

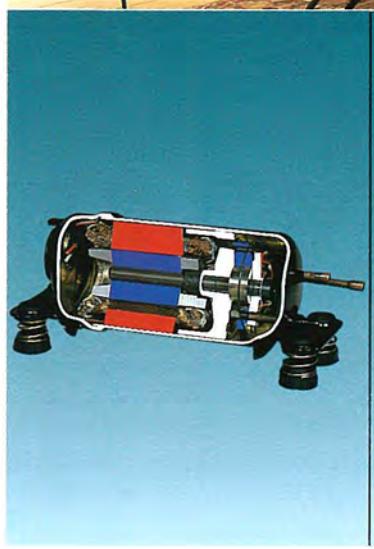
MITSUBISHI

三菱電機技報

Vol.68 No.5

特集“冷凍・空調—よりよい環境をめざして—”

'94 5



特集 “冷凍・空調—よりよい環境をめざして—”

目 次

特集論文

冷凍・空調特集に寄せて	1
大西 進	
冷凍・空調の現状と展望	2
山中悟郎	
空冷式水蓄熱ユニット	7
富田 健・大塚 修	
液冷媒噴射式シングルスクリュー圧縮機のシミュレーション技術	12
下地美保子・幸田利秀・平井哲夫・辻 清春	
ビル用エアコン“シティマルチ”PLHY-LKシリーズの低騒音化	17
倉地光教・岡部順二・亀山純一・山中宗弘	
マルチ型パッケージエアコンにおける高効率自律分散制御	22
四十宮正人・山下浩司・松岡文雄・榎本寿彦・柴田裕司・吉田孝行	
分流コントローラのアルミニウム製プレート型熱交換器	27
久森洋一・尾方善通・倉地光教・谷口雅昭・孝橋政雄	
床置ビルトイン形ロスナイ	32
和木勝彦・南 牧安	
都市型住宅用サニタリー・リビング換気システム	38
佐藤成人・大嶋兼芳・原 茂夫	
“パノラマアイ”を搭載したルームエアコン	45
鈴木仁一・日高 彰・吉田孝行・福田正彦・尾熊智子	
HFC-134a 対応ロータリ圧縮機及び搭載冷蔵庫	51
川口 進・清水辰秋・小西広繁・増田 昇・岡田嘉裕	
HCFC-141b 発泡冷蔵庫用断熱材／内箱材料	56
山田 祥・安部千佐・西本芳夫・横山淳一・鏡園 弘	
大型冷蔵庫用ツインメカ横置ロータリ圧縮機	62
川口 進・酒井正敏・前山英明	

普通論文

データ構造変換クラスライブラリ生成ツール	67
熱田ミハル・黒田清隆・高野 彰	
情報通信システム分野におけるサービスの体系化	72
稲本 悅	
広域監視制御システム“MELFLEXIII”シリーズ	78
田中英和・岡村 博・犀川真一・居安正勝・秋富利伸	

特許と新案

「4温度式冷蔵庫」「空気調和装置」	85
「短絡移行アーク溶接機」	86

スポットライト

床置ビルトイン形ロスナイ	84
超高層住宅用換気・空調用屋外端末部材“エクステリアパネル”	87
新形ホームエレベーター“WELL 2”	88
三菱エンジニアリングワークステーション エントリーモデル ME R7120-60/-80	89
小型・高機能インバータ“FREQROL-A024シリーズ”	90
HFC-134a 使用ターボ冷凍機 CTF 形	(表 3)

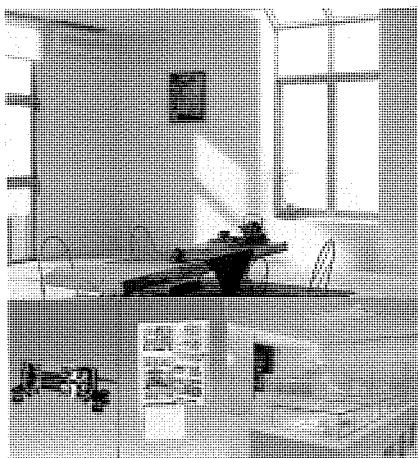
表紙

地球環境を大切にしながら快適性を追求

冷凍・空調機器の最適設計にコンピュータが役立つ。部品の構造や気流解析に新しい発想をもたらし、シミュレーションは開発時間を短縮し、費用を削減する。

持続可能な発展との理念のもと、地球環境のために特定フロンからの脱却は急務である。代替フロン HFC-134a を冷媒とするロータリ圧縮機は、新しい冷凍冷蔵庫の大きさと消費電力を従来並みに抑えた。

快適性の追求から、部屋の中の人体がどこなのかセンシングし、気流制御するエアコンが生まれた。ビルの空調も個別分散制御が拡大し、高気密、高断熱住宅向けに換気装置を開発した。ここでは、省エネルギーと見事に整合がとれている。



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

アブストラクト

冷凍・空調の現状と展望

中山悟郎

三菱電機技報 Vol.68・No.5・p.2~6 (1994)

フロン対策や省エネルギーなど地球環境問題の顕在化する中で、冷凍機・空調機は人への快適空間と物への高品質保存空間の創造が要求されている。ここでは家庭用冷蔵庫の脱CFC化と空調機等の脱HCFC化の現状、今後のエネルギー供給の推移から見た空調機の在り方等を展望する。加えて、高気密・高断熱住宅の普及を前にして、機器・システムの効率化、センサやロスナイを装備した換気技術による空気質向上、多機能シートポンプへの発展性等を論じる。

空冷式氷蓄熱ユニット

富田 健・大塚 修

三菱電機技報 Vol.68・No.5・p.7~11 (1994)

安価な夜間電力を利用した蓄熱式の空調システムの普及が進んでいる。特に氷の融解熱を利用する氷蓄熱方式は、従来の水蓄熱方式に比べて蓄熱槽を約1/10に縮小できるので普及が著しい。2クーラー方式の高効率熱源機と蓄熱容量を50%アップした蓄熱槽及び専用コントローラをユニット化し、製品化した。また、システムの大容量化に対応するため、新たに60~120馬力の大型機についてもシリーズ化した。

液冷媒噴射式シングルスクリュー圧縮機の シミュレーション技術

下地美保子・幸田利秀・平井哲夫・辻 清春

三菱電機技報 Vol.68・No.5・p.12~16 (1994)

大型冷凍・空調機に用いられるシングルスクリュー圧縮機は、当社独自の液冷媒噴射方式を採用し、圧縮行程から吐出行程に至るまで圧縮室内に液冷媒が存在する。このため、時々刻々変化する液冷媒の噴射量及び蒸発量を計算するとともに、漏れすき(隙)間部では気液2相流れモデルを取り入れた性能解析プログラムを開発し、広い容量範囲と運転条件で圧縮機の効率や冷凍能力を精度良く分析できるようになった。

ビル用エアコン“シティマルチ” PLHY-LKシリーズの低騒音化

倉地光教・岡部順二・亀山純一・中山宗弘

三菱電機技報 Vol.68・No.5・p.17~21 (1994)

天吊り形室内機は、小型分散化ビル空調の中心的な機種形態として成長し、高品質空調ニーズ特に低騒音化の要求が高まっている。天吊り2方向カセット形に関して、ダブル熱交換器による機内抵抗低下構造の採用と機内吸音及びシロッコファン改善により、NRN値(Noise Rating Number)40以下の中低騒音形室内機が開発できた。なお、発生音の種類とアノイアンス(総合的な迷惑感)の評価を関係付けた。

マルチ型パッケージエアコンにおける高効率自律分散制御

四十宮正人・山下浩司・松岡文雄・榎本寿彦・柴田裕司・吉田孝行

三菱電機技報 Vol.68・No.5・p.22~26 (1994)

高効率自律分散(エコノミー)と省フロン、保守負荷の低減など環境への適合(エコロジー)を目的とするエコサイクルを開発した。Heat Inter Changer回路とNext Stage Self-controlled制御の組合せである。前者はHeat Inter Changerを備えたバイパス回路によるSR(Self Return)効果を応用した高効率なスーパヒートとサブクールの同時自律分散制御を可能とし、後者は外気温度などの環境の変化に応じた圧縮機周波数と室外送風機回転数の同時制御により高効率化を図るものである。

分流コントローラのアルミニウム製プレート型熱交換器

久森洋一・尾方善通・倉地光教・谷口雅昭・孝橋政雄

三菱電機技報 Vol.68・No.5・p.27~31 (1994)

二管式冷暖同時マルチエアコンR2シリーズは、快適性・省エネルギー性・省スペース性を追求したもので、従来のパッケージエアコンと室内機の互換性がある当社独自の製品である。

今回、その中核ユニットである分流コントローラの小型化のため、従来のサブクール熱交換器に代わる多層アルミニウム製プレート型熱交換器の実現と複数の弁機能と配管機能をブロック化することに成功した。

床置ビルトイン形ロスナイ

和木勝彦・南 牧安

三菱電機技報 Vol.68・No.5・p.32~37 (1994)

中・大型ビルにおける空調方式は、集中空調方式から個別分散方式となり、さらにゾーン単位の空調方式が主流となりつつある。床置ビルトイン形ロスナイは、コンパクトエアハンド(Compact Air Handling Unit)との組合せを考慮した省スペース設計により、事務所と廊下との仕切り壁内などビル内の共用スペースの設置を可能にし、必要なゾーン単位、必要な時間帯の空調を可能にし、快適環境、省エネルギー性の向上を実現したものである。

都市型住宅用サニタリー・リビング換気システム

佐藤成人・大嶋兼芳・原 茂夫

三菱電機技報 Vol.68・No.5・p.38~44 (1994)

住宅の超高層・高気密化が進行しており、サニタリー系の換気扇を利用した新しい換気システムを開発した。このシステムは、インバータと圧力センサを搭載したサニタリー換気ユニット、リビングに外気を導入する給気ユニット、及び浴室用換気・暖房・乾燥ユニットで構成する。

このシステムの特長は、省エネルギーの観点から、常時、小風量換気することによって必要換気量を確保し、外風圧・室内負圧といった負荷の変動に影響なく、一定の風量に制御することである。

“パノラマアイ”を搭載したルームエアコン

鈴木仁一・日高 彰・吉田孝行・福田正彦・尾熊智子

三菱電機技報 Vol.68・No.5・p.45~50 (1994)

人体の移動による赤外線エネルギーの変化を検出して、人体の存在位置をリアルタイムで検知可能な人体検知センサと、より広角な風向制御を可能にする風向制御機構“広角ツインフロー”を開発し、“パノラマアイ”として“霧ヶ峰FS”シリーズに搭載した。人体検知センサで検知した人体位置情報をもとに、広角ツインフローを制御することによって、人中心の本格的な空調が可能となり、温度分布や気流の制御性が向上し、暖房時約15%の大幅な省エネルギーを達成した。

HFC-134a 対応ロータリ圧縮機及び搭載冷蔵庫

川口 進・清水辰秋・小西広繁・増田 昇・隅田嘉裕

三菱電機技報 Vol.68・No.5・p.51~55 (1994)

大気中のオゾン層を破壊しない冷媒HFC-134aを用いた冷蔵庫用ロータリ圧縮機及び搭載冷蔵庫を業界で初めて開発、実用化した。

冷媒と溶け合ににくい非相溶性の冷凍機油を採用し、圧縮機の新油分離機構による油循環量の低減や、冷凍サイクル内に新ヘッダを採用し、圧縮機への油戻りを確実にすることにより、この圧縮機及び冷蔵庫は、従来のエネルギー効率を維持し、しかも高い信頼性を確保することができた。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol.68, No.5, pp.27~31 (1994)

Multilayer Aluminum-Plate Heat Exchangers for Distribution Controllers

by Yoichi Hisamori, Yoshiyasu Ogata, Mitsunori Kurachi, Masaaki Taniguchi & Masao Kohashi

R2 Series dual-pipe multi-split-type air conditioners support simultaneous heating and cooling, and are designed for comfortable surroundings, and energy and space savings. It is also possible to connect them to the indoor units of the corporation's conventional packaged air conditioners. The article describes the technology developed to reduce the size of main unit's distribution controllers. Miniaturization was achieved by developing multilayer aluminum-plate heat exchangers, of the size has been reduced to half that of the corporation's conventional subcooler heat exchangers.

Mitsubishi Denki Giho: Vol.68, No.5, pp.32~37 (1994)

A Lossnay Heat-Exchange Element for In-Floor Installation

by Katsuhiko Waki & Makiyasu Minami

Decentralized air-conditioning systems employing multiple autonomous units that can be grouped and controlled by zone are currently preferred to centralized air conditioning in new medium and large-sized buildings. The article reports on a Lossnay heat-exchange element designed for in-floor installation for use with compact air conditioners. The elements can be installed in common areas such as the partition wall between an office and a hall. They support zone-level control and on-demand HVAC, helping to realize a comfortable environment while saving energy.

Mitsubishi Denki Giho: Vol.68, No.5, pp.38~44 (1994)

A Ventilation System for Airtight Dwellings

by Naruto Sato, Kaneyoshi Oshima & Shigeo Hara

The corporation has developed a ventilation system for the well-sealed dwellings typical of modern high-rise buildings. The system maintains a clean environment (hygienic zone) in the dwelling through judicious control of ventilation. It consists of a ventilation unit with an inverter-controlled motor and pressure sensors, an air-supply unit installed in the living area, and a ventilation, drying and heating unit for the bath. The controlled ventilation reduces the energy required for heating and cooling. The system is not affected by wind pressure or changing indoor/outdoor pressure differentials.

Mitsubishi Denki Giho: Vol.68, No.5, pp.45~50 (1994)

"Panorama Eye" for Room Air Conditioners

by Shin'ichi Suzuki, Akira Hidaka, Takayuki Yoshida, Masahiko Fukuda & Tomoko Oguma

The corporation has developed a "Panorama Eye" function for its 1994 FS series room air conditioners. Signals from infrared sensors on the indoor unit are processed in real-time to locate people in the room. This information is used to control the airflow direction and to adjust wide-angle controllable louvers. The system adapts to provide maximum comfort to room occupants, achieves more uniform temperature distribution and airflow, and reduces heating costs by a dramatic 15%.

Mitsubishi Denki Giho: Vol.68, No.5, pp.51~55 (1994)

An HFC134a Rotary Compressor for Refrigerators

by Susumu Kawaguchi, Tatsuaki Shimizu, Hiroshige Konishi, Noboru Masuda & Yoshihiro Sumida

The corporation has developed the world's first rotary compressors for refrigerators using the CFC-alternative refrigerant, HFC134a, which does not harm the ozone layer. The compressor employs an insoluble refrigerating oil (i.e. not soluble in the refrigerant) and a new oil separator that reduces the amount of oil in the refrigerant circuit. Furthermore, the refrigerator employs a new header. These measures result in a more reliable oil return. Refrigerators using the new compressor will offer the same energy efficiency and high reliability as current models.

Mitsubishi Denki Giho: Vol.68, No.5, pp.2~6 (1994)

Overview of Air-Conditioning and Refrigeration Technology

by Goro Yamanaka

Global environmental issues such as ozone layer preservation and energy conservation are influencing refrigerator and air-conditioner designs. The article surveys technology for CFC-free household refrigerators and HCFC-free air conditioners, and speculates on how power-supply trends will effect future air-conditioning systems. The article notes trends toward better airtightness and thermal insulation of homes in Japan, more efficient equipment and systems, ventilating technology using sensors and Lossnay heat-exchange elements, and advanced multifunction heat-pump technology.

Mitsubishi Denki Giho: Vol.68, No.5, pp.7~11 (1994)

Air-Cooled Ice Storage Units

by Ken Tomita & Osamu Otsuka

Thermal storage air-conditioning systems that take advantage of low-cost night-time electricity rates are increasing in popularity. Ice-based units—which are especially popular—exploit the latent heat of melting to create ten times the heat energy per unit of tank volume as water-based units. The corporation has marketed a series of commercial products with capacities ranging from 60~120 horsepower that integrate a highly efficient two-cooler heat source, a tank with 50% higher thermal capacity than conventional models, and a dedicated control unit.

Mitsubishi Denki Giho: Vol.68, No.5, pp.12~16 (1994)

Simulation Technology for a Liquid Injection Single-Screw Compressor

by Mihoko Shimaji, Toshihide Koda, Tetsuo Hirai & Kiyoharu Tsuji

Single-screw compressors for the corporation's large freezers and air-conditioning systems employ a unique liquid refrigerant injection technology in which the refrigerant remains in the screw grooves from compression through discharge. We determined refrigerant injection and evaporation rates under various conditions using a specially developed performance-analysis program that models two-phase gas-liquid flow in the leakage paths. Use of simulations has led to better predictions of cooling capacity and enhanced performance over a wider range of outputs under a variety of conditions.

Mitsubishi Denki Giho: Vol.68, No.5, pp.17~21 (1994)

"City-Multi" Air Conditioners for Building Use

by Mitsunori Kurachi, Junji Okabe, Jun'ichi Kameyama & Munehiro Yamanaka

Small, ceiling-mounted cassette-type indoor conditioners are widely used for decentralized HVAC applications in buildings. To satisfy demand for low-noise equipment, we developed a two-way unit with a double heat exchanger that reduces the pressure drop, noise-absorbent internal construction, and an improved sirocco fan. The noise-rating number for the new units is less than 40. The authors also studied various types of noise and quantitatively defined the relation between noise type and subjective annoyance.

Mitsubishi Denki Giho: Vol.68, No.5, pp.22~26 (1994)

Highly Efficient Coordinated Distributed Control for Multi-Type Package Air Conditioners

by Masato Yosomiya, Koji Yamashita, Fumio Matsuo, Toshihiko Enomoto, Yuji Shibata & Takayuki Yoshida

The article introduces an "eco-cycle" that realizes highly efficient coordinated distributed control of networks of autonomous multi-type packaged air-conditioning systems, and lowers maintenance requirements. A self-return function implemented by a bypass line with a heat interchanger is capable of simultaneously controlling superheating and subcooling. The control system continuously varies the compressor frequency and outdoor-unit fan speed for maximum efficiency.

アブストラクト

HCFC-141b 発泡冷蔵庫用断熱材／内箱材料

山田 祥・安部千佐・西本芳夫・横山淳一・鏡園 弘
三菱電機技報 Vol.68・No.5・p.56～61 (1994)

代替フロン HCFC-141b を発泡剤とする冷蔵庫断熱材と対応する内箱材料を開発した。代替フロン HCFC-141b は、従来の CFC-11 と比較して熱伝導率が約10%大きく、内箱材(ABS樹脂)に対して高い樹脂溶解性を示す。そのため樹脂を剛直化するとともに、ウレタンフォームのセル径の均一微細化により、従来と同等以上の断熱性能を実現した。また、特殊ゴムの配合と組成の最適化により、耐フロン性・真空成形性・熱安定性に優れる ABS 系内箱材料を得た。

大型冷蔵庫用ツインメカ横置ロータリ圧縮機

川口 進・酒井正敏・前山英明
三菱電機技報 Vol.68・No.5・p.62～66 (1994)

冷蔵庫は大型化の傾向にあり、冷凍能力の大きな圧縮機が必要となるが、圧縮機の騒音・振動はともに増加しやすい。ツインメカ横置ロータリ圧縮機は、モータの両端に一对の圧縮要素を配置した両持ち2シリング構造を採用することで、低周波の電磁音を抑えることができ、圧縮機単体の騒音を10dB(A)、振動を1/5に低減した。効率でも各種損失を改善し(圧縮機単体で10%)、この圧縮機を搭載した480 l 冷蔵庫で59kWh/月の業界一の省エネルギーを実現した。

データ構造変換クラスライブラリ生成ツール

黒田ミハル・黒田清隆・高野 彰
三菱電機技報 Vol.68・No.5・p.67～71 (1994)

ソフトウェアのデータ入出力に着目し、プログラミングの簡易化を検討している。UNIX ツールの yacc は、入力データ構造の簡潔な記述から入力解析プログラムを生成するが、データを構造化して出力するツールはなく、プログラミングが必要である。このデータ出力部設計上の問題解決のため、yacc 風の出力記述からデータ構造変換を行うプログラムを自動的に生成するツールを開発した。これによりデータの一貫性とプログラムの可読性を向上させ、ソフトウェア設計の効率化を図った。

情報通信システム分野におけるサービスの体系化

稻本 悠
三菱電機技報 Vol.68・No.5・p.72～77 (1994)

三菱電機は、日々重要性を増すシステムサービスへの顧客満足度向上を目的として、情報通信システムサービスを“SATISFY”の総称のもとに体系化した。これは、当社におけるシステム開発のノウハウを集大成したシステム生産標準“SPRINGAM”をベースに、システムレイヤとシステム生産プロセスの全域にわたるサービスを体系化したものである。本稿では①サービス体系化の概念、②サービス体系の定義、③サービスメニュー展開、④システム生産標準との関連について論じる。

広域監視制御システム“MELFLEX III”シリーズ

田中英和・岡村 博・犀川真一・居安正勝・秋富利伸
三菱電機技報 Vol.68・No.5・p.78～83 (1994)

広域監視制御システムの大規模・高機能化ニーズに対応するため、32ビットマイクロプロセッサと CTRON-OS を採用した MELFLEXIII シリーズを開発した。

このシリーズでは、高速専用バスによる MELFLEX 装置間の接続や、バス型標準 LAN による UNIX 系 EWS 等との結合を実現しており、分散処理システムを容易に構成できる。また、クラッシュファイル/ログ機能等を持たせ、障害解析力を大幅に向上させた。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol.68, No.5, pp.72~77 (1994)

Systematization of Information and Communication Services

by Atsushi Inamoto

The corporation has systematized its information and communication services to increase customer satisfaction. The SPRINGAM, a system production standard which embodies the corporation's system development know-how, has been used to organize the system layer and the full range of system production processes. The article explores: (1) service systematization concept, (2) service system definition based on the concept (3) service menu development from the definition, and (4) the relationship with system production standards.

Mitsubishi Denki Giho: Vol.68, No.5, pp.56~61 (1994)

Refrigerator Insulation and Inner Liner Compounds for Use with HCFC141b

by Akira Yamada, Chisa Abe, Yoshio Nishimoto, Jun'ichi Yokoyama & Hiroshi Kagamizono

The corporation has developed improved compounds for refrigerator insulation and inner liners suitable for use with the CFC-alternative HCFC141b. This foaming agent has a thermal conductivity approximately 10% higher than (the previous) CFC11, and is strongly solvent for conventional acrylonitrile butadiene styrene (ABS) resin, used for inner liners. Problems were addressed by developing a high-integrity polymer and achieving more uniform microcellular cells in the rigid polyurethane foam. Thermal insulation efficiency is as good as or better than existing technology. The ABS resin is resistant to stress cracking (induced by the foaming agent), suitable for vacuum forming, and has high thermal stability.

Mitsubishi Denki Giho: Vol.68, No.5, pp.78~83 (1994)

The MELFLEX III Series Wide-Area Supervisory Control System

by Hidekazu Tanaka, Hiroshi Okamura, Shin'ichi Saikawa, Masakatsu Iyasu & Toshinobu Akitomi

The MELFLEX III Series supervisory control system employs 32-bit microprocessors and the CTRON operating system to provide the enhanced functions and capabilities needed to operate wide-area supervisory networks. High-speed custom data buses link MELFLEX units, which in turn are networked to UNIX workstations via LAN to support easy distributed processing. A crash file and logging functions greatly facilitate system fault analysis.

Mitsubishi Denki Giho: Vol.68, No.5, pp.62~66 (1994)

A Twin-Mechanism Rotary Compressor for Large-Capacity Refrigerators

by Susumu Kawaguchi, Masatoshi Sakai & Hideaki Maeyama

The corporation has developed a twin-mechanism rotary compressor that addresses noise and vibration problems in larger refrigerators. By orienting the motor axis horizontally, mounting dual compressor mechanisms on either end of the rotor, and supporting the motor at both ends, the authors have reduced the measured noise level for the compressor alone to 10dB (A), cutting vibration by 80% and minimizing low-frequency electromagnetic noise. Various operating losses have also been lowered, leading to a 10% improvement in compressor efficiency. The compressor consumes just 59kWh/month installed in a 480-liter refrigerator.

Mitsubishi Denki Giho: Vol.68, No.5, pp.67~71 (1994)

A Class-Library Generator for Data-Structure Transformation

by Miharu Atsuta, Kiyotaka Kuroda & Akira Takano

The UNIX tool "yet another compiler-complier (yacc)" generates programs for analyzing input data from a concise definition, but provides no functions for structuring the output data. Programs to accomplish this task must be coded by hand. The authors have developed a tool that accepts yacc-like output specifications generates programs for performing data-structure transformations. The tool enhances data structures and program legibility, thereby boosting software design efficiency.

冷凍・空調特集に寄せて

常務取締役

住環境事業本部長

大西 進



平成6年度はわずかながら経済成長が見込まれる予測があり、ぜひ、そのように期待したい。昨年はオイルショック以来のマイナス成長で、おまけに冷夏であったから、建設関連への刺激策があっても空調機器の販売実績ははかばかしいものではなかった。空調事業はお天気依存の“第一次産業”と言う仲間がいるが、ある意味では遠からずである。しかし、見方によっては40年振りの冷夏であってもルームエアコンの実需が500万台あった事実は、お天気依存のウェイト低下を示し、我々の事業戦略を幾らか容易にしている。

さて、我々が売っているものは何だろう。自らを“メーカー”と認じているだけに空調機器を製造している意識が強いのであるが、最近では快適な環境を提供する商売であらねばならない。鋼板の箱、銅管やアルミニウム製の熱交換器が工場を出るのは目の前の現象であって、お客様は冷暖房や適切な換気の機能をお客様の希望する価格帯で購入されているのである。大きい空調機器から脱皮して、低騒音である、小型である、ビルトインして室内・室外ユニットが見えないなど、できるだけ存在を主張しない物と制御方法による“空調機能”を所々で指示しているところである。製品群をもう一度、お客様の視点で確認する必要がある。

これまでの約半世紀を振り返ってみれば、戦争後の食生活・衣生活の向上に同期するように、電気釜や洗濯機に端を発した家電は成長期であった。それを支える技術は、生活に都合のよい状態を維持しようと、様々な便利な製品を大量生産してきた。家事が省力されて余暇時間を創出し、居住空間に快適な冷暖房、夜は明るい照明、教養・娯楽の映像、遠方との会話に電話をというように、一見したところ、暮らしやすい環境が造られた。家の中はまあまあでも、外には地球規模の環境対策が急務となった。生活に多量の

エネルギーを費やし、地球は温暖化の一途となっている。便利に使った性能の優れた洗浄剤や冷媒がオゾン層の破壊に関係していた。廃棄物の処分場は不足していると…。

こぞって考え方を環境重視にしなければならない。空調事業に当たはめれば、次のようになる。機器・システムは、製造・販売・使用・再資源化・廃棄までのライフサイクルを省資源・省エネルギーに、冷媒は特定フロンから代替フロンへ転換し、再資源化やごみの減量化につなげる材料・構造を選ぶ設計にする。そして、これらの機器の適切使用をお願いする。サービス体制を整備し、お客様が安心して長期使用できる技能を向上させる。ライフエンドの再資源化やごみの減量化には、社会システムとの整合を図りながら、支援する。

ここで、最近の当社の設計例を引いてみる。3割小さく3割軽いエアコン室内ユニットは、存在主張が小さいだけでなく、将来のごみを3割減量化するだろう。HFC冷媒のロータリ圧縮機を搭載した冷蔵庫は、代替フロンへの転換を従来機種なみの消費電力量で達成し、省エネルギーを継続できた。エアコン・冷蔵庫などで使用した大きいプラスチック部品には、再資源化の際の分別の便で材質表示をした。また、解体時間を短縮する構造変更をしたり、再生材プラスチック部品も部分的に採用している。製品の緩衝設計から包装資材を削減した。

これらの環境対策は、製造コストの多少の増加を伴う場合もあるが、物流やサービスコストが低減となる。また、再資源化がしやすい社会システムの構築に寄与できるから、総合的な評価が望ましい。目前の特定部分をとらえた従来のコスト評価を脱して、人類の持続的発展ができる環境を目指した製品開発をしていきたい。

本号のサブタイトル—よりよい環境をめざして—は、室内環境だけでなく、青い地球を脳裏に浮かべた。

冷凍・空調の現状と展望

中山晤郎*

1. まえがき

冷凍・空調の目的は、人間にとて心地よい住環境、また食品等にとって高品質保存の環境、すなわちハイアメニティな空間を提供することにある。

従来、冷凍機・空調機には高効率化、低騒音化、コンパクト化、高信頼性化等の観点から高性能化が図られてきた。その結果、既に成熟の域にあると見られるが、最近のより高度な市場ニーズにこたえていくには、まだ多くの技術的課題が残されている。現代的な空調技術の歴史はまだ30年程度であり、“ハイアメニティとは何か”について確立したコンセプトも不十分である。人間生活の充実とともに、今後ますますアメニティへの要求は高まる予想され、これからは人間や動植物の生理など科学的な知見に基づいた空間創造でなければならないだろう。

快適空間への要求にこたえ、量的拡大をした空調機・冷凍機は環境に及ぼす影響も大きくなり、地球環境との共生が重要な課題となっている。性能、安全性、価格等の点で最良と思われたフロン系冷媒がオゾン層を破壊すると指摘され、それに続いてフロン自身とフロン等を使用した機器の運転に伴うCO₂発生による地球気候変化(温暖化)問題も顕著になってきた。発電所におけるCO₂の発生抑制のため、電気式ヒートポンプには高効率化による省電力が必要となり、さらに未利用エネルギー・ソーラー等の新エネルギーの活用が効果的となる。インバータ空調機に不可欠なパワーエレクトロニクスの発展は圧縮機の容量制御を可能としているが、この結果生ずる電源高調波は電力用機器を始めとした他の機器の正常動作を妨げることとなる。

今後の住宅構造は高気密・高断熱指向であり、断熱を高めることによって空調負荷を低減できる。同時に、高気密下での空気質向上には熱回収による省エネルギー機能を備えた換気が重要となる。ハイアメニティな空調には従来の対流方式だけでなく、ふく(輻)射方式との併用が主流となろう。グローバルな観点からのエネルギーの多様化に対応した機器とシステム開発など、新しい理想的な空調・冷凍方式の考案と実用化を目指し、そこにフロン代替化や省エネルギーを始めとした地球環境保護とアメニティの調和を図っていかねばならない。

