気との混合物を分配し、変換し、そして汚れを再濃縮残留液中で瞬時に溶解および／または分散させることにより除去する装置、上記面に蒸気と洗浄促進剤との混合物を噴霧して、残留液中に溶解および／または分散した汚れを除去し面を単一段階で乾燥できる組立体(1)、噴霧組立体に、任意の携帯型容器(2)に入った蒸気および洗剤を自動的に供給する組立体、および使用に応じて蒸気および液体洗浄促進剤の流出を装置の他の機能と共に制御する組立体を用いることから成っている。本方法および装置は、近代的な建物の外面の磨き作業や平滑仕上げのような全ての平滑面、塗装した壁や天井のような屋内の磨き平滑面、オフィス、作業場および種々の建物の平滑な床、タイルおよび合成覆い、並びに種々の車両の風防ガラス、車体および工業的板金作業に用いられる。

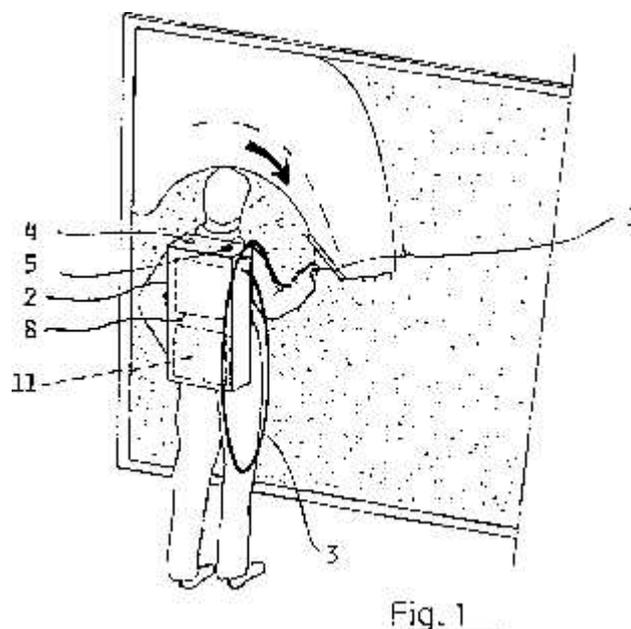


図 1-8 特許の概念図

② 複合有機または油性汚れ除去のための洗剤組成物 (特許公表2003-503581 公表日：2003年1月28日、イーコラブ インコーポレイティド)

そのまま、すなわち、濃厚物として用いられる有機組成物は、木材、金属および他の硬質表面から複合有機汚れを除去することにおいて効果的である。組成物は非イオン界面活性剤、シリコーン界面活性剤、ヒドロトロープおよび金属イオン封鎖剤を含む他の任意の機能性材料を包含する。洗濯物およびグリース、油および他の除去困難な汚れ材料などのかなりの割合の有機／無機汚れを含有する重度に汚れた硬質表面などの基体は、本発明の洗浄剤組成物により容易に洗浄される。

③ ペルフルオロブチルメチルエーテルを含む組成物及びその組成物の使用（特許公表 2002-508439、2002年3月19日、ソルヴェイ）

電子部品からのフラックスの洗浄及び除去用溶剤、金属のグリース除去用溶剤、固体表面に吸着した水の除去用溶剤又は印刷ベース上のトナーの定着用溶剤として特に用いることができるペルフルオロブチルメチルエーテルとエステルによって形成される共沸又は擬似共沸組成物に関するもの。

④ 固体表面の洗浄および／または乾燥用の、1, 1-ジクロロ-1-フルオロエタン、1, 1, 1, 3, 3-ペンタフルオロブタンおよびメタノールをベースとする組成物（特許公開平5-156292、1993年6月22日、エルフ・アトケム・エス・アー）

1, 1, 2-トリクロロ-1, 2, 2-トリフルオロエタン（F113）をベースとする洗浄組成物の代替物を提供するもので、固体表面の洗浄および／または乾燥、特に、プリント配線のフラックス除去および機械部品のグリース除去に用いることができる。

（4） 錆除去

金属洗浄剤（特許公開平8-337891、1996年12月24日、日本油脂株式会社）

広い pH 領域で、金属、特にアルミニウム系金属のいずれに対しても腐食性が小さく、かつ毒性が低くて身体および環境に対する影響が少ない上、優れた錆除去性を有する金属洗浄剤、および前記特性を有するとともに脱脂性能にも優れる金属洗浄剤。カルボキシアシルキルチオ無水コハク酸、カルボキシアシルキルチオコハク酸またはこれらの塩を含有してなる金属洗浄剤、および、カルボキシアシルキルチオ無水コハク酸、カルボキシアシルキルチオコハク酸またはこれらの塩 1～99 重量%と界面活性剤 99～1 重量%との混合物からなる金属洗浄剤。

1-2 易分解性設計

1-2-1 解体の目的と易分解性設計²

分解・解体容易性を検討する際に、解体あるいは分解目的を明確にしておかなければならない。環境保全のための分解・解体の目的としては、大きく次の二つが考えられる。

- (1) 適正処理の視点からの解体・分解
- (2) リサイクルの視点からの解体・分解

前者は、環境影響化学物質含有部品の取り外しが主体で、これを分離できないと管理型・遮蔽型処分場への廃棄となり、処理費用に増大、廃棄物処理委託拒否といった事態を招く。後者はリデュース、リユース、リサイクルの3Rを実現するために解体・分解するものであるが、素材、部品、ユニットなどそれぞれの製品によって解体されるレベルが異なってくる。

3Rを実行するためには、それぞれのRに対して製品設計段階から検討すべきことが存在する。狭い意味での易分解性設計は、ねじを回避しはめ合いにするなどの接合部分のメカニズムに関しての設計技術（アイディア）となってしまうが、広い意味では、易分解性の目的に照らした意味（「何のために分解するのか。そしてそれを容易に実現させるにはどうするのか」）での設計を指すことになる。ここではまず、広い意味での易分解性について検討してみる。

(1) リデュースのための分解容易性

1) アップグレード容易な構造

技術進歩が激しいため、陳腐化する技術ユニット（ユニット、部品）交換が可能とし、長寿命化を図る

- ・ モジュール構造：技術の進歩を予想して機能向上のために製品の一部を交換するモジュール化設計

2) 製品の保守・修理性

- ・ 保守・修理が容易な構造、消耗部品や故障部品が簡単に交換出来る構造かどうか
- ・ 工具類の使用に支障がないかどうか
- ・ 分解時間が短縮されるかどうか
- ・ 分解手順が明らかに表示されている

(2) リユースのための分解容易性

² (社)日本電子工業振興協会 「情報処理機器の環境設計アセスメントガイドライン(第2版)」平成12年9月 p8.~15 からまとめた

1) リユース可能なユニット、部品の採用

- ・ リユース対象部品の明確化（あらかじめ決定しておくことで、汎用品の採用や共通化、標準化が有効な手段）
- ・ リユース対象部品の明示

2) 分解時間の短縮

- ・ 設計段階での取り外ししやすい構造（リユースを目的としたユニットや部品単位が容易に分離できる構造になっている必要がある）
- ・ 解体容易性（リユース対象部品を取り出すまでの解体作業容易性）
 - 一般的な工具での解体・分離
 - 解体分離に要する工具の種類とその数
 - 一方向からの解体・分離性、ねじ等の数と種類
 - 分離のためのねじ締結等の確認の容易性
 - 接着、溶接などによる分離困難な接合回避
- ・ 解体分離位置が容易に見つけやすいように解体位置を示す表示

