

**MITSUBISHI**

# 三菱電機技報

MITSUBISHI DENKI GIHO Vol.60 No.3

**3**

1986

研究所50周年記念特集



## 研究所50周年記念特集

### 目次

巻頭言	1
岡久雄	

### 分野別現状と展望

基礎・基盤技術の現状と展望	2
村上晃	
生産技術分野の現状と展望	4
伊藤利朗	
産業エレクトロニクス・メカトロニクス分野の現状と展望	5
大野栄一	
電子商品分野の将来展望	6
糸賀正巳	
家電機器開発の現状と展望	7
市川健一	
情報処理・通信分野の現状と展望	8
中原昭次郎	
材料・電子デバイス分野の現状と展望	10
村上晃	
半導体分野の現状と展望	11
柴山恭一	
インダストリアルデザインの現状と展望	12
石山武彦	

### 特集論文

化合物半導体超格子構造	13
藤原賢三・徳田安紀・野田進・光永一正	
最近の超電導技術	16
岩本雅民・荻野治・山田忠利	
三次元CAD/CAMシステム	19
塩谷景一・山田祐子	
大出力CO <sub>2</sub> レーザの放電励起方式(SDとSAGE)	22
菱井正夫・田中正明・八木重典・永井治彦・田畑則一	
コンパクトディスク用光ピックアップ	25
河野慶三・木目健治朗・近藤光重・鹿間信介・橋本昭	

家庭用ハイビジョンVTR	28
石橋通保・藤井敏史	
家電・HA製品の開発を先導する生活ソフト技術	31
山崎起助・松村恒男・狩野雅夫・本田嘉之	
論理プログラムの検証システム	34
金森直・藤田博・世木博久・堀内謙二	
日英機械翻訳システム Thalia-3	37
大塚仁司・鈴木克志・太細孝	
ベクトル量子化による画像信号帯域圧縮	41
村上篤道・浅井光太郎・伊藤敦	
マルチビームアンテナ	44
浦崎修治・牧野滋	
磁気ディスク用ヘッド及び媒体の高密度化	47
鈴木栄久・尾関龍夫・梅崎光政・菅原宏	
高解像度・高印字品質サーマルヘッド	50
飛田敏男・畑部悦生・遠藤孝文・仁木憲一・大西洋一郎	
1MビットダイナミックMOS RAM	53
藤島一康・熊野谷正樹・宮武秀司・松川隆行・吉原務	
三次元回路素子技術	56
須賀原和之・楠茂・井上靖朗・西村正・赤坂洋一	
モリブデンシリサイド高信頼性ホトマスク	59
渡壁弥一郎・松田修一・重富晃・加藤忠雄・中田秀文	
インダストリアルデザインとエルゴノミクス	62
小野村寅雄・酒井正幸・森谷照・蓮花寺康裕	
年表	65
特許と新案	68
コルゲート導波管の製造方法	
スポットライト	
熱間圧延機クロップ形状検出装置	66
三菱ビデオテックスミニ情報センターVC100	67
三菱VVVFインバータ電車	(表3)

### 表紙

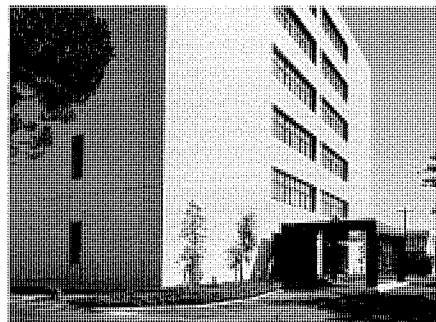
#### 情報電子研究所新棟

表紙は昨年9月に完成した情報電子研究所である。

情報電子研究所は高度情報社会の構築へ向けて通信・計算機及び電子関連基盤技術の高度化、総合化により、その基盤となる情報通信システム及び装置開発に取り組んでいる。

新しい研究所建設に際し、

1. 効率的なソフトウェア開発環境の実現。  
開発フェーズに最適な環境づくりと手法、ツールの開発・活用による効率向上。
2. 情報通信システムの実験ビルとしての活用。  
階層形LAN、複合PBXなどを用いた情報通信・OAパイロットシステムと、実務OA・LAシステムの構築、運用。
3. 「開かれた研究所」機能の実現。  
顧客への開発成果の紹介、積極的対話を通してユーザーニーズのフィードバック。などをねらいとして、当該分野の開発にふさわしい環境づくりをした。



## アブストラクト

### 化合物半導体超格子構造

藤原賢三・徳田安紀・野田 進・光永一正

三菱電機技報 Vol.60・No.3・P13～15

化合物半導体超格子構造は、次世代の新機能光電子素子を実現するための新しい半導体材料技術として注目を集めている。わずかに数原子層厚さからなるヘテロエピタキシャル薄膜の超格子構造では、①量子物理現象に基づく物性定数の設計、量子効果の利用、②ヘテロ接合界面を含む材料特性の飛躍的改善、が可能となる。この報告では上記2点についての物性論的考察を加えるとともに、応用例として半導体レーザのヘテロ界面特性への効果について述べる。

### 家庭用ハイビジョンVTR

石橋通保・藤井敏史

三菱電機技報 Vol.60・No.3・P28～30

近い将来、次世代のテレビ放送として、高精細な画面のハイビジョン(高品位テレビ)放送が衛星を使って行われようとしている。当社では、これに先駆けハイビジョン衛星放送受信システムの一環としてハイビジョンディスプレイ・受信機に引き続き家庭用ハイビジョンVTRを開発した。

ここでは、ハイビジョンVTRの適用分野、仕様、特長、構成とVTRを実現するために開発した主要な新技術について述べる。

### 最近の超電導技術

岩本雅民・荻野 治・山田忠利

三菱電機技報 Vol.60・No.3・P16～18

超電導の進歩を示す電子・陽電子衝突形加速器TRISTANの素粒子検出器VENUS用超電導マグネットが完成し、更に高均一磁界超電導マグネットが医学診断用の磁気共鳴断層像システムMRIに実用され、病院に設置されるようになった。MHD発電、磁気浮上鉄道、超電導発電機、核融合、高エネルギー物理、MRIなどの応用が広がる中で、当社が実施した超電導応用分野の技術課題と最近の開発状況をトピック的に紹介する。

### 家電・HA製品の開発を先導する生活ソフト技術

山崎起助・松村恒男・狩野雅夫・本田嘉之

三菱電機技報 Vol.60・No.3・P31～33

最近の家電製品は生活にますます深く関連してきており、使う人の感覚を反映した製品作りが要求されている。生活への感覚は、個性化、価値感の多様化と豊かさ、快適さ、健康を求める方向になっている。製品の性能的側面と同時に、使う人の意向、使われ方を追究する「生活ソフト技術」の面の充実が必要になっている。

ここでは、洗浄・調理・食品保存・空調・照明・HAシステムに関連した生活ソフト技術について述べる。

### 三次元CAD/CAMシステム

塩谷景一・山田祐子

三菱電機技報 Vol.60・No.3・P19～21

製品設計・生産を強力に支援する手段である三次元CAD/CAMシステムの最近の開発成果について述べる。まず、システムの理論的支柱である形状モデリング理論に関し、新たに開発した実装設計対応の表現形式と、形状加工処理対応の表現形式を紹介する。次に、これらの表現形式を用いて実用化した人工衛星用三次元CADシステムと、意匠金型を対象とするパーソナルCAD/CAMシステムについて概説する。

### 論理プログラムの検証システム

金森 直・藤田 博・世木博久・堀内謙二

三菱電機技報 Vol.60・No.3・P34～36

この論文ではPrologプログラムに対して、そのプログラムが持つべき性質を示す仕様(一階述語論理式)を与えたとき、これを自動的に証明するシステムの概要と構成を示す。Prologなどの論理プログラムではその実行機構自体が論理的推論であるが、このシステムでは、その実行機構を自然に拡張するとともに、実行機構にはない帰納法を用いることにより、検証のためのより強い論理的推論を行っている。

### 大出力CO<sub>2</sub>レーザの放電励起方式(SDとSAGE)

菱井正夫・田中正明・八木重典・永井治彦・田畑則一

三菱電機技報 Vol.60・No.3・P22～24

当社の加工用CO<sub>2</sub>レーザには高圧力・ガス封じ切りの基本技術思想の下に、当社独自の二つの放電励起方式が採用されている。一つはSD(無声放電)励起方式であり、他の一つはSAGE(SDを補助としたグロー放電励起)方式である。前者は放電の安定性と出力の高速制御性に優れ、後者は出力5kW以上の大出力機のコンパクト化につながる高密度放電励起方式である。これらの開発思想、技術的特長、今後の発展などについて述べる。

### 日英機械翻訳システム Thalia-3

大槲仁司・鈴木克志・太細 孝

三菱電機技報 Vol.60・No.3・P37～40

日英機械翻訳システムThalia-3は、計算機マニュアルなどの技術文書の高品質翻訳をねらっており、《MELCOM-COSMOシリーズ》上で稼働する。最近の知識情報処理技術をベースとした翻訳方式や意味表現形式の採用により、均質で高精度の翻訳が可能である。一般語として6万語の基本語辞書を備えているほか、専門語辞書が拡張可能となっており、幅広い専門分野に適用することが可能である。

### コンパクトディスク用光ピックアップ

河野慶三・木目健治朗・近藤光重・鹿間信介・橋本 昭

三菱電機技報 Vol.60・No.3・P25～27

光ピックアップはCDプレーヤーのキーパーツである。昭和57年から発売されたCDプレーヤーは、生産が急激に増加し60年度には300万台に達する勢いである。当社はプレーヤーの発売当初から光ピックアップを社内用だけでなく積極的に外販し、現在では生産量で業界トップの地位にある。本稿ではこの光ピックアップの開発の経過とその特長について述べる。

### ベクトル量子化による画像信号帯域圧縮

村上篤道・浅井光太郎・伊藤 敦

三菱電機技報 Vol.60・No.3・P41～43

理論限界に近い信号帯域圧縮を実現するベクトル量子化技術と、その適用システムについて紹介する。まず、ベクトル量子化の基礎概念について述べ、テレビ会議、テレビ電話の実現に不可欠な画像信号の超圧縮を行うための応用手法を紹介する。更にダイナミック多段ベクトル量子化によって、64Kbpsにおけるカラー動画の伝送を可能にしたビデオコーデックの具体的構成と適用例について述べる。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 3, pp. 28 ~ 30 (1986)

## A Home-Use High-Definition VCR

by Michiyasu Ishibashi & Toshifumi Fujii

High-definition television broadcasting, using artificial satellites, is coming in the near future. For it, Mitsubishi Electric has developed a new home-use, high-definition VCR, along with high-definition display units and receivers. The article focuses on high-definition television applications, specifications, main features, and system configurations and touches on other technological issues raised by the new VCR.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 3, pp. 13 ~ 15 (1986)

## Compound Semiconductor Superlattice Heterostructures

by Kenzo Fujiwara, Yasunori Tokuda, Susumu Noda, & Kazumasa Mitsunaga

Compound semiconductor superlattice heterostructures are in the spotlight as ideal for optoelectronic devices. These new heteroepitaxial thin-film structures with only a few atomic layers have two main features. One is that they allow the definition of physical constants according to quantum mechanical phenomenon and the utilization of quantum effects. The other lies in dramatic improvements to the material characteristics, including those of heterojunction interfaces. The article focuses on these two features from the viewpoint of solid-state physics, in addition to their effects on hetero-interface properties of semiconductor lasers.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 3, pp. 31 ~ 33 (1986)

## Software for the Development of Home Electrical Appliances and Home-Automation Systems

by Kisuake Yamazaki, Tsuneo Matsumura, Masao Karino & Yoshiyuki Honda

Home electrical appliances are an inseparable element of daily life, and their continuing improvements reflect a growing variety of user demands following the recent diversification of lifestyles and a correspondingly stronger emphasis on individuality, different value systems, and more comfortable and healthy living. The result is a growing interest in software techniques that cater to these demands and parallel the efforts to improve hardware. The article describes these software techniques as they apply to home-automation systems that cover laundering, cooking, food storage, air-conditioning, and lighting.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 3, pp. 16 ~ 18 (1986)

## Recent Advances in Superconducting-Magnet Technology

by Masatami Iwamoto, Osamu Ogino & Tadatashi Yamada

Mitsubishi Electric has completed the construction of a superconducting magnet for  $e^+e^-$  collision TRINSTAN VENUS detector systems that demonstrates the Corporation's recent progress in superconductivity research and development. This highly homogeneous superconducting magnet has already been applied to the nuclear magnetic-resonance imaging (MRI) system installed in hospitals for whole-body imaging. The article discusses technical issues faced by Mitsubishi Electric in the area of superconductivity, where there is a growing demand for further progress in MHD (magneto hydro dynamic) generation, magnetically levitated trains, superconducting generators, nuclear-reactor functions, high-energy physics, and MRI systems.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 3, pp. 34 ~ 36 (1986)

## A Verification System for Logic Programs

by Tadashi Kanamori, Hiroshi Fujita, Hirohisa Seki & Kenji Horiuchi

The article gives an overview and configuration of a system that describes the required characteristics of a Prolog program in accordance with specifications given in the form of first-order descriptive logical expressions. The special feature of execution by Prolog and other, similar, logic programs lies in their logical inferences. The new system expands this method of execution by the addition of logical induction, which improves the logical inferences used for verification.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 3, pp. 19 ~ 21 (1986)

## The Development of a Three-Dimensional CAD/CAM System

by Keiichi Shiotani & Yuko Yamada

The article deals with recent achievements in three-dimensional CAD/CAM systems which provide strong support for product design and production. First introduced are representative methods for package design and geometric modeling evolved in accordance with the modeling theory that underlies the system. This is followed by a discussion of a three-dimensional CAD system for artificial satellites, which uses these methods, and CAD/CAM systems for design modeling which can be supported by personal computers.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 3, pp. 37 ~ 40 (1986)

## THALIA-3, a Japanese-English Machine-Translation System

by Hitoshi Ogashi, Katsushi Suzuki & Takashi Oasai

THALIA-3 is a new machine-translation system which can be operated on MELCOM-COSMO Series computers. The main purpose of its development was to perform high-quality translation of Japanese technical documents into English and vice versa at high speeds. It uses knowledge information technology plus semantic representation to meet this requirement. It also has a basic 60,000-term dictionary, the technical vocabulary of which can be extended, and covers a wide variety of technical fields.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 3, pp. 22 ~ 24 (1986)

## The SD and SAGE High-Power CO<sub>2</sub>-Laser Excitation Systems

by Masao Hishii, Masaaki Tanaka, Shigenori Yagi, Haruhiko Nagai & Norikazu Tabata

Mitsubishi CO<sub>2</sub>-laser excitation systems come in two types, both of which have been developed according to the same basic concepts of high-pressure sealing. One is the silent-discharge (SD) system, and the other, the static-discharge assisted glow-discharge excitation (SAGE) system. The SD system is advantageous in terms of stable discharge and rapid output control. The SAGE system features high-density discharge excitation, which offers the advantage of reduced size for machines with output capacities of 5kW or more. The article describes the basic concepts incorporated in these systems, and treats their technical highlights and future prospects.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 3, pp. 41 ~ 43 (1986)

## Bandwidth Compression of Video Signals by Means of Vector Quantization

by Tokumichi Murakami, Kotaro Asai & Atsushi Ito

The article introduces briefly and gives the applications of vector quantization which allows bandwidth compression of video signals approaching the theoretical limits. The basic concept of vector quantization is first introduced, then some application methods for the compression of video signals required for teleconferencing and TV phones. The article also describes specific configurations and application examples of a video codec which permits moving color images at only 64Kbps by the use of multistage dynamic vector quantization.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 3, pp. 25 ~ 27 (1986)

## Optical Pickups for Compact-Disc Players

by Keizo Kono, Kenjiro Kime, Mitsushige Kondo, Shinsuke Shikama & Akira Hashimoto

The optical pickup is a key component of compact-disc players. Since their first introduction in 1982, burgeoning demand took the production of compact-disc players to 300 million units in 1985. Mitsubishi Electric is a leading manufacturer of these units, which are used for the Corporation's own products and those of OEM purchasers.

## アブストラクト

### マルチビームアンテナ

浦崎修治・牧野 滋

三菱電機技報 Vol.60・No.3・P44～46

INSS, INTELSAT-Ⅶでは、一つのアンテナから複数のビームを各地球局に向けるマルチビームアンテナの搭載が予定されている。この場合、各ビームの利得低下を小さくするのが難しく、その解決策としてFFOCアンテナを開発した。

ここでは、従来の反射鏡形式でマルチビームアンテナを構成したときの性能を述べ、次に、INTELSAT R&Dで開発した、上記FFOCマルチビームアンテナの鏡面構成及び試作結果を示す。

### 三次元回路素子技術

須賀原和之・楠 茂・井上靖朗・西村 正・赤坂洋一

三菱電機技報 Vol.60・No.3・P56～58

三次元回路素子の技術開発を、国家プロジェクト「三次元回路素子の研究開発」に参画して行っている。今回、選択反射防止膜を改良したレーザ再結晶化法により、3層構造の三次元回路素子の試作に世界で初めて成功した。また将来の三次元回路素子の機能モデルとして、2層構造の256ビットスタティックRAM及び10ビットリニアイメージセンサを試作し、その動作を確認した。高密度・高速・多機能の特長を持った三次元回路素子の実現に一步近づいた。

### 磁気ディスク用ヘッド及び媒体の高密度化

鈴木栄久・尾関龍夫・梅崎光政・菅原 宏

三菱電機技報 Vol.60・No.3・P47～49

各種AV機器、情報記憶装置の性能は、これに用いるヘッド及び媒体に大きく依存する。我々はこれまでに業務用PCM録音機用マルチトラックヘッド、VHS-VTRヘッドなどを開発、製品化してきたが、より一層の小形化、大容量化の要請に対応した薄膜磁気ヘッド、薄膜媒体を開発し小形磁気ディスク装置への適用を進めてきた。垂直記録に関してもリジッドディスク媒体及びそれに適した片側アクセスヘッドを試作した。

### モリブデンシリサイド高信頼性ホトマスク

渡壁弥一郎・松田修一・重富 晃・加藤忠雄・中田秀文

三菱電機技報 Vol.60・No.3・P59～61

モリブデンシリサイドをマスク材料としたホトマスクは、従来のクロム(Cr)マスクに比べて高信頼性が得られることがわかった。従来から用いられているCrは、石英ガラス基板との密着性が悪く1～4M(D)RAMなどの高集積回路用マスク材料としては、パターン形成後の洗浄で、はがれによるパターン欠陥が発生しやすいという問題がある。この論文は石英基板との密着性が良く、ドライエッチングが容易なモリブデンシリサイドマスクの特性結果をまとめたものである。

### 高解像度・高印字品質サーマルヘッド

飛田敏男・畑部悦生・遠藤孝文・仁木憲一・大西洋一郎

三菱電機技報 Vol.60・No.3・P50～52

厚膜サーマルヘッドについて、①新しく開発したパルス電圧トリミングによる発熱体抵抗値のばらつき低減(±3%以下)、②ドット分離形の発熱体構造、③発熱体、導体、蓄熱層、などの材料及びプロセスの最適化による解像度向上と印字電力の低減、などを達成した。これらの技術を適用して、エッジタイプ9.45ドット/mm、A4サイズの厚膜サーマルヘッドを開発し、良好な印字品質と高い信頼性を得ることができた。

### インダストリアルデザインとエルゴノミクス

小野村寅雄・酒井正幸・森谷 熙・蓮花寺康裕

三菱電機技報 Vol.60・No.3・P62～64

機器・システムの可能性と人間との調和、あるいは、きめ細かな製品開発の場面で、エルゴノミクス(Human Factory, 人間工学とも言われる)が一層重要視されてきている。

インダストリアルデザイン活動における、これらの取組と課題を、家電、公共システム、OA分野の機器開発を例にとり、冷蔵庫庫、監視制御室、実験装置センサワークステーションについて概要を報告する。

### 1MビットダイナミックMOS RAM

藤島一康・熊野谷正樹・宮武秀司・松川隆行・吉原 務

三菱電機技報 Vol.60・No.3・P53～55

当社が開発を進めてきた1MビットダイナミックRAMを紹介する。パースピークを減少させたプレーナセル、 $V_{cc}/2$ セルプレート、シェアドセンスアンプ、フルサイズグミセルの採用で動作マージンが広く、信頼性の高いメモリとなっている。1ミクロンレベルの微細化NMOSを用いた2層ポリシリコン、1層アルミ配線プロセスは、256K(D)RAMと連続性があり、テスト時間短縮機能を内蔵し、パッケージの多様化にも対応している。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 3, pp. 56 ~ 58 (1986)

## Three-Dimensional Device Technology

by Kazuyuki Sugahara, Shigeru Kusunoki, Yasuo Inoue, Tadashi Nishimura & Yoichi Akasaka

Mitsubishi Electric, under the supervision of the R&D Association for Future Electron Devices, has developed a selective laser recrystallization technique and successfully applied it in fabricating three-layer, three-dimensional devices. The Corporation has also made two functional models of the device: a double-layer 256-bit static RAM and a 10-bit linear-image sensor, and has established their satisfactory operation. These devices represent a significant advance toward future three-dimensional devices with high density, high speed, and multiple functions.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 3, pp. 44 ~ 46 (1986)

## Multibeam Antennas

by Shuji Urasaki & Shigeru Makino

INSS and INTELSAT-VII are to be provided with a multibeam antenna. To minimize the decrease in beam gain, Mitsubishi Electric has also developed a FFOC (front-fed offset cassegrain) antenna. The article introduces the performance of multibeam antennas with reflective mirrors. It also describes the mirror-surface configuration of the FFOC multibeam antenna resulting from research and development for INTELSAT-VII, in addition to its test performance.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 3, pp. 59 ~ 61 (1986)

## A High-Performance Photomask with a Molybdenum Silicide Film

by Yaichiro Watakabe, Shuichi Matsuda, Akira Shigetomi, Tadao Kato & Hidefumi Nakata

It has been established that a photomask with molybdenum silicide film outperforms a conventional chromium mask. One of the main drawbacks of conventional chromium is its poor bonding to silica-glass substrates. This causes pattern defects in, for example, mask material for highly integrated circuits like 1 ~ 4Mb DRAMs due to the mask peeling away from the substrate during the cleaning process following pattern generation. The article describes the characteristics of a molybdenum silicide film with good bonding strength and easy dry etching.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 3, pp. 47 ~ 49 (1986)

## Magnetic Heads and Media for High-Density Disk Drives

by Shigehisa Suzuki, Tatsuo Ozeki, Mitsumasa Umesaki & Hiroshi Sugahara

The performance of audio-visual equipment and storage memories depends largely on their heads and the materials used. Mitsubishi Electric has long been involved in development and marketing heads for industrial-use pulse-coded modulation equipment like multitrack heads and VHS-VCR heads. The Corporation has developed thin-film magnetic heads and thin-film media in response to the demand for more compact size with higher capacity. These heads have already been applied to miniature magnetic-disk drives. The Corporation has also developed prototype vertical-recording fixed-disk media and single-side access heads appropriate for the new media.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 3, pp. 62 ~ 64 (1986)

## Ergonomics in Industrial Design

by Torao Onomura, Masayuki Sakai, Hiroshi Moriya & Yasuhiro Rengeji

One of the recent main thrusts in new product development is a strong emphasis on ergonomics (human engineering). The article discusses the achievements and future tasks of product development with respect to ergonomic considerations using refrigerators as a typical example from the home-appliance field, supervisory and control rooms from the public service sector, and sensor workstations from office and factory automation.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 3, pp. 50 ~ 52 (1986)

## A High-Resolution, High-Quality Thermal-Printing Head

by Toshio Tobita, Etsuo Hataba, Takafumi Endo, Ken'ichi Niki & Yoichiro Onishi

To improve thick-film thermal heads, Mitsubishi Electric has decreased the heating-element resistivity (to less than  $\pm 3\%$ ) using a new pulse-voltage shaping system, developed a heating-element construction with separated dots, and improved resolution and reduced printing power consumption by employing new heating elements, conductors, and storage-heating layers. The article describes a Mitsubishi A4-size edge-type thin-film thermal head with 9.45 dots/mm developed by applying these results, and obtained excellent print quality and high reliability.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 3, pp. 53 ~ 55 (1986)

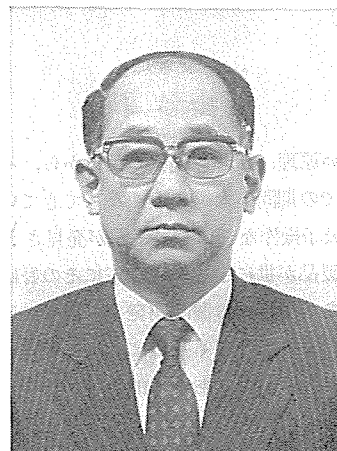
## A 1Mb Dynamic MOS RAM

by Kazuyasu Fujishima, Masaki Kumanoya, Hideshi Miyatake, Takayuki Matsukawa & Tsutomu Yoshihara

The article introduces a 1Mb dynamic RAM currently developed by Mitsubishi Electric. This new RAM uses a planar cell with a decreased bird's beak,  $V_{CC}/2$  cell plate, shared sense amplifier, and full-size dummy cell, ensuring a wider operating margin and higher reliability. The NMOS double-layered polysilicon and single-layer aluminum wiring process, with a 1-micron level, is also applicable to 256Kb DRAMs, simultaneously reducing test time and meeting a variety of package requirements.

## 巻 頭 言

常務取締役 開発本部長 岡 久 雄



昭和 61 年は、当社に研究所が設立されてから、ちょうど 50 年目に当たります。この輝かしい創立 50 周年を迎えるに当たり、まず創立以来、研究所を支えその発展に御尽力下さいました歴代の当社経営幹部並びに数多くの研究業績を築いてこられた研究所の諸先輩方に、改めて深く感謝申し上げます。

研究所は創立以来、時代とともに研究内容や運営方策について幾多の変遷を経てまいりました。創立当時は日本全体がまだ外国技術に大きく依存しており、そこから何とか自主的な国産技術の確立を目指す方策が求められておりました。当時研究所で行われた無線機、真空管、整流器などの研究は、いろいろ形を変えながら今日の当社エレクトロニクス技術につながっていると云えましょう。

第 2 次大戦前後の激動期や空白時代を経て、高度経済成長の進展とともに再び研究開発は活発となり、研究所から半導体、電算機、通信機、ブラウン管などの新事業の芽が次々と生み出されました。更に当社事業規模の拡大や技術内容の高度化に伴って、中央研究所を母体として分野別、目的別の新しい研究所が次々と誕生し、現在は開発本部の傘下に九つの研究所をもつに至りました。特に最近技術革新の速度も早く、技術開発力が企業成長のかぎ(鍵)を握っているとも言われる時代だけに、研究所に対する期待は大きく同時に研究所の責任はますます大きくなってきております。

今、研究所の 50 年にわたる歴史をかえりみる時、その間の研究体制、運営方針、研究規模などの変遷、またそこから生れた数々の成果や業績の記録を通して、その時々そこに活動した研究所の人々の思索や努力の過程を読みとることができます。研究開発は最も人間的要素の強い仕事の一つであるだけに、研究開発に対する経営理念や創造的活動に対する環境の適否は、研究所の成果を左右するとも言われます。三菱電機の研究所 50 年の歩みの中から、それぞれの研究開発の当社業績へのかかわりや社会的貢献などを振りかえり、その成否の因果関係などを洞察しながら、次の世代に向う研究活動をより充実したものに行きたいと考えます。

これからの研究開発は、ますます技術内容が高度化し限界への挑戦的要素も増えてくるだけに一層大形化しつつあります。また一方では、複数の専門技術を必要とする技術複合的な研究開発も増えてまいります。更に技術先進国と目されつつある我が国の有力企業として、21 世紀を目指す未踏分野に対する先行的基礎研究にも注目し、長期的観点に立つ当社事業の展開を図ることも重要です。その力の有無が将来の企業間格差につながっていくからです。50 年の歴史の過程で築き上げられてきた現在の研究体制について、50 周年を契機により効果的な力を発揮すべく中央研究所をはじめ、それぞれの研究所の役割分担、存在意義、言い換えれば Laboratory Identity を一層明確にし、その上で研究所間及び事業部門とのより密接な連繫をとりながら、次の世代において社内外から高く評価される成果を挙げられんことを望んで止みません。

最近では、新しい原理、新しい現象の発見から、それに基づく製品化、市場参入までの期間が大幅に短くなってきている。バイオテクノロジーの分野で、遺伝子操作など新しい手法が発見されて10年を経ずして、その応用製品が世に出るなどは正にその好例である。このような状況の中であって将来の製品開発を目指すには、現在の技術の先端部分で、先行してより深く基礎に立入った研究を行う必要がある。企業で行う基礎研究は、ある目的をもって科学に立脚しながらその原理から有用な技術を引き出してくる行為とみなせるが、従来からよく言われている基礎、応用、開発、製品化と逐次進行していく考え方で基礎研究をとらえるのは、必ずしも適当とはいえない。開発段階であれ、製品化段階であれ、より進んだものを生み出すには、それぞれの段階で基礎に立ちもどる必要があるからである。

基礎により深く立ちもどった研究はそれだけ汎用性もあり、それら基礎研究の要素をその時々要請に応じて体系的に束ねれば、それは基盤技術として、現製品群、次世代製品群を支える強力な武器となる。

このような観点で、当事業の先端分野で先行的に実施し、基礎・基盤研究にふさわしい幾つかの分野を取り上げ、主な成果を中心に現状とその展望をレビューする。

### 1. 新機能をねらう電子デバイスの基礎研究

きたるべき高度情報化社会を支えるのは情報処理・通信技術の進展である。その主役を担うのは、ICをはじめとする電子デバイスのより一層の高速化・大容量化を実現する技術である。次世代の電子デバイスの分野で、まず重要な役割をするのはオプトエレクトロニクス IC (OEIC) であり、結晶育成制御技術などその基本技術の強化・向上を図ることによって、新しい機能デバイスの創造を目指している。OEIC は発光・受光素子と電気回路を構成する IC をモノリシックに集積化し、小形・高速・低雑音という特長をもたせようとするものであるが、OEIC の核となる高性能半導体レーザについては、狭スペクトル・低しきい値化を目標に開発を進め、モードホッピングの起こらない分布帰還形 (DFB) レーザの実現に成功した。

ジョセフソン素子を中心とするクワイエレクトロニクスでは、アナログデバイスとして超伝導量子干渉素子及び超伝導マイクロ波ミキサ回路の研究を進めているが、前者は心磁波、脳磁波の医療計測や資源探査などへの展開、後者は衛星からの地表の温度分布観測などへの展開が期待される。

バイオエレクトロニクスの分野では、工業、ME、ホームヘルスを念頭におきつつバイオセンサの開発に取り組んできた。グルコース、尿素、脂質などのセンサ及びこれらの組合せによる複合形センサ、ワンチップセンサは実用化もかなり近いところにあるといえよう。一方、生体たん(蛋)白質の電子伝達機能や生物の神経情報伝達機能に着目した生体分子素子や神経模倣素子の可能性を探る研究は、将来の新機能素子概念を生み出す重要な研究として、その歩をふみ出したところである。

### 2. 人工知能と次世代システムの先行研究

人工知能、プログラム理論、様相論理などコンピュータサイエンスの基礎的

研究に注力している。通商産業省による第5世代コンピュータプロジェクトでは、その基礎的分野である定理証明系ソフトウェア及び論理プログラム検証システムに参画し、成果を生み出しつつある。また、次世代コンピュータアーキテクチャ、VLSI 知的設計システム、シリコンコンパイラなどの研究も重要であり、関連部門との緊密な連携のもとに研究開発の一翼をになっている。

一方、近年の大規模、複雑化する産業・社会システムに対して、従来から発展させてきたシステム制御技術の上に、更にコンピュータサイエンスの成果を適用する試みを行い、電力系統や交通システムの分野で大きな成果をおさめた。この中でも、知識ベースによる電力系統の

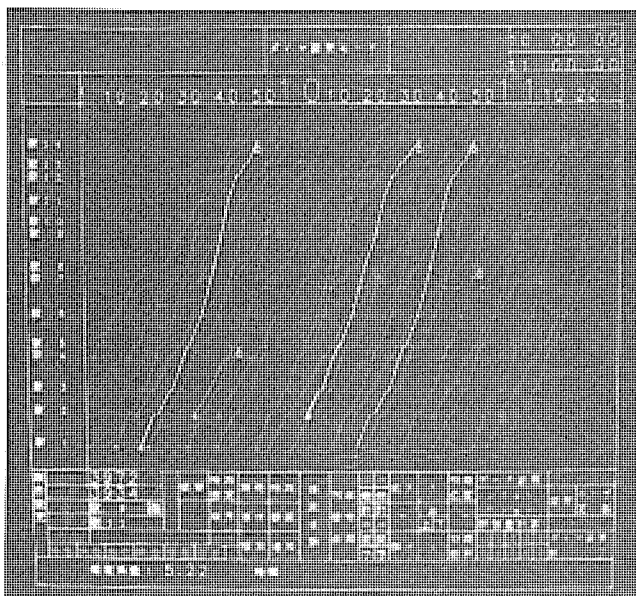


図 1. 列車運転整理支援システム (ESTRAC-3)

運用計画システム、大規模の故に取組が困難であった問題に、人間の経験知識をエキスパートシステム化した列車運転整理支援システムが特筆される(図1.)。

システム技術の動向は、対象システムの単なる物理的範ちゅうから人間のもつ知識、意志決定の領域にまで拡大し、非定量的、述語的な論理の世界へと大きな変化が生まれている。

### 3. 電気・機械技術の革新

電力機器の分野において、超高電圧化・超大容量化という今までの大目標が一応達成されたといえるものの、社会の高密度化・高度化に対応して電力機器の高性能化・コンパクト化の要請は強く、新素材の発展、大形コンピュータによるシミュレーション技術やレーザとデジタル技術を用いた計測診断技術の進歩は、この電力機器において新たなイノベーションを可能にしつつある。

アーク遮断現象の基礎的研究から VJC (Vapor Jet Control) 効果が発見され、低圧遮断器に適用して遮断電流の大幅な限流効果を実現した。この新しい限流技術は、ノーヒューズブレーカのスーパーシムレーション

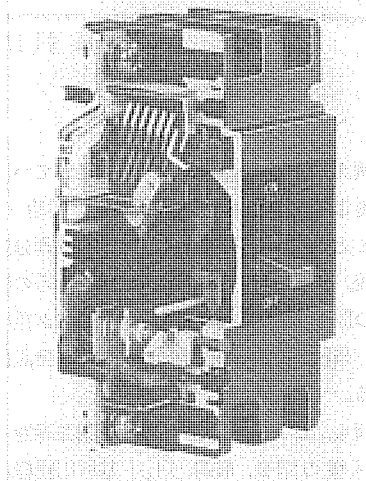


図 2. VJC 効果を限流機構に採用した  
ノーヒューズブレーカ (NF-100 SS)

ズとして製品化され、昭和 60 年度の電設工業展で建設大臣賞を受けた(図 2.)。

一方、電力機器研究の新展開として核融合装置の研究に取り組んでおり、巨大な電磁システムとして極限的な電力機器技術の開発にも多くの波及効果を及ぼしている。すなわち、多くの新しい シーズ 技術が派生し、プラズマ物理、荷電ビーム、アドバンストレーザ、超電導、極低温などの研究が新展開をみせている。最近、

このような基礎研究の中から相対論的電子ビームを用いたビーム励起レーザ発振の研究が特筆される。

機械技術では、情報機器、FA 機器、AV 機器、宇宙機器など新しい製品群への展開に呼応して、デザインテクノロジー、ダイナミクスと制御技術、及び宇宙関連諸技術が研究内容の中核を構成しつつある。技術の高度化に伴って、製品も多様化し、ライフサイクルも短くなるので、より高度な技術を蓄積してより短期間に、高性能・高品質の製品を開発しなければならない。このためデザインテクノロジーでは、構造・振動解析、熱・流体解析、機構制御など要素機械技術を統合して、新しい概念の設計方式を確立する必要がある。ここでは、入力データの自動作成、モデリング、種々の技術計算のコンビネーション化、対話形グラフィックス処理など計算の高速化に加えて、図面とモデル間の相互変換、信頼性・性能評価則などルールベースとの結合、規格・カタログ、材料定数などデータベースとの結合、計算と実験の相互補完などラボラトリオートメーションベースとの結合、を図って設計のエキスパート化を実現しようとしている。

宇宙関連分野では、大形人工衛星や宇宙基地に関した技術で、超高真空中での摩擦、潤滑のメカニズム、大形パドルアンテナ・トラス構造物の展開/伸展/収納方式の開発とそのダイナミクスと制御、柔構造物の姿勢制御、宇宙用マニピュレータの遠隔制御方式やランデブードッキング方式の開発など新しい技術への挑戦が進んでいる。

#### 4. エネルギー分野での先端開発

エネルギーは国民的課題として忘れてはならない問題で、社会の要請にこたえる形で新技術の開発に注力している。

燃料電池は、40% を越える高効率で、かつ低公害の次代を担う発電システムとして期待されており、国のムーンライト計画参加によってセル及びその集合体であるスタックについて基礎の開発を進め、りん酸形燃料電池で 1 MW 級発電システムの設計・試作へと進んでいる。更に、高効率が期待できる溶融炭酸塩形燃料電池についても積極的に研究を進め、(財)電力中央研究所における試験で 1 kW 2,000 時間の安定した出力特性を実証し、大形化への明るい見通しを築いた(図 3.)。

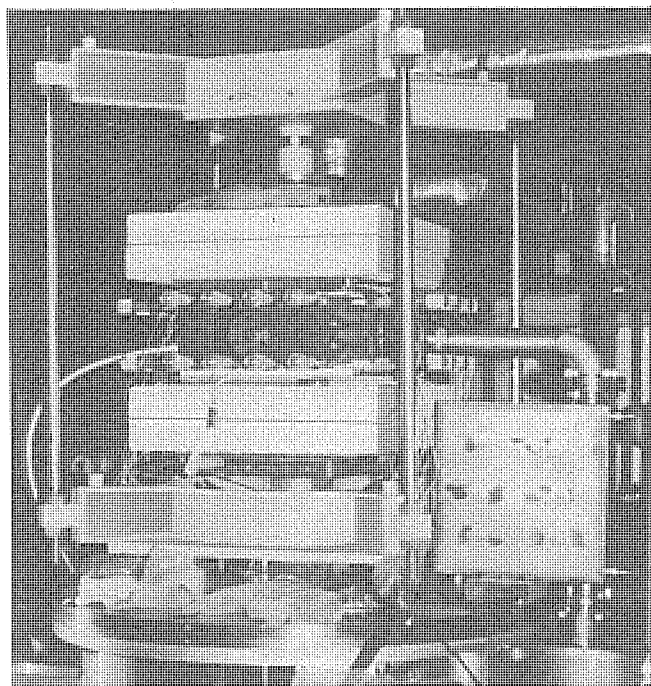


図 3. 組立中の溶融炭酸塩形燃料電池

今や我が国電力供給の 25% を占め、ますます重要性が増しつつある原子力発電の分野では、より信頼性が高く、かつ経済的なプラント建設を目指して、計装制御技術の拡充に力を入れ、先端的なエレクトロニクス技術や人工知能などの情報処理技術を取り入れたプラント総合監視、運転支援システムの開発で大きな成果を生み出した。

省エネルギー、エネルギー有効利用も重要な分野であり、ヒートポンプ技術の革新にとりわけ注力し、熱交換器の高性能化、冷媒回路の合理化の研究で成果を上げた。最近、工場排熱をより高位の熱として回収できる温度ブースタ、小形・低騒音のスクロール圧縮機などの開発に成功し、また、将来のヒートポンプ駆動用スターリングエンジンもムーンライト計画に参画して着実な実績をつみ上げている。蓄エネルギー技術では、フライホイール式無瞬断電源装置の開発が最近のトピックスとして注目され、落雷などによる瞬間的停電からコンピュータ機能の喪失が防止され、産業、OA 分野での適用が期待される。

#### 5. 今後の展開

前節までに取り上げた各研究分野は、主として当社中央研究所で担当しているものであるが、基礎・基盤というところでは多分に抽象的で、企業への貢献を明確に言い表すには今一步である。中央研究所の役割を企業への貢献という立場から鮮明に打ち出し、企業からの期待と研究者自身のモラル両方の向上につなげる方策が望まれる。その試みとして、中央研究所の役割を「企業にとって大きなインパクトを与えるアドバンステクノロジーを軸に、当社他研究所では十分にできない先進的研究を行うこと」と規定し、

- (1) 将来の事業を想定したアドバンステクノロジーを創出すること。
- (2) アドバンステクノロジーを適用して新しい製品概念を生み出し、新製品群を創り出すこと。
- (3) アドバンステクノロジーを使って現製品群の革新に寄与すること。をその任務とすべきであると考えている。

この考えを指導理念として、し(斯)界の発展に一層の貢献ができることを念じてこの小文を終える。

## 生産技術分野の現状と展望

伊藤 利朗\*

生産技術の研究開発を論じるにあたって、電機産業における生産技術構築の歴史を振り返ってみると、絶縁物の処理に関する生産技術以外は、例えば工作機械産業や時計産業から機械工作技術を、また自動車産業から組立の流れ作業の技術を導入するといった具合に、多くの技術が他産業からの導入に依存しながら構築されていったと言える。

しかしながら、昭和50年代の前半に、半導体産業の急速な進歩をみるに及び、この状況が一変し、電機産業が先端を切って開拓すべき課題が急増を続け、今日に至っているわけである。特に最近における製品の軽薄短小化が、次に述べるような、多くの製品分野での大きな変革を要求し、これが、生産技術の研究開発の必要性をますます高めているというのが現状である。

まず、半導体分野では、サブミクロンの微細加工を可能にするウェーハ処理技術の開発や搬送、組立、検査の自動化、高速化が主な課題として挙げられる。ここで自動化、高速化関連の最近の主な成果を述べると、ウェーハカセット搬送用の全方向自走車の開発、半導体レーザダイオードの組立・検査自動化ラインの開発などが主なものとして挙げられる。また、従来金線が使用されていた樹脂モールドトランジスタの配

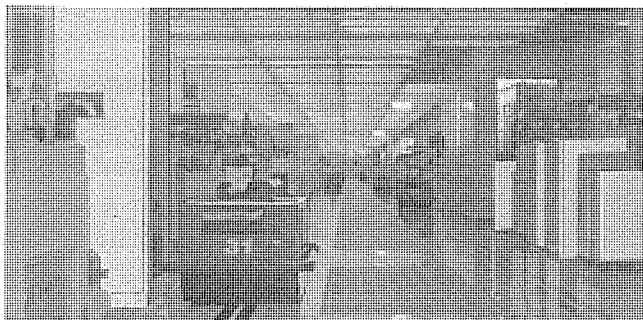


図 1. ウェーハカセット搬送用の全方向自走車

線を銅に代替する技術を開発したことも、特筆すべき事項である。

今後は、ウェーハ処理、目視検査、組立ラインなどの自動生産システムの開発、4Mビットから16Mビット時代に備えての先端的なウェーハ処理装置の開発などが、この分野での重要課題となる。

半導体デバイス以外の電子キーパーツも、革新的な生産技術を要求する分野である。この分野での最近の成果としては、フレキシブルディスクドライブ装置の組立、調整の省力化を大幅に可能にする装置の開発、各種新形磁気ヘッドの量産化生産技術の開発、VTRデッキ組立の自動化装置の開発などがある。今後もこの分野の高密度実装化、軽薄短小化がますます進行することが予想されるので、それに備えての高精度微細加工技術の研究開発、微細製品の組立、検査、調整技術が開発課題の中心を占めることになる。

電子デバイス用の絶縁材料のプロセス技術の開発も、重要な研究開

発課題を提供しつつある。例えば、過去に重電分野で開発していた紫外線照射で硬化する樹脂を電子デバイス組立に適用して、製造ラインの大幅な合理化を図ったことなどは、最近におけるこの技術分野での大きな成果である。今後、半導体ウェーハの層間絶縁のための特殊材料や特殊パッケージ材料の開発とその評価技術の確立などが重要課題となることを見越して、当社生産技術研究所では研究開発設備と人材の増強を図りつつある。

プリント基板関連の生産技術も、ここ数年来重要な研究開発課題を提供しており、異形部品挿入機の開発、特殊プリント基板用絶縁材料・プロセスの開発などの成果が既に挙げられている。今後は表面実装が多用化されることが予想されるので、これに備えて、高速実装機の開発、レーザ局部はんだ付け技術の開発、自動検査技術の開発などを推進している。

宇宙衛星関連の生産技術についても、ここ数年来、活発な研究開発が行われ、宇宙環境で帯・放電しない特殊熱制御材料の材料プロセスの開発、GaAs太陽電池の高信頼はんだ付けを可能にする技術な

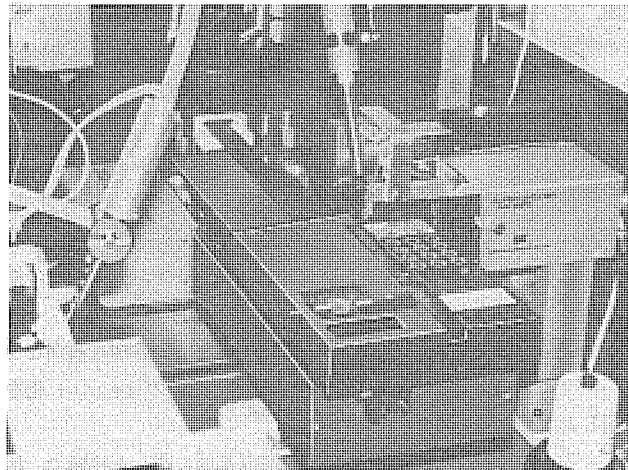


図 2. GaAs 太陽電池の自動はんだ付け装置

どの成果を得ているが、今後とも特殊な生産技術を要求する分野として注目している。

最近のトピックスとして特筆すべきことは、レーザビームや電子/イオンビームなどのいわゆる励起ビームを応用した加工技術の急速な発達である。特に当社では、CO<sub>2</sub>レーザ加工装置、電子ビーム溶接機、クラスティオンビーム装置などが開発/生産/販売されているので、これと並行して、これを応用した切断、溶接、表面処理、成膜加工技術の開発に力を注いでいる。

最後に精密金型のCAD/CAM技術など、コンピュータを応用して設計と製造を自動的に結ぶ技術が重要な研究課題となっていることを述べて本節を終える。

## 産業エレクトロニクス・メカトロニクス分野の現状と展望

大野 栄一\*

いわゆる産業の部門でのエレクトロニクス利用は、研究部門創設の当初から研究の対象であった。この技術は1947年のトランジスタの発明及び1971年のマイクロプロセッサの出現によって産業の基幹技術となり、あらゆる分野に深く浸透するに至った。

## 1. パワーエレクトロニクス

1958年に誕生したサイリスタの実用化に伴い、半導体素子による電力の変換と制御の技術、すなわちパワーエレクトロニクスが大きな研究分野となった。可変電圧可変周波数(VVVF)インバータによる、かご形誘導機の可変速運転、サイリスタモータ、定電圧定周波数(CVCF)無停電電源、車両用交流電源などと成果が相次いで生まれたが、そのなかでもチョップ電圧(直流電車の速度制御)の本格的実用化をもたらした多相多重形サイリスタチョップの開発は、昭和40年代の成果として特筆すべきものであろう。

一方、交流機の変速駆動は、初期にはサイリスタインバータに頼っていたが、トランジスタの大容量化に伴って、最近では数百kVAまでをトランジスタインバータで置きかえている。昭和56年に発表したすべり周波数制御方式ベクトル制御は、まず工作機械用として販路が開け、その後もマイクロプロセッサによる高度な制御を付加するなど高性能化に努めた結果、現在ではエレベーターの制御や鉄鋼プロセスラインの全交流化にも利用されている。

パワーエレクトロニクスは、また、家電の分野でもインバータエアコンや小形電子モータなどと実用が進みつつある。

以上のようにパワーエレクトロニクスは、現在基幹産業から家電製品に至るまで広く利用されている。今後更に100kHzを越える高周波領域での応用へも展開すべく研究が進められている。

## 2. 工業計測

当社の計測技術は、光なかなずくレーザと超音波の利用を根幹として発展してきた。そして現在では、単なる計測の段階をはるかに越えて、コンピュータによる情報処理を含む情報システムの段階に到達している。

光応用分野では最近、急発展したレーザ技術を用いる独自の測距技術を確立し、鉄鋼プラントや機械工場の自動化に貢献している。赤熱鋼板形状認識システムや無接触な装置は、この技術による成果である。

超音波応用分野では、早くから事業化していた超音波探傷技術を昭和50年代には自動探傷へと発展させ、更に近年新日本製鐵(株)との共同研究によって電磁超音波の実用化へと展開させている。

## 3. NC, CAD/CAM, ロボット

昭和35年に1号機を完成させたNCは、40年代後半に、ICなどハードウェアで構成していた機能回路を、ソフトウェアで代替するCNC

(Computerized NC)へと発展し、更に50年代後半には、現場のオペレータがプログラムを直接入力する対話形CNCへと展開した。(株)山崎鉄工所との共同研究によるこの対話形CNCは、NCに大きな革新をもたらしたものと産業界から高く評価された。最近では、工程設計や作業設計の領域を含んだ、いわゆるCAMシステムへと発展しつつある。また、CADで作成された設計情報と上記CAMによる製造情報及び動作制御情報との統合化を図る試みが活発であり、FAシステムの完成に向かっての努力が続けられている。

昭和30年代に開始したリモートハンドリング技術の研究は、40年代に入って生産ラインの自動化技術へと展開し、やがて55年には本格的なロボットの研究開発へと進展する。アーク溶接ロボットを最初として、ダイレクトドライブコンピュータ、ロボットオフラインプログラミングシステム、センサ付き知能ロボットなどと産業用ロボットは総合的な開発と事業化が進められている。また、悪環境の作業から人間を解放するための、極限作業ロボットの国家プロジェクトにも参画して開発を進めている。

## 4. エネルギービーム加工機

電気エネルギーを荷電ビーム、レーザビームなどに変換して、加工に利用するエネルギービーム加工機は、FAシステムの構成要素としてのみならず、半導体製造への応用という面からも注目されている。

電子ビーム加工機は、X線センサによる溶接線の自動検出などの独自技術も評価されて、昭和49年以降多数の納入実績を得ている。

レーザ加工機は、昭和54年の1号機以降もSD(無声放電)、SAGE(SD補助グロー放電)などの独自技術を生みだし業界をリードしている。通商産業省大型プロジェクトに参画して進めた大容量CO<sub>2</sub>レーザ加工機は、最高出力26.5kW、効率16.5%の世界最高性能機である。

半導体製造への応用をねらったエキシマレーザ、表面改質や微細加工に適するイオンビーム加工機も実用段階に入りつつある。

## 5. 自動車エレクトロニクス

特に液晶ディスプレイの研究で先行していた当社は、昭和57年に世界で初めて実用車に液晶メータを搭載することに成功した。その後も不揮発性半導体メモリの採用、マルチカラー化などと常に業界をリードしている。今後はメータの範囲にとどまらず自動車用総合情報システムへと展開すべく研究を進めている。

エンジン、クラッチ、変速機を包含したパワートレインの最適の形態を探ることは、業界の大きな課題となっている。当社はエレクトロニクス技術や制御技術をもってこれに挑戦しており、アドバンスト制御理論の適用も試みている。

現在これらの分野は、応用機器研究所が中心になって各研究所と協力体制をとりつつ研究開発を進めている。

1. 我が国の民生用電子商品は、昭和40年代のカラーテレビに引き続いて昭和50年代にはVTRが急伸し、昭和60年度の生産規模はVTR、オーディオ、カラーテレビを中心に約4.7~4.8兆円（うち輸出約3.7~3.8兆円）に達する見通しである。

60年代の電子商品は、社会構造の変化、それに伴うニーズの変化や種々の技術開発に支えられ、引き続き高い成長が見込まれる。

2. 当社では、この重要な電子商品事業分野の製品開発強化のために昭和55年4月京都製作所の構内に、電子商品開発研究所を設置した。この研究所の役割は、開発本部内の研究所群並びに関連事業本部、製作所と協力して戦略的電子商品の製品開発、技術開発、生産設計・試作評価を行い事業の発展強化に貢献することである。

現在、主として取り組んでいる開発分野は、VTR、テレビ、オーディオ関連のいわゆるAV機器であり、ここではAVを中心とした電子商品について述べる。

3. まず、今後の電子商品に影響を及ぼすと考えられる社会的・技術的動向を展望してみよう。

(1) 昭和65年に打上げ予定の放送衛星BS-3により、本格的衛星放送時代が来る。高品位放送の開始により高品位テレビが家庭に入り始め、映像機器の高精細度化が進展する。またPCM放送の開始により、オーディオ機器のデジタル化が加速される。

(2) 現行テレビ方式と両立性をもたせた Extended Definition TV (ED TV) の開発により、地上放送の高精細度化の検討が進められている。

(3) メモリの低価格化・大容量化など半導体技術の進歩により、デジタル信号処理技術の応用が電子商品分野においても著しく進む。例えば、帯域圧縮・伸長、デジタル画像処理及び誤り訂正などの技術によって、デジタルオーディオ、現行標準方式のテレビやVTRの画質改善や機能向上、ED TV、高品位テレビ、更にはデジタルVTRなどが実用化される。図1. は汎用DRAMの容量推移とデジタル技術応用製品の関係を示した。

(4) 高出力・短波長の半導体レーザやディスク用の新媒材、光ICなどの実用化により光技術のAV機器への応用が進み、AVのイレーザブルディスクレコーダーが商品化される。