2. 機器開発と環境共生

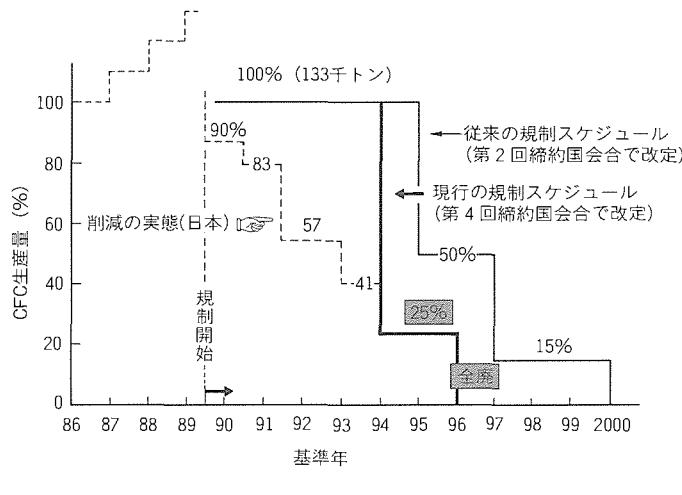
今後の機器開発と関連する地球環境との調和・共生について考慮すべき要因を述べる。

2.1 オゾン層保護

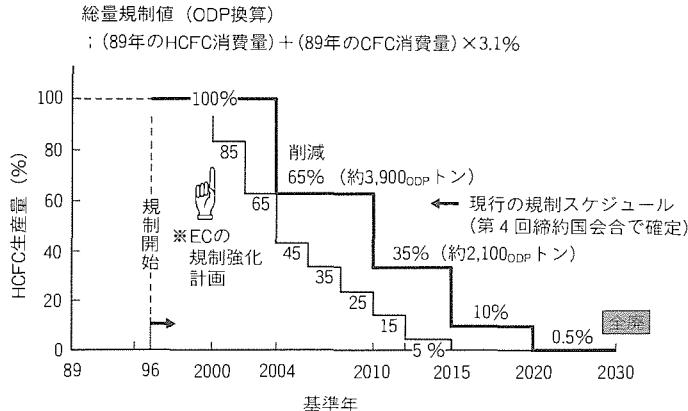
1974年のローランド教授らによる冷凍機・空調機用冷媒であるCFCのオゾン層破壊の可能性の指摘以来、HCFCも含めてオゾン層保護のため、これらの破壊物質の使用削減と全廃計画がモントリオール議定書締約国間で合意されている。図1は1992年の締約国会合での合意内容を示し、オゾン破壊性の強いCFCは1995年末、また破壊性がCFCに比べて大略1/10以下のHCFCは2020年の(実質)新規冷媒生産全廃となる。

2.2 地球気候変化

地球温暖化のメカニズムは明確ではないが、CO₂ガスや



(a) CFC



(b) HCFC

図1. CFC及びHCFCの規制スケジュール(暦年)

冷媒自身による影響が指摘され、欧米を初めとして各国での対策が急務になりつつある。

米国では“地球温暖化防止行動計画”において2000年以降のCO₂排出量を1990年レベルに維持する動きがある。CO₂ガスの発生は、石油使用量と関連するためCO₂ガスの削減は機器の効率向上が効果的である。省エネルギー法の施行を待つまでもなく、機器の効率化は本質的課題であり、冷凍機・空調機のこの面への注力は不可欠である。

フロンの大気放散防止については、例えば米国ではClean Air Actによって禁止されているように、何らかの強制力も必要である。最終的には回収フロンの破壊技術の実用化等が必要となる。

2.3 エネルギー情勢

省エネルギーは、1970年代のオイルショックによってその重要性が認識され、バブルの崩壊後は温暖化の観点から再びクローズアップされてきた。特に、家庭用冷暖房エアコンには1998年の省エネルギー法の改正が予定され、機器の効率向上への開発が急務になっている。

我が国の石油依存率の低下は天然ガス、ソーラー等の新エネルギーのシェアの増大につながっている。図2の1992年度のエネルギー供給構成によれば、10年後の石油依存率は

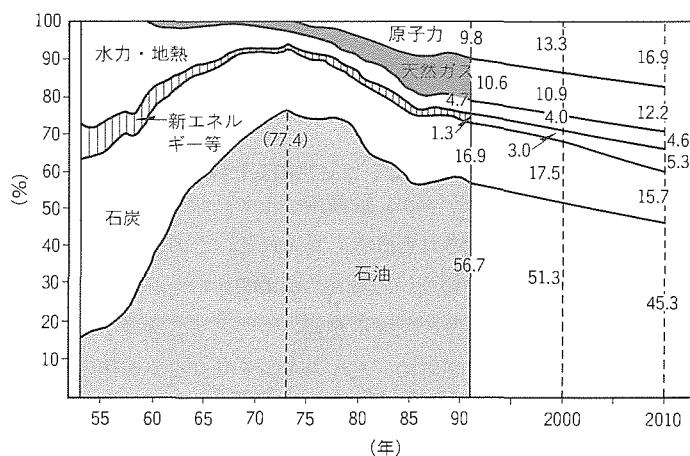


図2. 日本の一次エネルギー供給構成の推移⁽¹⁾

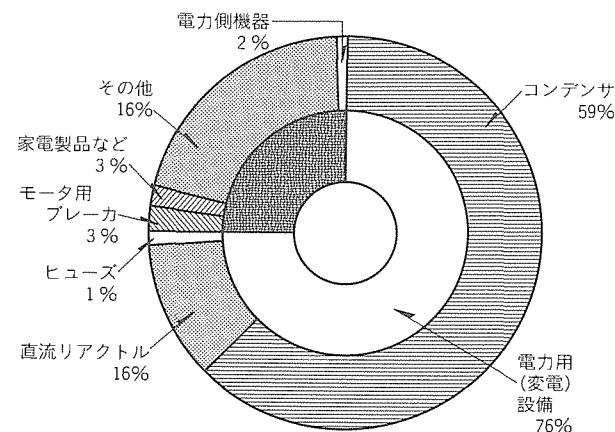


図3. 電源高調波障害を受けた機器⁽²⁾

1991年の56.7%から51.3%に低下し、ガス、ソーラー等の新エネルギーの増加が分かる。このような傾向の中で現時点においても、フロン問題も関連してエネルギー源の多様化に対応した熱駆動式熱源機の高性能化と新方式の実用化が必要となってきた。また、原子力の伸びも予測され、夜間の余剰電力の有効利用にブレークスルーが期待される。

2.4 電源高調波規制

パワーエレクトロニクスの急速な進歩は、特に空調機のインバータ容量制御のための半導体応用を普及させた。この電子回路におけるコンデンサの充放電に伴って発生する電流波形のひずみ(歪)が送電経路を経由して電力設備に大きい影響を与え、社会問題になりつつある。図3には電源高調波の障害の状況を示す。発熱、焼損、うなり等の症状が現れ、最も大きいものはコンデンサとリアクトルで、電力用設備全体で76%を占めている。

このような波形歪による高調波の発生を規制すべく、ヨーロッパではIEC(国際電気標準会議)が中心となって規格を定め、1996年1月から施行されることになっている。我が国でも(社)日本冷凍空調工業会や(社)日本電機工業会等によって同様な規格立案が検討されている。

3. 冷凍機・空調機の現状と将来

3.1 代替フロン対応

(1) 冷凍・冷蔵分野

従来、家庭用冷凍冷蔵庫には発泡剤としてCFC-11が、また冷媒としてCFC-12が使用されていた。しかし、いずれも脱CFC化技術がほぼ確立され、1993年秋には発泡剤にはHCFC-141b、そして冷媒にはHFC-134aを主とした代替化冷蔵庫が上市され、1995年末にはすべてが対策される計画である。しかし、発泡剤にはまだ若干のオゾン破壊性を持つHCFC-141bが利用されている。さらに、冷媒にはオゾン破壊係数(ODP)が0のHFC-134aへの転換が達成されているが、この冷媒は自己潤滑性が乏しく、圧縮機(特にロータリ形)との適合性に難がある。このため、レシプロ形圧縮機にはHFC-134a、またロータリ形にはHCFC-22との組合せで実用化を図っている。他方、当社では非相溶性の潤滑油の使用、圧縮機の新構造化等の独自の技術開発により、他社に先駆けてロータリ圧縮機とHFC-134aの理想的組合せを達成した。

一方、欧州製品の一部にはODPが0、そして地球温暖化係数(GWP)も極めて小さいシクロペンタン発泡や炭化水素系冷媒を搭載した冷蔵庫が製品化されている。これら炭化水素系物質は強い可燃性を示し、機器設計、製造工程、使用等の上で細心の注意が必要である。今後これらの使用には、地球環境の保全と機器の安全性とのトレードオフの上で慎重な検討を要する。

CFC-12やR-502の低温機も1991年度からHCFC-22へ

の代替化が始まり、1993年度にはほぼ完了する計画である。HCFCの使用は、まだ長期間の使用が許されるが、将来はHFC等に転換されねばならない。

(2) 空調分野

パッケージエアコンやルームエアコン用の冷媒には現在HCFC-22が主として使用されている。HCFC-22の代替冷媒評価は、米国ARI(Air-Conditioning & Refrigeration Institute)を中心としたAREP/TC(Alternative Refrigerant Evaluation Program/Technical Committee)と、それに協調した(社)日本冷凍空調工業会・JAREP/TC委員会で検討されている。

評価内容は、各種の代替冷媒を用いた圧縮機のカロリーメータテストとユニットへのドロップインテスト、さらに代替冷媒に対する若干の設計変更を施したソフトオプティマイズドテスト等から構成されている。今のところ衆目的一致した統一的な冷媒は存在しないが、現在有望視されている代替冷媒としては、HCFC-22と諸特性が類似した非共沸混合冷媒HFC-32/125/134a、圧力レベルは高いが共沸性に近い冷媒HFC-32/125等がある。

表1には代表的HFC冷媒とそれらの混合冷媒の特性を示す。これらの候補冷媒には、微弱ではあるが可燃性を持っているHFC-32を含んでおり、この可燃域を回避するための各成分の混合比決定が大きい問題点となっている。

CFC-11や12を使用する大型冷凍機の分野もHCFC-22や123又はHFC-134a化が達成されつつある。将来的にはHFC化が必要であるが、特に低圧冷媒であるHCFC-123の代替冷媒は有力候補が挙げられておらず、今後の注力が必要である。

HCFCの新規生産の実質的全廃は図1に示されるように2020年であり、脱HCFC冷媒を搭載した空調機の市場出現はまだ先であるといえる。当面は機器内のHCFC使用量を低減し、不測の放散時にも悪影響を最小限に止める努力も必要である。また、複雑な冷媒配管を持ち、かつ精巧(緻)な冷媒制御を必要とする空調機のHFC代替実用化では、製品の信頼性維持、多機種・多シリーズへの転換のための開発、機器の効率低下対策等を勘案すれば慎重に進めなければならず、相当な開発期間が必要である。

3.2 省エネルギーと快適性の追求

(1) 機器・システムの進化

現在、戸建て及び集合住宅の空調機は、1対1(室外機1台と室内機1台)形ルームエアコンが主流で

ある。この数年は、室内外機のコンパクト化を第一として、加えて低振動・低騒音化が重視されてきた。しかし、最近では省エネルギー法への対応として機器の高効率化への機運が高まりつつあり、この動向はグローバルな環境保全の観点からも一層活発化してくるだろう。

機器の効率向上は、構成要素機器の向上を基本とするとともに、効率的なサイクル制御による効果が期待できる。特に、インバータ等による制御技術が負荷に応じた空調能力を与え、起動・停止に伴う損失も軽減し、省エネルギーと快適性を向上させている。これは安くて、高性能なマイクロプロセッサによるところが大きいが、反面、電源高調波を誘起し、新たな環境問題を引き起こすもととなっている。

現在、主流の1対1方式からマルチ方式にシフトしつつある。特に、ビル空調ではマルチ化が全盛といえ、家庭用にもハウジングエアコンとして普及しつつある。さらに、先進的な高層集合住宅では給湯や蓄熱機能を備えた多機能ヒートポンプの普及の兆しも見えてきた。混合冷媒技術等に支えられた多温度生成機能は、次世代多機能ヒートポンプの核をなすものといえよう。

高気密・高断熱住宅の普及も近く、これによってエネルギー消費の大幅低減を図ることができるが、同時に従来以上の快適な空間を創造しなければならない。気密度の高さは換気の重要性を一層高め、快適な空気質を得るために各種のセンサを導入したエネルギー回収可能なロスナイ装備の換気制御が有力である。

ビル空調では、従来チーリングユニットを中心に開発されていた氷蓄熱システムが、設備用パッケージやビル用マルチエアコンにも搭載される動きも見られる。このシステムには償却期間の長さが普及への最大の障害であったが、受電量契約での有利さや各種の助成策が整いつつあって急速な普及拡大が予想される。さらに、ビルのインテリジェント化は、今以上に進展し、そこに設置されるOA機器の増加は同一フロ

表1. 主な代替候補冷媒の特性

代替冷媒 特 性	HCFC-22	HFC-134a	HFC- 32/125/134a (23/25/52)	HFC- 32/125 (50/50)	HFC- 32/134a (25/75)
HGWP CFC-11=1(基準)	0.36	0.25	0.38	0.51	0.23
可燃性	不燃	不燃	実用上不燃	実用上不燃	実用上不燃?
冷媒の取り扱い	単一冷媒	単一冷媒	非共沸冷媒	擬共沸冷媒	非共沸冷媒
理論COP比 HCFC-22基準	1.00	1.01	0.97	0.88	0.97
能力比 HCFC-22基準	1.00	0.64	1.00	1.37	0.89
吐出圧力 P_{dabs} (MPa)	2.03	1.39	2.19	3.17	1.88
吐出温度 T_d (°C)	101	78	91	98	84

計算条件: 凝縮温度 $T_c=52^\circ\text{C}$ 凝縮器出口過冷却度 $\Delta T_c=5^\circ\text{C}$
蒸発温度 $T_e=5^\circ\text{C}$ 蒸発器出口過熱度 $\Delta T_e=10^\circ\text{C}$

アにおいても冷房と暖房の同時運転が要求される場合が増えている。

(2) 快適空間の創造

快適な空間創造のため、この10年来の課題としてルームエアコンやパッケージエアコンには送風機を始めとした低騒音化が図られ、統いて室内温度分布改善のための気流制御が主流となってきた。最近では、より進化した手法として人体検知等のセンサを用いたきめ細かい気流制御に発展しつつある。

ビル空調には換気による空気質向上、さらにセンシングを備えた気流制御による温度分布の改善から細かいゾーン空調の実現が期待される。これらは、換気冷房による省エネルギー化と居住者の存在領域に限定した空調の実行による省エネルギーの効果も得ることができる。

今後普及する高気密・高断熱住宅は、少ないエネルギーで24時間空調を実現し、より快適な空間を創造することを目的としている。これには換気・空気処理・熱回収・蓄熱といったシステム化が必要となり、人体検知センサ、においセンサ、各種のガスセンサ等の導入により、一層の空気質向上に努める必要がある。

輻射空調の快適性が提案されて久しいが、その普及は必ずしも十分ではない。省エネルギーでかつ快適な空間形成として、従来の対流方式に併用した輻射方式の在り方が有望視されている。例えば、ビルのペリメータ領域は輻射空調で補完する方式がより良く、同様に一般住宅においても高気密・高断熱化の普及により、輻射空調のウェイトが増加すると思える。

一方、食品等の高品質保存にはガス雰囲気や温湿度条件の制御が実用化の域になっている。ガス雰囲気制御では食品から出るエチレンガスの除去が食品の劣化を防ぎ、湿度90%を維持する低温高湿度保存の効果も確認され、製品化も試みられている。今後は食品生理等の科学的研究の進展により、一層効率の良い手法も開発されるだろう。また、雑菌等の菌制御技術としてイオンやオゾン、酸素等の効果も実用につながっていく。これらの技術は、大型貯蔵倉庫から家庭用冷凍冷蔵庫に応用されていく。

本格的なハイアメニティの創造には、空調では視覚、聴覚等の人間の感性への理解、また保存では食品の生物学的なカニズム等の科学的アプローチも不可欠である。

3.3 エネルギーの多様化

ビル空調の熱源機方式は、図2の一次エネルギーの供給推移や最近の脱フロン対応からも変化しつつあり、1992年度半ばに直膨方式から水方式への移行が見られ、吸式冷温水機の伸長が顕著になっている。吸式冷温水機は地域熱供給システムの拡大傾向や、将来成長するであろうコジェネレーションや各種機器の排熱利用と未利用エネルギー活用の観点から、更に重要性を増加させるであろう。

また、電気・ガス・石油・排熱等のエネルギー源の多様化は、ガスエンジン駆動ヒートポンプを普及させたが、将来的には省メンテナンスで低排ガスや低振動・低騒音等の特長を持つスターリングエンジンやビルミエ等の外燃機関の発展も予想できる。

環境との共生からは、住宅のエネルギー源としてソーラーエネルギーの活用が不可欠となる時代が近いと予測できる。ソーラーエネルギーの普及拡大は、クリーンなエネルギーとして最も期待され、安価で効率の高いソーラーセルの開発がかぎ(鍵)である。最近では発電した余剰電力の逆潮流が制度化され、政府補助金政策ともあいまって最大の問題点であった経済性の改善も図られ、普及促進が期待できる。

4. 製品を支える基盤技術

冷凍機・空調機は成熟製品と位置付けられ、飛躍的な高性能化は容易でなく、従来のマクロ的な開発手法では限界に近づきつつある。これからは、よりミクロで、基礎技術に基づいた研究開発からブレークスルーが生まれてくる。

4.1 機器の機能・性能の革新

機器・システムの効率向上は、圧縮機、熱交換器等の基幹要素機器と冷凍サイクルシステムの両面がある。スクロール圧縮機には効率向上と低振動・低騒音が期待できるが、飛躍的なシール技術を生み出すトライボロジーが重要となる。空調用熱交換器のブレークスルーは、フィンや伝熱管溝形状の刷新がミクロな熱流動解析等に基づく伝熱促進技術により、また非共沸混合冷媒の実用化に伴った新形態熱交換器の創出により、大幅な性能向上も期待できる。ユニットの小型化や熱交換器の効率向上などから、送風機には空力性能の向上が要求されることが多いが、同時に低騒音への要求を常に伴っている。これからは、翼面等の流れの境界層構造を把握した流れ制御が必要になっている。

4.2 シミュレーション技術の活用

高度でかつ効率的な開発には、経験に基づく試行錯誤的な手法では限界があり、ミクロな視点からの改善と新しい発想にコンピュータの活用が必要である。熱交換器や圧縮機、そしてヒートポンプシステムに至る最適設計は、詳細な流動・振動等の現象解析を基礎とする必要があり、コンピュータの果たす役割は大きい。

オフィスビルでは、ビル外風を受ける室外機の設置に伴う建物構造等の変更や、快適な住空間の創造のための温熱、気流、さらにはじんあい(塵埃)分布の把握と改善が必要となる。実験的にこれらの状況を調べるには多大の時間と費用を必要とし、頻繁な実験を繰り返すことは困難であり、加えて計測精度上での問題点もある。このような場合、実験的に検証された熱流体数値シミュレーション技術は最大の効果を發揮できる。

5. むすび

冷凍機・空調機の今後の開発は、地球環境との共生のもとに進めねばならない。中でも、環境保護への認識は急速に高まりつつあり、オゾン層破壊防止のための代替フロンと脱フロン技術は早急に解決すべき課題である。現在フロン対策としてはCFCからHCFCへ、さらにHFCへと転換されていくが、最終的なHFC化にはまだまだ膨大な研究開発への注力を必要としている。また、機器・システムの高効率化は、地球上の限られたエネルギー源を有効に活用し、さらにソーラーエネルギーの活用は最重要課題であり、これらは地球温暖化防止への貢献にもつながっている。これらの課題は技術的、経済的困難さも高いが、解決への社会的コンセンサスも得られ、環境保護への必要なコストも許容される状況となってきた。

一方、バブル崩壊後の市場は本物指向を要求している。冷

凍機・空調機の目的は上記の環境との共生のもとにハイアメニティな空間創造である。これに向かって究極のリファイン技術である最適化を達成し、さらに飛躍的なブレークスルーを得るには、顧客ニーズの的確な把握と製品を支える高度な技術の確立に向けた取組が不可欠と認識している。

官公庁各位の御指導と顧客各位の深い御理解、さらに大学・国公立研究機関の研究者各位の御協力等が不可欠であり、御支援をお願いしたい。

参考文献

- (1) 財省エネルギーセンター：省エネルギー便覧（平成4年度版）
- (2) (社)電気共同研究会高調波対策専門委員会：電気系統における高調波とその対策、電気共同研究、46、No.2（1990）

空冷式氷蓄熱ユニット

富田 健^{*}
大塚 修^{*}

1. まえがき

電力需給の平準化は社会的課題であり、空調用電力については昼間の需要を夜間に移行する蓄熱空調システムが導入されている。

蓄熱空調システムでは、夜間電力によって蓄熱槽に熱を蓄え、その熱を利用して昼間の空調を行う。

この蓄熱媒体に、かつては取り扱いやすい水がよく使われた。しかし、従来の水蓄熱空調システムは、水の温度差（顕熱）を利用する方法であったため、建物地下部分に大容量の蓄熱槽が必要であり、そのスペースの確保が困難な場合が多く、普及の一つの障害になっていた。

蓄熱空調システムのより一層の普及のためには、蓄熱槽のコンパクト化が必要であり、氷蓄熱システムが開発された。このシステムでは水の融解熱（潜熱）を利用するため、従来の水蓄熱方式に比べて大幅な蓄熱槽のコンパクト化が図られ、大型の蓄熱槽の設置が困難であった中小ビルやペンシルビル等への蓄熱システム導入も容易になり、関心を集めている。

当社では、1983年に東京電力(株)銀座支店に水冷式氷蓄熱専用熱源機一号機BCL-270形(270馬力)を納入し、翌年に同立川営業所に空冷ヒートポンプ式氷蓄熱専用熱源機一号機CAH-30FB形(30馬力)を納入している。また、1986年に空冷ヒートポンプ式氷蓄熱専用熱源機と蓄熱槽及びマイコン搭載の専用コントローラを組み合わせてユニット化した氷蓄熱ユニットKAH形シリーズ(30～50馬力3機種)を発売した。

氷蓄熱ユニットは取扱いの容易性から着実に市場に浸透しつつあるが、最近では大型ビルへの適用やピークカットに使用されるケースが増加しており、システムの大容量化が進んでいる。

このような背景から、従来の30～50馬力の小型機種に新たに60～120馬力を加え、合わせて7機種をシリーズ化するとともに、蓄熱容量を従来の1.5倍に増強したKAH-B₂形を開発したのでその特長について紹介する。

2. 氷蓄熱システムの特長

2.1 蓄熱槽容量の縮小

氷蓄熱は氷の融解潜熱を利用するので、従来の水蓄熱の場合と比較して大幅に蓄熱槽の大きさを縮小できる。

氷が解けて水になるときの融解潜熱量は約333kJ/kgで

あり、水蓄熱での利用温度差を5°C(7→12°C)と考えると、氷による蓄熱量(融解潜熱333 kJ/kg + 0→12°C顕熱量=383 kJ/kg)は水による蓄熱量(21kJ/kg)の約18倍に相当する。この単位質量当たりの大きな蓄熱量は、同じ熱量を蓄えるために必要な槽容量が小さくてすむということにはならない。

氷蓄熱による槽容量の縮小傾向を図1に示す。この図では、全水量のうち氷の占める割合を製氷率(Ice Packing Factor, 以下“IPF”という)で表す。図から分かるように、水のわずか1割を氷にすれば、蓄熱槽は32%の容量に縮小できる。このたびの氷蓄熱ユニットタイプでは、最大製氷率を約63%まで向上しているので、氷蓄熱に比べると蓄熱槽容量は概略1/10程度に縮小されている。

2.2 空調用電力の夜間移行

氷蓄熱空調システムによる冷房空調運転パターンの概念を図2に示す。夜22:00から朝8:00(蓄熱調整契約適用時間帯)の間に熱源機を運転して蓄熱槽に氷を蓄え、昼間は夜間に蓄えた氷を溶かして負荷を賄う。昼間の空調負荷を氷で賄った分の電力が夜間移行となる。

図2は、空調時間帯に熱源機がフルに運転する最大負荷日での運転パターンを示している。中間期などで負荷が減少した場合は、負荷が減少した分だけ熱源機の昼間の運転時間が減少する。したがって、夜間に蓄えた氷の熱量で昼間の空調負荷を全量賄える場合は、熱源機の昼間の運転はなくなり、

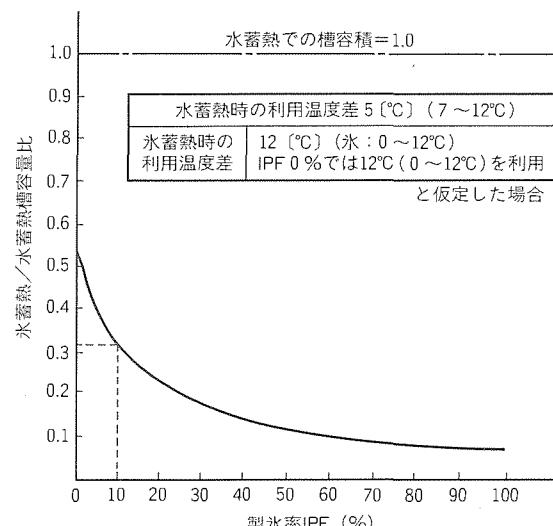


図1. 氷蓄熱の水蓄熱に対する蓄熱槽容量比

電力の夜間移行率は100%となる。

5,000m²事務所ビル(東京)における冷房期間での空調負荷の変動例を図3に示す。7日目ごとに負荷が半減するのが土曜日で、負荷0は日曜祝日である。次に負荷の大きい順に並べ変えてみたのが図4である。この図の左端の最も暑い日の負荷に備えて蓄熱空調システムは設備するので、それ以外の日は部分負荷運転となる。氷蓄熱ユニットでは最大負荷の約35%を蓄熱するので、図中35%の線から下方の部分はすべて蓄熱分で賄えるから、期間を通してみると約60%の負荷を夜間電力で処理できることになる。

2.3 ランニングコストの低減

電力各社では蓄熱空調システムの普及を図るため、業務用蓄熱調整契約及び産業用蓄熱調整契約制度で夜間電気料金を大幅に割り引いている。夜間割引対象時間帯は夜22:00から朝8:00の10時間で、割引率は各電力会社とも約70%である。したがって、氷蓄熱ユニットの蓄熱(製氷)運転は夜22:00から朝8:00の間で行い、年間負荷の約60%がこの安価な夜間電力で賄われることになる。

蓄熱空調システムで夜間の蓄熱運転と昼間の運転を併用すると、熱源機の容量を低減できる。非蓄熱空調システムでは時間当たりのピーク負荷に対して熱源機容量が選定され、これに対して氷蓄熱ユニットでは概略50%の熱源機容量ですむ。電気料金は基本料金と従量料金の合計であり、基本料金

は契約電力によって定まるので、熱源機の容量が小さくてすれば基本料金の低減につながる。

蓄熱空調システムでは、安価な夜間電力の利用と熱源機の電力容量減少により、ユーザーは従量料金と基本料金の両面からランニングコストの低減が図れる。

建物延べ面積3,000m²(東京)の従来方式(空冷ヒートポンプチラー非蓄熱空調方式)と氷蓄熱方式でのランニングコスト比較を表1に示す。基本料金では44%，従量料金では21%，合計で約30%のランニングコスト低減となっている。

3. 氷蓄熱ユニットKAH-B₂形の特長

3.1 氷蓄熱の方式

氷蓄熱の方式は、各社から種々の方式が提案されているが、分類すると図5のようになる。この論文は、これらの方針を評価しながら、当社氷蓄熱ユニットKAH-B₂形の方式選択について記す。

(1) スタティックタイプ

氷蓄熱システムを大別すると、スタティックタイプとダイナミックタイプとなる。

一般的にいえば、スタティックタイプは、伝熱管表面にアイスキャンデー状の氷を生成させ、伝熱面に付着した氷が流動しないタイプのものを指す。これに対してダイナミックタ

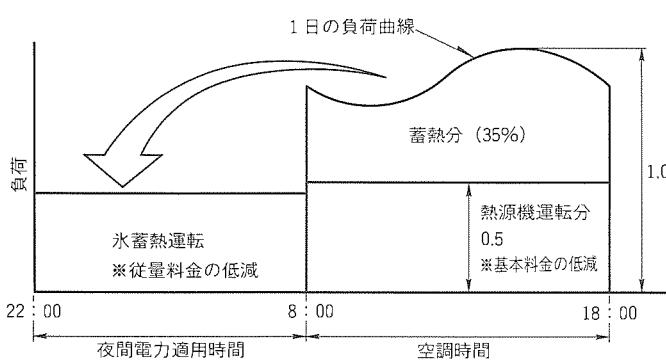


図2. 冷房空調運転パターンの概念

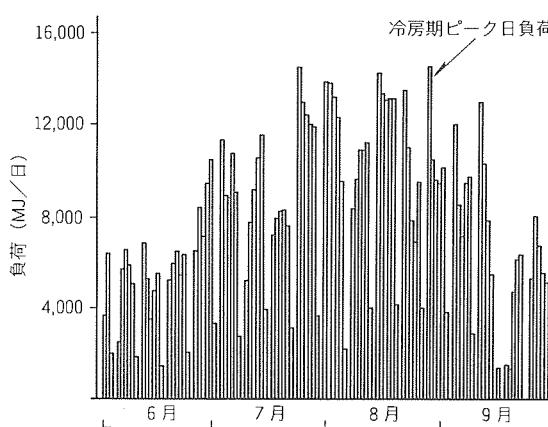


図3. 冷房期の空調負荷変動例 (東京 5,000m²事務所ビル)

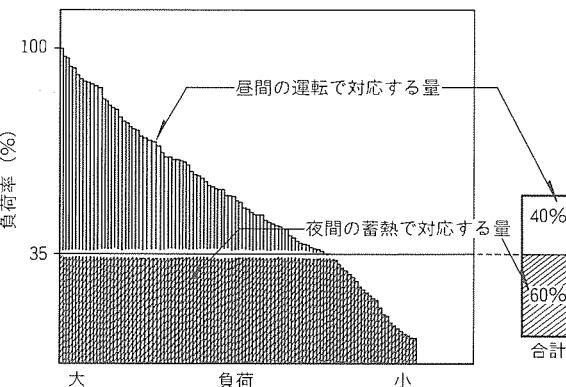


図4. 冷房負荷の大きい順に並べえたもの

表1. 氷蓄熱ユニット/従来方式ランニングコスト比較
(東京(50Hz) 3,000m²一般事務所の例)