(3) リサイクルのための分解容易性

1) リサイクル可能な材料、部品の選択

2) 解体・分離容易な構造

- ・ 再資源化原料としての利用可能材料、部品にするための解体・分離容易な構造
- ・ 異種材料の分離容易な構造（接着、かしめ、溶接の削減、プラスチックへのインサートネジ埋め込み回避、差込やスナップ接合のようなプラスチック部品の接合方法の工夫）
- ・ リサイクルを阻害する材料、部品が容易に分離できる構造（分離場所が容易に見つけられる工夫、表示）
- ・ 工数が削減されるリサイクルのための解体分離方法（一般的な工具使用、一方向からの解体分離、重量物に関しての底辺からの解体回避）
- ・ 部品数、ネジ数の削減

3) 分別の容易性

- ・ 作業者にとって材質判断が容易にできる表示
- ・ 使用材料の種類の特化（フレーム、シャーシ等の材料を統一し統合）
- ・ リサイクル困難な材料の判断を容易にする表示

1-2-2 対象とする範囲

	リデュース		リユース		リサイクル		
	アップグレード容易な構造	保守/修理の容易性	リユース可能部品・ユニット採用	分解時間の短縮	リサイクル可能材料・部品の選択	解体・分離容易な構造	分別の容易性
モジュール化設計	○						
リユース対象部品の明確化			○				
リサイクル可能材料・部品の選択					○		
取り外し容易な構造		○		○		○	
異種材料の分離容易な構造							○
使用工具		○		○		○	
一方向からの解体・分離作業		○		○		○	
分解手順・分離位置・材質の明示		○		○		○	○
使用材料の統一・統合化							○
部品点数の減少		○		○		○	

1-2-3 個別技術の現状と課題

上記の分野別に、特許庁で採りあげられた電気機器と自動車に関するリサイクル技術の特許の現状を中心にまとめる。

(1) 取り外し容易な構造

1) プリント基板

- ・ プリント基板上に配置された電池の端子とプリント基板の回路パターンとをリード材で接続。このリード材には弱体部を設けここを切断する。(特許 2729779、88年6月、九州日立マクセル)
- ・ 基板樹脂を崩壊させる機能を持つ崩壊剤を含めた材料を用いることで、導体回路との分離を可能とする。(特開平 7-307536、94年5月、日立製作所)
- ・ 樹脂部材に複数の溝または孔を設けることで破碎しやすくし、分別性向上を図る。(特開平 10-335783、97年5月、日本航空電子工業)
- ・ 基板上の電子部品にかぶせられたフィルムを基板から剥離することで、電子部品を分別、回収可能。(特開平 11-261188、98年3月、オムロン)
- ・ 電池を収容するケースとプリント板の間に係止固定端子を取り付ける。電池用端子のプリント板へのはんだ付けを削除。(特許 2821420、96年5月、静岡日本電気)
- ・ 基板の取り付け部のみが分断されるように、その周囲が他の部位よりも応力が高くなるよう形成。(特開平 11-317570、98年5月、セイコーエプソン)
- ・ 様々な形状や寸法の回路基板などの物品を強力な磁力を作用させた粉体群で保持することによって、物品固定槽内で安定して固定できる物品固定装置ないし、回路基板固定装置。(特開 2000-188468、98年12月22日、松下電器産業)

2) ケーシング構造

ネジを用いない、用いてもその本数を少なくしたものが多く、1989年出願の特許 2615981 (松下電器産業)、1992年出願の特許 2890372 (日立テレコムテクノロジー) がこれに該当する。ネジを用いない構造の多くはスナップ機能を有するもの係合爪とこの爪の係合を受け入れる孔との組み合わせによるものである。

自己破壊機構を組み込んだものもある。特開平 8-274476 (東芝) は上部と下部をネジで締結したケーシングの内部に、廃棄時にケーシングを自己破壊させる機構を組み込んだものである。また、特開 2000-24635 (キャノン) はプラスチックで構成した電気器具の外装の一部に弱化部分を形成しておき、あらかじめ装備してあったケーブルを引っ張ることによって外装の弱化部分から破壊するように構成したものである。解体用ジグが解体急所に入りやすいようにケーシング構造を考慮したものもある (特開

平 10-173368 (リコー))。

- ・ <キャビネット装置>メインシャーシにフロントシャーシを回動しながらフック係合し、その係合部分を覆うようにトップキャビネットを嵌め合いし、トップシャーシの側面と内面凸部とで挟持することによる取り付け時のネジなどの締め付け部材を不要にし、分解組立時に必要な工数を少なくする。(特許 2615981、89 年 3 月、松下電器産業)
- ・ <電気機器装置の組立方法と電気機器装置とその筐体構造>板金の下部ケースの引っ掛け部を合成樹脂などの上部ケースの係合部にかけて上部ケース側に回動して上部ケースを重ねて押し込んで係合し、取り外し用のネジで係合を解除して下部ケースを取り外す。(特許 2890372、92 年 9 月、日立テレコムテクノロジー)
- ・ <電子機器用筐体>組立や分解が容易な筐体、複数の面を備える電子機器用筐体で、複数の面を展開した形状の板状部材で、面と面との境界に溝部を形成した筐体形成パネルを備え、組立時に接触する面と面を互いに固定するための爪と爪係合部とを備え、パネルを溝部で折り曲げて爪を係合させて組み立てる。(特開平 06-326477、93 年 5 月、日立製作所、日立旭エンジニアリング)
- ・ <箱体>箱体の中空取り付けボスに蓋部の取り付け穴を通し、ボスにキャップを被せ、ネジで締結して固定し、分解時はキャップとネジ部をニッパなどで切断し、金属製ねじなど異種部材の除去、分別が簡便かつ迅速に行える。(特開平 07-086766、93 年 9 月、スタンレー電気)
- ・ <電子機器ユニット用ケース>前板の両側部の係合穴に側板の端縁の突片を係合し、側板を前板に固定し、組立や分解が容易な電子機器ユニット用ケース。(特開平 8-191190、95 年 1 月、日新電機)
- ・ <電子装置>プラスチック筐体とそれより融点の高い板金リアーパネルとを分離する接合部付近に熱伝導体をインサート成形しておき、熱伝導体に電力を供給してプラスチックを溶かし容易に分解できる構造にする。(特開平 8-228079、95 年 2 月、日立製作所)
- ・ <電子機器>上部と下部がネジ接続で構成された筐体内部に、破棄時に筐体を分解するための破壊機構を設け、破壊機構のバネなどの作用により、ピンを押し上げて内部から荷重を加えて筐体を破壊し、電子機器の廃棄時における分解作業を容易にする。(特開平 8-274476、95 年 3 月、東芝)
- ・ <電子装置の筐体>台座に対する蓋体の組み付けと分解作業をワンタッチで行う筐体。筐体を構成する台座と台座を覆って電子部品を外側から遮蔽する蓋体とを爪上突起に鉤状突起で台座と蓋体をスライドさせながら係合し、固定用のネジをなくして良好な外観を呈すると共に、操作性、保守性を向上する。(特開平 10-41642、96 年 7 月、新潟日本電気)
- ・ <スナップフィット係合構造>プラスチック材料からなる爪を備えた係合部材と、

この爪と係合可能な穴を有した被係合部材とを、爪と穴とのスナップフィット係合で結合する係合構造で、係合部材の爪近傍あるいは被係合部材の穴近傍に、それぞれの分解工具の先端が入る差込口を設け、係合部材と被係合部材との分離、分解性を高める。(特開平 10-173368、96 年 12 月、リコー)

- ・ <エンクロージャー>スナップ嵌めで組立、分解が簡単で、外観も飾るエンクロージャー構造。エンクロージャーの左右 2 つの主要部分の底の開口にバネクリップを挿入して固定し、さらにプラスチックのスタンドを、バネクリップを覆い隠すようにスナップ嵌めし、固定力を大きくし、かつバネクリップが隠れて外観を飾れる。(特開平 11-163544、97 年 9 月、ヒューレット・パッカー (米))
- ・ <筐体構造およびその分解方法>ケースを固定ネジで締結する筐体構造で、成型品で形成された上ケースの固定用ボスの根元周囲に薄肉に形成した複数の凹部とこの凹部を分離するリブを設け、固定ネジにより下ケースを固定した固定用ボスを、リブを切断することで上ケースから分離可能とする。(特開平 11-191678、97 年 12 月、沖電気工業)

