

# MITSUBISHI

## 三菱電機技報 Vol.75 No.5

特集Ⅰ「環境技術」  
特集Ⅱ「放射線計測技術」

# 2001 5



## 目次

### 特集Ⅰ「環境技術」

環境保全技術の評価手法, LCAへの期待	1
石谷 久	
環境に関する研究開発の現状と展望	2
肥塚裕至	
東浜リサイクルセンターにおける電気製品の高度マテリアルリサイクル	6
松村恒男・藪 重洋・井関康人	
プラスチックのリサイクル技術	10
村上 治・藤田章洋	
製品の環境対策への取組	14
高橋徹也・松村恒男	
簡易DFD手法による家電品の設計	18
永友秀明	
製品アセスメント適用推進への取組とFA製品における適用事例	21
大山年郎	
オゾンを用いたLCD用レジスト剥離技術	25
堀邊英夫・野田清治・片岡辰雄	
過酸化水素添加オゾン処理法による地下水浄化装置	29
古川誠司・安永 望・廣辻淳二・宇野淳一・安居院憲彰	
多結晶シリコン太陽電池の製造方法の改善と高効率化	33
有本 智	
環境統合情報システム	37
内藤知子・酒井雅朗・竹内 充・中村 馨・小林正幸・上田敏晴	

### 特集Ⅱ「放射線計測技術」

明日の風	41
山本幸佳	
放射線計測に関する技術の現状と展望	42
早川利文	
新型放射線管理システム	46
茂木健一・浦中康夫・藤田和彦	
半導体型放射線センサ	50
今川清作・泉 伸幸・西沢博志	
光ファイバ応用放射線検出システム	54
西浦竜一・浦中康夫・泉 伸幸	
がん治療用深部線量分布測定装置	58
西沢博志・泉 伸幸・水島直大	

### 特許と新案

「断熱箱体」「微生物濃度または微生物活性の計測装置」	63
「深部線量測定装置」	64

### スポットライト

都市・ビル向け情報提供システム“MEDIAGATE”	62
可搬型体表面モニタ	(表3)

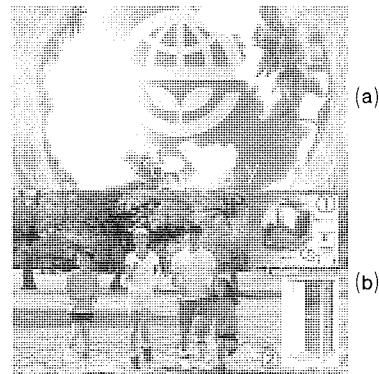
### 表紙

#### 環境技術の蓄積と発展(a)

このマークは三菱電機グループの環境行動シンボルマークである(1993年作成)。地球と環境(Earth, Environment)が自然を表した双葉を包み込んでいる形で、慈しむ気持ち、大切にすることを表現している。今回は、地球の青さを意識させる写真を組み合わせ、“共生”をイメージした。

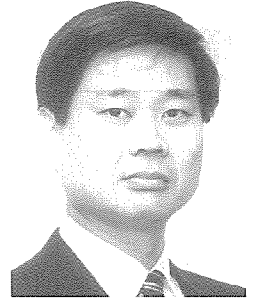
#### 放射線測定装置の新製品(b)

PWR原子力発電所に放射線監視システムを納入しているが、今後は更に幅広い分野に製品を提供していく。写真は、原子力防災用としてどこでもいち早く放射性物質汚染検査ができるシンチレーション光ファイバ体表面汚染モニタ②、がん治療ライナック用深部線量分布測定装置①の新製品である。





## ！ 環境保全技術の評価手法，LCAへの期待

東京大学  
工学系研究科

教授 石谷 久

環境技術が最近華やかな脚光を浴びていて、その育成は新世紀の主要な産業戦略とも言われている。従来、製品やシステムの設計、製造、選択、利用などの各段階の評価や意志決定には、主として製造・販売のコスト、又は製品機能や利用上の利便性など直接のメリットが判断基準となってきた。この結果、本来考慮されるべき環境影響や環境保全の負担は完全にはコスト算定に含まれず、特に長期的・広域的な環境影響にかかわるコストがいわゆる外部性として取り残されてきた。こうした矛盾が近年になって急速に顕在化し、先進国を中心にその反省がなされて、このような機運がもたらされたものである。実際に環境負荷として分かりやすい大気汚染、污水排水、又は固形廃棄物など、主に製品やシステムの使用後の廃棄物が多くの問題を起こしてきたことは記憶に新しい。身近な環境汚染は現れるのも早く、それに対する防除の意識もわきやすいが、規制に始まって企業が自主的に対応するルールができたのは先進国ですらこの数十年にすぎず、一部途上国では未だに産業経済の発展を優先する傾向が強いのが実状であろう。

最近はさらに長期的・広域的な温暖化の影響と防止が議論されるようになったが、先進国間にすら意見の一致が見られず、その原因物質のCO<sub>2</sub>排出削減の具体策も難航しているのは周知のことである。これもその影響がまだ明確に現れず、他方で、経済発展に不可欠のエネルギー消費抑制には途上国を中心に反発が強く、これを除いた対策は経済的競争力を失うだけで全世界的には全く意味がないという事実による。

環境問題は技術でかなり対応可能で、この特集にはそのような先端的な技術が多様に示されると思うが、一般には対策をとらない場合に比べコストアップになる。したがって、その必要性や効果が正しく評価されない限りせっかくの技術も普及せず、その効果を表せないことは過去に多く

の例が示している。

規制は環境保全技術普及促進のための一つの強力なインセンティブであるが、国際的な標準が進まないと排出リークが起きて世界的にはその努力がかえってマイナスになることは上記のとおりである。ISO14000はこのような矛盾を国際標準によって企業の自主的努力の形で解決しようという試みだが、その危機意識が強かった欧州諸国の強い働きかけで少なくとも先進国では企業の環境配慮の行動がいやおう(否応)なく定着しつつある。しかも、これが今後の全世界的なすう(趨)勢となることは否定できない。

人間活動の負の影響はいずれ結果が現れれば対策を講じなければならないが、システムが巨大になりかつフィードバックも遅れれば、その間の被害も大きく復旧は極めて困難、かつ負担も増加する。その意味で、事前評価、広範囲の視野による最適化が有効である。この際、環境影響を定量的に分析・評価するLCA(ライフサイクル評価)、又はこれを製品設計段階に生かす環境配慮設計技術(DFE)などが、これらの目的を達成するための効果的な手段として期待されている。これは外部性の内生化に必要なかつごく自然な手順であるが、他方でその実施手法はまだ未熟であり、また、それ以上にどの範囲までの生産・消費活動や環境影響を考慮するか、具体的なデータの妥当性をどう保証するかといった問題が残っており、それ自体まだ検討を要する段階にある。

今後、インフラ整備まで含めてこのような手段が確立し、その上で長期的・広域的な環境配慮がなされた製品が出回ること、それによって現在日本でも精力的に進められている環境保全技術が十分正当に評価され、産業としても発展して、結果として省エネルギー、省資源で環境負荷の少ない社会が実現することを期待したい。

# 環境に関する研究開発の現状と展望

肥塚裕至\*

特集  
I

## 1. ま え が き

21世紀に求められる本格的な省資源・省エネルギーの循環型社会システムの実現は、“持続可能な発展”のためには必要不可欠となっている。研究開発活動においても環境の視点を抜きにはできず、企業の存亡を左右すると言っても過言ではない。

本稿では、循環型社会を“共創”<sup>(1)</sup>するため図1に示す四つの分野での三菱電機での研究開発活動を紹介する。

## 2. 環 境 創 造

### 2.1 クリーンエネルギー・省エネルギー

地球温暖化防止のための温室効果ガスの排出削減に向けて、クリーンエネルギーの導入、省エネルギーの推進が重要となっている。1997年12月の京都での地球温暖化防止会議COP3で、我が国は、2010年までに二酸化炭素の1990年比6%削減などの国際公約を掲げた。一方、高度情報社会の進展に伴い、電力需要は年々増加する傾向にあるが、原子力発電所の新規立地難や電力事業の規制緩和で、電力各社の設備投資は抑えられ、増加する電力需要への対応は楽観視できない。

このような環境保全とエネルギー需給安定の確保というエネルギー政策を実現するために、新エネルギー発電と負荷平準化システムへの期待が高まっている。具体的には、風力、太陽光などの再生可能エネルギーの開発と並行して、クリーンエネルギー自動車、コジェネレーション、燃料電池、電力貯蔵用電池などが注目されている。特に分散電源としてクリーンエネルギーである水素を燃料とする有害な排出物のない燃料電池と、高効率で電力を充放電する二次電池からなる電力貯蔵用電池が重要であり、当社において

も研究開発を行っている。これらの分散電源を用いれば、発電・送電設備運用の効率化、二酸化炭素削減の効果がある。電力貯蔵用電池は、デマンドサイドマネジメントの一環として、最大電力ではなく平均電力需要に応じた発電所の設備投資が可能となり、また、負荷変動に関係なく一定出力で発電機の運転ができるというメリットがある。

一方、家庭電化製品では、'99年4月に省エネルギー法が改正され、“トップランナー方式”が導入された。この法では、現製品で最高の省エネルギー性能を基準に設定し、同種の製品が加重平均でこの効率以上になることを義務づけている。家電では、空調機、冷蔵庫、蛍光灯、テレビ、ビデオが対象で、エネルギー消費効率を8~30%向上させる内容である。省エネルギー分野では、新材料採用、インバータ技術、センシング・制御技術、待機電力低減、高効率モータ等の要素技術開発によって省エネルギーシステムの提供を行っている。

#### 2.1.1 燃料電池

燃料電池は、従来の内燃機関よりも高い発電効率を実現できる可能性があり、排熱をスチームや温水に変換して有効利用できること、NO<sub>x</sub>などの有害物質をほとんど排出することなく、音が静かであることから、都市に密着した分散型電源、家庭用電源や電気自動車の電源として期待されている。なかでも固体高分子型燃料電池(PEFC)は、小型ビル用、家庭用や電気自動車用の電源としての実用化への期待が高まっており、ミレニアムプロジェクト(NEDO：日本ガス協会、日本自動車研究所が主な委託先)や電気メーカー、自動車メーカー、材料メーカーなどで盛んに開発が進められている。

三菱電機では、'96年度からメタノールを燃料とする10kW級の可搬型電源の開発を進めており、フェーズ2プログラムの最終年度である2000年度は、10kW級可搬電源システムを試作するとともに、(株)スバル研究所の協力を得て、サンバーへの搭載試験を実施した。また、独自に1kW級の都市ガス改質器を開発して、家庭用PEFCについても1kWの運転試験を実施しており、家庭用PEFCシステムの実用化に向けた開発を進める予定である。

図2に家庭用PEFC電源のイメージを示す。

#### 2.1.2 電力貯蔵用二次電池

二次電池は、負荷平準化用電池として、廉価な深夜電力を充電して昼間に電力として用いることが考えられる。昼間の使用形態としては、電気自動車、ハイブリッド自動車、

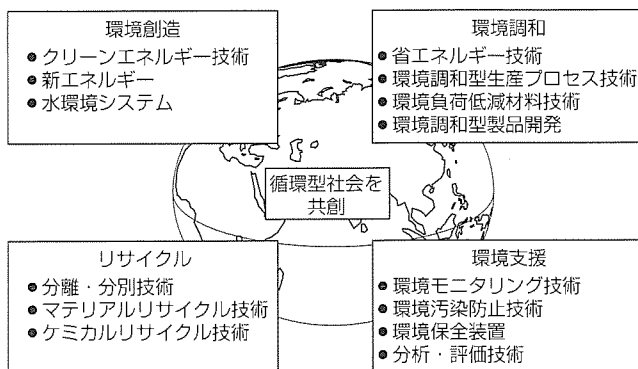


図1. 循環型社会を“共創”するための研究開発

照明、空調などがある。このような負荷平準化を行えば、昼間の最大電力のピークカットを行うことができ、今後予想される電力消費量の増加に対応できる。電力貯蔵用二次電池のうち実用化が期待されているものとしては、ナトリウム硫黄電池、レドックスフロー電池、及びリチウムイオン電池がある。

当社では、電気自動車用等をターゲットにした“移動体用”電池を開発している。当社は、大型リチウムイオン電池実用化のかぎ(鍵)となる電池安全性や電極材料、電池シミュレーション技術等の要素技術開発を行っている。電池としては、既に3kW・hモジュールとして、質量エネルギー密度140W・h/kg、出力密度770W/kgを達成している。

これらの二次電池技術は、競合する技術、例えば水蓄熱などと共存するか、競争に勝たなければならず、コスト低減、寿命向上が課題である。

## 2.2 21世紀の環境技術が目指すもの

本年4月から循環型社会形成推進基本法が施行された。21世紀の社会システム、生産システムは、図3に示すように、循環型、ゼロエミッション型へと一層の変革を遂げていくに違いない。当社では、豊かさや利便性を提供しながら環境に配慮した新しい社会システム、すなわち“循環型都市代謝システム”や、環境調和型のゼロエミッション工場“グリーンファクトリ”を目指した環境技術の開発に注力している。

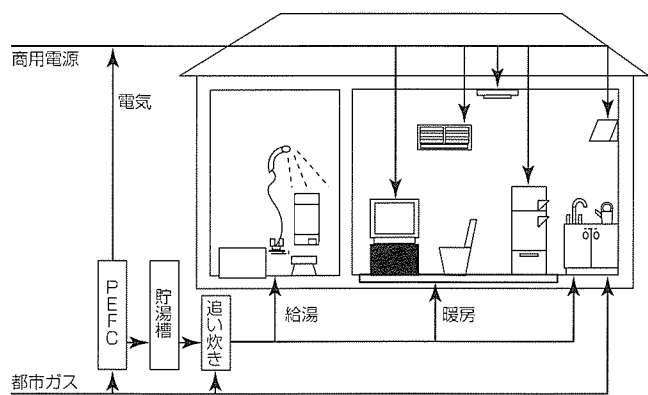


図2. 家庭用PEFC電源のイメージ

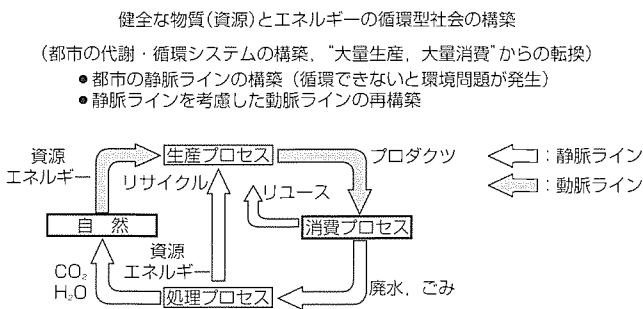


図3. 21世紀の循環型社会のコンセプト

## 2.3 環境創造のための浄化技術

20世紀までの日本は“水はただ”“水に流して”の文化が残っていた。そのせいか、環境ホルモン・農薬、病原性微生物などによる水源水質悪化、慢性的濁水、閉鎖水系の富栄養化による赤潮など水環境の状況は深刻である。健全な水環境の維持は21世紀の重要課題の一つと言える。

当社では、オゾンの強い酸化力を利用した上水・下水・排水の消毒・脱臭・脱色や環境ホルモンの分解無害化、さらに過酸化水素とオゾンを併用した促進酸化法による難分解有害物質の分解、下水中有機物の高度分解による再利用などの技術・装置を開発している。

富栄養化の原因である下水処理場の窒素とリンの除去に関しては、図4に示すように、高精度のアムモニアモニタとリン酸モニタの開発とニューラルネットを用いた制御設定値算出アルゴリズムの開発により、ばっ(曝)気風量、返送汚泥量、酢酸添加量、凝集剤添加量を制御して、放流水の窒素濃度、リン濃度を水質基準値以下に保ち、しかもエネルギー投入量ミニマムで運転できるシステムを開発した。

水質監視に関しては、有機膜のセンサを用いた上水水源の油汚染監視装置や大腸菌と蛍光基質の反応を利用した下水処理制御用大腸菌群計測装置などの開発を進めている。

大気汚染に関しては、SO<sub>x</sub>は世界の先進国の中でも極めて低濃度となっているが、NO<sub>x</sub>は自動車によるものが多くを占めており(東京都で51%('98年)<sup>(2)</sup>)、特に、住宅隣接幹線道路、都心の交差点、トンネル、地下道、地下駐車場などではその除去装置の開発が待たれている。このような背景の下、当社では、放電による窒素ラジカルを利用して濃縮したNO<sub>x</sub>を分解し、窒素に還元する技術・装置を開発している。

土壌汚染の中でも最近重要視されているのは、有機塩素化合物などの有害物質による地下水汚染である。種々の方法が提案されているが、有機物分解、ハロゲンは塩にして除去という本質的な浄化方法として、当社では、オゾンと過酸化水素、又はオゾンと紫外線を併用した促進酸化法に

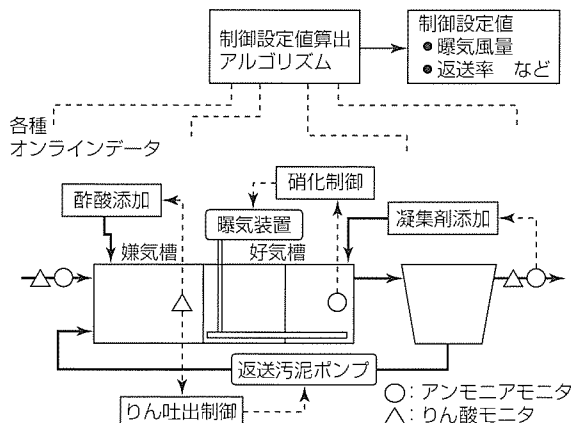


図4. 下水処理場の硝化制御りん吐出制御システム

よる浄化技術・装置の開発を進めている。この方法によると、廃棄物処理場浸出水からの難分解性物質の無害化も可能である。

また、最近のごみ焼却場のダイオキシン生成が問題となっており、高速液体クロマトグラフによる高精度分画と高分解能ガスクロマトグラフ質量分析により、短時間(全1週間)高精度(検出感度0.2pg以下)の検出技術を開発した。

### 3. 環境調和

#### 3.1 環境調和型生産プロセス(ゼロエミッション技術)

工場内ゼロエミッションの取組も重要であり、“工程内ロスなし”“廃棄物なし”に向けての研究開発を続けている。半導体製造における洗浄、レジストはく(剥離)、現像、表面処理などのプロセスにおいては、有機溶剤、強酸、強アルカリなどの化学物質が多用されている。中には、フロン系、重金属酸塩水溶液などの環境負荷の高い物質を用いるプロセスもある。

当社では、オゾン水で代替するシステムを開発し、液晶表示素子製造プロセスのレジスト剥離装置として装置化し、環境に優しいウェットプロセスとして期待している。このプロセスでは、従来アルカリと溶剤の混合液が使われていたが、オゾンと水を用いることにより、環境負荷の低減(1/10)、ランニングコストの低減(1/5)、プロセス床面積の低減(1/2)が期待できる。オゾン水は、レジスト剥離の外にも、図5に示すように、精密部品などの洗浄や表面改質など有害薬液の代替として用途は多い。

また半導体製造プロセスでは、RIE(Reactive Ion Etching)のエッチングガス、CVD(Cheical Vapor Deposition)の洗浄ガスとして $CF_4$ や $C_2F_6$ などに代表されるPFC(Perfluoro Compounds)が多く使われている。PFCは寿命の長い地球温暖化ガスで、4月から放出が規制され、その除害(分解除去)が求められている。当社では、PFCを大気圧プラズマで分解して、ふっ酸(スクラバで回収、HF)と $CO_2$ に無害化する装置を開発している。

#### 3.2 環境調和型製品の開発

循環型社会を構築するためには、環境保護、資源保護の概念を積極的に取り入れた製品の開発が重要である。三菱電機グループでは、基本理念としてMET(Material:資源の有効活用, Energy:エネルギーの効率利用, Toxicity:有害物による汚染回避)を掲げ、環境行動目標を定め、環境計画を推進している。

図6にプラスチック材料に関するエコマテリアル化の取組を示すが、LCA(Life Cycle Assessment)により、製

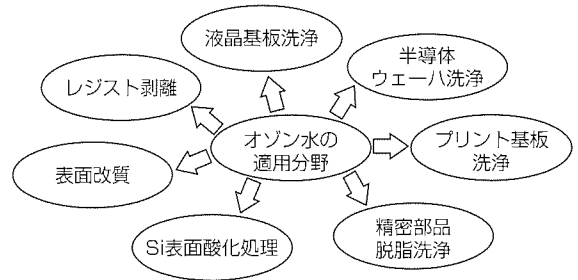


図5. オゾン水の適用分野

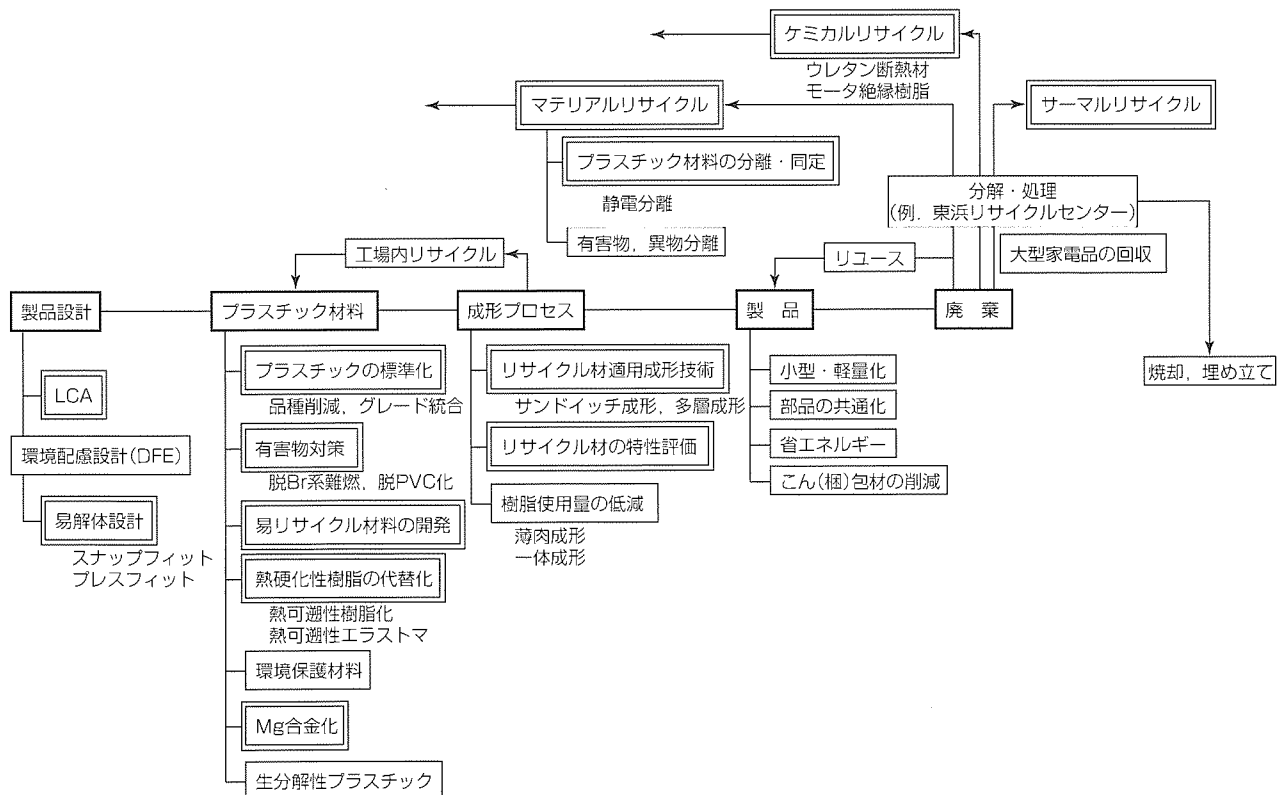


図6. プラスチックのエコマテリアル化の取組

造・輸送・使用・廃棄時の環境負荷を定量的に求め、製品の全ライフサイクルでの環境負荷を最小とする改善活動を進めている。

有害物質については、電気製品は世界各国で使用されるため、日本国内のみならず世界の規制に対応しなければならない。最近では、鉛などの重金属、環境ホルモンと呼ばれる内分泌かく乱物質を含有する有機系材料、燃焼時にダイオキシン類を発生する可能性のあるハロゲン系難燃材料等の削減が要求されているため、代替技術開発を進めている。さらに、有害物質の回避では、極微量に含まれる有害物質の分析も重要である。分析必要感度を上回る極微量分析技術を実現するため、クリーンルームにおける濃縮技術やコンタミネーションフリー分析技術の開発を進めている。

信頼性に優れた電気配線の接合技術として、一般に使用しているはんだには鉛が含有されているため、脱鉛はんだ接合技術の開発を進め、一部製品への適用を開始した。脱鉛はんだ接合技術の開発では、プロセスの最適化とともに、信頼性評価が重要であり、信頼性評価試験と並行して、材料組成解析、接合部の微細構造解析等の材料分析及び解析を行い、総合的な評価を実施している。

#### 4. リサイクル

本年4月から家電リサイクル法が施行され、冷蔵庫、エアコン、テレビ、洗濯機の大型家電品4品目のリサイクルが義務づけられた。再商品化率は、表1に示すように製品によって異なるが、金属、ガラスなどの既にもリサイクル技術が確立された材料を中心にマテリアルリサイクルを行っている。今後、更に規制強化で再商品化率が高くなるとともに対象製品の増加が予想され、家電製品で多用されているプラスチックのリサイクル技術確立が重要となる。

家電製品では、主にPP(ポリプロピレン)、HIPS(衝撃改良ポリスチレン)、ABS(アクリロニトリル-ブタジエンスチレン)樹脂などの汎用プラスチックが使用されているが、現在回収される廃家電品では材料名の表示が行われていないため、マテリアルリサイクルでは、プラスチックの分離・分別技術が重要となる。静電分別技術は、乾式であり、フィラーなどを複合したプラスチック系材料も分離可能であるため他の分別方式よりも有効と考えられ、分別能力の高度化技術開発を進めている。一方、高度に選別されたリサイクル材においても微量な異物や異材料の混入を避けることは困難であり、これらの混入を想定した物性の劣化を補償するリサイクル材への新材や衝撃特性改良材の配合等の材料改質技術や、表層に新材を、コア層にリサイクル材を用いたサンドイッチ成形技術の開発も併せて進めている。

表1. 家電リサイクル法対象製品の再商品化率

(質量%)			
エアコン	テレビ	冷蔵庫	洗濯機
60%	55%	50%	50%

冷蔵庫の断熱材であるウレタンフォームは、冷蔵庫質量の約10%を占めるが、製造時に熱で硬化反応をさせているため、一般のプラスチックのようなマテリアルリサイクルはできない。このため、原料であるポリオールに分解するケミカルリサイクル技術の開発を進めている。また、ほとんどの家電品で使用しているモータの絶縁樹脂についても、ケミカルリサイクル技術の開発を進めている。

リサイクルの容易性は製品設計時に決定されると言うて過言ではない。DFE(Design for Environment)の考え方は今後の製品設計のキーであり、環境対策のノウハウを取りまとめた“三菱電機環境適合設計要覧”の策定を行い、製品アセスメントの高度化を図っている。

#### 5. むすび

三菱電機における環境にかかわる研究開発についての取組についてその概要を述べた。個別の詳細についてはこの特集の別稿によるが、誌面の制約があり、すべての取組を網羅して取り上げることはできなかった。例えば、R&Dテーマとしては、油臭監視センサを始めとする各種センサを用いたモニタリング技術開発、環境ホルモン物質等の極微量物質の分析技術など幅広い研究開発活動を行っていることを付記しておく。またここでは省エネルギー技術に関してはその詳細を省略したが、改正省エネルギー法では、空調機が2003年、冷蔵庫が2004年から省エネルギー基準の達成が義務づけられるなど、地球温暖化防止に向けては、今後も機器の高水準な省エネルギー技術の追求が必要である。

21世紀の潮流である環境低負荷(Reduce, Reuse, Recycle, 省エネルギー等)に必要な要素技術の開発課題を市場・社会・法規制動向を見極めて設定し、技術のIntegrationによって継続的に行い、循環型社会システムの実現に貢献したい。

なお、本稿で紹介した“固体高分子型燃料電池の研究開発”“分散型電池電力貯蔵技術開発”“ウレタンのリサイクルにかかわる基礎技術の開発”の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から委託を受けて実施しているものである。

#### 参考文献

- (1) 三菱電機株：環境レポート2000
- (2) 環境白書(平成10年度版, 418)

# 東浜リサイクルセンターにおける 電気製品の高度マテリアルリサイクル

松村恒男\*  
藪重洋\*  
井関康人\*

特集  
I

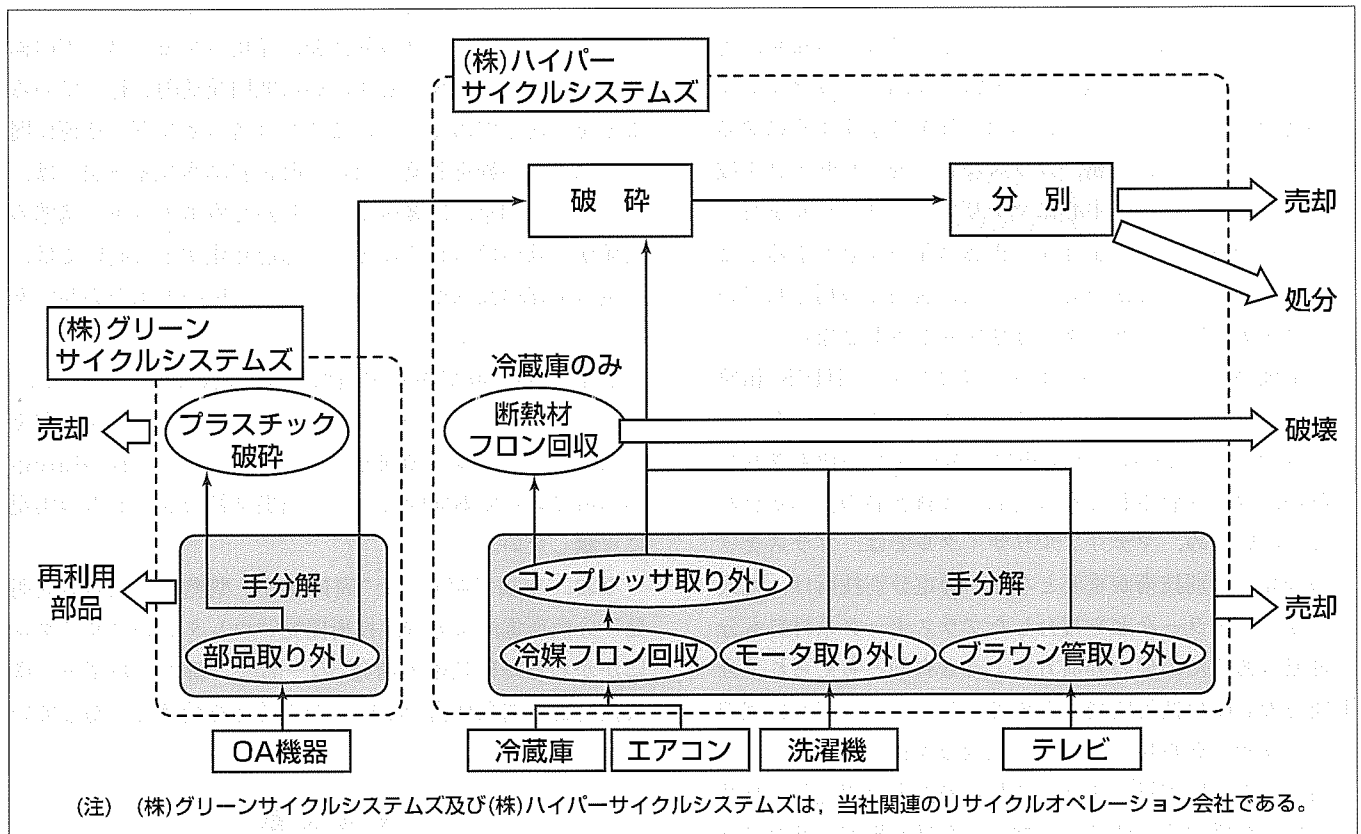
## 要旨

家電リサイクル法は、製造業者等に自ら製造した機器のリサイクル責務を課し、併せて、リサイクルしやすい製品作りを推進する目的がある。三菱電機の東浜リサイクルセンターは、新法対応の家電製品のリサイクル施設として1999年に準備し、家電製品及びOA機器のリサイクルを実施し、約2年を経過した。

省令に定められた再商品化率及び一体的に行うべき処理基準を遵守し、マテリアルリサイクルによるゼロエミッションを目指したプラントを操業した。このプラントの工程は、焼却や水洗浄を使用せず、品位の高い資源の回収、併

せて解体性、資源回収性、処理コストなど、設計へのリサイクル情報のフィードバックを行う。

使用済み家電品の金属部分は、既存のくず(屑)金属市場への売却が可能である。しかし、操業の初年度はプラスチックが埋立てであったので、資源化に向けて技術開発を行った。内部配線など塩化ビニル被覆などの銅線が混じったプラスチック破砕片をさらに数ミリメートルの粒に再破砕し、比重選別で銅を、静電選別で塩化ビニル等を選別する工程を加えた。それによって、埋立てするダストは1/5以下に減少した。



## 東浜リサイクルセンターの処理フロー

使用済み機器は、手解体で、資源価値の高いもの、環境影響物質、設備に障害になるようなものを外し、残りを破砕・選別する。



## 1. ま え が き

大量生産と大量消費そして大量廃棄をした20世紀後半は、地球環境への負荷が増大し、様々な地球規模の環境問題が顕著になった。それらの一つが、量が増大し、質も広がって処理が面倒になった廃棄物である。我が国においても、身近な廃棄物は最終処分場がひっ(逼)迫して、一般廃棄物・産業廃棄物ともに減量化は必至であるし、不法投棄や不適切な処理・処分が跡を絶たない。資源には限りがあるから有効に使おうと後追いの理由づけで、リデュース、リユース、リサイクルの3Rを基本とする循環型へ向け、大きく前進することとなった。

1998年には特定家庭用機器再商品化法(通称：家電リサイクル法)が施行され、大型家電製品の4品は製造者・輸入業者(製造業者等という。)に再資源化の義務を課した。再商品化率という新しい定義の採用、一体的に行うべき事項を加えた再資源化は、2001年4月から本格施行となった。

楽しく便利な生活を支えてくれた家電品は、10年ほども使用すると、寿命・故障等からライフエンドを迎える。これまではそれらの不要物は自治体のごみ収集か販売店に引き取られていたのであるが、今後は、小売業者、自治体、指定法人によって排出者のもとから収集運搬され、製造業者等、自治体、指定法人の施設で再商品化等がなされるようになる。

本稿では、新しい処理基準に対応するリサイクルプラントの資源回収について、使用済み電気機器を対象とする場合の基本的な考え方、処理フローの具体的事例、経済性を考慮した高度なマテリアルリサイクルについて述べる。

## 2. 処理フローで検討する項目

### 2.1 家電リサイクル法で採用の処理基準

家電リサイクル法という再商品化とは、①機械器具が廃棄物となったものから部品及び材料を分離し、自らこれを製品の部品又は原材料として利用する行為、②機械器具が廃棄物となったものから部品及び材料を分離し、これを製品の部品又は原材料として利用する者に有償又は無償で譲渡し得る状態にする行為、と定義している。当初は、部品又は原材料として分離し燃料として利用することは認められない。省令では、製造業者等は、引き取った機器について、少なくとも以下の基準以上の再商品化を実施しなければならない。

エアコン 60%、テレビ 55%、  
冷蔵庫 50%、洗濯機 50%

この再商品化の際、エアコンと冷蔵庫に含まれる冷媒用フロンを回収して再利用又は破壊をすること、また、廃棄物に関する別の法律の通達で、テレビの大型プリント基板は取り外し、その金属類を再資源化すること(一体的に行

うべき事項)が義務となっている。しかし、冷蔵庫の断熱材に含まれるフロン類の回収は、新法の施行当初からの義務づけはない。

### 2.2 指定製品

政令で、電気冷蔵庫、電気洗濯機、テレビジョン受像機、ルームエアコンディショナー(以下では簡略名称を使用)の4品目が対象機器となった。これらが指定された根拠は、大きな質量・容積、高い保有台数、複雑な素材構成、主として買換え時の小売業者による収集といった特徴からである。

しかし、衣類乾燥機、電子レンジ、その他の機器の幾つかは、大きな質量・容積、高い保有台数、複雑な素材構成などの共通点から、追加されるべきものという議論があった。早晩、指定される機器は増加するとして、広く電気機器の再資源化ができるプラントにしなければならない。

ここでは、これら指定機器の素材構成、質量、排出台数に触れておく。表1は、'96年度に生産された家電各社の売れ筋商品の素材構成である。表中の金属材料、ガラスの質量割合を再商品化率と比較するとき、かなり効率良く回収して売却できる品位にしなければならないことが分かる。表2は、表1でプラスチックとひとまとめた種類別の構成比である。これらの2表で対象機器に含まれる資源の概略が知れ、回収プロセスの検討に役立つ。

表1. 主要家電4製品の素材構成比

	テレビ	冷蔵庫	洗濯機	エアコン
鉄・鉄合金	9.7	49.0	55.7	45.9
銅・銅合金	1.5	3.4	2.9	18.5
アルミ・アルミ合金	0.3	1.1	1.4	8.6
その他合金	1.4	1.1	0.5	1.5
プラスチック	16.1	43.3	34.7	17.5
ガラス	62.4	0.0	0.0	0.0
ガラス	0.0	1.1	0.0	2.0
プリント基板	8.1	0.3	1.5	3.1
その他	0.4	0.7	3.3	2.8
計	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

(注) ●上表中の数値データは、四捨五入処理のため合計値が100%としないケースがある。  
●プラスチックは、プリント基板を除く。  
●プリント基板は、はんだ付き基板である。

表2. プラスチックの種類別構成比

	テレビ	冷蔵庫	洗濯機	エアコン
ポリプロピレン	8.9	24.7	76.5	21.2
塩化ビニル	3.2	7.9	5.7	10.6
ポリスチレン	84.5	26.3	6.2	31.9
AS	0.0	0.0	0.0	1.7
ABS	1.7	16.3	3.0	10.8
ASA	0.0	0.0	0.0	2.5
ポリエステル	0.0	0.0	2.0	3.7
ガラス繊維入りプラスチック	0.0	0.0	0.0	8.4
発泡ポリウレタン	0.0	21.4	0.0	0.0
その他	1.7	3.4	6.6	9.2
計	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

（財）家電製品協会が'95年から4年間にわたり実施した国庫補助事業「廃家電品一貫処理リサイクルシステム開発」では、当社は、荷さばき・一次分解などを受託した。表3は、その際のデータで、製品別の質量である。同協会の'91年調査では、冷蔵庫：57kg、洗濯機：25kg、テレビ：25kg、エアコン：51kgの平均質量であった。

大型4製品の排出台数の実測データはないが、2000年度で2,065万台、約73万トン（通産省推計'97年）である。また、県別の推測値から、リサイクルプラントがカバーする地域と処理能力の設定もできる。

### 2.3 シーズン性と操業安定性

使用済み家電品の排出は、年度の変り目や、冷房・暖房の切換え時期に多くなるシーズン性がある。OA機器のような定期的に排出される電気機器も処理をすれば、資源回収量の増大は売却価格に効果があり、安定的操業に有効である。

## 3. リサイクルプロセス

家電製品やOA機器は、小さな部品や複合部品の組合せで、コンパクトな構造をしている。大型破砕機で初めから破砕してしまう従来の方式では、複合のままつぶ（潰）された品位の低い資源しか回収できず、ダストを増加させてしまう。処理基準をクリアするには、薄い金属類や上質のガラス回収が必ず（須）である。そこで、このプラントでは、手解体で主要な部品類を事前選別し、その後に破砕し、機械的・物理的な選別工程を組み合わせることで品位の良い資源を回収することとした。

### 3.1 手解体の対象と作業

手解体の対象は次のようなものである。

- 衝撃破砕機にかけられない剛体 例えはモータ、コンプレッサ
- 有価性のもの 例えはブラウン管、コンプレッサ、モータ
- 環境配慮 例えは冷媒フロン、プリント基板

● 後工程に有害 例えは油、ゴム磁石、ガラス、塩水  
作業内容を以下に挙げる。

からみやすい電源コードは初期に切断する。製品の内部配線類も集める。専用の回収機で冷媒と冷凍機油を回収する。剛体のコンプレッサ、モータをカッタで切り外す。ブラウン管を取り出し、電子銃部分で真空解除して電子銃を折り取り、偏向ヨークを外す。テレビの大型プリント基板を取り外す。冷蔵庫では、扉のガスケット（磁性があって設備の鉄部に付着する。）、扉内のガラス製部品（破砕機の内部を削る。）等を取り外す。電気洗濯機では排水ホースを切断する。全自動洗濯機の場合は、洗濯槽の上部にある液体バラサから塩水（破砕装置類をさ（錆）びさせる。）を抜き取る。

