

MITSUBISHI DENKI GIHO

三菱電機技報



Vol.52 No.6

冷凍・空調特集

三菱電機技報

Vol. 52 No. 6 JUNE 1978

冷凍・空調特集

目次

特集論文

AFS 形空冷式冷凍クーリングユニット	佐々木芳雄	415
寒冷地向け空気熱源ヒートポンプパッケージエアコン	貝瀬俊朗・佐藤康夫	420
PAT 形空冷式パッケージエアコン——年間空調及びオールフレッシュ——	佐藤康夫・倉橋健三・江崎光信	424
店舗用パッケージエアコン《ミスタースリム》	木ノ内達夫・丸山忍	428
冷蔵多段オープンショーケースの熱系動作シミュレーション	山崎起助・瀬下裕・清水誠・桜井正志・松本徹	433
太陽冷暖房・給湯システムのシミュレーションによる評価・選択	大坪道夫	438
CAH-D 形空気熱源ヒートポンプチラーユニット	岩崎善彦・浜宏明	443

普通論文

電磁ポンプ式自動注湯装置	細川鉦二郎・広川利雄・矢田史朗・井上義博・松田勇	449
カラーブラウン管用多段集束電子銃	野阪英荘・鷺野翔一	453
ブラジル向け 500 kV 分路リアクトル	菅寿郎・武智盛明・三浦良和・塩野克己	457
「サンシャイン60」ビル向け 600 m/min 世界最高速エレベータ	蟹江暎二・石井敏昭・吉川博・中田稔	461
インテルサット V 号系用地球局アンテナ	竹内政和・別段信一・青木克比古・水沢丕雄・武田文雄	466
フェイズドアレイレーダ用デュアルモード移相器	紅林秀都司・溝淵哲史・望月俊美	471
タービン発電機回転子軸材の品質評価	山屋恵章	476

特許と新案

半導体装置の製造方法・位相比較継電装置・冷温水機・磁気再生装置		
当社の登録特許一覧		485・486
スポットライト		481
天井吊形店舗用パッケージエアコン・ルームエアコン霧ヶ峰 MS-1804R・みかんジュース KA-140・「押すとポン」		
掃除機 TC-9000・高周波解凍機(表紙-3)		

FEATURING REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING

CONTENTS

FEATURED PAPERS

Series AFS Packaged Air-Cooled Cold-Storage Equipment	Yoshio Sasaki	415
Packaged Air-Source Heat-Pump Air-Conditioners for Use in Cold Districts	Toshiro Kaise & Yasuo Sato	420
Series PAT Packaged Air-Cooled Year-Round or All-Fresh-Air Air-Conditioners	Yasuo Sato et al.	424
Mr. Slim Packaged Air-Conditioners for Stores	Tatsuo Kinouchi & Shinobu Maruyama	428
Thermal Simulation of Refrigerated Multideck Open Showcases	Kisuke Yamazaki et al.	433
Simulation as a Tool for the Evaluation and Selection of Systems for Solar Cooling, Heating and Hot-Water Supply	Michio Otsubo	438
Series CAH-D Packaged Air-Source Heat-Pump Water-Chilling Units	Yoshihiko Iwasaki & Hiroaki Hama	443

GENERAL PAPERS

Automatic Pouring Devices Using Electromagnetic Pumps	Shojiro Hosokawa et al.	449
An Electron Gun with Multistep Focus for Use in Color Picture Tubes	Eisho Nosaka & Shoichi Washino	453
500kV Shunt Reactors for Export to Brazil	Hisao Kan et al.	457
600m/min Elevators, the Fastest in the World, for the Sunshine 60 Bldg.	Eiji Kanie et al.	461
An Earth-Station Antenna for the INTELSAT V System	Masakazu Takauchi et al.	466
A Dual-Mode Phase-Shifter for Use in Phased-Array Radars	Hidetoshi Kurebayashi et al.	471
On Evaluating the Quality of the Rotor Forgings of Steam-Turbine Generators	Yoshiyuki Yamaya	476

表紙

店舗用パッケージエアコン《ミスタースリム》

事務所・一般事務所・ホテル・店舗等の各方面から注目をあびている当社製パッケージエアコンは、今回店舗用としてインテリアにマッチしたデザインで、スペースセービングの大きいスリムタイプのパッケージエアコン《ミスタースリム》を発売した。

写真は埼玉県新座市にあるコーヒショップ「鐘の鳴る丘」に納入した PSD-3 形(空気熱源ヒートポンプドライタイプ)で、格調高いムードで店主の好評を得ている。

COVER

Mr. Slim Packaged Air-Conditioners for Stores

Mitsubishi Electric's lines of packaged air-conditioners have gained attention in a variety of fields, including offices, hotels and stores, and the Corporation now announces the Mr. Slim line—large, space-saving packaged units that are designed to complement store interiors.

The cover photo shows a Model PSD-3 air-source heat-pump unit installed in the Kanenonaru-Oka coffee shop in Niiza, Saitama Prefecture. The owner is particularly pleased with the decorative effect.

アブストラクト

AFS 形空冷式冷凍クーリングユニット

佐々木芳男

三菱電機技報 Vol.52・No.6・P415～419

当社ではF級(－20℃以下)冷蔵庫の冷却設備として、現地工事、運転保守が簡単に信頼性の高いパッケージタイプの冷凍クーリングユニットを生産販売しているが、このたび業界に先がけて、大形容量の空冷シリーズを開発したので概要を報告する。冷却水系統の諸問題を解決するとともに、霜とりやランニングコストの面でも大きな特長をもったシリーズの仕様・構造及び、冷却と除霜の性能などについて報告する。

太陽冷暖房・給湯システムのシミュレーションによる評価・選択
大坪道夫

三菱電機技報 Vol.52・No.6・P438～442

太陽冷暖房・給湯システムの開発・普及のためには、そのシステムの経済性を検討する必要がある。現在考えられるシステムの数、集熱器・蓄熱槽・熱源機・補助熱源などの基本的要素を組合せただけでも非常に多い。この報告では、それらの中から有望なシステムを選択するための技術的有望性の検討と、そのシステムの設備価格や節約エネルギーなどの経済性評価を行うシミュレーションプログラム、及びその解析結果について述べる。

寒冷地向け空気熱源ヒートポンプパッケージエアコン 貝瀬俊朗・佐藤康夫

三菱電機技報 Vol.52・No.6・P420～423

取扱いの便利さ、省エネルギーなどの観点から空気熱源ヒートポンプが注目されてきており、特に東北・北陸などの寒冷地においてその要望が強くなっている。そこで当社は、IC制御によるヒートポンプコントローラにより除霜特性を改善した寒冷地向け空気熱源ヒートポンプパッケージエアコンを開発した。ここにその特長、構造及び低外気温における運転特性、除霜特性について紹介する。

CAH-D形空気熱源ヒートポンプチラーユニット

岩崎善彦・浜 宏明

三菱電機技報 Vol.52・No.6・P443～446

セントラル冷暖房の空気熱源ヒートポンプチリングユニット《サニーパック》CAH形は非常に好評を博しているが、このたび、低外気温時の暖房特性の改善、騒音の減少等をもりこんだD形に改良したので、その特性について述べる。

PAT 形空冷式パッケージエアコン一年間空調及びオールフレッシュ 佐藤康夫・倉橋健三・江崎光信

三菱電機技報 Vol.52・No.6・P424～427

室外送風機の回転数制御を行うファンコントローラと、圧縮機始動補償、蒸発器着霜防止、冷凍能力の容量制御機能を得るためのホットガスバイパス弁コントローラの組合せにより運転範囲の広い信頼性の高い制御方式を実現した。オールフレッシュ及び年間空調用PAT形パッケージエアコンを開発したので、その制御方式と運転特性を紹介する。

電磁ポンプ式自動注湯装置

細川鉦二郎・広川利雄・矢田史朗・井上義博・松田 勇

三菱電機技報 Vol.52・No.6・P449～452

自動注湯装置は、鋳物工場の自動造型ラインとカップルして鋳型に自動的に熔融金属を注ぎ込み、良質の鋳物を連続的に生産する設備である。電磁ポンプ式は、他の加圧式・ノズルストップ式・傾注式と比較して電流制御によるため、注湯速度の変変性・応答性に優れ、かつ可動部がないこと、非金属介在物を流出させないことなどの特長を有する。本稿では、このたび製品化した三菱電磁ポンプ式自動注湯装置の概要、及び技術的問題点とその解決策について述べる。

店舗用パッケージエアコン《ミスタースリム》

木ノ内達夫・丸山 忍

三菱電機技報 Vol.52・No.6・P428～432

近年、小規模な店舗を主とした接客サービス業での空調和機の需要が注目されている。従来この種の空調和用には設備用として汎用化された一般のパッケージエアコンが使用されていたが、要求される機能が異なるため対応しにくくなった。今般これに対処し更に積極的に需要を拡大していくために三菱店舗用パッケージエアコン《ミスタースリム》をシリーズとして完成し販売を開始した。ここにその特長・構造・性能などについて紹介する。

カラーブラウン管用多段集束電子銃

野阪英荘・鷺野翔一

三菱電機技報 Vol.52・No.6・P453～456

従来のカラーテレビでは、明るい画面やニュースなどの白文字の出る画面でホークスがぼける現象があったが、当社ではこの問題点を解決するため、位相空間の概念を導入した新しい電子軌道解析理論を確立し、従来の電子銃と比べ、明るい画面や白文字の解像度が30%(当社比)向上した新方式のマルチ ステップ フォーカス電子銃を開発した。その電子銃の電極構造の特長、特性について述べ、関係方面に対する参考に供したい。

冷蔵多段オープンショーケースの熱系動作シミュレーション

山崎起助・瀬下 裕・清水 誠・桜井正志・松本 徹

三菱電機技報 Vol.52・No.6・P433～437

最近、オープンショーケースにおいては省エネルギー化と食品安定保冷の要求が特に強まっている。この要求を満たすためには、店内の空調条件や機器特性に関連する多くの要因を総合的に考慮しなければならないので、電算機による動作シミュレーションが有力な方法となる。本報では、冷蔵多段オープンショーケースに対し、比較的簡便で実機動作との対応のよいシミュレーションの方法と計算例について述べ、今後の機器最適化研究及び設計の一助とする。

ブラジル向け500kV分路リアクトル

管 寿郎・武智盛明・三浦良和・塩野克己

三菱電機技報 Vol.52・No.6・P457～460

最近の分路リアクトルは、大容量化と超高压化及び超々高压化の傾向があるが、容量と電圧の面で記録品であるブラジル向け500kV分路リアクトルが完成した。その紹介を行うとともに、最近の当社分路リアクトルが有している技術的特長について、絶縁構造、磁界解析、リアクタンスの特性・損失・騒音と振動にわたって述べた。また、今後の大容量化に備えて、性能や信頼性の面で優れた特長を有する新構造の紹介も行っている。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 6, pp. 438~42 (1978)

Simulation as a Tool for the Evaluation and Selection of Systems for Solar Cooling, Heating and Hot-Water Supply

by Michio Otsubo

The development and popularization of solar cooling, heating and hot-water supply systems requires that consideration be given to system economy. Even with combinations of the basic components—collector, storage tanks, heat source, auxiliary heater—the number of systems presently conceivable is extremely large. The article discusses a simulation system for performing economical evaluation of installation costs and the amount of energy saved, and evaluations of technological feasibility in order to select promising systems, and presents the results of the analysis.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 6, pp. 415~19 (1978)

Series AFS Packaged Air-Cooled Cold-Storage Equipment

by Yoshio Sasaki

Mitsubishi Electric is marketing packaged cold-storage units that feature simple installation work, operation and maintenance, for Class F facilities (-20°C and below). The article introduces a series of large-capacity, air-cooled units developed as the first of their kind. This series incorporates solutions to various problems affecting the cooling-water system, as well as offering advances in terms of defrosting and running cost, and the article reports on the specifications, construction, and cooling and defrosting performance of the series.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 6, pp. 443~46 (1978)

Series CAH-D Packaged Air-Source Heat-Pump Water-Chilling Units

by Yoshihiko Iwasaki & Hiroaki Hama

Under the name 'Sunny Pack,' Series CAH units for central air-conditioning and heating have attained a high level of popularity. The article reports on the features of the improved Series CAH-D, which offers better heating performance at low outdoor temperatures with reduced noise.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 6, pp. 420~23 (1978)

Packaged Air-Source Heat-Pump Air-Conditioners for Use in Cold Districts

by Toshiro Kaise & Yasuo Sato

Air-source heat pumps have attracted attention for their ease of operation and energy saving, with demand particularly strong in northern Japan, where the winters are severe. For this reason, Mitsubishi Electric has developed units specifically for such districts, featuring an IC heat-pump controller that has improved defrosting characteristics. The article describes the features and construction of the air-conditioners, as well as their operating and defrosting characteristics at low outdoor temperatures.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 6, pp. 449~52 (1978)

Automatic Pouring Devices Using Electromagnetic Pumps

by Shojiro Hosokawa, Toshio Hirokawa, Shiro Yata, Yoshihiro Inoue & Isamu Matsuda

Automatic pouring devices are applied in the automatic molding line of foundries as a means of producing consistently good castings. Due to its reliance on current control, the electromagnetic pump system is superior to such alternatives as the pressurized system, nozzle-stopper system and tilting system in terms of pouring rate regulation and responsiveness. And because such pump systems are without moving parts, they have the additional advantage of not producing any nonmetallic inclusion. The article describes Mitsubishi's automatic pouring devices using electromagnetic pumps, which have recently gone on the market, and enumerates technological problems and their solutions.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 6, pp. 424~27 (1978)

Series PAT Packaged Air-Cooled Year-Round or All-Fresh-Air Air-Conditioners

by Yasuo Sato, Kenzo Kurahashi & Mitsunobu Esaki

A series of air-cooled air-conditioners has been developed, providing year-round or all-fresh-air operation by means of a control system having a wide operating range and high reliability developed by combining a fan controller that controls outdoor fan speed and a hot-gas bypass valve controller that provides compressor starting compensation, evaporator frost prevention and cooling-capacity control functions. The article describes the control system and the running characteristics of the air-conditioners.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 6, pp. 453~56 (1978)

An Electron Gun with Multistep Focus for Use in Color Picture Tubes

by Eisho Nosaka & Shoichi Washino

To overcome the problem of blurring of bright images or white lettering on color television, Mitsubishi Electric has applied the concept of phase-space dynamics to develop a new theory for the analysis of electron-beam tracing. This has resulted in the development of a new type of multistep-focus electron gun that offers image brightness and white-print resolution 30% better than that of earlier designs. The article discusses the features and characteristics of the electrode structure of the gun.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 6, pp. 428~32 (1978)

Mr. Slim Packaged Air-Conditioners for Stores

by Tatsuo Kinouchi & Shinobu Maruyama

Until recently the demand for air-conditioning equipment from small retail stores and other service-industry establishments has been filled by general-use packaged air-conditioners. But because of the variety of functions demanded, this approach is no longer satisfactory. The Mr. Slim series is now being marketed to meet this wider demand. The article describes the features, construction and performance of these air-conditioners.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 6, pp. 457~60 (1978)

500kV Shunt Reactors for Export to Brazil

by Hisao Kan, Moriaki Takechi, Yoshikazu Miura & Katsumi Shiono

The trend toward shunt reactors of higher and higher capacity and voltage has resulted in these record-breaking units. The article describes the reactors and goes on to discuss the insulation structure, field analysis, reactance, loss, noise and vibration characteristics of Mitsubishi Electric's latest shunt reactors. Also described is a new structure that possesses the outstanding performance and reliability required for further increases in capacity.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 6, pp. 433~37 (1978)

Thermal Simulation of Refrigerated Multideck Open Showcases

by Kisukey Yamazaki, Yu Seshimo, Makoto Shimizu, Masashi Sakurai & Toru Matsumoto

Open showcases are increasingly required to provide lower energy consumption and more stable cold storage of foods. Since these demands can only be satisfied by comprehensive consideration of the many factors connected with store air-conditioning conditions and equipment characteristics, thermal simulation by computer is a powerful tool.

The article discusses a simulation technique that, while relatively simple, corresponds well to actual operation of refrigerated multideck open showcases. This will be an aid to optimized research and design for equipment in the future.

アブストラクト

「サンシャイン60」ビル向け 600m/min 世界最高速エレベータ
蟹江暎二・石井敏昭・吉川 博・中田 稔
三菱電機技報 Vol.52・No.6・P461～465

エレベータの速度は、高層化するビルの利用効率増大の重要な手段として、高速化が進んできた。従来記録は 540m/min で、これはここ数年破られていない。当社ではこの記録に挑戦し、世界最高速の 600m/min エレベータを開発したので、関連する技術開発を含め概要を紹介する。このエレベータは、超高速にもかかわらず、高い安全性、高性能を兼ね備え、エレベータ技術史上、一時期を画するものである。

インテルサット V 号系用地球局アンテナ
竹内政和・別段信一・青木克比古・水沢丕雄・武田文雄
三菱電機技報 Vol.52・No.6・P466～470

国際衛星通信の需要の増加に対処するため、インテルサット V 号系では、直交偏波共用による周波数再利用方式が導入され、そのため地球局アンテナの交さ偏波特性の大幅な改善が必要となった。また各種回線の輻輳に伴い、各回線間の電波干渉低減を図るために、地球局アンテナの広角指向性の改善も必要となった。これらの条件を満たす地球局アンテナを開発・製作したので報告する。なお、ここで製作したアンテナは英国通信省に納入するものである。

フェイズド・アレイ・レーダ用デュアルモード移相器
紅林秀都司・溝渕哲史・望月俊美
三菱電機技報 Vol.52・No.6・P471～475

最近、国内外では、フェイズド・アレイ・レーダの研究開発が活発に行われている。移相器は、その死命を制するとも思われる重要な回路素子であり、ここに報告するデュアルモード移相器は、最も総合特性の優れた可逆移相器で、この用途の移相器として最適であると思われる。我々は、この移相器に関して世界のトップレベルの特性を得ており、この報告では、主として、Xバンド反射形移相器の特性と移相器駆動方法について記述している。

タービン発電機回転子軸材の品質評価
山屋恵章
三菱電機技報 Vol.52・No.6・P476～480

タービン発電機回転子軸材は、製造技術の飛躍的進歩により、高品質かつ巨大なものが製造されるようになってきている。軸材の品質は特に靱性の向上及び内在欠陥の減少の 2 点において顕著である。この論文では現在の軸材の品質について概観し、実際の砂かみ欠陥を切出して評価した実例と新しく改良した半月溝超音波探傷法に関して述べる。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 6, pp. 471~75 (1978)

A Dual-Mode Phase-Shifter for Use in Phased-Array Radars

by Hidetoshi Kurebayashi, Akihito Mizobuchi & Toshimi Mochizuki

Active research concerning phased-array radars is going on both in Japan and abroad. The phase shifter may be termed the most vital of its circuit elements, and the dual-mode type described in the article is the reciprocal phase-shifter offering the most outstanding total performance, and is considered to be optimally suited for use in phased-array radars. The authors have achieved with this phase shifter the highest performance level, and the article deals primarily with the performance and driving techniques of the X-band reflection-type phase shifter.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 6, pp. 461~65 (1978)

600m/min Elevators, the Fastest in the World, for the Sunshine 60 Bldg.

by Eiji Kanie, Toshiaki Ishii, Hiroshi Yoshikawa & Minoru Nakata

Elevator speeds have shown great increases as a vital means to improve utilization of taller and taller buildings. The previous record of 540 m/min has stood for several years but has now fallen with the development by Mitsubishi Electric of 600m/min elevators. The article describes these elevators and related technological developments.

Despite their very high speed, these elevators combine the highest levels of safety and performance, and mark an epoch in elevator technology.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 6, pp. 476~80 (1978)

On Evaluating the Quality of the Rotor Forgings of Steam-Turbine Generators

by Yoshiyuki Yamaya

With rapid advances in manufacturing technology, it has become possible to produce rotor forgings of high quality and prodigious size for steam-turbine generators. In terms of quality, emphasis falls specifically on two points—increased toughness and reduction of internal flaws. The article gives an overview of the present situation regarding forging quality; on the subject of actual sand-inclusion flaws, it presents an example of an evaluation and describes an improved method of ultrasonic inspection using crescent-shaped grooves.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 52, No. 6, pp. 466~70 (1978)

An Earth-Station Antenna for the INTELSAT V System

by Masakazu Takeuchi, Shin'ichi Betsudan, Katsuhiko Aoki, Moto-o Mizusawa & Fumio Taketa

Because of the burgeoning demand for international communication by satellite a frequency-reuse system involving dual orthogonal polarization has been applied to INTELSAT V, necessitating considerable improvement in the cross-polarization characteristics of earth-station antennas. Furthermore, with the convergence of various types of links, it has become necessary to improve the wide-angle radiation characteristics of these antennas in order to reduce interference among links. The article describes the development and manufacture of an antenna that satisfies these conditions and has been delivered to the British post and telecommunications system.

AFS形空冷式冷凍クーリングユニット

佐々木芳男*

1. ま え が き

当社はF級（ -20°C 以下）冷蔵庫の冷却設備として、現地工事・運転が簡単で信頼性の高い水冷式パッケージ形の冷凍クーリングユニット（ACS形）を生産販売しており、次に挙げる特長をもって市場の要求に適合してきた。

- (1) 機械室不要のパッケージ方式の冷凍装置。
- (2) 冷凍保安責任者など特別な資格をもたない人にも、運転できる自動制御装置を備えたユニット形冷凍装置。
- (3) 現地工事の少ない省力形冷凍装置。
- (4) 工場における組立試運転を完了した高信頼性冷凍装置。

しかし、水資源の不足や水質維持管理費増加等に伴い、空冷化への要望が強くなってきた。

今回当社は、市場の要請にこたえ、空冷式の大形低温パッケージ形クーラ「空冷式冷凍クーリングユニット AFS 形」を開発したので紹介する。

2. 特 長

- (1) 外気温度が $-40\sim 50^{\circ}\text{C}$ の広範囲で安定運転

夏期と冬期あるいは、昼夜の外気温度差が大きい地域では、最高温度を考慮して凝縮器の容量を選定する。したがって、低外気温になると凝縮圧力が極端に低下し、蒸発器への冷媒供給量が減少して冷却不足になったり、低圧側圧力低下の保護装置が作動して異常停止してしまう。よって凝縮能力を制御する必要があり、凝縮器用送風機の風量制御（回転数制御や台数制御）があるが、外気温が -10°C 以下になると風量制御だけでは高圧を適正に維持しにくいので、AFS形は三方弁形の自動圧力調整弁を使用している。この調整弁は図11.に示すように凝縮器出口の冷媒液に圧縮機の吐出ガスを混

合して受液器に供給することにより高圧を約 12 kg/cm^2 に維持している。外気温度が高い場合は、圧縮機吐出ガスは全量凝縮器に入り凝縮する。上述の高圧制御では外気温度が低下しても液冷媒の過冷却度が一定に保たれるのが特長である。したがって蒸発器への冷媒供給量も一定になり運転が安定している。

- (2) ランニングコストの安い2段圧縮式

F級冷蔵庫では、蒸発温度が -30°C （低圧圧力が 0.65 kg/cm^2 ）以下となり、圧縮比（高圧／低圧）は空調機と比べるとはるかに大きい。圧縮比が大きくなると冷却能力が低下し、成績係数（冷却能力／所要動力）も悪くなるが単段圧縮式に比べると2段圧縮式のほうが影響が少ない。したがって、空冷式の場合は特に2段圧縮式が有利である。単段圧縮式と2段圧縮式の成績係数の1例を表1.に示す。

- (3) 寒冷地でも確実な除霜

低温冷蔵庫の冷却設備では除霜が最も大切である。AFS形は冷媒配管系統がシンプルで信頼性の高い「ホットガスバイパス方式」の除霜方式を採用している。この方式では、凝縮器の圧力を 10 kg/cm^2 程度に保って行うのが効果的である。凝縮器圧力が 8 kg/cm^2 以下では除霜時間が長くなるし、 14 kg/cm^2 以上では圧縮機動力のピークが大

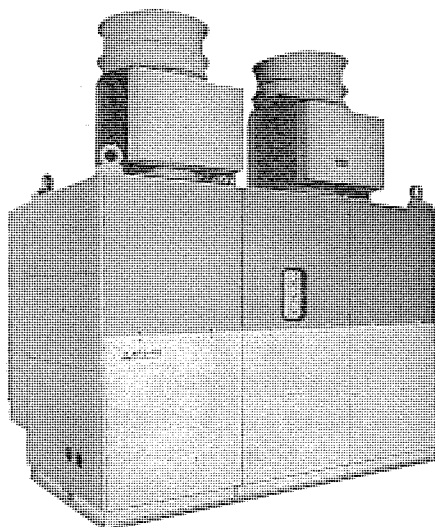


図 1. 冷凍クーリングユニット AFS 形外観

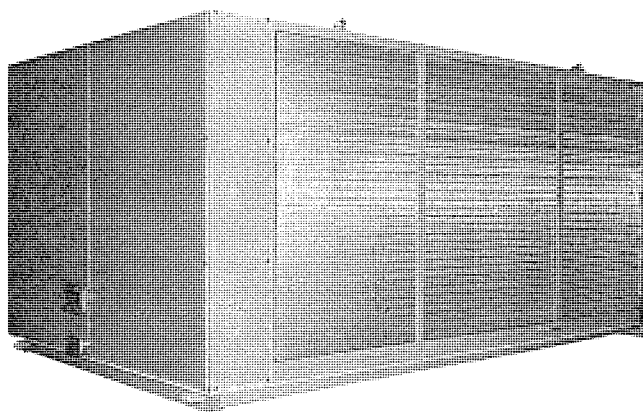


図 2. 空冷凝縮器 RMA 形外観

表 1. 単段圧縮式と2段圧縮式の成績係数の比較例

方式	C. T.								
	26°C	30°C	34°C	38°C	42°C	46°C	50°C	54°C	56°C
単段圧縮式	110	101	88.1	75.5	63.0	52.2	—	—	—
2 段 圧 縮 式	118	112	107	100	96.1	91.7	87.4	82.7	80.2

注) C. T. 凝縮温度を示す

(計算の方法) ・庫内温度 -30°C 、蒸発温度 -37°C 、冷媒 R-22 とし、

凝縮温度の変化に対する成績係数を求めた。(計算値)

・表の数値は2段圧縮式で凝縮温度 38°C の場合を100としてその他の条件の場合の割合を示す。(当社比)

・ピストン口径・行程が同じ4気筒を使用

単段圧縮式 全4気筒

2段圧縮式 低段3気筒・高圧1気筒

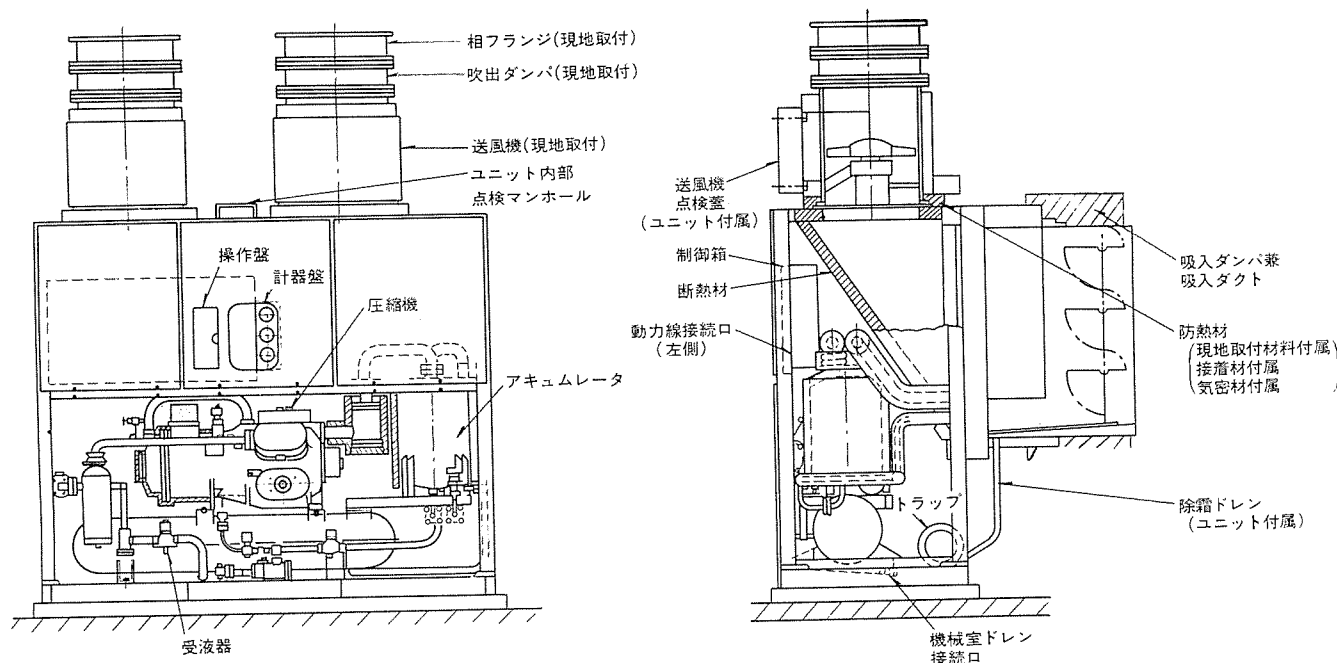


図 3. AFS 形 本体構造図

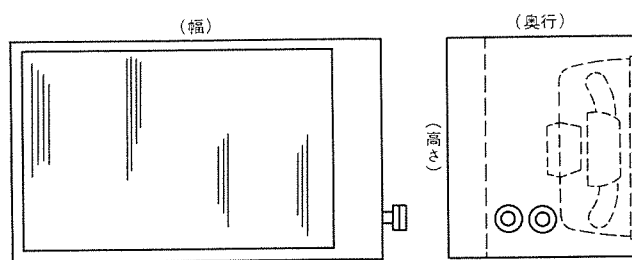


図 4. 凝縮器構造図

表 2. AFS 形・RMA 形 振動・騒音値

本体 (AFS形)									
形 名	項 目	電 源 (Hz)	振 動 値	騒 音 値 (測定箇所は下図による) <ホン>					
				(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
AFS-25	50	3	68	69	69	69	68	69	
	60	2	69	69	69	69	69	69	
AFS-40	50	3	69	68	69	69	69	69	
	60	2	70	70	70.5	70.5	70.5	70.5	
AFS-50	50	3	70	69	70	69.5	70.5		
	60	3	71	70	71	71	72	73	
AFS-80	50	4	72.5	71	73	72	73		
	60	3	73	72	73	72.5	74		

凝縮器 (RMA形)									
形 名	項 目	電 源 (Hz)	振 動 値	騒 音 値 (測定箇所は下図による) <ホン>					
				(1)	(2)	(3)	(4)	平均	
RMA-15	50	1.5	66	63	63	67	65		
	60	1.5	68	66	65	68	67		
RMA-20	50	2.0	67	64	64	68	66		
	60	2.0	69	67	66	69	68		
RMA-30	50	2.0	68	65	65	69	67		
	60	2.0	70	68	67	70	69		
RMA-40	50	2.5	69	65	65	70	68		
	60	2.5	70	68	68	71	69		

本体備考) 1. 騒音の単位はホン(Aスケール)

2. 暗騒音は60ホン

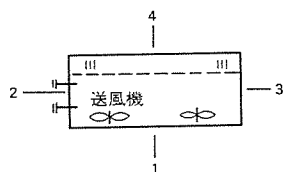
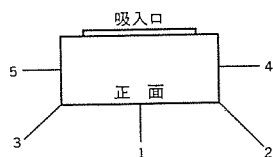
3. 騒音は下記の各場合においてユニットから1m離れた、高さ1mの点で測定した。

4. 振動の単位は μ (片振幅)

5. 振動はユニットの基礎(アングル)にて測定

6. 運転は標準状態

凝縮器備考) 測定箇所以外は本体と同じ



きくなる。またホットガスの温度が高過ぎると水蒸気の発生量が多くなる。ホットガスバイパス方式の除霜では、圧縮機吐出ガスが凝縮器をバイパスして空気冷却器を加熱するが、吐出ガスの一部は凝縮圧力調整弁に入って圧力調整している。したがって、寒冷地においても安定した凝縮圧力が保たれて確実な除霜ができる。

(4) リモートコンデンサタイプ

冷蔵庫の温度・外気条件・設置場所などによりコンデンサ(凝縮器)の容量や形状も標準組合せ以外のものを選択できる。国内における外気温度条件では、庫内温度 -40°C 以下の超低温仕様に対して小容量凝縮器にすることができる。また、中近東諸国をはじめ高外気温度の地域への輸出には大容量凝縮器を組合せることになっている。

(5) 除霜時の庫内温度上昇が少ない。

AFS形は、冷気の吸入口と吹出口に自動ダンパを備え、除霜時にはダンパが閉じる。このためホットガスは空気冷却器を効率的に加熱して霜取りをする。したがって庫内ふんい気の冷気の影響を受けにくいので加熱量が少なく、一方空気冷却器から庫内に拡散する熱気や水分が少ない等の特長がある。また除霜後は空気冷却器の冷却を先行し、遅れて送風機が運転するので除霜時の庫内温度上昇は低い。

(6) 冷蔵庫の有効容積が大きくなる

AFS形は冷蔵庫外に設置するので、高価な庫内スペースを有効に使用できる。また機械部と空気冷却器部を上下に配列した薄形のパッケージなので荷さばき場(プラットフォームなど)での荷役にも支障がない。

(7) 低騒音・低振動

最近は騒音に対する公害意識が高く、各都道府県で条例により規制されている。当社では空調設備として大形の空気熱源ヒートポンプを販売している実績から騒音対策にも細心の注意を払った凝縮器シリーズを製作している。また本体には、低騒音形半密閉2段

圧縮機を使用し防音パネルを付けているほか、軸流送風機のケーシングには防熱材を使用するなど低騒音ユニットになっている。各形式の騒音・振動値を表 2. に示す。

3. 仕様・構造・据付け

3.1 仕様の概要

主な仕様を表 3. に示す。

(1) 基本のユニットは、AFS-25、AFS-40、AFS-50、AFS-80 の 4 形式で、これらの基本ユニットはすべて法定トン数 20 トン以下で高圧ガス取締法の第 2 種製造設備である。

(2) 電源は 200 V、50/60 Hz を標準とし 400 V 級も製作する。

(3) 圧縮機は、始動時と除霜時に容量制御するが、冷却運転時は庫内温度調節サーモ（冷氣吸入口に感温部がある）による ON-OFF 制御である。これは効率のよい 100 % 運転を行い電気代を節約できる。

(4) 庫内温度調節サーモは、ON-OFF の温度差も変えられるので、ひん繁な発停をさせて効率のよい運転をすることができる。

(5) 本体送風機は静圧の高い軸流送風機を使用しているので、冷氣の到達距離は約 20 m である。したがって庫内ダクトを省略できる。

(6) ユニット本体は、本体と送風機に分割して発送するが、本体部分は全形式とも一体形であり、冷媒配管系統を現地で再組立てする必要はない。

(7) 凝縮器は、冷却効率をよくする風の均一分布・低騒音化に留意して複数台の送風機を使用している。

(8) 電源容量は、試運転時の除湿とウルダウン及び除霜などの高負荷時の 1 台当たりの値を示している。2 台以上設備する場合、同時始動・同時除霜を避けるために必要なインタロック用のサービス端子を標準形に備えている。

(9) 庫内温度が -40°C 以下の超低温仕様に対しては、送風機の容量を小さくするとともに、冷媒の変更 (R-502)、サブクーラの追加

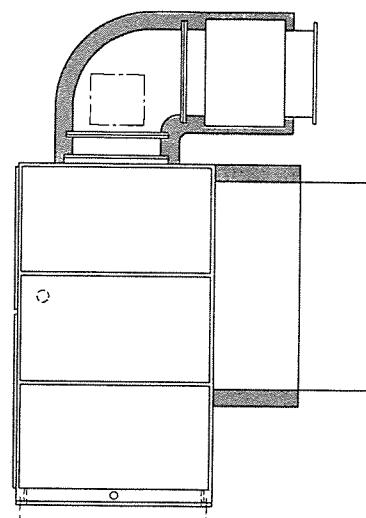


図 5. 後吹出形

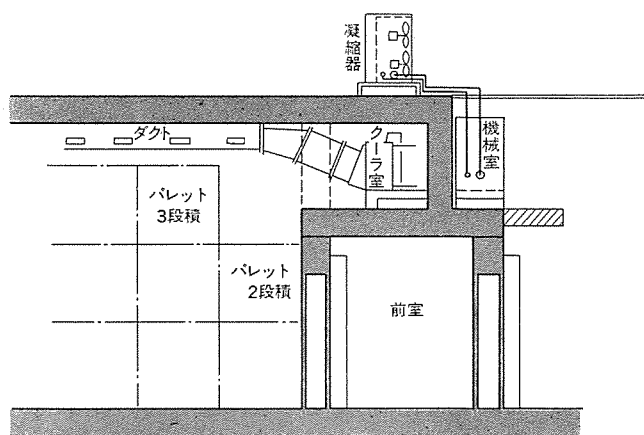


図 6. 前室設置形

表 3. AFS 形仕様

項 目	形 名	AFS-25	AFS-40	AFS-50	AFS-80
電 源		標準 3 相 200 V 50/60 Hz (400 V も製作可)			
庫 内 温 度 範 囲	$^{\circ}\text{C}$	$-20 \sim -55$ (ただし -40°C 以下は超低温仕様)			
冷 却 能 力	kcal/h	16,000/19,500	23,700/28,300	32,200/39,000	48,200/57,800
圧 縮 機	形 式	密閉 2 段			
	軸 動 力	10.0/12.2	15.4/18.6	20.2/25.5	31.8/39.0
	クランクケースヒータ	250	250	250	400
	始 動 方 式	スターデルタ方式			
	容 量 制 御	0~100			
	法 定 ト ン 数	4.6/5.5	8.5/10.3	9.1/11.0	13.6/16.5
空 気 冷 却 器	形 式	プレートフィン形			
	形 式 × 台 数	軸流ファン×2			
	風 量	180/280	230/320	330/470	480/700
	機 外 静 圧	10	13	14	15
	電 動 機 入 力	0.55×2/0.8×2	0.8×2/1.4×2	1.5×2/2.2×2	2.2×2/3.3×2
	形 名	RMA-15	RMA-20	RMA-30	RMA-40
	熱 交 換 器	プレートフィン形			
	風 量	300/345	400/460	500/575	800/920
	送 風 機	プロペラファン			
	電 動 機 × 台 数	0.4 kW×3 台	0.4 kW×4 台	0.4 kW×5 台	0.4 kW×8 台
除 霜		ホットガスバイパス方式・ドレン板ヒータ・吸入口ダンパ・吹出口ダンパ			
温 度 調 節 器		電子サーモ (ディファレンシャル 1.5~6 deg 可変)			
冷 媒		R-22 (庫内温度 -40°C 以下は R502) 現地準備			
冷 凍 機 油		スニソ 3 GS (チャージ済)			
必 要 電 源 容 量	kVA	31.5/34.5	42/50	48.5/52.5	66/75
本 体 重 量	kg	2,480	2,850	3,190	4,370
凝 縮 器 重 量	kg	390	600	750	1,200

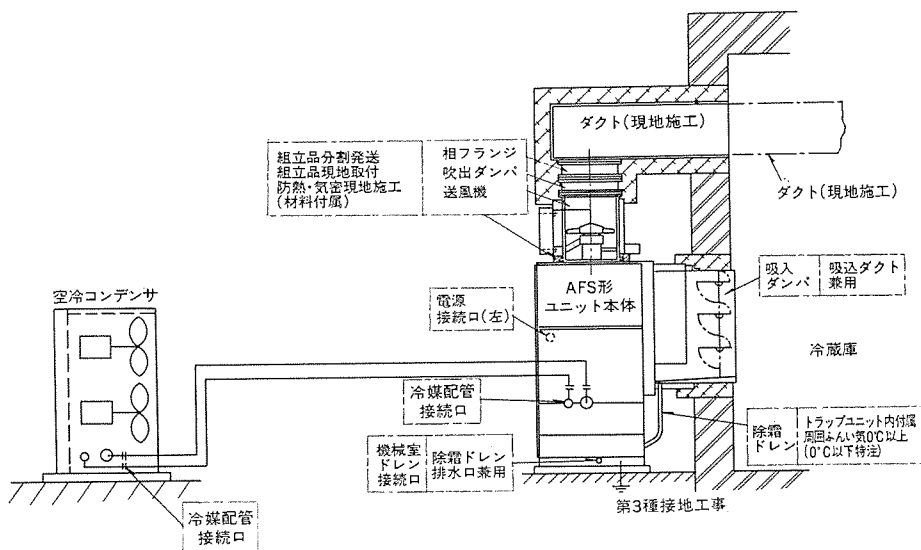


図 7. 標準据付例

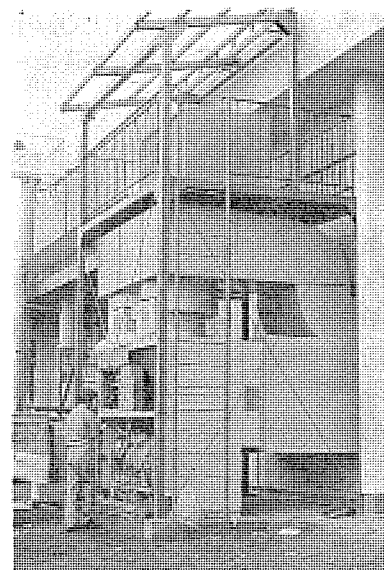


図 8. 青森県某所納め AFS-25 形 試運転風景

など冷却能力の増大を図っている。

(10) このほか次のような特殊仕様がある。

- (a) 吹出口を後面にする後吹出形。L 形の防熱ダクトも工場製作し、送風機を横置きにする。(図 5. 参照)
- (b) C 級 ($-2 \sim 10^{\circ}\text{C}$) の冷却設備としても使用できる C 級/F 級切換形。
- (c) 軸流送風機の容量を変えた大風量・小風量形。
- (d) 庫内のデッドスペースになる前室上部にクーラを設置する横形。(図 6. 参照)

3.2 構造

本体と凝縮器の構造を図 3. と図 4. に示す。

- (1) 本体はサービス性を最も重視した機器配列とし、必要な保守はすべてユニットの前面で行える。
- (2) 現地では吹出ダクトを製作し、防熱する。吸入部は、吸入ダンパのわくがダクトとして使用できる。空気冷却器へ紙くずなどが飛ぶ心配のある場合は網をつけるのに便利なフックがダンパのわくに付属してある。吹出部には吹出ダンパと相フランジを付属しているが、建屋の高さが低い場合には相フランジを省略できる分割形状になっている。
- (3) 送風機を横向きに取付ければ全体の高さが低くなるが、この場合は吹出ダンパはユニット本体に取付ける。
- (4) 送風機のケーシングには、モータ保守用の点検ふたがついているので常温ふんい気でサービスできる。
- (5) 除霜排水と機械部のドレン配管はユニットに 1 本接続すればよい構造になっている。除霜排水はクーラから水封トラップをつけた透明なホースで機械室部ドレンパンに接続しているの、ドレン配管にはトラップをつける必要はないしごみの確認ができる。
- (6) AFS 形は、降雪地域に納入されていることが多いので、凝縮器は雪害防止に対処しやすい構造とした(送風機の吹出方向と逆向きの風の影響が心配される場所に設置する場合は、フードをオプションとして付属できる)。また、多層階冷蔵庫の荷さばき室に設置する場合にも窓側に設置すればダクトを設ける必要はない。送風機のサービスは側面パネルから実施できるように配慮している。

(7) 運転操作はユニット前面の計器板で行う。運転状態を示す圧力計(高圧・中間圧・低圧・油圧)や表示ランプもほぼ目の高さの位置に配置している。

3.3 据付け

標準的な据付例を図 7. に示す。

3.3.1 据付場所

- (1) 本体は冷蔵庫外の屋内設置が標準になっている。本体を屋外に設置する場合は、図 8. に示すようにする。
- (2) 本体は防滴形仕様もあるが、送風機部分には降雨の影響がないように屋根をかける必要がある。
- (3) 本体の周囲温度は $0 \sim 50^{\circ}\text{C}$ を標準としているが、寒冷地向けには除霜排水トラップにヒータを取付けている。
- (4) 本体と凝縮器の回りにはサービススペースが必要である。
- (5) 降雪地域では、地面より十分高い位置に据付ける配慮が必要である。

3.3.2 配管

- (1) 凝縮器は本体と同一レベル以上、高さ 20 m 以下に設置するのが望ましく、立上がり配管には 10 m ごとにオイルトラップを設ける必要がある。
- (2) 配管サイズは、表 3. に示すものを使用する。
- (3) 本体と凝縮器の配管は、相当長さ 30 m 以内が望ましい。

4. 性能

4.1 冷却性能

凝縮器の特性曲線及び凝縮温度に対する冷却能力と圧縮機動力の変化特性を図 9. に示す。

(外気温度 35°C ・庫内温度 -30°C ・50 Hz の場合)

凝縮温度と外気温度の差は 7.5°C になる。したがって凝縮温度は $(35^{\circ}\text{C} + 7.5^{\circ}\text{C}) = 42.5^{\circ}\text{C}$ となり、標準仕様(凝縮温度 38°C)に対して冷却能力は 98 %・圧縮機動力は 103 % になる。

外気温度が低い場合は、凝縮圧力調整弁が働いて凝縮温度を約 35°C に維持する。指定の銅配管を使用した場合配管相当長さ 30 m に対する圧力損失は極めて少なく能力に対する影響は少ない。液配

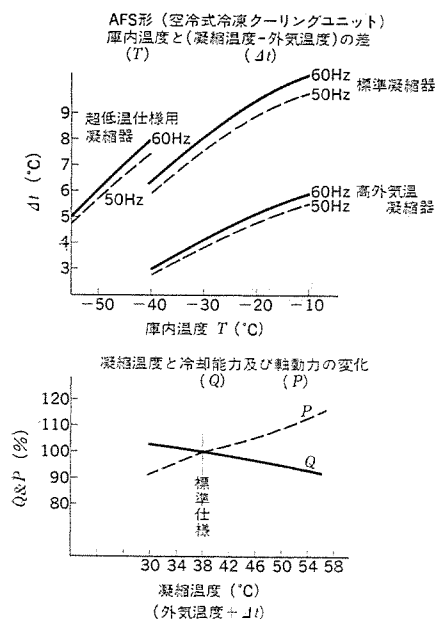


図 9. AFS 形 冷却特性

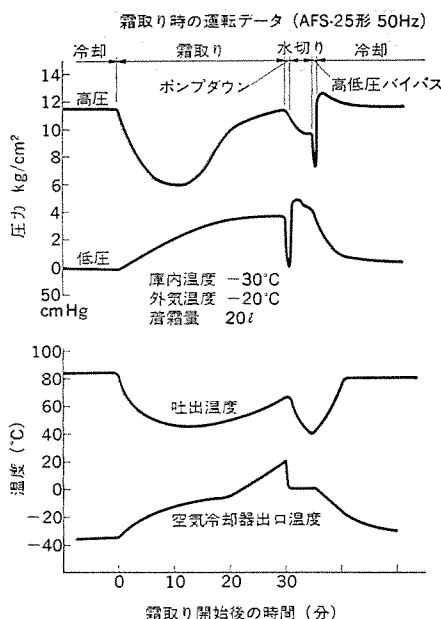


図 10. AFS-25 形 除霜 データ

弁が閉じてホットガス用の電磁弁が開くと、圧縮機吐出ガスは温度の低い空気冷却器へ流れて除霜を行う。高圧圧力は空気冷却器の温度が低い程低下するが、除霜の進行とともに高くなり、除霜の後半には吐出ガスの一部は凝縮器にポンプダウンされる。したがって凝縮器の圧力が低いと空気冷却器を循環するガス量が減少して時間が長くなる。AFS 形は、除霜運転中も高圧受液器から冷媒を供給（低段吐出ガスの冷却に使用）しているので、凝縮圧力の保持と除霜に必要な熱源が不足することがない。したがって外気温が低下しても凝縮圧力を一定に保つことができる。外気温が -25°C くらいまでは除霜効果はほぼ一定だが、 -25°C 以下 -40°C の範囲では 5~10 分くらい除

霜時間が長くなる。除霜の回数は、庫内温度 -30°C 前後の冷蔵庫では 2 回/1 日、 -40°C 以下の冷蔵庫では 1 回/1 日が標準的である。除霜は空気冷却器の出口温度が 20°C になるとサーモが働いて終了する。この時点でホットガス用の電磁弁が閉じ、低圧側の冷媒をすべて凝縮器にポンプダウンして圧縮機は停止する。排水の遅れがあるので 5 分間水切り時間をとって再び冷却に入る。再冷却の初めは一定時間空気冷却器を冷却してから送風機が運転して、通常の冷却運転に入る。このような制御をするほか、吸入タンパ・吹出タンパを使用して、空気冷却器からの熱を庫内に運ばないことにより除霜時の庫内温度上昇の防止を図っている。図 10. に AFS-25 形の除霜特性を示す。また図 11. に冷却運転・除霜運転の制御方法と冷媒配管系統を示す。

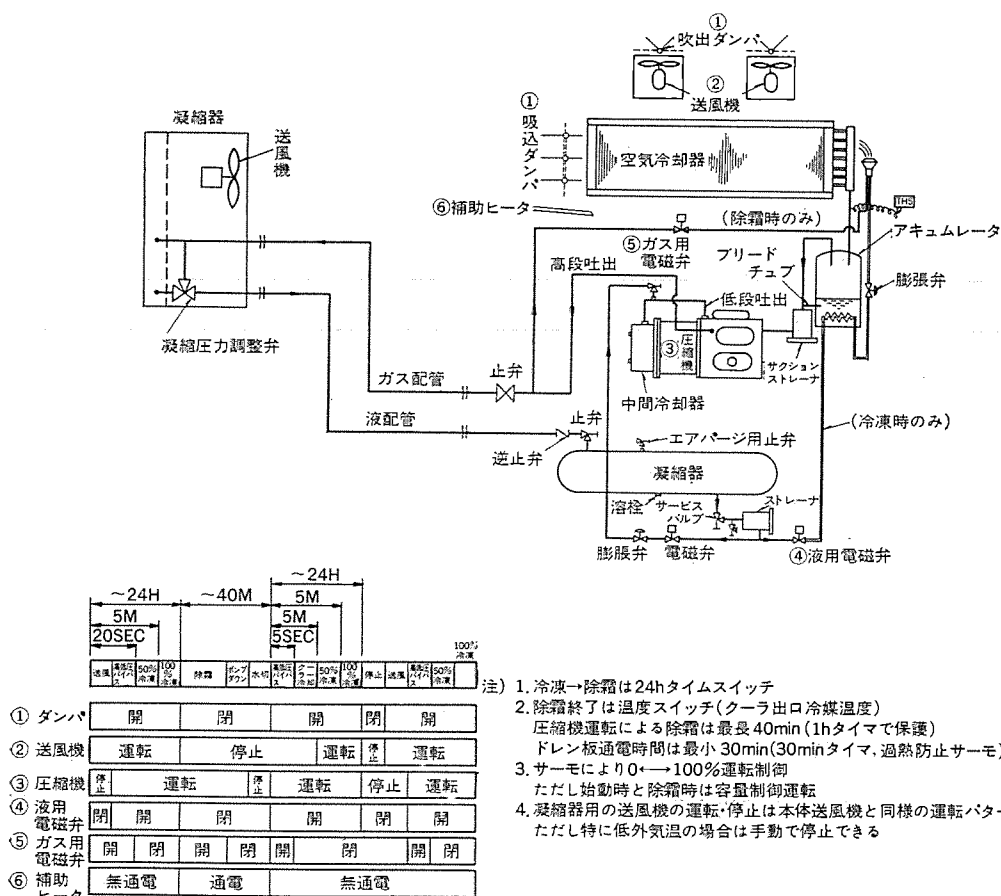


図 11. 冷媒配管系統と運転動作

5. む す び

管の防熱については十分な施工が必要である。(グラスウールを使用した場合は 25 mm 厚さのものが要)。また、外気温が低くなる程必要冷媒量は多くなる。

4. 2 除霜性能

冷却運転から除霜運転に切替える指令はタイマで行う。液用の電磁

冷凍装置の空冷化に対する要望は国内・輸出とも日増しに高まっている。当社ではここに紹介したように、業界に先がけて大形の AFS 形シリーズをそろえたが、更に用途・形状の多様化を図り需要家各位のご期待にお答えしたい。

寒冷地向け空気熱源ヒートポンプパッケージエアコン

貝瀬俊朗*・佐藤康夫*

1. ま え が き

最近の空気熱源ヒートポンプエアコンの伸びはめざましくエアコン全体に占める割合は年々増加している。これは、その取扱いが容易であること、水を使用しないこと、クリーンエネルギーであることに加えエネルギー利用効率の良さから今日の省エネルギー時代にふさわしいものとして再認識されてきたからであろう。

しかしながら、この空気熱源ヒートポンプエアコンは低外気温度時のヒートポンプ能力の低下、朝の立ち上がり能力の不足、室外コイルへの着霜及びそれによる除霜機能の必要性、コールドドラフトなど技術的に難しい問題を含んでいる。したがって、いままでは主に関東以西を中心としてそれほど寒さの厳しくないところで使用されているが、東北地方などの寒冷地方でも使用できるエアコンが強く要求されてきている。そのため当社では長年の空気熱源ヒートポンプの実績をもとに過酷な条件でも高信頼性を有する Hi/Re/Li システムの効果を十分に発揮させるべく低外気温における運転特性を IC 制御によって外気温度 -15℃ まで運転範囲を拡大した寒冷地向け空気熱源ヒートポンプパッケージエアコンを開発したのでその概要について紹介する。

2. 概要及び仕様

寒冷地区における空気熱源ヒートポンプパッケージエアコンにおいて考慮すべき問題点は下記事項があげられる。

- (1) 外気温度の低下による暖房負荷の増加。
- (2) 暖房運転時の立ち上がり特性の向上。
- (3) 霜取運転の効率化と霜取運転時の冷風吹出し防止。
- (4) 積雪などによりヒートポンプ運転ができない場合の応急策。
- (5) 補助ヒータの有効利用によるランニングコストの低減。

これらの諸問題を解決するためには、Hi/Re/Li システムによるヒートポンプ運転の高効率化、IC ディアサイによる霜取運転の高効率化、補助ヒータの適確な制御が必要となり、これらを電子回路による制御方式を採用したヒートポンプコントローラにより機械式では実現できない信頼性の高い制御を可能にした。

図 1. に PAH-8 A-P 形、PVH-8 A-P 形の外觀、表 1. に仕様を示す。

表 1. 仕 様

形 名		PAH-5A-P	PAH-8A-P	PAH-10A-P	PAH-10A-HP	PAH-15A-P	PAH-S20A-P
性 能	冷房能力 (kcal/h)	11,500/12,500	17,000/18,500	22,000/24,000		32,000/36,000	43,000/48,000
	暖房能力 ヒートポンプ(kcal/h)	11,500/12,500	17,000/18,500	22,000/24,000		32,000/36,000	43,000/48,000
	補助電気ヒータ (kW)	15(9+6)	24(14.4+9.6)	30(18+12)		45(18+27)	60(36+24)
外形寸法	高さ×幅×奥行(mm)	1,850×980×500	1,850×1,200×500	1,850+300×1,200×650	1,850×1,200×650	1,850+300×1,640×650	1,850+300×1,860×650
	分割可能寸法(mm)	—		1,850+300	—	1,315+535+300	
電 源	3 相 200 V 50/60 Hz					
電気特性	全入力 冷房.....	5.1/6.2	7.8/9.4	10/12	10.7/12.7	16.3/19.7	20.3/35.2
	(kW) 暖房.....	4.3/5.1<19.3/20.1>	6.8/8.0<30.8/32.0>	8.4/10<38.4/40>	9.1/10.7<39.1/40.7>	14.5/17<59.5/62>	17.5/20.6<77.5/80.6>
	全電流 冷房.....	17.4/19.5	29.6/30.6	35/38	37.6/40.7	61.6/62.8	73.7/79.7
	(A) 暖房.....	15.5/16.7<58.8/60>	27/27<96.3/96.3>	31/33<117.6/119.6>	33.6/35.7<120.2/122.3>	57.6/56.8<187.5/186.7>	67.2/67<240.4/240.2>
	力 率 冷房.....	85/92	76/89	83/90	82/90	76/91	80/91
	(%) 暖房.....	80/88<95/97>	73/86<92/96>	78/88<94/96>	78/87<94/96>	73/86<92/96>	75/89<93/97>
	始動電流(A)	125/115	170/155	210/190		170/155	210/190
	圧 縮 機	電動機出力 (kW)	3.75	5.5	7.5		5.5×2
送 風 機	標準風量 (m ³ /min)	45	70	90		140	180
	標準機外静圧 (mmAq)	0<10/15>	0<12/20>	0<20/27>	20/30	10/20	
	電動機出力 (kW)	0.13<0.38>	0.3<0.75>	0.6<1.5>	2.2		3.7
配管寸法	冷媒 (φmm)	19.1, 12	22.2, 16	25.4, 19.1		22.2×2, 16×2	25.4×2, 19.1×2
	ドレン(B)機械室/冷却器	3/4/1		1/1			
製品重量 (kg)		200	256	315+25	325	480+35	595+40
形 名	PVH-5A-P	PVH-8A-P	PVH-10A-P		PVH-8A-P×2	PVH-10A-P×2
室外ユニット	外形寸法 高さ×幅×奥行 (mm)	919×785×785	944×985×985	1,275×985×985		944×985×985	1,275×985×985
	送風機 風量 (m ³ /min)	110/120	190×200	220/230		190/200	220/230
	電動機出力 (kW)	0.16	0.36				
	製品重量 (kg)	75	100	130		100	130

