

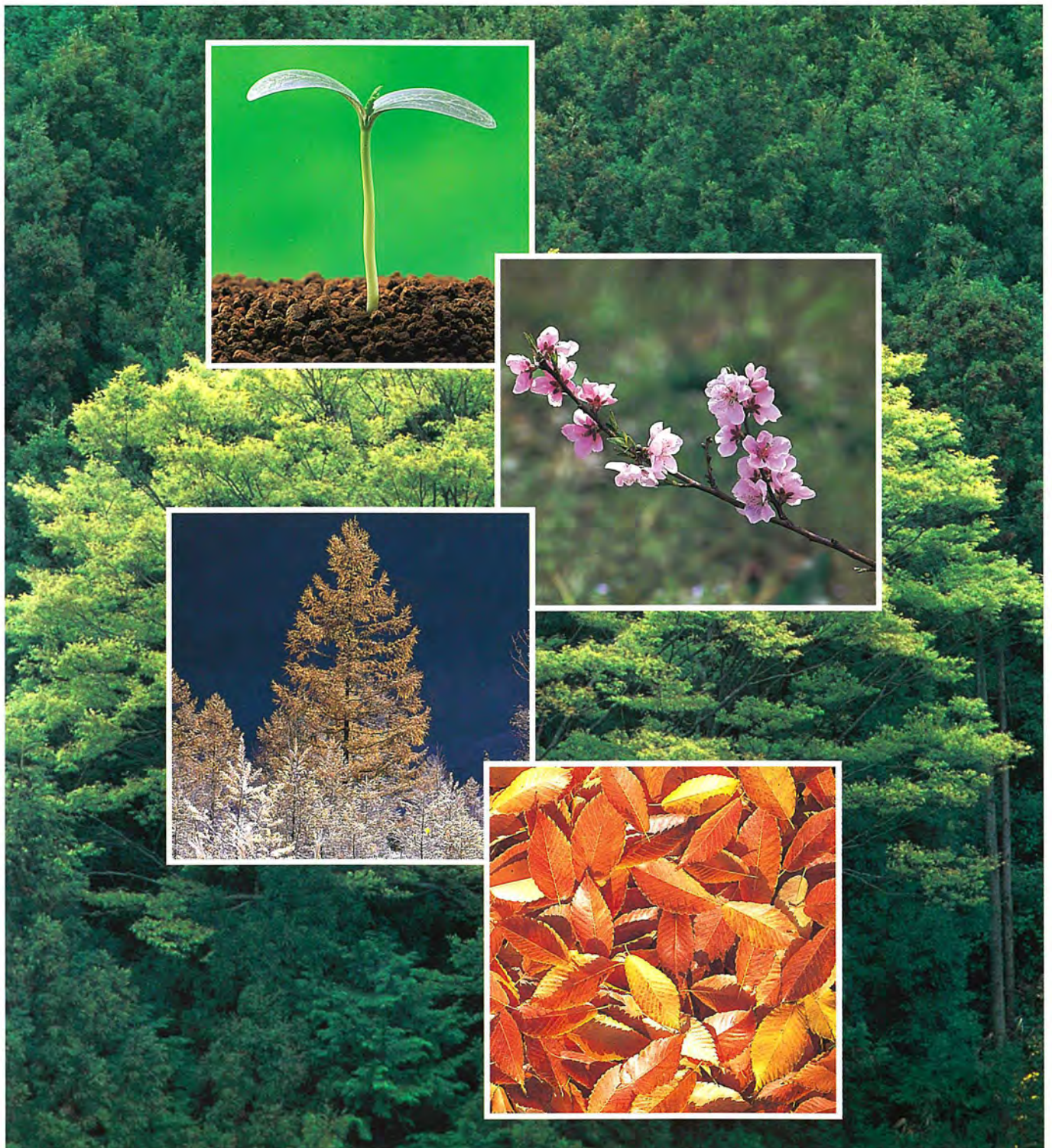
MITSUBISHI

三菱電機技報

Vol.69 No.6

特集 “環境技術の展開”

'95 6



特集 “環境技術の展開”

目 次

特集論文

環境保全型経済社会へ向けての物づくりの思想	1
永田勝也	
地球環境問題への企業の取組	2
伊藤利朗・地大英毅	
オゾン層破壊物質の削減	7
井戸猛夫・川口尚文	
家電品のリサイクルに向けての一考察	13
片桐知己・池田泰成・松村恒男	
環境に適した新しい包装技術	18
飯島康司・前澤英一	
上下水道分野におけるオゾン高度処理システム技術	23
廣辻淳二・河相好孝・江崎徳光・田村哲也	
広島新交通1号線の排煙・空調制御システム	28
堀田重信・木山康孝・加山 勉・中村俊文	
衛星によるリモートセンシング	33
岩橋 努・田中宏和・門脇 隆	
薄膜分離プロセスを用いた薄膜シリコン太陽電池	39
森川浩昭・有本 智・石原 隆・隈部久雄	
燃料電池開発の現状と今後	44
田熊良行・松本正昭・佐々木 明・漆畑広明	
吸音プラスチックの防音パネルへの応用	49
大葛勝久・塚本浩二・谷 周一・鈴木 渉・本多隆一	
大気環境モニタリング用高感度 NO _x センサ	54
花里善夫・神谷俊行・宮本 誠・木村さおり・磯田 悟	
環境問題から見た配電用ガス絶縁変圧器	59
酒井 潔・星野 悟・ガーリー ホスマン・南井良文	
ライフサイクルアセスメントとエントロピーの概念	64
中山繁樹・池田 彰	

普通論文

分散システム構築ソフトウェア	68
片山隆男・青木裕司	
ハイパページモード(EDO)機能付き 第四世代バイト/ワードワイド4 MDRAM	73
坂本 渉・富上健司・下田正喜・豆谷智治・本並 薫	
32K ワード×32ビット シンクロナス パーストSRAM	78
大林茂樹・小杉龍一・佐藤広利・近藤 攝・千田 稔	

特許と新案

「ロータリ圧縮機」「蛍光板モニタ」	85
「電力開閉装置」	86

スポットライト

“ワイド&省” ルームエアコン “霧ヶ峰” FX シリーズ MSZ-FX255形	84
三菱マルチコミュニケーションシステム	(表3)

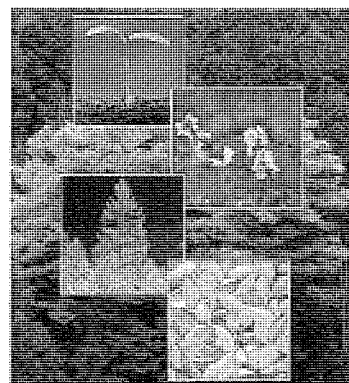
表紙

自然との共生—循環型社会をめざして—

今までの“大量消費型社会”は地球環境に多大な負荷をかけてきた。しかし、今後も地球と共存していくためには限られた資源を再生・再利用し、有効に使う“循環型社会”を構築しなければならない。

持続可能な発展の理念を基に、環境に配慮した設計・技術の開発を行っている。それが生かされた製品やシステムを紹介する。

製品の原料調達、生産、使用、そして廃棄までを見つめた当社の取組姿勢を、枯れてからも自然の中で循環される草木の一生で表現した。



三菱電機技報に掲載の技術論文では、国際単位“SI”〔SI 第2段階(換算値方式)を基本〕を使用しています。ただし、保安上、安全上等の理由で、従来単位を使用している場合があります。

アブストラクト

地球環境問題への企業の取組

伊藤利朗・地大英毅

三菱電機技報 Vol.69・No.6・p.2～6 (1995)

世界30か国以上に生産会社を持つ当社にとって、地球規模で環境保護を推進することは使命であるといっても過言ではない。

この論文では、当社としての地球環境問題取組を“オゾン層保護”“環境汚染防止”“地球温暖化防止”等について、具体的な対策を代表例に挙げて説明し、企業経営の在り方や企業間の協調等の提言を行っている。

オゾン層破壊物質の削減

井戸猛夫・川口尚文

三菱電機技報 Vol.69・No.6・p.7～12 (1995)

製造分野におけるオゾン層破壊物質の削減の取組に関し、半導体製造CVD用の特定フロンや四塩化炭素のクロロホルム等への代替、パワー半導体の洗浄では新規に開発した炭化水素系の洗浄剤(ソルファインSK)の適用、プリント配線板では特殊な用途以外は無洗浄化の推進、部品等は徹底した無洗浄化の推進、それが不可能な場合には代替洗浄技術(水系・炭化水素系等)を採用した。これらによってオゾン層破壊物質の全廃の見通しが得られた。

家電品のリサイクルに向けての一考察

片桐知己・池田泰成・松村恒男

三菱電機技報 Vol.69・No.6・p.13～17 (1995)

大型家電品であるカラーテレビ・冷凍冷蔵庫・ルームエアコン・洗濯機を対象に、1983年及び1993年製造の各1台を部品レベルまで丁寧に一次分解し、解体時間、製品の構成材料の比率、材料の組合せ、構成材料比の年次の差異を調査した。さらに部品を材料まで二次分解して、これら4製品の材料のリサイクルを想定し、マテリアルバランスを推定した。

また、家電品リサイクルの全体システムにおける課題を抽出し、製品アセスメントの重要性を述べた。

環境に適合した新しい包装技術

飯島康司・前澤英一

三菱電機技報 Vol.69・No.6・p.18～22 (1995)

リサイクル法が1991年10月に施行されるなど、電気製品の包装に関連する廃棄物法規制が、国内外で相次ぎ制定されている。また、通産省や市場(顧客)からは、包装の再資源化や廃棄処理容易化などの要請が強化されており、家電メーカーにとって包装廃棄物対策は、重要な課題となっている。

この廃棄物問題に対応して開発した新包装改善事例(発泡スチロール・木材代替、通い包装、再生・再利用包装)を報告する。

上下水道分野におけるオゾン高度処理システム技術

廣辻淳二・河相好孝・江崎徳光・田村哲也

三菱電機技報 Vol.69・No.6・p.23～27 (1995)

水の高度処理、再生技術が重要となっており、上水分野では“安全でおいしい水”、下水分野では“清らかな水環境の回復”“水の再生利用”を目指して、オゾンを使った新しい高度処理技術や水再生技術の開発、実用化に取り組んでいる。本稿では、環境の主要要素である“水”の浄化技術として、上下水道分野のオゾン高度処理システムの事例、及び現在研究開発中の過酸化水素添加オゾン処理法による水再生技術について当社の最新の取組を紹介する。

広島新交通1号線の排煙・空調制御システム

堀田重信・木山康孝・加山 勉・中村俊文

三菱電機技報 Vol.69・No.6・p.28～32 (1995)

広島新交通1号線地下駅は、国内初の全密閉型ホームドア採用のため、設備計画時にSES(地下鉄環境シミュレーション)による気流解析や設備仕様検討を実施した。

本稿では、SESによる設備計画概要及びその実測評価内容について紹介する。また、地下駅3駅を通常は各駅個別に監視制御し、緊急時は管理駅からバックアップすることによって効率的で安全な設備運用を実現した統合排煙・空調監視システムについて併せて概説する。

衛星によるリモートセンシング

岩橋 努・田中宏和・門脇 隆

三菱電機技報 Vol.69・No.6・p.33～38 (1995)

オゾン層の破壊や熱帯雨林の減少など、地球規模での環境変化が様々な形で顕在化している。衛星からのリモートセンシングは、地球全体を広域かつ周期的に観測できるので、従来から行われている地上観測による方法に加えて、地球環境監視の中心的役割を果たしている。

本稿では、衛星リモートセンシングによる環境観測の現状について紹介するとともに、地球観測衛星や搭載センサ及びシステム構成の将来の見通しについて述べる。

薄膜分離プロセスを用いた薄膜シリコン太陽電池

森川浩昭・有本 智・石原 隆・隈部久雄

三菱電機技報 Vol.69・No.6・p.39～43 (1995)

太陽電池の実用化を図るため、シリコン材料費を従来の約1/10に節減できる低コストで、かつ高効率な薄膜多結晶Si太陽電池の開発を行っている。薄膜多結晶Siを基板から分離し、基板をリサイクルできる独自の薄膜分離プロセス及び構造を採用したVEST(Via-hole Etching for the Separation of Thin films)太陽電池は、pn両電極が裏面に形成されて表面電極がないため、高効率、アセンブリの省工程化、デザインの自由度が大きいといった特長を持っている。

燃料電池開発の現状と今後

田熊良行・松本正昭・佐々木 明・漆畑広明

三菱電機技報 Vol.69・No.6・p.44～48 (1995)

燃料電池は、クリーンで高い発電効率を持つ優れた発電システムである。当社は、りん酸型、熔融炭酸塩型、固体高分子型の3種類の燃料電池の開発に取り組んでいる。それぞれの特長を生かし、コジェネに適したりん酸型はオンサイト用又は分散配置用電源を、高効率の熔融炭酸塩型は事業用電源を、高出力密度の固体高分子型は移動用・可搬用電源を主なねらいとしている。当社は、技術レベルに応じて要素開発からプラント実証まで取り組み、早期実用化を目指した開発を進めている。

吸音プラスチックの防音パネルへの応用

大蔭勝久・塚本浩二・谷 周一・鈴木 渉・本多隆一

三菱電機技報 Vol.69・No.6・p.49～53 (1995)

吸音プラスチックは、熱可塑性樹脂の粒子を加圧、加熱し、空げき(隙)を残しながら粒子同士を接合した多孔質体である。素性の知れた材料で製造されるのでリサイクル性を持つ。吸音プラスチックは、音響的には音響質量と音響抵抗に相当し、流れ抵抗によって吸音性能を評価できる。吸音プラスチックを使用した防音パネルの吸音率は、独自の内部構造によってコントロールできる。さらに、防音パネルは優れた耐候性と強固な外枠によって厳しい環境に耐えることができる。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 69, No. 6, pp. 28~32 (1995)

A Smoke Exhaust and Air Conditioning System for the Hiroshima Subway System

by Shigenobu Horita, Yasutaka Kiyama, Tsutomu Kayama & Toshifumi Nakamura

The authors employed airflow simulations to evaluate designs for Japan's first subway stations to use sealed platforms. The article describes how simulations were used to plan the facilities and reports on measurements at the completed projects. The article also reports on the integrated smoke exhaust and air-conditioning system designed for the stations. The highly efficient systems are normally controlled at each station, and have a provision for remote control from a major station in the event of an emergency.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 69, No. 6, pp. 2~6 (1995)

Global Environmental Issues—The Priorities of a Transnational Enterprise

by Toshio Ito & Eiki Jidai

As a transnational company with affiliated manufacturing companies in more than 30 countries, global environmental protection is one of the most important missions of Mitsubishi Electric. Corporate activities for the prevention of ozone depletion, environmental contamination and global warming are discussed in this article. Also mentioned are corporate management strategies and intercorporate cooperation for the promotion of environmental protection.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 69, No. 6, pp. 33~38 (1995)

Environmental Observation by Remote-Sensing Satellite

by Tsutomu Iwahashi, Hirokazu Tanaka & Takashi Kadowaki

Periodic observations from remote-sensing satellites supplement terrestrial environmental measurements by monitoring the changes associated with ozone depletion, logging of tropical rainforests and other human activities on a global level. The article introduces the current state of remote-sensing technology for environmental observation, and comments on future developments in earth observation satellites, their sensors and system configurations.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 69, No. 6, pp. 7~12 (1995)

Reduction of Ozone-Depleting Substances

by Takeo Ido & Naobumi Kawaguchi

The electronics industry is working actively to phase-out the use of ozone-depleting substances (ODSs). In Mitsubishi Electric chloroform and other substitutes are now replacing CFCs and carbontetrachloride, which is used for chemical vapor deposition in semiconductor manufacturing. Hydrocarbon solvents such as Solfine-Sk, developed by the corporation, are being applied as substitutes in the cleansing process of semiconductor power devices. As a result of improvements in related technologies, the cleansing of printed circuit board assemblies is no longer required. Components are kept as clean as possible and cleaned, only if necessary, in aqueous solutions or hydrocarbon solvents. The complete phase-out of ODS use is in sight.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 69, No. 6, pp. 39~43 (1995)

Thin-Film Silicon Solar Cells Produced by a Thin-Film Separation Process

by Hiroaki Morikawa, Satoshi Arimoto, Takashi Ishihara & Hisao Kumabe

Mitsubishi Electric has developed via-hole etching for the separation of thin films (VEST) from a reusable substrate. Solar cells produced from this film require one-tenth the raw silicon of conventional devices, and are more efficient since both p and n electrodes are formed along the rear surface. Assembly cost is low, and the device lends itself to various design and packaging configurations.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 69, No. 6, pp. 13~17 (1995)

A Study on Consumer-Appliance Recycling

by Tomoki Katagiri, Yasunari Ikeda & Tsuneo Matsumura

The authors took 1983 and 1993 model color TVs, refrigerators, room air conditioners and washing machines, carefully measured the primary disassembly time, the proportions of basic materials, material combinations, and year-by-year changes in composition. They also conducted component-level disassembly, which they used to estimate recycling potential and calculate the ratio of materials incorporated. The authors use this information to analyze the costs of a consumer-appliance recycling infrastructure, and recommend industry-wide adoption of product assessment procedures during design.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 69, No. 6, pp. 44~48 (1995)

Developments in Fuel-Cell Technology

by Yoshiyuki Takuma, Masaaki Matsumoto, Akira Sasaki & Hiroaki Urushibata

Mitsubishi Electric is developing three types of fuel cells and building pilot plants for testing. Fuel cells offer clean and highly efficient means to generate electricity. Phosphoric acid fuel cells offer output sufficient for cogeneration and on-site power supplies. Molten carbonate types are highly efficient and suitable for use as utility power supplies. Solid-state polymer types offer high power density, making them suited for mobile use.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 69, No. 6, pp. 18~22 (1995)

New Environment-Friendly Packaging Technology

by Yasuji Iijima & Eiichi Maezawa

Packaging restrictions aimed at protecting the environment have become stricter both in Japan (with the passage of the Recycling Act in October 1991) and abroad. Consumer product manufacturers are receiving pressure to increase recycling of packaging materials and to simplify disposal both from Japanese consumers and from the Ministry of International Trade and Industry. The article reports on new packaging technologies including replacement of styrofoam by a wood-based product, returnable packaging, and recyclable and reusable packaging.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 69, No. 6, pp. 49~53 (1995)

Soundproof Paneling Based on a Sound-Absorbent Plastic

by Katsuhisa Dtsuta, Koji Tsukamoto, Shuichi Tani, Wataru Suzuki & Ryuichi Honda

The authors report on a porous sound-absorbent plastic material made from thermal bonding of thermoplastic resin grains. The material can be easily recycled since its composition is known, and is effective for both acoustic mass and acoustic resistance. Sound-absorbing performance was evaluated by measuring the flow resistance. The soundproof panels manufactured using this material have a unique internal structure that provides superior sound-absorbing performance, and also feature excellent weather resistance.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 69, No. 6, pp. 23~27 (1995)

Advanced Ozone Processing Technology for Water-Supply and Sewage-Treatment Use

by Junji Hirotsuji, Yoshitaka Kawaai, Norimitsu Esaki & Tetsuya Tamura

Mitsubishi Electric has developed advanced water-processing technologies using ozone for both water-supply and sewage-treatment applications. The article introduces practical systems for both of these purposes, and describes work in progress on new ozone-processing technology incorporating hydrogen peroxide.

アブストラクト

大気環境モニタリング用高感度 NO_x センサ

花里善夫・神谷俊行・宮本 誠・木村さおり・磯田 悟
三菱電機技報 Vol.69・No.6・p.54～58 (1995)

大気環境に存在するppb(part per billion)レベルの濃度の窒素酸化物(NO_x)を検出できる高感度NO_xセンサを開発している。多種類の金属テトラフェニルポルフィリン(Metal Tetraphenyl porphyrin: MTPP)薄膜とNO₂との吸脱着機構解明に基づき、最適であると判断されたCr TPP 薄膜をガス感応膜として用い、これと表面弾性波素子とでNO_xセンサを構成した。このセンサにより、数十ppb から数ppm(part per million)の濃度のNO₂を選択的に検出可能であることが分かった。

分散システム構築ソフトウェア

片山隆男・青木裕司
三菱電機技報 Vol.69・No.6・p.68～72 (1995)

この論文では、分散システム構築時に問題となるシステム管理・運転管理と、サーバに求められる信頼性を解決するためのMEファミリの分散システム構築用ソフトウェアについて、下記内容を主体に報告する。

- (1) 大規模分散システムに対応したソフトウェアの自動配信
- (2) 大容量データに対応したバックアップ機能
- (3) クライアントマシンを含めたスケジュール運転管理
- (4) サーバ二重系に対応した運転管理

環境問題から見た配電用ガス絶縁変圧器

酒井 潔・星野 悟・ガーリー ホスマン・南井良文
三菱電機技報 Vol.69・No.6・p.59～63 (1995)

地球規模での環境問題に対する社会的な要求が高まる中、配電用変圧器のような受配電用機器についても環境に対して考慮する必要がある。この論文では配電用変圧器のライフサイクルを考慮した上で、社会環境との関係を個々に分析して環境に対する影響を調査した。

一般に、ガス絶縁変圧器は、他の機種に比べて安全性・信頼性の面での評価が高いが、リサイクルや環境問題に対しても優れていることが示された。

ハイパページモード(EDO)機能付き

第四世代バイト／ワードワイド4MDRAM

坂本 渉・富上健司・下田正喜・豆谷智治・本並 薫
三菱電機技報 Vol.69・No.6・p.73～77 (1995)

0.6μmプロセス技術を駆使し、アクセス時間を高速化するとともに、新規機能としてサイクル時間の高速化とシステム設計が容易にできるハイパページモード(EDO)を搭載した第四世代バイト／ワードワイド4MビットDRAMを開発した。さらに、高速化に伴う消費電力の増加を抑えるため電源電圧降圧回路によって外部電源電圧5Vを内部電圧3.3Vに降圧して、消費電力を低減した。

ライフサイクルアセスメントとエントロピーの概念

中山繁樹・池田 彰
三菱電機技報 Vol.69・No.6・p.64～67 (1995)

エントロピー概念の応用は、環境問題のような複雑で不確定要素の多い現象をグローバルに把握するのに有効と考えられている。本論では、エントロピーの概念をレビューし、環境問題とエントロピーの関係、地球のグローバルな活動とエントロピーの関係から、産業活動などに伴って必然的に発生するエントロピーの環境への排出手段として物質の放出よりは熱の放出の方が望ましいであろうこと、リサイクルについても同様の評価が必要であろうことを提案した。

32Kワード×32ビット シンクロナス バーストSRAM

大林茂樹・小杉龍一・佐藤広利・近藤 攝・千田 稔
三菱電機技報 Vol.69・No.6・p.78～83 (1995)

近年のコンピュータ機器の性能向上は目覚ましいものがある。CPUは64ビットI/Oという広いビット幅を持ち、電源電圧3.3Vで75MHzを超える周波数で動作するものが使用され始めている。このような高性能CPUの二次キャッシュメモリとして最適な、32Kワード×32ビットの語構成を持ち、動作周波数75MHz(3.3V, 70℃時)という高性能シンクロナスバーストSRAMを0.5μmCMOSプロセスを用いて開発した。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 69, No. 6, pp. 68~72 (1995)

Distributed Computer System Integration Software

by Takao Katayama & Yuji Aoki

Developing distributed computer systems entails complexities in system and operation management, and requires a reliable server. The article reports on the distributed computer system integration software for the Mitsubishi Electric ME Series, which addresses these problems. Its features include automatic software distribution across large-scale distributed systems, large-capacity data-backup support, scheduled operation management for both server and client machines, and operations management for redundant servers.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 69, No. 6, pp. 54~58 (1995)

A Highly Sensitive NO_x Sensor for Atmospheric Measurements

by Yoshio Hanazato, Toshiyuki Kamiya, Makoto Miyamoto, Saori Kimura & Satoru Isoda

Mitsubishi Electric is developing a highly sensitive NO_x sensor that detects atmospheric NO_x at the parts per billion (ppb) level. Based on an understanding of the adsorption mechanism between NO₂ and metal tetraphenylporphyrins, the authors developed an NO_x sensor consisting of a complex thin film of tetraphenylporphyrin-chromium-chloride (considered optimum for this application) and a surface acoustic wave device. The sensor behavior can be adjusted to measure concentrations from ppb to ppm levels.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 69, No. 6, pp. 73~77 (1995)

A 4th-Generation Byte- and Word-Wide 4Mb DRAM with a Hyper Page Mode (EDO) Function

by Wataru Sakamoto, Kenji Tokami, Masaki Shimoda, Tomoharu Mametani & Kaoru Motonami

Mitsubishi Electric has developed a 4th-generation 4Mb DRAM based on a 0.6μm lithography process that features faster access, a hyper page mode (EDO) function that accelerates access and facilitates system design, and byte- or word-wide configurations. An on-chip regulator drops the external 5V power supply to the 3.3V internal supply voltage, which was adopted to reduce power dissipation.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 69, No. 6, pp. 59~63 (1995)

Environmental Advantages of Gas-Insulated Power-Distribution Transformers

by Kiyoshi Sakai, Satoru Hoshino, Gary Horsman & Yoshifumi Minamii

With society demanding global response to environmental problems, power-distribution transformers merit scrutiny with regard to their environmental impact. The authors have investigated the effects of gas-insulated transformers throughout their life cycle. In addition to a well-earned reputation for safety and reliability, gas-insulated transformers offer advantages of easy recycling and low environmental impact.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 69, No. 6, pp. 78~83 (1995)

A 32K Word x 32-Bit Synchronous Burst SRAM

by Shigeki Ohbayashi, Ryuichi Kosugi, Hiroto Sato, Setsu Kondo & Minoru Senda

Mitsubishi Electric has developed a high-performance synchronous burst SRAM using a 0.5μm CMOS process in a 32K word × 32-bit configuration. The device operates at 75MHz with a 3.3V supply and 70°C ambient temperature, providing sufficient cache performance for new-generation CPUs with a 64-bit I/O bus and operating frequencies of 75MHz and above.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 69, No. 6, pp. 64~67 (1995)

Life Cycle Assessment and the Concept of Entropy

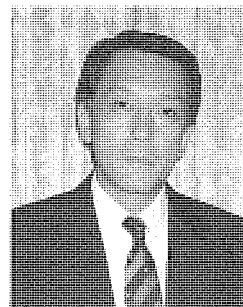
by Shigeki Nakayama & Akira Ikeda

The concept of entropy is a useful aid to grasping global environmental issues, which inherently involve numerous uncertainties. The article considers the relationship between global activities, environmental problems and entropy. The authors propose that the inevitable discharge of entropy to the environment that accompanies manufacturing activities should take the form of thermal emissions in preference to material emissions. They suggest that this style of analysis may also be useful to clarify recycling issues.

環境保全型経済社会へ向けての物づくりの思想

早稲田大学理工学部

教授 永田 勝也



我が国を含め、先進諸国の環境問題は、ここ数十年の間に質的に大きな変貌を遂げてきた。

昨年12月に策定された環境基本計画では、Sustainable Development (持続的な発展) が可能な、いわゆる環境保全型経済社会の実現へ向けてのキーワードとして、循環、共生、参加、国際的取組の四つを掲げている。すなわち、環境保全型社会とは、環境負荷の少ない“循環”を基調とした経済システムを持ち、かつ自然との“共生”が確保された社会であると規定している。また、その実現・維持に向け、社会のすべての構成員が応分の役割を果たし、協力・連携しつつ、環境保全のための行動に自主的・積極的に“参加”する体制の構築が肝要であり、さらに、一国で対処しきれない地球環境問題等には“国際的取組”を積極的に推進することが重要であるとしている。

環境保全型経済社会を実現するに当たっては、企業の役割を強調しておかなければならないが、民間の活力を生かし、環境保全型への移行を促進させるには、以下の三つの基本方針に基づく施策の展開が望まれる。

すなわち、

- (1) 環境コストの内部化を前提とした上での市場の積極的活用
- (2) 将来の社会・技術等に関する明確な目標の提示
- (3) 将来への積極的投資の誘発

である。

いまや、環境保全型社会へ向けて、物づくりに新しい思想が求められているように思う。その現れの一つが、昨年度ドイツで成立した循環経済・廃棄物法にみられる“生産物責任 (Produktverantwortung : Product Responsibility)”の概念である。これは、生産や流通に携わる者に、その生

産物に関して製造や流通時はもちろんのこと、使用・廃棄後の処理・リサイクルまでも視点に入れた環境負荷の少ない物づくりを求めるものである。こうした点を視野に入れながら、ここでは“成長”する製品の概念を提案しておきたい。

地球環境問題の標語ともなったSustainable Developmentは、学生との環境問題に関する討論の中で大きな救いとなった。なぜなら、ともすれば暗くなりがちな将来の環境問題への展望に対して、矛盾は指摘されながらも“徐々に良くなる”という、この標語の根底に流れる思想は、将来に立ち向かっていく気力を与えてくれたからである。製品に、このSustainable Developmentのコンセプトを持ち込んだのが“成長”する製品である。

これまでの製品は、買ったときに最高の機能・性能を発揮し、その後は劣化するだけであり、作る側では買い替えて利益を得る構図が基本であった。“成長”製品は、使用過程でのメーカーの手当により買ったときから徐々に機能・性能が良くなることを前提に作られており、作る側ではこの手当に対して正当な対価を得て利益を出す。このような物づくりでは、将来の技術開発についてしっかりと見通しを持ち、長期的視点に立った設計が要求されよう。こうした製品となれば、地球にもやさしく、また現在の安売り競争の悪循環から解放されるかもしれない。

今後の環境保全の進展には、技術やシステムの研究開発のみならず、それに関与する人々の意識も大きな影響を与えよう。特に、物づくりのデシジョンポイントを握っている設計者の役割は大きい。“成長”する製品のコンセプトが環境保全型経済社会での物づくりのヒントになれば幸いである。

地球環境問題への企業の取組

伊藤利朗*
地大英毅**

1. ま え が き

世界 30 か国以上に生産会社を持つ当社にとって、地球規模での環境保護を推進することは使命であると言っても過言ではない。言い換えれば経営そのものである。企業は月並みな環境保護に努めるだけではなく、日常業務の中で、無駄なエネルギー、実りない活動のような無駄なことを減少したり、製造工程での不良率や産業廃棄物を最少にするといった経営合理化をこれまで以上に推進する必要がある。というのは、これらのものは企業経営にとって悪であるというだけでなく、地球環境を悪化する源だからである。

一方、現実の地球環境問題を見ると、最も重要なことは、開発が急速に進んでいるアジア諸国の環境対策である。これらの諸国は世界人口の半分以上を占め、今や先進国のための製品よりも多くの製品を自分たちのために生産しようとしているからである。筆者はこれらの諸国が環境保護を推進することにより、自然と調和を図りながら産業を成長させるのを支援することが、先進国すべての企業の極めて重要な使命であると考えている。

この問題に対する具体的な方策を立てる前にまず考えるべきことは、現在のリサイクルを無視した需要と供給のシステムは自然と調和しないということである。例えて言えば、このシステムは物を消費した後、自動的に物が消失すると思いがちである。しかしながら、それは正しくはない。消費した後もなお製品の材料、包装材やす(棄)てられた品物が存在しているのである。これらの物が環境を変わ(歪)ませ、生物の活動を阻害する原因となる。

したがって、我々はもっともっと正しく物を処置する新しい方法やシステムを開発しなければならない。これらの開発では、世界的な規模で政府や非政府機関との協調が避けられないと言えよう。

三菱電機グループでは、1991年、約11万強の従業員、約100の企業集団に対して指針となる地球環境憲章を策定して、行動目標を明確にするとともに、全従業員に対して持続可能な発展に関する方針を周知徹底し、かつ以下のことを強調した。

“我々人間は宇宙から多くの恵みを受けているので、環境を変歪させなければほとんど永久に発展を続けられる。人間は環境を変歪させてはならない。”という“持続可能な発展”の理念を全従業員に周知徹底した。

そして以下に述べるような課題に取り組んだ。

2. 具体的な課題に対する企業の取組

2.1 オゾン層保護

“オゾン層は、太陽からの紫外線の有害な影響から生物を保護する機能を持っているため、我々はできるだけ早くオゾン層を破壊する物質の使用を止めなければならない。”このような主張を掲げて当社では、オゾン層を破壊する物質の使用を抑制するモントリオール議定書に基づく規制スケジュールが出る約4年前に、これらの物質を廃止するための社内対策委員会を設立した。全社的な規模で技術開発を推進した結果、目標の1995年までに全廃する見通しである。以下に代表例について述べる。

(1) 特定フロン対策の冷蔵庫

従来冷蔵庫の冷媒用には、CFC-12、断熱材の発泡用にCFC-11が使われてきた。これを、代替フロンHFC-134a及びHCFC-141bに代替する技術開発を行い、1993年末に特定フロンを廃止した冷蔵庫の発売を開始した。1994年春には主力機種である400ℓ以上の冷蔵庫を発売し、今後順次既存機種からの切り換えを実施し、1995年6月までに特定フロンを全廃する見通しを得た。

特に、世界で初めてロータリ型圧縮機に非相溶性の潤滑油

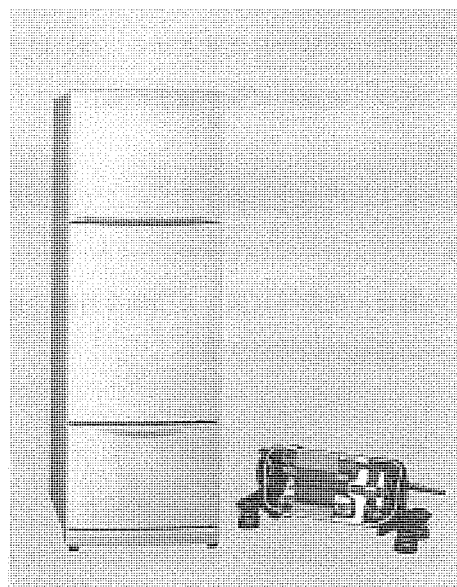


図1. 特定フロン全廃の冷蔵庫と
ロータリ型圧縮機のカットモデル

を用いた冷凍サイクルを採用し、従来機種と同程度のエネルギー効率を得たことが大きな成果である。図1にはHFC-134a採用のロータリ型圧縮機のカットモデルを示している。

特定フロン全廃の冷蔵庫は、消費者が従来のものと区別できるように前扉に図2のような業界標準のラベルを張っている。

上記の開発技術を中国及び東南アジアの企業へ移転することは肝要である。この技術を始め、環境を保護するための新しい技術を展開していくことが当社の方針である。

これらの成果が評価され、1994年の10月25日に米国のEPA (Environmental Protection Agency) からオゾン層の破壊物質の削減/全廃に世界的に貢献した企業に送られる“1994 EPA Stratospheric Ozone Protection Award”の表彰を受けた(図3)。

(2) 空調機のフロン対策

前述のモントリオール締約国会合では、指定フロンのHCFCについても1996年から規制が開始されることが決定している。当社では材料メーカーと協同で代替冷媒及びその周辺技術を精力的に開発中である。

(3) 製造工程でのフロン対策

特定フロン及びトリクロロエタンは、その優れた物理化学性質から種々の用途に使用されてきた。三菱電機グループでは、半導体の製造や機械部品の洗浄等の製造工程に広く使用されていた。代替技術の開発を推進し、代替物質を見いだし、その製造プロセスを確立した。



図2. 特定フロン規制対応冷蔵庫のラベル



図3. EPAから授賞した盾

製造プロセスの代表例は、石油ファンヒータのカートリッジ型石油タンク(図4)に潤滑銅板を採用することによって加工油を全く使用しない成形技術を開発したことである。これにより、トリクロロエタンの洗浄を廃止できたことに加えて、コスト低減及び工場の省スペースが達成できた。このことは環境を保護するためには、製造プロセスの改善はもちろんのこと、設計面での改善が重要であることを示唆している。

2.2 環境汚染防止対策

環境汚染の主原因は、我々人間が地球の持っている自己洗浄能力を越えた活動により、地球環境を汚すことにある。当社は産業廃棄物に関して、1991年度の排出量に比べて1995年度は30%の減少を目標にしており、新しいリサイクル技術の導入や工場における焼却炉の導入等により、達成のめどが得られた。産業廃棄物削減の次のステップとして、設計段階から製造工程に至るまでのきめ細かい削減策を推進中である。

消費者によって棄てられた製品の廃棄物の問題に関しては、当社は製品に使用される材料を削減することと、再生材料の使用を促進している。リサイクル促進については、製品の解体性を容易にすることが重要となる。当社の製品に関しても、特に我々が製造するすべての家電品及び量産電子機器について、製品アセスメントを展開中である。

自主基準に基づき、設計の段階で環境の影響を評価することを徹底している。この基準の例としては、製品が最終的には廃棄物となることを考慮して分離・分解性、質量・容積の減少、及び包装材の削減等である。この技術分野においても他企業との協業が重要であり、当社は昨年9月にダイムラーベンツグループと解体性を容易にするための汎用設計ツールの共同開発をスタートさせた。この共同開発を契機に、更に幅広く協業が展開できることを期待している。

このようなアセスメントに基づいて対策を実施した製品は既に発売されており、代表例としては以下のものである。

- (1) モータ、圧縮機等の部品を使う家電品はこれらの分離・分解性を向上

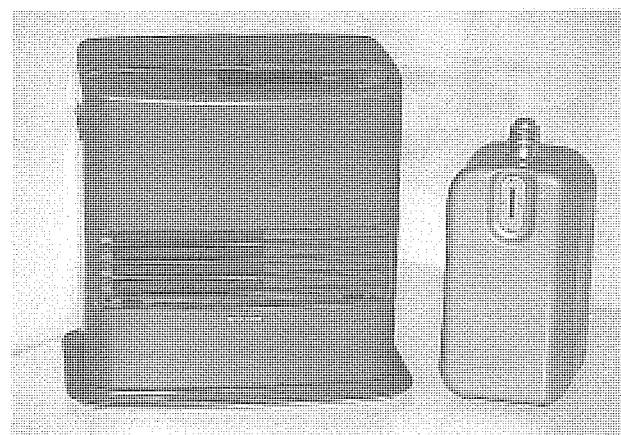


図4. 潤滑銅板採用の石油ファンヒータとタンク

- (2) エアコンは電気・電子部品の集約、熱交換器の構造改良等により、質量・容量を30%低減
- (3) 電気洗濯機の底枠、冷蔵庫の蒸発皿、テレビの背面パネル、ファンヒータの送風ダクト、掃除機の内部の部品等に再生プラスチックを採用
- (4) 包装に使う木材や、発泡スチロールの削減を図るとともに、発泡スチロールのリサイクル技術の開発に取り組み、再生材を50%含む発泡スチロールを開発し、テレビのこん(梱)包材として適用(図5)

これらの成果は、当社が海外に展開している数多くの生産拠点にも速やかに移転している段階である。

なお、長期使用の普及はごみ発生抑制につながる。補修用品の保有期間を長くし、修理技能を高め、モデルチェンジの間隔を長くする展開を図っていくことが重要である。これらを含め、引き続き全分野で製品アセスメントを推進していく予定である。

2.3 地球温暖化防止対策

大気中に放出される炭酸ガスの濃度が高まることが主な原因で気象がゆが(歪)められる。このため、炭酸ガスの放出を抑制することが大切である。

(1) 工場における省エネルギー

日本の各企業は、地球温暖化の一因とされる炭酸ガスについて“一人当たりの炭酸ガス排出量を2000年以降おおむね1990年レベルで安定化”するという日本政府の目標に沿って削減計画を公表し、推進している。

三菱電機グループの工場では、クリーンルームの空調やボイラ等の動力源の省エネルギーに焦点を当て目標達成に向け注力している。建築業界等からはビルのオフィスや住宅等の冷暖房の負荷を小さくする技術の開発が並行してなされており、これらがあいまって炭酸ガス削減に直結する省エネルギー効果が期待できる。

(2) 製品における省エネルギー

一方、製品のライフサイクルでの消費電力や燃料使用量の

削減が重要であり、製品やシステムをより効率化し、かつ消費者に適切な利用を促す必要がある。

三菱電機グループでは石油ショック以来、主な家電製品について省エネルギーの継続的な努力を進めてきた。図6は当社の冷蔵庫の消費電力の推移を示したものであるが、圧縮機や断熱材等の改良のほか、半導体や各種センサを活用した冷凍サイクル技術の進歩によるところが大である。空調機器を始めとする当社の全製品、及び新製品についてこのような省エネルギーを指向している。

(3) 代替エネルギーの開発

言うまでもなく、理想的なエネルギー源は、太陽、風、水力、地熱等の自然エネルギーである。全エネルギーを化石燃料に頼っている現状からこれらの自然エネルギーに移行するには長い時間を要する。したがって、炭酸ガスを放出しない原子力は途中のつな(繋)ぎのエネルギー源として重要である。当社は現在、原子力プラントの安全性について、すべての市民が確信するレベルまで高めることに注力している。

2.4 緑の保護対策

緑は生物に最も基本的なでんぷんを製造する。そして、炭酸ガスを分解して酸素に変える。したがって、緑の保護が極めて大切なことである。

地方や郊外の緑を破壊して人間の仕事場や住宅を建設することはできるだけ控えるべきであると考えている。

この対策として、都市近傍の既存の仕事場を高層化したり、都会の中に住居のための超高層ビルを建てることも重要なことである。当社は高層ビルに必要な昇降機、空調機のビルシステムに注力している。70階、296mの横浜ランドマークタワー(LMT)は、これらの製品のショールームと言えるものになっている。なかでも760m/minの高速エレベータはその代表的なものである(図7)。

今後は、経済発展の著しくかつ世界人口の半分以上を占めるアジア(タイ国、中国、台湾、韓国等)にこれらの技術を展開していくことが重要であると考え、この地域に生産拠点の建設や技術提供を進めている。

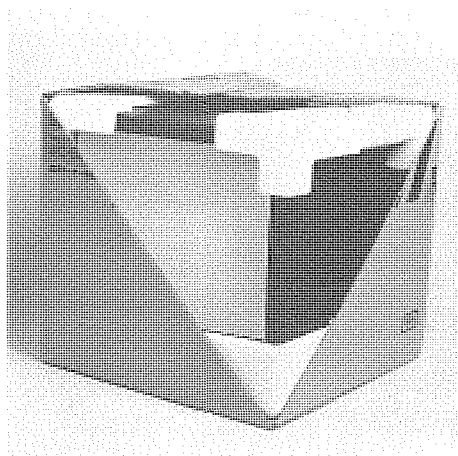


図5. 再生スチロールを使用した梱包

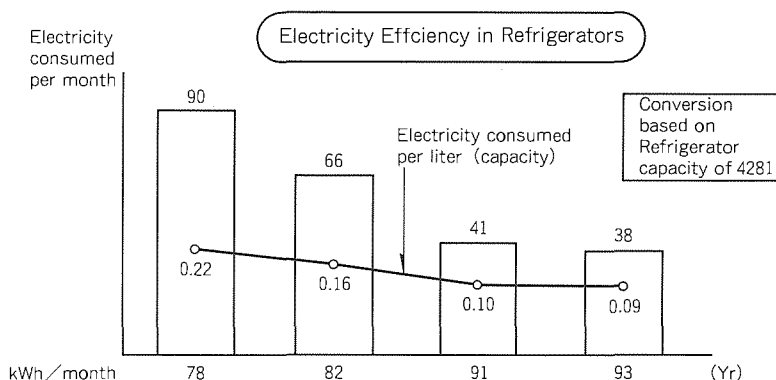


図6. 冷蔵庫における消費電力の推移

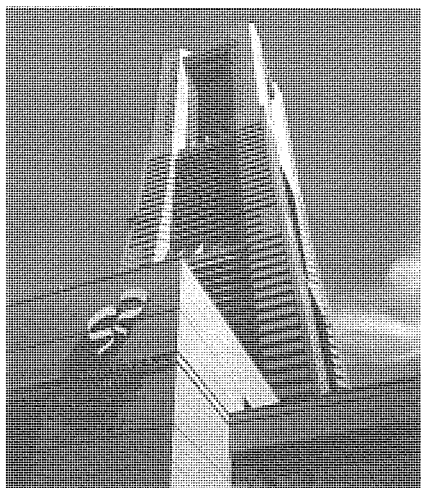


図7. ランドマークタワー

2.5 環境モニタリング

当社では、高精度レーダを利用した資源探査衛星を開発したが(図8)、これは晴雨にかかわらず、地球の表面を観測できる衛星である。この技術を更に進展させた地球観測プラットフォーム技術衛星(ADEOS)が1996年に打ち上げられる予定である。この衛星の打上げにより、陸海表面の汚染やオゾン層の破壊等が観測でき、将来の地球環境を保護する対策に大きな期待がもたれる。

3. 地球環境保護を目指した企業運営

3.1 環境管理システムの構築

日本では多くの企業が産業や企業の活動が環境にかける負荷を評価する環境監査システムの構築を進めている。このシステムによって自主的な監査基準を作り、監査人の育成、監査の実施等を推進しようとしている。さらに、海外に生産工場を持つ企業では、日本と同様海外でもこれらのシステムの構築を進めている。

三菱電機グループもこのような背景から“環境管理規則”を制定し、全社レベルで組織的に環境管理に取り組んでいる。具体的には、経営活動の透明度を上げるため、内部の相互監査の充実、必要な規則・規程類の整備、組織体制の整備等を図っている。

3.2 日常業務での取組

当社では地球環境問題への取組が企業経営の柱ととらえ、日常業務においても地球環境に好影響を及ぼす次の課題に積極的に取り組んでいる。

- (1) 整理・整頓・清掃の実施
- (2) 歩留り／不良率の最小化
- (3) 生産性の向上
- (4) エネルギーの有効利用
- (5) 在庫の最少化

上記課題の達成に向けて、国内のみならず海外の関連会社を含む三菱電機グループの全従業員が努力することが環境問

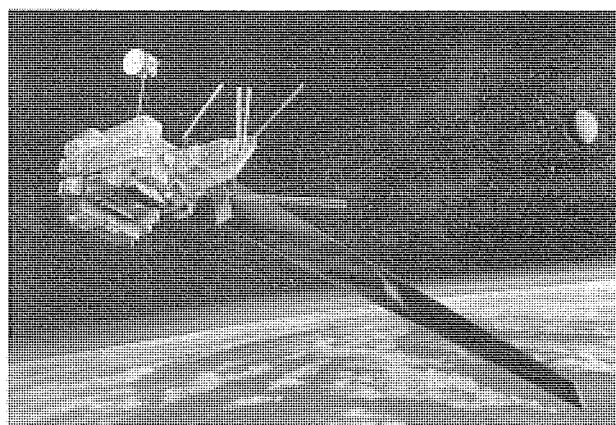


図8. 資源探査衛星(モデル写真)

題の発生を未然に防止する基本的な出発点であると認識している。すなわち、これらを誠実に実践すれば、おのずと廃棄物量の削減や健全なリサイクル社会の構築に向けた貢献が可能と考えている。

4. 地球環境問題を配慮した組織間協調活動

4.1 異なる企業間の交流

既に、多くの製造業では、新製品の開発に当たって、環境に関する事前評価を考慮するようになっている。LCA(Life Cycle Assessment)の考え方がISOでも検討されていて、環境問題が一企業や一国家だけで解決できないことを教えてくれている。

また、過当な競争は、環境に投資すべき本来のリソースの減少を招く可能性がある。適正な協調と分業が、地球環境の負荷を最小にする企業活動を促進するといえる。コンビナートや工業団地は、コジェネレーションを容易にし、エネルギーや輸送の損失を減らすことにつながる。多品種の製品を少量ずつ生産するよりも、互いに得意な製品をOEMしあうことによって、いわゆる量産効果による合理化が可能になる。

こういう点を考慮し、昨年6月に通産省において産業環境ビジョンが策定され、業界が今後指向すべき方向が提示された。策定に当たって、日本を代表する15の業界の企業がLCAに関するデータの提出に協力した。今後、海外企業を含めた適正な協調と分業についても積極的な取組が生まれてくると思われ、特に異業種間の連携がますます重要となろう。

4.2 行政／自治体／企業／消費者の協力の仕組み作り

環境対策に要するコストを公正に分担する国民の合意作りも不可欠で、特に消費者の啓もう(蒙)に政府とともに企業サイドからも注力する必要がある。

例えば、大型電気製品(25"以上のテレビ、250ℓ以上の冷蔵庫)には製造メーカーによる回収、及び適正な処理のための支援が昨年3月から義務付けられるようになった。従来、廃棄された家電品の処理は、無料であったり、有料であ

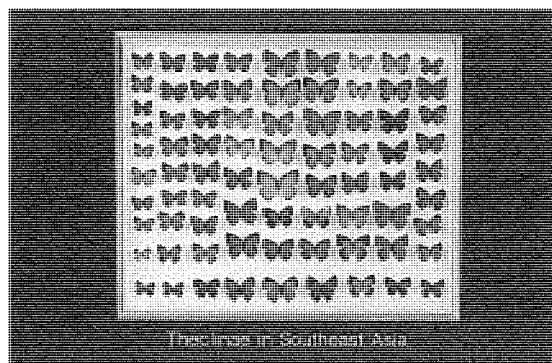


図9. マレーシア半島のシジミ蝶

ったり(金額に差あり), 引き取らない等, 自治体によって異なっていたのが実状である。

これにメーカーが加わって全国統一の社会システムを構築するには自治体/製造メーカー/消費者がお互いに納得できることが重要で, コンセンサスを得るための努力を関係者が行政と一体となって進めていく必要があると思われる。

いま日本で深刻な話題となっている“シュレツダグスト”の埋立て規制の強化に関する問題, 廃家電の回収・処理のメーカーへの協力要請, 特定フロン回収問題等, これらはすべて今後体系的に考えなければならない問題であり, 社会の理解と仕組み作りなしには解決の方向が見いだせないと考えられる。家電製品協会では一昨年11月に廃家電品適正処理センターを発足させ, 自治体の廃家電回収処理をバックアップする体制が整い, 今後の活動が期待される。

なお, 問題解決のかぎ(鍵)を握る技術の開発については, 政府・自治体と連携して推進することが企業にとって重要なことは言うまでもない。

5. む す び

地球環境問題の最大の特徴は, 影響が国境を越え, 長い時間をかけて現れ, 様々な要因が相互に影響することである。“今”の行動結果は21世紀に現れる。したがって, 地球環境問題の解決には少なくとも, 5年, 10年レベルの企業活動計

画を定めなければならない。あらゆる分野で, 今のままで大丈夫か? 常に見直しつつそれぞれの企業が中・長期計画を立案することが必要である。環境に関する投資や教育, 開発等は企業の経営状況に左右されてはならない人類共通のインフラと考える。

海外進出企業は, 現地法人として事業を行う以上, 相手国が定めている環境関連規則を遵守するのは当然であるが, 先進国に比べて規制が緩やかであったり, 未整備である場合等については, 我が国での経験を生かし, 我が国並みの規制を適用するよう一層努力する必要がある。

地球というかけがえのない環境を未来永こう(劫)に維持, 発展させていくためには, 各国/各個人が今まで以上に地球環境問題を認識して行動するとともに, 1国にとらわれず国際協調の下に地道な施策を実施していくことが重要と考える。各国において, 政府/自治体/産業界/消費者が一体となった取組ができる社会システムの構築が極めて重要であると考えている。当社も従業員一人一人に至るまで企業人として, また地球人の一人として, より一層地球環境保全のために努力することが極めて重要である。

最後に筆者の一人である伊藤が趣味としているちょう(蝶)に関する知識をもとに提言したい。

東南アジア, 南米, アフリカの熱帯ジャングルは蝶の種の宝庫である。例えば, 狭いマレーシア半島には, ヒマラヤより北の広いユーラシア大陸の2倍の蝶がいる。伊藤はなかでも日本や東南アジアのジャングルでテクラと総称される紫や緑色に光る羽を持つ美しいシジミ蝶を観察することを長年の楽しみとしてきた(図9)。

こんなわけで伊藤は毎年東南アジアのジャングルを訪ねているが, グローバルな環境問題の深刻さを痛感している。すなわち, 年々蝶の数が減少しているのである。ちなみに蝶は生態系の環境の評価尺度である。要するに“こんなにきれいなものをこの地球から絶対に失ってはならない”というのが伊藤の地球環境問題を考えるときの根底にある悲願である。

オゾン層破壊物質の削減

井戸猛夫*
川口尚文*

1. ま え が き

特定フロン等オゾン層破壊物質の削減対策として、半導体の製造プロセス、及び当社のほぼ全工場がかかわっていたといえる部品や金型等の治工具の洗浄用途、並びにプリント基板の洗浄に関して、組織的に取り組んだ成果について幾つかの代表例を中心に紹介する。

2. オゾン層破壊物質削減／全廃への対応

2.1 背 景

1992年11月コペンハーゲンで開催されたモントリオール議定書締約国会合の決議事項として、特定フロン、1,1,1-トリクロロエタン（以下“トリクロロエタン”という。）、及び四塩化炭素等のオゾン層破壊物質の全廃時期が1995年末に繰り上げられた。これを受けて我が国では、1992年5月に通産大臣から行政指導として、全廃に至る途中段階の厳しい削減要請が各業界になされた。

当社ではこのような情勢にかんがみ、特定フロンを1995年6月末に、トリクロロエタンを1995年末に全廃する方針で、かつより厳しい削減スケジュールを設けて推進してきた。1988年に全社規模のフロン対策委員会を組織化する一方で、図1の推進体制に示すように、1990年には全社レベルのオゾン層破壊物質の削減を特別重点開発プロジェクトテーマとして取り上げ、オゾン層破壊係数がゼロ又はできるだけゼロに近い物質への代替、若しくは特定フロン等を全く使用しない製造プロセスの開発と導入を進めてきた。

資材調達の見点からは、これら規制物質は全廃に至る中間段階での入手難や価格の高騰が予想され、早期に全廃を達成することが経営上のリスクを回避する最善策といえる。このため、代替技術開発と連携して本社資材部門から、これらの規制物質の削減に向けた指導や、代替物質への移行時の安全性の情報収集など積極的な施策が展開された。

2.2 課題と取組の概要

オゾン層破壊物質に関する当社の主要な対応は、概略次のとおりである。

図1の推進体制の中で、①②は冷蔵庫、冷凍機、ショーケース、エアコンなど冷熱機器への対応に関するもので、代替フロン型機器への切換え、③は半導体エッチングプロセスに使用する四塩化炭素レス化・フロンレス化、④⑤はプリント基板や半導体パワーモジュール等の洗浄にかかわるフ

ロンレス化・トリクロロエタンレス化、⑥は機械加工部品、治工具等の洗浄分野におけるトリクロロエタンレス化などである。

これらのうち、冷熱機器の冷媒や断熱材にかかわる対応については省略する。ここでは上記③～⑤の成果を概説し、⑥の部品洗浄対策についてはやや詳細に紹介したい。

特定フロンは、1989年ごろが使用量のピークであったが、削減活動の推進により、1993年にはピーク時のほぼ70%を削減し、1995年6月には全廃の見込みである。

特に、半導体のエッチングプロセス、プリント基板やパワーモジュールプロセスの洗浄については、代替技術への着手が比較的早かったことと1993年5月に米国で施行されたフロンラベル制度が大きな転機となり、1993年に全廃された。

一方、トリクロロエタン削減の対応については、全廃時期が当初2005年の予定であったことから、本格的削減技術の開発を早期に進め得たとは言いがたい。使用量のピークは1992年であり、基準年の1989年に比較して約1.7倍であった。このため、1993年度は基準年の使用量に対して半減、次年度はその半減といった社内削減目標を設定し、強力に推進した。

現在残された課題として、関係会社、協力工場への対策支援がある。特に、協力工場では機械加工部品、電子部品、電子材料、金型等の洗浄に汎用的に広く、かつ多量（1992年時点で社内使用量の約2倍）に使用されており、一部の協力工場については、関連する当社の工場ごとに指導や支援の早急な強化を図っている状況である。

3. 代替技術開発の状況

以下に、代替技術開発と導入の状況をまとめた。なお、トリクロロエタンを中心とする代替技術については、4章・5

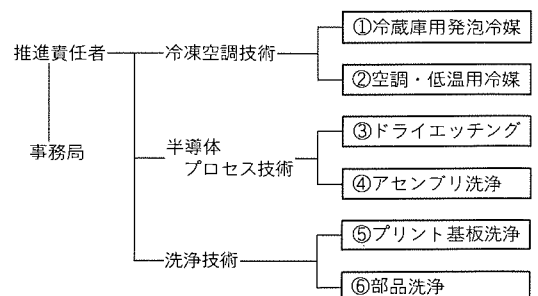


図1. オゾン層破壊物質の削減技術推進体制

章で述べる。

3.1 半導体のドライエッチングへの対応

ゲート電極異方性エッチングとアルミニウムのドライエッチング用のフロン (CFC-113, 114) 及び四塩化炭素は、代替フロン (HCFC-32, 22) やクロロホルムへの置き換えで対応した。ただし、製造ラインにおける相当数のドライエッチャ装置の改造と、条件の設定や評価に多大の開発人工や原資の投入を要した。

3.2 半導体アセンブリプロセスへの対応

パワーモジュールのアセンブリに使用するはんだのフラックス除去に、従来トリクロロエタンを使用していた。これらの代替品として、DPM (Di-propylirene Glycole Monomethyl Ether) を混合して浸透性を改良したミネラルスピリットが最も効果的で、この溶剤は当社と徳山石油化学(株)で共同開発した“ソルファイン-SK”として市場にリリースしている⁽¹⁾。