方 式	氷蓄熱ユニット	従来方式	
		空冷ヒートポンプチラー (非蓄熱方式)	
機種×台数	KAH-60B ₂ ×1	CAH-120J×1	
電 気 料 金	基本料金(円) 従量料金(円) 合 計 (円)	336,960 782,593 1,119,553	599,040 1,076,433 1,675,473
暖 房 料 金	基本料金(円) 従量料金(円) 合 計 (円)	336,960 841,064 1,178,024	599,040 965,496 1,564,536
年間総コスト (円)	2,297,577	3,240,009	
コスト比 (%)	100	141	

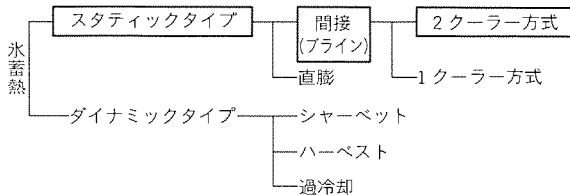


図5. 氷蓄熱システムの方式

イフは、スラリー(シャーベット)状の氷を製造し、その氷を流動させ伝熱面に氷を付着させないタイプのものをいう。伝熱面に氷を付着させない方式であるダイナミックタイプの長所は、氷量の増加に伴う伝熱性能の低下を防止できる点にある。上述のようにスタティックタイプでは、アイスキャンデー状のソリッドな氷が生成されるのに対し、ダイナミックタイプではシャーベット状の氷が生成される。そのため、ダイナミックタイプでは体積当たりの比重が約40%程度になってしまい、同容量の熱を蓄えるに必要な蓄熱槽の容積が大きくなる欠点がある。

ユニットタイプとするためには、できるだけ蓄熱槽をコンパクト化する必要があり、このシリーズの水生成はスタティックタイプとした。

(2) 間接(ブライン)冷却方式

冷却方式では、冷凍機に使用する冷媒で水を直接冷却する直膨方式と、冷凍機によってまずブライン(不凍液)を冷却し、次にブラインを介して冷却する間接冷却方式とに分けられる。ブラインを介すことなく直接冷却を行う直膨方式の場合は、製氷時の冷凍機蒸発温度をそのまま高く保てるため、効率が上がる。ただし、冷却管内の圧力損失を小さくするよう、冷却管サイズに十分注意する必要がある。

氷蓄熱ユニットは、熱源機に空冷ヒートポンプを使用しているので、通常屋上に設置される。しかし、設置スペースや建屋の耐荷重の問題から、熱源機と蓄熱槽を分離設置するケースがある。このとき、直膨方式では熱源機と蓄熱槽とをつなぐ配管が冷媒配管になり、高圧ガス保安規則で定められたユニット形の定義から外れ、さらに法定冷凍トン50トン以上(合算を含む)の場合は取扱責任者(免許取得者)の選任が必要となる。これに対し、間接冷却方式では熱源機と蓄熱槽とをつなぐ配管は通常の水配管に相当し、熱源機がユニットタイプの定義から外れず、取扱責任者(免許取得者)の選任の問題は生じない。

また、直膨方式として製氷時の効率を10%程度向上させても年間のランニングコストの低減効果は1%程度しか見込めず、このシリーズには設置の自由度の高い間接冷却方式を採用した。

(3) 2クーラー方式

熱源機(冷凍機)の形式には、2クーラー方式と1クーラー方式がある。

図6に氷蓄熱ユニットKAH形のシステム系統を示す。夜

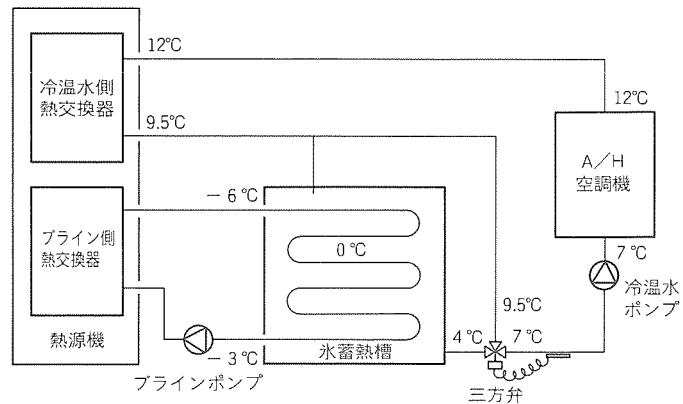


図6. 2クーラー方式氷蓄熱システム系統

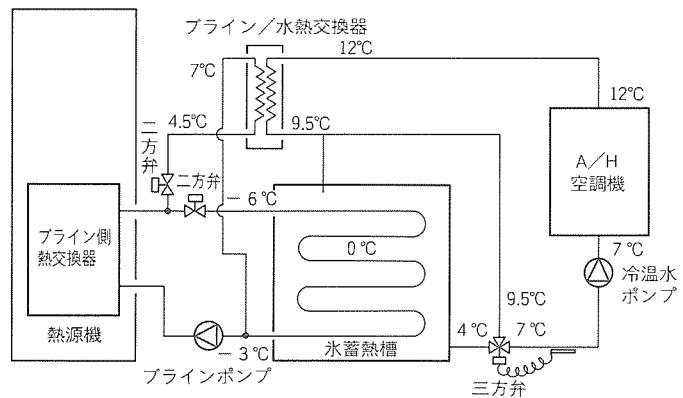


図7. 1クーラー方式氷蓄熱システム系統

間蓄熱運転時は熱源機のブライン冷却器でブラインを $-6\sim-10^{\circ}\text{C}$ に冷却し、蓄熱槽内の製氷用熱交換器で氷を製造する。ここで氷蓄熱ユニットの冷房時の基本運転パターンを記す。昼間の冷房運転時は、負荷側機器(ファンコイルユニットやエアハンドリングユニット)に7°Cの冷水を供給する。通常、負荷側機器は温度差5°Cで使用するので、冷水は12°Cに昇温されて熱源機に戻る。熱源機では12°Cの水を9.5°Cまで冷却し、三方弁に9.5°Cの水を供給する。三方弁では負荷側への供給温度が7°Cになるよう、熱源機からの9.5°Cの水と蓄熱槽の0°C(実際には比重が一番大きい4°C)の水を混合して、負荷側へ供給する。熱源機と三方弁とをつなぐ配管の途中には蓄熱槽へのバイパス配管が設けられており、三方弁の開度に応じて熱源機からの水は一部蓄熱槽に流れ込み、氷を溶かし0°Cの水になる。

ここで使用している熱源機には、ブライン冷却用の熱交換器と冷温水用熱交換器が備わっており、これを2クーラー方式熱源機と称している。

図7には1クーラー方式のシステム系統を示す。1クーラー方式はブライン用熱交換器だけで、2クーラー方式の冷温水用熱交換器にかわるブライン/水熱交換器を外部に設けてある。夜間蓄熱運転時の動作は2クーラー方式と同じである。昼間の運転時にはブライン回路を二方弁で切り替え、ブライン/水熱交換器を介して冷水を9.5°Cに冷却する。

2 クーラー方式と 1 クーラー方式との動作の違いは、**昼間運転時の水の冷却方式だけにあり、他は全く同様である。** 2 クーラー方式では負荷側からの戻り水を熱源機で直接 9.5°C に冷却できる。一方、1 クーラー方式ではブライン／水熱交換器を介して冷却するため、熱源機で 9.5°C より冷たい温度にブラインを冷却する必要がある。ブライン／水熱交換器でのブラインと水との温度差を概略 5°C とすると、1 クーラー方式では熱源機で 4.5°C のブラインを製造する必要があり、その分熱源機での冷媒蒸発温度が低下し、能力及び効率の低下を生じる。**昼間運転時の 2 クーラー方式(熱源機で 9.5°C の水を製造する。)と 1 クーラー方式(4.5°C のブラインを製造する。)との差は、能力で約 15%，効率で約 10% 程度である。** 暖房時に温水を製造する場合も、同程度の両者の差を生じる。能力及び効率の差がどうランニングコストへ影響するかを図 8 に示す。

このたび開発した氷蓄熱ユニット KAH-B₂ 形は、**昼間の冷水運転時及び温水運転時の性能向上が図れる 2 クーラー方式の熱源機を採用した。**

3.2 機種シリーズ

熱源機、蓄熱槽、専用コントローラを組み合わせた氷蓄熱ユニットは、現地工事が容易で信頼性も高く、また運転の取扱いが容易であることから、小型ビルだけでなく大型ビルに

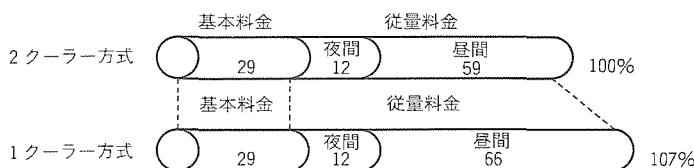


図 8. 2 クーラー方式／1 クーラー方式経済性比較

も採用されるようになった。また、電力のピークカットを目的に、**昼間の一定時間帯をすべて氷による蓄熱熱量だけで賄う例も増えつつある。** このような場合、蓄熱熱量と昼間の熱源機運転による冷却熱量を同時に利用する従来の使用方法に比べ、より大きな機器能力が要求される。

このように氷蓄熱システムの大容量化が進んでいるが、従来の小型 3 機種(30～50 馬力)だけでのシリーズ構成では、設置台数が多くなり、広い設置スペースを要したり現地配管工事が繁雑となる等の問題が生じる。よって、新たに 60～120 馬力の大型機をシリーズ化し、合計 7 機種とした。機種の概略仕様を表 2 に示す。各機種の単機での適用空調面積は、おおむね 1,000～5,000 m² である。

3.3 機器の構成

氷蓄熱ユニット KAH-50B₂ 形の外観を図 9 に示す。右側が 2 クーラー方式の空冷ヒートポンプチラー熱源機 CAH-50JB₂ 形で、左側が氷蓄熱槽である。中央部にはポンプユニットがあり、ポンプユニットの中にはブラインポンプ、三方弁、ブライン膨脹タンク、各種センサ、配管及びコントローラを納めてある。

この図は一体形設置の場合を示すが、蓄熱槽及びポンプユ

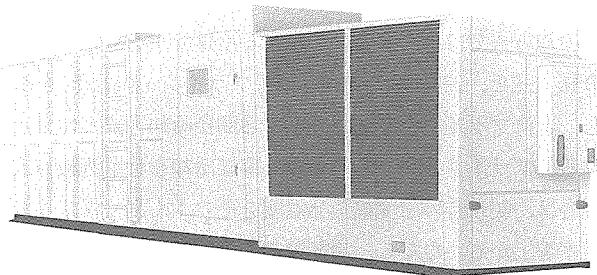


図 9. 氷蓄熱ユニット KAH-50B₂ 形外観

表 2. 各機種の仕様

項目	形名		KAH-30B ₂	KAH-40B ₂	KAH-50B ₂	KAH-60B ₂	KAH-80B ₂	KAH-100B ₂	KAH-120B ₂	
	蓄熱	蓄熱容量 ^{*2}	MJ	1,531／1,699	2,305／2,515	2,891／3,217	3,314／3,678	4,510／4,908	5,636／6,259	6,544／7,247
冷房 DB=32°C 冷水=7°C <RH=85%	蓄熱	蓄熱容量 ^{*2}	MJ	4,134／4,607	6,427／7,117	8,008／8,945	9,380／10,627	12,749／14,108	15,874／17,776	18,673／20,920
	蓄熱	蓄熱容量 ^{*2}	MJ	2,100／2,330	3,150／3,448	3,958／4,402	4,544／5,042	6,155／6,715	7,694／8,540	8,958／9,912
	蓄熱	日量冷却能力 ^{*1}	MJ／日	4,703／5,238	7,272／8,050	9,075／10,129	10,610／11,991	14,393／15,916	17,933／20,041	21,087／23,585
暖房 DB=7°C <RH=85%	蓄熱容量 ^{*3}	MJ	649／649	854／854	1,059／1,059	1,272／1,272	1,711／1,711	2,121／2,121	2,544／2,544	
	蓄熱	日量加熱能力 ^{*1}	MJ／日	3,452／3,995	5,289／6,083	6,581／7,753	7,966／9,222	10,581／12,171	13,209／15,300	15,723／18,233
	蓄熱	チラー加熱能力	MJ／h	280／335	444／523	552／669	669／795	887／1,046	1,109／1,318	1,318／1,569
水張量		m ³		10.36	13.64	16.93	20.29	27.28	33.86	40.58
	称呼出力	kW		22	30	37	45	30×2	37×2	45×2
	1 日の冷凍能力	法定トシ		9.93／11.85	16.55／19.74	20.88／24.92	24.50／29.22	16.55×2／19.74×2	20.88×2／24.92×2	24.50×2／29.22×2
圧縮機	熱源機	kg		2,200	3,100	3,200	3,450	4,600	5,600	5,750
	蓄熱槽	kg		2,700	4,100	4,600	5,500	3,100×2	3,600×2	4,500×2
運転質量		kg		15,620	21,250	25,280	29,950	40,240	48,910	57,820

注 *1. 日量能力は、空調運転10時間の場合の積算能力を示す。

*2. 冷房蓄熱容量は蓄熱槽12°C 分の顯熱量を含む。

*3. 暖房蓄熱容量は槽内温度を55°C とまで蓄熱した場合の値で蓄熱槽15°C 分の顯熱量を示す。

ニットを組み合わせたブロックと熱源機ブロックとは分割が可能で、分離設置も容易にできる。

なお、一体設置の場合には熱源機と蓄熱槽を連結する配管施工はすべてポンプユニットの内部で行え、連結部にもフレキシブルジョイントを使用するなどして、現地施工性の向上を図ってある。

3.4 蓄熱容量の増強

蓄熱槽には耐候性に優れたFRP製一体成形の専用蓄熱槽を使用している。サンドイッチ成形した蓄熱槽内部と外部とは断熱材で完全に遮断されており、結露の心配がない。この蓄熱槽の内部には水を貯えてあり、製氷用熱交換器を設置してある。従来、製氷用伝熱管には耐食性に優れた架橋ポリエチレンチューブを使用していたが、曲げ径に限界があり、合理的な管配列ができなかったため、曲げ径に余裕のあるポリプロピレンチューブを採用した。このポリプロピレンチューブは、耐食性に優れている。

従来の管配列と新形の管配列を図10に示す。従来の管配列は変則的なチドリ配列となっていたが、新形では正三角形配列とした。製氷用熱交換器では、氷のブリッジングを防止するため、隣同志の氷のすき（隙）間を確保する必要がある。このため、氷厚は冷却管の隙間が最小となる部位で制約される。正三角形配列では冷却管の隙間が均一となるため、IPFの向上が図れる。なお、新形の管配列では、氷の隙間を10mm確保しており、氷のブリッジングに対して従来の管配列より余裕がある。

上記管配列の変更と蓄熱槽内の上部空間部及び側面空間部の余剰スペースの削減により、蓄熱槽の冷房時最大蓄熱容量を従来品の約1.5倍に増強した。

次に、暖房蓄熱について記す。従来、蓄熱温水の温度を40°Cから50°Cに昇温して10°C分の熱を蓄えていたが、このシステムでは55°Cまで昇温し、15°C分の顯熱を蓄えて暖房最大蓄熱容量を従来品の約1.5倍に増強した。なお、蓄熱温水の設計温度を高めるに当たって、熱源機の設計圧力を2.45MPaから2.75MPaに変更した。

冷房時には、24時間のうち空調運転時間帯10時間以外の14時間をフルに蓄熱運転すると日量冷却能力を約13%増強できる。暖房時には蓄熱容量が増して、日量加熱能力は従来品と比べて約5~7%増強されている。

3.5 マイコンによる全自动運転

蓄熱空調運転を行う場合、蓄熱熱量を昼間のどの時点で、どの程度使用するかが管理上の重大な課題である。空調開始

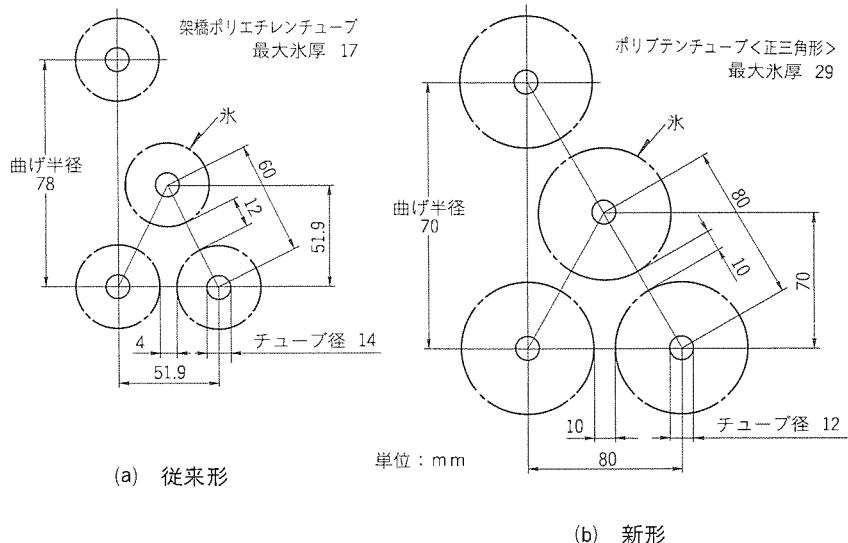


図10. 製氷用熱交換器のチューブ配列

時点での蓄熱熱量を必要以上に使ってしまうと、昼間のピーク負荷時に能力が不足してしまう。逆に蓄熱熱量を出し惜しむと蓄熱量を全量使い切れず、夜間移行率の低下を招く。これを防止するためには負荷予測が必要であり、厳密に行おうとすると制御が繁雑となるため、蓄熱システム普及の阻害要因の一つになっていた。当社の氷蓄熱ユニットでは、空調終了時の残氷量により、翌日の負荷状況を予測するマイコン搭載の専用コントローラを備えており、ユーザーは難しい制御システムを構築する必要はない。

従来からの負荷予測制御やスケジュール運転などの全自动運転機能に加え、今回はピークカット制御やスケジュール時間帯以外の残業時の運転にも対応できるよう制御機能の見直しを行い、更に使いやすくした。

4. むすび

安価な夜間電力を利用した蓄熱式の空調システムの普及が進んでいる。特に氷の融解熱を利用する氷蓄熱方式は、従来の水蓄熱方式に比べて蓄熱槽を約1/10に縮小できることから普及が著しい。2クーラー方式の高効率熱源機と蓄熱容量を50%アップした蓄熱槽及び専用コントローラをユニット化し、製品化した。また、システムの大容量化に対応するため、新たに60~120馬力の大型機についてもシリーズ化した。

エネルギー問題については、省エネルギー、未利用エネルギーの有効活用、電力需給の平準化などの課題があるが、ひとつ(逼)迫する電力需給の平準化が当面の最大の課題と考えている。

増大する電気式空調システムの需要にこたえ、かつ電力需給の平準化が図れる氷蓄熱ユニットの普及に更に尽力したい。

液冷媒噴射式シングルスクリュー圧縮機のシミュレーション技術

下地美保子* 辻 清春***
幸田利秀* 平井哲夫**

1. まえがき

当社独自の液冷媒噴射方式でオイルフリーを実現したシングルスクリュー圧縮機は、トルク脈動が小さく、吸入弁・吐出弁が無いなど、軽量・高耐久・低振動の特長を持つ大型容量(30~450kW)に好適な容積型回転式圧縮機である^{(1)~(4)}。

この圧縮機は、内部漏れ構造が複雑であり、圧縮行程に液冷媒を噴射することから、解析的な性能の予測は難しい。このため、機器の開発段階では、実験計測に加え、計算機を用いた数値計算が有効に利用される。

筆者らは、当圧縮機の製品化に向け、設計支援や性能向上を目的として、液冷媒の蒸発・液漏れなどを考慮でき、損失及び性能を精度良く分析できるシミュレーションプログラムを開発し、活用してきた。

本稿では、性能解析手法及び解析結果を報告する。

2. 記号

この論文では、記号を次のように表す。

C_p : 定圧比熱 C_v : 定容比熱

G : 質量流量

h : 比エンタルピー

M : 質量

P : 圧力

Q : 熱量

R : ガス定数

S : 漏れ断面積

T : 溫度

U : 内部エネルギー

u : 流速

V : 容積

Δ : 時間差分

κ : 断熱指数

v : 比容積

ϕ : 漏れ係数

χ : 乾き度

添字

e: 蒸発

g: ガス状態

H: 高圧側の圧縮室 i: 流入

L: 低圧側の圧縮室 l: 液状態

o: 流出

3. シングルスクリュー圧縮機の構造

図1にシングルスクリュー圧縮機の圧縮原理を示し、図2に組立断面図を示す。

図1に示されるように、シングルスクリュー圧縮機は、6本の溝を持つスクリューロータと歯数11の2枚のゲートロータが軸対象にか(噛)み合わされた回転式圧縮機である。スクリューロータの回転に伴って従動するゲートロータが、スクリューロータの溝を進むと、吸入口からガスが圧縮室(ケーシングに囲まれた歯溝空間)に吸入される。吸入ガスの圧縮は、圧縮室の容積を縮小することによって行われる。さらに回転が進むと圧縮室が吐出口に連通し、ガスが吐出される。

一つの圧縮室の吸入完了から圧縮・吐出完了まではスクリュー回転角160°で行われる。スクリューロータが1回転する間にⒶのゲートロータでこの行程を6回行うが、Ⓑのゲートロータによっても同様の行程がスクリューロータの対称面で行われる。このため、圧縮室圧力による径方向荷重がバランスして、図2に示すスクリュー軸受の負荷は小さくなる。

容量制御については、ケーシングに設けたスライドバルブを吐出側に移動させ、吸入側にガスをバイパスする方式を採用する。

また、図3に示すように、圧縮室には吐出ガス温度を下げるため、凝縮器から導かれた液冷媒が噴射される。

4. シミュレーションモデル

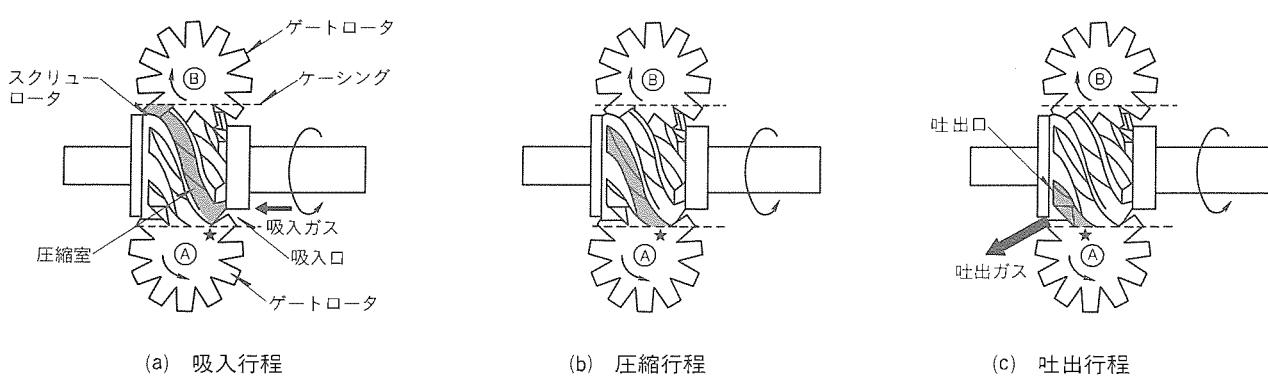


図1. 圧縮原理

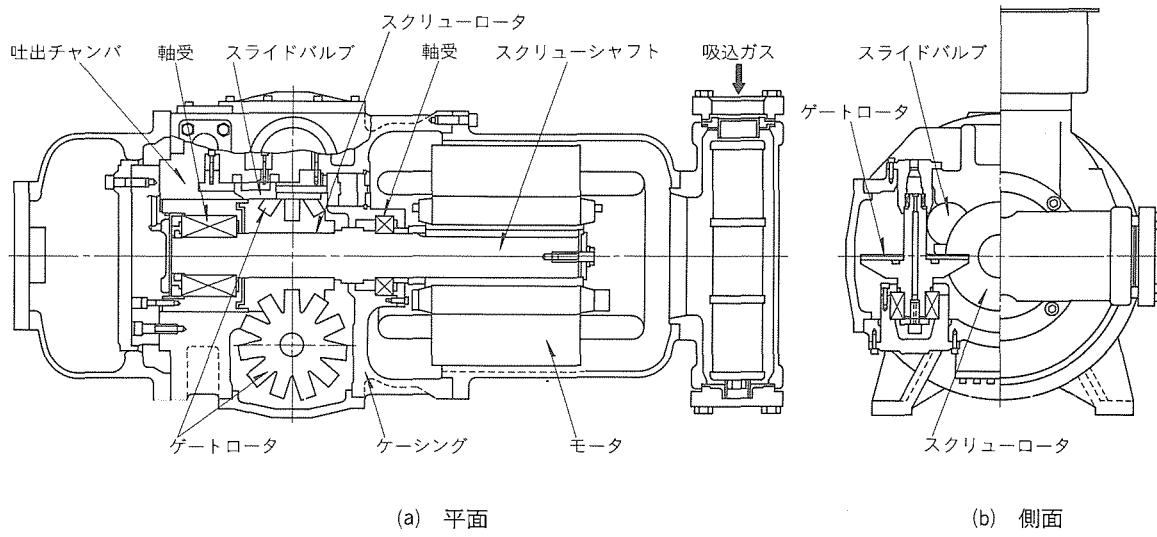


図2. シングルスクリュー圧縮機の組立断面

シングルスクリュー圧縮機の入力は他の形式の圧縮機と同様、図4に示すように理論圧縮動力と各種の損失動力に大別される。各損失は、圧縮室内の圧力変化を時々刻々計算して求められるが、この解析では一つの圧縮室について圧力変化を計算し、吸込み・圧縮・吐出行程にある圧縮室全体について合成することで圧縮機全体の諸量を計算する。

ここでは、損失動力のうち割合が大きいと予想される漏れ損失と吐出損失の解析モデルについて述べる。

4.1 圧縮行程の状態量変化式

図3に示した液冷媒噴射方式では、液冷媒が凝縮器と圧縮室の差圧によって噴射されるため、運転条件や液冷媒噴射口の位置などによって流量が変化する。この結果、圧縮室に存在する液冷媒量が変化し、これに伴って液冷媒の蒸発量及びすき(隙)間からの液漏れ量が増減する。また、これらの変化が圧縮機の入力及び能力に影響を及ぼす。ここでは、以下の仮定をおいて圧縮室に液冷媒とガスが混在するときの圧力変化及び温度変化をシミュレーションする。

- (a) 冷媒のガス相は理想ガスとして取り扱う。
 - (b) 液冷媒温度は圧力に対応する飽和温度である。
 - (c) 圧縮室内部に液とガスは一様に分布する。

エネルギー保存則、質量保存則及び圧縮室の容積変化 ΔV に、液及びガスの流入・流出と液の蒸発を考慮すると、圧縮室内部の状態量変化は、式(1)～(5)で表される。

$$\Delta Q_g = \Delta U_g + P \Delta V_g \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$\Delta Q_g = h_{gi} \Delta M_{gi} + h_g \Delta M_{go} + (h_l - h_g) \Delta M_{le} \dots \dots \dots \quad (2)$$

$$\Delta U_g = \Delta M_g C_{vg} T_g + M_g C_{vg} \Delta T_g \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$\Delta M_\sigma = \Delta M_{\text{gi}} + \Delta M_{\text{go}} + \Delta M_{\text{le}} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

$$\Delta V_g \equiv \Delta V + \Delta V_{\text{li}} + \Delta V_{\text{lo}} + \Delta V_{\text{le}} \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

式(1)～(5)と状態方程式を解くと、式(6)、(7)となる。

$$\frac{\Delta P}{P} = -\kappa \frac{\Delta V_g}{V_g} + \kappa \frac{T_{gi} \Delta M_{gi}}{T_g M_g} + \kappa \frac{\Delta M_{go}}{M_g}$$

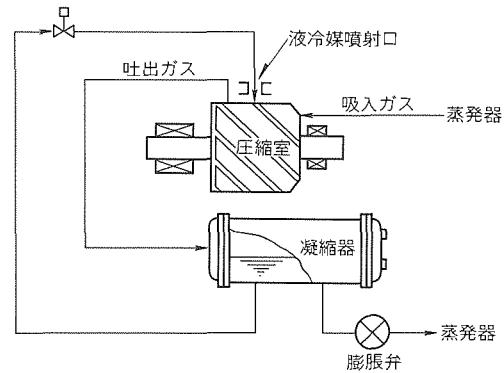


図3. 液冷媒噴射方式

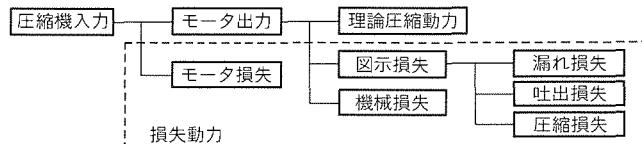


図4. 圧縮機入力の構成

$$+ \left(\frac{C_{\text{pl}} T_1}{C_{\text{vg}} T_{\text{g}}} - \kappa \right) \frac{\Delta M_{\text{le}}}{M_{\text{g}}} \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

$$\frac{\Delta T_g}{T_g} = (\kappa - 1) \left(-\frac{\Delta V_g}{V_g} + \frac{\Delta M_{go}}{M_g} \right)$$

$$+ (\kappa \frac{\Delta T_{\text{gi}}}{T_g} - 1) \frac{\Delta M_{\text{gi}}}{M_g}$$

$$+ \left(\frac{C_{\text{pl}} T_1}{C_{\text{vg}} T_g} - \kappa \right) \frac{\Delta M_{\text{le}}}{M_g} \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

上式から圧縮室の圧力変化及び温度変化を求める。

4.2 液冷媒挙動モデル

シングルスクリュー圧縮機の圧縮室を、図5のようなモデルに置き換えて液冷媒の挙動を説明する。

(1) 液冷媒噴射モデル

この解析モデルでは、図5に示すように、凝縮器を出た液冷媒①が配管内で圧縮室圧力まで断熱膨脹し、飽和の液と

ガスの2相状態②で液冷媒噴射口から流入する。なお、噴射される液冷媒流量は、凝縮圧力と圧縮室圧力との差圧及び凝縮器から圧縮室に至るまでの配管抵抗によって計算した。

(2) 液冷媒の蒸発モデル

圧縮室に存在する液冷媒③は、圧縮行程の進行に伴って周囲のガスの熱を受けて蒸発する。そこで、このモデルでは液の蒸発量は圧縮室に存在する液質量に比例し、圧縮室内が飽和状態になると蒸発が止まると仮定した。

