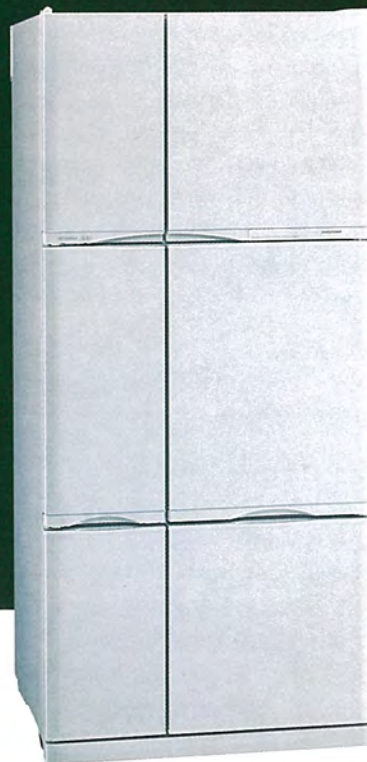
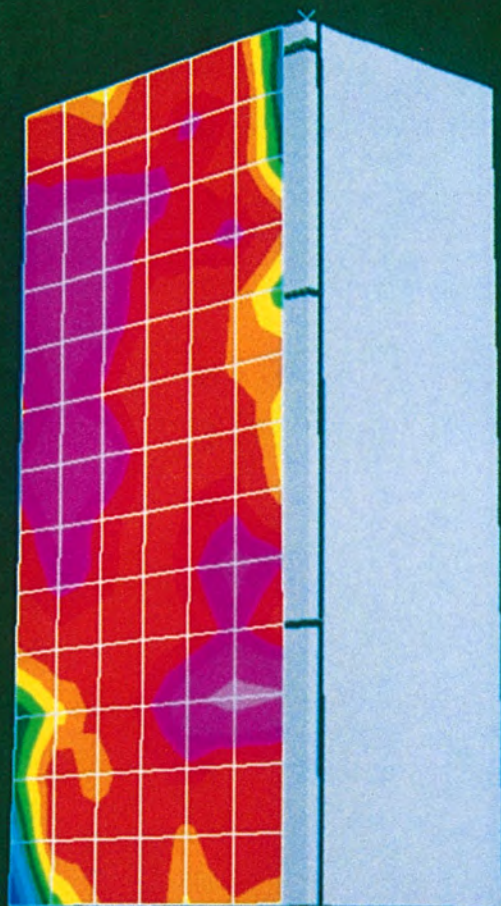


# MITSUBISHI 三菱電機技報

MITSUBISHI DENKI GIHO Vol.65 No.4

4  
1991

## 家電製品の低騒音化特集



技術がつくる高度なふれあい **SOCIO-TECH**

## 家電製品の低騒音化特集

### 目次

#### 特集論文

家電製品の低騒音化特集に寄せて……………	1
神谷昭美	
低騒音化技術の展望……………	2
山中昭郎	
ファンの低騒音化技術……………	6
大蔭勝久・岩村義巳・安本和弘・谷村佳昭	
振動解析技術……………	12
辻内伸好・富沢正雄・小泉孝之	
吸音プラスチックとその応用……………	17
森主 憲・今井智久・高木 司・小森武彦	
ロータリ圧縮機の低騒音・低振動化……………	22
川口 進・酒井正敏	
ルームエアコンの低騒音化……………	27
月居和英・臼井重雄・磯野一明・青木克之・永野雅夫	
冷蔵庫の低騒音化……………	33
石橋義弘・永野雅夫・丸山 等・猪狩和義	
全自動洗濯機の低騒音化……………	39
石川則彦・松村恒男	
電気掃除機の低騒音化……………	43
高橋 豊・日花金造・尾高秀一	
石油ファンヒーターの低騒音化……………	49
福野克哉・塚原英行	

#### 普通論文

《MELCOM80》による戦略情報システム(SIS)の構築……………	54
小碓暉雄	
監視用テレビ《新形メルックシステム》……………	60
楠 好次・向井文章	
家庭用カラービデオプリンタ CP-10……………	64
中川邦彦・馬場典子・渡部一喜・石郷岡博和・佐藤尚宏	
高速1MビットフラッシュEEPROM……………	68
小林和男・中島盛義・山本 誠・長田隆弘	
起高速1MビットCMOS SRAM……………	73
木原雄治・坂口定則・畑迫建一・古賀 剛・安東 亮	
自動車用IC化大気圧センサM67806……………	77
荒木 達・一山秀之・広瀬哲也・井上和美・石橋清志	
情報機器用熱陰極形低圧希ガス放電蛍光ランプ……………	82
大澤隆司・三橋征寿郎・安達宏美・西勝健夫・櫻井毅彦・橋本典綱	

#### 特許と新案

絶縁ゲート形電界効果半導体装置、基板装置……………	89
液体燃料燃焼装置……………	90

#### スポットライト

大形シングルスクリュウ圧縮機……………	87
空調用送風機同時給排形ツインファン(消音形)……………	88
ガスクリンヒーターエアコン“VGC-3001DF, 4001DF”……………	91
ファジー適応制御形彫放電加工機《DIAX・Vシリーズ》……………	92
バスダイヤ編成支援システム……………	93
プロジェクションモニター“LVP-1000V”……………	94
三菱水道施設遠方監視制御システム“W30”……………	(表3)

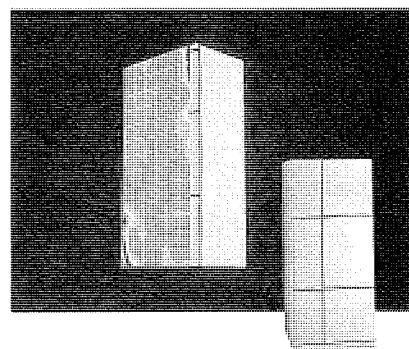
#### 表紙

##### 冷蔵庫の音響インテンシティーの分布

運転中の冷蔵庫の扉側において、その表面から30cm離れた位置での音響インテンシティー分布であり、音響インテンシティー測定器の出力を計算機により画像処理した結果である。測定周波数は100Hzで、音響インテンシティーは青、緑、黄、橙、桃色の順序で強くなる。

この音響インテンシティー評価システムにより音の放射がどの位置で最も強いのか一目瞭然に評価でき、現在、家電製品の騒音対策に広く利用されている。

冷蔵庫はMR-B50J(GY)形《スペシャルテ 500》。



三菱電機技報に掲載の技術論文では、国際単位“SI”[SI第2段階(換算値方式)を基本]を使用しています。

## アブストラクト

### 低騒音化技術の展望

山中晤郎

三菱電機技報 Vol. 65・No. 4・P 2～5

家電製品に対して、快適性の面から許容される騒音レベルを個々の製品別に明らかにした。家電製品の騒音発生源は多岐にわたり、この許容騒音レベルを達成するためには、多くの分野の技術を結集することが必要である。低騒音化技術の変遷を三段階に分類して紹介し、第三段階に入った最近の技術動向について、計測技術・音源対策技術・振動伝達系対策技術・防音対策技術に大別して概説した。

### ルームエアコンの低騒音化

月居和英・臼井重雄・磯野一明・青木克之・永野雅夫

三菱電機技報 Vol. 65・No. 4・P 27～32

近年、家電品などの生活騒音が社会問題視されてきている中、エアコンの低騒音化は市場の要求も一段と強く、商品力を高める上で重要な技術課題となっている。今回、スプリット形のエアコンにおいて、室内外機の送風機の性能改善、室外機機械室に防音性能を高める密閉構造の採用、圧縮機に接続される配管系の最適化などの技術開発により、従来に比べて室内機で5dB(A)、室外機で6dB(A)の騒音値の低減を行い、業界トップクラスの低騒音ユニットを開発した。

### ファンの低騒音化技術

大蔭勝久・岩村義巳・安本和弘・谷村佳昭

三菱電機技報 Vol. 65・No. 4・P 6～11

空気輸送を伴う家庭電化品では、ファンが主な音源の一つである。本稿では、特に汎用的に使われることの多いプロペラファンとシロッコファンの騒音源及び低騒音化技術について解説した。プロペラファンでは、翼に吸込方向への前傾と回転方向への前進を持たせることが低騒音化に対して有効であることを示した。シロッコファンでは、羽根車の軸方向長さやスクロールの拡大率が騒音特性に強い影響を持つことを示した。

### 冷蔵庫の低騒音化

石橋義弘・永野雅夫・丸山 等・猪狩和義

三菱電機技報 Vol. 65・No. 4・P 33～38

冷蔵庫の主な騒音源は、冷氣循環用送風機と冷媒用圧縮機である。送風機音に対しては、冷蔵庫内の共鳴特性を考慮した送風機の最適設計によって低騒音化を図り、圧縮機音には音質評価と音への各伝達系の寄与率から目標を設定し、空気伝搬系と振動伝達系の改善を行った。こうした音質改善を伴った低騒音化とともに、ソフトスタート・ソフトストップの新しい概念の下で運転開始から停止まで気にならない音づくりを目指した総合静音化について検討した。

### 振動解析技術

辻内伸好・富沢正雄・小泉孝之

三菱電機技報 Vol. 65・No. 4・P 12～16

快適な生活環境を得るために、家電機器の低振動・低騒音化は重要な課題であり、各部の動特性を設計段階で把握する必要がある。本稿では、家電機器の振動伝達音の低減に有効な振動解析技術について、音響放射面及び振動源の探索法、音響放射効率による動特性の評価法、部分構造合成法及び感度解析による動特性の改善法について紹介する。そして、冷蔵庫、ルームエアコンなど具体的な適用例を示し、この技術の有効性について概説する。

### 全自動洗濯機の低騒音化

石川則彦・松村恒男

三菱電機技報 Vol. 65・No. 4・P 39～42

近年、主婦の有職化、ライフスタイルの変化等に伴い、全自動洗濯機の需要が急激に増加し、それとともにユーザーの品質、性能に対する要望も強くなってきた。

今回は、その中でも特に要望の強い全自動洗濯機の低騒音化に対して各種の解析手法を用い、適切な対策・評価を行うことにより、業界最高レベルの低騒音化を達成したので、ここにその事例を紹介する。

### 吸音プラスチックとその応用

森主 憲・今井智久・高木 司・小森武彦

三菱電機技報 Vol. 65・No. 4・P 17～21

多くの家電製品に使用されているプラスチック材に吸音機能を付加した“吸音プラスチック”を開発した。これは、0.5～2.0mm 程度の直径のプラスチック粒子を焼結によって短時間で多孔質状に成形したもので、低コストである。また、厚さ方向に空孔率を変化させた構造にしているため、十分な吸音特性と強度が得られる。ファンケーシングに応用した例では、5dB(A)程度の騒音低減効果が確認された。

### 電気掃除機の低騒音化

高橋 豊・日花金造・尾高秀一

三菱電機技報 Vol. 65・No. 4・P 43～48

有職主婦の増加及びライフスタイルの多様化に伴う掃除時間帯の分散化を背景として掃除機に対する静音化ニーズの高まりがある。

当社は、主たる騒音発生源であるブロウの高効率化、掃除機本体における消音構造の工夫、床ブラシ側からの騒音放射抑制対策、吸音プラスチックを応用した新吸音素材の活用により、“最大吸込仕事率に代表される空力特性を高めながら、低騒音化を図る。”という相反する技術課題を達成した。

### ロータリ圧縮機の低騒音・低振動化

川口 進・酒井正敏

三菱電機技報 Vol. 65・No. 4・P 22～26

冷凍空調用ロータリ圧縮機、特に超低騒音が要求される冷蔵庫用圧縮機の低騒音化について述べる。遮音と振動絶縁とに主眼をおいた各種方式のロータリ圧縮機の騒音・振動比較を行い、また、起動時音などの過渡現象においても、方式比較を行った。その結果をもとに、世界初の低圧シェル中吊り方式ロータリ圧縮機を開発し、従来のものと比較して、定常音で6dB(A)、起動音で8dB(A)の静音化を達成し、定常振動も従来の1/4となる低振動化を達成した。

### 石油ファンヒーターの低騒音化

福野克哉・塚原英行

三菱電機技報 Vol. 65・No. 4・P 49～53

石油ファンヒーターの基本性能である運転音の低減を図った。低騒音化するためには、各音源別での対策の必要がある。ターボファン、燃焼器、送風ファン、電磁ポンプ各音源ごとの対策を実施した。特に、ターボファン音、電磁ポンプ音については、著しい低騒音化が実現できた。本稿では、平成2年度品石油ファンヒーターを例に紹介する。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 4, pp. 27~32 (1991)

## Noise Reduction of Room Air Conditioners

by Kazuhide Tsukiori, Shigeo Usui, Kazuaki Iseno, Katsuyuki Aoki, & Masao Nagano

Mitsubishi Electric has developed top-class low-noise indoor and outdoor units for split-type air conditioners. Improved performance of the fans of the indoor and outdoor units, the use of a sealed structure to increase the sound-insulation performance of the outdoor-unit machine compartment, and optimization of the piping system connected to the rotary compressor has achieved noise reductions of 5dB(A) (indoor unit) and 6dB(A) (outdoor unit), in comparison to our previous models.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 4, pp. 2~5 (1991)

## The Present and Future of Acoustic-Noise-Reduction Technology

by Goro Yamanaka

The permissible noise levels of domestic electrical appliances vary with the type of appliance, in regard to comfort. Appliance engineers must combine technologies from many fields to reduce noises to permissible levels. The article introduces changes in acoustic-noise-reduction technology as classified in three stages, and briefly describes the latest technology introduced to the third stage, under the headings of measurement, noise-source control, vibration-transmission control, and sound-proofing technology.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 4, pp. 33~38 (1991)

## Noise Reduction of Refrigerators

by Yoshihiro Ishibashi, Masao Nagano, Hitoshi Maruyama, & Kazuyoshi Igari

We have improved the air-circulation system and vibration-transmission system of refrigerators by optimizing the fan design, to reduce fan noise, considering the resonance characteristics in the refrigerator, and setting objectives based on noise-quality evaluation and on how much each transmission system contributes to noise. This comprehensive noise-reduction scheme, called "soft-start, soft-stop," produces only unobtrusive noise from the start to stop of operation.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 4, pp. 6~11 (1991)

## Fan-Noise-Reduction Technology

by Katsuhisa Dotsuta, Yoshimi Iwamura, Kazuhiro Yasumoto, & Yoshiaki Tanimura

The article describes the noise sources of the propeller-type and sirocco fans often used in general-purpose appliances, and discusses noise-reduction technology. It illustrates how the provision of a suction-side inclination and a forward sweep of the blade are effective in reducing noise in a propeller fan, and how the axial length of the impeller and the spiral extension index of the scroll have a powerful effect on the noise characteristics of a sirocco fan.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 4, pp. 39~42 (1991)

## Noise Reduction of Fully Automatic Washing Machines

by Norihiko Ishikawa and Tsuneo Matsumura

The article introduces examples of the success that Mitsubishi Electric has had in developing the industry's highest degrees of noise reduction in fully automatic washing machines by developing appropriate countermeasures and evaluation techniques, and by using analytical methods for noise reduction.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 4, pp. 12~16 (1991)

## Vibration-Analysis Technology

by Nobutaka Tsujiuchi, Masao Tomisawa, & Takayuki Koizumi

The article introduces methods of investigating sound-radiating surfaces and vibration sources, of evaluating vibration-response characteristics by measuring sound-radiating efficiency, and of improving vibration-response characteristics by modal-component-synthesis techniques and sensitivity analysis, as techniques effective in reducing vibrationally transmitted noise in domestic appliances. It also gives examples of the application of these methods in refrigerators, room air-conditioners, etc.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 4, pp. 43~48 (1991)

## Reduction of Vacuum-Cleaner Noise

by Yutaka Takahashi, Kinzo Hibana, & Shuichi Odaka

We have succeeded in reconciling the requirements for lowering noise levels while increasing the aerodynamic characteristics which have the most effect on the maximum suction ratio of a vacuum cleaner. This was achieved by increasing the efficiency of the blower, which forms the main noise source within a vacuum cleaner; creating a noise-silencing body; reducing noise radiation from the floor brush; and applying a new sound-absorbing plastic.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 4, pp. 17~21 (1991)

## A Sound-Absorbing Plastic and Its Applications

by Ken Morinshi, Toshihisa Imai, Tsukasa Takagi, & Takehiko Komori

This plastic is similar to plastics used in many domestic electrical appliances but has more sound-absorption characteristics. It is inexpensive, and can be rapidly obtained in a porous form by sintering 0.5~2.0mm granules. Since the porosity of the plastic can be varied along the thickness axis, adequate sound-absorption performance and strength are obtained. When used to form a fan casing, a noise reduction of about 5dB(A) was verified.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 4, pp. 49~53 (1991)

## Noise Reduction for Vaporized-Kerosene Fan-Heaters

by Katsuya Fukuno & Hideyuki Tsukahara

To reduce noise in such fan-heaters, manufacturers must consider each noise source separately. The Corporation has succeeded in quietening each of the noise sources: the turbo fan, the burner, the circulation fan, and the electromagnetic pump, achieving particularly dramatic reductions in the noise caused by the turbo fan and the electromagnetic pump. The article introduces examples of vaporized-kerosene fan-heaters the Corporation produced in 1990.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 4, pp. 22~26 (1991)

## Noise Reduction and Vibration Control of Rotary Compressors

by Susumu Kawaguchi & Masatoshi Sakai

The article focuses on reducing compressor noise in refrigerators required to have ultralow-noise levels. Noise and vibration comparisons on various rotary compressors, aimed principally at noise insulation and vibration isolation, were carried out, as were comparisons of transient phenomena such as start-up noise. Based on the results, we developed the world's first low-pressure shell-suspended type rotary compressor, which has achieved reductions in stationary noise of 6dB(A) and in start-up noise of 8dB(A), in comparison to our previous models, and which has 1/4 the stationary vibration of them.



## アブストラクト

<p>《MELCOM80》による戦略情報システム(SIS)の構築 小碓暉雄 三菱電機技報 Vol. 65・No. 4・P 54～59</p> <p>SIS(Strategic Information System)の構築には、経営戦略に基づく情報化のために、大容量データベース処理を中心とする高性能化と第四世代言語(4GL)活用によるエンドユーザー コンピューティングの普及というテーマがある。</p> <p>この論文では、《MELCOM80》ベースでの SIS 構築事例に触れながら、SIS のための技術課題、製品化の実状について解説する。</p>	<p>超高速1Mビット CMOS SRAM 木原雄治・坂口定則・畑迫建一・古賀 剛・安東 亮 三菱電機技報 Vol. 65・No. 4・P 73～76</p> <p>最大アクセスタイム25nsの1M CMOS SRAMを開発した。アクセスの高速化を図るため、プロセス面ではトランジスタの高速化と高信頼度化のためにNチャネルトランジスタは、連続斜め回転イオン注入法を用いた。また、Pチャネルトランジスタは、チャネル濃度プロファイルの最適化を行った。さらに、設計面では、分割ワード線方式による32ブロック分割とイコライザー付きツインデータラインの採用によって高速回路を実現した。</p>
<p>監視用テレビ《新形メルックシステム》 楠 好次・向井文章 三菱電機技報 Vol. 65・No. 4・P 60～63</p> <p>テレビカメラによる簡易監視システム“新形メルックシステム”は、従来機を高機能化・高性能化・低価格化するとともに、カメラコントローラ、4画面ユニット、プリセット機器、長時間 VTR などの各種周辺機器を一層充実させており、監視目的に応じて、よりフレキシブルに拡張が可能なセキュリティシステムを構築することができる。</p>	<p>自動車用 IC 化大気圧センサ M67806 荒木 達・一山秀之・広瀬哲也・井上和美・石橋清志 三菱電機技報 Vol. 65・No. 4・P 77～81</p> <p>IC 化大気圧センサ M67806は、圧力検出部と増幅及び温度補償回路をワンチップ化した圧力センサである。ダイアフラムは、異方性エッチングで形成し、回路はバイポーラ IC プロセスによって作り込んだ。ウェーハと台座を真空中で陽極接合し、基準真空室の形成と台座への接合を同時に行った。リードフレームの上に台座を固定し、樹脂パッケージで外装する構造を用いたので、小型で安価な自動車用大気圧センサの実現が可能となった。</p>
<p>家庭用カラービデオプリンタ CP-10 中川邦彦・馬場典子・渡部一喜・石郷岡博和・佐藤尚宏 三菱電機技報 Vol. 65・No. 4・P 64～67</p> <p>当社では、カラー VCP(Video Copy Processor)として、A6判のSCT-CP100やA4判のSCT-CP200を製品化し、このたびA6判の家庭用カラービデオプリンタ CP-10を製品化した。CP-10は、昇華染料熱転写方式を採用し、高画質・高速印画・多機能・簡易操作・低価格化に重点をおいて開発した。本稿では、高品質なプリント画像を得る信号処理系と高画質や低騒音化などを達成した機構系について述べる。</p>	<p>情報機器用熱陰極形低圧希ガス放電蛍光ランプ 大澤隆司・三橋征寿郎・安達宏美・西勝健夫・櫻井毅彦・橋本典綱 三菱電機技報 Vol. 65・No. 4・P 82～86</p> <p>非温度依存性・瞬時安定性・高速応答性などの優れた特性を持つ希ガス放電蛍光ランプにおいて、未解決であったクリーンアップ現象による短寿命、移動縞の発生などの問題点を解決し、さらに熱陰極形電極の採用と低ガス圧領域動作により、高輝度で長寿命な情報機器用の熱陰極形低圧希ガス放電蛍光ランプを開発した。また、点灯装置も直流放電方式を採用し、希ガス放電の制御を行うとともに、コンパクトかつ低ノイズ設計をした。</p>
<p>高速1Mビットフラッシュ EEPROM 小林和男・中島盛義・山本 誠・長田隆弘 三菱電機技報 Vol. 65・No. 4・P 68～72</p> <p>電氣的に一括消去可能な二電源型1Mビット(128K語×8ビット)フラッシュ EEPROMを開発した。0.9<math>\mu</math>m ルールのツインウェル CMOS プロセスを用いてセルサイズは3.0<math>\mu</math>m×3.0<math>\mu</math>mで、チップサイズは6.14mm×6.20mmである。パッケージは、DIP、SOP、PLCC、TSOP(すべて32ピン)を用意した。標準条件で、アドレスアクセスは54nsであり、消費電力(サイクルタイム:100ns)は65mWである。</p>	

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 4, pp. 73~76 (1991)

## Ultrafast 1M-Bit CMOS SRAMs

by Yuji Kihara, Sadanori Sakaguchi, Ken'ichi Hatasako, Tsuyoshi Koga, & Ryo Ando

This SRAM features a maximum access time of 25ns. For faster access, the continuous rotationally-oblique ion-implantation process was used to create N-channel transistors because they are fast and highly reliable, and P-channel transistors were used to optimize the channel-density profile. From the design viewpoint, a divided-word-line structure that enables 32-block divisions and the use of twin data lines with equalizers have resulted in faster circuits.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 4, pp. 54~59 (1991)

## A Strategic-Information System Configured Using a MELCOM 80 Computer

by Teruo Koikari

One aim for strategic-information system (SIS) architectures is the spread of end-user computing enabled by increased efficiency centered on large-volume database processing and the use of fourth-generation languages, to enable expert systems based on business strategies. This article comments on technical questions raised by SIS and the current status of marketable systems, referring to some examples of SIS architecture based on the MELCOM 80.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 4, pp. 77~81 (1991)

## The M67806 Integrated Atmospheric-Pressure Sensor for Automotive Applications

by Toru Araki, Hideyuki Ichiyama, Tetsuya Hirose, Kazumi Inoue, & Kiyoshi Ishibashi

This sensor combines a pressure detector, an amplifier, and a temperature-compensation circuit on a single chip. The diaphragm is formed by anisotropic etching, and the circuitry is created by bipolar IC processing. The wafer is bonded to the mounting by anodic bonding, which is performed simultaneously with the formation of the reference-vacuum chamber. The mounting is fixed on the lead frame and the exterior is formed of a resin package, enabling the creation of a small, inexpensive atmospheric-pressure sensor for automotive applications.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 4, pp. 60~63 (1991)

## The New MELOOK Monitor TV

by Yoshitugu Kusunoki & Fumiaki Mukai

Mitsubishi Electric's New MELOOK System is a simple closed-circuit monitoring system that uses TV cameras. With improved functions, higher performance, and a lower cost than our previous systems, it also provides much more sophisticated peripheral devices, such as camera controllers, quad-screen units, preset equipment, and time-lapse VCRs. Designed for monitoring, it enables users to put together even more flexibly extendable security systems.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 4, pp. 82~86 (1991)

## A Hot-Cathode, Low-Pressure, Rare-Gas-Discharge Fluorescent Lamp

by Takashi Osawa, Seishiro Mitsuhashi, Hiromi Adachi, Takeo Saikatsu, Takehiko Sakurai, & Noritsuna Hashimoto

To create this lamp with excellent characteristics such as non-temperature-dependency, instantaneous stability, and high-speed response, we solved problems such as the short lifetime due to the "clean-up" phenomenon and the generation of moving striations. Using a hot-cathode electrode in a low-gas-pressure region made possible this bright, long-lasting lamp for information machines. It is also compact and quiet thanks to the use of a direct-current method in the lighting device and by controlling the rare-gas discharge.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 4, pp. 64~67 (1991)

## A Color Video Printer

by Kunihiko Nakagawa, Noriko Bamba, Kazuyoshi Watabu, Hirokazu Ishigooka, & Naohiro Sato

An A6-size color video printer for home use, the CP-10, joins our A6-size SCT-CP100 and A4-size SCT-SP200. The CP-10 uses sublimation-dye thermal-transfer printing and was developed to achieve fast, high-quality color printing, with multiple functions and simple operation, at low cost. The article describes the video-signal-processing system used to make high-quality printed images possible, and the structures adopted to achieve high-quality, low-noise operation.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 4, pp. 68~72 (1991)

## High-Speed 1M-Bit Flash EEPROMs

by Kazuo Kobayashi, Moriyoshi Nakajima, Makoto Yamamoto, & Takahiro Nagata

This 128K-word by 8-bit EEPROM can be flash-erased. A chip size of  $6.14 \times 6.20 \text{ mm}^2$  and a cell size of  $3.0 \times 3.0 \mu\text{m}$  was achieved by employing  $0.9 \mu\text{m}$  twin-well CMOS processing. The EEPROM is housed in 32-pin DIP, SOP, PLCC, or TSOP packages. Under typical conditions, it achieves an address access time of 54ns and a power dissipation of 65mW with a cycle time of 100ns.

## 家電製品の低騒音化特集に寄せて

一言で、騒音とは“歓迎されない音”と言えよう。生まれてこのかた、望まない音のために不快を感じ、作業の能率が下がり、疲労を感じ、あるいは夜の睡眠が妨げられた経験をだれもがお持ちだろう。どうも心理との関連が強く、ときには亭主のイビキが安心音、名曲も騒音と感ずることがあるのが厄介ではある。

マンションのピアノやステレオアンプの音、かつての暴走族の爆音は、死者までだした社会問題であった。先ごろ、騒音と事故に鑑み、せきたてる発車ベル音とアナウンスを減らす努力をした駅があるという。少しは音への感受性が高まり、騒音に鈍感といわれた文化も変化しつつあるのだろうか。

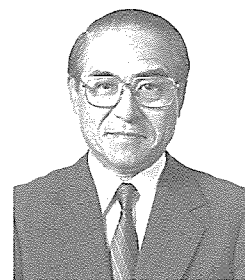
振り返ってみれば、騒音の考え方が変化しているようだ。変な話だが、30余年前にはステータス誇示の音もあった。窓を開け放して洗濯機を使えば、近所のオカミさんが珍しそうにのぞ(覗)いた。

運転音を騒音と気付かないか、あるいは騒音を諦めている場合もあった。掃除機は半ば諦めていた高騒音家電品の一つである。騒音低減が技術的に困難なためである。この解決に真空式以外の掃除方法を考えてみる価値がある。

今では多くの家庭に、電子技術、制御技術を応用した幾つもの家電品がある。それらは家事労働を軽減する道具であるだけでなく、教養・娯楽の手段であり、温冷熱・湿気、空気、光、音などをコントロールして快適な生活環境をつくる。それらの中で、冷蔵庫、エアコン、掃除機、洗濯機などは、音を出すのが目的でない機器である。昔は許され

常務取締役  
商品事業本部長

神谷 昭美



ても、今は大きい運転音は許されない群となった。騒音を減らすことで大きく商品価値をあげることができる家電品はたくさんある。

近年、住宅の気密・断熱性が高まり、省エネルギー化が図られている。この気密・断熱性の向上で併せて室外からの騒音が減少した。家電機器の運転音を今までよりも下げてほしいという要望は、暗騒音の低下した住宅の質的向上とも関連があるだろう。このような気密・断熱性の向上から、厨房では換気風量が大きくないと、煙や熱気を捕集・排出できず、吸・排気のバランスをとる大風量の静音型換気扇が必要となった。

家庭に様々な音がある昼間は気にならないが、静かな時間帯には冷凍冷蔵庫の圧縮機の起動・停止音や送風ファンの音が意外に聞こえる。ホテルに泊り、ベッドの近くにある冷蔵庫の手元スイッチを切った経験がおありであろう。家庭における冷凍冷蔵庫の設置状況は多様で、このような至近距離でも満足いただける静音にしていかなければならないと私は思っている。

これまで家電市場は機能・効率重視できたものが、最近では文化指向というか、ゆとり指向というのか、デザインの重視や映像・音質の高質化が始まり、照明も明るさ一筋からムードを大切にする傾向が強くなってきた。騒音の低減についても、こうした消費者の指向にベクトルを合わせ、生活空間内における総合的調和を目指して努力していかなければならない。

# 低騒音化技術の展望

山中 悟郎\*

## 1. ま え が き

70年代前半までの高度経済成長期に家事の省力化や居住環境の改善に貢献してきた家電製品に対し、80年代における所得水準の向上や余暇時間の増大などの社会情勢の変化に伴って、基本機能以外の質の向上、特に安らぎやゆとりなどの人間の感性を満足させる快適な生活環境を創造する機能への欲求が年々強まっている。中でも製品の使用時に副次的に発生する騒音は、“聴覚”という非常に鋭敏なセンサによってだれにでも評価でき、さらに人間の感情に直接影響を与えることができるため、快適環境、いわゆるアメニティに与える影響が最も大きい要因の一つである。現在では、家電製品の設計に際して騒音に十分配慮することは不可欠であり、その結果は家電製品に対する設計フィロソフィを反映していると言っても過言ではない。

騒音は小さいほど良いのであるが、その低減にあたっては、経済性や技術的困難さ及び家電製品を取り巻く周囲の生活騒音の存在を考慮すると、個々の家電製品に対してアメニティの面から許容される騒音レベルを明確にすることがまず必要となる。これら目標レベルを達成するためには、より効果的で経済性も高い低騒音化技術の開発が不可欠となる。

本稿では、アメニティの面から許容される騒音レベルについて最初に説明し、続いて家電製品の騒音発生源について述べる。さらに、これら家電製品の騒音を低減するための低騒音化技術の変遷と最近の動向について概説する。

## 2. 家電製品の許容騒音レベル<sup>(1)</sup>

騒音に関連する家電製品の最近の市場動向として、大容量化と使用時間帯の変化が挙げられる。これは、大容量化による製品の能力向上に伴った騒音増大と、製品の早朝・夜間使用増加による低騒音化への要求増大を意味している。さらに、大容量化や低騒音化の対策に際しても、製品の寸法や重量の増加は一般に許されないのが現状である。

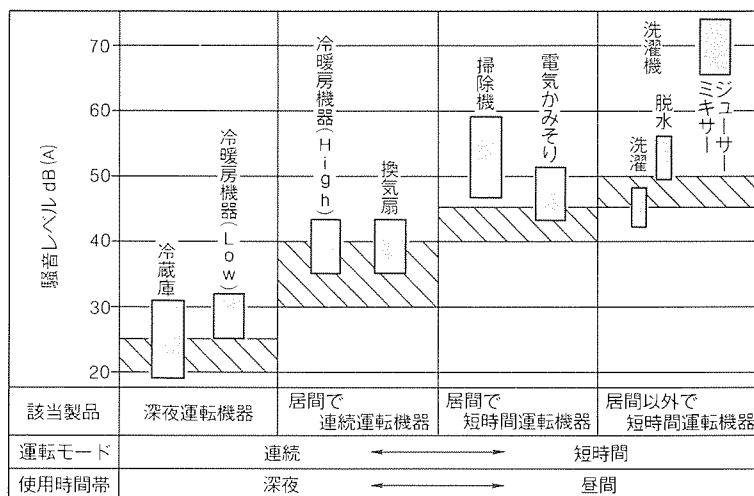
このような厳しい状況の中では、家電製品の許容騒音レベル（アメニティの面から許容される騒音レベル）を厳密に設定しておくことが重要となる。表1は、騒音レベルと人間の感性との概略的な関係について、過去に研究された内容や国の環境基準を基に、家電製品の使用条件別に許容騒音レベルをまと

めたものである。表に示すように、それぞれの家電製品が使用される状況によって、許容される騒音レベルは睡眠時の30dB(A)以下から電話聴取可能な55dB(A)以下までの異なった値となっている。

以上の許容騒音レベルは、実際の住宅で使用されている状態での騒音レベルであり、家電製品の表示値である無響室測定値と比較すると、室内設置製品では反響の影響によって5～10dB(A)程度大きくなった値となっている。この分を考慮して製品表示値で考えた目標騒音レベルを設定し、現状騒音レベルと比較した結果を図1に示す。この中には、この特集

表1. 使用条件別の許容騒音レベル

設 定 基 準	騒音レベル dB(A)	該 当 製 品
休息、睡眠を妨げない	30以下	深夜運転 冷蔵庫 冷暖房機器(Low)
リラックス感を妨げない	40～45 以下	居間で連続運転 冷暖房機器 換気扇、扇風機
テレビ音声、会話を妨げない	50以下	居間で短時間運転 電気掃除機
電話聴取を妨げない	55以下	居間以外で短時間運転 ジュース、 ミキサー、洗濯機
環境基準(夜間)	40以下 敷地境界	屋外設置機器 冷暖房機器室外機



注 斜線：目標騒音レベル  
白：現状騒音レベル

図1. 家電製品の目標騒音レベルと現状騒音レベル



号で紹介している低騒音家電製品の騒音レベルも含まれており、ほぼ目標騒音レベルに達しているものも増えてきている。ただし、電気掃除機や洗濯機のように、早朝・夜間使用が増えてきている製品では、目標騒音レベルが5～10dB(A)程度昼間の場合より低くなるため、さらに低騒音化を図るか、早朝・夜間用の特殊な運転モードを用意するなどの対応が必要と考えられる。また、冷蔵庫のように深夜に起動・停止を繰り返す製品は、定常時の騒音レベルを下げるだけでなく起動音や停止音の音質改善も重要であり、この特集号に紹介したソフトスタート・ストップのような音質改善に関する技術も重要となる。

### 3. 家電製品の騒音発生源

家電製品の騒音発生源は、発生部品で考えるとファン、モータ、冷媒圧縮機、燃焼器、リレー、トランス、電磁弁、変速機（ギヤやベルト）などが代表的であるが、これらを要因別に分類すると表2の4種類に大別される<sup>(2)</sup>。

流体騒音は流体の流れによって発生する騒音であり、代表例であるファン騒音は、翼面上の流体力が直接的に大気に密度・圧力変動を生じさせて騒音を発生する。また、冷媒圧縮機のように内部の流体力により、圧縮機の構造部材が加振されることによって騒音を発生する場合もある。電磁騒音は電磁力によって構造部材が振動し、その結果騒音を発生するので、モータやトランスが代表例である。冷媒圧縮機も内部にモータを持っているため電磁騒音を発生する。機械的騒音は、往復・回転運動の不釣り合い力や接触・衝撃力によって構造部材が振動することにより、騒音を発生するもので、冷媒圧縮機の駆動部分やモータの軸受け、及びリレー・電磁弁・変速機などが代表例である。燃焼騒音は、火炎の熱発生率の変動によって気体の一部に密度・圧力変動が生じて発生する騒音で、ガスや灯油の燃焼器が代表例である。

以上の騒音の中で、ファン騒音と燃焼器騒音は固体の振動を介さずに発生する騒音のため、部品自身からの直接音が問題となるが、これら以外の固体の振動を介して発生する騒音は、部品自身の構造部材からの発生騒音だけでなく、組み込まれる製品のきょう体などのような面積の大きな板状部品に振動が伝わって大きな騒音を発生することもある。この騒音を、特に振動伝達音と呼んで区別しており、加振源である電磁力や機械力及び流体力の低減とは別に、振動伝達系での絶縁や減衰対策が騒音低減に有効である。

### 4. 低騒音化技術の変遷と最近の動向

#### 4.1 低騒音化技術の変遷

日本で低騒音化技術が本格的に研究されるようになったのは、高度経済成長期の後半の60年代からであり、工場、建設現場及び自動車を対象にした騒音規制法が施行された1968年前後から特に活発化して現在に至っている。現在ま

での電機メーカーにおける低騒音化技術の流れを大まかに区分すると、図2に示すように三段階に分けられる。

第一段階が、工場騒音規制に対応するために工場設備機器である工業用のモータやファンなどを主な対象にして、消音や遮音などの防音対策を中心に検討された時代である。続く第二段階は、オイルショックをきっかけにした省資源・省エネの安定経済成長期に入って最も効率的な低騒音化技術である音源対策に注目が集まり、成熟期に入った家電製品を主な対象としてファンや圧縮機などの研究が活発化した時代である。さらに、快適環境への意識が急速に高まった数年前からは第三段階に入っており、個別の音源対策だけでは十分な対応が困難になったために総合的な対策を施すことが必要な時代になっている。個別の音源対策に加えて家電製品のような大量生産品に向けた新しい防音技術の開発や、製品の系全体での流れ、振動及び音の相互作用の解明とその最適化などが求められている。さらには、エレクトロニクス技術を活用して製品の方式そのものを変更することにより、低騒音化を図ることも行われるようになるであろう。

このように総合的な対策が必要となった現状では、流体力学・振動工学・機械力学・電磁気学・燃焼工学・音響工学などの多数の分野の技術を結集して検討することにより、発生源である流体力や加振力を低減したり、騒音の伝搬系や振動伝達系での対策を施したりすることが必要である。また、種々の計測技術やデータ処理技術及びシミュレーション技術を駆使することも効果的であり、さらに検討結果を実際の製

表2. 家電製品の主要騒音源

騒音源の種類	変動要因	代表的発生部品
流体騒音	流体力	ファン、冷媒圧縮機
電磁騒音	電磁力	モータ、トランス、冷媒圧縮機
機械的騒音	不釣り合い力 接触・衝撃力	冷媒圧縮機、軸受け、 リレー、電磁弁、変速機
燃焼騒音	燃焼変動	燃焼器

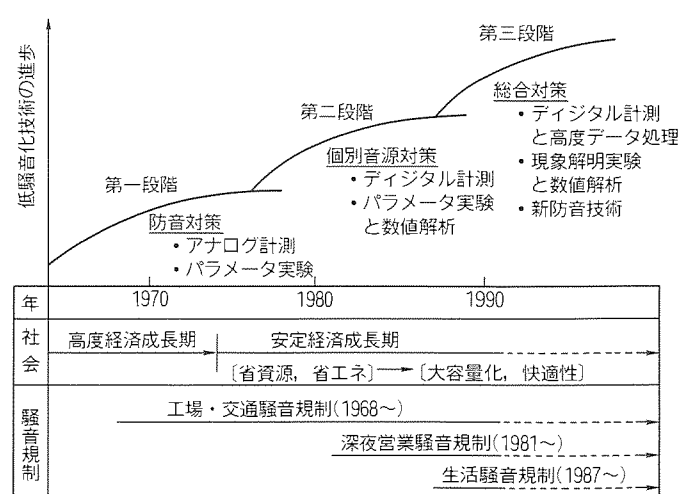


図2. 低騒音化技術の変遷

品に反映させる段階では生産技術面からの改革が必要となることも多い。図3に、このような騒音制御の技術体系を図式的に示す。結局、幅広い分野の技術を使って総合的に判断しながら最も効果的で経済性も高い対策を見いだしていくことが求められており、具体的な検討に際しては幅広い知識や多数の専門分野の人の協力が必要となる場合も多い。

このような低騒音化技術に対し、製品の低騒音化を図るときに最初に必要となる計測技術と、対策手法別に分類した3種類の技術、すなわち音源対策技術、振動伝達系対策技術、防音対策技術の各技術に分けて、最近の動向を紹介する。

#### 4.2 計測技術

製品の低騒音化を図るためには、まず騒音や振動の特性を把握することが必要であり、これらの信号の周波数分析が行われてきた。アナログ周波数分析器から高速のデジタル周波数分析器であるFFT (Fast Fourier Transform) アナライザへの変換、さらには最近のデータ処理機器の急速な発達に伴った音響・振動インテンシティ計測法やウィグナー分布などの新しいデータ処理手法の考案などが行われ、騒音発生現象の解明に利用されだしてきている。

音響インテンシティ計測法は、従来のマイクロホンによる音圧測定では知ることができなかった音のエネルギーの流れを詳細に把握することを可能にするもので、従来の音圧測定では不可能であった自動車の車室内のような残響性が高い空間での音源探索<sup>(3)</sup>も可能となった。図4に示すような近接して配置した二つのマイクロホンの出力をデジタルフィルターやFFTアナライザを使って演算することにより、音の強さのベクトル量を求めることができる。騒音を発生する製品に近づけて測定することができるため、音源位置とその強さを周波数帯域別に正確に把握することが可能となり、音源対策を実施する上での貴重な情報が得られる。

振動インテンシティ計測法は、上記の音響インテンシティと基本的には同様な原理で振動エネルギーの流れを測定するもので、振動伝達音の主要経路の分析に有効である<sup>(4)</sup>。

一方、家電製品の騒音は、人間の耳では定常音と思われる音でも、例えば冷蔵庫圧縮機騒音のように、より詳細に見ると一周期の動作の間に幾つかの原因による騒音が異なったタイ

ミングで発生している場合が多い。また、冷蔵庫の音のように起動・停止音が問題となる場合もある。このような騒音の発生現象を解明して適切な対策を実施するためには、音の瞬時スペクトル分析が必要となる。従来のFFTアナライザによるスペクトル分析では時間分解能が不足するため、これを解決する手段として最近、ウィグナー分布<sup>(5)</sup>による分析が行われるようになってきた。この分析法は、現時点では分析時間が長いことや疑似スペクトル成分(クロス項)による誤差を含むことなどの欠点を持っているが、これらの欠点の改善を図りながら今後はより頻繁に利用されていくものと思われる。

さらに、前述の音響・振動インテンシティ計測法とウィグナー分布による分析法を組み合わせた瞬時音響・振動インテンシティ計測法も、近い将来利用されるようになるであろう。

#### 4.3 音源対策技術

前章で紹介した種々の騒音発生源に対して、騒音を低減するための検討が行われてきた。パラメータ実験による最適形状の導出から始まって、最近では上記の計測技術を駆使して現象を解明しつつ個々の音源対策を施す方向に変わってきている。例えば、ファン騒音に対しては、発生源である翼表面の流れの乱れを最小にする翼形状の探索<sup>(2)(6)</sup>、燃焼騒音に対しては、火炎による騒音増幅現象や燃焼器内の共鳴現象の解明による低騒音燃焼器の開発<sup>(7)</sup>などが行われてきた。

また、その他の電磁騒音や機械的騒音などについても個々の現象を明らかにして対策を実施することが行われているが、具体的内容については各種製品に対する低騒音化技術を紹介したこの特集号の個々の論文内容を参照されたい。

なお、機械的騒音の重要な対策として部品の寸法精度の向上があり、これを図るための生産技術の更なる向上は、地味ではあるが非常に重要な課題である。

#### 4.4 振動伝達系対策技術

振動伝達音は、製品のきょう体表面などの騒音発生源と加振源が異なっているため、加振源と振動伝達経路の詳細把握や振動伝達系の伝達特性を明らかにすることが、低騒音化のためには重要である。これを行うため、前述の振動インテンシティ計測法やモード解析などの実験的な解析だけでなく、コンピュータを活用した種々の数値解析技術が積極的に利用されている。系全体を幾つかの部分構造に分けて有限要素法解析や実験モード解析を実施し、それらを結合することによって全体の振動特性を求める部分構造合成法解析や、ある形状パラメータを一定量変化させたときの全体の振動特性へ

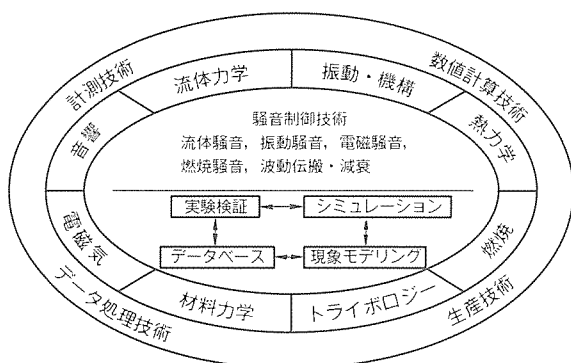


図3. 騒音制御の技術体系

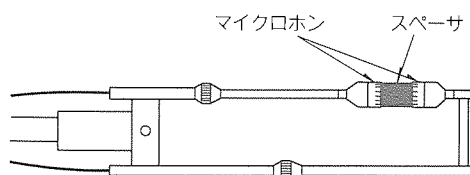


図4. 音響インテンシティ マイクロホン

の影響を定量的に評価する感度解析などにより、振動伝達系の改善を迅速に最も効率良く行うことが可能となってきた。詳細はこの特集号の中の“振動解析技術”に述べられているので参照されたい。

#### 4.5 防音対策技術

騒音源から発生した音を、その音波の伝搬経路の途中で消音したり遮音したりすることにより、低減することを防音対策と呼んでいる。前述の音源対策や振動伝達系対策だけでは目標騒音まで低減できなかった場合などに採用され、家電製品では電気掃除機に吸収形消音器、空調機や冷蔵庫に使われる圧縮機の冷媒管路内に膨脹・共鳴形消音器、圧縮機自身から放射する騒音を低減するために遮音カバーなどが使用されている。

吸収形消音器や遮音カバー内には音のエネルギーを吸収する吸音材が設けられており、吸音特性が良いウレタンやフェルトなどの軟らかい多孔質材料が使われてきた。しかし、ケース内面への内張り作業が必要で、組立性が悪く、品質(減音効果)も不安定で複雑な形状に対応することも困難であった。このような問題点を解決するため、硬質でも吸音特性が良くコストも安い吸音材が求められていたが、この特集号で紹介している吸音プラスチックは、このような要求を満足したものであり、今後は多数の家電製品に幅広く利用されていくものと考えられる。

ところで、吸収形や膨脹・共鳴形消音器は低周波の消音が不得手で、一般的に相当大きなものが必要となる。このような場合の消音対策として、最近アクティブノイズコントロール技術が注目されている。これは、図5に示すように発生騒音と振幅が同じで位相が逆の音を付加することによって消音を行うもので、基本原理は50年以上前に考えられたものである<sup>(8)</sup>。最近のLSI技術や適応信号処理技術の急速な発達に伴って、図6に示すような一次元の空調ダクト騒音を対象とした実用的なシステム<sup>(9)</sup>も現われてきている。しかし、適応デジタルフィルター素子を初めとした構成部品のコストを考えると、今後の更なるコスト低減を見込んだとしても多くの家電製品に使われるようになるとは考えにくい。むしろ、吸収形消音器によってある程度対応可能な一次元問題でなく、家電以外の製品になるかもしれないが、他の方法では困難な三次元空間での騒音制御への応用の分野で重要な技術になると考えられる。

#### 5. む す び

日本は、狭い国土に多くの人間が一緒に生活しているため騒音に対して非常に敏感であり、低騒音化への要求も強い。したがって、家電製品の低騒音化技術は日本が世界をリードしている状況であり、責任も大きい。

現在、目標騒音レベルを達成した家電製品が多くなってきているが、製品の大容量・小型・軽量化の要求に対応するた

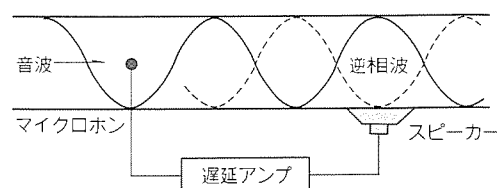


図5. アクティブノイズコントロール(ANC)の原理

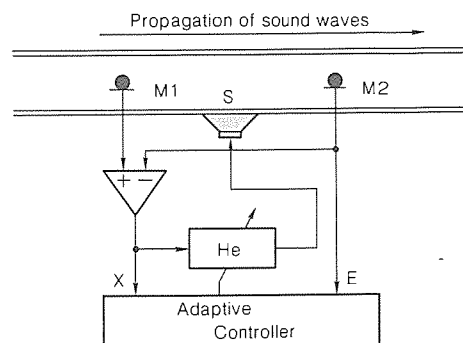


図6. 空調ダクトのANCシステム<sup>(9)</sup>

めには、実質的には更に低騒音化を図ることが必要である。また、価値の多用化により、極端に騒音が低い製品も要求されてくるであろう。したがって、今後もより効果的で経済性も高い低騒音化技術の開発が強く求められていくものと思われる。

#### 参考文献

- (1) 田中英晴, 月居和英: 居住空間の音環境, 日本音響学会誌, **46**, No. 9, 769~772 (1990)
- (2) 田中英晴, 大鷲勝久, 辻内伸好: 振動・騒音低減化技術, 三菱電機技報, **62**, No. 4, 326~329 (1988)
- (3) 押野康夫, 宇津木浩二, 荒井紀博: 自動車騒音の音源別寄与度測定に関する研究, 自動車技術会論文集, No. 35, 88~95 (1987)
- (4) 大門静史郎, 佐藤利和, 石川正臣: 振動インテンシティについて, 騒音制御, **10**, No. 4, 192~195 (1986)
- (5) Janse, C. P., Kaizer, T. M.: Time-Frequency Distributions of Loudspeakers, J. Audio Eng. Soc., **37**, 198~223 (1983)
- (6) Morinushi, K.: The Influence of Geometric Parameters on F. C. Centrifugal Fan Noise, ASME Journal of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design, **109**, 227~234 (1987)
- (7) 梶本照男, 松井安次: 燃焼技術とその応用, 三菱電機技報, **62**, No. 4, 322~325 (1988)
- (8) Leug, P.: Process of Silencing Sound Oscillation, U. S. Patent, No. 2043416 (1936)
- (9) Hamada, H., Miura, T., Takahashi, M., Oguri, Y.: Adaptive Noise Control System in Air-Conditioning Ducts, Proc. INTER-NOISE **88**, 1017~1020 (1988)

# ファンの低騒音化技術

大鷲勝久\* 谷村佳昭\*\*\*  
岩村義巳\*\*  
安本和弘\*\*

## 1. ま え が き

我々の居住空間は様々な騒音源によって囲まれている。快適な生活を営むためには、それらの騒音源の低騒音化が重要な課題となる。家庭電化製品もそれらの騒音源の一つである。その中で空気移送を伴う家庭電化製品では、ファンが主な騒音源となる。ファンの低騒音化は、一次機能である風量・静圧を維持しながら騒音を低下させることが重要である。そのためには、騒音特性と空力特性を同時に向上させる必要がある。

家庭電化品に使われているファンとしては、換気扇やエアコンの室外機などに使われているプロペラファン、空調機の室内機などに使われているシロッコファン、クロスフローファン、掃除機などに使われているターボファンなどがある。そこで本稿では、特に汎用的に使われることの多いプロペラファン及びシロッコファンの騒音源及び低騒音化技術について解説する。

## 2. プロペラファンの低騒音化

プロペラファンは、数枚の翼と簡単なベルマウスを持つ低圧の軸流ファンである。このファンは構造が簡単で、しかも小型ながら大風量を得ることができるので、換気扇を始め空調機、暖房機など幅広く使われている。

### 2.1 プロペラファンの騒音

プロペラファンの騒音は、大きく分けて2種類ある。一つはスペクトル騒音、他の一つは広帯域騒音である。スペクトル騒音すなわち回転音は、動翼の枚数と回転数の積を基本周波数とした高調波音からなり、偏りがある流れや広範囲に及ぶ乱れをファンが吸い込むことにより、動翼周りの圧力場が周期的に変化することによって発生する。通常、この回転音は吸込み流れが大幅に偏らない限り全体騒音に影響することは少ない。

広帯域騒音は、プロペラファンの騒音の主成分であり、翼面上の圧力変動や後縁からの渦放出によって発生する<sup>(1)</sup>。翼面上に発達する乱流境界層は翼面上に圧力変動をもたらし、局所的な音源となりえる。ただし、乱流による圧力変動は音響的には双極子であり、その相関距離が短いので音の放射効率が低く通常は無視できる。後縁からは、層流境界層中に存在する準周期的な渦や、乱流境界層中に存在する乱流渦が流出する。これらの渦が後縁を離れるとき、翼周りの循環が変

化し、翼に揚力変動や抗力変動が誘起される。その結果、翼面上には相関距離の長い圧力変動が発生し音波が放射される。この騒音は後縁騒音と呼ばれ、吸込み流れとは無関係な翼固有の騒音である。プロペラファンの低騒音化はこの後縁騒音を低減することにある。

### 2.2 前傾、前進翼による騒音の低減

後縁騒音の音響パワーは基本的には周速の約6乗、境界層厚さにはほぼ比例するので、騒音を低下させるには周速を下げ、境界層を薄くすればよい。ファンの空力出力を落とさずに周速を下げるためには、ファンの単体の空力性能を向上させる必要がある。そのためには、周速の大きな翼先端部でより多くの空力出力を発生させる必要がある。その結果、羽根車の出口では翼先端部に流れが集中し、翼間内の流線は半径方向に大きく傾斜する。低騒音のファンを達成するためには、この流線の半径方向の傾斜を考慮した翼列設計を行う必要がある。

流線の半径方向の傾斜を翼列設計に取り入れるには、翼軸を流線と直交するように吸込方向へ前傾させればよい。図1に準三次元解析法を用いて計算した前傾翼間の流線分布を示す。ただし、翼の吸込方向への前傾だけでは低騒音のファンを作り出すには不十分で、同時に翼を回転方向に前進させる必要がある<sup>(2)</sup>。図2に吸込方向への前傾角 $\gamma$ と回転方向への前進角 $\lambda t$ の定義を示す。図3には騒音レベル、流量特性に対する翼の吸込方向への前傾角 $\gamma$ の影響を示す。供試ファンの直径は0.3m、回転数は1,000rpmである。流量特性は、翼間流れの流線と翼軸がほぼ直交する前傾角が22.5°のとき最高となり、翼の前傾が流量特性の改善に有効であることを示している。さらに、翼の吸込方向への前傾は翼の負圧面上の乱流境界層の発達を抑制し、開放点側(図中F点)の騒音

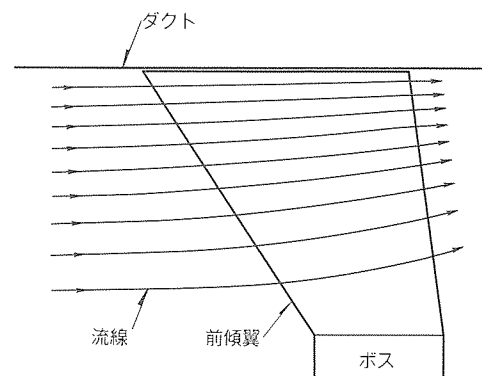


図1. 準三次元解析法による翼間流れの流線(径=0.3m)

レベルを著しく低下させる効果を持つ。ただし、吸込側への前傾は、開放点からサージング点(図中S A点)までの動作領域内において、騒音レベルが最も低下する動作点(図中S点)をより開放点側に移動させ、有効動作領域を狭くするという短所を持つ。この短所を改善するための手段が翼の回転方向への前進である。図4に示すように、回転方向への翼の前進は騒音が最も減少する動作点Sを、より小風量側に移動させる効果を持つ。したがって、吸込方向への前進と回転方向への前傾を同時に翼に与えることによって騒音が低く、しかも有効動作領域が広いプロペラファンを形成することができる。

### 2.3 騒音特性に対する翼端渦の効果

ファンの騒音特性は、以上述べたように翼の前傾、前進によって大幅に変化する。特に有効動作領域の拡大に関して、騒音が最小となる動作点Sの位置が重要である。有効動作領域を更に締切点側に移動させるためには、S点より低風量側で騒音が急激に増加する現象を明らかにする必要がある。そこで、この騒音レベルの急増大現象に対する翼周りの流れ場の影響を調べた結果を以下に示す。翼周りの流れ場を明らかにするために、傾斜型熱線プローブを用いた周期的多点抽出

法による羽根車直後の吐出し流れの三次元速度分布の測定を行った。周期的多点抽出法は、羽根車の回転に同期したサンプリングパルスを用いて熱線プローブからの出力をAD変換することにより、固定座標系から回転面における流速分布を測定できるシステムである<sup>(3)</sup>。開放点及び最小騒音点近傍における吐出し流れの $R-\theta$ 平面における絶対速度分布を図5に、軸流速度分布の測定例を図6に示す。

ファンの吐出し流れには、翼の後縁から発生した後流による速度欠損と翼端における漏れ流れから発生した翼端渦が存在している。翼端渦は負圧面側の翼端から離脱し、翼間内に流出する。流量が減少するにつれて、負圧面上における翼端渦のはく(剥)離点は翼端の後縁部から前縁に向けて移動する。その結果、測定面上において、翼端渦は離脱した翼の負圧面から隣接翼の圧力面に向けて反回転方向に移動する。翼端渦の反回転方向への移動は翼の迎え角に対して多大な影響を与える。すなわち、翼間流れは翼端渦の誘引効果によって翼端渦の周りに集中し、翼端渦中心近くにおける翼間流れの軸流速度は平均軸流速度の約1.7倍にも達する。そのため、翼端渦が隣接翼の圧力面側に移動すると、翼周りの流れ場も翼端渦に引きずられて変化する。翼間における主流は翼の後縁側の負圧面から徐々に遠ざかる。これは翼に対する迎え角の増大を意味する。したがって流量の減少に伴い翼端渦が隣接翼側に移動しやすいファンは、翼の失速により騒音が増加しやすい傾向を持つことになる。

そこで翼端渦の反回転方向への移動に対する翼の吸込方向への前傾及び回転方向への前進の影響を調べた結果を示す。図7、図8は各々翼端渦の移動に関する吸込方向への前傾角 $\gamma$ と回転方向への前進角 $\lambda_t$ の影響を示す。翼端渦の移動量は測定面における翼端渦の中心と離脱した翼の後流までの円周距離を同一円周上の翼ピッチで無次元化した。流量が減少するにつれて、翼端渦はほぼ線形的に隣接翼の圧力面側に移動する。図7に示すように、翼の吸込方向への前傾は、翼端渦の反回転方向への移動を加速する効果を持つ。また、図8に示すように、翼の回転方向への前進は翼端渦の反回転方向への移動を抑制する効果を持つ。さらに、前進角、前傾角の大

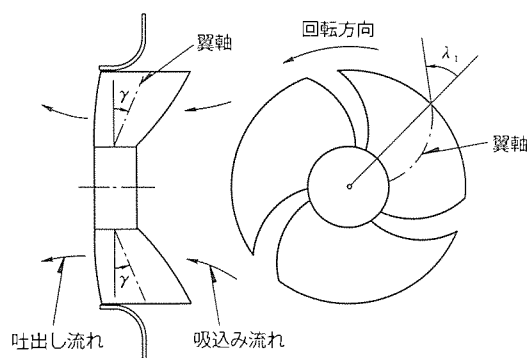


図2. 吸込方向への前傾角 $\gamma$ 、回転方向への前進角 $\lambda_t$

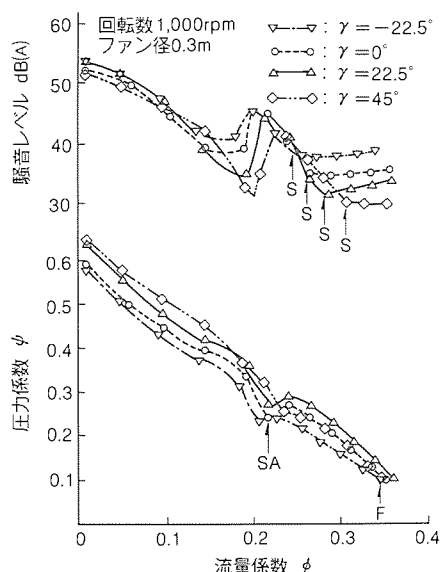


図3. 流量・騒音特性に対する吸込方向への前傾角 $\gamma$ の影響  
( $\lambda_t = 50.4^\circ$ )

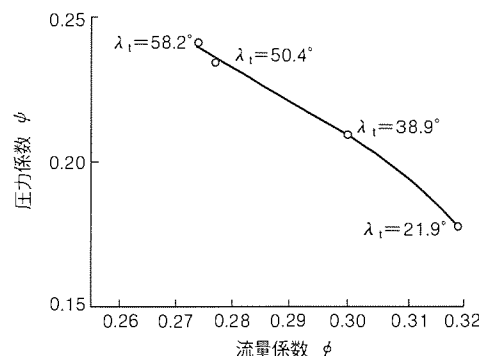


図4. 最小騒音動作点に対する回転方向への前進角 $\lambda_t$ の影響  
( $\gamma = 22.5^\circ$ )

きさによらず騒音が最小となる動作点Sにおける翼端渦の移動量は、翼ピッチのおおむね70%である。すなわち、流量が減少するに伴い騒音が急激に増加する動作領域は翼端渦の周方向位置によって一義的に決まることになる。したがって、翼に前傾と前進を同時に与えることにより、翼の前傾によって翼端渦の反回転方向への移動が加速されるのを翼の前進によって抑制し、翼端渦の周方向位置を最適にすることができる。

#### 2.4 製品の低騒音化例

図9に製品の低騒音化の一例として、前進・前傾翼を持つプロペラファン《エクストラファン》を換気扇に応用したときの騒音特性図を示す。《エクストラファン》では従来ファンとは異なり、翼の前傾・前進化により、静圧が増加するに従っ

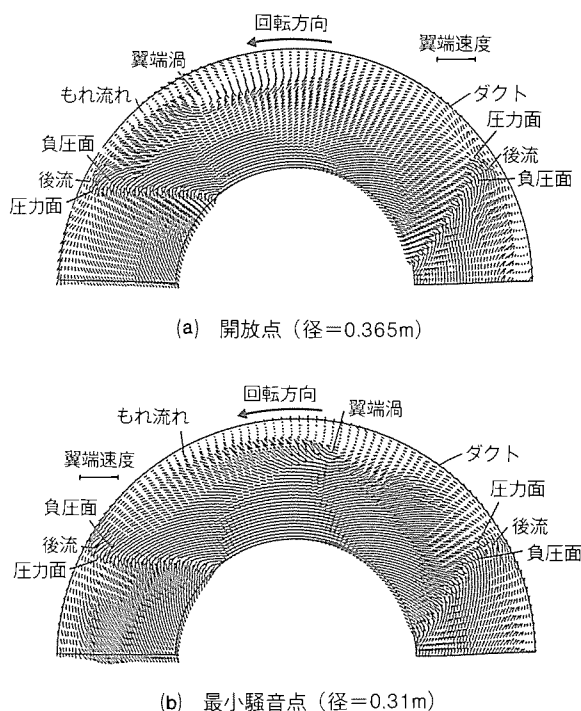


図5. 吐出し流れの絶対速度分布 ( $\gamma = 22.5^\circ$ ,  $\lambda_1 = 50.4^\circ$ )

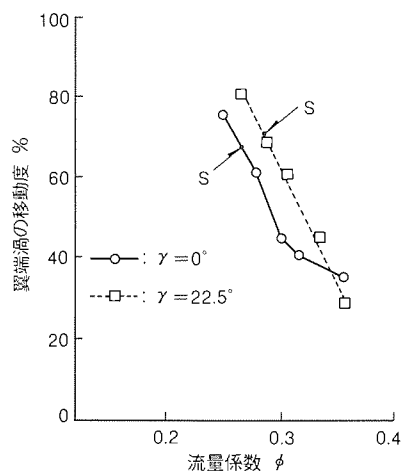


図7. 翼端渦の反回転方向への移動に対する前進角 $\gamma$ の影響  
 (S点: 最小騒音点,  $\lambda_1 = 50.4^\circ$ )