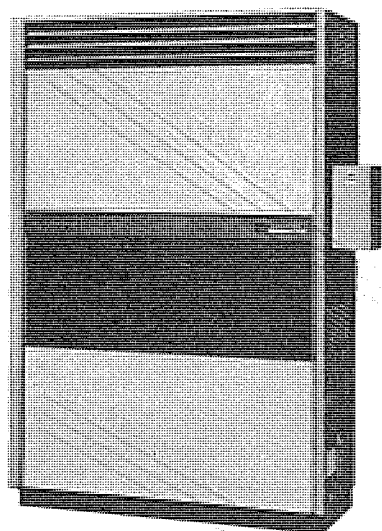
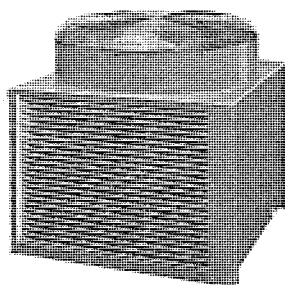


図 1. (a) PAH-8 A-P 形外観



(b) PVH-8 A-P 形外観

サーミスタ TH: 室内空気温度
 THC1: 室外機コイル温度 (No.1)
 THC2: " (No.2) 冷凍サイクル1系統時短絡
 THA1: 室外空気温度 (No.1)
 THA2: " (No.2) 冷凍サイクル1系統時短絡

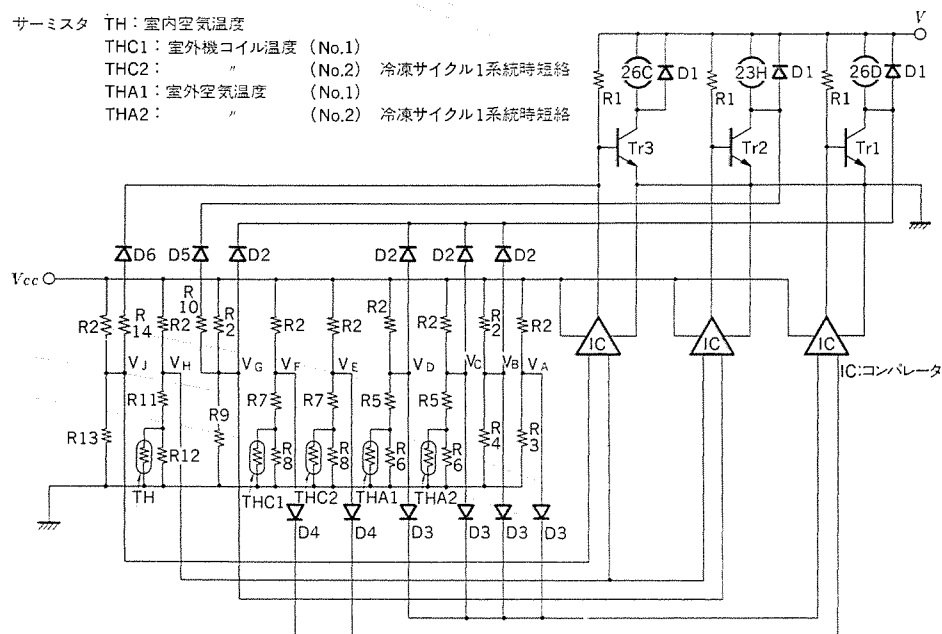


図 2. ヒートポンプコントローラ 電気回路図

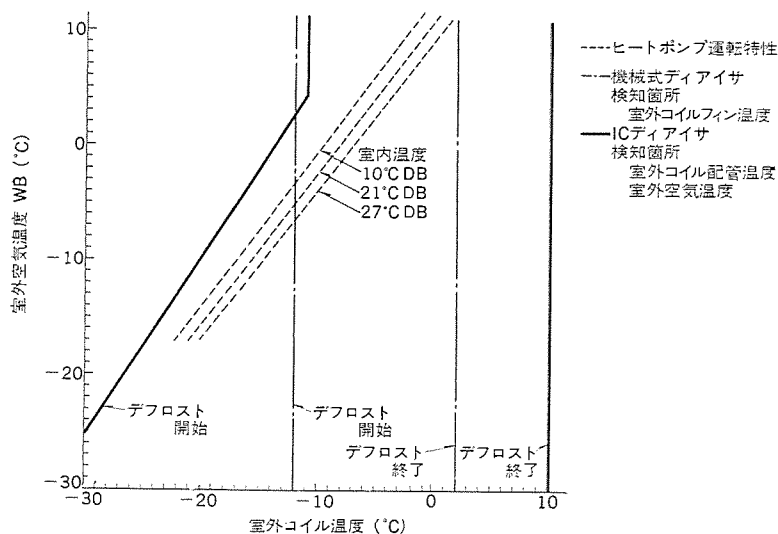


図 3. デフロスト 特性

3. ヒートポンプコントローラ

ヒートポンプコントローラの機能は、着霜検知を室外側熱交換器 コイル 温度と室外空気温度とで関連づけて行う IC デフロスタ (26 D), 補助ヒータの ON-OFF 形温度調節器 (23 H), 正月休みなどで長時間運転を停止させ、室内外温度が共に極端に下がった状態でヒートポンプ運転をする場合、室温が 5°C になるまでヒータで予熱を行い、それから圧縮機を自動的に始動させるための始動補償用温度調節器 (26 C) である。図 2. にヒートポンプコントローラの電気回路図を示す。

3.1 デフロスト特性

当社ヒートポンプユニットで採用している機械式デフロスタは室外コイルフィンに感温部を埋め込み、フィン温度を検知して、 -12°C になるとデフロスト開始、 2°C にてデフロスト終了を指令している (図 3. 1 点鎖線)。一方、室外機に霜が付いていない状態で

のヒートポンプ運転特性は、室内外空気温度が低下するに従い室外コイル温度も低下する (図 3. 破線)。これは、室外空気温度が -7°C WB 以下になると、霜が付いていなくても定常運転において室外コイル温度が -12°C 以下になるため、デフロスト開始指令が出てしまうことを示し、定常運転が不可能となりデフロスト運転とヒートポンプ運転を断続的に繰り返すことになる。また、朝の運転開始時など室内温度が低い状態での運転では外気温度が -7°C WB 以上あっても室外コイル温度は -12°C 以下であるため、デフロスト運転とヒートポンプ運転を繰り返しながら、徐々に室内温度が上昇する。これは、朝の運転開始時の室内温度上昇を遅らせ、立ち上がり特性に大きな影響を与える。このように寒冷地方では機械式デフロスタでは、着霜を確実に検知して効果的な霜

取りを行う点では十分でなく、効率的なデフロスト運転がされていない。

室外空気温度と、室外コイル温度とを検知して、その差が霜付きが進むにつれて拡大することを利用してデフロスト制御を行うことにより、低温度域でのヒートポンプ運転を確実にできる。その差がいくらになったときデフロスト運転を開始させるか、試験室で種々の室内外空気条件を作りだし、ヒートポンプ運転効率を考慮してデフロスト特性パターンを決めた。

図 3. 実線のようなデフロスト特性を得るのに電子回路を採用した。

図 2. において、 V_A は室外コイル温度が 10°C に相当する基準電位、 V_B は室外コイル温度が -11°C に相当する基準電位、 V_C , V_D は室外空気温度を検知して変化する電位である。図 3. の特性パターンを得るには V_C , (V_D) at $4.5^{\circ}\text{C} = V_B$ となるよう抵抗を決める。 V_A , V_B , V_C , V_D はダイオードで OR 回路を構成し、最も高い電位がコ

ンパレータ入力となる。もう一方のコンパレータ入力として室外コイル温度を検知して変化する電位 V_E , V_F がつながれる。霜付きが進み、室外コイル温度が低下して、 V_E OR $V_F \geq V_A$ AND V_B AND V_C AND V_D となると、コンパレータ出力が反転してリレー (26D) を ON するとともに $V_B = V_C = V_D = 0$ となるよう帰環をかけ、 V_E AND $V_F \leq V_A$ となったとき、リレー (26D) を OFF する。

ブリッジ回路にダイオードを用いて、OR 回路、AND 回路、帰環回路を設けることにより所望のデフロスト特性パターンを得ている。

この IC デアイサのもう 1 つの特長は、2 系統の冷凍システムを有するパッケージエアコン (当社 PAH-15 A-P 形、PAH-20 A-P 形) への対応時にあらわれる。2 系統の冷凍システムは、独立に制御されているとデフロスト運転時期がずれ、どちらか、あるいは両方がデフロスト運転している機会が多くなる。この問題を解消するためデフロスト開始指令は No. 1, No. 2 のどちらかがデフロストすべき温度に達した時とし、デフロスト終了指令は No. 1, No. 2 が共に霜がとれた時とし、No. 1, No. 2 が共にヒートポンプ運転の機会を多くした。

3.2 始動補償

運転開始時の立上がり特性を向上する方法としては、タイマによりデフロスト運転禁止時間を設ける方法などが考えられるが、寒冷地では、運転停止中の室外コイルへの雪の付着、昨日の運転終了時に付いていた霜の影響等を受けやすく、効率のよいヒートポンプ運転が期待できない。ヒートポンプ運転特性 (図 3. 破線) は室内温度が低下すれば室外コイル温度が低下し、室内温度が 5°C 以下になるとデフロスト特性パターン (図 3. 実線) と重なる領域がでてきてむだなデフロスト運転を行う。そこで室内温度が 5°C 以上であることを検出して圧縮機を始動させるようにした。正月休みなど長時間運転停止後の始動時には、室内空気温度は低く 5°C 以下になることもありうるが、 5°C まで室内空気温度を上昇させるには、室外空気温度と室内空気温度との差が小さいので、熱負荷が少なく、暖房能力は比較的小さくてすむので、補助ヒータのみの暖房運転でとりあえず室温を 5°C まで上げそれからヒートポンプ運転をさせるようにした。

3.3 補助ヒータの制御

寒冷地向け空気熱源ヒートポンプパッケージエアコンには、大小 2 段の補助ヒータが標準装備されている。

補助ヒータ (大) は、朝の立上がり時の 17°C までの上昇期間と、デフロスト運転時に ON するようヒートポンプコントローラで制御される。補助ヒータ (小) は、ヒートポンプ運転の能力不足時には補助ヒータとして ON-OFF 制御される。

デフロスト運転時の冷風吹き出し防止策としては、室内送風機を停止して冷風が吹き出すことを防止する方法も考えられるが、寒冷地では、室外空気温度と室内空気温度との差が大きく熱ロスが大きいので、暖房運転停止後の室内温度は急激に下がる。室内送風機を停止してのデフロスト運転は、熱交換量が極端にさがるためデフロスト時間が長くなるので室内空気温度が低下してしまう。そこで、デフロスト運転時は室内送風機は運転したままとしてデフロスト運転を短縮し、室内空気温度にかかわらず大小補助ヒータを共に ON して、冷風吹き出しを防止する方法とした。

4. 運 転 特 性

4.1 定常運転時の暖房能力特性

図 4. 及び 図 5. は、PAH-15 A-P 形の電源入力 50 Hz 3 ϕ 200 V 時の室内吸込乾球温度をパラメータにして、室外吸込湿球温度に対す

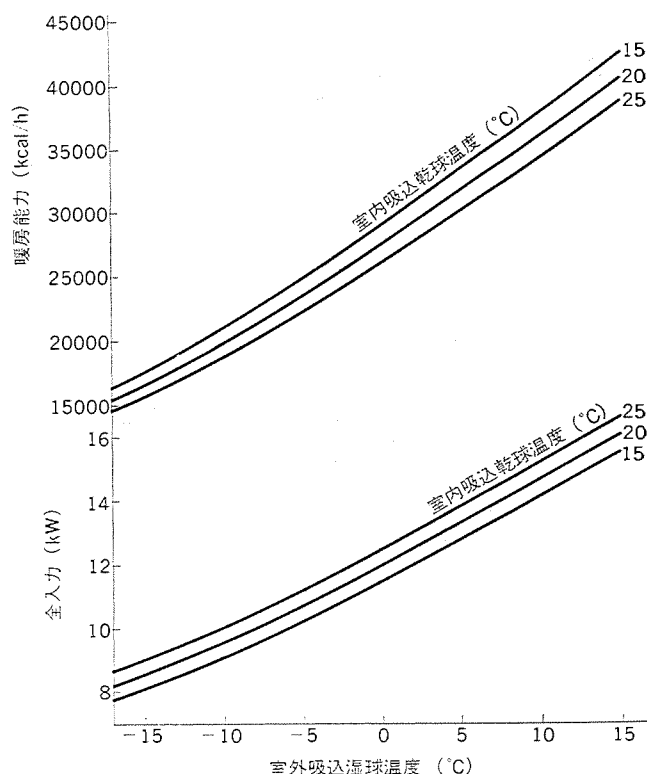


図 4. PAH-15 A-P 暖房能力線図 (50 Hz 風量 $140 \text{ m}^3/\text{min}$ (補助ヒータ作動なし))

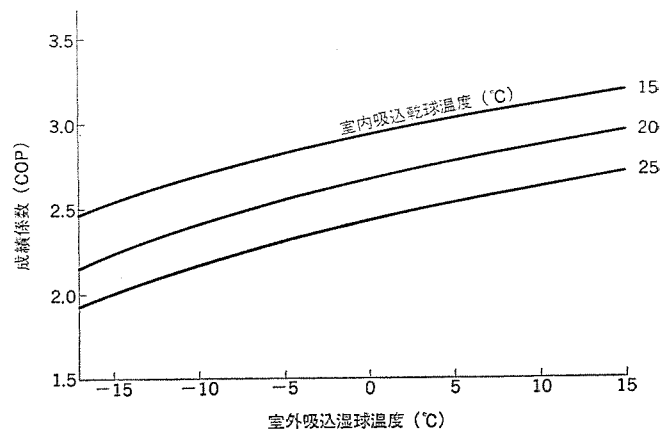


図 5. PAH-15 A-P 形暖房成績係数 (補助ヒータ作動なし)

る暖房能力、全入力、成績係数特性を示す。室外吸込湿球温度の低下に伴い、暖房能力、全入力が共に低下する。室外温度低温領域においては Hi/Re/Li システムでは過冷却制御を行うので、過熱度制御を行う場合に比べて圧縮比が小さく、冷媒循環量が多いので、室外吸込湿球温度の低下に伴う冷媒循環量不足による圧縮機吐出温度の上昇等の問題はなく、外気温度 -15°C の運転を可能にしている。成績係数に対する室外吸込湿球温度の影響は、室内吸込乾球温度の影響に比べるとはるかに小さく、室外吸込湿球温度が -17°C WB 時室内吸込乾球温度 15°C で 2.45, 20°C で 2.15, 25°C で 1.92 で、室外吸込湿球温度が低下しても効率のよい運転が行われていることが分かる。

4.2 デフロスト運転特性

図 6. に示すデータは、試験室で室内温度 21°C DB, 室外温度 -5°C DB \sim -8°C DB に保ったときの PAH-15-P 形の運転特性を示す。

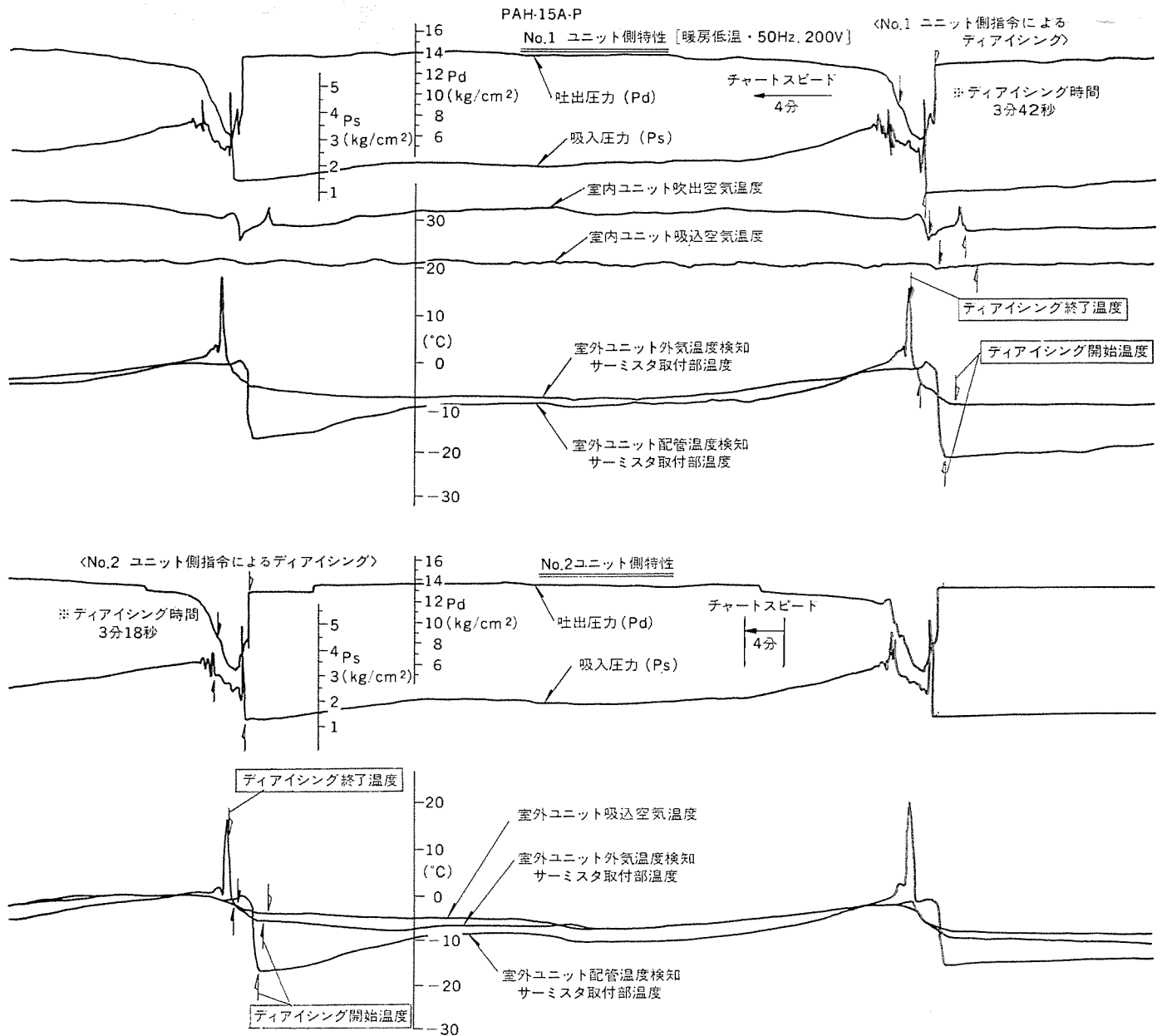


図 6. デフロスト 特性

霜付きを促進するために、室外試験室に蒸気を出しながら運転している。補助ヒータは、室内温度が温度調節器設定温度以上であるため、デフロスト運転時は大小ともに運転するが、ヒートポンプ運転時は、大小ともに停止している。

最初のデフロスト運転は、No. 1 側ユニットの指令ででているのが分かる。外気温度 -8°C 、室外ユニット配管温度 -21°C でデフロスト指令がでている。デフロスト運転中は大小補助ヒータが運転され、冷風吹き出しを防止している。3分42秒でデフロスト運転が終了してヒートポンプ運転に入る。徐々に霜が成長しおよそ1時間後に霜による影響があらわれはじめ、吸入圧力は低下してくる。およそ15分後に No.

2 側ユニット側の指令によりデフロスト運転に入る。外気温度 -4°C 、室外ユニット配管温度 -17°C でデフロスト指令がでている。デフロスト運転時間は3分18秒であった。

5. む す び

Hi/Re/Li システムを用いた寒冷地向け空気熱源ヒートポンプパッケージエアコンについて、特にその制御特性をいかに寒冷地向けに合った方式にしたかを述べたが、今後とも冷凍サイクルを含めて、エネルギー有効利用機種の開発を目指したいと考えている。各方面からの種々のご指導、ごべんたつをいただければ幸いである。

PAT形空冷式パッケージエアコン 一年間空調及びオールフレッシュ

佐藤康夫*・倉橋健三*・江崎光信**

1. ま え が き

空調対象となる室の使用目的により、パッケージエアコンの多種多様化が進み、それぞれの用途にあった特殊形パッケージエアコンが、開発されてきた。

なかでも技術進歩に伴い、下記の使用目的に使用されるケースが増加し、標準形パッケージエアコン並みに据付け、保守管理が容易な、パッケージエアコンが要求されてきている。

(1) オールフレッシュ 形 パッケージエアコン

じんあいの多いところ、食品工場・実験室や病院などのように、室内空気を再循環して空調するのは好ましくない室をエアフィルタを通した外気のみで空調を行う。

(2) 年間空調形 パッケージエアコン

電子計算機、継電器等の精密機器室や各種こう(恒)温室等の冷房負荷が大きく、春秋の中間期あるいは冬などの外気温度が低いときでも冷房運転を必要とする。

オールフレッシュ 形 パッケージエアコン や年間空調形 パッケージエアコン では、
負荷変動が大きいので何らかの手段で蒸発器と凝縮器の熱交換量の
バランスを保つ必要がある。

水冷式 パッケージエアコンでは水温あるいは水量の 調節によって実現できるが、冬期の冷却水の凍結防止など冷却水回路に対する配慮でシステムが複雑となり据付け、保守管理が面倒であるという難点がある。

当社では、既に年間空調形空冷 パッケージエアコンとして、凝縮圧力を検知してダンパを作動する プレッシュオペレータ と、室外送風機の風量制御を行う GAT 機種を製作し、パッケージエアコン並みに据付け、保守管理が容易な製品を提供してきたが、このたび標準形空冷 パッケージエアコン(PF-3, PA-5~S 20) をベースに、室外送風機の回転数制御とホットガスバイパス 機構を組合せた オールフレッシュ 及び年間空調形空冷 パッケージエアコンを開発したので、この概要と運転特性について紹介する。

2. 概要及び仕様

凝縮圧力を制御する機構を持たない空冷凝縮器では、外気温度が低下すると凝縮圧力が低下し吸入圧力も低下するが、その圧力差が小さくなり冷媒絞り装置を通過する冷媒量が不足し、冷凍能力が減少するだけでなく蒸発器に着霜してくる。凝縮圧力を所定の圧力に保つよう凝縮器の熱交換量を自動制御できれば、低温領域でも安定した運転が可能となる。

更に、オールフレッシュ及び年間空調用としての使用目的で要求される機能としては下記事項があげられる。

(1) 容量制御

負荷変動が大きいにもかかわらず室内保持条件がきびしい。圧縮機の入・切運転では室内保持条件を満足するのは困難であるので冷凍容量制御が必要となる。

(2) 圧縮機の始動補償

外気温度が低く、冷媒が凝縮器側に寝込んだ状態での圧縮機の始動時には、低圧が激減し、冷媒循環量が少なすぎる運転となる。

圧縮機の始動時には、低圧の低下を防止し安定した運転状態に速やかに入るよう圧縮機の始動補償を行う。

(3) 蒸发器着霜防止

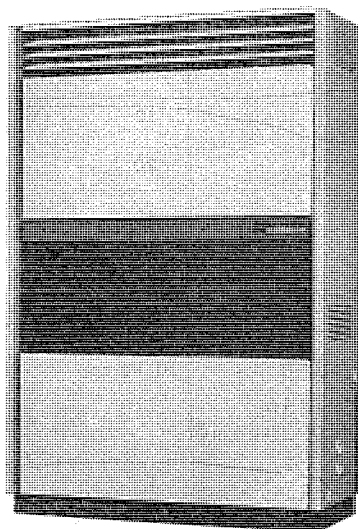


圖 1. PAT-8A 形外觀

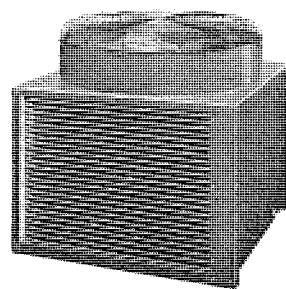


圖 2. PVT-8A 形外觀

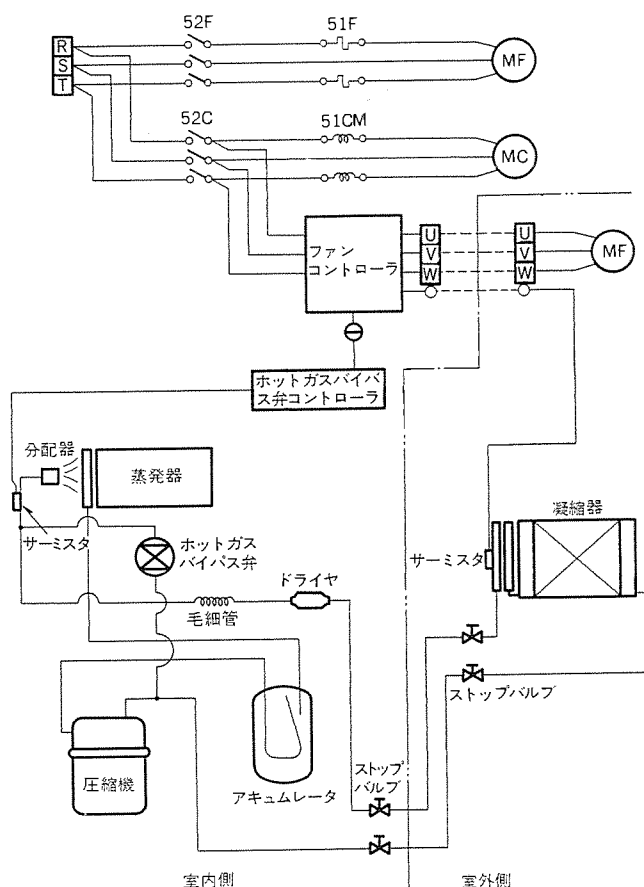


図 3. 電気回路, 冷媒回路

室内吸込口のフィルタが目づまりを起こしたり、室内温度が極端に低かったり、風量等の影響によって起こる低圧の低下による蒸発器の着霜を防止する。

以上よりホットガスバイパス回路を設け、制御方式としてファンコントローラとホットガスバイパス弁コントローラを電子回路で組込んだ。

図1., 図2. はPAT-8A, PVT-8Aの外観, 図3. は電気回路(主回路)と冷媒回路, 表1. は使用温度範囲, 表2., 表3. は

表1. 使用温度範囲

(1) 年間空調仕様

条件	低 温	標 準	過 負 荷
室 内 (°C)	15 DB 10 WB	27 DB 19.5 WB	35 DB 22.5 WB
室 外 (°C)	-5 DB	35 DB	43 DB

(2) オールフレッシュ仕様

条件	低 温	標 準	過 負 荷
室 内 (°C)	21 DB 15.5 WB	27 DB 19.5 WB	35 DB 22.5 WB
室 外 (°C)	21 DB 15.5 WB	33 DB 28 WB	43 DB 31 WB

表2. (a) PAT形 パッケージエアコン仕様

項 目	形 名	PAT-8形(年間空調)	PAT-8F形(オールフレッシュ)
定 格 冷 房 能 力	kcal/h	18,000/19,000	16,500/18,000
定 格 電 源		3相 200V 50/60Hz	
定 格 消 費 電 力	kW	7.8/9.3	
運 転 電 流	A	29.6/30.2	
運 転 力 率	%	76/89	
始 動 電 流	A	120/155	
外 形 法	高さ×幅×奥行	mm 1,850×1,200×500	
	分割可能寸法	mm —	
圧縮機	形 式 × 台 数	全密閉×1	
	電 動 機 出 力	kW 5.5	
冷 却 器 形 式		クロスフィン	
送 風 機	形 式 × 個 数	シロッコファン×2	
	標 準 風 量	m³/min 70	25
標 準 機 外 静 圧	mmAp	0(12/20)	37/34 (グリルタイプ時最大静圧)
	標 準 電 動 機 出 力	kW 0.3(0.75)	
運 転 調 整 装 置		運転切換スイッチ(断・送・冷・暖), 圧力計, 運転表示灯, ファンコントローラ, ホットガスバイパス弁コントローラ	
配 管 寸 法 ・ 機 械 ・ 冷 却 器	B(A)	3/4 B 1 B	
保 護 装 置	圧 力 開 閉 器	kg/cm² 高圧側 28 G カットアウト	
	溶 融 温 度	°C 75	
	圧 縮 機 保 護	熱動温度開閉器, 過電流継電器	
	送 風 機 保 護	熱動温度開閉器	
製 品 重 量	kg	256	

表3. (b) PVT形 パッケージエアコン仕様

項 目	形 名	PVT-8 形
室 外 ユ ニ ッ ト	外形寸法	高さ×幅×奥行 mm 944×985×985
	凝 縮 器 形 式	クロスフィン
	送 風 機	プロペラファン×1
	風 量	m³/min 190/200
	電 動 機 出 力	kW 0.36
冷 媒 配 管 寸 法	ガ ス 配 管	φ 19.1
	液 配 管	φ 16
冷 種 類 × 封 入 量	kg	R 22×6.5
製 造 方 式		毛細管

主仕様を示す。

3. ファンコントローラ

図4. はファンコントローラのブロック図を示す。主回路は3相線路の各相にトライアックをそう(挿)入する。きょ(鋸)歯状波発生回路を各線間に設け、各線間電圧に同期した鋸歯状波出力と、差動増幅器によるサーミスタの検知温度に対応する直流信号電圧出力を比較器により比較して、AND回路出力により発振器からの高周波を鋸歯状波より直流信号電圧が小さい時だけ ON させる高周波 ON-OFF 信号に変調する。その信号を受けて相回転順に2線回路を同時にトリガするためのOR回路とこのOR回路の出力で駆動するパルストランスか

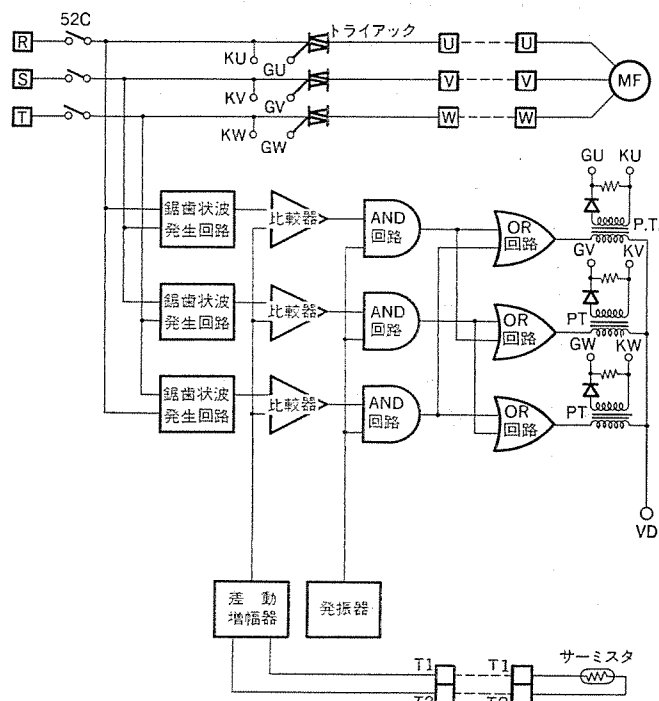


図4. ファンコントローラ

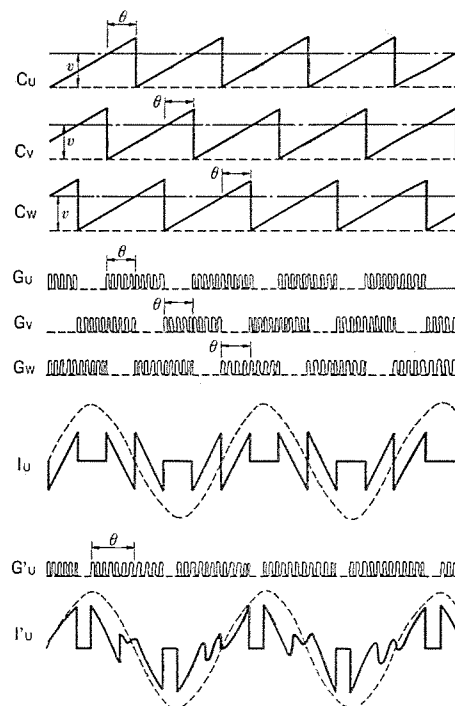


図5. 動作波形

らなる制御方式とした。

トライアックのゲートにパルストランスを介して高周波 ON-OFF 信号で制御角いっばいにトリガ信号を印加する方法であるため、ミス点弧がなく常に安定した制御を実現し、制御された負荷電圧は平衡・対称となり可変範囲は 0~100% となる。

図 5. は各部動作波形を示す。Cu, Cv, Cw は比較器に入る各相間に同期した鋸歯状波と差動増幅器の直流信号電圧 (v) を示し、この時の制御角は θ である。Gu, Gv, Gw は、相回転順に 2 線回路を同時に θ の制御角だけ高周波信号をゲート信号として与えていることを示す。Iu は制御角 θ 時の U 相電流波形を示す。Gu' は θ の制御角時の U 相トライアックに与えられる高周波ゲート信号を示し、Iu' は、制御角 θ' 時の U 相電流波形を示し、U-V 相間に流れる電流と W-U 相間に流れる電流とが重なり、波形が複雑となっている。

4. ホットガスバイパス弁コントローラ

図 6. にその電気回路図を示す。CR 時定数で決まる周波数で発振する発振器と、それをカウントするためのフリップフロップ群、及びアウトプットドライバからなるカウンタ式タイマには発振停止端子(A)、リセット端子(B)を有する。

圧縮機入・切用接触器の接点(52C)により直流電源(DC)が加わる。圧縮機始動と同期してカウンタ式タイマに電源が投入され、フリップフロップ群はカウントを開始し、所定の時間が経過すると、アウトプットドライバ出力は“Hi”レベルに反転し、トランジスタ(Tr1)を ON しリレー(X)を励磁する。発振停止端子(A)に帰環がかかり、発振が停止され、アウトプットドライバ出力は“Hi”レベルに保持される。圧縮機が始動してからフリップフロップ群がカウント中の所定の時間だけ容量制御用温度調節器(23WA)の状態にかかわらずホットガスバイパス用電磁弁(21C)は ON 状態となる。

温度検知用サーミスタと設定温度とを決める抵抗群からなるブリッジ回路を比較器入力とする比較器の出力は、サーミスタの検知温度が設定温度以下になるとリセット端子(B)を“Hi”レベルに反転させカウンタ式タイマを電源投入時の状態にもどす。ホットガスバイパス用電磁弁は ON し、ホットガスバイパスを行うことによりサーミスタ検知温度が上昇し、比較器出力によりリセット端子(B)が“Lo”レベルになってからフリップフロップ群はカウントを開始し、所定の時間だけホットガスバイパス用電磁弁(21C)を ON 状態に保ち、断続的に ON-OFF を繰り返すことを防止する。

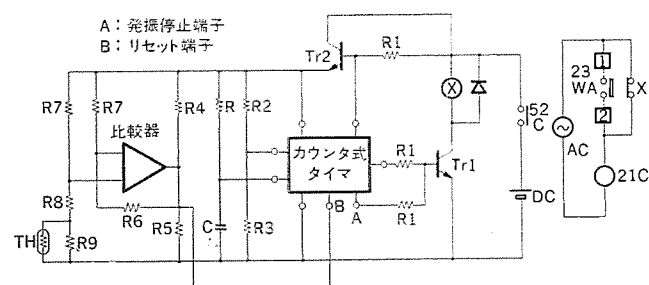


図 6. ホットガスバイパス弁コントローラ

5. 運転特性

ファンコントローラとホットガスバイパス弁コントローラは電子回路で構成されており、設定値・ゲイン等の変更が自在である。省エネルギーと、運転範囲の拡大の両面を考慮した制御特性の検討結果と、運転特性について述べる。

5.1 サーミスタの取付箇所

広範囲な諸条件下で安定した運転を確保するためには、サーミスタの取付箇所が重要な問題となる。室外温度にかかわらず、所定の凝縮圧力に保つ方法として、室外温度(凝縮器吸込空気温度)の検知と、凝縮温度の検知、絞り装置手前温度の検知を検討した。室外温度(凝縮器吸込空気温度)を検知した場合、室外送風機の回転数によってサーミスタの検知温度は影響を受けないので室内空気条件が一定であれば、室外空気温度に対応する室外送風機の回転数に設定温度・ゲインを決めれば安定した制御特性が得られる。しかし、室内空気温度の低温条件より過負荷条件までの安定した運転を確保するには、室内空気温度の低温条件で制御特性が決まり、室内空気温度の高い条件では凝縮圧力は高目で安定し、圧縮機入力を増加させる。室内空気条件がワンポイントで決められる場合には有利な制御方式と言える。

凝縮温度を検知した場合は、凝縮圧力を制御できるので、室内空気条件、室内送風機風量の影響が小さく、凝縮圧力を所定の圧力に確保し、安定した運転が期待でき、オールフレッシュ用と年間空調用として兼用できる制御特性を得ることが可能である。

しかしここで考慮すべき点は、室外送風機の回転数により凝縮温度が変化することである。しかし冷媒系統の熱容量と、サーミスタの時定数による熱応答による遅れがあり室外送風機の回転数変化速度より凝縮温度の変化速度が遅いとオーバーシュートによりハンチングが起こる。熱応答による遅れをできるだけ小さくするため、サーミスタの防水構造に工夫を加え、小形化を図ることにより時定数の小さいものとした。試験室で実機試験により制御特性を変えて測定した結果、風量 0~100% の変化を凝縮圧力差で 7 kg/cm² 以上で行えばハンチングのない運転ができることが判明した。

絞りに装置手前温度を検知した場合は、サーミスタ取付位置が室内側となり、室外機が標準形と同一で標準化が図れる点で有利であるが、延長配管の影響が大きい。

以上の検討より、サーミスタ取付箇所は凝縮温度を検知できる凝縮器中間配管温度とした。

5.2 運転特性

図 7. は、凝縮温度 27°C 時の室外送風機負荷電圧 80 V、凝縮温度 50°C 時室外送風機負荷電圧 200 V の制御特性をもつファンコントローラで、ホットガスバイパス弁を ON した状態での始動特性を示す。室内空

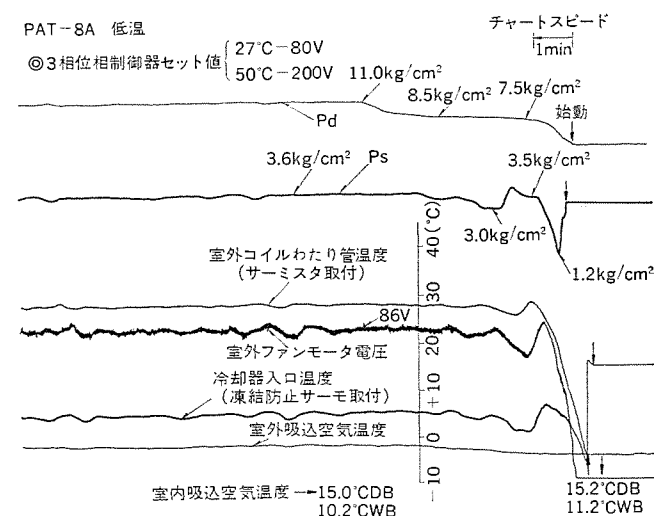


図 7. 運転特性

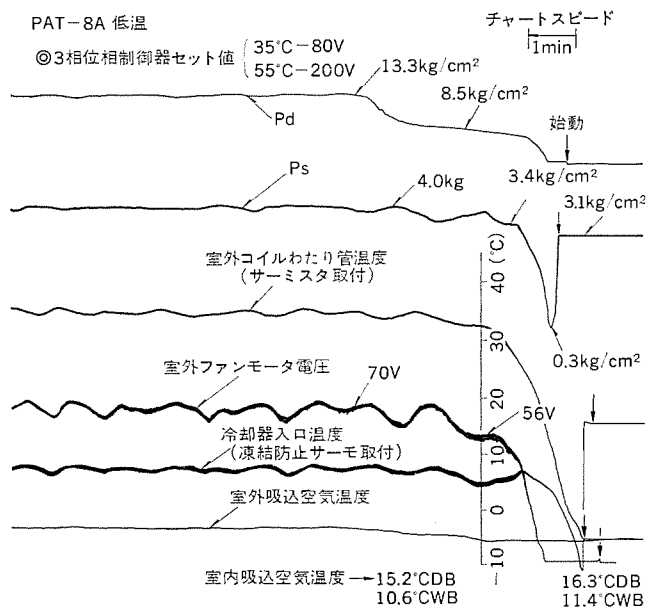


図 8. 運 転 特 性

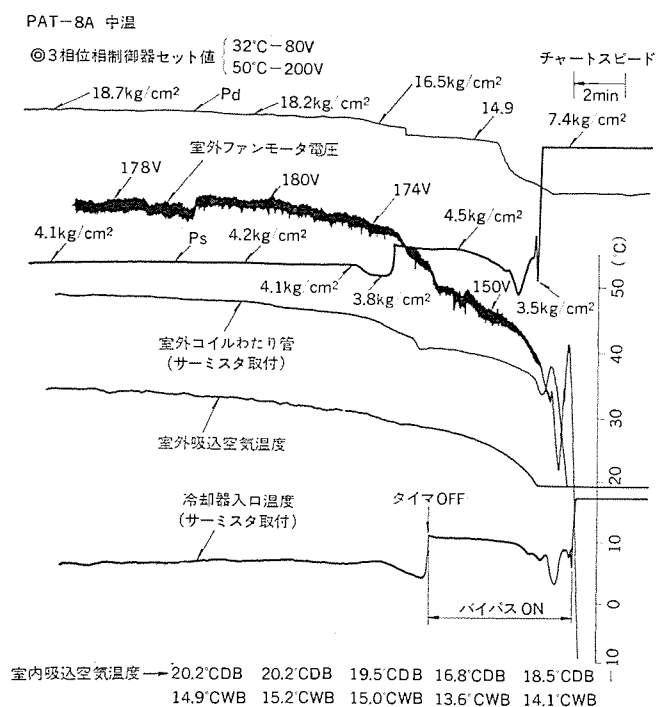


図 9. 運 転 特 性

気温度 15.0°C DB, 10.2°C WB, 室外空気温度 -2°C DB の空気条件では凝縮圧力 11.0 kg/cm², 蒸発圧力 3.6 kg/m², 室外送風機負荷電圧 86 V, 蒸発器入口温度 5°C で, 着霜のない安定した運転を行う。始動時より定常運転に入るまでの時間は 10 分間である。

図 8. は, 凝縮温度 35°C 時の室外送風機負荷電圧 80 V, 凝縮温度 55°C 時室外送風機負荷電圧 200 V の制御特性をもつ ファンコンローラで, ホットガスバイパスが弁を ON した状態での始動特性を示す。室内空気温度 15.2°C DB, 10.6°C WB 室外空気温度 -3°C DB の空気条件では凝縮圧力 13.3 kg/cm², 蒸発圧力 4 kg/cm² 室外送風機負荷電圧 70 V, 蒸発器入口温度 7°C で, 凝縮器の自然放熱による空気対流で室外送風機は回転している状態で, 着霜のない安定した運転を行う。始動時より定常運転に入るまでの時間は 8 分間である。

図 9. は, 凝縮温度 32°C 時の室外送風機負荷電圧 80 V, 凝縮温

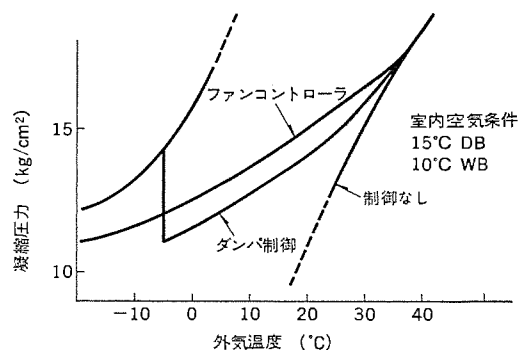


図 10. 凝縮圧力と外気温度

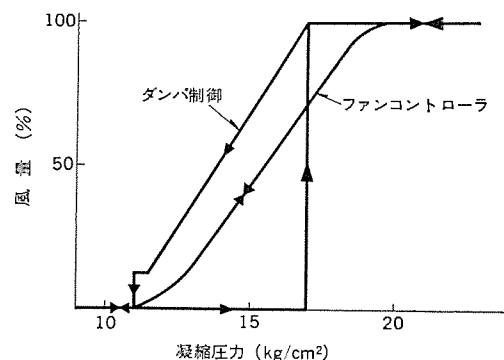


図 11. 風量と凝縮圧力

度 55°C 時室外送風機負荷電圧 200 V の制御特性をもつ ファンコンローラで, ホットガスバイパス弁コンローラを組込んだ時の中温条件時の始動及び室外温度変化に対する追従性を示す。

始動より 10 分間 ホットガスバイパス弁は ON し, 以後容量制御指令がでなければ OFF している。この制御特性では低温条件時の始動時若干ハンチングがあるが収束する。

5.3 制御特性

オールフレッシュ及び年間空調用として兼用できる ファンコンローラの制御特性はサーミスタ取付箇所を凝縮器中間配管とし, 凝縮温度 30°C 時室外送風機負荷電圧 80 V, 凝縮温度 50°C 時送風機負荷電圧 200 V とし, ホットガスバイパス弁コンローラの制御特性は, サーミスタ取付箇所を蒸発器入口配管とし, 設定温度は 5°C OFF 3°C ON とし, タイマ設定時間を 10 分間とした。低温条件あるいはそれ以下の条件時には, ホットガスバイパス弁の着霜防止機能が作動した状態で安定した運転を得ている。

図 10., 図 11. は, ダンパ制御とファンコンローラの制御特性を示す。ダンパ制御の場合は, ダンパ全閉時のもれによる風量が残るため, 圧力スイッチにより室外送風機を凝縮圧力 11 kg/cm² で切り, 17 kg/cm² にて入れている。そのためリニアな制御ができず, 室外空気温度 0°C 付近で運転中突風などにより一時的に凝縮圧力が 11 kg/cm² 以下になると室外送風機は停止し, 急激に凝縮圧力が増加し, 再び 17 kg/cm² を超え, 初期の凝縮圧力にもどることが考えられ, 圧力変動幅が比較的大きい。一方, ファンコンローラはリニアな制御のため一時的な凝縮圧力の低下によるハンチングは起こらない。

6. む す び

今回開発した制御方式は, ヒートポンプ機種の春秋の中間の冷房運転, 室内送風機の回転数制御による吹出温度制御など応用範囲が広いので, 更に研究を進め, 産業空調用機種の充実を図っていきたい。

店舗用パッケージエアコン《ミスタースリム》

木ノ内達夫*・丸山 忍*

1. ま え が き

空調和の方式、規模、用途は近年非常に広範囲に拡大し、これに対応する空調和機も多機種さまざまな形態で製品化されており、この中にあってパッケージエアコンは手軽な空調和機として広い用途に使用されている。このパッケージエアコンは一般事務所・工場・ビル等々のいわゆる建築の設備機器として中・小規模の空調和用に発展してきた。

一方、サービス業を主とした小規模な接客業種に対する空調和用には前述した設備用としてはん（汎）用化された一般のパッケージエアコンが使用されていたが、機能・形態が客先の要求に対応しにくくなってきた。このような状況の中で小規模な店舗を中心とした接客業者の要求を満たし、より良い空調和機を提供するために今般三菱店舗用パッケージエアコン《ミスタースリム》を開発し販売を開始した。店舗用パッケージエアコンとしては空冷セパレート方式の床置形と天井つり形の2種類であるが、ここでは《ミスタースリム》シリーズとして完成した床置形の3、4、5トン形の室内ユニットを主にその特長・仕様・構造・性能などについての概要を紹介する。

2. 特 長

店舗用パッケージエアコン《ミスタースリム》は製品の基調を

- (1) スペースセービング
- (2) インテリア性の向上
- (3) 据付け・使用性の向上

の3点において開発したものであり次の特長を有している。

2.1 小形・軽量

構造部材の構成方法、内臓機器の高効率化、配置の適性化を徹底的

に追求し据付床面積と製品重量の大幅低減を図った細身のスタイルで3トン形の占めるスペースはいす1個分である。

2.2 インテリアに調和するデザイン

細身のスタイルを白と黒を基調にまとめたすっきりしたデザイン、インテリアに合わせて交換できる4すみのコーナール、好みの壁紙の張れるキャビネット、等々好みやふんい気に合わせ多くのインテリアに調和するデザインである。

2.3 据付け・使用性の向上

据付場所、方向を自由に選べる4面高級仕上キャビネット、左、右、後、下方の4方向配管取り出しとフレキシブル冷媒配管の採用、ワンタッチで操作できる運転、風向調整可能、エアフィルタの着脱容易等で据付け・使用性の向上を図った。

2.4 ドライタイプのシリーズ化

冷房専用機、ヒートポンプ冷暖房機に加えて梅雨期などのじめじめを解消するヒートポンプ冷暖房に除湿運転もできるヒートポンプドライタイプをシリーズ化している。

2.5 冷風吹き出し防止機構の採用

ヒートポンプ冷暖房機とヒートポンプドライタイプ機の暖房運転時（始動時、除霜完了時）の不快感な冷風吹き出しを完全に防止する機構、冷風ストップメカを採用し空調の質の向上を図った。

2.6 低騒音

防音、防振構造の強化を図るとともに、送風機に強弱切換運転を採用し更に低騒音化を推し進めた。

2.7 むらのない気流分布

部屋の形状に合わせて風向を自由に選べる左右風向調整グリル、上下風向調整ルーバを備え、むらのない気流による空調ができるよう図った。

2.8 信頼性の向上

長年月の実績を持つHi/Re/Liシステムを基本として安定した運転の冷媒回路とその構成部品、完備した各種保護装置と制御部品、一貫生産による標準化し安定した生産管理システムにより更に一層の信頼性の向上を図った製品である。

3. 仕 様

店舗用パッケージエアコン《ミスタースリム》シリーズは空冷セパレート方式であり、3、4、5トン形の3種類の容量とおののちに冷房専用機、ヒートポンプ冷暖房機、ヒートポンプドライ機の3種類の機能別機種とからなり合計9機種である。表1.にその主な製品仕様を示す。

4. 室内ユニットの構成

4.1 外観と製品寸法

4すみに丸味を持ったコーナールを配した細身のスタイルを白と黒を基調にまとめたデザインで統一した。コーナールはねじによる着脱式で、設置される部屋のふんい気に合わせてホワイト、ブラウン、シルバーの3色の選択ができる。

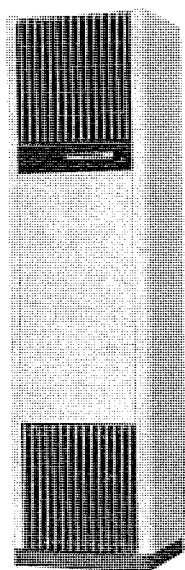


図 1. PSH-3A 形外観

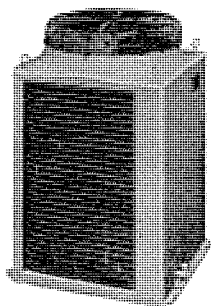


図 2. PUH-3B 形外観

表 1. 製品仕様

機 能			冷 房 専 用 機			ヒートポンプ冷暖房機(H)・ヒートポンプドライ機(D)						
形 名			PS-3 A	PS-4 A	PS-5 A	PSH-3A	PSD-3A	PSH-4A	PSD-4A	PSH-5A	PSD-5A	
標準冷房性能	定 格 冷 房 能 力	kcal/h	6,300/7,100	8,000/9,000	11,000/12,000	6,300/7,100		8,000/9,000		11,000/12,000		
	除 湿 能 力	l/h	—	—	—	—	3.8/4.2	—	4.7/5.3	—	6.5/7.1	
	定 格 消 費 電 力	kW	3.1/3.7	4.2/5.0	5.2/6.3	3.2/3.9		4.3/5.0		5.1/6.2		
	運 転 電 流	A	10/11.9	14.1/16.0	17.4/20.2	10/12.4		14/16		17.6/20		
標準暖房性能	定 格 暖 房 能 力	kcal/h	—	—	—	6,300/7,100		8,000/9,000		11,000/12,000		
	定 格 消 費 電 力	kW	—	—	—	2.6/3.2		3.9/4.7		4.3/5.2		
	運 転 電 流	A	—	—	—	8.6/10.4		12.6/14.8		15.5/17.0		
定 格 電 源			3 相 200 V 50/60 Hz									
室 内 ユ ニ ッ ト	熱 交 換 器 形 式		ク ロ ス フ ィ ン									
	送 風 機		シロッコファン×1	シロッコファン×1	シロッコファン×2	シロッコファン×1		シロッコファン×1		シロッコファン×2		
	” 風 量	m³/min	19-22/19.5-22.5	24-28/26-30	30-36/32-37	19-22/19.5-22.5		24-28/26-30		30-36/32-37		
	” 電動機出力	kW	0.09	0.12	0.16	0.09		0.12		0.16		
	補 助 電 熱 器	kW	—	—	—	3.0	5.1	3.0	6.0	3.0	7.0	
	運 転 調 整 装 置		操作スイッチ・表示灯・温度調節器									
	エ ア フ ィ ル タ		サラハニカム織									
	製 品 重 量	kg	63	66	80	65	65	68	69	82	84	
室 外 ユ ニ ッ ト	形 名		PU-3 B	PU-4 B	PU-5 B	PUH-3 B		PUH-4 B		PUH-5 B		
	熱 交 換 器 形 式		ク ロ ス フ ィ ン									
	圧 縮 機 電 動 機 出 力	kW	2.2	2.7	3.75	2.2		2.7		3.75		
	送 風 機		プロペラファン×1									
	” 風 量	m³/min	44/45	75/77	75/77	44/45		75/77		75/77		
	” 電動機出力	kW	0.1	0.2	0.2	0.1		0.2		0.2		
	霜 取 方 式		—				リバースサイクル					
	高 圧 開 閉 器	kg/cm²	28 カットアウト									
	圧 縮 機 保 護		OCR・TH	TH	OCR・TH	OCR・TH		TH		OCR・TH		
	製 品 重 量	kg	92	115	133	104		122		140		

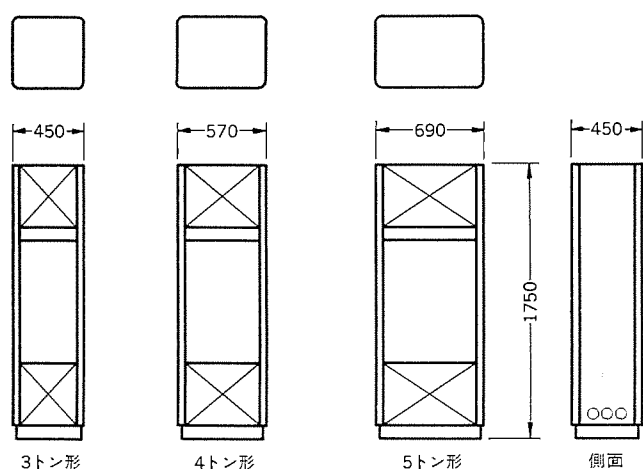


図 3. 製品寸法 (室内ユニット)

外装は前、後、右、左の4面とも銅板にアクリル塗装仕上げを施した。

外形寸法は容量別に3種類に統一し、同一容量機は機能に関係なく同一寸法とした。図3に製品寸法を示す。この結果図4. 据付床面積に示すように当社従来品に比較して大幅な床面積の減少を達成した(3トンで30%減少)。3トン形は幅、奥行寸法とも45cmの正方形断面となり、吹出し方向が自由に選択できるようになった。4, 5トン形はこの3トン形と奥行、高さを同一にし幅だけをおの12cmずつ増加して構成した。

