

MITSUBISHI

三菱電機技報 Vol.77 No.5

特集「環境技術」

2003 5



300kW 可変速制御用電力変換装置

永久磁石式同期発電機 (PMSG) 300kW 可変速風力発電設備

目次

特集「環境技術」

持続型消費と企業の役割—21世紀前半のターゲット— 安井 至	1
三菱電機第4次環境計画と技術開発への取り組み 東 健一・星之内 進	2
三菱電機製品の環境効率指標の試算“ファクターX”の考え方と環境対策 高橋徹也・上野 潔	9
太陽電池セル・モジュール鉛フリー化 森川浩昭・安田順一・宇都宮敬一郎	13
電球形蛍光灯“ルピカボールミニ” 山崎広義・浜口岳久・此本高裕・浅見俊一	17
循環型社会に向けた環境統合情報システム 境 国昭・関 昌弘・福田孝司・内藤知子・川原 明	21
生産技術棟建設における省エネルギーへの取り組み 内山朋亮	27
グリーン調達に対応した環境保全物質管理システム 近藤俊介・宮崎恒行・加藤六彦・對馬一宏	31
冷蔵庫用発泡ポリウレタン断熱材のケミカルリサイクル 村井道雄・藤本隆光・嶋村光助・高木 司・辻原雅法	35
熱硬化/熱可塑ハイブリッドによる易分解樹脂 三村研史・伊藤浩美・反田哲史	39
高効率O ₃ /UV処理による難分解性排水処理 上村美貴・古川誠司・廣辻淳二・鐘ヶ江裕三	43
下水汚泥からのリン回収技術 安永 望・古川誠司・廣辻淳二・鐘ヶ江裕三	47
固体高分子型燃料電池電源 松村光家・三谷徹男・漆畑広明	51
室内環境適合クリーン燃焼技術 佐藤 稔・重岡浩昭・小関秀規	55
大気圧プラズマによるPFC除害装置 稲永康隆・吉田清彦・土井雅史・葛本昌樹・鐘ヶ江裕三	59
LCAによる変電機器の環境負荷評価 廣瀬悦子・藤本隆光・矢野 徹・羽馬洋之・但田昭司	63

特許と新案

「電解式オゾン発生素子および装置」「半導体装置」	67
「磁気記録再生装置」	68

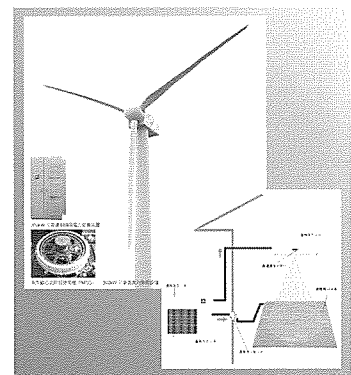
表紙

大型風力発電装置

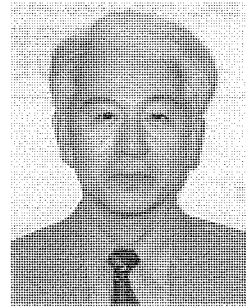
三菱電機㈱と三菱重工業㈱が共同開発した“大型風力発電装置”は、風速に応じて最適に風車を回転でき、電力系統への負荷が少ないという特長が評価を受け、財新エネルギー財団主催“平成14年度 第7回新エネ大賞 経済産業大臣賞”を受賞しました。

霧ヶ峰 床暖房システム

当社“霧ヶ峰 床暖房システム”は、その省エネルギー性と床暖房の使用感・快適性を向上させた点が評価を受け、財省エネルギーセンター主催“平成14年度 第13回省エネ大賞(省エネルギー機器・システム表彰)資源エネルギー庁長官賞”を受賞しました。



持続型消費と企業の役割—21世紀前半のターゲット—



東京大学 生産技術研究所

教授 安井 至

昨年行われたヨハネスブルグのサミットでは、先進国と途上国のエゴが衝突し、地球規模での協調を実現することの難しさを実証してしまった。特に、気候変動防止条約の枠組みから離脱した米国に対して効果的な働きかけができなかったことが、離脱した米国には当然のこととして、各国にとっても最大の汚点だった。

それでは成果は何もなかったのかと言えばそうでもない。一見そのように見えるのも1992年のリオのサミットが余りにも先進的であったため、10年後の今も、そのフォローをせざるを得ない状況にあると解釈すれば、こんなものでも仕方がなかったと言えるのかもしれない。

ヨハネスブルグサミットで採択された実施計画には、リオのアジェンダ21の枠組みを更に推進し、今後10年間の地球市民として目標が書かれている。第一項目は、環境破壊の最大の原因と思われる“貧困の撲滅”である。この実現は、なかなか難しい。完全な解決はあり得ないようにも思える。

そして、第二の項目として、“非持続型の消費と生産の変更”という目標が挙げられている。先進国はこの課題に先導的に取り組み、すべての国についてこの目標を達成することが責務であるとされている。この非持続型消費の変更こそ、先進国たる日本の産業界が全力を挙げて今後10年間で取り組むべきターゲットであるように思える。

さて、具体的に何を目標とすべきだろうか。とりあえず正しい方向性であろうと思われることは、資源・エネルギー生産性を極限まで高めることだろう。日本にとって当面

の課題である温暖化ガスの排出量削減も、このような大きな目標を実現する過程で自然に達成されることだろう。

さて、それでは、資源・エネルギー生産性向上の極限の形はどんなものだろう。それは、家電製品も含めて、“製品販売から、サービス提供”へ切り換えることだろう。例えば、冷蔵庫も各家庭が買うのではなく、リースにすることである。しかし、現時点で可能かと言われれば、まだまだ時期尚早であるという感覚が強い。そこで、その一つ前の段階は何かと言われれば、極限の長寿命設計だろう。ただし、単なる長寿命化だけでは売上げが減るだけだから、リビルトといった機能を持たせた製品、又は完全なサービス&メンテナンスが可能な製品設計が望まれる。このような製品でも、販売単価は高くならざるを得ない。現在のそのようなデフレ社会を考慮すると、これも時期尚早かもしれない。結論的には、やはり、省エネルギー型商品、超軽量化製品への根本からの見直しではないだろうか。

環境面での先進性をねらうのであれば、2008年から始まる京都議定書の定める第一約束期間内を視野に入れ、その期間内で販売する全商品の平均消費エネルギーは30%削減といった目標を設定しておくべきだろう。環境税・エネルギー税の課税、又は、温暖化ガスの排出量取引が始まる可能性も考慮して、先を見通した製品ポリシーの確立に向けて、積極的な取り組みが求められる。

21世紀における企業の環境対応は、どうやら未来予測と環境哲学がキーワードになりそうである。

三菱電機第4次環境計画と技術開発への取り組み



東 健一*



星之内 進**

要 旨

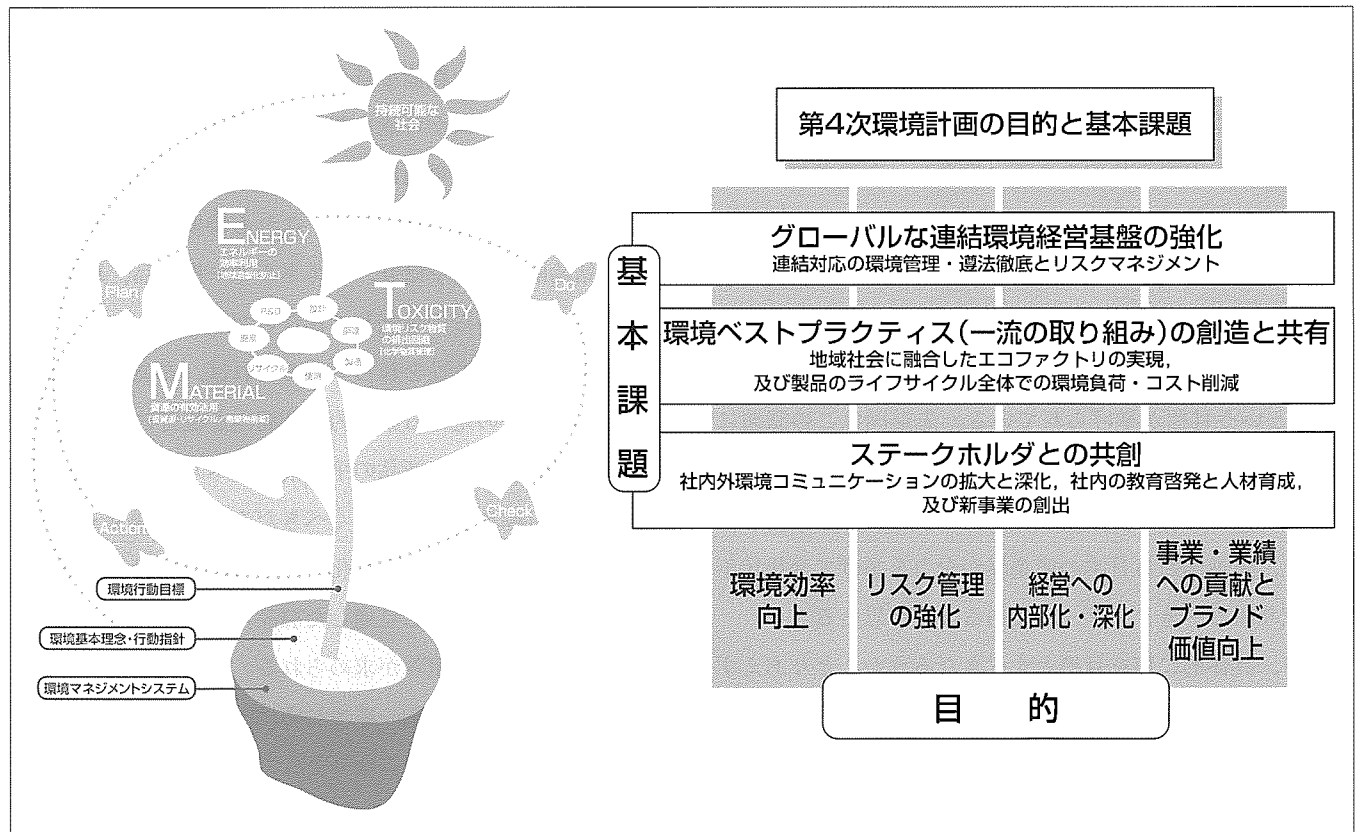
三菱電機グループは、1993年度から、環境に関する自主的な取り組みを“環境計画”として体系化し、生産プロセスだけでなくあらゆる企業活動に視野を広げ、環境負荷の低減に取り組んできた。

その間も、地球環境問題は予想を遥かに上回る規模と速度で拡大し、社会に多大なインパクトをもたらすことが年を追って鮮明になってきている。21世紀を迎えた今、人類は“持続可能な発展”の国際理念の下、新たな社会システムを創(つくり)り上げるという壮大な変革に一步を踏み出した。この変革を成し遂げるためには、科学技術や倫理、思想といった文化の根幹に係わる領域にまでパラダイムシフトをもたらすことが不可欠である。三菱電機グループは、社会と手を携えて、歴史的パラダイムシフトに挑戦していく。

今般、10年後の社会を、“独自性を活かして自律分散す

る各地域が、環境効率の高いネットワークを活用して連携・協調し、エコ・コミュニティの構築を目指していく社会”と見据え、三菱電機グループの社会との係わり方を検討した。この検討結果に循環型社会への政策誘導などに関する中期展望を加味して、2003年度からの3か年を対象とする“第4次環境計画”を策定した。

循環型社会における企業の責務は、独創的な環境技術の実用化により社会に不連続的な変革をもたらしつつ、社会との共創を基本として事業活動を発展させていくことである。第4次環境計画の目標達成も、同様に環境技術の発展に依存するところが大きい。この特集号では、三菱電機グループの環境技術への取り組みの一端を紹介している。本稿が21世紀初頭の環境経営や技術の在り方について議論を深める契機となれば幸いである。



環境計画の3つの柱と第4次環境計画の骨組み

三菱電機グループの環境への自主的な取り組みを体系化したものが環境計画であり、環境基本理念と行動指針、環境マネジメントシステム、環境行動目標の3つの柱から構成されている。第4次環境計画では、10年後の環境ビジョンや社会動向の中期展望に基づき、4つの目的を達成するために、3つの基本課題に挑戦する。

1. ま え が き

1960年代の終わりにアポロ宇宙船が月の周回軌道から送ってきた地球の映像は、神々しいまでに深く、青く、澄んでおり、すべての人々が際限のない時空に感動した。その後30数年しか経ない間に、オゾン層の破壊や温暖化などの地球規模の環境問題が顕在化し、循環型社会経済システムへの変革が現在を生きる人類の最大の課題になった。

“持続可能な発展”の国際理念⁽¹⁾の下で事業活動を継続する企業の責務は、地球環境問題に対する体系的・包括的な“自主的取り組み”の実践である。今般、三菱電機グループは、2010年から2015年の社会環境システムを見据え、これにグローバルな法規制や循環型社会への政策誘導に関する中期展望を加味して、第4次環境計画に体系化した。この計画の骨子を紹介するとともに、目標達成に必要な環境技術の方向性について提起する。

2. 三菱電機グループの環境への取り組みの経緯

2.1 環境計画と3つの柱

三菱電機グループでは、1993年度から環境に関する自主的な取り組みを“環境計画”として体系化し、生産活動や製品における資源とエネルギーの有効活用と環境リスク物質の使用量削減などを推進してきた。併せて、環境保全と循環型社会の構築に貢献する技術や製品の事業化にも取り組んできた。環境計画は、本稿の要旨下段に示したように、3つの柱から成り立っている。

第一の柱は、“環境基本理念と環境行動指針”である。グローバルに展開する企業集団として、環境負荷低減に努める事業者責務を自覚し、積極的な自主的管理の推進や事業による環境への貢献など地球環境保護に対する妥協のない取り組み姿勢を明確にした。第二の柱は、事業活動及び製品の環境負荷を低減するための仕組みとなる“環境マネジメントシステムの構築”である。第三の柱は“環境行動目標”であり、環境負荷低減の活動に関する数値目標を具体的に示している。

2.2 第3次環境計画の目標と成果

2000年度からは2002年度を最終年度とする第3次環境計画を開始し、自社内の生産プロセスだけでなく、資材の調達から廃棄、リサイクルまでのすべての事業活動に視野を広げ、製品のライフサイクル全体で環境負荷の低減に取り組んできた。また、海外も含めた三菱電機グループ全体での環境保全活動を強化するとともに、リサイクル性の向上など製品の環境適合化への取り組みも積極的に進めてきた。以下に主な目標と成果を記述する。詳細は“三菱電機グループ環境レポート2002”を参照していただきたい。

2.2.1 環境マネジメントの強化

三菱電機グループの環境マネジメントは、全社レベルの

管理サイクルと、関係会社を含む事業所レベルの管理サイクルの2つで構成している。この2つを相互に連携させながら、P(計画)、D(実施)、C(点検)、A(見直し)を回し、グループ全体の環境活動を推進している。

事業所や関係会社ではISO14001準拠の環境マネジメントシステムを構築しており、その仕組みに基づき管理のサイクルを回している。三菱電機本体は、1998年度に全生産拠点、プラント建設部門及び研究所の合計27サイトにおいてISO認証を取得済みである。これに加えて、2002年度には、グリーン調達の進展などの社会動向変化に対応するため、他の総合電機メーカーに先駆けて本社が認証を取得した。また、国内外の主要関係会社も2000年度末にISO認証の取得を完了し、2002年度末現在国内37社40サイト、海外12社12サイトが認証取得している。

生産拠点の海外移転に代表される生産構造の激しい変化に対応して、事業単位ごとにグローバルに統合された環境マネジメントシステムへの移行が今後の課題である。

2.2.2 METに基づく新行動目標

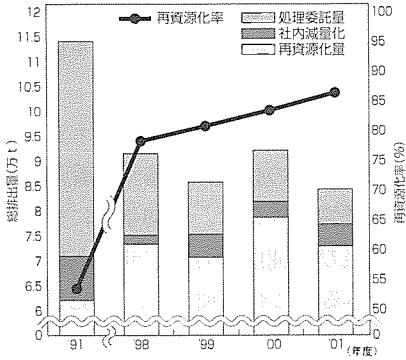
資源の有効活用、エネルギーの効率利用、環境リスク物質の排出回避という3つの視点を象徴するキーワード“MET(M:Material, E:Energy, T:Toxicity)”をスローガンに掲げて、製品と生産プロセスの双方に対する行動目標を設定した。一例として、2001年度までの生産プロセスでの取り組み実績を図1に示す。

資源の有効活用に関しては、リデュース(発生抑制)、リユース(再使用)、リサイクル(再利用)の“3R”による資源利用効率の向上を通じて、廃棄物のゼロエミッションを目指している。具体的には、廃棄物の処理委託量を2002年度末までに1998年度比で30%削減するとともに、総排出量の10%以下に抑制することを目標にした。排水処理汚泥のセメント原料化や廃プラスチックのセメント焼成助燃材化などを進めた結果、第3次環境計画の目標値を1年早く達成することができた。とりわけ半導体の事業所群では、100%再資源化という理想的な資源の有効活用を、他社に先駆けて達成できた。

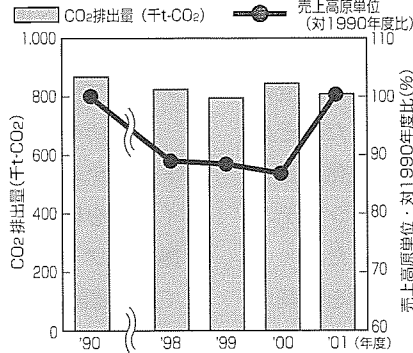
2.2.3 エコプロダクツの創出

持続可能な社会を実現するには、環境効率の高い環境適合製品“エコプロダクツ”を創出し社会に貢献していくという企業の本来的な役割が極めて重要である。そのため、2001年4月に施行された改正リサイクル法の要求事項に完全整合させた“3R製品アセスメント”を、指定製品に加えて、当社が製造する全製品に対して実施している。評価項目は、大分類でLCA(Life Cycle Assessment)などの14、中分類で51に上る。これに基づき、2001年度には、90製品群で801件の改善を実施した。また、環境負荷低減の度合いを分かりやすく比較できるように、図2に示す環境効率指標“ファクターX”値も算出し総合判定を行っている⁽²⁾。

廃棄物排出実績の推移



CO₂排出量の推移



三菱電機のPRTR

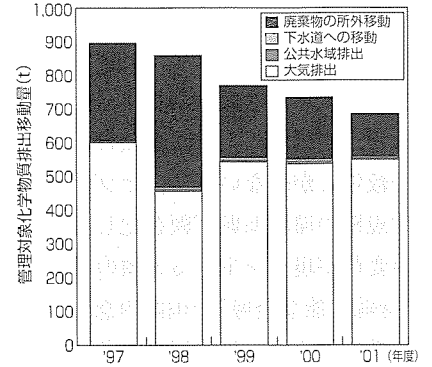


図1. 生産プロセスでの取り組み実績

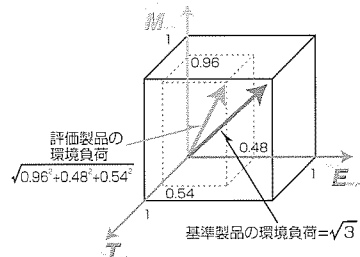
例：ルームエアコン

	M：資源の有効活用	E：エネルギーの効率利用	T：環境リスク物質排出回避
基準製品 1990年モデル MSZ2800	1	1	1
評価製品 2002年モデル MSZ-WX28J	0.96	0.48	0.54
改善内容	質量 4%削減	消費電力量 52%削減	はんだ中の鉛使用量 24%削減 ノン層破壊物質使用 ゼロ

$$f_{90} \text{ (基準製品の環境負荷)} = \sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2} = 1.73$$

$$f_{02} \text{ (評価製品の環境負荷)} = \sqrt{0.96^2 + 0.48^2 + 0.54^2} = 1.20$$

$$\begin{aligned} \text{ファクター} &= \text{評価製品の環境効率} / \text{基準製品の環境効率} \\ &= (1/f_{02}) / (1/f_{90}) \\ &= (1/1.20) / (1/1.73) \\ &= 1.44 \end{aligned}$$



社会的貢献度



※1) 資源削減量=1台当たりの削減量×出荷台数
 ※2) 消費電力削減量=1台当たりの削減量×出荷台数×評価製品の推定耐用年数
 ※3) 脱環境リスク物質質量=1台当たりの削減量×出荷台数
 なお、出荷台数は1年分の値(20万台)を、推定耐用年数は経済企画庁「主要耐久消費財の買い替え状況調査」による補修用性能部品の最低保有期間(エアコンでは9年)を用いた。

図2. 環境効率指標“ファクターX”

3R製品アセスメントは様々な技術に基づき成り立っており、一つの例が無鉛はんだ技術である。従来のはんだと同等の優れた機械的性質を持つSn-Ag-Cu系合金を選定し、フロー、リフロー、手はんだのいずれの工法でも品質を確保できる接合技術として社内標準化した⁽³⁾。既にエアコンや冷蔵庫に対して量産規模で適用している。

2.2.4 環境情報システムの整備

複雑多様化する環境管理業務を効率化しながら全従業員が一丸となって環境行動目標を達成するには、情報の共有化が不可欠である。この認識の下に、2001年7月から環境統合情報システム“ECOrates”の運用を開始した。ECOratesには、①PRTR(Pollutant Release and Transfer Register)法に対応した化学物質管理システム、②廃棄物等管理システム、③グリーン調達支援システム、④環境情報共有システム、の4つの機能があり、化学物質やエネルギー

の使用量及び廃棄物の排出量などを工場レベル又は部門レベルで定量的に把握し、全社レベルの数値へと統合するものである。

2.2.5 環境情報開示の推進

環境レポートの発行やウェブサイトを通じ、グループ全体の活動を始め、環境会計や製品の環境性能についての詳細な情報の開示に努めている。

3. 10年後の社会環境システムと三菱電機グループの係わり

3.1 環境主義の潮流と10年後の社会環境システム

西欧近代科学技術文明とそれを基盤とする社会経済システムは先進国を中心に物質的繁栄をもたらしたが、同時に地球環境や生態系の破壊、資源の枯渇を生み、大量生産、大量消費、大量廃棄型社会経済システムがもはや持続可能

ではないことが認識されるようになった。成長の限界の認識は人間による自然の支配という世界観への反省を生み、地球環境の制約の自覚、人間が生態系の一部という自覚に基づき、新しい文明への移行を模索する“環境主義”の潮流が顕著になってきている⁽⁴⁾。例えば、加藤敏春氏は、著書の“エコマネー”の中で、21世紀の新しい社会構造は、知識創造機能を持つ“経済”と人間が帰属意識を感じず“コミュニティ”とが一体となり、“自然”と共生しつつ持続可能な発展を目指す“エココミュニティ”であると提唱している。

三菱電機では、多様性、共生、循環、複雑系といったキーワードを内包する環境主義の潮流を前提として、2010年から2015年を見据えた環境ビジョンを検討している。この中で、ここ10年間を、“エココミュニティを目指して、全体最適な社会環境システムを醸成していく期間”と認識している。すなわち、独自の循環型社会構造を活かして自律分散する各地域が、環境効率の高いネットワークを基盤として連携、協調、補完していき、全体最適が実現されていくものと考えている。

3.2 三菱電機グループの係わり

図3に、10年後の社会環境システムへの三菱電機グループの係わりを模式的に示した。従来から当社は、総合電機メーカーとして、生活系・社会系・情報系などすべての分野で社会と係わってきており、これらの分野において高度で多様な知的財産を蓄積している。自律分散を基本としながら連携・協調・補完が柔軟に進む社会の形成には、基盤となる環境効率の高いネットワークが不可欠である。三菱

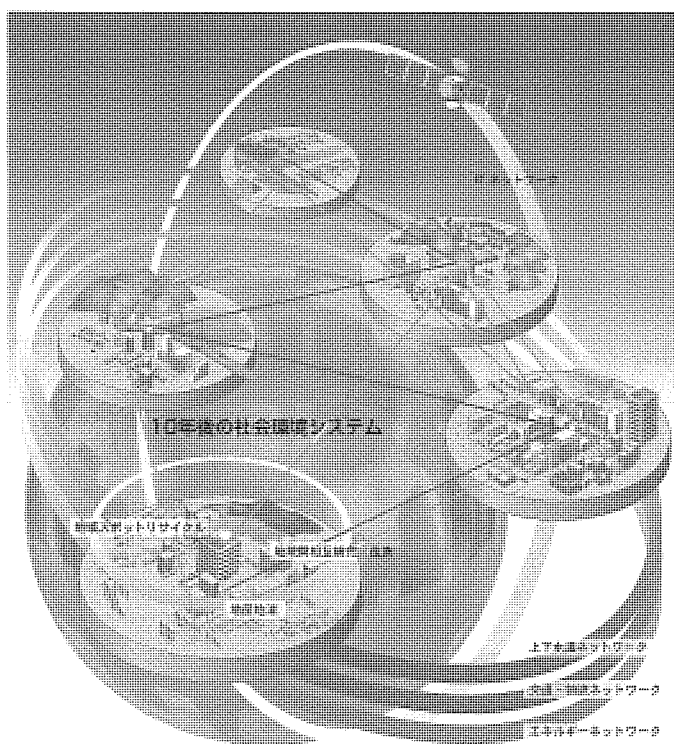


図3. 10年後の社会環境システムへの三菱電機グループの係わり

電機グループは、高度で多様な知的財産を活用しながら、情報ネットワーク、エネルギーネットワーク、水資源ネットワーク、交通・物流ネットワークなどの分野で、社会から期待される強力なパートナーとして、社会環境システムの構築にチャレンジしていく。

4. 第4次環境計画

4.1 社会経済動向

10年後を見据えたビジョンに、社会と経済に関する中期展望を加味して、2003年度からの3年間を対象期間とする第4次環境計画を策定した。

この期間に注目すべき社会経済動向は次の3点である。

(1) 地球環境の視点

地球温暖化対策としての京都議定書の発効が確実な情勢となり、CO₂排出権取引を担保するための環境ファンドの登場などに加えて、エネルギー供給システムや交通・物流システムなどの社会インフラの革新が進み、ひいては我々の生活様式全般の変革を促すことになる。

また、EUにおける廃自動車や廃電気電子機器のリサイクル規制(通称ELV及びWEEE)に代表されるように、循環型社会形成に向けた政策誘導がグローバルに展開される。

(2) 企業責任の視点

トリプルボトムライン(財務、環境、社会の3指標で表現した企業の成績)に基づく企業社会責任(Corporate Social Responsibility: CSR)が重視される。社会責任や環境責任に関するビジョンと倫理が社内で共有されること、利益計画の達成と同等の次元で社会指標と環境指標改善のためのPDCAサイクルを推進するコーポレートガバナンスが実現されること、それらすべての成績が社会に対して正確に説明できるアカウンタビリティが確立されることなどが求められる。

(3) 生産構造の視点

蝕和傾向にある市場の中で、事業統合や生産拠点の海外移転が引き続き趨勢であると予想される。軸足を置く事業ごとに、包括的でグローバルな視点に立った環境経営基盤の強化と環境負荷の削減努力が求められる。環境負荷の削減においては、業界としての協働活動による質の高い活動も重要となる。

4.2 第4次環境計画の基本課題と具体的施策

以上の分析に基づき、要旨のページの図にも示したように、次の3点を第4次環境計画の基本課題と認識した。

4.2.1 連結対応のグローバル環境経営基盤の強化

環境経営を事業ごとにかつグローバルに統合する管理体制を構築し、環境コンプライアンスと自主的取り組みを事業責任へ内部化するとともに、リスクマネジメントを強化する。目標と実現のための施策を表1に示す。

4.2.2 環境ベストプラクティス(一流の取り組み)の創造と共有

第3次環境計画から推進してきた工場のエコファクトリ化と製品のエコプロダクツ化に対して、一段高い目標を設

定し継続する。特に、地球温暖化対策推進大綱に沿って、省エネルギー法の定める年度目標と日本経団連の自主行動計画の両者に準拠した、当社の2005年度目標を達成する。

新たに、①高度環境適合製品“ハイパーエコプロダクツ”

表1. 連結対応のグローバル環境経営基盤の強化

項目	第4次環境計画の目標	実現のための施策
1. 環境マネジメントシステムの強化	(1) 環境経営戦略の事業責任への内部化	(1) 会社経営に直結した全社統合環境管理体制の強化と地域別海外環境会議等を通じた環境経営戦略の徹底(横串機能) (2) 事業本部単位のグローバル環境管理体制の構築と環境経営戦略・事業戦略の融合(縦串機能) (3) 環境情報システムの有効活用と環境会計の内部管理目的への活用
2. リスクマネジメントの強化	(1) 遵法の徹底	(1) ISO14001マネジメントシステムの実効性向上と国内外全生産拠点の環境監査の定期実施
	(2) 潜在リスクの予知・予防の仕組みの構築	(1) 環境特定施設リスク管理のグローバルな標準化と設備の計画的更新 (2) 過去の軽微な不具合経験のデータベース化と全従業員への啓発
	(3) 企業内部の透明性の維持と情報開示の継続	(1) 環境不具合報告システムの運用 (2) リスクコミュニケーションの活性化

表2. 環境ベストプラクティスの創造と共有(1):エコファクトリ

項目	第4次環境計画の目標	実現のための施策
1. 資源の有効活用	(1) 廃棄物ゼロエミッションの推進 ・全事業所の最終処分量を1%以下	(1) 生産性向上活動の継続と生産工程に週及(そきゅう)した廃棄物発生之源流管理
	(2) 廃棄物総排出量の削減 ・売上高原単年で2002年度比6%削減	
2. 省エネルギー	(1) 日本経団連自主行動計画に基づくCO ₂ 排出量売上高原単位の削減 【三菱電機】 ・1.5%/年以上改善 ・2005年度に1990年度比20%削減 ・2010年度に1990年度比25%削減 【国内関係会社】 ・1.0%/年以上改善	(1) 外部専門機関による診断とモニタリング機器を活用した生産工程と設備の改善 (2) 投資助成や税制優遇制度を活用した省エネルギー型生産設備への更新
3. 化学物質(温室効果ガスを含む)の排出抑制	(1) 化学物質排出移動量の削減 ・総排出移動量を2002年度比18%以上削減 ・サイトデータの開示	(1) VOC除去設備の導入 (2) 環境情報システムの有効活用 (1) 製品機能開発と代替プロセス開発によるHCへの代替 (2) SF ₆ 漏洩(ろうえい)ガス回収除去設備の導入
	(2) オゾン層破壊ガスと温室効果ガスの排出量削減 【HCFC+HFC】 ・2005年度に取扱量に占める排出量の割合を0.2%以下に 【SF ₆ 】 ・排出量を取扱量比3%以下に	

(注) VOC:揮発性有機化合物, HCFC:ハイドロ・クロロ・フルオロ・カーボン, HFC:ハイドロ・フルオロ・カーボン, HC:ハイドロ・カーボン, SF₆:6 弗化硫黄

表3. 環境ベストプラクティスの創造と共有(2):エコプロダクツ

項目	第4次環境計画の目標	実現のための施策
1. グリーン調達推進	(1) グリーン調達要件のアップデート化と全取引先との合意	(1) グループ統一グリーン調達基準の策定と基準書改訂版の発行
	(2) 製品への指定物質使用禁止の徹底	(1) 調達品の含有化学物質調査の実施とデータベースの構築
2. 製品の環境負荷の削減	(1) 環境適合製品“エコプロダクツ”の比率を70%以上に向上	(1) LCAの全新製品への適用とMETごとの目標管理規則の導入
	(2) 高度環境適合製品“ハイパーエコプロダクツ”の創出	(1) ハイパーエコプロダクツに対する事業単位の年次目標管理規則の導入
	(3) 製品と包装材の3Rの継続的推進	(1) LCAの推進 (2) 軽量・簡易・リターナブル包装の適用拡大
3. グローバルな環境規制と政策誘導への対応	(1) 欧州WEEE指令に対応するリサイクルシステムの構築	(1) 対象製品単位の対応プロジェクトを推進(縦串機能) (2) 欧州代表機構に欧州環境推進室を、本社にステアリング室を設置(横串機能)
	(2) 欧州RoHS指令で禁止される6物質を対象機器から2005年度末に全廃	(1) 代替化材料・部品・プロセス技術の開発とグループ内での標準化 (2) グリーン調達の定着

(注) LCA:ライフサイクル・アセスメント, WEEE:廃電気電子機器, RoHS:危険物質使用制限

表4. 環境ベストプラクティスの創造と共有(3): エコ・ロジスティックス

項目	第4次環境計画の目標	実現のための施策
1. 物流環境負荷の削減	(1) CO ₂ , NO _x , PM排出量の軽量と削減 【CO ₂ 】 ・2001年度推計値比で20%削減	(1) 物流効率化活動の継続的推進 (2) モーダルシフトの拡大と低公害車の導入
2. 包装環境負荷の削減	(1) 包装材料使用量の削減 ・売上高原単位を2001年度比10%削減	(1) 軽量及び簡易包装の適用拡大
	(2) 包装の脱木材化とごみゼロ化を推進 ・脱木材化100%	(2) 木材の段ボール化, スチール化の推進 (3) 発泡スチロールの環境適合材料への転換

(注) PM: 微粒子状排出物質

表5. ステークホルダとの共創

項目	第4次環境計画の目標	実現のための施策
1. ステークホルダとのコミュニケーション	(1) 社会の求める公正な情報開示	(1) “社会環境レポート”の発行 (2) 環境ウェブサイトの充実 (3) 製品環境情報開示MET-profileの充実 (4) 新製品公報や製品宣伝への環境視点の組み込み強化
	(2) 社外有識者の客観的視点を取り入れた環境経営	(1) 環境担当役員に“環境経営アドバイザ会議”を付置
	(3) 地域との環境コミュニケーションの充実	(1) サイト環境プロフィールの公開とサイト環境レポートの発行
	(4) 環境に係わる社会貢献の強化	(1) 国際的な環境保全活動への参画 (2) 自然保護活動の支援
2. 事業・業績への貢献	(1) 京都メカニズムを活用したエネルギーソリューション事業の推進	(1) 排出権取引システムの構築 (2) 個別プロジェクトの推進
	(2) 保守循環型ビジネスモデルの創出	(1) 社内技術部会での人材育成とビジネスモデルの創出 (2) 欧州WEEE対応リサイクル事業の立ち上げ
3. 環境意識改革と人材育成	(1) 全従業員の環境意識を“安全衛生”と同レベルに高揚	(1) 階層別教育プログラムの整備 (2) 環境ニュース等の全従業員向け環境基本情報の発信
	(2) 環境スペシャリストの育成と活用	(1) 法規・規格の要求する資格の目標管理のルール化 (2) ベテランの高度実務能力の全社横断し活用

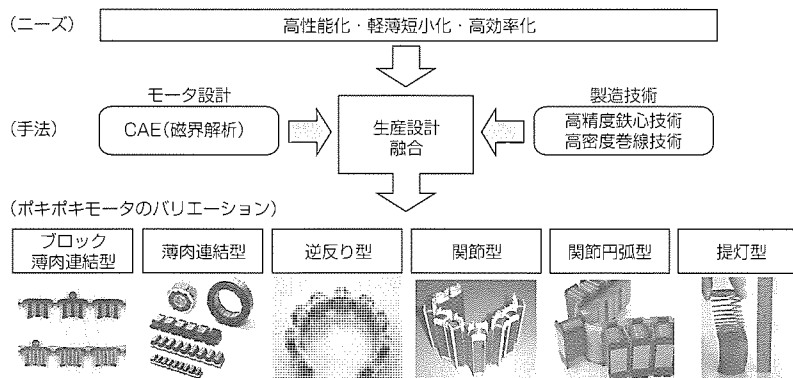


図4. 環境負荷低減に寄与する革新的な技術(1): ポキポキモータ

の創出, ②エコ・ロジスティックスへの取り組み強化, ③欧州環境規制への対応を目標に加えて推進する。

目標と実現のための施策を表2～表4へ示す。

4.2.3 ステークホルダとの共創

ステークホルダの求める公正な情報開示を徹底し, CSRの一環として社会環境レポートを発行する。

また, 環境ビジョンで描いた環境効率の高い社会環境システム形成への取り組みの一步として, 事業・業績向上を通じた環境への貢献を重点的に推進する。京都メカニズムを活用したエネルギー・ソリューション事業や欧州リサイクルシステムに代表される保守循環事業をモデルに取り上げる。

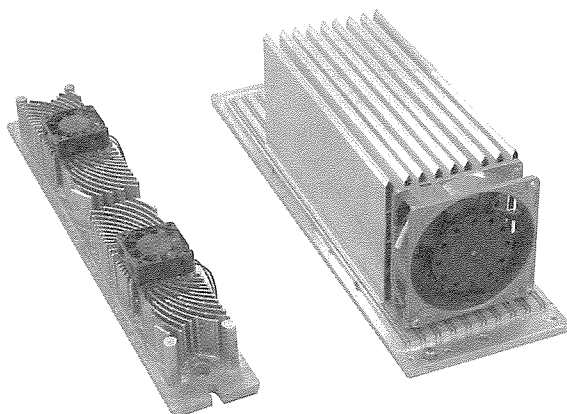
目標と実現のための施策を表5に示す。

5. 持続可能な発展を支える環境技術

環境効率の高い高度ネットワークの分野で社会に貢献していくためには, その基盤となる新たな環境技術の実用化とそれによる不連続的な変革が不可欠である。

革新的な環境技術の開発においては, 従来の要素プロセスごとの部分最適のアプローチでは大きな成果を期待できず, 一貫化・融合化又はシステム化といった視点が重要になる。

当社は, 前述のMETというキーワードを掲げて, 製品と生産プロセスの双方に対する総合的な環境技術の開発を展開してきた。一例として, 図4に示すポキポキモータ⁽⁵⁾と, 図5に示す空冷ヒートシンクのダイカスト形成⁽⁶⁾を挙



(a) 開発品 (b) 従来品

図5. 環境負荷低減に寄与する革新的な技術(2)
: 空冷ヒートシンク

げることができる。

ポキポキモータは、特殊な鉄心構造と、展開した鉄心に巻き線してから丸くする独自の製造プロセスにより実現したものであり、モータの効率向上や軽薄短小化により地球環境に対する負荷の削減に多大な貢献をしている。我が国の電力の約半分がモータによる動力への変換を通じて利用されていることを考えると、その貢献度の大きさを推定できる。

図5の空冷ヒートシンクは、フィンファンを回転方向に傾斜・湾曲させた新構造のヒートシンクであり、1.2mm厚の薄肉湾曲フィンに対して安定にアルミニウムを充填(じゅうてん)・凝固させるダイカスト技術により実現されたものである。新構造の創出により、放熱能力のブレークスルーが可能となり、産業機器の制御装置など多様な機器に対して、コンパクト化による資源の有効利用が実現されている。

この例からも分かるように、製品と生産プロセスの双方に対する総合的な環境技術の開発とこれにより創出されたエコプロダクツは、経済合理性を満たしており、強い市場競争力を持っている。生産の空洞化やグローバルな競争といった問題にも、エコプロダクツの創造と社会への提案が

極めて重要な役割を果たすことを確認する必要がある。

6. む す び

循環型社会システムの構築に環境効率の高いネットワークの分野で貢献するというビジョンに社会と経済に関する中期展望を加味して、2003年度からの3年間を対象期間とする第4次環境計画を策定した。

国連の“環境と開発に関する世界委員会”が1987年に報告した“*Our Common Future*”の緒言、“環境とは私たちの住むところであり、開発とはその中で私たちの生活をよくするよう努力することです。環境と開発は不可分です。”を再確認し、実効性のある環境マネジメントシステム構築や独創的な環境技術の開発とそれを適用したエコプロダクツの創造により、持続可能な社会の実現に向けて果敢にチャレンジしていく所存である。

参 考 文 献

- (1) Council Regulation (EEC) No.1883/93 of 29 June 1993, Allowing Voluntary Participation by Companies in the Industrial Sector in a Community, Official Journal L168, 10/07 (1993)
- (2) 高橋徹也, ほか: 環境対策の改善指標「ファクターX」の評価手法とその適用事例, エコデザイン2002ジャパンシンポジウム論文集, 54~57 (2002)
- (3) 出田吾郎, ほか: 環境に優しい無鉛はんだの開発と実用化, 三菱電機技報, 76, No.10, 639~642 (2001)
- (4) 三橋 堯, ほか: “持続可能性”から考える21世紀の環境経営と技術, 三菱電機技報, 73, No.6, 318~322 (1999)
- (5) 中原裕治, ほか: 分割鉄心による中小型モータ製造技術に関する研究 (第3報), 精密工学会誌, 67, No.3, 456~460 (2001)
- (6) 小型高性能空冷ヒートシンクのダイカスト成形技術, 三菱電機技報, 76, No.1 (2002)

三菱電機製品の環境効率指標の試算 “ファクターX”の考え方と環境対策

高橋徹也*
上野 潔**

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(M:Material, E:Energy, T:Toxicity)”の観点に基づいた独自の算出方法を採用し、当社製品に適用を行い、2001年12月にその試算値を公開した。

本稿では、DFE(Design for Environment:環境適合設計)への取り組みのベースとなる製品の環境効率指標の算出概念とその事例を紹介し、さらに、課題と今後の方向性について提案する。併せて、2003年2月に公表した第4次環境計画における製品環境対策の具体的取り組みの活動目標への展開について概要を述べる。

- 基準製品(原則として1990年の製品)との比較とする。
- 性能の改善度は今後の課題とし、今の段階では考慮しない。
- 三菱電機グループの環境保全活動の切り口である“MET”に基づき、①製品質量、②消費電力量、③環境リスク物質使用量について、基準製品を1としたときの現行製品における環境負荷を算出し、ベクトルの長さとして総合する。