3) ディスプレイ

CRT は取り扱いにくいものであるため、構造上、組立や分解のじゃまにならない、また、取り扱いやすい構造やユニットの取り付け場所の工夫をしている。また、パネルガラスとファンネルガラスとの接合部に関しては、ニクロム線を埋設してこの熱により分解をしやすくする工夫もみられる。また、この接合部に巻き付ける防爆バンドの除去を容易にする技術について日東電工・ソニーから多く出願されている。

LCD に関しては、コネクタにより接続部を簡単に組立、分解できるようにしたもの、線状光源の着脱を容易にするために、光源部を本体部の外から着脱出来る構造にしたもの、スナップ機能を有する係合爪とこの爪の係合を受け入れる孔とを組み合わせたネジを用いない締結構造のものが多くみられる。

- ・ <偏向ヨーク>中空漏斗状水平コイルボビンの小径端側の巻掛突起を、小径端側の外縁から所定の間隔を有する位置に突設し、水平偏向コイルの巻掛突起への巻掛部が、水平コイルボビンの小径側外縁から突出しないようにする (特許 2899774、92 年 9 月、三菱電機)。
- ・ <モニター用ブラウン管>パネルとファンネルとを接合する接着層部全周にわたって加熱用ニクロム線を埋設し、加熱線の両端部は、接着層部分から外面に延長する。CRT の解体作業を著しく軽減することができる。(特許 294926、98 年 5 月、工業技術院長)
- ・ <パネル付ブラウン管フレームレステレビジョン受像機>ブラウン管の外周を覆い被せるサイズのマスク部を備えた箱形パネルの内面とブラウン管のフェース面とを接着剤で固定してパネル付ブラウン管を構成する。(特開 2000-196976、98 年

12月、松下電器産業)

- ・ <液晶パネルの電氣的接続構造>導電部材と絶縁部材とからなるコネクタにより液晶パネルの電極端子面と回路基板の信号出力端子とを接続することによって液晶パネルと回路基板との接続部の組立、分解を容易に行えるようにする。(特許2647067、86年2月、セイコーエプソン)
- ・ 金属製箱体に爪部を設け、爪部を液晶パネルの回路基板に係止することによって、液晶パネルと金属製箱体とを固定する。パネルブロックの分解再生性を向上させる。(特許2572721、88年9月、セイコーエプソン)
- ・ モールドケースの液晶表示パネル取り付け面の裏側にプリント配線板の設定部を凹設するとともに、この設定部の両側に固定フックと弾性アームとを対向配設し、プリント配線板の設定部に嵌め合いし、スナップ装着する。組立分解性に優れた液晶表示装置を構成できる。(特許2875652、91年8月、アルプス電気)
- ・ <表示装置>弾性部材の一部を圧潰挟持するように枠状部材と抑え部材とを着脱可能に止着することによって、弾性部材の枠状部材、抑え部材によって挟持されない突出部により表示パネルを支持する。これにより枠状部材から抑え部材を取り外すことにより、表示パネル、枠状部材、弾性部材、抑え部材をそれぞれ分解でき、各部を容易に分別回収できる。(特開2000-206899、99年1月、キャノン)

4) 冷蔵庫

- ・ 蓋と本体との間の電源供給・信号電送をワイアレス構造にし、分解組立の容易な構造とする。(特開平8-215478、日立製作所)

5) 掃除機

- ・ 電気掃除機用吸い込み口において、吸入口の回りの絨毯と接する面に吸い込み具の動作方向と同じ方向の複数のすじ状突起帯を設けて、リサイクル時の分解性を向上させる。(特開平9-181869、松下電器産業)

6) テレビ

- ・ 背面パネル天板、底板から構成されるバックカバーと、フロントカバーによって構成されるケーシングにおいて、天板と底板の周縁には係止爪、背面パネルにはスリットを設け、係止爪をスリットに係合させる。(特開平10-93891、飯田金属鋳業)

7) パソコン

- ・ 入出力部では、ネジを用いないで、係止突起と係止受部とによって操作部をプリント板に固定する組立・解体容易な電子機器操作部の構造。(特開平9-54641、リコー)
- ・ ケーシングでは、一方のガイドフレームにアーム体を設け、他方のガイドフレーム

にアーム体と係合する一対の軸孔を設け、組立、分解を容易にする。(実開 3060214、旭麗股)

- ・ ケーシングでは、前面ケースと上段実装用のシェルクを一体化し、底ケースとの固定は、上ケース実装後上ケース両側面の通し穴に化粧ネジで締結することで、組立分解が容易な構造としている。(実公平 4-8546、セイコーエプソン)
- ・ 携帯用・ノート型では、筐体内に回路基板や機能部品を一度に取り外し可能な構造。(特開平 7-84673、東芝)
- ・ ノート型コンピュータ本体の上部左右に設けた挿入溝にヒンジシャフトを挿入するなどした構造。(実登 3011194、三星電子(韓国))
- ・ ノート型コンピュータの底部ユニットから上部ユニットを分離、スライド結合できる組立分解容易な構造。(特開平 10-133777、米沢日本電気)
- ・ ノート型パソコンの上ケースのフック部と下ケースの係止部を係合させるとともに、両ケースに設けた孔を重ね合わせて箱体を形成後、ネジで固定する。(特開 2000-101258、松下電器産業)

8) エアコン

- ・ 室外機本体には係合孔を設け、一方、吹き出しグリルには係合孔と係合する爪を設け、吹き出しグリルの室外機本体に対する取り付け、取り外しを簡単な工具で短時間で出来るようにした。(特開 2000-274738、三菱電機)
- ・ クロスフローファンとこれを駆動する電動機との軸継ぎ手の構造を容易に連結、解除出来る形状に構成した。(特開 2000-291974、三菱電機)

9) 自動車用エアコンディショナ

- ・ 操作用ノブの引き抜きを容易にする構造としたもの(特開平 7-195928、スズキ)や、リンクプレートとヒーターケースとの接合を係合爪と係合片により行う構造のもの(特開平 8-20445、日本電装)、ユニットケースを開裂させ、部品をとりだしやすくする技術(破壊溝をつくり、ケースの解体を容易にするもの(特開平 10-100640、カルソニック)、下ケースに三角形のステンレスワイヤを埋め込み、これを引くことでケースを分離、内部部品を取り出す構造のもの(特開 2000-127744、日本電装))が見られる。

10) ワイヤハーネス

- ・ 当初はボディからワイヤハーネスを取り外すのを容易にする係止装置(クランプ、クリップ、プロテクタ等)の改良が中心であったが、樹脂部分と線材部分との分別を容易とするハーネス構造体の改良に進んだ。最近では、樹脂と金属を分別処理してリサイクル率を高める目的から、ハーネスに埋め込んだワイヤを容易に剥離で

きる技術や線材を結束している粘着テープの剥離手段の改良技術が注目されている。

1 1) パッド入り部品

- ・ 92年に出願されたヘッドレストサポートをステーに支持する時、抜け止め片によってガイドパイプを係止することで取り外しを容易にする技術、98年にはインサートの表面に離型性皮膜をコーティングしてパッドと表皮の分離性を容易にする技術や、インナーカバーを含むように表皮と発泡材とを一体化してヘッドレスを成型し、分別を容易にする技術等がでてきている。

(2) 異種材料の分離容易な構造

- ・ 電子機器筐体で、金属プレス成形の金属外殻と一体射出成形の樹脂内部機構部との接合に、化学発泡材を含ませた接着性合成樹脂を介在させ、外殻筐体は薄く軽量で強度が大きく、廃棄処理に際しては化学発泡材の分解温度以上に加熱して金属部分と樹脂部分とを容易に分けることができる。(特開平 6-334377、93年5月、東芝ケミカル)
- ・ 容器包装分野では、紙容器と内袋との組み合わせ、段ボールと緩衝剤を分離化しやすくするなどの分離後の材料を単一素材、またはリサイクルしやすい状態にする技術が出願されている³。