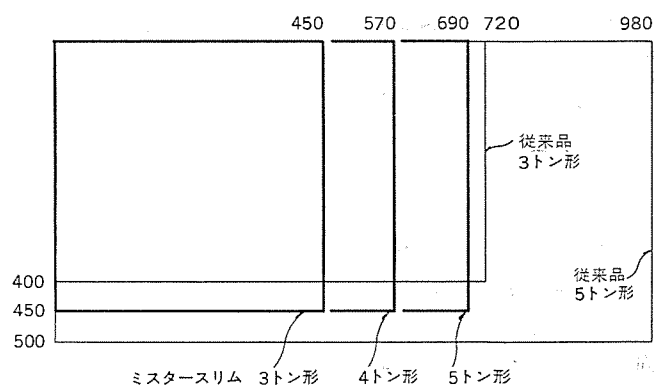


図 4. 据付床面積 (室内ユニット)

4.2 構造

代表機種 PSH-3 A 形 (ヒートポンプ冷暖房機 3 トン 形) の構造を図 5. に示す。このほかの機種も同一の構造を有している。

下面に台板を備えこれに右、左、後面のパネルを固定し、この3枚のパネルに前面のやや小さいパネルを加えた4枚のパネルは各パネルの辺部を4すみの角部で接合し筒状に形成される。上面を天板で覆い骨組のない箱体となり、前面の下方開口を空気吸込口、上方の開口を空気吹出口としている。前記4枚パネルの角部接合部の4箇所には接合部を覆うようコーナールを着脱可能に配設している。

この箱体内部にはアルミプレートフィン形熱交換器、補助電熱器、モータ直結式シロッコ形送風機を組んでいる。熱交換器は前方上がりに傾斜し下方にドレンパンを備え、熱交換面積を大きくとって狭い箱体

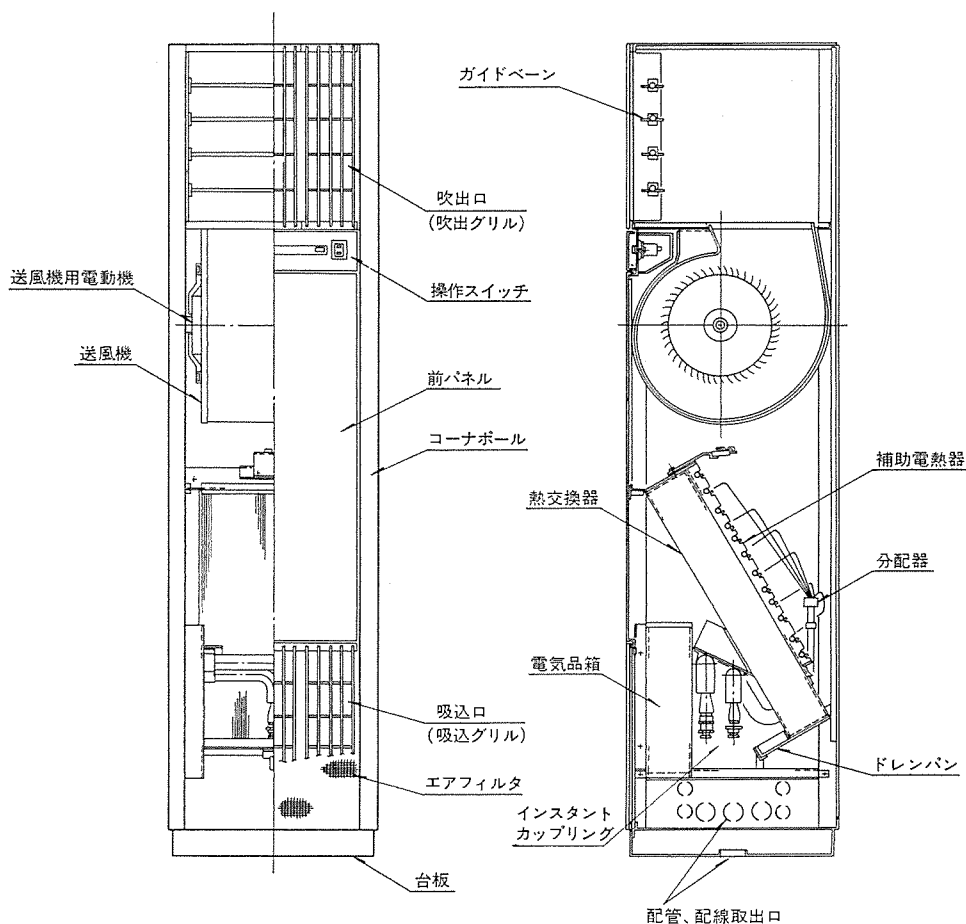


図 5. PSH-3A 形 構造 図

内を有効に利用し風路抵抗を最小限にしている。風路抵抗をより小さく得たことにより送風機は低速回転駆動が可能となり騒音、振動を一層小さくしている。

空気吸込口には縦線状の吸込グリルを磁石により本体に固定し、その内側にエアフィルタを備え、容易にエアフィルタの着脱ができる。空気吹出口にも吸込口と同じ縦線状の吹出グリルを配している。この吹出グリルは横方向に3分割し、おのおのに水平方向の角度のついた案内部を持った風向羽根を有し、また吹出グリルの内側には上下方向に風向を調整するガイドベーンを備え、部屋の形状に合わせて空気の吹出し方向を選択固定する。

吹出口の下側に運転操作スイッチ類をとびらの内に収め、送風運転強弱切換スイッチ、温度調節器、運転切換スイッチ、表示灯を備えて日常の運転操作はすべてこの部分で行うことができる。

吸込口の内側の左側面に電気制御箱を収納し各種電気制御機器と電源投入用端子台を組んでいる。

保守サービス、点検は空気吸込グリルと前面パネルを取り外すことによりすべて前面より作業ができる。

4-3 据付け

製品の外觀と寸法の特長を生かすよう冷媒配管、ドレン配管、電線投入を右、左、後、下の4方向自由に行うように構成した。冷媒配管の接続方式には3トン形はインスタントカップリング、4、5トン形はフレアナット方式を採用し接続用延長配管の先端にフレキシブル配管を備え据付けの作業性を向上させた。また地震などによる転倒を防止するため床面又は壁面に製品が固定できるよう転倒防止具を備えた。

本体外装を4面仕上げしたことと下方床面への配管、配線を可能にしたことにより本体を室内の壁面より離して中央部に設置することもできるようにした。

5. 室外ユニットの構成

室外ユニットは全機種とも外觀、内部構造は相似形状としている。図6にPU-3B形の構造図を示す。四角形の箱体の2ないし3側面に熱交換器を配し他の1面をサービス面としている。上方にプロペラ形送風機をモータに直結し、上面吹出形に配設して

いる。内部に防音箱に囲まれて圧縮機を組込み、サービス面に面して冷媒回路部品と電気回路部品を収納している。圧縮機はすべて信頼性、高効率、低騒音を誇る三菱全密閉形2極圧縮機である。空気吸込口の熱交換器外表面と空気吹出口のプロペラファンの回転羽根は網状ガードで覆い危険防止と製品保護をしている。

風雨にさらされるこの室外ユニットは完全な防水、防滴構造を有し

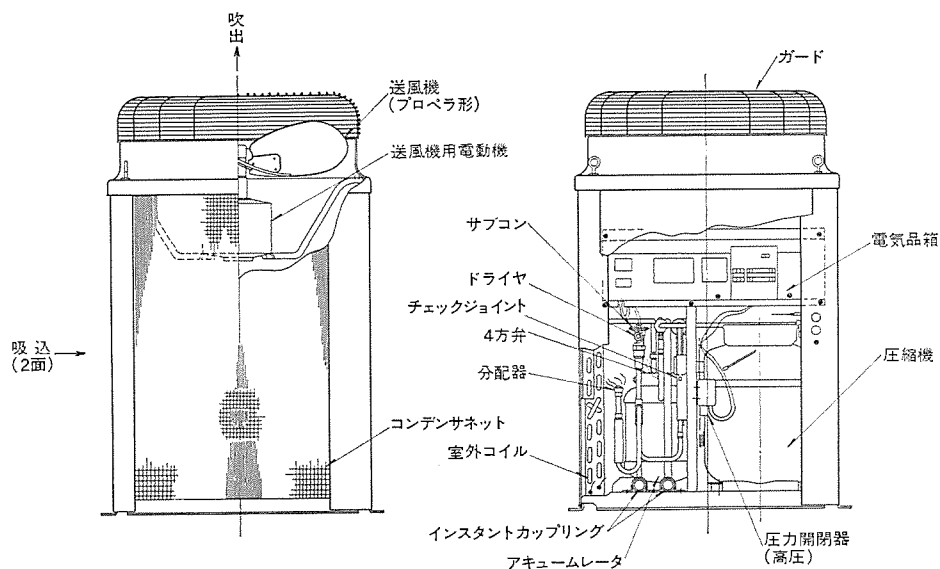


図 6. PUH-3B 形 構造 図

ており、強化された防せい(錆)処理と合わせて幅広い環境条件に対応した。また降雪地方での据付用に防雪フード等の防雪用部品も取付けできる構造としている。

6. 冷媒回路、電気回路

室内ユニットと室外ユニットとを組合せて完成される冷媒回路を3トン形の製品について図7.に示す。

6.1 冷媒回路

冷房専用機PSH-3A形は一般的な冷凍サイクルで構成され、ヒートポンプ冷暖房機PSH-3A形とヒートポンプドライ機PSD-3A形は全く同一のヒートポンプ冷凍サイクルを用い過冷却制御弁に代表されるHi/Re/Liシステムを採用している。

6.2 電気回路

運転スイッチ、温度調節器などの操作部はその操作性を考慮して視線の位置に配置し、その他の部品は吸込グリルの左側内面に配置した箱の中に収納して据付け・サービス性を確保した。保護装置として、圧縮機モータの過電流継電器と熱動温度開閉器、圧力開閉器、送風機モータの熱動温度開閉器、暖房用補助ヒータの温度開閉器(過熱防止)と温度ヒューズを装備して安全性を確保するとともにこれらの保護装置が作動した場合異常表示ランプ(赤色)を点灯させ、また通常運転時には運転表示ランプ(緑色)を点灯させることによりユーザが明確にわかるようにした。

保護装置はいずれも自動復帰形であるが、再始動防止の自己保持回路を形成し誤操作の防止に配慮した。温度調節器は2ステージとして暖房運転時には補助ヒータとヒートポンプ運転とをそれぞれ別々に制御する。また、室内ユニットの熱交換器に取付けた温度開閉器(冷風防止)により熱交換器の温度が22°C以上にならないと送風機モータが始動せず、暖房開始時や除霜時及び除霜終了時に冷風が吹き出してユーザに不快感を与えないように配慮して暖房効果を高めた。

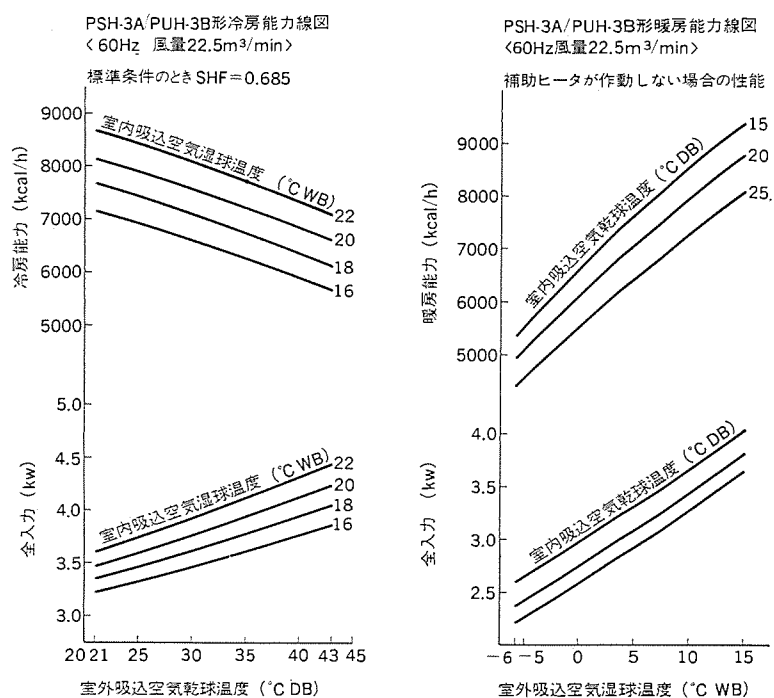


図 8. PSH-3A 形冷暖房能力線図

7. 性能

7.1 冷暖房性能

図8.にPSH-3A形の冷暖房性能特性を示す。暖房運転時外気温(湿球)の低下に従いその能力が低下するが、これを補うためにPSH-3A形には3kWの暖房用補助ヒータを室内ユニットに内蔵した。これにより外気温-6°C WBのときに表示能力を確保するよう図った。

7.2 騒音特性

パッケージエアコンの騒音発生源には圧縮機、送風機から直接発生するものと、これらの振動が構造部分に伝わり発生するものとに大別できるが、室内外ユニットの低騒音化を図るためこれらの騒音レベルに及ぼす影響について究明し、圧縮機・送風機・送風機モータの低騒音化をはじめしゃ音及び防振に細心の配慮をした。図9.はPSH-3A形の騒音分析結果で、ユニットの前面1m、高さ1mの点で測定したものである。商店・飲食店などの許容NC値は45といわれておりこれを満足した。

7.3 室内ユニット風速分布

《ミスタースリム》シリーズは図1.に示すように吹出口を上部に吸込口を最下部に配置したことにより室内の気流を大きく循環させるので室内の上下方向の温度むらを少なくすることが可能となった。PSH-3A形の場合、プラスチック成形のたてルーバを3分割にしたのでそれぞれのルーバの組合せにより図

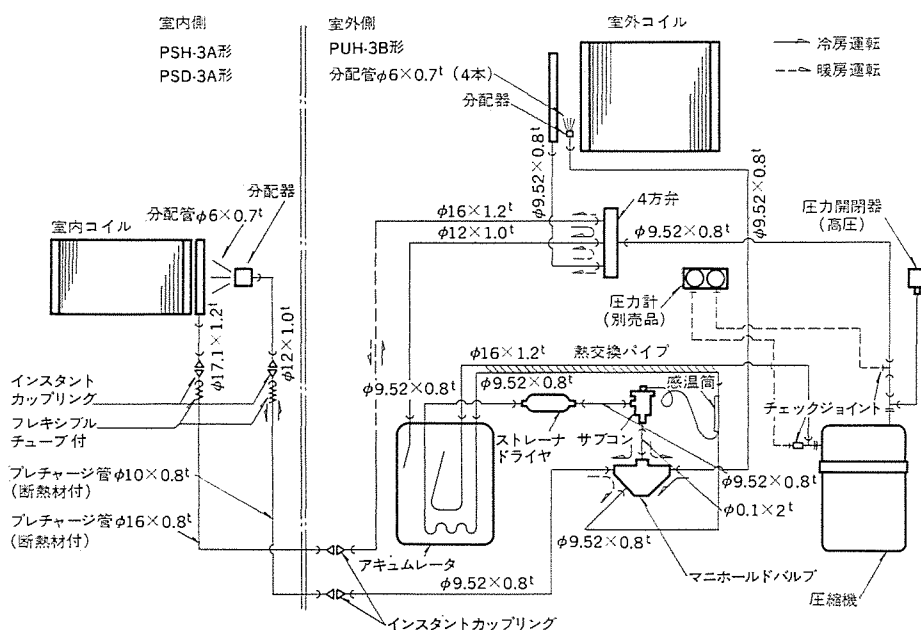


図 7. PSH-3A, PSD-3A 形冷媒回路図

10. に示すような気流分布を選択できるようにした。

7. 4 除湿性能

除湿運転は、ヒートポンプ運転時の暖房補助ヒータとして内蔵している電熱ヒータを再加熱器として利用する方式を採用している。再加熱器兼用のヒータは室内側空気条件が22℃ 50%, 室外側空気条件20℃ 50% のときに吸入空気温度と吹出空気温度がバランスするようにするため3A形機種に5.1kW, 4A形機種に6kW, 5A形機種に7kWと除湿機能付きの機種はヒータ容量が大きくなっている。このことはヒートポンプ機種は暖房能力の不足する地方の暖房も可能と

している。なお上記条件における除湿能力は表1. に示すとおりである。

8. 別売部品

《ミスタースリム》シリーズは、小規模な店舗の空調を中心として設計しておりユーザの満足する製品となっているが、更にその機能・据付性・サービス性を考慮して次の別売部品を用意した。

(1) 電気ヒータ・加湿器

冷房専用機種のPS-3A, 4A, 5Aには手軽に暖房を可能とするためそれぞれ9kW, 12kW, 14kWの電気ヒータがある。また暖房時の相対湿度の低下を防止して快適な暖房効果を確保するためにパン形加湿器も準備している。

(2) 配管セット

3A形機種には、冷媒配管(長さ5m)・断熱材・スリーブ・配線などまとめてキットとしたものが準備されており、ルームエアコンの据付けと同じ要領で据付工事が可能となっている。

(3) 延長パイプ・圧力計

3A形機種は15m, 4A, 5A形機種は30m(ヒートポンプ・除湿機能付きは25m)が許容配管長さとなっておりこれらの配管工事を簡単にするため3A形は1, 3, 5, 7mの配管を, 4A, 5A形機種には5mの延長パイプを準備している。また、冷媒回路の運転状態を知り保守・サービスを向上するために圧力計も準備している。

9. む す び

三菱電機店舗用パッケージエアコン《ミスタースリム》はサービス業を主とした小規模な店舗に要求される機能を満足し、使用勝手のよい据付性の優れた製品であると考えている。今後の使用実績をふまえて更にユーザのご要望に沿った製品としていきたいので各方面からのご指導、ごべんたつをいただければ幸いである。

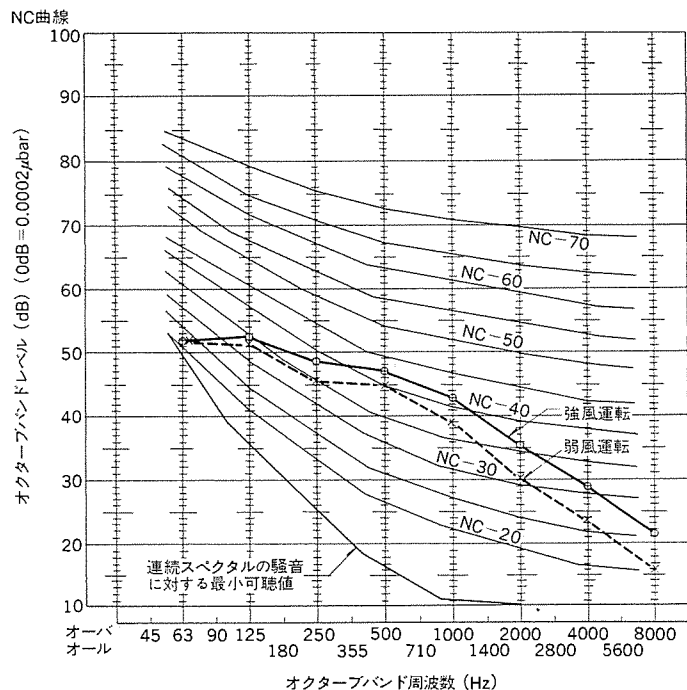


図 9. PSH-3A 形騒音分析表 (60 Hz)

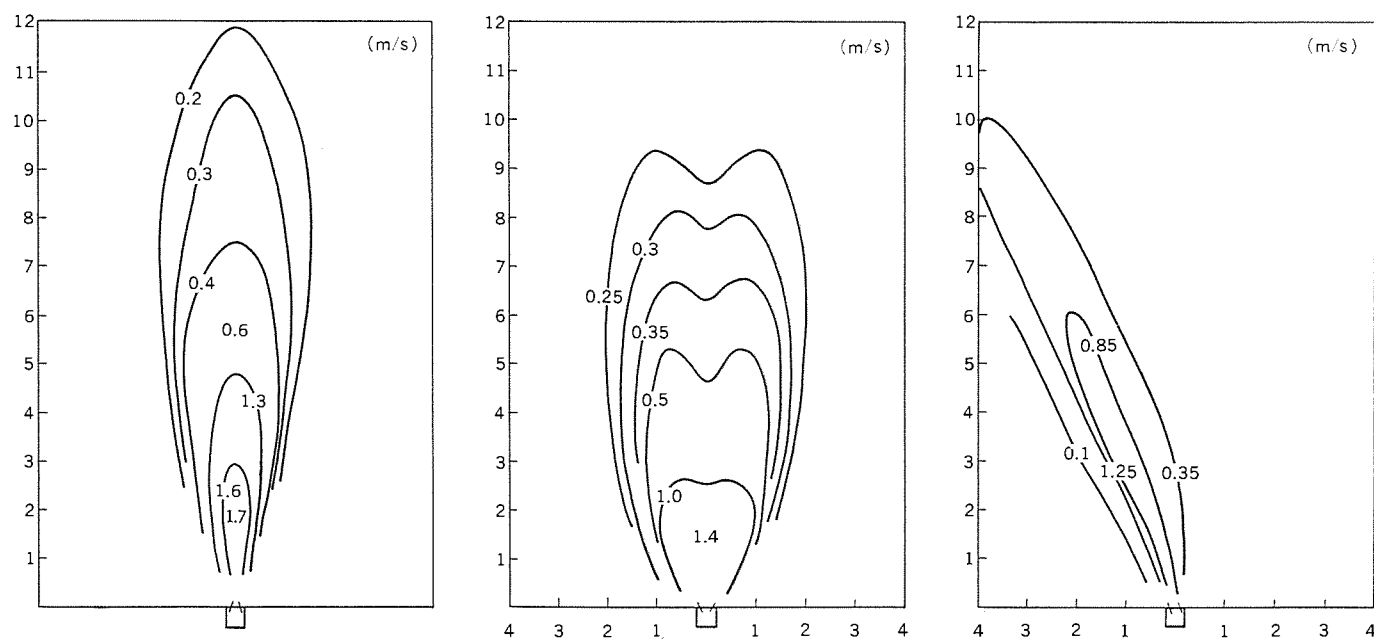


図 10. PSH-3A 形風速分布 (送風 - 強 60 Hz)

冷蔵多段オープンショーケースの熱系動作シミュレーション

山崎 起助*・瀬下 裕*・清水 誠*・桜井 正志**・松本 徹***

1. ま え が き

スーパーマーケットをはじめとする食品店舗において、オープンショーケースは冷凍・冷蔵食品、生鮮食品の販売に欠かせない機器になっている。特に最近では、この機器に対しても、食品温度の安定保持だけでなく省エネルギー化に対する要求も強まっており、これらの要求を製品に反映していくためには、機器全体を総合してバランスのとれた設計を行わなければならない。このためには、機器構成要素や動作要因に関する数多くの組合せについて検討する必要があるが、電算機を利用したシミュレーション解析によって最適化の方向を探ることができれば、機器設計法の簡易化や性能試験などの省力化に対して極めて有効である。

そこで我々は、機器構成要素や動作要因に関する諸条件を設定することにより、各種のショーケースの動作状況を推定できるシミュレーションプログラムを開発し、それによる計算結果と実機動作状況とのよい一致を得ることができた。

本文では、このシミュレーションプログラムの基礎式と計算結果の1例について述べ、今後、機器最適化のためのシミュレーション研究及び設計の一助とする。

2. シミュレーションの基礎式

2.1 冷蔵多段オープンショーケースの構成

このシミュレーションの対称とする冷蔵多段オープンショーケースの概要をとらえるため、図1.にその外観を示す。機器の特長は、庫内の食品を保冷し、同時に庫内冷気の庫外への流出を防止するため、前面開

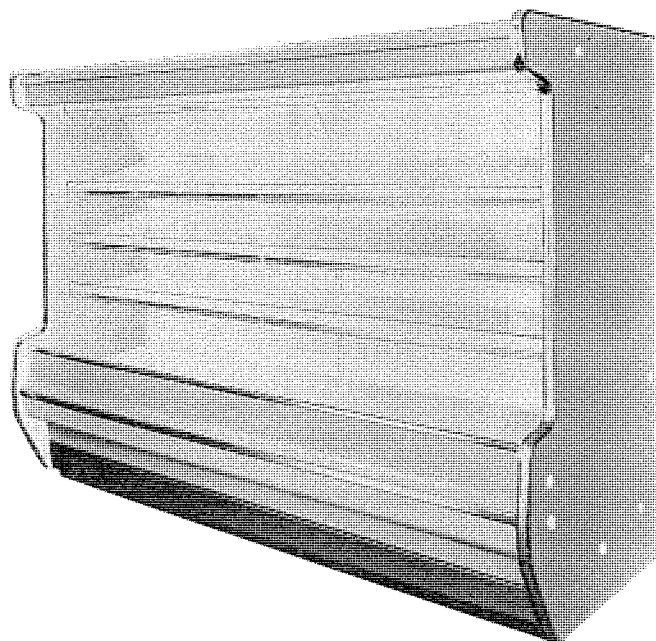


図1. 冷蔵多段オープンショーケース外観

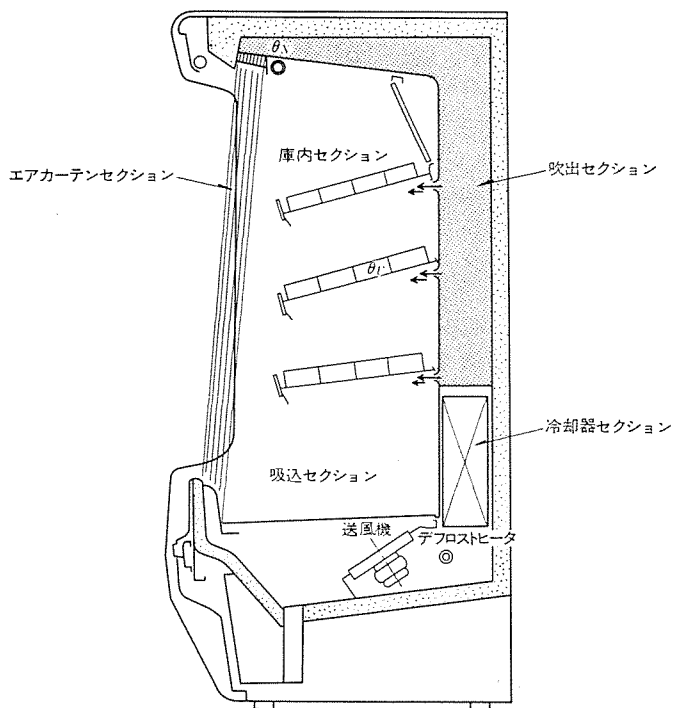


図2. 冷蔵多段オープンショーケースの断面図

口部に低温のエアカーテンを流していることである。

図2.は、機器の断面構造及び、以下に述べるシミュレーション上必要な各構成セクションへの分割状況について示している。

2.2 シミュレーションの特長

オープンショーケース熱系の動作においては、冷却運転中、冷却器の着霜による循環風量の減少、及びある時間間隔で行われる除霜運転のために、定常状態はまれにしか存在しない。このため、非定常状態と定常状態のいずれの動作をも表せるような数学モデルを設定する。このモデルの設定に当たっては、ショーケースの詳細構造に至るまでモデル化を考えると、シミュレーションの規模が膨大になって得策ではないので、図2.に示すようにショーケースを5つのセクションに分割し、各セクションごとに集中定数化の手法⁽¹⁾を用いてモデルの簡易化を行っている。

2.3 シミュレーションの基礎式

シミュレーションの基礎式は、熱平衡及び質量保存則に基づき、前述した各セクションごとに1次微分方程式によって記述されている。これらを連立した方程式について、電算機を用いる数値解法によって解を求める。この基礎式に用いる記号の一覧を次に示す。

記号

A : 伝熱面積 (m^2)	Q_T : 冷凍能力 (kcal/h)
C : 熱容量 ($\text{kcal}/^\circ\text{C}$)	r_x : 水の凝縮潜熱 (kcal/kg)
C_p : 空気の比熱 ($\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$)	t : 時間 (h)
$G(t)$: 循環風量 (kg/h)	W : 重量 (kg)

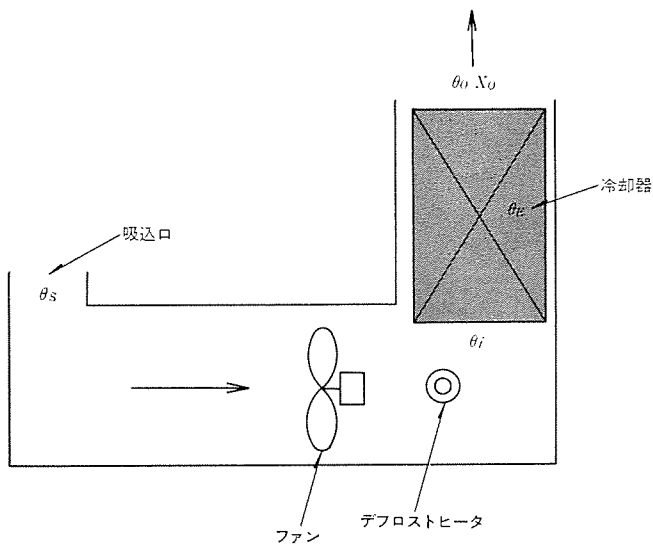


図 3. 吸込み及び冷却器 セクションの熱モデル

K : 熱通過率 ($\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$) X : 絶対湿度 ($\text{kg/kg}'$)
 K_x : 物質伝達係数 (kg/h) θ : 温度 ($^\circ\text{C}$)
 Q : 熱量 (kcal/h)
 添字
 E : 冷却器 i : 冷却器入口
 F : 庫内 o : 冷却器出口
 H : ヒータ s : 吸込口

2. 3. 1 吸込み・冷却器セクション

図 3. は吸込み及び冷却器 セクションの熱等価モデルを示す。

まず吸込口から吸込まれた高エンタルピの空気は、送風機、デフロストヒータ及び冷却器を通過し、オープンショーケースが冷却運転されているとき除湿・冷却される。

この場合ダクト壁の熱容量は無視し、この部分での外部への熱損失はないものとする、流体中の各ノードでは式(1)、式(2)が成立する。

$$C_i d\theta_i/dt = G(t) C_p (\theta_s - \theta_i) + Q_F + Q_H \dots\dots\dots (1)$$

$$C_o d\theta_o/dt = G(t) C_p (\theta_i - \theta_o) + A_E K_E (\theta_E - \theta_o) \dots\dots\dots (2)$$

一方、質量保存則から、冷却器出口空氣の絶対湿度 X_o については式(3)が成立する。

$$W_o dX_o/dt = G(t) \cdot (X_s - X_o) + A_E K_x (X_E - X_o) \dots\dots\dots (3)$$

式(2)右辺の K_E は冷却器表面上の霜層の熱抵抗と、表面熱伝達率の関数で表される。また、この表面熱伝達率は実験的に求められる値で、冷却器の前面風速の関数であり、霜層の熱抵抗は、霜が冷却器に均一に着霜するものと仮定した場合、着霜量 $W_{s,v}$ から換算される霜層の厚さと霜層の熱伝導率の関数となる。

式(3)右辺の K_x は熱伝達と物質移動の相似則による Lewis の法則が成り立つものとして求められる。

着霜量の時間的な変化量は、冷却器前後の空氣の絶対湿度差と循環風量の積として表される。したがって、冷却器における熱平衡は、着霜による潜熱移動、冷却器を通過する空氣の冷却による顕熱移動、及び冷却器へ供給される冷凍量の関数となり、式(4)で表される。

$$C_E d\theta_E/dt = r_x G(t) \cdot (X_s - X_o) + A_E K_E (\theta_o - \theta_E) - Q_T(\theta_E, \theta_C) \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 Q_T は冷凍機的能力パフォーマンスカーブから求められる冷凍能

力で、蒸発温度 θ_E と凝縮温度 θ_C の関数として表される。

次に、循環風量 $G(t)$ はオープンショーケース風路系の全風圧損失と送風機の静圧-風量に関するパフォーマンスカーブとの交点より求められる。また、この全風圧損失は、図 2. に示す各部ダクト内の損失、エアカーテンの吹出口損失、吸込口損失及び冷却器での損失などで構成されている。風路系内を循環する空氣の流態を乱流と仮定すれば、冷却器以外の風路系各部の風圧損失係数⁽³⁾⁽⁴⁾は、ダクトの形状によって決まるので、一定とみなすことができる。

冷却器の風圧損失係数は、フィンによる摩擦損失、管群による損失及び冷却器出入口の急拡大・急縮小による損失から成り立っており、いずれも着霜によって増大する値である。計算に際して、この係数は冷却器の最小自由通過面積比及び最大通過風速に対するレイノルズ数の関数として実験的に求められる。

このため、全風圧損失も冷却器への着霜量が多くなるにしたがって増大し、前述した交点から求められる循環風量は着霜にしたがって減少する。

デフロスト運転に入ると、デフロストヒータが通電され、冷却器表面に着霜した霜は融解される。このとき、霜層内の温度分布は霜厚さの関係であり⁽⁵⁾、表面で溶けた霜は水になって除去されるものとして

2. 3. 2 エアカーテン、庫内セクション

エアカーテン流が開口部上端の吹出口から下端の吸込口に向かって流下するとき、庫内空氣と高温多湿の庫外空氣が巻込まれてもどの流れとも混合するため、そのエンタルピは吸込口に近づくにつれて増加する。その混合状態はエアカーテンの流線方向について均一であり、エアカーテンを形成する空氣と庫内外空氣との熱拡散及び物質拡散は混合による乱流拡散に比べて小さいので無視し、更にエアカーテン内の空氣は完全に混合されるため流線に垂直方向の温度こう配は一定とする、などの仮定によってエアカーテン部の熱モデルを簡易化している。この熱モデルに基づいて熱平衡及び質量保存則から、エアカーテン部における熱収支と物質収支の式が得られる。

庫内部では、均一な空氣温度の中で食品が冷却されているものとしている。実際の冷蔵多段オープンショーケースでは、冷却器を通過して冷却された空氣が庫内背面から一部吹き出され、食品冷却の補助を行っているものもある。この場合シミュレーションでは、背面吹出空氣と庫内空氣とが完全に混合して食品の冷却に寄与するとして考えている。

2. 3. 3 吹出セクション

この吹出セクションは、最も広い部分を占め、壁体からの熱漏れも最も大きく、他のセクションにおける壁体からの熱漏れ成分は小さいので、すべてここに集中させて熱平衡を考えるものとする。更に、このセクションを流れる空氣は壁体以外に接触するところがなく、冷却されることもないので、物質移動は起こらないものと仮定することができる。

3. 実機及び計算例

ここで述べる実機庫内温度変化状況及びシミュレーション計算例は、当社の生鮮加工食品用冷蔵多段オープンショーケース RDM-82 LA 形に対するものである。その仕様を表 1. に示す。なお、このショーケースはこのシミュレーションを利用した設計改善により、大幅な省エネルギー化をはたし、安定した庫内温度を保持できる当社オープンショーケースの新シリーズ (New RA シリーズ) の中の 1 機種である。

表 1. 冷蔵多段オープンショーケース仕様

項 目		生鮮・加工食品用ショーケース形名	
		RDM-62 LA	RDM-82 LA
使 用 温 度 (°C)		-2~-2	
蒸 発 温 度 (°C)		-17	
所 要 冷 凍 能 力 (kcal/h)		2,420	3,230
電 気 容 量	照 明 (W)	405/380	560/510
	防 露 ヒ ー タ (W)	38	50
	送 風 機 (W)	76/64	114/96
	デフロストヒータ (W)	1,280	1,700
外 形 寸 法	幅 (mm)	1,830	2,440
	高 さ (mm)	1,850	
	奥 行 (mm)	900	

3. 1 運転状態の分析

冷蔵多段オープンショーケースの運転状態は、以下の4つの状態に大別される。

- (1) 冷却運転状態。
- (2) デフロスト運転で冷却器霜層表面が 0°C に達するまでの状態。
- (3) “ で冷却器霜層が融解する状態。
- (4) “ で(3)の過程が終了して再び冷却運転に入るまでの状態。

2 章では主として(1)の冷却運転状態について説明してきたが、ほかの状態においても、同じ数学モデルによってシミュレーションすることができる。

運転状態を(1)から(2)の状態に移行させるためのデフロスト開始を指示する方法は種々考えられ、その方法を評価することもこのシミュレーションの目的の1つである。(3)の状態は、霜層表面が 0°C に上昇してから冷却器表面上の霜層がすべて融解するまで継続される。この状態が終われば、霜の融解に熱を消費するこ

とがなくなるので、急激な温度上昇の起こる(4)の状態に移行する。

(4)から(1)の冷却運転状態への再移行は、冷却器空気出口の温度が設定値に到達したときに行われる。

3. 2 実機の温度変化状況

図 4. は、冷蔵多段オープンショーケース RDM-82 LA 形の代表的なポイントとして、冷却器出口空気温度、冷却器入口空気温度及び冷却器温度の時間的溫度変化状況の実測例である。この実測例は夏期標準条件におけるもので、後に示すシミュレーション計算例とよく一致したパターンを示す。

3. 3 計算結果

オープンショーケースが設置されている空気条件として、夏期及び冬期の標準条件を代表例として述べる。

シミュレーション計算にあたって、運転開始後1時間目にデフロストを行い、初期条件のずれを補正し、その後正規のサイクル運転を行うものとしている。実際のショーケースの冷却器における蒸発温度は、冷凍機に蒸発圧力調制弁をつけて -17°C 以下にならないように制御しており、計算例においても実機に模して -17°C 以上の蒸発温度で運転されるようにしている。また、計算例では冷却運転とデフロスト運転のサイクルを、実機に模して4時間ごとに行うように設定している。更に、デフロスト運転から冷却運転への切り換えは、冷却器出口空気が 15°C に達したときに行い、実機ではこの動作を過熱防止器によって制御している。

3. 3. 1 夏期標準空気条件

室内空気温度 25°C、相対湿度 60% を夏期標準空気条件とする。図 5. は、上から冷却器入口の空気温度・吸込口空気温度・庫内食品温度・庫内空気温度・吹出口空気温度・冷却器出口空気温度及び冷

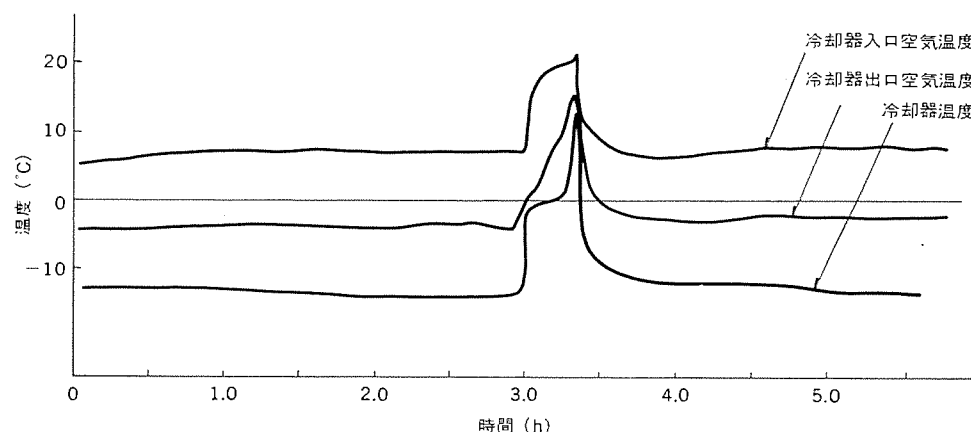
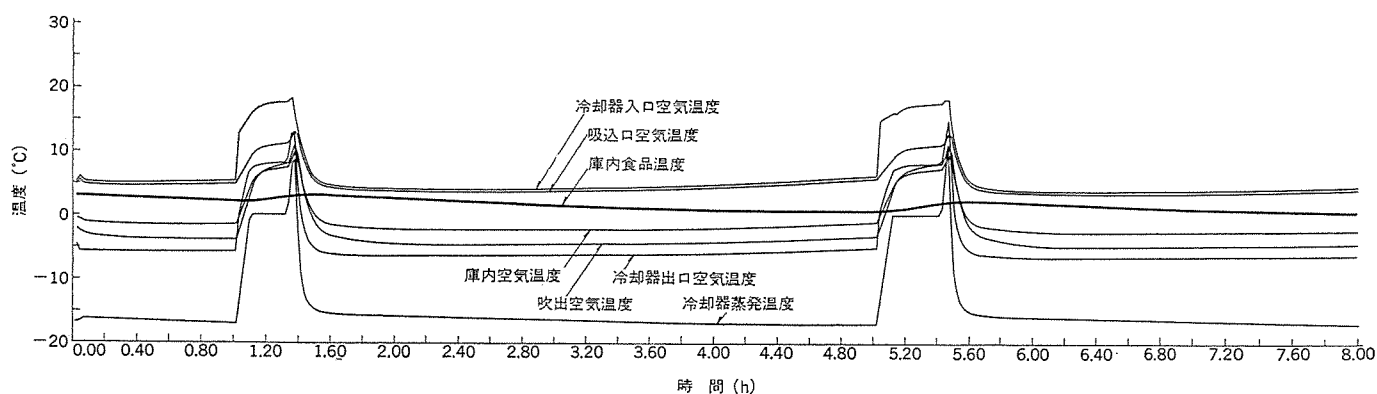


図 4. 冷蔵オープンショーケース実機動作温度

図 5. 温度変化状況 ($\theta_R=25^\circ\text{C}$, 60% RH)

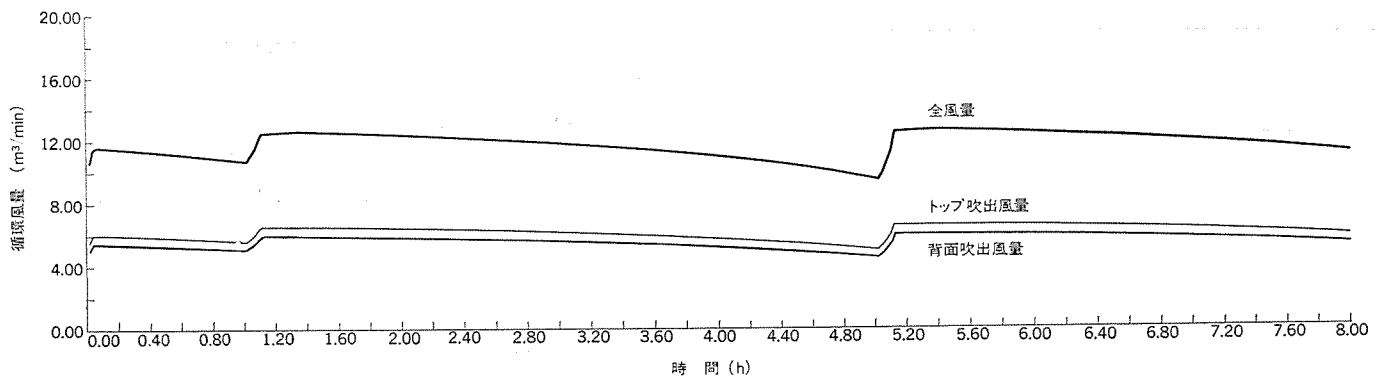


図 6. 風量変化状況 ($\theta_R=25^{\circ}\text{C}$, 60% RH)

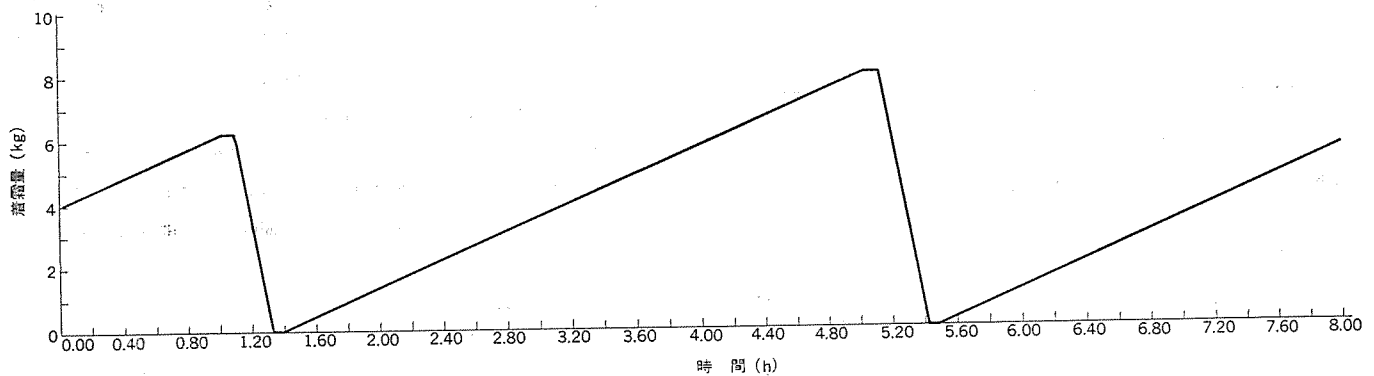


図 7. 冷却器着霜量 ($\theta_R=25^{\circ}\text{C}$, 60% RH)

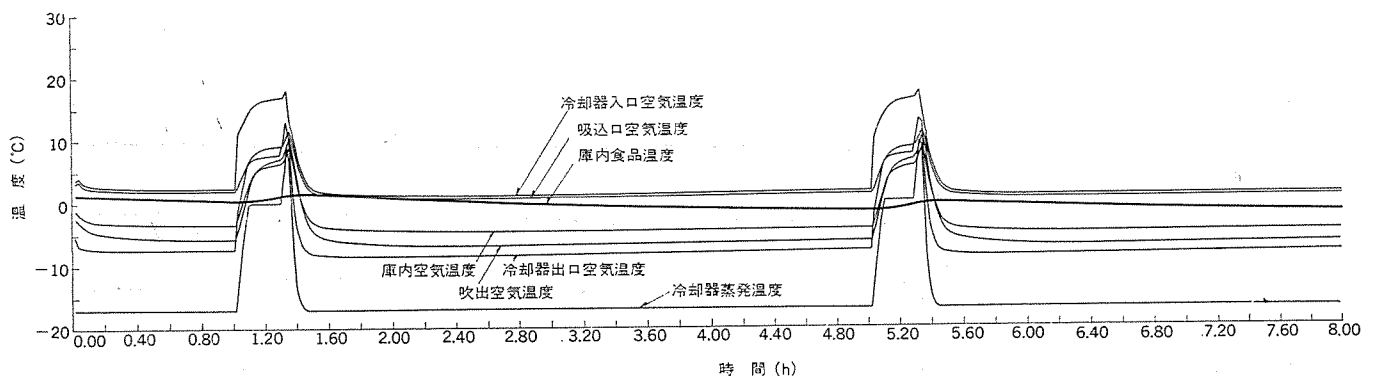


図 8. 温度変化状況 ($\theta_R=20^{\circ}\text{C}$, 50% RH)

却器蒸発温度の変化状況を示すカーブであり、縦軸は温度、横軸は運転時間を示す。図 6. は全循環風量・吹出口風量及び背面吹出風量の変化状況を、図 7. は冷却器への着霜量の積分値を示す。

冷却器への着霜は時間経過に従って増大するため、循環風量は減少する傾向を示すが、商品温度はデフロスト開始直前まで降下している。デフロスト運転時には、デフロストヒータに通電して冷却器の着霜を融解するため、庫内各部の温度は一時的に上昇する。食品温度も多少の時間遅れを伴って上昇するが、その度合はわずかで所定温度範囲におさまっており、機器は正常に動作している。

3.3.2 冬期標準空気条件

室内空気温度 20°C 、相対湿度 50% を冬期標準空気条件とする。図 8. は図 5. と同様に庫内各部の温度変化状況を示し、図 9. は図

6. と同様に風量の変化状況を示す。図 10. は図 7. と同様に冷却器着霜量を積分した値の変化状況を示す。この場合にも、冷却器への着霜は時間経過に従って増大するが、着霜量は夏期の例に比べて約 40% 少なく、風量減少の度合いも少ない。また、庫内食品温度も十分に所定温度範囲内に入っている。冷却器の蒸発温度はデフロスト終了後の冷却運転開始から急速に蒸発圧力調製弁の制御レベルである -17°C に到達し、冷凍機能力にもまだ十分に余裕のあることを示している。

3.4 検討

夏期と冬期における冷蔵多段オープンケースの動作状況の相違は、夏期の場合、室内空気の中に含まれて着霜の原因となる水分の量が多く、室内温度レベルが高いために庫内に侵入する熱負荷が大きい

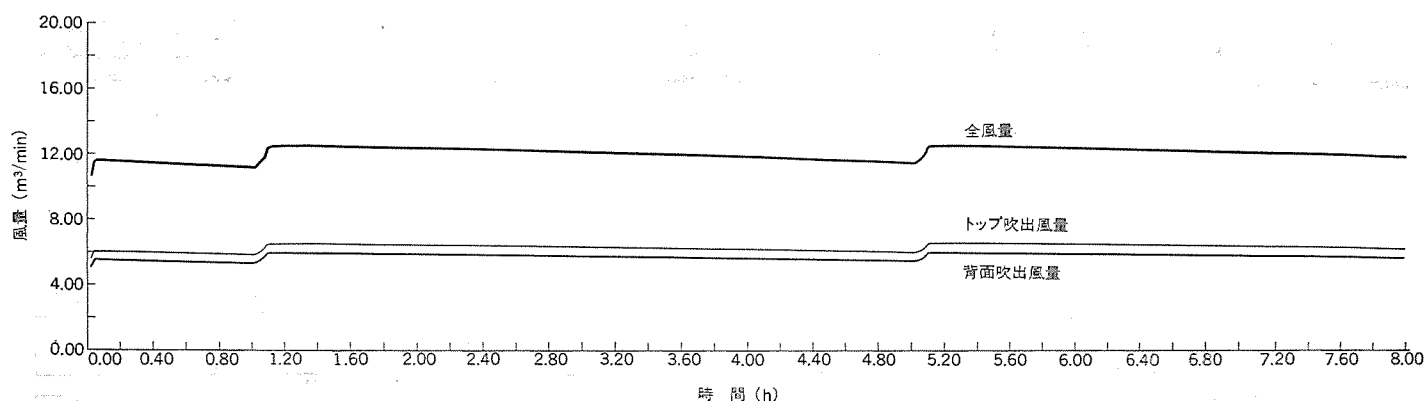


図 9. 風量変化状況 ($\theta_R=20^{\circ}\text{C}$, 50% RH)

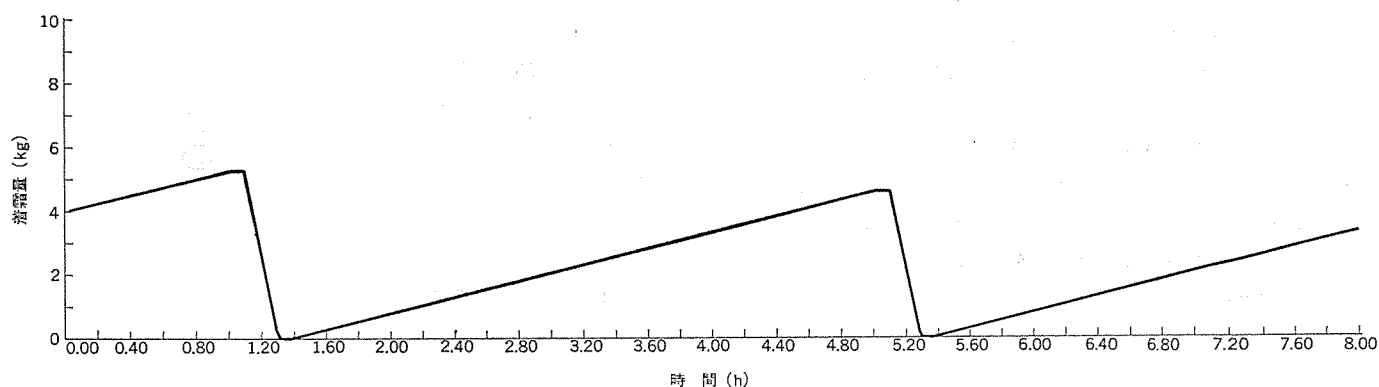


図 10. 冷却器着霜量 ($\theta_R=20^{\circ}\text{C}$, 50% RH)

ことに起因している。特に、室内空気の湿度は冷却器への着霜を増大させ、冷却能力を低下させたり、デフロストをひん繁に行う必要性を生じさせたりするため、食品の安定保冷及び省エネルギー化に対して予想以上に悪い影響を及ぼす。

ここで述べた計算例と実機における各部温度変化状況とを比較するとよく一致しており、このシミュレーションの方法が妥当なものであることを確認した。また、計算例では室内空気条件を変化させた場合についてのみ示したが、他の要因、例えば冷却器の大きさ、機体の断熱状況はもちろんのこと、循環風量や送風機の容量、デフロストの方法などを広範囲に変化させ、それらが機器特性に及ぼす影響の程度を推定することも可能である。

4. む す び

本文で述べたシミュレーションの方法は、比較的簡単な数学モデルを設定しているが、実機動作をよく推定することができる。この方法は、

新しく発売された当社オープンショーケースの New RA シリーズにも応用されており、省エネルギー化と食品の安定保冷の達成に効果を発揮してきた。

今後は、このシミュレーションの精度や利便性及びはん(汎)用化を更に高めるために、一層の研究を進めていく予定である。

参 考 文 献

- (1) 高橋：ダイナミックシステム論，科学技術社
- (2) 山崎，瀬下ほか：三菱電機技報，51，No. 7，p. 487 (昭52)
- (3) 植松ほか：流体・固体輸送ハンドブック，朝倉書店
- (4) 機械学会編：機械工学ハンドブック，日本機械学会
- (5) C. Th. Sanders：The Influence of Frost Formation and Defrosting on the Performance of Air Coolers, Delft Univ. WTHD No. 63 Sep. (1974)
- (6) 山崎，清水ほか：三菱電機技報，49，No. 4，p. 337 (昭50)

表 1. フィルタ

ランク	No.	内 容
C	1	冷却塔があって熱源機がないもの
	2	集熱器と負荷・放熱器のみのもの
	3	集熱器・蓄熱槽及び負荷・放熱器のみのもの
	4	冷却塔が2個以上あるもの
	5	補助熱源が4つあるもの
	6	熱源機がなく、補助熱源が3つあるもの
	7	集熱器の直後に冷却塔があるもの
	8	LiBr-H ₂ O 吸収式冷凍機で冷却塔がないもの
	9	H ₂ O-NH ₃ 吸収式冷凍機で冷却塔があるもの
	10	空気熱源ヒートポンプで冷却塔があるもの
	11	ランキンサイクル冷凍機で冷却塔があるもの
	12	水熱源ヒートポンプで冷却塔がないもの
B	1	蓄熱槽がないもの
	2	集熱器側に蓄熱槽がないもの
	3	補助熱源がないもの（ヒートポンプがあるものを除く）
	4	補助熱源が3つ以上あるもの（ヒートポンプがあるものは2つ以上）
	5	ヒートポンプを持ち、更に補助熱源 H ₂ があるもの
	6	熱源機なしで蓄熱槽が2つ以上あるもの
	7	熱作動形の熱源機器で補助熱源が熱源機の前にないもの
	8	熱作動形の熱源機器で集熱器側に蓄熱槽があり、熱源機の後に補助熱源があるもの
	9	ヒートポンプシステムで熱源機の後に蓄熱槽があって、補助熱源 H ₃ があるもの
	10	ヒートポンプシステムで集熱器の直後に蓄熱槽があって、補助熱源 H ₁ があるもの
A		上記以外のシステム

表 2. 記号表

Q _{day} : 日積算日射量 (kcal/d)	T _{ST1} : 蓄熱槽温度 (°C)
Q _{day2} : 同 (2月) (")	T _c : 市水温度 (°C)
Q _{day8} : 同 (8月) (")	T _w : 給湯温度 (°C)
L _H : 暖房負荷 (")	η _c : 集熱効率
L _{H2} : 同 (2月) (")	η _{c2} : 集熱効率 (2月)
L _c : 冷房負荷 (")	η _{c8} : 同 (8月)
L _{c8} : 同 (8月) (")	η _{ST2} : 蓄熱効率(ST ₁)
L _w : 給湯負荷 (")	η _{s1} : 配管熱伝達効率(集熱器-ST ₁)
L _{w2} : 同 (2月) (")	η _{s2} : 同 (ST ₁ -ST ₂)
L _{w8} : 同 (8月) (")	η _{s3} : 同 (ST ₂ -負荷側)
Q _{sT1} : 蓄熱量(ST ₁) (")	COP ₈ : (熱作動形空調機の8月の時)
Q _{sT2} : 同 (ST ₂) (")	COP _c : (同 冷房時)
Q _{ES} : 有効利用太陽エネルギー (")	COP _H : (水熱源ヒートポンプ暖房時)
Q _{3w} : 同 (給湯用) (")	V _{ST1} : 槽容積(ST ₁) (m ³)
Q _{l1} : 熱損失(添字は ST ₁ , ST ₂) (")	V _{ST2} : 同 (ST ₂) (m ³)
Q _{z1} : 残熱量 (")	A _c : 集熱器面積 (m ²)
H _{s1} : 補助熱量(空気熱源ヒートポンプ) (")	C : 水の比熱 (kcal/kg-deg)
H _{s2} : 同 (水熱源ヒートポンプ) (")	γ : 水の比重量 (kg/m ³)
H _{s3} : 同 (熱作動形空調機) (")	σ : 太陽熱依存率 (晴天日の目標)

