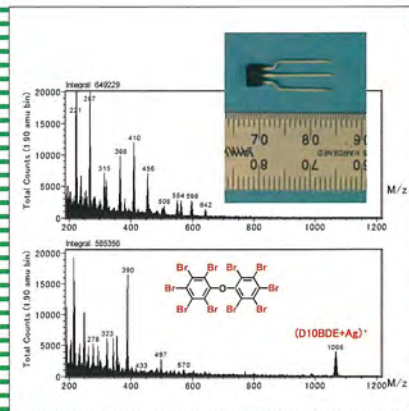
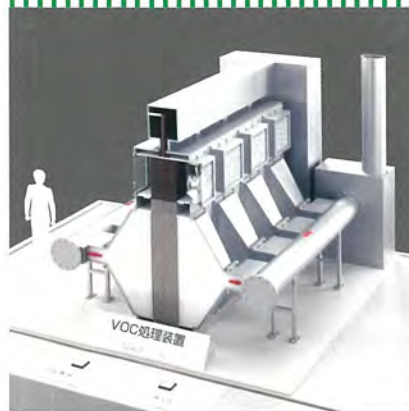
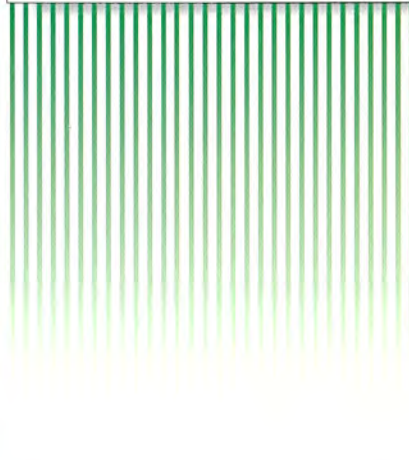
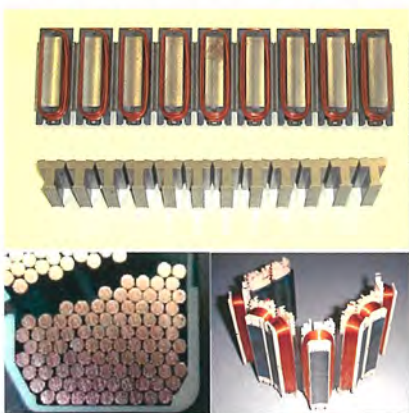
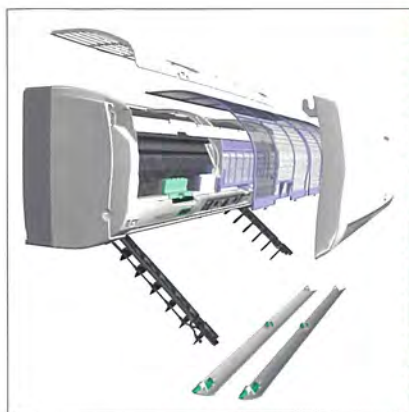


# MITSUBISHI

## 三菱電機技報 Vol.79 No.5

# 2005 5

### 特集「環境技術—持続可能な社会へのチャレンジ」



目次

特集「環境技術—持続可能な社会へのチャレンジ」

環境適合型経営 ..... 1  
松村恒男

“持続可能な社会”へのチャレンジ ..... 2  
吉田敬史

グリーン調達取り組み ..... 7  
池邨善満・河嶋康夫・深沢茂樹

簡易DFDツール ..... 11  
藤崎克己・高橋徹也・坪井伸之

ルームエアコンの環境適合型設計の事例紹介 ..... 15  
田造義浩

プラスチックの自己循環リサイクル技術 ..... 19  
高木 司・岩田修一・井関康人・松尾雄一・長谷部雄一

持続可能な社会の実現を目指した指標  
“ファクターX”の評価手法とその適用事例 ..... 23  
高橋徹也・上野 潔・杉山陽一

LCAによるパワーモジュールの環境負荷評価 ..... 27  
廣瀬悦子・山田直志・福永匡則・吉田貴信

ポキポキモータによる省エネルギー・省資源 ..... 31  
秋田裕之

リアルタイム計測・管理システム活用事例  
—エネルギーロスの見える化・解る化— ..... 35  
鶴岡達生・柴田輝幸・小野三喜男

鉛フリーはんだ付への取り組み ..... 39  
村上光平・山口展弘・出田吾朗・村井淳一・東野義喜

“エコ・ロジス”活動の推進 ..... 43  
飯島康司

環境適合包装技術 ..... 47  
前沢英一

環境とIT ..... 51  
東 辰輔・平岡精一・時盛孝一・高田雄二

下水汚泥からのエネルギー・りん同時回収システム ..... 55  
神谷俊行・古川誠司・廣辻淳二

低濃度VOC処理技術 ..... 59  
葛本昌樹・太田幸治・廣辻淳二・中谷 元

RoHS指令対応短時間分析技術  
—一滴抽出法による臭素系難燃剤、六価クロムの分析— ..... 63  
黒川博志・中 慈朗・平野則子

三菱電機のエネルギーソリューションビジネス展開 ..... 67  
太田完治・森 健志・瀬川剛志・古田克哉

Environmental Technology —Challenges toward a Sustainable Society

Environmental Conscious Management  
*Tsuneo Matsumura*

Challenges toward a Sustainable Society  
*Takashi Yoshida*

The Activity of Green Procurement  
*Yoshimitsu Ikemura, Yasuo Kawashima, Shigeki Fukasawa*

Simple DFD Tool  
*Katsumi Fujisaki, Tetsuya Takahashi, Nobuyuki Tsuboi*

A Case Study of Room Air Conditioner, DFD (Design for Disassembly)  
*Yoshihiro Tanabe*

Material Recycling Technologies for Closed-Loop Recycle System of Plastics  
*Tsukasa Takagi, Syuichi Iwata, Yasuto Iseki, Yuichi Matsuo, Yuichi Hasebe*

Evaluation Method and Case Study for “Factor X”  
— an Unique Indicator Aiming at Realizing the Sustainable Society  
*Tetsuya Takahashi, Kiyoshi Ueno, Yoichi Sugiyama*

Environmental Assessment of Power Modules Based on LCA  
*Etsuko Hirose, Naoshi Yamada, Masanori Fukunaga, Takanobu Yoshida*

Energy and Resource Saving by Poki—Poki Motor  
*Hiroyuki Akita*

Application of Real-Time Measurement and Management System  
—Visualization and Grasping of Energy Loss—  
*Tatsuo Tsuruoka, Teruyuki Shibata, Mikio Ono*

Production Innovation for Pb-Free Soldering  
*Kohei Murakami, Nobuhiro Yamaguchi, Goro Izuta, Junichi Murai, Yoshiki Higashino*

“Economy & Ecology Logistics” Activity Promotion  
*Yasuji Iijima*

Environmental Conscious Package Design  
*Eiichi Maezawa*

Environment and Information Technology  
*Shinsuke Azuma, Seiichi Hiraoka, Koichi Tokimori, Yuuji Takata*

Simultaneous Recovery of Energy & Phosphorus from Sewage Sludge  
*Toshiyuki Kamiya, Seiji Furukawa, Junji Hirotsuji*

Abatement Technology for Low Concentration Volatile Organic Compounds  
*Masaki Kuzumoto, Koji Ohta, Junji Hirotsuji, Hajime Nakatani*

Rapid Analytical Method for RoHS Directive Analysis of Brominated Flame Retardants and Hexavalent Chromium by One Droplet Extraction Method  
*Hiroshi Kurokawa, Zirou Naka, Noriko Hirano*

Development of Solution Business for Energy of Mitsubishi Electric Corporation  
*Kanji Ota, Takeshi Mori, Takeshi Egawa, Katsuya Furuta*

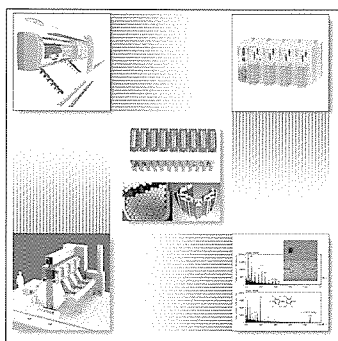
特許と新案

「オゾン発生装置およびオゾン発生方法」  
「オキシデーションディッチ型水処理装置の  
制御方法及び制御装置」 ..... 71

「発泡スチロール粉砕片含有成形体及び  
その成形体の製造方法」 ..... 72

スポットライト

“ユニ&エコ”を支えるハイパーサイクルテクノロジー



表紙

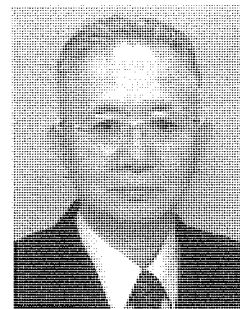
三菱電機グループの環境技術例

ライフサイクル全体を通じて省エネルギーと解体容易性・リサイクル性等に配慮した家庭用エアコン(左上), 工場のエネルギーロスを可視化して無駄を省くリアルタイム・エネルギー計測・管理システムの中核機器“エコモナ”(右上), 展開した鉄心に巻き線してから丸めることでコイルの高密度化と効率向上・小型化を実現する“ポキポキモータ”(中央), 低濃度VOC(揮発性有機化合物)の高効率分解処理装置(左下), RoHS指令対象の臭素系難燃剤と六価クロムを1時間以内で分析する“一滴抽出法”の結果例(右下)を示す。



## 環境適合型経営

Environmental Conscious Management



松村恒男

Tsuneo Matsumura

我が国の最近の誇りは、環境マネジメントシステムの認証登録数がナンバーワン、しかも後続を大きく引き離していることである。なりふり構わず増産をした公害時代を官民ともに忘れず、都合の良いことにTQM(Total Quality Management)を取り入れた企業が多かったから、この結果につながったのだろう。

環境マネジメントシステムの国際規格は、2004年末に改訂されて、移行審査が登録企業の今年の関心事である。旧版に比べて、法的その他の要求事項を遵守、適用範囲のすべての環境側面を考慮、環境側面への間接的な管理・対応の徹底、品質マネジメントシステムとの両立性という特徴がある。追加の要求はないといいながら、実質的には強化・拡大した。

認証登録制度が始まった1996年からしばらくは電気・電子関係企業の登録割合が高かったが、今では、サービス産業が3割に達し、電気・電子は約1割へと比率を下げている。あらゆる組織へ適用できると規格が謳(うた)うように、製造業集中から脱却し、我が国では望ましい発展を遂げている。しかし、サービス産業の取り組みは紙・ごみ・電気削減だけかとの批判もあり、審査機関も側面分析の適否をよくチェックしなければならない。

環境適合型製品の発展を振り返ってみると、1990年代初期から、電気・電子関係の多くの企業は“製品アセスメント”に取り組んでいる。製品の廃棄段階を考えて、分解時間短縮、使用材料の種類削減、プラスチック部品への材質表示、有害物削減、破碎の容易化という“リサイクル容易な設計”を、それは意味した。その後、省エネルギー製品、始末しやすい梱包(こんぼう)材料が消費者や販売店にも喜ばれるとの項目が加わった。今では、資源の採掘から製品が使用済みになった後のリサイクルまでを含むライフサイクルのシナリオを作り、アセスメントの方向へと発展して

いる。

消費財に省エネマーク、エコマーク等のラベリングが行われ、自主宣言も活発になった。ライフサイクルアセスメントの結果も徐々に出回ってきた。これらの環境適合型製品は、従来製品と比較してどこが違うのだろうか。環境負荷の低減度合いを評価するファクターXという指標も、三菱電機を始め、幾つかの企業が採用している。企業は消費者に様々な環境配慮を訴えているので、安いから買う大量消費時代を過去として、購入者も自己の“モノサシ”で比較検討が必要である。産業機器にもライフサイクルアセスメントの適用事例が増え、機器の購入時には廃棄までのライフサイクルコストが考慮される。

環境適合は、経営上、特に有効である。設計段階に行えば、材料の節約や材質の絞り込みが原材料費の削減となり、製造段階の廃棄物分別が売却益を生み、廃棄物の処理委託料を減らす。また、省エネルギーは使用者の経費を下げ、商品力になる。部品の標準化や修理技能向上は消費者の長期使用を促し、サービスコストを下げ、ブランドイメージを上げる。このような製品や技術を生み出す周辺には、グリーン購入、製造時のゼロエミッション活動、環境監査等がある。新しい環境適合技術の開発が新事業も創出する。環境適合は利益につながるわけである。

時代は、資源枯渇や廃棄物対策だけでなく、環境影響物質の使用制限、製品使用後の処理・処分になんらかの関与をする拡大生産者責任を要求している。地球における様々な限界から発生した環境問題は、常に新しい局面を我々に突き付け、新しい評価手法や行動を要求して、技術によるブレークスルー又は製品でのイノベーションがますます重要になる。三菱電機には、環境、経済及び社会を含め、Changes for the Betterのスローガンどおりこたえてほしいと願っている。



吉田敬史\*

# “持続可能な社会”へのチャレンジ

Challenges toward a Sustainable Society

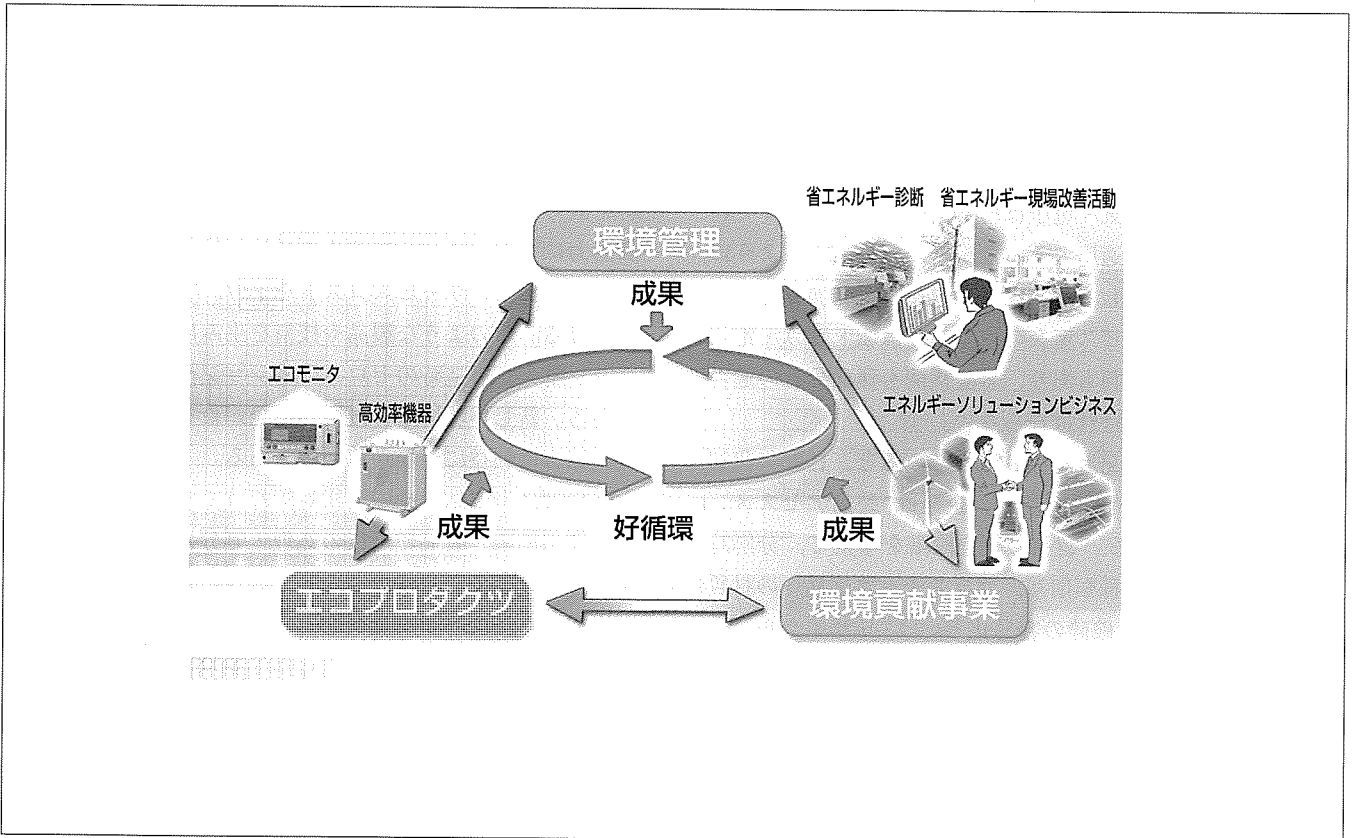
Takashi Yoshida

## 要 旨

“環境経営”という言葉が社会的な認知を得てきている。この言葉には、環境・資源制約をネガティブにとらえるのではなく、それに積極的に対応する経営が企業価値と競争力を高めるという概念が込められている。技術に立脚するメーカーである三菱電機の環境経営は、製品の製造プロセスで環境保全に配慮するだけでなく、事業や製品そのものを通じて環境保全に寄与する必要がある。企業活動の中で社会の環境保全ルールを順守する“環境管理”は、社会的責任を果たすための“守り”の活動として最重要である。ここで守りを受身でとらえるのではなく、自社の持てる技術と製品を最大限活用して優れた守り(環境管理)を実現し、その知識や経験・技術を顧客に提供することで事業を拡大す

るという“攻め”の視点を持つことが肝要である。一流の守りは一流の攻めに転化する。環境保全の守りと攻めのシナジーを形成し好循環を生み出していくことが当社グループの環境経営の基本戦略である。こうした考え方の具体化の一環として、京都議定書で定められたCO<sub>2</sub>排出削減目標の達成を目指した社内の省エネルギー活動に自社の省エネルギー関連製品や技術を計画的に適用し、その適用経験を省エネルギー事業に活用する取り組みを製造部門と営業部門が連携して進めている。

本稿では、こうした認識に立脚した当社グループの環境経営の全体像と代表的な成果について述べる。



## 環境経営—“守り”と“攻め”の好循環の形成

“環境管理”は、環境経営の中で“守り”の根幹である。メーカーとしては環境に配慮した製品“エコプロダクツ”や環境貢献事業を通じて社会に貢献することが求められている。これらの活動全体が環境経営であり、その中では“守り(環境管理)”と“攻め(エコプロダクツと環境貢献事業)”が相互に連携して好循環を生み出すという視点が重要である。社内の省エネルギー活動と省エネルギー事業の連携は好循環形成の一例である。

## 1. ま え が き

環境問題への本格的な取り組みがスタートして約15年が経過したが、この間の環境に関する取り組みの進化は“環境”という価値観が“経営”の中に内部化されていくプロセスであった。15年前、専門部署だけの仕事のように受け取られていた環境対応は、今やあらゆる事業活動の側面に浸透し、社内の多くの部門が連携して対応する場面も増えている。企業の環境対応が本物といえるためには、経営への内部化が不可欠という認識に立てば、“環境経営”という言葉も時宜を得たものと思われる。当社グループの環境経営は、すべての製品や事業プロセスにおいて、M(資源)、E(エネルギー)、T(環境リスク物質)を考慮することをベースにしている。そして、MET(メット)の改善成果を総合的に評価する指標として“ファクターX”を開発し、広範な製品に適用している。2003年度から3か年計画で推進中の“第4次環境計画”では、当社の幅広い事業領域ごとに環境貢献製品やエコプロダクツの積極的な創出を目指している。技術力に立脚した電機メーカーとして、事業や製品によって持続可能な社会創(づくり)に貢献していくことが当社グループの環境経営の中心テーマである。

## 2. 環境経営の発展

環境経営という用語がいつの間にかマスコミなどで当たり前のように使われるようになってきている。この言葉がいつごろ登場したのか定かではないが、1997年後半には確かに使われている。1996年9月に発行されたISO14001“Environmental Management System”をJIS化するに当たって、当初タイトルは“環境管理システム”になると予想されていたが、JIS化委員会の審議で“management”は“管理”という訳語では正しく表現できないとの認識が勝り、結局“環境マネジメントシステム”とカタカナ表記になった。マネジメントの訳として“経営”という用語も当然候補に挙がったが、当時は“環境経営”という表現に違和感があって採用されなかった。それでも次第に“環境マネジメント”という言葉が“環境経営”と表記される例が増え、環境担当者の“経営”への憧(あこが)れのような心理もあっていつの間にか環境経営が環境マネジメントより一歩進んだ概念のごとく受け取られ普及してきたものと思われる。それでも、今もって環境経営という用語に明確な定義があるわけではなく、“地球の資源・環境制約と両立する企業経営”といったやや厳格なものから、“環境に配慮した経営”といった緩やかな概念まで、その受け取り方は様々であろう。いずれにせよ、環境と経営が一体化した環境経営という言葉の普及は、失われた10年と呼ばれる1990年代に産業界の中で環境の占める位置だけは大きな変化と発展を遂げたことを物語っている。1991年、経団連の地球環境憲章が発表され、当

社を含め多くの企業で環境問題を担当する専任部署が発足した。1992年、当時の通産省は主要企業に対して「環境に関するボランタリープラン」の策定を要請した。これを受けて、当社を含め日本電機工業会所属の大手6社が、1993年3月に共同記者会見を催しそれぞれの計画を公表した。こうして官の要請にこたえるような形で出発した我が国企業の環境経営は、その後、予想を超えて自主的な取り組みが拡大し、新たな活動—環境マネジメントシステム、環境レポート、環境会計、DFE(Design For Environment)、LCA(Life Cycle Assessment)、グリーン調達等々—が次々と登場し発展してきている。“環境基本理念”とか“環境行動指針”といったポリシーステートメントも当初はその他の企業ポリシーとは別個に表明されるものであったが、最近では、全体の企業行動指針の中に環境が位置付けられる形に進化してきており、こうした点でも環境経営が正に全体経営に内部化される流れが顕著になっている。当社でも2000年に15年ぶりに企業理念や行動指針の改訂を行ったが、表1のように、環境は当社グループのコアバリューとして明記された。こうして環境経営の発展経緯を振り返って見ると、それは環境という価値観の経営への内部化、業務への浸透、そして企業活動のあらゆる場面での取り組みの必要性に対応した組織間連携の拡大のプロセスであったということが出来る。こうした認識の下で、以下当社グループの現在の環境経営と今後の取り組みの方向性について概要を述べる。

## 3. 三菱電機グループの環境経営の全体像

当社グループの現在の環境経営の枠組みを図1に示す。課題を整理するため、当社では、特に注力すべきアイテムをM(Material:資源)、E(Energy:エネルギー)、T(Toxicity:環境リスク物質)の3つのカテゴリーとし、生産活動(エコファクトリ)、物流(エコロジス)、製品(エコプロダクツ)において“MET(メット)を考えよう”というスローガンで社内展開している。例えば、生産活動における

表1. 三菱電機の企業理念・企業行動指針等(2000年策定)

企業理念	三菱電機グループは、技術、サービス、創造力の向上を図り、活力とゆとりある社会の実現に貢献する。
行動指針	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 信頼</li> <li>2. 品質</li> <li>3. 技術</li> <li>4. 貢献</li> <li>5. 遵法</li> <li>6. 環境</li> <li>7. 発展</li> </ol> <p>自然を尊び、環境の保全と向上に努める。</p> <p>循環型社会の形成を目指し、資源の再利用を始め、あらゆる事業活動において、いつも環境への配慮を忘れずに仕事を進める。</p>
企業倫理・遵法宣言	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 法の遵守</li> <li>2. 人権の尊重</li> <li>3. 社会への貢献</li> <li>4. 環境問題への取り組み</li> <li>5. 企業人としての自覚</li> </ol>

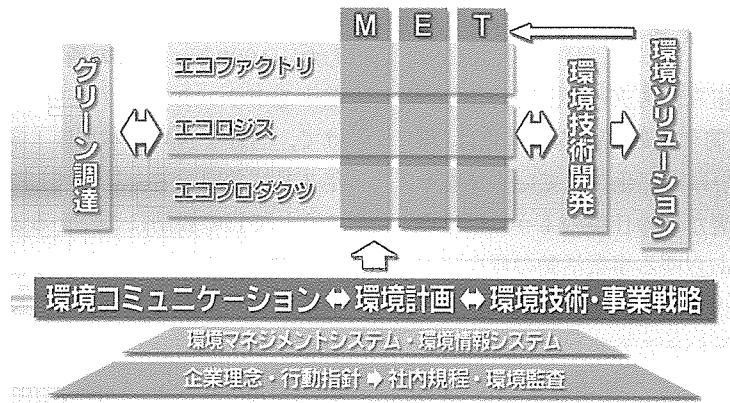


図1. 三菱電機グループの環境経営の枠組み

“M”はゼロエミッション，製品の“E”は製品省エネルギーという活動に相当している。こうした活動を支える基盤が環境マネジメントシステムや環境情報システムなどのインフラであり，社内規程“社規”や環境監査などのルールやチェック機能である。詳細は，当社の環境・社会報告書やWebサイトを参照していただきたい。METの取り組みの成果を評価するには，図2に示す“ファクタX”による評価を進めている。ファクタXの基本は，評価対象（製品やプロセスから経営全体まで何でも可）の基準年のMETそれぞれの測定値（METそれぞれの個別指標は対象に応じて適切なものを選択）を三次元ベクトルとして合成したものに対して，改善後のMETに対応したベクトルの短縮度で総合的な改善度を表現するものである。こうすれば，METという夫々異なる次元の指標に“重み”の係数を掛けて合算するなどといった主観的な操作を排除できる。MET改善の全体目標が達成されない限り良いファクタ値は得られないので，厳しい指標になる。ファクタXは，製品のみならず，生産プロセスにも適用できるし，また，METのそれぞれの測定スコープを拡大すれば，そのままLCA的にも評価できるなど柔軟性・応用性が高い評価手法である。従来は環境負荷の改善についてだけ着目して評価していたが，技術進歩によって基準年の比較対照製品と比べて著しい性能向上があった場合には，性能向上による改善効果を加味することができるように昨年度から“性能ファクタ”を導入している（詳細は特集論文「持続可能な社会の実現を目指した指標“ファクタX”の評価手法とその適用事例」参照）。当社グループでは，家電製品のみならず産業用製品にもファクタX評価を適用し，評価結果を環境・社会報告書やWebサイトで継続的に公開している。環境レポートについては1998年度から発行しているが，2003年度からは環境・社会報告書としてコーポレートガバナンスやコンプライアンス，人事施策，社会貢献などの取り組みについての報告も含めることとし，その編集に当たっては環境部門だけでなく，経営企画部門，総務・人事部門，広報・宣伝部門，経理部門などコーポレートスタッフが幅広く参画している。また，

	基準製品の環境負荷	評価製品の環境負荷	備考
M (資源の有効利用)	1	0.85	資源(資源消費量)15%削減
E (エネルギーの効率利用)	1	0.46	消費電力54%削減
T (環境リスク物質排出回避)	1	0.54	オゾン層破壊物質使用量0 鉛はんだ使用量50%削減

$I_{\text{M}}$  基準製品の環境負荷 =  $\sqrt{3}$   
 $I_{\text{E}}$  評価製品の環境負荷 =  $\sqrt{0.85^2 + 0.46^2 + 0.54^2}$   
 環境負荷ファクタ = 新製品の環境効率 / 従来製品の環境効率  
 $= (I_{\text{M}}) / (I_{\text{E}})$   
 $= 1.56$

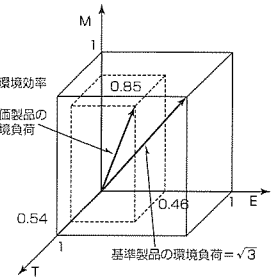


図2. ファクタXによる評価の概要

2004年3月，総合電機メーカーとしては初めて本社・支社一括してISO14001の認証を取得した。オフィスにおける認証取得では“紙・ゴミ・電気”だけの目標設定が多いと言われているが，当社では，各部門ごとにいわゆる本業での目標設定を義務付けており，環境課題の経営への内部化，業務浸透を強く意識した取り組みを進めている。

#### 4. “守り”と“攻め”のシナジー戦略

環境に関する規制や社会的責任の強化・拡大は社会全体のニーズであり，こうしたニーズにいち早くこたえることが企業競争力の源泉となる。環境ニーズにいち早く対応して知識や技術を蓄積すれば，それはそのまま顧客の問題解決に貢献するソリューション事業の基盤となる。METの性能に優れたエコプロダクツは，まず自社グループ内に導入することで，三菱電機グループの環境パフォーマンス改善に寄与する。社内の環境対策として確立したノウハウをビジネスにフィードバックする，また，ビジネスのために開発した技術を社内対策に活用するというシナジー効果をいかに拡大するかがメーカーにおける環境への取り組みの在り方だと考えている。こうした考え方を当社グループの環境経営の基本戦略と認識し，本稿要旨のイメージ図に示すような守り（環境管理）と攻め（エコプロダクツ及び環境貢献事業）のシナジー戦略を確立して2004年度から推進中である。この戦略を具体化した最初の計画として2004年4

月に“CO<sub>2</sub>削減アクションプラン”を策定した。これは当社の環境計画の中で掲げている“2010年度のCO<sub>2</sub>排出量売上高原単位を1990年度比で25%削減する”という目標を達成するシナリオを定めたものである。この計画の内容については特集論文「三菱電機のエネルギーソリューションビジネス展開」で詳しく紹介するが、ポイントは目標達成に向けて自社の製品である計測機器や高効率機器を事業部門が関与する形で自社工場に計画的に導入し、導入計画立案から設備投資の認許、そして実際の改善目標の達成に至る過程をノウハウとして事業部門が体系的に蓄積していくことで顧客へのソリューション提案能力の向上を図ることである。工場側も省エネルギー目標の達成に向けての活動が加速し、双方にとってウイン-ウインを目指すことでシナジー効果を形成するものである。こうした活動をきっかけとして環境対策を受身で実施するだけでなく、積極的に事業チャンスととらえる姿勢が現れてきており、例えば大気汚染防止法の改正で揮発性化合物(VOC)の排出規制が強化される動向に対して、当社が得意とするプラズマ技術によってVOCを分解する装置の実用化開発を進めているところである(詳細は特集論文「低濃度VOC処理技術」参照)。

### 5. 競争力あるエコプロダクツの創出に向けて

守りと攻めのシナジー戦略を推進していくためには、環境性能の優れたエコプロダクツのラインアップを充実させていくことが不可欠である。METの各領域での最近の成果には次のようなものがある。まず、M(資源)の領域ではリサイクル性の向上がエコプロダクツの不可欠事項である。当社の2003年度家電リサイクル再商品化率は、全国のリサイクル工場における家電4品目の平均値で73.3%である。資源別では、金属やガラスの再資源化は進んでいるが、プラスチックの再資源化が課題である。こうした背景の下で、当社は、図3に示すように、家電製品から家電製品への“水平型自己循環”を目指した独自の混合プラスチック選別回収技術を開発した。従来は使用済み家電製品の破碎処理された混合プラスチックは再利用が困難であったが、この

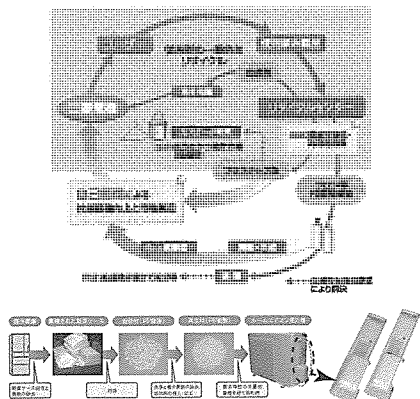


図3. 三菱電機が提案する“自己循環”のコンセプト

技術を使うと混合プラスチックからポリプロピレンを自動選別・高純度回収し、家電製品に再利用することができる(詳細は特集論文「プラスチックの自己循環リサイクル技術」参照)。

E(エネルギー)の領域では、すべての製品でエネルギー効率の向上を徹底的に進める必要がある。当社は、パワー半導体など多くの製品の省エネルギー性能向上の基幹部品を持っているが、当社が独自に開発したポキポキモータも製品省エネルギーの基幹部品である。モータは現代の豊かな生活や産業を支える基本的なコンポーネントであり、小さなディスクの駆動装置から洗濯機、エアコンなどの家庭電器、そしてエレベーターや電車の駆動装置など、我が国の電力消費の約半分がモータの駆動に使われている。モータ効率を1%向上すれば年間180万トンのCO<sub>2</sub>の排出が抑制できる。当社は、独特な展開型の鉄心構造によってモータの巻き線密度を飛躍的に向上し、小型で高効率なモータが実現できる“ポキポキモータ”技術を開発し超小型から大型まで様々なモータ製品を実用化した。このような基礎技術での成果が様々な応用場面で更に大きな環境負荷低減効果を発揮している(詳細は特集論文「ポキポキモータによる省エネルギー・省資源」参照)。例えば、当社の得意分野であるエレベーターの巻上機では、ポキポキモータの適用によって、図4に示すように、従来のモータの約5分の1の薄型化が可能となり、このため巻上機を昇降路とかごの隙間(すきま)に収納することで機械室が不要なエレベーターが実現した。

T(環境リスク物質)の領域では、環境にリスクのある物質を製品から排除することが不可欠である。特にEUでは、2006年7月以降特定6物質(鉛、水銀、カドミウム、六価クロム、臭素系難燃材2種類)を含有する電気・電子機器の販売を禁止する法律が制定され、これをきっかけに同様の規制が中国など途上国にも拡大する形勢である。こうした背景から、エコプロダクツというためにはこれらの物質を含有しないことが不可欠要件となってきており、当社が

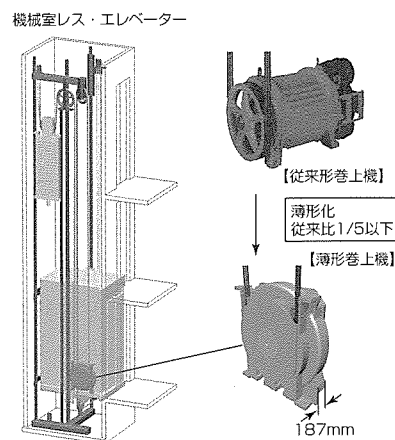


図4. ポキポキモータの応用例

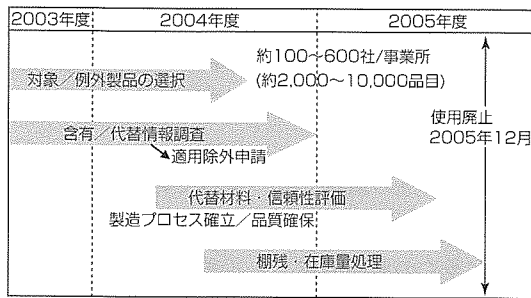
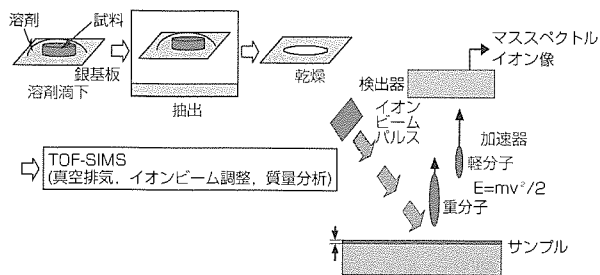


図5. 6物質全廃のロードマップ

ループでは一般市場向けの当社ブランド製品から2005年12月末までに対象6物質を全廃する目標を設定した。6物質全廃に向けたロードマップを図5に示すが、製品の材料や部品からこうした物質を排除することが必要であり、多数のサプライヤーの協力を得て推進している。事業所の規模によるが、1事業所当たりサプライヤーは数百社、取扱品目数では数千から10万品目に達する所もあり、目標達成に向けて全社で奮闘中である。調達先によっては正確な含有情報が得られない場合もあり、このため、当社先端技術総合研究所では、“一滴抽出法”という優れた分析技術を開発し実用化した。図6に示すようにこの分析手法によれば従来手法の1/15から1/50の短時間で高精度な判定が可能になる（特集論文「RoHS指令対応短時間分析技術——一滴抽出法による臭素系難燃剤、六価クロムの分析——参照）。既に約500品目について自社分析により含有情報の確認を実施している。

### 6. 社会的責任としての“ユニ&エコ”の実現

最近企業の社会的責任＝“CSR(Corporate Social Responsibility)”ということが強調されるようになってきている。すなわち、企業は適正な利潤を上げて株主等の期待にこたえるという“経済的責任”に加えて、“社会的責任”と“環境に対する責任”を果たさなければならないという考え方で、これらの3つの責任は“トリプル・ボトムライン”と呼ばれている。最近のグローバル市場ではCSRをしっかり果たすことが企業存続の基本要件となってきている。当社グループも表1に示した企業理念と行動指針によってCSRに対する基本姿勢を既に明示している。当社はメーカーであり製品を顧客に提供することが基本使命である。したがって、当社の経営方針や姿勢はすべからず製品そのものによって具現化されなければならない。この意味でエコプロダクツへの取り組みは当社グループのメーカーとしてのCSRの具現化であるが、さらに、環境配慮だけでなくこれにでも使いやすい製品を提供することも社会的責任として重要な要素である。このため“ユニバーサルデザイン”による製品開発も更に強化することとし、図7に示す“ユ



- 基板上の試料に適当な溶剤を滴下することにより内容物を抽出
- 基板に付着した内容物をTOF-SIMS分析により検出 (TOF-SIMS:飛行時間型二次イオン質量分析)
- 分析時間比較

	一滴抽出法	従来法
六価クロム	35~60分	最低15時間
PBB, PBDE	35~60分	最低50時間

PBB : ポリ臭素化ジフェニル  
PBDE : ポリ臭素化ジフェニルエーテル

図6. 一滴抽出法

人も地球も、気持ちよく。



図7.“ユニ&エコ”シンボルマーク

表2. ユニバーサルデザインの基本配慮項目

- 使う人の気持ちに配慮
- 簡単で分かりやすい使い方
- 識別しやすい表示・表現
- 楽な姿勢・身体的負荷への配慮
- 安全性と利便性の追求

ニ&エコ”のシンボルマークを導入した。当社では、ユニバーサルデザインの基本配慮項目として表2に示す事項を設定している。ユニ&エコを合言葉に、最新技術でだれもが使いやすいエコプロダクツを顧客に提供していきたい。ユニ&エコは家電製品からスタートし、やがては当社グループの全製品に拡大していきたいと考えている。

### 7. むすび

以上述べてきたように、事業と製品そのものによって“持続可能な社会”の実現に貢献することが当社グループの環境経営である。そして、その理念を実現するドライバーは技術である。この環境技術特集号では当社グループの環境関連技術の成果を紹介している。2年ごとの環境技術特集号をたどることで“持続可能な社会”の実現に向けての当社グループの継続的で確かな歩みを確認できれば幸いである。



# グリーン調達の一取り組み

The Activity of Green Procurement

Yoshimitsu Ikemura, Yasuo Kawashima, Shigeki Fukasawa

## 要旨

三菱電機グループは、1993年から環境に関する自主的な取り組みを“環境実行計画”として体系化し、すべての事業活動を通じ、これまで培った技術と今後開発する技術により環境保全とその向上に努めるという環境基本理念の下、環境負荷低減や環境経営基盤の強化に取り組んできた。

2003年4月に“持続的成長”を目指し、2005年度を目標年度とする“第4次環境計画”を策定し、“ステークホルダーとの共創”を進め、循環型社会の形成に取り組んでいる。

環境に適合した製品・サービスの提供には、調達段階で環境負荷の少ない資材を調達することが不可欠である。三菱電機グループでは、グリーン調達を環境計画の中の重要項目と位置付け、2000年9月“三菱電機グループ・グリーン調達基準書”を策定し、環境に配慮した資材調達を推進

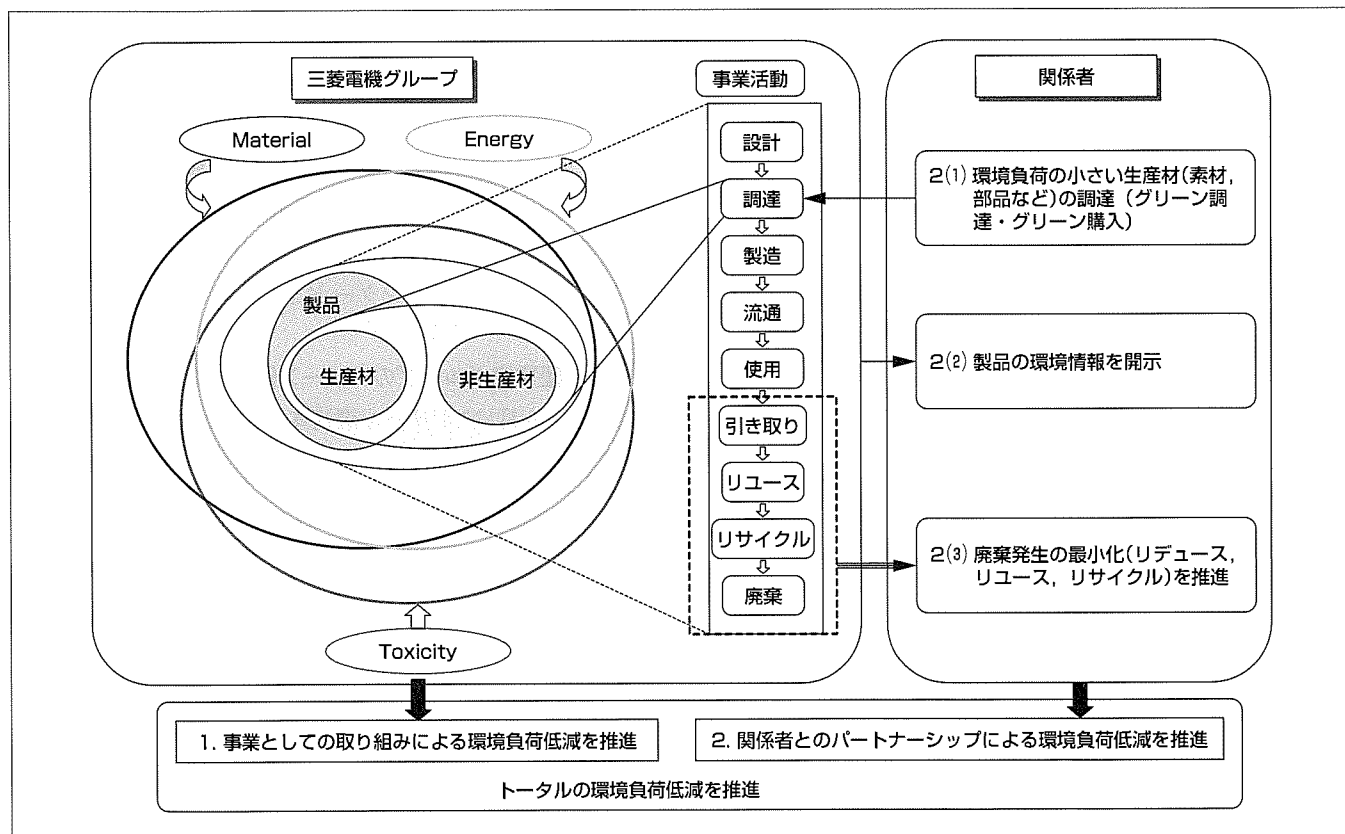
してきた。

昨今、欧州・中国ほかで電気電子機器に対して製品含有化学物質規制という新しい枠組みの規制が行われようとしている。また、企業の社会的説明責任が強く求められる等の背景の下、環境経営の一環として、多岐にわたる製品にグリーン調達を適用するため、2003年8月に“グリーン調達基準書”と“グリーン調達・調査対象化学物質リスト”を改訂し、社内外への展開を推進してきた。

本稿では、

- 三菱電機グループのグリーン調達基準の策定
- 三菱電機グループのグリーン調達の取り組み状況
- 製品含有規制6物質への対応状況

について述べる。



## グリーン調達の一取り組み概要

三菱電機グループでは、環境と調和する事業活動を展開し、環境に適合した製品を顧客に届けることで、環境への負荷低減を図り、循環社会の実現を目指している。

1. ま え が き

近年の法規制は、1970年代の公害に端を発した製品製造時に環境へ排出する化学物質の規制から欧州RoHS (Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment) 指令に代表される製品に含有する化学物質の規制へと範囲を拡大している。また、“環境”に対する社会の関心は年々高まってきており、企業が自主的に社会的責任を果たすことは企業存続のために必要不可欠となっている。

三菱電機は、自主的な取り組みの一つとして、環境適合設計によるエコプロダクツ(環境適合型製品)の創出を積極的に推進してきた。図1にグリーン調達的位置付けを示す。グリーン調達活動では、サプライヤーに対して化学物質含有調査の協力を求め、含有品に対しては環境負荷の小さい代替品(構成部品、生産材等)への変更を依頼する。こうした代替品を用いることで、よりレベルの高いエコプロダクツを消費者に提供することができる。三菱電機グループでは、グリーン調達を効果的に推進するため、2000年9月に“三菱電機グループ・グリーン調達基準書”を策定し、2003年8月に社内外動向を考慮した改訂を行った。この基準書を本社、事業所、関係会社からサプライヤーに配布し、方針を明確にしてRoHS規制6物質を含めた環境負荷の大きい化学物質削減の取り組みを行っている。以下に概要について述べる。

2. 三菱電機グループのグリーン調達基準

2.1 グリーン調達基準書改訂時の留意点

(1) 製品含有化学物質規制への対応

グリーン調達を強化し、各法規等に対応するために、RoHS指令、WEEE(Waste Electrical and Electronic Equipment：廃電気電子機器指令)(廃棄委託時に化学物質情報の要求の懸念)の要求事項に対応できるように、基準の改訂を行った。

(2) 環境適合型製品創出のための情報整備

環境負荷低減を図るために、廃棄物発生最小化、リユース容易化及びリサイクル容易化等を推進することが必要

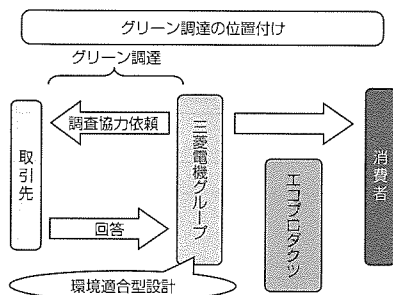


図1. グリーン調達の位置付け

であり、そのために、関係者とのパートナーシップによる積極的な製品環境情報を開示できる体制を整備した。

(3) 取引先の回答負荷の軽減による情報入手の迅速化

電機・電子・事務機メーカーで構成される“グリーン調達調査共通化協議会：以下JGPSSIと略す<sup>(注1)</sup>”が発行したガイドライン<sup>(2)</sup>で規定されている調査様式及び調査対象化学物質をベースにして調査することにより、サプライヤーからの回答を迅速に入手できるようにした。

2.2 グリーン調達基準の概要

- (1) 当社ブランドを用いた製品を対象に、すべての納入生産材について、“レベルⅠ：含有・付着禁止物質”の非含有調査、又は不使用保証書の提出を要請する。
- (2) 含有量の削減を進めるべき物質である“レベルⅡ：管理対象物質”について、グリーン調達調査共通化協議会の調査対象化学物質リストとの整合を図るとともに、RoHS対象物質等の見直しを行い、47物質群とした。
- (3) 全廃時期追記：対象製品の購入品に含有するRoHS規制6物質の購入段階での廃止時期を2005年7月1日に設定した。