(5) 磁気記録技術においては、テープやディスク及びヘッドの開発が進み、記録の高密度化が飛躍的に向上し、デジタル記録技術がAV機器に応用されるようになる。

(6) ディスプレイの面では、LCD、LED、プラズマなどの実用化あるいはCRTのフラット化により、平面ディスプレイ化が進む。

(7) 機構や構造設計の面では、小形軽量化技術・高密度実装技術・ファインメカ技術（精密加工技術）が更に進展する。

4. 上述の技術動向を背景として製品動向を展望すると、

① AV製品の一つの方向は、小形軽量化に伴う、パ

ーソナルユース志向である。② もう一つの方向は、大形画面化、AVシステム化などエンターテインメント要素が強まっていく。③ VTRでは、見るビデオから撮る・作るビデオへとニーズが多様化していく。④ オーディオは、CDプレーヤーに続いてDAT（デジタルオーディオテープレコーダー）が昭和61年に商品化され、更には聴く環境に合わせて自分の好きな音づくりができる本格的なデジタルオーディオ時代となる。

5. このような背景の中で、現在、電子商品開発研究所が開発研究しているアイテムの主なものを述べる。

(1) VTR関連：VHS方式における画質改善、デジタル化、8ミリビデオ、ハイビジョンVTR

(2) テレビ関連：デジタル画像処理技術、ハイビジョンテレビ受像機、ED TV

(3) オーディオ関連：CDプレーヤー、DAT

(4) 光デバイス：CD用光ピックアップ、ライトワンス、イレーザブルディスク用の光ヘッド

6. 最後に、昭和60年代はデジタル技術による高品位のAV時代になるであろうと期待し、研究開発を通じて当社の企業理念である活力とゆとりのある人間社会の実現に貢献していきたい。

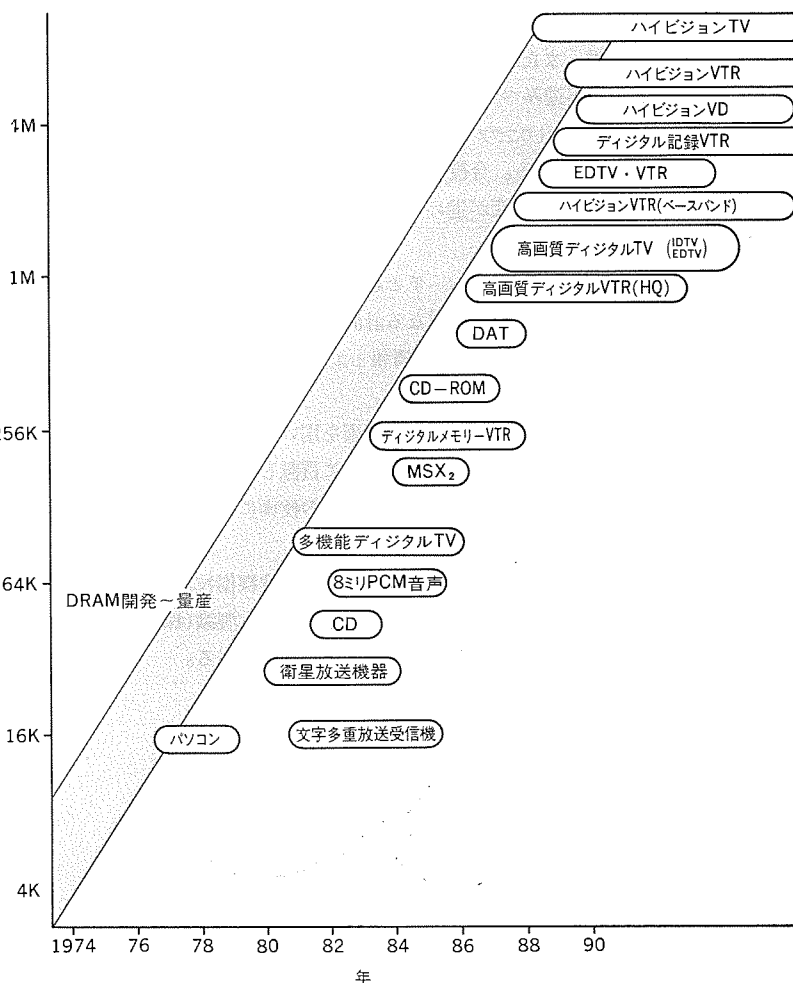


図1. 汎用ダイナミック容量の推移とデジタル応用技術

## 家電機器開発の現状と展望

市川 健一\*

ハイテクノロジー時代、情報化社会を迎えながらも、家電機器は人生の大半を過ごす家庭生活の支えとして定着している。昭和20年代後半からそのれい(黎)明期が始まり、40年代、3種の神器と言われたテレビ、冷蔵庫、洗濯機などの出現による成長・普及期、40年代後半からのエネルギーショックに起因する省エネルギー化の時代を経ながら社会の要求に合った研究開発がなされてきている。

家電品の研究開発の概略傾向としては、初期の電気部品を集めた機能開発から、最近ではエレクトロニクス技術、制御技術に応用するなど、技術の高度化があげられる。

近年の家電・住設機器については、ほぼ安定した市場を形成しているが、各社のマーケットシェア向上のための開発競争が激しく、市場に、より受け入れられる技術開発が重要となっている。家電機器の開発には各機能要素の高性能化、高信頼度化、低価格化を実現する機械要素、伝熱、流体、騒音、燃焼、材料などの広い分野のハード技術が重要であるが、例えば、ゆとり、やすらぎ、いきがい、など消費者ニーズに合致する機能、製品が本来持つべき機能を追求し、ハード開発を先導する生活ソフト技術も極めて重要である。生活ソフト技術が介在して新製品開発を行った最近の例として、家庭生活の中でどんな色の光が好まれるかの研究から生れた、三波長形蛍光灯《ルピカエース》、電球形蛍光灯《ピカッ灯びかいくん》、食品のおいしさと調理との関係性を追求し、ヒーターと電子レンジの最適組合せを見出したコンビ加熱オーブンレンジ、更にこれに強制対流加熱方式を付加したコンビ&ブロー方式、生鮮食品の保存メカニズムや解凍・熟成による味の劣化実験・評価から開発された4ドアチルド冷蔵庫、人の空調快適性に基づく室内の温度・気流分布の研究により、快適制御方式を付加した《クリーンヒーターエアコン》(デュエットフロー方式)、ファンヒーター(コンビネーションフロー方式)、温感自動制御ルームエアコン、衣類の洗浄性と布がらみとの相関性を繊維の物性的研究から見出した洗濯機《Mr. かくはん》、更にウール物などの縮みを防いだデリケート水流の開発、音場の解析、音場とビジュアルと臨場感の研究から生れた同相リアフェーズスピーカーシステム、ビジュアルサウンドスピーカーシステムなどがある。その他の技術傾向としては、マイコン使用などエレクトロニクス化、ホームオートメーション(HA)対応のシステム化などがますます進展している。

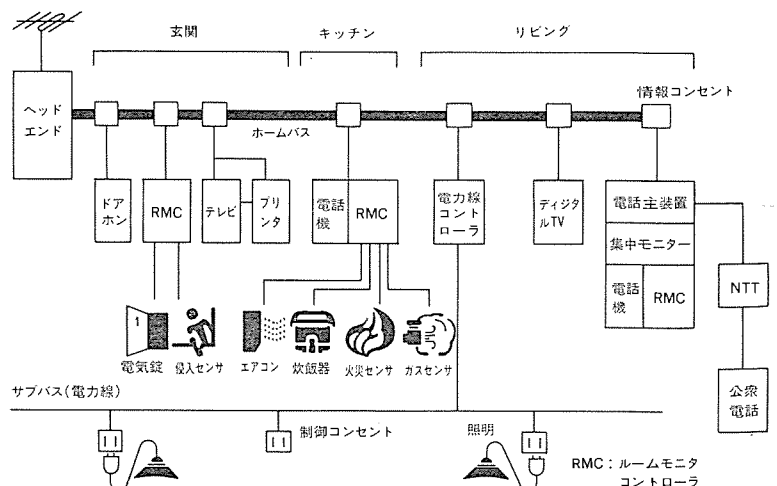
家庭内情報化、ホームオートメーションなどの言葉に代表される新分野の家庭用情報機器・システムについては、そのマーケットが切り開かれようとしている。SHF放送、文字多重放送、双方向CATVをはじめ、商用サービスを開始したビデオテックス(CAPTAIN)などのニューメディアに対応し、家庭に居ながらにして家庭用情報端末から各種の情報を入手したり、逆に家庭外に情報を送出する「情報化(HA化)家庭」ができるのも近い将来であろう。この情報化家庭に向けての概念を「家庭に必要な様々な生活機能が、情報を取り込むことによってどのような新しい関係を、あるいは生活形態を作り出していくかを追求し、そのための技術やシステムを開発する」という発想視点に立ち、当社HAシステムを《MELON》(Mitsubishi El-

ectric Life Oriented Network System)と名付け開発を進めている。この《MELON》システムは、次の三つのコンセプトに分類でき、マーケットの成長とともに、開発するシステムの概念を拡大して行く予定である。すなわち、ホームコントロール、エネルギー管理、セキュリティなど人間が生活する住空間の維持に関するハウスキピング、ホームショッピング、ホームバンキング、予約、人とのふれあい、連絡、通信及び健康管理などに関するホームマネジメント、及び学習、娯楽、鑑賞、創作活動などに関するライフカルチャーである。

現在エレクトロニクス、メカトロニクス、情報通信などの技術を駆使し、今後急速にマーケットの伸長が予想されるホームバス、家庭用情報端末としての電話機、イメージリダ、プリンタなどの開発を鋭意進めている。

市場ニーズに合致した個々の家電品の開発、家庭用情報機器・システムの開発は共に重要なテーマであるが、個々の家電品とHAシステムとの整合性、またHAシステムと社会システムとの整合性が現時点の課題の一つである。更にこれら機器・システムがユーザーフレンドリーであること、またこれら製品群の中で、前述したゆとり、やすらぎ、いきがい、などの人々の要求が満たされるかということも重要な研究課題である。また、家電機器のように、一般ユーザーを対象とした量産品にあつては、消費者ニーズの的確な把握、設計段階から物流を経て、家庭で使用される最終過程までの部品・製品の信頼性・安全性、更には人間工学的な製品の使い勝手などの検討に関する研究活動も特に必要である。

以上のように、家庭用電気機器・システムの開発に当たっては、最新技術の応用、展開を図りながら、“豊かで調和ある生活環境の創造”を目指して、消費者の立場にたった研究開発を今後も積極的に進めて行くつもりである。



## 主な機能

ホームセキュリティ：火災、ガス漏、侵入等の監視  
ホームコントロール：エアコン、照明、電気錠等の制御  
テレコントロール：公衆電話より電気錠、エアコン等の制御

テレモニター：公衆電話より家の安全の確認  
システムテレホン：ホームテレホン（外線/内線通話、保留転送、拡声呼び出し）  
映像コントロール：デジタルTV、ビデオドアホン、プリンタの制御

図1. HAシステム図

## 1. 分野の概況

情報処理及び通信の分野を形成する技術は急速な発展を続けており、数々の成果を生み出している。これにより実現される機器・システムの高度化の様相から、将来の情報化社会の実現が近づきつつあることが実感されるとともに、この分野が産業として今後ますます大きく成長することが予見される。この分野の技術発展が今日の時代を特徴づける点をあげてみると、次のようになる。

まず、高度な情報通信システムへの確実な接近があげられる。近年の電子機器・部品技術、システム構成技術の発展、具体的には、光ケーブル伝送、レーザ・ダイオードをはじめとする各種光通信用部品技術、多重通信、交換、LAN構成、更に情報処理と通信を融合するソフトウェア技術などをシーズとして、情報通信システムを構成する技術が大きな進展をみせている。情報通信技術は今日の社会の中核を支えるものであり、この発展が社会構造そのものの変化を促進することが推想される。

次に、多様な情報を対象とする処理技術の実用化・普及があげられる。情報処理の機械化は、従来、数値・記号を対象とするものに限定されていたが、文字・画像・音声といったパターン情報の処理についての長年の研究開発の結果、実用に耐える技術成果が数多く出現し、情報入出力機器として本格的な実用・普及に入りつつある。これらの多様な情報の処理が可能となることにより、人間の社会活動の中への機械情報処理の浸透が飛躍的に促進されると予想される。

第三にあげるものとして、知識情報処理への挑戦がある。人工知能に関連する研究は、かなり長期にわたり行われてきたが、最近に至り一段と活発化し、技術課題の体系的な整理も進んできた。また、この分野の研究の基本的なツールとなるコンピュータを構成するハードウェア、ソフトウェアの技術の進展によって、現実的な目標を設定した研究開発が始められている。この分野の研究の道程は長いが、その成果は情報処理機器・システムの社会における役割を高める意義が大きく、今後に期待したい。

次に、この情報処理・通信技術分野の動向を、当社の研究開発成果と関連づけながらみることにする。

## 2. 情報処理・通信分野の技術動向

## 2.1 情報処理

## (1) 高速情報処理

情報処理の適用分野の中で、数値解析でのベクトル計算、画像処理での並列計算など、計算量が集中的に大きくなる処理に対処するため、計算性能を飛躍的に向上させる要求が強い。この種の応用のために高速処理向けの専用アーキテクチャが工夫される傾向にあり、マルチプライン、データフロー、セルラレイなどの方式の研究が盛んとなった。通商産業省の科学技術用高速計算システムプロジェクトが代表的なものである。これらの高速処理では、装置の構成だけでなく、並列性の記述と実行制御のソフトウェアの問題がある。

## (2) ワークステーション

情報処理機能の分散化の発展形態として、端末側で使用者の要求をできるだけ多く満たすワークステーションの発達が見られる。当社で

は、ビットマップ・ディスプレイを備え高速イメージ処理機能をもつ多機能ワークステーションを日本電信電話(株)(NTT)と共同で開発した。この種のワークステーションの今後の傾向としては、32ビットマイクロプロセッサ採用による高機能化、専用LSIによる表示制御・画像処理の高速化と低価格化、統合ソフトウェア体系を用いたユーザー・インタフェースの単純化などがあげられる。

## (3) 情報入出力

文字認識の領域では、手書き漢字OCRが実用に入っているが、今後はOCR単体だけでなく、複合化(図・写真の処理との組合せ、パソコン・オフコン・ワークステーションとの組合せ)、統合化(認識サーバとしてLANに接続し、ワークステーションなどと組み合わせて使用)、専用化(特定用途向き)の方向への発展が期待される。

画像処理の技術はICメモリの発達、低価格化とともに著しく普及し、今日では医用診断、リモートセンシング、生産ライン自動化などあらゆる分野に浸透しているが、最近、設計図面・設備図面を読みとる技術の開発が進んでおり、配線回路図・配管図などの処理への適用が期待されている。文字と図形を含むオフィス文書の自動処理は今後ますます進展が予想される。

出力としては、静電及び感熱の各種印写技術が進み、静電プロッタによる高速の図面出力も可能となったほか、熱転写方式によるカラープリンタで1インチ当たり300ドットの高解像度の印写が可能となった。

## (4) ソフトウェア生産技術

ソフトウェア開発効率化は、ますます重要となっている。ソフトウェア・ライフサイクルの各段階に対する生産性向上手法とツールの開発が盛んとなったが、最近の動向としては、ソフトウェア・データベースを中心とした各種ツールの有機的結合による計算機支援の拡大、日本語及び図形の処理技術の活用によるソフトウェアの可視性向上、設計ワークステーションによるソフトウェア開発の分散処理化、ソフトウェア再利用技術の向上などがあげられる。知識情報処理の応用も今後の課題である。

## (5) 知識情報処理

第5世代コンピュータプロジェクトが、この分野の研究開発の促進の役を果たしている。この中で当社は逐次形推論マシンの開発を担当、委託生産により各研究拠点にこれを提供している。推論、知識ベースといった基本技術とともに、応用システムの開発がこの分野の課題である。当面、医療診断、プラント制御、異常検出、故障検出などのエキスパートシステムの開発が行われているが、今後は優れたエキスパートシステム構築ツールなど開発の環境整備に伴って、着実に研究開発が進展することが期待される。

## 2.2 通信

## (1) 伝送系

無線伝送系としては、衛星通信のデジタル化が最大の課題である。当社はインテルサットのTDMA方式の技術試験用テストベッド納入以来技術開発を進めており、TDMA/DSI方式の地上局については、インテルサット、ユーテルサット向けに多くの実績をあげている。今後衛星通信はビジネス用としての発展が期待され、小形で経済的な地上局を

構成するための符号化 モデム、ビタビ 復号器、 高能率音声符号化方式などが研究開発課題である。

有線伝送系では、光通信と デジタル 多重伝送を中核技術として実績を築きつつある。光通信では光 LAN 伝送系、 ITV 伝送用 アナログ 光送受信器などで多くの納入例がある。また光送受信器の IC 化も重要課題であり、 130 Mbps 送受信器を 3 チップの IC にまとめた。

デジタル 多重伝送技術では、NTTがINSサービス早期導入のため開発中の加入者線 デジタル 多重伝送装置の開発に参画した。この装置は今春から商用化試験が予定されている。また高速 デジタル 伝送サービス 用高性能多重化装置《MELMUX》を、企業の専用通信網の中心的機器として開発した。

#### (2) 交換系・LAN

ローカルエリアネットワーク(LAN) は、分散処理が進む OA、FA システムの基本要素として実用化されつつある。当社は規模、機能の各種要求に対応可能な階層化構造をもち、回線交換・パケット交換の両方を備えた《MELNET シリーズ》光 LAN を開発した。更に DDX 網を通じて遠隔地の LAN との接続が可能な ゲートウェイプロセッサも開発し、経済的な広域 データ 通信網の構築を可能とした。

EPBX はスター形の LAN ともみることができ、音声を含む構内伝送システムには特に有効である。当社は データ 伝送も可能な多機能 EPBX を多機能 デジタル 電話機と並行して開発し、情報電子研究所内の実験システムとして使用している。

#### (3) ファクシミリ、ビデオコーデック

ファクシミリは通信網の デジタル 化に伴い、高速化、多機能化が進んでいるが、伝送装置としてばかりでなく、各種 OA 端末の入出力装置としても広く使われ始めている。GIV 規格の適用によって ミクストモード などの高性能化が一層図られる方向にある。

NTT の高速 デジタル 伝送 サービスの普及に伴い、帯域圧縮技術を用いた TV 会議が実用化されようとしている。当社ではベクトル 量子化方式を拡張して、64 Kbps の超低速で毎秒 5 ～ 6 枚の画面を伝送できる ビデオコーデックを世界に先駆けて開発した。今後、通信会議用に広く使用するため ソフトウェア を充実している。

#### (4) 情報通信 システム

情報通信 システム 構築の技術の確立は、この分野の基本的な課題であり、LAN に続いて、広域網の構築の要素となるパケット交換機、更に網の管理に必要な ネットワークシステムプロセッサの開発に注力しており、これらの技術を研究所内パイロットシステム、社内通信網で十分熟成して世に問う予定である。

#### (5) 要素部品

アンテナ技術は、開口面アンテナ、アレーアンテナそれぞれについて進展がみられ、高度な技術成果が生み出されつつある。当社は公衆通信、衛星通信に適用した技術の伝統の上に、衛星搭載用マルチビームアンテナ、列車・自動車などの移動体通信用アンテナなどについて、新応用分野

開拓、小形・軽量化を果たしている。

マイクロ波回路では、開口面アンテナのフィードホーン、分波器などに数数の成果を上げてきた。最近ではマイクロ波帯 FET が実用化されるに伴い、LNA、パワー増幅器の MMIC 化が課題となり研究開発を推進している。

光回路部品は光通信のキーデバイスである発光・受光モジュール、光合分波器、光スターカプラなどについて開発を進めており、モジュールの全メタル溶接固定、モジュールと光合分波器を一体化した光合分波モジュール、スラブガイドを用いた低損失・低損失ばらつきの光スターカプラなどの多くの新しいアイデアを盛り込んだ光回路部品を生み出している。ここで使用する発光・受光素子は、当社 LSI 研究所で開発したもので、その性能には定評が得られている。

### 3. 研究開発推進上の課題

情報処理・通信分野の研究開発を推進する上で、今日、産業界に要請される役割として、まず、基礎となる技術の確立があげられる。分野、時代を問わず産業界は良質の製品の提供を通じて社会の繁栄を促進する責務を負うが、情報処理・通信の分野では、担当する製品群が社会の根幹を形成することから、その品質・信頼性が高度に要求され、また技術革新の速さが極めて大きいことから常に新技術を実用化に結びつける努力が一段と必要になる。

次に、最近の研究開発の傾向として、パターン情報処理、知識情報処理の例にみるように、高度な目標に向い長期の計画をもって臨む必要のあるものが増加している。国家プロジェクトが編成されることも多い。これらに対する産業界の姿勢として、途中段階成果を生み出す努力を常にもち、タイミングよく実用に供することが重要である。それによって需要を喚起し、要求仕様を顕在化して、研究開発自体の一層の活性化が期待されるからである。ここに長期研究開発における官民の協力の姿が求められよう。

更に、新しい技術標準の確立への協調がある。装置・システムの相互関連、ソフトウェアの集積の多いこの分野では、境界面の約束ごとをはじめとした技術標準の設定が極めて重要である。標準設定は、新技術の開発の段階から考慮すべきことは論をまたない。将来の情報化社会へ向けて開発していく多くの技術項目の標準化について、産業界として競争の中にも協調を重視して健全な姿を実現したい。

最後に、当社ではこの情報処理・通信分野の研究開発拠点として、昭和 60 年、当社情報電子研究所の新棟を建設した。その規模は内外に誇れるほどのものではないが、建設にあたり幾つかの理念をたて、その実現に努力した。ソフトウェア開発効率化を追求した研究開発環境、情報通信装置・システムを実使用しながら完成度を高める実験棟としての機能、外に開かれた研究所の機能、などがそれである。昭和 61 年からはこれらの理念を更に発展させつつ、情報処理・通信分野の新しい姿の実現を目指して一層の精進を続けたい。

研究所 50 周年記念にちなんで、まず当社の材料研究の歴史を少し回顧してみたい。当社における材料の研究は、大正 13 年の神戸製作所工作研究係における絶縁材料及びと(鍍)金の研究着手に、その糸口が開かれている。以後、水銀整流器、亜酸化銅整流器、避雷器などと機器研究領域の広がりとともに材料研究の規模も拡充し、昭和 10 年には既に 1 トンがま(釜)による絶縁塗料の製造・研究が始まり自社生産へ踏み出している。電気材料の中で特に絶縁材料としての有機材料の研究は、その後今日に至るまで当社材料研究の基軸的な課題として、電気機器の高性能に対応しながら進展してきた。

一方、昭和 10 年後半から 20 年代にかけて、当時の社会情勢に伴う無線通信の研究開発が進むに従って、その関連研究として電子管、電力管及びそれに使用する材料の研究が大きな比重を占めてきた。金属封着 ガラス、電極材料、蛍光体、フェライト その他酸化物焼結材料など無機材料、合金材料などの開発が促進され、これらの技術は後にブラウン管、蛍光ランプ、電力管、真空スイッチ、フェライト製品などの事業化に貢献するところとなった。また、この電子管、電力管の開発は、関連技術として真空術技、物理計測技術、材料分析解析技術、材料物性研究などの基礎技術の蓄積を大いに促進した。

昭和 27 年、酸化ゲルマニウム結晶の引き上げ研究を皮切りに、当社の半導体の研究開発がスタートした。30 年代後半から IC 製造技術の急速な展開があつて今日の半導体デバイス事業の隆盛となったが、これには、シリコン、GaAs などのウェーハ材料の品質向上のほか層間絶縁材料、レジスト材料、導体材料、封止材料、実装基板材料などの材料開発も重要な要素となっている。

これら材料の研究開発は長く当社中央研究所を中心に進められたが、昭和 38 年に当社相模製作所内に金属材料研究部が発足し、事業化との結びつきの強い銅合金、磁性合金、接点材料、超電導材料、磁性酸化物などを中心に研究開発が進められた。昭和 50 年代に入り、省資源、省エネルギー、エレクトロニクス化が急速に進む中で、当社も材料研究の体制強化と再構築が緊急課題となり、51 年 LSI 研究所が創設されて半導体デバイスの研究・開発から製品化への一貫体制が敷かれた。また昭和 57 年には材料研究所を設立して、機能材料及び新電子デバイスの開発推進のために研究体制の一元化が図られた。

現在、材料研究所では、超電導導体、マイクロ波通信用セラミックス、光学結晶、機能性高分子材料、繊維強化複合材料など、当社の基幹製品に大きなインパクトを与える重要材料について研究開発を進めて

いる。また、これらの材料及び材料適用技術をバックに薄膜プロセス技術を主たるベースとして、VTR や計算機ディスクメモリ装置用などの磁気記録ヘッド及び媒体、ファクシミリ用サーマルヘッドやイメージセンサ及び液晶平面ディスプレイなどの画像・表示デバイス、あるいは高密度実装モジュールなど情報・エレクトロニクス機器関連キーデバイスの開発を進めている。

薄膜形高性能デバイスの製造プロセスが象徴的に示すように、近時、材料からデバイス製作までのプロセスは従来とは様変りの変革をしている。すなわち、イオンビーム、あるいはレーザー光を利用した気相反応成膜技術や、超微細加工技術の発展によって、材料合成—加工—デバイス製作のプロセスは次第に一貫化・一体化してきて、従来のように各プロセスを個別に分けて把握することが困難になってきた。また、材料的にも“bulk から thin film へ”、従来の板やブロックの利用から、表面層のみを機能化した高性能薄膜としての利用へ進みつつある。イオンビームのエネルギーや、イオンの混合量を変えることによって成膜の機械的、電気的、光学的、あるいは結晶学的諸性質が制御される。更に、イオン注入、イオンビーム・エピタキシー、プラズマ重合などの結晶成長、化合物合成の新たな手段も、自然界に存在しなかった新しい機能材料を今後人工的に創造していく可能性を秘めている。

近年の材料・電子デバイス技術の進歩は、広い分野の科学技術の成果を基盤として成立している。この分野の技術内容を大別すれば、①材料に関する特性値及び物性理論の知識、②材料・デバイスの状態を解析し理解する分析・計測技術、③意図したように材料を合成・加工し、デバイスを製造する装置及びプロセス技術、④材料・デバイスの機能を理解し、仕様を与え、目的のシステムを構成する設計技術、などである。

材料・デバイス分野の将来は、これらの技術要素の、より効果的な方法を広く探索しあうことによる深化と広がりのもとに発展を続けるであろう。同時に、各技術の協同化、総合化によって着実に製品化が実現されていくと思われる。材料の組成、結晶微細構造、分子構造などや、超微粒、薄膜などの形状の因子、あるいは複合化などが総合的に検討され、システムを組み込んだ材料、インテリジェントデバイスといった設計も現れよう。分子全体として、一つの構造を保ち、部分的な原子の変更により特性に変化をみせる有機材料は、電子材料として今後一層の展開をみせるであろう。分子構造のオーダーメイドの極としては、個々の生体に対応した分子をつくる細胞培養も、分子合成技術の一つとして期待することができよう。

近年、Si 超 LSI をけん引車とする半導体産業の伸展は著しく、コンピュータからロボット、通信、医療まで情報処理技術の全域にわたるこの技術革新は、情報化社会に向けての社会的変革を引き起こしつつある。半導体産業は現在深刻な不況に直面しているが、マクロにみれば高成長率を維持することは疑いない。同時に研究開発の面では、カスタム化の波に対応した多様な展開が求められよう。

このような状況の下で、当社は LSI 研究所が中心となり、将来動向を踏まえた先行開発と事業戦略に基づいた効率的運営を基本として研究開発を進め、これまで、64 K/256 K DRAM を始めとする超 LSI デバイスや、光デバイスなどの分野で多くの成果をあげてきた。以下では、LSI 研究所における研究開発の概況を紹介する。

### 1. Si 超 LSI

半導体の分野で市場規模が最も大きく、デバイス/プロセス技術の面でも先導役を果たすのはメモリである。そのうち DRAM については、設計基準  $1.0\ \mu\text{m}$  による 1 M の製品開発を行うとともに、4 M 対応の技術開発を進めている。高速動作、低消費電力を特長とする SRAM については、設計基準  $1.3\ \mu\text{m}$  の微細化 CMOS 技術を駆使した 256 K CMOS SRAM を開発し、アクセス時間 45 ns の高速化を実現した。

セミカスタム LSI の分野では、ゲートアレーを中心に開発を行っており、最近 215 K トランジスタからなる VTM (Variable Track Masterslice) 方式の LSI を開発した。これは、ゲートアレーの配線領域にも、すべてトランジスタを敷きつめ、必要に応じて論理ゲート又は配線領域として使い分けできるようにしたもので、RAM、ROM などの機能ブロックをスタンダードセル並みの集積度で実現できる。

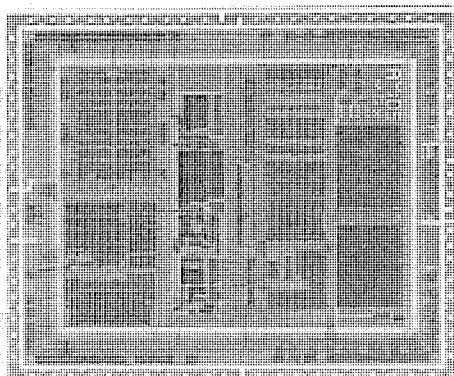


図 1. 16ビット 1チップマイクロコントローラ

$\mu\text{P}/\mu\text{C}$  関係での最近の成果は 16 ビットオリジナル 1 チップマイクロコントローラ (図 1) である。これは 16 M バイトの広いアドレス空間、最短命令実行時間 500 ns の性能をもち、オリジナル品としては国内初、CMOS 形では世界初のデバイスである。独自設計による 32 ビット高機能  $\mu\text{P}$  の開発も進めている。

このほか、開発中のデバイスには各種情報通信用 LSI やカラーイメージセンサがある。後者は独自の CSD (Charge Sweep Device) 方式により、高感度、高ダイナミックレンジ、かつ  $1/2''$  フォーマットの小型化を

現した。

超 LSI 技術は、4 M DRAM 以降、いわゆるサブミクロン時代に入る。LSI 研究所でもこれまで 4 M 用の基本ウェーブプロセス技術の蓄積を図ってきた。例えば次期リソグラフィ技術と目される X 線露光技術、高速かつデバイスへの損傷・汚染の少ない ECR (Electron Cyclotron Resonance) 応用反応性イオンビームエッチング技術、高解像度レジストパターン形成やマスキングエッチング/イオン注入への応用が期待される FIB (Focused Ion Beam) 加工技術、薄膜形成の低温化が可能で照射損傷の少ない光 CVD 技術、などである。また従来のクロムに代えてモリブデンシリサイドを用いたホトマスクを開発した。このマスクは、微細な回路パターンに対して、パターンはがれが全く生じない高信頼性をもち、超超 LSI への対応を可能にした。

一方、プロセス技術とともに、微細化に適合したデバイス構造面での変革も要求される。例えば拡散層と配線を同時に低抵抗化する要請があり、これに対してセルフアライン方式チタンシリサイド化トランジスタを開発した。

二次元 LSI の高密度化、高速化の限界を克服しようとする三次元回路素子も重要な将来技術である。当社では、レーザによる絶縁膜上の多結晶シリコン再結晶化技術を用いて、3 層のシリコン IC 能動層をもつ素子の試作に世界で初めて成功した。また、レーザ再結晶、単層の SOI 技術を用いた高性能の 1.1 K $\mu\text{m}$  MOS ゲートアレー試作にも成功した。

なお詳細は省略するが、超 LSI の高密度化、高性能化に不可欠な諸技術、すなわち CAD を中心とする超 LSI 設計技術、各種シミュレーション技術、テスト・評価技術、高密度実装技術などについても研究開発を行っている。

### 2. 化合物半導体

LD (レーザダイオード) を中心とする半導体光デバイスは、今日、光ファイバ通信や光ディスクなど様々な分野で用いられている。当社は早くから光デバイスの重要性に着目し、研究開発を進めてきた。現在は、 $1.3\ \mu\text{m}$  帯及び  $1.55\ \mu\text{m}$  帯の光通信用高性能長波長 LD や、高出力、微小スポット、低雑音の要求される光ディスク用 LD などの開発を行っている。

GaAsFET/IC 関連でのトピックスは、FIB 技術を使用したゲート長  $0.2\ \mu\text{m}$  の超低雑音 GaAsFET の開発である。このほか、28 GHz、1 W 以上の高出力 MMIC、1 GHz 帯の広帯域 MMIC など、用途に応じたアナログ IC や、低消費電力の 1 GHz 帯プリスケラ、GaAs 4 K SRAM などの開発を進めている。

太陽電池関連の開発対象は、人工衛星用 GaAs 太陽電池と電力用アモルファス Si 太陽電池である。特に後者は、独自のタンデム構造による高効率化を目標としている。

半導体産業が今後ともエレクトロニクス産業の中心的担い手であることは疑いないが、技術面からみれば、物理的限界に近づきつつある微細化プロセス、高度化・多様化するソフトウェアなど、技術的な困難さも加速度的に増大している。これらの課題に挑戦することが、今後の半導体開発の関係者に課せられた共通の使命であろう。

\* LSI 研究所(所長)(理博)

# インダストリアルデザインの現状と展望

石山 武彦\*

## 1. まえがき

インダストリアルデザインという言葉は、戦後の新しい言葉のように思っている人も多いようだが、実はそうではなく欧米では1919年（大正8年）から使われだしたと言われ、1929年（昭和4年）にはニューヨーク近代美術館にインダストリアルデザイン部門が独立して設けられており、同じ年にノーマン・ベル・グズ（後にGEのデザイン部門をつくった人）が初めてインダストリアルデザイナーを職業名として名乗ったと記録されている\*。

したがって、新しいとはいいながら既に70年近い歴史を持つ言葉であり職業なのである。

## 2. インダストリアルデザインの理念

インダストリアルデザインという分野あるいは運動が始った遠因は産業革命にあるとするのが定説であるが、これは産業革命によって大量に（といっても今日のそれとは比較にならないが）造り出された「もの」があまりにも無秩序であり、美的感覚と人間のぬく（温）もりに欠けているという見方をする人々が、このままでは人間生活の空間秩序や文化が破壊されてしまうのではないかという危機感を抱いたことに始ったと考えてよいと思う。

今日、マンマシンインタフェースなどに代表される新しい言葉で人間と機械との関係改善が叫ばれ、更には自然との共存、人間性復興が大いに論じられているが、前世紀末から今世紀初頭にかけても似たような思潮があり、その一つの現れとして工業製品と芸術の融合活動が始ったのである。そして、その代表例が昨今宣伝あるいは文芸時評に再び登場しているアールヌーボーであり、バウハウスなのである。

その後インダストリアルデザイン活動も発展と変遷を経ることになるが、その根底にある理念は変わることなく受けつがれている。

1950年エドガー・カウフマンは、その著書What is Modern Designの中でインダストリアルデザインの理念ともいべきものを整理して次のように述べている。

- (1) 近代デザインは近代的思想を表現すべきである。
- (2) 近代デザインは近代生活の具体的な需要を満たすべきである。
- (3) 近代デザインは目的意図を明確に現すべきである。
- (4) 近代デザインはできるだけ公衆に広く奉仕すべきで、庶民的で控目を要求や限られた零細な価値にも細心でなければならない。
- (5) 近代デザインは現在の科学や芸術の進歩を生活に翻訳すべきである。
- (6) 近代デザインは人間に奉仕すべき機械に習熟し、機械の命令を人間に強制するようなことがあってはならない。

(7) 近代デザインは新しい技術、新しい材料を駆使して在来のそれを更に発展したものにすべきである。

(8) 近代デザインは大量生産方式の製品を手工業で造ったかのように見せかけたり、使用されていない技術を偽装すべきではない。

(9) 近代デザインは使用する材料のもつ性質や美をそのまま表現すべきで、その材料をあたかも他の材料と思わせるようなことがあってはならない。

(10) 近代デザインはシンプルで、その構成が外観からも明らかなようにすべきで、ことさらな装飾過度は避けるべきである。

現時点で見てても全く問題なしというわけではないが、理念としては今日でも十分通じる卓見であると思う。

## 3. ハイテク時代の市場評価

今日では、一般顧客の大部分は最早急進する先端技術の優劣を論理的に判定する能力を持ち得なくなっていると思われる。では専門家でない一般顧客は、なにを根拠にして「もの」の優劣を判定しているのかと言えば、それはマスコミからクチコミまで含めてはならん（氾濫）する情報によって培われた感覚的選択能力であろう。

このため一般顧客は、目で見、耳で聞き、肌で触れて納得できる機能と品質の現れ方で第一印象的にその「もの」の機能と品質を判定してしまう傾向がますます顕著になりつつある。これがよく言われる感性の時代であり、軽薄短小がもてはやされるゆえんでもある。

したがって、これからの技術や製品は一見してその新しい機能と有効性が感じとれる「姿」をとらないと、市場での高い評価を得ることができなくなることになるだろう。

そしてこの技術、製品の開発意図、性能、品質の良さなどを見一して感じとれる「姿」あるいは「かたち」に総合的見地で再構築するのが、インダストリアルデザイン活動なのである。

## 4. むすび

いかに高度な技術を駆使した製品やシステムでも、それが理解されなかったり使いにくかったりすれば普及するはずがないのは自明のことである。我が社のスローガンSOCIO-TECHにも見られるとおり、今後の技術開発、製品開発は人間と社会をより以上意識せずには成り立たなくなるであろう。この意味で当社のデザインポリシーを紹介し、むすびとする。

当社デザインセンターは、社会と生活環境の向上に寄与するために人間主体の立場に立って創造的で優れた機能性と経済性及び美的秩序を持つ製品の提供を目標として、三菱電機のすべての製品とマーケティングを通じて組織的デザイン活動を推進する。

\*：一説には東京高等工業学校では、明治時代の英文学校紹介で工業図案科の紹介にIndustrial Designの訳をあてており、これが最も古い記録だとする人もいる。

## 1. ま え が き

人工的な周期ポテンシャルによって半導体物性定数を変化させる「超格子 (Superlattice)」の基本概念は古く 1962 年に Keldysh<sup>(1)</sup> によって生み出された。Esaki と Tsu<sup>(2)</sup> は、2 種類の半導体を電子のドブロイ波長 ( $\lambda = h / \sqrt{2m^*E} \approx 10 \text{ nm}$ ) 程度の層厚の周期で積層した人工超格子構造を提案した。この人工超格子は、半導体結晶薄膜の成長が単原子層レベルで制御可能な分子線エビタキシャル (Molecular Beam Epitaxy: MBE) 法が Arthur & Cho<sup>(3)</sup> その他の人々によって開発されて以来、GaAs/AlGaAs 材料系でまず現実のものとなり、注目を集めるようになった。この背景としては、GaAs に代表される III-V 族化合物半導体が、光通信、光情報処理、超高速素子のための基盤材料として重要性を増してきたことが上げられる。化合物半導体超格子構造は自然界に存在しない、個々の物質本来の物性とは異なる新しい材料物性を提供し、広範な材料開発、新機能素子研究の舞台を与える構造として期待されている。

この報告では、超格子構造とは何か、それらが構成される半導体材料についてまず説明した後、その特長な材料物性、量子物理現象について議論する。素子への応用例として、ここでは半導体レーザ構造におけるヘテロ接合界面特性への超格子効果について述べる。

## 2. 超格子構造と量子物理現象

本題に入る前に、まず初めに超格子構造の定義について少し説明しておきたい。本来の「超格子」の定義に従えば、超格子構造は人工的な周期ポテンシャル構造をもつものを意味している (狭義の超格子構造)。人工ポテンシャルの形成方法は、半導体の組成 (Compositional Superlattice) 又はドーパント不純物 (Doping Superlattice) 及びその組合せのいずれによって行ってもよい。しかし、超薄膜結晶の成長技術の進歩に伴って、種々の「亜種」構造が考え出されるようになってきている。例えば、ポテンシャル井戸層厚がドブロイ波長と同程度に小さい量子井戸構造 (Quantum Well: QW)<sup>(4)</sup> は狭義の超格子構造と不可分の関係にある。したがって、広義に超格子構造に含ませて議論されている。更に、より一般的に層構造が単原子層のオーダーで精密に制御され、作製された超薄膜構造は超格子構造に含ませて議論される場合が多い。高移動度二次元電子ガスを形成する変調ドーパヘテロ接合構造<sup>(5)</sup> は、単一のヘテロ接合を使っている場合でも、組成及びドーパント不純物の分布構造が超微細であるという意味では超格子構造と呼ぶことも可能である。ここでは、超格子構造を広義の意味で用いることとする。

図 1. は応用上重要な III-V 族化合物半導体材料の格子定数と禁制帯幅 (バンドギャップ) の関係を示したものである。これらの化合物半導体は、①発光素子に適した直接遷移形バンドギャップの半導体が利用できる、②格子整合性を満たす三元又は多元混晶半導体材料の組合せ及びヘテロ接合形成が可能である、③代表格である GaAs の電子移動度が Si より約 5 倍大きい、④半絶縁性の GaAs, InP 基板が

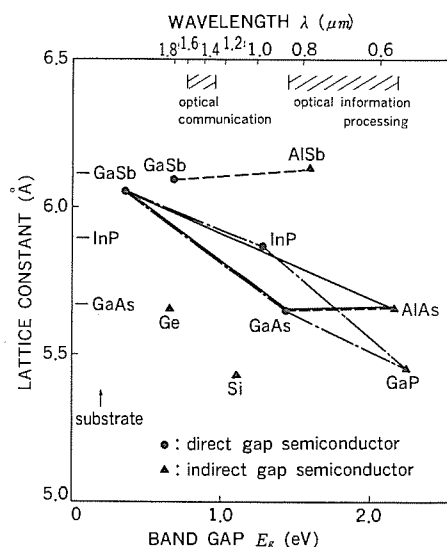


図 1. III-V 族化合物半導体の格子定数とバンドギャップ

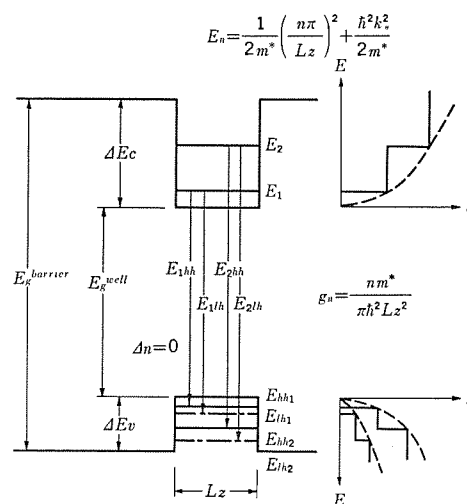


図 2. 量子井戸形ポテンシャルと二次元サブバンド構造

利用できる、などの特長がある。この中でも ①, ② のヘテロ接合形成可能な高発光効率の材料系を構成できる点が III-V 族化合物半導体材料の Si など IV 族半導体でない長所である。超格子構造の作製においては、高品質結晶を得るための基板材料との格子整合性が重要である。この格子整合条件を満足できる超格子材料系として、GaAs を基板とした GaAs/AlGaAs (AlAs) 系, InP を基板とした InGaAsP (InGaAs)/InP 系, InGaAs/InAlAs 系, GaSb を基板とした GaSb/AlGaSb (AlSb) 系が比較的良好に研究されている。

半導体超格子構造では、膜の積層方向に物性定数の異方性 (立方晶系→正方晶系) が必ず生じる。例えば、準粒子 (電子と正孔) の層方向の運動は、人工的なポテンシャルによって制限されるようになる。最も単純な単一量子井戸 (Single QW) を考えると、準粒子の運動

を表す Schrödinger 方程式は容易に解けて、図 2. に示すようにステップ関数状の状態密度  $g(E)$  をもつ二次元サブバンド準位構造によって記述されることがわかる。このような二次元サブバンド構造の特長は、準粒子の受ける人工的ポテンシャルの寸法（サイズ）がドブロイ波長より小さくなると顕著になり、量子サイズ効果<sup>(4)</sup>として知られている。量子井戸層の厚さ  $L_z$  を変えることによって連続的に禁制帯幅  $E_{1hh}$  を変化できる（バンドギャップ可変の自由度）。また、バンド端付近での状態密度は二次元性の故に高くなり、鋭い自然発光 (Spontaneous Emission) スペクトルが得られるので、発光素子としての優れた特性を備えている。超格子構造の応用上更に興味深い点は、量子サイズ効果によって規定される電子状態の低次元性、異方性に由来する量子物理現象が利用できる点である。二次元励起状態の室温安定性<sup>(6)</sup>、超格子構造の光学定数の異方性<sup>(7)</sup>などの量子物理現象は応用上の利用価値が高く、今後更に活発に研究されていくものと考えられる。

一方、超格子構造は結晶学的にも非常に興味深い利点を持つことが最近明らかになってきている。一つの極論として化合物半導体材料はヘテロ接合が利用できる材料系とも言えるが、この場合三元以上の混晶半導体が必然的に関与することになる。何故なら、格子整合性が要求されるからである。このときヘテロ接合界面は結晶から見ると一つの特異点になっている。混晶半導体では、その構成元素の化学結合性の差に起因する短距離秩序性又は結晶成長における選択性（クラスタリングなど）が予測されるのに対して、超格子構造では局所的な化学結合の選択性が人工的に緩和されている。例として、図 3. は GaAs 単一量子井戸構造 (SQW) を AlGaAs 混晶半導体クラッド層 (a)、又は GaAs/AlAs 短周期超格子 (Short-Period-Superlattice: SPS) クラッド層 (b) により形成したときの光学的特性を比較した結果<sup>(8)</sup>を示す。(b)では強く鋭い SQW フォトルミネッセンス発

光、 $E_{1hh}^{SQW}$  遷移が観測される。著しい特性の改善は超格子構造によって SQW ヘテロ接合界面の特異性が緩和されたためであると解釈することができる。

### 3. 超格子発光素子とヘテロ界面

直接遷移形バンドギャップを持つ化合物半導体発光素子では、注入された準粒子の発光再結合効率（量子効率  $\eta$ ）が高いことが大切であり、そのために多大の努力が払われている。量子効率  $\eta$  を低下させる重要な原因として、ヘテロ界面再結合中心（界面準位）による非発光再結合過程がある。この界面再結合過程は半導体レーザ構造では特に大切であり、レーザ発振のしきい値電流密度  $J_{th}$  を小さくするためには非発光再結合中心密度は小さいほどよい。前章では、半導体レーザ構造に関連し、超格子構造によるクラッド層の形成がヘテロ接合界面特性の改善に有効な方法であることを示した。ここでは、半導体レーザの  $J_{th}$  を飛躍的に改善する方法として、超格子構造からなる光ガイド層をもつ素子の作製を行い、良好な特性が得られた<sup>(9)</sup>ので、その結果について述べたい。

図 4. は GaAs/AlAs 短周期超格子 SPS 構造を光ガイド層とする SCH (Separate Confinement Heterostructure) レーザ構造の透過形電子顕微鏡断面観察写真を示す。GaAs 活性層の厚さは、この場合およそ 100 nm である。SPS 超格子層の井戸層厚さ  $L_z$ 、バリア層厚さ  $L_b$  はそれぞれ 2.2 nm、1.4 nm であり、急峻な界面を持つ超格子構造が MBE 法によれば容易に再現性よく得られることがわかる。表 1. は作製した試料とその構造パラメータ及び光ガイド層のエネルギーギャップ、 $E_g^{eff}$  と  $J_{th}$  の測定結果を示す。比較のために Al<sub>0.26</sub>Ga<sub>0.74</sub>As 混晶半導体を光ガイド層とする通常の SCH レーザ構造も作製した。SPS 超格子構造におけるバリア層厚さ  $L_b$  は、注入キャリアの縦輸送現象<sup>(10)</sup>に強く影響する重要なパラメータであり、表 1. の実験結果によると 1~2 nm 程度の値が適当である。しかし、ここで最も重要

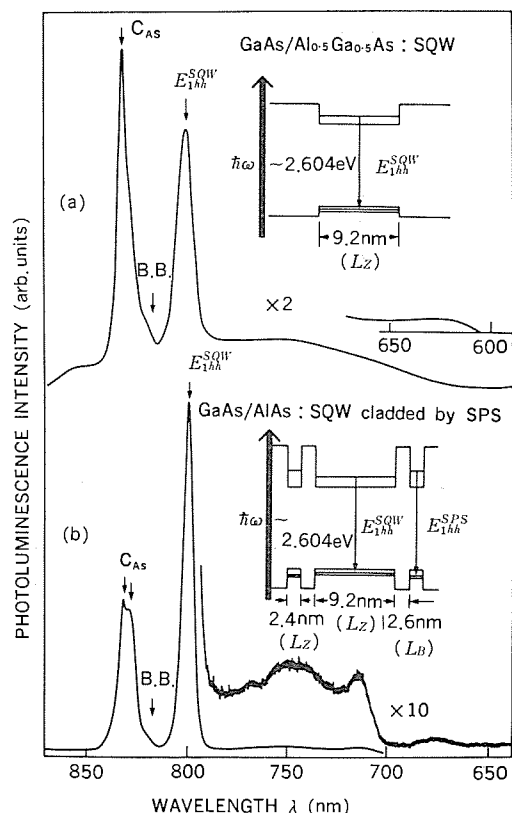


図 3. 単一量子井戸構造の極低温 フォトルミネッセンススペクトル

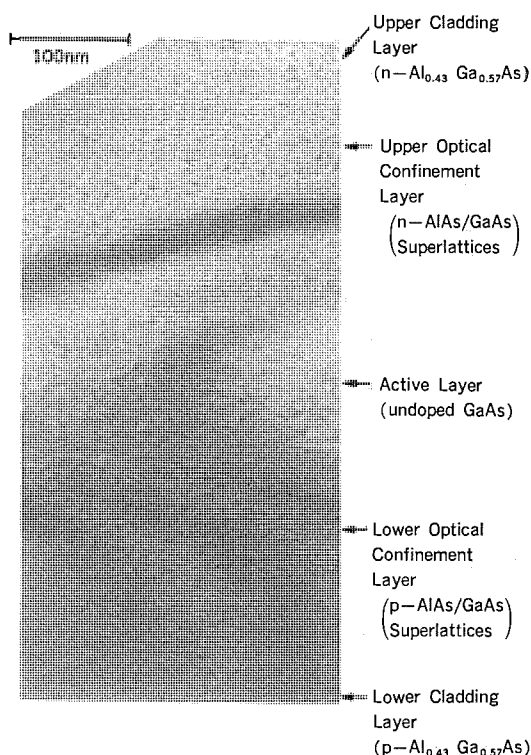
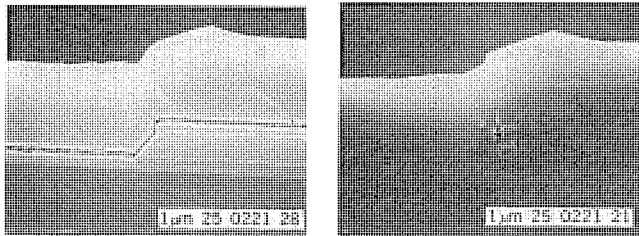


図 4. GaAs/AlAs 超格子光ガイド層をもつ SCH レーザ構造の透過形電子顕微鏡断面写真

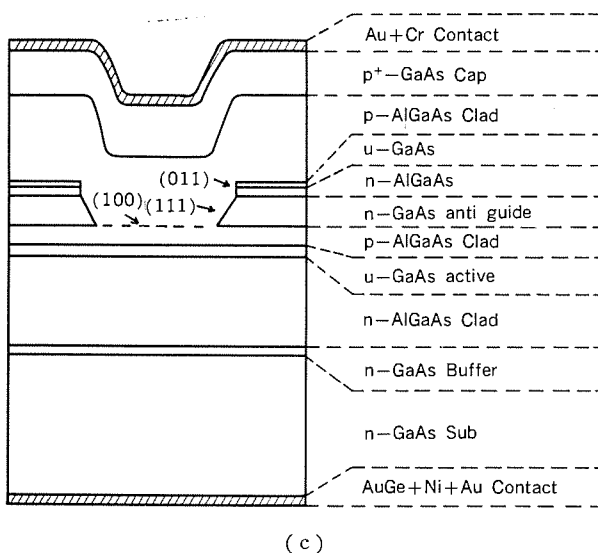
表 1. GaAs/AlAs 超格子光 ガイド 層をもつ SCH レーザサンプルと構造 パラメータ

Wafer	$d_{AL}$ (nm)	Superlattice periodicity			$E_g^{eff}$ (eV)	$J_{th}$ (A/cm <sup>2</sup> ) ( $L \sim 400 \mu m$ )
		$l_z$ (nm)	$l_b$ (nm)	period		
SPS 1	100	2.2	1.4	44	1.76	560
SPS 2	100	4.0	2.5	25	1.66	not operate
SPS 3	100	3.3	1.0	35	1.70	520
SPS 4	50	3.3	1.1	39	1.67	440
SPS 5	50	2.2	0.6	63	1.68	960
SCH 2	50	Al <sub>x</sub> Ga <sub>1-x</sub> As $x=0.26$ 0.19 $\mu m$			1.75	630



(a)

(b)



(c)

図 5. 自己整合形半導体 レーザ 構造の模式図と走査形電子顕微鏡断面写真

なことは、表 1. の活性層厚さが 50 nm の場合の  $J_{th}$  の比較から明らかのように、Al<sub>0.26</sub>Ga<sub>0.74</sub>As 混晶半導体を光 ガイド 層に用いた場合 (SCH 2) よりも GaAs/AlAs SPS 超格子構造を用いた場合 (SPS 4) に著しい  $J_{th}$  の減少が観測されることである。この  $J_{th}$  の改善は GaAs 活性層にのみ準粒子が光励起される直接励起条件下でのフォトルミネッセンス 測定結果<sup>(10)</sup>とも対応しており、量子効率  $\eta$  を低下させ

る界面非発光再結合中心の密度が SPS 超格子構造を用いることによって著しく減少したと解釈できる。これらの結果は、超格子構造の利用によって活性層界面の光学的特性が著しく改善されることを直接に示している。超格子光 ガイド 層の構造として、準粒子の捕獲効率及び光子の閉じ込めに優れた分布屈折率構造を適用することによって、活性層厚が 25 nm のとき  $J_{th}$  が 230 A/cm<sup>2</sup> と超低しきい値 レーザ 発振が得られている。

図 5. は超格子構造のエピタキシャル成長ヘテロ界面への効果を示す他の例として、自己整合形半導体レーザ構造 (Self-Aligned-Structure: SAS) への応用例<sup>(11)</sup>を示す。SAS 半導体レーザではストライプ溝をエッチングにより形成した後、その溝上へクラッド層、オーミックコンタクト層を再成長する。図 5. はこの再成長層を形成するときに、30 周期の GaAs/AlAs SPS 超格子層を挿入した場合 (a) と、そうでない場合 (b) を比較した走査形電子顕微鏡断面写真を示す。超格子バッファ層を用いることによって界面モルフォロジーの著しい改善が認められ、(011) フォセット面においても平坦な AlGaAs 再成長界面が得られる効果がある。このように平坦な再成長界面は、SAS チャネル構造内での光散乱損失を低減する効果があり、レーザ発振のしきい値注入電流が改良されている。また、安定な単一横モード発振が得られている。

#### 4. む す び

化合物半導体超格子構造は、①量子サイズ効果に基づく電子構造の低次元性、異方性、②半導体ヘテロ界面における結晶学的効果によって、従来になく新しい半導体材料物性を提供する。超格子の示す量子物理現象は今後、新原理に立脚した新機能素子研究の舞台としてますます重要性が高まると思われる。

#### 参 考 文 献

- (1) L. V. Keldysh : Sov. Phys. -Solid State, 4, 1658 (1963)
- (2) L. Esaki and R. Tsu : IBM J. Res. Dev., 14, 61 (1970)
- (3) A. Y. Cho and J. R. Arthur : Prog. Solid State Chem., 10, 157 (1975)
- (4) R. Dingle : Advances in Solid State Physics (H. J. Queisser, ed.) XV, p. 21. Pergamon, Oxford (1975)
- (5) R. Dingle et al. : Appl. Phys. Lett. 33, 665 (1978)
- (6) D. A. B. Miller et al. : Appl. Phys. Lett. 41, 679 (1982)
- (7) H. Iwamura et al. : Proc. 2nd Int. Symp. MBE & Related CST, Tokyo, 47 (1982)
- (8) K. Fujiwara and K. Ploog : Appl. Phys. Lett. 45, 1223 (1984)
- (9) N. Tokuda et al. : Proc. 12th Int. Symp. GaAs & Related Compounds, Karuizawa (1985) in print.
- (10) K. Fujiwara et al. : Japan J. Appl. Phys. 24, L 405 (1985)
- (11) S. Noda et al. : Appl. Phys. Lett. in print.