(3) 一方向からの解体・分離作業

- ・ 冷熱部品では、ベースと圧縮機との間に介在させた防振ゴムと、ベースと圧縮機との間隔を抑制するストッパからなる構造部品において、ベースの下部からストッパを取り外すことができる構造にし、リサイクル時の分解を容易にした。(特開 2000-259369、三菱電機)

(4) 分解手順、分離位置、材質明示

解体手順や、解体に用いる工具、解体のためにはずさなければならないネジの本数や、その位置、容易に切断できる位置の表示などが解体容易性に関してある。一方、分別容易性では、製品を構成している材料の種類、成分、材質やその材料がこれまでにリサイクルされた回数、材料や部品の寿命情報などである。

- ・ 部品のそれぞれに分解作業の手順、分解作業の対象位置などを支持する表示をする

³ 特許庁総務課企画調査室、「特許から見た容器包装分野の環境技術の現状と今後の課題」平成12年8月

ようにし、作業者が効率よく分解できるようにしている。(特許 2684499、日立製作所)

- ・ パソコンでは、解体手順、およぶ分解のために外さなければならないネジに本数を表示したもの、ケーシングの底部内側に設けた材料表記をカバーを外すことなく読みとれるようにしたものなどが出願されている。
- ・ テレビでは、組立順序、分解順序を表示したもの、前面パネルと後面パネルの切断位置を表示したものなどが出願されている。
- ・ 洗濯機では、部品同士の分解手法を表示したもの、次に分解すべき結合部位を現在着目している結合部位の周囲に付して解体作業が容易に行えるようにしたものが出願されている。

(5) 使用材料の統一・統合化

- ・ エアコンのプラスチック成分を1種類に統合することによって、リサイクル時のプラスチック成分の分離・分別作業を不要にした。(特開平 6-159717、日立製作所)
- ・ エアコン室外機の底ベースを強化プラスチックまたは再生可能な樹脂で一体成型した形とする。(特開平 8-86474、日立製作所)
- ・ テレビの音響部において、スピーカーケースとスピーカーマウス部を覆う放音孔域を同一材料で構成し廃棄時の分別作業を不要にする。(特開平 7-59184、松下電器産業)
- ・ 箱体に蓋体を係着する係着部材をクリックにより箱体に固定する構造とし、かつ、箱体、蓋体と同一樹脂部材で形成し、組立、分解、再生再利用を容易にする。(特開平 7-086764、93年9月、スタンレー電気)
- ・ 本体ケースに窪み部を設け、その窪み部内に本体ケースと同一材料で形成された表示プレートを接合し、リサイクル時に表示プレートを取り外さないですむようにする。(特開 2000-114748、98年10月、東芝)
- ・ 冷蔵庫において、内箱と外箱およびこれらの中に充填した断熱材をポリウレタン樹脂で構成し、リサイクル時の分別作業を不要にした。(特開平 5-312465、松下冷機)
- ・ 自動車のインストルメントパネルとエアバッグドア部を同一材料で一体成形。(特開平 11-278191、98年3月、トヨタ自動車)
- ・ 自動車のインストルメントパネルで、それを構成する層をすべてポリオレフィン系の樹脂で統一することで、リサイクル時の分別作業を不要とする。(特開 2000-15758、98年7月、本田技研工業)
- ・ 当初、エアバッグ袋体を構成する基布の素材統一化によりリサイクル設計が開始された。そして、エアバッグ袋体を構成する合成樹脂繊維糸を全て同一系列の樹脂で構成することにより、効率の良いリサイクルを達成している(特開平 11-348708、

カルソニック)。

- ・ エアコンディショナを構成する樹脂部品について、可能な限り同系の樹脂を使用することによりリサイクル化、再資源化の際に樹脂特性を劣化させることなく再生する目的から重要な課題となっている。その解決手段として、熱可塑性樹脂ケースの裏側に断熱効率を向上させる突条を同質の樹脂で成型する技術、空調用ドアおよびそれに使用する軸やシール材を同一のポリプロピレンで一体成型する技術、ダクト構成部材をオレフィン系の熱可塑性樹脂で形成する技術がある。

(6) 解体容易性評価

特許庁の報告書では、電気製品のリサイクル技術に関する特許のうち、解体容易性の評価にかかわるものは、11件あったと報告されている。部品数、部品ブロック数、部品の取り扱い容易さ、作業者の健康に与える影響度、組み付け方向、締結構造などから解体容易性を評価するものが多い。また、これらは組立性とセットで評価するものが多く出願されており、そのようなものは、評価結果を製品設計にフィードバックするばかりでなく、製品の製造設備計画に反映させるようにしたものである。

1-2-4 論文にみる技術動向

易分解性設計は、当初、分解時間と分解コストという明確な評価関数が存在し、それを最小化すれば良いという考えで展開されてきた。その結果、スナップフィットを中心とする材料の弾性変形を利用した爪式の締結法が非常に有効であることが示されている。しかし、これは繰り返し利用に難があり、部品リユースを目的とした場合には最適とは言えない。こうした点から、環境適合型製品の分解性設計とは何かを資源循環という観点から見直されてきている。これには、素材選択や締結法選択、組立性などについても検討することが必要となっている。また、製品の修理や消耗品の交換のために目的物を効率よく取り出すための分解順序についても検討されている。

易解体性設計の具体的応用に関する論文も出されている。例えば、洗濯機における例では、解体手順の最適化、部品の再利用が基本であり、そのために、コンセプトモデル機では部品のモジュール化、材質の統一、解体動作の単純化、樹脂のリサイクル技術の確立をコンセプトとして開発し、大幅な解体時間の短縮、リサイクルコストの低減があったと報告されている⁴。

⁴ 岩田充浩など、「洗濯機における環境配慮設計と樹脂リサイクル技術」、EcoDesign 2002 Japan Symposium p.88-89

(1) 環境調和型製品の戦略に基づいた組立性、分解性設計の必要性⁵

従来の組立性、分解性設計の研究はリサイクル対応製品に限定して論じられてきた。しかし、現実の環境調和型製品は以下のようにより広い範囲をカバーしているものである。

- ① 部品数を削減したり、材質を変えて軽量化する「リデュースモデル」
- ② 市場品質を向上させて長寿命化する「ロングライフモデル」
- ③ 消耗する部品を交換して長寿命化する「メンテナンスモデル」
- ④ 機能が向上する部品に交換することで長寿命化する「アップグレードモデル」
- ⑤ 部品を他の製品へ再使用化する「リユースモデル」
- ⑥ 材料を他の製品に再利用する「リサイクルモデル」

こうした中で、②を除いて、組立、分解のしやすさが求められるが、それぞれ組立、分解の目的が異なることは明らかであり、対象とする部品の範囲も異なる。

- ・ リデュースモデル————>製品の組立に用いられる全部品が対象
- ・ メンテナンスモデル————>メンテナンスの対象となる部品の分解範囲
- ・ アップグレードモデル——>アップグレードの対象となる部品の分解範囲
- ・ リユースモデル————>リユースの対象となる部品の分解範囲
- ・ リサイクルモデル————>リサイクル対象部品の分解範囲

分解後、組立の行われるメンテナンス、アップグレード、リユースモデルでは、分解と組立の両方が同時に求められることになるが、分解容易性と組立容易性は両立しないことが実証されている。そのため、両立化設計の必要な部品範囲を最小限とし、それ以外は組立性設計を行うことが必要である。⁶

また、こうしたもののフローにおける組立、分解環境（人的、物的要素）がどのような制約条件にあるかによって、組立性、分解性設計を構成するフレームデザイン（部品の配置の設計）、ジョイントデザイン（部品の結合の設計）、パーツデザイン（部品の形状、材質の設計）が異なってくる。