2.3 サプライヤーに依頼する事項

納入生産材、生産活動にかかわる調達品について“環境管理に関する取り組み調査”を行うとともに、納入生産材については“納入生産材に含有する化学物質調査”も併せて実施する(図2)。

2.4 調査方法の共通化への働き

電機・電子・事務機メーカーで構成されるJGPSSIに参画し、調査様式・調査対象化学物質の業界での標準化を進めている。なお、JGPSSIでは、EICTA(欧州情報通信技術製造者協議会)とEIA(米国電子工業会)との共同歩調をとり、グローバルスタンダードを視野に入れた議論を行っている。

2.5 三菱電機グループのグリーン調達基準書の発行と開示

2003年8月に“グリーン調達基準書”と“グリーン調達・調査対象化学物質リスト”を改訂した。日本語版、中国語

(注1) 電機・電子・事務機メーカー等74社、4団体が加入するグリーン調達での調査基準等の統一を図るため設立された協議会で、当社もメンバーに入っている。(JGPSSIはJapan Green Procurement Survey Standardization Initiativeの略)

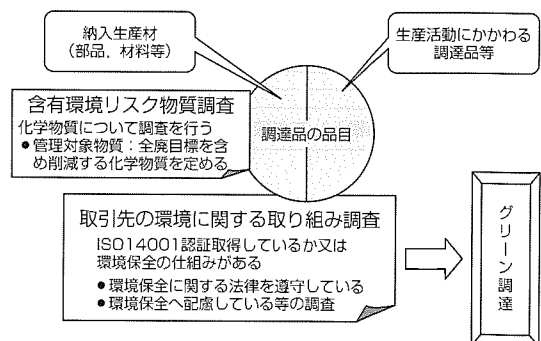


図2. グリーン調達調査内容

版、英語版を用意し、国内外のサプライヤーに送付している。また、三菱電機オフィシャル・ウェブサイト及びGlobal websiteにおいてこの基準を公開し、関係者への情報開示を行っている(図3)<sup>(3)</sup>。

### 3. 三菱電機グループのグリーン調達取り組み状況

グリーン調達を進めるに当たっては、前述の2.3節に記載しているように“サプライヤーの環境管理への取り組み調査”及び納入生産材の“含有化学物質に関する調査”を実施している。なお、実際の調査に当たっては、環境部門、資材部門等関連部門間で緊密な連携をとりつつ、本社、製作所・事業所・関係会社とで調査担当分野を決め実施している。以下に、この調査の概要を記載する。

#### 3.1 サプライヤーの環境管理への取り組み調査

サプライヤー(商社、メーカーなど)のISO14001等の第三者認証の取得状況や、環境管理への具体的な取り組み状況を調査する。

調査結果は“グリーン調達支援システム”に登録し、環境を踏まえた取引先評価(品質、コスト、納期に環境を加えて評価)を行う際の基準とする。

#### 3.2 納入生産材に含まれる化学物質に関する調査

サプライヤーに対し、“化学物質レベルⅠ：含有付着禁止物質”が納入生産材に含まれていないことを“不使用保証書”での保証を求めるとともに、RoHS規制6物質を含む“化学物質レベルⅡ、Ⅳ：管理対象物質”の含有状況をJGPSSI様式で含有量/使用部位等、含有状況の詳細についての調査を実施する。

この調査情報を基に、RoHS規制ほかへの対策を進めるとともに、ライフサイクルに配慮した環境負荷低減の取り組みの活動を推進する。調査様式は、JGPSSI様式の使用を推奨している。

### 4. グリーン調達調査の関連システム

グリーン調達に関する調査の結果を以下の2システムに登録・掲載し、グループ内にも公開してグリーン調達の推進に向け活用している。



図3. グリーン調達基準書/化学物質リスト

#### 4.1 グリーン調達支援システム

このシステムには、前述の3.1節取引先の環境管理への取り組み調査の結果を掲載し、情報の共有化によりグリーン調達調査の効率化を図る。システムには、各サプライヤーの環境管理への取り組み状況を点数で評価した結果を登録し掲載する。機能として、サプライヤー名、商社/メーカー、評点等による検索が可能である(図4)。

#### 4.2 グリーン調達含有物質検索システム

このシステムには、JGPSSI様式で調査した“化学物質レベルⅡ、Ⅳ：管理対象物質”の含有状況に関する結果を掲載する。現在は“集中購買品”を中心に登録し、情報共有を図っている。今後、製作所・事業所・関係会社の調査結果も取り込み、調査の効率化を図る。

システムの機能として、納入生産材に含まれる化学物質に関する調査結果について、メーカー名、型名、物質名や、RoHS適合可否等をキーにして検索が可能である(図5)。

### 5. 製品含有規制6物質への対応状況

#### 5.1 社外動向

2003年2月13日に欧州RoHS指令が発効し、2006年7月1日以降、EU加盟国に輸出する電気電子機器への規制6物質<sup>(注2)</sup>の使用が禁止される。以後、製品含有規制は欧州にとどまらず、中国、カリフォルニア州、タイ、韓国等にも及び、日本でも6物質含有製品の表示義務の検討が進め<sup>(注2)</sup> 鉛、水銀、カドミウム、六価クロム、臭素系難燃剤(ポリ臭化ビフェニル(PBB)、ポリ臭化ジフェニルエーテル(PBDE))

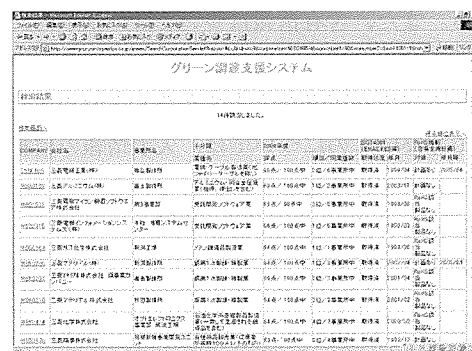


図4. 環境取り組み調査検索結果画面(イメージ)

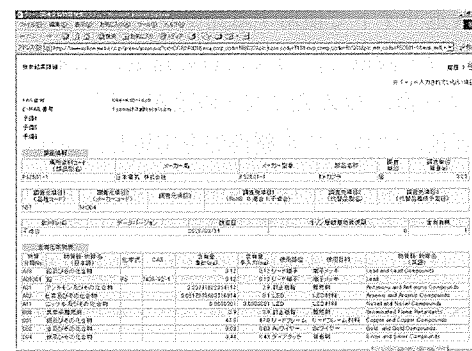


図5. 含有化学物質検索結果画面(イメージ)

られている。こうした状況を受け、多くの大手電気メーカーが6物質の全廃宣言を行っている。

### 5.2 使用廃止目標の設定

三菱電機グループでは、“三菱電機ブランド製品に含有する規制6物質を2005年12月31日までに使用廃止する。”という目標を設定した。当社は家電からビル・オフィス(昇降機・空調機等)、ファクトリ(FA機器、産業メカトロニクス等)、デバイス・情報通信(半導体・情報通信システム等)、社会システム(交通・宇宙・エネルギー等)まで製品群の範囲が非常に広く、使用廃止に当たっては以下の例外項目を設けた。

- 製品の安全性確保が著しく困難なもの
- 客先仕様や技術基準により該当物質を使用することが求められるもの
- 製品廃棄時に確実に適正な処理が見込まれるなど、環境への拡散リスクが著しく小さいもの

この目標は、2004年3月15日に広報発表している。

### 5.3 規制6物質の含有情報入手

規制6物質の含有情報調査は、グリーン調達取り組みの中で実施しており、詳細は前述のとおりであるが、入手した含有情報の信頼性を担保することが非常に重要であり、図6に示す考え方で取り組みを行っている。まず、サプライヤーに対して環境管理のアンケートによる取り組み度調査を行い、得点の高いサプライヤーと優先的に取引を行うようにしている。これは、含有情報の回答率の向上、回答期限の厳守、信頼性の高い含有情報の入手を容易にするためである。また、含有情報については、基本的にサプライヤーから不使用証明書の提出を依頼している。やむを得ず6物質の不使用証明書を入手できないものや含有情報自体を入手できないものについては、入手情報の信頼性が担保のために分析を行うことで対応している。

6物質の分析は、蛍光X線で1次スクリーニングした後、当社が独自に開発した一滴抽出法を用い、短時間かつ安価に特定の難しい六価クロムとPBB, PBDEの含有の有無を確認できる。

### 5.4 規制6物質代替化の取り組み

社内の規制6物質含有部品の代替取り組みについて、すべての製造サイトで使用する鉛フリーはんだは、全社レベルの委員会を設置し、はんだ材の選定、生産設備(リフロー/フロー槽、はんだごて)の改善・導入、不具合改善、信頼性評価、マニュアル整備等を実施し、情報の共有化を行っている。その他の代替化については、半導体、電子部品を主体とする全社共通集中購買品について、当社がサプライヤーに対して含有調査を実施し、代替品情報も含めてデータベース化し、本社ホームページから情報検索できるようにしている。

代替品の調達・評価状況は、本社環境部門が製作所・事

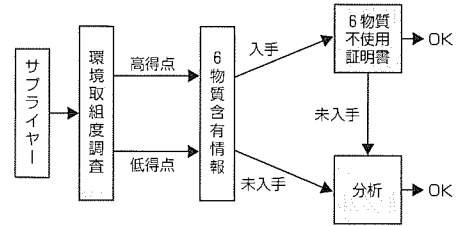


図6. 含有情報信頼性担保の考え方

業所・関係会社の取り組みを定期的に調査し、共通性の高い項目(鋼板・ねじ等のクロメート皮膜、塗料、電線コード等)を主に、代替情報を社内イントラネットに公開し、先行サイトから情報入手ができるようにしている。また、類似の製品群を持つ事業本部レベルで情報交換会を定期的実施し、共通課題の効率的な対策に取り組んでいる。

### 5.5 今後の課題

6物質代替化に伴う、棚残・在庫の効果的な処理、代替製品量産後の代替納入資材への6物質含有リスクの回避策の構築が今後の課題である。

## 6. むすび

今後、我々は、三菱電機グループの“環境基本理念”と“環境行動方針”に基づき、グリーン調達の仕組みを通じて、環境適合型製品を世に送り出し、環境への負荷低減を図っていく所存である。事業者として、事業活動及び製品において、資源(Material)の有効活用、エネルギー(Energy)の効率利用、環境リスク物質(Toxicity)削減による排出回避等の観点から環境に配慮した活動を推進することが重要であり、関係者とのパートナーシップにより、環境に適合した製品の普及のために、積極的な環境情報開示を基本として、環境負荷低減活動を今後も行っていきたい。

サプライチェーンの情報開示の仕組みが整備されていない過渡的な状況で各社とも含有情報の入手に非常に苦労している。今後、対象化学物質が法規制の動向とともに変更されることを考えると、セットメーカー、サプライヤーの負荷低減のために業界又は国レベルでの対象化学物質、調査様式、含有情報データベースの共有化の早急な取り組みを望みたい。

### 参考文献

- (1) 三菱電機ニュースリリース <http://www.mitsubishi-electric.co.jp/news/2004/0315.htm>
- (2) グリーン調達調査共通化協議会編著：グリーン調達の実務-電気・電子機器用部材のグリーン調達調査共通化指針(2003-9)
- (3) 三菱電機グループ グリーン調達基準書、グリーン調達・調査対象化学物質リスト <http://www.mitsubishi-electric.co.jp/green-p/index.html>

# 簡易DFDツール

藤崎克己\*  
高橋徹也\*\*  
坪井伸之\*\*\*

## Simple DFD Tool

Katsumi Fujisaki, Tetsuya Takahashi, Nobuyuki Tsuboi

### 要 旨

日本では、廃棄物処理法や資源有効利用促進法などの環境関連法の下、家電や自動車など各種リサイクル法が順次施行されている。欧米やアジアにおいてもリサイクル法の整備が進み、リサイクルが世界的な流れとなっている中、製品のリサイクル性の重要度が増してきている。日本やヨーロッパでは、リサイクル性を考慮した製品設計を積極的に研究してきており、製品の解体性を配慮する製品設計手法の一つとしてDFD(Design For Disassembly：易分解性設計)が検討されている。DFDを評価するパラメータには製品の部品点数や接合点数、解体時間などがあるが、リサイクルの現場を反映した処理コストや、各国の法律で規定

されたりサイクル指標の算出を行って評価する手法は少ない。

このDFDツールは、リサイクル現場の観点で抽出した製品リサイクルの課題が効率的に製品設計に反映できることを支援するために作成した。そのため、このDFDツールの使用では、設計者自身が製品を解体してリサイクル現場に近い形でリサイクル性を評価することを前提としている。このDFDツールにより、任意の部品を解体するときの解体時間、解体した回収物のリサイクル性と処理コストとの関係性を評価することができる。また、評価結果からリサイクル上の問題点や課題を抽出し、次世代製品のリサイクル設計にフィードバックすることを支援する。

処理工程	品名	処理分類	分解時間 (S)	回収物質量 (kg)	リサイクル対象物質	材料単価 (円/kg)	含有率 (%)	WEEE 関係質量 (kg)	再商品化関係質量 (kg)
手解体									
小計1									
破碎処理									
小計2									
プラ破碎処理									
小計3									
合計									
リサイクル率 (%)				WEEE					
リカバリー率 (%)				WEEE					
再商品化率 (%)									
処理コスト				(円/台)	(円/kg)				

### 簡易DFDツールの全体イメージ

このDFDツールでは、リサイクル処理工程を手解体、破碎、プラスチック破碎の3つの工程に分類し、製品の1解体作業ごとにデータ入力を行う。処理工程の右欄に取り外した回収物の品名、処理分類、分解時間、回収物質量、リサイクル対象となる素材や部品名、及び素材の単価や含有率を順次入力していく。データ入力完了後、自動計算によりリサイクル指標や処理コストが算出されるので、リサイクル性向上のための課題と解決策を検討できる。

## 1. ま え が き

日本では、家電やパソコンのリサイクル法の施行により、多くの電気電子機器がリサイクル処理されるようになった。海外ではEUが廃電気電子機器指令(Waste Electric and Electronic Equipment : WEEE)を制定し、アジアでは中国が新しいリサイクル法を検討している。EUや中国に進出している企業は、各国リサイクル法への対応が不可欠である。

上記国内外のリサイクル法では、製造者にリサイクル処理の責任がある。製造者は適正処理だけでなく、リサイクル処理コストの削減努力が求められる。また、上記法律で規定されている環境適合型設計(Design For Environment : DFE)やリサイクル率等の達成についても製造者が対応しなければならない。

本稿では、製品を解体したデータから解体時間、処理コスト、リサイクル指標を算出し、処理コスト削減やリサイクル性向上を効率的に支援するためのツールについて述べる。

## 2. 電気電子機器のリサイクル処理と設計

### 2.1 リサイクル処理工程

電気電子機器のリサイクル処理は、有価物や有害物を取り除くための手解体工程と、後段の破碎選別工程に分類される。手解体工程では、比較的容易に取り外せる有価物や後段の破碎に適さない破碎不適物を取り外す。一般的に有価物が多く、その価値が高いほどリサイクル性が高く、廃棄物や有害物が多いとリサイクル性が低い。手解体で手間がかかるものは後段の破碎選別工程で処理する。

破碎選別工程では、手解体が難しい金属やプラスチックの複合物を機械的に破碎し、各種金属とプラスチックに選別する。破碎選別して回収した素材の純度が高いほど、その素材の価値は高くなる。

最近のリサイクルプラントでは、種類を判別できるプラスチックを取り外して破碎(プラスチック破碎)する工程を設けているところがあり、フレークと呼ばれる数mmの破碎片を作成後、プラスチック再生業者に出荷している。

### 2.2 リサイクル現場を反映した設計

手解体工程では、人手による解体時間が処理コストに大きく影響するため、取り外すべき部品点数を減らすとともに1部品当たりの解体時間を短縮することが重要である。また、取り外した回収物の価値が高ければ処理コストの削減につながるとともにリサイクル性が向上する。破碎選別後の回収物の価値は、手解体後の回収物の純度に依存する。

DFEの一種で解体性に重点を置いたDFDでは、上記リサイクル現場の実態を反映することが重要である。本稿で述べるDFDツール(以下“本DFDツール”という。)は、上記

リサイクル現場側の情報を設計者が容易にフィードバックできるように作成した。

## 3. DFDツールによる評価プロセス

### 3.1 解体作業と並行したデータ入力

本DFDツールでは、設計者が製品を解体して解体時間を計測し、解体して得られた回収物の質量を測定し、回収物の価格又は処分費用の単価、純度を決めてデータ入力する。特に取り外したものの評価にはリサイクル現場の経験の有無が影響するため、設計者にはリサイクル現場での実習経験のあることが望ましい。手解体すべき部品や部材がなくなるまでこの作業を繰り返して当該製品の処理コストとリサイクル指標の算出を行う。

図1に解体作業と本DFDツールへのデータ入出力作業に関するフローを示す。

本DFDツールの使用に限らず、製品の設計や製造に携わる人間が直接解体作業やデータの採取を行うことにより、リサイクルと設計の関係が密接になってDFDを加速する。設計者自身が製品を解体し、どのようなデータが必要で何を修正しなければならないのかを実体験することが製品設計へのDFDの早期フィードバックにつながる。

さらに、設計者には、リサイクル現場での解体の度合いや回収物の品位、又は処理方法を認識することが強く望まれる。解体するほど回収物の品位は向上するが、解体人件費が高くなる。解体が不十分であれば解体人件費が安くなるが、回収物の品位が低下する。解体人件費と回収物の品位のバランスを考慮して最適値を求めることが、DFDの重要な要素の一つである。

### 3.2 ツール概要

本DFDツールは汎用性や習熟性を考慮し、Microsoft EXCELをベースに作成した。解体作業を行いながら必要なデータをEXCELの表に順次入力していく。データ入力時には、解体後の回収物の処理が手解体、破碎、プラスチック破碎のどの工程で完了するのか逐次判断して入力する。作業終了後に計算やグラフ化の作業を行い、リサイクル指標や処理コストなどの数値の自動計算やグラフ表示を行うことができる。また、解体した製品と、その後改善を施し

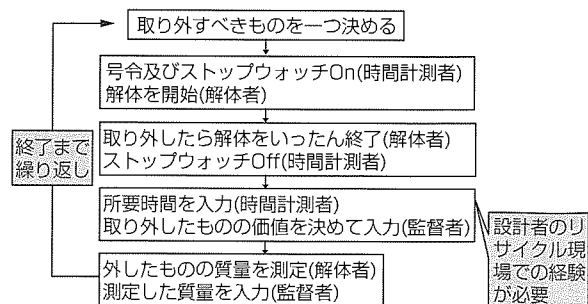


図1. 解体作業とDFDツール入力作業フロー

た製品との比較評価が容易に実施できる。

### 3.3 リサイクル指標

EUのWEEEで規定されているリサイクル率、リカバリー率と、日本の家電リサイクル法で用いられる再商品化率とは考え方や計算方法が異なる。今回定義した3つのリサイクル指標の違いを表1に示す。

再商品化率は、リサイクルプラント出荷時に有価又は無償で材料リサイクルした回収物質量の総和を分子とし、製品質量で除した値である。熱回収リサイクルした回収物は分子にカウントしない。また、回収物の純度は考慮しない。

WEEEのリサイクル指標の詳細は現時点で明確に定義されていないため、次のように仮定した。第1に、有価・無償又は逆有償で材料リサイクルした回収物質量の総和をリサイクル率の分子とする。第2に、熱回収リサイクルした回収物質量はリカバリー率の場合のみ分子にカウントする。第3に、リサイクル率、リカバリー率ともに回収物の純度を考慮する。

本DFDツールでは、すべての回収物の質量、価格、純度、処理方法を入力すれば、上記3つのリサイクル指標を自動計算できる。

### 3.4 処理コスト算出と評価

処理コストは、すべての回収物の積算金額と解体人件費の合計とした。

回収物の価格は、解体時と同一時期のスクラップ相場と純度を勘案して推定する。本DFDツールでは、リサイクル工程で発生した回収物の出荷価格をデータベース化し、ツールの使用者がスクラップの単価を編集できるようにした。

コストの評価方法としては、図2に示すように、横軸に解体時間、縦軸に回収物積算金額を示すグラフを作成して解体人件費と回収物積算金額の関係を考察する。図では、各部品を解体した解体時間分を横軸右方向に伸ばし、その後得られた回収物の評価金額を縦軸方向に積算するという作業をすべての部品について繰り返した例である。解体費用については、解体時間が長いほど横軸の距離が長くなり、解体が難しいことを意味する。回収物の有価性については、売却価格が高いほど縦軸の上への変化が大きくなり、廃棄費用

表1. 日本とEUのリサイクル指標の違い

対象	日本(家電)	EU(WEEE)
リサイクル指標	再商品化率	リサイクル率 リカバリー率
有価・無償の材料リサイクルした回収物	再商品化可 分子にカウント	リサイクル・リカバリー可 分子にカウント
逆有償の材料リサイクルした回収物	再商品化不可 分子にカウントせず	同上
熱回収リサイクルした回収物	再商品化不可 分子にカウントせず	リサイクル不可 リカバリー可
回収物の純度	考慮しない	考慮する

が高いほど縦軸の下への変化が大きくなる。このようなグラフの縦横の変動幅に留意しながら評価を行い、課題の抽出と解決策の検討を行う。

## 4. DFDツールの使用例

### 4.1 データ入力

表2に本DFDツールの入力データ例を示す。解体作業ごとに、取り外した回収物の名称、処理分類、分解時間、質量を入力する。次に、回収物を構成する主要な素材(金属やプラスチックの種類等)の名称を入力し、素材の含有率と材料単価を評価して入力する。解体物がなくなるまでこの作業を繰り返す。

### 4.2 解析

上記データ入力作業後、Microsoft EXCELの機能を利用してリサイクル指標と処理コストを自動計算する。リサイクル指標の計算値が法定値等の目標値に達しない場合、リサイクルできない部品や素材を究明し、解決方法を設計に反映することでリサイクル性を向上させる。

処理コストは、回収物の売却益又は処分費用と、解体時間から算出する人件費で構成される。前述のように本DFDツールでは解体時間を横軸、回収物積算金額を縦軸にして自動でグラフ化する機能がある。図3は、換気扇の回収物積算金額の変化を回収物ごとに順次プロットしており、前述した縦横軸の変動幅に注目して解析を行う。なお、図の最後の部分が垂直に下降しているのは、解体終了して残ったものが廃棄物しかなく、費用がかかっていることを示している。

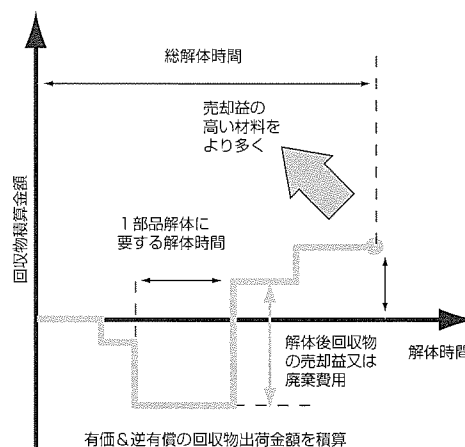


図2. 解体時間と回収物積算金額の関係

表2. DFDツールの入力データ例

品名	分解時間(S)	回収物質量(kg)	リサイクル対象物質	材料単価(円/kg)	含有率(%)
電源コード	5.0	0.300	銅	20	40
正面パネル	15.0	0.250	有価プラ	1	100
シャッターASSY	30.0	0.300	鉄	10	100
換気扇枠	10.0	0.750	鉄	10	95
羽根	15.0	0.150	有価プラ	1	95

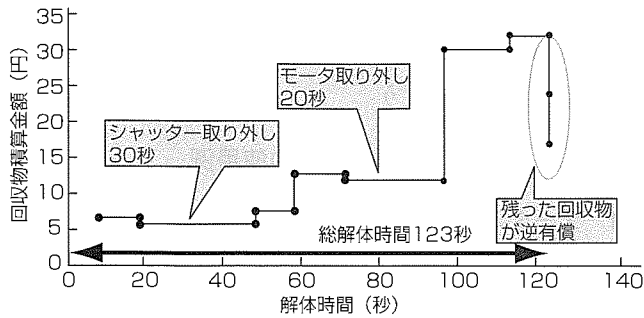


図3. 換気扇解体時の解体時間と回収物積算金額の関係

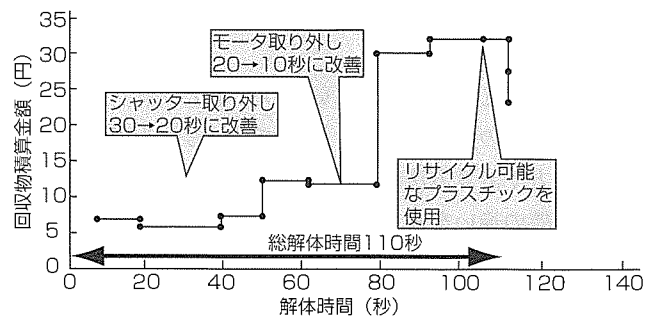


図4. 改善後の換気扇の解体時間と回収物積算金額の関係

### 4.3 評価と改善

図3において、まず横軸(解体時間)に注目すると、他の回収物の解体時間に比べてシャッターとモータの解体時間が長い。次に縦軸に注目すると、最後に残ったプラスチック類の処分費用がかかるため、回収物積算金額が減少している。

上記2つの問題の改善点は、①部品や部材の解体時間を短縮するための設計変更、②リサイクル可能な材質の使用である。改善を施して再評価した例を図4に示す。

図4では、シャッターとモータの設計を見直すとともに、最後に取り外すプラスチックの一部を再利用可能なものに変えて改善して計算し、グラフ化した。全体の解体時間が短縮され、回収物積算金額が増えて処理コスト削減につながっている。

改善の前後における処理コストの比較を図5に示す。改善後は台数単価で約22円/台、質量単価で約5円/kg、処理コストが低減した。

また、改善の前後におけるリサイクル指標の比較を図6に示す。改善後はリサイクル率が約5%、リカバリー率が約2%、再商品化率が約5%向上した。

このように本DFDツールを用いて、日本の再商品化率と定義の異なる欧州WEEEのリサイクル率、リカバリー率の算出について、各法律の適用対象と予想される機器への適用を試みている。

## 5. むすび

本DFDツールを使用すれば、リサイクル現場以外にもリサイクル性評価のためのデータを精度良く容易に収集できる。また、リサイクル性向上のための解決策を効率良く立案し、製品への反映結果を容易に評価することができる。

しかし、リサイクル性向上のための解決策は必ずしも製品設計に良い結果をもたらすとは限らない。解体時間を短縮するために部品を取り外しやすくすると設計強度が低下したり、売却益の高い材料を使うと製造コストがアップしたりするリスクがある。したがって、製品設計とリサイクル設計をバランスさせて最適値を見いだすことが重要になってくる。

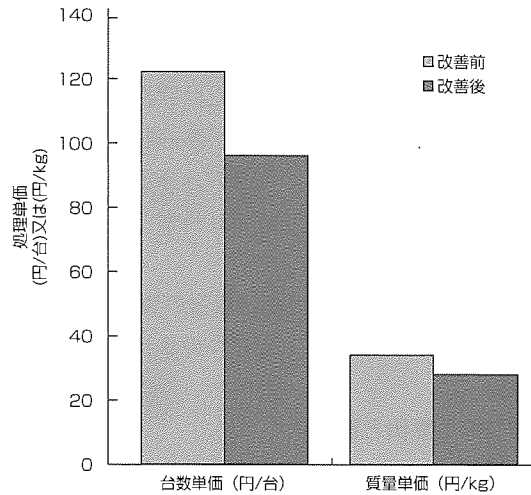


図5. 改善前後における換気扇の処理コストの比較

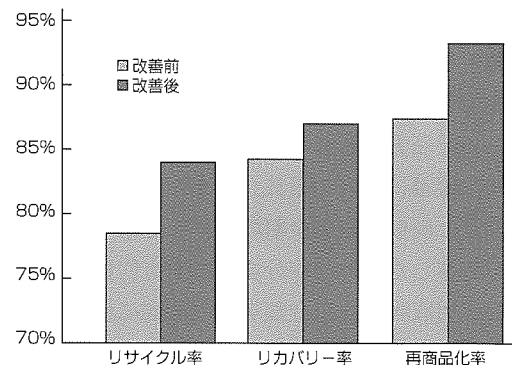


図6. 改善前後における換気扇のリサイクル指標の比較

本DFDツールは現段階で製品側よりもリサイクル側を重視しているため、今後は製品設計の観点を取り入れたトータル評価が可能なツールにする改善を進めていく。

### 参考文献

- 藤崎克己：DFD手法によるリサイクル指標算出ツールの紹介(第1報)，エコデザイン2004ジャパンシンポジウム，88～91 (2004)
- 永友秀明：簡易DFD手法による家電品の設計，三菱電機技報，75，No.5，328～330 (2001)
- 上野 潔：家電リサイクルとエコデザイン，廃棄物学会誌，15，No.3，115～122 (2004)



# ルームエアコンの環境適合型設計の事例紹介 田邊義浩\*

A Case Study of Room Air Conditioner, DFD(Design for Disassembly)

Yoshihiro Tanabe

## 要 旨

2001年4月の家電リサイクル法の本格施行により、リサイクル性の一層の改善及び処理基準のポイントである再商品化率の達成、コストミナムでの製品・部材の実現が要求されている。これを受けて、2001年から本格的に稼働した廃棄物のリサイクル実務の効率化と将来の再商品化率の目標値を、10年後に廃棄されるであろう目下の設計開発品に織り込み、リサイクル性の評価を実施する必要がある。

そこで、リサイクルセンターで解体実践活動を実施し、リサイクルにおける改善すべき課題を抽出し改善を図った。

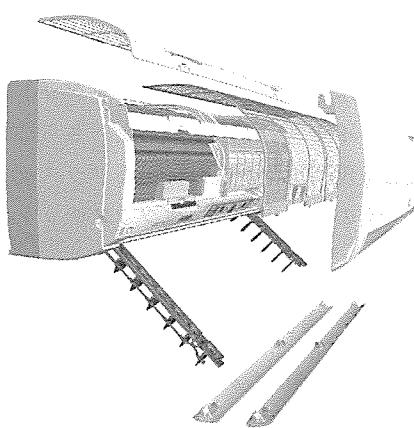
その結果、取り外すべきものは容易に取り外せるための構造的な改良や、また、異物除去が難しく再利用化が遅れているプラスチック部品に関しては、分別の容易化による

再利用の推進と、再生プラスチックの積極的な利用を図った。

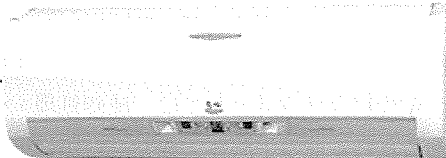
例えば室内機外観の意匠面となるプラスチック部品に関しては、工具なしで簡単に解体できる機構を設けた。これにより、廃棄されたときはリサイクル現場の解体に活用し、家庭では掃除を行うときに活用できるように工夫した。つまり、リサイクル性の改善だけでなく、近年家庭での健康意識の高まりから、いつまでも清潔に使いたいという要求への配慮も行った。

このように、ユーザーと環境の両者にとって価値の高い商品の実現を目指し、設計の段階からリデュース・リユース・リサイクルの3Rに着目をした開発に取り組んだ。

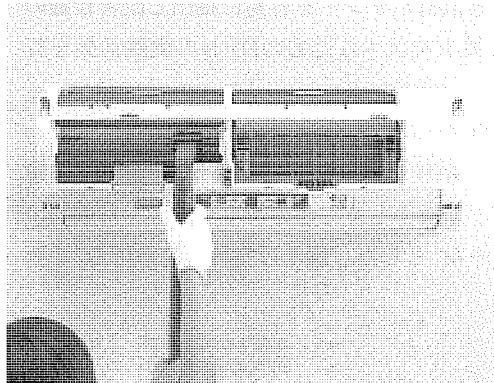
**価値の高いリサイクル技術の実現に向けて**



外観部の取り外し簡易機構



ルームエアコン“MSZ-ZR28P”



掃除簡単ボディ

外観部の取り外し簡易機構は、廃棄時は解体・分別で活用し、家庭では掃除のしやすさに活用

## プラスチック部品の分別の容易化を図る室内機外観部品の取り外し機構

リサイクルセンターでの解体実践活動を踏まえ、リサイクル実務の効率化とユーザーの両者にとって価値の高い商品の実現を目指した。例えば室内機外観の意匠面となるプラスチック部品に関しては、工具なしで簡単に取り外せる機構を設け、廃棄時は解体・分別で活用し、家庭では掃除のしやすさに活用できるように配慮した。

1. ま え が き

2001年4月の家電リサイクル法の本格施行により、リサイクル性の一層の改善、処理基準のポイントである再商品化率達成、コストミニマムでの製品・部材の実現が必要となっている。2001年から本格的に稼働した廃棄物のリサイクル実務の効率化と将来の再商品化率の目標を、10年後に廃棄されるであろう目下の設計品に織り込み、そのリサイクル性の評価を実施する必要がある。

さらに、地球環境の保護を目的としたエアコン業界を取り巻く法律として、省エネルギー法、特定物質の規制等によるオゾン層保護に関する法律(HCFC(ハイドロクロロフルオロカーボン)系冷媒の規制)があり、これらは、エアコン設計や事業に大きく影響を与える法律となっている。これら各種規制の環境対応技術をユーザーの価値としても高めるため、リサイクルセンターでの解体実践活動とユーザーの使用実態調査等を踏まえた環境適合型設計を行った。以下にその事例について述べる。

2. ルームエアコンの解体実践活動

2.1 解体実践活動のねらい

1999年に設立・稼働させた千葉県の(株)ハイパーサイクルシステムズでの解体実践活動を実施した。ここでの解体作業としては、大きく分けて破碎処理・分別回収機による自動機器での作業と、この破碎機に投入される前の手解体作業とがある。環境適合型設計としては、破碎処理・分別回収ラインへ投じられる前の手解体工程で、いかに早く有価物を取り出すことが可能になるかが鍵(かぎ)である。そこで、改善すべき設計ポイントを容易に抽出し改善仕様の効果を定量的に机上検討するためのDFDの実践活動を行った。

2.2 実践的DFDツールの作成

横軸を“時間”、縦軸を“費用”“再商品化率”として、解体順序に従ってプロットしてできるチャート図を作成し、“実践的DFDツール”とした。図1は室外機における“手解

体工程”の作図である。図中の2本の折れ線のうち破線は、手解体の進行とともに変化する再商品化率の推移である。また、実線は、分解分別処理で生じるもののうち価値を生み売却可能なものを“有価”とし、価値を生まないで処理費用が必要のものを“逆有償”と区分し、手解体の進行とともに変化する有価・逆有償累計金額推移である。

線上の点が部品ごとの手解体作業を表している。さらに、右上がりの直線が手解体作業に要する作業費を表している。図から以下のポイントが明らかになる。

- (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法基準値を超えていることはもちろん、目標とする再商品化率に達成しているか確認できる。
- (2) 手解体作業費と累計金額の差額により、解体処理で発生する費用収支が見える。
- (3) 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。すなわち、ロス工程を削減するために、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導入が費用削減のポイントである。

以上のように一つのチャート図を作成することで、解体・分別作業の問題点が視覚的に分かるため、設計段階で改善のために労力を投入すべきターゲットの明確化と、対策のために投資するコストが、解体分別作業性の改善によって得られる収支改善に見合うか否かの評価が可能になる。

これらリサイクル現場での解体実践活動を踏まえ、次のことが要求されることが明らかになった。

- 取り外すものをまずは決める。
- 取り外す必要があるもののみが容易に取り外せる。
- 何をどのように取り外せばよいか、だれでも見れば分かる。

以上の要求事項を改善すべきターゲットと定めて、解体性の改善アイテムの導入を図った。さらに、分別、異物除去が難しく再利用が遅れているプラスチック部品に対しても、分別の容易化及び再生プラスチックの積極的な利用を図った。

3. 環境適合型設計技術の事例紹介

3.1 解体性改善のためのユニット構成及び表示

室外機を構成する要素部品として、熱交換器とファンとで構成される熱交換部品、圧縮機等で構成される機械室部品と圧縮機等を駆動する電気部品で構成されている。これまで電気部品は複数箇所に配置するなどのケースがあり、部品取り出し、解体性に課題があった。そこで、電気部品を始め各要素部品とも1か所に集中配置を行うなどの配慮を行い、各部品の解体作業性を改善した。また、室外機の前面パネルを取り外せば各機能部品の構成が容易に分かる配置構成をとり、外殻部品等は再生化が比較的容易な板金を主体とする構成とした。

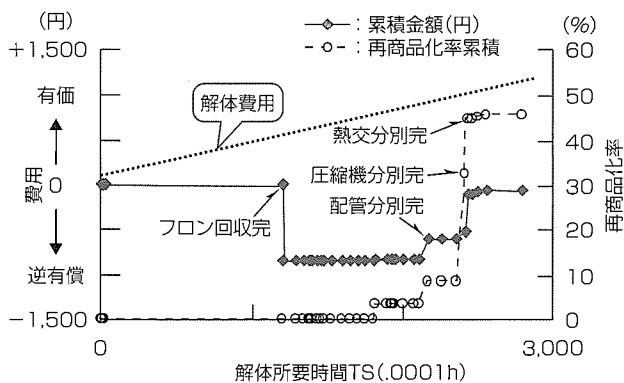


図1. 室外機のDFDチャート

また、室内機の外観部はプラスチック部品で構成されており、意匠的な処理としてねじ等をキャップで隠すことが一般的である。しかし、解体処理現場では、取り外し位置が不明になりやすいという問題がある。また、外観部の意匠面では塗装処理を行っている場合もあり、分別しても再生化が可能か否か不明であるという問題がある。そこで、取り外す部品が一目瞭然(りょうぜん)で分かるように“解体方法ガイドマーク”の表示や“再利用可能なマーク”の表示(図2)を行った。

### 3.2 プラスチック部品のリサイクル容易化構成

室内機外殻のプラスチック部品は、これまで冷房運転中で発生する着露への対策のため、断熱材が貼付(てんぷ)されているのが一般的である。そのため、取り出したプラスチック部品が容易にリサイクルできないという問題があった。このような問題を解決するため、室内機のプラスチック部品に関しては、リサイクルを行うための箇所を明確にし、その箇所には断熱材等を貼付せず、リサイクルを余り期待しない箇所に貼付物を集中させる設計を行った。例えば、意匠面となる外殻面に関しては、容易に外せる機構(図3)を設けるとともに、外した外殻面は断熱材等の貼付は行われていない。もちろんプラスチック材には材料表示を行っているため、取り外したら即リサイクルが可能な構成とした。

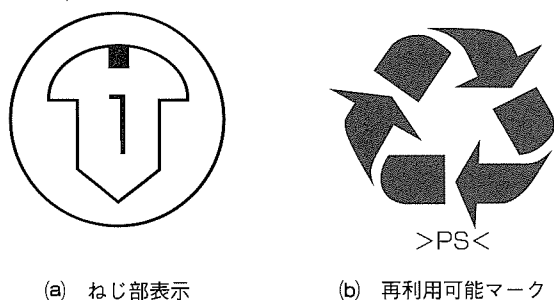


図2. 解体性表示

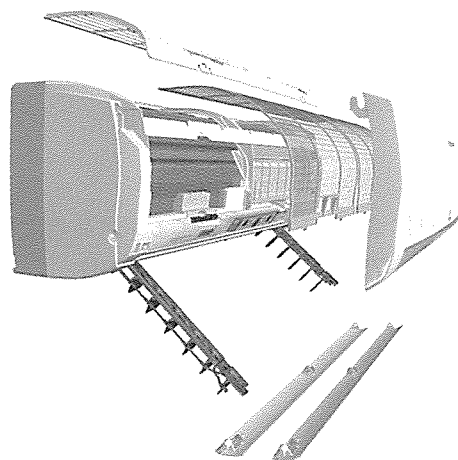


図3. 外観部の取り外し簡易機構

### 3.3 自己循環型再生プラスチックの採用

プラスチック部品のリサイクルの容易化を図りつつ再生プラスチックの利用に関しても積極的に推進するため、製品が廃棄・回収され、得られた再生材料を再び自社製品に使用する自己循環リサイクルを導入した。具体的には、使用済み冷蔵庫から回収した野菜ケースの樹脂材料を100%用いた再生樹脂を、室外機の意匠部品(配管化粧パネル)に導入した。これにより、再生樹脂の利用率を約2倍まで高め、プラスチック全体に占める再生プラスチックの利用率を質量で4.5%と高めた。この自己循環型の再生プラスチックにより、あらかじめ定めたプラスチック部品を回収することで材質の均一化が図れ、意匠部への再生プラスチック利用の容易化が可能になった。

### 4. 使いやすさと、環境への配慮を行った環境適合設計

#### 4.1 掃除のしやすさとリサイクルの解体性向上を両立した“掃除簡単ボディ”

廃棄されたエアコンにおける解体調査の更なる深堀を図り、ユーザーが廃棄を行った要因調査の一環として、エアコンの購入形態の調査を行った。その結果、現在ではエアコンの買換え需要が総購入の53%を占めており、また、買換え動機としては、故障による交換は買換え需要の約1/3程度であり、ほとんどは使い続けたことによる能力低下及びエアコン内部の汚れに起因した臭い、不衛生によるものが非常に高いことが判明した。つまり、現在廃棄されているエアコンの大半は運転を行うことができるにもかかわらず廃棄されているものと想定される。

以上の背景を基に、エアコン内部をいつまでも清潔に使用できるように、室内機の解体性の改良として検討した外観プラスチック部品の解体性改善設計を、さらに、工具なしで簡単に解体できる機構に展開を図った。これにより、図4に示すようにユーザーでも外観部品を解体でき、エアコン内部をユーザーで簡単に掃除が可能になった。つまり外観部品の解体機構を、家庭では掃除を行うときに利用し、また廃棄されたときはリサイクル現場の解体時に利用できるように配慮した。このように解体性の改善だけでなく、ユーザー価値としても高めることで、いつまでも清潔に使い、長期間の使用を促進することを可能にした。

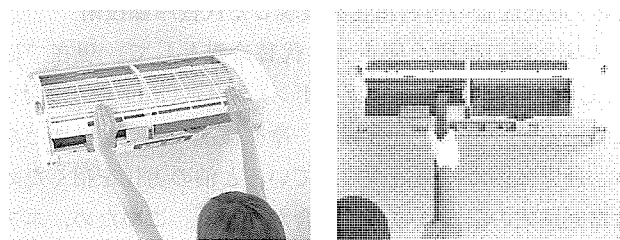


図4. 掃除簡単ボディ(MSZ-ZR28P)

#### 4.2 様々な使われ方でも快適性と省エネルギー性を保つ 省エネルギー設計

2003年10月から始まった省エネルギー法の規制により、機器の省エネルギー化を推進しこれまで大きな成果を上げてきている。しかし、これまでの機器性能の追求により、今後は、大きな基本性能の改善が望めなくなった。

一方で、エアコンにおけるユーザーの使用態度調査を行うと、政府が推奨する設定温度20℃に対し、現状は23℃以上で使用されているケースが非常に多く、また、暖房能力は十分に確保されている場合でも、エアコン暖房は“暖まらない”“足下が寒い”と快適性への不満点も見受けられる。

その主要因を分析していくと、

- エアコン据付け位置がコーナーで温風が届かない
- エアコンの据付け位置が高く、温風が届かない
- フィルタ目詰まりによって温風が届かない

など、エアコンの使われ方、設置環境によるものが大きなウェートを占めている。したがって、これらの要因を解消すれば、快適な温度空間を実現でき、設定温度の上げ過ぎによる無駄な電力消費を防止できる。また、設定温度を1℃下げれば、約10%の省エネルギーが図れるため、これらの課題を解決すれば大幅な省エネルギー化を実現することが可能になる。

次に、その改善技術について述べる。

これまでのエアコンは、室内空気の吸い込み口に設けた室温センサにより、能力やファンの回転数等で、室温が設定温度に到達するように制御を行っており、温風で足下をしっかりと暖めるという視点は持っていなかった。そのため、使用条件が悪化すると床面の暖まり不足を招き、設定温度を上げ過ぎてしまうことが想定される。

これら快適性向上への課題を解決するため、人の居住面である床の温度を直接検出する床温度センサを搭載した(図5)。また、床温度センサとして、床面から放射される赤外線エネルギーを熱吸収膜に吸収させて、膜の温度に応じて生じる熱起電力を用いた非接触温度センサを採用した。これにより、フィルタの手入れ忘れによるフィルタの目詰まり運転や、温風が届きにくい部屋のコーナー部据付けや近年の住宅に多い高天井住宅での据付けなど、様々な使用環境でも、足下をしっかりと暖めることが可能になり、無駄な電力消費を防止することが可能になった(図6)。

#### 4.3 既設配管の再利用化を実現した代替冷媒技術

オゾン層の破壊を防止する代替冷媒として、現在ではHFC(ハイドロフルオロカーボン)系冷媒(R410A)に変更しているが、冷媒が変わると、冷凍機油の変更が必要となる。通常は旧冷凍機油が残っていると油の劣化を招くため、冷媒回路内の詰まり等の不具合が生じる。このため、エア

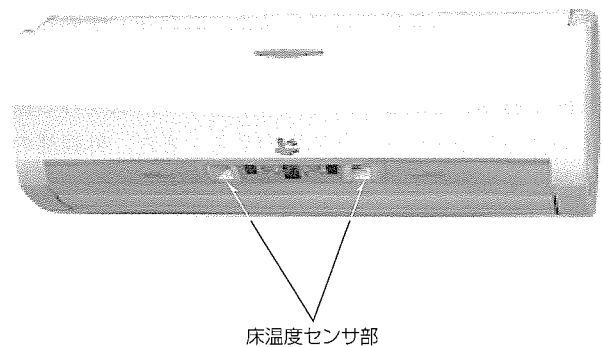


図5. 床温度センサを搭載したルームエアコン(MSZ-ZR28P)

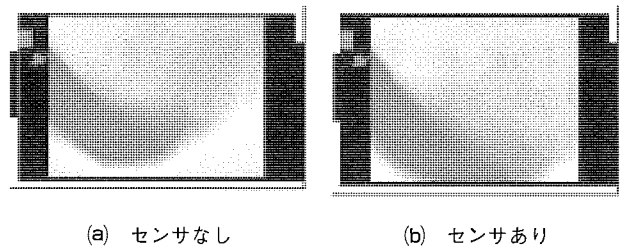


図6. フィルタ目詰まり時の床温度センサ有無での  
温風到達力比較(部屋の縦断面の温度分布)

コン交換時に、使用していた配管も交換する必要がある。そこで、当社独自の非相溶の冷凍機油(アルキルベンゼン油)を採用することで、旧冷凍機油が混入しても油の劣化を防ぐことを可能にした。これにより、既設配管の再利用(リユース)を可能にし、エアコン更新時に発生する廃材を抑制した。また、ユーザーの据付け工事費用の最小限化も可能にした。