### 3.2 破砕・選別

手解体を終えた残りは、衝撃式破砕機へ投入する。主要なフローを図1に示す。破砕片を磁力選別機に通し、大きな鉄をあらかじめ取り去り、サイズ別（4種類）にふるい落とす。サイズ別に、比重選別機、渦電流選別機、磁力選別機などを用いて、材質別となるように選別する。図の右下へ、銅、鉄、プラスチック、アルミニウム、弱磁性物、ダストが集まる。

この破砕・選別工程には燃焼や水洗がなく、冷蔵庫の断熱材中のフロン回収装置を備える等、環境配慮となっている。

図の右下に位置する二つのプラスチックは、各種の材質が混在し、かつ、細い銅線、破砕された基板と金属はく（箔）、配線の被覆である塩化ビニルも含まれ、混合状態では用途がない。稼働させて1年後、これらのプラスチックを数ミリメートルの粒へ微破砕し、金属と塩化ビニルを除去する比重選別と静電選別とを行う技術を開発した（図2）。最終的にプラスチックは高炉還元剤に、金属部分は銅原料に利用されている。

### 3.3 断熱材中のフロン、シクロペンタンの回収

図1の上部密閉箱にはせん断破砕機が2段あり、冷蔵庫

表3. 実証試験に供した家電品の質量

種 別	母 数	質 量						
		総質量	平均	最大	最小	中央値	標準偏差	
	台	トン	kg					
冷 蔵 庫	3,205	181.73	56.7	107.7	14.6	60.0	16.1	
エアコン室内機	1,332	16.19	12.2	28.2	5.9	11.1	3.8	
エアコン室外機	1,862	69.25	37.2	82.3	13.4	36.1	8.9	
洗 濯 機	二 槽 式	2,779	59.61	21.5	48.8	13.5	21.3	3.6
	全 自 動	1,013	31.12	30.7	59.0	20.7	30.3	3.9
	全 体	3,792	90.73	23.9	59.0	13.5	22.6	5.5
テ レ ビ	木製キャビネット	1,334	23.32	17.5	53.2	8.5	12.9	9.1
	プラスチックキャビネット	2,957	63.20	21.4	64.4	4.5	21.1	9.8
	プラスチック・木キャビネット	121	2.46	16.2	33.9	8.5	15.1	6.7
	未 登 録	638	10.90	17.1	68.7	8.2	13.8	8.0
	全 体	5,050	99.40	19.7	63.9	4.5	18.4	9.5
計	15,241	457.30						

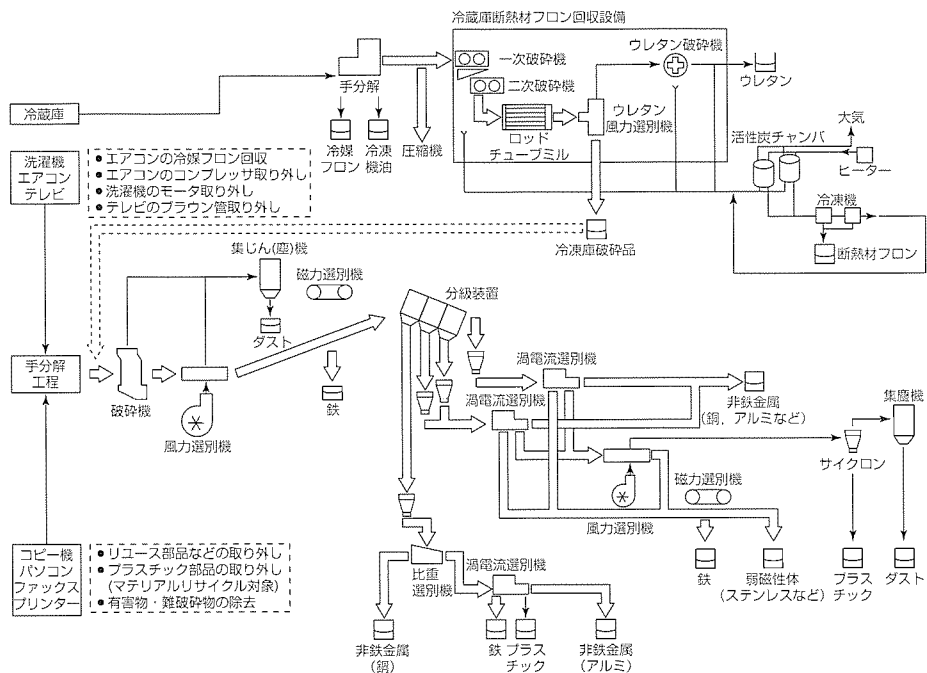


図1. 東浜リサイクルセンターの破碎・選別工程

本体を切り刻みミルへ送る。鉄板やプラスチック製の内箱に付着したウレタンフォームを衝撃はく(剥)離し、風力選別機で金属とウレタンフォームとを分ける。軽量のウレタンフォームは、更に細かくすり潰して独立気泡内のフロンを追い出す。追い出したフロンは活性炭に吸着させて、十分に吸着後に活性炭チャンバを加熱し、フロンを脱着する。気体のフロンは、冷却して液化回収し、外部に委託して破壊する。

風力選別した冷蔵庫の金属や板状のプラスチックは衝撃破碎機の頭へ移し、前述した選別工程で鉄・銅・アルミニウムやプラスチックに種類分けする。

オゾン層保護の目的から、'90年代後半から断熱材の発泡剤はフロンからシクロペンタンへと切り替えが進んだ。この新しい断熱材を使った冷蔵庫も徐々にリサイクルプラントへ運び込まれていて、プラントでは、新旧の両方式を処理する設備を別に準備している。

### 3.4 リサイクル情報のフィードバック

処理基準の遵守と国への報告のため、再商品化率の計測をする。また、設備の改良や経済的運転条件を探る等の目的でも、マテリアルバランスを把握する。解体の難易、再商品化率などのリサイクル情報は、設計者へ伝えて、改善への資料としている。時には、百台を超える量産試作品をプラントへ流し、再商品化率を確認し、解体時間の計測を行った。リサイクル性の良い製品を設計・製造するように支援しているわけである。

## 4. むすび

資源を循環するには、安価な品位の良い回収資源を得なければならない。金属材料とガラスの屑は取引市場が形成

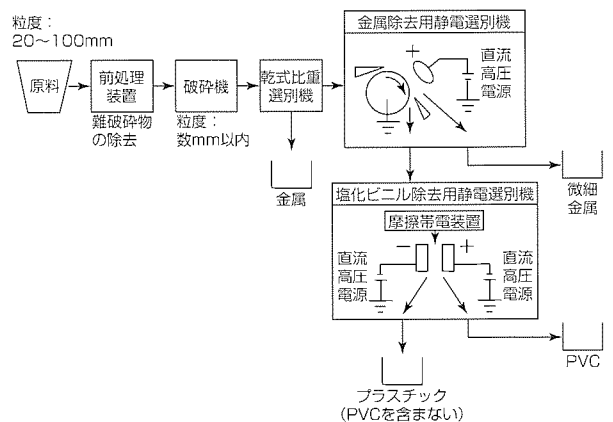


図2. プラスチック残さから塩ビ・金属の除去

されていて、当社のリサイクルプラントの資源回収は、品位、再商品化基準からも問題はない。しかし、プラスチックの再利用については、高炉還元剤としての利用ができていないもの、更なる改良や用途開発が必要である。設計においても、リサイクル工程を知って、材質の絞り込み、その材質の継続的な選定、解体の容易化やブロック化を目指すこととなろう。

リサイクル設計の促進は家電リサイクル法のねらいでもあり、製品アセスメントを更に強化し、高度なマテリアルリサイクルの輪を形成していきたい。

## 参考文献

- (1) 財家電製品協会：環境総合ハンドブック，52～53 (1998-3)
- (2) 財家電製品協会：廃家電品一貫処理リサイクルシステム開発，平成10年度成果報告書，106 (1999-3)

# プラスチックのリサイクル技術

村上 治\*  
藤田章洋\*\*

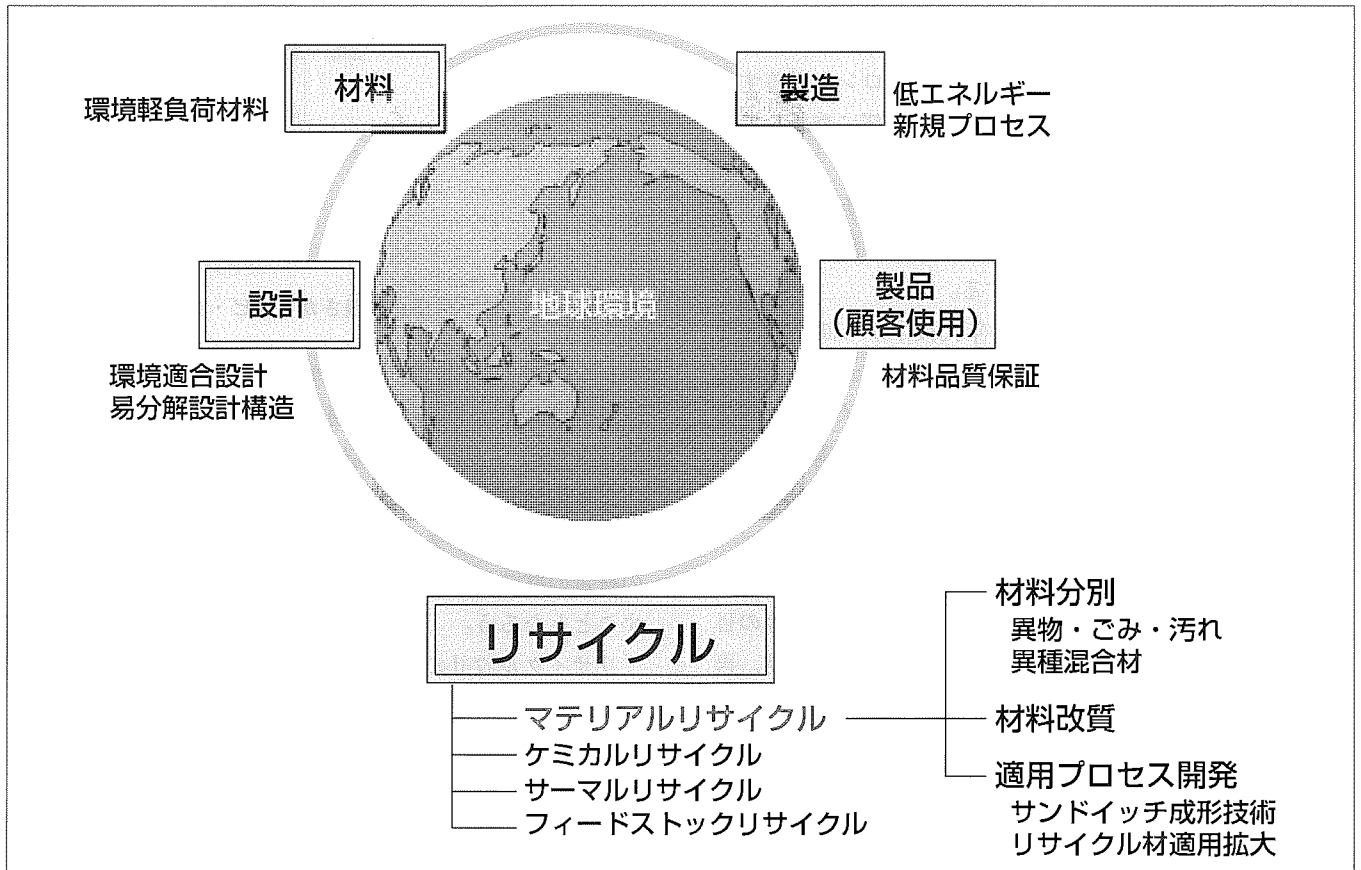
## 要 旨

「家電リサイクル法」が本年4月から施行され、リサイクル技術の確立が急がれている。プラスチック材料は種類が多く、プラスチック同士の複合化や異材質材料と一体化された部品が多いため、金属やガラス等の材料と比較して、リサイクルする上で技術上の課題が多い。リサイクルにはマテリアル、ケミカル、サーマル、フィードストックの4種類のリサイクルがあるが、循環型リサイクルとして経済的で環境負荷の小さいマテリアルリサイクル及びケミカルリサイクルが有効な手法である。三菱電機は、いち早く千葉県市川市にリサイクルプラント(東浜リサイクルセンター)を設立し、製品分解から材料分別技術までリサイクル

全般の技術確立を図っている。

プラスチックリサイクルの課題として、ごみ・異物の混入による外観品質の劣化や機械的特性低下がある。リサイクル材の製品適用化には、リサイクル材の改質と適用プロセスの技術開発が必要である。リサイクル材の適用拡大を図るプロセスとして新材とリサイクル材を積層化するサンドイッチ成形法に着目し、リサイクル材使用量の拡大と材料改質技術の開発を行っている。製品化にはリサイクル材の供給量やコスト等の課題があるが、製品設計及び環境負荷の小さい材料開発を含むマテリアルリサイクル技術を確立し、循環型製品を開発する必要がある。

特集  
I



## プラスチックのリサイクル

プラスチックを循環型材料とするために、製品・材料設計からプロセス技術すべての開発を行っている。プラスチックリサイクルの中で経済的であるマテリアルリサイクルにおいて、サンドイッチ成形技術の開発によってリサイクル材の使用拡大と製品化適用拡大が実現できる。



### 1. ま え が き

「家電リサイクル法」が、本年4月1日から施行され、リサイクル技術は実用化の段階を迎えた。数年後には、対象となる4大家電品(テレビ、冷蔵庫、エアコン、洗濯機)のほかに、パソコンやレンジ等の他の製品への適用拡大、リサイクル率の引上げが予想される。金属やガラスの回収技術は既に実用段階にあるが、リサイクル率向上には、種類が多くリサイクルが困難なプラスチックのリサイクル化が必要となる。これまでの資源消費型から資源循環型社会を構築し地球環境を保護するためには、プラスチックにおけるリサイクル技術の確立が急務である。

### 2. プラスチックリサイクルの課題

プラスチックのリサイクル方法は、表1に示すように、①マテリアルリサイクル、②ケミカルリサイクル、③サーマルリサイクル、④フィードストックリサイクルに大別できる。サーマルリサイクルやフィードストックリサイクルは消費型リサイクルであり、家電リサイクル法の再商品化率の対象とはならない。これに対してマテリアルリサイクルやケミカルリサイクルは循環型リサイクルとして理想的な方法であり、特にマテリアルリサイクルは、エネルギーの使用量が少なく環境負荷が小さい方法として有効な手法である。

リサイクル材の適用拡大を図るための課題として、①リサイクル材の特性、②異物の混入、③異材質混合材の特性、④プロセス開発がある。

図1にリサイクル法で対象となる家電製品の材料構成

表1. プラスチックのリサイクル方法

リサイクル方法	内 容
マテリアルリサイクル	使用済みプラスチックを新しい成形品の原料として使用する
サーマルリサイクル	廃プラスチックを燃やし、熱を回収する
フィードストックリサイクル	廃プラスチックを熱又は化学的に分解して高炉還元剤などに使用する
ケミカルリサイクル	廃プラスチックを熱又は化学的に分解して油やプラスチックの原料に利用する

を、図2にプラスチックの種別ごとの比率を示す<sup>(1)</sup>。プラスチックの使用比率が高い製品は冷蔵庫と洗濯機で、20%を超える。プラスチックの種類別では、洗濯機にはPP(ポリプロピレン)が使用され、エアコンにはPPとPS(ポリスチレン)、テレビにはPS、PVC(塩化ビニル)の2種類が使用される。冷蔵庫にはPS、ABS(アクリロニトリル-ブタジエンスチレン)、PVCに加えて発泡PU(ウレタン)が使用され、他の製品に比べてプラスチックの種類が多い。特にマテリアルリサイクルが困難な発泡PUがプラスチックの約50%を占め、冷蔵庫の分解・分別の精度が要求される。発泡PUについては材料メーカーを含めたケミカルリサイクル方法の技術開発を行っている。

表2に、実際に家庭で使用された後、廃家電として回収

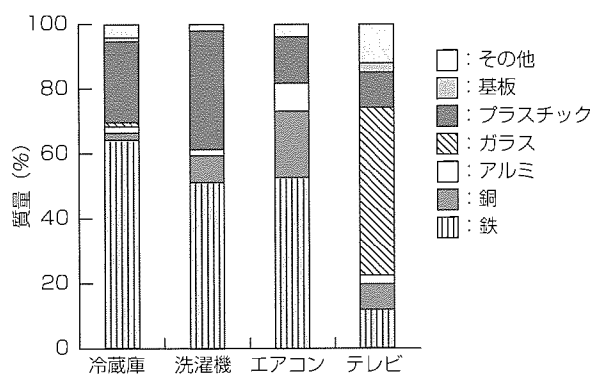


図1. 家電製品の材料構成

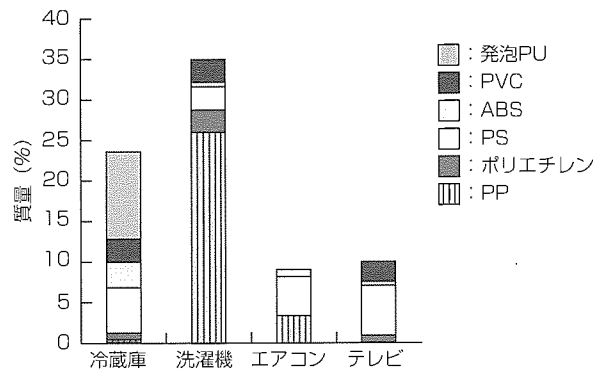


図2. 家電製品のプラスチック構成

表2. 廃家電製品から回収したプラスチック材料の機械的特性

			引張強度 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	曲げ弾性率 (GPa)	衝撃吸収エネルギー (J)
ルーム エアコン	PS (ポリスチレン)	リサイクル材 (印刷品)	32.8	72.7	2.74	0.3
		新材	30.9	64.8	2.54	3.8
冷蔵庫	PP (ポリプロピレン)	リサイクル材	27.8	48.3	2.09	14.2
		新材	27.8	47.1	2.05	16.3
テレビ	PS (ポリスチレン)	リサイクル材	26.6	58.6	2.46	4.5
		新材	24.6	51.0	2.37	4.6

し、分解・分別・洗浄・粉碎したりサイクル材の射出成形品の機械的特性を同等レベルの新材と比較して示す。廃家電製品から回収されたりサイクル材の機械的強度は、衝撃強度を除いて大きな低下は認められず、経年劣化が少ない。ルームエアコンから回収したPSは、表面全体に印刷されていた印刷材料が異物として作用し、衝撃強度が約1/10に低下する。これまで使用されてきたプラスチックのりサイクル材は、成形時に発生する不要部等の工場内で排出されるりサイクル材が多く、材質も同一グレードで、クリーンな材料である。これに対し、実際に廃家電製品を回収し粉碎したりサイクル材では、材料自身の劣化よりも、ごみ、異物によって衝撃強度が低下する。このような異物が混入したりサイクル材を改質し有効に活用するためには、新材との配合が効果的である。図3に、ルームエアコンの印刷材料が付着しているPSに新材を配合した材料の衝撃強度変化を示す。りサイクル材配合比率が30%以下では、衝撃強度の低下は特性上問題ないレベルである。

家電製品には多くの種類のプラスチックが使われており、廃家電製品から回収されたりサイクル材の高精度な分別技術が必要であるが、実用化には時間がかかり異種混合プラスチックでのりサイクルも要求される。各種プラスチックの組合せによる相溶性を表3に示すが、組合せによっては全く相溶しないものがある。図4に、(株)グリーンサイクルシステムズのりサイクルプラントで回収・処理したりサイクル材のABSとPS混合材の配合比と衝撃強度の関係を示す。混合材の衝撃強度は、りサイクル材及び新材ともにABSに5%のPSが混入しただけで約1/2に、10%混入で1/10に急激に低下する。図5に衝撃破断面の透過型電子

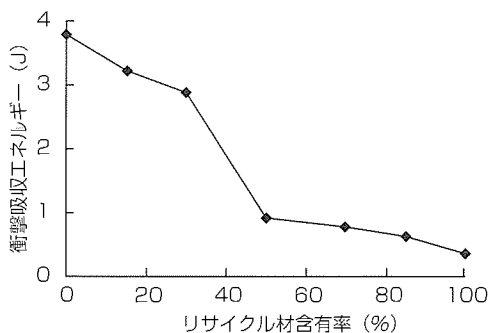


図3. ルームエアコンから回収した印刷材料入りりサイクルPSと新材PSを配合した衝撃強度変化

表3. 各種プラスチックの組合せ

	PP	PS	ABS	PVC
PP	○	○	×	×
PS	○	○	×	×
ABS	×	×	○	○
PVC	×	×	○	○

○：相溶性が良い ×：相溶性が悪い

顕微鏡(TEM)写真を示すが、ABSとPSは全く混じり合わず、PSそのものが異物として作用し、ABS相とPS相の界面で亀裂が生じ、衝撃強度の低下を引き起こしている。

### 3. 廃プラスチック材のりサイクル技術

#### 3.1 廃プラスチック利用サンドイッチ成形技術

りサイクル材の適用拡大を図る上で材料の改質のほかにプロセス開発が重要であり、その一つとして、多層化が有力な方法である。プラスチックの最も代表的な成形法である射出成形で多層化を実現する方法として、サンドイッチ成形法がある。

サンドイッチ成形法は、2種類の異材質材料を同時に射出成形し多層構造を形成する成形法で、新材でりサイクル材を包み込み、スキン(新材)/コア(りサイクル材)/スキン(新材)の3層構造を形成する(図6)。りサイクル材は表面に露出しないため、異物、ごみ、色による意匠性の問題は解消される。成形工程の一例を図7に示す。2本のシリンダをノズル部で1本に合流した構造を持つ成形機を用い、初めにスキン材を金型内に流し、続いてコア材を、最後に再度スキン材を、それぞれ瞬時に3段階で射出する方法である。

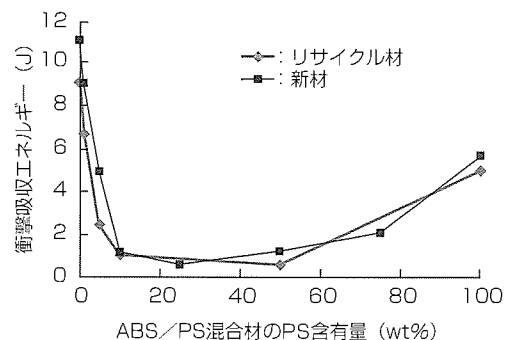


図4. ABSとPS混合材の衝撃強度変化

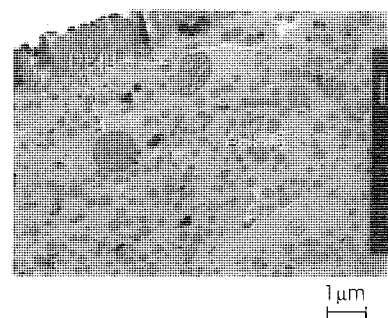


図5. ABS90%/PS10%混合プラスチック成形品の衝撃破断面の透過型電子顕微鏡写真

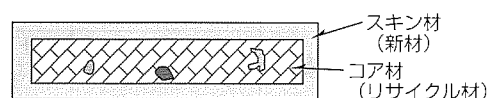


図6. サンドイッチ成形品の断面模式図

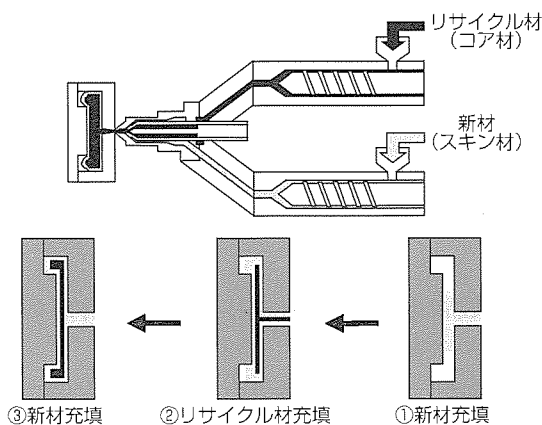


図7. サンドイッチ成形品の原理と工程

リサイクル材の使用量を拡大するためには、コア層を厚くし、コア層が占める割合を大きくすることが重要である。また電機製品への適用には、板厚2mm程度の薄肉でのサンドイッチ構造が要求される。サンドイッチ成形品の層構造は、材料特性、成形条件、成形品形状など様々な要因によって変化する。コア材充てん(填)量に最も強く影響を及ぼす要因は、コア材とスキン材の粘度特性である。図8に、リサイクル材をコア材として用いた場合の、スキン材とコア材の粘度比(スキン材の粘度/コア材の粘度)、コア層厚さ、及びコア材充填量の関係を示す<sup>(2)</sup>。スキン材粘度をコア材粘度よりも低くすることによってコア層を厚くスキン層を薄く形成し、コア材充填量を40%以上充填することができる。

### 3.2 材料改質技術

サンドイッチ成形法は、スキン層に機能性を持つ材料を適用することにより、リサイクル材を使用し更に付加価値の高い成形品を得ることができる。衝撃強度が低下したABSとPS混合リサイクル材をコア層に、衝撃強度の高いABS新材をスキン層に用いることにより、リサイクル材のみを用いた通常の成形品と比較して、外観意匠性を確保し衝撃強度を大幅に向上することができる。また、混合リサイクル材の改質として衝撃強度を高める添加剤を充填することにより、更に衝撃強度の向上が可能となる(図9)。

図10に板厚2mmのサンドイッチ成形品の試作モデルと断面拡大写真を示す。コア層は成形品中の複雑な部分やコーナー部分まで確保され、板厚の60%以上を形成している。

今後、実用化を図る上では、低コスト化及びリサイクル材の安定供給についての課題を解決する必要がある。

## 4. むすび

リサイクル材の適用拡大には、低コストで信頼性に優れた製品化技術の確立が急がれる。リサイクル工程の材料分別技術からリサイクル材の改質、プロセス技術までが一体となった取組が必要である。また、製品設計段階で、分

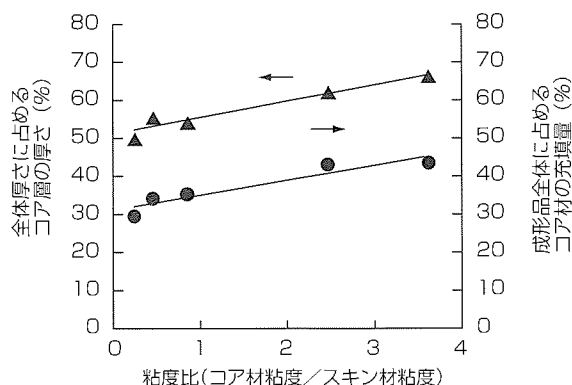


図8. サンドイッチ成形品のコア材とスキン材の粘度を変化させた場合のコア層厚さと充填量

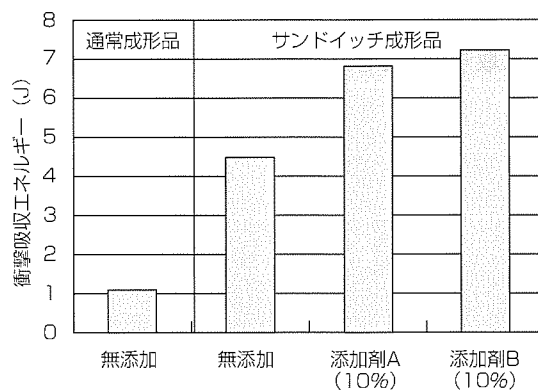


図9. 添加剤を充填した成形品の衝撃強度変化

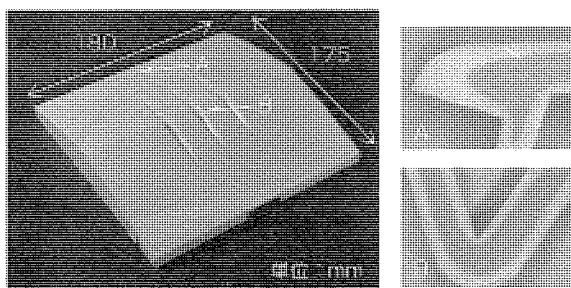


図10. リサイクル材をコアに使用したサンドイッチ成形品と断面拡大写真

解・分別しやすい構造とリサイクルしやすい環境負荷の小さい材料の適用が重要である。

プラスチックを資源循環型の材料とするために、新しい材料及び既存の技術にとらわれない新しいプロセス技術の両面で技術開発を進めていく必要がある。

### 参考文献

- (1) 佐能宗治：家電用プラスチックのリサイクルの現状，第10回プラスチックリサイクル研究会講演会，9～12 (1999)
- (2) 村上 治：リサイクル材適用サンドイッチ成形品の特性，成形加工シンポジア，23～24 (1998)

# 製品の環境対策への取組

高橋徹也\*  
松村恒男\*\*

## 要旨

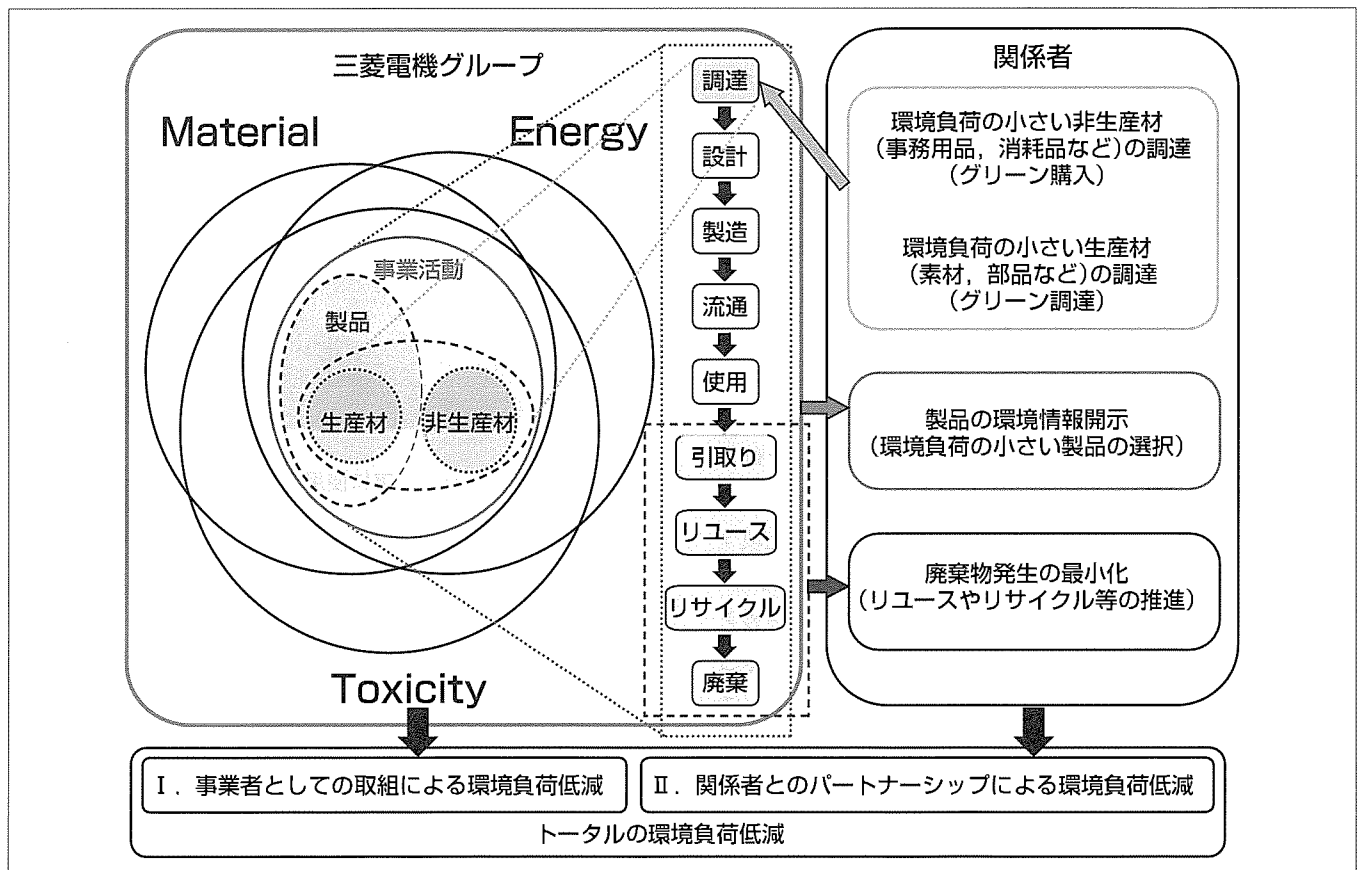
我が国では、世界に先駆け2001年4月に「特定家庭用機器再商品化法(家電リサイクル法)」が施行されたことを皮切りに、その他の環境関連の法規制が次々に施行される。これらの動きは、我が国だけでなく欧州からも発信され、世界的な潮流となりつつある。

三菱電機では、1991年の「再生資源の利用の促進に関する法律(リサイクル法)」の施行時から、製品の環境対策に積極的に取り組んできた。'99年に発表した第三次環境計画

の中で製品の環境対策強化を打ち出し、具体的な取組の加速化を行っている。

本稿では、この10年で内外の社会情勢の変化によって当社の製品アセスメント、製品設計がどのように進化を遂げてきたのかを具体的な事例を交えて検証するとともに、当社におけるDFE(Design for Environment: 環境適合設計)への考え方、取組、今後の方向性について紹介する。

特集  
I



## 三菱電機グループの環境適合設計に関する基本理念イメージ

三菱電機グループでは、「環境基本理念」と「環境行動方針」に基づき、事業者としての取組と関係者とのパートナーシップによる取組を通じライフサイクルを配慮した環境負荷低減を図る。事業者としての取組とは、事業活動及び製品で、資源(Material)の有効活用、エネルギー(Energy)の効率利用、環境リスク物質(Toxicity)による排出回避の観点から環境に配慮した活動を推進することであり、関係者とのパートナーシップとは、サプライヤーと一体になったグリーン調達への取組、低環境負荷製品の普及のための積極的な環境情報開示等の環境負荷低減の活動を言う。



### 1. ま え が き

我が国では、世界に先駆けて2001年4月に生産者自らに家電製品のリサイクル義務を負わせる「特定家庭用機器再商品化法(家電リサイクル法)」が本格施行した。家電以外では、世紀末に成立したリサイクル関連の複数の法令が、今後、個別に施行されるため、資源循環社会へ向けて着々と準備が始まっている。しかし、持続可能な社会を構築するキープレーヤーは事業者だけでなく、官公庁、グリーンコンシューマーを始め、多くの関係者がかかわってくる。企業、組織団体によるISO14001の認証取得が進み、環境負荷低減への体制が整ったが、その枠組みを用いて製品の環境対策を進め社会全体の環境負荷を低減する動きが始まった。これがDFEである。

### 2. DFEを巡る社会動向

#### 2.1 局所的規制から広域規制へ

製品関連の法規制については、20世紀の最後の10年間で大幅な強化と対象領域が拡大した。第一ステージでは、当社にもかかわりの深い「再生資源の利用の促進に関する法律(リサイクル法)」の施行である。'90年代半ばから始まる第二ステージでは、容器包装リサイクル法による資源循環の規制対象の拡大、オゾン層保護法による特定フロン全廃など化学物質規制が始まった。'90年代後半から始まる第三ステージでは、廃棄物問題に加え、地球温暖化防止という視点から省エネルギー法が改正され、家電リサイクル法を始めとする循環型社会形成へ向けた各種リサイクル法が強化され、PRTR(Pollutant Release and Transfer Register)法が成立した(図1)。規制の範囲は局所的から広域になり、対象は、資源循環に加え、エネルギー、化学物質規制へと拡大・多様化している。

#### 2.2 標準化の動き

DFEの標準化は、法規制の動きに追随する格好で推移している。ISOではLCA(Life Cycle Assessment)、環境ラベルの国際規格化作業が終了し、標準化の予先がDFE

の標準化の検討に入った。また、欧州からは電気電子機器のLCA実施、環境適合化を図ることをねらったEEE指令案が発表され、ISOとは別に独自のDFE規格案を作り出し、国際規格のデファクト化を模索している。我が国でも、追随する形で、LCAや環境ラベルのJIS化の作業に加え、LCA実施に不可欠なデータベース、評価手法など2002年度までにインフラを整備する大きな計画が進行している(LCAプロジェクト)。

### 2.3 社会情勢の変化

官公庁を中心としたグリーン購入、企業によるグリーン調達の高発化、顧客から製品に含有される化学物質の情報開示等の要請は、環境負荷低減を担う主体者が拡大してきていることを意味する。一企業だけの取組には限界があり、関係者全員がかかわらないと対処できない。

### 3. 当社のDFE

#### 3.1 三菱電機環境適合設計要覧

当社では、'91年のリサイクル法の施行を契機に、全製品カテゴリーについて製品アセスメントの導入展開に取り組んできた。その後の周辺状況の変化をかんが(鑑)み、'99年に発表した“第三次環境計画”ではLCAの実施やグリーン調達などを盛り込んだ製品の環境対策を加速化することを決め、“環境適合設計に関する基本理念”を会社規則として定めた(要旨ページの図)。さらに、この理念を具現化するために、2000年3月に“環境適合設計要覧”を制定し、第三次環境計画の中で普及定着を図っている。環境適合設計要覧は、従来の廃棄物発生回避を目的としたアセスメントを始めとした、全ライフサイクルでMET(資源有効活用性:Material, エネルギー効率利用性:Energy, 環境リスク物質排出回避性:Toxicity)を定量評価する第二世代の製品アセスメント手法であり、評価項目は大分類で12項目、中分類で45項目に及んでいる(表1)。

#### 3.2 METを配慮した環境対策事例

##### 3.2.1 資源(Material)の効率利用

従来のアセスメントでは第三者に再資源化を委ねる視点での評価であり、コスト、技術次第でリサイクル率は限りなく100%に近くなるのが可能である。そこで、リサイクル可能率というバーチャルな指標ではなく、既存の社会インフラの中でリサイクルできているか、特に当社の東浜リサイクルセンターで実際にリサイクル可能なのかという視点での評価をし、製品設計に取り込んでいる。

図2に示す大型家電製品の主要

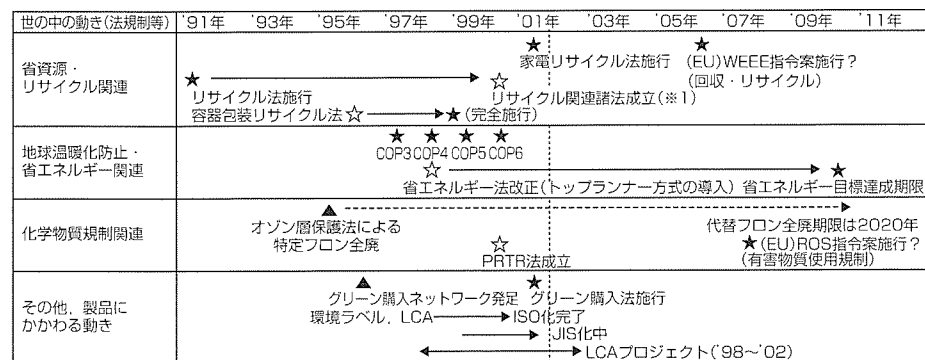


図1. 内外のDFE関連動向

表1. 三菱電機における環境適合評価項目

評価項目	ライフサイクル		設計	調達	生産	流通	使用	サービス	引取り	リユース	リサイクル	廃棄
	大分類	中分類項目数										
1. 減量化		4	○	○								
2. 長寿命化		1	○				○			◎		
3. 再資源化		6	○								○	
4. 製品の破碎処理		2	◎									◎
5. 製品の分解性		3	○					○		◎	◎	○
6. 回収・運搬		1	○			○		○	◎		◎	○
7. 製品の安全性		6	○	○			○	○	◎	◎	◎	○
8. 包装		10	○			○						
9. 省エネルギー・省消耗材		2	○		◎	○	○	○				
10. 情報開示		4	○				○	○	◎	◎	◎	○
11. 生産工程		4	◎		◎					◎		
12. 流通		2	○			○						

○：従来からのアセスメント項目('91年～) ◎：今回新たに追加，充実させたアセスメント項目('99年～)