製品の環境効率 = 1 / 環境負荷

ファクター = 評価製品の環境効率 / 基準製品の環境効率

- 併せて、その製品の環境負荷改善による“社会的貢献度”も算出する。

例: ルームエアコン

	M:資源の有効活用	E:エネルギーの効率利用	T:環境リスク物質排出回避
基準製品 1990年モデル MSZ2800	1	1	1
評価製品 2002年モデル MSZ-WX28J	0.96	0.48	0.54
改善内容	質量 4%削減	消費電力量 52%削減	はんだ中の鉛使用量 24%削減 オゾン層破壊物質使用量 ゼロ

$$I_{90}(\text{基準製品の環境負荷}) = \sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2} = 1.73$$

$$I_{02}(\text{評価製品の環境負荷}) = \sqrt{0.96^2 + 0.48^2 + 0.54^2} = 1.20$$

ファクター = 評価製品の環境効率 / 基準製品の環境効率

$$\begin{aligned} &= (1/I_{02}) / (1/I_{90}) \\ &= (1/1.20) / (1/1.73) \\ &= 1.44 \end{aligned}$$

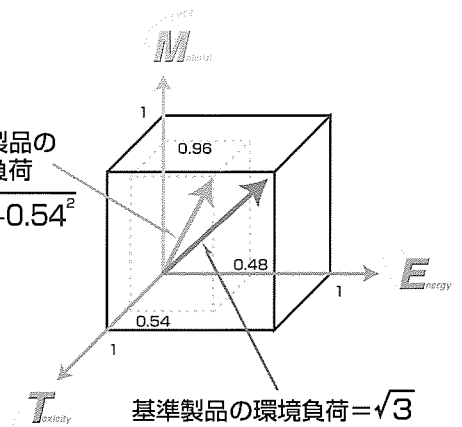
$$\sqrt{0.96^2 + 0.48^2 + 0.54^2}$$

社会的貢献度

資源削減量*1
資源 400t

消費電力削減量*2
1,874GW・h

脱環境リスク物質*3
0.8t(鉛)



*1 資源削減量=1台当たりの削減量×出荷台数

*2 消費電力削減量=1台当たりの削減量×出荷台数×評価製品の推定耐用年数

*3 脱環境リスク物質量=1台当たりの削減量×出荷台数

なお、出荷台数は1年分の値(20万台)を、推定耐用年数は経済企画庁「主要耐久消費財の買い替え状況調査」による補修用性能部品の最低保有期間(エアコンでは9年)を用いた。

当社が試算した製品の環境効率“ファクター”算出の基本的な考え(MET方式)

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るが、そこでの課題は環境効率の向上である。当社では、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”の考え方について、当社の環境活動の切り口として推進中の“MET”の観点に基づいた独自の算出方法を採用し、当社製品に適用を行い、2001年12月にその試算値を業界で初めて公開した。

本稿では、DFEへの取り組みのベースとなる製品の環境効率指標の算出概念とその事例を紹介し、さらに、課題と今後の方向性について提案する。併せて、2003年2月に公表した第4次環境計画における製品環境対策の具体的な取り組みの活動目標への展開について概要を述べる。

2. 製品の環境効率指標ファクターXとは

2.1 基本概念と特長

“ファクター”とは、持続可能な社会を実現するためには資源利用をできる限り少なくすると同時に、社会福祉、経済的付加価値及び生活の便益を向上させていくことが必要との原則に基づいて欧米で提唱された概念である。元独ブツパタール研究所所長のエルンスト・フォン・ワイツゼッカー博士が発表した“ファクター4”(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倍に増加させるべき)はその一つである。

この主張を更に発展させ、東京大学の山本良一教授らは、サービス(製品の性能)の向上度合いと資源消費量(環境負荷)の低減を両立させる“ファクターX”の考え方を提唱している。しかし、いつまでにファクターの値を幾つにすべきなのか、についてはいろいろな学説があり、定まてはいない。また、定量化手法も確立されていないが、“環境効率=(製品の性能)÷(製品の環境負荷)”の定義と上記概念から、ファクターは以下の算式から導くことができる。

ファクター=新旧製品の環境効率改善度(DEE)

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{新製品の環境効率: } EE_{\text{new}}}{\text{旧製品の環境効率: } EE_{\text{old}}} \\ &= \frac{\left(\frac{\text{新製品の性能}(P_{\text{new}})}{\text{新製品の環境負荷}(I_{\text{new}})} \right)}{\left(\frac{\text{旧製品の性能}(P_{\text{old}})}{\text{旧製品の環境負荷}(I_{\text{old}})} \right)} \\ &= \frac{\text{性能の改善度}}{\text{環境負荷の低減度}} \end{aligned}$$

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

このことから“従来よりも1/Xの環境負荷で製品の機能・サービスの質を同レベルにできたとき、環境効率がX倍になった(ファクター X)”と言うことができる。ファク

ターは、製品の環境負荷低減の“改善度”だけではなく、設計者の努力の結果である製品機能・サービスの“向上度”をも定量的・総合的に評価できることが特長であり、LCAの手法とは視点の異なるものであるが、表現が簡単なので消費者にも分かりやすいため、急速に考え方が浸透し始めている。その意味で、ファクターXは未来志向の明るい指標と言える。もちろん、例えば消費電力量を大幅削減するトレードオフとして製品の大型化(資源使用量使用増)させるなど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にもなる。

2.2 ファクターXのメリット

消費者にとっては、その製品のファクターを見ればその企業が実施した技術開発、エコデザインによる環境を配慮したものの作りの達成度が直感的に把握することが可能である。また、企業の開発技術者にとっては、自らが設計開発した製品がどれだけの配慮をして環境に対するもの作りをしたのかが客観的に把握でき、インセンティブになる。さらに、企業の経営者にとっては、環境に配慮したものの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経営課題であるが、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. ファクター算出の課題

- (1) ファクターの分子は性能向上度であるため、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を十分検証する必要がある。
- (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因子が無限大になってしまう。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り、各々の因子をいかに定量化するかが課題である。
- (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をいかに統合化することも課題である。
- (4) 手法によっては、因子ごとに重み付けを行い、統合化するケースも考えられるが、その過程で、主観を介入させてしまうだけでなく、重み付けしたことにより、結果的に統合値がパーチャルになってしまう。

4. METの改善度とベクトル合成による評価の提案

当社では、環境負荷をMETの改善度からベクトル合成による定量化と極力単純化することによる手法を考案し、ファクター値を試算した。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定量化が可能である。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ことが特長である。このため、技術が成熟した一部の家電製品群や重電製品群など飛躍的な技術革新を伴いにくい製品分野では、ファクター値だけでは評価が難しいので、これら製品群が市場で貢献する寄与度を別の尺度でも評価することとし、その製品の環境負荷改善による“社会的貢献度”も算出した。

4.1 環境効率指標ファクター算出の基本的考え

- (1) 原則として10年前の製品、すなわち90年度製品を基準製品として現行製品と比較する。
- (2) 三菱電機グループの環境保全活動の切り口であるMETに基づき、
 - 製品質量
 - 消費電力量
 - 環境リスク物質使用量

について、基準製品を1としたときの現行製品における環境負荷(a, b, c)を算出し、これをベクトルの長さとして総合する(図1)。

なお、METとは、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

- (3) 製品の性能/機能向上分については、原則として、当面評価対象から外す。
- (4) 計算式は、
 ファクター = 現行製品の環境効率(A) ÷ 基準製品の環境効率(B)で、

$$A = 1/\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$$

$$B = 1/\sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2} = 1/\sqrt{3}$$

4.2 社会的環境貢献度の算出

- (1) 条件は4.1(1)~(3)に同じ。
- (2) 貢献度項目は、METに対応し、①省資源、②省エネルギー、③環境リスク物質使用回避とする。

- (3) ①製品質量削減量、②消費電力削減量×製品寿命、③環境リスク物質削減量のそれぞれに、当該製品の直近年度の販売実績(台数)を掛け合わせて算出する。

5. 適用事例

当社での主要な製品でのファクター試算値の例を表1に示す。なお、これらを含め、他の製品での適用結果については、“三菱電機グループ環境レポート2002”で公開済みなので、参照されたい。

<http://www.MitsubishiElectric.co.jp/corporate/eco/>

6. 提案した方式の検証と今後の取り組み

6.1 製品の機能・サービス向上度の評価

今回提案した方式では、公正・透明性を確保しつつ、かつ単純明快に評価することを目的に、新旧製品における環境負荷の改善度のみの評価とした。その結果ファクターの数値は控えめになるが、これは評価すべき性能向上度分が含まれていないとの理由による。

ファクターXの定義はまだ定まっていない。したがって、分子“性能向上度”を評価に含める手法が確立されれば当然

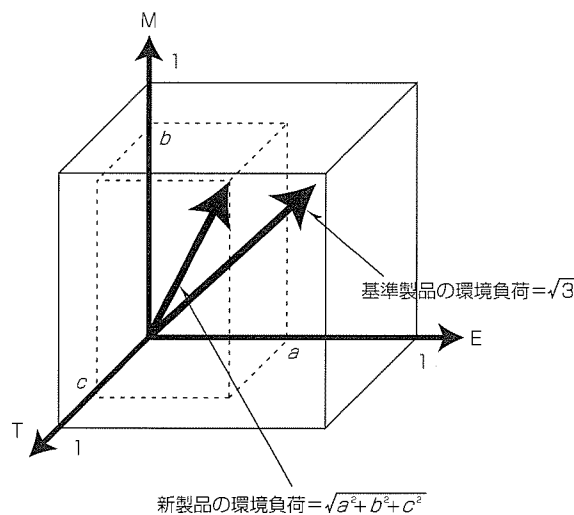


図1. ベクトル合成方式による環境負荷

表1. 当社での主要な製品でのファクター試算値

製品	比較モデル		環境負荷		ファクター	社会貢献度
	基準製品	新製品	基準製品	新製品		
エアコン	MSZ2800 (90年)	MSZ-WX28J (02年)	M	1	1.44	省資源400トン 省エネルギー1,870GW・h 鉛削減0.8トン
			E	0.48		
			T	0.54		
冷蔵庫	MR-C36H (93年)	MR-Y40B (02年)	M	1	1.54	省資源176トン 省エネルギー176GW・h 特定・指定フロン全廃70.4トン
			E	0.6		
			T	0		
全自動洗濯機	AW-80V1 (91年)	MAW-V8TP (02年)	M	1	2	省資源5,700トン、水資源削減2.3億リットル 省エネルギー90GW・h 鉛削減3トン
			E	0.37		
			T	0.51		
カラーテレビ	25C-X30 (96年)	25T-D101S (02年)	M	1	1.33	発泡スチロール削減3.16トン 省エネルギー31.6GW・h 鉛削減0.04トン、特定臭素系難燃剤削減12.3トン
			E	0.64		
			T	0.67		

ファクターの数値は大きくなる。我が国では、2002年度に“環境効率検討委員会”(事務局：(社)産業環境管理協会)が発足し、製品機能向上度、環境負荷低減度の定量化手法、ファクターの指標開発等、標準化に向けて検討を開始している。当社からも同委員会に参画し、標準化作業へ協力を行っている。これらの動きと連携し、ファクターXの普及啓発と並行して定義、算出式の検討と改善を継続したいと考えている。

6.2 環境負荷因子の定量化手法について

今回の評価方式では、METを構成する環境負荷の因子を極力単純化し、資源有効利用(M)の因子については、製品質量の削減度(Reduce)のみの観点からの評価にとどまっている。3R(Reduce, Reuse, Recycle)配慮設計の一つであるリサイクル性の向上度合いなどの設計対策を正当に評価するため、以下のM1, M2で定義する資源有効利用指標を基本因子とみなし、これらの3R設計による寄与度をMの合成値として前述の冷蔵庫、テレビについてファクターを再試算した(表2)。今後、検証を続け、分母についても精度の向上を進め適宜、算式を見直していく。

$$M1 \text{ (バージン資源使用量)} = \text{製品質量} - (\text{再生材利用質量} + \text{再利用部品質量})$$

$$M2 \text{ (再資源化不可能質量)} = \text{製品質量} - \text{再資源化可能質量}$$

6.3 製品アセスメント評価としての利用

製品アセスメントについては、新旧製品の環境対策結果を定量評価する手法として1990年代から採用されているが、当社では、製品アセスメントの評価項目の一つとして、ファクターXを採用し、活用を行っている。

6.4 第4次環境計画における製品の環境行動目標

2003年2月に発表した当社の第4次環境計画では、製品の環境対策を更に継続して推進していくこととしている。当社では、環境効率の向上と全ライフサイクルでの環境負荷を低減させる新製品群として“エコプロダクツ”及び“ハイパーエコプロダクツ”を定めて開発及び普及に努め、持続可能社会の実現へ向けて当面の目標であるファクター4へ挑戦することをスローガンに取り組むこととしている(表3)。

7. む す び

ファクターXの手法化・標準化作業は国内でも始まったばかりであるが、当社独自の考え方で試算結果を公表した。評価指標、試算方式については今後も検証を継続する。この提案が我が国の標準化に貢献するだけでなく、国際的にも影響を及ぼすことを願っている。

今般、ファクターXの思想の社内への導入に当たって、

表2. 3R視点を盛り込んだファクター値の試算

製品	従来方式のファクター	従来方式に3Rの寄与を考慮したファクター
テレビ	1.33	1.39
冷蔵庫	1.54	1.86

表3. 第4次環境計画における製品の環境行動目標

スローガン
“環境効率”の向上と全ライフサイクルでの環境負荷を低減させる“エコプロダクツ”及び“ハイパーエコプロダクツ”の開発及び普及に努め、持続可能社会の実現へ向けて当面の目標である“ファクター4”(※)へ挑戦する。
具体的目標
<ul style="list-style-type: none"> ● “環境適合設計”を適用し、2005年度末までに生産高に占める“エコプロダクツ”の比率で70%以上を目指す。 ● 2005年度末までに新機軸、革新的な技術で持続可能性を追求した“ハイパーエコプロダクツ”の創出に努める。
※経済省プロジェクト等の動向を注視し、ファクターの定義、指標、達成年度等について研究、検討し、整合させていく。
“エコプロダクツ”の定義
以下の製品を“エコプロダクツ”と定義する。
<ol style="list-style-type: none"> 1. 次のいずれかの条件を満足する「環境適合製品」 <ul style="list-style-type: none"> ①ファクターの改善度及び社会貢献度の両者を勘案した定量的基準値をクリアしている。 ②業界トップランナー製品や環境関連表彰を受賞している。 2. その製品を使用することが直接環境改善につながる「環境貢献製品」
“ハイパーエコプロダクツ”の定義
“エコプロダクツ”の中でも次のいずれかの条件を満足するものであり、社内が定める手続きにより認定されたもの。
<ol style="list-style-type: none"> 1. 新機軸又は革新的な技術を採用した持続可能性を追求した製品 2. ファクター2以上をクリアした製品 3. 環境関連表彰の中でも名誉があると判断される表彰受賞製品

ご指導と助言をいただいた東京大学 国際・産学協同研究センター長の山本良一教授には特記して感謝申し上げます。

参 考 文 献

- (1) ワイツゼッカー, ほか(佐々木建訳): ファクター4, 省エネルギーセンター (1998)
- (2) 山本良一: サステナブルカンパニー, ダイアモンド社
- (3) 上野 潔, ほか: Efforts to Improve the Eco-efficiency for Products of Mitsubishi Electric Corporation? Factor X by Using MET Indicators, 2001年エコデザイン国際会議
- (4) 高橋徹也, ほか: LCAを適用した第三世代の環境適合設計への取組, 環境管理, 38, No.5 (2002)
- (5) 高橋徹也, ほか: 環境対策の改善指標「ファクターX」の評価手法とその適用事例, エコデザイン2003ジャパンシンポジウム
- (6) 三菱電機環境レポート2002

太陽電池セル・モジュール鉛フリー化

森川浩昭*
安田順一*
宇都宮敬一郎*

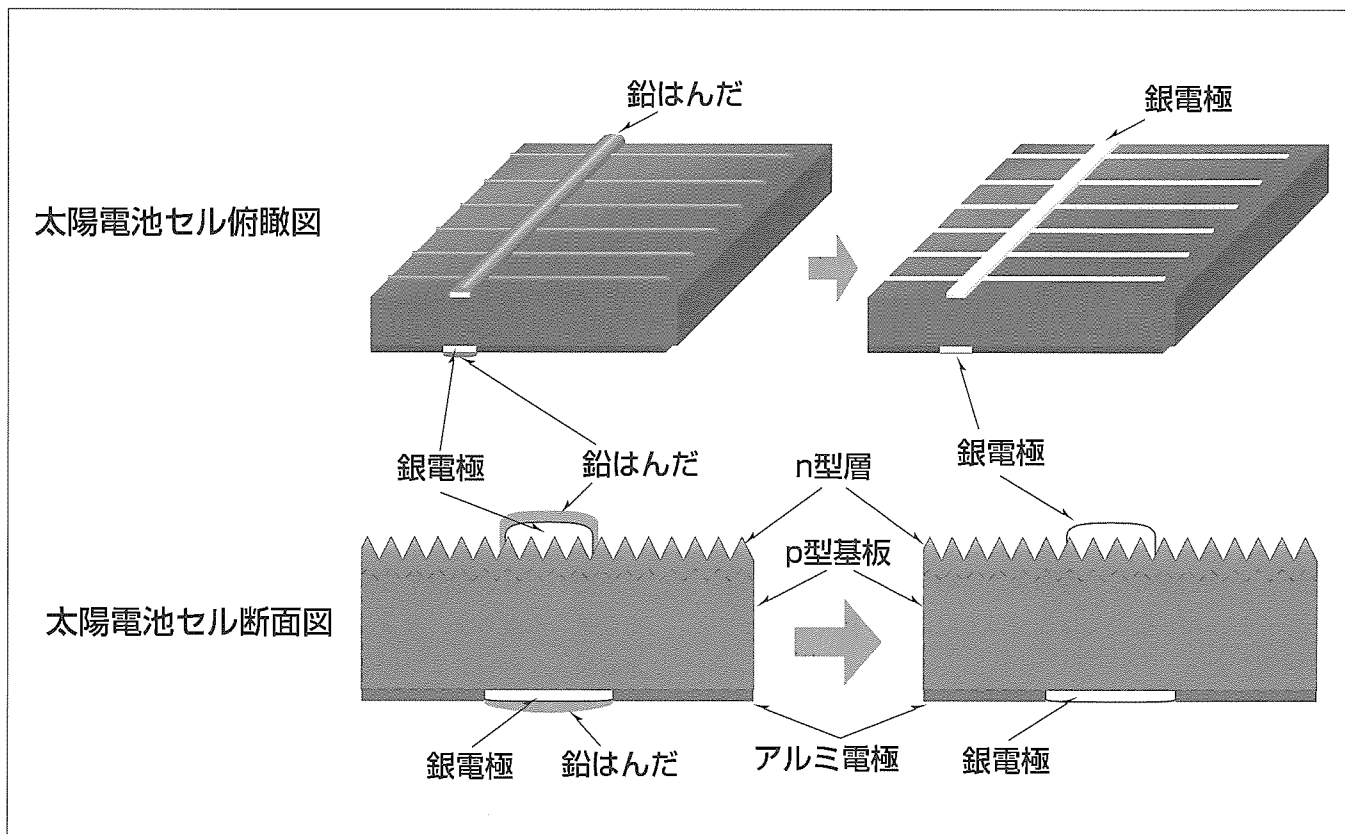
要 旨

太陽光発電システムは、発電時の環境への負荷が小さく、石油代替エネルギーとして注目され、官民を挙げての普及促進及び開発が行われている。環境への影響が最も少ないことが注目されている理由の一つであるが、太陽電池セル及びモジュールを構成する部品には、その他の電子機器と同様に鉛はんだが用いられている。とりわけ長期信頼性を得るためには、電極表面のはんだコーティングは欠かせない技術であった。近年、産業廃棄物からの鉛の溶出による環境汚染が問題となってきており、環境保全策として電子機器の鉛フリー化が官民を挙げて進められている。このような状況の中で三菱電機では、太陽電池セル及びモジュールの無鉛化に向けて数年前から取り組んできた。殊に、太

陽電池セルの電極材料の開発には3年以上にわたり取り組んでいる。

本稿では、電極材料及び太陽電池セル製造条件の最適化により実現した電極へのはんだコーティングを行わない太陽電池セル製造技術、太陽電池セルを相互接続する際に用いる材料に関して、鉛フリー化を検討した内容に関し紹介する。

これらの方法を適用した無鉛はんだ太陽電池モジュールが出力及び使用環境での耐環境長期信頼性の両面からも従来の鉛はんだを使用した太陽電池モジュールと同等であることを実証した。



太陽電池セルの電極付近の俯瞰(ふかん)図及び断面図

従来の太陽電池セルは、表裏の銀電極に鉛はんだのコーティングを行うことにより使用環境での信頼性を高めてきた。太陽電池セルにおける鉛フリー化は、銀電極へのはんだのコーティングを必要としなくとも信頼性が維持できる電極材料及び製造プロセスを開発することにより実現した。

1. ま え が き

太陽光発電は、環境への影響が小さく資源の制約が小さいため、発電に対し石油の代替エネルギーとして注目され導入が促進されている。特に日本では、国から太陽光発電設置費用に対する補助金制度及び発電した電力を電力会社が一般の電力と等価格で買い取る制度が施行されてから、急速に普及が進んでいる。日本の普及促進策と類似な施策を開始した欧州や米国でもその導入が活発化している。この背景の下に、2000年以降、日本の太陽電池の生産量は、それまで生産量が世界一であった米国を抜く規模に成長した。このように脚光を浴びている太陽光発電の主な特長は以下のとおりである。

- (1) 太陽光発電は、半導体ダイオードである太陽電池セルに照射した光を電気エネルギーに変換するもので、公害のない発電システムである。
- (2) 駆動部分がないため、保守が簡便で、自動化・無人化が可能である。この理由により、公共施設や一般家屋の屋根のみならず、分散型の発電システムとして離島や遠隔地等へ設置されている。

太陽光発電の最大の特長は上記(1)の環境負荷低減に大きく貢献できる点であるが、太陽電池を構成する材料は一般の電子材料と同様で、電極の一部や部品には鉛はんだが用いられている。このように発電の観点からは環境への負荷はほとんどないが、その寿命が尽き産業廃棄物として廃棄される際、使用されている鉛の影響が課題となっている。近年、産業廃棄物として埋立て処分された家電製品や電子部品などに使用されている鉛はんだから溶出した鉛による土壌や地下水の汚染が懸念され、従来からの鉛はんだから鉛を含まないはんだへの切り換えが急務となっている。

当社では、太陽電池モジュールの鉛フリー化に際し、以下の方法を検討した。

太陽電池モジュールは太陽電池セルが複数直列に接続された構造であり、鉛はんだは、太陽電池セルの電極表面へのはんだコーティング、太陽電池セルの相互接続に用いる電極材料表面被覆とその接続用に用いられている。鉛フリー化は、太陽電池セルの電極表面へのコーティングそのものをなくし、相互接続では無鉛はんだに切り換えることにより実現した。

本稿では、太陽電池モジュールに関して、取り組んできた太陽電池セル及びモジュールに関しての鉛フリー化について述べる。

2. 太陽電池セルの製造方法とはんだフリー化

まず、太陽電池セルに関して製造プロセスの概略を説明した後、今回開発を進めたはんだフリー化技術に関し従来技術と比較しながら述べる。

現在、住宅・産業用太陽光発電システム用に生産されている太陽電池は、多結晶及び単結晶シリコン基板が主に用いられている。コストパフォーマンスの観点から最も生産比率が高く、世界の太陽電池生産量のうち91%を占める。一般的に量産されている結晶系シリコン太陽電池の製造工程は、細部は製造メーカーによって異なるが、基本的には次の工程で製造されている。①シリコン基板洗浄と基板表面への凹凸構造の形成、②pn接合の形成、③反射防止膜形成、④電極形成及びはんだコーティング。これまで①から③に関しては文献(1)で詳細に示されており、今回は概略を示し、④に関し開発を進めた検討結果について述べる。

2.1 結晶系シリコン太陽電池の基本的な製造工程

シリコン基板は機械的にスライスしたままの状態であり、基板表面には切断時の損傷部が存在する。そこで、この損傷した部分を化学処理によりエッチング除去し、清浄なシリコン面を露出させる。

次いで、太陽電池セルの変換効率を向上させるために、基板表面に数 μm 程度の凹凸構造をアルカリ溶液等の化学処理により形成する。この凹凸構造は、基板表面での反射光を再度基板内に入射させて太陽電池セル内により多くの光を吸収させる。pn接合形成は、電気的にプラスの性質を持つp型シリコン基板に対しては、P(りん)を不純物元素として受光面となる基板表面から0.3~0.5 μm 程度の深さまで拡散し、マイナスの性質を持つn型層を形成する。

多結晶シリコン太陽電池の反射防止膜は、シラン(SiH_4)とアンモニア(NH_3)を混合したガスを真空チャンバに導入し、高周波電圧の印加によりこれらの混合ガスを分解し、窒化シリコン(SiN)膜を受光面である基板表面に700~900 \AA 程度堆積(たいせき)させるプラズマCVD(Cheical Vapor Deposition)法が用いられることが多い。

また、多結晶シリコンは、結晶中に多くの結晶欠陥が存在する。この結晶欠陥のうちセル特性に悪影響を与えるのは基板表面や結晶粒界等に存在するシリコン原子の未結合手であり、この未結合手を水素原子により終端し、本来なら電気的に活性な未結合手を不活性化し悪影響を及ぼさないようにするのが水素パッシベーションである。

上記のように形成する窒化シリコン膜形成法は、反射防止効果のみならず、放電によって生成する水素原子により水素パッシベーションの効果も持っている。

2.2 電極形成

量産に使用している電極には、一般に、金属ペーストが用いられる。金属ペーストは、スクリーン印刷法によって所望のパターンを形成できるため量産性に優れている。具体的には、受光面側は銀ペースト、裏面側はアルミペーストを用い、それぞれ印刷、乾燥・焼成することにより形成する。電極焼成後、太陽電池セルを鉛はんだ溶融槽に浸漬(しんせき)することによって、銀電極上に選択的に鉛はん

だ層をコーティングする。はんだが絶縁体及びアルミ部分に付着しない性質を利用する。銀電極をはんだ層でコーティングするのは、太陽電池の信頼性のうち、耐湿性を向上させるためである。

2.3 鉛はんだフリー銀ペーストの開発

要旨のページの断面図は太陽電池セルの電極近傍の模式図である。このうち太陽電池の耐湿性に大きく影響するのは表側の櫛(くし)形状の銀電極である。これまで、銀電極上を鉛はんだ層でコーティングすることで耐湿性を高めてきた。鉛フリー化に当たって鉛を含まないはんだ層を形成すれば、従来とほとんど工程を変えずに鉛フリー化を実現できる。しかし、鉛フリーはんだに変更する場合、はんだの融点が40℃程度高く、はんだ層コーティング時のはんだ槽の温度を高める必要があった。

一方、銀ははんだ溶液中に溶出するので、銀電極からの銀の溶出を防止するために、はんだの中に数パーセントの銀を含有させる必要があり、温度の高温化とともにその含有量を増加させなければならない。また、高融点のはんだへ浸漬するので、これまで以上に耐熱衝撃性が要求される。さらに、はんだ槽への浸漬工程及びはんだ層が形成されることによる不良セル発生は、全工程の1/3以上を占めていた。また、鉛を含まないはんだを適用する場合、以上の問題点に加え、はんだ槽の高温化に伴う投入エネルギー量の増加が挙げられる。

このような観点から、はんだ層を形成することにより耐湿性を高めることよりも、銀電極そのものの耐湿性を高める方法を選択した。

銀電極を形成する銀ペーストは、銀粉末、シリコン基板への付着を保持するためのガラス粉末、及びこれらの材料をペースト化するための有機溶剤から構成される。これらの材料の中で最も耐湿性に影響を与えるのがガラス粉末である。電極焼成のピーク温度は700~900℃程度であるが、ガラスは、400℃程度から熔融し、焼成中にシリコンを侵食する性質を持っている。前述のように受光面表面に形成したn型層は0.3~0.5μm程度と薄いため、このガラスによるn型層への侵食が大きすぎると、pn接合が破壊されダイオードとしての整流特性が悪化し太陽電池の特性低下を招く。

図1は、ガラス粉末の侵食量を変えた場合の太陽電池の変換効率との関係を調べたものである。ガラスの侵食量の変化はガラスの組成を変えることにより調整したもので、電極形成条件は同一である。図から、ガラスのシリコン基板への侵食が1,000 Åを超えると変換効率が大きく低下することが分かる。一方、耐湿性はシリコン基板へのガラスの侵食量が大きいくほど高くなる。

図2は、図1で変換効率を比較したものと同一条件で製造した太陽電池を耐湿性の加速試験により評価したもので、

初期特性に対する変化の時間依存性を示す。最も劣化が早いものは従来の銀ペーストではんだコーティングなしのもので、シリコンへの侵食量が大きくなるほど耐湿性が高まることを確認した。

このように銀電極だけで耐湿性を維持しようとする、pn接合へのダメージによる変換効率の低下を招く。このため、変換効率の低下を生じない範囲で耐湿性が最も高くなるような銀ペーストを見いだすために各種のガラス及び様々な形状・粒形の銀粉末を組み合わせ、以上の目的を実現するペーストを開発した。

一方、銀ペーストの成分構成をある程度決定した後、pn接合のn型層の厚さや電極の焼成条件に関しても最適化を図った。また、n型層を厚くすれば銀ペーストではシリコン基板への侵食量の大きなガラスを選択できるが、逆に、厚いn型層は変換効率の低下を招く。また、これまでの実験結果から、ガラスのシリコン基板への侵食量は電極の焼成温度にも大きく依存することが分かっている。この場合、焼成温度が高くなるほどシリコン基板へのガラスの侵食量は大きくなる。また、焼成温度は前に述べた水素パッシベーションの状態にも影響を与え、電極の基板への最低限の付着力が確保できる範囲では温度が低いほど変換効率は高

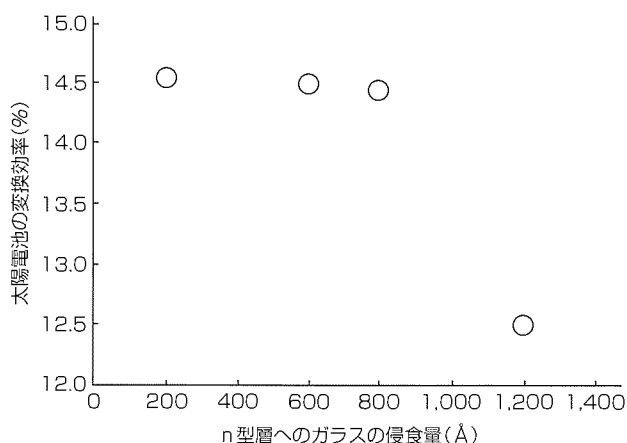


図1. n型層へのガラスの侵食量と太陽電池セルの変換効率

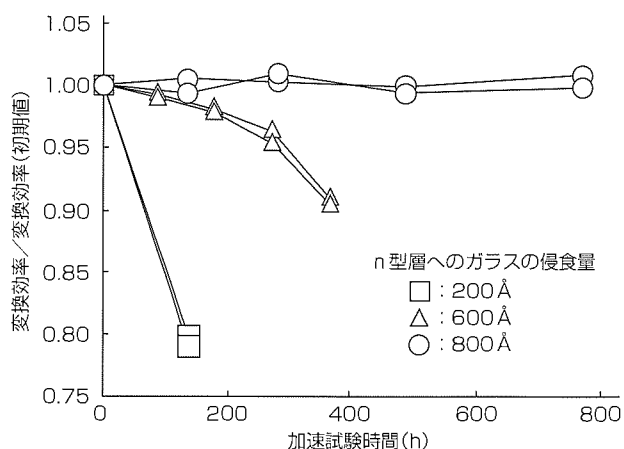


図2. n型層へのガラスの侵食量が異なる太陽電池セルの耐湿性

くなる。

以上、銀ペースト、n型層及び電極形成条件に関して各工程の制約の範囲で最適化を図ることにより、これまでの銀電極と同等な変換効率を維持しながら、かつ耐湿性は図2に示すように従来の銀ペーストよりも数倍の特性を示す太陽電池セルの作製条件を見いだした。

3. モジュールにおける鉛フリー化

屋外に設置する際には、これまで述べてきた太陽電池セルを複数枚直列に接続し、ガラスや樹脂で封止し、長期間風雨に曝(さら)されても信頼性が維持できる太陽電池モジュールにする必要がある。モジュール化の際に太陽電池セルを相互に接続する必要があり、その接続には、一般的には銅箔(はく)を鉛はんだで覆ったタブ線が用いられてきた。そこで、鉛フリー化に当たりSn-Cu(すず-銅)系はんだにより被覆したタブを採用した。これに伴い、はんだの融点が高くなることから、太陽電池セルとのはんだ付けの条件の最適化も行った。

これに加えて、モジュールを構成する材質に関しても、太陽電池セルの耐湿性を高める観点から、透明封止材料及びモジュール裏面を構成する耐湿フィルムをこれまでよりも耐湿性の高い材料に切り換えその製造条件を検討した。

4. 鉛フリー仕様モジュールの信頼性

太陽電池モジュールでは、各種の使用環境状態での環境試験方法及び耐久試験方法がJIS C 8917に定められている。この中で、表1に示すように、高温高湿の環境での適性を調べる方法として耐湿性試験が、また、環境での急速な温度変化を受けた場合の適性を調べる方法として温度サイクル試験が定められている。これまで、太陽電池セル製造工程に関しては耐湿性の改善に重点を置いてきたこと、また、モジュール工程に関してははんだ付け条件の見直しについて説明した。殊に前者は耐湿性に、後者は温度サイクルに影響する。図3、図4はそれぞれ、耐湿性試験、温度サイクル試験の経過を示したものである。いずれも試験はJISに定められた時間(1,000時間)及びサイクル数(200サイクル)の2倍経過しているが、劣化はJISに定められた値より小さく、これまでの鉛はんだを用いたモジュールと同等である。以上の結果から、鉛フリー仕様モジュールは耐環境性に関して十分な性能を持っていることが明らかとなった。

5. むすび

以上のように、太陽電池モジュールの鉛フリー化は、太陽電池セルの銀電極からモジュール材料まで、構成する材料のほとんどの見直しをすることにより実現した。その結果、得られた成果は以下のとおりである。

- (1) 耐湿性に優れた電極にはんだをコーティングしない太

表1. 結晶系太陽電池モジュールの環境試験方法及び耐久試験方法 (JIS C 8917の一部)

試験名称	試験内容
耐湿性試験	温度 $85 \pm 2^\circ\text{C}$, 相対湿度 $90 \sim 93 \pm 5\% \text{RH}$, 試験時間 $1,000 \pm 12$ 時間。
温度サイクル試験	高温側 $90 \pm 2^\circ\text{C}$ 及び低温側 $-40 \pm 3^\circ\text{C}$ に10分間保持。1サイクルは、最大毎時 87°C で温度を変化させ、6時間以内に行う。試験サイクル数は200回。
判定条件	モジュール出力等の電気的特性が、試験前の値の95%以上であること。

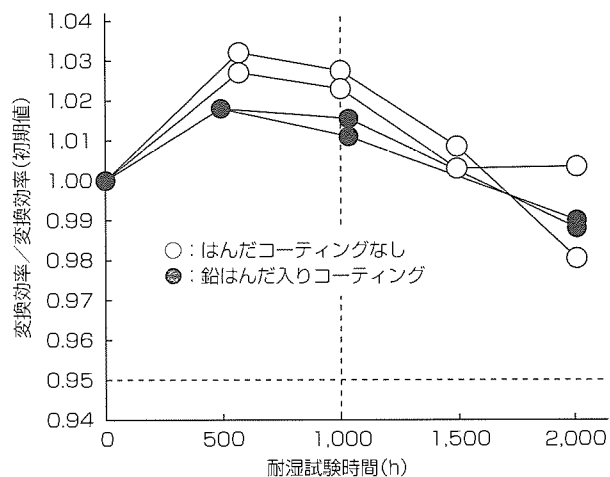


図3. モジュールの耐湿試験経過

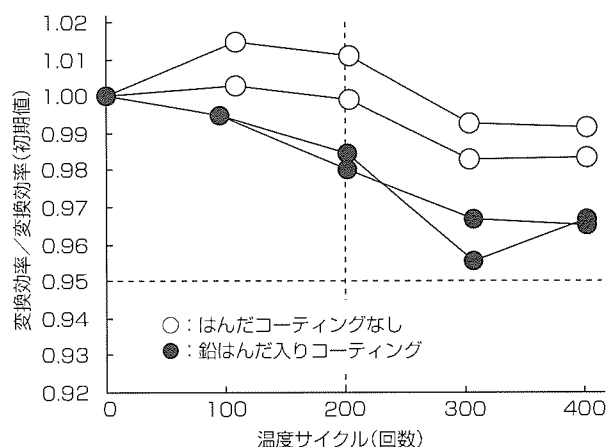


図4. モジュールの温度サイクル試験経過

陽電池セルを開発した。

- (2) モジュール工程の鉛フリー化は、無鉛はんだに切り換えることにより実現した。
- (3) 製造面では、はんだ浸漬工程をなくし、5%の省エネルギー化を実現した。

当社の太陽電池システムは、高効率のパワーコンディショナと合わせ、業界随一のシステム出力を得ている。今後は、まず、パワーコンディショナの鉛フリー化を実現するとともに、更に環境負荷低減を図った太陽電池システムの開発を推進していく予定である。

参考文献

- (1) 有本 智：多結晶シリコン太陽電池の製造方法の改善と高効率化，三菱電機技報，75，No.5，343～345 (2001)

電球形蛍光ランプ“ルピカボールミニ”

山崎広義* 浅見俊一*
 浜口岳久**
 此本高裕*

要 旨

省エネルギー、地球環境保護の観点から、照明分野では、効率の低い白熱電球から効率の高い電球形蛍光ランプへの転換が要請されている。

電球形蛍光ランプは、その発光原理が蛍光放電ランプと同様であり効率が高いため、白熱電球を使用した照明器具に装着することで省エネルギーを実現できる。

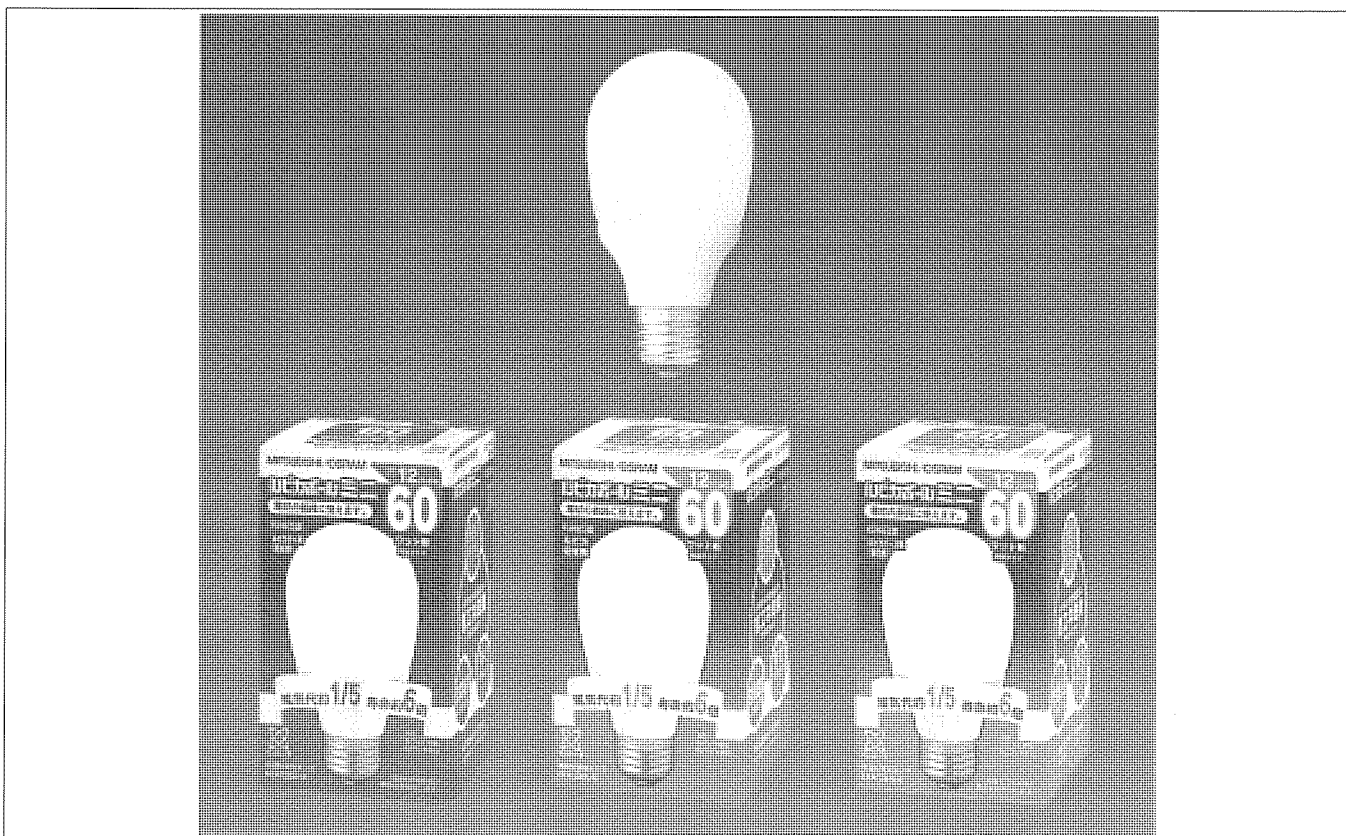
しかし、多種類のこれら照明器具に装着可能にする上では、電球形蛍光ランプの形状を一層小型化し白熱電球の大きさに近づけることが必要であった。

この要望にこたえるため、電球形蛍光ランプを構成する発光管、点灯装置はもとより、外管グローブと樹脂製ハウジングを小型化した。

60ワット形電球タイプと40ワット形電球タイプには4本のU字細形発光管を接合して使用し、さらに、損失を低減した小型な点灯装置とを組み合わせ全長を短くすることができた。