(3) 液冷媒の隙間流れモデル

漏れ隙間部での液冷媒とガスの流動状況は、Baker 線図⁽⁵⁾を参考にすると、圧縮室の乾き度とガスの漏れ流速（数十～百数十 m/s）から噴霧状態となる。したがって、液の漏れ流速はガス単相の漏れ流速に等しいと仮定し、液の漏れ質量流量は式(8)で与えられるとした。

$$G_1 = \phi_g S(1-\chi) u_g / v_g \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

なお、ガス流速 u_g 及び漏れ係数 ϕ_g については次節で述べる。

図5の高圧側の圧縮室から漏れた冷媒④の液成分は、低圧側の圧縮室圧力まで断熱膨張して飽和の液とガス⑤にな

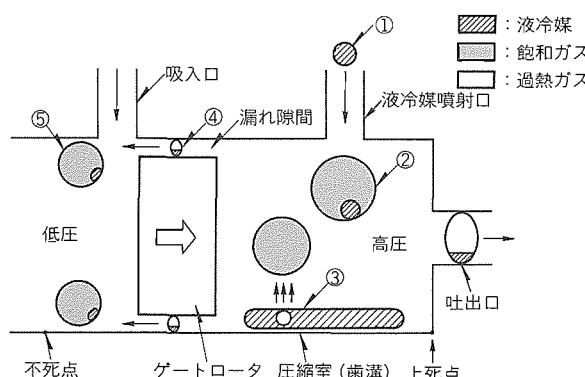


図5. 圧縮室内の液冷媒挙動

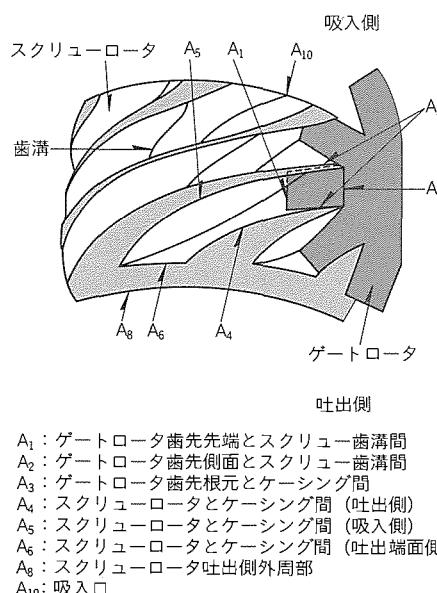


図6. スクリュー立体図

るとした。また、吸入側へ漏れた冷媒⑤のガス成分だけが吸入ガスの流入を阻害し、能力を低下させるとした。

4.3 漏れ解析モデル

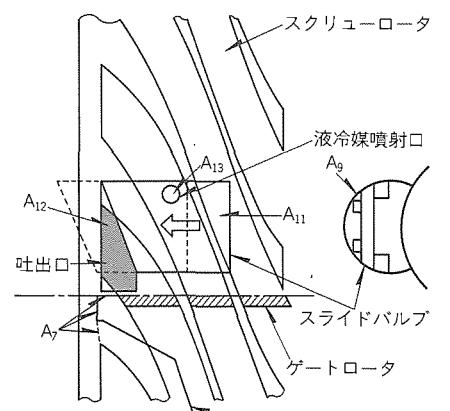
(1) 漏れ経路

図6にスクリューロータ部の立体図を、図7に展開図を示し、各々の図に漏れ隙間と冷媒の流入・流出口を示す。漏れ経路はA₁～A₉の9か所に分類でき、A₁₀～A₁₃の4か所は冷媒の流入・流出口である。

また、各経路の漏れ線長さは、スクリューの回転角によって時々刻々変化し、さらに複数の圧縮室が存在するため、隣接する圧縮室の圧力変化が漏れ流量に影響する。図8に上記の漏れ経路と圧縮室とを配管経路網としてモデル化する。なお、開口部の面積も種々の形状と回転角度ごとの面積変化に対応できるよう、回転角度ごとに微小分割して求めた。

(2) 漏れ断面積

各経路の漏れ線長さは、幾何計算⁽³⁾⁽⁴⁾によってスクリュー



- A₇: スクリューロータとゲートロータケーシング間
- A₉: スライドバルブ外周とケーシング間
- A₁₁: バイパス口
- A₁₂: 吐出口
- A₁₃: 液冷媒噴射口

図7. スクリュー展開図

A : 漏れ経路
 P : 圧力
 V : 容積
 M : 質量
 T : 温度
 $A_7 + A_8 + A_9$

図8. 圧縮機の漏れ経路

回転角度ごとに求め、漏れ断面積はその漏れ線長さと隙間との積で求める。図9にA₁～A₉の1回転平均の漏れ断面積の比較を示す。なお、運転中の隙間は熱変形によって変化するので、この解析ではこれを考慮した漏れ隙間とした。

(3) 漏れ質量流量

隙間から漏れるガスの流れは、先細ノズルの等エントロピ一流れを仮定し、式(9)、(10)によってガスの漏れ質量流量を求める。なお、漏れ係数は実機の漏れ隙間を模擬し、流量を計測できる基本モデルを作製して実験によって求めた。

$$(a) P_L > P_H \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\kappa / (\kappa - 1)} \text{の場合}$$

$$G_g = \phi_g S \sqrt{\frac{2 \kappa P_H}{(\kappa - 1) v_{gH}}} \cdot \sqrt{\left(\frac{P_L}{P_H} \right)^{2/\kappa} - \left(\frac{P_L}{P_H} \right)^{(\kappa + 1)/\kappa}} \quad \dots (9)$$

$$(b) P_L \leq P_H \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\kappa / (\kappa - 1)} \text{の場合}$$

$$G_g = \phi_g S \sqrt{\kappa \frac{P_H}{v_{gH}} \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{(\kappa + 1)/(\kappa - 1)}} \quad \dots \dots (10)$$

4.4 吐出行程の解析モデル

6溝シングルスクリュー圧縮機の吐出行程は、吐出開始から吐出完了までスクリューの回転角で80°程度であり、非常に短時間(約4ms)の過渡的な現象であること、また運転条件によっては図2に示した吐出チャンバと吐出直前の圧縮室に大きな差圧が生じ、圧力脈動が発生する。このため、吐出行程の圧力シミュレーションモデルには、ガス質量の運動慣性力の影響を考慮する必要がある。そこで、この解析では

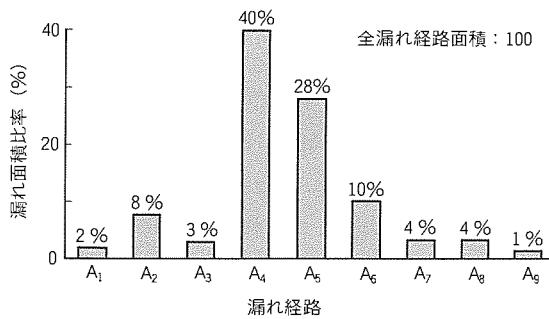


図9. 圧縮機の漏れ面積の比較

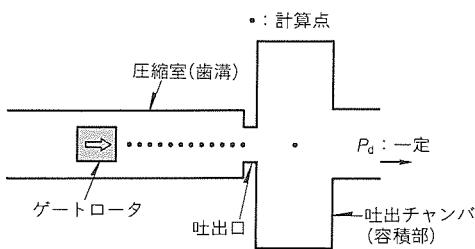


図10. 圧縮機の吐出行程計算モデル

吐出行程に一次元の特性曲線法⁽⁶⁾を適用し、以下の仮定のもとで圧力変化を計算した。なお、シングルスクリュー圧縮機は圧縮室の断面積変化が小さいため、吐出行程を図10に示すようにモデル化した。

- (a) 圧縮室(歯溝)の断面積は一定とする。
- (b) 吐出チャンバは十分大きな容積部とし、その内部は均一で、凝縮圧力に等しいとする。
- (c) 吐出口面積は時々刻々変化する。
- (d) 漏れ及び液の蒸発の影響は無視する。

5. 性能解析結果

表1に示す諸元の圧縮機(75 kW)を用い、液冷媒噴射時の性能解析精度の検証と機器の設計や性能改善に必要な損失分析を行った。以下にその結果を示す。

5.1 解析精度の検証

図11は、圧縮比14.6における指圧線図であり、計算値と実測値を示す。この結果から分かるように、吸入から吐出行程まで計算値と実測値は良い一致を示し、図示効率は約3%の誤差で一致した。なお、液冷媒が流入する回転角範囲では実測値に不規則な圧力変化が生じており、液冷媒噴射量に脈動が生じていることが予想される。

さらに、広い運転範囲(凝縮温度40°C、蒸発温度-40～10°C、圧縮比2～15)で冷凍能力と入力の解析精度を検証した結果を図12に示す。ここで、冷凍能力と入力はそれぞれ圧縮比14.6の実測値を基準とした比率で表す。図12から、実測と計算は5%以内の誤差で一致し、この解析は実用上十分な精度であることが分かった。

5.2 損失動力及び体積効率の分析

表1. 圧縮機の主要諸元

名 称	諸 元
スクリューロータ溝数	6本
ゲートロータ歯数	11枚
スクリューロータ直徑	178mm
ゲートロータ直徑	178mm
スクリューオリフィス角度	160°

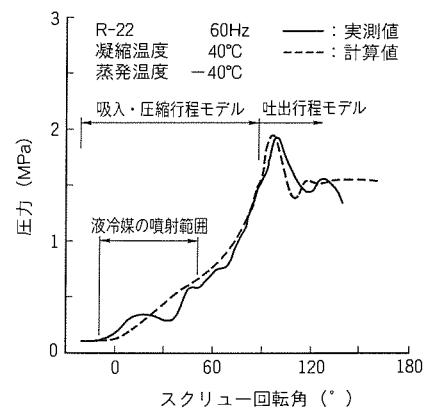


図11. 圧縮機の圧力変化

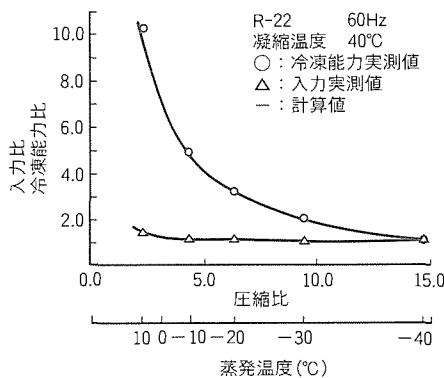


図12. 圧縮機の性能解析

図13は、圧縮比14.6の損失動力を計算し、分析した結果である。この分析によると漏れ損失の割合が大きく、全損失の約7割に相当し、その他の損失が少ないことが特長である。さらに、その漏れ損失を漏れ経路別に分析すると、スクリューロータ周り(A_4, A_5, A_6, A_7, A_8)の漏れが漏れ損失全体の約6割を占め、またゲートロータ周り(A_1, A_2, A_3)の漏れも約3割と、大きな割合を占めることが分かった。これは、図9に示すように、 A_4, A_5 の漏れ面積が大きく、漏れ面積差の影響が顕著に現れるためである。一方、図14の体積効率に関する漏れ経路別の分析結果によるとゲートロータの歯先(A_1, A_2)からの漏れが大きい。これは、図8で示したように、 A_1, A_2 が直接吸入側へ漏れる経路であり、さらに漏れ圧力差が相対的に大きいことが原因である。

以上のように、当解析プログラムは冷凍能力や入力に影響を及ぼす要因を詳細かつ定量的に分析できるので、性能改善の対象を明確にでき、機器の設計に役立てられる。

6. プログラムの適用範囲

このプログラムは、30～450 kW の広い容量範囲の圧縮機に適用でき、ロータやスライドバルブ等の形状、液冷媒噴射口位置などを自由に変更して計算できる。また、冷媒 HCFC-22, CFC-12のほか、代替冷媒 HFC-134aでの解析が可能で、温度条件では蒸発温度が-40～10°Cの広い運転範囲の性能を予測できる。

7. むすび

オイルフリー・液冷媒噴射方式を採用したシングルスクリュー圧縮機の性能予測精度を向上するため、次の特長を持つシミュレーションプログラムを開発した。

- (a) 液とガスの混合流体モデルを採用した。
- (i) 時々刻々変化する液冷媒噴射量を計算できる。
- (ii) 圧縮室内の液冷媒蒸発を考慮した。
- (iii) 液冷媒の隙間流れを計算できる。
- (b) 漏れ損失を各隙間経路別に分析できる。
- (c) 特性曲線法の適用によって吐出行程の圧力脈動を計算

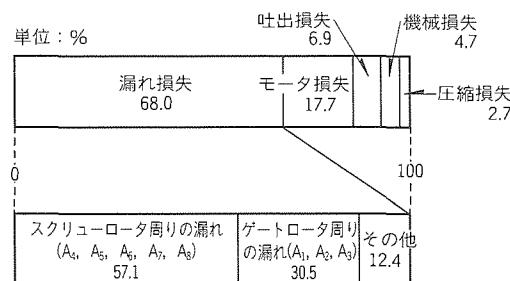


図13. 圧縮機の損失分析

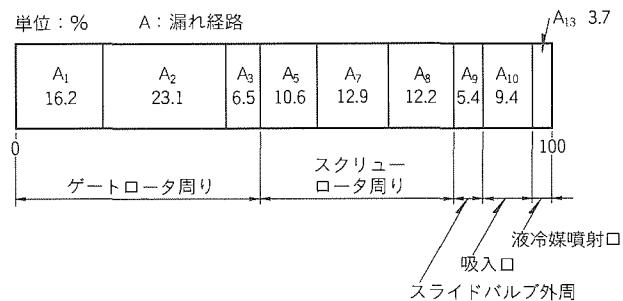


図14. 体積効率の低下要因

できる。

また、能力、入力ともに圧縮比2～15の範囲で計算と実測が5%以内の精度で一致することを実証し、圧縮機の性能向上や設計支援に活用できることが分かった。

このシミュレーションプログラムは、広い運転条件、圧縮機の形状変更及び新冷媒に対応でき、今後もシングルスクリュー圧縮機の開発に活用していく予定である。

参考文献

- (1) 橋本公秀、辻 清春、山田一男、杉山邦生：大型シングルスクリュー圧縮機搭載チラー、三菱電機技報、65, No.5, 442～448 (1991)
- (2) 相良泰一、野田定文、平井哲夫：シングルスクリュー圧縮機、三菱電機技報、59, No.5, 352～356 (1985)
- (3) Hirai, T., Noda, S., Sagara, T., Tsuji, K.: Performance Analysis of OIF Single Screw Compressor, 1986 International Compressor Engineering Conference-At Purdue, 1, 119～134 (1986)
- (4) Sagara, T., Noda, S., Hirai, T.: Performance of the Oil Injection Free Single-Screw Compressor Production Model, ASHRAE Transactions, 92, Part 1B, 236～249 (1986)
- (5) Baker, O.: Simultaneous Flow of Oil and Gas, Oil Gas J., 53, 185～190 (1954)
- (6) 角田昌之、森下悦生、平原卓穂、山本隆史：回転式容積形圧縮機の吸入系脈動流の効果、第21回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集、129～132 (1987)

ビル用エアコン“シティマルチ” PLHY-LKシリーズの低騒音化

倉地光教* 山中宗弘**
岡部順二*
龜山純一*

1. まえがき

パッケージ形ヒートポンプエアコン市場では、ここ数年間に、1台の室外機に複数台の室内機をつなぐインバータタイプの空調システムが急成長した。そして、冷媒系及び制御系までも接続配置する分散設置型のマルチ空調システムが、ビル用途を中心によく使われる空調方式の一つである。

このマルチ空調システムに使用する室内機としては、ルームエアコンレベルの小容量機から5馬力クラスの業務用レベルまで、各形態別(例えば天つ(吊)りカセット形・ビルトイント形・天井埋込み形・天吊り形・壁掛け形・床置形など)の豊富な室内機群から選択できる。それらは空調負荷・意匠コンセプトを考慮して機種選択できるばかりでなく、冷暖房同時マルチエアコンの登場により、個々の冷房又は暖房などの運転モードまで自由に選択操作することが可能となり、個別管理を必要とする空調分野への市場拡大も図られている。

このように、オフィス・会議室・テナントなどからなるビル用途は形態が多様・複合化し、さらに高級店舗・病院・ホテル客室などでは、空気質向上と同時に静謐性など人間の感覚に関係した要求が高まってきている。また、設備機器である冷熱製品には、従来以上に品質・高機能・差別化などの市場要求が高まっている。

このような市場動向から、低騒音化による快適環境を主眼に天吊り2方向カセット形室内機を開発したので、その概要について紹介する。

2. 開発のねらい

天吊り2方向カセット形室内機開発の着眼点は、次の5点にある。

- (1) 低騒音化の評価目標値はNRN値(Noise Rating Number)40以下とした。これはISOで提案されている分野別知的労働基準値である。
- (2) 省工事性によって工期短縮に対応する。
- (3) 天吊り2方向カセット形の特長である省メンテナンス性を継承する。
- (4) 天井設置室内機に関して市場要求が二分するドレン排水方式を2系列で対応する。
- (5) オプション部品を充実し、簡易な組込み性を持たせる。

3. 製品概要

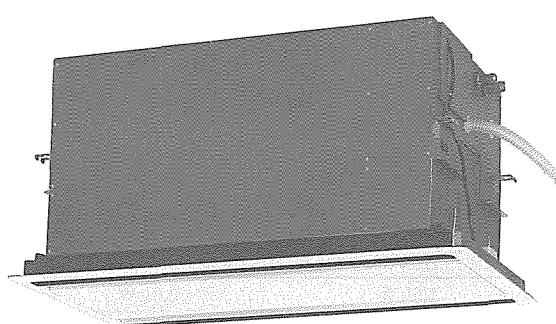
PLHY-LKシリーズの製品概要を述べる。室内機外観PLHY-LKタイプを図1(a), PLHY-LKDタイプを(b)に、製品仕様を表1に示す。

PLHY-LKシリーズは、容量別に10機種(20LKから125LK)ある。それらは、ドレン排水方式によって以下の2シリーズからなり、全20機種で構成されている。

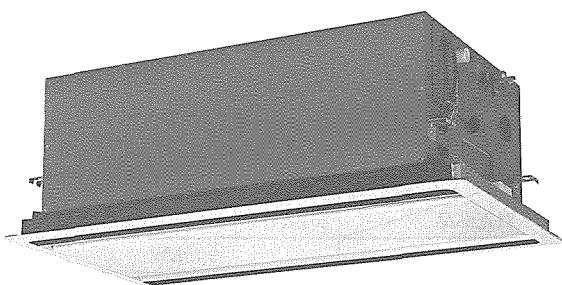
- (1) PLHY-LKタイプでビル設計思想から水漏れに対する安全性を主眼として、ドレン水を自然排水方式とし、高性能エアフィルタなどのビル管理法対応部品等を内蔵できる機種とした。
- (2) PLHY-LKDタイプで天井内寸法が少なく、本体高さの制約からドレン配管の排水こう(勾)配が確保できない場合に、パッケージエアコン市場で一般的な構成部品となってきたドレンポンプを内蔵したドレン水強制排水方式の機種とした。

3.1 室内機本体

天吊り2方向カセット形室内機は、室内露出部で意匠面となるパネルと本体下面が接合されて、本体の大半を天井内に



(a) PLHY-LKタイプ



(b) PLHY-LKDタイプ

図1. 室内機外観

埋め込まれる製品である。本体内部は、左右に各1個の熱交換器を持ち、下部パネル吸込スリット口から室内循環空気を吸入し、モータとシロッコファンからなる送風機により、上部に吐出させて左右の熱交換器に2分し、熱交換後冷風又は温風を再び下部パネルのコアンダ効果を利用した特殊形状の自動風向式の吹出し口から排出する構成である。図2に開発

した天吊り2方向カセット形室内機の内部構造を示す。

3.2 オプション

天吊り2方向カセット形室内機のオプションには、補助電気ヒーター・高性能エアフィルタ・透湿膜式加湿器があり、すべてのオプション部品が室内機本体内部に収納できる構成になっている。室内機の外観及び外形寸法は変わっていないこと

表1. 製品仕様

項目	形名	PLHY-20LK(D)	25LK(D)	32LK(D)	40LK(D)	50LK(D)	63LK(D)	71LK(D)	80LK(D)	100LK(D)	125LK(D)									
電源仕様		単相200V 50/60Hz																		
冷房能力 (kW)		2.2	2.8	3.6	4.5	5.6	7.1	8.0	9.0	11.2	14.0									
暖房能力 (kW)		2.5	3.2	4.0	5.0	6.3	8.0	9.0	10.0	12.5	16.0									
外形寸法	厚さLKD形 (mm)	393<8>																		
	厚さLK形 (mm)	563<8>																		
	幅 (mm)	768<960>		1,008<1,200>			1,358<1,500>			1,708<1,900>										
	奥行き (mm)	606<670>																		
熱交換器形式		クロスフイン式																		
機外静圧 (Pa)		0																		
電動機出力 (kW)		0.035		0.085		0.095		0.095		0.085×2										
ファン仕様×使用数		シロッコファン×1		シロッコファン×2			シロッコファン×4			シロッコファン×4										
風量 強ノッチ (m³/min)		8.0	9.0	12.5	13.0	18.0	19.0	22.0	29.0	34.0										
エアフィルタ		合成繊維不織布エアフィルタ (ロングライフレエアフィルタ)																		
外装仕様		溶融亜鉛めっき鋼板																		
防音材仕様		グラスウール																		
製品質量	パネル込みLKD (kg)	34.5	35.5	43.5	46.0	51.5	53.5	53.5	71.5											
	パネル込みLK (kg)	39.5	40.5	48.5	51.0	57.0	59.0	59.0	84.5											

注 <>内はパネル値

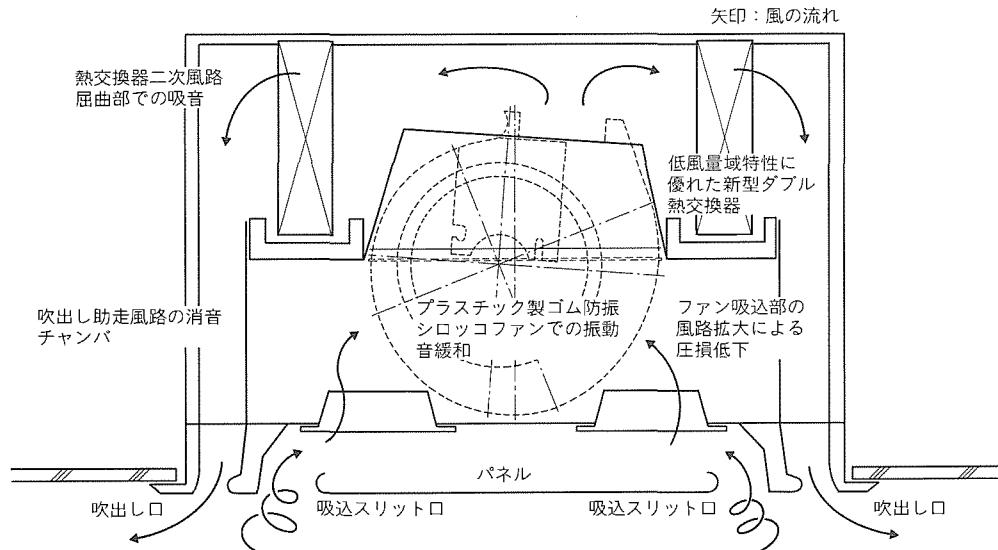


図2. 天吊り2方向カセット形室内機の内部構造

表2. オプション部品仕様一覧

別売部品	形名	PLHY-20LK(D)	25LK(D)	32LK(D)	40LK(D)	50LK(D)	63LK(D)	71LK(D)	80LK(D)	100LK(D)	125LK(D)	
補助電気ヒーター		0.75kW		1.0kW		1.5kW		3.0kW				
		フィン付きシースヒーター (パイプ径8mmの低圧損形)										
高性能フィルタ		比色法 65/90% (初期圧損29.4~39.2Pa { 3~4mmAq })										
透湿膜式加湿器 (加湿水量)		400g/min			800g/min			1,400g/min				

から、設備検討段階での設計省力化に寄与する。表2にオプション部品の仕様一覧を示す。

4. 快適性と低騒音化

開発の主眼とした低騒音化についての特徴を述べる。

4.1 静音化環境

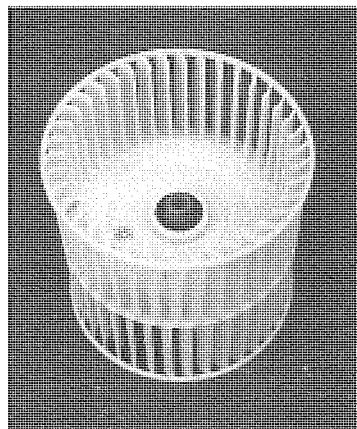


図3. プラスチック製ゴム防振シロッコファン

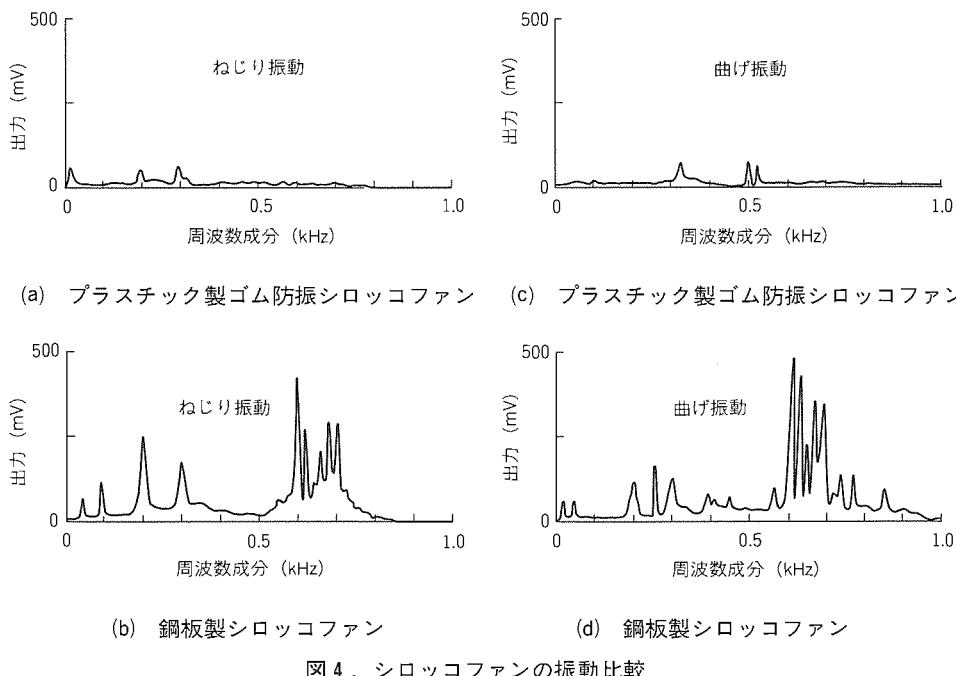


図4. シロッコファンの振動比較

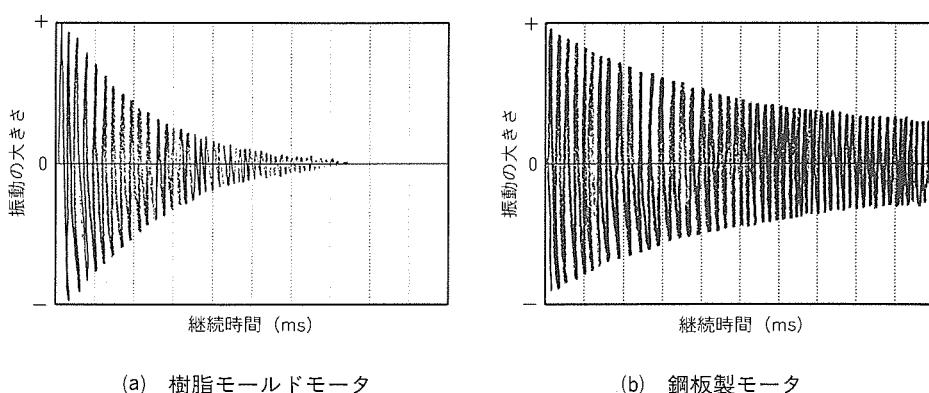


図5. ダンピング特性

エレクトロニクス技術を利用したサウンドインテンシティ法や実験モーダル解析などの測定技術、CAEによるシミュレーション技術が発達した。オフィスにおけるワープロ・オフコン・プリンタなどのOA機器からの発生騒音の緩和も快適な事務環境には重要で、このような解析・評価技術の進歩から低騒音化が進むと考えられる。このような、検討例をいえば、日本建築学会の室用途等級別騒音基準として、一般事務室特級で40 dB (A)、1級で45 dB (A)、2級で50 dB (A) を目標とする指針、又はISOで提案されている分野別知的労働基準値として、一般事務室でNRN値40以下などがそれである。したがって、空調機器の運転に伴う騒音も、それらを十分に満足できるレベルが求められている。

4.2 低騒音化と室内機の課題

空調機器からの騒音の主な発生源は次のように分類できる。

(1) 送風機音

シロッコファン翼振動音、翼表面気流は(剝)がれ音、電磁振動音、回転音、風量変化音など。

(2) 機内発生音

熱交換器通過風切音、風路屈曲部での乱流音、フィルタ通過音、オプション部品の作動音など。

(3) 冷媒音

冷媒流音、二相冷媒での状態変化など。

その中では特に(1)(2)のウェイトが大きく、今回の中心課題となった。

また、一般に送風機の騒音は次式で表すことができる。

$$L_A = L_{SA} + 10 \log_{10} \cdot (Q \times P_T^n) \quad \dots (1)$$

ここで、 L_A : 騒音レベル

dB (A)

L_{SA} : 比騒音レベル

dB (A)

Q : 風量 m^3/min

P_T : 全圧 $Pa/9.8$

$n = 2 \sim 3$

(1)から室内機騒音の低下には、シロッコファン単体の比騒音レベルを下げる同時に、機内抵抗の低下が重要であることが分かる。

4.3 アノイアンスの評価要素

人間の聴覚による不快感を

緩和するために、アノイアンス(総合的迷惑感)の視点から以下の3項目を検討に加えた。

(1) 音の大小と高低差の影響

例: 音はさほど大きくなくても甲高い音はうるさく聞こえる感覚の緩和。

(2) 音のピーク時の影響

例: 睡眠中にいきなり怒鳴られると驚く感覚の緩和。

(3) 音の継続時間の影響

例: 大きい音がどれくらい続くかでうるささの感じが異なる感覚の緩和。

次に、それらの技術的な解決内容を述べる。

4.4 低騒音化への対応

4.4.1 低騒音シロッコファンの開発

今回開発したプラスチック製ゴム防振シロッコファンの外観を図3に示す。前述のように、シロッコファンは騒音要素部品であるから低騒音化対策が必要である。また、室内機の共通部品でもあり、生産性・コスト面から種類の削減が望ましい。そこでモータの入力電圧を変化させることで、高出力から高出力の広い領域を制御し、シロッコファンの回転数を変化させることで、数種類のモータを共用化できるファンコントロール制御を導入した。ファンコントロール制御による出力電圧