### 5. む す び

現在、家電リサイクル法、省エネルギー法等の環境保護に関する法律が施行され、解体作業性の改善、再商品化率の改善や、樹脂材料等の再生化技術の開発等が急速に進められている。ともすると法律対応のみに視点が向きがちであるが、常にユーザーの視点に立ち、ユーザーとしての価値を高める環境配慮技術の開発を進めることで、更に環境適合型設計を加速していきたいと考える。

#### 参 考 文 献

- (1) 永友秀明：簡易DFD手法による家電品の設計，三菱電機技報，75，No.5，328～330（2001）
- (2) 田邊義浩，ほか：ルームエアコンのリサイクル容易化設計事例，代替冷媒と環境国際シンポジウム2002，(社)日本冷凍空調工業会（2002）

# プラスチックの自己循環リサイクル技術

高木 司\* 松尾雄一\*\*\*  
 岩田修一\* 長谷部雄一+  
 井関康人\*\*

Material Recycling Technologies for Closed-Loop Recycle System of Plastics

Tsukasa Takagi, Syuichi Iwata, Yasuto Iseki, Yuichi Matsuo, Yuichi Hasebe

## 要 旨

2001年から「特定家庭用機器再商品化法」(通称：家電リサイクル法)が施行された。家電4品目に再商品化が義務付けられ、使用済み家電製品から素材を取り出し、再び資源として有効活用する循環型社会の仕組み作りが大いに求められている。素材別に見ると、金属やガラスの再資源化は進んでいるが、プラスチックの再資源化が課題となっている。

また、製品設計における3R(リデュース、リユース、リサイクル)への対応も重要な要素であり、そのため、リサイクルプラスチックの製品への利用促進が望まれている。

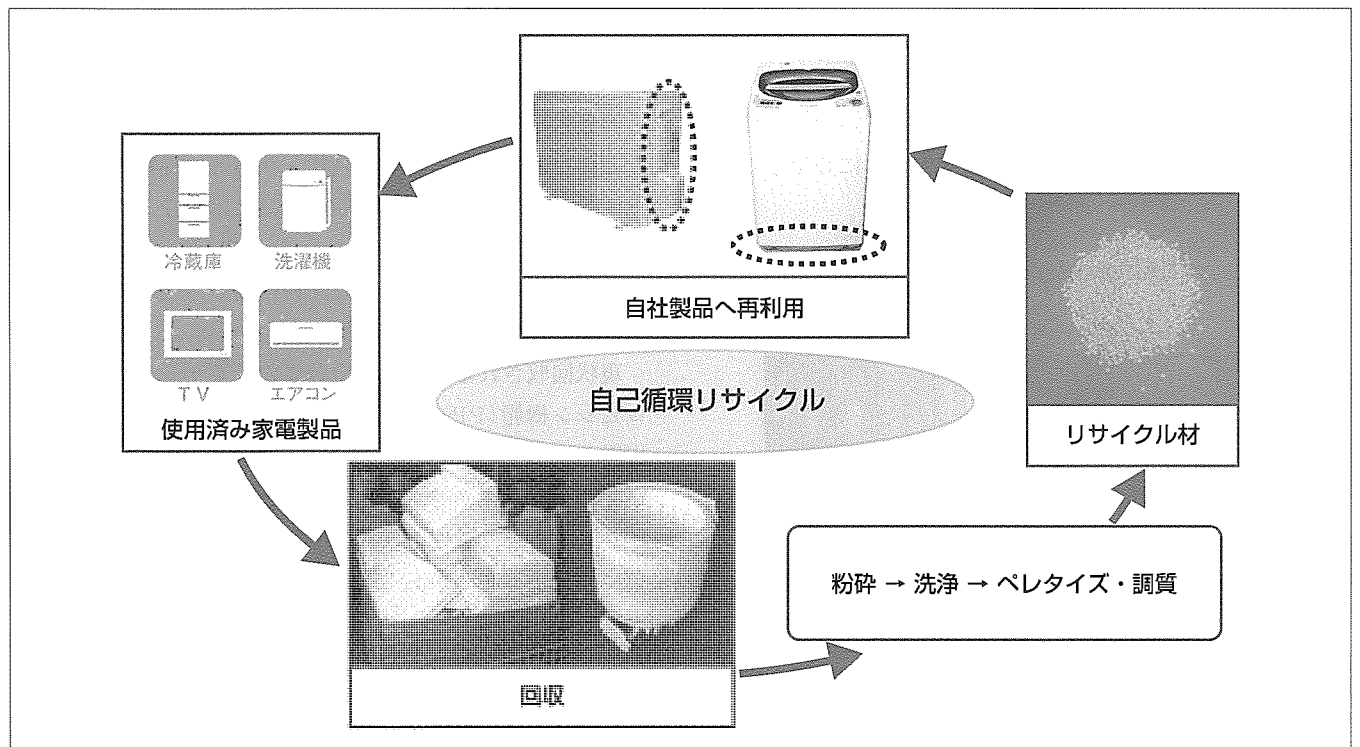
このような背景の下、三菱電機は、“自己循環リサイクル”を方針に掲げ、リサイクル活動を推進している。自己循環リサイクルとは、使用済み製品から得られた素材を自社製品に再利用することである。これにより、使用済み製品の再資源化と、製品へのリサイクル材利用促進を両立で

き、自己完結の中で、目指すべき循環型社会形成の一端を担うことができる。

本稿では、当社の自己循環リサイクルの取り組みについて、製品適用事例を中心に述べる。具体的には、手解体によるプラスチック自己循環リサイクル事例として、使用済み冷蔵庫野菜ケース(ポリプロピレン樹脂)のルームエアコン室外機意匠パネルへの適用、使用済み洗濯機水槽(ポリプロピレン樹脂)の洗濯機底枠への適用について述べる。

リサイクル材の課題である、①異物除去、②材料物性ばらつきの抑制、③材料劣化の回復、について改善検討を行い、再生処理プロセス及び材料調質処方最適化により、これら自己循環リサイクル材の製品適用を可能とした。

今後は、手解体部品の自己循環リサイクルの適用を拡大するとともに、混合プラスチックの自己循環リサイクルを展開していく。



## 自己循環リサイクル

三菱電機のリサイクルの基本的な考え方であり、プラスチックのみならず、洗濯機のバランスとしての塩水の再利用やエアコンから回収した冷媒から作るふっ素樹脂の適用など、いろいろな素材でこの考え方が適用されている。

## 1. ま え が き

2001年から「特定家庭用機器再商品化法」（通称：家電リサイクル法）が施行され、家電製品4品目（冷蔵庫、洗濯機、エアコン、テレビ）に再商品化率50～60%が義務付けられた。法制化に伴い、使用済み家電製品から素材を取り出し、再び資源として有効活用する循環型社会の仕組み作りが大きい求められている。使用済み家電製品の再商品化状況を図1に示す。素材別に見ると、金属やガラスの再商品化は進んでいるが、プラスチックの再商品化が課題となっている。

また、製品設計における3R（リデュース、リユース、リサイクル）への対応も重要な要素であり、そのため、リサイクルプラスチックの製品への利用促進が望まれている。

このような背景の下、当社は、「自己循環リサイクル」を方針に掲げ、リサイクル活動を推進している。自己循環リサイクルとは、使用済み製品から得られた素材を自社製品に再利用することである。これにより、使用済み製品の再資源化と製品へのリサイクル材利用促進を両立でき、自己完結の中で、目指すべき循環型社会形成の一端を担うことができる。

## 2. 当社の目指す自己循環リサイクル

当社は、使用済み家電製品から得られたプラスチックを自社製品に再利用する自己循環リサイクルの展開を目指している。当社の自己循環リサイクルは、千葉県市川市にある(株)ハイパーサイクルシステムズで回収した使用済み家電製品部材を元に技術開発、量産化を進めている。当社は、使用済みプラスチック部材を図2に示すように分類してお

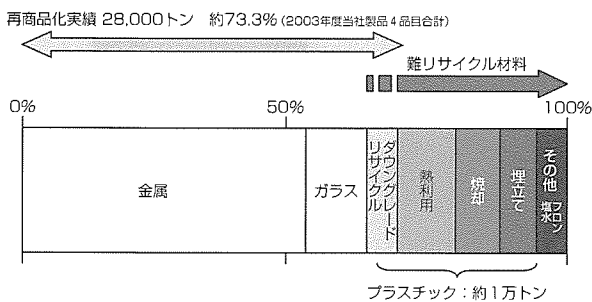


図1. 当社製品の再商品化率 (2003年度4品目合計)

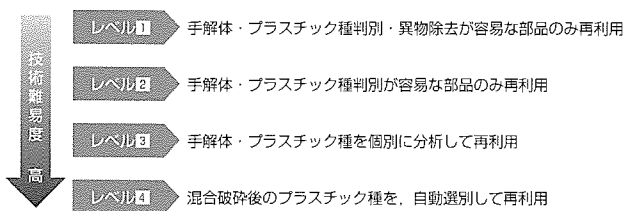


図2. 当社の回収プラスチックレベル区分

り、回収・分別や異物管理のしやすさから、「レベル2」と呼ぶ手解体部品の自己循環リサイクル技術開発にまず着手した。本稿では、このレベル2の製品適用事例を中心に述べる。具体的には、使用済み冷蔵庫野菜ケース（ポリプロピレン樹脂）のルームエアコン室外機意匠パネルへの適用、使用済み洗濯機水槽（ポリプロピレン樹脂）の洗濯機底枠への適用について述べる。今後は、「レベル2」の適用拡大を図るとともに、ダウングレード利用に限定されている、「レベル4」と呼ぶ混合プラスチックの自己循環化を図るため、技術開発を推進している。

## 3. 自己循環リサイクルの課題

プラスチックの自己循環リサイクルを継続的に運用していくためには、品質的に安定したリサイクル材を製造することが重要となる。リサイクル材の共通課題として、①異物除去、②材料物性ばらつきの抑制、③材料劣化の回復、の3つがある。

これらの改善を行う上での開発検討課題として、①再生処理プロセスの最適化、②材料調質方法の確立、を挙げ、製品適用検討を推進した。自己循環リサイクルであっても、課題は一般のリサイクル材と同じではあるが、再度家電製品へ使用するため、ダウングレード利用時より、要求品質レベルは高いものになり、工程管理もより厳しいものが求められる。

## 4. 再生処理プロセスの最適化

### 4.1 回収部品の異物混入状態

再生処理プロセスを検討するに当たり、まず回収対象となる部材に付着する異物の種類・状態等、異物の現状把握をする必要がある。特に、回収部品とは異なる樹脂部品の混入回避が重要なポイントとなる。表1に、(株)ハイパーサイクルシステムズで回収した使用済み冷蔵庫の野菜ケースの異物の種類とおよその混入割合を示した。

現状回収される使用済み冷蔵庫の野菜ケースは、ポリプロピレン樹脂(PP)製が大多数を占めるが、ポリスチレン樹脂(PS)製ケースが5%ほど存在する。PPとPSは、お互い相溶しない樹脂であるため、混合した状態で回収、リサイクルすると、強度低下等の原因となる。したがって、事前に分別する必要がある。野菜ケースは、白色の場合が多

表1. 回収野菜ケースの異物

異物の種類	混入率(wt%)
異樹脂(PS)野菜ケース	5
異樹脂(PS)小部品	0.4
ゴム栓	0.1
ラベル(PET)	0.01
食品汚れ	(定量不可)

PET: ポリエチレンテレフタレート

く、外観上、PPとPSを見分けることは難しいが、ケースの材質表示やケースの打音で判別を行い、回収時にPS製ケースが混入しないよう分別を図っている。異樹脂ケース以外の異物は、量的には多くないが、いずれもPPとは相溶しない材質であるため、回収時に分別徹底を図っている。

次に、使用済み洗濯機水槽の場合は、全洗濯機の水槽の材質がPPであり、異樹脂部品の混入は発生しないが、図3に示すように、壁面への洗剤残分、“カビ”等の付着があり、この除去が課題となる。

#### 4.2 異物除去工程の検討

上記のように、部品回収時に手作業で除去可能な異物は異樹脂部品主体にできる限り除去するが、このままでは、リサイクル材を適用する部品の要求品質を物性・意匠両面で満たすことはできない。したがって、食品汚れ、洗剤残分など手作業で除去しにくい異物、回収時に除去しきれない異樹脂部品は、機械的な工程を設け、除去することを検討した。

異物除去の工程は、幾つかの方式が考えられるが、リサイクル材の要求品質と生産性のバランスを図り、最適なプロセスを構築する必要がある。そこで、幾つかの異物除去工程とその組合せについて検討を行った。今回野菜ケースに関して検討したリサイクル材の再生処理プロセスを図4に示す。

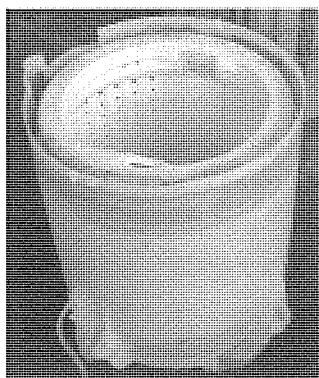


図3. 回収洗濯機水槽

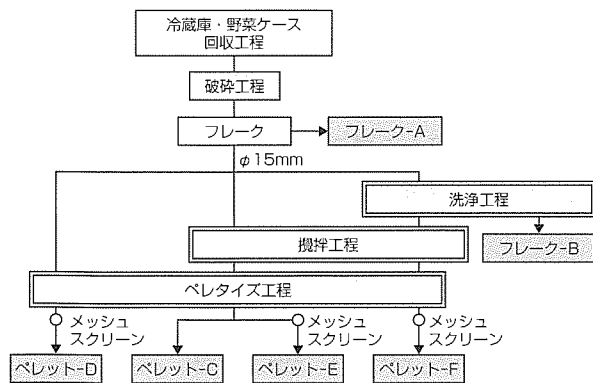


図4. リサイクル材の再生処理プロセス

簡単に再生処理プロセスを解説すると、使用済み冷蔵庫から野菜ケースを回収する回収工程、回収した野菜ケースを破砕する破砕工程(φ15mm)、水を用いて洗浄する洗浄工程、タンブラーを用いて材料の均一化を行う攪拌(かくはん)工程、二軸押出機を用いてペレット化するペレタイズ工程、押出機のダイに金網メッシュを設けて異物除去を行うメッシュスクリーン工程からなる。

各再生処理工程を組み合わせると、再生処理プロセスの異なる6種類のリサイクル材(フレーク及びペレット)を得た。この6種類の材料の機械的特性を表2に示す。また、リサイクル材の比較として、当社野菜ケース現行材の評価も併せて行った。

材料の強度を示す引張降伏強度は再生処理プロセスに関係なくほぼ同等の値を示したが、材料の靱性(じんせい)を表す衝撃強度は、各再生処理プロセスを経ることにより、物性の改善が見られた。これらの結果から、靱性改善に有効な再生処理プロセスは、メッシュスクリーン工程を含むペレタイズ工程、洗浄工程の順となり、両方の工程を経たペレット-Fの靱性は、当社現行材に近い値まで物性回復することが分かった。

この材料間の物性の違いは異物除去状態の違いによるものと推定されたため、各材料の異物残存状態を定量化することを試みた。表3に、各材料の異物占拠率を示す。ここで、異物占拠率とは、二次元的に見た場合の引張試験破断面に占める異物の面積の割合と定義し、異物の混入度合を評価する指標とした。この異物占拠率と衝撃強度の関係を示したのが図5である。このように、異物占拠率と衝撃強度の間に相関が得られ、物性回復が異物除去の効果であることが明らかになった。

表2. リサイクル材の機械的特性

物性 材料	引張降伏強度	シャルピー衝撃強度
	(MPa)	ノッチなし(kJ/m <sup>2</sup> )
フレーク-A	27(1.8)	33(16.2)
フレーク-B	28(1.4)	45(11.2)
ペレット-C	28(0.7)	60(25.5)
ペレット-D	28(1.0)	78(12.0)
ペレット-E	28(0.7)	68(17.3)
ペレット-F	28(0.6)	107(19.8)
現行材	30(0.3)	147(18.8)

※( ): 変動係数(%)

表3. リサイクル材の異物占拠率

材料	異物占拠率(%)
フレーク-A	3.3
フレーク-B	2.5
ペレット-C	2.2
ペレット-D	1.4
ペレット-E	1.3
ペレット-F	0.9

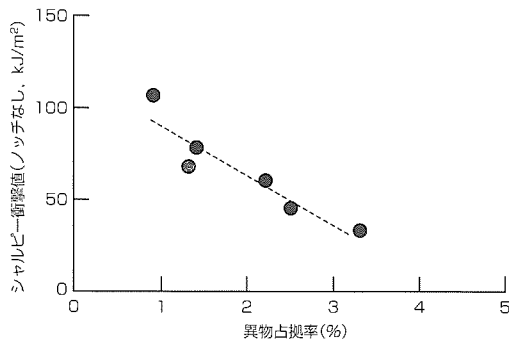


図5. 異物占拠率とシャルピー衝撃値(ノッチなし)の関係

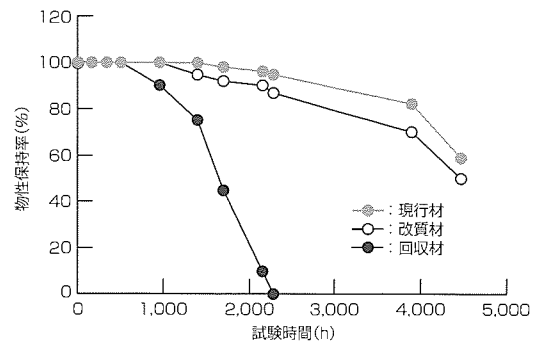


図7. オープン試験(120℃)の結果

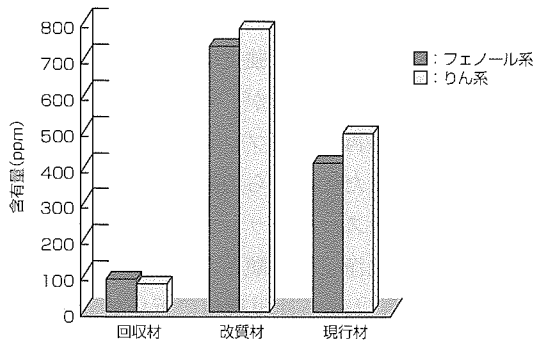


図6. リサイクル材及び現行材の酸化防止剤の含有量

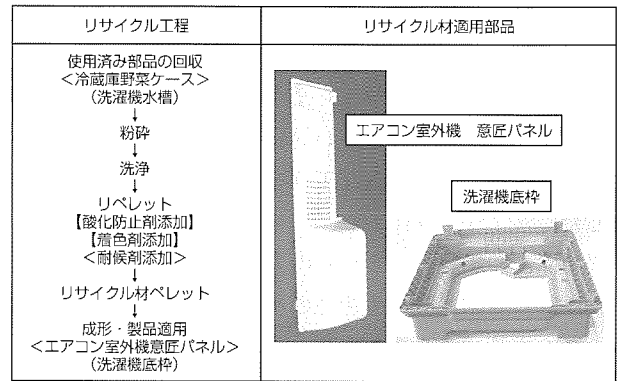


図8. リサイクル材の量産工程と適用部品

### 5. 材料調質方法の確立

材料調質のポイントは、①物性ばらつき抑制、②材料劣化の回復、③適用部品の要求機能付与の3点である。このうち①は、今回の回収部品である野菜ケース、水槽において、各社同系統の材料を使用していること、回収時の使用済み製品のメーカー別比率が余り変動しないこともあり、回収ロットによる物性変動は品質管理上問題となるレベルではなかった。②に関しては、特に部品寿命に大きな影響を及ぼす酸化防止剤の残存量に着目し、検討を行った。回収部品は、主に成形時、使用時の熱により、添加している酸化防止剤が消費され、その結果劣化が進む。元来、耐熱性を確保するために、ポリプロピレン樹脂は、フェノール系及びりん系酸化防止剤が添加されている。リサイクル材の場合、この酸化防止剤が減少しており、再添加する必要がある。図6に、野菜ケースリサイクル材の酸化防止剤の添加前(回収材)と添加後(改質材)の含有量を示す。

図7に示すように、オープン試験(120℃)の結果、改質材は酸化防止剤を再添加することにより、現行材と同等の耐熱性を持つことが分かった。

③については、適用部品ごとにその要求品質が異なり、その対応方法が異なるが、今回の使用済み野菜ケースをエアコン室外機の意匠パネルに適用した事例では、適用先が屋外用であるため、耐候剤を必要量添加し、紫外線によ

る品質劣化を防止した。

### 6. むすび

当社の自己循環リサイクルの取り組みについて、製品適用事例を基に紹介した。今まで述べた検討内容を基に、冷蔵庫野菜ケースリサイクル材、洗濯機水槽リサイクル材の量産は、意匠性、機械的特性、生産性のバランスから、図8に示す再生処理プロセス、調質方法を採用した。

その結果、野菜ケースリサイクル材については、2004年3月、水槽リサイクル材については、2004年12月から量産導入を開始した。

今後は、手解体部品の自己循環リサイクルの適用を拡大するとともに、混合プラスチックの自己循環リサイクルを展開していく予定である。

### 参考文献

- (1) 高木 司, ほか: プラスチックの自己循環マテリアルリサイクル技術, 三菱電機技報, 78, No.11, 735~738 (2004)
- (2) 松尾雄一, ほか: 廃家電プラスチックリサイクル材の機械的特性に及ぼす再生処理工程の影響(2), 成形加工シンポジウム'04, 181~182 (2004)



# 持続可能な社会の実現を目指した指標 “ファクターX”の評価手法とその適用事例

高橋徹也\*  
上野 潔\*\*  
杉山陽一\*\*\*

Evaluation Method and Case Study for “Factor X” – an Unique Indicator Aiming at Realizing the Sustainable Society  
Tetsuya Takahashi, Kiyoshi Ueno, Yoichi Sugiyama

## 要 旨

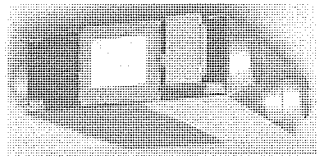
持続可能な社会を実現するには脱物質化と経済成長の両立が不可欠であるが、そこでの課題は環境効率の向上である。三菱電機では、製品の環境効率指標として注目されている“ファクターX”について、当社の環境活動の切り口として推進中の“MET”の観点に基づいて独自に考案した算出方法を当社製品に適用し、2001年12月から試算値を公開してきた。2003年度からは、製品の価値の向上度も併せて評価する試みにもチャレンジし、ファクターを性能ファクター×環境負荷ファクターの積算値で示すことで性能向上度、環境負荷改善度の寄与の明確化・透明化を担保する改良に成功し、最新の情報について当社の社外Webから必要なデータはすべて情報公開している。本稿では、ファク

ターXの指標開発に関する一般的な内外の動向、指標導入の意義、課題を示し、その上で、当社が今回新たに考案したファクターXの基本的概念、理論及び算出方法を具体的製品への適用事例を用いて述べている。ファクター手法の標準化を志向した作業は始まったばかりであり、未だ発展途上の段階である一方、ファクター値による商品選択の指標としてのニーズも高く、我が国でもファクターの市場における価値を高めるための諸活動が始まっている。当社においても、考案した指標、算出方法の検証、精度向上を引き続き進め、市場での価値を高める活動に注力していくこととしている。

$$\text{ファクター} = \text{性能の改善度(生活の価値)} \times \frac{1}{\text{環境負荷の低減度(環境への影響)}}$$

$$= \text{性能ファクター} \times \text{環境負荷ファクター}$$

基本機能×製品寿命で評価

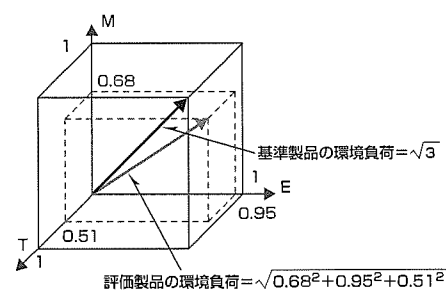


ファクター1.90  
=性能ファクター1.400×環境負荷ファクター1.363

環境負荷をMETの3軸で評価し、ベクトル合成し統合化

Material: 循環しない資源消費量※  
Energy: 消費電力量  
Toxicity: 環境リスク物質の含有

※パーজন資源消費量+リサイクルされず廃棄される量



標準製品の環境負荷= $\sqrt{3}$

評価製品の環境負荷= $\sqrt{0.68^2+0.95^2+0.51^2}$

ロスナイでの試算 (LGH-5ORS4)※	環境負荷			製品の性能	
	M: 資源有効活用	E: エネルギーの効率利用	T: 環境リスク物質の含有		
基準製品 1990年度製 LGH-5ORS6	1	1	1	1.732	1
評価製品 2004年度製 LGH-5ORS4	0.68	0.95	0.51	1.270	1.4
改善内容	部品点数削減 ねじ削減 板金の薄肉化	モータの効率向上 年間消費電力量: 570kW・h/年 ↓ 540kW・h/年	モータ、及び基板 はんだの無鉛化 はんだ中の鉛: 3.333g→0g 六価クロム: 0.143g→0.103g		<ul style="list-style-type: none"> <li>●熱交換効率 58→64.5% (1.11倍)</li> <li>●機外静圧 3→6.1mmAq (2.03倍)</li> <li>●有効換気率 90→95% (1.06倍)</li> </ul>
(A) 環境負荷ファクター(1/評価製品の環境負荷)/(1/基準製品の環境負荷)				1.363	
(B) 性能ファクター(評価製品の性能)/(基準製品の性能)				1.400	
(A)×(B) ファクター				1.909	

※平成16年度 第15回 省エネ大賞 省エネルギーセンター会長賞受賞(主催:財 省エネルギーセンター)  
ハイパーエレメント搭載 全熱交換器「業務用ロスナイ 天井カセット形、天井吊込形」LGH形ハイパーエレメント搭載シリーズ

## 三菱電機グループが提唱するファクターXの概念

ファクターとは、生活の便益(製品機能)の向上を分子に、環境負荷の低減を分母に表したものである。分子をより大きく、分母をより小さくすることで、より持続可能になる。製品機能の向上と環境負荷低減度の寄与を透明化するため、ファクターを性能ファクター(製品性能の向上度)及び環境負荷ファクター(環境負荷の低減度)の両面から評価し、積算の形で示した。性能ファクターは個々の基本機能の性能指標の加算比で評価し、環境負荷ファクターはMETの3軸の各環境負荷指標をベクトル合成比として評価する(換気空清機「ロスナイ」での試算結果)。

## 1. ま え が き

持続可能な社会を実現するには、脱物質化と経済成長の両立が不可欠であり、そこでの課題は環境効率の向上である。当社では、製品環境負荷の管理指標として注目されている“ファクターX”について、当社の環境活動の切り口として推進中の“MET”に基づいた独自の算出方法を考案し、自社製品に適用し、2001年12月に試算値を公開した。

本稿では、当社のファクターXの概念と算出手法及びその事例について述べ、さらに、課題と今後の方向性について提案する。

なお、METとは下記を指す。

M：Material＝資源の有効活用

E：Energy＝エネルギーの効率利用

T：Toxicity＝環境リスク物質の排出回避

## 2. ファクターXとは

### 2.1 基本 概念

ファクターとは、持続可能な社会を実現するため可能な限り少ない自然資源を利用し社会福祉、経済的付加価値及び生活の便益を向上させることが必要との原則に基づき、欧米で提唱された概念である。元独ブッパタル研究所所長のエルンスト・フォン・ワイツゼッカー博士は、先進国の資源エネルギー消費量を1/4に削減し、資源効率、環境効率を4倍まで高めるべきことを発表した(ファクター4)。この概念を手法として提唱したものが、東京大学の山本良一教授らによるファクターXである。ファクターXは、環境負荷低減度と併せて製品及びサービスの技術進歩を評価する。従来よりも1/Xの環境負荷で従来製品の価値が提供できたとき、環境効率がX倍になった(ファクターX)ことを示す。目標である数値“X”は、そのレベルにより、従来の改善(ファクター1～3)、大幅な設計変更(ファクター3～10)、脱物質レベル(ファクター20～)が決まる変数であり、数値が大きいほど持続可能である。例えば、消費電力量の大幅削減を可能とする製品でも、一方では質量が大きくなり資源使用量が増えるケースもあるため、相反する関係にある環境負荷を総合的にとらえる改善度指標が求められていた。ファクターXはこの課題にこたえる指標でありLCA(Life Cycle Assessment)とは異なる。

### 2.2 ファクターXのメリット

消費者は、その製品のファクターを見れば、企業がどのような技術開発をしてきたのか、エコデザインによって環境を配慮した“モノ作り”がどれだけ達成できたのかが直感的に把握できる。また、企業の技術者にとっては、自らが設計開発した製品の環境配慮度を客観的に把握できる。企業の経営者にとっては環境に配慮したモノ作りの方向へドライブを掛け企業活動の競争力を確保することが使命であ

るが、ファクターという指標を用いることにより戦略的な環境経営を行うことが可能である。

## 3. ファクターXの算出

### 3.1 算 出 方 法

環境効率＝(製品の性能)÷(製品の環境負荷)の定義により、ファクターは、以下のとおり導かれる。

$$\begin{aligned} \text{ファクター} &= \text{新旧製品の環境効率改善度}(\Delta EE) \\ &= \frac{(\text{新製品の環境効率: } EE_{new})}{(\text{旧製品の環境効率: } EE_{old})} \\ &= \frac{\left[ \frac{\text{新製品の性能}(P_{new})}{\text{新製品の環境負荷}(I_{new})} \right]}{\left[ \frac{\text{旧製品の性能}(P_{old})}{\text{旧製品の環境負荷}(I_{old})} \right]} \\ &= \frac{\text{性能の改善度}}{\text{環境負荷の低減度}} \\ &= \text{性能の改善度} \times \frac{1}{\text{環境負荷の低減度}} \\ &= \text{性能ファクター} \times \text{環境負荷ファクター} \end{aligned}$$

ここで、EE：環境効率、P：製品の性能、I：製品の環境負荷、old：旧製品、new：新製品である。

### 3.2 算出に当たっての一般的課題

- (1) ファクターの分子は性能向上度である。仮に製品性能が飛躍的に向上した場合、環境負荷低減度が低くても、見掛け上のファクター値が大きくなり、環境負荷因子の寄与度が不鮮明になる。性能評価の改善度の妥当性については十分に検証されるべきである。
- (2) 旧製品ではなかった新機能が加わった場合、分子(性能の改善度)の1因子が無限大になる。また、鉛フリー対策等を実施し環境リスク物質の使用を全廃する場合、分母(環境負荷改善度)の1因子がゼロとなり、この場合もファクター値が無限大となる。各々の因子の定量化手法が課題である。
- (3) 通常、性能改善の変化分である分子、環境負荷改善分の分母の因子は1つではなく、独立した複数の因子から構成される。これらの独立した因子の統合化手法も課題である。

## 4. METの視点から提唱するファクターXの算出

当社では多種多様な環境負荷の重み付けや製品の性能向上分の評価などを極力単純化したベクトル合成方式を考案し、ファクターXを算出した。この方式では、METのどれかがゼロになってもベクトル和として評価が可能で、バランスのとれた改善をしないとファクター値が向上せず、控えめな数値となる(省エネルギーだけやってもトータル値は大きくならない)のが特長である。

### 4.1 ファクター算出の基本的考え

#### 4.1.1 比較 製品

基準製品(原則として1990年の社内製品)と比較する。



表1. 換気空清機 ロスナイのファクターX

		環境負荷				製品の性能
		M: 資源有効活用	E: エネルギーの効率利用	T: 環境リスク物質の含有		
基準製品	1990年度製 LGH-50R6	1	1	1	1.732	1
評価製品	2004年度製 LGH-50RS4	0.68	0.95	0.51	1.270	1.4
改善内容	部品点数削減 ねじ削減 板金の薄肉化		モータの効率向上 年間消費電力量: 570kW・h/年 ↓ 540kW・h/年	モータ、及び基板 はんだの無鉛化 はんだ中の鉛: 3,333g→0g 六価クロム: 0.143g→0.103g		<ul style="list-style-type: none"> <li>熱交換効率 58→64.5% (1.11倍)</li> <li>機外静圧 3→6.1mmAq (2.03倍)</li> <li>有効換気率 90→95% (1.06倍)</li> </ul>
(A)	環境負荷ファクター(1/評価製品の環境負荷)/(1/基準製品の環境負荷)					1.363
(B)	性能ファクター(評価製品の性能)/(基準製品の性能)					1.400
	(A)×(B) ファクター					1.909

表2. 換気空清機 ロスナイにおける環境ファクターの算出

M	①製品質量	基準製品		評価製品		E	消費電力量/年	基準製品		評価製品	
		49.70	kg	34.7	kg			570	kW・h	540	kW・h
	鉄	33.20	kg	23.95	kg		待機時消費電力量	0	kW・h	0	kW・h
	銅	0.59	kg	0.59	kg	T	はんだ中の鉛使用量	3.333	g	0.000	g
	アルミ	0.13	kg	0.08	kg		カドミウム使用量	0.000	g	0.000	g
	樹脂(再生材)	0.00	kg	0.00	kg		水銀使用量	0.000	g	0.000	g
	樹脂(非再生材)	3.63	kg	3.58	kg		六価クロム使用量	0.143	g	0.103	g
	その他	12.15	kg	6.50	kg		PBB使用量	0.000	g	0.000	g
	②再生材の質量	11.71	kg	8.47	kg		PBB/ PBDE使用量	0.000	g	0.000	g
	③再利用部品の質量	0.00	kg	0.00	kg						
	④3R材質量(②+③)	11.71	kg	8.47	kg						
	⑤バージン資源(①-④)	37.99	kg	26.23	kg						
	⑥再資源化可能	33.92	kg	24.62	kg						
	⑦再資源化不可能質量(①-⑥)	15.78	kg	10.08	kg						

ファクター	基準製品	評価製品
M 2×質量-3R-3R可能(⑤+⑦)	1	0.6751
E 消費エネルギー量削減	1	0.9474
T リスク物質削減	1	0.5104
環境負荷(MET合成値)	1.7321	1.2703
環境負荷ファクター	1.3635	

注) 3Rは、Recycle, Reuse, Reduceの3つを指す。

言えず、黎明(れいめい)期の段階である。まずは、“環境効率・ファクター”の概念や、自分の都合の良いように計算していないことをきちんと説明し、理解を求めていく活動が必要である。

6.2 設計技術者へのインセンティブ

環境負荷の定量化手法であるLCAでは、数値は小さいことを是とする。一方、ファクターは、製品の機能・サービスの向上度、品質向上度を把握するものであり、大きければ大きいほど良い。これは、本来の製品技術者の手腕を正当に評価することを意味することからファクターは“未来志向の明るい指標”であり、技術者へのインセンティブにもなる。

6.3 エコプロダクツ創出のためのドライビングフォース

持続可能な社会を実現するための有効な指標である環境効率指標ファクターの手法を採用することで、将来到達すべき目標を定め、真のエコプロダクツ創出のためのドライビングフォースとすることができる。製品の環境効率値ファクターを毎年向上させていくこと、これは正にISO14001が言うところの“継続的改善”にほかならない。

6.4 製品の機能・サービス向上度の評価

環境効率、ファクターの分子である性能向上度の評価については、各社試行錯誤の中、指標開発が始まったばかりである。当社でも、逐次、最適な評価手法を取り入れ、ファクターの精度向上を図っていく。

7. むすび

ファクターの手法化・標準化作業は始まったばかりであり、まだまだ発展途上であるが、我が国では、2004年度に(社)産業環境管理協会が環境効率を適用する際の手引書を発行し、同協会が事務局となり“環境効率フォーラム”が発足した。このフォーラムでは、環境効率、ファクターの普及啓発を推進することとしている。持続可能な社会を実現するための有効な指標として、評価指標、試算方式については今後も検証を行い、我が国の標準化に貢献するとともに

市場価値を高める活動に注力していく。

参考文献

- (1) Ueno, K., et al.: Efforts to Improve the Eco-Efficiency for Products of Mitsubishi Electric Corporation-Factor X by Using MET Indicators Proceedings EcoDesign 2001, 836~841
- (2) 三菱電機環境レポート (2002)
- (3) 三菱電機グループ: 環境・社会報告書2003
- (4) 三菱電機グループ: 環境・社会報告書2004
- (5) Takahashi, T., et al.: The New Evaluation Method of Eco Products Using the Eco-Efficiency Index (Factor X) by Consideration of MET Proceedings EcoDesign 2003, 289~290
- (6) 上野 潔, ほか: 製品価値の向上と環境負荷低減の両面を評価可能とする指標「ファクターX」の評価手法とその適用事例, エコデザイン2004ジャパンシンポジウム, 284~287
- (7) 製品に関する「環境効率・ファクター」の手引き, (社)産業環境管理協会 (2004)

# LCAによるパワーモジュールの環境負荷評価

廣瀬悦子\* 吉田貴信\*\*  
山田直志\*  
福永匡則\*\*

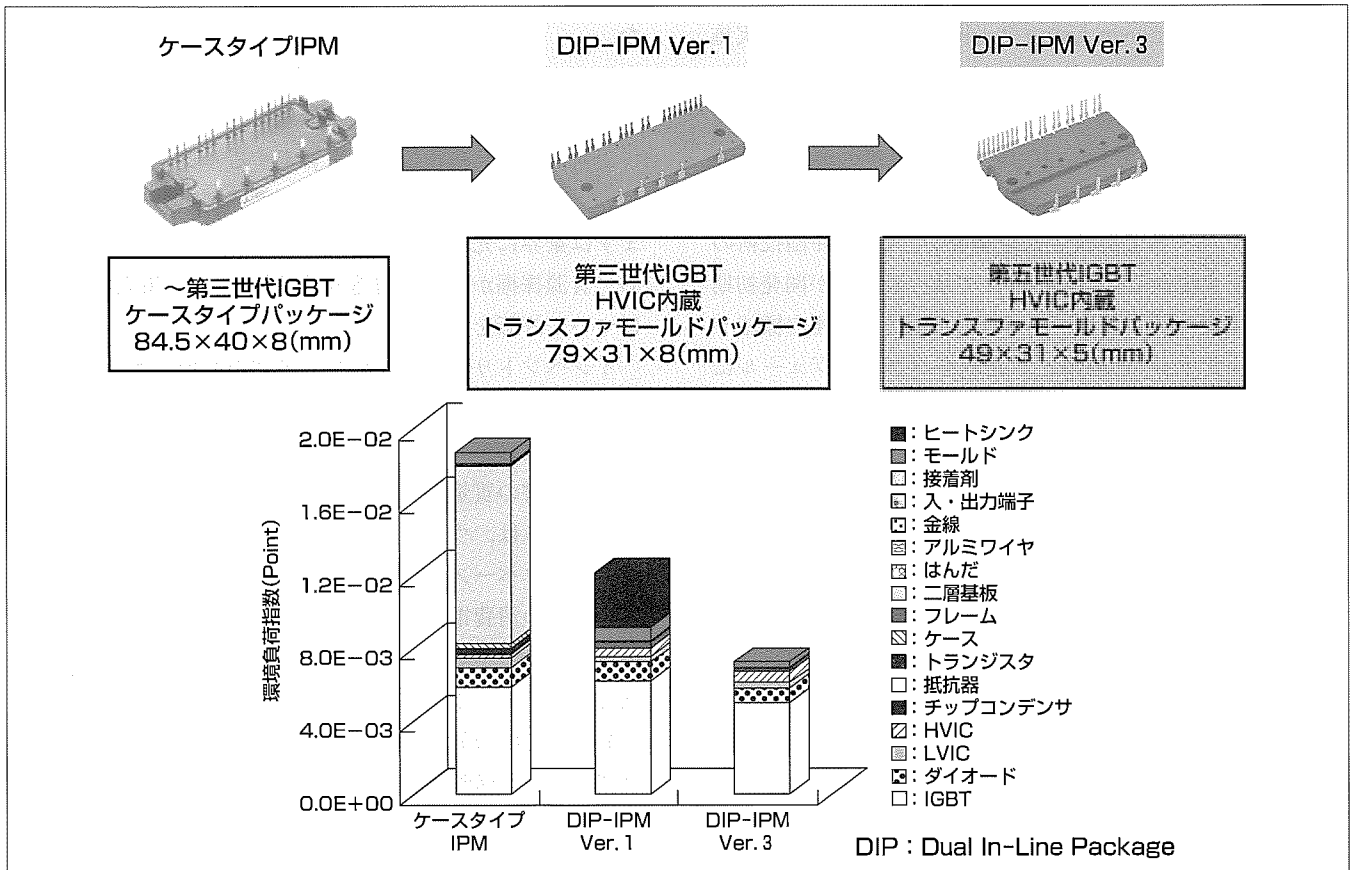
## Environmental Assessment of Power Modules Based on LCA

Etsuko Hirose, Naoshi Yamada, Masanori Fukunaga, Takanobu Yoshida

### 要旨

温暖化ガスの抑制やゼロエミッションを追及する循環型社会の実現に向けて、設計段階から環境負荷低減を考慮した製品が不可欠になっている。三菱電機では、環境適合設計を推進するに当たり、製品やサービスのライフサイクルつまり資源の採掘から製造→輸送→使用→経年廃棄までの各段階を通じて、環境に与える負荷を定量化する手法としてLCA(Life Cycle Assessment)による評価を実施している。今回、標準化が進む経済産業省LCAプロジェクトのデータベース、当社固有の社内共通主要部品及び(株)ハイパーサイクルシステムズでの廃棄処理プロセスのデータ等で構築された社内標準データディレクトリを用いて、パワーモジュールのLCA評価を実施した。

パワーモジュールは、インバータ制御の心臓部であり、地球環境への配慮から省エネルギー化・低損失化・高機能化・小型化が急速に進んでいる。なかでもIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)に駆動・保護・診断回路等を組み込みモジュール化したIPM(Intelligent Power Module)は、家電・産業・自動車・電鉄等幅広く普及拡大しており、機器の高機能・小型化に貢献している。また、モジュールのパッケージ技術も従来の組み込み型のケースタイプからトランスファモールドによる一体型タイプに移行しつつあり、これらの技術革新が環境負荷の低減に有効であることをLCA評価によって明らかにした。



### 家電用IPMの技術革新に伴う環境負荷の変遷

エアコン・冷蔵庫・洗濯機など家電製品のインバータ駆動用に主に使用されている家電用IPMでは、高信頼性でかつ小型化・軽量化・低コスト化の要求にこたえるため製品開発を進めてきている。今回世代交代に伴う環境負荷をLCAで評価したところ、小型化による樹脂使用材料の削減、ヒートシンクの廃止、損失低減による高効率化等の技術革新とともに、環境負荷が低減していることを明らかにすることができた。

### 1. ま え が き

近年、温暖化ガス等の抑制やゼロエミッションを追求する循環型社会の実現に向けて、設計段階から環境負荷低減を考慮した製品の開発が不可欠である。このためには、製品やサービスのライフサイクルつまり資源の採掘から製造→輸送→運用→経年廃棄までの各段階を通じて、環境に与える負荷を定量化するLCA評価技術が重要になっている。LCAは、全ライフサイクル段階において、地球環境に与える環境負荷を分析する手法であり、環境負荷の低減を図るためのツールとして、国際標準化機構(International Organization for Standardization : ISO)でISO14040シリーズとして規格化され、日本工業規格(JIS)でも規格化されている。

我が国では、経済産業省の支援によるLCAプロジェクト「製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発」が1998年から5か年計画で実施され、パブリックデータベースの構築や日本版評価手法の確立等の目標を達成し2003年3月に完了した。現在、第2期LCAプロジェクト「製品等ライフサイクル二酸化炭素排出評価実証等技術開発」が発足し、LCAの実用段階に向けた活動が始まっている<sup>(1)</sup>。

一方、欧州では、環境設計指令案(A framework for Eco-design of Energy Using Products : EuP)でLCA実施が事実上義務付けられるとともに、グリーン調達規準として顧客からLCAにかかわるデータの提出が要求されつつある。そこで当社では、2006年度環境税の導入や3R(Reduce, Reuse, Recycle)配慮設計措置の法令化に向けて、データベースと評価手法を構築し、LCA評価技術の普及・定着を推進している。ここでは、設計者が開発初期段階から環境負荷が評価できるよう整備した“社内標準データディレクトリ”の概要と、それをパワーモジュールに適用した事例について述べる。

### 2. 社内標準データディレクトリの概要

今回構築したデータディレクトリは、標準化が進む経済産業省LCAプロジェクトのデータベース、当社固有の社内共通主要部品及び(株)ハイパーサイクルシステムズの廃棄処理プロセスのデータ等合計796項目からなる独自のデータベースで構成されている。これらは、社内標準LCAソフトウェア内に搭載され、①材料、②エネルギー、③輸送、④加工、⑤廃棄物シナリオ、⑥廃棄物処理の6つのメインカテゴリーに分類されている。このうち、307項目については共通資材品種と対応付けを行い、排出原単位を社内イントラネット上で公開している。排出物質は、いずれのデータも最低限CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>の3物質とし、LCAプロジェクトで公開されている14物質(大気圏排出：CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、HFC(ハイドロフルオロカーボン)、PFC(パーフル

オロカーボン)、N<sub>2</sub>O、SF<sub>6</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、煤塵(ばいじん)／粒子状物質、水圏排出：BOD(生物化学的酸素要求量)、COD(化学的酸素要求量)、全りん、全窒素、懸濁物質)に準じている。

### 3. パワーモジュールへのLCA適用

パワーエレクトロニクス産業のキーパーツであるパワーモジュールは、地球環境への配慮から省エネルギー化・低損失化・高機能化・高性能化・小型化が急速に進んでいる。この中でもIGBTの技術革新は著しく、電力損失を大幅に低減し、省エネルギー機器の電力変換効率向上に貢献している。さらに、IGBTに駆動・保護・診断回路等を組み込みモジュール化したIPMが、機器の高機能化・小型化を促進している。また、モジュールのパッケージ技術も従来の組み込み型のケースタイプからトランスファモールドによる一体型タイプに移行しつつある。これらパワーモジュールは、冷蔵庫のコンプレッサ駆動用から電鉄のモータ制御用まで用途は幅広く多種多様な機器に組み込まれており、その環境負荷を低減することは、CO<sub>2</sub>削減にも効果的である。

ここでは、IPMの発展形態に着目してLCA評価を行い、これまでの技術開発成果による環境負荷低減効果を検証した。

LCAは、図1に示す資源採掘から廃棄までのライフサイクル全般にわたり、製品が使用する資源やエネルギーと排出する環境負荷物質の量を算定するインベントリ分析を行い、その環境への影響を総合的に評価する手法であるが、まずは業界に先駆けて部品としての環境負荷を把握するため、資源採掘から素材製造→製品製造(加工組立て)の段階について評価を行った。