小型化により照明器具への適合率が高まり、さらに密閉型器具への使用も可能にすることで一層使用しやすくなった。

この技術は電球形蛍光ランプ“ルピカボールシリーズ”のルピカボールミニで実用化した。今後他の機種にも技術展開していく予定であり、普及の進展とともに省エネルギー、地球環境保護に寄与できるものである。



電球形蛍光ランプ ルピカボールシリーズ“ルピカボールミニ”

全長114mmのコンパクトな形状を実現し、E26口金の白熱電球照明器具への装着性を向上した。白熱電球（JIS PS形電球60W、40W）に比べ消費電力と発熱量が約1/5、寿命が約6倍であり、省エネルギーに貢献する。

1. ま え が き

近年、電球形蛍光ランプは、白熱電球に代わる手軽な省エネルギー光源として、蛍光ランプ機種群の中では最も高い伸長を維持している。

今回、一般照明用電球の代替を目的として、管径10mmの発光管の採用と回路方式の変更により電子回路の小型化、回路収納ケース等の小型化を図り、また、器具装着率を向上させる構造設計により、より電球に近い電球形蛍光ランプを開発した。

2001年発売のルピカボールミニは、一般電球に比べて、長寿命(約6倍)・省エネルギー(消費電力約1/5)であり、電球に近い形状で40, 60ワットタイプを取りそろえたラインアップで普及している。

今後も、省エネルギーへのニーズの高まりなどを背景に需要の増加が見込まれる。

2. 電球形蛍光ランプの構造

電球の代替商品として使用される電球形蛍光ランプは、形状を限りなく電球に近づけることが望ましい。

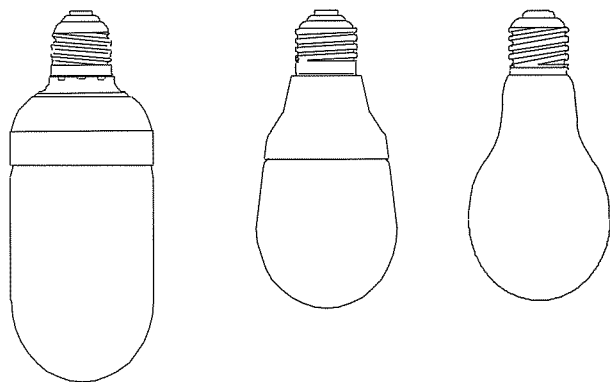
そこで、今回開発したルピカボールミニは、電球の寸法に近づけるため全長を従来品(EFT14)135mmから114mmとし、形状を電球形状に近づけるためPS形(Pear Sharp)で60W, 40W電球の明るさを得ることを設計の基本として、発光管、点灯回路、及び機構の設計を行った(図1)。

3. 発 光 管

3.1 発光管の設計

蛍光ランプは、一般的に放電長が長いほど効率が高くなる。このため、コンパクトで高効率な電球形蛍光ランプを設計するには、狭い空間に放電長の長い蛍光ランプ(発光管)を取りめる必要がある。つまり、発光管形状のコンパクト設計がポイントになる。

そこで、ルピカボールミニに採用した発光管は、U形状



(a) 従来品(ルピカボールE) 形名(EFT14) (b) 開発品(ルピカボールミニ) 形名(EFA12) (c) 白熱電球

図1. 外形比較

に加工した管径約10mmの4本のバルブをブリッジ接続したスクエア配置形とした。これにより、発光管全長は、従来の約20%削減、発光管体積比にして従来タイプの約40%削減となった(図2)。

3.2 立ち上がり特性改善

蛍光ランプの発光効率は、蛍光体を励起する254nmの紫外放射発生効率で決定される。254nmの紫外放射発生効率は、発光管の管壁最零点温度が約40℃のとき、水銀蒸気圧が0.8Paとなって、最も効率良く発光する。

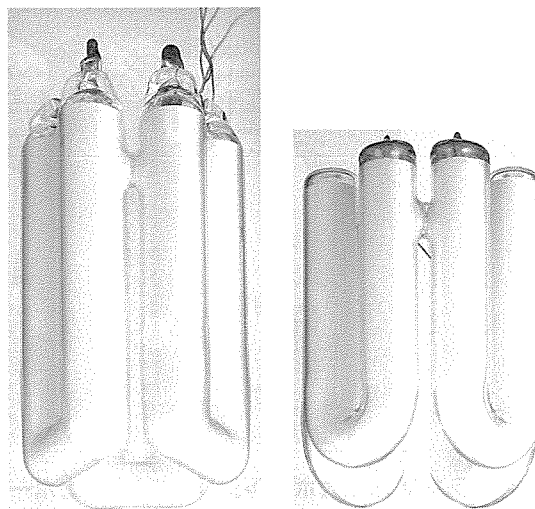
しかし、ルピカボールミニは、コンパクト設計の上、発光管と点灯回路を外管グローブ及びハウジング内に収納しているために、熱がこもりやすく、発光管の管壁温度は100℃以上となり、水銀蒸気圧が著しく上昇して、発光効率は大きく低下する。これを防止するために、水銀との合金であるアマルガムを発光管内部の管端部に封入して、高温においても最適水銀蒸気圧0.8Paが得られるように設計した。

しかし、アマルガムを封入した発光管は、消灯時、水銀がアマルガムに集中するために、点灯初期の水銀の拡散が遅く、光束立ち上がりは悪くなる。

そこで、光束立ち上がりの改善が必要となるが、このためには、点灯初期の発光管内での水銀拡散性を良くする必要がある。そこで、アマルガム配置の最適設計について検討を行った。その結果、主アマルガムを2か所、補助アマルガムを3か所配置する5アマルガム方式を採用することにより(図3)、点灯3秒後において、定常状態時光束比は、従来の約2倍に相当する40%の光束を得ることができた(図4)。

4. 点 灯 回 路

4.1 点灯回路の構成



(a) 従来品(ルピカボールE) 形名(EFT14) (b) 開発品(ルピカボールミニ) 形名(EFA12)

図2. 発光管構造

従来品の点灯回路は、カレントトランスを用いて負荷電流を帰還し、ハーフブリッジインバータを自励駆動する方式であった。また、最近は、負荷回路に発生する電圧を帰還し、コンプリメンタリ接続のハーフブリッジインバータを自励駆動するものが一般的となってきた。

しかしながら、従来品の方式では部品点数が多く小型化が困難であり、コンプリメンタリ型のものにおいては、負荷回路に発生する急峻(しゅん)な電圧変化の影響によるゼロクロスひずみを除去しないと大きなロスとなってしまう。

図5は、開発品の点灯回路のブロック図である。コンプリメンタリ接続のハーフブリッジインバータにおいて、チョークコイルL1に発生する電圧を二次巻線と中間タップとから帰還する方式を採用した。そして、帰還された電圧

をL2とC1との共振回路で増幅し、ゲート電圧として印加する構成とした。

L1に発生する電圧は、図に示すように、正弦波と極性反転時のステップ的な変化からなる。この電圧に対し、ソースゲート間電圧には増幅された正弦波成分が印加され、極性反転時のステップ的な変化は二次巻線と中間タップとの電位差により相殺されることになる。これにより、極性反転時のステップ的な電圧変化がゲート波形に影響を与えない構成となっている。

4.2 高効率化

図6にこの点灯回路の各部波形を、図7に一般的な点灯回路(L1の二次巻線からのみ電圧を帰還した場合)の各部波形を示す。

図7においては、極性反転時に、L1に発生するステップ的な電圧変化の影響により、デッドタイム中にゼロクロスひずみが発生してしまう。

図6においては、確実にデッドタイムを確保できるので、ハーフブリッジを構成するMOSFET(Metal Oxided Semiconductor Field Effect Transistor)の自己発熱による温度上昇を、図7の場合に対して3分の2に抑えることができる。

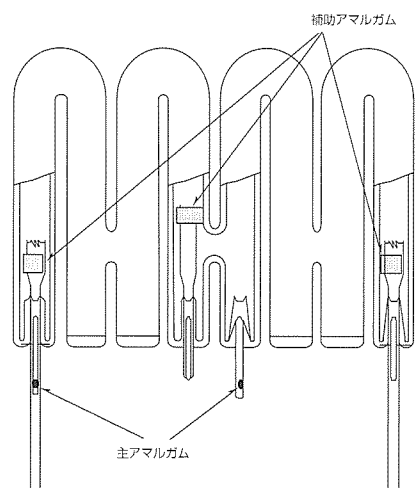


図3. 発光管の展開図

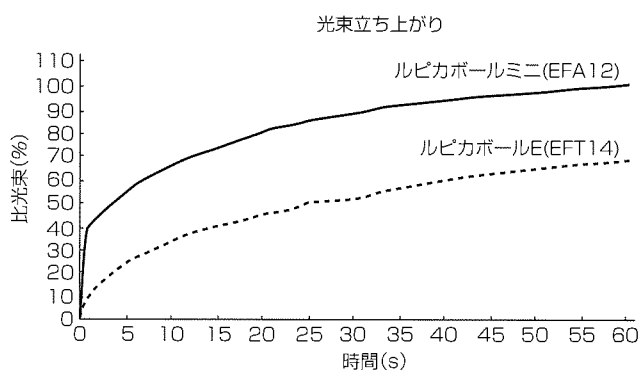


図4. 立ち上がり特性

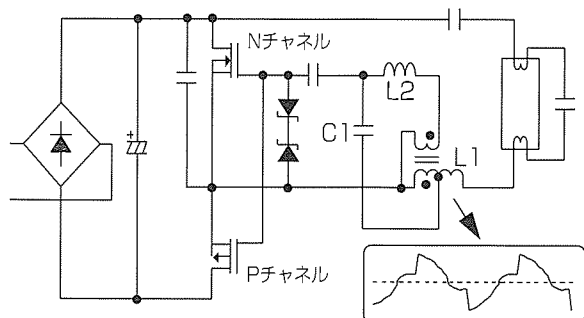


図5. 点灯回路ブロック図

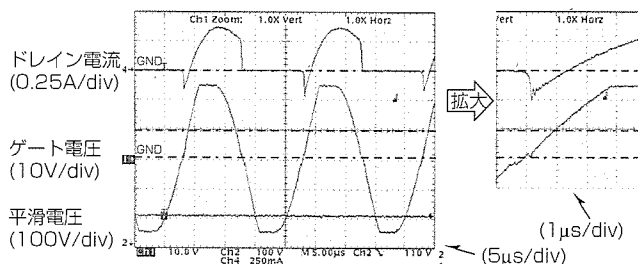


図6. 動作波形図(開発品)

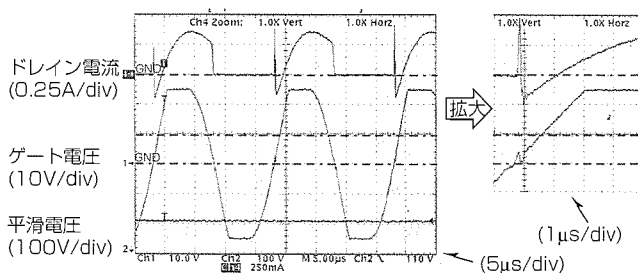
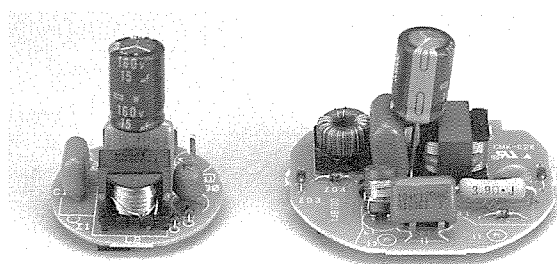


図7. 動作波形図(従来品)



(a) 開発品 (b) 従来品

図8. 点灯回路基板

表1. ルピカボール商品ラインアップ

形状	形名	光色	寸法(mm)		質量(g)	口金	定格電圧(V)	定格電力(W)	定格電流(A)	周波数(Hz)	全光束(lm)	定格寿命(h)	備考
			長さ	最大幅									
A形	EFA8EL・K	ルピカ電球色	114	60	100	E26	100	8	0.15	50/60	485	6,000	
	EFA8EN・K	ルピカエース	114	60	100	E26	100	8	0.15	50/60	465	6,000	
	EFA8ED・K	ルピカディ	114	60	100	E26	100	8	0.15	50/60	440	6,000	
	EFA12EL・K	ルピカ電球色	114	60	100	E26	100	12	0.22	50/60	810	6,000	
	EFA12EN・K	ルピカエース	114	60	100	E26	100	12	0.22	50/60	780	6,000	
	EFA12ED・K	ルピカディ	114	60	100	E26	100	12	0.22	50/60	730	6,000	
	EFA22EL	ルピカ電球色	136	65	150	E26	100	22	0.37	50/60	1,520	6,000	03春発売
	EFA22EN	ルピカエース	136	65	150	E26	100	22	0.37	50/60	1,460	6,000	03春発売
	EFA22ED	ルピカディ	136	65	150	E26	100	22	0.37	50/60	1,370	6,000	03春発売
G形	EFG8EL	ルピカ電球色	130	90	135	E26	100	8	0.15	50/60	485	6,000	
	EFG8ED	ルピカディ	130	90	135	E26	100	8	0.15	50/60	440	6,000	
	EFG12EL	ルピカ電球色	130	90	135	E26	100	12	0.22	50/60	810	6,000	
	EFG12EN	ルピカエース	130	90	135	E26	100	12	0.22	50/60	780	6,000	
	EFG12ED	ルピカディ	130	90	135	E26	100	12	0.22	50/60	730	6,000	
	EFG12EDG	ルピカディ	130	90	135	E26	100	12	0.22	50/60	750	6,000	
	EFG22EL	ルピカ電球色	135	95	180	E26	100	22	0.37	50/60	1,370	6,000	03春発売
	EFG22EN	ルピカエース	135	95	180	E26	100	22	0.37	50/60	1,320	6,000	03春発売
	EG22ED	ルピカディ	135	95	180	E26	100	22	0.37	50/60	1,230	6,000	03春発売
D形	EFD12EL	ルピカ電球色	120	44.5	90	E26	100	12	0.22	50/60	810	8,000	
	EFD12EN	ルピカエース	120	44.5	90	E26	100	12	0.22	50/60	780	8,000	
	EFD12ED	ルピカディ	120	44.5	90	E26	100	12	0.22	50/60	730	8,000	
	EFD21EL	ルピカ電球色	138	44.5	110	E26	100	21	0.39	50/60	1,440	8,000	
	EFD21EN	ルピカエース	138	44.5	110	E26	100	21	0.39	50/60	1,390	8,000	
	EFD21ED	ルピカディ	138	44.5	110	E26	100	21	0.39	50/60	1,300	8,000	

4.3 小型化

図8は、開発品と従来品の回路基板の外観である。開発回路の基板サイズは、31.7mm径、799mm²であり、従来回路の50mm径、1,770mm²に対して約半分となるものである。

また、開発回路の部品点数は、ディスクリート部品16個、チップ部品10個、合計26個であり、従来回路の、同25個、5個、30個から部品点数を削減し、ディスクリート部品とチップ部品の割合を適正化し、小型化した。

5. むすび

電球形蛍光ランプ“ルピカボールミニ”は、構成要素部品の開発とその最適な組み合わせにより小型化と明るさの立ち上がり改善を実現した。

さらに、電球色以外に昼白色(ルピカエース)、昼光色(ルピカディ)を製品化したことで白熱電球とは異なる雰囲気

気を作り出せる。

このように新規の照明器具だけでなく既設の照明器具への装着促進により、電球形蛍光ランプは2002年度で約1,500万個の国内需要が見込まれる。

表1にルピカボールの商品群を示す。

今後更に性能向上を図ることで電球形蛍光ランプの一層の普及を図り、主に省エネルギーの面から地球環境保護に貢献したい。

参考文献

- (1) 此本高裕, ほか: 電球形蛍光ランプ小形化の検討, 平成13年度照明学会東京支部大会予稿 (2001)
- (2) 浜口岳久, ほか: 電球形蛍光灯用インバータの低損失化, 平成14年度照明学会全国大会予稿 (2002)

循環型社会に向けた環境統合情報システム

境 国昭* 内藤知子**
 関 昌弘* 川原 明***
 福田孝司*

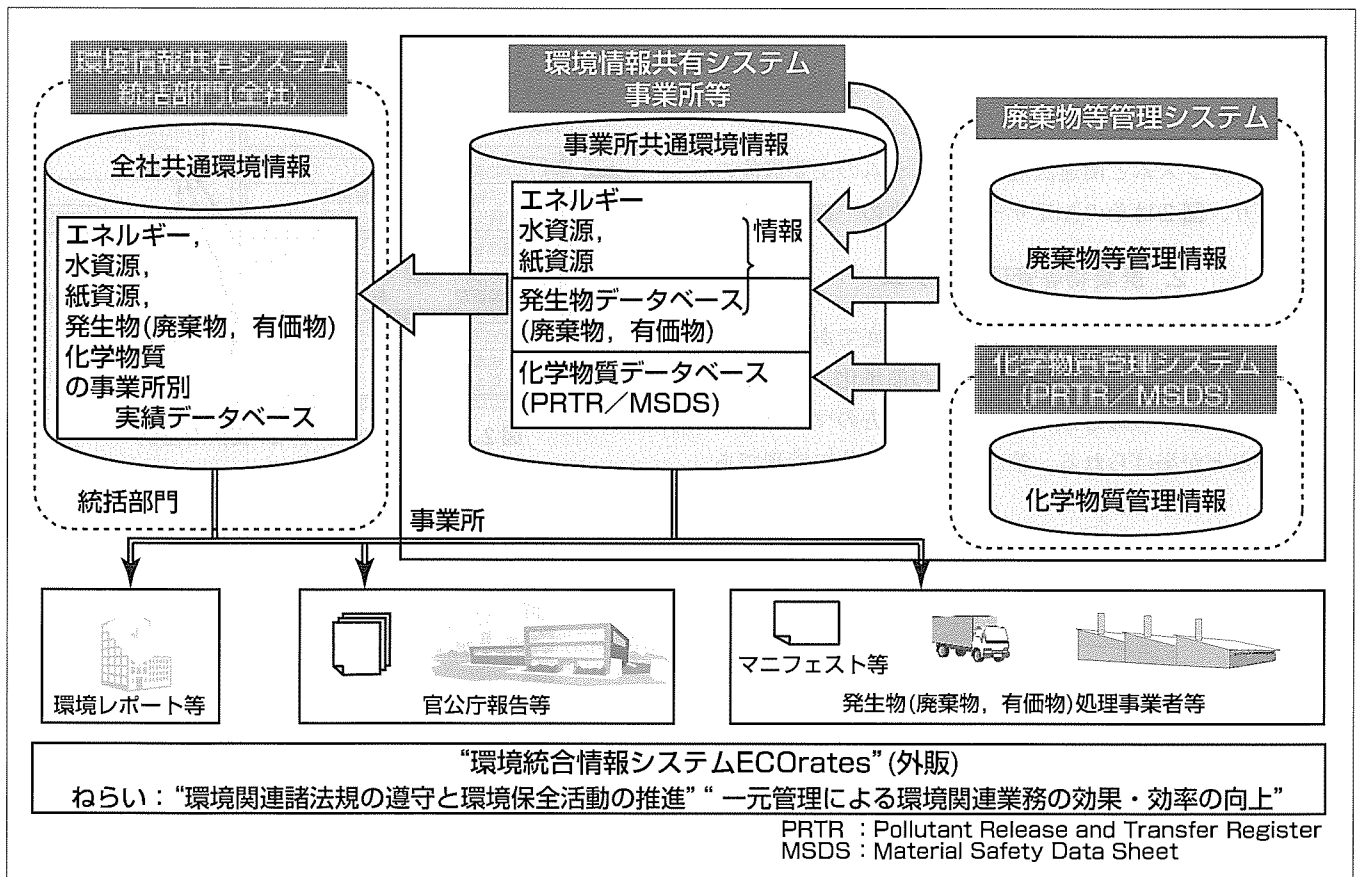
要 旨

現在、我が国では、産業廃棄物の不法投棄防止や環境汚染防止など“環境リスクの予防と保全”を目的とする法規制強化が図られている。また、地球温暖化の防止や最終処分地の逼迫(ひっばく)対策として“循環型社会形成の推進”が提唱され、資源・エネルギー消費の削減、再利用の推進、廃棄物の削減などの積極的な取り組みが展開されている。

三菱電機では、“環境統合情報システム(ECOrates)”を構築し、三菱電機グループに展開している。三菱電機情報ネットワーク株(MIND)は、その構築に参画し、システム運営を担当している。この実績を背景に、MINDでは、2000年10月から一般の企業を対象とする環境情報のASP(Application Service Provider)サービスやシステム販売

を開始し、現在、積極的にその拡販活動を展開している。一般企業向け事業では、会社規模、事業所数、廃棄物種別、排出量などは多種多様である。また、ユーザーは廃棄物排出者が基本であるが、廃棄物の収集・運搬・処理業者も対象であり、処理業務改善への対応強化も重要である。

このシステムは、工場の全発生物と排出物を適正に処理するための“廃棄物等管理システム”，工場内で発生する環境影響物質を管理するための“化学物質管理システム”，エネルギーや資源を管理するための“環境情報共有システム”などのサブシステムで構成され、環境諸法規の遵守、環境情報管理の充実、環境関連業務の改善を図っている。以下では、ユーザー要求の視点からシステムの概要を紹介する。



環境統合情報システムECOratesは廃棄物等管理システム、化学物質管理システム、環境情報共有システムのサブシステムで構成され、主要環境情報を統合的に扱える。ねらいは遵法の徹底、再利用の促進、環境業務の改善であり、対象とするユーザーは排出事業者と処理事業者の双方である。

1. ま え が き

最近の環境保護に対する社会の意識はますます高まりを見せ、特に環境に関する法規制は増強の一途をたどり、企業活動における環境取り組みの重要性は増大する一方である。

現在、多くの企業が環境に対して積極的な取り組みを展開しているが、その対象は、産業廃棄物の排出量削減と適正処理、省資源や再利用の活性化、省エネルギー、環境影響物質の排出防止など多岐にわたっている。それらの取り組みを成功に導くためには、大量の環境情報の収集と確実な管理、高度な情報分析、改善のための高度な技術力などが不可欠である。それに伴い、環境関連業務は増大化・多様化・高度化・煩雑化し、環境の専門家や専任の担当者などが求められている。

これらの急増する要求すべてを充たすのは困難であり、当社はECOratesを提供することにより顧客を強力に支援している。

このシステム提案の主目的は以下の2項である。

- (1) 環境関連諸法規の遵守と環境保全活動の推進
- (2) 一元管理による環境関連業務の効果・効率の向上

図1はECOratesの構成であり、廃棄物等管理システム、化学物質管理システム、環境情報共有システムなどのサブシステムで構成されている。

表1はサブシステムと関連法規及びシステムの主要機能の関係であり、図2はそのASPサービス提供の一例である。

2. 廃棄物等管理システム

このシステムのねらいの第一は遵法の徹底である。第二はユーザーの利便性向上であり、入力の手軽化、業者情報や業者向け機能への対応強化、紙・電子両方の manifests の併用などが挙げられる。第三は発生物全体の管理であ

り、廃棄物と再利用物の両方の管理ができる点である。そのほかにも、化学物質管理システムや環境共有システムとの連動、報告書作成支援機能などの特長も保有している。図3はmanifestの一例であり、図4は紙manifestの流れ、図5は電子manifestの流れである。また、図

表1. サブシステムと関連法規及び主要機能の関係

サブシステム	関連法規	主要機能
廃棄物等管理システム	(改正)廃棄物処理法 (改正)リサイクル法	事業所内の全発生物(廃棄物とリサイクル)の把握と事業所内外での廃棄物処理の管理 ● manifest(紙, 電子)発行業務支援 ● 廃棄物処理日程管理 ● 処理データ(manifest伝票等)管理 ● 適正業者選定 ● 自治体等への報告作成支援
化学物質管理システム	化学物質排出移動管理促進法	事業所内の化学物質の排出・移動量の管理 ● 物質安全データシート(MSDS) ● 含有成分データ管理 ● 化学物質関連法規管理 ● 化学物質の購入量, 移動量, 使用量, 排出量の管理 ● 自治体等への報告作成支援
環境情報共有システム	(改正)省エネルギー法	資源・エネルギーの使用量の管理 ● 各メータ単位の管理と集計による総量把握

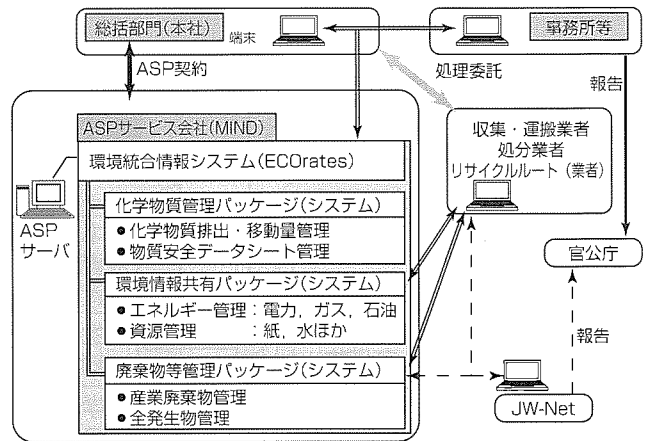


図2. 環境システムのASP提供形態例

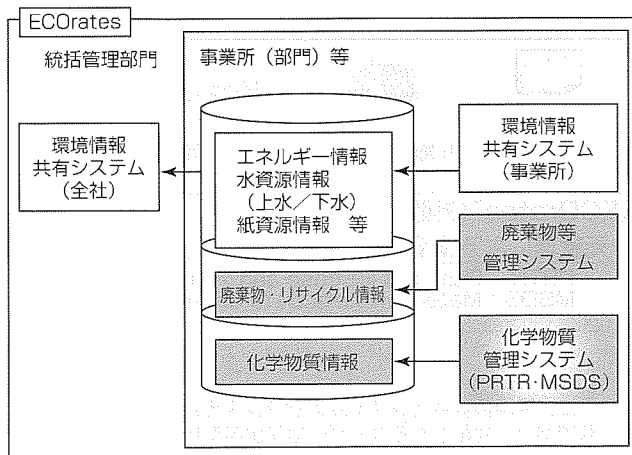


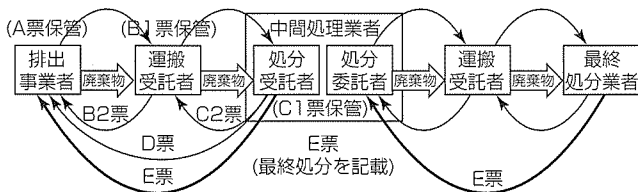
図1. 環境統合情報システム“ECOrates”の構成(外販)

図3. 産業廃棄物管理票(manifest)例

6は廃棄物等管理システムの概要である。

2.1 違法徹底への工夫(廃棄物処理状況管理の徹底)

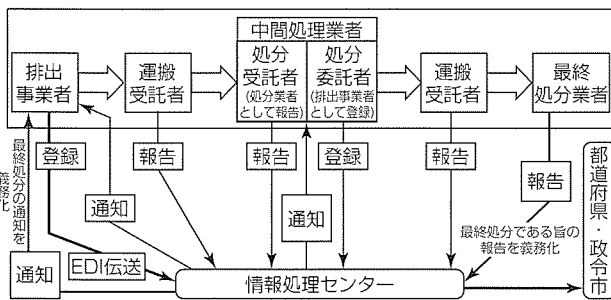
産業廃棄物処理は「(改正)廃棄物処理法」により排出者責任の強化が図られている。排出事業者は、マニフェストで廃棄物の種類を明示し、廃棄物の収集運搬業者・処理業者・処理ルート、最終処分地などを特定して明示することが義務付けられている。もちろんその確認も義務であり、排出事業者は各業者から返却されるマニフェスト伝票で処理の進捗(しんちやく)状況を確認している。同法では処理期間も義務付けしているため、排出事業者はその期限も含めて管理しているが、法定期限は60日~180日と長いので、その期間に発生する多数の産業廃棄物を常にフォローするのは困難である。しかし、このシステムでは、処理期限経過警告画面から入るように設定することにより“法遵守の徹底”を図っている。



- A票：排出事業者控
- B1票：運搬業者控 B2票：運搬終了→排出事業者へ
- C1票：処分業者保存 C2票：処分業者→運搬業者
- D票：処分終了→排出事業者
- E票：中間処理業者/最終処分業者→排出事業者/中間処理業者

出典：(財)日本産業廃棄物処理振興センター情報処理センター発行「改定電子マニフェストシステム説明会資料」より

図4. 産業廃棄物と紙マニフェストの流れ



出典：(財)日本産業廃棄物処理振興センター情報処理センター発行「改定電子マニフェストシステム説明会資料」

図5. 産業廃棄物と電子マニフェストの流れ

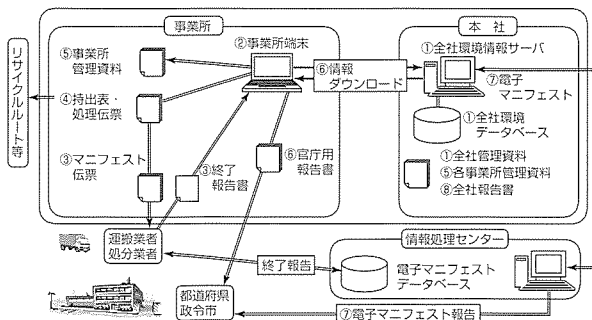


図6. 廃棄物等管理システムの概要

システムを立ち上げると、まず返却マニフェストの未回収警告一覧が表示されるので、自動的にマニフェスト期限の確認ができる。また、法定期限以外の管理日程もユーザーが任意で設定できるので、ユーザーの実態に合った管理・運用を可能にしている。さらに、警告されているマニフェストの整理番号を選択(クリック)すると該当マニフェストの詳細が表示され、運搬受託者や処分受託者をクリックするとそれら業者の連絡先などの情報が参照できる。その情報により該当業者への督促や次工程の業者への対応依頼や変更連絡が容易にできる。図7は未回収警告一覧画面例である。

次に、このシステムでは、業者の許可有効年月日警告一覧が表示される。排出事業者はその廃棄物に適合する業者に委託することも義務付けされているので、業者選定に当たっては、廃棄物処理の許可区分や許可有効期限の確認も行う必要がある。この警告により、委託時点で期限チェックをすることや処理工程遅れなどによる無許可業者への委託の危険は回避できる。図8は業者の許可有効年月日警告一覧画面例である。

このようにこのシステムでは上記の2段階の期限警告画面を経由した後にメニュー画面に到達できるので、法定期限への対応は格段に強化されている。

なお、同法では、排出者が廃棄物の種別と量、適合する処理方法と適正業者の選定、最終処分方法と処分地などを正確にマニフェスト記載し、そのすべてを正確に管理することを求めている。次項ではその詳細を紹介する。

2.2 違法徹底とユーザーの利便性向上

図9はメニュー画面であり、その概要を以下に紹介する。

(1) 発生物実績情報登録/持ち出し表・マニフェスト印刷

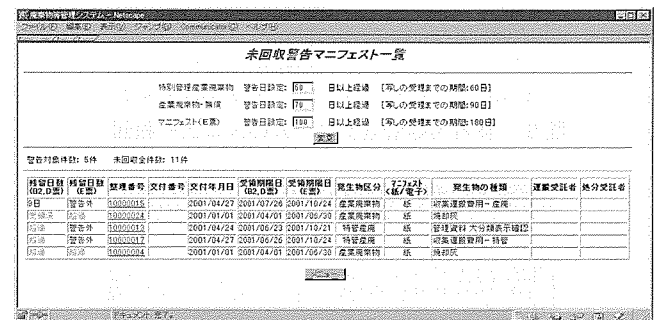


図7. 未回収警告一覧画面

許可有効年月日警告一覧

許可有効年月日警告月設定: 許可有効年月日まで 6ヶ月以内 [表示]

発領月数	許可有効年月日	許可番号	自治体名	受託者区分	会社名	事業所名
経過	1998/06/02	6450003571	名古屋市	運搬	特管 ぶあひ会社	本社
3ヶ月	2002/06/30	2340004695	愛知県	処分	産廃 ほうこう会社	いんいん工場
5ヶ月	2002/06/31	6400050095	名古屋市	運搬	産廃 へんえん会社	本社

図8. 業者の許可有効年月日警告一覧画面

- マニフェストを登録、起票する機能で、入力は極力省力化
 - 産業廃棄物、一般廃棄物、有価物（再利用物）を登録
- (2) 運搬／処分／最終処分照合確認
- 登録マニフェストを管理する機能で一覧表示
 - B票、D票、E票の受票状況を一覧表示、受票により一覧表から確実消去
- (3) 管理資料作成、自治体向け報告書作成
- 登録データから自動的に各種帳票を作成
- (4) 基本情報登録
- マスタ登録／メンテナンス機能で、主なマスタは事業者マスタ、廃棄物業者関連マスタ、発生物関連マスタなどが準備されている。

上記のようにこのシステムは豊富なマスタを設定しているこれらのマスタ作成は専門能力や習熟度が高い運用管理者が担当し、廃棄物処理区分、処理ルート設定、業者や処理施設設定なども運用管理者が設定して誤選定や誤記入の防止を図っている。一方、日常のマニフェスト作成や処理状況確認などの担当者は、運用管理者の作成したマスタにより最小限の入力で実行でき、大幅な負担軽減を図ることができる。

図10に、各種のマスタ設定の一例として“発生物設定マ

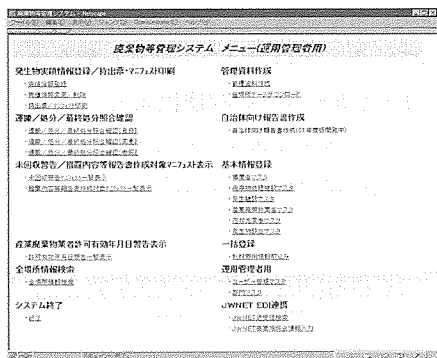


図9. 廃棄物等管理システムのメニュー画面

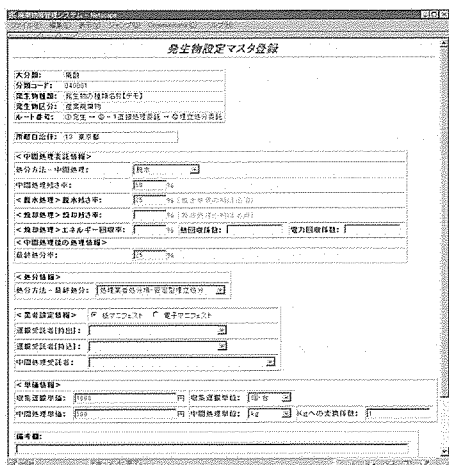


図10. 発生物設定マスタ登録画面

スタ登録画面”を紹介する。この設定には、専門的な知識や習熟度が必要なので、運用管理者などが担当している。

図11は発生物の登録画面である。担当者は年月日、担当者を記入(選択)し、マスタから発生物区分を選択し、対象物の荷姿と数量を確認して入力すれば、中間処理・最終処分業者情報などは運用管理者の設定により自動入力されて簡単にマニフェストが作成できる。

したがって、専任の担当者がいないケースや人事異動などで担当者が代わるケースでも処理業務の精度は維持できる。また、多数の事業所が情報を共用するケースでは業務の標準化や先進事例の普及も図られ、全体としての業務改善も図ることができる。

このようにこのシステムを利用すると、マニフェスト作成業務の効率化や多項目の管理ができるので、廃棄物処理に関連する企業にも有効である。このシステムでは、業者の利用実態に応じて機能の強化を図っている。例としては“積替え機能”や“二次マニフェスト発行機能”が挙げられる。廃棄物処理では、複数の中間処理業者によって専門的に処理が行われるケースや中間処理によって廃棄物内容が変わるケースが多い。例えば、廃棄物が中間処理業者によって焼却されて、その残渣(ざんさ)が燃え殻として最終処分される場合などであり、上記の機能はそれらに有効である。ほかにも先進的な業者に対応する帳票支援機能も強化している。

2.3 発生物全体の管理と再利用の促進

前章で紹介したようにこのシステムは産業廃棄物以外の一般廃棄物や有価物も含む発生物管理ができるので、その情報を活用すれば再利用の促進が図られ、結果的には廃棄物そのものの排出量も削減できる。以下は発生物情報の管理項目である。

(1) 廃棄物及び有価物処理実績

- 産業廃棄物、一般廃棄物、有価物(再利用物)のすべてを同時に管理でき、発生物区分ごとのデータ抽出もできる。

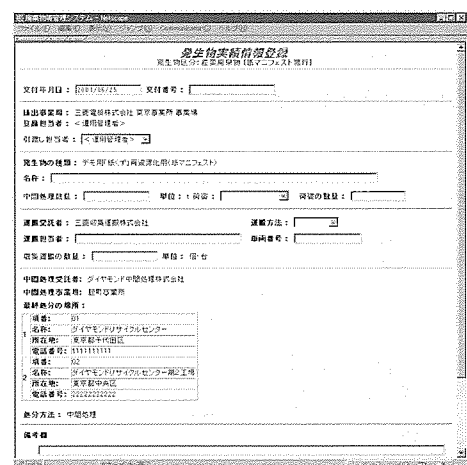


図11. 発生物の登録画面

- 会社単位、事業所単位、部門単位など発生物排出者区分によりデータ登録や抽出ができる。
- 対象期間、月単位や年単位などの抽出期間単位などを任意で選別ができる。
- 廃棄と再利用のルートに応じたデータの管理ができる。
- 紙、電子の両方のマニフェストが管理できる。また、処理段階管理ができる。

(2) 主な管理項目

- 交付年月日／管理番号
- 発生物の種類／発生物区分／発生量／処理ルート区分／処理業者区分／処理費用／回収量／回収費用など

(注) 回収：再利用できたもの

このように、このシステムでは、全発生物に関する情報を多くの項目(区分)にわたって計数的にデータ管理でき、その分析により再利用の拡大や廃棄物削減を創出している。

2.4 電子マニフェスト(Electronic Data Interchange : EDI)の促進

前述のように、このシステムは、JWNETとの接続による電子マニフェストにも対応し、紙マニフェストとの併用も可能である。廃棄物処理業務における事務業務の占める比率が高いことやIT(Information Technology)化による物流改善などの効果も期待できるので、更なる強化を図っていく。

3. 化学物質管理システム

“環境リスクの予防と回避”を進める上で、企業が環境影響物質の排出を抑制することは重要な課題である。

図12は化学物質管理システムの概要であり、特定化学物質の排出・移動量(PRTR)を管理している。

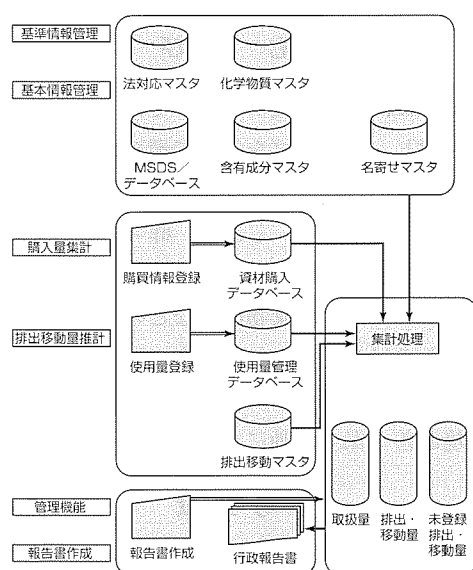


図12. 化学物質管理システムの概要

3.1 基準情報・基本情報管理

基準情報は“法対応マスタ”と“化学物質マスタ”で構成され、全社部門が取りまとめて各事業所の利用に供している。基本情報は“MSDSデータベース”“含有成分マスタ”“名寄せマスタ”で構成され、各事業所で取り寄せたMSDSなどを全社で統一情報に取りまとめている。事業所では各自の呼称で利用し、名寄せマスタにより全社標準呼称に読み替えている。それにより各現場は従来どおりの呼称で作業ができ、未然に混乱を回避できる。

3.2 購入量集計と排出移動量推計及び管理機能

“購買情報登録”“資材購入データベース”“使用量登録”“使用量管理データベース”と“排出移動マスタ”で構成され、資材システムや生産管理システムから自動的に使用化学物質量を抽出して重複入力を回避している。排出移動量は、使用化学物質量と排出移動マスタから演算している。なお、新材料などの排出移動演算が確立していないものは、未登録排出移動部で情報保存をし、移動演算が確立できた段階で排出移動量を求めている。管理としては、取扱量、排出移動量、未登録排出移動量で実施している。なお、管理は各事業所の生産ライン単位で行うことができ、設備能力に応じた管理が可能である。化学物質排出移動から生じる廃棄物は“廃棄物管理システム”に自動登録できる。

図13は化学物質管理システムのメニュー画面であり、特長としては、検索機能によりMSDS、化学物質別、メーカー別使用部門別など種々の情報が得られる点である。

4. 環境情報共有システム

図14は環境情報共有システムの概要であり、エネルギー、水、紙などの管理ができる。また、廃棄物等管理システムの発生物データベースや化学物質管理システムのPRTRデータベースも共有システムのデータベースとして自動登録できる。

システム構成の特徴としては、拠点での目標・実績登録が基本であり、統括管理部門では各拠点目標・実績の集計管理が主体である。したがって、このシステムでは、全体及び拠点での目標管理が同時に実施できる。