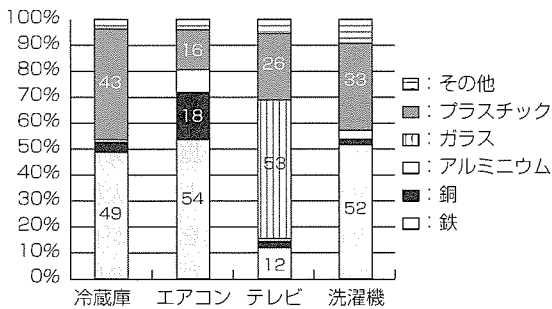


図2. 家電製品の主要材料構成比

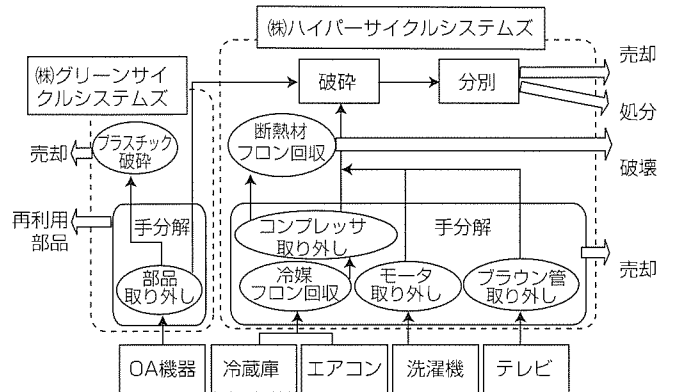


図3. 東浜リサイクルセンターでの処理フロー

構成材料比のとおり，金属類，ガラス類のリサイクルを確実にすることが法の定める再商品化率を満たすための解であり，更に高い再商品化率をクリアするため，プラスチック類などのリサイクル可能化技術に取り組んでいる。また，図3に示す東浜リサイクルセンターの処理フローのとおり，使用済み家電製品は，破碎処理，分別回収ラインへ投じられる前に，手分解工程で有価物，破碎処理困難物が取り除かれる。いかに早く，環境保全をしながら，手解体を完了できるかという視点が重要で，ここでは前者の事例を示す。

- (1) 汎用プラスチック樹脂(PS, PP, ABS)の3グレード／樹脂への統合(機種共通，統合化の範囲は当社全購入樹脂量の80%以上)
- (2) 再利用可能マークの表示，手解体時に取り外す部品に“解体方法ガイドマーク”の表示(機種共通，図4)
- (3) プラスチック部品に張るラベル材質，塗料を母材と同一材料に変更し母材のリサイクル可能化促進(エアコン，テレビ)
- (4) 液体バランスの塩水抜き取りガイドを設け，穴あけマーク表示，東浜リサイクルセンターで回収された塩水の再利用によって法で定める再商品化率50%以上を達成(洗濯機)
- (5) 洗濯機，テレビの解体時間の短縮(表2，表3)

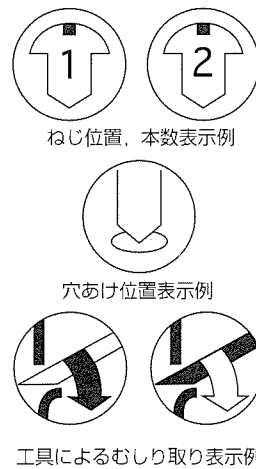


図4. 解体方法ガイドマーク

### 3.2.2 エネルギーの有効活用 (Energy)

図5に示すとおり，例えばエアコンでは，熱交換器を含め製品全体の質量は'90年代半ばまで減少し，その後増加している。'90年代半ばから地球温暖化防止(省エネルギー)のニーズが高まり，省資源性とは逆行するが，熱交換器を大型化して省エネルギー対策を図った結果である。エアコンを始め家電製品を全ライフサイクルで見たときに，使用時の環境負荷(省エネルギー性)の寄与が大きく(図6)，省エネルギー性と再資源性がトレードオフし，開発のターゲットを絞り込んだ事例である。

一般的にライフサイクルの長い家電製品では消費電力削減による環境負荷低減の効果が大きく，当社でも，幅広い製品に対して，通常使用時の消費電力削減だけでなく，待

表 2. 分解性容易化(洗濯機)

洗濯機における解体性容易化(全解体時間10%削減)
①トップカバー固定個所について、簡易破壊部設置
②締結部品(ねじ)の種類削減、汎用工具のみで解体可能化
③分解方向の統一化

表 3. 分解性容易化(テレビ)

テレビにおける解体性容易化
①複合材料(金属と樹脂の一体成形部品)の廃止
②締結部品の削減、汎用工具のみで解体可能化
③部品点数22.5%削減(2000年度28型テレビ, 1999年度比)

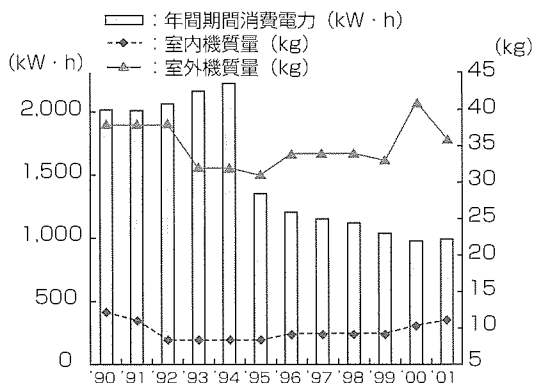


図 5. エアコンの質量と消費電力量の推移

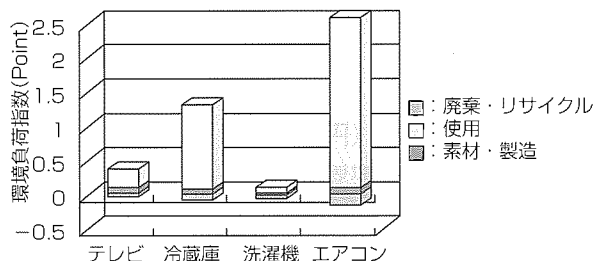


図 6. 家電製品のLCA評価結果

機時消費電力の削減に取り組んでいる。環境適合設計要覧の中では、これに加え、製品1台当たり製造するのに必要な製造エネルギーの削減も指標として盛り込み、対策を図ることとしている。

### 3.2.3 環境リスク物質の排出回避 (Toxicity)

製品に使用される化学物質については、人体への直接的被曝としてのアセスメントが実施されてきたが、地球環境への間接的影響可能性という視点で実施している。特にEUからは有害物質規制案が発表されており、実装基板の鉛はんだなどが影響を受ける。鉛はんだの代替については、技術的可能性だけでは判断が難しく、経済合理性に基づく判断を伴わないと実効性に欠けると考え、当社では2001年度中に技術確立を目指すこととしている。当社における主要な取組事例を表4に示す。

### 3.2.4 MET指標の改善検証ツール

MET指標を配慮して製品開発を進めると同時に改善効

表 4. 環境リスク物質の排出回避

環境リスク物質	製品	対策内容
鉛	エアコン	室外機基板の電気品の高集積化によってはんだ使用量を45%削減
	冷蔵庫	プリント基板の鉛フリー化を推進中 冷媒用配管部品で鉛はんだの代替化推進中
塩ビ樹脂	冷蔵庫	扉パッキンの塩ビ樹脂を代替化(エラストマ)
	洗濯機	脱塩ビ電線の採用
特定臭素系難燃剤	テレビ	難燃剤のノンデカ化
HCFC	冷蔵庫	断熱材発泡用HCFC141bを94%削減(1995年度比)

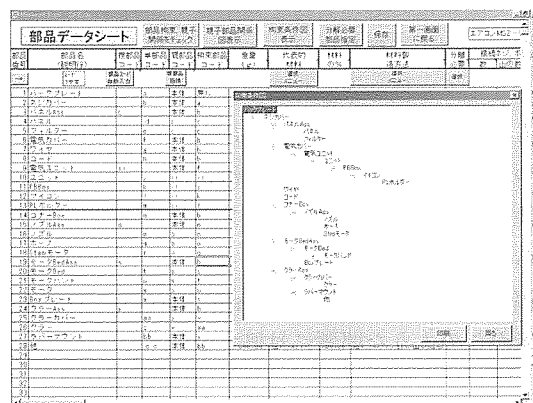


図 7. cDFEによる出力結果

果を検証する作業が製品アセスメントである。当社では、環境適合評価項目(表1)の一部の指標を評価支援するツールとして“cDFE(Compact DFE)”を開発し(図7)、技術者教育、製品設計等への適用を進めている。

## 4. むすび

当社の環境適合設計要覧は、従来のごみアセスメントを進化させた第二世代の製品アセスメントであり、全ライフサイクルでMET指標によって製品の環境対策の定着をねらっている。当社において製品の環境対策は積み重ねのあるもの、少ないものもあって、第三次環境計画のフレームの中で、活動を更に強化していく。

製品自体の環境負荷を低減する活動(Eco efficiency)では、事業者責任として取り組むだけではなく、環境適合製品を創出し、社会全体の環境負荷を低減する活動(Eco effectiveness)にも取り組んでいく。国家的なLCAプロジェクトの完了でLCAを用いた検証結果の開示が不可欠となり、社内ではMET指標を定量化し、その結果を環境ラベル等で積極的に情報開示し、また、グリーン調達を推進する。これらは当社と関係者とのパートナーシップがあって初めて実行できるものである。

21世紀の市場で受容される必要条件となる製品の環境対策は、MET指標の改善として東ね、LCAの導入、グリーン調達の展開を含めた第三世代の製品アセスメント手法として確立し、環境適合製品を生み出していく。

# 簡易DFD手法による家電品の設計

永友秀明\*

## 要旨

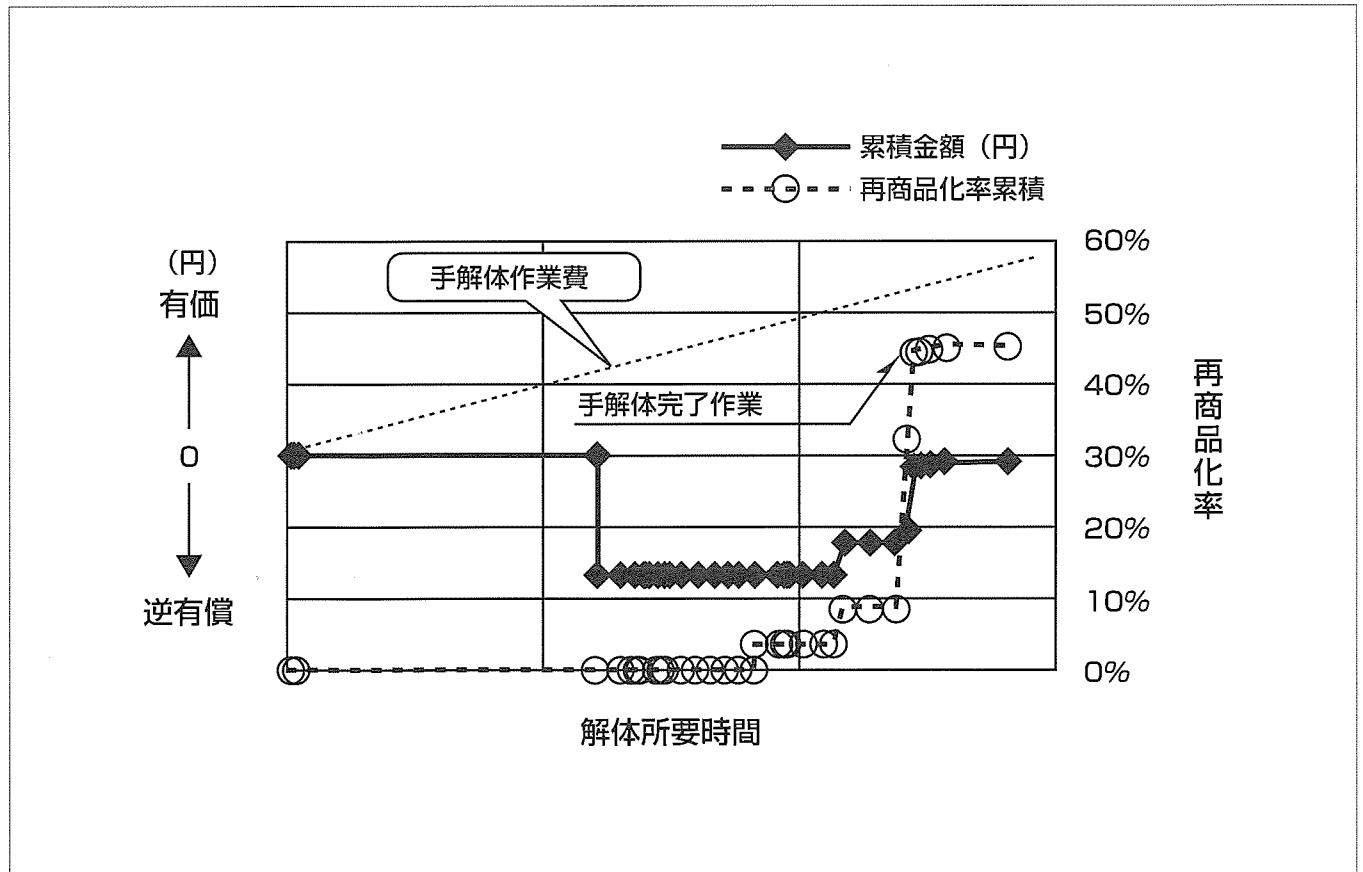
2001年4月から施行される家電リサイクル法(特定家電用機器再商品化法)により、製造者は、循環型社会の形成に向けて廃家電の処理実務を効率良く遂行するとともに、これから販売する製品についても、使用後に廃棄されるときのリサイクル性を考慮した設計を織り込まねばならない。しかも、購入時に消費者の目線に合った価格で製品を提供しかつ廃棄時に循環型社会を円滑に回すためには、リサイクル性向上に要する製品対策コスト及び処理コストを低く抑える活動が重要となる。

本稿で紹介する簡易DFD(Design for Disassembly)は、設計者がこのような問題に対処するに当たり、製品が持つ

リサイクル上の問題をビジュアルに示すとともに、設計仕様が再商品化率に及ぼす影響度、その投入コストの妥当性や事業影響を評価するために考案したツールである。

この手法を活用することにより、設計者が従来の思想で設計した製品のリサイクル処理を行う際の課題と改善対策の効果をビジュアルに理解することが可能になる。設計現場で幾つかのデータベースを準備することによって、単に解体所要時間の短縮効果という尺度だけでなく解体コストへの影響までも把握できるため、設計現場の実務として使いやすい手法になったと考える。

特集  
I



## 簡易DFDツール評価事例

図は、ある製品の手解体工程を“簡易DFDツール”を用いて評価した事例である。横軸が“時間”、縦軸が“費用”“再商品化率”で、図中の折れ曲った2本の線は、手解体の進行とともに変化する再商品化率の推移と有価・逆有償累計金額の推移を示す。線中の点が部品ごとの手解体作業、右上がりの直線が手解体作業に要する作業費を表す。設計は手解体完了作業を図の左上方に移行する検討を行う。



## 1. ま え が き

2001年4月の家電リサイクル法の本格施行により、リサイクル性の一層の改善、処理基準のポイントである再商品化率達成、コストミナムでの製品・部材のリサイクルの実践と加速が必要となる。

急務は、2001年以降に排出される家電製品のリサイクル実務の効率化と、将来の再商品化率目標を10年後に廃棄されるであろう目下の設計品に織り込み、そのリサイクル性の評価を適切にすることである。

本稿では、三菱電機がこの活動の一環として1999年に設立・稼働させた“東浜リサイクルセンター”によるリサイクルの実践活動と、ここで得られたデータベースを用いて製品設計の段階で再商品化率、解体時間、処分コスト等の改善評価を実施するためのツールとして考案した“簡易DFD”について紹介する。

この手法は、当社のリビング・デジタルメディア事業本部が担当するルームエアコン、冷蔵庫、洗濯機、カラーテレビなどの家電四品目を中心に、既に通用を開始し、その家電品への展開を進めている。

## 2. 循環型社会形成に向けての取組

### 2.1 環境適合型製品開発の理念

当社では、製品のライフサイクル全体での環境負荷ミナムを目指す“環境適合型製品設計”による“もの作り”を展開してきた。真の環境適合型製品設計をするには“自らリサイクルを実践する”ことが必ず(須)であるとして、この基本的な理念を“三菱スクロール リサイクル システム (MISRES)”として掲げ、活動を展開している。

### 2.2 リサイクルプラントの稼働

そこで、1999年5月に、当社では、千葉県市川市東浜に、家電リサイクル法に対応することを目的とした国内初のプラント“東浜リサイクルセンター”を稼働させた。

東浜リサイクルセンターでは、手解体(手作業による部分分別)と機械分別(破碎による素材分離)を再商品化率、経済性、環境負荷性の三つの視点でバランスさせながら、電気機器のリサイクルを実現している。図1に東浜リサイクルセンターにおける各機器の処理フローを示す。

図における手分解の対象部分は、

- 有害物質を多く含む専門の処理を必要とする部分
- 比較的価値の高い部分
- 後工程に悪影響を及ぼす部分

を基準にして選別している。

## 3. 環境適合型製品開発の設計アプローチ

### 3.1 設計現場、リサイクル現場の悩み

実際に環境適合性を高めるための改善検討を行う際に、

設計やリサイクルの現場では次の課題に直面する。

- 解体の容易性を図るべき設計点の抽出法
- 材料変更すべき部品選定の指針
- 改善効果の把握法、コスト対効果の見極め
- 再商品化率達成度と発生処理費用の相関の見極め

このような解体容易化設計の問題を解決するための支援ツールとして幾つかのDFD手法が検討されているが、この手法にも一般的に次に示す問題がある。

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

以上の観点から、本来改善すべき設計ポイントを容易に抽出し改善仕様の効果を定量的に机上評価するためのリサイクル対応設計支援ツールが不可欠であった。

### 3.2 リサイクルインフラの定義

そこで当社では、“リサイクルインフラを定義せずに意義あるリサイクル容易化設計はできない”という考えの下、前述した東浜リサイクルセンターを将来のリサイクル基準プラントと設定し、同プラントで実際に各種家電製品の分別破碎実験を行い、ここで得られた材料別の分別性能や再商品化率の達成値をデータベース化した。

### 3.3 簡易DFDツールの考案

#### 3.3.1 簡易DFDツールのねらい

今回考案した簡易DFDツールのねらいは“リサイクル対応設計の改善効果と損益影響の定量的評価”であり、特に下記3点の実現を重視した。

- 現状設計の解体処理時の問題点抽出
- 対策の重要ポイント、非重要ポイントの抽出
- 改善対策のコスト対効果の把握

#### 3.3.2 費用収支の織り込み方

まず、リサイクルに関連して発生する費用を表1に示すように“収入”と“支出”に区分した。

特に、解体分別処理によって発生する再利用可能材料と

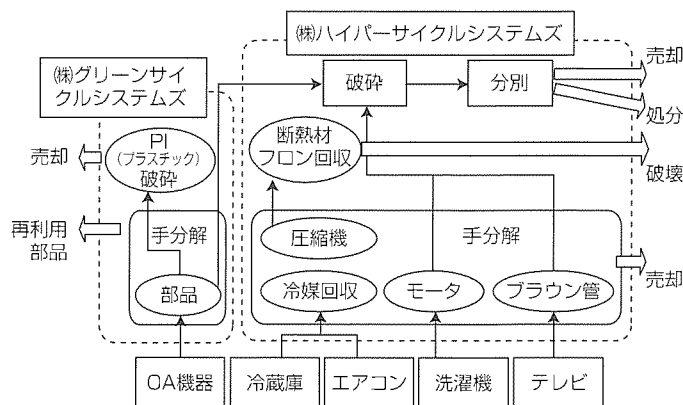


図1. 東浜リサイクルセンターの処理フロー

表1. リサイクル活動の損益収支

	材料費	作業費	収入	製品コスト
収入	有価額	—	使用者負担額	—
支出	逆有償額	解体時間	—	対策コスト

(注) 使用者負担額からは事前に集荷費等を差し引く必要がある。

廃棄物を収入と支出に区分する考え方として、家電リサイクル法の再商品化の定義を用いた。同法では“再商品化”とは“対象機器の廃棄物から部品及び材料を分離し、これを製品の原材料又は部品として利用すること。若しくは第三者に譲渡し得る状態にすること”と定義している。そこで、解体分別処理で生じるもののうち価値を生むものを“有価”、生まないものを“逆有償”と区分し、それぞれ収入側、支出側に割り振った。

### 3.3.3 簡易DFD作成のための必要データ

簡易DFDで評価するために必要なデータを表2に示す。

表において、“A. 部品別材料構成比”は、設計図や実機から求められる。“B. 手解体手順、所要時間”は、実際に対象製品を手解体し、ある単位部品を外すごとに必要な時間を計測する。“C. 手解体対象最終工程の定義”は、手解体と機械分別とで処置コストが異なるために必要であり、2.2節で述べた手解体の要件を満足する部品のうち最後に外れる部品を定義するものである。一般には、有害物質を含む部品や機械破砕が困難な部品の取り外し完了時点が最終工程となる。以上はリサイクル基準プラントを定義すれば設計現場で評価できる。

“D. 解体処理時の材料別分別歩留り率”“E. 分別材料別の有価・逆有償想定単価”は特に基準プラントの機械分別性能に依存し、また“F. 分別作業の時間当たりの単価”は手解体、機械分別を実施するための人件費や設備稼働費であり、D~Fはリサイクルプラントの設立と実稼働によってデータベース化できる。

### 3.3.4 簡易DFDでの評価

横軸を“時間”、縦軸を“費用”“再商品化率”として、表2のデータを解体順序の案に従ってプロットしてできるチャート図が簡易DFDツールである。図2はその手解体工程の作図事例である。図中の折れ曲った2本の線は、手解体の進行とともに変化する再商品化率推移と有価・逆有償累計金額推移である。線中の点が部品ごとの手解体作業を表す。さらに、右上がりの直線が手解体作業に要する作業費を表す。

図から以下のポイントが明らかになる。

- (1) 手解体と機械分別によって得られる再商品化率の合計値が少なくとも法基準を超えなければならない。
- (2) 手解体作業費と累計金額の差額により、解体処理で発

表2. 簡易DFD評価に必要なデータ

必要データ	作成担当
A. 部品別材料構成比	設計部門
B. 手解体手順、所要時間	設計部門
C. 手解体対象最終工程の定義	設計部門
D. 解体処理時の材料別分別歩留り率	リサイクル部門
E. 分別材料別の有価・逆有償想定単価	リサイクル部門
F. 分別作業の時間当たりの単価	リサイクル部門

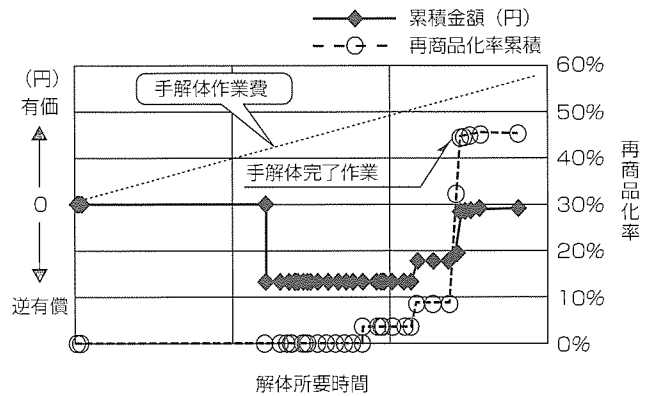


図2. 簡易DFD評価事例

生ずる費用収支が見える。

(3) 折れ線が右上がりを示す工程が価値を生む工程であり、下や横を向く工程はロス工程である。すなわち右上がりの工程を手解体の前段階に実施できる製品として設計することやリサイクル設備として導入することが費用削減のポイントである。

以上のように一つのチャート図で対象製品が持つ解体分別性上の問題点が視覚的に分かるため、設計段階で改善のために労力を投入すべきターゲットが明確になる上、対策のために投資するコストが解体分別性改善によって得られる収支改善に見合うか否かも評価できるようになる。

## 4. むすび

今回考案した“簡易DFDツール”を活用することによって、設計者が従来の思想で設計した製品のリサイクル処理を行う際の課題と改善対策の効果をビジュアルに理解することが可能になる。設計現場で幾つかのデータベースを準備することによって、単に解体所要時間の短縮効果という尺度だけでなく、解体コストの影響までも把握できるため、設計現場の実務として使いやすい手法になったと考える。2001年4月から家電リサイクル法が施行され、東浜リサイクルセンターでの廃家電品処理が増加することにより、コスト精度も上がると予想する。この手法が多くの当社製品に適用されることを期待したい。

# 製品アセスメント適用推進への取組と FA製品における適用事例

大山年郎\*

## 要旨

地球環境問題が深刻化する中、循環型社会に向けて製品の企画段階から環境負荷の少ない製品を提供していくことが、製造業の果たす役割として重要なものになってきている。

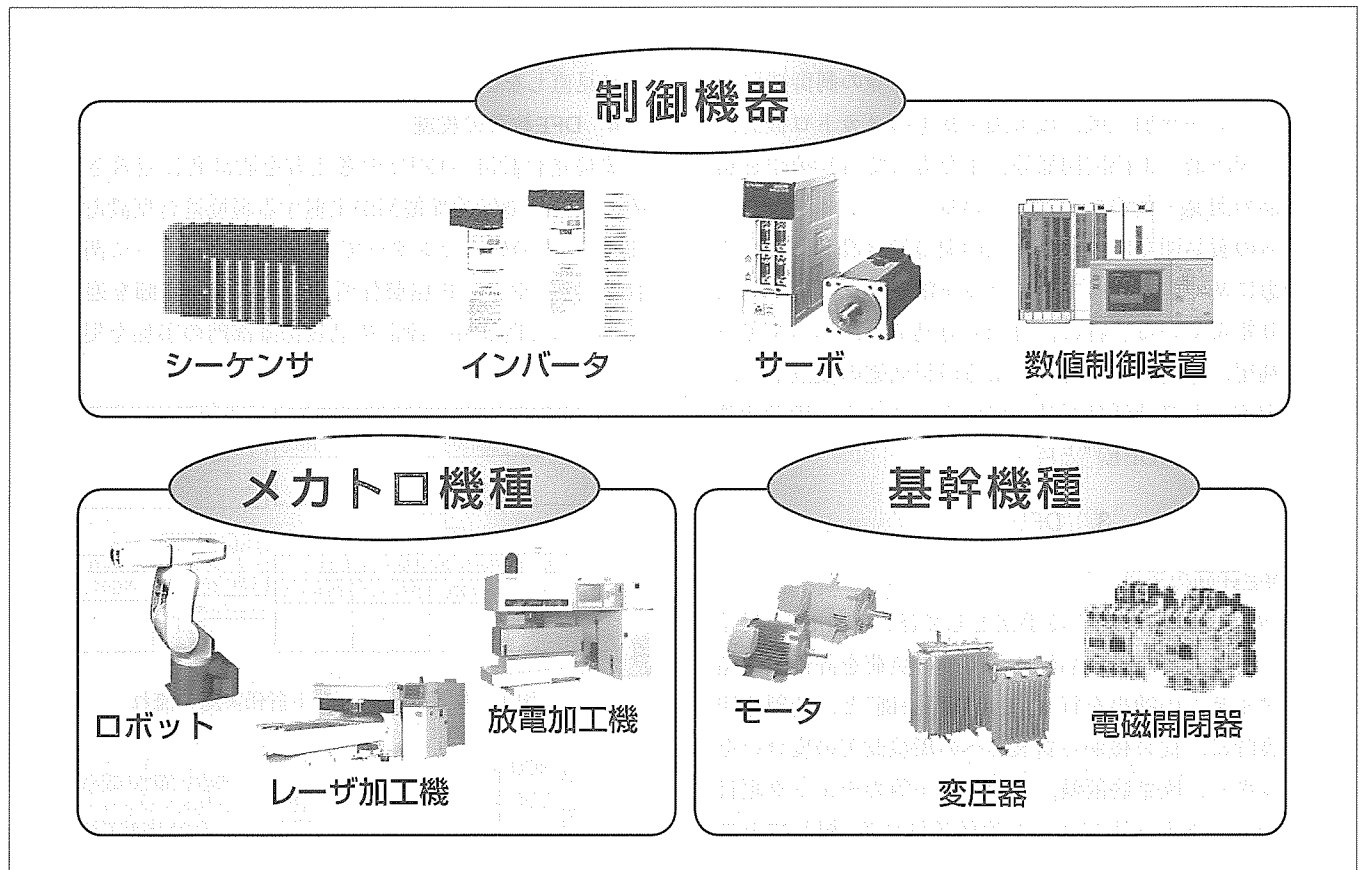
三菱電機の名古屋製作所は、FA(Factory Automation)関連製品の製造事業所として、シーケンサ、インバータ、サーボ、数値制御装置(NC)等の制御機器やロボット、レーザ加工機、放電加工機等のメカトロ機器、モータ、変圧器、電磁開閉器等、主なものでも10種類を超える製品の開発と製造を担当しているが、これらの製品への環境適合設計(Design for Environment: DFE)を推進するため、1997年から製品アセスメントを実施している。

製品アセスメントは、DFE評価手法の一つで、新たに

開発・改良する製品が従来品に比べ、どの程度、環境に配慮しているかをチェックするものである。チェック項目としては、資源(Material)の有効活用、エネルギー(Energy)の効率利用、環境リスク物質(Toxicity)による汚染回避の観点から、再資源化、分解性、減量化、長寿命化、省エネルギー、安全性、情報開示、包装などの項目で構成され、新たに開発・改良する場合の必ず(須)事項となっている。

本稿では、名古屋製作所での運用の概要と成果の一端を紹介するとともに、EU指令案(Electric and Electronics Equipment: EEE、電気電子機器指令案)で実施が要求されているLCA(Life Cycle Assessment)への取組事例も紹介する。

特集  
I



## 名古屋製作所が開発・製造を担当する製品群

名古屋製作所では、FA関連製品の製造事業所として、シーケンサ、インバータ、サーボ、数値制御装置(NC装置)等の制御機器やロボット、レーザ加工機、放電加工機等のメカトロ機器、モータ、変圧器、電磁開閉器等の製品の開発・製造を担当している。

\*名古屋製作所

1. ま え が き

三菱電機の名古屋製作所では、環境マネジメントシステム(EMS)の国際規格ISO14001の認証取得をきっかけとして環境改善活動の定着化を図るため、1996年10月にEMS事務局を設置し、約1年間のEMS活動によって'97年11月に認証を取得した。生産活動に伴う環境改善だけでなく、製品への環境配慮を重要テーマとして活動しており、本稿では、その概要を述べる。

2. 名古屋製作所の環境保全活動

2.1 事業活動における環境保全活動

名古屋製作所は、構内関係会社を含む約5,000名の従業員で構成され、これまでも、中水道設備の導入、廃プリント基板のリサイクル、ICケースのメーカー返却など、20年以上前から各種の環境保全活動を実施してきた。廃棄物削減についても、ゼロエミッション(廃棄物ゼロ)まであと約5%弱のレベルにまできており、更なる削減を目指している。このほか省エネルギー活動、ペーパーレス活動、化学物質管理など、具体的な目標値を定めて環境保全活動を継続的に実施している。

2.2 製品における環境保全活動

製品については、FA製品の製造事業所として、シーケンサ、インバータ、サーボ、NC制御装置等の制御機器やロボット、レーザ加工機、放電加工機等のメカトロ機器、モータ、変圧器、電磁開閉器等、主なものでも10種類を超える製品の開発・製造を担当している。

これらの製品開発時には、当社の環境適合設計に関する基本理念に基づき、ライフサイクルを配慮した環境負荷低減に取り組んでいる。特に、資源の有効活用、エネルギーの効率利用、環境リスク物質による汚染回避の観点から、環境に配慮した設計活動を進めている。これらの設計活動を“環境適合設計(DFE)”と呼んでいる。

3. DFE評価

3.1 DFE評価の手法

DFEの度合いを評価する手法としては、年1回、製品カテゴリーごとにその製品群の環境への負荷を評価して環境改善アイテムの抽出を行う“製品側面評価”と、新製品開発・改良時に、従来機から新製品への環境改善の度合いを省エネルギー、廃棄物削減、リサイクル等のチェック項目ごとにチェックシートによって比較評価する“製品アセスメント”がある。

これらの評価手法は、EMS構築時に、開発・設計・環境保護関連の各メンバーで構成された製品アセスメント部会が、先行していた家電品の製造事業所の製品アセスメント事例を参考に'97年7月に制定したもので、名古屋製作

所のすべての製品開発に対してこれらの評価を実施している。特に、製品アセスメントは、製品開発・改良時の有効なツールとして、その後も運用方法や評価項目の見直し等を実施している。

3.2 製品アセスメントの運用

製品を開発するときは方針会議、図面会議、現品会議などの開発ステップを踏んで行いが、製品アセスメントによる評価は、方針会議時までに設計部門が行い、量産開始前の現品会議までに品質保証部門が、再度、評価を行って設計の評価内容を確認している。なお、方針会議の時点ではEMS事務局も評価内容を確認し、仮に従来機に比べ環境への配慮が悪化するような場合は対策の実施を指示するなど、継続的に環境改善が進むよう工夫している(図1)。

図2は各年度の名古屋製作所における製品アセスメントシートの作成枚数累計で、製品アセスメントの実施が定着してきていることが分かる。

3.3 製品アセスメントの見直し

当社では、製品アセスメントが製品開発における環境改善に有効であることから、評価レベルのばらつきをなくすため、製品アセスメントを実施している各事業所のメンバーで構成される環境適合設計分科会で、全社ガイドラインとなる“環境適合設計要覧”を2000年3月にまとめた。

名古屋製作所の製品アセスメントシートも、この要覧を基に見直しを図っている(図3)(表1)。

3.4 DFE教育の実施

環境適合設計(DFE)の考え方を設計者に定着させるため、本社環境保護推進部が主催する環境適合型設計技術セミナー(社内の研修センターで3日にわたりDFEに関する教育を実施)や、名古屋製作所に同セミナーの講師を迎えて1日コースを開催し、設計や品質保証部門の参加を促してい

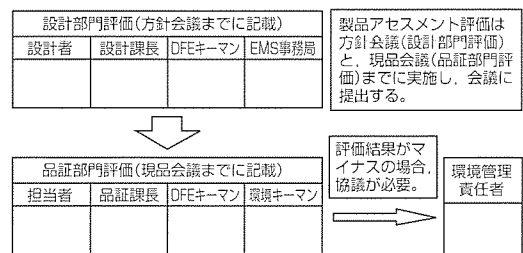


図1. 製品アセスメント評価実施の流れ

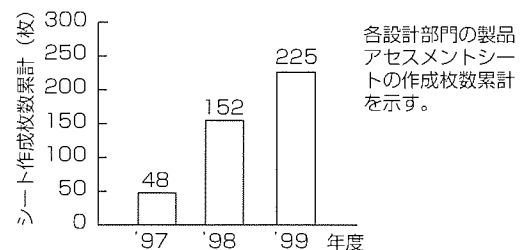


図2. 製品アセスメントの実施状況



る。技術セミナーは、DFEに関する国内外の動向、製品アセスメント評価手法、エコマテリアル選定指針、LCA概論等の座学と、LCA実習や実際の製品を分解して環境改善内容を検討する演習で構成され、1日セミナーでは、その座学の講座を実施している。

特に、技術セミナーの演習では、製品そのものをこん(梱包)の段階から分解し、解体性やリサイクル性、情報開示の状況等を調査し、その結果を発表し合うとともに、製品開発部門へフィードバックする。製品そのものを解体してしまうことから、成果を出すために、皆、真剣に取り組んでいる。

名古屋製作所におけるこれらのセミナー受講者数累計を図4に示す。これらの受講者の中から各製品製造部門ごとにDFEキーマン(その部門のDFE推進者)が選任され、各部門で作成した製品アセスメントシートの評価内容の確認やDFE情報展開の窓口を担当している。

#### 4. 製品アセスメント実施による成果例

この章では、製品アセスメント実施による成果の一例を示す。FA製品の場合、製品寿命が長いことから、高信頼性、高機能のほかに、製品の省エネルギー化、小型・軽量化、長寿命化(省資源、廃棄物削減に寄与)、プラスチックの材質名表示(再資源化)等を中心に環境適合設計を進めている。

今回紹介する2製品の主な環境改善内容を表2に示す。

#### 4.1 シーケンサの事例

##### 4.1.1 開発のねらい

シーケンサMELSEC-Qシリーズ(図5)は、“進化と継承”をコンセプトとして、従来のMELSEC-A/QnAシリーズのアーキテクチャを一新し、超小型でしかも高性能・高機能を実現し、さらに、リモートメンテナンス等によって使いやすさを飛躍的に高めることを目的に開発した製品である。また、従来からのプログラム資産を継続使用できるなど、互換性維持にも配慮した製品となっている。

##### 4.1.2 製品アセスメント実施のポイント

製品アセスメント実施のポイント、具体的な改善対策と効果(結果)について、Qシリーズ小型化のために主に採用した技術を表3に示す。

これらの技術により、I/O 8枚のシステム構成で従来機種(A1S)と比べ体積で50%小型化でき、質量も40%削減できた。

##### 4.1.3 今後の製品アセスメント実施のポイント

今後は、省電力化、バッテリーレス化、長寿命化、鉛フリー等をテーマに開発を進めていく予定である。

#### 4.2 省エネルギー型誘導電動機の事例

##### 4.2.1 開発のねらい

近年、省エネルギー・高効率機器の需要が増え、三相モータにおいてもこれらの要求にこたえるため、省エネルギ

表1. 要覧の製品アセスメントシート(抜粋)

材料	評価項目	評価基準	評価方法	重み(X)	評価基準点(Y)				
					3点	2点	1点	0点	-1点
再資源化	再資源化の可能性	再資源化可能材料の使用率	(再資源化可能質量/総質量)×100%	3	≥80%	≥50%	≥20%	≥0%	なし
	材料統一	プラスチック材料の品種数の削減率	[1-(新製品/基準製品)]×100%	3	≥30%	≥20%	≥10%	≥0%	<0%
		金属材料の品種数の削減率	[1-(新製品/基準製品)]×100%	3	≥30%	≥20%	≥10%	≥0%	<0%
		その他材料の品種数の削減率	[1-(新製品/基準製品)]×100%	3	≥30%	≥20%	≥10%	≥0%	<0%
		再資源化可能なプラスチック材料の品種数	(再資源化可能品種/総品種)×100%	3	≥80%	≥50%	≥20%	≥0%	なし
	再資源化可能な金属材料の品種数	(再資源化可能品種/総品種)×100%	3	≥80%	≥50%	≥20%	≥0%	なし	
	再資源化可能なその他材料の品種数	(再資源化可能品種/総品種)×100%	3	≥80%	≥50%	≥20%	≥0%	なし	
	再生材料の利用	再生材料の使用比率	(再生材料の合計質量/総質量)×100%	3	≥50%	≥30%	≥20%	≥0%	なし
	再資源化の促進	複合材料の点数の削減率	[1-(新製品/基準製品)]×100%	3	≥30%	≥20%	≥10%	≥0%	<0%
		複合材料の質量の削減率	[1-(新製品/基準製品)]×100%	2	≥30%	≥20%	≥10%	≥0%	<0%
過剰な塗装が排除されていること		有・無	1			あり		なし	
プラスチック表面へのコーティング等が排除されていること		有・無	1			あり		なし	

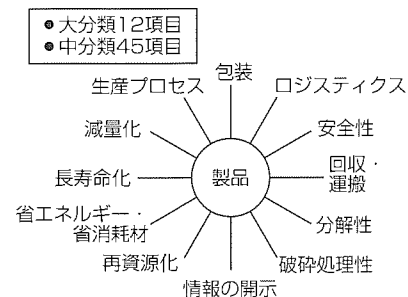


図3. DFE要覧の分類

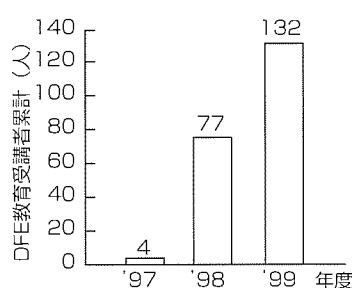


図4. DFE教育受講者数

表2. 製品の主な環境改善内容

品名(型名)	主な環境改善内容	販売時期(従来機名)
シーケンサ(MELSEC-Qシリーズ)	● 取付面積を約40%削減 ● 体積を約50%小型化 ● 取扱説明書のCD-ROM化	'99/9~(AIS)
省エネ型誘導電動機(SF-HRシリーズ)	● 発生損失を約25%低減 ● 長寿命化を実現(軸受寿命:約2.5倍向上) ● 低騒音(5~6dB低減)	'99/5~(SF-JR)

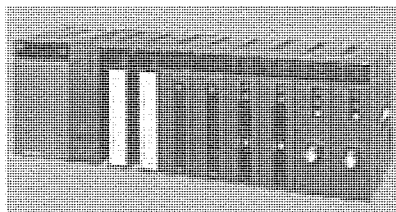


図 5. シーケンサMELSEC-Qシリーズ

表 3. 小型化のために主に採用した技術

ポイント	Qシリーズで採用した改善技術	効果
部品点数の削減	①大規模ASIC <sup>*1</sup> の開発(12種類) ②ソフトウェア設定によるスイッチレス化 ③LED表示の集約化	高集積化, スイッチの削減 LEDの削減
部品の小型化	①BGA <sup>*2</sup> , TSOP <sup>*3</sup> パッケージの採用 ②小型端子台の採用 ③CPUの周辺I/FにUSB <sup>*4</sup> を採用 ④スモールPCカードの採用	IC, コネクタ, メモリカードの小型化, 省スペース化 配線スペースの効率化
構造の見直し	①1mm厚基板の採用 ②ケース厚の薄型化	ケース容量の効率化
電源回路の見直し	①3.3V電源の採用 ②電源ユニットの高効率化	発熱抑制による小型化