## 1. ま え が き

超電導は、核融合から電算機更にはライフサイエンスに至る広い分野にインパクトを与える技術であり、それぞれの分野での開発が盛んである。その中でも、超電導マグネットは強磁場発生システムとして、既に実用域に達しており、経済性や省エネルギー性の点で社会的な貢献は大きい。超電導マグネットの開発が本格化してから20年、この間に超電導安定化、高電流密度化、高磁界化、大形化などの重点技術課題が応用分野への実用化に向けて開発され、著しい進歩をみせている。しかし、現在実用されている超電導材料は、液体ヘリウムなどによって極低温に冷却しなければ使えないというハンディキャップを背負っているため、常に超電導は極低温技術と対をなして研究開発が進められている。

当社は超電導材料、超電導コイル、ヘリウム冷却系からなる超電導マグネット装置、及びその応用システムを1社で基礎段階から自社開発を行っている超電導総合メーカーであり、応用分野のニーズに的確に答え得る総合技術力をもっている。ここでは、現在までに重点的に取り組んでいる超電導応用分野の技術課題と、最近の開発状況をトピック的に紹介することにした。

## 2. 超電導応用分野の技術課題

現在取り組んでいる主な超電導応用分野において、達成しなければならない必ず(須)課題と関連課題をまとめた(表1.)。各応用分野に特有な課題と、他の分野に共通する課題とがあり、その相関の有無を知ることができる。表中の共通技術中の◎印は目標達成、○印は開発中であることを示す。超薄肉マグネット(高エネルギー物理 VENUS)、回転子クライオスタット(超電導発電機)、高均一磁界マグネット(MRI)などは、応用分野における超電導機器の代表的な必須課題を取り上げて呼称されている。また電磁力支持、高強度容器、低熱負荷、専用ヘリウム冷凍機などは、ほとんどの応用分野に共通する技術であることがわかる。このように技術開発を要する基礎技術分野は広く、しかも高度な技術水準をいくものであるため、技術の複合化が大切である。

## 3. 核融合実験炉

核融合炉のトロイダルコイルは、プラズマの閉じ込めに強力な磁気圧を得るため、巨大な高磁界マグネットが使われる。このため次期計画では、12 T(Tesla)以上の高磁界トロイダルコイルの開発が必要とされており、この要請に答えるため臨界磁界の高いNb<sub>3</sub>Sn線材の開発及びテストコイルの試作が行われた<sup>(1)</sup>。Nb<sub>3</sub>Snは化合物系超電導線材で、最大の欠点のはもろ(脆)いことであったが、最近製造方法が簡単で、しかも超電導特性の優れた極細多心線が内部拡散法によって開発され、取扱いやすくなった。更にTiやInなどの第3元素の添加によって高磁界(16 T)における臨界電流が大きく向上し、高磁界線材として実用できる見通しが得られている。また大形トロイダルコイルを構成

表 1. 主な超電導応用分野における超電導技術課題

超電導応用分野 (超電導機器名)	必須技術課題	共通技術課題 (◎目標達成, ○開発中)									
		高電流密度	高磁界	大形コイル	永久電流モード	電磁力支持	高強度	軽熱負荷	直接冷却コイル	間接冷却コイル	長時間運転
核融合トロイダルコイル (大形高磁界コイル)	1. 大形コイル 2. 高磁界 3. 電磁力支持 4. S H E 導体			○	○	○	○	○	○	○	○
核融合ボロイダルコイル (パルス大口径コイル)	1. パルス磁界 2. コイル疲労 3. 大口径コイル 4. 電磁力支持 5. S H E 導体				○	○	○	○	○	○	○
磁気浮上鉄道 (軽量マグネット)	1. 軽量 2. 高電流密度コイル 3. 永久電流モード 4. 高強度 5. 低熱負荷 6. ヘリウム冷凍機	◎				◎	◎	◎	◎		◎
高エネルギー物理 VENUS (超薄肉マグネット)	1. 薄肉マグネット 2. 電磁力支持 3. 二相He間接冷却 4. CFRP真空筒					◎	◎	◎	◎	◎	◎
超電導発電機 (回転子クライオスタット)	1. 回転時強度 2. 高遠心力下冷却耐磁 3. スロットウェッジ固定			○	○	◎	◎	◎	◎		◎
磁気共鳴イメージングシステム (高均一磁界マグネット)	1. 高均一磁界 2. 永久電流モード 3. 超断熱クライオ				◎	◎	◎	◎	◎		◎

注 SHE 導体: 超臨界ヘリウム (Super Critical Helium) で冷却する導体

する場合、大形導体の巻線、電磁力支持、コイル応力などの強度面と、ヘリウム冷却表面積の確保、超臨界圧ヘリウムによる強制冷却などの冷却面から、大形高磁界コイルの実証を目指した開発を行っている。

ボロイダルコイルは、トロイダルコイルを取り巻くように水平に配置するコイルで、電磁誘導でプラズマに電流を誘起させるために、パルス励磁を行う。このようなパルス動作の超電導コイルについては、技術的蓄積は少なく基礎から研究が始められている。動的に電流が変化するパルスコイルは、磁界が急激に変動するため、超電導安定化材(Cu, Al)に発生する渦電流損及び結合損が大きく、これらの損失を少なくするために、超電導線材やシース材(Cu-Ni合金)の構造寸法の面で種々の工夫がなされている。当社では、電子技術総合研究所へ0.4 MJ及び大阪大学へ0.5 MJのパルスコイルを開発納入したのを始め、

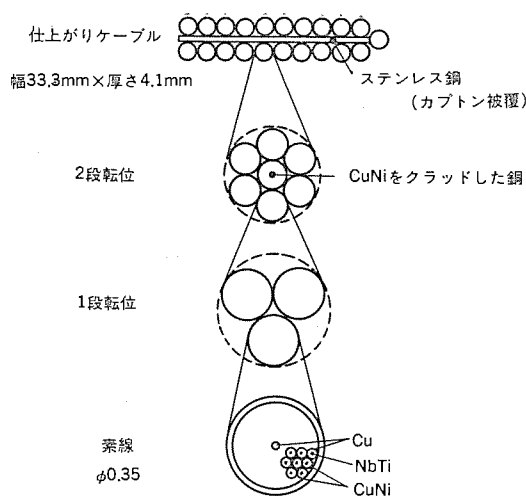


図 1. 200 T/s パルス 磁界発生用の超電導 マグネットに使用された超電導 パルスケーブル

名古屋大学 プラズマ 研究所の R 計画のための R&D 共同研究において、200 T/s（最高 314 T/s）という立ち上がりの速い励磁が可能なパルスコイルの開発に成功した<sup>(3)</sup>。図 1. は 200 T/s のパルス 磁界発生用超電導コイルのケーブル構成を示しており、NbTi-CuNi-Cu の 3 層構造の素線を 3 段階により（撚）線にしてケーブル化している。また、この研究によって超電導線材のパルス損失の理論が確立され、ポリアルコイルの超電導化のための大電流パルスケーブル及びコイルの開発が活発になった。更に交流で使用できる超電導線材の開発が試みられるようになり、パルス励磁による耐疲労特性の研究も行われている。

#### 4. 磁気浮上式鉄道

超電導磁気浮上式鉄道は、日本国有鉄道の宮崎実験センターで、全長 7 km の試験線を増強して、U 形軌道の MLU 連結車による走行試験が進められている。

超電導コイルは、昭和 45 年から重点課題として開発が続けられ、高電流密度コイルによる軽量小形化は、クライオスタット（低温保持容器）の超断熱性保持技術とともに、その改良進歩は著しいものがある。さきの表 1. に示したように、磁気浮上式鉄道の技術開発を成功に導いた必須技術課題は最も多く、いずれも難度の高い開発であった

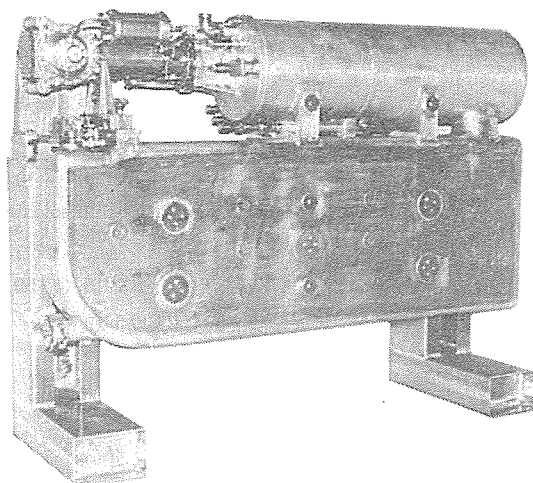


図 2. 磁気浮上式試験車 MLU 001 に搭載されている超電導 マグネット

が<sup>(4)</sup>、その目標性能は他の応用分野に比べ一段と高く、技術の先導を果たしている。当社は MLU 走行車用として、レストラック形超電導コイルの開発を行い、高強度のためにエポキシ含浸コイルとしながら、軽量構造の高電流密度 235 A/mm<sup>2</sup> のコイル開発に成功している。このコイル技術により多数の超電導コイルを製作し、更に多重円筒の FRP カラムを断熱支持体としてクライオスタットに組み込み、2 W 以下の低熱侵入量を達成している。図 2. は試験車 MLU 001 に搭載されている浮上推進兼用の超電導マグネットで、幅 0.5 m、長さ 1.7 m のレストラック形の超電導コイルがアルミニウム製のクライオスタットに収納されている。

#### 5. 超電導発電機

当社では富士電機（株）と共同で、通商産業省の重要技術開発補助金を受けて、昭和 52 年に容量 6 MVA の超電導発電機を完成し、引き続いて 5 年計画で 30 MVA 超電導同期調相機を試作し、57 年に試験を実施した<sup>(4) (5)</sup>。図 3. は完成した 30 MVA 機の設置状況である。中央が調相機本体で、電機子の内径側に超電導回転子が挿入され主軸受部が手前に見える。なお調相機は発電機と構造的には、ほとんど変わらないが、電力系統の力率調整に界磁電流を変化させるため、超電導特性面からみると発電機より技術的には難しい。表 2. は 30 MVA 機の仕様と特徴をまとめたものである。

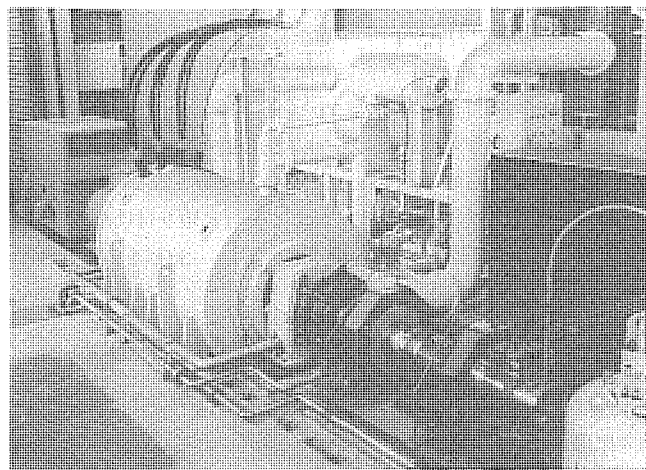


図 3. 30 MVA 超電導同期調相機

表 2. 30 MVA 超電導同期調相機の仕様

容 量	30 MVA, 回転数 3,600 rpm, 2 極, 60 Hz 電圧 11 kV, 電流 1,576 A, 三相
回 転 子	外径 730 mm, 軸受間長さ 3,300 mm NbTi/Nb <sub>3</sub> Sn 超電導コイル スロットウエッジ固定方式 チタン/チタン合金製ロータ 非スライド式熱応力吸収方式 磁性流体軸シール（ヘリウム入出装置のシール）
固 定 子	外径 1,700 mm, 内径 780 mm, 長さ 2,600 mm 空け巻線方式, フルターン複数コイル一括巻線 油浸冷却絶縁方式
ヘリウム冷却系	ヘリウム液化能力 30 L/h, 膨張エンジン 3 段 液体ヘリウム容量 400 L クローズドシステム, 連続液化運転方式

超電導回転子は大きな遠心力のもとで、安定に冷却励磁できると、液体ヘリウムによる冷却が長期間でできることなど、超電導極低温の技術課題を解決し、実用規模の容量機で信頼性を実証することが必要である。30 MVA 機は実用機につながる一つのステップとなるもので、実用機につながる方式を多く採用している。この開発では、回転子は実用機での高い遠心力を考慮して、外径を大きく 700 mm 以上にとるとともに、超電導界磁コイルを強固に支持するために従来形の回転子に用いられてきたスロッド・ウエッジ方式を適用し、信頼性の向上を図っている。

## 6. 高エネルギー物理学実験設備

高エネルギー物理学における素粒子研究には、加速・蓄積リング、偏向・集束などのビーム輸送系、粒子検出器などに、高性能マグネットを必要とするため、超電導マグネットの開発が活発である。高エネルギー物理学研究所では、直径 960 m の蓄積衝突形加速器 (TRISTAN) を建設中であり、主リングに 4 箇所の粒子検出器をはじめ、今後超電導ダイポールマグネット 256 個を含めて約 1,000 個の超電導マグネットが設置されようとしている。

当社は昭和 57 年にスペクトロメータ用の超電導マグネット BENKEI<sup>(6)</sup> (空間立方・幅 1.5 m×高 1 m×奥行 1 m、磁界 1.5 T) を、昭和 60 年に粒子検出用超薄肉超電導マグネット VENUS<sup>(7)</sup> (空間直径 3.4 m、全長 5.6 m、磁界 0.75 T) を納入した。この VENUS マグネットは、放射長 (Radiation Thickness) を短かくして粒子の透過性を確保するために、①クライオスタットの真空外筒を CFRP (炭素繊維強化樹脂) で製作し、超電導コイルには、②アルミニウム安定化超電導線<sup>(8)</sup>を用い、③単層ソレノイド巻きの構造で、④アルミニウム製の冷却ケースで締付け密着させて支持したのち、コイルから巻き枠を取り去る、などの新しい製作法を多く採用している。コイルの外周に取り付けた冷却ケースには、二相流ヘリウムが流れる冷却路があり、コイルを安定に冷却することができる。

## 7. 磁気共鳴イメージングシステム (MRI)

MRI は人体に高均一の直流磁界と高周波磁界を印加し、核磁気共鳴の原理で、人体内のプロトンの密度と緩和時間の分布に関する情報を画像化して医学診断に適用する装置である。MRI では、画質を向上させるために、人体の撮像領域の空間に、高均一な磁界を発生する超電導マグネットが用いられる。

当社では、磁界 0.6 T、磁界均一度  $7 \times 10^{-6} / 35$  cm 球空間、磁界安定度  $2 \times 10^{-8} / \text{時}$  という全身イメージング用の高性能マグネットの開発に成功した<sup>(9)</sup> (図 4)。この開発によってパルス NMR 法による超高精度磁界測定法 ( $10^{-7} \sim 10^{-8}$ )、磁場補正法、永久電流スイッチ、超断熱クライオスタット (ヘリウム蒸発 0.3 l/h) などの技術が格段に進歩した。

現在このマグネットを使用した MRI は、臨床試験機として完成し、病院における臨床試験に実用されている。MRI は X 線 CT に代わる新しい断層像診断装置として普及するだけでなく、プロトン (<sup>1</sup>H)、りん (<sup>31</sup>P)、ナトリウム (<sup>23</sup>Na) などの核種による化学シフトを利用し、

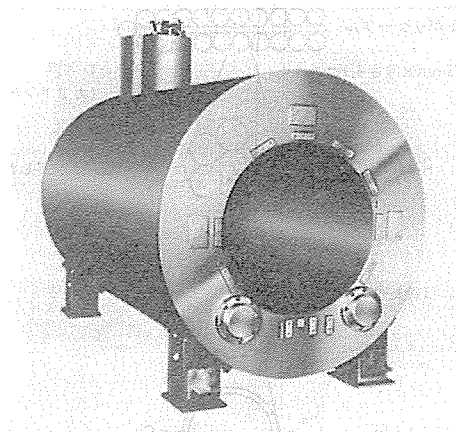


図 4. 全身イメージング用超電導マグネット

生体で作られる物質の直接測定ができるスペクトロスコピー診断にも適用が開けている。殊にりん、ナトリウムなど生体に微量しか存在しない核種によって代謝機能を調べる化学シフト法には、超電導マグネットの高磁界が不可欠である。

## 8. むすび

超電導応用分野の技術課題を列挙し、その技術開発が広範で総合的な技術であることを述べた。次いで応用分野における開発動向と最近の進歩を紹介した。このように超電導技術は、常に一段と高いレベルへの向上を促す応用分野があり、長い研究開発期間を経て発達してきた。現在実用段階に入っている応用分野は、高エネルギー物理学研究、MRI など五指に満たないが、開発されている超電導マグネットは多種多様で高レベルなものである。今後ますます超電導が先端技術として大いに発展することが期待される。

最後に超電導技術の研究開発には、関係諸機関、研究所・大学の方々の御援助、御指導をいただいております。また社内開発担当部門の開発努力によるところが大きい。記して厚く謝意を表する。

(昭和 60-12-3 受付)

## 参考文献

- (1) 河村ほか：三菱電機技報，58，No. 4，p. 273 (昭 59)
- (2) T. Ogasawara, et al: 8th Int. Conf. Magnet Technology, Sep. 1983, Grenoble, paper no. 5 N I-04
- (3) 京谷ほか：低温工学 16，No. 5，p. 255～308 (昭 56)
- (4) 上田ほか：三菱電機技報，57，No. 12，p. 838 (昭 58)
- (5) 岩本ほか：電気学会論文誌 B 104，No. 11，p. 773 (昭 59)
- (6) 稲垣ほか：低温工学 18，No. 6，p. 296 (昭 58)
- (7) M. Wake, et al: Construction of a large thin solenoid magnet, MT-9, Zurich (1985)
- (8) 若本ほか：第 32 回低温工学研究発表会 B 1-15 (昭 59)
- (9) 菅ほか：第 4 回 NMR 医学研究大会 2 CO 5 (昭 59)

## 1. ま え が き

三次元 CAD/CAM システムは、製品設計や製品の生産プロセスを強力に支援する手段として、大きな期待がよせられている。そして、システムの核となっている形状モデリング理論は、最近10年で急速に研究が進み、種々の実用化へのアプローチが行われてきた。しかし、ここ数年、理論研究と工業的応用とのギャップの大きさが特に指摘され始めている。

本稿では、従来の問題点を解決するために新たに開発した形状モデリング手法と、これを適用した具体的なシステムの開発例を紹介する。

## 2. 形状モデリング

形状モデリングの研究は、立体形状の計算機内部表現方式や演算処理方式が中心であり、CSG(Constructive Solid Geometry)やB-Reps(Boundary Representation)に代表される方式が有名である<sup>(1)</sup>。しかし、工業的応用を考えた場合、これらの表現形式における形状創成プロセスと設計・生産プロセスの間にへだたりが存在したり、計算機処理上の問題が生じることがある<sup>(2)(3)</sup>。この章では、新たに開発した二つの形状モデリング手法について述べる。

## 2.1 実装設計を主な対象とする形状モデリング手法

各種装置における部品配置設計では、立体形状の基本単位は円柱・直方体など初等関数で表現できることが多く、質量・体積などマシプロパティに関する情報が必要となる。設計は、形状を創成するというより、ブロックを積み上げるイメージが強い。我々は、以下に示す立場から形状モデリングを検討し、工業的応用を目指した<sup>(4)</sup>。

- (1) 設計に必要なデータを容易に抽出できる必要最小限の表現形式であること。
- (2) 処理速度の高速化と形状定義の容易化のために、基本形状を組み合わせて形状を創成するオブジェクトモデリングに際して、集合演算は和算(形状どうしの重ね合せ、足し算)のみとする。
- (3) 隠面処理などの副次的な図形処理は、ディスプレイ側に対応する。したがって、この処理のために、データを追加した表現形式にはしない。

図1.にデータ構造を示す。図中(a)における最下層のプリミティブ

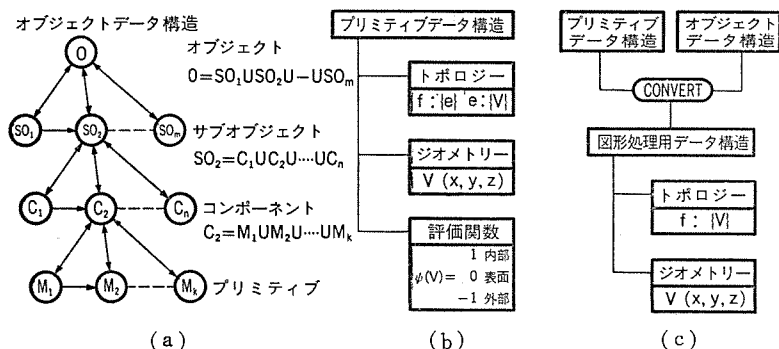


図1. データ構造

とは、上記項目(2)における基本形状である。従来の形状モデリング手法では、例えばパイプ状の中空円柱は、二つの円柱を定義して、一方の円柱から他方の円柱を引きさる集合演算により創成した。しかし、差の集合演算は除去を意味し、実装設計プロセスとギャップがあるため、この手法では使用していない。その代りに以下に示す14種の効果的なプリミティブを用意している。

- (1) 直方体, (2) 円柱(円筒を含む), (3) 円すい, (4) 円すい台, (5) 球, (6) 半球, (7) 三角柱, (8) 六角柱, (9) 八角柱, (10) だ円柱, (11) だ円体切片, (12) 円弧板, (13) トラス, (14) 板金形状

更にこれらは、中実、中空、肉厚のある中空の三つの状態を設定できるようにしてあり、マシプロパティに関する情報も付与できる。上位階層のコンポーネント、サブオブジェクトは、形状グループである。サブオブジェクトには、運動に関する情報を与えることができる。

図1.(b)のプリミティブデータ構造におけるトポロジーは、図形の面・りょう(稜)線・頂点の関係を表すもので、図中の記号fは面、eは稜線、Vは頂点である。 $t_1: \{t_2\}$ は、 $t_1$ が $t_2$ で記述されることを表している。この手法では、プリミティブの面は稜線によって定義し、稜線は頂点によって定義する。

また、評価関数は、ある一点が形状の内部にあるか外部にあるか、あるいは形状表面にあるかを判定する場合に用いる。この判定は、干渉チェックなど空間領域に関する処理で必要となる。形状創成に際して和算のみを用いているため、個々のプリミティブに対して前述の判定を行えば、形状全体に対する判定もできる効果がある。

ディスプレイはディフスバッファを持つ装置を採用する。ディフスバッファとは深さ情報を入れるメモリを持ち、目に近いほうの面が、後ろの面を隠す作用を比較器で行う手法である。図1.(c)に示すように、表示する図形のf: {V}のトポロジーと、 $V(x, y, z)$ のジオメトリがデータとして整えられれば、ディフスバッファによるハードウェア隠面処理ができる。従来の表現形式では、f: {e}, e: {e}, e: {V}, e: {f}, V: {e}のトポロジーをデータ構造として保持していたため、処理速度が遅く、形状データベースが大きくなった。

2.2 形状加工処理を主な対象とする形状モデリング手法<sup>(5)</sup>

金型や意匠設計の場合は曲面が中心となり、面・稜線・頂点のトポロジーを構築する必要性は少ない。また、一般に生産プロセスにおいて加工を行う工業製品の形状は、数個の座標系を設定すると、その座標系において特定方向に一価関数となる曲面で構成されている。一価関数は、計算機で処理するに際して多価関数に比べ極めて都合がよい。しかし、従来の表現形式では、形状全体で座標系を一個設定し、多価関数の曲面をそのまま用いていた。

この手法では、演算処理の容易な一価関数によって形状内外を判定できる部分形状をセグメントとして設定し、セグメントの組合せにより形状全体(オブジェクト)を定義できるようにしている。セグメントの意味を明確にするため

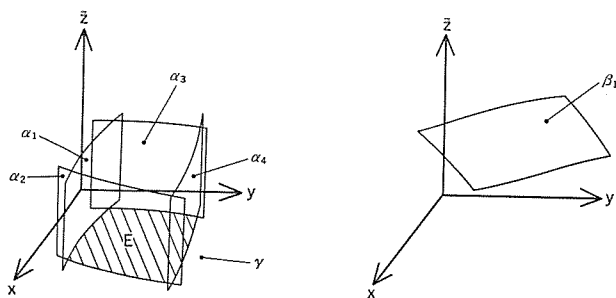


図 2. セグメントを構成する曲面

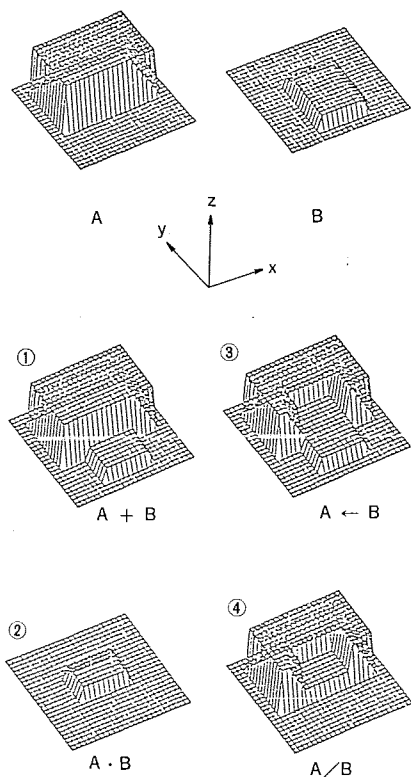


図 3. 形状を合成する演算

に、セグメントを構成する曲面の種類を図 2. に示す。セグメントを構成する曲面は、以下に示す 3 種である。

- $\alpha$ : 法線方向が  $z$  軸に垂直な曲面
- $\beta$ :  $z$  軸方向に一価関数である曲面
- $\gamma$ : オブジェクトのセグメントへの分割面 ( $x$ - $y$  平面)

セグメントは、 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  の 3 種類の曲面で囲まれた閉じた空間として定義する。

形状を合成する場合の演算 (以下、オペレーションと呼ぶ) は、図 3. に示す 4 種を設定している。図中①②のオペレーションは、和、積の集合演算である。③④は各々“ $\leftarrow$ ”, “ $/$ ”の特殊記号で表すオペレーションで、図 2. に示すように座標系を設定した場合次式に示す作用がある。

$$A \leftarrow B: (A \cap \bar{B}_{xy}) \cup B \dots \dots \dots (1)$$

$$A / B: (A \cap \bar{B}_{xy}) \cup (A \cap B) \dots \dots (2)$$

$A$ ,  $B$  は、各々の形状が占める空間領域、 $B_{xy}$  は形状  $B$  の領域  $E$  (図 2. 参照) を  $z$  方向へ無限に移動させた時に占める空間の領域を表している。

この 2 種の新しいオペレーションの工学的な意味は、形状として反映したい面を基準にした定義が可能なことである。したがって、外観の設計や面を削り出す加工など生産における形状操作の概念に極めて近いといえよう。

### 3. システム開発例

2 章で述べた立体の計算機内部表現を用いて、三次元 CAD/CAM システムを開発し、実用化した例を示す。

#### 3. 1 人工衛星用三次元 CAD システム<sup>(4)</sup>

このシステムは、2. 1 節で提示した実装設計対応の形状モデリング手法を用いている。人工衛星は、生産台数が極めて少なく、しかも小形軽量、高信頼性、耐環境性を徹底的に追求する必要があるため、構想設計、基本設計に多くの人手と期間を必要としている。そこで、人工衛星搭載機器の最適配置設計を、質量、重心、慣性モーメント、干渉チェックなどの技術計算も含めて行うため、図 4. に示す構成のシステムを開発した。図 5. には人工衛星のモデリング例を示す。

このシステムは、当社の計算機《MELCOM-COSMO 900 II》上で稼働しているが、端末あたり 0.1 MIPS で十分な実行速度が得られる。また、設計者が以前から質量解析を行うにあたって基本単位とした形状と、この手法のプリミティブ形状とは一対一に対応している。そのため、設計者は抵抗なくシステムを利用できる。

本システム実用化によって以下の効果が得られている。

- (1) 一度形状定義を行えば、各種技術計算を行うためのデータを自動的に作成できる。
- (2) 現物合わせしなくても、実装可能性をチェックできる。また、可動部の動作確認や干渉チェックもできる。
- (3) 完成後の様子をカラーのリアルイメージによるアニメーションによって事前にデモンストレーションできる。

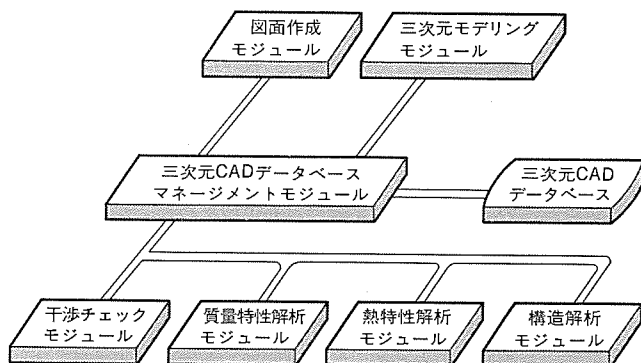


図 4. 人工衛星用三次元 CAD システムの構成

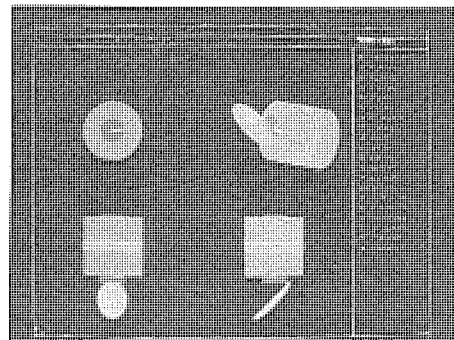
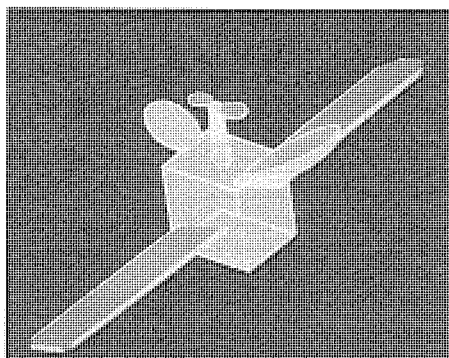


図 5. モデリング例

### 3.2 パーソナル CAD/CAM システム<sup>(6)</sup>

家電製品などの意匠の多様化に伴い、プラスチック成形用三次元金型の開発期間短縮が望まれている。このシステムは、2.2節で示した形状加工処理対応の形状モデリング手法を用い、意匠曲面や模様彫りなどの高度な機能を当社のパーソナルコンピュータ《MULTI 16》上で実現したものである。

システムの構成を図6.に示す。2台の《MULTI 16》のうち、1台は形状定義、NC指令作成用に使い、もう1台はNC制御装置と接続し、NC指令の転送、加工進行状況のモニタ、NC指令の編集を行う。なお、1台の《MULTI 16》でこれらの処理をすべて行うことも可能である。処理の流れを図7.に従って説明する。

(1) まず、金型図面に表された断面曲線や輪郭曲線を、円弧や直線のパラメータを入力することによって定義する。

(2) 次に、これらの曲線間をなめらかにつなぎ、三次元曲面要素(2.2節におけるセグメント)の種類を選択する。曲面要素は、15種類備えており、データとして与える複数の断面線曲の相互関係によって、最適なものを選定できる。

(3) 更に、これらの曲面要素を合成することにより、金型形状を定義する。オペレーションは図3.に示した4種を用いる。

(4) 形状定義を行ったのち、加工条件、つまり、工具の送り量、ピックフィード量、工具径及び加工パターンを与えると、自動的にカットパスが計算される。

(5) こうして求められたNC指令は、フロッピーディスク上に出力される。このフロッピーディスクをNC装置側のパーソナルコンピュータにセットすれば、紙テープイメージでNC装置へデータが転送され、自動的に加工が行われる。

このシステムにより、複雑な形状をした金型も短期間に製作できるようになった。

### 4. む す び

本稿で述べた二つのシステムは稼働中で良好な結果が得られており、更に各種の機能付加が進められている。

従来、形状モデリング手法において存在した研究と工業的応用とのギャップは、単に計算機能力の問題とみなされる傾向が強かった。しかし、我々は手法自体に問題が内在するという見地から新たな手法を研究し、上記のシステムに適用した結果、極めて有効であることが確認できた。

今後は更に適用対象を広げるため、形状創成プロセスと設計・生産プロセスとの間を密接に結びつける形状モデリング手法の研究を続けていく予定である。また、CAD/CAMシステムの使用に際して、システムの知識を持たない人でも容易に使いこなせるためのアドバイザー機能の研究にも着手している。これらの新しい研究により、三次元CAD/CAMシステムの工業的な展開が、一層加速されることを期待している。

### 参 考 文 献

- (1) A. A. G. Requicha and H. B. Voelker : Solid Modeling, Historical Summary and Contemporary Assessment, IEEE CG&A March (1982)
- (2) 木村：形状モデリング, 昭和60年度精機学会春季大会学術講演論文集 (1985) 771
- (3) 塩谷：3次元CADのモデリングと実用性, PIXEL 13 (1983) 121
- (4) 塩谷：人工衛星用3次元CAE/CADシステムの開発, 情報処理学会講演論文集, 31 (1985) 1679
- (5) K. Shiotani : Restricted-Three-Dimensional-Solid Modeling, Proc. of 5th ICPE (1984) 744
- (6) 山田, 塩谷：3次元金型パソコンCAMシステムの開発, 第2回フレキシブル・オートメーションシンポジウム講演論文集 (1985) 133

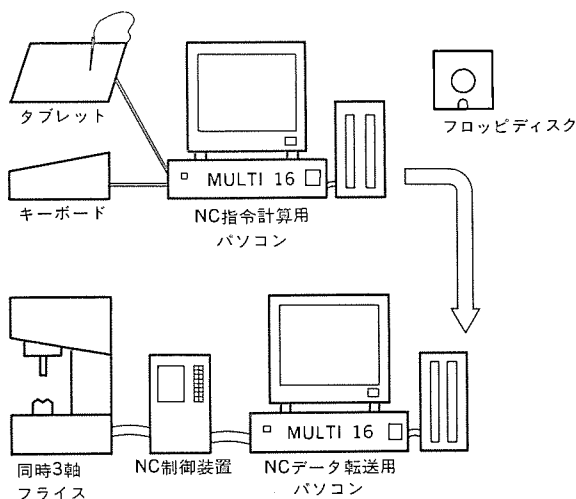


図6. パーソナルCAD/CAMシステムの構成

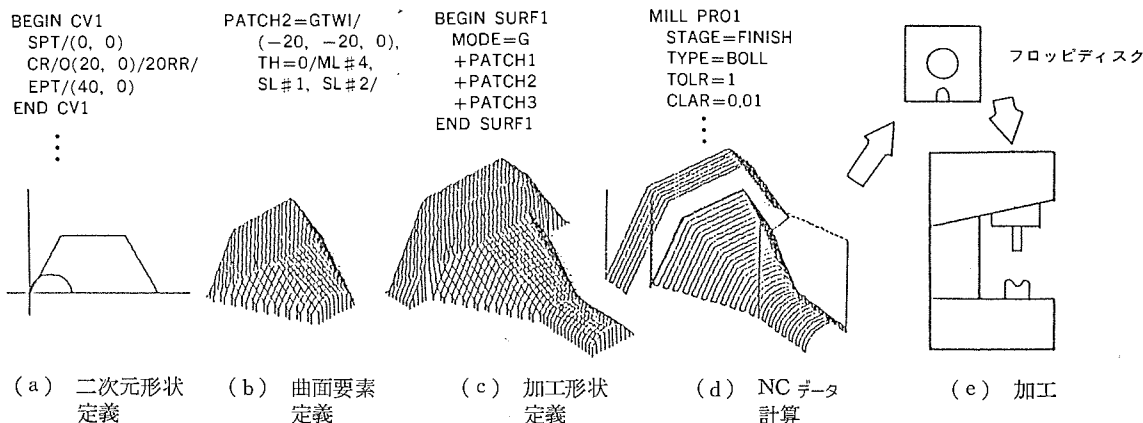


図7. 処理の流れ

大出力CO<sub>2</sub>レーザの放電励起方式(SDとSAGE)

菱井正夫\*・田中正明\*・八木重典\*\*・永井治彦\*\*・田畑則一\*\*

## 1. ま え が き

CO<sub>2</sub>レーザは1964年にPatelにより1mW級の発振が行われて以来、熱加工用のレーザとして優れた特長をもっていたため、約10年間でkW級のレーザが実現できるまで発展した。しかし、その後金属の切断や溶接などに実用されるまでには、更に多くの改良が必要とされた。ガラス管内の低気圧グロー放電により発振していたCO<sub>2</sub>レーザは、どう見ても実験室用というイメージであったが、今日の産業用レーザにはその面影はない。

産業用CO<sub>2</sub>レーザ開発の主要課題は、放電励起方式の開発といえる。当社では加工用大出力レーザに必要なコンパクト性、長期安定性、高操作性を実現するための放電励起方式として、高圧力・ガス封じ切り放電を基本技術思想として、分割ピン陰極形直流グロー放電励起方式、SD(Silent Discharge, 無声放電)励起方式、SAGE(Silent-Discharge Assisted Glow Discharge Excitation, 無声放電を補助としたグロー放電励起)方式を開発した。

高圧力・ガス封じ切り方式は、レーザガスの動作圧力を従来の20～30 torrの数倍から10倍近くまで高くすることにより、高放電密度による装置のコンパクト化を実現する<sup>(1)</sup>とともに、CO<sub>2</sub>分子の解離を抑えてレーザ出力の低下を抑え、レーザガスの封じ切り運転を可能にする利点をもっている。しかし、高気圧中でレーザ励起に必要な非平衡放電(分子温度が低く、電子のエネルギーのみが高い放電)を安定に持続させることが開発課題となる。

この解決策として、まず分割ピン陰極形の直流グロー放電励起方式が開発され、加工用1kW CO<sub>2</sub>レーザとして製品化された。

加工機への実用が進むにつれて、金属切断の分野でレーザビームの高速制御、パルス化が要求されるようになった。この要請に答えるために開発されたものがSD励起方式である。SDは誘電体を介した高周波放電で、安定な放電と高速制御性に特長がある。現在3kW以下のCO<sub>2</sub>レーザに使用されている。

CO<sub>2</sub>レーザの大出力化が進み、5～20kWのレーザでは装置のコンパクト化のために新しい高密度放電励起方式が不可欠となり、SAGE方式が生まれた。この方式は、先に開発した分割ピン陰極形の直流グロー放電に、補助放電としてSDを加えることにより、大断面の放電励起空間を均質、高密度に励起することを可能にした。

## 2. 放電と励起過程

放電励起形のCO<sub>2</sub>レーザは、CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、Heの混合気体中における放電の電子衝突により、CO<sub>2</sub>を分子振動の上位レベル(非対称伸縮モード)に励起し、下位レベル(対称伸縮モード)への誘動放出で発振を行う。N<sub>2</sub>の役割はCO<sub>2</sub>の上位レベルへの遷移確率を高めることである。すなわち、N<sub>2</sub>は電子衝突により高い確率で上位の振動レベルに励起されるが、そのレベルがCO<sub>2</sub>の上位レベルと非常に近く、寿命も長い<sup>(2)</sup>ため、N<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>の衝突による励起移乗が非常に高い確率で起こり、CO<sub>2</sub>を励起することになる。Heの役割はCO<sub>2</sub>の下位レ

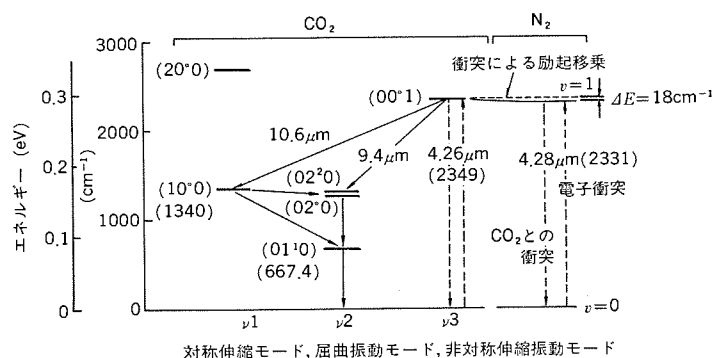


図1. 炭酸ガスレーザの振動エネルギー単位

ルの緩和である。CO<sub>2</sub>レーザが実用的な発振効率を持つようになったのは、N<sub>2</sub>の役割によるものである(図1.)。

CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、Heの混合比は上記の役割のみで決まるものではなく、放電の安定性により決まる要素が大きい。励起に必要な放電条件は電子のエネルギーのみが高く、分子の温度が上がらない放電であり、直流放電ではグロー放電と呼ばれる静かな放電である。グロー放電は放電密度を高めるために電流を上げると、スパーク状の放電からアーク放電へ移行し、励起が阻止されてしまう。Heはグロー放電を維持するのに有効であり、通常の直流グロー放電励起の場合にはCO<sub>2</sub>: 5%, N<sub>2</sub>: 15%, He: 80%の混合比が用いられている。

直流グロー放電は負抵抗特性をもっているため、電源と放電電極との間にバラスト抵抗を接続して、正抵抗特性にしないと放電を維持できない。電極面積が大きくなると、電源と電極間にバラスト抵抗を接続しても放電空間内の放電の均質性が維持できず、部分的なスパークやアークが発生する。この対策として、大きな放電空間を実現するためには陰極を分割し、分割した陰極に個別に等しいバラスト抵抗を接続している。分割数は多ければ多いほど、大電流までグロー放電が維持できるが、電極の製作が困難になる。

## 3. SD励起方式

SD励起方式は、レーザビームのパルス化など出力の高速制御が要求されるレーザの励起方式として開発された<sup>(2)</sup>。

レーザ出力の高速制御を行うためには、放電の高速制御が必要であるが、直流グロー放電、特に大出力レーザ用の陰極分割形電極によるグロー放電では、放電の安定性の面から高速制御は困難である。

SDは金属表面に誘電体(ガラス)を被覆した電極を使用した高周波放電であり、放電は高周波の各半サイクルごとに生成と消滅を繰り返す安定な間欠放電である<sup>(3)</sup>。したがって高周波(100～150kHz)電源の電圧を変調すると、変周波形に従った放電が起こり、しかも放電の安定性は損なわれることがない。また放電電極面上の放電の均一性を考えると、金属表面上の誘電体は高周波放電のキャパシティブ・バラストとして働くので、誘電体の厚さを均一に保つこと

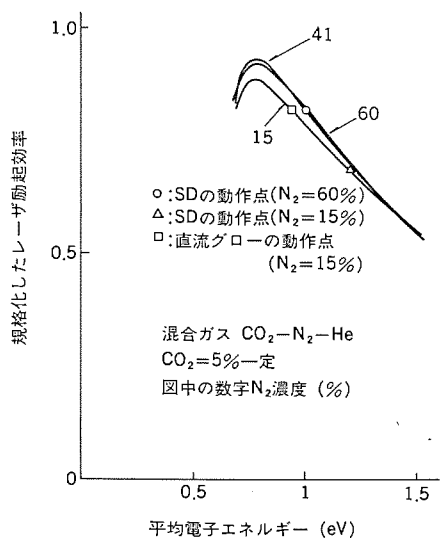


図 2. 平均電子エネルギーと規格化したレーザー励起効率の関係

により、放電の均一性が完全に保たれる。キャパシティブ・バラストは、エネルギーロスなしで直流グロー放電における陰極分割数（各陰極にバラスト抵抗が接続されている）を無限大にしたのと同様の効果を持っている。

SD をレーザー励起の観点からみると、直流グロー放電の場合に比べて電子の平均エネルギーが若干高くなる点が問題となる。直流グロー放電では、放電を安定に維持する気体混合比（ $\text{CO}_2$  : 5 %,  $\text{N}_2$  : 15 %,  $\text{He}$  : 80 %）において、放電中の電子の平均エネルギーが、その混合比における  $\text{CO}_2$  の励起効率を 80 % 以上に保つ適切な値になるという好運に恵まれている。したがって同じ気体混合比で SD 励起を行うと、電子のエネルギーが高すぎるため励起効率が 70 % 弱に低下することになる。

しかし、SD の放電の安定性がこの問題も解決する。すなわち  $\text{N}_2$  の混合比を大きくすることにより、電子のエネルギーを低くするとともに、 $\text{CO}_2$  の励起は前章で述べたように  $\text{N}_2$  の励起からの励起移乗によるパスが大きいので、励起効率を高めることも可能である。SD の場合には  $\text{N}_2$  の混合比を 60 % に高めることにより、放電の安定性を損なうことなく、励起効率を 80 % 以上に高めることができる。図 2. に電子のエネルギーと励起効率の関係を示す。

SD 励起式  $\text{CO}_2$  レーザの基本構造を図 3. (a) に示す。熱交換器とプロアは、放電により発生した熱をレーザーガス流により取り去り、ガスを循環使用するためのものである。SD 励起方式として特長的な部分は一体化された放電電極部であり、その断面図を (b) に示す。

SD 励起方式は、主として鋼板の切断に使用されるパルス発振機能を備えたレーザーに使用されている。また、図 4. にパルス発振時の印加電圧波形とレーザー出力波形を示す。電圧は 100 kHz の基本周波数を 1 kHz のく(矩)形波で変調したものであり、それに対応して 1 kHz のレーザー出力が得られている。動作ガス圧力は 100 torr である。

#### 4. SAGE 方式

SAGE 方式は、5 kW 以上の大出力レーザーの励起方式として開発された。大出力レーザーでは装置のコンパクト化と光学部品受光面の光強度の低減のため、レーザービームの大口径化が必要である。ビームの大口径化のためには、長キャップで、かつ高ガス圧力でのレーザー励起放電を実現する必要がある。

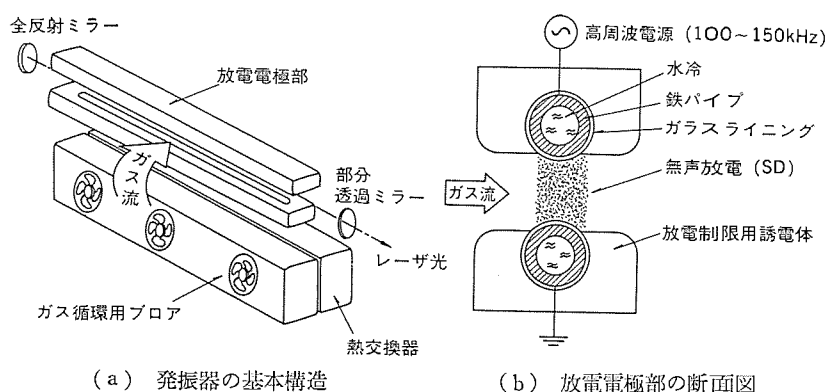


図 3. SD 励起  $\text{CO}_2$  レーザの基本構造

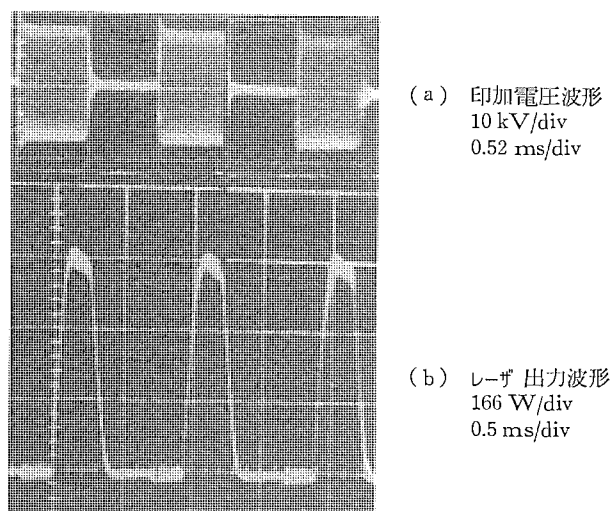


図 4. SD 励起  $\text{CO}_2$  レーザのパルス発振波形

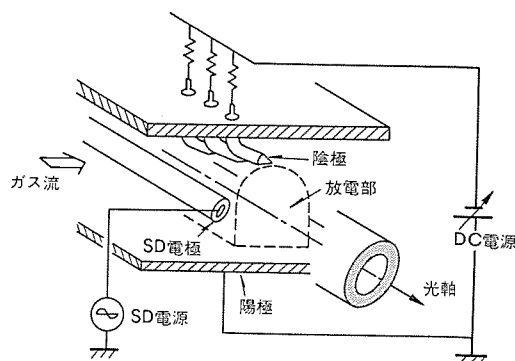


図 5. SAGE 式電極系の基本構造

陰極分割式直流グロー放電の場合には、ガス圧力を  $P$  (torr), キャップ長を  $d$  (cm) として、 $Pd$  が 400 (torr·cm) を越えると安定な放電が難しくなる。 $Pd$  の大きい条件下で放電を安定化させるためには、レーザーガスを前もって均質に予備電離しておく必要がある。従来から、この予備電離に電子ビーム<sup>(4)</sup>が使われていたが、電子ビーム方式は、電子ビーム透過膜の低信頼性と短寿命時間、電子ビーム源の長予備加熱時間が難点で産業用装置とは認められていない。

SAGE 方式は前章で述べた SD を予備電離源として、陰極分割式直流グロー放電の安定化を行ったものである<sup>(5)</sup>。この方式の放電励起部の構成を図 5. に示す。レーザー励起はガス流 (50~80 m/s) の存在下で、分割ピン陰極と平板陽極の間の直流放電（主放電）により行われる。予備電離は、主放電部の上流側に設置された SD 電極

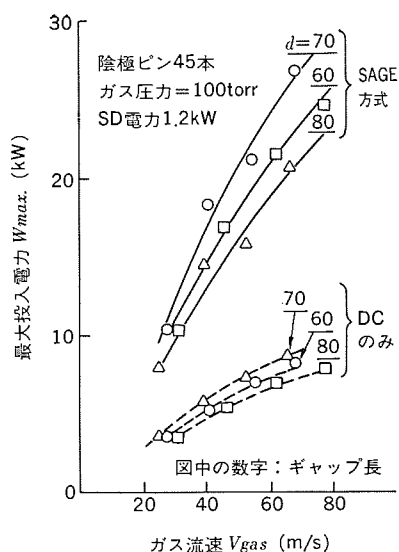


図 6. SAGE 放電特性

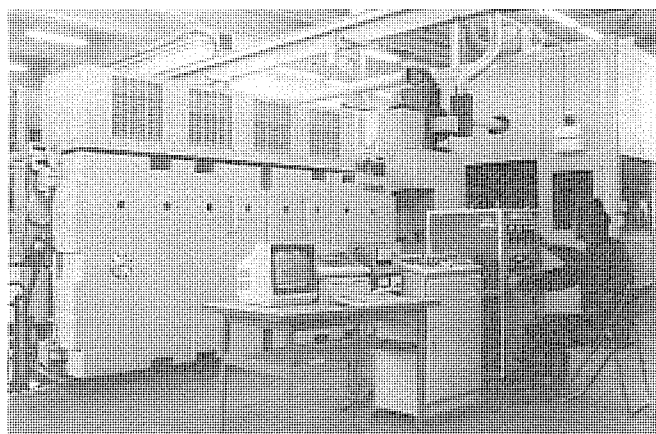


図 7. SAGE 式 20 kW CO<sub>2</sub> レーザの外観写真と共振器構成

(誘電体被覆電極)と、主放電の陽極及び陰極との間の高周波放電(周波数 10~100 kHz)により行われる。高周波放電による予備電離作用により、主放電は空間的に均質・拡散化され、放電電流密度の大きいところまで安定な放電が得られる。予備電離のもとでは、主放電電極間にわずかでも電圧を印加すると電流が流れる正抵抗特性を示す。そのため放電維持に必要なバラスト抵抗の値は、直流グロー放電の場合の約 1/3 となり、省電力となる。