この溶剤は危険物第4類第2石油類、及び有機溶剤予防規則第3種相当の適用を受けるため、導入に当たっては安全・防災に関する規則基準を基とした。

3.3 プリント基板への対応

当社が使用するプリント基板は家電、情報機器から宇宙や原子力用等その用途が多岐にわたるが、従来使用していたフロン (CFC-113) 及びトリクロロエタンを廃止するための方策としては、無洗浄化と水洗浄方式に移行するためのフラックスの検討、及びその他の代替洗浄剤の検討が主である。

これらの方式に用いられるフラックス材料や洗浄剤が違って、プリント基板の配線間の絶縁が確保できることが不可欠である⁽²⁾。したがって、基板の信頼性を評価する技術をまず確立し、これを用いて、代替技術として用いられるフラックス材料や洗浄剤の適否を検討した。

(1) 無洗浄フラックスの検討

絶縁特性の優れたポストフラックスを3種、また、ソルダペースト2種を見だし、社内16の工場が採用し、基板の無洗浄化を達成した。

(2) 水溶性フラックスの検討

ある種のポストフラックスを塗布して実装した基板は水洗浄後の絶縁特性が良好であり、5つの工場が代替技術として採用した。

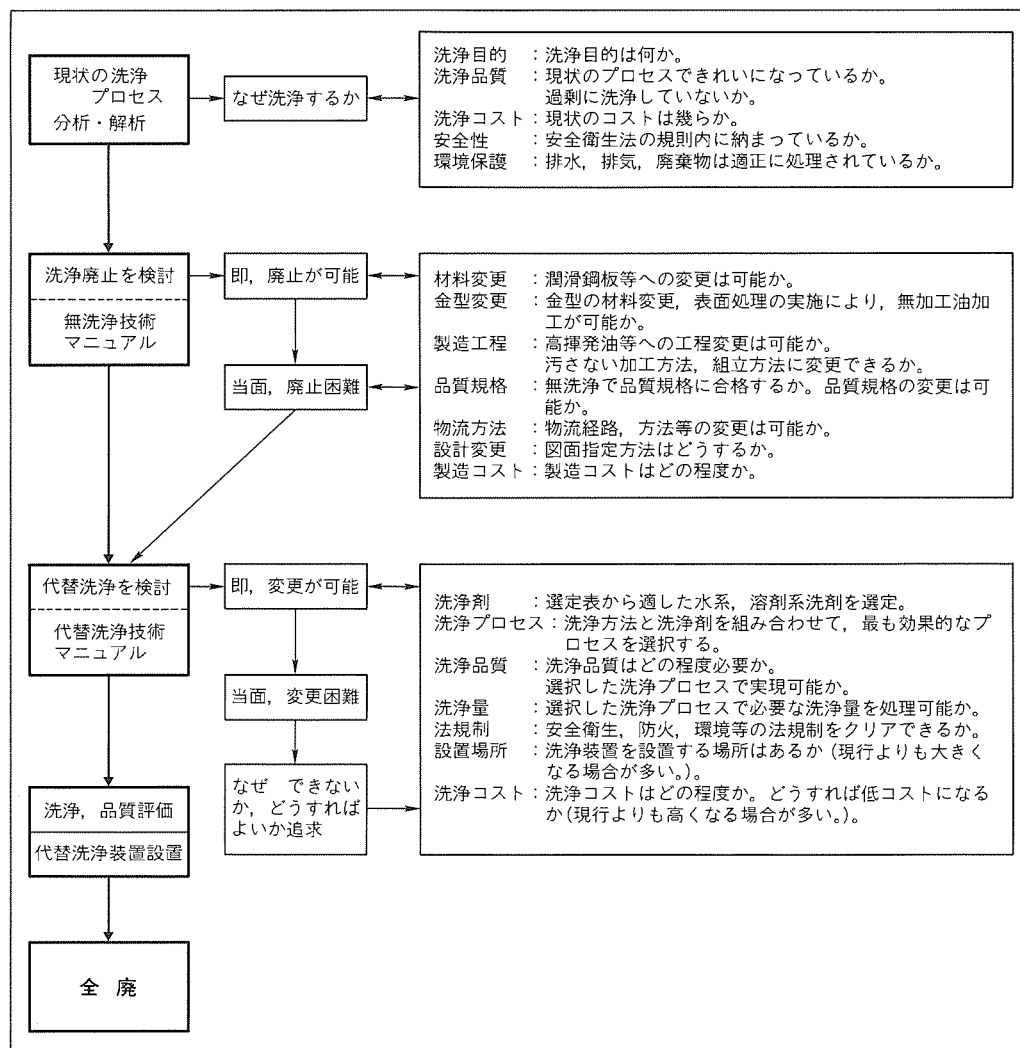


図2. 洗浄分野における代替技術のチェックポイント

(3) その他の代替洗浄

前述したソルファイン-SKなどの石油系洗浄剤で処理した基板の絶縁特性はすべて良好で、7つの工場が採用した。

一方で、ある種のかんきつ(柑橘)系の洗浄剤が先行評価されたが、塗布面積100cm²に対し、約1mg程度のレベルで不揮発生成物が残存すると絶縁不良を誘発するおそれがあるので、使用には注意を要することが判明した。

なお、今回求めた加速寿命試験は、実際の環境、引火電圧で使用した場合の寿命予測についても併せて検討を実施した。その結果によれば、10年間の寿命を保証するには、85℃/85%RH/DC5Vの条件の下で連続加速試験を行い、1,000時間の寿命を保有していればよいことが判明している。

プリント基板に関する代替技術は1994年3月に内部的な検討を完了したが、対策の本命である無洗浄化の更なる技術的検討、長期信頼性データの把握を継続している。協力工場の支援等を含む展開は、各工場ごとの活動に移行した段階である。

4. トリクロロエタンの削減

トリクロロエタンは、前述したように、機械加工部品、電子部品・材料、又は治工具の洗浄等に、社内全工場のほか協力工場で汎用的に広く使用してきた。全廃時期が大幅に繰り上がったことから、問題が大きく、組織的な取組を強化して推進しており、その成果について述べる。

洗浄の代替策を検討する上で本質的に重要なことは、図2に示すように、いま実施している洗浄そのものの意義・目的を、設計や製造プロセスの原点に戻って見直すことである。

表1. 工場ごとの代替技術の取組分析例

代替技術	工場	A	B	C	D	E
暫定	塩素系	○ ○	○	○	○	○ ○
	節約等			○		
恒	洗浄省略		○		○	○ ○
	揮発油		○ ○	○	○ ○	○ ○
	潤滑鋼板		○	○ ○	○ ○	○ ○
	フラックス等	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●
久	水系	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	◎ ◎
	準水系		○			
	可燃溶剤	○	○	○	○ ○	○ ○
	塩素系			○		○

注1. 左：社内、右：社外協力工場の対応

注2. ○は部品、◎は部品で対策完了、●は基板

表2. トリクロロエタン削減プロジェクトと活動のねらい

プロジェクト名	活動のねらい	参画工場数
①無洗浄	コスト低減、生産性向上、省スペース	6
②水洗浄	既存の水処理設備の活用、コスト低減	8
③炭化水素洗浄	他の恒久対策がない場合の代替洗浄	6
④パイプの洗浄	加工時の汚染の制御など技術開発が必要	3
⑤モールド品の洗浄	複合部品、大型治工具等の洗浄対策	4

例えば、その第1段階として、使っている材料の変更、又は加工用の油を揮発性の高いものに変えるなどによって洗浄の廃止を検討する。どうしても洗浄が必要な場合にのみ、代替の洗浄技術を図に示したフローに従って検討することがポイントになる。

そこでまず、全工場の検討事例や成功事例をすべて収集し、これらの観点からの体系的な分析と整理を行って、関連部門の利用に供するなど全社的な横通しを行った。

また、使用量の多い主な工場を巡回するとともに、関連会社や協力工場の代表者と面談し、問題点の抽出と、より効果的な対策について協議した。表1は1993年7月に、トリクロロエタン使用量の多い主な5工場の削減技術の取組状況を整理したものである。洗浄を対象とする物の形状や大きさ、洗浄レベル、その他必要とされる種々の条件の違いを考慮すると、代替策は多様で、より体系的な取組の必要性を痛感した。これらを整理した結論として、

- (1) コスト低減など大きな効果があり、かつ共通的な代替技術の開発と導入
- (2) 複数の工場が抱えている非常に困難な技術課題の解決
- (3) リソースの重複投資の回避等を含めた対策の効率化などに分類できた。

技術的には、表2に示すように、使用量の節約や洗浄の省略、排水処理施設を持つ工場を中心とする水洗浄化が主であるが、これらが不可能な場合の炭化水素系洗浄化、及び解決のハードルが高く新たな代替技術開発に注力する必要があることなども判明した。これら5つのトリクロロエタン削減プロジェクトに参画する工場を募り、取組の効率化を図ることとした。

プロジェクトのリーダーは工場から選抜し、対策が先行している部門からの技術、安全対策事例、作業要領書などの貴重なデータの提供、見学会の受入れ等支援を要請した。また、材料研究所を始めとする研究所には、検討事例の整理と洗浄

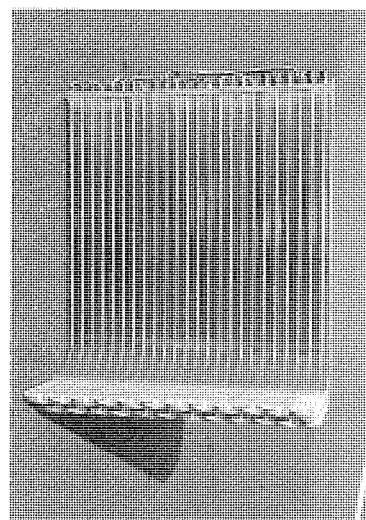


図3. ルームエアコン用熱交換機部品

の合否やレベルの評価，代替洗浄液の管理基準の検討，及び代替技術開発過程の材料技術や加工技術の支援を要請した。

なお，推進に当たっては，可能な限り恒久的な対策を指向することとした。特に，トリクレンや塩化メチレン等の塩素系有機溶剤については，新規の採用や使用量の増大は不可との社内方針を設定して進め，暫定策として一次的に採用した部門の早急な恒久対策への移行を促進するとともに，関係会社，協力工場にこれらの溶剤への移行を積極的に推奨しないこととした。

5. トリクロロエタン削減の成果

成果の一例として，潤滑鋼板を採用して，石油ファンヒータのカートリッジタンクを無洗浄化したことをこの特集の巻

表3. 揮発性油と従来の加工油の諸元

比較項目	揮発性油	従来の加工油	備考
消防法の分類	第4類第3石油類	第4類第3石油類	C.O.C-P.M
引火点 (°C)	83 (P.M)	156 (C.O.C)	10~15°C
発火点 (°C)	315	280	
密度 (g/cm ³)	0.7914	0.8650	at 15°C
燃焼範囲 (ppm)	10,000~60,000	11,000~60,000	
不揮発分 (wt%)	0.2	多量	添加剤
蒸気圧 (mmHg)	0.2	0.0018	at 30°C

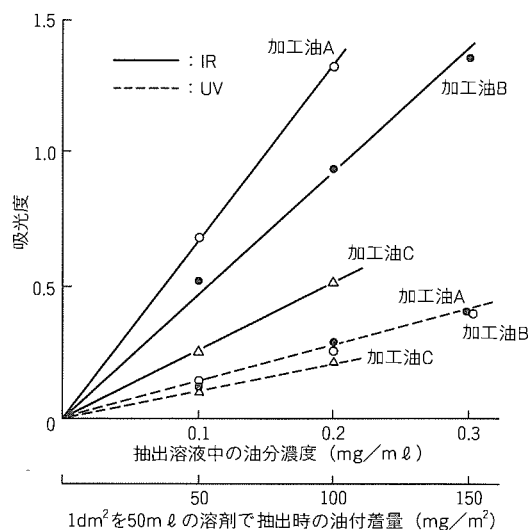


図4. 各種加工油の分光光度検量線

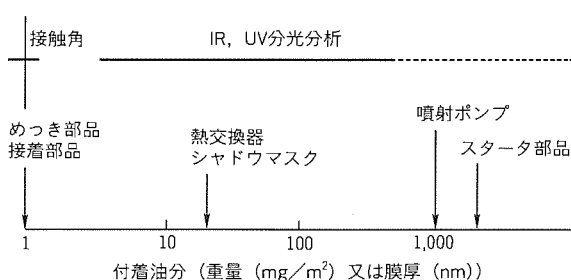


図5. 部品の要求清浄レベルと評価領域

頭論文“地球環境問題の取組”で紹介したが，ここでは，ルームエアコン用の熱交換器部品に高揮発性の油を採用して無洗浄化した例，及び，圧縮機部品や温水器のタンク上部のステンレス板金部品を水洗浄化した例，並びに，産業用換気扇のモータ用板金部品について炭化水素系溶剤を用いた代替洗浄技術の実用化例，などの幾つかの導入事例について紹介する。

5.1 ルームエアコン用熱交換機部品の無洗浄化

図3は従来の成形時の潤滑油を揮発性の油に替えることによって洗浄を省略したルームエアコン用の部品である。

表3は従来のプレス油と今回採用した揮発油の諸元を比較して示したものである。引火点が低いために，加工後の乾燥は蒸気加熱方式を採用するなどの安全対策，及び作業への安全の確保に留意した。また，揮発油の選定や加工条件については，特に冷媒が通過するパイプの管内異物の低減や，プラスチックに対する低クレーシング性に特に留意がなされている。

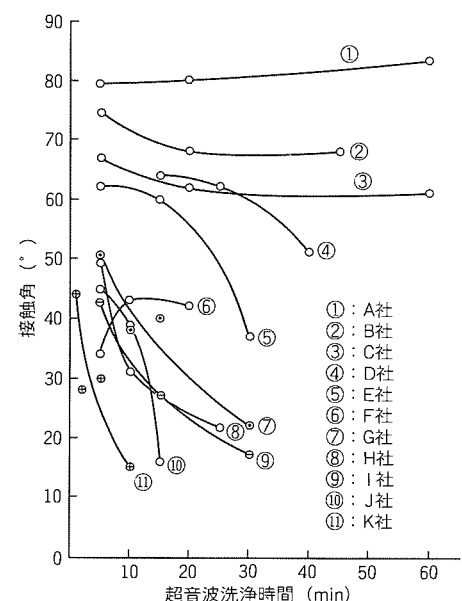


図6. 接触角による水系洗浄剤の洗浄性評価

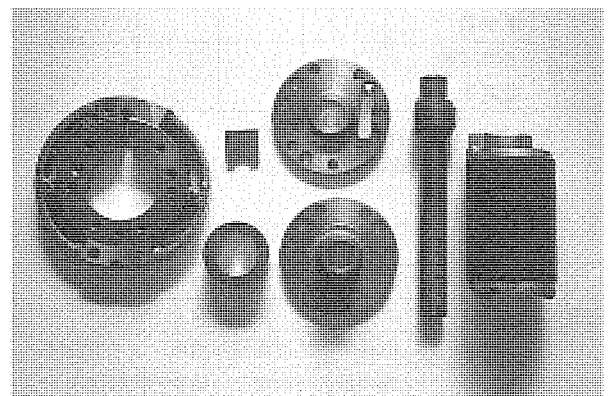


図7. 圧縮機用の部品

無洗浄化したその他の例として、大型温水器の胴体部分、各種モータ部品等がある。

5.2 代替洗浄の場合の洗浄性評価手法

洗浄剤と洗浄方式を種々組み合わせる最も効率的な洗浄を行うための基本的な手法が、いろいろなケースに応じて提案されているが、ここでは省略する。これらを具体的に評価するには、部品の汚れをみる油の残留度の評価が不可欠で、製造現場で簡単に使える分光分析法と接触角法を検討した。

前者については、各種の油に関し検量線を得て、実洗浄物の付着油分が定量的に評価できるようにした。図4は評価結果の一例である。特定の波長のIR、及びUV吸光度は残留油量に比例し、その傾きは加工油の種類によって異なるが、代替洗浄での幅広い部品の洗浄度評価に有効である。

後者は洗浄物の水平表面に水滴を落とし、その接触角を計測するもので評価精度が良く、水系洗浄剤の脱脂性が定量的に比較できるなどの特長がある。評価法の検出領域を部品に要求される付着油分に関連づけると図5のようになり、ほぼ全領域をカバーする。特に、後工程にめっきや接着等を控えている洗浄には洗浄度レベルが高いことが必要で、測定感度の高い接触角法は有効である。

接触角が時間とともに変化する早さは洗浄剤によって異なっているので、短時間に市販の洗浄剤の第一次選択が可能である。図6はこのようにして各メーカーの洗浄剤を評価した結

果の一例である。

5.3 水系代替洗浄事例

(1) 圧縮機部品の水洗浄化

図7に示すような鋼、鋳物、焼結部品からなる中・大型ロータリ式密閉型圧縮機用の機械加工部品の代替洗浄について、表4に示す比較を行って、従来のCFC-113による洗浄を水洗浄に切り換えた。

圧縮機の冷媒については、代替フロンHFC-134aの採用と新規の潤滑油を組み合わせ、都合20,000時間のフィールドテストをクリアすることが採用の目安とされた。このため、この代替洗浄の影響でベーン等のしゅう(摺)動部品の摩耗やメカのケミカル反応によってスラッジが生成して冷凍サイクルに不具合が生じることの防止と、その確認に多大の労力を要した。洗剤や防せい(錆)剤など添加剤の選定、及び稼働時のこれらの管理がかぎ(鍵)となった。フィールドテストにおける冷凍サイクルへの影響を添加剤の分子設計まで立ち入って解析し、部品の水洗浄技術を確立した。このようにして開発した代替フロンを用いた圧縮機は、世界的にも画期的な成果といえる。

(2) 温水器タンク板金加工部品の水洗浄化

図8は温水器タンクの板金加工したステンレス部品で、直径300～500mm、深さ150～350mm程度の絞り加工品で、10機種程度ある。本件は、成形時に使用する潤滑剤が水溶

表4. 圧縮機の部品への代替洗浄方式の比較

洗 浄 方 式	洗 浄 液	既存設備 の適合性	環境汚染	安 全 性		恒久対策
				作業環境	火気	
水 系	アルカリ	×	○	○	○	○
アルコール系	IPA エタノール 多価アルコール	×	△	△	×	×
その他の 溶剤系	トリクロロエタン	△	×	△	○	×
	トリクロロエチレン					
	HCFC-225					
	HCFC-141b HCFC-123	○	▲	▲	○	×



図8. 温水器用の板金部品

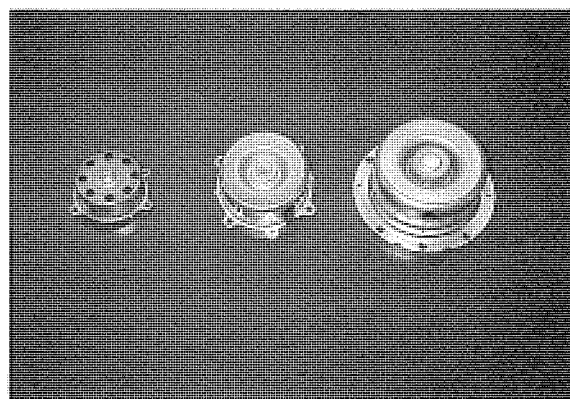


図9. 家庭用換気扇モータの板金部品

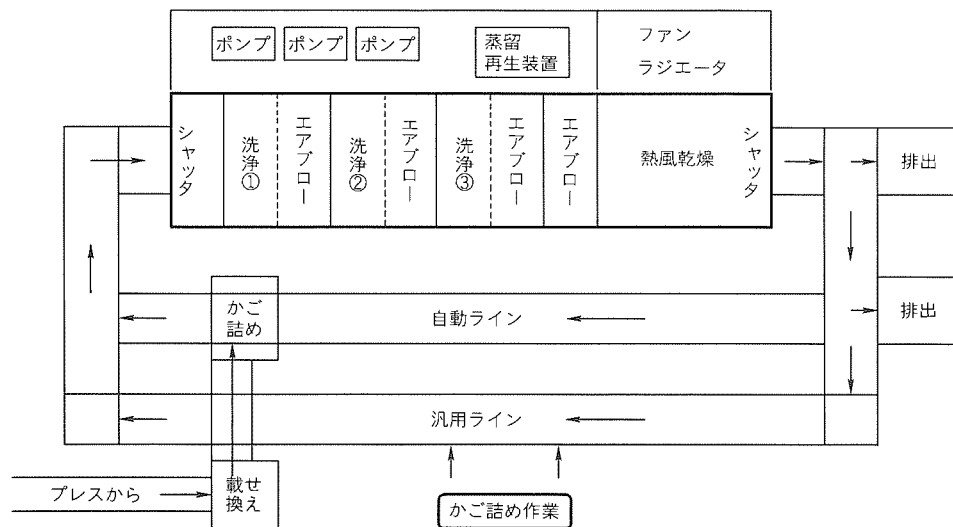


図10. モータ部品の炭化水素系洗浄のフロー

性であることに特長がある。この潤滑剤はもともとチタンチューブの引抜き加工に実用化されたもので、水に溶かして塗布し乾燥後に使用する。膜厚は $1\mu\text{m}$ ($2\text{g}/\text{m}^2$) 程度あれば十分である。加工後は温水で容易に除去できる。排水処理には pH 調整と凝集沈殿が必要な程度で、希釈排水で対処可能である。

5.4 家庭用換気扇部品の炭化水素系代替洗浄技術

図9は家庭用換気扇のモータのブラケットやフレーム等の板金部品で、これらの洗浄に炭化水素系を採用した代表例である。図10に洗浄システムのフローを示す。

ワークが装置に投入される前の箱詰めは、洗浄剤の吹き付けがワークの表裏全面に十分になされるように整列化するためである。洗浄能力は1,200 かご/8時間(タクトタイムは18秒/かご)で、溶剤の蒸留再生、安全性の確保に特に留意した。

これらを核とする代替技術への移行を推進しており、社内15の工場が水洗浄化を検討し、被洗浄物は39種に及ぶ。また、半導体のアセンブリ関連を含めて13の工場が炭化水素系を検討し、被洗浄物は18種に及んでいる。

6. む す び

以上に述べたようにオゾン層破壊物質の削減に関しては、

1993年度3月ボランタリプランで公表したように、社内には全廃達成の見通しが得られている。一部の対策の遅れている協力工場については、本社の資材部門を始めとする関連部門と更なる連携の下に、本年内に全廃を達成する所存である。

最後に、この課題は従来の環境保全に携わる技術者はもとより、資材調達、開発、設計、生産、又はサービスを担当するそれぞれの専門家が密接に連携することなしには、的確に、かつ効率的に解決し得ない典型的な課題であり、関係いただいた多くの方々に感謝したい。地球環境問題にかかわる課題は、一般的にはこのような共通の性格を持っていると考えている。

参 考 文 献

- (1) 園田信夫, 志渡沢辰也: トリエタンフロン代替洗浄剤の適用について, 油空圧技術, No.9, 65~71 (1993)
- (2) 野々垣光裕, 増田 尚, 榎本順三, 松井輝仁, 高浜隆: 無洗浄実装基板の電氣的信頼性評価, 三菱電機技報, 67, No.6, 532~536 (1993)
- (3) 伊藤利朗監修: 地球環境問題の新視点, オーム社, 77~84 (1994)

家電品のリサイクルに向けての一考察

片桐知己*
池田泰成*
松村恒男**

1. ま え が き

我々の身近にある家電品は、生活を豊かに、楽しく、便利にしてくれる。ライフエンドとなったそれらの家電品は、不要物となって家庭から排出されるが、それらは自治体のゴミ収集、又は買換え時点で販売店に引き取られるといった扱いが長らく続いてきた。廃棄物の区分では、一般家庭からの廃家電品は一般廃棄物であり、販売店に引き取られた場合は産業廃棄物とする行政上の位置付けがあった。回収された廃家電品が“一般廃棄物”扱いの場合には、そのままか、破碎によって容積を縮減して埋立処分され、“産業廃棄物”扱いの場合には、このような埋立処分のほか、破碎後には磁力選別で鉄等の資源を回収するといった処理がなされてきた。

ところが、最近になって廃家電品の収集と処分に関して幾つかの変化が起きている。それは、収集を円滑に進めることと、資源の回収を高めることが社会的な要請となってきたことである。両者は密接な関係でこの論文の前提ともなるので、3点について簡単に記しておく。

一つには回収支援である。近年の家電品の大型化は、自治体の中に一般廃棄物としての処理を適正に行いにくいという課題を発生させたことから、一定の大きさ以上のテレビ・冷蔵庫を指定して事業者による回収支援の義務付けがなされ、1995年3月から自治体の回収を補完する業務が始まった。

次には、リサイクルへの事前評価の実施である。既に1991年には“再生資源の利用の促進に関する法律”が施行され、設計段階においてライフエンドのリサイクルを考慮し、かつ廃棄物量を削減する事前評価が開始された。現在、国内ではすべての家電品への事前評価が定着し、それが新製品の訴求点ともなっている。廃家電品はゴミであるという扱いよりは、これからは資源として活用する期待がこの法律には込められている。事前評価の定着は、家電メーカーがリサイクル性を商品力の一つと考えている現れでもある。

三つ目は有害物質への対策である。廃家電品の構成成分の一部がときに降雨などで溶出する懸念から、ごく最近に、破碎後の廃家電品の埋立てを安定型から管理型処分場へ変更するとの告示がなされた。さらには、特定フロンを使用している冷凍冷蔵庫では、オゾン層保護のために特定フロンを回収する取組が国内各地で始まった。

廃家電品をめぐるこれらの変化から、廃家電品はその形態のままで回収を促進し、それを埋め立ててしまうのではなく、

できるだけ多くの資源を回収するシステムを検討する必要性が生じてきている。一方で、材質や構造面からリサイクル性のよい商品を開発するなら、資源回収システムと合わせて、マテリアルリサイクルをより促進する、言い換えれば環境負荷を減らすことにつながるといえる。

ここでは、資源を回収して再び素材に戻すためのマテリアルリサイクルシステムを検討し、リサイクル社会に向けての技術的な提言をする。

2. 基本コンセプトと調査項目

従来の資源回収方法は、回収された廃家電品を破碎して鉄等を磁力選別していた。この破碎により、鉄以外の残りの物質を混在させてしまい、以後の素材に戻す分別作業や工程が複雑となって、経済的な事業対象とするには課題があった。

また、廃家電品の運搬の便のみからパッカ車で体積を小さくする試みがときに行われたが、これも以後の素材に戻す作業や工程を複雑とする。

これらを改善しようとすれば、基本的には廃家電品を部品レベルまで分解（一次分解）することを優先し、部品を更に材質ごとに大別する分解（二次分解）を加え、材質別に分別し、その後に製錬を担当する企業に回して素材化する。それによって、構成材料のリサイクル率は向上するであろう。もし素材化が困難な部分があるなら、それを燃焼によって熱回収にしたり、又は溶融して無害化するという処理を考えればよいのではないだろうか。

そこで、大型家電品といわれるカラーテレビ・冷凍冷蔵庫・ルームエアコン・洗濯機の4品目を対象に、分解・分別、成分分析を行いながら、次の順で廃家電品のマテリアルリサイクルを検討することとした。

- (1) 製造年度の新旧によって材料の構成比率が異なるか
- (2) 材料回収を高めるための丁寧な分解に要する時間はどのくらいか
- (3) 主な材料である鉄、銅、アルミニウム、樹脂等は、どのような組合せであるか
- (4) 材料の回収はどのくらい見込めるか
- (5) 材料回収の全体システムは、どのようなものが考えられるか

なお、以下の調査は、三菱電機製のカラーテレビ・冷凍冷蔵庫・ルームエアコン・洗濯機の4品目に関して、1983年製造の使用済み家電品、1993年製造の未使用品の各1台につ

いて行った。

3. 調査結果と考察

3.1 構成比率調査

上述した新・旧のカラーテレビ・冷凍冷蔵庫・ルームエアコン・洗濯機は材料構成比率は、図1に示す分解分析フローによって調査した。

材質別の質量(成分)把握は、まず対象の家電品を通常工具で解体し、分解後に複合部分を切断等によって素材まで分離して質量を測定した。基板・小型電子部品は粗破砕し、湿式分析から算出した。調査結果を表1に示す。

機種別に調査結果の特徴を記す。カラーテレビでは、製造が新しい1993年で木材がなくなり、その相当分はブラウン管ガラスとキャビネットのプラスチックに置き換わっている。キャビネットが木からプラスチックになり、プラスチックの

比率は高くなったが、キャビネット自体は軽量化されている。また、製品の大型化により、ブラウン管は質量構成比が増加、ブラウン管の支持機構や基板まわりの強化で鉄の構成比が少し増している。冷凍冷蔵庫では鉄の構成比率が1993年で低下し、その低下分はほぼプラスチックの増加に置き換わっているといえる。ここでも製品の大型化により、内箱や断熱用ウレタンフォームであるプラスチックが増え、冷凍サイクルの銅配管が長くなったことによって銅が増加している。また、圧縮機の効率向上やウレタンフォームの発泡技術の向上などで、鉄の構成比率が1993年で低下したと考えられる。

ルームエアコンでは、1993年に室内機の鉄の構成比率がやや増加し、銅、アルミニウムの比率が減少しているが、熱交換器の小型化により、相対的に他の素材比率が増加したことと、電気品ボックスをプラスチックから鉄製に変更したことによる。

洗濯機では、1983年当時の主流であった二槽式と最近の主流である全自動とを分析対象としたため、方式ごとの経年的な比較ができないが、材料構成では大きな違いはないといえる。

(財)家電製品協会は、1977年廃品と製造品、1981年廃品及び1982年製造品のカラーテレビ・冷凍冷蔵庫・洗濯機について材料構成を調査している。それらは、業界の平均的な数値を示しているのであろうが、我々の調査結果を総じていえば、それらと傾向では差異がない。

3.2 分解時間

ここでいう分解時間は、材料構成を精度良く調べたため、対象の家電品を丁寧に部品レベルまで一次分解する所要時間である。一般に中間処理業者が行う破壊型の解体時間を指すものではない。サンプルは各1台、測定の結果を表2に示す。

機種別の特徴を次に記す。カラーテレビでは、分解時間が短くなっている。組立て又は修理サービスの時間を短縮する取組が、併せて分解時間も短縮したものであろう。

冷凍冷蔵庫は、良好な断熱特性を得るために、外箱と内箱

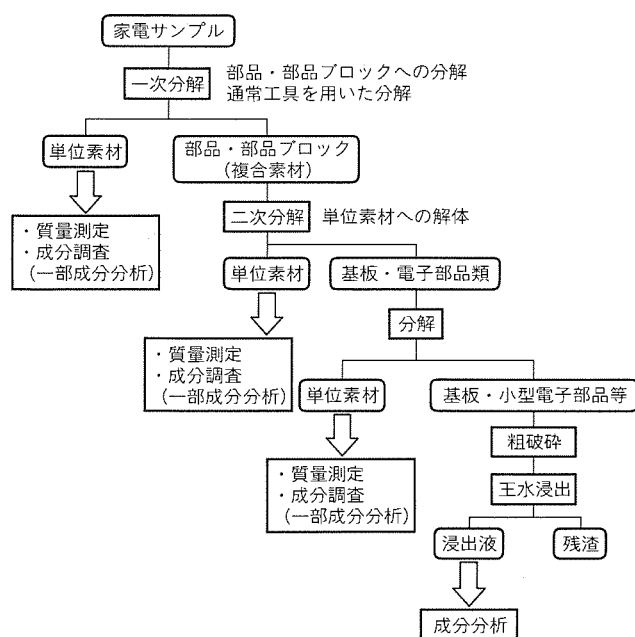


図1. 解体分析フロー

表1. 材料の構成比率

構成比：wt%										
製 品 分 類		製造年	鉄	銅	アルミ	プラスチック	ガラス	木	その他	製品質量 (kg)
カラーテレビ	18型	'83	9	2	1	10	45	23	10	20.8
	25型	'93	12	3	1	26	53	—	5	32.7
冷凍冷蔵庫	300ℓ	'83	59	3	4	30	—	—	4	63.9
	410ℓ	'93	49	4	1	43	—	—	3	82.5
ルームエアコン	2200	'83	54	19	9	14	—	—	4	55.8
	2800	'93	53	18	9	17	—	—	3	48.8
	室外機	'83	63	18	9	6	—	—	4	44.7
		'93	61	18	9	9	—	—	3	39.0
	室内機	'83	13	24	12	48	—	—	3	11.1
		'93	17	19	10	51	—	—	3	9.8
洗 濯 機	二槽式	'83	55	4	1	39	—	—	1	18.0
	全自動	'93	56	3	4	35	—	—	2	37.8

表2. 丁寧な分解の所要時間

単位：分・人		
機種	1983	1993
カラーテレビ	56	40
冷凍冷蔵庫	180	180
ルームエアコン (室外機)	32	32
洗濯機	39 二槽式	48 全自動

の間を断熱用ウレタンフォームがびったりと埋め、その断熱材部分には循環冷気のダクト、銅配管及び電気配線などが内箱に固定されたり、ウレタンフォームに埋没する状態となっている。したがって、分析をするための一次分解はかなりの手間がかかる。しかし、中間処理業者が回収率にこだわらずに破壊しながら進めるのであれば、時間短縮の余地は十分ある。分解すると明らかなことだが、ウレタンフォームのかさが著しく増大して取扱いが面倒になる。マテリアルリサイクルの手間を減らす、すなわち経済性の向上には、断熱用ウレタンフォームを外箱と内箱から外さないで処理する方式を目指すのがよからう。

ルームエアコンの室外機は主に金属で構成され、反対に室内機はプラスチックが多いから、マテリアルリサイクルの価値では室外機が重点になる。表2において10年の製造年の差が分解時間に現れていないが、近年は設計段階に製品アセスメントをするようになり、価値の高い室外機あたりにその効果が出てくると予想される。

洗濯機では、洗濯と脱水とを同一槽で行う全自動と、それらを別々の槽で構成する二槽式とは、槽の底部分にある減速機ほかの機構の複雑さが異なる。全自動は部品点数が多く、質量もあるので、解体時間が二槽式よりも大きくなる。

3.3 材料の組合せ形態

カラーテレビ・冷凍冷蔵庫・ルームエアコン(室外機)の主な金属材料の組合せ形態を分類した。すなわち、部品の接触がねじ止めのように容易に分離でき、表面塗装又はプレコートした程度である金属は単一金属とみなし、金属同士の組合せ、金属材料と樹脂材料との組合せ、金属、樹脂、ガラスやセラミックなどとの多成分といった四つの組合せ形態に分けた。その分類結果を表3に示す。

鉄は、外かく(郭)、モータ、圧縮機のシェルなどに使われ、傾向をいえば、製品強度を期待して単一金属の使用形態が多い。ルームエアコンでは、モータ、圧縮機が搭載されて、他の金属との組合せも特徴的である。

銅は、冷凍冷蔵庫・ルームエアコンでは配管の形で単一金属としての使用、熱交換器の形でアルミニウムとの組合せでの使用が数値上は大きく、テレビでは主としてフェライトの形で鉄との組合せが目立つところである。樹脂との組合せは

表3. 主要な金属の組合せ形態

機 種		単位：質量比 (%)					
		カラーテレビ		冷凍冷蔵庫		ルームエアコン	
		1983年	1993年	1983年	1993年	1983年	1993年
鉄	単一金属	60	61	73	84	44	46
	金属/樹脂	<1	<1	4	<1	<1	<1
	金属/金属	12	6	21	12	54	51
	多成分	28	33	2	4	1	2
銅	単一金属	0	0	29	49	39	26
	金属/樹脂	22	44	16	11	4	2
	金属/金属	61	19	51	37	55	71
	多成分	17	37	4	3	2	1
アルミニウム	単一金属	0	0	58	19	8	8
	金属/樹脂	0	0	0	0	0	0
	金属/金属	19	0	39	76	80	84
	多成分	81	100	3	5	12	8

配線が主である。

アルミニウムは、テレビでは基板上に多成分で集まっているのが特徴的である。冷凍冷蔵庫では冷却板が単一金属となっていて、旧品で数値が大きく、新しいものでは小さい。冷凍冷蔵庫・ルームエアコンで他の金属との組合せは、前述の熱交換器分が大きい。

金属材料を製錬して再生利用する点では、鉄、銅、アルミニウムはそれぞれ純度が高く分別されていることが最も望ましい。現状の製錬技術では、鉄に銅、アルミニウムに銅が混入すると本来の特性を害し、一方で銅に鉄やアルミニウムが入れれば混入側が材料としては未回収となる。よって、本稿でいう一次解体レベルで単一金属が得られるのであれば、リサイクル性が良いともいえよう。

表3では、カラーテレビ・冷凍冷蔵庫の鉄が数値上は大きく、鉄/他の金属分が比較的小さいから、磁力選別ができる鉄の特性を利用すればリサイクル性が良いと考えられる。仮に、樹脂を物質回収の対象とせず、有機物は製錬の熱で燃焼してしまうならば、金属/樹脂の組合せを単一金属とみなせば、1993年製造のカラーテレビの銅材料が銅鉱石の品位を越えて、注目をひく。しかし、分析結果をマクロにみれば、家電品が軽量部品の組合せで、かつ一次解体で単一金属のみとはなっていないことが分かる。そして、経済的な分別技術がまだなく、相当の台数を処理しなければ材質別に量的な回収ができず、マテリアルリサイクル上は経済的な障害となることが容易に想像できる。

金属材料が世界を循環し、破碎を主にした解体事業が世界に拡大している現実がある。この場合、それぞれの金属の純度が高く分別される期待は薄く、カスケード型リサイクルとなる。従来のリサイクルは、鉱石の製錬を基本にしてきており、回収金属の投入割合を高めたり、不純物元素を取り除く新しい製錬技術開発がなければ、理想であるホリゾンタル型リサイクルは難しい。もう一方では、家電品に使用した金属

の分別品位を二次解体までで安価に済ませるシステムが望まれる。又は、現在実施中の製品アセスメントを洗練して、リサイクルプロセスを考慮した、すなわち鉄、銅、アルミニウムなどの分別に適した金属の使用形態、材料やグレードの絞り込みを目指す必要がある。

表3には示していないが、構成材料の中ではブラウン管ガラスに注目しなければならない。テレビ全体の重さの半分をブラウン管が占めていて、構造と成分からパネル、ファンネル、接合材料(フリット)に分けられる。製造エネルギー面から一般ガラスのリサイクルが社会ニーズとなっており、この点ではブラウン管ガラスは成分的に特殊で、需要も増加しているからマテリアルリサイクルの対象となるだろう。

プラスチックは、種類、グレード、色などが様々で、他の報告をみても、現状では熱溶融してペレット化する段階にはないだろう。粉末にしたり、加熱してガス化すると燃料になり、製錬に利用できよう。また、別途に熱回収する方法も考えられる。

3.4 材料の回収見込み

現在はライフエンドの家電品の発生量は推定されているが、リサイクル量がいくらかは正確には把握されていない。しかし、今後は埋立ての規制やリサイクルの促進、世界的なライフサイクルアセスメントの進展でリサイクル量の定量化に向けた動きがなされよう。その際のリサイクルフローを想定し、図2に示した。併せて、1990年の大型廃家電品の発生量(推計)、発生台数とこの調査結果から、マテリアルバランスを

概算した数値を図中に示した。

ライフエンドの家電品は、自治体及び販売店から集荷センターへ運搬され、一次分解工場で部品レベルになる。その部品レベルのまま素材製造業へ送られる場合と、材料が複合した特定の部品では、二次分解工場で素材製造業へ送るまでに分別される場合とがある。図2の数値を一次分解、二次分解に集計すると表4となる。これらの数値は理想であって、実際には減率を考えねばならないだろう。推定を入れながら機種ごとに回収方法を眺めてみる。

カラーテレビでは、一次分解でブラウン管、プリント基板を取り出す。ブラウン管は質量の5割に相当し、これは専用の切断機にかかり、パネルとファンネルに分別され、それぞれ洗浄される。鉄はその9割強は回収されよう。基板や配線の銅は9割が回収されるだろう。本来ならば、油又はそのままプラスチックとなるはずのプラスチックのマテリアルリサイクルはあまり期待できず、熱回収にまわるとしておきたい。重金属は製錬炉で回収され、ブラウン管のネックやヨークは物理的な分別工程を経る。これらを合計すると、7～8割がマテリアルリサイクルできそうである。

冷凍冷蔵庫では、冷媒フロンの回収がされ、一次分解で圧縮機を取り出す。圧縮機は更に分解され、磁力選別が低温破碎が行われる。鉄はその9割が回収されよう。熱交換器、配管や配線などの銅は9割程度が回収されるだろう。アルミニウムは、質量的にもあまり魅力がなく、プラスチックのうちでも断熱材のウレタンフォームの性状から、冷蔵庫ではかなりの部分がサーマルリサイクルとなろう。これらを合計すると、6割強がマテリアルリサイクルできそうである。

ルームエアコンでは、室外機の一次分解で熱交換器、圧縮機、基板、外箱が外され、熱交換器は圧延と破碎や分別処理によって鉄、銅、アルミニウムに分かれる。圧縮機モータは、更に低温破碎が行われる。鉄はその9割、基板や配線の銅は9割、アルミニウムも9割程度が回収されるであろうから、8割強がマテリアルリサイクルできそうである。室内機は鉄、銅、アルミニウムがそれぞれ9割、プラスチックがサーマルリサイクルとなろうから、4～5割前後がマテリアルリサイクルできそうである。

洗濯機は外箱、モータが一次分解で分離され、モータは更

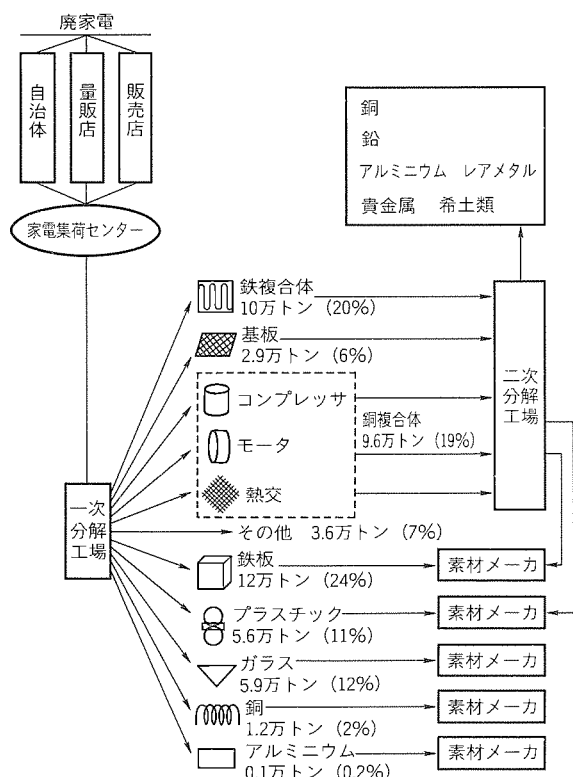


図2. 分解のマテリアルバランス

表4. 一次分解、二次分解分の材料割合

単位：万トン	
廃家電品4品目	51.2
一次分解の回収分 (鉄、銅、アルミニウム プラスチック、ガラス)	25.1
二次分解の回収分	
鉄複合体	10.0
銅複合体	9.6
基板	2.9
その他	3.6
小計	26.1

に低温破碎されよう。外箱は磁力選別され、金属／樹脂の混合物は燃料化プラントに行くだろう。同様に推定すれば、5割強がマテリアルリサイクルできそうである。

いずれの場合も、プラスチックのサーマルリサイクルは、回収とはしなかった。プラスチックの油化技術や熱溶融してペレット化する再生利用は、開発段階又は小規模な実証段階である。それらが普及すれば、その相当分をリサイクルとみなして加算できるから、リサイクルの可能率は大きくなる。

3.5 リサイクルの全体システム

全体システムは、廃棄される家電品から最大のマテリアルリサイクルを図り、重金属なども最大限の濃縮で素材リサイクルし、素材としてのリサイクルが困難な物質はサーマルリサイクルすることになる。このサーマルリサイクルにおいても、塩素等の有害物質は除去するプロセスとする。

質量と体積の大きい大型家電品の分解工程は、本体を前後又は上下の回転をしながら部品を外すのであろうから、作業台に機械補助がある方が便利であろう。製造ラインのように同一構造の家電品が流れるわけではなく、分解手順は人間の判断によるだろう。部品を再使用するのではなく、回収率にかかわらなければ、外箱やキャビネットを自動切断したり破壊し、その後に人手でねじ外しをするといったロボットの導入もありうる。

金属の分別は磁力や肉眼で行い、プラスチックの分別は経験に頼るか、ポータブルの材質判定器による。現生産品ではプラスチック材に表示をしているが、それらがライフエンドを迎えるのはしばらく後である。既に開発された分別技術にLNG冷熱を活用するものがあり、経済性を検討する価値がある。

分解及び分別の所用時間は短くし、経費を下げたい。製品アセスメントにおける解体は、修理サービスのために部品を破壊しない場合と、マテリアルリサイクルの経費を下げるために、破壊によって部品摘出を容易にする場合とがある。社会的に分解には幾らの経費が容認されるかを考慮しなければならない。

マテリアルリサイクルは、再生材料の利用があって進むの

であるから、再生材規格等の信頼して取り引きされる制度の整備が望まれる。また、マテリアルリサイクルがカスケード型になるであろうことを前述したが、100%のリサイクルが市場の材料特性を下げていくこともわきまえる必要がある。

最大の課題は、リサイクル費用の増加である。材料の回収率を高めるほど、廃家電品を集める距離が遠くなるほど経費がかさむ。これらは、材料選択、構造、一次解体のしやすき等とも密接な関係があり、製造技術面からのたゆまぬ改善が我々に課せられている。

4. む す び

廃家電品からの鉄の回収がこれまでも中間処理業で行われてきたが、資源の有効利用及び廃棄物の削減から、今後は鉄以外の金属も積極的にマテリアルリサイクルを目指していかなければならない。家電のみのリサイクルシステムが成立するか、他業種の耐久消費財と合わせたシステムが構築されるかは、リサイクルに向けた社会全体の合意にもよる。

ここでは、家電品の部品レベルまでの一次分解で発生量の約半分、材料が複合された部品を更に二次分解すると残る半部分が回収対象になるとの比率が分かった。

これらの構成材料をほとんどリサイクルできる技術やシステムはまだできていない。その技術開発が急がれるところである。家電品メーカーとしては、リサイクル社会を早期実現させるために、解体しやすい製品、分別してマテリアルリサイクルしやすい材料選択、種類の絞り込み、再生材料の使用などを行う製品アセスメントに、これまでも増して注力していく必要がある。

参 考 文 献

- (1) 財家電製品協会：廃家電品便覧 33 (1991)
- (2) 財家電製品協会：廃家電製品から再生したプラスチックの物性評価報告書 (1993)
- (3) 松村恒男, 駒井隆雄, 高橋恒夫, 猿橋嘉昭：家電品の製品アセスメント, 三菱電機技報, 67, No.6, 552～556 (1993)

環境に適合した新しい包装技術

飯島康司*
前澤英一*

1. ま え が き

平成3年10月に“再生資源の利用の促進に関する法律”(略称:リサイクル法)が施行されたのに伴い、国内外において、電気製品の包装に関連する廃棄物法規制が相次いで制定されている。特に、通産省や市場(顧客)からは、包装の再資源化や廃棄処理容易化等の要請が強化されてきている。こうした状況を踏まえ、家電メーカーでは、包装廃棄物対策を重要な課題として取り組んでいる。

当社では、これらの動向を先取りしながら、電気製品の環境に適合した新しい包装の開発に取り組み、具体的な成果を着々と上げており、その内容の一端について報告する。

2. 家電業界と当社の主要包装材使用量

家電製品の包装廃棄物量は、平成3年度に全包装廃棄物量(約2,300万トン)の約2%(約50万トン)を占めている。当社家電製品の包装廃棄物量は、約50万トンの約8%に相当する約4万トンを出している。特に、家電製品の主要包装材の使用量は、表1に示すように、段ボール、発泡スチロール、木材の3品目で全家電包装廃棄物量の約70%(約34万トン)を占めており、当社では約11%(3.8万トン)を占めている。

表1. 家電業界と当社の主要包装材使用量

単位: トン/年 (平成3年)				
包装材	段ボール	発泡スチロール	木材	計
家電業界	289,747	31,392	18,969	340,108
当社	35,000	2,300	1,120	38,420
使用率(%)	12.1	7.3	5.9	11.3

出典: 日本電機工業会資料

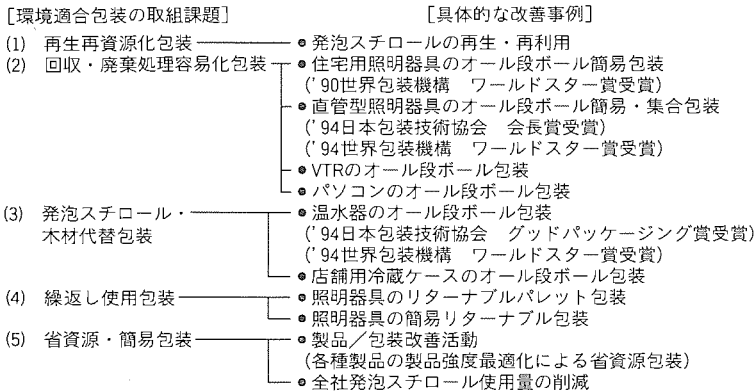


図1. 環境適合包装の取組課題と改善事例

そして、これらの包装廃棄物量は増加の傾向にあり、再生・再資源化、回収・処理容易化、繰返し使用化、省資源・簡易包装による包装材使用量の減量化等の取組が急務となっている。

3. 当社の取組課題と改善事例

当社では、包装廃棄物に関する問題意識を先取りし、図1に示す環境に適合した包装の開発と活動を積極的に推進してきている。今回、表2に示す具体的な成果を上げることができたので、各事例の内容と技術的特徴を以下に紹介する。

3.1 発泡スチロールの再生・再利用^{(1)~(3)}

発泡スチロールは、周知のとおり再資源化、廃棄処理が困難な包装材として受け止められている。最近では、発泡スチロールを回収、溶融固化して別の製品として再利用する方法が実用化されている。しかし、包装用発泡スチロールとしての再生・再利用の例はない。そこで、当社包装技術グループでは、使用済発泡スチロールから、新たに発泡スチロールを再生し、自社製品の包装材として使用する発泡スチロールの再生・再利用技術を開発した。この技術の実用化事例を図2に示し、開発基本技術となる粉碎材/バージン材混合法による発泡スチロールとバージン材のみの発泡スチロールを図3に示す。

(1) 発泡スチロール再生包装の概要

従来知られている再生発泡スチロール(熱処理法、粉碎混合法)には、経済性、品質特性、再生利用率などに不十分な点があった。そこで、混合法、金型充てん(填)法、粉碎剤処理の工夫により、簡易な製造法(粉碎混合法)で、バージン材と同等の品質特性を実現し、費用低減(約10%削減)と

再生利用率(混合率:50%以上)の向上を図り、カラーテレビの包装に実用化した。これは、用済み後も再度繰返し原材料として使用可能であり、資源の有効利用と廃棄物の抑制が図られる。

(2) 均一混合の工夫による混合率の改善

従来の粉碎材/バージン混合法の混合率(再生利用率)は、10~15%であったが、これを粉碎微小粒の除去、粉碎粒径の統一(バージンビーズの2倍以上)によって改善し、バージンビーズが粉碎粒すき(隙)間にスムーズに挿入、定置させることで、50%以上の均一混合発泡成形を実現した。

(3) 金型充填性の工夫による成形ひずみの改善

表 2. 取組の課題と事例

No	取組課題	取組事例
1	再生再資源化包装	発泡スチロールの再生・再利用
2	回収・廃棄処理容易化包装	直管型照明器具の包装改善
3	発泡スチロール・木材代替材開発	電気温水器の包装改善
4	繰返し使用包装	照明器具のリターナブル包装

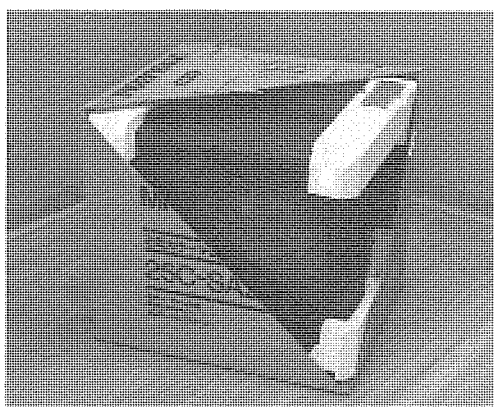


図 2. 実用化したカラーテレビの発泡スチロール再生包装

均一混合材に帯電防止処理、粉末除去処理を施すことにより、充填口、スリット等のつまり防止と金型内への均一充填を可能にした。これにより、バージンビーズが粉碎粒を囲むように発泡、融着一体化し、ひずみのない成形体を得た。

(4) 品質特性の改善

熱融解工程が不要なため、従来の熱処理再生法によるスチロール樹脂強度低下がなく、均一混合によるバージンビーズとの一体発泡で、バージン材と同等の品質特性を確保した。

(5) 簡易製造法の実現

従来知られている熱融解処理による再生発泡スチロール製造法に比べて、再生処理工程が少なく(用済み発泡スチロールを機械的に粉碎し、バージンビーズに混合するのみの簡易製造法)、また、既存の成形装置で連続生産が可能のため、生産効率も向上した。

(6) 費用低減

用済み粉碎材とバージン材の均一混合による高混合率化、既存の成形装置による簡易製造法、及び発泡成形時間の短縮により、バージン材に比べて約 10 % の費用低減が可能である。

この技術は、平成 5 年に発売の 15 形カラーテレビの包装材として業界で初めて使用し、カラーテレビでの適用機種拡大(14・25・29 形, 20・24 形ワイド)を図るとともに、エアコン、冷蔵庫等の他製品への適用を予定している。また、平成 6 年 9 月 16 日にこの技術の社外への供与を行うことを公表し、平成 6 年 12 月現在で 2 社への技術供与が決定しているほか、相当数の引き合いがあり、発泡スチロールの再生・再資源化技術の一つとして大いに期待されている。

3.2 直管型照明器具の包装改善

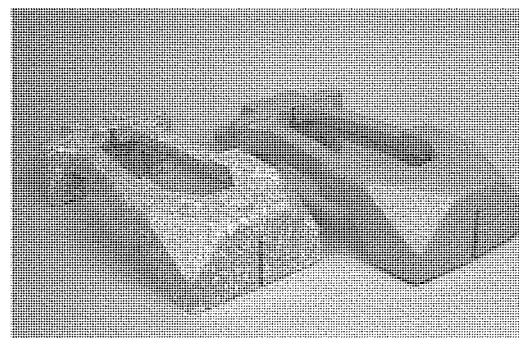


図 3. 粉碎片/バージン混合法による発泡スチロール(左)とバージン材のみの発泡スチロール(右)

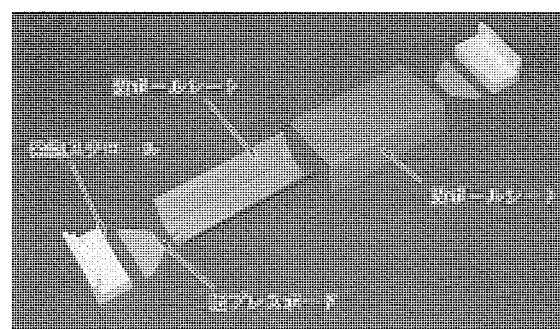


図 4. 直管型照明器具の従来包装-1

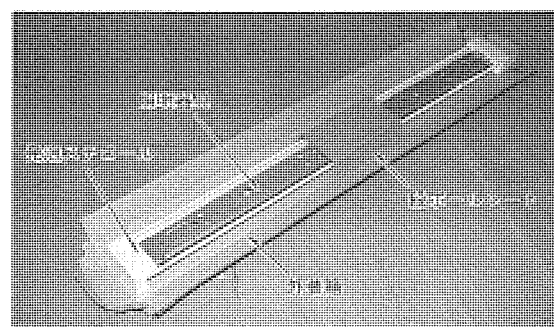


図 5. 直管型照明器具の従来包装-2

直管型照明器具の包装は、従来 1 台ずつ両端ソケット部を発泡スチロール成形品と紙プレスボードで固定支持するとともに、段ボールで製品を保護する包装であった。このため、包装部品点数が 8 点と多く、包装作業性、開こん(梱)性に問題があった。また、ビルやオフィス、店舗、学校、工場等で多数使用されるため、包装廃棄物の処理が問題となり、施行業者からきらい(嫌)われていた(包装形態: 図 4, 図 5)。

そこで、当グループと三菱電機照明(株)では、これらの点を改善し、廃棄処理が容易な包装とするため、両端ソケット部を 1 枚の段ボールシートを折り曲げながら、くさび形の三角形の形状を最小限の使用量でワンタッチ形成して固定支持する包装形態を開発した。これを図 6, 図 7 に示す。