図15は環境情報共有システムの使用実績選択画面であり、機能選択メニューと検索条件設定により任意の管理情



図13. 化学物質管理システムメニュー画面

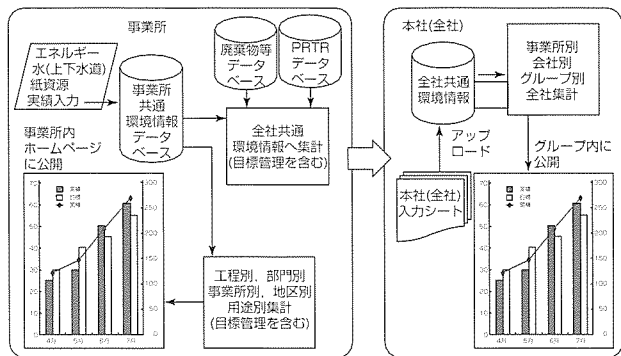


図14. 環境情報共有システムの概要

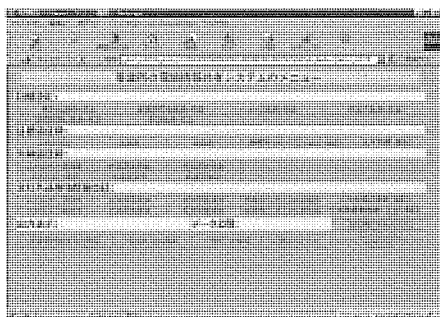


図15. 環境情報共有システムのメニュー画面

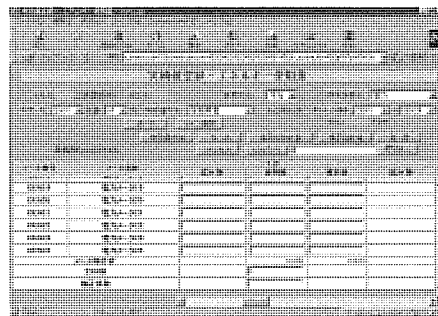


図16. エネルギー使用実績登録画面

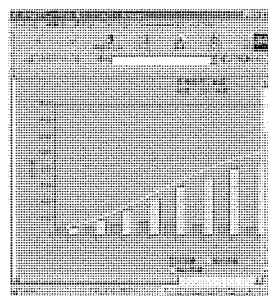


図17. 電力エネルギー管理データ例(グラフ表示)

報が求められる。

4.1 エネルギー使用実績管理

電力、ガス、石油などの使用実績を管理するシステムで、各メータ単位で実績登録・管理ができる。基本的な入力はその月の使用実績報告(メータの読み取り値)を利用している。電力では、各メータの電力計測端末を設置してリアルタイム計測と自動入力している事業所もある。さらに、深夜電力・昼間電力などの区分や、特別なメータ区分からの照明、空調、動力などの用途別使用実績を求めることも可能である。

図16は電力エネルギー使用量実績の登録画面であり、昼間電力や夜間電力区分ごとに管理できる。また、工程区分、部門区分、事業所区分、地区区分などでも区分管理でき、メータ単位での入力と管理が可能である。

図17は電力エネルギーの管理データ例であり、目標値に対する月別使用実績や累積管理のグラフ表示例である。

4.2 資源の使用実績管理

水(上下水道)資源や紙資源の使用実績を管理しているシステムで、水資源はメータからの使用実績を読み取り、入力している。紙資源は、資材購入・払出しデータベースからの入力や紙廃棄量計測値からの入力管理している。

4.3 廃棄物等データベースと化学物質データベースとの連動

このシステムは廃棄物等管理システム、化学物質管理システムのデータを自動入力し、主要環境情報を統合的に管理している。これにより、総合的な環境情報の把握・分析や報告が容易にできる。

5. 環境統合情報システムの今後の計画

当社は三菱電機グループ向けに環境統合情報システム全体を提供し運営しているが、一般企業向けには廃棄物等管理システムを主体に、化学物質管理システム、環境情報共有システムの2種類のサブシステムを加えて提供している。前者では更なる簡易入力化や処理工程の追跡容易化などの要求が強く、後者では異なる資材システムなどからの入力要求が多い。現在もモバイル入力やCSVファイル形式入力を可能にして対応強化しているが、今後更にユーザー要求への対応強化を図っていく。また、サブシステムの順次導入を推奨し、顧客の負担を軽減しつつ統合的な環境情報管理推進を支援していきたい。

6. む す び

前述のように、三菱電機グループでは、環境統合情報システムを展開し、グループを挙げて環境に取り組んできた。それを背景に、当社は、グループ外の企業の環境取り組みを積極的に支援してきた。しかし、昨今の地球温暖化防止や地球環境保全などの国際的な取り組み強化の動きや、省資源、省エネルギー、廃棄物削減などの国内の取り組み強化は更に進むのは必定であり、今まで以上に取り組み強化を図り、その成果を社会に反映させる努力を継続して、我が国の環境改善・保全活動に貢献していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 環境型社会白書：(平成14年版)環境省編集
- (2) 三菱電機技報：特集「環境技術」, 75, No.5 (2001)

生産技術棟建設における 省エネルギーへの取り組み

内山朋亮*

要旨

三菱電機の通信関連事業の中核を担う通信機製作所(兵庫県尼崎市)において、技術開発、生産及び試験を展開する生産技術棟を1999年に竣工(しゅんこう)した。延床面積18,000m²は当事業所では最大規模の建屋となり、環境負荷(エネルギー負荷)の急増が見込まれていた。この環境負荷の急増を少しでも抑制するため、建築の基本計画段階から“環境にやさしい工場”をコンセプトに自然エネルギーの活用を意識し、省エネルギーにかかわる技術・アイデアの導入を目指した。

従来から当社省エネルギー機器を中心に省エネルギー設備の導入を推進してきたが、建屋の基本仕様、意匠などが省エネルギーに与える影響は大きい。また、一般的には建築コストや納期の関係で、基本機能のみを優先し、省エネルギー的な配慮が欠落しがちでもある。しかし、省エネルギーは地球温暖化防止のほかにランニングコストの削減、

さらにそこに居住するものへの省エネルギー意識の高揚のためにも、積極的な実現が必要である。

実施した省エネルギー施策を設備別に大別すると、

- (1) 建屋本体
- (2) 空調換気設備
- (3) 電気設備
- (4) 監視制御設備

となる。結果的に個々の施策そのものは特殊な設備ではないが、建築の基本計画段階から検討したことにより実現した省エネルギー設備やアイデアが活かされている。

今回紹介する省エネルギー事例及び省エネルギー効果については、竣工後18か月間の評価期間を経て、(財)省エネルギーセンター主催の平成13年度省エネルギー優秀事例全国大会で発表し“省エネルギーセンター会長賞”を受賞した。



生産技術棟の概要

1階は統合ネットワーク試験、展示室、ゲストホール、2階は生産、試験エリア、3～5階は設計、実験室である。

構造：鉄骨造 地上5階、建築面積：3,784m²、延床面積：18,563m²、柱スパン：15(9)m×6.4m、天井高(基準階)：2.8m、OAアクセスフロア高：100mm、受電設備：6.6kV 4,250kVA、照明：連続調光HF蛍光灯750lx、OAコンセント：50VA/m²、空調：氷蓄熱併用空冷ヒートポンプ、外気冷房、全熱交換器

1. まえがき

この建屋のコンセプトである“環境にやさしい工場”を実現するため、建屋の基本設計段階から、本社生産技術部建築技術グループの支援を受けながら、建築設計は三菱地所設計(株)と綿密な省エネルギーに関する計画を立案した。また、設備関係では、当社冷熱プラント部(現在、三菱電機冷熱プラント(株))により、特に消費電力が大きい空調方式について、使用条件・環境面から、最適なプランニングを実施した。

検討段階における省エネルギーのキーワードとして、

- (1) 自然エネルギーの活用
- (2) 最適制御による無駄なエネルギーの撲滅
- (3) 監視、自動化による省力化

を掲げ、各分野ごとに具体策を追求した。

また、諸設備は、当社製品を中心に省エネルギー機器を最大限採用した。

2. 建屋本体の省エネルギー施策

建屋意匠の検討において、PAL(年間熱負荷係数)を意識しつつ、居住フロアの快適性と生産性の確保を追求し実施した。

2.1 建築意匠の特長

建築基準フロアが南北40m×東西90mの大きさであることから、設備スペースを配置するコアの最適化と、外壁から遠い中央部分の快適性(採光や自然換気)が課題であった。設計・生産・試験設備の変革に柔軟に対応できるフレキシブルな大空間(15m×90mの無柱空間)の確保が命題であり、また南北フロアの動線を確保することから、コアは中央部に2か所に配置した。コア部には空調機械室と外気シャフ

ト(図1)を2か所配置した(図2)。外気シャフトに面する居室と階段室の側面をガラスとすることで、建物中央部にもかかわらず、自然採光による明るい居室、明るい階段室を実現し快適性を確保した。また、空調機械室を外気シャフトに面することで、建屋中央部でありながら換気の外気取り入れが可能となった。

建物の南面が広く直射日光が窓から室内に直接侵入するため、夏場の冷房負荷の増大が懸念された。そこで、古典的ではあるが、窓上部にアルミ製ルーバー庇(ひさし)(図3)を取り付け直射日光の侵入を防止した。季節による直射日光の入射角度が異なるため(図4)、庇の長さは、太陽が高い位置にくる夏場には室内に入射せず、低い位置にくる冬場にはある程度は入射する最適な長さとし60cmとした。

2.2 建屋の断熱効果

建屋の断熱に影響の大きい外壁材については、熱貫流率が低い高断熱鋼板サンドイッチパネルを採用した。従来採用した押出成形セメント板と比較して熱貫流率が65%も小さく、高断熱性が期待できる。ALC(軽量発泡コンクリート)の熱貫流率は高断熱鋼板サンドイッチパネルとほぼ同等ではあるが、定期的な外壁塗装処理が必要で長期的には環境負荷が高く、また、意匠的な判断もあり、採用を控えた。

屋上の外断熱構造については、最上階への輻射(ふくしゃ)熱の侵入抑制と将来の屋上緑化を視野に入れ、軽量コンクリート仕上げとし、さらに、断熱材のポリスチレンの厚みを倍にし断熱性の向上を図った。

以上の施策の結果、PALで275MJ/m²・年と従来比27%の向上が図れた。

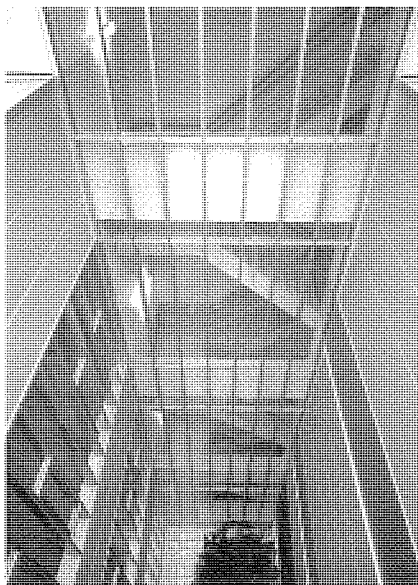


図1. 外気シャフト

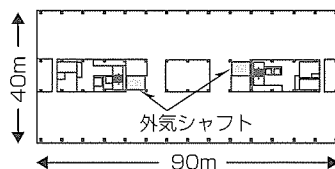


図2. 外気シャフトの配置

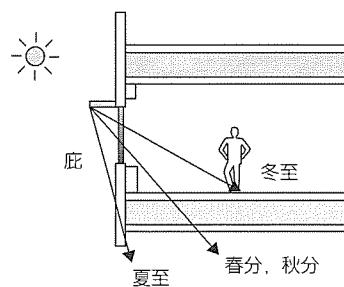


図4. アルミルーバー庇

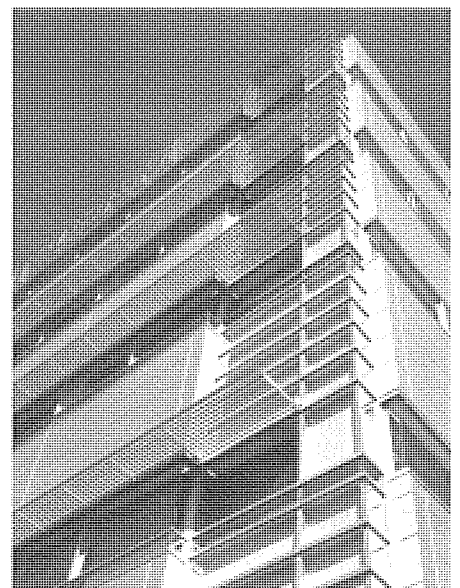


図3. 南面アルミルーバー庇

3. 空調換気による省エネルギー施策

各フロアに設計部門、試験部門などが混在する環境、かつ頻繁なレイアウト変更が予想され、運転時間(就業時間)や冷暖房負荷が部門(エリア)ごとに大きく異なるので、空調機器の細かな運転管理とそれに対応する機器配置の実現が省エネルギーへの大きな課題となった。

3.1 空調方式

空調方式は、個別分散化と熱効率の優れた空冷ヒートポンプ式ビル用マルチエアコンを採用した。夏場のピーク電力を低減するため、氷蓄熱方式を窓際の日射熱負荷の多い箇所に集中的に配置(図5)し、24時間稼働の生産エリア、日射熱負荷の少ない室内中央部は非蓄熱方式とする最適配置を実施した。その結果、冷却容量比で氷蓄熱方式60%となり、約22%のピーク電力抑制を実現した。

また、自然エネルギーを活用するため、中間期の外気温度が低い場合は、積極的に外気を室内に取り込み、空調による冷房を抑制する外気冷房を導入した。外気冷房の制御に関しては、内外条件がそろった時点で適正な室内温度を維持するよう、外気導入風量のインバータによる自動調整を図っている。外気冷房の導入に当たっては、外気を取り入れる開口部及び専用のダクトを天井裏に通す必要があるが、これは、中央部のコアに外気シャフトを配置したことで、外気取り入れの開口面積を確保でき、天井裏の排煙ダクトを省略するためリターンチャンバ方式にしたことで設置が可能となった。

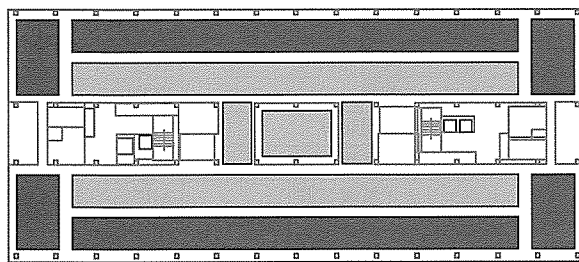


図5. 氷蓄熱空調機の配置

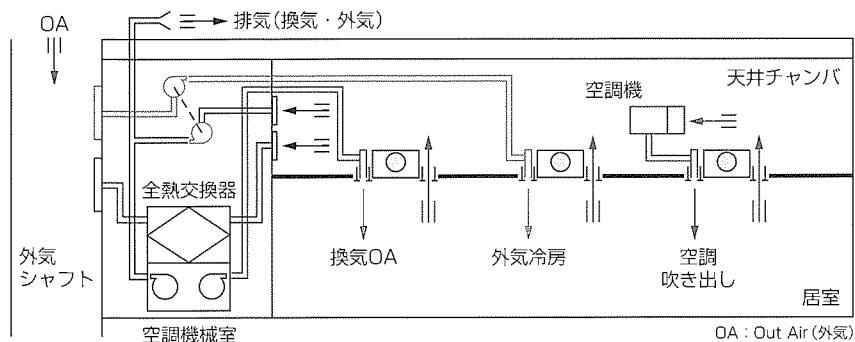


図6. 空調システム系統(概略)

3.2 換気方式

換気設備は全熱交換器(ロスナイ)を導入し、廃熱回収を行い、空調負荷の軽減を図った。CO₂センサで監視した居室の空気状態に応じてインバータによる自動制御で換気風量の最適化を図り、排熱の削減、換気動力の省エネルギー化を実現した。空調システム系統の概略を図6に示す。

4. 電気設備の省エネルギー施策

4.1 照明方式

照明器具(図7)は、高効率なHF(High Frequency)連続調光インバータ蛍光灯を採用し、自動調光を実施した。自動調光は窓側、中央部、コア周囲とグループを細かく分け、窓側の明るいエリアの調光出力が抑えられ、かつまた調光機能による初期照度の自動調整の効果もあり、従来の一般蛍光灯器具と比較して43%の省エネルギーを実現した。

トイレ、階段、廊下などの共通エリアについては、人感センサにより自動的に点灯/消灯を行うことで節電を実現している。

4.2 受変電設備

高圧トランスの損失(無負荷損、負荷損)を低減するため、超高効率トランスを採用した。従来比で約23%の損失削減となった。

新エネルギーの導入として、太陽光発電10kWを導入し、屋上変電設備で系統連携により発電した電力は無駄なく負荷設備に供給している。

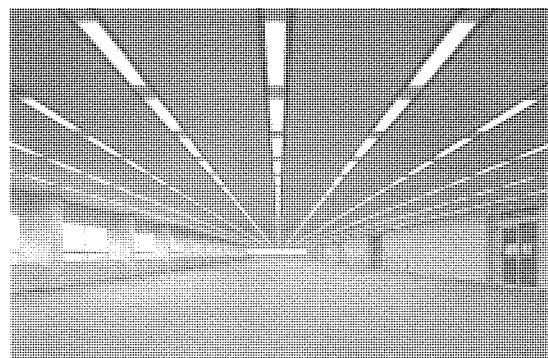


図7. 照明器具の配置

4.3 エレベーター設備

エレベーターは乗用3台、人荷1台の4台を設置し、いずれもインバータを搭載した省エネルギーエレベーターとなっている。

5. ビル集中監視機能の省エネルギー施策

5.1 集中監視の構成

集中監視については、建屋全体を監視するビル監視システムとしてMELBAS-ADをセンターマシンとして設置し、照明、配電盤、電力量計測についてはB/NETシステムを、空調機器の集中監視としてMELANS(MJ-300)を、セキュリティ監視としてMELSAFETYを導入してシステムを構築し各機能を活用した省エネルギーを実現した。システム構成を図8に示す。

5.2 スケジュール管理

照明、空調については、細かく発停管理ができるように各エリアごとに運転スイッチを設置し居住者による運転管理を基本としているが、休憩時間や夜間などの特定の時間になると、スケジュールにより自動停止を行い、一斉停止による節電、切り忘れによる無駄な電力消費の削減による省エネルギーを実現した。

5.3 セキュリティ連動による運転管理

セキュリティシステムによる各フロアの施錠管理を実施したことにより、夜間等不在時に連続通電の必要でない配電盤の電源遮断、空調の停止、換気の停止、照明の夜間のモードへの切換えを自動的に実施し、コンセントなどの待機電力の削減、照明、空調などの切り忘れを防止し、省エネルギーを図った。

5.4 デマンド管理

ピーク電力の抑制を図るため、ビル監視システムのデマンド信号と連動して、空調集中監視装置であらかじめ決められた順番で、空調機の室内機単位に、強制的に送風モードに切り換えるサイクリック制御を実施している。

5.5 エネルギー計測管理

各配電盤のメインブレーカには、電力計測表示付きブレーカ(MDU)を取り付け、B/NETによる集中計測監視を実施している。現在では構内の各建物にも計測器を取り付けB/NETによる集中監視を実施し、フロア別系統別の電力量の実績を把握し省エネルギー活動に活用している。

6. むすび

今回の各省エネルギー施策の実施により、従来方式と比較して全体で約22%(図9)の省エネルギーを達成した。この中には、単なる性能向上による効果も含まれているが、

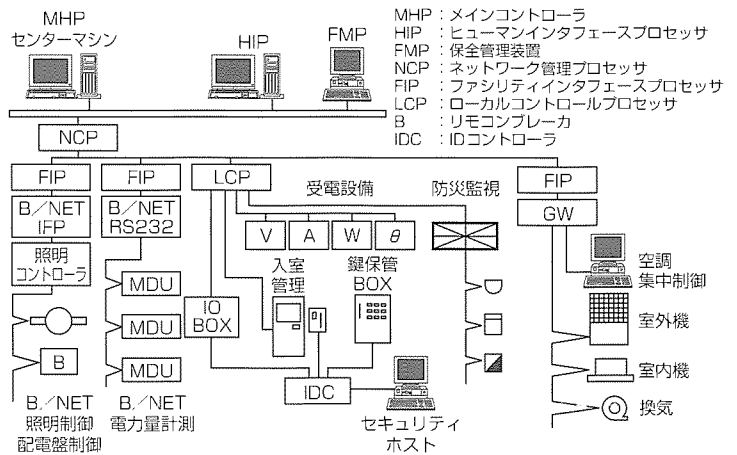


図8. ビル管理システム構成

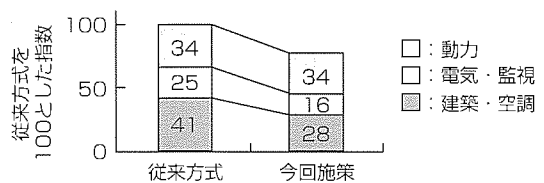


図9. 削減効果

表1. 採用した当社省エネルギー機器

採用した三菱電機製の省エネルギー機器	型名・商品名
空調機器	氷蓄熱空冷ヒートポンプマルチエアコン シティマルチICE Y
換気装置	静止型全熱交換器 ロスナイ
受変電	超高効率トランス RA-T
	ノーヒューズ遮断器(計測表示付き) MDU
照明設備	太陽光発電システム PV-MG007F
	HF連続調光インバータ蛍光灯 ファインベース
制御機器	日光利用自動調光制御 MELSAVE
	インバータ装置 FREQROL-Aシリーズ
監視装置	ビル用集中監視装置 MELBAS-AD
	空調集中監視装置 MELANS(MJ-300)
	セキュリティ監視装置 MELSAFETY-S10
エレベーター	VVVFインバータ制御エレベーター GRANDEE

計画時に省エネルギー意識がなければ実現できなかった施策もある。また、一般的に建物は、非常に長い期間にわたり使用されるため、省エネルギーの配慮が欠けていると、長期にわたりエネルギーロスを続けることになる。建物の省エネルギーは計画時点で納期、予算などの制約条件を受けながら、どこまで採用を推し進めるかが重要なポイントと言える。最後に、今回採用した当社省エネルギー機器を表1に示す。今後とも、理想的な省エネルギー建屋の追求と既存工場の省エネルギー推進、環境改善に貢献していく所存である。

グリーン調達に対応した 環境保全物質管理システム

近藤俊介* 対馬一宏†
宮崎恒行**
加藤六彦***

要旨

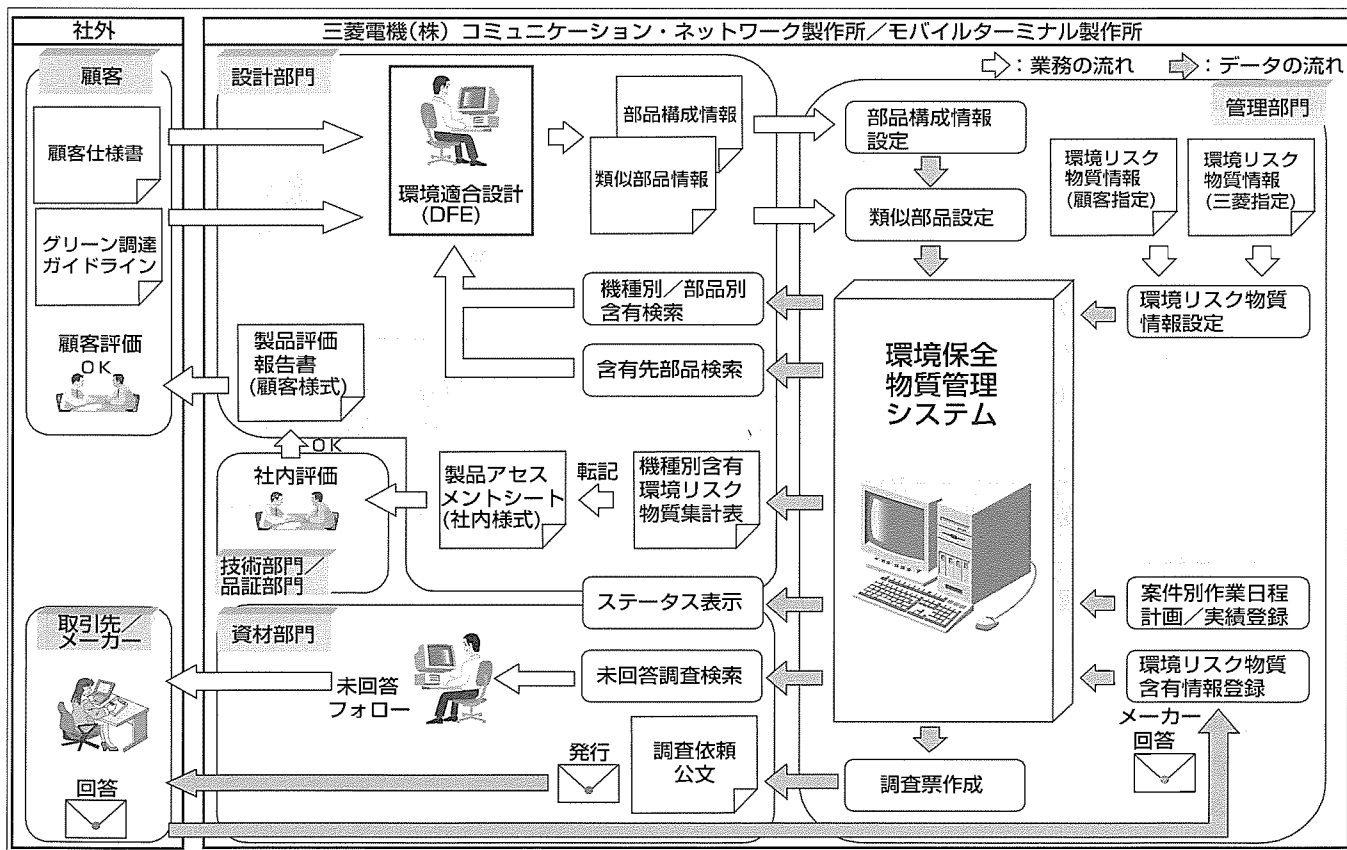
持続可能な循環型社会形成の実現に寄与するため製品が果たす環境負荷低減の役割が極めて大きくなっており、三菱電機では、資源 (Material) の有効利用, エネルギー (Energy) の効率利用, 環境リスク物質 (Toxicity) による排出回避の観点から、環境負荷低減活動、環境配慮型製品 (エコプロダクツ) の創出活動を展開している。

この“MET”というキーワードの一つ、環境リスク物質による排出回避については、取引先とのパートナーシップによる環境負荷の小さい部品・材料・ユニットなどの調達 (グリーン調達) のための環境リスク物質含有情報が必要不可欠であり、また、年々厳しくなっている顧客からのグリーン調達 (環境保全要求仕様) による顧客への納入製品

に関する環境リスク物質の開示要請にも迅速かつ確に対応する必要がある。

これら要求に対応するため、通信インフラ事業を担当しているコミュニケーション・ネットワーク製作所、移動通信端末 (携帯電話) 事業を担当しているモバイルターミナル製作所では、2001年3月から“環境保全物質管理システム (第1次版)”を運用開始し、2002年4月からは環境適合設計の推進を加速するため照会・検索機能を充実した“同システム (第2次版)”を運用中である。

本稿では、この環境保全物質管理システムを紹介するとともにグリーン調達の今後の課題について述べる。



環境保全物質管理システムの業務関連図

コミュニケーション・ネットワーク製作所、モバイルターミナル製作所における環境保全物質管理システムを核としたグリーン調達対応の設計部門・管理部門・資材部門・品証部門の業務関連を概念図として示す。

1. ま え が き

コミュニケーション・ネットワーク製作所(C電)、モバイルターミナル製作所(M電)では、環境配慮型製品(エコプロダクツ)創出のための環境適合設計(グリーン調達)の推進、また顧客からのグリーン調達(環境保全要求仕様)、特に納入製品に関する環境リスク物質の使用抑制を目的とした開示要請に迅速かつ的確に対応するため、製品を構成する調達部材や内作部材の環境リスク物質含有情報把握のための“環境保全物質管理システム(第1次版)”を2001年3月から、また環境適合設計の推進を加速するため照会・検索機能を充実した“同システム(第2次版)”を2002年4月から運用中である。

このシステムでは、三菱電機グループが定める環境リスク物質(使用・含有禁止物質+管理対象物質)のほか顧客指定物質も管理対象とし、新部品に対する環境リスク物質含有調査では、取引先とのパートナーシップによって回答あった7,000部品を現在データベース化している。

本稿では、環境保全物質管理システムのシステム構成や保持している機能、今後の課題等を紹介する。

2. システムの概要

2.1 業務機能要件

(1) 調査対象品選別と電子メールによる調査依頼の迅速化
製品の部品構成情報(Bill of Materials: BoM)から既調査済み部品以外の新規調査対象品を抽出する。

また抽出した情報はそのまま電子メールの添付データとして購入先、製品外注先へ調査依頼が迅速にできる。

(2) 環境リスク物質情報の蓄積と検索

購入部品、製品外注品の調査結果をデータベース化し、部品に含まれる環境リスク物質含有情報を社内設計部門に公開することで DFE(Design for Environment: 環境配慮型設計)を支援する。また、含有リスク物質を製品単位で集計することで市場要求にこたえとともに、製品の環境負荷低減度や社会的貢献度を社内外に訴求する。

2.2 システム構成

システムの全体構成を図1に、またソフトウェア構成を図2に示す。

(1) 共通メニューサーバ

通電地区共通のメニューシステムを搭載するサーバである。各業務別に利用申請をすることで複数のサーバにある業務システムが利用できる。共通メニューシステムによるユーザー認証でセキュリティ確保と利用者権限を識別する。

(2) 業務サーバ

共通メニューサーバから起動されるC電・M電の各業務システムを格納するサーバである。この業務サーバ上で環境保全物質管理システムが稼働している。

サーバのオペレーティングシステムはUNIX^(注1)を採用し、この上にデータベースとしてOracle8 Enterprise Edition for UNIX R8.0.5^(注2)を搭載している。業務アプリケーションプログラムはOracle Developer/2000 R1.6.1.1^(注2)で開発した。

(3) ユーザーパソコン

管理部門には登録権限、他の部門には照会のみシンプルな利用者権限で保守性を向上させる。

全ユーザーパソコンとして、一律、オペレーティングシステムは“Windows98”^(注3)を採用した。

共通メニューシステム経由で業務システムを稼働させるために、Exceed 6/32 v6.2^(注4)を用いたXクライアント環境を提供する。

また、サブシステム利用のためEXCEL97^(注3)と Netscape Messenger V4.78^(注5)の汎用ソフトウェアを用い含有量集計、及びメールによる文書の電子化と調査依頼の迅速化を図った。

- (注1) UNIX, X Window System, Motifは、The Open Groupの商標である。
- (注2) Oracle8 Enterprise Edition for UNIX R8.0.5, Oracle Developer/2000 R1.6.1.1は、米国Oracle Corp.の商標である。
- (注3) Windows98, EXCEL97は、米国Microsoft Corp.の商標である。
- (注4) Exceed 6/32 v6.2は、(株)マクニカの商標である。
- (注5) Netscape Messenger V4.78は、米国Netscape Communications Corp.の商標である。

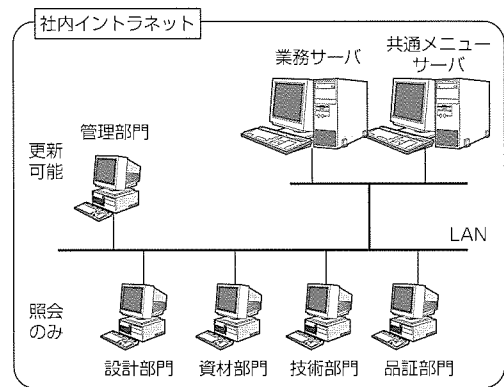


図1. システムの全体構成

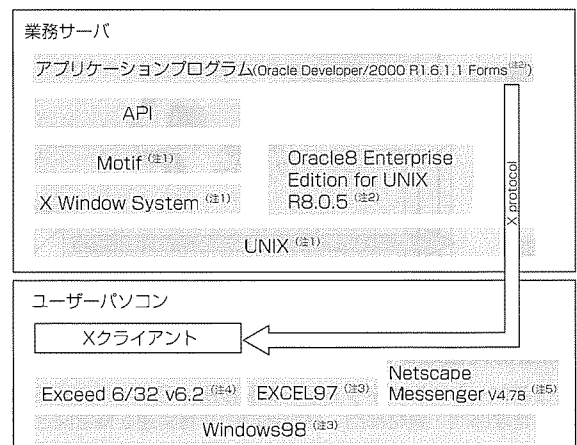


図2. ソフトウェア構成

2.3 システム機能概要

このシステムの機能は次のとおりである。

(1) 環境リスク物質情報設定

三菱電機本社が管理する環境リスク物質情報をマスタ設定する。

これを基に、顧客が指定する同情報とをリンクさせ、顧客指定リスク物質が製品に含まれないことを証明する。両マスタで環境保全に取り組む顧客指標と三菱電機指標を決定する。

(2) 部品構成情報設定

顧客別に製品の部品表を“直材”“副資材”“梱包(こんぼう)材”に区分し、部品構成情報として登録することで、区分別に環境リスク物質含有情報の照会が可能となる。

(3) 類似部品設定

異なる部品番号だがシリーズ品など明らかに材質・要素が同じである部品は、類似設定により調査件数の削減と調査負担を軽減する。

(4) 調査票作成

既に調査済みの部品、及び類似設定済み部品以外の新規調査対象品を、メーカーへ調査依頼する。調査票はシステムから電子メール発行することで、依頼の手続きを簡素化する。依頼時の資料として以下を添付する。

- (a) 調査依頼公文
- (b) 環境リスク物質含有調査票
- (c) 調査対象購入部品リスト(対象部品一覧)
- (d) 管理対象環境リスク物質リスト(和名)(英名)

(5) 環境リスク物質含有情報登録

メーカーからの調査回答を部品単位の環境リスク物質含有情報として登録する。

調査対象購入部品リスト(c)に記載されている購入部品個々について、管理対象環境リスク物質リスト(d)に記載されている環境リスク物質の含有有無を調査し、環境リスク物質含有調査票(b)で原則とし、調査依頼メールの返信で回答する。

なお、環境リスク物質含有調査票(b)への回答は、1ppm以上含有している物質を対象とし、次の項目について回答を受ける(回答例は図3のとおり)。

- 三菱部品番号
：調査対象購入部品リスト(c)記載の部品番号
- 貴社販売単位コード
：納入(販売)単位(例：部品一個、リール、m)
- 質量(g)：納入(販売)単位当たりの質量(g)
- 三菱管理コード
：含有している環境リスク物質の三菱管理コード((d)に記載)
- 調査対象環境リスク物質名
：含有している環境リスク物質の物質名(環境リスク物質が複数ある場合、すべての含有物質を記入する)
- 含有率(ppm)
：調査結果の環境リスク物質含有質量÷質量(ppm単位)
(環境リスク物質が複数ある場合、含有物質ごとに算出する)

(6) 機種別／部品別含有検索(図4)

製品単位(機種、アイテム)に登録済みの環境リスク物質含有情報を機種別・部品別に検索する。

この検索機能を用いて設計部門でのDFEや品証部門での新部品認定に活用する。

(7) 含有先部品検索(図5)

指定した環境リスク物質の含有先部品を逆引き検索する。

(8) 機種別含有環境リスク物質集計表発行(図6)

登録済みの環境リスク物質含有情報を製品単位(機種、

The screenshot shows a table with multiple columns including model numbers, part numbers, and environmental risk substance names. The table is densely packed with data, representing the results of a search for specific substances across different models and parts.

図4. 機種別／部品別含有検索

単位に関するテーク		調査対象環境リスク物質に関するテーク				参 考
部品番号(三菱)	貴社販売単位コード	質量(g単位)	三菱管理コード	調査対象環境リスク物質名	含有率 (PPM)	貴社直接購入先名称(経由取引先名称)
1/BW-R47J-CTP	PC	0.001	247	鉛及びその化合物	43400	
			722	銀及びその水溶性化合物	42600	
			744	クロム及び3価クロム化合物	900	
			1062	ニッケル	23100	

図3. 環境リスク物質含有調査票(回答例)

The screenshot shows a table with columns for environmental risk substance names and their corresponding part numbers. This is a reverse search where specific substances are used to find which parts contain them.