予備電離に必要な SD 電力は、主放電電力の 5% で十分である。SAGE 放電特性の一例を図 6. に示す。SAGE 方式で放電が安定に投入できる最大放電電力は、通常の直流グロー放電(DC のみ)の場合に比べて約 3 倍になっていることがわかる。

SAGE 方式を採用した大出力レーザの一例として、通商産業省の大型プロジェクト「超高性能レーザ 応用複合生産システム」の研究の一環として開発された 20 kW レーザ<sup>(6)</sup>の外観写真と、このレーザに採用されている放電部と共振器の構成を図 7. に示す。放電ギャップ長 70 mm, 放電電極長 2.8 m で、最大投入電力は 160 kW, そのときのレーザ出力 26.5 kW, 発振効率 16.5% が得られた。20 kW レーザとして 100 時間を越える連続運転試験を経て、産業用レーザとしての安定性、信頼性をもつことが確認されている。

## 5. 今後の展望

産業用 CO<sub>2</sub> レーザの放電励起方式として三軸直交形の SD 方式, SAGE 方式を開発し、現在それぞれの特長を生かして、数 kW 級の出力高速制御レーザと 5 kW 以上の大出力レーザに使用している。しかしレーザの高性能化の要求は、需要の拡大とともにますます強くなってきており、今後も種々の方式のレーザが開発されていくと思われる。

SD 励起方式は、ガスレーザ励起用放電の方法として、従来の直流グロー放電の外に新たな一方法を加えたもので、発展の可能性は大きい。その一つは金属切断専用レーザとして最近開発された高速軸流形、すなわち光軸とガス流の方向が一致する構成のレーザに SD 方式を適用することである。シングルモード(TEM<sub>00</sub> モード)の発振効率が高く、しかも出力の高速制御が可能になる。SD 方式の適用拡大は、固体素子による高周波電源の発達に負うところが大きい、これは時代の流れにそったものであり、今後が大いに期待できる。

SAGE 方式は、電子線や X 線を使わずに直流グロー放電の予備電離を実現し、産業用に使用できる信頼性、耐久性を証明したものである。予備電離は直流グロー放電の安定化にとって基本となる技術であり、SD による予備電離の成功も種々の応用が考えられる、今後 20 kW 以上の大出力 CO<sub>2</sub> レーザが開発されるときには、放電による予備電離、なかでも SD による予備電離を備えた直流グロー放電励起が採用される可能性が最も大きいと思われる。

## 参 考 文 献

- (1) H. Nagai, M. Hishii, K. Shibayama, A. Nagai and T. Akiba: IEEE J. Quantum Electron., QE-18, No. 3, 416 (1982)
- (2) 田畑ほか: 三菱電機技報, 56, No. 5, p. 358 (昭 57)
- (3) 田中ほか: 電気学会論文誌, 104, No. 4, p. 217 (昭 59)
- (4) E. Hoag, H. Please, J. Staal, and J. Zar: Applied Optics, 13, No. 8, 1959 (1974)
- (5) M. Hishii, M. Tanaka, Y. Myoi, H. Yoshida, H. Nagai, and N. Tabata: CLEO, Balimore, May (1983)
- (6) N. Tabata, H. Nagai, H. Yoshida, M. Hishii, M. Tanaka, Y. Myoi and T. Akiba: CLEO, Anaheim, June (1984)

## コンパクトディスク用光ピックアップ

河野 慶三\*・木目健治朗\*・近藤 光重\*・鹿間 信介\*・橋本 昭\*

## 1. ま え が き

昭和53年9月当社は、世界で初めてのデジタルオーディオディスク (DAD) であるレーザサウンドディスクプレーヤーを発表した。そして、昭和56年にはコンパクトディスク (CD) の規格が発表された。一方、本格的なCDプレーヤーの販売は昭和57年秋から始まったが、昭和59年には80万台のCDプレーヤーが生産され、昭和60年には更にその4倍に当たる300万台に達する見通しである。このように、CDプレーヤーの生産が急速に伸びたのはディスクの種類、数量ともに豊富に出回ってきたことと、ディスクに刻まれたビット信号を電気信号に変える光ピックアップ (光PU) の研究開発が進み、小形軽量化、低価格化とともに量産技術も整備され、更にCDプレーヤーに必要な複雑な信号処理回路が専用IC化され小形化と低価格化が進み、4万円台から6万円台の普及価格帯のプレーヤーが、あいついで発売されたためである。今後CDは自動車用やラジカセなどへの応用が展開されようとしており、更に大きな伸びが期待されている。

こうした状況を反映してプレーヤーのキーパーツである光PUは、更に小形軽量化、低価格化と生産量の拡大が要求されている。当社は、早くからこの光PUの研究開発に着手し、CDプレーヤーの発売当初からコストパフォーマンスが高く、量産性に富んだ機種の開発を行ってきた。また、工場では組立て・調整・評価の自動化などの量産技術の確立と品質の安定化のため数々の新しい生産技術を開発し、製品は社内はもとより多数の有力メーカーにも採用され好評を博し、現在では光PUの生産台数では業界のトップを争う地位を得ている。

ここに、これまでのCD用光PUの開発の経過とその特長を述べる。

## 2. 開 発 の 経 過

先にも述べたように、我々は他社に先駆けてレーザサウンドディスクプレーヤーを開発した。この技術を基盤にして、昭和58年春からは当社のCD用光PUの第一バージョンであるMLP-1形の量産を開始した。MLP-1形は開発当初から高性能と使いやすさを追求した製品である。昭和59年には光路系を簡略化しアクチュエータを二軸形にした第二バージョンの光PU、MLP-2形の開発を行った。また昭和60年には第三バージョンであるMLP-3形の開発を行った。この間にCDプ

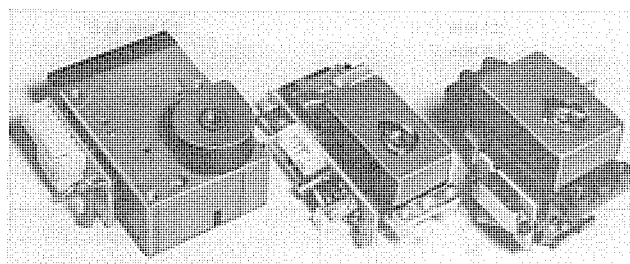


図1. MLP-1, 2, 3形光PUの外観  
(左から MLP-1, MLP-2, MLP-3)

レーヤーの価格は1/3~1/4になった。図1.にMLP-1, 2, 3形光PUの外観を、表1.に当社製CD用光PUの仕様比較を示す。

2.1 MLP-1形の開発経過と特長<sup>(1)</sup>

先に述べたレーザサウンドディスクプレーヤー用光PUでは、30cmのディスクを想定していたので、外形は大きい特性が安定しているHe-Neガスレーザを使用していた。しかし、直径12cmのディスクを使うCDプレーヤーでは、小形軽量化のため当時ようやく実用化の見通しが出てきた半導体レーザを使用した。また、トラッキングとフォーカシングのアクチュエータを独立して設け、回転ミラー形のトラッキングアクチュエータを本体内に収容することにより、アクチュエータから発生する可聴周波数域でのノイズを小さくした。MLP-1形の特長は次に示すとおりである。

- (1) 小形・薄形・軽量である。外形：56mm(W)×37mm(D)×30mm(H) (対物レンズ、フォーカスアクチュエータ部のみ31mm(H))、重量：88g
- (2) トラッキングセンサとしてディスクの傾きに強く、サーボ回路の構成が簡単な3ビーム法を採用した。
- (3) アクチュエータ系の安定性を高めるため、トラッキングとフォーカシングのアクチュエータを各々独立に設けた。
- (4) リニアドライブ方式のフォーカシングアクチュエータの採用により、フォーカス制御量を±1mm以上とるとともに、アクチュエータから発生する可聴周波数域でのノイズを従来のばね方式に比べて約6dB小さく抑えた。
- (5) 半導体レーザ(LD)では戻り光により、バックトークノイズが発生するが、これを防ぐため常時2~3%の光を光学的に帰還することにより、LDの発振モードをマルチモード化する方法でバックトークノイズを小さく抑えた。

2.2 MLP-2形の開発経過と特長<sup>(2)</sup>

MLP-2形光PUはMLP-1形の特長を生かし、量産の経験を取り入れるとともに、更に一層の小形化、軽量化と性能の改善を図った。特にこのバージョンからは、当社独自の二軸アクチュエータを採用することにより小形軽量化と、トラッキング追従性能の改善を図った。MLP-2形の特長は次に示すとおりである。

- (1) MLP-1に比べて体積比で約40%の小形化と22%の軽量化を行った。外形：61.3mm(W)×28.3mm(D)×26.5mm(H) (アクチュエータ部のみ26.5mm(H))、重量：56g
- (2) トラッキング追従性能が±200μmから±400μmに改善された。
- (3) アクチュエータの動作が固定軸で規制されているので対物レンズの光軸傾きが小さくなり、対物レンズに対する要求性能が緩和され有効視野径を小さくすることができた。また対物レンズの構成枚数は4~5枚から3枚となった。
- (4) センサ光学系に拡大光路を採用することにより、光路長が40%短縮された。
- (5) LDの光出力安定化回路(ALPC回路)を内蔵し、LDの耐サージ性の向上と無調整化を図った。

### 3. MLP-3 形の開発経過と特長

#### 3.1 開発のねらい

当社の光 PU の第三バージョンである MLP-3 形の開発が始まった昭和 59 年秋は、CD プレーヤーの値下げ競争が最も激しい時期であった。当時 MLP-2 形は、性能・品質・外形寸法・コストの点でバランスが良く取れており、完成度の高い光 PU としてユーザーに好評を博し、これを新たに採用するユーザーも増えていた。このような背景の中で、MLP-2 形を通して得たユーザーの要請をもとに開発したのが MLP-3 形光 PU である（図 2.）。この開発では、

- (1) 特性は MLP-2 形と互換性を取りつつ更に改良を行う。
- (2) MLP-2 形との取付け互換性を持たせる。
- (3) 普及価格帯のプレーヤーにも採用しうるコストを実現する。
- (4) アクチュエータを小形化薄形化するとともに、特性の改善を図る。

ことを主眼とした。これを達成するために次のような新しい技術を開発した。

#### 3.2 光学部品のプラスチック化

従来 3 ビーム PU には、MLP-2 形に見られるように、センサ系に凹レンズと円筒レンズの 2 枚のガラスレンズが使われていたが、MLP-3 形では、世界で初めてこれを一体化しプラスチック化することに成功した。このレンズを我々はセンサレンズと呼ぶことにした。図 3. に従来

の 2 枚組のレンズと一体化センサレンズを示す。

元来、プラスチックはガラスに比べて屈折率の温度係数が 2 けた大きい。このため、プラスチックレンズは温度変化により、焦点距離や収差が変わっても影響を受けないような特別な場合に限って使用されてきた。一方、センサレンズの円筒レンズ部は焦点検出に使われるため、プラスチック化すれば周囲温度の変化によってフォーカスオフセットが劣化するという理由で従来用いられなかった。しかし、我々はこの点について理論的検討を加え、温度変化  $\Delta T$  によるフォーカスオフセット発生量  $\Delta f$  を表す式を見出した。この式に従って、レンズ材料にアクリル樹脂を用いた場合、温度変化によるフォーカスオフセットの発生量  $\Delta f$  はガラスの約 360 倍になるが、25°C の温度変化に対するフォーカスオフセット量は、わずか 0.25  $\mu\text{m}$  にすぎず、ディスク集束光の焦点深度  $\pm 2 \mu\text{m}$  に比べて十分小さな値であることが分かった。このように、フォーカスオフセット発生量が理論的にも小さいという見通しを立て、実験でも実用上問題無いことを確認できたので、センサレンズのプラスチック化にふみきった（図 4.）。

また、プラスチック対物レンズは、MLP-2 形の開発当初からこれを想定して開発を進めていたので、昭和 60 年の初めから従来の 3 枚組のガラスレンズを、これにおきかえるだけでスムーズに移行すること

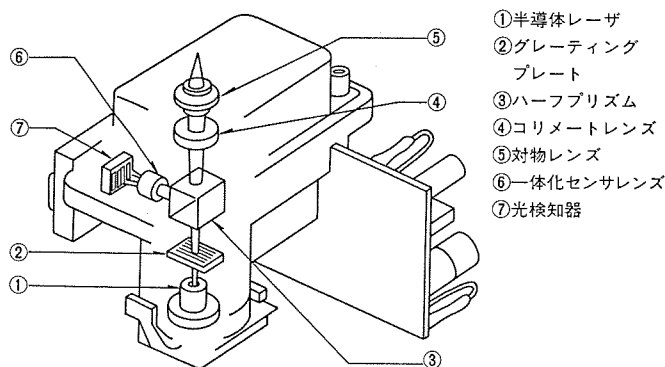


図 2. MLP-3 形光 PU の構成図

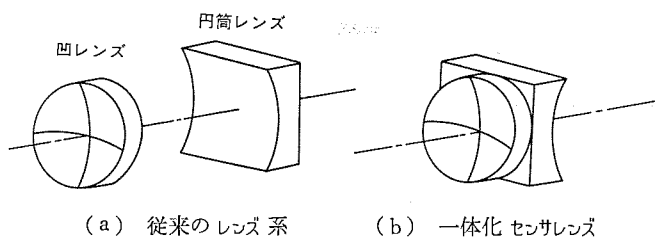


図 3. 一体化センサレンズの概念図

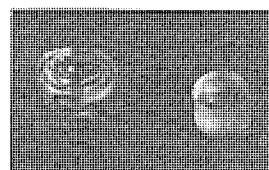


図 4. プラスチックレンズ ((左)対物レンズ, (右)センサレンズ)

表 1. 当社製 CD 用光 PU の仕様比較

形 名			MLP-1	MLP-2	MLP-3
半 導 体 レーザ	形 波 長		当社製 ML 4402 780 nm	当社製 ML 4402 780 nm	当社製 ML 4402 780 nm
対 物 レンズ	N A W D		0.47 2.0 mm	0.45 2.0 mm	0.45 1.85 mm
サーボ検出方式	フォーカス トラック		非点収差 3 ビーム	非点収差 3 ビーム	非点収差 3 ビーム
ア ク チ ュ エータ	方 式		リニアスライド, 回転ミラー	2 軸一体リニアスライド	2 軸一体リニアスライド
	フォーカス	可 動 量 DC 感 度 DC 抵 抗	$\pm 1.1 \text{ mm}$ 5 mm/V 12 $\Omega$	$\pm 1 \text{ mm}$ 以上 1.4 mm/V 14.5 $\Omega$	$\pm 1 \text{ mm}$ 以上 1.5 mm/V 9.3 $\Omega$
	トラック	可 動 量 DC 感 度 DC 抵 抗	$\pm 0.5 \text{ mm}$ 0.54 mm/V 8.3 $\Omega$	$\pm 0.8 \text{ mm}$ 以上 0.45 mm/V 17.4 $\Omega$	$\pm 0.8 \text{ mm}$ 以上 0.28 mm/V 7.5 $\Omega$
付 属 回 路			—	ALPC	ALPC
重 量 (g)	可 動 部 総 重 量		2.3(F), 1.1(T) 88	2.17 56	1.5 47
外 形 寸 法 (mm)			56(W) $\times$ 37(D) $\times$ 30(H)	61.3(W) $\times$ 28.3(D) $\times$ 26.5(H)	52.5(W) $\times$ 32.5(D) $\times$ 41(H)
動 作 保 証 温 度 (°C)			(5~50)	-5~+55	-5~+55

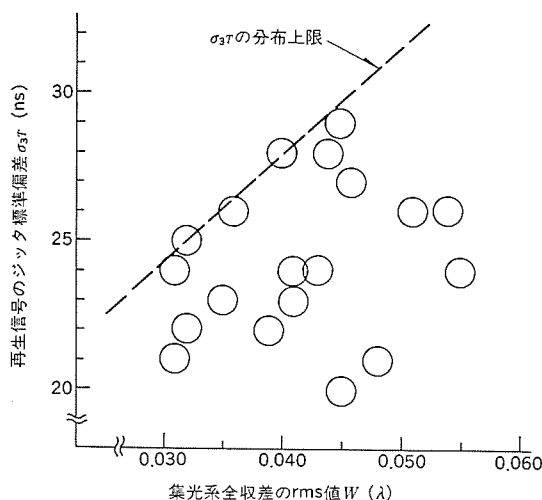


図 5. 集光系全収差に対する再生 ジッタ

ができた。

### 3.3 光学系の収差管理

CD 用光 PU は、良好な再生特性を達成するために、集光系を無収差に近い状態に管理することが必要である。また、読出し信号の質は、再生信号のジッタ  $\sigma_{3T}$  ( $3T$  信号の長さの標準偏差) で表すことができる。CD においてはクロックが  $T=230$  ns であり、良好な再生のためには  $\sigma_{3T}$  として  $(T/6)=38$  ns 以下が必要であり、実際にはマージンをみて 30 ns 程度が要求されている<sup>(3)</sup>。一方、従来から回折限界光学系の収差許容値として Marechal 限界が知られており、この許容値を PU とディスクに均等配分して、光 PU 集光系の収差許容値を  $0.05 \lambda$  (rms) とするのがよいとされている<sup>(4)</sup>。一方、光 PU 集光系で問題となる収差は、球面、コマ、非点の三収差であるが、各収差の  $\sigma_{3T}$  に対する寄与は異なっており、現状の光 PU での各成分の寄与も明らかではなかった。これらのことから、単に全波面収差を  $0.05 \lambda$  で管理することには疑問があったので、この点について実験的検討を行った。図 5. は測定した全波面収差とジッタの分布図である。これから分かるように、同一波面収差に対しても観測される  $\sigma_{3T}$  値は、ばらついており、これは先に述べた収差の混合割合の違いによるものと推察される。また、 $\sigma_{3T}$  のばらつき上限は、ほぼ図の破線で示されるような直線で表され、 $\sigma_{3T} \leq 30$  ns は  $W \leq 0.045 \lambda$  に相当することが分かった。MLP-3 形の光学部品の集光系の収差管理は、このようなデータを活用して実際に即した許容値を適用している。更に MLP-3 形では、MLP-1, 2 形で使用していた折曲げミラーを廃止し、集光光路を直線としている。これにより、コリメート光学系の光軸出しがより高精度化され、かつコストダウンに寄与している。

### 3.4 アクチュエータ

MLP-3 用 アクチュエータの基本構成は、MLP-2 と同様に独自のリニアスライド方式を採用し、固定軸の傾き精度を上げてアクチュエータの傾き調整を廃止した。また、アクチュエータベースとヨークの一体化を行い部品点数を削減した。外形・特性は、基本的には MLP-2 と互換性を維持することを目標としたが、特に以下の点については性能向上を実現した(図 6.)。

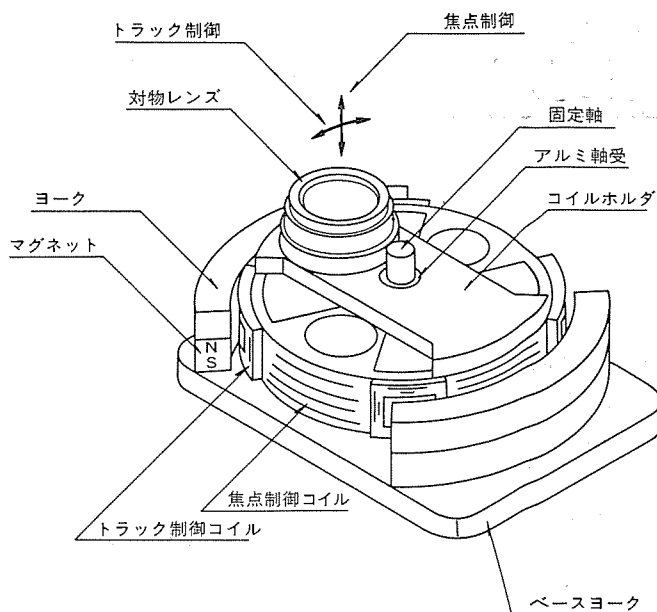


図 6. MLP-3 アクチュエータ斜視図

- (1) 光学部品の一部(コリメートレンズ)をアクチュエータ内に配置する構造とし、駆動磁気回路を閉ループにして駆動力を増した。これにより、薄形化しながら当社比で約 1.5 倍の駆動力アップを実現した。
- (2) 振動解析を行うことにより、可動部の強度と共振周波数を落とさずに徹底的な軽量化と薄形化を行った。
- (3) ダンパ形状の最適設計を行うことにより、耐振性や斜め使用時の動作特性の向上が可能となった。

## 4. む す び

以上に述べたように、MLP-1 形ではバックノイズが小さく、小形軽量でトラッキング特性が安定で使いやすく、MLP-2 形では二軸アクチュエータにより、トラッキング追従性能を向上し光路長の短縮により小形軽量化を行った。また、MLP-3 形ではアクチュエータの改良とともにプラスチック部品の導入と光学部品の収差管理により、民生用品として性能と価格のバランスが良く取れた光 PU の開発に成功した。

CD プレーヤーは、今後自動車用やラジカセ用などの分野に応用範囲が広がって行くものと予想されており、光 PU は一層の小形薄形化、耐振性の向上、消費電力の低減が求められている。これを満足するためには、レンズのプラスチック化に見られるように光学部品の製造方法の改良が必要であろう。

また、光ディスクは記録密度が高くアクセスが早いという特性があり、再生だけではなく記録も可能なライトワンディスク装置や、記録再生と消去もできるイレザブルディスク装置の開発が進められている。これまで述べた CD 用光 PU の技術は、これらのディスク装置用光ヘッドにも適用でき、我々もその研究開発を鋭意進めている。

## 参 考 文 献

- (1) K. Okada et al.: ICCE '83, 予稿 184 頁
- (2) 近藤ほか: 三菱電機技報, 58, No. 11, p. 4 (昭 59)
- (3) M. Born and E. Wolf: 光学の原理 II, p. 697
- (4) 立野, 米沢: 第 10 回微小光学研究会講演論文

1. ま え が き

ハイビジョン(高品位テレビ)はNHKが次世代テレビとして提唱しているもので、走査線を1,125本(現行テレビは525本)に増やし、画面のたてよこ比を3:5(現行テレビは3:4)に広げて、精細度が高く臨場感のある画像を実現した<sup>1)</sup>テレビシステムである。昭和59年1月にはNHKにより新しい帯域圧縮方式<sup>(1)</sup>(以下、新帯域圧縮方式と呼ぶ)が開発され、衛星放送の1チャンネルによりハイビジョン放送の実用化が可能になった。昭和60年には国際科学技術博覧会(科学万博)会場で地上局による実験放送が行われ、その素晴らしさが認識された。また近い将来、本格的放送が衛星を使って行われようとしている。

当社では、これに先駆け世界最大の直視形 40 インチブラウン 管を用いたディスプレイ装置、新帯域圧縮方式 ハイビジョン 受信機を既に開発している<sup>(2)</sup>。今回、ハイビジョン 衛星放送受信 システム の一環として家庭用ハイビジョン VTR を開発した。その受信 システム の構成図を図 1. に示す。

ここでは、開発したハイビジョンVTRの適用分野、仕様、特長、構成などの概要について言及し、次にこのVTRを実現するために開発した主要な新技術について述べる。

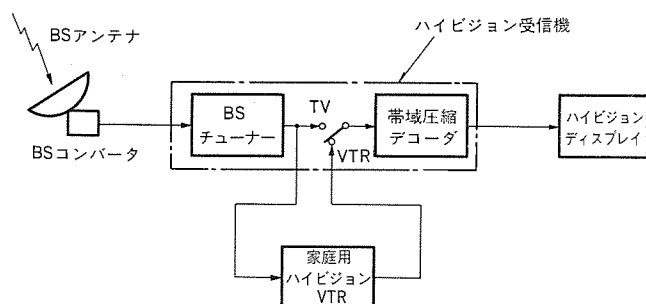


図 1. ハイビジョン衛星放送受信システムの構成図

## 2. ハイビジョン VTR の概要

## 2.1 適用分野

NHK が開発した新帯域圧縮方式は、帯域幅 20 MHz のハイビジョン信号を 8.1MHz の帯域幅に圧縮し、衛星によるハイビジョン放送を可能にした。以下この帯域圧縮されたハイビジョン信号を帯域圧縮ハイビジョン信号と呼ぶ。図 1. に示すハイビジョン受信機では、衛星から 12 GHz 帯で送信される FM 変調された帯域圧縮ハイビジョン信号を BS チューナーで受信し復調して、帯域圧縮ハイビジョン信号を得ている。この帯域圧縮ハイビジョン信号は、帯域圧縮デコーダで元のハイビジョン信号に復元される。

今回開発した家庭用 ハイビジョン VTR は、この帯域圧縮 ハイビジョン信号を記録再生する VTR であり、ハイビジョン放送の普及に伴う一般家庭でのテレビ録画用を目指している。また、高精細な画像の特長を生かし、クロードシステムのパッケージメディアとしても期待されるもの

である。

## 2.2 基本仕様と特長

図 2. に VTR の外観を、また表 1. に基本仕様とビデオ特性を示す。帯域圧縮された信号は、その伝送特性が劣化すると復元した信号への影響が大きくなる。したがって、ハイビジョン VTR の開発では、帯域幅 8.1 MHz の帯域圧縮ハイビジョン信号を 8.1 MHz まで忠実に記録再生することが重要になる。このため、テープヘッド系の記録帯域幅は従来の家庭用 VTR の約 5 倍となり、テープヘッドの相対速度を大きくする必要がある。一方、家庭用 VTR としては小形でしかも長時間録画が要求される。

これらの条件を満足する記録方式としてセグメント記録を採用し、この記録方式をベースにVTRの基本仕様を定めた。基本仕様にしたがって構築したハイビジョンVTRのビデオ特性は、記録帯域幅9MHz(−3dB)、 $S/N$ 比43dB以上、ジッタ(時間軸変動)検知限以下と、家庭用VTRとしては高水準の画質を得ることができた。以下にこのハイビジョンVTRの主な特長をあげる。

(1) 直径 62 mm の小形ドラムを毎分 5,400 回転と高速回転させ、画面を 3トラックに分割するセグメント記録方式を採用することにより、小形の VTR で情報量の多い帯域圧縮ハイビジョン信号の記録再生を可能にしている。

(2) 高速回転ドラムに適したスパイラルグリーブベアリング(流体軸受)を

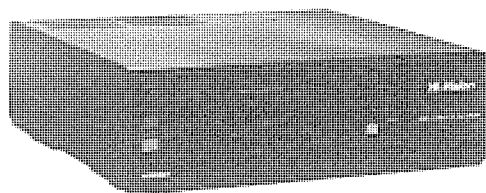


図 2. 家庭用ハイビジョン VTR の外觀

表 1. ハイビジョン VTR の基本仕様とビデオ特性

基本仕様	
(1) テーブ	1/2 インチメタルテープ
(2) 走査方式	回転 2 ヘッドヘリカルスキャン
(3) ドラム径	62 mm
(4) ドラム回転数	5,400 rpm
(5) 相対速度	17.4 m/s
(6) トラックピッチ	58 $\mu$ m
(7) 録画方式	帯域圧縮ハイビジョン信号を直接 FM 変調セグメント記録
(8) 音声記録方式	ステレオ 2 ch アナログ記録
(9) 録画時間	5 分
(10) カセットサイズ (mm)	188(W) $\times$ 25(H) $\times$ 104(D)

## ビデオ特性

(1) FM キャリヤ周波数	11.5~18 MHz
(2) 帯域幅	9 MHz (−3 dB)
(3) $S/N$ 比	43 dB 以上
(4) モデム	40 dB 以下
(5) ジッタ	5 ns 以下

採用し、長寿命で低騒音・低振動の高速回転系を実現している。

(3) テープ厚  $13\mu\text{m}$  の  $1/2$  インチメタルテープの採用と新しく開発した高密度で広帯域な記録ができるセンダストヘッドの搭載により、小形カセットで65分間の高画質録画を実現している。

(4) 新しく開発した記録時の画面分割回路及び再生時のタイムベースコレクタにデジタル信号処理を導入し、これによりジッタを検知限以下に抑え安定で高精細な画像を実現している。

(5) 広帯域記録に対応して、新しく開発したFM変調器を始めとする広帯域記録再生信号処理回路は、すべて高密度実装によりコンパクト化を図っている。

### 3. ハイビジョンVTRの構成

#### 3.1 システム構成

家庭用ハイビジョンVTRのシステム構成を図3.に示す。従来の家庭用VTRと比較して、記録帯域幅が広い、ドラムやキャプスタンの回転数が高いなどの違いはあるが、システム構成上異なるのは斜線を施した画面分割回路及びタイムベースコレクタ(TBC)の部分である。これらは、以下の理由によりこのVTRに不可欠な構成要素である。

(1) 記録する帯域圧縮ハイビジョン信号が、多重サブサンプリング方式で帯域圧縮された信号であるため、再生信号に含まれるジッタを数ns以下に抑える必要がある。

(2) 3分割された1フィールドの信号を、画面上で継目が見えないように再生する必要がある。

以下、従来の家庭用VTRにはなかった画面分割回路及びTBCについて説明する。

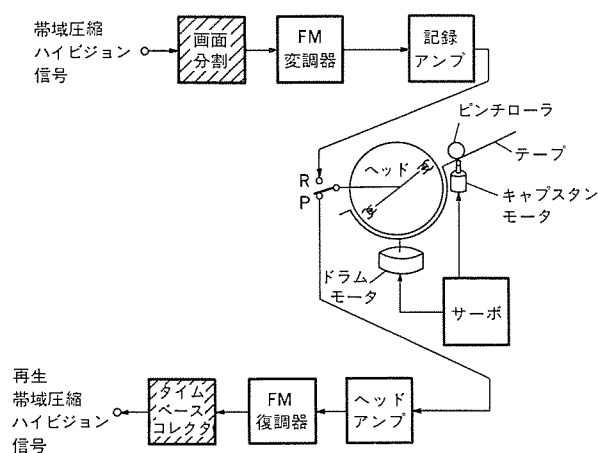
#### 3.2 画面分割回路

この回路は、帯域圧縮ハイビジョン信号をVTRでの記録再生に適した信号に変換するものである。

##### 3.2.1 VTR用信号の付加

帯域圧縮ハイビジョン信号には、図4.(a)に示すように正極同期信号が採用されている。なお、Yは輝度信号であり、Cは時間軸が $1/4$ に縮められ水平ブランキング期間に時間軸多重されている線順次色信号である。したがって、この信号をそのまま記録したのでは、再生時に同期分離ができずジッタ補正を行うことができない。

そこで、この回路では同図(b)に示すように、入力信号を1H



斜線部分は従来VTR(VHS)にない機能で新しい開発になる。  
白枠部分は従来VTR技術をベースにした開発になる。

図3. 家庭用ハイビジョンVTRのシステム構成図

(Hは水平走査期間)単位で時間軸圧縮してブランキング期間を設け、そこに負極同期信号とバースト信号を挿入する。上記信号処理は、デジタル回路を用いて行われ、時間軸圧縮はメモリの書込みクロックと読出しクロックに周波数の異なるものを用いることにより実現している。

再生時に安定したジッタ補正を行うためには、圧縮比を大きくしてブランキング期間を広くとり、負極同期信号やバースト信号の挿入期間を大きくすることが望ましい。しかし、圧縮比を大きくすると記録信号の帯域幅が広くなるという問題がある。今回採用した圧縮比は24対25であり、水平走査期間 $29.7\mu\text{s}$ の中で、負極同期信号とバースト信号とを合わせて $1.2\mu\text{s}$ の期間に収めている。

#### 3.2.2 画面分割処理

従来、家庭用VTRで採用されている1フィールド1トラック記録方式では、再生時に現在再生しているトラックから次のトラックに移行する際に発生するヘッド切換は、垂直ブランキング期間内に行われる。したがって、ヘッド切換時に信号の不連続があっても、その影響が画面上に現れることはない。

このVTRで採用した3セグメント記録方式では、1フィールド期間の信号を3本のトラックに分割して記録する。そのため、再生時に発生する3個の信号不連続のうち、1個を垂直ブランキング期間に入れても2個は画面内に位置することになる。

画面分割回路では、画面内に位置する2個の信号の不連続の影響が、画面上に現れないように記録信号にヘッド切換領域を設ける。

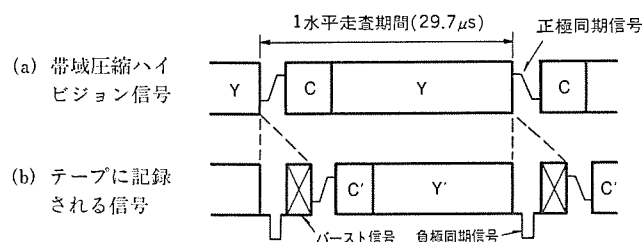


図4. 負極同期信号及びバースト信号の付加

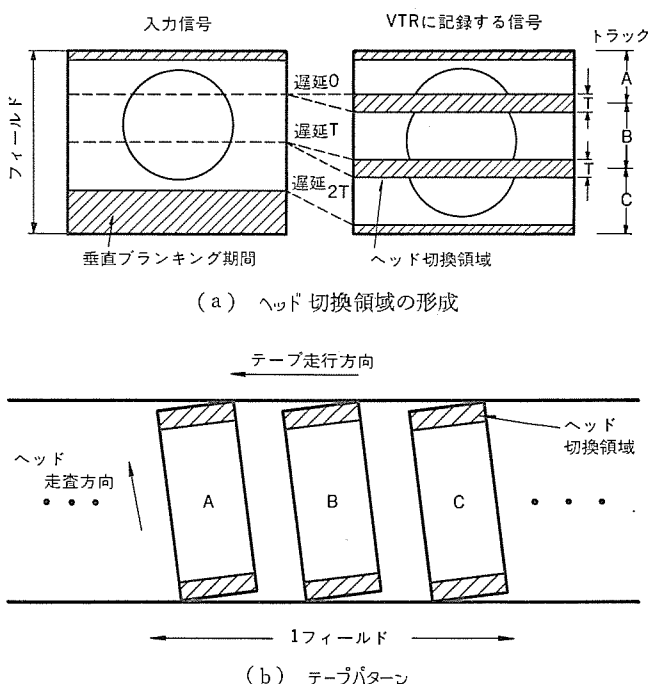


図5. 画面分割処理

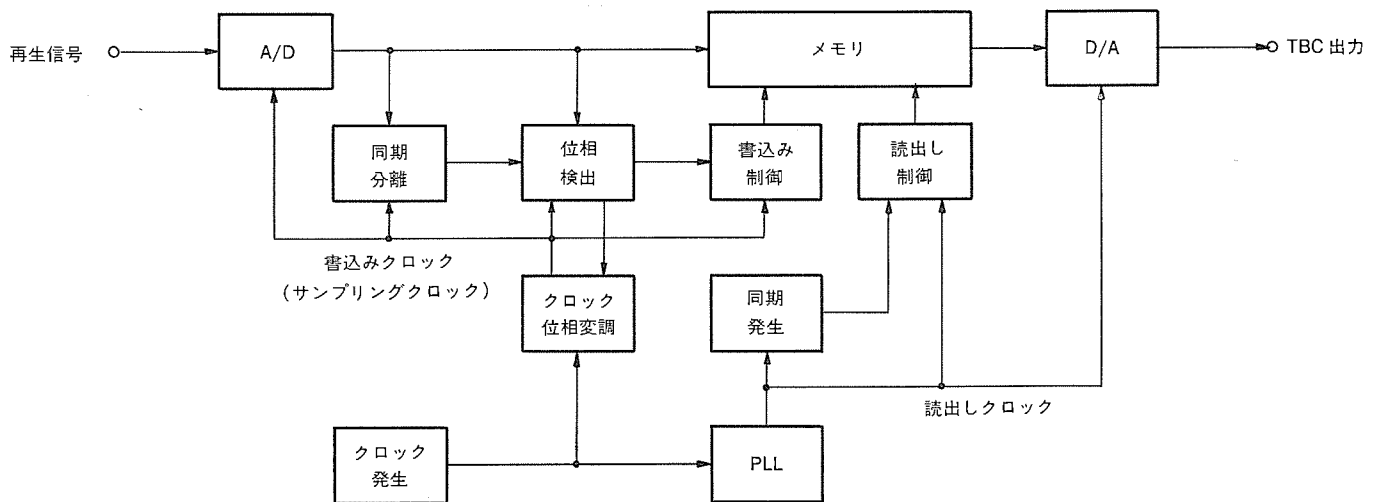


図 6. TBC の 構 成

図 5. (a) は動作の概要を示したものである。1 フィールド 期間の信号を 3 分割し、画面の上部、中央部、下部にそれぞれ 0, T, 2T の遅延を施して期間 T のヘッド切換領域を形成する。遅延及び前述の時間軸圧縮は同一のメモリを用いて行っている。同図 (b) に 1 フィールド期間の信号が、テープ上にどのように記録されているかを示す。

再生時のヘッド切換はヘッド切換領域で行う。したがって、再生信号には不連続が発生するが、映像信号は何ら影響を受けない。

### 3. 3 TBC

再生時に発生したジッタを補正し、記録時に施した時間軸圧縮と画面分割処理を元に戻して、帯域圧縮ハイビジョン信号を復元するのがこの回路の役割である。

#### 3. 3. 1 TBC の方式

従来、放送用 VTR などで行われている TBC は、フィードバック制御形のものである。その動作原理は、再生信号のジッタに追従したクロックを PLL (Phase Locked Loop) を用いて発生し、そのクロックで再生信号をサンプリングしてメモリに書き込み、メモリからの読み出しは安定したクロックを用いて行うというものである。

この VTR に上記フィードバック制御形 TBC を適用すると、以下のような不具合が発生する。すなわち、画面内に位置する前述の 2 個の信号不連続部において、PLL が外れて再びロックするまでの間、画面は非常に見苦しいものになってしまう。

そこでこの VTR では、応答が速いフィードフォワード制御形 TBC<sup>(3)</sup>を採用した。この TBC は、記録時に付加した負極同期信号とパースト信号とからジッタ量を求めて、オープンループで瞬時に補正するものであり、再生信号に不連続があるこの VTR に適している。

#### 3. 3. 2 TBC の構成と動作

TBC の構成を図 6. に示す。ジッタ補正及び画面継目処理 (記録時に施した画面分割処理の補正) は、メモリの書き込み側で行っている。クロック発生回路は水晶を用いて安定したクロックを出力する。クロック位相変調回路は、クロック周期の 1/64~63/64 の範囲で切換可能な遅延回路で構成されている。同回路からは、負極同期信号とパースト信

号の期間には、位相変調がかかっていないクロックが出力され、正極同期信号と C' と Y' とによりなる映像信号期間には位相変調されたクロックが出力される (図 4. (b) 参照)。

ジッタ補正及び画面継目処理の動作の概要を以下に述べる。

- (1) 再生信号中の負極同期信号を検出する。
- (2) パースト信号を用いて再生信号とクロックとの位相差を検出する。
- (3) 位相差に応じてメモリの書き込み開始タイミング及びクロックの位相変調量を決定する。

すなわち、動作は 1 H 単位で行われ、再生信号がメモリに書き込まれた時点でジッタ補正と画面継目処理は完了している。

メモリからの読み出しは、安定したクロックを用いて行われる。ここで、書き込み側のクロックと読み出し側のクロックの周波数の比は 25 対 24 になっており、記録時に時間軸圧縮された信号は、メモリから読み出された時点で元の時間軸に戻ることになる。

この TBC の採用により、ジッタや画面継目がない再生画像を得ることができた。

## 4. む す び

今回の家庭用ハイビジョン VTR の開発は、将来の実用化に向けての技術開発である。今後、引き続きスピードサーチなどの特殊再生機能、音声のデジタル記録による高音質化、長時間録画などの技術開発及び低コスト化を進めて、ハイビジョン時代にふさわしい性能、機能、信頼性をもつハイビジョン VTR を完成させ、ハイビジョン受信システムの普及に寄与していきたい。

## 参 考 文 献

- (1) 二宮ほか：高品位テレビの衛星 1 チャンネル伝送方式—MUSE—, 信学論(D), J 68-D, p. 647 (昭 60)
- (2) 杉本ほか：三菱電機技報, 59, No. 3, p. 19 (昭 60)
- (3) 大塚, 二宮：フィードフォワード制御型タイムベースコレクター, テレビ技報, TEB 83-1 (昭 57)

## 1. ま え が き

最近の家電機器は生活にますます深くかわるようになり、使う人、生活する人の感覚を反映していくことが要求されている。その感覚は、個性化と価値感の多様化への流れのなかで、豊かさ、快適さ、健康への欲求となって現れている。生活を支える家電機器についても製品の性能的側面の充実と同時に、使う人の意向、使われ方などのニーズを機器・システムに結びつけるハード開発を先導する「生活ソフト技術」が必要となってきた。

ここでは、衣・食・住、それに情報に関連し、生活ソフト技術とは何か、また洗浄・調理・食品保存・空調・照明・HAシステムの各分野について、製品に具体化されている生活ソフト技術について述べる。

## 2. 生活ソフト技術

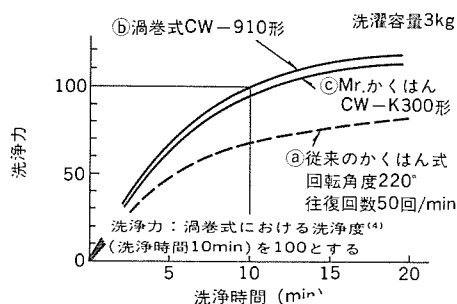
人々の意識は、物質面の充足から心の充足へと変化してきている。それによって個性化と価値感の多様化が進むと同時に、豊かさ、快適さ、健康を満たす暮らしへの欲求となって現れている。

衣・食・住の生活基盤を支え、家庭内の情報をも取り込みつつある家電機器・システムに対しては機能・性能のみならず、社会・生活環境の変化に対応して、ゆとり・やすらぎ・いきがい、などを満たすものでなければ受け入れられなくなってきている。生活ソフト技術は、これらのニーズをとらえて、製品化へのハード開発を先導する役割を果たすものである。

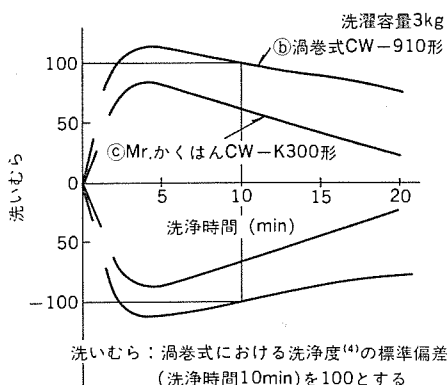
最近の高度に発達したエレクトロニクス技術、制御技術を応用することによって、機械を自在に制御したり、ニューメディアを媒体とする情報を居ながらにして家庭内に導入することができるようになったが、何をどうすれば人に満足感を与え、製品本来の働きは何か、またそのアルゴリズムをどう製品に実現するか、を求める生活ソフト技術が必要となるゆえんである。

## 3. 製品に生きる生活ソフト技術

家電機器市場の大部分を占める洗浄・調理・食品保存・空調・照明・HA分野に適用され、



(a) 洗浄力



(b) 洗いむら

図 1. 洗浄力と洗いむら

商品価値を高めてきた生活ソフト技術の具体例を次に述べる。

## 3.1 洗 浄

洗濯機における洗浄は、洗剤の化学的働きに加えて、機械力によって衣類と水との相対速度を大きくして汚れを除去することである。洗濯機に関する不満や要望を調査してみると、布がらみ、部分汚れ、おしゃれ着洗い、使用水量の順になっており、これらのニーズにあった開発が必要となっている。

洗浄力を維持して布がらみを少なくするには、衣類どうしの回転による位相のずれを、できるだけ少なくする必要があることが分かった。戦前から昭和30年代に使われていた、かくはん式の布がらみ・洗いむら・布傷みの少ない長所をいかし、繊維の物性や洗濯中の衣類の動作を解析して洗浄力を高めることにした。かくはん翼の角速度を大きくすると衣類に与える機械力が大きくなるので、減速手段を介してモータでかくはん翼を直接正逆回転駆動する洗浄機構を採用するとともに、衣類動作の実験的な解析から、かくはん翼の形状にも工夫を加えた。これらによって布がらみは少なく、図1.(a)に示すように洗浄力を維持して、洗いむらの少ない洗浄ができるようになった。この結果を製品に適用して従来のかくはん式とは異なる洗浄方法の二槽式洗濯機・全自動洗濯機に実用化し、機種の充実と展開を図っている。

## 3.2 調 理

米を炊き、保温するジャー炊飯器は、食生活の多様化に対応して、はい(胚)芽米や玄米を炊いたり、かゆが作れるようになった。これは親から子に伝承されてきたそれらの作り方を、食品の物理・化学的変化及び食品内部までの熱伝達機構を解析し、マイコンを活用したきめ細かい制御により実現したものである。

スペースを節約しながら調理時間の短縮や仕上がりを向上するため、オープン機能とレンジ機能を複合させたオーブンレンジが普及しつつある。

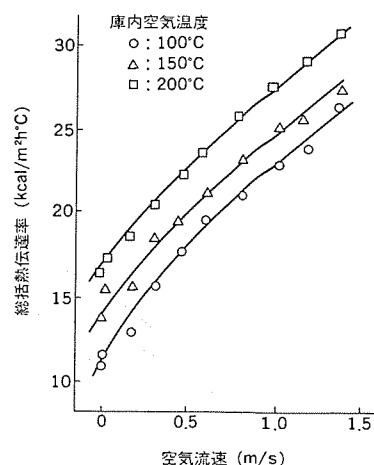


図 2. 空気温度、流速の総括熱伝達率への効果

このオープンレンジについて食品の外部からは、ヒーター、内部へはマイクロ波を加熱手段として併用し、その通電割合を多数の調理実験から最適パターンを設定した。更に仕上がりに関する実験を進めているうち、ヒーターからのふく(輻)射は食品の加熱むらを起しやすいが、熱伝達速度を高める強制対流機構を導入することにより、この加熱むらを解消することが明らかになった。風速と総括熱伝達率の関係を図2.に示すが、強制対流によって熱伝達率が向上し調理時間も短縮された。

このようにヒーターとマイクロ波を併用した加熱に強制対流を加える方式は、調理時間・仕上がりの面で生活ソフト技術が生かされ、より進んだ製品の開発につながっている。

### 3.3 食品保存

よりおいしく、より健康にとの欲求は、食料品店や家庭で保存する食品の温度管理を厳しくすることにつながってきた。また冷蔵室・冷凍室から野菜の保存用に野菜室が分離され、台所における整理性でも改善がなされている。

魚介類や肉類は、その鮮度とともにテクスチャが食味のポイントであり、鮮度保持の点では冷蔵に勝る冷凍においても、食味までを満足させてはいなかった。その上、保存温度に敏感な食品群の出現と、食品本来のおいしさを持続したいとの要望が、新たな保存温度・スペースを設けるインパクトとなった。

冷凍が適さず、また、そのままでは日もちが悪いと考えられていた食品について熟成や劣化の抑制をし、冷凍の手間をはぶき、冷凍の失敗をなくするなどをねらいとし、保存温度を厳密にコントロールした実験を行い、図3.に示すように鮮度評価恒数( $K$ 値)と保存期間との相関を各温度レベルごとに求め、更にトリメチルアミン値、pHなどの変化を定量した<sup>(2)</sup>。

これらの解析の結果、新鮮さとともに食味の向上を図るには、低温でかつ温度変動幅の小さい独立室が必要であることがわかり、ここをチルド室と名づけ4ドアチルド冷蔵庫の開発につなげた。このように、生活ソフト技術を生かして今後予想される食生活の多様化で生まれる新しい食品の出現にもこたえていけるようになった。

### 3.4 快適空調

より快適な居住環境を実現するために進歩してきた空調制御技術の流れは、幾つかのステップとしてとらえることができる。機械式のサ

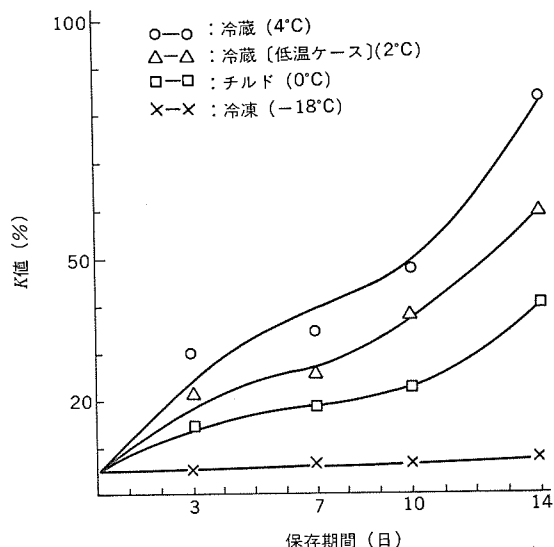
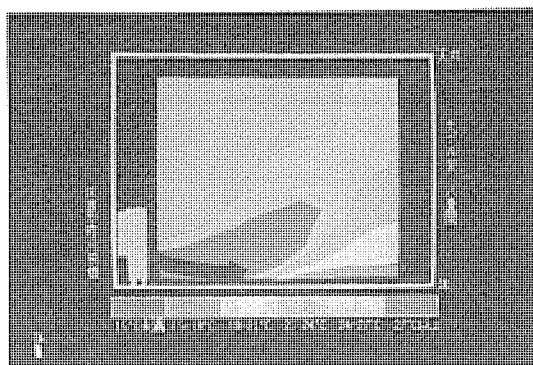
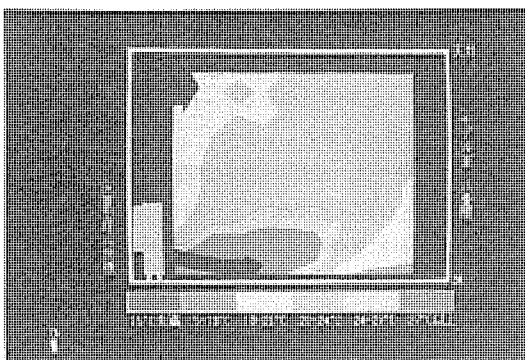


図3. マグロの $K$ 値変化



(a) 一方向気流吹出し



(b) 二方向気流吹出し

図4. 室内空間の温度分布

ーモスタットによって機器のオン・オフを行って室温を制御する第一世代から、IC式サーモスタットを利用して、よりきめの細かい制御のできる第二世代を経て、湿度・気流・空調機能力を制御する第三世代になってきた。湿度制御では、それまでの冷やす・暖めるだけから、特に梅雨時に感ずるじめじめする感じをなくして、さわやかな感じを創り出している。

気流制御では、精密な室内温度分布・気流分布に関する実験・解析<sup>(3)</sup>を行って、立体的な居住空間のなかで快適でない部分を大幅に減少させている。図4.は暖房する室内の温度分布を示す図で、従来の前面の一方向吹出しに加えて、上方向に気流を吹き出す二方向吹出しを行って、快適な空間領域を拡大するDuet Flow方式として《クリーンヒーターエアコン》に実用化した。容量制御は、従来のオン・オフによる不連続制御から、負荷に見合った能力で運転する連続制御を可能にし、室温を一定に保つことができると同時に、省エネルギー化も実現できる。

更にこれら温度・湿度・気流・能力制御の技術を統合して、空調本来の機能である空調室内にいる人に対して、快適な環境を提供しようとする第四世代に入りつつある。人によって空調される部屋の温度に対して好みがあり、またその人の着衣状態や健康状態によっても快適な温度レベルは違ってくる。そこで、室内に居る人の暑い・寒いと感じをダイレクトにインプットすることができるようにして、人とのコミュニケーションを図りながら好みの空調状態にすることのできる“温感自動”方式を開発し、ルームエアコンに実用化した。このような快適な空調環境への制御の取組は、人との対話形あるいは学習制御形の要素を取り入れて、人の好み、感覚に合う環境作りを指向する生活ソフト技術から導き出されたものである。

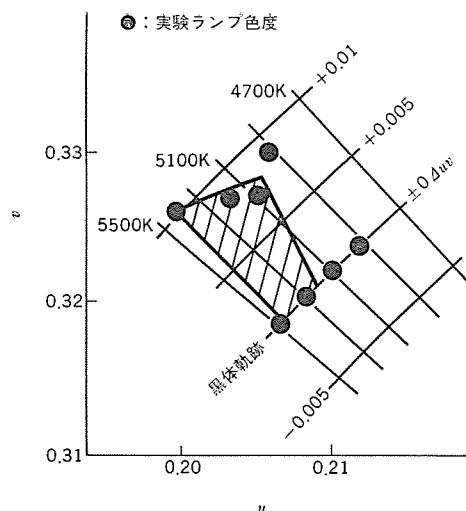


図 5. 好ましい光色の色度範囲

### 3.5 照明

照明は、対象とする施設・場所更には、そこでの行為に対応して、対象物を正しく認識する機能主体の明視性を主要目的とするか、快適性を主体とする雰囲気照明であるかによって光源・点灯装置・照明器具も異なってくる。最近の照明についての生活ソフト技術は、視覚生理・視覚心理面から生活行為を分析し、快適性を追求する傾向にあり、明視照明でも、より明視機能を高めるための快適な照明環境づくりへの傾向が強まっている。