(2) 分解性設計の具体的手法

設計やリサイクル現場で課題となっている問題を解決するための、解体容易化設計支援

⁵ 山際康之など、「環境調和型戦略に対応する組立性、分解性設計」、EcoDesign2002Japan Symposium p.188-191

⁶ 山際康之など、「環境調和型製品のための組立性と分解性の両立化設計原理」、EcoDesign2000Japan Symposium p.62-65

ツールとしていくつかの DFD (Design For Disassembly) 手法が検討されている。しかし、

- ① 改善仕様の効果検証はできるが、実際のリサイクルインフラを踏まえた実効ある設計課題の抽出が困難
- ② 手解体と機械破碎の適用範囲の見極め
- ③ 設計仕様の導入費用対効果の見積が困難

と言われていたことから、三菱電機では、簡易DFDツールを考案した⁷。このDFDツールは、リサイクル活動の損益収支を明確にし、コスト要因である解体所要時間を横軸にとり、手解体による累積作業費、手解体を除いた累積リサイクル活動損益、さらに再商品化率累積を縦軸にとることによって、以下の点が明らかになる。

- ① 手解体と機械分別によって得られる再商品化率の合計値が少なくとも法基準を超えなければならないので、その場合のリサイクル負担費用がわかる。
- ② 手解体作業費と累計リサイクル活動損益の差額を見ることで、解体処理で発生する費用収支が見える。
- ③ 累積リサイクル活動損益や再商品化率の折れ線が右上がりを示す工程が価値を生む工程であり、下や横を向く工程はロス工程であるので、右上がりの工程を手解体の前段階に実施できる製品設計やリサイクル設備の導入が費用削減のポイントとなる。

これによって、対象製品がもつ解体分別性上の問題点が視覚的にわかるために、設計段階で改善のために労力を投入すべきターゲットが明らかになるとともに、対策のために投資するコストが解体分別性改善によって得られる収支改善に見合うかどうかとも評価できる。

リサイクル性の評価ツールとして、リサイクル材料の劣化の問題をとりあげ、信頼性工学でいう〇〇%信頼性のもとでの一定のリサイクル率を確保するために必要な手分解工数との関係について検討している⁸。特にプラスチックの使用環境による劣化の程度の違いの及ぼす影響が問題となっている。

(3) 分解時間推定ツール

工業製品の分解性を評価するには製品全体の分解時間把握と設計改良時の分解時間削減効果の推定が重要になる。近藤らの推定ツールは、①製品全体の総分解時間、②締結種類

⁷ 永友秀明、「簡易 DFD 手法による家電製品の開発」EcoDesign2000Japan Symposium p.60-61

⁸ Naohiko Oyasato etl. “Development of Recyclability Evaluation Tool “EcoDesign2001:Second international Symposium on Environmentally conscious Design and Inverse manufacturing p.303-308

別の分解時間、③局所的な条件（ネジの長さ・外径や作業スペース）を考慮した分解時間、の推定が可能である⁹。締結の解除時間は締結の種類に依存し、製品の種類には依存しないことが明らかになっており、実験で得られた各締結方法の平均解除時間を基礎データとして製品ごとの締結種類とその数を基に局所的条件を勘案し、製品の分解時間を推定している。時間推定で問題となる締結法は、永久結合と呼ばれるもので、テープ・粘着材、接着剤、半田付け、溶接、リベットなどで、数だけではなく、結合面積などにも影響されるためである。また、分解作業スペースが一定以下の場合には分解時間が急激にかかることも実験からわかっている。

（４）部品交換のための分解順序の最適化

製品の故障時の部品交換や消耗品の交換のために行われる、目的物を取り出すための分解は選択的分解と呼ばれている。こうした分解を対象とした分解順序を自動生成する方法が提案されている¹⁰。すなわち、部品間の接続状況を示す部品接続グラフ（部品が節点で表され、接続は節点をつなぐ枝で表される）を作成し、それをベースに分解される場合の接続関係の集合（カットセット）を生成する。このカットセットの中で実際に分解可能なものを選択し、エントロピー概念を用いた評価関数によって最適なカットセットを選択するといった方法である。

（５）CAD 統合 DFE ワークベンチソフト

アイルランドでは、CADと一緒にになったDFEソフトが開発されている¹¹。これには、LCAを中心としたIAS（Impact Assessment System）と分解時間を計算するSAM（Structure Assessment Method）、結果についての助言（優先順位や代替材料、工程など）を与えるアドバイザー・エージェント、設計者に対して特定の特性をもった材料などの知識を与える知識エージェントから構成されている。SAMでは、データベースがあり、これを用いて、以下のようなデータを扱い、製品の分解時間などを計算することができる。すでに多くの事例をもっており、煙警報機の例では、分解時間やLCAに関して大幅な改善が報告されている。

① 材料のタイプと種類

⁹ 近藤康雄、出口憲司ら、「分解・リサイクル性評価ツールの開発：分解時間推定法の検討」、EcoDesign2000Japan Symposium p.66-69

¹⁰ 村山長ら、「エントロピーとヒューリスティックによる部品交換のための分解順序の自動生成」、EcoDesign2000Japan Symposium p.74-77

¹¹ Thomas Roche etl. “The development of a CAD integrated DFE workbench Software Tool “EcoDesign2001:Second international Symposium on Environmentally conscious Design and Inverse manufacturing p.223-230

- ② 材料のタイプ毎の密度（質量）
- ③ 材料代替性（接続を考慮しての）
- ④ リサイクル材料比率%
- ⑤ 有害物質%
- ⑥ 接続方法の数と種類
- ⑦ 分解に使用される工具の数と種類
- ⑧ 全体の標準分解時間
- ⑨ 標準部品取り外し時間と手順

(6) ドイツにおけるリサイクル志向設計のための評価ツール

LG production engineering research Center と Institute of Machine Tools and Production Technology で開発されたATROiDソフトウェアは4つのモジュール（入力、評価、分析、改善）から成り立っている¹²。設計者が入力モジュールに以下の製品関連の情報を入力すると工具の最小交換数をもたらす最適な分解順序を選択する。いくつかの部品を製品のエンドオブライフコストを最小とするリサイクルセグメントにグループ化する。これは全ての部品を分解すれば、分解費用がかかるため、最適な分解レベルがあるからである。このセグメントと分解順序が決定すると、「分析モジュール」「評価モジュール」「改善モジュール」を通して、分解時間やエンドオブライフコスト、リサイクルポテンシャルなどの改善提案がアウトプットされる。エンドオブライフコストは分解時間が大きな要素となっている。

<参考資料>

特許庁 分野別特許マップ 平成12年度電気製品のリサイクル技術

特許庁 分野別特許マップ 平成12年度自動車のリサイクル技術

(社)日本電子工業振興協会 情報処理機器の環境設計アセスメントガイドライン(第二版)平成12年9月

特許庁 特許から見た容器包装分野の環境技術の現状と今後の課題 平成12年8月

¹² H.Y.Kang, J.W.Jung and christoph Herrmann “Recycling Oriented Design-A Case Study on House appliances Using the Software ATROiD” EcoDesign2001:Second international Symposium on Environmentally conscious Design and Inverse manufacturing p.309-314

1-3 モジュール設計技術

1-3-1 モジュール化設計技術の定義¹³

モジュールとは、「ある特定の観点からひとまとりに括られる部品群」であると定義されるが、他のモジュールと機能的、構造的に接続するためのインターフェイスを持ち、モジュール同士の接続により製品を実現するものである。モジュール化は製品システムを構築している部品を組み合わせたり、分割したりすることで、モジュール構造を生成するプロセスと定義される¹⁴。こうしたモジュール化を行う手続き技術をモジュール化設計技術という。これには、製品を実現するためのモジュールの組み合わせやモジュール間のインターフェイスの接続等を検討することが重要となる。UlrichとTung（1991）によれば、モジュール化について、「機能要素と物理的構造間に一対一の対応が存在し、モジュール間の意図せざる相互作用が最小限になっていること」と特性を明確にしている。また、製品設計の観点からモジュールを位置づけたものとして、Hansenの表がある。¹⁵