\*1: ASIC: Application Specific IC, \*2: BGA: Ball Grid Array,  
\*3: TSOP: Thin-Shrink Outline Package, \*4: USB: Universal Serial Bus

一型誘導電動機(スーパーラインエコシリーズ)を開発した。その結果、大幅な省エネルギー・長寿命化を達成し、'99年度の(社)日本機械工業連合会会長賞を受賞した。

#### 4.2.2 製品アセスメント実施のポイント

製品アセスメント実施のポイントは、省エネルギー(地球温暖化防止)のほか、長寿命化(廃棄物処分場ひっ迫)への対応、低騒音化、標準モータとの互換性(既存設備に利用可能)等であり、そのために実施した内容を図6に示す。

#### 4.2.3 LCA評価の実施

この省エネルギー型誘導電動機(以下“エコモータ”という)では、主に地球温暖化への環境影響を評価することを目的として、当社先端技術総合研究所の協力を得て、標準の誘導電動機とのLCA評価を実施した。

LCAでは通常、素材→製造→流通→使用→廃棄・リサイクルの各工程ごとのデータを積み上げるが、流通は多岐にわたり、廃棄・リサイクルは種々の手法が検討されているため、今回は素材→製造→使用(0.75kW, 100%負荷, 8h/日で10年間運転と仮定)に限定してLCA評価を行った。使用ソフトウェアはオランダPre-Consultants社製“SimaPro”で、素材製造データは資源環境総合研究所等のデータベースから引用した。また、環境負荷指数は“Eco-indicator95”を用いて算出した。評価結果を図7、図8に示す。

その結果、エコモータは質量が標準モータに比べてやや重い、省エネルギー効果によって地球温暖化に関する環境負荷指数の値が標準モータよりも低く、トータルでも低くなるのが分かった。また、CO<sub>2</sub>排出量の評価結果を見ると、モータなど寿命の長い製品の場合、素材製造及び製

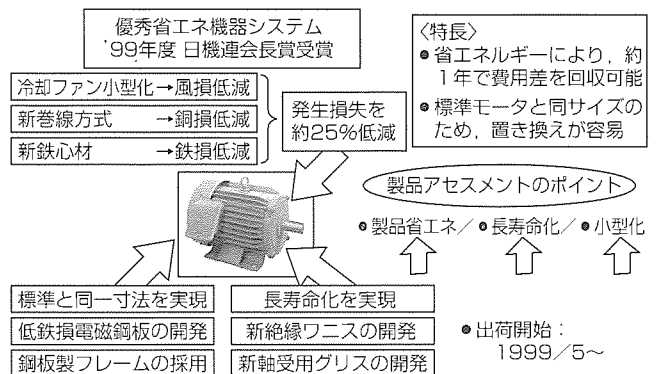


図 6. 省エネルギー型誘導電動機の環境改善内容

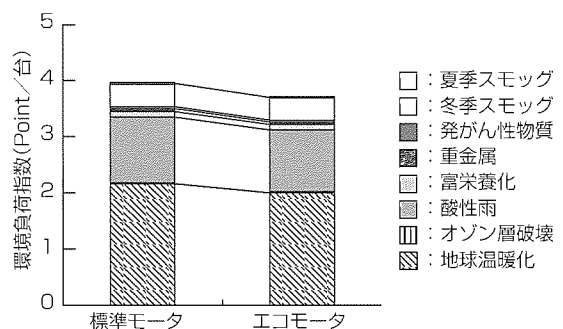


図 7. LCA評価結果(環境負荷指数)

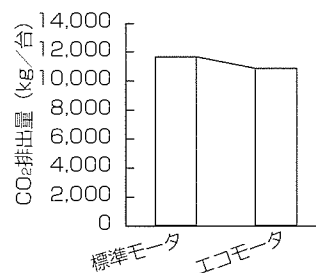


図 8. LCA評価結果(CO<sub>2</sub>排出量)

品製造時のCO<sub>2</sub>排出量は、使用時の値に比べかなり少ないことが分かり、製品の消費電力削減が環境改善に有効であることを再認識した。

#### 4.2.4 今後の製品アセスメント実施のポイント

今後も、一層の省電力化・長寿命化等をテーマに開発を進めていく予定である。

### 5. むすび

名古屋製作所は、FA製品の製造事業所として、今後もDFEの理念の下、環境に配慮した製品の提供を目指していくため、各製品ごとの環境改善目標を明確化するとともに、DFE教育を全設計、品証部門に徹底していきたい。

また、LCAの考え方は、今後、個別の製品開発時だけでなく、製品カテゴリごとに行う製品側面評価等にも利用していきたい。

# オゾンを用いたLCD用レジスト剥離技術

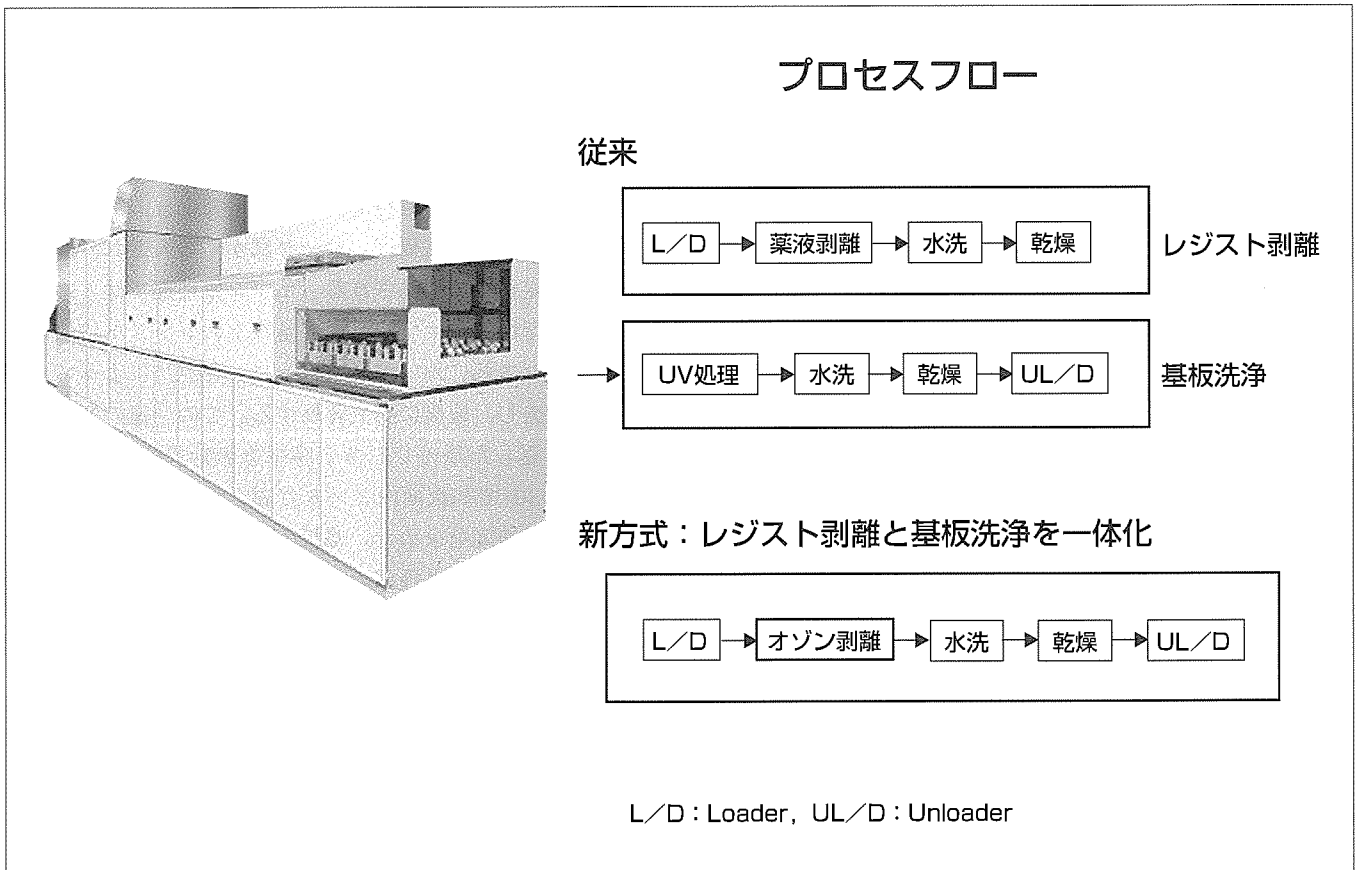
堀邊英夫\*  
野田清治\*\*  
片岡辰雄\*\*\*

## 要旨

環境問題への意識の高まりや環境規制強化の流れの中で、環境負荷低減技術への期待は大きい。半導体及びLCD製造では、微細素子のパターンニングに用いるレジストはく(剥)離工程に、硫酸、過酸化水素、アミン系有機溶剤など環境負荷の大きい薬液を大量に使用している。特にLCD用レジスト剥離で使用するアミン系有機溶剤は、高価でその使用量も多いため、薬液コスト削減と環境負荷低減が大きな課題である。この解決策として、有機物を酸化分解し、基板洗浄効果もあるオゾンが期待されている。オゾンは、分解後に酸素に戻るため残留性がなく、環境に優しい特長を持っている。しかしながら、レジスト剥離工程にオゾンを適用した場合、剥離速度が遅く、これまで実用に至った例はなかった。

三菱電機では、既に高濃度クリーンオゾン発生装置を開発している<sup>(1)</sup>。高濃度クリーンオゾンガスと水分の供給法を制御することにより、100℃以下の低温で従来のオゾン利用方式(オゾン溶解水)に比較し約10倍のレジスト剥離速度(1μm/min以上)を持つレジスト剥離装置を今回開発した。この装置は、環境負荷の高い高価な薬液を使用しないため、環境負荷を従来の1/10以下に、かつランニングコストを1/5以下に低減できた。また、基板洗浄能力を持つオゾンを用いるため、基板洗浄プロセスが不要になり、装置床面積も1/2に縮小した。さらに、ライン搬送型の枚葉式装置のため、LCD基板の大型化に容易に対応可能である。

特集  
I



## オゾンを用いたLCD用レジスト剥離装置とプロセスフロー

高濃度オゾンを用いたLCD製造用枚葉式レジスト剥離装置とそのプロセスフローを示す。この装置は、①三菱電機の高濃度クリーンオゾン発生技術、②オゾンによるレジスト高速剥離技術、③鳥田理化学工業の洗浄装置技術を結集したもので、高価な薬液を用いないLCD用レジスト剥離装置の開発は世界で初めてである。また、オゾンを用いることによって基板洗浄プロセスが不要になり、装置床面積も1/2に低減可能である。

## 1. ま え が き

1990年代以降特に顕在化した“環境問題”が企業経営に与えるインパクトは、'70年代の“公害問題”以上である。オゾン層の破壊、地球温暖化等の環境問題が年々顕著になり、地球規模での環境対策が重要になっている。また、ISO 14001、省エネルギー法改正、COP3などの環境関連規制も強化される方向で、昨年には「循環型社会形成推進基本法」が施行された。環境問題に対する取組が企業の盛衰を分けると言っても過言でない。逆の見方をすれば、環境事業は企業にとって非常に魅力ある事業と言える。

このような環境問題への意識の高まりや環境規制強化の流れの中で、環境浄化技術や環境負荷低減技術への期待は大きい。例えば、半導体やLCD等の電子デバイス製造では、成膜、パターン作製(レジスト塗布、露光、現像)、エッチング、レジスト剥離、洗浄等のプロセスを複数回繰り返すことにより、基板上にトランジスタを形成する。特に微細素子のパターン作製に用いるレジスト剥離工程においては、硫酸、過酸化水素、アミン系有機溶剤など環境負荷の大きい薬液を大量に使用している。その中でもLCD製造ではアミン系有機溶剤を用いているが、この薬液は、高価(数百円/リッター)で、その使用量も数百cc/m<sup>2</sup>以上と多いため、薬液コスト削減と環境負荷低減が大きな課題であった。一方、オゾンは、強い酸化力を持ち、反応後は分解して再び酸素に戻るため残留性がなく環境に優しく、かつ基板を洗浄する効果があることが確認されている。しかしながら、レジスト剥離工程にオゾンを適用した場合、剥離速度が遅く実用には至っていなかった。

本稿では、高濃度オゾンの適用とともにオゾンとレジストとの反応メカニズムの解明によって基板上のレジストを高速に除去し、かつ同時に環境負荷低減、ランニングコスト削減、装置床面積縮小を達成したLCD用レジスト剥離装置について述べる。

## 2. レジスト剥離技術の現状と課題

半導体分野のレジスト剥離では、枚葉式の酸素プラズマアッシング<sup>(2)</sup>、及びバッチ式の硫酸・過酸化水素混合液(SPM)処理が採用されている。一方、LCD分野のレジスト剥離では、基板サイズが半導体に比較し大きいため、ドライ方式では除去均一性が得られず、一般にアッシングは使用されない。したがって、薬液方式で行っており、剥離液としては“106溶剤”(モノエタノールアミン+ジメチルスルホキシド)と呼ばれる溶剤が広く用いられている<sup>(3)</sup>。課題としては、①剥離液消費量、及び②ドライエッチング工程を経たレジスト剥離が挙げられる。特に前者は、薬液代にかかるランニングコスト削減だけでなく、作業環境の安全性や廃液処理の観点からも重要である。後者については、

今後ドライエッチングの中でもRIE(Reactive Ion Etching)を使う工程が増加する傾向にあり、RIEによってレジスト表面が難溶化するため、難溶化したレジストの剥離能力を向上する必要がある。

オゾン溶解水を用いたレジスト剥離では、専用薬液を用いることなくレジストを剥離できるので、環境負荷低減と薬液洗浄用の純水使用量の削減が可能である<sup>(4)</sup>。100℃以下の処理温度において、オゾン濃度を高濃度化することにより、0.1μm/minの剥離速度が得られている<sup>(4)</sup>。さらに、処理基板を高速で回転(250~1,000r/min)することにより、基板上へ供給されるオゾンの(水中における)拡散速度を改善することで、剥離速度が2倍程度に向上できる<sup>(5)</sup>。しかし、現状のスループットを考慮すると、更なる剥離速度の向上が必要である。また、回転方式では、LCD基板のような大型基板の場合、高速回転するための機構が必要になり、装置構造が複雑になる。

## 3. 湿潤オゾンによるレジスト剥離開発

### 3.1 湿潤オゾンによるレジスト剥離評価条件

LCD基板を枚葉でライン搬送するレジスト剥離装置を試作し、レジスト剥離性能を検討した。ガラス基板(520mm×410mm)上にクレゾールノボラック系ポジ型レジストを初期膜厚1.45μmで全面塗布した基板(以下“べた基板”という。)と実デバイス基板(初期膜厚1.2μm、レジスト被覆率3%程度)の2種類のサンプルを用意した。レジスト剥離装置(7,000×1,500×(H)1,800(mm))は、ローダ部、温風加熱部、オゾン処理部、リンス・乾燥部、アンローダ部で構成される。基板は、ローダ部から搬入され、温風加熱部で設定値まで昇温される。オゾン処理部では、水蒸気によって湿潤したオゾンガスが基板上のレジストに供給される。リンス部において温水シャワー(50℃)によってレジストを除去し、最後に空気乾燥する。この一連の処理を複数回繰り返した後のレジスト膜厚を触針式膜厚計(DEK-TAK 3030)で基板面内3~6点測定することにより、レジスト剥離速度を求めた。基板の搬送速度は1.5m/minで制御され、オゾン処理部の滞留時間は1分であった。基板処理条件を表1に示す。

### 3.2 レジスト剥離速度の処理温度依存性

オゾンガス濃度230g/m<sup>3</sup>(標準状態)、各基板温度条件

表1. 基板処理条件

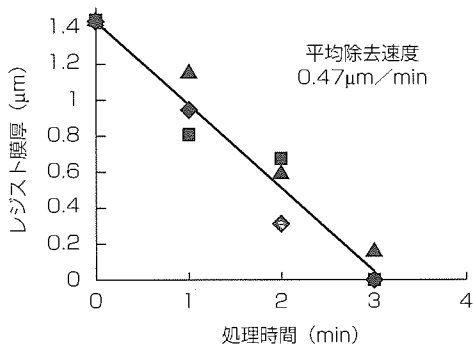
オゾン濃度	90~230g/m <sup>3</sup> (標準状態)
オゾン流量	12.5ℓ/min
基板表面の平均温度	53.5℃(条件A)
	72.0℃(条件B)
	83.0℃(条件C)
基板搬送速度	1.5m/min*1

注 \*1 オゾン処理部内の滞留時間は1分である。

(53.5℃, 72℃, 83℃)におけるレジスト剥離速度を評価した。基板温度53.5℃(条件A)におけるべた基板のレジスト膜厚の処理時間依存性を図1に示す。処理時間の増加に比例してレジスト膜厚が減少しており、その傾きから求めた平均剥離速度は0.47μm/minであった。また、レジスト剥離速度はレジストの膜厚方向(処理時間に該当する)で均一であるため、オゾンとレジストとの反応は、レジスト膜の上部から順次進行し、膜厚方向で同様の反応が起きていると予想される。基板温度を72℃(条件B), 83℃(条件C)と増加させると、平均剥離速度は0.51, 0.59μm/minと増加した。上記測定値の基板面内のばらつきは、条件A, B, C(53.5~83℃)において±9~16%であった。

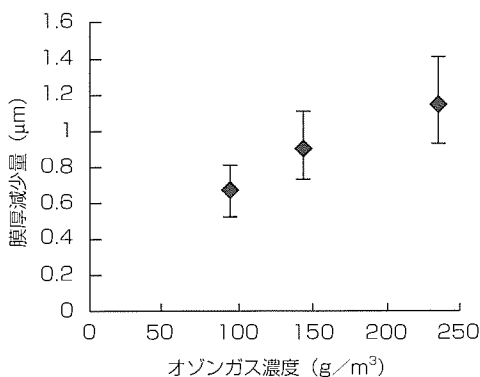
### 3.3 レジスト剥離のオゾン濃度依存性と実基板評価

基板温度72℃(条件B)でオゾン濃度を90~230g/m<sup>3</sup>(標準状態)と変化させた際のべた基板に対する膜厚減少量を図2に示す(面内のばらつきをエラーバーで示す)。オゾン濃度に比例して平均剥離速度が増加しており、90g/m<sup>3</sup>から230g/m<sup>3</sup>(標準状態)で剥離速度は約1.8倍になった。オゾン濃度が高いほど高速でレジストを剥離できることが分



(べた基板, 初期膜厚1.45μm  
基板温度53.5℃  
オゾン濃度230g/m<sup>3</sup>(標準状態), オゾンガス流量12.5ℓ/min)

図1. レジスト膜厚のオゾン処理時間依存性



(べた基板, 初期膜厚1.45μm  
基板温度73℃, 処理時間2分  
オゾンガス流量12.5ℓ/min)

図2. レジスト膜厚のオゾンガス濃度依存性

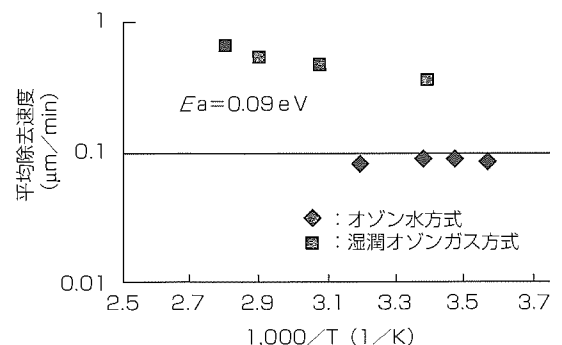
かる。

次に、基板温度83℃(条件C)で実デバイス基板を処理したところ、1.2~1.4μm/minの高いレジスト剥離速度が得られ、初期膜厚1.2μmのレジストを1分以内に完全に剥離できた。実デバイス基板のレジスト剥離速度がべた基板のそれに比較し速い理由は、基板に対するレジスト被覆率が小さいためと考えられる。処理後の基板を光学顕微鏡で観察したところ、ミクロンオーダーの残さ(渣)も観測されず、基板表面は清浄であった。また、デバイス特性も問題ないことを確認した。

### 3.4 湿潤オゾンとオゾン水によるレジスト剥離性能

湿潤オゾンとオゾン水によるレジスト剥離性能を比較した。オゾンガス濃度230g/m<sup>3</sup>(標準状態)における剥離速度の温度依存性を図3に示す(オゾン水製造に使用するオゾンガス濃度を230g/m<sup>3</sup>(標準状態)で一定、オゾン水濃度は飽和濃度に達していると仮定)。オゾン水の場合は温度上昇に伴ってオゾンとレジストとの反応は増加するが、一方でオゾンガスの水に対する溶解度が減少するため、レジスト剥離速度は0.1μm/minで頭打ちになった。これに対して、湿潤オゾン方式では、オゾン水に比較し4倍以上の剥離速度が得られた。また、アレニウスの法則から見掛けの活性化エネルギーを求めると約0.09eVであり、温度に対して緩やかな依存性が見られた。

一般に、オゾンガスは水に溶けにくく(分配定数0.25, 常温)、水中では拡散速度も遅い(液相中での拡散係数は気相中の約10<sup>-5</sup>倍)。湿潤オゾンガス方式によってレジスト剥離速度が増加した理由は、①オゾンガスを水に溶解しないで高濃度のまま基板に供給できたこと、②湿潤オゾンガス中の水分量が少なく、オゾンガスの基板表面への拡散速度を比較的大きくできたことが挙げられる。一方、オゾンガス単独では、室温付近ではレジストは酸化反応が進まず分解できないことを既に報告している<sup>(6)</sup>。したがって、レジストのオゾン酸化には水分が必要であり、今回の湿潤オゾン方式では微量の水分をオゾンガスとともに供給した



(オゾンガス濃度230g/m<sup>3</sup>(標準状態)  
べた基板, 初期膜厚1.45μm)

図3. レジスト剥離速度の温度依存性

結果、レジスト剥離速度の向上を可能にしたと言える<sup>(7)</sup>。

#### 4. レジスト剥離装置の性能

##### 4.1 ランニングコスト

LCD用レジスト剥離装置(520mm×410mm基板対応)では、ランニングコストの約80%を薬液代が占める。今回開発したレジスト剥離装置では、薬液が不要であるため、ランニングコストは約1/5になる(図4)。酸素からオゾンが発生するためランニングコストとして新たにガス代と電気代が必要になるが、薬液代に比較して微小であり、全体として大幅なランニングコストの削減が可能になった。

##### 4.2 環境負荷

環境負荷の指標として、ここでは廃液中の有機物質量(Total Organic Carbon: TOC)に着目した。専用剥離液によるレジスト剥離では、廃液中のTOC発生源として①剥離液成分、②レジスト成分が考えられるが、剥離液成分が全体の93%を占める。今回開発したレジスト剥離装置では、剥離液を用いずレジストを酸化分解するため、廃液中のTOC発生源としてはレジスト分解物のみとなる。したがって、環境負荷は約1/10に低減できた。

##### 4.3 装置床面積

専用剥離液によるレジスト剥離では基板上に微小な有機物残渣が残ることがあり、UV処理を含む洗浄装置が必要になる(要旨のページ)。オゾンは強力な酸化力を持つため、オゾン溶解水は有機物汚染除去を目的としたSPMの代替溶液として認識されている<sup>(8)</sup>。湿潤オゾン方式を用いたレジスト剥離においても、オゾン溶解水洗浄と同様な効果があるため、処理後の基板表面は清浄であり洗浄装置が不要となり、装置床面積は従来の1/2に縮小できた。

#### 5. むすび

水蒸気で湿潤したオゾンガスをレジスト剥離工程に適用して大型LCD基板を処理できるライン搬送型装置を開発し、その性能を検討した。べた基板(初期膜厚1.45μm, レジスト全面塗布)では、剥離速度として最大0.59μm/minが得られ、基板面内ばらつきが±9~16%と比較的均一にレジストを剥離できた。また、実デバイス基板(初期膜厚1.2μm, レジスト被覆率約3%)では、1.2~1.4μm/minの剥離速度が得られ、1分以内に完全にレジストを剥離できた。同時にデバイス特性も問題ないことを確認した。この方式のレジスト剥離性能を基にランニングコスト及び環境負荷(廃液中の有機物質量濃度)を推算したところ、従来の専用剥離液によるレジスト剥離装置と比較してランニングコストは約1/5以下、環境負荷は約1/10以下に低減できることを明らかにした。また、酸化力の強いオゾンを用い

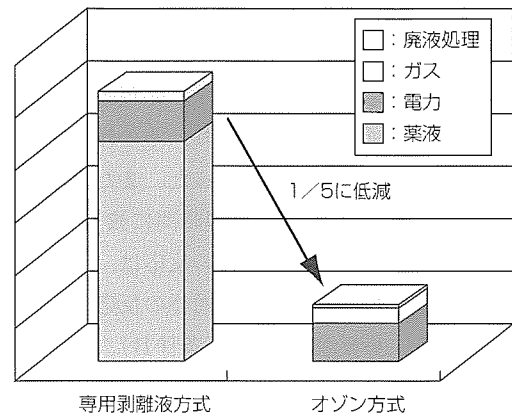


図4. 専用剥離液方式とオゾン方式とのランニングコスト比較

ため、基板洗浄プロセスが不要になり、装置床面積も1/2に縮小できた。さらに、枚葉式ライン搬送型装置のため、今後のLCD基板の大型化に容易に対応可能である。今後、この技術を、LCD用レジスト剥離に続き、半導体用レジスト剥離、及びウェーハ洗浄プロセスに展開する予定である。

#### 参考文献

- (1) 葛本昌樹：高濃度オゾナイザとその応用，静学論誌，21，No.1，18（1997）
- (2) 斎藤秀一，湊 光朗：アッシング装置，月刊Semiconductor World，64（1993-7）
- (3) 石部泰史，竹森雅史：枚葉式レジスト剥離装置の開発，島田理化技報，No.11，12（1999）
- (4) 大家 泉，野田清治，宮本 誠，葛本昌樹：高濃度オゾン水によるレジスト剥離，第8回日本オゾン協会年次研究講演会講演集，14（1999）
- (5) Narayanswami, N., Nelson, S.: Dynamics of Mass Transfer on a Wafer Surface in Ozonated Water Processing for Photoresist Removal, UCPS, 66（1998）
- (6) 宮本 誠，野田清治，堀邊英夫，大家 泉，葛本昌樹：高濃度オゾンガスをを用いたレジスト剥離技術－オゾン－レジスト反応機構－，第48回応用物理学関係連合講演会，29-D1（2001）
- (7) 野田清治，堀邊英夫，宮本 誠，大家 泉，葛本昌樹，片岡辰雄，大石哲士：高濃度オゾンガスをを用いたレジスト剥離技術及び装置，第10回日本オゾン協会年次研究講演会講演集，106（2000）
- (8) 川名弘康（編集部）：モディファイからリプレイスへ低コスト化はポストRCA洗浄で かつて話題のオゾン水洗浄は，月刊Semiconductor World，76（1998-10）



# 過酸化水素添加オゾン処理法による 地下水浄化装置

古川誠司\* 宇野淳一\*\*\*  
安永 望\* 安居院憲彰\*\*\*  
廣辻淳二\*\*

## 要 旨

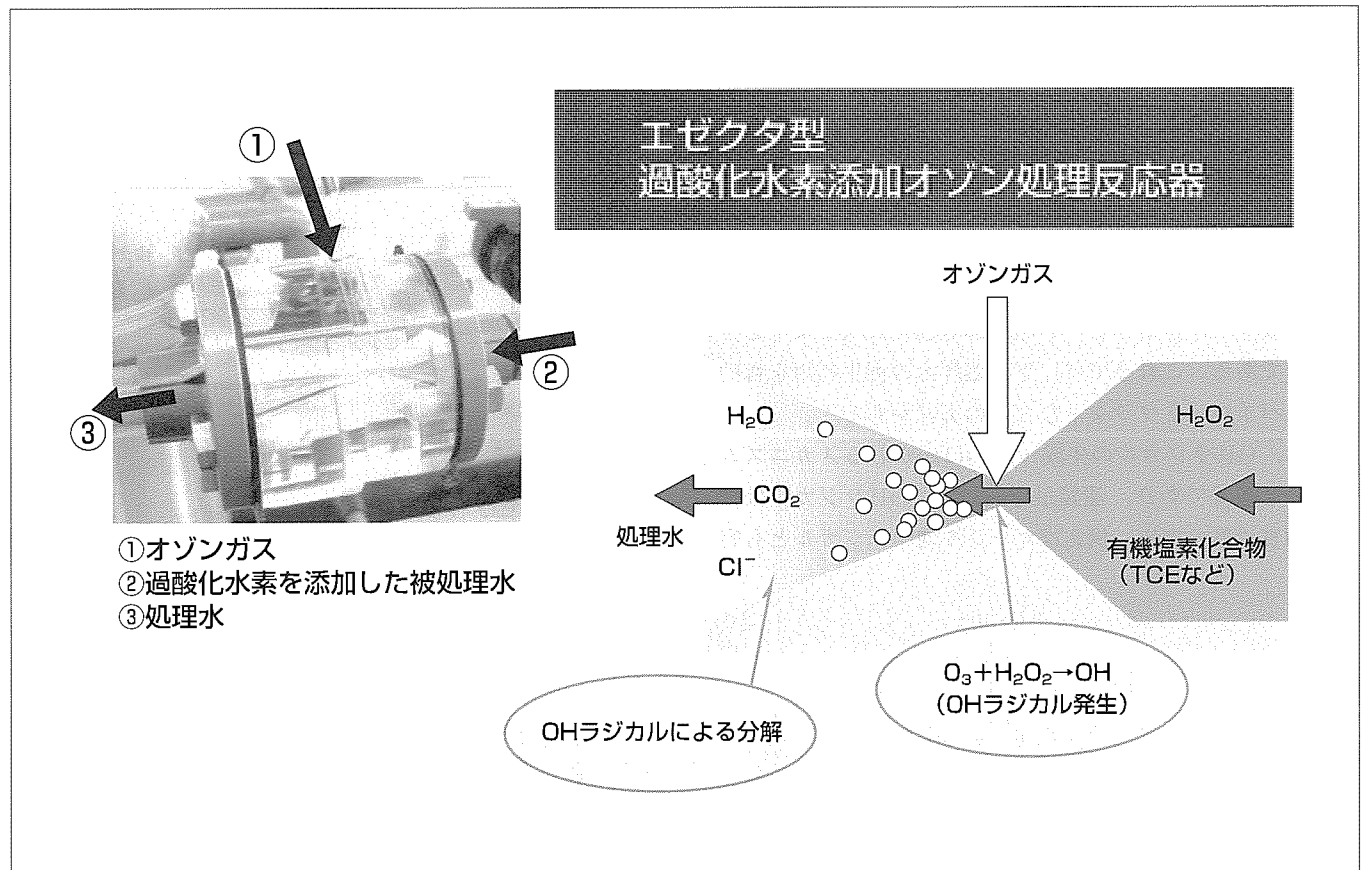
トリクロロエチレン(TCE)などの有機塩素化合物による地下水汚染が社会問題となっている。これまでは、地下水をばっ(曝)気することによって有機塩素化合物を気化させた後活性炭に吸着させるという処理法が一般的であった。しかしこの方法では、①使用後の活性炭を燃焼処理する必要がある、②曝気の際の騒音が大きい等の問題点があり、オンサイトの浄化には不向きであった。

三菱電機が開発した“過酸化水素添加オゾン処理法による地下水浄化装置”は、過酸化水素を添加した被処理水とオゾンガスとをエゼクタ型反応器内で激しく混合・かくはん(攪拌)することにより、高濃度のヒドロキシルラジカル(OHラジカル)を生成させる。OHラジカルは非常に強い

酸化力があるため、有機塩素化合物を瞬時に分解することができる。例えば、模擬汚染地下水を用いた実験では、5 mg/lのTCEを1秒足らずで環境基準値0.03mg/l以下に低減できた。また、計算機シミュレーションによる解析から、高濃度オゾンを用いて供給ガス流量を抑えることによってTCE分解速度を揮発速度よりも大きくし、TCEを揮発させることなく分解処理できることが分かった。

汚染現場での実証プラント実験においても、原水中のTCEやシス-1, 2-ジクロロエチレン(cis-DCE)を約半年にわたって環境基準値以下に処理できた。この浄化装置は、今後のオンサイト型地下水浄化技術として非常に有望と考える。

特集  
I



## エゼクタ型過酸化水素添加オゾン処理反応器

エゼクタ型反応器内で過酸化水素を添加した被処理水とオゾンガスとを激しく混合・攪拌することにより、高濃度のOHラジカルを生成させる。OHラジカルは非常に強い酸化力があるため、揮発性の有機塩素化合物を大気に放散させることなく瞬時に分解することができる。模擬汚染地下水を用いた実験では、5 mg/lのTCEを1秒足らずで環境基準値0.03mg/l以下に低減できた。

1. ま え が き

TCE, cis-DCEなどの有機塩素化合物は極めて毒性が強い上に生物難分解性のため、地下水にいったん混入すると汚染が長期間継続する。実際、1989年以降はTCE等の地下浸透が禁じられているにもかかわらず、数mg/lから数十mg/lオーダーの有機塩素化合物による汚染が毎年のように報告されている。

これまでは、地下水を曝気することによって有機塩素化合物を気化させた後活性炭に吸着させるという処理法が一般的であった。しかしこの方法では、①使用後の活性炭を燃焼処理する必要がある、②曝気の際の騒音が大きい等の問題点があり、オンサイトで浄化には不向きであった。

三菱電機では、過酸化水素とオゾンから生成するOHラジカルの強い酸化力を利用して地下水中の有機塩素化合物を瞬時に分解処理するオンサイト型浄化装置の開発に取り組んでいる。

本稿では、ラボ実験によるTCE分解の基礎検討結果、計算機シミュレーションによる解析結果、及び汚染現場でのプラント実証実験結果を紹介し、この浄化装置の有効性について述べる。

2. 過酸化水素添加オゾン処理法

上述したように、過酸化水素添加オゾン処理法とは、水中で過酸化水素とオゾンとを反応させることによってOHラジカルを発生させ、その強い酸化力を用いて被処理物質を酸化分解するという方法である。当社が開発したエゼクタ型過酸化水素添加オゾン処理反応器(図1)は、短時間に大量のオゾン注入することによって高濃度のOHラジカルを生成させ、秒オーダーの超高速処理を実現しようとするものである。これまでに、下水処理水の再生利用を目的としたパイロットプラントなどでの実績がある<sup>(1)</sup>。

なお、OHラジカルの生成・反応にかかわるメカニズムは極めて複雑であり、連鎖反応系の中でOHラジカルは被処理物質以外の物質、例えばオゾンや他のラジカルとも容

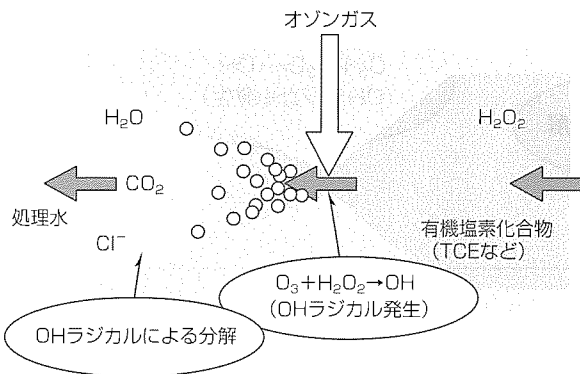


図1. エゼクタ型過酸化水素添加オゾン処理反応器

易に反応してしまう。当社では、この無効消費を低減するための新たな反応器の開発にも取り組んでいる<sup>(2)</sup>。

3. ラボ実験及び計算機シミュレーションによるTCE分解の基礎検討

3.1 エゼクタ型反応器によるTCEの分解

TCE濃度を5mg/lに調整した水溶液をサンプルとして、エゼクタ型反応器によるTCE分解実験を行った。表1に実験条件を、図2に実験装置のフローを示す。なお、TCE濃度はパージ&トラップガスクロマトグラフ法(P&T:Tekmer製5890, GC(ジーエルサイエンス)製GC390B, FID検出)で測定した。

図3は、オゾン注入率を変化させたときの処理水TCE濃度をプロットしたグラフである。オゾン注入率が6mg/l以上のときTCE濃度は定量下限値(2mg/l)以下にまで低減した。エゼクタとラインミキサを含めた滞留時間は1秒未満であり、極めて短時間のうちにTCEを分解できたと言える。

表1. 実験条件

オゾンガス濃度 (g/m <sup>3</sup> )	11~110
ガス流量 (l/min)	2.6
液流量 (l/min)	10
原水TCE濃度 (mg/l)	5
過酸化水素注入率 (mg/l)	1~15
水温 (°C)	15
原水pH	7

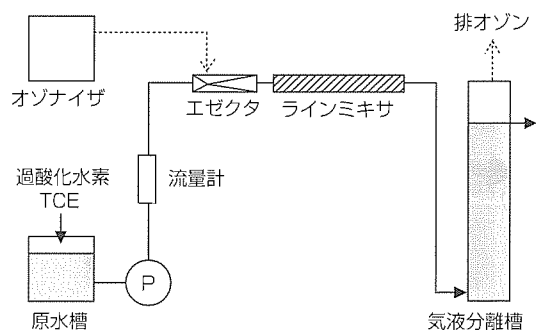


図2. 実験装置のフロー

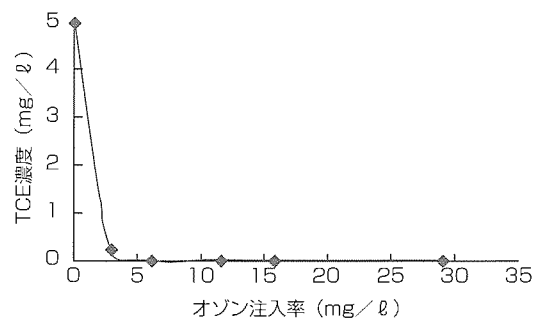


図3. 実験結果

3.2 計算機シミュレーションによる解析

—TCE揮発量抑制のための操作条件—

TCE揮発量を抑制しながら分解量が高められる操作条件を調べるために、計算機シミュレーションを実施した。シミュレーションモデルには、これまでの過酸化水素添加オゾン処理法の反応モデル<sup>(3)</sup>にTCEの揮発過程を組み込んだものを用いた。また、TCEの分配係数は参考文献<sup>(4)</sup>から引用するとともに、液相から気相への移動速度定数は酸素曝気による回分実験から求めた値を用いた。表2にシミュレーション条件を示す。なお、反応器は従来のオゾン散気方式のものを想定した。

図4にシミュレーション結果を示す。図の(a)はオゾン注入率を変化させたときのTCE分解量、揮発量及び処理水TCE濃度をプロットしたものである。なお、気液比(G/L)は0.5に固定し、オゾン濃度を操作することによってオゾン注入率を変化させている。

このように、オゾン注入率を高めることにより、揮発量を抑制しながらTCE分解量を増やせることが示唆された。特にオゾン注入率が10mg/ℓ(オゾン濃度20g/m<sup>3</sup>)のとき、原水中のTCEは完全に分解されるとともに、液相から気相への揮発量はゼロとなった。すなわち、G/Lを0.5と大きくとっても、供給オゾン濃度を高めることにより、OHラジカルによるTCE分解速度を揮発速度よりも大きくすることができた。計算では約4オーダーの差があった。

表2. シミュレーション条件

オゾンガス濃度 (g/m <sup>3</sup> )	0~100
ガス流量 (ℓ/min)	0.01~0.4
液流量 (ℓ/min)	0.4
原水TCE濃度 (mg/ℓ)	10
過酸化水素注入率 (mg/ℓ)	1.25~2.5
反応器容量 (ℓ)	1

また、10mg/ℓのTCEを完全分解するのに10mg/ℓのオゾン注入率が必要であったことから、質量比で原水TCE濃度の等量以上のオゾンを注入すればTCEの完全分解を達成できることが分かる。これは3.1節の実験結果(5mg/ℓのTCEがオゾン注入率6mg/ℓで完全分解)とも一致し、妥当な結果であると言える。

一方、図の(b)は、オゾン注入率を2.5mg/ℓに固定し、G/Lと供給オゾン濃度を変化させたときのシミュレーション結果を示したものである。なお横軸をG/Lとしているが、G/Lが小さいほどオゾン濃度は高く、逆にG/Lが大きいほどオゾン濃度は低いことに注意されたい。

このように原水TCE濃度に対してオゾン注入率が小さいと、G/Lを高めてもTCE揮発量が増加するだけで分解量は増えないことが分かった。これは、ガス量の増加によってTCE揮発速度が大きくなり、低オゾン注入率では分解しきれないTCEの揮発が促進されるためである。以上のことから、オゾン注入率が高い場合も含めて、高濃度オゾンを用いてG/Lを低く保つことにより、TCE揮発量を抑えてより効率的にTCEを分解できると言える。

4. 実証プラント実験

浄化装置を汚染現場に設置し、実証実験を行った。図5に実証プラント設備のフローを示す。深さ3~18mの3本の井戸から合計3m<sup>3</sup>/hの原水を揚水し、過酸化水素を注入した後ブースタポンプでエゼクタに送液した。表3に主な運転条件を示す。