は、通電時間を調整して発生させるため、スイッチングによるトルク変動がシロッコファン翼を振動させドラフト音を発生することが懸念され、プラスチック製ゴム防振シロッコファンを導入した。これはプラスチックに混入したブタジエンなどの弾性とゴム防振により、振動伝達を抑える相乗効果をねらったものである。

従来の鋼板製シロッコファンとプラスチック製ゴム防振シロッコファンのねじり振動・曲げ振動比較を図4に示す。材質変更の効果が顕著に表れている。

また、電磁振動音源となるモータ振動を緩和するためモータを樹脂モールド化した。その共振特性を従来形の鋼板製モータと比較したものが図5のダンピング特性である。図は樹脂モールドモータの振動値が時間とともに急激に低下する傾向を示しており、外部への振動が伝達しにくいことが分かる。

4.4.2 構造吸音と作動音

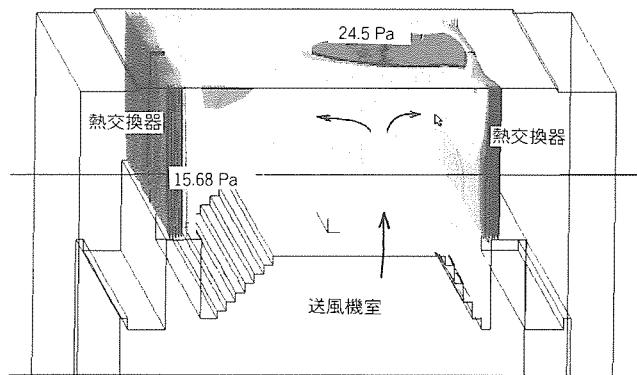


図6. 热交換器一次側機内圧力斜視分布。

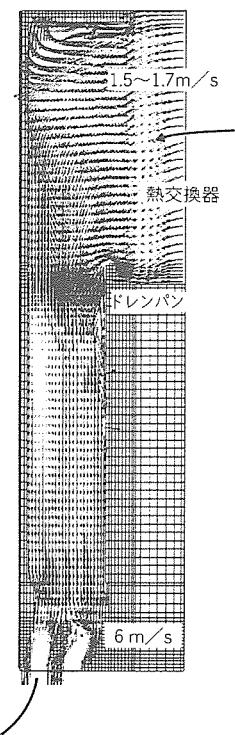


図7. 热交換器一次側機内圧力側面分布

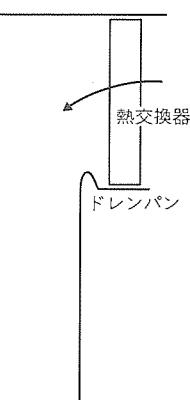
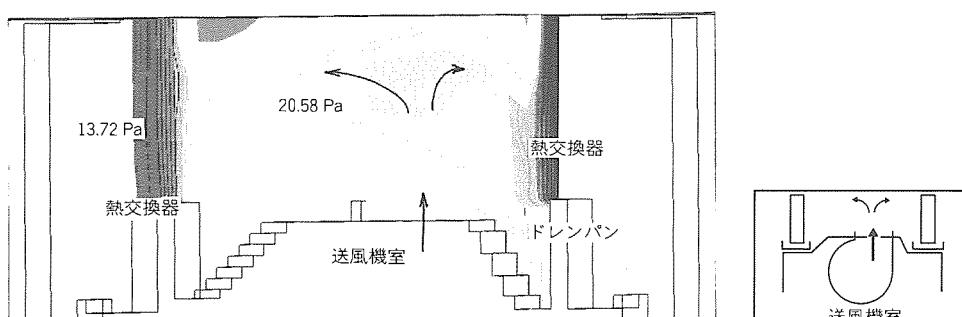


図9. 热交換器二次側
風速分布

図8. 热交換器一次側風速分布

表3. 形名別当社新旧騒音値比較

単位: dB (A)

形名 比較仕様	PLHY- 20LK (D)	25LK (D)	32LK (D)	40LK (D)	50LK (D)	63LK (D)	71LK (D)	80LK (D)	100LK (D)	125LK (D)
新2方向カセット	32	32	33	33	34	35	37	39	39	42
当社従来形	40	40	40	43	43	43	46	46	49	49
騒音差	-8	-8	-7	-10	-9	-8	-9	-7	-10	-7

図3に示すとおり、熱交換器二次屈曲部での一次吹出し音をグラスウールで吸音し、吹出し部までの助走風路を消音チャンバとしたことで2dB(A)下げられた。

また、オプション部品である加湿器用給水弁は一般的に電磁式であり、作動時に電磁コイル部のプランジャーの吸引音が発生するために、直流制御をして吸引音をなくした。

4.4.3 機内抵抗の低下

従来機の機内抵抗への寄与要因を調べると、シングル熱交換器を2方向に分ける風路抵抗が全圧の大半を占めていた。そこで、低風量域特性に優れた新型熱交換器を左右に設けるダブル熱交換器とし、それによって面風速を低下させ、機内抵抗を従来の1/3に小さくできた。これにより、騒音値は5~6dB(A)低下した。CAEによるシミュレーション解析結果は以下のとおり。

図6は熱交換器一次側機内圧力斜視分布図

図7は熱交換器一次側機内圧力側面分布図

図8は熱交換器一次側風速分布図

図9は熱交換器二次側風速分布図

送風機吐出部から熱交換器流入部までの間で9.8~11.76Pa{1.0~1.2mmAq}前後、熱交換器前後で6.86Pa{0.7mmAq}程度の低圧損に抑えられていることが図7、図8の圧力分布から検証できた。

4.4.4 オプション部品の圧損防止

オプション部品を機内に組み込むと、一般に機内抵抗が増加するが、ここでは組込み抵抗の増加を小さくするために次の対策をした。

(1) 補助電気ヒータ

フィン付きシーズヒータは細径のパイプを使用し、風圧損の増加を抑制した。

(2) 透湿膜式加湿器

ふつ素系透湿膜プラスチックシートの間の空気通路形成とプラスチックシートの膨らみを防止するために、樹脂製セパレータを薄くして風圧損を抑制した。

4.5 低騒音成果

これまで述べた機内抵抗の低減、プラスチック製ゴム防振シロッコファン、樹脂モールドモータ及びそれらの振動伝達系の防振構造、室内機内部の吸音風路などにより、従来に比べて新しい2方向カセット形の騒音値は、平均8dB(A)の大幅な低下となった。また、人間の聴覚で不快と感じる音質

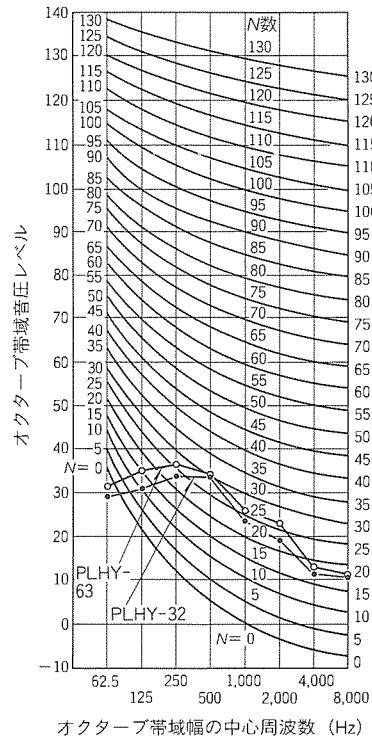


図10. NRN指数評価プロット

を抑えるために、アノイアンスの視点からファン回転数制御で急激な音の変化を防止した。騒音値の低下だけでなく、不快音の低減効果も図れ、音環境に優しい製品が開発できた。

表3に形名別の新旧騒音値比較を示し、図10にPLHY-32LKと63LK形のNRN指数評価プロットを示す。

全形名が30~35のNRN値を満足し、目標としたISOの分野別知的労働基準値のNRN値40以下が達成できた。静かな運転が望まれるホテル客室・病室などにも設置対応可能な室内機といえよう。

5. むすび

低騒音化を主眼に開発した2方向カセット形室内機PLHY-LKシリーズの特徴と低騒音化のための改善項目を述べた。従来機に比べ、騒音は平均8dB(A)低下し、不快音も低減したので、静かな運転が望まれる客室・病室などに向く室内機である。

今後、更に多様化する空調ニーズを的確にとらえ、新製品開発に努力する所存である。

マルチ型パッケージエアコンにおける高効率自律分散制御

四十宮正人* 榎本寿彦***
山下浩司* 柴田裕司***
松岡文雄** 吉田孝行*

1. まえがき

近年、地球的規模の環境問題が多く取り上げられるようになっており、中でも地球温暖化やオゾン層破壊といった問題が注目を集めるようになっている。これらの問題から空調業界においても“省エネルギー化”“省フロン化”が重要課題となっており、環境に適した機器開発が要求されている。

一方で、空調機器におけるシステムの標準化や信頼性向上の立場から、室内機と室外機を独立に制御する自律分散制御思想が広がってきていている。中でもシステム化の中核であり年々需要が増しているマルチ型エアコンでは、制御方式が複雑で多岐にわたるため、自律分散化の必要性が叫ばれている。これらから、マルチ型エアコンにおいて効率的であり、かつ環境に適合した新しい制御回路が求められている。そこで、冷媒をバイパスさせて熱交換する SR (Self-Return) 効果を応用した新冷凍サイクル“エコサイクル”を開発した。このエコサイクルは、Heat Inter Changer 回路と圧縮機と送風機の同時制御による NSS (Next Stage Self-controlled) 制御を組み合わせた自律分散制御で、これらによって高効率(エコノミー)，省フロン及びメンテナンス負荷の低減等、環境への適合(エコロジー)を考慮した制御が可能になる。

本稿では、マルチ型パッケージエアコン“スリムマルチ”に応用したこれら二つの制御方法について、原理の説明とシミュレーションによる理論解析を中心に述べる。

2. エコサイクル

図1にエコサイクルの基本概念を示す。エコサイクルとは、

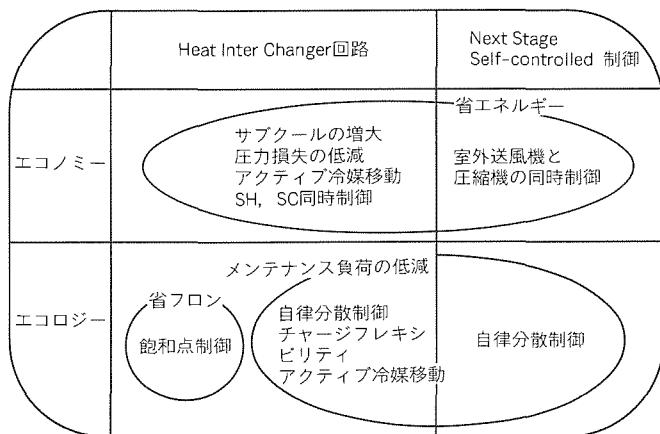


図1. エコサイクル

省エネルギー、省フロン、メンテナンス負荷の低減を目的とした新しい冷凍サイクルであり、これらを実現するために、Heat Inter Changer 回路及び NSS 制御を応用している。これらの制御の特長について簡単に述べる。

Heat Inter Changer 回路には、

- (1) SR 効果による冷凍効果の増大と圧損の低減
 - (2) 冷媒のバイパス量制御によるアクティブ冷媒移動
 - (3) スーパヒート (SH) とサブクール (SC) の同時制御
 - (4) メンテナンス負荷の低減
- 等の効果がある。また、凝縮器出口冷媒にサブクールを付ける飽和点制御を行うことにより、省フロン化も可能である。

一方、NSS 制御では、室外送風機と圧縮機の同時制御による省エネルギー効果のほか、自律分散によるメンテナンス負荷の低減効果もある。これら二つの制御を組み合わせることによって、より効果的な省エネルギー、省フロン、メンテナンス負荷の低減を実現できる。

3. Heat Inter Changer回路

3.1 Heat Inter Changer回路構成

図2にHeat Inter Changer回路を示す。回路は圧縮機、凝縮器、Heat Inter Changer、室外電子膨張弁、アキュムレータから構成される室外機と、室内電子膨張弁、蒸発器から構成される複数の室内機で構成されている。Heat Inter Changerは、凝縮器出口高温冷媒を低温冷媒と熱交換することによって過冷却を行う(SR効果)熱交換器である。圧縮機、凝縮器を経た高温冷媒は、Heat Inter Changer通過後、

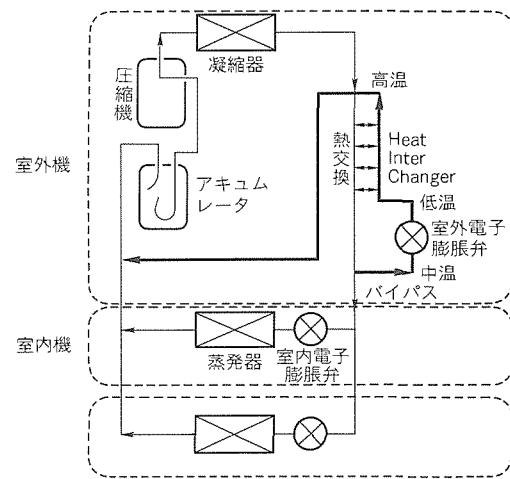


図2. Heat Inter Changer回路

主流とバイパス流に分かれる。主流は室内機へ流れ、各室内電子膨脹弁、蒸発器を通過した後、アキュムレータ手前でバイパス流と合流し、アキュムレータを経て圧縮機へと戻る。一方、バイパス流は室外電子膨脹弁を通過して低温化後、Heat Inter Changerにおいて高温冷媒を冷却し、アキュムレータ手前で主流と合流する。バイパスされる冷媒流量は、主に室外電子膨脹弁によって調整可能となっている。

この回路の特長を図3に示すモリエル線図を用いて説明する。Heat Inter Changer回路では、Heat Inter Changerにおいて熱交換を行い、凝縮器出口冷媒を過冷却している。このため、通常の回路より冷凍効果が増大する。また、冷媒量によらず室内膨脹弁をスーパヒート制御できるから、圧力損失が大きくなる二相流部分が減少し、通常より圧損が低減されたサイクルになる。

3.2 スーパヒート、サブクールの同時制御

Heat Inter Changer回路では、室内機及び室外機双方に電子膨脹弁を備えている。各室内機にある電子膨脹弁は、通常の冷凍サイクルの膨脹作用に用いられているが、室外機に存在する電子膨脹弁は、Heat Inter Changerで熱交換を行う低温冷媒を生成する役割とバイパス流量を調整するという二つの目的のために利用されている。

マルチ型パッケージエアコンでは、運転台数や室内外温度条件の違い等によって余剰冷媒が発生する。従来の制御では、この余剰冷媒をアキュムレータへた(溜)めるために、室内機の膨脹弁の開度を開き気味にして蒸発器通過流量を増やすことにより、蒸発器出口冷媒を過熱しないように制御を行っている。このため余剰冷媒発生時には、最適冷媒で運転している場合と比べて、やや効率の悪い運転になる場合がある。ところが、Heat Inter Changer回路では室外機の膨脹弁を制御して、余剰冷媒を通常回路からバイパスさせることができるので、常に室内側の蒸発器に適正な冷媒量を循環させることができる。そこで、蒸発器出口のスーパヒートを最適値で制御することが可能となる。また、従来のサイクルでは、スーパヒート又はサブクールのどちらか一方を制御しているが、もう一方は冷媒循環量に依存するため制御不能であった。しかし、当サイクルでは冷媒循環量を制御できるから、スーパヒートとサブクールの同時制御が可能となる。

3.3 凝縮器出口飽和点制御による省フロン化

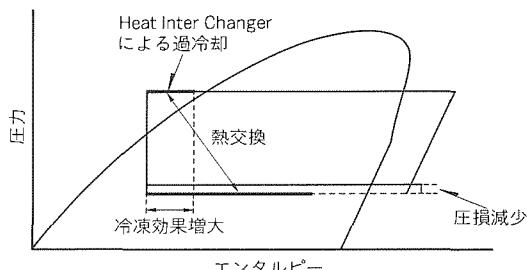


図3. Heat Inter Changer回路モリエル線図

マルチ型エアコンでは、余剰冷媒の発生による高効率化が可能である一方で、凝縮器出口冷媒の過冷却をできるだけ抑えて冷媒の削減を図ることができる。

通常の冷凍サイクルでは膨脹弁入口が液冷媒になり、制御が安定するように、凝縮器出口において数度の過冷却度をとっている。しかし、Heat Inter Changer回路では凝縮器出口で過冷却されていなくても、Heat Inter Changerにおいて過冷却ができる、膨脹弁におけるフラッシュの心配がなくなり、常に安定した制御を行える。そこで、凝縮器出口冷媒を、飽和液又は低い乾き度の二相冷媒になるよう制御すれば、図4に示すように、凝縮器内の冷媒量を削減できる。この際、蒸発器やその他の部分に存在する冷媒量は、通常の冷媒量とさほど変化しないため、回路全体に必要な冷媒量を削減可能である。

4. シミュレーションによる

Heat Inter Changer回路の解析

Heat Inter Changer回路の特性を定量化するため、シミュレーションによる理論解析を行った。

4.1 シミュレーション理論式

シミュレーションは、熱バランス計算によってサイクルを決定し、各部の冷媒量を求めた。なお、式中で用いる記号及び添え字は次のとおりである。

記号	添え字
Q : 热交換量 (kW)	g : ガス部
T : 温度 (K)	l : 液部
v : 比容積 (m^3/kg)	t : 二相部
I : エンタルピー (kJ/kg)	h : 過冷却熱交換器
A : 伝熱面積 (m^2)	c : 凝縮器
K : 热通過率 ($W/m^2 \cdot K$)	e : 蒸発器
q : 質量流量 (kg/s)	tl : 鮫和液
ΔT : 対数平均温度差 (K)	tg : 鮫和ガス
y : バイパス流量比	i : 入口
m : 質量 (kg)	o : 出口
L : 長さ (m)	

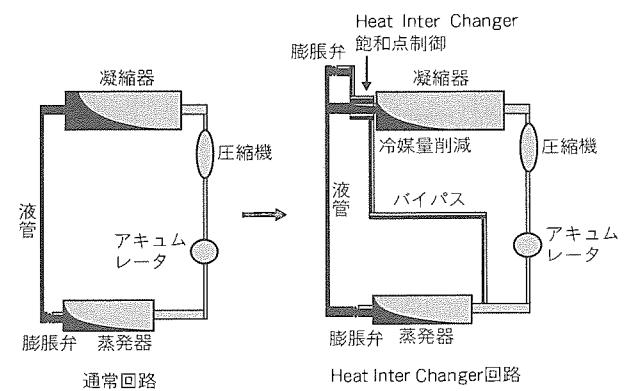


図4. 飽和点制御

4.1.1 热バランス計算

システムの主要構成部ごとに熱バランス計算を行う。

(1) 過冷却熱交換器部

過冷却熱交換器部は、バイパス流量によって低温側出口冷媒が二相になる場合と液になる場合があり、分けて計算する。

(a) 出口二相の場合

$$Q_h = K_{ht} \times A_{ht} \times \Delta T_{ht} \times 10^{-3} \quad (1)$$

$$Q_h' = q \times (I_{hi} - I_{ho}) \quad (2)$$

(b) 出口液部の場合

$$Q_{ht} = K_{ht} \times A_{ht} \times \Delta T_{ht} \times 10^{-3} \quad (3)$$

$$Q_{hl} = K_{hl} \times A_{hl} \times \Delta T_{hl} \times 10^{-3} \quad (4)$$

$$Q_h = Q_{ht} + Q_{hl} \quad (5)$$

$$Q_h' = q \times (I_{hi} - I_{ho}) \quad (6)$$

(2) 凝縮器部

凝縮器部はガス部、二相部、液部に分け、それぞれの管内熱伝達率を用いて熱交換量及び各部伝熱面積を計算する。

$$Q_{cg} = K_{cg} \times A_{cg} \times \Delta T_{cg} \times 10^{-3} \quad (7)$$

$$Q_{cg}' = q \times (I_{cgo} - I_{cg}) \quad (8)$$

$$Q_{ct} = K_{ct} \times A_{ct} \times \Delta T_{ct} \times 10^{-3} \quad (9)$$

$$Q_{ct}' = q \times (I_{cti} - I_{cto}) \quad (10)$$

$$Q_{cl} = K_{cl} \times A_{cl} \times \Delta T_{cl} \times 10^{-3} \quad (11)$$

$$Q_{cl}' = q \times (I_{cli} - I_{clo}) \quad (12)$$

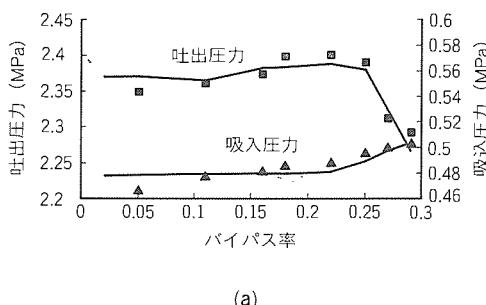
(3) 蒸発器部

蒸発器部は二相部、ガス部に分け、それぞれの管内熱伝達率を用いて熱交換量及び各部伝熱面積を計算する。

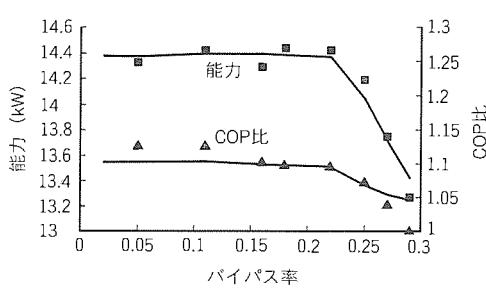
$$Q_{et} = K_{et} \times A_{et} \times \Delta T_{et} \times 10^{-3} \quad (13)$$

$$Q_{et}' = q \times y \times (I_{eto} - I_{eti}) \quad (14)$$

$$Q_{eg} = K_{eg} \times A_{eg} \times \Delta T_{eg} \times 10^{-3} \quad (15)$$



(a)



(b)

図 5. バイパス流量比特性

$$Q_{eg}' = q \times y \times (I_{ego} - I_{eg}) \quad (16)$$

$$Q_e = Q_{et} + Q_{eg} \quad (17)$$

4.1.2 冷媒量計算

ガス部及び液部では、区間内容積と区間平均密度を用いて計算する。

二相部では、すべり比 s を用いて微小区間質量を求め、微小区間の平均乾き度を用いて以下の計算を行う。

$$A_{tl} = (1 + (v_g/v_l) \times (1/s))^{-1} \quad (18)$$

$$A_{tg} = A - A_{tl} \quad (19)$$

$$dm_{tl} = A_{tl} \times dL/v_{tl} \quad (20)$$

$$dm_{tg} = A_{tg} \times dL/v_{tg} \quad (21)$$

$$dm_t = dm_{tl} + dm_{tg} \quad (22)$$

4.2 Heat Inter Changer回路の基本特性

スーパヒートを5°C一定に保った際のバイパス流量比に対する吐出圧力、吸入圧力、能力、COP比を図5に示す。なお、同一条件の実験値を図中にプロットした。吐出圧力 P_d は、バイパス流量比が増えると徐々に増加し、25%以後急激に低下する。また、吸入圧力 P_s は、バイパス流量比の増加とともに徐々に上昇する。冷房能力は、バイパス流量比率が2~22%の間ほぼ一定となっており、広い範囲で冷房能力が確保されていることが分かる。

また、COPは、シミュレーション、実験値ともにバイパス流量比率が約20%程度までほぼ一定で、22%を超えた辺りから低下しているのが分かる。これは、吸入圧力の増加による吸入比容積の減少により、入力が増えたことに起因する。吐出・吸入圧力、能力、COP比の傾向は、シミュレーション値、実験値共におおむね一致している。

4.3 Heat Inter Changer回路による高効率化

Heat Inter Changer回路は、運転状況が変化し、余剰冷媒が発生した際に、通常よりも効率的な運転を行うことができる。

余剰冷媒発生時の同一能力における通常回路(サブクール制御)とHeat Inter Changer回路との比較を表1に示す。通常回路は、蒸発器出口乾き度が0.96、Heat Inter Changer回路のバイパス率は15%の状態におけるものであり、この際の両者の冷媒量はほぼ同等である。Heat Inter Changer回路は、運転状況が変化し、余剰冷媒が発生した際に、通常よりも効率的な運転を行うことができる。

表1. 通常回路とHeat Inter Changer回路の比較

	通常回路	Heat Inter Changer回路
冷凍能力 (kW)	14.7	14.7
COP比	1.0	1.1
凝縮器出口過冷却度 (°C)	5.0	5.0
蒸発器出口過熱度 (°C)	—	5.0
蒸発器出口乾き度	0.96	—
バイパス流量比 (%)	—	15.0
蒸発器流量 (kg/h)	356.8	299.7
冷凍効率 (kJ/kg)	148.2	176.4
蒸発器圧力損失 (MPa)	0.135	0.102

er回路では通常回路より冷凍効果が約1.2倍となっており、結果的に蒸発器流量との兼ね合いから冷凍能力は同等となっている。蒸発器圧力損失は約3割程度低減されており、COP比の向上(約10%)に寄与している。

4.4 アクティブ冷媒移動

図6は、余剰冷媒運転時にバイパス流量を変化させた際(スーパヒート一定)の圧縮機、凝縮器、蒸発器、アキュムレータ、その他(延長配管等)の冷媒分布をシミュレーションによって求めたものである。図から、圧縮機、蒸発器及びその他の部分では、冷媒量はほとんど変化しておらず、バイパス流量が増えるにしたがって凝縮器冷媒量が増え、アキュムレータ内冷媒量が減っているのが分かる。これはスーパヒート一定の際、バイパス流量を増すにしたがって余剰冷媒が凝縮器からアキュムレータへ移動しているからである。この際、凝縮器のサブクールは凝縮器内の冷媒量の減少とともに、単調に低下している。このことから、凝縮器サブクールを制御すれば、余剰冷媒を凝縮器からアキュムレータへアクティブ移動することが可能であることが分かる。このようにバイパス回路を用いて余剰冷媒をアキュムレータへ溜めることができるために、常に室内機には最適な冷媒量が循環し、蒸発器出口スーパヒートを最適値にコントロールしたまま凝縮器出口サブクールをコントロールでき、自律分散制御が可能となる。

5. NSS制御

5.1 NSS制御の基本原理

NSS制御は、圧縮機周波数と送風機回転数を変化させた際の能力及び入力をマトリクス演算によって予測し、同一能力の中で最小の入力になるように制御を行うものである。

このNSS制御の流れを示したブロック線図を図7に示す。設定温度と吸込温度の差をもとに、圧縮機の基本周波数を決定する。そして、これと同一能力であり、入力を最小とするような圧縮機周波数と送風機回転数を予測して制御を行う。さらに吹出し温度は、空調負荷を介した吸込温度としてフィードバックされる。圧縮機周波数増分 ΔF と送風機回転数

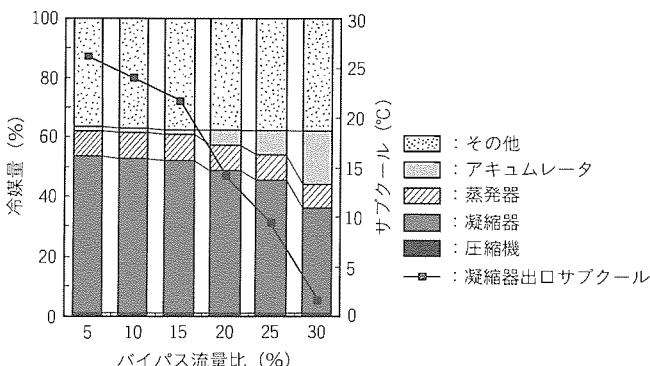


図6. バイパス流量比による冷媒量変化

増分 ΔN に対する能力の増分 ΔQ 、入力の増分 ΔW の予測は、マトリクスデータabcdを用いて式(23)で表される。

$$\begin{pmatrix} \Delta Q \\ \Delta W \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta F \\ \Delta N \end{pmatrix} \quad \dots \dots \dots \quad (23)$$

マトリクスデータは経験値によるものであり、場合によっては学習機能を持たせることもできる。

5.2 NSS制御のダイナミックシミュレーション

図8にNSS制御のダイナミックシミュレーションのフローチャートを示す。初めに初期条件をインプットして初期状態の安定ポイントを求める。そして、目標値に対する現在の状態から圧縮機の基本周波数の変化を決定し、NSS制御による圧縮機周波数及び送風機回転数を決定し、これに基づいた冷凍サイクルのバランス計算を行う。各安定ポイント間の運転状態の推移は1次遅れの伝達関数で表す。

図9は、NSS制御を行った場合と行わなかった場合について、圧縮機周波数、送風機回転数、及びCOP比の時間変化を示したものである。開始20分までは過渡状態であり、それ以後はほぼ安定した状態になっている。NSS制御がある場合、COP比向上のため運転後すぐに送風機回転数に制御がかかり、600r/min程度まで下がる。また、安定時に