表 1-6 標準的設計

	機械	電子	ソフトウェア	利益
レベル0	設計構造(Design structure)	設計構造(Design structure)	設計構造(Design structure)	Development project
レベル1	Function Diagramme	(Function) Diagramme	Function (Diagramme)	
レベル2	Patrs	Layout-cell	Library (Subroutines)	Purchase
レベル3	Functionality (Organ)	Printed curcuit board	Programme object	Production
レベル4	Module	Module	Module	Assembly

出所 : Poul Kyvsqaas Hansen, Product Structuring

モジュール化設計は一方で、コストダウン、多機能化・柔軟性、環境問題への対応に有効であると考えられるが、他方、モジュールやインターフェイスの保証に拘束され、製品の最適化や製品バリエーションの開発が制約されることも指摘されている。

モジュール化設計を行う際の判断基準は目的によって異なることから一元的に決めることはできない。製品のライフサイクルが閉ループで行われる場合のモジュール化設計は、組立・分解作業のコストダウンが重要な検討事項となるが、他製品への部品の再利用・再

¹³ 青山和浩ら、「製品のライフサイクルを考慮したモジュール化設計支援システムの構築」EcoDesign2000Japan Symposium p.48-51

¹⁴ Tomoyuki Hata et al. “Design of Product Modularity for Life Cycle Management“, EcoDesign 2001: Second international Symposium on Environmentally conscious Design and Inverse manufacturing p.93

¹⁵ Poul Kyvsqaas Hansen, Product Structuring

使用を考えなければならない開ループの場合、モジュールの再利用・再使用性が検討されなければならない。

上記2つのケースにおけるモジュール化設計検討内容は、以下のようになると考えられる。

(1) 製品の閉ループ型のライフサイクルを考慮した検討

① 組立・分解作業量の最小化（組立・分解性の観点）

組立・分解作業が容易な接合の個所、方法を検討する。

② 組立・分解作業頻度の最小化（製品寿命の観点）

同時期の寿命の部品群を1つのモジュールにする。これにより一度のメンテナンスで多数の部品の同時交換が可能になりメンテナンス頻度を抑制することができる。

(2) 製品の開ループ型のライフサイクルを考慮した検討¹⁶

① 再使用・再利用モジュールの増加（製品機能の観点）

モジュールはその機能の価値が高い方が良いので、価値分析によって機能モジュールとしての価値を評価し、より価値の高いモジュールに分けるモジュール案を選定する。

1-3-2 モジュール化支援設計システム

性能や重量等、製品面で望ましい個々のモジュールの組み合わせがインターフェイスを保証できるとは限らないため、製品としての最適化は難しくなる。そのため、製品要素間の関係情報が矛盾なく生成された製品の設計案に対してモジュール化の検討を行える設計システムが構築されれば、インターフェイスを保証したモジュール化が可能となる。

(1) モジュール化設計の方法と評価項目

製品の構成要素をノードとし、構成要素間の関係情報（インターフェイス）をリンクとして表現するグラフ（接続グラフ）を用いることで、モジュール化設計問題は、グラフのカットセットを求める問題に置き換えることができる。すなわち、接続グラフをどのように分割するのが良いのかを検討するアルゴリズムに置き換えることができるのである。設

¹⁶ John K.Gershenson et al., Modular Product Design: A Life-cycle View, Journal of Integrated Design and Process Science, Volume 3, No. 4, 1999 では、開放形になれば、プロダクトライフサイクルの上でのモジュール・アーキテクチャーを考えなければならない。その場合、リユースや再生、リサイクルといった使用済み製品に係わるプロセスという観点から捉える必要があるとし、通常の分析では部品ツリーを使用するが、ここではプロセス・グラフを使用してライフサイクル・プロセスを表現するのが良いとしている。

計者の意図を反映したカットセット（モジュール案）を生成し、最も良い案を選択することになる。この際に使用される評価指標には、①組立・分解性からの評価、②製品寿命からの評価、③製品機能価値からの評価、があり、これらを総合して、最もよいモジュール案が選定される。この後、さらに検討が加えられ、改善の可能性が検討される¹⁷。

モジュール化設計支援において、上記と同様に部品とその間の関係をグラフ化して検討するアプローチであるが、製品ファミリーを検討対象とし、それぞれの生産量を検討に加え、さらにライフサイクルマネジメント（廃品段階での処理、リサイクルに対する材料の特性、物理的寿命、機能的寿命）とライフサイクルオペレーション（モジュールを代えることによるメンテナンスやアップグレード）に関する評価を入れる試みがなされている¹⁸。

（２）アップグレードのためのモジュール化設計

また、アップグレードを対象とした研究も行われており、機能が発揮する性能の変更（将来要求される性能に対する不確実性）に加え¹⁹、機能の追加、削除、交換を行う場合のモジュール化設計の方法が提案されている²⁰。

1-3-3 特許から見たモジュール化設計技術

（１）プリント基板

<メンテナンス>

1. 機能ブロック毎に2つに分割した割基板をもち、これらの割基板をコネクタで接続。不良基板を新しい割基板に交換することで所望の機能を再生。（特開平 6-61621、92年8月、日立製作所）
2. 基板本体と交換予測部とを一体に形成するとともに、これらの間にスリットまたはミシン目を入れることで、交換予測部の交換を可能とする。（特開平 11-40903、97年7月、船井電機）

<リユース>

3. プリント基板上に再利用可能な電気部品を集中配置し、配置領域表示と再利用可能な電気部品であることを示すリサイクル表示を設ける。（特開平 6-260731、93年3月、日立製作所）
4. 再使用可能な電気部品のアドレスは例えば四角で囲み、そうでない部品

¹⁷ 青山和浩ら、「製品のライフサイクルを考慮したモジュール化設計支援システムの構築」EcoDesign2000Japan Symposium p.48-51

¹⁸ Tomoyuki Hata et al. “Design of Product Modularity for Life Cycle Management“, EcoDesign 2001: Second international Symposium on Environmentally conscious Design and Inverse manufacturing p.93-96

¹⁹ Yoshimasa Umemori et al. “Design for Upgradable Products Considering Future Uncertainty“, EcoDesign 2001: Second international Symposium on Environmentally conscious Design and Inverse manufacturing p.87-92

²⁰ 八木宏明ら、「機能追加/削除によるアップグレード設計方法に関する研究」、EcoDesign 2002 Japan Symposium,p.198-201

は囲まない。リサイクルの仕分け作業ミスの低減と効率化を図る。(特開平 10-303523、97 年 4 月、リコー)

(2) エアコンディショナ

<リサイクル>

1. ユニット化されたブラケット部、熱交換器、送風器のそれぞれを車両にとりつけ、そして着脱可能にすることにより、各部品毎に分別リサイクルする。(特開平 11-142084、97 年 11 月、日本電装)

<参考資料>

特許庁 分野別特許マップ 平成 12 年度電気製品のリサイクル技術

特許庁 分野別特許マップ 平成 12 年度自動車のリサイクル技術

(社)日本電子工業振興協会 情報処理機器の環境設計アセスメントガイドライン (第二版) 平成 12 年 9 月

特許庁 特許から見た容器包装分野の環境技術の現状と今後の課題 平成 12 年 8 月

1-4 寿命予測関連技術

1-4-1 寿命予測技術の定義²¹

寿命予測の基本は材料/製品の時間的経過に伴う劣化の進行を知ることである。材料/製品の物理的な性質が物質/製品の一次的、あるいはより高次の構造で決まるとすると、劣化は時間的経過に伴う物質/製品の構造変化として捉えることができる。化学的な反応に基づく構造変化に関しては化学反応速度論による取り扱いが有効であるとされている。このことから、例えば、ひとつの要因による変化であれば、指標となる特性値が半減するまでの時間の対数と絶対温度の逆数が右上がりになるという関係、いわゆるアレニウス (Arrhenius) 式が良く用いられる²²。長時間の寿命予測するために実際よく行われる温度を上げて行う加速試験は、この関係が成り立つことを仮定している。