て騒音は減少する。実動作点 (静圧が10Pa) では従来のファンより9dB(A)近く低騒音になる。したがって、高気密化された住宅に対して、前傾・前進翼を換気扇に採用することは極めて有効な手段となる。

#### 3. シロッコファンの低騒音化

シロッコファンは多翼ファンとも呼ばれ、多数の弦長が短い前向き翼を持つ遠心ファンである。このファンは小型ながら高風圧が得られ、しかも比較的騒音であるという特長を持っている。そのため、ファン効率が多少低いにもかかわらず、換気扇や空調機などに使われている。図10にシロッコファンの概観及び主要パラメータを示す。

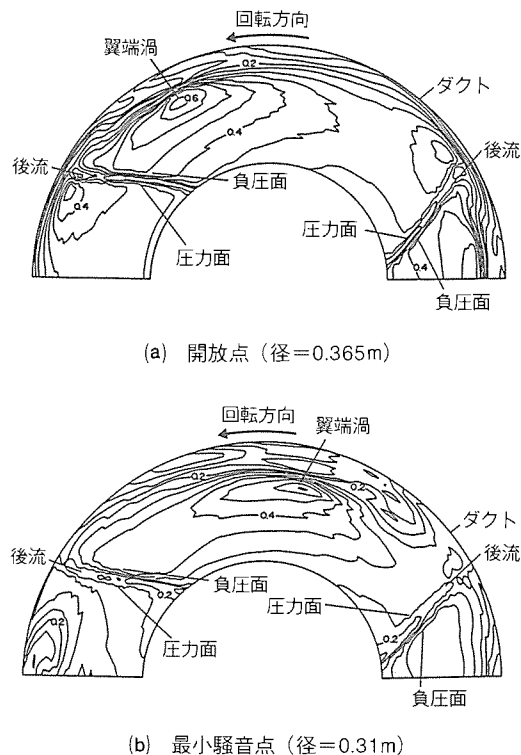


図6. 吐出し流れの軸流速度分布 ( $\gamma = 22.5^\circ$ ,  $\lambda_1 = 50.4^\circ$ )

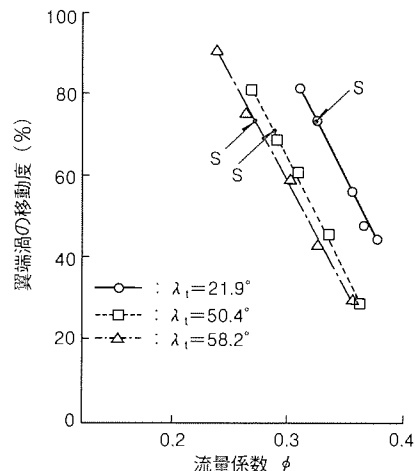


図8. 翼端渦の反回転方向への移動に対する前進角 $\lambda_1$ の影響  
 (S点: 最小騒音点,  $\gamma = 22.5^\circ$ )



### 3.1 シロッコファンの騒音

シロッコファンの騒音もスペクトル騒音と広帯域騒音に分けられる。スペクトル騒音は、羽根車からの流れとスクロールの舌部との干渉によって発生し、基本周波数はプロペラファンと同様に翼枚数と回転数の積である。スペクトル騒音は、翼と舌部との間隔が極端に狭くない限り全体騒音に影響することはない。したがって、シロッコファンでも、広帯域騒音の低騒音化が重要となる。広帯域騒音は羽根車やケーシングを通過する流れのランダムな乱れによって発生する騒音であり、低周波数から高周波数に及ぶ広い周波数帯域にわたるため、騒音レベルを支配することが多い。

### 3.2 音響インテンシティによる音源探査

シロッコファンから発生する騒音を低減するには、音源分布を明確にする必要がある。そこで音は透過するが、風は透過しない特殊なケーシングを使ったシロッコファンを用いて、音響インテンシティプロープによる音源分布の探査を行った。図11に測定装置、図12に主音源の軸方向の探査結果を示す。横軸は舌部位置を基準にしたスクロールの巻き角 $\alpha$ 、縦軸は羽根車の主板からの距離を羽根車幅で無次元化した値である。インテンシティマイクロホンを音の入射方向に対してほぼ直交させて測定したため、音響インテンシティレベルが正から負に変わる所が主音源の位置に相当すると考えられる。図から2,500 Hz バンド以下の主音源は、主板近くの30%位置に存在している。他方、3,150 Hz バンド以上では

主音源は主板より70%以上シュラウド側に存在している。すなわち、シロッコファンの音源は大きく分けて二つあり、一つは羽根車のシュラウド側、もう一つは羽根車の主板側に存在する。

### 3.3 シュラウド側の音源

シュラウド側から発生する騒音は、羽根車の軸方向長さと強い相関関係を持つ。図13に羽根車の軸方向長さと流量・騒音特性の関係を示す<sup>(4)</sup>。軸方向長さが直径の65%以下の羽根車の流量特性は、ほとんど同じである。他方、軸方向長さが直径の78%以上になると、流量性能は急激に低下しはじめ、軸方向長さが羽根車直径と同等になると最大流量係数は最も良いものと比べて60%近くまで減少する。これは図14に示すように、羽根車の軸方向長さが増加するにつれて、入り口シュラウド近くの剥離領域が増大し、実質的な羽根車の軸方向長さが減少したからである。さらに、単位軸方向長さ当たりの騒音レベルは、軸方向長さが直径の65%の羽根車のとき最小になり、軸方向に長くなるにつれて急激に大きくなる。これは入り口シュラウド側での剥離が大きくなり、より乱れた流れが翼に流入するようになったからである。したがって、羽根車のシュラウド側からの騒音を低下させるには、少なくとも羽根車幅は、直径の65%以下にすることが必要である。

### 3.4 主板側の音源

シロッコファンが適正な羽根車の軸方向長さを持つとき、側板側から発生する騒音がファン騒音の中心となる。この騒音は翼間内を流体が通過するとき、翼の前縁や曲率の大きな曲がり流路内で発生する境界層の負圧面からの剥離などにより、翼の周りの圧力場が変動することによって発生する。翼の負圧面と圧力面は音響的には双極子として作用するので、音源のパワーは流速のほぼ6乗に比例する。したがって、翼を通過する流体の速度に不均一が生じると、最も流速の大き

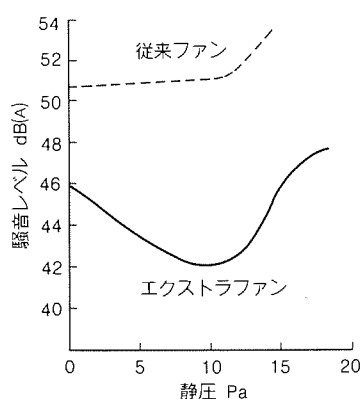


図9. 従来のファン(E-25LH)と《エクストラファン》仕様の換気扇(EX-25LH)の騒音特性の違い

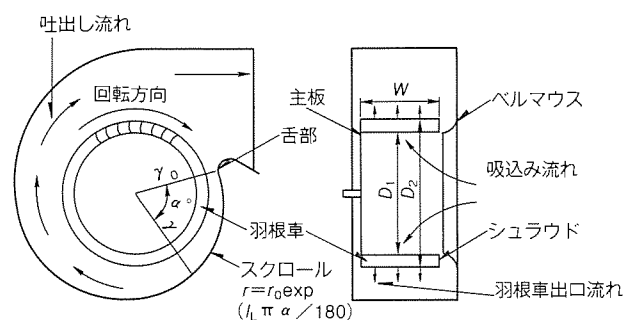


図10. シロッコファンの主要パラメータ

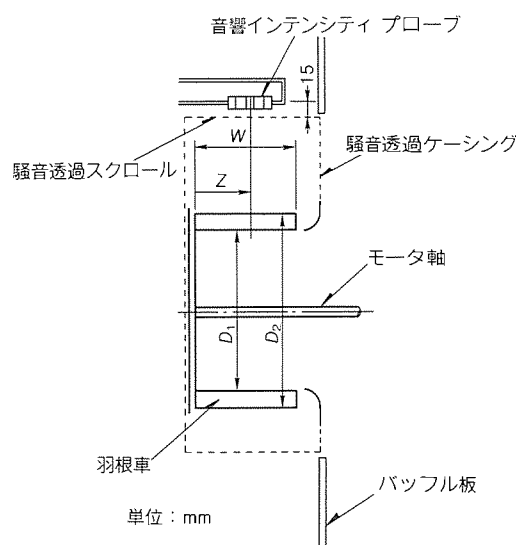


図11. 音響インテンシティプロープによる音源探査  
( $D_2=180$ ,  $D_1/D_2=0.85$ ,  $W/D_1=0.65$ ,  $l_L=0.1$ )

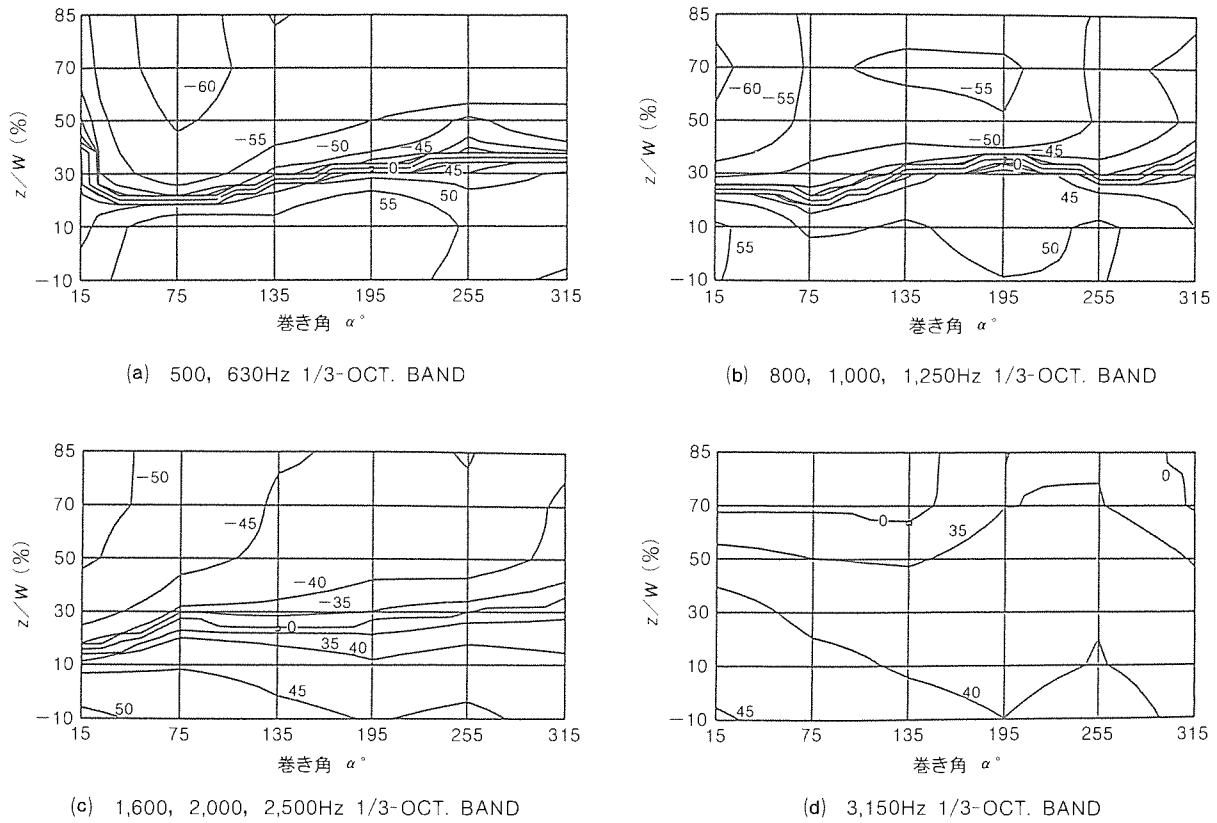


図12. シロツコファンの軸方向の主音源位置(径=0.23m)

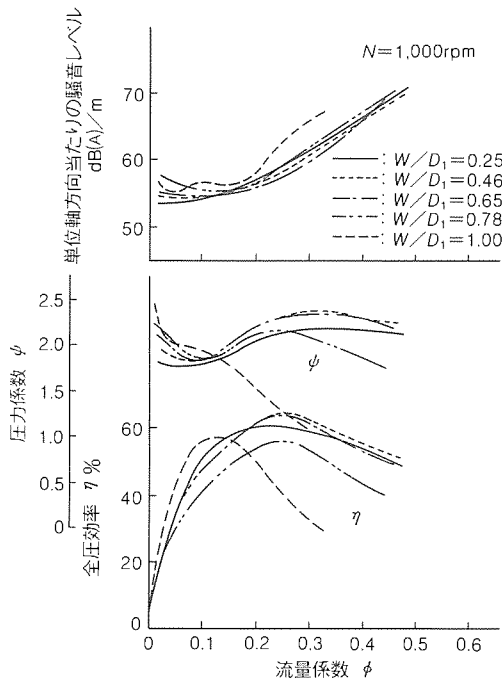


図13. 流量・騒音特性に対する軸方向長さの影響

い部分によって騒音レベルは決定される。そこで、羽根車の出口における翼間の相対速度分布を熱線プローブを用いて測定した例を図15に示す<sup>(5)</sup>。測定時の流量係数は0.366である。 $v$ は羽根車出口における流れの相対速度、 $U$ は羽根車の外周の回転速度である。速度分布の回転方向の測定位置は、巻き角 $\alpha$ が $150^\circ$ 及び $300^\circ$ である。

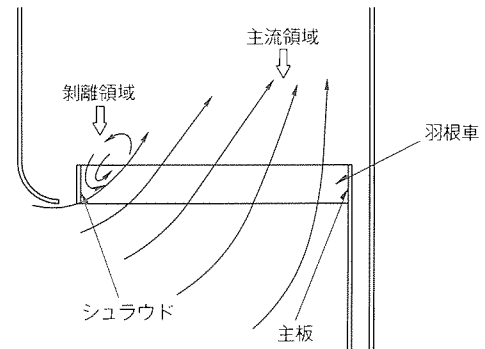


図14. 羽根車内の流れ

速度分布図の左側がシユラウド側、右側が主板側に相当する。羽根車出口における相対速度は、巻き角によらず羽根車の主板側に急激に大きくなる。これは音響インテンシティ測定から得られた結果と一致し、出口における相対速度が騒音に対して強い影響力を持つことを示している。さらに、相対速度は巻き角 $300^\circ$ の方がより大きく、より強い音源となりえることを示唆している。

### 3.5 騒音特性に対するスクロール拡大率の影響

翼間の通過風速を決定する重要な因子としては、羽根車を取り囲むスクロールが挙げられる。スクロールは、羽根車から出た流れを集めるとともに、吐出し流れの運動エネルギーを静圧エネルギーに変換する機能を持つ。スクロールの曲率半径は、羽根車の回転方向に向かって断面積が増加するように指数関数的に増加している。そこでスクロールの曲率半径

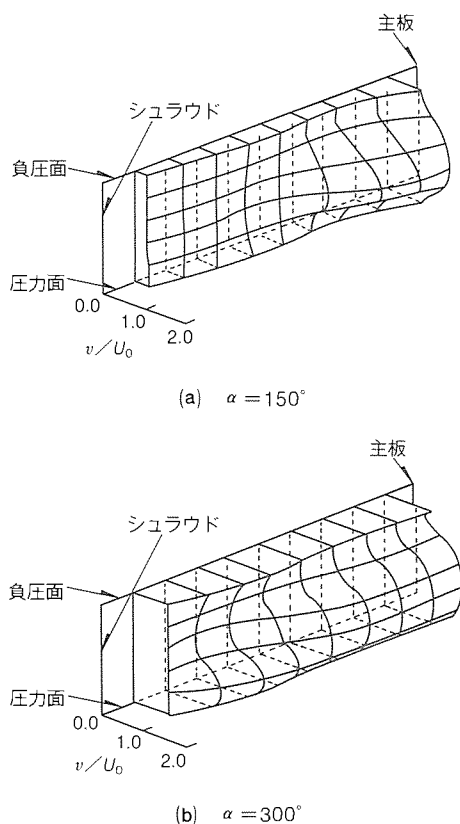


図15. 羽根車出口における相対速度分布(径=0.366m)

$r$ を

$$r = r_0 \exp(I_L \pi \alpha / 180)$$

で表し、 $I_L$ をスクロール拡大率として定義する。ここで、 $r_0$ は舌部におけるスクロールの曲率半径である。図16に流量・騒音特性に対する拡大率 $I_L$ の影響を示す<sup>(5)</sup>。拡大率を大きくすることによって開放点側の流量特性は大幅に改善される。拡大率が0.05から0.15まで増加すると開放点の流量はおおむね2倍になる。図に示すように、開放点側のシロッコファンの吐出し口における全圧は、スクロールの拡大率によらずほぼ一定である。したがって、開放点の流量は実質的なスクロール出口の断面積にほぼ比例する。したがって、スクロールの壁面上に発達する境界層が剥離しない限り、開放点の流量は大きなスクロール拡大率を持つファンの方が、より増加することになる。

一方、流量の増加に対する騒音レベルの増加率は、スクロールの拡大率によって異なる。図からスクロールの拡大率が小さくなるにつれて騒音の増加率は増加する傾向を持つ。これは、拡大率が小さくなると、図15に示すように翼を通過する流れが、回転方向によって非一様な速度分布を持つようになるからである。すなわち、翼間を通過する流体の相対速度は、羽根車の周速度と流量に対応する翼への半径方向の流入速度との合成速度である。翼に対する流入速度が回転方向に非一様な分布を持つと、局所的に半径方向の流速が増加する部分が生じ、その増加した相対速度によって騒音が決定される。さらに、相対速度に対する半径方向速度の寄与度が

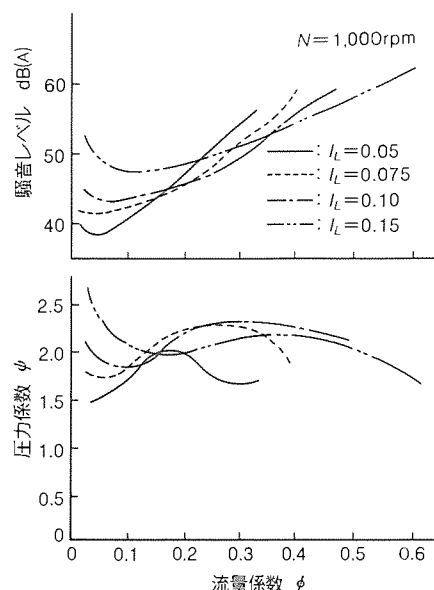


図16. 流量・騒音特性に対するスクロール拡大率の影響

増すので、流量の増加に伴う騒音の増加率が増加することになる。以上のように拡大率によって騒音の増加率が異なるので、各動作点において騒音レベルが最小となる拡大率が存在する。したがって、必要な風量、圧力上昇に対して騒音レベルが最も低くなる最適なスクロールの拡大率を選択することが低騒音のシロッコファンを製造する上で重要となる。

#### 4. む す び

今回は紙面の都合上、プロペラファン及びシロッコファンに限って騒音源並びに低騒音化技術について解説した。ファンは空気を取り扱う家電製品の機能部品であり、今後とも低騒音化が重要である。そのためには、新たな技術革新を更に遂行する必要がある。

#### 参 考 文 献

- (1) 田中英晴, 大蔭勝久, 辻内伸好: 振動・騒音低減化技術, 三菱電機技報, **62**, No. 4, 326~329 (1988)
- (2) 大蔭勝久, 岩村義巳: 薄板翼プロペラファンの低騒音化, 日本機械学会論文集(B編), **53**, No. 487, 917~921 (1987)
- (3) 九郎丸元雄, 井上雅弘, 檜垣隆夫, Farouk Abd-Elaziz, 生井武文: 周期的多点抽出法による羽根車の後方の三次元流れ場の計測, 日本機械学会論文集(B編), **48**, No. 427, 408~417 (1982)
- (4) Morinushi, K.: The Influence of Geometric Parameters on F. C. Centrifugal Fan Noise, ASME Journal of Vibration, Acoustics, Stress and Reliability in Design, **109**, 227~234 (1987)
- (5) 森主 憲: 多翼ファン騒音におよぼす吸込口障害物の影響, 日本機械学会論文集(B編), **50**, No. 459, 2538~2591 (1984)

# 振動解析技術

辻内伸好\*  
富沢正雄\*  
小泉孝之\*\*

## 1. ま え が き

家電機器ではより騒音の低い製品の開発が望まれており、機器の設計技術も従来に比べると、より洗練された方法が採用されている。一般に、家電機器の騒音は多くの原因で発生するが、その低騒音化を図る上で最も本質的で優れた方法は、騒音の発生原因をなくすことである。しかし、このような対策が困難であることも多く、固体伝達音のように振動で生じる騒音については、種々の振動解析技術を応用し、構造の変更や防振構造の採用によって低振動・低騒音を図ることが多い。

一般に、振動によって生じる騒音を抑制するには、

- (1) 騒音分析による発生メカニズムの解明
  - (2) 振動源の把握と伝達経路の解析
  - (3) 振動エネルギーと音響エネルギーの変換効率の評価
- を行い、適正な対策を施す必要がある。

図1は、このような検討を行うときのフローで、解析に用いる要素技術を図の右側に、低騒音設計のプロセスを左側に示している。騒音の発生メカニズムを解明し、製品の性能面からくる制約条件を加味しながら、振動の伝達しにくい構造を開発するトータルシステム設計が重要である。

本稿では、家電製品において生じる振動による騒音に焦点を当て、主な振動解析技術について概説するとともに、これらの技術の家電機器への適用例を示す。

## 2. 騒音の発生原因の検討に利用できる方法

### 2.1 音響放射効率計測

家電機器では音響放射面積の大きなきょう体に振動が伝達し、そこから音が放射されることが多い。加振力と騒音レベルの関係を把握するには、加振源と考えられる位置に加振器を取り付け、加振入力と音響の関係を求める。図2は、エアコン室外機について行った無響室での測定結果の例である。加振力 $f$ と音圧レベル $S$ の間には、

$$S = 20 \log(f) \dots\dots\dots (1)$$

の関係が成立し、力と音響の関係は線形であることが分かる。また、加振の周波数で音圧レベルに差があることが分かる。

次に、振動と音響の関係を表す音響放射効率（音響／加速度）<sup>(1)</sup>を求めた例を図3に示す。図のような音響放射効率から、騒音を軽減するにはどの周波数域の振動を抑制すべきかが分かる。

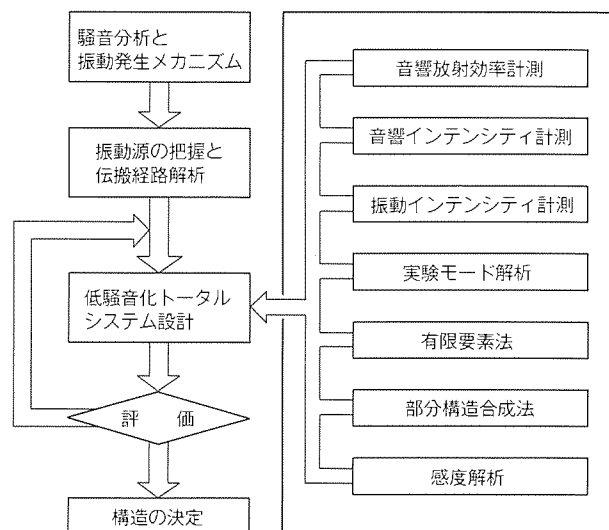


図1. 低騒音化設計のフローと振動解析技術

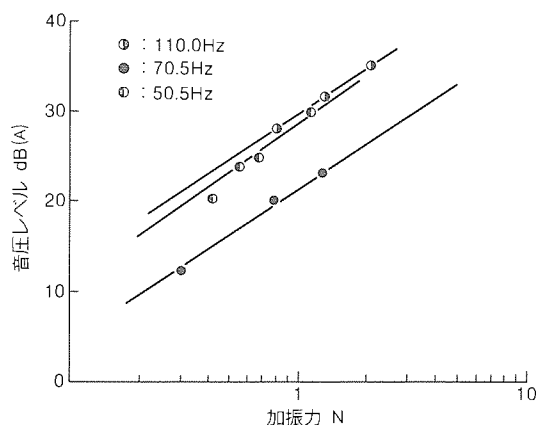


図2. 加振力と音響の関係

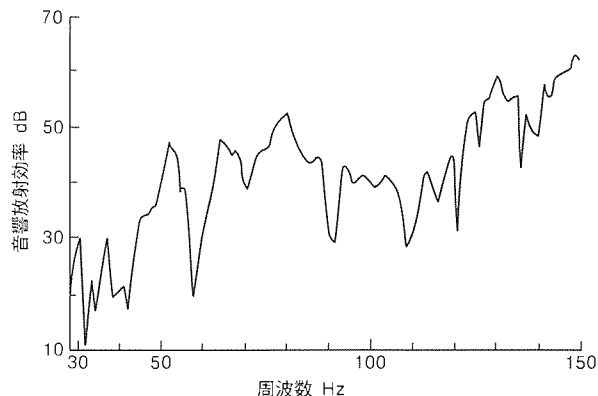


図3. 音響放射効率

また、シミュレーションによって振動加速度が求められた場合には、この音響放射効率と振動加速度の積を求めることで、最終的にきょう体から放射される振動伝達音が評価できる。

## 2.2 音響インテンシティ計測

機器本体、配管の表面から発生する騒音を考えるとき、これらの発生源からある一定の距離をおいた所の騒音を測定するだけでなく、それらの物体から発生する音響エネルギーに着目する方が、低騒音化を図る上で有効なことも多い。この目的のために最近では、音響インテンシティ計測法が多く用いられている。この方法は音源が探索できるだけでなく、機器各部分ごとの音響パワーレベルの測定にも利用でき、この手法が応用できる範囲は広い。音響インテンシティの原理や測定するときの誤差については、既に多くの報告<sup>(2)</sup>がなされているので、詳細はこれらの文献を参照されたい。

## 2.3 振動インテンシティ計測

配管の振動がきょう体に伝わり騒音が生じるようなときには、振動パワーを計測することで、振動伝達の影響度が大きな部分を探索することができる。振動インテンシティ  $\bar{W}$  は、ある体積を単位時間に通過する振動エネルギーの平均値で定義されるベクトル量で、振動の速度を  $v$ 、振動方向の力を  $f$  とすると式(2)で定義できる。

$$\bar{W} = \overline{f \cdot v} \dots\dots\dots (2)$$

そして、加振源と構造物の間にインピーダンスヘッドを装着し、ここを流れる  $v$  と  $f$  を直接計測し、時間領域で積分して平均値  $\bar{W}$  を求めることで算出できる。しかし、構造物にインピーダンスヘッドを装着するのはむずかしく、通常は、図4に示すように等間隔  $\Delta$  で加速度センサを配列して次のようにして求めることが多い<sup>(3)</sup>。

各センサ位置における加速度  $a_i$  を計測し、加速度  $a_i$  と  $a_k$  のクロス パワースペクトルを高速フーリエ解析装置で求め、これの虚数部を  $g_{ik}$  と表す。加速度センサが2個、4個の場合について、振動インテンシティを算出するときの関係式は次のようになる。

$$\bar{W} = \frac{2\sqrt{Bm}}{\Delta} \int_0^\infty \frac{1}{\omega^2} g_{12} d\omega \dots\dots\dots (3)$$

$$\bar{W} = \frac{B}{\Delta^3} \int_0^\infty \frac{1}{\omega^3} (4g_{23} - g_{24} - g_{13}) d\omega \dots\dots\dots (4)$$

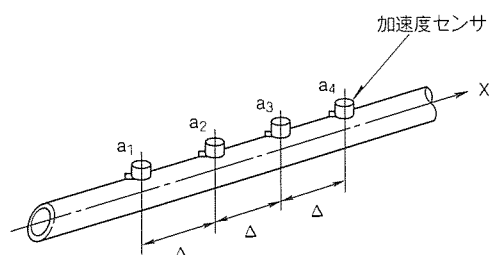


図4．振動インテンシティ計測用加速度センサの配置

ここで

$B$  : 曲げ剛性

$m$  : 単位長さ当たりの質量

$\omega$  : 角振動周波数

なお、式(3)、式(4)は、配管の曲げ波の進行波成分のみに着目している。この仮定を用いても振動インテンシティを算出するには、4個の情報が必要であるが、式(3)では配管の中央部を計測するとして、境界条件の影響(ニアフィールド)を無視している。図5は、加速度センサが2個、4個の場合のセンサの位相特性の差  $\alpha$  による誤差の影響を一次固有振動数について求めている。 $\Delta/\lambda$  が小さいほど誤差が生じやすいことが分かる。センサの位相特性の差がない理想的なときには、4個の場合の精度が優れているが、実際にはセンサの誤差があるので、配管の中央部を計測するようにすれば、2個の方が実用的には優れている。

## 3. 構造の動特性検討に利用できる方法

実験モード解析及び有限要素法についてはよく知られているので、ここではこれらを組み合わせた解析手法である部分構造合成法、構造を変更するときには有効な感度解析について述べる。

### 3.1 部分構造合成法

部分構造合成法<sup>(4)(5)</sup>とは、解析対象を  $N$  個の部分構造に分け、各々の部分構造ごとに動特性を求め、これらを結合して全体系の動特性を解析する方法である。部分構造ごとの動特性は、有限要素法、実験モード解析のいずれで求めてもよい。

$i$  番目の部分構造に対する動特性をモード解析法を用い、周波数領域の  $n$  次のモードの重ね合わせで表現する。そして、動剛性(力/変位)  $H_i(\omega)$  で表すと次のようになる。

$$[H_i(\omega)]^{-1} = \sum_{r=1}^n \frac{|\psi_r\rangle\langle\psi_r|^T}{m_r(-\omega^2 + 2j\xi_r\omega_r\omega + \omega_r^2)} \dots\dots (5)$$

ただし、 $|\psi_r\rangle$  : モード  $r$  の固有ベクトル

$m_r$  : モード  $r$  のモード質量

$\xi_r$  : モード  $r$  の減衰比

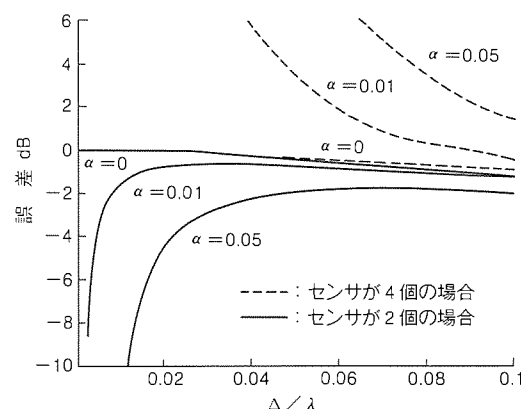


図5．加速度センサの位相特性の差による誤差の影響

$T$  : 転置

$j$  : 虚数単位 ( $=\sqrt{-1}$ )

又は、モード解析法を用いずに、次のような自由度が  $m$  の質量  $[M]$ 、減衰  $[C]$ 、剛性  $[K]$  のマトリクスとして表現することもできる。

$$[H_i(\omega)] = -\omega^2[M] + j\omega[C] + [K] \dots\dots\dots (6)$$

全体系の動特性  $H(\omega)$  は、部分構造と部分構造との結合部及び加振力が作用する位置の関数で記述できる。そして、自由度を表す変位ベクトルを  $\{x\}$  及び結合部の力ベクトルを  $\{f\}$  とすると次のように表すことができる。

$$[H(\omega)]\{x\} = \{f\} \dots\dots\dots (7)$$

部分構造合成法による解析の利点をまとめると次のようになる。

- (1) 部分的な構造変更に対して柔軟に対応できる。
- (2) 支持マウントや結合部のようにモデル化の困難な部分に実験データを用いることができる。
- (3) 自由度が低減できるので、計算効率が良い。
- (4) 全体系の動特性に及ぼす各部分構造ごとの寄与度が評価でき、部分構造ごとで最適化を図ることができる。

家電機器のような構成部品が多く、また各機種間で主要部品が共用されることが多い製品では、部分構造合成法が有効な解析手法といえる。

### 3.2 感度解析

感度解析<sup>(6)</sup> はある設計パラメータが単位量変化したとき、動特性がどれくらい変化するかを簡単に求める方法である。感度は、設計パラメータに対して動特性関数をテイラー展開したときの微係数で表されるが、通常、一次の微係数のみでかなりよい近似になる。例えば、ある設計パラメータ  $P_i$  に対する  $r$  次の固有振動数  $\omega_r$  の感度は式(8)となる。

$$\frac{\partial \omega_r}{\partial P_i} = \frac{k'_r - \omega_r^2 m'_r}{2 \omega_r m_r} \dots\dots\dots (8)$$

ここで

$$m'_r = \{\psi_r\}^T \frac{\partial [M]}{\partial P_i} \{\psi_r\}$$

$$k'_r = \{\psi_r\}^T \frac{\partial [K]}{\partial P_i} \{\psi_r\}$$

この感度分布を計算しておく、固有振動数などの動特性を変更するにはどこを修正すればよいか明らかになる。

また、式(8)の見方を変え、 $k'_r$ 、 $\omega_r^2 m'_r$  は固有モードが変化しないとしたときの固有モードごとのひずみエネルギーと運動エネルギーである。そして、エネルギーの大きいところは感度が大きく、固有モードごとのひずみエネルギーと運動エネルギーの分布を求めることも設計パラメータを効果的に修正することができる。

## 4. 家電機器への適用例

### 4.1 冷蔵庫への適用

冷蔵庫は深夜でも稼働するため、従来から精力的にその低騒音化が進められてきた。そして、現在では振動伝達音によって生じる 200Hz 以下の耳ざわりな低周波音の対策が重要になっている。

冷蔵庫の加振源は圧縮機であり、その回転数の一次、二次の加振力が支配的である。このため、横置きされた圧縮機は外部に伝達する力を小さくするため、弾性的に 4 点で支持されベップレートに取り付けられる。

図 6 は、冷蔵庫本体から 7 cm の位置で計測した 100Hz における音響インテンシティ分布である。きょう体全面が音響放射面であることが分かる。

次にこれら騒音の原因を調べるため、防音箱に収めた加振機でベップレートを加振し、インピーダンスヘッドで加速度と加振力を求め、また冷蔵庫背面 1 m、高さ 1 m の音圧レベルを測定した。ベップレートを垂直及び水平方向に加振したときのベップレートの加速度と代表点における音圧レベルから求めた音響放射効率を図 7 に示す。図から明らかなように、垂直方向よりも水平方向の方が音響放射効率が高い。圧縮機支持マウントのばね定数を低くして音響放射効率を小さくする必要があることが分かる。

冷蔵庫の配管系は、管径が細いため支持部を必要とするが、この部分からの振動伝達も無視できない。支持点の反力を小さくするため、振動モードを考慮して支持点の変更を行った。このような検討には、支持部がない条件での配管系の振動

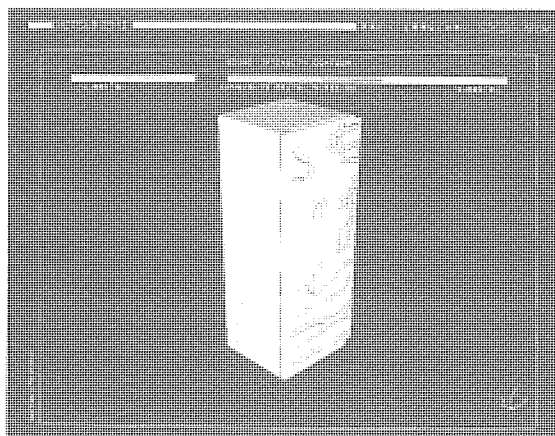


図 6 . 冷蔵庫正面の音響インテンシティ分布(100Hz)

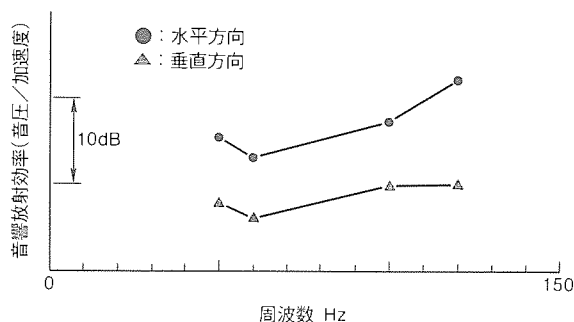


図 7 . 冷蔵庫の音響放射効率



モードを用いて部分構造合成法を利用すると、支持点を変更するたびに配管系を再解析する必要はなく、計算効率を上げることができる。

図8は初期設計と配管支持点を変更したときの支持点反力の比較である。配管の支持点の反力が低減されているのが分かる。

さらに、感度解析を用いてベッスプレートの構造を変更した。図9は構造の変更前後の音響放射効率の比較であるが、15～20dBもの低減が図られている<sup>(7)</sup>。

以上の低騒音化設計を実施した結果、従来型に比較して約3dBの騒音低減を図ることができた。

## 4.2 ルームエアコン室外機への適用

図10にスプリットエアコンの室外機の構造を示す。冷蔵庫の場合と異なり、圧縮機は立形に支持され3点の支持マウントを介してベッスプレートに取り付けられる。また、圧縮機には吸入配管及び吐出配管が接続される。室外機の加振源は圧縮機で、圧縮機の下側のみを支えるので、ベッスプレートに対してはモーメント方向の加振力も作用する。この回転方向加振力が、配管系及びベッスプレートからきょう体又は熱交換機のような放射面積の大きな構造体に伝達して大きな音を放射する。また、インバータが搭載されたエアコンは、広い周波数範囲で運転されるため、設計段階で圧縮機に接続されている配管系や支持系及びベッスプレートの動特性を把握しておく必要がある。

配管系の動特性は汎用ソフトウェアMSC/NASTRANを使用し、有限要素法で解析する。なお、三次元形状を持つ配管の形状データの入力を容易にするため専用プログラム(MAPLE)を開発し、入力データ作成の簡易化を図っている。

配管系はビーム要素を用いてモデル化するが、四方弁や電磁弁などは慣性モーメントを持つ付加質量として考慮している。また、圧縮機の支持マウントの特性は実験で求めたデータベースを使用している。

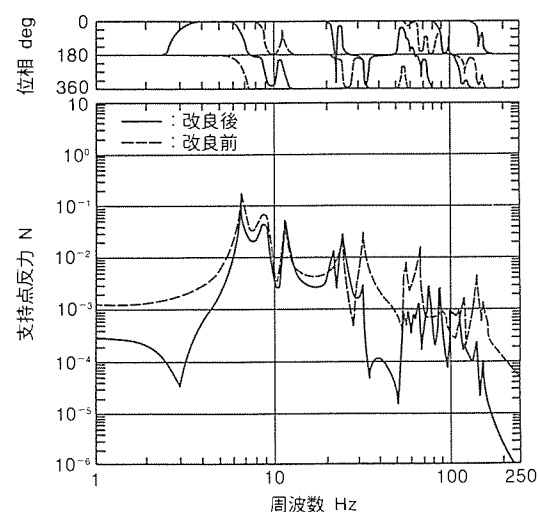


図8. 配管の支持点における反力

部分構造合成法で解析した配管の代表的なモード形状を図11に、実機の伝達関数についての実験値と解析値の比較を図12に示す。ここで、20Hz以下は圧縮機の剛体モード、20～70Hzは吸入及び吐出配管の弾性モード、70Hz以上は四方弁から熱交換機及びフレアバルブまでの配管の弾性モードが主要なモードである。室外機の配管系の固有振動数は非常に多く、一つずつの対応をとることが困難なことを考えると、図12の両者の傾向はよく一致しているといえる。

室外機が屋根など比較的剛性の低いところに据え付けられると、室外機支持脚からの伝達力が建物を加振し、居間などに振動や伝達音が伝わり問題になることが多い。この騒音に対しては、室外機の支持脚が取り付けられているベッスプレートの剛性を高めることが効果的である。ベッスプレートの剛性を高めるため、感度解析を用いて検討した。図13は従来型のベッスプレートの形状と一次曲げモードのひずみエネルギー分布を等高線表示したもので、等高線間隔の狭い部分がエネルギーこう配が大きく感度の高い部分を示している。

ひずみエネルギー分布に着目して形状を変更した改良型ベッスプレートの形状を図14に示す。同じ板厚で一次曲げモードの固有振動数を97Hzから139Hzに上げることができた。

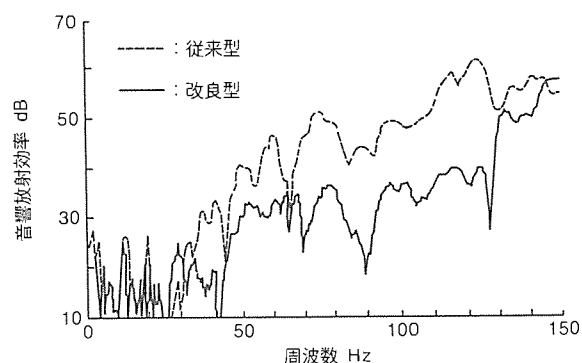


図9. ベッスプレートの音響放射効率

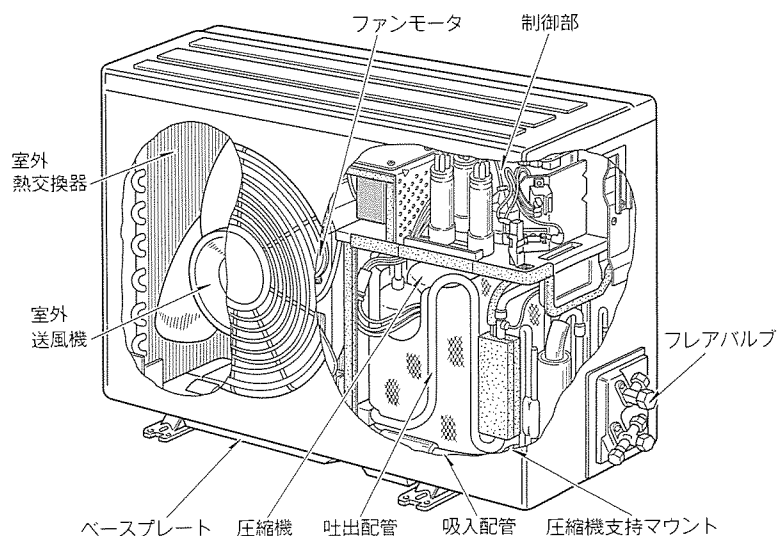


図10. スプリットエアコンの室外機の構造

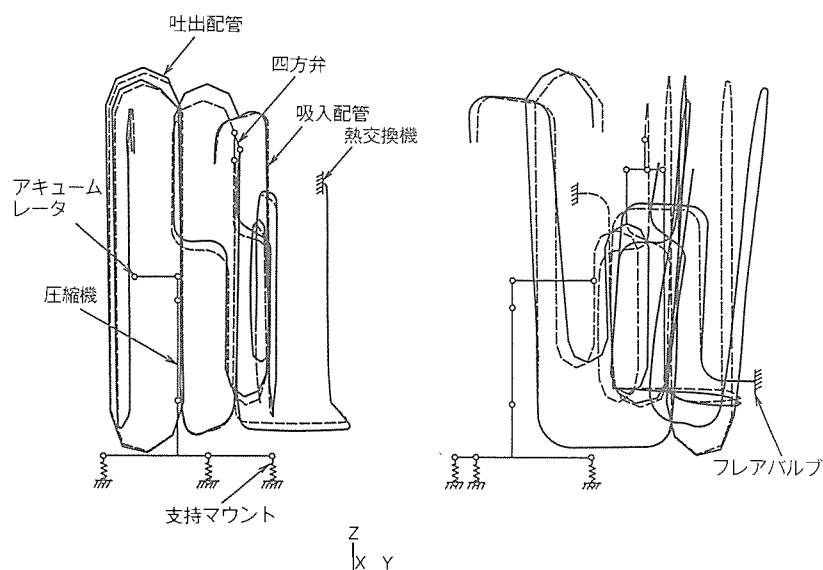


図11. 配管系のモード形状

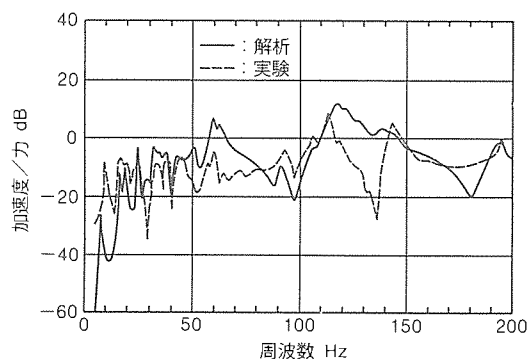


図12. 配管系の伝達関数

## 5. む す び

家電機器の低騒音化設計に対し、固体伝達音に代表される振動による騒音に焦点を当て、各種の振動解析法について述べるとともに、それを適用した具体例について示した。ここで示した各手法は、当社の各種製品の動特性検討に活用されている。今後、更に技術の高度化を図り、低振動・低騒音な家電機器の開発、製作に努力する所存である。

## 参 考 文 献

- (1) 田中英晴, 大鷲勝久, 辻内伸好: 振動低騒音化技術, 三菱電機技報, 62, No. 4, 326~329 (1988)
- (2) 例えば, Gade, S.: Sound Intensity (Part 1. Theory), B & K Technical Review, No. 3 (1982)
- (3) Pavic, G.: Cross Spectral Density Methods for Measuring Structure Borne Power Flow on Beams and Pipes, J. of Sound and Vibration, No. 1, 70 (1980)
- (4) 小泉孝之, 成田正夫, 山田一秀, 持永元喜: 誘導伝導機の電磁騒音低減法, 三菱電機技報, 51, No. 8, 548~552 (1977)
- (5) 日本機械学会編: モード解析の基礎と応用, 丸善(株)
- (6) 岩壺卓三, 中川紀寿, 川井良次, 辻内伸好, 盛岡雄二: 構造物のパラメータ同定におけるベイジアン手法の拡張, 機論, 52, No.484, 3154~3160 (1986)
- (7) Tsujiuchi, N., Koizumi, T., Usui, S., Tsukiori, K.: Vibration and Noise Reduction of Household Refrigerator using Modal Component Synthesis Technique, Proc. of ICEC 2, 917 (1990)

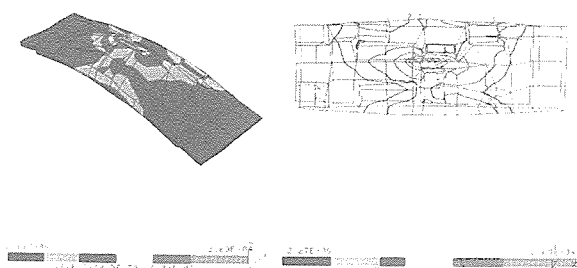


図13. ひずみエネルギー分布形状

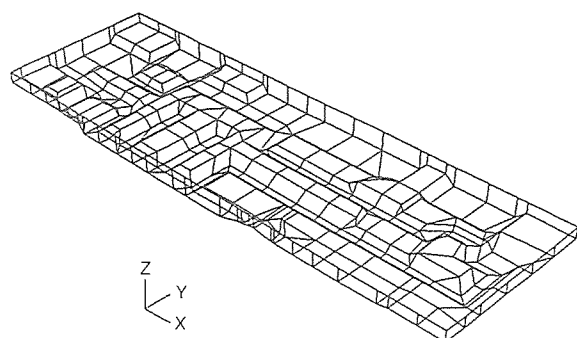


図14. 改良型のベースプレート形状

以上の振動伝達音対策と圧縮機の遮音・吸音処理, 及びファン特性の改善も合わせて実施した結果, 従来型より約 5 dB の低騒音化が達成できた。

# 吸音プラスチックとその応用

## 1. ま え が き

家電製品の低騒音化技術の一つに、騒音源から発生した音を、その音波の伝搬経路の途中で低減する防音対策がある。騒音の発生現象を明確にして、発生源そのもので低騒音化を図る音源対策が望ましいのはもちろんであるが、もともと出力が大きな製品や最近の大容量化の動きに伴って出力を増大する必要が生じた製品では、音源対策以外に防音対策を施すことが不可欠である。

防音対策として消音器や遮音カバーなどが通常用いられるが、これらの内部には音のエネルギーを吸収する吸音材が必要となる。従来は、吸音特性が良くてもコストも安いウレタン、フェルト、グラスウールなどの軟らかい多孔質材料が吸音材として使われてきた。しかし、これらの材料では製品の構造体に接着材を使って張り付けたり、穴あき板を使って押さえ付けたりすることが必要で、生産性が低く、寸法精度も不十分なため品質（減音効果）も不安定になりやすい欠点があった。また、複雑な形状に対応することも困難で、さらに、材料の劣化や飛散などの問題もあった。これらの問題点を解消し、多数の家電製品に防音対策を本格的に導入していくためには、硬質でも吸音特性が良く、コストも安い吸音材を開発する必要があった。

ここで紹介する硬質の多孔質吸音材（以下“吸音プラスチック”という）は、このような要求を満足した全く新しい吸音材で、上記以外にも種々の特長を持ったものである。

最初に吸音プラスチックの基本構造と製造方法を述べる。続いてその特長と吸音特性について、従来の吸音材との比較も含めながら説明する。さらに、換気扇や空調機に使用されているプロペラファンやシロッコファンのファンケーシングに应用した例での騒音低減効果について紹介する。

## 2. 吸音プラスチックの基本構造と製造法

吸音プラスチックは、直径が0.5～2.0mm程度の割合大きな球状のプラスチック粒子を、粒子間に微細な空孔（間げき）を確保した状態で溶着すると同時に、厚さ方向に溶着度合いを変化させることにより、高い吸音特性が得られるようにしたものである。また、このような構造によって任意の吸音特性（吸音率、周波数特性）にすることも可能である。図1に、吸音プラスチックの基本構造を示す。従来も硬質の多孔質吸音材はあったが、非常に小さな粒子を長時間かけて均一

に溶着したものであるため製造コストが高く、家電製品に利用できるような状況ではなかった。今回開発した吸音プラスチックでは、大きな粒子を使っていることにより、急激な加熱によっても粒子間の空孔が十分確保されるため短時間成形が可能となり、その結果製造コストを低減することができた。また、表面付近の粒子の溶着度合いを強くして空孔割合を少なくすることにより、粒子は大きくても音波の吸収と減衰に対して最適な空孔形状に容易に調整できるため、十分な吸音特性を確保することができた。その結果、家電製品に幅広く利用することが可能となった。

実際の家電製品に組み込んで利用する場合には、音を吸収する吸音材だけでなく、音が外部に透過しないように遮るための遮音層が必要となる。製品の構造体を遮音層として利用し、吸音プラスチックを単純に構造体にはめ込んだり、ねじ止めしたりすることによって固定する構造でもよいが、図2に示すように、遮音層も一体で成形するようにしたり、背面

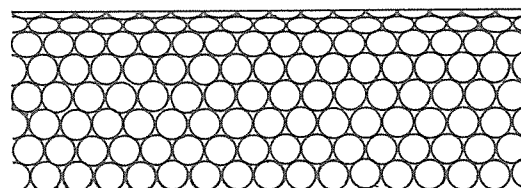
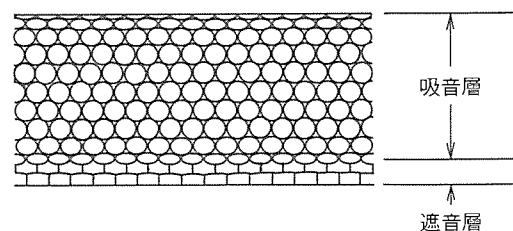
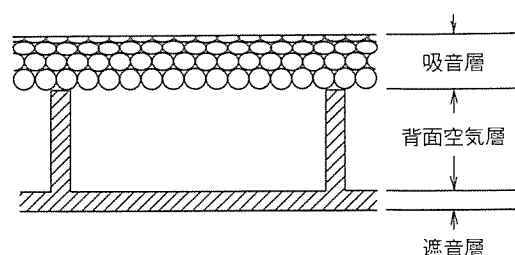


図1．吸音プラスチックの基本構造



(a) 遮音層一体タイプ



(b) 背面空気層利用タイプ

図2．吸音プラスチックを使った吸音構造

空気層を設ける構造にして吸音プラスチックを薄くしたりする構造が効果的である。遮音層一体タイプは、成形時間や重量の問題からあまり厚くできないため、ある程度薄くても吸音特性が良い2~3kHz以上の高周波音の低減に適している。背面空気層利用タイプは、吸音プラスチックの厚さは薄くても背面空気層を使って実質的な吸音部の厚みを大きくすることにより、1kHz前後以下の中・低周波音を低減するようにしたものである。

吸音プラスチックの代表的製造法を図3に示す。プラスチック粒子を金型に投入し、粒子が軟化する温度以上に金型の温度を上げて加熱すると同時に加圧し、所定時間経過後に急冷することにより、成形品が完成する。厚さ方向への溶着度合いの変化は、上下の金型に温度差を設けることによって行われる。また、粒子径や金型の温度と上下温度差を変えることにより、吸音特性を調整することができる。

### 3. 吸音プラスチックの特長と吸音特性

#### 3.1 吸音プラスチックの特長

吸音プラスチックの特長を整理して、以下に列挙する。

- (1) 従来の硬質の吸音材と比べると製造コストが安くなり、また、軟質の吸音材と比べても同程度のコストであるため、多数の家電製品への応用が可能である。
- (2) 構造材としての十分な強度や剛性を確保できるため、必要な形状を維持するための別部材が不要である。
- (3) 成形品のばらつきが少なく品質が安定しており、機械的強度や化学的安定性が高く、経時劣化もほとんどないため、高い信頼性が得られる。

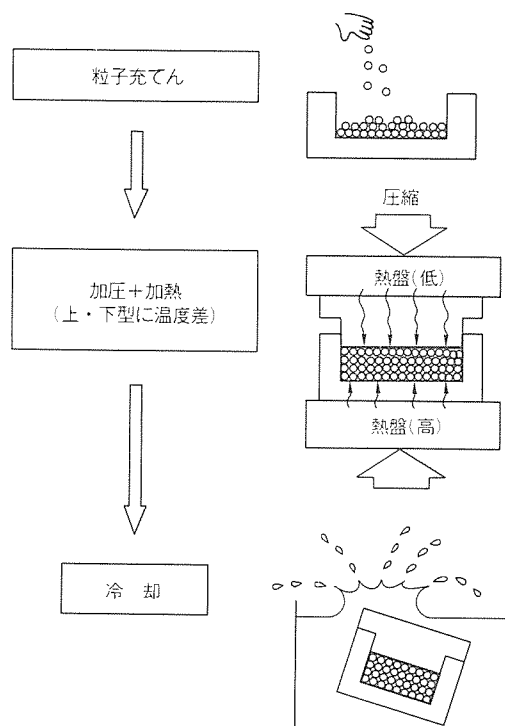


図3. 吸音プラスチックの代表的製造法

(4) 通常のプラスチック成形品と同様に複雑な形状の成形が可能で寸法精度も良いため、音源である運動する物体に近接して配置することにより、最も効果的な吸音構造にすることができる。例えば、ファンのケーシングのように、音源である羽根車に近接した機能部材への応用も可能になった。

(5) 吸音材と遮音材を一体成形することもできるため、構造材の成形工程だけで吸音構造化することが可能である。

(6) 個々の製品で異なった吸音特性（吸音率、周波数特性）が要求されるが、吸音部の寸法をほとんど変えることなく、厚さ方向の空孔分布状態を変えるだけでも広範囲に吸音特性を調整することが可能である。

以上のように吸音プラスチックは、従来の吸音材にはない多くの特長を合わせ持つ全く新しい吸音材であり、家電製品を初めとして騒音が問題となる多くの工業製品に利用されていくことが期待できる。

#### 3.2 吸音プラスチックの吸音特性

図4に吸音特性が良好な従来の軟質の吸音材であるウレタンと吸音プラスチックの吸音率を比較した結果の一例を示す。吸音率は、図5に示すような吸音率測定用の円板状テストピース（径100mm）を使い、JIS規格（JIS A 1405 管内法による建築材料の垂直入射吸音率測定方法）に従って測定した垂直入射吸音率 $\alpha$ である。吸音部の厚さはどれも10mmで、ウレタンと吸音プラスチックBは吸音材の厚さも10mmであるが、吸音プラスチックAは厚さ5mmの吸音材の背面に空

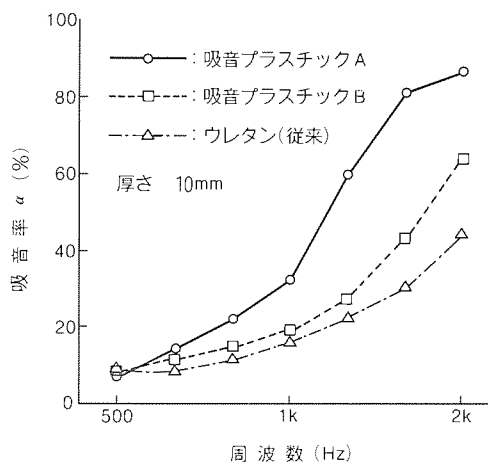


図4. 吸音プラスチックの吸音特性

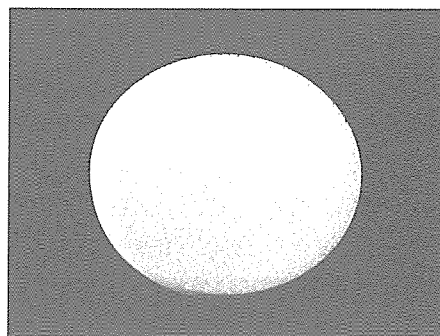


図5. 吸音率測定用テストピースの外観

気層を5mm 設けたものである。図4から明らかなように、吸音プラスチックは吸音材厚さが10mm の場合でもウレタンと同等以上の吸音率が得られるだけでなく、背面空気層を設けた場合にはウレタンの約2 倍の吸音率まで特性が向上することが分かる。このような背面空気層を設けることは、ウレタンのように軟質の吸音材の場合には構造が複雑になり困難であるが、硬質の吸音プラスチックでは容易に実施することができ、吸音特性を向上させる上で有効な手段となる。

図6に、厚さ5mm の吸音プラスチックの背面空気層を3種類変化させて吸音特性を比較した結果を示す。背面空気層はAが最も少なく、B・Cの順に段々大きくなっている。どの場合も吸音率の最大値が100%近い最良の吸音特性が得られており、また、背面空気層が大きくなるほど吸音率が最大となる周波数が低くなる。AとCではこの周波数が半分程度まで変化しており、製品の騒音特性に合わせて背面空気層を変化させることにより、最も効果的な吸音構造にすることが可能であることが分かる。

図7には、吸音プラスチックの表面付近の粒子の溶着度合

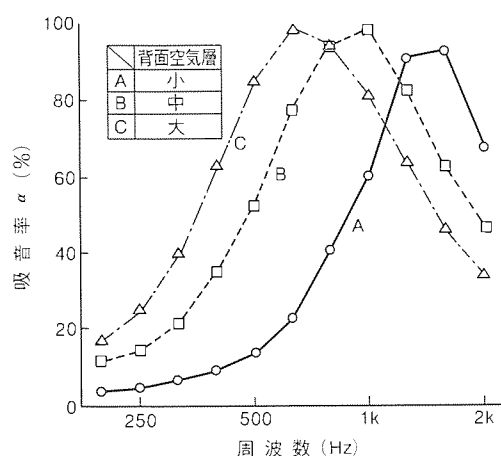


図6．吸音率に及ぼす背面空気層の影響

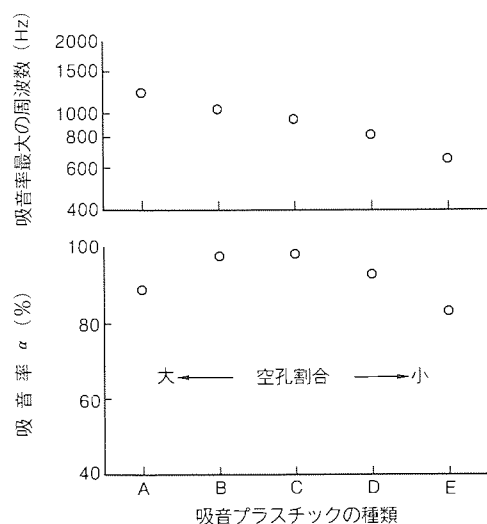


図7．吸音率に及ぼす空孔割合の影響

いを変えることにより、空孔割合を5種類変化させた場合における吸音率の最大値と、そのときの周波数をプロットした結果について示す。横軸は表面付近の空孔割合が異なった5種類の吸音プラスチックを示しており、Aが最も空孔割合が大きいもので、B・C・D・Eの順番で徐々に空孔割合が小さくなったものである。この図から、吸音率の最大値が最も大きくなる空孔割合が存在するが、ここに示した5種類の吸音プラスチックはどれも90%前後の非常に良好な吸音特性を示しており、また、空孔割合が小さくなるほど吸音率最大の周波数が低くなることも分かる。AとEでは半分程度まで周波数が変化しており、粒子の溶着度合い、すなわち空孔割合を変化させることによって、製品の騒音特性に合わせた吸音構造に調整できることが分かる。

以上の構造パラメータ以外にも、粒子径や板厚及び粒子の溶着度合いの厚さ方向への変化割合などを変えることによって、吸音特性を幅広く調整することができるため、それぞれの製品に最も適した吸音構造を選択することが可能である。

#### 4. ファンケーシングへの応用

吸音プラスチックが単純な消音器や遮音カバーに応用できることは当然であるが、ファンのケーシングのように、音源である羽根車に近接した複雑な形状の機能部材への応用も可能であり、省スペースで吸音効果も高い効率的な吸音構造が実現できる。ここでは、換気扇や空調機に使用されている代表的なファンであるプロペラファンとシロッコファンのファンケーシングに応用した例について紹介する。

##### 4.1 プロペラファンへの応用

図8に、当社開発の低騒音プロペラファンである《エクストラファン》<sup>(1)</sup>のダクトケーシングに吸音プラスチックを応用した場合の外観を示す。厚さ5mm の吸音プラスチックで成形したダクトの外側に、20mm の背面空気層を確保して遮音用のダクト（図では吸音プラスチックが見えるように透明の亚克力製ダクトを使用）を設けたものである。図9に概略の断面構造を示す。

この場合の空力性能と騒音特性を、通常のダクトケーシ

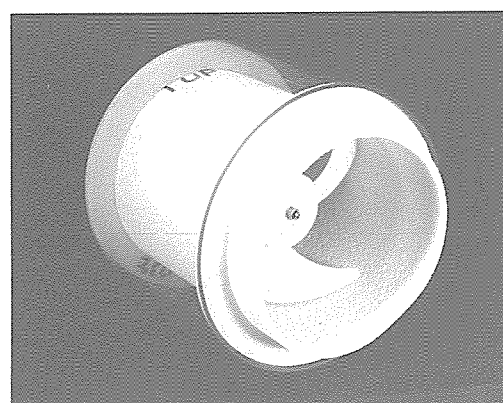


図8．吸音ケーシング プロペラファンの外観

ゲの場合と比較した結果を図10に示す。吸音ケーシング プロペラファンは通常のファンとほぼ同等の空力性能を確保しつつ、どの風量ポイントでも騒音レベルが5dB(A)程度低減していることが分かる。図では示していないが、吸音ダクトケーシングの長さを騒音測定側にダクト径程度延長させることにより、さらに2~3dB(A)騒音を低減できることが確認されている。

#### 4.2 シロッコファンへの応用

図11に、羽根車やスクロールケーシングの形状を最適化することにより、低騒音化を図ったシロッコファン<sup>(2)</sup>のスクロールケーシングに吸音プラスチックを応用した場合の外観を示す。厚さ5mmの吸音プラスチックで成形したスクロールの外側に遮音用の角箱(図では吸音プラスチックが見えるように透明のアクリルで製作)が設けられ、平均的に40mm程度の背面空気層が確保されている。図12に概略の断面構造を示す。スクロールケーシングの渦巻き形状に対して遮音箱を角形形状にしているため、デッドスペースを背面空気層として有効に利用できる構造となっており、実質的な寸法はそれほど大きくしなくても、シロッコファンの騒音特