日本の家庭の中で最も多く使われている蛍光ランプは、高効率、長寿命で経済性に優れているが、顔の色や物の色が自然光と比べて違って見えたりすることがあった。近年、青・緑・赤の特定の波長に発光するランプが、高い演色性を示すことがシミュレーションにより予測された。更にこの3波長域に発光の集中する蛍光体が開発されたことから、高効率・高演色性蛍光ランプへの可能性が明らかになり、3波長形蛍光ランプ《ルピカエス》として実用化を図った。これには住宅用照明として好ましい光色を主観評価実験から求め、図5.に示す  $u-v$  色度図上の斜線で表す色度を求めた。

これからの照明は、住宅のみならず、スポーツ施設での明視性と快適性を満足させ、店舗などでは商品をひきたせる照明など、生活ソフト技術の活用によって幅広い製品開発を先導することが重要になっている。

### 3.6 HA システム

家庭内への情報化の波は、ホームオートメーション (HA) システムとして浸透しはじめており、このシステムはホームコントロール、ホームセキュリティなど安全性、快適性、利便性を目指している。

この傾向を、「家庭の電化」から「家庭の情報化」に向うという視点に立って、これを基本概念にすえた HA システム《MELON》(Mitsubishi Electric Life Oriented Network System) を開発した。

このシステムは人とのふれあいを通して、暮らしにやすらぎ、ゆとり、いきがい、を提供できるように、図6.に示す三つのサブシステムから構成されている。「ハウスキープシステム」は防犯・防災、エネルギー管理、住環境・機器制御など住いの基盤を守る情報を統括、制御するもので、「ホームマネジメントシステム」は情報通信を核とした家事管理、健康管理などを行い、「ライフカルチャーシステム」は教育、娯楽などの分野で創造的な暮らしを実現しようとするものである。

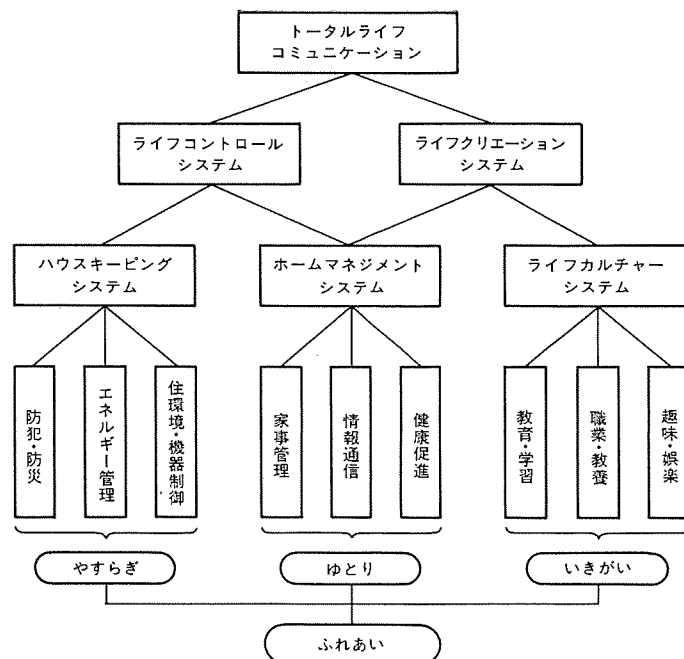


図 6. 《MELON》システムのコンセプト

これら3システムのうち、最も早く普及するものと考えられるハウスキープシステムは<sup>(4)(5)</sup>、例えばガスの火が消えてしまったらブザーで知らせる、水道や電気の使用量をモニターで調べる、外出先から電話でエアコンや炊飯器のスイッチを入れるなど家庭内の機器をコントロールする機能をもたせている。これについて配線の容易性、機器増設への拡張性、システムの操作性、信頼性を高めるためホームバス方式を基本とする時分割多重伝送モジュールを採用している。また全体システムは機能的な分担を担うサブシステムに分割され、更にサブシステム内を階層的に構成して信頼性と将来への拡張性を確保している。家庭内の情報をどのような視点で捉え、機器間の制御をどのような組合せにするか、どのような制御性がシステムに要求され、それをどのようにして実用化することにより使う人の満足が得られるかを追求する生活ソフト技術が、HAシステムの導入を図るうえで今後ますます重要となる。

## 4. む す び

家電・HA製品は、新しい生活環境の変化に対応し、使う人・生活する人の欲求を満足できるツールとしてのハードとソフトを備えていかなければならない。そこには“生活”のなかでどのような欲求があるか、本物は何かを探り、製品・システムの中に実現しようとする生活ソフト技術がますます重要になっている。ここで述べた各分野のソフト技術も、深堀り、組合せ、統合を行いつつ“豊かで調和ある生活環境の創造”を目指して研究開発を行っていくつもりである。

## 参 考 文 献

- (1) 吉田ほか：三菱電機技報，59，No. 7，p. 69 (昭60)
- (2) 加藤ほか：三菱電機技報，58，No. 5，p. 37 (昭59)
- (3) 菅原ほか：三菱電機技報，56，No. 12，p. 67 (昭57)
- (4) 村上ほか：三菱電機技報，57，No. 2，p. 129 (昭58)
- (5) 上村ほか：三菱電機技報，59，No. 8，p. 59 (昭60)

## 1. ま え が き

第5世代コンピュータ計画が始まって以来、その中心となる論理形言語として Prolog が広く注目されている。この論文では第5世代コンピュータ計画の委託を受けて研究開発を行った Prolog プログラムの検証システムについて、その要点を解説する。我々の検証システムは、Prolog の実行を拡張した形の一階推論と Prolog 向きの帰納法によって、プログラムが仕様で示される性質を持つことを計算機で証明する。特にここでは、全くかけ離れたものと思われていた検証が、論理プログラミングのパラダイムでは、デバッグの延長上の一般的なプログラム確認の方法として位置づけられることを示す。

## 2. 正しいプログラムと誤ったプログラム

Prolog は一階述語論理式のうち、特定のクラスの論理式からなるプログラミング言語である。例えば、二つのリストをつなぐ append という手続きは次のように定義される(図1.)。

このプログラムは、空のリスト  $[]$  に  $L$  をつなぐと  $L$  であり、 $L$  に  $M$  をつないで  $N$  になるなら、頭が  $X$  で後ろが  $L$  の  $[X|L]$  に  $M$  をつなぐと、頭が  $X$  で後ろが  $N$  の  $[X|N]$  になると読める。このプログラムに対して、例えば実行ゴール  $?- \text{append}([1, 2], [3], Z)$  が与えられると、このゴールは  $Z$  を  $[1|Z_1]$  として  $\text{append}([2], [3], Z_1)$ 、続いて  $Z_1$  を  $[2|Z_2]$  として  $\text{append}([], [3], Z_2)$  と変形され、最後に  $Z_2$  が  $[3]$  になって答  $Z = [1, 2, 3]$  が求められる。

Prolog は従来の言語に比べると、計算機より人間寄りの言語であると言われているが、それでも人はしばしば誤ったプログラムを書く。例えば、リストを逆順に並べる reverse という手続きを図2. のように書いてしまう。

このプログラムは、これはこれで走るがプログラムの意図には反している。どうすれば、プログラムがプログラムの意図したものであることを確かめることができるだろうか。世の中には、デバッグと検証という対照的な印象を与える二つの方法が知られている。デバッグでは、適当なテストデータをプログラムに与えて実行し、おかしい所がないかを調べる。より多くのテストデータについて、おかしい所がなくなればプログラムは(だいたい)より良くプログラムの意図に合っていると思われるが、非形式的で泥臭い感じを持たれている。これに対し、検証は何をするか(what)を示す仕様をいかに計算するか(how)を示すプログラムに対して、数理論理的に証明すると言われて

```
append([], L, L).
append([X|L], M, [X|N]) :- append(L, M, N).
```

図1. リストをつなぐ Prolog プログラム

```
reverse([], []).
reverse([X|L], M) :- reverse(L, N), append(N, [X], M).
```

図2. プログラムの意図に反したプログラム

いる。仕様が証明されれば、それでプログラムが正しいことがわかるが、形式的・数学的で機械にやらせるものと思われている。一見したところ、全くかけ離れたこの二つのアプローチは、論理プログラミングでは実は同一線上にある。

## 3. Prolog プログラムのデバッグ

図2. の Prolog プログラムをトレースしてその動作を見てみよう。トレースと呼ばれるデバッグツールが次のように応答する。図中であるゴールが成り立つには、下の(Call で呼ばれる)ゴールが成り立てばよい。図3. のトレースからプログラムはどこがおかしいかに気づき、次のような意図に合ったプログラム(図4.)に修正する。

結局デバッグとは“プログラムが頭の中で、いだいているモデルとプログラムの動作に食い違いがないかを確認する”ことである。

```
| ?- reverse([2,1], M).
```

```
(1) 0 Call : reverse([2,1], 40) ?
(2) 1 Call : reverse([1], 105) ?
(3) 2 Call : reverse([], 117) ?
(3) 2 Exit : reverse([], [])
(4) 2 Call : append([], 1, 105) ?
(4) 2 Exit : append([], 1, 1)
:
```

図3. Prolog プログラムのデバッグ例

```
reverse([], []).
reverse([X|L], M) :- reverse(L, N), append(N, [X], M).
```

図4. プログラムの意図に合ったプログラム

## 4. 論理プログラミングのパラダイム

ここで第5世代コンピュータの中心的理念である論理プログラミングのパラダイムを思い起こしてみよう。“Prolog プログラムの実行は論理的証明である”。図3. の  $?- \text{reverse}([2, 1], M)$  の実行は、 $\exists M \text{ reverse}([2, 1], M)$  の証明である。一般に Prolog プログラム “ $B_0 :- B_1, B_2, \dots, B_m$ ” に対して図5. 推論規則が対応する(横線の下が成り立つには上が成り立てばよいと読む。 $\sigma$  は適当な代入)。

与えられた証明したい論理式に対して、下の方から証明図が作られるが(図6.), 先ほどのトレースは実はそれを上下逆さまに表示している。

このパラダイムによれば、デバッグで注目する“動作”とは、 $\exists Y_1 Y_2$

$$\frac{\sigma(B_1 \wedge B_2 \wedge \dots \wedge B_m)}{\sigma(B_0)}$$

図5. 実行のための推論規則

$$\frac{\text{reverse}([ ], [ ]) \wedge \text{append}([ ], 1, 1)}{\text{reverse}([1], 1) \wedge \text{append}(1, 2, ?)} \\ \text{reverse}([2, 1], ?)$$

図 6. 実行に対応する証明図

$\dots Y_m(A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_k)$  の形の性質を証明するときの様子にほかならない。

## 5. Prolog プログラムの検証

この見方を延長してプログラムの検証を“プログラムが頭の中でいっているモデルと、プログラムの論理的性質に違いがないかを確認すること”と考えてみよう。ここで論理的性質とは、例えば“リストを逆順に並べた後、更に逆順に並べると元に戻る”といった論理式で書くと

$$\forall L, M(\text{reverse}(L, M) \supset \text{reverse}(M, L))$$

など  $\forall X_1 X_2 \dots X_n \exists Y_1 Y_2 \dots Y_m (n, m \geq 0)$  の形で示されるものとす

る（したがって普通のゴールなども含んでいる）。注目すべきは、ここでは仕様は必ずしもプログラムが何をするか全体を示したものでなくともよいこと、成り立つべきより多くの性質を検証すれば、プログラムは（だいたい）より良くプログラムのいっているモデルと一致すると思われることである。これはデバッグの印象に近い。

しかし、このように検証の定義を単に言い換えただけでは意味がない。このような論理式は必ずしも普通の実行ゴールではないので、普通の Prolog システムは実行することはできない。しかし、図 7. のような推論規則を採用すると、実はこのようなより広いクラスの論理式も“実行”できる。この推論規則が、我々の検証システムの新しいアイデアである。

拡張実行のうち正のゴールの実行は、先ほどの実行とよく似ている。証明しようとしているゴールの中に Prolog プログラム “ $B_{j0} : -B_{j1}, B_{j2}, \dots, B_{jm_j}$ ” の頭  $B_{j0}$  に代入を施した形が現れたとき、それを  $\sigma(B_{j1} \wedge B_{j2} \wedge \dots \wedge B_{jm_j})$  で置き換えたゴールに帰着させるものである（図 8 の最初の 2 ステップ参照）。この推論規則は普通の実行ゴールについては、普通の実行と全く同じ効果を持ち、一般化になっている。

拡張実行

場合分け（三つ）

$$\text{正のゴールの実行} \quad \frac{\sigma_1(G_A[\wedge_{i=1}^{m_1} B_{1i}])}{\sigma_1(G_+[B_{10}])} \quad \frac{\sigma_2(G_A[\wedge_{i=1}^{m_2} B_{2i}])}{\sigma_2(G_+[B_{20}])} \quad \dots \quad \frac{\sigma_k(G_A[\wedge_{i=1}^{m_k} B_{ki}])}{\sigma_k(G_+[B_{k0}])}$$

$$\text{負のゴールの実行} \quad \frac{G_A[\text{false}] \quad \sigma_1(G_A[\wedge_{i=1}^{m_1} B_{1i}]) \quad \dots \quad \sigma_k(G_A[\wedge_{i=1}^{m_k} B_{ki}])}{G_-[A]}$$

真偽による単純化  
特託決定

$$\frac{\sigma(G)_A(\text{true}) \quad \sigma(G)_A(\text{false})}{}$$

帰納法

図 7. 検証のための推論規則

自然数 (0).

自然数 (X+1) :- 自然数 (X).

図 8. 自然数を定義する Prolog プログラム

$$\text{reverse}(M, [X|L_1]) \wedge \text{append}(L_1, [Y], L) \supset \text{reverse}([Y|M], [X|L])$$

↓ 正のゴールの実行

$$\text{reverse}(M, [X|L_1]) \wedge \text{append}(L_1, [Y], L) \supset \exists L_2 (\text{reverse}(M, L_2) \wedge \text{append}(L_2, [Y], [X|L]))$$

↓ 正のゴールの実行

$$L_2 \leftarrow [X|L_1]$$

$$\text{reverse}(M, [X|L_1]) \wedge \text{append}(L_1, [Y], L) \supset \exists L'_1 \text{reverse}(M, [X|L'_1]) \wedge \text{append}(L'_1, [Y], L)$$

↓ 真偽による単純化

$$L'_1 \leftarrow L_1$$

$$\text{append}(L_1, [Y], L) \supset \text{append}(L_1, [Y], L)$$

↓ 真偽による単純化

true

図 9. Prolog プログラムの検証例

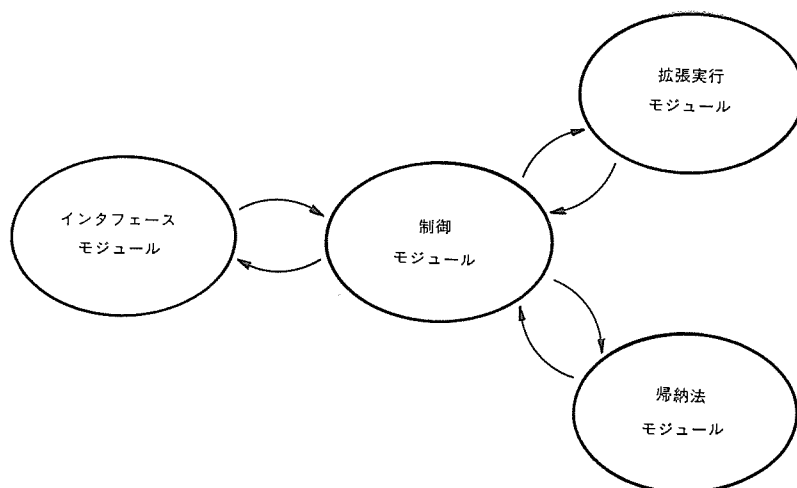


図 10. Prolog 検証システムのモジュール構成

また真偽による単純化は、証明しようとしているゴールの中に同じ形のものが二つ以上現れるとき、それらが true の場合のゴールと、それらが false の場合の二つのサブゴールに帰着させるものである (図 8. の後の 2 ステップ参照)。拡張実行については、図 8. の検証システムの応答の一部に説明を譲る。先ほどのトレースと同様に、図中のゴールが成り立つにはその下のゴールが成り立てばよい (負のゴールの実行は図 8. に現れていないが詳細は参考文献を参照)。推論規則が増えただけ、どの規則を使うかに工夫 (ヒューリスティクス) が要る。

最後の推論規則の“帰納法”について一言説明しよう。先ほどの性質は、どんな長さのリストについても成り立つが、そういった性質を示すには普通は帰納法が要る。よく知られた自然数の帰納法で  $\forall X(\text{自然数}(X) \supset \text{性質}(X))$  を示すには、

Base Case : 性質(0)

Induction Step : 性質(X)  $\supset$  性質(X+1)

を示せばよいが、これは自然数の定義で“自然数”を“性質”で置き換えたものである。

同様に  $\forall L, M(\text{reverse}(L, M) \supset \text{性質}(L, M))$  を示すには図 4. の reverse のプログラムで“reverse”を“性質”で置き換えて、

Base Case : 性質([ ], [ ])

Induction Step : 性質(L, N)  $\wedge$  append(N, [X], M)  $\supset$  性質([X|L], M)

を示せばよい。

## 6. Prolog プログラム検証システムの構成

我々の検証システムは、図 10. のような構成になっている。インタフェースモジュールを通して仕様が与えられると、制御モジュールがこれを拡張実行モジュールあるいは帰納法モジュールに渡して処理し、生成されたサブゴールがすべて true になると検証が終わる。現在のシステムは、

DEC 10 Prolog で書かれており約 7,000 行からなり、先ほどの reverse の性質などは 5～6 秒 (CPU 時間) で自動的に証明する。

## 7. む す び

デバッグと検証は、共にプログラムがプログラムのいだいているモデルと一致するかどうかを確かめる方法である。論理形言語で明らかになるこのような関係は、従来それぞれの分野で開発されてきた技術の交流・融合の可能性もはらんでいる。また、この検証システムで用いられている推論を制御するための種々のヒューリスティクスは人工知能技術の基礎となるものである。

最後にこの検証システムの研究開発は、第 5 世代コンピュータ計画の委託によって行われた。この機会を与えられた新世代コンピュータ技術開発機構の渟一博所長、種々の助言、激励をいただいた古川康一同第一研究室長、横井俊一同第二研究室長に感謝の意を表す。

## 参 考 文 献

- (1) Kanamori, T. and H. Seki: “Verification of Prolog Programs Using An Extension of Execution”, ICOT Technical Report, TR-095 (1984)
- (2) Kanamori, T. and H. Fujita: “Formulation of Induction Formulas in Verification of Prolog Programs”, ICOT Technical Report, TR-094 (1984)
- (3) Kanamori, T. and K. Horiuchi: “Type Inference in Prolog and Its Applications”, ICOT Technical Report, TR-095, 1984. Also Proc. of IJCAI-85, p. 704-707 (1985)
- (4) Seki, H. and T. Kanamori: “Incorporating Generalization Heuristics into Verification of Prolog Programs”, ICOT Technical Report, TR-108, 1984. Also Proc. of IJCAI-85, p. 736-741 (1985)

## 1. ま え が き

ここ数年、機械翻訳システムに対する関心が高まっているが、その原因として第一に、翻訳に対する社会的な需要の増加をあげることができる。これは、社会の高度情報化に伴い諸外国との交流が盛んになり、大量の文書の交換が必要になってきたことによる。(社)日本電子工業振興協会の調査<sup>(1)</sup>によれば、現在国内で翻訳に費やされているコストは年間500～5,000億円であり、1.5～2倍/2年の割合で増加が予測されているという。更に、「昭和68年には、1.7兆円位になるが、この予測値が現実の翻訳コストとなるには、機械翻訳システムなしには実現不可能である」と述べている。

もう一つの原因として、計算機技術の発達と言語理論の発展があげられる<sup>(2)</sup>。機械翻訳のアイデアそのものは、計算機が発明された当初から存在していたが、それを実現するだけの技術と理論がなかった。それが、計算機ハードウェア、ソフトウェア技術の発達及び自然言語処理理論の発展によって、速度的、コスト的及び品質的に妥当なシステムが開発できるレベルになってきたといえる。

このような背景のもとで、機械翻訳システムの開発が活発になっているが、ここでは、知識情報処理技術を応用した意味処理を行うことにより、高品質翻訳の実現をねらった知識指向形日英機械翻訳システムThalia-3(サライア-3, Translator as Helpful And Linguistic Assistant-3)について紹介する。

## 2. 開 発 の 目 標

機械翻訳システムにおいて最も重要な技術課題は、あいまいさのない意味の抽出であって、これが実現されれば完全な翻訳が可能となる。しかし、現在の翻訳技術は構文解析レベルを主体としたもので、十分に意味を抽出できる段階には至っておらず、したがって翻訳においても訳文の品質にはなお問題が多い。特に日本語の場合は、構文的に自由度が大きいという性質によって、この問題が強く現れる傾向にあり、実用的に満足いくレベルに到達するには更に一層の翻訳技術の向上が必要と考えられる。

そこで今回は開発方針として、意味を考慮した翻訳処理を行うことができる知識指向形機械翻訳システムの開発を主たる目標にした。これは、「意味処理によって訳文の質を高め、更に翻訳処理知識の追加によって質を高めることが可能なシステム」をねらったものである。そのため第一の手段として、最近の知識情報処理技術を応用したシステム設計を行い、これによって高品質翻訳をねらうことにした。また第二の手段として、システム保守用のツールを用意して保守を容易化し、これによって、翻訳性能を高品質にもっていけるようにした。

なお、翻訳対象分野としては、最も需要が高い<sup>(1)</sup>「科学技術文書の日本語から英語への翻訳」を選択した。

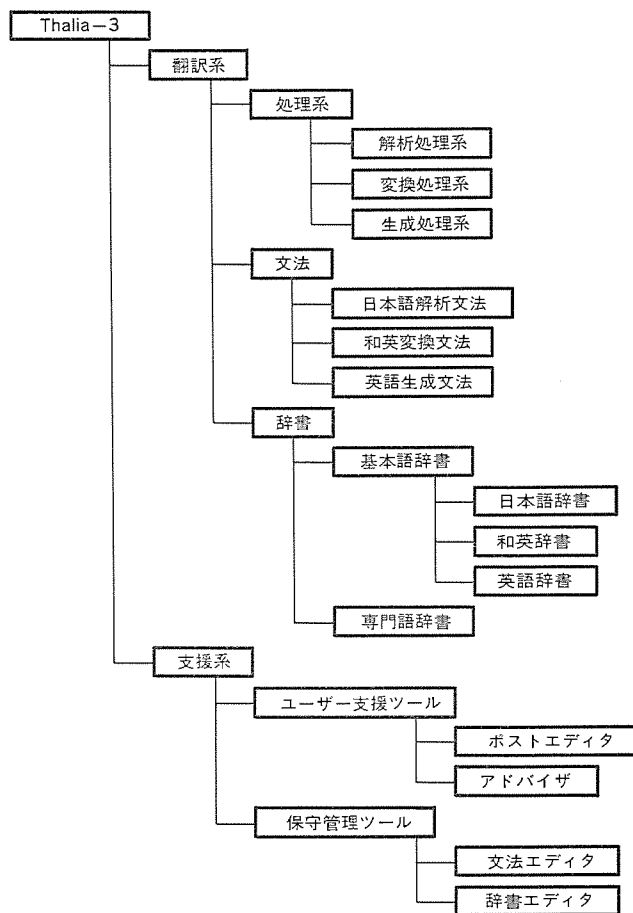


図 1. Thalia-3 のソフトウェア構成

## 3. システムの概略

Thalia-3は図1.に示すように、大きく翻訳系と支援系から構成されている。翻訳系は実際に翻訳を行うプログラム群であり、支援系はユーザーの翻訳作業やシステム保守者の保守作業を容易化するために用意されたツール群である。

まず翻訳系であるが、これは翻訳処理と言語データとのモジュール性を良くするために、処理系、文法及び辞書に分かれている。処理系はいわゆるメインルーチンであり、文法や辞書を操作して意味を考慮した翻訳を行う。文法は言語表現の1個ずつに対応した翻訳処理規則の集合であり、専用の記述言語を用いて記述する。辞書は日本語や英語の基本語、専門語に関する情報を体系化したものである。この翻訳系はシステムの中核なので、以降の各章で詳しく述べる。

次に支援系であるが、これはユーザーの翻訳作業を優れたマンマシンインタフェースによって支援するユーザー支援ツールと、システム保守者による翻訳系プログラムの保守作業を、簡潔な修正指示によって行える保守管理ツールがある。ユーザー支援ツールには、訳文の後編集(文字列編集、訳語次候補など)をCRT画面上でコマンド操作によって

行えるようにするポストエディタ（後編集エディタ）や、翻訳の実行状況を診断し報告するアドバイザーが用意されている。また保守管理ツールには、文法を専門分野向きに調整する作業を高水準かつ簡潔な指示によって可能にする文法エディタや、辞書への単語の追加及び訳語の変更などを行える辞書エディタが用意されている。

#### 4. 翻訳方式

この章では、処理系による翻訳の方式と翻訳の過程について述べる。

##### 4.1 意味トランスファ方式

機械翻訳システムの翻訳方式には、

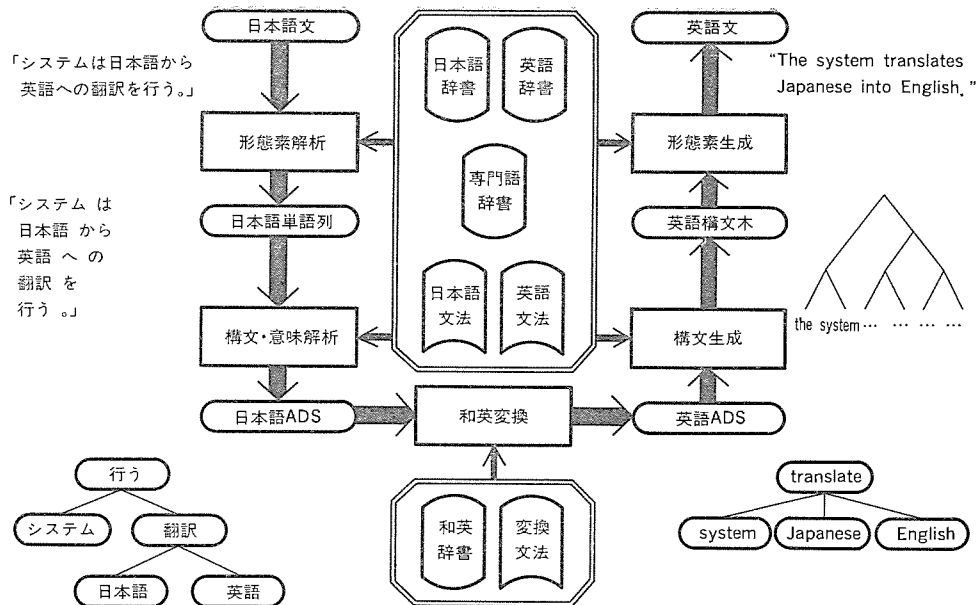


図 4. Thalia-3 による翻訳過程

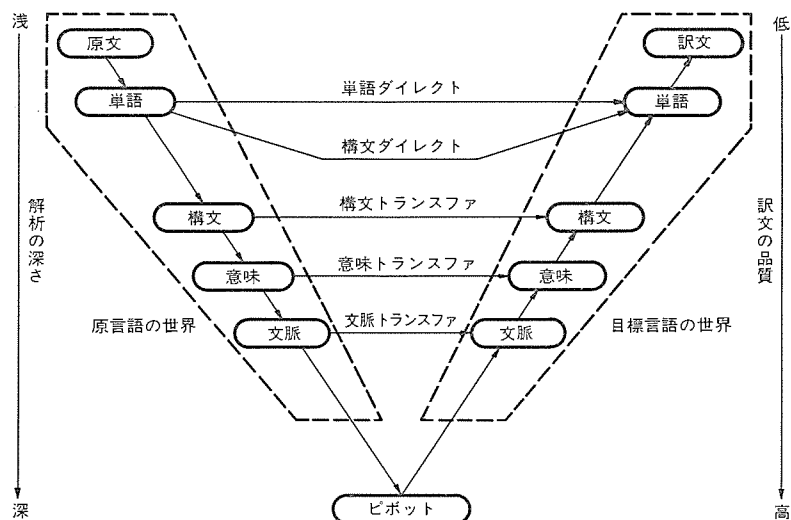


図 2. 機械翻訳システムの各種翻訳方式

図 2. に示すように、単語ダイレクト、構文ダイレクト、構文トランスファ、意味トランスファ、文脈トランスファ、ピボットなどの各方式がある。原文を解析する深さと詳しさは両方ともこの順に深くなり、後者になるほど品質の良い訳文が出せる<sup>(3)</sup>。しかし、文脈トランスファ方式は研究が始まった段階であり、ピボット方式はその存在が仮定されているにすぎない。そこで、Thalia-3 では現技術で最も品質の良い訳文を出すため、意味トランスファ方式を採用した。これは、原文を解析して原文の意味を抽出し、これを目標言語の意味に変換し、それから目標言語の文（訳文）を生成する方式である。

##### 4.2 意味表現形式

意味を表現する形式として、ADS (A Dependency Structure) と呼んでいるグラフ構造を使っている。図 3. に示すように ADS は、概念をノードとし、概念間の依存関係を有方向リンクで表すグラフである。木構造と違ってループも許すので、相互に依存関係があるような概念間の関係も表現できる利点を持っている。

また、ADS はノードとリンクの内容を表現するのにフレーム形式を採用しており、属性名と属性値の対からなるスロットの集合で内容を表現する。形態素や構文、意味に関する情報を数多く入れることが可能なため、詳細に内容が表現できるという特長を持っている。

##### 4.3 翻訳過程

図 4. に示す翻訳過程の各フェーズについて述べる。まず、解析が日本語文から日本語 ADS を作る。入力した日本語文は、漢字やひらがななどの単なる文字列でしかないが、これをまず、形態素解析が日本語辞書と専門語辞書を使って単語列にまとめる。同時に、単語の品詞や活用形などの形態素情報を調べる。次に構文・意味解析が日本語解析文法を使って、単語列から日本語 ADS を作る。このとき、構文チェックと意味チェックを行って、誤った解釈は却下し、正しい解釈の場合に

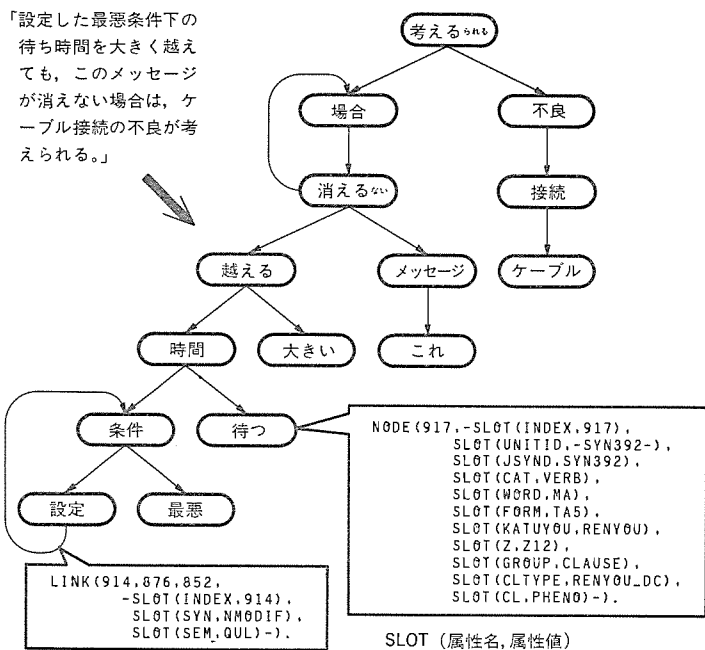


図 3. ADS の例

は文節や節などのまとまり及び修飾関係などの構文情報や依存関係及び深層格などの意味情報を ADS にスロットとして付け加えていく。

次に、変換が日本語 ADS を英語 ADS に作りかえる。変換辞書と専門語辞書を使って、日本語のノードの内容に対する英語の概念を調べ、ノードにその情報を書き込む。また、図 4. における「翻訳を行う」と“translate”のように概念構造が日本語と英語で異なる場合は、変換文法を使って ADS の構造を変形する。これは、日本語 ADS のノードやリンクに追加・削除・合成・分解操作を何回か適用することによって行い、英語 ADS の構造に作りかえる。

最後に、生成が英語 ADS から英語文を作る。まず、構文生成が英語生成文法と英語辞書と専門語辞書を使って英語構文木を作る。これは、英語 ADS のノードやリンクの内容をトップダウンに調べていて、動詞の文形に当てはめていくことによって行う。そして、形態素生成が構文木から英語文を作成し、出力して 1 個の文の翻訳処理を完了する。

## 5. 文 法

文法は図 5. に示すように、日本語解析（解析）、和英変換（変換）、英語生成（生成）の 3 種類が用意されており、これらによって言語表現に対する各フェーズの翻訳処理を記述する。文法がカバーする言語表現の範囲が翻訳可能な表現の範囲である。

### 5.1 文法記述言語

文法記述言語とは、文法を人間にとって容易に記述できるようにする目的で設計された専用の高水準言語である。自然言語の表現は、すべてが理論化されているわけではないので、文法の開発は変更とテストの繰り返しになる。また、システム導入時には翻訳対象分野に固有の表現に対する翻訳処理を追加する必要がある。更に、時代とともに変化する表現もあるので、文法の保守も必要となる。したがって、文法を記述しやすくまた変更しやすくしておくことが重要で

ある。そこで、文法を高水準でかつ簡潔に記述でき、しかも部分的な変更が容易であるような言語（文法記述言語）を用意することにした。文法記述言語として解析・変換・生成文法記述用の 3 種類を設定し、各フェーズの翻訳処理を記号表記で簡潔に記述でき、また翻訳処理規則ごとの徹底したモジュール化によって翻訳処理規則ごとに追加・変更・削除できるという特長を持たせた。

### 5.2 トランスレータ

トランスレータは、文法記述言語で書いた文法を計算機で実行可能なコードに変換するプログラムである。一般に高水準言語で書かれたプログラムを計算機で実行するためには、インタプリタかコンパイラを用意するが、Thalia-3 では翻訳処理を高速実行するためにコンパイラを用意することにした。このコンパイラ（Thalia-3 ではトランスレータと呼んでいる）は、文法を機械語プログラムにコンパイルするものであり、文法及び文法記述言語に対応して解析・変換・生成文法用の 3 種類が用意されている。

### 5.3 各処理用文法記述言語

#### (1) 解析用文法記述言語

解析文法は図 5. (a) のように、拡張文脈自由文法の形で記述する。文脈自由文法規則の形で構文カテゴリ間の関係が書ける。更に拡張部分としてスロット操作命令を各規則中に書ける。文脈自由文法で表現できない言語表現に対しては、ADS のノードやリンク中のスロット属性値を直接読み書きすることで処理できるようになっている。

#### (2) 変換用文法記述言語

変換文法は図 5. (b) のように、規則ごとに部分 ADS（部分グラフ）の変形を記述する。部分 ADS のノードやリンクを追加・削除・合成・分解する処理が規則に記述できる。また、スロット属性値を読み書きする命令も記述できる。解析用や生成用よりも強力な ADS 変形操作が記述でき、日英間の概念依存構造の違いに対して任意の変形操作ができる能力を与えている。

親カテゴリ(ルール名(変数1,...))#親ADS..... 子カテゴリ(変数1)#子ADS1, [スロット操作命令列], 子カテゴリ(変数2)#子ADS2, [スロット操作命令列], :	<pre> ng ( ng - 5 ( CL , NG ) ) # 1 ---&gt; cl ( CL ) # 2 , { 2 : rm - form ---&gt; rentai } , ng ( NG ) # 1 , { / = &amp; 1 : situ , 2 : cl type &lt;= relcl , @ 2 -&gt; 1 , 2 -&gt; 1 : syn &lt;= nmodif , 2 -&gt; 1 : sem &lt;= qul , @ 1 -&gt; 2 , 2 / 1 , 1 &lt; - / 2 } . </pre>
---	--

(a) 日本語解析文法規則の 1 つ（埋込み文の解析）

rule(ルール名): - pat(部分ADS), スロット操作命令列, ADS変形操作列, rule(次ルール名, pat(部分ADS)).	<pre> rule ( t - ng 2 ) : - pat ( noun ( 1 ) =&gt; verb ( 2 ) ) , 1 - 2 : sem -&gt; app , 2 : cl type -&gt; st - rc , 1 : j syn d -&gt; J , 1 : t - strc - tab ( J , E ) , 2 : t - strc - flg : =&gt; E , 1 + 2 ---&gt; 2 , ! 1 , rule ( t - st - rc , pat ( verb ( 2 ) =&gt; ? ) ) . </pre>
---	--

(b) 和英変換文法規則の 1 つ（埋込み文から関係節への変換）

親カテゴリ(木構造定義) ->子カテゴリ1,..., <ノード探索順序指定>, <探索リンク指定>.	<pre> np ( np ( * np , * rel , * s / * np ) ) -&gt; np ( * np ) , rel ( * rel ) , s / np ( * s ) , &lt; 3 , 1 , 2 &gt; , &lt; nil , + rel , + relcl &gt; . </pre>
---	---

(c) 英語生成文法規則の 1 つ（関係節の生成）

図 5. Thalia-3 の文法規則の例

JAPANESE-ENGLISH MACHINE TRANSLATION SYSTEM THALIA-3	
キ ー ボ ー ド	KEYBOARD
キ ー ボ ー ド は 1 0 2 個 の キ ー 及 ビ ラ ン プ で 構 成 さ れ て い て , 計 算 機 の 状 態 を 制 御 し た り 計 算 機 に デ ー タ を 入 力 す る 場 合 に 使 用 さ れ る 。	THE KEYBOARD IS COMPOSED OF 102 KEYS AND LAMPS, AND IT IS USED WHEN THE STATUS OF THE COMPUTER IS CONTROLLED AND THE DATA IS INPUT TO THE COMPUTER.
押 さ れ た キ ー が 有 効 で あ れ ば , 0 . 0 5 秒 間 ブ ザ ー が 鳴 る 。	A BUZZER RINGS FOR 0.05 SECOND IF THE PUSHED KEY IS VALID.
テ ン キ ー 表 示 領 域 及 ビ 数 値 フ ィ ー ル ド へ の ビ リ オ ド の 二 重 入 力 操 作 は 不 可 能 で あ る 。	THE DOUBLE-INPUT OPERATION OF THE PERIOD TO THE TEN KEY DISPLAY AREA AND THE NUMERICAL VALUE FIELD IS IMPOSSIBLE.
押 し た 場 合 は エ ラ ー メ ッ セ ー ジ を 表 示 す る 。	THE ERROR MESSAGE IS INDICATED WHEN IT IS PUSHED.

図 6. Thalia-3 による生翻訳例

### (3) 生成用文法記述言語

生成文法は図 5. (c)のように、拡張文脈自由文法の形で記述する。ADSをトップダウンにたどりながら構文木を生成する処理を、拡張文脈自由文法規則の集合で表現する。拡張部分は、ノード探索順序指定及び探索リンク指定である。

## 6. 辞 書

辞書は単語に関する情報を磁気ディスク上に記憶させたものであり、処理系や文法と独立している。人間が使う辞書のように単語の意味を文によって説明したものではなく、機械翻訳システムの辞書は単語の持つ形態素、構文及び意味に関する情報をコード化し体系化したものである。

### 6.1 基本語辞書

基本語辞書は、分野によらず一般に使う基本的な単語を記憶している。翻訳処理の各フェーズに対応して、日本語、和英及び英語の3種類があり、システムに標準で用意してある。語数は一般に数万語は必要と言われるが、Thalia-3ではそれぞれ6万語の規模とした。

日本語と英語の辞書は、品詞や活用形のほかに構文的役割の細分類などの構文情報を持たせている。また、意味コードや文形などの意味情報も入っており、高品質翻訳のためのデータを供給する。

### 6.2 専門語辞書

専門語辞書は、個々の専門分野で使用される特有の意味を持った専門語を集めた辞書であり、交換可能である。システムのほかの部分

全く変更せずに、専門語辞書だけを取りかえることにより、多様な対象分野向きにシステムを容易に特化することができる構成になっている。

## 7. む す び

以上、日英機械翻訳システム Thalia-3 における翻訳処理について幾つかの側面から述べた。このシステムによる《MELCOM-COSMOシリーズ》上での翻訳例を図 6. に示しておく。

現在、機械翻訳システムの実用化に対する世の中の期待は大きく、翻訳業務全体における機械翻訳の割合も増大することが予想される。使用形態も現在のような汎用大形機による大量高速処理からパーソルユースとしての普及も考えられ、多様性に富んでいる。

このような中で、真にユーザーのニーズに合致したシステムとするため、今後、更に一層の翻訳技術の高度化及び辞書・文法の改良整備を進める一方、使いやすいマシン支援機能の充実にも努めていく予定である。

## 参 考 文 献

- (1) (社)日本電子工業振興協会：機械翻訳システムの調査研究(昭59)
- (2) (社)情報処理学会：情報処理, 26(昭60-10)
- (3) 斎野享：実用化へ離陸する「自然言語処理技術」, 日経コンピュータ, 3.21(昭58)

## ベクトル量子化による画像信号帯域圧縮

村上 篤 道\*・浅井 光 太 郎\*・伊 藤 敦\*

## 1. ま え が き

高度化する情報化社会において、画像情報通信サービスへの期待は加速度的に高まっている。特に、即時性をもつ動画、音声によるテレビ会議、テレビ電話などの実時間画像情報サービスの実現に対する潜在的需要は非常に高い。音声の1,000倍以上の信号帯域をもつカラーテレビ信号を、単なるPCMによって伝送するには約100 Mbps (メガビット/秒) 以上の回線速度が必要であり、伝送コストは莫大なものになる。膨大な情報量となる画像情報を、効率的、経済的に伝送するための画像情報圧縮技術は、デジタル伝送路網の統合整備や衛星通信の実用化とともに、画像情報通信サービス発展のかぎ(鍵)を握っている。

実際の画像信号は、空間的、時間的に多くの冗長成分を含んでいるため、画像情報の本質的な成分のみを抽出、符号化し伝送すれば受信側で画像を復元することができる。高能率符号化は、この本質的情報を効率良く抽出するための技術といえよう。現在、各国主要研究機関の精力的な研究開発を通して、テレビ会議システムを目的とした1.5 Mbpsによるカラー動画画像の伝送技術が開発され、既にビデオデッキ(画像符号化復号化装置)として実用化されている。これらは、画像の空間的相関に着目した予測符号化あるいは変換符号化技術に加えて、1画面分のメモリを用いて時間的相関に着目したフレーム間差分符号化、更には被写体の動きを検出して時間的変化(動き)のない部分は、ほとんど情報を送らない条件付画素補充方式が適用されている。また、動きによる変位分の補償を行い、情報を送らない部分を増やす動き補償技術を導入したものも多い。テレビ会議のすう(趨)勢は、更に低い伝送速度へ移行しつつあり、許容される画像品質(ひずみ)の範囲内で如何に伝送速度を下げるかが技術課題となる。

最近、情報理論の立場からベクトル量子化が、速度-ひずみ限界により近い符号化性能を達成し得ることで注目を浴びている。画像信号のベクトル量子化は、あらかじめ準備された基本構造波形パターンとのマッチング符号化であり、これが多次元信号空間での量子化となる。当社では、画像信号系列を複数個の格子状ブロックに分割し、ブロックごとに平均値、振幅利得と正規化波形パターンの3成分に分解して、ベクトル量子化を実行する平均値分離正規化ベクトル量子化手法を提案し、画像信号の高能率符号化への有効性を実証した。また、高速アルゴリズムによるベクトル実時間ベクトル量子化技術、フレーム間動き検出適応形ベクトル量子化技術、更に、ダイナミック多段ベクトル量子化技術の開発へと発展させ、カラー動画画像の64 Kbpsでの伝送を実現した。本稿では、これらの超圧縮を実現するベクトル量子化技術とその応用システムについて紹介する。

## 2. ベクトル量子化

まず、ベクトル量子化の基本的な概念について説明する。デジタル化された入力信号系列を、 $K$  個のサンプルごとにブロックングすることに

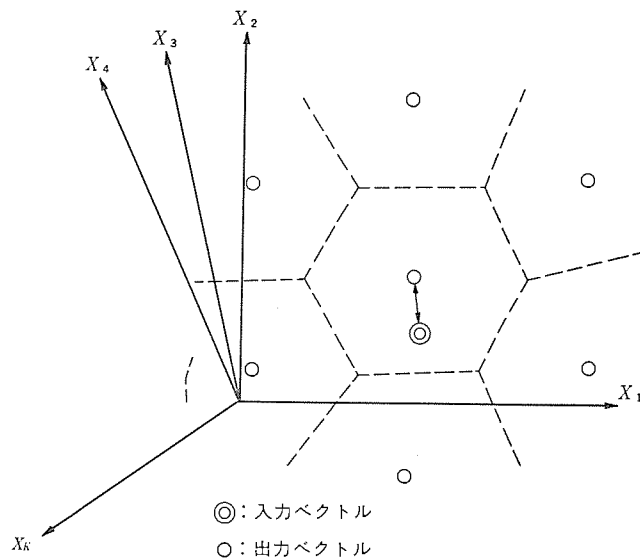


図1. ベクトル量子化の概念図

によって $K$ 次元の入力ベクトルを形成する。入力ベクトルは、図1.に示すように、 $K$ 次元信号空間における点である。同信号空間には、あらかじめ入力ベクトルの確率分布に対応した出力ベクトル群を用意しておく。ベクトル量子化は、入力ベクトルに対して最も近距離にある出力ベクトルを探索する操作である。信号空間において定義された「距離」は、入力ベクトルと出力ベクトルのひずみを意味する。このとき符号化情報は、選択された出力ベクトルのコード番号(インデックス)にて表すことができる。コードブックと呼ばれる出力ベクトル群は、符号化側、復号化側共に準備しているため、量子化インデックスからベクトルを再生することが可能である。したがって伝送速度 $T$ は、出力ベクトルの数を $N$ とすると、

$$T = (1/K) \cdot \log_2 N \quad [\text{bit/sample}]$$

となり、次元数 $K$ の増大につれて速度-ひずみ限界にぜん(漸)近する。しかしその際、適切な出力ベクトルの配置を決定することが課題になる。

ベクトル量子化は以上のような処理であるため、信号空間における出力ベクトルの配置が符号化性能を決定する。これに対しては、Lindeらによって提案されたクラスターリング手法が効果的である。同手法は、入力ベクトルのモデルを多数用意し、信号空間において近距離にあるもの同士でグループ分けを行い、各グループの代表点を出力ベクトルとする過程を繰り返して、距離(ひずみ)の総和が最小になるよう収束させるものである。

更に実現上の課題である出力ベクトルの探索時間に対して、木探索高速ベクトル量子化、多段ベクトル量子化などが提案され、ベクトル量子化器のパイプライン化、演算回数の軽減が可能となった。

## 3. 画像信号のベクトル量子化

## 3.1 画像信号の性質

前に述べた Linde らのクラスタリング手法は、非階層的クラスタ解析の一手法にすぎず、そのまま画像の符号化に適用するのは効率的でない。まず、情報源としての画像信号の統計的な性質を把握しておく必要がある。画像信号系列の時間的、空間的相関、スペクトラム的相関と、これらの相関を除去した後の信号分布が統計的に指数分布に従うことが知られている。これらの相関に伴う冗長度を除去し、更に信号分布の特性に着目した量子化によって高能率符号化が行われる。従来は画素単位で施されていた上記の処理ブロックを単位で行うには、ブロック化した画像信号の性質を知る必要がある。ブロック化した画像信号の性質として次の3点が挙げられる。

- (1) ブロックごとの平均値を除去した残差信号の振幅は、ラプラス分布となる。
- (2) 平均値を除去した残差信号のブロック単位の標準偏差は、画面のアクティビティ(局部変動量)により広がり異なるレイレー分布に近似し得る。
- (3) 標準偏差で正規化したブロック内の信号の相関は保存される。

### 3.2 平均値分離正規化ベクトル量子化

筆者らの提案した平均値分離正規化ベクトル量子化は、以上のような信号の性質に基づき、画像信号を3成分に分解して符号化する。図2. に示すように、画像信号系列をブロック化してブロックごとの平均値を分離、平均値分離後の振幅利得で正規化する。正規化波形パターンをベクトル量子化し、そのインデックスとともに、スカラとして量子化、符号化した平均値、振幅利得を伝送する。白黒テレビジョン信号を例にとれば、平均値は平均輝度レベル、振幅利得はコントラスト、そして正規化波形パターンは局所的属性によらない画像の基本構造パターンに対応する。画像信号系列を標準的な確率分布に従う信号系列へと変換した後に、ベクトルとして扱う同手法は汎用的なベクトル量子化器の設計を可能にし、ベクトル量子化器の研究に大きなインパクトを与えた。図3. は正規化波形パターンの例を幾つか拡大して表示したものである。

### 3.3 動画画像信号の符号化

動画画像信号の符号化においては、動画画像のフレーム間相関が積極的に活用される。フレーム間相関は、対象画像の時間的変化に対応したものであるため、テレビ会議、テレビ電話などの急激な画面変化の少ない動画画像信号の符号化として、ブロックマッチングによる動き補償方式がしばしば用いられている。同方式は、ブロック単位に分割された現フレームの画像信号と、過去フレームの空間的には同位置及び近隣の位置シフトしたブロック群とのパターンマッチングを行い、最もひずみの小さいブロックを動き補償されたブロック、その位置シフトを動きとするものである。

筆者らは、従来経験的に定められてきた位置シフトパターンを速度-ひずみ特性の観点から解析し、Linde らのクラスタリング手法を拡張して、位置シフトパターンの最適化を含むダイナミックベクトル量子化方式を

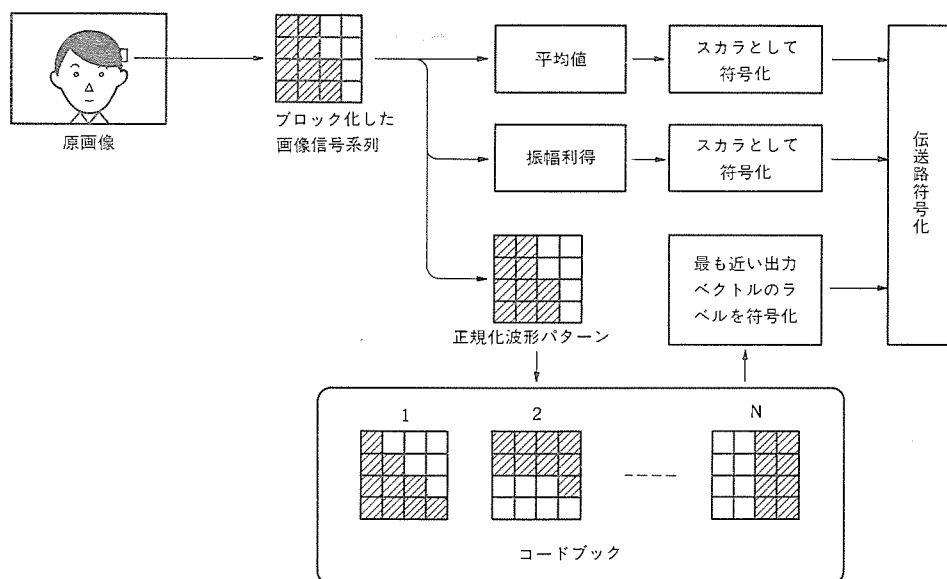


図2. 平均値分離正規化ベクトル量子化の概念図

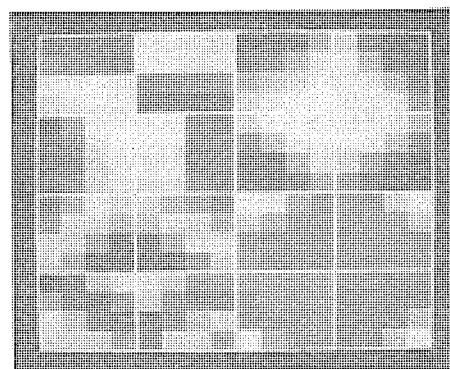


図3. 出力ベクトルの例 (16次元×16)

提案した。同方式は、主たる出力ベクトルを前フレームの近隣からブロック化してとり、前フレームの位置シフトからは得られない出力ベクトルと併せて、出力ベクトルのセットをダイナミック(動的)に更新していくものである。更に、ダイナミックベクトル量子化を施した後の量子化画像と原画像との差分画像に対して、先の平均値分離正規化ベクトル量子化を応用した適応ベクトル量子化を施すダイナミック多段ベクトル量子化方式を開発、動画画像の超圧縮を実現した。

## 4. ビデオコーデックの開発

ISDN 網は基本的に 64 Kbps を単位として構築されることから、64 Kbps にてカラー動画画像が実現できれば魅力的である。当社では、テレビ会議、テレビ電話などのカラー動画画像を 64 Kbps で伝送するビデオコーデックを、ダイナミック多段ベクトル量子化手法により実現した。図4. にこのコーデックのブロック図を示す。

初段のダイナミックベクトル量子化器は、動画画像信号の時間方向の概周期性に基づき、符号化済前フレーム内の位置シフトしたブロック群などから出力ベクトルを逐次生成し、ベクトル量子化を実行する。量子化の結果、動き補償された画像が得られる。次段の適応ベクトル量子化器は、初段の量子化後の残差信号を小ブロックに分割し、平均値分離正規化ベクトル量子化を施す。また、正規化の段階で得られるブロック内の平均値と振幅利得が、しきい値とともに有効・無効ブロック識別