図6に原水及び処理水中のcis-DCE濃度、TCE濃度の経時変化を示す。当初、原水にはcis-DCEが2.2mg/ℓ、TCEが0.65mg/ℓ含まれていたが、浄化処理の継続に伴って徐々に低下する傾向が認められた。5か月後にはcis-DCEが0.79mg/ℓ、TCEが0.2mg/ℓと当初の濃度の約

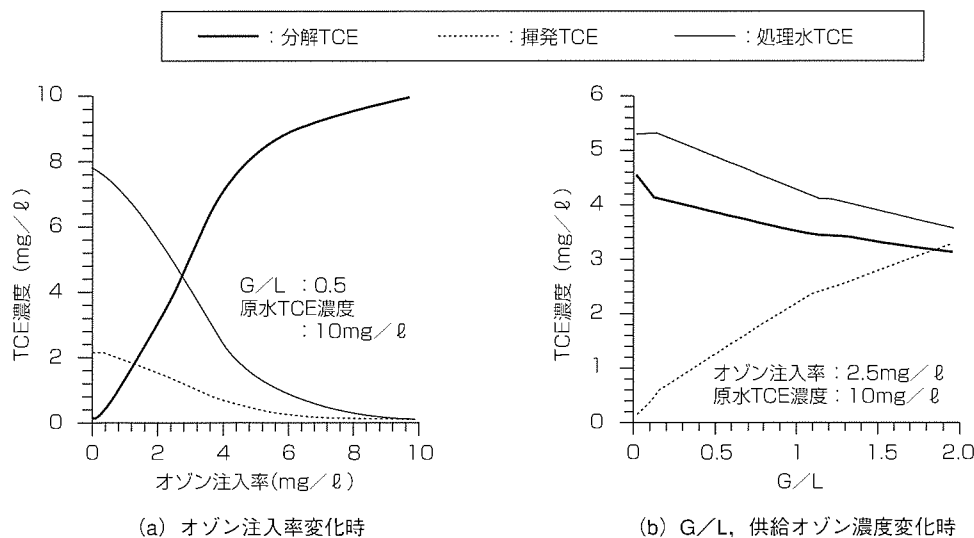


図4. TCE分解量と揮発量との関係

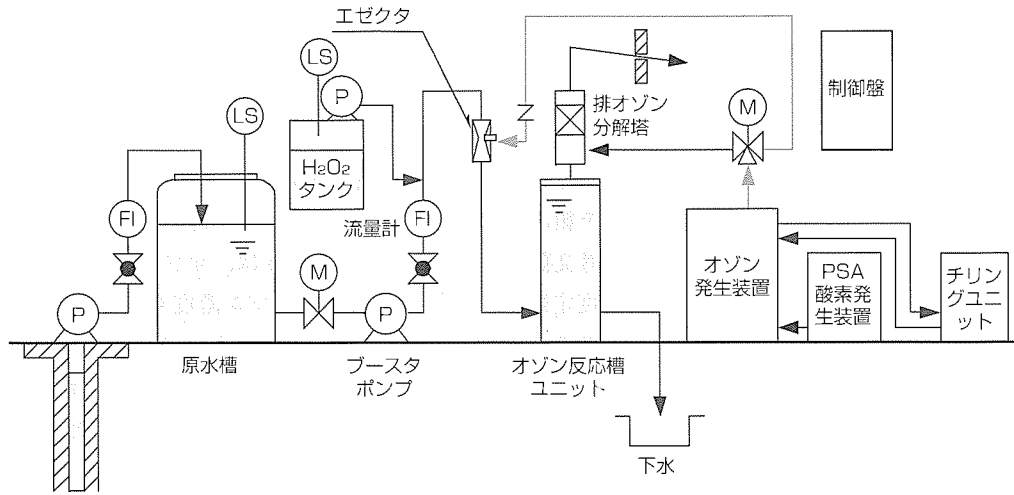


図5. 実証プラント設備のフロー

表3. 実証プラントの運転条件

処理水量 (m <sup>3</sup> /h)	3.0
オゾンガス濃度 (g/m <sup>3</sup> )	150
ガス流量 (ℓ/min)	0.4
オゾン注入率 (mg/ℓ)	20
過酸化水素注入率 (mg/ℓ)	5.7

1/3にまで低減した。また処理水については、実験期間を通じて共に環境基準値(cis-DCE: 0.04mg/ℓ, TCE: 0.03mg/ℓ)を下回った。

### 5. むすび

以上、過酸化水素添加オゾン処理法を利用したオンサイト型地下水浄化装置の概要を紹介した。この浄化装置は、OHラジカルの強力な酸化力によって地下水中の有機塩素化合物を瞬時に分解できる。ラボ実験及び計算機シミュレーションによる解析から、高濃度オゾンを用いることによってTCE分解速度を揮発速度よりも大きくし、TCEを揮発させることなく分解処理できることが分かった。また、汚染現場での実証プラント実験においても、TCEやcis-DCEを約半年にわたって環境基準値以下に処理できた。この浄化装置は、今後のオンサイト型地下水浄化技術として非常に有望と考える。

### 参考文献

(1) (財)エンジニアリング振興協会：平成9年度排水の再生

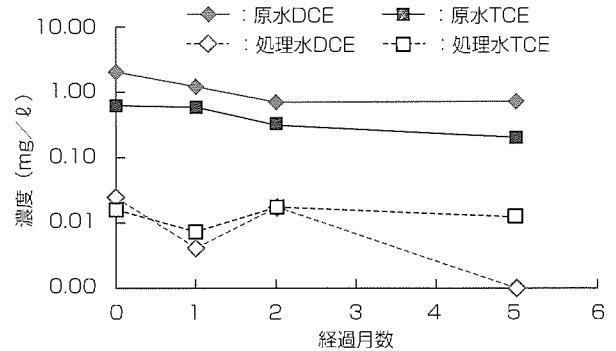


図6. cis-DCE濃度及びTCE濃度の経時変化

利用のための高度水処理技術の開発実証試験報告書 (1997)

(2) 安永 望, 古川誠司, 廣辻淳二：過酸化水素添加オゾン処理における効率改善に関する考察, 第9回日本オゾン協会年次研究講演会講演集, 121~124 (2000)

(3) 安永 望, 河相好孝, 廣辻淳二：過酸化水素添加オゾン処理法のための高効率反応器の開発, 第35回下水道研究発表会講演集, 756~758 (1998)

(4) Linek, V., Sinkule, J., Janda, V.: Design of Packed Aeration Towers to Strip Volatile Organic Contaminants Form Water, Water Reseach, 32, No4, 1264~1270 (1998)

# 多結晶シリコン太陽電池の 製造方法の改善と高効率化

有本 智\*

## 要 旨

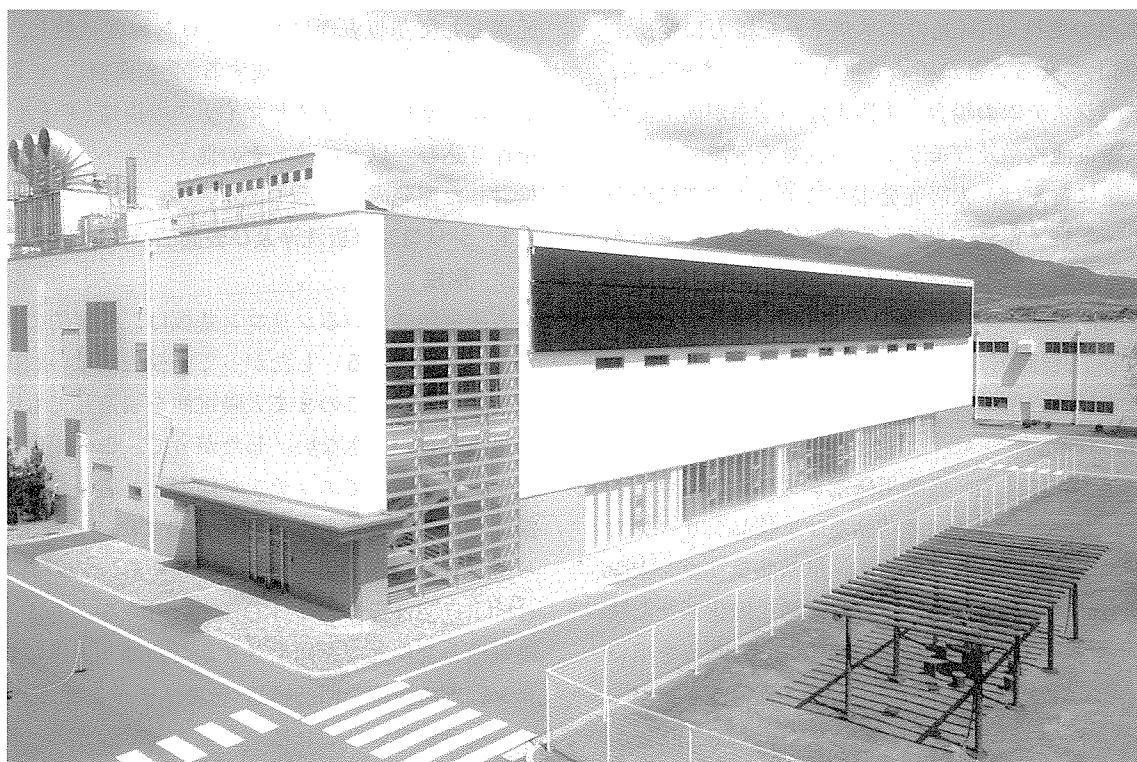
太陽光を電気エネルギーに変換する太陽光発電システムは、環境技術としての有効性は極めて高いものがある。一番の理由は、発電時にシステムそのものからの環境汚染がない点にある。しかし、そのシステムの製造工程に立ち帰れば、当然のことながら、物造りに伴う原材料及びエネルギー消費は免れない。したがって、太陽光発電の有効性を高めるためには、以下の点に留意した製品造りが必要である。第一は、その製造工程を簡略化するとともに環境に悪影響を与える原材料を用いないことが重要である。第二は、太陽電池の変換効率を高めることである。これは、同じ出力のシステムを構成する場合、必要な太陽電池及びモジュールの枚数を削減できるため、使用材料・資源・エネルギー

消費の節約に直結する。三菱電機では、この2点を考慮して多結晶シリコン太陽電池の量産及び技術開発を推進してきた。

本稿では、最近の成果として、太陽電池表面の反射率低下のためのエッチング工程で使用していた有機溶剤を廃止できる新技術、さらには製造条件の最適化や電極材料の開発によって変換効率を向上できることなどを紹介する。

これらの方法を適用して作製した多結晶シリコン太陽電池の変換効率は、15cm×15cmの大型サイズにもかかわらず16%以上(最高で16.8%)となり、実用性が極めて高いことを実証した。

特集  
I



## 三菱電機の太陽光発電システム工場（長野県飯田市）

三菱電機では太陽電池からモジュールまでの一貫生産ラインを飯田に建設した。この工場では20kWの発電システムを設け、工場での消費電力削減に活用している。写真正面の壁面上部に160枚の太陽電池モジュールが設置されている。

\*中津川製作所(工博)

1. ま え が き

地球環境保護に対する新エネルギー(化石燃料の代替エネルギー)の導入の必要性は言うまでもないが、その中でも特に太陽光発電は、国からの補助金制度の実施及び太陽光発電に対する電力の買取り制度の制定以降、その普及には目覚ましいものがある。その結果、2000年の日本の太陽電池生産量は、米国を抜き、世界一の規模にまで急成長した。もちろん日本のみならず米国・欧州でも太陽光発電の普及促進策を講じており、21世紀の新エネルギーとしての地位を確実に築きつつある。このように太陽光発電システムが注目される主な理由は以下のとおりである。

- (1) 太陽エネルギーは無尽蔵に利用し得るクリーンエネルギーである。
- (2) 太陽光発電は、半導体に照射された光を電気エネルギーに変換する、いわゆる光電効果を利用した地球に優しい無公害発電システムである。
- (3) 保守が簡便で、自動化・無人化が容易である。したがって、分散型の発電システムとして、一般家屋の屋根のみならず離島や砂漠などへの設置にも適している。

特に(2)に示す特長は、環境負荷低減に大きく貢献できるものであり、地球環境保護における太陽光発電の本質を示すものである。しかし、その効果をより発揮させるためには、太陽電池の変換効率(光のエネルギーを電力に変換する効率)を向上させることが極めて重要である。なぜなら、同じ発電量のシステムの場合、太陽電池の効率が向上すれば必要な太陽電池枚数及びモジュール枚数を削減できるからである。逆に言えば、太陽光発電システムの製造にかかわる原材料・部材・電気・ガス・水等の使用量が削減できることになる。また、太陽電池の製造工程においてもその方法を見直し、環境への負荷低減を図る取組も重要な意味を持っている。具体的には、製造工程の簡略化や環境に悪影響を及ぼす材料の削減又は廃止を目指した製造方法の開発等が挙げられる。

さて、現在実際に住宅・産業用発電システム用に生産されている太陽電池としては、多結晶及び単結晶シリコン太陽電池が主流となっている。多結晶/単結晶シリコン太陽電池いずれも高純度の原料シリコンを溶融し固化させた結晶(インゴット)を所望のサイズにスライスした基板を用いる点では同じであるが、単結晶の場合は、種結晶を用いて結晶成長を行うため(例えばチョクラルスキー(CZ)法)、基本的に結晶欠陥が少なく高品質である。一方、多結晶シリコンは、るつぼ(坩堝)中の溶融シリコンを種結晶なしで固化させる鋳造法であるため、不均一に結晶成長が進行する。したがって、ランダムに成長した単結晶が多数寄り集まった多結晶構造となり、品質面で単結晶よりも劣る点は避け難い。しかし、結晶成長に要するコストが低いことに

加え、最近の太陽電池製造技術の進歩によって比較的高い変換効率を得られるようになり、コストパフォーマンスの観点から多結晶シリコン太陽電池の生産量が最も多くなっている。なお、量産レベルの一般的な変換効率は、多結晶で15%、単結晶で17%程度である。そのほか、次世代太陽電池としてアモルファスシリコンやCIS(銅・インジウム・セレン系化合物)系薄膜太陽電池の実用化に向けた開発が精力的に進められているが、当面は多結晶シリコン太陽電池が主流であることは間違いない状況にある。

以上のような背景に立ち、本稿では、三菱電機が取り組んでいる環境負荷低減を配慮した多結晶シリコン太陽電池の製造工程及び高効率化技術を紹介する。

2. 太陽電池の製造方法と特性

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各メーカーによって異なるが、基本的な部分で共通する工程は次のとおりである。

- ①シリコン基板洗浄と表面凹凸構造の形成
- ②PN接合形成
- ③反射防止膜形成
- ④電極形成(スクリーン印刷法)

ここで②に関しては、例えば電氣的にプラスの性質を持つP型シリコン基板に対しては、例えばりん(燐)を不純物元素として基板表面に0.3ミクロン程度拡散し、マイナスの性質を持つN型層を形成する(受光面側)。これにより、シリコン基板にプラスとマイナスの構造(ダイオード構造)を作り込む。以下では、その他①・③・④に関し、当社が検討した開発成果を示す。

2.1 シリコン基板洗浄及び表面凹凸構造(テクスチャ)の形成

太陽電池に用いるシリコン基板は、機械的に切り出したままの状態である。したがって基板表面はいわば傷だらけの状態であり、このまま太陽電池を製造しても十分な特性を得ることができない。したがって、この損傷した表面を化学処理によってエッチング除去し、清浄なシリコン面を露出させる必要がある。このためには、一般的に混酸(ふっ酸と硝酸の混合液)又はアルカリ溶液(か(苛)性ソーダ(NaOH)又は苛性カリ(KOH))を用いる。更にこの後、太陽電池の変換効率を向上させるために、表面に数~十ミクロン程度の微細な凹凸構造(テクスチャと呼ばれる)を形成するケースが多い。これは、基板表面での光の乱反射を増大させ、太陽電池内により多くの光を吸収させる、すなわち表面反射率を低減させることが目的である。テクスチャ形成の代表的な方法は、苛性ソーダ又は苛性カリとイソプロピルアルコール(IPA)の混合液でのエッチング処理である。これは適切な条件設定を行えば良好なテクスチャ構造を形成できる方法で、以前から広く使用されてきた。しかし有



機溶剤を含むため、その廃液処理には十分な配慮が必要である。一方、混酸処理の場合は、有機溶剤を含まないものの、高効率化のための表面凹凸構造が作り難く、やはり環境面から廃液中のふっ素除去が重要となる。このような状況の下、当社では、テクスチャ形成方法に関し、新規に炭酸ソーダ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )水溶液を用いることを検討した。この方法によるエッチングの詳細については文献(1)に譲るが、大まかには20質量%、95℃の炭酸ソーダ水溶液に約10分間浸せき(漬)する。この際の反射率を従来方法と比較すると、全くそん(遜)色ない結果となった。図1に新規開発の炭酸ソーダ法と従来法である苛性ソーダ・IPA法によって作製した太陽電池の変換効率を比較して示すが、炭酸ソーダ法も従来法と同等の特性が得られている。この結果は、炭酸ソーダ法が環境面で極めて有望な技術であることを示している。なおここで紹介した太陽電池のサイズは15cm×15cmであり、以下で示す特性もこのサイズの太陽電池である。

## 2.2 反射防止膜形成条件の最適化

多結晶シリコンは、先述したように、単結晶に比べて結晶中に多くの結晶欠陥が存在する。一口に結晶欠陥と言っても多数の種類に分類されるが、特にセル特性に悪影響を与えるものは転位又は結晶粒界に存在するシリコン原子の未結合手である。結合手は、本来、共有結合によってシリコン原子同士がつながることで終端されるが、これが終端していない場合は電子の捕獲中心として作用する。これは、太陽電池に光が入射し電子が発生しても、その一部が未結合手に捕獲され、期待される電流が取り出せなくなってしまうことにつながる。しかし、この未結合手に水素原子が結合すると、未結合手を不活性化し、実効的に欠陥密度が減少する、換言すれば基板品質が向上する効果が得られる。この現象を水素パッシベーションと言う。

多結晶太陽電池の反射防止膜形成は、シラン( $\text{SiH}_4$ )とアンモニア( $\text{NH}_3$ )を混合したガスを真空チャンバに導入し、高周波電圧の印加でガスを分解し、窒化シリコン( $\text{SiN}$ )膜

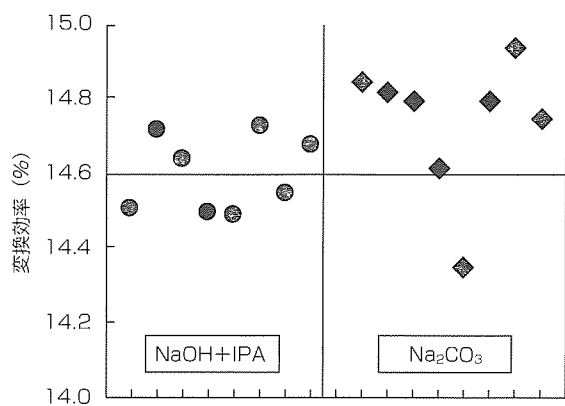


図1. 従来法と炭酸ソーダ法による変換効率の比較

を基板表面にたい(堆)積させるプラズマCVD (Chemical Vapor Deposition: 化学堆積)法が用いられることが多い。この方法の特長は、ガス分解の際に発生する水素原子が結晶中に拡散し、欠陥を終端させることができる点である。この効果は成膜時の温度に依存しており、図2に反射防止膜形成時の温度と太陽電池特性の関係を調べた結果を示す。

特性改善の比較を3種類の異なるメーカーの多結晶シリコン基板に対して実施した。複数メーカーの基板に対して検討した理由は、各メーカーにおける結晶成長方法が異なるため、水素パッシベーション効果の温度依存性が異なる可能性を含んでいるためである。しかし、図から明らかのように、今回調査した3社の基板では、同様の傾向を示し、最適成膜温度は450℃であることを見出した。図示しないが、この変換効率の改善は開放電圧( $V_{oc}$ )、短絡光電流密度( $J_{sc}$ )が改善されていることによるものである。

## 2.3 受光面側銀電極の改善

量産ベースの太陽電池の電極には一般に金属ペースト(受光面側: 銀ペースト, 裏面側: アルミペースト)が用いられる。具体的には、量産性に優れたスクリーン印刷法によって所望の電極パターンを太陽電池表裏面に印刷し、乾燥・焼成する方法が選択される。ここでは、受光面側のくし(櫛)形状の電極の形成に関し、当社で開発した銀ペーストについて紹介する。

銀ペースト中には、シリコン基板への密着性を保持するため、数種類のガラスが微量混合されている。このガラスは、電極の焼成時(700~800℃)に溶融し、シリコンを侵食する性質を持っている。先述したように、受光面側に形成されたN型層は0.3ミクロン程度と極めて薄いため、この溶融ガラスによる銀電極直下のN型層の侵食が大きいと、ダイオードとしての整流性が悪化(PN接合が破壊)し太陽電池の特性低下を招く。したがって、このような特性悪化を抑制するためには、シリコンに対する侵食を少なくできる

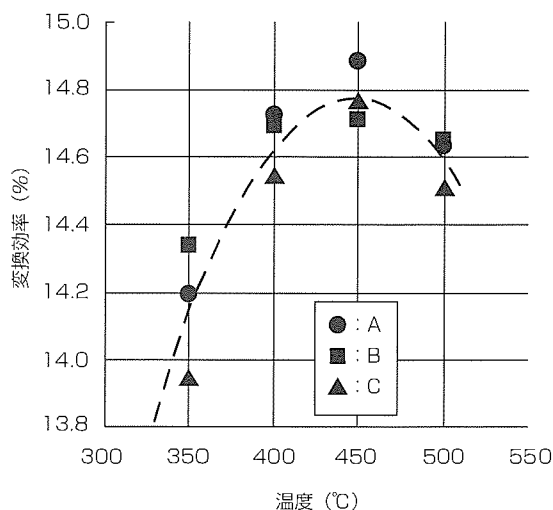


図2. 変換効率の反射防止膜形成温度依存性

特集  
I

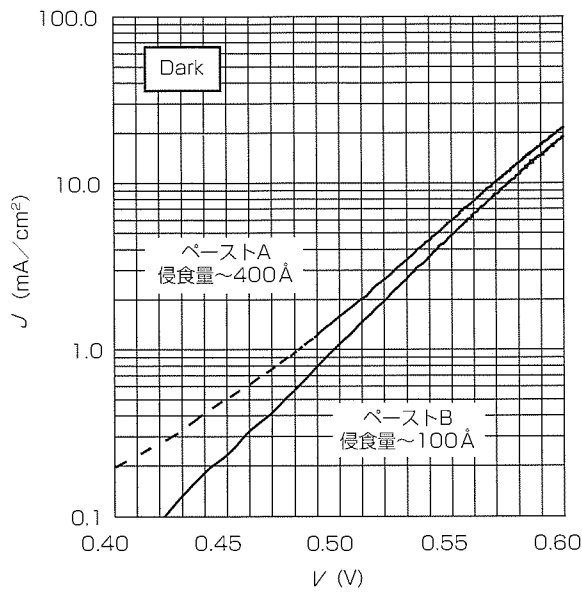


図3. ペースト電極の違いによる整流性の比較

銀ペーストが必要となる。この目的のために、複数のガラス及びその添加量の組合せを検討し、侵食性の少ないペースト開発を行った。この際、ペーストの印刷性も同時に改善し、印刷電極幅を細線化できるようにした。細線化の目的は、電極面積を低減し受光面積を増やすためである。

図3に従来のペーストAと新規開発品Bの侵食量と暗状態の電流-電圧特性を比較して示す。ペーストBでは侵食を大きく抑制できており、ねらいどおり、ダイオードの整流特性の改善が図られているのが分かる。

### 3. 太陽電池の特性

最後に、先述したすべての技術を盛り込んで作製された太陽電池の特性を紹介する。

表1に、4種類の多結晶基板に対する太陽電池の特性を示す。この評価値は社内評価結果であるが、すべての基板に対して16%以上の変換効率を得ることができた。図4は外部の認定機関であるJQA (Japan Quality Assurance Organization: 財日本品質保証機構) で評価を実施した太陽電池の特性であり、最高で16.8%と極めて高い変換効率を実現できた。この値は、15cm×15cmの大型太陽電池でかつ電極形成に印刷技術を用いた太陽電池としては、世界最高レベルの値である。

### 4. む す び

以上、環境負荷削減に対応した太陽電池の製造方法の開発と高効率化技術を紹介した。具体的な成果は以下のとおりである。

- 有機溶剤を廃止した新しいエッチング技術を開発し

表1. 太陽電池の特性

Supplier	Voc (V)	Jsc (mA/cm <sup>2</sup> )	FF	Eff. (%)
A	0.613	33.57	0.784	16.13
	0.612	33.77	0.776	16.04
	0.614	34.38	0.772	16.28
	0.612	34.17	0.778	16.25
ave.	0.613	33.97	0.778	16.18
B	0.624	34.59	0.769	16.61
	0.626	34.58	0.772	16.69
	0.626	34.84	0.757	16.53
	0.626	34.71	0.766	16.66
ave.	0.626	34.68	0.766	16.62
C	0.620	34.28	0.777	16.53
	0.621	34.36	0.765	16.31
	0.622	34.43	0.774	16.59
	0.623	34.40	0.770	16.50
ave.	0.622	34.37	0.772	16.48
D	0.624	34.28	0.762	16.31
	0.623	34.25	0.774	16.51
	0.620	34.15	0.766	16.22
	0.622	34.22	0.771	16.42
ave.	0.622	34.22	0.768	16.37

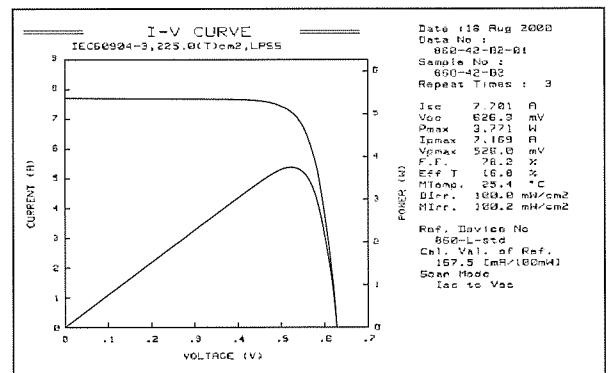


図4. 太陽電池の特性(JQA評価値)

た。

- 反射防止膜形成時の成膜温度の最適化を図るとともに新規に銀ペーストの開発を行い、変換効率を改善できた。

今後は、更にこれらの技術をブラッシュアップするとともに、より環境負荷低減が可能な太陽電池及び太陽光発電システムの開発を推進していく所存である。

### 参考文献

- (1) Nishimoto, Y., Namba, K.: Investigation of Texturization for Crystalline Silicon Solar Cells with Sodium Carbonate Solutions, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, **61**, 393~402 (2000)

# 環境統合情報システム

内藤知子\* 中村 馨\*\*  
 酒井雅朗\* 小林正幸\*\*\*  
 竹内 充\*\* 上田敏晴+

## 要 旨

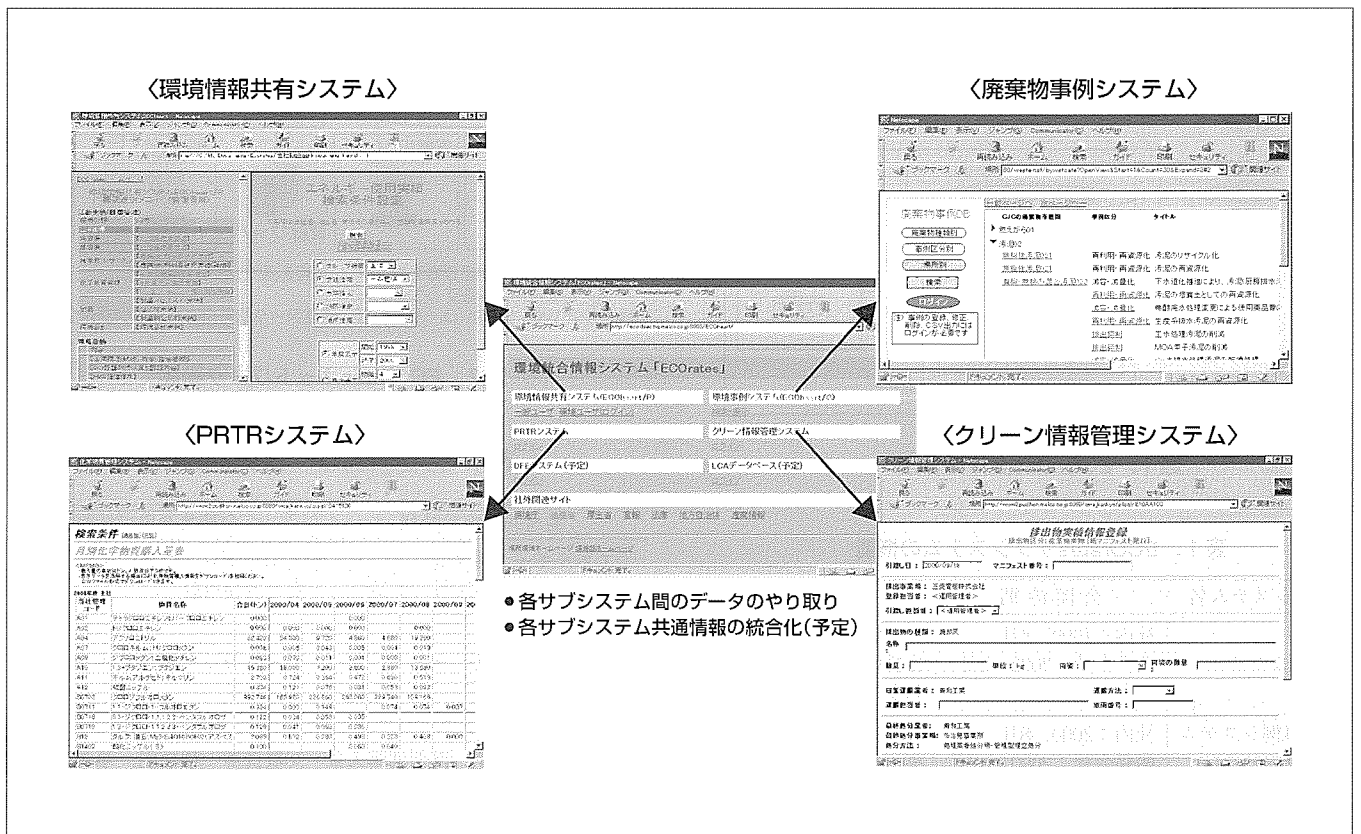
最近の環境問題の社会的・地球規模的広がりから、環境保護のための法規制がますます強化されると同時に、企業での環境への取組状況の情報開示要請が強まっている。これに伴い、三菱電機グループの各事業所では、環境負荷低減と環境管理の業務が増加しており、一方では環境関連情報のきめ細かい日常管理も不可欠になってきている。

三菱電機では、これらの環境管理業務を効率化し法規制強化と情報開示拡大に迅速に対応できる環境情報管理基盤を確立するため、1999年に環境統合情報システム“ECO rates”開発推進プロジェクトを発足させ、グループ内で環境情報を統合管理するシステムを開発構築している。現在、部分的運用も開始しながら全体システムを構築途中であるが、本稿では、ECO ratesの現状と今後の計画を紹介する。

ECO ratesは、様々な環境情報を取り扱う複数のサブシステムで構成される。現在は、環境に影響を及ぼす化学物質情報を管理する“PRTRシステム”，廃棄物情報を管理する“クリーン情報管理システム”，環境改善事例情報を提供する“ECOheart/C”，これらサブシステムの環境情報とその他エネルギー情報等を統合管理する環境情報共有システム“ECOheart/R”で構成されている。その中で、本稿では、現在社内試行中のECOheart/R，社内導入中のクリーン情報管理システムについて詳細を説明する。

今後、これらのサブシステムの社内への全面導入とグループ関係会社への展開を進めるが、併せて、PRTR/MSDS法施行に伴う事業所内化学物質管理強化のためのPRTRシステム増強等も計画している。

ECO rates : ECO-oriented Corporate Management System, ECOheart/C : ECO-oriented Hyper Electronic Data Sharing System for Case Data, ECOheart/R : ECO-oriented Hyper Electronic Data Sharing System for Reference Data, PRTR : Pollutant Release and Transfer Register, MSDS : Material Safety Data Sheet



## ECO ratesの画面表示例

ECO ratesメイン画面(中央)に示されたメニュー(サブシステムの名称)を選択すれば、各サブシステムを利用することができる。左上は“ECOheart/R”，左下は“PRTRシステム”，右上は“ECOheart/C”(廃棄物事例システム)，右下は“クリーン情報管理システム”の画面表示例を示す。

1. ま え が き

一般的に、環境管理業務については、事業所間の情報の共有化・標準化・電子化が進んでいない企業が多い状況である。三菱電機では、これら環境管理業務の効率化と法規制強化及び情報開示拡大に迅速に対応できる環境情報管理基盤を確立するため、全社環境管理を推進する本社部門と実環境業務を担当する事業所メンバーで構成される環境統合情報システム“ECOrates”開発推進プロジェクトを発足させ活動している。

このプロジェクトでは、全体システムの取りまとめと開発を本社(生産システム本部)が担当し、システム機能要求と試行評価を事業所が担当して開発推進を行った。システム機能決定段階では、プロトタイプング手法により、事業所ニーズをシステム設計に盛り込んだ。

2. 環境統合情報システム“ECOrates”の現状

2.1 ECOratesの全体像

ECOratesは、様々な環境情報を取り扱う複数のサブシステムで構成される。このシステムは、これらのサブシステムを搭載した環境統合サーバを設置し、当社各事業所とは社内LAN(MELIT網)で接続し、関係会社とは認証サーバによるセキュリティ管理を行いながら、インターネットを介して接続している。図1に全体概念図、表1に各サブシステムの機能、図2にシステム全体のネットワーク構成を示す。

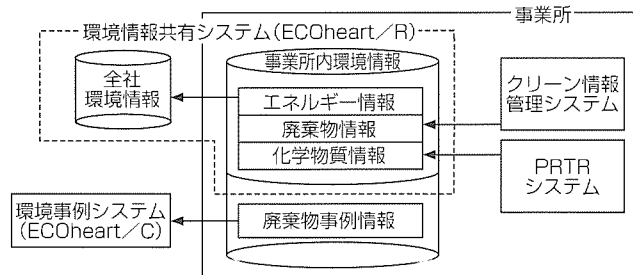


図1. ECOrates全体概念図

表1. ECOratesサブシステムの機能

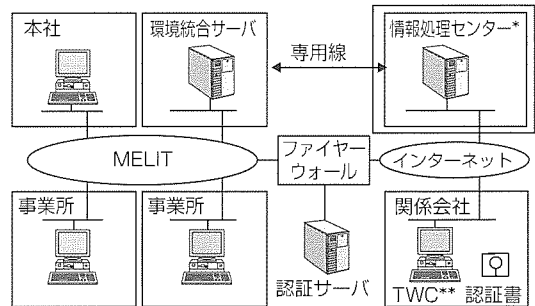
サブシステム名	公開時期	機能
PRTRシステム	社内：1999/4月 関係会社：2002/4月 予定	化学物質(PRTR法対象物質)の購入量、排出移動量を管理
環境事例システム(ECOheart/C)	社内：2000/8月 関係会社：2000/12月	各事業所の廃棄物削減事例をデータベース化
クリーン情報管理システム	社内：2000/10月 関係会社：2001/6月 予定	廃棄物、利材の詳細情報(種類別排出量、価格、処理業者等)を管理
環境情報共有システム(ECOheart/R)	社内：2001/6月 関係会社：2001/10月 予定	エネルギー、廃棄物、化学物質等、環境情報を管理(廃棄物はクリーン情報管理システム、化学物質はPRTRシステムから取得)

これらのサブシステムの中で、各サブシステムの環境情報を統合化する環境情報共有システム“ECOheart/R”を2.2節で、廃棄物情報を管理するクリーン情報管理システムを2.3節で述べる。

2.2 環境情報共有システム“ECOheart/R”

ECOheart/Rは、各事業所内の環境管理業務を支援すると同時に、各事業所の環境情報(エネルギー消費量、廃棄物の排出・再資源化量、化学物質の移動・排出量等)をグループ全体で共有化することを目的としている。そのため、各事業所で日常的に管理されている環境情報内容とその業務フロー、及びグループ内で共有化すべき環境情報を調査・整理し、各事業所の日常のデータがそのままグループ共有情報として流れる仕組みを実現した。各事業所で日常管理される“場所共通環境情報”，グループ全体で共有化される“全社共通環境情報”に階層化しており、内容を表2に示す。

ECOheart/Rは、各事業所における環境管理業務(環境情報の集計作業やEMS推進活動)を支援する“場所版”と、各事業所の環境情報をグループ全体で共有化する“全社版”の二つのシステムで構成される。ECOheart/Rの仕組みを図3に、システム構成を図4、画面表示例を図5、図6



\* (財)日本産業廃棄物処理振興センター 情報処理センター(電子マニフェストシステムを運用/管理するセンター)  
\*\* Trust Web Client(ユーザー認証、通信データ暗号化のためのソフトウェア)

図2. ECOratesネットワーク構成

表2. ECOheart/Rで扱う環境情報

場所共通環境情報	全社共通環境情報
①エネルギー：種類別、メータごとの月次使用量(部門/事業所/地区全体でも可)	①エネルギー：種類別、事業所別月次使用量
②水資源：種類別、メータごとの月次使用量(事業所/地区全体でも可)	②水資源：種類別、事業所別月次使用量
③紙資源：種類別、部門別購入量(事業所/地区全体でも可)	③紙資源：種類別、事業所別購入量
④廃棄物・リサイクル：地区全体のマニフェスト伝票→クリーン情報管理システムから月次実績抽出	④廃棄物・リサイクル：種類別(大分類)、事業所別月次実績
⑤化学物質：事業所別月次購入実績はPRTRシステムから抽出→取扱量、排出・移動量算出(年次)	⑤化学物質：種類別(A物質)、事業所別月次購入実績(取扱量、排出・移動量は年次)

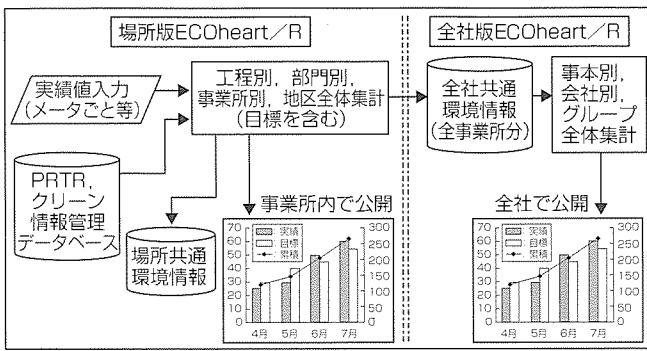


図 3. ECOheart/Rの仕組み

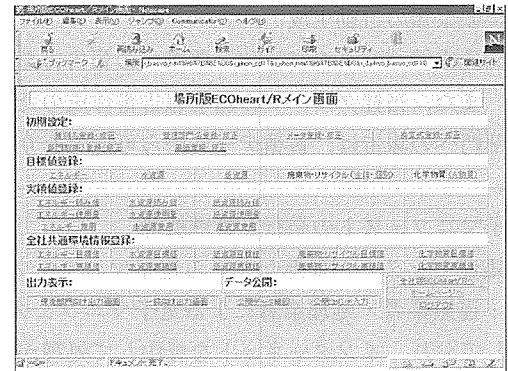


図 5. 場所版ECOheart/R画面表示例1 (メニュー画面)

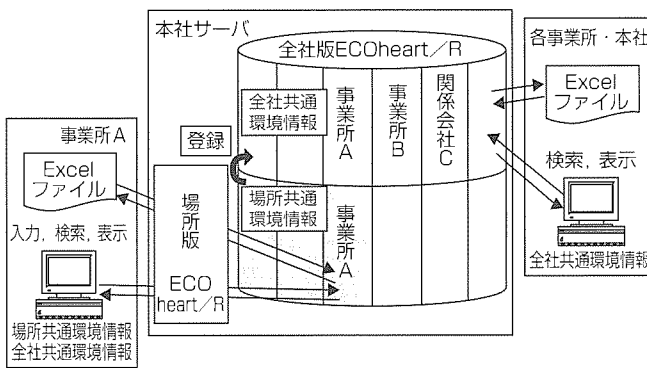


図 4. ECOheart/Rシステム構成図

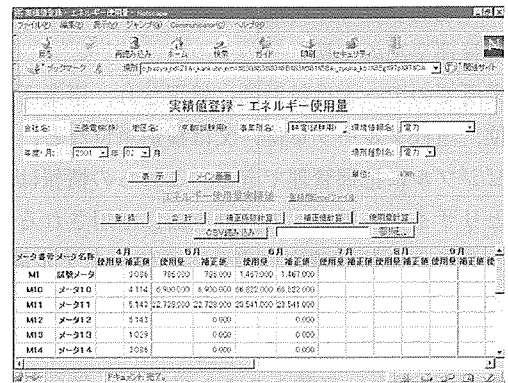


図 6. 場所版ECOheart/R画面表示例2 (メータごとの電力量入力)