れ、年間の熱量・経済性の計算を行うことができる。

(6) 冷暖房を行う建物の熱負荷に関しては、建物構造・気象条件・生活パターンなどを入れることにより各月・各天候別の熱負荷をあらかじめ計算できる サラプログラム が既に作成されている。このサラプログラムにより計算された熱負荷に対して、プログラム アルゴリズム に従って、システム 中の構成要素の設計や機種選定を自動的に行うことができる。

(7) 各気象条件、機器特性、システム 動作条件、機器・工事価格、補助熱源別 エネルギー 価格並びにこれと比較する従来 システム の数種類の価格がマスターデータとして内蔵されており、従来 システム については任意の選択が可能である。

(8) アウトプット は次のとおりである。

- 構成要素の容量
- 太陽熱 システム 機器の価格
- 期間・年間の負荷、補助 エネルギー 量、節約 エネルギー 量
- 年間 エネルギー 節約額、太陽熱依存率、FOM

図 3. にこの システム 評価 プログラム の ゼネラルフローチャート を示す。

3.3 インプット マスターデータ

4.1 節 でこの報告での計算を行うための具体的な インプット マスターデータについて述べるのでここでは省略する。

3.4 各種構成要素の設計アルゴリズム

ここでは太陽熱 システム の代表的な構成要素である集熱器及び蓄熱槽の設計 アルゴリズム について述べる。式中の記号を表 2. に示す。

(1) 集熱器の設計

集熱器面積の決定は次式によっている。

(a) 暖房・給湯システム及びヒートポンプシステムの場合
平板形集熱器を使用し、冬の晴天日を基準として求める。

$$A_c = \frac{(L_{H2} + L_{W2}) \times \sigma}{Q_{day2} \times \eta_{c2} \times \eta_{s1} \times \eta_{s2} \times \eta_{s3}} \quad (1)$$

(b) 熱作動形空調機 システム の場合

高性能集熱器を使用し、夏の晴天日を基準として求める。

$$A_c = \frac{(L_{c8}/COP_8 + L_{W8}) \times \sigma}{Q_{day8} \times \eta_{c8} \times \eta_{s1} \times \eta_{s2} \times \eta_{s3}} \quad (2)$$

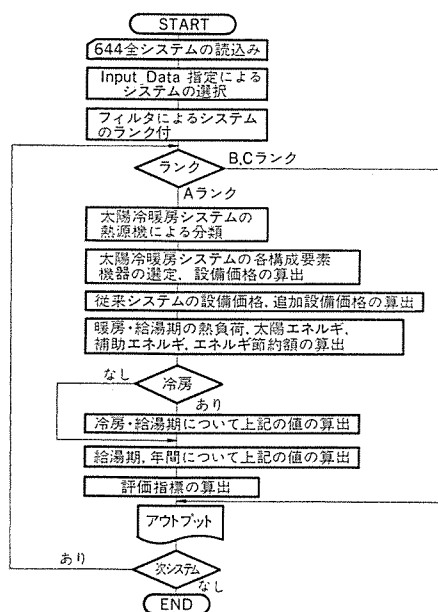


図 3. ゼネラルフローチャート

給湯のみの各システム形態が含まれており、この中から評価・計算したいシステム番号あるいは構成要素の種類及び数を任意に指定できる。

(3) システムの実用化の可能性の判定規準がランク付用フィルタとして与えられており、有望システムの選択を行うことができる。このフィルタは経験的判断によって作られたもので、表 1. にその一覧を示す。すなわち、この表の B・C ランク以外のものが A ランクの有望なものとなり、これを用いることによって大幅に計算、比較の省力化が可能となる。

(4) 熱源機として前述の 5 種について計算できる。

(5) シミュレーションは、各月の天候(晴・曇・雨)の日単位で行わ

(2) 蓄熱槽の選定

システム設計を行う場合、槽の温度レベルが重要な要素となる。一般的に、この温度レベルは各月、各天候で異なる。各月の天候別の代表日の集熱量より蓄熱槽の温度を求め、これより集熱効率を求める。1次蓄熱槽(ST₁)の必要蓄熱量は、日積算集熱量(晴天日)の50%を蓄熱するとして次式によって決定される。

(a) 暖房・給湯システム及びヒートポンプシステムの場合

$$Q_{ST1} = Q_{day2} \times \eta_{C2} \times A_C \times 0.5 \quad (3)$$

(b) 熱作動形空調機システムの場合

1次蓄熱槽はバッファとして利用するものとし、熱作動形空調機システムの場合は1m³に設定することにする。2次蓄熱槽(ST₂)は有効利用温度差を5degとして蓄熱量及び槽容積を次式によって決定する。

$$Q_{ST2} = Q_{day8} \times \eta_{CS} \times A_C \times 0.5 \times COP_8 \quad (4)$$

$$V_{ST2} = Q_{ST2} / (5.0 \times C \times \gamma) \times \eta_{ST2} \quad (5)$$

2次蓄熱槽形状は水深1m、正方形の底面として表面積を決め、これより熱漏れを計算する。

3.5 有効利用太陽エネルギー量

ここでは、集熱されて有効に利用される太陽エネルギー量の求め方を示す。

(1) 暖房・給湯システムの場合

熱負荷に対する1日の有効利用太陽エネルギー量(Q_{ES})は次式によって決定される。

$$Q_{ES} = (Q_{day} \times A_C \times \eta_C \times \eta_{SI} - Q_{I1} + Q_{Z1}) \times \eta_{S3} \quad (6)$$

前日からの残熱量Q_Zは、前日の天候ごとの熱負荷の比較によって求められ、その天候出現率が考慮されて期待値が予測される。また当日についても天候別に3ケースの計算が行われ、天候出現率が考慮されて各月ごとの有効利用太陽エネルギー量が計算される。

給湯負荷に対する1日の有効利用太陽エネルギー量(Q_{SW})は次式によって決定される。

$$Q_{SW} = L_W \times \{T_{ST1} - 5 - T_C\} / (T_W - T_C) \quad (7)$$

ここで、給水は1次蓄熱槽内の熱交換器によって槽温度より5deg低い温度まで予熱されるものと仮定している。

(2) 空気熱源ヒートポンプシステムの場合

暖房及び給湯期間内の熱負荷に対する1日の有効利用太陽エネルギー量(Q_{ES})は次式によって決定される。

$$Q_{ES} = \{ (Q_{ES} \times A_C \times \eta_C \times \eta_{SI} - Q_{I1} + Q_{Z1}) \times \eta_{S2} - Q_{I2} \} \times \eta_{S3} \quad (8)$$

暖房用の補助熱源H₄の有無によって補助熱源入力熱量(H_{SI})はおのおの式(9)、式(10)によって決定される。

$$H_{SI} = (L_H + Q_{SW} - Q_{ES}) \times 0.9 / (COP_H \times 1.05) + (L_H + Q_{SW} - Q_{ES}) \times 0.1 \quad (9)$$

$$H_{SI} = (L_H + Q_{SW} - Q_{ES}) / COP_H \quad (10)$$

補助熱源(H₄)がある式(9)の場合、これがONする寒冷期間は冬期中の10%とし、残りの期間におけるヒートポンプの暖房時のCOPは5%向上するものと仮定している。

(3) 水熱源ヒートポンプシステムの場合

有効利用太陽エネルギー量の求め方は式(8)と同じであるが、このシステムの場合、太陽熱を熱負荷に利用するためにヒートポンプで昇温するので、この時の使用電力を考慮する必要がある。これは次式によって決定される。

$$H_{S2} = (Q_{ES} - Q_{SW}) / (COP_H = 1) \quad (11)$$

(4) 熱作動形空調機システムの場合

一般的に冬期の配管は、1次蓄熱槽から負荷側へ熱源機器をバイパスしているので、有効利用太陽エネルギーは式(6)で求められる。夏期のそれは次式によって決定される。

$$Q_{ES} = Q_{day} \times A_C \times \eta_C \times \eta_{SI} - Q_{I1} + Q_{Z1} \quad (12)$$

補助熱源の必要熱量(H_{S3})は次式によって決定される。

$$H_{S3} = L_C / COP_C + Q_W - Q_{ES} \quad (13)$$

4. 計算例

計算順序として、まずフィルタによりシステムを選択する第1段階があり、次に種々のインプットデータにより、設備設計・経済性評価を行う第2段階がある。

4.1 システムの選択

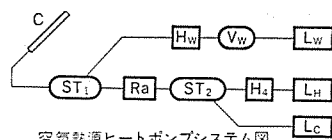
太陽冷暖房・給湯システム644種は、各フィルタによりランク付けされてアウトプットされる。このアウトプットの一部を図4.に示す。この図では先に示したフィルタC9～B1によって排除されたシステムがNo.で示される。また下段にはフィルタにより排除されなかったAランクのシステムNo.を示し、これを分類・整理した結果を表3.に示す。これらから分かるようにシステムの数にはばらばらである。このうち空気熱源ヒートポンプとランキンサイクル冷凍機システムの代表例の概略を図5.に示す。

*** C-9 ***											
57	12	77	82	87	92	133	136	143	148		
153	158	228	231	238	243	248	253	254	259		
304	309	314									
*** C-10 ***											
69	74	79	84	89	94	135	140	145	150		
155	160	230	235	240	245	250	255	256	301		
306	311	316									
*** C-11 ***											
68	73	78	83	88	93	134	139	144	149		
154	159	229	234	239	244	249	254	255	300		
305	310	315									
*** C-12 ***											
6	11	16	21	26	31	37	42	47	52		
57	62	103	108	113	118	123	128	167	172		
177	182	187	192	198	203	208	213	218	223		
264	269	274	279	284							
*** B-1 ***											
3	4	5	14	19	20	162	164	169	168		
179	180	181									
*** A ***											
36	41	46	51	70	75	80	85	96	100		
101	105	106	132	137	143	155	156	200	201		
227	232	257	261	262	266	267	293	294			

図4. アウトプット例(1)

表3. 各システム種類ごとのシステム数(Aランク)

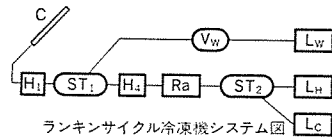
システムの種類	初期のシステム数	Aランクの数
暖房・給湯システム	44	3
空気熱源ヒートポンプシステム	120	4
水熱源ヒートポンプシステム	120	4
LiBr-H ₂ O吸収式冷凍機システム	120	6
H ₂ O-NH ₃ 吸収式冷凍機システム	120	6
ランキンサイクル冷凍機システム	120	6
合 計	644	29



空気熱源ヒートポンプシステム図

空気熱源ヒートポンプシステムNo.表

	ST ₂ 有	ST ₂ 無
H ₁ 有	46	51
H ₁ 無	41	36



ランキンサイクル冷凍機システム図

ランキンサイクル冷凍機システムNo.表

	H ₁ のみ有	H ₁ のみ有	H ₁ , H ₂ 両方有
ST ₂ 有	196	106	267
ST ₂ 無	201	101	262

図 5. Aランクのシステム 概略図

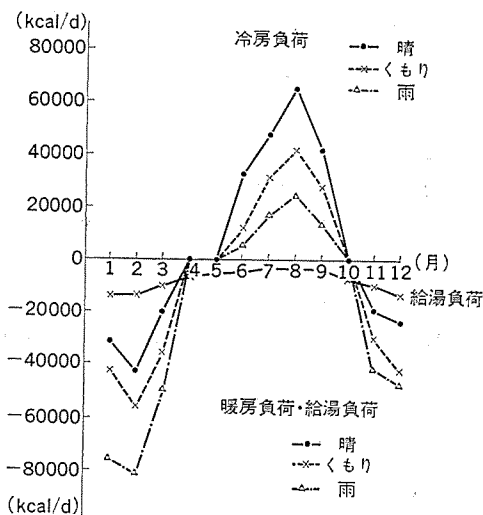


図 6. 冷暖房・給湯熱負荷

4.2 設備設計・経済性評価

インプットマスターデータ共に種々変更して入力することができるが、固定して考えたほうがよいもの(マスター条件)と、種々パラメータとして変更して結果を考察する必要があるもの(インプット条件)がある。今回の計算で用いた条件を以下に示す。

4.2.1 インプットデータ

(1) 建物の冷暖房熱負荷：東京平均年⁽¹⁾の気象データを使用し、気泡コンクリート造り、35坪の1戸建個人住宅をモデル住宅として非定常熱負荷計算をサブプログラムによって行い、この結果より、各月・天候別の熱負荷を定め入力する。これを図6.に示す。

(2) 給湯負荷：4人家族を想定し、別途市水温度を考慮して計算した値を入力する。これを図6.に示す。

(3) 気象条件(外気温・天候出現率)：東京の1954～60年の平均値を入力する。

(4) 集熱器面での全天日射量：東京平均年の方位角0°・傾斜角35°のものを入力する。

(5) 各機器の価格：「建設物価」⁽²⁾誌より、別途容量に対する回帰式をつくり係数をインプットする。集熱器は普通形4万円/m²、高性能形8万円/m²(工事費含む)とする。

(6) 熱源機のパフォーマンス：ヒートポンプの特性は「三菱電機冷暖ハンドブック」⁽³⁾のCAH-5(空気熱源, 3.75kW 定格出力), CRH-5(水熱源,

3.75kW 定格出力)を用い、別途COP(成績係数)を式化して係数を入力する。熱作動形については予測値を入力する。

(7) 太陽熱依存率(目標値)：吸収式ランキンサイクル冷凍機などを含む熱作動形の場合は、夏の晴天日を基準とし、その他のシステムでは冬の晴天日を基準として目標値を入力する。

(8) 従来システムの選定：次の2種を選択できるが今回は(b)を入力した。

(a) 石油ボイラ・チラーシステム

(b) 空気熱源ヒートポンプ・深液電力温水器システム

また、暖房・給湯システムのときの従来システムは、ガスボイラシステム1種類に限られている。

(9) 補助エネルギーの種類・単価：熱源は単価の与え方により決まる。今回は表4.に示す価格で計算を行う。

4.2.2 マスターデータ

(1) システム各部の温度：表5.に示すように決める。

(2) 1次蓄熱槽の利用温度差：表6.に示す。

4.2.3 設備設計・経済性評価結果

システムの設備設計並びに経済性評価結果は各システムごとにそれぞれ1ページにアウトプットされる。後者の例を図7.に示す。この例は石油を給湯用の補助の熱源とした場合で、システム構成(要素の有無を0又は1で表示)・システム価格・追加設備価格のほか、各期間ごとの熱源別運転費・原油換算節約エネルギー量・熱源別節約エネルギー量・太陽熱依存率・FOMなどが示されている。

4.3 総合評価

システムの総合評価を行うために、各システムについて図8.に示す年間エネルギー節約額・追加設備価格・太陽熱依存率・集熱面積・FOMを描いた図表を作成した。年間エネルギー節約額・追加設備価格は、従来システム(空気熱源ヒートポンプ・深液電力温水器)との差から求めている。ここでは以下2システムについての評価を述べる。

表 4. エネルギー単価

熱源種類	石油	都市ガス	電(従量電灯乙)	電(深夜電力)
単価(¥/10 ³ kcal)	5.0	10.5	19.5	8.5

表 5. システム各部の温度 (単位 °C)

暖房時	負荷開放熱器の往水温度	50	
同	同	還水温度	45
冷房時	同	往水温度	7
同	同	還水温度	12
集熱器出口水温	(暖房・給湯システム 空気熱源ヒートポンプシステム)	45～50 (太陽熱依存率により変化)	
同	(水熱源ヒートポンプシステム)	10～50 (太陽熱依存率により変化)	
同	(熱作動形空調機システム)	80～85 (太陽熱依存率により変化)	
給湯温度		60	

表 6. 蓄熱槽有効利用温度差 (ST₁)

	熱作動形	水熱源ヒートポンプ	暖房・給湯 (空気熱源ヒート ポンプ)
利用温度差(deg)	8	40	15

SYSTEM EVALUATION PROGRAM 1														
CT1	H1	ST1	H2	CT2	LD	H3	ST2	H4	ST3	H5	ST4	H6	ST5	H7
CONVENTIONAL CAPITAL COST														
SOLAR SYSTEM CAPITAL COST														
RUNNING COST														
WINTER TIME RUNNING COST														
SUMMER TIME RUNNING COST														
MEDIUM TIME RUNNING COST														
YEARLY RUNNING COST														

図 7. アウトプット例 (2)

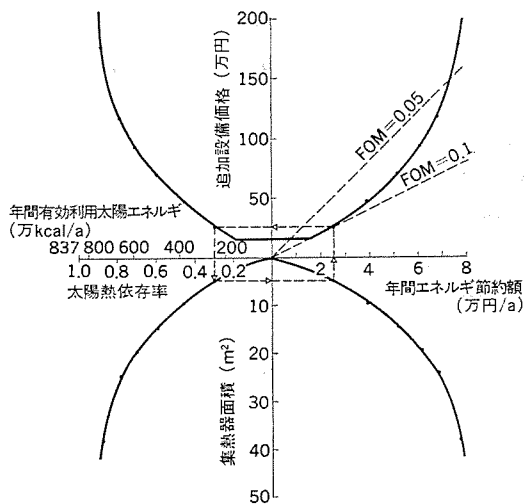


図 8. 太陽冷暖房・給湯システム経済性評価図表

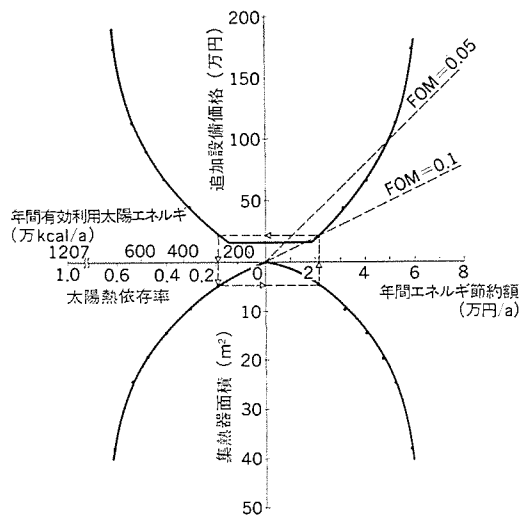


図 9. 太陽熱利用空気熱源ヒートポンプシステム経済性評価図表

(1) 太陽冷暖房・給湯システム

このシステムは初期の設備価格が安いので、一般住宅向けとしては給湯システムと並んで最も実用化が有望である。図 8. の点線で示すよ

うに、太陽熱依存率 0.3 のときに、集熱器面積 5 m²、年間エネルギー節約額 2.5 万円、追加設備価格 25 万円で FOM 0.1、年間有効利用太陽エネルギー量 250 万 kcal/a となり、FOM 最大となる。

(2) 太陽冷暖房・給湯システム

ランキンサイクル冷凍機をはじめ、熱作動形空調機を利用したシステムは、計算結果より FOM 0.02 以下 (償却 50 年以上) となり、経済性は現状ではかなり厳しいものとなっている。空気熱源ヒートポンプシステムと熱作動形システムの比較を図 9. に示す。前者が経済的にかなり有利で、FOM は 0.1~0.05 が期待でき、このとき太陽熱依存率は 0.2~0.3 である。

(3) パラメータ変動の影響

今まで述べたシステム相互間の優劣判定の後に、インプット条件を変動させたときの FOM の変化などにも注意することが必要であるが、そのデータについてはここでは割愛する。

5. このシミュレーションの問題点

- (1) 太陽熱システムの価格が現状ではかなり流動的である。
- (2) 節約額の求め方には次の 2 通りがあり、今回は前者を用いた。
 - (a) 従来システムと太陽熱システムの運転費の差
 - (b) 節約エネルギーを各種熱源価格で換算した額
 また、(a) においては従来システムとして何を採用するべきかも問題となる。
- (3) 設定負荷の形態として、1 戸建住宅の経済性について論じたが、他の負荷形態や建築物についても検討する必要がある。

6. むすび

以上述べたように、このプログラムにより、多数の太陽冷暖房・給湯システムの種類、ランク別の選択、有望なシステムの概略の経済性評価、各種要因の経済性に及ぼす影響の程度を計算することなどが可能である。これによって当社の太陽熱事業化の足がかりや更に深く検討すべき問題点を抽出することができた。またこの解析手法は太陽熱冷暖房・給湯システム以外のさまざまな分野に適用され、省力化・高精度化への有力な手段とすることができる。

しかし、このプログラムは極めて多くのシステムの評価を対象としているため、かなり大胆な仮定や単純化が行われているので、システムの選択がある程度固まった時点では、より詳細なシミュレーションによって最適なシステムの選択を行うことが望まれる。

なお、この報告は通産省工業技術院の委託研究「サンシャイン計画」「太陽冷暖房・給湯システムの研究開発」の昭和 49・50 年度成果報告書に掲載された「システム解析」より一部引用している。

最後に、これらの研究にあたり、種々ご支援くださったサンシャイン計画関係者の方々に深く謝意を表したい。

参考文献

- (1) 日本建築設備士協会：HASP/ACLD/7302 気象データ・東京・平均年
- (2) 建設物価調査会：建設物価
- (3) 三菱電機：三菱電機冷熱ハンドブック
- (4) 三菱電機、大成建設：昭和 49 年度サンシャイン計画委託研究開発成果報告書
- (5) 三菱電機、大成建設：昭和 50 年度サンシャイン計画委託研究開発成果報告書

CAH-D形空気熱源ヒートポンプチラーユニット

岩崎善彦*・浜 宏明*

1. ま え が き

冷水温水で冷暖房するセントラル冷暖房方式は、各部屋を個別に快適な空調ができる等の利点があり、広く採用されていることは周知のとおりであるが、このセントラル冷暖房の熱源機である空冷ヒートポンプチラーユニットは設備が簡単になるばかりでなく、全電式のためばい煙、臭気の心配もなく安全清潔で、維持費も安価であるところから、昨今ではこれからのセントラル冷暖房熱源機として見直されている。

しかしながら、空気を熱源とするヒートポンプは外気温度の低下時加熱能力の低下、室外コイルの着霜など難しい問題がある。高信頼性を有するHi/Re/Liシステムの効果を十分に發揮して-10℃の低外気温度でも安定した運転を維持でき、しかも低騒音であることを特長とした空冷ヒートポンプチラーユニット《サニーパック》CAH-D形を開発したので、特にCAH-D形ユニットの騒音特性、及び低外気における暖房運転特性について述べる。

2. 仕様と特長

CAH-D形空気熱源ヒートポンプチラーユニット《サニーパック》は6機種があり、その概略仕様を表1.に示す。また図1.にCAH-10D形の外觀を図2.にその内部構造を示す。

CAH-D形ユニットは、冷凍サイクル、熱交換器、送風機、運転操作、自動制御、及び構造に特長を有する。以下その概要を述べる。

(1) 冷凍サイクル

冷凍サイクルには定評あるHi/Re/Liシステムを採用している。

(2) 熱交換器

水側熱交換器は1本の銅管内に複数本のインナフィン管をそう(挿)入し、これをコイル状に巻いた構成の2重管熱交換器であり、空気側熱交換器はアルミフィンと銅管によるプレートフィンチューブ熱交換器である。

(3) 送風機

4枚又は5枚羽根の低騒音形プロペラファンを採用した。

(4) 運転操作

表 1. 空気熱源ヒートポンプチラーユニット

項 目		形 名	CAH-3 D	CAH-5 D	CAH-8 D	CAH-10 D	CAH-15 D	CAH-K 20 D
性 能	冷 房 能 力	kcal/h	5,570/6,400	9,050/10,400	12,800/14,700	18,100/20,800	25,600/29,400	36,200/41,600
	暖 房 能 力	kcal/h	6,960/8,000	11,140/12,800	16,000/18,800	22,600/26,000	32,700/37,600	45,200/52,000
外 形	高 さ	mm	1,727	1,610	2,020	2,020	2,020	2,020
	幅	mm	780	918	918	1,225	1,846	2,462
	奥 行	mm	680	918	918	1,100	918	1,100
電 源			3相 200 V 50/60 Hz					
消 費 電 力		kW	2.8/3.2	4.6/5.3	6.8/7.8	8.7/9.9	13.6/15.6	17.4/19.8
圧 縮 機	形 式		全 密 閉 形					
	容 量 × 台 数	kW	2.2×1	3.75×1	5.5×1	7.5×1	5.5×2	7.5×2
送 風 機	形 式		プ ロ ペ ラ フ ァ ン					
	容 量 × 台 数	kW	0.1×1	0.1×1	0.2×1	0.35×1	0.2×2	0.35×2
空 気 側 熱 交 換 器			強制空冷式プレートフィンチューブ					
水 側 熱 交 換 器			2重管(多管式)					
冷 媒 制 御			Hi/Re/Li システム(過冷却調整弁)					
安 全 装 置			高圧圧力開閉器、低圧圧力開閉器、凍結防止サーモ、過電流継電器、圧縮機インタナルサーモ、送風機インタナルサーモ、可溶栓					
運 転 制 御			リモートコントロール式					
製 品 重 量		kg	285	315	410	550	680	1,200

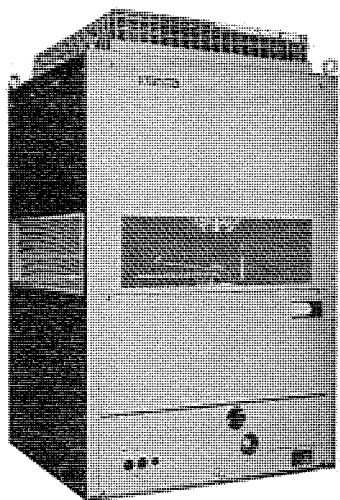


図 1. CAH-10 D 形外観

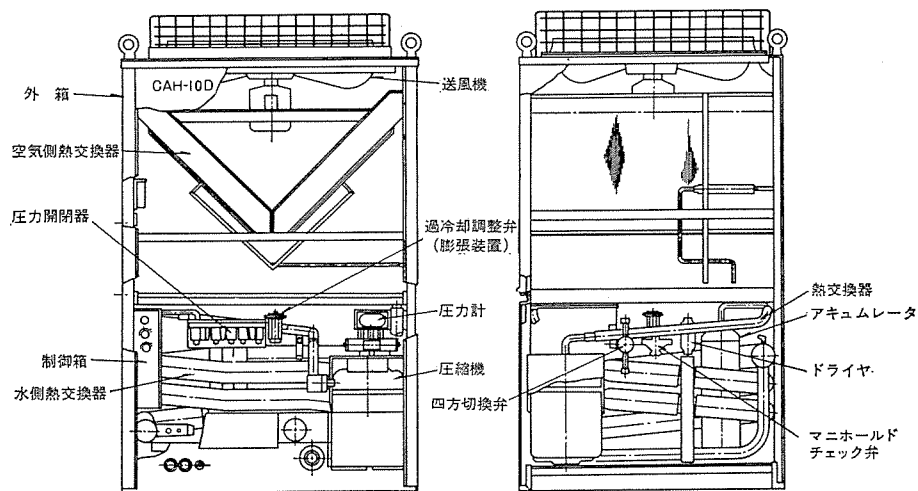


図 2. CAH-10 D 形構造図

電源は 3 相 200 V であるが、リモコン回路は絶縁トランスで対地電圧 100 V に降圧し、ユニットの運転停止、冷暖切換え及び送風機自動連続運転切換えができる。

(5) 自動制御

(a) 冷温水制御と容量制御

ユニットの入口水温を検出し、間接的に出口水温をコントロールする入口制御方式を採用している。通常、冷水出口温度は 6~14°C、温水出口温度は 47~56°C の範囲でサーモ運転する。

15 形、20 形は 2 台の圧縮機をとう載しており、圧縮機の運転台数を制御する容量制御方式を採用している。上記のサーモスタットに 2 ステップコントロール式を採用し、入口水温が所定の温度に達している状態では、1 台だけの圧縮機を運転させている。また 2 台の圧縮機のか(稼)動がアンバランスにならないように冷房時は No. 1、暖房時は No. 2 圧縮機が、容量制御時の運転機となるように、冷房と暖房の圧縮機の交換運転を採用している。

(b) 除霜運転

着霜状態を外気温度と蒸発器コイル温度との温度差で検出するダイヤサを使用した。逆サイクルデフロスト方式を採用している。この方式は着霜状態を適確に検出できるため、除霜は迅速に行われ、通常 4~5 分で終了する。

(c) 低水温始動保証

高圧圧力と低圧圧力とが所定値以下になると、過冷却調整弁の開度を大きくし、冷媒流量を確保するようにしている。暖房運転の開始時は水温が低く高低圧圧力差が小さいが、この低水温始動保証回路により、水温が 0°C でも圧縮機に負担をかけることなく迅速に昇温させることができる。

(d) ポンプ自動運転

ユニットの運転の停止中でも、水の凍結を防止するため水温が 5°C 以下になると水循環ポンプを自動的に運転する。

(6) 構造

図 2. に示すように、送風機と空気側熱交換器より構成される空気熱交換部・圧縮機・水側熱交換器・制御機器類を収納する機械室、及び両者の中間に位置する空気吸込部に大別される。

また、10 形以下は一般の住宅にすえ(据)付けられる場合が多く、外観、据付スペース、あるいは騒音の問題から、水循環ポンプを機械室に収納できる構造としている。

3. 騒音特性

(1) 送風機騒音の低下

CAH-D 形用送風機としては、多種多様な羽根形状の比騒音、すなわち単位風量、単位静圧当たりの騒音レベルを比較することによって、所定の風量、静圧における騒音が最も低くなるような羽根形状と回転数を求めた。送風機の形状はエトラ羽根と呼んでいる羽根面積の大きい 2 次元翼、又は混合うず分布を取り入れた 2 次元翼で、3 形用は 4 枚羽根、5~20 形用は 5 枚羽根とし、回転数は 450~550 rpm である。

(2) 圧縮機騒音の低下

圧縮機は、騒音の低い当社の全密閉形圧縮機を使用し、更に内部にグラスウールを張った密閉構造の機械室に収納し、しゃ音及び吸音を図っている。また圧縮機は 4 個の独立懸架式防振ゴムにより、振動伝ばによる 2 次騒音を防止している。

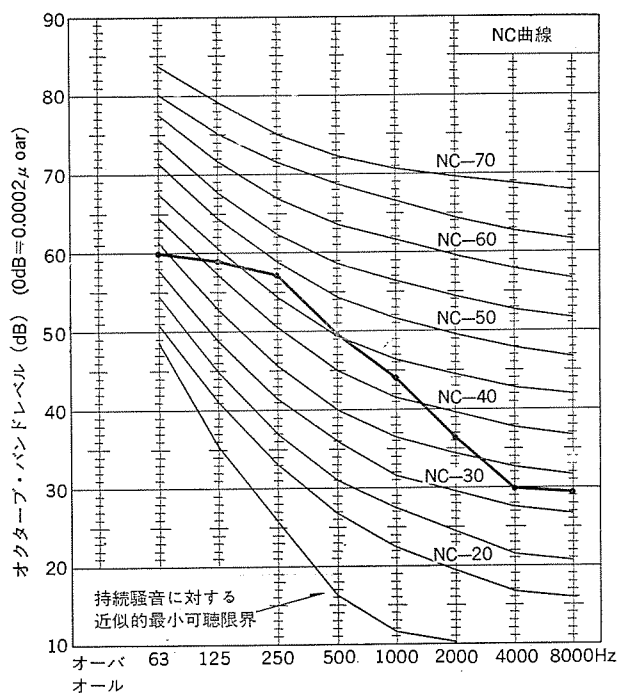


図 3. CAH-10 D 形騒音の オクターブバンドレベル

(3) ユニットの騒音

図 3. に CAH-10 D 形 ユニットの騒音 オクターブバンドレベルを示す。図 4. は CAH-10 D 形の反響音のない状態でのユニットから左右前後 1 m 距離における騒音レベルの分布を示している。

(4) 据付例と騒音レベル

図 5. は、CAH-5 D 形 ユニットの据付けた住宅の各部の騒音レベルを示す。ユニットは庭のすみあるいは台所の裏に据付けられる場合が多いが、この据付例は、台所の裏で隣家の庭との境界に設けられた高さ 2 m のブロック塀(塀)にユニットの背面を近接し据付けている。騒音はブロック塀と地面からの反響音があり、レベルの最も高いところで、ユニットに距離的に最も近い台所の窓付近で 46~48 dB(A) であるが、距離的に離れた 2 階あるいは隣家の 2 階の窓付近で 40 dB(A) 程度である。また隣家の居間付近では、ブロック塀の音の回折減

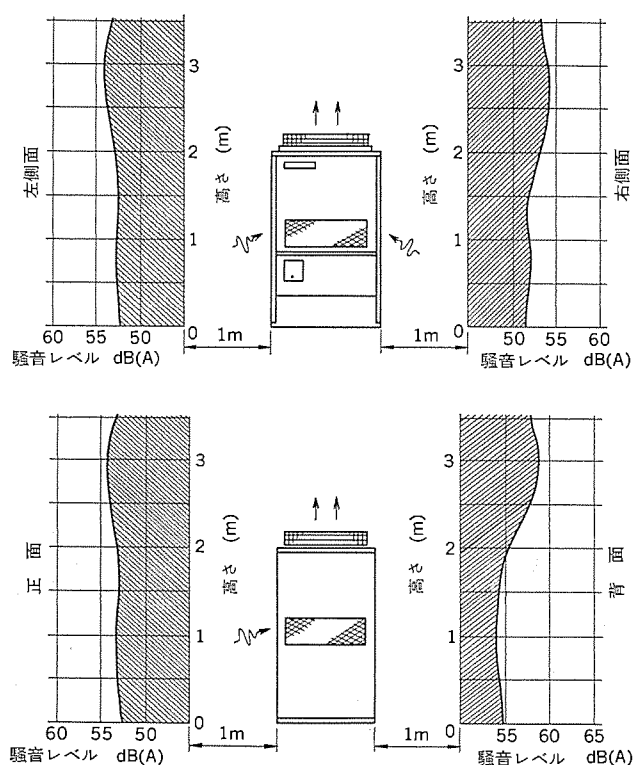


図 4. CAH-10 形の騒音レベル分布

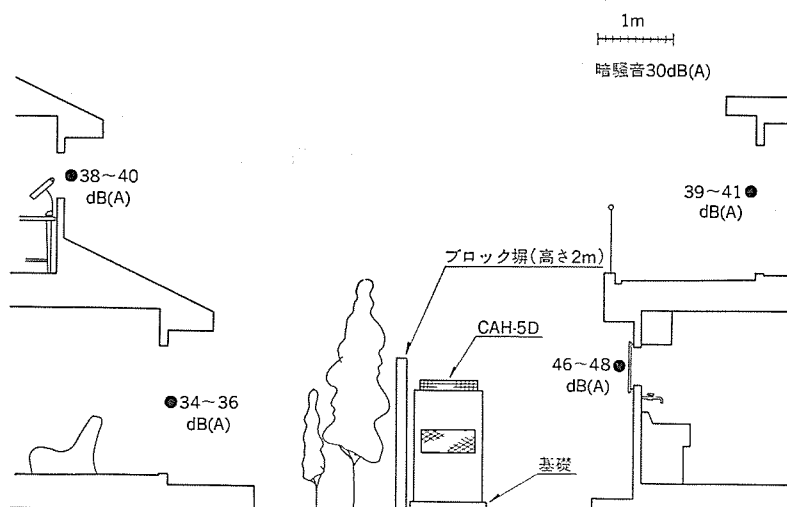


図 5. CAH-5 D 形据付例と騒音レベル

衰効果を伴うため、34~36 dB(A) 程度である。

4. 低外気における暖房運転特性

(1) 低外気温度における暖房能力

ヒートポンプの場合、外気温度の低下に伴い暖房能力は低下するが、CAH-D 形ユニットは前述の Hi/Re/Li システムの効用により、外気温度が -10°C になっても暖房能力は異常に低下することがない。

図 6. は、CAH-10 D 形の外気温度に対するフィン表面に着霜していない状態での暖房能力と成績係数を示し、外気温度 -10°C でも成績係数は 2 以上である。よって積雪などによる通風の障害がないように処置することによって寒冷地でも暖房機として十分使用し得ると考えられる。

(2) 運転限界

空気熱源ヒートポンプは、外気温度が低下するとまず低圧圧力が低下するが、低外気温度で高温水となると、温水温度上昇に伴う高圧圧力上昇、高低圧圧力差の増加に伴う吐出ガス温度上昇が問題となる。

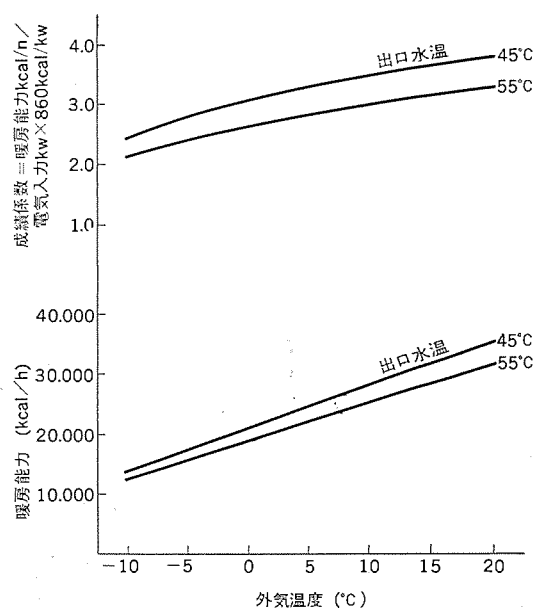


図 6. CAH-10 D 形の暖房能力と成績係数

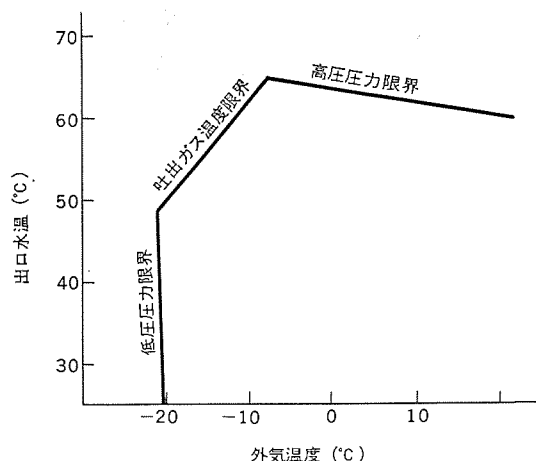


図 CAH-10 D 形の運転限界

CAH-10D形の、ユニットに異常を来さない範囲で運転し得る限界を図7.に示す。外気温度の低下に伴って暖房能力、成績係数が若干下がるが、外気温度が -20°C でも 50°C の温水が得られる。したがって、外気温度が通常 -10°C 以上である地方であれば、まれに異常気温が下がるようなときがあっても、実用上の運転には差し支えないものと考えられる。

4.3 着霜と除霜

フィン表面に着霜し、着霜量が多くなると暖房能力が低下する。CAH

形ユニットのフィン表面に着霜する範囲は図8.に示すとおりである。各地の温湿度(図中は1月の平均気温⁽³⁾と平均湿度⁽³⁾)と比較すると、着霜に関しては北陸が条件的に最も悪く、関東地方は外気温度の割には有利である。また外気温度が低下する程着霜しにくくなり、 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ 付近が最も着霜しやすい。

図9.はCAH-D形ユニットの除霜状態を示す。運転条件は、外気温 3°C 、湿度95%で運転し着霜させたもので、着霜は風上側(V字状の外側)から進行し、風下側(V字状の内側)に着霜し始める時点で除霜運転を開始している。除霜運転中、ホットガスは熱交換器の風下側から風上側に向かって流れるが、このため除霜開始後1分で風下側の霜はほとんど溶け、風上側は露がにじみ始める。2分程経過した時点から溶けた水が流れ始め、水蒸気が立ち込み、2分55秒でフィン表面に水滴が若干残る状態で除霜運転を終了している。

5. む す び

以上、CAH-D形空冷ヒートポンプチャラー《サニーパック》の、主として騒音特性と低外気における暖房運転特性について述べたが、更にこれからのセントラル冷暖房熱源機としての特性をは(把)握し、一層の研究を進めていきたい。

参 考 文 献

- (1) 岩崎：三菱電機技報，45，No. 9，p. 1,168 (昭46)
- (2) 岩崎ほか：三菱電機技報，46，No. 3，p. 300 (昭47)
- (3) 東京天文台編纂：理科年表 (昭52)
- (4) 河原：三菱電機技報，48，No. 5，p. 601 (昭49)

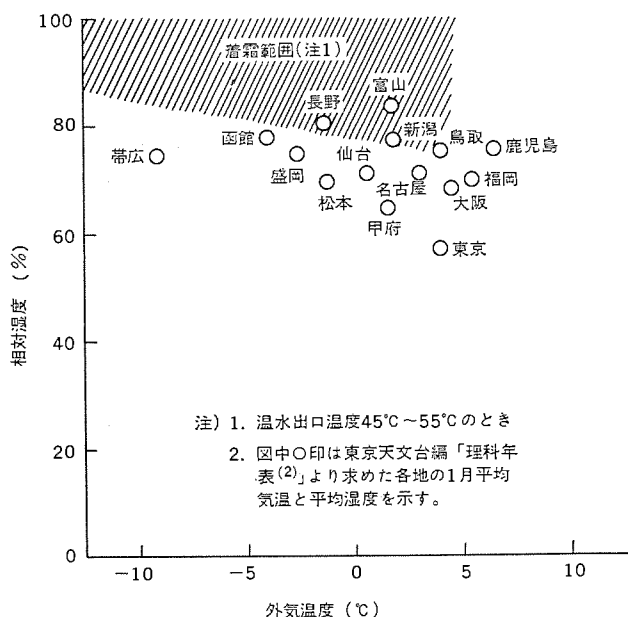
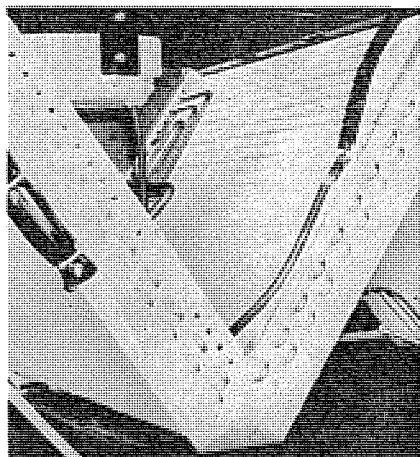
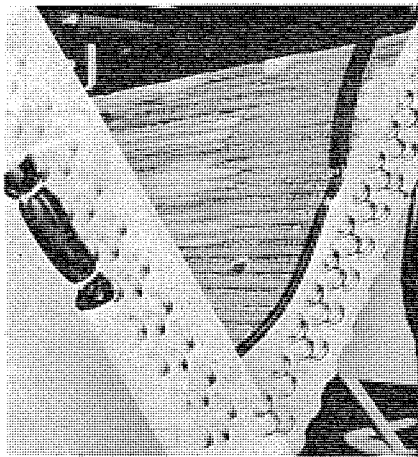


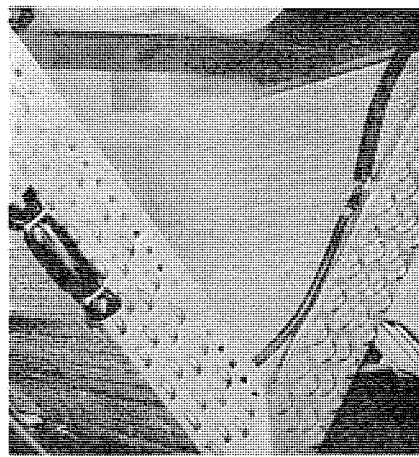
図8. 着霜範囲



(a) 除霜運転開始直前

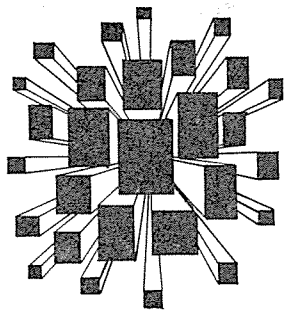


(b) 1分経過



(c) 除霜運転終了(2分55秒)

図9. CAH-D形の除霜運転



特許と新案

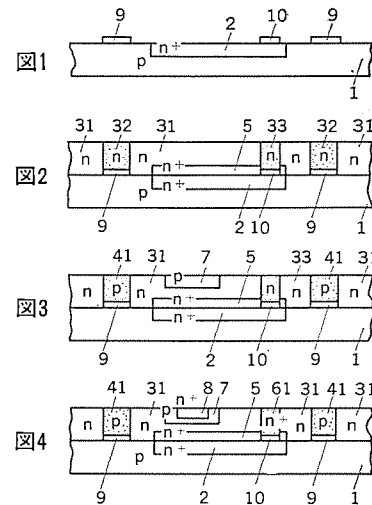
半 導 体 装 置 の 製 造 方 法 (特許第 792945 号)

発 明 者 嶋 田 義 行

この発明は集積回路の製造工程の簡略化を図り作業能率の改善を行うための新規な方法を提供するものである。

この発明の方法を図 1. ～4. を参照しながら説明する。

まず図 1. のように P 形基板(1)及びその埋込層(2)の上に所定パターンの SiO_2 膜(9)(10)を形成し、その後エピタキシャル成長させて SiO_2 膜(9)(10)上に多結晶層(32)(33)、 SiO_2 膜のない部分に単結晶層(31)を形成する(図 2.)。次に図 3. に示すように多結晶層(32)に P 形不純物を拡散すると共にベース層(7)を拡散する。更に図 4. に示すように多結晶層(33)に n 形不純物を拡散すると共にエミッタ層(8)を拡散する。多結晶層への拡散速度が単結晶層へのそれよりかなり早いことを利用し、分離層(41)及びコレクタウォール(61)等の深い拡散層を短時間に得ることができ、更にこれらの深い拡散とベース層及びエミッタ層の拡散とを同時に行うことができ拡散工程を半減させることができる。



位 相 比 較 継 電 装 置 (特許第 788881 号)

発 明 者 北 浦 孝 一・鈴 木 健 治

この発明は、過電流リレーの動作不動作条件と電流の極性でもって相手端に送信する信号を制御する位相比較継電装置の動作時間を短縮するものである。

従来の位相比較継電装置は、電源端では過電流リレーが動作すると自端電流 I_A が正極性のときに送信信号 F_1 を、 I_A が負極性のときは F_2 を送出し、過電流リレー不動作のときは I_A の極性に関係なく F_2 を送出し、非電源端では過電流リレーが動作したときは自端電流 I_B が正極性のときは F_1 を、 I_B が負極性のときは F_2 を送出し、過電流リレー不動作のときは I_B の極性に関係なく F_1 を送出し、両端の送出信号がともに F_1 であるときトリップするようにしていた。

しかし内部故障で $I_B=0$ で B 端過電流リレーが不動作となり、かつ A 端電流が図 1. のように直流分を含むときには、故障発生後 2 サイクルしないと動作できず、動作速度が遅い欠点があった。

この欠点を解消するには両端がともに F_2 であるときトリップする条件を付加すればよいが、単純に付加すると外部事故で電源端過電流リレー不動作で、非電源端過電流リレー動作のときは不用動作することになるので、この発明では、電源端では過電流リレー不動作のときは F_1 受信したときは F_2 を、 F_2 受信したときには F_1 を送信し、非電源端では過電流リレー不動作のときは受信信号と同一信号を送信するようにしたうえで、両端信号がともに F_2 であるときトリップする条件を付加したのである。

内部故障で過電流リレーが電源端では動作し、非電源端で不動作

であるときには図 2. のように B 端の送信信号は A 端と同一になるから、両信号が F_2 であるときにトリップでき、動作時間が短縮される。外部事故で電源端過電流リレー不動作で非電源端過電流リレー動作となるときは、電源端送信信号は非電源端送信信号の逆となるからトリップ条件は成立せず、不用動作する危険はない。

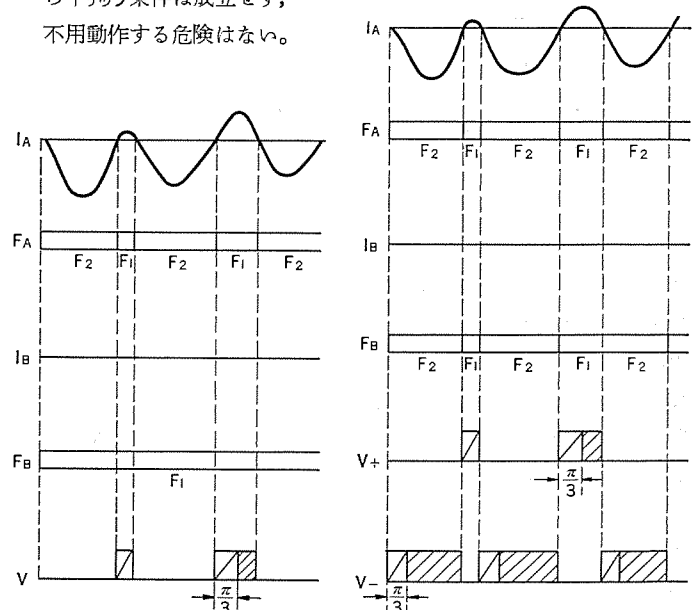


図 1

図 2

冷 温 水 機 (実用新案第 965898 号)

考 案 者 渡 辺 靖・飛 田 徹 二

この考案は冷水機と温水機とを組合わせて1つのユニットを形成し、このユニットで冷水および温水を供給する冷温水機に関するものである。

従来、この種の冷温水機では冷水機と温水機は近接して設けられ、しかも同一箱体内に収納されているため、冷水機運転において温水機のバーナ、罐体などに結露し、絶縁不良、さび(錆)発生、また罐体および煙道に密着して設けられているバーナより熱ろうえい(漏洩)する欠点があった。

そこで、この考案によれば図1.に示すように温水機の運転時に本体(1)の上面に設けられた収納箱(9)に煙道ふた(蓋)(10)を収納しているものであって、その煙道蓋は図2.に示すように構成されている。すなわち(11)は発泡スチロールなどの比較的硬質の断熱材で中央部に煙道の径に対応する径のおう(凹)部が形成され、この凹部は露受を代行するものである。(12)は断熱材受け、(13)は断熱材受けを支持する支持棒Bを支持する支持台、(15)は断熱材の凹部に貫通する排水管で外部に導出されている。

したがって、冷水機運転時にはバーナ(3)を取外して煙道蓋(10)をバーナ(3)の位置に取付け、互い

に位置変換することにより、冷却管により罐体(2)と煙道との間の水が冷却され罐体および煙道などの熱交換部に結露してもその露は煙道蓋の凹部に集められ、排水管(15)より外部に排出される。また煙道蓋と罐体および煙道などの熱交換部との接触面を断熱材で形成

しているので熱漏洩も減少し得るものである。

以上のように構成したことにより、この考案によれば従来のようにバーナに結露し、絶縁不良、錆の発生、冷温水機の据付部を汚損したりすることがなく、しかも熱も(洩)れを防止し冷却効率を向上させる効果を有するものである。

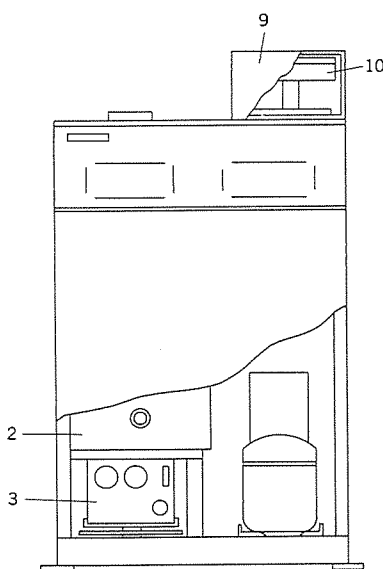


図1

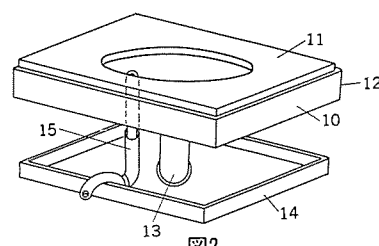


図2

磁 気 再 生 装 置 (実用新案第 1105856 号)

考 案 者 佐 藤 昌 樹・日 下 俊 一・福 山 敬 治

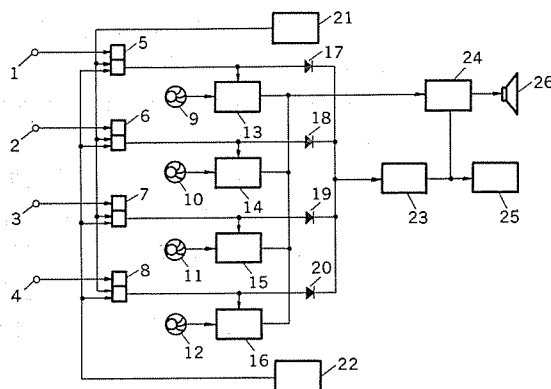
この考案は複数個の録音帯を有する磁気テープを使用する磁気再生装置において、磁気ヘッドを移動することなく各録音帯を任意にしかも瞬時に選択できるようにしたもので、各録音帯に対応してそれぞれ磁気ヘッドを設けるようにしたものである。

図を用いて動作を説明する。まず装置全体の電源を入れると微分回路(21)の出力により各フリップフロップ回路(5)～(8)はリセットされ、前置増幅器(13)～(16)、スイッチング回路(23)、主増幅器(24)及びテープ駆動回路(25)は不動作の状態となっている。この時、例えば入力端子(3)に入力が与えられるとフリップフロップ回路(7)が反転し、この出力により前置増幅器(15)が動作する。またダイオード(19)を通してスイッチング回路(23)が動作し、主増幅器(24)、及びテープ駆動回路(25)に電源が供給される。したがってテープが走行し磁気ヘッド(11)の再生出力は前置増幅器(15)及び主増幅器(24)により増幅されスピーカ(26)が駆動される。録音の終端部にくと停止回路(22)の出力によりフリップフロップ回路(7)は再び反転し各回路は元の不動作の状態となる。

次に例えば入力端子(1)に入力が与えられると上記と同様の動作

をし、入力端子(1)に対応した録音帯の内容をスピーカ(26)より聞くことができる。

このような構成にすることにより、従来のような磁気ヘッドを移動させることなく瞬時にその入力端子に対応した録音帯の出力を得ることができ、しかもフリップフロップをリセットするだけで簡単に動作を停止させることができる。



電磁ポンプ式自動注湯装置

細川鉦二郎*・広川利雄**・矢田史朗**・井上義博**・松田 勇**

1. ま え が き

鑄造工場合理化対策として自動注湯装置を導入する顧客が増加しつつある。しかし、注湯時には高温の溶湯の流れに伴う複雑な現象が生じ、作業自動化に当たって解決されなければならない問題点が多い。

当社が開発・製品化した鑄鉄用三菱電磁ポンプ式自動注湯装置は、以上のような問題点のある多様性に富む鑄造条件に広範囲に、しかも柔軟に対応できる特長を持ち、これからの自動注湯装置として期待できる。ここでは、この装置の概要及び技術的問題とその解決策について述べる。

2. 特長及び用途

2.1 特 長

当社の電磁ポンプ式注湯装置の電磁ポンプ固有の特長は、次のとおりである。

- (1) 計重装置とサイリスタによる電流制御とを行うため、注湯中・受湯中共に注湯速度を任意の設定値に精度よく維持できる。
- (2) 注湯速度の設定変更は、盤面のダイヤルを回すだけで自由自在に実施できる。
- (3) タイマ注湯、揚がり検出注湯のいずれにも適用できる。
- (4) スラグや非金属介在物には駆動力が働かないため、スラグの巻き込みのない良質の鑄物ができる。
- (5) 注湯パターンの設定が容易である。
- (6) 注湯開始、注湯停止の遅れ時間が、加圧式の50%程度であり、高速タクトに追従できる。
- (7) 注湯停止信号後に流出する溶湯量が少ない。また、この特性を生かして接触式揚がり検出装置と併用すると、押湯高さが低くてよい鑄型では、1わく当たり5kg程度の歩留り向上が実現できる。
- (8) 最も無人運転化されやすい。