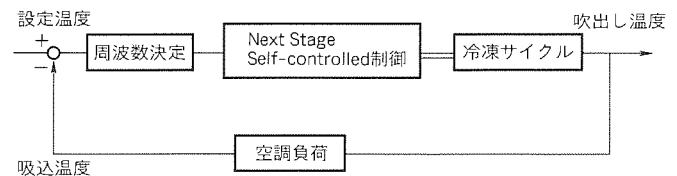


図7. NSS制御プロック線図

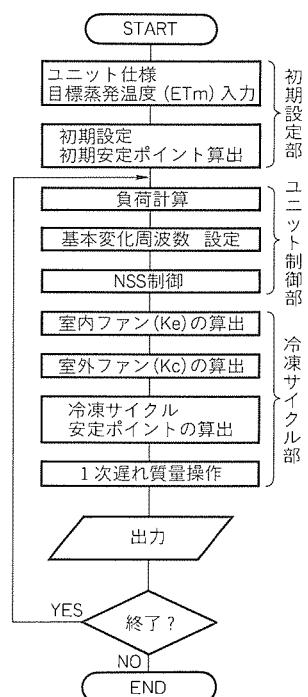


図8. NSS制御ダイナミックシミュレーション
フローチャート

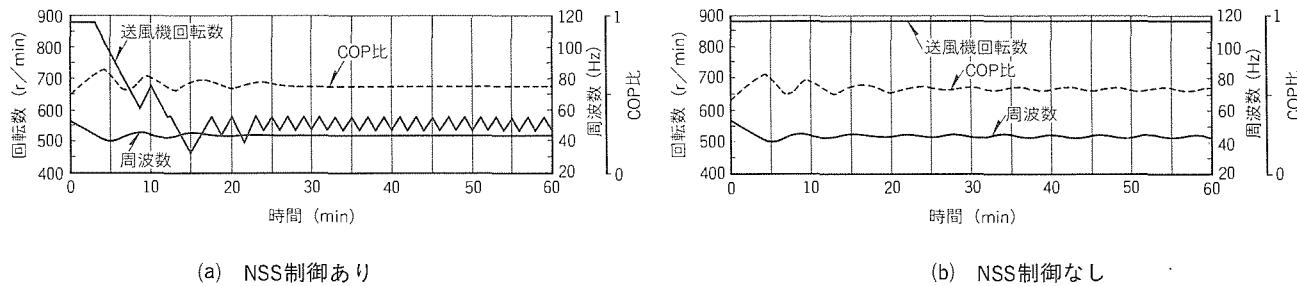


図9. NSS制御ダイナミックシミュレーション

は、NSS制御では送風機回転数に制御がかかり、圧縮機周波数は変動せず、COP比も一定して安定した運転になっていている。これに対してNSS制御を入れない場合には、送風機回転数が一定値のまま圧縮機周波数が変化しており、これによってCOP比がかなり変化している。この間、NSS制御では約5%程度COP比が向上している。実機では、NSS制御の考え方を基に凝縮器圧力をある一定の幅の中に入るように、圧縮機周波数及び室外送風機の制御を行っている。

6. む す び

現在、地球環境問題から、マルチ型パッケージエアコンにおいて省エネルギー、省フロン、メンテナンス負荷の低減、自律分散化等の課題がある。今回開発した“エコサイクル”の中に含まれる二つの制御方法、Heat Inter Changer回路とNSS制御は、これらの問題を解決するための有効な手段である。また、これらの制御は適用範囲が広く、これから応用展開が期待できる。

分流コントローラのアルミニウム製 プレート型熱交換器

久森洋一* 谷口雅昭**
尾方善通* 孝橋政雄***
倉地光教**

1. まえがき

近年のビル用空調システムにおいて、ビル用マルチエアコンシステムはインテリジェントビル、テナントビルから集合店舗ビルまで幅広く採用されている。一方、ビルに対するユーザーニーズとしては、インテリジェント化・OA化に不可欠な年間冷房、快適環境を個別選択できる自由度、さらにスペース・工事・エネルギー面の高効率性、レイアウト変更に対応できる冷暖房負荷変動への追従性などが挙げられる。

当社では、これらの要求にこたえるビル用マルチエアコンシステムとして、1990年に室内機ごとに冷暖房を選択可能な2管式冷暖同時マルチR2シリーズ⁽¹⁾を販売した。このシ

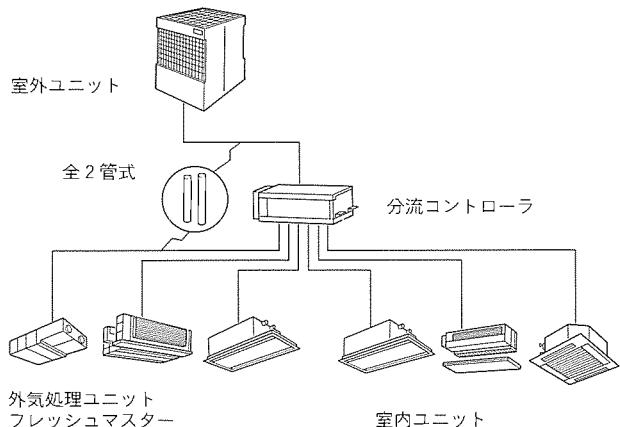


図1. システムの概要

ステムは、他社の3管式と異なり、室内機と室外機の間が2本の配管で済むため、従来のパッケージエアコン室内機と互換性があり、工事の高効率化、レイアウト変更に容易に対応できる。この2管式が可能になったのは、分流コントローラをシステムに持たせたためである。この分流コントローラは、高性能な気液分離器、室内機と同数のサブクール熱交換器及び切替弁群並びにこれらをつなぐ銅配管で構成されている。反面、このシステムは、屋内に分流コントローラが必要なため、その小型化が望まれていた。そこで、以下の技術開発を行うことにより、従来に比べて約1/2の小型化を達成した。

- (1) 複雑な銅配管群から成る従来のサブクール熱交換器に代わり、小型軽量の多層アルミニウム製プレート型熱交換器を考案し、これらを一括ろう付けする技術の開発でこれを実現した。
- (2) 接触電位差を緩和するステンレス鋼を中間に挿入して、高強度にろう付けする技術を開発し、アルミニウム熱交換器と銅配管の接合部に発生する電食の問題を解決した。
- (3) 生産設計とろう付け方法の工夫により、複数の弁機能と配管機能を一つに統合してブロック化し、これらを室内機の数だけ連ねてユニット化した。

本稿では、この分流コントローラについて、その構造と特長、アルミニウム製プレート型熱交換器の一括ろう付け技術と強度設計技術、継手部の電食を防止するための防食設計技

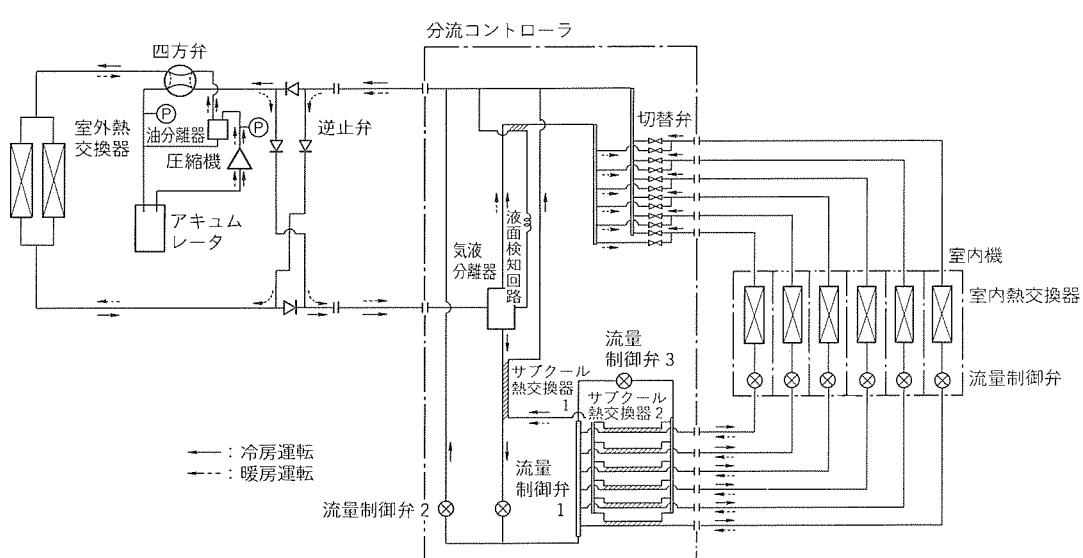


図2. 冷媒回路（冷房運転時、暖房運転時の冷媒の流れ）

術について報告する。

2. 開発した分流コントローラの構成と特長

この冷暖同時マルチR2シリーズは、図1に示すように1台の室外機を分流コントローラに接続し、複数の室内機ユニットを運転する構成になっている。各ユニット間の接続配管は、通常のパッケージエアコンと同様にすべて2本である。

図2にR2シリーズの冷媒回路を示す。分流コントローラは、その名の示すとおり分配機であり、室内機の数に対応したサブクール熱交換器と切替弁が主体の冷媒配管を持つ。このサブクール熱交換器は、分流コントローラ内の気液分離器で分離された液冷媒に十分な過冷却を与えるための熱交換器であり、切替弁は室内機の運転状態を冷房又は暖房に切り替えるものである。

この分流コントローラを小型化するため図3に示すように、従来多数の銅管からなるサブクール熱交換器部のプレート化と切替弁などの配管部品のブロック化を図った。今回開発した分流コントローラと従来機との大きさの比較を図4に示す。これらの開発を行った結果、容積が従来の約1/2、ろう付け箇所が従来の約1/3に削減でき、小型で信頼性の高い分流コントローラが実現した。また、熱交換器部材を銅材からアルミニウム材へ変更したため、この部材の再生利用も可能になった。

3. アルミニウムろう付け技術の開発

アルミニウム製プレート型熱交換器は図3に示すように、冷媒を流す溝加工を施したアルミニウム平板を積層して構成される。この熱交換器は、後に解説するブレージングシートと呼ばれるシート状のろう材を用い、大面積を一括してろう付けしている。このろう付けにより、流路のシール性と強度を得ている。

しかしながら、このブレージングシートは種類が多く、そのろう付け方法もブレージングシートの種類や、製作する製

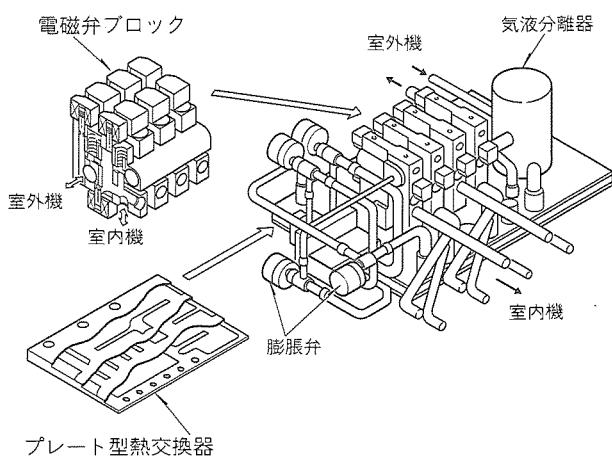


図3. 新型分流コントローラの外観

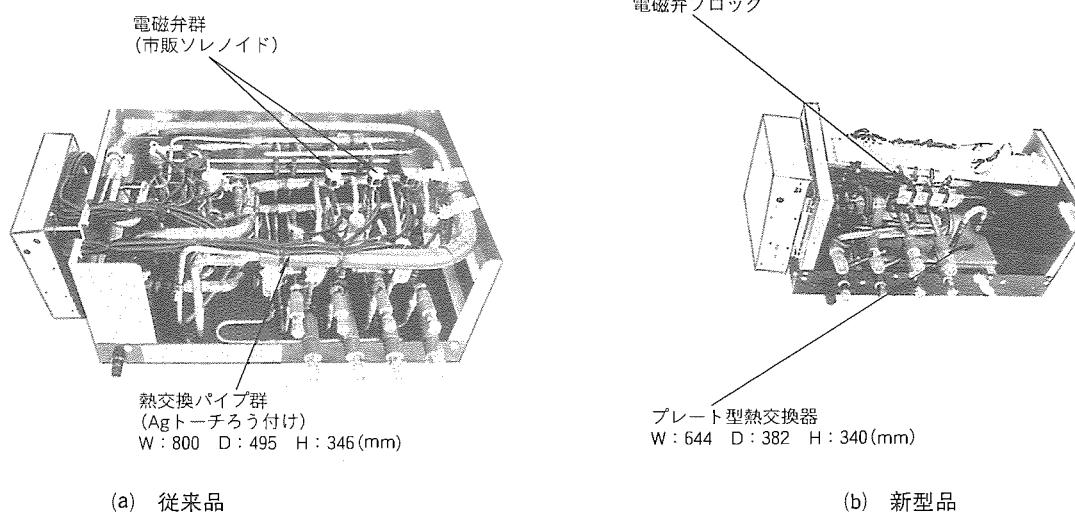


図4. 新旧の分流コントローラの比較

ろう材例 : Al-Si系, Al-Si-Mg-(Bi)系
心材例 : Al-Mn系, Al-Si-Mg系

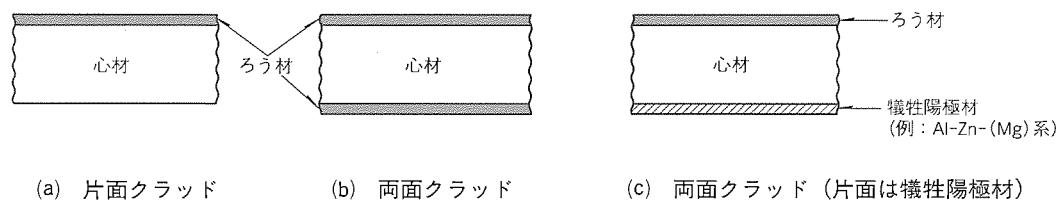


図5. アルミニウムブレージングシートの断面形状

表1. アルミニウムプレージングシートの種類及び記号 (JIS Z 3263)

種類及び記号	プレージングシートの構成		合わせ面	参考		
	心材	皮材(ろう)		皮材の固相線温度(℃)	皮材の液相線温度(℃)	ろう付け温度(℃)
BA 23PC	6951	BA 4045	片側	577	590	590~605
BA 24PC	6951	BA 4045	両側			

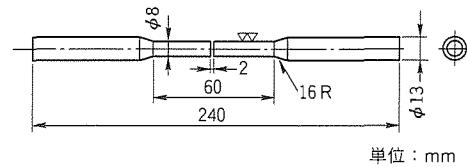
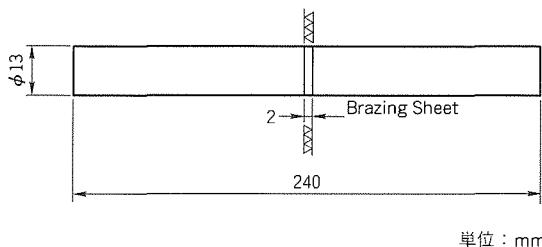


表2. 母材の化学成分

単位: wt%

種類	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Al
A1100	0.05	0.05	0.05	0.05	—	—	0.1	Bal
A5052	0.25	0.4	0.1	0.1	2.5	0.2	0.1	Bal

品によって異なる。ここでは、プレート型熱交換器に適したろう付け方法を得るために行ったプレージングシートのろう付け性試験について述べる。

3.1 プレージングシート

プレージングシートは、アルミニウムの心材にアルミニウムろう材を重ね、圧延によって接合したクラッド材である。アルミニウム酸化皮膜の延性が乏しいため、重ね圧延によって比較的容易にクラッドできる。断面構造⁽²⁾を図5に示す。通常は、両面にろう材がクラッドされているが、片面クラッドのものもある。

今回、ろう付け試験片に使用したプレージングシート⁽³⁾を表1に示す。

3.2 プレージングシートのろう付け方法

プレージングシートのろう付け方法には、次の3種類の方法がある。

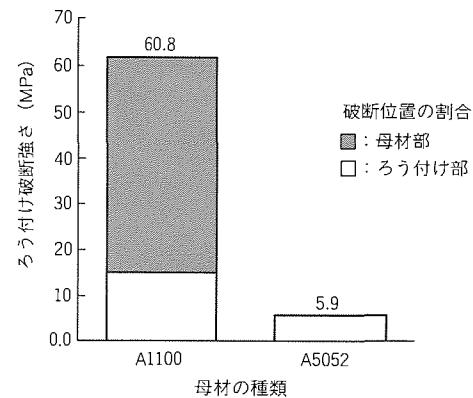
(1) 真空ろう付け方法(VB法)

真空ろう付け用ろう材には、1.5%程度のMgが添加されている。Mgはゲッタ材と言われており、酸素と反応し、炉内を清浄化して良好なろう付け性を確保すると考えられている。Mgは蒸気圧が高いので、良好な真空下では蒸発して、アルミニウム表面の浄化反応が盛んになる。そのため、炉内を高真空度(1.33×10^{-3} Pa { 10^{-5} Torr}から 1.33×10^{-5} Pa { 10^{-7} Torr})に保つことが良好なろう付けを得るために重要な条件になる。

(2) 雾囲気ろう付け方法(VAW法)

真空ろう付け法ではフラックスを使用するろう付け法に比べて、ろう材の流動性が劣る。VAW法は、これを改善するために、ろう材中にBiを微量(0.1%以下)添加したものである。Bi添加により、流動性が向上するとともに、真空度の劣るろう付け条件下でも良い結果が得られる。そのため、真空度は 1.33 Pa { 10^{-2} Torr}程度で対応できる。

(3) Nocolokろう付け方法



このろう付け技術は、カナダのAlcan社で開発された非腐食性フラックスを用いたフラックスろう付け方法である。このフラックスは、ろう付け温度付近で活性になり、常温では非吸湿・非腐食性である。そして、このろう付け法は不活性ガス雰囲気中でろう付けが行え、洗浄除去が不要という真空ろう付け法が持っている利点も併せ持っている。

3.3 ろう付け条件の違いによるろう付け強さ試験

3.3.1 試験片及び試験方法

VAW法でろう付け条件を変え、ろう付け継手強さを評価した結果を記す。ろう付け条件には、①母材種類、②ろう付け温度の保持時間、③ろう付け時の押し付け圧力を選んだ。試験片には、図6に示すφ13のアルミニウム棒を用いた。その中心にプレージングシートを挟み、ずれがないように治具で固定して所定の面圧をかけ、ろう付け温度600℃で保守時間を変えてろう付けを行った。ろう付け雰囲気は、 1.33×10^{-1} Pa { 10^{-3} Torr}まで真空に引いた後に81kPa {0.8気圧}のN₂ガスを充てん(填)した。ろう付け後、図7に示すJIS2号ろう付け引張試験片に加工した。

3.3.2 試験結果

(1) 母材の継手強さへの影響

母材として、純アルミニウムである A1100-0 材と Al-Mg 系合金の A5052-0 材を用い、ろう付け継手強さを比較した。母材の化学成分を表 2⁽⁴⁾に示す。継手強さの試験結果を図 8 に示す。A1100 材は 8 割が母材部で破断しており、継手強さも 60.8 MPa {6.2 kgf/mm²} であった。

一方、A5052 材はすべてろう層部で破断しており、ろう付け継手強さも A1100 材の 1/10 程度の 5.9 MPa {0.6 kgf/mm²} であった。

N_2 雰囲気を用いる VAW 法では、Al-Mg 系合金は接合できないようである。

(2) ろう付け保持時間の継手強さへの影響

ろう付け温度の保持時間を 5, 15, 30 min と変えたときのろう付け強さを図 9 に示す。図では、継手強さにほとんど変化がないが、ろう付けの保持時間が 15 min 以上では、完全な母材破断になることが分かった。

(3) ろう付け時の押し付け圧力の継手強さへの影響

ろう付け時の押し付け圧力を、自重のみ、98.1 kPa {1 kgf/cm²}, 196.1 kPa {2 kgf/cm²} と変化させたときのろう付け継手強さを比較した。試験結果を図 10 に示す。押し付

け荷重が自重のみでは、試験片はすべてろう層で破断し、その継手強さも加圧したときに比べて低い値 35.3 MPa {3.6 kgf/mm²} となった。一方、ろう付け時に加圧した試験片は両者とも、同じ破断強さ 60.8 MPa {6.2 kgf/mm²} を示した。そして、押し付け圧力 98.1 kPa {1 kgf/cm²} の試験片の方が母材破断の割合が高かった。これより、ろう付け時の押し付け圧力は自重のみでは不足であり、98.1 kPa {1 kgf/cm²} 近傍に適正値があることが分かった。

4. プレート型熱交換器の強度設計技術

プレート型熱交換器は図 3 に示したように、複数の板で構成される。各中間板には、プレート型熱交換器の中を流れる高圧回路の冷媒と低圧回路の冷媒の差圧が作用している。また、端板には冷媒と大気との差圧が作用している。熱交換器内部を流れる冷媒回路部分に冷媒の圧力 (低圧 1.47 MPa {0.15 kgf/mm²}, 高圧 2.94 MPa {0.3 kgf/mm²}) を荷重条件として与え、有限要素法を用いて、各板の変形・発生応力の計算を行った。有限要素解析による端板の変形計算結果の一例を図 11 に示す。このような計算を行うと適正な板厚を決定できる。

5. 継手部の防食設計技術

前述のアルミニウム製プレート型熱交換器は、室内機の銅配管と接続される。しかし、この異種金属継手部分におけるアルミニウムと銅の組合せは、接触電位差が大きいため、水が付着すると電食が発生する。また、冷媒の圧力や振動による力も継手部分に加わるため、高強度な接合技術が求められる。これに対し、銅とアルミニウムの間に電位差の中間的な金属 (ステンレス鋼) を介在させる電位差傾斜接合法を適用し、実用に耐える継手を得た。ここでは、従来のアルミニウムと銅 (以下 "Al-Cu" という。) のパイプをプロジェクトション溶接で接合した継手と、アルミニウム-ステンレス-銅 (以下 "Al-SUS-Cu" という。) というのパイプをろう付けによって接合した継手の耐食性を比較した。電食の進行程度を調べるために塩水噴霧試験と電食が発生するかどうかを調べる

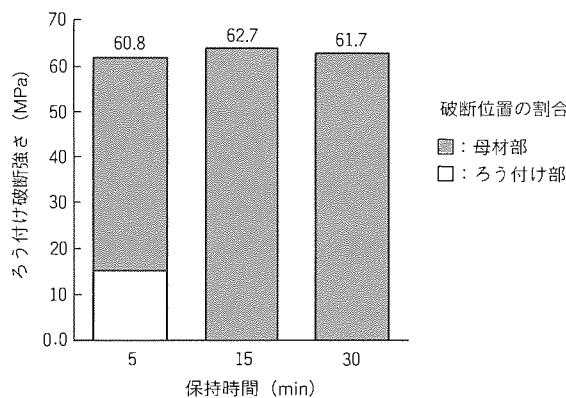


図 9. ろう付け温度 (600°C) での保持時間の違いによるろう付け継手強さ

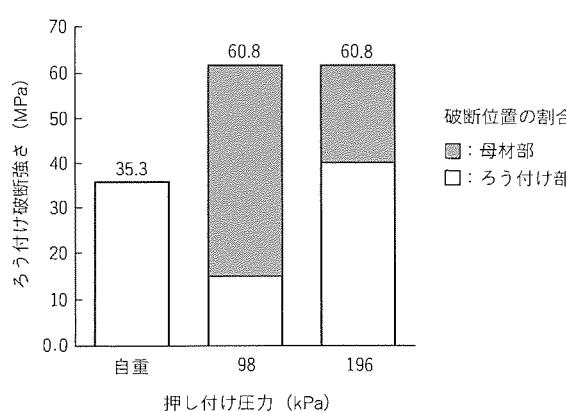


図 10. ろう付け時の押し付け圧力の違いによるろう付け継手強さ

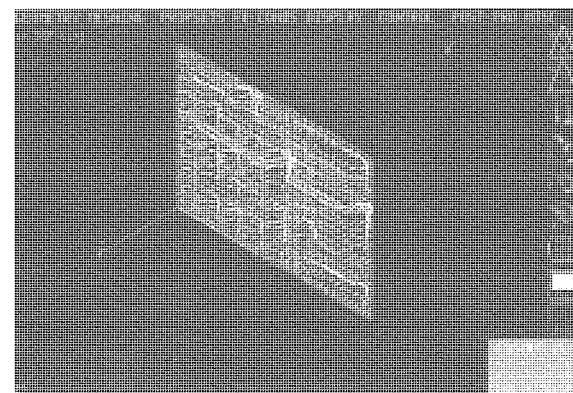
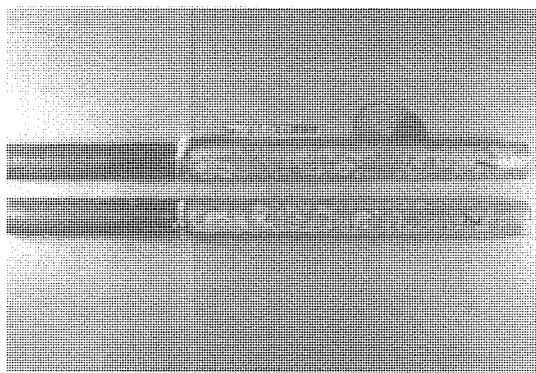
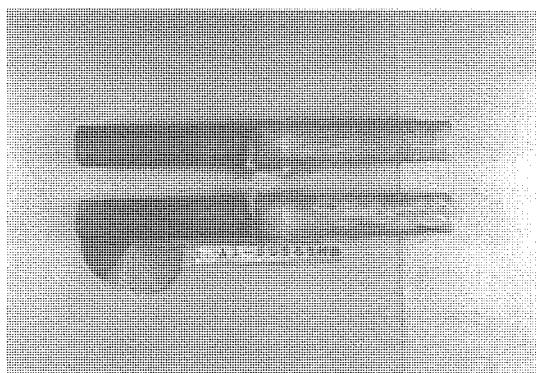


図 11. 端板の変形モード

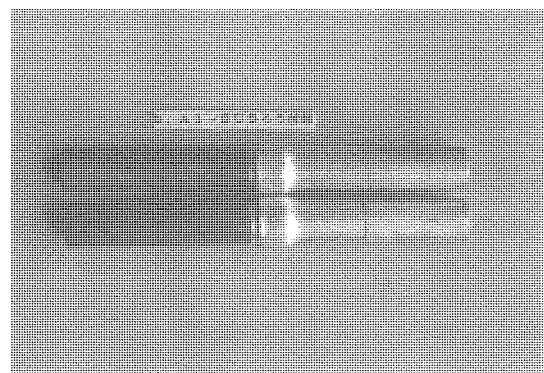


(a) Al-Cu溶接継手

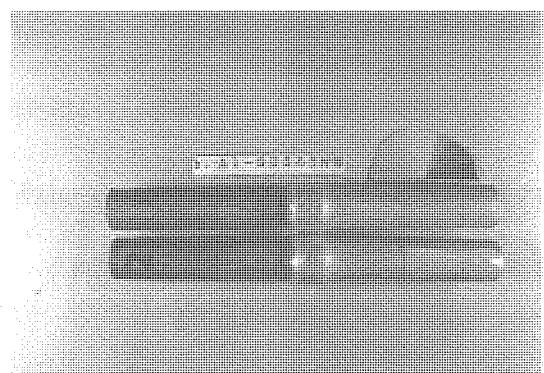


(b) Al-SUS304ろう付け継手

図12. 塩水噴霧試験結果 (500h)



(a) 試験前 (0h)



(b) 1か月後 (約720h)

図13. 湿潤試験結果 (Al-SUS304ろう付け継手)

ための湿潤試験の結果を示す。

5.1 塩水噴霧試験

塩水噴霧試験はJISに基づき、室温35°Cで5%食塩水を連続噴霧し、240, 500, 1,000hで腐食状況を観察した。その結果、Al-Cu溶接継手では1,000h後に接触電位差による電食が接合部近傍のアルミニウムに集中し、パイプを貫通して折損した。一方、Al-SUS-Cuろう付け継手では1,000h後に継手部には若干の電食が発生するものの、最大孔食深さはアルミニウムパイプ部に発生した孔食の深さとほぼ同等(0.6mm)であった。500hを経過した塩水噴霧試験のAl-Cu溶接継手とAl-SUSろう付け継手の外観を図12に示す。

5.2 湿潤試験

湿潤試験では60°C, 95%RH(湿度)で、1か月間(約720h)放置した後の腐食状況を観察した。試験前のAl-SUS継手及び1か月間湿潤試験後の試験片の外観を図13に示す。図から両者ともに外観変化は認められず、アルミニウム接合部にも孔食が発生していないかった。この結果から、Al-SUSろう付け継手の腐食は、塩水が付着しない限り発生しないこ

とが分かった。

6. むすび

今回開発したR2シリーズの分流コントローラについて、その構造と特長、及び小型化するための技術を述べた。

ビル用空調市場は伸展が期待され、今後とも市場ニーズにこたえるように技術開発していきたい。

参考文献

- (1) 中村 節, 高田茂生, 谷 秀一, 河西智彦: ビル用マルチエアコン2管式冷暖同時マルチR2シリーズ, 三菱電機技報, 65, No.5, 411~417 (1991)
- (2) 竹本 正: ぶれいす, 24, No.86, 5 (1991)
- (3) JIS Z 3263: アルミニウム合金ろう及びブレーシングシート (1980)
- (4) 軽金属協会: アルミニウムハンドブック, 第4版, 15~16 (1991)

床置ビルトイン形ロスナイ

和木勝彦*
南牧安*

1. まえがき

従来、中・大型ビルから超高層ビルにおける空調方式は、集中空調方式が中心であった。これは、自社ビル等では使用する時間帯が同一であったから、メンテナンス性や保守管理の効率が良い方式として採用されていたためである。

ところが、勤務時間が多様化され、必要な時間帯だけの空調、必要なゾーンだけの空調方式が要求されるとともに、機械室を不要にした省スペース性が求められ、さらには省メンテナンス性や設備更新時の対応まで考慮にいれたコンパクトエアハンドリングユニット（エアハン）を主体としたゾーニング空調方式が望まれるようになってきた。

今回開発した床置ビルトイン形ロスナイは、これらの市場ニーズに対し、大型ビル等のゾーニング空調を可能にし、空調機とのシステム化による新しい空調方式を提案するものである。

以下、床置ビルトイン形ロスナイの概要・機能・システムについて紹介する。

2. 空調方式の比較

2.1 空調方式

ビル空調の主な方式は、次の3方式が挙げられる。

(1) 集中空調方式(図1)

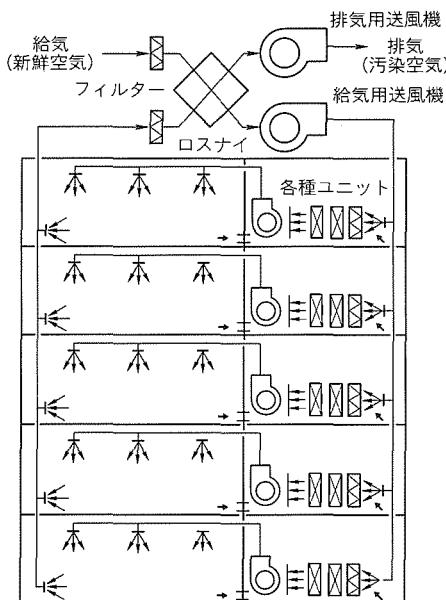


図1. 集中空調方式

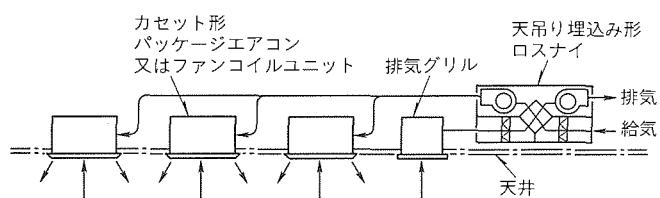
集中空調方式は、自社ビルなどのように勤務時間帯がほぼ同一なビルにあっては、機器のメンテナンスや保守管理などを機械室で集中的に効率良く作業を行うことができる。ただし、使われない部屋までも空調することになり、各部屋やゾーン単位で使用が異なる場合には、管理室への空調運転の申請が必要になる。