に示す。

このシステムの仕様確定に当たっては、モデル場所(映像表示デバイス製作所)の詳細な業務フローを調査・分析し、ECORates開発推進ワーキンググループでは当社の5事業所(電力・産業システム事業所, 鎌倉製作所, 静岡製作所, 映像表示デバイス製作所, 名古屋製作所)が参画し、実業務への適用性を検討した。

### 2.3 クリーン情報管理システム

1998年12月に制定された改正廃棄物処理及び清掃に関する法律, 及び2000年6月に公布された循環型社会形成推進法, 改正廃棄物処理法, 資源有効利用促進法では、廃棄物などに関する規制が強化されている。これに伴い、企業での廃棄物などの再資源化, リサイクル拡大, 及び最終処分の確認など, 排出者責任が拡大される。遵法への対応と業務管理強化のため、情報処理技術の導入による業務の改善が必要であり、これに対応するためにシステムを開発した(図7)。

#### 2.3.1 目的とねらい

- (1) 廃棄物などの処理業務の標準化・効率化
- (2) 廃棄物などの処理に関する法規遵守の支援

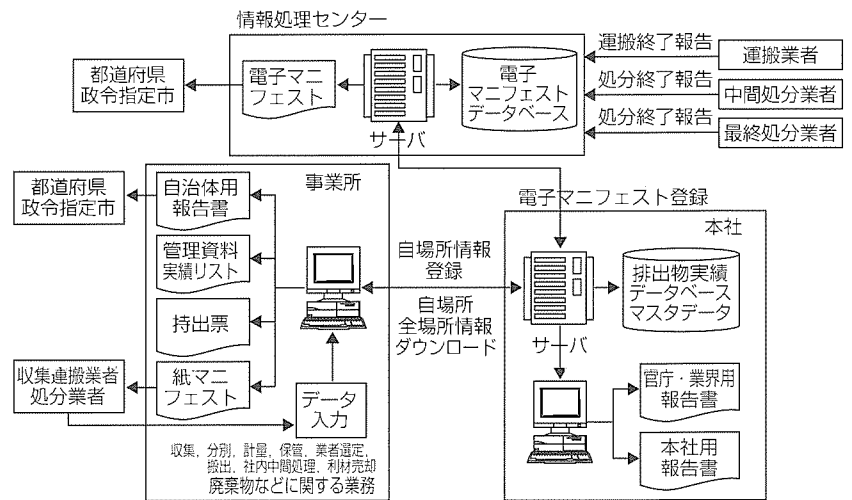


図 7. クリーン情報管理システム構成図

- (3) 全事業所での廃棄物及び利材情報の共有化による業務コストの削減
- (4) 廃棄物などの削減とリサイクル拡大のためのデータ分析支援

#### 2.3.2 基本機能

- (1) 各事業所での廃棄物処理に関する業務支援

廃棄物及び利材を処理工程ごとに処理量・再資源化量・最終処分量等を端末で入力し、ビジュアルに検索・管理把握できる。

(2) 各種帳票類の自動生成

環境関連実績データの自治体・業界への報告書を自動作成する。また、当社グループの環境報告書作成のための本社管理部門への報告は、蓄積データから可能となり合理化される。

(3) 電子マニフェストの発行と管理機能

情報処理センターが推進している電子マニフェスト(排出業者・運搬業者・処理業者による電子マニフェスト)と統一化しており、インターネットを経由して処理が可能である。また、従来の紙によるマニフェスト情報を電子化したので、当社グループとしてすべてのマニフェスト情報は、電子的に一元的な管理が可能となる。

(4) 環境管理業務の支援

各事業所でのデータは統計的に処理され、事業所単位、全社単位、当社グループ単位、又は種別単位など、オンラインでビジュアルに把握管理できる。これらの情報は、資源の削減とリサイクル拡大への活動支援に活用される。

このシステムの仕様確定に当たっては、モデル場所(名古屋製作所)の詳細な業務フローを基に検討を進めた。また、クリーン情報管理システム構築ワーキンググループでは、4事業所(電力・産業システム事業所、鎌倉製作所、名古屋製作所、福山製作所)がこのシステムの適用性の検討と社内導入の支援を行った。

クリーン情報管理システムの画面表示例を図8、図9に示す。

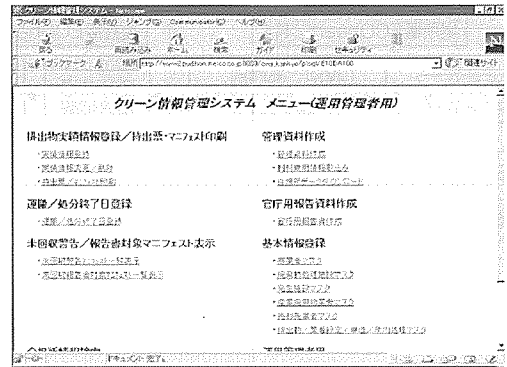


図8. クリーン情報管理システム画面表示例1

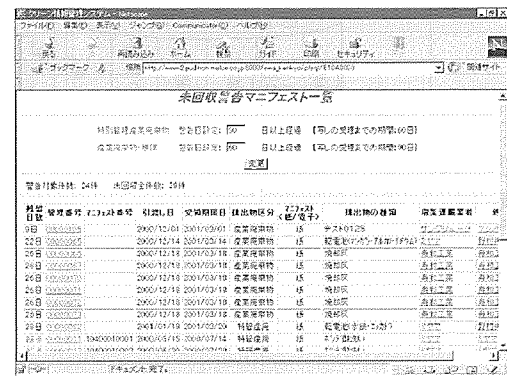


図9. クリーン情報管理システム画面表示例2

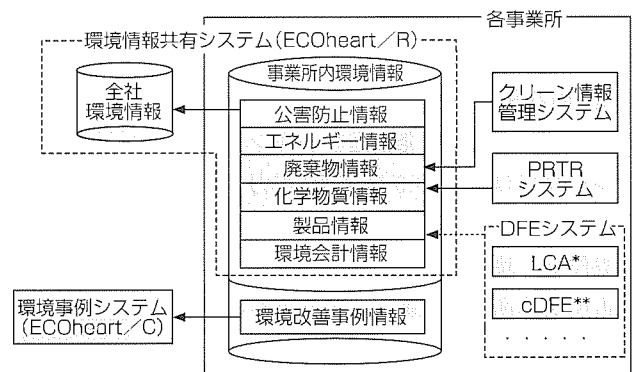
3. 環境統合情報システム“ECOrates”の今後の計画

表1に示したとおり、現在、一部のサブシステムは当社とグループ会社に導入されている。しかし、今後ますます強化される環境法規制、情報開示へ迅速に対応するためには、社内導入システムを早急にグループ会社へ導入していかねばならない。さらに、グループ内の環境情報管理基盤を強化するため、図10に示すような種々の環境情報を管理し統合化するECOratesの構築を計画している。

4. む す び

環境問題に対する企業の責任はますます拡大してきており、最近では“環境経営”という言葉も一般的になってきた。事業ごとの業績評価に環境への取組の度合を組み入れることによって環境経営を推進する企業も現れ、様々な環境問題に対し、グループ全体としていかに迅速に効率的(経済合理的)に対処できるかが企業の重要関心事になっている。

ECOratesの構築は、このような要請にこたえるために始まったプロジェクトであるが、今後、グループ内でのシステム開発・運用・推進体制を整備し、三菱電機グループ全体の“環境経営”を支えるインフラとして機能していかね



図中の網掛け部分は構築済み又は構築中

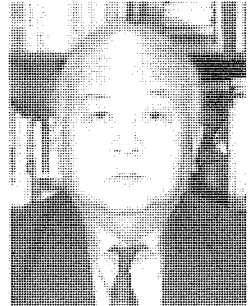
\* LCA : Life Cycle Assessment (製品ライフサイクル評価)  
\*\* DFE : Design For Environment (環境適合設計)

図10. ECOrates全体構想

ばならない。また、開発されたシステムの一部は、既にグループ会社でASP(Application Service Provider)として事業化されているが、今後も開発済みシステムを順次ASP事業化していく予定である。他社でシステム開発を行わずに済むように、これらの利用を提供することで各社の環境管理業務を支援し、広く環境改善に寄与できるものと考えている。



II 明日の風



大阪大学  
ラジオアイソトープ総合センター

教授 山本幸佳

“Tomorrow is another day!”は、映画「風と共に去りぬ」のラストシーンでスカーレットが天を仰いで力強く叫んだセリフである。確か、そのときの字幕には“明日に希望を託して!”と出たように記憶している。レット・バターにも去られて再出発を期す彼女の心情をズバリ言い表した名訳で、作者ミッチェルもこの訳には満足したことであろう。この言葉が結構気に入って時々使ったりしていたが、後になって念のため辞書(岩波英和大辞典)をひも(紐)解いてみると、何と“明日は明日の風が吹く”と訳してあった。この訳それ自体には、あの印象的なシーンがなければ、正に言い得て妙、なるほどと感心させられた。同じ言葉がその使う場面によって異なるニュアンスを持つのは当然であるが、この二つの名訳には雲泥の差があるように思われる。前者には未来志向型の攻めの姿勢があり、後者には東洋的自然観に基づく待ちの姿勢、やや楽観的な人生観が伺える。しかし、どう考えても、あの印象的な場面でスカーレットが石原裕次郎ばりに“明日は明日の風が吹かー”とうそぶいたのでは、折角の名画が台なしになってしまう。

ところで話は飛躍するが、原子力にとっては“Tomorrow is another day!”なのであろうか。もしそうであるなら、どちらの訳がふさわしいのだろうか。少なくとも学生時代に光輝く明日を夢見て原子力の世界に飛び込んだ世代にとっては、この30年ほどの間にその光が消え失せて明日が見えなくなってしまった状況だが、それでもその明日に希望を託してきたつもりである。しかし、21世紀初頭も原子力にとって冬の時代であることに変わりはない。高速増殖炉の再開は無論のこと、プルサーマル計画でさえもなかなか進展を見せない。ましてや、原子力発電所の新設などは現状では不可能に近い。力強く叫べば叫ぶほど逆効果をもたらしているようである。力強く叫ぶことにもそろそろ疲れてきた。ここは一つ頭を低くして、今日の逆風をやり過ごし、慌てず騒がず東洋流に明日吹くかもしれない順風を待つしかないのであらうか。

原子力産業の低迷と世間の風の冷たさが若者たちに敏感

に反映し、理工系学部の学生が最終進路を選ぶ際に、原子力を第一志望にする者が激減してしまっている。この現状は、何とかしなければ、原子力関連技術の伝承という面からも大問題である。成熟した原子力が今なお興味を持てる学問分野であることを学生たちに示さなければならない。

原子炉本体は冬の時代であっても、原子炉周辺計装機器はまだまだ発展の余地はある。ここ10年ほどの放射線計測器の進歩は目覚ましいものがあり、ソフト面は無論のこと、ハード面でも光ファイバ、常温半導体素子、輝尽性発光素子などが次々と放射線計測技術に取り入れられるようになって、小型・軽量・安価というメリットばかりでなく、不可能と思われていた計測までが可能になり、原子力関連分野に大きく貢献しつつある。その辺の現状を把握し、少なくとも専門家集団の間での心強い共通認識を持つために、原子力学会の中に筆者が主査となって“原子力・放射線施設計装技術の高度化”研究専門委員会を設けて、平成10年から情報収集等の活動を続けている。その中でも話題を呼んだ代表的な技術の幾つかがこの特集にもまとめられている。三菱電機の放射線計測技術の水準の高さと先端技術への挑戦意欲を示すものである。

原子炉本体の産業に再び春風が吹くまでその技術は温存しつつ、原子炉計装技術の高度化と、その成果の加速器や核融合実験装置周辺、さらには医療関係への応用という具合にすそ(裾)野を広げていく努力も必要であることは言うまでもない。風向きを変えることは抵抗も大きくエネルギーを消耗するが、さりとて風まかせではらち(埒)が明かない。やはり明日に順風を呼び込むべく、その通路の整備を怠ってはなるまい。

“Tomorrow is another day!”は単純ではあるが奥深い言葉である。状況や時代背景に応じてそのニュアンスが変わる。今の原子力にとっては、風に例えるよりも、新潮文庫の訳“明日はまた明日の陽が照るのだ!”とした方が若手研究者にも期待感を抱かせることになるのかもしれない。

# 放射線計測に関する技術の現状と展望

早川利文\*

## 要旨

三菱電機では、原子力発電所の放射線を監視するシステムを1969年から全PWR(Pressurized Water Reactor：加圧水)型プラントを対象に納入してきている。

一方、放射線監視システムは、原子力発電所以外の原子力関連施設、例えば研究所や病院など放射性物質を取り扱う施設では必ず必要とされている。特に重粒子線、陽子線によるがん治療や非密封放射性物質を利用した医療診断が脚光を浴びだし、その施設の増加も著しい。

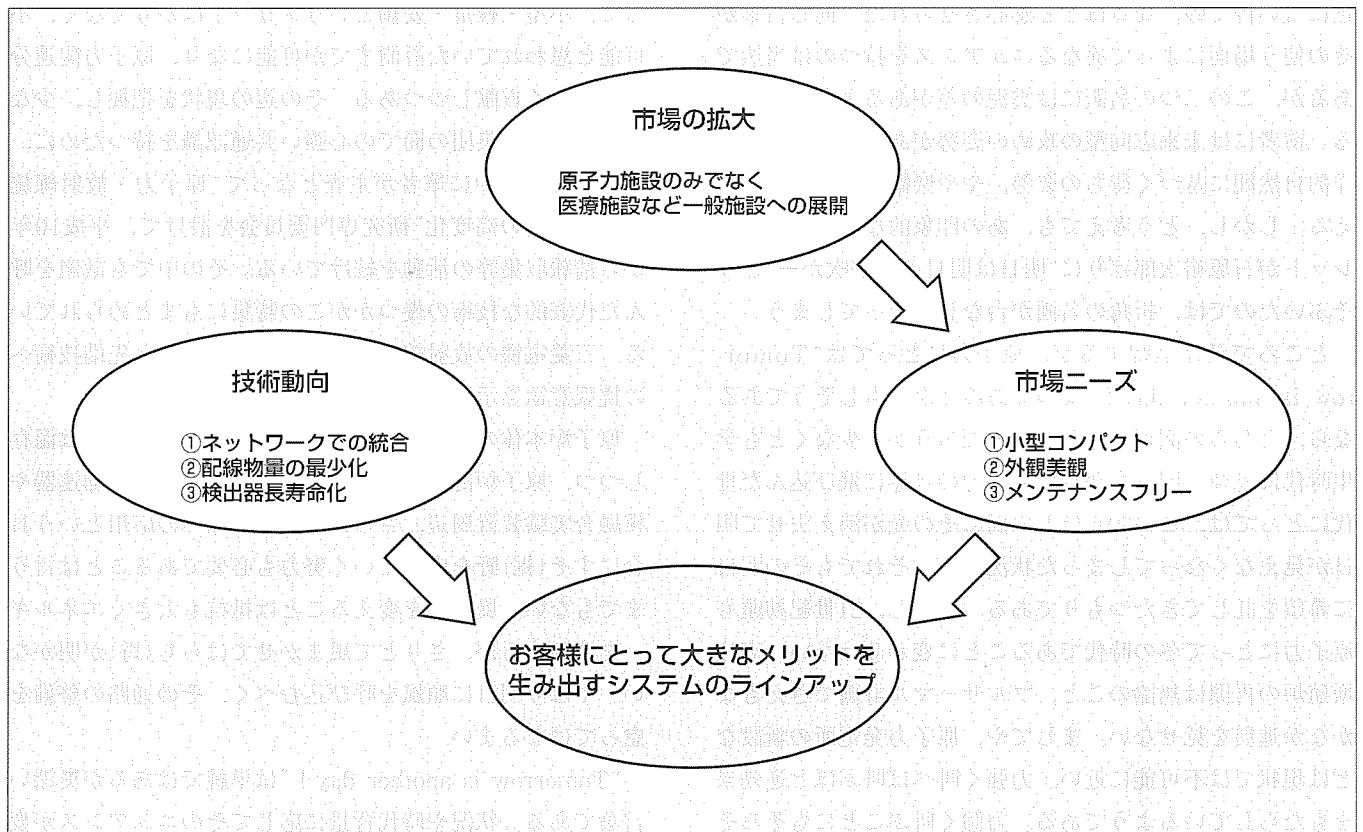
このような市場環境の下、放射線計測への要求も従来から大きく変わってきている。従来は、確実に計測さえできればシステム構成機器の外観や形状への要求はなかったが、人目につきやすい配置となる一般の施設では、コンパクトで、外観等に対する要求もでてきている。また、放射線監視の専門家のいない施設での設置ということから、メンテ

ナンスを最少にしたいというニーズも強い。

さらに、今後は、ネットワークを介した放射線計測機器と他の関連システムとの統合や、メンテナンス情報をメーカーへ伝送し、メーカーの保守サービスセンターでのシステム監視、メンテナンスサービスを集中的に実施していくシステムへ発展させていく。また、検出器そのものも、従来タイプから半導体式への切換えが進み、より小型化、長寿命化が図られていくことも想定される。

当社では、長年、原子力発電プラント向けの放射線計測で培ってきた放射線計測技術と最先端の計算機、通信技術を応用し、病院、研究所等の汎用放射線計測市場向け機器のラインアップの充実を図り、お客様にとって大きなメリットを生み出すシステムの提供をしていきたいと考えている。

特集  
II



## 放射線計測に関する技術の現状と展望のイメージ

市場動向を踏まえたニーズ及び技術動向をつかんで、競争力のある放射線計測機器のシリーズ及びシステムを展開していく。

## 1. ま え が き

従来、放射線計測と言えば原子力発電プラント、原子力関係の研究機関で使用されることがほとんどであったが、近年、重粒子線、陽子線によるがん治療、非密封放射性物質を利用した医療診断が脚光を浴びだし、そのための施設も急速に増加しつつある。

このような市場環境の中で、放射線計測に対する要求も従来から大きく変わってきている。

従来は確実に放射線が計測できれば外観や大きさは特に重要視されなかったが、最近では、病院等の人目に触れやすい所に設置されるため、よりコンパクトで、外観もスマートな検出器が要求されている。また、保守を行う部門も放射線計測の専門家もいないことから、ほぼメンテナンスフリーの要求も出てきている。

また、最近のマイクロエレクトロニクス技術の進歩による超小型のコントローラを放射線検出器に組み込んで汎用ローカルネットワークで接続することにより、放射線管理のシステム化が行われている。このようなシステム化により、放射線管理の機能として、単に放射線の計測・監視のみではなく、放射線管理の関連機能である入退出管理、個人被ばく(曝)管理機能との統合化が容易に実施できる構成となってきた。

今後、更に、配線・工事量の削減、装置の小型化、他のシステムとの統合が進んでいくものと考えられる。

以下、放射線管理分野の技術動向と今後の展望について述べる。

## 2. 検出器の技術動向

放射線センサは、原子力プラントや加速器施設、診断やがん治療などの医療分野、非破壊検査を始めとする工業分

野など、多種多様な分野で使用されている。多くの場合、放射線センサはシステムの信頼性や被曝低減に重要な役割を担っており、高信頼性化や高精度化はもちろん、小型化・低コスト化の要求が強くなっている。さらに最近では、放射線のイメージングに関する研究開発も活発に行われている。

最近の放射線検出器は、半導体検出器や光応用などの研究開発が活発に行われている。半導体検出器においては常温で動作する高感度・高エネルギー分解能を得るために様々な材料について研究されており、実用に十分耐え得るものも開発された。また、光応用検出器としては、高速・高出力の新たなシンチレータ材料や最近の光ファイバ技術の発展により、電磁ノイズに強いという特長を生かして新しいタイプの検出器の開発が進んでいる。また医療や非破壊検査の分野では、放射線のイメージングについての研究開発も活発に行われている。従来はX線フィルムが主流であったが、繰り返し使用でき扱いも簡便なイメージングプレートが普及しつつある。また、高速・高感度・高位置分解能を備えたピクセル状の半導体を用いた放射線イメージング装置も開発されてきた。これらの放射線画像はデジタル化されているため、検索・伝送の容易性や保存スペースの削減など、従来に比べ操作性が格段に向上される。

当社においても、放射線センサの高度化、及び新手法の開発を行っている。光ファイバ放射線モニタは、放射線の入射によって蛍光を発するシンチレーションファイバを用い、放射線の分布を一つのシステムで測定できることが特長である。このモニタは、測定に光を用いているので、電磁ノイズに影響されることがなく、原子力プラントの作業者の被曝低減、放射性物質の移送状態の監視、及び加速器の粒子ビーム位置調整用のモニタへの適用が可能である。また、半導体を用いた放射線モニタとしては、近年、良質

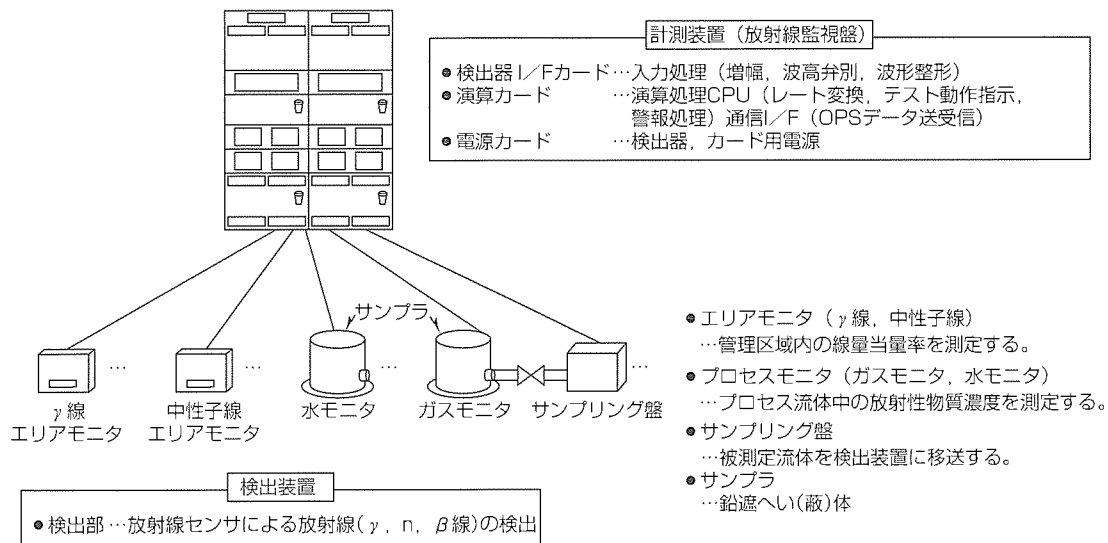


図 1. 現状の放射線計装システムの構成



図2. 放射線監視盤の外観

の結晶が得られるようになった常温動作型の半導体素子を用い、各種モニタに適用できるように高感度化・高信頼性化の開発を行っている。さらに、今後の高齢化社会に対するニーズとして、高精度、高信頼性が要求される医療用の放射線センサの開発も行っている。

その一つとして、がんの放射線治療に用いる放射線発生装置のビーム状態をモニタするがん治療用深部線量測定装置を開発した。この装置は、シンチレーションファイバを束ねたブロックを検出部としており、従来数時間かかっていた測定時間を数分に短縮することができる。この装置により、放射線発生装置の調整や治療のプランニングなど、医療現場における作業の効率化が期待される。

今後も、原子力プラント、医療を始め、その他の分野においても拡大していくニーズを的確にとらえた技術開発を行っていく。

### 3. 計測系の技術動向

#### 3.1 現 状

現状の放射線計測システムの構成を図1に示す。

検出器は現場に設置し、計装部は複数の電子回路基板の組合せで実現しており、この電子回路基板を収納するカードフレーム(ユニット)を電源等と合わせて盤(放射線監視盤)に収納している。

放射線監視盤の外観を図2に示す。

放射線検出器からの信号は微小なパルス信号であるため、ノイズ対策には細心の注意を払い、検出器、プリアンプは電磁シールドしたケースに収納している。また、検出器と放射線監視盤の間のケーブルについてもノイズ対策を実施している。

#### 3.2 最新システム

新しい放射線監視システムでは、検出器ユニットの中に演算機能と通信機能を持った超小型コントローラを組み込

んで、この超小型コントローラで検出器からの信号を入力し、演算処理後のデジタルデータを直接ネットワーク経由でデータ処理を行うパソコンに送信を行う構成としている。

これにより、従来は線量当量率計算や警報演算のために必要であった放射線監視盤が不要となり、かつ信号伝送についても光ケーブルで行うため、完全なノイズフリーの通信が可能となっている。

ローカルネットワークには必要に応じてサンブラ等の放射線計測用や情報表示器などの制御コントローラ及び入退出管理用機器等の現場設置機器も接続でき、小規模の施設/プラントであればすべての現場機器をこのローカルネットワークで統合(接続)することも可能となる。

新型放射線計装システムの構成を図3に示す。また、 $\gamma$ 線エリアモニタの内部システムの構成を図4に示す。

### 4. 統合型放射線管理システムの技術動向

放射線管理システムにおいては、放射線監視設備(施設内監視、施設外環境監視)、個人被曝管理装置(入退域管理、扉管理、カードリーダー、個人線量管理装置等)の種々の装置類が存在する。

これらの装置類は各々独立しており、また、標準規格でのシステム化が容易ではなかった。

今後は、これらの装置間においても標準化、統合化を進め、ネットワークで接続され、1台の端末からすべての情報の監視・管理が可能となるようにシステム化を行っていく。

当社では、これを実現するために、これらの装置に超小型のコントローラを組み込み、小型化を実現するとともに、汎用のローカルネットワークで接続することができるようなシステムを開発した。

今後、各装置間の接続にPHSや無線等を利用した配線の

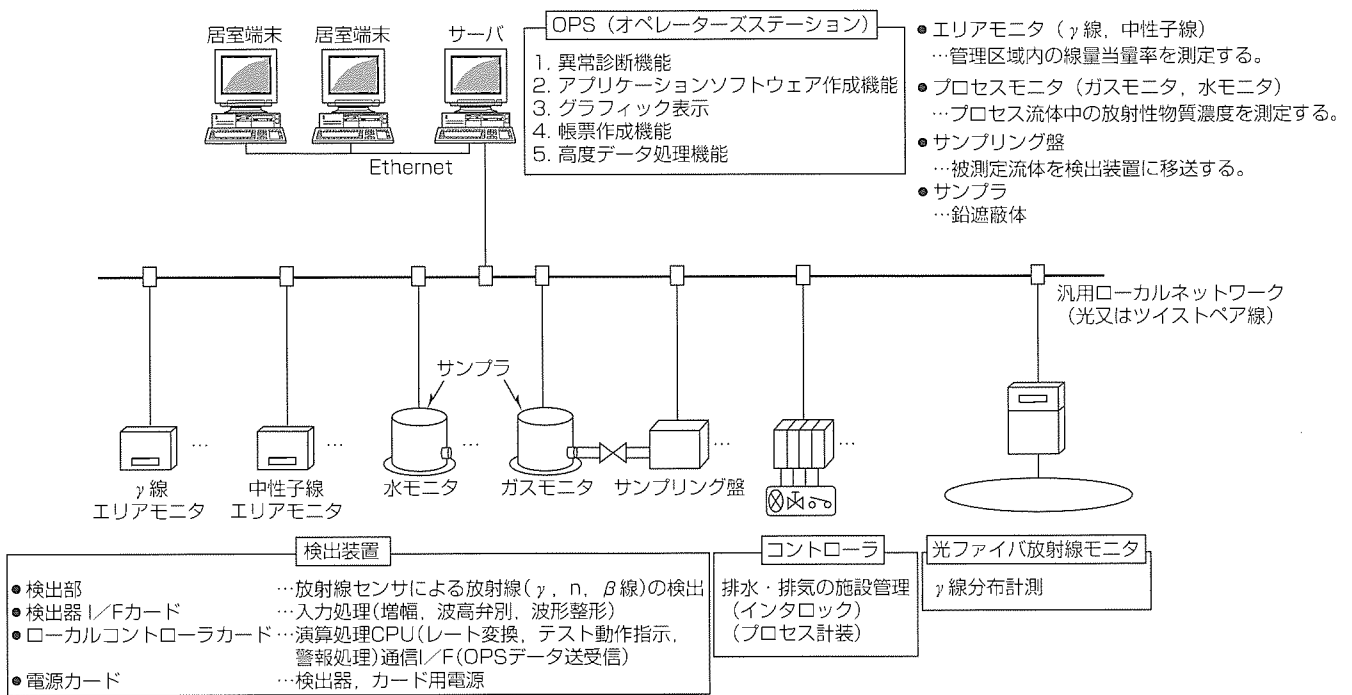


図3. 新型放射線計装システムの構成

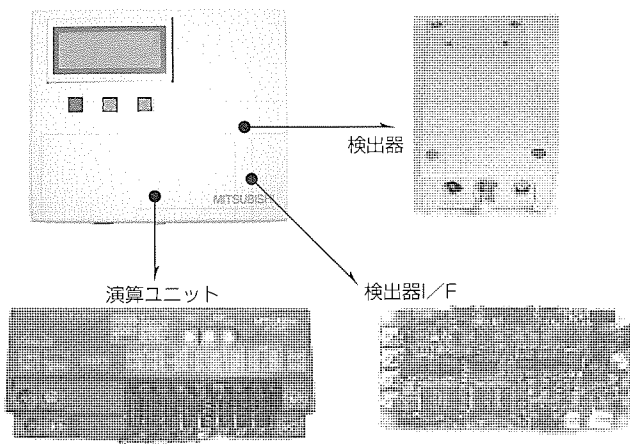


図4. γ線エリアモニタの内部システムの構成

ないシステムの構築を進めていく。

また、お客様と工場の保守サービスセンターとの間を公衆回線で接続を行い、機器の異常診断、万一トラブル発生時の技術サポート、定期交換部品等の管理をオンラインでお客様に提供するようなサービスも実施していく。

### 5. む す び

以上、放射線計測に関する技術の現状と展望について述べた。当社では、お客様のニーズを先取りし、競争力のあるシステム及び機器のラインアップを充実し、放射線計測市場への展開を図っていく所存である。

# 新型放射線管理システム

## 要旨

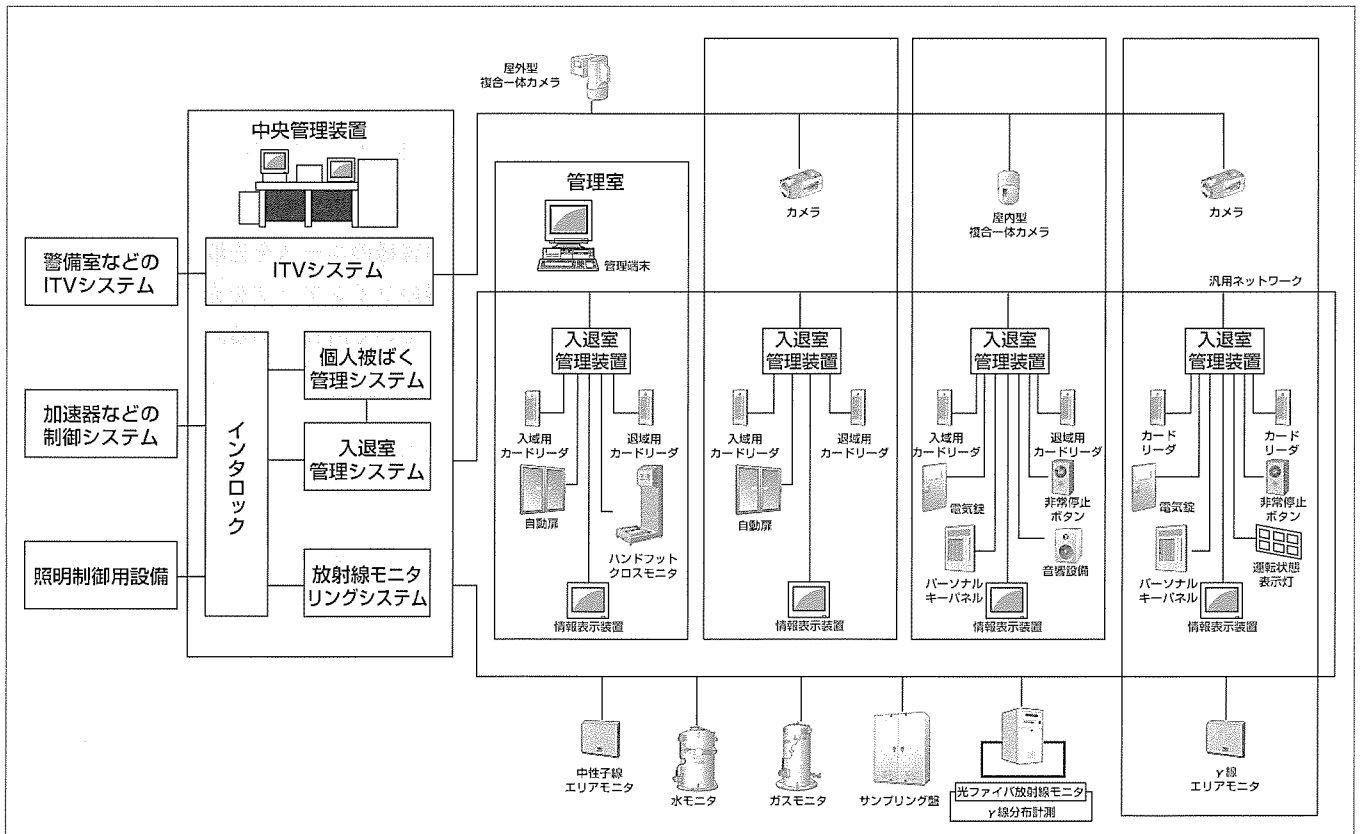
放射線管理システムは、放射線管理区域への人の入退室管理や放射線測定装置から得られる放射線に関する情報の管理などを行うシステムである。

三菱電機は、放射線管理システムの開発とその適用について、積極的に取り組んでいる。放射線管理業務の様々な運用ノウハウと放射線管理システムを構成する各測定装置からシステム全体を一括して納入できる製品を持っており、システム運用及びメンテナンス性に優れ、かつ信頼性の高いシステムを提供している。

新型放射線管理システムは、①機器及び各機器のインタ

フェースは、標準規格のものを適用することにより、メンテナンス性に優れ、かつ優れたシステムを実現させる。②コンピュータでの被ばく管理系処理と放射線監視系処理を分散させることで処理応答を向上させる。③構成計算機の単一故障で機能喪失に至らない設計とするため、バックアップシステムとする。をコンセプトとしてシステムを設計している。

本稿では、新型放射線管理システムの概要、システムの考え方、各測定装置の機能について述べる。



## 放射線管理コンピュータシステム

放射線管理システムは、個人被ばく管理システム、入退室管理システム、放射線モニタリングシステム、及びそれらを統合的に管理する放射線管理コンピュータで構成する。放射線管理コンピュータは、各装置からの放射線測定データをオンラインでリアルタイム処理し、データ表示、データ保存を行う。機能ごとにサーバを分散することにより、システム運用、メンテナンス性、性能向上を図っている。



1. ま え が き

放射線管理システムは、原子力発電所等の原子力関連施設や放射線利用施設において、施設内外に設置した各種測定装置から得られる放射線に関する情報を総合的に管理するとともに、管理区域内への入退室管理、及び機器インタロック動作を行うシステムである。三菱電機では、放射線管理システムを構成する各測定装置からシステム全体を一括して納入できる製品を持っている。

本稿では、新型放射線管理システムの概要等について述べる。

2. 放射線管理システムの概要

2.1 システムの概要

放射線管理システムは、個人被ばく管理システム、入退室管理システム、放射線モニタリングシステム、及びそれらを統合的に管理する放射線管理コンピュータシステムで構成している。放射線管理システム全体システムの構成を図1に示す。また、以下に各構成装置の概要を述べる。

(1) 個人被ばく管理システム

放射線管理区域では、個々の作業従事者の被ばく線量について測定・記録を行うことが法令・基準によって義務づけられている。個人被ばく管理システムは、放射線管理区域内で働く放射線作業従事者の被ばく管理を行う装置である。個人ごとの被ばく線量を測定する個人線量計、退域者の身体表面の放射性物質による汚染の有無を検査するハン

ドフットクロスモニタ、体表面汚染モニタなどがある。

(2) 入退室管理システム

入退室管理区域では、それぞれの入退域(室)に非接触式IDカードによって放射線安全管理(入域資格、放射線の資格チェック等)を行い、不用意な管理区域への立入りを制限することによって入退室管理を行う。また、各部屋の出入口においてもIDカードを監視することにより、入退室状況の把握を行い作業者の入退を管理する。

(3) 放射線モニタリングシステム

放射線管理区域内の放射線の監視が必要とされる系統及び区域では、放射線検出器を設置し、放射性物質の放出及び作業環境に関する放射線の管理を行う。放射線モニタ装置には、排水に含まれる放射性物質濃度を測定する水モニタ、管理区域内の放射線線量当量率を測定するエリアモニタなどがある。

また、放射線を取り扱う施設周辺では、一般公衆の安全のために、施設からの放射線による影響がないかを監視する環境放射線モニタ装置を設置する。環境放射線モニタ装置には、空間放射線による人体の外部被ばく線量を推定するために空間線量率を測定する線量率モニタ、人体を取り巻く空気中の放射性物質濃度を測定するダスト・よう素モニタなどがある。

(4) 放射線管理コンピュータ

放射線管理コンピュータは、個人被ばく管理システム、入退室管理システム、放射線モニタ装置、環境放射線モニタ装置からのデータをオンラインでリアルタイムに処理し

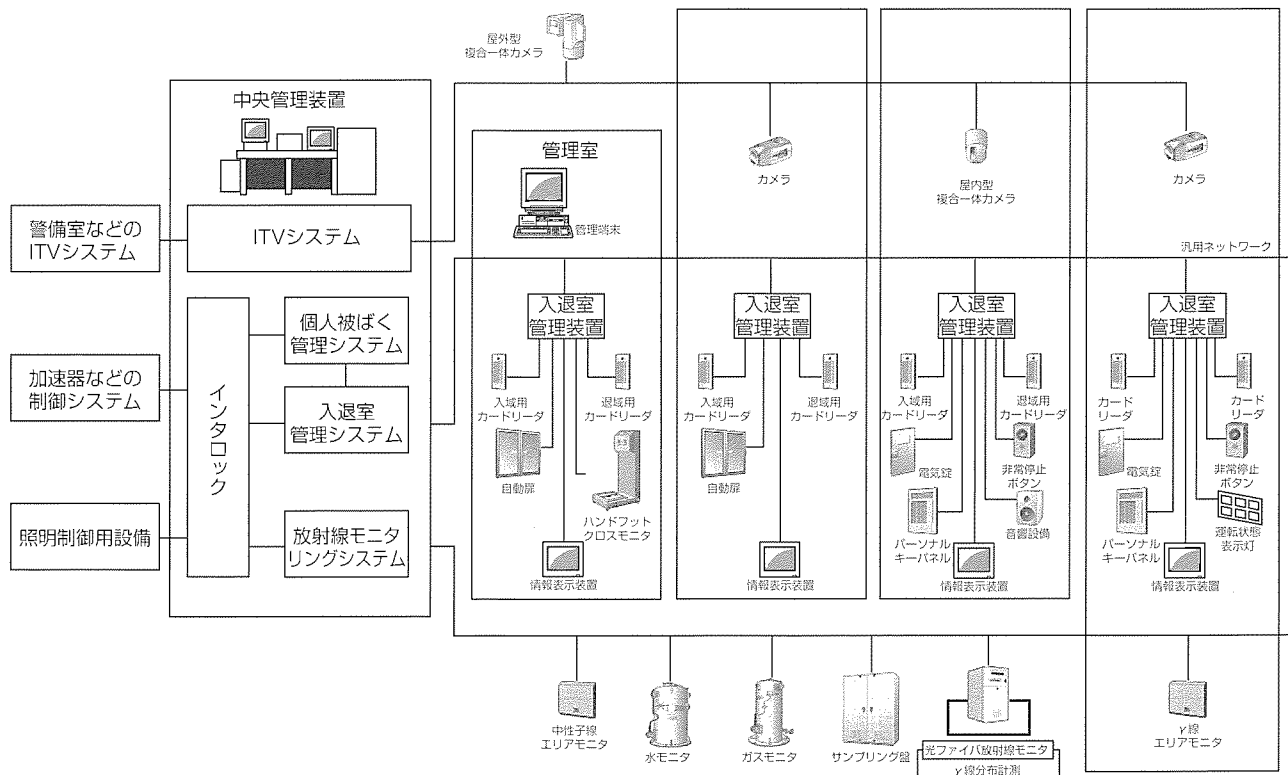


図1. 放射線管理コンピュータシステムの構成

特集 II

保存するためのもので、放射線管理サーバ、情報管理装置、リモート監視管理端末、プリンタ装置で構成している。放射線管理システムと各種装置間の接続には、汎用ローカルネットワークで接続する。