インベントリ分析で使用した各種素材やエネルギー源などに関する排出物質は、社内標準データディレクトリを使用した。素材データは、部品構成表の素材質量データを用いて各素材の質量を算出し、IGBT、FWD(Free Wheeling Diode)は、ウェーハプロセスラインのバランスシートからデータベースを作成した。製造データは、ウェーハ1枚当たりの消費電力を基にモジュール1個当たりの電力量を算出した。さらに、工場の大気、水質の環境データを調査し考慮した。これらのデータを基に、各排出物質(CO<sub>2</sub>・NO<sub>x</sub>・SO<sub>x</sub>等)の総和を各々算出し、その中で最も重要視されている地球温暖化に起因するCO<sub>2</sub>排出量をインベントリ

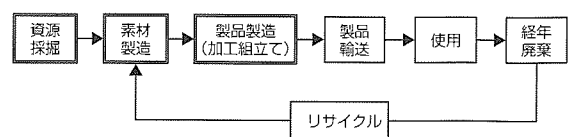


図1. IPMの評価範囲

分析結果として用いた。

影響評価には様々な手法があるが、ここではEco-Indicator99を用い、インベントリ分析で得られた排出物質を呼吸器系、気候変動、酸性化、富栄養化、化石燃料等に分類し、特性化係数を乗じて、環境影響の程度を明らかにした。続いて、この結果に正規化係数を乗じて、3つの保護対象(人類の健康、生態系の質、資源)ごとに集計を行い、さらに各保護対象に重み付けをし、環境負荷指数(Point)として単一指標化した。

### 3.1 家電用IPMの環境負荷

評価対象製品は、インバータエアコン用標準品の定格電圧：600V、定格電流：15Aとした。ケースタイプから、よりコストパフォーマンスの高いDIP-IPM Ver. 1 (1997年生産開始、現在は生産中止)、Ver. 3 (2002年生産開始)への発展に伴う環境負荷を材料用量に着目して評価した。

パワーモジュールのパッケージは、ケースタイプとトランスファモールドタイプとに大別できる。ケースタイプの中で、高耐圧化・大電流化が要求される一般産業・電鉄用途にはセラミックによる絶縁構造が採用され、小型化・低コスト化が要求される民生・家電用途には、エポキシ樹脂により絶縁する二層基板構造が採用されていた。1997年以降は更なる小型・低コストを目的として、トランスファモールド技術を適用した小容量パワーモジュール(DIP-IPM)が開発された<sup>(2)</sup>。DIP-IPMは、IGBT×6素子、FWD×6素子によるインバータ回路及びそれを駆動するHVIC (High Voltage IC)×3素子、LVIC (Low Voltage IC)×1素子を同一フレーム上に搭載し、それをトランスファモールドした構成である。ここで、家電用IPMの変遷を表1に、環境負荷を評価した結果を図2に示す。その結果、DIP-IPMでは、Ver. 3は絶縁技術の確立によりフレーム下部のヒートシンクをなくすとともに、第五世代プレーナ構造IGBTの採用でチップサイズの縮小を図り、Ver. 1に比べ小型化(実装面積約40%減・容積約60%減)・軽量化(約

60%減)を実現した<sup>(3)</sup>。これにより、リードフレーム、モールド樹脂の使用量が約50%削減され、さらに、ヒートシンクの廃止によって、環境負荷は約40%、CO<sub>2</sub>排出量も約30%低減している。

また、DIP-IPMは、構成素材の中でIGBTの環境負荷が最も大きく、特にVer. 3では全体の約70%、さらに、ダイオードとICを合わせると約90%を占める。これは、ウェーハ製造工程の環境負荷が他工程に比べ格段に大きいことに起因する。今後、環境負荷を低減するには、ウェーハ製造ラインでの電力、超純水、PFCガス(大気へ排出されるとCO<sub>2</sub>の6,500倍以上の温室効果)の削減が必要である。

パッケージ技術においては、ケースタイプから、一度に複数の成形が可能で生産性にも優れるトランスファモールドタイプに発展してきた。この技術革新により、ケースタイプで最も環境負荷が高い二層基板が不要となり、さらに、小型化を図ることで、DIP-IPM Ver. 1の環境負荷は、ケースタイプに比べて35%低減し、また、ヒートシンクをなくしたVer. 3とケースタイプを比較すると、60%の大幅な低減を実現している。CO<sub>2</sub>排出量については、Ver. 1、Ver. 3でそれぞれケースタイプと比べて38%、54%低減している。

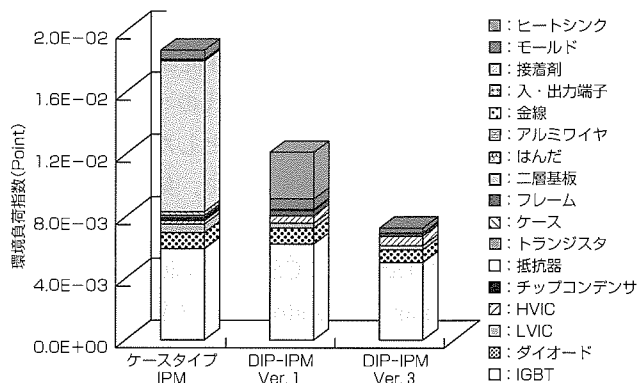
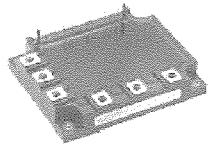
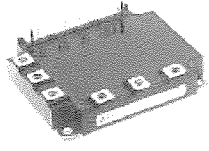
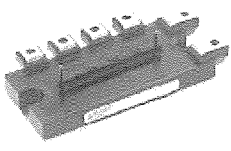


図2. 家電用IPMの環境負荷評価結果

表1. 家電用IPMの変遷

	ケースタイプIPM	DIP-IPM Ver. 1	DIP-IPM Ver. 3
断面構造			
パッケージ	ケース	トランスファモールド	トランスファモールド
デバイスの種類	～第三世代IGBT	第三世代IGBT HVIC内蔵	第五世代IGBT HVIC内蔵
ボディサイズ	85.4×40×8 ≒27,000mm <sup>2</sup>	79×31×8 ≒19,600mm <sup>2</sup>	49×31×5 ≒7,600mm <sup>2</sup>
質量	60g	54g	20g

表 2. 産業用IPMの世代比較

	第三世代 (PM50RSA060)	第四世代 (PM50CSD060)	第五世代 (PM50CLA060)
外観			
サイズ	88×109×31.6(mm)	89×110×31.6(mm)	55×120×31(mm)
質量	550g	560g	360g

現在、高放熱の新絶縁構造の採用により、300A/600Vの大容量トランスファームロードタイプIPMの開発を完了している。今後更に大容量機種でケースタイプからトランスファームロードタイプの適用が可能になれば、小型化・低コスト化の市場要求に対応できるだけでなく、環境負荷低減にも大いに貢献できることが示唆されている。

3.2 産業用IPMの環境負荷

評価対象製品は、インバータ等モータ制御用で定格電圧：600V、定格電流：50Aとし、第三世代(1999年発売：“Sシリーズ”)、第四世代(2001年発売：“S-DASHシリーズ”)、第五世代(2004年発売：“Lシリーズ”)について、素材に着目して環境負荷を評価した。各世代の比較を表2に、環境負荷を評価した結果を図3に示す。

第四世代は、1μmルールプレーナIGBTチップを採用したことで、飽和電圧1.7Vで動作し、性能面では損失低減効果がある。一方、環境面では第三世代のパッケージとの互換性を持たせ同一パッケージサイズとしたため、環境負荷はチップ質量の削減による効果のみで、第三世代に比べ約5%の低減にとどまっている。

第五世代は、IPMで初めてCSTBT(Carrier Stored Trench-Gate Bipolar Transistor)チップを搭載し、より低電圧の1.5Vで動作可能とし、約10%の定常損失低減による高効率化を実現した。さらに、新小型パッケージの採用で、第四世代に比べ、サイズで10%、厚みで22%削減された。これにより、ベース板の使用量が半減し約30%の環境負荷低減効果が得られた。CO<sub>2</sub>排出量も、第三世代から第四世代で10%、第四世代から第五世代で16%低減できた。

4. む す び

今回、資源採掘、エネルギー、輸送、製品製造、廃棄・リサイクル工程にわたり、構築した社内標準データディレクトリを用いて、IPMのLCA評価を実施した。その結果、これまでの小型化・低損失化を図ってきたことに伴い、環境負荷が低減していることを明らかにすることができた。

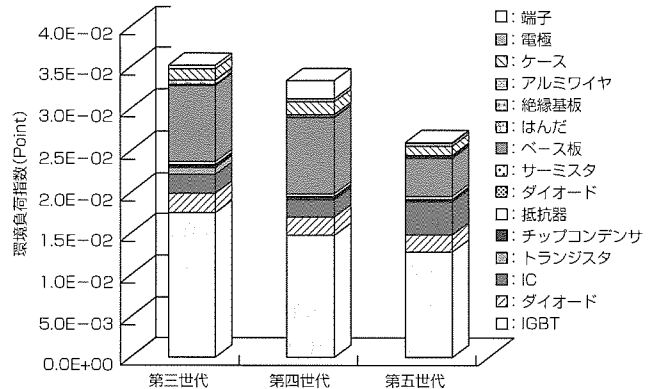


図 3. 産業用IPMの環境負荷評価結果

環境問題が注目される現在、地球温暖化に起因するCO<sub>2</sub>排出量削減対策として、インバータ制御による省エネルギー化や太陽光発電、燃料電池等のクリーンエネルギーの普及が重要である。特に家電製品では、使用時の環境負荷が全ライフサイクルの約90%を占める<sup>(4)</sup>ため、パワーモジュールの高効率化の効果は大きい。

今後、これら電力変換装置の心臓部であるパワーモジュールは、市場ニーズの実現に向け、より高性能で高付加価値のある製品提供を進めていくが、その際、小型化・低コスト化のみならず、設計段階から環境負荷低減策を考慮した開発に取り組んでいく所存である。

参考文献

- (1) LCA 公開データベース：(社) 産業環境管理協会 <http://www.jemai.or.jp/lcaforum/index.cfm>
- (2) 篠原利彰, ほか：パワーモジュールパッケージの技術動向, 三菱電機技報, 75, No.6, 421~424 (2001)
- (3) 岩上 徹, ほか：3Vマイコン駆動の新世代DIP-IPM, 三菱電機技報, 77, No.9, 575~578 (2003)
- (4) 高橋徹也, ほか：製品の環境対策への取組, 三菱電機技報, 75, No.5, 324~327 (2001)



# ポキポキモータによる省エネルギー・省資源

秋田裕之\*

Energy and Resource Saving by Poki-Poki Motor

Hiroyuki Akita

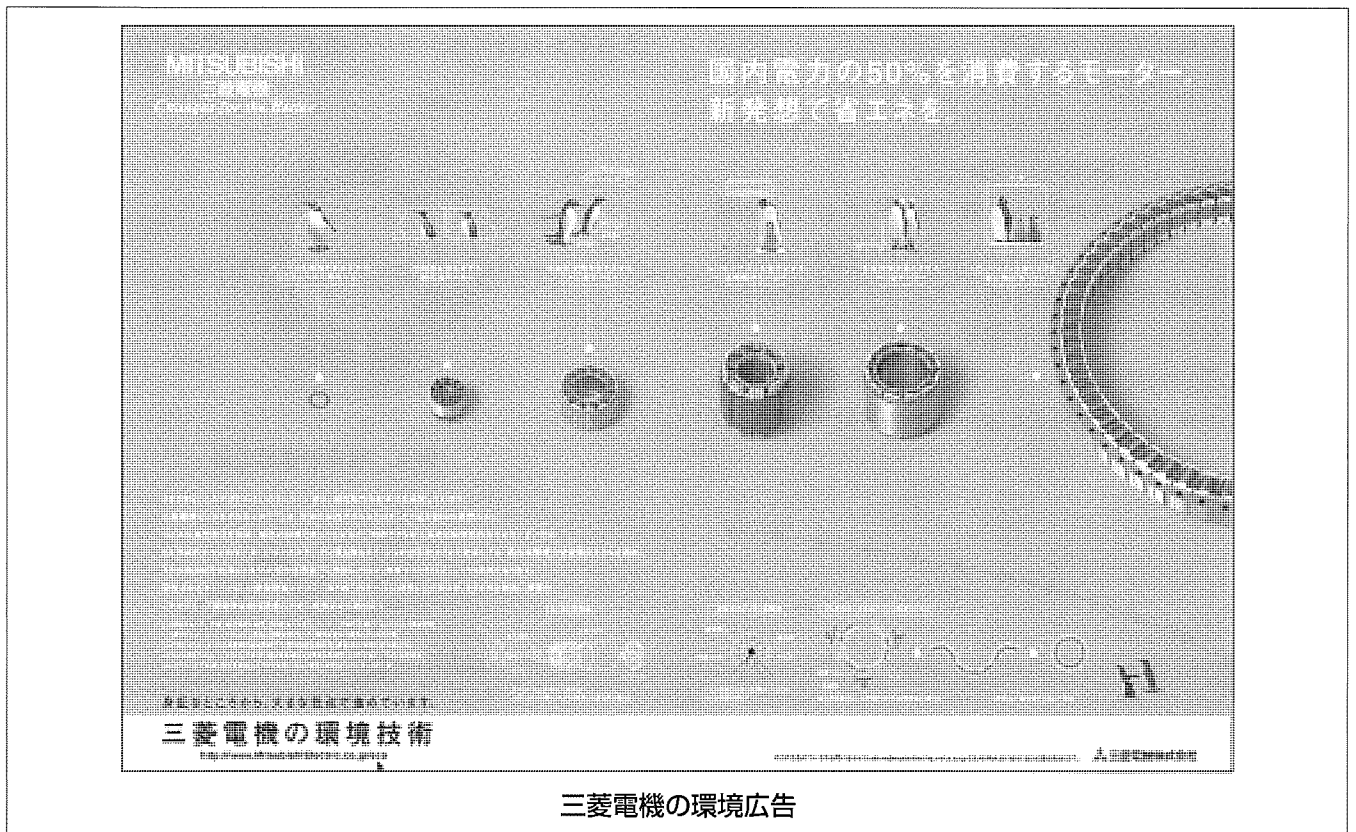
## 要旨

世界的な生活水準の向上と人口増加によりエネルギー消費量が急増する中、国内では、改正省エネルギー法に基づくトップランナー方式が適用され、省エネルギー技術の開発が加速している。モータは、電気エネルギーを機械エネルギーに変換する機器であり、国内電力の約50%を消費している。三菱電機では、産業、昇降機、家電、自動車等の広い分野でモータをキーパーツとした事業を展開しており、それらモータの省エネルギー化に注力している。

ポキポキモータは、モータの性能向上と生産性向上を両立させる製造技術であり、1995年の開発から現在までの10年間に各分野に適用された。“展開した鉄心に巻線してから丸める”という生産設計により、巻線工程の制約を取り払い、独自の巻線工法を進化させ高速・整列巻線を達成し

た。その結果、コイルの高密度化によるモータ効率の向上、小型化等をねらったモータ設計が可能となり、各分野で環境技術として採用されている。

例えば、家庭の消費電力の20%以上を占めるルームエアコンでは、圧縮機用モータにポキポキモータを採用し、従来のモータに比べてモータ効率を3%向上し、エアコンの消費電力を2.4%削減した。また、世界規模で需要が大きく深刻な環境問題に直面している自動車分野では、排気ガスのNO<sub>x</sub>を低減するEGR(Exhaust Gas Recirculation)バルブや、燃費を向上させる電動パワーステアリングにポキポキモータを採用し、性能向上と小型軽量化を達成した。一方、鉄心の材料歩留り向上、巻線時間の短縮により生産性を改善し、性能向上と両立した。



## モータの消費電力

国内の電力消費の内訳は家庭での消費が31%、オフィスやデパートなどのビルでの消費が33%、生産工場での消費が36%であり<sup>(1)</sup>、これらのうち約50%はモータによる消費である。日本中のモータの効率が3%向上したとすると、国内年間消費電力の1.5%を節約できる。これは約360万世帯の1年分の電力使用量に相当し、CO<sub>2</sub>に換算すると540万トンの削減となる。

\*生産技術センター

### 1. ま え が き

“持続可能な社会”作りのために、当社では、“MET”の視点から環境保全に役立つ技術開発を行っている。ポキポキモータは、主としてモータの消費電力を抑制する“E”の分野(Energy：エネルギーの効率利用)と、モータの材料を節約する“M”の分野(Material：資源の有効活用)で効果を上げている。また、“T”の分野(Toxicity：環境リスク物質の排出回避)では、自動車排気ガスのNO<sub>x</sub>の発生を抑制するEGRバルブに利用されている。

本稿では、ポキポキモータの特長について述べ、ルームエアコンと自動車機器との適用事例について述べる。

### 2. モータ効率とコイル占積率の関係

モータは、巻線や鉄心精度など製造技術が特性に及ぼす影響が大きい機器といえる。モータの損失は、主としてコイルの発熱である銅損と鉄の発熱である鉄損に大別され、なかでも最も大きい銅損は、巻線技術の影響を強く受ける。巻線技術によりコイル密度が向上すれば同じ巻数でも線径を太くでき、コイル抵抗が下がった分に応じてコイル発熱を低減することができる。一般的に、コイル密度は、コイル占積率(コイルを配置するスロット空間の断面積の中でコイルの断面積が占める割合)で表され、モータ効率はコイル占積率を用いて式(1)となる。

$$\eta = P / [P + \{L_c / (S.F.) + L_o\}] \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 $\eta$ ：モータ効率、 $P$ ：出力、 $L_c$ ：コイル占積率100%時の銅損、 $L_o$ ：銅損以外の損失、

$S.F.$ ：コイル占積率(角計算)=巻数・線径<sup>2</sup>/スロット面積

例えば、出力が550W、コイル占積率100%時の銅損が12.6W、その他の損失が13Wのモータでコイル占積率を変化させたときのモータ効率の計算結果を図1に示す。一体型の鉄心を用いた場合のコイル占積率はおよそ50～60%であり、コイル占積率の向上によってモータ効率を数%改

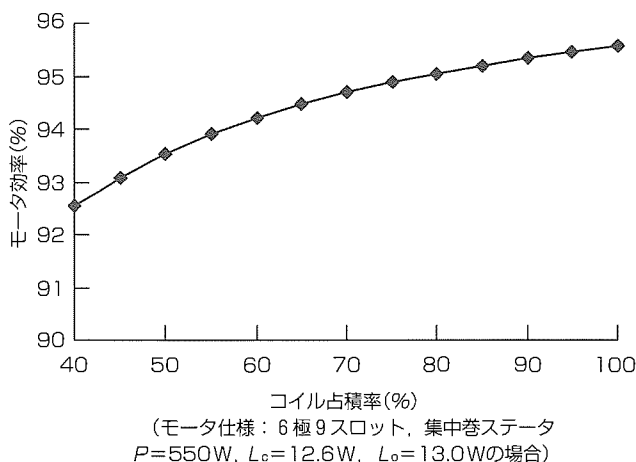


図1. モータ効率とコイル占積率の関係

善できることが分かる。損失で言い換えれば、コイル占積率の向上によって損失を半分近く低減できることが分かる。

### 3. ポキポキモータの巻線工法

従来の巻線は、図2に示すように、鉄心の内周からノズルを挿入してワイヤをステータの磁極歯に巻き付ける工法が用いられる。ノズル軌道は、コイルを配置できないデッドスペースとなりコイル占積率を悪化させる。また、生産面では、ノズルは磁極歯間の狭い空間に沿った軌道をとるため加減速が大きく、高速に巻線ができないという問題がある。

ポキポキモータは、図3に示すように、鉄心を展開した状態で巻線される。各磁極歯の巻線が完了した後、鉄心を丸く変形し端部を突き合わせて溶接により固定する。そのため、ノズル軌道のデッドスペースがなくなりコイル占積率を向上でき、ノズル軌道は加減速の少ない円軌道をとるので高速巻線が可能となる。従来工法のコイル占積率が50～60%程度であるのに対し、ポキポキモータを用いた場合90%以上のコイル占積率を達成できる(図4)。

### 4. ポキポキモータの適用事例

#### 4.1 圧縮機用モータへの適用事例

ルームエアコンは、家庭内使用電力の約1/4を消費することから省エネルギーの要求が強い機器である。ルーム

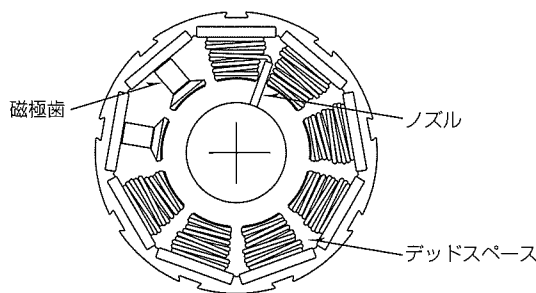


図2. 従来の巻線工法

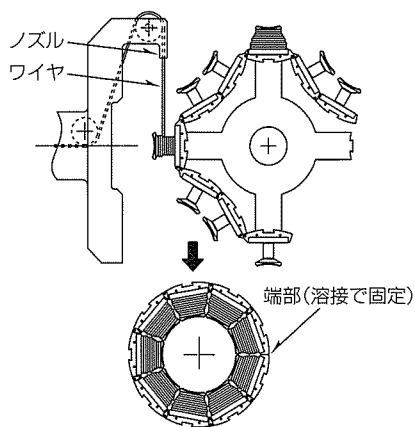


図3. ポキポキモータの巻線工法

エアコンの消費電力の約80%は圧縮機が占めている。圧縮機は、図5に示すように、圧力容器内に配置されたモータにより機構部を駆動し冷媒を圧縮する。従来、モータには誘導モータが使用されていたが、近年、モータ効率の良いブラシレスDCモータに主流が移行し、当社では、図6に示す関節連結タイプのポキポキモータを採用した。

関節連結タイプのポキポキモータは、磁極歯同士が回転自在に連結された鉄心を用いるため、巻線時には、隣接する磁極歯を逆反りしワイヤと干渉しない姿勢をとることができる。太いワイヤをノズル先端で曲げるとひずみが発生しやすいが、磁極歯を展開して広げた空間に大きなローラを配置してワイヤを引き回すことで、ワイヤのひずみを抑制することができる。磁極歯にはひずみの少ないワイヤが供給されるので、ワイヤの位置精度が良く整列巻線が可能となる。

整列巻線によりコイル占積率を向上した結果、銅損を約50%削減し、圧縮機のモータ効率を約3%向上した。ルームエアコン1台の年間消費電力量はおよそ700~900kW・h

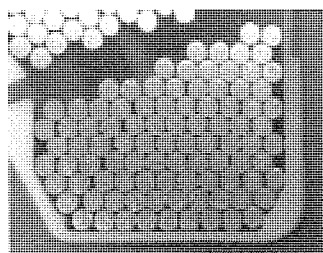


図4. コイルの整列状態

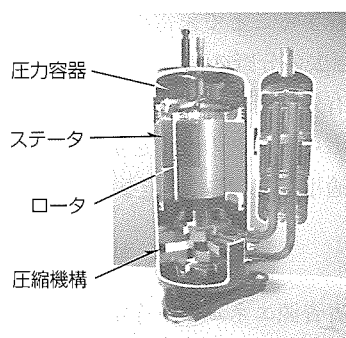


図5. 圧縮機の内部構造

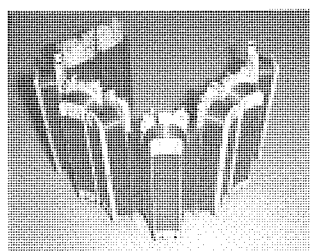


図6. 関節連結タイプのポキポキモータ

なので、3%のモータ効率向上分は年間約20kW・hの省エネルギーに相当する。また、2005年モデルの圧縮機は、ネオジウム磁石の採用によりモータコア積厚を低減することができ、コイル占積率向上の効果と合わせて2000年モデル比で銅の使用量を63%、鉄の使用量を34%削減した。

#### 4.2 EGRバルブ用モータへの適用事例

自動車分野は、燃費の向上と排気ガス規制の要求が強く、車載機器には効率向上と小型軽量化が求められる。EGRバルブは、排気ガスの一部をエンジンに戻すことで燃焼室の温度を制御し、NO<sub>x</sub>の発生を抑制する機器である。燃焼室温度を適正に抑制するには、エンジンの負荷状態の変動に対して還流量を応答性よく制御することが重要となる。

EGRバルブは、図7に示すように、モータがビルトインされた構造であり、ロータが回転してモータシャフトのねじ部を上下に駆動することでバルブを開閉し排気ガスの還流量を制御する。当社では、EGRバルブ用のDCモータに逆反りタイプのポキポキモータ(図8)を採用した。ステータへの給電は、DC電源からブラシを介してロータの整流子に供給して機械的に転流し、3相のスリップリングを介してステータコイルに給電する方式とした。DC電源を用いたままステータに回転磁界を発生させることができるので、ロータには永久磁石を用いることができる。永久磁石は体積当たりの起磁力が高いため、電機子をロータとした従来のDCモータと比べて軽量・小径となり、イナーシャを従来の1/4に軽減した。

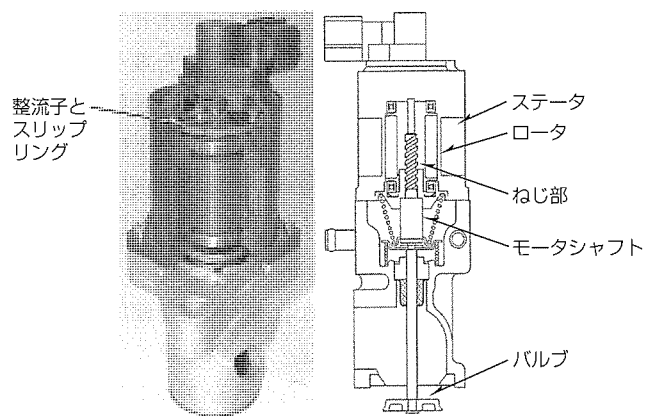


図7. EGRバルブの内部構造

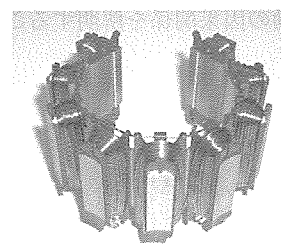


図8. 逆反りタイプのポキポキモータ

一方、逆反りタイプのポキポキモータへの巻線は、薄肉で連結された直線状の鉄心を塑性変形により表裏逆に反転させた姿勢で行う。磁極歯間のスペースを広げることで高速・高密度な巻線を可能とし、コイル占積率の向上により従来のDCモータと同サイズのまま2.5倍のトルクを得た。イナーシャ軽減とトルクアップによりバルブ駆動の応答性を向上した。

#### 4.3 EPS用モータへの適用事例

パワーステアリングは、従来の油圧式から電動式への移行が進んでおり、適用範囲は小型車から中型車に拡大している。電動パワーステアリング(Electric Power Steering: EPS)はハンドルを操舵するときだけ動作するので、ポンプを常時駆動している油圧パワーステアリングに比べて3~5%の燃費向上が見込める。

図9はピニオンアシストタイプのEPSの模式図である。モータは、ピニオン軸に設置され、ハンドルの操舵角を検知してトルクを発生する。当社では、中型車向けのモータ構造を、小型、低慣性モーメント、低ロストルクをねらったブラシレスDCモータとし、薄肉連結タイプのポキポキモータ(図10)を採用した。

薄肉連結タイプのポキポキモータの巻線工程では、磁極歯が直線状に連結した状態でノズルを磁極歯回りに周回させて巻線を行う。巻線後は薄肉部を塑性変形させて折り曲げて円形に変形し、端部を溶接して環状とする。複数のノズルで同時に巻線ができるので、巻線作業、端末処理作業の時間を短縮できる。また、複数のノズルは同じ動きをするので駆動機構を共通化して巻線設備を簡素化できる。一方、鉄心プレス工程では、直線形状の鉄心を並べて配置することで、円形の一体型鉄心よりも材料歩留りが良い。EPS用モータにポキポキモータを採用することで、コイル占積率を向上し小型化により20%の軽量化を実現した。また、巻線時間の短縮、鉄心の材料歩留り向上により生産性を向上した。

一方、EPS用モータは、自動車の操舵感の確保からトルク脈動を小さくする必要がある。分割鉄心タイプのステータでは、磁極歯の組立精度のばらつきがトルク脈動に影響する。ポキポキモータの鉄心は、磁極歯が連結した状態で打ち抜かれ、隣り合う磁極との相対関係が変わらないために、円形に成形したときの組立精度の再現性がよい。組立精度とトルク脈動の因果関係を解明することで安定したトルクを確保した。

#### 5. む す び

ポキポキモータは、作りやすさの観点から製品構造を見直し、“展開した鉄心に巻線してから丸める”という生産設

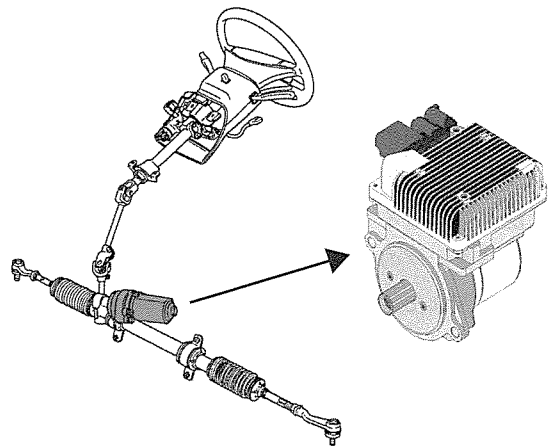


図9. ピニオンアシストタイプのEPS

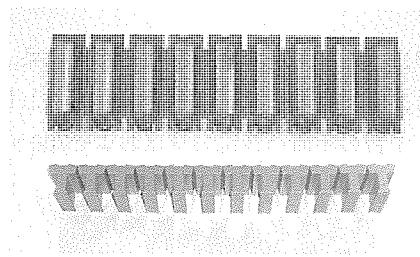


図10. 薄肉連結タイプのポキポキモータ

計により性能向上と生産性が両立するモータである。本稿では、圧縮機用モータ、EGRバルブ用モータ及びEPS用モータにポキポキモータを適用することで環境保全に貢献した事例について述べた。

今回取り上げた事例以外にも、用途に応じて鉄心構造と巻線工法を適合することで家電機器、昇降機、自動車機器、FA機器など幅広い分野のモータに適用し、消費電力の削減と、資源の有効活用を推進している。

今後、ポキポキモータの技術を更に進化させるとともに、より広範囲に適用して“持続可能な社会”作りに貢献したい。

#### 参考文献

- (1) 経済産業省資源エネルギー庁電力・ガス事業部編：電力需給の概要 (2003)
- (2) 中原裕治, ほか：ポキポキモータの車載機への応用, 三菱電機技報, 74, No.9, 579~582 (2000)
- (3) 秋田裕之, ほか：エアコン用圧縮機モータの省エネルギー・高効率化, 三菱電機技報, 75, No.10, 655~658 (2001)
- (4) 三宅展明：最新のモータ製造技術, 三菱電機技報, 76, No.6, 426~430 (2002)

# リアルタイム計測・管理システム活用事例 -エネルギーロスの見える化・解る化-

鶴岡達生\*  
柴田輝幸\*\*  
小野三喜男\*\*\*

Application of Real-Time Measurement and Management System -Visualization and Grasping of Energy Loss-  
Tatsuo Tsuruoka, Teruyuki Shibata, Mikio Ono

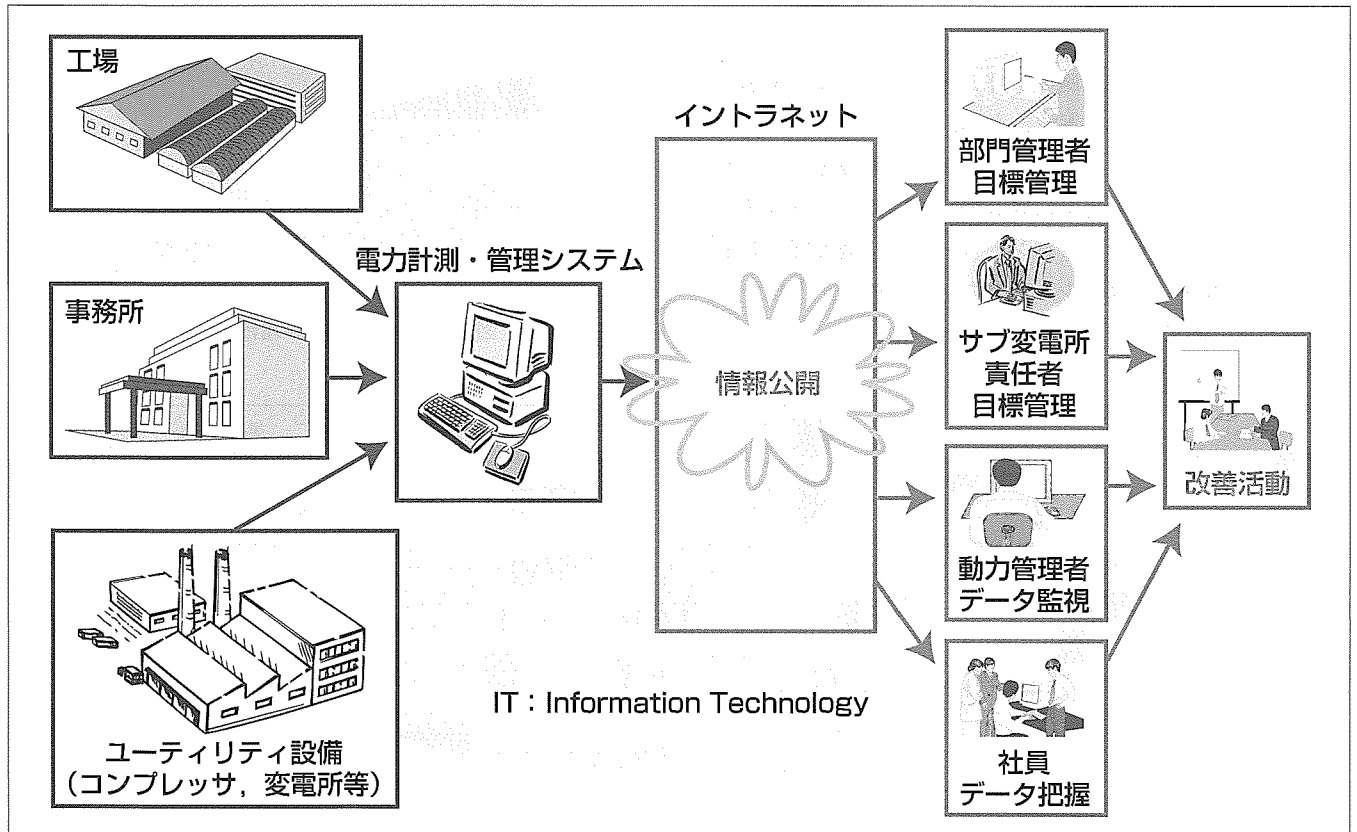
## 要旨

世界各国が協調して地球温暖化防止に取り組むために採択された京都議定書では、我が国は、2008年から2012年までの温室効果ガス排出量を、1990年当時のものより、6%削減する義務を負っている。我が国の温室効果ガス排出量のうちエネルギー起源のCO<sub>2</sub>が90%以上を占めており、産業、民生、運輸各部門での省エネルギーの推進が、喫緊の課題となっている。

一般に、多くの工場では、これまでに種々の省エネルギー対策を実施してきており、“やれることはすべてやった。もうこれ以上、省エネルギーのネタは残っていない。”と耳にすることも多いが、省エネルギー技術も日々進んでおり、視点を変えることで、新たな省エネルギーの可能性が発見される場合もある。

エネルギー管理の点から言えば、従来、工場のエネルギー管理は、日報や月報等で管理されており、言わば、結果でしか分からない状態であり、エネルギー使用時の無駄が見えない、という問題があった。しかし、ITの進歩により、エネルギーデータをリアルタイムで計測・管理できるようになった結果、エネルギー使用時のロスを視覚的に把握できるようになり(エネルギーロスの見える化・解(わか)る化)、新たな改善策も容易に考えられるようになってきた。

本稿では、三菱電機の工場の中でも、上述の分野においても先進的な取り組みを実施している三田製作所と福山製作所の事例により、前者では主に電力計測・管理システムを、後者では主に具体的改善事例について述べる。



## データ共有化による“エネルギーロスの見える化・解る化”

工場、事務所、ユーティリティ設備などのリアルタイムなエネルギー計測データを電力計測・管理システムを用いて社内のイントラネットにアップすることにより、工場長、部門管理者、動力管理者のみならず、作業員、工程管理者、事務所員など、工場に従事しているすべての社員が同じデータを共有することができる。その結果、エネルギーロスの顕在化が容易となり、様々な観点からの省エネルギーへのアプローチが可能となる。

## 1. ま え が き

当社では、現在、使用エネルギーの計測・管理によるロスが見える化・解る化活動を全社的に展開している。なかでも、三田製作所と福山製作所では、先進的な取り組みを実施中である。

本稿では、これらの製作所での事例を用いて、前者の事例では主に電力計測・管理システムの内容を、後者の事例では主に具体的改善内容について述べる。

## 2. 三田製作所での事例

### 2.1 三田製作所の概要

三田製作所では、カーナビゲーションやカーオーディオを始め、自動車の排気ガス制御装置などの自動車部品を製造しており、工場の設備からオフィスの給湯器に至るまで、すべて電気をエネルギー源としているクリーンな工場である。

従来から計画的な省エネルギー機器の導入に取り組み大きな実績を上げてきたが、2003年からは、更なる省エネルギー効果を上げるため、当社の“エコファクトリー戦略”に沿って、“エネルギー管理システム”を用いたエネルギーロスの見える化・解る化活動を本格的に開始した。

以下に、活動の概要について述べる。

### 2.2 活動の概要

図1に、エネルギー計測・管理システムの全体像を示す。このシステムは、電圧、電流、力率、電力、生産数カウントパルス、温度、湿度、圧力、流量などの情報を、リアルタイムで、しかも、事務所に居ながら把握できるシステムであり、さらに、デマンドコントロール、空調温度コントロール、照明コントロール、エアコンチラーコントロールもできるようになっている。

システム構成は、エネルギー監視・制御システムを中心に、電力計測ユニットを始め、温度、流量等、様々な計測機器で構成されている。現在、このシステムで480か所、3,000項目のエネルギー使用状況を計測しており、図2に示すように、エアコンプレッサの圧力、電流、エア流量などの推移や、各生産ラインの電流値、生産量、温度や湿度が一目で分かるようになっている。また、事務所の照明、空調、OA機器等の制御なども行うことができるようになっている。

収集したデータは、リアルタイムでグラフ化され、従業員がいつでも見ることができるよう、イントラネットで公開されている。各自の机上のパソコンから、いつ、どこで、どれだけ電力が使われているかリアルタイムで把握できるため、従業員の省エネルギー意識が高まり、様々な改善活動が可能となった。このシステムを用いて改善活動を実施した結果、契約電力を256kW削減、年間効果として、CO<sub>2</sub>排出量を8%、使用電力量を150万kW・h、光熱費を

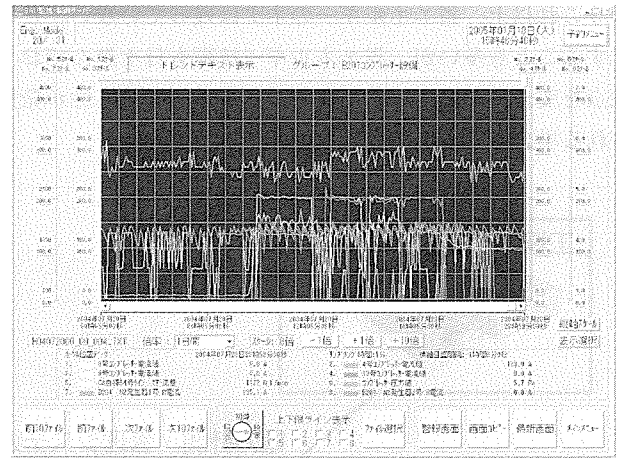
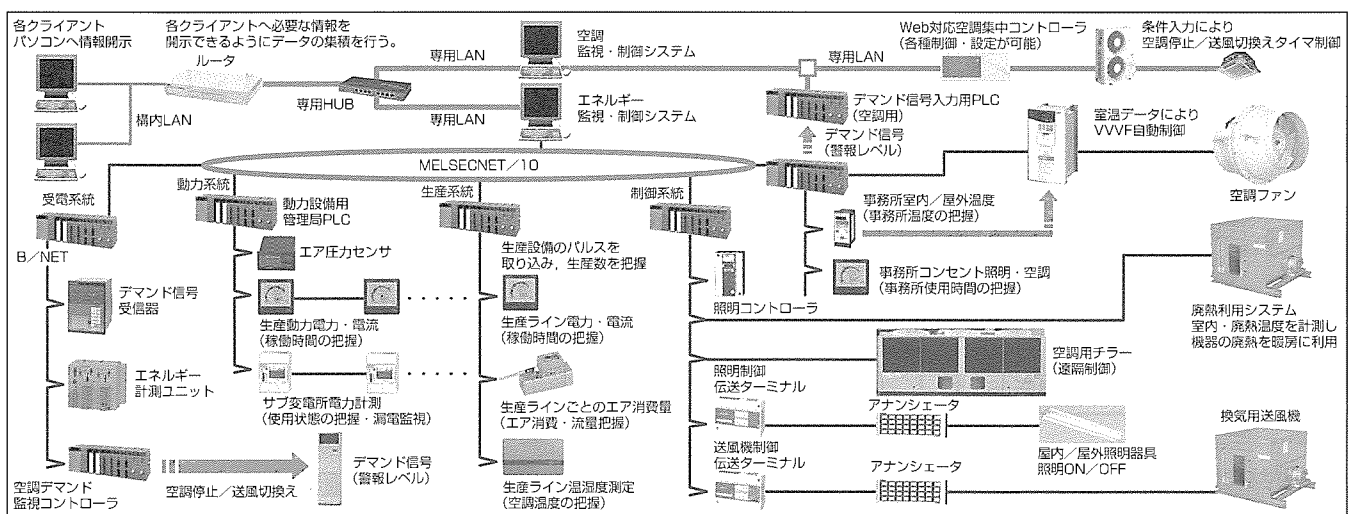


図2. コンプレッサの計測データ



LAN : Local Area Network, PLC : Programmable Logic Controller, VVVF : Variable Voltage Variable Frequency

図1. エネルギー計測・管理システムの全体像

23百万円、それぞれ削減することに成功した。

このようにエネルギー消費の見える化はエネルギーロスの見える化・解る化につながり、運用改善や、設備改善に大きな効果を発揮している。

### 3. 福山製作所での事例

#### 3.1 福山製作所の概要

福山製作所では、現在、環境目標のトップに“工場省エネルギー”を掲げ、所内にモデル職場を設定し、全所を挙げての活動を推進中である。

モデル職場の一つであるプリント基板工場では、不在時の照明の消灯や、空調設定温度の基準値遵守などの人的要因の徹底活動や、熱風排気の室内への拡散防止や、はんだ槽のアイドリング時間削減などの設備要因の改善活動を積極的に行ってきた。

しかし、電力量の削減が頭打ちとなったため、次のステップとして、用途別電力量を分析し、電力量使用比率の高い(31%)プリント基板実装ライン(以下“実装ライン”という。)を対象に重点活動を推進することにした。

その活動事例を、以下に述べる。

#### 3.2 現状把握・分析

活動対象とした実装ラインの電力量推移から、生産枚数が増加するとほぼ比例して電力量も増加する結果となっていることが分かった。したがって、電力量のみの管理では省エネルギー活動の展開が難しく、生産枚数と電力量の関係(原単位)を分析する必要があることが分かった。

既に省エネルギー活動ツールとして導入していたエネルギー管理システムでは電力量のみしか表示できないため原単位把握が難しかったが、今回、時間別原単位をリアルタイムでグラフ化するシステム(図3)を導入した結果、“設備ごとの時間別原単位グラフ(図4)”により、原単位が悪化(電力を使用しているのに生産枚数が減少)している時間帯を顕在化させることが可能になった。

#### 3.3 目標設定

活動対象は、原単位変動の大きい(改善効果の出やすい)

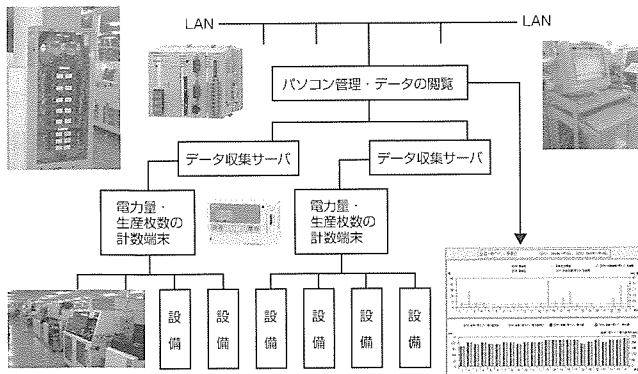


図3. エネルギー原単位管理システム

実装ライン1号機をモデルラインとして取り上げた。

削減目標値は、2003年度から福山製作所全体での“生産性の徹底追求”活動として生産性30%、工期短縮30%、ライン内仕掛り30%削減を目標に掲げて活動中であることから、今回の活動でもこれにリンクさせて、下記の目標とした。

(1) エネルギー原単位30%削減(0.65⇒0.45kW・h/枚)

(2) 削減電力量：30千kW・h/年

#### 3.4 問題点とその検討

1か月間、毎日、朝礼時に、前日の原単位グラフを掲示板に張り出し、班長を中心に小集団活動のグループ員全員で、原単位悪化の時間帯とその要因を抽出した。その事例を、図5～図7に示す。

1回/週のミーティングにより、原単位悪化の原因を生産計画実績表(機種別生産数、開始/終了時間、設備トラブル内容、段取り時間、計画変更履歴)を基に分析した結果、次の4つの項目、①生産計画・実績、②部品段取り、③作業者、④実装機に、起因することが判明した。