図5. 含有先部品検索

NTT 規則No	含有化学物質名	通本管理 コード	弊社管理 区分	部品名称	部品番号	含有量(g)
B-22	TBBA又はTBA (臭素系発癌剤)	1569	A物質	CONNECTOR	TM11R-5LF-88	0.5765
B-22計						0.5765
B-3	鉛及び その化合物	247	A物質	CHECK CHIP(CTP)	RCT00000C	0.001
				CONNECTOR	RDED-9P-LNA(05) TM11R-5LF-88	0.0004 0.0029
				COUPLER-PHOTO	PC725V	0.0023
				C-TANTAL	245M3502-685M 247M1602-335M	0.057 0.0312
				DIODE(CTP)	1SS123(D/N)-CTP(R)	0.0001
				FUSE	MP10(DAITO)	0.0018
				IC-MOS (ETP)	74HC123A(300)-ETP(R) 74HC153(300)-ETP(R)	0.0012 0.0023
				IC-MOS (TRY)	5165405TT-6 ISPLS1212B-BOLT KUR2596CA25	0.0105 0.0052 0.0167
				R-METAL(CTP)	1/10W-101J-CTP	0.0009
					1/10W-102J-CTP	0.0024
					1/10W-103J-CTP	0.0268
					1/10W-104J-CTP	0.0002
B-3計						0.1623
総計						0.7388

図6. 機種別含有環境リスク物質集計表

アイテム)にサマリし、社内評価及び製品評価報告書(顧客様式)に転記すべき情報源として、“機種別含有環境リスク物質集計表”を発行する。

(9) 未回答調査検索

環境リスク物質含有調査依頼先メーカー各社の回答状況を検索・確認し、フォローする。

(10) 案件別作業日程計画/実績登録

グリーン調達案件(機種, アイテム)ごとに作業単位の計画(期限)と実績を管理する。計画策定項目は以下のとおりである。

- 環境リスク物質情報設定
- 部品構成情報設定
- 類似部品設定
- 調査票作成
- 環境リスク物質含有情報登録
- 機種別含有環境リスク物質集計表発行
- 製品アセスメントシート作成

(11) ステータス(作業状況)表示(図7)

上記(10)項で策定した計画/実績情報を一般ユーザーが照会する。進捗(しんちやく)はシステム登録日を実績日に表示する。また、調査済み率も照会できる。

3. システムの特長と今後の課題

3.1 システムの特長

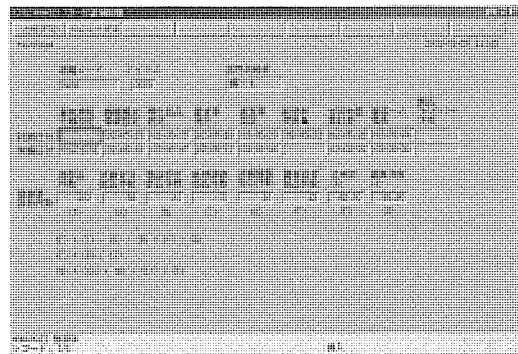


図7. ステータス表示

- (1) 取引先・メーカーから回答を得る部品別環境リスク物質含有情報は必要最小限の情報にとどめた。
- (2) 明らかに材質・要素が同一のシリーズ品については、類似設定機能により調査件数の削減や調査負担を軽減した。
- (3) 含有先部品検索機能を活用し、使用禁止物質含有部品の排除と代替部品選定活動を可能とした。
- (4) 納入製品に対する顧客からの開示要請や新規開発製品アセスメントのため、その製品が含有する環境リスク物質ごとに含有先部品と含有量を自動集計した。

3.2 今後の課題

- (1) 2003年度上期中に運用開始となる“三菱電機グループグリーン調達新基準書への対応”(管理対象化学物質の見直しによるマスタ更新を含む)。
- (2) 顧客からのグリーン調達開示要請への対応のみならず、製品アセスメント対象の新規開発品すべてにこのシステムを適用し、環境適合設計を加速
- (3) LCA(ライフサイクルアセスメント)へ対応した機能拡張

4. むすび

取引先とのパートナーシップで蓄積した環境リスク物質含有情報の有効活用(検索)により環境適合設計の一層の風土作りと加速を図り、環境配慮型製品(エコプロダクツ)の創出に努める所存である。

冷蔵庫用発泡ポリウレタン断熱材のケミカルリサイクル

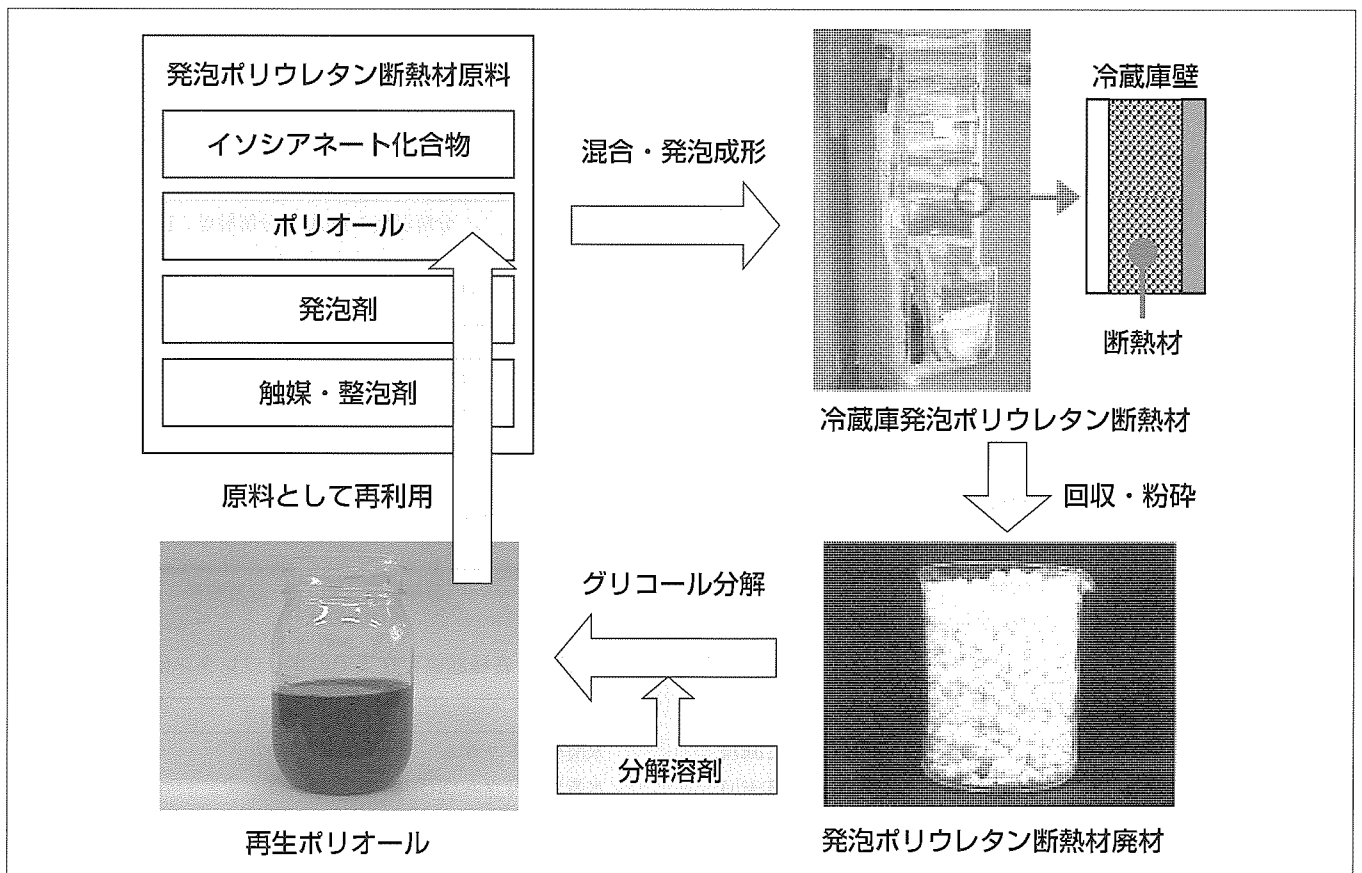
村井道雄* 高木 司***
 藤本隆光* 辻原雅法***
 嶋村光助**

要 旨

発泡ポリウレタンは、その優れた断熱特性や機械強度、面材接着性により、冷蔵庫用断熱材として使用されている。ポリウレタン樹脂は熱硬化性樹脂であり、硬化後に分子が三次元網目構造を形成して不溶不融になる。そのため再利用が難しく、その廃棄物は焼却や埋立てにより処理しているのが現状である。

三菱電機は、ポリウレタンを化学分解により原料に再生し、それを冷蔵庫用断熱材の原料として再利用する技術を開発した。この技術では、ポリウレタンの化学分解により得られる再生原料の性状が分解の際に用いる分解溶剤の性

状に影響されることに着目した。そして、専用の分解溶剤を開発することにより、短時間で冷蔵庫用発泡ポリウレタン断熱材の廃材からバージン原料と同等の性状を持つ再生原料を得た。また、この再生プロセスにおいて、分解溶剤や分解物の分離・精製は不要であり、再生原料は既存の冷蔵庫生産設備でそのまま使用することができた。さらに、再生原料を用いて冷蔵庫用断熱材を作製し、冷蔵庫箱体への適用を試みた。その結果、再生発泡ポリウレタン断熱材はバージン材と同等の性能があることが分かった。



冷蔵庫用発泡ポリウレタン断熱材のケミカルリサイクル概略図

使用済み冷蔵庫から回収された発泡ポリウレタン断熱材を専用の分解溶剤で化学分解(グリコール分解)することにより、ポリウレタン原料の1つであるポリオールに再生する。再生されたポリオールは、他の原料と混合し、発泡成形することにより、冷蔵庫用断熱材として再利用できる。

1. ま え が き

ポリウレタン樹脂は、断熱材、建材、クッション材、接着剤、塗料など、多くの用途に使用されている。ポリウレタンをスポンジ状に発泡させた発泡ポリウレタンは、その優れた断熱特性や機械強度、面材接着性により、冷蔵庫の断熱材として使用されている。ポリウレタン樹脂は熱硬化性樹脂であり、硬化後に分子が三次元網目構造を形成して不溶不融になる。そのため、再利用が難しく、その廃棄物は焼却や埋立てにより処理しているのが現状である。

一方、家電リサイクル法により、2001年4月から冷蔵庫を含めた家電4品目のリサイクル処理が実施されている。冷蔵庫全体の約10wt%を占める発泡ポリウレタン断熱材のリサイクルは、冷蔵庫のリサイクル率を上げるために重要な課題である。

樹脂廃棄物を化学分解し原料に再生するケミカルリサイクルは、ポリウレタン樹脂をリサイクルする方法の一つとして研究がなされてきた⁽¹⁾。その多くは、水、グリコール、アミンなどの低分子化合物を分解溶剤としてポリウレタンを原料の1つであるポリオールなどに再生する方法である⁽²⁾。しかしこれまで、再生ポリオールを用いた再生ポリウレタン樹脂は、バージン材と比べて品質が低いこと、ポリウレタン樹脂の多くは嵩(かさ)高い発泡体として使用されるため分解効率が悪いことなどの理由で実用化が進んでいない。

当社では、冷蔵庫用発泡ポリウレタン断熱材の廃材を化学分解(グリコール分解)することによりポリウレタン原料の一つであるポリオールに再生し、それを冷蔵庫用断熱材の原料として再利用する技術を開発した⁽³⁾⁽⁴⁾。

本稿では、その技術の概要について述べる。

2. 発泡ポリウレタンのグリコール分解反応性

ポリウレタン樹脂をポリオール原料に再生するためには、グリコールなど分子中に水酸基を2つ以上持つ化合物からなる分解溶剤中でポリウレタンをグリコール分解する必要がある。ここでは、以下の簡易評価法を用いて、様々な反応条件下でのポリウレタンのグリコール分解反応性を検討した。

2.1 グリコール分解反応性の簡易評価法

所定量の分解触媒を溶かした分解溶剤100gを所定温度に加熱した後、3cm角に切り出した冷蔵庫断熱材用ポリウレタン発泡体を分解溶剤中に浸漬(しんせき)した。ポリウレタンが完全に分解するまでの時間を測定し、その分解時間の大小により反応性を評価した。

2.2 各種分解溶剤のグリコール分解反応性

表1、表2に、種々のグリコール、ポリオール、アミンを分解溶剤としたときのポリウレタン分解時間を示す。ジ

エタノールアミン(DEA)が最も短時間でポリウレタンを分解した。この理由は、DEA分子が持つ2級アミノ基がウレタン結合の分解を促進するためである⁽⁵⁾。また、グリコールによるポリウレタンの分解は、グリコールの分子量に影響され、ジプロピレングリコール(DPG)が最も高い分解反応性を示した。一方、しょ糖/グリセリン系ポリオール、ソルビトール系ポリオール、トリレンジアミン系ポリオールなど、一般に発泡ポリウレタン断熱材の原料として使用される短鎖多官能な分子構造を持つポリオールは、グリコール分解性が低いことが分かった。

2.3 各種分解触媒の触媒能

表3に、種々の分解触媒を用いた際のポリウレタン分解時間を示す。分解溶剤にはDPG、分解温度は180℃、触媒

表1. 各種グリコールのポリウレタン分解時間

分解溶剤	分子量	分解時間(分)
【エチレングリコール類】		
エチレングリコール	62	65
ジエチレングリコール	106	45
トリエチレングリコール	150	40
テトラエチレングリコール	194	29
ポリエチレングリコール	300	52
ポリエチレングリコール	400	134
【プロピレングリコール類】		
プロピレングリコール	76	45
ジプロピレングリコール	134	19
トリプロピレングリコール	192	41
ポリプロピレングリコール	400	136

分解温度：180℃，分解触媒：KOH, 0.2wt%

表2. 各種ポリオール、アミンのポリウレタン分解時間

分解溶剤	分子量	分解時間(分)
グリセリン系ポリオール	400	75
しょ糖/グリセリン系ポリオール	565	133
ソルビトール系ポリオール	700	253
トリレンジアミン系ポリオール	575	122
トリエタノールアミン	149	102
ジエタノールアミン	105	10

分解温度：180℃，分解触媒：KOH, 0.2wt%

表3. 各種触媒存在下でのポリウレタン分解時間

分解溶剤	分解時間(分)	備考
水酸化ナトリウム	17	触媒析出
水酸化カリウム(KOH)	19	
酢酸ナトリウム	83	触媒析出
酢酸カリウム	98	
ジラウリン酸ジブチル錫(すず)	52	
オクテン酸錫	165	
テトラブトキシチタン	45	
無触媒	339	

分解溶剤：DPG，分解温度：180℃，分解触媒濃度：0.2wt%

濃度は0.2wt%とした。アルカリ金属の水酸化物であるKOH、水酸化ナトリウムの触媒能が特に高いことが分かった。また、水酸化ナトリウムなどのナトリウム塩は溶剤への溶解度が低く、ポリウレタン分解後に析出したため、以下の検討では分解触媒にKOHを使用した。図1に、KOH濃度とポリウレタン分解時間の関係を示す。分解時間はKOH濃度に比例した。また、KOH濃度が0.6wt%以上では、ナトリウム塩同様、ポリウレタン分解後に触媒が析出した。

2.4 分解温度の影響

図2に、分解温度の逆数 $1/T$ とポリウレタン分解時間の自然対数 $\ln(t)$ との関係を示す。

$1/T$ と $\ln(t)$ の間に直線性があることから、ポリウレタン分解がアレニウス則に従うことが分かる。また、200℃を超える温度でポリウレタンを分解した場合に副生成物が生成する⁽⁶⁾ことから、分解温度は200℃とした。

3. 再生ポリオール作製の作製

再生ポリオールの作製には内容積0.2m³の反応容器を使用した。分解温度200℃で、0.4wt%のKOHを含む分解溶剤に、同じ質量の断熱材用ポリウレタン発泡体の粉砕物(粒径1cm)を少しずつ投入した。ポリウレタン粉砕物投入開始から4時間後に反応を停止し、再生ポリオールを得た。

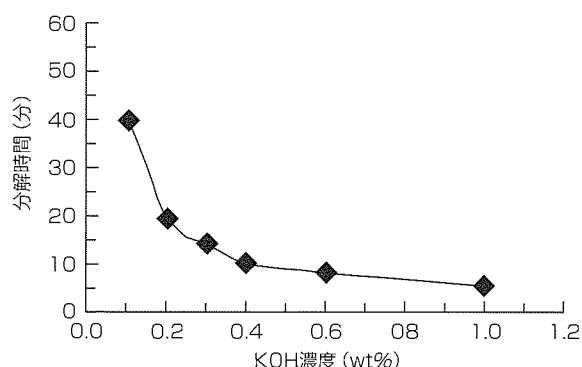


図1. ポリウレタン分解時間のKOH濃度依存性

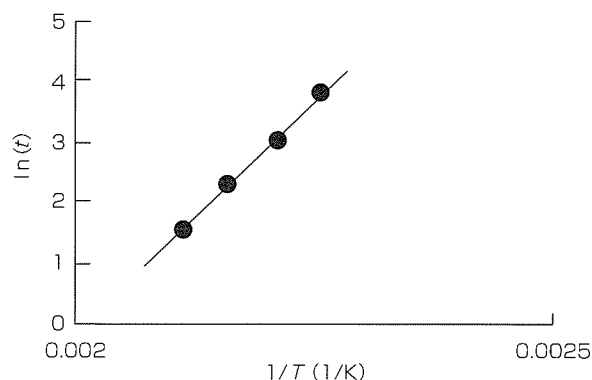


図2. 分解温度 T とポリウレタン分解時間 t の関係

分解溶剤には、それぞれDPG、DEAと、2.1節で得られた知見を基に開発した開発溶剤を使用した。表4に、それぞれの分解溶剤から得られた再生ポリオールの性状を示す。開発溶剤から得られた再生ポリオールは、他の再生ポリオールと比べて粘度が高くなるものの、バージンポリオールと同等の官能基数や水酸基価があった。一方、DPGやDEAから得られた再生ポリオールの官能基数や水酸基価は、バージンポリオールと差異があった。

4. 再生発泡ポリウレタン断熱材の物性

再生ポリオールとバージンポリオールの混合物を使用して、再生発泡ポリウレタン断熱材を作製した。イソシアネート、発泡剤、触媒、整泡剤などのポリオール以外の原料はすべてバージン材と同じものを使用した。発泡成形には高圧発泡機を使用し、高さ110cm×幅30cm×厚さ5cmの金型に原料混合物を注入して発泡させ再生断熱材を得た。得られた断熱材からサンプルを切り出し、熱伝導率は熱伝導率計TCA-8 (ANACON社製)を使用して、圧縮強度はJIS K 7220に準じて測定した。開発溶剤から得られた再生ポリオールを使用した再生断熱材の熱伝導率、圧縮強度を図3に示す。図では、バージン材(再生ポリオール含有量0wt%)の熱伝導率、圧縮強度を100としたときの物性指数を示している。図で評価した発泡体の全密度はいずれも51kg/m³である。熱伝導率は、再生ポリオールの含有量によらず一定であった。圧縮強度は、再生ポリオールの含有量が30wt%で7%、50wt%で13%低下するにとどまった。

同様にDEAを分解溶剤とする再生ポリオールを使用し

表4. 再生ポリオールの性状

分解溶剤	開発溶剤	DPG	DEA
平均官能基数*	3.5	2.4	3.5
粘度(25℃)(mPa·s)	180,000	10,000	13,000
水酸基価(mgKOH/g)	450	540	880

分解温度：200℃，分解触媒：0.4wt% KOH
*計算値

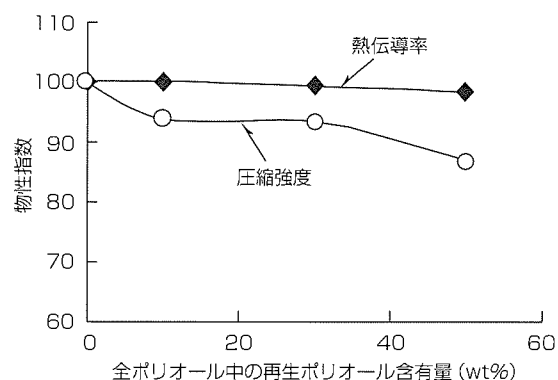


図3. 再生ポリオール含有率と再生発泡ポリウレタン断熱材の物性指数

た場合、発泡断熱材が発泡硬化中に発煙し、断熱材内部が焼け付くなどの問題が生じた。これは、DEAから得られた再生ポリオールの水酸基価が発泡ポリウレタンの原料にしては高すぎることによる⁽⁷⁾。また、DPGを分解溶剤とする再生ポリオールを使用した場合、脆(もろ)く面材接着性に乏しい断熱材しか得られなかった。これは、DPGから得られた再生ポリオールの水酸基価が高いこと、官能基数がバージンポリオールと比べて小さいことによる。

さらに、上記開発溶剤を分解溶剤とする再生ポリオールを30wt%、バージン材のポリオールを70wt%含むポリオールを用いた再生発泡断熱材を、内容積400ℓの大型冷蔵庫箱体に充填(じゅうてん)し、その製品性能を評価した。その結果、再生発泡ポリウレタン断熱材は、充填性がバージン材に比べて悪く発泡体の充填量を2%増やす必要があること、外箱(板金)との接着性が部位により不十分な所があるなどの改善の余地を残しながらも、熱伝導率、圧縮強度、寸法安定性などの性能がバージン材と同等であることが分かった。

5. む す び

以上のように、冷蔵庫用発泡ポリウレタン断熱材のグリコール分解に専用に開発された分解溶剤を使用することで、短時間でバージン材のポリオールと同等の性状を持つ再生ポリオールが得られた。また、その再生ポリオールで発泡ポリウレタン断熱材を作製し、それを冷蔵庫箱体に適用し

た。その結果、再生断熱材はバージン材と同等の性能があることが分かった。

冷蔵庫において発泡ポリウレタンは、断熱材のみならず構造材としても機能し、冷蔵庫の消費電力、強度、意匠性などにかかわるキーマテリアルである。再生材であっても発泡ポリウレタンの品質を下げることはできない。今後は、再生発泡ポリウレタン断熱材の品質を更に向上させ、実用化を進めていく。

最後に、本稿の成果の一部はNEDO平成12年度循環型社会構築促進技術実用化開発費助成事業により得られたものであることを記す。

参 考 文 献

- (1) ポリウレタンテクニカルレポート, ポリウレタン工業会, 1 (1998), 2~4 (2000)
- (2) Borda, J., et al.: Polym. Degrad. Stab., 68, 419 (2002)
- (3) 村井道雄, ほかに: 高分子学会予稿集, 50(5), 926 (2001)
- (4) Murai, M., et al.: Proceeding of Polyurethanes Expo 2001, 615 (2001)
- (5) Kanaya, K., et al.: J. Appl. Polym. Sci., 51, 675 (1994)
- (6) Modesti, M., et al.: Proceeding of Polyurethane World Congress 1991, 370 (1991)
- (7) 今井嘉夫: ポリウレタンフォーム, 高分子刊行会 (1990)

熱硬化／熱可塑ハイブリッドによる 易分解樹脂

三村研史*
伊藤浩美*
反田哲史**

要 旨

電気・電子製品の多くに用いられている熱硬化性樹脂は、リサイクルが可能な熱可塑性樹脂とは異なり、いったん硬化させると加熱しても熔融することがなく、多くの溶剤に不溶であるために処理が困難である。このために、熱硬化性樹脂製品の処理技術及び再利用技術の開発が望まれている。

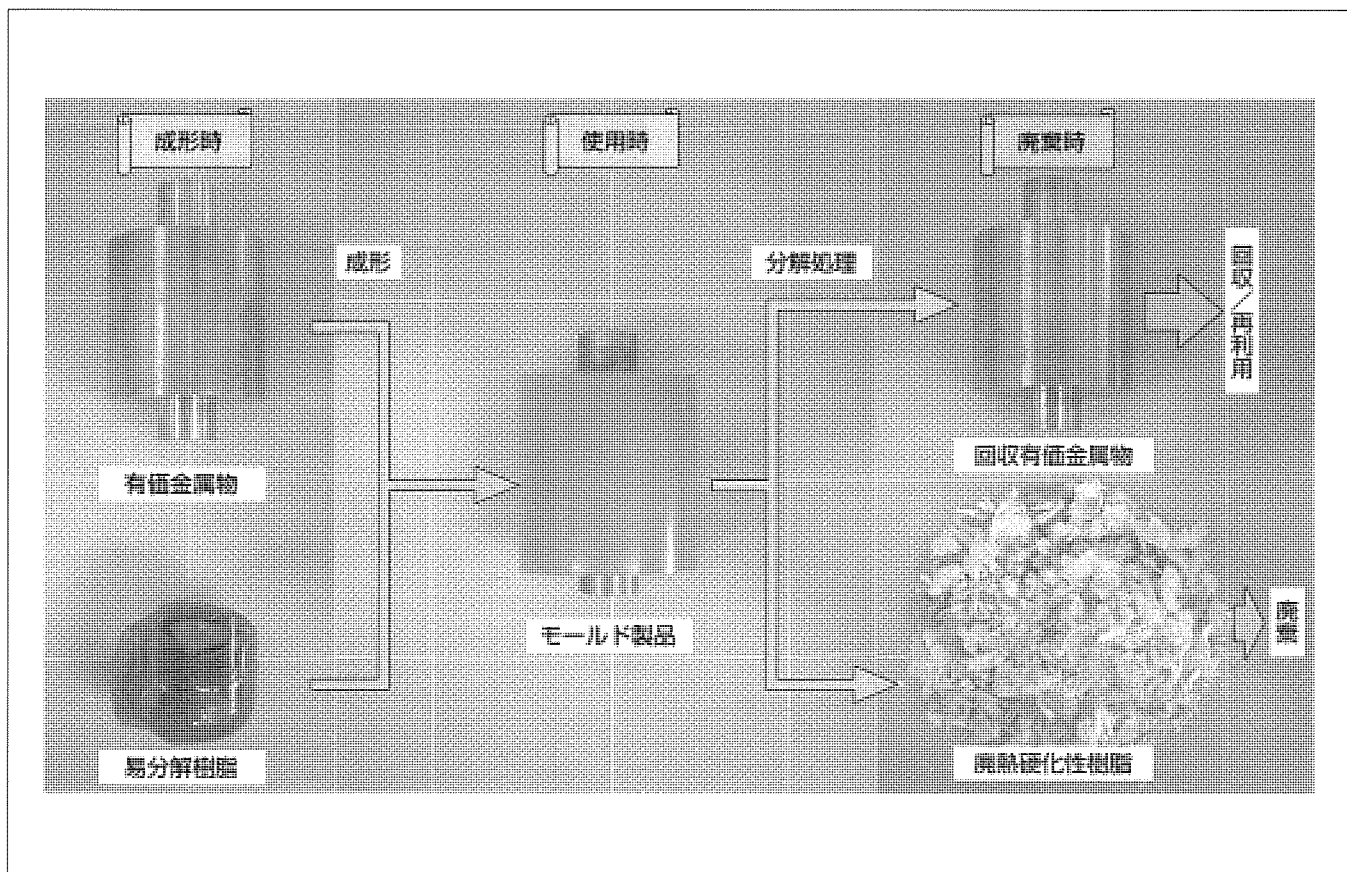
そこで、熱硬化性樹脂製品に埋封している有価金属物の回収／再利用を目的とした易分解型熱硬化性樹脂の開発を試みた。

熱硬化性樹脂に有機溶剤や熱に可溶な熱可塑性樹脂を少量ブレンドしてハイブリッド化することによって製品使用時の特性を向上しながら同時に廃棄時の分解性を容易にした易分解型熱硬化性樹脂を開発した。この熱硬化／熱可塑

ハイブリッドによる易分解樹脂は、以下の特長を持っている。

- (1) 熱硬化／熱可塑ハイブリッド樹脂硬化物を有機溶剤ジメチルホルムアミドで処理をすると、室温で50時間で樹脂部分は分解し、埋封された金属物を回収することができる。
- (2) 熱硬化／熱可塑ハイブリッド樹脂硬化物のガラス転移温度(T_g)は、160℃と熱硬化性樹脂単独硬化物に比べて約10℃向上し、破壊靱性(じんせい)値は約1.9倍に向上した。

今後、実用化のためには、熱可塑性樹脂を配合したときのハンドリング性向上のための組成の低粘度化技術が課題である。



易分解樹脂で成形したモデルモールド部品の分解例

有価金属物(銅)を易分解型熱硬化性樹脂で成形し、有機溶剤ジメチルホルムアミド(DMF)を用いて80℃で5時間処理することによって樹脂部分を粉々に分解し、埋封された有価金属物を容易に速やかに分離・回収することに成功した。

1. ま え が き

エポキシ樹脂やフェノール樹脂などの熱硬化性樹脂は、優れた電気絶縁性、機械的特性、熱・化学安定性などの特性を生かして、高電圧電気機器から半導体電子機器に至る多くの電気・電子製品に用いられている。しかし、このような熱硬化性樹脂はいったん硬化させると加熱しても溶融することがなく、多くの溶剤に不溶であるために、製品廃棄時の処理が困難で、そのほとんどが焼却又は埋立て処分されているのが現状である。これら熱硬化性樹脂(エポキシ樹脂)の需要量は、1992年では16.3万トンであったが、2000年には19.7万トンと年々増加する傾向にあり、資源の有効利用や埋立てによる環境負荷を低減させるために、実用的な再資源化技術の開発が強く望まれている。

材料リサイクルの観点からすると、電気・電子製品の熱硬化性樹脂部分は充填(じゅうてん)剤含有量が多く、樹脂分としての再利用価値は少ない。しかし、電気・電子製品の多くには、有価金属物などが熱硬化性樹脂によって埋封されている。そこで、熱硬化性樹脂中に埋封された有価金属物の回収/再利用を目的とした易分解型熱硬化性樹脂の開発を試みた。

図1にそのコンセプトを示した。不溶不融な熱硬化性樹脂に有機溶剤や熱に可溶な熱可塑性樹脂を少量ブレンドし、そして、その相構造が熱可塑性樹脂の連続相を形成するように制御する(熱硬化/熱可塑ハイブリッド樹脂)。これは、硬化物の耐熱性や靱性の改善によく用いられる技術であり、一般に硬化物特性は向上することが知られている⁽¹⁾。今

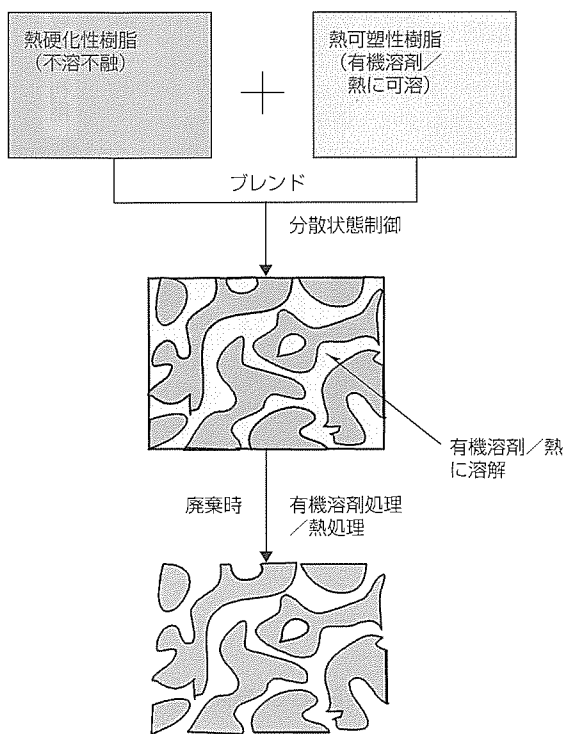


図1. 易分解型熱硬化性樹脂のコンセプト

回、廃棄時に化学処理や熱処理によって熱可塑性樹脂部分を溶解して熱硬化/熱可塑ハイブリッド樹脂を容易に分解し、有価金属物を回収/再利用することを考えた⁽²⁾。

2. 易分解樹脂

2.1 熱硬化/熱可塑ハイブリッド樹脂の相構造制御

本稿では、易分解樹脂の分解性の検証のために、モデル樹脂として熱硬化性樹脂にフェノール樹脂硬化のエポキシ樹脂を、熱可塑性樹脂にポリエーテルスルホン(PES)を用いた。多くの熱硬化性樹脂/熱可塑性樹脂の組合せでは、組成や温度によって混合(相溶)状態が異なる挙動(相図)を示す。ここで用いた熱硬化性樹脂/熱可塑性樹脂混合系の相図を図2に示した。この混合組成は、硬化前の実測曲線で示したように低温領域で均一に相溶し、高温領域で相分離する下限臨界共溶温度(LCST)型相図を示す。これら混合組成は、LCSTより低い硬化温度で硬化し始めた直後では均一な相溶系である。しかし、熱硬化性樹脂の硬化反応が進み熱硬化性樹脂の分子量が増大すると、点線で示したように相溶/相分離臨界温度曲線は低下する。そして、混合系が相分離領域に突入すると相分離を起こす。この際、同時に混合系のガラス転移温度(T_g)も硬化反応に伴い上昇し、混合系の T_g が硬化温度に達すると、その時点で混合系はガラス化し、相構造は固定される。したがって、LCST型相図を示す混合系では、高温成形することでより熱可塑性樹脂の相分離が進み、熱可塑性樹脂の連続相を形成する硬化物が得られることが期待できる。

実際に成形温度を変化させることで、図3に示したように、硬化物の相構造を制御することができた。熱可塑性樹脂を配合していない熱硬化性樹脂単独硬化物(図の(a))は、

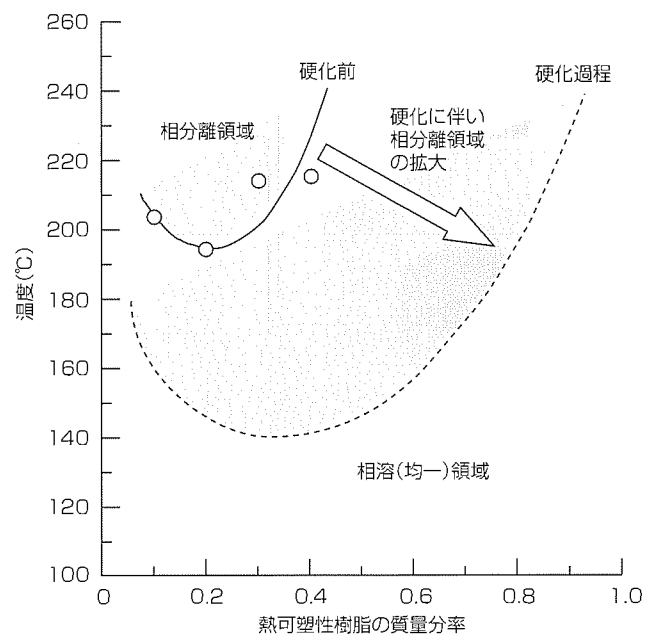


図2. 熱硬化性樹脂/熱可塑性樹脂の相図

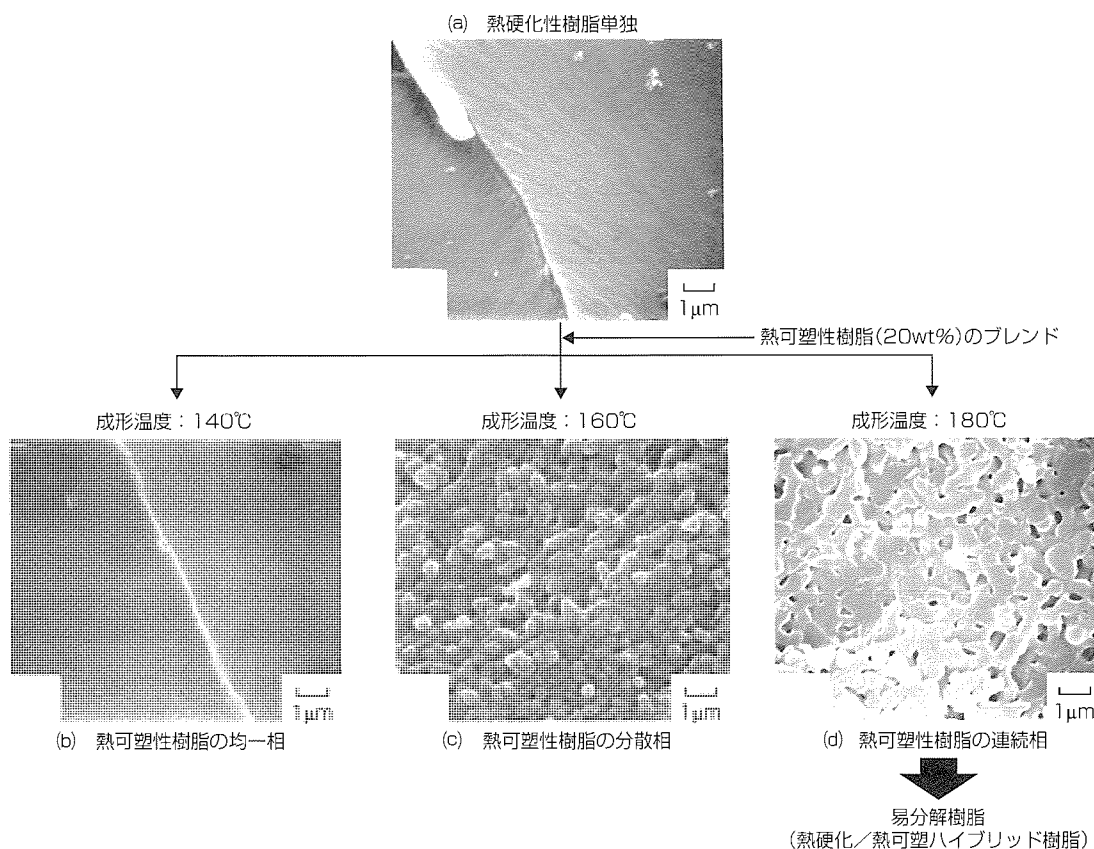


図3. 硬化物断面の電子顕微鏡写真

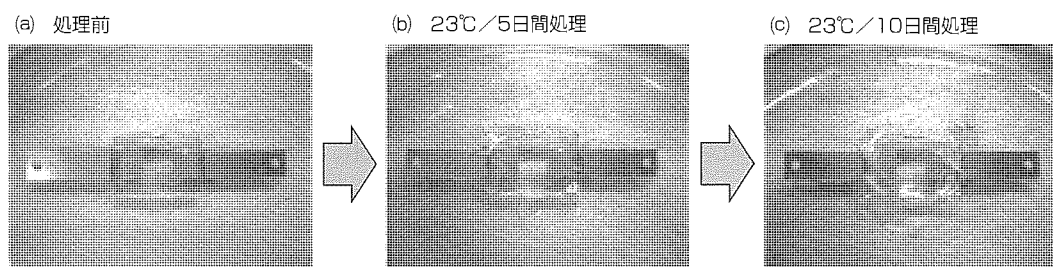


図4. 熱硬化性樹脂単独硬化物の有機溶剤(DMF)処理

均一な硬化物を示す。熱可塑性樹脂を配合しても140℃で成形すると(図の(b)), 硬化物は熱硬化性樹脂単独硬化物と同様に均一な相構造を示す。成形温度が160℃になると(図の(c)), 熱硬化性樹脂のマトリックス中に球状の熱可塑性樹脂が分散した海島構造を形成している。さらに、成形温度を180℃に上昇すると(図の(d)), 相互の熱可塑性樹脂が連なった熱可塑性樹脂の連続相を形成することが示された。このように成形温度を変化させて硬化物の相構造を制御し、熱可塑性樹脂が連続相を形成した熱硬化/熱可塑ハイブリッド樹脂を得ることができた。

以後の分解性の検討は、熱硬化性樹脂単独硬化物と熱可塑性樹脂が連続相を形成した熱硬化/熱可塑ハイブリッド樹脂硬化物で比較評価した。

2.2 熱硬化/熱可塑ハイブリッド樹脂の分解性の検証

ここで用いた熱可塑性樹脂は、ジメチルホルムアミド

(DMF)などの有機溶剤に溶解する。そこで、熱硬化性樹脂単独硬化物及び熱硬化/熱可塑ハイブリッド樹脂硬化物を有機溶剤DMFで処理し、その分解性を評価した。評価としては、引き抜き接着試験片を用いた。

図4に、熱硬化性樹脂単独硬化物における接着試験片の溶剤処理による変化を示した。熱硬化性樹脂単独硬化物では、室温で5日間処理しても樹脂外観は変化しない(図の(b))。処理開始から10日間経過すると樹脂部の外側が欠け始めるが、金属被着体部分は樹脂部に埋もれた状態である(図の(c))。このように、熱硬化性樹脂単独硬化物は、有機溶剤に不溶なために処理が困難であることが分かる。

次に、熱硬化/熱可塑ハイブリッド樹脂硬化物の接着試験片の溶剤処理による変化を図5に示した。図の(a)には処理前の接着試験片を示すが、この硬化物では、熱可塑性樹脂が相分離しているために硬化物是不透明である。この

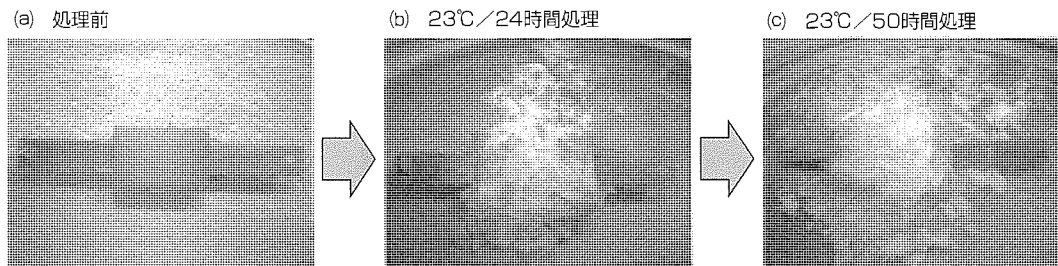


図5. 熱硬化/熱可塑ハイブリッド樹脂硬化物の有機溶剤 (DMF) 処理

表1. 硬化物の特性

試料	曲げ特性			破壊靱性値 K_c ($\text{MN/m}^{3/2}$)	T_g (DMA) ($^{\circ}\text{C}$)
	強度 (MPa)	ひずみ (%)	弾性率 (GPa)		
熱硬化性樹脂単独	123 ± 6	6.50 ± 1.54	2.71 ± 0.09	0.83 ± 0.03	151
熱硬化/熱可塑ハイブリッド樹脂	127 ± 7	7.14 ± 2.83	2.89 ± 0.01	1.55 ± 0.08	159

熱硬化/熱可塑ハイブリッド樹脂硬化物を有機溶剤DMFで処理すると、処理開始から数時間で樹脂部の外側から分解が始まり、処理開始から24時間経過すると樹脂部分の分解がかなり進んでいることが分かる(図の(b))。そして、処理開始から約2日間(50時間)で樹脂部分が細かく分解し、金属被着体を分離・回収できるようになった(図の(c))。

このように熱硬化/熱可塑ハイブリッド樹脂硬化物は有機溶剤処理によって容易に速やかに分解し、埋め込まれた有価金属を回収できることが示された。

2.3 熱硬化/熱可塑ハイブリッド樹脂硬化物の特性

熱硬化/熱可塑ハイブリッド樹脂硬化物の特性を表1に示す。熱硬化/熱可塑ハイブリッド樹脂硬化物の曲げ特性は、熱硬化性樹脂単独硬化物に比べて強度、伸び、弾性率ともに同等以上の値を示す。熱硬化/熱可塑ハイブリッド樹脂硬化物の破壊靱性値は、熱硬化性樹脂単独硬化物に比べて大きく向上した。その値は、熱硬化性樹脂単独硬化物の約1.9倍を示す。また、熱硬化/熱可塑ハイブリッド樹脂硬化物の耐熱性 T_g は、 160°C と熱硬化性樹脂単独硬化物の 150°C に比べて約 10°C 向上した。

前述したように、熱硬化性樹脂への熱可塑性樹脂の配合は、熱硬化性樹脂の特性改善のために用いられる手法の一つである。ここで用いた熱可塑性樹脂は高耐熱・高強度なエンジニアリングプラスチックであり、このような熱可塑性樹脂を配合すると熱硬化性樹脂の耐熱性と靱性を同時に向上できることが示された。

しかし、このような特性改善を得るためには、分子量の高い熱可塑性樹脂を用いなければ効果が少なく、高分子量の熱可塑性樹脂を用いると熱硬化性樹脂に配合する際の粘度が急増し、ハンドリングの低下を伴う。したがって、今後は熱可塑性樹脂の配合時の低粘度化技術が実用化の課題である。

3. む す び

以上のように、熱硬化性樹脂への熱可塑性樹脂のハイブリッド化は、製品使用時の特性を向上しながら同時に廃棄時の分解性を容易にすることができる。ここでの検証は、熱硬化性樹脂にエポキシ樹脂を、熱可塑性樹脂にはPESを用いて行ったが、コンセプトに示した相構造を形成できる配合系であればいずれの熱硬化性樹脂材料系でも今回と同様の効果が得られるものと推察される。

参 考 文 献

- (1) Mimura, K., et al.: Improvement of Thermal and Mechanical Properties by Control of Morphologies in PES-modified Epoxy Resins, *Polymer* **41**, 4451 (2000)
- (2) 三村研史, ほか: 熱可塑性ポリマーをブレンドした易分解型エポキシ樹脂の特性, 第52回ネットワークポリマー講演討論会予稿集, 72 (2002)

高効率 O₃/UV処理による 難分解性排水処理

上村美貴* 鐘ヶ江裕三*
古川誠司**
廣辻淳二**

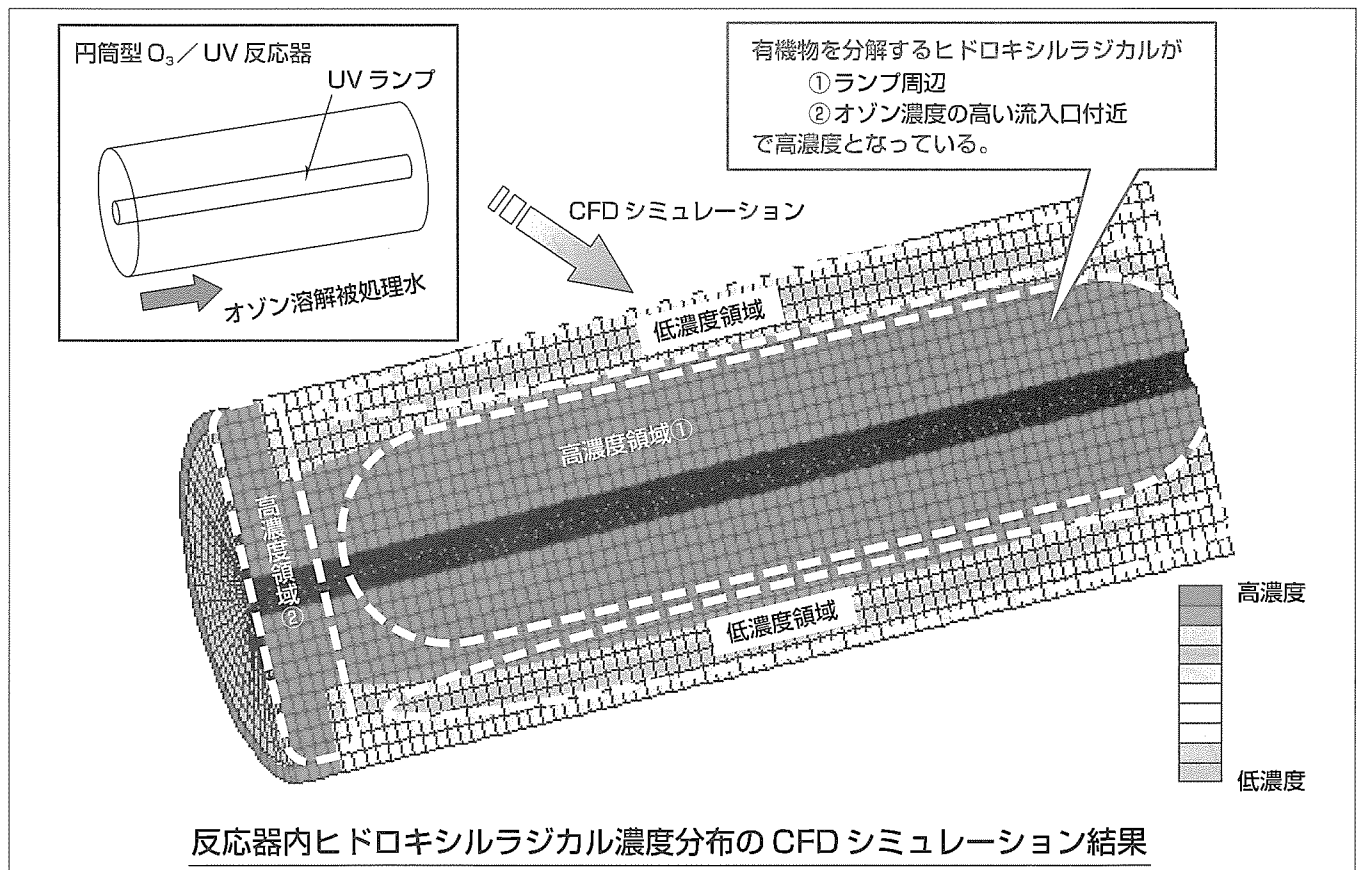
要 旨

ダイオキシンや環境ホルモンなど、従来の生物処理やオゾン単独処理では十分に分解できない有機物(難分解性有機物)による水環境の汚染が社会問題となっている。これらの物質に汚染された排水を処理する方法として、酸化力の強いヒドロキシルラジカル(HO・)を用いた処理、すなわち促進酸化処理が注目を集めている。