表1に放射線管理コンピュータを構成する各装置の概略仕様を示す。

## 2.2 システムの考え方

当社では、次に示す考えに基づいて放射線管理システムを設計している。

- (1) 機器及び各機器のインタフェースは、標準規格のものを適用することにより、メンテナンス性に優れたシステムを実現させる。
- (2) 計算機での被ばく管理系処理と放射線監視系処理を分散させることで処理応答を向上させる。
- (3) 構成計算機の単体故障で機能喪失に至らない設計とするため、計算機間でバックアップを行うシステムとする。

## 2.3 システムの機能

### 2.3.1 放射線管理コンピュータ

放射線管理システムにおいて、放射線管理コンピュータの役割は、各装置からの放射線測定データをオンラインでリアルタイム処理し、データ表示、データ保管することである。従来のシステムのように1台の計算機ですべての管理を行うと処理負荷大となり計算機障害のため全機能喪失等という問題があった。当社では、機能ごとにサーバを分散することにより、システム運用、メンテナンス性、性能向上(信頼性向上)を図っている。

以下に、放射線管理コンピュータを構成する装置の機能概要を示す。

#### (1) 放射線管理サーバ

システム全体のデータを集約し管理する。また、管理情

報のメンテナンスを行う。

#### (2) 情報管理装置(入退室管理用)

従事者、作業区別、被ばく管理、そのほか登録情報等の個人情報の管理を行う。基本的な画面として、従事者登録画面を図2に、従事者一覧画面を図3に、入退履歴表示画面を図4に示す。

この装置では、収集した情報を放射線管理サーバに格納する。また、装置に障害が発生した場合、放射線管理用の情報管理装置経由に切り換えることでバックアップを可能としている。

#### (3) 情報管理装置(放射線監視用)

放射線モニタに対する設定及び測定値をローカルネットワーク経由で各測定器から収集し、格納する。基本的な画



図2. 従事者登録画面

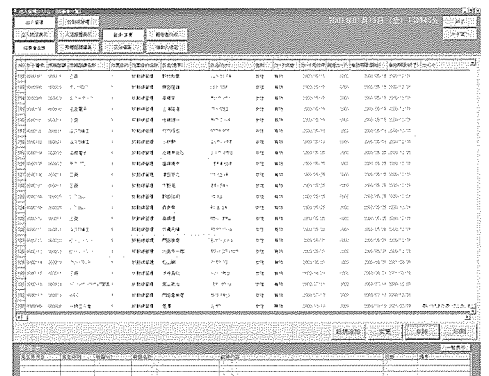


図3. 従事者一覧画面

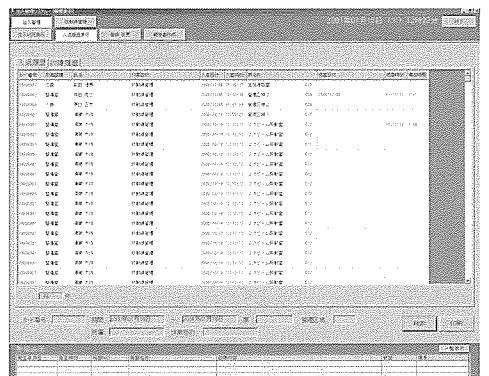


図4. 入退履歴表示(入退)画面

表1. 放射線管理コンピュータを構成する各装置の概略仕様

装置名	主な仕様	用途
放射線管理サーバ	計算機：EWS(ME-R, Ultra10相当) OS：HP-UX, Solaris 7 サーバ：Oracle 8 メモリ：512Mバイト以上	<ul style="list-style-type: none"> <li>●データの集約管理</li> <li>●管理情報のメンテナンス</li> </ul>
情報管理装置 (入退室管理用)	計算機：Windowsマシン OS：Windows メモリ：256Mバイト以上	<ul style="list-style-type: none"> <li>●従事者、作業、その他登録情報の管理</li> <li>●被ばく管理データの格納</li> </ul>
情報管理装置 (放射線監視用)	計算機：Windowsマシン OS：Windows メモリ：256Mバイト以上	<ul style="list-style-type: none"> <li>●放射線モニタの設定</li> <li>●放射線監視データの格納</li> </ul>
リモート管理端末	計算機：Windowsマシン OS：Windows メモリ：64Mバイト以上	<ul style="list-style-type: none"> <li>●データ、情報の表示</li> <li>●各種設定</li> </ul>
プリンタ	方式：半導体式レーザー 印字色：モノクロ、カラー	

(注1) "Oracle 8"は、Oracle Corp.の米国における登録商標である。

(注2) "Windows"は、米国Microsoft Corp.の米国及びその他の国における登録商標である。

(注3) その他記載されている会社名、製品名は各社の商標又は登録商標である。

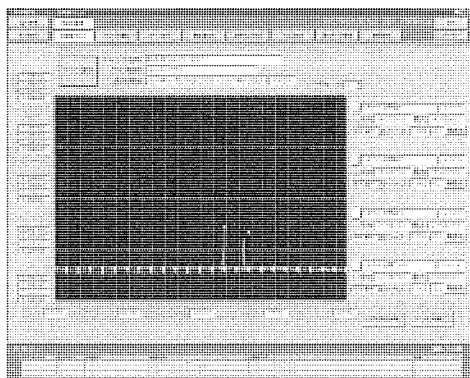


図5. 放射線モニタ・トレンドグラフ画面

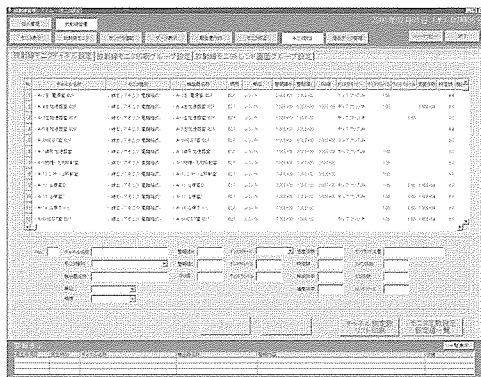


図6. 定数設定画面

面として、放射線モニタ・トレンドグラフ画面を図5に、定数設定画面を図6に示す。

この装置では、収集した放射線モニタの情報を定期的に放射線管理サーバに格納する。また、装置に障害が発生した場合、被ばく管理用の情報管理装置経由に切り換えることでデータ収集を続けることができる。

(4) リモート監視管理端末

各種情報の表示及び設定値の変更を行う。セキュリティ上、パスワード管理により、表示/設定値変更が行えるように制限している。

2.3.2 入退室管理システム

入退室管理システムについて、その概要を示す。

入退室管理システムは、管理区域の出入口ごとに設置し、カードリーダーを用いて作業者の入退室の管理を行う。また、この制御装置は、入域に必要な最小限の管理情報を蓄えているため、不測の事態(サーバやネットワークがダウン等)においても、IDカードのチェックを行い扉開閉を実施する単独動作モードを備えている。

入退室管理システムを構成する各機器について概略機能を以下に示す。

(1) 入退室管理端末

カードリーダー(扉制御装置経由)からの情報として、個人情報、作業目的、場所等の入力/確認を行う。カードリーダーから入力したIDカード情報を情報管理装置(入退室管理

用)に照会し、扉開閉を行う。また、情報管理装置との接続が不可の場合でも、必要最小限の情報を格納しておき、チェックを可能としている。

(2) カードリーダー

非接触型のカードリーダーとしており、入域者の照会情報用の読み取り装置である。入退室管理制御装置を経由し、入退室管理装置に情報を照会する。IDカードはカードリーダーからの電波によって信号を発生するため、バッテリーの交換は不要である。

(3) 人物検出装置

入退域者の人数を、IDカードによる以外にも、人物検出装置でも把握する。IDカード所有者が入域時にカード非所有者も一緒に入域することのないように、人体検出装置のセンサによって入出者をCCDカメラにて監視し、警報等を出力する。

2.3.3 放射線モニタリングシステム

放射線モニタ装置は、管理区域内の空間放射線量率や、空気中や排気・排水中の放射性物質濃度のレベルを測定し監視する。また、あらかじめ設定した警報レベルを超えると警報を発信する。この装置は、検出器信号処理ユニット内に演算機能・通信機能を持った超小型コントローラを組み込んでおり、この超小型コントローラで検出器からの信号を入力し、演算処理後のデジタルデータをローカルネットワーク経由で放射線管理用の情報管理装置に送信する。また、ローカルネットワークには必要に応じてサンプラ等の放射線計測器や情報表示器等の制御コントローラ、入退室管理用機器も接続でき、現場機器は、このローカルネットワークで統合(接続)することが可能である。

また、環境放射線モニタ装置は空間の線量率を測定する装置であり、検出器は、低線量用としてNaI検出器、高線量用として電離箱検出器を適用している。モニタ装置には、検出器温度を一定に制御するための温調器、線量率表示を行う表示器ユニット及び記録計を装備している。また、テレメータ出力としての出力仕様(パルス、接点出力)を備えている。

3. む す び

以上、新型放射線管理システムの概要について述べた。当社のシステムは、最新のハードウェア、パッケージソフトウェア及び汎用LANを適用し、放射線計測機器から入退室管理システムまでを基本システムとして、ユーザーの様々な放射線管理に対する要求及び機能を盛り込んだトータルシステムを実現できるようになった。今後も、ユーザーの声を反映し、より一層の運用性及び保守性に優れたシステムの製品化へ積極的に取り組んでいく所存である。

特集 II

# 半導体型放射線センサ

今川清作\*  
泉 伸幸\*  
西沢博志\*\*

## 要 旨

PWR型(Pressurized Water Reactor：加圧水型)原子力プラントの放射線計装システムは、測定対象が $\beta$ 線と $\gamma$ 線であり、従来はGM計数管(Geiger-Müller Counter)や電離箱、シンチレーション検出器が用いられてきた。これらの放射線モニタの長寿命化・高信頼性化・小型化と保守性

の向上を進めるため、センサに半導体検出器を用いることの検討を行い、各種の半導体式モニタの開発を行った。各モニタは、測定対象や周辺環境などを考慮して最適な半導体素子を選定し、半導体素子の特性に応じた設計としている。開発した半導体式モニタの例を紹介する。



## CdZnTe式 $\beta$ 線ガスモニタの外観

CdZnTe式 $\beta$ 線ガスモニタの外観は従来のプラスチックシンチレーション検出器と同じであるが、センサにCdZnTe半導体検出器を用いている。光電子増倍管が不要になり、実質的には大幅な小型化を実現できている。

## 1. ま え が き

三菱電機は、国内に23あるPWR型(加圧水型)原子力プラントにおける核・放射線計装システムを担っている。このうち、放射線監視装置は、空間又は流体の放射線レベルを監視することによって人体の防護、機器の異常の早期検知、環境への放射線放出の監視を行うものであり、発電所内の様々なエリア、プロセスに対して設けられている。これらのモニタで測定対象となる放射線の種類はβ線とγ線である。

本稿では、PWRプラントにおける放射線計測システムにおいて、センサに半導体を用いた放射線モニタについて紹介する。

## 2. 半導体検出器の特長

半導体検出器とは、放射線の作用による半導体中の電子・正孔対の生成及びその移動を利用した検出器である。普通、逆方向電圧を印加した半導体ダイオードが用いられるので、半導体ダイオード検出器、半導体接合検出器、また固体を用いた電離箱であるので固体電離箱、固体検出器とも呼ばれる。半導体としては、Si, Ge, CdTe, CdZnTe, HgI<sub>2</sub>などが用いられている。

### 2.1 測定原理

X線やγ線のような電磁放射線は、原子を直接電離させず、そのエネルギーの一部又は全部を電子に与え(光電効果、コンプトン効果、電子対生成)、この電子の電離能力によって電離作用を起こす。一方、α線やβ線は、電離能力があるので直接電離作用を起こす。半導体検出器は、その結果生成された電子と正孔をそのまま電極に集めることで信号を得る。そのため、半導体内部には電子や正孔を十分に加速する強い電界が必要となる。

また、電極の間は、放射線のない状態では電子や正孔がなく絶縁抵抗の高い部分(空乏層)にしておく必要がある。しかも測定に有効な電流はこの空乏層でできた電子や正孔によるため、空乏層が厚いほど感度が良くなる。

一般に半導体検出器として使用されるSiやGeのようなダイオードはp型とn型半導体を接合したものであるが、

p型に負、n型に正の逆電圧を印加すると、接合面近傍に存在する正孔と電子は互いに反対方向に移動し分極状態となるため、空乏層ができる。その結果、外部から印加した電界はほとんど空乏層に印加され、n層とp層はそれぞれ正負の電極のような働きをする。

今、これに放射線を照射した場合、空乏層で電離が起こると正孔と電子が生成されるが、この領域の電界強度は特に大きいため、正孔は負電極、電子は正電極の方向にそれぞれ移動し、外部回路に電流を通ずることになる。これは電離箱と原理的には同じ現象である。

### 2.2 半導体素子の特長

原子力発電所向け放射線検出器としては、現在、GM計数管、シンチレーション検出器及び電離箱等が使用されているが、半導体センサを検出器として採用することにより、下記の効果が得られるものと期待される。

#### (1) 長寿命化

GM計数管やシンチレーション検出器では経年劣化により1~数年で取替えが生じるが、半導体検出器では、その材質の安定性によって取替え周期は10年以上が期待され、保守コストの低減を図ることが可能となる。

#### (2) 信頼性向上

GM計数管ではガスの劣化、シンチレーション検出器では光電子増倍管の経年劣化による指示ドリフトなどの恐れがあるが、半導体検出器では、これらの問題がなく、検証試験において指示の安定性が確認されている。

#### (3) 保守性向上

シンチレーション検出器では高圧電源電圧の調整等が必要であったが、半導体検出器は、固定低電圧で動作するので、検出器調整作業が著しく削減できる。

#### (4) 小型化

半導体検出器は小型のもので十分従来どおりの検出能力を発揮することから、検出器及びサンブラ(鉛製遮へい(蔽)容器)の小型化が可能となり、省スペース、製作コスト低減につながる。

### 2.3 半導体素子の特性比較

現在よく用いられている半導体素子は、表1のような特性を持っている。これから原子力発電所に設置されている

表1. 主な半導体検出器の諸特性

半導体検出器	原子番号	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	バンドギャップ (eV)	移動度 μ (cm <sup>2</sup> /V·s)		平均寿命 τ (s)		動作温度	γ線エネルギー測定 (MeV)				
				電子	正孔	電子	正孔		0.001	0.01	0.1	1	10
Si	14	2.33	1.12	1.4×10 <sup>3</sup>	4.8×10 <sup>2</sup>			室温	■■■■■				
			1.16	2.1×10 <sup>4</sup>	1.1×10 <sup>4</sup>	2×10 <sup>-5</sup>	2×10 <sup>-5</sup>	液体窒素	■■■■■				
Ge	32	5.32	0.74	3.6×10 <sup>4</sup>	4.2×10 <sup>4</sup>	2×10 <sup>-5</sup>	2×10 <sup>-5</sup>	液体窒素	■■■■■				
CdTe	~50	6.06	1.47	1.1×10 <sup>3</sup>	1×10 <sup>2</sup>	10 <sup>-6</sup>	5×10 <sup>-7</sup>	室温	■■■■■				
CdZnTe	~46	~6	~2	(CdTeとほぼ同じ)				室温	■■■■■				
HgI <sub>2</sub>	~54	6.40	2.13	1×10 <sup>2</sup>	4	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-6</sup>	室温	■■■■■				

それぞれの放射線モニタに適した仕様を持つ半導体を選定し、検出器に搭載した。

エリアモニタ及び主蒸気管モニタにはエネルギー特性が良い素子が必要であるのでSiを選定した。また、主蒸気管モニタには高温(～90℃)下での動作が要求されるので高温タイプのSiとした。

ガスモニタには測定対象核種が放出するβ線に対する高い感度が必要となるのでCdTeを選定した。β線に対する感度はCdTeはCdZnTeとほぼ同等であるが、CdTeの方が電荷キャリアの平均自由行程が長くS/N比の優位性を考え、CdTeとした。

高レンジガスモニタはガスモニタ同様β線に対する高い感度が必要であるが、高温(～100℃)下での動作も併せて要求されるため、高温まで温度特性が良いCdZnTeを選定した。

### 3. 半導体検出器の適用例

半導体検出器を適用したモニタのうち、エリアモニタ、β線ガスモニタ(高レンジ)の2種類を例として以下に述べる。

#### 3.1 エリアモニタ

エリアモニタは原子力発電所内の定められた個所の空間線量率を測定する目的で設置され、検出器は従来GM計数管を使用していた。検出器の長寿命化、信頼性向上のため、Si半導体検出器を用いたエリアモニタを開発した。Si半導体検出器はpn接合に逆バイアスをかけ有感部分である空乏層を広げたものであり、検出器の前面に適当なフィルタを配置しエネルギー特性を平坦(坦)化させている。図1にエリアモニタの外観を示す。モニタには、検出器素子やプリアンプのほか、定期的な校正を行うためのチェック線源も内蔵されている。このモニタは、雰囲気条件(温度、湿度)が悪い場合でも安定した測定ができるように設計されている。

#### 3.2 β線ガスモニタ

β線ガスモニタの検出器には、従来、プラスチックシンチレータが用いられていた。半導体検出器の適用に当たっては、高温での使用に耐えられるように、バンドギャップエネルギーの大きなCdZnTeを選定している。半導体式β線ガスモニタは、従来型の検出器と全く同等の性能を持っている。半導体検出器の採用によって従来のシンチレータ方式にある光結合部や光電子増倍管を必要としないため実質的には大幅な小型化が実現できたが、既存プラントでの置き換えを考慮し、図2に示すとおり、従来検出器との互換を採るため外形の寸法形状は全く同様としている。

CdZnTe半導体検出器は、キャリア(特にホール)の移動度・寿命積が小さいためキャリアの捕獲現象が問題となる。しかし、β線を測定する場合は相互作用位置が表面近くの浅い部分に限られるため、入射面側を陰極にすればホール捕獲の影響がほとんどなくなり、正確な波高出力を得ることができる。図3に、対象核種のエネルギーに近い<sup>204</sup>Tl(β線最大エネルギー：764keV)のエネルギースペクトル

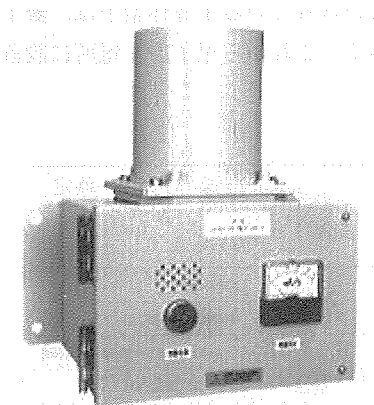


図1. エリアモニタの外観

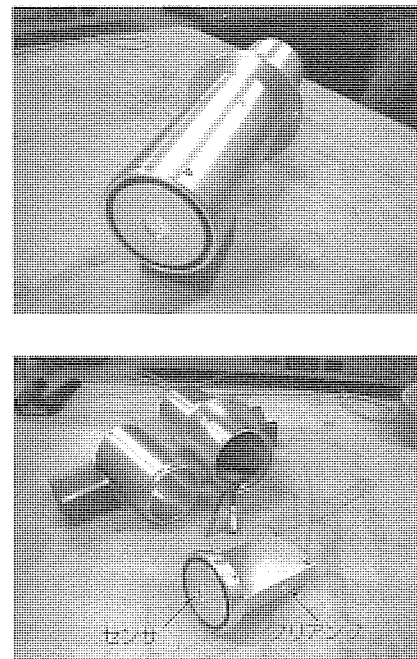


図2. 半導体式β線ガスモニタ

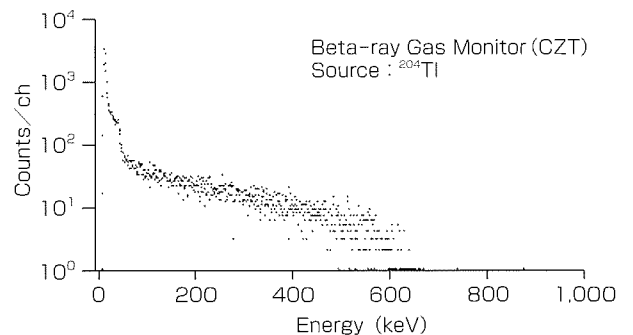


図3. β線ガスモニタのエネルギースペクトル



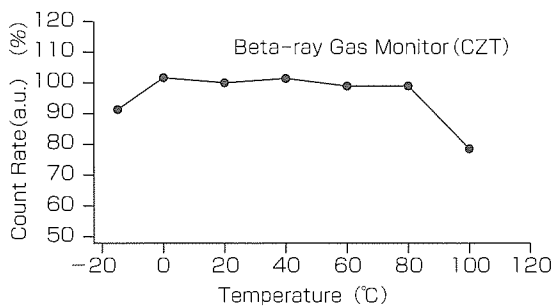


図4. β線ガスモニタの温度特性

を示す。

また、このモニタの使用可能温度範囲は-15~80°Cであるが、図4に、温度特性(エネルギー100keV以上のグロス計数率)の測定結果を示す。-15~80°Cにおいて、温度特性は±10%以内であり、温度変化に伴うゲインの補償は不要であることが分かる。

#### 4. 低電圧動作型CdZnTe半導体検出器

γ線のエネルギースペクトルを正確に測定することを目的として、CdZnTe半導体検出器を用いたモニタを開発中である。通常、CdZnTe検出器は、電荷キャリアの移動度・寿命積が小さく、キャリアの流動途中に格子欠陥などの捕獲中心にとらえられ、出力パルス波高に欠損が生じる。そのため、数百keV以上のγ線エネルギースペクトル測定を正確に行うことができない。これまではエネルギースペクトルを改善するためにキャリアの流動距離を大きくすることに努力が払われてきたが、印加電圧を低くして流動距離を小さくすると、図5のように、相互作用の位置によらずキャリアの流動距離が一定になり、出力波高も一定になることが期待できる。付与エネルギーが同じで出力波高が一定になれば、正確なエネルギースペクトルの測定ができ、エネルギー分解能も向上する。

実際に5mm×5mm×5mmのCdZnTe検出器を用い印加電圧を100Vとして<sup>137</sup>Csのエネルギースペクトルを測定した実験結果を図6に示す。<sup>137</sup>Csの662keVのピークが現れ、コンプトンエッジや200keV付近の後方散乱ピークも観測できることが確認できた。したがって、高エネルギー領域のγ線に対して正確なスペクトロスコピーを行えることが分かった。この方式では、印加電圧を低く設定するため漏れ電流が少なく、結果としてノイズが少ないという利点がある。また、通常のCdZnTe検出器では、周囲温度が高い場合、漏れ電流が増えるために測定が難しいことが欠点であったが、今回の方式では、漏れ電流が低く抑えられ

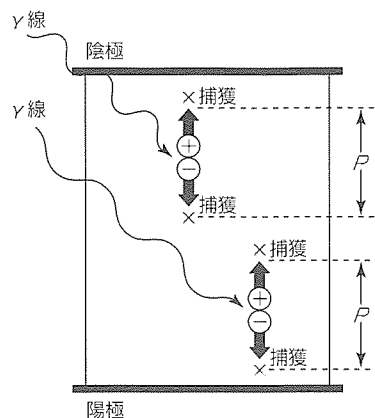


図5. 低印加電圧型検出器の動作原理

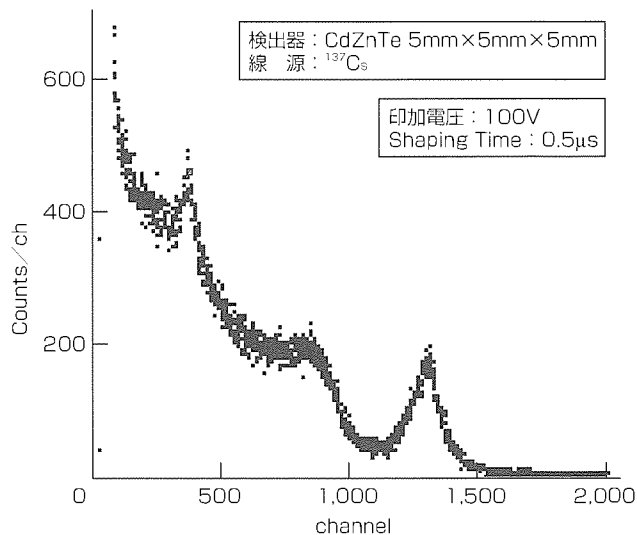


図6. エネルギースペクトルの測定結果

るため高温でも安定して測定できようになった。

#### 5. む す び

当社の原子力プラント向けの放射線計装システムに半導体検出器を適用した例について紹介した。半導体検出器を採用することにより、モニタの長寿命化・高信頼性化・小型化と保守性の向上といった効果が期待でき、各種の検討や課題の克服を通じて、半導体検出器の適用が十分可能であることが分かった。

最後に、本稿で紹介したガスモニタ、高レンジガスモニタ、主蒸気管モニタは、現在、原子力プラントへの適用性について関西電力㈱、北海道電力㈱、四国電力㈱、九州電力㈱、日本原子力発電㈱と共同研究中であり、種々のご指導をいただいたことに対し深く感謝する。



# 光ファイバ応用放射線検出システム

西浦竜一\*  
 浦中康夫\*\*  
 泉 伸幸\*\*

## 要 旨

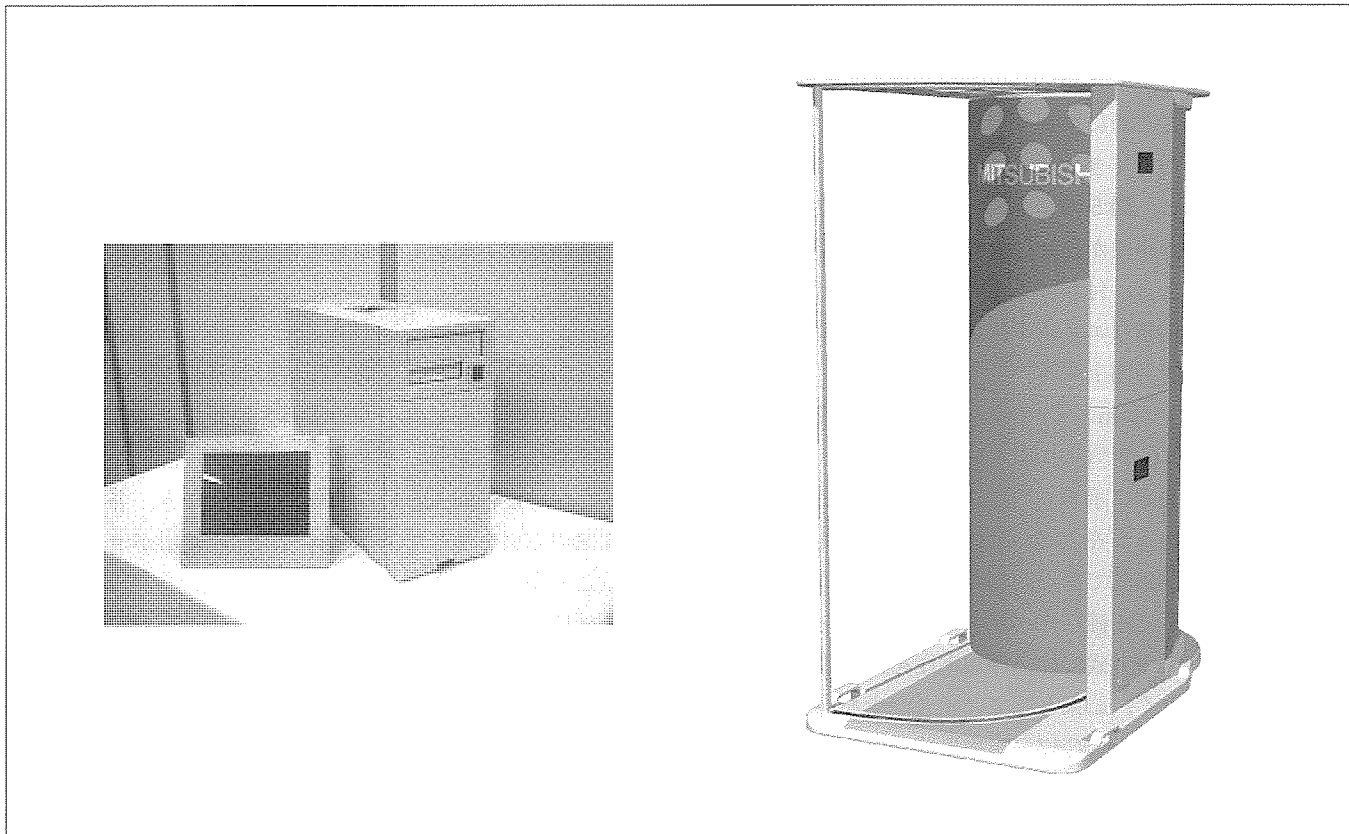
放射線センサとして、プラスチック光ファイバに放射線蛍光材(シンチレータ)をドーピングしたプラスチックシンチレーションファイバを用い放射線を測定する技術を開発した。プラスチックシンチレーションファイバの特性として、フレキシビリティが高いこと、ファイバ全体が検出部であり大面積化が比較的容易であること、放射線検出及び信号伝送に光を用いているために本質的に電磁ノイズの影響を受けないこと等の優位性があり、その特性を生かした応用製品を開発したので紹介する。

光ファイバ放射線センシングシステムは、シンチレーションファイバと飛行時間法を用いた計測部で光ファイバケーブルに沿った広範囲の連続的な放射線分布を測定可能な

ため、空間線量率又は機器運転状態監視を効率的にモニタリングできる。

可搬型シンチレーション光ファイバ体表面汚染モニタは、シンチレーションファイバを小型で可とう(撓)性のあるプレート状に加工し、これを被験者の周囲に配置することで体表面に付着している放射性物質の汚染濃度を測定する。垂直方向に数枚のファイバプレートを設置して測定することで、体表面上の放射能汚染分布を測定することが可能である。

本稿では、プラスチックシンチレーションファイバを用いた各応用製品の概要及び基本特性について述べる。



## 光ファイバ応用製品の外観

光ファイバ放射線センシングシステム、及び可搬型シンチレーション光ファイバ体表面汚染モニタの外観を示す(左図：光ファイバ放射線センシングシステム、右図：可搬型シンチレーション光ファイバ体表面汚染モニタ)。

光ファイバ放射線センシングシステムは、ファイバに沿った連続的な放射線強度分布が測定可能である。また、可搬型シンチレーション光ファイバ体表面汚染モニタは、被験者の体表面に付着している放射能汚染の濃度が測定可能である。

## 1. ま え が き

放射線検出器の検出素子として、プラスチック光ファイバに放射線蛍光材(シンチレータ)をドーピングしたプラスチックシンチレーションファイバ(PSF)を用いた放射線検出器を開発した。

PSFは光ファイバとしての特性と放射線検出素子としての特性の両方を持っており、そのため、PSFに放射線が入射すると蛍光が起こり、光ファイバの両端に光パルスが伝搬される。さらに、フレキシビリティが高くかつ軽いこと、ファイバ全体が検出部であり大面積化が比較的容易であること、放射線の検出及び信号伝送が光のみで行われるために本質的に電磁ノイズの影響を受けないこと等の優位性があり、その特性を生かした応用製品として体表面汚染モニタ及び光ファイバ放射線センシングシステムを開発し製品化した。

光ファイバ放射線センシングシステムとは、PSFをケーブル化し長尺化を行った放射線検出器であり、放射線の入射による光信号がファイバ両端まで到達する時間の差を測定すること(飛行時間法(Time of Flight : TOF))で放射線の入射位置と線量率が検出できる特長がある。これにより、広範囲の放射線情報を一括して得ることが可能となり、機器管理に適用できる。

可搬型シンチレーション光ファイバ体表面汚染モニタとは、PSFをプレート状に束ねることで有感面積を拡大した放射線検出器である。これを被験者の周囲に配置することで体表面に付着している放射性物質による汚染濃度を測定する。また、垂直方向にファイバプレートを設置することで、体表面の汚染分布を測定することが可能である。このファイバプレートは、フレキシビリティが高くかつ軽いため可搬性に優れており、事故等の緊急時に周辺住民に対する被ばく検査を行うために仮設モニタとして適用可能である。

本稿では、各応用製品の概要と基本特性について述べる。

## 2. 光ファイバ放射線センシングシステム

### 2.1 システムの概要

光ファイバ放射線センシングシステムは、光ファイバに沿った放射線強度分布を一括して検出する装置である。

2.2節で詳しく述べるが、分布測定を行うためには、光ファイバが必ずループしていなければならない。この制約条件のため、現場敷設時においても検出ケーブルを環状に敷設し、検出ケーブルの両端を同一の測定装置に接続する必要がある。そこで、敷設性を向上させるため、検出ケーブルの両端にあった光検出部を一端へ集めることで他端を自由に敷設できる直線型光ファイバ放射線センシングシステムを開発した。検出部の外観を図1に示す。

直線型光ファイバ放射線センシングシステムは、敷設上の制約条件を取り除いたため作業現場への設置及び取り外し作業がより短時間で行うことが可能となり、敷設時における作業従事者の被ばく低減の効果がある。また、放射線分布をモニタする場所はセンサの設置が容易な場所であるとは限らず、配管等が入り組んだすき(隙)間へ光ファイバ放射線センシングシステムを設置することもある。このような敷設が困難な場所へも操作性の良い直線型光ファイバ放射線センシングシステムであれば適用が可能である。

### 2.2 システムの測定原理

光ファイバ放射線センシングシステムにおける放射線検出部は、シンチレータ材をドーピングした光ファイバ(シンチレーションファイバ)を内蔵したケーブルである(図1)。シンチレータとは、 $\gamma$ 線等の放射線が入射すると、そのエネルギー付与によって蛍光パルスを発生する材料である。そして、この蛍光パルスが光ファイバ両端に伝搬していく(図2)。放射線連続分布を測定するためには放射線の入射位置と強度をセンサ上の各位置で同定する必要があるが、この方法に飛行時間法を採用した。この方法は二つの検出器に入力される信号の時間差を検出する方法である。図3に光ファイバ放射線センシングシステムモニタの概略原理図を示す。放射線がシンチレーションファイバを通過し相互作用すると、ファイバ内で蛍光が起こり、光パルスが発生する。このうちファイバ内にトラップされた光パルスがファイバ両端へと伝搬していくが、放射線の入射位置によってこの二つの光パルスがファイバ両端に接続された光検出器に到達する時間が異なる。到達時間差を測定すること

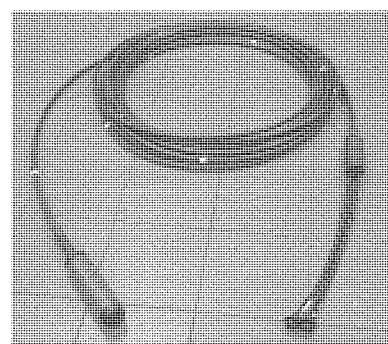


図1. 光ファイバ放射線センシングシステムの検出部外観

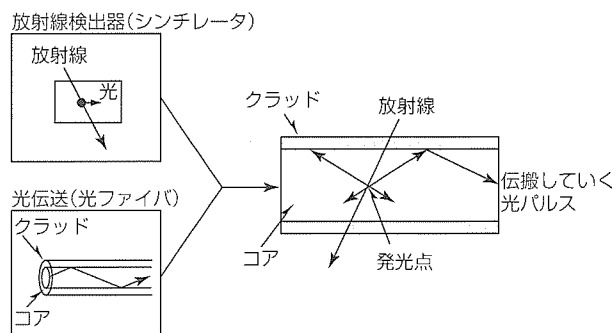


図2. 検出原理

によって放射線の入射位置が分かり、光パルス数を計数することによって放射線強度を知ることができる。

シンチレーションファイバ(PSF)からの光パルス信号は光電子増倍管(PMT)で電気パルス信号に変換され、プリアンプで増幅されたパルス信号は、波形整形回路を通過後、時間差測定回路に入力される。時間差測定回路はStart側とStop側があり、Stop側がStart側よりも必ず後で作動するようにStop側に遅延回路(Delay)を設けている。

今、放射線がPMT 1 から距離Sの位置に入射したとすると、二つの光パルスがそれぞれPMTへ到達する時間差Tは次式で表される。この到達時間差に基づき放射線入射位置を求める。

$$T = (2S - S_{psf}) / V \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 $S_{psf}$  : シンチレーションファイバ長  
 $V$  : シンチレーションファイバ内を伝搬する光の速度

である。

### 2.3 システムの基本仕様

仕様を表1に示す。

### 2.4 システムの特長

光ファイバ放射線センシングシステムの特長について述べる。

#### (1) 広範囲にわたる放射線強度分布の測定が可能

従来のエリアモニタではモニタを設置した一点での測定しかできなかったが、光ファイバ放射線センシングシステムでは検出ケーブルに沿った連続的な放射線強度が測定可能である。

#### (2) 放射線強度分布をビジュアルに表示可能

光ファイバ放射線モニタの測定結果を検出ケーブルを設置した配置図にはめ込むことで視認性の良い表示を行うことができる。光ファイバ放射線モニタの表示画面の一例を

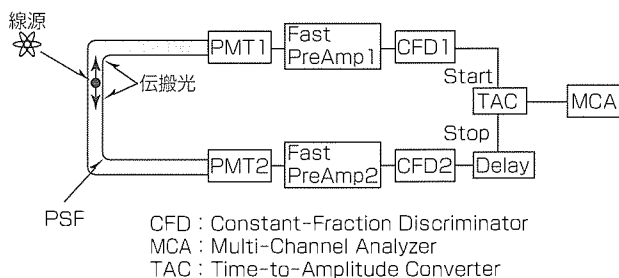


図3. 測定原理

表1. 光ファイバ放射線センシングシステムの基本仕様

測定線種	γ線
測定範囲	20m(1システムで測定可能)
全長	30m
エネルギー範囲	350keV~1.3MeV
位置精度	±30cm
温度範囲	-15~50℃
測定線量率範囲	1~10 <sup>4</sup> μSv/h

図4に示す。図の左下は機器にケーブルを設置した様子を図示したものであり、右上のグラフに一定値(任意の値に設定可能)以上の強度を持つ位置に色付きマークを表示する。

この機能により、放射線強度の高い位置を瞬時に判断することが可能である。また、右下の表は一定値を超えた位置及びその位置での線量率を数値で表示する。また、左上のグラフは任意の点の時間変化を示している。この機能により、重点監視位置を指定しておけば、その位置での線量率の推移を常時モニタすることが可能である。

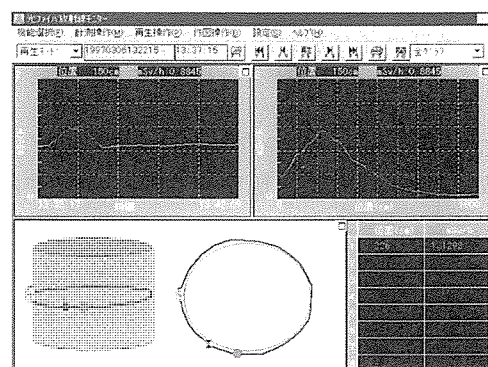
#### (3) 電磁障害からの解放、本質的なノイズ対策が可能

光ファイバ放射線モニタは、全長30mのケーブルであり、検出領域から離れた場所で計測が可能である。また、放射線の検出と信号伝送は光信号によって行われるため、電磁ノイズが懸念される検出領域においても影響を受けずに計測できる。

### 2.5 システムの適用例

光ファイバ放射線モニタの適用システムの一例として、放射性廃樹脂の移送監視システムがある。

原子力発電所の発電機器の一つである脱塩塔では、粒状の樹脂によって一次冷却材のフィルタリングを行っているが、時間とともに樹脂に吸着される放射性物質の量が増加し、除染能力も低下するので定期的に交換されている。使用済み樹脂は移送配管を通して廃樹脂貯蔵タンクまで移送される。このとき配管の曲がり部分や弁などに樹脂が滞留する可能性があるため、移送、洗浄など作業終了ごとにサーベイを行い、状況を判断する必要がある。光ファイバ放射線センシングシステムを用いてホットスポットをリアルタイムに検出することで、一連の作業を効率化し、かつ作業員の被ばくを低減することが可能となる。この放射性廃樹脂の移送状況をモニタするためのアプリケーションを開発した。このアプリケーションでは、検出ケーブルを移送配管に沿わせて設置しておくと、放射線強度レベルに応じて



右上: 放射線強度分布測定結果  
 左上: 右上グラフに時間軸を加えたトレンドグラフ  
 右下: ピーク位置及びピーク値  
 左下: 検出ケーブル設置状況とピーク表示

図4. 表示画面の一例

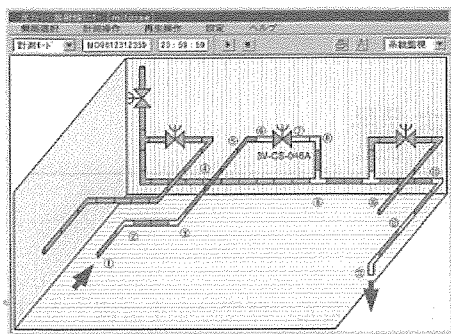


図5. 放射性廃樹脂移送状況表示画面の一例

3段階の色表示で配管に沿った放射線強度分布をリアルタイムに表示できる。表示画面の一例を図5に示す。

### 3. 可搬型シンチレーション光ファイバ体表面汚染モニタ

JCO原子力事故災害で全国から500名を超える電力会社などの放射線管理員が集まり、サーベイメータで地域住民の人体表面の放射能汚染の有無を確認した。専門の放射線管理員が操作する測定時間がかかる等、費用や時間の面で課題があった。そこで、①だれでも操作できる、②短時間で測定できる、③放射能汚染部位が分かる、④持ち運びできる体表面汚染モニタを開発した。