(1) 包装形態

必要最小限の段ボールシートを折り曲げながら三角形の形

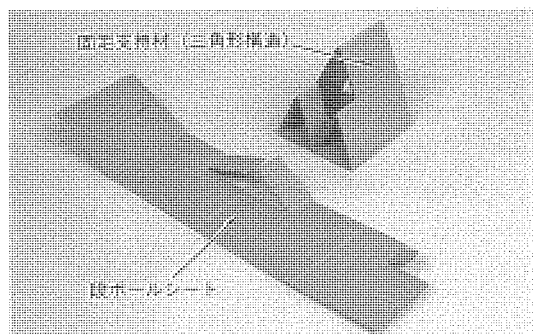


図6. 直管型照明器具の新包装-1

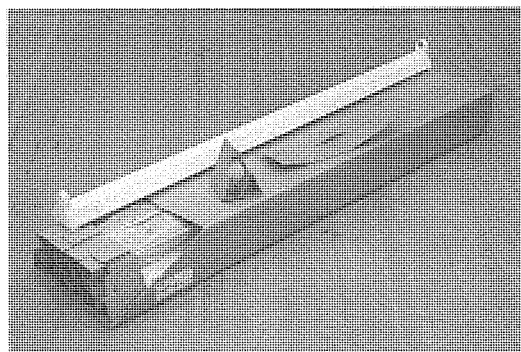


図7. 直管型照明器具の新包装-2

状をワンタッチで形成し、両端ソケット部に挿入することによって簡単に固定できる。また、固定支持した器具を三角形の頂点を交互にすることにより、空間容積を最少化でき、収納構造体の強度アップに寄与できる。

(2) 包装材料の使用量最少化

器具のソケット部を固定支持する段ボールシートは、機能的な三角形の構造であるため、使用量を最少化した。

(3) 包装容積の最小化

三角形を形成した段ボールシートで器具を固定支持するとともに、この器具の頂点を交互に組み合わせることにより、空間容積が最小になり、包装容積の最小化ができた。

(4) 包装作業性の向上

1枚の段ボールシートを簡単に折り曲げて挿入固定するだけであるため、大幅に包装作業性が向上した。

(5) 包装材保管スペースの削減

包装材は、シート状であるため、保管スペースが大幅に削減できた。

この包装の改善成果を表3に示す。また、この包装は、3件の特許を出願するとともに、平成6年度の(株)日本包装技術協会 会長賞(ジャパンスター賞)及び世界包装機構1994年度のワールドスター賞を受賞し、国内外から評価を得た。

3.3 電気温水器の包装改善

家庭用電気温水器の包装は、製品の質量、容積等から従来図8に示す木材を使用した包装形態である。この木箱包装のため、組立作業性や開梱作業性で劣ることや、くぎ(釘)打

表3. 直管型照明器具の包装改善

項目	改善内容	成果
包装材料費	部品点数の削減, 集合化による材料使用量削減	40%
包装作業費	作業時間の削減 (0.00625→0.00375 h)	40%
包装容積比	包装容積の削減 (0.0152→0.0094 m ³)	40%
部品使用数	使用部品数の削減 (7→3点: 袋含む)	60%
特許出願件数	改善案の特許出願件数	3件



図8. 家庭用電気温水器の従来木箱包装

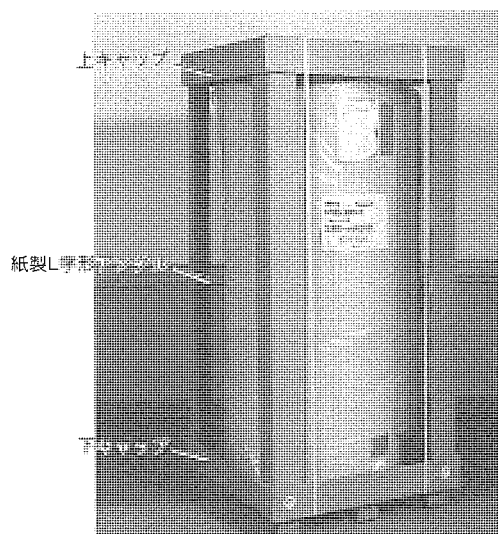


図9. 家庭用電気温水器のオール紙化包装

ちによる割れ、水分蒸発による釘の緩み等で箱にガタが発生するとともに、廃棄処理がしにくいことから顧客に敬遠されている。当グループでは、当社群馬製作所と共同で、温水器の包装改善を行うに当たり、製品の圧縮強度を評価し、廃棄処理が容易な紙系の材料によるオール紙化包装形態を開発した。これを図9に示す。

(1) 簡易包装形態

段ボールシートで形成した上下キャップの内側に、電気温

水器の形状に合わせて切り抜いた紙製の固定支持材で電気温水器を保持する簡易包装である。

(2) 製品圧縮強度の有効利用

電気温水器の保有する圧縮強度を有効に活用することで、保管時の積み上げに対する圧縮強度を製品で支持する包装形態である。

(3) 荷扱い作業の考慮

下部キャップは、下部固定部とフォークリフトによる荷扱いを考慮した紙製スキッドの一体化した構造である。また、上部キャップと下部キャップの間には、紙製のL字形アングルを設け、輸送機関荷台上からの電気温水器の滑り下しを可能にしており、機械・人による荷扱い作業のしやすさを考慮した。

(4) 組立て、開梱性

オール紙化簡易包装形態により、包装材の軽量化、形態の単純化ができ、梱包・開梱作業が簡単にできるため、木箱包装形態の木箱組立作業時に発生する各面別の釘打ち作業や開梱時の釘抜き作業などの組立て・開梱性が改善できた。

この包装は、平成6年度の(株)日本包装技術協会 部門賞(グッドパッケージング賞)及び世界包装機構 ワールドスター賞を受賞した。

また、この技術は、店舗用冷蔵ケース、業務用エアコン等にも導入を図っている。

3.4 照明器具のリターナブル包装

建設中のビルやオフィス等に搬入される照明器具は、数量・納入時期が指定され、取り付けた後での包装廃棄物処理に対して建築業者や施工業者から「廃棄物：ゼロ」を追求することが求められている。このような要求に対応すべく、多数個を一括包装する省資源包装形態化とともに、開梱・荷役作業の簡易化、繰返し使用可能な2種類のリターナブル包装形態を当グループと三菱電機照明(株)とで共同開発した。開発した包装形態は、工場から近距離向けのリターナブルパレット包装及び遠距離向けの簡易リターナブル包装である。

3.4.1 リターナブルパレットの包装形態

開発したこの包装は、「横浜ランドマークタワー」建設時の照明器具納入用に導入した。これを図10に示す。

(1) 包装形態

包装形態は、機械荷役ができるキャスト付きパレットと照明器具が簡単に固定支持できる金具を2側面に設けた一体構造で、4か所に金具のロック機構を設け、ワンタッチで組立てができる包装レスのリターナブルパレットである。キャスト付きであるため、移動が容易である。また、使用しない場合は、ロック機構を外すことにより、2側面が内側に折り畳め、かつ4コーナ部の支柱で積み重ねができるので、保管効率や返送時の輸送効率向上に寄与している。

(2) 収納方法

この包装は、2側面に設けたフレーム上に特定の照明器具

を裸の状態で複数個収納の上、固定支持する構造である。したがって、ビル等への搬入・取付け後は、フレームを折り込んだ上、2側面が内側に折り畳め、返送時の容積が縮減できる。また、フレーム上は、ビルに設置される多種類の照明器具に対応できるように、取付け用の付属品の挿入が容易にできる構造にしている。

(3) 効率良い保管・輸送方法

キャスト付きパレットは、4か所に積段固定支持できる差し込み用のつま(爪)と溝を設けているため、積段固定が簡単にでき、保管・輸送効率向上に寄与している。

この包装は、5回以上繰返し使用することにより、包装材料費で約30%の改善が図れた。また、この包装には、特許を1件出願している。

3.4.2 簡易リターナブル包装形態

この包装は、「大阪テーマパーク」建設時の照明器具納入用に導入した。これを図11～図14に示す。

(1) 包装形態

包装容器は、繰返し使用するため、プラスチック段ボールシートを用い、側面4か所に箱を形成するためのロック機構を設け、ワンタッチで組立てができる。また、使用しない場合には、ロック機構を外すことによって、平板状になるため、保管効率や返送時の輸送効率向上に寄与している。

(2) 収納方法

この包装は、容器内に長尺物の照明器具を裸の状態で固定支持するため、側面下側にU字形の器具差し込み用治具を設け、1台目の器具の端部を挿入して固定した上、同一タイプの器具を裏返し、180°方向を反転して挿入することにより、2台同梱できるので、容積縮減に寄与している。

(3) 効率良い保管・輸送方法

包装容器の側面上下の両端部に積段固定支持ができる差し込み用の爪と溝を設けているため、積段固定が簡単にでき、

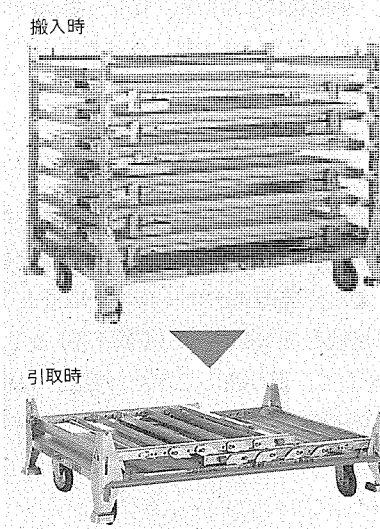


図10. 照明器具のリターナブルパレット包装

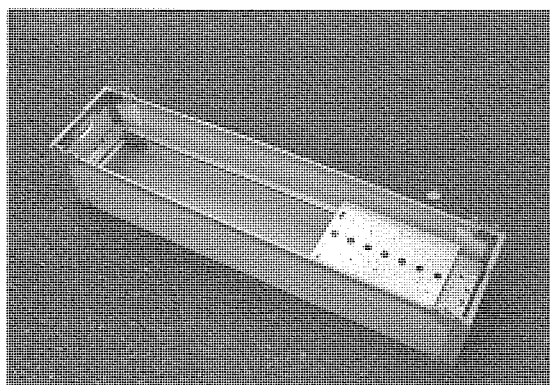


図11. 照明器具の簡易リターナブル包装（器具収納状態）

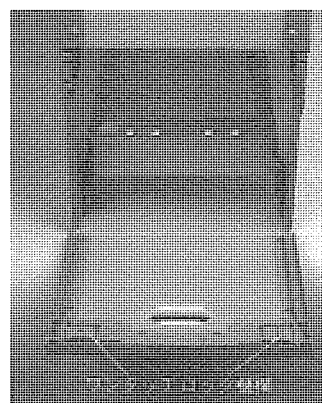


図13. 照明器具の簡易リターナブル包装（積段状態からの取り出し）

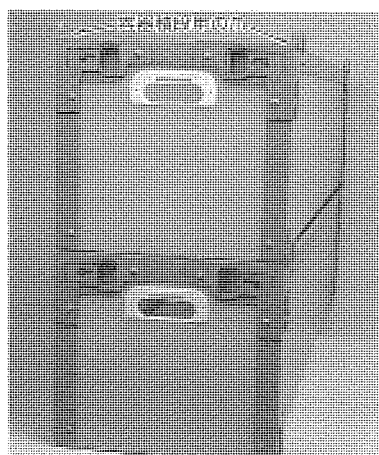


図12. 照明器具の簡易リターナブル包装（積段した状態）

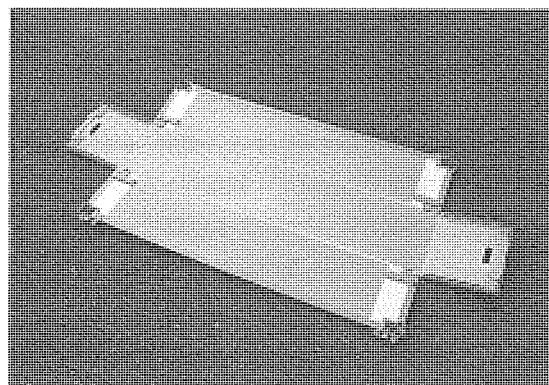


図14. 照明器具の簡易リターナブル包装（返送時平板状に開梱）

保管・輸送効率の向上に寄与している。

(4) 積段状態からの器具取り出しへの工夫

容器を形成した状態で側面部がワンタッチで簡単に開閉できる機構を持っているため、包装容器を積段した状態においても容器内から簡単に器具が取り出しできる。

(5) 包装容器の保管・返送方法

包装容器は、平板状になるため、保管・返送時に積載することができるため、省スペース化に寄与できる。

この包装の改善効果を表4に示す。

4. む す び

当社は、前述のように、環境に適合した新しい包装技術の開発を行うとともに、製品／包装の改善活動を積極的に推進している。また、発泡スチロールの使用量を“1990年度（平成2年）に比較して1995年度（平成7年）までに30%削減”する目標を立て、取り組んできた。現在、目標は前述の新包装技術の開発等により、2年前倒し（平成6年）で達成できた。

表4. 照明器具の簡易リターナブル包装

項 目	改 善 内 容	成 果
包装材料費	部品点数の削減，集合化による材料使用量削減	34%
包装作業費	作業時間の削減（0.0350→0.0245 h）	30%
包装容積比	包装容積の削減（0.0741→0.0503 m ³ ）	32%
部品使用数	使用部品数の削減（6→2点）	66%

注 5回以上の繰返し使用による。

今後も、さらに環境適合包装の開発を積極的に推進し、再生・省資源化、回収・廃棄処理容易化包装の実現に取り組んでいく。

参 考 文 献

- (1) 飯島康司，前澤英一：家電製品の包装，包装技術，31，No.3，26～31（1993）
- (2) 飯島康司，前澤英一：発泡スチロールの再生・再利用，eX' Mook 14，132～134（1993）
- (3) 飯島康司：環境調和型の包装システム，三菱電機技報，67，No.6，547～551（1993）

上下水道分野における オゾン高度処理システム技術

廣辻淳二* 田村哲也**
河相好孝*
江崎徳光**

1. ま え が き

人類は、より便利で豊かで快適な生活をするために、ここ数十年の短期間に資源やエネルギーを猛烈なスピードで消費し、環境の自浄能力以上の汚濁物を捨ててきた。このため、自然環境は汚染され、逆に、我々の健康に様々な影響を及ぼしかねない状況となっている。水圏環境についても例外ではなく、浄水水源や地下水脈の汚染や、下水・工場排水による放流水域での環境汚染が問題となっている。

例えば、上水分野では、都市部の水道水源で毎年のようにカビ臭が発生し、全国で2,000万人以上が異臭味に悩まされている。また、塩素消毒によって生成するトリハロメタン（THM）の問題や水源に流入する農薬や有機塩素系洗浄剤の問題など、慢性的に私たちの健康を脅かしかねない問題もあり、早急に解決することが望まれている。このため、行政では“フレッシュ水道”計画によって高度処理の普及を推進するとともに、平成4年には水道水質基準を改訂、強化して、“より安全でおいしい水”の回復に取り組んでいる。

一方、下水・工場排水などの廃水処理分野では、現在の活性汚泥法では窒素やリンを十分除去できないため、放流水域の富栄養化によって、“アオコ”や“赤潮”が発生して下流域の水道水源を汚染したり、養殖漁業に打撃を与えている。また、地場産業として繊維産業や食品産業を抱える地域では、着色排水が十分処理できず、地域住民に不快感を与えている。さらに、放流水の塩素殺菌によって生成する塩素化合物が放流先に悪影響を及ぼすことも指摘されており、快適な水環境の回復が望まれている。行政も、平成5年の水質環境基準の改訂強化や排水の色規制条例（色抜き条例）などにより、水環境の保全を推進強化している。

また、昨年の全国的な異常渇水を見れば分かるように、水不足が慢性化しつつある。今後新技術を継続的に開発し技術立国を目指すためには、我が国にとって、水需要はますます増大すると考えられ、新しい水資源の開発も重要課題である。現在、下水処理水を場内の雑用水として再利用するだけでなく、河川や公園の親水用水や修景用水を地域冷暖房の熱源として積極的に再利用する試みも増加してきているが、現在は水質が比較的悪くてもよい用途であり、再利用用途、水量

を拡大するには、更に水質を向上させる必要がある。

このように、水環境の汚濁及び水不足は慢性的に進行しつつあり、将来に向かって私たちの安全な生活を守るためには、水の高度処理・再生技術が重要になっている。

このため当社では、上水では“安全でおいしい水”、下水では“清らかな水環境の回復”“水の再生利用”を目指して、オゾンを使った新しい高度処理技術や水再生技術の開発・実用化に取り組んでいる。

本稿では環境の主要要素である“水”の浄化技術について、上下水分野のオゾン高度処理技術、及び過酸化水素添加オゾン処理法による水再生技術について当社の最新の取組を紹介する。

2. 上水分野のオゾン高度処理技術

2.1 上水分野のオゾン高度処理の概要

上水分野でのオゾン利用は、“カビ臭”対策としての脱臭とTHMなど発がん性が問題となっている有機塩素化合物の低減がその主な目的であり、通常、後段に活性炭処理を組み合わせる高度処理される。この処理法では、有機溶剤や農薬など新たに水質基準に盛り込まれた物質もかなり除去する

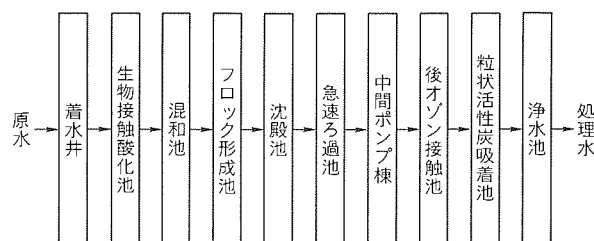


図1. 北谷浄水場の高度浄水処理フロー

表1. 北谷浄水場のオゾン高度処理設備仕様

項 目	オゾン接触池	粒状活性炭吸着池
構造形式	RC造 く(矩)形	RC造 く(矩)形
池 数	2系統 2段 4池	4系統 16池 (予備1池)
処理水量	1系統97,000m ³ /日	1池当たり12,930m ³ /日
形状寸法 (m)	1池当たり(W)3.85×(L)8.80 ×有効(H)5	1池当たり(W)5.05×(L)10.85
接触時間	T=10min (5min×2段)	LV=10m/h SV=5h ⁻¹
処理方式	気液対向流ディフューザ方式	固定層下向流式(石炭系活性炭)
設備仕様	オゾン注入率: 0~4mg/ℓ オゾン発生率: 8.1kg/h ×4台 付帯設備: 排オゾン分解設備	炭層厚: 2m 洗浄方式: 空気+水逆洗併用 下部集水装置: ポーラスコンクリート 付帯設備: 新炭、廃炭設備

ことができる。

カビ臭の原因物質はジオスミス、2-MIB (2メチルイソボルネオール) であり、従来の処理法では除去できないが、オゾンでは容易に分解除去することができる。

一方、THM は、消毒に使用する塩素と水の天然の着色成分であるフミン質などの反応によって生じる物質で、我が国では $100 \mu\text{g}/\ell$ 以下に規制されている。オゾンは従来からフミン酸などの着色成分の脱色に用いられており、フミン質を酸化分解することによって THM 前駆物質を低減することができる。

2.2 上水分野のオゾン高度処理設備の事例

当社は現在までに上水オゾン高度処理分野において 17 例の納入実績を持っているが⁽¹⁾、ここでは、1 例として沖縄県企業局北谷浄水場のオゾン高度処理設備を取り上げ、その設備概要⁽²⁾、処理状況⁽²⁾を紹介する。

北谷浄水場の処理能力は $194,000 \text{ m}^3/\text{日}$ であり、図 1 に処理フローを示すように、オゾン処理は後オゾン処理プロセスである。水源のうち中部地区の河川水が生活排水等の流入によって汚濁してきたため、通常の処理では水道水の水質基準を満足することが困難と判断され、THM の低減・除去を目的としてオゾン高度処理が導入された。

THM の制御目標値は、厚生省の目標値である $100 \mu\text{g}/\ell$ に対し、WHO のガイドラインなどを参考にして、給水末端でのクロロホルム濃度を $30 \mu\text{g}/\ell$ 、総 THM として 60

$\mu\text{g}/\ell$ で計画されている。

表 1 に各機器設備の仕様を示す。オゾン発生装置は空気原料の円筒多管式無声放電方式で、発生量 $8.1 \text{ kg}/\text{h}$ の装置が 4 台、オゾン反応槽は 2 段接触式の気液対向流の散気管方式で、幅 3.85 m 、長さ 8.8 m 、水深 5 m の反応槽を 2 系統設けている。なお、設計滞留時間は 10 分である。

図 2、表 2 に、北谷浄水場におけるオゾンによる THM 除去効果を示した。図 2 はパイロット試験結果であるが、オゾン注入率が $4 \sim 5 \text{ mg}/\ell$ までは注入率の増加に伴って、THM 生成能除去率も増加しており、オゾン注入量を制御することで目標濃度を達成できることが分かる。表 2 は実施設備の運転結果であり、THM 生成能の除去率はオゾン処理、次いでその後段の活性炭処理で顕著である。また、TOC (全有機性炭素濃度) にはさしたる向上はないものの、MBAS (陰イオン界面活性剤)、塩素要求量、過マンガン酸カリウム消費量はいずれもオゾン処理によって低減できている。

このように、実施設備での水質改善効果は計画どおりであり、“より安全でおいしい水”の供給に寄与している。

3. 下水分野のオゾン高度処理技術

3.1 下水分野のオゾン高度処理の概要

下水分野では、脱色、殺菌などがその主な目的である。現在、高着色水の脱色処理を中心にして放流水の全量処理が徐々に導入されつつあるが、塩素殺菌による副生成物が放流水域の生態系や水道水源に悪影響を及ぼすことが指摘されており、将来的には塩素代替殺菌としての導入が増加するものと予想される。また、下水処理水を場内の洗浄水などに再利用するだけでなく、“うるおい”と“やすらぎ”の空間を創造するために、放流水の一部をオゾン処理して修景用水・親水用水として再利用する例も着実に増加している。

下水処理の主流である活性汚泥処理では色度成分をあまり除去することができず、放流水が着色している場合は、オゾン処理を行うことによって、効率的に色度を低減することができる。オゾンによる脱色は着色成分の二重結合の切断を行うもので、二重結合の切断に対してオゾンは優れた選択性がある。

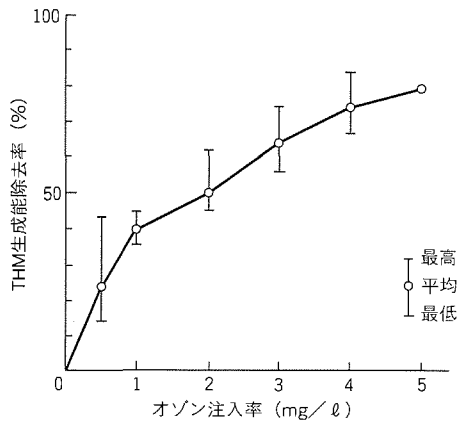


図 2. オゾン注入率と THM 生成能除去率の関係

表 2. 北谷浄水場高度浄水処理施設の運転結果

	原 水	生物処理水	凝集沈殿処理水	砂ろ過処理水	オゾン処理水	活性炭処理水
THM-FP ($\mu\text{g}/\ell$)	59	57	44	41	24	15
累計除去率 (%)		3	25	31	59	75
TOC (mg/ℓ)	1.9	1.75	1.43	1.28	1.25	0.72
累計除去率 (%)		8	25	33	34	62
MBAS (mg/ℓ)	0.08	0.05	0.05	0.04	0.01	0.01
累計除去率 (%)		38	38	50	88	88
塩素要求量 (mg/ℓ)	2.2	1	0.5	0.4	0.1	0
累計除去率 (%)		55	77	82	95	100
KMnO ₄ 消費量 (mg/ℓ)	7.6	6.8	4.5	3.7	2.6	1.5
累計除去率 (%)		11	41	51	66	80

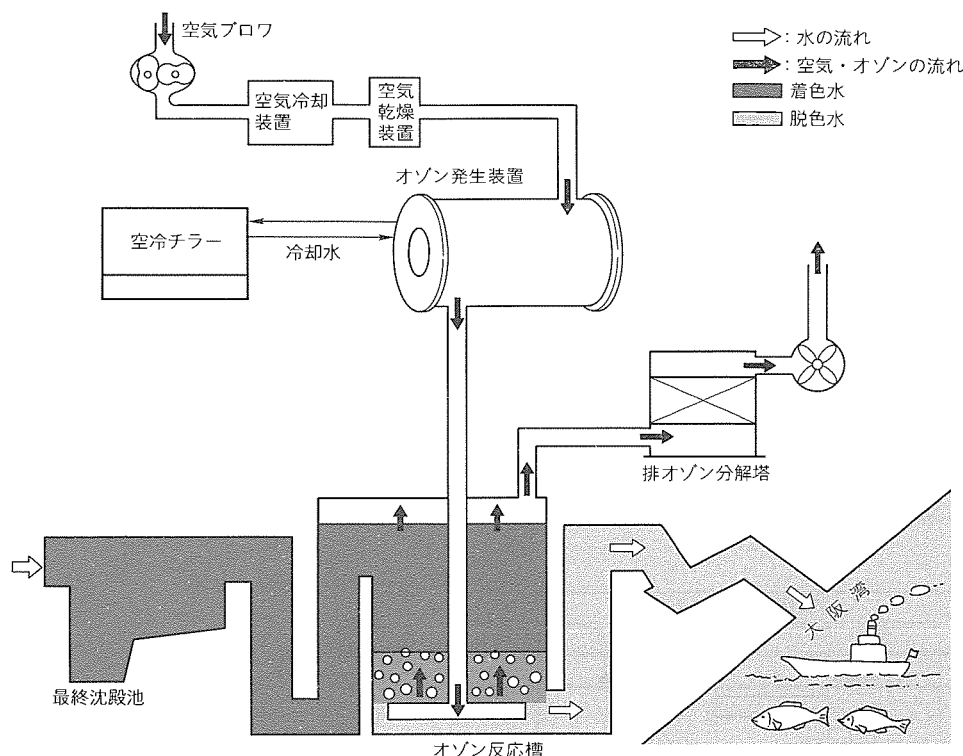


図3. 中部処理場のオゾン処理フロー

表3. 中部処理場のオゾン処理設備仕様

名 称	仕 様	台数
空気ブロフ	ルーツ式 9.81N/cm ³ {1kgf/cm ³ }4.94m ³ /min 22kW	6台
オゾン発生装置	円筒多管式無声放電方式 4kg O ₃ /h	3台
オゾン注入装置	散気筒方式	2式
オゾン反応槽	RC造 幅2.55×長さ4.5×水深4.5 (m)	2槽
排オゾン分解塔	活性炭分解方式 200m ³ /h (標準状態換算)	3基

また、オゾン殺菌は、少なくとも塩素殺菌に比較して殺菌効果は優れていると言われており、また、THMのような有機塩素化合物の生成もないので、環境に優しい有効な殺菌方法である。

3.2 下水分野のオゾン高度処理設備の事例

当社は現在までに下水オゾン高度処理分野において16例の納入実績を持っているが⁽²⁾、ここでは、1例として南大阪湾岸中部流域下水道中部処理場のオゾン高度処理設備を取り上げ、その設備概要⁽³⁾、処理状況⁽⁴⁾を紹介する。

中部処理場は、流入水の大半を占める工場排水のほとんどが繊維・染色工場からの排水という特殊性があり、この対策に苦慮してきた。処理水の放流先には二色の浜海水浴場、関西国際空港があり、効果的な脱色処理が必要であった。

従来は、次亜塩素酸ソーダ、ポリ塩化アルミニウム(PAC)による脱色処理が行われていたが、ある程度の効果は得られるものの、残留塩素による活性汚泥解体、高濃度注入による処理施設の損傷、処理費用の増大などの問題点があった。

これらの問題点を解決するために、オゾンによる脱色処理設備の導入が計画され、様々な実験検討の後、平成4年8月

にオゾン処理設備の供用が開始された。

図3に示すように、オゾン高度処理設備はオゾン発生装置・オゾン反応槽・排オゾン分解塔などから成り、各機器設備の仕様は表3に示すとおりである。すなわち、オゾン発生装置は空気原料の円筒多管式無声放電方式で、発生量4kg/h及び5kg/hの装置を各1台ずつ、オゾン反応槽は1段接触式の散気管方式で、幅2.55m、長さ4.5m、水深4.5mの反応槽を2池設けている。なお、設計滞留時間は14.9分である。

表4に中部処理場におけるオゾンによる脱色効果を示した。なお、脱色効果は、オゾン処理前後の下水の着色度を刺激純度で計測している。放流水の着色状態や成分によって処理性能は変化する場合もあるが、おおむね放流水の刺激純度は10%以下でほぼ無色であり、良好な脱色処理が行われている。また、Run No.1～4のように、処理水量が増加してオゾン接触時間が短くなった場合でも、オゾン注入率を制御して若干高めることで、良好な脱色効果が得られることが分かる。また、COD(化学的酸素要求量)も20～30%低減できている。

以上のように、着色排水はオゾン処理によって良好に脱色され、快適な水環境の回復に寄与するとともに、これまでの地域住民の不快感を軽減している。

4. 過酸化水素添加オゾン処理法による高度処理・再生技術

排水を高度処理して再利用すれば、先に述べた水環境汚染

表 4. 中部処理場のオゾン処理設備の運転結果

Run No.	処理水量 (m ³ /h)	接触時間 (min)	注入率 (mg/ℓ)	処理水 刺激純度	放流水 刺激純度	刺激純度 除去率	処理水 COD	放流水 COD	COD 除去率
1	274	13.9	30.9	21.9	6.0	73%	26.4	19.1	28%
2	248	15.4	39.0	15.3	7.1	54%	22.8	17.4	24%
3	219	17.4	27.0	9.6	2.4	75%	16.3	11.5	29%
4	234	16.3	17.4	4.3	1.6	63%	13.0	11.0	15%
平均値	244	15.6	28.6	12.8	4.3	66%	19.6	14.8	24%
5	138	27.6	29.1	23.7	7.6	68%	21.3	15.7	26%
6	164	23.2	23.9	20.4	6.6	68%	20.9	14.5	31%
7	165	23.1	22.2	20.1	6.9	66%	21.6	17.4	19%
8	162	23.5	20.2	14.7	3.7	75%	17.9	14.1	21%
平均値	157	24.2	23.9	19.7	6.2	69%	20.4	15.4	25%

Run No.1～No.4：オゾン発生器2台

Run No.5～No.8：オゾン発生器1台

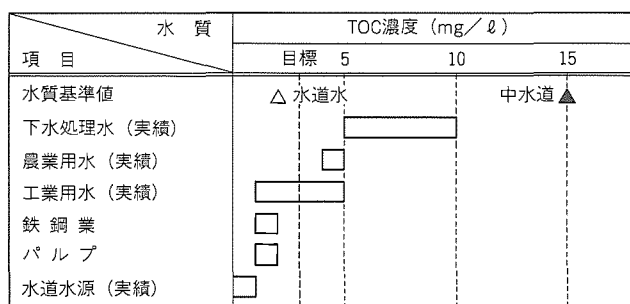


図 4. 再利用の用途とその水質

の問題と水不足の問題の両者を一度に解決することができる。このためには、排水中の難分解性物質まで分解除去する必要があるが、オゾン処理よりも酸化分解力の強い処理法として、pH 制御オゾン処理法、光照射併用オゾン処理法、過酸化水素添加オゾン処理法などの促進オゾン法がある。

当社では、下水処理水の残存有機物を更に分解除去して再利用することをねらいとして、促進オゾン法の一つである過酸化水素添加オゾン処理法による新しい高度水処理システムの研究開発を行っている。

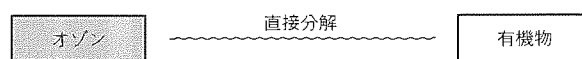
4.1 目 標 水 質⁽⁵⁾

過酸化水素添加オゾン処理法では処理水質の向上が期待できるので、水道水源・工業用水・農業用水など、水質的に少し厳しい用途へ再利用し、用途・水量を拡大できる可能性がある。図 4 に示すように、これらの用途における TOC は 2～3mg/ℓ であるので、この研究開発では目標水質を TOC 3mg/ℓ と設定している。

4.2 過酸化水素添加オゾン処理法⁽⁵⁾

過酸化水素添加オゾン処理法は、通常のオゾン処理の際に比較的少量の過酸化水素を添加する簡単な方法である。この処理法の原理は、次式及び図 5 に示すように、オゾンと過酸化水素を反応させてオゾンよりも更に酸化力の強いヒドロキシルラジカル (OH ラジカル) を効率的に生成し、これを使って排水を処理するもので、原理的にはほとんどの有機化合

オゾン単独処理法 (従来法)

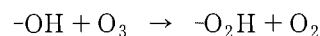
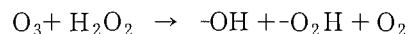


過酸化水素添加オゾン処理法



図 5. 過酸化水素添加オゾン処理法の原理

物を炭酸ガスと水に完全分解できる。



実験室規模では既に、アルコールなどオゾンでは分解できない有機物を使って検討されており、強力な酸化分解力が確認されている。しかし、OH ラジカルは酸化力が強いために、汚濁物質ではない炭酸イオンなどとも反応して、無効消費される。実排水は多種多様な物質を含んでいるので、反応機構は更に複雑と考えられる。このため、種々の排水に対する適応性、無効消費を抑えるための前処理との組合せ、ラジカル反応に適した反応器などの検討が重要となる。

この種の検討は欧米ではかなり活発に行われており、浄水処理の一部で既に実用化されているが、我が国ではあまり検討されておらず、実用化のための十分な知見が得られているとはいえない。

4.3 過酸化水素添加オゾン処理法の処理特性⁽⁵⁾

下水処理水を PAC で凝集ろ過し、回分実験 (バッチ処理) によって過酸化水素添加オゾン処理した結果を図 6 に示す。過酸化水素添加量 0 mg/ℓ、すなわちオゾン単独処理では TOC はほとんど減少していないのに対し、過酸化水素を添加した場合は最高 1.5 mg/ℓ まで低下している。このよう

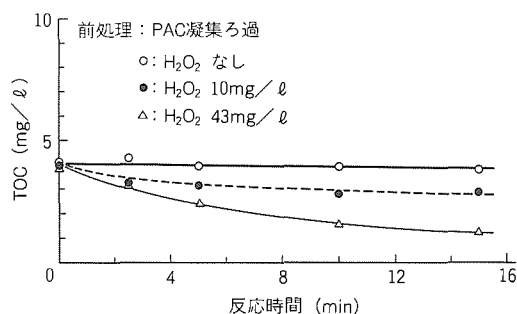


図 6. TOCの経時変化

に、過酸化水素添加オゾン処理法によれば、下水のような実排水系でも従来処理の限界を超えて有機物濃度を低減できることが分かる。また、単位 TOC の除去に必要なオゾン量もオゾン単独処理よりも少なく、効率的に有機物を除去できる。したがって、この処理法は再利用を目的とした高度処理法として有望である。

また、過酸化水素添加オゾン処理法では、オゾン単独処理よりもオゾン吸収効率は向上する。図 7 は水深 30cm の回分実験結果であるが、オゾン吸収効率はオゾン単独処理の約 10% に対し、過酸化水素を添加した場合は 40% 程度に向上している。しかも、処理時間が経過し過酸化水素がある程度消費されても、このレベルに維持されている。これは、溶存オゾンが過酸化水素及び生成した OH ラジカルと反応して消費されるためである。この結果を基に水深 4～5m の散気式反応槽を想定すると、20～25% のオゾン吸収効率の向上が期待できる。逆に、オゾン単独処理と同じオゾン吸収効率でよければ、反応槽をコンパクト化することができる。

以上のように、過酸化水素添加オゾン処理法は、オゾン単独処理よりも効率的に TOC を除去でき、また、処理システムを小型化できる可能性もあるので、再生利用のための高度処理法として有望である。

これらのことを踏まえて更に研究開発を進め、前処理との最適組合せ、その最適処理条件を明らかにするとともに、過酸化水素添加量、その添加方法、オゾン注入条件による過酸化水素添加オゾン処理特性を明らかにしてシステム概念設計を行い、実用性の見通しを得ている⁽⁶⁾。これらの検討結果については稿を改めて詳細に報告することとしたい。本年度からは実証試験を行って処理性能を確認するとともに、システムの経済性・保守性・制御性など総合的に評価検討し、新しい高度処理再生システムを開発する計画である。

過酸化水素添加オゾン処理法では従来の処理法よりも効率的に有機物を分解除去できるので、農薬、洗剤などの難分解性微量汚染物質の浄化などへ応用が期待される。

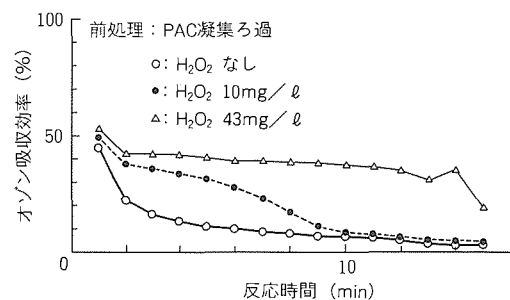


図 7. オゾン吸収効率の経時変化

なお、この研究開発は(財)エンジニアリング振興協会の社会システム等策定事業の一環として実施している。

5. む す び

本稿では、当社の水環境保全に対する取組として、オゾンを利用した上下水道分野の高度処理システムの事例、及び現在研究開発中の過酸化水素添加オゾン処理法による下水処理水の高度処理再生技術を紹介した。

産業の発展、人口の都市への集中によって水環境の汚染は広がり、また、水需要も増大すると予想されるので、水の浄化技術はますます重要になると考えられる。当社は、水を浄化して清らかな環境を保ち安全で健康な生活を守ることが、次の世代に対する大きな責任であると考え、上下水道分野のオゾン水処理技術を更に高度化させることにより、これに貢献したいと考えている。

参 考 文 献

- (1) 久川義隆：上下水分野でのオゾン処理技術，三菱電機技報，67，No.2，144～148（1993）
- (2) 川満 尚：沖縄県北谷浄水場におけるオゾン処理と THM 対策，第 4 回日本オゾン協会年次研究講演会講演集，2（1995）
- (3) 大阪府南大阪湾岸流域下水道事務所：南大阪湾岸中部流域下水道中部処理場 オゾン処理設備 パンフレット
- (4) 富尾桂一，岡本良典，長滝谷幸治：オゾンによる脱色処理について，第 3 回日本オゾン協会年次研究講演会講演集，137（1994）
- (5) (財)エンジニアリング振興協会：平成 5 年度排水の再生利用のための高度水処理技術の開発 調査研究報告書（1994）
- (6) (財)エンジニアリング振興協会：平成 6 年度排水の再生利用のための高度水処理技術の開発 調査研究報告書（1995）

広島新交通1号線の 排煙・空調制御システム

堀田重信* 中村俊文*
木山康孝**
加山 勉***

1. ま え が き

近年の地下鉄建設においては、地下空間の快適性や省エネルギー性と、火災発生時の防災の安全性を最小の設備とランニングコストで実現する換気・空調・防災設備の設計が要求されている。設備設計には、列車の走行する地下空間内での気流・温湿度などの環境条件を動的に予測し、最適設備容量と制御方法を決定することが重要である。当社では換気・空調システムをコンピュータシミュレーションによって評価し、設計する技術を構築している。昨年8月に開業した広島新交通1号線の地下駅建設においても、シミュレーション評価に基づいて設計を行った。

本稿では、広島新交通1号線の排煙・空調制御システムの構築内容について紹介する。

広島新交通1号線は、広島市北西部の交通問題を解消する広島市の基幹交通として、市中心部(本通)と北西部地区(広域公園前)間の全21駅(地下駅3駅、地上駅18駅)を37分で結ぶ総延長18.4kmの新交通システムである。また、国内で現在営業運転中の新交通システムのうちで初めて地下駅を持ち、地下駅には国内で初めてプラットホームに全密閉型ホームスクリーンドアを採用し、ホームの安全性向上と空調設備の省エネルギーを実現している。

2. 地下鉄における環境と防災の コンピュータシミュレーション

地下鉄の環境はトンネル系・停車場系・列車系・地中系の

4つの部分構造に大別され、各構造系においては気流・発熱・伝熱・蓄熱現象が相互に影響し、非定常に同時進行している。また、万一火災が起きた場合には、燃焼とともに煙やガスが発生するため、列車が停滞し、適切に排煙する必要がある。

これらを予測するためには流体・熱に関するシミュレーション技術を適用することが重要で、当社では米国運輸省が中心となって開発した世界で最も実績のあるSES (Subway Environmental Simulation) プログラムを導入し、これを活用することで、地下鉄環境防災設備計画を支援している。

このプログラムでは、送風機による換気量、列車風、列車放熱、温湿度、壁体伝熱を非定常に計算し、トンネル・ホーム・階段・通路などの空気が流れる空間を一次元圧縮性の管路網でモデル化し、複数列車を自在に運行させ、送風機・冷凍機を任意に運転した場合の風量・風速・温湿度を計算することができる。

地下鉄の環境防災設備設計の分類と、シミュレーション業務内容を表1に示す。火災発生時の乗客避難誘導など防災に関する換気・排煙設備運用方式の設計では、換気送風機・排煙送風機などを様々な運転モードで稼働させた条件下で、トンネル内や駅におけるホーム階段等の風速を計算し、煙の経路を予測評価する。

また、CO₂や汚染空気など衛生に関する換気設備設計では、換気送風機による静的換気量のみならず、列車走行による動的換気量を計算し、駅やトンネル内の衛生状態を評価する。

さらに、駅やコンコースなどの温湿度、トンネル内の温度

表1. 地下鉄環境防災設備設計支援シミュレーション業務

目 的	評価項目	対象場所	設定条件	シミュレーション業務内容
換気・排煙設備と運用方式の設計 [防 災]	静的換気	トンネル, 駅	平常時	換気送風機のみを運転し、駅やトンネル内の風量分布を計算
		ホーム階段	駅火災時	火災列車を駅に停車させ、排煙送風機を運転したときの駅の風速・風量分布を計算
		トンネル	トンネル火災時	火災列車をトンネルに停車させ、排煙送風機を運転したときのトンネルの風速・風量分布を計算
換気設備設計 [衛 生]	動的換気	トンネル, 駅	平常時	換気送風機を運転し、列車を営業運転ダイヤで走行させた場合のトンネルや駅における変動風量や変動風速を計算
冷房設備設計 [快適性]	温湿度	トンネル, 駅	平常時	換気送風機、駅冷房を運転し、列車を営業運転ダイヤで走行させた場合の駅やトンネルにおける温湿度分布を計算
	冷房負荷	駅	夏期	換気送風機、駅冷房を運転し、列車を営業運転ダイヤで走行させた場合、駅やトンネルを設定温度に保つための冷房容量を計算
駅舎・換気塔の風路設計 [快適性・安全性]	列車風	出入口 ホーム階段 ホーム端	列車同時着発時	列車風が最も強いと考えられる場合、すなわち、上り下りの兩列車が同時に駅に到着し、さらに同時に発車する場合の駅における変動風速を計算

など、乗降客の快適性に関する冷房設備設計では、列車を通常の営業運転ダイヤで走行させ、換気送風機や冷房装置を運転した場合の動的換気量、及び駅やトンネルの温湿度を計算し評価する。また、逆に駅を設定温湿度に保つ条件下で冷房容量の算出を実施する。

3. 広島新交通1号線の環境防災設備の概要

広島新交通1号線の地下駅では図1に示す全密閉型ホームスクリーンドア（以下“ホームドア”という。）を設けており、ホームと軌道の空間が遮断されるため、防災シナリオを従来とは異なる考え方で構築した。その特長は列車に火災が発生した場合、トンネル換気送風機を直ちに排煙モードとし、最寄りの駅に停車させ、ホームドアを開放して乗客をホームに避難させ、ホームを避難場所とすることである。

これに適合した排煙方式を設計しその効果を予測するには、従来の火点ブロックの考え方に基づいた換気方式の評価では十分でない。そこで駅及びトンネル内での列車火災シナリオを種々想定し、各々に対応した排煙換気方式と送風機の仕様を決め、空気の流れる空間を通風管路網でモデル化し、シミュレーションによって各部の風速・風量を求めて排煙効果を評価した。

次に、この地下3駅の排煙・換気設備と空調設備を一括して制御し監視する環境制御システムを構築した。このシステムでは、通常は対象設備を駅個別に監視制御し、緊急時は管理駅からのバックアップ監視操作を可能とした効率的で信頼性の高いシステム運用を実現した。

設備の引渡し前にトンネルやホームにおける気流を実測すると同時に、ホームドア部における発煙実験を行い排煙効果を確認した。また、シミュレーション手法による妥当性を現地実測データによって検証した。

4. シミュレーションによる排煙換気方式の設計

4.1 防災シナリオの構築

図2に想定火災発生場所と排煙換気設備を示す。表

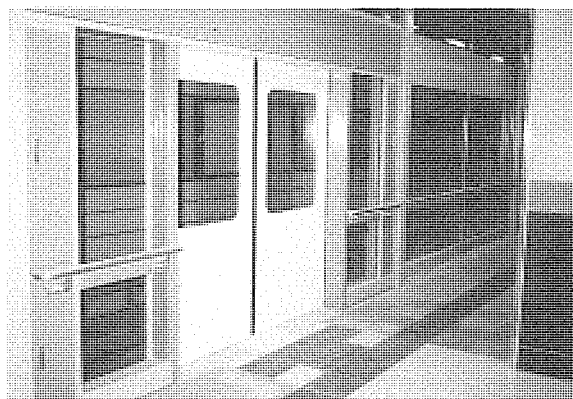


図1. 全密閉型ホームスクリーンドア

2に示すように駅間のトンネル内火災、及びホーム軌道部火災の合計7つの防災シナリオに基づく排煙モードを広島高速交通と設定した。

- (1) 本通南の火災の場合、火点ブロックの考え方に基づいて送風機 TF-1の容量を決定する。
- (2) トンネル内火災の場合、排煙を満足する断面風速を確保するため、本通駅～県庁前駅間のトンネル火災のときは、本通駅端で給気し、県庁前駅端で排気する縦流換気方式とする。
- (3) 県庁前駅～城北駅間のトンネル火災のときは、駅間の距離が長いので中間換気方式とした。空気の取り入れは県庁前側は送風機 TF-4 で給気し、城北側は明かり採り開口を利用した。
- (4) 城北駅北トンネル火災のときは、明かり採り開口部から空気を取り入れ、送風機 TF-6 にノズルを設け吹出し風速を上げることによって坑口へ押し出す方式とした。
- (5) ホーム軌道部火災の場合、排煙を満足するホームドア開口部風速を確保するため、火災列車が停止した側のホームドアのみ開とし、また、明かり採りや換気塔のダンパは閉にし、また坑口からの流入を抑えるために送風機 TF-6 を運転し、各火災発生場所に依じて、送風機の運転モードを決定した。
- (6) 本通駅火災のときは、送風機 TF-1, TF-3 を排気とした。
- (7) 県庁前駅火災のときは、送風機 TF-3, TF-5 を排気とした。
- (8) 城北駅火災のときは、送風機 TF-5 を排気とした。

送風機は気流形成時間の遅れや逆転操作の遅延などリスクを排除するために、逆転運転がないように配慮した。

4.2 シミュレーション手法(SES)とモデル化

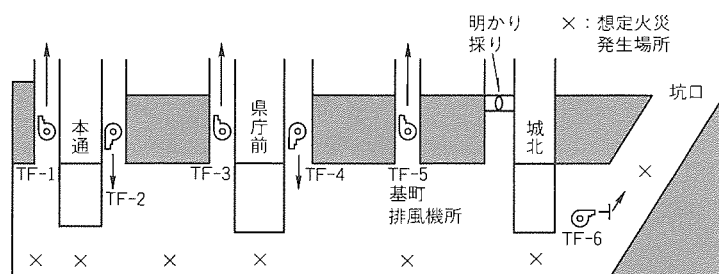


図2. トンネル排煙・換気設備構成図

表2. 想定火災発生場所と排煙運転モード

想定火災発生場所		トンネル換気送風機 (容量 m^3/min)						ダンパ
		TF-1	TF-2	TF-3	TF-4	TF-5	TF-6	
		400	3,200	3,200	2,200	4,800	2,500	
トンネル	本通南	○	×	×	×	×	×	開
	本通～県庁前	×	○	○	×	×	×	開
	県庁前～城北	×	×	×	○	○	×	開
	城北北	×	×	×	×	×	○	開
ホーム軌道部	本通	○	×	○	×	×	○	閉
	県庁前	×	×	○	×	○	○	閉
	城北	×	×	×	×	○	○	閉

図3、図4に県庁前駅の通風管路網モデルの例を示す。本通駅・県庁前駅・城北駅と、この間のトンネルを連結したシミュレーションモデルを作成し、送風機を7種類の排煙モードで運転し、定常流になった状態での風流・風速分布を計算した。入力に使用したトンネルや通路の壁面粗さ、換気塔・階段の通風抵抗係数は、SESのマニュアルや機械学会の資料集を参考とした経験値を用いた。特にホームドア部の抵抗や送風機TF-6の加圧効果は、部分モデルにおける三次元気流解析や縮小模型実験によって求めた。ホームドアは各々の駅に上り、下り、合計12か所設けてあるので、ホームから軌道部へ片側6本の管路を接続したモデルとした。上りと下りの空間は対称なので、管路網の自由度を減らすため、他方の軌道部へは6か所の管路に等価な1本の管路を接続した。その他、出入口、ホーム階段、明かり採り開口部、換気塔などの風路となる所は、すべて管路モデルとして定義した。

4.3 シミュレーション結果と評価

図4にシミュレーションによる風量分布結果を示す。矢印の方向は流れの方向を、太さは風量の大きさを表わしている。これは県庁前駅のホーム軌道部に列車が停止した状態で、換気送風機TF-3、TF-5、TF-6を運転したときの風量分布を表示した例である。送風機TF-3、TF-5の運転により、県庁前駅では外気が出入口を通じてコンコース内に入り、ホーム階段を下り、ホームドア6か所の開口部をほぼ均等に通過し、軌道部へ流れる様子が分かる。送風機TF-3には、県庁前駅ドア開口部からの空気のみならず、ドアを閉じた本通駅方面からの空気も流入する。また、送風機TF-6で城北駅北の坑口からの空気を抑えているにもかかわらず、坑口から空気が流入する。したがって、トンネル換気送風機

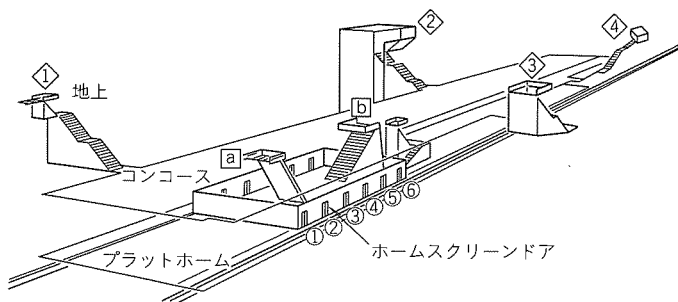


図3. 県庁前駅通風管路網モデル

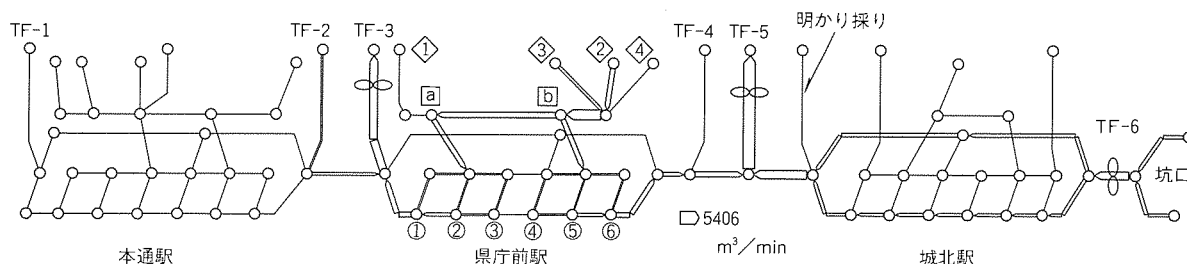


図4. 県庁前駅ホーム軌道部火災時のシミュレーション結果（風量分布）

でホームドア開口部の風速を確保し十分に排煙効果を発揮するためには、このような地下内各部の空気漏れ特性を十分に把握しておく必要がある。また、地上への坑口が存在するときは、ここからの空気の流入を防ぐための方策と、その効果を事前に十分に検討しておくことが重要である。すべての排煙モードにおいてシミュレーションを行い、排煙を十分に満足する風速が得られ、送風機的设计が最適であることを確認した。

5. 環境制御システム

5.1 システム概要

シミュレーションによって確認された排煙運転モードを実現するために、環境制御システムを構築した。

このシステムは、地下鉄の快適な環境を維持するための換気設備・空調設備の制御監視、また、トンネル内火災や駅舎内の火災発生時の排煙運転制御を行っている。図5に示すように3駅、1排風機所ごとに設けたモータコントロールセンター (MCC) と、駅ごとに設けた制御装置 (CNS, DMP)、及び図6に示す監視操作装置 (OPS) によって構成した。

また、駅間、及びCNS-DMPの間は光伝送で接続し、CNS-MCC間は電流伝送で接続し、省配線で密な情報伝達を実現した。OPSは情報を表示するCRTを直接タッチ操作（バックアップとしてマウスを使用）することによって直感的な操作環境を実現し、異常発生時の緊急な画面切換えはキーボードのワンタッチ操作で可能とした。排煙関連設備制御とその他の設備制御をDMPとCNSに機能分散させて危険回避を図った。また、MCCはユニット型コントロールセンターを適用して省スペース、省配線、メンテナンス性を向上させた。

5.2 システムの特長

(1) 地下3駅の集中監視と管理

駅舎内の防災設備、トンネル内の排煙設備、及び換気空調設備をCRTで集中監視することにより、的確な状況把握と迅速な対応を可能とした。CRT画面例を図7に示す。また、設備ごとの運転時間・起動回数などの保全データを管理することにより、適切なタイミングで保全管理を行える。

(2) 効率的で安全な設備運用の実現

駅間を光伝送で結合させ、駅個別の監視操作を駅ごとに独

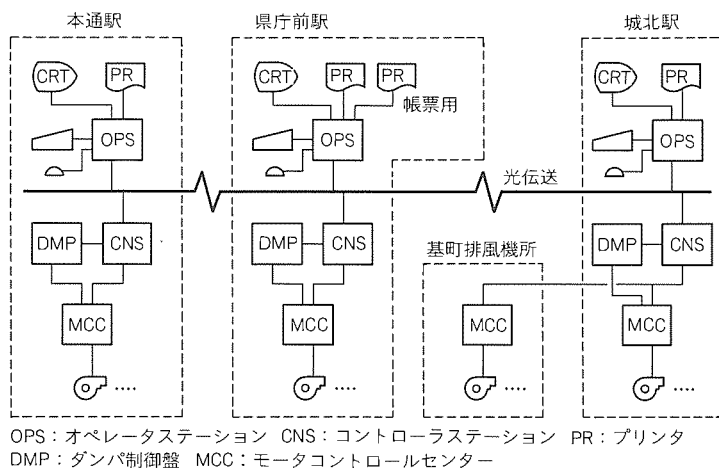


図 5. システム構成図

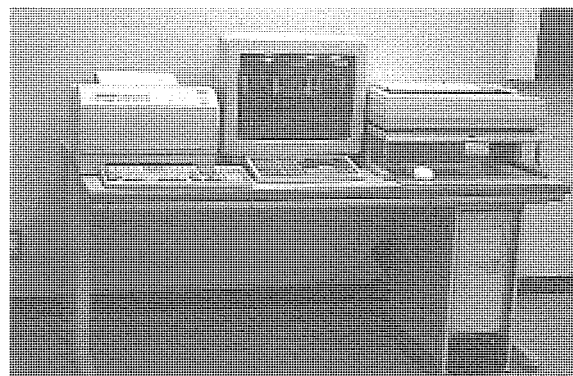
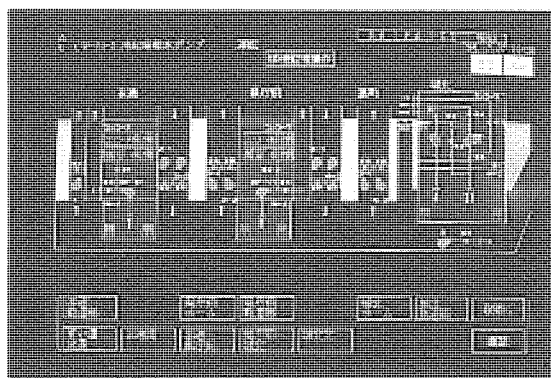
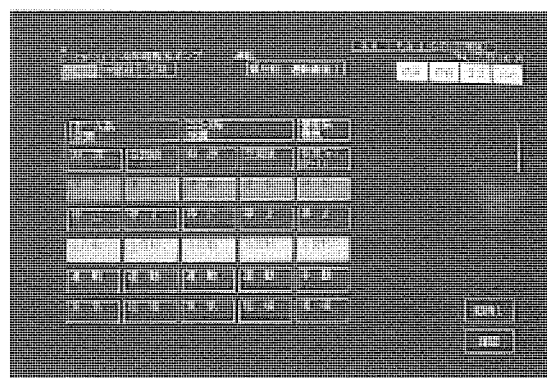


図 6. 監視操作装置(OPS)



(a)



(b)