性に合わせた吸音構造にすることが可能となっている。

この場合の空力性能と騒音特性を、通常の鉄板製スクロールケーシングの場合と比較した結果を図13に示す。吸音ケーシング シロッコファンは、通常のファンと比べて空力

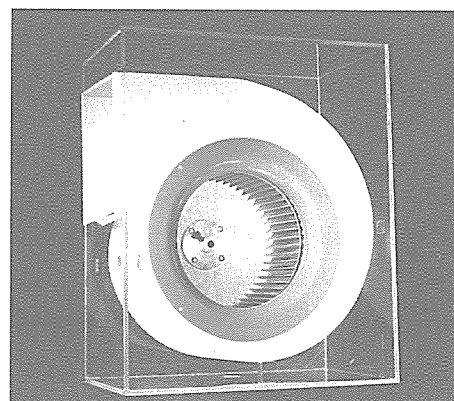


図11. 吸音ケーシング シロッコファンの外観

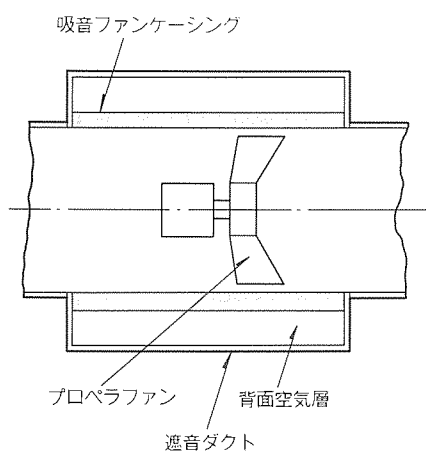


図9. 吸音ケーシング プロペラファンの構造

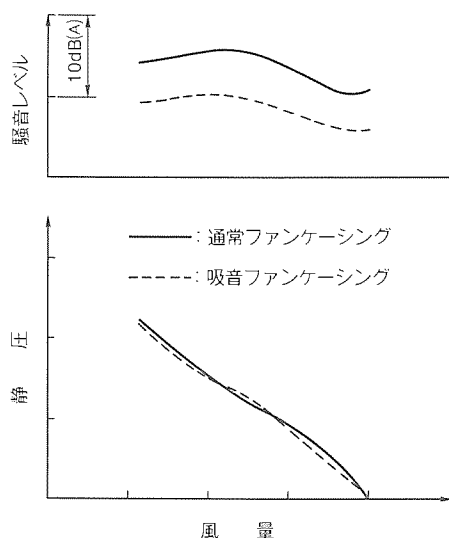


図10. プロペラファンにおける吸音ケーシングの効果

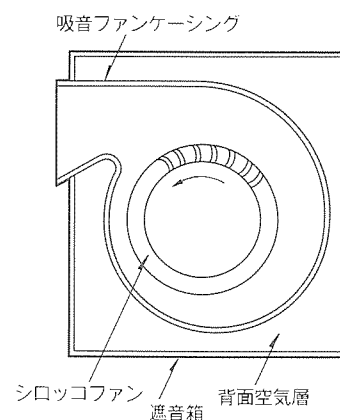


図12. 吸音ケーシング シロッコファンの構造

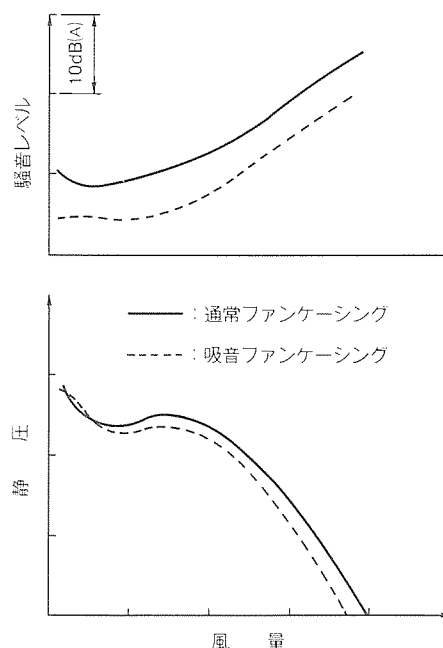


図13. シロッコファンにおける吸音ケーシングの効果



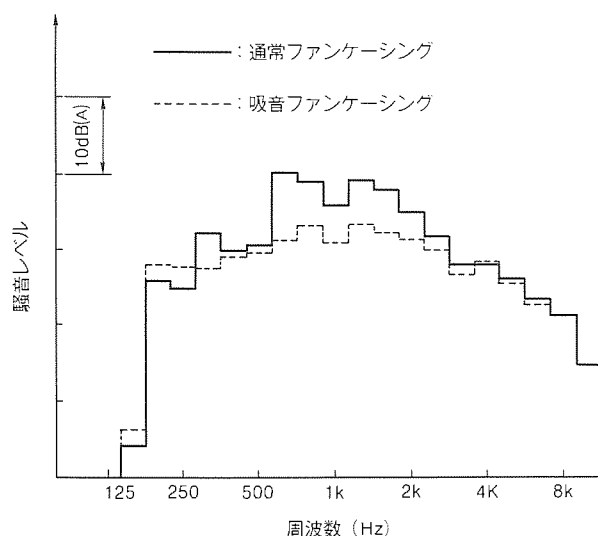


図14. 吸音ケーシングと通常ケーシングの騒音スペクトル

性能は多少低下しているが、どの風量ポイントでも騒音レベルが5dB(A)前後低減しており、総合的にも4dB(A)程度の騒音低減効果が得られている。

図14に中間的な風量ポイントにおける鉄板製スクロールケーシングと吸音スクロールケーシングの $\frac{1}{3}$ オクターブ周波数分析結果を示す。この図から、吸音スクロールケーシングの使用によって315Hzの周波数バンドと630~2,000Hz前後の周波数バンドで最大10dB(A)近く騒音が低減していることが分かる。これらの周波数領域は、Moreland<sup>(3)</sup>によって示されたケーシング内での共鳴が生じている領域であり、吸音スクロールケーシングが単純な吸音効果だけでなく共鳴現象に対して、より効果的に働いていることが推測される。

## 5. む す び

生活が豊かになり、家電製品に対しても、一次機能だけでなく快適性を満足させる仕様が重要になってきており、快適な環境を損なう騒音の低減に対する要求が年々強まってきている。このような要求にこたえるためには、音源対策だけでは困難な状態になってきており、効果的で大量生産にも向いた防音対策技術が必要となってきている。

このような状況の中で、本稿で紹介した吸音プラスチックは、大量生産の家電製品に向けた低コストの吸音材として、1989年9月に発売した当社の電気掃除機に部分搭載されたのを最初に、1990年9月発売の電気掃除機に全面採用された。さらに、1991年3月発売の業務用空調機の室内ファンケーシングにも採用され、本格的な応用の段階に入っている。今後も当社の電気製品に順次搭載し、製品のより一層の低騒音化を図っていく予定である。

## 参 考 文 献

- (1) 田中英晴, 大鷲勝久, 辻内伸好: 振動・騒音低減化技術, 三菱電機技報, **62**, No. 4, 326~329 (1988)
- (2) Morinushi, K.: The Influence of Geometric Parameters on F. C. Centrifugal Fan Noise, ASME Journal of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design, **109**, 227~234 (1987)
- (3) Moreland, J. B.: Housing Effects on Centrifugal Blower Noise, Journal of Sound and Vibration, **36**, 191~205 (1974)

# ロータリ圧縮機の低騒音・低振動化

川口 進\*  
酒井正敏\*

## 1. ま え が き

当社は、1980年に世界初の低温用横置型ローリングピストン式ロータリ圧縮機 (KLZ シリーズ) の開発、量産導入に成功し、冷蔵庫用圧縮機のロータリ化の先駆を成し遂げた。また、1984年には、小型・軽量・高効率を追求した XLZ シリーズを量産化し、さらに1987年には、冷凍能力の拡大を図った YLZ シリーズを量産化した。現在では、ほとんどの冷蔵庫にこのローリングピストン式のものが搭載されている。

一方、昨今の冷蔵庫の大型化に伴い、圧縮機の大容量化も進んでいる。当社はこの流れにいち早く対応し、冷蔵庫用大容量ロータリ圧縮機の開発と静音化に取り組んできたが、500ℓに代表される超大型冷蔵庫の比重が高まるとともに、更なる静音化、低振動化が課題となっていた。

当社では、この課題を解決するために、静音化と低振動化とに主眼において各種方式及び構造のロータリ圧縮機の騒音と振動の比較を行い、また起動時等の過渡現象においても比較を行った。その結果、低压シェル中つ(吊)り方式ロータリ圧縮機が最も優れていることを確認した。

この結果をもとに、従来給油及び圧縮室のシール性等からロータリ圧縮機では困難とされていた横置低压シェルを採用し、新給油方式の採用により、給油及びシール性の問題を解決した世界初の中吊り方式ロータリ圧縮機“FLZ”(図1)を開発し、従来の圧縮機に比較して、定常音で6dB(A)、起動時音で8~10dB(A)の静音化を達成し、定常振動において従来の1/4となる低振動化を達成した。

## 2. 各種方式ロータリ圧縮機の騒音及び性能比較

### 2.1 騒 音 比 較

冷蔵庫用圧縮機としては、コンロッド式レシプロ圧縮機

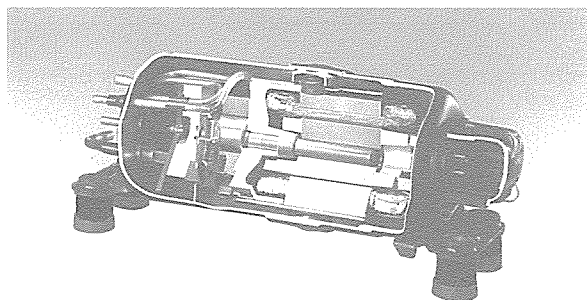


図1. 世界初低压シェル中吊り方式ロータリ圧縮機“FLZ”

(以下“レシプロ圧縮機”という。)とローリングピストン式ロータリ圧縮機(以下“ロータリ圧縮機”という。)とが一般的であるが、小型・軽量・高効率のため、近年、ロータリ圧縮機が主流であるので、静音化に当たってもロータリ圧縮機に限って各種方式の比較を行った。

ロータリ圧縮機として図2に示す各方式が考えられるが、今回は性能等とのからみも考慮して、図中\*印のものの騒音比較を行った。その結果を図3に示す。これらから、中吊り方式のものが騒音において優れており、特に3kHz以上の高周波において優れている。また、駆動源となるモータの電磁音(主に500Hz以下)による影響も中吊り方式の方が少ないのは明らかである。また、シェル内の圧力による比較を行うと、明確な差はない。しかし、中吊り方式を採用する場合、シェルの剛性及び共振モードから考えて、シェル内にガス脈動を発生させるのは好ましくない。したがって、ガスの流れがシェル内を経由しない直接吸入、直接吐出方式が静音化には効果的となる。図4に、高压シェル中吊り方式で吐出ガスをマフラーを介してシェル内に放出する仕様とマフラーから出たガスを直接シェル外へ吐出する仕様の比較を示すが、直接吐出の方が明らかに低騒音である。

また、起動音に関しては、高压シェル方式では中吊り等の吊り方にかかわらず、ベーンのチャタリング音が発生する。これは、以下のような理由によって起こる。高压シェル方式の場合、ベーンのローリングピストンへの押し付け力はスプリング力と背圧とからなり、ローリングピストンと接触するベーン先端のしゅう(摺)動状態の最適化のためあまりスプリング力を大きくすることはできないので、起動時等圧縮室内の油及び液冷媒の濃度が高いとベーンが水撃作用圧力でローリングピストンから遊離し、そのベーンがローリングピストンに再接触するときチャタリング音が発生する。

一方、低压シェル方式では、実使用上チャタリング音は発

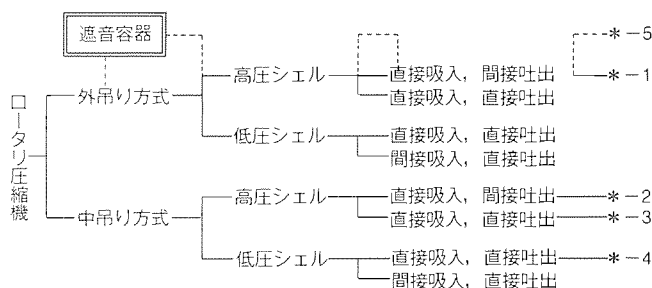


図2. ロータリ圧縮機各種方式

生しない。低压シェル方式の場合、ベーンのローリングピストンへの押し付け力はスプリング力だけである。したがって、高压シェル方式のベーン背圧力に相当するスプリング力の付加が可能となり、その結果チャタリング音の発生はなくなる。

また、図2に示すように現在一般的に使用されている高压シェルに圧縮機構本体及びモータ部を直接固定している方式のもの（以下“外吊り方式”という。）を遮音容器で包み込む構造も考えられ、図5に遮音容器の大きさと定常音、起動音の関係を示す。これらからも明らかに遮音により、定常音の低減効果は大きい、起動音の発生に対して根本的な効果はない。

## 2.2 性能比較

2.1節の騒音比較で示した中での騒音低減効果の最も大きい低压シェル中吊り方式ロータリ圧縮機と現状主流である高压シェル外吊り方式ロータリ圧縮機との性能、入力比較を図6に示す。図中の実能力とは実際に出る能力を表し、理想能力とは実能力を出すのに必要な圧縮室容積が理想的な能力を出す想定したときに出すことができる能力を表す。また、正味圧縮仕事とは、理想能力を出すのに必要な理想図示仕事を示し、全入力とは、実能力を出すのに必要な実入力を示す。この結果、能力については主にプリヒート（吸入ガス加

熱）の相違とローリングピストン内径部が高压か低压かによる漏れ特性の相違とがあり、高压シェル方式の方が低压シェル方式に比べ容積効率の良い。また、入力については容積効率の相違によって正味圧縮仕事に相違を生じるが、漏れによる入力増は高压シェル方式特有のものであり、全入力を比較するとほぼ同等となる。したがって、同一能力を出すためには低压シェル方式の方が圧縮室容積を大きくしてやる必要があるが、圧縮機の効率では両者の差はほとんどない。

参考のために、直吸入低压シェル中吊り式レシプロ圧縮機的能力、入力も記載しておく。能力については、吸入弁があることによる吸入圧損、トップボリュームが構造上ロータリ式より大きいことによるガス再膨張、吸入マフラーによるプリヒート等により、同一能力を出すのに必要な圧縮室容積はロータリ式の約1.4倍となる。また、入力に関しては、圧縮工程がロータリ式の半分の時間で行われるためのオーバーシュートロスの増加及び吸入弁による吸入圧損が特徴であり、圧縮機の効率としてはロータリ式に比べ悪くなる。

## 3. 低压シェル中吊りロータリ圧縮機“FLZ”の特長

### 3.1 諸元及び特長

今回製品化した低压シェル中吊りロータリ圧縮機“FLZ”の主な諸元及び特長を表1に示す。表に示すように、質量、外径寸法では従来の外吊りロータリ圧縮機に比べ不利となっている。しかし、同程度の能力のレシプロ圧縮機と比べると、

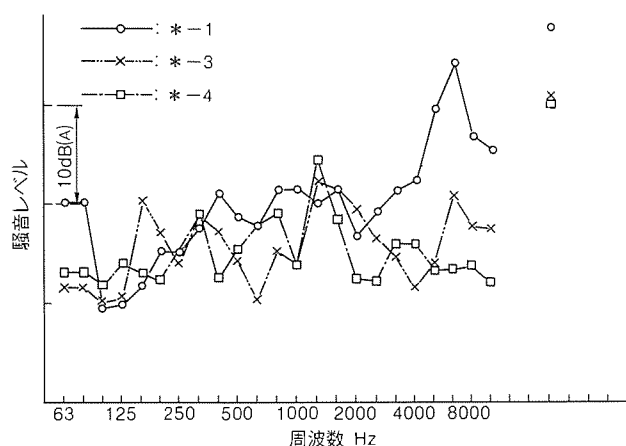


図3. 各種方式ロータリ圧縮機騒音比較

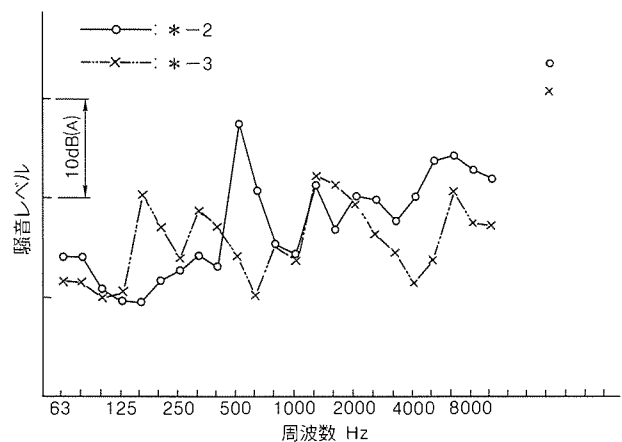
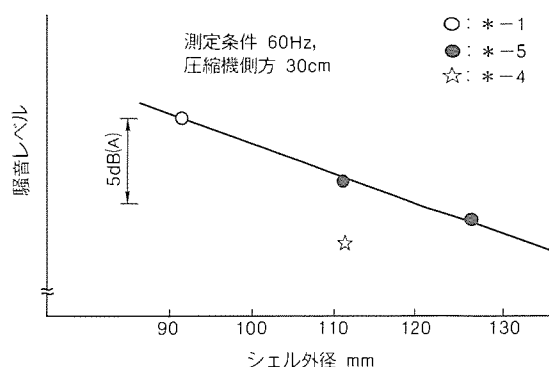
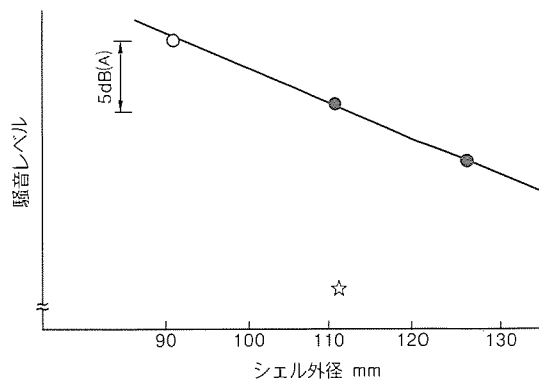


図4. ガス吐出方式(直接, 間接)の騒音比較



(a) 定常音



(b) 起動音

図5. 遮音容器の大きさと騒音レベルの関係

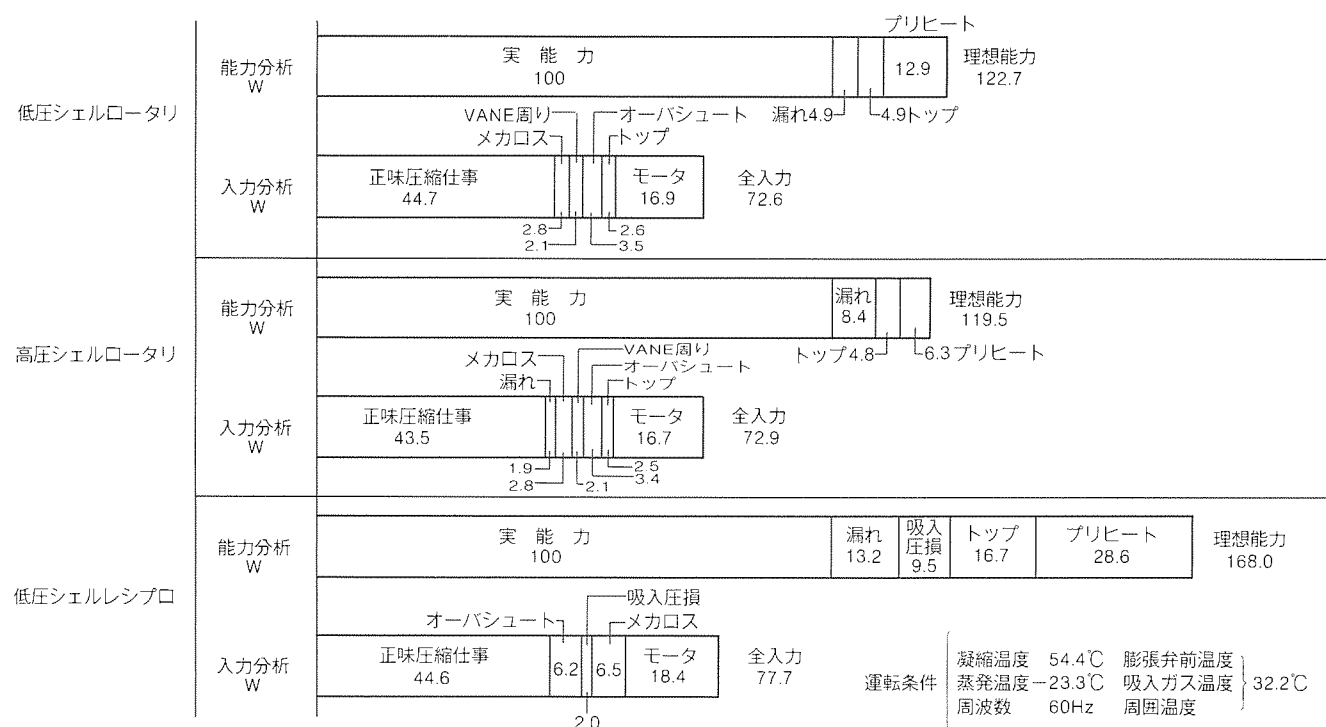


図 6 . 各種 REF 用圧縮機能力入力比較(能力180Wクラス)

表 1 . FLZ の特徴(当社従来機 YLZ との比較)  
(冷凍能力=270W クラス)

	F L Z	Y L Z
寸 法 (mm)	径112×241	径93×196
質 量 (kg)	7.5	5.7
圧縮機構保持	中吊り方式	外吊り方式
シェル内圧力	低 圧	高 圧
給油方式	トロコイドポンプ強制給油	差圧給油
冷却方式	オイルクーラー＋ファン冷却	ファン冷却

質量で約 70%，体積で約 50% となっており，かなりの利点であろう。

## 3.2 構 造

図 7 は，“FLZ” 圧縮機の断面であり，全体構造を示す。また，この圧縮機特有の構造の主なものを以下に記す。

### 3.2.1 中吊り方式

図 7 に示すように，圧縮機本体は上下 2 個のスプリングと吐出管によって支持されている。上下のスプリングは，ステータコアの切欠部分を利用して収納することによって中吊り方式の小型化に成功し，シェルの小型化を実現した。また，上下のスプリングにより，圧縮機本体のほぼ重心を支持し，2 個のスプリングの装着長さ及びばね定数を同じにしたことと，圧縮機本体及びシェルと吐出管との固定を駆動軸の回転中心軸線上に一致させたことにより，連成振動を防止した中吊り構造とした。その結果，従来の外吊りロータリ圧縮機に対して振動を 1/4 に低減することができた。この中吊り構造を設計するに当たって用いた計算機モデルを図 8 に示し，そ

の周波数応答結果を図 9 に示す。

### 3.2.2 軸受給油方式

図 7 に示すように，超小型のトロコイドポンプを駆動軸に直結して駆動させることにより，軸受部の強制給油を行っている。この強制給油の油の一部は主軸受を潤滑した後，シェル内の油貯留部に戻る。また，残りはシェル外へ導びかれ空冷された後，密閉容器内への油貯留部に戻る。このトロコイドポンプの使用により，ポンプの油排出圧力に余裕ができたため，シェルの外へ導びいた配管での油の空冷が可能になった。

### 3.2.3 圧縮室内給油

従来，外吊りロータリ圧縮機は，一般に高圧シェル方式を採用している。圧縮室内各部すき間のシールは，ローリングピストンの内周側を高圧（吐出圧）にし，ローリングピストンと軸受板とのすき間を通して圧縮室内へ大量の油（低温用圧縮機ではシリンダ内で十数質量%）を流入させ，油によって行っている。したがって，油によるシールを採用しているため，各部すき間の性能への影響感度は油の少ない場合に比べ小さかった。また，大量の油が圧縮室から吐出されても吐出マフラーを冷媒ガスとともに通った後，シェル内空間を利用して油と冷媒ガスとの分離が行われ，実際に圧縮機外へ持ち出される油は質量で 1 % 以下が通例である。

今回開発した“FLZ” 圧縮機は低圧シェル方式を採用しているため，圧力の力学的関係からローリングピストン端面から圧縮室への油の流入はない。そのため，図 10 に示すように，この圧縮機では，軸受板のローリングピストン摺動部に座ぐりを設け，ローリングピストンの偏心転動運動を利用して，駆動軸 1 回転中，ローリングピストン内側と通じる区間

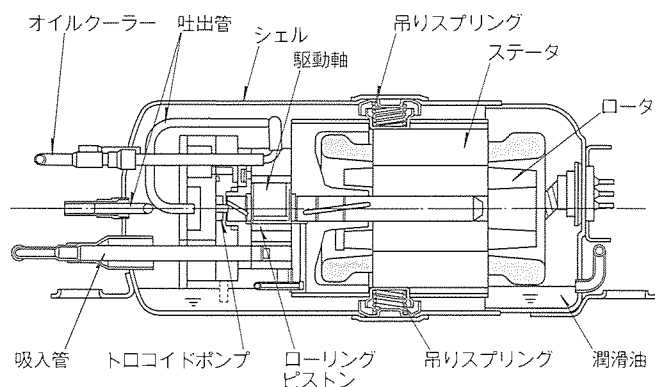


図7. 低圧シェル中吊り方式ロータリ圧縮機“FLZ”断面

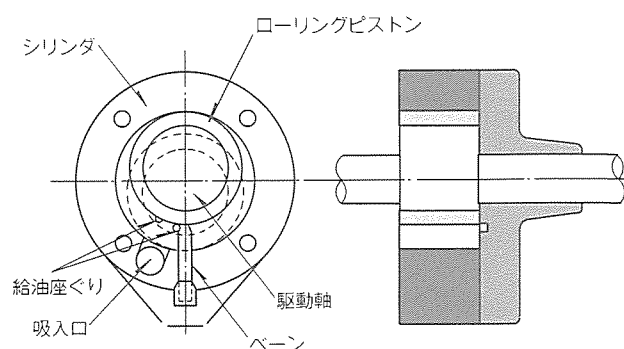


図10. 圧縮室内給油機構

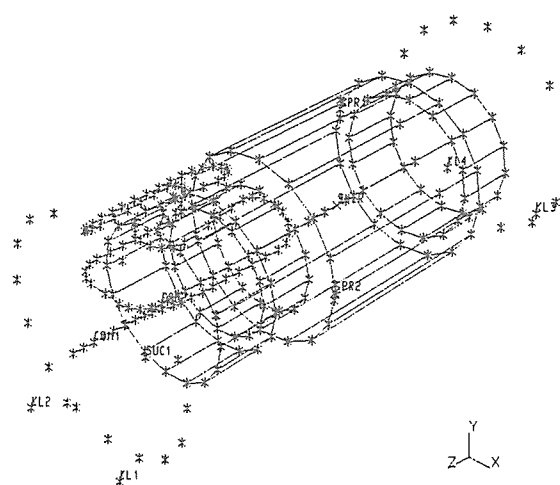


図8. 振動解析用計算モデル

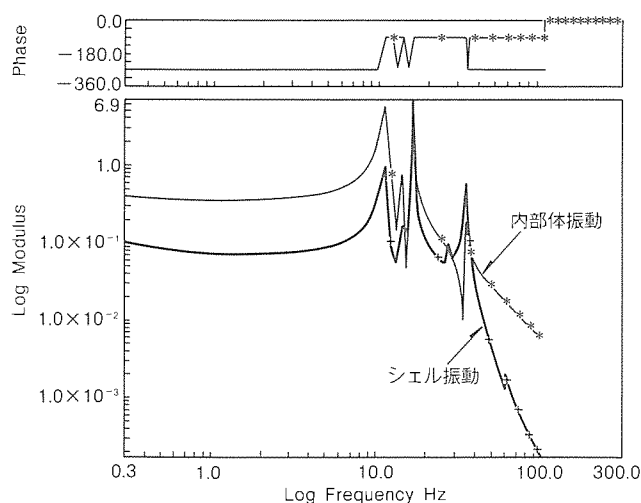


図9. 周波数応答計算結果

とローリングピストン外側と通じる区間があるように、座ぐりを位置させることにより、圧縮室内低圧部へサイクリックな給油を行うようにした。また、高精度な加工及び組立技術を導入することにより、従来の1/10程度の油で従来と同等のシール性を確保することができた。

### 3.2.4 ベーン押圧機構

2.1 節騒音比較の項でも述べたが、低圧シェル方式では圧縮及び回転運動により、加わるベーン先端への力に対抗する

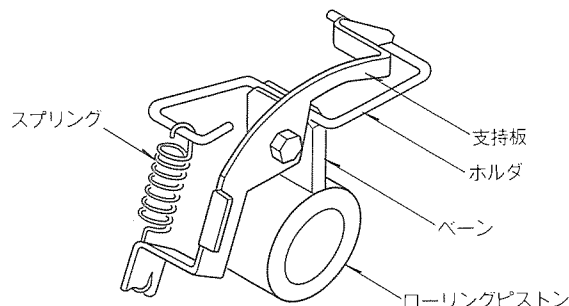


図11. ベーン押圧機構

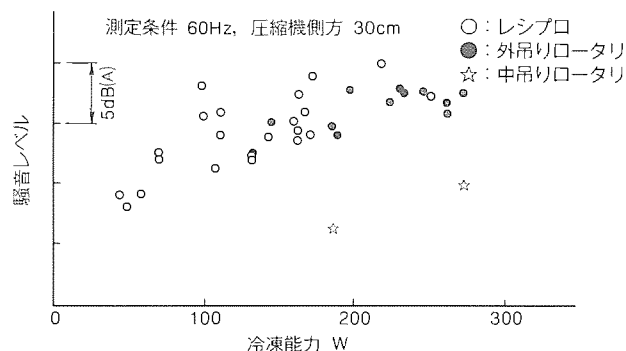


図12. 冷蔵庫用圧縮機の騒音比較

ための力として背圧を利用することはできない。そのため、スプリング等によって押し付け力を得る必要がある。図11に示すようにこの圧縮機では、己字状のホルダと引張りスプリングと各々の固定部材とにより、倍力機構を構成することによって必要な押し付け力を発生させている。この押圧機構はコンパクトに構成でき、シリンダ本体にスプリング装着等の穴を設ける必要もないのでシリンダの剛性の面からも好ましい。

## 4. 新開発ロータリ圧縮機と従来の圧縮機の比較

### (1) 性能・騒音・振動

性能等諸特性について表2に比較結果を示す。この結果、ロータリ圧縮機の高効率を維持しつつ、騒音と振動を大幅に低減していることが分かる。

また、図12に従来のロータリ圧縮機及びレシプロ圧縮機

表 2. 性能等諸特性比較(冷凍能力=270Wクラス)

		F	L	Z	Y	L	Z
成績係数		1.4			1.4		
騒音	定*						
	常音						
	dB(A)	6dB(A)					
起音	瞬**						
	時動						
	dB(A)	8dB(A)					
振動 $\mu\text{m}$		1/4			280		

注 \* 圧縮機側方30cmで測定

\*\* 冷蔵庫前方1m, 高さ1mで測定

と新開発ロータリ圧縮機の冷凍能力と騒音の比較を示す。従来機の騒音レベルの分布に対して, “FLZ” 圧縮機が静音化されているのは明らかである。

## (2) 起動時騒音

起動時騒音に関しては, 過渡現象であり, 冷媒の挙動とも深くかかわっているので実使用状態で評価する必要がある。そこで, 冷蔵庫に実装して起動前後の音の評価を行った。図13は無響室で周囲温度20℃, 冷蔵庫前方1mで測定した値である。起動音に関して8~10dB(A)の騒音低減となってい

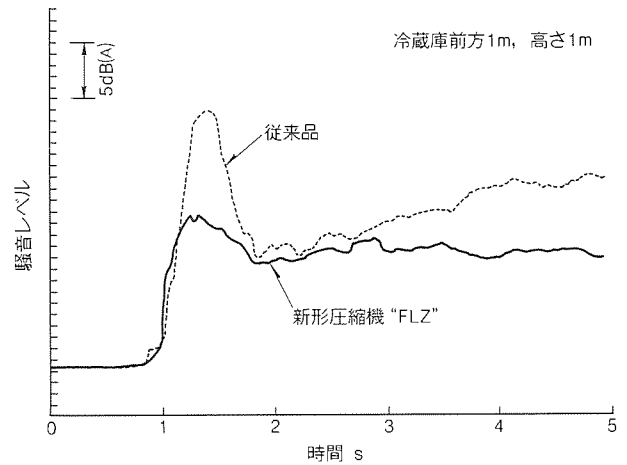


図13. 起動音

る。なお, この測定に当たっては, 音の信号処理として下式を用いた。

$$L = 10 \log_{10} \left[ \frac{\Delta t}{T_0} \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \right]$$

$L$  : 騒音レベル (dB(A))

$L_i$  : 騒音瞬時値 (dB(A))

$T_0$  : 0.25 (s)

$\Delta t$  : 1/128,000 (s)

## 5. む す び

以上述べたように, 低温用中吊り方式ロータリ圧縮機を世界に先駆けて開発し, この圧縮機が従来のロータリ圧縮機に対して, 騒音と振動において特に優れていることを示した。これは, 冷蔵庫用圧縮機として必要な機能を追求するために, 圧縮機の基本構造に立ち返って検討した結果, 産まれたものであり, 今後の冷蔵庫用圧縮機の一つの流れとなり得ると確信している。



# ルームエアコンの低騒音化

月居和英\* 青木克之\*  
白井重雄\* 永野雅夫\*  
磯野一明\*

## 1. ま え が き

現在、生活環境は様々な騒音に囲まれ、生活へ種々の影響を与えている。特に近年、居住環境・生活様式の変化により、夜間の家電品の利用増加をもたらし、それらの運転音による生活騒音が社会問題視されてきている。ルームエアコンでも例外ではなく、低騒音に対する市場の要求も一段と強まり、快適な空調空間を実現する上で“静かである”という項目は必要不可欠なものとなっている。特に住宅の密集化やエアコンの買増し需要の増加に伴い、室外機の騒音に対してはここ数年急速に注目されてきた。

このような市場環境下で、低騒音化は商品力を高める上での重要な技術課題である。そこで91シーズン年度スプリット形のエアコンにおいて当社従来品に比べ、室内機及び室外機とも大幅な騒音値の低減を行い、業界トップクラスの低騒音ユニット(MSZ-2801)(図1)を開発した。

本稿では、室内機・室外機の低騒音を図る上での技術課題を明確化し、その技術開発と成果について報告する。

## 2. ルームエアコンの構造とその騒音要因

スプリット形のエアコンの室内機と室外機の構造について述べる。図2は室内機の縦断面、図3に室外機の透視図を示す。

室内機は、熱交換器とクロスフローファンと呼ばれる多翼の送風機が設けられている。

室外機は、送風機室と機械室で構成されている。送風機室には、熱交換器とプロペラファンタイプの送風機が設けられている。また、機械室には、圧縮機・四方弁・減圧器などの冷媒素子、それらを結ぶ配管類及び圧縮機の運転など制御するインバータ部が設けられている。

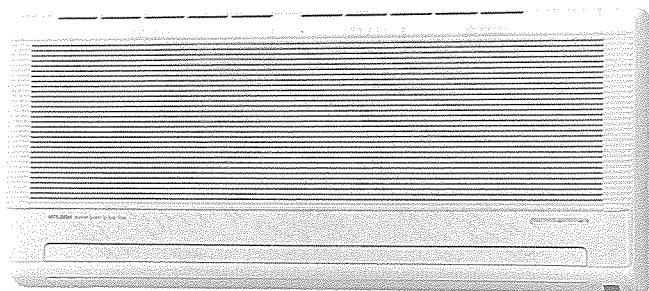


図1. 低騒音ユニット MSZ-2801 室内機

これらの運転時の騒音は、図4のような要因に分類することができる。室内機の騒音は、送風機を運転することによって発生する送風音、送風機用に同軸上に取り付けられたファンモータの磁気振動がきょう体に伝わり発生する電磁音、熱交換器内部を冷媒が流れる際に生じる冷媒音、送風機を支持するベアリング部から発生するしゅう(摺)動音などがある。この中で室内機の騒音レベルを支配しているのは送風音である。

室外機の騒音は、送風機を運転することによって発生する送風音、ファンモータによる電磁音、熱交換器・減圧器・配管部から発生する冷媒音、圧縮機シェル表面から放射される圧縮機音、圧縮機による振動が圧縮機を支持する防振ゴムや配管によってきょう体に伝達され、これらの表面から発生する振動伝達音、インバータ部を構成するリアクタなどの電気部品による電磁音などがある。この中で室外機の騒音レベルを支配しているのは、送風音・圧縮機音・振動伝達音である。

## 3. 室内機騒音低減

送風音を大別すると回転音と乱流音に分けられる。回転音は、大きな乱れが羽根車に流入したときや、羽根車から流出した後流とケーシング舌部との干渉で発生する音で、“回転数×羽根枚数”の周波数とその高調波成分からなる離散周波数音である。乱流音は、翼からの流れのはく(剥)離や、翼後流の渦、及び翼の上流からの乱れなどが要因となり、翼面での圧力変動が生じることによって発生する音で、幅広い周波数帯域に成分をもつ騒音である。また、羽根車から吹き出

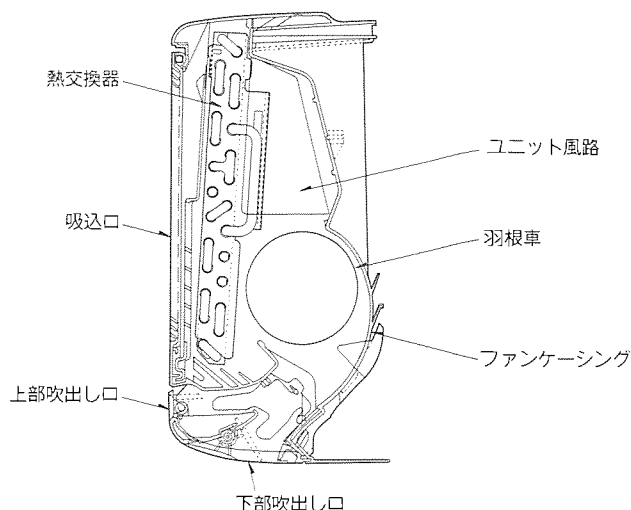


図2. 室内機の縦断面

された後の吹出し口での流れの剥離に伴う渦も乱流音発生の要因である。この送風音を低減するためには、送風機単体の改善と風路系の改善を図り、両者を最適化設計することが必要である。送風機単体の改善とは、翼からの流れの剥離や後流渦を抑制するもので、翼の反り角、弦長、翼後縁の形状などを最適化することである。風路系の改善とは、羽根車への流れの乱れを抑制することである。

次に、この風路系改善の技術的アプローチについて述べる。この改善を行う手順として、まず流れの状態を調べる。そのためには、流れの可視化が必要である。一般的にこの方法には実験的手法が用いられ、レーザ流速計を用いる手法、圧力測定から流速を割り出す手法、トレーサを流し観察する手法（スモーク法など）、等がある。

### 3.1 羽根車上流の改善

図5に示すのが、ユニット風路内の羽根車上流流れをスモーク法を適用して検討した例である。図5(a)は、従来のユニット風路の流れ状態を示す。この図から、流れが風路に沿わず、壁面近傍で乱れが発生して羽根車に流入し、回転音に悪影響を与えていることが判明した。そこで図5(b)の風路形状とすることで、壁面近傍の乱れを抑制した。図6に、この騒音分析例を示す。図に破線で示した従来風路の騒音は、800Hz帯に回転音成分を持っていたが、実線で示した改善風路の騒音は、この成分が低下している。

### 3.2 羽根車下流の改善

羽根車下流の流れをトレーサを流して可視化した流れ状態例を図7に示す。図7(a)は、従来ケーシングの流れ状態を示す。この図から、羽根車からの吹出し流れがケーシングに衝突して剥離を起こし、乱流音に悪影響を与えていることが判明した。図7(b)は、流れがケーシングに衝突する部分を広くした改善ケーシングでの流れ状態図である。この図から、流れはケーシングに沿って流れるよう改善されていることが分かる。この改善により、吹出し口での乱流音が低下し、加えてケーシング内部の流れの実流路が拡大したことで内部損

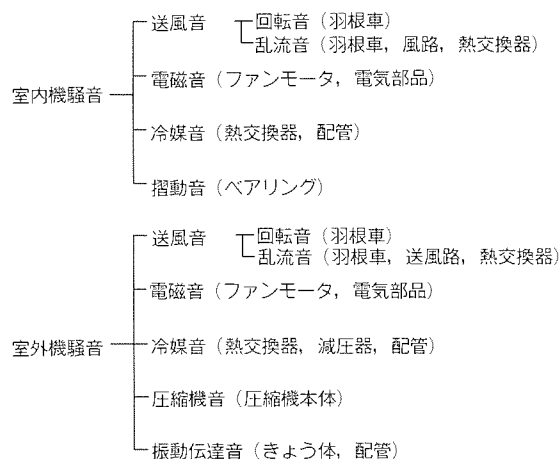


図4. ルームエアコンの騒音要因

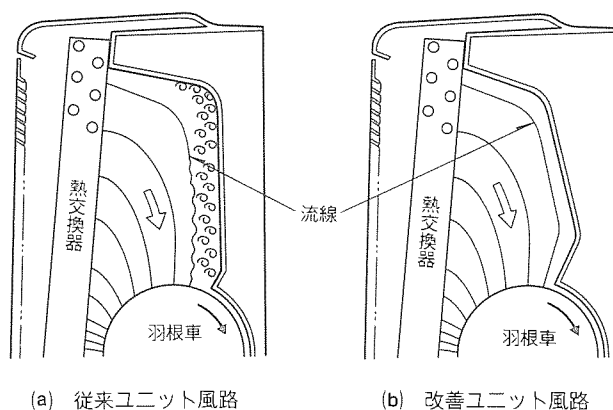


図5. ユニット風路内の流れ状態

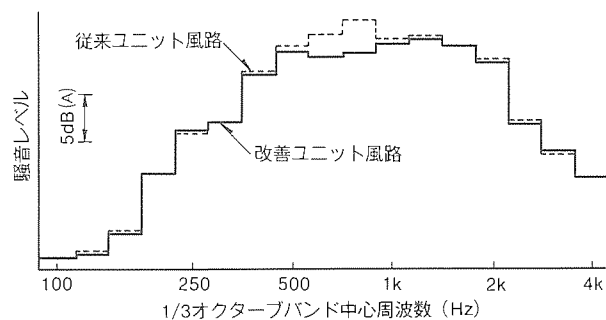


図6. 室内機送風音分析例

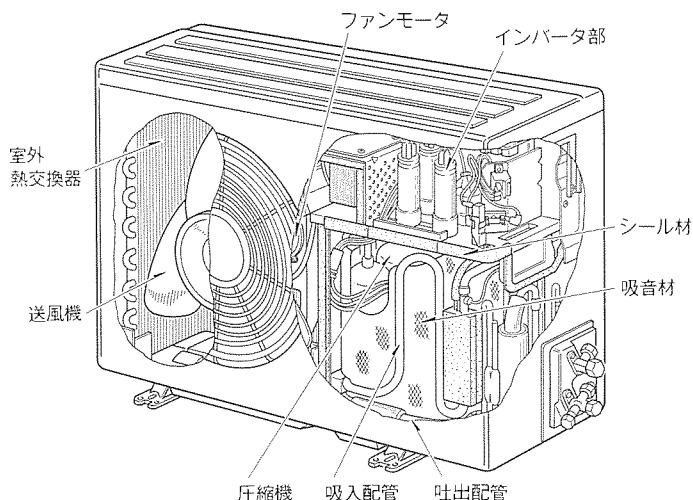


図3. 室外機の透視図

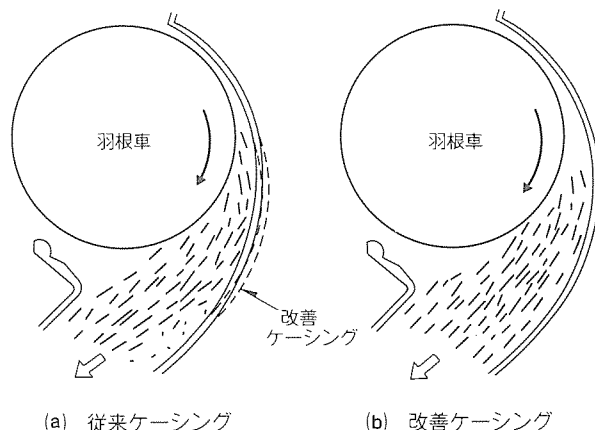


図7. 羽根車下流の流れ状態

失が低減している。これらの効果で、1dB(A)の騒音低減を達成している。

これ以外に、熱交換器仕様の変更、羽根車の大口径化、等の改善を行い、5dB(A)の騒音低減がなされた。

#### 4. 室外機騒音低減

##### 4.1 送風音

送風機の送風音は、一般に式(1)で示される。

$$\text{SPL} = K_S + 10 \log (P_S^n \times Q) \quad (1)$$

ここで SPL：騒音レベル (dB(A))

$K_S$ ：比騒音 (dB(A))

$P_S$ ：圧力損失 (Pa)

$Q$ ：風量 ( $\text{m}^3/\text{min}$ )

$n$ ：一般の文献では2であるが、当社では実機とよく対応のつく2.5を用いている。

この式から理解できるように、低騒音化には比騒音を下げることが重要であるが、従来、室外機に採用されている低騒音プロペラファンである《エクストラファン》では送風機単体での比騒音低減の検討は相当なされていて、大幅な低減を図る技術的ブレークスルーは難しいのが現状である。そのため、次に注目すべきなのが圧力損失 $P_S$ を下げることである。室外機では、圧力損失 $P_S$ はほとんど熱交換器によって生じるので、この改善が必要である。熱交換器圧力損失係数 $\zeta$ と、

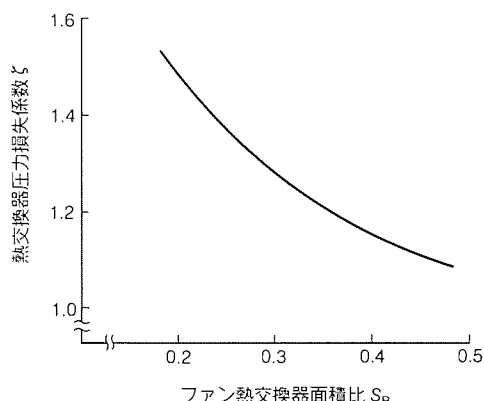


図8. 熱交換器圧力損失係数とフィン熱交換器面積比の関係

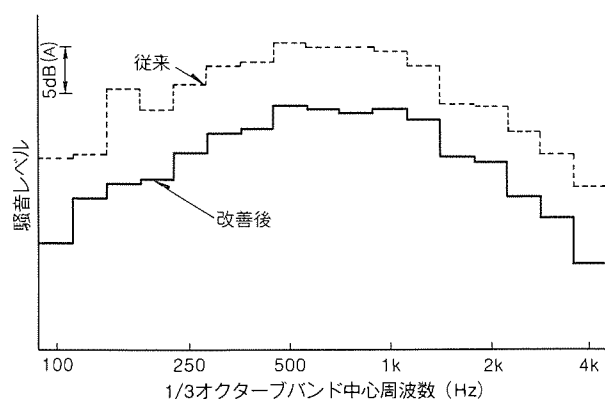


図9. 室外機送風音分析例

ファン熱交換器面積比 $S_R$ は式(2)及び式(3)で表される。

$$\zeta = \Delta P_H / \Delta P_{H0} \quad (2)$$

ここで  $\Delta P_H$ ：ユニットでの熱交換器圧力損失 (Pa)

$\Delta P_{H0}$ ：均一風速を通過させた場合の熱交換器基準圧力損失 (Pa)

$$S_R = S_F / S_H \quad (3)$$

ここで  $S_F$ ：ファン吹出し面積 ( $\text{m}^2$ )

$S_H$ ：熱交換器面積 ( $\text{m}^2$ )

図8に両者の関係を実験で調査した結果の例を示す。この図及び式(2)(3)から、ファンと熱交換器の面積が近づくほど、熱交換器の圧力損失 $\Delta P_H$ は基準圧力損失に近づくことが分かる。これは、ファン上流部分は熱交換器通過風速が大きく、その周囲では小さくなるためである。この結果をもとに、ファン径を従来から20mm増し420mmにすると同時に、ベルマウス形状の改良も実施した。また、ファン径の増加とベルマウス形状の改良は吹出し風速を低下させ、吹出しグリルの圧力損失並びにグリル通過気流音の低減が図れた。

これ以外に、熱交換器仕様の変更による風量低減を行っている。以上の改善を含めて、従来と改善後の送風音の分析結果を比較したのが図9であり、広帯域にわたり6dB(A)程度の音響エネルギーを低減できた。

##### 4.2 機械室音

前述したように機械室音は、圧縮機音と振動伝達音に分けられる。以下にこれらの低減の考え方と対策について述べる。

###### 4.2.1 圧縮機音

圧縮機音は600Hzから8kHzの広帯域にその成分が分布する。図10にその分布例を示す。ここに示されるとおりその音エネルギー成分のおよそ8割が1.6~5kHzである。そこでこの周波数領域に対し遮音と吸音処理による技術開発を行った。これを以下に記す。

ルームエアコンの機械室は圧縮機音を低減するため、通常

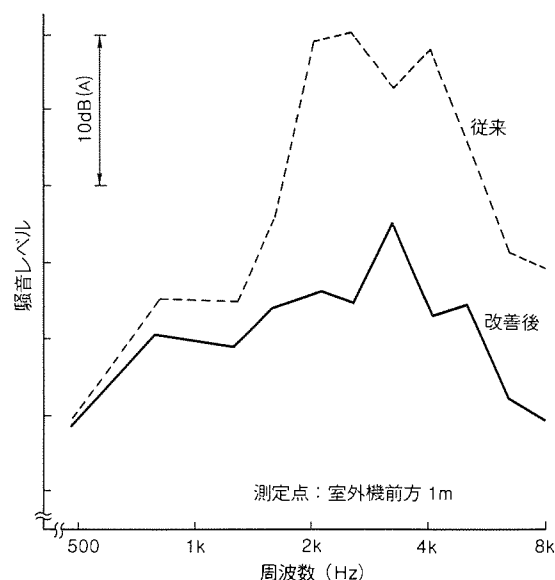


図10. 圧縮機音の例

図11に示すような位置に吸音材と遮音壁となるキャビネットが設けられている。しかしながら、音源である圧縮機と吸音材及びキャビネットとの間隔が狭く、代表空間距離は $1/4$ 波長から1波長前後という小さな値となり圧縮機の密閉容器(シェル)と遮音壁との相互作用や吸音・反射現象の空間分布が存在することなどにより、一般的な間隔の大なる場合における遮音・吸音の理論をこれに適用することは困難である。そこで今回、圧縮機音低減のため実験的手法により、遮音・吸音構造の最適化を図った。この手法は、圧縮機シェル内に加振機を内蔵させ圧縮機音を模擬させた音源を用いて、遮音・吸音の実験を行うものである。図12は、模擬音源の詳細と機械室の遮音・吸音のモデルである。また、図13にこの計測ブロック図を示す。この模擬音源の周囲に各種の遮

音・吸音仕様を持つ機械室を設け、このときの規定半径における音を分析して、模擬音源だけの場合の音との差を各周波数帯別に求めることにより、遮音・吸音効果を評価した。

以上の検討の結果、図14に示すとおり、従来の機械室に存在していた2%のすき間の影響や吸音処理の効果が定量的に把握することができ、すき間面積の大幅な縮小と吸音材の最適な配置のそれぞれの効果により、圧縮機音を10~15dB(A)程度ずつ改善できることが明らかになった。この結果から分かるように、機械室のすき間を減らす構造が音低減の重要なポイントである。従来、機械室は板金の組合せのため単純にはすき間の減少ができなかったが、ここにシール材を用いることにより、すき間を塞ぐ構造とした。図15は、今回開発した機械室の構造である。

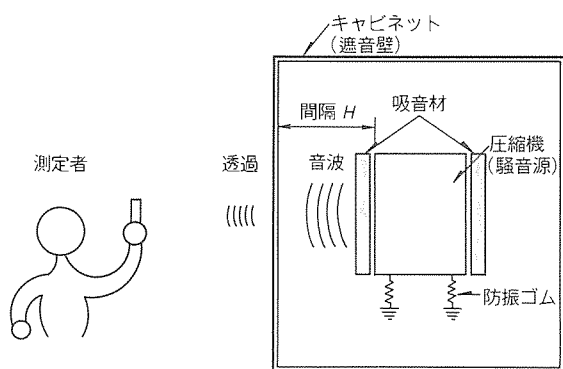


図11. 圧縮機音の遮音モデル

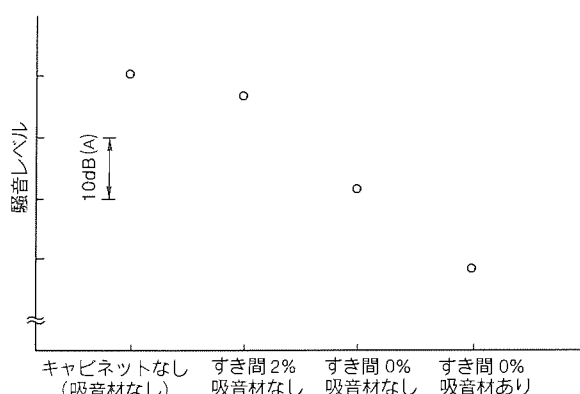


図14. 圧縮機音の低減

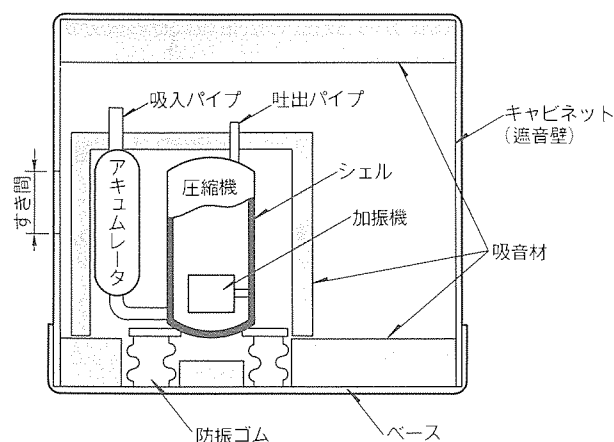


図12. 模擬音源と機械室のモデル

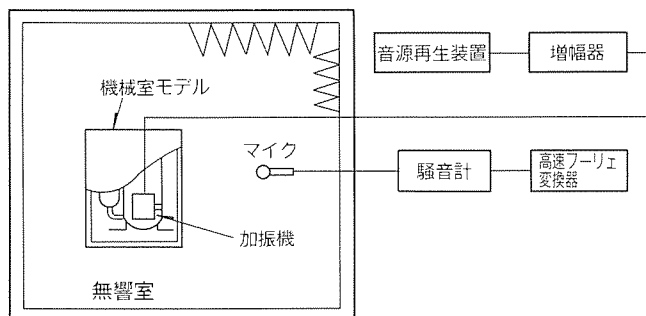


図13. 計測ブロック図

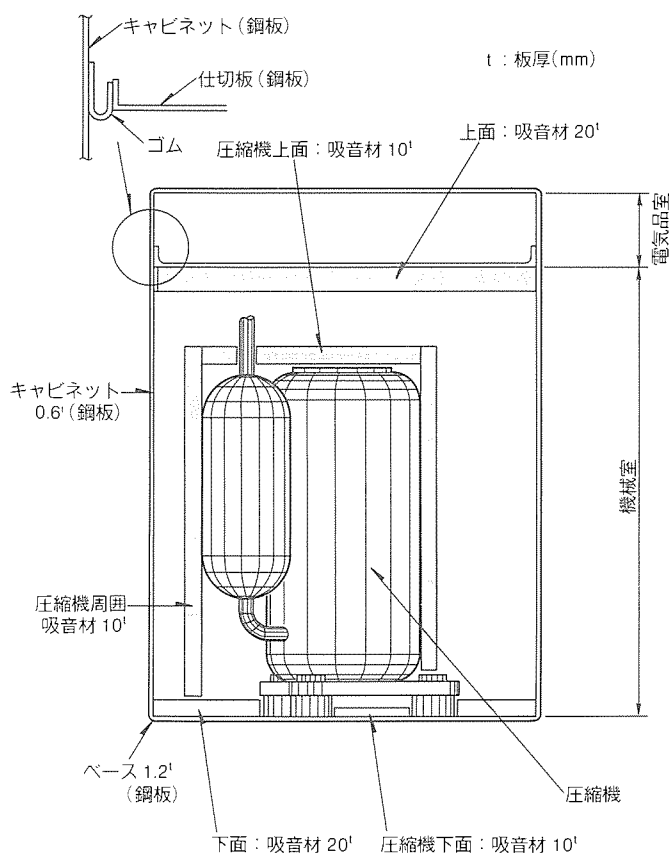


図15. 遮音・吸音の構造

また、この仕様における圧縮機音の分析例を前述の図10に示し、改善前後の比較を行った。この図から明らかなように、圧縮機音を広い周波数範囲で大幅に低減することができた。

#### 4.2.2 振動伝達音

圧縮機振動成分は図16に示されるように、圧縮機回転数を $\omega_0$  (rad/s)の整数倍の調和振動であり、一〜三次のエネルギーが大となる。このときの振動系は、図17に示すような2自由度系として扱うことができる。なお、圧縮機による加振力 $f$  (N)は式(4)となる。

$$f(t) = \sum |f_n \sin(\omega_n t + \theta)| \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで  $t$  : 時間 (s)  
 $\omega_n$  : 角速度 (rad/s)  
 $f_n$  : 加振力の振幅値 (N)  
 $\theta$  : 遅れ角 (rad)  
 $n = 0, 1, 2, 3 \dots$

また、この図における運動は式(5)となる。

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + C_1 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + K_1 (x_1 - x_2) &= f(t) \\ m_2 \ddot{x}_2 - C_1 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + C_2 \dot{x}_2 \\ &\quad - K_1 (x_1 - x_2) + K_2 x_2 = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots (5)$$

そして式(4)、式(5)を解析することで、圧縮機がキャビネットに伝える振動を求めることができる。この振動がキャビネット表面から音に変換され空間に放射される。

そこでこの音の低減化アプローチとして、圧縮機からキャビネットへ伝達される振動を数値解析し、次にキャビネットの振動から音への変換効率を実験的手法によって求める。そしてこの結果をもとに、最適な配管とキャビネットの構造を検討した。

##### (1) 圧縮機及び配管の振動

圧縮機と防振ゴム及び配管類の連成振動問題は、その構造が複雑であるためCAEを活用して周波数応答解析を行った。図18は、その検討案のモデル図である。図19は、改善後の配管仕様と従来機種のキャビネットに伝達される加振力を周波数応答解析(解析S/W:MSC/NASTRAN<sup>(1)</sup>)で求め比較したものである。そしてこの図に示すように、キャビネットへ伝達される加振力を大幅に改善することができた。

##### (2) キャビネットの振動と音変換効率

キャビネットから放射される騒音レベルを支配する要因の一つとして、キャビネット自身の共振問題がある。つまり、キャビネット自身の固有値が加振源の持つ周波数と一致するとき騒音が大となる。そこで、この共振問題についてもCAEで解析し、改善を図った。図20は、キャビネットの一部であるベースの固有モードをCAE(解析S/W:MSC/NASTRAN)によって求めた結果の一例である。

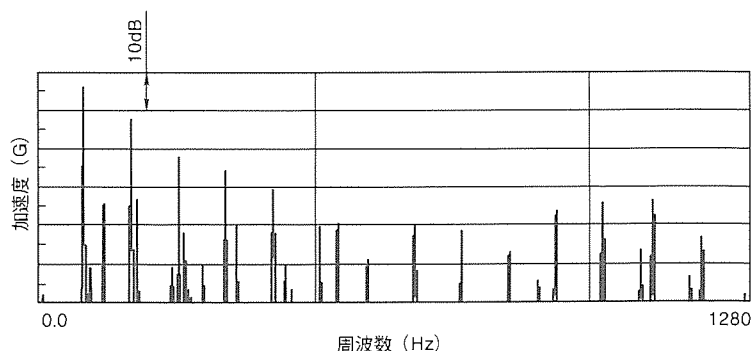


図16. 圧縮機の振動成分例

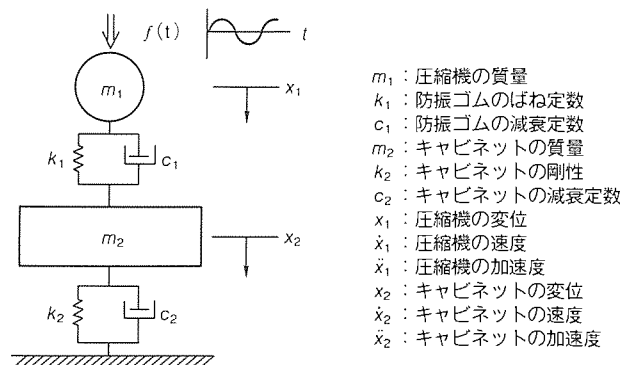


図17. 室外機の2自由度系モデル

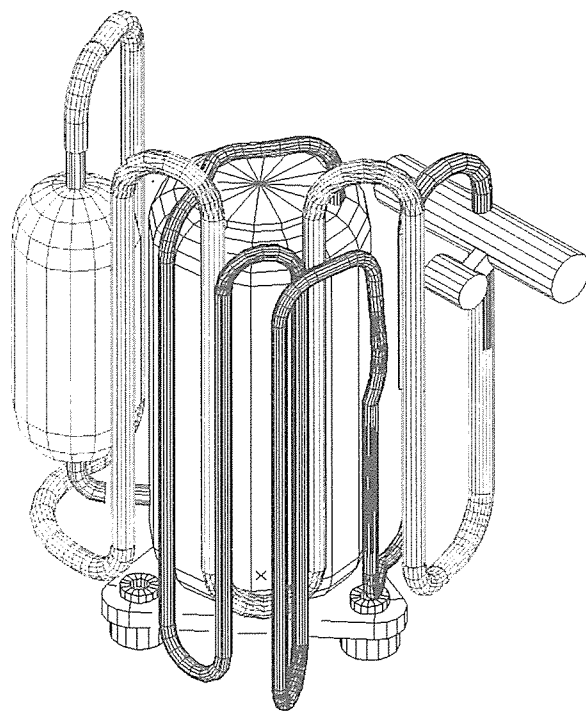


図18. 圧縮機・配管系 CAE モデル

また、実験によって求められたキャビネットの音変換効率を図21に示す。

以上の解析によって振動伝達音についても十分な改善をすることができた。この分析例を図22に示す。

## 5. む す び

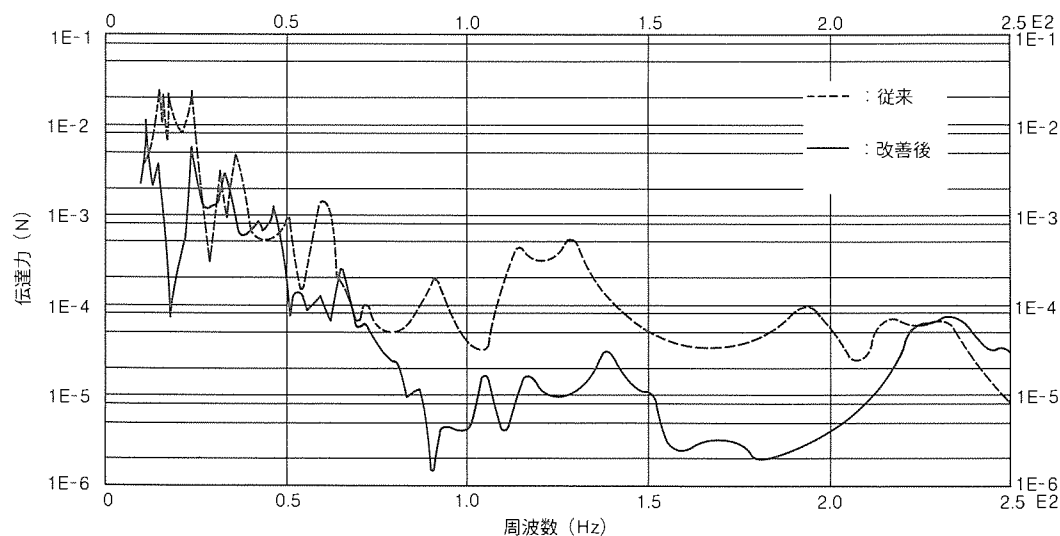


図19. キャビネットへの伝達力計算例

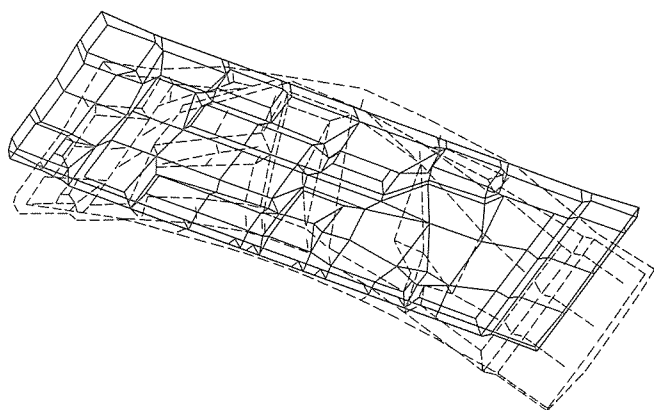


図20. キャビネット(ベース)の固有振動モード

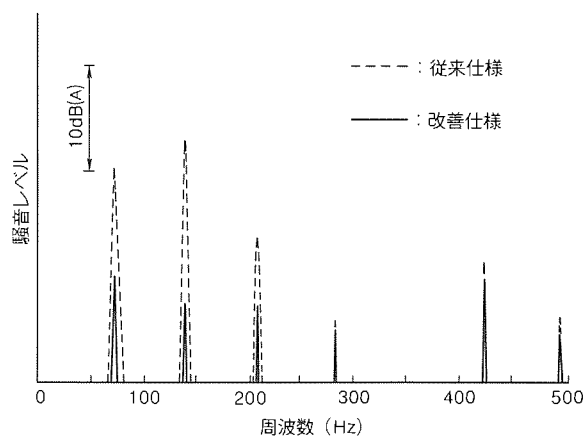


図22. 振動伝達音分析例

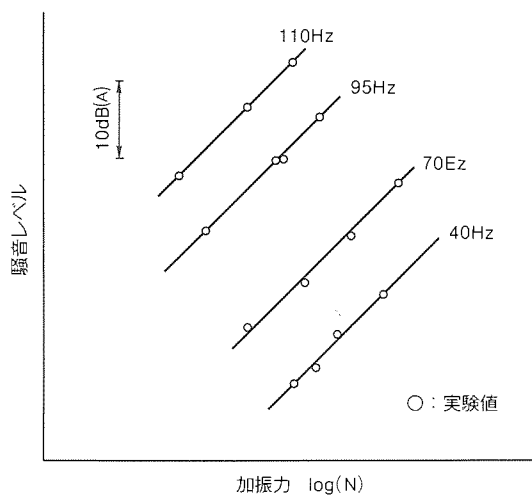


図21. キャビネットの音変換効率測定例

以上のような技術開発により、室内機冷房運転時 35dB(A)、暖房運転時 39dB(A)、室外機冷房運転時 39dB(A)、暖房運転時 39dB(A)と、従来品と比較して室内機において 5dB(A)、室外機において 6dB(A)と大幅な低減を行うことができた。