三菱電機では、オゾンに紫外線を照射してHO・を生成させて難分解性有機物を酸化分解するO₃/UV処理の高効率化を目的とした研究を進めてきた。CFD(Computational Fluid Dynamics: 計算流体力学)手法を導入し、これまでブラックボックスであった反応器内の複雑なラジカル反応と被処理水の流動とを同時に解析した結果、従来の円筒型反応器は有機物を分解するHO・が反応器内に一様に分布しておらず、高効率化の余地が残されていることが分か

った。

そこで、反応器の高効率化を目的とした取り組みの一つとして紫外線照射方式について検討したところ、従来は連続的に行われていた紫外線照射を間欠的にすること(間欠照射方式)により有機物の分解が促進されることが明らかになった。これは、O₃/UV処理の副生成物として生成・蓄積した過酸化水素が、紫外線照射を止めることによって、オゾンと反応して新たにHO・を生成するようになるためである。すなわち、この方式では、従来と同等かそれ以上の有機物分解率を維持しつつ、紫外線照射電力を削減することが期待できる。ラボスケールの実験では、従来方式の約半分の照射電力で同等の有機物分解率が得られることが実証された。



O₃/UV反応器のCFDシミュレーション結果

O₃/UV処理中に起きる複雑かつ高速なラジカル反応と被処理水の流動とを同時に解析できるCFDシミュレータを構築し、これまでブラックボックスであった反応器内の溶存物質濃度分布や流速分布を解析した。これにより、反応器形状や操作条件の最適化が可能となった。

1. ま え が き

ダイオキシンやトリクロロエチレンを始めとする有機塩素化合物や環境ホルモンなどの物質は、微量でも有害である上に自然界では分解されにくいいため、いったん環境水中に流出してしまうと汚染が長期間継続し、環境に与える影響も極めて大きいと懸念されている。これらの難分解性有機物を含む排水を完全に処理することは従来の生物処理やオゾン単独処理では困難であり、酸化力の強いヒドロキシルラジカル(HO・)を用いた処理、すなわち促進酸化処理が注目を集めている。

当社では、オゾンに紫外線を照射してHO・を生成させて難分解性有機物を酸化分解するO₃/UV処理の高効率化のための研究を進めてきた。

本稿では、CFD手法を導入しこれまでブラックボックスであった反応器内の溶存物質濃度分布などを解析した結果を紹介するとともに、反応器の高効率化を目的とした取り組みの一つとして、紫外線照射方式について検討した結果について述べる。

2. O₃/UV処理法

上述したように、O₃/UV処理法とは、水中に溶解したオゾンに紫外線を照射することによってHO・を発生させ、その強い酸化力を利用して処理対象有機物を酸化分解する方法である。

HO・は反応性が非常に高いため処理対象有機物を高速に分解できるが、一方で、自身の生成原料であるオゾン及び中間生成物である別のラジカル種や過酸化水素なども反応して、複雑なラジカル反応系を形成する。この反応系の中から主要な反応を抽出して簡略化したものを図1に示す。HO・の生成及び有機物の分解にかかわる反応以外の上述したような反応によりHO・やその原料であるオゾンが無効消費されてしまい、有機物の分解効率が低くなるこ

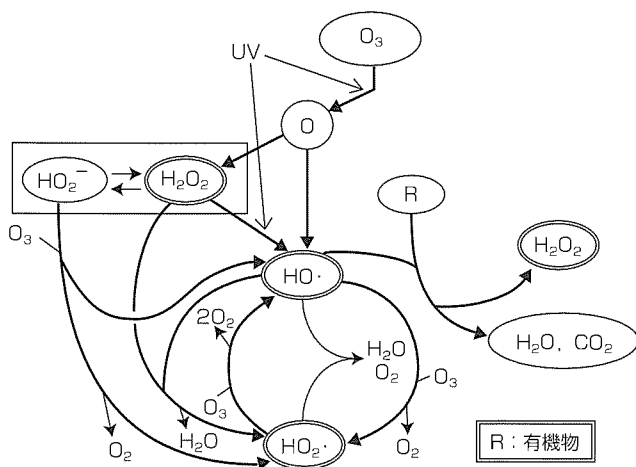


図1. O₃/UV反応スキーム

とがO₃/UV処理の課題である。当社は、この課題を解決して高効率な処理を実現するために、計算機シミュレーションや基礎実験などによる研究を進めている。

3. CFDシミュレーションによる検討

3.1 シミュレータの概要

図1に示した複雑なラジカル反応を数式化した“反応モデル”と被処理水の流動や溶存物質の拡散を記述した“流体力学モデル”とを組み合わせ、O₃/UV処理プロセスのためのCFDシミュレータを構築した⁽¹⁾。

図2に、対象とした円筒型O₃/UV反応器の構成を示す。直径0.3m、長さ0.8mの円筒型反応器の中心軸上にUVランプを設置したもので、あらかじめオゾンを溶解させた被処理水を流入させるように想定している。

3.2 反応器内濃度分布の計算結果

構築したシミュレータを用いて、表1に示した計算条件でCFDシミュレーションを実行し、HO・濃度や有機物濃度の指標であるTOC(Total Organic Carbon: 全有機態炭素)濃度の反応器内分布を調べた。

図3及び図4に、それぞれ有機物が共存しない場合(TOC濃度0 mg/l)と共存する場合(TOC濃度5 mg/l)の反応器内HO・濃度分布の計算結果を示す。両者を比べると、有機物が共存する方がHO・濃度の高い領域が少なくなっており、流入水に含まれる有機物によりHO・がほとんど消費されたことが分かった。また、有機物の有無にかかわらず、反応器の流入部で高濃度のHO・が生成していることが分かった。これは、この領域で溶存オゾン濃度が高いため、HO・の生成が促進されるためである。さらに、図3及び図4から、HO・濃度の反応器内分布に偏りがあることが分かり、従来の反応器には高効率化の余地が残されていることが示唆された。

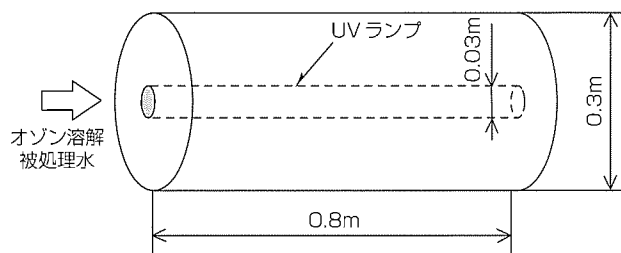


図2. シミュレーション対象としたO₃/UV反応器

表1. シミュレーション条件

被処理水流量 (ℓ/min)	0.4
オゾンガス流量 (ℓ/min)	1.5
オゾンガス濃度 (g/m ³ (N))	17
被処理水TOC濃度 (mg/ℓ)	5
UVランプ出力 (W)	40

図5に、反応器内TOC濃度分布の計算結果を示す。TOC濃度は紫外線ランプ周辺で低くなっており、この部分で有機物の分解が進んだことが分かった。これは、この領域では、図3に示したようにHO・濃度が高いだけでなく、流速分布の計算結果(図6)から分かるように流速が遅いため滞留時間が長いこと、すなわちHO・が高濃度に存在する領域に被処理水が長く滞留したことが原因である。これらの結果から、有機物の分解は、HO・の濃度分布だけでなく、被処理水の流動状態の影響も強く受けることが確認された。

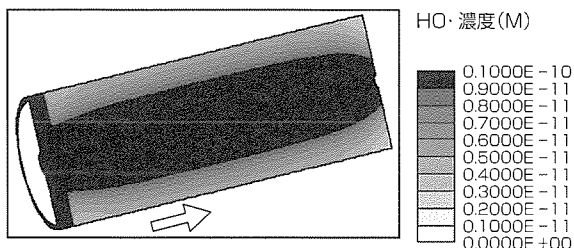


図3. 反応器内HO・濃度分布 (TOC濃度 0 mg/l)

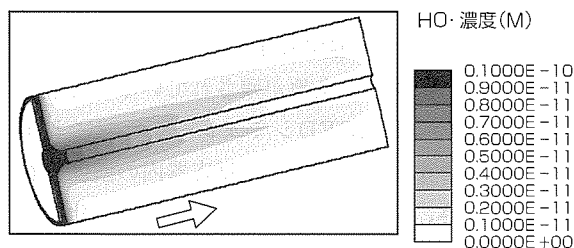


図4. 反応器内HO・濃度分布 (TOC濃度 5 mg/l)

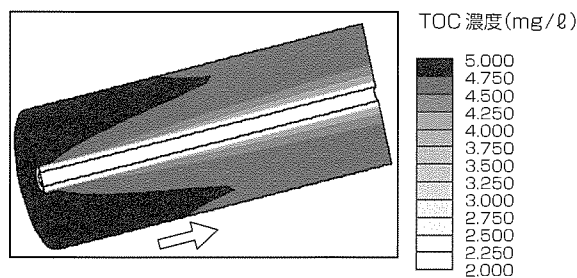


図5. 反応器内TOC濃度分布

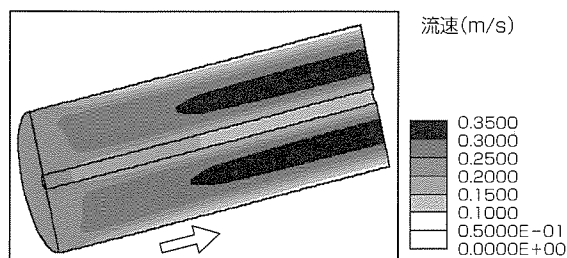


図6. 反応器内流速分布

4. 間欠照射方式の提案と実証

4.1 間欠照射方式の提案

—従来方式(連続照射方式)の問題点発見—

反応器の高効率化を目的とした取り組みの一つとして、紫外線照射方式について検討した。ここでは、オゾンガスを曝気(ばっき)しながら紫外線を照射する方式の円筒型O₃/UV反応器を対象として、TOC濃度と過酸化水素濃度の経時変化を調べた。図7に実験装置の概略図を、表2にシミュレーション及び実験の条件を示す。

図8に、従来のように紫外線を連続的に照射した場合のTOC濃度及び過酸化水素濃度の経時変化を示す。TOC濃度は徐々に減少し、有機物の分解が進んだことが確かめられた。一方、過酸化水素濃度は、処理開始5分後に30mg/lを超える高濃度となり、その後減少することが明らかになった。今回の実験条件のように有機物濃度が高い場合の過酸化水素の生成は有機物の分解によるものが主となるので、有機物分解の進んだ0分~5分の間に過酸化水素が生成・蓄積したものと考えられる。以上の結果から、過酸化水素が蓄積したときに紫外線照射を止めれば、それまで紫外線により分解されていたオゾンが過酸化水素と反応して新たにHO・を生成するようになり、有機物の分解が促進されるのではないかと考え、間欠照射方式を試みた。

4.2 間欠照射方式の効果の実証

図9に、5分~10分及び15分~20分の間、紫外線の照射

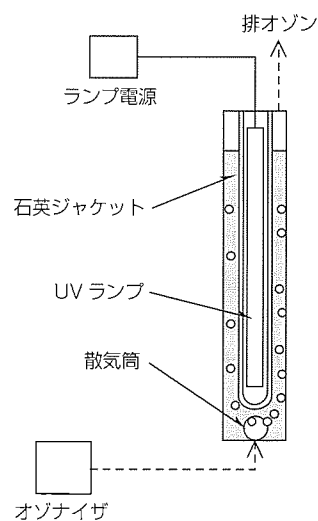


図7. 実験装置概略図

表2. 検討条件

反応器容積 (l)	12
オゾンガス流量 (l/min)	1
オゾンガス濃度 (g/m ³ (N))	200
被処理水TOC濃度 (mg/l)	23
UVランプ出力 (W)	40

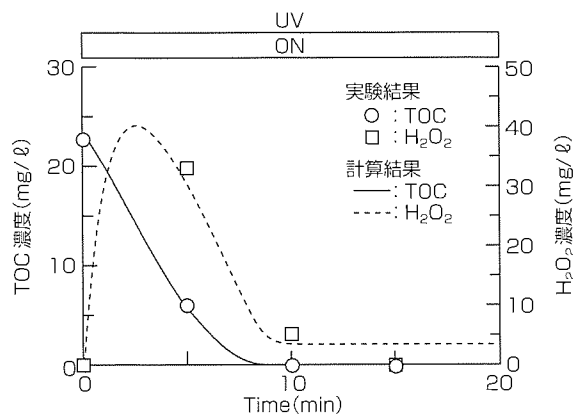


図 8. TOC濃度と過酸化水素濃度の経時変化(連続照射方式)

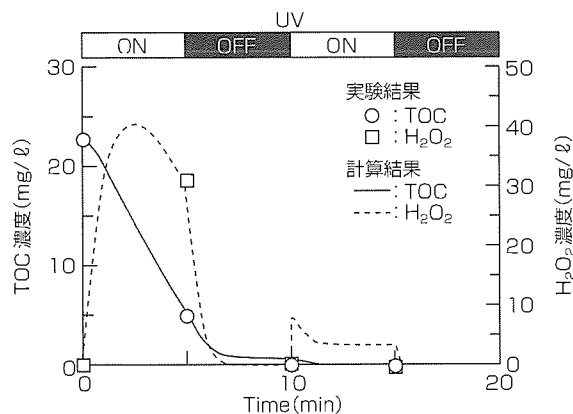


図 9. TOC濃度と過酸化水素濃度の経時変化(間欠照射方式)

を止めて紫外線照射を間欠的に行った場合(間欠照射方式)のTOC濃度及び過酸化水素濃度の経時変化を示す。TOC濃度は5分～10分の紫外線非照射時にも減少しており、間欠照射では連続照射の半分の紫外線照射電力で連続照射と同等のTOC分解量が得られることが分かった。

また、過酸化水素は10分経過後には完全に消費されており、紫外線非照射時に過酸化水素とオゾンとの反応が促進されたことが示唆された。

4.3 間欠照射方式のメカニズムの実証

上述のような間欠照射方式のメカニズムに関する仮説、すなわち、紫外線非照射時にも有機物の分解が進むのは過酸化水素とオゾンとの反応により新たにHO・が生成するためであるという仮説の妥当性を検証した。オゾンと過酸化水素との反応は酸性領域では抑制されるため、酸性領域と中性領域(pH調整を行わない場合)の処理特性を比較することによってオゾンと過酸化水素との反応の有機物分解への寄与を調べることができる。このため、pHを調整して酸性領域での実験を行った。

図10に、pH調整を行わない場合とpHを4に調整した場

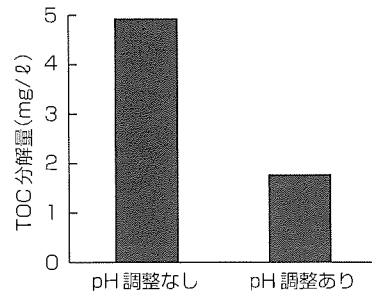


図10. 非照射時におけるTOC分解量の実験結果

合の処理開始後5分～10分の間(紫外線非照射時)のTOC分解量を示す。図に示したように、pH調整時のTOC分解量はpHを調整しない場合の約1/3であった。すなわち、オゾンと過酸化水素との反応が抑制される酸性領域では紫外線非照射時のTOC分解が進まないことが確かめられ、上述の仮説が妥当であることが確認できた。

5. む す び

本稿では、O₃/UV処理の高効率化を目的として進めてきた研究の一部を紹介した。

CFDシミュレーションによる解析から、従来の円筒型反応器は、有機物を分解するHO・が反応器内に一様に分布しておらず、最適化の余地が残されていることが明らかになった。このようなCFDシミュレーションにより、これまでブラックボックスであった反応器内の濃度分布を調べることができ、反応器形状や操作条件の最適化が可能になると考えられる。

また、反応器の高効率化を目的とした取り組みの一つとして紫外線照射方式について検討し、間欠照射方式を提案した。この方式では、処理の副生成物である過酸化水素を有機物の分解に有効に利用して、紫外線照射電力を削減することができる。ラボスケールの半回分式実験では、従来方式の約半分の照射電力で同等の有機物分解率が得られることが実証された。

以上のように、当社では、O₃/UV処理の高効率化を目的として計算機シミュレーションや実験による研究を行っており、今後も本稿で紹介したCFDシミュレーション技術などを利用して、高速・高効率に難分解性物質を処理できる反応器の開発を進めていく。

参考文献

- (1) Kamimura, M., et al. : Development of a Simulator for Ozone/UV Reactor based on CFD Analysis, Proceedings of Asian Waterqual 2001, 1, 215～220 (2001)

下水汚泥からのリン回収技術

安永 望* 鐘ヶ江裕三**
古川誠司*
廣辻淳二*

要 旨

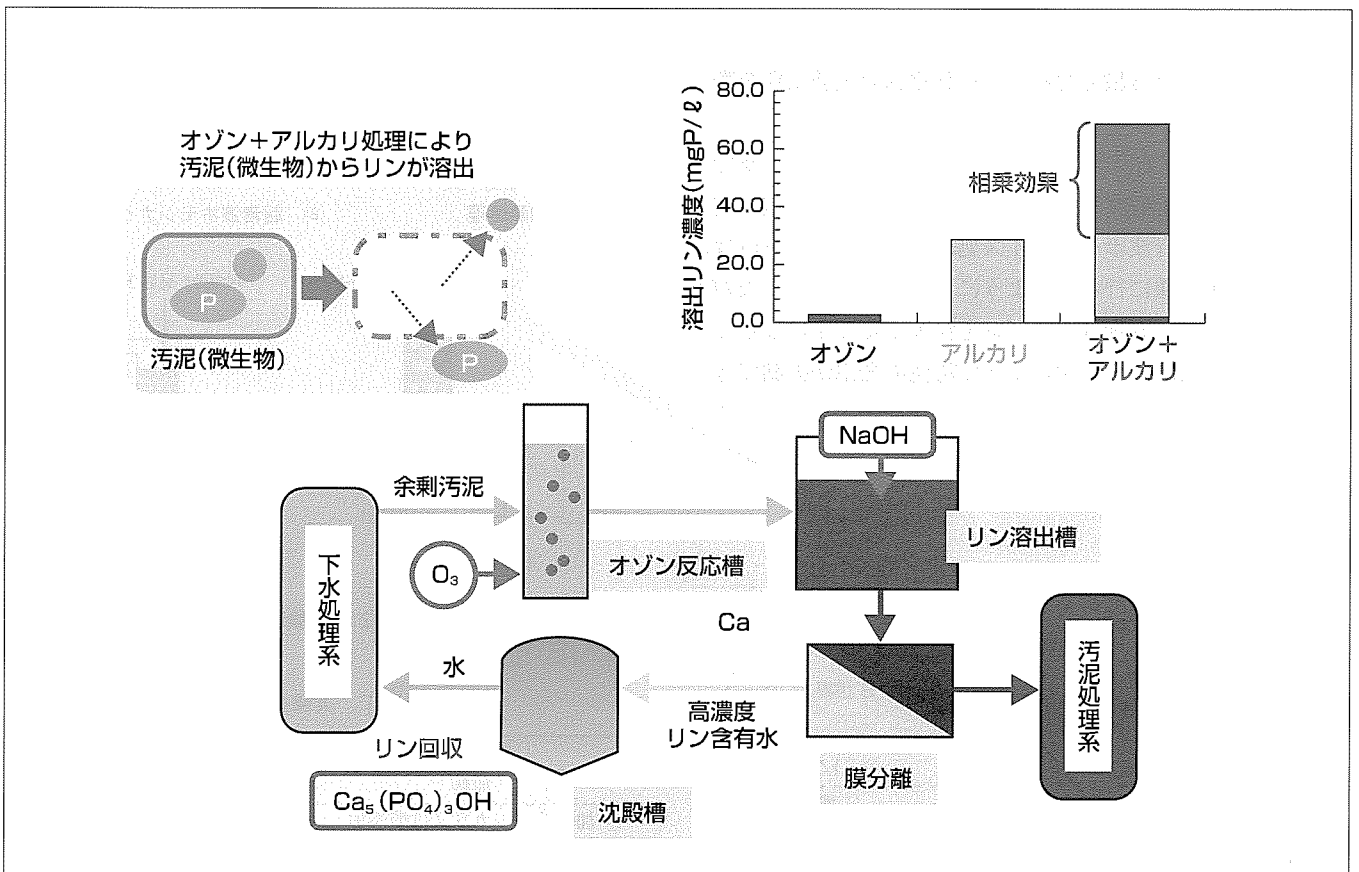
全世界で年間に採掘されるリン鉱石の量は約1億5千万トンにも達し、現在のコストで採掘できる期間は30~40年と言われている。リン資源枯渇の問題はリン鉱石をほぼ100%輸入に頼っている我が国にとっては早急に対処すべき問題であるが、その問題意識は低い。また、リンの国内蓄積による水環境の富栄養化が顕著になっており、その対策が求められている。これらを同時に解決するためには、リンのリサイクル技術の開発が必要不可欠である。そこで我々は、下水汚泥からリンを回収する技術について研究を進めてきた。下水汚泥からのリン回収技術の開発において、リンを含有する汚泥から短時間で効率良くリンを溶出できる方法を探索した。その結果を以下に示す。

(1) 汚泥にオゾン注入後アルカリを添加するオゾン+アル

カリ処理がリンの高速・高効率溶出に有効であった。

(2) オゾン+アルカリ処理により相乗的なリン溶出効果が得られ、基礎実験で処理時間10~15分程度で約80%のリンを汚泥から溶出できた。

(3) 相乗的なリン溶出効果のメカニズムについては、汚泥の細胞壁や細胞膜を構成している蛋白(たんぱく)質や脂質がオゾンと反応して、細胞壁や細胞膜の一部が損傷する。続いてオゾンとの反応で破損した細胞壁や細胞膜とアルカリが反応して細胞膜の溶解が促進されリンが細胞内の物質とともに大量に液中に溶出されると推測された。今後は、最適な溶出条件を把握するとともに、溶出したリンを回収する方法について検討する。



オゾン+アルカリ処理によるリン回収プロセス

このシステムは、汚泥(微生物)にオゾン注入後アルカリ処理することにより、汚泥中のリンを水中に溶出させて回収するものである。今回オゾンとアルカリの併用によるリン溶出の相乗効果を発見し、基礎実験において、15分で80%以上のリンを汚泥から溶出できることが明らかになった。

*先端技術総合研究所(工博) **同研究所

1. ま え が き

全世界で年間に採掘されるリン鉱石の量は約1億5千万トンにも達し、現在のコストで採掘できる期間は30~40年と言われている(図1⁽¹⁾)。リン資源枯渇の問題はリン鉱石をほぼ100%輸入に頼っている我が国にとっては早急に対処すべき問題であるが、その問題意識は低い。また、リンの国内蓄積による水環境の富栄養化が顕著になっており、その対策が求められている。これらを同時に解決するためには、リンのリサイクル技術の開発が必要不可欠である。

リンを含有する汚泥からリンを溶出する方法として汚泥を加熱する方法があるが⁽²⁾、処理時間が長く(1~2時間)リン溶出率も低い(最大50%程度)ため、更に高効率なリン溶出技術の開発が求められている。

本稿では、短時間で効率良くリンを溶出できる方法を探索し、汚泥からリンが溶出するメカニズムについて考察した結果について述べる。

2. 条件及び方法

図2に実験装置を示す。①加熱、②超音波ホモジナイズ、③オゾン、④酸又はアルカリ添加、並びに①~③と④を組み合わせた処理方法について検討した。また、対照系として、汚泥をこれらの処理方法と等しい時間だけ攪拌(かくはん)した実験も行った。それぞれの実験条件を表1に示す。

加熱処理は、汚泥の温度が一樣になるようにスターラで攪拌して汚泥が所定温度(70℃)まで上昇した後の処理時間を計測した。超音波ホモジナイズ処理(60W, 19.9kHz)は、汚泥の破碎が一樣に行われるようにスターラで攪拌しながら行った。オゾン処理は、オゾンを注入することによって汚泥は発泡したが、攪拌することで汚泥の発泡が抑制できた。それぞれの処理を行った後、酸には1N塩酸を、アルカリには1N水酸化ナトリウム溶液を用いて汚泥を所定の

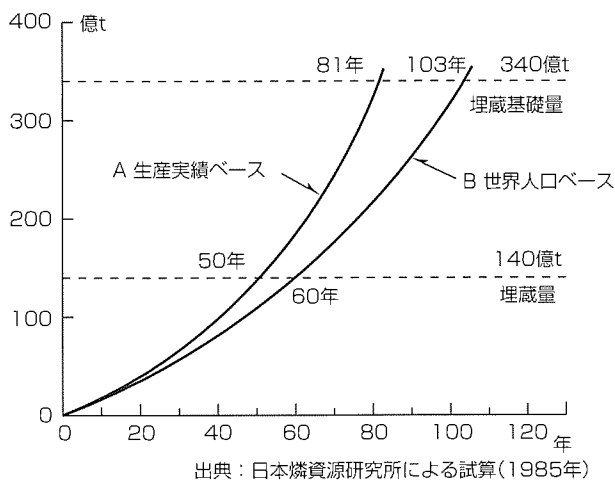


図1. 世界リン鉱石の寿命予測

pHに調節した。

実験に供した汚泥は、比較的低い溶存酸素濃度(DO)で運転されている下水処理場の曝気(ばっき)槽末端から採取した活性汚泥である。汚泥を採取した処理場の処理水中リン濃度は1mg/l未満で、リンが良好に除去されている。各実験ケースについて浮遊物質濃度(SS)が2,000~3,000mg/lとなるように調整した活性汚泥450mlに、各処理を行った後、サンプルを孔径1μmのガラスフィルタでろ過し、ろ液中の総リン(S-P)濃度及びオルトリン酸(PO₄³⁻-P)濃度を分析し、その差をポリリン酸濃度とした。また、汚泥の総リン(T-P)濃度も測定した。さらに、細胞内物質溶出量を推定するために、波長260nmにおける吸光度を測定した。

3. 結果及び考察

3.1 各処理法の比較

図3に各処理におけるリン溶出結果を示す。

図に示すように酸又はアルカリを添加することによって、リンの溶出量を増大させることができた。酸の添加によ

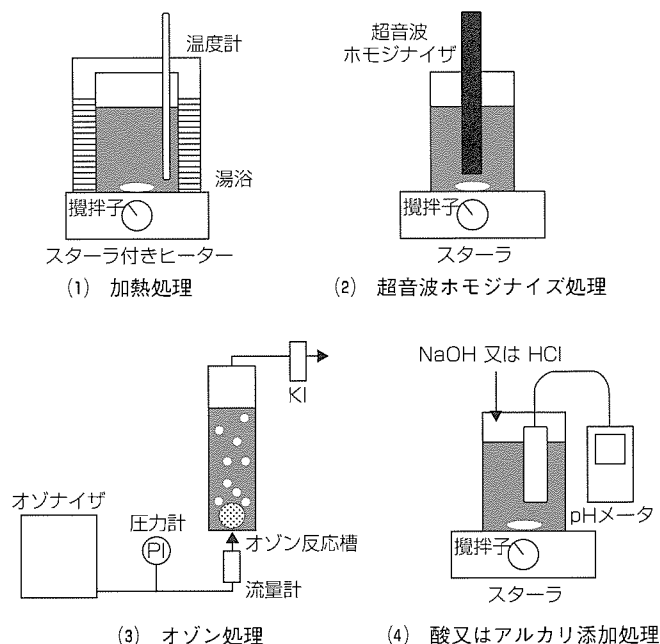


図2. 実験装置

表1. 実験条件

処理方法	処理時間(分)	pH
加熱	30	無調整
加熱後アルカリ又は酸添加	35	2, 10~12
ホモジナイズ	30	無調整
ホモジナイズ後アルカリ又は酸添加	35	2, 10~12
オゾン	1~7	無調整
オゾン注入後アルカリ又は酸添加	6~12	2, 10~12
攪拌	30	無調整
攪拌後アルカリ又は酸添加	35	2, 10~12

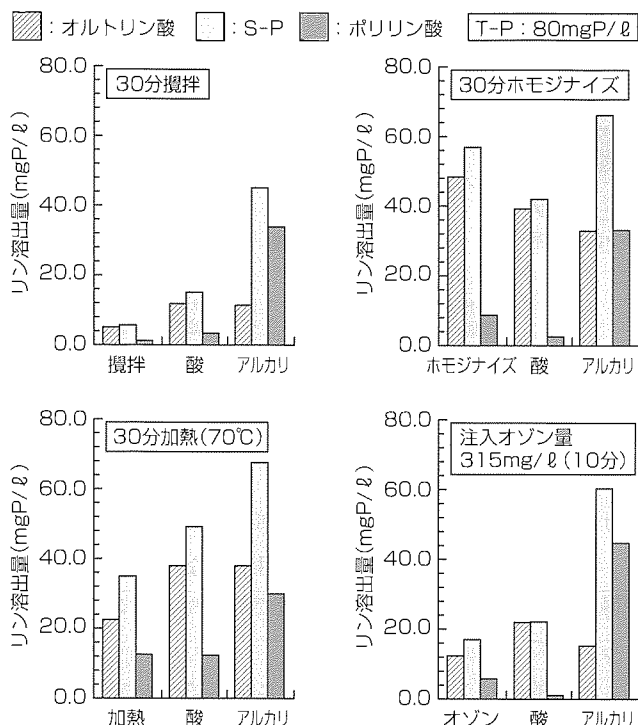


図3. 各処理におけるリン溶出量の変化

てホモジナイズ、加熱、オゾンの各処理では、溶出したポリリン酸が加水分解したため、ポリリン酸濃度が低下した。一方、アルカリの添加によって、溶出した総リン(S-P)及びポリリン酸は大きく増大した。特に加熱及びオゾン処理を行った後にアルカリ添加処理をした場合は、溶解性総リンはそれぞれ全リン量の84%、75%、ポリリン酸はそれぞれ全リンの36%、56%溶出した。さらに、ろ液は黄色に着色し、汚泥の可溶化が進んだものと考えられた。これらの結果から、アルカリ添加処理がリンの溶出に有効であり、オゾン処理後にアルカリを添加すること(以下“オゾン+アルカリ処理”という。)により、加熱処理と比較して短時間でリンを溶出できる可能性があると考えられた。このため、オゾン+アルカリ処理について詳細に検討した。

3.2 オゾン+アルカリ処理によるリン溶出結果

オゾン+アルカリ処理におけるリン溶出量(総リン)の変化を図4に示す。

この図から、アルカリ処理は汚泥からのリンの溶出に対して非常に効果的であることが分かった。オゾン処理のみではオゾン消費量88mg O₃/gSS(オゾン処理時間7分)で10.8mgP/lのリンが溶出し、アルカリ処理のみ(オゾン消費量0 mg O₃/gSS, アルカリ処理時間5分)ではpH12で28.7mgP/lのリンが溶出した。一方、オゾン消費量88mg O₃/gSSでオゾン処理後pH12となるようにアルカリを添加した場合(アルカリ処理時間5分)、溶出したリン量は68.2mgP/lとなり汚泥中総リン含量の約80%のリンが溶出した。この溶出量は、オゾン単独処理とアルカリ単独処理の合計よりも大きく、オゾン注入後にアルカリ処理を行

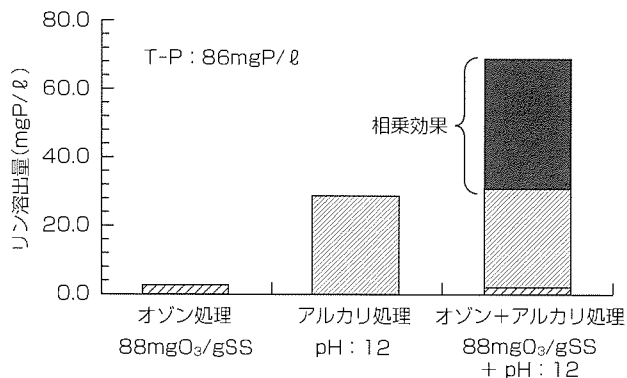


図4. オゾン処理とアルカリ処理の相乗効果

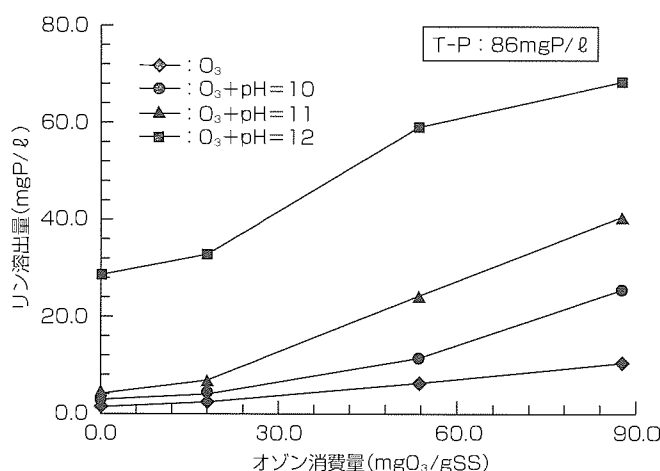


図5. オゾン+アルカリ処理によるリン溶出量の変化

うことで相乗的なリン溶出効果が得られることが分かった。また、処理法の処理時間は10~15分程度で、他の処理法と比べて短時間でリンを効率的に溶出できる可能性が示唆された。

次に、オゾン消費量及びpHの変化について詳細に検討した結果を図5に示す。オゾン消費量が18mg O₃/gSSまではオゾン+アルカリ処理の相乗効果は見られなかったが、オゾン消費量を増加させることによって相乗効果は大きくなることが分かった。

3.3 汚泥からのリン溶出メカニズムの検討

最適なリンの溶出方法を確立するためには、汚泥(微生物)の損傷部位とリンの溶出との関連性を把握する必要がある。そのためには微生物の損傷機構の解明が必要となるが、殺菌・除菌技術関連の研究において微生物の損傷部位を把握することは非常に難しいとされ⁽³⁾、例えばオゾン一つをとっても様々な見解がある⁽⁴⁾⁽⁵⁾。そこで、間接的にリン溶出過程を把握する方法について検討した⁽³⁾。すなわち、微生物内の核酸が波長260nmを吸収することを利用して、リンの溶出処理前後でその波長の吸光度を測定することによって細胞内物質が溶出しているかどうか、すなわち細胞膜が破壊されているかどうかを把握した。

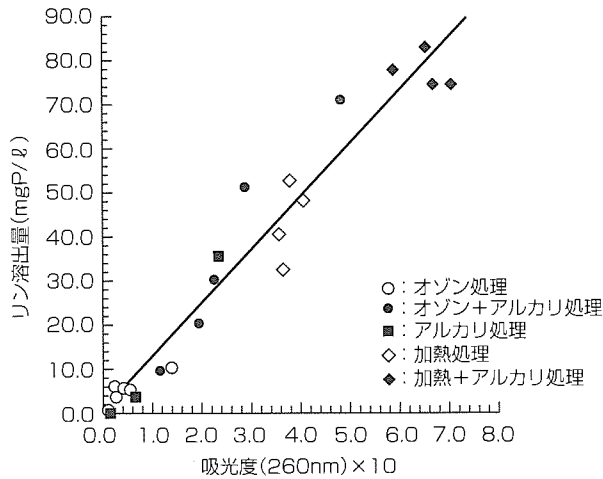


図6. 吸光度とリン溶出量との関係

表1に示した各処理法における溶出液の波長260nmの吸光度とリン溶出量との関係を図6に示す。この図から、波長260nmの吸光度とリン溶出量には正の相関があり、これらの処理によってリンのみが特異的に溶出するのではなく細胞内物質及びリンが一定の比率で同時に溶出することが分かった。汚泥の細胞膜はオゾンによって破壊され、死滅している微生物が多いと考えられるが、図に示すように、オゾン処理のみでは時間をかけても汚泥中のリンは液相に溶出しなかった。オゾン注入後にアルカリを添加するとオゾン処理とアルカリ処理それぞれの溶出量の和以上のリンが汚泥から溶出した。これは、オゾンを注入することによって汚泥の細胞壁や細胞膜を構成している蛋白質や脂質がオゾンと反応して細胞壁や細胞膜の一部が損傷する、さらにそこにアルカリを添加することによってオゾンとの反応で破損した細胞壁や細胞膜とアルカリが反応して細胞膜の溶解が促進しリンが大量に液中に溶出される、と推測された。以上の考察から、オゾン+アルカリ処理によるリン溶出メカニズムを推測した結果を図7に示す。

4. むすび

この研究では、加熱処理を凌(しの)ぐ下水汚泥からのリン溶出技術を開発することを目的として、短時間で効率良くリンを溶出できる方法を探索した。さらに、汚泥(微生物)からリンが溶出するメカニズムについて考察した。以下にその結果をまとめる。

(1) 汚泥にオゾン注入後アルカリを添加するオゾン+アル

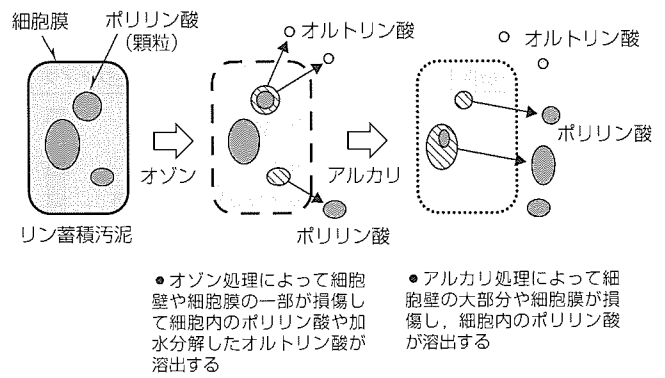


図7. リン溶出メカニズムの推測

カリ処理が、リンの高速・高効率溶出に有効であった。

(2) オゾン+アルカリ処理により相乗的なリン溶出効果が得られ、処理時間10~15分程度で約80%のリンを汚泥から溶出できた。

(3) 相乗的なリン溶出効果のメカニズムについては、汚泥の細胞壁や細胞膜を構成している蛋白質や脂質がオゾンと反応して、細胞壁や細胞膜の一部が損傷する。続いてオゾンとの反応で破損した細胞壁や細胞膜とアルカリが反応して細胞膜の溶解が促進されリンが細胞内の物質とともに大量に液中に溶出されると推測された。

今後は、最適な溶出条件を把握するとともに、溶出したリンを回収する方法について検討する。

参考文献

- (1) 小田部廣男：リン資源の現在と未来, Gypsum & Lime, No.210, 49~58 (1987)
- (2) 大竹久夫, ほか：リン資源の循環再利用のためのバイオテクノロジー, 環境科学会誌, 12, No.4, 433~441 (1999)
- (3) Russell, A. D., et al.: Some Aspects of Thermal Injury in Escherichia Coli, Appl. Environ. Microbiol., 15, 407~410 (1969)
- (4) 神力就子：オゾンによる殺菌機構 — 1.核酸とオゾンの反応 —, 防菌防黴, 22, No.5, 315~320 (1994)
- (5) 神力就子：オゾンによる殺菌機構 — 2.不飽和脂肪酸, タンパク質とオゾンの反応 —, 防菌防黴, 22, No.6, 383~386 (1994)

固体高分子型燃料電池電源

松村光家*
三谷徹男*
漆畑広明**

要旨

燃料電池は、環境に優しい新エネルギー機器として、業務・家庭用の定置電源、自動車等の移動電源、電子機器用電源等、多分野で普及が期待されている。なかでも固体高分子型燃料電池(以下“PEFC”という。)は、電解質が固体で扱いやすく、かつ動作温度が室温近傍であり、安価性や小容量化・運転柔軟性が期待され、産官学挙げて開発に取り組まれている。PEFC電源の実用化入口は、家庭用に代表される小容量コジェネレーション電源と考えられる。具体的には、1kW出力レベルのコジェネレーション電源兼給湯器を各家庭に設置し、排熱の有効利用により燃料費やCO₂排出量を軽減するものである。

ここでは、このような家庭用のPEFC電源につき、まず第一に電源運用に関する計算検討を行い、燃料費/CO₂排

出量の削減効果を調べた。その結果によると、想定どおりの導入効果が見込める一方、その効果は燃料単価や運転状況によっても大きく左右される。いかなる環境でも確実にメリットが得られるよう、電源の一層の性能向上が望まれる。そのほか、電源容量や部分負荷の検討が重要である。