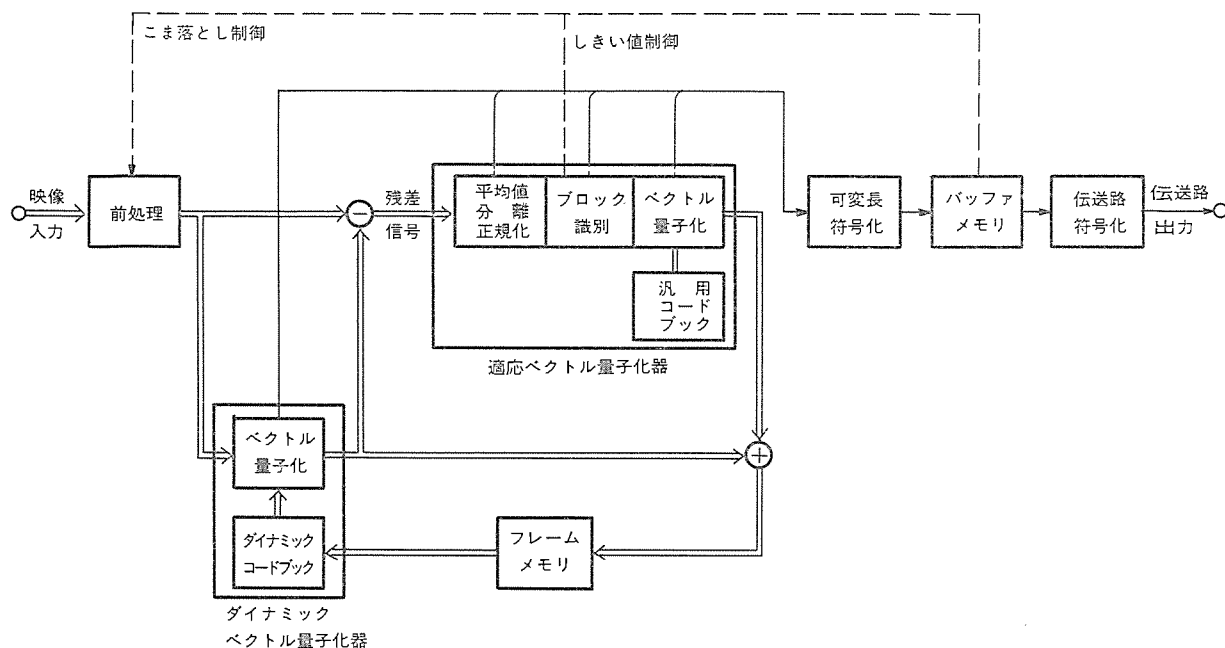


図 4. ダイナミック 多段 ベクトル 量子化を用いた符号化装置

表 1. 当社開発 テレビ 会議用 ビデオコーデック の仕様

項 目	諸 元	備 考
入出力信号	NTSC/PAL カラー TV 信号	
解像度	輝度信号：336 画素×240 ライン 色信号：84 画素×120 ライン	
カラー信号処理	NTSC↔YIQ PAL↔YUV 変換 コンポーネント信号時分割多重・分離	NTSC/PAL 共通化
符号化方式	ダイナミックベクトル量子化（動き補償） フレーム間適応ベクトル量子化 可変長符号化 雑音低減・エッジ保存フィルタ処理	
情報発生量平滑化	送信バッファメモリによる動き検出及びフレームこま落とし制御	
フレームレート制御	受信バッファメモリによるフレームレート変換	NTSC/PAL 方式変換
伝送路エラー対策	(255, 239) BCH 符号による二重誤り訂正 CRC チェックによる映像オートリフレッシュ	
ラインインタフェース	Y インタフェース, V, X シリーズ, G 703	
伝送速度	48~64 Kbps	音声は別回路

に利用される。有効ブロックはベクトル量子化され、無効ブロックは「無効」を示す短い符号が与えられる。無効ブロックは、動き補償された前フレームのブロックをそのまま現フレームの復号化出力とする、「動きなし」のブロックである。更に、しきい値制御による情報発生量の平滑化、バッファメモリの動作状態に応じた適応的なこま落とし処理などのフィードバック制御を通して、カラー動画の伝送効率の向上を図っている。通常の会話シーンで、毎秒4～8枚程度のカラー画像が伝送できる。表 1. はこのコーデックの仕様諸元である。

## 5. む す び

以上、表題に沿って画像信号のベクトル量子化技術について紹介した。64 Kbps 付近の伝送速度によるテレビ会議、テレビ電話は市場の要求が高く、前述のビデオコーデックは各界からの注目を浴びている。

画像情報サービスの発展につれ、要求されるサービスもまた多様化していくことが考えられる。そうしたニーズに対して、ベクトル量子化技術はそのデータ圧縮能力の強力さに加え、概念的にはシンプル

ことからくる発展性の豊かさにおいて有用な技術である。高能率符号化という用途のみならず、表示技術、パターン認識技術などへの応用も期待され、昨今のトピックの一つとして各研究機関でとりあげられている。もちろん、当社においても現在のシステムの改善や新しいシステムへの適用を含め、鋭意研究中である。

## 参 考 文 献

- (1) 村上, 浅村: 画像信号のベクトル量子化器, テレビ誌, 38-5, p. 452~457 (昭59-5)
- (2) 村上ほか: 画像のダイナミック多段ベクトル量子化, 信学論(B), J68-B, 1, p. 67~76 (昭60-1)
- (3) 村上ほか: カラー画像のベクトル量子化手法, テレビ誌, 39-10 (昭60-10)
- (4) Linde, et al: An algorithm for Vector Quantizer Design, IEEE Trans. Commun., COM-28, p. 84~95 (1980)

## 1. ま え が き

衛星通信においては、情報量の大容量化、地球局の小形化が可能なマルチビームアンテナを用いた通信方式が注目されている。一般に衛星搭載のマルチビームアンテナは、一つの反射鏡で複数のスポットビームを異なる方向に向けて放射するものであり、このスポットビームで照射されたゾーン間の通信を行うのがマルチビーム通信方式である。ここで、各ビームのカバーするゾーンを互いに重ならないようにすれば、少し離れた所では同一周波数にでき周波数再利用が図れ、通信の大容量化が得られる。また、ゾーンを照射するビームは細く絞られているため、地球局アンテナが小形にでき、コストの低減、設置方法の簡易化が図れる。

このような利点を生むために、同一周波数を用いるアンテナビーム間の干渉が小さいこと、及び各ビームの利得が高く、かつビーム間のばらつきが小さいことが必要となる。まず、干渉はアンテナのサイドローブによるもので、このサイドローブレベルの上昇は、反射鏡の焦点位置から大きく偏位した一次放射器に対するアンテナビームで生じ、この劣化原因は偏位給電による位相ひずみによるものが大きい。この位相ひずみはサイドローブの上昇ばかりでなく、利得も低下させるので、位相ひずみを小さくすれば干渉と利得低下の両方を低減できることになる。

ここでは、国際衛星通信用マルチビームアンテナを想定したので、衛星から地球を見込む角度は $\pm 10^\circ$ の範囲となり、この範囲で各種アンテナの利得低下について検討する。次章では、従来の反射鏡形式でマルチビームアンテナを構成したときの性能を述べ、次に、INTELSATのResearch & Developmentで開発した利得低下の小さいFront Fed Offset Cassegrain (以下、FFOCとよぶ)アンテナについて述べる。

## 2. 従来反射鏡形式での検討

反射鏡形式として単一反射鏡のパラボラアンテナ、複反射鏡、カセグレンアンテナ、グレゴリアンアンテナがある。両形式とも一次放射器や副反射鏡のブロッキングの無いオフセットタイプが利得低下、干渉の点から広く用いられているため、ここではオフセットタイプに限定する。

## 2.1 単一反射鏡

図1.に示すオフセットパラボラにおいて、 $\pm 10^\circ$ の範囲でマルチビームを得る複数の一次放射器を示している。このように偏位した一次放射器に対する利得低下の計算式が、最近、比較的簡単で精度良く求まるようになり、利得 $g$ は次のように表される<sup>(1)(2)</sup>。

$$g = \eta \left( \frac{\pi D_m}{\lambda} \right)^2 \left\{ \frac{2 \left| (1 - e^{-\alpha\beta}) + \sum_{t=1}^5 a_t \left[ \frac{t! (1 - e^{-\alpha\beta})}{\alpha^t} - \sum_{m=1}^t \frac{t! \beta^m}{m! \alpha^{t-m}} \right] \right|^2}{|\alpha|^2 \beta (1 - e^{-2\beta})} \right\} \dots (1)$$

This brochure is based on work performed in part under the sponsorship and technical direction of the International Telecommunications Satellite Organization (INTELSAT). Any views expressed are not necessarily those of INTELSAT.

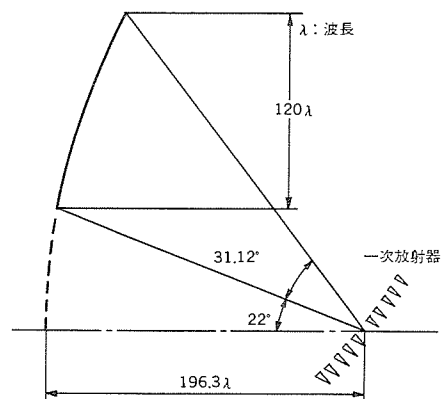


図1. オフセットパラボラの構成例

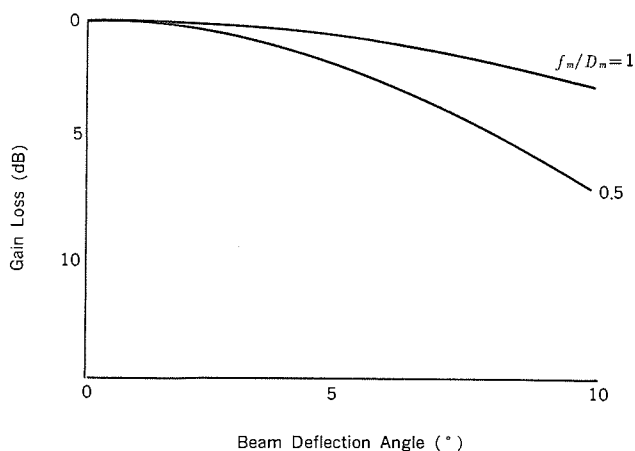


図2. ビーム偏向による利得低下

ここで、 $\eta$ は開口効率、 $D_m$ は開口径、 $\lambda$ は波長、 $\alpha$ 、 $\beta$ 及び $a_t$ はパラボラの焦点距離 $f_m$ 、一次放射器の変位量、パラボラの周辺照射レベルなどからなる簡単式である。

図2.には、開口径 $D_m$ を120波長としたときの $\eta$ 、すなわち開口効率を示す。 $f_m/D_m$ が0.5の場合、 $10^\circ$ のビーム偏向で5dB以上の利得低下となる。いま、このビーム偏向範囲で2dBの利得低下を目標とすれば $f_m/D_m$ は1.0になる。この場合、パラボラと一次放射器との距離が長くなる。このため、この距離を等価的に長くする複反射鏡形式が有望となる。これを次節で述べる。

## 2.2 複反射鏡

オフセットカセグレン (以下、OCとよぶ)、オフセットグレゴリアン (以下、OGとよぶ)形式において、 $\pm 10^\circ$ 内のマルチビームを得る鏡面系を各々、図3.、図4.に示す<sup>(3)</sup>。ここで、開口径は120波長とし、主反射鏡と副反射鏡とで発生する交差偏波成分を相殺する、いわゆる交差偏波消去条件<sup>(4)</sup>を満足し、かつ各鏡面からの光線がブロッキングを受けないように設計している。OCの場合、図3.に示すように、副反射鏡は主反射鏡の大きさの数倍となり実用的でない。一方、図4.

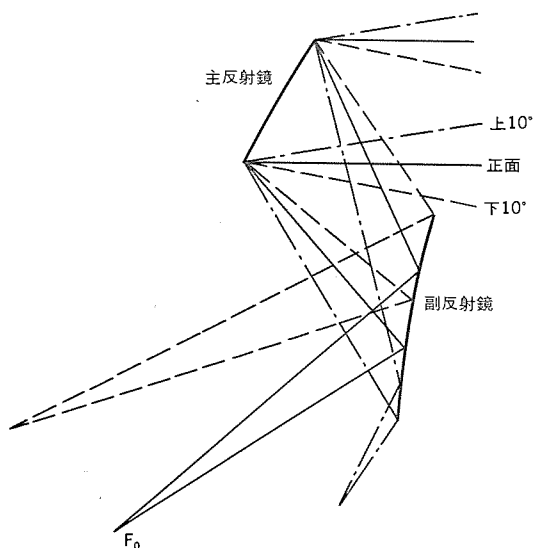


図 3. OC 形式 マルチビームアンテナ の構成例

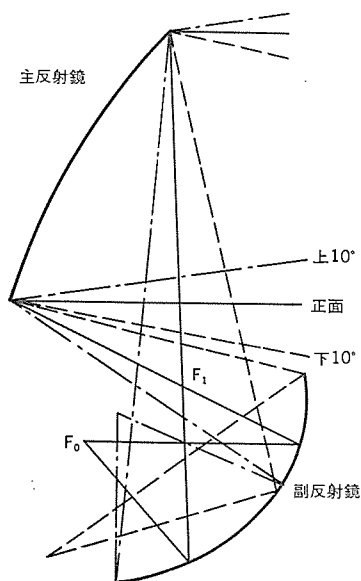


図 4. OG 形式 マルチビームアンテナ の構成例

の OG の場合、このような機械的な問題はないが、図 7. のように利得低下が大きい。ここで、複反射鏡を単一反射鏡に置き換えて等価 パラボラ 表示し<sup>(5)</sup>、これについて式(1)を用いてビーム 偏向特性を求める方法も考えられるが、今回の場合ビーム 偏向角度が大きいので成り立たない。したがって、一次放射器から副反射鏡、主反射鏡への入射界を順次求めて計算した。

### 3. FFOC アンテナ

INTELSAT の R&D である “Dual Reflector Multibeam Spacecraft Antenna” の開発過程でこの FFOC アンテナ を考案したもので、以下、鏡面構成、及び今回試作した モデルアンテナ の測定結果を示す。

#### 3.1 鏡面構成<sup>(3)</sup>

FFOC アンテナ は図 5. に示すように、一次放射器位置が副反射鏡に対して主反射鏡のビーム放射方向側にあることを特長としている。ここでも開口径を 120 波長、交差偏波消去系<sup>(4)</sup>、光線の鏡面によるブロッキングが生じないことのほかに、図 6. に示す次の条件を設けている。

(1) ロケット 打上げの際の耐振性を良くし、かつ鏡面製作上のコス

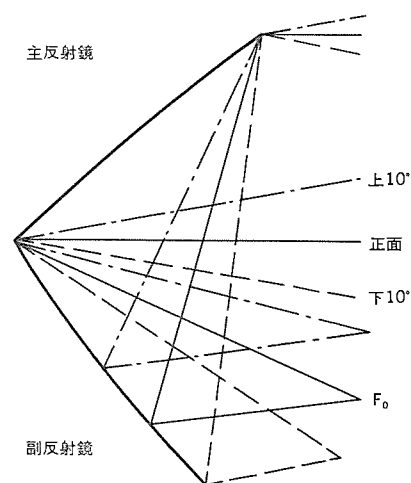


図 5. FFOC 形式 マルチビームアンテナ の構成例

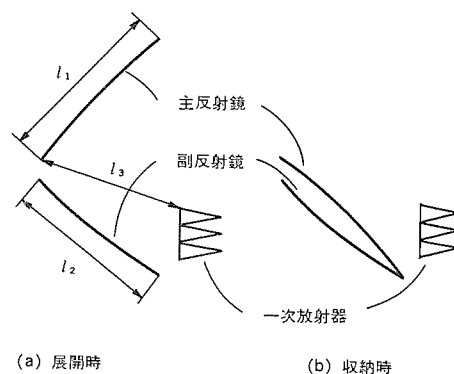


図 6. 衛星搭載用 FFOC アンテナ

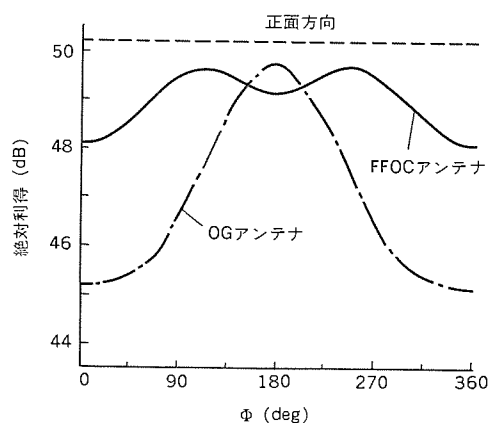


図 7. ビーム 偏向による利得の変化

トを低減するために、主反射鏡の大きさ  $l_1$  と副反射鏡の大きさ  $l_2$  とを等しくする。

(2) 主反射鏡を副反射鏡の方へ回転して収納する際、主反射鏡が一次放射器にぶつからないように、 $l_3 > l_2$  の範囲内で鏡面の大きさ  $l_1, l_2$  を最小とする。

これらの条件から得られた鏡面系が図 5. であり、この場合図 4. の OG に比べ、一次放射器設定位置がビーム 偏向方向にかかわらず、ほぼ同一平面上にあるため平面 アレー 給電が可能であり、一次放射系を含めてアンテナの構成がコンパクトになる。次に、図 4. の OG と図 5. の FFOC のビーム 偏向特性の比較を図 7. に示す。ここで、横軸の  $\Phi$  は衛星から地球を見た視半径  $10^\circ$  の円周上の角度であり、

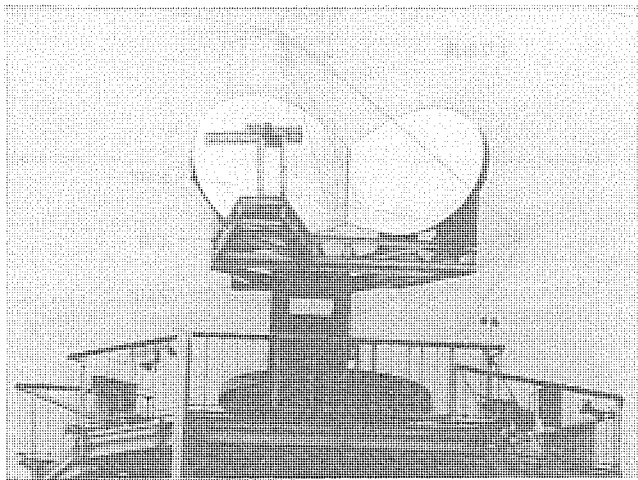


図 8. 試作 アンテナ

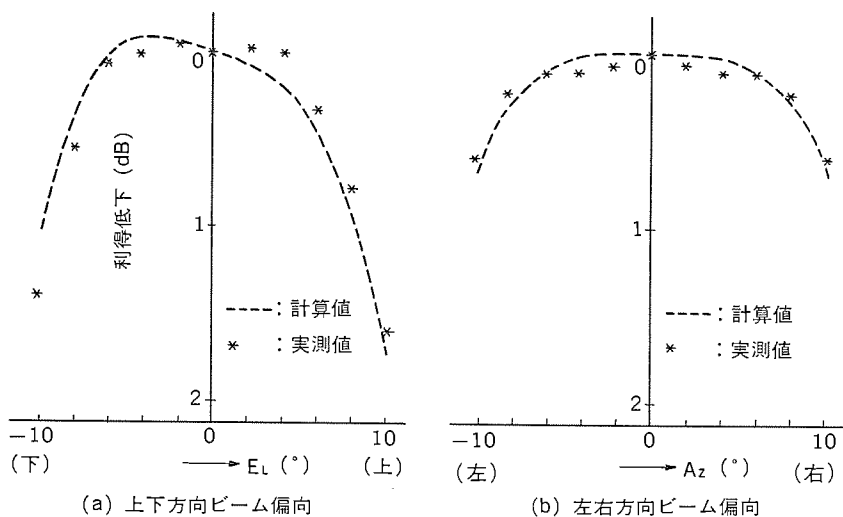


図 9. ビーム 偏向による利得低下

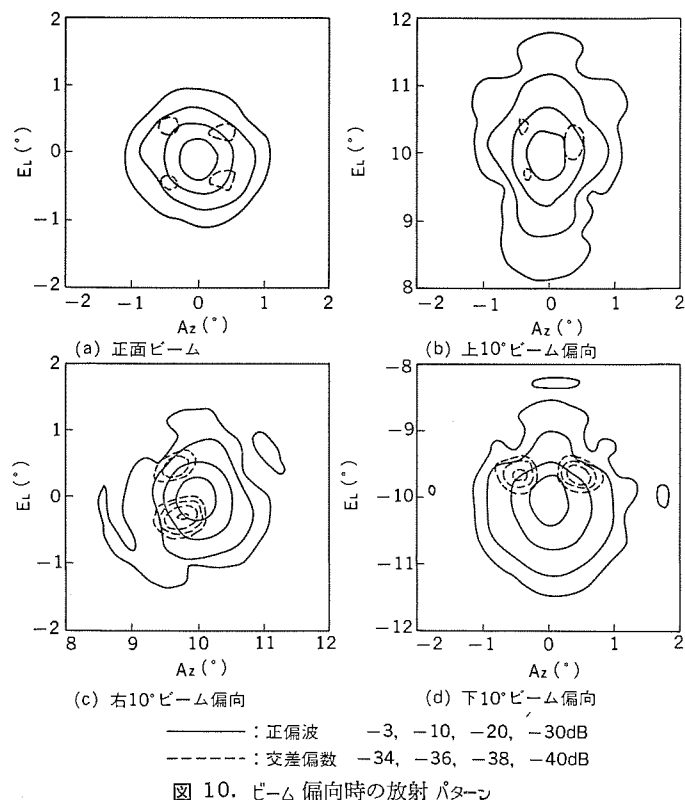


図 10. ビーム 偏向時の放射 パターン

$\phi=0^\circ$  は図 5. に示した上  $10^\circ$  の場合である。 $\phi=180^\circ$  (下  $10^\circ$ ) 付近では OG は優れているが、これ以外の  $\phi$  では圧倒的に FFOC の方が利得低下は小さい。

### 3. 2 試作アンテナ<sup>(6)</sup>

図 8. は今回、試作した FFOC アンテナモデルである。実際の周波数は 4 GHz であり、測定周波数は 20 GHz であるから 1/5 モデルである。開口径は 120 波長であるからモデルの開口径は、1.8 m である。ビーム偏向特性は上下方向と左右方向に、一次放射器であるコルゲートホーンを移動させて測定した。このコルゲートホーンの寸法は副反射鏡周辺レベルが  $-15$  dB となるように開口径 86 mm、長さ 210 mm とした周波数 20.1 GHz において、正面ビームの利得は 50.1 dB、ビーム幅は  $0.6^\circ$  であった。図 9. にビーム偏向時の利得低下を示す。図には計算値も示しているが両者はよく一致している。また、 $\pm 10^\circ$  のビーム偏向範囲において利得低下が 1.8 dB 以下の優れた性能が得られた。

この程度の利得低下を単一反射鏡で行う場合、2 章で述べたようにアンテナ全体が大きくなるので、FFOC アンテナは比較的コンパクトなマルチビームアンテナである。

図 10. に、正面ビーム、及び上、下、右方向に  $10^\circ$  ビーム偏向した場合の放射パターンの測定値を示す。図において、実線は正偏波、破線は交差偏波の放射パターンである。これらの交差偏波ピークレベルの最大値は  $-34$  dB であり、一次放射器から発生する交差偏波ピークレベルは  $-40$  dB であるから、FFOC で発生する交差偏波ピークレベルは  $-40$  dB 程度と推定でき、交差偏波識別度の良いアンテナである。また、正偏波については  $10^\circ$  ビーム偏向しても、ビーム形状に顕著な変化は認められなかった。

## 4. む す び

衛星から見て  $\pm 10^\circ$  以内にマルチビームが必要な国際衛星通信において、従来反射鏡形式と FFOC 形式とで放射特性を解析した結果、後者の者が優れていた。

このように優れた FFOC のビーム偏向特性を確認するため、モデルアンテナを製作し、測定した。開口径 120 波長で  $\pm 10^\circ$  以内の最大利得低下は 1.8 dB であった。

FFOC アンテナは将来の国際通信衛星用アンテナばかりでなく、比較的狭いビーム偏向範囲となる国内衛星通信においても、交差偏波識別度が優れているので有望なアンテナ形式と考えられる。

## 参 考 文 献

- (1) 浦崎, 牧野: ビームモード展開法によるオフセットパラボラアンテナのビーム偏向特性の解析, 信学技報 AP 84-27 (昭 59-6)
- (2) 宮原ほか: 偏位給電されたオフセットパラボラアンテナにおける開口能率の近似式, 昭 60 信学全大, No. 689
- (3) 牧野ほか: フロントフィードオフセットカセグレン形式マルチビームアンテナ, 信学技報 AP 83-138 (昭 59-2)
- (4) 田中, 水沢: オフセット複反射鏡アンテナにおける交差偏波の消去, 信学論(B), 58-B, No. 12 (昭 50-12)
- (5) 水沢, 片木: 多重反射鏡形アンテナの等価パラボラ表示とその応用, 三菱電機技報, 49, No. 11 (昭 50-11)
- (6) 牧野ほか: フロントフィードオフセットカセグレン形式マルチビームアンテナの放射特性, 信学技報 AP 85-9 (昭 60-5)

## 磁気ディスク用ヘッド及び媒体の高密度化

鈴木 栄久\*・尾関 龍夫\*・梅崎 光政\*・菅 原 宏\*

## 1. ま え が き

磁気記録装置においては、装置の大容量化、高速化、小形化が現在の最も重要な課題となっている。それにはキーパーツであるヘッド、媒体の性能を向上させ、情報の高密度記録化を図ることが肝要である。当社はこれまでにオーディオビデオ機器用として、業務用PCM録音機ヘッド<sup>(1)</sup>、VHS-VTRヘッドなどを開発し、製品化してきた。このたび、コンピュータの外部記憶装置向けに、次世代技術と言われてきた薄膜ヘッド、薄膜スパッタ媒体を開発し、従来の2～5倍の大容量化の可能性を見出したので、その技術的特長、製造方法などについて述べる。

また、従来の面内磁気記録方式を根本から変えた垂直磁気記録方式の開発も進めており、高性能で実用性の高い片側アクセス形ヘッド及びリジッドディスク媒体を試作したので、その概要についても述べる。

## 2. 薄膜ヘッド

多くの磁気ヘッドがフェライト素材から機械加工により製作されるのに対して、薄膜ヘッドはIC製造技術を応用して製作される。したがって、高精度で均一なヘッドを一挙に大量生産することが可能である。また磁気特性の良好な材料を用いることができるので、記録性能や高周波特性に優れた高性能な磁気ヘッドを実現できる。

ここに述べる薄膜ヘッドは、磁気ディスク装置向けに開発したもので、特に8インチ、5.25インチなどの小形ディスク用であるが、装置容量としては100～1,000 Mバイトの大容量磁気ディスク装置を考えている。図1.に薄膜ヘッドを搭載したヘッドサスペンションアセンブリを示す。

## 2.1 薄膜ヘッドの製造プロセス

薄膜ヘッドの製造プロセスには、薄膜ウェハプロセスとスライダ加工プロセスの二つがあり、前者はIC製造プロセスを応用している。まず耐摩耗性に優れた $\text{Al}_2\text{O}_3$ -TiCを基板とし、その上に下部磁性層としてパーマロイを厚さ1～5  $\mu\text{m}$ 電着させる。パーマロイには高透磁率を示す83Ni/17Fe近傍の組成を用いる。そしてギャップ層として $\text{Al}_2\text{O}_3$ を厚さ1  $\mu\text{m}$ 程度スパッタし、その上に銅を電着させてスパイラル状のコイルを形成する。コイルは2層19ターンですべて周囲はレジストにて絶縁される。その後、上部磁性層としてパーマロイを電着させ、最後にこれら素子を保護するための保護層として、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ を数十  $\mu\text{m}$ スパッタして終了する。

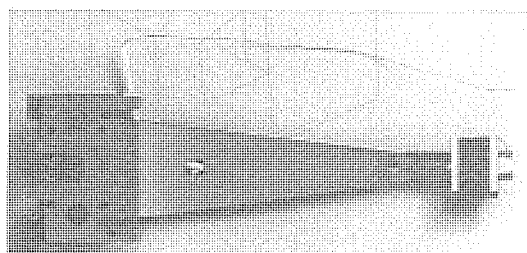


図1. 薄膜ヘッドサスペンションアセンブリ

表1. 薄膜ヘッドの仕様

項 目	仕 様
ギャップ長	0.5～0.8 $\mu\text{m}$
トラック幅	15～20 $\mu\text{m}$
浮上距離	0.2～0.35 $\mu\text{m}$
ターン数	19ターン(2層)
ディスクサイズ	8インチ, 5 $\frac{1}{4}$ インチ
適用ディスク	$\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ スパッタ

スライダ加工は、多数のヘッド素子が規則正しく並んだウェハを切断、溝入れ、研磨を行ってスライダ化する工程である。スライダ浮動面の平面度は0.05  $\mu\text{m}$ 以下、表面あらさは0.01  $\mu\text{m}$ 程度、ギャップ深さは数  $\mu\text{m}$ 以下に仕上げられなければならない。スライダ加工にはサブミクロンオーダーの微細加工技術が必ず(須)である。

## 2.2 薄膜ヘッドの仕様と特性

薄膜ヘッドの仕様を表1.に示す。小形ディスクでは周速度が低いためヘッド再生出力が小さくなる。これを補うため、コイルターン数を2層の19ターンと増加させ、高出力化を図っている。IBM社の3370形ヘッドが1層の8ターンであるのに対して、ほぼ2倍の再生出力が得られている。

ヘッド設計には有限要素法による磁界解析を導入した。重ね書き特性、再生出力向上のために、磁性層厚、コア先端部形状、素子断面のApex形状などの最適化設計を行った。その結果、出力は0.3 mV以上、重ね書き特性は-26 dB以下を確保することができた。またスライダの設計には浮動解析プログラムを用いた。現在の実用浮上距離である0.35  $\mu\text{m}$ より更に低い0.2～0.35  $\mu\text{m}$ までの浮上距離のスライダを設計し、試作した。その浮動特性を測定した結果、計算値とよく一致し、かつ安定して浮動することが確認できた。以上のようにこの薄膜ヘッドは、記録性能や高周波特性に優れ、高出力で低浮上化が可能であることから、高密度記録化に最も適したヘッドであると言える。

## 3. フェライト薄膜スパッタ媒体

磁気ディスク装置に用いられるディスク媒体は、これまで塗布形媒体が用いられてきた。塗布形媒体は $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 針状粒子を有機バインダに分散させ、アルミ合金基板に塗布、焼成して製造されている。長年の技術蓄積に基づく性能改善、高い信頼性、低価格といった利点から長くディスク媒体の王座を占めてきた。

しかしながら、最近のディスク装置における記録の高密度化は、ディスク媒体に対しても、①媒体の薄層化、②高抗磁力化、③表面精度の向上、などを求めている。これらの要求にこたえていく上で、これまでの塗布形媒体では限界があり、新しいタイプのディスク媒体

として薄膜スパッタ媒体の開発を行った。材料の選択については耐食性、信頼性を重視して $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ スパッタ膜を選んだ<sup>(2)</sup>。

### 3.1 フェライト薄膜スパッタ媒体の製造プロセス

薄膜スパッタ媒体の製造プロセスを以下に示す。基板は高精度に表面を仕上げたアルミ合金を用いた。媒体の製造プロセスには二つある。一つは鉄をターゲットとし( $\text{Ar}+\text{O}_2$ )中の反応スパッタにより、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ を形成し、このあと水素雰囲気中の熱処理により $\text{Fe}_3\text{O}_4$ へ還元し、その後、大気中の熱処理により $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ を形成する方法(間接法)である。他の一つは鉄をターゲットとし、( $\text{Ar}+\text{O}_2$ )中の反応スパッタで直接 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ を形成し、続いて大気中の熱処理により $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 膜を形成する方法(直接法)である。今回の試作には製造プロセスの短い直接法を採用し、 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (フェライト)スパッタ媒体を完成した<sup>(3)</sup>。

### 3.2 フェライト薄膜スパッタ媒体の仕様と特性

フェライト薄膜スパッタ媒体の仕様を表2.に示す。媒体の膜厚は残留磁化、再生出力から決定し、抗磁力は記録密度、ヘッドの発生磁界を考慮して決定している。薄膜スパッタ媒体は、塗布形媒体のようにバインダを含んでおらず、更に角形比も0.9と極めて高いことから残留磁化が大きく、このため膜厚を $0.2\mu\text{m}$ と薄くすることができる(塗布媒体では $0.65\mu\text{m}$ )。媒体の抗磁力については媒体中のCo組成により所定の値に制御している。図2.には薄膜スパッタ媒体の磁気特性を塗布形媒体と比較して示してある。このように、この薄膜スパッタ媒体は抗磁力の増大、角形比の向上、媒体の薄膜化など、高密度記録のための条件をすべて備えた媒体と言える。

そこで、この薄膜スパッタ媒体と前述の薄膜ヘッドとを組み合わせ

表2. 薄膜スパッタ媒体の特性

項 目		仕 様
寸 法	外 径	223.5 mm
	内 径	100 mm
	板 厚	1.905 mm
磁 性 膜	抗 磁 力	650 Oe
	残留磁束密度	3,000 Gauss
	角 形 比	>0.85
	膜 厚	1,800 Å

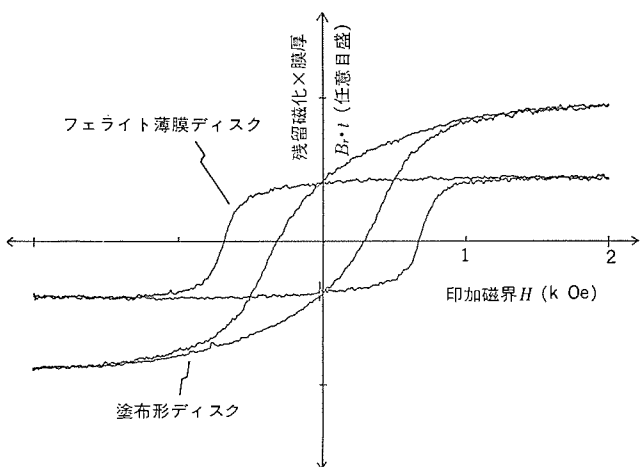


図2. ディスク媒体の磁化曲線  
H; 印加磁界,  $B_r \cdot t$ ; 残留磁化×膜厚(任意目盛)

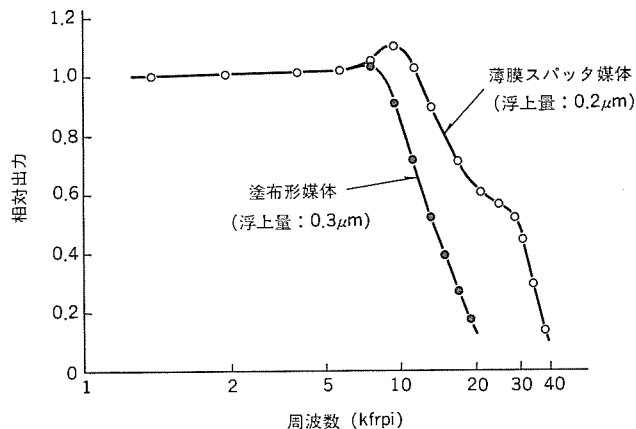


図3. 薄膜ヘッド/薄膜スパッタ媒体の組合せにおける周波数特性

て、電磁変換特性を測定した。その結果の一例を図3.に示す。薄膜スパッタ媒体は、塗布形媒体に対してほぼ2倍の周波数特性を得ていることがわかる。このことから面記録密度としては $2 \times 10^7 \sim 3 \times 10^7$  bits/in<sup>2</sup>が可能となり、装置の記録容量を従来の2~5倍に増大させ得る見通しを得ることができた。

## 4. 垂直磁気記録

2章及び3章で述べた磁気記録方式は従来形の面内記録である。面内記録では記録ビット間の遷移部分で、互いに逆向きの磁化が突き合う形をとるため、ビット長が短くなると強い減磁作用が働き、これが面内記録の高密度化を妨げる一つの大きな要因となっている。これに対し、媒体の磁化を膜面に垂直な方向に向ける垂直記録方式が、東北大学の岩崎教授により提唱された<sup>(4)</sup>。この方式では隣接ビットの減磁界が媒体の磁化を強めるように働くため、短波長領域で減磁が少なくなるという原理的な優位性をもっている。このような垂直記録の実現には、膜面に垂直な方向に磁化しやすい媒体と、垂直方向に強い磁界を発生する磁気ヘッドが必要となる。そこで垂直記録用リジッドディスク媒体と、それに適した片側アクセス垂直記録ヘッドの開発を行ってきた。

### 4.1 垂直記録ヘッドの構造と設計手法

片側アクセスヘッドとして、VTRに用いられているヘッドチップ構造のギャップ部を広げ、その端面に主磁極と称する磁性膜をつけた構造(図4.)のもの、及び2章で述べた薄膜ヘッドに同様の変更を加えたものの二つについて検討した。薄膜ヘッド形状では、主磁極とコイ

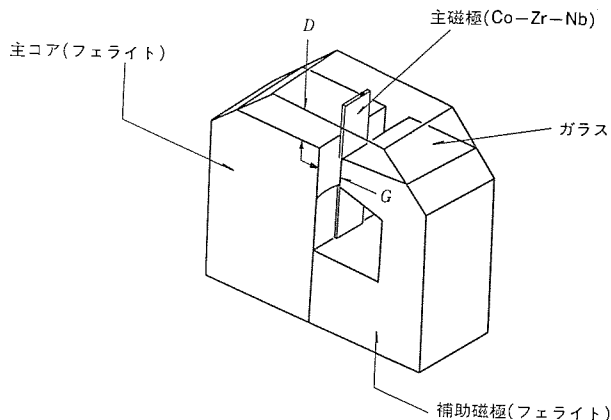
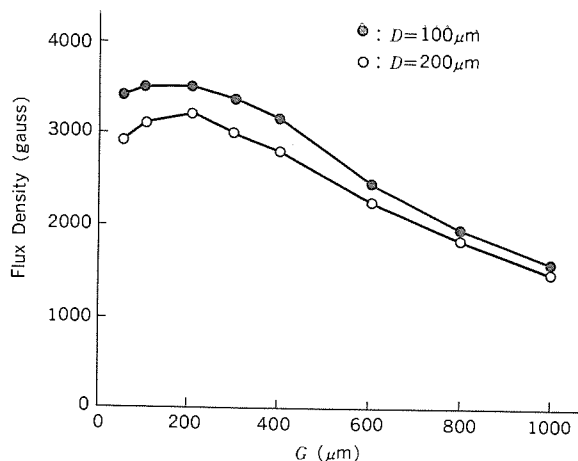
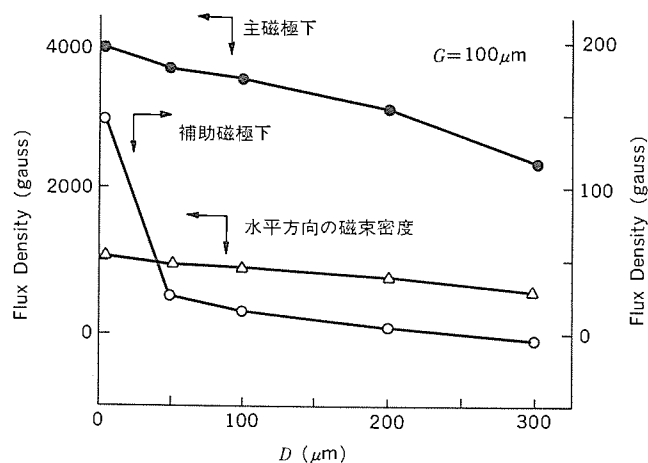


図4. 片側アクセスヘッド構造模式図



(a) 磁極と補助磁極の距離



(b) 媒体と補助磁極の距離

図 5. 各パラメータと媒体中心位置での磁束密度の関係  
有限要素法による計算結果

ルの距離を微小化できるので高効率化が期待できる。

ヘッドの設計にあたっては、有限要素法など数値シミュレーションにより形状の最適値を求めた<sup>(5)</sup>。その指標を以下に示す。

(1) 垂直方向磁界強度が媒体の抗磁力以上であること。

$H_V > 700 \text{ Oe}$  ( $H_V$ : 主磁極下の磁界強度)

(2) 主磁極に対向する補助磁極部での信号の再生レベルが十分小さいこと。(設計値として  $-25 \text{ dB}$  以下とした)

(3) 発生磁界の面内成分が小さいこと。

これらの計算結果の一例を図 5. に示す。主要なパラメータとして、図 4. に示す主磁極と補助磁極の距離 ( $G$ ) と、媒体と補助磁極の距離 ( $D$ ) をとった。これらの解析の結果から、 $D < 100 \mu\text{m}$ ,  $G \approx 100 \sim 200 \mu\text{m}$  が最適値であることがわかり、このような設計値のもとに垂直記録ヘッドを試作した。主磁極膜としては高透磁率、高飽和磁束密度という磁気特性をもつ Co-Zr-Nb 非晶質スパッタ膜を用いた。

#### 4.2 垂直記録媒体

垂直記録磁化膜としては Co-Cr/パーマロイ 2 層膜を用い、Ni 合金系めっき被膜又はアルマイト被膜で表面硬化処理したアルミ基板上にスパッタで形成した。スパッタガス圧、基板温度などのスパッタ条件を最適化することにより、Co-Cr 膜の結晶垂直配向性が約  $4.5^\circ$  という優れた垂直記録膜を得ている。

垂直記録の高記録密度特性を十分に引き出すためには、ヘッド浮

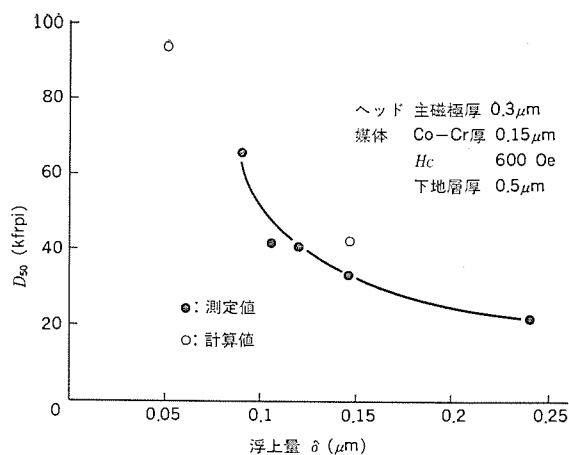


図 6. 浮上量と記録密度の関係

上距離を小さくすることが必須である。そこで起動、停止時の耐ヘッド摩擦性に優れ、かつ実効的ヘッド浮上距離を大きくしないような極薄の表面潤滑処理を施した。

#### 4.3 電磁変換特性

上記試作ヘッドを低浮上スライダ ( $0.15 \mu\text{m}$  以下) に搭載し、上記試作リジッドディスクと組み合わせて電磁変換特性を評価した。主磁極厚  $0.3 \mu\text{m}$  の垂直ヘッドにおいて、再生出力が孤立波再生出力の半分になる記録密度 ( $D_{50}$ ) のヘッド浮上距離依存性を図 6. に示す。 $D_{50}$  の値についての数値解析結果も図 6. に示してあるが、測定値と比較的良好一致を示している。

ヘッド浮上距離が  $0.15 \mu\text{m}$  のときの  $D_{50}$  としては約  $35 \text{ kfrpi}$  が得られ、垂直記録方式によってリジッドディスク装置の記録密度の向上ができるめどがついた。図 6. からわかるように、 $D_{50}$  はヘッド浮上距離を  $0.15 \mu\text{m}$  以下にすると急激に大きくなる。今後は実用的なヘッド浮上距離の限界を更に小さくし、記録密度を大幅に向上させることを目指している。

## 5. む す び

磁気ディスク装置用の薄膜ヘッド、薄膜スパッタ媒体を開発し、装置の容量を 2~5 倍に増大させ得る見通しを得た。また垂直磁気記録方式において実用性の高い片側アクセスヘッド及びリジッドディスク媒体を開発し、ヘッド浮上距離  $0.15 \mu\text{m}$  で約  $35,000 \text{ frpi}$  ( $D_{50}$ ) の記録密度を得た。

今後は更に進むであろう装置の大容量化、小形化に対応して、高出力のヘッド、媒体の開発、磁性材料の周波数特性を改善して記録密度の増大を図るヘッド、媒体の開発、低浮上化技術の開発などを進める。また垂直磁気記録方式の実用化も間近に迫っており、ヘッド、媒体などの各種要素技術をより高度化するとともに、一層の高密度磁気記録技術を確立していく予定である。

## 参 考 文 献

- (1) 熊谷ほか：昭和 56 年度電通学会全国大会論文集, p. 168
- (2) H. Ouchi, et al: IEEE Trans. Magn., MAG-19, No. 5 (1983)
- (3) M. Umesaki, et al: ICM 85 DIGEST 5 PG 6
- (4) S. Iwasaki and Y. Nakamura: IEEE Trans. Magn. MAG-13, (5), p. 1,272 (1977)
- (5) T. Ozeki, et al: INTERMAG CONF. DIGEST, DA-10 (1985)

## 1. ま え が き

様々な記録方式の中でも感熱記録は騒音が少ない、メンテナンスが極めて容易、などの特長から、ファクシミリ、プリンタ、複写機、などのOA関連機器へ急速に普及している。感熱記録の用途拡大に伴って、高印字品質記録、カラー記録、中間調記録、への要求が高まっており、これを実現するための高性能サーマルヘッドの開発が強く望まれている<sup>(1)</sup>。

このような技術的背景をもとに、発熱体構造の最適化、材料及びプロセスの最適な組合せ技術、発熱体の抵抗値均一化技術(トリミング)などの厚膜技術を開発した。これらの技術と、CMOSドライバICチップの大規模高密度実装技術を行って、ドット分離形解像度9.45ドット/mm、記録速度2ms/ラインの新形サーマルヘッドを開発した。以下、このサーマルヘッドの印字特性及び信頼性評価の結果について紹介する。

## 2. 発熱体形成技術

## 2.1 発熱体の構造

記録直後に印字結果が見えるようにアルミナ基板の端面から2.5mmの位置に抵抗体を形成した。また、①印字電力の低減、②導体パターンの高密度化などを達成するために、抵抗体の下面にのみ蓄熱層(部分グレース)を形成するとともに、このグレース層に表面平滑度が良く熱膨張係数がアルミナ基板に近い結晶化ガラスを用いた。

更に、共通電極はラインインピーダンスを下げるためにAu導体を2層構造とした。耐摩耗層は、印字における抵抗体の表面温度が300~600°Cと極めて高温になることから、表面平滑性、耐摩耗性の良好なフィラー入りの非晶質ガラスで形成した。発熱体の構造としては、図1.(a)に示すドット分離形を採用したので、抵抗体の配列方向に均一な温度分布を得ることができた。図1.(b)は、発熱体の配列方向の温度分布を示したもので、従来の交互リード方式に比べて山と谷との温度差が小さく、均一な分布がえられ、しかも発色に寄与するドット面積が拡大されることがわかった。測定は、スポット径が10μmの赤外線顕微鏡を用いた。

## 2.2 導体パターン

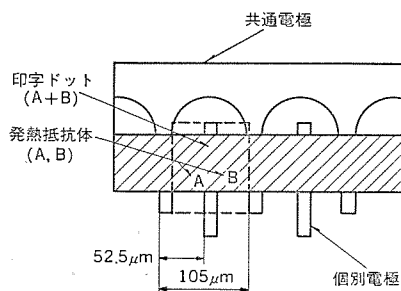
平均粒径が約0.5μmの新しく開発したフリットレスAuペーストの適用と、印刷・乾燥・焼成を数回繰り返すマルチプロセス及び厚膜の写真製版技術により、約2μmの膜厚で薄膜に匹敵する緻密な膜が形成できた。

その結果、パターン幅が20μm、ピッチが52.5μm(20ライン/mm)の導体パターンを容易に形成することができた。

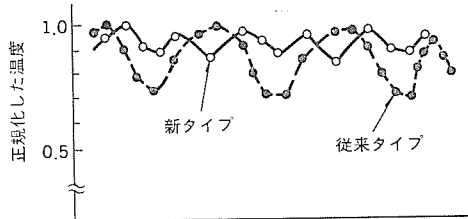
## 2.3 抵抗体

サーマルヘッドは解像度を上げようとする、導体パターンのピッチが小さくなることから、発熱に寄与する抵抗体の有効寸法が小さくなる。したがって高い抵抗値が得にくくなる。抵抗体の抵抗値が小さいと、ドライバ用ICの電流が大きくなるためICチップのサイズが増大してしまうという問題がある。通常、厚膜抵抗体で高い抵抗値を得る場合、高いシート抵抗値を持つ抵抗ペーストを使用するが、抵抗ペースト中のガラス成分の増大に伴って抵抗値の安定性(特に耐電力)が劣化する。この問題を解決するために、抵抗ペースト中に含まれるガラスフリットをほうけい酸系からランタン系に変更した新しいペースト材料を開発した。こうして、ドット分離形9.45ドット/mmのサーマルヘッドで1kΩ/ドットの抵抗値が得られるようになった。

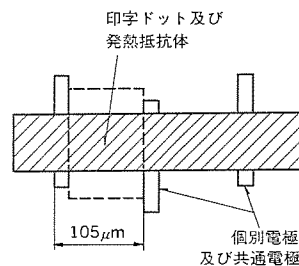
一方、印字ドットの濃度むらの原因は、導体及び抵抗体の形状・寸法のばらつきと抵抗体の抵抗値ばらつき、などであるが、抵抗体の抵抗値ばらつきは、図2.に示すように抵抗体サイズの減少とともに大幅に増大することがわかった。形状・寸法のばらつきに起因する問題に対しては、抵抗体のスクリーン印刷技術、導体パターンの写真製版技術、などの改良を行うことにより解決した。一方、抵抗値のばらつきに対しては、抵抗体の膜厚を薄くする(10μm程度)とともに、抵抗ペースト中に含まれる酸化ルテニウム、ガラスフリット、添加物の平均粒径を1μm以下に微細化することによって解決した。その結果、ドット分離形のA4サイズ、9.45ドット/mmの厚膜サーマルヘッドで基板内の抵抗値ばらつきを±15%以下にすることができた(従来は±30%)。また、サーマルヘッドのロット間及び基板間のばらつきは所定の条件で抵抗体を再焼成する手法(Refire Trimming Method)により所定のレベルに抑えることができた。



(a) 新タイプ



(b) 発熱抵抗体の表面温度分布



(c) 従来タイプ

図1. 発熱体の構造と抵抗体の表面温度

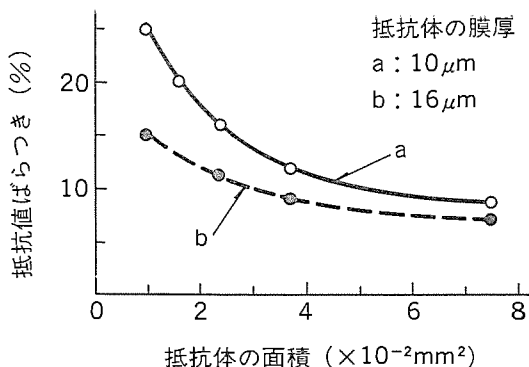


図 2. 抵抗体のサイズと抵抗値ばらつきとの関係

### 3. 抵抗値均一化技術

厚膜抵抗体の形成は、スクリーン印刷技術と焼成技術を基本にしている。抵抗体の抵抗値ばらつきの抑制に関しては、従来、後者よりも前者の改良に目が向けられてきた。すなわち、抵抗体の膜厚、幅、長さ、などの寸法及び形状を、厳密にコントロールすることであった。

厚膜抵抗体の抵抗値を均一化する手段としては、ハイブリッドICに用いられているレーザトリミング法が一般的である。しかしながら、この方法は50~60 μm幅で抵抗体を蒸発・飛散させるものであるため、

- (1) 数十 μm 幅の抵抗体をカッティングするのが困難である。
  - (2) 抵抗体にカッティング溝が入り、抵抗体表面の温度分布が不均一になるとともに印字時に局部加熱(ホットスポット)が発生しやすい。
  - (3) 飛散した抵抗体が再付着して溝周辺にわずかな盛り上がりを生じるために、感熱紙と抵抗体との接触が不均一になり印字濃度むらが生じやすい。
  - (4) 印字中は抵抗体に室温~数百℃のヒートショックが繰り返し加わるために、抵抗体にマイクロクラックが生じやすい。
- などの問題がある。したがって、サーマルヘッドのようにサイズが極めて小さい抵抗体には、レーザトリミング方法が適用できない。

サーマルヘッドのように微小な抵抗体を考えるとき、抵抗体のサイズ・形状などのばらつきの問題だけでなく、抵抗体の固有抵抗値のばらつきも考慮する必要がある。すなわち、抵抗ペースト中に含まれる抵抗成分(例えば  $\text{RuO}_2$ )、ガラスフリット、添加物(例えば  $\text{ZrO}_2$ )が焼成プロセスにおいて相互拡散し、ガラスフリットを介した導電成分の接触界面に、ミクロな不均質結合状態(マクロには均質状態を維持している)が生じる。この現象に着目して、数 μs のパルス幅を持つ複数個のパルス列を抵抗体に印加することにより、抵抗値を均一化させるパルス電圧トリミング技術(Pulse Trimming Method)を新しく開発した<sup>(2)</sup>。

パルス電圧トリミングのプロセスを以下に説明する。

まず、抵抗体の抵抗値を測定し、目標抵抗値  $R_t$  と比較する。 $R_t$  より低い抵抗値を持つ抵抗体にパルス電圧は印加せず、大きい値を持つ抵抗体のみ印加する。最初にピーク値が  $V_0$  のパルス電圧を印加して抵抗値を減少させ、減少後の抵抗値が  $R_t$  以上であれば  $V_0 + \Delta V$  のピーク値を持つパルス電圧を印加する。その後、抵抗値を測定し、その値が  $R_t$  以上であれば  $V_0 + 2 \cdot \Delta V$  のパルス電圧を印加する。抵抗値が  $R_t$  以下になるまで順次印加電圧パルスのピーク値を大きくしながら次第に抵抗値を減少させる。このようにして、抵抗値を  $R_t$  以下の一定範囲になるように抵抗値の調整を行う。