図 7. CRT画面例

立して行い、夜勤者がいない本通・城北駅を、管理駅である県庁前駅からバックアップ監視操作ができるようにしている。さらに、駅務員が一人しかいない城北駅については、通報による排煙操作を管理駅からバックアップ操作でき、通常時・緊急時のいずれの場合でも効率的で安全な設備運用を実現した。

(3) 省人化、省エネルギー実現をサポート

防災設備と換気・空調設備を統合し、集中監視・管理を実施することにより、少人数による効率的な設備運用を可能とした。また、駅構内の環境を常時モニタし、換気風量・温度を最適にコントロールするインバータ制御システムにより、ミニマムコストで快適な環境を実現した。

(4) 地下3駅同時起動防止のための電源容量制御

一般的に国内の地下鉄における給電方式は、運行用・駅設備用などに分離されている。しかし、新交通システムの給電はこれらと異なり、同一系統で給電している。

このため、地上駅よりはるかに電力使用量の多い地下駅では、全自動タイムスケジュール起動を行うとともに、停電後の復電時に駅内又は地下3駅間の機器が同時に起動するのを防止するため電源容量制御を行っている。

6. 気流実測による排煙換気の検証

6.1 気流実測方法

表2に示す7種の排煙モードについて、気流速度分布を実測した。ホーム軌道部火災の場合は、ホームドア開放部の風速分布に加え、近傍のトンネル内、及びホーム階段の風速分布も計測した。

また、トンネル内火災の場合は、火災発生トンネルに加え、近傍のトンネル内風速分布も計測した。計測にはあらかじめ校正しておいた熱線風速計(アネモマスター M6611)を用い、流れの方向は煙で確認した。トンネルは1断面につき50～60点、ホームドア開放部は1断面につき16点計測した。1点につき1秒間隔で10秒サンプリングし、平均値を記録した。この風速分布を有効面積で積分して断面風量を算出した。

6.2 気流測定結果とシミュレーション結果の比較

図8に、県庁前～城北間のトンネル内火災時のトンネル内断面風速分布例を示す。トンネル内では中心ほど、また天井に近いほど風速が大きい。煙は対流によって上昇するので、効率良く排気されると推測される。

図9に、県庁前駅ホーム軌道部火災時のホームドア開放部と、ホーム階段の断面風速分布を示す。ホームドアはホーム

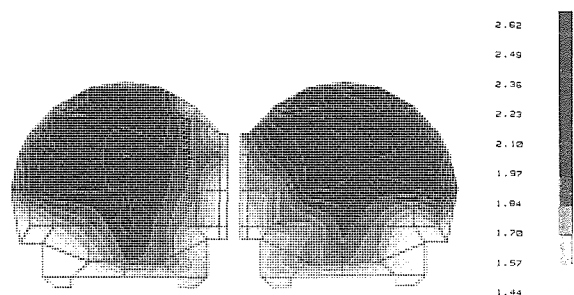


図8. 県庁前～基町間のトンネル内断面風速分布実測値
(県庁前～城北間トンネル火災)

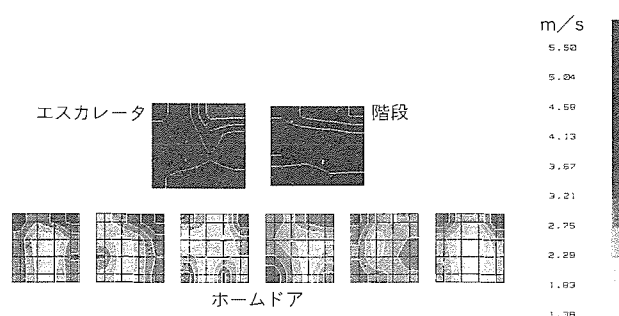
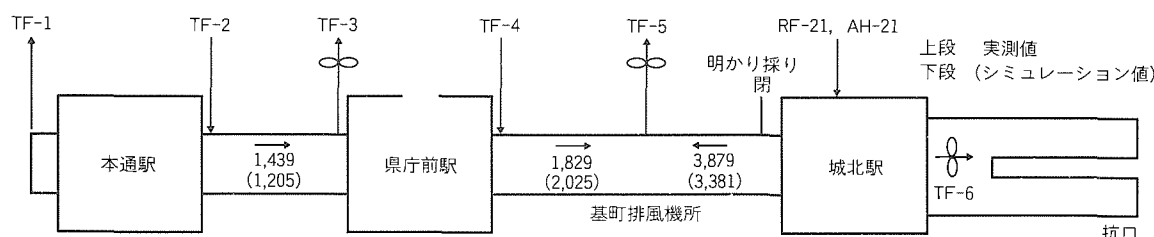
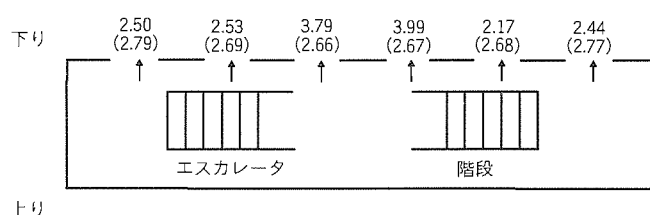


図9. ホームドア，ホーム階段断面風速分布実測値
(県庁前ホーム軌道部火災，上り側)



(a) トンネル内風量分布 (m^3/min)



(b) ホームドア風速分布 (m/s)

図10. 実測値とシミュレーション値の比較 (県庁前ホーム軌道部火災)

片側に6か所あるが、ホーム中央付近の風速がホーム端に比べて大きい。これはホーム階段やエスカレータが向き合っており、中央部に流れが集中するためである。また、ホームドア1か所に注目すると、中心付近の風速が小さく、周辺、特にコーナ近くの風速が大きい。これはホーム軌道部の列車が障害となり、ドアに垂直方向の流れが妨げられるからである。

図10に県庁前駅ホーム軌道部火災時の風量と平均風速を示す。上段に実測値を、下段にシミュレーションの値を数値で示した。本通駅からの漏れはかなり大きく、実測とシミュレーション結果は両者よく一致している。また、基町排風機所へ流入する流量割合も同様である。一方、実測ではホーム中央部のドア開口部に流れが集中するのに対し、シミュレーションではドア6か所の開口部に均等に流れる。これを正しくシミュレーションするためには、ホーム内の三次元気流挙動を把握し、等価管路モデルを構築する必要がある。

設備工事引渡し前に、すべての排煙運転モードについて気流測定を行い、排煙を十分に満足する風速を確認した。

6.3 発煙実験

県庁前駅ホーム軌道部火災のモードで、県庁前駅において発煙実験を行った。列車をホーム軌道部に停車させ、ホーム

ドアと列車ドアを開放し、発煙装置を使用して車内からホームに向かって煙を吹き出させ、流れの挙動を観察した。煙はホーム内に流入するが、直ちにホームドアと列車のすき間からホーム軌道に排出され、ホームに煙が滞留しないことを確認した。

7. む す び

快適性と安全性の確保、及び経済性も考慮した地下鉄を実現するため、シミュレーションによる最適な設備計画・設計の実施と、換気設備・空調設備・防災設備・エネルギー設備を統合化した環境制御・防災システムを提供している。

設備の計画・設計・運用・保守保全といった駅設備のライフサイクルをフルサポートする技術と実績で、人と環境に優しいトータルシステム作りを目指していきたい。

参 考 文 献

- (1) 日本鉄道サイバネティクス協議会：第31回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集 (1994)

衛星によるリモートセンシング

岩橋 努*
田中宏和*
門脇 隆*

1. ま え が き

オゾン層の破壊や、酸性雨、熱帯雨林の減少など、地球規模での環境変化が様々な形で顕在化している。地球環境問題は地球規模での長期的な気候変動の問題であり、この解明のためには、気圏、水圏、地圏及び生物圏それぞれの動態を把握するとともに、これら各圏の相互作用を含めた地球規模でのエネルギーの流れや物質循環（雲・降水・土壌水分・陸水及び海水の蒸発散などの水循環、化石燃料・光合成などに関連した炭素循環、生物やオゾン層破壊に関係した窒素循環など）のメカニズムを明らかにする必要がある。このためには、地球全体規模での環境の継続的な観測・監視が重要であり、衛星によるリモートセンシングは地球環境の解明にとって不可欠な手段である。

国際的には、各国の宇宙関係機関などからなる“地球観測衛星委員会 (Committee on Earth Observation Satellites : CEOS)”において、各国の地球観測衛星計画を国際的に調和して推進し、また、データの相互利用を図っている。

政治レベルでも、1992年6月にはリオデジャネイロで“環境と開発に関する国際会議 (United Nations Conference on Environment and Development : UNCED)” (いわゆる環境サミット) が開催され、オゾン層の破壊、地球の温暖化、酸性雨、大気汚染、海洋汚染、熱帯林の減少、砂漠化、火山噴火などに対する“環境保全”の観点と、農林水産業、国土利用、地下資源、建設、運輸などの“開発”の観点との調和のために、地球観測システムの構築を推進しようという決定がなされた。

我が国では、科学技術庁宇宙開発事業団 (NASDA) を始め宇宙関係機関・大学・メーカなどからなる“地球環境観測委員会”が中心となって、地球観測の運用計画や観測データの利用促進にかかわる検討を行っている。

本稿では、当社がこれまで NASDA などの指導を受けながら開発を進めてきた地球観測衛星や搭載センサ及び地上システムなどを中心に、衛星リモートセンシングによる環境観測の現状について紹介す

るとともに、今後の動向について述べる。

2. 衛星による地球環境観測の仕組み

2.1 地球観測の仕組み

衛星によるリモートセンシングでは、高度数百 km の低軌道周回衛星に搭載した観測センサによって、数日から数十日で地球全体を観測する。地表を観測するセンサでは、対象となる物質の放射・反射特性や散乱特性を測定するため、可視光線から赤外線の一部 (近赤外～熱赤外) の波長帯及びマイクロ波帯が用いられる。一方、大気を観測するセンサでは、大気を構成する気体分子による吸収を利用して観測を行うため、特定の帯域 (例えば、オゾン層の観測では紫外域、熱赤外域) を用いることが多い。

観測センサから得られた各スペクトルのレベルデータや位相データなどから地表の状態や組成、大気の成分などの物理量を測定し、植生の環境、水の分布とその動態、大気の組成成分、火山噴火とその影響などの情報を得ることができる。

図1に衛星によるリモートセンシングの概念図を、表1に地球環境監視のための観測項目を示す。

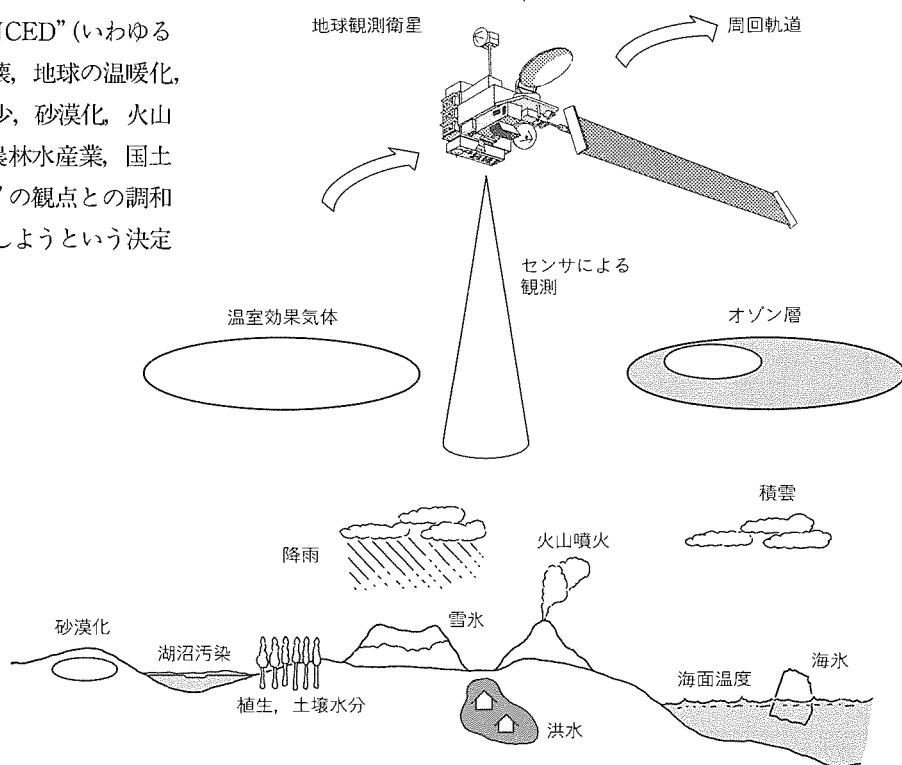


図1. 衛星によるリモートセンシングの概念図⁽³⁾

日本は海洋観測衛星 MOS-1 を 1987 年に打ち上げ、1990 年には MOS-1b、1992 年には地球資源衛星 JERS-1 を打ち上げ、運用中である。

2.3 ADEOSによる地球環境観測

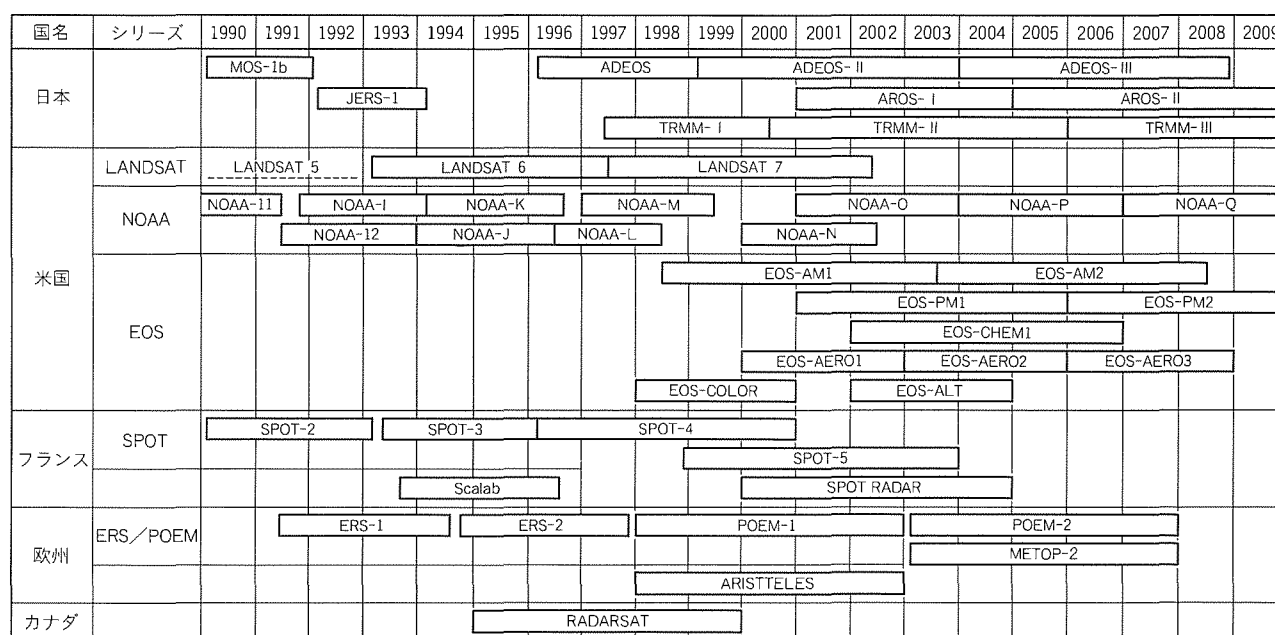
表1. 地球環境監視のための観測項目

目 的		観 測 項 目	
環 境 保 全	オゾン層の破壊 地球の温暖化 酸性雨 大気汚染 海洋汚染 熱帯林の減少 砂漠化 火山噴火	大気ダイナミックス／ 水エネルギー循環	大気温度 風 水蒸気 雲（雲頂高度，雲厚） 降水量 エネルギー収支
		海洋ダイナミックス	海面温度 海面ジオイド 塩分濃度
		大気科学	温室効果ガス オゾン等 エアロゾル
開 発	国土調査 資源探査 農業用地の選定 防災	海洋生物	海色，海洋生物
		雪氷	積雪水量，氷床水量， 氷床高度，海水分布
		陸域	土地被覆（植生等） 土壌水分，地形，地質 地表面温度

ADEOS は、地球温暖化、オゾン層の破壊、熱帯雨林の減少、異常気象の発生等の環境変化に対応した全地球規模の観測データを取得し、国際協力による地球環境監視を目的とした地球観測衛星である。このほか、次世代地球観測に必要な衛星間通信や運用の自動化・自律化等のプラットフォーム技術の確立を目指した実験を行う。図3、図4に ADEOS の外観を、表2に搭載されるセンサの主要諸元を示す。

3.1 高性能可視近赤外放射計(AVNIR)

AVNIR のポインティング機構部は、地上からの指令に基づいて視野方向を衛星直下点に対して $\pm 40^\circ$ 振ることができ、約 800 km の高度から見える地域の大部分が観測できるようにしている。光電変換モジュールには、検出器としてリニアアレーの CCD を使い、パンクロマチックバンドで 10,000 画素、マルチバンドで 5,000 画素とし、各画素を千鳥状に並べたスタガ配列とすることにより、パンクロマチックバンドで 8 m、マルチバンドで 16 m という高い輝度分解能及び地表分解能を達成している。さらに、緯度や季節によ



三菱電機技報・Vol.69・No.6・1995

て変化する地表の反射率を考慮し、広範囲の放射輝度に対応するため、CCD には露光量が調整できる電子シャッター機能

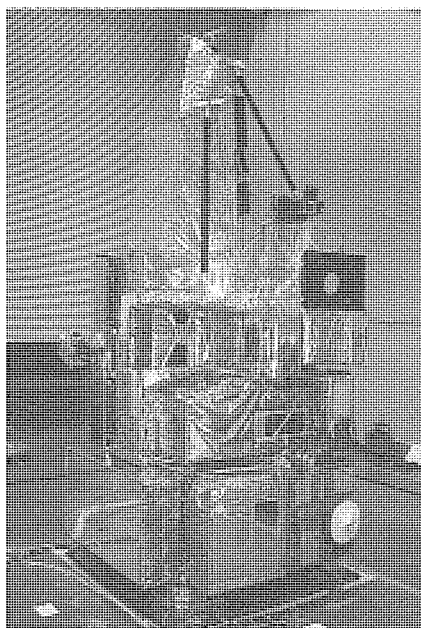


図 3. ADEOSの外観 (宇宙開発事業団提供)

を付加している。

また、AVNIR が搭載される ADEOS の伝送レートの制約から、画像データの圧縮を行うためのデータ圧縮機能を付加している。AVNIR の画像データは、地上で画像データに含まれるひずみ成分を補正するためのラジオメトリックひずみ補正処理、及び幾何ひずみ補正処理が行われて、観測対

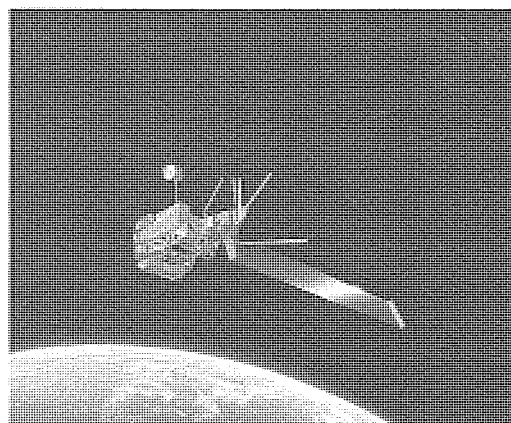


図 4. ADEOSの外観 (宇宙開発事業団提供)

表 2. ADEOSに搭載されるセンサの主要諸元

センサ名	開発国	開発機関	観測目的	概略仕様
高性能可視近赤外放射計 (AVNIR)	日本	宇宙開発事業団	陸域及び沿岸域	観測幅：約80 km 観測バンド： 可視域：3バンド 近赤外域：1バンド パンクロマチックバンド（可視域）：1バンド 地表分解能：約8 m（パンクロマチックバンド） 約16 m（マルチバンド）
海洋海温走査放射計 (OCTS)	日本	宇宙開発事業団	海色及び海表面温度	観測幅：約1,400 km 観測バンド： 可視域：3バンド 近赤外域：1バンド 中間赤外域：1バンド 熱赤外域：3バンド 地表分解能：約700 m
NASA散乱計 (NSCAT)	米国	米国航空宇宙局／ジェット推進研究所	海上風の風向、風速の測定	観測幅：約1,200 km 観測周波数：14 GHz 風速測定精度：2 m/s 風向測定精度：20°
オゾン全量分光計 (TOMS)	米国	米国航空宇宙局／ゴダード宇宙飛行センター		観測幅：2,565 km 観測波長：308.6～360.0 nm（6バンド）
地表反射光観測装置 (POLDER)	仏国	国立宇宙開発センター	地表表面や大気で反射される太陽光の偏光と方向性の測定	観測幅：1,825 km×2,470 km 観測波長：443～910 nm（9バンド）
温室効果ガス観測装置 (IMG)	日本	通産省立地公署局	大気中のCO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O、その他の温室効果ガスの地域分布の測定	観測幅：550 km 観測波長：3.3～14 μm
改良型大気周縁赤外分光計 (ILAS)	日本	環境庁企画調整局	極域における大気微量成分（オゾン、CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O、エアロゾル）高度分布の測定	観測波長：753～784 nm, 6.21～11.77 μm 観測高度：10～60 km
地上-衛星間レーザ長光路吸収測定用リトロフレクタ (RIS)	日本	環境庁企画調整局	地上局上空のオゾン、フロン、CO等の濃度測定	観測波長：0.4～14 μm
技術データ取得装置 (TEDA)	日本	宇宙開発事業団	宇宙環境技術データの取得	重イオン環境、放射線吸収量、熱制御材汚染、CCD劣化、メモリ誤動作等の観測・モニタ

象物の画像が得られる。図5に ADEOS 搭載 AVNIR の観測概念図を示す。

3.2 短波長赤外放射計 (ASTER-SWIR)

極軌道プラットフォーム (EOS-AM1) は、NASA が国際協力の下で開発を実施しており、1998 年 6 月に打上げが予定されている。

EOS-AM1 に搭載される ASTER は、(財)資源探査用観測システム研究開発機構 (JAROS) が NASDA の研究成果を引き継いで開発を担当し、当社がこれらを受注したもので、可視及び近赤外放射計 (VNIR)、短波長赤外放射計 (SWIR)、及び熱赤外放射計 (TIR) の 3 サブシステムから構成されている。

SWIR は岩石・鉱物・植生等の観測を行うことを目的とした受動型の光学センサである。SWIR はポインティング機構を備えているため、ポインティングミラーを駆動させることによって衛星進行方向に直交する方向に $\pm 8.55^\circ$ の範囲で観測領域を設定することができる。図6に SWIR の観測

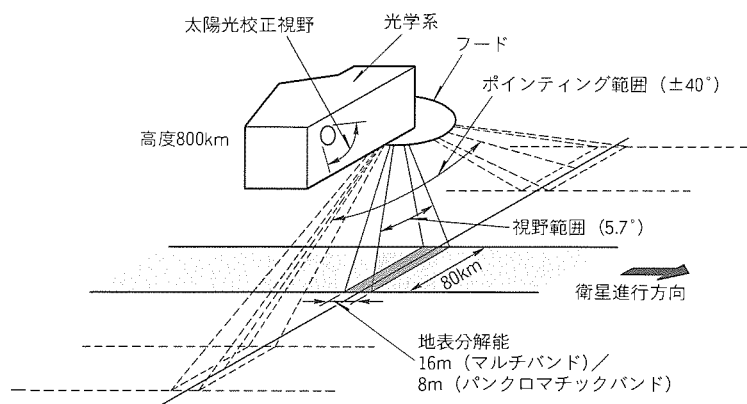


図5. ADEOS搭載AVNIRの観測概念図

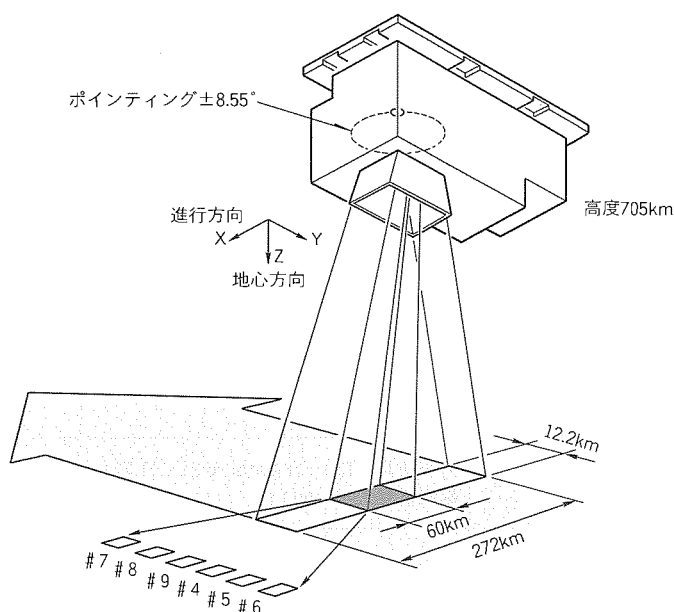


図6. EOS-AM1搭載SWIRの観測概念図

概念図を示す。

3.3 マイクロ波放射計 (MSR) 及び 高性能マイクロ波放射計 (AMSR)

MSR 及び AMSR は、地表や海面からのマイクロ波帯の熱放射を測定する受動型の電波センサで、地球環境を把握する上で重要な水に関する様々な情報 (海面温度、海水、油汚染、水蒸気、降水量、海水の塩分濃度など) を得ることができ

る。MSR は 1987 年と 1990 年に打ち上げられた MOS-1 及び MOS-1b に搭載された。現在、当社では 1999 年 2 月打上げ予定の環境観測技術衛星 (ADEOS-II) に搭載される AMSR の開発を進めている。図7に ADEOS-II 搭載 AMSR の観測概念図を示す。

3.4 合成開口レーダ (SAR)

SAR は、能動型電波センサの一種で、信号のコヒーレンスを高度に利用して、天候・昼夜に左右されることなく、非常に高い空間分解能で地球表面の映像が得られる電波センサである。異なる軌道から同一の観測対象地域を観測することによって得られる SAR 受信信号を、互いに干渉させて標高の抽出を行うインタフェロメトリ技術が最近注目を集めている。

図8に JERS-1 搭載 SAR の観測概念図を、図9に SAR 用アンテナの外観を示す。

4. 地上システム

4.1 概要

地球観測データは、我が国の場合、NASDA の地球観測センターで受信されて、高密度デジタル磁気テープ (HDDT) に記録されている。受信されたままのデータには、衛星の“ふれ”等に起因するひずみ (幾何的ひずみ) やセンサの感度の“むら”等に起因する

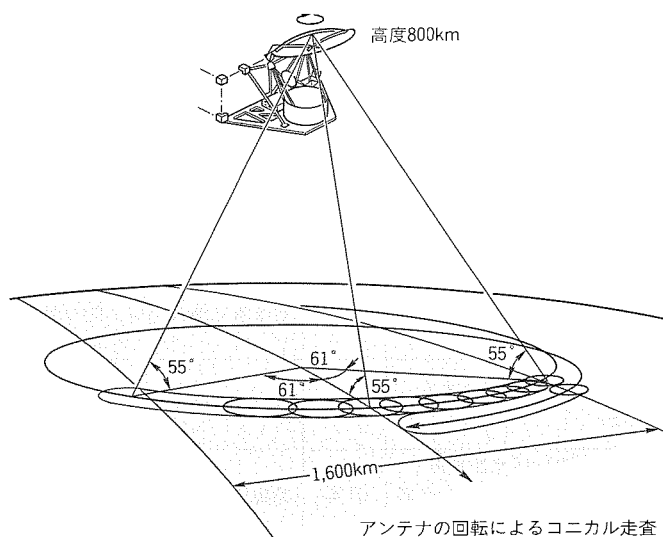


図7. ADEOS-II 搭載AMSRの観測概念図

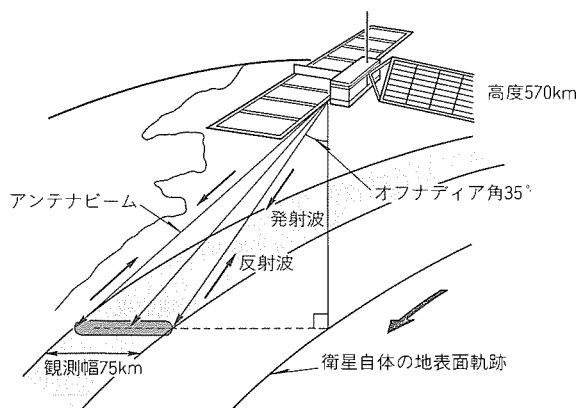


図8. JERS-1搭載SARの観測概念図

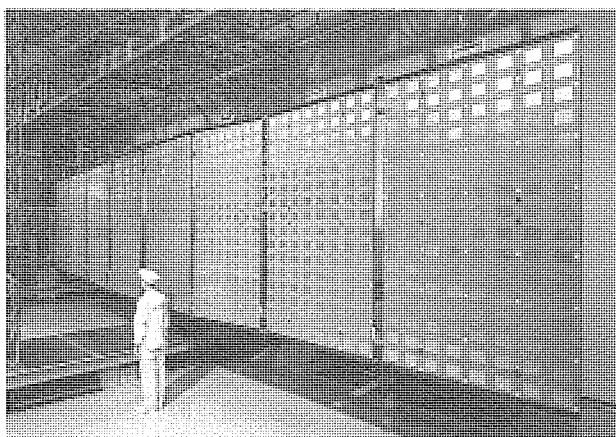


図9. SAR用アンテナの外観

るひずみ(放射ひずみ)が含まれている。これらのひずみは、地球観測センターで補正され、いろいろな解析ができる電子計算機適合テープ(CCT)に記録される。さらに、CCTからフィルムに記録され、焼き付け、引き伸ばし、カラー合成等が行われ、種々の用途に応じた写真が作成される。

図10と図11は噴火前後のフィリピン・ピナツボ火山をMOS-1のMESSRで撮った画像で、1989年11月の緑豊かな一帯が、噴火後の1991年7月には、降灰や土石流の被害域に大きく変わっていることが分かる。

これらの衛星の観測データは、(財)リモート・センシング技術センター(RESTEC)を通じて一般の利用者に配布される。データの配布は従来は郵送による手段がほとんどであったが、最近、地上回線や衛星回線による配信が始められている。一般利用者は、利用目的に適合したデータをデータカタログ又はクイックルック写真を見て申し込む。データの媒体はCCTが多いが、CD-ROMや8mmテープによる場合もある。利用者は、CCT等を解析装置にかけ、それぞれの目的に応じた解析ソフトウェアによって処理し、必要な情報を引き出す。

4.2 地上システムの動向

地上で行う処理は、各種の校正処理、データを位置情報と

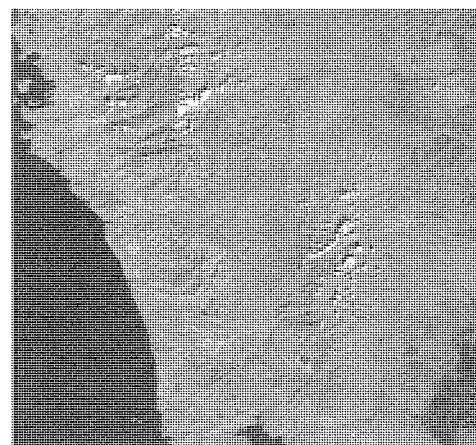


図10. フィリピン・ピナツボ山(噴火前/1989年, MOS-1/MESSR)(宇宙開発事業団提供)

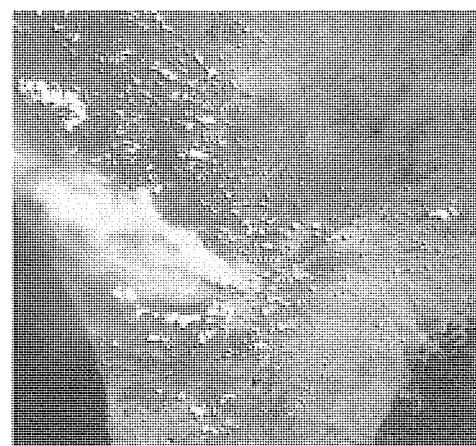


図11. フィリピン・ピナツボ山(噴火後/1991年, MOS-1/MESSR)(宇宙開発事業団提供)

してとらえるためのマッピング処理、経時変化の抽出や地理情報システム(GIS)等の他の手段で得られたデータとの結合を図るためのデータベース化と関連処理があり、それらの配布ネットワークへの接続サービスがある。

地上局で得られるリモートセンシングデータは、センサの高分解能化やセンサの複数搭載により、また周回軌道の観測衛星でも、静止軌道の中継衛星の利用によって直接受信区域外のデータを収集することができ、受信データが膨大になってきている。

しかし、近年のデジタル技術の進歩から、汎用計算機はダウンサイジング化が進み、リモートセンシングデータ処理は、大規模な処理センターレベルでも、エンジニアリングワークステーションでの処理でほとんどの作業をこなせるまでになってきている。

このため、今後、リモートセンシングデータの利用がより一般化し、これまでの特定の大規模ユーザだけの利用から、不特定多数の小規模ユーザも含めた利用へと展開されることが予想される。NASDAでは、本年4月に地球観測データ研究解析センター(EORC)を開設し、地球観測データをよ

り有効に利用し、かつ新しい解析アルゴリズムの開発等に注力している。

5. む す び

衛星によるリモートセンシングは、地球規模での環境保全や資源探査及び自然災害の監視など、様々な分野で大きな役割を果たしてきている。特に、地球環境の保全は“美しい地球”を守るために全人類に共通な命題である。これまで、衛星によるリモートセンシングにより、オゾン層の破壊や酸性雨、熱帯雨林の減少などが観測され、一般市民でも環境問題の関心は日増しに高まっている。しかし、温暖化に影響する二酸化炭素やその他の温室効果、また地球気候の温暖化による海面温度の上昇が本当に起こるのかなど、解明されてない点も多い。今後、国際的な地球環境監視・保全機関の創設を含め、継続的な研究開発が必要と思われる。

表3は、環境分野における今後のリモートセンシング利用の方策を、センサ、観測体制、データ利用に分け、まとめたものである。当社はこれまで培ってきたこの分野での技術をベースに、今後も表に示した衛星によるリモートセンシング技術の向上発展に積極的に貢献していきたいと考える。

最後に、地球観測衛星や観測センサ及び地上システムの開発に携わってこられた科学技術庁 宇宙開発事業団 (NASDA) や(財)リモート・センシング技術センター (RESTEC)、通商産業省 (財)資源探査用観測システム研究開発機構 (JAR

表3. 環境分野における今後のリモートセンシング利用の方策

センサ関連	分光帯域の増加 目的に合ったセンサ(スペクトル)の充実 全天候型センサの充実 空間的分解能の向上
観測体制関連	高分解能データを含めた観測頻度の増大 多数の衛星によるリアルタイム観測 長期モニタリングシステム(温室効果ガス等)の構築 短期間・局所的現象に対する予測体制構築 海域での汚染物質(有機物質、懸濁物等)把握や環境監視 多様なセンサの有機な組合せ
データ利用	データの高頻度リアルタイム提供 地域計画等への入力データ 地方自治体等への実況局等の設置、衛星網との直結による定常的監視 地球レベルの大気、水蒸気、森林等環境状況のTVによる定期的放映

OS) や(財)資源・環境観測解析センター (ERSDAC) の方々を始め、多くの関係各位に感謝する。

参 考 文 献

- (1) 立野 敏：宇宙からの地球観測，国際衛星通信時代，No.36，3～54 (1994)
- (2) 森山 隆：地球環境観測委員会の発足について，RESTEC，No.29，6～10 (1992)
- (3) 小林督智，小野 誠，角市 修：地球環境と衛星リモートセンシング技術，三菱電機技報，67，No.6，567～571 (1993)
- (4) 宇宙開発事業団：21世紀へ向けての宇宙からの地球観測長期シナリオ (1994)

薄膜分離プロセスを用いた 薄膜シリコン太陽電池

森川浩昭* 限部久雄*
有本 智**
石原 隆*

1. ま え が き

地球温暖化防止等の環境問題への対応や石油を始めとする化石燃料の代替エネルギーとして太陽電池への関心が高まっている。ちなみに1993年から、電力会社による自家発電余剰電力の購入制度(自家用直流発電設備を逆潮流がある状態で系統へ連系する。)が発足し、1994年からは個人が太陽光発電システムを導入する場合、その購入費の約1/2を国が補助するといった、実用化を進めるための施策が開始された。しかし、電力用途として本格的な太陽電池の普及を図るには更なる低コスト化が必要である。

薄膜シリコン(Si)太陽電池は発電層が薄く、使用するSi原料が少ないので低コスト化が可能で、基本的に結晶Siを発電層とすることから高効率も期待でき⁽¹⁾、これまで多くの種類の薄膜Si太陽電池が検討されてきた^{(2)~(4)}。しかし、薄膜Si結晶を保持するための基板材料の選択及び薄膜Siの形成法などがネックとなり、例えば、グラファイトやセラミック又は金属級Siなどを基板にしてその上に直接数十 μm 厚の薄膜Si太陽電池を形成した例はあるが、基板とSiとの熱膨張率の違いによるストレス、又は基板から発電層への不純物混入等が原因で、結晶品質の低下や薄膜Si中の欠陥密度が大きくなって、大面積にわたり高品質な薄膜Siを得られずに、結局、これまでのところいずれも実用レベルに達していない。

我々はこれらの問題点を解決すべく、基板全面に形成した絶縁膜(SiO_2)上に気相成長法と帯域溶融再結晶化法により、高品質な薄膜多結晶Siを形成する技術を開発し、これを発電層とする新しいタイプの薄膜多結晶Si太陽電池の研究開発を進めてきた。これまでに基板を格子状に残したはり(梁)により、薄膜多結晶Si発電層を保持する支持基板型の薄膜太陽電池を開発し、10cm角サイズで変換効率14.2%⁽⁵⁾を、また2cm角サイズで16.4%⁽⁶⁾を達成し、開発した技術及び構造が有用である見通しを得た。

また、これらの開発成果をベースに更なる高効率化と低コスト化を目指して、VEST (Via-Hole Etching for the Separation of Thinfilms) と名付けた当社独自の新しい太陽電池(以下“VESTセル”という。)の製造方法及びデバイス構造の開発に着手した。これは、発電層である薄膜多結晶Siを全面 SiO_2 膜で覆ったSi基板上に形成した後、発電層の一部に多数の小さい穴(バイアホール)を設け、この穴

を介して SiO_2 膜を選択的にエッチングすることにより、基板から発電層を分離して太陽電池を作製する。一方、基板は再利用するというものである。VESTセルの主な特長は、表面側に電極を持たないこと、発電層は100 μm 以下と薄く、フレキシブルな性状を持っていることである。

VESTセルにおけるバイアホールは、従来型太陽電池の表面側電極を裏面側に取り出す役割も受け持っており、バイアホールをどのように設けるか(寸法、形状、配列の仕方)が、性能/コスト両面から一つの重要なポイントとなっている。この報告では、まず、VESTセルの構造及びプロセスフローを説明し、その後、バイアホールに関する設計を行った結果、さらに新たに開発した薄膜多結晶Si分離技術及びバイアホール裏面への拡散技術について報告する。

2. VESTセルの構造と作製方法

図1にVESTセルの構造を示す。太陽電池表面には電極がなく、光閉じ込めのためのテクスチャ構造が形成され、さらに表面から裏面に貫通するバイアホールが所定の配列パターンに従って形成されている。発電層は、p型の薄膜多結晶Siで、リンの拡散によってn型層がテクスチャ表面、バイアホール内壁及び裏面のバイアホール周辺部に形成されている。p電極とn電極は、共に太陽電池の裏面側にある。従来の太陽電池の場合、n電極は表面のn層上に形成されるが、VESTセルでは、n電極をバイアホールを介して裏面側に形成する、すなわち表面のn拡散層をバイアホールを通して裏面に引き込み、表面と裏面のn層を接続することにより、太陽電池表面を無電極化している。VESTセルの特長を以下にまとめて示す。

(1) 発電層表面に電極がないので高効率化が図れ、かつ表面

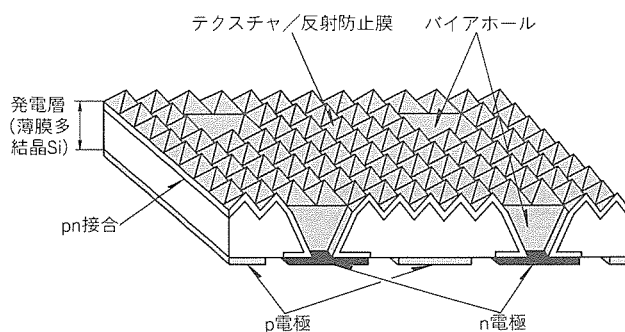


図1. VESTセルの構造

のデザインの自由度が高い。

(2) p 電極と n 電極は共に同一面（裏面側）に形成されているので、アセンブリ工程が簡単にできる。

(3) 発電層が薄く高品質な Si 材料の消費が少ない（従来の約 1/10）ので、原理的に低コスト化が図れる。また、軽量、フレキシブルであり、広範囲な分野での利用が期待できる。

次に VEST セルの作製方法を説明する。図 2 はプロセスフローの一例である。まず、帯域溶融再結晶化 (Zone-Melting Recrystallization : ZMR) 法と熱 CVD (Chemical Vapor Deposition) 法によって、 SiO_2 膜で全面を被覆された基板上に厚さ約 $100\text{ }\mu\text{m}$ の薄膜多結晶 Si を形成する (図 2(a))⁽⁷⁾。次いで、エッチングによって選択的にバイアホールを設けた後、光閉じ込めのためのピラミッド状の凹凸（テクスチャ）構造を形成する (図 2(b))。さらに、フッ酸に浸せき（漬）し、バイアホール周辺の一部の SiO_2 膜をエッチングした後、リン拡散を行い、表面及びバイアホールを介して裏面側にも n 型領域を形成する (図 2(c))。この後再びフッ酸に浸漬し、残りの SiO_2 膜をエッチングすることによって薄膜多結晶 Si を基板から分離する。基板は、最初の薄膜多結晶 Si 形成工程に戻して再利用する (図 2(d))。一方、分離した薄膜多結晶 Si は、ガラスに張り付けた後 (図 2(e))、裏面側に p 電極及び n 電極を形成することにより、表面側に電極を持たない VEST セルが完成する (図 2(f))。

現在、上記プロセスフローに基づいて各要素技術開発を進めており、主な開発状況については次章で述べる。

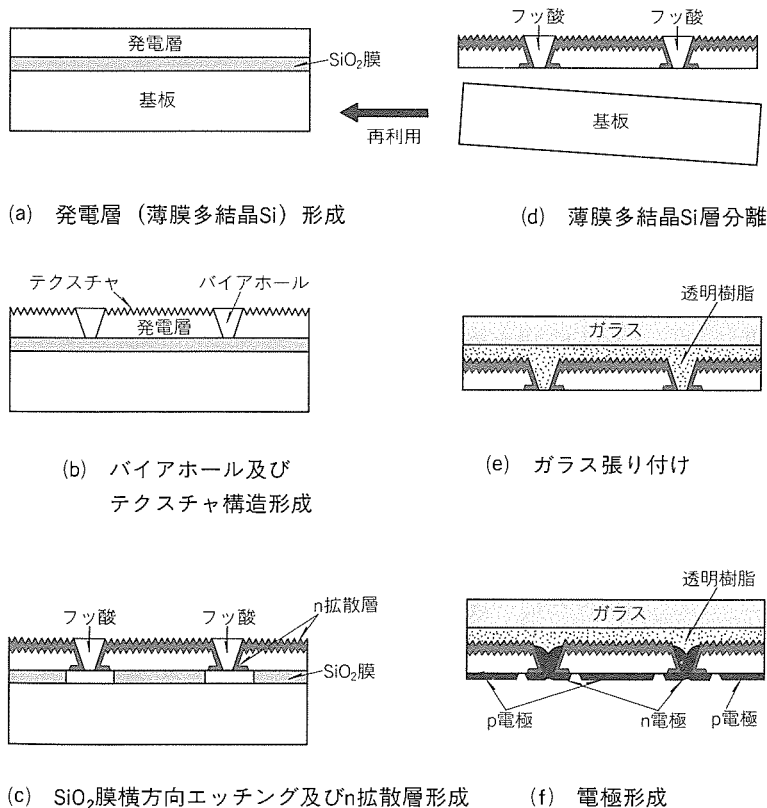


図 2. プロセスフロー

3. 要素技術開発

3.1 バイアホールの設計

VEST セルにおいて、光電流は表面の n 層を流れ、バイアホールを通して裏面側の電極から取り出される。このため、バイアホールの開口径、間隔、配列及び電流のパスとなるバイアホール部の電気抵抗、n 層のシート抵抗等が検討すべきパラメータとなる。

光入射面である表面側にグリッド電極のある従来型の太陽電池の場合、光電流は直線状のグリッド電極によって収集される。これに対し、VEST セルでは光電流は、バイアホールに対して放射状に流れ込むため、バイアホール周辺に光電流が集中して電圧降下が大きくなる。その結果、直列抵抗成分が増大して、曲線因子 (Fill Factor : F. F.) が低下し、変換効率が低下してしまうことが懸念された。そこで、VEST セルにおける光電流の集中による直列抵抗成分をデバイスシミュレーションによって見積ったが、結果は、発電層厚 $60\text{ }\mu\text{m}$ 、バイアホール開口径 $100\text{ }\mu\text{m}$ 、間隔 2mm で格子状に配列した場合、表面に電極のある従来型太陽電池とほとんど差がないことが確認され、バイアホール周辺の直列抵抗

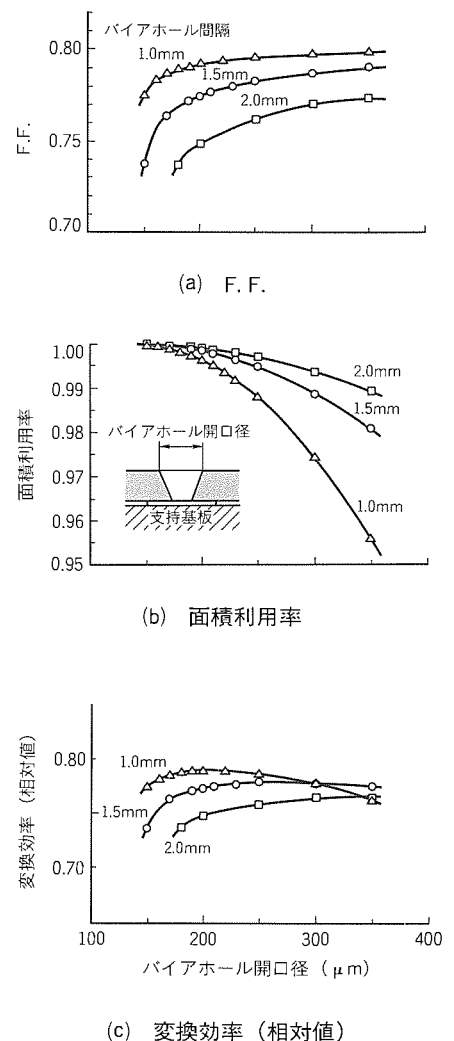


図 3. バイアホール開口径、間隔とセル特性

成分の増大は無視できることが分かった。

次に、具体的にバイアホール最適な配列パターンと寸法仕様を決定するために、それらのパラメータと太陽電池特性の相関を計算で求めた。以下、計算モデルの概要を示す。

- (1) n層のシート抵抗は $60\ \Omega/\square$ とし、発電層(薄膜多結晶Si)の膜厚は $100\ \mu\text{m}$ とした。このモデルでは、n層による直列抵抗成分についてのみ取り扱い、n層と電極とのオーミックコンタクト及び電極そのものの直列抵抗成分は除外した。
- (2) VESTセル表面のn層の等電位線をバイアホールの外周に沿って(矩)形に仮定し、一つのバイアホールの $1/4$ の電流収集領域内を100分割し、各微小部分の発生電流とn拡散層を光電流が流れることによる電圧降下を積算して、表面裏面間のバイアホールによる電圧降下分を加え電流-電圧(I - V)特性を求めた。
- (3) pn接合の I - V 特性は、理想的なダイオード特性に従うものとし、暗時の逆方向飽和電流とn値は、標準的な太陽電池のF.F.値である0.78となるように計算して求めた。

図3にバイアホールを基盤の目(格子)状に配した場合の計算例を示した。バイアホールは、アルカリエッチングによって形成するので、薄膜多結晶Siの面方位が(100)の場合、図2に示すように四角い(錐)状の形状となり、裏面側の小さい開口径は、薄膜多結晶Si層の厚さと表面側に形成する開口部のマスクの寸法により、一意的に決まってしまう。そこで表面側の開口径に対する裏面側の開口径の関係を実験によって調べた結果、膜厚が $100\ \mu\text{m}$ の場合、表面側を $250\ \mu\text{m}$ 径にエッチングすると、裏面側は $110\ \mu\text{m}$ となることから分かった。図は開口径の大きな表面側の値を表している。

図3(a)は、バイアホールの開口径と間隔(ピッチ)に対するF.F.の関係を示したものである。F.F.は、いずれのピッチでもバイアホールの開口径が広がるほど、また、同じ開口径ならピッチが狭いほど大きくなる。

図3(b)は、バイアホールの開口径、間隔に対する受光面積利用率の関係を示したものである。バイアホールの開口部は、発電層がないので、この部分に入射する光は損失となる。受光面積利用率は、太陽電池の受光側表面の全面積に対する損失面積を除いた受光面積の比である。バイアホールの開口径が等しければ、間隔を大きくすると、バイアホールの数が減るので、面積利用率は大きくなる。バイアホールの開口径(受光面)を $250\ \mu\text{m}$ とすれば、バイアホールの間隔を 1mm にしても、F.F.は0.78以上でかつ、0.99程度の面積利用率(面積損失1%)を得ることができる。表面にn電極を設けた従来型太陽電池の場合、電極部分の面積損失は5

%以上ある。一方、表面電極をなくしたVESTセルでは受光面積が大きくとれ、短絡電流密度(J_{sc})が増大できるため、発電効率が向上する。

図3(c)は、F.F.と面積利用率の積をバイアホールの開口径に対してプロットしたものである。開放電圧(V_{oc})がバイアホールの開口径及び間隔に依存せず一定と考えれば、縦軸は相対的な変換効率を表す。開口径が小さい領域では(例えば $250\ \mu\text{m}$ 以下)、バイアホールの間隔が狭くなるほど、最大で得られる変換効率が大きくなる。さらに変換効率を高めるには、バイアホールの開口径及び間隔を小さくすればよいが、より微細なパターンング方法が必要となり、最終的には、コスト面も考慮してパターンング方法を決定することになる。

図4に薄膜多結晶Siの膜厚とF.F.の関係についての計算結果を示す。薄膜多結晶Siを薄膜化した場合、バイアホール側面部分の直列抵抗は小さくなる。このためF.F.は、更に大きくなることが分かる。以上のようにバイアホールの開口径、間隔、配列、n層のシート抵抗及び薄膜多結晶Siの膜厚をパラメータとし、太陽電池の特性との関係を計算によって調べ、高効率化のための指針を得ることができた。

3.2 薄膜多結晶Si分離技術

薄膜多結晶Siは、バイアホールを介してフッ酸によって SiO_2 膜をエッチングし、基板から分離する。このため、分離に要する時間は、バイアホールの開口径、間隔、 SiO_2 膜の厚さ及びフッ酸の温度等によって決定される。

まず、薄膜多結晶Siに形成されるバイアホールの形状を把握するために、バイアホール表面を観察した。図5はSEM(Scanning Electron Microscope)像である。帯域溶融再結晶化法により、形成した薄膜多結晶Siの面方位は(100)面が90%の領域を占めるが、数mmからcmオーダの大きさの結晶粒ごとにわずかながら結晶軸がずれているため、図に示すように、バイアホールの向きが結晶粒ごとに異なる。しかも結晶粒界部に配置されたバイアホールは、各々隣接する結晶軸の向きに合わせて形成されるので、いびつな形状になってしまう。そこで、バイアホール開口径に対する SiO_2

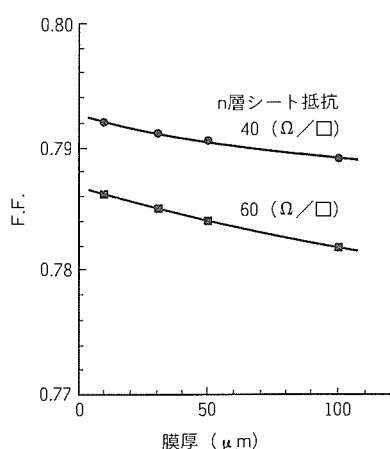


図4. 薄膜多結晶Siの膜厚とF.F.の関係

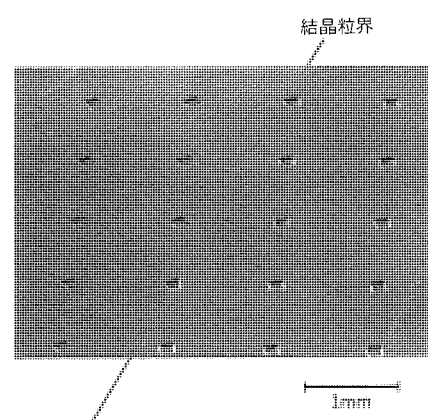


図5. バイアホールのSEM像

膜のエッチング速度依存性を調べた。図6に薄膜多結晶Siの膜厚が100 μm で、バイアホール開口径 (SiO_2 膜と接する小さい方)を25 μm 、50 μm 、80 μm 及び120 μm とし、フッ酸の温度を約60 $^{\circ}\text{C}$ にした場合の、エッチング時間と SiO_2 膜の横方向エッチング量との関係を示す。少なくとも開口径25 μm 以上であれば、横方向のエッチング速度は、バイアホールの開口径にほとんど依存しない。したがって、いびつなバイアホールであっても、横方向エッチング速度はほとんど変わらず、分離工程に影響を及ぼさない。

次に、 SiO_2 膜の厚さ依存性について調べた。図7は薄膜多結晶Siの厚さを100 μm 、 SiO_2 膜の厚さを各1 μm 、2 μm とした場合について、エッチング時間と横方向エッチング量の関係を示したものである。厚みによる差はわずかしみられず、 SiO_2 膜の厚膜化によるエッチング時間短縮の効果は小さいことが分かった。

以上の知見に基づいて薄膜多結晶Siの分離を行った。その結果、膜厚100 μm の場合、実用的サイズである10cm角の薄膜多結晶Siを良好に分離できることが確認され、さらに、分離時間を短縮するためにフッ酸加熱による分離実験を行った。図8に結果を示す。分離時間は、フッ酸温度を上げることによって短縮でき、間隔が2mmより狭ければ、数

時間以内での分離が可能となる。また、どのくらいの薄膜まで分離可能か調べた結果、10 μm の膜厚でも10cm角サイズを分離できることが分かった。

以上の結果をまとめると、分離時の SiO_2 膜の横方向エッチング速度は、

- (1) バイアホールの開口径に依存しない。
- (2) SiO_2 膜が厚い方が多少速くなるが、依存性は小さい。
- (3) フッ酸の温度が高いほど速くなる。

ことが分かった。また、厚さ10 μm でも、10cm角サイズの薄膜多結晶Siの分離ができることを確認した。

3.3 接合形成技術

VESTプロセスでは、機械的な強度を考慮して薄膜多結晶Siのハンドリング工程をなるべく少なくする必要がある。そこで、図2で示したように、 SiO_2 膜のエッチングを途中でいったん停止し、n層を形成した後再び SiO_2 膜をエッチングし、薄膜多結晶Siを基板から分離する。仮に分離してからn層を形成する場合、拡散工程後、裏面のn層を薄膜の状態ではパターニングする必要があるが、上述のプロセスを用いることにより、裏面のn層のパターニング工程を省略することが可能となる。ただし、薄膜多結晶Si裏面への拡散は、バイアホールを通して、 SiO_2 膜がエッチング除去された1 μm 程度のすき(隙)間に均一に行う必要がある。そこで拡散プロセス終了後、裏面のn層の様子をEBIC (Electron Beam Induced Current) 像及びSIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy) 分析によって調べた。図9はEBIC像である。バイアホール内壁及び周辺の裏面にも表面と同様にn層が形成されていることが確認できる。また、SIMS分析からもバイアホール周辺の裏面に形成したn層のリンの深さ方向のプロファイルは、表面側のものと同様であることが確認できた。

以上の結果から、バイアホールを通して薄膜多結晶Si裏面側にn層を形成できることが分かった。このため図2のプロセスフローのように、ほとんどの工程を基板上で処理でき、薄膜多結晶Siのハンドリングを最小限に抑えて、VESTセ