今後もエアコンにおける低騒音化に対する要求は更に強くなるであろうが、それは単なる定常的な騒音レベルの低減だけではなく、耳ざわりな音の低減や過渡的な音の低減といった音の質に関する改善も必要となってくるであろう。したがって、それに伴う新たな技術開発を行い、より静かなエアコンの開発に取り組みたい。

## 参考文献

- (1) MSC / NASTRAN User's Manual, MSC (1985)

# 冷蔵庫の低騒音化

石橋義弘\* 猪狩和義\*  
永野雅夫\*  
丸山 等\*

## 1. ま え が き

近年の生活環境は、インテリジェント化や高級化指向に見受けられるように、より快適な環境を求める市場の声にこたえ大きな変化を続けている。これに対して、居住環境は地価の高騰などにより、余裕あるスペースを持った居住環境とは縁遠いものとなる傾向にある。

このように、狭い居住環境において快適さを求める状況下で、家電製品の騒音は快適さを左右する重要な項目の一つとなった。そのため市場では、家電製品の低騒音化に対する要求が次第に高まってきている。これは冷蔵庫にあっては同様で、今や低騒音は冷蔵庫の重要な基本機能である。

一方、冷蔵庫はライフスタイルや食生活の変化を背景にますます大型化(大容量化)が進んできている。これに伴い、圧縮機は能力アップが図られ、その音響パワーが増大する傾向にあるため、冷蔵庫としての低騒音化技術の開発が重要アイテムとなっている。

そこで、今回91年度(冷凍年度)製品では、騒音レベルの大幅な低減とともに、従来見過ごされていた起動音やその音質まで考慮した総合低騒音化技術を開発し、騒音レベル19dB(A)というトップレベルを達成したMR-B50J形冷蔵庫(図1参照)や、MR-CA42J形冷蔵庫(図2参照)として製品化した。

本稿では、それらを支えた基盤技術の開発について報告する。

## 2. 冷蔵庫の構造

冷蔵庫の概略構造を図3に示す。背面下部に圧縮機が配設されており、圧縮機で圧縮された冷媒は銅板製の外箱に張り付けられたパイプで構成された凝縮器で、自然対流の空気と熱交換し凝縮する。その後キャピラリチューブで減圧され、冷凍室背面側に配設されたフィンチューブ形熱交換器内で気化し、熱交換器を通過する空気を冷却した後圧縮機に戻って冷凍サイクルを構成している。そして、この冷やされた空気を冷蔵庫内の貯蔵室各室に送風機で循環させることにより、庫内を冷却している。

また、送風機はファンモータ軸受け部を防振ゴムにて支持してファングリルに固定されており、圧縮機は4個の防振ゴムとコイルスプリングからなる防振マウントを介して、きょう(筐)体の背面下部にある機械室内の台板に配設されている。

このため、冷蔵庫の持つ音源(加振源)は、冷媒圧縮用の圧縮機と庫内冷氣循環用の送風機が主なものとなっている。また、冷蔵庫の筐体は銅板製の外箱と樹脂製の内箱間に硬質ウレタンフォームを充てん接着したサンドイッチ構造をしている。

## 3. 冷蔵庫騒音の発生要因と伝搬経路

前章に述べたように、冷蔵庫の音源(加振源)は圧縮機と送風機であるが、冷蔵庫騒音としては、これらの個々の音と

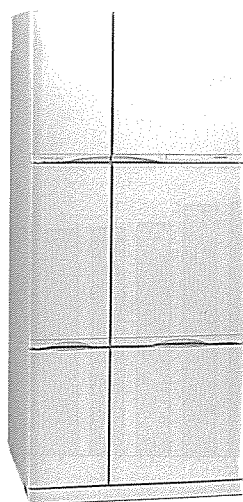


図1. MR-B50J形冷蔵庫

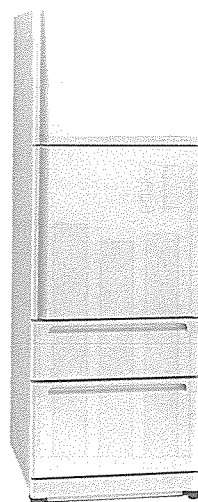


図2. MR-CA42J形冷蔵庫

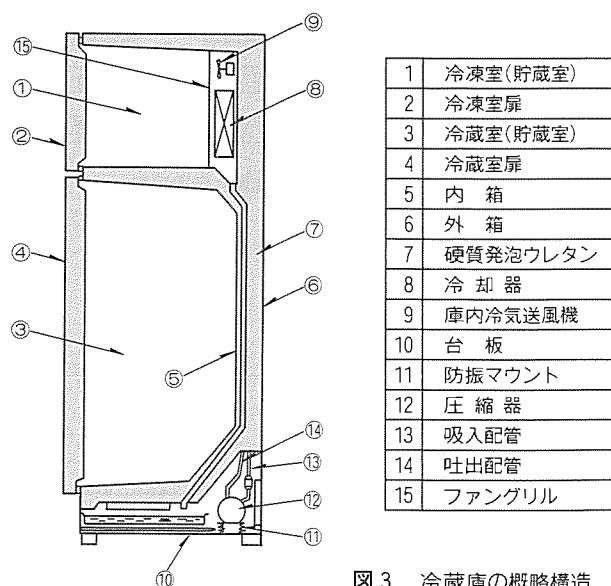


図3. 冷蔵庫の概略構造

ともに、これらから筐体に振動が伝達し、筐体から外気中に放射される間接的な騒音も含まれてくる。図4に冷蔵庫の音源から外気中の受音点までの音の伝搬経路を示す。

送風機→庫内空気→筐体→外気の空気伝搬音は、主に回転数×羽根枚数を基本周波数とする回転音の高調波成分と1kHz以下の流体騒音を主成分としている。

送風機→防振ゴム→筐体→外気の振動伝達音は、前記回転音と電源周波数の2倍を基本周波数とするファンモータの電磁加振力による電磁音の高調波成分を主成分としている。

圧縮機→外気の空気伝搬音は、圧縮機モータの溝高調波成分や圧縮機内の流体振動による1~10kHzの高周波成分が主である。

圧縮機→防振マウント→筐体→外気及び圧縮機→冷媒配管→筐体→外気の振動伝達音は、圧縮機の高調波トルクの変動に起因する圧縮機回転数を基本周波数とする回転音の高調波と圧縮機モータの電磁音を主とする1kHz以下の低周波成分である。

#### 4. 冷蔵庫騒音の特徴

##### (1) 冷蔵庫の送風機音

図5に当社の主力冷蔵庫の送風機音スペクトルの一例を示す。同冷蔵庫では、プロペラファンを使用しており、110Hzを基本周波数とする回転音の高調波成分とファンモータ電磁音と1kHz以下の流体騒音により、騒音レベルが決まっていることが分かる。

これは、冷蔵庫における送風機騒音は、送風機自体が冷蔵庫内という密閉空間内に配設されているため、図6のような冷蔵庫内の共鳴を伴った遮音特性が付加されたものとなるためである。

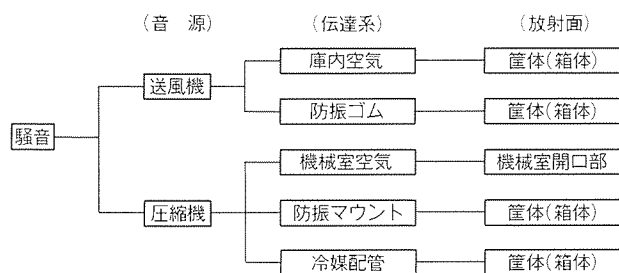


図4. 冷蔵庫騒音の音源と伝達経路

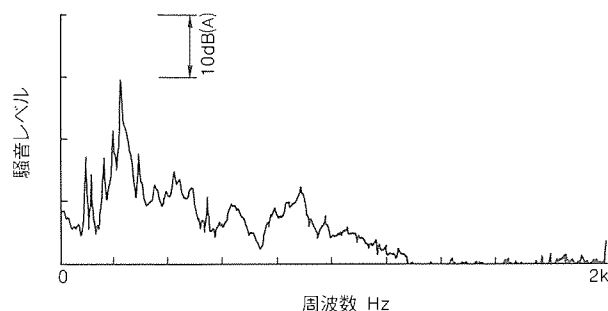


図5. 冷蔵庫内送風機音の一例

##### (2) 冷蔵庫の圧縮機音

図7に同じく当社の冷蔵庫の圧縮機音スペクトルの一例を示す。図8に示すように、冷蔵庫の各方向ごとの騒音レベルを示すと、圧縮機のある後方に向かうに従ってレベルが高くなっていく。これは図9に示すように、冷蔵庫の機械室に設けられた圧縮機の放熱用の開口部から主に圧縮機音の2kHz以上の成分が放射されているためである。

#### 5. 低騒音化技術

低騒音化技術は、音源・伝達系・放射面の各々に関するものに大別される。抜本的な低騒音化を図るには、音源（加振源）自身の音（振動）の発生機構から対策を講じるのが基本であるが、困難な場合が多い<sup>(1)</sup>。ここでは、製品の騒音特性を生かした低騒音化を図るべく、主に伝達系の低騒音化技術について述べる。

##### 5.1 庫内送風機音の低騒音化

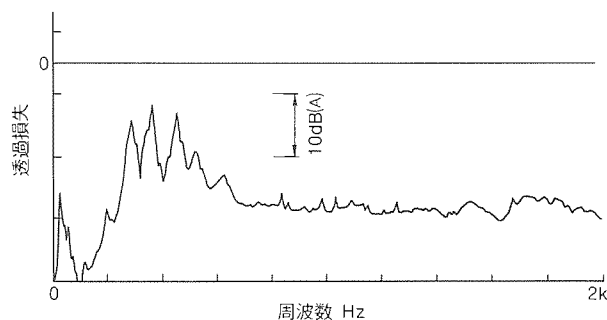


図6. 冷蔵庫貯蔵室の遮音特性

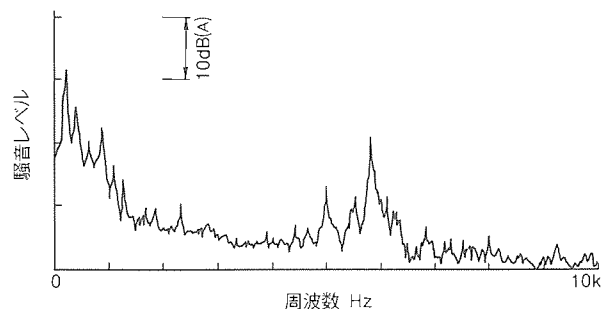


図7. 冷蔵庫の圧縮機騒音の一例

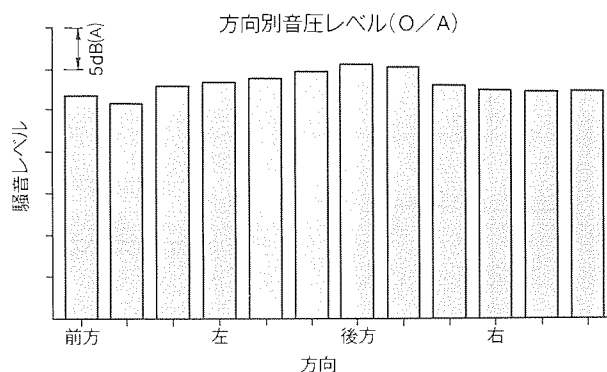


図8. 冷蔵庫の方向別騒音レベルの一例



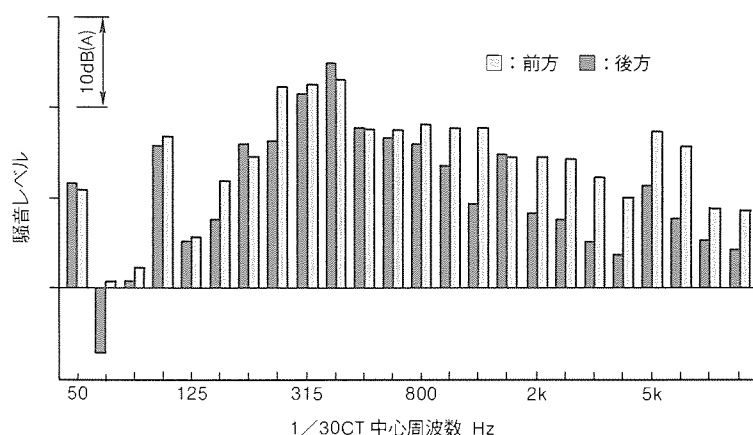


図9. 冷蔵庫騒音前後比較の一例

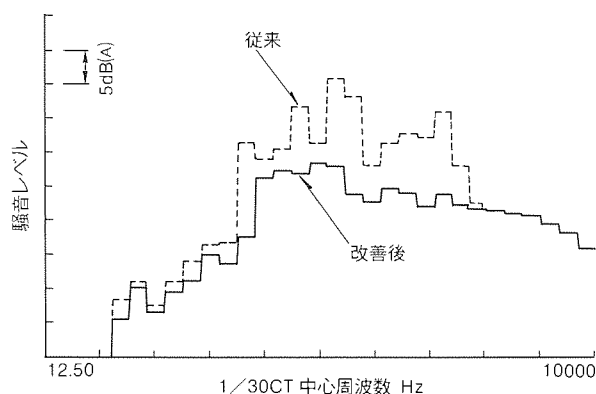


図10. 冷蔵庫内送風機音の改善効果の一例

冷蔵庫のような特殊な状況下で使われる送風機騒音の低減には、送風機単体の騒音低減策を講じるとともに、庫内共鳴を伴った遮音特性を考慮して送風機騒音を下げることが有効である。そのためには、次の3条件が同時に満足できれば最も大きな効果が得られる。

- (1) 回転音の発生そのものを抑えるために、現在多くの冷蔵庫で行われているファン正面に近接して設けられた冷氣吹出し口をなくす。
- (2) 回転音の基本周波数を冷蔵庫内の共鳴周波数から外す。具体的には、図6に示す特性を持つ冷蔵庫の場合は700Hz以上にする。
- (3) 流体騒音の発生を抑えるとともに、主成分を冷蔵庫内の共鳴周波数から外す。同様に700Hz以上にする。

これらの3条件を満足させる手段として、今回はシロッコファンを採用してMR-B50J等に搭載した。シロッコファンは、一般にプロペラファンより比騒音で10dB程度下げられるといわれ、さらに流体騒音の主成分も1kHz以上にあり、現状のプロペラファンと同じ径100mm程度でも30枚くらいの翼枚数に設定できるため、設定回転数を2,000rpmとすれば上記3条件を満足でき低騒音化を図ることができる。

図10は、今回のシロッコファンを導入した冷蔵庫と従来のプロペラファンを使用した冷蔵庫との同一風量時の送風機

騒音のスペクトルを比較したものの一例である。図中効果のある周波数帯域とそのレベルは、各々の冷蔵庫の庫内共鳴特性とファン単体の騒音特性及び動作点とその環境設定が異なれば各々異なってくるものである。

これは、単にシロッコファンを搭載すれば静音化が図れるのではなく、あくまで製品における騒音の特性を把握し、その改善条件を満足させる最適なシロッコファンを選択した結果である。

## 5.2 圧縮機騒音の低騒音化

### 5.2.1 振動伝達音

圧縮機を加振源とする振動伝達音の伝達経路としては、防振ゴムと圧縮機を配設する台板からなるマウント系と、吐出配管と吸入配管からなる配管系がある。この伝達系は、2自由度系として扱うことができ、各部への伝達力が求められる。

伝達力と音との関係は、低周波数領域では比例関係が成り立つことが知られている。このことから、音と伝達系の振動加速度を用いて、音/振動加速度を音響放射効率と定義したとき、この音響放射効率から各伝達系の寄与率が分かるため、改善すべき伝達系が明らかになる<sup>(2)</sup>。

振動伝達音の問題は、防振ゴムのばね定数の設定よりも、問題となった周波数領域において放射面に至るまでの構成部品の共振により、イナータンスが高くなるため十分な振動遮断効果が得られないことによる。

具体的な一例として、冷蔵庫のマウント系の100Hz付近の音について示す。図11に示すような加振源と防振ゴムと台板との単純な等価回路を考えて、防振ゴムと台板のイン

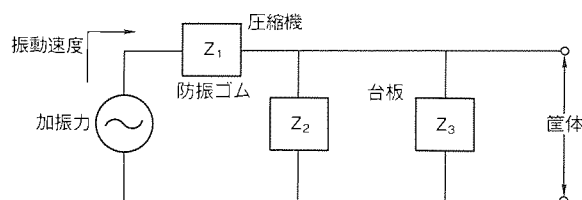


図11. 冷蔵庫の防振ゴム系の等価回路

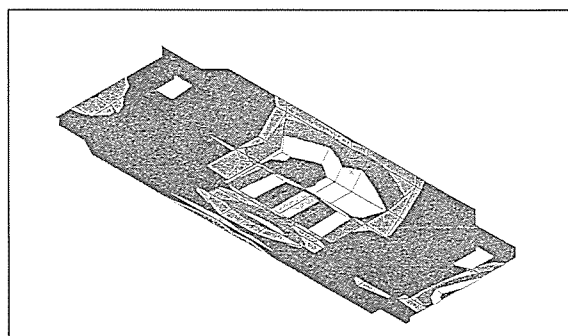


図12. 冷蔵庫の台板のひずみエネルギー分布

ピーダンスを実験的に求めて比較し、どの程度筐体に加振力が伝わるかを推定することで、台板の共振によって防振ゴムによる十分な振動遮断効果が得られていない状態になっていることが分かった。このため、防振ゴムが十分な振動遮断効果を示すように、図12にあるような有限要素法によるひずみエネルギーの高い部分の検索を行い、その部分の断面二次モーメントを大きくすることによって固有値を上げ、問題とする周波数帯のイナータンスを下げている。図13の台板のイナータンスの比較と図14の音響放射効率の比較によってその効果を示す。

### 5.2.2 空気伝搬音

基本的に空気中に放射されてしまった音に対しては、遮音又は吸音処理を施すか、能動制御を施すことがよく知られている。

冷蔵庫の圧縮機騒音のうち、直接圧縮機から放射される音の主成分は図9の前後の騒音レベル差に示したように、主に2kHz以上の高周波音であり、比較的簡単に処理できるため遮音・吸音処理を行っている。図15に今回採用された圧縮機を配設する機械室のサイレントダクトの構造を示す。冷蔵庫の機械室に遮音・吸音処理を施す場合、圧縮機の所要放熱量によって最小開口面積が決まる。そして、この開口面積比により、おおよその低減効果が以下のように見込める。

$$\Delta L_P = 10 \log (A_1 / A_2) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $\Delta L_P$ ：パワーレベルの低減量 (dB)

$A_1$ ：設定する開口面積 (m<sup>2</sup>)

$A_2$ ：従来の開口面積 (m<sup>2</sup>)

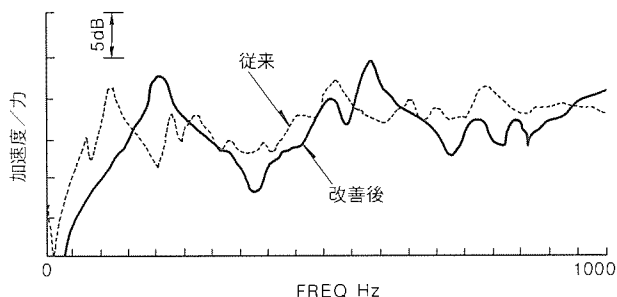


図13. 冷蔵庫の台板のイナータンス

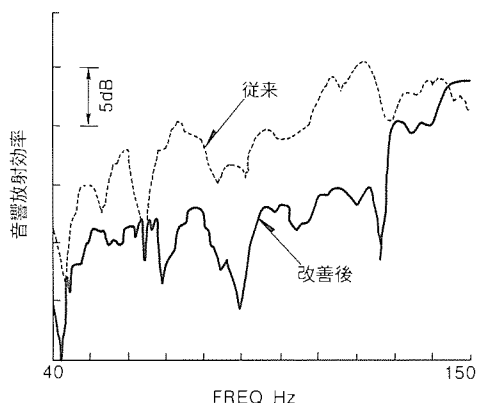


図14. 冷蔵庫の台板の音響放射効率

また、上式が成立するための条件としては、拡散音場でないといけないので、遮音効果の見込める周波数領域はおおよそ次式の範囲となる。

$$f > c \times (b \times d \times h)^{-K} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $b$ ：機械室の幅 (m)

$c$ ：音速 (m/s)

$d$ ：機械室の奥行き (m)

$f$ ：周波数 (Hz)

$h$ ：機械室の高さ (m)

$K$ ：実験定数

さらに機械室壁面の音圧レベルが同じでなければならないので、次式を使用して機械室の部屋定数が同じになるように吸音材の面積と吸音率を設定する。

$$L_P = L_{PC} + 10 \log (1/S_r + 1/R) \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $L_P$ ：機械室壁面の音圧レベル (dB)

$L_{PC}$ ：圧縮機のパワーレベル (dB)

$S_r$ ：機械室面上の音波の波面の広がり面積 (m<sup>2</sup>)

$R$ ：機械室の部屋定数 (m<sup>2</sup>)

$$R = \sum \alpha_i S_i / (1 - \bar{\alpha})$$

$S_i, \alpha_i$ ：各面の面積と吸音率

$\bar{\alpha}$ ：平均吸音率

$$\bar{\alpha} = \sum \alpha_i S_i / \sum S_i$$

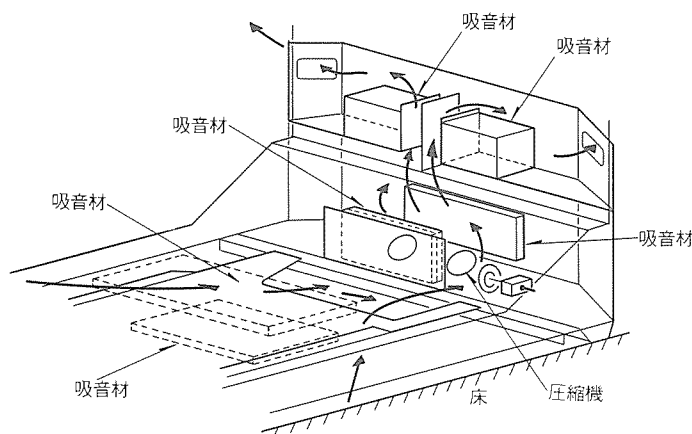


図15. 冷蔵庫の機械室のサイレントダクト概略構造

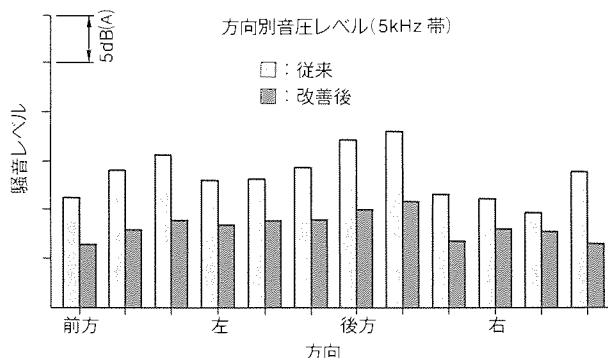


図16. サイレントダクトによる圧縮機音の改善効果の一例

こうした検討の下に開発した遮音吸音仕様が図15に示したサイレントダクトで、その減音効果を示したのが図16である。

この仕様は91年度（冷凍年度）の4ドア冷蔵庫（図2：MR-CA42J）に搭載した。

### 5.3 音質改善<sup>[3]</sup>

各周波数成分の音の音圧が可聴音圧以下であれば考慮する必要はないが、それ以上であれば騒音レベルに影響を与えない程度の音でも認識される。

もともと音を騒音と感じるか否かは個人の感覚の問題であるので、聴取者がその音を認識し、不快と感じれば騒音であり音が大きいということになる。そうなれば騒音レベルが小さいから静かであると主張しても、意味のない低騒音化で終わってしまう。そこで、“不快と感じる音は何か”を明確にしながら音質改善を図ることが、今後の低騒音化の成功の鍵（鍵）を握っているといえる。

音質改善は製品の運転から停止までを対象とし、その間に

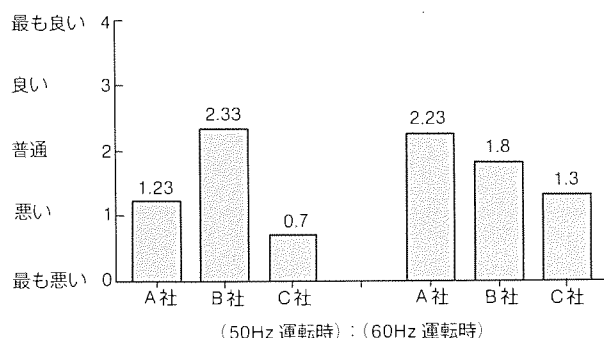


図17. 冷蔵庫騒音の音質評価結果

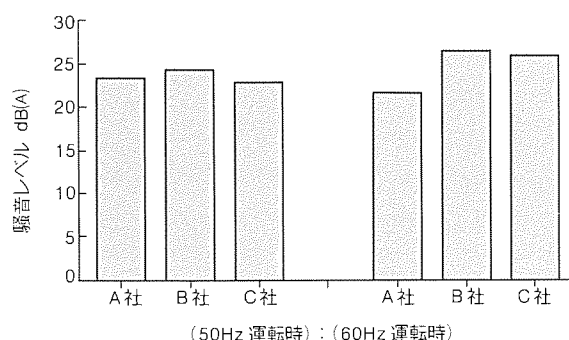


図18. 騒音レベル比較

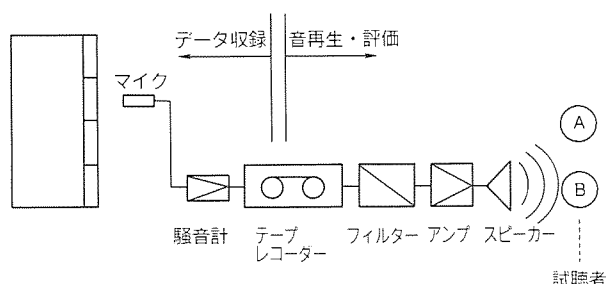


図19. 音質評価システム構成

不快と感じ取られるような音を認識させないようにすることである。そのためには急激な音の変化やビート、近接する他の周波数成分から10dB以上大きい純音などの認識されやすい音に対し、十分な音質評価を行い改善目標を明確にしておくことが重要である。そして最終的には気付かぬうちに運転（ソフトスタート）し、気付かぬうちに停止（ソフトストップ）していたと感じさせるような音づくりを目指していくべきであると考える。

図17に音色の異なる3メーカーの4ドア冷蔵庫の官能試験結果を、また図18にその冷蔵庫の騒音レベルを示す。これらからも明らかなように、騒音レベルだけで音のうるささ（＝感覚的大きさ）を評価することはできない。ここで行っている音質評価方法は図19に示すシステム構成とし、一般家庭の台所を想定した残響室内で製品の運転音をテーブルコーダーに収録し、一対比較法で相対比較し、表1に示す基準でMOS値（尺度平均値）を用いて感覚を定量化している。

そこで、音質上の問題点を求めるために、原音と原音をフィルターによって加工した音とを、この音質評価方法で比較することによって抽出した。

冷蔵庫の音質評価では、製品自体が使用者の意志とは無関係に昼夜を問わず運転・停止を繰り返すため、特に起動時の音に対する評価が厳しい。これは図20の起動音レベルの一例にある従来の冷蔵庫の例のように、起動時は暗騒音の低騒音レベルの状態から急激に騒音レベルの立ち上がりが生じるため、実際の騒音レベル以上に不快感を感じるのである。

表1. 音質評価基準

程度	ポイント	人数
A 最も良い	4	l
B 良い	3	m
C 普通	2	n
D 悪い	1	p
E 最も悪い	0	q

注  $MOS = \frac{4l + 3m + 2n + p}{l + m + n + p + q}$

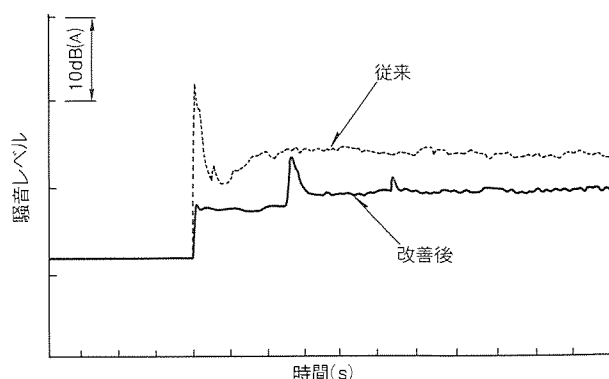


図20. 起動時の騒音レベルの一例

こうした点を考慮して、当社では図 20 の改善後の冷蔵庫の例のように、送風機と圧縮機の起動・停止のタイミングを制御し、騒音レベルの低減とともに急激な騒音レベルの変化を抑え、音質改善の最終目標であるソフトスタート・ソフトストップの概念を取り入れた冷蔵庫を製品化した。

ここに上げた音質評価方法は相対比較によるものであるため、問題点を抽出する上では個人差の少ない結果が得られるが、製品の持つ周波数成分が多いこともあり、目標の設定時に使う加工音の作成に多大な時間を要することや、実際の冷蔵庫の起動停止音を用いて聴覚系の過渡応答特性<sup>(4)~(6)</sup>を検証しなければならないといった課題も多い。

## 6. む す び

91 年度 (冷凍年度) 製品の MR-B50J 形冷蔵庫では、20dB (A) を下回る 19dB (A) を達成したが、低騒音化の要求はエンドレスに続くと思われる。

今後の低騒音化の展開としては、前方だけでなく全周の騒音レベルにも目を向け、機器から発生する音響パワーを下げる方向に努めるとともに、音質面では同じ騒音レベルであっ

ても気にならない音色を創造し、そして、冷蔵庫の運転・停止による音の変化を気付かせないようにするソフトスタート・ソフトストップを更に進め、運転から停止までの音を考慮した総合静音化を進めていきたいと考えている。

## 参 考 文 献

- (1) 広瀬 徹：家電機器の騒音の現状とその対策, National Technical Report, **35**, No. 5, 555~562 (1989-10)
- (2) 田中英晴, 大蔭勝久, 辻内伸好：振動・騒音低減化技術, 三菱電機技報, **62**, No. 4, 326~329 (1988)
- (3) 田中英晴, 月居和英：居住空間の音環境, 日本音響学会誌, **46**, No. 9, 769~772 (1990)
- (4) 江端正直, 曾根敏夫, 二村忠元：聴覚系の過渡応答に関する考察, 電子通信学会電気音響研究会資料, 資料番号 EA-67-22 (1967-11)
- (5) 宮坂栄一, 境 久雄：帯域雑音断続時のクリックの知覚, 日本音響学会誌, **37**, No. 12, 619~626 (1981)
- (6) 宮坂栄一, 境 久雄：信号断続時におけるクリックの知覚, 日本音響学会誌, **36**, No. 5, 244~252 (1980)

# 全自動洗濯機の低騒音化

石川則彦\*  
松村恒男\*\*

## 1. ま え が き

平成元年度に史上最高の販売規模 474 万台を記録した洗濯機は、平成 2 年度も好調に推移している。図 1 に示すように、中でも全自動洗濯機の伸長が大きく、洗濯機全体に対する全自動洗濯機の構成比も 60% にせまる勢いである。

こうした背景には、主婦の有職化等、ライフスタイルの変化によって家事労働軽減に対する要望の高まりがあげられる。それに伴い、洗濯する時間帯も早朝（午前 8 時まで）ないし夜（午後 9 時以降）型に移行しており、特に有職主婦の場合、早朝、夜に洗濯をしている場合が 65% にも達している。

このような状況の変化と生活時間帯の延長、集合住宅の増加、住環境への関心の高まりなどにより、早朝や夜に気兼ねなく洗濯のできる音の静かな全自動洗濯機へのニーズが急激に高まってきた。当社では、昭和 63 年に静音化全自動洗濯機の第 1 弾として、バルブ開閉音、ブレーキ音等の低減を行った大容量 6kg 全自動洗濯機 AW-K605 を発売し好評を得た。

今回報告する全自動洗濯機 AW-A60F1 は、このような局所的な騒音低減だけではなく、洗濯から脱水までの全行程にわたる低騒音化を実現し、平成 2 年 10 月発売された。

## 2. 全自動洗濯機の構造

全自動洗濯機の基本構造を図 2 に示す。洗濯物が入る洗濯兼脱水槽の外側に水受槽があり、この水受槽の下部に駆動源としてのモータ、バルブの開閉によって排水の制御を行うソレノイド、及び洗濯、脱水回転の切替え、減速、ブレーキ等の役割をもつ機構部が取り付けられている。また、この水受

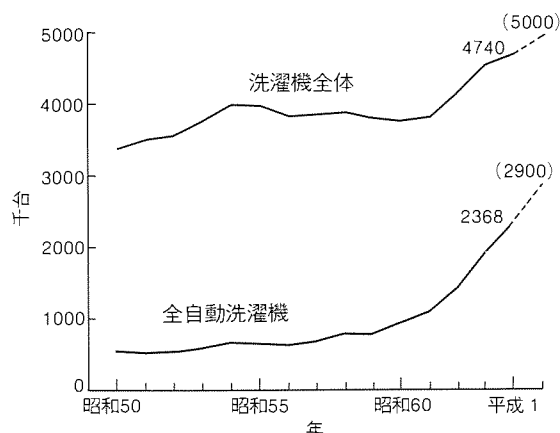


図 1. 洗濯機の市場動向

槽は外箱上端から支持棒、防振ばねによって支持され、洗濯兼脱水槽に取り付けられた流体バランサにより、衣類のアンバランスによって生じる振動を吸収する。

## 3. 従来の騒音レベル

従来構造の全自動洗濯機における、洗濯から脱水までの全行程にわたる騒音レベルを図 3 に示す。全行程のうち特に際立った騒音は、排水開始時 73dB(A)、ブレーキ時 70dB(A) といった衝撃音である。昭和 63 年発売の AW-K605 では、バルブ、ブレーキの制御をソレノイド方式から小型モータによるモータ制御方式に変更することにより、この衝撃音を排水時 45dB(A)、ブレーキ時 53dB(A) とした。

しかし、衝撃音はある程度解決されたものの、洗濯時、脱水時に発生する不快なうなり音は残り、レベル的にも洗濯時 50dB(A)、脱水時 54dB(A) と満足のいく値ではなかった。

## 4. 音源探査

AW-K605 の洗濯時、脱水時のパワースペクトルを図 4、

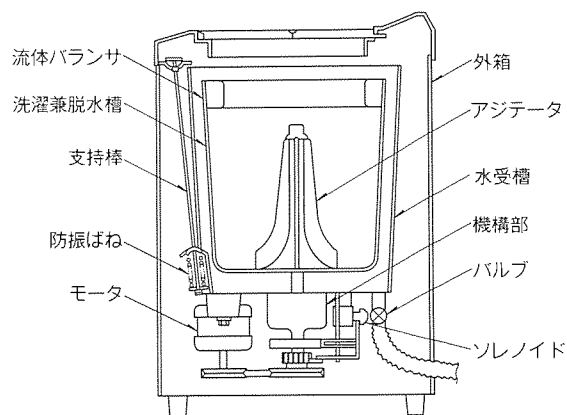


図 2. 全自動洗濯機の基本構造

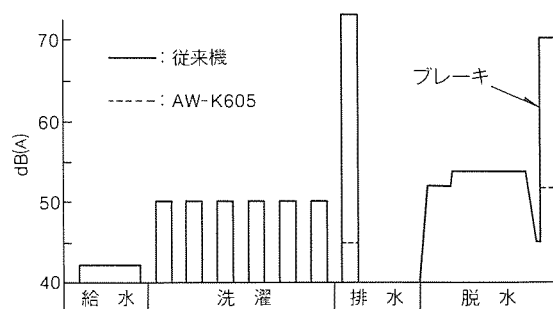


図 3. 従来機の行程別騒音

図5に示す(条件：洗濯機前面1m, 100V 50Hz, 無響室)。この図から、洗濯、脱水とも600Hzの音圧レベルが一番高く、次いで100, 300, 400, 500 Hzなど100 Hzの整数倍の周波数でそれぞれ鋭いピークを持っていることが分かる。

この100Hzの整数倍の周波数成分は、電源周波数 $f$ (50Hz)の $2n$ 倍( $n=1,2,3\cdots$ )に相当する。全自動洗濯機の駆動用モータには単相誘導モータを採用しており、コンデンサを使用することから2対極の場合、回転磁界はだ(楕)円となり、トルク変動周波数 $f_t$ は以下のように定義される。

$$f_t = \text{回転磁界周波数(電源周波数 } f) \times 2$$

これは、先に述べた騒音周波数の一次成分(100Hz)と一致する。このことより、100, 300, 400, 500, 600Hzなどの騒音は $2f$ を基本波としたモータのトルク変動に起因するものであることが分かる。その他、洗濯騒音測定中アジテータの回転に同期した不連続音、また脱水騒音測定中脱水回転に比例した不連続音の発生を確認した。

この不連続音は、パワースペクトルのオーバーオール値(全体的な騒音値)にはあまり影響を与えないが、人間にとって不快な音である。そのため、この不連続音の音源探索も同時に行った。その結果、洗濯時の不連続音はブレーキ周辺から、脱水時の不連続音はスリップリング、洗濯軸(図6)、及び防振ばね周辺で発生していることが分かった。

上述した内容以外にも騒音源を確認したが、今回報告する機種は従来機種をベースとした改良による低騒音化の実現をテーマとしたため、対策困難と考えられる箇所については今

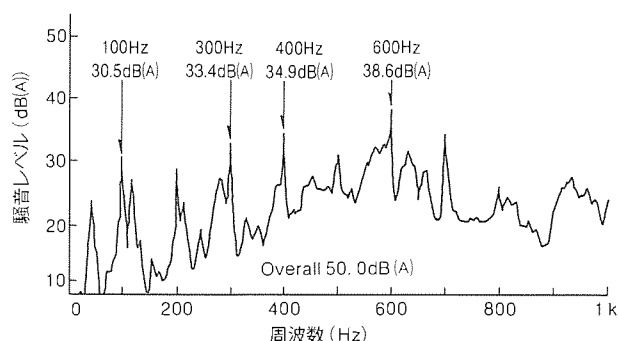


図4．従来機の洗濯時騒音

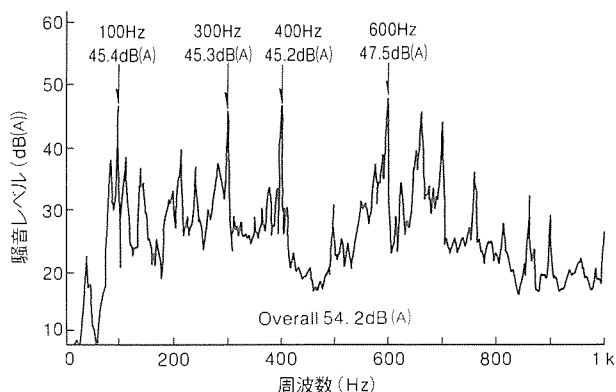


図5．従来機の脱水時騒音

後の機種への課題とし、騒音の目標値を脱水時50dB(A)以下と設定した。

## 5. 現象の解明

振動騒音のメカニズムを図7に示す。4章では騒音の種類、位置、大小関係を明らかにしたが、次にそれぞれ騒音周波数ごとの音発生メカニズムを解明する。この解析の手法として、種々の箇所について2chFFTによってモーダル解析を行い、各周波数ごとの各部の振動モードを求めた。その一例を図8に示す。

このような解析の結果、以下のことが判明した。

- (1) 100Hzの加振源はモータであり、水受槽底部を伝わり水受槽側面の円筒部で音放射となっている。
- (2) 300Hzの加振源は、モータ、ロータ部のスラスト方向振

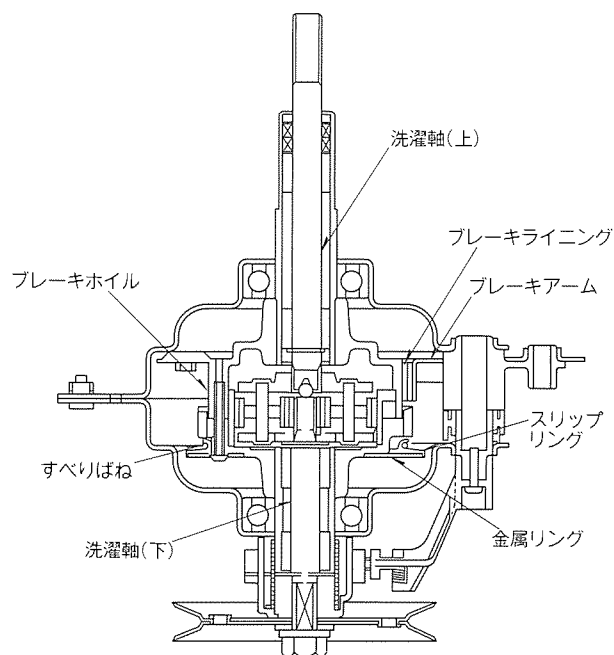


図6．機構部の構造

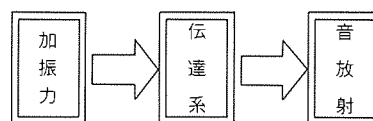


図7．振動騒音のメカニズム

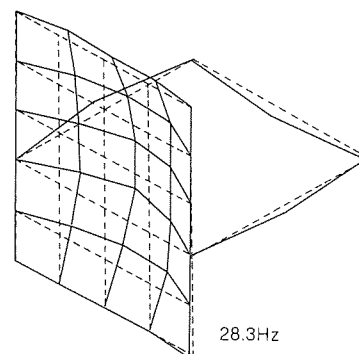


図8．胴体の振動モード例

動であり、水受槽底部で音放射となっている。

(3) 600Hz はモータ、ロータ軸部のベンディングモードであり、プーリ、モータブラケットなどで音放射となっている。

次に不連続音発生現象の解明にうつる。まず、洗濯時のブレーキ周辺の不連続音は、ブレーキライニング(コルク)とブレーキホイル(アルミダイカスト)がこすれあう都度おきる。

この現象を解明するため、ブレーキライニングを支えている部分(ブレーキアーム)にひずみゲージを張り、コルク内に蓄積されているひずみエネルギーの様子をみた。

この結果、不連続音が発生するメカニズムは、ブレーキライニング内に蓄積されたひずみエネルギーがブレーキホイル停止直後に急激に放出されることにより、その振動がホイル面及びブレーキアームなどに伝わり、音として放出されることが解明された。

また、脱水時の不連続音であるスリップリング周辺からの衝撃音も前者と似たような現象で、すべりばねに蓄積されたひずみエネルギーがスリップリングの変形、バリ、温度変化などによる摩擦力の変化のためスティックスリップ(付着すべり)が発生し、その振動がブレーキホイルなどに伝わり、この表面で音放射となっていることが明らかとなった。

この測定には、すべりばねやスリップリングが可動部分であることや測定精度を考慮して、レーザ変位計を用い非接触の計測を行った。

## 6. 対策と効果

モータを加振源とする  $2nf$  振動の対策として、振動騒音のメカニズムから以下のことが考えられる。

- (1) モータ(加振源)の振動低減。
- (2) モータからの振動を絶縁する。
- (3) 振動が伝達されても音放射させない構造とする。

(1)の方法は騒音対策の本質であり、モータ精度向上、コンデンサ容量低減による回転磁界の真円化などが考えられる。しかし、前者の場合技術、コスト的問題、後者の場合トルク上の問題がからんでくるため、大幅な改良は困難である。

また、(3)の方法では構造的に複雑となること、材料・製造的ばらつきにより、安定した性能が維持できない等の欠点があり、(2)の方法で検討を進めることにした。

そこで考案されたものが、図9に示す“制振サスペンション構造”である。これはモータをステンレスの板ばねで懸垂支持することにより、モータで発生する振動が水受槽底部に伝達されるのを極力低減する効果と、モータトルクを機構部に伝える役割をもつVベルトのテンションを一定に保つ効果をもつ。前者の効果は次式によって求められる。

1 自由度系において振動伝達率  $\tau$  は、

$$\tau = F_t / F_o = \sqrt{\frac{1 + (2\zeta(f/f_o))^2}{(1 - (f/f_o)^2)^2 + 2(\zeta(f/f_o))^2}}$$

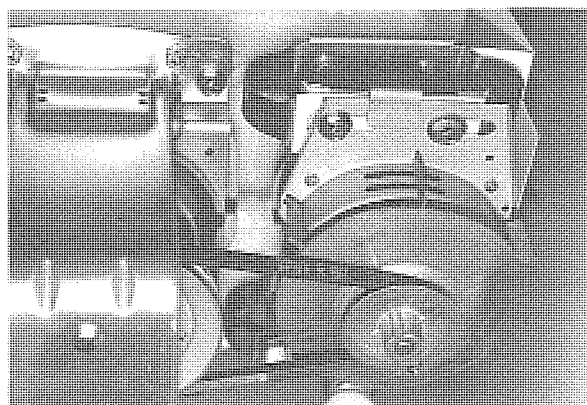


図9. 制振サスペンション構造

$F_t$ : 伝達力  $F_o$ : 加振力  $\zeta$ : 減衰比

$f$ : 加振周波数  $f_o$ : 固有振動数

上式から  $f/f_o$  が  $\sqrt{2}$  以上であれば、防振効果が発揮されることが分かる。

今回採用した板ばねは、モータを懸垂させたときの固有振動数を約 35Hz 程度とし、加振周波数が 100Hz の場合  $f/f_o = 100/35 > \sqrt{2}$  となり、防振効果があることが分かる。また、この板ばねに対しては有限要素法(FEMINI, NASTRAN)による強度解析、疲労試験機及び実機による疲労耐久試験、応力腐食試験などを行い耐久性を確認した。

しかし、この“制振サスペンション構造”は、モータから水受槽底部に伝わる振動は低減できるが、モータ単体から発生する騒音に関しては効果を期待できない。

そのため、モータ単体から主に発生している 600Hz の騒音に対しては、別の対策を採らなければならない。

600Hz の騒音は、5章で述べたようにモータ、ロータ軸部のベンディングモードに起因していることが解明されているので、モータ、ロータ軸部の固有振動数を  $2nf$  から逃すよう以下の対策が考えられる。

- (1) ロータ軸の材質を変える。
- (2) ロータ軸径を変える。
- (3) プーリの重量を変える。
- (4) プーリの取付位置を変える。

このうち技術、コスト面から(4)の方法を選定した。これまでのモータは軸の長さが約 54mm あった。これを 45mm と 9mm 短くすることによってプーリ取付位置を変更し、固有振動数をこれまでの 600Hz から約 645Hz に変更することができた。この結果、電源周波数 50Hz の  $2n$  倍である 600Hz と 700Hz (電源周波数 60Hz の場合は 600Hz と 720Hz) のほぼ中間に固有振動数をおくことで、共振を防ぐことができた。

次に、不連続音対策とその効果について述べる。洗濯中にブレーキライニングとブレーキホイルとのこすれから起きる不連続音の対策として、まず考えられるのがブレーキライニングに生じるひずみエネルギーを極力抑えることである。そ

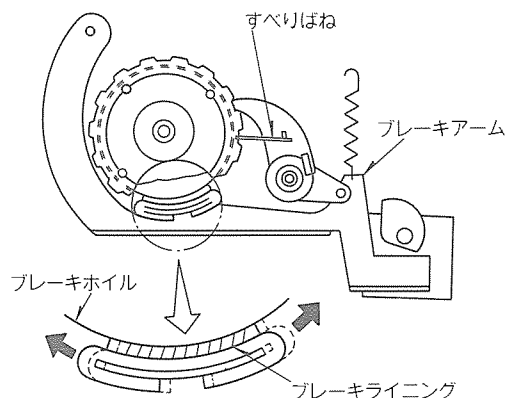


図10. ブレーキの構造

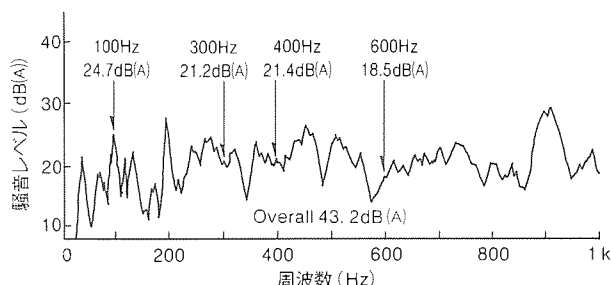


図11. 対策後洗濯時騒音

のため、ブレーキ機構を図10のように改良した。

図のようにブレーキライニングをスライド可動式としたことにより、ブレーキホイールが多少移動しても追従することができ、実験でもブレーキホイールの移動量に対して約90%の追従性を示し、良好な結果を得た。

また、脱水中のすべりばねのスティックスリップ音対策として先にも述べたように、この現象を引き起こす要因であるスリップリングの変形、バリ、温度変化をなくすことがあげられる。このうち、変形に対してはスリップリングを平面度のある金属リングで押さえることによって矯正し、バリも無くすることによって騒音として聞こえないレベルまで不連続音を低減することができた。

以上の対策の結果、洗濯時・脱水時の騒音値は、それぞれ図11、図12、図13に示すようなレベルに改善された。

このように従来機種に比べ、かなりの低騒音化を実現することができ、当初の目標である脱水時 50dB(A) 以下を達成することができた。

## 7. 今後の課題

今回発表の AW-A60F1 では、従来機種の改良という制約の中で低騒音化を実現したが、今後、構造系を全面改良する際には以下の事項を検討すれば、さらに低騒音化を期待できる。

- (1) 電動機の改良（加振源の改良）
- (2) 吊り構造、防振系の最適化

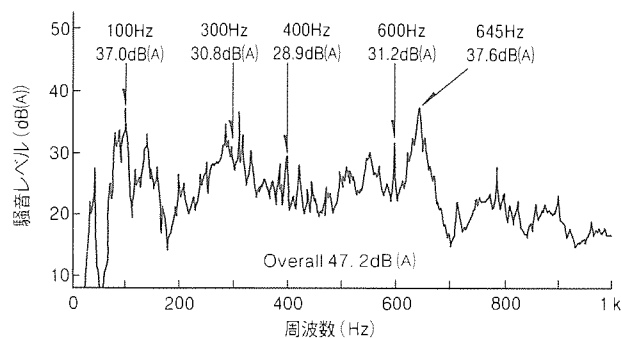


図12. 対策後脱水時騒音

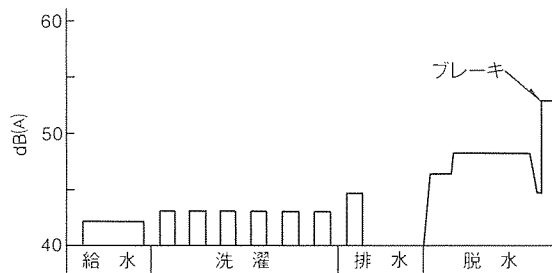


図13. 対策後行程別騒音

(3) 水受槽等、音放射体の構造強度最適化

(4) 水切り音等の遮音

(1)に関しては、電磁振動、回転振動の根本であり、これを改良することは、現状において低騒音化に対し最も有効な手段である。また、(2)、(3)は理論解析により、最適化を図ることで脱水時に起こる洗濯物の片寄りによる振動を抑え、外箱への振動伝達を防ぎ、音放射面の構造強度を最適化することで騒音となることを極力抑えることができる。そして、最終的に騒音として残るのは(4)の洗濯、脱水時の水切り音であろう。この原因として、洗濯時のかくはんによる水中への空気巻き込み、脱水中における水受槽への水の当たり音等が考えられるが、これらそのものを低減することは洗濯機としての性能にかかわってくる問題であるため、遮音を検討することが最適であると考えられる。

## 8. む す び

社会的に家電機器による騒音がクローズアップされている中、当社は業界最高レベルの低騒音化全自動洗濯機を発売することができた。また、新たに洗濯物の量や質を自動判定する負荷センサやひどい汚れに対応した“しっかりコース”を付加するなど、使い勝手を追求したことにより、発表以来好調な出足をみせている。

今後、これまで以上に低騒音化の声が高まることは必然であり、各社とも静音化競争にしのぎを削っている。当社は目標値を高くおいた超低騒音洗濯機の実現に努力していく所存である。



# 電気掃除機の低騒音化

高橋 豊\*  
日花金造\*\*  
尾高秀一\*\*

## 1. ま え が き

近年、住宅構造及び生活様式の変化に伴い、アルミサッシなどの使用による室内の気密性の向上と、じゅうたんの普及などによってダニやカビが発生しやすい住環境になっており、ぜんそく（喘息）やアレルギー性疾患の原因として注目されている。その対策の一つとして、電気掃除機による床面の徹底清掃が効果的と言われており、電気掃除機の吸じん力向上が強く要求されている。

また、一方では有職主婦の増加により、家事労働時間帯が昼間から早朝・夜間に移行してきていることから、より低騒音の電気掃除機が要望されている。

吸じん力向上と低騒音化は相反する関係にあり、さらに、利便性の面から小型・軽量を阻害することなく両者を両立させることが前提となり、技術的には困難な要因が散在している。

本稿では、当社が低騒音機として発売した平成2年度製品（TC-G500 シリーズ）を中心として電気掃除機の低騒音化の現状について紹介する。また、吸じん力の向上にはブロワモータの高出力化が必要であり、その低騒音・高出力・高効率化についても述べる。

## 2. 電気掃除機の構造と騒音発生源

図1に電気掃除機の構造を示す。掃除機本体は集じん室、ブロワモータ及びコードリール（図示せず）から構成され、本体に床ブラシ、延長管及び蛇腹ホースが装着される。

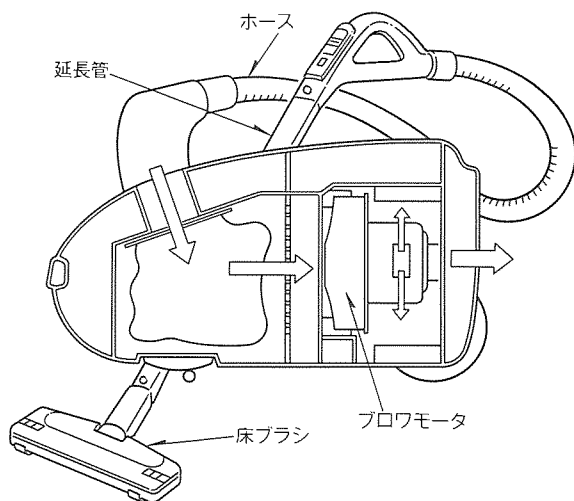


図1. 電気掃除機の構造

電気掃除機の主音源は、ブロワモータ音及び床ブラシと蛇腹ホースから発生する気流音である。前者は本体から、後者は床ブラシの吸込口から大気に放射される。なお、本体騒音は排気口から放射される排気音と本体ケースを透過する透過音からなる。

電気掃除機の騒音測定法はJIS C 9108に規定されており、騒音測定点は掃除機本体から距離1m離れた真上及び真横の2箇所である。騒音レベルは両位置での値の算術平均値としている。

当社の代表的な従来機の騒音レベルを図2に示す。騒音レベルは51dB(A)であり、その内訳は排気音が48dB(A)、透過音が46dB(A)、吸込音が43dB(A)である。なお、音の分離測定は消音器や遮音箱などを用いて、評価音以外の音を除去して行っている。

排気音が最も高いが、低騒音化を図っていくには上記の騒音源のすべてに対策を施さないと効果的とならない。例えば、排気音を零レベルとしても全体の騒音レベルは48dB(A)である。騒音低減量はわずか3dB(A)であり、効率的とはいえない。

以下に、それらの騒音対策について説明する。まず、電気掃除機の吸じん力及び騒音特性に最も影響のあるブロワモータの空力・騒音特性とその改善方法について述べる。

## 3. ブロワモータの空力・騒音特性の改善

### 3.1 ブロワモータの特性評価

ブロワモータはじんあい（塵埃）の捕獲・輸送手段を提供

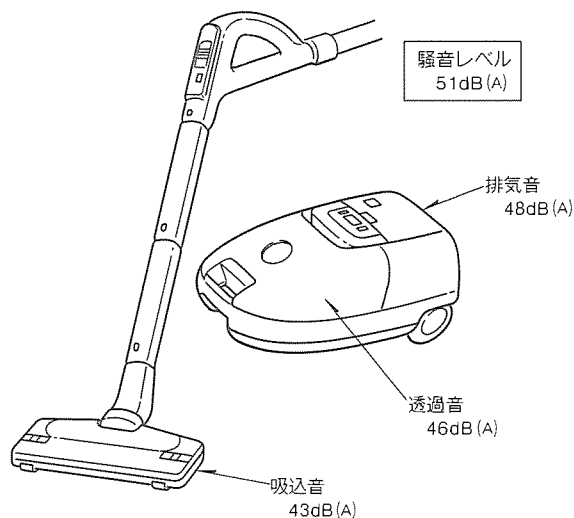


図2. 従来の電気掃除機の騒音

する空気源であり、ターボブロワとそれを回転駆動する整流子モータから構成される。ブロワモータの性能は、吸込仕事率(ブロワの空力出力)  $P$ 、モータの消費電力  $W$  及び騒音レベル SPL で評価される。それらの値とブロワモータの風量及び真空度(静圧)との関係は次式となる。

$$P = QH/60 \quad [\text{W}] \quad \cdots \cdots (1)$$

$$\text{SPL} = K_S + 10 \log QH^{2.5} \quad [\text{dB(A)}] \quad \cdots \cdots (2)$$

ここで、 $Q$  は風量  $\text{m}^3/\text{min}$ 、 $H$  は真空度 Pa、 $K_S$  は比騒音レベル dB(A) である。

上式から明らかなように、ブロワモータの高出力化(吸込仕事率  $P$  の向上)は、 $Q$ 、 $H$  の増大を意味し、それに伴って騒音レベル SPL が高くなる。したがって、高出力化と同時に低騒音化も達成するには比騒音レベル  $K_S$  の低いブロワ形状の開発が要求される。

次にブロワモータの効率の評価方法について述べる。電気掃除機の効率評価は特殊であり、したがって、ブロワモータの効率評価も一般の流体機器のそれと異なる。すなわち、一般の流体機器の効率  $\mu$  は、各動作点における出力と入力から、各動作点ごとに効率が求められ評価されるが、電気掃除機の場合は次式で示すように、全運転領域における最大出力と最大入力から求められる。両者の動作点が異なってくることは言うまでもない。

$$\mu = P_{\text{MAX}}/W_{\text{IN}} \quad \cdots \cdots (3)$$

$P_{\text{MAX}}$  : 床ブラシ吸込口における最大空力出力(最大吸込仕事率)

$W_{\text{IN}}$  : モータの最大入力

以上を図解したのが図 3 である。横軸は風量、縦軸は吸込仕事率及びモータ入力を示す。吸込仕事率は、ブロワモータ単体と床ブラシ吸込口との両者の曲線が示されている。後者は前者の値から電気掃除機の風路系(床ブラシ～本体排気口)の損失が差し引かれた値である。ブラシ吸込口の最大吸込仕事率が式(3)で示した  $P_{\text{MAX}}$  である。なお、ブラシ吸込口の吸込仕事率が最大となる動作点がブロワモータ単体のそれより低風量側に移行しているのは、電気掃除機の風路系の損失が風量の 3 乗で増加するので、ブロワモータ単体より最大吸込仕事率の動作点が低風量側となる。

ブラシ吸込口の吸込仕事率が零になった動作点は、床ブラシが完全に床面から離れた状態を意味し、風量は最大となるが真空度は零となる。この動作点を開放風量点と定義しておく。

モータ入力は風量の増加とともに増大する。上記の開放風量点での入力が式(3)で示した  $W_{\text{IN}}$  となる。

図から明らかなように、床ブラシ吸込口の最大吸込仕事率の動作点の入力は、最大入力  $W_{\text{IN}}$  より  $\Delta W$  だけ低くなる。したがって、効率及び最大吸込仕事率の向上から、この入力差  $\Delta W$  が小さくなるロードリミットな空力特性が望まれてくる。ブロワの基本構造は翼車と翼車出口の流れの運動エネ

ルギーを圧力エネルギーに変換する案内羽根から構成される。翼車と案内羽根の形状及び両者の幾何学的な配列の最適化により、空力特性の改善が図られる。また、効率改善からモータ自身の効率及び掃除機の風路損失の改善も必要であることは言うまでもない。なお、翼車と案内羽根の幾何学的な配列は騒音発生にも強く影響し、さらに、それが空力特性の向上と低騒音化に対して相反するように影響することが大きな技術課題となっている。