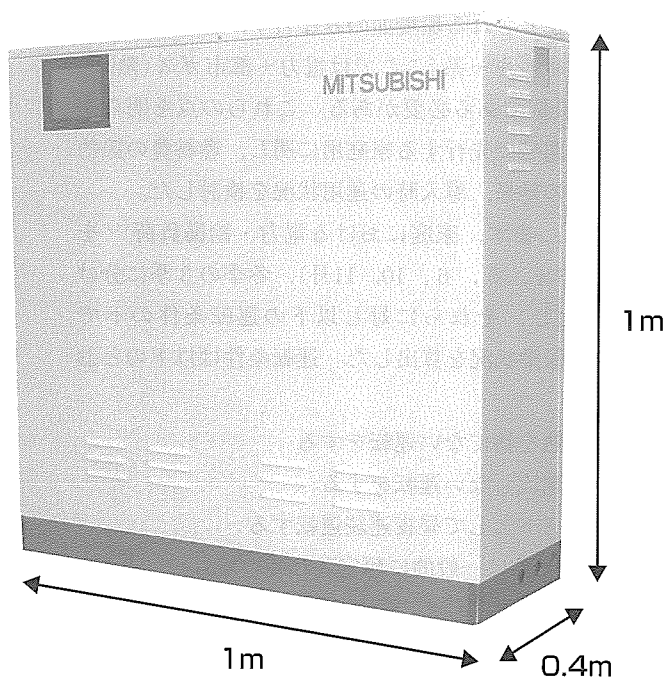
また、システム試験では、1kW電源を試作し、性能試験、コスト分析を実施した。その結果、排熱回収や電池/直交変換部の性能で市場導入時の目標に近いものが得られた。一方、低コスト化については、システムを簡素にする技術を取り上げて開発中である。

燃料電池技術は今後の社会にとって重要であり、より良い社会の実現に向けて今後とも開発に努力する。

家庭への導入効果

- | | |
|-------------------------|---------|
| ● 燃料費節約 | 3~5万円/年 |
| ● CO ₂ 排出量削減 | 23% |
| ● エネルギー消費量削減 | 14% |

(戸建て標準世帯：4人、
比較ベース 電気：商用、熱：ガス給湯)



1kW級固体高分子型燃料電池(PEFC)電源

PEFCを用いたコジェネレーション電源は、1kWクラスの小容量においても発電効率/排熱効率：35%/35%が達成可能な高効率な小型分散電源である。

家庭等を含むユーザー末端でこれまで困難であったエネルギーの大幅な有効活用を実現し、省資源化/CO₂排出量抑制に貢献する。

1. ま え が き

燃料電池は、環境に優しい新エネルギー機器として、業務・家庭用の定置電源、自動車等の移動電源、電子機器用電源等、多分野で普及が期待されている。なかでもPEFCは、電解質が固体で扱いやすく、かつ動作温度が室温近傍であるため、量産性に富んだ安価材料を幅広く使え、また小容量化や起動停止に適しており、産官学挙げて開発に取り組まれている。

PEFC電源の実用化の入口は、家庭用コジェネレーション電源に代表される小規模コジェネレーション電源と目されている。具体的には、1kW出力レベルのコジェネレーション電源兼給湯器を各家庭に設置し、発電で生成する排熱を給湯として利用し、燃料費やCO₂排出量を各2～3割程度削減しようとするものである。市場導入は政府を中心に2005年ごろと想定されている。

本稿では、PEFC電源の運用に関する検討結果から、運用面で電源に要求される機能を明らかにする。次いで、PEFC電源の開発状況として、試作システムの性能と課題を紹介する。

2. PEFC電源の運用と要求機能

2.1 PEFC電源の導入効果

PEFC電源が次世代エネルギー機器として今後広く普及するには、特長とされる環境面のみならず、経済面においても既存のエネルギー系(ここでは電力+都市ガス(熱)の利用)に対し優位である必要がある。これらの点を明らかにするため、開発で先行する家庭用に関し、燃料費の節約効果や環境面の効果、導入時の運用状況を検討した。

具体的には、まず、家庭における電力・給湯負荷⁽¹⁾を夏季、中間期(4, 5, 6, 10, 11月)、冬季の3季に分けてパターン化し、それらに対し以下の運転条件の下でPEFC電源の稼働状況を算出した。運転条件は以下のとおりである：

- (1) 副生する熱を捨てない運転をする
- (2) 系統へ逆流しない運転をする
- (3) ベースロードとして昼夜連続運転する

(1)(2)の運転条件は一般的に想定されているものである。(3)については他に夜間停止のDSS(Daily Start Stop)運転が検討されている。ここでは、技術的に容易で市場導入しやすい連続運転のケースを取り上げた。

中間期における一日の運転パターン例(算出結果)を図1に示す。このとき、PEFC電源の出力範囲は0.25～0.75kW、発電/排熱効率は35%/35%とした。図中□の折れ線は電力需要を、○の折れ線は熱需要を、複数の縦棒はPEFC電源の1時間ごとの平均出力(電気=熱)を示す。中間期における家庭の電力需要は、最小負荷は深夜0.15～0.2kW程度

(2～6時ごろ)、最大負荷は夕～夜1～1.3kW程度(18～22時ごろ)である。連続運転で深夜の最小負荷に対応するには、部分負荷の下限値が重要である。図のケースでは、電力需要がPEFC電源の下限出力(0.25kW)を下回る場合は余剰電力は電気ヒーターにより熱に変換し、また、最大出力(0.75kW)を上回る場合は系統から電力を購入することとした。当然ながら、条件(2)により出力が電力需要以下で運転されるとともに、条件(1)により生成熱の総和が一日の熱需要以下となるよう必要に応じ出力が制限される。

次に、これら稼働データを基にPEFC電源の燃料費及び電気や熱が不足する場合はそれに見合う燃料費を算出し、それらの和をPEFC導入後の燃料費とした(燃料料金の現行データは既存事例⁽¹⁾を利用)。これら一連の計算を、PEFC電源の効率(発電効率=排熱効率と仮定)をパラメータとして複数実施し、導入前の従来ケースと燃料費を比較した(図2)。

現在開発中の家庭用PEFC電源は市場導入時35%程度の発電効率が計画されており、その場合、14%程度の燃料費節約が見込める(金額で年間約3万円に相当)。現実には、PEFC導入の際、PEFC設備やガス料金等に関し政府やガス会社等を中心とする導入支援策設置が想定される。一例としてガス単価が1割変動(低下)すると、燃料費節約は23%に増大する。

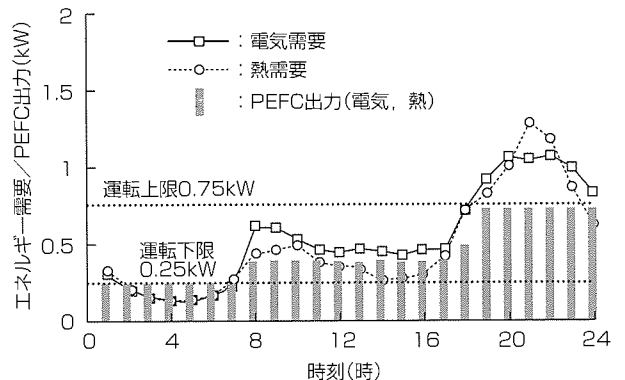


図1. 中間期におけるPEFC電源の運転パターン

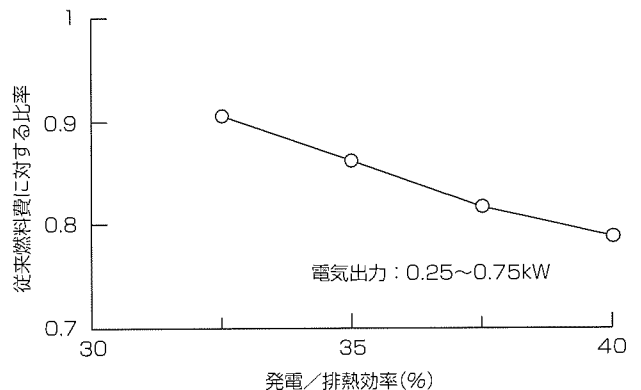


図2. PEFC電源の効率と燃料費の節約の関係

一方、対環境性について従来例と比較した(表1)。エネルギー消費量は、消費した原燃料の燃焼熱で表した。PEFCの導入により一定の省エネルギー効果が得られる。また、CO₂排出量は、電気を火力発電起因と考えると、導入後77%にまで軽減される。ただし、電気を原子力・水力発電も含めた全電力平均で考えると、導入後95%にとどまる。PEFCの運用形態として昼間のピークカット対策が検討される理由がここにある。

以上、PEFCの導入により燃料費や対環境性の面で期待どおりの効果が見込める一方、例えば節約額はガス料金に、環境性は運用状況に依存する等、不確実な面も見られた。運用環境にかかわらず一定以上のメリットが確実に得られるよう、PEFC電源の機能を高める努力が継続して必要である。

一方、世の中では、都市ガス以外の燃料を用いたPEFC電源も開発されている。代表的な燃料種、燃料単価例、1kW・hの電気+熱を生成するのに必要な燃料費を従来ケースも含め表2で比較する。燃料の中では、特に灯油がエネルギー単価当たり安価である。表では燃料にかかわらずPEFC電源の効率を35%と仮定したが、そのような電源が灯油燃料で得られれば、都市ガスの半値以下で電気/熱を生成できる。クリーンな合成燃料の開発も進められる中、長期的に注目すべき技術である。

2.2 定格容量の影響

PEFCの運転から最大の利益を得るには、前述の図1で見たようなPEFCの運転状況を理解し、最適な容量や運転法を選定する必要がある。例えば定格容量を大きくするとコジェネレーションによる電力のカバー割合が増し省エネルギー効果が増大する余地があるが、反面、部分負荷の下限出力も増し小負荷の追従が難しくなる。このような視点から、定格容量をパラメータとし一日当たりの積算電気出力、年間の総燃料費を調べた(図3、図4)。定性的に以下

表1. 対環境性の指標の比較

環境性の指標	比
エネルギー消費量の比 (PEFC導入後/導入前)	0.86
CO ₂ 排出量の比 (PEFC導入後/導入前)	0.77
NO _x 排出量の比 (PEFC導入後/導入前)	0.36

表2. PEFCの導入有無、燃料種と燃料費の比較

PEFC 導入有無/燃料種	燃料単価 (円/kW・h)	1kW・hの電気+熱生成に必要な燃料費(円)
従来ケース ・ 電気+都市ガス	電気：23.0 ガス：10.7	34.5
PEFC 導入ケース ・ 都市ガス燃料	10.7	30.6
・ LPガス燃料	21.0	60.0
・ 灯油燃料	4.14	11.8

仮定：PEFC効率；電気/熱 35%/35%共通、ガス給湯器効率；93%LHV
燃料単価：日本ガス石油機器工業会1999年度基準

のとおりである：

- (1) 容量を1kWを超え大きくしても家庭の電力/熱需要は限られており、積算出力は増えず設備稼働率が下がる(図3)。
- (2) 年間の燃料費を最小にする最適な定格出力が存在する(図4)。理由は、容量を大きくしても積算出力は増えず逆に夜間の小負荷に追従できなくなり、燃料ロスが増大する。一方、出力を0.5kW当たりまで下げると発電量そのものが減り(図3)、燃料費の削減効果が減少する。

上記の状況及び容量に比例して電池コストが必要な点を考慮すると、年間の燃料費が最低でかつ発電容量が小さい0.75kW辺りが最適容量と考えられる。

3. システム試験

開発中の電池、改質器を用い1kWのPEFC電源を試作し、システムの性能評価/課題抽出を実施した。試作した1kW機の仕様を表3に示す。このシステムは、電池、改質器、制御器等を内蔵し電力を発生する電源部(図5)、電池で生成する排熱を70℃の温水として回収し供給するコジェネレーション部、直交変換部で構成される。電池の直流出力は直交変換部により交流に変換され、補機動力を充た後交流出力として出力される。

システム動作時の発電/排熱の効率の状況、内訳を表4に示す。同表に発電効率35%を達成する際の効率の配分値(設計値)を併せて示す。この試験により、熱交換器、断熱

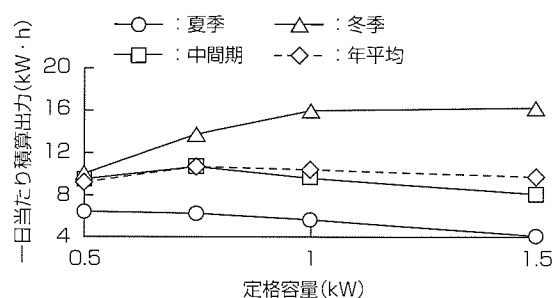


図3. PEFC電源の定格容量と出力

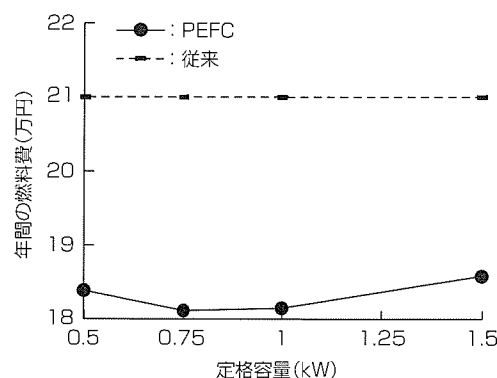


図4. PEFC電源の定格容量と燃料費

表 3. 1 kW PEFC電源の仕様

項目	仕様
構成	電源部：電池、改質器、制御器等 コジェネレーション部：貯湯槽等 直交変換部
出力	電気：AC200/100V, 効率24%LHV, 0.7kWAC 排熱：温水供給, 効率42%LHV
機器	電池：電極面積 100cm ² 級, 内部加湿方式 改質器：都市ガス燃料, 水蒸気改質, 窒素パージ貯湯槽：185 ℓ

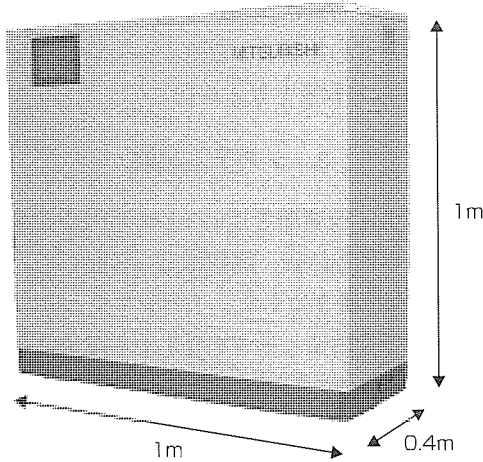


図 5. 1 kW PEFC電源の電源部の外観

処理等を適切に行えば排熱が設計どおり回収されることが示された。また、発電機能についても設計どおりの効率が得られた。

発電効率は、内訳的には、DC端(改質器+電池)の効率、直交変換部の効率、補機損失を除いて有効に送電される割合(有効割合)の3つの効率の積で表される。効率35%を想定した配分値と比較すると、電池部や直交変換部では配分値に近い数値が得られた。一方、補機損失に起因する有効割合については、大きな改善が必要である。このシステムでは、既存の市販補機部品を用いかつ各々個別に駆動電源を設ける等、補機損失が大きい。低動力部品の選定、電源回路の基板化/集約化の検討を別途進めており、補機損失

表 4. 1 kW PEFC電源の発電/排熱効率

機種名	発電効率		排熱効率
	η 送電端	η 送電端の内訳 $= \eta_{DC端} \times \eta_{インバータ} \times \eta_{有効率}$	
1kW試作機	0.24	$0.41 \times 0.89 \times 0.67$	0.43
35%想定機	0.35	$0.43 \times 0.92 \times 0.89$	0.35

を削減する予定である。

この試験のもう一つの目的は、試作システムのコスト把握・分析を進め、今後のコスト低減方策を具体化することである。今回の検討により、機器/部品類の低コスト化とシステムを大幅に簡素にするための技術開発が共に必要との結論を得た。具体的には、以下の項目を課題として取り上げ開発を進めている。

- (1) 電池特性や電池冷却水を損なわない安定・安価な量産対応のセパレータ板の開発
- (2) 電池で生成する水蒸気を回収しそのまま反応空気加湿に使用する全熱交換型のロスナイ方式加湿器、及びその結果もたらされる相対的に低湿度な条件で良好に動作する低湿度動作型の電極膜接合体の開発
- (3) 停止時等に窒素パージが不要な改質器、電池の開発

4. む す び

PEFC電源の運用に関する計算検討を実施し、電源に要求される性能や機能を明らかにした。また、1kW電源を試作・試験し、排熱回収や電池/直交変換部の性能につき一定の見通しを得た。低コスト化については、システムを簡素にする技術を取り上げ開発中である。

燃料電池技術は今後の社会にとって重要であり、より良い社会の実現に向けて今後とも開発に努力する。

参 考 文 献

- (1) (財)産業創造研究所：家庭設置型小規模分散型エネルギーシステムに関する調査報告書(平成9年度通商産業省委託調査)(1998)

室内環境適合クリーン燃焼技術

佐藤 稔*
重岡浩昭*
小関秀規*

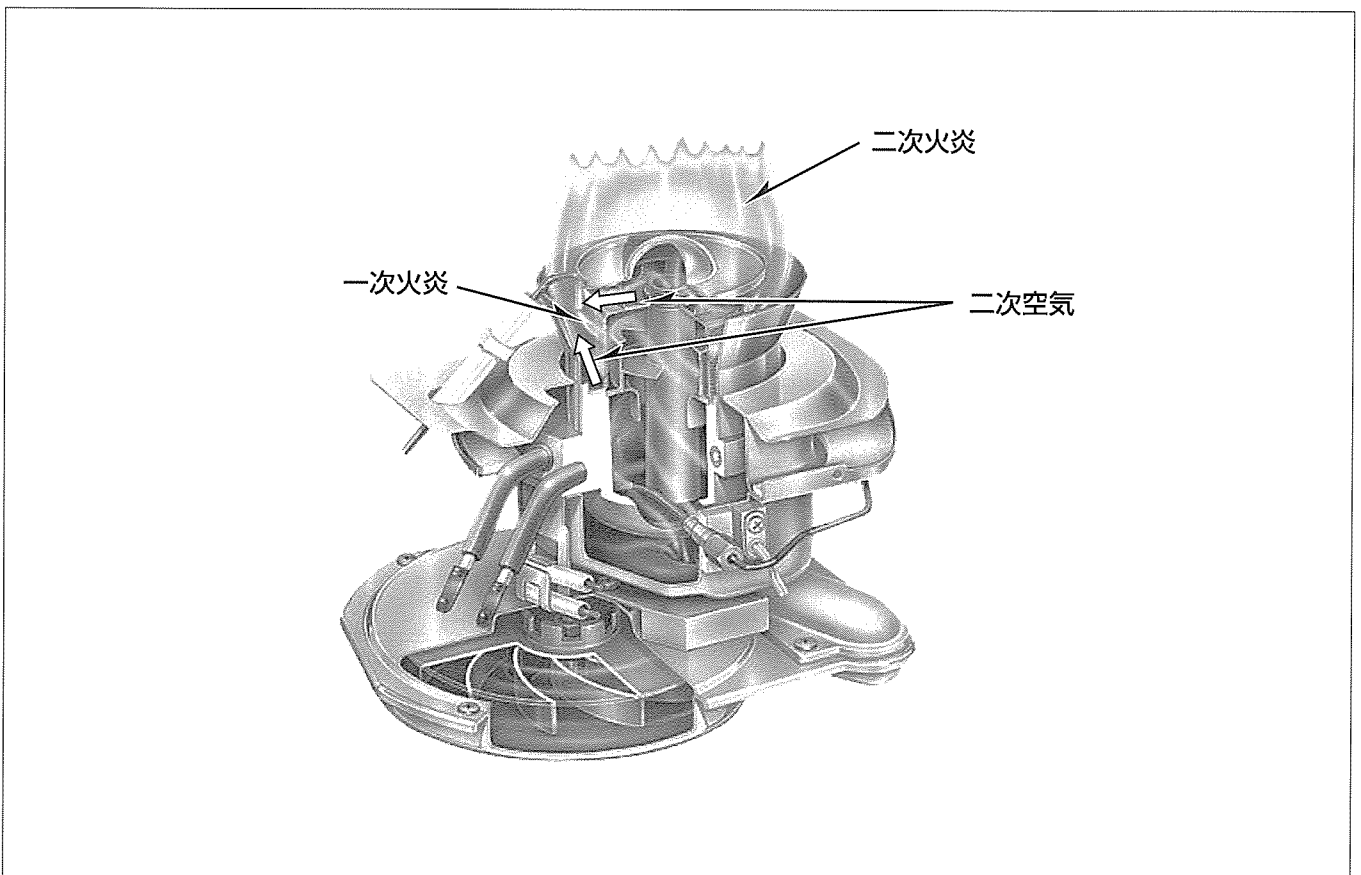
要 旨

家庭用燃焼装置は、大気汚染全体への寄与は小さいものの、室内環境の健全性に寄与するため、様々な配慮がされてきた。特に室内開放型暖房機のファンヒーターでは、室内空気を汚さないクリーン燃焼技術への要求が強くなっている。

室内使用型の燃焼装置において配慮すべき物質は、一酸化炭素(CO)と窒素酸化物(NO_x)である。COは火炎の急激な冷却などで酸化反応が凍結された場合に排出されるため、燃焼装置のコンパクト化を考える際には最大限の注意を払う必要がある。従来のバーナーでは、燃料過濃な一次火炎の下流に形成される二次火炎の大きさが燃焼空間容積を決めていた。二次火炎を大幅に短くするために、二次空気を一次火炎近傍の高温場に供給することで、COの排出を防

止しつつ、燃焼室容積を約1/3まで小さくできた。このバーナーは石油ファンヒーター(CXシリーズ)に搭載された。

また、低NO_x手段として有効な方法として触媒燃焼があり、ここでは、その中でも“触媒支援燃焼”を取り上げてNO_x低減効果を明らかにした。触媒支援燃焼は、燃料の一部だけを触媒で反応させた後、残りを下流側で気相反応させる方法である。この方法では、触媒体積当たりの燃焼負荷を下げることで、触媒の高温劣化を防止できる。さらに、下流側の気相反応が燃料希薄(高空気比)条件まで可能となり、燃焼温度が低下することでNO_x濃度を規制値の半分である約50ppm(=酸素濃度0%換算値)まで低減可能であることが分かった。



石油ファンヒーター用コンパクトバーナー

コンパクトバーナーでは、二次空気をバーナー中心部及び周囲から一次火炎を挟むように供給する。一次火炎近傍の高温部分に二次空気を供給することで、COの排出を防止しつつ二次火炎を大幅に短くすることが可能となり、燃焼室容積が従来の約1/3まで小さくできた。

1. ま え が き

近年の環境問題意識の高まりに合わせ、大気汚染物質の排出濃度規制の動きが活発化している。家庭用燃焼装置は、大気汚染全体への寄与は小さいものの、室内環境の健全性に寄与するため積極的な配慮がなされている。

燃焼を利用した家庭用暖房機は密閉型と開放型に大別され、前者は強制給排気式暖房機(FF式暖房機)が、後者はストーブとファンヒーターがそれらの代表である。強制給排気式暖房機では燃焼系が室内に対して密閉されており、燃焼ガスは熱交換器で室内空気を暖めた後に屋外へ排出される。一方、ストーブやファンヒーターは燃焼系が室内に開放されており、室内空気で燃焼させた燃焼ガスを直接室内へと放出する。特にファンヒーターは、設置の手軽さと高い安全性が評価され、家庭用暖房機の主流となっており、室内空気を汚さないクリーン燃焼への要求も一段と強くなっている。

本稿では、当社の家庭用暖房機である石油ファンヒーターの燃焼方式の改良や、新しい燃焼方法によるNO_x低減技術について述べる。

2. 規 制 動 向

室内使用型の燃焼装置において配慮すべき物質はCOとNO_xである。COは、周知のごとく、炭化水素系の燃料の不完全燃焼時に排出されるガスであり、人命にかかわる重大な問題であるためJIS⁽¹⁾で規制されている。規制値は、燃焼ガスの希釈割合によらず一律に規制するために、二酸化炭素(CO₂)濃度との比率で決められている。その規制値は、規制開始時から一貫してCO/CO₂<0.002という値である。

また、NO_xについては、燃焼機器メーカー等で構成される(社)ガス石油機器工業会が1990年から規制を開始しており、規制値を年々厳しく変更する自主的な取り組みを実施している⁽²⁾。NO_x規制値も燃焼ガスの希釈を考慮して基準換算値(酸素濃度0%への換算)で実施されており、2003年は100ppmである。通常、NO_xの排出はCOとトレードオフの関係にあり、COの発生を抑制しつつ低NO_x化を図るかが重要となる。

3. コンパクト燃焼技術

3.1 コンパクト燃焼器の構造

一般的な石油ファンヒーターの構造例を図1に示す。石油ファンヒーターでは、燃焼後の高温燃焼ガスを対流用送風ファンで多量の室内空気と混合し、適度な温度の温風にして室内を暖房する。バーナーは、気化した灯油と燃焼用空気を混合して燃やす気化予混合燃焼方式を採用している。灯油とあらかじめ混合される一次空気は理論空気量の

0.8倍程度(一次空気比0.8)であり、燃料過濃な混合気がバーナーに供給される。この混合気に点火プラグで着火し、バーナー部に数十個の一次火炎を形成する。燃焼に必要な残りの空気(二次空気)は燃焼室後方に設置した対流用送風ファンから供給し、二次火炎を形成させて燃焼反応を完結させている。この二次火炎は一次火炎に比較して温度が低く反応も緩やかであるため、必要となる燃焼空間も大きくなる。

この二次火炎を短くするために、二次空気の供給方法を変更したバーナーが図2である。このバーナーでは、二次空気をバーナー中心部及び周囲から一次火炎を挟むように供給することで、二次火炎を大幅に短くすることが可能と

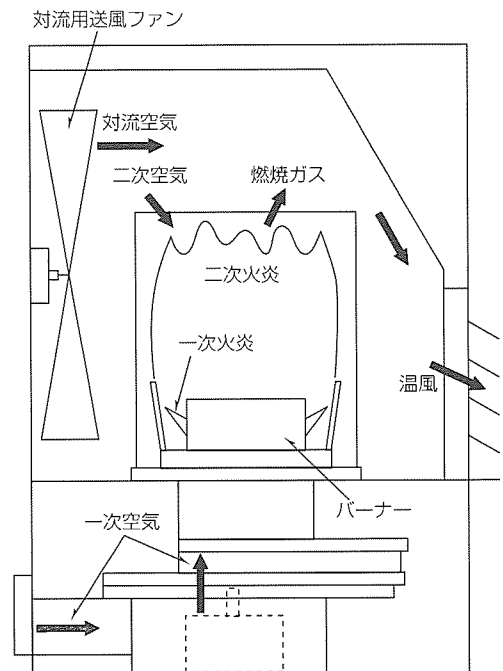


図1. 石油ファンヒーターの構造

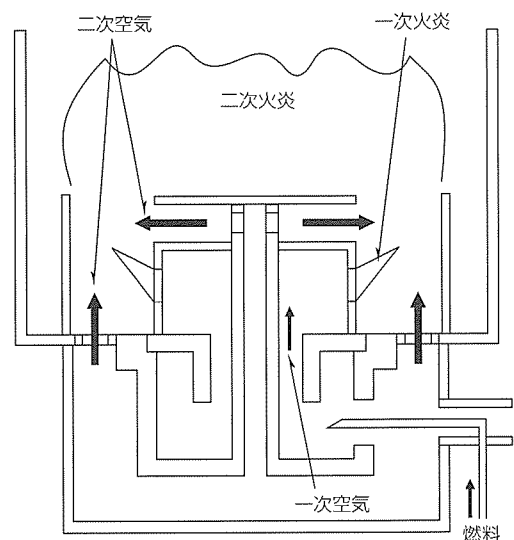


図2. コンパクトバーナーの構造

なった。その結果、従来3.5リットル(直径16cm, 高さ16cm)の燃焼室容積を、約1/3の1.1リットル(直径12cm, 高さ10cm)まで小さくできた。また、上記の二次空気に加えて、対流用送風ファンからの空気の一部を燃焼室の中へ供給する構造とすることで、酸欠燃焼が生じた際のCO排出の危険性を軽減している。さらに、空気供給用部品で火炎を冷却して温度を低下させることでNO_x規制もクリアできた。

3.2 燃焼可変幅

家庭用暖房機の多くは、暖房出力は常に一定ではなく必要に応じて変化する。バーナーの強燃焼から弱燃焼の変化幅は広い方が好ましい。強燃焼量は定格出力と呼ばれ、部屋の広さや断熱性などで決まる暖房負荷に適した機種が選択される。現在では、定格出力が3.0~3.5kW程度の製品が最も多く出回っている。弱燃焼量はバーナーの性能が大きく影響する。図2のバーナーでは、二次空気のCO抑制効果により弱燃焼域を拡大することが可能となり、暖房出力の可変幅は従来3.2~0.63kWと5倍であったものが、3.5~0.5kWの7倍のワイドな可変幅とすることができた。これによって秋口から春先までの長期の使用が可能となる。

3.3 燃焼状態の検知方法

COが多量に排出されるのは、主に“ホコリ”詰まりなどにより燃焼用空気が減少して燃料過濃な燃焼状態になった場合、また換気の悪い部屋での燃焼により室内酸素濃度が低下した場合などである。これらの不完全な燃焼状態をいち早く検知し、直ちに燃焼を停止させる機能の搭載が不可欠である。

燃焼状態の検知方法としては、石油ファンヒーターでは炎電流が利用されている。火炎に電界をかけると流れるμAオーダーの電流の大きさは、燃焼状態とよく対応しており、COが多量に排出される燃焼状態では炎電流が低くなる。このような性質を利用して、設定された下限値よりも炎電流が小さくなれば直ちに燃焼を停止させるシーケンスを搭載しておくことにより不完全燃焼を防止できている。

3.4 製品への搭載

上記のように、燃焼空間のコンパクト化や安全性の確保が可能になったことにより、バーナー上部の空いた空間にシロッコファンを設置し、燃料タンクを後方配置へと変更した石油ファンヒーター(CXシリーズ)を製品化できた。このシリーズは、壁に接して置くことが可能になり、横幅も15cmほどスリムになっている。

4. 触媒燃焼技術

4.1 触媒支援燃焼の特長

触媒燃焼は、触媒上で燃料と空気の完全酸化反応を行わせて、CO₂とH₂Oとに変化させると同時に、熱エネルギーを発生させる燃焼方法である。一般的な触媒燃焼は供給燃

料をすべて触媒内で反応させる方式であり、触媒体積当たりの燃焼負荷が大きいため、触媒が高温になり劣化が生じる問題点が残されている。この触媒の耐久性改善のためには、触媒材料を変更して耐熱性を向上させる触媒設計に関連する対策のほか、燃焼方式(燃焼器や触媒の構造)を変更して触媒の動作温度を下げる対策がある。

これら対策のうちの後者に属するものに“触媒支援燃焼⁽³⁾”がある。触媒支援燃焼とは、触媒を比較的低い温度で使用することを目的として、図3に示すように燃料の一部だけを触媒で反応させた後、残りを下流側で気相反応(火炎燃焼)させる方法である。この方法では、触媒で反応した高温燃焼ガスが気相反応を安定化する効果があるため、希薄な混合気の燃焼が可能となる。希薄燃焼により火炎温度が低下するため排出されるNO_x濃度も減少する。

ここで検討した触媒支援燃焼には以下の特長がある。

- (1) 触媒チャンネルと無触媒チャンネルを隣接させている。
- (2) 無触媒チャンネル通過混合気は反応せず、隣接した触媒チャンネルを冷却する。
- (3) 無触媒チャンネルを通過した未反応混合気は下流で気相反応する。
- (4) 触媒を矩形(くけい)型とすることで放熱面積を増加させた。

4.2 混合空気量の影響

燃料とあらかじめ混合される空気量が排気ガス特性(CO, NO_x)や触媒温度に与える影響を評価した結果が図4である。空気比が1.2~1.4と空気量の小さな領域では、触媒出口部に密着した気相反応部が形成される。空気比が小さく理論空気量に近い条件であるため気相反応部の温度が高く、

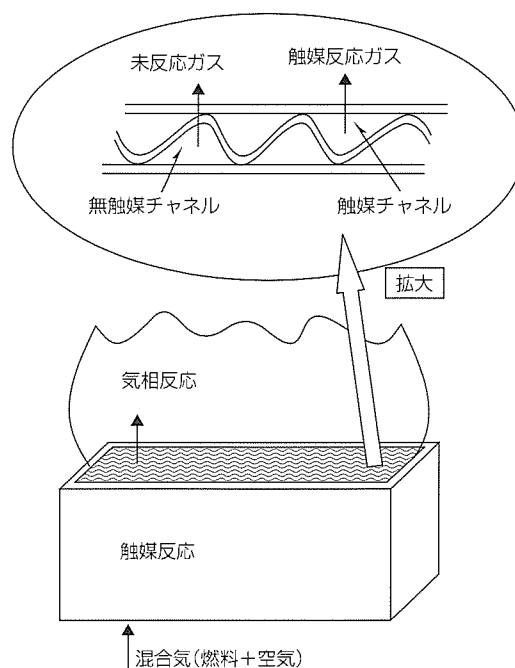


図3. 触媒支援燃焼の概略

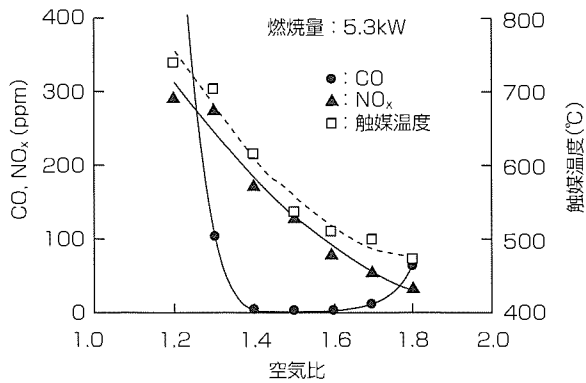


図4. 触媒支援燃焼の燃焼特性

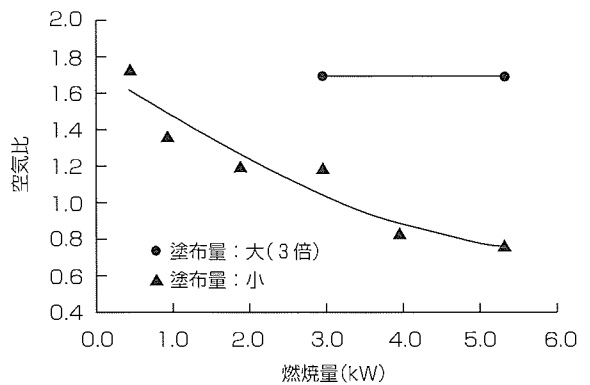


図5. 触媒の耐熱温度条件

NO_x排出濃度は150~300ppmと高濃度である。空気比の増加に伴い気相反応部は下流側に移動し、空気比1.6以上では触媒出口部からリフトした状態となる。NO_xは空気比の増加とともに単調に減少し、空気比1.7では約50ppmとなる。このとき、触媒温度は活性温度以上の約500℃であること、触媒がない場合では下流の気相燃焼の形成が不安定であることから、混合気の一部が触媒で酸化され、その結果下流の気相反応が安定化されていると考えられる。同空気比ではCOの排出も低濃度であり、触媒出口から約120mm下流で気相反応が終了しており、コンパクトな燃焼空間が可能である。

4.3 触媒耐熱条件

図5に、燃焼量0.5~5.3kWの場合に触媒温度が900℃となる空気比の条件を示す。この値よりも空気比の小さな領域で900℃以上となる。耐熱寿命の観点から、この値が空気比の下限となる。燃焼量が大きな条件では小さな空気比の領域まで使用可能であり、5.3kWでは空気比で約0.8の燃焼が可能となる。小燃焼量では触媒内のガス通過速度が小さくなり触媒温度が上昇するため、0.5kWでは空気比の下限を約1.7にする必要がある。

触媒塗布量についても検討しており、塗布量を3倍に増加すると触媒反応による発熱が増加し、5.3kWでは触媒温度が900℃となる空気比が約1.7まで増加する。触媒塗布量を増加させると寿命の面では有利であるが、使用範囲が狭

くなる傾向があるため、設計条件に合わせた最適塗布量の選定が重要である。

以上から、触媒支援燃焼はNO_xの低減と触媒動作温度の低下に有効であることが確認されたが、実用化のために燃焼検知方法やコストダウンなどの課題が残されている。

5. む す び

室内環境に適合するクリーン燃焼技術について、最近のファンヒーターに搭載されたコンパクト燃焼技術や、新たな燃焼技術である触媒燃焼について紹介した。

家庭用燃焼装置は、快適性の向上とコスト低減に加えて、室内環境意識の高まりなどから、更なるNO_x低減などが求められると予想される。今後も、燃焼技術の向上を中心として、環境に適合した信頼性の高い商品を開発していく所存である。

参 考 文 献

- (1) JIS S 2036, 強制通気形開放式石油ストーブ
- (2) 財団法人燃焼器具検査協会：NNS-122, 強制通気形開放式石油ストーブの窒素酸化物排出量に関する検査基準
- (3) 鶴見和則, ほか：第13回触媒燃焼に関するシンポジウム予稿集, 1~10 (1992)

大気圧プラズマによるPFC除害装置

稲永康隆* 葛本昌樹**
 吉田清彦*** 鐘ヶ江裕三*
 土井雅史*

要旨

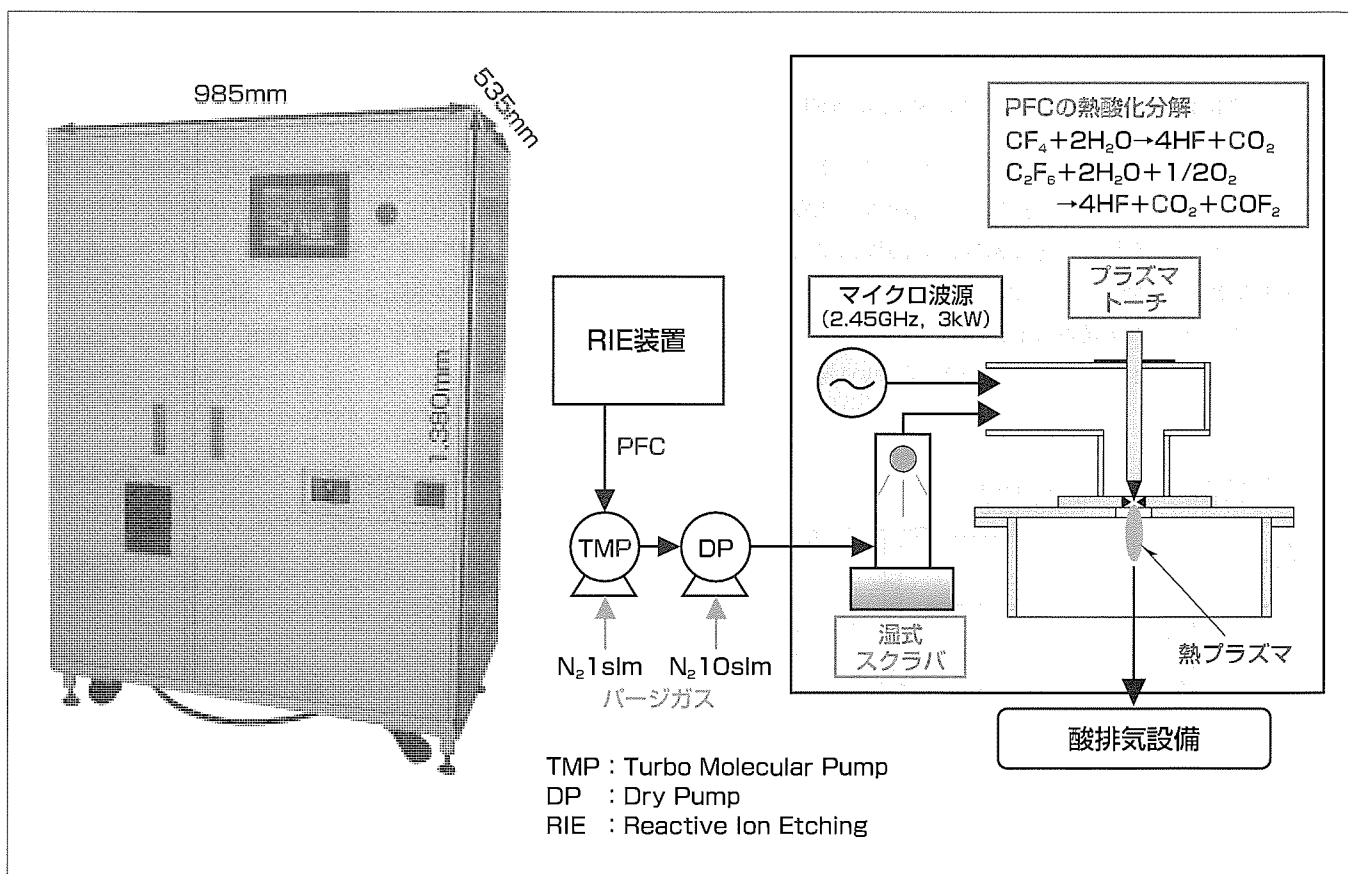
半導体製造工程に使用されるパーフルオロコンパウンド(PFC)は、二酸化炭素に比べて顕著な地球温暖化効果を持つガスである。そのため、京都議定書で排出削減がうたわれ、2010年までの排出量削減目標が世界半導体会議で合意されている。

PFC除害装置が半導体製造工程に影響を与えないためには、除害がシステムの最下流で行われるのが望ましく、大気圧下での処理を必要とされる。また、半導体製造装置の真空ポンプには、腐食性ガスなどからの保護や可燃性ガスを爆発限界以下にする目的で、多量の窒素が注入される。