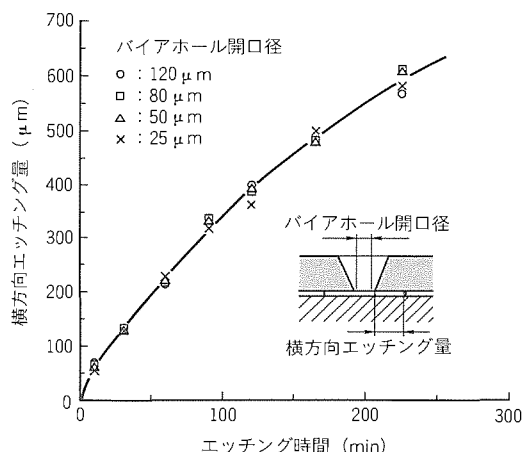


図6. 横方向エッチング特性

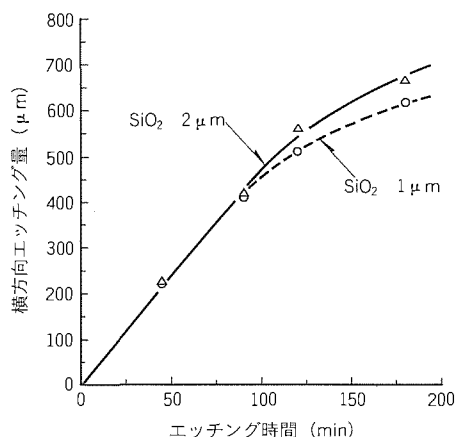


図7. 横方向エッチング特性の膜厚依存性

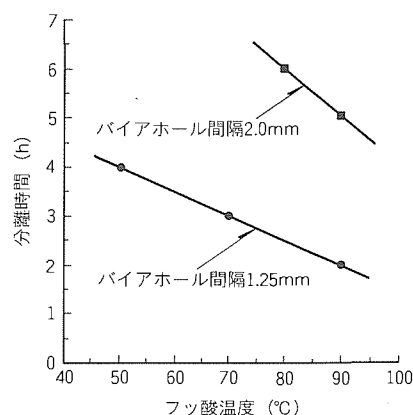


図8. フッ酸温度と分離時間の関係

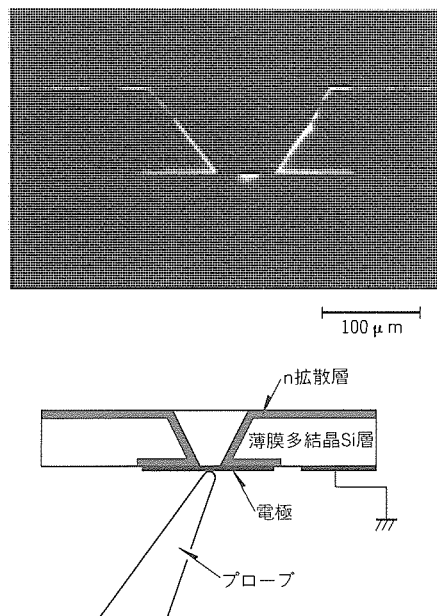


図9. バイアホール周辺のEBIC像

ルの作製が可能となった。

図10に VEST プロセスによって作製した薄膜多結晶 Si を曲面に張り付けた例を示す。このように VEST セルは、フレキシブルでかつ表面無電極でデザインの自由度も高いなど広い分野での応用が期待される。

4. む す び

新たに開発した VEST セルは、シリコン材料費を約1/10に低減できるため原理的に低コスト型でかつ高効率の太陽電池である。また、非常に軽量かつ、フレキシブルで表面に電極を持たないことから、デザインの面からも自由度が大きいという特長を持つ。しかも裏面側に p 電極及び n 電極を配しているの、従来の太陽電池で最も複雑なモジュール工程における相互接続も容易に行えるなど、量産性の高い構造でもある。VEST セルはこのような特長を持つため一般電力用のみならず宇宙用、又は自動車等の移動体用の電源としても極めて有望である。

これまで基板を格子状に残したタイプの薄膜多結晶 Si 太陽電池において、10cm 角サイズで14%以上の変換効率を達成している。今回報告した VEST セルにおいても同程度の特性が得られるようになってきたが、今後は表面無電極化、薄膜多結晶 Si 層の高品質化及びテクスチャ構造の最適化や表面・粒界パッシベーションなどの光・キャリア閉じ込め構造の最適化により、更なる変換効率の向上を目指す予定である。

この研究は、通商産業省工業技術院ニューサンシャイン計画の一環として、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託によって実施したもので、関係各位に深く感謝する。

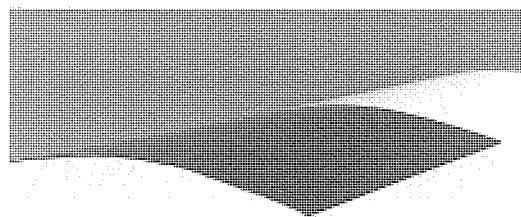


図10. 曲面に張り付けた薄膜多結晶Si

参 考 文 献

- (1) Spitzer, M., Shewchun, J., Vera, E.S., Loferski, J. : Ultra High Efficiency Thin Silicon p-n Junction Solar Cells using Reflecting Surfaces, Technical Papers of the 14th IEEE Photovoltaic and Specialists Conference, 375 ~ 380 (1980)
- (2) Reis, I., Eyer, A., Rauber, A. : Recrystallized Silicon Thin Film Structures for Solar Cells, Technical Papers of the 20th IEEE Photovoltaic and Specialists Conference, 1405 ~ 1408 (1988)
- (3) Tamura, F., Okayasu, Y., Kumagai, K. : Fabrication of Poly-crystalline Silicon Films using Plasma Splay Method, Technical Digest of the 7th Photovoltaic Science and Engineering Conference, 237 ~ 238 (1993)
- (4) Barnett, A. M., Collins, S. R., Bottenberg, W. R., Hall, R. B., Kendall, C. L., Checchi, J. C., Lampo, S. M., Bloothoofd, W., Ford, D. H., Rand, J. A., Kendall, A. T. : Large Area Silicon Film Solar Cells for Power Applications, Technical Digest of the 7th Photovoltaic Science and Engineering Conference, 245 ~ 246 (1993)
- (5) 森川浩昭, 有本 智, 石原 隆, 隈部久雄, 室谷利夫 : 溶融再結晶化法を用いた新型高効率薄膜多結晶シリコン太陽電池, 三菱電機技報, 68, No.3, 275 ~ 278 (1994)
- (6) Takami, A., Arimoto, S., Morikawa, H., Hamamoto, S., Kumabe, H., Murotani, T. : High Efficiency (16.45%) Zone-Melting Recrystallization, Technical Digest of the 12th E. C. Photovoltaic Solar Energy Conference, 59 ~ 62 (1994)
- (7) Naomoto, H., Hamamoto, S., Takami, A., Arimoto, S., Ishihara, T., Kumabe, H., Murotani, T., Mitsui, S. : High-Quality Thin Film Polycrystalline Silicon formed by Zone-Melting Recrystallization, Technical Digest of the 7th Photovoltaic Science and Engineering Conference, 103 ~ 104 (1993)

燃料電池開発の現状と今後

1. ま え が き

燃料電池は、窒素酸化物等の大気汚染物質の発生がほとんどなく騒音が極めて小さいなど環境性に優れた発電方式である。また、発電効率が高くかつコジェネレーションとして熱を有効に利用できるなど省エネルギー性にも優れている。エネルギー消費が増大する中で、環境を守り、資源の有効活用を図ることは21世紀に向けての我が国の大きな課題である。燃料電池は、この解決に一つの役割を担うものとして期待され、実用化を目指した開発が進められている。

燃料電池は電解質の種類に応じて、りん酸型、溶融炭酸塩型、固体高分子型、固体電解質型等の種類に分けられる。当社は、それぞれ特長を生かした用途のす(棲)み分けを考慮して、主に前3者の開発に注力している。りん酸型は実用化に最も近くオンサイト用又は分散配置用電源に、溶融炭酸塩型は発電効率が高く事業用電源に、固体高分子型は出力密度が高く車載用等の移動用、可搬用に、それぞれ適用が想定される。

ここでは、当社が開発を進める3種類の燃料電池について、技術の現状と取組、及び今後の展望を述べる。

2. 燃料電池の特長と当社の取組

燃料電池は、天然ガス等の原燃料を改質して得る水素と空気中の酸素を電気化学的に反応させて直接電気を得る発電方式であり、主に表1に示す4種類に分類される。

りん酸型燃料電池(Phosphoric Acid Fuel Cell: PAFC)は、電極に白金触媒を使用し、これと電解質であるりん酸、反応ガスの三相界面を形成して、200℃程度の温度で反応を促進する。動作温度が低く、材料構造面での取扱いが比較的容易であること、排熱を有効に利用できることなどから、現在最も開発が進み実用化に近いレベルにある。発電効率の点から、既存の火力設備のような発電主体ではなく、特に環境性や排熱利用性のメリットを生かしたオンサイト用、又は分散配置用電源としての用途が想定される。P

AFCは常圧型と加圧型があり、加圧型は発電効率が4～5%程度高まるが、システムの簡素化、コンパクト性、保守性等を考慮すれば、常圧型が現実的である。当社はPAFCに関して、200～5,000kWの容量を対象に常圧型に注力して開発を進めている。

溶融炭酸塩型燃料電池(Molten Carbonate Fuel Cell: MCFC)は、電解質として炭酸塩を使用する。通常リチウムとカリウムの混合塩(混合比62:38)を用い、650℃程度の温度で運転される。MCFCは、天然ガスから石炭ガスまで多様な燃料を使用できること、高温動作のため電池の内部で燃料の改質が可能であることなどの特長を持っている。内部改質方式は、電池で発生する熱やスチームを効果的に利用するので、外部改質方式に比べて高い発電効率を得られ、かつコンパクト化が可能である。発電効率は50～60%(送電端)が予想されている。MCFCは高い発電効率を持つことから、分散配置用から大規模事業用電源までが適用の対象となる。当社は、効率やコンパクト性で有利な内部改質方式に重点をおいて開発を進めている。

固体高分子型燃料電池(Polymer Electrolyte Fuel Cell: PEFC)はPAFCと同様、水素イオンをイオン導伝体とするが、電解質に固体のふっ素樹脂イオン交換膜を用いる。電解質が固体のため蒸発、移動等による電解質のロスを生じ

表1. 燃料電池の種類

	りん酸型	溶融炭酸塩型	固体高分子型	固体電解質型
電 解 質	りん酸	炭酸リチウム 炭酸カリウム	固体高分子膜	安定化ジルコニア
イオン導伝体	H ⁺	CO ₃ ²⁻	H ⁺	O ²⁻
動 作 温 度	200℃程度	600～700℃	80℃程度	800～1,000℃
発 電 効 率	35～45%	50～60%	40～50%	50～60%
主な原燃料	天然ガス メタノール LPG	天然ガス メタノール LPG 石炭ガス	天然ガス メタノール LPG	天然ガス メタノール LPG 石炭ガス

表2. 燃料電池の環境特性(他のコジェネ発電装置との比較)⁽¹⁾

種 類	りん酸型燃料電池	ガスエンジン	ガスタービン	ディーゼルエンジン	
主 な 燃 料	天然ガス	天然ガス	天然ガス	灯油，軽油，重油	
環 境 特 性	NO _x (O ₂)	10ppm以下 (7%)	100ppm以下 (0%)	10ppm以下 (16%)	1,400ppm以下 (0%)
	SO _x	なし	なし	なし	250ppm(S分：1%時)
	煤塵	なし	少ない	少ない	多い
	騒音	55dB程度	90～100dB	110dB程度	100～110dB

表 3. 200kWりん酸型燃料電池開発の実績と計画

課 題		NEDO委託 (株)ホテルプラザ 1989年	関西電力(株) 六甲新エネルギー 実験センター 1991年	関西電力(株) 園 田 1992年	東京電力(株) 京 橋 1993年	大阪ガス(株) キリンビル(株) 1994年	準商用機 1995年以降
セルスタック	出力特性向上 (電流密度)	150mA/cm ²	200mA/cm ²	250mA/cm ²	275mA/cm ²	300mA/cm ²	300mA/cm ²
改 質 器	コンパクト化 (コンパクト指数)	35kW/m ³	35kW/m ³	50kW/m ³	50kW/m ³	70kW/m ³	70kW/m ³
	触媒活性・長寿命化 (スチーム/カーボン比)	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5
システム全体	コンパクト化 (機器占有面積)	0.16m ² /kW	0.15m ² /kW	0.13m ² /kW	0.11m ² /kW	0.09m ² /kW	0.08m ² /kW以下
	高位熱回収 (回収率)	170℃ 蒸気 18%	— —	170℃ 蒸気 20%	170℃ 蒸気 20%	170℃ 蒸気 20%	170℃ 蒸気 22%
運 転 実 績	累積発電時間 (1995.1.31時点)	13,038h (運転終了)	18,630h (運転中)	5,760h (運転中)	6,200h (運転中)	—	—

ない、動作温度が80℃程度と低温であるので触媒劣化等の問題が少なく常温での起動が容易という特長を持つ。PEFCは、ジェミニ宇宙船にも搭載され古い歴史を持っていたが、最近、膜及び膜と電極接合面の改良が進んで飛躍的な特性向上が得られるようになり、コンパクト電源として実用化の期待が高まっている。当社はPEFCの電極技術がPAFC技術の延長上にあることと、優れた高出力特性に着目して、移動用・可搬用電源への適用を目指して開発を進めている。

燃料電池は、発電装置への投入燃料の熱量の大部分が燃料電池本体の反応に消費され、反応生成物として水を発生するのみである。残り(約1/4に相当する熱量)は燃料改質装置でバーナ燃焼に費やされるが、そこからの排ガスはボイラやエンジンの排ガスに比較してけた(桁)違いにクリーンである。また、在来回転型発電装置のような振動もなく、騒音も低レベルである。表2に他のコジェネ発電装置と比較した燃料電池の排ガス、ばいじん(煤塵)排出などの環境特性を示す。NO_x排出量が少ない理由は、改質装置のバーナ燃料が燃料電池本体で消費された残りの低カロリーガスで、燃焼温度が低いことが挙げられる。SO_x排出量は、燃料中の硫黄成分量で決まり、燃料電池の場合は実質的に無視できる。

3. PAFCの開発状況

3.1 技術開発の現状

当社は昭和50年代にPAFCの開発を開始して以来、主要機器であるセルスタックと改質器の要素技術を中心に、全体のシステム技術と併せて、実用化を目指した開発を進めてきた。200kW機を主とする当社のこれまでの技術開発の経緯と商用化の計画を表3に示す。200kW機の開発に並行して現在1～5MW規模の中大容量機の開発に取り組んでいる。

セルスタックの主な課題は、コスト低減のための出力特性向上と信頼性向上のための長寿命化である。触媒、カーボン材や他の材料開発、セル構造の開発、電極・マトリクスの製造法開発、りん酸マネジメント改良等を行いながら特性向上

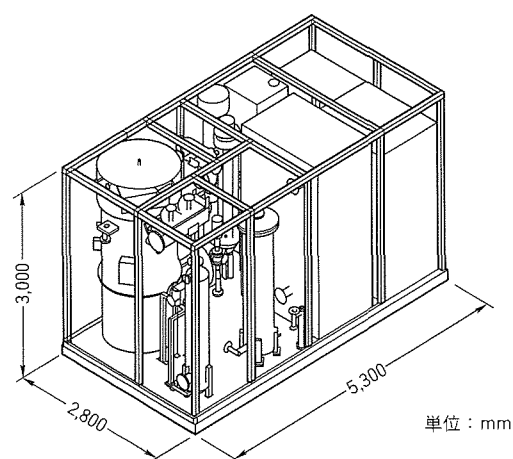


図 1. 商用200kW機パッケージの内部配置

と信頼性向上を図ってきた。実機プラントで18,600hの運転実績を持つが、今後出力特性を向上しながら目標セル寿命(4万時間)の達成を図ることが課題である。

改質器の主な課題は、コンパクト化、改質用スチーム量(スチーム/カーボン比)の低減、高温下での構造信頼性向上である。反応に必要な熱を触媒に伝える伝熱技術や燃焼技術が必要であり、試験装置による反応試験、バーナ燃焼試験、シミュレーション解析等の開発を進めている。

発電システムに関する主な課題は、コンパクト化、コスト低減、保守性向上である。このために200kWフルモデルを試作し、システムの簡素化・最適化等の開発を行っている。図1に目標とする商用200kW機パッケージの内部配置を示す。

3.2 大容量PAFCの開発

大容量PAFCの導入分野は、環境性・効率が良いこと、高品位の排熱が得られることの特長を生かし、都市エネルギーセンター及び都市近郊の配電変電所に設置される分散配置用電源が考えられる。発電システムの単機容量は、スケールメリットの点で大きくするのが望ましいが、プラントの設置

条件・輸送条件のほか、運転保守性等も考慮する必要がある。当社は常圧型の開発を目指しており、主に輸送制限の観点から単機容量は5MW程度が適切と考え、これを大容量PAFC開発のターゲットとしている。常圧型適用によってシステム簡素化、信頼性向上、運転保守性向上を期待できる。数十MWの用途に対しては、5MWを標準ユニット容量としてこれを複数台並列配置することによって対応する。大容量PAFCは市販の蒸気タービンと組み合わせて、排熱をボトムリング発電に利用することが可能で、この場合のPAFCの熱利用と効率の例を図2に示す。

3.3 今後の課題

要素機器及びシステムの信頼性を高めつつコストをいかに下げるかが、今後の課題である。要素技術開発と併せて、実機フィールド検証の結果をよく分析して技術開発のニーズを把握し、地道に改良を重ねていくことが大切である。

大容量PAFCは、200kW機の技術がベースになるものの、電池スタック、改質器において大容量化のための技術開発が必要である。モデル検証を含めた技術開発を進めて、実用化を目指す。

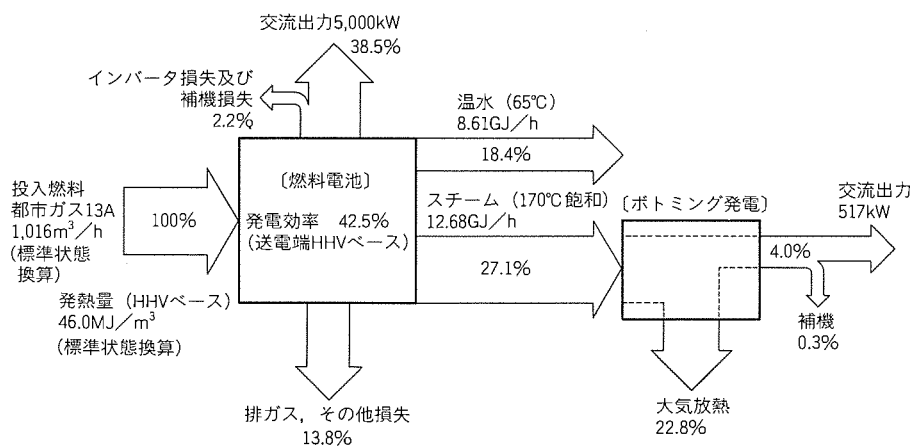


図2. 5MW燃料電池発電システムの熱利用と効率

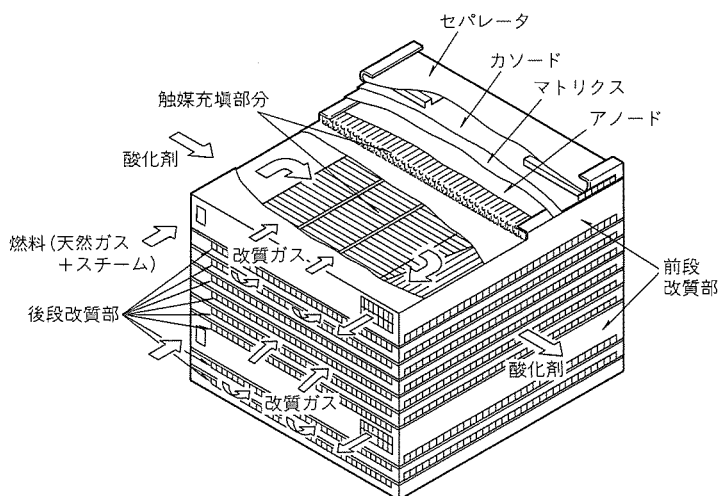


図3. 改良内部改質MCFCスタックの構成

4. MCFCの開発状況

4.1 概要

MCFCの開発は、スタックの技術検証を経て発電システム検証の段階を迎えつつある。日本では通産省工業技術院ニューサンシャイン計画の一環として、1997年に加圧外部改質1MW級（250kW級スタック4基構成）パイロットプラント、及び常圧内部改質200kW級スタックの開発が予定されている。米国では1995年に常圧内部改質2MW級デモンストレーションプラント、及び加圧外部改質250kW級の開発が予定されている。

内部改質MCFCの特長は以下の2点に代表される。

- (1) アノード反応と改質反応を複合させることで改質率をほぼ100%に設定できるため、エネルギー変換効率が高い。
- (2) スタック内部に冷却機能を保有するために、定格運転ではカソードガスリサイクルが不要であるとともに、大面積セルの高電流密度運転にも柔軟に対応できる。

4.2 内部改質MCFCスタック

現在開発中の改良内部改質MCFCのスタック構成とガス

フロー方式を図3に示す。内部改質部を2段階化し、前述した特長を機能分担させた構成である。第1段の前段改質部は、複数セルに挟まれた平板状改質器であり、スタック冷却とアノード入口での水素分圧確保が要求機能である。第2段の後段改質部は、アノード流路に充てん（填）された触媒層で構成され、原料である天然ガスの100%改質が要求機能である。冷却機能を持つ前段改質部により、実用化に向けた大面積、高電流密度スタックの熱設計が容易になる。1994年に試作した10kW級スタックの設置状況を図4に示す。このスタックは、0.5m²級セル20枚と前段改質部3基

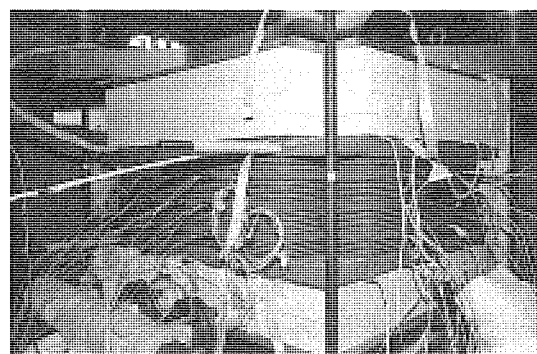


図4. 10kW級改良内部改質MCFCスタック設置状況

(6セルごとに挿入)で構成した。燃料利用率80%,酸化剤利用率30%,電流密度 0.15 A/cm^2 ,常圧の条件で平均セル電圧780mVを示した。これは前段改質部の触媒充填分布をセルの発熱分布に適合させることで、スタック内部の温度分布を最適化した結果である。このためカソードガス単位流量当たりの熱除去能力が向上し、スタック冷却のためのガスリサイクルを不要とした。さらに、セル面内温度分布がカソードガス流れ方向に一次元化され、カソード出口をスタック最高温度に設定できた。これらの結果からこのスタックで発電システムを構成すれば、カソードガスリサイクルブローの補機動力をなくし、カソードガスからの排熱回収効率も最大にできる。このスタックは、1994年3月から昼夜連続の定格発電を開始し、1995年1月現在発電時間は6,500hを超え、電圧低下率 $4\text{ mV}/1,000\text{ h}$ 程度で安定な運転を継続中である。前段改質部だけで構成した100kW級間接内部改質スタックの実績⁽²⁾,後段改質部だけで構成した5kW級及び30kW級直接内部改質スタックでの1万時間を超える発電実績⁽³⁾と併せて、内部改質MCFCスタックは着実に技術が進展しつつある。

4.3 内部改質MCFC発電システム

発電システムとしての特長を以下に示す。

- (1) 発電効率(送電端)が小規模常圧でも50%前後、加圧すれば55%以上と極めて高い。
- (2) 外部に改質器が不要で、スタックを中心とした単純なレイアウトが実現できコンパクトである。
- (3) 燃焼部最高温度が 700°C 程度のため、 NO_x 発生量が少ない。

図5に常圧動作の内部改質MCFC発電システム構成例を示す。加圧動作の場合は、動力回収用のタービン圧縮機/発電機がカソード出口系統に付加される。また、MCFC発電システム全般の特長として、MCFCが炭酸ガス濃縮器として作用するため、アノード出口の炭酸ガス濃度が50%程度と高い。この系統からの炭酸ガスの分離回収は、通常の排ガスからの炭酸ガス回収に比較して容易であり、炭酸ガス排気量抑制に適應するシステムを構築できる可能性がある。

4.4 今後の課題

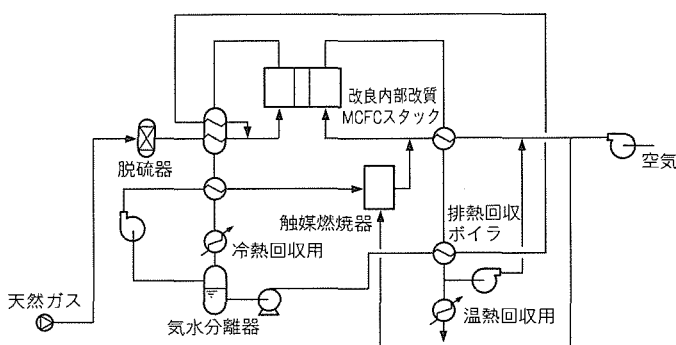


図5. 常圧内部改質MCFCシステム構成

1997年に試験予定の200kW級スタックに向け、 1 m^2 級セル製造プロセス、高積層スタックでのガス分配均一化等、大容量化技術の開発を進めている。また、加圧下での長寿寿命化、高出力密度化の技術、さらにシステム化に向けた要素技術の開発を実施中である。

この研究は、通産省工業技術院ニューサンシャイン計画の一環として、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託研究に基づき溶融炭酸塩型燃料電池発電システム技術研究組合の分担研究として実施したものである。

5. PEFCの開発状況

5.1 PEFCの特長

近年、低公害車として電気自動車が目ざされている。従来の電気自動車は、バッテリーが重いこと、長い充電時間を要することなどが普及上の課題となっていた。PEFCは、室温から 100°C 以下の低温で動作して出力密度を高くできる特長があり、電気自動車に最も適すると考えられている。PEFCは、米国ゼネラルエレクトリック社が1958年に開発を開始し、当初宇宙用の電源として開発が進められてきた。近年カナダのパラードパワーシステム社が、ダウケミカル社の開発した固体高分子膜を用いて、 6 A/cm^2 と従来の燃料電池に比較して非常に高い電流密度を実現し、コンパクト電源として移動用、可搬用電源としての利用が注目されるようになった。燃料は、現在試験的に水素を用いているが、実用化時にはメタノールを使用することにより、ガソリン車と同様の燃料補給上の利便性を持つ電気自動車を実現できる。

5.2 技術開発の現状

PEFCについて、当社では1992年から通産省ニューサンシャイン計画の下に、NEDOから高電流密度型1kW級モジュール開発の委託を受けて開発を進めてきた。この計画で

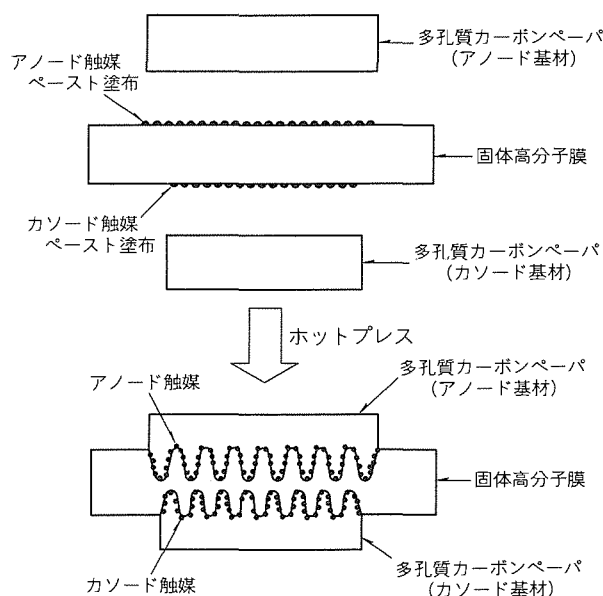


図6. 三次元電極・膜接合方式模式図

は1995年に $0.3\text{W}/\text{cm}^2$ の性能を持つ 1kW 級電池モジュールの試作運転が目標とされている。

PEFCは、電解質に水素イオン導伝性を持つ高分子固体電解質膜を用いるため、液体電解質を使う従来の燃料電池と比べて電極触媒と電解質の接触を良好に保つことが高い電池性能を実現する（鍵）となる。このため、当社では“三次元電極・膜接合方式”を提案し、電池の高性能化を図っている。

図6にこの方式の模式図を示す。白金電極触媒を固体電解質膜表面に塗布し、電極基材の多孔性を利用してホットプレスで触媒を固体高分子膜の内部まで埋め込むことにより、電極面積の増大と内部抵抗の低減を図った。図7に接合処理を施した場合と単純に重ね合わせた場合の電池性能の比較を示す。500 mA/cm^2 の電流密度で比較すると、接合処理を施すことによって100mV以上の特性向上を実現し、目標値 $0.3\text{W}/\text{cm}^2$ を達成している。

この技術を基に、1994年に図8に示す電極面積 225cm^2 、16セルモジュールを試作して運転評価を実施した。図9の出力特性から分かるように、500 mA/cm^2 の定格電流密度で 1kW の出力を実現し、目標出力密度 $0.3\text{W}/\text{cm}^2$ を達成した。このほか、要素技術として固体高分子膜のイオン導伝性保持に必要な水分管理、改質ガス中の一酸化炭素による電極触媒の性能劣化の改善等、PEFCの実用化の鍵となる技術開発を進めている。

5.3 今後の課題

今後電池モジュールを 20kW 級の実用規模にスケールアップし、モータ駆動用に 200V 級の高電圧化が可能な構造を開発する。また、コンパクトなメタノール改質器と改質ガス中の一酸化炭素除去技術を開発し、21世紀初頭における実用化を目指す。この研究は、通産省工業技術院ニューサンシャイン計画の一環として、NEDOの委託研究に基づき実施したものである。

6. む す び

以上、当社における燃料電池開発の現状と今後について述べた。環境問題、エネルギー資源問題への認識が高まる中、燃料電池はクリーンで省エネルギー性の高い発電システムと

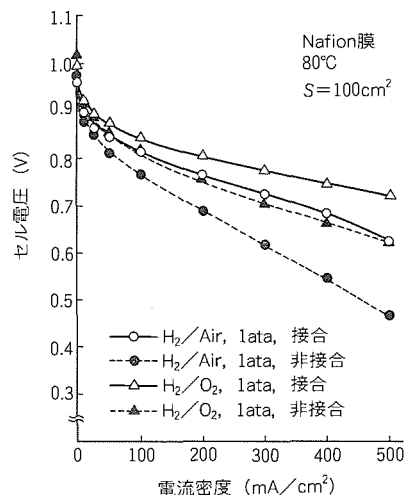


図7. 三次元電極・膜接合による特性向上の効果

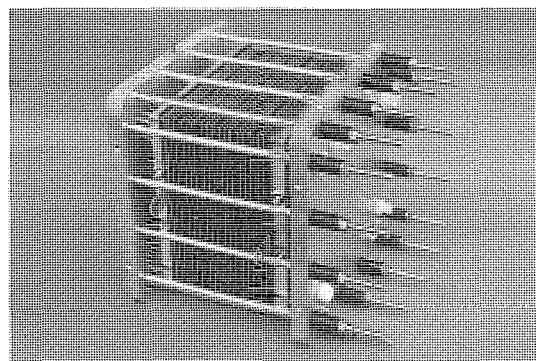


図8. PEFC 1kWスタックの外観

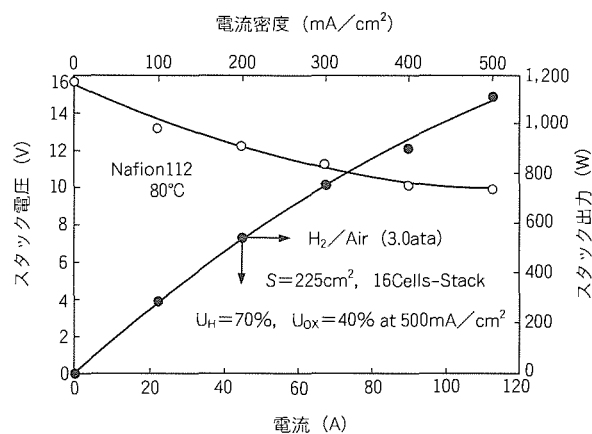


図9. PEFC1kWスタック特性

して、早期実用化が期待されているところである。これまで国家プロジェクトを中心に要素開発、プラント実証が進められ、その結果りん酸型は実用化に近いレベルに至っている。溶融炭酸塩型、固体高分子型は引き続き技術開発を必要とする段階である。

当社は、今後のエネルギー情勢、社会ニーズ等をよく見渡し、地球に優しい、人に優しい社会に貢献できる燃料電池の実用化を目指して、開発に全力を尽くす所存である。関係方面の御指導、御支援をお願いする次第である。

参 考 文 献

- (1) ㈱電気学会, 燃料電池運転性調査専門委員会: 燃料電池発電, コロナ社, 281 (1994)
- (2) 大槻実治, 関 辰与志, 宮崎政行, 佐々木 明: 間接内部改質方式溶融炭酸塩型燃料電池の開発研究, 電学論B, 114, 531~538 (1994)
- (3) Murahashi, T., Sasaki, A., Matsumura, M., Uru-shibata, H.: Development of Internal Reforming Molten Carbonate Fuel Cell, Abstracts of Fuel Cell Seminar, 230~233 (1994)

吸音プラスチックの防音パネルへの応用

大島勝久* 鈴木 渉***
塚本浩二* 本多隆一+
谷 周一**

1. ま え が き

低騒音化技術の一つに、騒音源から発生した音を伝搬経路の途中で低減する防音対策がある。通常、防音対策として防音壁や遮音カバーなどが用いられる。防音壁や遮音カバーは、吸音材を取り付けた遮音・吸音パネルとすることで、防音性能を更に向上させることができる。

従来、吸音材としては、グラスウール、ロックウールなどの繊維系の材料が使われてきた。しかし、これらの材料は遮音パネルに接着剤で固定したり、型くずれや吸水を防ぐためにグラスクロスやフィルム等でこん(梱)包する必要がある、生産性が悪い。さらに、繊維同士を結合しているバインダの劣化によるガラス繊維の飛散などの健康上の問題も論議されている。

また、地球上の資源、エネルギーは有限であり、その有効利用は人類に課せられた使命である。資源の有効利用の観点から、吸音材もできるだけサイクルが可能な材料で製造されることが望ましい。

このような 従来の吸音材の持つ問題点を解消するために開発した吸音材が吸音プラスチックである。吸音プラスチックの特長を次にまとめる。

- (1) 圧縮加熱成形で製造するので、複雑な形状が可能であり、十分な強度と剛性が確保できる。
- (2) 難燃性や耐候性等に優れたプラスチック素材をそのまま使用できるので、経時変化もほとんどない。
- (3) 素性の知れたプラスチック素材を使用しているので、リサイクル性が高い。
- (4) 再生プラスチックを使用することも可能である。

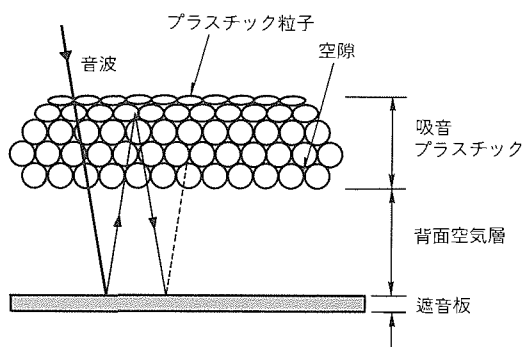


図1. 吸音プラスチックの吸音構造

そこで、この論文では、吸音プラスチックの基本構造、吸音機構、防音パネルに応用した例、さらに、信頼性に関して述べる。

2. 吸音プラスチックの概要

2.1 吸音プラスチックの構造

吸音プラスチックは、直径が0.5mm から2.0mm 程度の球状のプラスチック粒子を、粒子間に微細な空けき(隙)を保つように溶着した多孔質体である。粒子間の溶着の度合いは、音波が入射する側で大きく、背面空気層側で小さくなるように板厚方向に変化させている。吸音プラスチック、背面空気層及び遮音板で構成した代表的な吸音構造を図1に示す。

入射した音波の振動エネルギーは、吸音プラスチックを通過するとき、吸音プラスチックの空隙部の空気を振動させながら熱エネルギーに変換されて減少する。音波が吸音プラスチックと遮音板との間で反射を繰り返す間に、音の振動エネルギーは更に減少して吸音される。

2.2 吸音プラスチックの吸音機構

吸音プラスチックの吸音特性は、粒子と粒子の間の空隙の大きさに依存する。この空隙状態を定量的に把握するため、流れ抵抗と吸音率の関係を調べた。

流れ抵抗は、試料に流速 V の空気を流したときの試料間の圧力差 ΔP を測定し、 $\Delta P/V$ として求めた。これを空気の固有音響インピーダンス ρc で無次元化し、そして、流速が0のときの値を外挿して、音波に対する無次元流れ抵抗 R_0^* とした。ここで、 ρ は空気の密度、 c は音速である。

図2では吸音プラスチックの吸音率として垂直入射吸音率

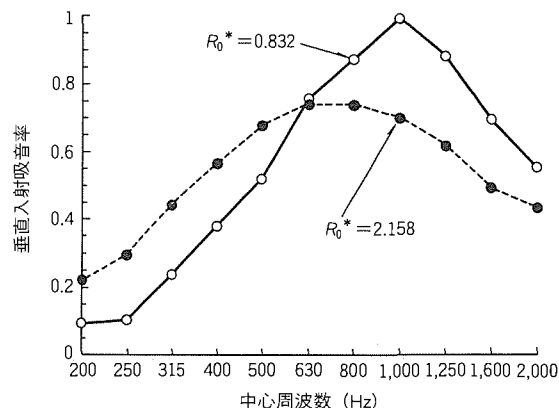


図2. 無次元流れ抵抗が異なる試料の垂直入射吸音率

を用いた。垂直入射吸音率の測定は、JIS A 1405“管内法による建築材料の垂直入射吸音率測定方法”に準じて行った。

粒子径1.0mm、板厚5mmの吸音プラスチックについて、2種類の無次元流れ抵抗を持つ試料を製作し、背面空気層を35mmとして垂直入射吸音率を測定した。1/3オクターブバンドの中心周波数ごとに垂直入射吸音率を測定した結果を図2に示す。無次元流れ抵抗の値により、垂直入射吸音率が最大となる周波数、及び最大吸音率が異なる。

無次元流れ抵抗による吸音特性の変化を把握するため、粒子径1.0mm、板厚5mmの吸音プラスチックで、無次元流れ抵抗を0.3から2.85まで変化させ、背面空気層を35mmとして垂直入射吸音率を測定した。無次元流れ抵抗と、最大垂直入射吸音率との関係を図3に示す。

図3から、無次元流れ抵抗が0.5から1.0の範囲で、吸音率はほぼ1となり、流れ抵抗が0.5より小さくても、また1より大きくても低下する。すなわち、高い垂直入射吸音率を得るためには、最適な無次元流れ抵抗の値が存在する。

2.3 背面空気層厚さと垂直入射吸音率の関係

機器から出る騒音は、特定の周波数をピークとした周波数分布を持つことが多い。騒音のピーク周波数と吸音プラスチックの吸音率が最大となる周波数を一致させると、減音効果が最も大きくなる。

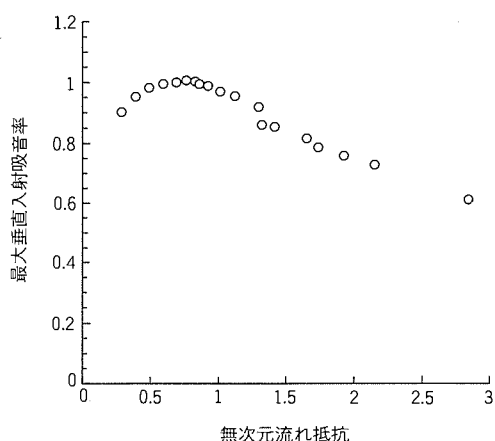


図3. 無次元流れ抵抗と最大垂直入射吸音率の関係

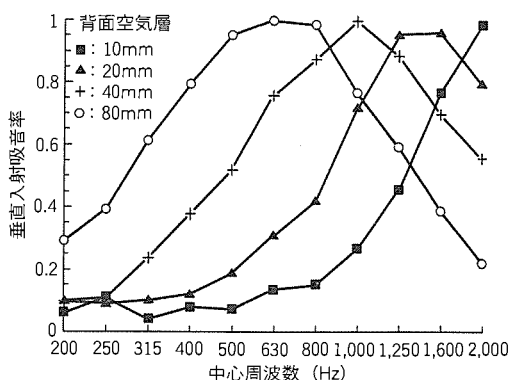


図4. 背面空気層が異なるときの垂直入射吸音率

図1に示した吸音構造では、背面空気層の厚さを変えることで、吸音率が最大になる周波数を制御することができる。最大垂直入射吸音率がほぼ1となる吸音プラスチック（無次元流れ抵抗=0.832）を用い、背面空気層の厚さを変化させたときの垂直入射吸音率を図4に示す。背面空気層が厚くなるほど、吸音率が最大となる周波数が低周波側へ移動している。

図5には、無次元流れ抵抗が0.832及び1.021のとき、背面空気層の厚さと、垂直入射吸音率が最大となる周波数及び吸音率の関係を示す。流れ抵抗が大きいと吸音率が最大となる周波数が低周波側に移動している。また、吸音率が最大となる周波数は、背面空気層の厚さの約1/2乗に逆比例している。さらに、背面空気層の厚さを変えても、最大垂直入射吸音率はほとんど変化しない。

以上の結果から、吸音プラスチックは音響質量と音響抵抗との直列接続に相当し、音響容量である背面空気層との間に直列共鳴回路を形成しているのが分かる。マクロ的に見れば、音響質量と音響抵抗は流れ抵抗によって評価でき、流れ抵抗の増加は音響質量と音響抵抗の増加を意味する。さらに、空気固有音響インピーダンスと吸音プラスチックの音響抵抗がほぼ等しいとき、最大垂直入射吸音率は1となる⁽¹⁾⁽²⁾。

3. 吸音プラスチック防音パネル

3.1 防音パネルの構造

吸音プラスチックの特長の一つである耐候性を生かし、鉄道、道路などの防音壁に使われる防音パネルに適用した例を示す。図6に防音パネルの一例を示す。

防音パネルは、図7に示すように、遮音板、吸音プラスチックと背面空気層維持用の格子を一体化した吸音モジュール、表面保護用のパンチングメタルから構成されている。吸音モジュール内の背面空気層は、格子によって入射音波の1/2波長以下の大きさに分割され、図8に示すような吸音ブロックとなっている。吸音ブロック内では入射音波の位相がそろっているため、背面空気層内で音波の干渉がなくなり、吸音

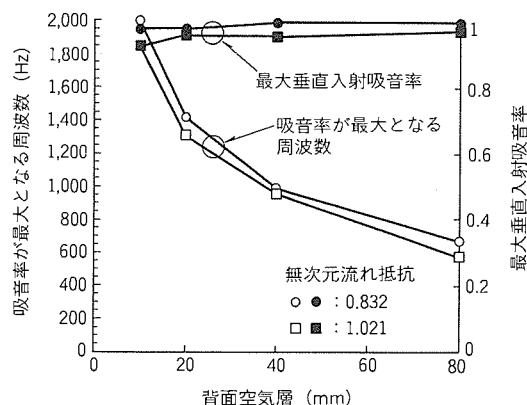


図5. 背面空気層と最大垂直入射吸音率及び周波数との関係

プラスチックと背面空気層からなる共鳴器の性能が向上する。

3.2 防音パネルの吸音性能

吸音モジュールの構成を変えることにより、吸音プラスチック防音パネルの吸音性能を変更することができる。図8には基本となる単一吸音構造、図9に背面空気層の中に高周波用の共鳴器を追加した並列吸音構造、図10には並列吸音部の外部に反射バーを取り付けた構造を持つ吸音モジュールを示す。

単一吸音構造は、吸音プラスチック防音パネルの基本構造であり、特定の周波数帯域のレベルが大きい騒音に対して有効である。この場合は、単一の背面空気層の厚さを調節して、吸音率が最大となる周波数を入射音波の周波数特性に適合させる。

並列吸音構造は、入射音波の周波数特性が低周波側と高周波側に大きなレベルを持つような騒音に対して有効である。格子で区切られた吸音ブロック内の背面空気層を、更に分割し、共鳴系を並列にしている。空気層の薄い部分で高周波側の騒音を、厚い部分で低周波側の騒音をそれぞれ吸音する。通常、このような構造にすると、各周波数帯域の吸音率が各吸音部の面積比で分割され、全体の吸音率が低下する。この構造では、高周波側の吸音部の大きさを低周波吸音部で吸音する音波の波長より小さくすることで、低周波の音波を高周波吸音部の背後に回折させ、低周波の吸音率を低下させずに、高周波側の吸音率を向上させている。

さらに、増設反射バーを加えた構造では、高周波吸音部の吸音効果を高めることができる。増設反射バーは、並列吸音部の音源側に設置され、高周波吸音部から反射される音波を

再び吸音面に戻す働きを持つ。

図11には吸音モジュール構造の違いによる防音パネルの残響室法吸音率を示す。防音パネルの厚さは、単一と並列構造の場合が約50mm、増設反射バー構造の場合が約70mmである。先に示した垂直入射吸音率は、吸音材固有の吸音性能を示すのに対し、残響室法吸音率を使えば、防音パネルとして見たときの吸音率を評価できる。単一吸音構造では、吸音率が最大となる吸音率は800 Hz 付近のみであるが、並列構造にすれば2,000 Hz 付近の吸音率も増加させることができる。さらに、増設反射バーを併用すれば、600 Hz から2,000 Hz まではほぼ一様な吸音特性が得られる。

4. 吸音プラスチックの信頼性

長期間にわたり屋外で使われる防音パネルは、風圧や紫外線及び寒冷地における凍結融解の繰返しによる損傷や劣化に対して、十分な耐久性を持つ必要がある。そこで、吸音プラスチックの信頼性評価に不可欠な基礎データの取得を目的として、機械的強度試験（静的曲げ試験、曲げ疲労試験）と耐候性試験（促進暴露試験、温度サイクル試験）を実施した。

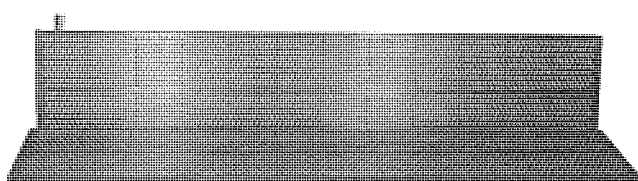


図6. 防音パネル

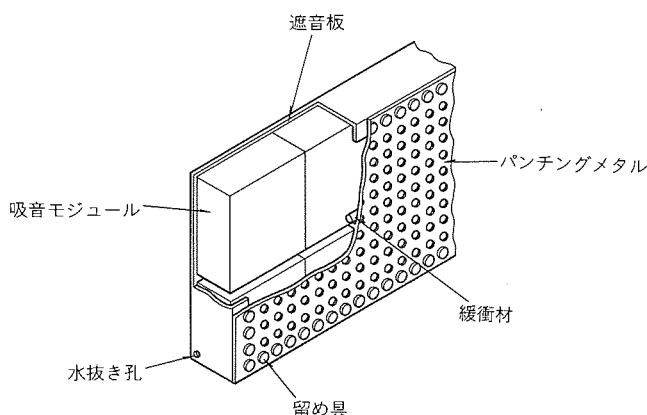


図7. 防音パネルの構造概念

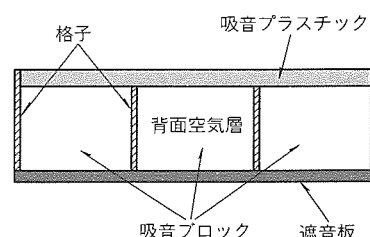


図8. 単一吸音構造モジュール

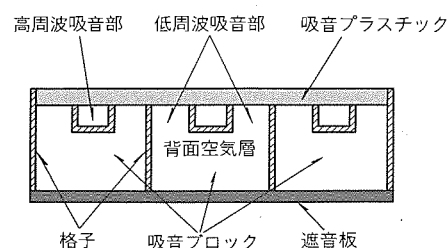


図9. 並列吸音構造モジュール

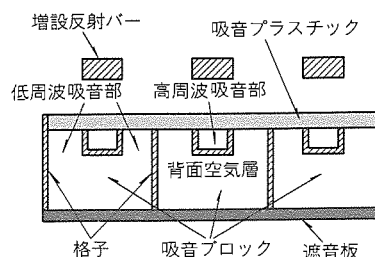


図10. 増設反射バー付き
並列吸音構造モジュール

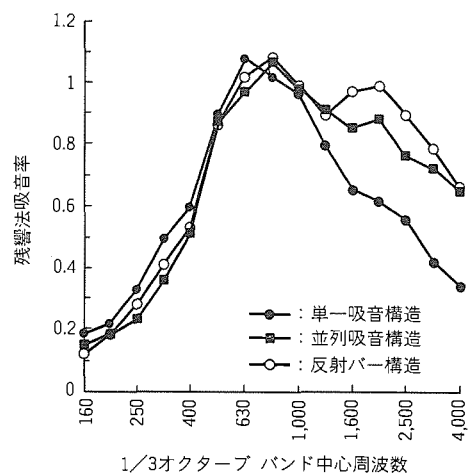


図11. 吸音モジュール構造の違いによる
防音パネルの残響室法吸音率

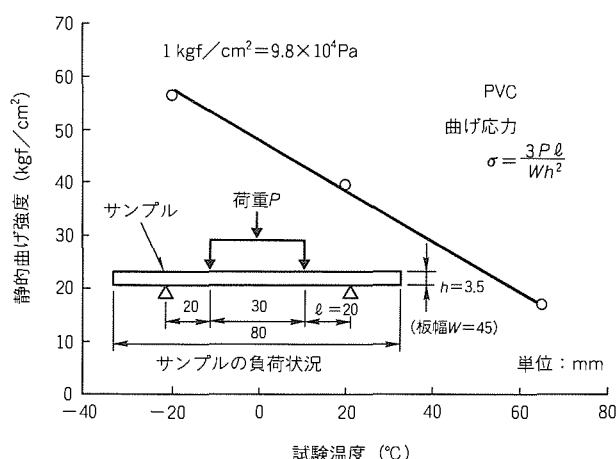


図12. 静的曲げ強度の温度依存性（4点曲げ）

4.1 機械的強度

直径が約1.3 mmの硬質塩化ビニール (PVC) の粒子を熱溶着させた吸音プラスチックを、80 mm × 45 mmの長方形平板 (板厚は3.5 mm) に加工したものを評価サンプルとして用いた。吸音プラスチックの機械的強度を把握するために、4点曲げによる静的強度及び疲労強度試験を実施した。試験には最大容量980 Nのロードセルを装着した電気油圧式サーボ疲労試験機を用いた。静的試験では、試験温度を−20℃、室温 (20℃) 及び65℃の3種類とし、変位速度を0.01 mm/sに設定した。また、疲労試験は試験温度を室温と65℃の2種類とし、2～10 Hzの片振り正弦波形による荷重制御で行った。なお、室温以外の試験は恒温槽中で実施した。

静的強度の温度依存性を図12に曲げ応力値で示す。なお、同図では複数のサンプルの平均値をプロットしている。また、図中には、サンプルの負荷状況及び4点曲げにおける応力の算出式も併せて示している。一方、図13に曲げ応力範囲と破壊繰返し数との関係として示す。図12及び図13から、試験温度が上昇するに従い、静的強度及び疲労強度はともに低下しており、その温度依存性が確認できる。

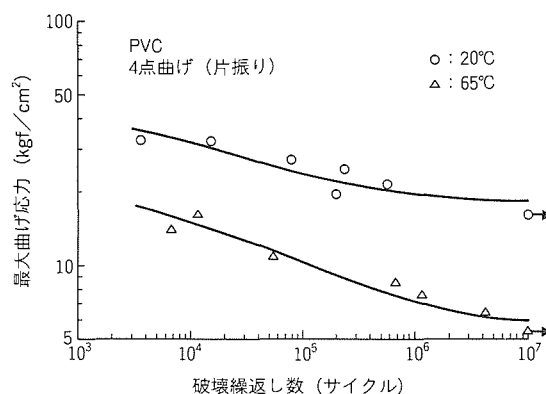


図13. 曲げ応力範囲

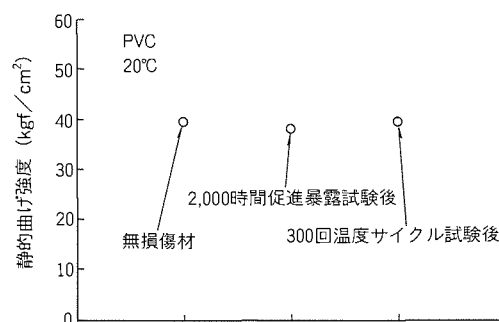


図14. 促進暴露試験、温度サイクル試験後の静的曲げ強度

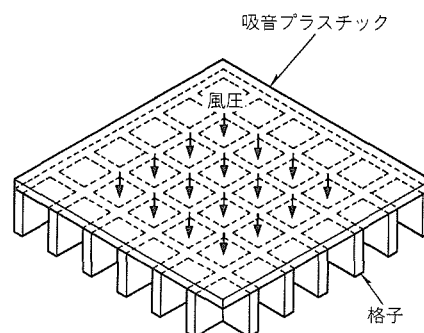


図15. 吸音モジュール内の補強格子

4.2 耐候性

吸音プラスチックの耐候性を確認するために、促進暴露試験及び温度サイクル試験 (繰返し凍結/融解試験) を行った。評価サンプルは、機械的強度試験で用いたサンプルと同様である。促進暴露試験では光源をサンシャインカーボンアークとしたウェザーメータを用い、2,000時間まで暴露した。また、温度サイクル試験では恒温恒湿槽を用い、水を満たしたパッドの中にサンプルを浸して、1周期が3.75時間の温度サイクル (最高温度18℃、最低温度−18℃) を300サイクル与え供試材の凍結と融解を繰り返した。

促進暴露試験後及び温度サイクル試験後のサンプルに関して強度劣化の有無を確認するために、室温で静的曲げ強度試験を行った結果を図14に示す。促進暴露試験・温度サイクル試験後のサンプルの強度は、無損傷材の強度とほとんど変

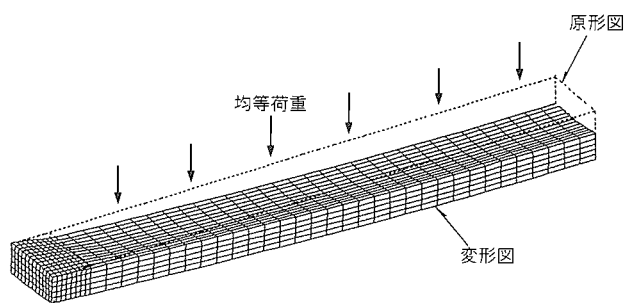


図16. 有限要素モデル (1/4モデル)

わらない結果が得られた。なお、促進暴露試験後のサンプルでは、暴露面の変色等の外観上の変化が認められたが、変色の領域はサンプルの表層部に限定されており、機械強度の低下は図14で示したようにほとんどない。また、凍結融解の繰返しによるサンプルの損傷及び粒子の脱落等は認められなかった。

5. 吸音プラスチック防音パネルの強度

防音パネルは図7に示すように、吸音モジュールが遮音板(銅板)に囲まれ、前面にはアルミニウム製のパンチングメタルが取り付けられている。したがって、外部からの風圧はパンチングメタルの穴を通して吸音モジュールに作用することから、吸音モジュールが風圧によって破壊しないような構造を採用する必要がある。そこで、吸音モジュールの内部構

造としては、図15に示すように吸音プラスチックが格子によって補強された構造とした。この格子による補強により、吸音プラスチックに作用する応力は低減され、風圧を $3,000 \text{ N/m}^2$ と想定した場合でも、十分耐えうる構造となっている。さらに、吸音モジュールを囲む遮音板に関して、有限要素モデルを用いた変形応力解析を行い、上記風圧に耐える構造を検討した。一例として、図16に均等荷重を防音パネルが受けたときの変形を示す。有限要素解析結果に基づき構造を最適化することで、所要の剛性が確保でき、かつ軽量となる遮音板構造を導き出した。

6. む す び

吸音プラスチックは、リサイクル性を持つ、人に優しい吸音材である。今後も、防音パネルを始めとする環境保全製品に適用を拡大し、静謐な環境づくりに鋭意努めていく所存である。

参 考 文 献

- (1) 塚本浩二, 大蔭勝久: 吸音プラスチックの開発と製品への応用, 日本機械学会材料力学部門講演会講演論文集 B, No.940-37, 468~469 (1994)
- (2) 大蔭勝久: 吸音プラスチックの開発と応用, 日本機械学会東海支部・関西支部合同企画第27回座談会資料, 31~39 (1994-10)

大気環境モニタリング用高感度NO_xセンサ花里善夫* 木村さおり**
神谷俊行** 磯田 悟***
宮本 誠**

1. ま え が き

一酸化窒素 (NO)、二酸化窒素 (NO₂) などの窒素酸化物 (NO_x) は大気汚染物質の一つであり、特に NO₂ に関しては環境基準 (1 時間値の 1 日平均値が 0.04 ~ 0.06 ppm (ppm: 体積百万分率) までのゾーン内又はそれ以下) が定められている。NO₂ の濃度が高くなると、人の呼吸器系に障害を及ぼしたり、NO_x では酸性雨や光化学スモッグの原因ともなる。