#### 3.1 基本仕様

仕様を表2に示す。

性能は、現状原子力発電所等の据付型体表面汚染モニタと同等の性能とした。さらに、容易に持ち運びできるように簡易組立て式とした。

#### 3.2 効果

測定時間はサーベイメータで検査する従来の方法(5分/人)に比べて10秒/人に飛躍的に短縮でき、検査人数は従来5人/時間に対し120人/時間の処理ができる。経済性は従来の約1/3に低減できる。

#### 3.3 技術開発

検出器の構造が従来のプラスチックシンチレータの発光面に多数の光電子増倍管を組み合わせる方法では、厚みが10cm以上あり、質量も大きい。そこで、持ち運びでき、組立てが早くできる要求を満たすため、薄型で軽量な装置の開発を行った。シンチレーション光ファイバ技術を利用して薄型・軽量の検出部開発に成功した(図6)。従来のシンチレーション光ファイバはγ線測定用であったが、ファイバの被覆を薄くすることでβ線測定のものを開発し適用した。

## 4. むすび

原子力プラント、再処理施設、加速器施設などの広く放射線を取り扱う施設においては、近年、施設のクリーン化対策や設備の自動化対策に加え、作業環境や作業方法の改

表2. 体表面汚染モニタの基本仕様

検出対象核種	β/γ線
検出感度	β線: 0.4Bq/cm <sup>2</sup> 以上(10秒) γ線: 4 Bq/cm <sup>2</sup> 以上(10秒)
有効検出面積	40,000 cm <sup>2</sup>
測定精度	±20%(面線源照射時の測定誤差)
構造	簡易組立て式

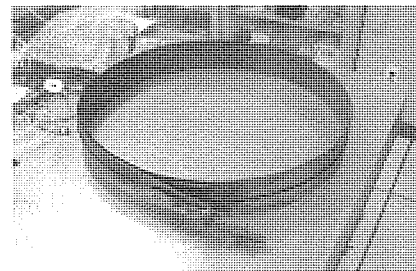


図6. シンチレーションファイバプレートの外観

善努力によって定期検査等に伴う被ばく線量の低減化が図られてきている。この被ばく低減化対策は、第一に線源から距離をとることであり、第二に作業の自動化や遮へい(蔽)性の向上等の設備改善である。そして、最終的には作業方法・手順の改善と進められる。

光ファイバ放射線センシングシステムを組み込んだシステムを構築することでサーベイ作業を効率化することができ、それに伴う作業員の被ばくを低減することが可能である。さらに、図4の表示画面の左下にあるピーク表示位置を確認することで、放射線作業に従事する作業員に作業環境の情報を分かりやすくリアルタイムに提供することが可能であり、作業員一人一人の被ばく低減の意識(自己管理)を促進することができる。また、光ファイバ放射線モニタは、放射性廃樹脂の移送監視など放射性物質の管理にも有効であり、機器の異常及び異常発生場所を早期に発見可能である。

可搬型シンチレーション光ファイバ体表面汚染モニタでは、その優れた可搬性を生かして原子力事故災害に適用することで、迅速に地域住民の放射能汚染状況の検査システムを構築することが可能である。

## 参考文献

- (1) 岡 徹, 池上和律, 宇佐美照夫, 津高良和, 早川利文: 位置検出型放射線モニタの開発, 三菱電機技報, 69, No.9, 837~840 (1995)
- (2) 岡 徹, 池上和律, 宇佐美照夫, 津高良和, 早川利文: プラスチックシンチレーションファイバを用いた放射線モニタの開発, J. Nucl. Technol., 35, No.12, 857~864 (1998)
- (3) 西浦竜一, 岡 徹, 池田郁夫, 津高良和: 光ファイバ放射線モニタ, 三菱電機技報, 73, No.8, 560~563 (1999)

# がん治療用深部線量分布測定装置

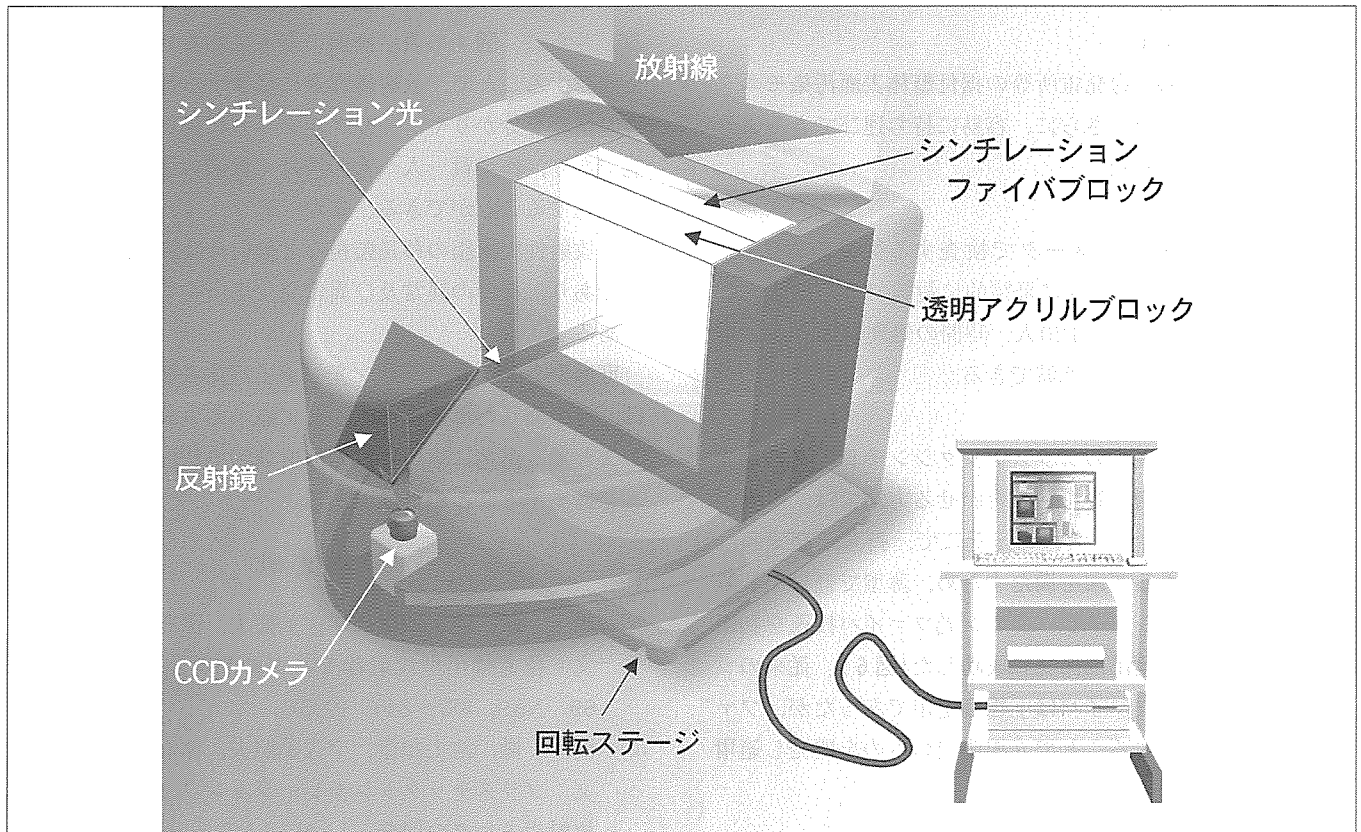
## 要 旨

医療用ライナックを用いたがんの放射線治療では、ライナックの日常の品質管理や患者ごとのビーム形状の調整などのため、そのビームデータを採取することが頻繁に行われている。従来、ビームデータの測定は、水ファントム中で電離箱を走査させることによって吸収線量分布を測定していた。この方法は人体組織中の吸収線量を精度良く測定できることから線量測定の方法とされているが、測定に多大な時間と手間を要することが問題となっていた。

開発した深部線量測定装置は、X線及び電子線の人体組織等価の物質中における吸収線量分布を短時間に測定することを目的としている。この装置は、放射線の相互作用によって発光する特長を持つプラスチックシンチレーション

ファイバと、その発光の輝度分布を計測するCCDカメラ及び取り込んだデータを処理するパソコンで構成されている。測定装置をこの構成にすることにより、深部線量分布の測定及び高速データ処理を可能にした。

この装置による深部線量分布やビームプロファイルの測定結果を、従来の電離箱による測定結果と比較した。その結果、両者の差異は±1%以内でよく一致することが分かった。また測定時間については、従来の方式では3～4時間かかっていた測定時間を約5分に大幅に短縮することができた。この装置により、放射線治療現場における照射装置の調整や治療のプランニングなどの作業効率が高まることが期待される。



## 深部線量測定装置

プラスチックシンチレーションファイバを束ねてブロック状に組み立てたものを検出部とし、ファイバブロック端面の輝度分布をCCDカメラで計測することにより、がん治療に用いるX線及び電子線のビームデータを短時間かつ高精度に測定できることを実現した。

### 1. ま え が き

がんの放射線治療は、外科的療法や化学的療法に比べて患者の体力的負担が少なく、治療後のQOL(Quality of Life)も高いため、有望な治療法の一つである。現在、医療現場では医療用ライナックのX線及び電子線による治療が広く行われている。さらに最近では、難治性のがんに対する治療成績の向上が期待される陽子線や重粒子線による治療の研究も進んでいる。がんの放射線治療を確実にを行うためには、人体組織中での吸収線量及び吸収線量分布を精度良く測定することが不可欠である。

開発した深部線量測定装置は、X線及び電子線の人体組織等価の物質中における吸収線量率分布を短時間に測定することを目的としている。この装置は、放射線の相互作用によって発光する特長を持つプラスチックシンチレーションファイバ(以下“PSF”という。)と、その発光の輝度分布を計測するCCDカメラ、及び取り込んだデータを処理するパソコンで構成されている。測定装置をこの構成にすることにより、深部線量分布の測定及び高速データ処理を可能にした。

開発した深部線量測定装置の性能を評価するため、従来から標準測定法とされている電離箱による測定値と比較した。その結果、測定精度は従来と同等でありながら、測定時間を大幅に短縮することを実現した。

### 2. 従来の測定方法<sup>(1)</sup>

従来から多くの現場で標準の測定法として用いられているのが、水ファントムを用いた電離箱による測定である。この測定方法の模式図を図1に示す。この方法は、水中の吸収線量を電離箱によって測定するもので、線量分布の測定は電離箱を走査させることによって行う。

この方法は、吸収線量を精度良く測定できる反面、電離

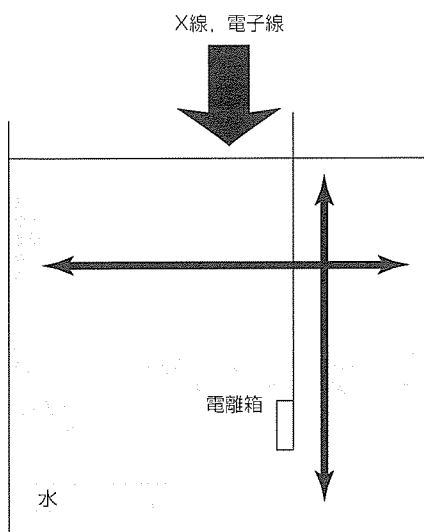


図1. 従来の測定方法

箱を三次元的に走査するのに3~4時間もの多大な時間を要することが大きな問題であった。医療用ライナックは、ビームを患者に照射する前にその状態を把握するために、日常の品質管理を行っておくことが必要である。また、患部の形状は患者ごとにそれぞれ異なるため、治療前にビーム、コリメータ、レンジシフトなどを患部に適合するように調整しなければならないが、多くの患者に対してこの調整を行う必要がある。以上のことから、吸収線量分布を迅速かつ正確に測定できる装置の開発が望まれていた。

### 3. 測定原理と装置の概要<sup>(2)(3)</sup>

開発した深部線量測定装置のブロック図を図2に示す。装置は、PSFを束ねてブロック状にしたPSFブロックとアクリルブロックからなるプラスチックファントム、PSFブロックの発光分布を測定するCCDカメラ、及びデータ処理を行うパソコンで構成される。

プラスチックファントムは、図3のように、センサ部分

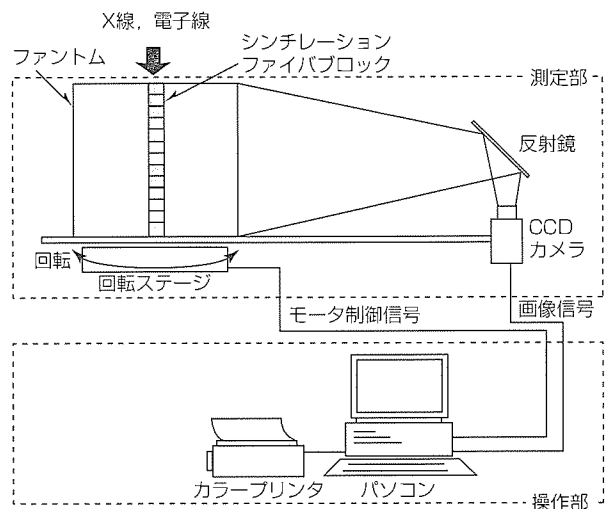


図2. 装置のブロック図

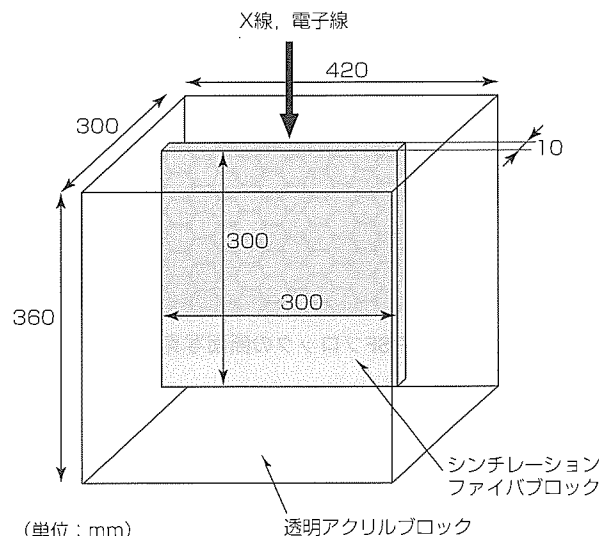


図3. ファントムの概要図



であるPSFブロックと、その外側を囲むアクリルブロックで出来ている。PSFブロックは、図4に示すように、直径1mm、長さ1cmのPSFを縦横それぞれ300mm俵積みしたものである。ファイバとファイバの間はアクリル系接着剤が充てん(填)されており、ファイバ間の遮光の役割も果たしている。放射線の入射によって各々のPSFが発光し、その発光量はPSFが吸収したエネルギーに比例する。PSFブロックの断面写真を図5に示す。有感部であるPSFのコア部分の物性は、表1に示すとおり、組織等価とみなすことができる。

ファイバブロックの発光強度分布はCCDカメラで測定し、デジタル化し、画像ファイルとしてパソコンに取り込む。取り込まれた画像データは、レンズによる像のひずみ補正、画角による光量補正、バックグラウンド減算などを行い、ファイバブロック各点の二次元の吸収線量分布に変換される。この二次元データより、中心軸上の深さ方向の輝度分布から深部線量百分率(PDD)を、水平方向の輝度分布からビームプロファイル(OCR)などを得ることが

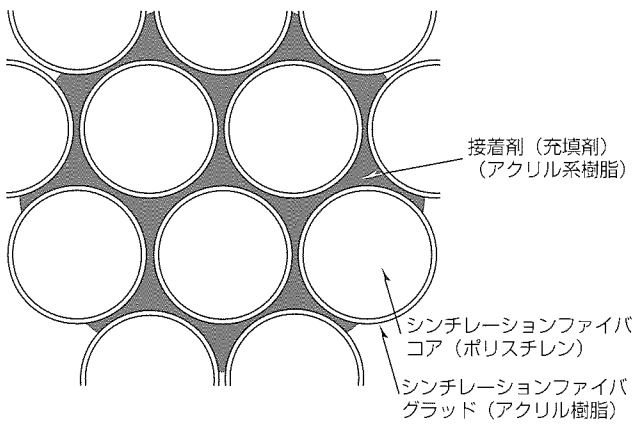


図4. PSFブロックの模式図

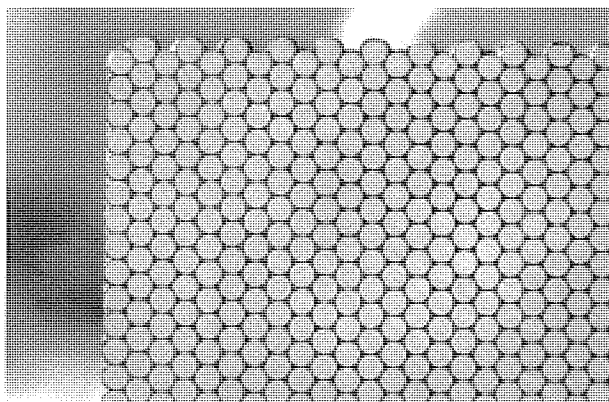


図5. PSFブロックの断面写真

表1. PSFの組成

材 質	ポリスチレン
密 度	1.05g/cm <sup>3</sup>
水素原子数	4.82×10 <sup>22</sup> /cm <sup>3</sup> (7.7wt%)
炭素原子数	4.85×10 <sup>22</sup> /cm <sup>3</sup> (92.1wt%)
電 子 数	3.40×10 <sup>23</sup> /cm <sup>3</sup>

できる。また、三次元のデータを得るためには、ファントム中心を回転中心として装置全体を180°回転させることによって行う。

以上の方式により、従来3～4時間かかっていた測定時間が、二次元分布測定では約10秒、三次元分布測定では約5分に短縮することができた。

#### 4. 測定及び電離箱との比較<sup>(4)</sup>

##### (1) 測定の方法

測定は、装置のファイバブロック中心をアイソセンターに合わせて水平に設置し、実際に治療に用いられているライナックを用いて行った。比較対象となる電離箱測定は、水ファントム三次元線量分布システムのマイクロイオンチャンバで行った。測定結果の比較は、同一照射条件で測定した深部線量百分率(PDD)について行った。

##### (2) 結果

図6に4MVのX線の深部線量百分率(PDD)の測定結果を示す。図では、実線は電離箱線量計、破線(PSF)は深部線量測定装置を示し、照射野が5cm×5cm、10cm×10cm、20cm×20cmの三つの場合を重ねて示している。測定の結果、両測定器の差異は±1%以内であった。

図7に電子線の深部線量百分率(PDD)の測定結果を示す。図は、照射野はすべて10cm×10cm、電子線のエネルギーは4、6、9、12、16MeVの場合を示しており、図

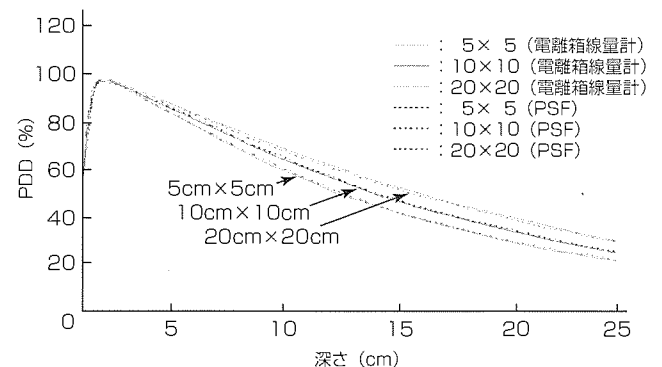


図6. X線(4MV)の深部線量百分率(PDD)の測定結果

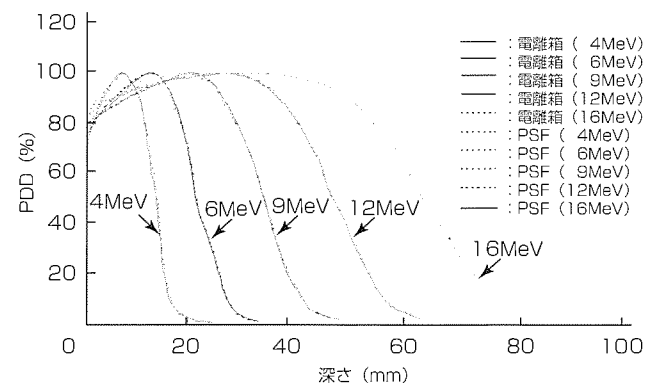


図7. 電子線の深部線量百分率(PDD)の測定結果



6と同様に、実線は電離箱線量計、破線(PSF)は深部線量測定装置を示している。両測定器によるピークの位置、80%線量深さ、50%線量深さを比較した結果、その差異は $\pm 1$  mm以内であった。

以上から、深部線量測定装置で測定した結果は電離箱とほぼ同等であり、ライナックの品質管理等に十分使用可能であることが分かった。

## 5. む す び

がんの放射線治療に用いるX線及び電子線に対する深部線量分布を測定する装置を開発した。この深部線量測定装置では、従来の水ファントムで3~4時間かかっていた測定時間を約5分に短縮することができた。また測定精度は、従来測定法の電離箱に対して $\pm 1\%$ 以内であることを確認した。この測定装置により、治療現場における照射装置の調整やプランニングなどの作業効率が高まることが期待される。

この装置の開発・検証は鈴鹿医療科学大学森剛彦先生のご協力によって実施することができた。末尾ながら、ご協

力いただいたことに感謝する。

## 参 考 文 献

- (1) 日本医学放射線学会物理部会編：放射線治療における高エネルギーX線および電子線の吸収線量標準測定法，通商産業研究社（1986）
- (2) 池上和律，西沢博志：プラスチックシンチレーションファイバーを用いた線量分布測定－医療用三次元深部線量分布－，応用物理，**67**，No.6，682～685（1998）
- (3) 西沢博志，藤原博次，津高良和，池田郁夫：がん治療用深部線量測定装置，三菱電機技報，**73**，No.8，570～573（1999）
- (4) 武藤裕衣，森 剛彦，西村広一，阿部剛士，西沢博志，藤原博次，松尾慶一：プラスチックシンチレーションファイバーを用いた三次元線量分布測定システムの高エネルギーX線・電子線での物理的特性，医学物理，**20** Sup.4，第80回日本医学物理学会学術大会報文集，92～93（2000）

MEDIAGATEによる都市・ビル向け情報提供システムは、魅力ある街を創出することを目的に、都市やオフィスビルなどを快適にご利用いただくための情報提供サービスを実現します。

都市・ビル向け情報提供システムは、情報端末、大画面表示装置、パソコンなど利用用途の異なる様々な端末へ同時に配信できるハイブリットな発信システムです。同じ情報でも端末の利用用途に応じてインタラクティブ型、放送型等の情報提供が可能です。これにより、利用者は最新の情報を様々な端末からいつでも、どこでも、簡単に入手することが可能です。

## 特長

### 1. 都市・ビル向け情報発信のためのトータルソリューション

都市・ビル向け情報提供システムは、ビル内の情報(イベント、ショッピング、レストラン等)や都市情報(交通、駐車場、施設等)のための動画、音声、テキストなどの様々な種類のデータを情報センターで一括管理し、それらをビル内や街頭などに設置した各情報端末、大画面表示装置にネットワークを介して情報発信・展示するシステムです。

このシステムは、都市・ビル情報(コンテンツ)の作成から展示までを強力にサポートする創造性豊かな情報発信のためのトータルソリューションです。

### 2. バリアフリー対応の情報端末、コンテンツ

このシステムが提供する情報端末は、子供や障害のある人でも使いやすいきょう(筐)体設計です。また、コンテンツは、子

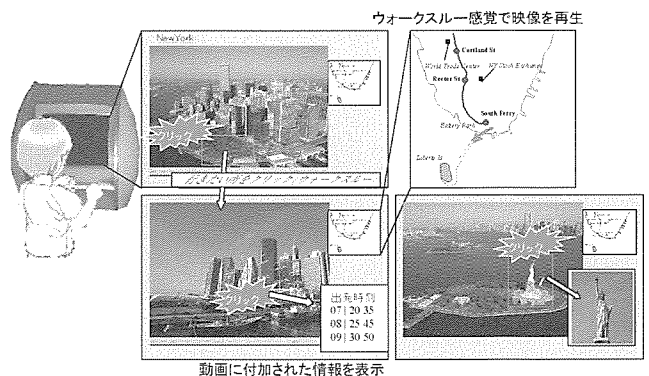
供、お年寄り、外国の方もすべての人が平等に情報提供を受けられるようキャプションを付加した動画と音声を中心としたコンテンツを提供できます。

### 3. 容易な運用・保守

各情報端末の稼働状態は、電源ON/OFFはもとより、ソフトウェア起動状況やコンテンツの表示状況に至るまで、情報センターで一括で確認し、保守することができます。遠隔地に多数の情報端末を設置した場合でも、少人数の運用者だけで各情報端末を容易にメンテナンスでき、円滑にシステムを運用することができます。

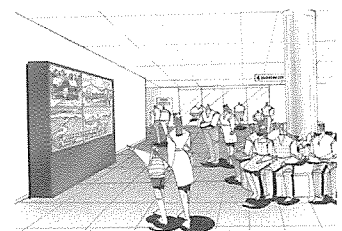
### 4. 動画コンテンツ制作ツール

VisualSHOCK MOVIEは、動画映像内にホットスポットを設定して様々な情報を付加することができるソフトウェアです。利用者がホットスポットをクリックすると、付加した情報(時刻表など)を表示したり、映像内の行きたい場所や方向をクリックしながらウォークスルー感覚で都市(観光名所)やビル内(商業エリア)などを仮想的に散策することができます。

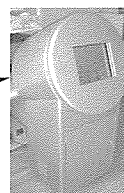


VisualSHOCK MOVIE を使ったコンテンツのイメージ

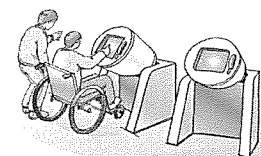
## 利用イメージ



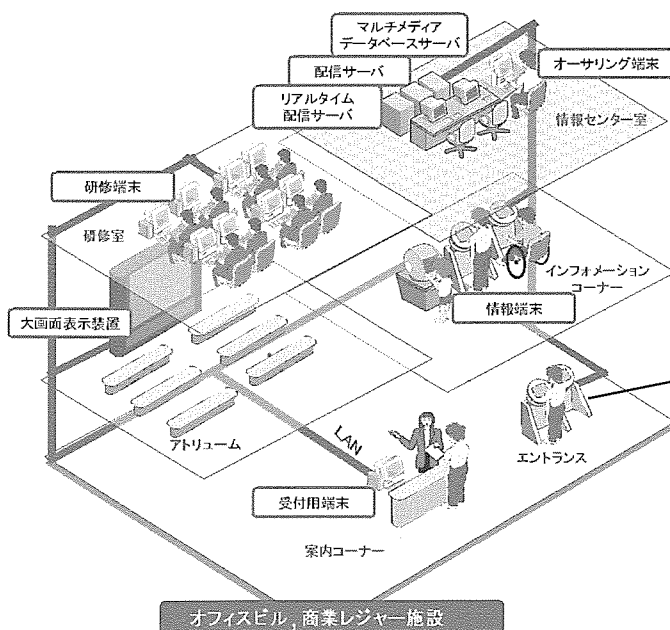
大画面を使った大勢の人への情報提供



情報端末の例



体の不自由な方、お年寄りを考慮したバリアフリー対応の情報端末



システム構成例



# 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)

## 断熱箱体 (特許 第2593574号, 特開平4-076370号)

発明者 馬場文明, 山田 祥, 嶋村光助, 赤星純久, 五十嵐 裕, 平田浩二

この発明は、ウレタン発泡断熱材を用いた冷蔵庫等の断熱用箱体に関するものである。従来、ウレタン断熱材の発泡剤として、特定フロンCFC-11 (CCl3F)が、断熱性、毒性、安全性、作業性、コストの点から一般的に用いられてきた。しかし、オゾン層破壊物質である特定フロンの使用が規制され、CFC-11と物理的特性が類似のフロンHCFC-141 b, HCFC-123に代える必要がある。これらの代替発泡剤は、CFC-11と比較して箱体を構成するプラスチックであるブタジエン含有スチレン樹脂(HIPS)やABS樹脂に対して膨潤、溶解能が大きく、箱体の強度低下やクラック発生を引き起こす。

この発明は、このような従来の問題点を解決するためになされたもので、HCFC-141 b, HCFC-123を発泡剤とするウレタン発泡断熱材を用いた断熱用箱体のプラスチック材料としてアクリル酸アルキルゴム

を5~50重量%含有したアクリロニトリル-スチレン共重合体を5重量%以上配合したアクリロニトリル-ブタジエン-スチレン三元共重合体で形成したものをを用いることにより、従来の製造設備を用いて強度や外観及び意匠性に優れた冷蔵庫等の断熱用箱体を得ることができる。

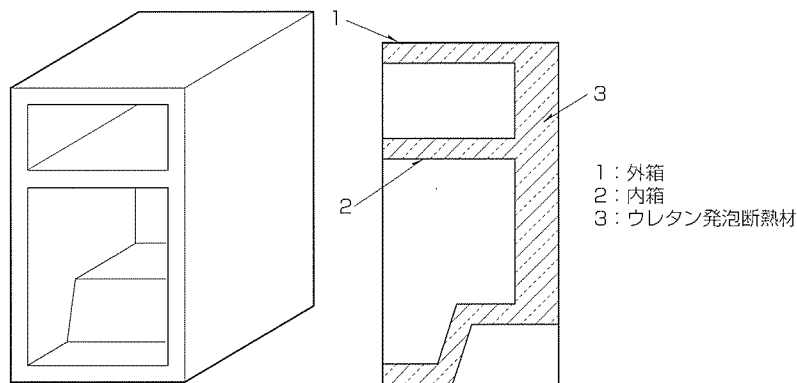


図1

図2

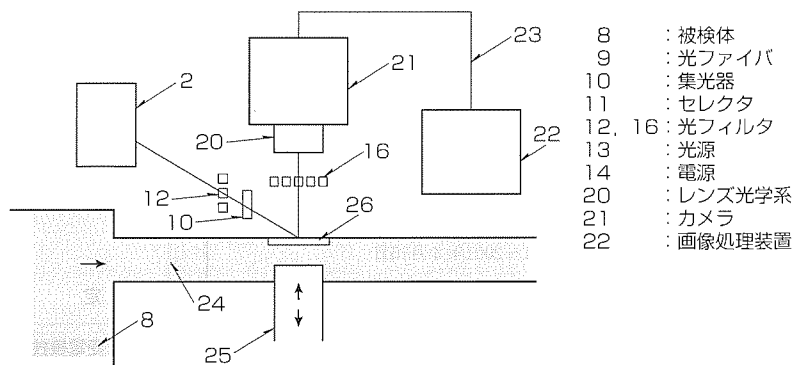
## 微生物濃度または微生物活性の計測装置 (特許 第1995348号, 特開昭62-174636号)

発明者 廣辻淳二, 竹山 哲, 小沢健樹, 四元初男, 小林敏昭, 堀内功一

この発明は、発酵プロセス、下水処理プロセス等における微生物濃度又は活性を計測する装置に関するものである。従来、この種の計測装置は、可視光を被検体に当てた場合、吸光度と被検体に存在する微生物との間に一定の関係が成り立つこと、ある種の菌では特定波長の励起光を当てた場合に蛍光を発生し微生物濃度との間に一定の関係が成立すること等を利用し、吸光度や蛍光強度を測定することによって微生物濃度を評価し、それに関連して菌数又は微生物の活性を評価していた。これらの方法では、被検体が多種類の微生物で構成されていたり異物が含まれている場合は、特定種類の微生物の菌数又は活性を評価することは不可能、又は測定できても精度が低かった。

この発明は、このような従来の問題点を解決するためになされたもので、励起光の波長をあらかじめ定めた波長に限定する第一の光フィル

タと被検体が発する蛍光をあらかじめ定めた波長に限定する第二の光フィルタ、及び蛍光を拡大するレンズ系、蛍光像を取り込むカメラ系、蛍光像を画像処理する回路で構成することによって異物又は被検体中に溶解している測定対象でない物質に基づく蛍光画像を除去することにより、高精度の計測が容易に達成できる。





# 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)

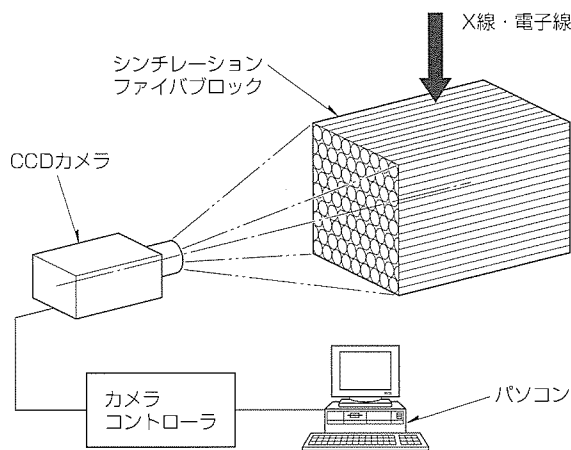
## 深部線量測定装置 (特許 第3102342号, 特開平9-230053号)

この発明は、がん治療に用いる放射線(X線, 電子線)のビームデータを短時間かつ高精度に測定するためのものである。

従来の深部線量の測定は、水ファントムに放射線を照射し、水ファントム中の電離箱を深さ方向や水平方向に走査させることによって吸収線量分布を測定していた。このため、線量分布を測定するのに多大な時間と手間を要するのが欠点であった。

この発明は、放射線の入射によって発光するプラスチックシンチレーションファイバを束ねてブロック状に組み立てたものを検出部とし、その発光輝度分布を計測するCCDカメラ、及び取り込んだデータを処理する計算機で構成される。放射線の入射によってプラスチックシンチレーションファイバが発光する。その発光量は吸収線量に比例するので、ファイバブロックの発光輝度分布をCCDカメラで測定することにより、深部吸収線量分布やビームの平坦(坦)度を即座に測定・表示することができる。こ

発明者 池上和律, 西沢博志, 早川利文  
の方法により、深部線量分布の測定時間が従来の3~4時間から約5分に大幅に短縮される。治療現場における照射装置の調整や治療のプランニングなどの作業効率が高まり、放射線発生装置の稼働率の向上、及び維持管理コストの削減が期待できる。



### 〈次号予定〉三菱電機技報 Vol.75 No. 6 「新たな飛躍段階を迎えたパワーデバイス」特集

#### 特集論文

- スイッチング電源と半導体デバイス
- 21世紀を迎えたパワーデバイスの展開
- 次世代IGBT(CSTBT)
- 1.200V NPTトレンチIGBT
- 高性能パワーIC—Bic-DMOS—
- 低オン抵抗第六世代低圧MOSFET
- 小容量モータ駆動用トランスファーマールドIPM
- 第四世代低損失IGBTモジュール“Fシリーズ”

- サーボ用IPM“CBシリーズ”
- HEV用IPMの展開
- 4.5kV HVIGBTモジュールシリーズ
- GCTサイリスタのシリーズ開発
- パワーモジュール用パッケージの技術動向
- パワーデバイスの信頼性と試験動向
- パワーモジュール高信頼性設計のための解析・シミュレーション技術
- SiC-MOSFET素子技術

<p>三菱電機技報編集委員 委員長 井手 清 委員 中村 治樹 村松 洋 吉原 孝夫 乗原 幸志 安福 正樹 松本 修 浜 敬三 荒木 政敏 西谷 一治 中島 克人 河内 浩明 畑谷 正雄 山本 比呂志 幹事 名畑 健之助 5月号特集担当 吉田 敬史 松尾 慶一</p>	<p>三菱電機技報 75巻5号 2001年5月22日 印刷 (無断転載・複製を禁ず) 2001年5月25日 発行 編集人 井手 清 発行人 名畑 健之助 発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 ドキュメント事業部 〒105-0011 東京都港区芝公園二丁目4番1号 秀和芝パークビルA館9階 電話(03)3437局2692 印刷所 株式会社 三菱電機ドキュメンテクス 発売元 株式会社 オム社 〒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</p>
<p>電子文書時刻証明に関するお知らせ 2001年4月16日 三菱電機株式会社 集約期間:2001年3月16日~2001年4月15日 集約ハッシュ値: nmC0iVbA2P598UjZ67RLYz1mfdPUjsKJC2OKtSKRwXYIrd3m</p>	<p>三菱電機技報に関するお問い合わせ先 cep.giho@ml.hq.melco.co.jp</p>
<p>URL <a href="http://www.melco.co.jp/giho/">http://www.melco.co.jp/giho/</a></p>	

# スポットライト 可搬型体表面モニタ

可搬型体表面モニタは、被測定者の身体表面の放射性物質による汚染の有無を測定する装置であり、小型コンパクトに収納でき、必要時に任意の地点に持ち運び、現場で容易に組立てができるモニタです。このモニタは、有効検出長2,000mmのシンチレーションファイバをプレート状に配列した検出器で構成されています。シンチレーションファイバは、放射線が当たると、光ファイバのコア内で相互作用を起こして蛍光が発生します。その蛍光パルスはファイバ内を伝搬し終端に設置したカウンタで入射放射線を計数します。光ファイバの柔軟性を生かし人体周囲を光ファイバプレートで囲んで計測することで、身長方向に分割配列した放射線センサの信号強度分布から、体のどの位置に放射性物質が付着しているかが判断できます。

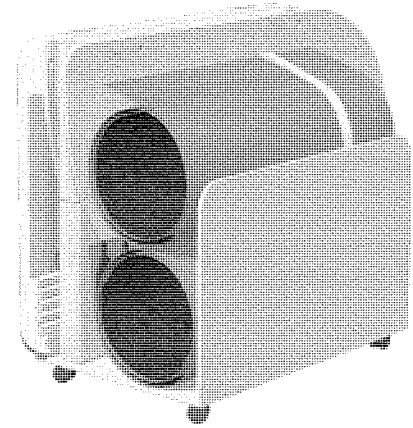
## 特長

- (1) 被測定者の身体表面の全体(同じ高さの正面/背面/側面)を一度に検査が可能です。
- (2) 子供から大人まで検査することを考慮し、10cmの高さ単位ごとの検出・測定・判定が実施できます。
- (3) モニタが分割ができ、検査場所へ一般車両による運搬が可能です。
- (4) 組立て後の性能確認及び身長方向分布測定開始から汚染判

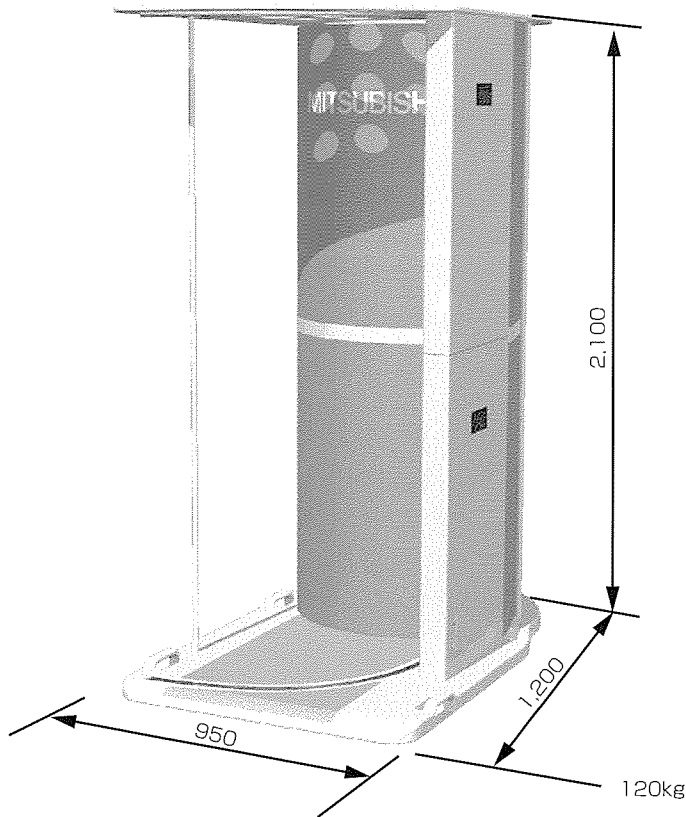
定までの作業の自動化を実現しました(組立性能確認に30分程度必要)。

## 性能

- 検出感度 (バックグラウンドの標準偏差の3倍(3 $\sigma$ )を最高検出感度とした場合) :  
0.4Bq/cm<sup>2</sup>以上( $\beta$ 線U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>相当), 10秒測定  
4.0Bq/cm<sup>2</sup>以上( $\gamma$ 線Cs-137), 10秒測定
- 計測精度 :  $\pm 20\%$  (面線源照射時の測定誤差)
- 有効検出面積 : 40,000cm<sup>2</sup>



運搬収納時



使用時