ブロワモータの主騒音源は、ブロワから発生する流体騒音であるが、モータの振動による騒音も無視できない。一般にブロワモータは、防振ゴムを介して掃除機本体に取り付けられるが、本体の軽量化のため本体剛性は必ずしも十分な特性になっていない。したがって、振動が本体に伝達しやすく、本体から振動伝達音として顕在化する。また、高出力化のためブロワはより高速化の方向にあり、回転部の質量の不平衡性は正がより強く要求されている。

以下で、特に空力・騒音特性に影響する案内羽根の最適化、モータの効率改善及び振動対策について説明する。また、電気掃除機の小型・軽量化にとってブロワモータの小型化も重要な課題となっており、その点についても触れることにする。

### 3.2 案内羽根の最適化

案内羽根は、翼車の出口に設置される径向き羽根と、その後段に配置される軸向き羽根から構成される。その構造を図 4 に示す。

図(a)の径向き案内羽根は、翼車の出口に近接することから翼車の出口からの流れを低損失で案内でき、高い圧力変換

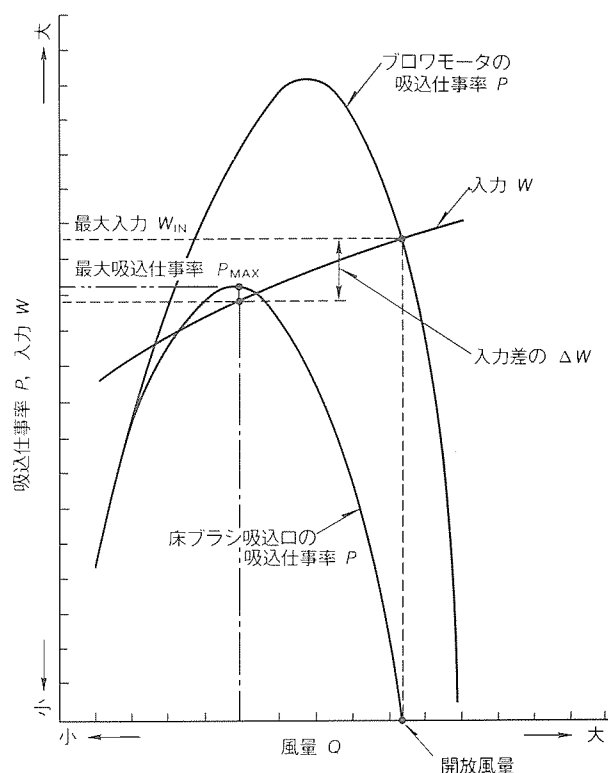


図 3. ブロワモータと電気掃除機の特

効率が得られる。しかし、翼車と案内羽根の近接により、翼枚数と回転数の積を基本周波数として、その高次成分なる翼車の翼通過騒音を増大させる。この基本周波数は3~4kHzであり、ブロワの流体騒音の主成分となり、しかも電気掃除機騒音の音質に最も影響する因子である。効果的な騒音対策は案内羽根と翼車との距離の拡大であるが、それはブロワの

効率向上と小型化に相反することから、対策に限界がある。その他の対策として、翼車と案内羽根の枚数比や案内羽根の迎え角の最適化などが採られている。

さらに、低騒音化が要求される場合は、数%の効率低下を招くが、径向きを取り除き、軸向き案内羽根のみの構造とする。その一例を図5に示す。図(a)は径向き案内羽根有り、

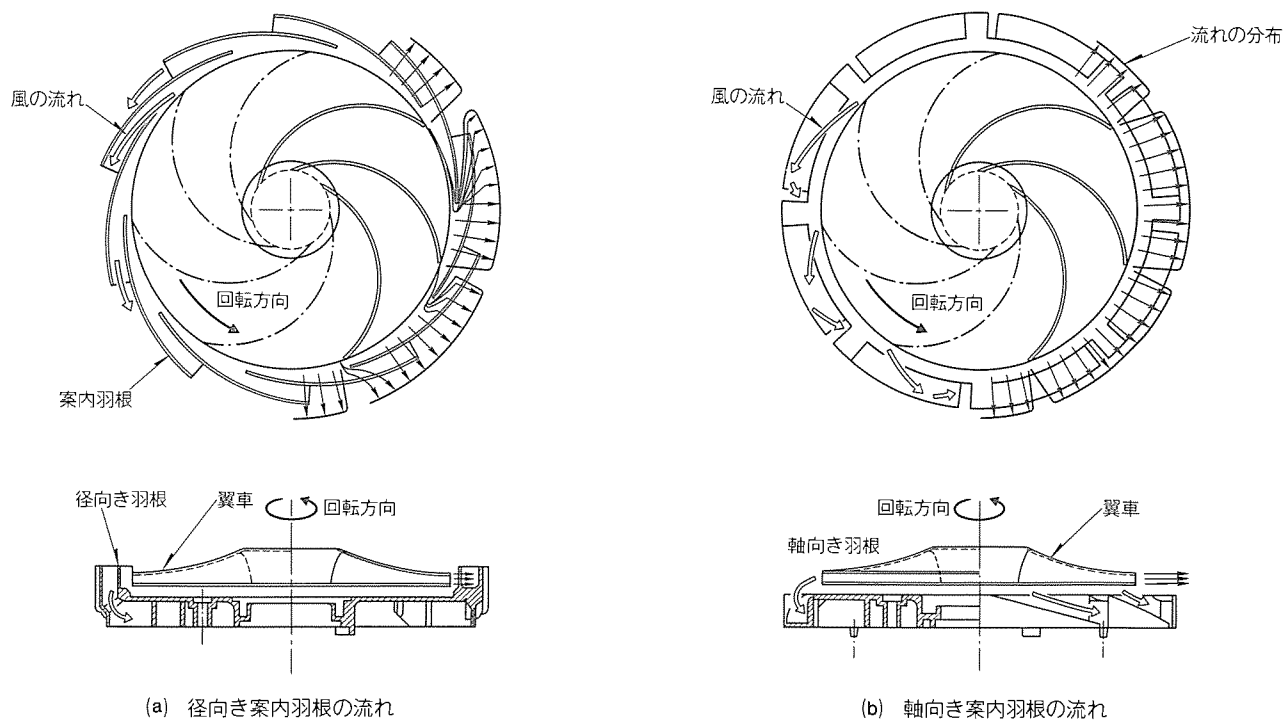
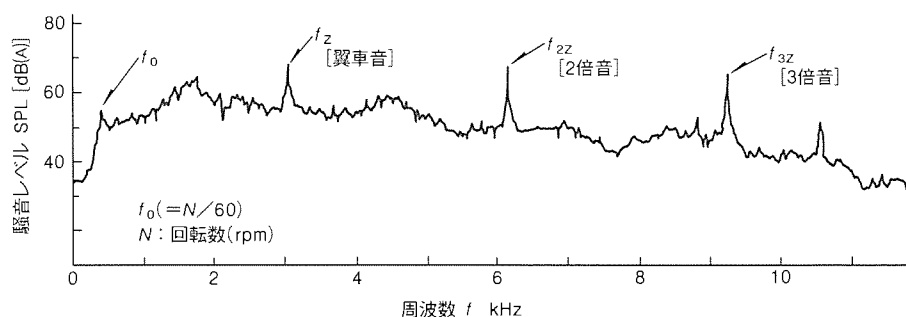
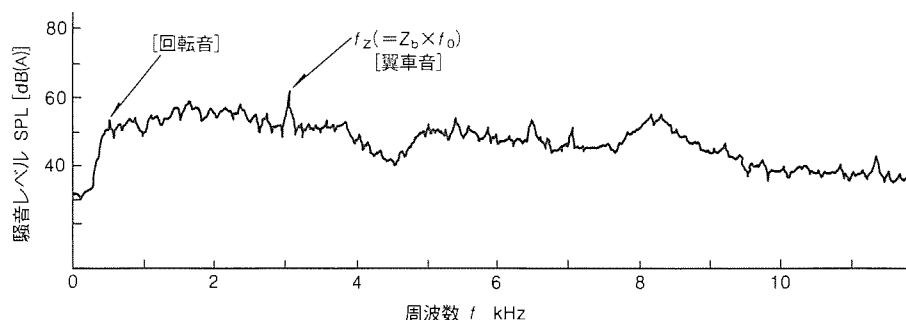


図4. 径向き／軸向き案内羽根



(a) 径向き案内羽根の特徴(上 1m)



(b) 軸向き案内羽根の特徴(上 1m)

図5. 騒音スペクトラム(案内羽根の特徴)

図(b)は無い場合を示す。径向き案内羽根を取り除くことにより、顕著に異通過騒音が低下している。

### 3.3 モータの効率改善

ブロワを駆動するモータとしては、3～4万rpmの高速回転を要求されることから、一般に整流子モータが採用されている。

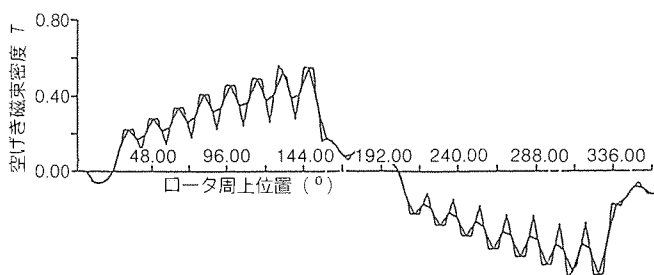
モータの損失は銅損、電機子損失及び機械損である。特に、高出力化のため高回転になってくると、上記の後者の二損失はいずれも回転数に比例して増大するので、その低減が重要となる。

その対策として、

- (1) 磁界解析によるコア形状の最適化による鉄損の低減
- (2) コア材料の磁気特性、占積率等の改善による鉄損の低減
- (3) コイルエンドの短縮、巻線径拡大等による銅損失の低減
- (4) 軸のアライメントの高精度化による軸受損失の低減

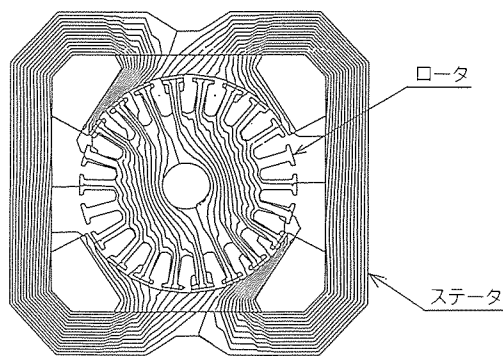
などの総合的な対策により、モータ効率の改善が図られている。

図6はモータコアの磁界解析の一例を示す。部分的な磁束の集中を避けるように、コア内及びロータとステータの空けき間の磁束分布を評価してコア設計を行っている。



(a)

磁束分布



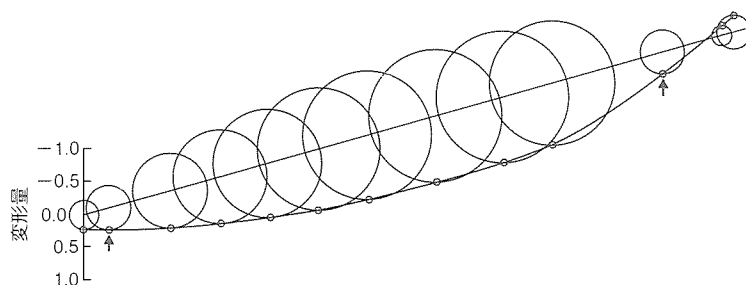
(b)

図6. モータコア磁界解析例

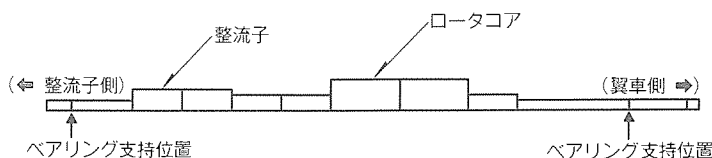
### 3.4 振動の低減

ブロワモータの振動の発生要因は、回転軸に対する回転部品の重心位置の偏心、取付精度不良による質量の不平等等である。それらが加振力となって振動を誘起する。対策としては、部品自身の初期アンバランス修正及び組立後のアンバランス修正を施すことになるが、特に、組立後のアンバランス修正を効果的に行うにはモータ軸の動的挙動を事前に把握しておくことが重要となる。

図7はモータ軸の一次の固有値モード(危険速度)の解析結果である。周知のように固有値は軸回転の影響を受ける。



(a) 解析結果(30,000rpm時)



(b) 解析モデル

図7. 固有モード解析例(ロータ)

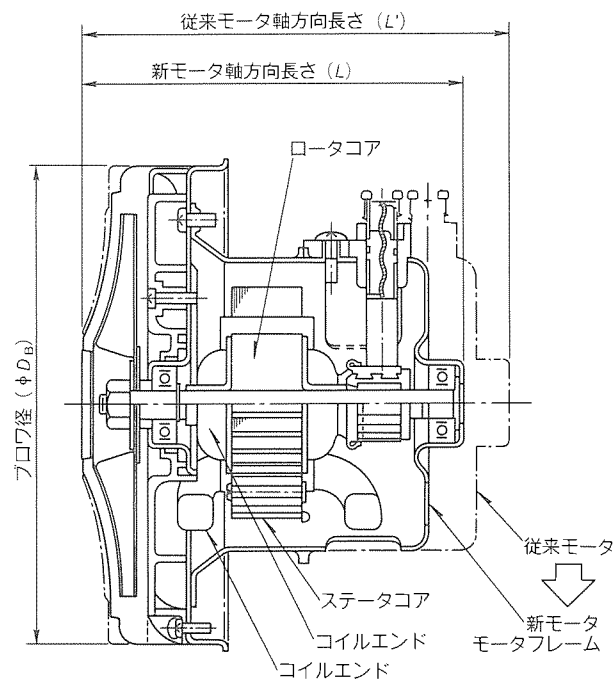


図8. モータの小型化(新旧比較)

この解析では代表的な回転数(3万rpm)で計算している。固有値は約1,200Hzとなり、加振周波数(30,000/60=500Hz)より高い。したがって、軸は弾性的なモード(剛体モード)となる。このような解析に基づいて、どの位置で不釣り合い修正するのが効果的か検討されている。

### 3.5 小型化

掃除機本体の小型化にとってブロワモータの軸方向の短縮化が最も効果的となる。そのためには、コアの積み厚さ、ロータとステータのコイルエンド高さなどの低減が必要となる。先述の磁界解析等により磁気特性を阻害しないコア積み厚さの低減、コイルエンドの圧縮成形などによって軸方向の短縮化が図られている。その改善の一例を図8に示す。軸方向寸法が約10%短縮化されている。その量は20mm弱であるが、掃除機本体を10~20mm小型化することも困難な状況を考えると、極めて有効的となる。

## 4. 掃除機本体及び吸気系の騒音対策

### 4.1 掃除機本体の騒音対策

先述したように、掃除機本体の騒音は排気音、透過音及び振動伝達音からなり、その音源はブロワモータである。

排気音の対策としては、ブロワモータから排気口までの風路にウレタンフォームやフェルト等の吸音材を内張りして消音対策を行っている。なお、図9に示すようにブロワモータから排気口までの距離が短いこともあり、消音風路を十分に確保できず、その対策には限界があった。なお、斜線部は吸音材を表す。その改善策として、今回、TC-G500シリーズ

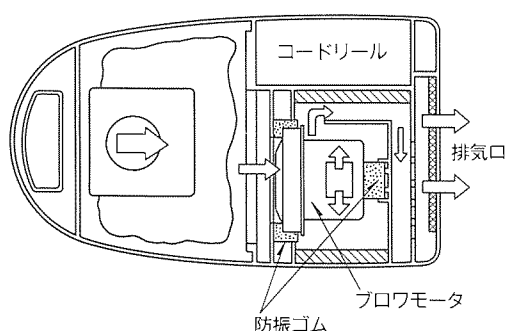


図9. 従来の電気掃除機風路

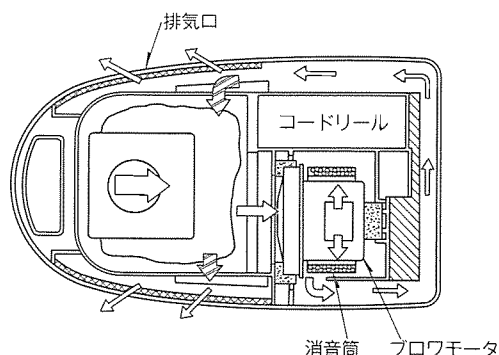


図10. ツインフロー消音システム

用に開発したツインフロー消音システムについて説明する。

図10に示すように、排気口を本体前方に設けることにより、消音風路長さを従来方式の約2倍確保でき、大幅な改善が図られた。さらに、排気口を2箇所にて設け、排気流れを分散(ツインフロー)することによって排気口の流速が低減でき、排気口から二次的に発生する流体音の低減効果が得られている。このツインフロー消音システムの採用により、従来方式と比較して約4dB(A)の排気音の低減化が達成された。また、前方排気の副次的効果として、本体を立てた状態で使用しても床面の塵を飛散させない利点があり、市場の評価も高い。なお、その後、当社で開発した吸音プラスチックを吸音材として全面採用した電気掃除機を発売した。その詳細については別途報告する予定である。

透過音は本体のケース間のすき間から主に透過する。すき間はケースの成形精度の不備によるものである。その精度向上は、生産性及びコスト的な制約から限界がある。TC-G500シリーズでは、透過音に影響するすき間にシール材を施すことにより、透過音を約5dB(A)低減できた。今後、低騒音機ではすき間のシール対策が不可欠になっていくものと考えられる。

ブロワモータの振動伝達音として、先述のブロワモータ自身の振動低減とともに、前掲図9に示すようにブロワモータを前後から防振ゴムで支持して振動遮断を行っている。その振動遮断効果が不安定で振動伝達音が顕在化することがある。周波数としては、モータの回転数成分(約500Hz)である。その最大の要因は防振ゴムの固定の不備であることが明らかとなった。すなわち、防振ゴムが防振ゴムハウジングにタイトに固定される寸法関係にあると、組立時に防振ゴムを円滑に挿入し難く、正常な保持状態が確保されない。また、一方、ルーズな固定は起動時(起動トルク大)及び外部からの衝撃力によりブロワモータの位置ずれを起こし、それも振動伝達

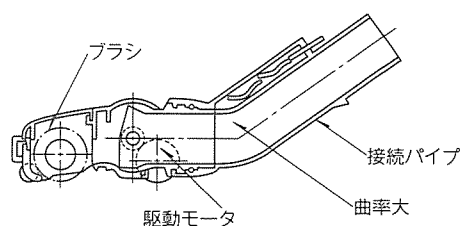


図11. 床ブラシ構造

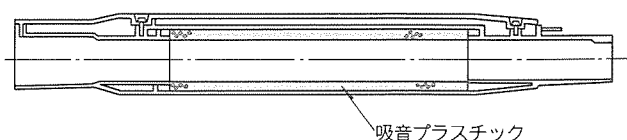


図12. 静音延長管

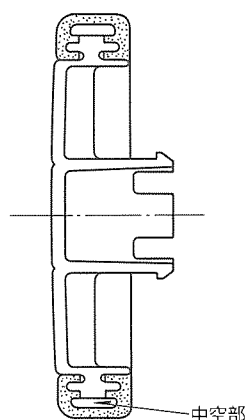


図13. 掃除機用車輪

音の増大を招くことから、最適な組立寸法があることが見い出され、振動伝達音の異常増大が解決された。

#### 4.2 吸気系の騒音対策

吸気系の気流音対策としては、風路内（風速 $\approx 35\text{m/s}$ ）の乱流発生要因となる流体の運動量変化の大きい曲がり部又は風路断面積変化部の改良が図られている。特に、床ブラシ接続部（90度エルボ、図11参照）及び蛇腹ホースである。床ブラシの気流音対策としては、上記接続部の内面を生産上許容される限界までの平滑化と、掃除性能を阻害しない範囲でエルボの曲率を大きくする対策が採られた。蛇腹ホース内面の凹凸は気流音に対して顕著に影響するが、ホースの可とう性を阻害しない制約下では凹凸の低減に限界があり、今回、図12に示すように、延長管の一部に吸音プラスチックの消音筒を挿入した静音延長管を開発し、蛇腹ホースの気流音の低減に採用した。吸音プラスチックは一般の吸音材と比べて剛性があり、ピン等の鋭利な物を吸い込んでも突き刺さることがなく、また、化学的にも安定しており劣化しにくく、極めて信頼性の高い消音方式を提供するものである。

以上の床ブラシの改良及び静音延長管の採用により、従来方式と比較して吸気系の気流音を約5dB(A)低減できた。

#### 4.3 床への振動伝達音対策

床が板のフローリングの場合、床の音放射効率が極めて高く、電気掃除機の微小な振動でも床から大きな振動伝達音が

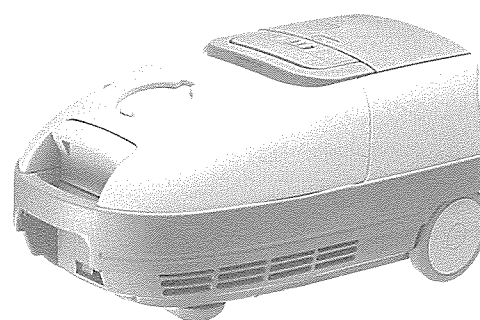


図14. TC-G 560M 電気掃除機

発生する。通常、電気掃除機の振動は車輪を介して床に伝達することから、車輪の外周にポリプロピレン等の軟質成形品を装着している。ただし、まだ不十分な振動遮断であることから、今回、さらに軟質成形品の剛性を下げるため、図13に示すように中空部を設けて、実用的に問題とならないレベルまで改善できた。

以上述べた騒音対策により、パワーモードで吸込仕事率260W、騒音レベルが従来機より4dB(A)低い46dB(A)の低騒音・高出力の電気掃除機（TC-G500シリーズ）（図14）が開発できた。さらに、手元パイプに設けたグリップスイッチ（握ればON、離せばOFF）の搭載により、掃除機から離れれば自動的にOFFとなり、無駄な電力の消費、無駄な騒音発生も抑止することができる。

家庭における掃除作業中の動作状況を分析して、静音・省エネにつながる付加機能の追加や使い勝手向上を追及して総合的な機能向上を図りつつ、低騒音化が達成できた。

### 5. む す び

電気掃除機の吸込仕事率の向上と低騒音化は相反する課題であるが、市場のニーズとして今後とも両者の改善は強く要求されるものと考ええる。

低騒音化については、ブロワモータの低騒音化技術及び消音技術の高度化を図り、騒音レベルを低減することとともに、聞きやすい音への転換、耳障りな音の除去など音質評価・改善も今後の重要な課題になってくるものと考ええる。

# 石油ファンヒーターの低騒音化

福野克哉\*  
塚原英行\*

## 1. ま え が き

家庭用電化機器での低騒音化は、近年すべての機器において行われている。住宅及び住環境も整備され、そこに生活する我々の商品に対する価値感も多様化してきた。快適な住空間を求め、周囲の騒音にも敏感になってきた。このように、家庭用電化機器を取り巻く環境の変化に伴って、低騒音化に対する要求は年々厳しくなっている。

一方、当社が昭和53年に他社に先駆けて発売した石油ファンヒーターは、今日約400万台市場へと発展し、暖房機として確固たる地位を確立した。それに伴い石油ファンヒーターには、より快適な居住空間を提供する空調機器としての基本性能の向上がより厳しく求められている。すなわち、騒音低減・臭気低減といった本質機能の改善が要求されている。特に低騒音化については、近年各社とも改善を図ってきており当社も例外ではない。

本稿では、当社石油ファンヒーター平成2年度品モデルでの低騒音化に対する取組について述べる。

## 2. 石油ファンヒーターの構成と燃焼原理

### (1) 石油ファンヒーターの構成

図1に、当社AJB方式石油ファンヒーターの構成を示す。灯油を気化して燃焼させるバーナ部と灯油を供給するためのカートリッジタンク及び油受皿、燃焼用空気を供給するための

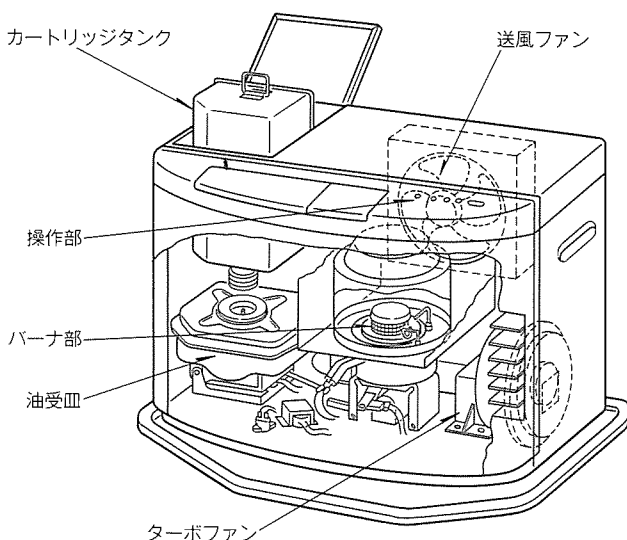


図1. 石油ファンヒーターの構成

のターボファン、温風を吹き出すための送風ファン、それに操作部で構成される。

### (2) 燃焼原理

図2に燃焼原理を示す。燃焼用空気は、ターボファンから噴霧ノズル部を経て気化筒内に入る。一方では、加圧ソレノイドを経て定油面器を加圧している。灯油は、カートリッジタンク、油受皿、送油管内を通過して電磁ポンプによって定油面器にく（汲）み上げられ、気化筒内に噴出する。気化筒内へは、燃焼用空気が噴霧ノズル部から圧送されているので、灯油はニードルから滴下する瞬間に微粒化して霧化する。気化筒はシーズヒーターにより、所定の温度に予熱されており、霧化した灯油は気化筒内で瞬間にガス化して空気と混合し、バーナヘッド部で燃焼する。燃焼した高温ガスは、本体ケース背面上部の送風ファンから送風される空気と混合し、温風吹出し口から吹き出される。

## 3. 石油ファンヒーターの騒音源

石油ファンヒーターの騒音を発生源別に大別すると、ターボファン音、燃焼器音、送風ファン音、電磁ポンプ音が挙げられる。表1に各種音源及び音の種類を示す。

これらの音源の中で石油ファンヒーター運転音に支配的なのは、ターボファン音、燃焼器音であり、送風ファン音、電磁ポンプ音と続く。

### (1) ターボファン音

ターボファンの騒音は、流体音・電磁音・機械音からなる。流体音は、燃焼用の空気がターボファンの中を流れることによって発生する音であり、空気取入口形状、動翼形状、固定翼形状、ケーシング形状等によって変化する。電磁音は、くま（隈）取り形誘導電動機の磁界（電磁力）によって発生する。機械音は、モータ軸受部及びロータ駆動部で発生する振動と回転翼のアンバランスによる振動が伝達して発生する。

### (2) 燃焼器音

燃焼器音は、気化筒共鳴音、火炎増幅音、流体音からなる。共鳴音は、気化筒内形状寸法によって決まるヘルムホルツ共鳴周波数と流速変動の周波数とが一致した時に発生する。火炎増幅音は、バーナヘッド開孔部における火炎面変動によって発生する。流体音は、噴霧ノズル部の噴流によって発生するジェット音として、気化筒内の混合気の干渉、乱れによって発生する。

### (3) 送風ファン音

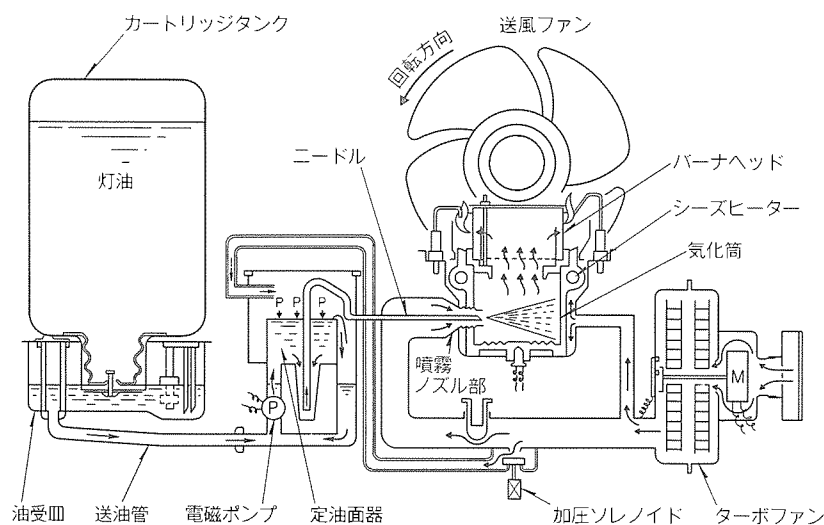
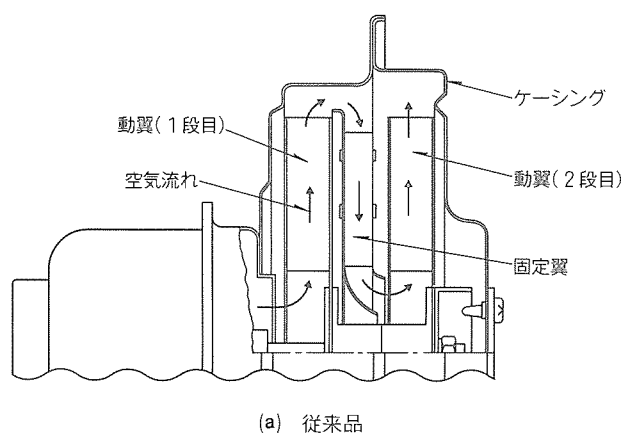


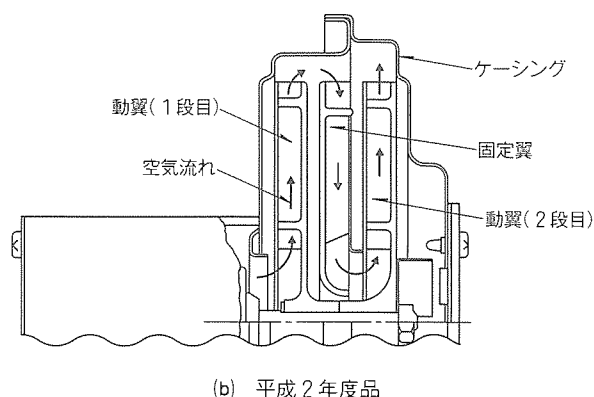
図2. 石油ファンヒーターの燃焼原理

表1. 騒音源及び音の種類

音 源	音の種類
ターボファン音	流 体 音
	電 磁 音
	機 械 音
燃 焼 器 音	共 鳴 音
	火炎増幅音
	流 体 音
送 風 フ ァ ン 音	流 体 音
	機 械 音
	電 磁 音
電 磁 ポ ンプ 音	機 械 音
	電 磁 音
	流 体 音



(a) 従来品



(b) 平成2年度品

図3. ターボファン断面

送風ファンの騒音は、流体音・機械音・電磁音からなる。流体音は、翼面上の流れと翼との相互作用によって発生する。機械音は、モータ通電率制御に伴い電源周波数と羽根の固有振動数との間の共振現象により、ブラケットとシャフトとが衝突することによって発生する。電磁音は、隈取り形誘導電動機の磁界（電磁力）によって発生する。

#### (4) 電磁ポンプ音

電磁ポンプ音は、機械音・電磁音・流体音からなる。機械音は、プランジャとプランジャガイドとの当たり及びポンプ振動の伝達によって発生する。電磁音は、コイルの磁界（電磁力）によって発生する。流体音は、ポンプ中の灯油流れの乱れによって発生する。

### 4. 低騒音化への取組

#### 4.1 ターボファンの低騒音化

##### (1) 流体音の低減化

図3に、従来品と平成2年度品ターボファンの断面図を示す。従来アルミ板で構成されていた動翼と板金で構成されていた固定翼とを、プラスチック成形品に変更し、流れの乱れを抑える形状とした。すなわち、動翼と固定翼の入口角と出

口角の最適化を図り、さらに、羽根幅を薄くすることで翼間風路に生ずる二次流れの発生を抑え、羽根とケーシングとの隙間を極力狭くして動翼周方向の漏れ流れを抑え、空力特性を向上させた。以上、ターボファン内空気流れの乱れを防止し、空力性能を改善することで羽根の広帯域騒音を低減した。また、翼枚数と回転数との積を基本周波数とする急しゅんなスペクトル騒音については、動翼・固定翼の翼枚数を最適化することで対処した。

##### (2) 電磁音の低減化

電磁音対策として、ロータへのシャフト圧入方法を改善し、シャフトの変形、曲がりを防止した。さらに、ロータしん（芯）ずれを防止するとともにエアギャップを最適化して磁気的な変動力を低減した。

##### (3) 機械音の低減化

シャフト及びロータの駆動部で発生する振動エネルギー、騒音エネルギーを吸収するために、ケーシングの材料に制振銅板を導入した。導入に当たり、温度特性—周波数特性を考慮した。選定した制振銅板は、中温用で60℃で損失係数のピークをもつ特性のものである。また、減衰特性は500Hzから1kHzの範囲で最大であり、ターボファンの周波数及び



電磁音周波数と対応させた。

図4に、従来品とこの対策を施したターボファンの周波数特性を示す。従来品は破線、対策品は実線で示す。従来品は、翼枚数と回転数とで決まる375Hz、750Hzの急しゅんなスペクトルをもつ。一方、この対策を施したターボファンは、翼枚数と回転数とで決まる急しゅんなスペクトルをもつ騒音がなくなり、さらに1kHz以上の広帯域騒音が低下している。その結果、オーバオール値は約5dB(A)低減し、さらに音質面でも改善できた。

## 4.2 燃焼器音の低騒音化

### (1) 気化筒共鳴音の低減化

図5にバーナの構造を示す。混合気中の騒音は噴霧ノズルからの噴流によるジェット音が支配的であるが、その急しゅんなスペクトルをもつ周波数は、気化筒のヘルムホルツ共鳴周波数 $f_H = C / 2\pi\sqrt{S/Vl}$  ( $S$ 、 $l$ ：ディバイディングプレートの断面積及び等価長、 $V$ ：気化筒体積、 $C$ ：音速)によって決まる。この対策では、 $S$ 、 $V$ 、 $l$ の最適化を図り音の増幅を抑えるとともに、ヘルムホルツ共鳴周波数を増幅の小さい高周波域にずらすことにより、低騒音化を図った。

### (2) 火炎による音の増幅の低減化

混合気中の音は、火炎面の変動によって増幅される<sup>(1)</sup>。火炎面の変動を抑えるために、ディバイディングプレート出口にコントロールプレートを設けて混合ガスを整流し、さらにバーナヘッド内側にメッシュを張り、火炎形成面(バーナヘッド炎孔部)での混合ガスの流速変動をなくした。その結果、燃焼音の火炎による増幅を抑えることができた。

### (3) 流体音の低減化

噴霧ノズル部からの騒音は、ノズル先端を長くしてノズル先端での流体のはく(剥)離、乱れを抑えることによって低減した。さらに、気化筒内形状変更で気化筒内の混合気流による干渉、乱れを防ぎ、流体音の低減を図った。

以上の対策で、従来燃焼音に比較して強燃焼時のオーバ

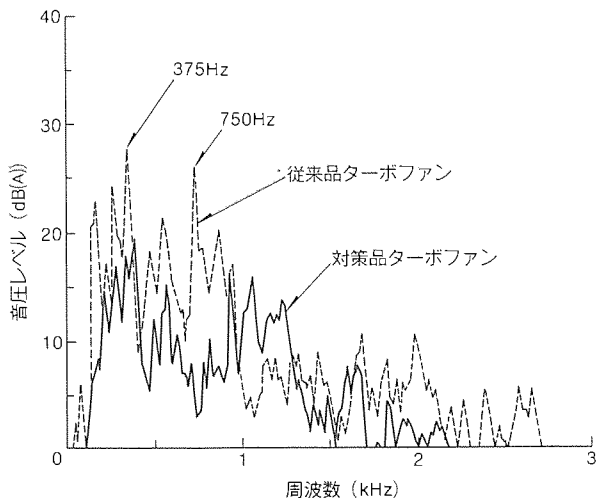


図4. ターボファン周波数特性(強燃焼運転時)

オール値で約2dB(A)減音できた。

## 4.3 送風ファンの低騒音化

### (1) 流体音の低減化

送風ファン(プロペラファン)の流体音は、ほとんどが広帯域騒音であり、後縁部のランダムな圧力変動によって発生する。この圧力変動は、翼後縁から出される乱流渦に起因する<sup>(2)</sup>。そこで、この乱流騒音の低減を図った前進、前傾翼をもつ当社独自開発の《エクストラファン》を石油ファンヒーターにも搭載した。《エクストラファン》を導入した結果、従来ファンに比べて強運転時のオーバオール値で約3dB(A)騒音値の低減が図られ、音質の改善もできた。

### (2) 機械音(異常音)の低減化

ファンヒーターでは、暖房能力をコントロールするために、送風ファンの回転数を通電率制御によってコントロールしている。

図6に送風ファンモータ(限取り形誘導電動機)の通電率制御波形を示し、図7にモータ断面及び軸受部詳細を示す。

通電率制御は、波形を一定の周期でカットしているため、モータ内の電磁力が急激に変化し、磁気的なスラスト変動力が発生する。この磁気的な変動力は、加振源となってロータの軸端とブラケット(ポリスライダ)との間で接触・非接触の状態を引き起こす。さらに、ロータ+羽根系の固有振動数が電磁加振力の周波数と一致すると共振状態となり、ピボット音(ロータ軸端とブラケット間のとう打音)が増大する。

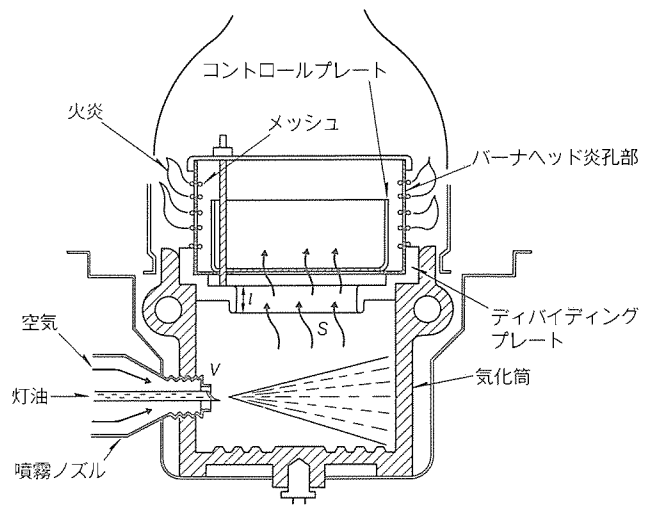


図5. バーナの構成

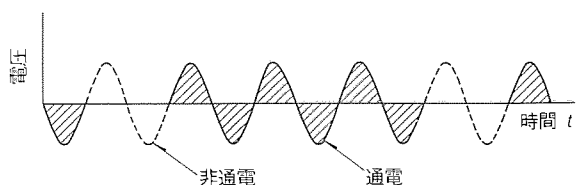


図6. 送風ファンモータ通電率制御

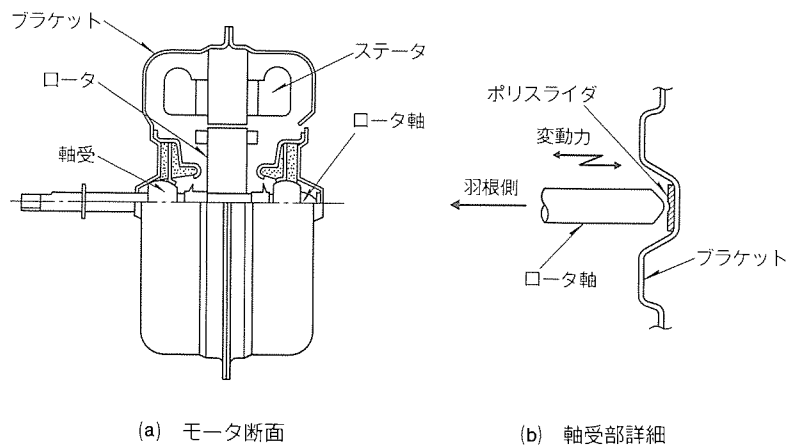


図7. モータの断面

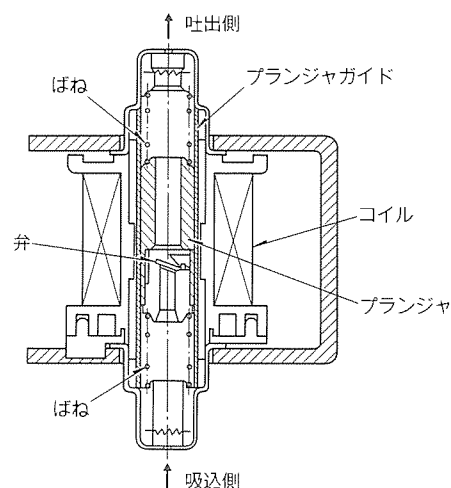


図9. 電磁ポンプの構造

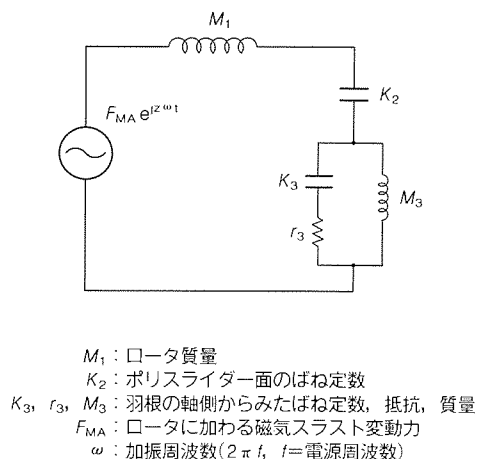


図8. ロータ軸受系の振動応答モデル

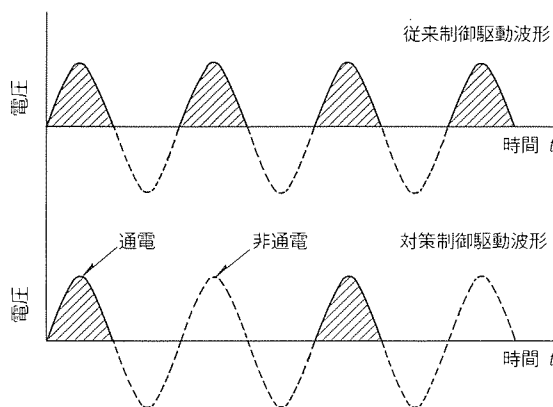


図10. 電磁ポンプ制御駆動波形

図8にロータ軸受系の振動応答モデルを示す。ここで羽根系の固有振動数は、 $f_0 = 1 / 2\pi \sqrt{K_3 / M_3}$  で表される。このピボット音対策として羽根の振動応答解析を行い、固有振動数を140Hzまで高め電源周波数 ( $2nf$ ,  $n=1, f=50/60\text{Hz}$ ) と一致しないようにした。

また、磁気的変動力を少なくするために、モータのマグネットセンターずれ量を再設定し、かつモータの本体取付けを傾斜させ重力により、スラスト方向へのプリロードを増加させた。

さらに、ロータシャフトとモータブラケット部との当たりの安定化を図るために、ポリスライダ面にシャフト先端に沿う凹面形状を設けばね定数を安定化した。

#### 4.4 電磁ポンプの低騒音化

##### 4.4.1 機械音及び電磁音の低減化

図9に電磁ポンプの構造、図10に制御駆動波形を示す。電磁ポンプは、プランジャガイドの中でプランジャを上下方向に往復運動することにより、灯油を汲み上げている。この往復運動時に、プランジャ上下コーナ部とプランジャガイドとの接触による打音が発生する。電磁ポンプは、図11に示す流量・周波数特性を持ち、30Hz近傍で最大効率を持

つことが分かる。一方、従来の電磁ポンプの駆動電源は、図10に示すように商用交流を半波整流して用いていたので駆動周波数は50Hz、又は60Hzとなり、最大効率点でポンプを作動させることができなかった。そこで、電源を通電率制御することにより、駆動周波数を25Hz ( $50\text{Hz}/2$ )、又は30Hz ( $60\text{Hz}/2$ ) にし、電磁ポンプを流量最大 (効率最大) で動作するようにした。

その結果、プランジャの往復回数・往復速度とも減少し、プランジャガイドとの衝突時におけるエネルギーを低減することができ、とう打音を下げることができた。また、電磁ポンプ効率改善により、入力電流も低減でき磁気音も減らすことができた。さらに、プランジャ上下のばねのばね定数を変更し、プランジャ、ポンプからの振動伝達を抑制し、高周波領域での急しゅんなスペクトルを持つ騒音をなくすことができた。

一方、電磁ポンプからきょう体への振動伝達についても、防振ゴム等の防振構造によって対処した。

##### 4.4.2 流体音の低減化

流体音の低減は、駆動周波数変更によるプランジャ往復回数、往復速度及びプランジャ形状見直しによる流路抵抗減に

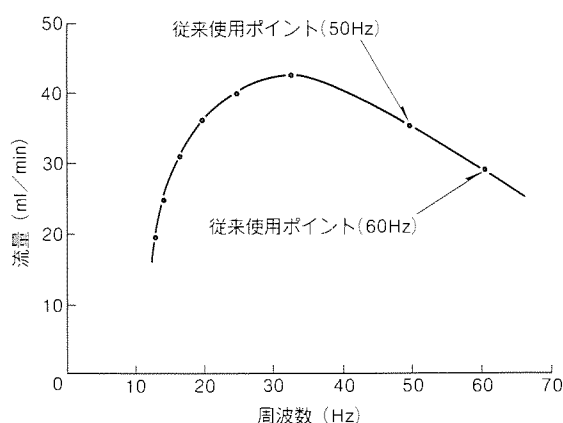


図11. 流量—周波数特性

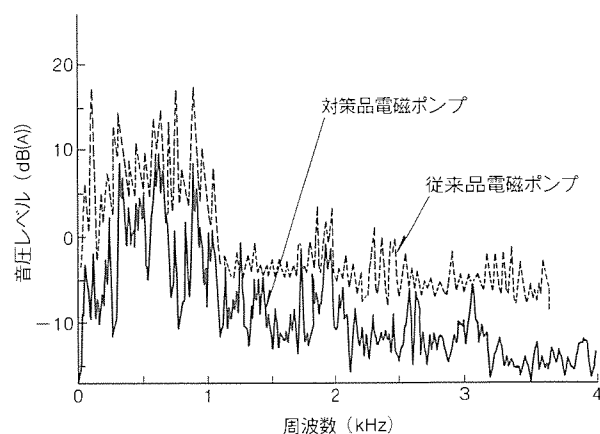


図12. 電磁ポンプ周波数特性

より、灯油流れの乱れをなくすことで対処した。

図12に従来品、対策品の電磁ポンプの周波数特性を示す。従来品は破線、対策品は実線で示す。図から明らかなように、全周波数領域での騒音、急しゅんなスペクトルを持つ騒音が低減されており、低騒音化電磁ポンプは従来の電磁ポンプに比較し、オーバーオール値で約5dB(A)の減音ができた。

## 5. ま と め

以上、各種音源ごとの低騒音化対策によって平成2年度品石油ファンヒーターは、強燃焼運転時オーバーオール値で37dB(A)、弱燃焼運転時オーバーオール値で27dB(A)と低騒音化することができた。また、オーバーオール値だけではなく音質的にも改善ができ、石油ファンヒーター運転時の不快感・耳障り感も取り除けた。その結果、騒音レベル及び音質的にも業界トップクラスの低騒音化石油ファンヒーターを市場に送

り出すことができた。

## 6. む す び

石油ファンヒーターの基本性能の改善は、毎年の課題であるが低騒音化は最重要項目の一つであり、更なる改善が要求される。特に、音圧レベルの低減だけではなく、音質的な改善が今後一層必要である。それには、極めて幅広い技術の総合力が要求されそれに対処すべく、技術力の強化・高度化を図り、低騒音化ファンヒーターを開発していく所存である。

## 参 考 文 献

- (1) 梶本照男, 松井安次: 燃焼技術とその応用, 三菱電機技報, 62, No. 4, 322~325 (1988)
- (2) 田中英晴, 大蔭勝久, 辻内伸好: 振動・騒音低減化技術, 三菱電機技報, 62, No. 4, 326~329 (1988)

# 《MELCOM80》による戦略情報システム(SIS)の構築

小碓暉雄\*

## 1. ま え が き

国際化、自由化、情報化の激動で先読みのしにくい今日、経営のかじ(舵)とりに情報システムを活用する戦略情報システム(SIS: Strategic Information System)の構築熱が高まっている。“情報を制する者が市場を制する。”と言われるように、情報システムの先進性が競争優位を招くことは様々な事例で明らかである。SISの構築は、経営戦略に基づく情報化で、業種や業界の特性によって、

- (1) 顧客サービスの差別化
- (2) 取引先の拡大・関係強化
- (3) 物流の効率化と在庫の圧縮
- (4) 知的生産システム(CIM)の構築

などの最適システム化が追究される。いかなる場合でも、SISにはコンピュータと通信機器からなる情報システムに共通した応用技術がある。

この論文では、《MELCOM80》ベースでの事例に触れながら、SIS構築の技術課題と《MELCOM80》における製品の实体、特長について解説する。

## 2. SIS構築の基本条件

一般にSIS構築のためには、図1のような情報装備が柱となる。情報系システムとは、定型的基幹業務主体の勘定系システムに対する言葉で、1章(1)、(2)などのための情報の付加価値を追求する業務システムである。情報系システムを強化する上で、情報源となるデータベースの構築と、データ収集や戦略的情報配信のためのネットワーク整備が必要となる。データベースの内容とネットワーク化の目的がSISとしての経営戦略の根幹である。

SISにおける情報処理は、タイムリーな情報入手ができるスピードが求められる。特に情報系システム強化のために、基幹業務に比べて大容量のデータベースを必要とするので、基幹業務の必要性能は維持しながら大容量データベースの高速処理が求められる。例えば、売上データは、基幹業務では2~3か月で通常用済みとなるが、情報系業務である商品売上げの前年同月対比や季節変動などの分析をするとなると1~2年た(貯)める必要がある。生データをそのまま貯めず一次加工して容量を圧縮して貯める方式もあるが、いずれにせよ量は増える。また、一般にデータ量が多いほど得られる情報の付加価値は高い。

SISでは、だれでも必要情報をタイムリーに入手活用できるように、だれでもその気になれば短期間で習得できて使いこなせるプログラム言語が求められる。このようなプログラム言語を第四世代言語(4GL)と言い、一般に第三世代言語(3GL)の代表COBOLに比べて10倍以上の効率が求められる。4GL主体に端末のエンドユーザー層による情報処理をエンドユーザー コンピューティングという。エンドユーザー コンピューティングの普及は、SIS成功のかぎ(鍵)となる(図2)。

## 3. SISにおける《MELCOM80》の活用

### 3.1 リレーショナル データベースの応用

《MELCOM80》システムにおけるデータベースの構築は、リレーショナル データベース(RDB)方式に基づいている。RDB方式では、《MELCOM80》のデータ管理ファイルである索引ファイル、順次ファイルなどを物理ファイル(実データファイル)と呼ぶ。物理ファイルをリレーショナル操作によって論理ファイル(仮想的ファイル)として、適用業務プログラムは論理ファイルを参照することでプログラム作成が単純化される(図3)。

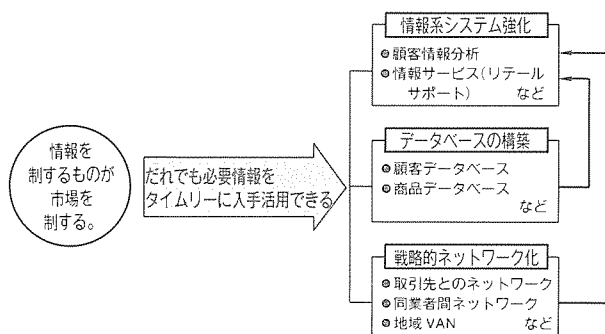


図1. SISのための情報装備

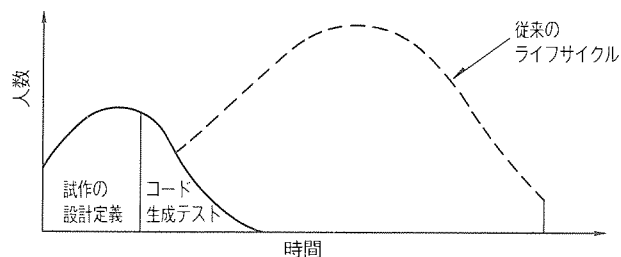


図2. 4GLの効果特性

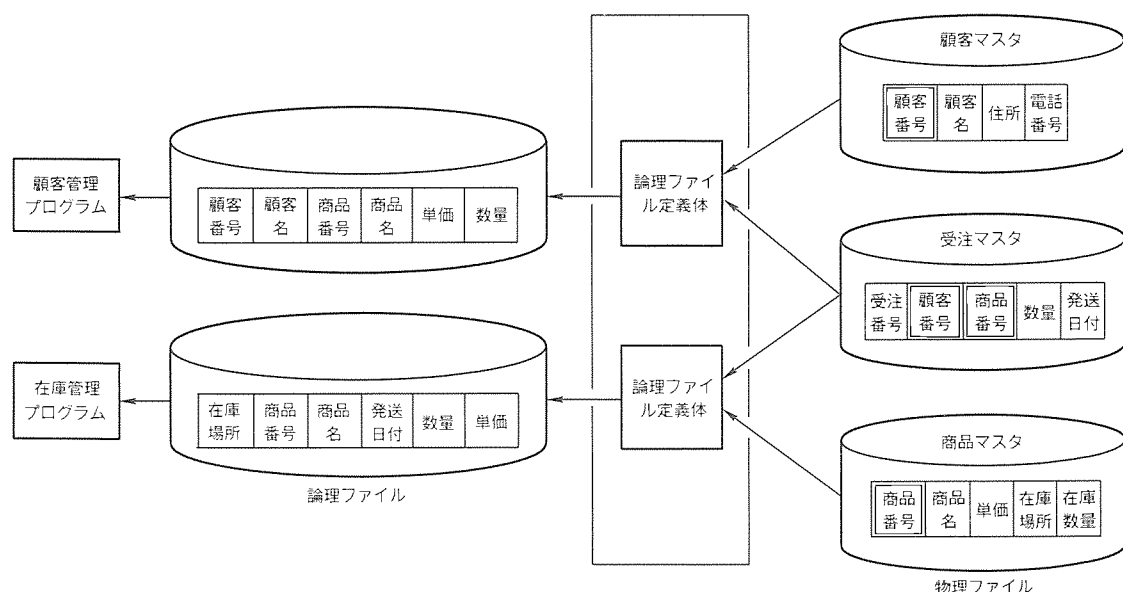


図3. リレーショナル操作(結合)の例

RDBの特長は次の点である。

- (1) 基幹業務と情報系業務のデータの共用ができる。
- (2) 非手続き的プログラムとしやすい。
- (3) あらゆるデータが平等な検索条件となる。
- (4) 分散データベースシステムが構築しやすい。

4GLの必要条件として、(2)は大切である。

### 3.2 ネットワーク機能

SISにおけるネットワークの重要な役割には、

- (1) 企業間ネットワークとして、情報サービスや情報入手の経路となる。

ときに、ネットワークは、データ変換、データベース利用などの付加価値付きネットワーク(VAN)として第三者利用に開放される場合がある。又は、SIS構築のために既成の第三者のVANを利用することもある。

- (2) 構内ネットワーク(LAN)の整備により、工場の生産計画、設計、製造ラインの情報の直結と自動化を行ったり、百貨店など大手小売業の店舗とバックヤードとのマルチメディア情報化を行う。

の二つの世界がある(図4)。

《MELCOM80》では、企業間ネットワークで必要となる全銀協手順、DRESS、CAFISなど各種業界プロトコルを備えるとともに、開放型システム接続のためのFTAM(ファイル転送)をはじめ、OSI接続(開放型システム間相互接続)を強力に推進している。また、三菱電機標準ネットワークアー

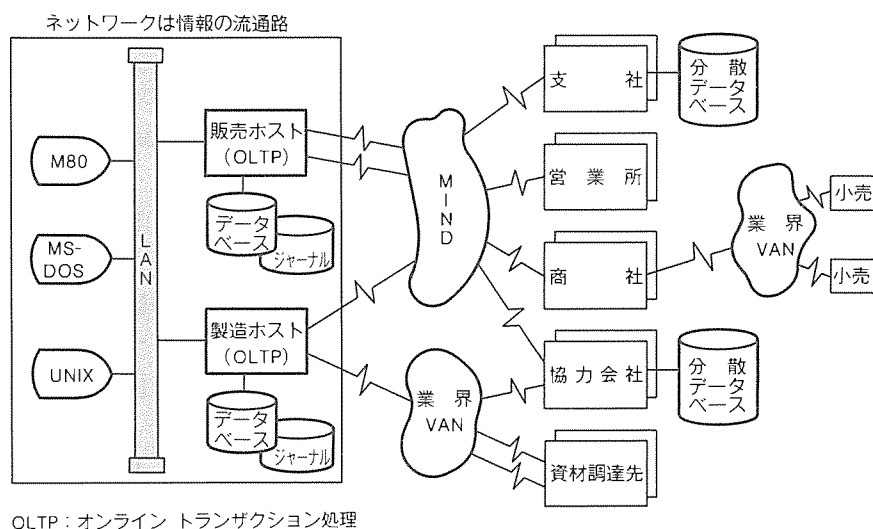


図4. SISにおけるネットワーク

キテクチャ“MNA-P”の各種上位プロトコルはもとより、SNA<sup>(注1)</sup>対応の各種端末エミュレータ、パススルー機能も備えている。金融、サービスなどの窓口業務に多いオンラインリアルタイム処理を最適化し、リカバリー機能を持つオンライン トランザクション処理(OLTP)システムも備えている。

《MELCOM80》では、イーサネット<sup>(注2)</sup>LANによる上位プロトコルとしてMNA-P《MELNET B10》対応機能、TCP/IP(FTPとアプリケーション間通信インタフェース)、OA-LANの3種類を備えている。これにより、従来のマルチワークステーションと同様に《MAXY》を使ったり、UNIX<sup>(注3)</sup>をOS(オペレーティングシステム)とする各種エンジニアリングワークステーションとのデータ交換もできる。

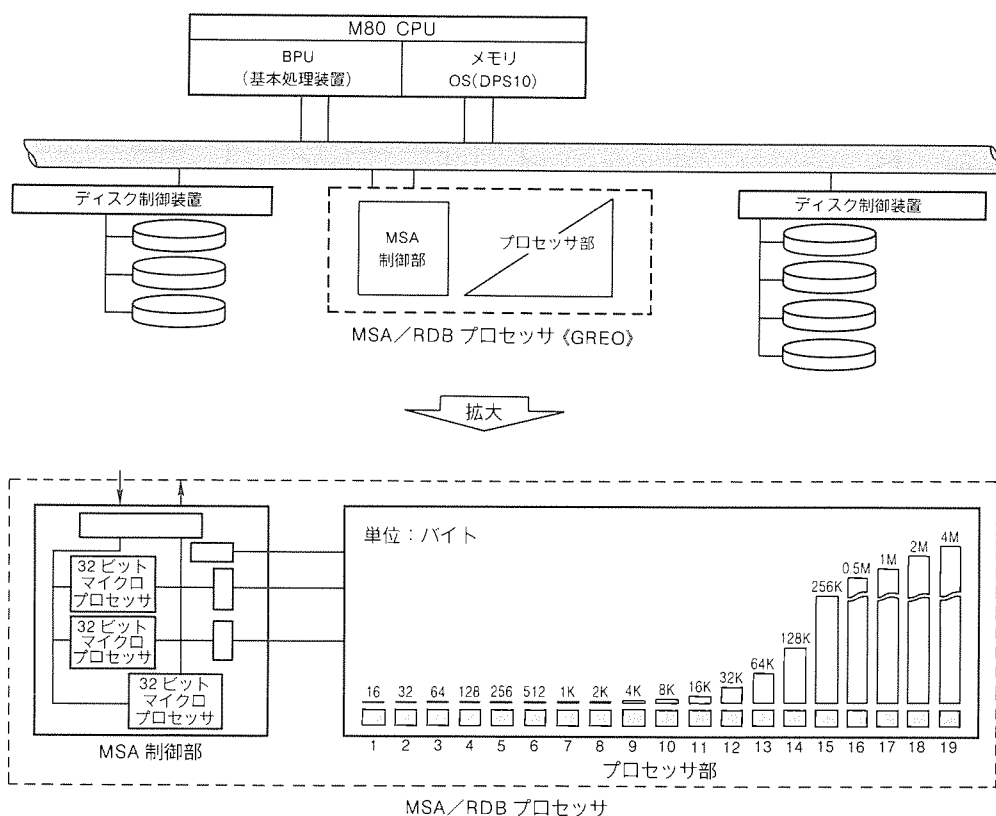


図5. RDB プロセッサ《GREO》の構成

ネットワークの種別を問わず、《MELCOM80》同志であれば、ネットワーク上で分散しているデータベースを系統的に共用できる、すなわち分散データベースシステムが実現できる。

### 3.3 RDB プロセッサ《GREO（グレオ）》

《GREO》は、2章で述べたSISにおける情報処理のスピードを実現するハードウェア機構である。

《GREO》を開発した背景について簡単に触れる。データベースの構築法には、様々のモデル化というデータ写像方式があるが、いかなる方式であっても、大量のデータに対して単純な操作を繰り返して必要な結果を得る。特にRDBの選択、結合などの操作では、一般に全件レコードの検索が前提となっている。このための操作を1件1件順番に逐次処理していると、大容量データベースの十分な処理スピードが得られなくなる。また、データ処理上、陰に陽に不可欠なソート処理も同じことが言え、高速化を追究するとCPU負荷が高くなって多重処理性能を圧迫する。以上のデータベース処理に伴う性能障壁は、逐次処理を原則とするフォン・ノイマン型コンピュータの宿命である。このノイマン型コンピュータの性能障壁を解消する策として、データ処理の並列化による高速性能を追究するデータベースマシン分野の研究成果に注

目して、商品化に成功したのが《GREO》である。

RDB プロセッサ《GREO》は、3枚のカードから構成され、図5のような構造となっている。MSA 制御部は32ビットマイクロプロセッサ（モトローラ68020）3石とデータ変換回路などからなる。MSA（マルチストリーム・アーキテクチャ）とは、データを複数列化して並列処理する方式の呼称である。プロセッサ部は、19石のパイプライン接続されたソートプロセッサで、処理領域として8Mバイトの主記憶を持っている。このパイプライン・ソートプロセッサによって、8Mバイト/秒の速度でソートが処理される。MSA 制御部は、ソートプロセッサの駆動やデータの並列入出力を受け持つ。

《MELCOM80》に《GREO》が装着されていると、データベースの検索やソートは本体のCPU処理からう（迂）回（バイパス）して《GREO》によって処理される。本体のCPUは、処理前データと処理後データの入出力を受け持つだけとなり、CPU負荷が大幅に削減される。《GREO》は、東京大学生産技術研究所の喜連川助教授が研究開発した成果を当社が集積技術を駆使して商品化したもので、小型コンピュータ分野のオプション機構としては、世界で初めてのものである。

《GREO》能力は、《MELCOM80》の本体CPUでの処理性能とCPU負担に対して表1のような性能効果を出す。この効果により、本体CPUは基幹業務の性能を維持しながら、情報系業務やバックグラウンド処理として、並行処理される大容量データベースの検索やソートの処理時間を1/3から

（注1） IBM社のネットワーク名称である。

（注2） XEROX社の商標である。

（注3） UNIXシステム ラボラトリーズ社が開発し、ライセンスしている。

1/100 程度まで短縮できる。

SIS 構築に企業の存続をかけ、勘定系システム（基幹業務用システム）と情報系システムを別システムとして、二重、三重の設備投資も辞さない大企業の例は別として、一般に中堅企業では SIS 構築のために、とてつもない設備投資をすることはできない。中堅企業が従来システム設備投資プラスアルファ程度で、勘定系システムと情報系システムの共存ができる、これが《GREO》の画期的な価値である。

### 3.4 第四世代言語(4GL)《EDUET》

《GREO》とともに、《MELCOM80》ベースの SIS 構築に欠くことのできないのが《EDUET》である。《EDUET》は、エンドユーザー コンピューティングの最適手段となる 4GL で、図 6 のような機能構造の会話型プログラム言語である。