NO_x の排出源としては、ボイラなどの固定排出源と自動車・船舶などの移動排出源に分類される。最近、都市部における NO_x 汚染が深刻化しているが、これは、都市部での交通量増加に伴う移動排出源である自動車排ガスが主たる原因とされている。

道路周辺での大気汚染状況を観測するために自動車排出ガス測定局が設置されているが、大都市部では大半の測定局が先に示した環境基準を達成できていないのが現状である。また、都市部では土地の有効利用の観点から、トンネルや駐車場が地下等の密閉性の高い空間に設けられるようになり、このような場所での NO_x 汚染も問題になってきている。

我々が健全な生活を営むためには、大気環境や室内環境等における NO_x 汚染状況を的確に把握し、これに基づき換気や除去・分解など NO_x 濃度を減少させる対策を講じることが求められている。上述した NO_x 濃度の検出を必要とする環境における NO_x 濃度は、数 ppm 以下で、大部分は ppb (ppb: 体積十億分率, ppm の千分の 1) 領域である。

現在、ppb 領域の NO_x 検出技術として実用化されている方法を表 1 にまとめる。これらは、すべて光検出器によって NO_x を検出するもので、NO₂ と反応して発色する色素を溶解した水溶液を用いる湿式法と、NO とオゾンとの反応によ

る生成物の発光を利用する乾式法に大別される。このうち、ザルツマン法と化学発光法については自動計測が可能であるが、スタンドアロンの計測器としての価格が数百万円と高価である。また、前者は 1 時間に 1 回の割合で 1 時間平均の NO_x 濃度値が得られ、後者は瞬時値が得られる。一方、簡易捕集法は、ザルツマン法を簡便・低価格にできるように工夫した手分析法であり、瞬時値計測や自動計測は困難である。

局所的な大気汚染をモニタし、換気・除去・分解などの機器を効率良く動かしたり、交通公害を低減するための制御を行うためには、高感度・高選択性・自動計測可能で簡便なセンサが求められている。現在、市販に至っている NO_x センサは、固定排出源の煙道用のもので、検出可能 NO_x 濃度が数 ppm 以上である。大気汚染をモニタできる ppb 領域の検出が可能な NO_x センサは、研究開発中の段階で実用化には至っていないのが現状である。

本稿では、当社で行っている実用化に向けた NO_x センサの研究開発状況について、他機関の研究開発状況も織り込みながら、NO_x 選択吸着機構・動作原理・応答特性を中心に紹介したい。

2. NO_x センサの種類

現在までに研究開発されている NO_x センサは、その検出原理・ガス感応材料の種類から次の 5 種類に大別される。

- (1) セラミック半導体の電気伝導変化
- (2) 有機半導体の電気伝導変化
- (3) 圧電素子による質量変化
- (4) 固体電解質の電圧変化
- (5) 光学的変化 (蛍光消光)

ガス感応材料としては、(1)、(4) では酸化物半導体や固体電解質などの無機化合物が使われ、(2)、(3)、(5) では主として金属ポルフィリンや金属フタロシアニンなどの有機化合物が使われている。大気汚染レベルである ppb 濃度領域を計測対象とするセンサとしては、有機化合物を用いたものが多く報告されている。

金属ポルフィリンは、光合成を行うタンパク質や赤血球の中で酸素を輸送する担体としての働きをするヘモグロビンなどの中にあつて、生体内で電子伝達や触媒などの機能を担っている。後で述べる金属テトラフェニルポルフィリン (Metal Tetraphenyl porphyrin: MTPP)、又は金属フタロシアニンは生体内に存在するポルフィリンの骨格を一部人工的

表 1. 大気汚染レベルの窒素酸化物の計測方法

方 法			原 理
湿式法	吸光光度法	ザルツマン法	ザルツマン試薬の入った溶液中で NO ₂ の発色反応を行い、NO ₂ による吸光度の変化を光検出器で測定
		簡易捕集法	NO _x 捕集試薬を染み込ませたろ紙で NO _x を捕集し、その後発色試薬で発色させ吸光度変化を光検出器で測定
乾式法	化学発光法		NO とオゾンを反応させて生成する励起 NO ₂ 分子から発する蛍光の強度を光検出器で測定

に変えて工業的に合成した人工分子である。これらは、 NO_2 などの酸化性のガスに対し、高選択的に吸着する性質があり、ガスセンサ材料として利用されている。

ガスセンサの選択性や感度は吸着材料に対するガス分子の吸脱着特性に支配されるので、その吸脱着機構の知見を得ることが高感度・高選択性のセンサを実現するには不可欠であるが、その機構については不明な点も多い。そこで、MTPPの NO_2 吸脱着機構を明らかにし、そこから得られた知見を基に NO_x センサのガス感応材料を選択した。

また、吸着した NO_2 分子の量を電気信号に変換するために、大量生産プロセスに適合し、材料の電気伝導性に左右されず、しかも高感度な検出が可能な圧電素子である表面弾性波 (Surface Acoustic Wave : SAW) 素子を用いて (先に述べた分類では(3)に相当) NO_x センサを構成した。

3. ガス感応膜に対する NO_2 の吸脱着機構解析⁽¹⁾

3.1 ガス感応膜材料

MTPP 化合物の化学構造式を図1に示す。この分子は、化合物の中心に金属イオンが存在し、その周りを配位子と呼ばれる TPP が取り巻いている。金属イオンの種類を変えることにより、中心金属部又は配位子部で異なる電子状態を持たせることができる。

NO_x (特に NO_2) ガスは電子受容性が強く、膜への吸着によって膜から NO_x ガスへの電子移動が起こる。したがって、 NO_x ガスのガス感応膜への吸脱着特性は、膜を構成する分子の電子状態と関係が深い。先に述べたように、センサの特性は、このガス感応膜と NO_x ガスとの吸脱着特性に強く支配されるので、高感度で選択性の高いセンサを実現するには、吸脱着特性を解明し、最適なガス感応膜を選択することが重要である。

NO_x のうち NO_2 の方が有害性が大きく、また環境基準が設定されているので、以後の章で述べる吸脱着機構解析及びセンサの評価については、 NO_x ガスとして NO_2 を用いた。

3.2 MTPPに対する NO_2 吸着特性

中心金属としてコバルト (Co (II)) 及び亜鉛 (Zn (II)) を持つ TPP 膜に対する NO_2 ガス (93.2 ppm) の吸着状態の経時変化を、フーリエ変換赤外分光 (Fourier Transformation Infrared Spectroscopy : FT-IR) 法で測定した結果を図2に示す。

CoTPP は、中心金属部と配位子部に、それぞれ、0.32 V (vs. Saturated Calomel Electrode : SCE) と 1.06 V の酸化還元電位を持っている。一方、ZnTPP 膜は、中心金属部には酸化還元電位がなく、配位子部に 0.71 V の電位を持つ。図から分かるように、CoTPP 膜では、まず初めに $1,283\text{ cm}^{-1}$ に NO_2 の吸着に

伴う吸収帯が現れ、10分以降からこの吸収帯の両側に吸収帯が出現している (図中矢印)。

一方、ZnTPP 膜では、CoTPP 膜で見られた $1,283\text{ cm}^{-1}$ の吸収帯は出現せず、その両端に現れていた吸収帯に相当する吸収帯が10分後から出現している (図中矢印)。このことは、CoTPP 膜では中心金属と配位子部で、ZnTPP 膜では配位子部のみで NO_2 が吸着していることを示している。

CoTPP 膜に対する NO_2 吸着に伴う紫外-可視吸収スペクトルの経時変化を図3に示す。吸着前 (0 min) では、411 nm に Co (II) TPP によるソーレ帯の強い吸収が見られ、これが吸着時間とともに長波長側にシフトし、428 nm に新たな吸収帯が出現している。このソーレ帯のシフトは、中心金属の Co が酸化され Co (III) TPP に変化していることを示している⁽²⁾。また、更に吸着が進むと、このソーレ帯の吸収強度の減少が見られる。この減少は、Co (II) TPP 及び Co (III) TPP の配位子の酸化によるものであることが知られている⁽²⁾。

FT-IR と紫外-可視吸収スペクトルの結果から、 NO_2 の吸着は、MTPP の酸化還元電位に大きく制御され、CoTPP 膜では中心金属部、配位子部の順に吸着し、ZnTPP 膜で

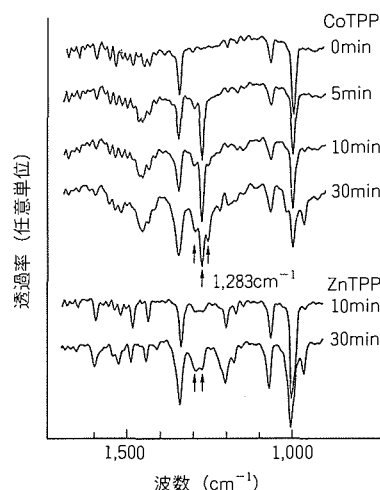


図2. CoTPP膜及びZnTPP膜の NO_2 吸着に伴う FT-IRスペクトルの経時変化

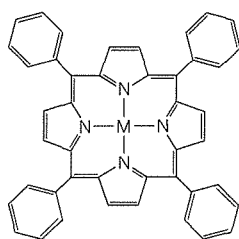


図1. 金属ポルフィリン化合物の化学構造式

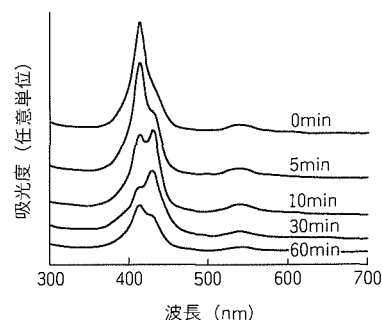


図3. CoTPP膜の NO_2 吸着に伴う紫外-可視吸収スペクトルの経時変化

は中心金属部には吸着せず、配位子部のみに吸着することが分かった。また、MTPP 膜への NO₂ 分子の吸着は、膜から NO₂ 分子への電子移動を伴う化学吸着をすることが明らかになった。中心金属がクロム (Cr (III)) とルテニウム (Ru (II)) の TPP 膜も CoTPP 膜と同様な吸着特性を持つことが分かった。

3.3 吸着速度の制御因子

MTPP 膜への NO₂ の吸着速度の評価は、水晶振動子上に MTPP 膜を形成し、ガス吸着に伴う質量の経時的変化量を水晶振動子の発振周波数変化として検出する水晶振動子マイクロバランス (Quartz Microbalance : QMB) 法で測定した。その結果、MTPP 薄膜に対する NO₂ の吸着特性は、吸着機構モデルの一つであるラングミュア吸着モデルによく合うことが分かった。ラングミュアモデルによる吸着速度は、次式のように表される。

$$r = dC/dt = k_a P(V_s - C) - k_d C \quad \text{.....(1)}$$

ここで、 r は吸着速度、 C は薄膜に吸着した NO₂ の濃度、 P は NO₂ ガスの分圧、 V_s は飽和吸着量、 k_a は吸着速度定数、 k_d は脱着速度定数を表す。吸着速度の最大値 (r_{\max}) は、吸着初期段階に得られ、

$$r_{\max} = k_a P V_s \quad \text{.....(2)}$$

となる。先に述べたように、MTPP 膜への NO₂ 吸着は、電子移動を伴う化学吸着であることから、この吸着反応を電子移動理論⁽³⁾に基づいて考察することができる。

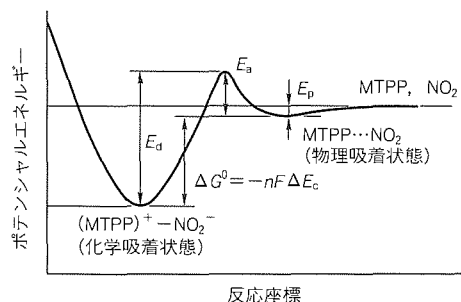


図4. 物理・化学吸着のポテンシャルエネルギー模式図

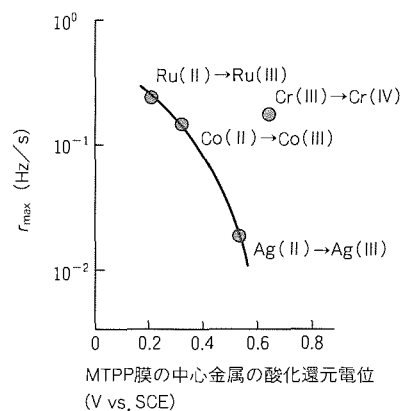


図5. 酸化還元電位と吸着最大速度との相関

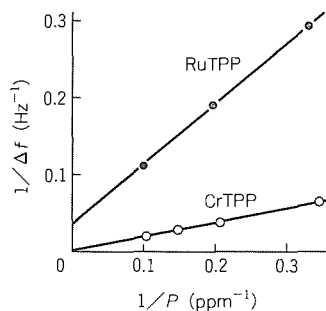
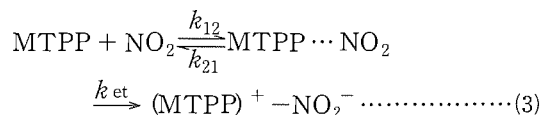


図6. RuTPPとCrTPP膜に対するNO₂のラングミュアプロット

図4に、MTPP と NO₂ ガスとの物理吸着及び化学吸着に対するポテンシャルエネルギーの模式図を示す。図において、 E_a は化学吸着の活性化エネルギー、 E_d は化学吸着状態の脱着活性化エネルギー、 E_p は物理吸着状態の脱着活性化エネルギー、 ΔG^0 は化学吸着状態と物理吸着状態との間の標準自由エネルギー変化量、 ΔE_c は、MTPP と NO₂ の酸化還元電位差を表している。また、吸着反応を下式に示す。



ここで、 $\text{MTPP} \cdots \text{NO}_2$ は、物理吸着状態を表し、 $(\text{MTPP})^+ - \text{NO}_2^-$ は、電子移動を伴う化学吸着状態を表している。また、 k_{12} 、 k_{21} は、それぞれ物理吸着速度、物理脱着速度定数を表し、 k_{et} は電子移動速度定数を表している。

式(1)及び(2)で用いている吸着速度定数 k_a は、式(3)の化学式で用いている反応速度定数を用いて表現すると、

$$k_a = k_{12} \cdot k_{et} / (k_{21} + k_{et}) \quad \text{.....(4)}$$

となる。一般に $k_{21} > k_{et}$ であるので、式(4)は $k_a = k_{12} \cdot k_{et} / k_{21}$ となり、 k_a は k_{et} に比例することになる。電子移動理論では、

$$k_{et} = Z \exp(-E_a/RT) \quad \text{.....(5)}$$

Z は頻度因子、 R はガス定数、 T は温度である。そして、

$$E_a = (\lambda + \Delta G^0)^2 / 4\lambda \quad \text{.....(6)}$$

λ は再配向エネルギーである。 ΔG^0 と ΔE_c の間には図中に示した関係式が成立することから、吸着速度定数 k_a は ΔE_c と関連付けることができる。

式(2)から、最大吸着速度は、同一 NO₂ 濃度条件下 (P = 一定) では k_a と V_s に比例する。 k_a は先に述べたように、MTPP 膜の酸化還元電位との間にある相関が成立することが期待できる。また、飽和吸着量 V_s は、膜表面積に依存することから、MTPP 膜の表面モルフォロジーと強い相関を持つことになる。そこで、まず、酸化還元電位との相関を評価した。

室温での最大吸着速度と MTPP の酸化還元電位との関係を図5に示す。この図から、中心金属が Ru・Co・Ag の場合 (酸化還元電位は、それぞれ、0.21 V, 0.32 V, 0.54 V (vs. SCE))、最大吸着速度と MTPP の酸化還元電位との間に、上記した電子移動理論に基づく関係があることが分かった。一方、CrTPP 膜 (同 0.64 V (vs. SCE)) では、この関係から外れており、最大吸着速度は酸化還元電位から期待される値よりも高い値を示した。そこで、もう一つの因子として考えられる V_s について、QMB 法による吸着特性の評価と原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscope : AFM) による MTPP 膜の表面形状の観

察とから検討を行った。

吸脱着の定常状態では、式(1)で $r=0$ となるので、この条件で式を整理すると次式が得られる。

$$1/C_E = \{k_d / (k_a V_s)\} \cdot (1/P) + 1/V_s \cdots (7)$$

ここで、 C_E は定常状態における NO_2 吸着濃度である。 C_E は、QMB法の周波数変化量(Δf)で置き換えることができるので、定常状態における $1/\Delta f$ と $1/P$ のプロット(ラングミュアプロット)で得られる直線のY軸切片から V_s の値を推定することができる。図6にRuTPP膜とCrTPP膜の結果を示した。この図から、CrTPP膜の V_s に相当する周波数変化が390 Hz、RuTPP膜が30 Hzと見積もられ、CrTPP膜がRuTPP膜に比べて13倍も大きな飽和吸着量 V_s を持つことが分かった。

さらに、両膜の表面形状をAFMで観察した(図7)。この図からも、CrTPP膜の方がRuTPP膜よりも粗い表面形状を持っていることが確認された。これらのことから、図5でCrTPP膜の最大吸着速度が電子移動理論から予想される値よりも大きかったことは、 NO_2 のCrTPP膜への吸着が、酸化還元電位のみならず、膜の表面モルフォロジーに由来する飽和吸着量 V_s にも依存しているためであることが明らかになった。

3.4 脱着特性

今回検討したすべてのMTPP膜は、室温において脱着速度は非常に遅く、1時間程度の脱着時間では顕著な脱着は認められなかった。そこで、脱着特性は、100℃以上の温度条件下でQMB法で測定した。 NO_2 の吸脱着繰返し応答で評価したところ、CrTPP及びCoTPP膜は、約150℃の条件で空気・窒素雰囲気にかかわらず再現性の良い吸脱着応答が得られた。また、同温度条件において、CrTPP膜の方が、吸着による周波数変化量が大きかった。一方、RuTPP膜では、窒素雰囲気では180℃以上の温度条件で吸脱着の繰返し応答がCrTPP膜と同程度の大きさで得られた。しかし、空気雰囲気では、同じ温度で吸着膜の酸化劣化が生じた。以上の結果から、CrTPP膜が、吸脱着の安定性・再現性、及びその応答量の大きさから、 NO_x センサの膜として最良であ

ることが分かった。

4. NO_x センサ

4.1 動作原理

SAW素子や水晶振動子などの圧電素子を用いると、ガス感応膜に吸着したガス分子の質量変化が圧電素子の発振周波数の変化として検出できる。SAW素子の場合、質量変化と周波数変化については、次式が成立する。

$$\Delta f = -C f_0^2 (\Delta m / A) \cdots (8)$$

ここで、 Δf (Hz)、 Δm (g)は、それぞれ周波数変化及び質量変化、 f_0 は基本発振周波数(Hz)、 A はSAW素子の感応部面積(cm^2)である。前章でQMB法で吸着速度を評価したことを述べたが、この場合も、この式が適用できる(ただし、比例定数 C は水晶振動子とSAW素子とは異なり、また、SAW素子では用いる基板材料によっても異なる)。水晶基板(STカット)を用いた場合は、比例定数 C は $1.3 \times 10^{-6} (\text{cm}^2 \text{s/g})$ である。例えば、80 MHzの発振周波数のSAW素子を用いた場合、単位面積当たり0.12 ngの質量変化に対し、周波数が1 Hz変化することになる。

4.2 センサの構成

図8に、SAW素子を用いた NO_x センサの構造を示す。1個のセンサ基板内にSAW素子(78.8 MHz)を2個並列に集積化した。一方のSAW素子上には、 NO_2 ガス感応膜を真空蒸着法で形成している。前章での吸脱着応答機構の解明に基づいて、吸着膜としては、CrTPP膜を用いた。センサ基板の大きさは23 mm × 18 mmである。SAW素子の背面に、

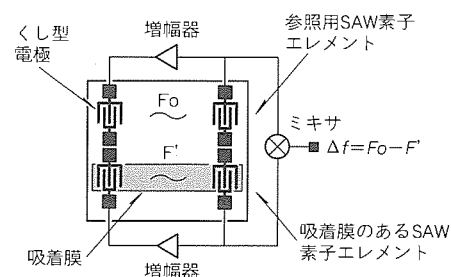


図8. SAW型 NO_x センサの基本構造

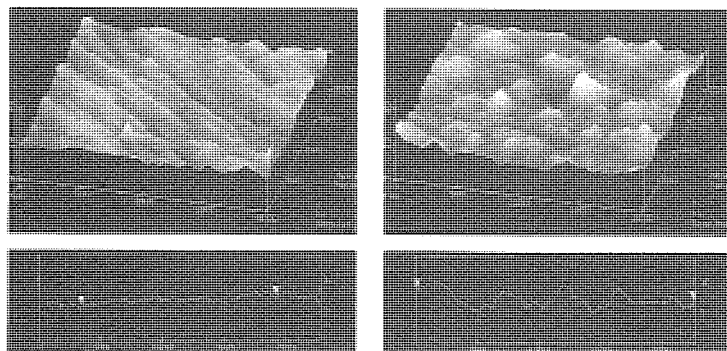


図7. AFMによるRuTPP膜とCrTPP膜の表面形状の観察
(右) RuTPP膜 (左) CrTPP膜

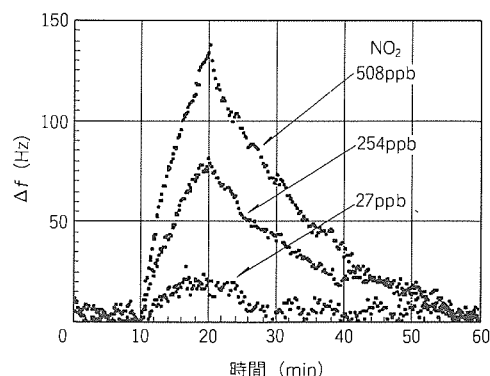


図9. NO_x センサの応答曲線

平面ヒータを密着させ加熱できるようにした。SAW 素子は温度依存性があるので、図に示すようにガス感応用と参照用 SAW 素子の差動出力を検出するように構成し、温度変化を相殺して SN 比の向上を図っている。また、SAW 素子基板の表面温度は、参照用 SAW 素子の発振周波数の温度特性を利用して、発振周波数が一定になるように制御している。

このセンサをステンレス製のセンサセル (内容積約 30 cm³) 内に装着し、ここにガスを 700 cm³/min の流速で流してセンサ性能を評価した。センサの動作温度は 120 ~ 150 °C に設定した。

4.3 センサの応答特性

図 9 に、空気中に NO₂ を 27, 254, 508 ppb 含んだガスを 10 分間流入させたときのセンサの応答曲線を示す。なお、この図で、縦軸は周波数変化量の絶対値を表しており、NO₂ の導入によるガス感応膜を持つ SAW 素子の周波数の減少が、この図では増加方向に表現されている。NO₂ ガスを流入後、空気に戻すと周波数変化量は減少し、約 40 分後にベースラインに戻っている。ここで得られた応答曲線のピーク値から得られた検量線を図 10 に示す。この図から、この NO_x センサで数十 ppb の NO₂ 濃度の検出が可能であることが明らかになった。図 9 でも明らかのように、NO₂ ガスに対する応答は 10 分ではまだ定常状態には達しておらず、これが定常状態になるには 20 分程度の時間を要した。しかし、この応答の時間の一次微分値を検出すると、微分ピーク値は約 30 ~ 40 秒で得られ (図 11)、この微分ピーク値と NO₂ 濃度の間にも相関があった。したがって、応答出力を微分処理することにより、測定時間を短縮することができる。

表 2 にこのセンサの他のガスに対する選択性を検討した結果をまとめる。この表から、自動車の排ガスに含まれる成分である CO、炭化水素 (n-ブタンで評価)、CO₂ 及び NO に対して妨害されないことが分かる。同じ酸化性のガスで環境基準が定められている SO₂ に関しては、同じ濃度で約 1 割程度の応答が得られている。しかし、SO₂ は石油精製技術や固定排出源の脱硫技術の進展で窒素酸化物に比べて低い値に抑制されているので、これに対する妨害は問題とはならない。

以上のことから、CrTPP 膜をガス感応材料に用い、この膜に対する吸脱着による質量変化を SAW 素子で検出する NO_x ガスセンサにより、数十 ppb レベルの極微量な NO₂ 濃度を選択性良く図れる機能が実証できた。

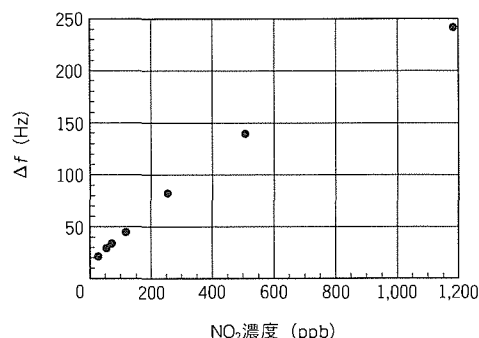


図10. NO_xセンサの検量線

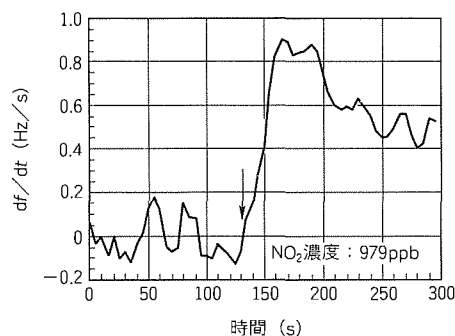


図11. NO_xセンサの微分応答曲線
(矢印のところでNO₂を導入)

表 2. NO_xセンサのガス選択性

ガス種	濃度 (ppm)	応答量 Δf (Hz)
NO ₂	0.98	242.5
NO	10.3	検出されず
SO ₂	1.1	21.6
CO	49.9	検出されず
n-ブタン	50.2	検出されず
CO ₂	10,000	検出されず

5. む す び

高感度 NO_x センサの研究開発状況について、ガス感応膜である MTPP 膜の NO₂ ガス吸脱着機構の解明と、SAW 素子と CrTPP 膜で構成した NO_x センサの性能を紹介した。上記構成のセンサで、数十 ppb レベルの極低濃度の NO₂ の高選択検出を基本的に検証した。

開発中の NO_x センサの課題としては、吸脱着応答が数十分と長いので、これを短縮することが挙げられる。今後、フィールドにおける信頼性及び実用性の評価を行い、実用化に対する実証も行っていく予定である。

参 考 文 献

- (1) Hanazato, Y., Kamiya, T., Ohta, N., Miyamoto, M., Isoda, S.: Adsorption/Desorption Mechanism of NO₂ on Metal-Porphyrin Thin Films, Proceedings of 5th International Meeting on Chemical Sensors, 1148 ~ 1151 (1994)
- (2) Wolberg, A., Manassen, J.: Electrochemical and Electron Paramagnetic Resonance studies of Metalloporphyrins and Their Electrochemical Oxidation Products, J. Am. Chem. Soc., **92**, 2982 ~ 2991 (1970)
- (3) Marcus, R. A.: Chemical and Electrochemical Electron-Transfer Theory, Annu. Rev. Phys. Chem., **15**, 155 ~ 196 (1964)

環境問題から見た配電用ガス絶縁変圧器

酒井 潔* 南井良文*
星野 悟*
ガーリー ホスマン**

1. ま え が き

高度情報化時代の幕開けとともに受配電機器に対する社会的な要求は、高信頼化、高性能・高機能化等、近年、一層の高まりを見せている。配電用変圧器においても、ガス、モールド化(乾式化)による不燃・難燃化、高信頼性、高性能・高機能化等への取組が活発になってきている。

一方、フロンによるオゾン層破壊への対応等に見られる地球規模の環境問題への社会的な要求も高まる中、配電用変圧器等のような受配電機器について、環境問題に対する視点で論議されることは少なかった。

この論文では、三相1,500 kVA 配電用変圧器を例にとり、環境問題に対する視点から考察したので紹介する。

2. 配電用変圧器の技術変遷と動向

2.1 配電用変圧器の技術変遷

配電用変圧器は、社会的な要求を反映しつつ発達してきており、その歴史も100年を超えている。基本的な原理は、ほとんど完成されているのは周知のとおりであるが、変圧器出現当時の配電設備と今日のそれとを比較すれば、その性能についての改善には目を見張るものがある。

技術変遷では、低損失化、小型・軽量化、省スペース化が主流となっており、適用素材開発、設計技術開発、製造技術開発等によって実現されてきている。また最近では、防災上の理由からの不燃・難燃化技術や、高機能・複合一体化といった技術開発等も活発である。

2.2 各種配電用変圧器の特徴

今日の配電用変圧器は、代表的に次に示す三つのタイプに分けられる。

(1) 油入変圧器

最も古い歴史を持ち、製品価格的にも他に比べて有利なため、現在もなお、配電用変圧器の主流である。絶縁・冷却媒体として鉱油を使用しているため、油劣化に対応した油交換等の保全が不可欠である。また、製品自体の信頼性は極めて高いものの、二次災害に対する懸念から防災面での配慮を要する。

(2) モールド変圧器

難燃性の樹脂材料を用いた製品で、防災性の面から脚光を浴び、需要が伸びている。また、空気を冷却媒体としており、油等の容器に収納される必要がないため、他の変圧器と比べ

て設置面積が小さい利点を持っている。ただし、コイル、鉄心などの変圧器本体が環境の影響を受けるため、屋内使用に限られることや、モールド一体化されているため、リサイクル時にコイル導体の分離が困難である点が、他に比べて不利となっている。

(3) ガス絶縁変圧器

不燃性のSF₆を絶縁・冷却媒体として使用している点を除けば、構成そのものは基本的に油入変圧器に類似している。コイル・鉄心などの変圧器本体は密閉式タンクに収納されているため、あらゆる環境に適合でき、保守管理も容易である。また、変圧器本体は、吸湿、耐じん(塵)への懸念がないためモールド一体化の必要もないことから、リサイクル時の中身解体の容易性を提供できている。

これら各種配電用変圧器の特性比較を表1に示す。

2.3 配電用変圧器の最新技術

最近の社会動向から見た各種ニーズに対する配電用変圧器の対応技術を図1に示す。配電用変圧器は、受配電設備の中でも最も重要な機器の一つであり、①高信頼性、②小型・軽量・省スペース化、③高性能化(省エネ・低騒音化)、④省メンテナンス化、⑤高機能化等の各対応技術において、今後とも更に発展していくものと考えられる。

3. 環境への影響面から見たガス絶縁変圧器

3.1 配電用変圧器外形諸元に見る影響と動向

図2は代表的な油入変圧器における床面積・質量の変遷を示したものである。1960年代の製品と比べ、大幅な小型・軽量化が図られており、今後設備更新を行う場合にも、電気室の変圧器設備スペースを変更することなく、容量増加が可能であったり、設備スペースの縮小を可能にしている。この

表1. 各種配電用変圧器の特性比較

	ガス絶縁変圧器	モールド変圧器	油入変圧器
絶縁種別	E	F	A
絶縁・冷却媒体	高分子フィルム SF ₆ ガス	エポキシ樹脂 空気	クラフト紙 油
騒音	◎	○	◎
耐燃焼性	◎	○	△
耐湿性	◎	○	◎
メンテナンス	◎	○	○
消火設備	◎	◎	○
材料の分離性	◎	△	○
使用場所	屋内/屋外	屋内	屋外/屋内

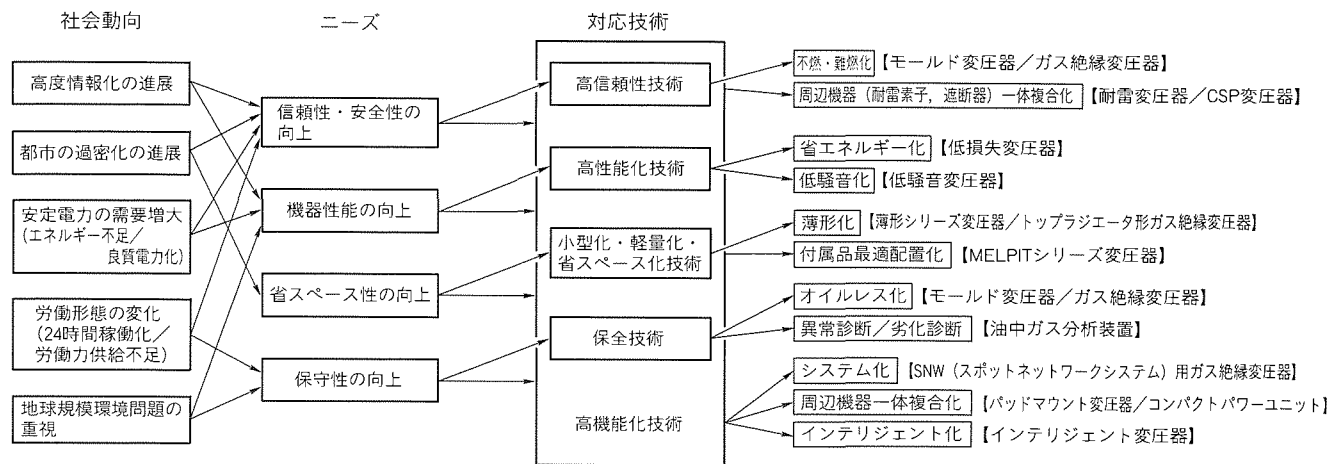


図1. 社会動向から見た配電用変圧器対応技術及び製品動向

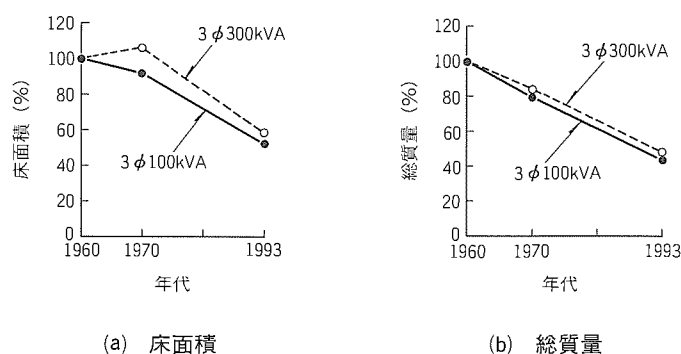


図2. 油入変圧器の床面積・総質量の推移

省床面積に伴う電気室のスペース縮小は、地価高騰対策のみならず環境問題としての、スペースの有効活用検討への一助として考えられる。

ガス絶縁変圧器では、油入変圧器で過去実施されてきた各種固有技術の導入も可能であるが、更に進んで、冷却・絶縁媒体がガスであることから、任意の場所に冷却器の配置が可能であるという特長を生かしたトップラジエータ式等、一層の省スペース化が得られることが期待されている。

3.2 製品性能に見る影響と動向

3.2.1 損 失

変圧器の損失は、1960年代に方向性けい素鋼板が出現したことによって大きく改善され、さらにこの鋼板を使用した巻鉄心構造が開発され、変圧器の無負荷損が大幅に改良されてきた。また、最新の動向として、その素材価格低下に呼応して、実用化が活発化したアモルファス磁性材料等も脚光を浴びている。アモルファス磁性材料の場合、その特徴から小型・軽量化には相反するが、変圧器の高効率化の推進に大きく寄与することが期待されている。

図3は配電用変圧器における無負荷損失の変遷を示す。無負荷損失低減等の変圧器の運転効率の向上は、個々の変圧器の運転の経済性を高めるだけでなく、供給する電力そのものの送電に費やすエネルギーをも減らすことになる。すなわち、環境にも有効な結果をもたらす。

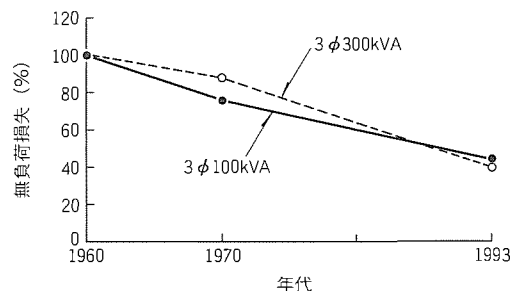


図3. 油入変圧器の無負荷損失の推移

表2. 各種配電用変圧器の損失比較

	単位：％		
	ガス絶縁変圧器	モールド変圧器	油入変圧器
無 負 荷 損	73	180	100
負 荷 損	70	81	100

注 油入変圧器を100とした指数

損失特性は設計によって任意に設定できるが、一つの例として、表2に1,500 kVAの各種変圧器の損失特性の比較を示す。ガス絶縁変圧器は、他の変圧器と比べて低損失傾向にあることが分かる。

3.2.2 騒 音

変圧器の騒音は、居住環境に対して影響が大きく、問題を引き起こすことも少なくない。

表3は油入、乾式モールド及びSF₆ガス変圧器の騒音特性を規格値を用いて比較した例である。油入変圧器とガス絶縁変圧器はもともと油容器、ガス容器に封入されていることから低騒音に設計されていることが分かる。

3.2.3 安 全 性

人口密度の高い場所では、特に製品の安全面を考慮することが必要である。世界の主要都市では、他の地域に比べて地価が高騰するために、水平方向よりも垂直方向に建物が拡張する傾向を示す。人々は高層ビルで生活することから、防災上受配電設備の高い安全性が要求される。したがって、ビルや公共施設では、モールド、ガス絶縁変圧器などの不燃・難

表 3. 各種配電用変圧器の騒音レベル比較

変圧器容量 (kVA)	騒音レベル*3 dB (A)		
	ガス絶縁変圧器*1	モールド変圧器*2	油入変圧器
~300	57	63	56
500	59	65	58
700	61	70	60
1,000	63	72	62
1,500	64	74	63
2,000	65	76	64

*1 ガス絶縁変圧器はNEMA TR-1 規格

*2 モールド変圧器は500kVAまではJIS C 4306規格, 700kVA以上及び油入変圧器はJEM1118規格

*3 上記の表には+3 dB(A)の裕度が適用される。

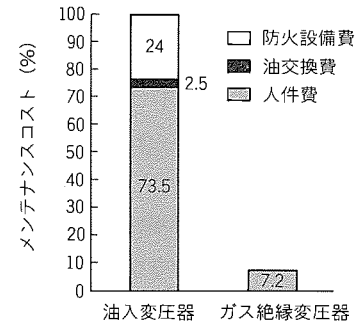


図 4. メンテナンスコストの比較
(油入変圧器を100とした指数)

燃化変圧器を使うことが望ましい。

ガス絶縁変圧器に使用される SF₆ ガスは、米国 UL 規格において、窒素と同一の最も安全性の高いグループ6に属していることや、各種の実験結果⁽¹⁾によって安全性が確認されている。それに加えて、耐環境性面で完全密閉式であることから、モールド変圧器に比べて有利ともいえる。

3.3 製品メンテナンス性に見る影響と動向

配電設備のメンテナンスは、今日の近代都市に用いられる大型の配電システムでは重要な課題となる。ここでは、油入とガス絶縁変圧器のメンテナンス費用の比較を Hongkong Electric Co., Ltd. (香港電燈有限公司：以下“香港電力”という。)の配電システムを例にとって紹介する。

図4は、ガス絶縁変圧器と油入変圧器とのメンテナンス費用を比較した例である。油入変圧器の場合、絶縁・冷却媒体である油の運転経過に伴う劣化が避けられない。したがって、絶縁特性を維持するための油のろ過、又は交換が不可欠となる。一方、ガス絶縁変圧器に使用される SF₆ ガスは、その安定した不活性特性⁽²⁾により、ガスそのものの劣化はなく、絶縁システムとしての劣化を抑制し、メンテナンスの必要性を抑えている。この例から、ガス絶縁変圧器のイニシャルコストは油入変圧器のそれに比べて高いものの、信頼性・運転特性面に加えて、保守面においても低コスト化・近代化に寄与し得ることが分かる。

香港電力では、以上の背景から全配電変圧器をガス絶縁変圧器に切り換える決定を行い、さらにガス絶縁変圧器が集中監視制御が容易であるという特長を生かし、常時監視システムを構築している。

3.4 製品リサイクル面での一考察

近年埋立地の社会的負担が次第に増加していることから、廃棄の際のコストが増加している。しかも処理により、再利用可能な材料を廃棄しているケースも少なくなく、これに高額の出費をすることは理に合わない。変圧器に利用される材

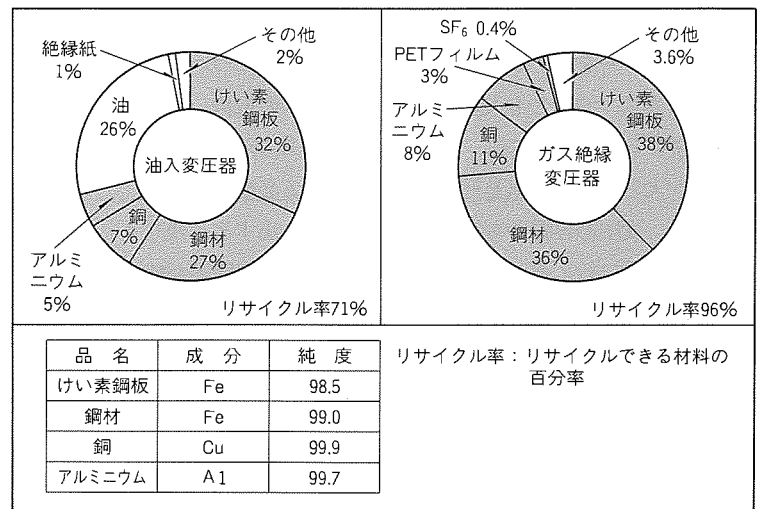


図 5. 配電用変圧器の材料構成比率

料は、分別しやすく、かつ材料の純度が高くて、価値が極めて高いにもかかわらず、産業廃棄物として扱われる傾向にある。変圧器は、材料のポリーム、純度から見て高リサイクル製品と考えられるため、そのリサイクル性を考慮することは重要である。

3.4.1 構成材料

配電用変圧器で使用する材料の構成比は、図5に示すように鉄、銅、アルミニウムなどの割合が大きい。しかも変圧器は高純度の材料を多量に用いて作られており、劣化も少ない。銅、アルミニウムなどの金属材料は、ほぼ100%リサイクルが可能であり、再処理することで半永久的に利用することができる。

金属のほかに変圧器で使用される材料は、油入変圧器の場合で油と紙、ガス絶縁変圧器の場合では SF₆ と絶縁材 (プラスチック) がある。油入変圧器の場合では、使われる絶縁材のほとんどが廃棄 (焼却) されているが、ガス絶縁変圧器で使われる SF₆ や絶縁材はリサイクルが可能である。

ガスは別として、金属と比較した場合プラスチック類はリサイクルが難しいといえるが、現状、配電用ガス絶縁変圧器では絶縁材としてポリエステル (Polyethylene terephthal-

ate: PET) を使用しており、この PET フィルムは現在利用されているプラスチックの中で、リサイクルの最も容易なものと言われている。回収 PET フィルムは、コンテナ、自動車部品、カーペット等に用いられる。

3.4.2 解体の容易さ

リサイクルを考える場合、各種材料が容易に分離できなければ、実際問題として意味をなさない。ここでは、ガス絶縁変圧器の解体作業性について紹介する。

まず、変圧器の部品構成を図 6 に示すが、この図から変圧器の構造は比較的単純で、鉄心・コイル・箱・絶縁材で構成されていることが分かる。構造が単純ということは、材料を分別する際に余計な手間がかからないので、リサイクルにとっては有利である。

作業のフローを図 7 に示す。変圧器の解体手順については、基本的にガス、油入とも大差ないが、SF₆ガスの取扱いには注意を要する。SF₆ガスは、安全なガスではあるが、空気より比重が大きいため換気を行いながら作業する必要があるためである。変圧器容器から鉄心とコイルを取り出すと、残りの解体は容易に行える。特に、処理の面倒な油や樹脂等が使用されていないことから、リサイクルの面では他の変圧器に比べて有利と思われる。

表 4 は、リサイクルされた変圧器材料の一般的な用途を示す。

3.4.3 リサイクルの今後

リサイクルが容易になると、環境に対する貢献度も上昇する。つまり、リサイクル施設に対する負担を軽減することができれば、リサイクルの採算性が向上し、より活発にリサイクル材料が使用される。このことは、資源の有効利用を促し、エネルギーの浪費を抑えることになる。

将来的には、リサイクル材料を購入した方が新材料よりも低コストとなり、大幅なコストダウンにつながる可能性もあると考えられる。

3.5 環境への影響程度の評価

3.5.1 大気に及ぼす影響⁽¹⁾

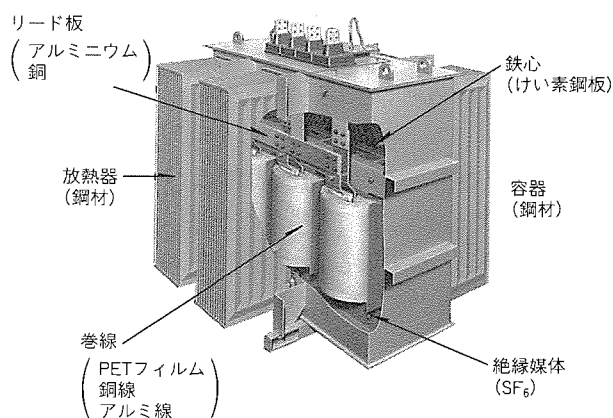


図 6. 配電用ガス絶縁変圧器の構成

ガス絶縁変圧器の絶縁・冷却媒体である SF₆ ガスが、大気中に放出された場合に、大気に及ぼす影響について紹介する。まず、光による化学変化に対して述べるが、一般に光化学反応に関係する光線は、主として可視光線と紫外線である。SF₆ ガスは無色透明であるので、可視光線の吸収はなく、紫外線についてのみ検討する。図 8 に SF₆ の紫外線吸収スペクトルを測定した結果を示す。この波長領域における光吸収が認められないこと、293nm 以下の波長の紫外線は地表に到達しないと言われていることから、SF₆ ガスの自然光による化学変化は起こらないといえる。地球温暖化への影響など今後の検討事項もあるが、フロンで問題となっている成層圏におけるオゾン層破壊については、フロン分子中の塩素原子がその機構に関与していると言われるので、塩素原子を保有しない SF₆ は問題ないものと考えられる。

3.5.2 ライフサイクルエネルギー

図 9 に、変圧器を含むすべての製品のライフサイクルのイメージを示す。この図において、ライフサイクルは一連のループを描く。変圧器の社会に対する影響を知るためには、このループの中の各段階で、どれだけのエネルギーが消費されるかを知る必要がある。

ここでは、製造にかかわるエネルギー量と運転によって消費するエネルギーの試算を行った。製造エネルギー算出には構成材料別にエネルギー量を調査し、さらに変圧器として仕上げるまでの加工・組立エネルギー量を加えた合計値で算出した。

表 5 は、代表的な 1,500 kVA 配電用変圧器において計算したライフサイクルエネルギーの比較を示す⁽²⁾。この結果では、変圧器の製造までにかかわるエネルギー (材料精製エ

(注) 石油 (灯油) $3.72 \times 10^7 \text{ J} / \ell$ 、原油 $3.88 \times 10^7 \text{ J} / \ell$ 、電力 $9.22 \times 10^6 \text{ J} / \text{kWh}$ でエネルギー試算を行っている。電力については、発電効率を考慮した一次エネルギー換算値を用いている。

表 4. リサイクル材使用例

材 料 名	使用用途
プラスチック (PET)	カーペット コンテナ 自動車部品
銅	ワイヤ コネクタ ラジエータコア 回路基板 半導体 工業製品
鋼 材	建築材料 工業製品 ケーシング
けい素鋼板	铸造品
アルミニウム	ワイヤ 建築材料 工業製品

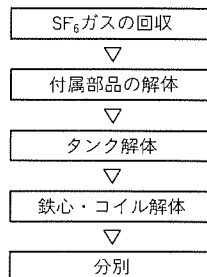


図 7. 配電用ガス絶縁変圧器解体フロー

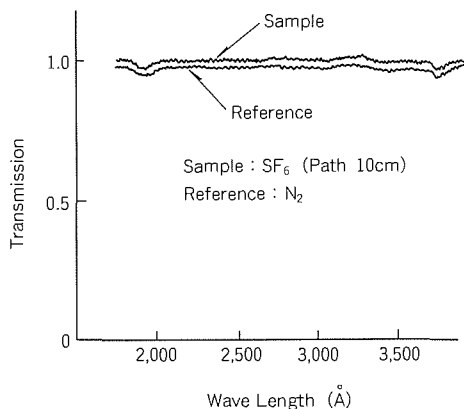


図 8. SF₆ガス紫外線吸収スペクトル
(旭硝子研究報告)⁽¹⁾

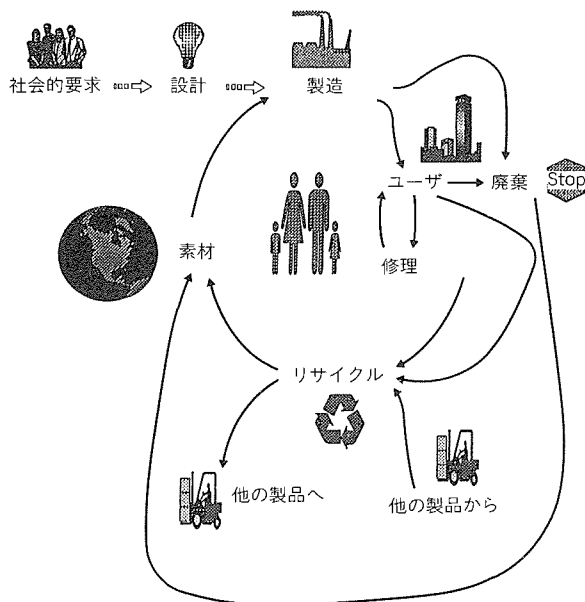


図 9. 配電用変圧器のライフサイクル

エネルギーと製品組立エネルギーの合計) は、油入変圧器に比べてガス絶縁変圧器の方が多く消費するが、運転損失の関係で消費エネルギーでは、逆にガス絶縁変圧器が有利となる。ライフサイクルの中でのエネルギー消費の割合は、消費エネルギー量が製造にかかわるエネルギーより多いことから、ガス絶縁変圧器を利用した方が、エネルギー資源に対して優れているといえる。

また、この試算ではリサイクル時の必要エネルギーについ

表 5. 1,500kVA配電用変圧器のライフサイクルエネルギー

単位: $\times 10^6$ J

品 名	製造エネルギー			消費エネルギー*1
	調達部材	組立て・加工	小 計	
油入変圧器	107,000	16,000	123,000	16,700,000
ガス絶縁変圧器	190,000	13,000	203,000	11,100,000

* 1 運転負荷60%時における20年間に消費する電気エネルギーと絶縁媒体(油のみ)の交換エネルギーの合計

* 2 リサイクル時のエネルギーは含まない。

ては触れていないが、図5に示すようにガス絶縁変圧器のリサイクル率が96%と油入変圧器の71%に比べてはるかに高いことから、実際のエネルギー資源への効果は更に大きいと考えられる。

4. む す び

以上、配電用変圧器について環境問題に対する視点からの検討について紹介したが、変圧器はリサイクルの面、エネルギー損失の面など社会に対しての影響が大きい製品であることを再認識できたとともに、個々にガス絶縁変圧器の有効性を確認できた。

今後とも配電用変圧器について、一層の小型軽量化、省メンテナンス化、低損失化を進め、また、より使いやすさを追求しつつ、社会のニーズと環境に適応したガス絶縁変圧器を始めとする配電用変圧器の開発に取り組みたいと考える。

なお、最後に本稿をまとめるに当たり貴重な資料を賜った香港電力を始めとする関係各位に深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 合志宏道, 広岡紘一, 吉岡武男, 能代 誠, 橋本俊夫: 衛生的見地からみたSF₆ガスの特性, 旭硝子研究報告, 27, No.2, 123~141 (1977)
- (2) Switchgear and Controlgear: The Use of Sulphur hexafluoride (SF₆) in High Voltage, IEC/TC or SC, 17A (1994)
- (3) Chu, F. Y.: SF₆ Decomposition in Gas Insulated Equipment, IEEE Trans. on Elec. Insul., EI-21, No.5 (1986)

ライフサイクルアセスメントと エントロピーの概念

中山 繁樹*
池田 彰**

1. ま え が き

すべての生産活動や生命活動は、多かれ少なかれ環境に影響を与える。大量消費・大量廃棄の社会においては、それによる環境への影響が地球規模になり、場合によっては地球上の人類を含む生命の生存に重大な危機を与えるかもしれないと考えられるようになってきた。

しかし、我々が原始の生活様式に戻ることができないであろうことは、多くの人々が暗黙のうちに認めていると思われる。そうであるとするならば、サービスなどの広い意味も含めた産業活動が及ぼす環境への影響を、いかにして合理的に低減するかが重要になる。

ライフサイクルアセスメント(LCA)は、製品などが資源や環境に与える負荷を、製品の製造から廃棄に至るライフサイクル全体にわたって定量・評価しようとするものである⁽¹⁾。第一ステップの目標設定でその目的を設定し、第二ステップのインベントリ分析で資源・エネルギーの投入、環境への排出目録を作り、第三ステップのインパクトアセスメントに入る。このステップは、インベントリの個別項目のインパクトカテゴリ(資源・エネルギーの消費、地球温暖化、オゾン層破壊、大気汚染、富栄養化などの環境負荷)の分類、特性解析(インパクトカテゴリごとの統一指標化とそれらの統合化)を含む。第四ステップでは、規定した目的に対してどの段階での環境負荷が大きいのか、環境負荷が低減できるのはどの段階か、最適化によってどこまで環境負荷が低減できるか、環境負荷の少ない製品はどれか、などの改善アセスメントが行われる。LCAは、解析的なしっかりした枠組みを持っているが、正確なデータを使わなければ誤った結論を導く可能性がある。正確なデータを得ることが困難な場合が多いと考えられる。

一方、エントロピーは熱と動力エネルギーを結びつけた熱力学の中で生まれた概念であり、物理学にそれまでなかった新しい見方を与えた。“ある種の方向性を持ったこの概念”は、複雑で不確定要素の多い現象をグローバルに把握するのに役立つと考えられている⁽²⁾。

我々は、地球環境を極力健全に維持する中で生産活動を続ける道を探らなければならない。LCAはそのための有効な指針を与えると期待できるが、同時に、よりグローバルな視点が求められるであろう。エントロピーの概念の適用は、それに有効な示唆を与えられると思われる。

2. エントロピーの概念について

エントロピーは、直接知覚したり計測できないものであり、比較的理解しにくい概念である。そこで、始めにエントロピーについて必要なところを簡単にまとめておこう。

2.1 定 義

エントロピーは、1865年クラウジウスによって提唱された概念である。当時、熱と動力を結びつけた熱力学が発展し、熱力学の中の重要な概念として発見された。

一方、古典統計力学を打ち立てたボルツマンは、クラウジウスの導入したエントロピーに対して原子論の立場から解釈を与え、その概念を拡張した。また、情報量がエントロピー量と数学上同じ形式で与えられることから、情報理論の中で更に拡張されて取り入れられた。

(1) 熱力学におけるエントロピー

周囲と何らかの境界を持つある種の存在(系)を考える。この系は絶対温度 T (摂氏で表わされる温度に273を加えたもの、単位はケルビン:K) である無限の熱容量を持つ他の熱源と接触しており、可逆的に ΔQ の熱が出入りすることができる場合を想定しよう。可逆的であるということは、熱源と接触する系の近傍の温度も T であることを意味する。この場合の熱の出入りに伴う系のエントロピー S の変化 ΔS は、

$$\Delta S = \pm \Delta Q / T \quad \dots\dots\dots (1)$$

と定義される。符号の“+”は系に熱が入った場合、“-”は逆に出た場合に対応する。ここで、一部繰返しになるが、

- 系は安定又は準安定な平衡状態でなければならない。
- 系への熱の出入りは可逆的でなければならない。
- 系と周囲の境界における温度勾配は零(移動が可逆的)でなければならない。

という条件を満たさなければならない。

この定義でエントロピーを具体的にイメージすることはできないが、天下りの熱力学的状態関数であることを記憶願いたい(Q は状態関数ではない)。

(2) 統計力学におけるエントロピー

系において、等しい確率で出現する区別できないミクロな状態の数を W とすると、系のエントロピー S はボルツマンによって次式で与えられる。 k はボルツマン定数である。

$$S = k \ln W \quad \dots\dots\dots (2)$$

ミクロな状態の数というのは、例えば、2枚のコインからなる系を考えたとき、表と裏が等しい確率で出現するとする

と、2枚のコインの表裏で表現される系のミクロな状態の数 W は、表表、表裏、裏表、裏裏の4である。これらは等しい確率で出現するであろうから、この系(コインの裏表)のエントロピーは $k \ln 4$ である。

整とん(頓)された状態と乱雑な状態では、ミクロな状態の数は後者の方が大きいことが直感的に理解できるであろう。したがって、エントロピーは乱雑さの尺度と解釈することもできる。外部から何の作用も受けない系が整頓された秩序状態から乱雑な無秩序状態に移行すると、エントロピーは常に増大する。