更に、当社の装置は次の特長を有する。

- (9) インダクタ付きであるため、保温・昇温ができる。
- (10) 非注湯時(休日含む)、電磁ポンプには通電しないでダクト内溶湯を保温することができる。
- (11) 出湯口が密閉式であるため、開放式と比較して注湯停止信号後に流出する溶湯量が格段に少なく、出湯口上部にスラグが発生しない。
- (12) くみ(汲)上式であるため、停電時や制御系故障のときにも溶湯が流出することがない。
- (13) 受湯口がティーポット式であるため、バス部を密閉でき、スラグの発生が少ない。したがって、計重装置による湯面測定精度が高く、

注湯速度精度も高い。

- (14) 前後左右に移動できる。捨湯するときには後退させ、とりべ(取鍋)をクレーンでつったままの状態の出湯できる。

- (15) 最低湯面でもダクトこう(溝)が溶湯で充満されているため、ダクト内にスラグが付着せず、みぞが詰まらない。また、みぞの消耗もほとんどない。したがって、ポンプの電流制御と発生圧力との関係は変化せず、注湯速度はノズル口径の変化をパラメータにするだけで正確にコントロールできる。

- (16) ダクト交換やダクト部湯漏れするとき、後傾して全溶湯を本体バス部だけで保持できるため、捨湯の必要がない。

- (17) ダクト部に湯漏れ検出装置が装着されているため、外部へ溶湯が流出せず、また、たとえ流出してもポンプコイル部がコイルセメントで被覆されているため、コイルを損傷しない。

- (18) ダクト交換に伴う実質的注湯停止時間は30分程度である。

- (19) ダクト寿命は、2シフト5~6t/h・1,400°C注湯で約1か月である。

- (20) ノズル径の摩耗を機械的に補正し、注湯速度を設定値に維持できる。

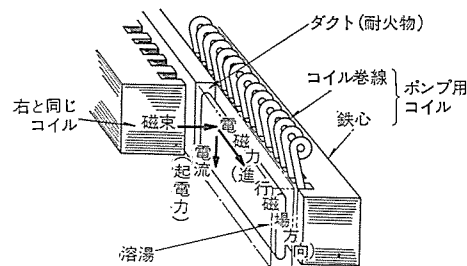
- (21) 2段注湯パターンで注湯する。

2.2 用 途

前述の特長からみて電磁ポンプ式は、15~60kgの鑄型の高速タクト注湯に適すると考えられる。ちなみに、加圧式は応答が遅く、注湯速度誤差が±3%程度あるという短所がある反面、炉容量を駆動源容量に関係なく大きくでき、しかも注湯精度に影響を与えないことと、交換部分が少ないという長所があるため、60kg以上の大形鑄物に適している。また、ノズルストップ式は応答が最も早く、湯切れが最も良いため、20kg以下で10秒内外の高速タクト注湯に適している。

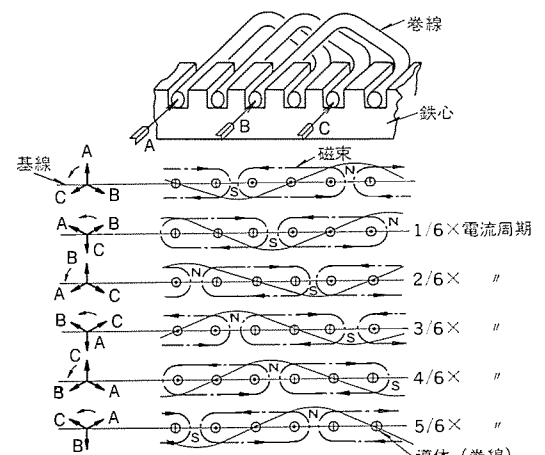
3. 原 理

この装置には、平面形直線誘導ポンプの原理が用いられている。3相誘導電動機は、フレミングの右手の法則(導体が磁束を切ると、導



電磁力が圧力となって溶湯を押し上げる

図1. 電磁ポンプの原理図



電流のベクトル線図 ポンプコイル導体内の電流方向

図2. 進行磁場の発生機構

体内に電流が誘起される)と左手の法則(磁界中にある導体に電流が流れると導体に電磁力が働く)とによって回転するが、電磁ポンプも同じ原理により、電動機の回転子がダクト内の溶湯、電動機の固定子が平面形コイルに置き換えられたものである。

図 1. に示す電流は、図 2. に説明されている進行磁場によって溶湯中に誘起される。

4. 機器構成

この装置は、次の機器から構成されている。

- (1) 自動注湯機
- (2) 電磁ポンプ用受電機器(受電盤、電源変圧器、サイリスタ盤、リアクトル、並列コンデンサ、相平衡用リアクトル)
- (3) 電磁ポンプ用制御装置(サイリスタ盤、操作盤、通過重量積算装置)
- (4) インダクタ用受電機器(受電盤、電源変圧器、電源盤)
- (5) 冷却水設備
- (6) 油圧装置
- (7) 揚がり検出装置

図 3. に電磁ポンプ用電気系統

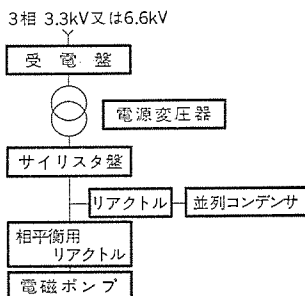


図 3. 電磁ポンプ用電気系統

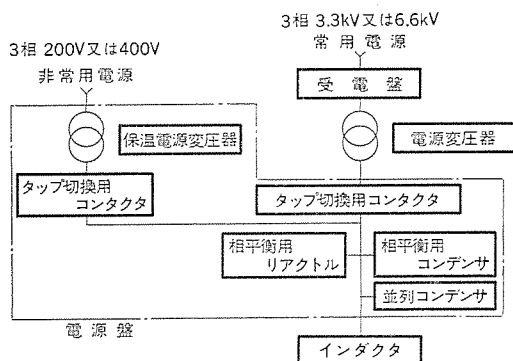


図 4. インダクタ用電気系統

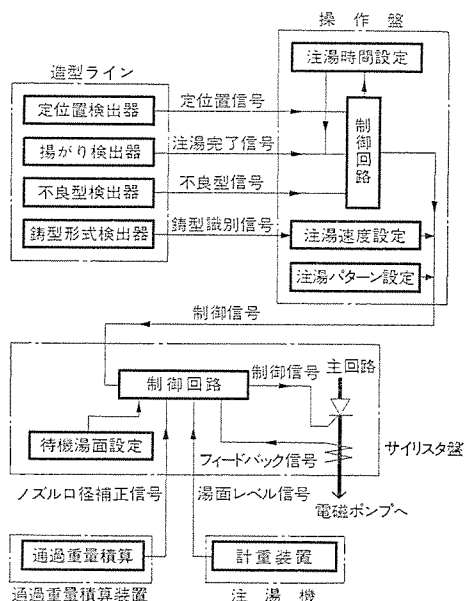


図 5. 電磁ポンプ制御系統

を、図 4. にインダクタ用電気系統、図 5. に電磁ポンプ制御系統をそれぞれ示す。

5. 自動注湯機の構造

自動注湯機の内部断面を図 6. に、外形を図 7. に示す。炉体は、ティーポット式の受湯口を側面に持ち、後部斜め下にインダクタを備えている。ダクトは、上方に5度傾斜して炉体の前部下方にワンタッチジョイントによって固定されており、その先端にはノズル部を有する出湯口が接続されており、このダクトを左右からはさむように電磁ポンプのコイルが配置されている。コイルは、遠隔操作で左右に開くようにできており、ワンタッチジョイントとともにダクト交換を簡単かつ容易にしている。炉体は、ボルト6本をゆるめるとそのまま持ち上げ交換できるように支持わくに乗せてあり、支持わくとともに傾動シリンダによって前後傾される。普通、炉体ストップ装置で水平位置に保たれており、ダクト交換やダクト部湯漏れのときには後傾できる。炉体内溶湯を全量排出するときに、インダクタを交換するときに前傾される。架台は、4個のロードセルで支持されるとともに、サポートビームで前後左右のずれが防止される。これらのすべての装置が移行台車・横行台車に乗せられており、前後左右に移動することができる。インダクタは、150 kW 以下が風冷(ただし、ジャケット部水冷)、200 kW 以上は水冷である。また、電磁ポンプのコイルは水冷である。油圧作動油には不燃性油を使用し、装置及び操作者の安全が配慮されている。

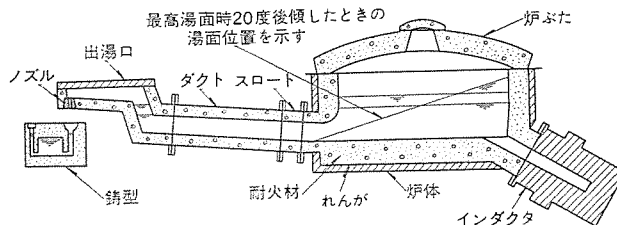


図 6. 自動注湯機内部断面

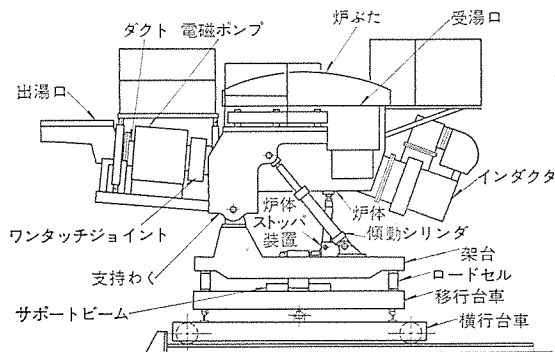


図 7. 自動注湯機外形

6. 注湯動作の説明

前述のように構成された装置で自動注湯を行うには、次のようにする。

- (1) 電磁ポンプが作動し、ノズル上面から規定の一定値だけ低い待機湯面に溶湯を押し上げて待機する。
- (2) 鋳型定位位置信号によって電磁ポンプに注湯電流を徐々に流す。
- (3) 溶湯が、設定注湯速度に相当する注湯湯面に押し上げられる。
- (4) 注湯後半の決められた時期に減速信号が入り、注湯湯面が下げられ、2段速度注湯を行う。

- (5) 揚がり検出又はタイマによって注湯を停止する。
- (6) 注湯停止信号により、電磁ポンプのコイル電流は、前述の待機湯面に相当する電流値に瞬間的に下げられる。
- (7) 溶湯は、待機湯面を中心にわずかに振動し、最後に静止する。そのまま次の注湯信号を待つ。

待機湯面が炉体バス部湯面の変化と関係なく常に一定になるように、ロードセルからの出力電圧を演算してサイリスタを制御する。ロードセルによる湯面測定誤差は $\pm 1\text{ mm}$ 以下、サイリスタ制御による押し上げ湯面誤差は $\pm 2\text{ mm}$ 以下である。炉体内バス部湯面は、レベル指示計に常時表示され、受湯準備、湯面上限・下限の表示及び警報も出される。炉体は、鋳型位置検出装置によって鋳型に沿って左右に自動的に移動できる。不良鋳型は、造型機側からの信号を記憶しておいて選別する。

7. 仕様

当社では、電磁ポンプの特長を考慮して有効容量が1トン、1.5トン、2トン、3トン、4トンの5種類を標準にしている。ここでは1トンを代表にとりあげ、表1.にその仕様を示す。

表 1. LM 1.0/2.9 の標準定格

項目	仕様
有効容量	1トン（鋳鉄）
総容量	2.9トン（鋳鉄）
全重量	24トン（溶湯2.9トン含む）
築炉済み炉体重量	9トン
インダクタ定格	150kW, 440V, 風冷, ジャケット部水冷
電磁ポンプ定格	1,200kVA, 440V, 水冷
油圧装置	モータ 5.5kW, 6P, 200V ポンプ 140kg/cm ² , 15 l/min
傾動時間	前傾60秒, 後傾30秒
注湯速度範囲	1.5~10 kg/s（ただし、有効容量の大きな装置では20 kg/sまで可）
注湯速度精度	$\pm 1 \sim 1.5\%$ （定常状態）
注湯量精度	○タイマ注湯のとき（ただし、注湯時間6~10秒） $\pm 0.6\text{ kg}$ (20 kg 近く), $\pm 1\text{ kg}$ (50 kg 近く) ○揚がり検出注湯のとき（ただし、注湯速度10 kg/s 以下）, $\pm 0.2\text{ kg}$ (おくの大きさに無関係)

8. 技術的問題とその解決策

8.1 耐火材の寿命

電磁ポンプ式自動注湯機の耐火材寿命は、炉体バス部・インダクタ・ダクト・出湯口・受湯口のそれぞれで異なり、そのためにどれも取外し式構造にしてある。

炉体バス部は、アルミナ質のキャストابل又はラミング材をトップライニングにし、耐火レンガ及び耐火断熱材をバックライニングにして構成される。適切な築炉設計と施工により、1年間の使用に耐える。その間、冷却しないことが望ましい。

インダクタは、中性又は塩基性炉材で築炉され、1年間の使用に耐える。

ダクトは、耐ス্পーリング性の良好な耐火材で製作され、熱応力を小さくするために耐火繊維層で断熱し、機械的保護と構造的必要性とからステンレス鋼製のわくに収納されている。このように構成されたダクトは、適正なヒートアップスケジュールと取付けとによって約1か月の使用に耐える。

出湯口は、アルミナ質キャストابلでライニングされ、約4か月の使用

に耐える。

受湯口は、溶湯の材質・素性・通過量によってその寿命が大きく左右され、一概には言えないが、パッチングによる補修、酸素ランスによる穴明け修理を随時行う必要があり、大補修のために炉本体と受湯口とはフランジ結合にしてある。

耐火材の寿命は、自動注湯機の使いやすさと経済性を決定する最大の要素であり、その改善のために現在も基礎的な研究を進めている。

8.2 溶湯の慣性

自動注湯機で注湯制御するときに特に重要なのは、溶湯の慣性である。静止湯面に対して瞬間的に電磁ポンプをONにすると、出湯口内湯面はON後しばらくは全く動かず、その後に設定湯面よりかなり上まで上昇し、6秒程度の周期で設定湯面の上下に振動する。振幅は、投入電力が大きいほど大きい。周期は投入電力に無関係にほぼ一定である。この溶湯の振動は、注湯湯面すなわち注湯速度の変化をもたらし、鋳造品質に与える影響が大きい。当社では、この振動の防止策としてサイリスタによってコイル電流を徐々に立上らせるとともに、密閉式出湯口を採用して通過抵抗を持たせ、ほぼ無視し得る程度に振動を抑えることに成功した。このようなクッションスタートを行っても、湯面が動き出すまでの時間は、瞬時スタートのときと変わらない。

注湯停止時にも湯面は振動する。振動の振幅は、静止湯面と注湯湯面とのヘッド差が大きくなるにつれて増加する。この振動も、揺れもどしによる2度出しや、次注湯における注湯湯面変化をもたらして好ましくない。当社では、密閉式出湯口構造と、もどりを待機湯面までに制御することと、逆磁界を印加しないで湯切れを良くする条件の発見とにより、この振動を無害な程度に抑制し、クッションスタートとあいまって注湯速度の精度を高めている。

8.3 線速度 (m/s) と重量速度 (kg/s)

注湯速度は、一般的に重量速度 (kg/s) で表現される。しかし、重量速度が同一でも、線速度 (m/s) が異なると鋳造品質が異なってくる。線速度が大きくなると、鋳型内面との衝突圧が高くなり、砂かみ、鋳肌荒れを起こしやすく、溶湯の飛散がひどくなる。したがって、一般に線速度は小さいほど良い。線速度を小さくするには、注湯機内の注湯面と鋳型との高低差を小さくすることと、ノズル口径を大きくして通過流速を下げることの2つの方法がある。前者については、注湯機設計上可能な限り小さくする必要があるが、鋳型からの溶湯のスプラッシュがノズル下部に付着し、ひどくなるとつららのようになって鋳型上面を損傷する。したがって、普通にはノズル下面と鋳型上面との間に100 mm程度のすき間を設けなければならないため、物理的な限界がある。一方、後者については、ノズル口径を大きくすることによってノズルの摩耗が軽減され、好都合であるが、ノズル上の注湯湯面高さが30 mm以下になると、溶湯がうずを巻いてノズルに吸い込まれ、注湯速度 (kg/s) が極めて不安定になってくる。したがって、ここにも限界があり、1.0~1.5 m/s程度に設計する必要がある。

線速度が砂かみや鋳肌荒れに関係する一方、重量速度はチルや湯境に関係する。高速造型ラインで所要重量速度の異なる鋳型が混在して流れ、同一ノズルで注湯しなければならない場合には、前述の線速度の問題が特に重要になる。鋳肌荒れや砂かみに鈍感な鋳型では、2種の鋳型の注湯速度 (kg/s) 比が1:1.5程度まで許せるが、敏感な鋳型では、1:1.2程度に考えておくのが安全である。

8.4 注湯停止方法と歩留り

一般的に揚がり検出装置を使用したほうが歩留りが向上する。揚がり検出穴は、ガス抜きにも役立ち、検出穴を設けたための体積増加は、スプルーカップ内に溶湯を満たすよりもはるかに少ない。

9. 注湯実施例

9.1 注湯条件

以下に列挙するような条件・装置によって自動注湯を実施した。

- (1) 注湯装置：LM 1.0/2.9 のプロトタイプ
- (2) 造型ライン：キューケルワグナー 社製高圧自動造型ライン（タクトは 36 秒／わく）
- (3) 溶湯：FC-15 相当品，溶解温度 $1,400^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ （光高温計読取り値），注湯温度 $1,300^{\circ}\text{C}$ （光高温計読取り値）
- (4) 注湯対象機種：小形はん（汎）用電動機のフレーム及びブラケット

9.2 注湯機内溶湯等の予備調査

造型ラインの鋳型に注湯する前に次の事項を調査・確認した。

9.2.1 注湯機内溶湯化学成分変動

注湯機内溶湯を $1,320^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ （光高温計読取り値）で保持したときの Si と C の変動について調査した結果，% Si は 24 時間保持後も変動が見られなかった ($2.58 \pm 0.03\%$) が，% C は 24 時間保持中， -0.006% C/h で直線的に脱炭された（元湯成分 % C=3.70）。

加炭については，加炭材を溶湯表面に浮遊させておくことによって可能であるため，成分を一定に保つことが可能である。

9.2.2 注湯温度変化

とりべによる手注湯と，注湯装置のノズル部における温度の変化を時間とともにプロットすると，図 8. に示すようになる。注湯装置による注湯温度の変動は少なく，受湯した温度でそのまま注湯される。

9.3 注湯試験

9.3.1 注湯方法と鋳物不良

当初に懸念された注湯不良としては，「あか入り」，「チル」，「湯境」，「砂かみ」，「鋳肌荒れ」，「張り」等であったが，実施してみると，「あか入り」，「砂かみ」は問題にならず，「チル」，「鋳肌荒れ」，「張り」等が問題になった。

9.3.2 注湯不良防止方法

注湯速度 (kg/s) 及び注湯高さ (mm) を変えて実験したところ，次のような結果を得た，

- (1) チル不良については，手注湯より速い注湯速度では手注湯なみになる。（図 9. (a) 参照）
- (2) 鋳肌荒れ不良については，手注湯より遅い注湯速度では手注湯なみになる。（図 9. (b) 参照）

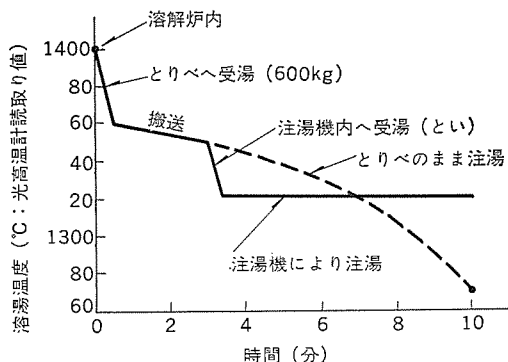
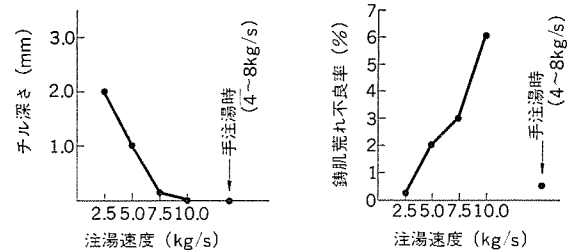
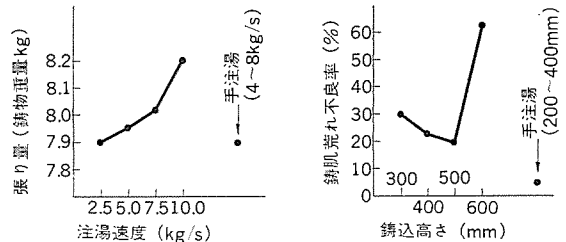


図 8. 溶湯温度と時間との関係



(a) くさび形チル試験片によるチル深さ (b) 鋳肌荒れ不良



(c) 張り量 (d) 鋳込高さと鋳肌荒れ不良

図 9. 注湯方法と注湯不良

(3) 張り不良については，注湯速度を大きくすると，悪くなる傾向にある。（図 9. (c) 参照）

(4) 注湯高さは，高すぎても低すぎても鋳肌にとって不都合という結果がでている。（図 9. (d) 参照）

これらの結果によれば，注湯速度・注湯高さを単純に選択しても，手注湯なみの鋳物製品ができないことになる。そこで，2 段注湯の必要性が生じた。

2 段注湯とは，鋳型内が満杯になる直前に注湯速度を下げる注湯方法である。実験の結果，2 段注湯の特長として次の事項が判明した。

- (1) 総注湯時間が短縮でき，チルと湯境不良が防止できる。
- (2) 注湯末期に注湯速度を下げるため，溶湯動圧が下がり，鋳肌が美しくなる。更に，溶湯のアフタフローや量も少なくなり，歩留りが向上する。
- (3) 注湯速度を 2 段目に落とすタイミングを鋳込機種に応じて変化させる必要がある。

10. む す び

自動注湯装置は，長い開発期を終えて実用化の時代に入ってきた。自動注湯装置を導入するメリットとして，省力化・安全性の向上のほかに，品質の向上，歩留りの改善が考えられ，最適な一定温度で注湯できる点を武器に最適条件がそろえば，品質の一定した良質の鋳物が得られ，不良の大幅な低減も期待できる。一方，貯湯量の多い注湯装置では接種効果が薄れ，高級鋳鉄とかダクタイル鋳鉄に使用するには，鋳型内接種・ワイヤフィード接種・増量接種等の開発・普及が待たれる。また，注湯装置の計画に当たり，受湯・捨湯といった溶湯ハンドリングが決め手になる場合が多い。取扱いやすい注湯装置を設計・製作するために今後一層の努力を重ねていく必要がある。

今後の自動注湯装置を考えると，性能的には多様な鋳造条件に柔軟に対応でき，価格的には安価なものといった一見矛盾する要求がますます強くなっていくと思われるが，電磁ポンプ式注湯装置のもつ制御性は，自動注湯装置の将来に大きな可能性をいざかせるものがある。今後，各方面からのご指導，ごべんたつをいただき，より良い装置に改良していこうと思う。

カラーブラウン管用多段集束電子銃

野 阪 英 荘*・鷺 野 翔 一**

1. ま え が き

現在、カラー受像管は電子銃に高精度なインライン・3ビーム・一体構造形電子銃と高精度偏向ヨークとの組合せにより、ダイナミックコンバーゼンス化を実現し、カラーテレビ受像機の簡素化と品質の安定化に貢献している。しかしながら、画面の明るさと解像度への要望は際限なく、現在もなお種々の技術的検討が行われ、将来を考えてもこの問題はカラー受像管の重要な技術課題になるものと予想される。

現在主にカラー受像管に採用されている電子銃は、バイポテンシャルレンズ方式であり、画面の明るさを上げるためビーム電流を増やすとスポットサイズが不必要に大きくなり“白つぶれ”を起こしハイライトの解像度を劣下させていた。したがってこの面から画面の明るさを十分上げられない大きな1つの制約条件となっていた。

したがって我々は、現在のカラー受像管の画面の明るさと解像度との両者を満足させるには、ビーム電流に対するビームスポットサイズの不必要な増大の壁を破ることが必要条件であると考え、電子ビーム理論を電子光学的見地から脱却して、電子を多質点系力学的にとらえる新しい電子軌道解析理論を確立した。この新理論を展開させてこの度、カラー受像管に採用できるインライン・3ビーム・一体構造方式の新方式の多段集束(マルチステップフォーカス)電子銃の開発に成功し、前記の問題点を解決したので報告する。

2. マルチ ステップ フォーカス電子銃の概要

ビーム電流に対するビームスポットサイズの不必要な増大の問題を解決するため、電子銃を電子光学的見地から検討した結果、画面における電子ビームのビームスポットサイズを更に小さくするためには次の2つの技術的課題を解決することが必要であると判断した。

(1) 電子銃の電子ビーム形成部で形成される電子ビームの特性を正確にしかも、定量的には(把握)する方法の確立。

(2) 球面収差が存在する電子銃の電子ビーム放射部から画面に至る電子の軌道及び、画面における電子ビームのスポットサイズを正確に記述することのできる新しい電子軌道解析法の確立。

これらの問題に対して種々の解析法が提案されているが、それらの文献では計算機による電子軌道解析が主体となっている。したがって非常に見通しが悪い上、境界条件の入れ方とか長い計算時間という問題があり電子銃の最適設計を非常に困難なものにしている。このような現状にかんがみ、我々は粒子加速器の電子光学系の解析にも多く用いられている位相空間ダイナミックスの概念を導入し、そこに使用される変換行列を球面収差のある厚肉の静電レンズにも適用できるように拡張し、更に電子ビーム特性の測定法を確立した結果、上記(1)、(2)の問題点を解決した。なお位相空間ダイナミックスを導入した新電子軌道解析理論については、機会をあらため報告することとし、本報ではこの新理論を展開させ、そこから生まれてきた新方式のマルチステップフォーカス電子銃の電極構造、レンズの特長、ビームスポットサイズ特性について述べることにする。

2.1 マルチ ステップ フォーカス電子銃の構造

図1. にインライン・3ビーム・一体構造形にした新方式多段集束電子銃を従来のバイポテンシャルレンズ方式の電子銃と対比して写真で示した。

図2. (a)は、マルチステップフォーカスインライン電子銃の断面図である。図2. (b)は、この新方式インライン電子銃の単電子銃をとり出した電子銃の機能説明図である。G4電極とG6電極は、同電位となるようにカラー受像管内部で接続されていて、この両者の電極にはカラー受像管のアノードから印加される高電圧(約24~25 kV)がシールドカップを通じて加えられる。一方G3電極とG5電極は、同電位になるように内部で接続されていて、この両者の電極にはカラー受像管のステムより中高圧(約8 kV)が加えられる。この中高圧は、画面でビームの集束状態が最良になるように調整されるもので、一般にホーカス電圧と称している。

新方式の電子銃は図1. から明らかなように、従来電子銃に比べて約10 mm長くなるが、電子銃の外囲径、インライン・3ビームの間隔はすべて従来の電子銃と同一に設定した。

2.2 マルチ ステップ フォーカス電子銃の主な特長

(1) 4枚レンズ構成である

従来のバイポテンシャルレンズ方式の電子銃は、1枚の主レンズとその前段に1個の補助レンズを配した構成であるが、新方式電子銃は図2. (b)に示したように、第1レンズ、第2レンズ、第3レンズ、第4レンズの4枚のレンズを新しい電子軌道解析理論にもとづき、各レンズの強さ及びレンズの配置を最適設計にしたものである。

(2) 良質な電子ビームを形成する第1レンズ

電子銃の電子ビーム形成部で形成される電子ビームの質の良否を判断する目安として、エミッタンス(Emittance)なる量を導入した。これは電子ビームを構成する全電子の運動を電子の対称軸からの位置(r)

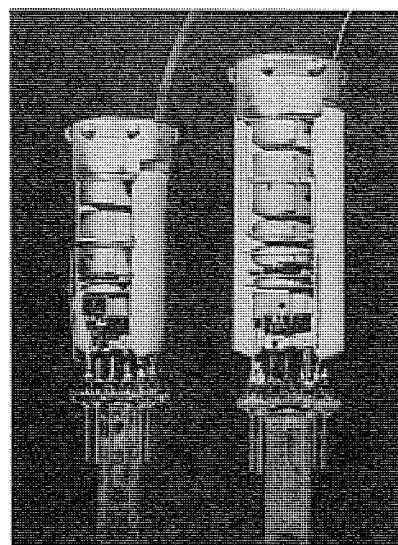
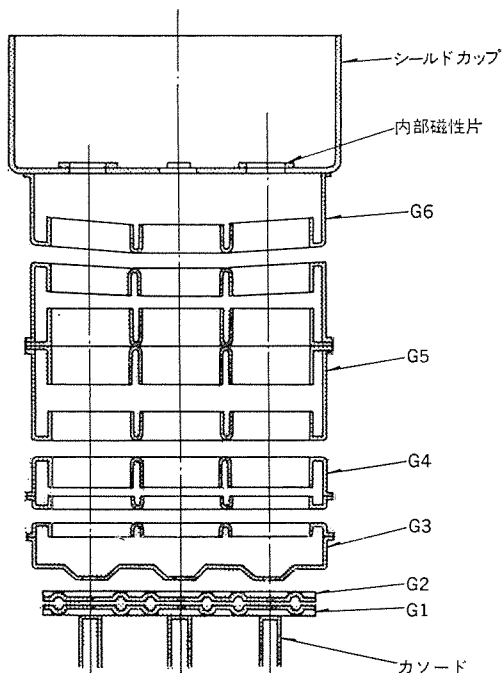
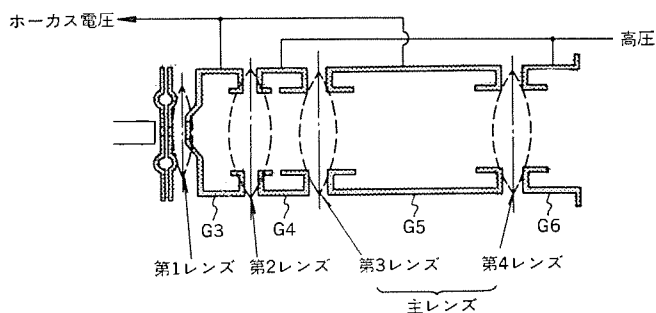


図1. マルチステップフォーカスインライン電子銃(右)と従来のインライン電子銃(左)の比較



(a) マルチ ステップ フォーカスインライン 電子銃断面図



(b) マルチ ステップ フォーカスインライン 電子銃機能説明図

図 2. マルチ ステップ フォーカスインライン 電子銃

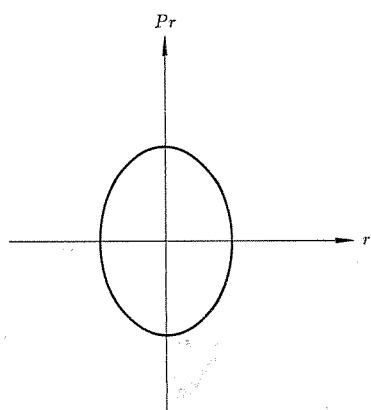


図 3. 位相空間図形

と電子の運動量 (P_r) とを座標軸とする位相空間内で記述する方法で、一般にある電子ビームの位相空間図形は図 3. のようになるため、この図形で囲まれる面積で表現できる。すなわち エミッタンス E は

$$E = \phi P_r d_r$$

で与えられる。この エミッタンス E が小さいほど良質な電子ビームである。第 1 レンズは エミッタンス E が最小になる強さに設計した。

(3) 球面収差の発生しない第 2 レンズ

以下に述べる第 3, 第 4 レンズで構成される主レンズに電子ビームが入る前段において、レンズの強さ、配置を最適設計にした、ほとんど球面収差の発生しない加速形 バイポテンシャルレンズを設けた。このため主レンズに入射するビーム径を細くすることに成功した。

(4) 第 3, 第 4 レンズによる 2 枚構成の主レンズ

従来の バイポテンシャルレンズ方式の電子銃は、1 枚の主レンズで構成されているが、新方式の電子銃は、主レンズを 2 枚に分割し球面収差を減らすとともにレンズ収束力を向上させた。

(5) ホーカス電圧が単一で、高圧の 33% である

従来の バイポテンシャルレンズ方式の電子銃の使用条件と大幅に変わることとを避けるため、ステム側から印加するホーカス電圧は従来と同様に単一とした。次に印加するホーカス電圧は高圧の 33% に設計したが、テレビ受像機の高圧が 24~25 kV のときでも、ホーカス電圧は 8 kV 程度であるため、ステム耐圧、ベース耐圧、ソケット耐圧の十分な耐圧処理を行えば十分実用できる。したがって小形から大形カラー受像管すべてに満足して採用できるため非常に有利である。

3. マルチ ステップ フォーカス電子銃の各レンズ系

3.1 第 1 レンズ

電子ビームの良否はエミッタンスの大小で表され、このエミッタンスが小さいほど良質なビームであることは前述したが、もしエミッタンスが 0 であれば点光源又は平行ビームを表しており理想電子ビームと言える。

図 4. は新方式電子銃の第 1 レンズを構成する G 3 電極の電圧 E_{G3} を変化させたときのエミッタンスの測定値を示したものである。図 4. から明らかなように E_{G3} を 7~9 kV にすれば、電子ビームのエミッタンスはほぼ陰極の理論エミッタンスに等しくなる。すなわち与えられた陰極温度と陰極動作半径のもとでこれ以上の良質な電子ビームを望むことは不可能になる。新方式電子銃の G 3 電極の動作電圧は上述した観点から決定した。

3.2 第 2 レンズ

この第 2 レンズは G 3 電極を中高圧とし、G 4 電極を高圧とする加速形 バイポテンシャルレンズである。この第 2 レンズの物体側レンズ主面 (H_0)、像側レンズ主面 (H_i) としたとき、第 1 レンズを通過した電子ビームの最外電子ビームの仮想物点位置に、第 2 レンズの物体側レンズ主面 (H_0) を配置すると、その点での最外電子ビーム径を 0 にすることができ、球面収差を受けないで、発散角だけを小さくすることができ

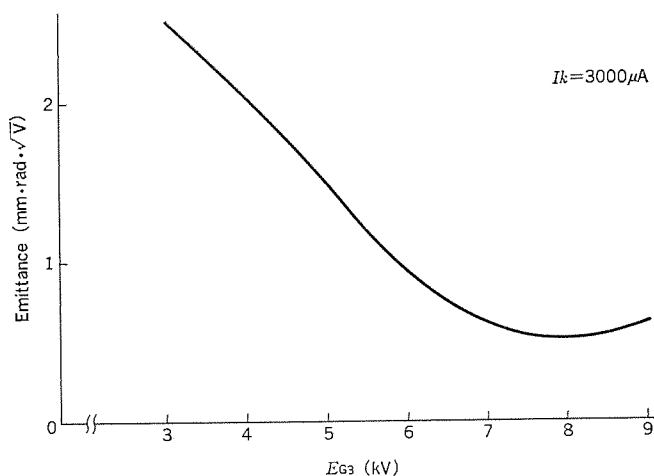


図 4. G 3 電圧と Emittance の関係

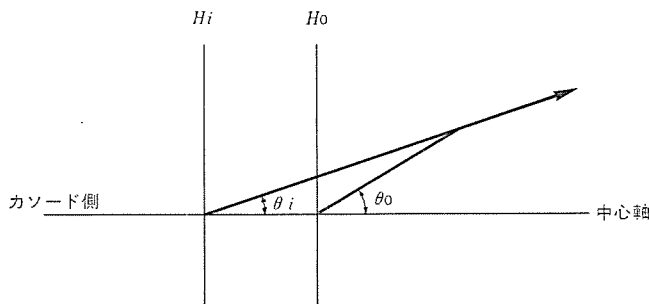


図 5. 第 2 レンズでの電子ビームの挙動

る。図 5. に第 2 レンズでの電子ビームの挙動を示している。

図 5. において、第 2 レンズに入射するときの最外電子ビームの発散角を θ_0 、G 3 電極に印加する電圧を E_{G3} 、第 2 レンズ通過後の最外電子ビームの発散角を θ_i 、G 4 電極に印加する電圧を E_{G4} とすると Lagrange の法則により

$$\theta_i = \sqrt{E_{G4}} = \theta_0 \sqrt{E_{G3}}$$

$$\therefore \theta_i = \sqrt{\frac{E_{G3}}{E_{G4}}} \cdot \theta_0$$

第 2 レンズは加速形パイポテンシャルレンズであるため $E_{G3} < E_{G4}$ である。したがって第 2 レンズ通過後の発散角 θ_i は、パイポテンシャルレンズを構成する電極に印加する電圧の比の平方根だけ小さくすることができ、次の主レンズに入射する電子ビーム径を細くでき主レンズでの収差を減じることができる。

3.3 第 3, 第 4 レンズ

第 3 レンズと第 4 レンズで構成される主レンズは中央の G 5 電極の両側に高圧を印加する G 4 電極、G 6 電極を配置したユニポテンシャルレンズとみなすことができる。そこでこのユニポテンシャルレンズの球面収差について考えてみることにする。一般にレンズの球面収差係数は各種の表示方法があるが、Cherzer, Glaser らにより導かれている。球面収差係数 C_s は次式で与えられる。

$$C_s = \frac{1}{16\sqrt{\phi_0}} \int_{Z_0}^{Z_1} \phi^{-\frac{3}{2}} \left(\frac{5\phi'^2}{4} + \frac{5\phi'^4}{24\phi^2} + \frac{14\phi'^3 r_{\alpha}'}{3\phi r_{\alpha}} - \frac{3\phi'^2 r_{\alpha}^2}{2r_{\alpha}} \right) r_{\alpha}^4 dz$$

ただし、 ϕ_0 は物体側の電位、 ϕ は軸上電位分布、 r_{α} は次式で示される初期条件を満足する基準軌道を表す。

$$r_{\alpha}(Z_0) = 0, r_{\alpha}'(Z_0) = 1$$

我々はこの球面収差係数 C_s をレンズの焦点距離で除した C_s/f^3 に注目し、第 3 レンズと第 4 レンズで構成されるユニポテンシャルレンズの電子軌道解析を行った。

ところで我々が、画面上でビームスポットサイズを観測しながらビーム電流を増やしていくと、強く輝く実スポット部とその囲りに薄く輝くハローが発生する。したがってあるビーム電流値にしたときのハローを出さずに最小になるビームスポットサイズは実スポットサイズとハローサイズとが一致するときであることが判明した。このときの画面上のビームスポットサイズ d_s は次式で与えられる。

$$d_s = \frac{1}{2} \cdot \frac{\left(\frac{b}{a} + 1\right) \left(\frac{C_s}{f^3}\right) (\theta_m a)^3}{1 + 0.75 \left(\frac{C_s}{f^3}\right) (\theta_m a)^2}$$

この式で a は物点からレンズまでの距離、 b はレンズから画面までの距離、 θ_m はある定めた電流値の最外電子ビームの発散角である。

上記したビームスポットサイズ d_s を与える式は、 $C_s \neq 0$ である限りたとえ点光源であっても集束スポットサイズを 0 にすることができないことを示しており、 C_s/f^3 の値が小さければ小さいほど集束ビームスポッ

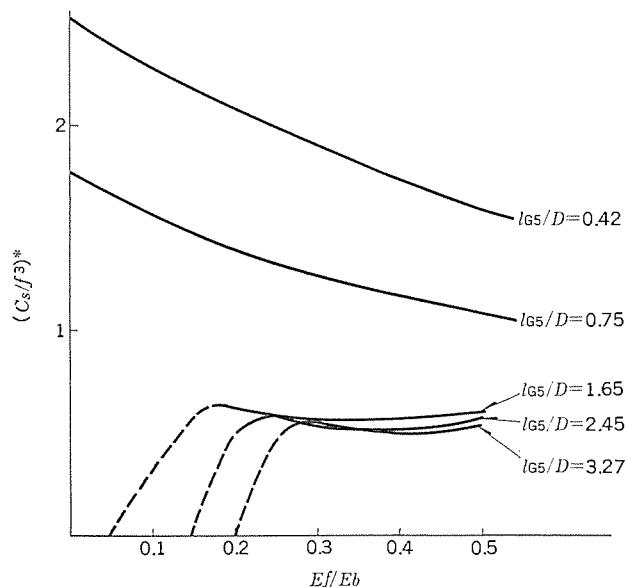


図 6. 主レンズの収差曲線

トサイズを小さくすることができることを示している。

図 6. は、第 3 レンズと第 4 レンズで構成される主レンズの球面収差曲線を、G 5 電極の軸方向の長さ、 lg_5/D をパラメータとして表したものである。ただし D はレンズ口径図 2. (b) に示した、G 4 電極と G 6 電極に印加する電圧を E_b 、G 5 電極に印加するホーカス電圧を E_f として、 E_f/E_b を横軸にし、縦軸に C_s/f^3 を主レンズの半径で規格化した値をとっている。この図 6. から次のことがいえる。

(1) 主レンズの収差は、G 5 電極長 lg_5 を長くすると小さくなっていくが、ある程度以上長くなると長くしても収差は小さくならない。

(2) G 5 電極長 lg_5 が長くなると主レンズ収差は小さくできるが、画面上でビームスポットを最小に設定するためのホーカス電圧と高圧の比、 E_f/E_b が大きくなる。

したがって、我々は、 E_f/E_b の値を大きくするとホーカス電圧 E_f が高くなり実用上耐圧処理の問題で不安を残す恐れがあると考え E_f/E_b の値が、0.3~0.4 の範囲で主レンズの収差が最小になる G 5 電極長を見出した。

3.4 第 2 レンズと主レンズの結合

図 2. (b) に示した新方式電子銃は、第 2 レンズと第 3, 第 4 レンズで構成される主レンズを結合する G 4 電極の長さが、ホーカス特性に非常に大きな影響を与える。したがって G 4 電極の長さ lg_4 は、電子ビームのホーカス特性を十分検討した上で決める必要がある。

図 7. は、新方式電子銃の G 4 電極長と電子ビームの集束特性の関係を示したものである。実スポットサイズとハローサイズはカソード電流、2,000 μA のときの値を示している。ハロー発生電流は、画面上でビームスポットサイズを観測しながらビーム電流を増やしたとき、実スポットの周囲にハローの出始めるときの電流値である。

E_f/E_b の関係を示す直線は、図 2. (b) に示したように、G 3 電極と G 5 電極に印加するホーカス電圧を E_f とし、G 4 電極と G 6 電極に印加する高圧を E_b としたときの E_f と E_b の比を示したものである。したがって G 4 電極長を決定するときは、次の点を十分考慮する必要がある。

(1) 第 1 レンズの G 3 電極電圧がエミッタンスを最良にする電圧 $E_f/E_b = 0.28 \sim 0.36$ の範囲に入るか。

(2) 第 3, 第 4 レンズで構成される主レンズの収差を最小にする

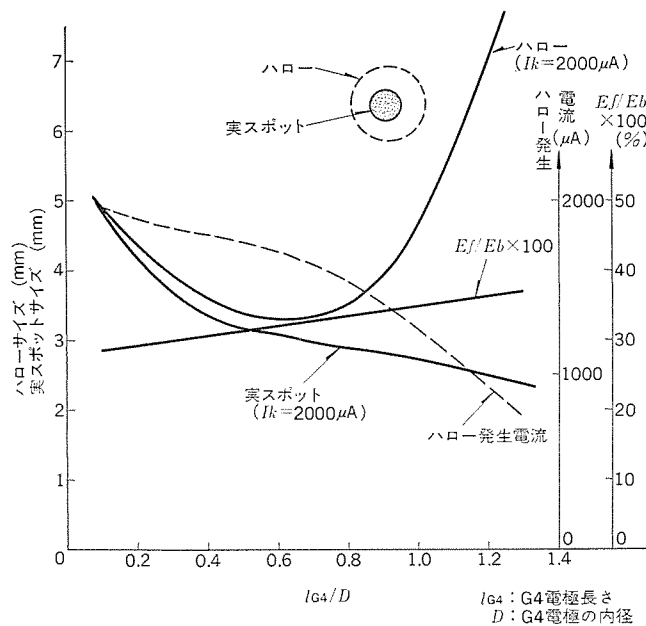


図 7. G4 電極長と電子ビーム集束特性の関係

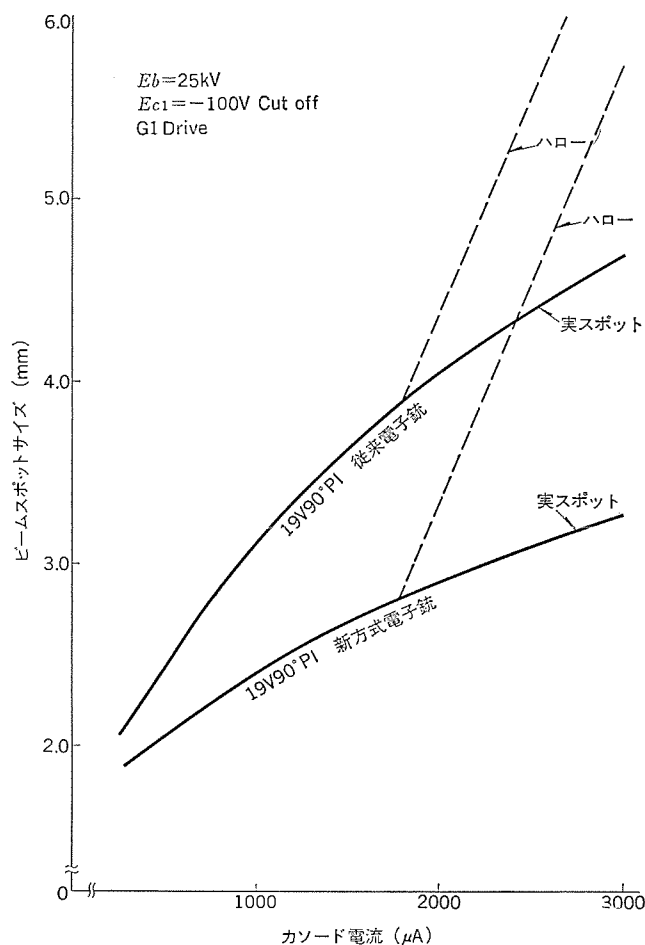


図 8. 20 形 90 度管でのビームスポットサイズ比較

E_f/E_b の値が 0.3~0.4 の範囲に入るか。

上記(1), (2)の両者を満足する E_f/E_b の値の範囲 (0.3~0.36) において、実スポットサイズ、ハローサイズ、ハロー発生電流の各特性を十分考慮し、カラー受像管を試作することにより、G4電極の長さの最適値を求めた。

4. マルチ ステップ フォーカス 電子銃の特性

新方式電子銃を 20 インチ、90 度偏向のカラー受像管に採用したときのカソード電流 (ビーム電流とほとんど一致する) に対するビームスポットサイズの関係を図 8. に示した。比較のため、現在カラー受像管に採用されているバイポテンシャルレンズ方式の従来電子銃の特性を示した。そこで、ビームスポットサイズの改善度合を新方式電子銃と従来電子銃とで比較すると、カソード電流が 1,000 μA で 23%, 2,000 μA で 27%, 3,000 μA で 30% 改善されることになる。すなわち、カソード電流 (ビーム電流) が増えるほど、ビームスポットサイズの改善度合が大きくなり、ビーム電流を増やしたときのビームスポットサイズの不必要な増大を防ぎ、白文字などの“白つぶれ”を解消することができる。

一方見方を変えると、同一スポットサイズを与えるカソード電流値で比較すると、例えば、スポットサイズ 3 mm になるカソード電流値は、新方式の電子銃は従来の電子銃に比べて約 2 倍に増やすことができる。すなわち従来と同じ解像度を保ちながら、カソード電流を増やし画面を明るくすることができることを意味している。

5. む す び

インライン・3ビームの一体構造電子銃に採用するマルチステップフォーカス電子銃の開発の意図、電子銃の特長及び特性について簡単に述べた。このマルチステップフォーカス電子銃は、従来の電子銃に比べ画面の白文字などのハイビームの解像度を約 30% 改善することができ、見方を変えれば、従来と同一解像度を維持しながら明るい画面にすることもできる。カラー受像管の大形化に伴い、新方式のこの電子銃の導入により、従来より明るくて、シャープな画を見ることができ、今後のカラー受像管の方向を示す 1 つの道であると思われる。

なお、新方式のこの電子銃は、カラー受像管だけでなく、投写形 TV 用ブラウン管、キャラクタディスプレイ用陰極線管等への応用、発展が期待できる。

参 考 文 献

- (1) A. B. EL-KAREH : ELECTRON BEAMS, LENS, AND OPTICS 1, 2 ACADEMIC PRESS (1970)
- (2) A. B. EL-KAREH : Journal of Applied Physics, 42, No. 5. p. 1,870~1,876, APRIL (1971)
- (3) A. P. Blackner : IEEE TRANSACTIONS ON CONSUMER ELECTRONICS, p. 238~245, AUGUST (1976)

ブラジル向け500kV分路リアクトル

菅 寿郎*・武智盛明*・三浦良和*・塩野克己*

1. ま え が き

分路リアクトルは、電力系統に並列に接続して遅相無効電力を吸収し、系統の電圧制御や安定度向上などの目的で使用されるリアクトルであるが、最近の国内の都市部における高電圧ケーブル系統の拡大や、国外の長距離超々高圧送電網の活発な建設などにより、その進相容量補償用として、大容量器の必要性がますます高まっている。特に、最近の傾向は、従来多く用いられてきた変圧器3次回路に接続する方式に代わって、超高压系統や超々高压系統に直接接続される場合が多いのが特徴であり、分路リアクトルとしては、高電圧化、大容量化の傾向が著しく、同時に高度の信頼性が要求される。

当社は、メキシコ向け400kV分路リアクトルを初めとして、表1.に示すとおり、既に多数の超高压及び超々高压分路リアクトルを製作納入しているが、更にこのほど、かねて大量に受注し製作中であったブラジル向け500kV 150/3 MVA、及び100/3 MVAの超々高压分路リアクトルを完成した。これは、国内はもちろん、世界的にも最大級の製品であるので、ここにその概要を紹介し、併せて最近の当社の分路リアクトルの特長について述べる。

表 1. 三菱超高压、超々高压分路リアクトル 製作実績

納 入 先	相 数	周 波 数	定 格 容 量 (MVA)	定 格 電 圧 (kV)	冷 却 方 式	台 数	製 作 年 度	連続過電 圧仕様による実質 (MVA)
メキシコ (CFE)	3	60	35	420	油 入 自 冷	8	1967	38.59
カナダ (BC Hydro)	3	60	125	236	油 入 風 冷	1	1968	137.81
イラン (TAVANIR)	3	50	50	400	油 入 自 冷	3	1974	60.5
東京電力 (京北 S/S)	S 3	50	150	275	送 油 自 冷	2	1977	181.5
ナイジェリア (NEPA)	3	50	75	330	送 油 風 冷	5	1977	90.75
ブラジル (CHESF)	1	60	$\frac{150}{3}$	$\frac{500}{\sqrt{3}}$	油 入 自 冷	21	1977 1978	$\frac{181.5}{3}$
ブラジル (CHESF)	1	60	$\frac{100}{3}$	$\frac{500}{\sqrt{3}}$	油 入 自 冷	25	1977 1978	$\frac{121.0}{3}$
九州電力 (新小倉 P/S)	3	60	100	230	送 油 風 冷	1	1978	110.25
ナイジェリア (NEPA)	3	50	50	330	油 入 自 冷	2	1978	60.5

2. 定格及び仕様

今回製作した分路リアクトルは、ブラジル CHESF (Companhia Hidro-Eletrica do São Francisco) の500kV送電系統の第5次及び第6次拡張計画として設置されるもので、単相150/3 MVA 21台、及び単相100/3 MVA 25台の分路リアクトルが、合計7か所の変電所に配置される。分路リアクトルの定格及び仕様は次のとおりである。

定格容量及び台数	150/3 MVA	21 台
	100/3 MVA	25 台

形 式	外鉄形空心形、油入自冷式
相 数	単相
周波数	60 Hz
定格電圧	$500/\sqrt{3}$ kV
連続運転過電圧	$550/\sqrt{3}$ kV
試験電圧	
加圧試験	140 kV
雷 インプルス	線路 1,550 kV 中性点 350 kV
開閉 インプルス	1,300 kV
温度上昇限度	油 55 deg 巻線 55 deg
騒 音	89 dB 以下 ($550/\sqrt{3}$ kV)
タンク振動	100 μ m 以下 ($550/\sqrt{3}$ kV)
第3高調波含有率	3% 以下 ($550/\sqrt{3}$ kV)

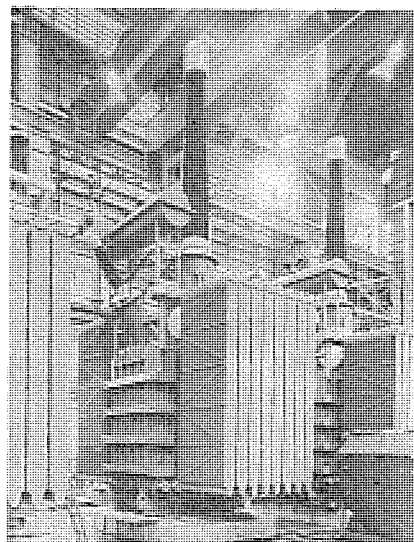


図 1. 150/3 MVA 500/√3 kV 分路リアクトル

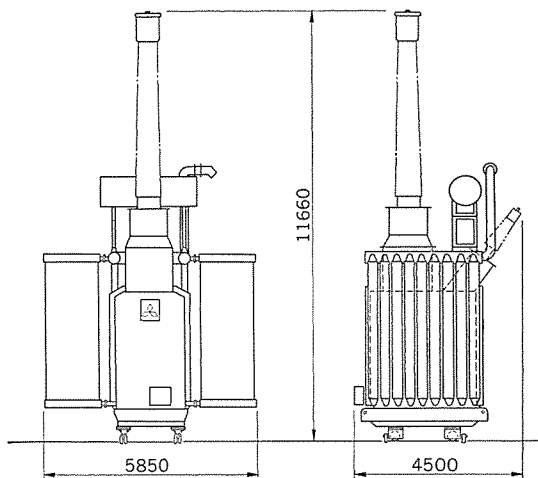


図 2. 150/3 MVA 500/√3 kV 分路リアクトル 外形

リアクタンス 直線性	0~1.5 E	一定
	1.8 E で定格値の 2/3 以上	
部分放電特性	500 pC 以下 (1.5 E)	

今回製作した分路リアクトルは、連続運転過電圧として定格電圧の110%が指定されている。このため、実質的には定格容量の121%の容量を有しており、騒音及びタンク振動も定格電圧の110%で仕様値が規定されている。また、リアクタンスの電圧特性として、定格電圧の150%までの直線性が要求されており、更に定格電圧の180%においてもリアクタンスは定格値の2/3以上であることを要求されている。

3. 三菱大容量分路リアクトルの特長

当社の大容量分路リアクトルの構造上の特長としては、

(1) 空心形構造の採用

(2) 外鉄形変圧器と同じ絶縁構造、巻線構造の採用

が挙げられる。表1のような容量と電圧の階級の分路リアクトルになると、鉄心脚に空けき(隙)を設けた鉄心形リアクトルでは、鉄心脚のギャップ部分の寸法が大きくなりすぎることや、スペーサの接着が難しくなるなどの問題があり、空心形構造が採用される傾向にある⁽¹⁾。当社は、昭和38年当時より⁽²⁾、空心形構造の性能面、信頼性製作の利点に着目し、空心形で製作を続け、その数多い製作経験を通じて、空心形構造が、大容量高電圧分路リアクトルに最適であることを確かめている。空心形リアクトルの磁気シールドは、巻線外周に同一幅のけい素鋼板を積層したもので、構造的に外鉄形変圧器に酷似している。また巻線と絶縁については、外鉄形変圧器と同様のく(矩)形板コイル、サージプルーフ絶縁構造を採用しているの、耐雷性などの絶縁性能や油の対流効果など、外鉄形変圧器が有している特長がそのまま生かされる。このように三菱大容量分路リアクトルは、当社が製作した外鉄形変圧器で得られた豊かな経験と長所が生かされたところに、大きな利点がある。