実際には適切な特性値の選択や劣化が多数の要因に起因するなどの問題があつて、材料/製品の寿命予測は簡単ではない。しかし、その困難をわかった上で材料/製品の寿命予測をしなければならない場合には、観測期間内に得られた特性値の変化傾向を実際には観測できない長時間側へ外挿して寿命を予測することになる。この場合の寿命は特性値がある

²¹ 成澤郁夫、「寿命とは何か」、高分子の寿命予測と長寿命化技術 p4-5 エヌ・ティ・エス 2002

²² アレニウスモデルは特に半導体デバイスの信頼性試験や故障解析に多用されている。これは半導体デバイスが物質の表面の物理的・化学的な変化を利用して作られているからである。すなわち、デバイスにとって有害な物理変化や化学変化が温度との組み合わせで進行し、限界に達すると故障に至るといった反応論が適用できるからである。

限界値に達した時の時間とするのが普通である。限界値は材料が応用されている製品の機能が失われる時の値とされるが、必ずしも製品が破壊や破損するときの限界値が採用されるとは限らない。特に外観を重視する製品では、機能が保持されていても、変色など見苦しいという理由で製品寿命が来たと判断されることもある。予測値を見る場合にどの様な関数を適用するかについては、これといったものがないが、劣化機構がはっきりしている場合には関数を選ぶ際の参考にはなる。劣化機構が明らかでない場合や複数の要因とその劣化機構が相乗的に組合わさっている場合には予測の精度の判断はできない。

寿命予測で破壊までの予測ということになれば、問題が多い。これは、破壊現象が物質構造の不均質性や内部に含まれる欠陥に依存するためである。そのため、確率論的な扱いをせざるを得ない。例えば、疲労寿命では、破壊を限界値としており、寿命推定のための試験結果もばらつきが多い。

1-4-2 寿命予測技術の現状

寿命予測は製品を設計する場合に重要な項目である。材料では樹脂の劣化が問題となり、また、金属や無機材料においても摩耗や腐食が問題となる。これらは、材料毎、あるいは製品毎に使用環境を想定した各種試験を行い、一定の期間、故障あるいは特性値の限界値を超えないことを保証する品質管理が行われている。こうした新しい製品や材料に対する品質管理のための試験、寿命予測はかなり進歩しており、分析解析技術（事故解析技術）として体系化されてきている。

一方、再利用部品や部材、製品に関しては、新製品設計で使用される材料・部品と同一とみなすことができる試験対象がないため、新製品設計の場合の寿命予測とは異ならざるを得ない。再利用の候補部品、部材、製品は各々異なった仕様環境に置かれてきたため、一品一品その特性が異なる。そのため、再利用品の中からサンプルをとって試験することで再利用部品／部材／製品の寿命の予測はできないし、また、個々の再利用品の破壊試験もできない。例えば、中古自動車の寿命を予測するのは難しい。中古車販売業者の値決めに影響を与えているのは、車両年数と走行距離が重要な要素と言われるが、保守の程度や運転の仕方、海の潮風の影響など、重要な部品やユニットの寿命に影響を与える要因が多く存在する。しかし、そういった履歴情報が存在しているわけではないので、情報が確かな車両年数と走行距離、所有者の特性で推測する以外にないのである。さらに、中古品の場合には、新品と違った部品の信頼性特性の集合となるため、新品の設計の際に考えられていた信頼性とは異なる特性を示す可能性もある。

ここでは、まず、製品設計の際に使用される寿命予測方法について高分子材料を中心にまとめ、再利用品の場合に必要な追加的技術について整理する。



一方、物理的变化に関しては、疲労寿命があるが、疲労機構の解明と疲労寿命の予測は極めて重要な研究課題となっている。従来の研究では、試料に加えるひずみ振幅あるいは応力振幅と疲労寿命の関係をプロットし、材料の疲労特性を評価するという S-N 曲線法やクラックの成長速度を測定する破壊力学的な手法が適用されてきたが、高分子材料に特有な高次構造や粘弾特性がほとんど加味されていない。そのため、非線形動的粘弾性の発現機構と疲労の挙動に関して研究が進められている。クリープ寿命に関しては、線型粘弾性体で、熱レオロジカルに単純な物質では十分に研究されているが、それ以外はクリープ挙動を説明するのは、困難な状態にある。現在、材料に熱、光、機械的および電氣的ストレスを加えた時に発生する微弱発光の解析に関する研究が進められており、材料の安定性評価手法となる可能性が指摘されている。

<高分子材料の故障（劣化）解析技術の例>

- ① 組成分析
カーボンブラック量の測定
- ② カーボンブラック（CB）の定性分析
カーボンブラックの種類の間定
- ③ TG法（熱天秤）
酸化開始温度と分解開始温度付近の挙動（一部の物質にしか対応できない）
- ④ DSC（示差走査熱量測定）法での劣化の定量方法
酸化開始温度と加硫状態の分析
- ⑤ NMR（核磁気共鳴法）と ESR（電子スピン共鳴法）
劣化による構造変化を把握
- ⑥ 化学的劣化試験法
耐薬品性および耐溶剤性試験、吸水性・耐水性試験、熱劣化（長期耐熱性）試験
- ⑦ 機械的劣化試験法
引張試験、圧縮試験、曲げ試験、剪断試験、衝撃試験、クリープ試験、応力緩和試験、動的粘弾性試験、疲労試験
- ⑧ 物理的劣化試験法
電氣的劣化試験、分子量測定試験、ゲル化率測定試験
- ⑨ 耐熱性評価・熱分析
- ⑩ 耐微生物試験法
かび抵抗性試験
- ⑪ 複合的試験法
大気暴露試験（耐候性）、促進耐候（光）性試験、オゾン劣化試験、熱老化試験

(2) 予測困難な寿命

予測困難とはある現象が起こる背景との因果関係が理論的に複雑過ぎて簡単な理論的關係式では表現しきれないことを言う。プラスチック材料の劣化や寿命も実用段階では試験片の形状、雰囲気、温度、光の強度と波長、水分などいろいろな因子が絡み合って決定されるものである。これらの因子の影響を正確な式で表現することは極めて難しいし、また、このような方法で予測しようとする膨大な実験が必要となる。こうした多くの因子が絡まり合って起こる事象に関しては、統計学を適用することが妥当である。特に、こうしたものに適用できるものとしては、多変量解析法がある。ここでは、現象的な傾向を知ることが重要であって、劣化機構を知ることが第一の目的ではない。従って、目的変数と説明変数を結びつける基本式は、より適切な関係が得られそうなものであればよい。

(3) 信頼性工学による寿命推定

耐用期間、耐用寿命とは、故障率が一定値以下の期間と定義されるので、故障率の推定が重要になる。故障率の時間変化は破損や故障の時間分布から統計的に推定することになる。一般に寿命分布の関数としてワイブル分布が用いられるが、これは分布の数式表現が簡単なためであり、実際のものがワイブル分布かどうか分からない。この場合、何を測定値としてとるかが問題である。破壊強度、伸び、クリープや疲労における破壊時間でもよいし、また、ある環境下での残存強度や半減までの時間をとることも考えられる。これらは、構造敏感的な特性であり、ばらつきが大きいことが知られている²³。

(4) 履歴情報の収集

中古品に関しての寿命予測を行うためには、中古品が使用されてきた使用環境、使用状態についての情報が必要である。そのために履歴情報を使用中に自動的に収集・記録しておく技術が不可欠である。従来は、リース物件の保守・修理履歴や自動車における整備記録、走行距離メーター、車検証などがある。しかし、近年の情報通信技術の発達によって、容易に情報を収集することが可能となっている。しかしながら、寿命予測に必要な特性値をきちんと同定し、それについての情報を集めることが必要である。