パルス電圧のピーク値に対する抵抗値の減少割合(トリミング感度と定義する)は、抵抗ペーストの組成と酸化ルテニウムの粒径によって大

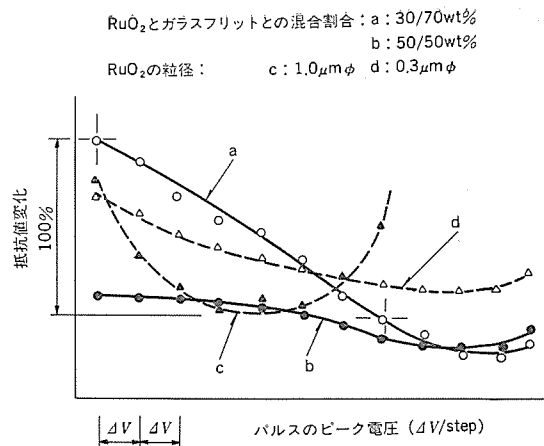


図 3. 抵抗ペーストの組成及び粒径とトリミング感度との関係

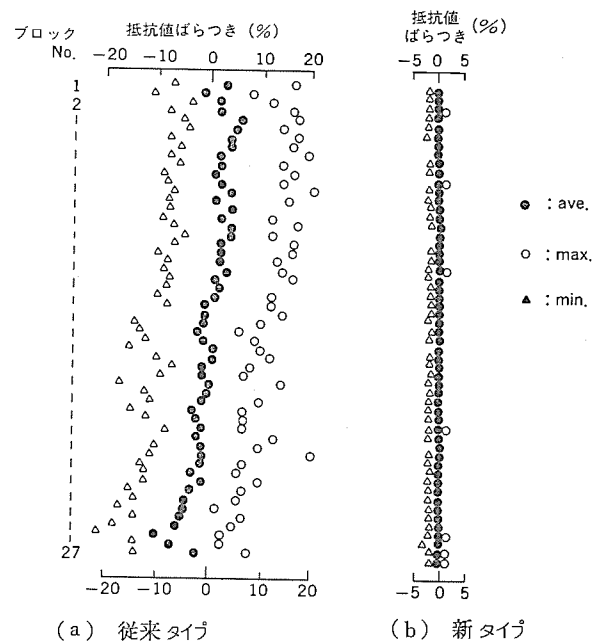


図 4. トリミングを実施した結果

きく変わる<sup>(3)</sup>。図 3. は、抵抗ペースト中の酸化ルテニウムとガラスフリットとの混合割合(カーブ a, b)及び酸化ルテニウムの粒径(カーブ c, d)をパラメータとしたときのトリミング感度を示すものである。なお、図のカーブ c, d は酸化ルテニウムとガラスフリットとの混合割合が 40 : 60 の場合である。酸化ルテニウムとガラスフリットとの混合割合が 30 : 70 (glass rich) のときは、パルス電圧トリミングによって約 100% の抵抗値減少を起こさせ得るが、50 : 50 では 10% 程度の抵抗値減少しか得られない。

一方、酸化ルテニウムの粒径を大きくするほどトリミング感度は向上するが、粒径が 1.0 μm の場合には比較的小さい電圧で抵抗値が激減し、更にパルス電圧のピーク値を増加すると抵抗体が破壊する。したがって、粒径が 1.0 μm の場合は、トリミング感度は良好だがパルス電圧トリミングに対する安定性が悪くなる。

抵抗ペーストの材料組成及び酸化ルテニウムの粒径を最適化するとともに、パルス電圧波形すなわち、パルス幅、繰り返し時間、パルス電圧の上昇割合、ピーク電圧、パルス列のインターバル、などのパラメータを最適化した。その結果、図 4. に示すように、ドット分離形 9.45 ドット/mm, A 4 サイズ (2,048 ドット) で抵抗値ばらつきを平均抵抗値に対して ± 3

%以下にすることができた。

#### 4. サーマルヘッドの構成とその特性

##### 4.1 構成

図5. は今回開発したサーマルヘッドの外観で、発熱体の駆動用として64ビットのCMOS ICチップを32個搭載している。サーマルヘッドの製品仕様を表1. に示す。

##### 4.2 熱応答特性

発熱体に1ms幅の単一パルスを印加した場合の立ち上がり時間及び立ち下がり時間は、それぞれ、0.9ms、1.6msと短かく、連続パルスを印加した場合には、2～3パルス印加後に飽和温度に到達した。なお、立ち上がり、立ち下がり時間は発熱体の表面ピーク温度300°Cで正規化し、ピーク温度の10%と90%に達するまでの時間とした。

##### 4.3 印字特性と信頼性

全黒印字のテストパターンで、従来タイプと新タイプのサーマルヘッドの印字サンプルを比較したものが図6. であり、抵抗値を均一化した効果が明らかである。図7. は印加電力(パルス幅1ms、繰り返し2ms)と印字濃度及びステップストレステスト(SST)の結果を示す。1.0Dの印字濃度は0.3mJ/ドットの印加電力で得られ、これはSSTにおいて抵抗値変化が生じない範囲であり、発熱体には十分な余裕がある。

また、パルス幅1ms、繰り返し5ms、印加電力0.4mJ/ドットの一定電力を発熱体に非印字状態で印加するコンスタントストレステスト(CST)においても、 $10^8$ パルス印加後の抵抗値変化は5%以下であった。更に、全黒パターンを印字テストした結果、30km走行後の全ドットで抵抗値変化は5%以下であり、信頼性テストについても良好な結果が得られた。

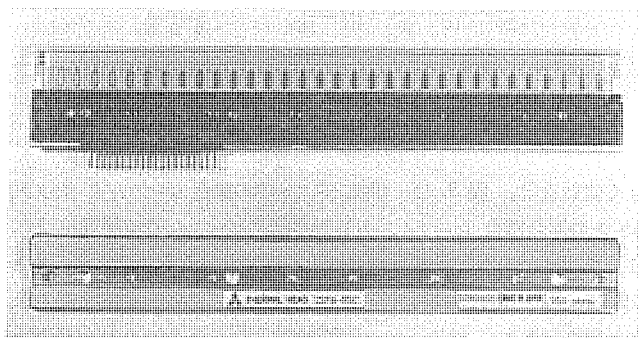
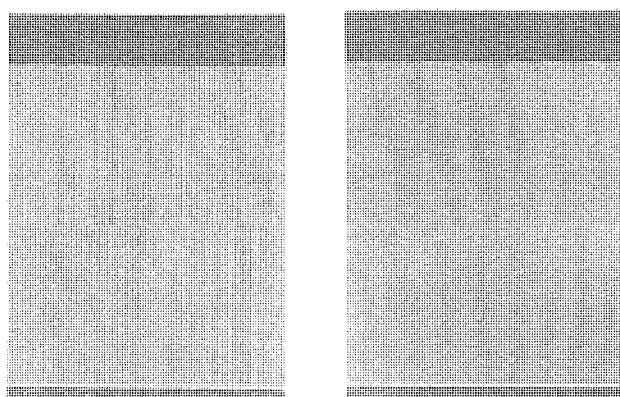


図5. 新タイプサーマルヘッドの外観  
(基板サイズ: 20mm×230mm×1.0mm)

表1. サーマルヘッドの製品仕様

項	目	仕 様
有 効	記 録 幅	216.7 mm
総 記 録	ド ッ ト 数	2,048 ドット
記 録 密 度		9.45 ドット/mm
記 録	ド ッ ト 寸 法 (mm)	0.09×0.11
平 均	抵 抗 値	900～1,000Ω±10%
標 準	記 録 電 力	0.56 W/ドット
標 準	記 録 パ ル ス 幅	0.68 ms
標 準	記 録 周 期	5 ms
外 形	寸 法 (mm)	40(W)×250(L)×10.5(H)



(a) 従来タイプ (b) 新タイプ

図6. 印字サンプル

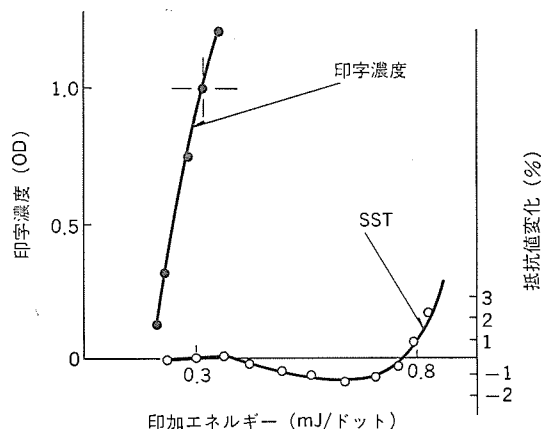


図7. 印字濃度特性とステップストレステスト(SST)特性

#### 5. む す び

高性能の厚膜サーマルヘッドを実現するために、

- (1) 新しく開発したパルス電圧トリミング技術による抵抗体の抵抗値ばらつきの低減(±3%以下)
- (2) ドット分離形の発熱体構造
- (3) 抵抗体、導体、蓄熱層、などの材料及びプロセスの最適化による解像度向上と消費電力の低減

などの技術を開発した。これらの技術を適用してエッジタイプ9.45ドット/mm、A4サイズ、の厚膜サーマルヘッドを開発し、Cシリーズとして製品化した。このサーマルヘッドは良好な印字品質と高い信頼性が得られており、G4ファクシミリ、高速プリンタ、複写機、など様々な用途への拡大が期待される。

今後、材料及びプロセス技術を更に改良して、コストパフォーマンス及び生産性がより優れたサーマルヘッドを開発して、顧客の期待にこたえる所存である。

#### 参 考 文 献

- (1) 沢江ほか: CMOS搭載形厚膜サーマルヘッド, 三菱電機技報, 58, No. 11, p. 18 (昭59)
- (2) 特許出願中
- (3) T. Tobita et al: Advanced Thick-film Techniques Applied for A New Type Thermal Printing Head, ISHM'85

## 1MビットダイナミックMOS RAM

藤 島 一 康\*・熊 野 谷 正 樹\*・宮 武 秀 司\*・松 川 隆 行\*\*・吉 原 務\*\*

## 1. ま え が き

より高性能、より大容量でビット単価の安いメモリデバイスをとという市場の要求にこたえて、16K→64K→256Kとほぼ3年で4倍のペースで進んできたダイナミックRAM((D)RAM)の技術進歩は超LSIデバイス全般にも大きな波及効果を及ぼし、急速に進展する高度情報化社会のけん(牽)引車となってきた。この傾向は256K以降も止まる様相を示さず、256K(D)RAMの量産が本格化する中で次世代の1M(D)RAMの製品開発、4M(D)RAMのデバイス開発が国内外で進められている。当社では、ダイナミックRAMへの市場の要求が、より安いビット単価をという点をにらみ、最小寸法1ミクロンの超微細加工技術を駆使しながらも、生産性、信頼性の確保と現行の256K(D)RAM製造プロセスからの連続性を重視した設計による1M(D)RAMの開発を進めてきた。

本稿では、プロトタイプ<sup>(1)</sup>の試作<sup>(1)</sup>を基本に、市場の要求の強いパッケージの多様化にもこたえべく開発を行ったNMOS1M(D)RAMの特長を述べるとともに、その電気的性能の紹介を行う。

## 2. 1M(D)RAMの特長

## 2.1 メモリセルの構成

生産性と信頼性を考慮してメモリセルには256K(D)RAMと同じプレーナ形の1トランジスタ/1キャパシタセルを採用した。製造プロセスは当社で現在量産中の256K(D)RAM<sup>(2)</sup>と同じ2層ポリシリコン、1層アルミ配線プロセスである。図1.にメモリセルの断面図、図2.にSEM写真を示す。メモリ容量を確保するために、セル間分離酸化膜のバースビー

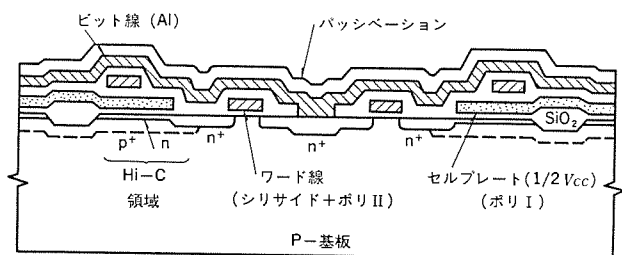


図 1. メモリセルの断面図

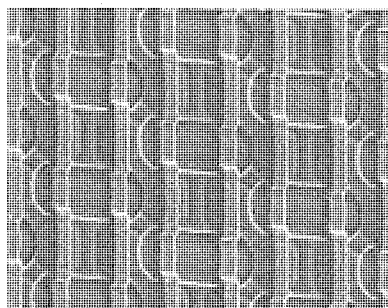


図 2. メモリセルのSEM写真

ック(Bird's Beak)<sup>(3)</sup>を減少させる工夫を行っている。また、メモリキャパシタを構成する薄いゲート酸化膜にかかる電界強度を緩和するために、チップ内部で発生した電源電圧の半分の電圧をセルプレートに印加するいわゆる  $V_{cc}/2$  セルプレート方式<sup>(4)</sup>を採用している。

このセルプレート電圧は、チップ内部で発生しているために原理的に高インピーダンスであり、基板電圧の変動などのノイズの影響を受けやすくメモリの動作マージンを低下させるおそれがある。セルプレート電圧の変動を抑えるためには基板を接地する<sup>(1)</sup>などの方法もあるが、ここではセルプレート電圧、電源電圧などの変動に強い新奇なフルサイズダミーセルを採用し基板電圧発生回路の内蔵を可能にした。更に、64K(D)RAM以来標準プロセスとなっているHi-C(High Capacitance)セル構造<sup>(5)</sup>を用いることで、メモリ容量を増加させるとともに空乏層の広がりを抑えてアルファ線によるソフトエラーの発生を低減させる効果を持たせた。セルプレートを接地する  $V_{ss}$ セルプレートの場合に顕著なメモリセルへの高レベル書込み時にストレージノードのN形層とゲート酸化膜の界面に空乏層が広がり実効的なメモリ容量が減少する問題<sup>(6)</sup>は、 $V_{cc}/2$ セルプレートの場合には緩和され、N形層の不純物濃度を過度に高濃度にする必要がなくなる。100Åという超薄膜ゲートの採用とバースビーック低減の結果  $3.4\mu\text{m} \times 8.6\mu\text{m} = 29.24\mu\text{m}^2$ のセルサイズで40fFのメモリ容量を実現した。この値は、ブーステッドワード線、アクティブリスタアによってメモリセルに読み書きする信号電圧を、フル  $V_{cc}$ の5Vとした場合200fCの信号電荷を与えるもので、1M(D)RAMとしての性能を十分満足させるものである。

## 2.2 メモリアレーの構成

ダイナミックRAMの読出し動作は、メモリ容量  $C_s$ に蓄えられた信号電荷  $Q_s$ を、 $C_b$ の容量を持つビット線に転送して生じる  $Q_s/C_b$ の微小電圧変化をセンスアンプで検知増幅するもので、メモリセルからの読出し電圧は  $C_b/C_s$ の比で決定される。1本のビット線につながるメモリセルを256K(D)RAMと同じ128個として、センスアンプ感度に対して十分大きい読出し電圧を得るために、1M(D)RAMでは図3.に示すシェアドセンスアンプを採用した。

図に示す構成は2組のビット線ペア(BLL/BLL, BLR/BLR)が1個のセンスアンプを共有しており、センスアンプの左右にそれぞれ

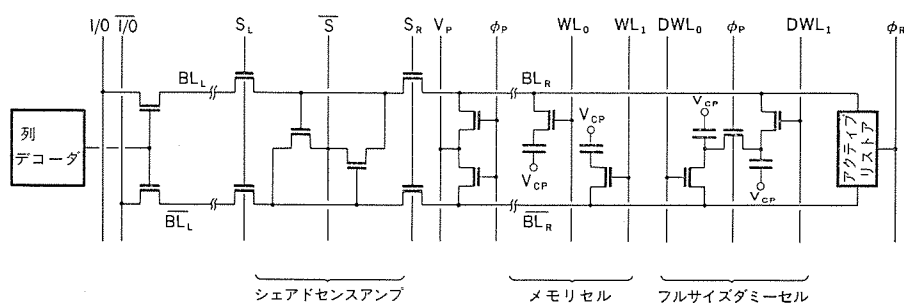


図 3. メモリアレーの構成

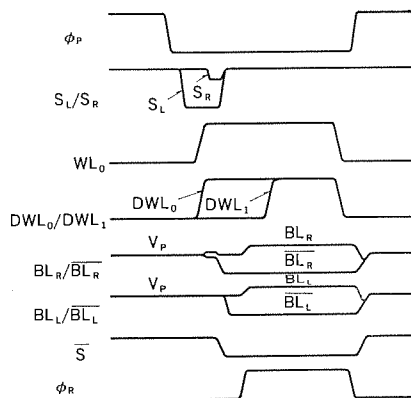


図 4. 読出し動作波形図

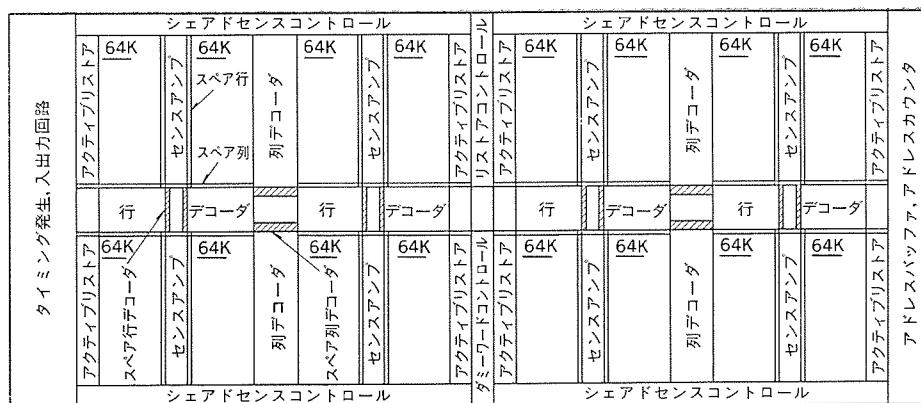


図 6. 1M(D)RAM のチップ構成

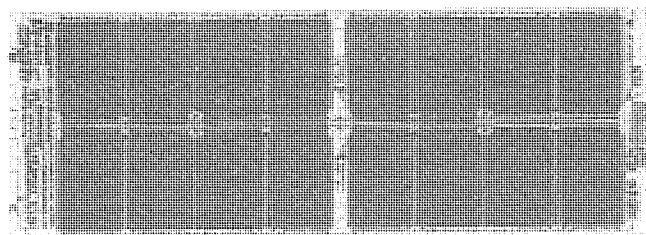


図 5. 1M(D)RAM の顕微鏡写真

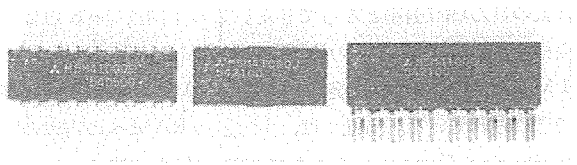


図 7. パッケージ外形図 (左から 18 ピン DIP, 26 ピン SOJ, 20 ピン ZIP)

256 本のワード線が配線され、それぞれのビット線に 128 個のメモリセルが接続されている。この構成は、同じ読出し電圧を得るのに必要な列デコーダ、センスアンプ、アクティブリスタ回路の数を半分にすることができるので、大容量ダイナミック RAM に適した構成である。ワード線は高速読出しが可能で、メモリセルでフル  $V_{cc}$  の信号電圧が取り扱えるように、 $V_{cc} + V_{th}$  ( $V_{th}$  はアクセストランジスタのしきい値電圧) 以上に昇圧している<sup>(5)</sup>。このブーステッドワード線とアクティブリスタ回路の働きで  $40 \text{ fF} \times 5 \text{ V} = 200 \text{ fC}$  の信号電荷量を確保できた。ビット線のプリチャージ電圧  $V_p$  を約 3.5 V の中間電圧とすることで低消費電力化、高速読出しとともに高速なアクティブリスタを実現した。更に、センスアンプ動作完了後にビット線ペアから低レベル (0 V) と高レベル (5 V) をそれぞれのビット線につながるダミーセルに書き込み、プリチャージ期間中に両者をイコライズして、基準電荷を得る新奇的なフルサイズダミーセルの採用で、プロセスパラメータの変動、セルプレート電圧、ビット線プリチャージ電圧、電源電圧の変動に対して広い動作マージンが確保でき、基板電圧発生回路の内蔵も可能になった。

メモリセル情報の読出し動作を説明する波形図を図 4. に示す。ここでは、センスアンプに対して右側のセルが選択された場合を例に示しており、ワード線  $WL_0$ 、ダミーワード線  $DWL_0$  が選択駆動される前に、左側ビット線選択信号  $SL$  を低レベルにして左側ビット線ペアをセンスアンプから切り離している。このシェアセンスアンプの採用で、実効的に 128 ビット/ビット線が 2,048 個のセンスアンプで実現でき、 $C_b/C_s$  比として 11 が得られ、256 K(D)RAM 並の読出し電圧が確保された。更に、センスアンプ動作時にアルファ線によるノイズの影響を受けるビット線の面積を半減できたことで、ビット線にアルファ線が入射して発生するソフトエラー率を 1/2 に低減できた。

### 2.3 チップの構成とパッケージ

図 5. は開発した 1M(D)RAM の顕微鏡写真で、その構成図を図 6. に示す。チップサイズは  $4.7 \text{ mm} \times 12.82 \text{ mm}$  である。メモリアレーを 16 個の 64 K ビットのサブアレーに分割し、二つの 64 K サブアレーの中央にシェアセンスアンプを配置した。ビット線の端には、高レベル側のビット線

を  $V_{cc}$  レベルまでリスタしてメモリセルに 5 V を書き込むアクティブリスタ回路が配置されている。二つの 64 K サブアレーが列デコーダ、センスアンプ、アクティブリスタ回路を共有しており、チップ長辺のレイアウトが容易になった。行デコーダをチップ長辺に沿った中央に配置し、ポリサイドワード線長を短くしてワード線信号の遅延を 10 ns 以下に抑えた。デコーダの充放電による消費電流を低減するために、選択されないブロックの行/列デコーダを動作させないデコーダ分割動作を行っている。入出力回路の領域に四つのプリアンプ(データアンプ)を設け、ニブルモード、マルチビットテスト (Multi-Bit Test: MBT) モード<sup>(4)</sup>を可能にしている。

MBT モードは四つの異なるビットに同時に同一データを書き込み、読出し時には、これらの 4 ビットからの出力データの“AND”を出力端子から出力するもので、1M(D)RAM をあたかも 256K(D)RAM のようにテストできるので、テストコストの増加を抑えることができる。冗長回路としては、256 K(D)RAM で実績のあるレーザプログラム方式を採用し、開発初期の歩留り向上を図っている。スペア行デコーダをセンスアンプと行デコーダの交差点にトータル 8 個、スペア列デコーダを列デコーダと行デコーダの交差点にトータル 4 個コンパクトにレイアウトし、冗長回路によるチップサイズの過度の増加を抑えている。チップの長辺外側には、シェアセンスアンプの制御回路を各ブロックごとに独立に設けてセンスアンプ動作の安定化を図った。また、チップの中央帯にプラスチック DIP (Dual In-Line Package) 用にボンディングパッドを設けるなど、同一信号のボンディングパッドをチップ上の異なる位置に複数個設けて DIP のほかに SOJ (Small Outline J-lead Package), ZIP (Zigzag In-Line Package) に搭載できるようにしてパッケージの多様化に対応している。図 7. に 18 ピン 300 ミルのプラスチック DIP, 26 ピン SOJ, 20 ピン ZIP の外形写真を示す。

### 3. 電気的特性

図 8. は  $V_{cc} = 5 \text{ V}$  で動作させたときの電流波形である。ビット線中間電圧プリチャージ、デコーダ分割動作の効果でピーク電流が平均化されていることがわかる。図 9. にノーマルモード (1M×1) と MBT モード

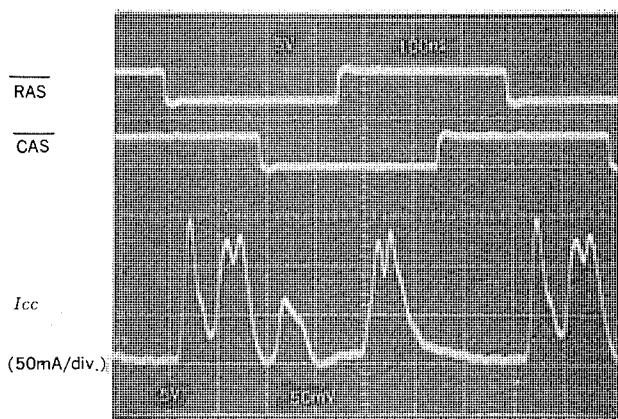
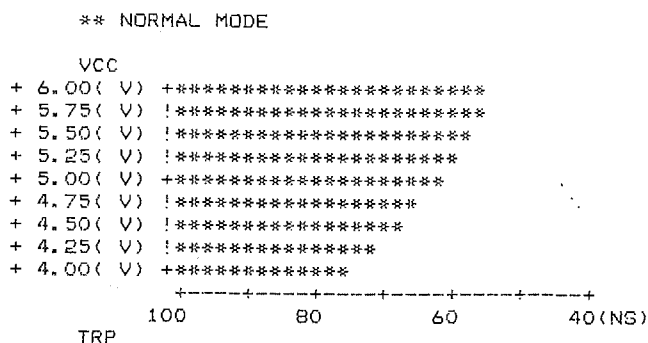
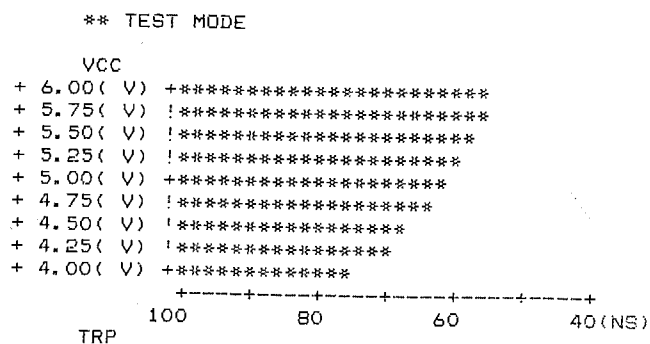


図 8. 電源電流波形



(a) ノーマルモード



(b) MBTモード

図 9.  $V_{cc}$ -TRP 動作マージン

(256 K $\times$ 4) における  $V_{cc}$ -TRP ( $\overline{RAS}$  プリチャージタイム) の動作マージンシミュレーションの比較を示す。これ以外のリフレッシュ特性などのマージンテスト結果の比較においてもノーマルモードとMBTモードとはよい一致を示し、MBTモードがテスト時間短縮機能として有効であること

表 1. 1 M(D)RAM の特性一覧

構成	1 M $\times$ 1
使用技術	最小寸法 1 $\mu$ m の微細化 NMOS 2 層ポリシリコン (ポリシリコン, ポリサイド) 1 層アルミ配線 プレーナキャパシタ ( $T_{ox}=100 \text{ \AA}$ )
チップサイズ	4.7 mm $\times$ 12.82 mm=60.254 mm <sup>2</sup>
セルサイズ	3.4 $\mu$ m $\times$ 8.6 $\mu$ m=29.24 $\mu$ m <sup>2</sup>
アクセスタイム	90 ns/50 ns/20 ns (RAS/CAS/NIBBLE)
RAS プリチャージタイム	60 ns
動作電流	70 mA
スタンバイ電流	3 mA
リフレッシュ	512 サイクル/8 ms
機能	$\overline{RAS}$ オンリーリフレッシュ $\overline{CAS}$ ビフォア $\overline{RAS}$ リフレッシュ ヒドンリフレッシュ ページモード/ニブルモード MBT (マルチビットテスト) モード
冗長回路	8 行/4 列 (レーザプログラム)
パッケージ	18 ピン 300 ミル プラスチック DIP 26 ピン SOJ, 20 ピン ZIP

が確認された。表 1. に 1 M(D)RAM の特性一覧を示す。

#### 4. む す び

プロトタイプを試作を基本にして量産性に富む 1 M $\times$ 1 構成の NMOS (D) RAM を開発した。パズビークを減少させたプレーナセル,  $V_{cc}/2$  セルプレート, シェアドセンシング, フルサイズダミーセルの採用で動作マージンが広く、信頼性の高い 1 M(D)RAM となっている。レーザプログラム方式冗長回路, プレーナセルを用いた 2 層ポリシリコン/1 層アルミ配線プロセスは現在量産中の 256 K(D)RAM と連続性があり、テストモードによるテストコストの低減, 更にパッケージの多様化への対応で、今回開発した 1 M(D)RAM は 256 K(D)RAM の次世代のメモリとしてコスト/パフォーマンスの両面で市場の要求を満たすものと確信している。

#### 参 考 文 献

- (1) 熊野谷ほか：三菱電機技報, 59, No. 9, p. 676 (昭 60)
- (2) 山田ほか：三菱電機技報, 58, No. 8, p. 535 (昭 59)
- (3) M. Yamada et al.: in IEEE International Electron Device Meeting Tech. Dig., p. 578 (1980)
- (4) Y. A. El-Mancy and R. A. Burghard: IEEE J. Solid-State Circuits, SC-17, p. 951 (1982)
- (5) 谷口ほか：三菱電機技報, 55, No. 5, p. 368 (昭 56)

## 1. ま え が き

半導体素子の集積度の向上に基づくエレクトロニクスの発達には、あらゆる産業に省エネルギー化、高付加価値化などの影響を与え、第2の産業革命の原動力となってきた。しかし近年、LSIの集積度を上げることは年々困難になりつつあり、また素子の微細化には物理的、技術的に限界が存在し、メモリを例にとれば64Mビット級以上の集積回路の実現が危ぶまれている。

三次元回路素子は、当初このような二次元VLSIの高密度化の限界を、二次元LSIを絶縁層をはさんで縦方向に多層に積層化することによって克服するものとして考えられたものであったが、①異なる機能素子を積層化する、②縦方向にも配線が可能である、などの構造上の特長から、高速演算、並列信号処理などの二次元LSIでは実現できない機能を実現する素子として、技術開発が盛んに行われるようになったものである<sup>(1)</sup>。

当社LSI研究所では、次世代産業基盤技術開発制度に基づき、(財)新機能素子研究開発協会が委託を受けた「三次元回路素子」の研究開発の国家プロジェクトに昭和56年度から参画し、レーザ光を絶縁体上の多結晶シリコンに照射して溶融させ、単結晶層を得るレーザ再結晶化技術をベースとして、三次元回路素子技術開発を行ってきた。今回、その成果として、能動層(二次元LSI層)が3層に積層化された3層構造三次元回路素子の試作に成功し<sup>(2)</sup>、更に将来の三次元回路素子の機能モデルとして2種類の積層構造デバイスを試作し、動作を確認した。ここでは、三次元回路素子の構成、特長及びその積層構造形成のために開発した選択レーザ再結晶化法について簡単にふれ、それら試作デバイスについて述べる。

## 2. 三次元回路素子の構成及び特長

三次元回路素子は、素子の形成された基板シリコン上に絶縁層を設け、この上にシリコン単結晶層を形成し、これに素子を形成するという手順で作製される。また信号の授受は各層内の配線だけでなく、スルーホール(貫通孔)と呼ばれる層間絶縁膜に設けられた1~2 $\mu\text{m}$ 程度の微細孔によって各種の間でも行われる。

このようにして作製された三次元回路素子の特長としては、まず第1にその構成から高密度であることがあげられる。第2に絶縁体上に素子が形成されているため、素子に付随する浮遊容量が小さくなり高速動作が可能となる。また各層の素子は、長さ1~2 $\mu\text{m}$ 程度のスルーホールで立体的に配線することが可能となり、二次元LSIに比べて配線長が短いことから高速化が図れる。第3には構造上、信号の並列処理が簡単にできることが利点としてあげられる。二次元LSIを複数個接続して並列処理を行わせる場合、LSI間の配線数には制限があり、最高でも200本程度である。三次元回路素子の場合、微細な何万個と設けられたスルーホールによって、一度に多くの情報を各層間で交換、授受することにより、情報の並列処理が可能となる。第4の特長としては、各能動層にそれぞれ違った機能を

持つ素子を積層した多機能素子がある。例えば、最上層に画像センサ、下層に順次、信号処理回路、メモリ、演算回路などを積層した知能画像処理装置などへの応用が考えられる。このように、三次元回路素子は従来の二次元LSIに比べて、高密度、高速、多機能などの特長を持っている。

## 3. 積層構造形成のためのレーザ再結晶化技術

三次元回路素子を実現するためには、絶縁体上にシリコン単結晶層(SOI: Silicon on Insulator)を成長させる技術が必要である。三次元回路素子作製の場合、下層に既に作製されているデバイスに損傷を与えることなく、絶縁体上にたい(堆)積された多結晶シリコンを単結晶化する必要がある。このために、筆者らは100 $\mu\text{m}$ 程度に絞られたレーザ光を走査しながら、多結晶シリコンに照射して瞬時(数ミリ秒)に溶融再結晶化させ、下層デバイスのプロセス温度を実効的に低く保つ方法を採用した。このレーザ再結晶化プロセスを積層構造形成に適用する際に要求される点を整理すると、①下層デバイスへのレーザ光の直接照射を防ぐ、②複雑な構造を持つ下層デバイス上でシリコンの単結晶化を行う、の2点となる。

これらの条件を満たすために、多結晶シリコン層にパターニングなどを行わず、ウェーハ全面に堆積したままでレーザ再結晶化を行うこととした。これによって下層にレーザ光が直接照射されて、素子が破壊されることが避けられる。また下層デバイスが、上層のレーザ再結晶化による急激な温度上昇、下降によって破壊されることを防ぐため、各層の温度上昇に関するシミュレーション及び実験を行って、下地の絶縁層の膜厚などを決定した。

次に、複雑な構造を持つ下層デバイス上で単結晶化シリコン層を得るための基本的な方法として、図1.に示されるようなシリコン窒化膜を反射防止膜として用いる選択反射防止膜法を採用した<sup>(3)</sup>。これはストライプ状にパターニングされた反射防止膜によって、レーザ光照射時の多結晶シリコン層の横方向温度分布を変化させ、結晶粒界の位置を制御する方法である。固化再結晶化は、反射防止膜のない所の温度の低いシリコン層から反射防止膜の下側の温度の高いシリコン層に向

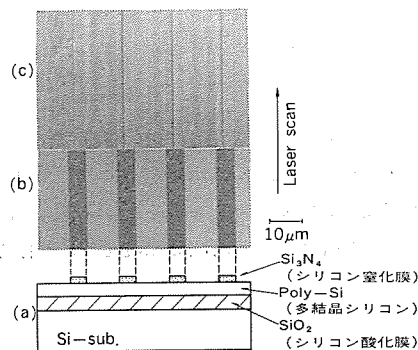


図1. 基本的な試料構造 (a) 模式断面図 (b) 表面写真 (c) 再結晶化後のシリコン表面(化学エッチングで結晶粒界を顕在化した)

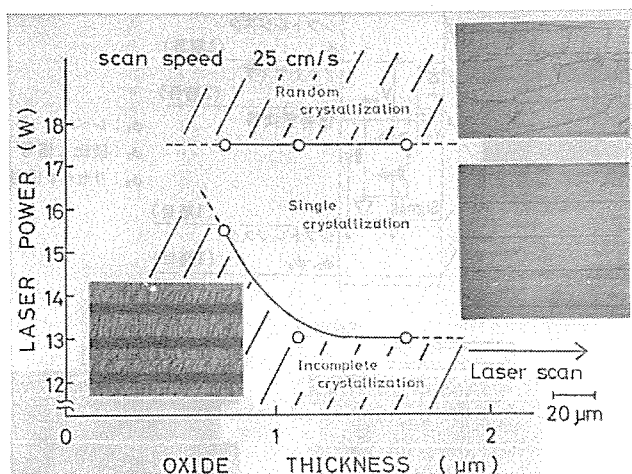


図 2. 種々の膜厚の酸化膜上で多結晶シリコン層をレーザー再結晶化した際の酸化膜厚とレーザー再結晶化パワーとの関係

って連続的に起こるため、反射防止膜にはさまれた部分の多結晶シリコンが単結晶に成長する。

この選択再結晶化法を三次元回路素子製造に適用するため、多結晶シリコン膜厚、窒化膜の膜厚、幅、間隔、レーザー光のビーム径、走査速度などの最適値を種々の実験、シミュレーションによって求めた。図 2. に、下地の絶縁膜(酸化膜)の厚さの変化に対する単結晶化の最適レーザーパワー範囲との関係を示す。図内の写真は化学エッチングによって結晶粒界を顕在化させたものである。図 2. において、低いレーザーパワーでは、窒化膜のない部分の多結晶シリコンは未溶融のまま残存している。また高いレーザーパワーでは、横方向の温度分布が反射防止膜によって制御しきれず、ランダムな結晶成長が起きている。しかし中央のレーザーパワー領域では、適正な温度分布が形成され、幅 15 μm の単結晶が得られている。また、下地酸化膜厚が 0.75 から 1.6 μm まで変化しても、上層を単結晶化するレーザーパワーの適正範囲が 2 W という大きな値が得られている。これによって、選択反射防止膜法は、複雑な構造を持った下層デバイス上で単結晶シリコンを形成する三次元回路素子製造プロセスに有効な技術であることがわかった。

#### 4. 三次元回路素子の試作

以上のような基礎検討の後、種々の三次元回路素子の試作を行った。

##### 4.1 3層構造三次元回路素子

図 3. に今回試作した 3 層の能動層を持つ 3 層構造三次元回路素子の断面構造を示す。試作した素子は、1, 2, 3 層とも N チャネルの MOS トランジスタで、それぞれ 1 層目は基板シリコン、2, 3 層目はレーザー再結晶化法による SOI 層に形成されている。1—2 層間の層間絶縁膜は前述の検討に従って、平坦化後 0.8~1.5 μm になるように設定された CVD (化学気相成長) 法による酸化膜、2—3 層も同様の検討の結果、1—2 層間の 1.4 倍の厚みに設定された酸化膜である。配線層は、1, 2 層目がりんを高濃度にドーピングした多結晶シリコン、3 層目はアルミで形成されており、各能動層のトランジスタは独立に動作することが可能である。各配線層間は最小 4 μm のスルーホールで結合され、上下層間の信号授受も可能である。

図 4. は、各能動層での MOS トランジスタの典型的な I-V 特性、トランジスタの表面写真及び 4 インチウェーハで測定した電子の表面電界効果移動度の平均値と分散を示す。2, 3 層目の電子移動度は 1 層目に比べて若干低い、通常の基板シリコンデバイスの値に比べてそん

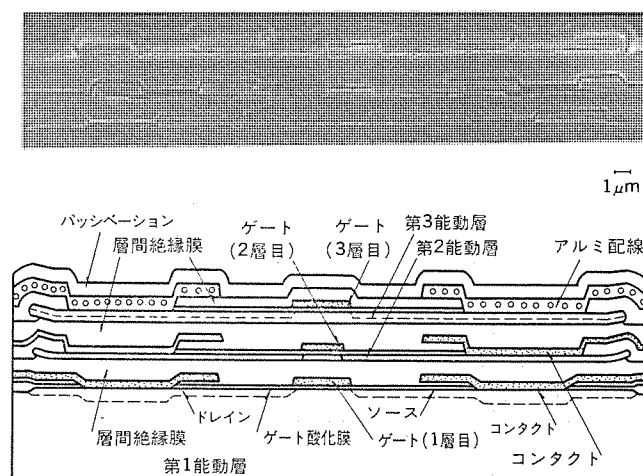


図 3. 3層積層構造の断面 SEM (走査形電子顕微鏡) 写真とその模式図

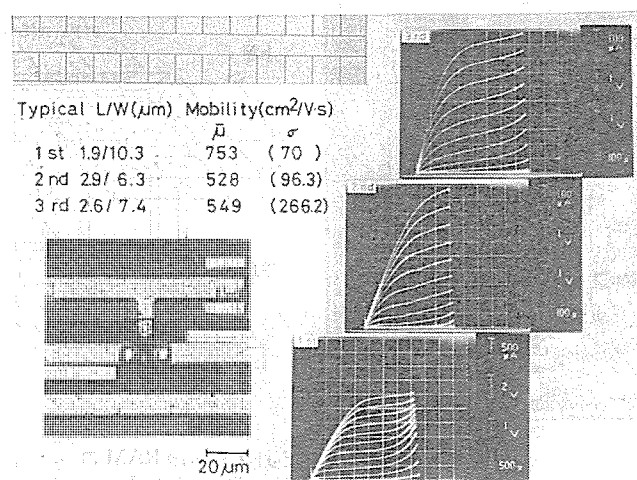


図 4. 各能動層の MOS トランジスタの I-V (電流 - 電圧) 特性とトランジスタの表面写真及び移動度の平均値とばらつき

(遜)色はない。また、2 層目の分散は 1 層目の分散とほぼ同じ水準にある。しかし 3 層目の素子特性のばらつきは若干大きく、ウェーハレベルでの再結晶化にまだ問題を残している。1, 2 層目とも、上層での再結晶化プロセスによる影響はみられない。以上のように、熱放散の小さな中間層である第 2 層目を損傷することなく 3 層目のレーザー再結晶化が可能であることが示されたことから、今後更に積層化を進めることに対して、足がかりが得られたと言えるであろう。

##### 4.2 三次元回路素子のデバイスモデル

三次元化による多機能素子実証の第一歩として、筆者らは図 5. のような画像処理システムを考えた。この画像処理システムを点線の部分で 2 分割し、それぞれ単純化して、2 層構造の三次元回路素子での形成を試みた。

###### 4.2.1 256 ビットスタティック RAM

図 5. の破線のうち、メモリと信号処理装置を単純化した機能モデルとして、256 ビットのスタティック RAM を 2 層構造で試作した<sup>(3)</sup>。図 6. に今回試作したメモリのチップ写真とブロック図を示す。1 層目は基板シリコン上に NMOS 構成でメモリセルを配置し、2 層目は SOI 上に CMOS 構成でセンスアンプ、入出力回路、デコーダなどの周辺回路を配置した。1 層目と 2 層目の間は最小寸法 4 μm のスルーホール 112 個によって電氣的に接続されている。トランジスタ数は、1 層目に NMOS

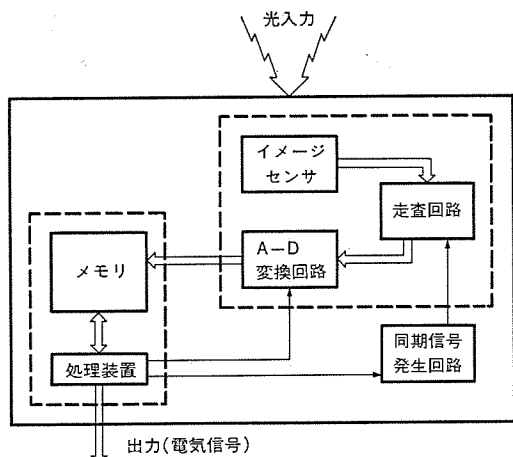


図 5. 画像処理システムのブロック図

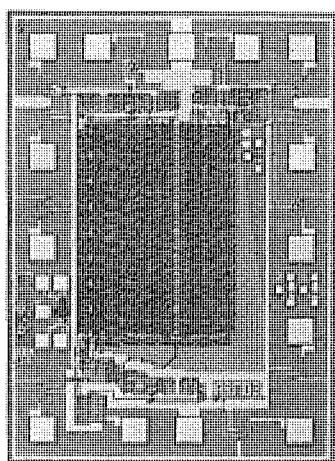


図 6. 積層構造 256 ビットスタティック RAM のチップ写真 (2.6×1.9 mm<sup>2</sup>) とそのブロック図

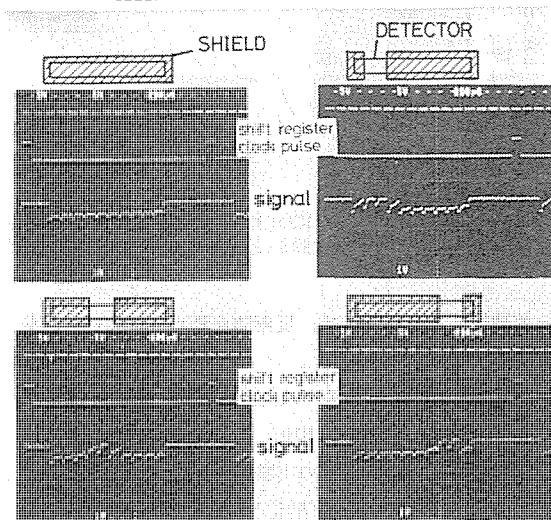
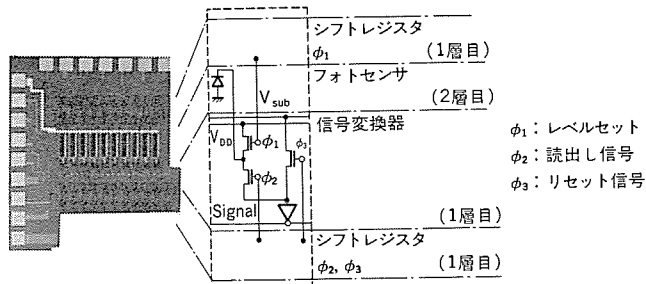
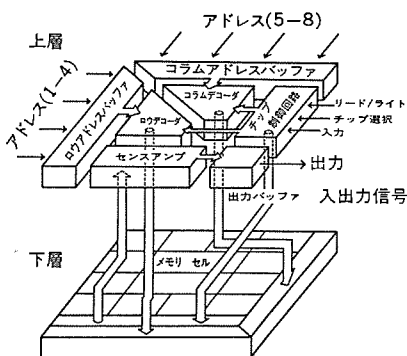


図 7. 積層構造 10 ビットリニアイメージセンサ及び光入力に対する出力波形

素子 1,568 個, 2 層目 NMOS 363 個, PMOS 267 個である。チップサイズは, 2.6×1.9 mm<sup>2</sup> である。電源電圧 4 V から 8 V でメモリ動作を確認した。電源電圧 5 V のときアクセス時間 120 ns, 消費電力 100 mW であった。これによって, 各層内, 層間での信号授受という三次元 IC に必要な基本動作が確認された。

#### 4. 2. 2 10 ビットリニアイメージセンサ

図 5. のうち, イメージセンサ, 走査回路, 信号変換回路を単純化したモデルとして, 10 ビットのリニア (一次元) イメージセンサを 2 層構造で試作した<sup>(4)</sup>。図 7. にイメージセンサの回路図, 表面写真及び光入力に対する出力パターンを示す。フォトセンサは 2 層目 SOI 膜中に作成された pn 接合フォトダイオードで, これと, このフォトダイオードからの信号を処理する 1 層目の信号変換器で基本回路を構成している。この基本回路を 10 組, シフトレジスタにより時分割駆動させて, 10 ビットリニアイメージセンサとした。図 7. から並列の光入力が, 時系列の電気信号に変換されていることが確認された。

### 5. む す び

三次元回路素子は 1995 年以降に実用化され, 大容量メモリ, 高速信号処理, 多機能デバイスとして画像処理, 音声認識などへの用途が期待されている。現段階での三次元回路素子は, 二次元 LSI の性能を

越えるものではない。しかし, 上述の 3 層素子, 2 層構造のメモリ, イメージセンサの試作に成功したことから, 将来の三次元 LSI の実現の足がかりを得た。今後の三次元 LSI 実用化の課題としては, ① SOI 膜の大面積単結晶化, 高品質化, ②実用的なレーザ再結晶化装置の開発, ③積層構造形成のための高融点金属配線技術, ④層間のスルーホール形成技術, ⑤高温短時間熱処理技術, ⑥表面平坦化技術などの開発及びこれらの総合化があげられる。また, ⑦各層の電気信号の上下層間への漏れ出し (クロストーク) の問題もある<sup>(6)</sup>。更に三次元回路素子は, 素子自体がシステムを構成することも可能であるため, 三次元構造に適合した, ⑧システム設計及びその⑨回路配置技術の開発も不可欠である。

この研究は, 通産省工業技術院の次世代産業基盤技術開発制度に基づき, (財)新機能素子研究開発協会が委託を受けた「三次元回路素子の研究開発」の一環として行われたものである。

### 参 考 文 献

- (1) 古川: テレビジョン学会誌, 36 (昭 60) 1060
- (2) 須賀原ほか: 第 32 回応用物理学学会講演予稿集 30 pC-9, p. 478 (昭 60)
- (3) 井上ほか: 第 32 回応用物理学学会講演予稿集 30 pC-12, p. 479 (昭 60)
- (4) 広瀬ほか: 第 32 回応用物理学学会講演予稿集 30 pC-8, p. 478 (昭 60)
- (5) J. P. Colinge et al: Appl. Phys. Lett. 41 (1982) 346
- (6) 西村ほか: 第 32 回応用物理学学会講演予稿集 30 pC-13, p. 480 (昭 60)

## 1. ま え が き

本格的な VLSI 時代を迎えた今日、1 M(D) RAM の開発が完了し、次期 VLSI として 4 M(D)RAM の開発が始まっている。このような VLSI を実現するための基本となるリソグラフィ技術は光学方式が主流で、特に、ここ 5 年の間に登場してきたステッパー<sup>(1)</sup>は、光学リソグラフィにおける 2  $\mu\text{m}$  のデザインルールを破り、その限界を 0.7  $\sim$  0.5  $\mu\text{m}$  まで引き延ばした。従来からステッパーなどホトマスクとして用いられているクロム(Cr)は、薄膜で均一性が良く、パターン微細化の要求に適した材料である。しかしながら、低膨脹マスク基板である石英との密着性が悪く、微細パターン形成後のマスク洗浄で Cr はがれによるパターン欠陥が発生している。また、パターンの微細化、高精度化に必ず(須)なドライエッチングに対して、Cr はエッチング速度が遅いという問題点がある。

筆者らは、石英基板との密着性が良く、ドライエッチングが容易なマスク材料として、石英成分の一つであるシリコン(Si)を含んだ金属化合物(金属シリサイド)に着目した<sup>(2)</sup>。この論文では金属シリサイドの一つであるモリブデンシリサイド(MoSi)がホトマスク材料として上記問題点を解決し、VLSI 用マスクに十分適用できることがわかったので報告する。

## 2. MoSi 膜の特性

## 2.1 MoSi 膜の形成

MoSi 膜はイソプロピルアルコール(IPA)及び純水中で超音波洗浄した 5 インチ石英基板(厚さ 0.09 インチ)上に、高周波スパッタリングにより形成した。スパッタリング用ターゲットとしては Mo と Si のモザイク形とコンパウンド形があるが、膜の純度、組成比の制御性を考慮して前者を用いた。

この実験では、スパッタリングで用いるアルゴン(Ar)のガス圧を変えることにより、種々の組成比( $R=\text{Si}/\text{Mo}$ )の MoSi 膜を得ている。これは、Si と Mo のスパッタ率の違い<sup>(3)</sup>を利用したもので、1.3, 2.7, 4.0 Pa の Ar ガス圧に対して、それぞれ 1.9, 2.4, 3.0 の組成比  $R$  の MoSi 膜が得られた。MoSi 膜は 5  $\sim$  7 nm/min の成膜速度で最大 150 nm の膜厚まで形成した。このときの膜厚のばらつきは 5 インチマスク内で 10% 以下である。

## 2.2 MoSi 膜の光学特性

図 1. は 3 種類の MoSi 膜の組成比( $R=1.9, 2.4, 3.0$ )に対する反射率と光学濃度(透過光強度に対する入射光強度の比の対数)を示したものである。測定に用いた光の波長は 436 nm の g-線である。また、MoSi 膜の膜厚は 80 nm で固定した。MoSi 膜の反射率は、Si の比率が増すに従ってわずかに大きくなっており、Si の方がこの波長で反射率を大きくしていることを示している。一方、光学濃度はこれらの組成比では変化がないことがわかる。また、MoSi 膜の反射率が約 50% であり、従来の Cr 膜<sup>(4)</sup>と差異がないことがわかった。次に MoSi 膜の膜厚と光学濃度の関係を示したのが図 2. で

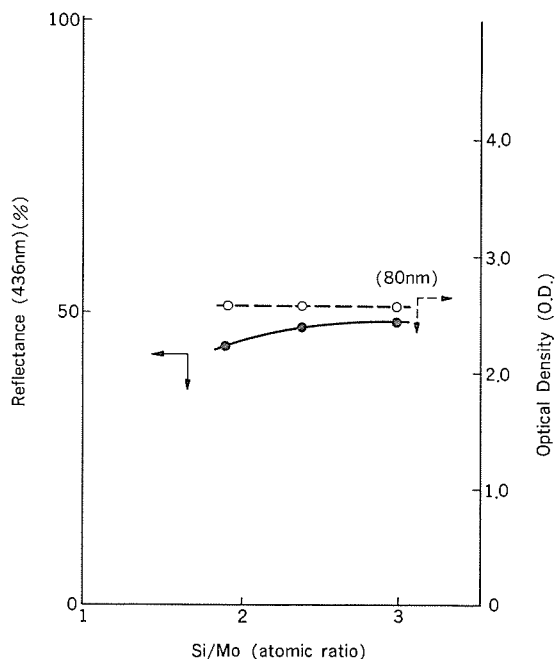


図 1. MoSi 膜の Si と Mo の組成比に対する反射率と光学濃度の関係

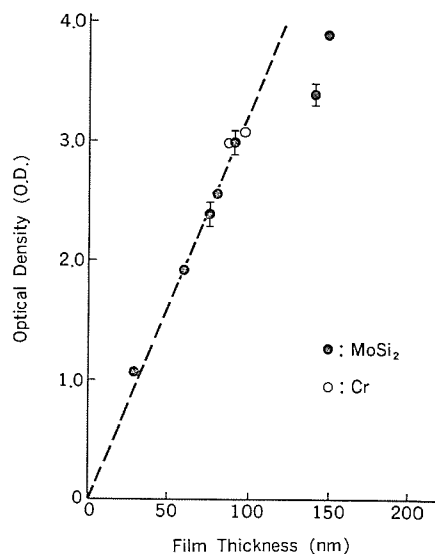


図 2. MoSi 膜の膜厚と光学濃度の関係

ある。MoSi 膜の組成比は 2.4 のものを使用し、436 nm の波長で光学濃度を測定した。光学濃度は、150 nm 以下の膜厚で MoSi 膜厚の増加に従って直線的に増加している。ホトマスクで用いる光学濃度  $3.0 \pm 0.1$  の値を得るためには、MoSi 膜厚は 80  $\sim$  100 nm の範囲の膜厚が要求されるが、これは図 2. に示してあるように Cr 膜の場合と同様の結果が得られている。