#### 3.5 対策内容

今回対策として実施した内容を表1に示す。

#### 3.6 有形効果

(1) 原単位削減：生産性向上活動により、目標を達成できた。

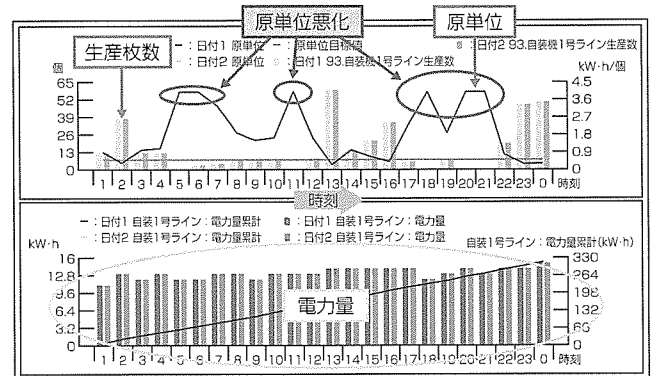


図4. 実装ラインの時間別原単位グラフ例

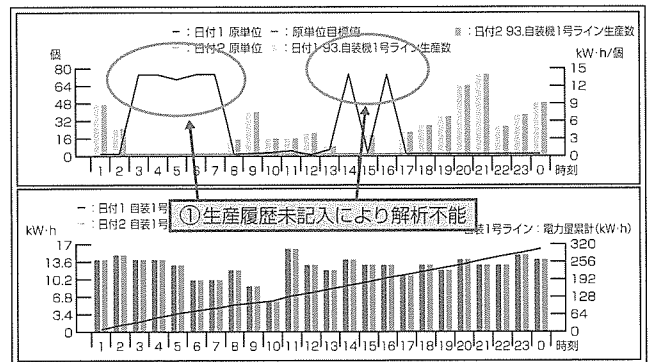


図5. 要因分析事例1

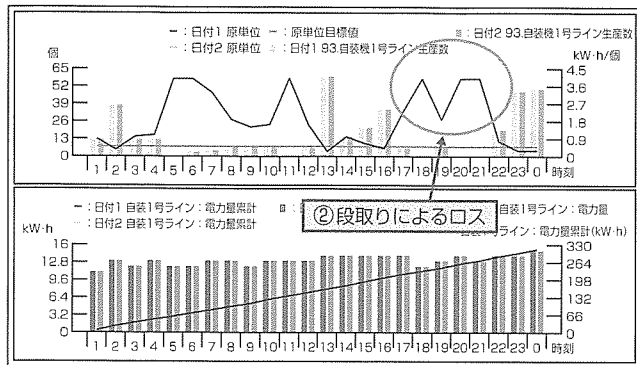


図 6. 要因分析事例 2

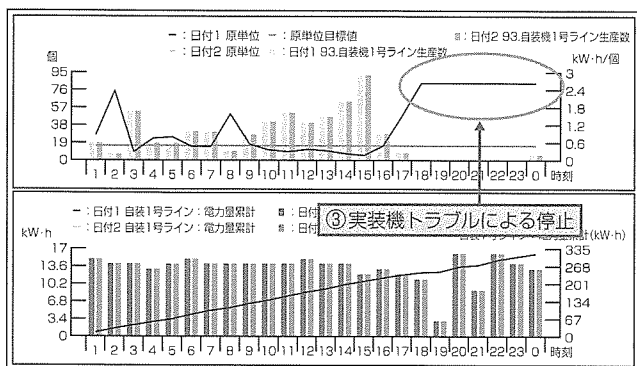


図 7. 要因分析事例 3

目標：0.65→0.45kW・h/枚，30%削減(0.2kW・h/枚削減)  
 ⇒実績：0.65→0.38kW・h/枚，41%削減(0.27kW・h/枚削減)

図 8 に改善前後の原単位推移を示す(効果は、それぞれの期間での月平均で算出)。

(2) 電力量削減：生産枚数増となったが、目標を達成できた。

目標：30千kW・h/年(12.7t-CO<sub>2</sub>/年，540千円/年)  
 ⇒実績：70千kW・h/年(29.5t-CO<sub>2</sub>/年，1,260千円/年)

(3) 生産性向上：1人当たり生産性を49%向上できた。  
 ⇒実績：49%(1,815枚/月・人→2,710枚/月・人)

なお、1人当たり生産性とは、定時間での1人当たりの生産枚数である。

### 3.7 無形効果

グループ員全員が原単位改善は電力量と生産枚数の相関による効果であることを理解し、日々のデータを分析する活動を体験することで、指標管理の重要性とともに、生産性向上が省エネルギーに寄与することを再認識でき、更なる省エネルギーへの意識付けをできたことが大きな成果となった。

### 3.8 今後の展開

表 1. 対策内容のまとめ

	問題点	対策	効果
① 生産計画	生産実績未記入	●生産計画実績未記入の見直し	●原単位グラフ悪化要因抽出可能
	小ロット生産によるロス	●試作，小ロット生産は量産の間に入れる	●段取り時間短縮
	生産計画変更による段取りロス	●自動計算による開始終了管理実施 ●欠品情報の伝達共有化	●計画時間と実績時間の差異縮小 ●無駄な計画変更の減少
② 段取り	段取り未完成によるロス	●固定カセット機種見直し ●固定カセット機種拡大 ●不具合カセットメンテナンス ●カセットへの識別表示	●固定カセット有効活用化 ●段取り時間短縮 ●カセット不足解消 ●部品探しロス時間削減
	③ 作業	教育不足によるチョコ停	●チョコ停勉強会実施 ●メンテナンス講習会参加 ●省エネルギー教育実施
④ 実装機	実装機トラブルによる停止	●実装機定期メンテナンス実施(2回/年)	●故障抑制，チョコ停改善

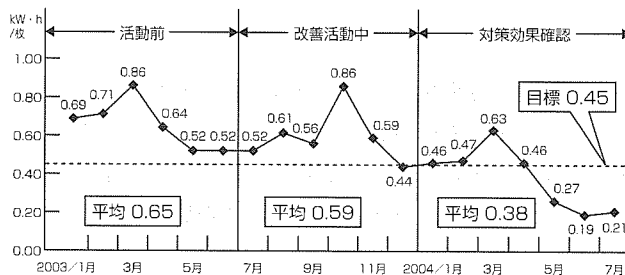


図 8. 原単位推移グラフ

今回導入したエネルギー原単位管理システムを今後も監視し、改善した内容が後戻りしない活動と、他設備への水平展開活動を継続していく予定である。

## 4. む す び

省エネルギーのスタートは、まず、“測って”知ることであり、実態を知ること、問題の抽出ができ、次への展開が見え、更なる改善へとステップアップしていくことができる。

今後、当社では、上述の先進事例を社内に水平展開するとともに、社外へのソリューションビジネスとしても展開していきたいと考えている。



# 鉛フリーはんだ付への取り組み

村上光平\* 村井淳一\*\*\*  
 山口展弘\*\* 東野義喜†  
 出田吾朗\*\*\*

## Production Innovation for Pb-Free Soldering

Kohei Murakami, Nobuhiro Yamaguchi, Goro Izuta, Junichi Murai, Yoshiki Higashino

### 要旨

三菱電機は、製品の高い信頼性を確保するため、Sn-Ag-Cu系合金1種のみを鉛フリーはんだとして採用する方針を貫いてきた。

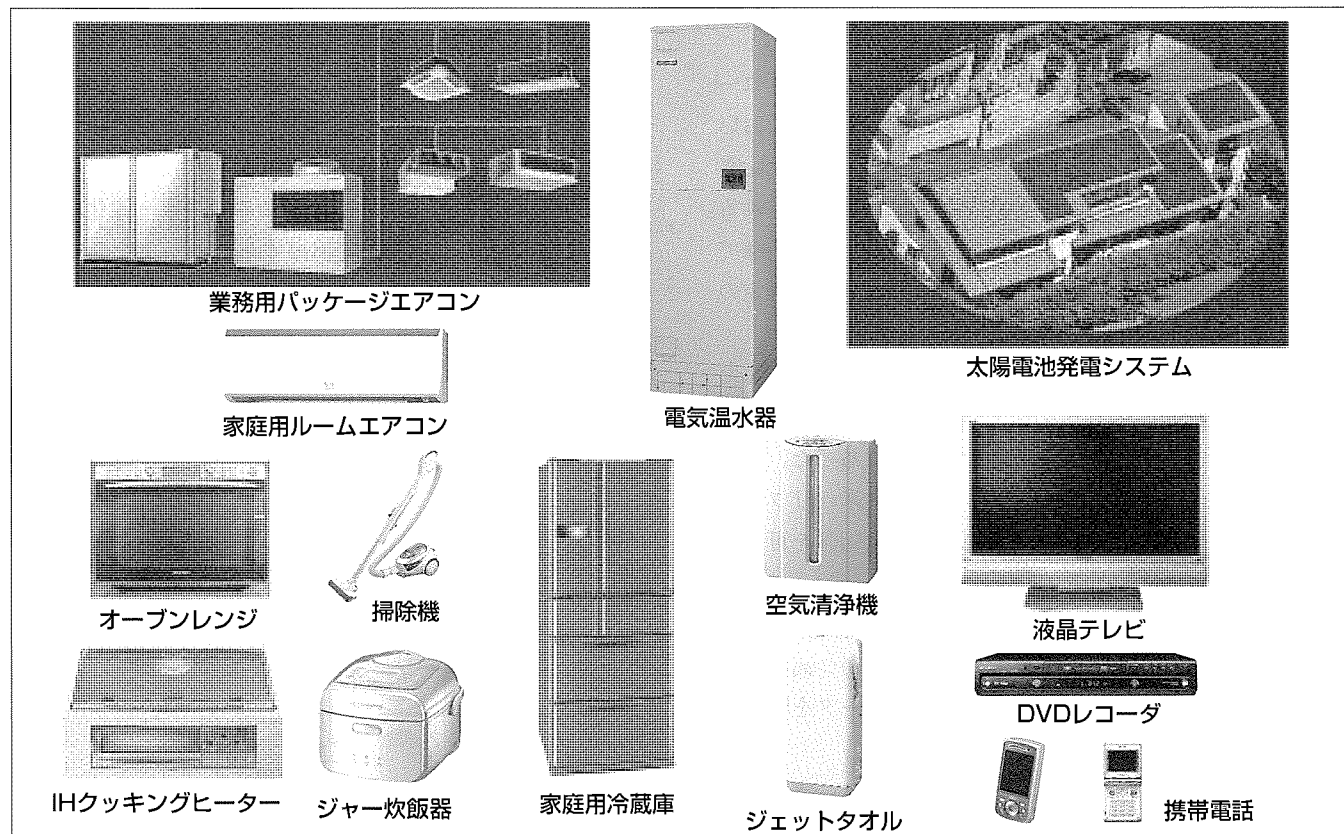
この基本方針に基づき、多岐にわたる製品への適用を拡大するため、鉛フリーはんだ付に関する以下の活動を全社規模の施策として推進してきた。

(1) 先行的技術開発：鉛フリーはんだを現状の生産環境に適合させるための要素技術開発

(2) 製品への適用推進プロジェクト活動：先行した製作所の開発成果やノウハウを全社規模で標準化し社内展開を推進

(3) 生産現場の技術力アップ：一部で弱体化しつつあった基板実装技術を再度点検し、弱点強化により技術基盤を再構築

本稿では、以上の取り組みの概要と特長について述べる。



### 鉛フリーはんだ付を適用した当社製品事例

当社は、製品の高い信頼性を確保するため、Sn-Ag-Cu系合金1種のみを鉛フリーはんだとして採用する方針を貫いてきた。これを実現するために、先行的技術開発、製品への適用推進プロジェクト活動、生産現場の技術力アップを3本柱として全社規模で施策を展開した結果、幅広い製品での鉛フリーはんだ付の適用が可能となった。

## 1. ま え が き

当社は、製品の高い信頼性を確保するため、Sn-Ag-Cu系合金1種のみを鉛フリーはんだとして採用する方針を貫いてきた。

この基本方針に基づき多岐にわたる製品への適用を拡大するには、鉛フリーはんだ付に起因する技術課題の解決が必要で、以下を全社規模の施策として推進してきた。

- (1) 先行的技術開発：鉛フリーはんだを現状の生産環境に適合させるための要素技術開発
  - (2) 製品への適用推進プロジェクト活動：先行した製作所の開発成果やノウハウを全社規模で標準化し社内展開を推進
  - (3) 生産現場の技術力アップ：一部で弱体化しつつあった基板実装技術を再度点検し、弱点強化により技術基盤を再構築
- 本稿では、以上の取り組みの概要と特長について述べる。

## 2. 先行的技術開発

### 2.1 リフローセンサ及びシミュレータの開発<sup>(1)</sup>

長年、鉛入り共晶はんだの融点が183℃を前提として生産されてきた多くの電子部品にとっては、鉛フリーはんだは融点が219℃と高いことが難点であり、部品耐熱性の面で裕度が狭まることが課題であった。

特に、実装基板全体を高温雰囲気下で加熱するリフローはんだ付においては、基板上のすべてのはんだ付部において、融点を上回りながら、かつ電子部品の耐熱温度(235℃程度)を超えないよう精密な温度制御が要求される。しかし、電子部品は、その形状や質量、表面状態が多様であるため、温度上昇特性が異なり、すべての部品を所定の温度範囲に納めることは難しい。

一方、従来の鉛入りはんだを前提としたリフローはんだ付技術では、加熱時のピーク温度目標値の裕度が広く、温度プロファイルの設定・管理は比較的容易であった。したがって、鉛フリーはんだを適用するには、従来のリフローはんだ付では要求されなかった高精度な温度制御を可能にすることがポイントになる。

そこで、当社では、従来、経験的に行われてきたリフローはんだ付装置のプロセス条件設定を短時間かつ高精度に設定するためのリフローセンサ及びシミュレータを開発し活用している。

従来の一般的な温度プロファイル設定作業は、実装基板上の数点の時間軸に対する温度変化を熱電対で実測する方法が基本で、当社でも多用されてきた。この方式は、個々の基板に対する温度設定は可能であるが、得られるデータに流用性がなく、生産する基板ごとに設備運転条件の調整作業が発生するといった問題があった。

そこで、このような調整作業を削減し、さらに高精度な温度制御を可能にするため、基板温度を実測するのではなく、リフローはんだ付装置の加熱能力を明確にして、個別基板の温度プロファイルシミュレーションとそれを実現する設備運転条件算出を可能にした。

開発したリフローセンサの構造を図1に示す。このセンサは鏡面処理と黒体化処理とを施した円盤形の銅板を組み合わせたもので、設備の熱伝達率を正確に評価できる機能を持っている。また、電子部品の熱特性が既知である場合、測定した加熱能力データと合わせて演算することでリフローはんだ付における部品の温度上昇特性を予測できるリフローシミュレータも同時に開発した。これらにより、多岐にわたる実装基板に対し、リフローはんだ付装置の温度条件の設定が確実かつ迅速に行えるようになった。

### 2.2 ICリード剥離(はくり)防止技術の開発<sup>(2)</sup>

鉛フリーはんだ付への移行過渡期では、使用するはんだ材と移行が同期できない電子部品を許容して実装する必要がある。具体的には、電極が鉛入りめっきで処理された電子部品であっても、製品の高い信頼性を確保することが不可欠となる。

鉛入りめっき部品を鉛フリーはんだ付すると、接合部に微量の鉛が混入する。特に、両面基板の片面をリフローはんだ付、残る片面をフローはんだ付する混載実装において、リフローはんだ付で形成された鉛入りリードめっきIC部品の接合部が、フローはんだ付後に剥離する問題が顕在化している。これは、最初の工程であるリフローはんだ付でリード界面近傍又は基板電極近傍に偏析した鉛が、フローはんだ付での再加熱によって隣接する錫や錫-銀化合物と共晶反応を起こし約180℃で溶融することが主な要因で、さらに、基板上下面の温度差や搭載部品の荷重によって基板が下向きに凸に反ることで変位が発生すると、接合部で剥離が生じる。

このはんだ接合部剥離対策としては、フローはんだ付のプロセス制御により基板への入熱量を抑制し、はんだ接合

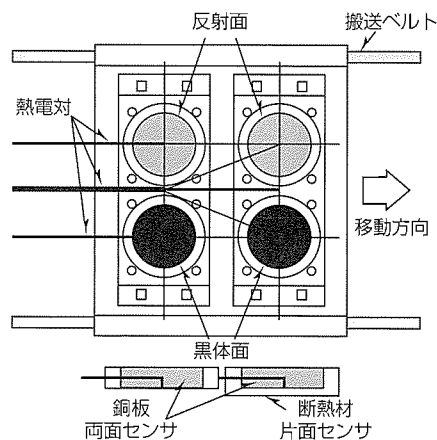


図1. リフローセンサの構造

部の再溶融を防止する手段が多用されているが、入熱量抑制による低温化はスルーホールのはんだ充填(じゅうてん)性を阻害し、接合信頼性を低下させる場合が多い。

そこで、対象のIC部品サイズが大きい場合に剥離しやすいことに着目し、剥離防止技術を開発した。

まず、フローはんだ付での昇温を模擬しながら、実験的に求めたリード接合部変位量と破断荷重との関係を図2に示す。この結果から、接合部温度が再溶融温度以上であっても、接合部にかかる変位量を抑制すれば、剥離を防止できることが分かる。

次に、フローはんだ付装置内に非接触方式のレーザ変位計を設置して、はんだ付時の基板反り(曲率半径)を測定し、反りとICサイズで剥離発生有無を整理した。この結果、IC部品サイズと基板曲率半径から剥離発生を予測できることが分かった。

以上のように、この手法を用いることで、多岐にわたる実装基板に対しても、剥離の危険性があるIC部品を特定することが可能となった。当社では、以上のような検討を標準化し、剥離の危険性があるIC部品リードめっきの鉛フリー化を優先的に行うことで剥離発生を防止している。

### 3. 製品への適用推進プロジェクト活動

当社では、早期に鉛フリー化が進められる民生機器から、電力・鉄道・自動車・通信・産業機器に至る多種多様な製品及び事業分野があり、それぞれの製品特性や顧客から要求される鉛フリー化時期や信頼性が大きく異なる。こうした背景から、従来、製作所ごとに鉛フリーはんだ付導入に関する調査・検討を開始してきたが、前述の先行的開発成果展開及び先行製作所ノウハウの標準化を目的とし、1999年に全社規模のプロジェクト組織を設置し活動を開始した。なお、このプロジェクトのメンバーは、全製作所から選出された生産技術キーマン、研究所、本社関係部門(生産技術、環境技術、資材等)スタッフで構成した。

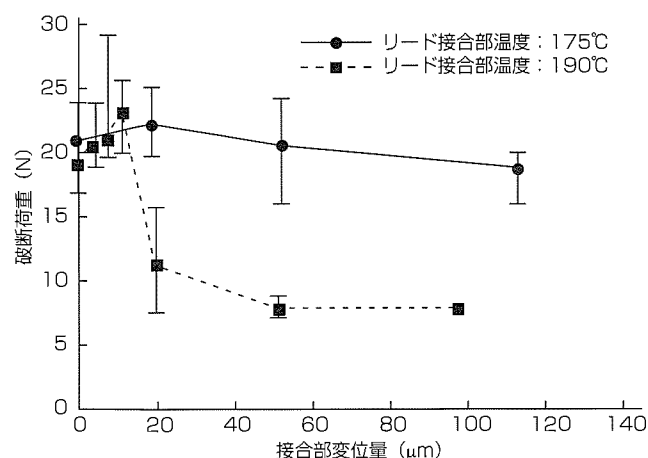


図2. リード接合部変位量と破断荷重との関係

### 3.1 技術標準化と情報展開

このプロジェクト活動の中心テーマとして、得られた技術成果の速やかな標準化と社内公開がある。活動開始当初から、各事業が共通使用できる高信頼性はんだ材の開発・選定と、その基礎的物性や接合強度評価等を全社規模で推進し、さらに、生産性低下対策や、コストアップシミュレーション等も検討した。

さらに、こうした検討結果を基に、各製作所における鉛フリーはんだ付技術の導入を容易かつ円滑に進めるため、設計～出荷までをカバーした技術者向けの手引き書“鉛フリーはんだ付マニュアル”を制作し、全社に配布した。

このマニュアルでは、JEITA(社団法人電子情報技術産業協会)の表示ガイドラインに先駆けた鉛フリーはんだ付のフェーズごとの定義と識別表示の方法、リフローはんだ付・フローはんだ付・手はんだ付各工法での推奨設備・材料、設備条件や管理方法を記載するとともに、良否判定基準や信頼性評価結果も記載している。さらに、三菱電機グループとして鉛フリー化を推進できるよう、グループ企業向けマニュアルも併せて制作した。

このマニュアルを展開ツールとした技術情報の共有化を図ることで、鉛フリーはんだ付へ速やかに移行できるとともに、今後移行を計画している事業分野についても、導入に向けて有効に活用されている。

### 3.2 作業教育ツール整備

はんだ付技術の更なる高度化が必要とされる鉛フリーはんだ付では、作業者の技能アップも重要課題であり、移行に関する注意事項、ノウハウを生産現場の作業者に理解・徹底する必要がある。

そこで、手はんだ付作業を中心とした教育用ビデオと手はんだ付教育テキストを制作し、全製作所における移行教育内容を標準化した。

この教育用ビデオでは、鉛フリーはんだの特性を分かりやすく解説し、鉛入りはんだと鉛フリーはんだの外観や作業性の違いを比較する等、品質ポイントをビジュアルに表現し、技能レベルの向上を図ることができる内容としている。

## 4. 生産現場の技術力アップ：実装技術力強化

技術的に難度の高い鉛フリーはんだ付へスムーズに移行するには、現場の製造技術の再強化が必要となる。一方、国内では、長年にわたり技術蓄積してきた基板実装技術が成熟したとして、中国を始めとするアジア諸国へ流出した結果、一部で空洞化しつつあることも懸念点である。

この現状のギャップを埋めることが早急に必要で、現在、各製作所で保有している基板実装技術を再点検し、技術基盤(鉛フリーはんだ付のベースとなる技術・技能)を再構築することとした。

具体的な推進策として、主要製作所の基板実装工場から

選出した現場実務リーダーでワーキンググループ(WG)を2チーム結成し、ベンチマーク活動を中心とした人材育成活動を展開している。

活動においては、特に基板実装にかかわる人・製品・技術の3つの側面からレベルアップを図ることを目標に掲げ、現場リーダー・スタッフのスキルアッププログラムとして推進している。

また、ベンチマーク活動と並行して実施している座学教育では、当社内のトップエンジニアからなる講師陣により、鉛フリーはんだ付技術はもとより、はんだ付の基礎、品質管理法、ジャストインタイム生産方式、基板実装工場における生産性改善事例研究など広範囲な技術・技能習得を行っている。

さらに、こうしたWG活動を通じて各メンバーが習得すべきポイントとして、現場運用をさらに高めるための自らの姿勢として“みる”の高度化をOJT(On the Job Training)の中で徹底している。この“みる”といった基本的な行動は、現場の管理・運用のためには必要な能力で、常に一段高いレベルで取り組むことが(見る→視る→観る→診る)自らの問題解決につながることを実体験を通じて学んでおり(図3)、各自が担当する基板実装工場の改善と技術力再強化で成果を得ている。

## 5. む す び

当社では、多岐にわたる製品にはんだ付技術が適用されており、鉛フリー化を推進するためには、代替はんだ材選定にとどまらず、これまで述べた新技術定着のための全社規模での技術的な施策展開が重要なポイントと考えている。

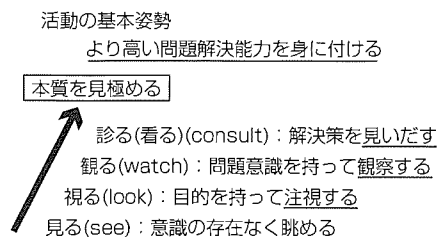


図3. WG活動の基本姿勢

また、標準化と情報公開を強く意識した技術開発・検討と技術展開のためのツール整備も今後とも継続が必要である。

今回は、紙面の都合上、先行的技術開発、製品への適用推進プロジェクト活動、生産現場の技術力アップを中心に、当社の鉛フリーはんだ付技術への取り組みについて述べた。さらに、当然ながら、各製品ごとの個別検討にも全力で取り組んでいる。

鉛フリーはんだ付技術は、環境に配慮した製品を実現するためのキー技術である。この命題を常に念頭に置き、今後とも関係者が一丸となって移行・定着化を推進していく所存である。

## 参 考 文 献

- (1) 村上政明, ほか: 鉛フリーはんだのためのリフローセンサー及びリフローシミュレータ, 三菱電機技報, 78, No.10, 689~692 (2004)
- (2) 田邊 剛, ほか: リフロー/フロー混載実装におけるICリード接合部剥離防止条件に関する検討, 第11回エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウムMate2005論文集, 11, 339~342 (2005)

# “エコ・ロジス”活動の推進

飯島康司\*

“Economy & Ecology Logistics” Activity Promotion

Yasuji Iijima

## 要旨

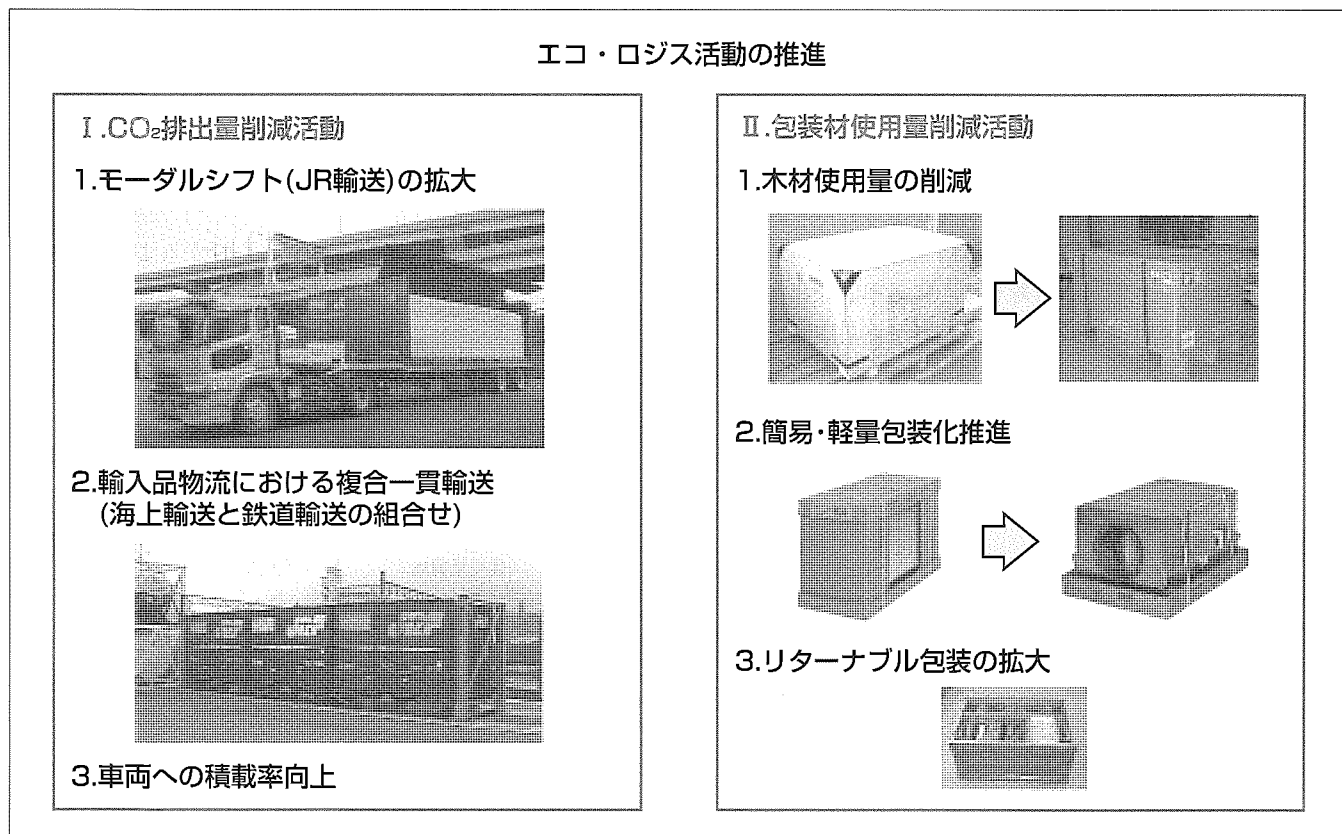
三菱電機グループの物流部門の“環境負荷低減活動”は、1993年の第1次環境計画から家電製品に使用される包装材の一つで、緩衝固定用の“発泡スチロール”の使用量削減から取り組みを始めた。

1995年からの第2次及び第3次環境計画では、発泡スチロールだけでなく、使用している全包装材を対象に使用量の削減に取り組んできた。

2002年度からの第4次環境計画では、包装材使用量の削

減活動のほかに、昨今の連結経営における情報開示と地球温暖化の原因とされる製品出荷後の輸送におけるCO<sub>2</sub>排出量削減を中心に、主要取り組み課題である三本柱の一つとして、“エコ・ロジス”活動を推進している。

エコ・ロジス活動では、製品物流(販売物流とも言う)における輸送中のCO<sub>2</sub>排出量の削減と包装材の使用量削減を推進する。



## エコ・ロジス活動

エコ・ロジス活動とは、“Economy & Ecology Logistics”活動で、物流改善と環境負荷低減活動をリンクし、“コストミニマム環境対応型ロジスティクスシステム”の構築を目指すものである。

このため、輸送では、荷主企業として、製品輸送中のCO<sub>2</sub>排出量を削減し、“地球温暖化防止”に取り組む。包装では、包装材を廃棄するのではなく、再活用を含めた資源の有効利用により“循環型社会形成”に向けた取り組みを推進する。

\*生産システム本部

1. ま え が き

当社グループを挙げて取り組んでいる“環境負荷低減活動(2002年～2005年)”の中で、物流部門としては、製品輸送中に各輸送機関から排出され地球温暖化の要因とされるCO<sub>2</sub>の排出量削減と製品保護に使われている包装用各種材料の削減に取り組んでいる。

この活動のスローガンとして、“エコ・ロジス(エコノミー&エコロジー ロジスティクス)”を掲げ、コストミニマム環境対応型ロジスティクスの構築実現に向け、環境的側面と経済性の面から推進中である。

2. 背景(取り組みの必要性)

当社グループの“環境計画”は“MET(メット)を考えよう”を合言葉に取り組んでいる。METとは、M: Material(資源の有効利用), E: Energy(エネルギーの効率利用), T: Toxicity(環境リスク物質の排出回避)であり、METの切り口から物流環境を見ると、取り組むべき課題が明確になる。

物流環境面では、“地球温暖化防止大綱”や“循環型社会形成法”などの法令が年々強化されており、一層の環境負荷低減活動が重要課題となっている。

表1は現行法令と物流環境負荷低減活動で、定量的に把握するデータの内容を示している。

3. 物流環境負荷低減活動と改善施策

表2は、物流環境負荷低減活動と改善施策を輸送と包装に別けて取り組むべき物流改善施策を示している。

製品輸送におけるCO<sub>2</sub>排出量削減に当たっては、鉄道等へのモーダルシフト推進、幹線を中心に効率的な出荷・配送システムの構築に、当社の物流子会社である三菱電機ロジスティクス(株)(以下、“MDL”という。)と連携して取り組む。

包装材使用量は使用している全包装材の削減を対象とし、なかでも主要製品の脱木材包装化に注力して取り組む。

表1. 物流環境における対象法令

区分	対象項目	把握する定量データ類	物流環境			対象法令
			包装	輸送	荷役	
M	資源の有効利用	包装材の材料別使用量	○			資源有効利用促進法 容器包装リサイクル法
		輸送用の燃料別使用量		○	△	
	廃棄物削減	包装材の材料別使用量	○			
E	地球の温暖化防止	輸送・荷役時のCO <sub>2</sub> 排出量 低公害車導入(台数・稼働率) 変更後の排出削減量		○	△	自動車NOx・PM法 道路運送車両法
T	大気汚染防止	輸送・荷役時のCO <sub>2</sub> ・NOx・PM排出量 低公害車導入(台数・稼働率) 変更後の排出削減量		○	△	自動車NOx・PM法 道路運送車両法

NOx: 窒素酸化物, PM: 粒子状物質

4. 製品輸送中のCO<sub>2</sub>排出量削減活動

(1) CO<sub>2</sub>排出量の削減目標

“第4次環境計画”におけるCO<sub>2</sub>の排出量削減目標は、国内関係会社を含めた当社グループで、2005年度末までに2002年度比20%削減である。

(2) 把握対象範囲

当社グループのCO<sub>2</sub>排出量削減活動は図1に示す製品輸送にかかわる範囲で、当社の製作所及び国内関係会社の事業所から出荷される一次輸送と配送センターから出荷される二次輸送、及び輸出品の国内港湾までと輸入品の国内港湾から配送センターまでの輸送を調査の対象にしている。

(3) CO<sub>2</sub>排出量の算出係数

CO<sub>2</sub>の排出量は、工場等の電力消費量と同様に、トラック等の輸送機関に使用した燃料使用量から算出するのが標準である。

$$\text{CO}_2\text{排出量} = \text{燃料使用量} \times \text{CO}_2\text{排出係数}$$

しかし、具体的な輸送手段(トラック、鉄道、船舶、航空機など)を持たない当社にとって、燃料使用量を把握することが難しい。

したがって、その代替方法として、輸送物量と輸送距離から求められる“トンキロ法”のCO<sub>2</sub>排出係数を使用し、CO<sub>2</sub>排出量を算出している。

$$\text{CO}_2\text{排出量} = \text{輸送物量} \times \text{輸送距離} \times \text{CO}_2\text{排出係数}$$

表3のCO<sub>2</sub>排出係数は「地球温暖化問題への国内対策に関する関係審議会合同会議資料」、及び国土交通省「運輸関係エネルギー要覧」平成11年版を使用している。

(4) 具体的な削減活動

表3の輸送手段別CO<sub>2</sub>排出係数から分かるように、鉄道

表2. 物流における環境負荷低減活動と物流改善

項目	施策	
輸送	使用車両台数削減	往復輸送システム 共同輸送
	輸送距離の短縮	モーダルシフト 直送の拡大
	車両への積載率向上	大型車への切換え まとめ出荷
包装	使用量削減(リデュース)	脱木材包装 簡易・軽量包装
	再使用(リユース)	脱木材包装 リターナブル包装
	再生利用(リサイクル)	紙・プラスチック・ スチールの再生使用

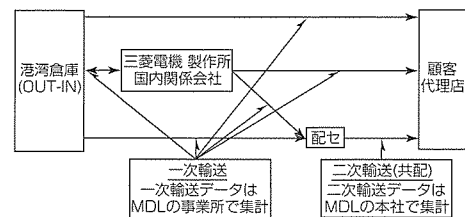


図1. 対象となる製品輸送(販売物流)の把握範囲

輸送はトラックの1/8, 海上輸送の1/2になることから, 以下の方針によりモーダルシフトの拡大に取り組んでいる。

- コストは現行と同等か, それ以下を前提とする。
- 輸送距離400km以上の幹線, 特定客先送りの鉄道輸送を推進する。

具体的事例として, 2004年度国土交通省の実証実験に2件応募し, 承認され, 現在実験に取り組んでいる例について述べる。

(a) 国内輸送の事例

図2に示すように, 出荷物量の多い関東方面への往復輸送を対象に, 関西で生産・出荷している製品の輸送を10ト車大型トラック輸送から12ft鉄道コンテナ輸送に切り換えた。

これにより, CO<sub>2</sub>排出量で83%の削減が可能になった。

(b) 輸入物流の事例

図3に示すように, 中国 上海から製品輸入して日本各地へ小口輸送することによってCO<sub>2</sub>の排出量を削減する活動である。これは, JR貨物(株)の12ftコンテナ3個を専用に積むことができるフラットラックと組み合わせることにより, 海上輸送を40ft海上コンテナと同等の扱いで, 北九州港で鉄道輸送用に分割して西日本各地の配送センターへ輸送することにより, トラックから鉄道輸送に切り換え, CO<sub>2</sub>の排出量削減に寄与する。同時に, 海外-日本間の新しい“国際一貫輸送”システムを実現することができた。

(5) CO<sub>2</sub>排出量実績

図4に示すように, 2003年度の当社グループのCO<sub>2</sub>排出量は96,600トで, 2002年度(98,700ト)比2.1%(2,100ト)を削減した。輸送手段別ではトラックが95.4%(92,200ト)を占める。モーダルシフトに相当する鉄道輸送(700ト)と海上輸送(1,100ト)の合計は1.9%(1,800ト)である。

(6) 総輸送量実績

図5に示すように, 2003年度の当社グループの総輸送量は576百万トンキロで, 2002年度(598百万トンキロ)比3.6%(22百万トンキロ)を削減した。輸送手段別ではトラックが90.7%(523百万トンキロ)を占める。モーダルシフトに相当する鉄道輸送(29百万トンキロ)と海上輸送(23百万トンキロ)の合計は9.0%(52百万トンキロ)である。

5. 包装材使用量削減活動

(1) 包装材使用量の削減目標

包装材の使用量削減活動は“第1次環境計画”(1993年~1995年)の発泡スチロールの使用量削減(目標は1995年度までに1992年度比30%削減)をスタートし, “第2次環境計画”(1995年~1998年)から使用している全包装材料を対象に, “第3次環境計画”(1998年~2002年)まで, 30%削減に当社単独で取り組み, 削減を達成した。

“第4次環境計画”では, 国内関係会社を含めた当社グループで, 2005年度までに2001年度比10%削減の目標で, “主要製品の脱木材化”を中心に包装材使用量削減に取り組んでいる。

(2) 把握対象範囲

対象にしている包装材は, 製品の保護に使用されるすべての包装材を発泡スチロール, 段ボール, 木材のほか, 段ボール以外の紙類, 発泡スチロール以外のプラスチック類と鋼材の6種類に素材別分類し, 把握している。

(3) 具体的な削減活動

従来から製品の強度を強くし, 包装材が廃棄されないようにするとともに, 使用量を減らす軽量化を進めてきた。この包装材使用量の削減活動は, 図6に示すように, 環境に適合した包装形態の考え方をまとめ, 取り組んでいる。

具体的な取り組み活動は以下のとおりである。

(a) 包装材使用量の削減活動

- 軽量化・簡易包装(キャップトレイ方式, 材質の

表3. 輸送手段別CO<sub>2</sub>排出係数(単位:g-CO<sub>2</sub>/トキロ)

輸送手段	CO <sub>2</sub> 排出係数	鉄道を1としたときの排出倍数
トラック	176	8
鉄道(JR)	22	1
海上輸送	48	2
航空便	1,474	67

(注) CO<sub>2</sub>排出係数は1トの製品を1km移動させるときに発生するCO<sub>2</sub>排出量(グラム)である。

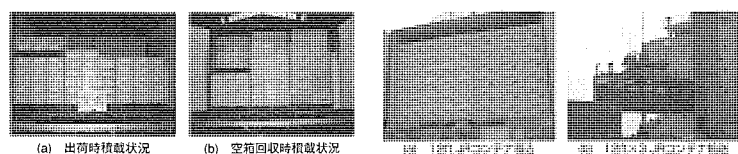


図2. 国内輸送のモーダルシフト事例



図3. 輸入物流のモーダルシフト事例

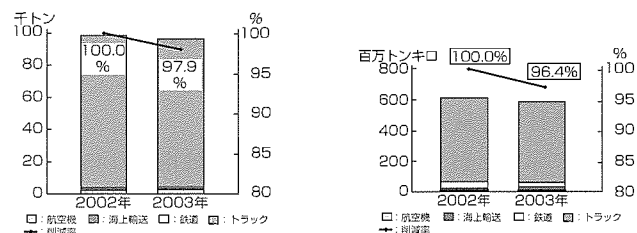


図4. 製品物流のCO<sub>2</sub>排出量実績

図5. 製品物流の総輸送量

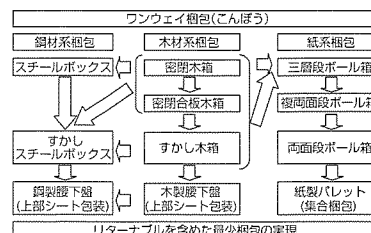


図6. 包装材使用量削減への取り組み(考え方)

軽量化)推進(図7)

● 通い包装容器の導入拡大(図8)

(b) 主要製品の脱木材化活動

● 輸出：スチール包装の推進(海上コンテナ活用)(図9)

● 国内：段ボール包装化の推進

(c) 製品設計時から環境を配慮した包装の改善を進め、包装材の3R(リデュース, リユース, リサイクル)の推進

● 製品設計まで遡(さかのぼ)った製品・包装改善の推進

● 発泡スチロールの代替化推進

● 商取引と物流環境の見直しによる包装改善

(4) 木材使用量実績

図10に示すとおり、2003年度の木材使用量は12,100トﾝで、2001年度(16,900トﾝ)比28.4%(4,800トﾝ)を削減した。

主要製品の脱木材化は次の計画で取り組んでいる。

(a) 輸出主要製品は2004年度中に脱木材化を策定し、2005年度中に廃止する計画で取り組んでいる。

特に、輸出は各国の森林資源保護を目的に“木材検疫規制”が強化されている。これに対応するため、輸出主要製品の包装は海上コンテナ輸送を中心に木材からスチール・段ボール等の材料に代替化を進めている。

また、海上コンテナ輸送以外の在来船で輸送される発電機のロータ等の大型製品は、客先と折衝して脱木材化を進めている。

(b) 国内主要製品は2005年度までに脱木材化の計画を策定し、2006年度中に廃止する計画である。

国内主要製品の包装は“グリーン購入”等の意識の高まりや、包装材の“廃棄物処理”問題等から分別回収のしやすさ、再生処理のしやすさなどから木材包装が大幅に減少した。

しかし、従来からの商習慣で、未だに木材包装の製品が残っている。これらの製品は客先と折衝し、段ボール代替化や“リターナブル容器”への変更を計画している。

(5) 包装材使用量実績

図11に示すとおり、2003年度の包装材使用量は45,400トﾝで、2001年度(49,000トﾝ)比7.4%(3,600トﾝ)を削減した。包装材料別では段ボールが62%、木材が26%で、全体の88%を占める。

## 6. む す び

物流部門における“地球温暖化防止”(CO<sub>2</sub>排出量削減)に向けた取り組みは、荷主事業者と物流事業者が連携することが重要であり、(社)日本ロジスティクスシステム協会主催の「ロジスティクス環境会議」(2003年11月発足)や国土交通省・経済産業省が主導する「グリーン物流パートナー

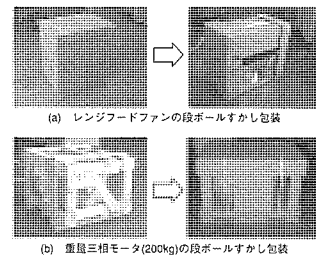


図7. 軽量化・簡易包装事例

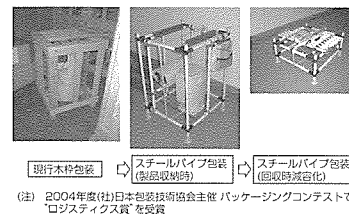
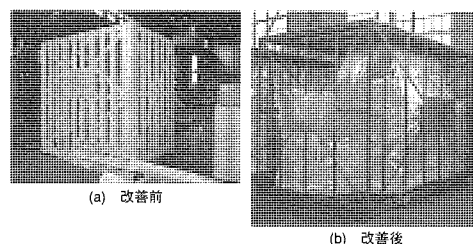


図8. 通い包装事例



	改善前	改善後	改善率	実施時期 2000年10月 輸出 欧米 目的 環境対応 軽量化
包装形態	すかし木箱	スチールすかし箱		
総質量(kg)	2,850	2,500	12%	
外形寸法(cm)	(L)180×(W)185×(H)220	(L)180×(W)180×(H)215		
容積(m <sup>3</sup> )	7.326	6.966	5%	
包装材質量(kg)	850	500	41%	
包装コスト	100%	73%	27%	

図9. スチール包装事例

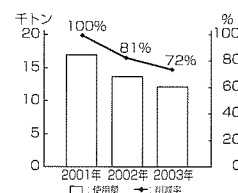


図10. 木材使用量実績

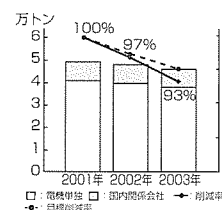


図11. 包装材使用量実績

シップ会議」が2004年12月に開催され、緒についたばかりである。この中で、荷主と物流事業者が物流におけるCO<sub>2</sub>排出量の抑制について、削減計画を策定し、情報を公開するなど、法規制強化の動きが出ている。

包装材についても、従来の廃棄処理型から材料の再利用型への転換が急務となっている。

これらの動向を踏まえ、当社の物流部門では更に環境負荷低減活動を強力に推進していく。



# 環境適合包装技術

前沢英一\*

Environmental Conscious Package Design

Eiichi Maezawa

## 要 旨

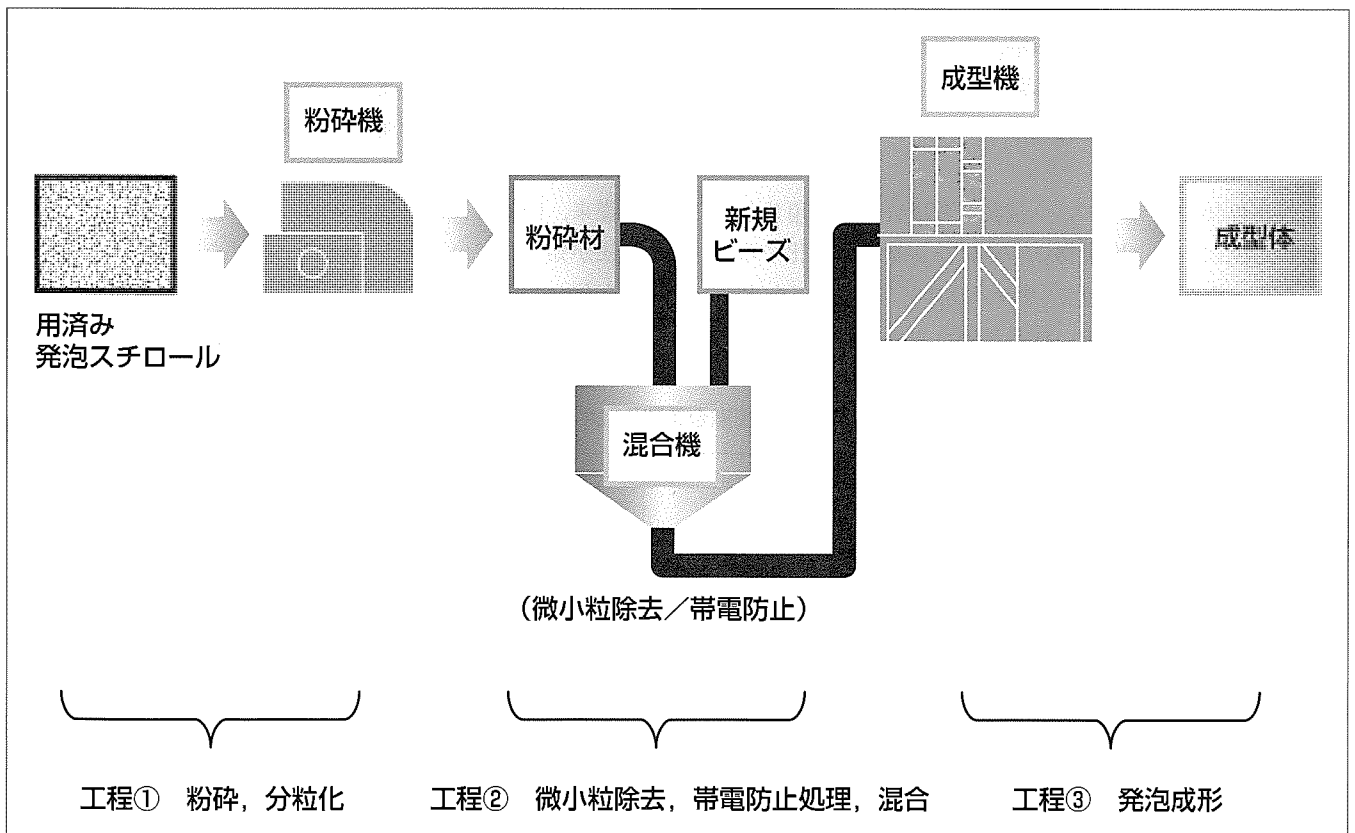
家電製品の包装は、輸送包装(工業包装)と呼ばれ、従来から流過程での製品保護が重要な役割とされてきた。すなわち、家電品は、生産工場から出荷された後、最終顧客の手に渡るまでの流過程で様々な環境(輸送・荷役時の振動・衝撃、保管時の積載荷重など)にさらされるため、損傷を受けやすい。そこで、包装で保護して安全に商品を届けることを基本的役割としてきた。そして、この包装を最小費用で果たす設計を迫ってきた。