(3) 情報理論におけるエントロピー

i 番目の事象が起こる確率を p_i とすると、情報理論におけるエントロピー(ビット)は次式で定義される。

$$H = -\sum p_i \log_2 (1/p_i) \quad \dots\dots\dots (3)$$

情報論におけるエントロピーは、 $p_i \log_2 (1/p_i)$ をすべての事象 i (等しい確率で出現しなくてもよい) の和という定義に拡張されている。先ほどのコインの例で、コインが、中が見えない箱の中に入っているとしよう。ある事象の起こる確率はすべて等しく $1/4$ であるので、この場合の情報のエントロピーは、

$$4 \times (1/4) \times \log_2 4 = 2$$

である。二枚のコインのうち一枚は常に表であるという情報が入ると、可能性は、表表、表裏しかなくなり、エントロピーは1に低下する。すべてが表であれば0である。情報のエントロピーが大きいほどその情報はあいまい(曖昧)であり、得られた情報によるエントロピー変化が大きいほど、その情報量が大きいと理解することができる。

2.2 エントロピーの重要な性質

熱力学におけるエントロピーから、重要な幾つかの性質をまとめておこう。

- (1) 安定又は準安定な平衡状態にある系は、一義的に決まるエントロピーを持つ(状態関数)。
- (2) 系がある平衡状態(A)から他の平衡状態(B)に可逆的に移ったとき、系のエントロピー変化 ΔS は、

$$\Delta S = S_B - S_A = \int_A^B dQ_{\text{rev}}/T \quad \dots\dots\dots (4)$$

である。したがって、 $A \rightarrow B \rightarrow A$ の閉サイクルに沿った積分は零である。

$$\oint dQ_{\text{rev}}/T = 0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

添え字の rev は熱の移動が可逆であることを意味する。

- (3) 系がある平衡状態(A)から他の平衡状態(B)に不可逆的に移ったとき、系のエントロピー変化 ΔS は、

$$\Delta S = S_B - S_A > \int_A^B dQ_{\text{irrev}}/T \quad \dots\dots\dots (6)$$

である。つまり、不可逆過程を含む閉サイクルの積分は常に負になる。

$$\oint dQ/T < 0 \quad \dots\dots\dots (7)$$

孤立系すなわち外部と熱や物質の出入りがなく、平衡状態にある系が可逆的に他の状態に変化したときの系のエントロピーは、変化しないことは定義によって明らかである。しかし、不可逆的に変化した場合は、系のエントロピーは常に増加することを示すことができる。

平衡状態にある系AとBがあり、AからBへ孤立不可逆過程で移り、BからAに等温可逆過程で移る閉サイクルを考える。系AとBはそれぞれ一義的に決まるエントロピー S_A と S_B を持つ(状態関数であるから)。この閉サイクルは不可逆過程を含むので、

$$\oint dQ/T = \int_A^B dQ_{\text{irrev}}/T + \int_B^A dQ_{\text{rev}}/T < 0 \quad \dots\dots\dots (7')$$

であるのは既に述べたとおりである。A \rightarrow B の変化は孤立系での変化であったので、前の積分 $\int_A^B dQ_{\text{irrev}}/T$ は零であり、したがって、B \rightarrow A の可逆過程に対応する第二の積分 $\int_B^A dQ_{\text{rev}}/T$ は負でなければならない。すなわち、 $S_B > S_A$ であることが分かる。

我々が興味を持つ系は非平衡の開放系である。開放系というのは周囲と熱や物質のやりとりを行う系であり、地球や生物、工場等の生産系がそうである。簡単な開放系として図1に示したような系を一つのモデルとして考える⁽³⁾。

ある物体(系)が一定温度の高温熱源(温度 T_H)と低温熱源(温度 T_L)と接しており、物体を通して熱が高温熱源から低温熱源に流れているとする。時間が十分経過した後では、物体内の温度分布はある決まった状態になり、単位時間に物体を流れる熱量 dQ/dt は一定になるであろう。物体は温度分布を持つので非平衡状態にあり、熱が出入りするので開放系である。

熱源と接している物体の部分は熱源の温度に等しいと考えられる。したがって、物体は高温熱源から熱の流れとともに L/T_H のエントロピーを取り入れ、低温熱源に L/T_L のエントロピーを排出している。 L は熱流束 dQ/dt である。すなわち、物体は単位時間当たり差し引き $L(1/T_H - 1/T_L) < 0$ のエントロピーを得た計算になる。ところが、物体は定常状態であり、物体のエントロピーは一定でなければな

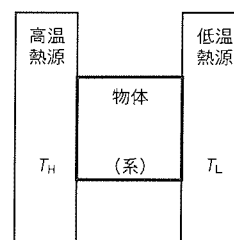


図1. 非平衡開放系モデル1 (熱の移動)

らないので、 $L(1/T_L - 1/T_H) > 0$ のエントロピーが、物体内で定常的に発生していなければならない。

物体は高温の熱源から低いエントロピーの熱を取り入れ、低温の熱源に同量のエネルギーを放出している。物体の持つエネルギーは変化していない。物体が温度分布（非平衡）を維持している本質は、エネルギーそのものでなく、その流れに乗って系内で発生したエントロピーを系外に排出していることであると理解される。

もう一つのモデルとして、図2のような外部と断熱状態にある、体積が $2V$ の密閉容器を考える。初めの状態では体積 V で分割する隔壁があり、一方に n モルの理想気体が充てん（填）されているとする。他方は真空である。ある瞬間に隔壁に孔がつけられたとすると、気体は孔を通して真空であった領域に拡散し、両室で $n/2$ モルになったところで平衡になるであろう。この過程では外部に仕事をしないので、温度は変わらない。

隔壁に孔がつけられる前後での、気体のエントロピーを見る。気体が拡散しきった後の状態から初めの状態に戻すためには、ピストンを使って気体を温度を保って一方に押し戻せばよい。これに必要な仕事 W は、気体が理想気体であるとすると、

$$W = RT \ln(2V/V) \dots\dots\dots (8)$$

である。ここで R は気体定数である。気体を圧縮すると発熱するが、上の過程では温度を保っているので、 $Q = W$ の熱が系外に出ていく。仕事はエントロピーが零のエネルギーであるから、この圧縮過程で容器のエントロピーは差し引き

$$S = Q/T = R \ln(2V/V) > 0 \dots\dots\dots (9)$$

が減少している。気体の拡散はこの逆の過程であるので、気体の拡散に伴い系のエントロピーが増加することが分かる。拡散は不可逆過程であるからである。混合や液体における溶解も拡散現象の一種であるので、混合や溶解によってエントロピーは増大する。

3. 地球環境形成の機構

地球環境問題を考えるためには、地球の自然環境がどのような機構で形成され、維持されているかを知る必要がある。我々が生存する地球表面近傍の温度は、平均すると 15°C であり、生命の存在に適してい

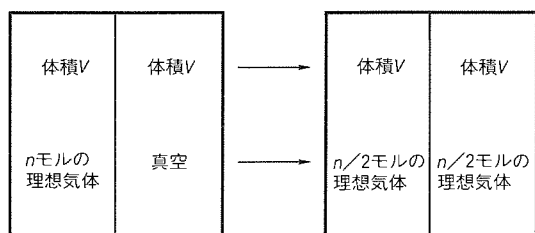


図2. 非平衡開放系モデル2（気体の拡散）

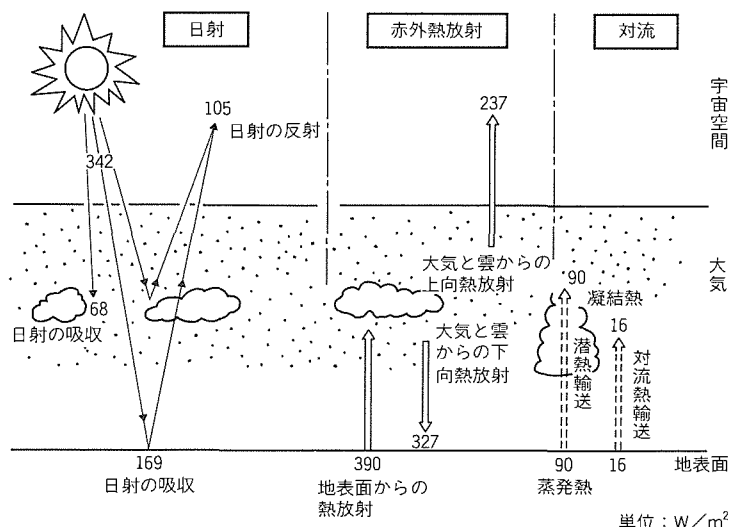
るとともに、水が液体状態で存在することができる。

地球の温度は、太陽からの日射エネルギーと、地球から宇宙に放散される熱（輻射）射のバランスと、水及び大気存在によって決まっている。図3はその地球表面及び上空におけるエネルギーバランスを示したものである⁽⁴⁾。太陽から地球に入射される日射エネルギーは、平均して 342 W/m^2 である。このうち約30%の 105 W/m^2 は雲や地表でそのまま反射されるので、地球が受け取る日射エネルギーはこれらの差の 237 W/m^2 である。このうち大気による吸収が 68 W/m^2 、地表面での吸収が 169 W/m^2 である。

吸収された日射エネルギーは最終的に赤外線に変換され、赤外線の形で宇宙空間に放散される。そのエネルギーは、地表の温度は時間や場所をならしてみれば定常であるとみることができるから、 237 W/m^2 でなければならない。169及び 237 W/m^2 のエネルギーを輻射する黒体の温度は、ステファン・ボルツマンの法則から、それぞれ -39.4°C 及び -18.7°C になる。 -18°C は大気5km程度の所の温度である。 -40°C では多くの生物は生存できない。

一方、地表には水が存在するので、その蒸発により、潜熱で 90 W/m^2 、対流で 16 W/m^2 が大気に輸送される。水の分子量は18であるので水を含んだ空気は水を含まない空気よりも軽く、地表の水を含んだ空気は上空に上昇する（窒素及び酸素の分子量はそれぞれ28及び32である。）。

ところで、温度 15°C に対応する地表からの輻射は、ステファン・ボルツマンの法則によれば、 390 W/m^2 でなければならない。これは地球から最終的に放出されるエネルギー 237 W/m^2 より 153 W/m^2 も大きい。結局、地表におけるエネルギーバランスから、地表は大気から 327 W/m^2 ($390 + 90 + 16 - 169$) のエネルギーを得ているとしなければな



エネルギーの流れを太陽からの光（近赤外光を含む）、地表面及び大気からの赤外線熱放射、地表面-大気間の対流に分け、それぞれを→、⇒、====⇒で表す。

図3. 大気と地表面のエネルギー収支⁽⁴⁾

らない。これは、地表から放射される $10\ \mu\text{m}$ 程度の赤外線を吸収する炭酸ガスや水が大気中に存在することによる温室効果である。水や炭酸ガスの温室効果ガスによって地表温度が温暖な 15°C になっている。

地球は定常状態にあるが、平衡状態ではないことに注意しなければならない。様々な不可逆過程が繰り返されている。生命活動も不可逆過程である。前節で述べたように、不可逆過程は常にエントロピーを発生する。したがって、地球が非平衡状態を保ちつつ定常状態を維持するためには、不可逆過程で発生したエントロピーを地球の系外に排出しなければならない。これには太陽がかかわっている。

太陽は約 $6,000\ \text{K}$ (詳しくは $5,770\ \text{K}$) であり、地球上空の温度は $233\ \text{K}$ (-40°C) である。地球は太陽から低いエントロピーのエネルギーを受け、高いエントロピーの熱を宇宙に放出していることが分かる。これが地球上の様々な活動の原動力になっていると考えることができる⁽¹⁾。

4. 環境問題のエントロピー的考察

以上で見てきたことを踏まえて、環境問題について若干の考察を行う。

(1) エントロピーから見た環境問題

環境問題をエントロピーの観点で見ると、次のようなことがいえる。

環境問題とは、産業活動に伴って排出される物質や熱が地球上の様々な活動に影響するまでになったことによる。

一方、産業や生命活動は、熱力学的な観点に立てば、不可逆過程であることは明らかである。つまり、産業や生命活動はエントロピーを常に発生させる。これらの活動を維持するためには、すなわち定常状態を保つためには、発生したエントロピーを系外に放出しなければならない。

エントロピーはこれまでに見てきたことから分かるように、単独では存在せず熱や物に付着してのみ存在する。エントロピーを放出するためには、低エントロピーの熱や物質を取り入れ、高エントロピーの熱や物質を廃棄する必要がある。

低エントロピーの熱やエネルギーは、高温の熱やエントロピーが零のエネルギーである仕事である。低エントロピーの物質として特に重要なものは水である。蒸発の際に多量のエントロピーを吸収するとともに物質をよく溶かすので、物質を拡散させるための優れた媒体でもある。エントロピーの廃棄は低温の熱の廃棄、すなわち廃熱と、水蒸気や廃水の排出などによって行われる。

以上から、産業や生命活動には廃熱や廃棄物の排出が不可欠であることが分かる。持続的に産業を発展させるためには、環境保全のための技術や活動は、生産活動と少なくとも同等に評価されるべきものである。従来の経済的価値観によるマイナスの技術や活動では決してないと考えなければならない。

(2) 環境汚染とエントロピー

廃熱・廃水や廃棄物は、生産などに伴うエントロピー排出と関連することは既に述べたとおりである。完全に対応するものではないが、少なくとも共通するところがあるであろう。そうであるとするならば、エントロピーの排出で環境問題を考えることにより、環境問題を別の観点で論ずることができると思われる。

エントロピーは熱又は物と付着してのみ存在することは既に述べたとおりである。3章で述べたように、地球は太陽から高温の熱エネルギーを得て、低温の熱エネルギーを宇宙に放出することにより、地球上の様々な活動で発生したエントロピーを排出している。

同じことを我々の活動にも取り入れることができるであろう。エントロピー廃棄の最も望ましい姿は廃熱としての廃棄である。局所的な熱汚染の問題があるが、物の拡散による廃棄よりも“環境にやさしい”といえる。物の拡散による廃棄を極力避け、熱を有効利用して環境に近い温度の熱を廃棄するような技術が環境保全から望ましい。

水は資源の中でも特に重要な物質である。産業や生命活動になくてはならないものであるほか、地球を循環して地球環境形成に決定的な役割を果たしている。水の循環に伴って排出物質が地球上に広く分散されることを考えると、廃水の浄化は環境保全技術の中でも特に重要と考えなければならない。

マクロなエントロピーの概念で考えにくいものは有害物質の排出である。これをどのように取り扱うかは今後の課題である。

(3) 環境保全技術とエントロピー

環境保全のための様々な活動も、当然のことながらエントロピーを発生する。様々な技術をエントロピー発生観点から評価することも、今後必要になるであろう。単にリサイクルすることのみが環境保全に有効と考えるのは一考を要する。

5. む す び

エントロピーの概念を用いて環境問題を考えることを試みた。しかし、環境問題に適用する研究は始まったばかりである。エントロピーの概念はとらえにくく、誤って解釈される場合もあり得る。本論の内容も初期の目的からするとほど遠いものであるが、若干の提案を行った。いろいろご批判をいただければ幸いである。

参 考 文 献

- (1) 永田勝也：eX's Mook 22, 日刊工業新聞社 (1994-6)
- (2) 杉本大一：エントロピー入門, 中公新書 774, 中央公論社 (1985)
- (3) 槌田 敦：資源物理学入門, NHK ブックス 423, 日本放送出版協会 (1985)
- (4) 環境庁「地球温暖化問題研究会」編：地球温暖化を防ぐ, NHK ブックス 599, 日本放送出版協会 (1993)

分散システム構築ソフトウェア

片山隆男* 青木裕司*

1. ま え が き

近年のコンピュータシステムは、オープン化・ダウンサイジング化の進展により、サーバを中心としてエンジニアリングワークステーションやパソコンを多数導入し、ネットワークで接続する分散システムを構築する例が増えている。

分散システムは柔軟性やコスト等の点で有利であると言われているが、分散配置した計算機の管理・運用作業はシステム管理者にとって大きな負担となっている。また、重要な処理やデータが集中する分散システムのサーバにおいては高い信頼性、高い稼働性が求められる。

このような分散システム構築上の問題点を解決し、容易に分散システムの構築をすることを目的に ME ファミリの分散システム構築用ソフトウェア“MELSAMITS”(MELCO M System Administration Tools) シリーズと“Minteglas”(Mitsubishi Integral Autonomous System) シリーズを製品化した。

2. MELSAMITSシリーズ

分散システムの運用においては、ソフトウェア(S/W)管理・障害管理・稼働状況管理・セキュリティ管理など多様な管理機能が必要であり、それらを1か所から集中して操作することが求められる。このような要求にこたえ、今回、S/W管理機能として各マシンへのS/W配布システム、障害管理機能として各マシンのファイルやデータのバックアップシステムを開発した。これらはMELSAMITSシリーズとして体系づけられ、以下の二つの製品で構成される。

- MELSAMIT/RSU (S/W自動配信プログラム)
- MELSAMIT/RFB (リモートファイルバックアップ)

MELSAMITSシリーズがサポートする機種は、当社MEファミリ(エンジニアリングサーバME/S8000シリーズ、エンジニアリングワークステーションME/Rシリーズ、MEシリーズ)及びパソコン“apricot”シリーズ(MELSAMIT/RSUのみ)である。ネットワークプロトコルはTCP/IPを使用している。

2.1 MELSAMIT/RSU

MELSAMIT/RSUは、サーバから

クライアントへのS/Wやデータファイルの配布とインストールを自動的に行う(図1)。

S/Wのインストール作業は従来、各マシンにインストール用の装置を接続し、1台ずつ行わなければならなかった。そのため、分散配置された複数のマシンにインストールするための多大な作業時間の問題、作業時間を要することによる同時性の問題、S/Wバージョンの不統一の問題等があった。MELSAMIT/RSUは、S/Wのインストール作業をサーバから一括集中して実行し、同時にS/Wのバージョン管理を行うことにより、これらの問題を解決する。

以下、特徴的な機能について説明する。

(1) 大規模システムに適した階層構造での配布機能

RSUは、単にサーバからクライアントにS/Wを配布するだけでなく、受け取ったS/Wを更にクライアントに配布する中間サーバとしての機能を持っている。この機能により、配信元となる親サーバから、何台かの中間サーバに配信し、さらに配下のクライアントにS/Wを配信することができる。大規模分散システムでは、このような階層型のネットワーク構成を採用している場合が多く、配信元のサーバやネットワークの負荷を軽減できる。

(2) 指定時刻に配布インストールを行うスケジュール機能

S/Wの配布やインストールはそれぞれ時刻指定が可能であり、大規模な入替えの場合、あらかじめ夜間等の比較的負荷の低い時間帯に配布を実施し、特定日時に一斉にインストールを実行して利用開始できるようにスケジューリングすることが可能である。

(3) パソコン/クライアントへの配布機能

クライアントとして、UNIX^(注1)マシンだけでなく、パソコンをサポートしている。パソコンのオペレーティングシステム(OS)であるMS-DOS^(注2)やWindows^(注2)はシングル

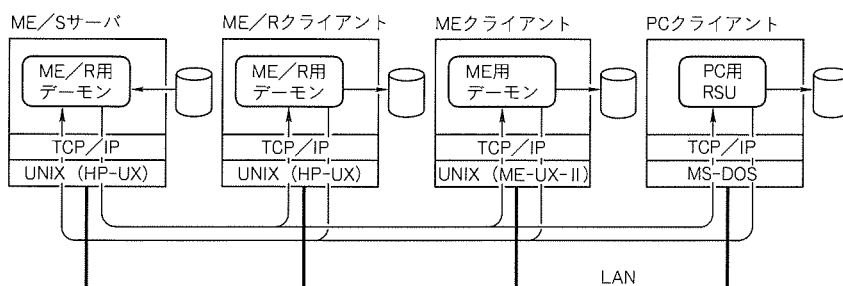


図1. MELSAMIT/RSUの動作概要

タスクであるため、UNIX と異なり、業務中に配信することはできない。そのため、パソコンへの配布はサーバにスプールし、パソコンからの要求によって配信を実行する方式を採っている。

(4) 配布 S/W のバージョン管理機能

配布 S/W やクライアントの管理機能があり、各クライアントに配布した S/W のバージョンをデータベース化し、システム内の S/W 情報を集中管理できる。

(5) GUI のサポート

Motif ベースのグラフィカルユーザインタフェース (GUI) を採用しており、マウス操作によって容易に配布操作を設定・起動することが可能である。

(6) セキュリティチェック機能

配信対象となる S/W やクライアント、実行者等をあらかじめ登録しておき、実行時にチェックし、登録されている場合だけ配信を実行するセキュリティ機能によって、不正な配信を排除する。

2.2 MELSAMIT/RFB

MELSAMIT/RFB は、LAN 接続された UNIX マシン上のファイルを集中してバックアップする。

RFB は、ネットワーク上の任意の管理マシンからすべての UNIX マシンのファイルバックアップを一括して集中管理/実行する。管理マシン、バックアップ対象マシン、バックアップ媒体接続マシンはそれぞれ異なってもよい。

RFB はバックアップ管理コマンド、媒体入出力を行う媒体エージェント、ディスク入出力を行うディスクエージェントで構成されている (図 2)。

以下、特徴的な機能について説明する。

(1) フル/インクリメンタルバックアップ機能

RFB は 2 種類のバックアップ形式をサポートする (図 3)。すべてのファイルをバックアップするフルバックアップと、フルバックアップ後に更新されたファイルだけをバックアップするインクリメンタルバックアップで、この 2 種類を組み合わせることにより、効率的なバックアップが可能となる。

例えば、マシン利用者がいない週末に時間の掛かるフルバックアップを行い、翌週は毎日インクリメンタルバックアップを行う。インクリメンタルバックアップでは、更新されたファイルだけが対象となるので、短時間でバックアップが終

(注 1) “UNIX” は、X/Open Company Ltd. がライセンスしている米国及び他の国における登録商標である。

(注 2) “MS-DOS” “Windows” は、米国 Microsoft Corp. の商標である。

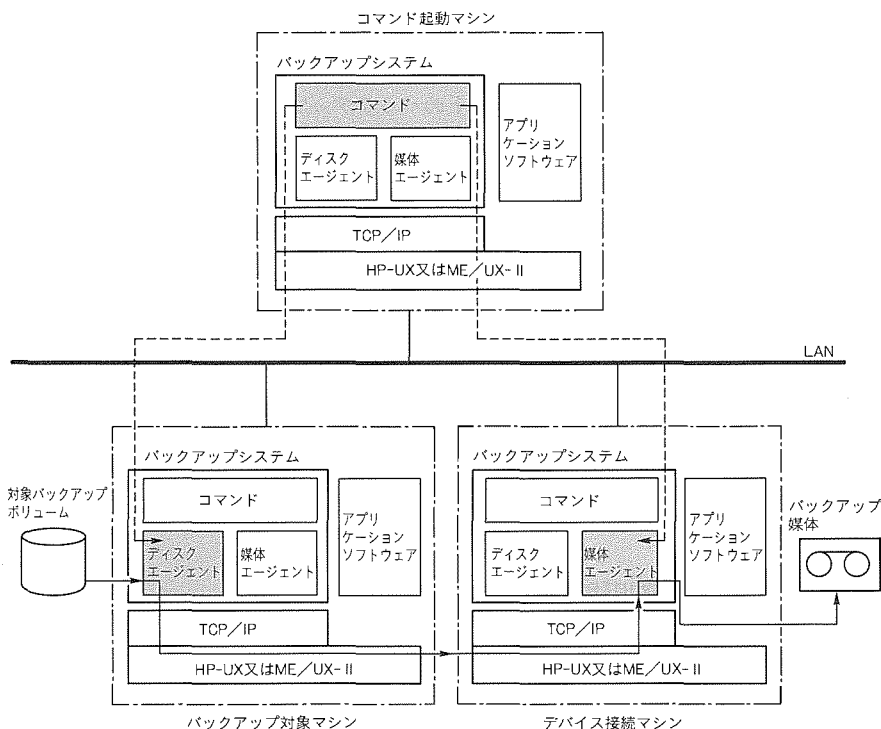


図 2. MELSAMIT/RFB のソフトウェア構成

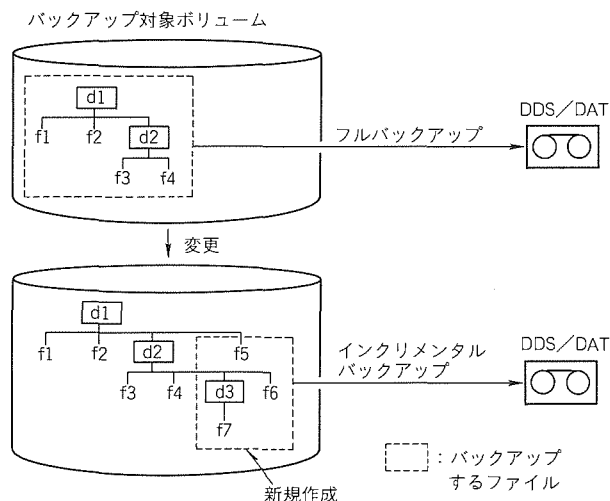


図 3. フルバックアップ、インクリメンタルバックアップの例

了する。ファイル消失、破壊時も、更新されたファイルはインクリメンタルバックアップされている可能性が高いので、すぐにリストアが可能である。

(2) ネットワーク経由のバックアップ継続機能

バックアップ媒体の容量以上のデータをバックアップする場合、従来のバックアップシステムでは媒体の終端に達した段階で媒体を手手で交換する必要があるが、夜間実行等オペレータ不在時にはバックアップが中断してしまう問題があった。

この問題の解決策として、複数のデバイスを接続する方法も考えられるが、一般にネットワーク上の個々のマシンにはバックアップデバイスが接続されていることが多い。それらを統合して使用できれば、特別にデバイスを増設することな

く大容量のバックアップが可能となる。RFBではネットワーク経由で他のマシンのデバイスにバックアップを継続する機能を提供しているので、分散システム上のバックアップデバイスを効率良く利用できる(図4)。

この機能を実現するために、バックアップ管理コマンドは、動作中の媒体エージェントから情報を受け取り、バックアップを継続する他のマシンでその情報に基づいて媒体エージェントを起動した後、媒体への書き込みを継続できるようにする。このとき、情報と一緒に媒体に書き込むことができなかったデータも同時に渡し、途中、データのバックアップ引継ぎを行う。一方、ディスクエージェントはデータの送り先を新たに起動された媒体エージェントに切り換え、バックアップを継続する。

3. Minteglasシリーズ

Minteglasシリーズは、ME/S8000シリーズをサーバ、ME/Rシリーズをクライアントとする、高信頼分散システム構築をサポートするクライアント・サーバシステム運転管理製品群の名称であり、

- 単一サーバの運転管理用の Mintegla/SMS
- LAN の二重化をサポートする DualMintegla/LAN
- サーバ二重化の構築支援を行う DualMintegla/MSO
- 二重化したクライアント・サーバシステムの運転管理を行う DualMintegla/SMS

の4つの製品からなる(図5)。

3.1 Mintegla/SMS(運転管理システム)

サーバは、毎日定期的な業務を実行するシステムが多い。また、運転の履歴や、障害や異常発生時は原因究明等のために状況の保存などが重要となる。Mintegla/SMSは、このようなクライアント・サーバシステムにおけるサーバでのシステムの運転管理機能を提供する。

(1) システム業務のスケジュール運転

1日の業務スケジュールの記述に従い、業務アプリケーションの起動/終了を行う。運転パターンや業務内容の異なる業務スケジュールを複数設定でき、多様な運転を行うことができる。

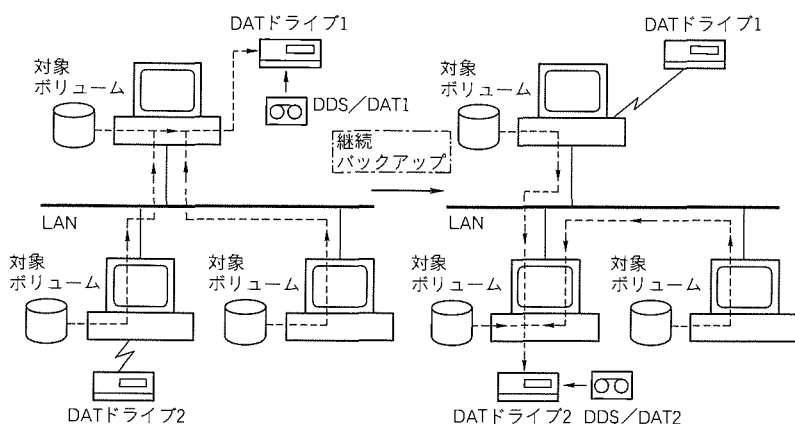
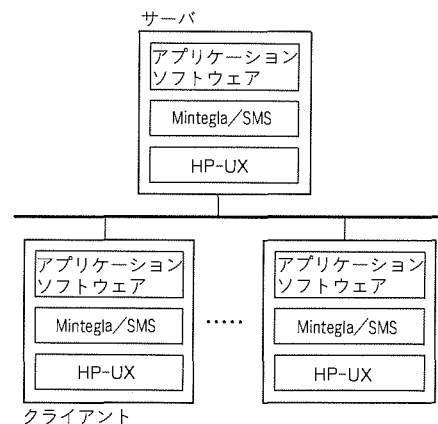
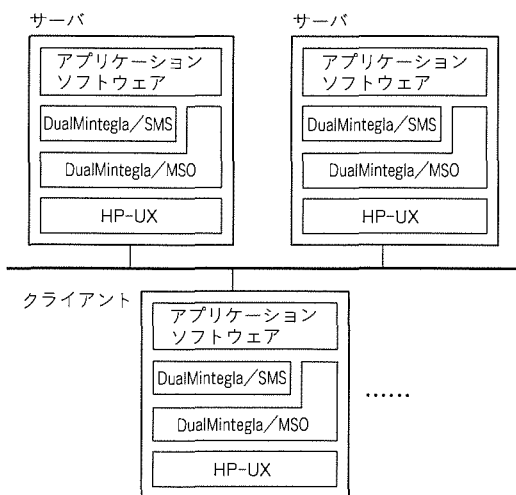


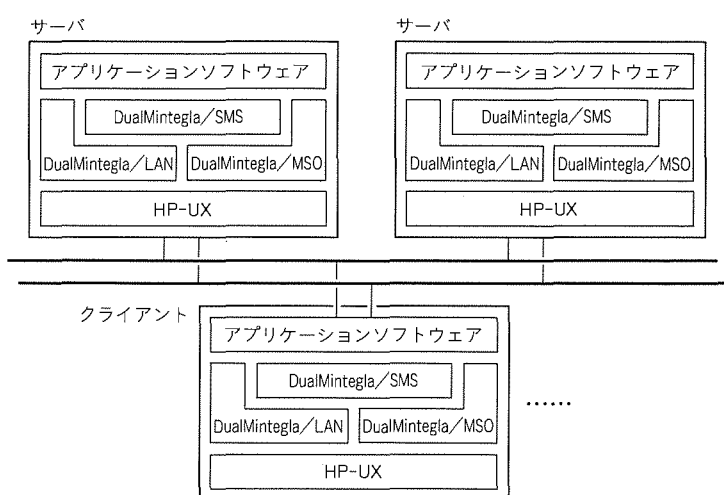
図4. 他マシンのデバイスでの継続バックアップ



(a) 単一サーバの場合



(b) 二重系サーバの場合



(c) LAN二重化の二重系サーバの場合

図5. Minteglasシリーズ

(2) 業務実行状況の監視

業務を監視し、異常があった場合の対応処理を実行する。また、その後の業務を続行するか、中止するかを制御する。

(3) ログ管理

Mintegla/SMS 自身のログとアプリケーションソフトウェアのログを分離して管理する。メモリをバッファとして使用し、高速に出力する。また、ログファイルの個数とサイズ指定をしサイクリックに使用することにより、ディスクフルの発生を防止している。さらに、サーバでシステム全体状況を把握できるように、クライアントの重要ログはサーバにも収集して記録する。

(4) システム運転履歴

Mintegla/SMS が管理している業務 (アプリケーションソフトウェア) (図 6) の運転履歴として、起動/終了ログを残している。

履歴の出力は、起動・終了時、及び異常終了時に行う。

3.2 DualMintegla/LAN(二重化LAN)

DualMintegla/LAN は、LAN の二重化をサポートするソフトウェアである。定期的にハートビートメッセージを送受し、メッセージが途切れたときに LAN の異常と判断して自動的に LAN を切り換える。アプリケーションソフトウェアは LAN の故障を意識することなく、通信を実行/継続することができる。

3.3 DualMintegla/MSO

(二重系サポートソフトウェア)

DualMintegla/MSO はサーバの二重化をサポートするソフトウェアであり、二重化に必要な次の基本機能を提供している。

(1) 状態監視機能

サーバ相互に異常を監視し、異常発生を検出/通知する。

(2) サーバ切換え支援機能

回復不能な障害が発生した場合に、他系の強制イニシャ

イズを行う。

(3) 排他制御機能

サーバ間の共用資源管理に必要な機能を提供する。

(4) サーバ間の時刻合わせ機能

サーバ間の時刻を合わせる。

ユーザはこれらの機能を使用して、サーバの二重化対応アプリケーションソフトウェアを作成できる。

3.4 DualMintegla/SMS(二重系運転管理システム)

DualMintegla/SMS は、サーバ二重化に対応した運転管理システムである。サーバ二重化の運転形態として、ホットスタンバイ型とロードシェア型を対象とする。Mintegla/SMS で提供している機能に加えて、サーバの二重化構成を制御する機能を提供している。

次に示す(1)~(4)の機能によってアプリケーションソフトウェアはサーバの二重化に対応しており、サーバがダウンしたときに、そのサーバで実行していた業務をもう一方のサーバで再開することができる。すなわち、アプリケーションソフトウェアでの特別な作り込みを行うことなく、クライアント・サーバシステムのサーバを二重化でき、システムの信頼性を向上することができる。

(1) サーバダウン時の業務シフト

業務を最初に実行するサーバを指定する。サーバが停止した場合、業務を引き継ぐためもう一方で該当業務を起動する。

(2) 業務の前処理/後処理の起動

サーバがダウンした場合に、他方のサーバでその業務を再開するための復旧処理 (前処理) 及びサーバ停止が前もって分かっている場合、業務を他方のサーバで起動するための後処理を実行する。

(3) 時刻又はチェックポイントによるリカバリ

業務シフト後に、その業務の再開をシフトした時刻又はシフト前に行った最後のチェックポイントの次から行う。

(4) クライアントプロセスに対する通知

サーバ上の業務がシフトしたことを、クライアントのプロセスに通知する。

図 7 を例にサーバが停止 (ダウン) したときの業務の代替サーバへの業務シフトメカニズムについて述べる。ここで業務 A は DualMintegla/SMS の運転スケジュール管理 (以下 “sched” という) が管理しており、sched は業務 A の運転情報 (動作状況) をサーバと代替サーバそれぞれに記録している。sched は、サーバが停止したときに代替サーバで起動

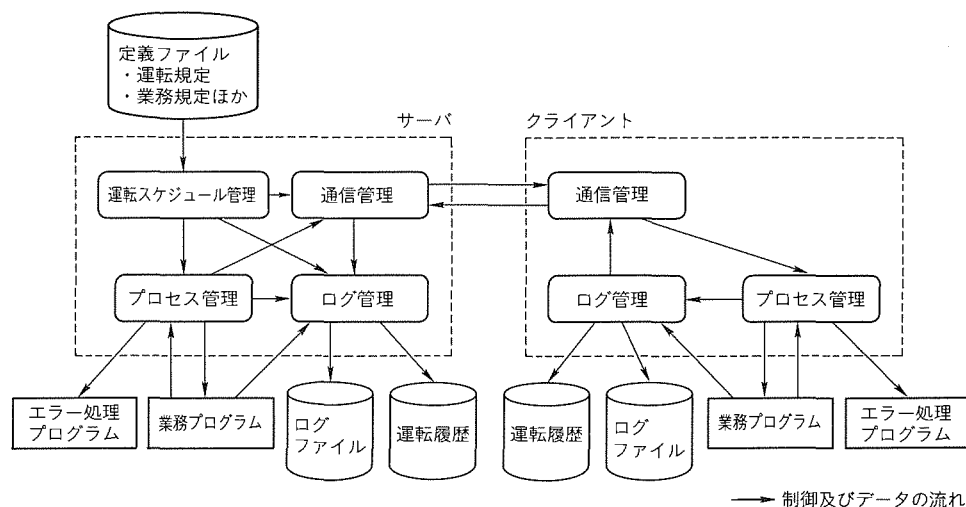


図 6. Mintegla/SMS のソフトウェア構成

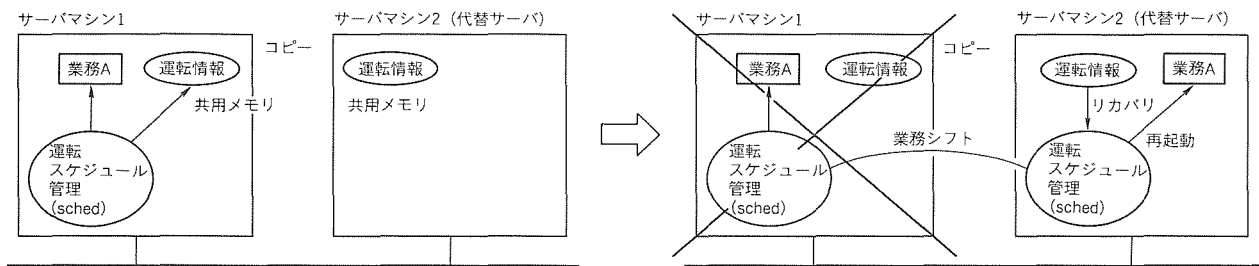


図7. 代替サーバへの業務シフト

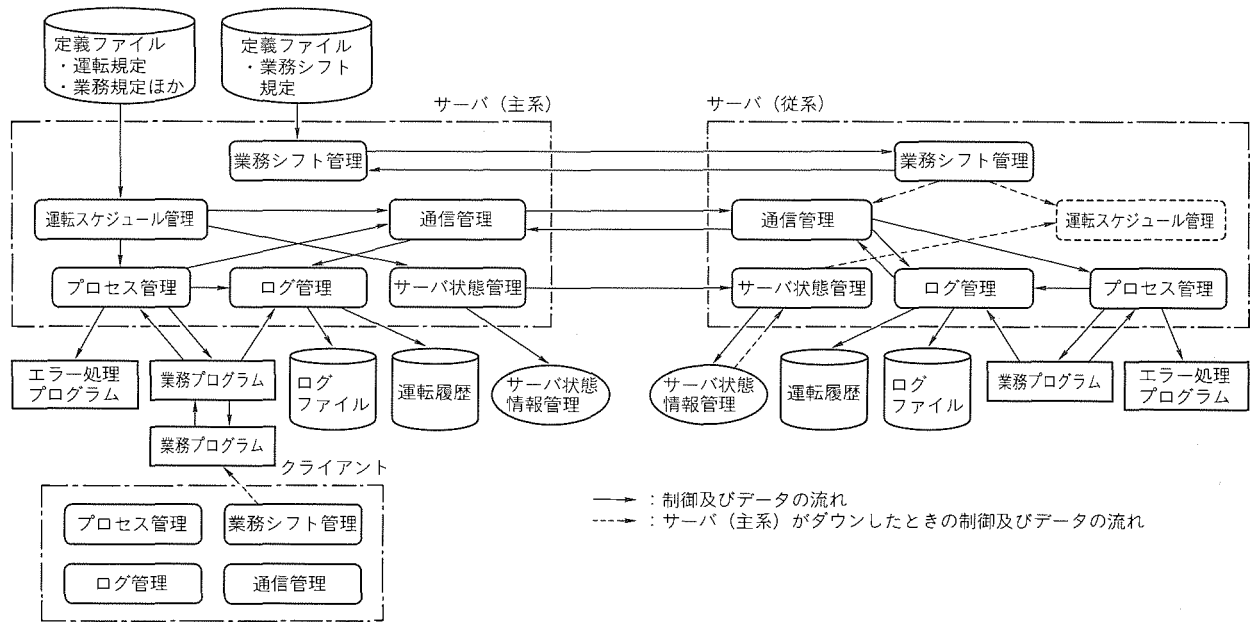


図8. DualMintega/SMSのソフトウェア構成

されるように定義している。この状態でサーバが停止すると、代替サーバの業務シフト管理がサーバの停止を検知し、定義に従い sched を代替サーバで再起動する。代替サーバで起動した sched は、サーバ停止時の運転情報を基に業務Aを再起動する。

DualMintega/SMS においては、サーバの二重化制御を次のように実現している (図8)。

- サーバのダウンは、両サーバで動作している業務シフト管理がハートビート (LAN を使用して定期的に監視する。) 機能によって検知する。
- 二重系システムの管理は業務ごとに分割して管理する。
- スケジュール管理も、業務の一つとして管理することにより、ダウンしたサーバで実行されていたスケジュールの引継ぎを行っている。
- 業務プロセスの運転状態は、サーバ状態管理が両サーバの共用メモリを用いて、両サーバが同時性を持って各々保持する。
- サーバダウン時は、もう一方のサーバの業務シフト管理が通信管理に対してサーバダウンを通知する。通信管理はスレーブからマスタになるとともに、他の管理に対してもマスタになるよう通知する。次に業務シフト管理が運転

スケジュール管理を起動し、それがサーバ状態管理経由でサーバ状態情報によって業務を再開する。業務再開時に業務の前処理が定義されていれば起動する。

- 通常、業務がスケジュール運転されている場合は再開された時刻以降のスケジュールを引き継ぎ、業務を起動する。しかしながら、ダウン検知から業務再開までに時間が掛かった場合に、その間に実行されるべき処理が実行されないケースが発生する。そこで業務を再開するポイントを決定するために、業務内にチェックポイントを設定できる。その業務を再開するときは、運転スケジュール管理によって最後に確認したチェックポイントを受け取り、その次の処理から再開することができる。
- クライアントの業務シフト管理は、ダウンしたサーバと通信していたクライアントの業務に対して通知を行う。

4. む す び

今回は、分散システムの運転、管理を支援するソフトウェアについて報告した。今後は更に構成管理、稼働状況管理、セキュリティ管理などの分散システムの構築を支援するソフトウェア群を拡充していく予定である。

ハイパページモード(EDO)機能付き 第四世代バイト／ワードワイド4MDRAM

坂本 渉* 富上健司* 下田正喜* 豆谷智治* 本並 薫*

1. ま え が き

ダイナミックランダムアクセスメモリ(以下“DRAM”という。)は、メインフレームからプリンタ等周辺機器まで、多くの情報処理装置に幅広く使われており、現在の高度情報化社会の中でも最も重要なキーデバイスの一つである。

近年、CPUの外部クロックは33MHz(サイクルタイム30ns)～50MHz(サイクルタイム20ns)と高速化され、さらに、そのバス幅も64ビット幅に達している。このため、DRAMに対する要求も、より高速の多ビット品へと移りつつある。また、グラフィック等のアプリケーションでは、バッファメモリとして高速な多ビット構成が要求されている。しかし、システムクロックが高速化すると、タイミング余裕が小さくなり、システム設計を行う上で問題となりつつあり、このためシステム構築が容易にできるデバイスが必要になる。

これらの市場要求にこたえるため、現在量産中の第二世代バイト／ワードワイド4MビットDRAM⁽¹⁾(以下“4MDRAM”という。)に対し、より高性能・高機能を目指した第四世代バイト／ワードワイド4MDRAMの開発を完了したので、その技術内容について報告する。

2. 第四世代4MDRAMの設計

2.1 設計のねらい

サイクル時間を短縮し、システム設計を容易にする方策と

して、ハイパページモード(Extended Data Output: EDO)を組み込むとともに、高速化による消費電流を抑えるため電源電圧降圧回路を用い、内部電源電圧を3.3Vに設定した。

2.1.1 ハイパページモード(EDO)

図1に、ハイパページモード(EDO)と高速ページモードでの、リードサイクル時の出力波形の違いを示す。図に示すように、高速ページモードでは、前サイクルの出力データと入力データがデータバス上で衝突するのを防ぐため、 $\overline{\text{CAS}}$ 信号がリセットされると、出力がリセットされるようにしていた。そのため、現状最も高速な $t_{\text{RAC}} = 50\text{ns}$ 品でも、 $\overline{\text{CAS}}$ プリチャージアクセス時間(t_{CPA})は30nsであり、出力データ維持時間を5nsとすると、ミニマムサイクルは35ns必要となる。すなわち、アクセス時間が決まると、高速ページモードでのサイクル時間は出力データ維持時間によって決定されている。

ハイパページモード(EDO)では、高速ページモードと異なり、 $\overline{\text{CAS}}$ 信号がリセットされても出力データがリセットされない。このため、 $\overline{\text{CAS}}$ プリチャージ時間が出力データ維持時間に加算され、実効的に出力データ維持時間を長くすることができる。逆に、出力データ維持時間を同一とすると、ハイパページモード(EDO)においては、高速ページモードの場合よりも最小サイクル時間を短縮することができる。これらの関係を表1に示す。表に示すように $\overline{\text{RAS}}$ アクセス時

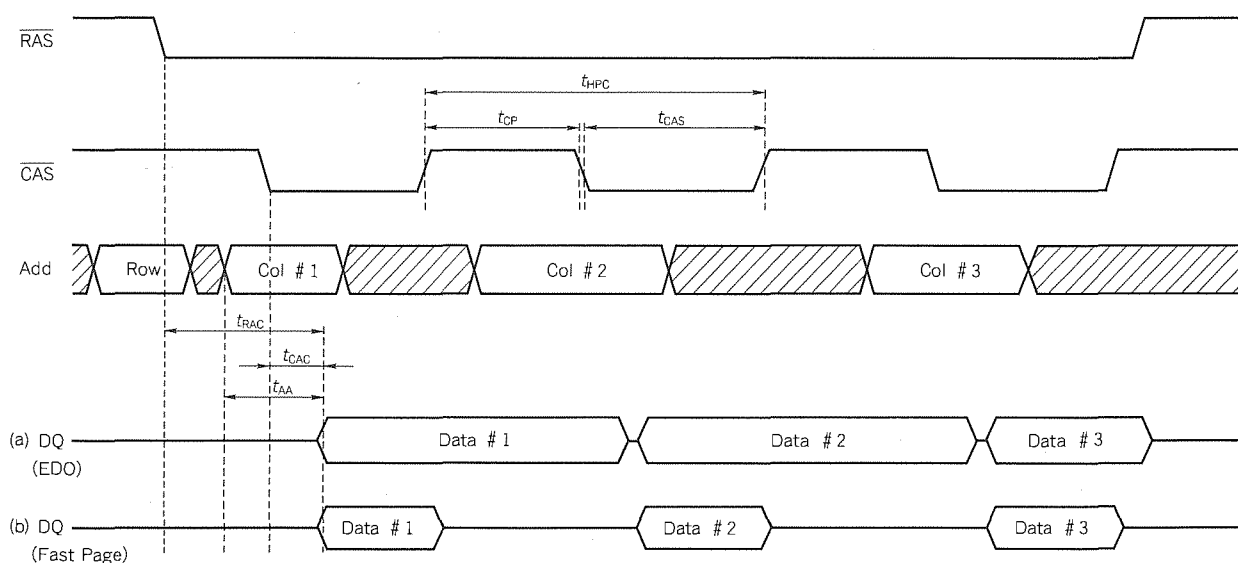


図1. ハイパページモード(EDO)の読出し動作

間50ns品では、ハイパページモード(EDO)でサイクル時間20ns、高速ページモードで35nsと大きな差がある。

図2に、高速ページモードとハイパページモード(EDO)における、 $\overline{\text{RAS}}$ アクセス時間50nsの場合の最小サイクルでの動作タイミングを示す。サイクル時間は表1のとおりであり、どちらの場合にもアクセス時間は $\overline{\text{CAS}}$ プリチャージアクセス時間(t_{CPA})によって決定される。

2.1.2 ハイパページモード(EDO)による システム設計の容易化

表1に示すように、高速ページモードでは、出力データ維持時間は高速品ほど短くなり、高速品を使ったシステム設計を難しくしている。表2に、高速ページモードとハイパペー

ジモード(EDO)の、同一サイクル時間での出力データ維持時間を示す。表に示すように、 $\overline{\text{RAS}}$ アクセス時間50nsの場合の高速ページモードの最小サイクル時間であるサイクル時間35nsでの出力データ維持時間は、高速ページモードで5ns、ハイパページモード(EDO)では27nsと大きな差があり、システムを設計する上で高速ページモードに比べてハイパページモード(EDO)では余裕がでる。

2.1.3 リード/ライト混在動作

図3にハイパページモード(EDO)におけるリード/ライト混在動作時の動作タイミングを示す。リードサイクル後にライトサイクルを行う場合、高速ページモードでは $\overline{\text{CAS}}$ 信号をいったんリセットすることで出力データと入力データと

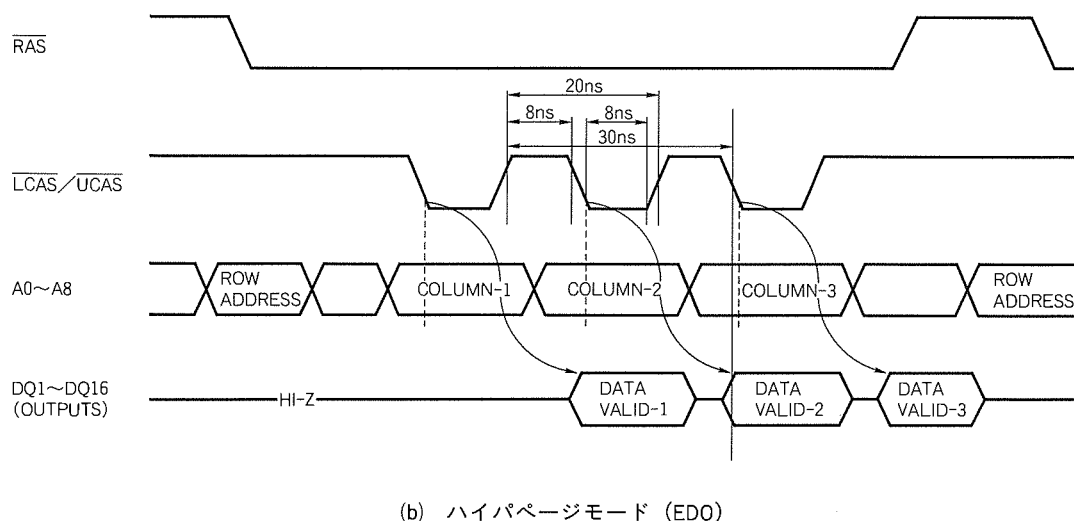
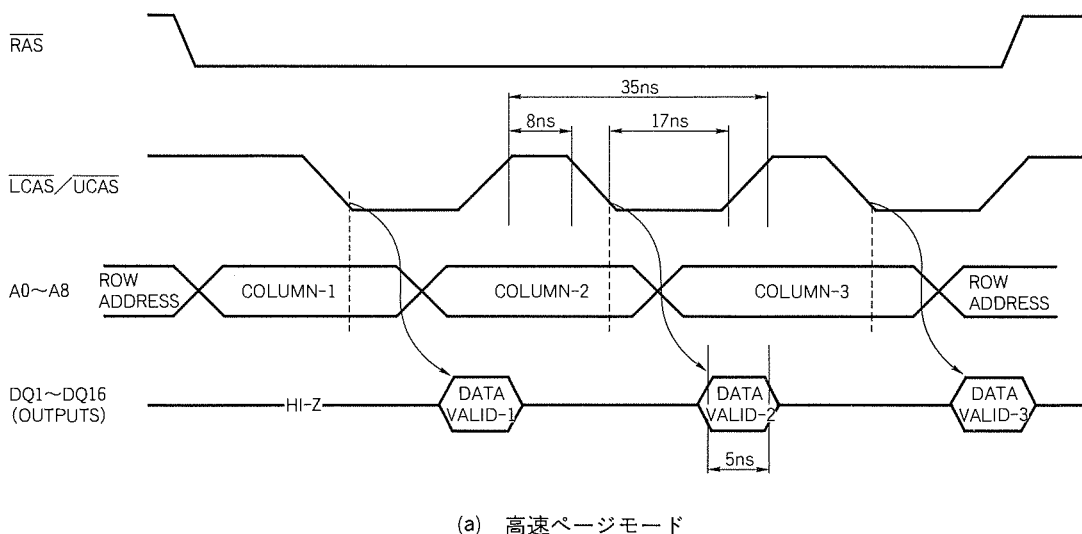


図2. 最小サイクル動作タイミング ($\overline{\text{RAS}}$ アクセス時間50ns)

表1. サイクル時間, 出力データ維持時間比較

		t_{RAC}		
		50ns	60ns	70ns
サイクル時間 (ns)	高速ページ	35	40	45
	ハイパページ	20	25	30
出力データ維持時間 (ns)	高速ページ	5	5	5
	ハイパページ	5	7	10

表2. 同一サイクル時間での出力データ維持時間
($t_{\text{RAC}}=50\text{ns}$)

サイクル時間	20ns	35ns	40ns
高速ページ 出力データ維持時間 (ns)	—	5	10
ハイパページ 出力データ維持時間 (ns)	5	27	32

の衝突を防止していたが、ハイパページモード (EDO) では読出しデータが次のサイクルまで続くため、リードサイクル後の書き込みをすぐに行うことができない。データバスをハイインピーダンス状態に戻すためには、 $\overline{\text{CAS}}$ 信号のリセット期間中に $\overline{\text{WE}}$ 信号をアクティブにする。

以上のように、ハイパページモード (EDO) では、リード／ライト混在動作時には、ミニマムサイクルで動作させることができない。したがって、ハイパページモード (EDO) は、グラフィックスやプリンタのバッファメモリのように、リードサイクル又はライトサイクルが連続するようなシステムに、より適しているといえる。

2.2 サイクル短縮化技術

ハイパページモード (EDO) の採用によって基本的なサイクル時間短縮化の問題点を解決したが、更にサイクル時間の短縮化を行うため回路動作の高速化を図った。

2.2.1 内部信号の高速化

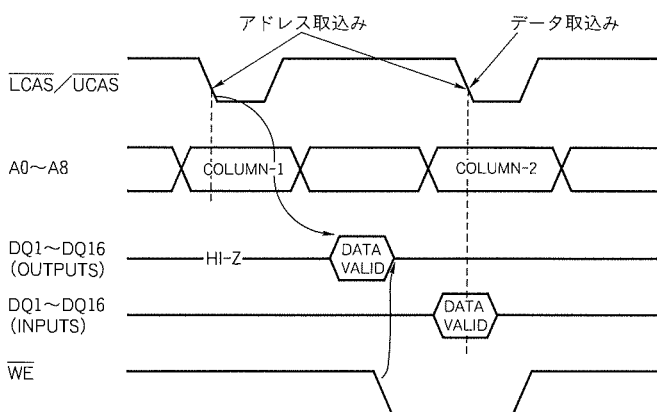


図 3. ハイパページモード (EDO) におけるリード／ライト混在動作

内部信号の高速化を図るために、チップサイズの縮小化を行い、現行のバイト／ワードワイド 4MDRAM の約 58% のチップサイズを実現した。さらに、信号配線の容量を低減するため、信号配線領域と回路領域を分離し、アクセス時間を決定する信号配線に対しては、配線長が最短になるように配置した。これらの対策により、内部信号の伝達時間は現行品の約 70% にまで低減された。

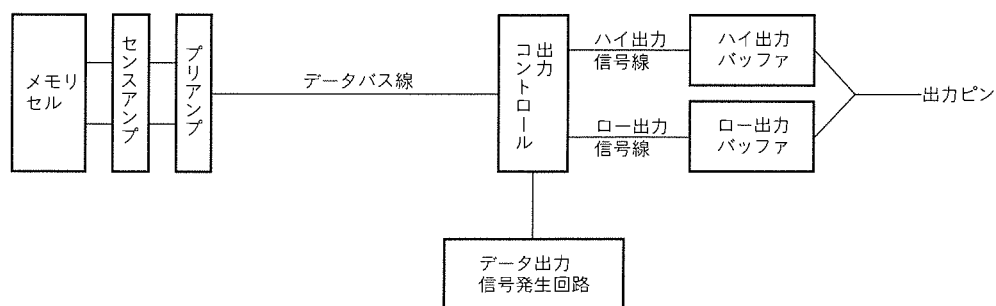
DRAM チップで、配線の伝達時間が最も顕著に現れるのはデータバスである。従来の内部データバス構成では、転送データとデータ出力信号とのタイミングを合わせる必要があったため、タイミングに余裕を持たせて出力していた。今回はこのタイミング合わせを不要にして、アクセス時間を高速化するための、相補データバス構成を採用した⁽²⁾。

図 4 に、従来のデータバス構成と相補データバス構成の概念図を示す。図に示すように、従来のデータバス構成では、1 本のデータバス線でハイ出力とロー出力の認識を行っていたため、データバス線上のデータが真の出力データであるかどうか判定できなかった。そのため、データバス線駆動後、ある一定時間が経過してからデータ出力信号を発生する必要があった。

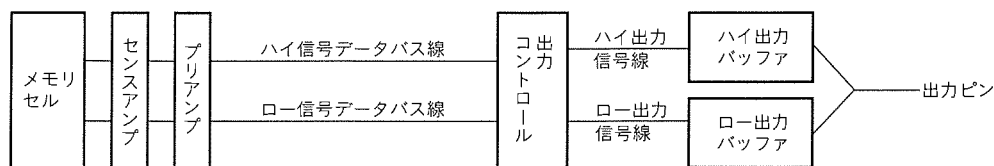
今回採用した相補データバス構成は、データバス線が 2 本で構成され、それぞれのデータバス線がハイ出力、ロー出力に対応している。そのため、実際の出力データであることがデータバス線のみで認識でき、従来必要であったデータ出力信号によるタイミング調整が必要なくなり、約 2 ns のアクセス時間の高速化を実現した。