1-4-3 個別寿命予測技術の現状と開発課題

(1) 履歴情報表示・記憶

- ・ 再利用を予定している部材の記録部に回折格子を利用して履歴情報を記録するこ

²³ 材料強度は実験条件や試験片の材質のばらつきによるものではなく、破壊が微視的な欠陥に極めて敏感であり、また、これらの欠陥は材料中に無数に含まれていて、その中の最も大きな欠陥が致命的になるとすれば、これらの欠陥の大きさの分布の中で最大のものを推定することで強度のばらつきを推定できることになる。統計的にはこの問題は極値理論で扱うことができ、その一つがワイブル分布である。

とによって、狭い領域に基板の汚れや欠損にも影響されにくい履歴情報表示が得られる。(特開平 7-29174、93 年 7 月、キャノン)

- ・ プリント板の表面あるいは裏面に表示したバーコードに、基板への通電時間と分解方法、鉛などの重金属の絶対量、基板の構造などを表示する。(特開平 7-326834、94 年 6 月、日立製作所)
- ・ 機器部品に製品履歴情報収集手段を具備し、経時変化する製品履歴情報を随時格納する。(特開 2000-163467、98 年 11 月、ソニー)
- ・ CPU と不揮発性の記憶手段 EEPROM を有するプリント板を少なくとも 1 枚含むプリント板において、不揮発性の記憶手段に寿命部品の情報を格納した。この情報を読み出すことで、プリント板をリサイクルするために交換が必要な部品の情報が得られ、寿命が不足する部品のみ交換するだけでリサイクルができる。(特開 2000-031630、98 年 7 月、リコー)
- ・ 廃棄物の製造年月日やその廃棄物の使用実績(通電時間、オン・オフ回数、使用環境条件、保守や修理などの実績)を製品の来歴情報として個々の製品に持たせ、その来歴情報も加味してリサイクル処理方法を決める。

(2) 寿命予測技術(耐久性判定技術)

1) 現物の測定値から判定する方法

- ・ 廃棄製品から分解された部品に対し、再利用に適した条件を満たすかどうかを形状認識装置および材料認識装置に、再利用すべき部品の形状、大きさ、重量、構成成分などのデータを入力しておき、例えば、変形度、変質度から判定する。(特開平 6-165977、92 年 11 月、日立製作所)

2) 現物と同じ使用環境にあるサンプルを分析して判定する方法

- ・ テストピースを内蔵させておき、これの強度測定、光学測定などを行って寿命判定する。(特開 2000-153262、98 年 11 月、シャープ)
- ・ エアバッグ用インフレーターにおいてそのガス発生器の下部に自動発火剤である火薬がはいった副室を設け、廃車前にこの火薬の劣化を確認し、再使用する。(特開平 11-34788、97 年 7 月、トヨタ自動車)

3) 部品の使用環境などに関する履歴データから判断する方法

富士ゼロックスでは、具体的な余寿命予測を軸流ファンで次のように行っている²⁴。コピー機内の温度上昇を防止する軸流ファンを構成する部品の中で、コピー機の使用範囲での劣化・摩耗部品は、ベアリングとプリント基板上の電解アルミコンデンサである。また、

²⁴ 渡辺富夫、塚本次夫、「資源循環型システムにおける技術・設計事例」、EcoDesign 2000 Japan Symposium p.43

メーカーの耐久テストの結果では、軸流ファンの寿命を決めているのは、ベアリングだけである。ベアリング荷重は軽負荷であるので、ベアリングに封入されているグリースの寿命で軸流ファンの寿命が決まると言える。市場からの回収商品から取り外した軸流ファンの残存グリース量を設置期間（月）との関係でプロットすると、ベアリング内のグリース残存量は設置期間に比例し、少しずつ減少していることがわかる。この回帰式を求めて寿命の推定を行うと、信頼水準90%で2.7倍のライフ保証が可能と判断でき、もう一度（ワンモアライフ）使用することができることがわかる。しかしながら、トナーなどの異物侵入により設置期間に関係なく劣化することもあるので、音による計測（Acoustic Emission計測）法で異常を検出し、最終的な選別を行っている。

- ・ 製品が受けた劣化原因となるストレスを製品自体に持たせたメモリに蓄積し、その内容から再利用可能性を判定する。（特開平 7-130295、93年5月、ソニー・ドイツエランド）（特開平 7-306239、94年5月、日立製作所）
- ・ 電源装置を構成する部品（例えば電界コンデンサ）の寿命を、その稼働時間、環境温度、自己熱損失などから判定する。これを操作表示部に表示する。（特開平 8-251910、95年3月、キャノン）
- ・ 統計的な耐用寿命や技術的な情報などを基に、各部品の余寿命を予測し、耐用寿命を求めて、リサイクル可能な部品を選別する。（特開平 10-034122、96年7月、富士ゼロックス）

4) シミュレーションによる寿命予測

① タイヤの寿命予測

タイヤの寿命予測に関しては、実験的に求めたゴムの引き裂きエネルギーと亀裂成長速度との関係および計測したクラック長からタイヤのトレッドの溝底に発生するクラックの成長を実測と比較した事例、J積分によって求めたエネルギー開放率を用いてビード部の耐久性を破壊力学に基づき解析した事例、有限要素法で予測した走行時のひずみ・応力を2軸疲労試験の入力として用いてゴムの引き裂きエネルギーと亀裂成長速度との関係を求め、市場と近いオーダーで寿命を予測出来た事例、などが報告されている。しかし、タイヤ寿命予測に関する報告事例はすくなく実用的なタイヤの寿命予測技術はまだ確立していない。以下には、ブリジストンにおけるコンピュータによる寿命予測方法について述べる。

タイヤの寿命予測のフローチャートは図 1-10 のごとくである。現在、亀裂進展則、疲労・劣化による材料定数の変化の部分が確立されていないため、定量的に寿命を予測するレベルにはない。実際的なアプローチとしては、タイヤ各部における発熱・温度上昇と各種の負荷状態におけるひずみ分布を組み合わせることでタイヤの疲労と破壊を理解し、タイヤの寿命を延ばす設計手法を探索する方法がとられ



現状の疲労度評価手段としてはX線回析法が広く使われている。内部起点型剥離の場合には最大剪断応力が作用する深さにおけるX線パラメータが疲労度と最も良い対応を示すことが報告されているが、このためには電解研磨で転走面を破壊することが必要となる。これでは、軸受けを継続使用したい場合には使えないことになる。そこで、非破壊での疲労度解析技術の開発を行った。その結果、X線パラメータ（残留応力、半価幅、残留オーステナイト量）のうち、半価幅が最も疲労度と相関が高かったため、半価幅を疲労度解析の評価パラメータとしてとりあげた。しかし、この方法は表面硬化処理軸受けではX線回析法の適用が困難であることがわかり、別の方法を開発する必要がでてきた。

新たな方法として、内部疲労情報を得るために表面SH波法を適用した²⁷。この結果、転がり疲労の進行に伴って、表面SH波の伝播速度が遅くなることが確認され、この関係を用いて、円筒ころ軸受侵炭の疲労度解析線図を構築している。

No.161,2002, p26-31

²⁷ 小熊規泰、三上剛「軸受の残存疲労寿命予測 第2報：表面SH波の適用」Koyo engineering Journal No.162,2002, p38-42

インバース・マニュファクチャリング
フォーラム調査研究報告書

発行年月 平成15年3月
発行者 財団法人 製造科学技術センター
〒105-0002 東京都港区愛宕1-2-2
第九森ビル
電話03-5472-2561

本報告書の内容を公表する際は、あらかじめ
発行者の許可を受けて下さい。