しかし、包装は、最終顧客に届けられると、その役割を終え、廃棄物となるため、環境保全の観点から、省資源、リサイクル等の環境適合性が求められている。

こうした背景の下、家電メーカーは、環境保全問題を市場における商品力(販売競争力)向上にかかわる問題としてとらえ、積極的に対応をしている。

三菱電機では、主要家電の包装技術者をメンバーにした環境適合型製品技術委員会包装3R対応WGを設置し、最小包装の追求、リサイクル材の活用等、包装の減量化のみならず、資源を有効利用した環境適合包装(リサイクル包装)の推進をしている。

そこで、本稿では、製品の品質を維持しつつ費用低減と環境保全を考慮した包装設計のポイント(再生・再資源容易包装、回収・処理容易包装)、開発した発泡スチロールの再利用技術(用済み材を粉碎混合し成型発泡する簡易製造技術:下図)、3R(リデュース、リユース、リサイクル)対応の包装事例、及び今後の家電包装の在り方(全体最適化、CAE(Computer Aided Design)化、UD(Universal Design)化)について述べる。



## 用済み発泡スチロールの再生製造工程

開発した発泡スチロール再生技術は、熱融解せずに、廃材を機械的に粉碎して新規材に混ぜるだけの簡単な再生法のため費用も安く(新規材比5~10%低減)、強度品質特性はほぼ同等を果たしている。また、できた成型体は用済み後も繰り返し原材料として使用可能であり、資源の有効利用と廃棄物の抑制が図られる。

\*住環境研究開発センター

1. ま え が き

循環型社会形成に向けてリサイクルに関する法律が内外で相次いで制定され、国内では使い捨て包装から、再商品化を関係事業者が義務付けた“容器包装リサイクル法”が施行され、9年目を迎えている。

一方、自治体、市場(顧客)では、廃棄物量の増大化に伴い、廃棄物処理に要する作業、費用負担が大きくなっており、関係事業者に対して、処理費用のかからない包装、又は用済み包装の引き取り等の要請をしている。

こうした背景の下、家電メーカーは、環境保全問題を市場における商品力(販売競争力)向上にかかわる問題としてとらえ、積極的に対応をしている。

当社では、製品の環境適合化を推進する技術委員会に包装3R対応WGを設置し、最小包装の追求、リサイクル材の活用等、包装の減量化のみならず、資源を有効利用した環境適合包装(リサイクル包装)の推進をしている。また、3Rに対応した包装技術開発を積極的に推進している。

そこで、製品の品質を維持しつつ費用低減と環境保全を考慮した包装設計のポイント、開発した発泡スチロールの再利用技術、3R対応の包装事例、及び今後の家電包装の在り方について述べる。

2. 家電包装の環境適合設計ポイント

内外の包装関連法規制や市場の要望を整理すると、家電包装に要求されている内容は以下(表1)に集約される。

- (1) 包装レス(裸包装)：包装をしないか、省資源・簡易包装にする。
- (2) 最小包装(リデュース)：包装する場合は、使用量を必要最小限にする。廃棄物(ごみ)になる量を最小化する。
- (3) 再生・再資源容易包装(リサイクル)：使用する包装材は、リサイクルしやすい材料を使うか再生した材料を利

用する。具体的には、リサイクルシステムの整った包装材へ代替する。例えば、木材や樹脂材から紙系材料への変更、用済み発泡スチロールの再利用(資源の有効利用)等である。

- (4) 回収・処理容易包装：廃棄後の回収・処理に人手や費用がかからない材料・構造にする。例えば、小分割、分離可能構造、単一包装材(オール段ボール化)、無接着包装等である。
- (5) 再使用包装(リユース)：包装を使い捨てにせずに繰り返し使用する包装にする。
- (6) 埋立て・焼却処分容易包装：最終処分(埋立て、焼却)されたときに、焼却炉を傷めなく、また、土壌に分解されやすい材料・構造にする。例えば、低燃焼カロリー材、自然還元包装(生分解袋、スターチばら材)等である。

3. 発泡スチロールの再利用技術

3.1 発泡スチロールの問題点

包装用発泡スチロールは、製品の保護性・成型加工性・経済性が他の包装緩衝材に比べて優れているため、家電製品の包装に広く使用されている。しかし、用済み後、かさばることや、焼却時の高発熱量で焼却炉を傷めたり、埋立て処理をしても土中で分解しないため土壌が不安定になるなど、廃棄処理場、問題視され、使用量の減量化とリサイクル化が望まれている。

3.2 開発技術の概要

こうした背景を踏まえて、当社では、用済み発泡スチロールを再利用する技術開発に着手し、1998年に国内で初めて家電品の包装に実用化を果たした。

従来、国内外には発泡スチロールの再生技術として熱融解法が知られているが、これは、廃材を熱で溶かしてペレット化し、発泡ガスを含浸させ再生ビーズを製造する方法であるため、経済性、品質特性などに不十分な点があった

表1. 環境適合包装設計ポイント

	包装設計考慮点		実現方策
1	包装レス	包装使用量ゼロ(無包装)	直送(傷防マット、番木)、ラック保管(パレットサポート)、製品耐圧・衝撃強度改善
2	必要最小の包装	使用する包装材の量を最小化 省資源・省エネルギー包装、簡易包装	製品保護に必要な最小限緩衝包装理論設計、製品改善(強度、突起、構造、寸法)、流通外力低減(物流改善)
3	再生、再資源、再商品化包装	リサイクル包装、再生利用しやすい包装、再生材利用、資源有効利用	紙系材料(積層段ボール、パルプモールド、ハニカムコア、紙管)の活用、廃プラスチック利用包装(再生発泡スチロール、再PP(ポリプロピレン樹脂)、擬似木材)
4	回収処理が容易な包装	分別、回収に人手、費用がかからない材料、構造	小分割、分離、分解可能構造、単一包装材(オール段ボール化)、無接着包装、包装部品数削減、複合材料削減
5	再利用、再使用包装	リユース包装、繰り返し使用、廃棄物(使い捨て)にしない包装	通い包装(製品、部品包装)、特定顧客間/工場間輸送包装、顧客から廃材引き取り、求貨求車システム(帰り便)活用
6	廃棄処分が容易な包装	埋立て、焼却処分が容易材料、構造	低燃焼カロリー材、自然還元包装(生分解袋、スターチばら材、大豆インク)、有害材使用回避

(費用高、強度低下)。これに対して開発した技術は、熱融解せずに、廃材を機械的に粉碎して、新規材に混ぜるだけの簡単な再生法のため、費用も安く(新規材比5~10%低減)、強度品質特性はほぼ同等となる。また、できた成型体は用済み後も繰り返し原材料として使用可能であり、資源の有効利用と廃棄物の抑制が図られる。

### 3.3 開発した簡易の再生製造法

#### 3.3.1 工程①：粉碎，分粒化(図1)

再利用する発泡スチロールは、主として工場廃材や量販店に集まる廃材(市場からの回収は発泡スチロール再資源化協会に委託している<sup>(1)</sup>)を利用し、粉碎機(回転カッタ)により、未使用予備発泡粒(以下“新規ビーズ”という。)の1~3倍サイズ(2~6mm程度)に粉碎する。

#### 3.3.2 工程②：微小粒除去，帯電防止処理，混合(図2)

粉碎粒の中に含まれる2mm以下の微小粒をフィルタで除去し、新規ビーズと混合する。この際、均一混合及びスムーズな搬送をさせるため、粉碎粒と新規ビーズに帯電防止剤(界面活性剤：脂肪酸ナトリウム)を吹き付けながら混合する。

#### 3.3.3 工程③：発泡成形(図3)

混合材はエアで成型金型に充填(じゅうてん)し、蒸気で型内発泡させる。成型装置は既存の装置を利用することができる。成型条件は金型や混合比率によって異なるが、加熱、冷却時間は従来(新規材100%時)より10~30%短縮することができる。これは、発泡させる新規ビーズ量が少なくすむからである。

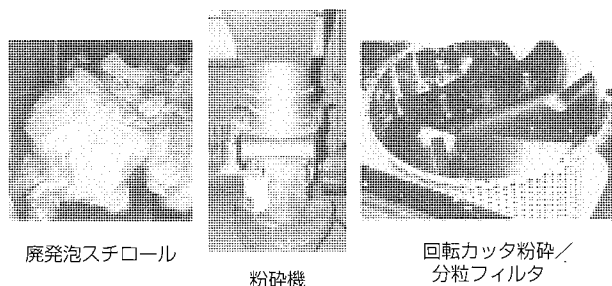


図1. 工程① 粉碎，分粒化

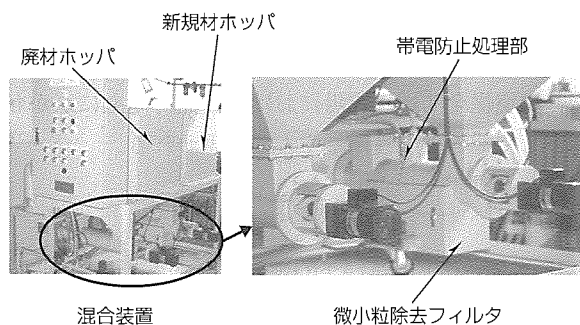


図2. 工程② 微小粒除去，帯電防止処理，混合

以上の開発した技術は1998年に特許を取得している(特許第2784528号：発泡スチロール粉砕片含有成形体及びその成形体の製造方法)。

### 3.4 開発技術の特長

#### 3.4.1 金型充填法の工夫による成型ひずみの改善

混合材に帯電防止、微小粒除去処理を施すことにより、充填口、スリット(ベントホール)等の詰まり防止と金型への均一充填が可能となる。これにより、新規ビーズが粉砕粒を囲むように発泡、融着一体化し、ひずみのない成型体を得ることができる。

#### 3.4.2 費用低減

用済み材料の再利用、機械的に粉碎混合するのみの簡易製造法、及び発泡成形時間の短縮により、新規材に比べて約5~10%の費用低減が可能となる。

### 3.5 家電製品への適用

この技術は1993年にカラーテレビの包装に業界で初めて導入し、その後、ルームエアコン、圧縮機、パッケージエアコンなどに適用している。

## 4. 環境適合包装事例

製品保護機能を維持しつつ流通改善、又は製品強度改善を図ることにより、省資源、リサイクル化を図った事例について述べる。

#### 4.1 液晶モニタの最小包装(リデュース包装)

図4は、製品改善(パネル固定部にリブ加工を施し衝撃強度を一般家電の2倍の90Gを確保し、また、スタンドを脱着式に変更)と緩衝包装設計の最適化により包装体積/使用量を半減した液晶モニタの包装事例を示している。これにより、コンテナ積載数2倍、包装費25%の削減を実現した(2004年度日本包装技術協会主催の日本グッドパッケージング賞を受賞)。

#### 4.2 照明器具の通い包装(リユース包装)

図5は、従来の段ボール箱使い捨て包装からスチール製ラック式の通い包装にした照明器具の包装事例を示してい

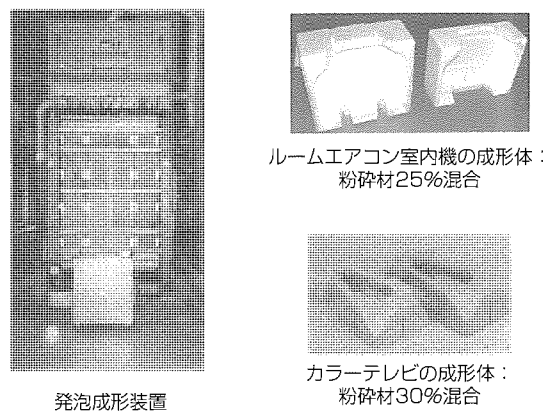


図3. 工程③ 既存設備による発泡成形

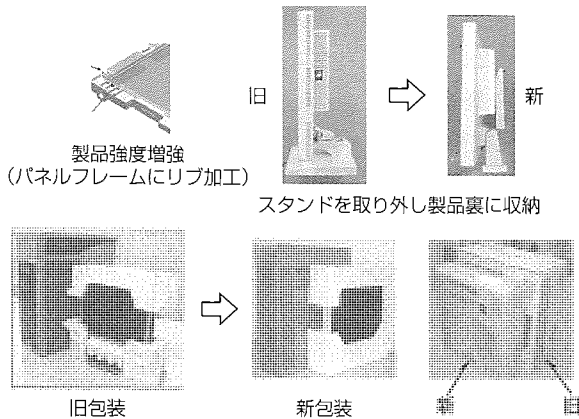


図4. 液晶モニタの最小包装(リデュース包装)

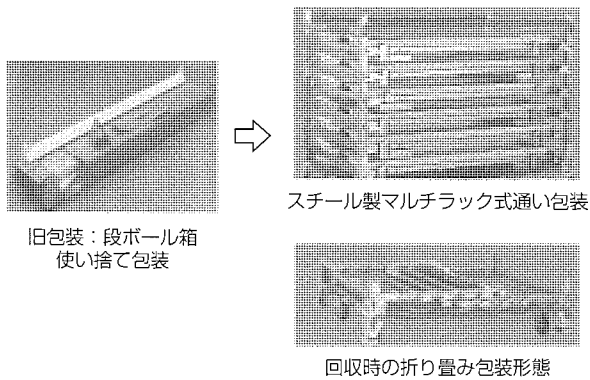


図5. 照明器具の通い包装(リユース包装)

る。建築現場等に納品後は、折り畳み、次期納品時の帰りで回収することで輸送費増加を抑え、繰返し使用(5回以上)により包装費34%の削減を実現した。

#### 4.3 全自洗の再生発泡スチロール包装(リサイクル包装)

図6は、前述(3章)の発泡スチロール再生法で廃材を再利用した全自動洗濯機(全自洗)“MAW-D7”の包装事例を示している。粉碎廃材を新規材に10%混合成型し、昨年の新製品から導入を図った(現在、廃材混合比を20%に拡大中)。併せて、緩衝包装設計により包装使用量/費用24%の削減を実現した。

### 5. 家電包装の今後

#### 5.1 全体最適化(総費用最小化)

今後の家電包装は、単に包装上の機能を確保するだけではなく、環境保全機能を考慮しつつ、関連諸活動との連携で、全体最適化(総費用最小化)をする取り組みが重要である。家電包装は流通環境から製品を保護する役割上、多くの活動(製品設計、輸送、保管、荷役等)と密接な関係を持つが、コストとのトレードオフ関係にある。今後は、製品開発時点から製品/包装/流通強度のトレードオフ調整による総費用最小化設計の取り組みが必要となる。

#### 5.2 非線形解析CAEの活用

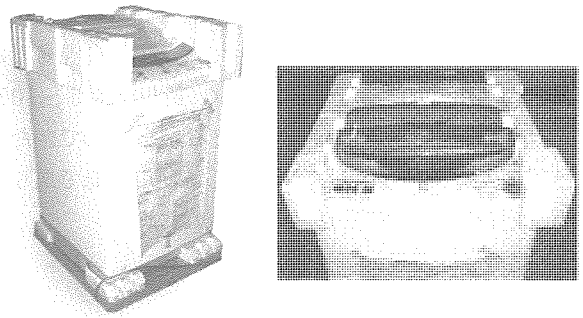


図6. 全自洗の再生発泡スチロール包装(リサイクル包装)

リサイクルシステムの整った包装材として発泡スチロールに替わる段ボールやパルプモールド等の紙系包装材があるが、これらの設計技法は未だ確立されていなく、試行錯誤的設計で包装が成されているのが現状である。今後、有限要素法を活用した構造解析シミュレーション技術の活用により、包装設計の迅速化・厳密化、そして環境適合最小包装(環境保全と更なる減量化)が不可欠となる。

#### 5.3 グローバル化への対応

海外生産移転に伴う包装問題として、現地での包装材調達性、品質確保、包装(設計、試験評価、改善)技術伝承、流通ストレス、地域の環境廃棄物規制への対応が重要である。国内生産・流通とは異なる設計、試験、納品基準による包装品質確保が必要となる。

#### 5.4 ユニバーサルデザイン

製品保護、環境保全及び流通適合化に加えて、包装組立性、包装表示の視認性、荷役性、商品に関する情報提示、開梱(かいこん)再梱性、商品の取り出しやすさ等、人(ライン組立作業員、流通作業員、販売営業員及び一般消費者)への配慮(親切包装設計)が必要である。特に高齢者社会に向けたユニバーサルデザインが重要となる<sup>(2)</sup>。

## 6. むすび

家電各社とも、内外の包装関連法規制、自治体、市場(顧客)からの要望に対応した環境適合包装の開発と市場導入に力を入れている。

本稿では、当社で取り組み中の環境適合包装設計のポイント、発泡スチロールの再利用技術、3R対応の包装事例について述べ、また、今後の家電包装の在り方を述べたが、今後、環境保全問題は市場における商品力向上にかかわる問題としてその重要性が増すものと思われる。

### 参考文献

- (1) JEPSRA INFORMATION2004: 発泡スチロール再資源化協会, 6~11 (2004)
- (2) 前沢英一: 家電包装のユニバーサルデザイン, 日本包装学会誌, 12, No.5, 249~255 (2003)

# 環境とIT

東 辰輔\* 高田雄二\*\*\*  
 平岡精一\*  
 時盛孝一\*\*

## Environment and Information Technology

Shinsuke Azuma, Seiichi Hiraoka, Koichi Tokimori, Yuuji Takata

### 要 旨

三菱電機では、IT(情報技術)を用いた持続可能な高度情報社会の実現を目指しており、環境管理/環境経営を支援する環境統合情報システムの構築とともに、環境の保全に向けたソリューションの構築にも取り組んでいる。

環境の悪化を食い止め住み良い環境を取り戻すには、悪化してから食い止めるということの繰り返しではなく、きめ細かな監視とタイムリーで的確な施策が必要となる。

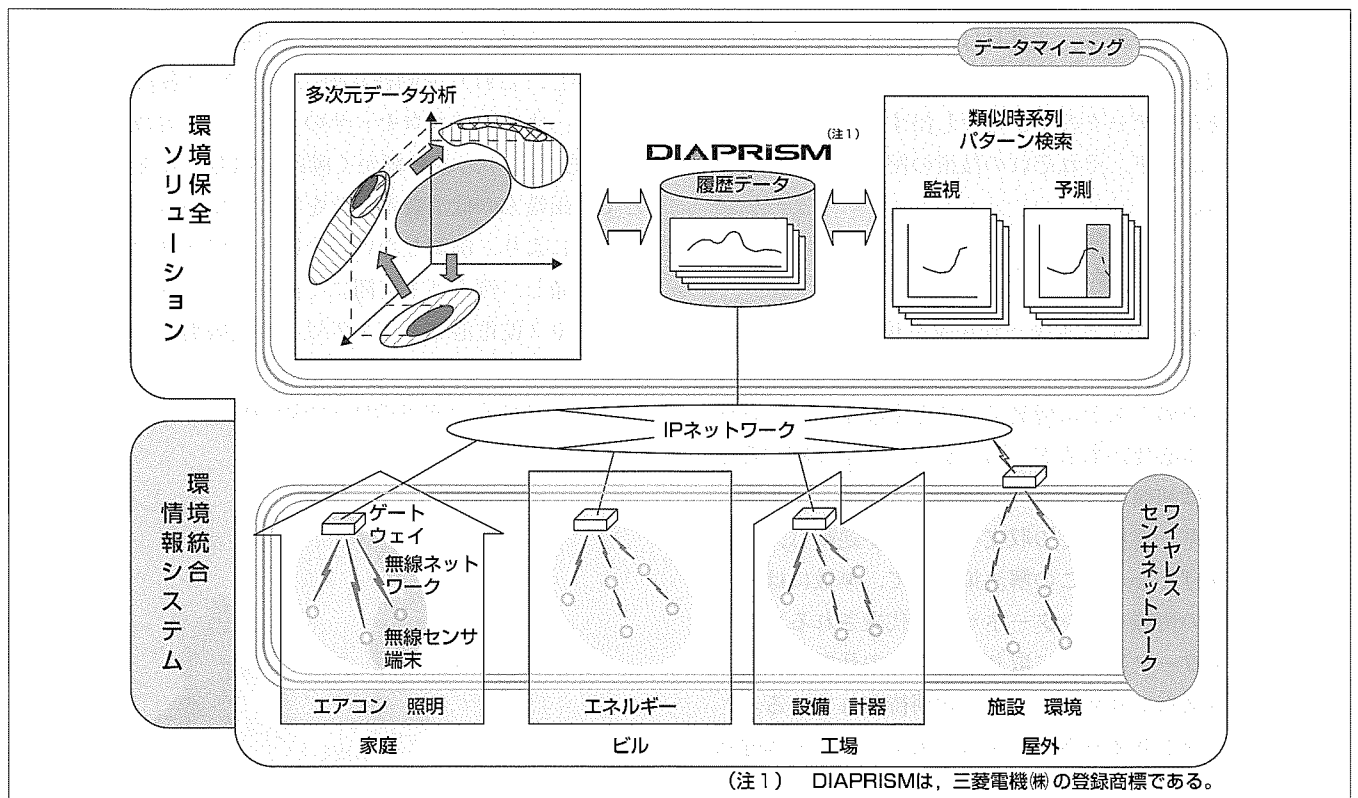
一方、ITの進歩には目覚ましいものがあり、かつての大型計算機を越える処理能力は1チップで実現可能となり、ユビキタス社会は着実に進展している。これらの技術を活用して環境を保全していく取り組みが始まっている。

環境のきめ細かな監視に関しては、無数にばらまかれたセンサの情報をインターネット等のコンピュータネットワークに簡単に取り込むための仕組みを提供するワイヤレス

センサネットワークが期待されている。低消費電力化された無線センサ端末と、それらを相互に接続する自律的なネットワークにより、初期導入の低コスト化を図ることができる。

センサネットワークにより収集されたデータを分析し、タイムリーかつ確かな対策を講じるには、データマイニング技術が必要となる。過去からの蓄積である履歴データを活用して様々な角度から分析して最適解を求める多次元データ分析や、現在の状況と似たパターンを探し出す類似時系列パターン検索により、履歴データからノウハウを抽出することが可能となる。

これらの技術を融合することにより、プロアクティブな環境保全を可能とするソリューションを今後提供していく。



### ITによる環境保全ソリューション

家庭、ビル、工場、屋外に偏在する無線センサ端末は、自律的にワイヤレスセンサネットワークを構築し、ゲートウェイを介してセンサにより取得したデータをIP(Internet Protocol)ネットワークに送出する。これらを収集・蓄積し多次元データ分析による最適解の導出や類似時系列パターン検索により過去のデータから将来を予測することにより、先を見越したプロアクティブな環境保全が実現可能となる。

## 1. ま え が き

人間は環境の影響を受け生活を営み、また、環境は人間生活の影響を受け変化する。多くの場合、人間が環境に与えるのは悪影響であり、両者の間の循環を考えるとそれは自らの生活を脅かすことにはかならない。

環境の悪化を察知し対策を講じるという点に関しては、大気汚染、水質汚染、オゾン層破壊、地球温暖化などのマクロな変化に対して、政策及び国際的協力などにより長期的視点に立った取り組みはなされてきている。しかし、環境の悪化を最小限に食い止めるためには、悪化してから改善をするという後追いの処置ではなく、ミクロなレベルで、実時間で、環境を監視し対策を講じるという循環を形成する必要がある。

一方において、コンピュータ技術、ネットワーク技術などのいわゆるITの進歩には目覚ましいものがあり、かつての大型計算機を越える処理能力は1チップで実現可能となり、また、時間や場所によらずにサービスを楽しむことができるユビキタス社会は着実に進展していると言える。これらの技術を活用して、環境をプロアクティブに、すなわち先を見越して保全していく取り組みが始まっている。

そこで本稿では、環境保全に向けた当社のITの取り組みについて述べる。1点目は、多地点の環境パラメータを実時間で取得しモニタするための技術であるワイヤレスセンサネットワークである。2点目は、このようなインフラを活用して収集したデータを整理し、環境保全に向けた具体的な施策をそのデータの中から探し出すデータマイニング技術である。以下、それぞれの技術の解説、及び事例について述べる。

## 2. ワイヤレスセンサネットワーク

的確できめ細かなエネルギー使用量や環境情報(温度、照度、CO<sub>2</sub>など)のモニタが確実なエネルギー削減につながる。このためのシステム構築には情報を収集するセンサを多数配置する必要があるが、膨大なセンサを接続するための配線工事は初期導入コストを押し上げ、省エネルギーによるエネルギー費用減との収支バランスが逆転し、システム導入の妨げとなる。この解決策として、無数にばらまかれたセンサの情報をインターネットに代表されるコンピュータネットワークに簡単に取り込むための仕組みを提供するワイヤレスセンサネットワークが期待されている。

ワイヤレスセンサネットワークは、センサ機能と無線通信機能で構成される無線センサ端末と、無線センサ端末間を接続する無線ネットワークで構成され、ゲートウェイを介してインターネットに接続される<sup>(1)</sup>。無数の端末をネットワークに接続するため、設置やメンテナンスにかかるコストの低減が要求され、無線センサ端末には自律的なネッ

トワークの構築と低消費電力化が要求される。自律的なネットワークの構築は、アドホックネットワーク技術により実現する。

アドホックネットワークとは、基地局を必要とせず、無線端末が相互に接続する自律分散型のネットワークのことである。この技術の中核としたセンサネットワークプロトコルはZigBee<sup>(註1)</sup> Alliance(<http://www.zigbee.org>)において標準化が進められている。当社は、プロモータメンバーとして活動し、低電力ルーティング、セキュリティ、アプリケーションプロファイルに関する仕様提案を行っている。

ZigBeeプロトコルに対応した無線センサ端末の試作機を図1に示す。この試作機は、5 cm×4 cmというコンパクトなサイズに、ネットワーク、センサインタフェース、セキュリティの機能を収めている。プロセッサには16ビットマイコンを採用し、これらの機能を一つのプロセッサで処理するのに必要なメモリ空間と処理性能を確保している。また、センサユニット、給電ユニットをアタッチするモジュラ構造により、アプリケーションに応じたセンサやバッテリーを選択的に利用できる構造としている。

無線センサ端末の各機能ブロックの負荷状態は均一ではない。例えば、無線通信を実行中にはセンサからのデータ採取を行わない、通信の待ち受け状態のときにはプロセッサは待ち状態であるなど、処理内容に応じて各機能ブロックの動作状態が異なっている。各機能ブロックの動作状態を把握し、これらの動作状態に合わせて“各機能部位の電源オン/オフ”や“プロセッサのクロック周波数を切り換える”ことにより、きめ細かく動的に電力消費を制御することで無線端末の低消費電力化を実現している。この動的電力制御により、制御しない場合に比べて3分の1に消費電力を低減し、例えば1時間に1回センサで温度を測定する場合、単3乾電池2本で1年以上の連続動作を可能としている。

(注1) ZigBeeは、Koninklijke Philips Electronics N.V.の商標である。

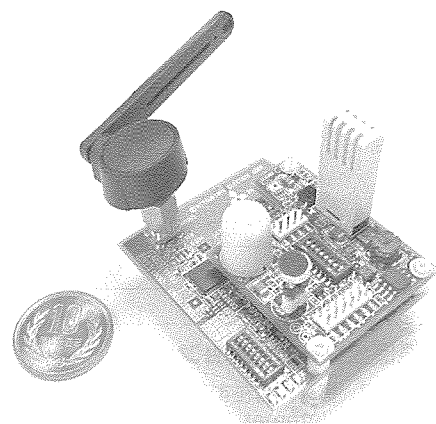


図1. ZigBee対応無線センサ端末

### 3. データマイニング

多数のセンサにより収集したデータは、現在の環境の状況を示すと同時に、それらの蓄積は、将来の環境の変化を予測するための重要な財産である。センサネットワーク技術はもとより、通信技術、ストレージ技術の進歩により、大量のデータを安価に収集し蓄積することは可能となったが、それら大量のデータは直接的には何も物語ってはくれない。そこから情報を引き出し知見を得るには、データマイニング技術が必要となる。

データマイニングの代表的な例として、“おむつを購入する人は同時にビールを購入する”というスーパーマーケットの販売データからの知見があるが、このように従来は、主に流通小売業での適用が多かった。ここでは、環境への適用という観点から有効なデータマイニング手法について述べる。

#### 3.1 多次元データ分析

センサにより収集されるデータには、いつ、どこで収集したかといった時刻、場所、対象物などの情報が紐(ひも)付く。このような情報により切り口や角度を変えてデータを見ることにより、埋もれている価値ある情報が浮かび上がってくる。このような分析手法は多次元データ分析と呼ばれる。多次元データ分析の具体的な手順として開発した手法を以下に述べる<sup>(2)</sup>。

##### (1) 上澄み法

大量の実データにおいて、複数の非線形な関係にあるパラメータの中から個々のパラメータにおいて最適な条件をすべて満たすデータを高速に抽出する方法である。図2に示すとおり、最も相関が高くかつ経験的に重要なパラメータを最優先とし、優先度の高い順にそのパラメータで最適な条件を満たすデータを繰り返し抽出し、最終的に残ったデータ(上澄み)をすべてのパラメータにおいて最適の条件を満たすデータとする。この手法により、初期値によって

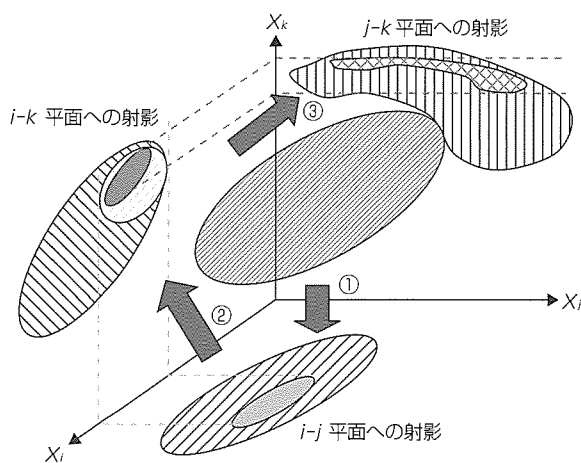


図2. 上澄み法

は収束に時間がかかる、又は局所解に陥るといった問題を回避することが可能となる。

##### (2) 難制御帯抽出法

機器の運用では、過去の事例から操作が成功した条件を切り出し、その条件下での操作パラメータを推奨値とする方法が一般的であるが、難制御帯抽出法では、逆に、過去の失敗した、すなわち操作が難しい事例に着目する。まず、失敗の多い条件を切り出し、その制御の難しい条件下でも制御の成功率が高い操作パラメータを推奨するというものである。この手法により、通常状態から逸脱し制御モデルの適用が困難な場合においても、過去の操作経験をノウハウとして抽出することが可能となる。

多次元データ分析では、過去からの蓄積である大量の実データを様々な角度から分析する必要があり、当社のデータ分析プラットフォーム“DIAPRISM”は、その高速検索性能から、このような用途に対して有効である。

#### 3.2 類似時系列パターン検索

過去に起きた事象を基に将来を予測するというのを、人間は経験的に行っている。これは、データベースという視点から言うと、図3に示すとおり、現在のデータパターンに類似するものを履歴データの中から探し出し、それらがその後どういう動きをしているかを参照することに相当する。

履歴データから現在の類似パターンを検索する際には、時系列のパターンからノイズ、誤差、欠損値などを考慮しながら的確に特徴を抽出することが、処理性能及び正確さの点から必要となる。パターンから最良の線形近似を得る手法として、特異値分解(Singular Value Decomposition: SVD)が知られている。SVDにより効率の良い類似時系列パターンの検索が可能となる<sup>(3)</sup>。

### 4. 事例紹介

#### 4.1 ビルの省エネルギー

地球温暖化対策として温室効果ガスの排出量の削減が必要であるが、オフィスビル、大規模小売店舗、ホテル、病

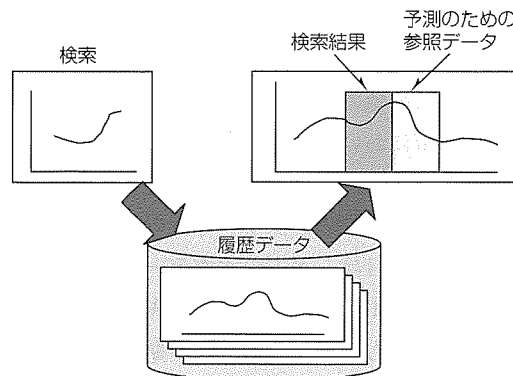


図3. 類似時系列パターン検索

院等を始めとする業務部門はエネルギー消費量の増加が著しく、今後も急激な勢いで増加すると予想されている<sup>(4)</sup>。この対策として、IT技術を活用したBEMS(Building Energy Management System)の普及推進が求められている。

BEMSへの入力情報を得るために、エネルギーや温度、照度などの環境情報を計測するためのセンサを区画ごとに設置する必要がある。既設ビルやテナントビルではシステム導入工事の簡易化/工期短縮が求められているが、センサ設置の配線工事を不要とするワイヤレスセンサネットワークの適用が効果的である。

図4はワイヤレスセンサネットワークを適用したBEMSのシステム構成図である。電力監視を行うエネルギー計測ユニット(EMU)、環境情報を取得する温度センサや照度センサ、人の存在を検知する人感センサでワイヤレスセンサネットワークを構築し、各区画に設置したゲートウェイで構内LAN(Local Area Network)に接続する。EMUや各種センサはアドホックネットワークで接続され、ゲートウェイから離れた場所に設置されたセンサでも自律的に中継通信を行い、確実にデータが転送される。収集した監視情報は構内LAN経由でエネルギー管理システムに送られ、運転監視や運転最適化、スケジュール管理等に使用される。

ワイヤレスセンサネットワークを適用することで、センサ同士が相互に接続し合いながらセンサ情報を確実にゲートウェイに伝達するので、煩雑な配線工事や設定を行うことなくシステムを構築することが可能になる。また、配線が不要なので、区画単位の監視から機器単位の監視への移行も容易に行うことができ、一層きめ細かな省エネルギーが実現できる。

#### 4.2 下水の水質改善

下水処理では、一般家庭から集められた下水を河川に放流する前に、微生物を使った処理により放流水の有機物濃度を基準値以内に収めなければならないが、微生物の活動は条件により大きく変化するために水質制御が困難なことがある。そこで、難制御帯抽出法により水質制御改善の検討を実施した。

流入水の水質、流量、水温、時節などの外部影響パラメータ項目について、失敗しやすい、つまり制御の難しい値を抽出する。この値の範囲を“難制御帯”と呼ぶことにする。次に、難制御帯においても成功率が高い曝気(ばっき)風量(微生物を活性化するための風量)や返送汚泥量などの操作対象パラメータ項目の値を探す。分析の結果を表1に示す。表に示す各時節の日は、過去の水質データから制御を失敗しやすい期間を抽出し、年末年始、春先などと命名し、期間として定義したもので、それぞれの期間で成功しやすい風量を求めたものである。このような分析手法を採用することにより、運転員に対するガイダンスなどの形で、運転

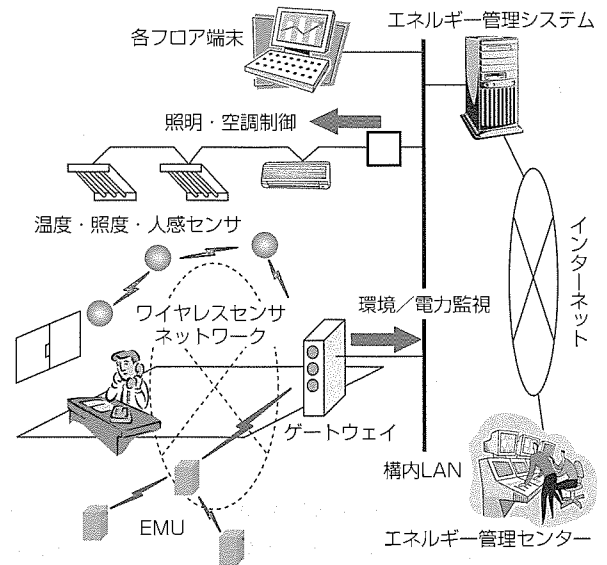


図4. ワイヤレスセンサネットワークによるBEMSの構成

表1. 下水水質改善における時節と曝気風量の関係

項目名	外部影響パラメータ		操作対象パラメータ
	失敗が多い場合の値		成功しやすい風量
時節	年末年始	12/28~1/1	2,100m <sup>3</sup> /h ≤ 風量 < 2,900m <sup>3</sup> /h
	春先	3/1~3/7	3,100m <sup>3</sup> /h ≤ 風量 < 3,600m <sup>3</sup> /h
	GW明け	5/8~5/22	3,000m <sup>3</sup> /h ≤ 風量 < 3,300m <sup>3</sup> /h
	真夏日	7/21~8/7	2,100m <sup>3</sup> /h ≤ 風量 < 2,500m <sup>3</sup> /h
	秋口	8/26~9/13	2,600m <sup>3</sup> /h ≤ 風量 < 3,300m <sup>3</sup> /h

GW: Golden Week

支援サービスを提供することが可能となる。

#### 5. むすび

環境保全に向けた当社のITの取り組みとして、ワイヤレスセンサネットワークとデータマイニングについて、技術の解説及び事例の紹介を行った。今後は、インフラと分析の連携を深め、よりきめ細かく環境を監視し、保全に向けた対策を講じるためのソリューションを提供していく。

#### 参考文献

- (1) 平岡精一, ほか: センサネットワーク技術, 三菱電機技報, 78, No.8, 557~560 (2004)
- (2) 岡田叔之, ほか: 公共施設における維持管理システムの構築事例, 電気学会 産業応用部門大会, 1217~1220 (2002)
- (3) 佐藤重雄, ほか: 時系列データ次元圧縮方式の評価および業務適用性の考察, 情報処理学会 第66回全国大会, 4E-4 (2004)
- (4) 国の省エネルギー政策とESCO事業, 省エネルギーセンターホームページ, <http://www.eccj.or.jp>



# 下水汚泥からのエネルギー・りん同時回収システム

神谷俊行\*  
古川誠司\*  
廣辻淳二\*

Simultaneous Recovery of Energy & Phosphorus from Sewage Sludge

Toshiyuki Kamiya, Seiji Furukawa, Junji Hirotsuji

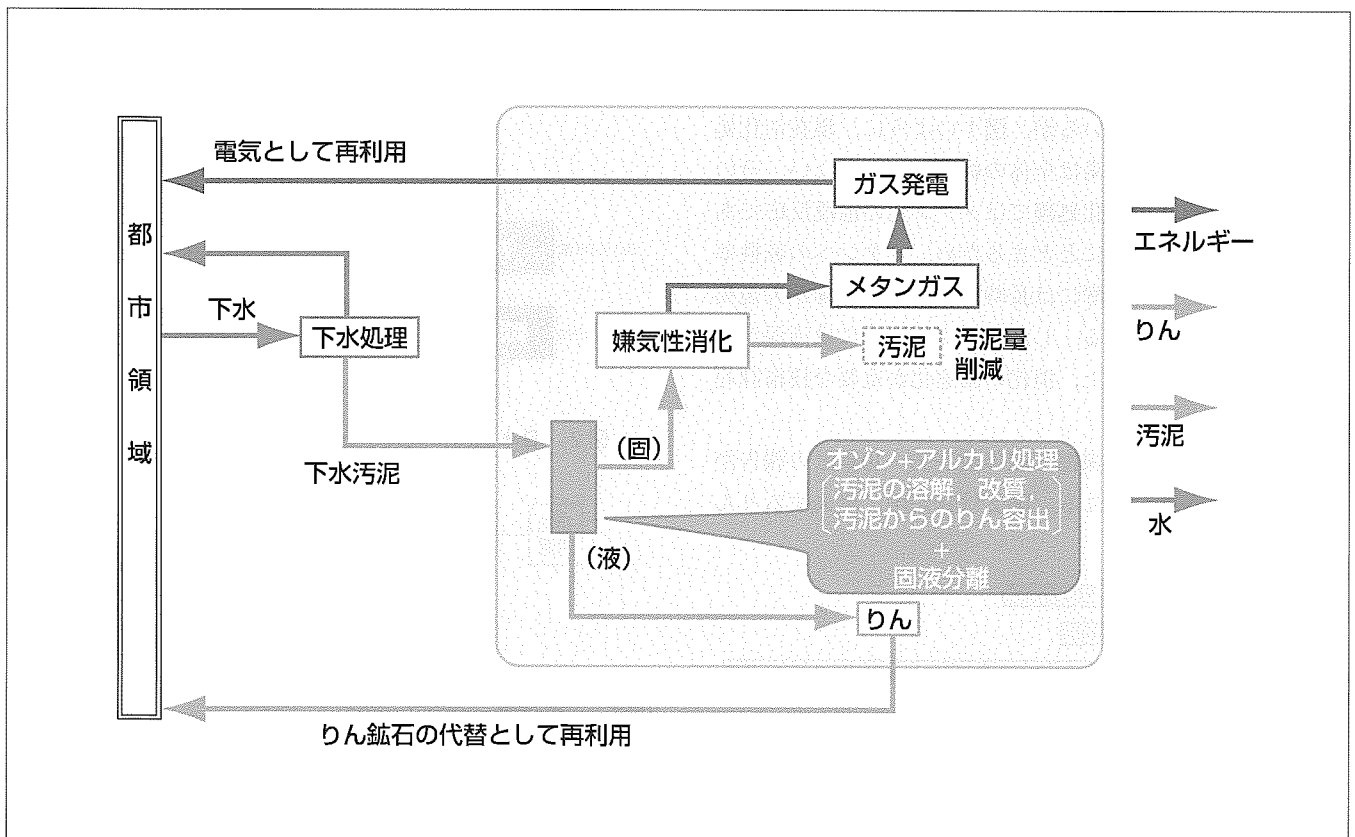
## 要旨

循環型社会の構築に向け有機性廃棄物の有効活用が重要となっている。従来から有機物からメタンとしてエネルギーを回収する嫌気性消化法があるが、下水汚泥についてはメタンへの転換率が現状50%程度にとどまり、この向上が重要な課題である。また、枯渇が懸念されるりん資源については輸入りん鉱石の約2/3に相当する量が下水汚泥に含まれていることから、ここからのりん回収が望まれている。これらを踏まえ、下水汚泥の溶解を促進しメタンへの転換率を高めると同時にりんを高濃度に溶出・回収することを目的とし、これらの同時回収システムを開発している。

オゾン注入後にアルカリを添加する新規汚泥処理法(以下“オゾン+アルカリ処理”という。)についてラボ実験を実施したところ、この処理により下水汚泥の約50%を溶解で

き、さらに、残存する固形成分を嫌気性消化すると、トータルの汚泥溶解率として90%以上を達成した。また、メタンガスの発生については従来の約1.5倍のガス量を得、従来メタンに転換できなかった難分解性有機物を分解しメタン発生量が増加することを確認した。さらに、下水汚泥中のりんを高速(処理時間約30分)かつ高効率(りん溶出率90%以上)で溶出でき、溶出後のりんは凝集沈殿法により再利用可能な固形物として回収できた。

このことから、このシステムは、今後の循環型社会の構築に貢献するとともに、下水処理場の省エネルギー化、維持管理の効率化に寄与するものと期待される。今後は、実証試験により安定性等の検証を行いながら、経済性の評価、設計技術の確立を進める予定である。



## 循環型社会構築に向けたエネルギー・りん同時回収システム

下水処理に伴い発生する下水汚泥に対し新規汚泥処理法であるオゾン+アルカリ処理を行い、汚泥の溶解、改質及び汚泥からのりん溶出を進める。処理後の汚泥を嫌気性消化することでメタン発生量を従来よりも増大でき、ガス発電によって電気としての再利用が可能となる。同時に、ガス化されず嫌気性消化から排出される汚泥量が大幅に減るため、消化後段の脱水、焼却等の処理に要するエネルギー、費用を削減できる。さらに、オゾン+アルカリ処理で溶出したりんを固形物として回収し再利用する。

### 1. ま え が き

循環型社会の構築が重要視される中で、下水道の普及に伴い年々増加している下水汚泥の再利用が注目されている。嫌気性消化は下水汚泥からエネルギーとして利用可能なメタンを発生できるため、有効な汚泥処理法と言える。しかし、エネルギー回収プロセスとして確立するにはメタンへの転換率の向上が重要な課題である。一方、枯渇資源であるりん磷の確保はりん鉱石を100%輸入に頼る我が国にとって早急に対処すべき課題である。下水処理場は人間活動から排出されたりんを回収する機能を持ち、りんを取り込んだ下水汚泥は有効なりん回収源と考えられる。

これらを踏まえ、三菱電機は下水汚泥からエネルギーとりんを同時に回収するための技術開発を行っている。

本稿では、オゾン+アルカリ処理が、下水汚泥の溶解、下水汚泥からのメタン発生量増大、及び下水汚泥からのりん溶出に対して高い効果を持ち、同時回収に有効であることについて述べる。

### 2. 汚泥処理とりん資源に関する課題

下水処理場から排出される汚泥量はこの20年間で2倍以上となり、国土交通省から「バイオンソリッド活用基本計画」が策定されるなど下水汚泥有効利用促進の取り組みが活発化している<sup>(1)</sup>。嫌気性消化は汚泥を減容しながらメタンガスを得ることができるためエネルギー回収型の汚泥処理法として注目されているが、図1のように、現在消化処理を採用している処理場は全体の約25%に過ぎない。その要因として、現状の消化処理ではメタン化の前段階である汚泥溶解が50%程度にとどまるため、メタンへの転換率も低いこと、メタン発酵には長時間が必要で設備が大規模化することが挙げられる。したがって、普及には汚泥溶解率、メタン転換率の向上、消化の高速化が重要な技術課題と言える。