2.2.2 高速化への問題点と対策

消費電流はサイクル時間に反比例して増大するため、システムクロック 50 MHz に対応したデバイスを作る上で大き



(a) 従来のデータバス構成



(b) 相補データバス構成

図 4. データバス構成の概念図

な問題となる。第四世代4MDRAMでは内部降圧を行うことで電流を抑え、さらに、ビット線容量の低減を図って消費電流の低減を実現した。

また、高速動作によって発生するノイズの影響を小さくするための回路の工夫を行った。

2.2.3 内部降圧回路の採用

ワードワイド DRAM では出力ピン数が多く、また、512 リフレッシュ品では同時に動作するメモリセルブロックが 1K リフレッシュ品に比べて大きい消費電流が大きくなる。今回はさらに、ハイパページモード (EDO) によってシステムクロック 50 MHz に対応して動作するため、従来のアーキテクチャでは消費電流が過大になることが予想された。

動作電圧を下げることで、トランジスタ、信号配線、ビット線の充放電電流を、動作電圧に比例して下げることができる。今回は、外部電源電圧 5V を電源電圧降圧回路を用いて内部電源電圧を 3.3V に降圧し、動作電流を低減した。

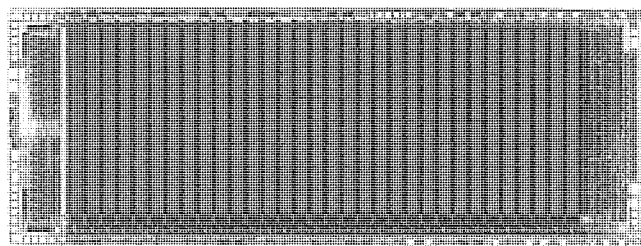


図 5. 第四世代4MDRAMのチップ写真

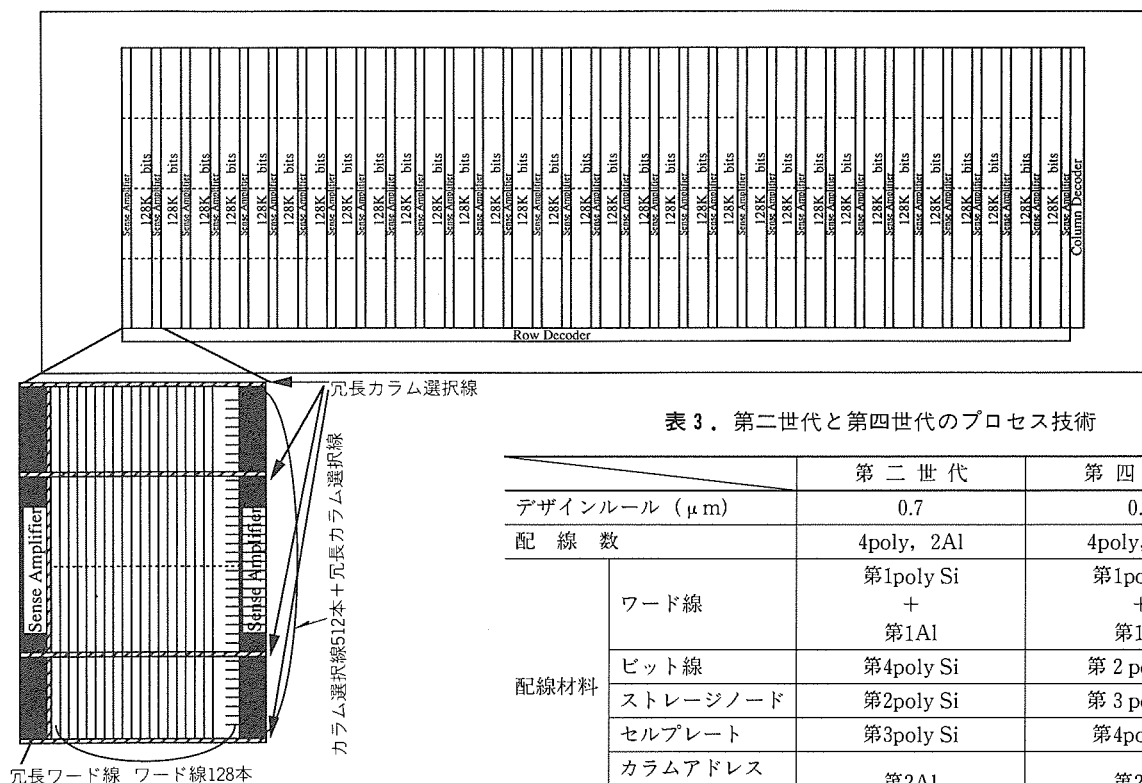


図 6. 第四世代4MDRAMのブロック図

3. チップ構成

第四世代4Mビット バイト/ワードワイド DRAM のチップ写真を図5に示す。また、そのブロック図を図6に示す。メモリセルアレーは128K ビットのサブアレー 32個で構成されている。

同一チップで、バイトワイド/ワードワイド、5V/3.3V、512リフレッシュ/1Kリフレッシュ、2CAS1WE/1CAS2WE、高速ページモード/ハイパページモード (EDO) 等の選択が行え、生産性を向上させた。

4. プロセス技術

第四世代4MDRAMでは、0.6 μm プロセスを採用することによって高速化を図った。表3に第二世代及び第四世代バイト/ワードワイド4MDRAMのプロセス技術を示す。メモリセルは、4M及び16MDRAMで実績のあるスタックドキャパシタを採用した。

5. 第四世代4MDRAMの電気的特性

図7に周囲温度 80°C における $\overline{\text{RAS}}$ アクセス時間の電源電圧依存性を示す。また図8にハイパページモード (EDO) の出力波形を示す。 $\overline{\text{RAS}}$ アクセス時間は $V_{\text{cc}} = 4.5\text{V}$ のとき 50 ns であり、60 ns 品の規格に対して十分な特性を持っている。表4に主な電気的仕様と機能をまとめた。

表 3. 第二世代と第四世代のプロセス技術

		第二世代	第四世代
デザインルール (μm)		0.7	0.6
配線数		4poly, 2Al	4poly, 2Al
配線材料	ワード線	第1poly Si + 第1Al	第1poly Si + 第1Al
	ビット線	第4poly Si	第2poly Si
	ストレージノード	第2poly Si	第3poly Si
	セルプレート	第3poly Si	第4poly Si
	カラムアドレス選択線	第2Al	第2Al
メモリセル		スタックドキャパシタ	スタックドキャパシタ

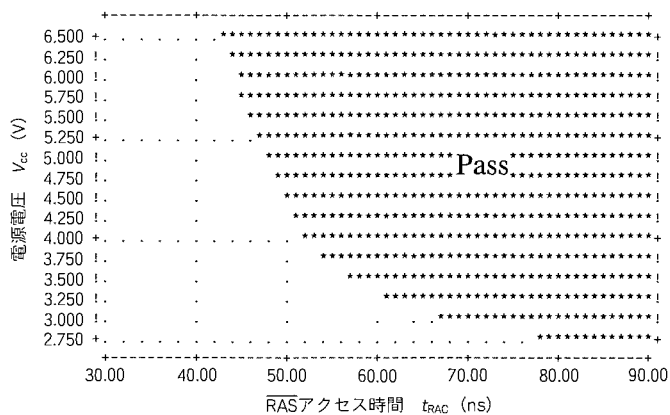


図 7. $\overline{\text{RAS}}$ アクセス時間の電源電圧依存性

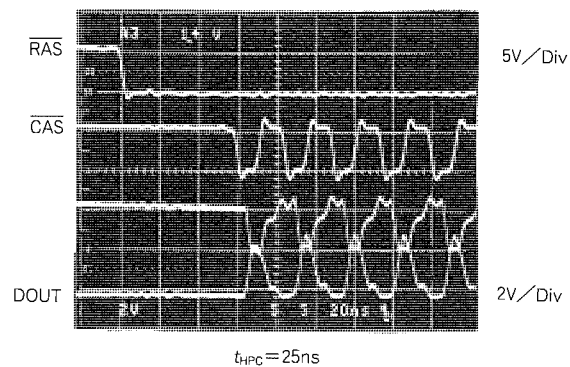


図 8. ハイパページモード (EDO) 出力波形

表 4. 第四世代 4MDRAM の主な電気的仕様と機能

項 目			M5M44800C	M5M44260C	M5M44265C
ワード構成			512K×8	256K×16	256K×16
電 源 電 圧 V_{cc} (V)			5.0±0.5	5.0±0.5	5.0±0.5
アクセス 時間	RASアクセス時間 (最大)		t_{RAC} (ns)	50/60/70	50/60/70
	CASアクセス時間 (最大)		t_{CAC} (ns)	13/15/20	13/15/20
	カラムアドレスアクセス時間 (最大)		t_{AA} (ns)	25/30/35	25/30/35
サイクル 時間	リードサイクル (最小)		t_{RC} (ns)	90/110/130	90/110/130
	高速ページモード (最小)		t_{PC} (ns)	35/40/45	—
	ハイパページモード (最小)		t_{HPC} (ns)	—	20/25/30
V_{cc} 平均 電源電流	動作時 (最大)		I_{cc1} (mA)	90/75/65	125/110/95
	待機時	CMOS入力レベル (最大) $I_{cc2(MOS)}$ (mA)	1	1	1
		TTL入力レベル (最大) $I_{cc2(TTL)}$ (mA)	2	2	2
	セルフリフレッシュ時		I_{cc9} (μA)	150	150
リフレッシュサイクル			1,024サイクル/16.4ms	512サイクル/16.4ms	512サイクル/16.4ms
機 能			高速ページモード セルフリフレッシュ (-sのみ)	高速ページモード セルフリフレッシュ (-sのみ) 2CAS/1WEバイト コントロール	ハイパページモード セルフリフレッシュ (-sのみ) 2CAS/1WEバイト コントロール
パッケージ			400ミルTSOP 400ミルSOJ	400ミルTSOP 400ミルSOJ	400ミルTSOP 400ミルSOJ

6. む す び

サイクル時間の短縮, 多ビット化, 低消費電力化といった市場要求にこたえるため, ハイパページモード (EDO) を搭載した第四世代バイト/ワードワイド 4MDRAM を開発した。

今回開発した 4MDRAM は, 高度情報化社会のキーデバイスとしてその要求に十分こたえ得る製品であると確信している。

参 考 文 献

- (1) 長瀬功一, 源城英毅, 豊本英晴: 4M ビットバイト/ワードワイド DRAM, 三菱電機技報, 66, No.2, 165 ~ 170 (1992)
- (2) Yamauchi, T., Tanaka, K., Furutani, K., Morooka, Y., Miyamoto, H., Ozaki, H.: Fully Self-Timing Data-Bus Architecture for 64-Mb DRAMs, IEICE Transactions on Electronics (to be published)

32Kワード×32ビット シンクロナス バーストSRAM

大林茂樹* 小杉龍一* 佐藤広利** 近藤 攝* 千田 稔*

1. ま え が き

近年の電子機器は、半導体製品の高集積化によって大幅な高性能化・小型化を達成してきた。特にパーソナルコンピュータ(PC)は、CPUとメモリ製品の進化とともに高性能化が著しい。このため、32ビットCPU搭載のシステムは、CPUとメインメモリ間に高速でデータのやり取りを行うキャッシュメモリが必要となった。さらに、64ビットCPU搭載のシステムでは、多ビットI/Oで、かつ高性能CPUに最適なキャッシュメモリが必ず(須)になってきている。一般にキャッシュメモリは高速動作が不可欠のため、高速SRAMが用いられている。

特にデスクトップPCのキャッシュメモリ搭載率は1997年ではほぼ100%となり、また、CPUの性能を十分に引き出すためのアプリケーション・スペシフィック・キャッシュメモリは全体の約70%になると推定される。高性能CPU用キャッシュメモリとして、以下の三つの性能が要求される。

(1) 低消費電力化・低電圧化

システム全体の低消費電力化のために、システム上のキャッシュメモリ数を減らす方向にある。このため、キャッシュメモリは小容量の小ビット幅から大容量の大ビット幅に移行している。また、電源電圧は、従来の5.0Vから3.3Vへの低電圧化がシステム全体の流れである。

(2) シンクロナス バースト化

高性能CPUは、バーストモード(4アドレスの高速動作)をサポートし、パフォーマンスを上げている。

キャッシュメモリは、バースト動作を内蔵するか又はコントローラにバーストアドレス発生回

路を内蔵する必要がある。

また、CPUの動作速度が75MHz以上では、キャッシュメモリは非同期式で10ns、同期式(シンクロナス)で13.3nsが必要となる。75MHz以上では安価な非同期式SRAMを実現することが限界となり、スペック的に有利な同期式SRAMが主流となる可能性が高いと予想される。

(3) 多ビットI/O化

高性能CPUは、64ビットとバス幅が従来の2~4倍に拡大された。現在主流の8ビット高速SRAMは、大容量の16ビットや32ビットに移行していくと予想される。

このような市場動向を踏まえて、最大クロックアクセスタイム7ns、最大クロック周波数75MHzの32Kワード×32ビット シンクロナス バーストSRAM(以下“32K×32バーストSRAM”という。)を開発した。

本稿ではこの32K×32バーストSRAMの製品概要、プロセス技術、設計技術、電気的特性、及びアプリケーション等を紹介する。

2. 製 品 概 要

(1) 語構成

32,768ワード×32ビット

(2) 電源電圧

$V_{CC} = 3.3V \pm 5\%$

(3) クロックアクセスタイム

7.0/8.5/10.0/13.5 (ns)

表1. 諸特性一覧

語 構 成	32Kワード×32ビット
プ ロ セ ス	2層ポリシリコン2層アルミCMOS
デザインルール	0.6 μ m
電 源 電 圧	3.3V単一
入出力レベル	LV-TTL $V_{IH} = 2.0V$, $V_{IL} = 0.8V$ $V_{OH} = 2.4V$ @ $I_{OH} = -4mA$ $V_{OL} = 0.4V$ @ $I_{OL} = 8mA$
特 徴	パイプライン型 MODEピンによって2種類の バーストモードに対応可能 ZZピンによるスヌーズモードをサポート
アクセス/サイクル時間	7ns/13.3ns (最大)
セットアップ/ホールド時間	2.5ns/0.5ns (最大)
動作時電源電流	240mA@75MHz (最大)
スタンバイ時電源電流 (CMOSレベル入力)	2mA (最大)(CLK停止, ZZ="L" 時) 2mA (最大)(スヌーズモード時) (Lバージョンは200 μ A)

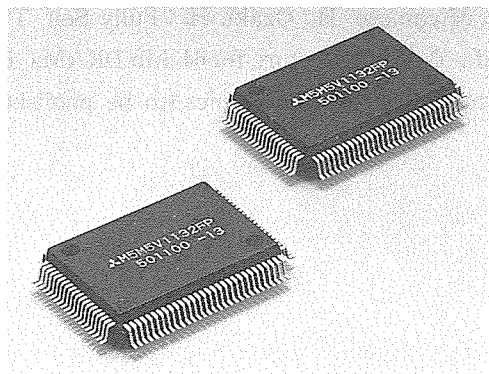


図1. パッケージの外観

(4) クロック周波数

75 / 66 / 60 / 50 (MHz)

(5) 消費電力

動作時: 828mW (最大)

待機時: 690 μ W (最大)

(6) パッケージ

100ピン QFP

ボディサイズ: 14.0 \times 20.0 (mm)

ピンピッチ: 0.65mm

パッケージ外観を図1に示す。4方向にリード線を持つクワッドフラットパッケージである。

(7) 機能

- 全入出力にレジスタを内蔵し、パイプライン動作
- 32ビット同時ライトと、8ビットごとのライトが可能
- リニアとインタリーブのバーストシーケンスが可能
- スヌーズとチップセレクトでのパワーダウンが可能
- ノンパイプライン動作のテストモードあり

詳細な諸特性一覧を表1に示す。

(8) ピン配置

ピン配置を図2に示す。左右にデータI/O、上下にアドレスとコントロールピンを配置している。

3. プロセス技術

プロセス概要を表2に示す。2層ポリシリコン2層アルミ配線の0.5 μ m CMOSプロセスを用いている。第1ポリシリコンはWSiポリサイドで形成し、第2ポリシリコンはメモリセルの高抵抗に用いている。また、第1アルミ配線はメモリセルのGNDとし、接地線を低抵抗としてメモリセルの安定化動作を実現している。CMOSトランジスタはゲート酸化膜厚を10nm、ゲート長を0.5 μ mと微細化し、高駆動能力とゲート容量の低減を達成することによって高速化を図った。

表2. プロセス概要

プロセス	0.5 μ m CMOS 2層ポリシリコン2層アルミ
メモリセル	高抵抗負荷型
ゲート電極	WSiポリサイド
ゲート酸化膜厚	10 nm
最小ゲート長	0.5 μ m

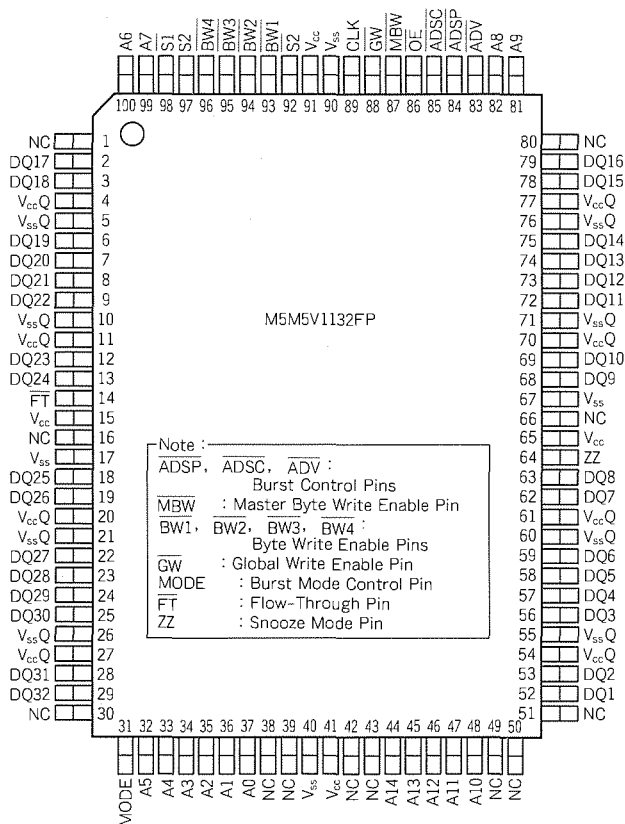


図2. ピン配置

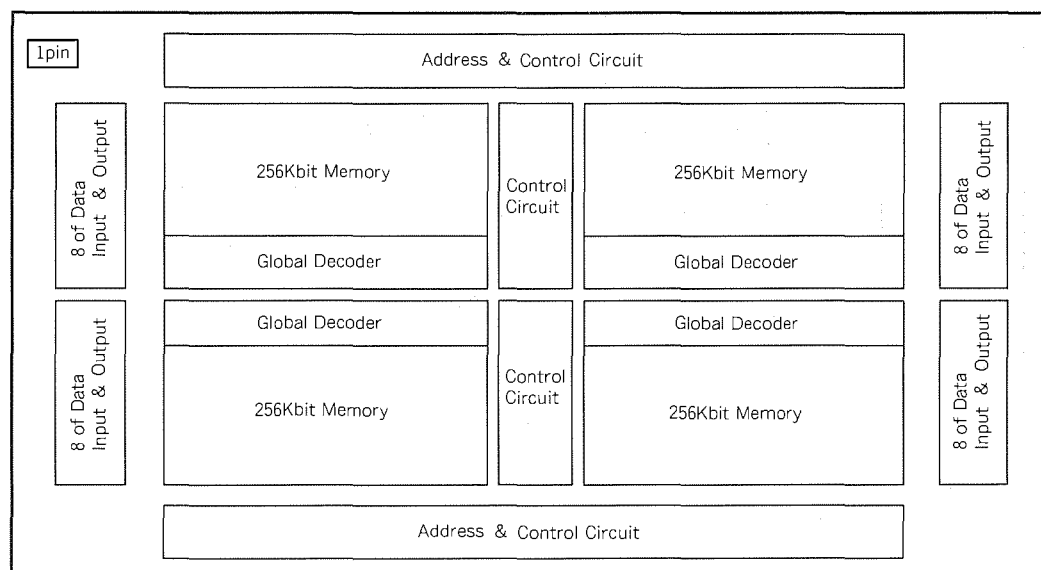


図3. 回路ブロックの配置

4. 設計技術

4.1 アーキテクチャ

回路配置を図3に示す。チップ左右にデータ I/O 回路を各16個配置している。チップ上下にアドレスとコントロール回路を配置している。1メモリブロックのメモリアレーは512ロー×512カラムの256Kビットで、4メモリブロックを内蔵する。電源はデータ I/O の出力バッファ回路用と内

部回路用を分離しており、また、4個の出力バッファ回路ごとに電源を配置し、電源ノイズ耐性の強化を図っている。

各回路信号の経路を図4に示す。OE バッファ回路以外の回路はクロック (CLK) によって制御される。各入力信号はクロックの立ち上がりで内部回路に取り込まれる。バースト動作を可能にするためカウンタ回路 (Counter) を内蔵している。

4.2 メモリセル-データバス線

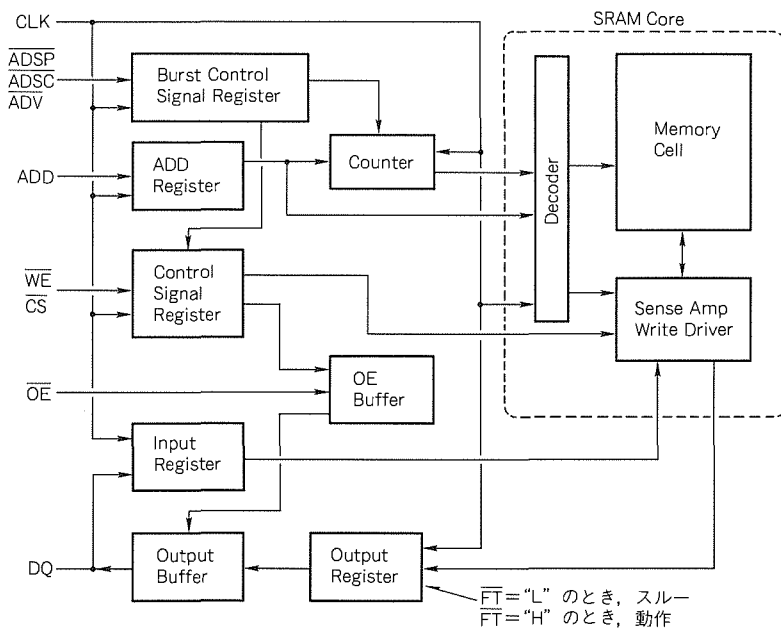


図4. 各回路信号の経路

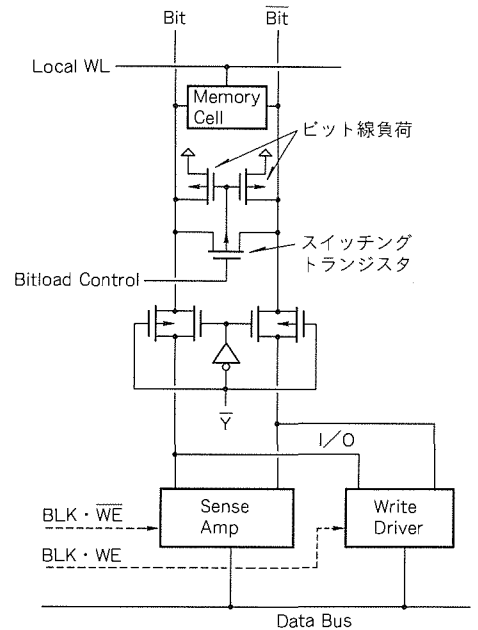


図5. メモリセル-データバス間結線

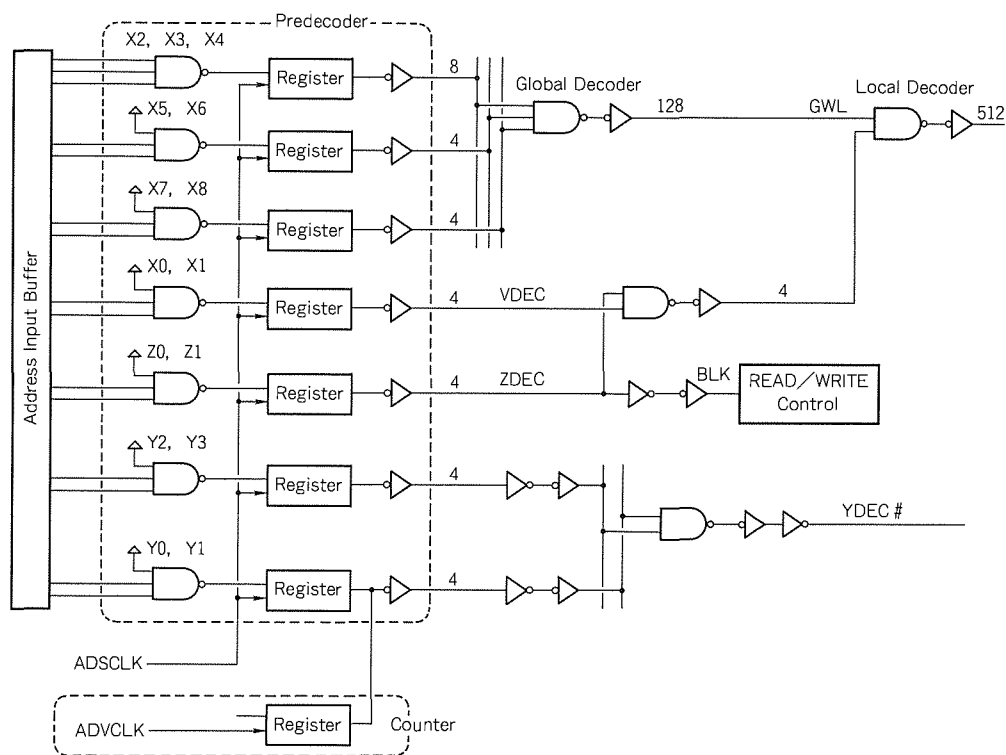


図6. デコード方式

メモリセルとデータバス線間の回路を図5に示す。ビット線に V_{cc} を供給するため、ビット線負荷は P チャネル型トランジスタを使用し、低電圧での安定動作を可能としている。データバス線はリード信号とライト信号を同一の配線層で共用し、チップ面積を削減している。また、読出し開始直前に相補のビット線 (図中の Bit, $\overline{\text{Bit}}$) をスイッチングトランジスタでイコライズし、センスアンプの動作速度を上げている。

4.3 デコード方式

デコード方式を図6に示す。当社独自のデバインドッドワイアラインを、ワード線を選択方式に用いている。各メモリアレーで、グローバルデコード線は1層目のアルミ配線で128

本あり、ローカルデコード線は1層目の WSi ポリサイド配線で512本持っている。

一度に活性化されるワード線は、グローバルデコード線と下位アドレスのデコード信号線 (VDEC, ZDEC) の論理積となり、少なくなるためカラム電流が大幅に低減できる。各入力信号のクロック信号に対するセットアップ時間とホールド時間を最適化するため、入力レジスタ回路はプリデコーダ内に配置している。特に超高速動作を必要とするバースト動作のカウント回路は、負荷が軽い最下位アドレス (Y0, Y1) を用いて高速化を図っている。

5. 各種機能

製品概要で示したように、この32K×32バーストSRAMは多様な機能を持っている。これらの概略を真理値表を用いて説明する。

DC動作の真理値を表3に示す。MODE と $\overline{\text{FT}}$ ピンはDCレベルのH又はLを入力する。MODE ピンはバーストシーケンスを制御し、 $\overline{\text{FT}}$ ピンはパイプライン動作を制御する。

バーストシーケンスの真理値を表4に示す。MODE = H でインタリーブドバーストになり、MODE = L でリニアバーストになる。シンクロナス動作の真理値を表5に示す。

チップ選択信号ピンは $\overline{\text{S1}}$, $\overline{\text{S2}}$, S2 で、バーストコントロール信号ピンは $\overline{\text{ADSP}}$, $\overline{\text{ADSC}}$, $\overline{\text{ADV}}$ である。ライト動作の真理値を表6に示す。 $\overline{\text{G}}$ $\overline{\text{W}}$ ピンは32ビットの一括ライトを制御し、 $\overline{\text{MBW}}$ と $\overline{\text{BW1}}$ ~ $\overline{\text{BW4}}$ は8ビット単位 (1バイト) のライト制御が可能となる。非同期動作の真理値を表7に示す。ZZ と $\overline{\text{OE}}$ ピンはクロックに同期しない。ZZ は低消費電力となるスヌーズモードを制御し、 $\overline{\text{OE}}$ ピンは出力バッファを制御する。

6. アプリケーション

キャッシュシステムの一例を図7に示す。左側は32K×8標準SRAMの例で、8個使用の256Kバイトのキャッシュシステムである。アドレスラッチ用のバッファ (A5-A17)

表3. DC動作の真理値

Name	Input Status	Operation
MODE	H	Interleaved Burst Sequence
	L	Linear Burst Sequence
$\overline{\text{FT}}$	H	Pipelined SRAM
	L	Non-pipelined SRAM (Test Mode)

表4. バーストシーケンスの真理値

Interleaved Burst Sequence (when MODE=HIGH)			
Operation	A14-A2	A1	A0
First access, latch external address	A14-A2	A1	A0
Second access (first burst address)	latched A14-A2	latched A1	latched $\overline{\text{A0}}$
Third access (second burst address)	latched A14-A2	latched $\overline{\text{A1}}$	latched A0
Fourth access (third burst address)	latched A14-A2	latched $\overline{\text{A1}}$	latched $\overline{\text{A0}}$
Linear Burst Sequence (when MODE=LOW)			
Operation	A14-A2	A1, A0	
First access, latch external address	A14-A2	0, 0	0, 1
Second access (first burst address)	latched A14-A2	0, 1	1, 0
Third access (second burst address)	latched A14-A2	1, 0	1, 1
Fourth access (third burst address)	latched A14-A2	1, 1	0, 0

表5. シンクロナス動作の真理値

$\overline{\text{S1}}$	$\overline{\text{S2}}$	S2	$\overline{\text{ADSP}}$	$\overline{\text{ADSC}}$	$\overline{\text{ADV}}$	$\overline{\text{WRITE}}$	CLK	Address Used	Operation
H	X	X	X	L	X	X	L-H	None	Deselected Cycle, Power-down
L	X	L	L	X	X	X	L-H	None	Deselected Cycle, Power-down
L	H	X	L	X	X	X	L-H	None	Deselected Cycle, Power-down
L	X	L	X	L	X	X	L-H	None	Deselected Cycle, Power-down
L	H	X	X	L	X	X	L-H	None	Deselected Cycle, Power-down
L	L	H	L	X	X	X	L-H	External	READ Cycle, Begin Burst
L	L	H	H	L	X	L	L-H	External	WRITE Cycle, Begin Burst
L	L	H	H	L	X	H	L-H	External	READ Cycle, Begin Burst
X	X	X	H	H	L	H	L-H	Next	READ Cycle, Continue Burst
H	X	X	X	H	L	H	L-H	Next	READ Cycle, Continue Burst
X	X	X	H	H	L	L	L-H	Next	WRITE Cycle, Continue Burst
H	X	X	X	H	L	L	L-H	Next	WRITE Cycle, Continue Burst
X	X	X	H	H	H	H	L-H	Current	READ Cycle, Suspend Burst
H	X	X	X	H	H	H	L-H	Current	READ Cycle, Suspend Burst
X	X	X	H	H	H	L	L-H	Current	WRITE Cycle, Suspend Burst
H	X	X	X	H	H	L	L-H	Current	WRITE Cycle, Suspend Burst

とコントローラに A3-A4 用のバーストカウンタが必要になる。右側は 32K×32 バースト SRAM の例で、2 個使用の 256K バイトのキャッシュシステムである。アドレスは CPU から直結が可能で、コントローラのバーストカウンタが

表 6. ライト動作の真理値

GW	MBW	BW1	BW2	BW3	BW4	Operation
H	H	X	X	X	X	READ
H	L	H	H	H	H	READ
H	L	L	H	H	H	WRITE BYTE1
H	L	H	L	H	H	WRITE BYTE2
H	L	H	H	L	L	WRITE BYTE3 and 4
H	L	L	L	L	L	WRITE ALL BYTE
L	X	X	X	X	X	WRITE ALL BYTE

表 7. 非同期動作の真理値

ZZ	\overline{OE}	Operation of Synchronous Truth Table	Operation	I/O Status
H	X	X	Snooze mode	High-Z
L	L	READ	READ	Q
L	H	READ	READ	High-Z
L	X	WRITE	WRITE	High-Z-D
L	X	Deselected	Deselected	High-Z

不要になる。また、システム全体の素子数を減らすことができ、低消費電力化が容易に実現できる。

キャッシュシステムのタイミング例を図 8 に示す。上段は標準 SRAM の例で、下段はバースト SRAM の例である。1 バースト動作 (4 アドレス) を行うのに、標準 SRAM では “3↔2↔2↔2” 動作の 9 サイクルが必要となるが、バースト SRAM では “3↔1↔1↔1” 動作の 6 サイクルで完了し、1/3 時間の短縮を図ることができ、システムのパフォーマンスを格段に向上できる。

7. 電気的特性

32K×32 バースト SRAM の出力波形を図 9 に示す。クロックの立ち上がりエッジから出力まで約 6ns という高速で動作している。各特性の電源電圧依存性のシミュレーションを図 10 に示す。セットアップタイムは 1.3ns、ホールドタイムは -0.6ns、クロックアクセスタイムは 6ns であり、動作速度が 75MHz の CPU に直結しても、十分にマージンのあるレベルである。

8. む す び

2 層ポリシリコン 2 層アルミ配線の 0.5 μ m CMOS プロセ

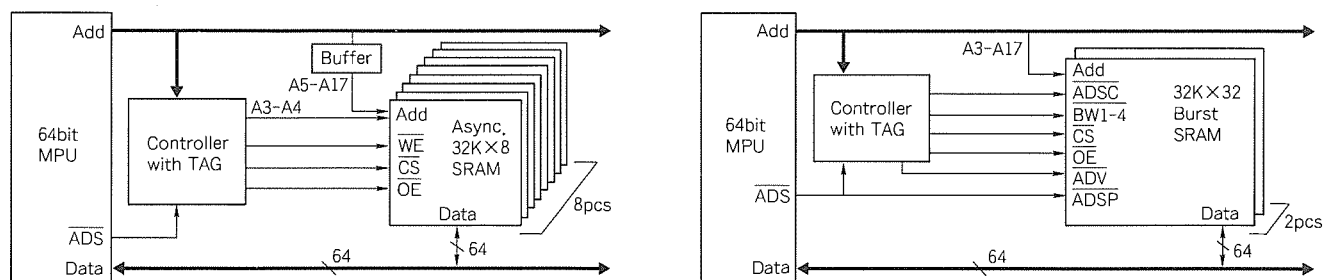


図 7. キャッシュシステムの一例

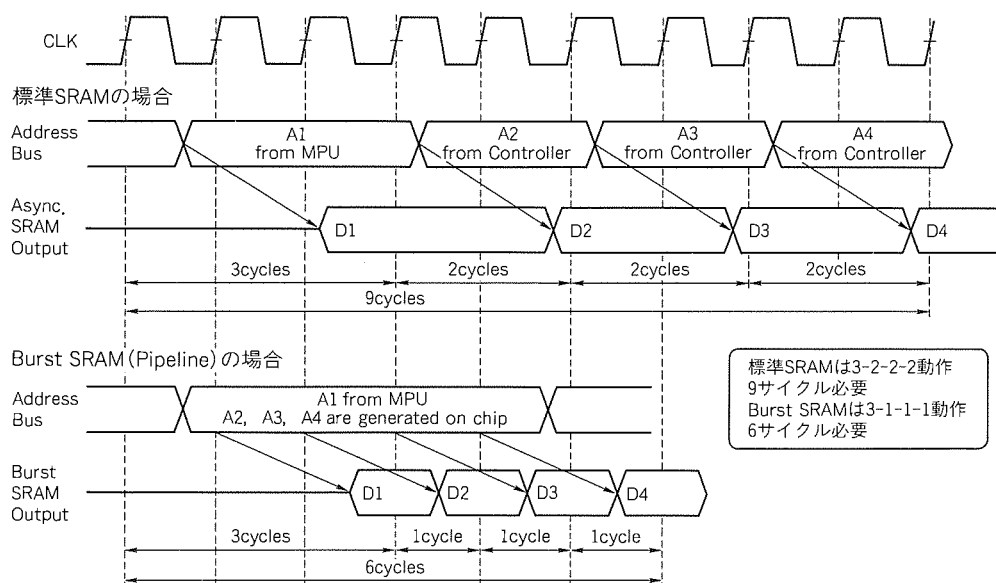


図 8. キャッシュシステムのタイミング例

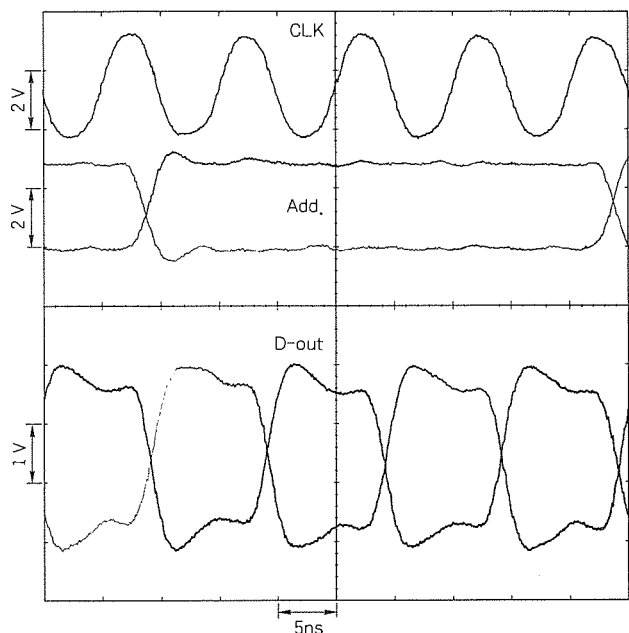


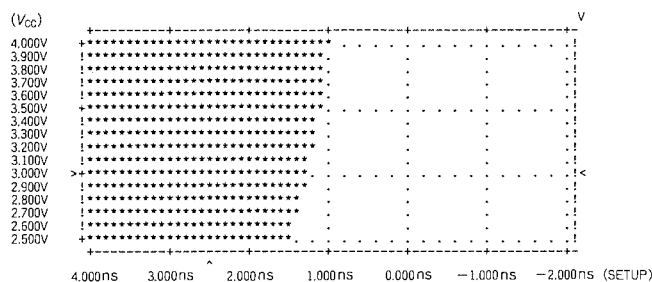
図 9. 出力波形

スを用いて、最大クロックアクセスタイム7ns、最大クロック周波数75MHzの32Kワード×32ビットシンクロナスバーストSRAMを開発した。高性能CPUのキャッシュSRAMとして要求される①低消費電力化・低電圧化、②シンクロナスバースト化、③多ビットI/O化に対して $V_{cc}=3.3V$ 、4アドレスバースト、32ビットI/O、実力クロックアクセスタイム=6nsなどすべてを満足する高性能が実現できた。この32K×32バーストSRAMをキャッシュメモリとして使用することで、従来に比べて格段にパフォーマンスの向上したシステムが実現できる。

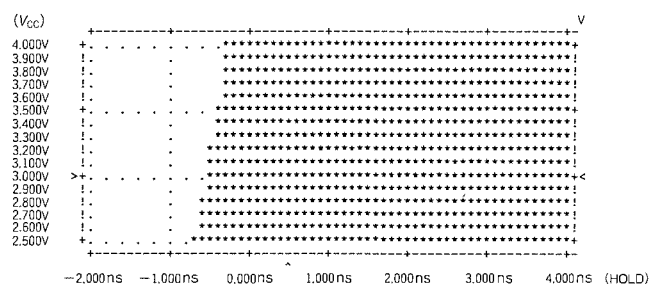
今後も高性能CPUのキャッシュSRAMに対する市場要求にこたえて、次世代キャッシュSRAMの開発を推進していく所存である。

参 考 文 献

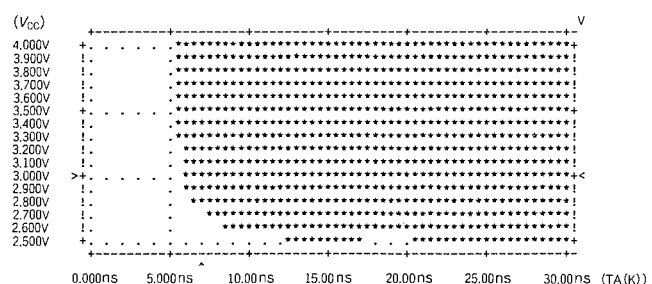
- (1) Ng, R.: Memory Catches Up, IEEE Spectrum



(a) セットアップタイム



(b) ホールドタイム



(c) クロックアクセスタイム: T_a (K)

図10. 各特性の電源電圧依存性のシュムープロット

Special Report, 36~39 (1992-10)

- (2) Child, J.: RISC and Pentium Drive demand for SRAMs that are Fastest of The Fast, Computer Design, 47~54 (1994-3)

ルームエアコンに対する消費者の要望は年々高いものになりつつあり、特に近年は

①電気代 ②快適性 ③暖房能力

といった本質機能への意識が高くなってきています。このような市場のニーズに対応するとともに、マーケットシェアの向上を図るために、'95シーズンの主力商品として“霧ヶ峰FXシリーズ”を開発しました。

特 長

1. 業界No.1の省エネ設計。年間電気代が約40%低減

霧ヶ峰FXシリーズは、室内・外の熱交換器の面積を大きくし、加えて送風機の口径を大きくし送風量をアップさせることにより、熱交換効率を大幅に向上させています。さらに、低速回転時の効率を大幅に改善する直流ブラシレスモータを採用した圧縮機を搭載し、しかもデジタル制御を加えることによってデジタルツイン圧縮機のパフォーマンスを十分に引き出し、消費電力を大幅に低減しました。

これらの最新技術の投入により、新製品MSZ-FX255の場合、昨年の機種MSZ-F254に比べ年間消費電力量が約40%低減され、年間の電気代が約2万円節約できます。

2. エアコン2台分のワイドな風“ワイドツインフロー”搭載

従来のエアコンの左右の吹出角度は約30°から40°しかありませんでした。しかし、霧ヶ峰FXシリーズはワイドツインフローの採用により、左右120°の吹出角度を実現しました。これによって快適面積は昨年度の機種に比べ約2倍に広がり、横長のお部屋のコーナーに据え付けられても隅々まで暖房運転時の温風を足元に届けることが可能です。加えてパワフルな暖房能力と送風量のアップで、暖房スピードも2倍になっています。

また、冷房時の冷風を直接体に当たらない方には、エアコンの正面にいても風を避けることができるため、体に優しい穏やかな冷房運転や除湿運転が可能です。

3. 設定温度と室温が一目で分かる温度モニタ搭載

自動運転中は、本体で設定温度を補正しつつ運転しているため、リモコンに正確な設定温度を表示することはできません。しかし、お客様の不安感の解消と省エネ意識の高まりにおこたえし、室内機本体中央部に設定温度と室温を表示する温度モニタを搭載しました。これにより最新の目標温度や運転内容がチェックできるので、安心してお使いいただけます。

4. 外して洗える丸洗いパネル採用

前面パネルは汚れやすい箇所です。そこで、お手入れしやすいようにこのパネルを簡単に取り外せるようにしました。もちろん丸洗いも可能です。また、インテリア性を向上させるため、三次元曲面への熱転写塗装（ホットスタンプ）を新たに導入し、塗装の質感と耐久性の向上を図っています。

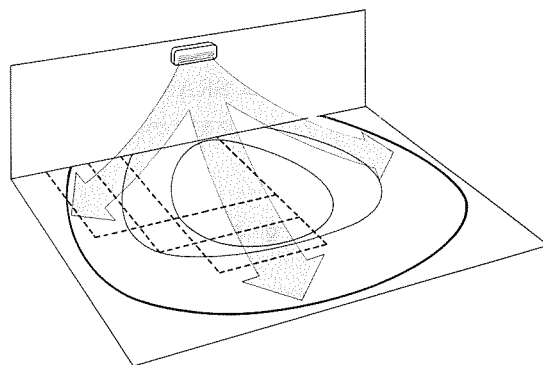
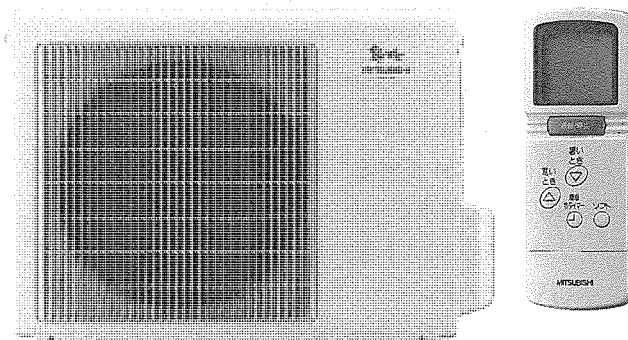
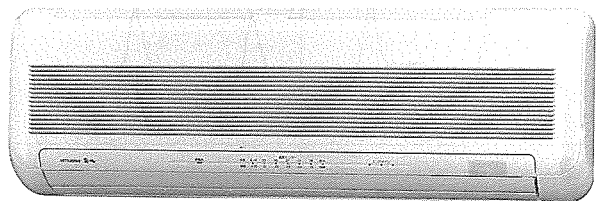
5. サイズは小さく、文字は大きい新・明快リモコン採用

手のひらにフィットするコンパクトサイズながら、一目でよく分かる大きな文字を採用し、上下の風向・左右の風向・風速

をボタン操作に応じてグラフィックで表示します。また“ソフトボタン”を押すだけで、人の居場所に直接風を当てない風向きに変えることができます。

6. おやすみにとっても便利な簡単切りタイマ搭載

運転時に1回押すと1時間後に運転停止。2回押せば2時間後、3回押せば3時間後と、ワンタッチで停止時間を設定できる簡単切りタイマを搭載しました。毎日の使い勝手に差がつく親切設計です。



仕 様

形 名	MSZ-FX255	MSZ-FX285
電 源	単相100V 50/60Hz	
能 力 (kW)	冷房 2.5 (0.6~3.0)	2.8 (0.6~3.4)
	暖房 3.6 (0.6~5.1)	4.2 (0.6~6.1)
消費電力 (kW)	冷房 0.63 (0.135~0.91)	0.78 (0.135~1.15)
	暖房 0.855 (0.135~1.30)	1.16 (0.135~1.73)
運 転 音 (dB)	冷房 室内 36、室外 40	室内 37、室外 42
	暖房 室内 40、室外 40	室内 41、室外 42
外形寸法 (mm)	室内 (H)265×(W)815×(D)183	
	室外 (H)540×(W)698×(D)255	
製品質量 (kg)	室内 8	
	室外 31	



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
総合グループ Tel(03)3218-2137

ロータリ圧縮機 (特許 第1586988号, 特公平2-11759号)

この発明は、ロータリ圧縮機に関するものである。

従来のものは、内装ローリングピストンの側面のみでインジェクション穴を開そく(塞)しているため、設計制約上、容量の大きな機種への適用は不向きであった。

この発明は、上記のような従来のものの欠点を解消するためになされたもので、図1と図2(図1のIV-IV断面)の実施例によって説明する。ロータリ圧縮機は、シリンダ(1)の内部で偏心部(2)を持つクランク軸(3)が駆動されることにより、偏心部(2)にかん(嵌)挿したローリングピストン(4)がシリンダ(1)内を偏心回転し、ローリングピストン(4)に当接されたペーン(7)とシリンダ(1)により、圧縮室Aが形成されている。インジェクション穴(8)は、軸受板(6)に開設され、クランク軸(3)の1回転中に偏心部(2)の側面単独又はローリングピストン(4)の側面と偏心部(2)の側面との双方によって閉塞される区間があり、外部の冷媒循環回路と連通されている。

以上のように、クランク軸(3)の1回転中におけるインジェクション穴(8)の閉塞は、偏心部(2)の側面単独で行う区間

発明者 川口 進, 平原卓穂, 中根和広, 上田 整
又はローリングピストン(4)の側面と偏心部(2)の側面との双方で行う区間があるため、ローリングピストン(4)の肉厚の縮小が可能となり、したがって、その分クランク軸(3)の偏心部(2)の径も、従来のものに比べて大きくできるため容量の大きな圧縮機への適用も可能となる。

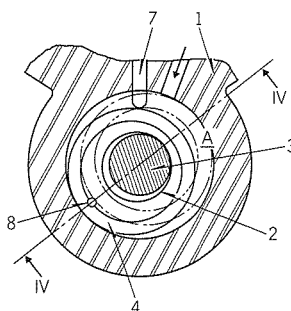


図1

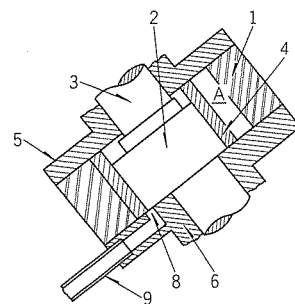


図2

蛍光板モニタ (特許 第1816134号, 特公平5-23718号)

この発明は、荷電粒子ビームの位置及び大きさを測定する蛍光板モニタに関するものである。

従来の蛍光板モニタは、図1に示すように、ビームの照射によって発光するセラミック等の蛍光板(1)だけを使用していた。このため、ビームの位置又は大きさが何らかの原因で変化しても、その絶対量が分からないという欠点があった。また、ビームが蛍光板(1)を通過できないほど低いエネルギーのときは、蛍光板上に電荷が蓄積され、放電を起こし、ビームの観測に障害を来すという欠点があった。

この発明は、上記のような欠点を除去するためになされたもので、図2に示すように、蛍光板(1)の前面に導電性メッシュ(5)を設けたものである。導電性メッシュ(5)は支持台(2)及び支棒(3)を通してアースにつながっている。導電性メッシュ(5)はエッチング技術によって容易に精度良く安価に作れる。

以上のように、この発明によれば、導電性メッシュを蛍光板前面に取り付けたことにより、ビームの位置又は大きさの

変化を迅速にかつ容易に測定できる。また、蛍光板上での電荷の蓄積を防ぐために、低エネルギービームでも正確に測定できるという効果がある。

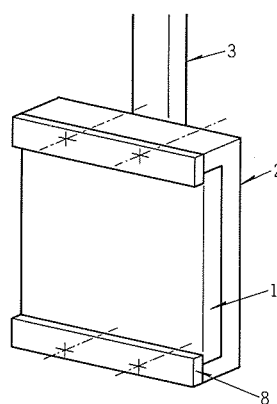


図1

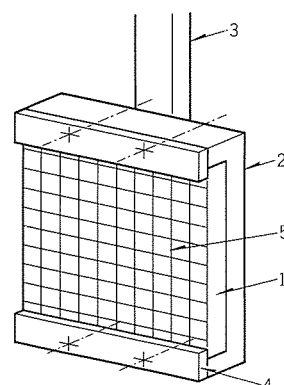


図2



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
総合グループ Tel(03)3218-2137

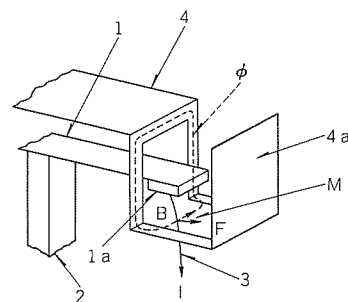
電力開閉装置 (特許 第1775879号, 特公平4-63490号)

発明者 森 貞次郎, 増田 茂, 岡戸弘行, 垣添正博, 佐古祐嗣

この発明は、負荷電流を繰り返し開閉する電磁開閉器に関するものである。

従来の電磁開閉器では、消弧が完了するまでアークが可動接点にこう(膠)着していたため、高価な可動接点の消耗が多く、また、有機材料製のクロスバーが熱損傷を受けて破損するという欠点があった。

この発明は上記のような欠点を除去するためになされたもので、図に示す形状の磁性体製転流電極(4)が用いられている。この転流電極(4)には、切欠き部Mが設けられており、可動接点(1)がこの切欠き部(4a)に入るように構成されている。転流電極(4)は磁性体で形成されているので、可動接点(1)に流れる電流によって多量の磁束 ϕ が発生し、強い磁場Bがアーク(3)に作用する。その結果、アーク(3)には矢印で示す強い力Fが作用するので、可動接点(1a)上のアーク(3)は転流電極(4)のアーク転移部(4a)に速やかに転移する。



〈次号予定〉三菱電機技報 Vol. 69 No. 7 特集 “設備情報管理システム”

特集論文

- 設備情報管理システム特集に寄せて
- 設備管理システムの現状と展望
- 三菱業務システム構築環境“ASSISTAS”と設備管理
- 三菱業務システム構築環境“ASSISTAS”の鉄道保線分野への適用
- 西日本旅客鉄道(株)の電気設備管理・設計システム“EDMOS”
- 設備図面情報入力システム
- 設備情報管理用ハイパメディアシステム“OmniLinker”
- 高速道路における設備情報管理システム
- 道路管理データベースシステム

●ビル総合運営管理システム

- 横浜ランドマークタワーにおける設備管理
- 三菱電機ビルテクノサービス(株)向け技術情報提供システム

普通論文

- 高速大容量可変速発電電動機の実物大モデルによる技術検証
- CRT ディスプレイモニタ RD17G
- 大面積処理用金型コーティング装置
- 電子部品情報システム“素子画”
- 自動調整機能内蔵 CD 用サーボ LSI

〈訂正のお知らせ〉 次のとおり訂正するとともにお詫びいたします。

Vol. 69 No. 5 p. 1 誤「副事業部長」→ 正「副事業本部長」

三菱電機技報編集委員

委員長 田岡恒雄
委員 永田譲蔵 鈴木幹雄
都築鎮 大井房武
尾関龍夫 江頭英隆
水野久隆 手島章
畑谷正雄 才田敏和
中井良雄 鳥取浩
幹事 長崎忠一
6月号特集担当 上野 潔

三菱電機技報69巻6月

(無断転載を禁ず)

1995年6月22日 印刷
1995年6月25日 発行

編集兼発行人 長崎 忠一
印刷所 千葉県市川市塩浜三丁目12番地 (〒272-01)
菱電印刷株式会社
発行所 東京都港区新橋六丁目4番地9号
北海ビル新橋 (〒105)
三菱電機エンジニアリング株式会社内
「三菱電機技報社」Tel. (03) 3437局2692
発売元 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 (〒101)
株式会社 オーム社
Tel. (03) 3233局0641代, 振替口座東京6-20018
定価 1部721円(本体700円) 送料別

スポットライト

三菱マルチコミュニケーションシステム

三菱電機㈱では、目的地への最適な経路を運転者に分かりやすい形で案内する新方式のルート案内機能を備えたナビゲーションシステムを、開発・製品化しました。

このシステムは、ヒューマンインタフェースを重視し、ナビゲーション機能のみならず、エアコン、オーディオ、テレビの状態表示・制御も行うことができる高機能なシステムで、今春発売の“ニューディアマンテ”に搭載されています。

特 長

(1) 高精度な位置検出

自立航法とGPS航法併用のハイブリッド方式に加えて、マップマッチング方式を採用することにより、高架下、トンネル、ビル谷間、道路密度の高い市街地などでも正確な自車位置を表示することが可能です。

(2) ウィンドウメニュー方式による簡単操作

メニュー画面を操作の優先順位を考慮してスイッチを配置したウィンドウ画面としました。この方式により、現在地の地図を見ながらの目的地設定、施設検索等の操作や、メニューを表示したまま地図の縮尺変更やスクロールを行うことが可能で、簡単に優れた操作性を備えています。

(3) 高速経路探索

交通規制を踏まえた当社独自の地図データベースと最新の技術の結集により、高品質で業界最高水準の高速な自動経路探索が可能となりました。

また、推奨経路を外れたときのワンタッチ再探索やう(迂)回経路探索も可能です。

(4) 分かりやすい経路案内

略図表示された交差点案内図と音声により、交差点の右折/左折や高速道路の入口等を適切なタイミングで明確に案内し、目的地まで安全に運転することが可能です。

さらに、右/左折する交差点の名称や目印の表示されたルートの略図を表示して、目的地までの経路の概略を確認することが可能です。ルート略図は、車載機上でリアルタイムに自動生成されるもので、認知科学の知見を応用して新規開発したアルゴリズムによって実現した世界初の機能です。

また、高速道路を走行中は高速道路の略図を表示してIC、JCT、SA、PAの位置を確認することが可能です。

(5) 2画面表示

それぞれ任意に縮尺を設定可能な2画面地図表示を選択することで広域地図と詳細地図を同時に見ることができ、より簡単に現在地を把握することが可能です。



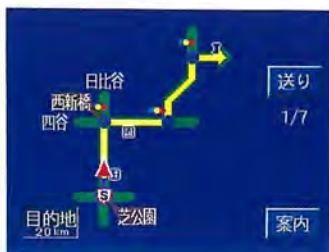
ウィンドウメニュー画面



交差点案内図



システム外観



ルート略図



高速道路略図



2画面表示