(2) 個別分散空調方式(図2)

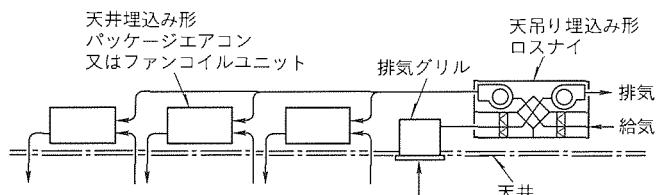
個別分散空調方式は、使用者が使いたいときに自由に運転操作ができる点が最大のメリットである。ただし、大型ビルなどで機器の設置が多くなった場合、設置台数分だけ個別に機器のメンテナンスや保守点検が必要となる。

(3) ゾーン単位空調方式(図3)

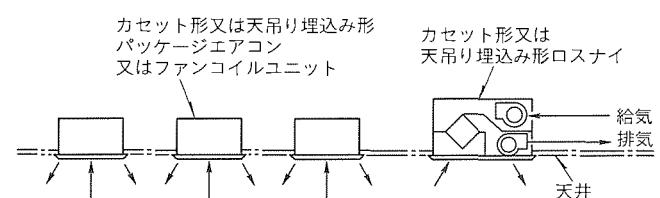
ゾーン単位空調方式は、使用するゾーンごとに自由に運転操作ができる、使い勝手の良い制御である。残業・休日出勤しても運転ができる、機器を共用スペースである廊下などに設置することにより、メンテナンスや保守点検もオフィスの使用時間帯に作業することができる。また、設備更新時には廊下からの搬入・搬出も可能である。



(a) カセット形空調機とのシステム



(b) 天井埋込み形空調機とのシステム



(c) 天つ(吊)り形空調機との組合せで独立したシステム

図2. 個別分散空調方式

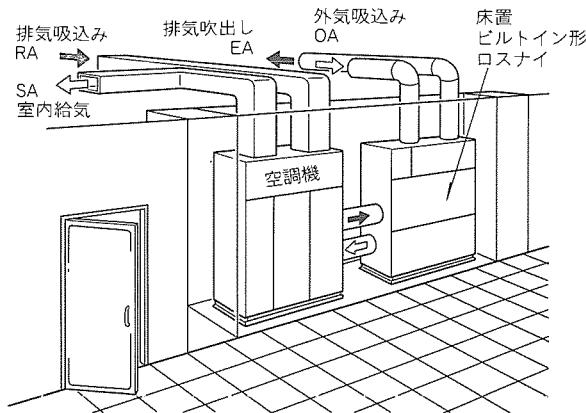


図3. ゾーン単位空調方式

2.2 最近の空調方式

ビルが大型化され、いろいろな企業が集まり、使われ方も多様化されるに従って空調方式も変化してきた。空調の高級化志向が強くなり、また今後予想される人手不足や維持管理費の低減等を考慮すると、保守管理が容易で個別制御性の良いゾーン単位空調方式に移行していくものと考えられる。

3. 床置ビルトイン形ロスナイシステム例

3.1 床置ビルトイン形ロスナイ単独設置(図4)

ロスナイ単独で換気を行うシステムであり、室内の吸込み・吹出しが自由にレイアウトできる。ロスナイのメンテナンスは床面で効率良く行うことができる。

3.2 空調機との組合せ

(1) コンパクトエアハンとの組合せ(図5、図6)

使用するゾーン単位に合わせ、コンパクトエアハンとロスナイを組み合わせてシステムを組むことができる。コンパクトエアハンとロスナイは、柱と柱の間に設置し、機械室を不要にして、スペースの有効活用となる。コンパクトエアハンとロスナイのメンテナンスは前面からでき、作業はオフィス稼働時でも効率良く行える。

(2) パッケージエアコンとの組合せ(図7)

給気は、ロスナイから各パッケージエアコンに接続供給できる。ロスナイのメンテナンスは、床面で効率良く作業ができる。

(3) ファンコイルユニットとの組合せ(図8)

給気は、ロスナイから各ファンコイルユニットに接続供給できる。ロスナイのメンテナンスは、床面で効率良く作業ができる。

4. 制御システム

4.1 施工性

床置ビルトイン形ロスナイは、業務用ロスナイ“マイコンPタイプ”と同様に、無極性2線配線($\phi 0.65$ 以上のペア電線)により、ロスナイ-スイッチ間はもとより、ロスナイ-ロスナイ間の配線も行い、各ユニット間で通信を行う。これら

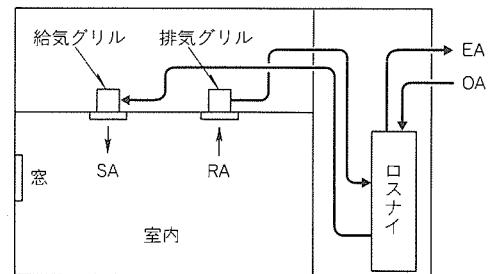


図4. 単独設置

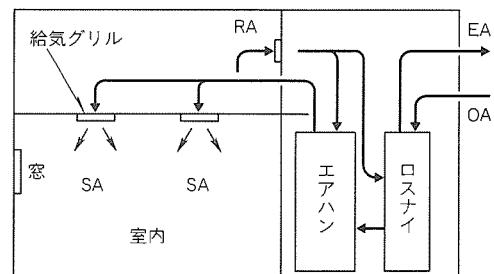


図5. コンパクトエアハンとの組合せ

の配線の総延長は500m以内である。

4.2 操作性

床置ビルトイン形ロスナイのスイッチ(図9)は、表示部とスイッチ部で構成され、スイッチ部の運転/停止ボタン以外は常時カバーで覆われている。したがって、通常床置ビルトイン形ロスナイを使用する場合は運転/停止ボタンを使い、特殊な操作(風量切替え、換気モードの切替え、加湿器の入り切り、フィルターのリセット)を行う場合はカバーを開けて使用する。これにより、電子式のスイッチを使用するときに一般ユーザーに与える心理的な不安感をなくし、簡単な操作とした。

スイッチは、ロスナイ異常時や通信不良の場合、表1に示す異常コードを発生させて、その不具合箇所を明確に警告する。メンテナンスの情報としてユーザーとサービスマンの間で情報の交換をするとき、異常箇所を早い段階で特定でき、市場クレームの際には効果を發揮する。

スイッチは、ロスナイの代表の機種(主)とのみしか運転情報を交換していないが、ロスナイ本体の異常に限り、“(主)/(従)切替えスイッチ”で(従)設定されたロスナイとの通信を行い、異常を表示する。また、一定時間運転後フィルタークリーニング表示を行う機能も持っている。

表示発生までの積算時間は、背面のディップスイッチによって1,500, 3,000, 4,500時間の切替えが可能で、発生中の積算時間は電源遮断時も不揮発性メモリによって保持される。

4.3 空調機との連動

図10に床置ビルトイン形ロスナイと空調機との連動運転を行うときの接続を示す。床置ビルトイン形ロスナイは、その外部制御入力として接点の開閉、DC12VのON/OFF

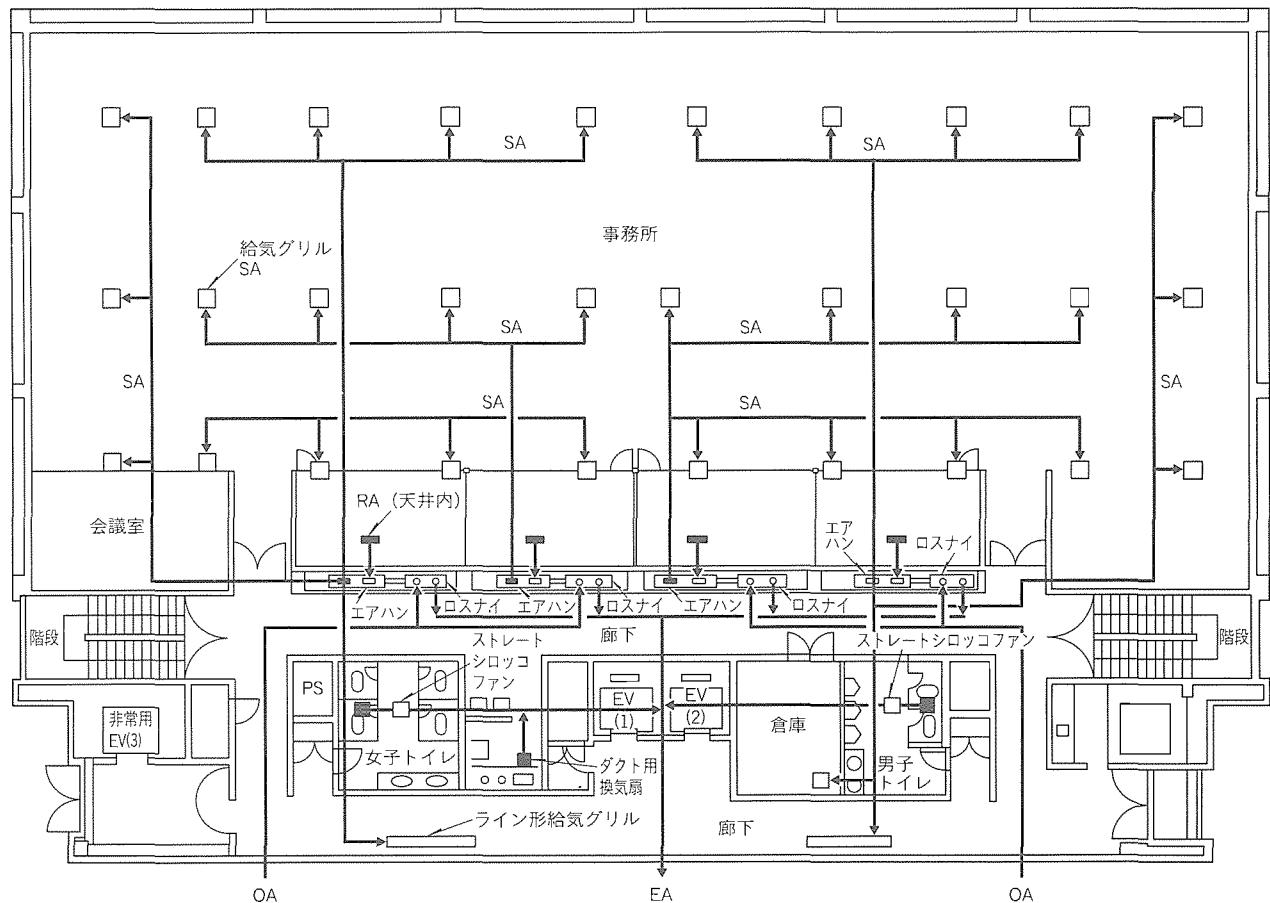


図6. システムの平面図

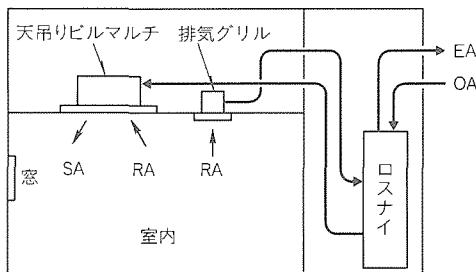


図7. パッケージエアコンとの組合せ

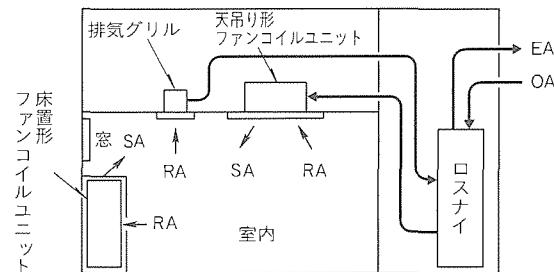


図7. パッケージエアコンとの組合せ

又は当社空調機“Mr. SLIM”からのシリアル通信に連動して動作する。基本的には外部制御入力は、上記の入力仕様であれば、空調機に限らず、どのような端末でも接続してロスナイを外部から動作させることが可能であるが、ここではその基本パターンについて説明を行う。

(1) 外部信号(空調機等)による連動

図10(a)に基本パターンを示す。このパターンでは空調機(エアハン)側の信号を受け、床置ビルトイン形ロスナイの接点が開閉(空調機運転時は閉)する。

中央制御盤によって空調機を運転したときは、床置ビルトイン形ロスナイも連動運転し、ロスナイ用のスイッチも自動的に運転表示を行う。逆に中央制御盤によって空調機を停止したときは、ロスナイ用のスイッチも自動的に運転表示から停止表示となる。したがって、空調機を動作させている限り

ロスナイは自動的にON/OFFされ、ロスナイのスイッチを動作させる必要はない。もちろん、ロスナイの単独運転も可能である。

加湿付きのロスナイの場合は、図10(b)に示すように、空調機の暖房信号(暖房運転時は接点閉)を受けて、加湿器の連動運転を行うことが可能である。

(2) Mr. SLIMとの連動

図10(c)は当社製の空調機Mr. SLIMを用いた場合の接続図である。空調機Mr. SLIMとロスナイとの接続は無極性2線式の通信を行い、空調機側のリモコンで、空調機の動作にかかわらずロスナイ運転・風量切替えが可能である。ロスナイ側の給気風路を空調機の外気取り入れダクトに接続した場合、空調機の霜取り運転時の冷気侵入に対するロスナイの給気停止、空調機の設定温度に従ったロスナイ側の熱交換換

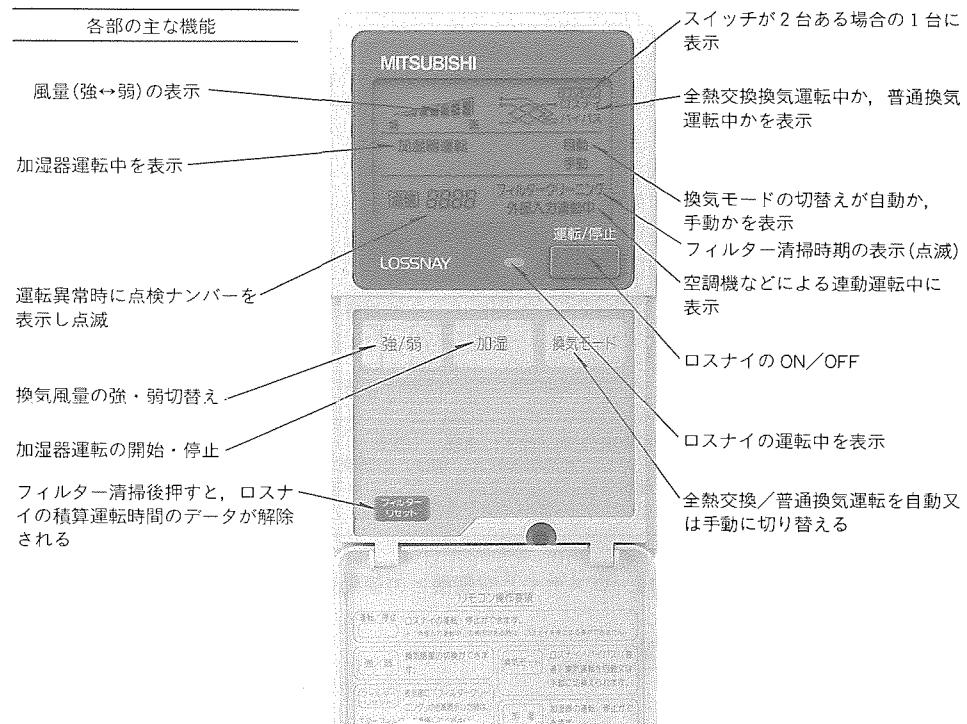


図9. ロスナイ用スイッチ

気／普通換気の自動切替機能を持つ。また、加湿付きロスナイは、空調機の暖房モードに連動して加湿器の運転を行う機能を持っている。

5. 加湿について

5.1 加湿の必要性

空調において、暖房時の加湿は必要不可欠である。冬期の暖房で換気によって外気を取り入れると、低温、低湿度(絶対湿度)の空気が空気調和機によって加温され、相対湿度が急激に低下する。例えば、0°C DB, 50% RH の外気を導入して、そのまま 20°Cまで加温すると 13% RHまで相対湿度は低下し、目やのど(喉)の乾きを訴える人が増加する。さらに、室内が低湿度の場合は暖氣が上昇し、足元が暖まらないといった問題が発生するが、相対湿度が 40%以上あると、空気の質量は水蒸気分重くなり、暖氣が降下する。それにより、足元も暖かくまろやかな暖房が可能となり、無駄な室温を上げずに済むため、省エネルギー化も図れる。

床置ビルトイン形ロスナイに組み込まれている加湿器は、透湿膜加湿器である。自然蒸発式加湿器が持つクリーンな加湿であり、低いイニシャル及びランニングコスト、シンプルな原理などのメリットを生かしながら、一方で低加湿能力、短寿命というデメリットは、はっ(撓)水性多孔質プラスチックフィルム(透湿膜)で水を包囲し、その表面から水蒸気を放出させる構造とした。この構造により、加湿器のサイズを変えずに蒸発面積を大幅に拡大することができた。

5.2 加湿付きタイプの効果(図11)

(1) 換気による排湿分をほとんどカバーする。

表1. ロスナイ用スイッチの点検ナンバーとその原因

点検ナンバー	原 因
0900	ロスナイのコントロールボックス内の試運転スイッチ(SW ₃)が“ON”になっている。
6608	ロスナイが2台以上接続されている場合で、ロスナイの主従設定スイッチで主従が設定されていない。 リモコンスイッチが2台接続されている場合で、サブリモコンへの信号線が外れている(1台のリモコンスイッチが作動しない)。 リモコンスイッチが2台接続されている場合で、主リモコン・サブリモコンの自動立ち上げができない(2台のうち1台もサブリモコンの表示がでない)。
4000	ロスナイ側回路の故障
5101	ロスナイ(OA側)サーモの故障
5102	ロスナイ(RA側)サーモの故障
3602	ダンパモータの故障
3600	差圧スイッチの接点が“ON”になっている。
2600	ロスナイの加湿器周辺から水漏れが発生 給水タンクに水がない又は給水栓が閉っている。
2601	フロートスイッチの不良(OFFしない) 給水圧力の不足

冬期の単純な換気では室内の湿度低下を招くが、加湿機能を搭載すると次のような効果がある。

例：換気量 1,000 m³/h の場合の加湿効果
(LB-100K の場合)

- ◎ ロスナイを使用しない換気の排湿量……
空気比重 × 風量 × (室内絶対湿度 - 外気絶対湿度)
$$1.2 \text{ kg/m}^3 \times 1,000 \text{ m}^3/\text{h} \times (0.0058 \text{ kg/kg} - 0.0018 \text{ kg/kg}) = 4.8 \text{ kg/h}$$
- ◎ ロスナイによる湿度回収量 2.52 kg/h
- ◎ 加湿器による加湿量 2.55 kg/h

システム例	(a) 空調機連動 (ただし、加湿器付きタイプの場合、加湿器入／切はリモコンスイッチで操作)	(b) 空調機連動 (空調機の暖房モードにより、加湿器入／切)	(c) 当社空調機“Mr. SLIM”との連動
	床置 ビルトイン形	床置 ビルトイン形	床置 ビルトイン形
制御ポイント	<ul style="list-style-type: none"> 空調機のON/OFFに連動して運転。 ただし、加湿器付きタイプの場合の運転入／切は、リモコンスイッチからON/OFF操作する。 	<ul style="list-style-type: none"> 空調機のON/OFFに連動して運転。 ただし、加湿器運転入／切は、空調機からの暖房信号（又は加湿信号）、又はリモコンスイッチからのON/OFF操作による。 	<ul style="list-style-type: none"> 空調機のON/OFFに連動して運転。 加湿器付きロスナイの場合の入／切は、Mr. SLIMから送られてくる暖房モードによって運転。

図10. ロスナイと空調機との連動運転

$$\frac{\text{ロスナイによる湿度回収量} + \text{加湿器による加湿量}}{\text{換気による排湿量}} \times 100 \\ = \frac{5.07}{4.8} \times 100 = 105\%$$

これにより、換気による排湿を加湿付きのロスナイがカバーすることが分かる。

(2) 透湿膜は水蒸気のみ通すので、白粉などの発生がない。

自然蒸発式の加湿器は水蒸気のみを室内に供給し、水に溶け込んでいる他の成分（例：カルシウム）は供給しないので、白粉の発生がなく、クリーンな加湿を実現する。超音波加湿器に必要な純水器は不要である。

(3) 加湿に対して自己制御性がある。

超音波加湿器の場合は、自己制御性がなく、加湿過多によるダクト内結露の可能性がある。

この透湿膜加湿器は、加湿器を通過する空気の状態によって湿量が変化して、加湿器通過後の空気は、相対湿度が100%を超えることがなく、ダクト内部に飽和水の水分が付着しない。なお、風路にセッティングするだけで加湿機能を発揮するので、加湿のための電力は不要である。

6. 全熱交換換気／普通換気の自動切替え

従来、全熱交換換気と普通換気は、ユーザーが手元のスイッチを使って任意に切り替えていた。全熱交換換気は、給気と排気の風路がそれぞれ全熱交換ユニット（ロスナイエレメント）を通過するときに行われる。一方、普通換気は機体内部の排気風路を内部のダンバ用いて切り替え、全熱交換ユニットを通過しないで排気するものである。普通換気は、春や秋の中間期に、室外の温度に比べて室内的温度が上昇したとき、外気を使って冷房効果を出すときに使用される。ところが、室内にいるユーザーには外気の温度が簡単には分からなかったため、効果的な切替え時が分かりにくかった。

床置ビルトイン形ロスナイの自動切替機能は、給気空気

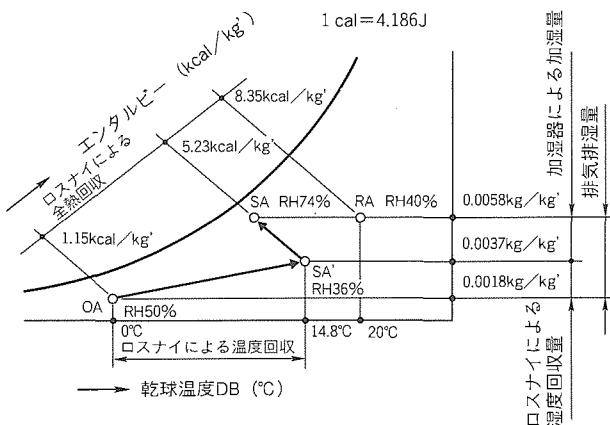


図11. 冬期暖房時のロスナイによる熱回収と加湿効果

（室外空気）の温度と、排気空気（室内空気）の温度を内蔵の温度センサによって検知し、その温度差によって前述した中間期の状態を予測するもので、その動作条件は以下のとおりである。

（室外温度） $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 及び （室内温度） $\geq 24^{\circ}\text{C}$

かつ、 $5^{\circ}\text{C} \leq (\text{室内温度}) - (\text{室外温度}) \leq 10^{\circ}\text{C}$

以上の条件でロスナイは普通換気を行う。上記基本条件で示される全熱交換換気と普通換気の室外温度と室内温度との関係を図12に示す。この図の動作条件に従って、一般的な東京都内の事務所をオールシーズン全熱交換を行った場合と、自動で全熱交換換気／普通換気を切り替えた場合のシミュレーション比較では、5%前後の省エネルギー効果を得た。

7. 製品の特長

製品の特長を示す。

(1) 省スペースの床置形である。

本体幅寸法が590mm以下という柱と柱の間に納まる省スペースタイプであり、機械室も不要で、天井裏施工がない。

(2) メンテナンスが本体手前から簡単にできる。

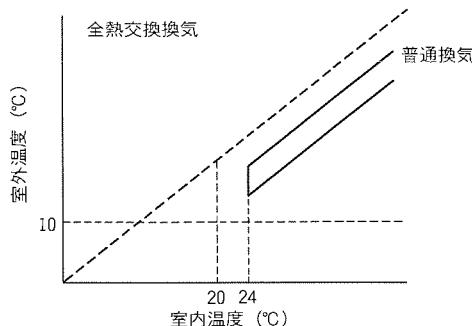


図12. 全熱交換換気と普通換気の動作領域

廊下等の共用スペースに設置し、熱交換器・フィルター・加湿用給水（加湿付きタイプ）のメンテナンスが可能である。

(3) 透湿膜加湿器を搭載（加湿付きタイプ）している（図13）。

業務用ロスナイにも搭載の透湿膜加湿器を採用した。

(4) 豊富な機種バリエーションを持っている。

換気量は 500, 800, 1,000, 1,500, 2,000 m³/h で、基本タイプと加湿タイプを合わせて 10 機種のバリエーションがあり、ゾーニング計画に合わせた機種選択が可能である。

(5) 室外の温度条件により、換気モードを自動選択する。

給気側と排気側に設けられたセンサにより、熱回収省エネルギー換気（ロスナイ換気）と外気冷房換気（普通換気）を自動的に行う。

8. むすび

今後、中・大型ビルから超高層ビルにおける空調方式は、ますますゾーニング空調が主流になり、空調の快適性、省エネルギーの追求はもちろんのこと、省スペース、メンテナン

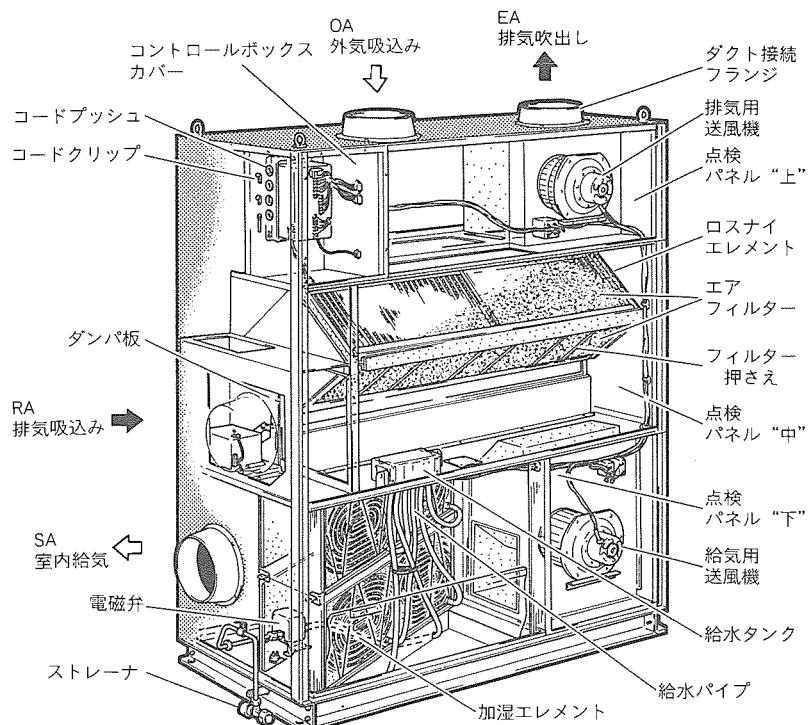


図13. 床置ビルトイン形ロスナイ (LB-100K-60) の構成

ス性の向上及びライフサイクルコストの低減が求められる。換気による快適性と省エネルギー性を発揮する全熱交換器を組み込みの床置ビルトイン形ロスナイは、これらの要求に十分対応し、快適なオフィス空間を提供する商品である。

参考文献

- (1) 藤城 直, 加藤愛一郎, 南角昌克, 安田幸夫, 内藤 孝, 中村俊夫：業務用“ロスナイ”マイコン P タイプシリーズ, 三菱電機技報, 67, No. 4, 372~376 (1993)
- (2) 南 牧安：横浜ランドマークタワー納入全熱交換器“ロスナイ”, BE 建築設備, 92・3, 11~13 (1992)

都市型住宅用サニタリー・リビング換気システム

佐藤成人*
大嶋兼芳*
原 茂夫*

1. まえがき

近年、都市部の建物は、土地の有効利用の観点から高層化が進み、外部騒音の遮音や室内の温熱環境改善、省エネルギー対策により、急速に高気密化しつつある。

このような都市型住宅では、室内を外部と物理的に遮断して快適な室内環境を維持する反面、室内で発生する汚染を自然の力で浄化することができなくなる。また、高層化により、窓を開けて換気を促進することや洗濯物を室内環境に影響を与えない屋外で干すことができない。

特に、気密性能が高い都市型集合住宅での自然換気量は少なく、“住宅の新省エネルギー基準と指針”⁽¹⁾等で目安とされる住宅全体の換気回数0.5回/h程度を確保することも困難である。

換気回数が著しく少ない住宅では、炭酸ガスの高濃度化、高湿度による結露発生やサニタリーゾーンからの湿気、臭気の居室内への拡散などの様々な問題が発生している。

今後、都市型住宅の気密性能向上とその建築割合の増加が予測されており、適正な室内環境を維持し、快適性・省エネルギー性を損なわない換気システムが強く望まれている。

本稿では、高層・高気密化する都市型住宅の中でも集合住宅に主眼をおき、合理的かつ効率的な換気を行い、住まいと人の健康を維持するサニタリー・リビング換気システムについて述べる。

2. 高気密集合住宅の現状と換気の問題点

2.1 集合住宅における住宅気密性能
 住宅の気密性能は、一般にすき(隙)間の通気抵抗から隙間の等価面積を算出する手法が用いられる。これは、隙間を通して換気しながら換気風量に対する住宅の内外の圧力差を測定し、住宅全体の隙間の量を等価な“隙間の相当開口面積 αA (cm^2)”として算出するものである。住宅の構造・工法等の違いによる気密性能を表す場合、住宅全体の隙間を床面積で除した“単位床面積当たりの隙間の相当開口面積 $\alpha A'$ (cm^2/m^2)”で表し、気密性能グレードとして

層別している。例えば、気密性能グレード1は、 $\alpha A'$ (cm^2/m^2) が0.95~1.7の水準である。住宅の気密性能についての調査・研究は各分野で行われており、性能の向上が報告されている。