りん資源については採掘可能年数が30~40年との報告があり<sup>(2)</sup>、枯渇が懸念される。図2は我が国に流入するりん

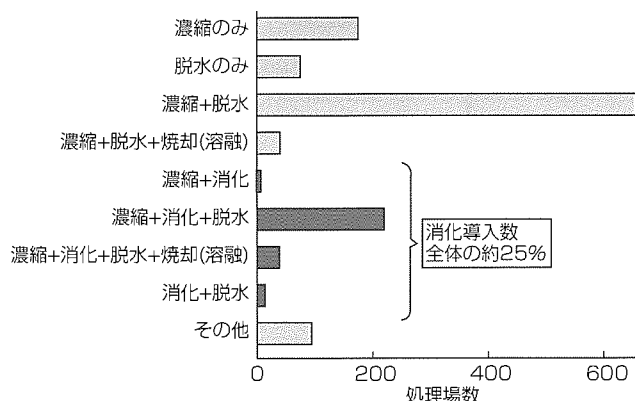


図1. 汚泥処理法と実施処理場数<sup>(1)</sup>

の形態と流入後の存在形態を示したもので<sup>(3)</sup>、人間系、すなわち人間の排泄物等に含まれるりんは全体の18%を占め、輸入りん鉱石量の2/3に相当する。畜産廃棄物中にはより多くのりんが含まれるが発生源が分散しているのに対し、下水処理には流域の各発生源からのりんを集約する機能があり、集約されたりんは下水汚泥中に取り込まれるため、下水汚泥は有効な回収源と考えられる。また、下水汚泥の処理過程でりんが存在するとMAP(りん酸マグネシウムアンモニウム)が形成され、送泥配管閉塞(へいそく)の原因となるケースがあり、汚泥からりんを分離できれば、プロセスの障害を回避し維持管理の効率化も期待できる。

### 3. エネルギー・りん同時回収システム

エネルギー・りん同時回収システムの処理フローを図3に示す。生物によって溶解されにくく、かつ汚泥内にりんを高濃度で含有する最終沈殿池汚泥(以下“終沈汚泥”という。)を対象とし、オゾン、アルカリの順に処理を行う。この処理によって、汚泥の溶解、汚泥の改質(生物によって溶解されやすいようにする)、及び汚泥からのりん溶出を進める。処理後の汚泥に遠心分離などの固液分離を行い、分離液(汚泥から溶出したりん、溶解性有機物を含む)と濃縮汚泥(改質後の汚泥を含む)に分ける。分離液に対し凝集沈殿等の処理を行い、溶解性りんを再利用可能な固形物として回収する。さらに、このりん回収後の分離液(溶解性有機物を含む)及び固液分離後の濃縮汚泥を嫌気性消化槽

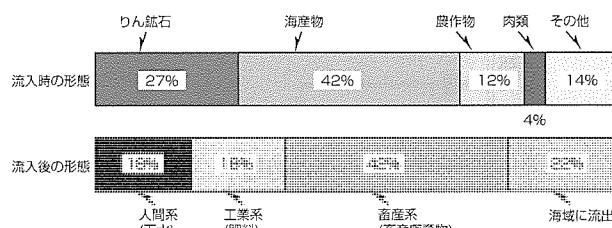


図2. 日本国内に流入するりん及び流入後のりん形態<sup>(3)</sup>

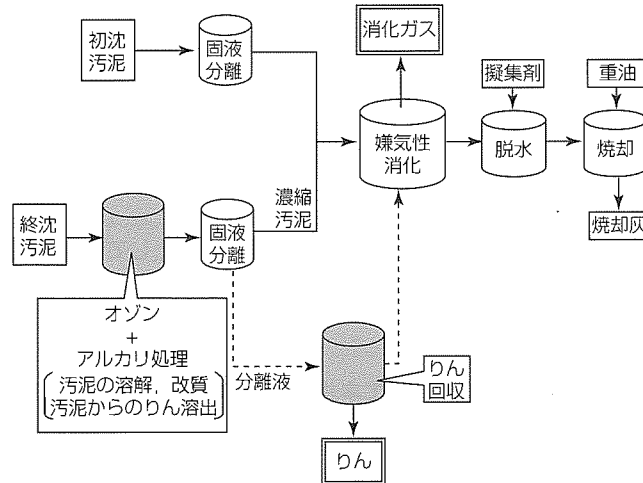


図3. エネルギー・りん同時回収システムの処理フロー

に導入し、微生物の作用により更なる汚泥溶解、及びメタン発生を行う。このように嫌気性消化の前段で汚泥の溶解・改質を行うことで嫌気性消化でのメタンへの転換率が大幅に向上でき、メタン発生量を増大することができる。同時に転換率の向上によって、嫌気性消化後段で脱水・焼却等の処理をしなければならない汚泥量を大幅に低減できるため、これらに要するエネルギー、運転費用の削減も可能となる。

#### 4. 検討結果

実汚泥を用いたラボ実験から以下を確認している。

##### (1) エネルギー回収

汚泥溶解：汚泥溶解率\*90%(従来約50%)

メタン発生量増大：従来比1.5倍

\*VSS(固形性有機物の指標)ベース

##### (2) りん回収

汚泥からのりん溶出：りん溶出率90%

固形物としてのりん回収：りん回収率90%

以下、この詳細をりん回収、エネルギー回収の順に述べる。

##### 4.1 下水汚泥からのりん回収

下水汚泥に対し、オゾン処理、アルカリ処理、オゾン+アルカリ処理を行ったときのりん溶出量を図4に示す。オゾン+アルカリ処理では各単独処理の和よりも多くのりんを溶出でき、両者の相乗効果によって高いりん溶出効果が得られることを見いだした。さらに、汚泥のオゾン処理時には著しい発泡を生じるが、この発泡を利用したオゾン処理を行い、アルカリ処理することで、図5のように、汚泥中のりんの約90%を溶出させることが可能となった。これは、発泡によって汚泥固形成分が泡に付着すると、泡表面で高濃度のオゾンと汚泥固形成分とが直接反応し、発泡を人為的に抑制した場合よりも汚泥とオゾンの反応が促進したためと考えている。

このように溶出したりんを再利用するには、固形物として回収する必要がある。溶液中のりんを分離・固形物化する

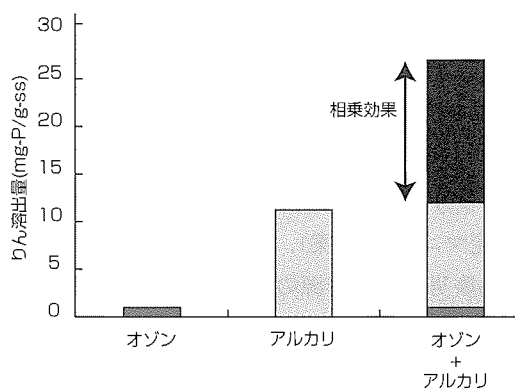
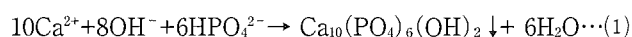


図4. オゾン処理、アルカリ処理、オゾン+アルカリ処理による下水汚泥からのりん溶出

る方法として、式(1)に示すカルシウムを用いた凝集沈殿法を検討した。この方法では溶解りんをカルシウムと反応させ、りん鉱石の主成分であるヒドロキシアパタイト(固形物)として回収する。カルシウム量を変えながらりん回収率(溶液中のりんを100%とする)を調べたところ、図6のように、りんに対するカルシウムの注入比率(注入モル比:Ca/P)が2.0以上の条件においてほぼ90%以上のりんを回収できた。これより、溶解有機物などが共存する条件下でも、この凝集沈殿法を用いることで効率的にりんを回収できることが分かった。



オゾン+アルカリ処理の反応メカニズムについても検討している。ここでは、りん蓄積菌(純粋株)を用いた電子顕微鏡観察の結果を図7に示す。未処理の菌、及び図示していないがオゾン処理の菌では細胞形状が明確なのに対し、

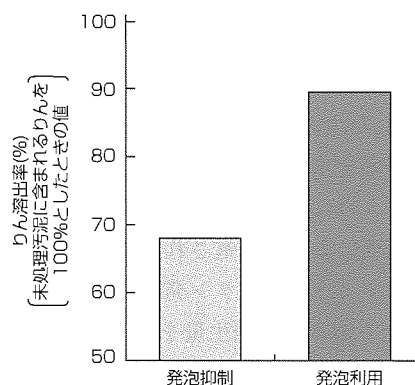


図5. 発泡利用によるりん溶出率の向上

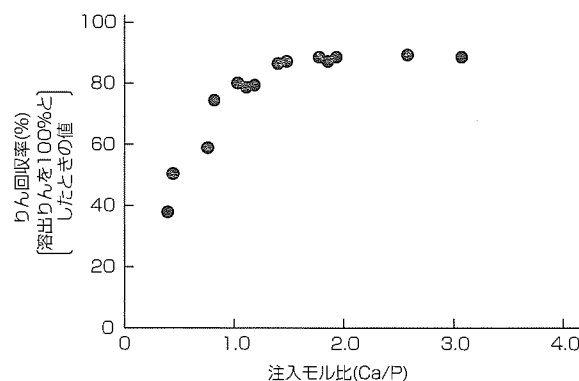


図6. 注入モル比とりん回収率の関係

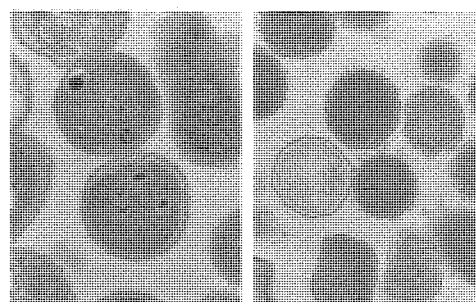


図7. りん蓄積細菌の電子顕微鏡写真

オゾン+アルカリ処理では細胞形状が崩壊するなど著しく変化した。これから、オゾン処理は後段のアルカリ処理におけるアルカリの浸透性を高める働きをし、アルカリ処理による細胞溶解、及び細胞からのりん溶出を容易にしていることが示唆された。

#### 4.2 下水汚泥からのエネルギー回収

オゾン+アルカリ処理と嫌気性消化の連続処理を行い、汚泥溶解、メタン発生量増大の効果を評価した。図8は汚泥溶解の結果であり、縦軸は、原汚泥(オゾン+アルカリ処理に投入した最初の汚泥)に対する溶解汚泥、残存汚泥の比率(VSSベース)を示している。また、従来方式として汚泥を直接嫌気性消化する実験(以下“対照系”とする)の結果も併記した。処理導入系では、オゾン+アルカリ処理で48%の汚泥が溶解し、この処理が汚泥溶解に優れることが明らかである。続く嫌気性消化では、43.5%が溶解し、オゾン+アルカリ処理、嫌気性消化の合計では91.5%という極めて高い溶解率を得た。また、嫌気性消化に投入した汚泥、すなわちオゾン+アルカリ処理で溶解されなかった汚泥(処理に投入した汚泥の52%に相当)をベースとして嫌気性消化での溶解率を求めると、約84%(=43.5/52)と対照系の38%に比べ大幅に高く、微生物による汚泥溶解がオゾン+アルカリ処理によって促進されていると判断できた。また、図9に示すように、メタン発生量は、対照系の投入汚泥(VSS)当たりのメタン発生量を100%とすると、処理導入系では150%のメタン発生量が得られ、この処理が汚泥溶解、改質、及びメタン発生量増大に有効な処理法であることが検証された。

また、図示していないが、オゾン+アルカリ処理、固液分離後の分離液からのメタン発生量は図8に示した処理導入系のメタン発生量の70%以上に相当し非常に活発であった。メタン発生は、まず酸生成細菌と呼ばれる微生物群によって固形成分の溶解と有機酸生成が起こり、次に、メタン発酵細菌と呼ばれる微生物群によってこの有機酸がメタンへ変換される。オゾン+アルカリ処理によっていわば人工的に溶解された有機物がメタン発生の基質となるかどうか懸念されたが、これからこの処理によって溶解した有機物は十分メタン発生の基質となり得ることが分かった。

#### 5. 実プロセスへの適用

嫌気性消化槽を備えた既設プラントにこのシステムを導入する場合、図3のようにオゾン+アルカリ処理、りん回収の装置を付加するだけでよく、大掛かりな工事を伴わずに導入が可能である。また、オゾン+アルカリ処理の全体の処理時間は1時間以内であるためコンパクトな装置となる。さらに、ガス発生量増大による電力購入量の低減分、脱水などの汚泥処理運転費用の削減分、オゾン+アルカリ処理の運転費用増加分などの収支からトータルの費用削減

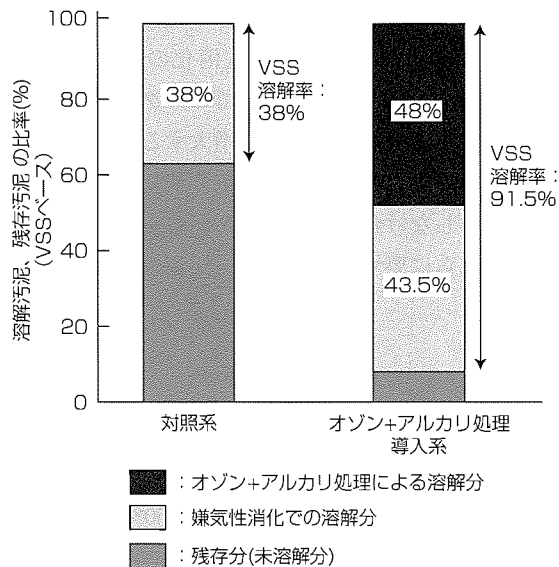


図8. オゾン+アルカリ処理による汚泥溶解効果

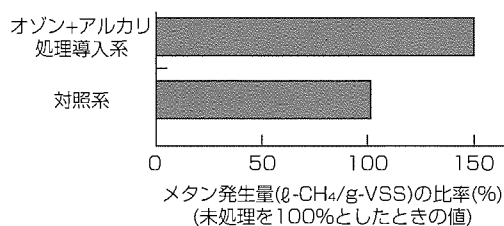


図9. オゾン+アルカリ処理によるメタン発生量増大効果

効果を試算し、経済的に成立可能との見通しを得ている。

#### 6. むすび

下水汚泥からのエネルギー・りん同時回収システムとして、オゾン+アルカリ処理の汚泥溶解促進、メタン発生量増大、及びりん溶出に関する優れた効果を示した。今後は、現場での実証試験を行い、処理の安定性を検証する予定である。このシステムは今後の循環型社会の構築に貢献するとともに、下水処理の省エネルギー化、維持管理の効率化にも寄与するものと期待される。

なお、この研究は独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の基盤技術研究促進事業(民間基盤技術研究支援制度)の開発テーマの一つとして当社が委託を受け研究開発しているものである。

#### 参考文献

- (1) バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル(案), 国土交通省 (2003)
- (2) 小田島廣男: りん資源の現在と未来, 石膏と石灰, **210**, 49~58 (1987)
- (3) 三品文雄, ほか: 下水汚泥りん資源化の必要性, 再生と利用, **26**, No. 98, 13~18 (2003)

# 低濃度VOC処理技術

葛本昌樹\* 中谷 元†  
 太田幸治\*\*  
 廣辻淳二\*\*\*

Abatement Technology for Low Concentration Volatile Organic Compounds

Masaki Kuzumoto, Koji Ohta, Junji Hirotsuji, Hajime Nakatani

## 要 旨

塗装や洗浄工程でトルエンなどの揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds : VOC) が大量に使用され、国内で年間150万トンが排出されている。これらのVOCはオキシダントや浮遊性粒子 (SPM) を生成することが知られており、欧米諸国では早くから排出規制が法令化されている。国内でも2004年5月にVOC排出規制が公布され、早急な対策が求められている。VOCを処理する方法として空气中でVOCを燃焼する方法が一般的であるが、低濃度のVOCの処理には大量の燃料が必要なこと、処理時に窒素酸化物を発生するなどの課題が残されている。

100ppm以下の低濃度で処理が困難なVOCを高効率に分解・除害するために、プラズマと吸着剤を併用した新たな処理技術を開発した。吸着剤を用いて低濃度のVOCを吸

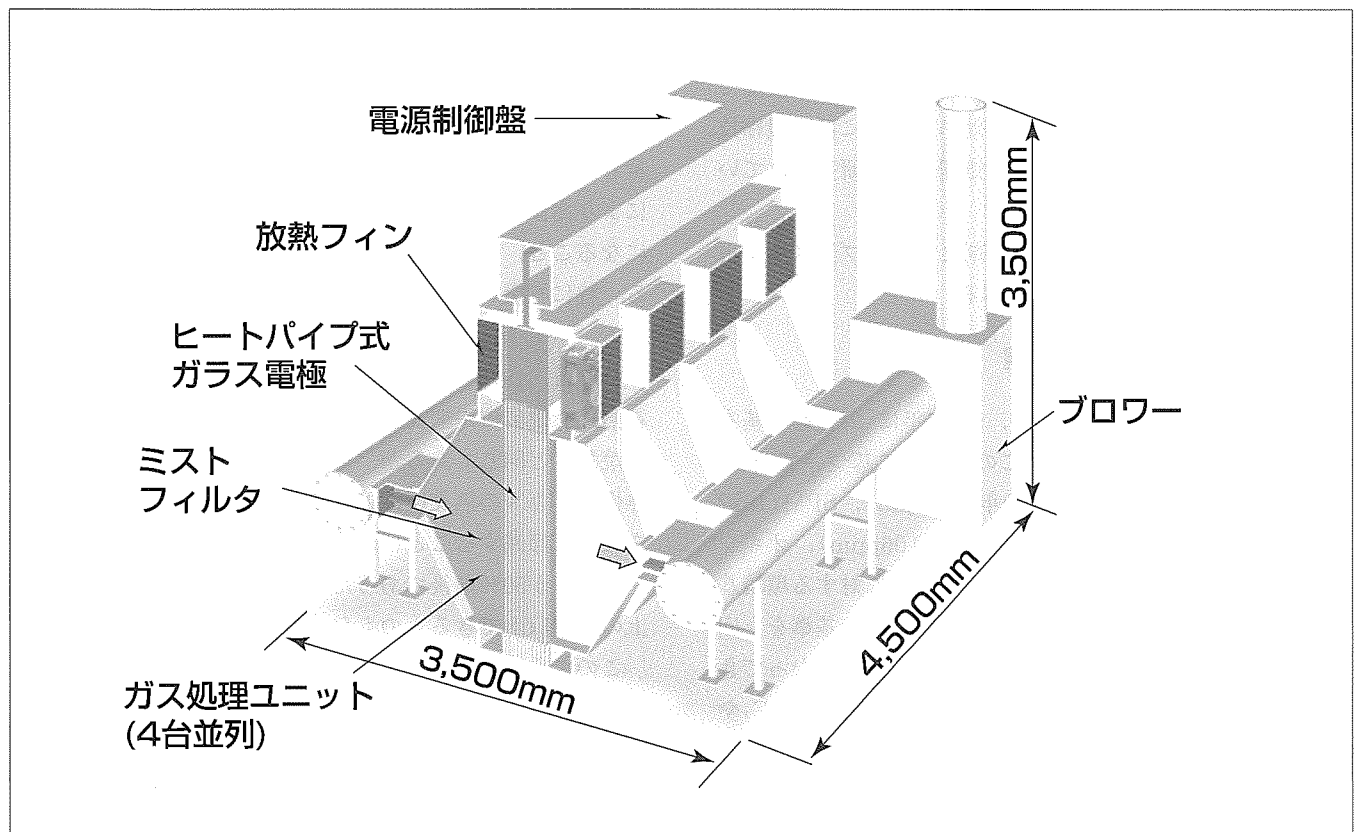
着・濃縮した上でプラズマのエネルギーを用いて分解処理するものである。この技術の特長は次のとおりである。

### (1) 高効率分解・除害

疎水性ゼオライトを用いた吸着剤にVOCを吸着し、濃縮した後に放電処理することによりVOCを無害なCO<sub>2</sub>と水に分解する。濃縮したVOCにエネルギーを集中できるため低濃度のガスでも効率的に分解できる。

### (2) NO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub>の発生量を大幅に削減可能

ガスの流通を止めて密閉空間で処理できるため、NO<sub>x</sub> (窒素酸化物) の発生量を従来の1/10以下に低減できる。また、燃料を用いる必要がないためCO<sub>2</sub>の発生量を大幅に削減できる。



## VOC処理装置の製品構想図

ガス処理ユニットに処理ガスを流通することで低濃度のVOCガスを吸着・除去する。続いて、VOCを吸着した吸着剤に直接放電を発生することでVOCの分解・無害化と吸着剤の再生を行う。ガス処理ユニットは複数台設置されており、吸着と放電による分解を繰り返すことによって連続処理を可能にする。

## 1. ま え が き

環境対策技術の重要性は年々増しており、その対策装置ビジネスも大きな市場に成長しつつある。これまで日本では、水環境に比較して大気環境に対する法的規制は比較的甘く、大気環境保全のための装置ビジネス規模は大きくなかった。しかし、国内各所でNO<sub>x</sub>やオキシダント、SPMなど環境基準を上回る大気汚染の状況が報告され、有害ガスの排出規制など大気環境保全に関する規制が強化されつつある。これらSPMやオキシダントの発生源になると考えられるVOCの排出規制が2004年5月に公布され、施行に向けて対策が急務になっている。環境省の推計<sup>(1)</sup>によると、今後環境関連で特に成長の大きな分野として、触媒、排ガス処理装置などの“大気汚染防止用装置及び汚染防止用資材の製造”が挙げられ、2000年度の装置市場5,798億円に対し、2010年で3兆円、2020年で5兆円の市場規模が予想されている。

大気環境保全・改善のためには、有害ガスを発生しないプロセスの開発と有害ガスを分解し無害化する技術開発が必要になる。分解・除害方式として現在市販されている装置の大半は燃焼によるものであるが課題も多い。有害ガスの分解に際し、①エネルギー効率の改善(省エネルギー化、CO<sub>2</sub>排出量の削減)、②有害な副生成物の発生抑制が大きな課題である。これらの課題の解決策として大気圧プラズマの応用が期待されている。特に大気汚染物質は低濃度であることが多いため、エネルギー効率の改善には、濃縮技術や触媒技術と併用したプラズマ処理技術が研究されている。

本稿では、新たに開発した吸着剤と大気圧プラズマを用いたVOCの処理技術について述べる。

## 2. 法 規 制

大気汚染に関する規制として、1967年に「公害対策基本法」が制定されている。また、この基本法に基づいて、SO<sub>2</sub>(1973年：0.04ppm)、CO(1970年：10ppm)、SPM(1972年：0.1mg/m<sup>3</sup>)、NO<sub>2</sub>(1978年：0.04～0.06ppm)、オキシダント(1973年：0.6ppm)などの汚染物質に対する環境基準が制定されている<sup>(2)</sup>。しかし、これらの環境基準を上回る大気汚染が進行しており、新たな規制が必要になってきている。近年では、半導体製造分野で使用されるCF<sub>4</sub>やC<sub>2</sub>F<sub>6</sub>などのPFC(PerFluoro Compound)が地球温暖化の対象物質として業界の自主規制が始まっている<sup>(3)</sup>。また、2001年にPRTR(Pollutant Release and Transfer Register)法が制定された。この法律により、有害物質の要因となる多種多様な化学物質がどのような発生源からどれくらい環境中に排出されたか、又は廃棄物に含まれて事業所の外に運び出されたかというデータを把握し、集計し、公表する

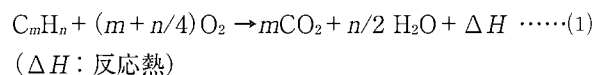
義務が生じた。

さらに、2004年5月に改正大気汚染防止法が公布され2年以内にVOCの排出規制が施行されることになった。対象になるVOCはトルエン、キシレンなどで塗装工程や洗浄工程から排出され、NO<sub>x</sub>と太陽の紫外線により光化学オキシダントやSPMの発生源になることが知られている。米国では1990年、カナダでは2003年、EUでは1994年及び1999年、韓国では1995年に環境保護法などでVOC排出規制が法令化されている。

## 3. VOCの処理

### 3.1 燃焼式処理法<sup>(4)</sup>

VOC、PFCなどの有害な有機物の分解は、主に燃焼により二酸化炭素と水に分解される。



豊富で廉価な天然ガスが利用できる米国で、天然ガスを燃料とする直接燃焼装置が開発された。この装置は保守・保全が容易であること、幅広い種類のガスに適用可能で、さらに、分解効率も高いため、広い分野に適用されている。日本には1960年代に米国から技術導入され、米国同様広く採用されている。この装置の欠点は燃料費が高価なこと、NO<sub>x</sub>の生成量が多いことなどが挙げられる。

これらの課題を解決するために、触媒式燃焼装置が1970年ごろ開発され普及している。触媒を利用することにより燃焼温度を低減し、燃料費を削減でき、さらに、NO<sub>x</sub>発生量も低減できる効果がある。この方式の欠点は、触媒被毒により高価な触媒が劣化するため、触媒の交換費用が高価になること、使用できるガス種に制限があることなどである。特に有機シリコンなどによる被毒現象がよく知られている。

その後、1975年に米国において熱効率を著しく改善した蓄熱式燃焼装置が開発された。この装置は基本的には直接燃焼装置と同じであるが、セラミックセルの設置などで断熱性能とガスの熱交換性能を改善することにより、燃料費を大幅に節減することに成功した。従来の直接燃焼装置の熱利用率が50%前後であったのに対し、蓄熱式では90%以上の熱回収ができるものも発表されている。

このように燃焼処理方式も性能改善が進んでいるが、断熱構造の装置を立ち上げるためには熱的に安定するまで極めて長い時間を要するため、負荷に合わせた間欠運転ができない、処理対象物質の濃度が低い場合には膨大な燃料コストが必要であるなどの欠点が残っている。

### 3.2 吸着剤併用プラズマ処理

吸着剤とプラズマを併用したVOC処理装置の構想図を図1に示す。ガス処理流量10,000m<sup>3</sup>/hを想定した場合の構想図である。放電空間に吸着剤を配設したガス処理ユニッ

トをガス流方向に対し並列に4台設置し、ブローで排ガスを吸引し、矢印方向にガス処理ユニットを通過させることでVOCを除去し、清浄な空気として大気に排出する。4台設置したガス処理ユニットの1台に放電処理を行い、吸着剤に吸着したVOCを分解すると同時に吸着剤を再生する。各ガス処理ユニットに対して順次この放電処理を行うことで連続的に処理が可能になる。また、放電処理をする際には、ガスの流通を止め、閉空間で放電処理を行うことでNO<sub>x</sub>発生量を大幅に低減することが可能である。この装置では、排ガス中に含まれるミストなど吸着剤を汚染する物質を除去するために、ガス処理ユニットの上流にはミストフィルタを設置している。また、放電部の温度が高いほどVOCの分解効率が高いため、温度上昇を厳格に抑える必要のある通常の放電デバイスよりも冷却構造は容易であり、電極の冷却手段としてヒートパイプなどを用いることができる。

この装置構想図の基になる基礎試験結果について以下に述べる。吸着剤とプラズマを併用したVOC分解反応器の構造を図2に示す<sup>(5)</sup>。放電空間に吸着剤を配設し、希薄ガスを吸着剤で吸着・濃縮した後、プラズマのエネルギーで分解し無害化する構造になっている。低濃度ガスを直接プラズマで処理すると処理対象ガス以外の成分にエネルギーが無効消費されるが、この構造では処理対象ガスを濃縮した状態でプラズマ処理できるため、分解効率を高くすることができる。電極は同軸円筒状に高圧金属電極、ガラス管(外径18mm、厚み2mm)、金属接地電極(内径28mm、厚み1mm)を配置した無声放電式の構造を採用した。実効放電長は30mm、放電ギャップ長は5mmで、高圧電極管内部にイオン交換水を流通して冷却した。この装置の特長

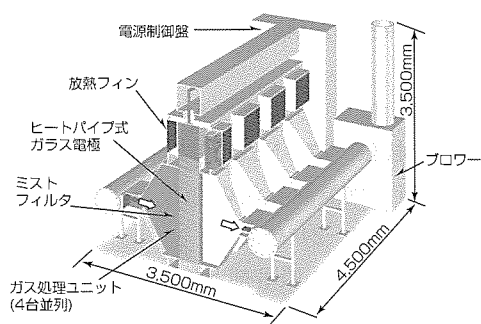


図1. VOC処理装置の構想図

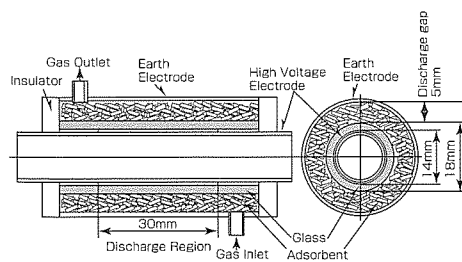


図2. VOC分解反応器

は、放電空間に相当するガラス管と金属接地電極の空間に直径1.6mm長さ3～5mmの円筒状疎水性ゼオライトを充填(じゅうてん)している点である。このゼオライトによりVOCを選択的に吸着し、ガスを清浄化するとともに、放電空間でVOCを高濃度に濃縮することができる。処理するガス中には水分が含まれていることが多いため、水分による吸着性能の劣化を抑制するために疎水性の材料を吸着剤として使用している。

VOC分解反応器及び放電の写真を図3に示す。高圧電極及び接地電極の間に周波数1kHz、波高値20kVの高周波、高電圧を印加することにより、放電空間に封入した吸着剤の隙間(すきま)で放電が発生する。電極間にガラス管を挿入することで大気圧下、ギャップ長5mmの条件でも安定な放電を維持することができている。

濃度測定などの試験構成図を図4に示す。高純度空気とトルエン溶液を揮発させたトルエンガスをマスフローコントローラで流量を制御してガス濃度の調整を行った。トルエンの分解量は、全炭化水素自動計測計(EHF770;KKヤナコ)で、分解生成物はフーリエ変換式赤外線吸光光度計FT-IR(FTS-7000e;デジラボジャパン)で測定した。

90ppmのトルエンを含む空気(水分量4,000ppm)を、SV(Space Velocity)値 $1.6 \times 10^4 [h^{-1}]$ で吸着剤に流入し、反応器出口のトルエン濃度の時間変化を測定した結果を図5に示す。SV値とはガス流量を吸着剤の体積で除した値で、ガスと吸着剤の接触時間の逆数に対応する。吸着開始直後には、トルエンは、ほぼ全量吸着され、漏れて出てくるトルエンはほとんどなく、清浄な空気だけが排出される。しかし、時間の経過とともに次第に漏れ出るトルエン量が増

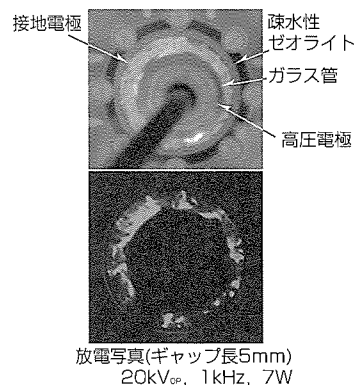


図3. 装置及び放電写真

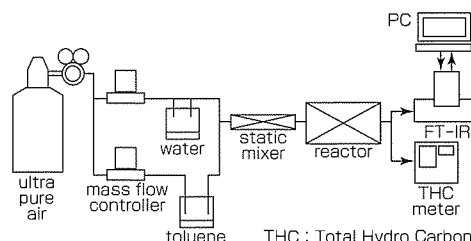


図4. 試験構成図

大し、4時間後に入口トルエン濃度の約20%に相当する約20ppmのトルエンが漏れ出した。

4時間の吸着試験の後に、反応器に電圧を印加し、放電による処理を1時間行った。このときの印加電圧は20kV<sub>op</sub>、周波数は1kHz、放電電力は7.1Wである。放電処理によりトルエンは分解され、反応器出口のトルエン濃度はほぼゼロになる。また、放電処理後に(図中横軸5時間の位置から)再度吸着試験を実施した結果、最初の吸着試験と同様の吸着特性が再現でき、吸着剤が放電処理により再生できていることが確認できる。ただし、放電開始時に瞬間的に吸着剤の温度が上昇し、吸着していたトルエンが脱着されるため、実機では対策が必要である。

トルエンの分解時の副生成物をFT-IRで測定した結果を図6に示す。主な副生成物はCO<sub>2</sub>とCOであり、若干量のO<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>Oの生成も確認された。トルエンの分解効率をCO<sub>2</sub>、COの生成量から求めた結果、トルエン1gを分解するのに必要な電力量は41.2W・h/g-トルエンであった。濃度100ppm程度のトルエンを直接プラズマで処理した場合、分解効率は200~500W・h/g-トルエン程度になることが報告されている<sup>(6)(7)</sup>ため、この結果は、直接プラズマで処理する場合に比較して、5~10倍程度分解効率が高いと言える。放電空間で希薄なトルエンを濃縮した後に放電処理することにより極めて高い分解効率を実現できたと考える。

VOC排出源として標準的な10,000m<sup>3</sup>/h、トルエン濃度50ppmのガス(トルエンの質量流量1.87kg/h)をこの方式で処理すると、年間のランニングコストは231万円となる。ただし、電力料金を15円/kW・h、装置の年間稼働時間を2,000時間として見積もった。一般に使用される燃焼式装置では、このように低い濃度ではトルエンは自然しないため、助燃剤を必要とし、ランニングコストが高くなる。例えば、同様の条件(10,000m<sup>3</sup>/h、50ppm)におけるランニングコストは850万円/年になることが報告されている<sup>(8)</sup>。このようにVOCが自然しないような低濃度領域のガスの処理には、一般的な燃焼式に比較して、プラズマと吸着剤を併用したこの方式の方が適していると考えられる。

#### 4. む す び

排出規制の施行が近づいているVOCの処理技術について述べた。まだ規制対象濃度は決定されていないが、排出量の削減には、作業環境基準である数十ppm程度の低濃度のVOCを高効率(低コスト)に処理する必要がある。このような低濃度環境汚染ガスの処理には、吸着・濃縮機構とプラズマを組み合わせた処理システムが重要な技術の一つになると考える。

有害ガスの処理において、他の有害物質を生成しないことが最低限の条件である。処理後の副生成物にダイオキシンなどのような危険な物質ができないことを十分に検証し

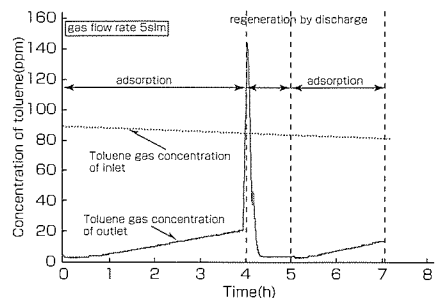


図5. トルエン処理結果

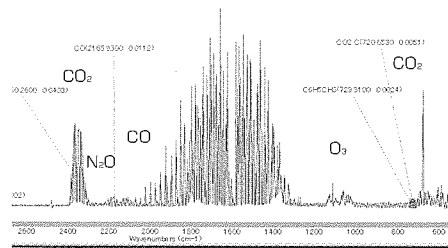


図6. 副生成物同定結果

ておくためにも反応前後の物質収支を確認しておく必要がある。また、CO<sub>2</sub>排出削減の観点からも効率の高い処理方法の実現が望まれる。ここでは希薄ガスの濃縮による高効率分解方法について述べたが、触媒などを併用することにより、更なる高効率分解技術の開発が進むことが期待される。

#### 参考文 献

- (1) 環境省：わが国の環境ビジネスの市場規模及び雇用規模の現状と将来予測についての推計について(平成15年5月29日)  
[http://www.env.go.jp/press/file\\_view.php?serial=4625&hou\\_id=4132](http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=4625&hou_id=4132)
- (2) 例えば、環境保全研究会：大気汚染の基礎知識、丸善(1988)
- (3) 稲永康隆、ほか：大気圧プラズマによるPFC除害装置、三菱電機技報、77, No.5, 355~358 (2003)
- (4) 出雲正矩：燃焼脱臭法の今後の展望、臭気の研究、32, No. 5, 21~24 (2001)
- (5) 太田幸治、ほか：吸着剤と放電を併用したVOCの分解、電気学会全国大会、1-039 (2005)
- (6) 渋谷ゆかり、ほか：高周波誘電体バリア放電を用いた揮発性有機化合物(VOC)の分解特性、電気学会放電研究会ED-02-133 (2002)
- (7) 李 鍛、ほか：直流ストリーマ放電と光触媒の併用化によるトルエンの分解、静電気学会講演論文集、13pB-3 (2000)
- (8) 独立行政法人製品評価技術基盤機構H14年度報告書  
<http://www.safe.nite.go.jp/airpollution/07.html#14>



# RoHS指令対応短時間分析技術

## —一滴抽出法による臭素系難燃剤，六価クロムの分析—

黒川博志\*  
中 慈朗\*  
平野則子\*

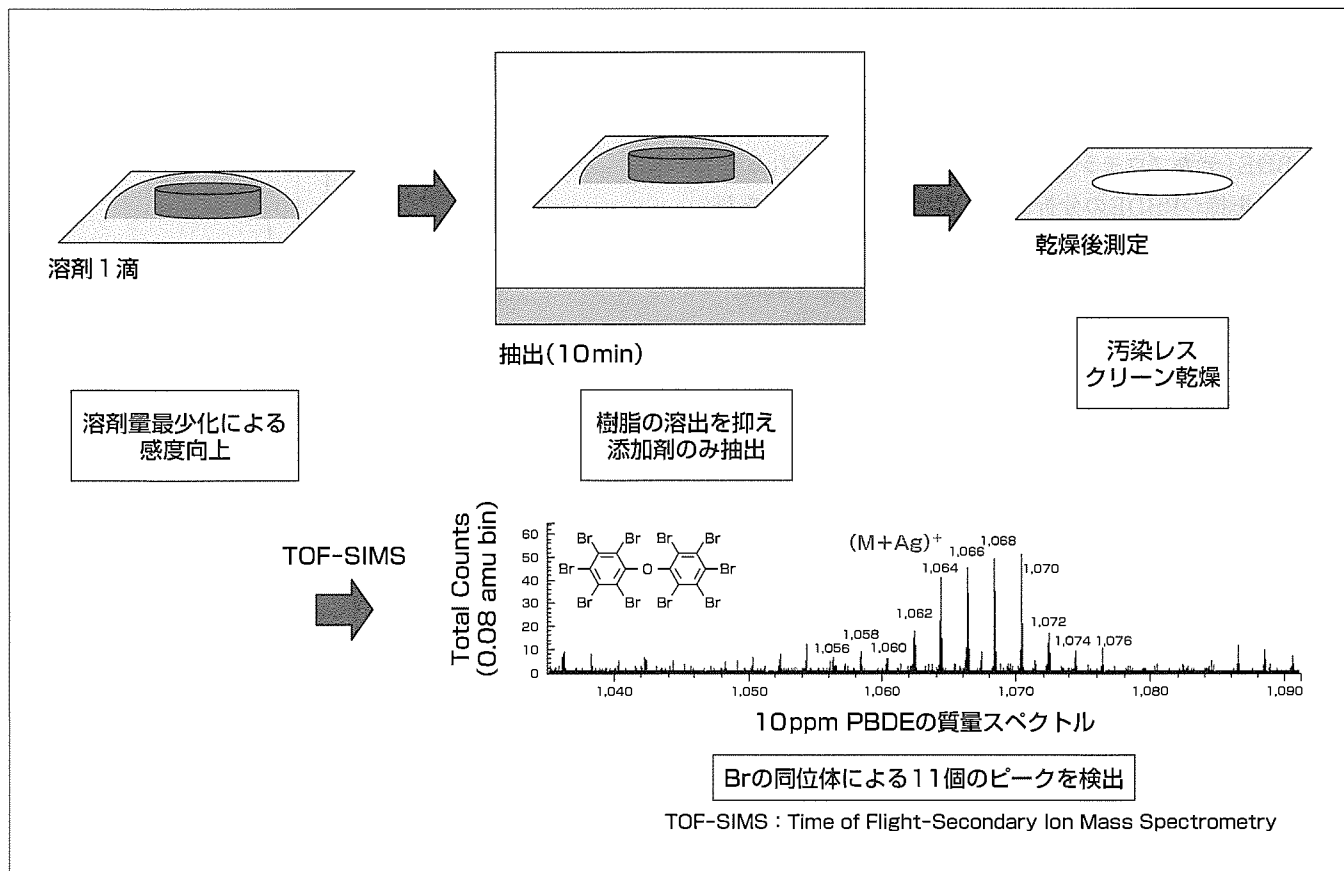
Rapid Analytical Method for RoHS Directive Analysis of Brominated Flame Retardants and Hexavalent Chromium by One Droplet Extraction Method  
Hiroshi Kurokawa, Zirou Naka, Noriko Hirano

### 要 旨

欧州で施行されるRoHS(Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment)指令では、鉛、水銀、カドミウム、六価クロム、臭素系難燃剤2種(ポリ臭素化ビフェニル(PBB)、ポリ臭素化ジフェニルエーテル(PBDE))の6物質の使用が規制される。これに対応するためには、規制対象物質の含有情報が不可欠となる。含有情報は製造履歴の調査により得られるものも多いが、製造履歴が調査できないものも多くあり、これらに対しては、分析により含有情報を得る必要がある。測定数が膨大になることから短時間で分析できることが重要になるが、この条件を満たす手法として蛍光X線法が普及しつつある。しかし、蛍光X線法は元素分析の手段であり、鉛、水銀、カドミウムの分析は可能である

が、六価クロム、臭素系難燃剤の化学結合状態の情報が必要なものは分析できない。六価クロムに対してはジフェニルカルバジド吸光分析法、臭素系難燃剤に対してはGC-MS(Gas Chromatography-Mass Spectrometry)法等があるが、いずれも数十時間以上と長時間を要するため、RoHS指令対応の分析には不向きである。

これらの問題点を解決するため、質量分析を応用した一滴抽出法を開発した。一滴抽出法では、六価クロム、臭素系難燃剤の分析が1時間以内で可能であり、RoHS指令への対応も十分可能である。元素分析手法としての蛍光X線法と一滴抽出法を組み合わせることにより、規制対象6物質の迅速な分析が可能になり、含有情報が得られない部品や材料の評価に適用中である。



### 一滴抽出法の分析フロー

銀基板上にサンプルを置き、これに溶剤を少量滴下する。この状態で数分間放置することにより、試料中の含有物質が抽出される。試料を取り除き、乾燥させた後、TOF-SIMSにより質量分析を行い、抽出されて基板に付着した含有物質を同定する。非常に簡単な操作であり、短時間での処理が可能である。TOF-SIMSの高質量分解能の特長を生かし、高精度な物質同定を実現する。

1. ま え が き

RoHS指令施行を2006年7月にひかえ、各社ともその対応を急ピッチで進めているところである。鉛、水銀、カドミウム、六価クロム、臭素系難燃剤(ポリ臭素化ジフェニル、ポリ臭素化ジフェニルエーテル)の使用が規制されるRoHS指令においては、その対応に規制対象物質の含有情報が不可欠となる。対象製品が非常に広範囲に及ぶこともあり、含有情報を製造履歴調査から得られないものも多くあり、実際に分析して確認するケースも多くみられる。分析においては、膨大な測定試料数に対応するため、短時間での処理が不可欠となっている。対応可能な分析手法として蛍光X線法が普及しつつあるが、蛍光X線法は元素分析の手段であり、化学結合状態の情報が必要な六価クロム、臭素系難燃剤の分析はできない。六価クロム、臭素系難燃剤の迅速な分析を実現するため、質量分析を応用した一滴抽出法を開発した。

一滴抽出法では1時間以内で六価クロム、臭素系難燃剤の分析が可能であり、従来のジフェニルガルバジド吸光分析法やGC-MS法と比較して数十分の1以下に短時間化が可能である。一滴抽出法と元素分析手法としての蛍光X線法を組み合わせ、使用部品等のRoHS指令適合性判定を実施中である。

2. 一滴抽出法

2.1 一滴抽出法による臭素系難燃剤の分析

DeBDE(デカブロモジフェニルエーテル)と呼ばれる10個の臭素を持つPBDEの分析例について示す。銀基板を利用する一滴抽出法では銀と一緒にした形でフラグメントイオンが検出されるが、臭素、銀の同位体を考慮すれば、表1に示すピークが得られる。PBDEの測定例は図1に示すとおりであり、表に示す質量数のフラグメントイオンが同位体の存在比を反映した強度比で検出されている。このように、元の構造を保持してイオン化したフラグメントに対

表1. DeBDEから検出されるピーク

質量数	イオン種類 ( $^{12}\text{C}_{12}^{16}\text{O}^+$ )
1,056	$^{79}\text{Br}_{10}^{107}\text{Ag}$
1,058	$^{79}\text{Br}_9^{81}\text{Br}^{107}\text{Ag}, ^{79}\text{Br}_{10}^{109}\text{Ag}$
1,060	$^{79}\text{Br}_8^{81}\text{Br}_2^{107}\text{Ag}, ^{79}\text{Br}_9^{81}\text{Br}^{109}\text{Ag}$
1,062	$^{79}\text{Br}_7^{81}\text{Br}_3^{107}\text{Ag}, ^{79}\text{Br}_8^{81}\text{Br}_2^{109}\text{Ag}$
1,064	$^{79}\text{Br}_6^{81}\text{Br}_4^{107}\text{Ag}, ^{79}\text{Br}_7^{81}\text{Br}_3^{109}\text{Ag}$
1,066	$^{79}\text{Br}_5^{81}\text{Br}_5^{107}\text{Ag}, ^{79}\text{Br}_6^{81}\text{Br}_4^{109}\text{Ag}$
1,068	$^{79}\text{Br}_4^{81}\text{Br}_6^{107}\text{Ag}, ^{79}\text{Br}_5^{81}\text{Br}_5^{109}\text{Ag}$
1,070	$^{79}\text{Br}_3^{81}\text{Br}_7^{107}\text{Ag}, ^{79}\text{Br}_4^{81}\text{Br}_6^{109}\text{Ag}$
1,072	$^{79}\text{Br}_2^{81}\text{Br}_8^{107}\text{Ag}, ^{79}\text{Br}_3^{81}\text{Br}_7^{109}\text{Ag}$
1,074	$^{79}\text{Br}^{81}\text{Br}_9^{107}\text{Ag}, ^{79}\text{Br}_2^{81}\text{Br}_8^{109}\text{Ag}$
1,076	$^{81}\text{Br}_{10}^{107}\text{Ag}, ^{79}\text{Br}^{81}\text{Br}_9^{109}\text{Ag}$
1,078	$^{81}\text{Br}_{10}^{109}\text{Ag}$

して、同位体の存在比に対応した強度比を得ることで、PBDEの同定を完全なものにしている。

図2にDeBDEと規制対象外であるTBA-BP(テトラブロモビスフェノールA-ビス[2,3-ジブロモプロピルエーテル])及びTBA(テトラブロモビスフェノールA)の質量スペクトルを示すが、それぞれ全く異なるフラグメントパターンを示しており、一滴抽出法により明瞭(めいりょう)にDeBDEの同定が可能であることが分かる。

2.2 一滴抽出法による六価クロムの分析

六価クロムを含む重クロム酸カリウムと三価クロムを含む第二硫酸クロムについて測定した質量スペクトルを図3に示す。図から分かるように $\text{CrO}_3^-$ イオンが六価クロムにおいてのみ検出されている。実際にクロメート皮膜付きのねじとステンレスについて測定したスペクトルを図4に示すが、 $\text{CrO}_3^-$ の検出により六価クロムの存在が明確に判定可能である。