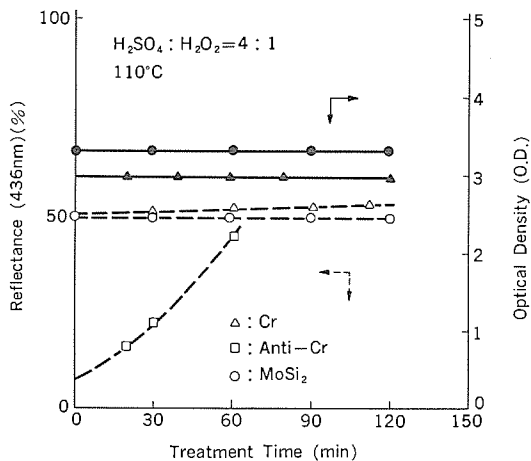


図 3. MoSi マスクと Cr マスクの薬品耐性

### 2.3 MoSi 膜の薬品耐性

マスク製造工程において、レジスト除去やマスク洗浄などで薬品処理が行われるため、マスク材料の薬品耐性は重要な因子となる。つまり、パターン形成後、これらの薬品処理によりマスクの反射率や光学濃度が変化するとウェーハ転写に悪影響を与えることになり、マスク材料の十分な薬品耐性が必要となる。

図 3. は MoSi 膜と Cr 膜を用いたマスク材料の薬品耐性を示したものである。実験に用いた薬品は、110°C に熱した硫酸 ( $H_2SO_4$ ) と過酸化水素水 ( $H_2O_2$ ) の混合液 ( $H_2SO_4 : H_2O_2 = 4 : 1$ ) である。光学濃度は MoSi 膜、Cr 膜共  $H_2SO_4$ 、 $H_2O_2$  混合液中で変化はなかった。一方、反射率の測定を Cr 膜について一層 Cr 膜と  $CrO/Cr$  の二層膜の 2 種類について行った結果、前者は混合液中の浸せき時間に対してわずかに増加しており、後者に関しては大きく増加している。しかしながら、MoSi 膜の反射率は混合液中の浸せき時間に対して全く変化はなかった。これらの結果から、MoSi 膜は非常に強い薬品耐性があることがわかる。

### 3. MoSi 膜の信頼性試験

ホトマスクの洗浄は、マスク製造工程中、マスク検査前洗浄、出荷前洗浄、更にステッパーなどの転写装置にマスクを装着する前の洗浄を含めば、少なくとも 5 回以上必要となる。マスク洗浄方法としては、1,000~2,000 PSI 程度の高圧水洗浄、超音波洗浄、布又はブラシによるスクラブ洗浄、又はこれらを組み合わせた洗浄方法がある。超音波洗浄は、マスク上のごみやレジスト残さ(渣)が超音波による衝撃波で容易に除去できるため、マスク洗浄に広く用いられている。また、スクラブ洗浄は、マスク上のごみやレジスト残渣を直接取り除くための効果的な方法である。しかしながら、マスク材料が石英基板に対して付着力が弱いものであれば上記のマスク洗浄の際、マスク上のごみと一緒にパターンがはがれ、パターン欠陥として問題となる。特にパターンが微細化するに従って、この問題は深刻になる。

図 4. と図 5. は、それぞれ超音波洗浄とスクラブ洗浄後の Cr 及び MoSi マスクのパターン欠陥数を示している。超音波洗浄は周波数 28 kHz、電力 300 W の条件で純水中で行った。図 4. の縦軸の欠陥数は、マスク上に形成した 1  $\mu m$  正方形パターンに関する洗浄後のパターンはがれの数である。図 4. に見られるように、従来の Cr や比較のために用いた Mo では、パターン欠陥数が超音波洗浄時間とともに急激に増加しているが、MoSi 膜では同じ条件で全くパターン欠陥が

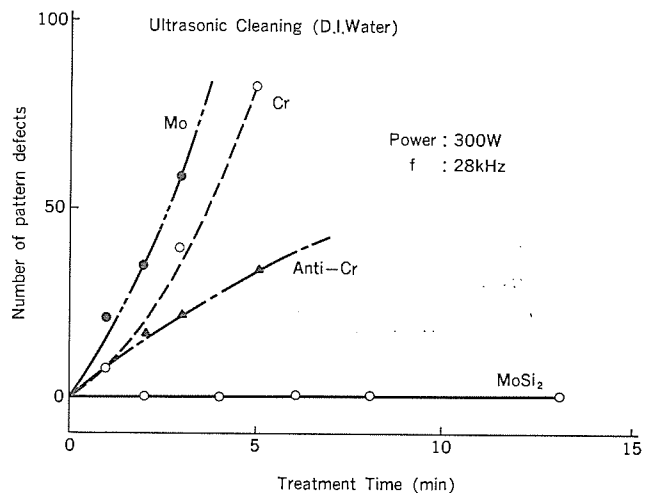


図 4. 超音波洗浄試験による MoSi マスクと Cr マスクの比較

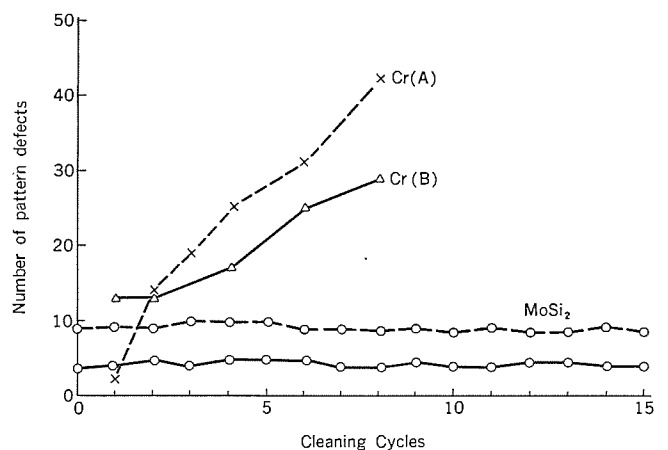


図 5. スクラブ洗浄試験による MoSi マスクと Cr マスクの比較

発生しなかった。

スクラブ洗浄試験は、実用パターンの 256 K(D)RAM レティクルを用いた。スクラブ洗浄はアセトン中、次に中性洗剤及び純水中の布によるスクラブ洗浄から、最後の 1,000 PSI の高圧純水洗浄までの 1 サイクルを 1 回の洗浄として 15 回行った。マスクの欠陥数は、欠陥検査装置 KLA-101 を用いて 1  $\mu m$  以上の欠陥を 5 インチレティクル全領域にわたって検査した。図 5. において、Cr マスク (二つの試料: A 社製 Cr.....Cr(A), B 社製 Cr.....Cr(B)) の欠陥数は、スクラブ洗浄の回数とともに増加しているが、MoSi マスクは 15 回まで行っても欠陥検査装置の測定誤差 (1  $\mu m$  欠陥サイズの検査確率) の範囲内で、初期欠陥数 (マスク製造で発生した欠陥でスクラブ洗浄前のもの) から増加していないことがわかる。

以上の結果から、MoSi 膜はマスク基板である石英に対して、非常に強い密着性を示していることがわかる。これは超音波洗浄の結果からも明らかであるが、Mo 膜単独では Cr 膜と同様に石英との密着性が悪く、Si の存在が石英との密着強度に強く影響しているためと考えられる。

### 4. ドライエッチング特性

VLSI におけるパターン微細化に伴い、ホトマスクは前述した欠陥の少ない高信頼性のものだけでなく、高精度で均一性の良い寸法分布のものが要求されるようになった。このため、マスク製造におけるエッチング工程で、従来のウェット法から高精度パターンが期待できるドライ

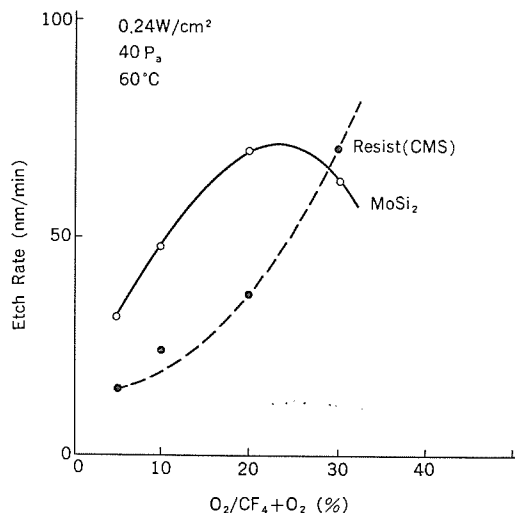


図 6. CF<sub>4</sub> 中の O<sub>2</sub> ガス含有率に対する MoSi 膜のエッチング速度依存性

法へと技術の移行は余儀なくされている。Cr のエッチングは、通常、硝酸第二セリウムアンモン ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>) と過塩素酸 (HClO<sub>4</sub>) の混合液を用いたウェット法であるが、ウェット特有のアンダーカット現象で微細パターンを得るには不利であり<sup>(4)</sup>、塩素系ガスプラズマを用いたドライ法へと現在は移行しつつある。

しかしながら、ドライエッチングに対して、Cr のエッチング速度は小さく、そのためレジストへの負担が大きくなる（レジストとの選択性が悪い）などの問題があり、特に量産化が遅れている。この研究で述べている MoSi マスクはドライエッチングにおける上記の問題点をも解決した。以下に CF<sub>4</sub>+O<sub>2</sub> の混合ガスプラズマを用いた場合の MoSi 膜のドライエッチング特性について述べる。

エッチングはステンレス鋼製チャンバと 20~80°C の範囲で温度制御できる直径 400 mm の電極（電極間隔は 60 mm）からなる平行平板形プラズマエッチング装置によって行った。実験に用いた MoSi マスクは、5 インチの石英基板上に約 100 nm の厚さの MoSi 膜（組成比は 2.4）を形成したものである。また、レジストはドライエッチング耐性の優れたネガ形電子ビーム用レジスト CMS<sup>(6)</sup>（クロメル化ポリスチレン）を用い、パターン描画は電子ビーム露光装置 (EeBES-40)<sup>(7)</sup> にて行った。MoSi 膜のシート抵抗は約 100 Ω/□ であるので、電子ビームによるチャージアップ現象はなく、描画時でのパターン変形はない。

図 6. は CF<sub>4</sub> 流量が 200 SCCM での O<sub>2</sub> ガス流量に対する MoSi のエッチング速度を示している。実験は上部電極に高周波電力を印加し、試料のマスクを設置する陰極結合方式<sup>(8)</sup>で行った。エッチングの終点は、ふっ素原子の発光スペクトルで、強度の強い波長 703.7 nm のスペクトル強度の変化から求めた。MoSi のエッチング速度は、O<sub>2</sub> ガスの含有率が 20% までは増加しているが、それ以上では減少する傾向を示した。この結果から、MoSi のエッチングに O<sub>2</sub> が大きく寄与していることがわかる。すなわち、CF<sub>4</sub> と O<sub>2</sub> のガスプラズマ中で MoSi は、揮発性の高い酸素を含んだ反応生成物 MoOF<sub>4</sub> と SiOF<sub>2</sub> を生成したためと考えられる。また、O<sub>2</sub> ガス含有率の高い領域でのエッチング速度の低下は、CF<sub>4</sub> の濃度が一定圧力 (40 Pa) のもとで下がるためである。MoSi のエッチング速度は O<sub>2</sub> の含有率が 20% のとき、約 70 nm/min の値を示しており、同一条件下（エッチングガスの主成分は

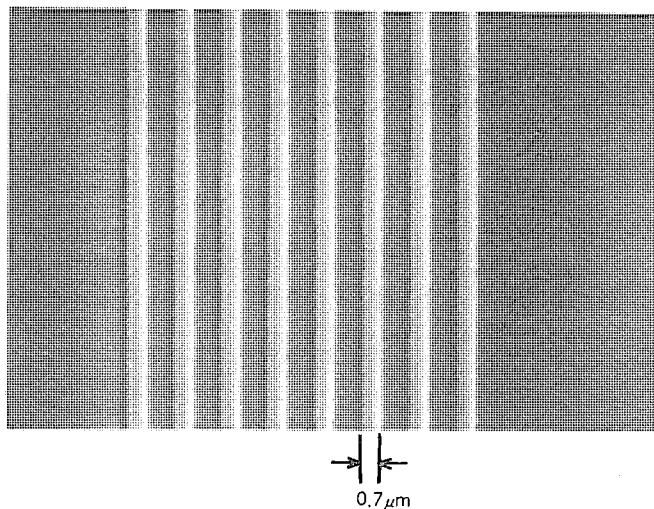


図 7. SEM による MoSi マスクのサブミクロンパターン像

CCl<sub>4</sub> であるが) での Cr のエッチング速度 (10~20 nm/min)<sup>(8)</sup> と比較すると約 5 倍の速さである。このときの CMS レジストとの選択比 (MoSi のエッチング速度/レジストのエッチング速度) は、約 2 であった。

図 7. はレジスト除去後の MoSi マスクの 0.7 μm パターンの SEM 写真である。エッチングは電力密度 0.24 W/cm<sup>2</sup> で、CF<sub>4</sub>+20% O<sub>2</sub> ガスで行っており、シャープなエッジのサブミクロンパターンが得られている。以上の結果から、MoSi 膜はドライエッチングに対してエッチング速度が速く、シャープな微細パターンが得られるため、ホトマスク材料に有利であることがわかる。

## 5. む す び

高品質なホトマスク材料として MoSi 膜を検討した結果、次のことが明らかになった。

- (1) MoSi 膜の光学濃度は Cr 膜と同じ膜厚で得られる。
- (2) MoSi 膜は強い薬品耐性を持っている。
- (3) MoSi マスクは石英基板との密着性が良く、超音波やスクラブなどによるマスク洗浄でパターン欠陥は発生しない。
- (4) MoSi 膜はドライエッチングが容易であるため、微細パターンをもつ高精度なホトマスク材料として期待できる。

## 参 考 文 献

- (1) S. Wittetok: Solid State Technol. June (1980)
- (2) Y. Watakabe, A. Shigetomi, S. Matsuda, M. Hirose, T. Kato: Extend Abstracts of the 167th Electrochemical Society, 85-1, 338 (1985)
- (3) C. M. Melliar-Smith: J. Vac. Soc. Technol., 13, Nov. 5, Sept. 10, 1008 (1976)
- (4) 工藤: 基礎物性図表, 共立出版, p. 144
- (5) K. Nishioka and H. Abe: Electrochem. Soc., 406 (1977)
- (6) S. Imamura: J. Electrochem. Soc., 126 (9), 1628 (1979)
- (7) Y. Watakabe, T. Kato, A. Shigetomi and H. Morimoto: J. Vac. Soc. Technol., 21 (4), 1005 (1982)
- (8) H. Saeki, Y. Watakabe, Y. Toyoda, T. Kashiwaki and H. Nakata: J. Electronic Materials, 11 (6), 1049 (1982)

## 1. ま え が き

エレクトロニクスを始めとする技術の進展による、市民生活や産業活動に及ぼす変化と可能性、これらと人間の特性や生態的な能力との調和、あるいは多様化するニーズや市場の変化に対応するための、きめ細かな製品開発が要求される場面で、近年、エルゴノミクスが一層重要視されてきている。また、インダストリアルデザイン活動は、「ユーザーオリエンテッドの立場で、造形性、操作性、環境適合性を追求し、これらの成果を経済的、効率的に総合して製品に実現する諸活動」である。したがって、インダストリアルデザインには、その活動自体に広義のエルゴノミクス面の追求が含まれていると言える。以下にインダストリアルデザイン活動におけるエルゴノミクスと関係する課題の取組方、並びに特性の異なる家電、公共システム、OA分野での研究開発の課題と具体例の概要を報告する。

## 2. マンマシンシステムの向上とエルゴノミクス

エルゴノミクス (Human Factors, 人間工学とも言われる) は、人間と機器・システムとの関係 (マンマシンシステム) を人間の側から医学、生理学など関連分野の方法を手段として解明するものであり、この向上を図るための有力な探求方法の一つである。マンマシンシステム向上に関する課題は、相互に関連する、①形態的側面、②力学的側面、③情動的側面、④環境的側面、⑤時間的側面、⑥総合、の諸側面に分類される<sup>(1)</sup> (表 1.)。

マンマシンシステムの向上とは、これらの諸側面に対する要求をエルゴノミクスを始めとする関連諸科学と、これまでに得られた知見によって明確にし、人間の負担が少なく、かつ、効率的な機器・システムを実現することである。インダストリアルデザイン (以下、ID とよぶ) におけるエルゴノミクスの取組は、その活動が具体的な形状、材質、色彩を持った製品の開発を最終目的とするところから、これまで形態的、環境的側面を中心にとらえてきたという特徴がある。

表 1. マンマシンシステムの諸側面と課題

側 面	課 題
1. 形態的側面	○形態的、寸法の次元での調和 ○人の作業域や行動空間と機器寸法との調和
2. 力学的側面	○操作する力、速度、応答特性などとの調和 ○力学的な人の側面と機器の制御特性との調和
3. 情動的側面	○感覚、知覚、情報処理、意志決定過程やその速度 ○これからみた機器のあり方と機能の分担
4. 環境的側面	○スペース、騒音、振動、照明、室内気候、放射線 ○これからみた環境条件のあり方
5. 時間的側面	○時間の経過に伴う人の機能の変動、作業継続時間、疲労、単調感、習熟過程 ○これらの人の特性と機器の持つべき機能、作業計画など
6. 総 合	○1～5、その他要件を総合して、マンマシンシステムの安定、レンボンスの向上などを図ること

## 3. エルゴノミクス面の課題と取組

## 3.1 課題の発生場面

ID は広範な製品分野を対象とする開発活動であり、これらの開発テーマのすべてにわたって軽重の差はあれ、エルゴノミクスの課題が存在する。これらは開発テーマと関連した次の場面である。

- (1) ユーザーの変化：対象ユーザー層、生活・労働行動の変化と関連する開発。
- (2) 機器・装置の変化：新機能の開発や付加、機器・部品の小形軽量化、新デバイスなどの技術の進展と関連する開発。
- (3) 設置・使用環境の変化：居住・執務空間の変化、機器利用と行動圏の拡大・変化と関連する開発。
- (4) マンマシンシステム自体の変化と向上要求：ユーザーの顕在、潜在的なマシン性能向上要求、並びに情報通信システム・技術の進展と関連する開発。

ID の開発活動においては、これらの課題が複合された形で発生する。

## 3.2 課題の取組方法

製品分野の特性により、当然エルゴノミクスの中心的課題と条件、取組方法は異なる。例えば、家電、公共システム、OA分野の製品の例である冷蔵庫、監視制御室、VDT 機器ではそれぞれ対象ユーザーの属性、機器操作の難易度、操作時間、環境、主要な課題を異にする。ID においては、これら製品分野別特性に留意した検討とともに、早期の製品化のための効率的な取組方法が求められる。

エルゴノミクスの基本的な研究方法は、研究対象に関する、速度、誤り (率)、(必要とする) 力、形態・寸法、主観、についての調査、実験による評価と設計を行うもの<sup>(2)</sup>であるが、ID においては、これらの研究成果とともに社内外の関係部門・機関との協力による共同・委託研究、構想・製品モデルによる多角的検討、ユーザーをモニターとする主観評価テスト、実用テスト、並びに営業活動・その他の関連情報を開発テーマに沿って活用している。

次に製品についての課題と取組の具体例を述べる。

## 4. 家庭用冷蔵庫開発の取組

## 4.1 開発上の課題

家庭用冷蔵庫は、ユーザーの多様な食生活や生活行動を反映した製品が求められている。製品開発構想の設定と具体化には、①食生活の動向、②生活動向、③居住環境 (キッチン空間) の動向、並びに構想を実現するための技術開発の可能性が関係する (表 2.)。

冷蔵庫開発のエルゴノミクス面の課題は、対象とする家庭と主婦にマッチした「使い勝手」の良い製品の開発であり、このために前記の諸動向、可能性からみた、①開発テーマの設定、②これに基づく庫内の温度帯、利用頻度、食品形状・寸法、人体寸法と特性の検討による庫内の構成と配置、③フレキシブルな使いやすさ、清掃のしやすさなどを実現するためのアイデアの抽出と評価・検討が具体的な課題

表 2. 冷蔵庫開発関連動向と開発内容

関 連 す る 動 向	関 連 内 容
1. 食生活動向	○食品の嗜好 ○食品流通・購入形態 ○冷凍・半完成食品の普及 ○主要食品・パッケージの形状・寸法・重量 ○季節変動食品
2. 生活動向	○家族構成と生活 ○食文化など
3. 居住環境	○キッチンと周辺状況 ○関連設備・機器
	1. チルドルームの使いやすさ ○食品の出し入れの容易な引出し式ルームの採用
	2. 整理性の配慮 ○食品の特徴に応じて使い分けられる棚、ポケット、スタンドの採用
	3. 清掃性の配慮 ○容易にはずせるケース、ボックス、トイレの採用
	4. 環境との適合性の配慮 ○隣接するキッチン設備から突出しない収まり



図 1. 氷温チルド・4ドア冷蔵庫の庫内及び外観

となる。

#### 4.2 氷温チルド・4ドア冷蔵庫の開発

この開発は、ユーザーの食生活と食品流通動向からみて、これまでの冷蔵庫の庫内各室の温度帯に加えて、チルド温度帯（約0℃）の有効性に着目したものである。この温度帯の利用により、食品を凍らせず鮮度を長持ちさせ、幅広い食品に適合することが明らかとなった。IDの具体的な取組は、①チルドルームの採用に伴う庫内の再構成と配置、②チルドルームの使いやすさの追求、③整理性、④清掃性、⑤環境適合性、への配慮に関する様々なアイデアの抽出をし、技術、営業、他関連部門と協力して具体化した（表2、図1）。検討結果による現寸モデルを作成し、社外の主婦をモニターとする「アピラテスト」（新機能・庫内外設計の主観評価と意見聴取）、その他の評価テスト結果による小改良を経て製品化した。業界初のチルド・4ドア冷蔵庫は、市場に好評裏に受け入れられ、冷蔵庫の主流の考え方となっている。

### 5. 監視制御室開発の取組

#### 5.1 開発上の課題

快適な市民生活と、発展する産業活動の基盤となる交通、エネルギー、上下水道などの公共システムの安定かつ確実な維持と拡充は、ますます重要になってきている。なかでも、これらのシステムの中核となる監視室の役割の重要性は言うまでもない。この特性はシステムが多数の装置で構成され、他分野の機器やシステムと比較して著しく複雑であり、情報処理系のマンマシンシステムが高密度に存在する点である。これらの開発における課題と取組は、①監視員のシステム状態の正確な把握と誤判断、誤操作の防止を目的とした情報の集中化、操作の簡易化と自動化による監視性、操作性の向上が課題となる<sup>(3)</sup>。具体

表 3. 監視制御室の開発内容

開 発 内 容	エルゴノミクス面の検討内容
1. 設備機器の開発 (1) 監視設備 (グラフィックパネル)	(各監視員の座位、立位条件における) ○視距離、視角の検討 ○位置、傾斜角度、表示方法の設定
(2) 操作設備 (監視卓、指令台)	○操作、表示部の操作性、視認性の検討 ○各卓、台の寸法条件の設定
2. 室内環境の開発 (1) 室内レイアウト計画	○上記の設備、他関連器具、室条件、動線などよりなる配置の検討、設定
(2) 照明計画	○監視、操作設備の視認性・操作性を中心とした検討、設定
(3) 内装・色彩計画	○同上内装仕様、色彩の検討、設定

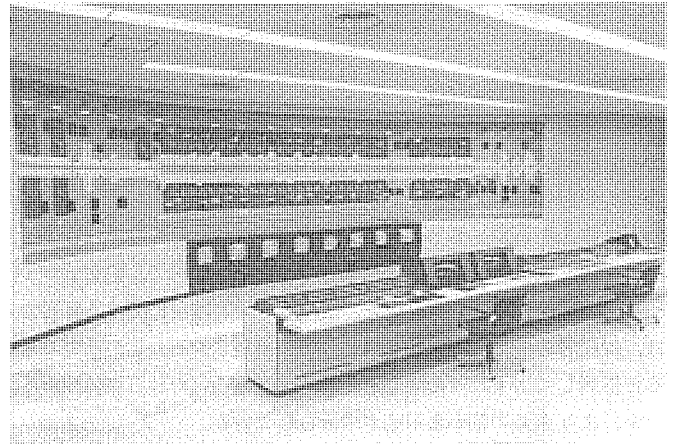


図 2. 恵那山トンネル・飯田制御局・監視制御室の主要部

的には情報の表示方式と画面構成、並びに各種制御卓構成要素の適切な配置と形式の検討である。次に②機能的で快適な監視室を実現するための①を含むスペース、照明、色彩、空調計画からなるトータルなデザインが課題となる。

また、エルゴノミクス面の対処方針を含め、これらの開発には高度の専門性が要求されることから、③ユーザー、共同開発企業、システム開発、ID、その他の関係部門との協力による評価・検討を必要とする。

#### 5.2 恵那山トンネル・飯田制御局・監視制御室の開発

この監視室は、中央自動車道の交通量増大に対応したトンネル、及び監視システムの増設に伴う開発である。前設催も当社が担当し、ID部門が協力しており、開発に当たりこの実績とこの間に参画した他の高速道監視システムと監視室開発での経験を加え、最適なマンマシンシステムの実現を目的とした。監視室に要求される諸条件に関する総合的な検討と対処方針に沿い、監視設備（グラフィックパネル）、各種操作卓、指令台、執務用家具などからなる監視室全体を対象に検討した。具体的には、①各種操作卓と監視設備との視距離、視角の関係と個別表示の視認性、②各操作・指令台構成要素の操作性と形態、③各装置の配置、照明、色彩、動線などの検討に基づき、設備機器、並びに室内計画を具体化し提案した。ユーザーと関連部門の評価・検討を経て開発を完了した。この監視室は、所期の目標のマンマシン性能を実現し、運用されている（表3、図2）。

### 6. 実験装置センサワークステーションの開発研究

#### 6.1 開発研究の背景

VDT(Visual Display Terminal・オフィス業務に用いられる各種のディスプレイ装置)の急速な普及とOA化の進展に伴い、近年、VDT作業の健康への影響が問題とされ、国内外の関係学界、公機関、労

働団体が調査、研究、ガイドラインの発行が活発に行われている。これらの検討範囲は VDT 機器、オフィス家具、環境、運用にわたっている。各国のガイドラインはそれぞれ特徴があり、細部の整合上の問題は残すものの、主要な推奨内容の見解は一致してきている。

## 6.2 VDT 機器の開発上の課題

この分野の課題は、ガイドラインの指標を最低限のレベルにとらえ、①VDT 操作者の負担の軽減と作業

能率の向上を両立・調和した機器の開発である。最終的にはユーザー企業における適切な環境と運用条件の整備と相まって、望ましいマシナシシステムが完成する。また、最近の VDT 作業に関する研究では、操作者各々の身体特性と VDT 関連機器との適合化が重要であると指摘しており、この課題を含め、②作業内容や装置の特性からみた、よりきめの細かい対応が求められている。

## 6.3 開発研究の目的

人間には大きな個体差（身長や視力差）があり、①これを無視した不適切な寸法条件の VDT 関連機器で一律に作業を行う場合、これが健康への悪影響の要因となること。② VDT 作業は、従来の読み書き作業と異なり、照明や視力の影響を考慮した機器の微妙な調節を要すること、が明らかになっている。

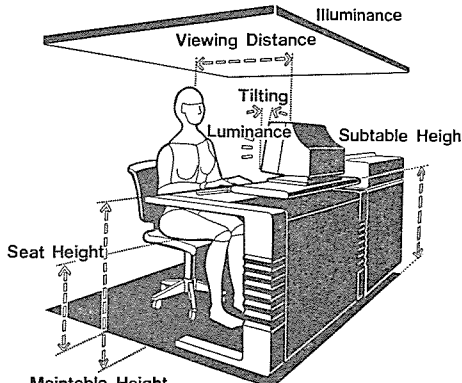
このために国内外のガイドラインでは、操作者の健康の維持と作業能率向上のためにも、操作者の個体差を配慮し、これと関係する VDT 機器の各部位を調節することが望ましいと推奨している。この意図を反映した電子機器や、オフィス家具が製品化されているが、問題は、③操作者個人が自分の適正值を知らないために、その調節機能を十分に活用していない点である。これらの課題を定量的に解明するには、VDT 作業に関係するディスプレイ装置のほか、デスク、い(椅)子、照明を含む実験研究を要する。

このための実験装置 センサワークステーションを開発し、様々な身体特性をもつ操作者を対象とし、次を目的とする研究を産業医科大学との共同研究により着手している(表 4.、図 3.)。①最適作業条件の解明及びこれらの操作者へのフィードバックの実現。②、①に基づく VDT 関連機器の開発評価、並びにユーザー企業に対するアドバイスのための基礎資料の取得。

## 6.4 予備実験と今後の研究

この実験に先立つ予備実験の目的を「操作者の体位と VDT 関連機器各部位位置のし(嗜)好値との関係、これと異なる条件の筋電図上の変化の確認」とした。実験により、①身長を基準とする平均値的設計が個人には適切とならない場合があること。②嗜好値と異なる条件下では身体部位に負担が生じる場合があること。の結果を得た。

表 4. センサワークステーションの構成と機能

構成と機能	自動調節部位
<p>1. 構成</p> <p>(1)デスク部、(2)制御部、(3)ディスプレイ/キーボード部、(4)電動椅子、(及び)5)天井照明装置)</p>	
<p>2. 機能</p> <p>(1)①デスク(キーボード)高さ、②椅子高さ、③ディスプレイ高さ、前後位置、画面傾斜角度、④ディスプレイ輝度、⑤天井照明装置の調節プログラムに基づく自動調節機能及び任意設定機能</p>	
<p>(2)操作者の身体特性データ及び設定条件データのファイル機能</p> <p>(3)操作の容易なディスプレイ画面と対話形の入力ガイダンス及び状況表示、プリント出力機能</p>	
<p>(4)操作者のための健康診断票の出力機能</p>	

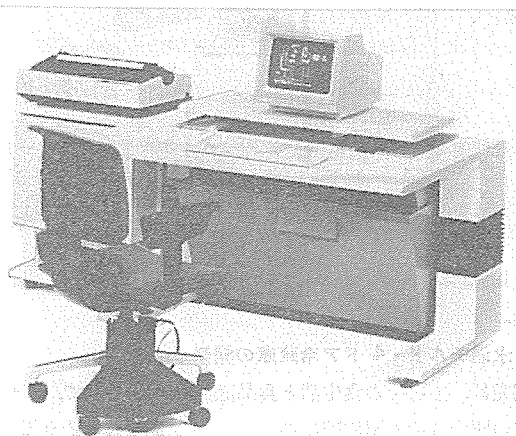


図 3. センサワークステーションの外観

今後のこの実験で個体差に基づく VDT 操作者と関連機器との調和についての理想的な関係、並びに現状のオフィス環境条件（デスクの高さなど）における関係を明確化し、VDT 機器開発への反映を計画している。この装置と研究構想の発表は大きな関心を引き、研究成果が期待されている。

## 7. む す び

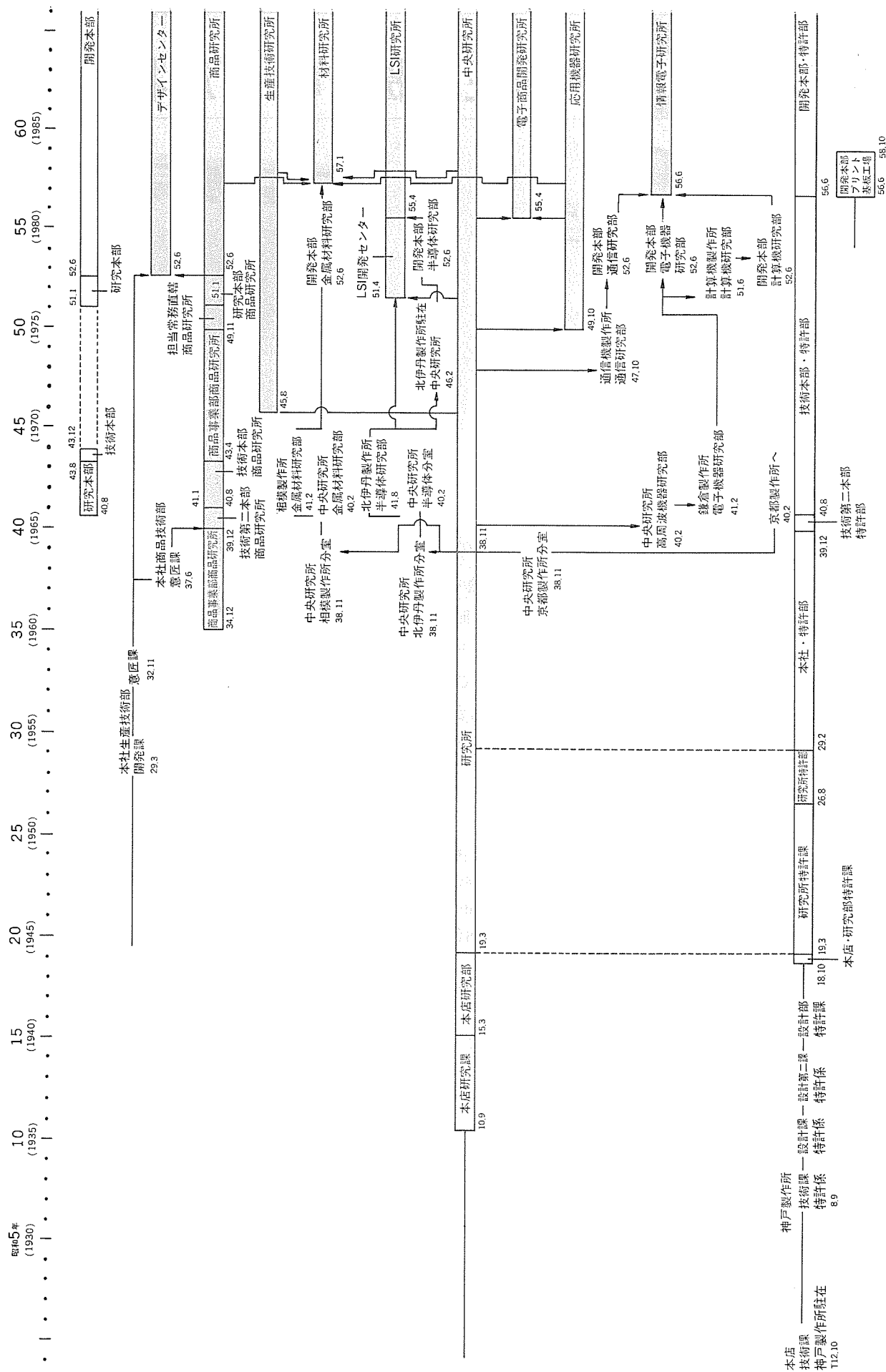
以上、ID 活動におけるエルゴノミクス面の課題と取組の概要を報告した。今後、社内外の関係部門・大学との協力により、これらの取組を一層充実し製品化に結びつける所存である。

終わりに貴重な御指導と御協力をいただいた日本道路公団関係各位、並びに産業医科大学野呂教授に厚く御礼申し上げます。

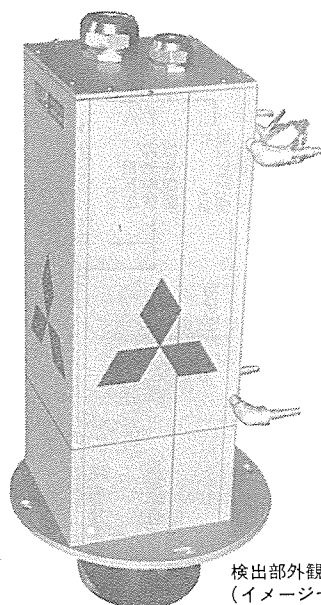
## 参 考 文 献

- (1) 鉄道労働研究所、資料
- (2) 野呂：調査実験、人間工学、日刊工業新聞社
- (3) 谷ほか：原子力プラントにおける新形中央制御盤(ACR)、三菱電機技報、53、No. 10 (昭59)

## 当社研究所50年の歩み



## 熱間圧延機クロップ形状検出装置

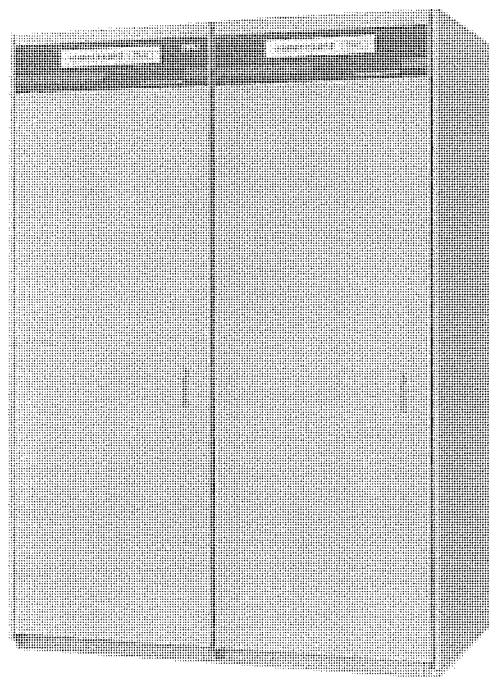


検出部外観  
(イメージセンサカメラ内蔵)

この装置は、製鉄所の熱間圧延設備において、粗圧延機の最終パスあるいは最終スタンドを出て仕上圧延機に入る直前の、赤熱鋼板の先端及び尾端の形状を2次元で認識し、先・尾端異形部(クロップ)の剪断すべき最適位置を検出する装置です。この装置をクロップシャー制御装置と組合せて使用することにより、クロップロスを最小限に抑えた自動剪断が可能となります。

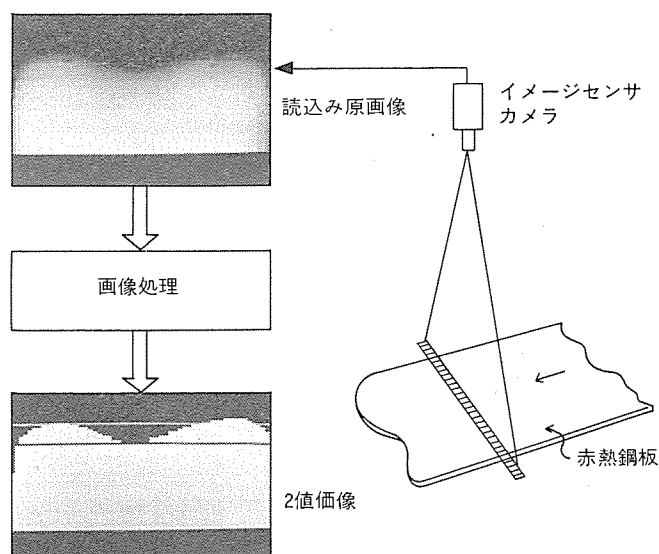
### 特長

- 高感度なイメージセンサカメラにより、鋼板輻射光を直接検出するため、下部光源等の補助光源は一切不要で保守、点検性にすぐれています。また、カメラ部には自動絞り制御を採用することで、600℃から1200℃までの広い温度範囲での検出を可能としています。
- 多数のフィールドデータの解析により、独自に開発した画像処理アルゴリズムを専用の画像処理ハードウェアで実行させ、処理時間の高速化と高精度検出を実現しています。さらにこのアルゴリズムには、水乗りやスケール等の外乱を効果的に除去する機能も有しており、悪環境下での安定した鋼板像認識を可能にしています。
- 剪断すべき最適位置は、鋼板2値化像から2次元的に求めるため、圧延操業に応じて任意に判断することができます。例えばクロップの谷底から±1mmの点あるいは有効板幅のn%の点等、自由に剪断位置を決めることができます。
- 上位計算機とのデータリンクやライン操業とのシーケンス制御やインタロック等はプログラマブルコントローラ部により実行するため、客先のアプリケーションに応じた運転方案を容易に構成することができます。



制御盤外観

### 装置概念図



### 標準仕様

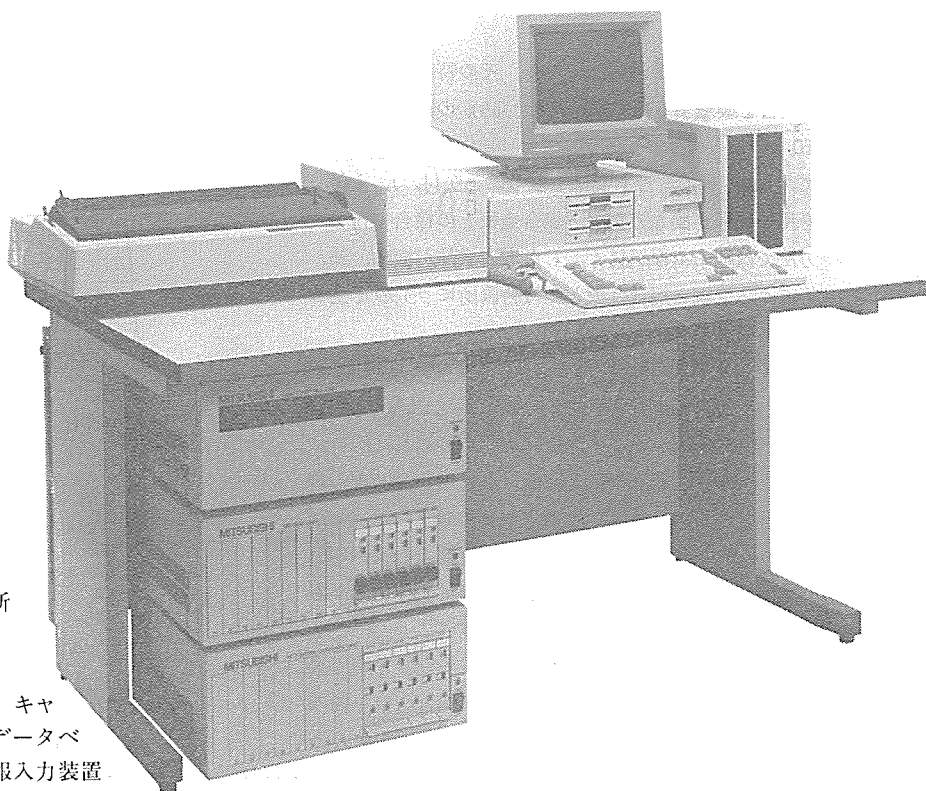
測定板温度	600～1200℃
測定板幅検出範囲	1900mm
幅方向走査速度	2ms/1900mm
幅方向検出分解能	7.4mm
走行方向検出分解能	10mm
処理時間	800ms
カメラ取付高さ	3704mm(パスラインより)

# スポットライト

## 三菱ビデオテックスミニ情報センターVC100

このたび三菱電機は、小規模プライベート・ビデオテックス・システムを構築するに当り中核となるミニ情報センターVC100を製品化したしました。

当社パーソナルコンピュータMULTI 16(Ⅲ)を中心に構成され、扱い易く、低価格を追求した情報センターです。



### 特長

- パソコン中心のコンパクトタイプ  
パソコンを中心に構成されているため、設置に特別な配慮が不要で、また、場所もとれません。
- 画面は、キャプテン方式を採用  
データベースに蓄積される画面情報は、キャプテン方式です。キャプテンセンターデータベースの画面情報や、ビデオテックス情報入力装置VI300で作成する画面情報を取扱えます。
- 約5000枚の画面が蓄積可能  
キャプテン・ランク2相当画面で約5000枚の画面がデータベースに蓄積できます。小規模プライベート・ビデオテックスセンターとして十分な蓄積容量といえます。
- 用途が広がる計算加工サービスもサポート  
キャプテンサービスと同じ計算加工サービスをサポートします。計算加工画面を登録することにより、端末への提供画面のバリエーションが大きく広がります。
- 操作は、いたって簡単  
オペレーションは、パソコン感覚で。専門のオペレーターは不要です。ディスプレイを見ながら気軽に操作できます。
- 端末との接続は、システムにマッチした方式を選択  
VC100と端末との接続形態を、3種の中からシステムに合わせて自由に選択できます。例えば、計算機ルームの中の端末とはRS232C接続形態で、駅の構内に配置された端末とは、直結接続形態で、PBXや公衆回線を利用して遠隔地に配置された端末とは交換機接続形態……このように種々に選択ができ、また、これらを混用することも可能です。
- 交換機接続形態なら約200端末までの接続が可能  
VC100は、16回線分の処理能力があります。つまり直結接続なら最大16端末、交換機を経由すれば、理論的には約200台まで端末をつなぐことができます。
- 情報入力機能をオプションで  
グラフィックターミナル等を付加することにより、情報センターが情報入力装置として機能します。

### MELTEX VC100仕様

ハードウェア		
C	P	U
記 憶 装 置	三菱パーソナルコンピュータMULTI 16Ⅲ	
	5インチハードディスク (20MB) 8インチフロッピーディスク (1MB×2)	
コ ン ソ ー ル	12インチカラーディスプレイ JIS配列キーボード	
インターフェース ユ ニ ッ ト	ライン・コントロール・ユニット モデムユニット、ネットワーク・コントロール・ユニット 1回線各1枚のカード式、必要数のみスロット挿入 最大16回線	
外 形 寸 法	高さ600×幅1300×奥行700mm (ただし標準的に並べた場合)	
オ プ シ ョ ン	プリンター、情報入力用機器群、簡易オーダエントリー用ソフトウェア	
ソフトウェア		
O	S	日本語MS-DOS
アプリケーション	三菱ビデオテックスミニ情報センター 制御プログラム	
デ ー タ	キャプテン方式準拠 (8インチフロッピーディスクによる) 端末サービス機能	
分 岐 方 法	キャプテン方式準拠、C情報による分岐 (自動呼出しを含む)	
応 用 サ ー ビ ス	計算加工サービス (キャプテン方式準拠、E情報使用) 他	
キ ー 入 力 機 能	＊、＃、記憶、後退、再送、停止/再開及び数字、アルファベット、カナ、記号	
データ管理機能		
From-Toチェーンリスト、登録画面一覧、アクセス回数一覧等の出力		

※ 日本語MS-DOSはマイクロソフト社の商標です。

※日本語MS-DOSはマイクロソフト社の商標です。

## コルゲート導波管の製造方法 (特許 第1198803号)

発明者 高倉 義憲

この発明はコルゲート導波管の製造方法に係り、その特徴とするところはコルゲート導波管を製造するのに銅、又はニッケルの電鍍法を用いて行う点にある。

従来において、コルゲート導波管を製造するのにロウ付、ハンダ付、あるいは溶接を用いて径が異なる銅と、銅合金板との接合を行っていたが、この方法では加工工程が長く、しかも完成品が振動、熱、あるいは衝撃等によって銅と銅合金板との接合箇所にクラックを生じ易いという欠点があった。

この発明はこのような従来の問題点を改善するもので、図1.～図3.に示すごとく、中央部に孔を有するアルミニウム又はアルミニウム合金(3-1)、(3-2)と、同じく中央部に孔を有する銅又は銅合金板(4-1)、(4-2)とを所要数交互に重ね合せ、更に重ね合せたものの両側に中央部に孔を有し、かつ銅又は銅合金板で形成したフランジ(2a)、(2b)を設け、中央部の孔にアルミニウム合金製の心金棒(5)を通して両側に設けたナット(6a)、(6b)で締め付けて一体化したものに所要の厚さの銅、又はニッケルめっきを施したのち、アルミニウム、又はアルミニウム合金板(3-1)、(3-2)を溶解させてフランジと銅、又はニッケルめっき層とを接合するとともに、銅、又は銅合金板を櫛の歯状に残すようにしたもので、この発明によれば強度的に丈夫なコ

ルゲート導波管を得ることができる。

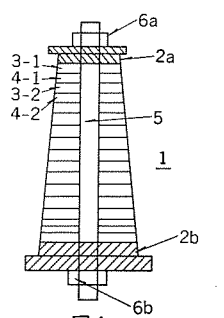


図1

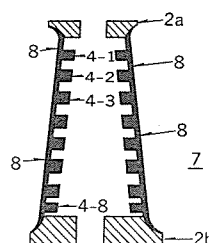


図3

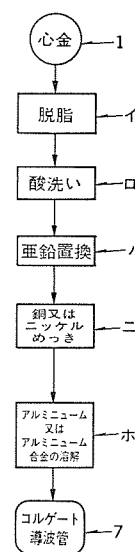


図2

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 60 No. 4 普通論文集

### 普通論文

- 関西電力(株)神戸変電所納め 275 kV, 300 MVA CGPA 変圧器
- 海外電力事業向け SCADA 及び通信システム
- 新限流技術 “VJC”
- 次世代のインテグレートドオートメーションコントローラ 《MELIAC》
- 新形汎用インバータにおける新技術
- 加工条件のリアルタイム制御による高速・高品質レーザ切断

- エレベーターのモダンゼーション
- 東京工業大学納め重イオンライナック
- 日本道路公団納め関越自動車道ハイウェイラジオシステム
- 磁気ディスク装置用薄膜ヘッド
- 256 K ビット CMOS スタティック RAM
- ハイスピード CMOS ロジック M74 HC シリーズ
- ワンチップマイクロコンピュータ ROM コード電送・処理システム

### 三菱電機技報編集委員

委員長	村上卓彌
委員	峯松雅登
〃	翠川 祐
〃	三 道 弘 明
〃	高 橋 宏 次
〃	藤 井 学
〃	三 輪 進
〃	郷 鉄 夫
〃	的 場 徹
〃	杉岡八十一
〃	木 戸 一 之
幹 事	岡 田 俊 介
3号特集担当	三 道 弘 明

### 三菱電機技報 60 巻 3 号

(無断転載を禁ず)

昭和 61 年 3 月 22 日 印刷  
昭和 61 年 3 月 25 日 発行

編集兼発行人	岡 田 俊 介
印 刷 所	東京都新宿区榎町 7 大日本印刷株式会社
発 行 所	東京都千代田区大手町 2 丁目 6 番 2 号 (〒100) 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) 243 局 1767
発 売 元	東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地 (〒101) 株式会社 オーム社 Tel. (03) 233 局 0641(代), 振替口座東京 6-20018
定 価	1 部 500 円送料別 (年間予約は送料共 6,700 円)

## 三菱VVVFインバータ電車



小田急電鉄2600系電車

昭和57年、日本初のインバータ電車としてスタートした三菱VVVFインバータ電車は、世界最大の4500V、2000A定格のゲートターンオフ（GTO）サイリスタをいち早く実用化するなど、常に先駆けた技術で世界をリードし続けています。量産化の幕明けとなった今年、国内の主要郊外電車・地下鉄電車をはじめ、鉄道先進の地ヨーロッパでも、最新のDC1500V三菱VVVFインバータ電車が勢揃いしています。



近畿日本鉄道3200系電車



ミラノ市地下鉄2号線電車

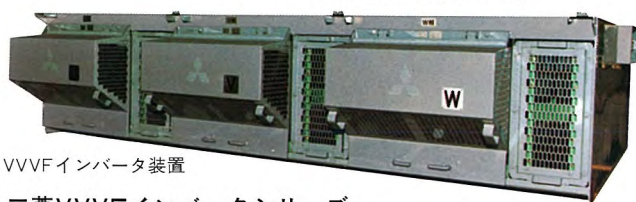


新京成電鉄8800系電車

### 特長(1500V系)

パワーエレクトロニクス、マイクロエレクトロニクス、光応用など最先端技術を複合化し、新しい車両総合技術として結晶させました。

- 4500V、2000A GTOサイリスタの応用により、主回路の簡素化、信頼性の向上を実現しています。
- 装置の一体箱構造化により、機装と機器間配線の簡素化、機器品質・信頼性の向上を図りました。
- 16ビットマイコンによるマルチ制御で、制御回路の無接点化・インテリジェント化を実現しています。
- 光ファイバによるGTOゲート信号伝送により、信頼性・耐ノイズ性の向上を実現しています。



VVVFインバータ装置

### 三菱VVVFインバータシリーズ

ユーザー名	熊本市交通局	大阪市交通局	東大阪生駒電鉄	近畿日本鉄道	札幌市交通局	小田急電鉄	新京成電鉄	近畿日本鉄道	イタリア ミラノ市
車両形式	8200系	20系	7000系	1250系	8500系	2600系	8800系	3200系	地下鉄2号線用
製造初年	S57年	S59年	S59年	S59年	S60年	S60年	S60年	S60年	S61年
電気方式	DC600V	DC750V	DC750V	DC1500V	DC600V	DC1500V	DC1500V	DC1500V	DC1500V
車両編成	単車	3M3T	3M3T	MT	単車	MT	4M4T	2M2T	2M1T
定格出力	120kW×1台	140kW×4台×3ユニット	140kW×4台×3ユニット	165kW×4台	60kW×2台	175kW×4台	135kW×4台×4ユニット	165kW×4台×2ユニット	255kW×2台×2ユニット
制御方式	電圧形VVVF	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
ブレーキ方式	回生・発電	回生(抑速付)	回生(抑速付)	回生(抑速付)・抑速発電	回生・発電	回生	回生	回生(抑速付)	回生・発電
車両数	2	2+6	24	2	2	2	8	12	12