4. 絶縁構造

超々高圧系統に直接接続される分路リアクトルは、絶縁の信頼性が重要なポイントの1つになる。当社の超々高圧分路リアクトルは、当社が超々高圧変圧器の開発時に、最重点項目として開発を行へ、洗練を加えつつ完成させた外鉄形E形サージプルーフ絶縁構造を採用している。外鉄形E形サージプルーフ絶縁構造は⁽³⁾、当社の超々高圧変圧器で既に多数の実績を有し、その優秀さは周知のところであるので、構造の詳細な説明は割愛するが、その構造に加えて、外鉄形変圧器と全く同じ優れた環境設備、工作技術のもとに製作されており、超々高圧リアクトルにもその特長を発揮している。更に巻線配置としては、図3.に示すように、線路端を中央に、鉄心側に中性点端を配した“つづみ形”配置を、大容量高電圧分路リアクトルの巻線絶縁構

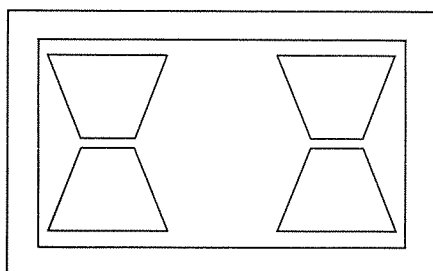


図3. つづみ形段絶縁コイル配置

造の標準としている。このつづみ形配置は、線路端に電界集中がなく、運転電圧に応じて巻線と鉄心間に段絶縁が施されるので、より合理的な配置と言え、当社の超々高圧変圧器に数多くの使用実績を有し、優秀な結果を収めているものである。

5. 磁界解析

分路リアクトルの空間の磁束量は、インピーダンスが10%の変圧器と比較すると、リアクトルの10倍の容量の変圧器に相当する膨大なものである。その磁界解析は非常に慎重を期すことが必要で、後述のリアクタンス計算のほか、磁気シールド内の磁束分布、磁気シールドの損失計算、コイル内うず流損の算出、コイルの転位の検討、構造物うず流損の計算などは、分路リアクトルの設計製作にあたり、重要な基本的検討事項である。当社は、以前には抵抗紙による磁界模写を用いて検討をしていたが、最近では、ポアソンの方程式をグリーン関数を用いて電子計算機で解を求め、任意の各点の磁束密度成分やベクトルポテンシャルを得て、検討を行っている。電子計算機による磁界解析は、一般にはジオサール法が用いられることが多いが、コイル端部などの磁界の検討の際、イメージ数の取り方やコイル電流のインプットの方法が問題で、その方法によっては誤差を生ずる恐れがあるのに対し、当社のグリーン関数を用いた方法では、コイルそのものをインプットして電流域を現実通りに規定し、磁性体境界を厳密に解いているので、正確に解が得られ、更に計算時間が短いという特長も有している。図4.は磁界計算結果の1例であり、分路リアクトルのコイル配置が、段絶縁のつづみ形配置で対称であるため、その境界条件を検討し、4分の1の領域のインプットで解を得たものである。

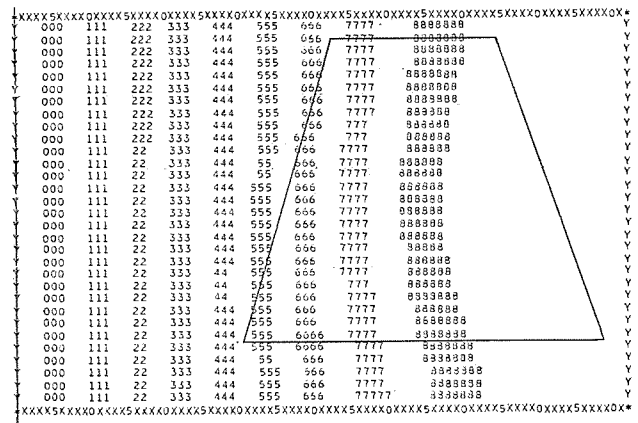


図4. シールド付空心形リアクトルの磁束分布

6. リアクタンス

リアクタンスは、分路リアクトルのkVAを決定する最も重要な仕様であるので、一般的に言って、変圧器のインピーダンスよりは狭い裕度が要求されるのが普通で、その設計にあたっては十分な検討が必要である。磁気シールドを有した矩形コイルの空心形リアクトルのリアクタンス X は次式のように与えられる⁽⁴⁾。

$$X = 2 \pi f \mu_0 \frac{N^2 S_e}{l} K_d$$

N : 全巻数

l : 窓長さ

S_e : 等価断面積

K_d : 補正係数

等価断面積 S_e の計算にあたっては、コイル形状により非常に煩雑となるが、矩形コイルの心形 a , b , コイル幅 c と、更にコイルの形状比

から決まる係数 p, q を計算図表より求めて、次の式で得られる。

$$S_e = ab + p(a+b)c + qc^2$$

補正係数 K_d は、上記の S_e を磁束がコイル軸に平行するとして求めたものに対し、コイル端部などの磁束の曲りによる実際の鎖交数に補正するもので、先述のグリーン関数を用いた磁界解析で精度よく得られる。こうして求められたリアクタンスの計算値と実測値との差は、コイルの製作、磁気シールドの製作の公差レベルの程度と同等で、非常によく一致しているため、最近のリアクトルの製作にあたっては、以前に設けられていたリアクタンス調整用の巻線タップは設けられていない。

空心形リアクトルのリアクタンス特性で、鉄心形のそれと比較して、著しく優位な点は電圧特性である。磁気シールドが完全に飽和した状態（コイルだけの単独の状態）でのリアクタンスは、大略次のようにして求められる。

$$X_s = \frac{l}{l + 0.9r} X$$

X_s : 磁気シールド飽和時のリアクタンス

r : 等価断面積に対する等価半径

ブラジル向けリアクトルの r/l の値は、0.6~0.7 程度であるので、 X_s の値は X の 70~60 % を得る。磁気シールドが完全に飽和した状態でもこの程度のリアクタンスを有しているうえ、磁気シールド内の磁束は変圧器のように一様分布でないため、全体が飽和することはない。また磁気シールド幅は、電気特性からだけでなく機械特性からも決定されるため、磁束密度は低く、飽和磁束密度に対して変圧器よりはかなり余裕があるのが普通で、線形特性に対して特別な対策をとることは必要ない。仕様で要求された過電圧線形特性に対しては、その実証を実器で行うことは不可能であるため縮尺モデルを製作して過電圧試験を行ったが、150 % までリアクタンスの変化は認められず、仕様を十分満足している。

空心形リアクトルの場合、起磁力のほとんどが空間部分で消費される磁気シールドの鉄心を励磁する起磁力は、設計上無視できる値で非常に小さい。したがって、鉄心磁気特性に起因する含有高調波分は非常にわずかで、仕様値に対して十分に満足している。

7. 損 失

分路リアクトルの抵抗損以外の損失には、磁気シールドの損失、コイルのうず流損、構造物の漂遊損がある。空心形の場合、磁気シールドのしゃへい効果が完全でタンク壁の加熱などはなく、また磁気シールド窓内には、コイル以外の導電性や磁性の材料を使用しないので、構造物の漂遊損はない。したがって、磁気シールドの損失とコイルのうず流損が主な検討の対象となるが、これらはリアクトルの主磁束により生ずるため、通常の測定では分離され得ない点に留意する必要がある。ギャップ付鉄心形の場合、ギャップ部での磁束のフリッジングにより、磁束が鉄心のフラット面に入射するので、程度によっては鉄心局部加熱の因となるが、空心形では、磁気シールド窓内の磁束は、鏡像の原理により無限長ソレノイドのようにコイル軸に平行となり鉄心には積層面より入射するので、ギャップ付鉄心形のような鉄心局部加熱は全くない。磁気シールドの損失を精度よく計算するにはシールド内磁束密度分布を正確に求めておく必要があるが、当社では前述の磁界計算プログラムで得ている。次にコイルのうず流損は、巻線内の空間磁束密度がその最内層において変圧器の漏れ磁束密度より高いのが普通で、そのため主磁束の軸方向に直角な面の導体幅を細くして、う

ず流損を低減している。また導体を細分化することにより導体並列本数が増す場合は、その並列回路間で循環電流が流れるので、軸方向及び径方向の磁束に対し、誘起電圧が零となるよう転位をする必要がある⁽⁹⁾。当社では、先の磁界計算プログラムで正確に任意の点の各磁界成分が得られるので、循環電流が零となるよう最適位置で転位を行っており、コイルのうず流損も正確に計算されている。こうして求められた損失は、実測値とよく一致している。

8. 振 動・騒 音

分路リアクトルの振動は、磁気シールドに働く電磁吸引力が主な振動源であり、磁気シールドの構造には細心の注意を払う必要がある。そこで、分路リアクトルに吸収される無効エネルギー P を求めると、

$$P = 2 \pi f \frac{B^2}{2\mu_0} \times S \times l$$

B : 空間磁束密度 μ_0 : 空間透磁率

S : 空隙実効面積 l : 空隙長

となり、また全電磁吸引力 F と、無効エネルギーの間には

$$F = \frac{1}{9.8} \times \frac{B^2}{2\mu_0} \times S = \frac{1}{9.8} \times \frac{P}{2\pi f l}$$

の関係が成立つので、電磁吸引力は容量に比例し、空隙長に反比例していることがわかる⁽⁴⁾。この空隙長は、空心形では当然磁気シールドの脚長そのものが空隙長となるのに対し、ギャップ付鉄心形では、細分ギャップ幅の総和であるので鉄心脚長より小さい。したがって、同一容量を同一脚長で製作した場合、ギャップ付鉄心形の電磁力は、空心形の電磁力と比較してかなり大きな値となる。更にその複雑な構造のゆえに、振動モードや振動の周波数成分が複雑で、その解析や振動の低減対策も容易でない。一方、空心形の場合、その鉄心構造が極めて単純で、また振動の周波数の成分はほとんど基本波分であるなど、数値解析が比較的容易に行い得るのに加え、電磁力も根本的に小さいので、大容量分路リアクトルに適した構造で、当社がいち早く空心形の優位性に着眼して、数多くの良好な実績を有しているのは前述のとおりである。

空心形リアクトルでは、磁気シールドの振動が、磁気シールドの固有周波数と密接な関係を有しているため、鉄心形状を適当に選ぶことによって低減できる。したがって、鉄心は単に電気的特性だけでなく機械的な面も考慮して設計する必要がある。当社では、最近の測定技術の進歩や、構造解析プログラムの開発に伴い、各種の試験を積み重ね、系統的に数値解析を行っており、鉄心振動の解析に長足の進歩を遂げている。図 5. は、縮尺モデルのデータであるが、磁気シールドを油圧加振機で加振し、その機械インピーダンスを求めて剛性及び

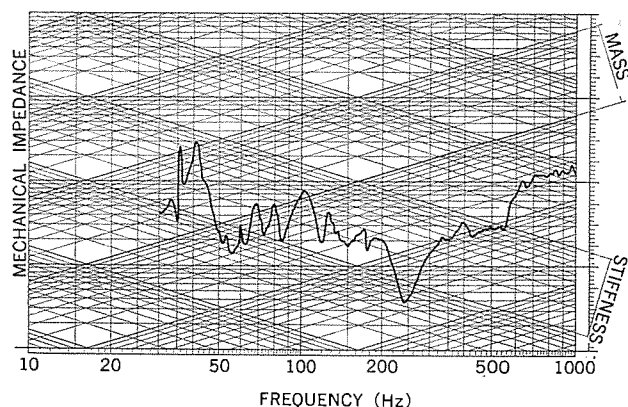


図 5. 磁気シールドの機械インピーダンス特性

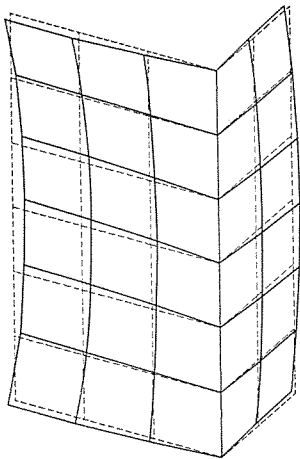


図 6. 構造解析プログラムによる振動解析

固有周波数を実測したものである。また、図 6. は、3次元構造解析プログラムを用いて、磁気シールドの振動解析を行った例である。

大容量分路リアクトルは、ほとんどの場合油入で製作されるため、磁気シールドの支持構造物からの振動伝達防止策だけでなく、油を介した、タンクなど他の構造物への伝達にも留意する必要がある。これらの構造物は比較的共振のQが高く、振動の周波数主成分と一致しない限りそれほど問題とならないが、各構造物や付属品類の取付けにも留意が必要である。

9. 構造の改善

9.1 セミフォームフィット形

ブラジル向け分路リアクトルは、図 7. に示す従来構造を更に改善し図 8. に示すようなセミフォームフィット形で製作された。この構造は、従来の下部端わくとタンクを一体化して下部タンクとし磁気シールドの締付けを下部タンクと上部端わくで締付けるもので、外鉄形変圧器のタンクで鉄心を締付けるフォームフィット構造に準ずるものである。この構造の採用により、従来構造と比較して、重量油量の軽減がはかられたほか、油流の改善、振動の低減等、性能と信頼性の向上もはかられている。

9.2 空隙内積層板付空心形リアクトル

分路リアクトルが変圧器より不利な問題として、振動騒音を先に挙げたが、今後の大容量化とともにますます困難となる。すなわち、

- (1) 振動と騒音の原因である電磁吸引力は、kVA の増大に伴って大きくなる。
- (2) kVA の増大は、各部寸法の増大を来すが、鉄心の剛性は寸法の増大に伴い低下する。
- (3) 磁気シールドの固有周波数は、鉄心の寸法の増大に伴い低下し、高次振動モードも考慮しなければならない。

などの要因があるからである。これを、鉄心の剛性だけで避けようとすれば著しく不経済となり、また多脚化や並列化により避けようとすれば、経済性だけでなく、損失など性能の面においても何ら大容量化によるスケールメリットを得るところとならない。そこで、上記の大容量化の諸問題を克服し、スケールメリットと信頼性を確保するため、新構造として考案されたのが、図 9. に示す空隙内積層板付空心形リアクトルである。

この構造の特長は、電磁吸引力が最大である着力点を積層体の剛

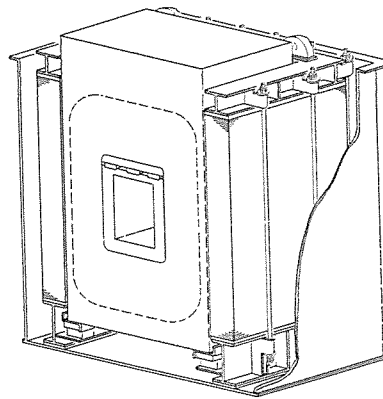


図 7. 外鉄形空心形リアクトルの構造 (従来形)

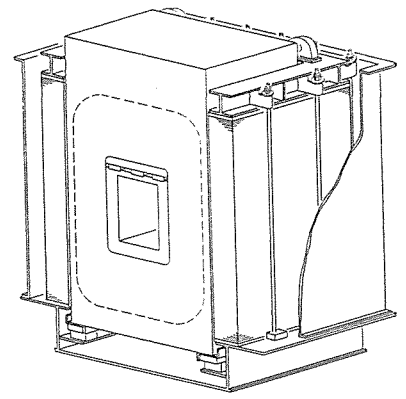


図 8. 外鉄形空心形リアクトル セミフォームフィット形構造

性で支持するもので、その剛性が鉄心全体の数倍に及んで全体の剛性が上がり、振幅を著しく低下させることができる点にある。その製作方法は、空心形リアクトルの巻線の中空部分に非磁性積層板を積むのであって、外鉄形変圧器の主脚の鉄心を非磁性材に変えたものであり、まさしく外鉄形変圧器と同一構造となり、外鉄形変圧器の製作経験がそのまま生かされる。空隙内積層板付空心形リアクトルは、大容量分路リアクトルの振動騒音問題を根本的に解決する画期的な方法であり、今後の大容量器及び低騒音仕様のリアクトルの製作に、非常に有効な構造となる。

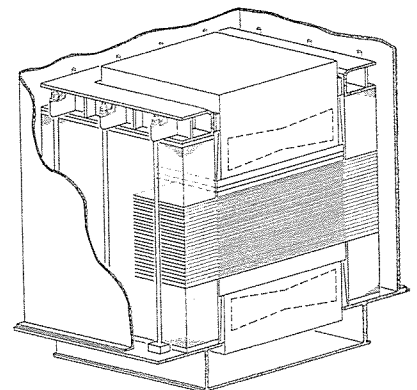


図 9. 外鉄形空隙内積層板付空心形リアクトルの構造

10. む す び

当社では、数年来の研究開発に加え、数多い製作経験を総合し、ブラジル向け 500 kV 150/3 MVA、及び 100/3 MVA 分路リアクトルを完成した。これは、電圧容量の面で国内の記録品であるばかりでなく、世界的にも有数の分路リアクトルであるので、その概要を紹介した。分路リアクトルは、振動や騒音、経済性など、まだまだ内包する問題は多いが、今回の製作経験を生かし、特性など一層の向上を図るよう開発努力を続け、今後とも需要家の大きな期待に答えていきたいと考えている。

参 考 文 献

- (1) 山内：三菱電機技報，38，No. 2，p. 92 (昭 39)
- (2) 山内，祖開，池田：三菱電機技報，38，No. 8，p. 30 (昭 39)
- (3) 村上，田村，神谷：三菱電機技報，41，No. 3，p. 409 (昭 42)
- (4) W. F. Geist, R. Tamura, M. Hirai, G. Ikeda, M. Takechi: IEEE, 69 CP 716-PWR (1969)
- (5) 山内，池田，武智：三菱電機技報，41，No. 3，p. 432 (昭 42)

「サンシャイン60」ビル向け600m/min世界最高速エレベータ

蟹江 暎二*・石井 敏昭*・吉川 博*・中田 稔*

1. ま え が き

最近の建築工法の進歩は素晴らしく、地震国といわれる我が国においても、遂に240m日本一の高さを誇る「サンシャイン60」ビルが池袋副都心に完成した。このビルの建物階数はエレベータの経済的な設備計画から見てゾーン方式の限界に近く、高層階をサービスするエレベータは従来より高速度が必要である。更に、最上部にある展望レストラン階へ多くの人を効率よく運ぶための直行サービスエレベータはより

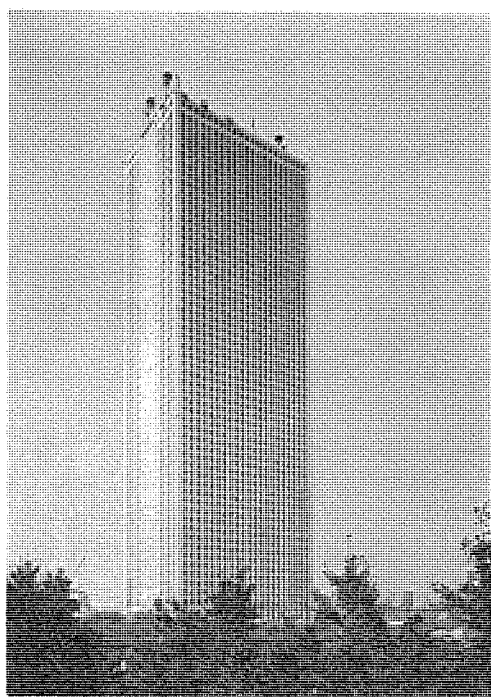


図1. 「サンシャイン60」ビル全景

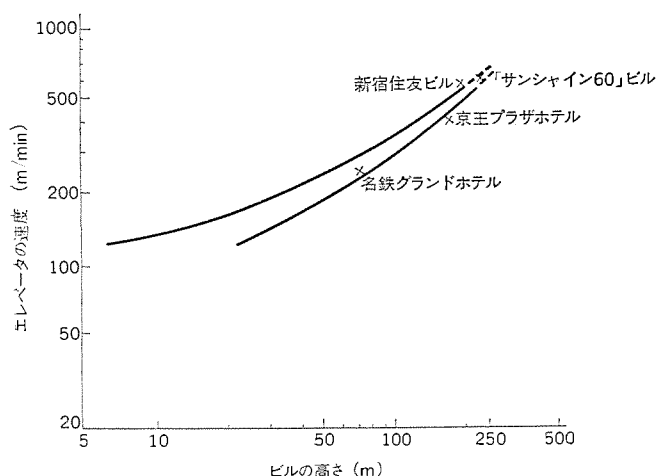


図2. ビルの高さとの関係

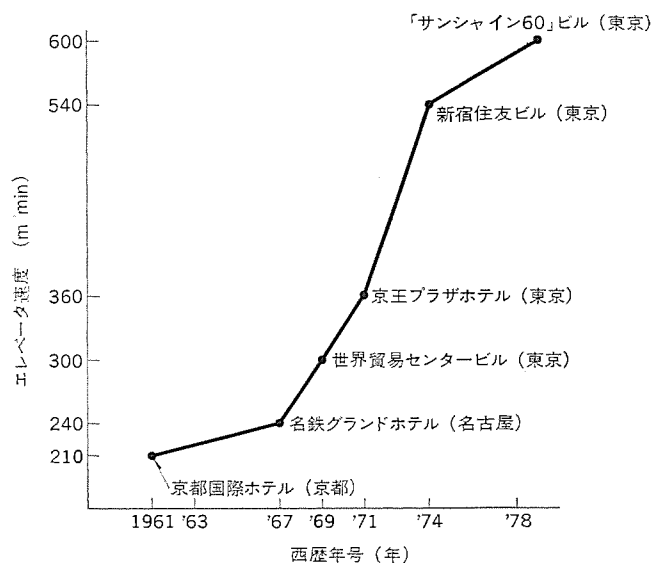


図3. 当社高速エレベータの変遷

一層高速度なものが必要とされた。ビルの高さとエレベータ速度の関係については、図2.に示すような推奨値⁽¹⁾がある。これによると、当社が過去に納入した名鉄グランドホテル、京王プラザホテル、新宿住友ビル向けエレベータも、ほぼこの推奨値の線上にあり、240mの「サンシャイン60」ビルには600m/minの速度のエレベータが必要となることが分かる。

当社の高速エレベータは図3.に示すように、逐次記録を更新してきたが、今回、「サンシャイン60」ビル向けにその名にふさわしい世界最高速の600m/min乗用エレベータを展望階用として2台納入し世界記録を更新した。

このエレベータは当社の総合技術力を結集し完成したもので、そのすぐれた性能、高い安全性、信頼性は、同時に納入した6台の540m/minエレベータとともに好評を得ている。

以下に600m/min世界最高速エレベータの概要を紹介する。

2. エレベータ性能

エレベータが高速・高揚程化し、速度600m/minにもなると、540m/minのものに対して、わずか1割の速度増加ではあるが、技術的に解決の困難な問題が増してくる。その内、代表的なものは

(1) 速度制御の困難さ

高揚程に伴うロープ系の縦方向固有振動数の低下と、速度制御範囲が一段と広がることなどによる速度制御の困難さを解決する必要がある。

(2) 機械室機器収納の困難さ

機器、特に巻上機、セレクトの大形化を抑制する必要がある。

(3) 超高速エレベータ用安全装置、安全回路の必要性

万一の故障に対して、従来と同等以上に乗客の安全を保証し、また

機器に対する保護を強化する必要がある。

(4) 横揺れ、風音の抑制の困難さ

速度の2乗に比例して増加する横振動加速度、約6乗に比例して増加する風音エネルギーによるかご内騒音を抑制する必要がある。

などである。

上記に対し、当社は540 m/minの実績をもとに数多くの改良を加えこれらの問題を解決し、乗心地、振動、騒音とも従来の540 m/minのエレベータと同等以上の性能を実現した。

なお、ここに述べる性能以外にこのエレベータは、群管理、意匠に対して次の仕様を備えている。

(1) 群管理方式には、当社独自の割当方式を基本としたOSシステム75を採用してサービスの向上をはかった。特に、異速度のエレベータでバンク構成した場合、従来の循環方式ではダング運転が増大するなどサービスの低下が予想されるが、OSシステム75では常に乗場呼びの分布に応じた適切なかごの分散、配車が行われるので良質なサービスを提供することができた。

(2) デジタル速度計と高度計を備え、展望階用エレベータにふさわしい意匠とした。

2.1 速度制御

エレベータが高速・高揚程化すると、昇降に伴って発生する気圧変化により乗客は不快感を感じることもあるが、当社では不快感と速度・揚程との関係を見出す基礎実験を行った⁽²⁾。その結果によれば速度600 m/minで揚程227 mのこのエレベータは、既に実用化されている速度540 m/min・揚程400 m級のエレベータより不快感が少なく、十分実用範囲にあるので、いま1つの乗心地支配要因である加減速度・加々速度及び運転曲線は特別な変更を加えず、従来から当社が提唱している正弦波理想運転曲線⁽²⁾を採用し、この実現のために先に本誌⁽³⁾でも紹介したTFH速度制御方式に改良を加えてこのエレベータに適用した。以下に速度制御用に使用した機器について説明する。

2.1.1 レギュレータ（発電機界磁制御装置）

この装置は速度制御の心臓部であり、新宿住友ビル向け540 m/minエレベータに使用して以来実績のあるGFR形⁽³⁾発電機界磁制御装置に次の改良を加えたものである。

すなわちエレベータの場合、最高速から着床近辺の微速（約0.5 m/min以下）まで制御する必要があり、600 m/minではその速度制御範囲は1:1,200と一段と広くなるので、制御装置の出力のわずかなオフセット及びドリフトが直接着床性能に影響する。そこで、従来使用していたUJT（ユニジャクショナルトランジスタ）をさらにドリフトの少ないICに置きかえたり、電流帰還用の電流検出装置のオフセットドリフトを少なくするよう回路的に改良を行い着床性能を向上させた。更に工場内でエージングを十分行うことによって特性の安定化をはかるとともに初期不良のデバッグを行った。

2.1.2 速度パターン発生装置

当社はエレベータの走行距離に応じて常に最も乗心地がよ

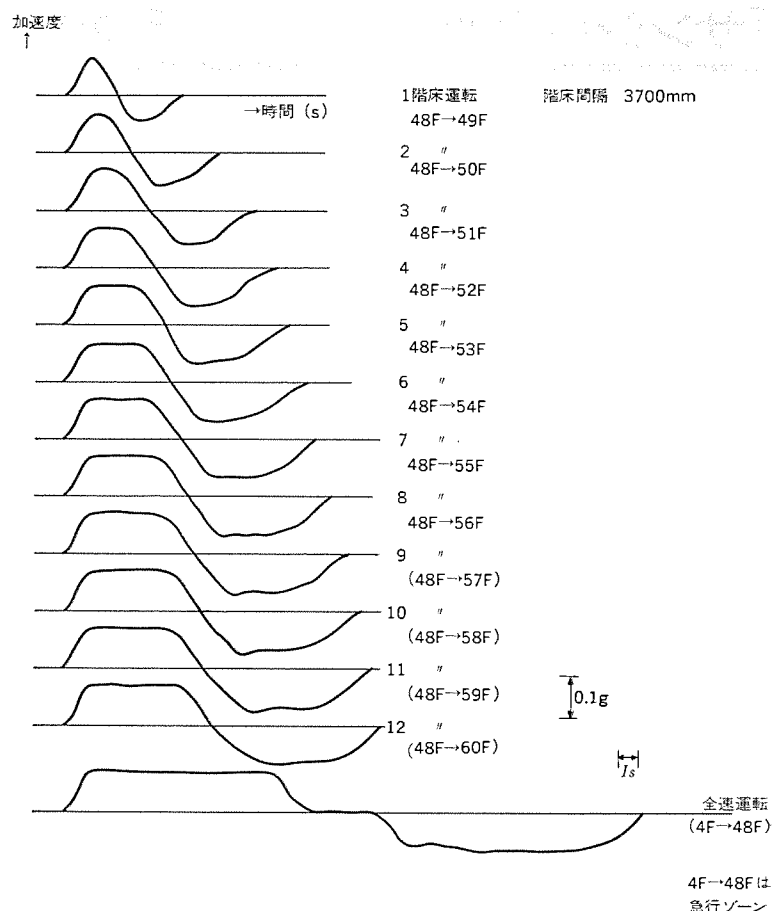


図 4. 600 m/min エレベータ 実測加減速特性

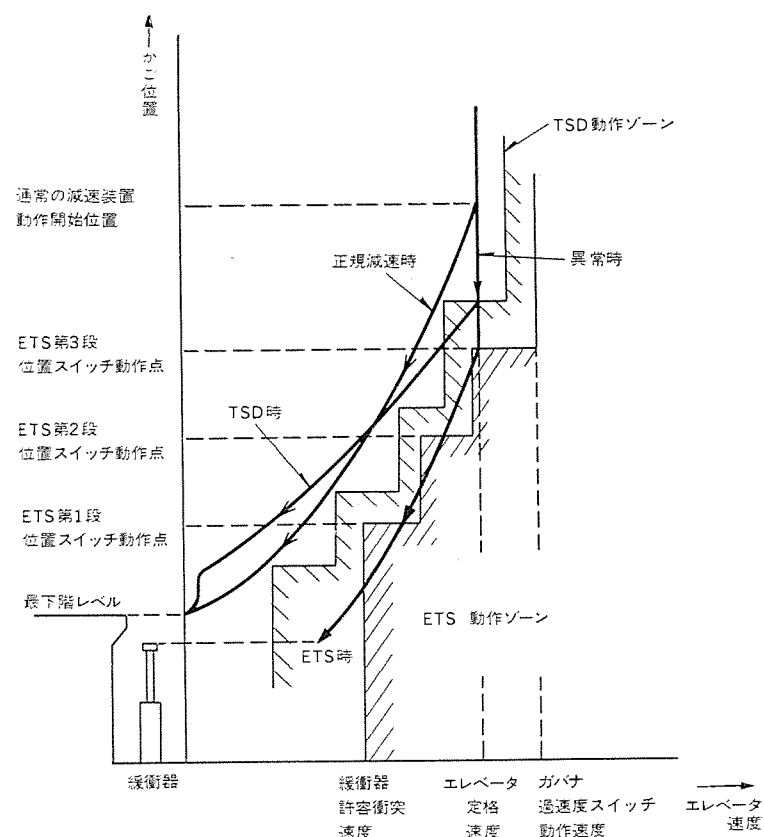


図 5. TSD・ETS 動作説明図

く、しかも最短走行時間となるような連続最適パターン方式を適用してきた。このエレベータも、従来の方式に加えて、次の改良開発を行った。

- (1) 加速から減速へ移りかわるところが正弦曲線となるような最適パターンを、停止階までの現在のかご位置と、速度パターンの2つの情報を演算して作っているが、この演算回路を完全に静止化し、ドリフト低減、演算精度及び信頼性向上、調整の簡易化をはかった。
- (2) 600 m/min からエレベータを減速させるための、理想減速特性をもつ減速パターンをデジタルシミュレーションによって決定した。これによって小形で性能の良い減速パターン発生装置を開発し、図4.に示すような加減速特性を得ることができた。
- (3) 上記減速パターン発生装置が万一故障し、終端階に正常に減速、着床できないと予想される場合は、TSD (ターミナル、スローダウン) パターンに切換えて、できるだけ早く減速着床させ、乗客の安全性を確保する。すなわち、図5.に示すように正規の減速パターンとETS (3.1.2項参照) ゾーンの間にTSD動作ゾーンを設け、正規の減速パターンが故障して、そのまま減速せず終端階に向かってエレベータが走行し、TSD動作ゾーンに来ると直ちにTSD動作とし、正規減速速度より大きな減速度で減速させるので、安全に終端階に着床させることができる。(特許出願中)

2.1.3 巻上機及びセレクト

エレベータが高速化すると巻上機やセレクトが大形になり、機械室への収納が苦しくなる。そこで当社は数多くの巻上機の実績をもとにシーエルの適正化、速度制御装置の制御性能に支えられた電気仕様の改善、かご重量の2割以上の軽量化などにより巻上機の小型軽量化に成功した。図6.に新形巻上機(出力103kW)を示す。

一方、セレクトは高速エレベータ用として多くの実績をもつDMSH形⁽³⁾セレクトの採用により、キャビネット高さを540 m/minの場合と同一の2,750 mmに抑えた。

2.2 振動

エレベータが高速化すると横揺れが大きくなり、前述のように横振動加速度はエレベータ速度の2乗に比例する。また、かご重量の軽量化によって横振動加速度は更に増大しがちとなる。



図7. 600 m/min 走行時実測横振動加速度

これに対して、先に本誌⁽⁴⁾で発表したような

- (1) ガイドレールの加工及び据付け精度の向上。
- (2) 摩擦減衰式吸振性を有する大口徑ローガイドシューの採用。
- (3) エレベータ走行時の風の乱れの発生を抑制するため昇降路の平滑化及び流線形カバーのかご上下への装着。

の対策を実施した。その結果図7.に示すような横振動加速度となり良好な乗心地性能が得られ、上記対策の有効性を確認した。

また、高揚程化すると、エレベータのかご、つり合おもり、巻上ロープ、コンペンロープから構成される機械振動系の縦方向固有振動数が低くなり、エレベータの速度制御が難しくなる。これに対してこのエレベータに合った適正な減衰定数のオイルダンパを要所にそう(挿)入し、速度制御系においてもレギュレータ各部の定数の適正值を選定しこの問題を解決した。この結果、高揚程にもかかわらず縦振動を抑制することができた。

2.3 騒音

2.3.1 かご内騒音

超高速エレベータではかご回りの風の乱れにより発生する風音が大きくなり、その低減が重要な問題である。前述のように、風音エネルギーはエレベータ速度の約6乗に比例して増加する。そのため、同一設計において速度が540 m/min から600 m/min に増加すると風音エネルギーは約8割増加することになる。また、かご重量を軽くしたことにより風音は更に発生しやすくなっている。

当社では早くから、かごの構造と風音の関係について研究⁽⁴⁾を進めてきた。その成果と540 m/min エレベータの結果からかごの構造、かご室壁面に用いる吸音材、かご上下に装着する流線形カバーの形状を改善した。その結果かご内風音は300 m/min 級エレベータとほぼ同等の50ホン以下となった。

2.3.2 建物居室騒音

高層ビルのエレベータが低層階、中層階、高層階用と複数のバンクに分割配置される場合、中高層階用エレベータの昇降路背面には空間ができる。その空間は騒音の問題にならない用途に使用されるのが望ましいが、居住面積を広くするため事務室などの居室が設置されることがある。このエレベータの場合も図8.に示すように昇降路背面に事務室が設置されている。

この場合、かご及びつり合おもりの走行時の振動がガイドレールを介して建物へ伝えられ居室の騒音となり、これの低減が必要となる。当社では早くからこの問題に対する研究を建築会社と共同で進めてきた。その成果をもとに

- (1) ガイドレールと建物との間に、建物の固有振動数と異なる系を挿入した。(特許、実用新案出願中)
 - (2) ローガイドシューの軸受の転動により発生する振動を小さくするため適切なロー径とし、走行時の加振力を下げた。
- の対策を実施し騒音を低減することができた。

3. 安全性への配慮

600 m/min のこのエレベータは、540 m/min のエレベータに対して1割の速度増加にもかかわらず、エレベータの運動エネルギーは約2割の増加

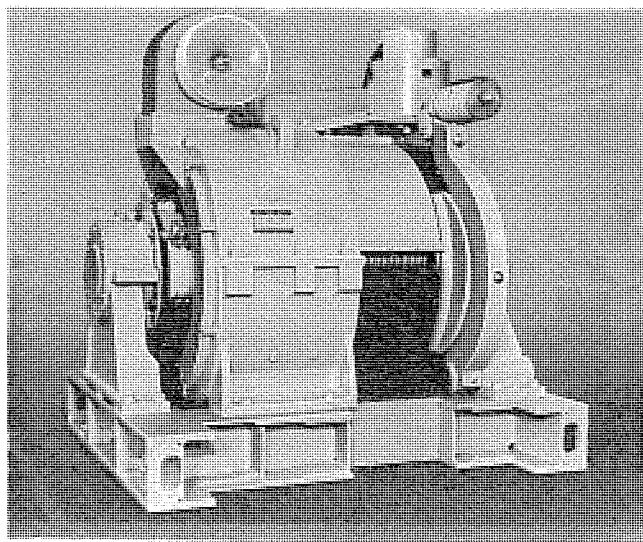


図6. 600 m/min 用巻上機

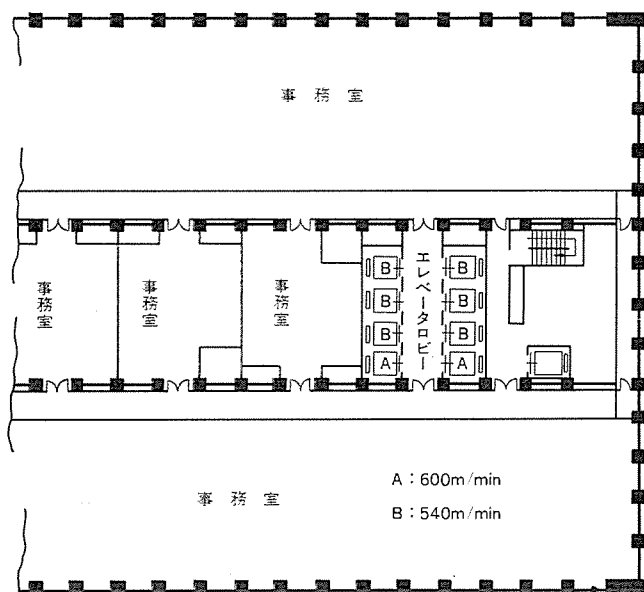


図 8. 「サンシャイン 60」ビル平面図 (54 F～57 F)

となるので安全性への配慮と、安全装置、安全回路に対する信頼性が 540 m/min のエレベータ以上に要求される。当社はこれらに対し、540 m/min の実績をもとに安全装置、安全回路を開発、改良した。

また、近時問題にされている地震時に対しても乗客の安全に対する配慮をしたのでその内容を紹介する。

3. 1 安全装置

3. 1. 1 非常止め装置

超高速・高揚程のエレベータの非常止め装置は、次の点を解決しなけ

ればならない。

(1) 高速度からのしゅう(摺)動に耐えて安定した摩擦力を発揮すること。

(2) かご、つり合おもりがつながった状態でかごを制動させる際、つり合おもりが慣性で跳躍するのを抑制すること。

当社は(1)については先に本誌⁽³⁾に発表したとおり、特殊合金シューの開発により解決した。(2)については、一般に、高速エレベータではつり合ロープ用張り車の上方向への動きをロックし、つり合ロープに働く緊張力によってかごとともにつり合おもりも制動してその跳躍を抑制する。しかし、高揚程のエレベータではつり合ロープの弾性の影響が大きく、つり合おもりの跳躍抑制が十分なされるか確認する必要がある。

当社ではかねてから図 9. に示すような力学モデルでシミュレーションを行い、非常止め装置作動時のかご、つり合おもりの挙動を解析し、実動作試験によってそれを確認した。その結果は図 10. に示すように制動距離は 8.5 m と米国規格 (American National Standard Safety Code) の制動距離 7.3 m～21.3 m に合格することはもちろん、最大減速度もかご 1.7 g、つり合おもり 1.55 g で跳躍抑制作用も適当であり、シミュレーション結果ともよく一致している。

なお、非常止め動作時エレベータの機械系の力学モデルについては、すでに文献⁽⁴⁾があるが、図 9. のモデルは高速エレベータ機械系をより精確に表しており、シミュレーションの精度を向上できた。また、エレベータ速度を監視する調速機には 540 m/min で実績のある回転接触式トリップ機構⁽³⁾をもった高精度・高信頼性のものを採用した。

3. 1. 2 緩衝器及び端階強制減速 (ETS) 装置

新宿住友ビル納入以来実績のあるストローク 2,800 mm の大形油圧緩衝器⁽³⁾を ETS 装置と併用して 600 m/min のこのエレベータに適用した。ETS の動作については図 5. に示すように、かごが端階手前のある位置に来たときの速度をチェックし、もしこれが予定速度以上であると直ちに非常制動をかけ、かごが緩衝器に衝突する前に、緩

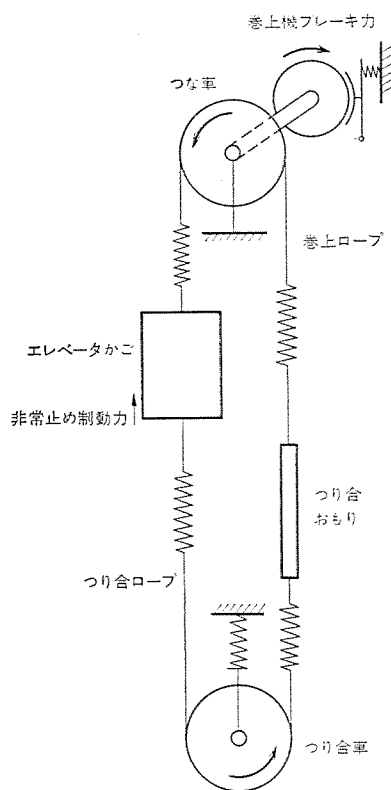


図 9. 非常止め装置作動時の力学モデル

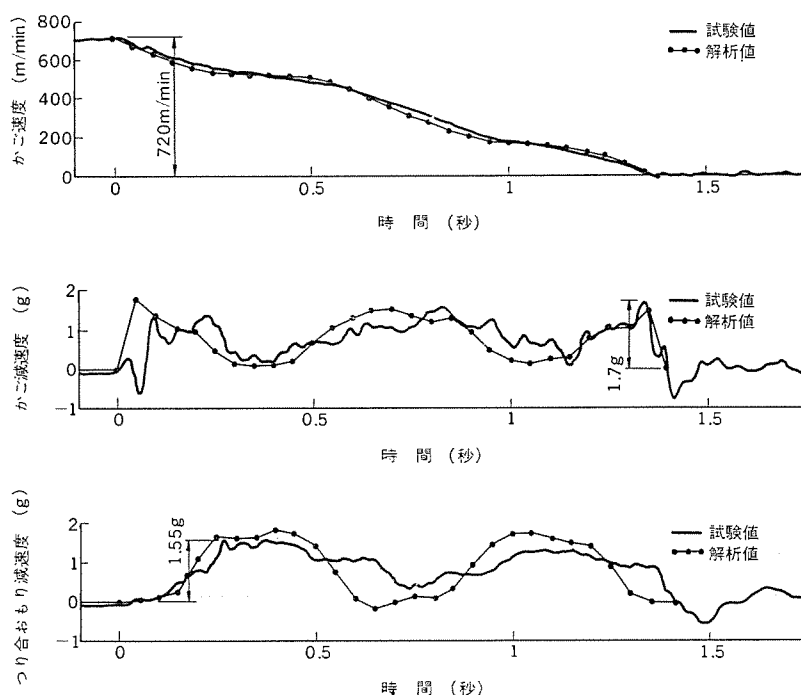


図 10. 600 m/min エレベータ用非常止め装置実動作試験結果

衝器の最大衝突速度以下にかご速度を下げ、短いストロークの緩衝器でも安全度が低下しないようになっている。これらの適用により非常時の乗客に対する安全性を確保した。

3.2 安全回路

このエレベータには制御装置などの故障時乗客の安全を確保し、更にエレベータ用機器をも保護するために次の安全回路を設けてある。また、この安全回路は走行のたびに回路が正常であるかどうかを確認するようにして信頼性を向上している。(特許出願中)

3.2.1 過電圧・過電流検出回路

巻上電動機の端子電圧、あるいは電機子電流が所定値以上になったことを検出するもの。

3.2.2 速度指令・速度発電機電圧比較回路

速度指令と実際の速度(速度発電機電圧)とを比較して所定値以上の速度差が出たことを検出するもの。

3.2.3 スピードチェック回路

エレベータがドアゾーン内で所定値以上の速度があると異常とみなしてエレベータを停止させる。このため監視用速度発電機を速度制御用のものとは別に設けた。

上記の外にも種々の安全回路を設けて乗客の安全確保、機器の保護を行っている。

3.3 地震対策

速度 600 m/min のこのエレベータは、かごとすり合おもりがすれちがう際の相対速度は 72 km/h の速さにもなり、従来の 540 m/min のエレベータ以上に地震時の安全性に対する配慮が必要である。

これに対して、先に本誌⁽⁶⁾で発表した考え方にに基づき下記の対策を実施し、地震時における乗客の安全と機器の保護を行った。

- (1) 地震時管制運転。
- (2) ガイドレール の強化、タイブラケット 使用によるすり合おもり側レールの一層の強化。
- (3) 機械室機器の移動・転倒防止措置。
- (4) 巻上ロープ、制御用ケーブル類の他機器への引っかかり防止措置。
- (5) ガイドシューへの外れ止め取付け。
- (6) つり合おもりへの中間ストップ取付け。
- (7) 地震時の非常止め装置誤動作防止措置。
- (8) 巻上機つな車、つり合車へのロープ外れ止め取付け。

3.4 非常時の救出運転

このエレベータには、地震・火災・停電時の管制運転をはじめ、何らかの原因でかんづめ事故が発生した時の救出運転に至るまで、非常

時における乗客の安全かつ迅速な救出に対して細かい配慮をしている。特に、故障かごの乗客を隣接かごで救出する運転装置には、救出に向かう隣接かごの方向判別、加速・減速・停止など一連の判断と操作をすべて自動化した速度 300 m/min の高速全自動ドッキング装置⁽⁷⁾を適用した。更に、動力電源関係の万一の故障に備え、隣接するかごの動力電源は別回線を使用して信頼性高く迅速な救出運転ができるようにしてある。(実用新案出願中)

4. む す び

以上に述べたように、このエレベータは、当社の超高速エレベータに対する実績、長期間にわたる研究、開発による総合技術力により、乗心地・振動・騒音とも、従来の 540 m/min と同等以上の性能で、しかも高い安全性、信頼性を備えた世界最高速のエレベータであり、エレベータ史上一時期を画するものである。我々はこの完成によって得た技術を、一般乗用エレベータの性能、安全性、信頼性向上に対しても応用すべく研究、開発を続けている。

この一文により三菱エレベータに対するご理解を深めていただければ幸いである。

最後に、このエレベータの完成にあたり、ご指導とご協力をいただいた三菱地所(株)及び関係各位に対し、厚くお礼を申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) G. R. Strakosch : Vertical Transportation ; Elevators and Escalators, John Wiley and Sons, Inc.
- (2) 高村ほか：超高速化の進む三菱シンクログライドエレベータ，三菱電機技報，44，No. 8 (昭45)
- (3) 石井ほか：新宿住友ビル納め世界最高速エレベータの速度制御装置と安全装置，三菱電機技報，48，No. 12 (昭49)
- (4) 鈴木ほか：新宿住友ビル納め超高速エレベータの振動，騒音対策，三菱電機技報，48，No. 12 (昭49)
- (5) Dr. -Ing. Klaus Feyrer, Esslingen : Der Fangvorgang bei Treibscheibenaufzügen, fördern und heben, 27, No. 2, 3 (1977)
- (6) 太田ほか：エレベータの耐震設計の考え方，三菱電機技報，48，No. 12 (昭49)
- (7) 篠崎ほか：新全自動群管理方式エレベータ (OS システム-700)，三菱電機技報，48，No. 12 (昭49)

インテルサットV号系用地球局アンテナ

竹内政和*・別段信一*・青木克比古*・水沢丕雄**・武田文雄**

1. ま え が き

国際衛星通信の需要が年々増加するのに対処するため、インテルサット（国際商業衛星通信機構）ではこれまでのIV号系、IV-A号系に代わるV号系衛星への移行を考え、標準地球局の所要性能・諸元を発表している⁽¹⁾。このインテルサットV号系では、4/6 GHz帯で直交偏波共用による周波数再利用方式が導入される。そのため地球局アンテナには従来の高能率・低雑音特性に加え、アンテナの交差偏波特性が良好であることが要求される。また、他回線との電波干渉の低減のために、地球局アンテナの広角指向性が良好であることが要求される。

衛星通信地球局用アンテナとして、その保守運用の便利さなどから、ニヤフィールドカセグレンアンテナ⁽²⁾、集束ビーム給電形式のカセグレンアンテナ⁽³⁾が多用されており、後者は現在の主流となっている。ここで開発・製作したアンテナも集束ビーム給電形式のカセグレンアンテナであり、給電装置や低雑音増幅器などの電子機器をすべて地上固定部に設置可能なアンテナ形式を採用し、インテルサットV号系にアクセスする地球局アンテナとして具備すべき諸条件を満たすように設計されている。このアンテナは英国通信省向けに設計製作されたもので、放射給電系の電気特性が現地で測定され、前述の諸条件を満たしていることが確認されたので報告する。

2. 装置の概要

直交偏波共用による周波数再利用方式を採用する次期の国際商業衛星通信網・インテルサット（Intelsat）V号系衛星にアクセスする標準地球局（スタンダードA局）が具備すべき条件を十分満足するように設計したアンテナである。すなわち

- (1) 仰角 5° 以上で G/T 比（利得対雑音温度比）が40.7 dB以上となるような、高能率・低雑音特性を有すること。
- (2) 直交偏波共用のため、アンテナの（楕）円偏波率が0.5 dB以下（電圧軸比が1.06以下）となるような良好な交差偏波特性を有すること。
- (3) アンテナの広角放射利得が、無指向性アンテナに比して、 $32-25 \log \theta$, dB ($1^\circ \leq |\theta| \leq 48^\circ$) 及び -10 dB ($48^\circ < |\theta|$) 以上となるローブが10%以下となるような良好な放射特性を有すること。

を満たすように設計されたもので、次にそのおもな特長を挙げる。

- (a) カセグレンアンテナの1次放射系として、広帯域にわたり軸対称・低サイドローブ特性を有し、交差偏波特性の良好なコルゲートホーンと3枚の曲面鏡と1枚の平面鏡とから構成された4回反射形集束ビーム給電系を採用している。
- (b) 主・副反射鏡系に鏡面修整を施し高能率とするとともに、主・副反射鏡からのスビロオーバー電力を十分小さくし、低雑音特性と良好な広角指向特性を得るように設計している。
- (c) アンテナ給電装置には高性能偏波変換器を用い、良好な楕円偏波率特性を得るように設計している。
- (d) 集束ビーム伝送系による広角指向特性劣化を少なくすると

ともに追尾用高次モードを良好に伝送できるように設計している。上記による設計製作されたアンテナの外観を図1.に、その概略構成図を図2.に示す。アンテナは32 m直径の主反射鏡を有し、4回反

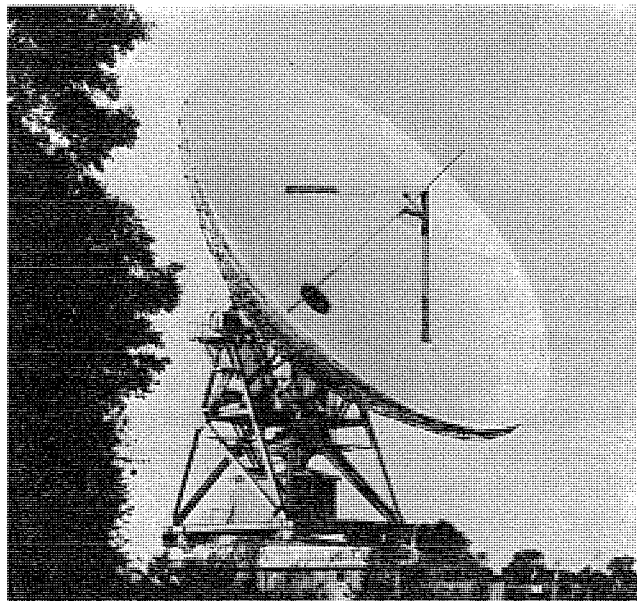


図1. インテルサットV号用地球局アンテナ

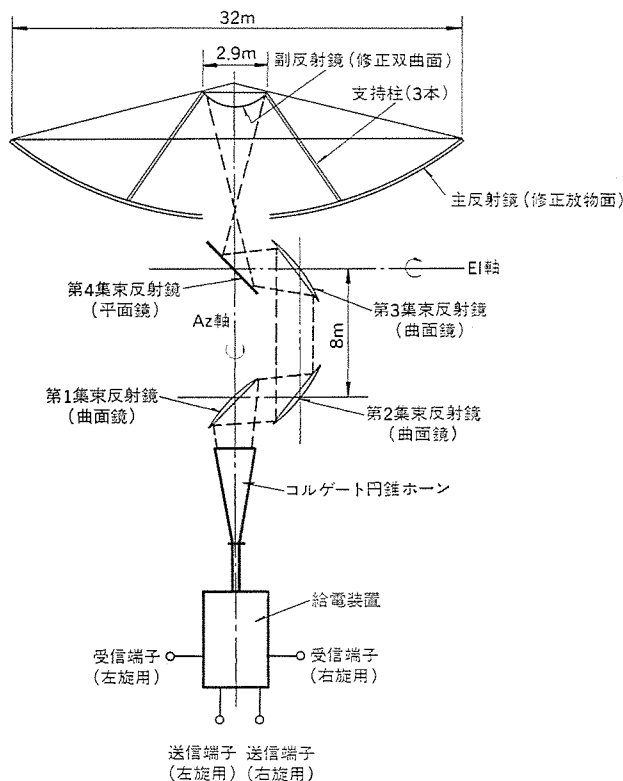


図2. アンテナの構成

表 1. インテルサット V 号系地球局 アンテナ の主要性能・諸元

1. 一般		3. 電気的性能		
		諸 元	送 信 帯 域	受 信 帯 域
アンテナ形式	4 回反射集束ビーム給電カセグレンアンテナ	利 得 (給電装置と送受信機とのインタフェースにて)	6 GHz にて 64.0 dB (規格値) 64.5 dB (実測値)	46 Hz にて 61.2 dB (規格値) 61.4 dB (実測値)
アンテナマウント	Az-El 形のレール車輪方式	雑 音 温 度 仰角 5° (含む給電装置)	—	52 K (規格値) 50 K (実測値)
駆 動 偏 波	アンチバックラッシュ方式を用いた全天指向円偏波	精 円 偏 波 率	0.5 dB 以下 (規格値) 0.34 dB 以下 (実測値)	0.5 dB 以下 (規格値) 0.22 dB 以下 (実測値)
使用周波数帯域	4 GHz 帯 (3.7~4.2 GHz) 6 GHz 帯 (5.925~6.425 GHz)	交 差 偏 波 レ ベ ル (主ビームの -1dB 範囲にて)	-30 dB 以下 (規格値) -30 dB 以下 (実測値)	-30 dB 以下 (規格値) -30 dB 以下 (実測値)
耐 電 力	10 kW CW	サイドロップレベル	第 1 サイドロープレベル -14 dB 以下 (規格値) -14 dB 以下 (実測値)	-14 dB 以下 (規格値) -14 dB 以下 (実測値)
2. 機械構造, 駆動系		広 角 指 向 性 (G は無指向性アンテナに対するサイドロープの利得)	すべてのサイドロープのピークで $G = 32 - 25 \log \theta$ dB 以下 $1^\circ < \theta < 48^\circ$ $G = -10$ dB 以下 $48^\circ < \theta < 180^\circ$ (実測値)	90% 以上のサイドロープのピークで $G = 32 - 25 \log \theta$ dB 以下 $1^\circ < \theta < 48^\circ$ $G = -10$ dB $48^\circ < \theta < 180^\circ$ (実測値)
主 反 射 鏡	直径 32 m, F/D=0.28, 開口角 160°	VSWR	1.2 以下 (実測値)	1.2 以下 (実測値)
副 反 射 鏡	直径 2.9 m	直 交 分 岐 間 波 結 合 量	26 dB 以上 (実測値)	21 dB 以上 (実測値)
1 次 放 射 系	3 枚の曲面鏡と 1 枚の平面鏡とコルゲート円錐ホーンからなる			
鏡面精度	主反射鏡 El=18° にて 0.72 mm rms (実測値) 副反射鏡 0.045 mm rms (実測値)			
最大駆動角速度	0.17°/s			
駆動角度範囲	Az 真南中心に ±181.6° El 0°~92°			
耐 風 性	運用追尾可能風速 31 m/s (瞬間) Drive to Stow 可能風速 35 m/s (瞬間) 格納時耐風性能 45 m/s			

射集束ビーム給電形式のカセグレンアンテナであり、マウントはレール車輪方式を採用した Az-El 形マウントである。このアンテナの主要性能・諸元を表 1. に示す。

3. アンテナ放射・給電系の設計

3.1 基本的考察

カセグレンアンテナの交差偏波特性は大別して、次の 4 つの要因、

- (1) 主・副反射鏡系に起因する交差偏波特性
- (2) 1 次放射系の交差偏波特性
- (3) 給電装置の精円偏波率
- (4) アンテナに接続される送・受信機を含む全系での多重反射

から決定される⁽⁴⁾⁽⁵⁾。このうち(1)は、カセグレンアンテナは等価的に非常に浅いパラボラアンテナに近似しうるので、開口面上での電磁界の曲がり小さく、交差偏波特性への寄与が他の要因に比べ無視可能である。