表 1. 《GREO》の性能特性

	処 理 時 間	本体 CPU 使用時間
S O R T 処 理	1/3~1/7 (3~7 倍の性能アップ)	1/15~1/60
データベース 検 索 業 務 (RDB/EDUET)	1/3~1/100 (3~100倍の性能アップ)	1/10~1/200
インデックス 生 成 処 理	約 1/4 (約 4 倍の性能アップ)	1/100

《EDUET》の特長を次に示す。

- (1) プログラム作成は、機能メニューの選択と空白を埋める (fill in the blank) 方式によるパラメータ、論理式、算術式などの入力によって行われ、手続的記述がない。
- (2) プログラム作成中、HELP 機能によってその状態でのマニュアルが表示されるので、説明書を逐一見る必要がない。
- (3) データベース検索は、《GREO》による高速化により、例えば売上明細 50 万件から特定商品群別売上推移表を作るのに、60 分かかっていた処理が 1~3 分で処理される。
- (4) データベースの定義/変更のためのプロセッサ DDP は、単独で実行することも、《EDUET》の中で実行することもできる。
- (5) ダウンロード機能により、パソコンソフトへのデータ引渡しができる。
- (6) データベース検索プログラムは、《MELCOM80》の標準言語であるプログレス II ソースに変換できる。
- (7) プログラム中のパラメータを変数化し、実行時にパラメータ値を指定できる。
- (8) プログラムのドキュメントを自動作成できる。
- (9) 短期習得が容易である。ちなみに、一般の講習会で 1 日又は 2 日間コースとなっている。
- (10) ソフトウェア開発上、COBOL の 10 倍以上の効率を期

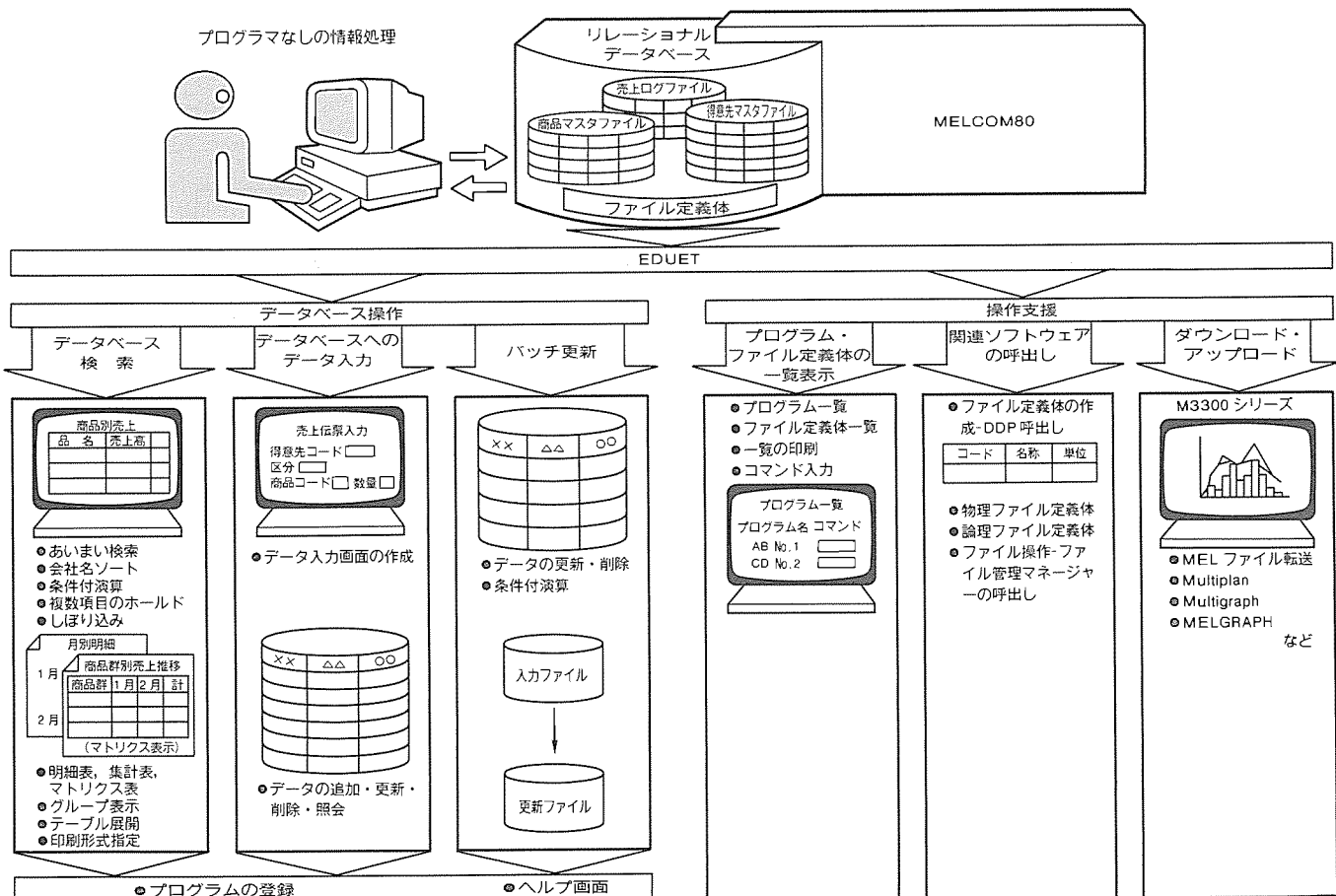


図 6. 《EDUET》の機能構造

待できる。

エンドユーザー部門の《EDUET》活用による経営戦略の展開を、当社は“全員参加のSIS”と表して推奨している。

3.5 システムの安全対策

SISは、取引関係を中心とした企業内ネットワークと大容量データベースをかなめとして企業経営の中核となるシステムであることから、データの保全とシステムの安全稼働が従来システムに増して大切である。システムの性格によって、その具体的対策が必要となることから、《MELCOM80》では次のような安全対策機能又はサービス機能を用意している。

(1) データベース更新中の異常でデータの整合性が失われな

表 2 . RMS の回復機能

障 害	RMS の回復機能
プログラム障害	商品マスタの売上高更新結果を、元の値に戻し、マスタファイル間の整合性を回復する。プログラムはアボートする（TP 環境下では、アボートさせないことも可）が、システムは続行する。………… “ダイナミック回復” と呼ぶ。
システムダウン	商品マスタ／在庫マスタの更新結果を、元の値に戻し、整合性を回復する。したがって、ダウン時、実行中のトランザクションは捨てられる。………… “システム回復” と呼ぶ。
ディスク障害	担当者マスタのバックアップをリストア後、それ以降のファイル更新ジャーナルを、ファイル回復ユーティリティによって適用することでもっとも最近の一貫性のあるファイル状態に復旧する。………… “ファイル回復” と呼ぶ。

いように、回復（リカバリー）手段を提供する回復管理システム（RMS：Recovery Management System）（表 2）。

(2) 万一のディスク障害に、データ参照不能となることを防ぐためのミラーディスク機能。

(3) 2 台の《MELCOM80》システムから同一ディスクへの切替え参照を可能とするデュアルポート ディスクアクセスや回線切替装置などの利用によって、システムダウン回避を行う二重系システム化の諸機能。

(4) 煙、地震などの環境異常検知の機器と連動して、警告を知らせたり、《MELCOM80》の自動運転機能と連動させるシステム監視機構。

(5) 遠隔地のシステムに、異常時判断と処置ができる操作員がいらないような場合に、ネットワーク経由での障害回復、操作代行、プログラム修正などを行う“DS-NET”サービス。

以上のシステム機能とは別に、SIS 構築と運用にからむもろもろの技術支援体制と情報サービス網も整備している。

4. 《MELCOM80》による SIS 事例

4.1 技研化成（株）

スーパーの食品棚に並ぶ刺身、精肉、そう（惣）菜類を盛るトレイ、又はテイクアウト用パッケージなど食品軽量容器、包装袋類を製造、販売しているのが技研化成（株）（本社 兵庫県伊丹市、小山雅生社長）である。同社は、昭和 60 年に《MELCOM80 システム 20》を 3 台導入し、売上げ 200 億円を目指す営業戦略直結のシステム構築が始まった。

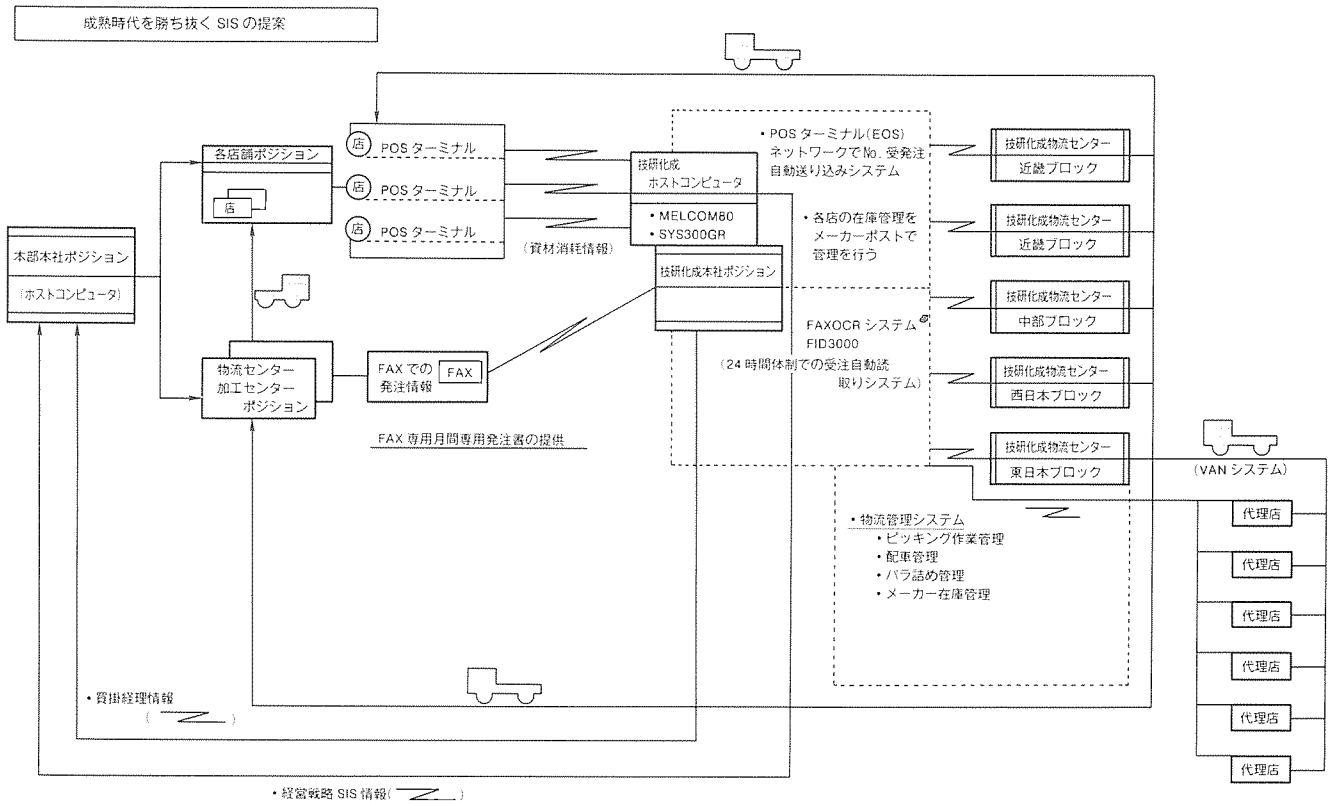


図 7 . 技研化成（株）スーパー向け受発注物流システム概念



同社の得意先は、ダイエー、イトーヨーカ堂などの大手のスーパーと中小の小売店まで8,000店以上の得意先をもち、得意先は多頻度小口の配送を要求してくる。得意先の要求に何の工夫もせず配送すると、商品コストの割に物流コストがかかり過ぎる。そこで、新システム“SPD-NET”でまず手がけたのは、得意先の要望に対応しつつ配送を効率化することであった。これは、端的に言うシステムがトラックの積載量と受注量を判断しながら、配車、積載順、配送順序を最適化する。このシステム成果は、大手スーパーとのオンライン受発注中心に販路を広げ、他社の事務処理代行にも発展している。事業拡大に伴い、システムも大

きくなり、3年余でホストは“システム40から80G(40に対して2倍以上の規模)”へと発展し、さらに平成3年スタートに向けて、FAX OCR入力による24時間受注受付、全国500店規模のファーストフーズへのPOS展開などの計画と、そのためのホスト強化及びデータベース活用のために“300GR”と《GREO》を導入する(図7)。

技研化成(株)の一貫したSIS理念は、販売から生産への情報直結による得意先へのサービス向上であり、そのための新しいシステム課題にたゆまず挑戦している。同社“SPD-NET”で《MELCOM80》が果たしている強みは、プログレスⅡ始めソフトウェア開発効率のよさとネットワーク化での柔軟な拡張性で、今後は《GREO》と4GLの《EDUET》による情報系システムの強化が始まる。

#### 4.2 三菱電機九州商品販売(株)

客先は、従来ホスト(汎用機)で、すべての情報処理を受けていた。各地支店や地方の得意先から個別の売上分析情報要求が頻繁にきていたが、ホスト機のCPU負荷が一杯なことから、ホスト機のソフトウェア開発専任者が手一杯なことで応じられなかった。対策を検討した結果、《GREO》付きの

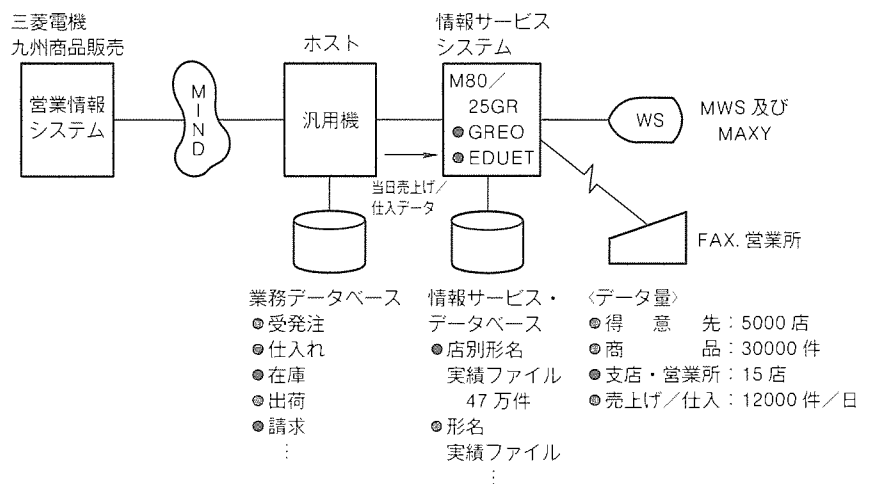


図8. 三菱電機九州商品販売(株)におけるシステム構成

《MELCOM80/25GR》を導入し、ホスト機と構内回線で接続し、得意先から集まる売上実績を毎日“25GR”の実績ファイルに送信して、現場の営業マンが《EDUET》を覚えて営業活動の傍ら、個別情報に応じるようにした。典型的な商品別売上実績表、得意先別売上実績表といった《EDUET》処理が、《GREO》なしだと60分かかるとに《GREO》付きで1～3分で結果が得られる。正に、《GREO》の力と《EDUET》の使いやすさが生かされたシステムである(図8)。

### 5. む す び

今後とも、《MELCOM80》が対象機種となるような中堅企業では、経営環境の変化に柔軟に対応するSIS構築熱が続くであろう。その場合に更なるスピードの追求とエンドユーザーコンピューティング環境の最適化追求は、これからも続けられる。SISの対象とするデータベースには、数値・文字データ以外の図形・画像の扱いが必要となり、マルチメディア化によって一層の高性能化と、マルチメディアデータをエンドユーザーフレンドリーな操作性で処理できることが今後の課題である。

# 監視用テレビ 《新形メルックシステム》

楠 好次\* 向井文章\*

## 1. ま え が き

メルックタイプの簡易監視システムの主な市場は、金融・流通・物流・遊戯場などの分野で、防犯・防災の監視システムからサービス向上、省力化、合理化などに用途が拡大されてきており、年率約15%の伸びを示している。これら需要の拡大・普及に伴い、市場価格の低下も著しい。

カメラについては保守の必要な撮像管を使用したものから、小型・高信頼性のCCD固体カメラへと移行してきた。また、より情報量の多いカラー化への傾向も強くなってきている。システムとしては、4台のカメラ映像を1台のモニターで監視する4画面分割表示システム、複数の監視ポイントを1台のカメラでワンタッチ制御するプリセットシステム、長時間の連続記録が行えるタイムラプスビデオの導入など、より高度な監視システムへの要求が高まってきている。

これらに対応するため、従来の監視用テレビ“メルックシステム”を高機能化・高性能化・低価格化するとともに、周辺機器を充実させた“新形メルックシステム”を開発した。豊富な各種機器を組み合わせることにより、監視目的に応じてシステム拡張も容易であり、幅広い市場要求に対応することができる。

主な新製品は、高解像度白黒・カラーCCDカメラ、音声ユニット、高解像度カラーモニター、4CHコントローラ、4画面コントローラ、プリセット機器、映像分配器、映像切替器、長時間VTRなどである。

## 2. メルックシステムの構成

### 2.1 基本システム

カメラ、電源ユニット、ビデオモニターを基本構成とする1画面のシステムで、1箇所を集中的に監視する場合に適している。システム構成例を図1に示す。

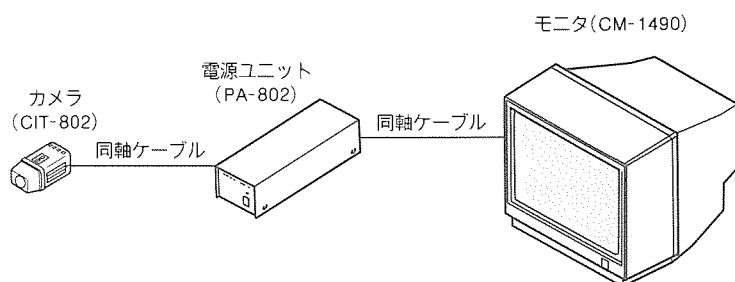


図1. 基本システム構成例

カメラ・コントローラ(又は電源ユニット)間は、1本の同軸ケーブルで接続され、カメラ電源・映像・同期・音声が多重伝送される方式を採用しているので取付工事が簡単に行える。カメラ・コントローラ間は、5C-2Vケーブルで最大500mまで延長できる。コントローラの映像出力はNTSCビデオ信号に準じており、VTR等のビデオ機器と接続できる。

以下に各機器の概要を記す。

#### (1) カラーカメラ(CIT-802)

約28万画素の1/2インチCCDを採用した固体カメラで、水平解像度350本以上、最低照度8ルクスの高画質カラー映像が得られる。また、TTL方式による全自動色調整を行っており、安定した色再現性が得られる(図2)。

#### (2) 白黒カメラ(IT-811)

約28万画素の1/2インチCCDを採用し、水平解像度450本以上、最低照度は0.5ルクスの高解像度・高感度のカメラで、カラーカメラでは十分監視ができない暗い場所でのモニタリングが可能である。

#### (3) 電源ユニット(PA-802)

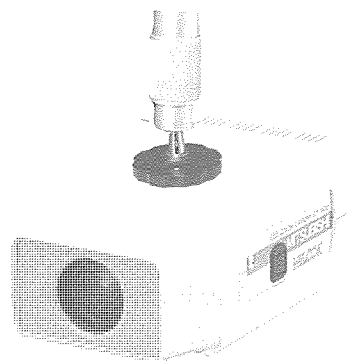


図2. カラーカメラ CIT-802

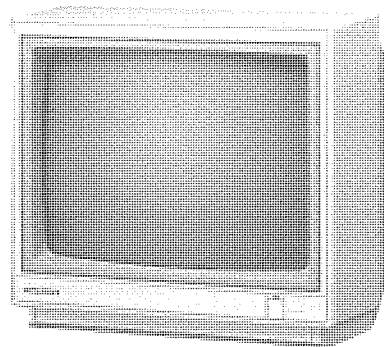


図3. 14形カラーモニター CM-1490

カメラ1台用の電源ユニットである。4台まで各ユニット間の同期をとることができる。

(4) カラーモニタ (CM-1490)

S 信号入力も可能な水平解像度450本以上の14インチ高解像度カラーモニタ (図3) である。

(5) 白黒モニタ (M-0913)

映像帯域 8MHz の9インチ高解像度モニタである。これらの機器に対して、以下のような周辺機器を付加又は組み合わせることができ、用途に応じて機能を拡張できる。

(6) マイクユニット (V-1101)

カラー、白黒いずれのカメラにもオプションとしてマイクユニットを装着することができ、音声による監視も可能である。なお、音声監視は S-8490 又は PA-802 コントローラが対応でき、オプションのサウンド基板 (V-1102) の組み込みが必要である。

(7) レンズ

4.5mm から 36mm までの各種固定焦点レンズ、9～54mm 及び 8～48mm の各6倍ズームレンズ、8～48mm の6倍プリセット式ズームレンズなどが用途に応じて選定できる。メルックレンズは、小型のCSマウントレンズであるが、レンズアダプタ (LA-802) を使用すれば、Cマウントのビデオカメラレンズも使用することができる。

(8) その他周辺機器

長・短の取付足、回転台、各種カメラケース、回転台・ズームレンズのリモートコントローラなどの豊富な機器がある。

## 2.2 自動画面切替表示システム

カラーカメラ又は白黒カメラ、カメラ映像をシーケンシャルに自動切替表示するコントローラ (S-8490)、カラーモニ

タ又は白黒モニタを基本構成とする標準的なシステムである。システム構成例を図4に示す。

コントローラ (S-8490) は、1台当たりカメラを4台まで接続でき、最大4台の縦続接続で最大16台のカメラを切替え・表示できる。主な機能としては、自動切替え (約1～60秒の調整可能)、手動切替え、センサ入力切替え、スキップ、スタンバイ機能などの豊富な機能をもつ (図5)。

## 2.3 4画面分割表示システム

近年、集中監視、省スペースのニーズの高まりに伴い、モニタ1台による多地点監視が要求されてきている。これらに対応して、カラー4画面コントローラ (X-8600) 及び白黒4画面コントローラ (X-8500) を開発した。4画面コントローラは、4台のカメラ映像を1台のモニタ画面に4分割画像として表示する機器である。4箇所の様子が1台のモニタで一目で確認でき、切替方式のような画面切替えによるデッドタイム (空白時間) がないため、効率的な集中監視システムを実現することができる。カメラには CIT-802 又は IT-811 が使用でき、カメラ電源を含む多機能コントローラであるのでシステム構成が簡単になる利点がある。両コントローラによるシステム例を図6に示す。

白黒4画面コントローラの主な特長を以下に示す。

- (1) 画面表示の映像は、4分割と任意のチャンネルの映像をモニタ全体に映す1画面の選択が可能。
- (2) 4分割表示時、静止画での表示が可能。
- (3) センサに連動して1画面表示するアラーム入力端子を備える。

カラー4画面コントローラは上記の機能に加え、

- (4) 最大4台の縦続接続により、最大16台のカメラの制御が可能。

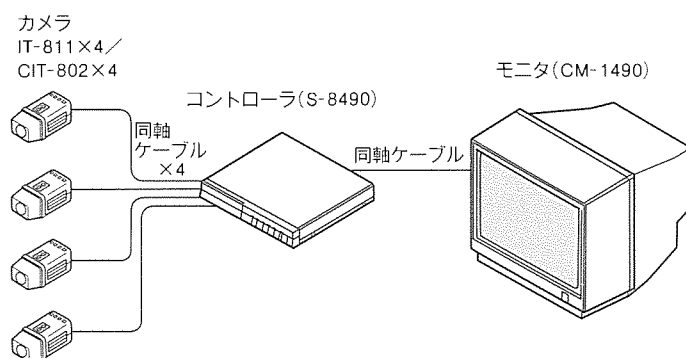


図4．自動画面切替表示システムの構成例

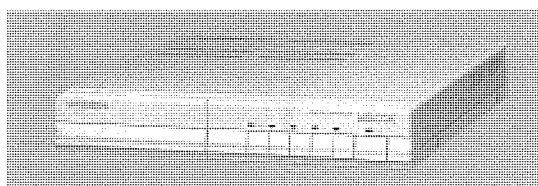


図5．カメラコントローラ S-8490

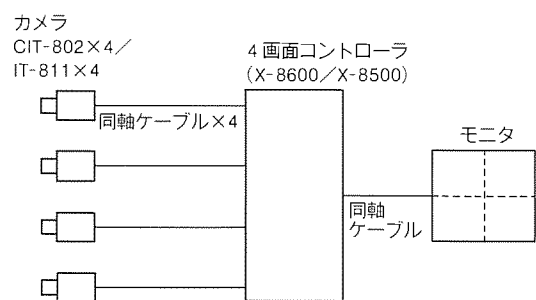


図6．4画面分割表示システムの構成例

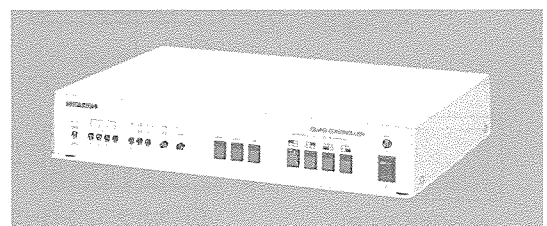


図7．カラー4画面コントローラ X-8600

- (5) 縦続接続時に4分割、1画面ともシーケンシャル切替が可能。
  - (6) 長時間 VTR との接続が可能。
- などの特長を持つ(図7)。

## 2.4 プリセットシステム

プリセットシステムとは、撮像したい複数の視野(画角)をそれぞれズームレンズ及び回転台の位置データとして、あらかじめプリセットコントローラに記憶させておき、センサ等の入力、又はプリセットコントローラでのワンタッチ操作により、自動的に見たいところを映し出すシステムである。基本構成を図8に示す。

図においてプリセットコントローラ(U-6210)は、プリセット式6倍ズームレンズ(H6ZAME-3P)及びプリセット式回転台(A-5020)を駆動するが、駆動方法には二通りある。

### (1) 手動方式

プリセットコントローラ前面から手動操作で駆動。

### (2) プリセット方式

あらかじめ監視地点をプリセットコントローラに記憶させておき、ワンタッチ操作によって目的の視野まで自動駆動。

また、カメラ1台当たり標準10ポイント、リモコン時は最大63ポイントまでプリセット可能である。監視点の登録は、設置時の位置合わせを考慮し、手元のモニタを眺めながらワンタッチで記憶でき、外部機器(センサ、パソコン)とのインタフェースコネクタも装備しているため、完全自動追尾も可能である。

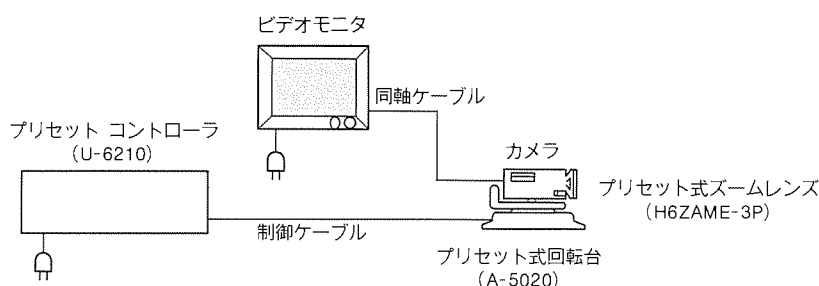


図8. プリセットシステムの基本構成

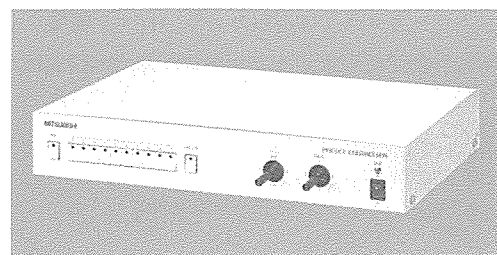


図10. プリセットコントローラ U-6210

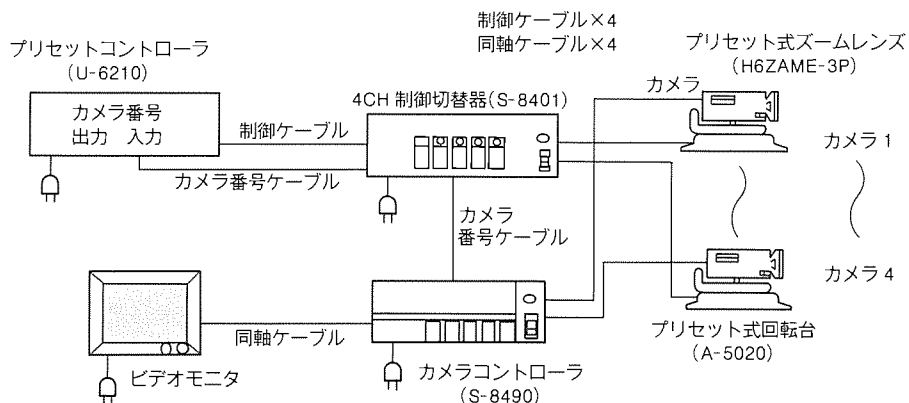


図9. プリセットシステムの応用構成



図11. プリセット式回転台 A-5020

次に応用構成を図9に示す。図において、4CH 制御切替器(S-8401)とカメラコントローラ(S-8490)を使用することにより、カメラコントローラからのカメラ番号信号を元に4CH 制御切替器がプリセットコントローラ・プリセット式回転台間の制御線を切替え、1台のプリセットコントローラで4台のプリセット式回転台及びプリセット式ズームレンズの制御を行える。この場合、プリセットコントローラは、ポジションの記憶領域をカメラごとにもっているため、各カメラに対し標準10ポイント、最大63ポイントを別々に記憶できる。さらに、カメラの数を増す場合は、4CH 制御切替器4台を縦続接続することにより、最大16台のカメラをプリセット動作させることも可能である(図10, 図11)。

## 2.5 長時間 VTR

防犯監視システムで、無人化、長時間における映像記録、またその内容を短時間で再生することを可能にしたタイムラプス VTR は、今や不可欠なものになっている。

HV-5300 型 VTR は産業用・教育用等に開発され、通常の2時間・6時間モードのほかに12時間モード及び間欠記録による24, 48, 72, 120, 168, 240, 360, 480時間モードの記録・再生が可能なおえ、日付・時刻設定などVTRの動作条件を画面表示を見ながら設定することができる。

標準システムを図12に示す。VTR からカメラコントローラにクロックを送り、そのタイミングでカメラ切替えを行う。そして、コントローラ内で選択されたカメラの映像信号がVTR に送られ記録される。それと同時にコントローラからカメラ番号信号が送られ、VTR 内のキャラクタジェネレー

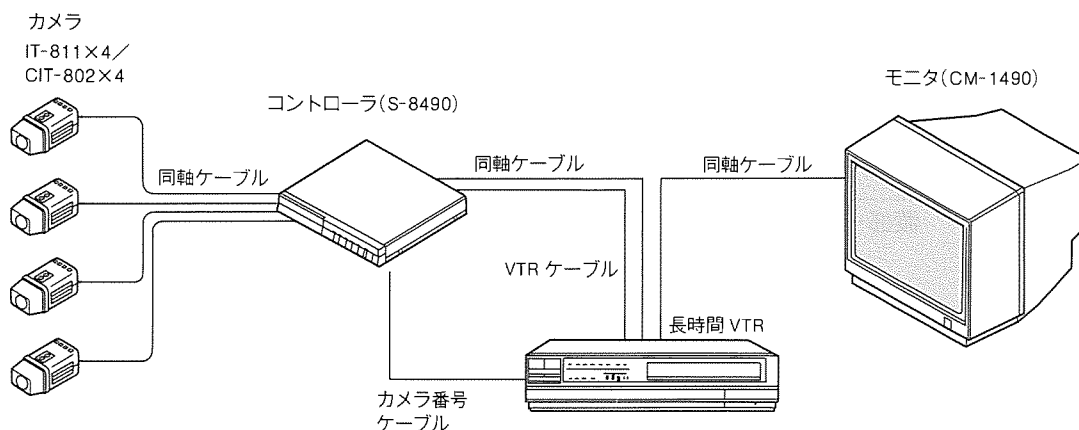


図 12. 長時間 VTR 標準システム

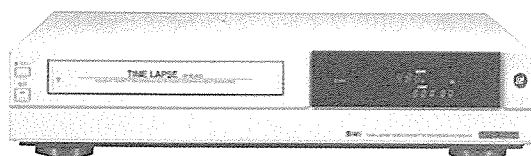


図 13. タイムラプス VTR HV-5600

タ回路によって文字信号に変換し、映像信号に乗せてモニタへ伝送する。

記録機能では、監視・観察などの幅広い用途に合わせてタイム記録（毎日、毎週）やテープが終わりになったとき自動的にテープを巻戻し、再び記録を始めるリピート機能を選択できる。また、メルックシステムと組み合わせることにより、外部から侵入者があった場合など、センサからコントローラに信号が送られるとそのチャンネルのカメラに切り替わるので、欲しい場面だけを標準時間（2 時間）で記録することができる。再生機能では、長時間記録した映像を 2 時間で再生確認でき、トラッキング調整、ピクチャ調整などの画質調整機能も持っている。

HV-S5600 型ビデオは、S-VHS 方式の採用によって、HV-5300 の持つ機能に加え、カラー、白黒モードとも水平 400 本の高解像度画質が得られ、静止画の解明に威力を発揮する（図 13）。

## 2.6 その他の主要機器

- (1) リモートコントローラ（R-8410）は、屋内形回転台（A-5003）用操作器でジョイスティックにより、回転台・ズームレンズを操作できる。S-8401 及び S-8490 との組合せで 16 台まで制御が可能である。
- (2) リモートコントローラ（R-8440）は、1 台でカメラ 4 台分の回転台・ズームレンズを制御できる。
- (3) 映像分配器（D-8220）は、メルックカメラのラインの映像を 2 分配する。
- (4) 映像分配器（D-8800）は、標準映像信号の分配器で、1 入力 8 分配、2 入力 3 及び 4 分配、3 入力各 2 分配が切替えできる。
- (5) 映像切替器（S-1407）は、最大 4 台のテレビカメラのビデオ信号を切り替えて 1 台のモニタに送る。

## 3. む す び

以上紹介してきたように、メルックシステムは非常に多彩な機器が用意されており、幅広い市場要求に対応できるとともに、拡張性に富んだシステムといえる。今後の監視システムとしては、例えば多店舗の遠隔集中監視システムなどが予想され、これらに対しても、公衆電話回線を使用した静止画伝送装置（NV-340）やデジタル回線を使用した簡易動画伝送装置などを用意しており、より高度な監視システムへも対応可能としている。

# 家庭用カラービデオプリンタ CP-10

中川邦彦\* 馬場典子\* 渡部一喜\* 石郷岡博和\*\* 佐藤尚宏\*\*

## 1. ま え が き

カラーハードコピーが注目を集めだした昭和57年以来、各種カラープリンタが製品化され、情報機器の分野で大きな市場を形成するようになってきている<sup>(1)</sup>。一方、近年のカメラ一体型VTRの普及に伴い、家庭用の高品質なカラービデオプリンタに対する需要が顕在化しつつある。

当社では、カラーVCP (Video Copy Processor) として、A6判のSCT-CP100やA4判のSCT-CP200<sup>(2)</sup>を製品化しているが、このたびA6判の家庭用カラービデオプリンタCP-10を製品化した。CP-10は、昇華染料熱転写方式を採用し、高画質・高速印画・多機能・簡易操作に重点をおいて開発して<sup>(3)</sup>、20万円をきる16万8000円の定価を実現した。

本稿では、高品質なプリント画像を得る信号処理系と、色ずれや濃度むらを抑えて高画質を達成する機構系について述べる。

## 2. CP-10の構成

本機の外観を図1に示す。内部は図2で示すように13個のブロックで構成される。

### (1) 映像信号入力処理部

本機は、コンポジットとセパレート映像信号を入力でき、コンポジット映像信号は輝度信号と色信号に分離され、次段のA/D変換器で標本化と8ビット量子化が行われる。

### (2) メモリ部

4個の1M DRAMを使用した2バンク構成のメモリは、一方のバンクに第1フィールドの輝度データと第2フィールドの色差データを記憶し、他のバンクに第2フィールドの輝度データと第1フィールドの色差データを記憶するように動作する。

### (3) デジタル信号処理部

図2のビデオ信号処理③と印写処理⑥に区別され、前者でコントラストや色相、彩度などの調整を行い、後者で色変換によるインクデータの生成や階調制御及び濃度むら補正処理などを実施する。このビデオ信号処理の導入で、フリーズ画像を保存したままで、好みのプリント画像を製作できる特長を付加できた。

### (4) マイクロプロセッサ部

本機は、二つのマイクロプロセッサ⑦、⑧を採用して、キー入力の受付、印写枚数表示、シーケンス制御や印写制御

を実施している。印写制御には、自動コントラスト補正演算機能や記録媒体に応じた階調制御などがある。

### (5) 映像信号出力部

D/A変換器でアナログ映像信号を復元し、同期信号などを付加して、モニター信号を出力する。

### (6) デッキメカニズム

高精度な紙やOHPフィルムなどの搬送と感熱ヘッドによる高画質プリントを行う。

### (7) LSI化

CP-10では、ビデオ信号処理③とメモリ制御⑤及び印写処理⑥を、それぞれLSI化した。ゲート数は、3チップで約18,000である。

本機的主要仕様を表1に、また、その特徴を表2に示す。

## 3. CP-10の信号処理

ここでは、高画質・多機能を実現するために開発した三つのデジタル信号処理LSIについて説明する。

### 3.1 ビデオ信号処理

このLSIは、映像データの転送方向を制御するとともに、

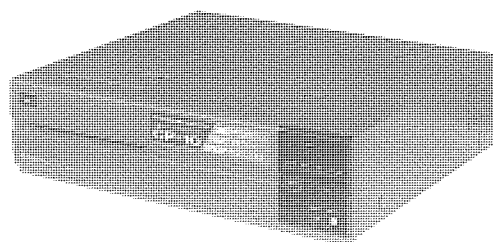


図1. 家庭用カラービデオプリンタ CP-10の外観

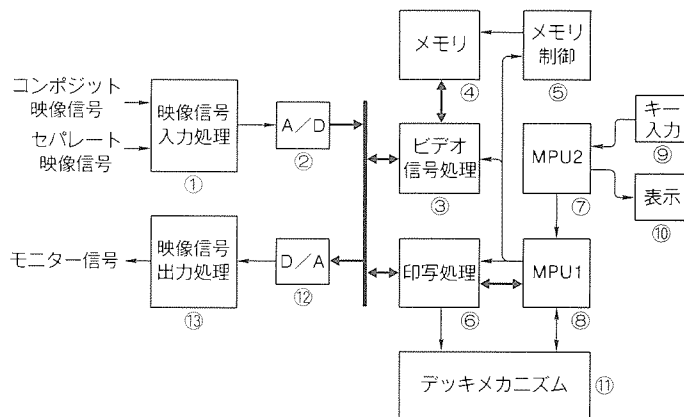


図2. CP-10のシステムブロック図

表1. CP-10の主な仕様

入 力	標準 NTSC コンポジット信号×2系統 Y & C セパレート信号 ×2系統
出 力	標準 NTSC コンポジット信号×1系統 Y & C セパレート信号 ×1系統
印 写 方 式	昇華染料熱転写方式
印 写 時 間	約 70 秒
印写性能	印 写 画 素 数 640(ドット)×464(ライン)
	階 調 数 128階調
記 録 紙	専用カット紙 110 mm×150 mm
	画 面 寸 法 77 mm×100 mm
ランニングコスト	約 70 円/枚
外 形 寸 法	幅 424 mm×高さ 116 mm×奥行 366 mm
質 量	9 kg

表2. CP-10の特徴

機 能	内 容
画 質 調 整	明るさ・色合い・色の濃さ
コントラスト補正	MPUによる自動コントラスト補正
マルチ画面印画	同画面：4分割、16分割 異画面：4分割、16分割
ストロボ印画	ストロボ間隔 高速：4/60 秒 低速：12/60 秒
画面合成印画	1主画面+分割画面
コメント印画	MPUによるコメント挿入
反 転 印 画	左右逆の印画

映像データに対して次の画質調整を行う。

#### (1) 明るさ(コントラスト・ブライト)の調整

輝度データ  $Y$  に対して、次式で表す演算を行うことにより、コントラストを強調したり、全体の明るさを調整することができる。

$$Y' = (1+a)Y + b$$

$a$  : コントラスト調整量

$$-(1/2) \leq a \leq (1/2)$$

$b$  : ブライト調整量

$$-(1/4) \leq b \leq (1/4)$$

#### (2) 色合い(ティント)の調整

二つの色差データ  $(R-Y)$ 、 $(B-Y)$  に対して、次式で表す演算を行うことにより、好みの色合いに調整できる。

$$(R-Y)' = (R-Y) + c(B-Y)$$

$$(B-Y)' = (B-Y) + c(R-Y)$$

$c$  : ティント調整量

$$-(1/4) \leq c \leq (1/4)$$

#### (3) 色の濃さ(カラーゲイン)の調整

ティント調整後の色差データ  $(R-Y)'$  と  $(B-Y)'$  に対して、次式で表す演算を行うことにより、色を濃くしたり薄くしたりすることができる。

$$(R-Y)'' = d(R-Y)'$$

$$(B-Y)'' = d(B-Y)'$$

$d$  : カラーゲイン調整量

$$-(1/2) \leq d \leq (1/2)$$

### 3.2 印 写 処 理

この LSI は、256K の SRAM を外付けで使用し、印写のために次の処理を行う。

#### (1) 色変換

映像データから、印写に必要なイエロー (Y)、マゼンタ (M)、シアン (C) の三つのインクデータに変換する。

#### (2) 抵抗値、負荷むら補正

サーマルヘッドの抵抗値のばらつきや印画率の変動で発生する濃度むらの補正を行う。

#### (3) 階調制御データの生成

Y, M, C のインクデータから 128 階調を実現する階調データを生成してサーマルヘッドに出力する。576 個のロットで 1 画素の階調特性を制御している。

#### (4) ヘッド駆動

サーマルヘッドの抵抗体群を 3 ブロックに分割し、1 ブロックを 18 回に分けて分散発熱させることにより、消費電力を少なくし、高濃度 (OD 値  $\approx 2.2$ ) を実現した。

### 3.3 メモリ制御部

この LSI は、希望する画像をメモリに記憶させ、モニターモードと印写モードに応じたデータの読出しを制御する。また、下記のような特殊機能を実現している。

#### (1) 異画面マルチ機能

映像データを間引いてメモリに記憶することにより、4 個又は 16 個の異なった画面を 1 枚に印写することができる。

#### (2) 同画面マルチ機能

メモリに記憶されている映像データを間引きながら、繰り返して出力することにより、4 個又は 16 個の同じ画面を 1 枚に印写できる。

#### (3) コメント挿入機能

印写した日付や名前などを記入するようにマイクロプロセッサからカタカナや数字や英文字を指定した領域に挿入できる。

## 4. デッキメカニズム

### 4.1 メカニズムの構成と動作

今回開発したメカニズムは、3 モータ構成ですべて DC モータである。従来のパルスモータより低騒音の DC モータを使ったことにより、低騒音 45dB (当社比 6dB 減) を達成している。図 3 に外観を示す。また、図 4、図 5 に動作を示す。

印画面を下にして記録紙カセットに収納された記録紙は、ピックアップレバーにより、記録紙上面が所定位置になるまで上昇し、ピックアップローラ及び給紙ローラによって搬送

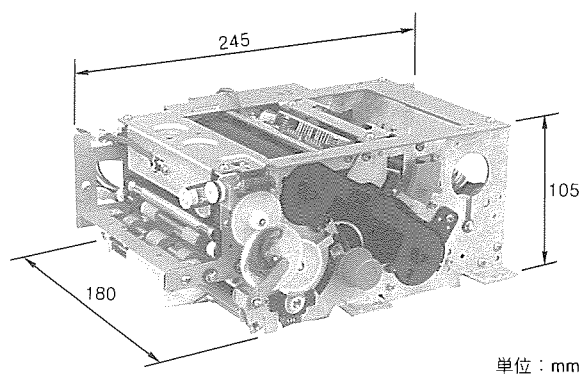


図 3 . デッキメカニズムの外観

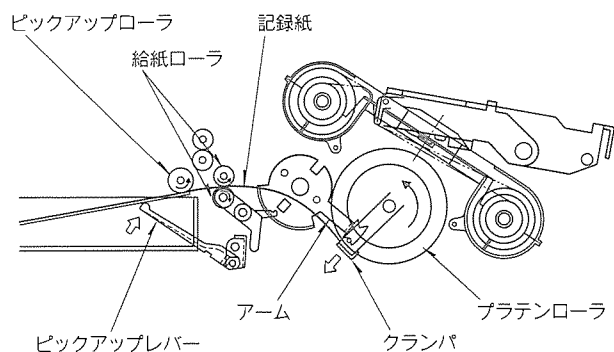


図 4 . デッキメカニズムの構成とその動作(給紙モード)

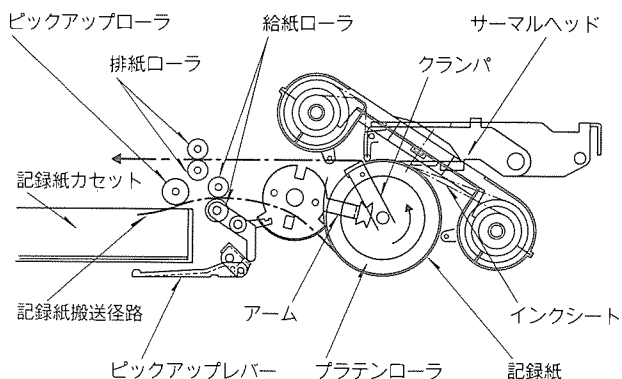


図 5 . デッキメカニズムの構成とその動作(印画モード)

され、アームで引き下げられたクランパとプラテンローラの上に記録紙の先端が挿入される。挿入されるとアームが回転し、これに伴い記録紙先端がクランパによってプラテンローラに圧接される。

この後、プラテンローラが回転し、クランパがサーマルヘッド部を通過するとサーマルヘッドがインクシートと記録紙を圧着して熱転写が行われる。ここでは、記録紙を巻き付けたままプラテンローラを3回回転させ、色の3原色イエロー、マゼンタ、シアンを順次印画し重ね合わせてカラー画像をつくる。印画された記録紙はクランパからはずされ、排紙ローラによって機外へ排出される。

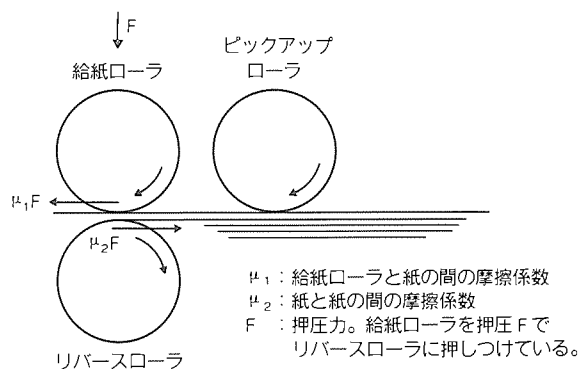


図 6 . FRR 方式給紙機構

理 想	現 実
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> C (M) (Y) </div> <p>色ずれ=0</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">C</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">M</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Y</div> </div> <p style="text-align: center;">色ずれ ↓ 画質劣化</p> </div>

図 7 . 三色重ねうちによる色ずれ

## 4.2 給 紙 機 構

CP-10 は、記録紙にカット紙を使用している。給紙機構は、記録紙カセット内に積み重ねられた記録紙を1枚ずつ取り出し、2枚以上の記録紙が送り出されると余分な紙を送り返す機構である。記録紙が複数枚送られることは重送と呼ばれており、紙詰まりの原因となる。重送を防ぎ余分な記録紙を戻す方法としてCP-10では、図6に示すローラ列を用いた給紙法を採用している。この方式は、Feed & Reverse Roller (FRR) 給紙方式と呼ばれている<sup>(4)</sup>。

構造は、給紙ローラとリバースローラが向かい合っている。リバースローラの軸は、摩擦部材を使ったトルクリミッタを介して駆動されている。トルクリミッタのトルクは、給紙ローラの駆動力、給紙ローラと紙との摩擦力より小さく、紙と紙の摩擦力より大きく設定してある。給紙ローラとリバースローラの間に紙がないとき、又は1枚だけ送り込まれたときはトルクリミッタのトルクはローラ間の摩擦力に負け、リバースローラは従動回転し、紙は1枚だけ給紙される。2枚の紙が送られるとトルクリミッタのトルクはローラ間の摩擦力に勝ち、リバースローラは時計回りに回転し、下側の紙は戻される<sup>(5)</sup>。このようにして安定な給紙動作を行わせている。

## 4.3 印 画 機 構

印画機構とは、サーマルヘッドで記録紙に文字や画像を印画するときの紙送り機構である。印画品質に影響する主要



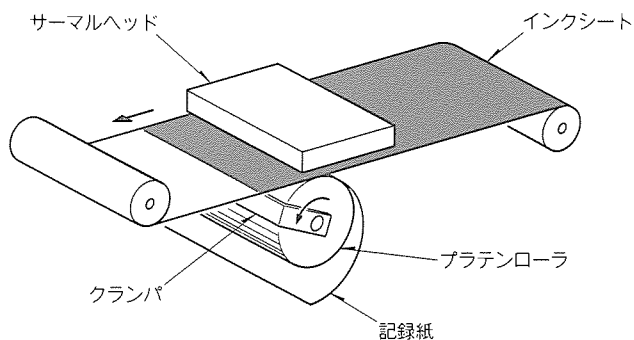


図8．巻付け固定方式印画機構

因は、色ずれと濃度むらである。色ずれは各色（イエロー、マゼンタ、シアン）のドット位置のずれで、各色のはみ出しや解像度の低下となる。図7に示すように、3色全部が重なれば色ずれ＝0で理想である。しかし、実際には3色間のずれが発生し、画質を劣化させる。また、濃度むらは紙送りのむらによって発生する。ラインプリンタなどでは行間のピッチむらとしかならないので目立たないが、ドットプリンタでは画像の上に濃淡ができ、しま（縞）のように見える。

CP-10の解像度は6ドット/mmなので、1ドットは167 $\mu$ mである。色ずれや解像度の低下を防ぐには、1ドットの位置精度を100 $\mu$ m以下に抑える必要がある。CP-10では図8に示す巻付け固定式を採用している。この方式は、プラテンローラに記録紙の先端をクランプ機構で固定した後、プラテンローラを一定速度で回転させ、記録紙を巻き付けて印画する方式である。プラテンローラは167 $\mu$ mピッチで送られ、1回転するたびに各色の画像を重ねる。このようにして、色ずれは50 $\mu$ m以下を実現している。また、濃度むらは紙送りの精度により決まり、プラテンローラを駆動する

歯車などの回転精度に支配される。

一般に歯車は、動力伝達手段に使われるが、プリンタでは回転伝達精度も重要となる。CP-10ではプラテンローラは、プラスチック歯車列による減速機構を介してFG付きDCモータで駆動している。プラスチック歯車列は、個々の歯車の精度を十分に確保すると同時に歯車間のかみ合いを適正化することにより、回転伝達精度を高めている。さらに、駆動源であるモータには速度サーボをかけることにより、回転精度を確保している。このようにして高い画質を得ている。

## 5. む す び

本機の製品化により、高画質で多機能な家庭用のカラーハードコピーが身近なものになり、他の家庭用映像機器とともに利用分野が拡大するものと期待する。今後、より一層の性能向上と低価格化を目指した開発を鋭意進めてゆきたい。

## 参 考 文 献

- (1) 鈴木鋭一：ハードコピーはどのように使われているか—電子スチル写真システムへの応用—，テレビジョン学会誌，43，No.11，1252～1258（1989）
- (2) 加納公生：カラービデオコピープロセッサ“SCT-CP200”，三菱電機技報，64，No.8，639～643（1990）
- (3) 染谷 潤：ビデオプリンタにおける信号処理の一構成法，1990年テレビジョン学会年次大会講演予稿集，171～172（1990-7）
- (4) 石井泰明：Ricoh Technical Report 12，44～47（1984）
- (5) 中川邦彦：映像・音響・OA機器のフリクションドライブ，精密工学会誌，56，No.9，37～40（1990）

# 高速 1M ビットフラッシュ EEPROM

小林和男\* 中島盛義\* 山本 誠\* 長田隆弘\*

## 1. ま え が き

書換え可能な不揮発性メモリとして、EPROM (Erasable and Electrically Programmable Read Only Memory) や EEPROM (Electrically Erasable and Programmable Read Only Memory) があり、プログラムメモリやデータメモリなどの用途に幅広く用いられている。当社でも、大容量化や高速化の要求にこたえ、EPROM では 2M/4M ビット<sup>(1)(2)</sup>までを、EEPROM は 64K ビット<sup>(3)</sup>を現在、市場に供給している。

一方、不揮発性メモリの用途である OA 機器や通信機器は、年々その機能を拡張しており、不揮発性メモリに対する高集積化・高速化の要求も高まっている。従来、不揮発性メモリのメモリトランジスタの縮小は、チャネル長やチャネル幅の縮小とゲート酸化膜の薄膜化によってなされてきた。しかし、EEPROM では 1 ビットのメモリセルが 2 個のトランジスタからなり、また、これ以上の薄膜化が記憶保持特性を

悪化させるため、ビットコストを下げつつ大容量化を行うことが困難な状況である。一方、EPROM では 1 ビットのメモリセルは、1 個のトランジスタから構成されるため、セルサイズの縮小は比較的容易である。その際、チャネル電流の確保のためにゲート酸化膜を薄くする必要がある。次世代の EPROM レベルでは、浮遊ゲートに蓄積された電荷をトンネル現象を利用して引き抜くことが十分可能なレベルとなる。すなわち、電氣的消去が可能となる。

フラッシュ EEPROM は、このような状況<sup>(4)</sup>のなかで開発されたものであり、セルサイズを EPROM と同等にでき、かつ電氣的一括消去可能という EEPROM の機能を併せ持つデバイスである。このため、EPROM では不可能であったシステム内での書換えが容易に実現でき、半導体ディスクなど不揮発性メモリとして新しい市場を形成すると期待されている。

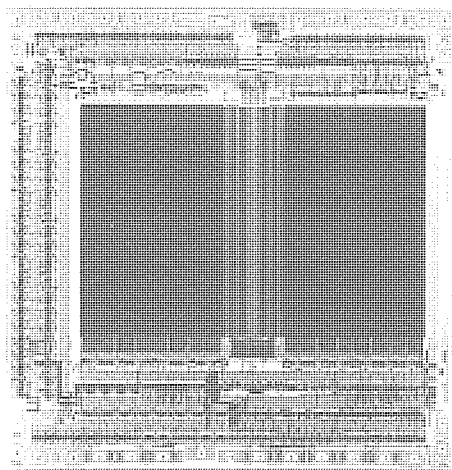
今回、サブミクロンレベルの微細加工技術と高速化回路技術を用いて、最大アクセス時間 100ns を実現し、かつ 4 種類のパッケージシリーズを持つ 1M ビットフラッシュ EEPROM “M5M28F101”を開発した。チップ写真及び外形写真を図 1 に示す。チップサイズは、6.14mm×6.20mm である。

ここでは、高速 1M ビットフラッシュ EEPROM の製品概要・技術的特長・電氣的特性等について報告する。

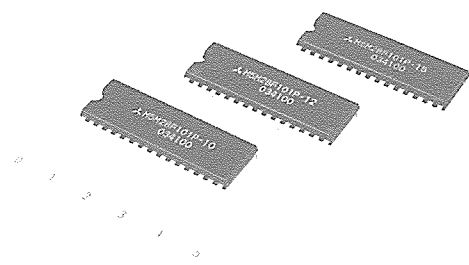
## 2. 製 品 概 要

M5M28F101 の主な特長は次のとおりである。

- (1) 語構成 : 131,072 語×8 ビット



(a) チップ写真



(b) 外形写真

図 1. M5M28F101 のチップ写真及び外形写真

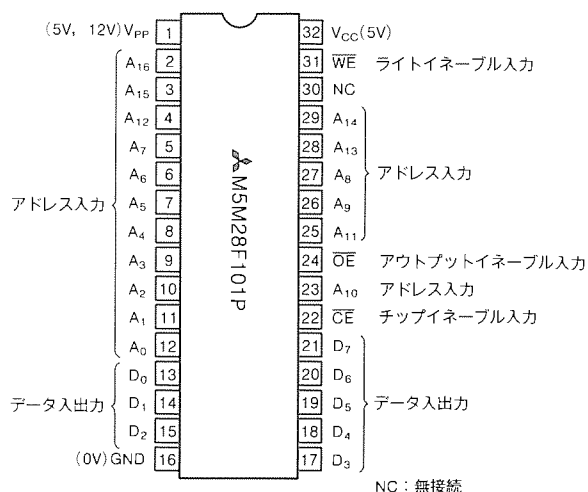


図 2. ピン配置図(DIP)

- (2) ピン配置 : 図2 参照
- (3) パッケージ : 32 ピン DIP  
32 ピン SOP  
32 ピン PLCC  
32 ピン TSOP
- (4) アクセス時間 : 100ns (最大)
- (5) 消費電力 : 動作時 165mW (最大)  
待機時 550  $\mu$ W (CMOS 最大)
- (6) プログラム電圧 : 12.0V  $\pm$  0.6V
- (7) 書換え可能回数 : 10,000 回
- (8) 機能
  - ・データ入力による動作モード制御 (ソフトウェアコマンド方式)
  - ・プログラムベリファイ電圧, イレーズベリファイ電圧の内部発生
  - ・プログラムパルス幅, イレーズパルス幅の内蔵タイマによる制御
  - ・複数チップ同時消去を容易とする過消去プロテクト機能

### 3. 技術的特長

#### 3.1 プロセス技術

##### (1) 基本的構造

M5M28F101 の開発では、当社において実績のある EPROM と EEPROM のプロセス技術を統合することにより、安定度の高い構造設計を行った。写真製版技術・配線技術を中心に 2M/4M EPROM のプロセス技術を基本構造に使い、消去動作のトンネルをも実現するために、小容量<sup>(5)</sup> から 64K まで EEPROM で実績のある精密トンネル酸化膜形成技術を適用した (図 3)。

##### (2) メモリセルの動作とプロセス構造

メモリセルの動作は、データのプログラム・消去に用いる物理現象を特徴とする。プログラム時は、メモリトランジスタのドレイン近傍で生じるホットエレクトロンを浮遊ゲートに注入する。また、消去時は、ソースと浮遊ゲートの間に生じる強電界 ( $\sim 10\text{MV/cm}$ ) により、Fowler-Nordheim トンネリングを起こし、電子を浮遊ゲートから放出する。この二つの物理現象を効率良く、かつ安定に実現するために、各絶縁膜の膜厚とソース及びドレインの不純物拡散層の形成に工夫が必要となる。特に、不純物拡散層の形成では、 $V_{pp}$  電位を

十分伝えかつリーク電流を最小限に抑えるため、EPROM や EEPROM に比べ、より高濃度のイオン注入技術と適正な不純物プロファイルを得るための高精度熱拡散技術を用いた。

##### (3) メモリセル動作の安定化

フラッシュ EEPROM では、ドレイン及びゲートディスタープと呼ばれる浮遊ゲートに蓄積された電荷の引き抜きによる誤動作と、消去時に浮遊ゲートから過剰に電子が引き抜かれる過消去 (オーバーイレーズ) が問題となる (図 4)。これらの問題は、構造上の要因が大きく影響するためプロセス上の対策が必要となる。ゲートディスタープに対しては、原因となるポリシリコン層間絶縁膜を高耐圧化した。ドレインディスタープは、第 1 ゲート酸化膜をトンネル用に薄膜化することによって生じる問題であり、トンネル酸化膜厚・ドレインー浮遊ゲート間の容量結合、そしてプログラム時のドレイン電圧の最適化によって回避した。

一方、過消去現象も、消去電圧とソースー浮遊ゲート間の容量結合・トンネル酸化膜厚の適正な設定及び、酸化膜の界面制御によって対策を施した。プログラム・消去効率の向上とこれらの対策は、相反する要素が多く各々の構造要因の制御が重要である。

##### (4) 信頼性技術

フラッシュ EEPROM のメモリトランジスタは、薄いトンネル酸化膜に高電界ストレスがかかる一方で、書換えと保持

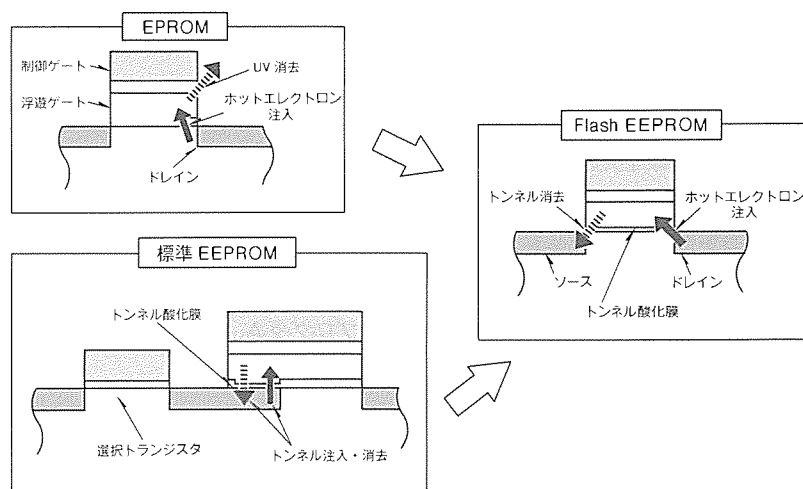


図 3. メモリセル構造の比較

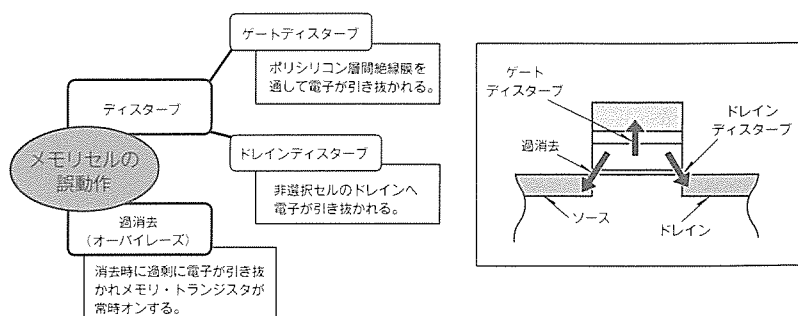


図 4. メモリセルの誤動作

特性に高い信頼性が求められている。そのため、トンネル酸化膜の形成に当たっては、膜厚の制御とともに膜質の管理が重要な信頼性課題となる。膜質管理のために、インラインでのストレステスト法で製品及びラインのレベル管理を実施している。また、トンネル酸化膜へのプロセス中の熱ストレスを低減するために、熱処理を低温化した。

また、周辺回路に高電圧 ( $V_{pp}$ ) が印加されるため、22nmのゲート酸化膜厚では5MV/cm以上の大きな電界ストレスがかかる。対策として、 $V_{pp}$ 系回路のゲート酸化膜を厚膜化して、ストレスを緩和する構成にした。

表1にプロセスの構造諸元を示す。

### 3.2 回路技術

#### (1) センスアンプ

1MビットフラッシュEEPROMのセンスアンプ回路には、シンプルで高速かつ動作範囲の広い電流センス型センスアンプ回路を用いている。この場合、アクセス時間への寄与は、ビット線の充放電と負荷トランジスタの充放電能力によって決まるため、ビット線の充電レベルを従来より下げ、負荷トランジスタが駆動するノードの浮遊容量を極力減らすことで高速化を図った。また、ワード線には低抵抗配線材料であるタンゲステンシリサイドを用い、またメモリセルの平坦化技術と併せて低抵抗化を図った。

#### (2) リダンダンシー

1MビットフラッシュEEPROMは、歩留り向上のためにリダンダンシー回路を内蔵している。予備メモリとしては、8行4組のメモリラインを備えており、列方向の欠陥を救済する構成とした。メモリアレーと予備メモリアレーとでビット線・ソース線を共通にしているため、行方向の救済ができないためである。