2.3 一滴抽出法の特長

RoHS指令に対応可能な分析手法としては、前にも述べたように短時間で分析できることが不可欠条件である。一滴抽出法による分析時間と、従来法(六価クロム:ジフェニルカルバジド吸光分析法, 臭素系難燃剤:GC-MS法)

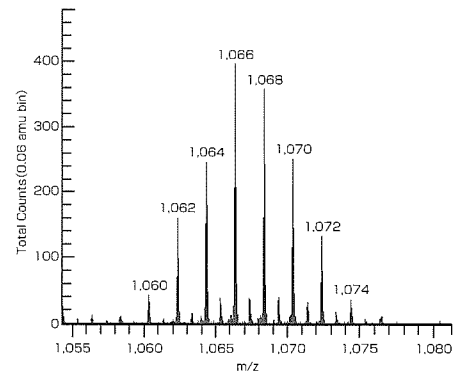


図1. DeBDEの質量スペクトル

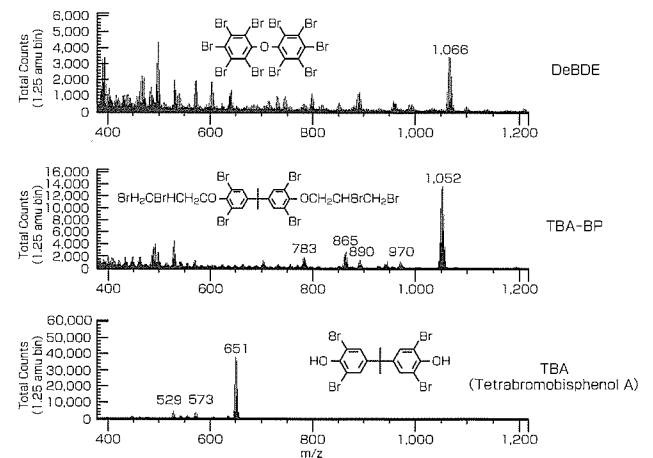


図2. 種々の難燃剤の質量スペクトル

の分析時間比較を表2に示す。表は1個の試料を測定するときに必要な時間を示したが、一滴抽出法の必要時間にはTOF-SIMS装置に試料を導入するための真空排気時間がかかなりの割合で含まれており、実際には複数個の試料を同時に装置導入するため、実質的な時間は更に短時間化される。この分析時間は、現在普及しつつある蛍光X線法と比較すると長いものであるが、対象を六価クロムと臭素系難燃剤だけに絞って分析を実施するとすれば、RoHS指令対応として膨大な試料を測定していく上で問題がないレベルである。

次に、一滴抽出法の感度について述べる。RoHS指令の規制値についてはまだ明確化されていないが、カドミウム：100ppm、それ以外：1,000ppmと言われている。したがって、少なくともこの予想規制値以上の感度は必要である。

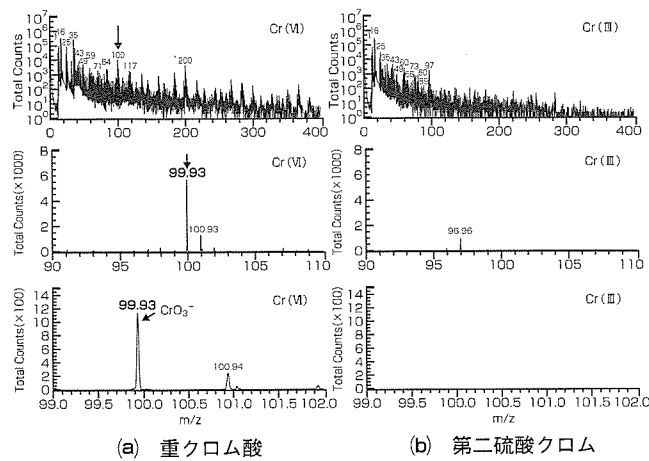


図3. 重クロム酸, 第二硫酸クロムの質量スペクトル

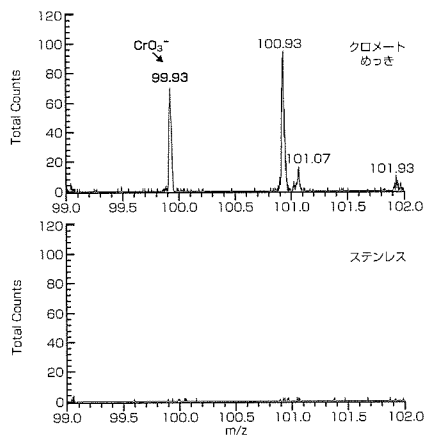


図4. クロメート皮膜付きねじ, ステンレスワッシャの質量スペクトル

表2. 一滴抽出法と従来法の分析時間比較

	一滴抽出法	従来法
六価クロム	35~60分	15時間
PBB, PBDE	35~60分	50時間

図5に、PBDEを種々の濃度で練り込んで作製した標準試料について測定した検出強度を示す。100ppmまでは測定可能であり、予想規制値に対して十分な値である。精度について検証するため、GC-MS法による分析値との比較を行った。結果は図6に示すとおりであるが、ある程度のばらつきは見られるものの、両者の間には相関関係が成立し、精度の点でも特に問題ないことが確認された。

六価クロムの検出感度であるが、クロメート皮膜という薄膜に含有されている場合が多く、その濃度決定が困難なことから、標準液による確認を行った。図7に結果を示す

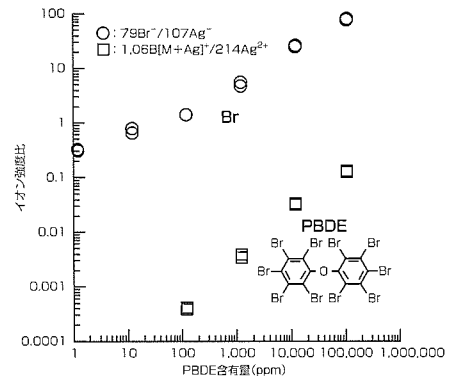


図5. 一滴抽出法によるPBDEの検量線

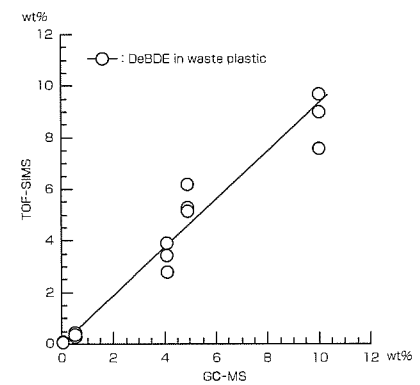


図6. 一滴抽出法, GC-MS法の分析値比較

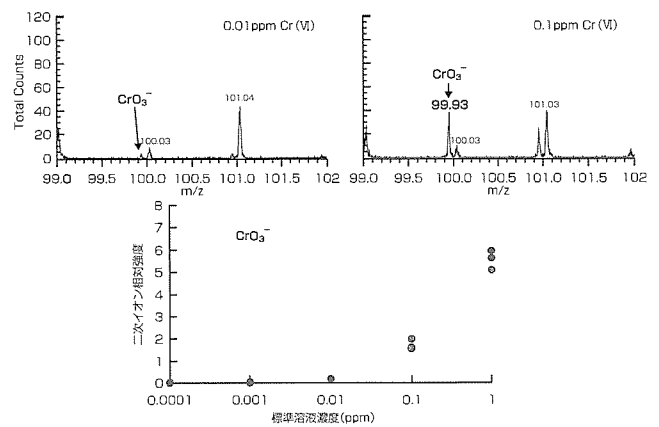


図7. 六価クロム標準液とCrO3-強度との関係

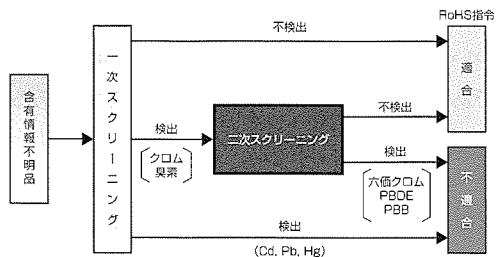


図8. RoHS指令適合性判定フロー

ように0.01ppmまで測定可能であり、十分高い測定感度を持っていると考えられる。実際、ジフェニルカルバジド吸光分析法では、六価クロムが検出されない試料においても、一滴抽出法では検出可能である。

### 3. 一滴抽出法の応用

使用する部品等のRoHS指令適合性判定には、蛍光X線法と一滴抽出法を組み合わせている。図8にフロー図を示すが、製造履歴調査において含有情報が得られないものに対して、まず蛍光X線法による分析を実施する。この段階において鉛、水銀、カドミウムに対しては判定可能であるが、クロム、臭素が検出された場合には、それが六価クロム、指定された2種類の難燃剤かどうかを確認する必要がある。ここで一滴抽出法を用いる。すなわち、蛍光X線法によりクロム、臭素が検出された試料に対して一滴抽出法による分析を行い、六価クロム、指定された2種類の臭素系難燃剤の存在を判定する。ここで、蛍光X線法も一滴抽出法も厳密な定量精度の点では十分と言えないものであるため、予想規制値に対して定量的な判定が必要になる場合には、別途、ジフェニルカルバジド吸光分析法、GC-MS法による定量分析を実施する。

実際の測定例として、図9に示すような部品の測定について述べる。この部品に対しては、まず分析点1、2の蛍光X線分析を行った。結果は図10に示すとおりであるが、分析点1において臭素が検出されており、これが指定された2種類の難燃剤によるものかどうか確認する必要がある。分析点1の部分に対して測定した一滴抽出法の結果を図11に示す。図11にはPBDEの測定結果も合わせて示すが、両者は全く異なるフラグメントパターンを示しており、この結果より図9の部品にはPBDEが含まれていないことが分かる。したがって、図9の部品に対しては、分析点2で検出された鉛は問題であるが、分析点1で検出された臭素は問題ないと判定できる。

### 4. む す び

RoHS指令の施行時期も間近に迫ってきており、部品等

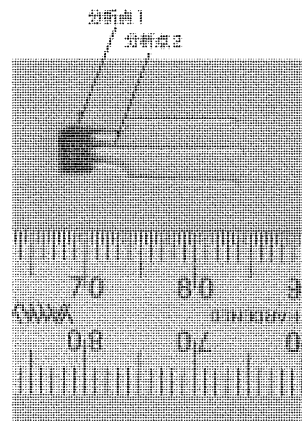


図9. 評価試料の一例

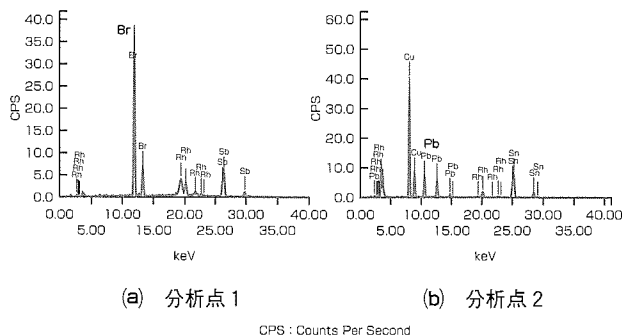


図10. 分析点1、2の蛍光X線スペクトル

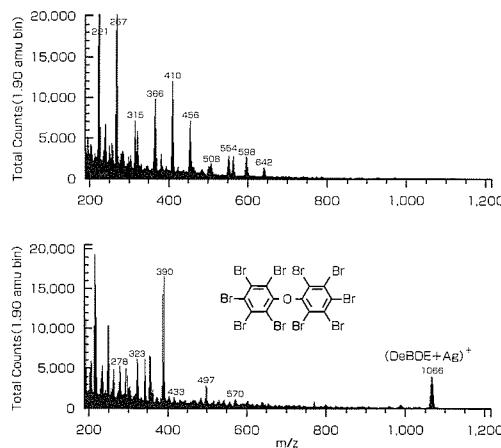


図11. 分析点1の一滴抽出法分析(PBDE測定結果との比較)

に含まれる規制対象物質の分析も数多くなってきている。前にも述べたように蛍光X線分析でクロム、臭素が検出された場合の確認に一滴抽出法を利用しているが、クロム、臭素が検出される部品数もかなりの数にのぼるため、一滴抽出法なしでは対応が困難な状況になってきている。一滴抽出法の普及には高額な装置の導入など困難を伴う事情もあるが、それを乗り越えた今後の普及を期待したい。

# 三菱電機のエネルギーソリューションビジネス展開

太田完治\* 古田克哉\*\*\*  
森 健志\*\*  
穎川剛志\*\*

Development of Solution Business for Energy of Mitsubishi Electric Corporation

Kanji Ota, Takeshi Mori, Takeshi Egawa, Katsuya Furuta

## 要 旨

三菱電機は、グローバル企業として、地球環境に一層貢献することを標榜(ひょうぼう)し、下図に示すように“環境管理”“エコプロダクツ”“環境貢献事業”の好循環による環境事業の強化と全社環境経営の向上に取り組んでいる。

社内では、地球温暖化防止対策として、自主行動計画“2010年度に1990年度比売上高当たりのCO<sub>2</sub>排出量を25%削減する”を1997年に立て、各工場が売上高当たりのCO<sub>2</sub>排出量を毎年1.5%削減する環境計画に基づいて、CO<sub>2</sub>排出削減を実践している。残り7年となった今(2004年度初め)、更に削減が必要なCO<sub>2</sub>排出量は4.6万t-CO<sub>2</sub>である。これを4つの施策で削減する。

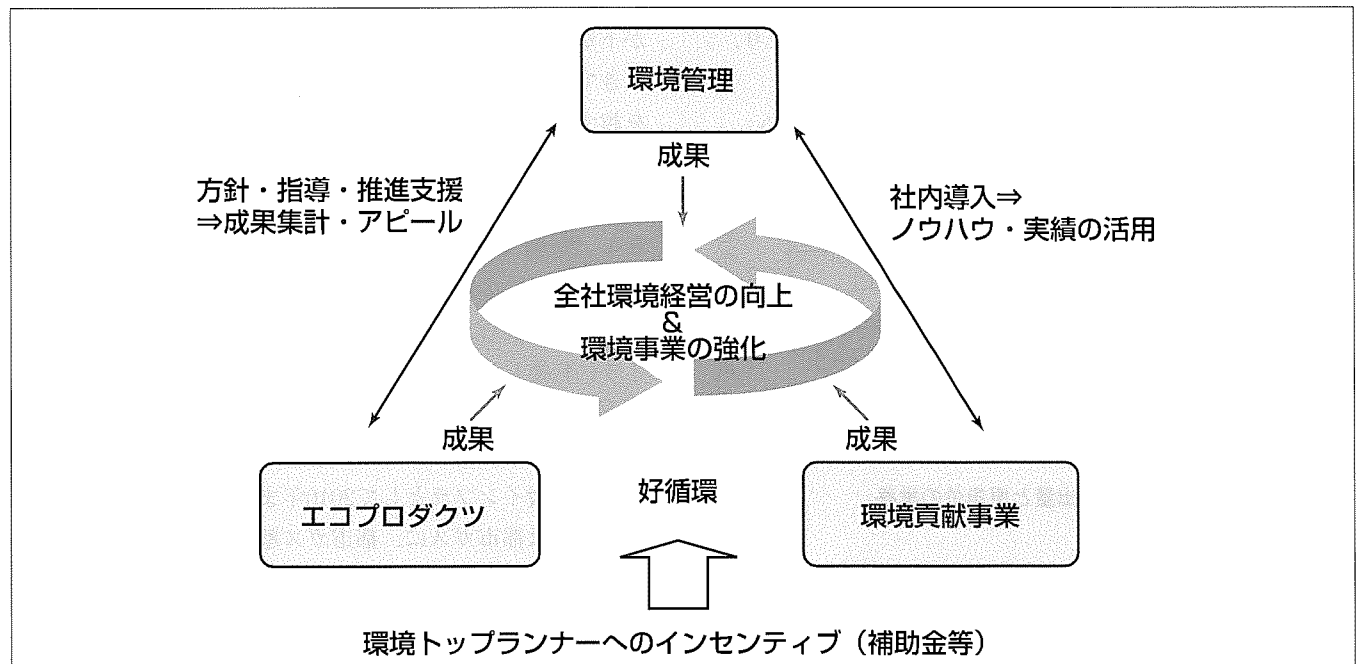
この社内取り組みの中で、積極的に自社製品を活用するとともに、製品開発サイドへの活用事例・成果のフィードバックを徹底している。それは、トップランナーを目指した継続的技術開発と合わせて関連製品の強化にも一役買っている。

これにより、エネルギーの上流から下流までをカバーす

る幅広いエコプロダクツ群を取りそろえているほか、社内での実績を応用した省エネルギー診断、運営管理、改善支援等の幅広い事業を展開している。併せて、CO<sub>2</sub>削減効果/省エネルギー効果の大きい工場を中心に、省エネルギーモデル工場として整備し、エコプロダクツを総合的に提案する場として広く公開している。

また、1999年7月からはエネルギーソリューション事業を開始し、ESCO (Energy Service Companies)のアプローチで様々なタイプのコジェネレーションを手掛ける中で、現在までに8件の最優秀賞を獲得している。

今後も、当社は、電機メーカーとして新エネルギー等の技術開発にも注力し、進めるエネルギーソリューションビジネスを、地球環境の改善や国の政策にも合致した総合的施策・提案を含む事業モデルと考える。また、省エネルギーだけでなく、エネルギー・環境貢献事業をグローバルレベルで展開していく。



## 当社の環境経営強化のコンセプト

当社は、全社環境経営の向上と環境事業の強化を図るため、“環境管理”“エコプロダクツ”“環境貢献事業”の好循環を目指している。環境規制への遵法等の対応を図るとともに、規制を活用してエコプロダクツ施策を策定し、戦略的に推進できる体制を構築する。一方、社内省エネルギー推進活動成果を環境貢献事業に活用する。

1. ま え が き

京都議定書が2005年2月16日に発効したが、地球温暖化は止まらない。人のみならず、すべての生命の生き残りがかった温暖化防止への挑戦が始まる。本稿では、当社の挑戦について述べる。

2. 三菱電機のCO<sub>2</sub>削減プラン

地球温暖化問題に対する当社のCO<sub>2</sub>削減自主行動目標は、“製造段階におけるエネルギー使用に伴うCO<sub>2</sub>排出量を生産高原単位で2010年度に1990年度比で25%削減する”である。2003年度の半導体製造の㈱ルネサステクノロジ分社に伴い、CO<sub>2</sub>排出に関して大きな変化があったので、自主行動目標内容を見直した。1990年度のCO<sub>2</sub>排出量及び売上高からルネサス社に相当する部分を除去し、新たに1990年度の売上高原単位を求め、これを新しい基準とした。今後2010年度まで売上規模、生産数量が2003年度と同規模の条件下では、2002年度のCO<sub>2</sub>排出量より更に4.6万t-CO<sub>2</sub>削減しなければならないことになる(図1)。

新たに4.6万t-CO<sub>2</sub>削減するに当たり4つの施策を行う(表1)。①高効率機器導入(2.5万t-CO<sub>2</sub>)、②EM(Energy loss Minimum)活動(0.8万t-CO<sub>2</sub>)、③CGS(CoGeneration System)導入(0.9万t-CO<sub>2</sub>)、④燃料転換(0.4万t-CO<sub>2</sub>)である。

2.1 高効率機器導入

耐用年数を過ぎた電気機器を速やかに最新の機器に更新する。最新の電気機器は省エネルギー設計されており、更新によりCO<sub>2</sub>排出削減が可能である。機器選定に当たり、

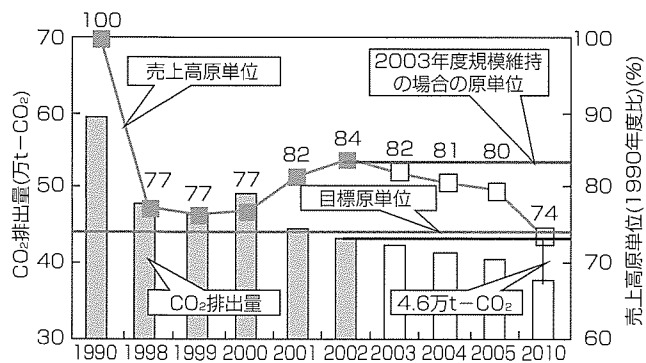


図1. CO<sub>2</sub>排出量と原単位の推移

表1. 4つの施策による4.6万t-CO<sub>2</sub>削減

	CO <sub>2</sub> 削減量 (万t-CO <sub>2</sub> )	電気料金削減による 回収単年数
①高効率機器導入	2.5	7.3
②EM活動	0.8	1.7
③CGS導入(*1)	0.9	7.7
④燃料転換	0.4	-
合計	4.6	6.8

\*1: 回収年数は、NEDO補助金を見込んだ値

より高効率な機器と標準効率の機器とがある場合には、より高効率な方を採用する。当初は割高であるが、差額はおおむね3年で回収できる。具体的には、トランスなどの受変電機器、モータやポンプとインバータ電源、高効率照明機器と人感センサ、空調機及びデマンド制御などの導入である。ここ数年、高効率機器への更新により、毎年3,500t-CO<sub>2</sub>の削減実績があり、2010年度までに2.5万t-CO<sub>2</sub>削減可能と見込まれる。

2.2 EM活動

EM活動とは、エネルギー管理システム(デジタル電力計とIT)の導入により、工場のエネルギー消費をリアルタイムで数値把握(見える化)し、無駄なエネルギー消費を早く見付ける活動である。計測データを所内LAN(Local Area Network)に載せることにより、工場の経営層から担当者まで、だれでもが現在の消費エネルギーデータを知ることが可能になり、生産効率の課題洗い出しに威力を発揮する。EM活動は、生産に時間変動がある量産工場を中心に展開する。

2.3 CGS導入

工場では、ボイラで燃料を使って熱エネルギーである蒸気を製造し、電気も購入している。CGSは、工場内で自家発電を行い、使用する電気のほかに、排気ガスの持つ熱を使って蒸気を作るシステムである。一つの燃料から電気と蒸気の両方を作るため、燃料効率が高くできる。一方、自家発電機は、電気出力が小さく、内燃機関の燃料効率が低く、系統から電気を購入した方がCO<sub>2</sub>排出量は少なくなる。また、最近の電力市場の自由化に伴って、系統の電力単価が下がってきているため、系統からの購電の方が安くなってきている。しかし、電気と熱を合わせて燃料効率が65%を越す場合には、CGSを導入した方がコスト的にもCO<sub>2</sub>排出量削減の観点からも良いので、蒸気使用の大きい7工場を導入を検討することとしている。

2.4 燃料転換

当社の多くの工場では、大気汚染防止の観点から、老朽化した重油焚(だ)きボイラの更新時には、ガス焼き小型ボイラに転換してきた。しかしながら、年間100kl以上の重油を使用している工場が7か所残っている。これらの工場の重油燃料を2010年までにガス燃料に転換することを検討する。社会インフラとして2010年までに都市ガスが整備される場合は都市ガスに、都市ガス整備が計画されていない場合にはLPG(Liquefied Petroleum Gas)に転換することを検討する。燃料転換と同時にボイラの交換も実施する。旧来の重油焼きボイラの場合、燃料効率を上げるために大型ボイラが採用されたが、負荷が少ない場合にも大型ボイラを焚く必要があったため、低負荷では逆に効率が低くなっていた。これを小型ボイラ複数台と交換する。最近の小型貫流ボイラは高効率であり、負荷に応じた台数運転制御

により、必要最小限の燃料消費で済む。ガス燃料にすることで燃料代は上がるが、燃焼バーナーの掃除などのメンテナンス費用は下がり、年間ランニングコストは重油時と大きくは変わらない。

### 3. 当社の環境経営と事業展開

#### 3.1 環境経営方針

当社は、グローバル企業として地球環境に一層貢献することを標榜し、“環境管理”“エコプロダクツ”“環境貢献事業”の好循環による環境事業の強化と全社環境経営の向上に取り組んでいる(要旨の図)。

- (1) 環境規制への対応を的確に図りつつ諸規制への適合による企業価値や事業収益向上をねらい、エコプロダクツ、環境貢献事業の戦略的なスパイラルアップを推進する。
- (2) 環境経営にインパクトの大きい事業を重点テーマに指定し、戦略的な研究・開発、及び販売促進・広域宣伝活動を展開するとともに、政府等からのインセンティブ獲得も含めたトップランナー戦略を実践する

#### 3.2 省エネルギー事業コンセプト

当社は、CO<sub>2</sub>排出量削減を目指して前述のアクションプランを基に活動推進し、“計測・診断”“対策”“運営・管理”のサイクルを循環させながら、きめ細かい省エネルギーを実践している。これが当社の省エネルギー事業に関するコンセプトで、“原単位(電力量/生産個数)”を管理指標としてエネルギーの使用状況を評価するものである(図2)。

### 4. エネルギーソリューション事業の概況

#### 4.1 エコプロダクツ

当社が扱っている家庭、ビル・店舗、工場用のエコプロダクツは表2のとおりである。前述の戦略に基づく社内での積極活用と成果フィードバック、トップランナーを目指した製品開発により、エネルギーの上流から下流までをカバーし、顧客での最適環境構築に役立っている。

#### 4.2 運用・省エネルギーのノウハウ

当社の省エネルギー事業は、エコプロダクツにとどまらず、社内の省エネルギー活動推進の中で得られたノウハウ

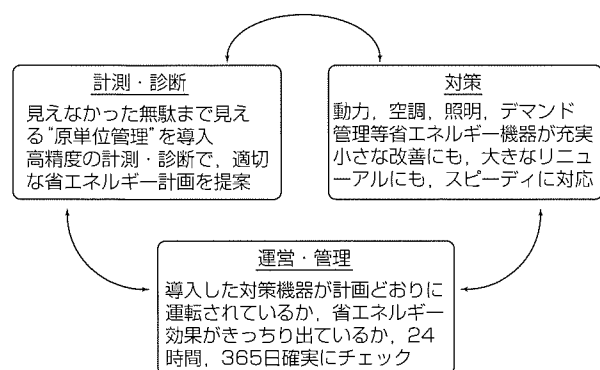


図2. 当社の省エネルギーコンセプト

や事例の活用により、前節のエコプロダクツでの改善効果を顧客の現場で一層高める取り組みを推進するとともに、運営管理や改善支援等に至るまでの幅広い事業を展開している(表3)。

また、省エネルギーセンター会長賞、優良賞等を受賞した当社工場やCO<sub>2</sub>削減効果/省エネルギー効果の大きい工場を中心に、省エネルギーモデル工場として整備、広く公開し、エコプロダクツを総合的に提案する場として活用している。

これらの取り組みは、当社グループの事業を種々の側面から分担する多くの関係会社を含めて推進しており、技術・販売面を含むグループ内の総合力を結集しながら、保有ノウハウの拡大や対応力向上にも役立っている。

#### 4.3 ソリューション事業

当社エネルギーソリューション事業は、1999年7月、社内にESCO事業推進室を設立したところが出発点である。

その後、マイクロガスタービン、ディーゼルエンジン、ガスエンジン、ガスタービンというあらゆるタイプのコージェネレーションを手掛けてきた。

また、北海道・東北・中国・沖縄の各電力会社が設立した分散電源会社への資本参加などエネルギーソリューショ

表2. 当社のエコプロダクツ群

	家庭(エコ製品例)	ビル・店舗	工場
受配電	太陽光発電システム	デマンドコントローラ 高効率モールド変圧器 ファン・ポンプ用インバータ 空調用インバータ	高性能省エネルギーモータ 高効率油入変圧器 ファン・ポンプ用インバータ 空調用インバータ
ユーティリティ	自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯器	エレベーター制御部のインバータ化 ハンドドライヤー 水浄化システム	ハンドドライヤー 水浄化システム
空調	ルームエアコン 床暖房システム 住宅用換気システム	ビル用マルチエアコン インバータエアコン 全熱交換器	設備用パッケージエアコン(インバータタイプ) 全熱交換器 空冷ヒートポンプチリングユニット
照明	家庭用照明機器	インバータ式省エネルギー照明器具 省エネルギー照明用自動調光システム	インバータ式省エネルギー照明器具 省エネルギー照明用自動調光システム
計測/管理	<ホームユース機器> 液晶テレビ IHクッキングヒーター 洗濯乾燥機 ノンフロン冷蔵庫	省エネルギーデマンド監視サーバ エネルギー計測ユニット 省エネルギーデータ収集サーバ 電力計測機器 省エネルギー支援管理ソフトウェア Web対応集中自動検針システム	省エネルギーデマンド監視サーバ エネルギー計測ユニット 省エネルギーデータ収集サーバ 電力計測機器 省エネルギー支援管理ソフトウェア

表3. 省エネルギー運営・管理支援システム

	製品	概要
エネルギー管理	ED1 SA1 省ちゃん	デマンド監視・制御システム エネルギー監視・制御システム 無線対応 電力監視システム
空調・設備管理	G-50 くーりリモートメンテナンス フィルターン	空調用Web対応集中コントローラ 冷凍・空調設備の遠隔監視サービス 空調用フィルタ洗浄サービス
エネルギー診断	診断サービス 業務代行	総合エネルギー診断サービス エネルギー管理士業務代行サービス
導入支援	MECCリース	省エネルギー機器/システムのリース

ン事業の全国展開に乗り出す等、エネルギー供給サイドのビジネスが多いと見ていたが、原点であるESCO事業を大事に育てようということでの戦力強化に努めている。

2005年1月時点でのESCO実績は、最新の最優秀賞獲得を含めて8か所である。特に昨年後半は、神戸市役所本庁舎、神奈川県精神医療センター、市立札幌病院で最優秀賞を受け、今後も注力していきたい分野である。

当社のESCOの事例を表4に示す。

### 5. 環境・省エネルギー事業の展望

ビジネス手法としてESCO等のスキームを活用し、電機メーカーとして新エネルギー等の技術開発に注力しつつ国の政策に合致したビジネスを推進することが、今後進めていくべき当社のエネルギーソリューションビジネスであると考えられる。

また、今後は、省エネルギー事業だけでなく、グローバルレベルでの環境関連事業も進めていく。

#### 5.1 地域貢献

当社では、エネルギーソリューションビジネスを、点から面への展開を強化しており、これにより省エネルギー、CO<sub>2</sub>削減を通して地域に貢献したいと考えている。

##### (1) 新エネルギーの取り組み強化

当社は、既に多数実績のある太陽光・風力・水力やバイオマスの組合せによる地域エネルギーシステム提案活動を強化している。太陽光については社内の増産体制を整え、燃料電池の開発にも精力的に取り組んでいる。また、自然エネルギーであるがゆえの電圧や周波数変動の問題を解決するための技術開発を強化している。

##### (2) マイクログリッド技術強化

NEDO(New Energy and Industrial Technology Development Organization)による青森県八戸市でのマイクログリッド実証試験等を実施中である。これに必要な電力安定化技術は当社の得意な分野である。

##### (3) 地域エネルギーサービス事業実現のための取り組み

1企業での取り組みでは難しい面もあり、各地域のエネルギー企業や、設備メーカー、商社や地元企業との協業が必要と考え、昨年夏、山形県米沢市において八幡原中核工業団地を中心とする地域エネルギーサービス事業実現のための企画会社を、地元商工会議所や複数の企業とともに立ち上げた。同様のスキームによる提案を他の地域においても行う計画である。

#### 5.2 国の政策に適合したビジネス展開

2003年に国のエネルギー基本計画が定められた。当社は、この計画に沿った形でのエネルギービジネスを推進したいと考えている。当社のエネルギーソリューションビジネス

表4. 某店舗CGSセントラル空調システム

	改修前(基準消費量)		改修後(予想消費量)	
	電気kW・h	ガスNm <sup>3</sup>	電気kW・h	ガスNm <sup>3</sup>
合計	7,303,013	-	1,862,294	1,182,422
一次エネルギー消費量(GJ/年)計	74,856	-	19,089	54,510
エネルギー消費原単位(MJ/m <sup>2</sup> 年)	74,856		73,598	
エネルギー消費原単位(MJ/m <sup>2</sup> 年)	4,159		4,089	
エネルギー削減量(GJ/年)	1,258			

(出典：省エネルギーセンターホームページ)

は、分散電源推進という政策に則つることが前提である。

もちろん、事業用の火力や原子力という大規模集中電源への取り組みは従来以上に継続しており、大規模集中と分散の両方を支持する企業として多様なメニューを用意していくことが社会貢献につながると判断している。

#### 5.3 環境貢献事業

改正大気汚染防止法が2004年5月26日に公布され、揮発性有機化合物(VOC)が排出規制されることになった。

当社は、VOCを二酸化炭素や窒素化合物の発生を抑制しつつ高効率で分解・除去する技術を開発した。現在この開発した基礎技術を用いて装置の大容量化、信頼性評価を進め、早期製品化を目指している。

また、当社は、家電製品群の“水平型自己循環”(家電製品から家電製品へのリサイクル)を目指した独自の混合プラスチック選別回収技術を開発した。これにより、混合プラスチックからポリプロピレンを自動選別・高純度回収し、家電製品に再利用することができる。今後、さらに、家電製品のプラスチックを100%リサイクルする技術を開発していく。

このように、当社は、様々な環境貢献事業を推進している。

## 6. むすび

これまで述べてきたとおり、当社は、エネルギーソリューション事業の強みを社内の環境・省エネルギー対策に積極活用するとともに、ここで培ったノウハウを各種製品にフィードバックし、他社を凌駕(りょうが)するCO<sub>2</sub>排出量の削減と環境貢献事業の強化を相乗的にスパイラルアップさせることができたと考えられる。

今後は、自然エネルギーへの取り組み強化等によるトータルエネルギーソリューション事業への展開加速に加えて、製造から製品利用、リサイクルに至るライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量低減までを視野に入れた技術開発・事業展開を推進し、真の持続可能な社会の実現に貢献する企業集団としての役割を果たすため、持続的な取り組みを図っていく。





# 特許と新案\*\*\*

三菱電機は特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
電話 (03) 3218-9192(ダイヤルイン)

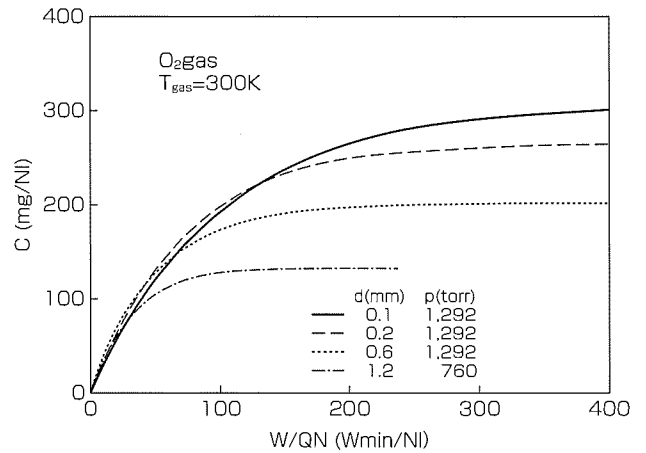
## オゾン発生装置およびオゾン発生方法 特許第3545257号(特開平11-343105)

発明者 葛本昌樹, 田畑要一郎, 八木重典, 吉沢憲治, 向井正啓, 越智順二, 小沢建樹

この発明は、酸素原料で高濃度オゾンが発生する方法・装置に関するものである。

従来、放電励起式のオゾン発生装置では150g/Nm<sup>3</sup>程度の濃度のオゾンしか発生することができなかった。

この発明では、低速の電子の衝突によりオゾンが分解される現象を見だし、放電場の電界強度を高くすることにより、オゾンの分解を抑え、従来得られなかったような高濃度なオゾンを得ることが可能になった。



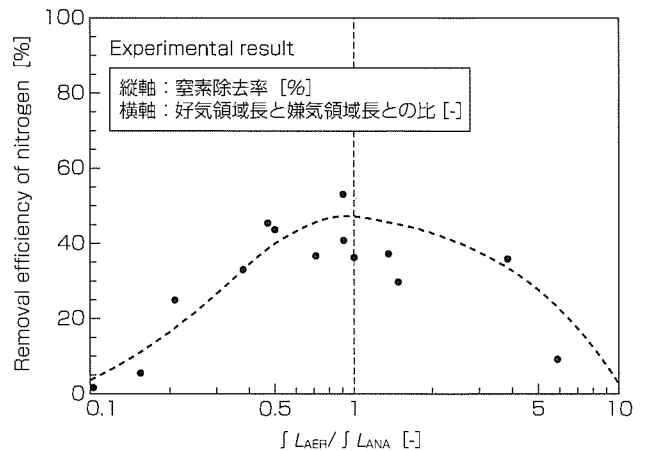
## オキシレーションディッチ型水処理装置の制御方法及び制御装置 特許第3444021号(特開平8-323384)

発明者 古川誠司, 廣辻淳二, 池田 彰

この発明は、オキシレーションディッチ型水処理装置において、下水中の窒素成分を効率的に除去するための制御方法に関するものである。

近年、閉鎖水域での赤潮やアオコの発生を防止するために、その原因物質である窒素を下水中から除去することが求められている。しかし、下水処理プロセスは複雑な微生物反応に基づくため、安定した窒素除去率の維持が難しいという問題点があった。

発明者らは、オキシレーションディッチ型水処理装置の好気領域長と嫌気領域長との比がほぼ1となるように空気供給を行うことにより、窒素除去率を良好に維持できることを発見した。この原理を応用した制御システムを導入することにより、熟練技術者の確保しにくい小規模処理場においても良好かつ安定な処理水質を達成できる。





# 特許と新案\*\*\*

三菱電機は特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

## 発泡スチロール粉砕片含有成形体及びその成形体の製造方法 特許第2784528号(特開平6-182890)

発明者 前沢英一, 中里 武, 高橋邦雄

この発明は、用済み後の発泡スチロールにおいて、機械的に粉砕して新規材と混合成型するだけの簡単な再生方法で、家電包装等に再利用するために考案されたものである。

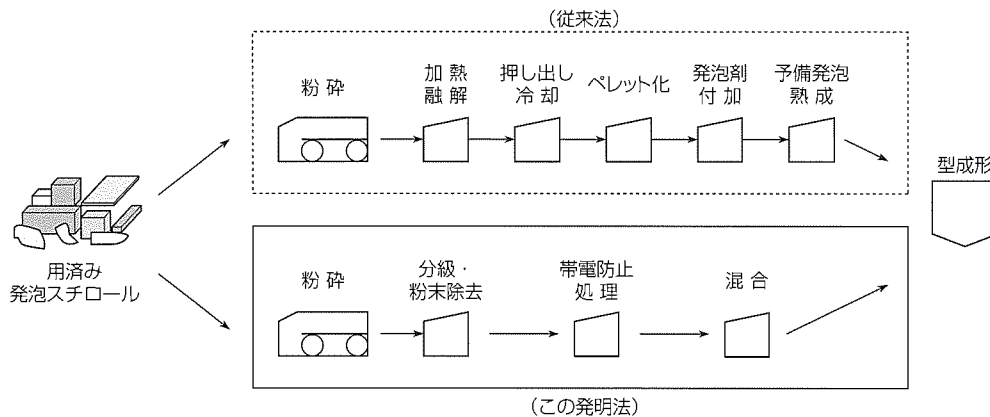
従来は、発泡スチロールを熱で溶かしてペレット化し、発泡ガスを含浸させ再生ビーズを製造する方法のため、費用が高く、強度品質が低下する等の問題があった。

この発明は、発泡スチロールを粉砕・分級(新規発泡ビーズの1~3倍サイズ)し粉末片を除去した後、帯電防止剤を塗布しながら新規発泡ビーズと混合し型内成型させる

製造方法である。

この製造方法によれば、熱融解工程が不要なため、強度低下がなく、均一混合による新規発泡ビーズとの一体発泡成形で、50%混合率でも新規材と同等の強度特性を得ることができる。また、用済み材料の再利用、発泡成形時間の短縮により、新規材に比べて約5~10%の費用低減が可能となる。出来た成型体は、用済み後も繰り返し原材料として使用可能であり、資源の有効利用と廃棄物の抑制が図れる。

発泡スチロールの再生法



### <本号記載の商標について>

本号に記載されている会社名、製品名はそれぞれの会社の商標又は登録商標である。

### <次号予定> 三菱電機技報 Vol.79 No.6 特集「最近の低圧遮断器の進歩」

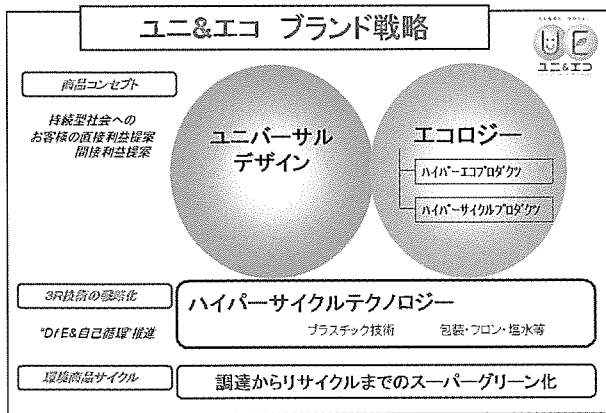
<b>三菱電機技報編集委員</b> 委員長 三嶋吉一 委員 小林智里 長谷川裕 堤清英 佐野康之 村松洋 松本修 浜敬三 藤原正人 光永一正 瀬尾和男 部谷文伸 黒畑幸雄 山本比呂志 事務局 園田克己 本号取りまとめ委員 高橋徹也	<b>三菱電機技報 79巻5号</b> 2005年5月22日 印刷 (無断転載・複製を禁ず) 2005年5月25日 発行 編集人 三嶋吉一 発行人 園田克己 発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 e-ソリューション&サービス事業部 〒102-0073 東京都千代田区九段北一丁目13番5号 日本地所第一ビル 電話 (03)3288局1847 印刷所 株式会社 三菱電機ドキュメンテクス 発売元 株式会社 オーム社 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 電話 (03)3233局0641 定価 1部945円(本体900円) 送料別
URL <a href="http://www.MitsubishiElectric.co.jp/giho/">http://www.MitsubishiElectric.co.jp/giho/</a>	三菱電機技報に関するお問い合わせ先 cep.giho@ml.hq.melco.co.jp

# “ユニ&エコ”を支える スポットライト ハイパーサイクルテクノロジー

三菱電機は、豊かな持続型社会への提案として、家電商品について、“ユニ&エコ”ブランドを立ち上げました。このブランドは、以下の3つの要素で構成されています。

- (1) ユニバーサルデザインとエコロジーの商品コンセプト
- (2) リデュース、リユース、リサイクルの3R独自技術
- (3) 調達からリサイクルまでのスーパーグリーン化

独自の3R技術を“ハイパーサイクルテクノロジー”と呼んでいます。

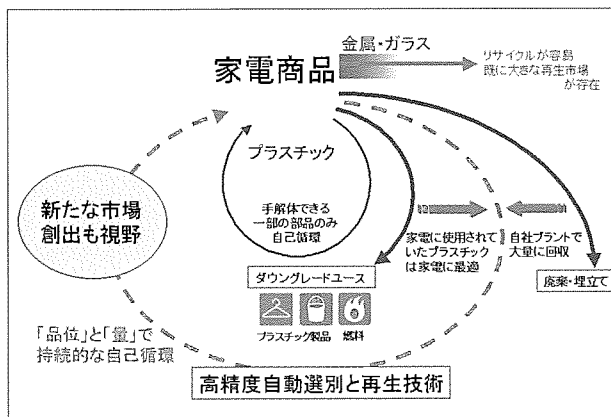


具体的なハイパーサイクルテクノロジーとしては、今まで“廃棄”や“ダウングレードユース<sup>(注1)</sup>”されていた“難リサイクル材”を、新品と同様に再生して素材化し、かつ使いこなしていく技術です。

家電商品<sup>(注2)</sup>は大きく分ければ金属、ガラス、プラスチックで構成されており金属やガラスは古くから再生市場が存在していますが、プラスチックは種類が多いことや分別できる対象部分が少ないことにより一定の品質と量の確保が困難で安定した市場が少ないことが実態です。

(注1) 雑貨等に使用すること。

(注2) 家電リサイクル法で決められた4品目。(テレビ, エアコン, 冷蔵庫, 洗濯機)



これらを自社で利用する、すなわち家電から家電への“自己循環”させることで自ら市場を創出し、“高品位”かつ“大量”のリサイクルに取り組んでいます。

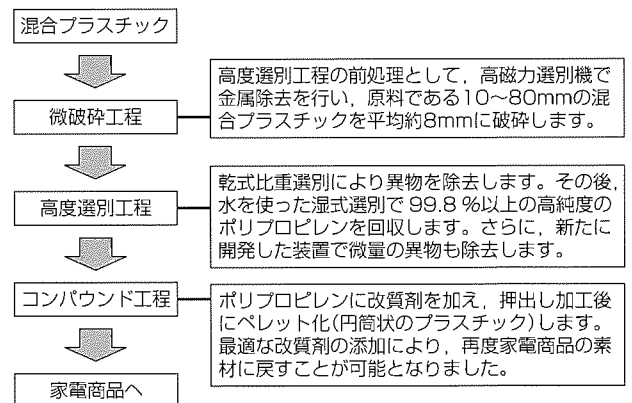
ハイパーサイクルテクノロジーの1例として、混合プラスチックから素材を回収し再度家電商品へ使用する、“新プラスチックリサイクル技術の開発”を紹介いたします。

2001年に施行された家電リサイクル法により生産から使用、リサイクルの商品サイクルが生まれました。

三菱電機は、1999年に業界初の家電リサイクルプラントとして千葉県市川市に(株)ハイパーサイクルシステムズ社を立ち上げ、当初より、混合プラスチックの選別・回収について研究開発を重ね、当社独自の技術により雑貨等へのダウングレードユースを実施してきました。しかし、家電商品への利用としては、高品位かつ大量に回収する技術が求められていました。

混合プラスチックから高品位かつ大量にポリプロピレン<sup>(注3)</sup>を回収するために“微破碎工程”“高度選別工程”“コンパウンド工程”の3つの工程で構成しました。

(注3) プラスチックの1つの種類。



この技術の実用化によりリサイクルプラスチックの“自己循環”による適用拡大を進めていきます。

ハイパーサイクルテクノロジーは、プラスチックだけでなく、包装資源の循環利用・削減、エアコンから回収したフロンの再利用、洗濯機のバルンサとして使用されている塩水の再利用等幅広く定義しています。さらに、調達からリサイクルまでの総合的な環境負荷を低減するLCT(Life Cycle Thinking)という考え方を導入し、エコデザインを目指したDfE(Design for Environment)つまり“環境適合設計”を進めています。

今後はさらに、“環境負荷の低減(エコロジー)”と“コスト(エコノミー)”の両面を“技術”で両立させ、研究所・製作所・リサイクルセンターを含め、技術開発と実証の両面で“持続型社会”へのブレークスルーを目指します。

住 所：〒100-8310 東京都千代田区丸の内2-2-3 (三菱電機ビル)

会社名：三菱電機株式会社 お問い合わせ先：リビングデジタルメディア事業本部 渉外部 TEL 03-3218-9185