1 次放射系の交差偏波特性はその形式によって左右され、通常用いられている形式としては、(a)円錐ホーン、(b)ホーンリフレクタ、(c)集束ビーム給電形⁽⁶⁾がある。これらの 1 次放射系の交差偏波特性を表 2. に示す。このアンテナでは保守・運用の便や利得などの他の性能との兼ね合いから集束ビーム給電形を採用する。

アンテナ給電装置の交差偏波特性を決める主部品は偏波変換器であり、その形式から(i)広帯域形と、(ii)狭帯域形に大別される。

- (i) 広帯域形⁽⁷⁾

表 2. 各種 1 次放射系の交差偏波特性

領域*	種数 概略構成 偏波	円錐ホーン		ホーンリフレクタ**		集束ビーム 給電形
		通常形	コルゲート形	通常形	コルゲート形	
-1dB	円偏波	-32dB	-45dB	-32dB	-37dB	-37dB
	直線偏波	-32dB	-45dB	-27dB	-29dB	-35dB
-3dB	円偏波	-25dB	-38dB	-24dB	-32dB	-32dB
	直線偏波	-25dB	-38dB	-22dB	-27dB	-31dB
-10dB	円偏波	-19dB	-32dB	-19dB	-30dB	-30dB
	直線偏波	-19dB	-32dB	-18dB	-27dB	-30dB

注) 1 交差偏波レベルは主偏波のピークレベルで正規化したものである。

2* 主偏波のレベル

3** ホーンリフレクタのフレア角はこれらのホーンリフレクタをカセグレンアンテナの 1 次放射系を考慮して決めている。

4 コルゲート円錐ホーンの放射パターンの軸対称性は 3dB 幅換算で 1.05 とする。

4 GHz 帯 (3.7~4.2 GHz) 及び 6 GHz 帯 (5.925~6.425 GHz) の 2 周波数帯にわたり、良好な精円偏波率 (又は交差偏波特性) を有する偏波変換器が必要であるが、構成が比較的簡単で、従来の単一偏波用給電装置と同程度のそう (挿) 入損失を有するものである。しかし、降雨などの伝搬路中で発生する交差偏波成分のように周波数特性が大きいのを補償する場合はこの形式は不向きである。

- (ii) 狭帯域形⁽⁸⁾

4 GHz 帯・6 GHz 帯のおおのに最適設計された偏波変換器を

用いるために広帯域形より良好な楕円偏波率が実現でき、それぞれの偏波変換器を独立に制御できるので伝搬路中での交差偏波成分を補償する場合も有利である。しかし、構成が複雑となり、挿入損失が広帯域形に比べ多少劣る。

このアンテナでは、伝搬路中で発生する交差偏波成分の補償を行うために狭帯域形の給電装置を採用している。

円偏波を用いた直交偏波共用アンテナにおいては、偏波変換器（円偏波発生器）の両端から見た VSWR 特性が交差偏波特性を劣化させる。アンテナ側を見た VSWR 特性は給電装置と 1 次放射系、1 次放射系と主・副反射鏡系のインピーダンス不整合による多重反射により決まり、反対側の VSWR 特性は給電装置と送信機（又は受信機）とのインピーダンス不整合により決まるので、各部の VSWR を考慮して設計する。

3.2 各部の設計

3.2.1 放射系

高効率・低雑音特性と良好な広角指向特性を得るために高効率形鏡面修整を主・副反射鏡に施すとともに、主・副反射鏡の周辺での電界強度をそれぞれ無指向性アンテナ利得に対し -10 dB 以下及び副反射鏡中心に比べ -30 dB 以下となるように設計している。更に交差偏波特性の点から、副反射鏡から 1 次放射系への反射電力を少なくする頂点整合板を副反射鏡に設けている。

集束ビーム給電系は(1)低損失で伝送できること、(2)広帯域性を有すること、(3)交差偏波特性が良好であること、(4)ロンチャである 1 次ホーンは広帯域にわたって交差偏波特性が良好でかつ低サイドローブ・軸対称ビーム特性を有すること、などを基本的条件として設計した。図 2. にその集束ビーム給電系を示すが、反射鏡系は 3 枚の曲面鏡と 1 枚の平面鏡から構成しており、1 次ホーンはリング装荷コルゲートホーン⁽⁹⁾を用いている。特に従来の 2 枚の曲面鏡と 2 枚の平面鏡との組合せからなる集束ビーム給電系⁽¹⁰⁾において曲面鏡有効開口径の対波長比がたかだか $20 \sim 30$ と小さいため消去されず残留する交差偏波成分を、1 枚の平面鏡を曲面鏡にかえ波動論的にビーム伝送系を取扱う⁽¹¹⁾ことにより主偏波レベルに対し -32 dB 以下と小さくしている。更に通信用基本モード及び追尾用高次モードの伝送に対し、反射鏡周辺での相対電界強度を基本モードのビーム中心方向のレベルに比しそれぞれ -25 dB 以下、 -20 dB 以下としている。

設計値の 1 例として、副反射鏡位置での集束ビーム給電系の放射パターンを図 3. に示す。図中に $1/4.8$ 縮尺模型での実測結果との対応を示すが、設計性能を実現していることがわかる。

コルゲートホーンはそのコルゲートこう(溝)にリングを装荷しインピーダンス特性の向上をはかり、かつ約 1 オクターブの広帯域にわたって軸対称で低サイドローブな特性を得、交差偏波成分を約 -30 dB 以下に設計した。図 4. はコルゲートホーンの放射特性の実測例を示す。

3.2.2 給電装置

給電装置は狭帯域形であり、図 5. に外観を、図 6. にそのブロック図を示す。アンテナからの通信用送・受信信号を各帯域で分割し、偏波変換後右旋・左旋に分波するとともに衛星追尾のための誤差信号をとり出し、変調し、追尾用基準とともに低雑音増幅器に送り込む。

偏波変換器は 4 GHz 帯用として、低損失でかつ良好な楕円偏波率特性を得るよう、円形導波管に多数の金属ビスを一様に分布させた 90° 位相差板⁽¹²⁾を設計し、 6 GHz 帯用として、更に耐電力性能を得るため内面を変形させた円形導波管に誘電体（石英ガラス）を組合せた差動形の 90° 位相差板を設計した。偏波変換器の楕円偏波率

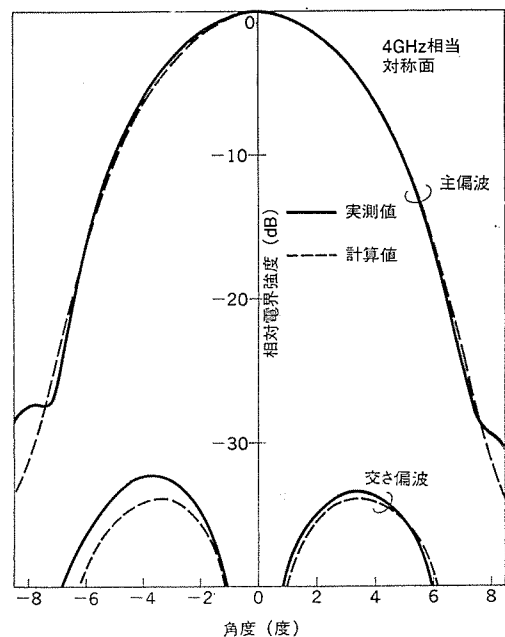


図 3. 集束ビーム給電系の副反射鏡位置での放射パターン

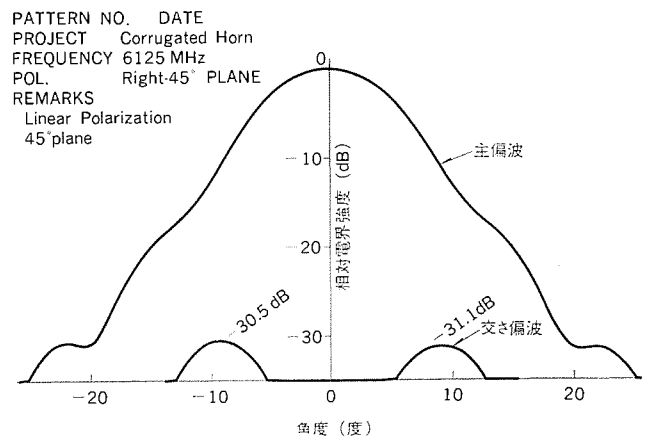


図 4. コルゲートホーンの交差偏波特性 (6.125 GHz)

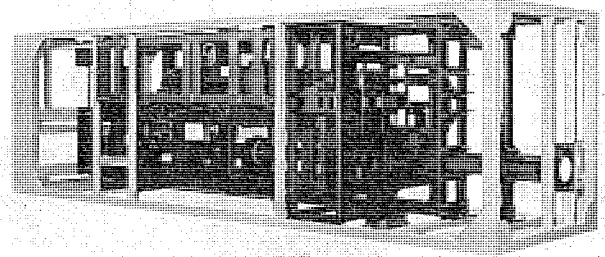


図 5. 直交 2 偏波共用給電装置

は 4 GHz 帯用では 0.23 dB 以下、 6 GHz 帯用では 0.15 dB 以下である。

帯域分割はこれまで実績・経験のあるテーパ内蔵形群分波器⁽¹²⁾で行い、 4 GHz 帯の波は、振幅・位相をバランスさせた分岐導波管回路で合成された群分波器部を介してとり出される。この回路は、衛星からの円偏波の波がこの回路を通過後、その楕円偏波率が劣化しないとともに低損失に伝送するよう配慮している。群分波器部の

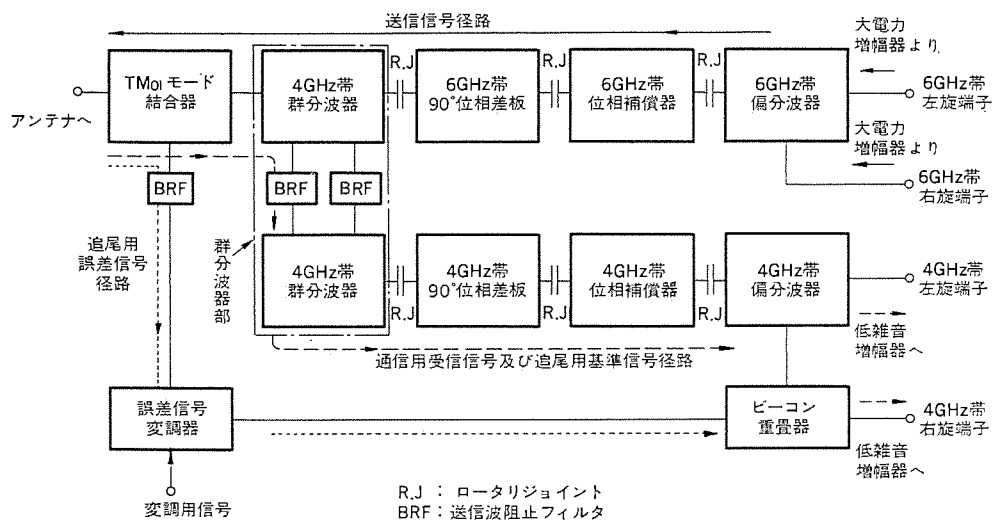


図 6. 給電装置のブロック図

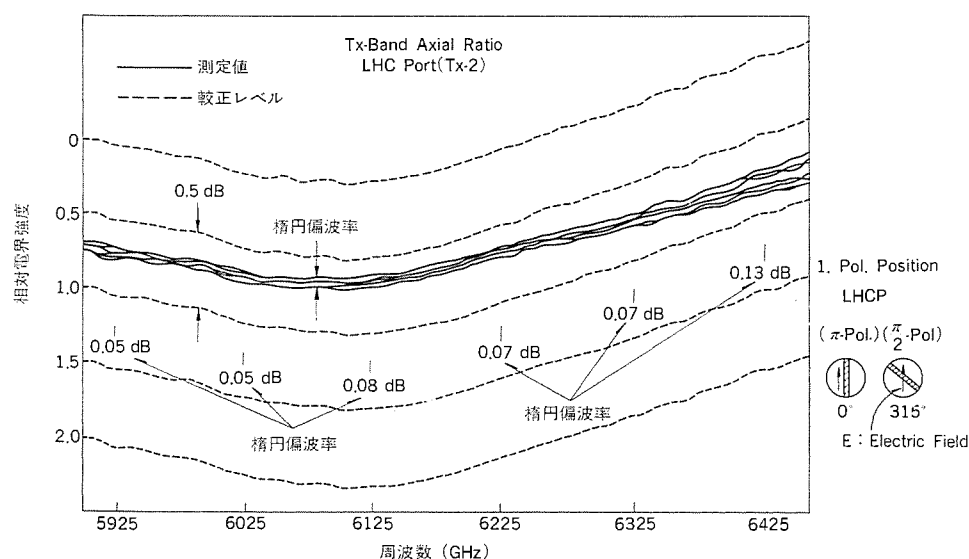


図 7. 楕円偏波率 (実測値)

表 3. 直交 2 偏波共用給電装置の実測性能

項目	帯域	送信帯	受信帯
周波数帯域	5.925~6.425 GHz	3.7~4.2 GHz	
偏波	円偏波	円偏波	
VSWR	1.15 以下	1.15 以下	
楕円偏波率	0.14 dB 以下	0.33 dB 以下	
挿入損失	0.20 dB 以下	0.24 dB 以下	
直交分岐間減結合量	26 dB 以上	24 dB 以上	
送信波の漏えい量	—	-80 dB 以下 (受信機入力に BRF を付加して)	
耐電力	10 kW CW		

交差偏波発生量は -45 dB 以下で、挿入損失は 0.12 dB 以下である。

位相補償器は、伝搬路での降雨など異方性媒質によって交差偏波が発生し偏波間の結合が生ずるのでその補償の機能を持ち、交差偏波補償回路の一部をなしている。

表 3. に実測した主要性能を、図 7. に楕円偏波率の実測値を示す。ここで楕円偏波率は回転プローブを用いた閉じ込め系で周波数連続掃引して測定している。

4. 測定結果

上述の考えのもとに設計・製作した英国通信省向け衛星通信地球局アンテナ(図 1.) で実測した主要性能を述べる。図 8. に受信系の利得・雑音温度を示す。これは電波星 Tau A 及び Cas A を使用した利得対雑音温度比 (G/T) と、窒素標準ダミーを用いたシステム雑音温度 (T) とをそれぞれ Y-ファクタ法で測定し、その測定値から受信機の雑音温度の寄与を差し引き求めたものである。 G/T 算出に使用した電波星のフラックス密度などの諸定数は CCIR で規定された値を用いている。アンテナ利得は 4 GHz にて給電装置の損失を含み 61.4 dB であり、ホーン開口からみた開口効率率は 80% 以上で、アンテナ雑音温度は仰角 5 度にて 50K である。したがって、雑音温度 55 K の非冷却低雑音増幅器を使用して、仰角 5 度にて 4 GHz で G/T 40.7 dB 以上を得ることができる。

図 9. はアンテナの交差偏波パターンの実測例で、衛星方向だけでなく、正面から 1 dB 低下点の範囲にわたって交差偏波レベルは -30.7 dB (電圧軸比換算で 1.06) 以下となっている。このことは風などの外乱の影響でアンテナに指向誤差を生じた場合、大きな利点となる。測定はインテルサットの勧告する「衛星使用法」を採用しており、衛星として良好な楕円偏波率特性を有するインテルサット IV-A F-2 を用いた。

送信波帯でのアンテナ広角放射指向特性の実測値を図 10. に示す。副反射鏡からのスピルオーバー電力の広角指向特性に及ぼす影響は小さく、送信波帯においてはすべてのサイドローブのピーク値が以下に示すインテルサット要求値

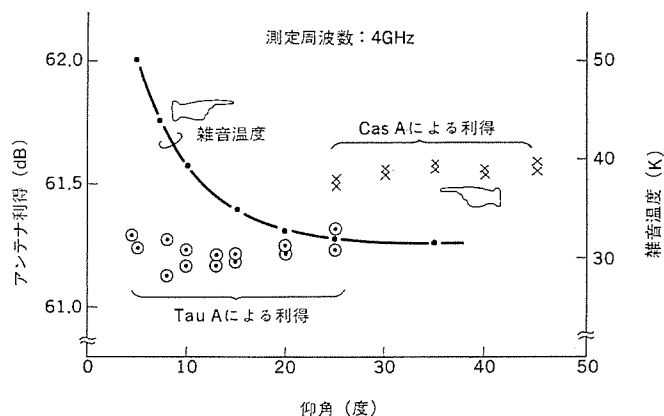


図 8. アンテナの利得・雑音温度 (実測値)

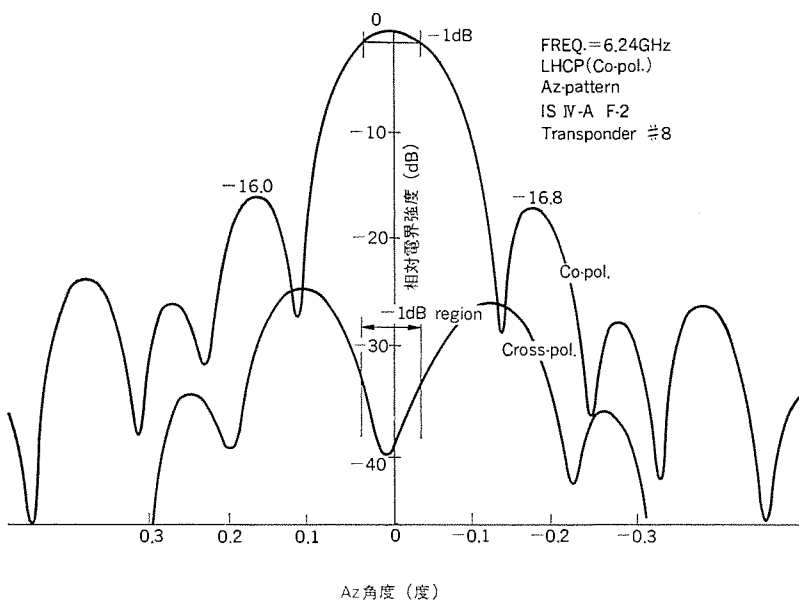


図 9. アンテナの交差偏波パターン(実測値)

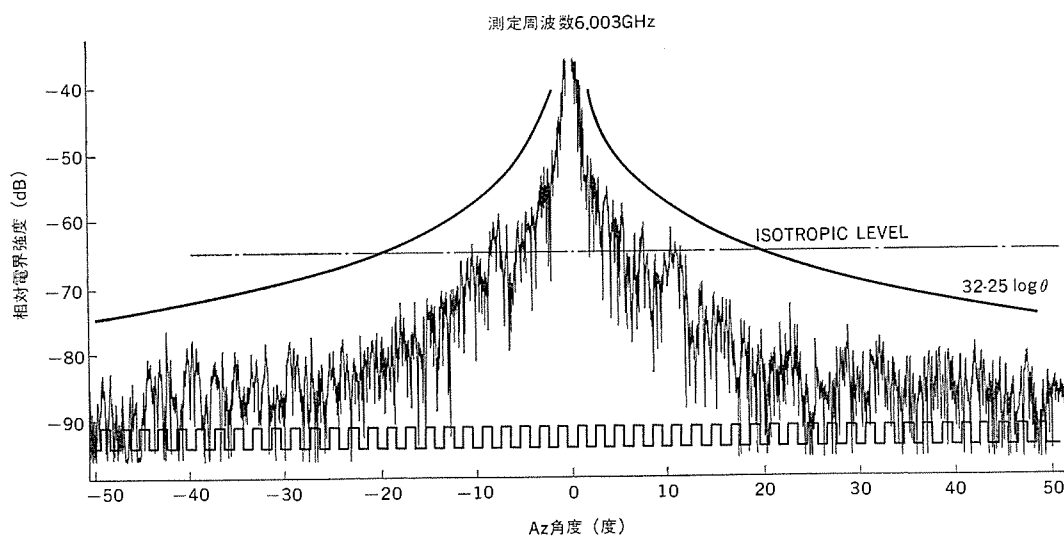


図 10. アンテナの広角放射特性 (Az 面内での実測値)

$$G = 32 - 25 \log \theta \text{ dB}, 1^\circ \leq \theta \leq 48^\circ$$

$$G = -10 \text{ dB}, 48^\circ \leq \theta$$

ここで G = 無指向性アンテナに対するサイドローブの利得, dB

θ = アンテナの主ビーム正面方向からのオフセット角度, 度を満足している。なお測定は約 16 km 離れた視準塔に試験用ホーンを設置したボアサイト法によった。

以上の実測結果からこのアンテナがインテルサットV号系衛星にアクセスする標準地球局の具備すべき条件を十分満足していることが確認できた。

5. む す び

以上、国際商用衛星通信網・インテルサットV号系用地球局アンテナとして開発・製作したアンテナの設計上の特長、及び特性試験結果を放射・給電系の観点から詳述した。このアンテナは英国マドレー地球局に

建設されており、将来インド洋地域又は大西洋地域衛星を対象に国際通信業務に供される予定である。

筆をおくにあたり、日ごろ有益なご意見・ご指導を賜っている国際電信電話(株)及び日本電信電話公社の関係各位に深謝致します。

参 考 文 献

- (1) Performance Characteristics of Earth Station in the Intelsat IV, IV-A, and V system having a G/T of 40.7 dB/K (6 and 4 GHz Frequency Band) STANDARD A, BG-28-72 EM/6/77 (1977)
- (2) 西田ほか：茨城衛星通信所第2アンテナ，三菱電機技報，43，No. 2 (昭44)
- (3) 松本ほか：茨城衛星通信所第3アンテナ設備，三菱電機技報，47，No. 3 (昭48)
- (4) 山田，水沢，別段：衛星通信用地球局アンテナの直交偏波共用化に関する検討，電通全大，526 (昭52)
- (5) 糸原ほか：衛星通信用アンテナの交差偏波識別度に関する一考察，電通全大，S6-10 (昭49)
- (6) Mizusawa, Kitsuregawa: A Beam-Waveguide Feed Having a Symmetric Beam for Cassegrain Antennas, IEEE Trans. AP-21, No. 6, pp. 884~886, Nov. (1973)
- (7) 糸原，武田，青木：直交偏波共用アンテナ給電装置，電通全大，527 (昭52)
- (8) 島田ほか：横須賀衛星通信実験所用アンテナ系，三菱電機技報，48，No. 7 (昭49)
- (9) F. Takeda and T. Hashimoto: Broadbanding of Corrugated Conical Horns by means of the Ring Loaded Corrugated Waveguide Structure, IEEE Trans. A. P., AP-24 No. 6, pp. 786, Nov. (1976)
- (10) 別段ほか：集束ビーム給電カセグレンアンテナの放射特性，アンテナ伝播研究会，AP 73-29 (昭48-6)
- (11) 浦崎，水沢：球面波展開による非回転対称な反射鏡系の放射特性解析，アンテナ伝播研究会，AP 74-77 (昭50-1)
- (12) 武田，石田：二重ネジを用いた円偏波発生器，マイクロ波研究会，MW 76-150 (昭52-2)

フェイズド・アレイ・レーダ用デュアルモード移相器

紅林秀都司*・溝 渕 哲 史*・望 月 俊 美**

1. ま え が き

フェイズドアレイレーダ(以後、PARと書く)には、数百～数千台の多数の移相器が使用されることから、移相器としては、その特性が優れていることや特性の再現性及び信頼性がよいこと、低価格であること、その他小形軽量性、対環境性あるいは耐電力性などの諸条件を満足するものでなければならない。ここに報告するデュアルモードラッチングフェライト移相器(以後、デュアルモード移相器と書く)は、これらすべての要因を満足するもので、PAR用可逆移相器として最も総合特性の優れた移相器である。

ところで、移相器を大別すると、フェライト形とPINダイオード形になるが、それぞれ長所と短所を兼ね備えているため、使用条件に応じて選択しているのが現状である。一般に、低周波数帯低電力用としてはダイオード形が、高周波数帯高電力用としてはフェライト形が有利であるが、Xバンドにおいては、そう(挿)入損失の点でフェライト形がダイオード形に比べて大幅に優れているため、従来から導波管ラッチングフェライト非可逆移相器が多用されていた。しかし、この移相器は非可逆動作のために、用途によっては使用できない場合もあることから、可逆形で良好な性能を有するフェライト移相器の出現が期待されていた。デュアルモード移相器は、1970年C. R. Boyd⁽¹⁾により提案されたもので、その後いくつかの検討結果の報告^{(2)~(6)}が行われているが、我々も1971年開発に着手し、移相器の構成や駆動方法及び回路などに種々の工夫を加え、Xバンドにおいて極めて良好な性能を得ている^{(7)~(9)}。ここでは、反射形移相器のマイクロ波特性と移相器の駆動方法について、今までに得られた結果をまとめて報告する。

2. 構造及び動作原理

図1. は、透過形デュアルモード移相器の構造を断面図で示すものである。動作周波数に応じた寸法を有する角形(丸形でもよい)断面フェライト^(⑥)の両端に、所定の形状及び抵抗値の蒸着による抵抗膜^(④)を、フェライトとほぼ等しい誘電率を持つ誘電体^(③)ではさみつけて接着する。次に、その全体の両端を除く全面をめっきすることによりめっき導波管^(⑨)を形成した後、めっき導波管の外側所定の位置に永久磁石^(⑤)、フェライトヨーク^(⑦)及びコイル^(⑧)を配置し、入出力導波管^(①)と導電性接着材などを用いて電氣的、機械的に良好な接続とする。

最後に、整合用誘電体^(②)と磁気シールドパイプ^(⑩)で全体を覆うことによって組立てられる。なお、図示のように、めっき導波管に接する永久磁石の磁極を、4極磁界パターン⁽¹⁾を作るように、かつ、左右2組の永久磁石は、互いに、90度回転した関係に配置しなければならない。

次に、この移相器を動作原理的に見ると、図1. に示したように、入出力導波管(WGで示す)、整合用誘電体(MD)、リニアポーラライザ(LP)、非可逆円偏波発生器(NRCP)、ラッチングフェラジ旋波子(FR)から構成されている。今、この図において、左側から紙面に平行な電界を持つ直線偏波 E_{in} が入射する場合について考えると、MDでインピーダンス整合されてLPに入射するのであるが、ここで直交成分は抵抗膜に吸収される。NRCPでは、直線偏波を円偏波(又は、その逆)に変換するのであるが、図示のように永久磁石を配置した場合は、右旋の円偏波(進行方向に対して右回り)となる。そして、FRに入射した円偏波に対して、フェライトは、フェライト内の残留磁化の様子により異なった透磁率を示す。すなわち、フェライト内に示した実線矢印方向残留磁化に対しては1より小さい比透磁率⁽¹⁰⁾を、点線矢印方向に対しては1より大きい比透磁率⁽¹⁰⁾を示す。したがって、FR部の透過位相量は、透磁率を変えることによって、すなわち、コイルに流すパルス電流の方向と強さを制御しフェライト内の残留磁化を変えることによって変化するから、移相器として動作することになる。さて、所定の透過位相量でFRを通過した電波は、NRCPで直線偏波に再変換されLP、MDを通り出力波 E_{out} となる。

ところで、入力波 E_{in} と出力波 E_{out} は

$$E_{out} = A \cdot \exp(-j\beta_{\pm} \cdot l) \cdot E_{in} \quad \dots\dots\dots (1)$$

の関係にある。ただし、 A は定数、 l はFR部の長さ、 β_{\pm} はFR部の位相定数で次の関係式が成り立つ⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。

$$\left. \begin{aligned} \beta_{\pm} &= \frac{\omega}{c} \cdot \sqrt{\varepsilon \left(\mu \pm \frac{8}{\pi^2 \kappa} \right)} \cdot \sqrt{1 - \frac{(\pi c)^2}{(\omega a)^2 \varepsilon \mu}} \\ \mu &= \mu_d + (1 - \mu_d) \cdot \left(\frac{M_r}{M_s} \right)^{3/2} \\ \mu_d &= \frac{2}{3} \sqrt{1 - \left(\frac{\gamma \cdot 4\pi M_r}{\omega} \right)^2} + \frac{1}{3} \\ \kappa &= \frac{\gamma \cdot 4\pi M_r}{\omega}, \quad \gamma = 2.8 \text{ (MHz/Oe)} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

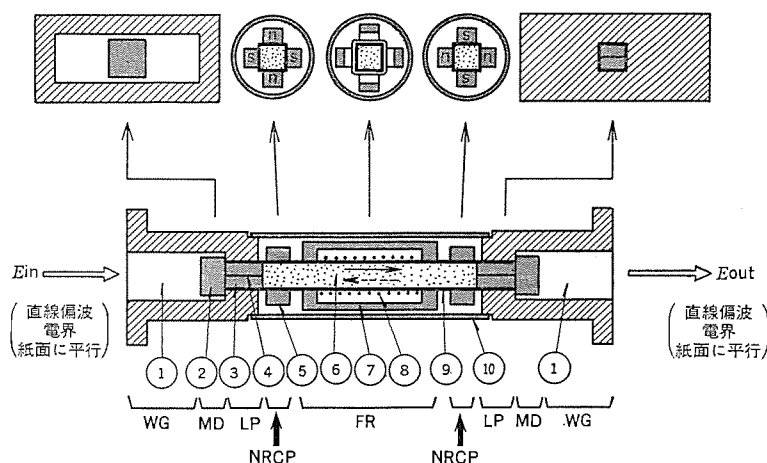


図1. 透過形デュアルモード移相器の構造

ここに、 ω は周波数 (GHz)、 c は光速、 ε はフェライトの比誘電率、 a はフェライト 1 辺の長さ、 $4\pi M_s$ 及び $4\pi M_r$ はフェライトの飽和磁化及び残留磁化の強さである。したがって、残留磁化方向を切換えたときの移相量 ϕ は、次式のようになる。

$$\phi = (\beta_+ - \beta_-) \cdot l \quad \dots\dots\dots (3)$$

式(2)及び式(3)から、残留磁化を変えることによって、移相量が制御できることが分かる。次に、図 1. において、右側から電波が入射した場合について考えると、右側の NRCP で左旋の円偏波に変換されること、その時、フェライト内残留磁化が実線（又は点線）矢印方向のとき、1 より小さい（又は、1 より大きい）比透磁率を示すことなどを考慮すれば、前述と同じ動作となり、この移相器は可逆移相器であることが分かる。以上は透過形についての説明であったが、反射形も同様に構成することができる。図 2. は、その構造を断面図で示すものであるが、透過形を中央で切断し先端をめっきによる短絡とした構造となっている。図 3. 及び図 4. には、透

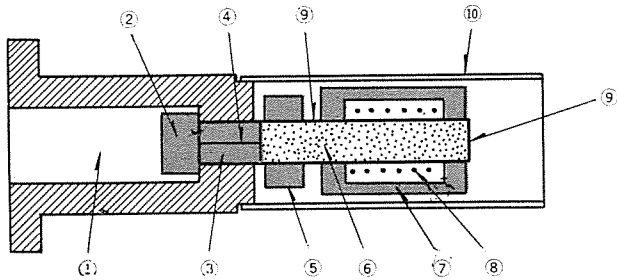


図 2. 反射形デュアルモード 移相器の構造

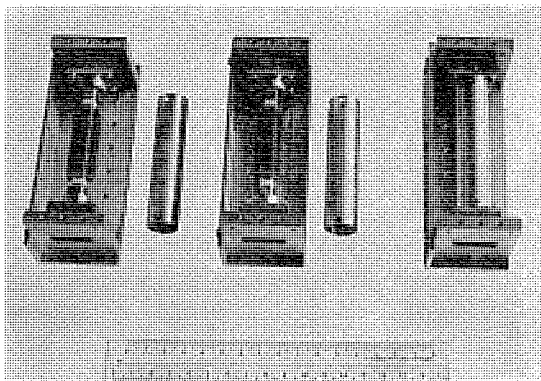


図 3. 透過形試作移相器

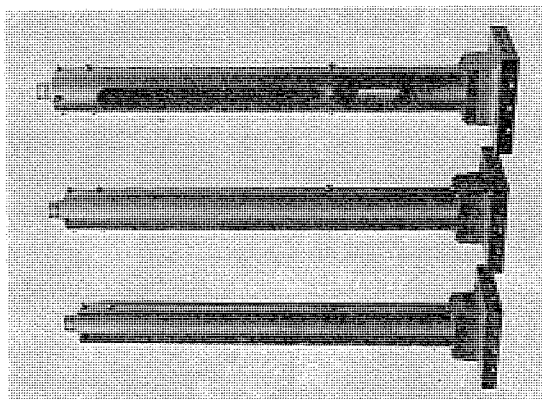


図 4. 反射形試作移相器

過形及び反射形試作移相器の写真を示しているが、一部磁気 シールドパイプを取りはずすか、切除している。

3. 移相器の駆動方法とその検討結果

フェライト 移相器を動作させるためには、当然駆動回路が必要となるが、今回は パルス 幅制御方式⁽⁹⁾⁽¹³⁾を採用し種々検討を行ったので、その原理と検討結果を以下に説明する。図 5. に、フェライト 移相器を負荷とする駆動回路系とその等価回路を示す。等価回路から

$$V(t) = (R_s + R) \cdot i + L \frac{di}{dt} + \frac{d\psi}{dt} \quad \dots\dots\dots (4)$$

の関係式が得られる。ここに、 V は駆動回路の出力電圧、 R_s は駆動回路の出力インピーダンス、 R は回路系の抵抗、 L は負荷回路のインダクタンス、 ψ はフェライト 内の磁束、 i は回路に流れる電流である。今、エミッタ ホロウ を利用するなど適切な回路設計によって、駆動回路の出力インピーダンス R_s を小さくし、また、負荷 コイル までのつなぎ線をできるだけ短くし、更に、より線にするなどして、 R と L をできるだけ小さくすると

$$\frac{d\psi}{dt} \gg R_s i, R i, L \frac{di}{dt} \quad \dots\dots\dots (5)$$

と考えることができる。したがって、式(4)は

$$V(t) = \frac{d\psi}{dt} \quad \dots\dots\dots (6)$$

と近似できる。式(6)の両辺を時間 $0 \sim \tau$ で積分し、更に、印加電圧は一定 (V_0) であるとする

$$V_0 \cdot \tau = \psi(t=\tau) - \psi(t=0) = \Delta\psi \quad \dots\dots\dots (7)$$

となる。一方、移相量 ϕ は式(2)及び式(3)より

$$\begin{aligned} \phi &\propto \beta_+ - \beta_- \propto \sqrt{\left(\mu_r - \frac{8}{\pi^2 \kappa}\right)_1} - \sqrt{\left(\mu_r + \frac{8}{\pi^2 \kappa}\right)_2} \\ &\propto (-\kappa)_1 - (\kappa)_2 \propto (-4\pi M_r)_1 - (4\pi M_r)_2 \\ &= \Delta(4\pi M_r) \propto \Delta\psi \quad \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

なる関係が得られるから、式(7)及び式(8)より

$$\phi \propto \tau \quad \dots\dots\dots (9)$$

を得る。式(9)によれば、移相量はく(矩)形波印加電圧 パルス 幅 τ に比例しており、したがって、希望の移相量はそれに相当するパルス幅の矩形波電圧を負荷に印加することによって得られることになる。以上が パルス 幅制御方式の原理である。

しかし、この関係式(9)は、式(5)などの近似のもとに得られたものであり、どの程度の近似で成立つかを確認する必要がある。そこで、図 6. に示すようなデジタル 信号に比例するパルス幅の矩形波電圧が負荷に印加されるような駆動回路を用いて、デジタル 信号対移相量の測定を行った。ところで、デジタル 信号はデジタル 計算機からの制御信号で、移相量 $0 \sim 360$ 度を n ビットで量子化し、 $360/2^n$

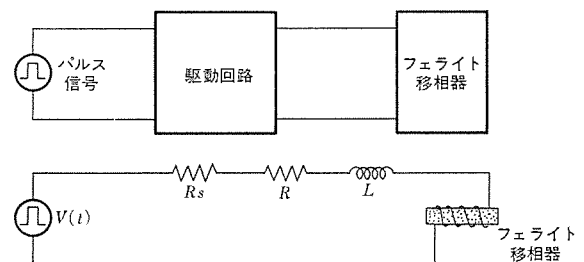


図 5. 駆動回路系とその等価回路の概念図

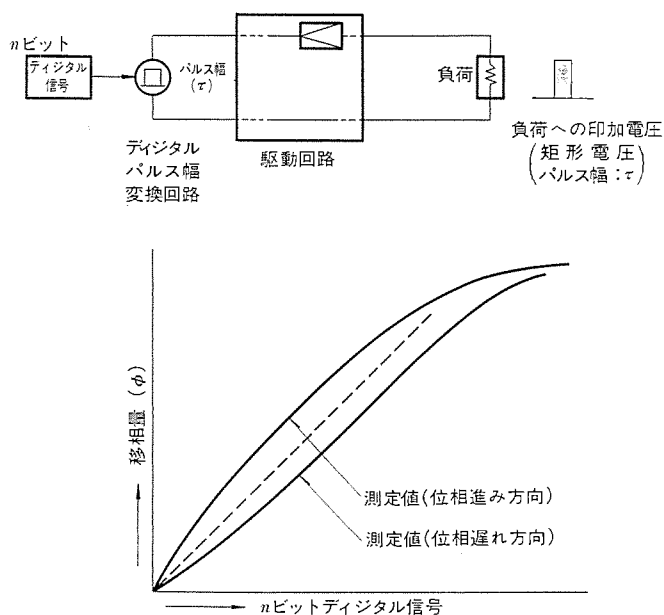


図 6. 矩形パルス電圧印加駆動回路

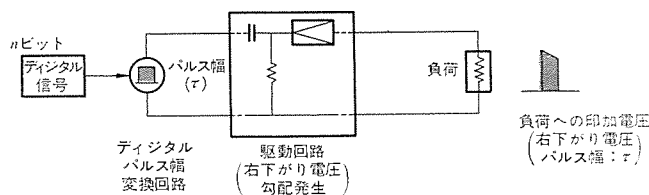


図 7. こう配パルス電圧印加駆動回路

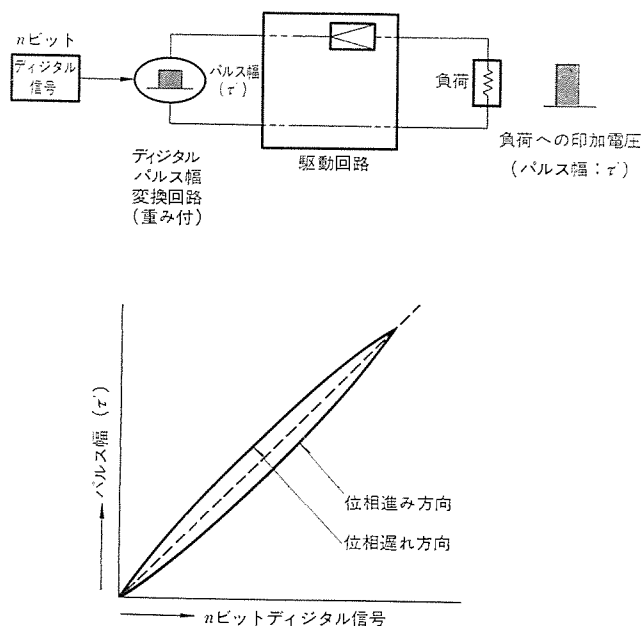


図 8. 重み付パルス幅電圧印加駆動回路

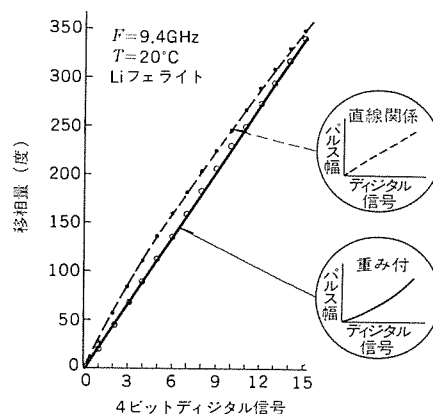
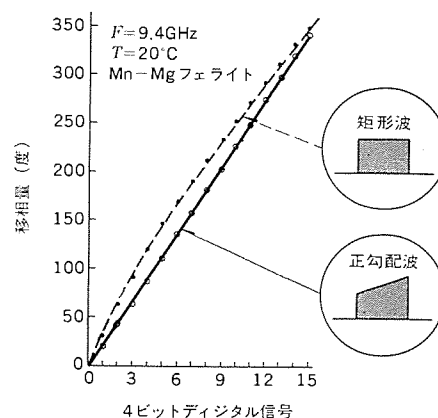


図 9. デジタル信号対移相量の測定結果

度ステップで動作させるための信号である。今回のパルス幅制御方式では、デジタル信号をパルス幅信号に変換し、そのパルス幅で移相量を制御している。図 6. には、測定結果も同時に示しているが、それによれば位相進み方向と遅れ方向に測定した場合、いずれも比例関係になく、しかも、その傾向が異なっていた。この移相器を、PAR などに実用する場合には、制御系の複雑さを考えると、できるだけデジタル信号対移相量の関係を、駆動回路で比例関係にしておくことが望ましい。

そこで、比例関係を達成するために、次の 2 つの方法を検討した。その 1 つは、図 7. に示すように負荷への印加パルス電圧にこう配をつける方法、他の 1 つは、図 8. に示すようにデジタル信号対パルス幅の關係に所定の重みを付ける方法である。電圧にこう配をつけるのは、RC 回路の過渡現象を利用し、また、重み付パルス幅を発生させるのは、クロック信号を一定のレートとせずに時間に対してプログラマブルなレートとし、指定されたデジタル信号に対して補償クロック信号を発生させる方法を採用している。試作した 2 方式の駆動回路を用いて測定したデジタル信号対移相量を図 9. に示す。いずれの場合も良好な比例関係が得られており、これら 2 つの駆動方法の有効性が、顕著に現れている。

4. 反射形試作移相器の特性

3 章で示した 2 つの方式による駆動回路と、移相器の材料としてマンガニウム (Mn-Mg) フェライト及びリチウム (Li) フェライトを用いて試作した反射形移相器を

(1) Mn-Mg フェライト 移相器 + こう配パルス電圧印加駆動回路

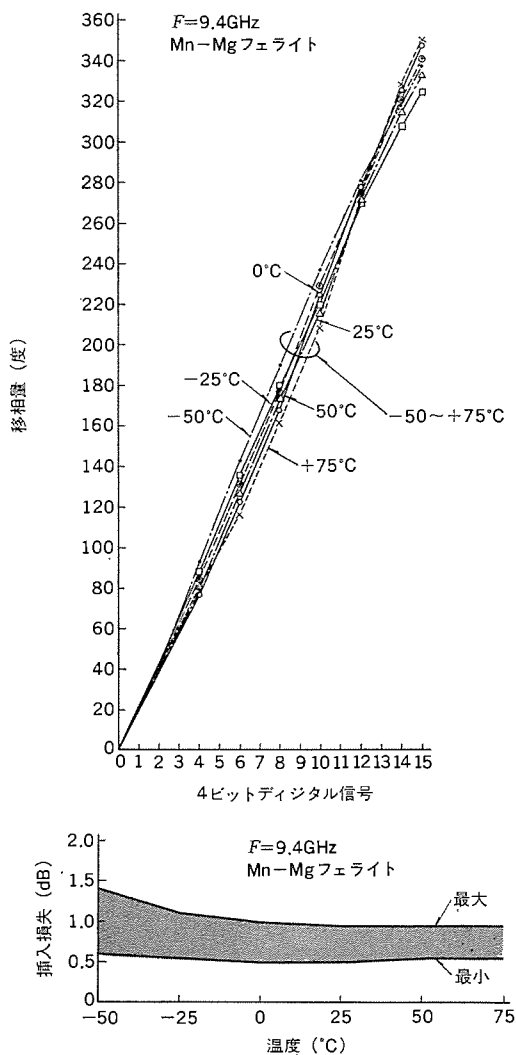


図 10. 移相量及び挿入損失の温度特性……(1)の場合

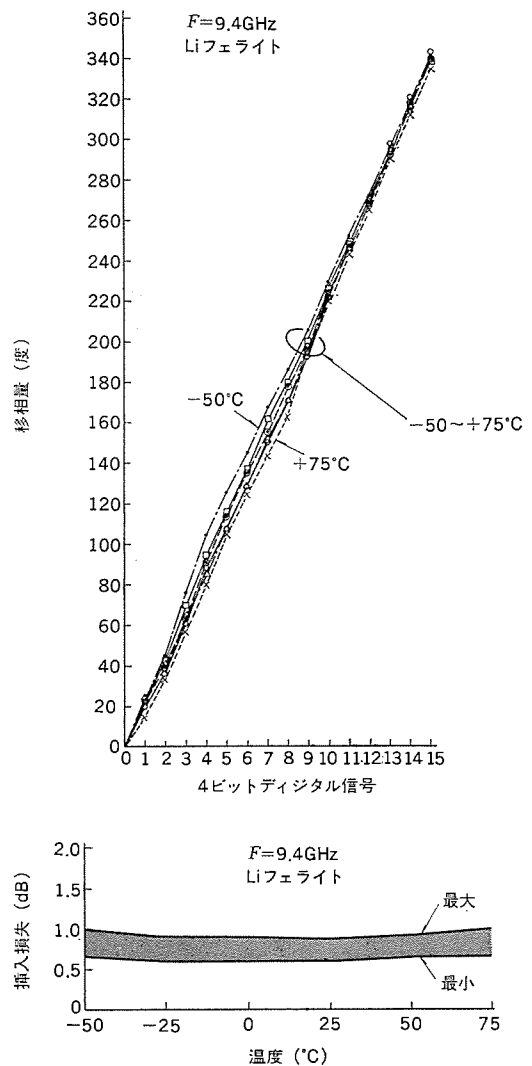


図 11. 移相量及び挿入損失の温度特性……(2)の場合

(2) Li フェライト 移相器+重み付 パルス 幅変換駆動回路
のように組合せて、マイクロ 波特性及び駆動方法の比較検討を行った。
なお、反射形移相器は、透過形移相器を開発完了後その結果を反映
させて試作したものであり、したがって、透過形移相器に関して種
々の測定は行っているけれども⁽⁷⁾⁽⁹⁾、ここでは、反射形移相器の特
性だけを示すにとどめている。

図 10. 及び 図 11. は、上記 (1) 及び (2) に関する移相量とそう
(挿)入損失特性を示すものである。なお、移相量の基準となるリセ
ット時の透過位相量の温度変化は、負の円偏波状態のほうが正の円
偏波状態よりも小さく、また、図 6. から分かるように位相切換時
の立上がり早いなどの理由で、実用時には位相進み方向に位相変
化させるのが好ましい。したがって、今回の移相量測定は、位相進
み方向に行っている。さて、図 10. 及び図 11. に示した特性によ
れば、周波数 9.4 GHz、温度 $-50 \sim +75^{\circ}\text{C}$ の範囲で

- (1) \longrightarrow $\begin{cases} \text{移相量精度} & \pm 15 \text{ 度以下} \\ \text{挿入損失} & 0.6 \sim 1.4 \text{ dB} \end{cases}$
- (2) \longrightarrow $\begin{cases} \text{移相量精度} & \pm 12 \text{ 度以下} \\ \text{挿入損失} & 0.6 \sim 1.0 \text{ dB} \end{cases}$

の測定結果が得られており、(2)のほうが良好な特性を示している。
図 12. は、(2)の場合についての常温における移相量と挿入損失の
周波数特性を示すもので、周波数 9.1~9.7 GHz の範囲で、移相量

精度 ± 13 度以下、中心周波数においては ± 5 度以下の特性が得ら
れている。挿入損失は、ほぼ 1 dB 以下である。また、PAR への使
用に際しては、リセット時の透過位相量の温度変化は重要な特性であ
り、変化量がどの程度か知っておく必要がある。

図 13. にその測定結果を示すが、すでに説明したように、負の円
偏波状態をリセット点として測定したもので、この図から、移相量の
温度に対する変化率は

- (1) $\longrightarrow 2.36 \text{ (deg/}^{\circ}\text{C)}$
(2) $\longrightarrow 1.48 \text{ (deg/}^{\circ}\text{C)}$

で、(2)のほうが、小さい変化率を示している。

以上のように、マイクロ 波特性については、いずれの項目に關して
も、(2)のほうが優れているが、これは、Li フェライトの温度特性が、
Mn-Mg フェライトよりも優れているためである。ただ、移相量精度
に関しては、駆動方法に依存するところも大きく、精度を上げるた
めには、電圧にこう配を付ける方法よりも、設計自由度の多い重み
付 パルス 幅変換方式のほうが有利である。ところで、これらの測定
においては、駆動回路用電源電圧に温度変化をもたせて、温度補償
を行っているが、(1)と(2)の場合について比較すると、常温にお
ける電圧値は約 40 %、また、温度変化に伴う電圧値の変化量は約
30 %、(2)のほうが小さくなっている。このように、所要電圧値及
びその変化量に差があるのは、両 フェライト 保磁力及びその温度特性

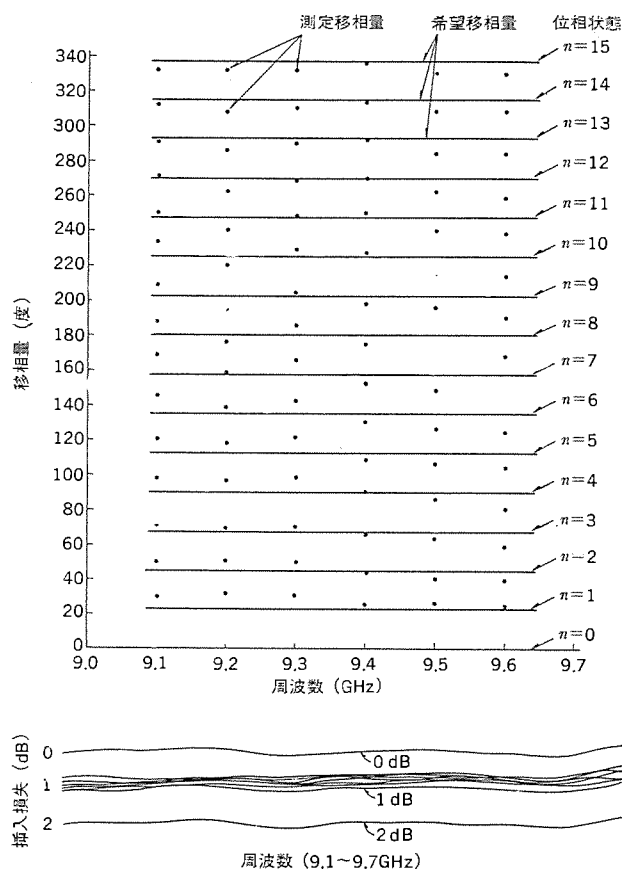


図 12. 移相量及び挿入損失の周波数特性……(2)の場合

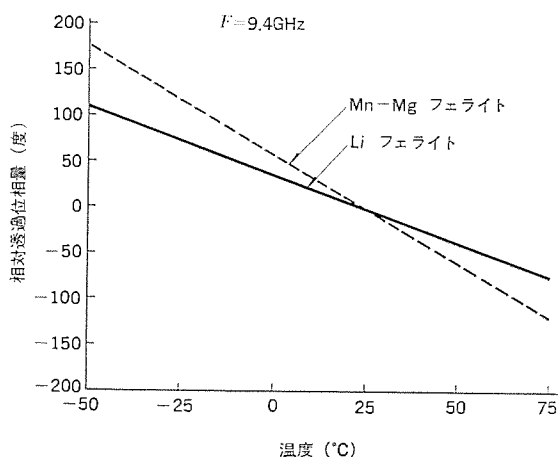


図 13. リセット点相対透過位相量の温度特性

の違いによることの外に、駆動回路損失の違いが影響しているためで、(2)の駆動方法がより良いことが確認された。

最後に、反射形デュアルモード移相器の性能を、まとめて示すと下記のとおりである。

周波数；9.1～9.7GHz，温度；-50～+75°C

移相量精度；±15度以下

挿入損失；1dB以下

駆動速度；50μs以下（電源電圧による）

駆動電流；1.5A（リセット時），0.5A（セット時）

寸法；18φ×50 }（駆動回路は除く）
重量；30g

5. む す び

デュアルモード移相器について、今回採用したパルス幅制御方式の検討結果とMn-Mgフェライト及びLiフェライトを用いたXバンド反射形移相器のマイクロ波特性の報告を行った。

駆動方法としては、回路損失が小さく、かつ、設計自由度の多い重み付パルス幅変換駆動方式を採用するほうが、低消費電力化及び移相量高精度化の点で好ましいことが判明した。また、移相量の温度補償は、駆動回路の電源電圧に温度変化をもたせて行い、よい結果を得た。なお、他の温度補償方法として、パルス幅に温度変化を持たせることも現在検討中である。

移相器本体については、マイクロ波特性の温度特性から、温度変化の小さいLiフェライトを使うことが望ましいという結果が明確になった。

以上のように、駆動方法及び移相器の構成に工夫を加え、反射形移相器では常に問題になる移相量精度及び挿入損失などについて、広い温度範囲にわたり、良好な結果を得ることができた。

参 考 文 献

- (1) C. R. Boyd : 1970 G-MTT Symposium Digest, p. 337～340
- (2) R. G. Roberts : ibid., p. 341～345
- (3) C. R. Boyd, et al. : ibid., p. 346～350
- (4) C. R. Boyd : IEEE Trans. on MTT, MTT-18, No. 12, p. 1,119～1,124 (1970)
- (5) W. E. Hord, et al. : IEEE Trans. on MTT, MTT-20, No. 2, p. 112～119 (1972)
- (6) L. R. Whicker, et al. : 1971 G-MTT Symposium Digest, p. 102～103
- (7) 溝淵，紅林：マイクロ波研究会資料 MW 72-90 (昭47-10)
- (8) 溝淵，紅林：昭48電子通信学会全国大会，No. 677
- (9) 溝淵，紅林：マイクロ波研究会資料 MW 74-6 (昭49-4)
- (10) B. Lax and K. J. Button : Microwave Ferrites and Ferromagnetics, McGraw-Hill Book Co. (1962)
- (11) W. E. Hord, et al. : IEEE Trans. on MTT, MTT-16, No. 11, p. 967～969 (1968)
- (12) J. J. Green, et al. : 1971 G-MTT Symposium Digest, p. 100
- (13) J. Dibartols, et al. : the microwave journal, p. 59～64. September (1972)

タービン発電機回転子軸材の品質評価

山屋 恵章*

1. ま え が き

タービン発電機軸材として使用される鍛鋼品は発電機容量の増大とともに大形化して現在では250mmにも達する原子力発電機用の軸材も製造されている⁽¹⁾。

このような大形軸材の製造が可能となったのは、1960年に日本に導入された真空脱ガス技術に負うところが極めて大きく、それまでの大気鍛造時代では、溶湯中の水素の影響で、50mmの軸材が鍛鋼品の限界であると考えられていた。大形軸材の製造技術はこの水素問題の解決以降急速に進み、ざく性欠陥の解消、真空カーボン脱酸による脱酸生成物の低減、水焼入れ法の採用によるじん(靱)性の向上、鋼塊内の偏析低減という今日の製造技術が確立されてきた⁽²⁾。

製造技術の向上及び、欠陥評価技術の向上によって今日では致命的な欠陥はほとんど姿を消しているが、鋼塊製造過程で避けることのできない偏析と、そこに存在する非金属介在物、砂かみといった欠陥は依然として存在するのでこれら内在する欠陥をいかに取扱うかが今後の評価技術中最も重要な問題となってきた。

この報告では、このような製造技術の進歩のもとで、3.5NiMoV鋼の軸材がどのような品質レベルに達しているかを、実際の受入試験成績の推移から眺めるとともに、実在する欠陥と超音波探傷試験の結果との相違につき調査した結果を報告する。

また、当社で従来から行っていたタービン発電機の回転子に加工した半月こう(溝)を利用する超音波探傷法に改良を加え、内部欠陥の大きさを定量できる半月溝探傷子を開発した(特許申請中)のでその特性について述べる⁽³⁾。

2. 軸材品質の現状

当社の大形タービン発電機の軸材に使用している鋼種は、3.5NiMoV鋼と、3.5NiCrMoV鋼の2種類であるが、3.5NiCrMoV鋼については低圧タービン軸材として使用されている鋼種でもあり、ほかに報告も多い⁽⁴⁾⁽⁵⁾のでここでは3.5NiMoV鋼を中心に靱性、均質性、健全性について述べる。

2.1 靱 性

1954年⁽⁶⁾及び1956年⁽⁷⁾に、米国で相次いで発生した発電機の破壊事故を契機として、軸材の遷移温度に対する研究が進み、破面遷移温度(Fracture Appearance Transition Temperature, 以下FATTと略す)に対する規定が設けられた。