#### (3) ソフトウェアコマンド方式

制御ピンを増加させずに消去動作を実行するために、ソフトウェアコマンド方式による動作モード(プログラム、消去、ベリファイ、読出しなど)の設定を行う。これは、EEPROMのソフトウェアデータプロテクション(アドレス・データの複数回入力で動作モード設定を行う。)と類似のものであり、アドレス入力はいずれにデータ入力のみでモード設定を行う点が異なる。この制御方式を用いることで、電源

表1. 構造諸元

構造要因	プロセス
ウェル構造	Psub Twin Well CMOS
デザインルール	0.9 $\mu$ m
セルサイズ	3.0 $\mu$ m $\times$ 3.0 $\mu$ m
ゲート電極	WSi
第1ゲート酸化膜 = トンネル酸化膜	精密希釈酸化
周辺ゲート酸化膜	22nm (5V系) 33nm ( $V_{pp}$ 系)

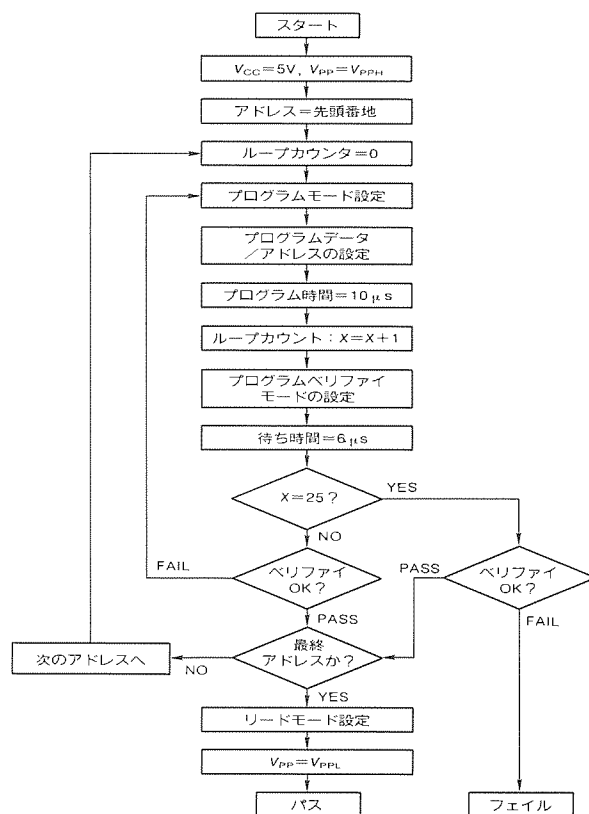


図5. プログラムアルゴリズムのフローチャート

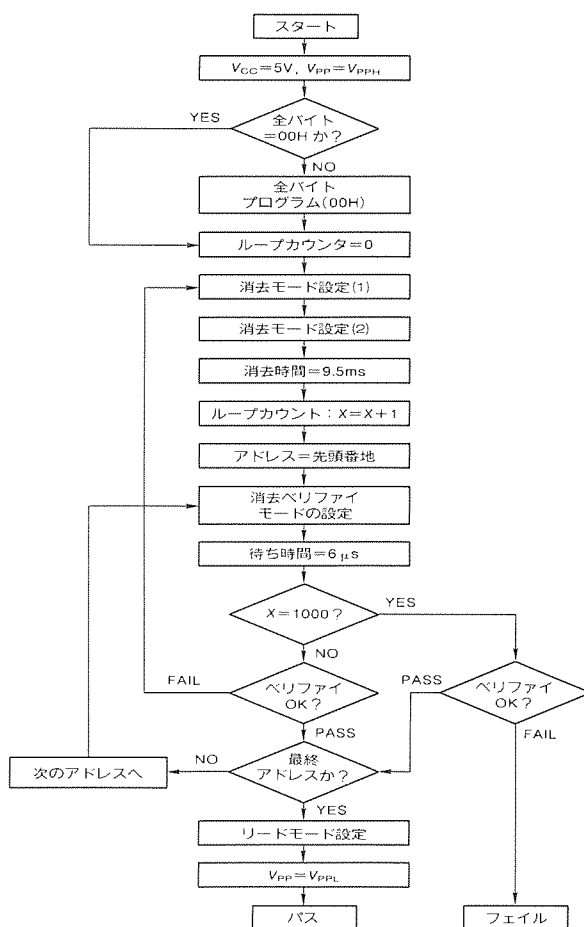


図6. 消去アルゴリズムのフローチャート

電圧 ( $V_{CC}$ ,  $V_{PP}$ ) を固定にしたままで各動作の設定ができ、システムの負担を軽減できる。

図5, 図6にソフトウェアコマンドを用いてプログラム・消去を行う際の標準的なフローチャートを示す。

(4) 内蔵タイマによるプログラムパルス・消去パルスの制御

プログラム・消去は、上述のようにソフトウェアコマンドによってモード設定された後、プログラムは選択されたビットに対して、消去は全ビット一括に、各々、プログラムパルス・消去パルスが印加される。これらのパルス幅は内蔵されたタイマで、プログラムは  $10\mu\text{s}$  以下に、消去は  $9.5\text{ms}$  以下に制御されている。それにより、余分なパルスの印加によるストレスの増加を抑えている。

(5) 過消去プロテクト

フラッシュ EEPROM のメモリセルは、1 トランジスタが 1 ビットに相当するため、特異ビットで過消去が生じた場合、そのビットと同一ビット線上の他のメモリセルの読出し・書き込みが阻害されてしまう。特に、複数のチップをライタなどで同時に消去するときに消去バスと消去フェイルのチップがある場合、消去フェイルのチップを更に消去することで、消去バスのチップを余分に消去してしまい過消去を引き起こす可能性がある。M5M28F101 では、消去ベリファイ時にフェイルとなったチップのみが消去パルスを発生するように構成されており、複数チップの同時消去 (ギャングイレース) を容易としている。

#### 4. 電気的特性

(1) DC 特性

図7に、電源電流の電源電圧依存性を示す。 $I_{CC1}$  は動作時の電源電流、 $I_{SB1}$  は入力レベルを TTL レベルとした待機時の電源電流、また  $I_{SB2}$  は入力レベルを CMOS レベルとした待機時の電源電流である。標準条件 ( $V_{CC}=5\text{V}$ ,  $T_a=25^\circ\text{C}$ ) では、 $I_{CC1}=6.4\text{mA}$ ,  $I_{SB1}=153\mu\text{A}$ ,  $I_{SB2}=14\mu\text{A}$  と少ない。

図8に、電源電流の周波数依存性を示す。標準条件で周波数  $10\text{MHz}$  (サイクルタイム  $100\text{ns}$ ) において、 $I_{CC2}=13\text{mA}$

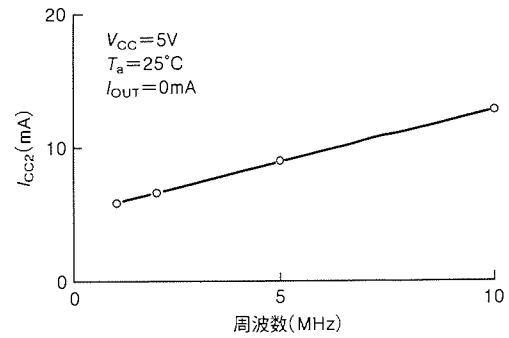


図8. 電源電流の周波数依存性

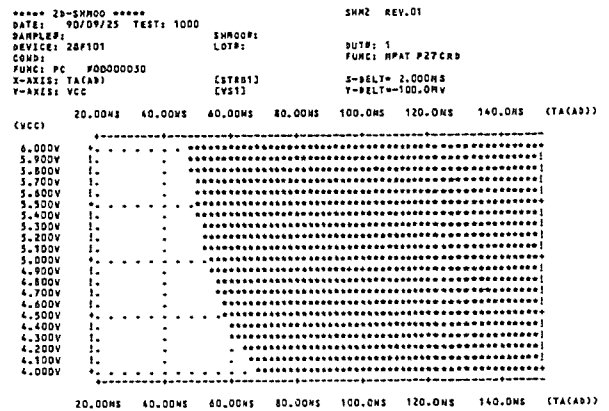


図9. アドレス アクセスタイムのシュミュープロット

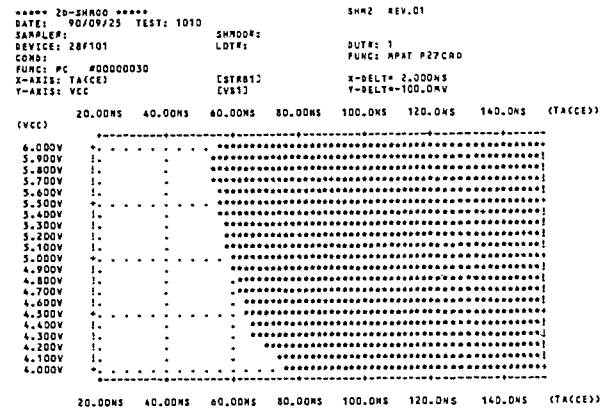


図10.  $\overline{\text{CE}}$  アクセスタイムのシュミュープロット

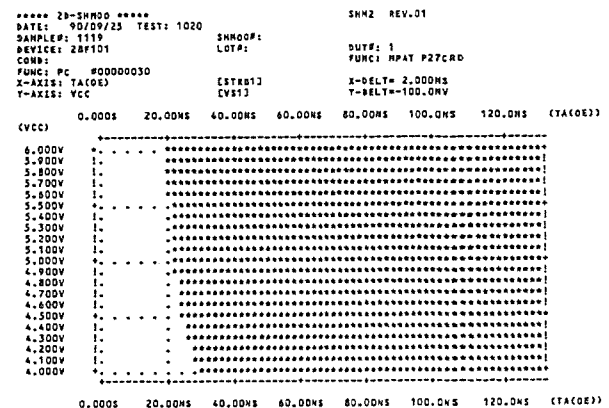


図11.  $\overline{\text{OE}}$  アクセスタイムのシュミュープロット

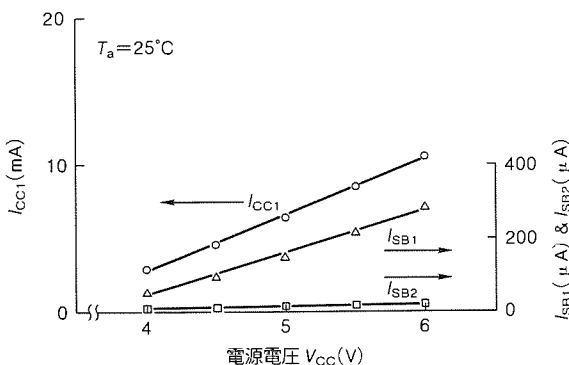


図7. 電源電流の電源電圧依存性

であり、低消費電力が実現されている。

## (2) 読出し特性

図9～図11にアクセスタイムの電源電圧依存性をシェムプロットで示す。標準条件で、アドレス アクセスタイムは54ns,  $\overline{\text{CE}}$  アクセスタイムは60ns,  $\overline{\text{OE}}$  アクセスは22nsであり、高速な読出しが達成されている。

## (3) プログラム・消去特性

図12と図13に1ビットメモリの、各々、プログラム・消去特性を示す。プログラム時間10 $\mu$ sで、十分なしきい値シフトを得ているのが分かる。また、消去も消去時間

500ms程度で、過消去を生ずることなく十分な特性を得ている。

## 5. む す び

サブミクロンレベルの微細加工技術と高速化回路技術を駆使して、1MビットフラッシュEEPROMを開発した。高速化・低消費電力を実現するとともに、システムでの使用に適した機能の充実も図った。また、パッケージシリーズもDIPだけでなく、SOP, PLCC, TSOPといった表面実装型も用意し、実装面積の低減が図れる。

今後もフラッシュEEPROMは、16ビット・32ビットマイクロプロセッサシステムとの適合性も考慮して、高集積化、高速化と16I/O化が図られていくと予想される。当社でも、16I/Oの1MビットフラッシュEEPROMの製品化を予定しており、さらに4Mビット及び16MビットフラッシュEEPROMを検討中である。

また、半導体ディスクなどへの適用を考慮した場合、単一電源動作、及びセクタ(ブロック)消去の検討も必要になる。

## 参 考 文 献

- (1) 香田憲次, 興梠泰宏, 山下正之, 古庄辰記, 和気節雄: 高速2MビットCMOS EPROM, 三菱電機技報, 63, No.10, 858～861 (1989)
- (2) 古庄辰記, 野口健二, 和気節雄, 岩沢直幾, 森 昇: 高速4MビットCMOS EPROM, 三菱電機技報, 64, No.6, 514～517 (1990)
- (3) 野口健二, 外山 毅, 小林真一, 中島盛義, 長田隆弘: 高速64KビットCMOS EEPROM, 三菱電機技報, 62, No.10, 911～914 (1988)
- (4) 外山 毅: 0.5 $\mu$ mでフラッシュ型へ統合 256Mはデータ保持に課題, 日経マイクロデバイス, 1989年8月号, 97～102 (1989)
- (5) 高橋直樹, 川内功一, 山田憲正, 中島盛義, 境田優二: EEPROM内蔵TV用マイコン, 三菱電機技報, 62, No.3, 257～260 (1988)

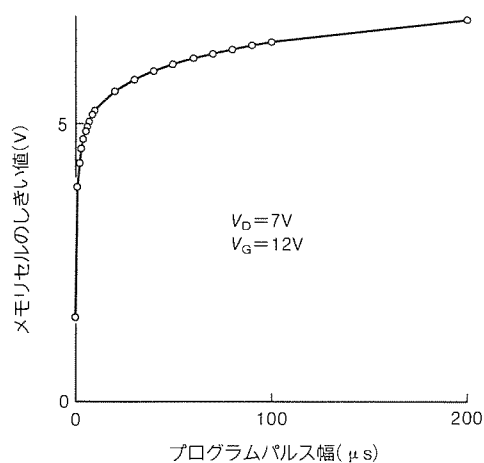


図12. プログラム特性

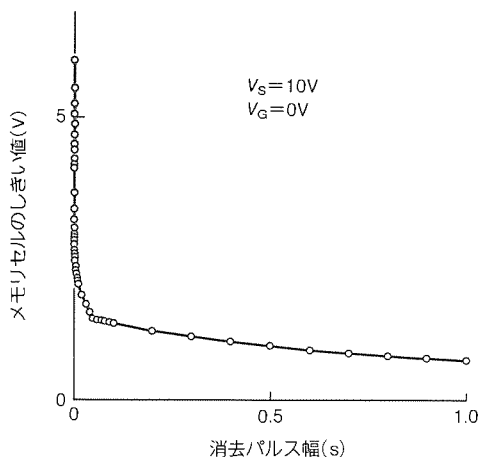


図13. 消去特性

# 超高速 1M ビット CMOS SRAM

木原雄治\* 坂口定則\* 畑迫建一\*\* 古賀 剛\* 安東 亮\*

## 1. ま え が き

高速 SRAM は、MOS プロセスを用いて達成可能な最高速のメモリデバイスとして発展してきた。高速 SRAM を用いるのは、大半がコンピュータでメモリ容量と構成により、キャッシュメモリに用いられったり、メインメモリに用いられしたりしている。最近、特に用途の広がりの動きが激しく、それぞれにおいて最適なメモリ素子が必要となってきた。キャッシュメモリでは、8K×8、16K×4、64K×4 等と比較的小容量で、アクセスタイムが10～20ns と極めて高速なものが要求される。

一方、メインメモリでは、メモリ容量は1M と大容量で、アクセスタイムは35ns 程度と比較的緩い要求が多かった。しかしながら、高速 SRAM をメインメモリとして用いるスーパーコンピュータ及び超大型コンピュータにおいても性能向上の動きが激しく、大容量で超高速のメモリ素子の開発が要求されるようになった。このような市場動向の中、当社では最大アクセスタイムが25ns の1M ビット CMOS SRAM を開発した。大容量のメモリ素子で高速アクセスを実現するために用いた設計技術、製造技術及び電気的特性を紹介する。

## 2. 開発のねらい

高速化の要求にこたえ、顧客の要求に応じた製品展開を行うために次の目標を設定した。

- (1) 25ns 品の供給に支障が出ないように、Typical のアクセスタイムが15ns 程度となるようにする。

- (2) 次の3品種を1枚のマスクのみ替えることによって作り分ける。

- 1M 語×1 ビット IO セパレート (M5M51001)
- 256K 語×4 ビット IO コモン (M5M51004)
- 256K 語×4 ビット IO セパレート (M5M51014)

上記3品種のピン配置図を図1に示す。

- (3) パッケージは次の2種類とする。

- 400mil 幅 28ピン DIP
- 400mil 幅 28ピン (32ピン) SOJ

## 3. 設 計 技 術

### 3.1 チップ構成

大容量 SRAM においてアクセスタイムを高速化するには、メモリセルアレーの分割動作が不可欠となる。これは、ワード線及びビット線が長くなるのを防ぐために行う。ワード線は、最終的にはポリシリコンの配線で一部がメモリセルのアクセストランジスタのゲートとなるのでゲート容量が多くつく。このゲート容量は、ワード線に連なるメモリセルの数に比例するので、ゲート容量を小さくするにはワード線に連なっているメモリセルの数を減少させる必要がある。さらに、いくら低抵抗な材質をワード線に用いても、長い配線では抵抗を無視できない。ワード線遅延は、容量と抵抗の積に比例するので、ワード線を分割することはアクセスの高速化において極めて重要である。一方、ビット線はメモリセルが発生する電位差をセンスアンプに伝えるのであるが、メモリセルの駆動能力は極わずかで、ビット線の容量・抵抗は小さいと

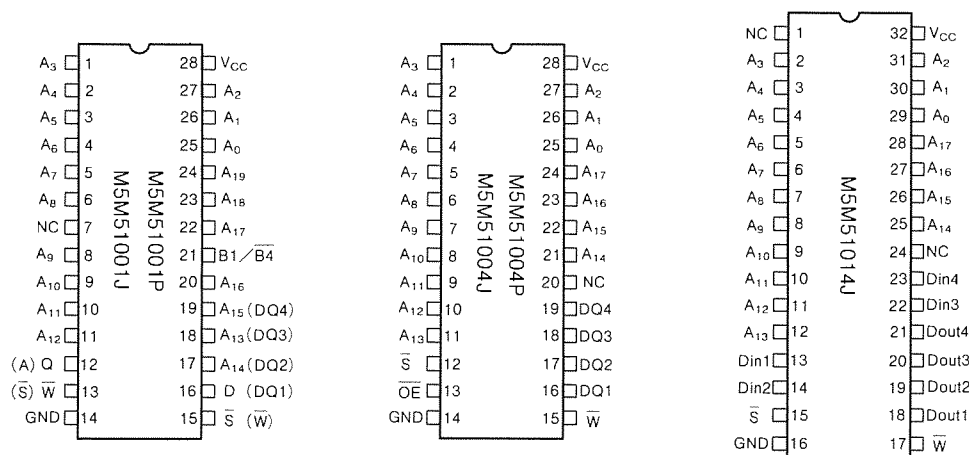


図1. ピン配置

いえども無視できない。これに対し、ビット線の分割も効果的である。しかしながら、メモリセルアレーを分割するとチップサイズが大きくなり、周辺回路が複雑になるという問題も発生する。

今回、これらの問題を2層AI配線による分割ワード線方式を用いて解決し、図2に示すように32ブロック分割とした。分割ワード線方式というのは、図3に示すように全メモリセルアレーに共通な行選択信号と、メモリセルアレー選択信号の論理積から任意のメモリセルアレー内の行選択信号であるワード線を選択する方式で、多重Xデコードによるメモリセルアレー分割に比べ、チップサイズの増大と回路の複雑化が防げる。このデバイスでは、4本のワード線に対し、1本の共通ワード線を選択する方式とした。また、メモリセルアレーは、512行×2,048列の構成としているので、1,024行×1,024列の正方形のマトリクスを行について2分割し、列方向に置き直した形となっている。つまり、行方向に16分割、列方向に2分割した32メモリセルアレー分割としている。

さらに、メモリセルアレーは、四つのサブアレーに分割しており、それらに1対のセンスアンプを配置することでIO線の容量を低減し、ビット線からセンスアンプへの信号の流れをスムーズにしている。これらにより、ワード線遅延は0.5ns、ビット線の遅延も2ns程度と高速化された。

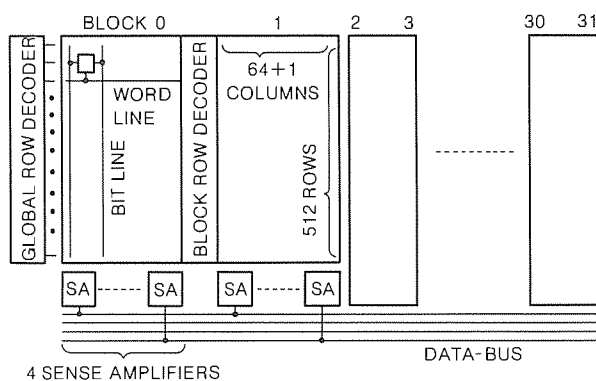


図2. ブロック構成

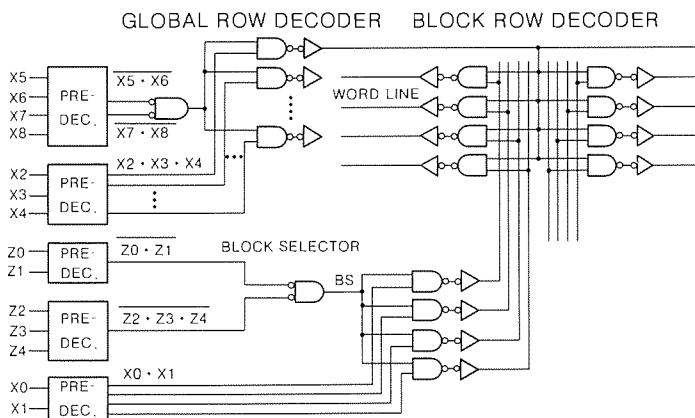


図3. ワード線選択回路

### 3.2 リードデータバス

リードデータバスは、各センスアンプの出力を出力バッファに伝える配線のことであるが、3.1節で述べたような構成としたため、センスアンプは128対あり、これらを結線するだけで10mm近くに及び、配線の容量・抵抗を考えれば、ここでの遅延は無視できない。これを解決するために、図4に示すようにイコライザー付きのツインリードデータバス方式とした。ツインリードデータバスとしたのは、2本を互いに逆相とすることで、両者を短絡することによって容易にイコライズができるようにしたためである。また、イコライズは、ATD (Address Transition Detector) 回路を用いて発生させたパルスを用いている。これにより、リードデータバスでの遅延は1ns程度と高速化されている。

### 3.3 ビット構成可変機能

このチップでは、図5に示すような回路により、1M語×1ビット構成と256K語×4ビット構成を外部信号で切替え可能となっている。これは、1M語×1ビットの場合、テスト時間が長くなるので256K語×4ビットに変換してテスト時間の短縮を図ろうというものである。実際の適用とし

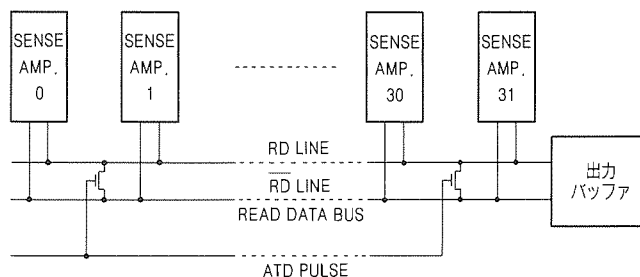


図4. リードデータバス

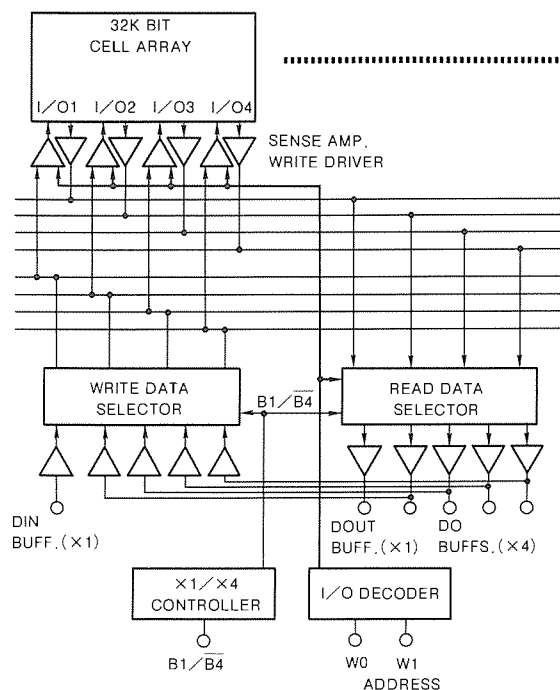


図5. ビット構成可変方式



ては、256K 語×4ビット構成の M5M51004 では内部で信号を固定し、機能を無効としている。1M 語×1ビット構成の M5M51001 では、外部に×1/×4 ピンを出し、外部からの切替えが可能となっている。この外部ピンは、内部ではプルアップされており、信号を与えなければ 1M 語×1ビット構成のデバイスとして働くようにしてある。

## 4. 製造プロセス

### 4.1 概要

表1にこのデバイスのプロセスパラメータを示す。今回用いたプロセスは、3層ポリシリコン2層

Al の 0.8  $\mu\text{m}$  ルール CMOS プロセスである。3層のポリシリコンのうち、最下層のものはゲート電極として使用され  $\text{WSi}_x$  で形成されている。最上層のものは高抵抗専用の薄膜ポリシリコンを採用しており、中速 SRAM と同等な低スタンバイ電流を達成している。トランジスタの分離には修正 LOCOS 法を採用し、バースピークを片側 0.15  $\mu\text{m}$  以下に抑えている。

### 4.2 高性能トランジスタ技術

高速アクセスを実現するのに最も重要な項目は、高性能でかつ高信頼度のトランジスタを得ることである。高性能なトランジスタを得るためには、基本的にはゲート長の短いトランジスタを用いばよいのであるが、ホットキャリア効果等、信頼性的に問題が多くなる。これに対し LDD 構造が多く用いられてきたが、この方式ではゲート長を短かくしても  $\text{N}^-$  層の抵抗が高いため、トランジスタの特性向上には限界がある。

これを解決するために、このデバイスにおいて  $\text{N}$  チャネルトランジスタは、連続斜め回転イオン注入法により、ドレインにおける電界分布を理想に近い形とし、ゲート長が短かく高信頼度のトランジスタを得た。P チャネルトランジスタは、ゲート長を短かくするとパンチスルーが問題となるので、チャネル濃度プロファイルの最適化によってこれを抑えた。これらの対策により、 $\text{N}$  チャネルトランジスタは 0.8  $\mu\text{m}$ 、P チャネルトランジスタは 0.9  $\mu\text{m}$  のゲート長が得られ、高性能化とゲート容量の低減化が図られ、アクセスの高速化が可能となった。

## 5. 電気特性

超高速 1M ビット SRAM のチップ写真を図6に示す。チップサイズは 6.10mm×15.92mm で、M5M51001 と M5

表1. プロセスパラメータ

	1 M 高速 SRAM (35ns)	1 M 超高速 SRAM (25ns)
プロセス方式	3層ポリ 2層 Al	3層ポリ 2層 Al
ゲート電極	$\text{WSi}_x$ ポリサイド	$\text{WSi}_x$ ポリサイド
トランジスタ構造	修正 LDD 構造	アドバンス LDD 構造
素子分離法		
メモリセル部	修正 LOCOS	修正 LOCOS
周辺回路部	LOCOS	修正 LOCOS
ゲート長		
NMOS ( $\mu\text{m}$ )	0.9	0.8
PMOS ( $\mu\text{m}$ )	1.1	0.9
ゲート酸化膜厚 (nm)	18	18
$\text{n}^+$ 拡散層 (線幅/間隔) ( $\mu\text{m}$ )	0.9/0.8	0.9/0.8
ポリシリコン (線幅/間隔) ( $\mu\text{m}$ )	1.0/0.7	1.0/0.7
第一アルミ配線 (線幅/間隔) ( $\mu\text{m}$ )	1.4/1.0	1.4/1.0
第二アルミ配線 (線幅/間隔) ( $\mu\text{m}$ )	2.6/1.4	2.6/1.4
コンタクト ( $\mu\text{m}$ )	0.8×0.8	0.8×0.8
スルーホール ( $\mu\text{m}$ )	1.0×1.0	1.0×1.0

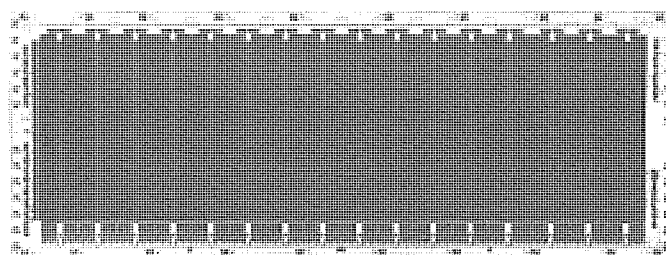


図6. チップ写真

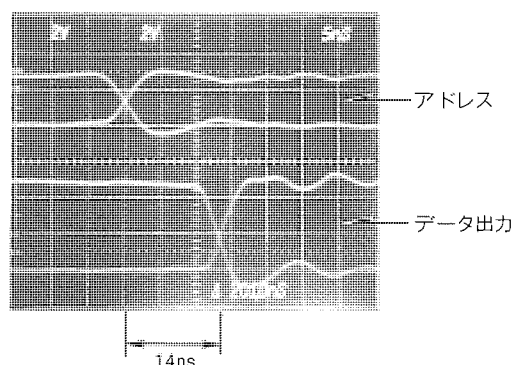


図7. 出力波形

M51004 は 28ピン 400mil の SOJ と DIP, M5M51014 は 32ピン 400mil の SOJ への実装を行っている。このほかにも、32ピンの TSOP への実装も可能となっている。図7は、電源電圧 4.5V、室温時の出力波形でアドレス アクセスタイムが 14ns であることが読み取れる。図8は、 $T_a=75^\circ\text{C}$  での  $V_{CC}$  対アクセスタイムのシュミで、最悪条件で 21ns であることが分かる。動作時の電源電流  $I_{CC1}$  のサイクルタイム依存性を図9に示す。

高速化の目的で用いた分割ワード線方式は、低消費電力化にも効果があり、サイクルタイム 25ns,  $V_{CC}=5.5\text{V}$  の最悪

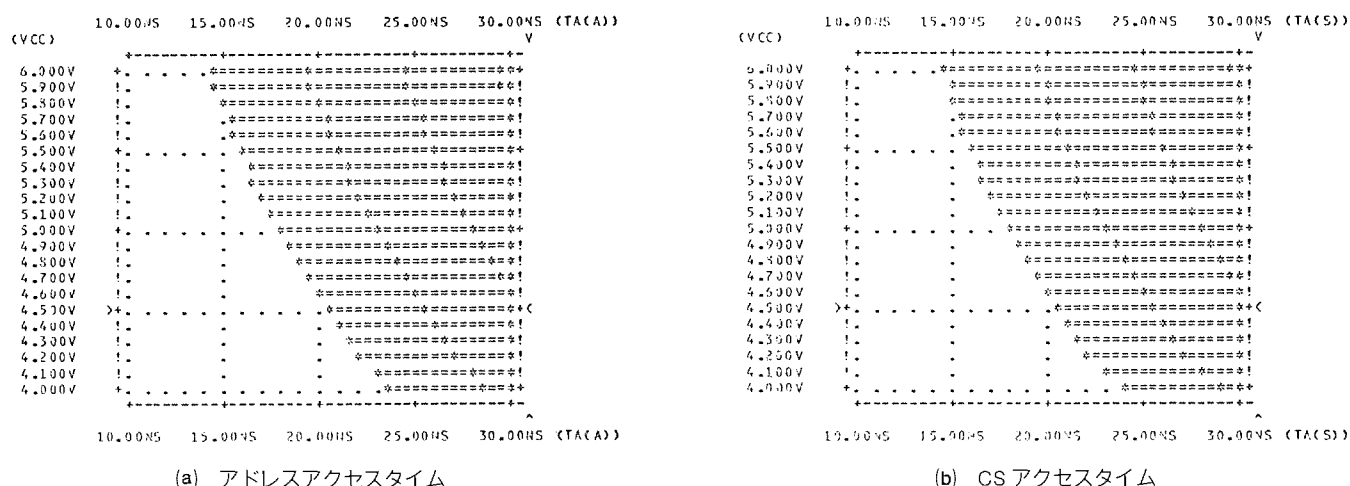


図 8. アクセスタイムのシュミュープロット

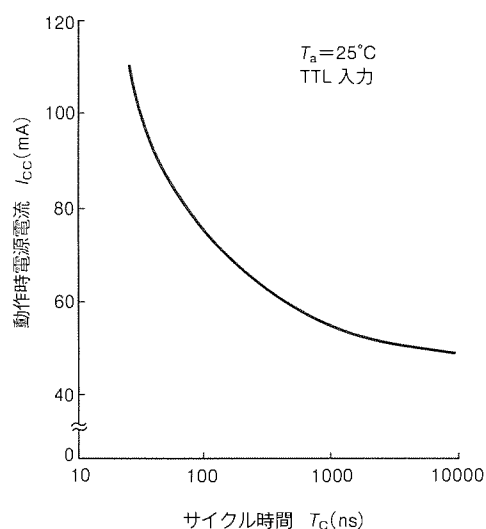


図 9. 電源電流特性

表 2. 高速 1M ビット SRAM の性能一覧

構 成	1 M 語 × 1 ビット (M5M51001) 256 K 語 × 4 ビット IO コモン (M5M51004) 256 K 語 × 4 ビット IO セパレート (M5M51014)
プロセス	3 層ポリシリコン 2 層アルミ CMOS
デザインルール	0.8 $\mu$ m
メモセルサイズ ( $\mu$ m)	5.875 × 8.5 (49.9 $\mu$ m <sup>2</sup> )
チップサイズ (mm)	6.10 × 15.92 (96.6 mm <sup>2</sup> )
使用電源	5 V 単一
入出力レベル	TTL
アドレスアクセスタイム	25ns (最大)
チップセレクト アクセスタイム	25ns (最大)
サイクルタイム	25ns (最大)
動作時電源電流	140mA (最大)
スタンバイ時電源電流	
TTL レベル入力時	10mA (最大)
MOS レベル入力時	100 $\mu$ A (最大)

条件でも 110mA と小さな値となっている。また、MOS レベル入力時のスタンバイ電流は、 $T_a=70^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC}=5.5\text{V}$  の最悪条件で 50  $\mu$ A 程度とバッテリーバックアップ可能な値となっている。表 2 にこのデバイスの性能を示す。

## 6. む す び

0.8  $\mu$ m ルール 2 層 Al 3 層ポリシリコン CMOS プロセスを用いて、1M SRAM M5M51001, M5M51004, M5M51014 を開発した。ゲート長の短い高性能トランジスタ技術と分割ワード線方式等の高速回路技術を用いて 1M という大容量でアクセスタイム 25ns という高速性能を実現した。

高速 SRAM の大容量化と高速化の要求に対応して、今後も次世代品種の開発を進めていく予定である。

## 参 考 文 献

- (1) 一瀬勝樹, 河野芳雄, 篠原尋史, 村上修二, 舟越也寿宏  
：高速 256K ビット CMOS スタティック RAM, 三菱電機技報, **61**, No.4, 329~332 (1987)
- (2) 營野雅直, 和田知久, 杠 幸二郎, 向井孝夫, 河野芳雄  
：高速 1M ビット CMOS スタティック RAM, 三菱電機技報, **63**, No.11, 895~898 (1989)

# 自動車用 IC 化大気圧センサ M67806

荒木 達\* 一山秀之\* 広瀬哲也\* 井上和美\* 石橋清志\*

## 1. ま え が き

自動車の電子化は、経済性及び快適性の向上、排気ガス浄化などの社会的要求から急速に進展している。この中で、センサはマイクロコンピュータとともに重要な位置を占めており、特にピエゾ抵抗効果を応用した半導体圧力センサは、小型、軽量、高性能及び高信頼性といった特長により、従来から自動車に多く用いられてきた。

今回、開発・量産化した IC 化大気圧センサ M67806 (図 1) では、半導体の IC 技術とマイクロマシニング技術とを組み合わせ、圧力センサと温度補償及び増幅のための回路を同一半導体チップ上に形成し、さらに幾つかの特徴あるアセンブリ技術を用いることによって、従来のものに比べて大幅な小型化と低価格化を実現した。

ここでは、IC 化大気圧センサの特長・プロセス・仕様などについて述べる。

## 2. IC 化大気圧センサの特長

### 2.1 圧力検出部の構成

図 2 に、IC 化大気圧センサの圧力検出部を示す。半導体チップの中央部を、裏面から異方性エッチングして作られた正方形のダイヤフラムにより、圧力を応力に変換する。ダイヤフラムの表面には、不純物拡散によって形成された 4 本の p 形のゲージ抵抗がフルブリッジに接続されており、ダイヤフラムに加わる応力をピエゾ抵抗効果によって抵抗変化に変換し、この抵抗変化をブリッジの二つの出力端子間の電位差として出力する。ダイヤフラムの裏面には、外部応力緩和用の台座との間に真空室が設けてあり、この真空室圧力を基準圧力として大気圧を計測できるようにしている。

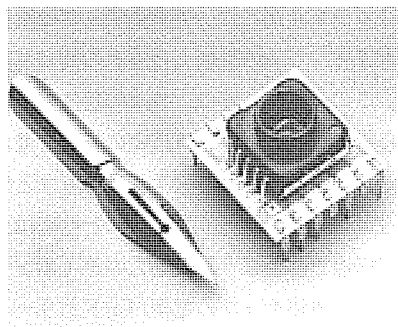


図 1. IC 化大気圧センサ M67806 の外観

ピエゾ抵抗効果は、ゲージ抵抗の伝導形、不純物濃度、結晶方位に大きく依存するが、IC 化大気圧センサでは IC 化のやりやすさから、結晶面 (100) の p 形単結晶シリコンを基板とし、この基板上に形成した n 形エピタキシャル層の中に、p 形のゲージ抵抗を設けた。結晶面 (100) で効率良く出力を取り出すために、ゲージ抵抗をダイヤフラムの周辺部に配置し、長手方向を結晶軸  $\langle 110 \rangle$  方向とした。このときの出力電圧は次式で近似できる。

$$V_O = 1/2 \cdot \pi_{44} \cdot (1 - \nu) \cdot (a/h)^2 \cdot P \cdot V_E \cdots (1)$$

ここで、 $V_O$  : ブリッジ出力電圧,

$\pi_{44}$  : ピエゾ抵抗係数

$\nu$  : ボアソン比,

$a$  : ダイヤフラムの一辺の 1/2 長

$h$  : ダイヤフラムの厚み,

$P$  : 印加圧力

$V_E$  : 電源電圧

この IC 化大気圧センサでは、ダイヤフラムの一辺を 2mm、厚みを 50  $\mu\text{m}$  としており、1 気圧 (101.3kPa) のとき電源電圧が 5V、常温でおよそ 100mV の出力を得ている。

### 2.2 回路構成

圧力センサの主要な特性として、①感度、②オフセット電圧 (0 Pa 時の出力電圧)、③感度温度特性、④オフセット電圧温度特性の四つが挙げられ、これらをいかにうまく調整・補償し、要求される仕様に合わせ込むかが、回路設計における最大のポイントとなる。感度、オフセット電圧及びオフセット電圧温度特性の三つは、圧力センサの製造プロセス

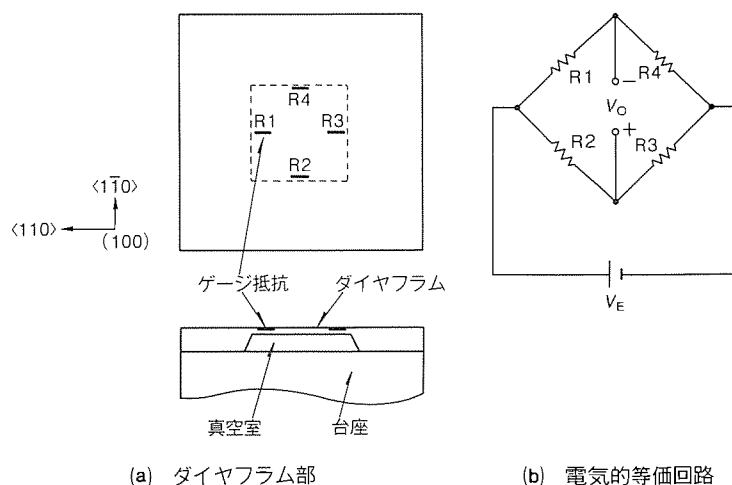


図 2. 圧力検出部の構造

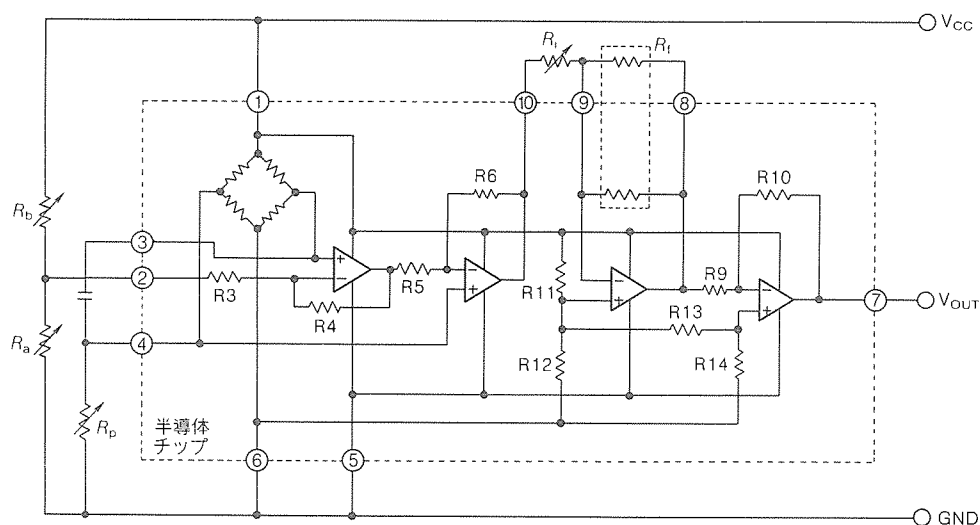


図 3 . IC 化大気圧センサの等価回路

スによってばらつくため、個々に調整・補償する必要がある。感度温度特性は、ピエゾ抵抗係数  $\pi_{44}$  の温度特性に起因するためばらつきは小さく、あらかじめ感度温度特性を相殺する温度特性を回路に持たせておけばよい。

図 3 に IC 化大気圧センサの等価回路を示す。圧力検出部は、出力電圧を大きくするため定電圧駆動とし、感度温度特性補償はゲイン温度補償とした。回路は四つのオペアンプと抵抗、コンデンサから成り、最初の 2 段は圧力検出部の差動出力を増幅しシングル出力とする差動増幅部、3 段目はゲイン温度補償部、最終段は使いやすい電圧に増幅する最終増幅部である。回路の大半は、圧力検出部と同一チップ上に集積されているが、感度、オフセット電圧及びオフセット電圧温度特性のばらつきを調整するための抵抗は厚膜基板上に設け、調整の簡易化を図った。

オフセット電圧温度特性の補償は、 $R_p$  によって行う。ゲージ抵抗の温度特性を利用し、ブリッジの一辺に温度特性の小さい厚膜抵抗  $R_p$  を並列接続することにより、ブリッジの抵抗間の温度特性のバランスをくずし温度補償を行う。したがって、圧力検出部のオフセット電圧温度特性をあらかじめ測定しておく必要がある。

オフセット電圧の調整は、差動増幅部の初段のオペアンプの反転入力電圧を  $R_a$ 、 $R_b$  の機能トリミングによって変化させて行う。このオフセット電圧の調整では、圧力検出部のオフセット電圧だけでなく差動増幅部のオフセット電圧も吸収できる。

感度温度特性の補償は、感度が負の温度係数を持っているため、3 段目のオペアンプの帰還抵抗  $R_f$  に正の温度係数を持つ抵抗を用い、ゲインに正の温度係数を持たせることにより行う。この方式をゲイン温度補償という。帰還抵抗  $R_f$  には、正の温度係数を持つ拡散抵抗と温度係数の小さい厚膜抵抗を組み合わせて用いた。また、 $R_f$  の調整によって感度のばらつきを吸収している。

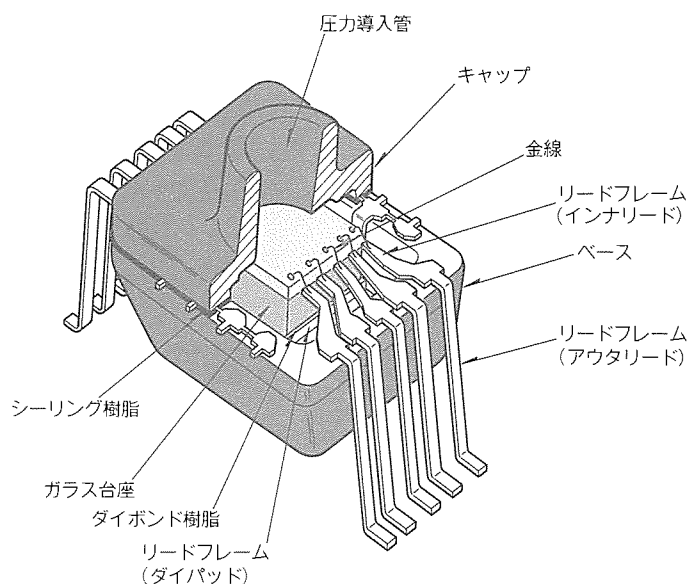


図 4 . センサ素子の構造

最終増幅部は、オペアンプの出力段を工夫して電源電圧が 5V のとき、0.5～4.5V が出力できるようにして広いダイナミックレンジを確保している。

### 2.3 センサ素子の構造

図 4 に IC 化大気圧センサのセンサ素子の構造を示す。台座はシリコンと線膨脹係数が近く、陽極接合に適する性質を持った特殊なガラスを選んだ。半導体チップは真空中で陽極接合され、ダイヤフラムの裏面と台座との間は基準真空室となっている。このように台座は、本来の目的である半導体チップへ加わる外部応力の緩和と真空室の形成を兼ねている。リードフレームは、台座を支え、半導体チップと外部を電気的接続する役割を持つ。リードフレームと台座は、外部応力が台座に極力伝達されぬよう超低応力のダイボンド樹脂を用い接合される。半導体チップの電極パッドとリードフレームのインナリードは、金線を用い電気的に結線される。耐熱性の樹脂から成るベースとキャップは、半導体チップやリード

フレームを外部から保護するための外装で、リードフレームをはさみ込んでシーリング樹脂により張り合わされる。チップには圧力導入管を設け、特性試験時の圧力印加を簡便にしている。IC 化大気圧センサは、半導体チップの表面で受圧する構造のため、半導体チップの表面を汚染から保護するよう軟かいシリコンゲルが半導体チップ上にポッティングされている。

センサ素子は、10 ピンの表面実装用パッケージとしたため、厚膜基板への実装を容易にしている。また、リードフレーム及び樹脂パッケージという通常の IC に近い構造を採用したので、アセンブリの自動化が比較的容易で、低価格化の実現が可能となった。

### 3. 製造プロセス

#### 3.1 ウェーハプロセス

図 5 に、IC 化大気圧センサの半導体チップの断面構造を示す。IC 化大気圧センサでは、圧力を検知する圧力検出部を増幅回路や温度補償回路を構成するアナログ IC の中に作り込む必要がある。このためアナログ IC の形成には、結晶面 (100) の p 形シリコンウェーハを基板とし、その基板上に成長させた n 形エピタキシャル層の中に、バイポーラ トランジスタ、抵抗、キャパシタ等を作り込むバイポーラ IC プロセスを用いた。また、圧力検出部のダイヤフラムは、バイポーラ IC プロセス完了後ウェーハ裏面からアルカリ性容液を用いた異方性エッチングによって形成している。

このようなウェーハプロセスにより、作成した IC 化大気圧センサの半導体チップ写真を図 6 に示す。ダイヤフラムの寸法は、2mm×2mm、チップサイズは 4mm×4mm である。ダイヤフラムの周辺には、四つのオペアンプ等約 300 素子を集積している。IC 化大気圧センサに内蔵されたオペアンプは、従来から圧力センサの信号増幅用として用いてきたオペアンプと同等の特性を持っており、高い性能を持った増幅回路や温度補償回路が実現できた。

#### 3.2 アセンブリプロセス

図 7 に、IC 化大気圧センサのアセンブリプロセスのフ

ローを示す。このフローに従い、アセンブリプロセスを説明する。

##### (1) 陽極接合

圧力検出部に基準圧力用の真空室を設けるため、シリコンウェーハとガラス台座を真空中で陽極接合する。陽極接合とは、導体 (この場合シリコンウェーハ) と絶縁体 (この場合ガラス台座) との接合法で、絶縁体中のイオンが移動可能な温度まで加熱し、導体を陽極、絶縁体を陰極とし、直流電圧を印加して接合する方法である。今回、陽極接合を採用した理由は次の 2 点である。

- (a) 原子レベルの接合のため、気密性が非常に高い。
- (b) ウェーハ単位での接合が可能で、かつばらつきが小さい。

##### (2) ダイシング

陽極接合が完了したウェーハは、ダイシングによって個々に分割された台座付き半導体チップとなる。シリコンとガラスという硬さの異なる材料を同時に切断するため、ダイサのブレードの種類やスピンドルの回転数に最適な条件を選んだ。

##### (3) ダイボンド

ダイシングにより、個々に分割された台座付き半導体チップは、ダイボンド工程でリードフレーム上に固着される。残留応力を低減し、外部からの応力を緩和するため、ダイボンド樹脂には超低応力タイプの樹脂を用い、ダイボンド温度を極力低く設定した。

##### (4) ワイヤボンド

リードフレーム上に固着された半導体チップの電極パッドとリードフレームのインナリード端子とを金線を用い、電気的接続を行う。金線は、超音波熱圧着方式でボンディングするが、ガラス台座のために半導体チップ表面が昇温しにくく、超低応力ダイボンド樹脂が超音波を吸収してしまうため、通常の条件ではワイヤボンドできない。そこで、ワイヤボンディング点を固定する機構を設け、ワイヤボンドを行うようにした。

##### (5) シーリング

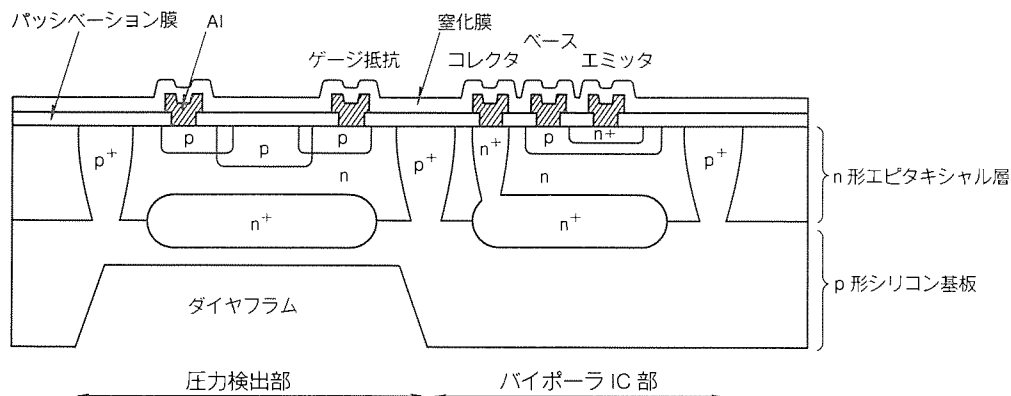


図 5. 半導体チップの断面構造

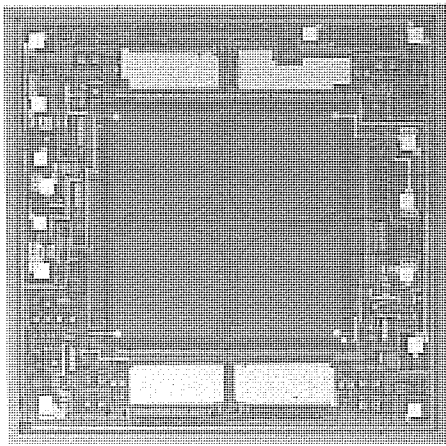


図 6 . 半導体チップの外観

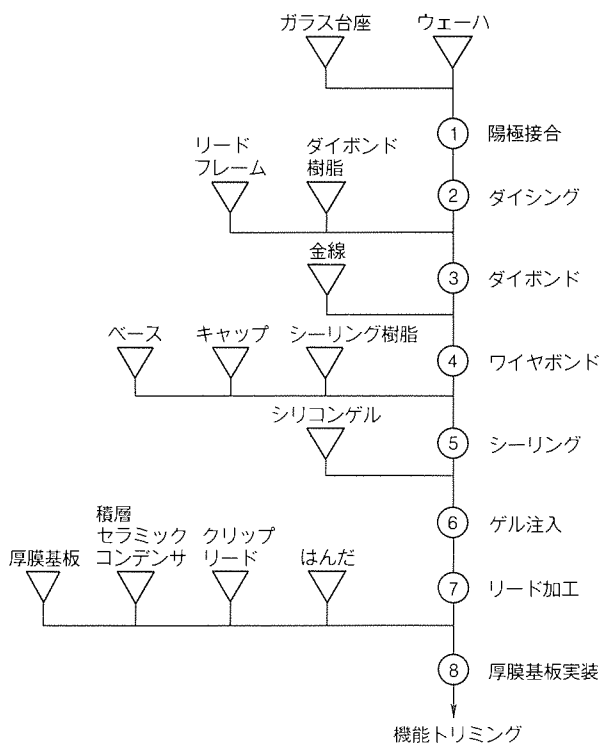


図 7 . アセンブリプロセスのフローチャート

シーリングに際しては、下記の条件を満足しなければならない。

- (a) 大気圧を半導体チップに伝達させるため、外気が透過する開口部を持った構造であること。
- (b) シーリングにより、半導体チップに応力が加わらないこと。

以上の条件を満たすため、半導体チップが固着されたリードフレームを、あらかじめ射出成形されたベースとキャップにはさみ込み、シーリング樹脂を用いシーリングする方法を採用した。ベース及びキャップの材料は耐熱性を持つ熱可塑性樹脂を用い、シーリング樹脂は熱硬化性の液状エポキシ樹脂を使用している。

このように、あらかじめ素子をリードフレーム上に固着しておき、このリードフレームをシーリングするプロセスは、

従来からあるセラミックパッケージ IC のアセンブリプロセスと近く、従来の技術を生かせるため、量産化技術の構築が容易で、自動化もやりやすいというメリットがある。

#### (6) ゲル注入

IC 化大気圧センサでは、半導体チップの表面で受圧するため、半導体チップ表面を汚染から保護するようコーティングが必要である。コーティング材としては、表面保護のほかに、圧力を伝達すること、また半導体チップに応力を加えないことが必要である。以上を満たす材料として、シリコンゲルを用いた。半導体チップ及びリードフレームは、シリコンゲルに覆われるようにして、外気と直接触れないようにしている。

#### (7) リード加工

リード加工は、通常の IC と同様の方法で行う。アウトリードのペンドは、厚膜基板への実装を容易にするため、表面実装タイプとしている。これでセンサ素子は完成する。

#### (8) 厚膜基板実装

完成したセンサ素子は、スクリーニング及び特性試験を行う。特性が合格となったセンサ素子は、積層セラミックコンデンサとともに厚膜基板の表面にはんだ付けされる。厚膜基板の表面には導体 (Ag-Pd) が印刷されており、裏面は特性を調整するための機能トリミング用厚膜抵抗 ( $\text{RuO}_2$ ) と導体が印刷されている。また、両面とも保護用のオーバガラスが施されている。

センサ素子等のはんだ付けは、まず厚膜基板にはんだペーストを印刷し、チップマウンタによってセンサ素子等を厚膜基板上に配置する。次にリフロー炉で、はんだペーストを溶かし、はんだ付けを行う。

センサ素子等が装着された厚膜基板に、外部と電気的接続するためのクリップリードをはんだ付けして、IC 化大気圧センサのアセンブリプロセスは完了する。

### 3.3 機能トリミング

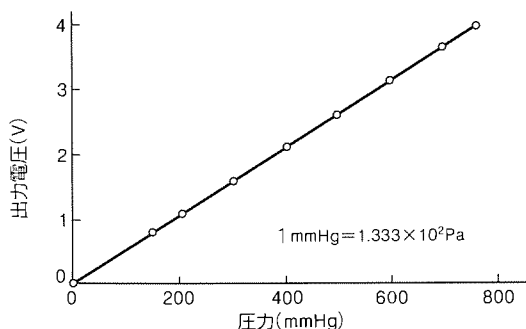
アセンブリが完了した IC 化大気圧センサは、特性を所定の規格内に収めるため機能トリミングが施される。機能トリミングは、オフセット電圧温度特性調整、オフセット電圧調整、感度調整について行う。オフセット電圧温度特性調整では、あらかじめセンサ素子単体でオフセット電圧温度特性を測定しておき、この値をもとに所定の厚膜抵抗をオープンカットする。オフセット電圧調整及び感度調整は、各々 0 Pa, 101.3kPa を印加し、出力電圧が所定の値となるよう厚膜抵抗を調整する。厚膜抵抗のオープンカット及び調整にはレーザトリマを用い、印加圧力の調整や調整する厚膜抵抗の選定等含め、すべてコンピュータによって自動制御している。

### 3.4 特性試験

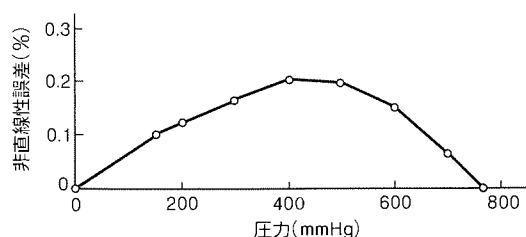
以上のように完成した IC 化大気圧センサは、特性試験によって特性が規格内に収まっているか一つずつ確認される。

表 1. IC 化大気圧センサの仕様

電源電圧	5.0 V
消費電流	10mA 以下
測定圧力範囲	46.7～106.6 kPa
印加最大圧力	202.6 kPa
圧力－出力電圧係数	39.49 mV/kPa
動作温度範囲	－30～100℃
精 度	±2.5% FS 以内



(a) 出力特性



(b) 非直線性誤差

図 8. IC 化大気圧センサの出力特性

特性試験は、温度・圧力特性について行われる。IC 化大気圧センサに印加される温度、圧力の調整、出力値の取り込み、良否の判定、統計処理等は、すべてコンピュータによって細かく制御している。

#### 4. 仕様と性能

表 1 に、IC 化大気圧センサの仕様を示す。電源電圧は、5V 単一電源とし、圧力感度を 39.49mV/kPa と設定し、101.3kPa (1 気圧) のとき 4V が出力されるようにした。

図 8 に常温での出力特性を示す。非直線性誤差は、±0.25% FS 以内という良好な結果が得られた。

図 9 に－30～100℃での出力特性を示す。目標精度の±2.5% FS 以内を満足していることが分かる。

#### 5. 信頼性評価

IC 化大気圧センサでは、従来のメタルキャンタイプの圧力センサと比べ、①陽極接合による真空室形成、②半導体チップ表面受圧、という点が大きく異なるため、特にこの 2 点に注意して評価を行った。表 2 に IC 化大気圧センサの信

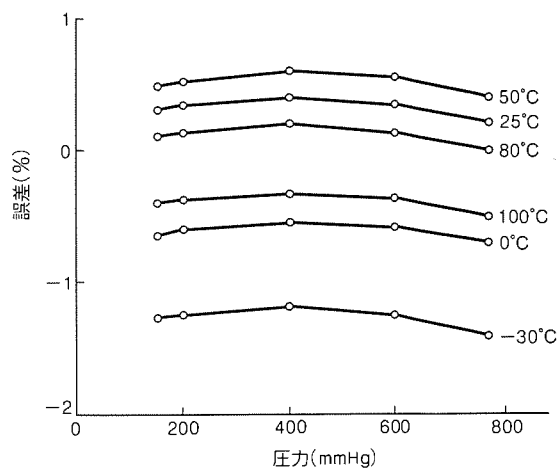


図 9. IC 化大気圧センサの温度特性

表 2. 信頼性評価項目

項	目
はんだ付け性	熱 衝 撃
はんだ耐熱性	耐湿性バイアス有り
低温放置	圧力サイクル
高温放置	耐圧力
低温動作	耐振性
高温動作	耐電圧

頼性評価項目の抜粋を示す。このほか、このセンサは自動車に用いられるため、自動車特有の環境試験や実車試験等を行った。これらの試験により、このセンサを自動車に使用しても特に問題ないことが確認された。

#### 6. む す び

本稿では、自動車用 IC 化大気圧センサについて紹介した。このセンサは従来のものに比べて小型で低価格なので、このセンサへの置き換えが進むものと思われる。

従来からある IC 化された圧力センサは、コストパフォーマンスに難があり、広く普及するには至らなかったが、このセンサで IC のアセンブリ技術を応用することにより、安価な IC 化圧力センサの実現の可能性を示した。今後、他の半導体センサの IC 化にも拍車がかかるものと期待される。

#### 参 考 文 献

- (1) Ishihara, T., Suzuki, K., Suwazono, S., Hirata, M., Tanigawa, H. : CMOS Integrated Silicon Pressure Sensor, IE EE Journal of Solid-State Circuits, **SC-22**, No.2, 151～156 (1987)
- (2) 杉山 進, 山下士郎, 船橋博文, 島岡敬一, 瀧川光治, 五十嵐伊勢美: ワンチップ集積化圧力センサ, 電気学会誌, **108**, No.12, 855～861 (1990)

# 情報機器用熱陰極形低圧希ガス放電蛍光ランプ

大澤隆司\* 三橋征寿郎\* 安達宏美\* 西勝健夫\*\* 櫻井毅彦\*\* 橋本典綱\*\*\*

## 1. ま え が き

FAX, PPC, イメージスキャナ等情報機器の読み取り用, 除電・露光用光源, あるいは液晶ディスプレイのバックライトとして, 蛍光ランプが広く用いられている<sup>(1)</sup>。これらの用途では, 機器実装時, ランプの自己発熱及び他素子の発熱により, 機器内温度が大きく変化するため, この周囲温度変化に対し, 光出力を含めたランプ特性が変化しない光源が要求されていた。

この要求を満足する光源として希ガス放電ランプ<sup>(2)</sup>があり, 古くから研究されてきた<sup>(3)(4)</sup>。しかし, それらはいずれも一般照明を対象としており, 発光効率が低いため, あまり実用化されていなかった。また別に, 放電ガスのクリーンアップによる短寿命<sup>(5)</sup>, 移動しま(縞)の発生<sup>(6)</sup>という二つの大きな問題点を抱えていた。

近年, 上記二つの問題点を回避し, 希ガス放電の特徴を生かした冷陰極形中圧希ガス放電蛍光ランプが, 情報機器用光源として実用化されており, 水銀蒸気放電蛍光ランプにはない優れた性能を持っている<sup>(7)</sup>。しかし, 情報機器動作の高速化, 画質の改善という目的のため, 光源には一層の高輝度化が要求されている<sup>(8)</sup>。

我々は, 高輝度化を目的とした希ガス放電の研究の結果, 熱陰極形電極の採用と, 封入ガス圧の低下によって成果をあげ, 更に上記二つの問題点に関する制御方法を確立したので, 以下に紹介する。

## 2. 希ガス放電蛍光ランプの発光原理とその特徴

### 2.1 発 光 原 理

希ガス放電蛍光ランプの特徴を理解するのに, まずその発光原理を, 一般の水銀蒸気放電蛍光ランプと比較してみる。

図1に一般的な水銀蒸気放電蛍光ランプの発光メカニズムを示す。ランプ内にあらかじめ封入された液状水銀から水銀蒸気が発生し, これを介しランプ両端の電極間で放電を発生させ, 励起した水銀原子が放射する254nmの共鳴紫外線を, ランプ内面に設けられた蛍光体が可視光線に変換し, ランプが発光するものである。