そのため、窒素で希釈された低濃度のPFCを処理する必要があり、除害効率の低下をもたらす要因ともなる。

今回、PFC/窒素混合ガスにおいてマイクロ波励起により大気圧下でプラズマを安定に生成できる技術を開発し、生成した熱プラズマによりPFCが高効率で分解されることを見出した。さらに、半導体製造工程に適用可能な装置化を進め、大気圧プラズマ方式では業界初のPFC除害装置を開発した。

本稿では、分解率を中心に除害性能を評価した結果と、開発した装置の概要を述べる。



マイクロ波励起大気圧熱プラズマを適用したPFC除害装置

Reactive Ion Etching(RIE)装置を対象としたPFC除害装置であり、およそRIEチャンバ2台分に相当する30slmのPFC/N₂排気を処理可能である。大気圧で処理するため真空ポンプ系の最下流で除害できるのはもちろん、プラズマ方式の利点であるクイックスタート性を生かし、RIE装置処理時のみ除害動作を行うことができ、負荷に応じた省エネルギー運転を実現できる。

1. ま え が き

半導体製造工程に使用され大気中に放出されるPFCは、二酸化炭素に比べて3けた以上大きな地球温暖化係数を持つガスである。そのため、京都議定書⁽¹⁾で排出削減がうたわれ、2010年までの排出量削減目標が国際的に合意されている⁽²⁾。

当社は、PFC排出削減の方策の一つである分解害⁽³⁾に着目し、除害技術の開発を行っている。PFC除害装置が半導体製造工程に全く影響を与えないためには、装置は半導体製造システムの最下流に接続されるのが望ましく、そのため、除害は大気圧下で行われるのが一般的である。また、半導体製造装置の真空ポンプ系には、腐食性ガスからの保護や可燃性ガスを爆発限界以下にする目的で、多量の窒素が注入される。そのため、除害の際には、窒素で希釈された低濃度(<1%)のPFCを処理する必要があり、除害効率の低下をもたらす要因ともなる。

今回は、マイクロ波励起の大気圧熱プラズマでPFC/窒素混合ガスにおいて分解除害を試み、高効率での分解を実証した⁽⁴⁾。さらに、半導体製造工程に適用可能な装置化を進め、RIE装置対応のPFC除害装置を開発した。

ここでは、分解率を中心に除害性能を評価した結果と、開発した装置の概要を述べる。

2. マイクロ波励起大気圧熱プラズマによるPFC分解

図1に、マイクロ波励起大気圧熱プラズマによるPFC分解のフローを示す。マイクロ波による励起は、比較的小電力で熱プラズマの発生が可能であり、高温場による熱分解を行う手段として非常に有用である。

装置では、マイクロ波源に2.45GHzのマグネトロンを用いている。発生したマイクロ波を矩形(くけい)導波管から

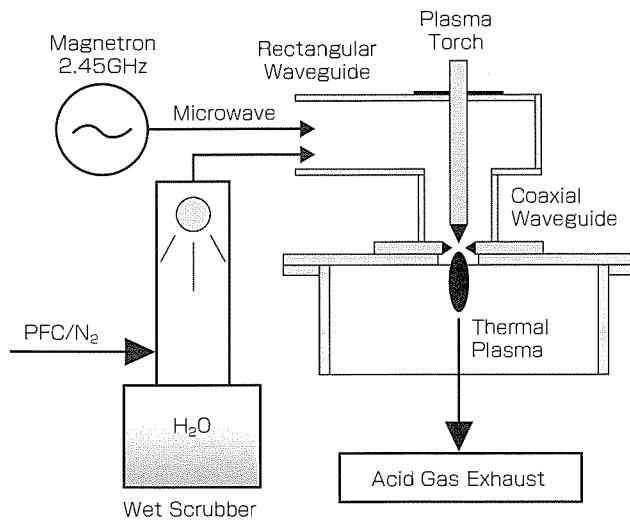
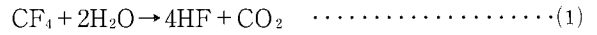


図1. マイクロ波励起大気圧熱プラズマによるPFC除害のフロー

同軸導波管へと伝搬させた後、同軸導波管にて電界を集中させ、中心導体との間にトーチを形成し、熱プラズマを発生させている。マイクロ波の整合は、同軸導波管の中心導体を上下動させて行う。ガス入口に設けてある水スクラバは、半導体製造装置の排気に含まれる腐食性ガスや粉塵(ふんじん)の堆積(たいせき)から導波管部を保護する目的と、例えばCF₄では次式(1)に示す分解反応を行うための水分を供給する目的を兼ねている。



除害性能の評価では、PFC中最も難分解性であるCF₄と plasma-CVD装置のクリーニングガスとして使われているC₂F₆を選び、ボンベからのPFCと窒素の混合ガスにより半導体製造装置の排気を模擬し分解試験を行った。

PFC濃度、及びその他副生成物の濃度測定は、FTIR (Midac, IGA-2000)によった。FTIRのセル長は10mmとした。PFC分解率は、除害装置下流のサンプリングポイントで除害動作前後のPFC濃度を測定し求めた。

また、式(1)で表されるPFCの水との反応が分解率に大きく影響するため、プラズマへ導入されるガスの水分量を露点計(Panametrix, CMX-1; 測定露点範囲-20~60℃)で計測し、スクラバ水温とスクラバ通過ガス量を調整して、CF₄濃度の2倍以上の水分量となる露点に調整して試験を行った。

3. PFC分解特性評価

図2に、CF₄200sccmを窒素29.8slmで希釈したガス(総流量30slm, CF₄濃度0.67%)をマイクロ波励起大気圧熱プラズマで分解した結果を示す。2.5kWのマイクロ波入力で95%以上の分解率が得られており、低いエネルギーコスト(処理ガス総流量に対して84W/slm)での除害を達成している。

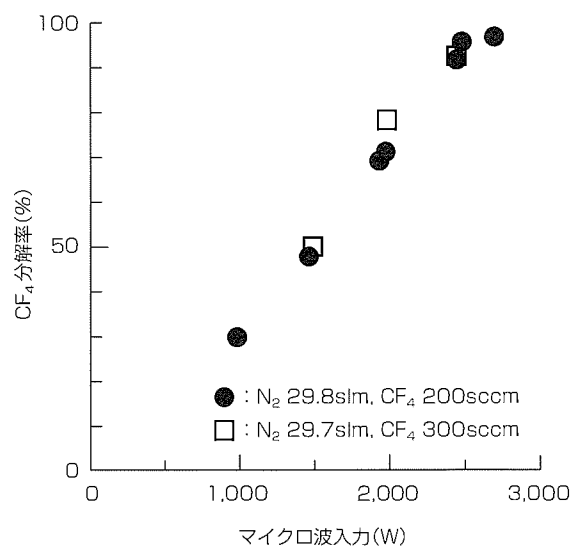


図2. マイクロ波励起大気圧熱プラズマによるCF₄分解特性

同じく図2に、CF₄300sccmを窒素29.7slmで希釈したガス(総流量30slm, CF₄濃度1%)を分解した結果を併せて示す。CF₄濃度0.67%の結果と比較して、PFC1%程度の低濃度領域ではPFC量の増加は分解エネルギーの増加にはほとんど寄与せず、同じマイクロ波入力で同様の分解率が得られている。

図3に、CF₄を200sccmに固定し、希釈窒素を変化させた場合の同一マイクロ波入力時(2.5kW)における分解率を示す。ただし、処理流量10slmの結果は、マイクロ波入力1.5kW程度で飽和するため、入力1.3kWでのデータを用いている。処理流量30slm以上の領域では、窒素流量に対して分解率が低下する。マイクロ波入力を2.5kWと限定すると、95%除害を達成できる処理流量は30slm程度と限られてしまう。しかし、希釈ガス流量の増加に応じてマイクロ波入力を比例的に増やすことで、30slmを超える処理流量

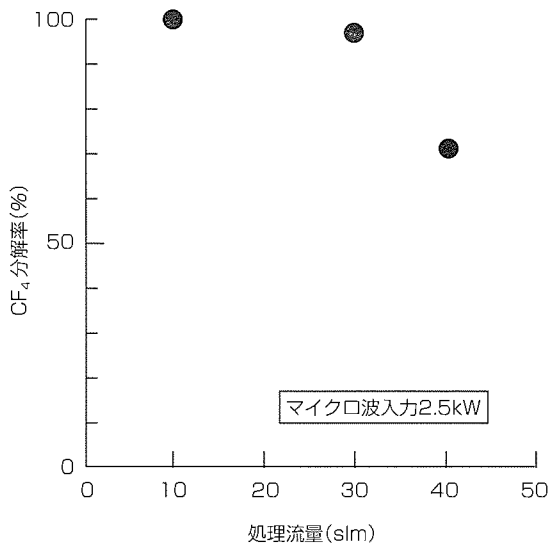


図3. 入力一定条件における処理流量とCF₄分解特性の相関

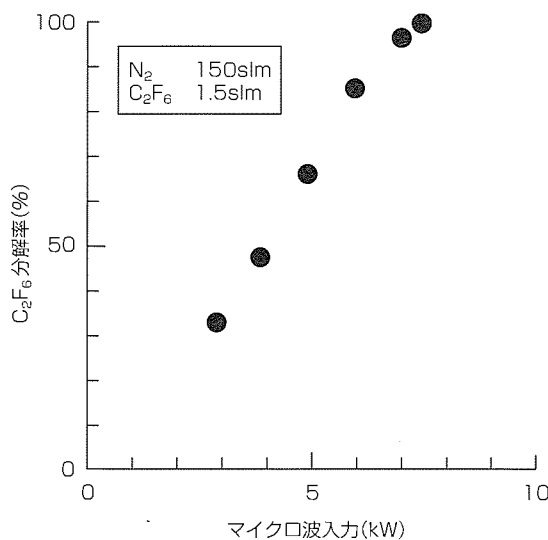


図4. マイクロ波励起大気圧熱プラズマによるC₂F₆分解特性

に対して95%以上の分解率が得られることを確認している。

plasma-CVD装置のクリーニングに用いられるC₂F₆についての分解特性を図4に示す。希釈流量150slmのC₂F₆を、およそ7.5kWのマイクロ波入力において95%以上の除害を達成している。PFCの熱分解を行う燃焼式や電気加熱式の除害方式では、C₂F₆はCF₄に比較し低温での分解が確認されている⁽⁵⁾。このプラズマ方式においてもC₂F₆除害に必要なエネルギーコストは47W/slmと、CF₄のおよそ1/2であり、ほぼ2倍の流量のガスを処理できることが分かる。また、C₂F₆の分解率95%以上を得た条件において、副生成物のCF₄はわずか100ppm以下であり、十分な温暖化係数削減効果が確認された。

4. RIE対応PFC除害装置

開発したRIE対応PFC除害装置の外観を図5に、仕様概要を表1に示す。マグネトロンは最大3kW出力の管を用いた。除害性能は、希釈ガスを含めて30slmの流量において、熱分解では最も難分解のCF₄に対して、95%以上の分解率を達成している。



図5. RIE対応PFC除害装置

表1. 開発した装置の仕様概要

装置サイズ	985×535×1,380 (mm)
装置質量	250kg (max.)
消費電力	5kW (nominal)
処理流量 (うちPFC)	30slm (nominal) 200sccm (nominal)
PFC分解率	95%以上 (CF ₄)
μ波出力	3kW (max.)

希釈流量30slmのPFCを95%除害する場合、マイクロ波入力は2.5kWが必要であるため、マグネトロンが発振効率とマグネトロン電源の変換効率の積が60%であることから、装置の消費電力はおよそ5kWとなる。

実際の処理ガス系では、RIE装置内でのPFC分解反応からHF等の腐食性ガスが除害装置に流入することになる。また、熱プラズマ下流では、PFC分解反応により発生したHFが比較的高濃度で存在する。またそれらは、水分と共に共存することになる。そこで、入口スクラバで捕捉(ほそく)できなかった腐食性ガスや分解後のHFを対象として、樹脂材や耐蝕金属皮膜によりガス配管、マイクロ波導波管に腐食対策を施している。

開発した装置を当社の半導体工場内のRIE装置に接続して評価を行った。装置のメンテナンス周期である5,000時間の連続運転に対して、ノントラブルで稼働している。また、この評価の中で、除害性能は初期の性能を維持し続けることを確認した。

プラズマ方式の利点として、燃料等を使わないため燃焼式に比較し低ランニングコストを実現できることが挙げられる。また、もう一つの大きなプラズマ方式の利点として、マイクロ波入力と同時にプラズマが発生し、即座に処理ガスを分解反応の必要温度に到達させることができるクイックスタート特性が挙げられる。この装置は、この特性を生かすため外部信号によりマイクロ波のON/OFFを制御し除害動作を切り換えられる機能を実装しており、RIE装置の処理に応じた除害動作を行うことで、省エネルギー・低ランニングコストでの運転が可能である。

5. む す び

半導体製造装置から排出されるPFCガスを対象に大気圧

下でのマイクロ波励起熱プラズマによる分解を適用し、分解特性を取得した。結果として以下の知見を得た。

- (1) 熱プラズマの適用により、低いエネルギーコストでの分解が可能であり、希釈窒素30slm, CF₄200sccmの条件では全処理流量に対して83W/slmを、C₂F₆では47W/slmの値を得た。
- (2) 窒素希釈下の低濃度PFC処理では、除害に必要なマイクロ波入力、PFC流量には余り依存しないが、全処理流量にほぼ比例する。

以上の結果を基に、半導体製造工程に適用可能な装置化を進め、大気圧プラズマ方式では業界初のPFC除害装置を開発した。

この装置では、プラズマ方式のクイックスタート性を生かしRIE装置の処理に応じた除害動作を行うことで、省エネルギー運転が実現できる。

参 考 文 献

- (1) Kyoto Protocol, Climate Change Conference, Kyoto, Japan, Dec. 1 ~ 10 (1997)
- (2) 第3回世界半導体会議, Fiuggi, Italy (1999)
- (3) Beu, L. et al.: Current State of Technology: Perfluorocompound (PFC) Emissions Reduction, SEMATECH #98053508A-TR (1998)
- (4) 稲永康隆, ほか: 大気圧プラズマによるパーフルオロコンパウンドの分解, 静電気学会講演論文集'02, 29aB-4, 79~82 (2002)
- (5) 梶原 稔, ほか編: 半導体製造における排ガス処理システムとその安全対策, 107~122, サイベック(株) REALIZE事業部門 (2001)

LCAによる変電機器の環境負荷評価

廣瀬悦子* 羽馬洋之***
 藤本隆光* 但田昭司**
 矢野 徹**

要 旨

変電機器の電力損失は電力系全体の中ではわずかであり、その電力損失にかかわる温室効果ガス排出の割合は、比較的小さいと言える。しかし、我が国全体の温室効果ガスの排出量が増加傾向にあることを考慮すると、変電機器においても更なる改善努力が必要である。

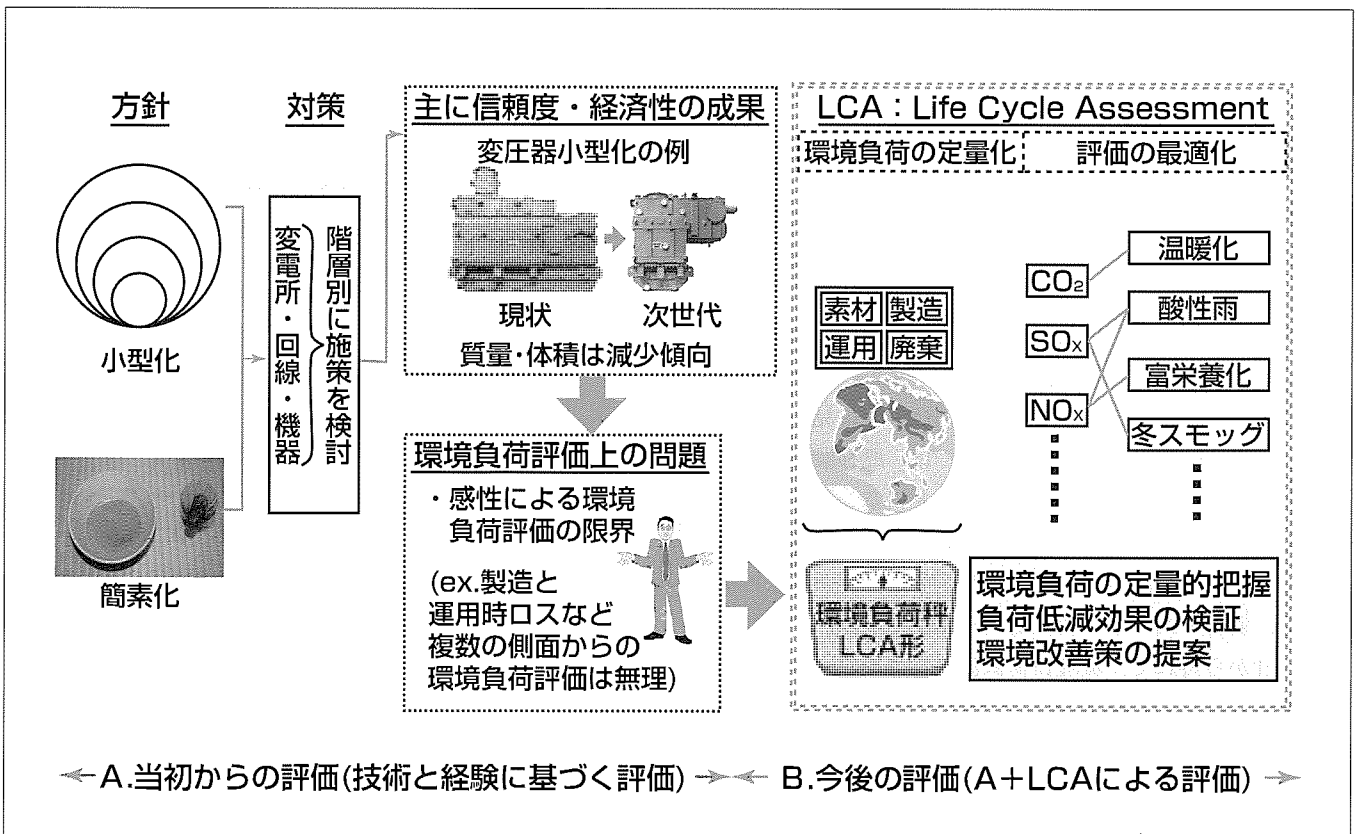
変電機器における当初からの製品開発方針は、小型化・簡素化であり、主として設置環境への配慮や経済性の追求を目的としたもので、温暖化への影響を意識するようになったのは近年になってからである。

これらの製品開発方針だけでは、製品の製造による環境負荷の相対比較はできるが、ライフサイクルを考慮した場合には、運用と製造時の環境負荷の合計が従来に対して軽

減されたか推定が困難であるなどの問題もある。そこで、製品のライフサイクル全体を通して環境に与える負荷の大きさを数値化し評価することが不可欠である。

LCA(Life Cycle Assessment)は、このような観点から開発されたツールで、データ取得に膨大な時間はかかるが、用途によっては、簡易的な方法の選択や小型化・簡素化にねらいを絞ってからLCAで詳細を評価する組合せもできる。その最大の効果は、環境負荷を定量化できることであり、環境負荷の一層の低減を可能にすると考える。

また、LCA事例から、製品開発方針である小型化・簡素化が環境負荷低減に合致し、この方針は有効であることを確認した。



変電機器の製品化方針とLCAの必要性

過去から続く製品方針の“小型化・簡素化”による製品は環境負荷低減になるか否か感性からは判別できないが、資源採掘から経年廃棄までのライフサイクル全工程を通じて環境負荷を総合的に評価するLCAによる定量化・数値化が解決策となり、評価の向上につながっている。

1. ま え が き

世界的な経済発展による多量の温室効果ガスの排出は、地球温暖化を始めとする各種環境問題を近年一層顕在化させてきた。CO₂ガス以外に、京都議定書の対象であるSF₆ガスの我が国の排出量は、2000年にCO₂換算で5.7百万t(総排出量の0.33%に相当)と報告されている。このうち三菱電機の排出量はCO₂換算で0.88百万t(SF₆ガス総排出量の15%程度)と小さく、翌年は排出量が半減しており改善の方向にある。さらに、変電機器については、自主的な規制で2005年には排出量を購入量の3%以下にするよう進めている⁽¹⁾。SF₆ガスの温暖化係数はCO₂の23,900倍と非常に大きいいため、万一、漏洩(ろうえい)すれば影響は大きい、対象が絞られており、製造や各種活動で排出される大量のCO₂ガスに比べると、管理面での把握は比較的容易である。しかしながら、機器の適用により長期にわたって保有されるので、温室効果の小さな代替ガスの開発やN₂ガスなどの混合使用による保有量の軽減も検討されている。

CO₂ガスについては、機器のライフサイクルの“資源採掘～製造～輸送～運用～経年廃棄”の各段階で様々な形で排出があるので、それらを定量化する手法が不可欠である。

ここでは、緒についたばかりであるが、LCAによる変電機器の環境負荷の検討例と定量化の有効性、及び今後の展開について紹介する。

2. 変電機器の発展と環境負荷

経済の高度成長による電力需要の増大により電力系統は大容量高電圧化され、その500kV送電に対応する変電機器は、いずれも小型化・簡素化を念頭に、変電所レベルでは配置・構成・運用の簡素化等、回線レベルでは異機種複合化・同機種一体化・合理化、及び機器レベルでは新技術導入、機能の適正化、製造の排出抑制の観点で、それぞれ種々の施策を行ってきた。この実施例は厳密に見ると、大きく二つに分けることができる。第一は、既存設計の延長にあって、一見して経験や製品技術などにに基づき、環境負荷の低減が推定できる。例えば、表1に示すGIS(Gas Insulated Switchgear)の相分離形から全三相一括形への変遷や、要旨の図に示す変圧器の小型化である。第二は、既存設計から外れて、環境負荷低減になるか否か推定できない場合、すなわち製造のみでなくライフサイクルに関連しており、例えば、“温度上昇限度増大やGIS絶縁の高圧化による機器の小型化”では、従来との運用時の電力損失を比較する“GIB/GISの適用”では代替手段のケーブルや気中絶縁機器との比較、及び“ポリマー碍管(がいかん)の採用”では磁器製碍管との使用期間の比較をすることが必要で、これらの場合、定量的な推定は困難である。

3. 変電機器のLCA

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し(インベントリ分析)、その環境への影響を総合的に評価する(影響評価)手法で、既に国際標準化されている。

変電機器のLCAを行うに当たり、目的に応じた調査・対象範囲を設定した。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、基本的には公表データを使用した。公表されていないデータについては、素材メーカーの協力を得て推定を行った。これらのデータを基に、各排出物質(CO₂, SO_x, NO_x)の総和を各々算出し、その中で最も重要視されている温暖化に起因するCO₂排出量をインベントリ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、インベントリ分析で得られた各CO₂, SO_x, NO_xを地球温暖化、酸性雨、富栄養化、冬スモッグの項目に分類し、さらに今回は、欧州での評価の高いEco-Indicator95を用いて環境負荷指数(Point)とした。

3.1 変電機器の環境負荷評価事例⁽²⁾⁽³⁾

(1) GIS送電線の環境負荷

ライフサイクルの各段階における環境負荷を把握するために、全三相一括形300kV GISの送電線ユニットを分析した。GISは、部品点数が多く、長期間にわたって運用され、しかも補修を伴う等、ライフサイクル全般でLCAを行う

表1. GISの発展形態

定格電圧(kV)	72	84	120	168	204	240	300	550
構成方式								
相分離形	 1968	 1969	 1971	 1976				
主母線三相一括形	 1969	 1970	 1978		 1981		 1982	
全三相一括形	 1976	 1978	 1987					
	 1987	 1996	 1987					

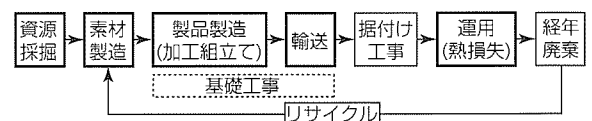


図1. 変電機器のライフサイクル

には膨大な時間が必要である。そこで、まずは環境負荷の実体を見極めるために、図1の太枠内を対象にした。

その結果、図2に示すように、運用段階の環境負荷が約80%と最も大きく、素材と合わせると全体の約90%を占めている。なお、運用は50年間70%負荷として評価したものであるが、素材の約4倍以上であり、予想以上に大きいことが明らかになった。

(2) 各機器の環境負荷

上記GISの結果を基に分析対象を“運用”と“素材”に絞った結果、図3に示すように、常時電流を流す変圧器・遮断器では、誘導電流によるタンク発熱と導体のジュール損による熱損失が影響する“運用”が“素材”に対してはるかに大きく、避雷器では、電流をほとんど流さないで“素材”段階の環境負荷が大きい。これより、環境負荷低減策として避雷器では小型化が得策であるが、変圧器・遮断器では小型化は必ずしも得策ではないことが分かる。

(3) 運用時の損失を考慮したタンク材料の選定

GISのタンク材質は鉄とアルミが主流であり、このうち、小電流定格品には経済性から鉄タンクが採用されている。300kV、2000Aクラスの単純化した母線モデルで分析対象を“運用”と“素材+加工”に絞った検討例では、アルミ素材製造の環境負荷・コスト共に鉄に比べ数倍大きいにもかかわらず、表2に示すように、相分離形では環境負荷と運用時損失による電気代はアルミ製タンクが優れている。経済性でも運用時の電気代の差異が鉄製の初期コストに対して大きく、アルミが鉄より有利である。三相一括形では、前

記の傾向は同様であるが、三相器の構造から差異は相分離形ほど大きくはない。さらに、アルミは、塗装を省略できる、再生時のエネルギーが新地金製造の3%程度と小さい利点があり、鉄に代えてアルミを採用することは得策であると言える。これから、電力損失や再資源化の評価を必要とするタンク材質の選定にLCAが有効であることが分かる。

3.2 変電機器の環境負荷低減の実態⁽⁴⁾

長期にわたる機器の発展を評価するために、過去からの小型化・簡素化による機器の改善施策が環境負荷にどのような成果をもたらしたかを調べた。対象は、500kV機器で、使用材料の最も多い変圧器、変遷の大きな遮断器と避雷器を取り上げた。変圧器は現行器と次世代器(新外鉄形)の比較、遮断器と避雷器は過去約30年の変遷で材料使用量に着目して環境負荷を把握し、運用は、実態の把握が困難であるため今回は対象にしなかった。この30年間で遮断器は、遮断技術の向上により、二圧式から単圧式になり、遮断点も4点→2点→1点切へと大幅に簡素化された。また、避雷器もギャップと特性要素により構成されるSF₆消弧式から現在の主流である保護特性に優れるZnO式に変わり、更に性能向上と小型化が図られている。具体的には、表3～表5に示す。

表2. 運用損失を考慮した環境負荷評価結果/3φpm

種類	相分離形		三相一括形	
	アルミ	鉄	アルミ	鉄
タンク材質	アルミ	鉄	アルミ	鉄
環境負荷 (t-CO ₂)	21.3	242	16.1	23.3
電気代 [*] (千円)	365	5,300	285	470

※運用時の熱損失を電気代(5円/kW・h)として試算

表3. 変圧器の(e)現行器と(f)次世代器の比較(1相分)

		(e)現行器	(f)次世代器
構造	巻線構成	4群	2群
	現行器→次世代器の変遷	—	新絶縁構造, 新コイル冷却方式, 新コイル構造, 新高性能冷却器
質量(%)/油量(%)		100/100	76/76
据付面積(%)		100	50

表4. タンク形遮断器の変遷(1相分)

発展		(a)当初	(b)	(c)	(d)	(e)現行
遮断点数		4点	4点	2点	2点	1点
					ラバール形	同左
構造	ガス	二重圧力	単圧	同左	同左	同左
	操作装置	ばね遮断	油圧	油圧	油圧	同左
質量(%)		100	98	65	59	52
ガス量(%)		100	75	45	41	39

表5. タンク形避雷器の変遷(1相分)

発展		(a)当初	(b)	(c)	(d)	(e)現行
種別		SF ₆ 消弧式	ZnO	同左	同左	同左
				高性能	同改良	高耐圧
質量(%)		100	60	40	35	18
ガス量(%)		100	25	15	9	4
外形						

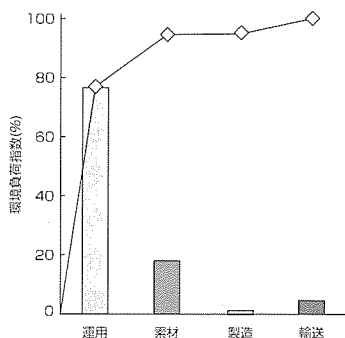


図2. GISの環境負荷評価結果

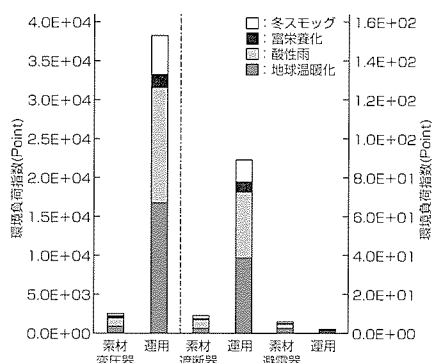


図3. 機器の環境負荷評価結果

(1) 単相当りの環境負荷

変圧器は表3の(e)現行器と(f)次世代器の比較を、遮断器、避雷器は表4、表5の(a)当初、(b)~(e)発展に伴うCO₂排出量(kg)を各1相当りで評価した。この結果を図4~図6に示す。これらの結果から、変圧器は主要構成材料である銅線、珪素(けいそ)鋼板、絶縁油等の使用量24%の削減によりCO₂排出量が22%減少したことが分かる。

遮断器では、(b)4点切→(c)2点切→(e)1点切への発展に伴い、鉄鋼以外に分圧用のコンデンサの使用量削減も起因し、各段階でCO₂の排出量が各々約30%、22%へと減少した。

一方、避雷器の変遷では、(a)SF₆消弧式→(b)ZnO式への発展に伴い主要材料も変わり、これにより素材で25%、CO₂排出量で22%の削減が図られている。さらに、ZnO素子の(b)~(e)現行への技術革新に伴い、鉄鋼及びZnO素子で各々70%、50%の使用量減少により、CO₂の排出量が約65%と大幅に削減されている。特に(d)~(e)への高耐圧素子の開発で、素子サイズを半分にした小型化の実現により、CO₂の排出量も約50%に減少し、ほぼ極限に達している。

(2) 遮断器、避雷器のCO₂累積排出量の低減効果

各方式における機器材料のCO₂排出量と納入数から求まる実体の累積CO₂総排出量を基準にして、現方式の原型(遮断器は単圧式ガス、避雷器はZnO形)である(b)を(c)以降も適用したとして対比結果を表6に示す。これから、累積排出量は遮断器では35%、避雷器では45%と大幅に改善され、またSF₆ガス総使用量についても前記同様に求めた表6に示すように、大幅に改善されている。これより、小型化・簡素化の方針が環境負荷低減に合致していることが分かる。ちなみに、ここで扱った遮断器と避雷器の2000年までの全納入数のCO₂排出量は33ktと4.9ktである。

素材の負荷はほとんど製作時のみであるが、運用の電力損失による環境負荷は経年まで発生することを考慮すると、図3からも推察できるように運用の環境負荷が素材の9倍程度と大きいため、今後注目していくことが必要である。

4. 変電機器LCAの今後の展望

現行の機器の小型化・簡素化はほぼ限界に達してきており、今後は、

- (1) 変電所構成全体及び運用の実態を含めた評価
- (2) SF₆ガスの保有量の低減をねらう混合ガス化
- (3) 経年機器の部品の再利用(筐体(きょうたい)や碍管等)等を視点にした更なる検討が有効と思われる。例えば、遮断器で、筐体やその機械的保持部を再使用し、部品は保守での交換対象や絶縁物、及び遮断など責務に影響する要素を除き再使用し、碍管も再使用を想定すると、更新前を100として更新後の環境負荷と経済性がそれぞれ35、70と大きく改善できるとの試算がある⁽²⁾。

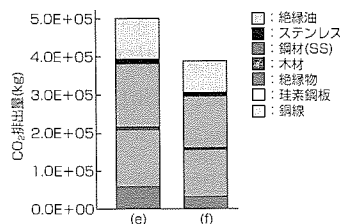


図4. 変圧器1相当りのCO₂排出量

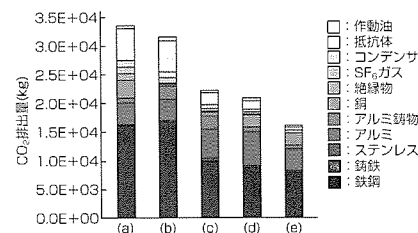


図5. 遮断器1相当りのCO₂排出量

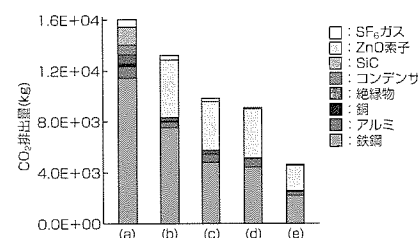


図6. 避雷器1相当りのCO₂排出量

表6. 全納入数のCO₂排出量とSF₆使用量

遮断器/避雷器	CO ₂ 総排出量(%)		SF ₆ 総使用量(%)
	実体	100/100	100/100
	(b)ベース	135/145	145/175

他方、LCAの基本となる素材・部品の環境負荷に関するデータの報告例が少なく、充実が期待される。

5. むすび

LCAにより環境負荷が定量化され、環境負荷低減効果を検証することができるとともに、その低減策の策定に役立てる見通しを得た。また、過去からの製品化方針である小型化・簡素化が環境負荷低減と整合していることが分かったことは大きな成果と考える。変電機器は、形式試験がある、使用期間が長い等の特徴があつて、環境負荷低減策に応じた製品の更新は簡単ではないが、展望の実現に向けて検討に取り組んでいく所存である。

参考文献

- (1) 宅間 薫：電学論B, 121, No.4, 平成13年, 441 (2001)
- (2) 廣瀬悦子, ほか：平成14年電学全大, 5-177 (2002-3)
- (3) 廣瀬悦子, ほか：平成14年電学会B大会, No.334 (2002-8)
- (4) 廣瀬悦子, ほか：平成15年電学全大発表予定(2003-3)



特許と新案***

三菱電機は全ての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)

電解式オゾン発生素子および装置 特許第3201316号(特開平11-131276)

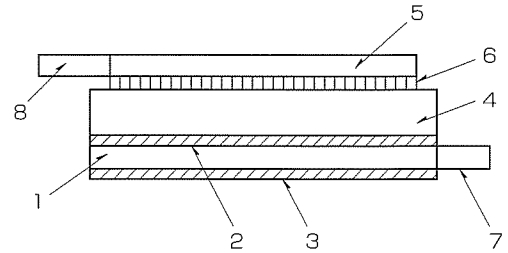
発明者 光田憲朗, 福本久敏, 前田秀雄, 反町 誠, 阿部哲也, 畠中康司, 相沢 毅

この発明は、固体高分子電解質膜を用いて空気中の水分を電気分解して陽極からオゾンが発生させる電解式オゾン発生素子及び装置に関するものである。

従来の電解式オゾン発生素子では、湿度が高くなった場合や長い休止状態の後で直流電圧が印加された場合、陰極において著しい水素発生が起これ水素の爆発限界を超える危険性があった。また、発生した水素によって陽極に担持したオゾン発生触媒が還元され、オゾンの発生性能が低下するという問題があった。

この発明は、上記の課題を解決するためになされたもので、陰極の多孔質基材の両面に白金触媒を含む触媒層を形成することにより、大気中への多量の水素の排出を防止した。また、オゾンが発生させないときに、オゾン発生時よ

りも低い直流電圧を印加することにより、水素が発生した場合にも陽極に担持したオゾン発生触媒の還元が防止できる効果が得られる。



- 1: 陰極の基材
- 2: 陰極の触媒層
- 3: 陰極の触媒層
- 4: 固体高分子電解質膜
- 5: 陽極の基材
- 6: 陽極の触媒層
- 7: 陰極端子
- 8: 陽極端子

半導体装置 特許第3225800号(特開平9-51018)

発明者 濱口恒夫, 鶴田明三, 石崎光範, 利田賢二, 平澤栄一

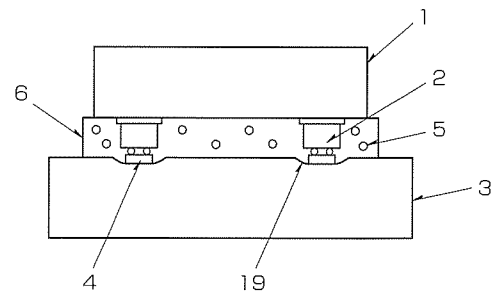
この発明は、LSIチップを低コストで信頼性も高く高密度実装できるパッケージ構造の半導体装置に関するものである。

LSIチップを基板に低コストで高密度実装する方法としては異方性導電接着フィルム(ACF)を用いた方法がある。ACFを用いた方法は、接着フィルム中に分散した微細な導電粒子をLSIチップ上の突起電極と基板の電極とで押しつぶすことによって電気的接続を採る方法で、主に高平坦なガラス基板への実装に用いられていた。ところが、この方法を一般の電子機器に多用されているプリント基板などの有機基板に適用する場合、ガラスに比べて表面のうねりが大きいため、すべての突起電極で導電粒子を押しつぶすことができず導通不良が発生する問題があった。

この発明は、上記の問題をなくすためになされたもので、図に実施例を示す。有機基板は加熱すると軟らかくなる性

質を利用して、LSIチップ(1)を基板(3)に強く押し付け、表面に凹部(19)を形成させて、突起電極(2)を電極(4)と接触させる。凹部(19)を形成する際、電極(4)の幅を突起電極(2)よりも狭くすることにより、電極(4)が凹形状になることを防止し、ACF(6)中の導電粒子(5)を均一に押しつぶすことができる。

この発明による半導体装置は上記のように構成されているので、信頼性の高い電気的接続が実現できる。





特許と新案***

三菱電機は全ての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)

磁気記録再生装置 特許第2606833号(特開昭63-166007)

発明者 谷 豊文

この発明は、フロッピーディスクに情報を記録し、再生するヘッドを備えた磁気記録再生装置に関するものである。

従来、フロッピーディスクドライブに用いられる記録再生用ヘッドとしては、図1に示すものが用いられていた。この図において、記録再生用ヘッドの記録再生用ギャップは、フロッピーディスクに対向する摺動(しゅうどう)面上の形状中心位置Cから、アジマスロスを除く距離 p だけ空気流入側、すなわちフロッピーディスクの回転に対して上流側にずらせて形成されていた。

このような記録再生用ヘッドを用いてフロッピーディスクに信号を記録し再生した場合、フロッピーディスクの回転速度が高くなり、結果として、記録再生用ヘッドとの相対速度が大きくなると、図2の記録再生用ギャップとフロッピーディスク間のすきま h が大きくなるため、信号レベルが劣化するという問題点があった。

この発明は、上記の欠点を改善するため、記録再生用ヘッドの記録再生用ギャップ位置をフロッピーディスクに対向する摺動面上の形状中心位置Cから距離 p_1 ($p_1 > \ell/4$) 空気流出側にずらせて形成したものである(図3)。このとき、記録再生用ギャップとフロッピーディスク間のすきまは h_1 (図2)で、フロッピーディスク回転時は、常に $h > h_1$ であるため、ディスクの高速回転時でも信号レベルの劣化を防ぐことができる効果がある。

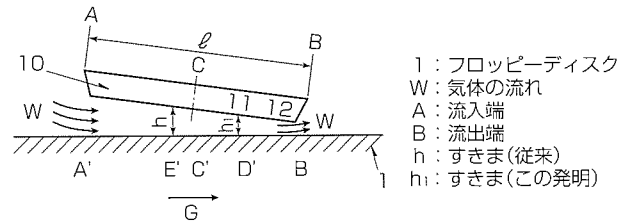


図2.

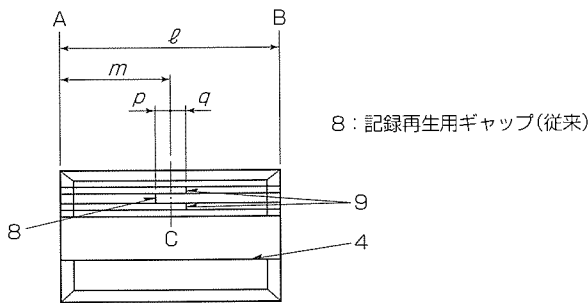


図1.

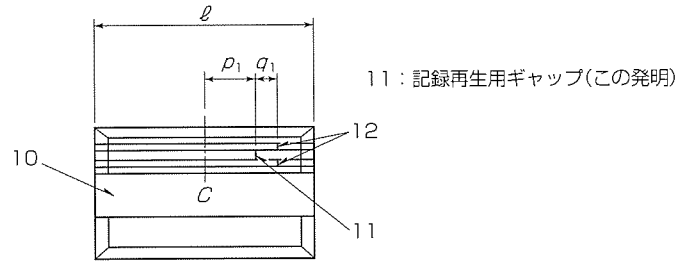


図3.

<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.77 No.6 「最新のNC装置、サーボシステム及びその周辺機器」特集

三菱電機技報編集委員	三菱電機技報 77巻5号	2003年5月22日 印刷
委員長 井手 清	(無断転載・複製を禁ず)	2003年5月25日 発行
委員 高橋 大 長谷川 裕 堤 清英	編集人 井手 清	
森原 幸志 村松 洋 松本 修	発行人 福本 紀久男	
浜 敬三 石野 禎将 中川 博雅	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	
中島 克人 部谷 文伸	〒105-0011 東京都港区芝公園二丁目4番1号	
黒畑 幸雄 山本 比呂志	秀和芝パークビルA館9階 電話 (03) 3437局2692	
事務局 松本 敬之	印刷所 株式会社 三菱電機ドキュメンテクス	
本号取りまとめ委員 成宮 宏	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735円(本体700円) 送料別	
URL http://www.MitsubishiElectric.co.jp/giho/	三菱電機技報に関するお問い合わせ先 cep.giho@ml.hq.melco.co.jp	