FATTは材料の靱性を表す1つの指標であって、それ自体が回転体破壊の直接原因となるものではない。いずれの破壊事故においてもその直接原因は内在する材料欠陥とか、機械加工等による切欠であったと報告されている。現在の破壊力学における研究では、材料の破壊靱性値(K_{IC})とFATTとの間には明らかな相関があってFATTの低い材料程、 K_{IC} が高く、同一欠陥に対して不安定破壊が起こりにくくなることが分かっている⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

FATTを改善するためにとられた手段としては、オーステナイト結晶

Si脱酸	真空C脱酸	年 代	焼入冷却法
○	○	1975～1977	Water Spray
●	●	1970～1974	Water Spray
△	—	～1970	Blast Cool
▲	—	～1970	Mist Cool

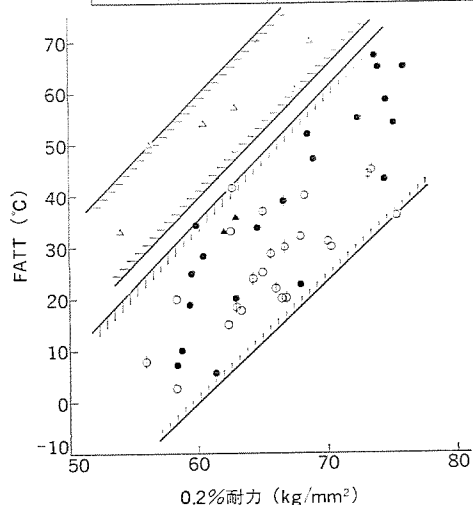


図 1. 3.5NiMoV 鋼の耐力と FATT

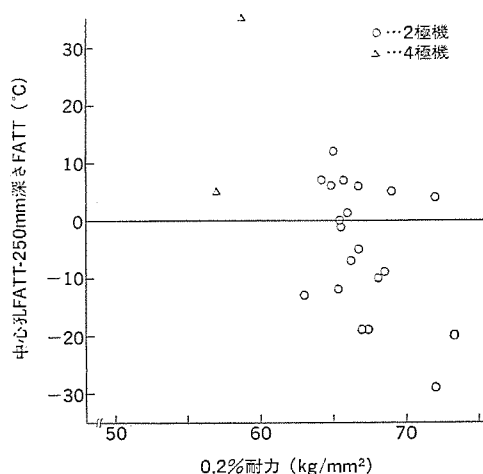


図 2. 3.5NiMoV 鋼の中心孔 FATT と 250 mm 深さ FATT の差

粒度の微細化、不純物成分(P, S, Sn等)の低減、真空カーボン脱酸の採用、水焼入れの実施等のいろいろな試みが行われてきたが、3.5NiMoV鋼に対して最も効果のあったのは強力な噴水による水焼入れであった。図1.に見られるように衝風焼入れ、噴霧焼入れの時代(1970年以前)に比べて水焼入れの軸材は平均30°CもFATTが下がっている。衝風焼入れ当時の試料採取位置が軸材表面から35mmの深さであり、水焼入れを採用して試料採取位置を250mmの深さに変更したことを考えればFATTは更に改善されているものと考えられる。

軸材のFATTが問題となるのは、運転中の応力の最も高くなる中心孔表面である。したがって規定している試験片の採取位置が材

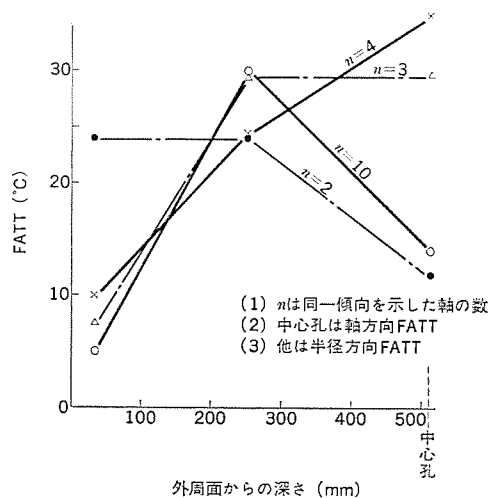


図 3. 3.5 NiMoV 鋼の外周面からの深さと FATT

料を代表していることが大切である。中心孔から採取した軸方向の試料と、正規試料の FATT の関係は図 2. に示すようにむしろ中心孔の試料のほうが良い傾向を示している。図 3. では外径約 ϕ 1,000 mm の軸について、表層 35 mm、中央 250 mm、中心孔軸方向の 3 点について FATT の傾向を見たもので、この傾向が一層明白になっている。この理由は 2 つ考えられる。1 つは試料の方向性で軸材胴部の 35 mm、250 mm の試料は半径方向に採取された試料で鍛造の流れに沿って切断するが、中心孔の試料は軸方向に採取されるために鍛造の流れを横断するから鍛造比の高い軸材の中心孔 FATT が低くなる、また他の 1 つは 250 mm の深さは鋼塊の逆 V 偏析に当たる深さで偏析部は不純物成分も多く、微細な非金属介在物も多いために FATT が高くなるという理由である。

軸材胴部の偏析は大形の鋼塊では避けられないものではあるが、偏析を軽減することが今後の課題であろう。

2.2 均質性

靱性の向上、FATT の改善のために採られた表層部からの強力な冷却が、軸材の均質性という面から見れば組織的な不均質を招いていることは先の図 3. から明らかである。

機械的強度のばらつきについては、軸材胴部の軸方向 4 か所で見える限りでは、0.2 % 耐力で 1.4 kg/mm²、引張り強さで 1.1 kg/mm² と極めて低い値を示している。

軸材の均質性を総合的に判定する方法として、熱変形試験が実施されてきた。熱的不安定挙動の中でも温度とともに可逆的な軸曲りを起こす変形挙動に対して厳重に監視している。この変形挙動の発生原因が組織の軸非対称性にあることが知られているが、このような不安定挙動を示した軸材はこれまで 150 本を超える試験軸材中 1 本のみであった。この軸材は焼入れ後にわずかに偏心加工を施したことが原因であると判定し、再熱処理を行い正常な挙動を示すことを確認した。水焼入れによる表層部からの強力な冷却はこのようなわずかな偏心加工にも敏感な挙動を示すので焼入れ後の取扱いに関しては十分な注意が払われている。

2.3 健全性

軸材の製造過程で発生する欠陥の中で、特に問題となる欠陥としては、表 1. に示すものが挙げられる。

真空脱ガス法が採用されている今日では、水素の影響である白点、異常偏析きずというものは全く見る事がなくなり、介在物系の欠

表 1. 軸材に現れる欠陥

欠陥類別	欠陥名称	発生要因と製造過程
偏析性欠陥	ゴースト 偏析きず点	先天的欠陥として、主に溶鋼の凝固過程(溶解造塊過程)に生じる。
サンド性欠陥	非金属介在物 砂きみ	
偶発性欠陥	気バズ 異物混入 異物混入 異物混入	
材質的欠陥	焼きわれ 焼け過ぎ 鍛造不十分 脱炭 焼きむら	後天的欠陥として、鍛錬・熱錬作業時における加熱・成形・冷却過程(鍛造・熱処理過程)に生じる。
機械的欠陥	かしきり しむき まくれ 偏寸 曲さ	

陥、微細なざく性の欠陥、耐火物とかスラグの巻込みといったごく限られた欠陥になっている。

また、P、S 等の不純物元素の低減と真空カーボン脱酸の採用による脱酸生成物の低減によって、鋼塊の清浄度が改善され、サルファブリットによっても明確なゴーストの存在が確認されず清浄度の高い良好な軸材となっている。このことは超音波探傷時にも、ゴースト部からの反射によるノイズを少なくし、中心部の欠陥の検出精度を上げる原因ともなっている。

3. 実在欠陥の評価

軸材に内在する欠陥の検出には、超音波探傷が用いられる。この試験における欠陥と探傷波形の関係については、これまで各種の超音波に関する委員会、技術論文で報告されていて、現在ではほぼ基本的な対応がついていてと考えられる⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。しかし大形鍛鋼品のように探傷距離が長くなると判定精度にばらつきを起しやすいう欠陥、例えば砂きず、砂かみ、及びマイクロなざく性欠陥等では判定が非常に困難になってくる。したがって超音波の透過性の悪い熱処理以前に欠陥の発見が遅れたり、過小に評価されることが現在でも時折見られる。

この種の欠陥は、特に密集性が問題となるが我々は必ず代表的な欠陥について確性試験を行い有害性の検討を行うことにしている。

一般に砂きず、砂かみといった欠陥は単独の介在物だけで存在することはなく、数個の微細な介在物が相互に干渉して欠陥としての存在を示していることが多く、超音波の波長の半分以下の欠陥でも検出されてくる。

このような微細な砂きずの密集性を問題とするのは、微細欠陥群が割れ性欠陥を伴っていないと判断する手法を持っていない点にある。

砂かみは一般に独立した単独欠陥であると判定され過小に評価されている。この欠陥は溶し(滓)の巻込みとか、炉壁耐火物の脱落によって生じる比較的大きい欠陥である⁽¹²⁾。

このような脱落した炉壁材などは本来周辺に微細なキャビティとか、

鍛造の過程で砕かれた微細な砂きずを持っているが、底面エコーの減衰もなく、欠陥としての波高値も低く出るために過小評価される。

ここに砂かみ欠陥について、その有害性を検討した1例を報告する。

3.1 欠陥の実体

ここに示す欠陥は発電機軸材胴部、中心孔壁面より60mmの位置に存在したもので外周表面より410mmに位置する。

欠陥の形状は図4.に示すように、軸方向に長く鍛伸された単独の砂かみ欠陥で、その平均寸法は $\phi 2.5 \times 55$ mmで胴部の鍛練比7

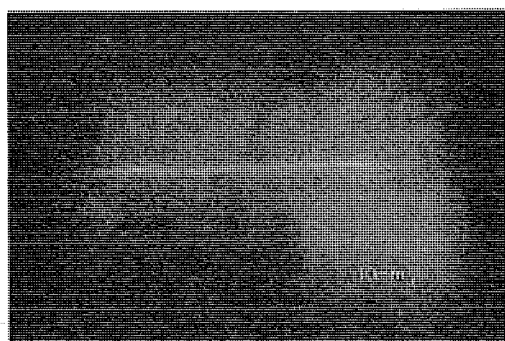


図4. 欠陥のX線写真

欠陥部断面形状(よこ切断)

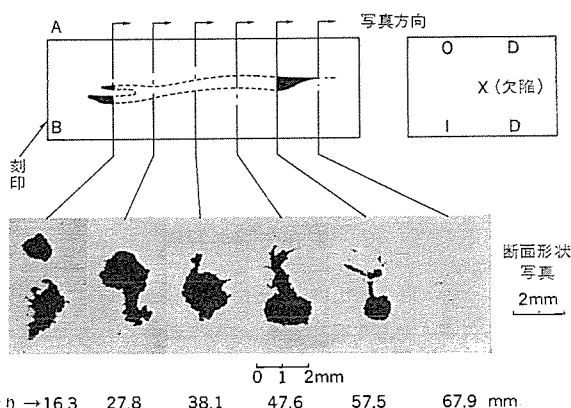


図5. 欠陥断面の拡大

表2. 介在物を構成する元素

調査元素	Mg	Si	Al	O	Ca	Mn	Cr
存在の有無	多	多	多	多	多	微量	無

表3. 欠陥部の超音波探傷記録

外周表面状態	探傷器形名	周波数 (MHz)	感度	最大波高値 (mm)	欠陥波消失範囲 (mm)	推定欠陥面積 (mm ²)	欠陥の間隔 (mm)	中心孔壁までの距離 (mm)
旋削のまま	FD-180	3	V ₁₄ F=90%	a) 22	AC 700 AL 50	3.4	52	60
				b) 14	AC 585 AL 47	2.2		63
	UM-721	2.25	V ₁₄ F=20mm	5	—	—	52	—
				a) 23	AC 965 AL 68	2.5*		60
平面加工	FO-180	3	V ₁₄ F=90%	b) 15	AC 765 AL 57	1.8*	52	63
				ax) 100	—	13.8		—
		3	V ₁₄ F=90%	bx) 68	—	7.5		—
				ay) 80	—	6.2		—
				bx) 54	—	4.5		

* AVG ダイアグラムにより換算

S から見てもよく鍛伸された欠陥であるといえる。この欠陥を軸直方向に10mmピッチで切断した断面を図5.に示した。

欠陥内部に存在する介在物はX線マイクロアナライザによる分析の結果、表2.に示す元素が検出され、炉壁材の一部が脱落したもので $4\text{Mg } 0.5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ に近い化合物形態のものであった。

3.2 超音波波形

この欠陥は外周からの超音波探傷では完全な2つの独立欠陥として表示されていた。欠陥発見当時の探傷記録は表3.に示すとおりで、AVGダイアグラムからの換算では2.5mm²と1.8mm²の等価面積となり、当社の換算基準でも3.4mm²と2.2mm²の等価欠陥面積で、一般的には許容し得る欠陥サイズであった。しかし、円周方向の欠陥エコーの消失範囲が広く半径方向への広がりを持つものと考えられるので欠陥の半径方向と平行に外周を平面加工し欠陥形状の確認を行った。この結果ほぼ正確に現在の欠陥断面の形状を推定していたが2個の独立欠陥が約50mmの間隔で存在していると考えていた。

この理由は図5.を見ても分かるように、欠陥の両端が反射しやすいおうとつ(凹凸)の多い形状であり、中央が円柱に近い形状であることと、欠陥が410mmの深さにあり、超音波の指向角から考えても両端からの欠陥エコーの減衰範囲と中央部の欠陥エコーの出現部が一致し、両端の強いエコーしか現れなかったためである。

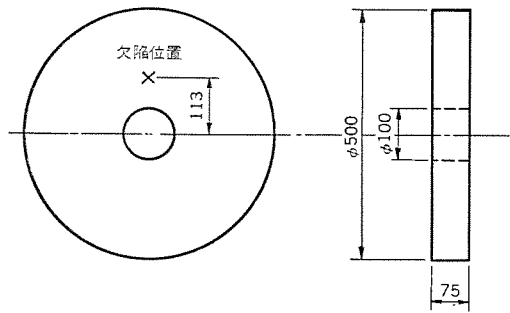
実在する欠陥がこのように探触子の直径を超えるような長く細い場合には、円柱欠陥であるための反射率の低下以上に等価面積と実体寸法に差を生じる⁽¹³⁾。したがって欠陥等価面積が小さいとしても単独エコーが、超音波の指向角範囲内で分離独立している場合には、一応連続性について、より詳細な確認が必要である。

3.3 有害性の評価

大形の砂かみ欠陥の周辺には微細な欠陥群が存在し鋭い切欠形状を呈していることが多い。この欠陥でも図5.の欠陥中央以外の周辺にはそのような欠陥群が見られるし、このような欠陥が鋭い切欠や割れを伴っていないことを証明する手段は、実在する欠陥を詳細に調査確認する以外に見当たらない。

この欠陥に関しては、この欠陥を含む円板を軸材胴部より切出し、回転円板破壊試験を試みたが破壊は起こらなかった。その結果を表4.に示す。破壊を起こさなかったのはこの欠陥がき裂性欠陥ではなかったためで、き裂性欠陥であれば応力拡大係数 K は $K=165 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-3/2}$ となり、この軸材の他の部分から切出した試験片による計測結果では $K_{IC}=150 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-3/2}$ (at -90°C) だから十分破壊の可能性があった⁽¹⁴⁾。

表 4. 回転破壊試験結果

回 転 破 壊 試 験					
					
回 数	回 転 数 (rpm)	温 度 (°C)	円 周 方 向 応 力 (kg/mm ²)		
			内 周	欠 陥 位 置	外 周
1st	17,100	-100	138.7	75.9	66.4
2nd	17,400	-100	143.6	78.6	68.8
結 果		破 壊 せ ず			
材 料 特 性 (内周側円周方向)					
機 械 的 性 質 (常 温)				破 面 遷 移 温 度 FATT	破 壊 靱 性 値 K _{IC} (-100°C)
0.2%耐 力	引 張 り 強 さ	伸 び	絞 り		
64.0kg/mm ²	75.4kg/mm ²	22%	58%	34°C	150kg・mm ^{-3/2}

またこの欠陥が発電機として使用中にき裂として進展し得たかを考えると、定常運転中は応力拡大係数の変動幅 ΔK は低く問題ないが、 ΔK の高い始動、停止でもき裂として進展は起こらなかったと推定する。しかしこの欠陥が 67 kg/mm² 級の耐力レベルの軸材で検出された場合 K_{IC} が更に低いので有害性の評価はより厳しいものとなる。

3.4 まとめ

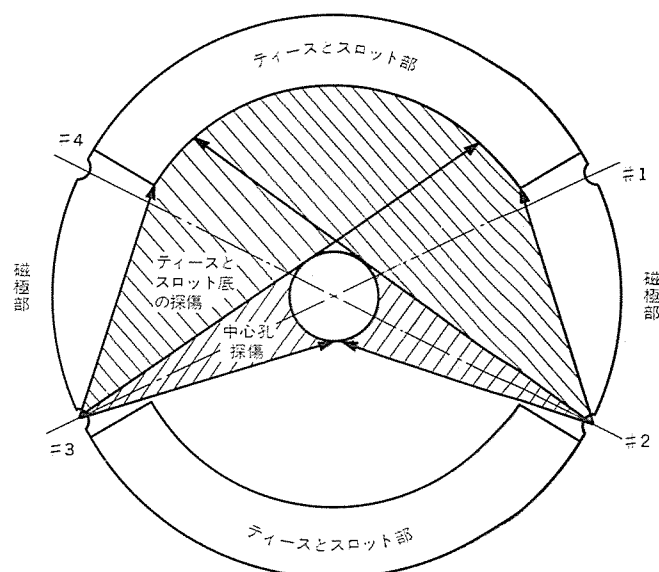
- (1) 探触子の直径を越える長さを持つ砂かみ欠陥に対して、超音波探傷試験は過小評価しやすい。
- (2) 音波の指向角を十分に考慮して欠陥の独立性を考えること。
- (3) 欠陥がき裂性かどうかについて微細欠陥の評価法の確立が急がれる。
- (4) この欠陥は -90°C、 $\sigma_t=67.7$ kg/mm² でも不安定破壊をしなかった。

4. 運転中の発電機回転子の保守点検

長期間の運転を行っている発電機の回転子には、大気鋳造時代の軸材、超音波探傷器の性能が劣っていたころの軸材も多い。これらの軸材には製造当時見落とされていた欠陥が、腐食とか異常な応力を受けるなどによって、危険な状態に進展していることがある。このような危険を早期に見出し、対策を講じることが保守点検上必要である。

現在では、中心孔を利用して超音波探傷を実施する技術が発達し中心孔周辺の欠陥に対しては極めて正確に検出ができるようになった。しかし、中心孔からの欠陥探傷はさまざまな制約を受ける場合も多く、外周からの探傷ができれば手軽に点検することができる。

この点に関し、当社では発電機の磁極部に半月形のみぞを設けて、そこから探傷する方法を実施してきた。しかし従来の探触子は欠陥



≠1, ≠4溝からも探傷すれば斜線部の対称範囲も検査できる。

図 6. 半月溝超音波探傷範囲

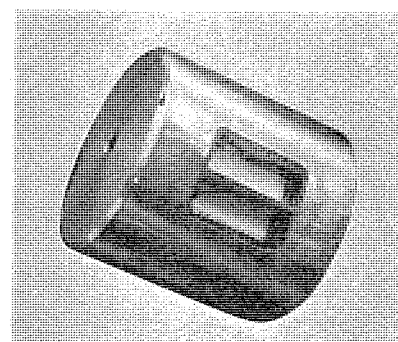
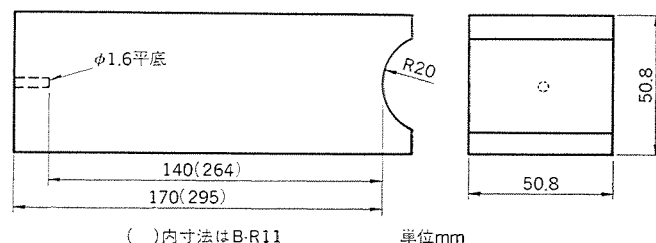


図 7. 半月溝用探触子



()内寸法はB-R11

単位mm

図 8. 感度設定用試験片 B-R 6 (B-R 11)

の検出精度に難点があり異常の有無は判別できてその程度をは(把)握することが困難であった。

最近では、回転子内の中心孔周辺だけでなく歯底部も含めた全部分の探傷と欠陥の等価面積の定量的把握のできる半月溝探触子を開発したので紹介する⁽³⁾。

4.1 探傷範囲

発電機回転子の磁極部に設けた4本の半月形溝を利用して超音波のビームを入れ、図 6. に示すように内部全面を探傷することができる。

4.2 探触子と距離特性

新しい探触子は遠距離特性を改善するために振動子を2分割する方式を採って遠距離における音波の分散を防いだもので、図 7. にその外観を示す。

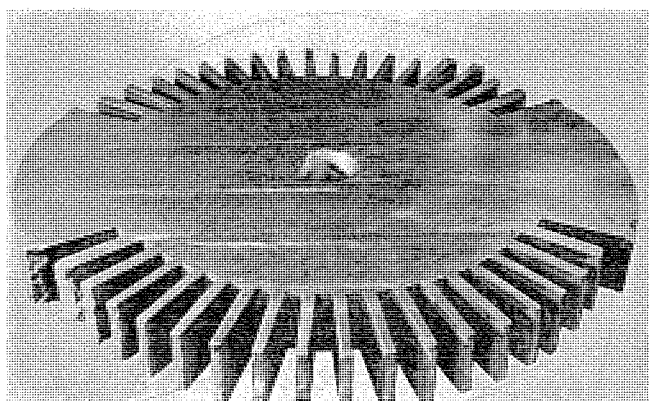


図 9. 距離特性試験用実物試験片

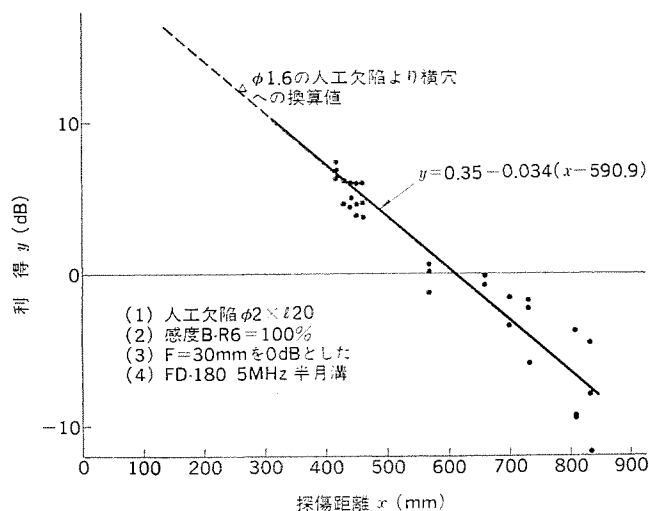


図 10. 半月溝探触子の横穴欠陥に対する距離特性

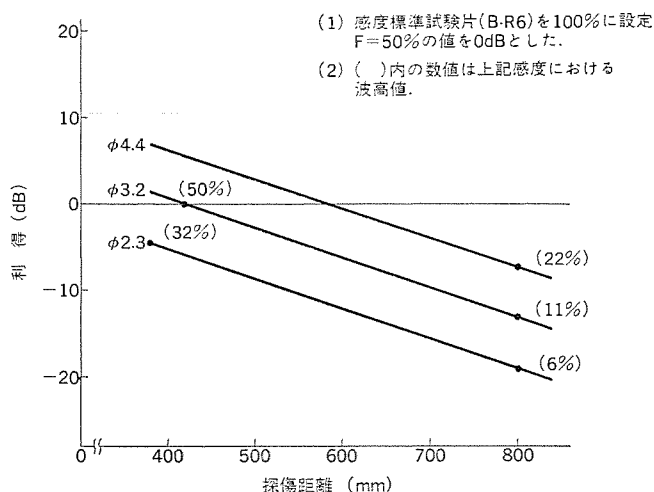


図 11. 半月溝探触子の平底円形欠陥に対する距離特性

距離特性を求めるに当たって、発電機軸材より削り出した感度設定用基準片(図 8.)と、発電機軸を輪切りにして加工した実物試験片(図 9.)を使用した。感度設定用試験片にはφ1.6mmの平底人工欠陥、実物試験片にはφ2mm×20mmの横穴人工欠陥を加工してある。接触媒質は実作業を想定してグリスを使用した。

試験の結果は図 10. に示すとおりほぼ満足できる横穴遠距離特

性を有している。一般に超音波探傷により検出された欠陥の大きさは、等価反射面積の概念で評価される。波高値より等価反射面積を容易に求めるため、円形平底欠陥の遠距離特性を求めておく必要がある。

横穴と円形平底の欠陥反射率の比より円形平底欠陥の遠距離特性に換算した結果を図 11. に示す。φ1.6mmの平底人工欠陥を有する試験片を同一感度で探傷した結果を図 10. にプロットすればよく一致することにより、この換算は図 10. の回帰式の有効範囲で信頼できるものと考えられる。

図 11. によれば、最も遠いみぞの底でもφ3.2mmの等価反射面積をもつ欠陥を11%の波高値で検出できる。

5. む す び

発電機軸材として使用している 3.5NiMoV 鋼の材料特性は、製鋼、造塊、鍛造、熱処理という各製造工程を通しての改善によって、安定した品質のものができるようになってきている。

軸材の品質は超音波探傷によって評価される。現在、超音波探傷技術は微細欠陥も十分検出できるようになっているが、砂かみ等の細長い大きな欠陥に対しては過小に評価する場合があるが、我々が現在設けている基準では有害なものは確実につかんでいることが分かった。

回転破壊試験を行って、実際の砂かみ欠陥の挙動を観察したが、欠陥の性状がよく、破壊条件を満たさなかった。欠陥周辺の清浄度が安定条件を作っていたためと考えられる。

運転中の発電機の保守点検用に、半月溝からの探触子を改良して欠陥の定量化ができるものを開発した。この探触子によって半月溝を有する当社機の予防保全が回転子外周から比較的容易に行えるようになった。今後多くの既納機に対して新しい半月溝探傷法を適用して予防保全に役立てていきたい。

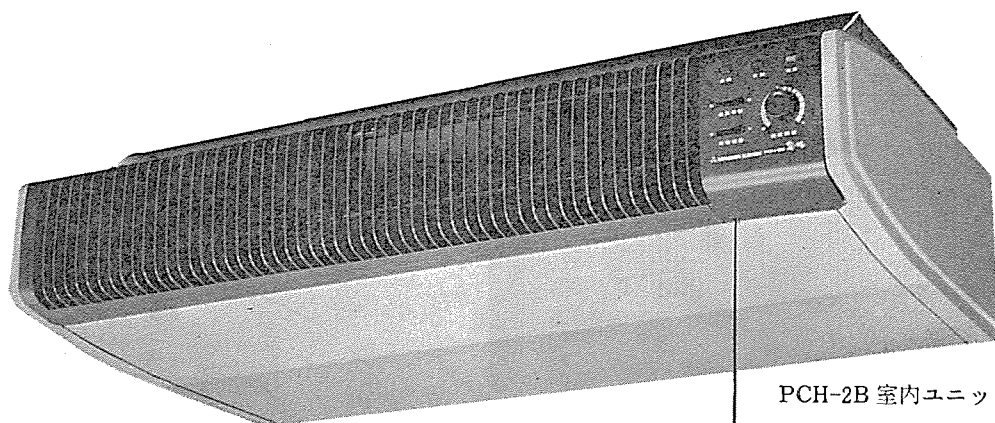
参 考 文 献

- (1) 金属特報 (昭和50-3)
- (2) 日本製鋼所・日本鋳鍛鋼・神戸製鋼各社技術資料
- (3) 松林ほか：三菱電機技術資料
- (4) International Forging Conf. (in Paris, 1975)
- (5) International Forgemasters Meeting (in Japan, 1977)
- (6) C. Schabach, B. L. Fogleman, A. W. Rankin, D. H. Winne, Trans. ASME, 78, 10 (1956-10), 1567
- (7) D. H. Deforest, L. P. Grobel, C. Schabach, B. R. Seguin, ASME, Paper No. 57-PWR-12 (1958)
- (8) 土方ほか：機械学会50周年記念講演予稿
- (9) T. Iwade, T. Karaushi and J. Watanabe: THE JAPAN STEEL WORKS Technical Report MS 76-11-66 (1976)
- (10) 尾崎ほか：三菱電機技術資料
- (11) Andrew S. G. Ying, R. A. Baudry ASME PUBLICATION No. 62-WA-175 (1963)
- (12) H. C. Smith, R. F. Cappellini, T. J. Grebenar Int. Forgemasters Meeting No. 11 (in Japan, 1977)
- (13) H. D. Greenberg W 社 Research Report 69-1 D 4-METAL -R 1, April (1969)
- (14) 土方ほか：三菱電機技術資料

スポットライト

三菱天井吊形 店舗用パッケージエアコン

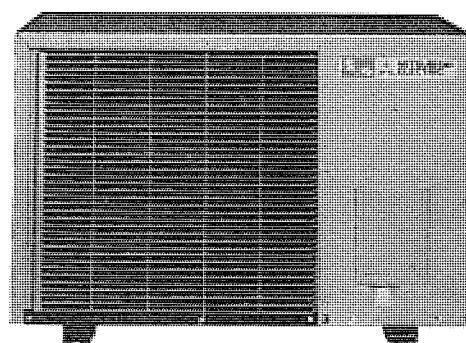
三菱電機は商店、喫茶店などの小店舗を対象とした空調機として、2冷凍トンの空冷セパレート方式天井吊形パッケージエアコンを2機種(冷房専用とヒートポンプ式)新発売しました。



PCH-2B 室内ユニット

特長

- 天井吊形なので床面積をとらず、店舗内スペースを有効に利用できます。
 - 効率の高い内蔵機器と軽量構成部材の採用により、小形、軽量になり、室内、室外ユニットとも据付面積が小さくてすみます。
 - 冷媒配管にインスタントカップリング方式を採用したので、工事はルームエアコン並みの容易さです。
- また、室内ユニットの吊下げアタッチメントを用意していますので、吊下げ工事も簡単です。



PCH-2B 室外ユニット

仕様

項 目		形 名	空気式ヒートポンプPCH-2B形	空冷式PC-2B形
性能	冷 房 能 力 (kcal/h)		4,500/5,000	4,500/5,000
	暖 房 能 力 (kcal/h)		6,306/6,806	—
室内ユニット	外形寸法(mm)高さ×幅×奥行		280×1,050×565	
	電 源		三相 200V 50/60Hz	単相 200V 50/60Hz
	送 風 機 出 力 (kW)		0.05	
	補 助 ヒ ー タ ー (kW)		2.1	—
	製 品 重 量 (kg)		39	37
室外ユニット	外形寸法(mm)高さ×幅×奥行		516×785×470	
	電 源		三相 200V 50/60Hz	
	圧 縮 機 出 力 (kW)		1.5	
	送 風 機 出 力 (kW)		0.04	
	霜 取 方 式		リバースサイクル	—
	製 品 重 量 (kg)		83	81

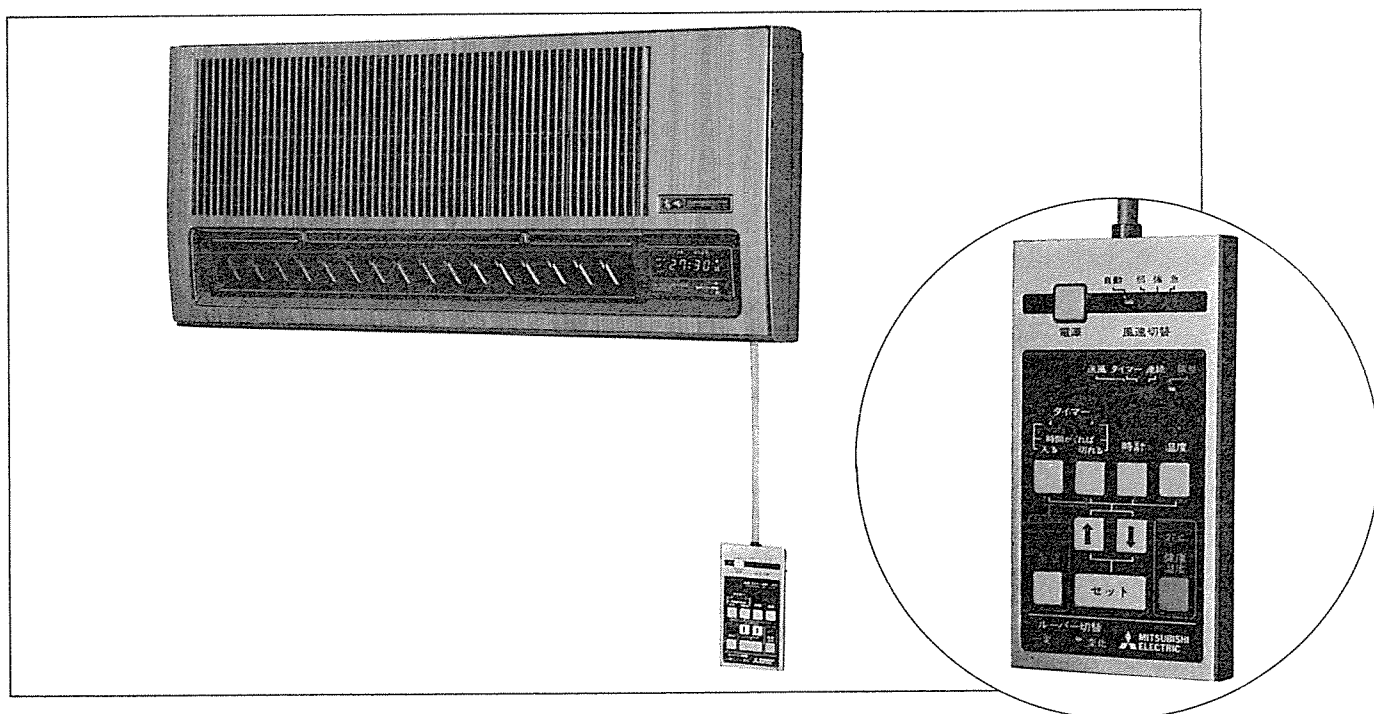
三菱ルームエアコン「霧ヶ峰」 MS-1804R形(マイコン搭載うす形「霧ヶ峰」)

三菱ルームエアコン《霧ヶ峰》MS-1804R形は、好評の「グリーンサイン」をさらに発展させ、

●室温と設定温度を同時にデジタル表示する。

●健康冷房温度をワンタッチで設定できる。

など、マイコン搭載により主として、温度制御、温度表示の機能の拡大、充実を図りました。



特長

●マイクロコンピュータ搭載だから

1. 設定温度、室内温度を同時にデジタル表示
2. ワンタッチで室温を27℃に設定する健康温度ボタン
3. デジタル時計（温度表示との切替式）
4. 24時間、入・切タイマー（解除ボタンつき）
5. 室温に応じて風量が自動的に変化し、室温をすばやく降下させる、室内風量自動コントロール機構
6. 誤操作からエアコンを保護する、3分再起動防止機構

●《霧ヶ峰》だから

1. うす形17cmの室内ユニット
2. うす形、小形軽量の室外ユニット
3. 低騒音、低維持費設計
4. 室内を上手に冷やす冷氣下吹出方式
5. ゆたかな冷風をワイドに送り出すラインフローファン
6. 温度ムラを少なくするシングルルーバーに冷風を下向きにできるジェットルーバーをプラス

仕様(50/60Hz)

冷房能力(kcal/h)	1,600/1,800
電 源	単相 100V
消費電力(W)	600/730
全電流(A)	6.6/7.3
力 率 (%)	91/100
始動電流(A)	32/29
圧縮機出力(W)	500
送風機出力(W)	(内側) 12 (外側) 15
騒音値(ホン)	(内側) 急37/40・強33/34・弱26/26 (外側) 強41/43・弱38/38
重 量 (kg)	(内側) 12 (外側) 27
外形寸法(mm)	(内側) 高さ380×幅850×奥行170 (外側) 高さ450×幅750×奥行250

スポットライト

柑橘類のジュースしぼりに手軽で便利な「みかんジュースー」KA-140形

三菱電機では、近年国内市場に年間を通じて豊富に出回っている柑橘類のジュースしぼりが、家庭で手軽にできる「みかんジュースー」KA-140形を開発、発売しました。



特長

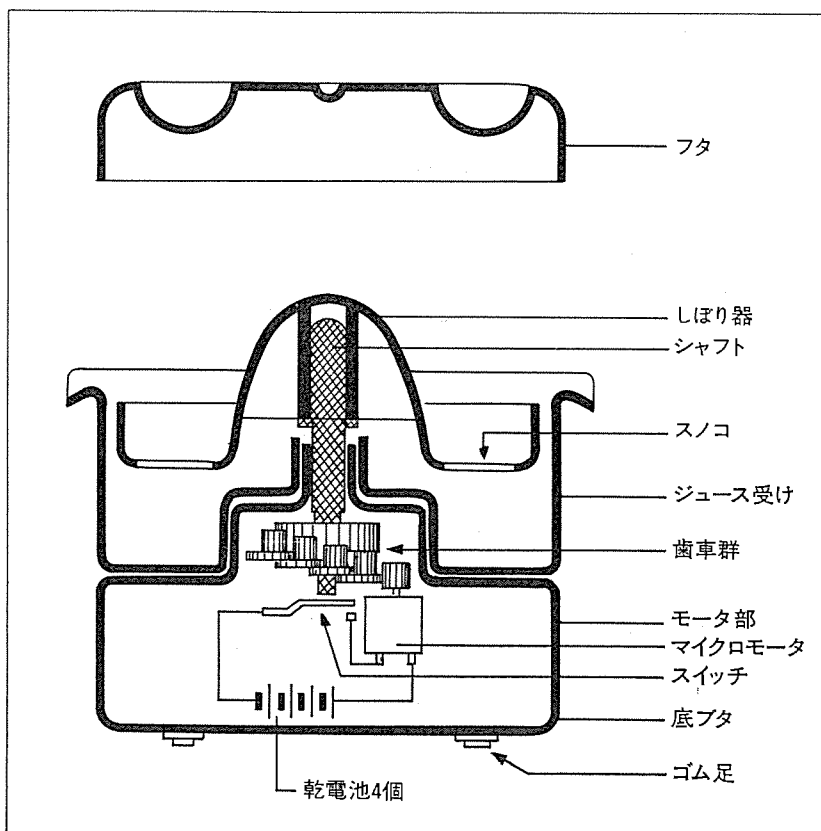
- お子さまでも、簡単に天然果汁100%の生ジュースが作れます。
- 小形・軽量ですから、清掃しやすく、保管スペースも少なくてすみます。
- 電池式ですので安全。しかも持ち運び自由で、どこでも使用できます。

仕様

しぼれる果実	みかん、夏みかん、甘夏みかん、ハッサク、レモン、オレンジ、グレープフルーツなどの柑橘類
重量(kg)	1.07 (乾電池を含む)
外形寸法(mm)	最大幅177 高さ159
ジュース受け容量(cc)	約380(コップ約2杯分)
使用乾電池	単一乾電池(種類により使用時間が異なる)4コ (付属のものは三菱スーパーバイタル)
主な柑橘類のしぼれる個数 (三菱スーパーバイタルを使用した場合)	みかん……………800切れ(400個)以上 レモン……………600切れ(300個)以上 グレープフルーツ…300切れ(150個)以上

構造と使い方

1. 半切りにした果物をしぼり器に押しつけると、自動的にスイッチがONします。
2. マイクロモータの高速回転を歯車群が約1/300に減速して、強力にしぼり器のシャフトを回転させます。
3. しぼり器についた凸形のひだが果物の内部をしごき、流れ出た果汁はしぼり器下部についたスノコでカスと分離され、果汁はジュース受けに溜まり、カスはしぼり器に残ります。
4. 果物をしぼり器から離せば、自動的にスイッチはOFFになります。
5. しぼり器を取り、ジュース受けを外して、溜まったジュースをグラスなどにいれてお飲みください。
6. フタは逆さにして果物の盆や、使用中しぼり器を外した時の受け皿としてご利用いただけます。



音の静かな掃除機「押すとポン」 TC-9000形 49ホンで新発売

三菱電機は業界で初めて50ホンの壁を破り、運転音を大変静かな49ホンにおさえた電気掃除機TC-9000形を発売しました。音の静かな掃除機が欲しいというご要望に応えて開発した商品で、「しゃ音板」「吸音材」「消音パイプ」の三段構えで騒音を大幅にダウン。しかも清潔チリ処理「押すとポン」機構も使い易さをアップしました。まさに騒音もホコリも散らさない掃除機です。

特長

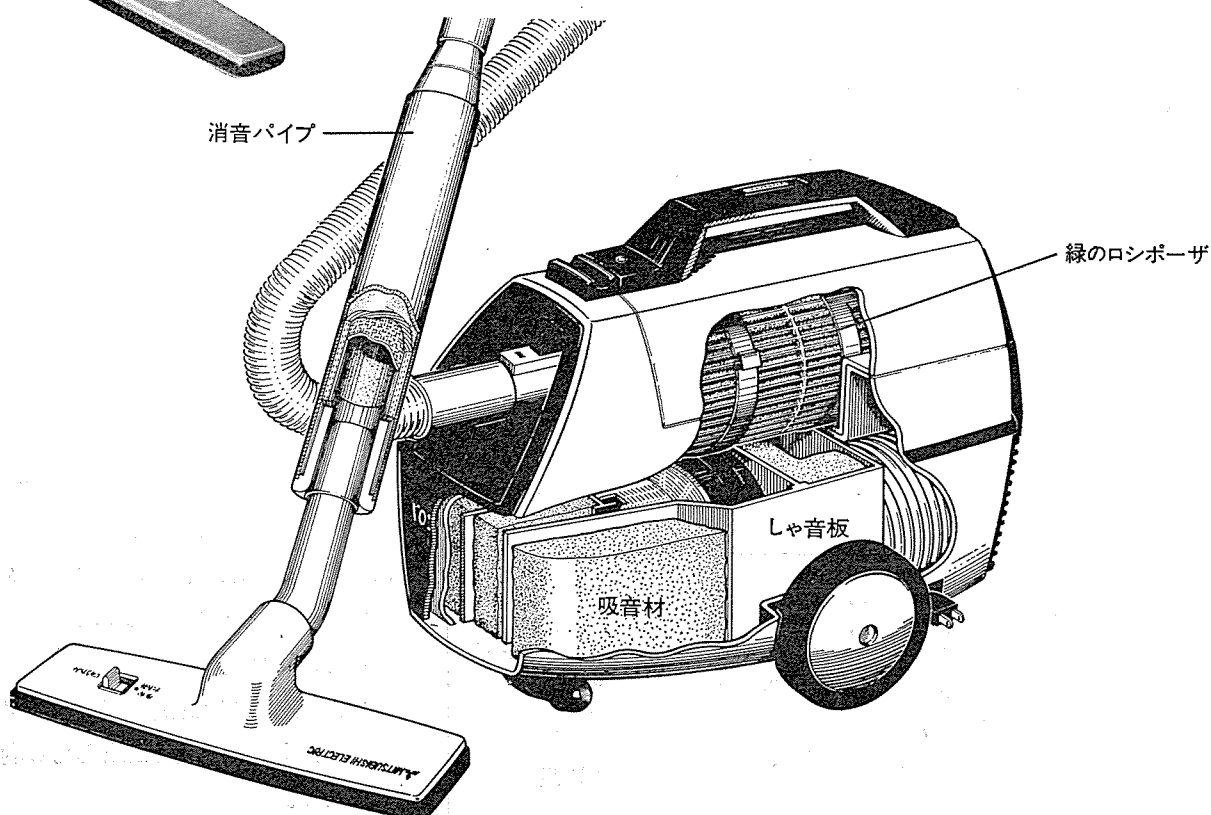
- 運転音は50ホンを割る49ホン。本体の音はしゃ音板と吸音材で、吸込側へ出る音は消音パイプでカットします。
- チリ処理はハンドルをポンと押すだけの「押すとポン」機構。しかも集じんケースのふたが、スライド収納式になりました。
- 吸込仕事率は125W。音を低くしても性能は犠牲になっていません。
- フィルターは水洗いの出来る「緑のロシポーザ」です。

仕様

消費電力	100V 50/60Hz 550W
吸込仕事率(W)	125
寸法(mm)	長さ435×幅230×高さ350
重量(kg)	6.6(本体のみ)



消音パイプ



登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
817107	電気車の保護方式	{北岡 隆・芦谷正裕 成戸昌司	819998	半導体装置	杉岡八十一・河津 哲
817108	放射線回折装置	石川義和・三富至道	819999	真空 スイッチ	{青木伸一・牧田 勇 山中昭男
817109	イミド化エポキシ化合物の製法	{西崎俊一郎・不可三晃 中島博行	820000	冷暖房装置	原 明
818031	機関の吸気加熱装置	浅山嘉明	820001	ガスレーザ 装置	谷口一郎・永井治彦
818675	交流回転電機の起動装置	{越場 宏・足立 覚 竹谷正明・片岡正博	820002	コンベア 自動仕分け制御装置	中野宣政・佐竹幸雄
819406	交流発電機の励磁装置	田中敏正・横田敦信	820003	レーザ 用固体色素Qスイッチ素子の製造法	{草川英昭・高橋健造 中原昭次郎・伊東克能
819407	移動物体の位置検知装置	{塩路孝夫・高田 努 小薮俊昭・室賀 淳 山崎英蔵・渡辺 治	820004	内部共振器型 ガスレーザ 管	谷口一郎・宮沢淑子
819408	距離算出方式	遠藤義昭・稲宮健一	820778	半導体装置の製造方法	土佐雅宣・西海 宏
819409	発電制動装置	横田 浩・合田啓治	820706	時限距離継電装置	三上一郎
819410	回転体の振れ検出装置	岩田年勝	820707	時限距離継電装置	三上一郎
819411	回転体の振れ検出装置	岩田年勝	820708	搬送保護継電装置	高田信治・前田耕二
819412	計測装置	村西有三	820709	系統切換え計算装置	石田 芳
819413	テープガイド 開閉装置	橋本公佑	820710	ドア 装置	福島 務・伊藤拓三
819414	打撃工具	入江 厚	820711	ヒステリシス 回路	{壺井芳明・梅田義明 笹尾勇夫
819415	定電圧装置	海老坂敏信	820712	巡回符号伝送方式	{笠原正雄・山内才胤 田中 智
819416	スケール 変換方式	中堀 一郎・淡野光章	820713	巡回符号受信方式	{笠原正雄・山内才胤 田中 智
819417	排気装置付調理 ユニット	酒井勝正	820714	巡回符号受信方式	{笠原正雄・山内才胤 田中 智
819418	RS フリップフロップ 回路	茂木 充	820715	継電器回路	藤井重夫・高田信治
819419	情報再生装置	藤尾芳男	820716	油圧操作装置	田辺俊雄・堤 透
819420	回路しゃ断器の熱動引外し装置	{松浦 清・井上泰男 渡辺澄男	820717	搬送保護継電装置	{古谷昭雄・中村勝己 坂本昌一
819421	電着用塗料の製造法	柴山恭一・地大英毅	820718	移動物体の位置検知装置	{山崎英蔵・大川清人 渡部 治
819422	録音再生方式	{宮沢生行・渡辺勢夫 久保高啓	820719	搬送保護継電装置	{古谷昭雄・鈴木健治 鈴木 愿・小角昌弘
819423	ネットワークプロテクタ	梅本隆司	820720	半導体装置の製作方法	中田仗祐
819424	放電間隙装置用消弧板の製作方法	{井上武男・阪本芳昭 平野昌彦	820721	欠陥自動検出装置	稻荷隆彦
819425	燃料 ポンプの動作規制装置	藤原弘之	820722	信号装置	福永武尚
819426	燃料 ポンプの動作規制装置	藤原弘之	820723	負荷分担制御装置	高岡明雄
819427	自動車用燃料 ポンプ制御装置	藤原弘之・川崎敏照	820724	車輪径補正装置	石本正明・金子弘美
819428	自動車用燃料 ポンプ制御装置	藤原弘之	820725	加熱用熱交換装置	{山本利雄・光本誠一 田畑則一
819429	発光 ダイオード 用樹脂組成物	{草川英昭・橋本 修 高橋健造・中尾佳生	820726	映像情報再生装置	{倉橋浩一郎・中田正矩 阿部正昭・西村晃一
819430	半導体装置の製造方法	{加藤忠雄・前山出男 長尾繁雄	820727	不要信号消去回路	仲森詰貢
819431	蓄熱装置	{成田勝彦・池内正毅 大串哲朗	820728	集成 マイカテープ 類の製造方法	柴山恭一・小野 博
819432	放射線発生源	{広 三寿・石田国彦 酒井睦夫	820729	機関用回転信号発生装置	才田敏和
819815	インバータ 装置	光岡 宏・岸本 健	820730	アンテナ 給電方式	水沢丕雄・橋本 勉
819816	方向判別装置	鈴木健治	820731	交流 チョップ装置の過電圧抑制装置	塚本昭三・矢野昌雄
819817	脱調検出継電器	三上一郎	820732	エレベータ 管理方式	篠崎裕久
819997	誘導円筒形比率差動継電器	三上一郎	820733	超音波探傷装置	大力健市

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
820734	自動位置決め制御装置	齊 藤 豊	820744	放電加工方法およびその装置	齊藤長男・小林和彦 丹羽進・高木茂
820735	電流測定装置	秋葉稔光・高倉康一 上田孝寿・磯貝文彦	820745	信号変化検出器	鳥居健太・金子弘美
820736	電流測定装置	秋葉稔光・高倉康一 上田孝寿・磯貝文彦	820746	パターン発生器	金子弘美・豊田武人
820737	線形増幅器の安定化回路	渡 辺 優・山本悌三	820747	リニアモータ列車の速度制御装置	尾畑喜行
820738	配電線用パイロット線地絡継電器	三 上 一 郎	820748	グリッドバイアス回路	橋 本 勉
820739	電動機速度制御装置	木村雅夫・飯田 博	820749	カラーファクシミリ用記録ヘッド	小林弘男
820740	リニアモータ列車の制御装置	尾畑喜行	820750	トランジスタ集積回路	堀場康孝
820741	移動目標検出装置	玉真哲雄・江口紀英	820751	位相差検出装置	田井昌輝
820742	回転力伝達装置	橋本公佑・川辺貞信	820752	接合細線引き上げ装置	山本 勇・小倉正久 山崎雅敏
820743	エレベータ用調速機	瀬原田三郎・駒場章雄	820753	有機感熱材料	草川英昭・野村健次
			820754	列車の速度応動装置	尾畑喜行

訂 正

Vol. 52, No. 4, P. 326「制御用双方向光伝送システム」のうち下記のような誤りがございましたのでお詫びして訂正します。

ページ			誤	正
328	表 3. 上から 2 行目	周波数帯域幅	10~32 MHz	10 Hz~32 MHz
329	表 4. "	"	20~38 MHz	20 Hz~38 MHz
"	表 6. 上から 1 行目	伝送帯域幅	20~20 MHz	20 Hz~20 MHz

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 52 No. 7 交通特集

特集論文

- 自冷式沸騰冷却チョップ装置
- マイクロコンピュータを使用した車載自動運転装置とその試験装置
- 近畿日本鉄道(株)納め変電所集中管理システム
- 鉄道車両用電気品のミニコン化単体試験装置
- 新しい操作卓による鉄道車両試験装置
- 高速道路交通流の統計的性質と事故検出手法

普通論文

- 高圧コンビネーションパネル
- 省エネルギーのための電力管理用機器
- 大容量かご形ボールチェンジ荷役ウインチ用電機品
- 4,000 V 2,500 A 高耐圧大容量サイリスタの特性
- 72~204 kV タンク形 GCB 新シリーズ
- 耐力点検出法電気レンヂ
- DA-501 形ダスト濃度計
- 東京電力(株)袖ヶ浦発電所 4 号 1,000 MW クロスコンパウンドタービン発電機

三菱電機技報編集委員

委員長	榎本俊弥	常任委員	久保田伸夫
副委員長	浦徳太郎	"	平林庄司
"	後藤正之	委 員	遠藤裕男
常任委員	佐々木二郎	"	村上卓弥
"	荒川信雄	"	神谷友清
"	葛野信一	"	橋爪 基
"	武藤 正	"	吉田 太郎
"	奈川敏雄	"	土井貞春
"	瀬原田三郎	"	松村長延
"	高橋広光	"	小野勝啓
"	忍足 博	幹 事	本間吉夫
"	武田克己	"	足立健郎
"	清田 浩	6号特集担当	清田 浩
"	福家 章		

三菱電機技報 52 巻 6 号

(無断転載を禁ず) 昭和 53 年 6 月 22 日 印刷
昭和 53 年 6 月 25 日 発行

編集兼発行人 本 間 吉 夫
印 刷 所 東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地
大日本印刷株式会社
発 行 所 東京都千代田区大手町 2 丁目 6 番 2 号 (〒100)
菱電エンジニアリング株式会社内
「三菱電機技報社」Tel. (03) 243 局 1785
発 売 元 東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地 (〒101)
株式会社オーム社書店
Tel. (03) 291 局 0811, 振替口座 東京 20018
定 価 1 部 400 円送料別 (年間予約は送料共 5,200 円)

スポットライト 三菱高周波解凍機



FFT-100形三菱高周波解凍機

近年の急速な冷凍食品の普及に伴い、解凍による食品の品質劣化防止、食品の歩留まり向上、さらに解凍時間の短縮など高度な解凍技術の確立が望まれています。

三菱電機では、このご要望におこたえて、高周波による誘電加熱技術を利用した業務用高周波解凍機FFT-60、FFT-100形の2機種を開発しました。

スーパーマーケット、ホテル、病院などの食品解凍、食品加工工場での原料解凍、養殖場での冷凍エサ解凍など幅広い分野でご利用いただけます。

特長

- 高周波によるスピード解凍なので、冷凍品の味、色、鮮度を損ないません。
- 冷凍品の内外を均一解凍しますから、すぐに陳列、加工、調理、生食ができ、解凍に伴うロスもありません。
- 解凍室内は、冷風で $-10\pm 5^{\circ}\text{C}$ に冷却されているので、雑菌が発生しにくく衛生的です。
- 冷却装置、解凍室、高周波電源などを一体化した全空冷式コンパクトタイプですから据付が容易です。

構成の機能

本製品は、上段部の冷却装置、中段部の解凍室、下段および背面の高周波電源の3つの部分で構成しています。

冷凍品を解凍室内の上下一対の電極板間にそう入し、冷却装置からの冷風により表面を冷却しながら、約13MHzの高周波電界で誘電加熱解凍します。解凍時間は冷凍品の種類、形状、重量、極板間隔などにより異なりますが、約10分～20分です。

●冷却装置

冷却装置は圧縮機、凝縮器、膨張弁、蒸発器、送風機などから構成しており、解凍室へ冷風を供給し冷凍品の表面冷却と雑菌の発生防止をしています。霜取りは短時間で確実なホットガスデフロストを採用しました。

●解凍室

解凍室内部は、上下に高周波電界を供給する一対の電極板と側部に冷風のダクトを収納しています。また、周囲は断熱を施し、熱侵入と結露を防止しています。

上部電極板は、スイッチ操作により上下昇降ができるため、冷凍品の種類、形状に合わせて印加電界をコントロールできます。

●高周波電源

高周波電源は、昇圧変圧器、整流器、真空管などから構成しており発振は自励発振方式を採用しています。

仕様

項 目	形 名	FFT-60	FFT-100	備 考
標準性能	定格解凍能力(kg/h)	60	100	パッチ処理 温度調節器により変更可
	定格電源 解凍室温度	3φ 200V 50/60Hz $-10\pm 5^{\circ}\text{C}$	3φ 200V 50/60Hz $-10\pm 5^{\circ}\text{C}$	
発振装置	定格出力(kW)	3	5	
	発振周波数(MHz)	13	13	
冷却装置	発振方式	自動発振	自動発振	
	真空管冷却	強制空冷	強制空冷	
解凍室	圧縮機定格出力(kW)	0.6	0.75	
	凝縮機冷却	強制空冷	強制空冷	
外形寸法(mm)高さ×幅×奥行	除霜方式	ホットガスデフロスト	ホットガスデフロスト	解凍物に合わせて上下させる
	有効寸法(mm)高さ×幅×奥行	280×700×500	280×850×650	
製品重量(kg)	極板間隔(mm)	100～300	100～300	
	解凍室冷却	冷風循環	冷風循環	
外形寸法(mm)高さ×幅×奥行		1,900×1,200×1,050	1,900×1,400×1,320	
製品重量(kg)		600	960	