一方, 図2は希ガス放電蛍光ランプの発光メカニズムである。ランプ内には蛍光体を発光させる紫外線放射原子として, 水銀蒸気の代わりに希ガス(主にキセノンガスの場合が多い)が封入されている。放電により, 希ガス原子が放射す

る真空紫外線で, 蛍光体が発光する。

つまり, 両者の違いは, 蛍光体を発光させる励起紫外線を, 水銀蒸気放電から得るか, あるいは希ガス放電から得るかにある。

### 2.2 非温度依存性

希ガス放電ランプは, 周囲温度が変化しても, 光出力等特性が変化しない非温度依存性を持っている。

FAXなどの読み取り用光源では, 光出力が変化するとCCD受光量が変化してしまうため, 画像読み取りに問題が発生する。水銀蒸気放電蛍光ランプは, 図3に示すように, 周囲温度が変化すると, ランプ内部に封入された液状水銀の蒸発量が変化してしまうため, 光出力が一定せず非温度依存

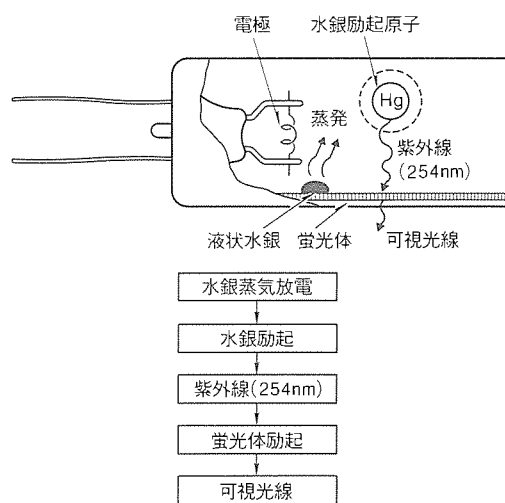


図1. 一般的な水銀蒸気放電蛍光ランプの発光メカニズム

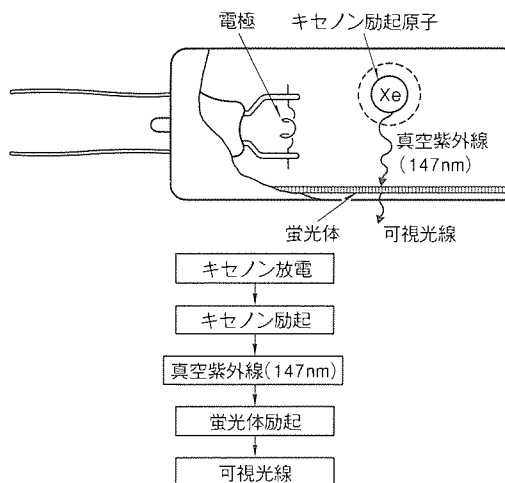


図2. 希ガス放電蛍光ランプの発光メカニズム



性は得られない。そのため、光出力が一定になるよう、ヒーターや冷却ファンを用いてランプ温度を調整していた。

一方、希ガス放電蛍光ランプは、紫外線放射ガスである希ガス原子を初めから気体で封入しているため、周囲温度が変化しても、ランプ内の紫外線放射ガス原子数が一定で、0～80℃の温度領域でほぼ一定の光出力が得られる(図4)。そのため、ランプ温度を一定に保つ必要がなく、ヒーターや冷却ファン等が不要となり、情報機器用光源としての有用性が注目されている<sup>(1)</sup>。

### 2.3 瞬時安定性

希ガス放電蛍光ランプは、点灯直後から光出力が安定する。図5に、水銀、希ガス両ランプの光出力立ち上がり特性を示す。水銀放電の場合、自己発熱等諸条件が変化するため、水銀蒸気圧が変化し、光出力が安定するまでに10分程度の時間を必要とする場合があるのに対し、希ガス放電では圧力変化がほとんどないため点灯直後から安定する。

情報機器の読み取り用光源にとって、瞬時安定性は重要な特性であり、これによって機器使用前の待ち時間を著しく短縮できる。

### 2.4 高速応答性

希ガス放電蛍光ランプは、光出力を2ms程度のパルス信号でも制御できる。これは、希ガス放電が放電開始後極めて短時間に安定するためである。図6に、青色希ガス放電蛍光ランプにおける光出力のパルス応答の例を示す。

この優れたパルス応答性は、カラーイメージスキャナの多色同時読み取り方式などに利用されている。従来の水銀蒸気放電蛍光ランプを用いた場合、原稿全面にわたり複数回スキャンしていたが、希ガス放電蛍光ランプを用いて1ライン

ごとに、順次赤・緑・青色ランプをCCD動作に同期させてパルス点灯し、逐時読み取ることも可能となる。

## 3. 熱陰極形低圧希ガス放電ランプの開発

希ガス放電蛍光ランプは、非温度依存性・瞬時安定性・高速応答性など優れた特性を持っていることは前章で述べたが、同時に従来の技術では解決しえない、次の二つの大きな問題点もあった。

- (1) クリーンアップ現象による短寿命
- (2) 移動縞の発生

我々は、上記二つの問題点を解決できる1手法を検討したので紹介する。

### 3.1 クリーンアップ現象とその抑制

クリーンアップ現象とは、ランプ点灯中放電空間から放電ガスが短時間に消失してしまい、点灯が維持できずに寿命になってしまう現象である。この問題を解決するため、例えば消失ガスを考慮し、初めから封入ガス圧を高めにしておいたり、あるいはランプに補助タンクを付け、クリーンアップ後補助タンクから放電ガスを補給するような手法<sup>(2)</sup>が検討

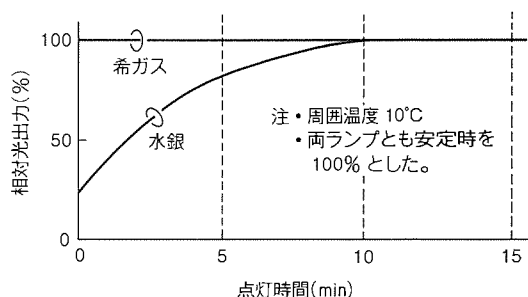


図5．光出力立ち上がり特性

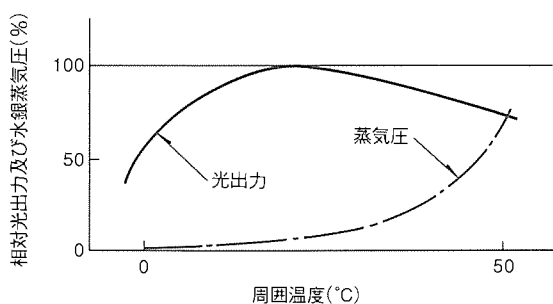


図3．水銀蒸気放電蛍光ランプの温度特性

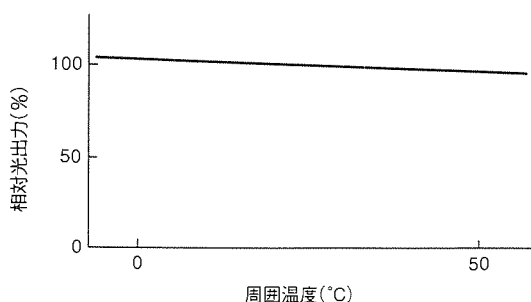


図4．希ガス放電蛍光ランプの温度特性

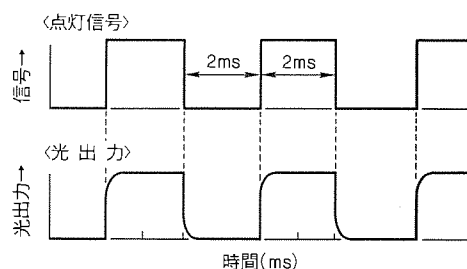


図6．パルス応答特性

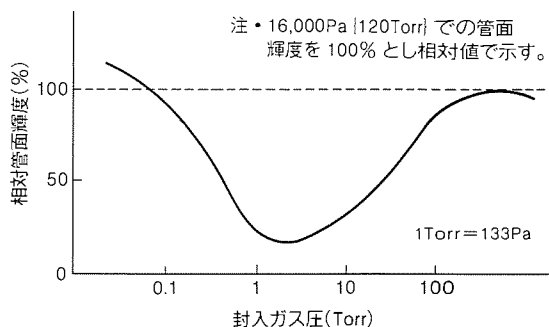


図7．希ガス放電蛍光ランプの封入ガス圧—輝度特性

されていた。図7に封入ガスとしてキセノンを用い、ランプ電流 50mA DC 一定としたときの、緑色希ガス放電蛍光ランプにおける封入ガス圧—輝度特性を示す。

古くから、希ガス放電蛍光ランプの最高効率を与える封入ガス圧は、13Pa {0.1Torr} 以下であると言われていたが、我々の実験でも再確認でき、それとともに封入ガス圧を低下させるとクリーンアップ現象が激しくなることが判明した。また、4,000Pa {30Torr} 以上の領域では、クリーンアップ現象の悪影響はほとんど無視できた。

クリーンアップ現象を詳しく調べた結果、この原因は、放電ガスイオンがガラスバルブや蛍光体等と反応し、安定な化合物を形成し、放電空間から消失している可能性が高いと考え、この対応策を検討した。ガラスバルブ内面に、透明な隔離膜を形成し、新製造法による蛍光体を用いることで、大きな効果が得られ、ランプ寿命を飛躍的に延長できた。図8に隔離膜として酸化チタンを用いた場合の付着量とランプ寿命の関係を示す。

この透明な隔離膜を設ける方法で、13Pa 以下の高輝度が得られる封入ガス圧領域を用いても、クリーンアップ現象は抑制でき、10,000時間以上の長寿命が得られることを確認した。

### 3.2 移動縞の制御

クリーンアップ現象と並び、希ガス放電のもう一つの大きな問題に、移動縞の発生があげられる。

希ガス放電では、封入ガス圧に対応した、ある放電電流範囲で移動縞が発生する。移動縞とは、光の変動とともに空間電荷密度・電流密度・電界・電位変動を伴う現象であり、放電陽光柱の明るい部分と暗い部分が縞状になって、ランプ軸

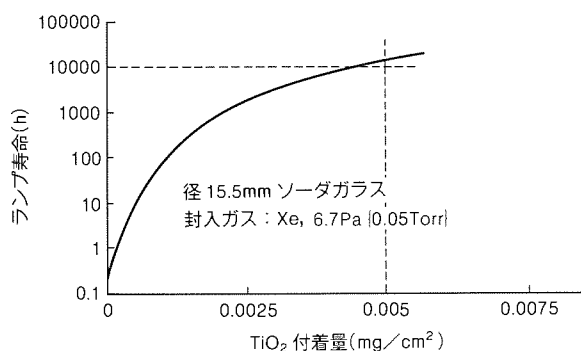


図8. 隔離膜付着量とランプ寿命

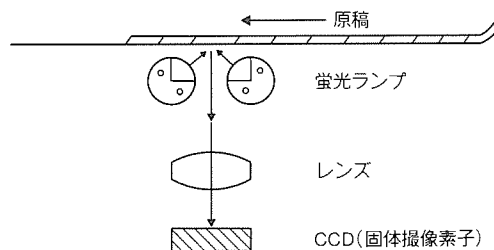


図9. 縮小光学系の読み取り方式

方向へ不規則に移動するものである。移動縞は、条件によっては静止し、肉眼でも確認できるが、通常は高速で移動しており、ちらつきは感じられない。

しかし、情報機器の読み取り用光源として用いる場合、この移動縞は瞬時的な輝度分布の乱れとなり、読み取りに悪影響を与える場合がある。

移動縞は、一定放電電流値以上でランプを点灯させれば発生しないが、封入ガス圧が13Pa 以下では、この値が1A をはるかに超え、ランプ電力が極めて大きくなって実用的ではない。

したがって、この不規則に発生する移動縞を制御する必要があるが、これに関する研究の結果、移動縞の明部は群を形成しており、この群は陰極側へ移動していること、及び交流で点灯させた場合、群の大きさ、群の移動方向及び群速度にばらつきがあることが解明された。このような無制御状態のまま、例えば図9に示したような縮小光学系の読み取り用光源として用いた場合、ランプの移動縞群、ランプの管面輝度分布及びCCDの各部受光量は図10のようになり、移動縞の明暗部の差がCCDの各部受光量に大きな影響を与え、鮮明な読み取りはできない。

これら現象の解決策として、直流点灯方式を検討したところ、移動の群は一方向に移動するようになり、群速度も一定に制御できることが確認できた。このように制御された状態で、図9の読み取り用光源として用いた場合は図11のようになり、ランプには大きさが一様な群が規則正しく発生し、一方向に約 360mm/ms という高速で移動する。ここには移動縞が発生しているにもかかわらず、CCDの積分期間中、CCD各部は移動縞から一様な影響を受けるため、受光量は一樣となり、移動縞の悪影響は発生しないようになる。

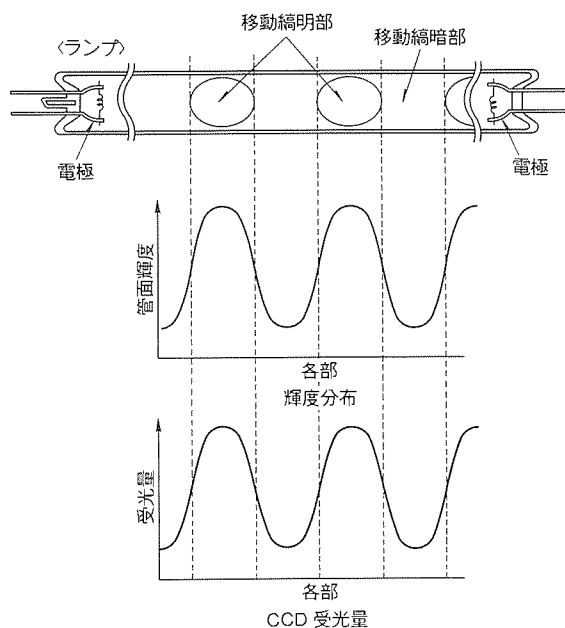


図10. 未制御移動縞と輝度分布

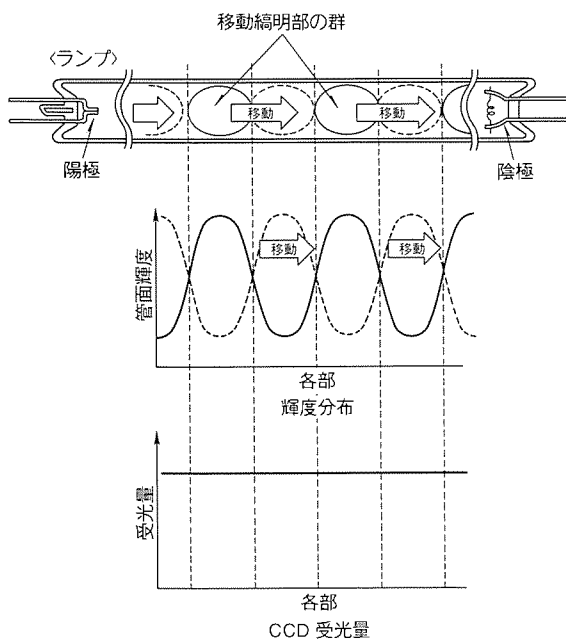


図 11. 直流点灯によって制御された移動縞と輝度分布

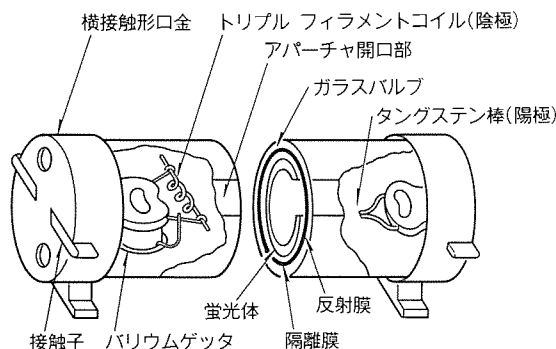


図 12. ランプ構造

#### 4. 熱陰極形低圧希ガス放電蛍光ランプの仕様と性能

##### 4.1 ランプ構造

図12にランプの構造を示す。封入ガスには、効率の良いキセノンを用いている。ランプ長は、150～450mmの範囲で設定できる。ランプ径は10mm、15.5mmの2種類である。ランプ特性は、ランプ径、ランプ長によって変わるが、10mm、300mmの例を表1に示す。輝度を高くするため、反射膜付きアパーチャ形を採用している。電極には、ランプ電流を増加し、更に高輝度が得られるよう熱陰極形電極を用いた。これによってランプ電圧が低下し、ランプから発生する電界ノイズが低減でき、機器誤動作の防止に寄与できる。

##### 4.2 点灯装置

点灯回路及び制御回路をハイブリッドIC化して、点灯装置の小型化を図った。また、このハイブリッドICにノイズ対策を施すことで、点灯装置から発生する電界ノイズを低減し、情報機器への悪影響を抑制するとともに、入力側に待機状態信号線と点灯信号線を設定した。回路概要を図13に示す。

表 1. 定格値例

項 目	定 格 値
サ イ ズ	50mm(幅)×60mm(長さ)×20mm(高さ)
点 入 力 電 圧	+24V DC
灯 入 力 電 流	250mA
装 入 力 電 力	6.5W
置 二 次 無 負 荷 電 圧	300V O-P
二 次 出 力 周 波 数	50kHz
サ イ ズ	径 0mm×長さ 300mm
ラ ン プ 電 流	57mA
ラ ン プ 電 圧	45V
ラ ン プ 電 力	2.6W
ン 陰 極 予 熱 電 流	180mA
陰 極 予 熱 電 力	0.8W
プ ラ ン プ 輝 度	緑 色 .....13,000 cd/m <sup>2</sup> 赤 色 ..... 4,000 cd/m <sup>2</sup> 青 色 ..... 2,500 cd/m <sup>2</sup> 白 色(色温度 10,000 K)..... 7,000 cd/m <sup>2</sup>

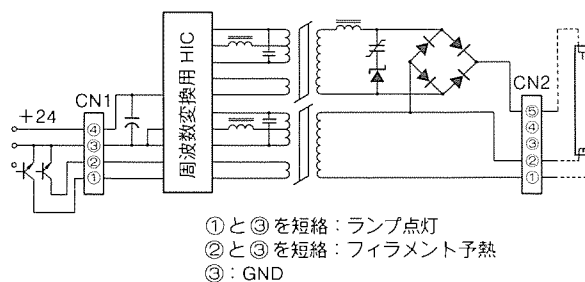


図 13. 点灯装置の回路

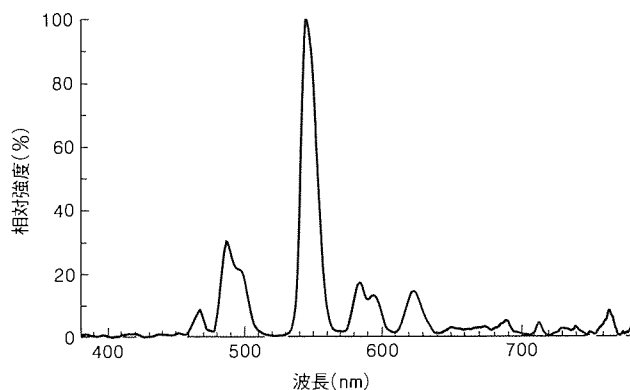


図 14. 緑色ランプの分光分布

##### 4.3 定格値及び分光分布

図14、図15、図16に、それぞれ緑色・赤色・青色ランプの分光分布を示す。図17に、FAX 読み取り用としてアセンブリした例を示す。表1に定格値の例を示す。

表1と同様なディメンジョンで、ネオンガスを封入し、蛍光体を用いずネオン放電から直接放射される赤色可視発光を利用するランプも可能であり、これも上記同様な特性が得られ、輝度は20,000cd/m<sup>2</sup>である。

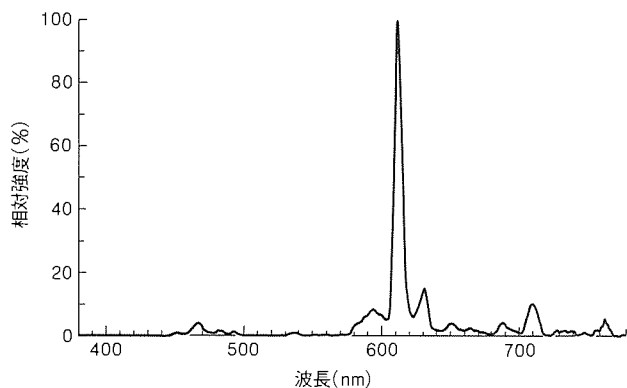


図 15. 赤色ランプの分光分布

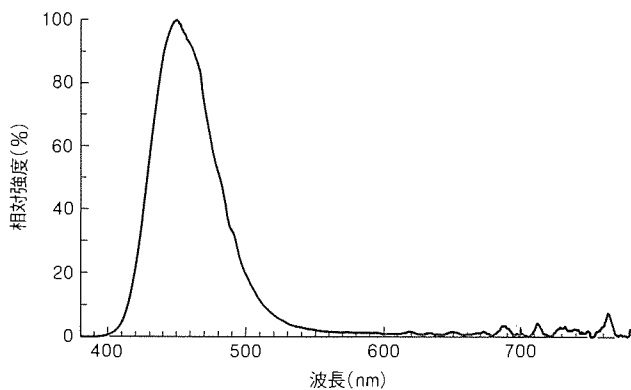


図 16. 青色ランプの分光分布

## 5. む す び

希ガス放電蛍光ランプの持つ優れた特性を生かし、さらに低封入ガス圧領域動作、熱陰極の採用により、高輝度・長寿命ランプを開発した。このランプは、高速動作、鮮明画像がテーマとなっている情報機器開発に大きく貢献できると考える。

最後に、この開発を進めるに当たり、多大な御指導をいただいた北海道大学工学部酒井洋輔助教授はじめ関係各位に深

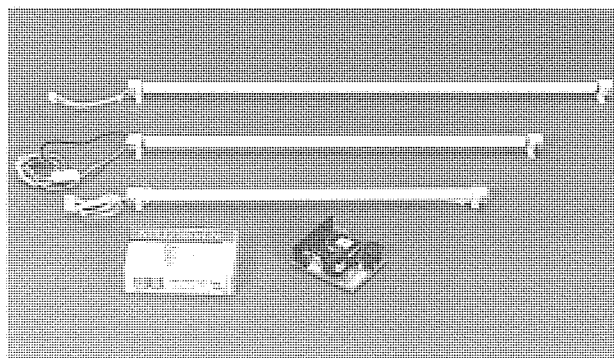


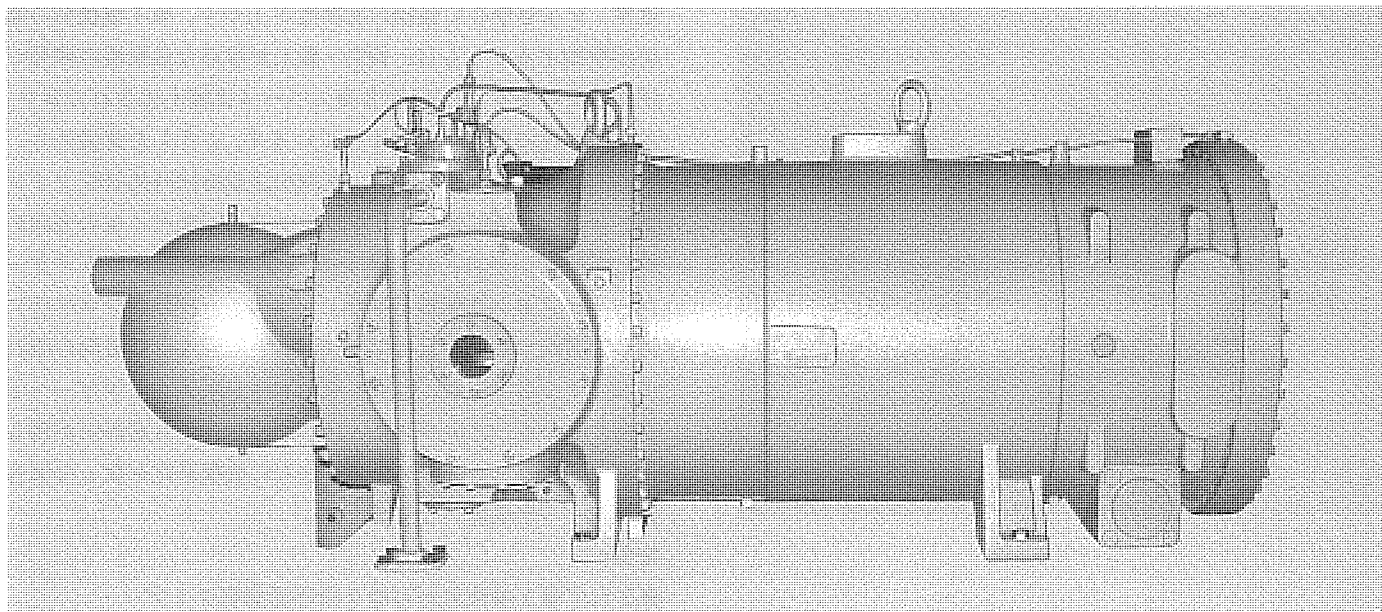
図 17. アセンブリの例

じんの謝意を表す。

## 参 考 文 献

- (1) 照明学会：光源システムの技術動向と展望，照明学会，108～109 (1990)
- (2) 原田常雄：放電燈，29～38，オーム社 (1950)
- (3) Norman, C.B., Verona, N. J. : Fluorescent Discharge Lamp, United States Patent, 2622221 (1952)
- (4) 小坂橋正康，栗津健三：希ガス放電によるけい光体の発光，三菱電機技報，48，No.9，1097～1099 (1974)
- (5) 奥野郁弘：混合稀ガス放電による蛍光ランプ，昭和50年 照明学会全国大会予稿集，16 (1975)
- (6) Yoshinori, A., Takeo, S., Hiroyoshi, Y., Keiji, W. : Rare-Gas Discharge Lamps Suitable for Industrial Use, Lighting Design + Application, February, 33～38 (1987)
- (7) 吉池良次：高輝度グローランプ，40，No.12，1079～1082 (1985)
- (8) 櫻井毅彦，西勝健夫，狩野雅夫，大澤隆司：希ガス蛍光ランプの特性，平成2年 照明学会全国大会予稿集，45 (1990)

# スポットライト 大形シングルスクリュウ圧縮機



近年、大規模工場空調の普及、都市再開発事業の地域冷暖房の伸展に伴い、大形熱源機の需要が増加しています。従来、電気式大形熱源機の主流は、ターボ冷凍機でありましたが、フロン規制に伴い、規制冷媒であるフロン11・フロン12を使用しているターボ冷凍機は、大きな制約を受けることになりました。この様な市場動向のなか、三菱電機では大形熱源機市場のニーズに応えるべく、大形シングルスクリュウ圧縮機の開発を行っています。この圧縮機は、冷媒として規制対象外のフロン22を使用しており、ポストターボとしても注目を集めています。

## 特長

### ●高圧縮比運転

従来のターボ圧縮機が遠心式圧縮機であるのに対し、シングルスクリュウ圧縮機は容積形の回転式圧縮機で、そのため、ターボ圧縮機に比べ、より高い圧縮比(圧縮比8)での運転が可能になりました。これにより、より広い温度範囲に対応できる熱源機の供給が可能になりました。

### ●高温水取出

CX形シングルスクリュウ圧縮機は、リキッドインジェクション方式を採用しているため、吐出ガス温度は、吐出圧力飽和温度になります。このため、高い凝縮温度での運転及び、高温水(60℃レベル)の取り出しが可能となりました。

### ●高効率

リキッドインジェクション方式の採用により、スクリュウとケーシングとの隙間を小さくすることが可能となり、それにより高効率となります。また、圧縮過程がバランス圧縮であるため、軸受部に加わる荷重が小さく耐久性に優れています。

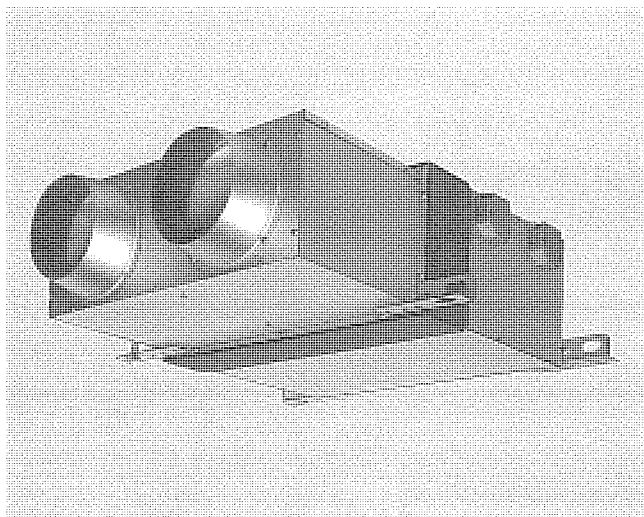
### ●優れた容量制御特性

圧縮機の容量を制御するスライドバルブを容量制御時、圧縮室から低圧部へのバイパスガスの圧損を低減し、優れた容量制御物特性を達成しました。

この圧縮機の応用製品として、大形水冷チラー、大形空冷チラー、大形水冷ブラインクーラーなどの製品をラインアップしています。

	スクリュウ径 [mm]	ゲートロータ径 [mm]	押しのけ量 [m³/h]	法定冷凍トン [RT]	電動機容量 [kW]	
					水冷機	空冷機
CX-22S	228	196	506.0/607.2	59.5/71.4	120kW	180kW
CX-22M		228	62.0/744.0	72.9/71.4	150kW	220kW
CX-22L		242	752.4/902.9	88.5/106.2	180kW	270kW
CX-27S	278	260	888.5/1066.2	112.5/135.0	220kW	320kW
CX-27P		278	1006.8/1208.2	127.4/152.9	240kW	380kW
CX-27M		278	1125.1/1350.1	142.4/170.9	270kW	380kW
CX-27L		290	1320.5/1584.6	167.2/200.6	320kW	450kW

# 空調用送風機同時給排形 スポットライト ツインファン(消音形)

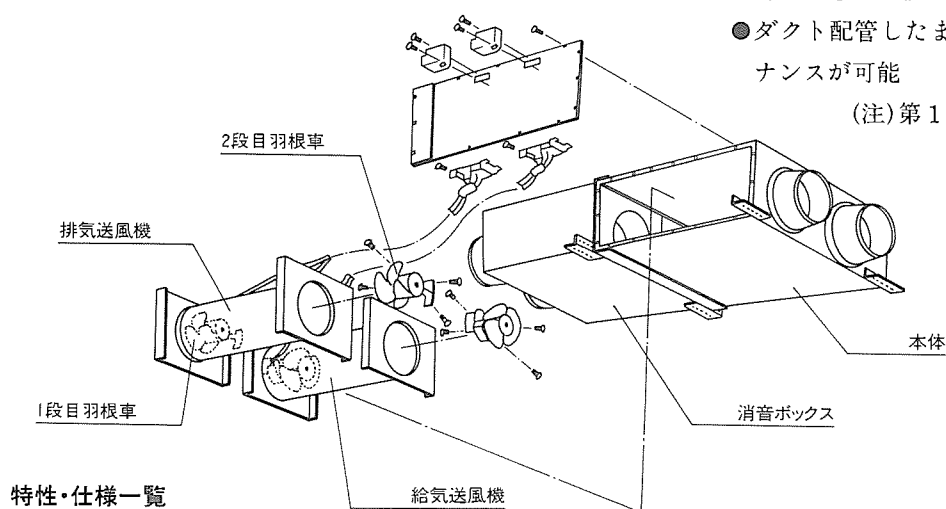


近年、ビルを中心に建物の密閉度が上がり、第1種換気の需要が増加するとともに、設計・施工が容易な送風機の開発が望まれています。一方、天井裏スペースは縮小化されており、送風機本体の薄形化も望まれています。こうした背景から、開発・製品化されたものが、空調用送風機同時給排形ツインファンシリーズです。ツインファンは、同軸上に風の方向が同じで回転が逆の二枚のプロペラファンを設けたカウンターローテーション送風機を採用しており、一枚目のプロペラに対し逆回転する二つ目のプロペラが、旋回流を軸方向の流れに整流するとともに、旋回エネルギーを圧力エネルギーへと変換するため、プロペラファンではありながら高静圧が得られます。このツインファンに、さらに低騒音化を狙った消音形シリーズを追加いたしました。

## 特長

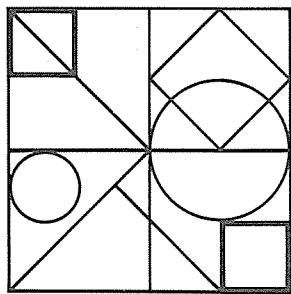
- 1台で第1種換気が可能な同時給排気タイプ
- 消音ボックスにより静音形に対し平均8ホンの低騒音を実現
- 給排気同一騒音  
一般的に吸込音に比べ吹出音の高いシロッコファンと異なり、当社独自の低騒音羽根「エクストラファン」を採用して給排気とも同一騒音としております。
- 薄形、軽量で狭い空間にも取付が容易
- ダクト配管したままで一方向より給排気送風機のメンテナンスが可能

(注) 第1種換気とは強制給排気換気方式のこと



## 特性・仕様一覧

形 名	電 源	極数 (P)	公称 出力 (W)	速調	風 量		電 流		入 力		騒音 (ホン)						質量 (kg)
					(m³/h)		(A)		(W)		吹出		側面		吸込		
50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	50Hz	60Hz		
CEW-15ASU	単相 100V	2	25	強	310	320	0.40	0.52	36	40	37	37	33	33	37	37	16
				弱	220	320	0.20	0.25	17	21	28	28	28	28	28	28	
CEW-20CSU	単相 100V	2	100	強	780	790	1.05	1.23	103	122	41	40	39	39	41	40	27
				弱	540	520	0.48	0.53	48	52	34	33	32	31	34	33	
CFW-25DSU	単相 100V	4	200	強	1,100	1,300	2.78	2.51	216	242	43	47	40	43	43	47	56
				弱	800	920	0.94	1.03	90	105	35	39	32	36	35	39	



# 特許と新案 有償開放

有償開放についてのお問合せ先 三菱電機株式会社 知的財産渉外部 TEL (03) 3218-2136

## 絶縁ゲート形電界効果半導体装置 (特許 第1056338号)

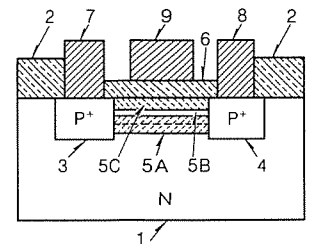
発明者 河津 哲

この発明は、ディスクリット又はICに用いられる絶縁ゲート形電界効果半導体装置(IGFET)に関するものである。

すなわち、図に示すものにおいて、(1)は例えばN形半導体基板、(2)はN形半導体基板(1)上に熱酸化法等により形成された二酸化シリコン膜のような絶縁膜である。この絶縁膜(2)の所定の部分を写真製版、化学的蝕刻により除去した後、例えば硼素を拡散したP<sup>+</sup>領域を形成する。ここで(3)はP<sup>+</sup>ソース領域、(4)はP<sup>+</sup>ドレイン領域である。P<sup>+</sup>領域を形成後、絶縁膜(2)の所定の部分を除去しイオン注入法によりP形半導体領域(5)を形成する。このとき、200 keVに加速されたB<sup>+</sup>(ボロンイオン)をシリコン中に注入すると、P形領域(5)とN形基板(1)で形成されるPN接合により空乏層(5A)が生じ電気伝導に寄与するP形領域は減少する。また、シリコン基板上部においても、シリコン基板の不純物濃度とイオン注入量の比によりN形部分が形成され得る。また、通常の加熱酸化による二酸化シリコンであるゲート絶縁膜(6)は正の電荷を有する表面準位を有する。この二者とP形領域(5)の間でも(5A)の場合と同様に、(5C)の空乏層が生じる。この空乏層(5C)の幅はゲート電極(9)に印加される電圧により制御される。すなわち、ソース領域(3)及びドレイン領域

(4)間のP形領域(5B)の幅はゲート電極により制御される。したがって、基板の不純物濃度、イオン注入電圧、イオン注入量を適当な値にすれば、ゲート電極に加える電圧が零のとき、P形領域(5)全体を空乏層(5A)、(5C)で覆うことができる。この後、イオン注入により生じた格子欠陥を消去するとともに、清浄なゲート絶縁膜(6)を形成するため酸化雰囲気中で熱処理を行う。(7)はソース領域(3)に形成したソース電極、(8)はドレイン領域(4)に形成したドレイン電極、(9)はゲート絶縁膜(6)上に形成したゲート電極で、これらは例えばアルミニウムを蒸着し、写真製版、化学蝕刻で形成する。

したがって、この発明によれば、ソース領域とドレイン領域との間に半導体基板と異なる導電型の半導体領域を形成し、ゲートへの入力信号がないときはこれを空乏層領域とし、入力信号が入ってきたときはこの空乏層領域を縮小することによってチャンネルを形成するようにしたため、低電圧動作が可能になるほか、上記半導体領域全体をチャンネルとして利用できるので高出力化も可能となる。



## 基板装置 (実用新案登録 第1790281号)

この考案は、製造工程中等に、基板が希望する動作を行うか等のチェックを必要とする電気機器の基板装置の改良に関するものである。

すなわち、図において、(1)は所定の導電パターン部がエッチング等により形成された基板で、所定部に導電パターン部に接続される半導体素子等が装着される。(2)は基板(1)の導電パターンの所定部から導出された基板チェック用導電線で、その先端に接続端子(2A)が設けられている。(4)は基板(1)の導電パターン部と独立した部分に設けられたダミー接続端子で、導電線(2)の接続端子(2A)と着脱自在に接続される。

このように構成されたものにおいて、製造工程中に基板(1)のチェック(基板が希望する動作を行うか等のチェック)を行う場合、図1に示す如く、基板チェック用導電線(2)の接続端子(2A)に信号線(3)の接続端子(3A)を接続し、その後、信号線(3)及び導電線(2)を通して外部より信号を入力したり、基板(1)より信号を導出したりして、そのチェックを

考案者 目崎 道夫, 岩松 孝寿

行う。そしてチェックが終了すると、導電線(2)の接続端子(2A)より信号線(3)の接続端子(3A)を引き離し、図2に示す如く、導電線(2)の接続端子(2A)をダミー接続端子(4)に接続する。

したがって、この考案によれば、チェック終了後に図2に示すように導電線の接続端子をダミー接続端子に接続するようにしたため、保守点検時に導電線が誤配線されることがなく、また導電線の処理でサービス員を悩ませることがなく、しかも導電線が定位置に保持されるため導電線の接続端子が他の充電部に接触することがない。

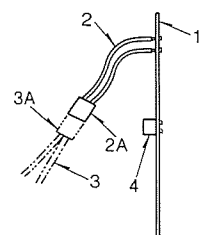


図1. 基板チェック時

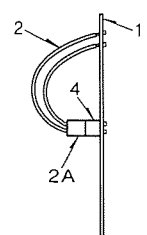


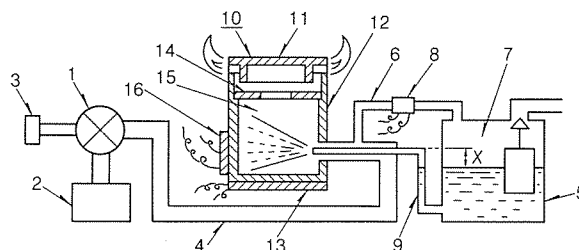
図2. 基板チェック終了後

## 液体燃料燃焼装置 (実用新案登録 第1731066号)

この考案は、液体燃料燃焼装置に関するものである。

すなわち、図において、まずヒーター(13)に通電し気化筒(12)の予熱を行い、その気化面温度が設定値以上になると、気化筒(12)の壁に取り付けられた熱電対サーミスタ等の温度検出素子(16)の信号により、空気供給管(4)と定油面器(5)の空気室(7)とを連通させる静圧戻し管(6)に設けられた電磁弁(8)は“閉”から“開”となる。この状態よりツマミ(3)により送風調節バルブ(1)を開き送風機(2)の送風を空気供給管(4)へ供給すれば、静圧戻し管(6)を通り送風の静圧が空気室(7)に加わり定油面器(5)の油面を押圧する。押圧された燃料は燃焼供給管(9)より押出され周囲の空気噴流によって微粒化され円錐状に広がりながら気化室(15)に入り、気化筒(12)の内壁に衝突し、加熱気化され分子状となって周囲空気と混合し、混合気体となって仕切板(14)の穴に集まり混合濃度の均一化が図られ、バーナヘッド(11)の炎口に達し、適宜の手段によって着火され燃焼する。

考案者 杉田 信、篠原 幸雄、根岸 宣匡  
したがって、この考案によれば、静圧戻し管に電磁弁を設け、更に気化筒壁に取付けた温度検出素子の信号により電磁弁を“開”“閉”するようにしたため、気化室が予熱不足(気化面温度が設定値以下)の場合に誤ってツマミを操作しても、送風機からの送風は電磁弁により遮断されて、定油面器内の油面に静圧が加わらないので、燃料が気化室へ噴出されることがなく、気化室内に燃料が溜まったり、再点火時に異常燃焼することがない安全な燃焼装置を得ることができる。



〈次号予定〉三菱電機技報 Vol. 65 No. 5 冷凍・空調特集

### 特集論文

- 冷凍・空調特集に寄せて
- 空調機器の現状と今後の動向
- ビル用マルチエアコン2管式冷暖同時マルチ R2シリーズ
- 大型冷暖同時マルチエアコン“セントラルマルチ”シリーズ
- マルチエアコンの自律分散協調制御“F-VPM”
- ビル空調管理システム
- ニューPプレナムタイプ パッケージエアコン
- 大型シングルスクリュー圧縮機搭載チラー
- パッケージ形透湿膜加湿機“CH-EVP”
- エアマルチ用外気処理ユニット

### ●インバータ《ロスナイ》システム

- ロスナイ(エアモニター)“VL-1200AM”
- 冷蔵庫用ローリングピストン型圧縮機の高効率化

### 普通論文

- 九州地方建設局納め平成大堰放流設備制御装置
- 中国広東-香港連系用 525/420 kV 単巻変圧器
- 《MELFANET》計算機接続ファクシミリ配信システムの構築
- 分散化を指向したアプリケーション開発支援システム“SWEET II”
- EX-AX パソコンオンライン端末分散処理機能“CIMS II/DS<AX>”
- 三菱ホームバス・HAシステム“HS-200”
- 高性能32ビットマイクロプロセッサ用キャッシュコントローラ/メモリ(CCM)

### 三菱電機技報編集委員

委員長	山田 郁夫
委員	名畑健之助
〃	福岡 正安
〃	宇佐美照夫
〃	風呂 功
〃	大原 啓治
〃	松村 恒男
〃	名取 直幸
〃	吉岡 猛
〃	鳥取 浩
〃	三田村和夫
幹事	長崎 忠一
4月号特集担当	山中 晤郎

### 三菱電機技報 65 巻 4 号

(無断転載を禁ず) 1991年4月22日 印刷  
1991年4月25日 発行

編集兼発行人 長崎 忠一  
印刷所 千葉県市川市塩浜三丁目12番地 (〒272-01)  
三菱電機印刷株式会社  
発行所 東京都千代田区大手町二丁目6番地2号  
日本ビル 6階 (〒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) 3218局2806  
発売元 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 (〒101)  
株式会社 オーム社  
Tel. (03) 3233局0641(代), 振替口座東京 6-20018  
定価 1部 721円 (本体 700円) 送料別  
年間予約は送料共 9,373円 (本体 9,100円)



# ガスクリーンヒーターエアコン スポットライト “VGC-3001DF、4001DF”



快適な「住空間」を実現する欲求は、生活の質の向上と共にますます増大の一途をたどっています。一方わが国の気候は、冬は氷点下に、夏は高温多湿な変化に富んだ四季であり、この両極端な気候から、快適空間を創出する空調機として、ガスクリーンヒーターエアコン“VGC-3001DF、4001DF”2機種を今回モデルチェンジし、機能アップ、諸特性の改善、据付工事性の改善を図り、オールイヤー機器として開発しました。暖房部分は、外気温に左右されないパワフル暖房、室内空気を汚さない清潔暖房のクリーンヒーター「MICS燃焼器」を、冷房部分は「エアコン霧ヶ峰」を使用した冷暖房兼用機で、単に冷・暖房機能だけでなく、ドライ機能、空気清浄機能も備えた本格的な冷暖一括空調機です。

## 特長

### ●ファジー温感コントロール採用

足元から暖める温風下吹きタイプで、ファジー理論の応用により、個人差のある微妙な快適温度を「暑い」「寒い」のキーを押すだけでコントロールします。

### ●オートスイング冷房採用

室内全体を冷やす冷風上吹きタイプで、吹き出しルーバーが上下左右に自動的に動いてより効果を高めます。また、不使用時には上下ルーバーが閉じ、年間を通じてインテリアデザインにマッチした完成度の高い外観デザインです。

### ●24時間運転タイマー（ツウウェイタイマー）採用

おはようタイマーは、平日、休日2通りにセットできるツウウェイタイマー方式を採用するとともに、起床時（セット時刻）に室温18℃になるよう、あらかじめ運転を開始する学習機能付のウォーミングアップタイマーです。また、おやすみタイマーは、24時間デジタルタイマーのほか、1～9時間のオフタイマーも使用でき、冷房も同様に、運転タイマーが使用できます。

### ●空気清浄機能採用

帯電方式の空気清浄フィルター付で、0.01μmのホコリ、ケムリを除去できます。なおフィルターは使い捨て方式です。

### ●壁穴一つの標準設置施工範囲拡大

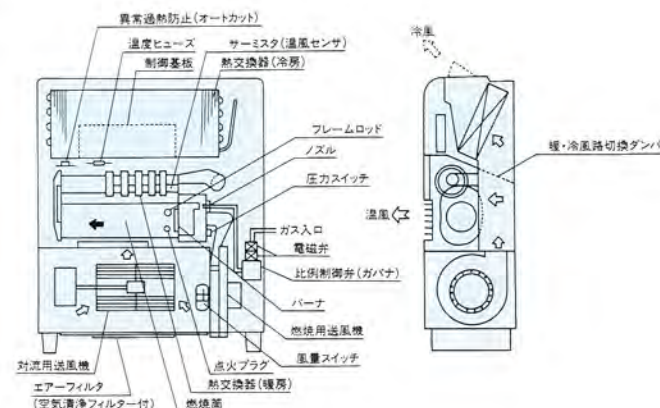
冷媒配管と給排気筒の、一つの壁穴で工事ができる施工範囲を拡大し、据付工事性の改善を図りました。

### ●ソフト感覚のニューデザイン

丸みのあるソフトでフレッシュなデザインです。

## 仕様

製品名		クリーンヒーターエアコン	
形名	室内ユニット	VGC-3001DF	VGC-4001DF
	組合わせる室内ユニット	VGU-22DF	VGU-28DF
電源	定格電圧	室内ユニット	単相100V 50/60Hz
	コンセント定格・形状	125V 15V II形	125V 20A IL形
製品	外形寸法	高さ750mm、幅560mm、奥行230mm	
	製品質量	室内ユニット	32kg
		室外ユニット	27kg
	電源コードの長さ	2m	
安全装置		過熱防止装置・異常過熱防止装置・過電流保護装置 停電安全装置・立消え安全装置・冷房時3分再起動防止装置	
暖房関係	暖房方式	強制対流式	
	給排気方式	密閉式（強制対流式）	
	点火方式	放電点火式	
	消費電力	57/61W	60/65W
	暖房のめやす	温暖地	木造 8畳(13㎡)まで
			コンクリート10畳(16.5㎡)まで
		寒冷地	木造 8畳(13㎡)まで
			コンクリート12畳(20㎡)まで
	排気温度	260℃以下	
	給排気筒トップ	ステンレス製・壁穴径φ80mm	
	ガス接続	PT3/8オネジ	
冷房関係	ガスの種類および消費量	都市ガス 4A、4C、5A、5B、6A、6B、 7C、13A ……3,000kcal/h 4B、6C ……2,800kcal/h 12A ……2,800kcal/h LP(プロパンガス) 0.24kg/h	都市ガス 4A、4C、5A、5B、6A、6B、 7C、13A ……4,200kcal/h 4B、6C ……4,000kcal/h 12A ……3,900kcal/h LP(プロパンガス) 0.31kg/h
		冷房能力	2.2/2.5kW (2,000/2,240kcal/h)
		木造	6畳(11㎡)まで/7畳(12㎡)まで
		コンクリート	10畳(16㎡)まで/11畳(18㎡)まで
	除湿量(専用除湿機能なし)	1.4/1.6ℓ/h	1.8/2.0ℓ/h
	消費電力	750/895W	990/1,150
	運転電流	8.3/9.0A	11.3/11.6A
	冷媒管・通部穴径	φ80mm	
	冷房のめやす	8畳(13㎡)まで/9畳(15㎡)まで	12畳(20㎡)まで/14畳(22㎡)まで



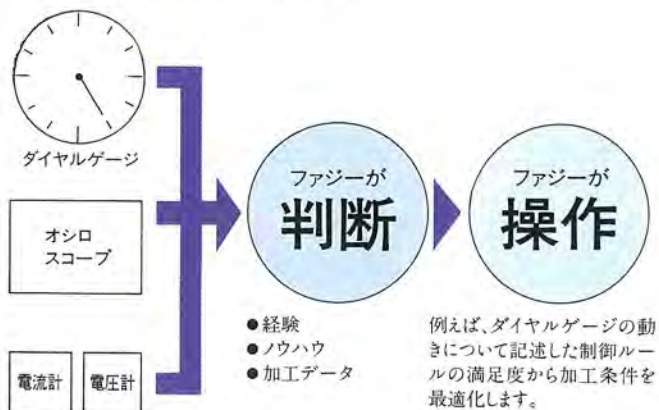


# ファジー適応制御 スポットライト 形彫放電加工機《DIAX・Vシリーズ》



従来の形彫放電加工機は、熟練者が常時監視操作しながら加工を進める方法が最も加工時間が短くすみます。しかし、監視できない場合の加工では、失敗を防ぐため休止時間を長くするので、加工時間が長くなります。また加工深さ、加工液の掛り具合に応じてジャンプアップ量、ジャンプダウン時間、休止時間を設定しなければなりません。失敗を恐れて安全目に設定するため、加工速度は遅くなります。加えて、面積変化に対して条件変更するプログラムを作成するのは難しいなど、加工速度の向上、段取りプログラム時間の短縮に対する要望が多くありました。Vシリーズ形彫放電加工機はこのようなユーザーの皆様のニーズにお応えするため、32ビット制御装置を搭載し、ファジー理論を用いて、放電加工状態の認識とそれに基づいた適切な加工条件を決定することにより、熟練者が持つノウハウどうりの加工が自動的に行えるとともに、対話形自動プロにより、CRT画面に表示される指示に従って、段取りから加工に至る一連の作業を対話方式で簡単にできます。

## 放電加工機の新しい適応制御方式



## 特長

### ● ミスターEDファジーでより速く

Vシリーズは、ファジー理論を世界で初めて放電加工機の適応制御に取り入れ、熟練者が持つノウハウどうりの加工(放電状態の認識とそれに基づいた適切な加工条件の決定)が自動的に行えるようになりました。

### ● 自動プロでより簡単に

新開発の自動プロはCRT画面に表示される指示に従う対話方式、段取り作業から加工に至る一連の作業を操作できます。工作物と電極の位置決めも、ティーチング機能で現物合せの感覚で行えます。また加工条件の検索も自動プロによって、対話形式で入力することにより、最適な加工条件が得られます。従来のように加工条件データブックを開く必要はありません。

### ● 省スペース設計でよりコンパクトに

数々の先進機能を搭載し、基本スペックを変更することなく、従来機と比べて約50%(V35F)の省スペース化を実現しました。

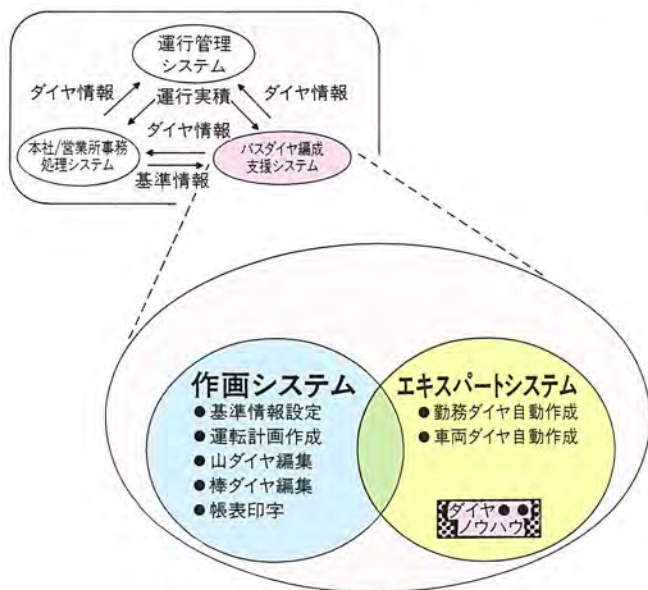
## 機械本体

### V-F形、V-FH形

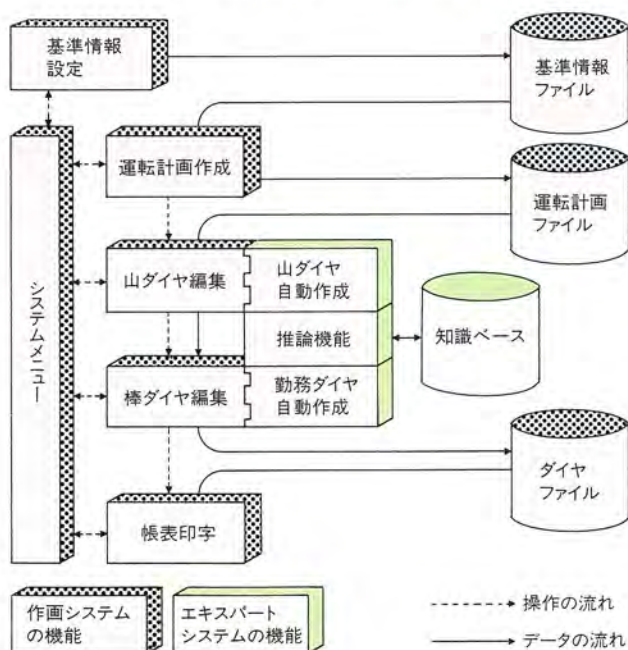
仕様項目		V25F、V25FH	V35F、V35FH	V55F、V55FH
加工槽内形寸法(幅×奥行×高さ)	mm	700×450×310	800×550×310	1000×650×410
最大工作物質量	kg	250	500	1000
テーブル寸法(幅×奥行)	mm	500×350	700×500	800×600
テーブル左右移動行程(X)	mm	250	350	450
テーブル前後移動行程(Y)	mm	200	250	350
主軸上下移動行程(Z)	mm	250	350	350
電極取付面とテーブル上面との距離	mm	450～200	500～150	600～250
最大電極質量	kg	30	75	200
機械本体寸法(幅×奥行×高さ)	mm	1172×1175×2105	1576×1425×2210	1785×1725×2625
機械本体質量	kg	2000	3100	3700
加工液タンク容量	ℓ	385	385	725
加工液濾過方式		ペーパーフィルタ	ペーパーフィルタ	ペーパーフィルタ
機械入力	kVA	2.4	2.5	2.5



# スポットライト バスダイヤ編成支援システム



「バスダイヤ編成支援システム」の機能構成



## ●山ダイヤ編集

各種の編集コマンドを用いて勤務ダイヤ及び車両ダイヤを編成します。



## ●棒ダイヤ編集

山ダイヤ編集で作成した勤務ダイヤや車両ダイヤの情報を棒ダイヤ形式で編集します。



## ●勤務ダイヤの評価

ファジー理論を応用した評価を実行します。



高度な専門知識と豊富な経験が必要とされるバスダイヤ編成業務には、膨大な労力と時間が費やされています。今回完成した「バスダイヤ編成支援システム」は画面上でシステムと対話しながらダイヤを編成する「作画システム」と知的情報を基に基本ダイヤを自動編成する「エキスパートシステム」から構成され、ダイヤ作成者の作業を全面的にサポートします。

## 導入効果

- 乗客のニーズに合った効率良いダイヤ編成が行なえます。
- スタッフ（勤務票）や停留所時刻表等の帳票作成作業が大幅に省力化されます。
- ダイヤ編成ノウハウの伝承が容易になり、人材育成にも役立ちます。

## 特長

- グラフィックエンジン搭載の高性能EWS(エンジニアリングワークステーション)を採用しています。
- 複数系統、複数路線、複数営業所にまたがる複雑なダイヤも編成可能です。
- 豊富な編集コマンドと使いやすいユーザインタフェースにより、優れた作業環境を提供しています。
- 「作画システム」から「エキスパートシステム」へのグレードアップが可能です。
- 「運行管理システム」及び「本社/営業所事務処理システム」との接続により、総合的な「バス総合情報システム」を構築することができます。

## ＜エキスパートシステム＞

- ダイヤ編成ノウハウや制約条件を使って、勤務ダイヤを自動作成します。
- 作成した勤務ダイヤはファジー理論を用いて評価します。
- 乗務員の勤務ダイヤだけでなく、車両の運用ダイヤを作成することもできます。

# プロジェクションモニター スポットライト “LVP-1000V”



カラーテレビの大画面化は、業務用として開発された、CRT方式100インチ投写型ビデオプロジェクターを、家庭用AVに使用する例が増加し、また設置調整性のよい液晶ビデオプロジェクターも急伸長しています。このたび、家庭用AVを目的として、設置調整性がよくCRT方式の高画質を兼ね備えたうえ、三菱電機AV提案である『大画面・高画質・高音質』をさらに発展させた、AVの中核となるプロジェクションモニター“LVP-1000V”を開発しました。

## 特長

### ●家庭用AVとしての設置簡易性および機能

新しく開発した3管1レンズ方式により、ダイナミックコンバージェンス調整を不要とし、スクリーンサイズを変更する際のフォーカス調整は、リモコンにより可能で、各種AVイコライジングを、自照式リモコンで自由に好みの映像にできます。また、80インチの大画面を、6畳の部屋で可能としました。

### ●3管3レンズ方式プロジェクターに迫る高画質

従来の7"CRTより小型の5.5"CRTを使用し、解像度650TV本を実現、また目のフォーカス感に最も影響のある緑CRTには、電磁および静電によるハイブリットフォーカスとし、高解像度を実現しました。

### ●生き生きとした色の再現性

広帯域IQ復調の採用により、忠実な色再生をおこなった上、CRTの緑・青・赤蛍光体から発光される不要なスペクトルを、

ダイクロイックミラーのフィルター効果で削除し、生き生きとした色を再現します。

### ●周辺機器とのシステムアップ

リモコンは、本体だけでなく当社VTR/VDP/BS機器のコントロールが可能で、ラーニング機能により、他社機器のコントロールも可能です。また、周辺機器との相互コントロール端子を装備しました。

## 仕様

投写方式……………3CRT・1レンズによるフロント投写方式

色合成光学系…ダイクロイックミラーによる色合成

投写サイズ……………70" (2.1m)～100" (3.0m)

CRT ……………5.5" 80度偏向 内面R付き

電磁・静電ハイブリットフォーカス(緑)

静電フォーカス(赤/青)

レンズ……………F/1.3 オールガラス8枚構成

リモコン電動フォーカス

リモコン……………EL自照 ラーニング機能

VTR/VDP/BS共用

入力端子……………S・VIDEO(ミニDIN)

VIDEO(BNC)

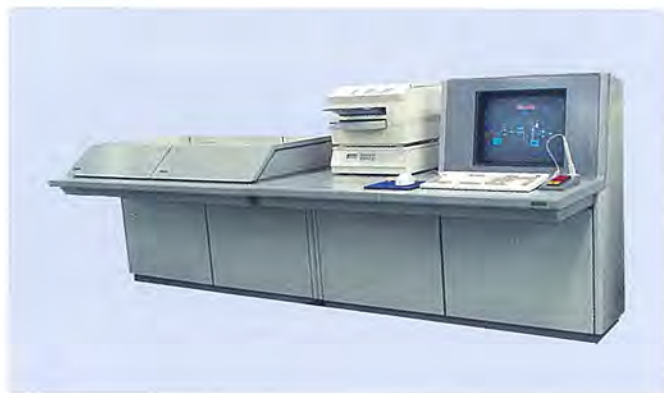
消費電力……………220W

外形寸法……………647(W)×667(D)×236(H)

質量……………32kg



# 三菱水道施設遠方監視制御 スポットライトシステム“W30”



近年、中小の水道供給事業において、住民の生活水準向上に合せて、水道の安定供給が強く要求されるようになり、遠方監視制御システムの需要が拡大しています。そういったユーザーニーズに基づき、次世代システムとして水道施設遠方監視制御システム“W30”を開発しました。本システムは、MELFLEX320を中心に、CRT装置、漢字プリンタ、ハードコピー装置、MELFLEX220等から構成されます。

## 特長

### ●遠制・処理装置一体形システム

遠制親局装置とデータ処理装置を、MELFLEX320を使って一体化しました。それにより、装置間接続に必要なデータバスやPI/Oを省略し、小形化・高速化・低廉化を図りました。

### ●高性能専用CRTの採用

9984文字の高密度表示、16色カラーフルグラフィック表示、重ね合せ表示、スムーズスクロール機能、マルチウィンドウ機能などを備え、表現力を豊かにしました。

### ●豊富な操作デバイス

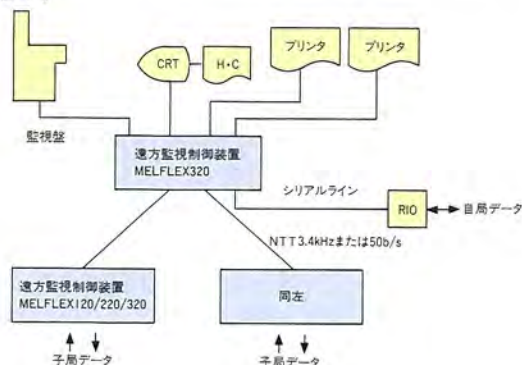
操作デバイスとして、ライトペン、タッチパネル、マウス、キーボード等が選択できるようにしました。

### ●ユーザオープン化

ユーザが、伝送処理項目の追加・修正・スケール変更、プラント画面修正、CRT表示内容・プリンタ印字内容等を、CRT装置を使って、対話形式で行なえます。

### ●親切メッセージ

CRT操作中の、コミュニケーションメッセージや異常発生時のオペレーションメッセージ等きめ細かくガイダンスサービスを行います。



項目表  
〈作成中〉



プラント画面  
〈作成中〉



オペレーションガイダンス  
〈登録中〉

## 仕様

システム規模	子局数	標準16局(拡張にて最大32局)
	表示項目数	最大512点
	アナログ項目数	最大128量
	積算パルス項目数	最大64量
	ON-OFF制御項目	最大128量
	設定値制御項目	最大64量
親局構成	遠方監視制御装置	1式(必須)
	CRT表示装置	1台(必須)
	ハードコピー装置	1台(オプション)
	漢字プリンタ装置	1台又は2台
伝送方式	監視盤	1面(オプション)
	対向方式	(1:1)×N方式 (N≤4) 2:N方式 (N方式 N≤32) 1:N方式 (N≤32)
	伝送路	NTT専用回線 帯域品目3.4kHz NTT専用回線 符号品目50b/s 無線回線 (オプション) 光ファイバーケーブル (オプション)
	伝送速度	50/200/600/1200 ビット/秒
	符号方式	電気学会方式(CDT44ビット) 隣接位相反転方式(52/58ビット)
	総合目次	1枚
CRT画面	システム監視	目次画面1枚、監視画面8枚
	プラント監視	目次画面3枚、プラント画面64枚
	計器表示	目次画面3枚、計器表示8点×16枚
	トレンドグラフ	目次画面3枚、グラフ表示8点×16枚
	アラームサマリ	16点×16枚
	帳票表示・修正	目次画面1枚、日報16枚、月報4枚、年報4枚
	システム情報表示	135枚(システムモニタ機能)
	システムメンテナンス用画面	514枚(ユーザオープン機能)