表1に最近の集合住宅における気密性能の測定結果を示す⁽²⁾。4住戸の気密性能グレードはほとんど1の水準に達しており、新省エネルギー基準で定義された“気密住宅”的 $\alpha A' = 5 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 以下を十分満足している。

2.2 換気に関する問題点

このような高気密住宅において、換気に関する諸問題が顕在化している。

適切な給気設計がなされずにレンジフードファンを運転した場合、次の弊害が生じる。

- (1) 玄関ドアを開けるのが困難になる。
- (2) 小型のサニタリー換気扇の換気量不足、逆流が生じる。
- (3) 住宅の隙間部から異常音が発生する。
- (4) 隙間風で冬期に肌寒さを感じる。

こうした不具合を解消するため、キッチンゾーンに自然又は強制給気を導入した“高気密住宅用台所換気システム”を既に商品化⁽³⁾した。

一方、換気設備を運転しない状態では自然換気量が著しく少なくなる。表2は、表1で示した住宅の窓等を閉め切った

表1. 住戸全体の気密性能測定結果

調査住戸	延床面積 (m^2)	位置	平面 プラン	建設年	αA (cm^2)	n	$\alpha A'$ (cm^2/m^2)	気密 グレード
A	70	中間	3LDK	1992	92.90	0.51	1.327	1
B	70	妻側	3LDK	1992	101.81	0.48	1.454	1
C	62	中間	2LDK	1989	78.49	0.56	1.266	1
D	74	中間	2LDK	1989	137.0	0.50	1.851	2

注(1) 窓サッシ仕様：住戸A・Bは防音、住戸C・DはB型サッシ、いずれも在来工法。

(2) 住戸A・Dは2面開口、住戸Bは3面開口、住戸Cは1面開口の住宅である。

(3) 測定は減圧法、住戸Aでは加圧法でも測定したが、減圧法より3割程度大きい。

表2. 自然換気量測定結果

調査住戸	気密性能 $\alpha A'$ (cm^2/m^2)	換気回数(回/h)			風速(m/s)		温度差(°C)	
		最小	最大	平均	最小	最大	最小	最大
A	1.327	0.03	0.25	0.12	1	4	5.3	11.0
B	1.454	0.06	0.99	0.42	2	14	0.9	3.8
C	1.266	0.03	0.10	0.07	0	1	15.1	20.4

注(1) 風速データは調査住戸最寄りのアメダスデータ。

(2) 気密性能値は密閉状態における減圧法による値である。

(3) 換気回数の平均は1日の平均値を表す。

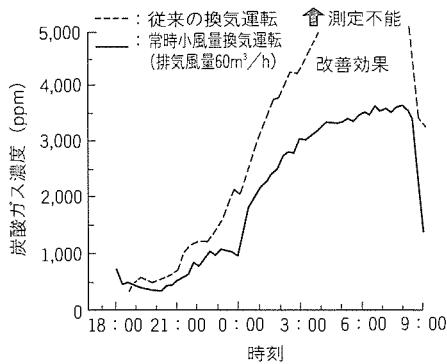


図1. 就寝時の炭酸ガス濃度の経時変化
(8畳間に大人3人就寝)

状態での自然換気量の測定結果である。外部風速が低く、穏やかな日の換気量は0.1回/h前後であり、住宅全体の換気回数の目安の0.5回/hを大きく下回った値となっている。平均換気風量はA住宅で $20\text{ m}^3/\text{h}$ となり、一般に必要といわれる一人分程度の取り入れ外気量となっている。実際の生活パターンでは窓や扉の開閉、換気扇の運転などによって換気回数は大きくなるが、次の換気不足による弊害を内在した居住環境といえる。

(1) 就寝等の非活動時に炭酸ガスの高濃度化による室内環境汚染が生じる。

(2) 高湿度による結露が発生する。

(3) サニタリーゾーンの湿気、臭気が居室内へ拡散する。

このような室内環境を改善する手段として、換気設備による常時換気が有効であることが報告されている⁽⁴⁾。実験住宅(延べ床面積 72 m^2 , $\alpha A' = 2.6\text{ cm}^2/\text{m}^2$)における就寝時の炭酸ガス濃度の経時変化を図1に示す。従来のように、部屋の使用時だけ局所換気設備を運転した場合に比べ、サニタリー換気扇で住宅全体を0.34回/h(排気風量 $60\text{ m}^3/\text{h}$)常時換気すると寝室の炭酸ガス濃度を低減できることが分かる。

外部騒音の遮音や省エネルギーという高気密住宅の特長を生かしつつ、これらサニタリー・リビングゾーンの弊害を解消する換気システムが求められている。

3. サニタリー・リビング換気システム

3.1 サニタリー・リビング換気システムの基本機能

今回、開発したサニタリー・リビング換気システムの概念を図2に示す。システムは、サニタリー換気ユニット(以下“換気ユニット”という。), 給気ユニット及び浴室用換気・暖房・乾燥ユニット(以下“バス乾ユニット”という。)で構成する。

図3は、集合住宅における各ユニットの配置と空気の流れを示したものである。

換気ユニットと給気ユニットは、住宅全体の常時換気をセントラル換気方式で行う。換気ユニットは、湿気・臭気が発生する浴室、洗面所及び便所から3か所同時に排気し、建物

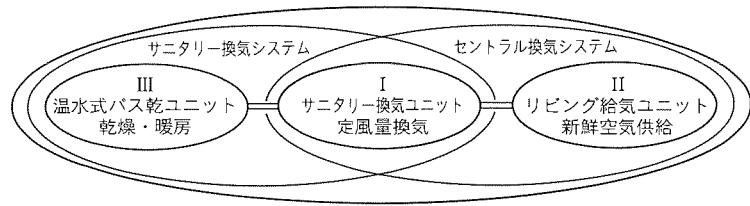


図2. サニタリー・リビング換気システムの概念

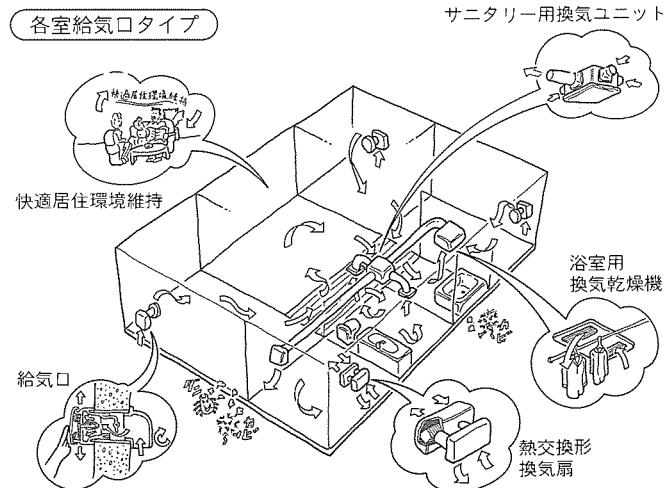


図3. サニタリー・リビング換気システム設置図

の高気密性を利用してリビングゾーンの各個室に設けられた給気ユニットから新鮮空気を導入し、住宅全体に一方通行の空気の流れを形成する。なお、人が集まる居間には、タバコの煙等の汚染を速やかに排出する熱交換型換気扇“ロスナイ”を設置している。

さらに、換気ユニットは浴室に設けられたバス乾ユニットと換気ダクトで接続し、浴室の換気・暖房・衣類乾燥システムを構成する。両システムを統合したサニタリー・リビング換気システムは、下記の特長を持っている。

(1) 外風圧・室内負圧、ダクト配管長さに左右されない定風量機構で、安定した常時換気を実現する。

(2) 小風量ベース換気で省エネルギー・低騒音・長寿命を実現する。

(3) 浴室・洗面所の負荷に応じた換気風量切替えができる。

(4) 3か所同時換気により、湿気や臭気の移行を防止する。

(5) リビングの給気ユニットは、遮音、防虫、風量制限機能を備え、適切な給気を行う。

(6) 浴室の換気・暖房・衣類乾燥機能を備えている。

3.2 セントラル換気システムの仕様

住宅全体の換気回数を検討する場合、床面積によって換気風量が決まる。ここでは、集合住宅の一般的間取りである図4のモデル住宅を例にして換気回数を検討する。

3.2.1 換気風量の決定

“住宅の新省エネルギー基準と指針”の中で、セントラル方式の機械換気設備を設置する気密住宅では、家全体の換気

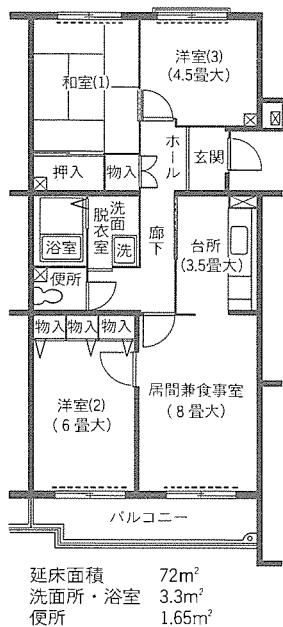


表3. 風量パターン

単位: m³/h

No.	場 所		風 量				使 用 状 況
	浴 室	洗面所	浴 室	洗面所	便 所	TOTAL	
1	○	×	50 ⁽¹⁾ (6.8)	20 (-)	20 (5.6)	90 (0.53)	●入浴後又は入浴時 ●衣類乾燥
2	×	○	20 (-)	50 (6.8)	20 (5.6)	90 (0.53)	●入浴時洗濯 ●朝シャン
3	○	○	50 (6.8)	20 ⁽²⁾ (2.7)	20 (5.6)	90 (0.53)	●入浴後洗濯 ●衣類乾燥洗濯時
4	×	×	20 ⁽³⁾ ()	50 ()	20 (5.6)	90 (0.53)	●入浴時寒いため浴室はOFF ●入浴後浴室の運転忘れ ●浴室を暖房している

注(1) ○は換気必要、×は換気不要

(2) () 内は換気回数(回/h)

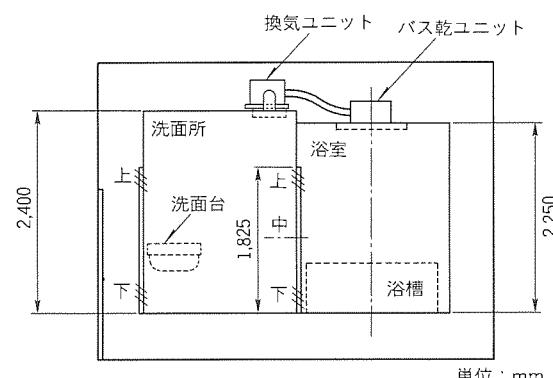
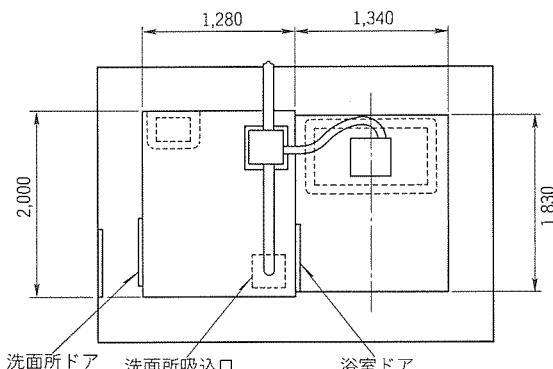


図5. サニタリー試験室概要

用時の換気風量としては問題ないといえる。

3.2.2 風量パターンの決定

上記換気風量とユーザーの使い方により、各部屋の風量配分は表3のような4パターンになる。表において、パターンNo. 3では衣類乾燥時の換気風量を確保するため浴室を50 m³/h とし、パターンNo. 4では浴室の暖房を考慮して20 m³/h とした。この値は、“住宅の新省エネルギー基準と指針”の中で、浴室内の裸体の人間が寒さを訴えないような冬季における換気風量となっている。

4. サニタリー局所換気試験

3章で決定した90 m³/h は従来の換気風量より少ないため、新しく設定した風量パターンにおいて、換気効率の維持

や建物の保全の確保が可能かどうかを試験した。

表3の新しい風量パターンにしたときに問題となるのは、網掛け部分の風量であり、①現行の衣類乾燥における換気風量の約 $90 \text{ m}^3/\text{h}$ 時より少ないので、②洗面所の換気回数の6回/hが確保できない、③入浴後の浴室の換気を忘れたときに浴室の湿気を除去できるかどうか、という点である。それらの確認試験を行った。試験室の概要を図5に示す。

(1) 衣類乾燥試験

バス乾ユニットを乾燥モード(換気しながら温風を循環させる。)にし、衣類(下着)の乾燥時間を測定する。図6に示した試験結果から、換気風量が $90 \sim 50 \text{ m}^3/\text{h}$ では乾燥時間にほとんど変化はないが、 $50 \text{ m}^3/\text{h}$ 以下になると乾燥時間が徐々に長くなる。したがって、衣類乾燥時に換気風量を $50 \text{ m}^3/\text{h}$ まで下げても乾燥時間に影響を与えないことが分かる。

(2) 洗面所換気試験

結果を図7に示す。換気風量は表3のパターンNo.3とし、洗面所と浴室の換気を同時に実行する。また、風の流れ方が換気効率に影響するため、洗面所と浴室のドアのガラリの位置を変え、各壁面の結露開始から結露消滅までの時間を測定し、ガラリ位置ごとに最大値を比較した。図7から換気風量が $20 \text{ m}^3/\text{h}$ で換気の効果は十分あり、ガラリの位置が換気効率に影響することが分かる。ただし、短時間の壁面結露は免れることができないため、結露時間と建材への影響を調査することが今後の課題である。

(3) 浴室換気試験

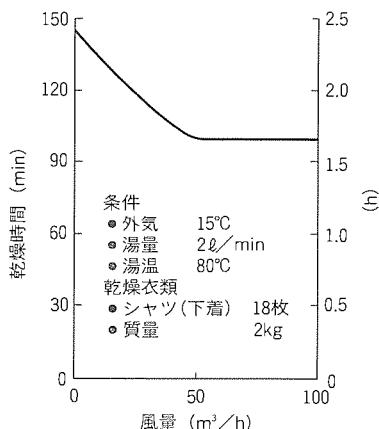


図6. 衣類乾燥試験結果

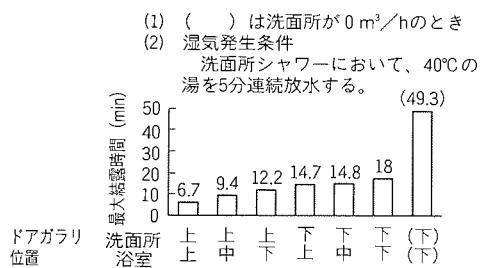


図7. 洗面所換気試験結果

洗面所換気試験と同様に、各壁面(床面は除く)の結露開始から結露消滅までの時間(最大値)を比較した。図8から、ガラリが下のときは換気風量が $20 \text{ m}^3/\text{h}$ でも浴室の結露解消に効果があることが分かる。

以上から、新しい風量パターンに課題を残したもの、常に換気をベースとしたとき、新しく設定した風量で換気できることが分かった。

5. サニタリー・リビング換気システム用ユニット概要

5.1 サニタリー換気ユニット

既に述べた3.1節の(1)～(4)の内容は、このユニットの特長に共通する内容でもあり、以下に説明する。

5.1.1 定風量制御の構成

図9に定風量制御の概念を示す。一般的にサニタリーの各部屋は隣接しているから、換気扇は三部屋タイプの中間取付型ダクトファンを採用し、それぞれの吸込口は浴室・洗面所・便所へとダクトで配管した。便所の換気風量を一定($20 \text{ m}^3/\text{h}$)にする新しい風量パターンを採用するため、圧力センサを便所用の吸込口に固定し、パイプ接続口と換気扇内部との圧力差が一定となるようにインバータでモータの出力を制御する。つまり、これは換気扇内部の圧力を一定に保つことを意味し、便所以外の吸込口においても吸込部の開口面積が一

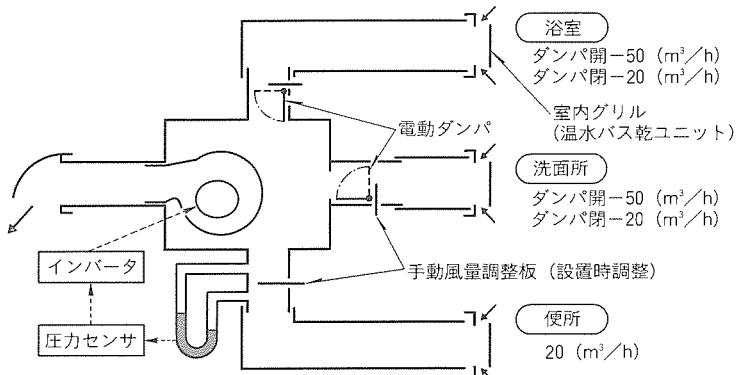


図9. 定風量制御の概念

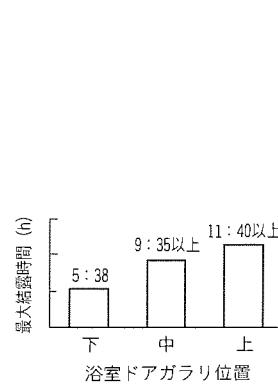


図8. 浴室換気試験結果

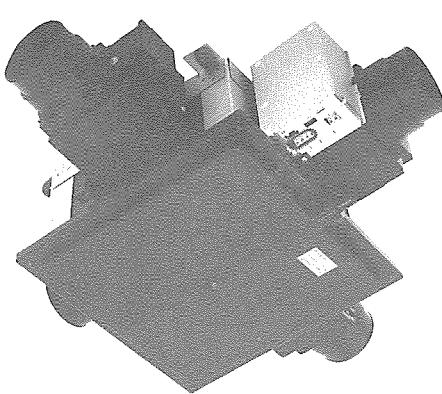


図10. サニタリー換気ユニット (V-180SZ-B)

定であれば一定の換気風量が得られる。

5.1.2 換気ユニット仕様

本体には難燃性プラスチックを採用し、耐食性の向上・軽量化を図り、電動ダンパ・手動風量調整板付き吸込口、インバータ、圧力センサを換気扇と一体化することにより、施工

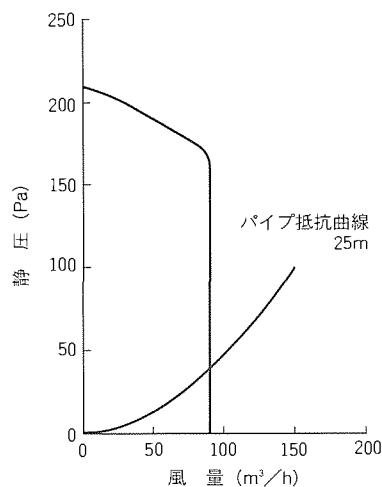


図11. サニタリー換気ユニットQ-H特性

表4. サニタリー換気ユニット一般特性

機種名	消費電力(W)	風量(m³/h)	騒音(dB)
V-180SZ(開発品)	15	90	29.5
V-18ZMPC(現行品)	48	305	39.5

注(1) 特性は開放値

(2) V-18ZMPC(現行品)の値は60Hz

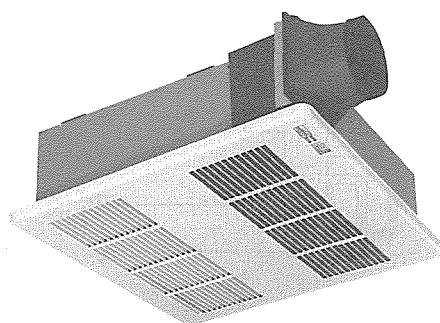


図12. 浴室用換気・暖房・乾燥ユニット

表5. 浴室用換気・暖房・乾燥ユニット特性

性 能	周波数(Hz)	50		60	
		運転状態	暖房	乾燥	暖房
消費電力(W)		30	37	32	44
風量(m³/h)		180	240	174	228
騒音(ホン)		42	49.5	41	48.5
熱出力(W)		2,302	2,651	2,221	2,558
安全装置	電流ヒューズ、凍結防止サーモ、室温過界防止サーモ、モータ温度ヒューズ				
温水接続	配管接続口	定格流量		定格水頭損失	
	M14フレア接続	2 ℥ / min		5.88Pa { 0.6mAq }	

性の改善を行っている。

(1) 構造

図10に本体外観を示す。吸込口は基本的には三方向とも同一形状であるが、便所用はインバータ制御回路と手動風量調整板を備え、一定風量で換気するから電動ダンパは備えていない。洗面所・浴室用は、電動ダンパ、手動風量調整板を備えており、ダンパ閉のときは全閉にせず、20 m³/h 流れるように隙間を設けた。ダンパ開のときは通過風量が50 m³/h 流れるように、あらかじめ手動風量調整板で開口面積を調整してある。20 m³/h と 50 m³/h との風量切替えはダンパの開閉によって行う。また、ダンパ・手動風量調整板は、住宅の条件やユーザーの要望にこたえられるように、設定風量を変えられる構造とした。

インバータ制御回路・圧力センサは、金属製のケースの中に入納しており、ケースの下部には電源(AC 100V)接続用速結端子とダンパ開閉用スイッチ接続用速結端子があり、外部との接続を行う。

(2) 特性

図11のQ-H特性において、静圧が160 Paまでは風量がインバータ制御によってほぼ一定であることを示している。

表4では、小風量で制御した開発品の消費電力は現行品の31

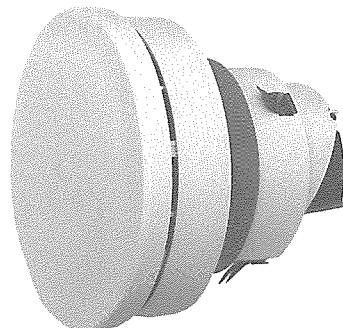


図13. リビング給気ユニット

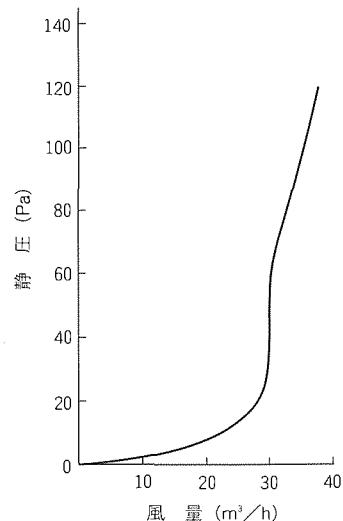


図14. リビング給気ユニット
圧損特性

%, 騒音は現行品の-10dB(A)であることを示している。

5.2 浴室用換気・暖房・乾燥ユニット

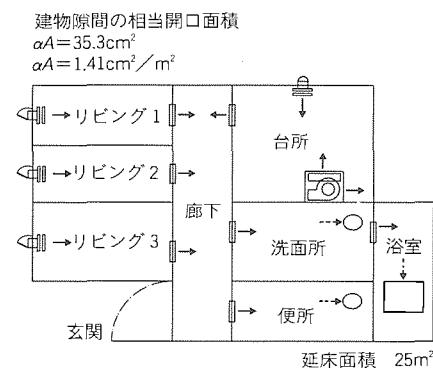
図12に本体外観、表5に特性を示す。熱源は集合住宅の受電設備面を考慮して温水式とし、本体内に温水コイルと循環用ファンモータを搭載している。換気はサニタリー換気ユニットで行うから、本体内には換気用ファンモータではなく、Φ100用ダクト接続口と吸込部を持っている。

5.3 リビング給気ユニット

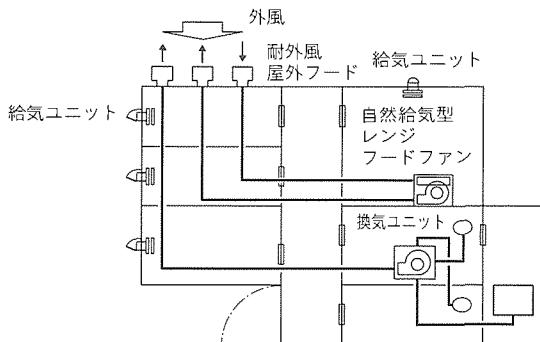
図13に本体外観、図14に圧損特性を示す。このユニットの最大の特長は、風圧シャッタの自重と給気方向に斜めにカットされた開口部により、外風にあまり影響されずに一定風量の自然給気ができることである(過給気制御機能)。この機能を採用した理由は、排気のみを定風量にしても、必要以上の給気があっては空調負荷の増加につながり、セントラル換気システムのねらいの一つである省エネルギーが達成されないからである。また、このユニットは遮音性を考慮した構造にもなっている。

6. セントラル換気システム実証試験

4章で局所換気の確認試験を行ったが、ここでは超高層住宅を想定した試験施設でセントラル換気システムの実証試験を行う。試験施設の概要及び各ユニットの設置を図15に示す。換気ユニットの設定風量は、初期の試作品の構造上 $60\text{ m}^3/\text{h}$, $25\text{ m}^3/\text{h}$, $25\text{ m}^3/\text{h}$ で、合計 $110\text{ m}^3/\text{h}$ となってい



(a) 間取り及び空気の流れ

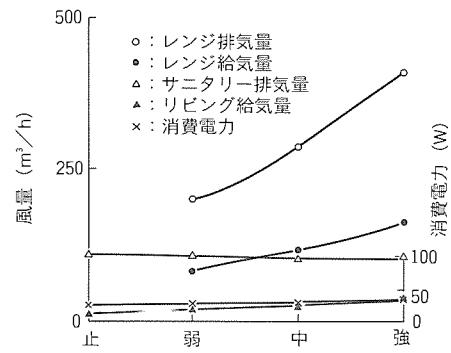


(b) ユニット設置図

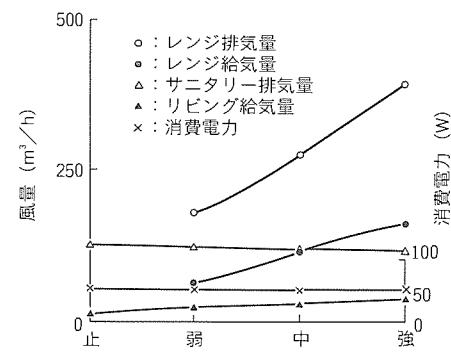
図15. 実証試験施設概要

る。

(1) レンジフードファン運転による影響

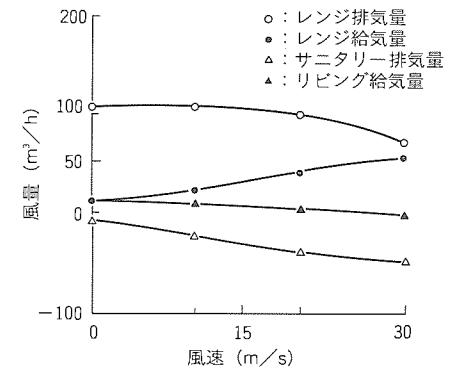


(a) 定風量運転

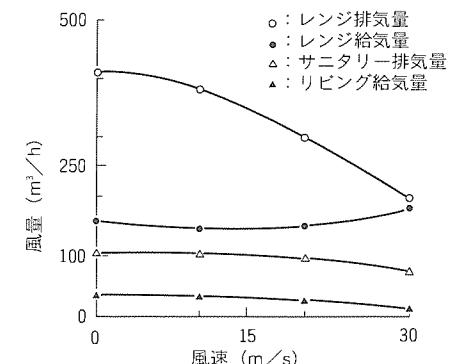


(b) 強ノッチ(無制御)運転

図16. レンジフードファン運転による影響



(a) レンジフード停止



(b) レンジフード強ノッチ運転

図17. 外風による影響

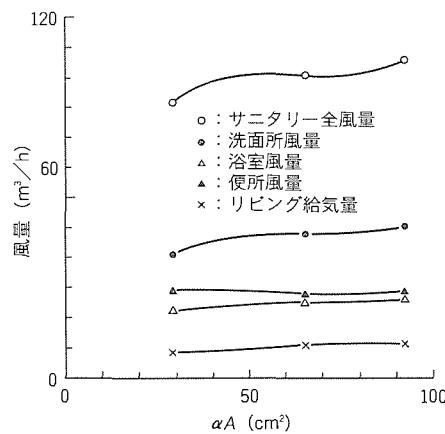


図18. 部屋間の通気面積による影響

図16の結果から、定風量制御した場合はレンジフードファンの運転状態に影響されず、強ノッチ(無制御)運転に比べて消費電力は-53~-33%，排気風量は $110 \text{ m}^3/\text{h}$ 一定であることが分かる。また、無制御運転のときより室内の負圧が少なく、レンジフードファンの排気風量が12~5%増加している。

(2) 外風による影響

図17では、換気ユニットの排気風量は、レンジフードファンの運転状態に影響されず、外風 $20 \text{ m}/\text{s}$ までは定風量を維持している。給気ユニット(過給気制御機能なし)からの給気風量は、レンジフードファンからの給気増加により、外風 $10 \text{ m}/\text{s}$ 以上で影響を受ける。

(3) 各部屋間の通気面積による影響

リビングからサニタリーへは風の流れをつくり、セントラル換気を行うから、部屋間の通気面積(隙間の大きさ)が排

気風量に影響する。そこで、通気面積を変化させて各部屋の風量を測定した(図18)。結果は、部屋間の通気面積を 50 cm^2 以上とすれば定風量換気が可能で、リビングに安定して給気することが確認できた。一般的に、扉の下には 1 cm 程度の隙間があるため、このシステムを採用する上で扉にガラリを設ける等の特別な作業は必要ない。

これらの結果から、このシステムは実用状態においても本来の機能を果たすことが確認された。

7. む す び

高層化・高気密化が進む都市型住宅に対応し、常時換気を基本とした合理的かつ効率的な換気システムの概要について述べた。このシステムは、都市型集合住宅において健康的かつ快適な居住空間を創出できるものと確信している。

今後は、更に快適な環境の創出を目指し、このシステムの応用展開と改良を進めていく所存である。

参 考 文 献

- (1) (財)住宅・建築省エネルギー機構：住宅の新省エネルギー基準と指針 (1992)
- (2) (財)ベターリビング：気密住宅における室内環境向上に関する研究報告書(換気マニュアルの作成) (1993)
- (3) 牛越康徳、可知忠勝、清水 誠、大嶋兼芳：超高層・高気密住宅用換気システム、三菱電機技報、67, No.4, 382~386 (1993)
- (4) (財)ベターリビング：気密住宅における室内環境向上に関する研究報告書(換気手法に関する研究) (1992)

“パノラマアイ”を搭載したルームエアコン

鈴木仁一* 福田正彦**
日高彰* 尾熊智子*
吉田孝行**

1. まえがき

ヒートポンプ式エアコンは壁掛け式が主流で、その暖房における快適性を向上させるには、居住者の足元に温風を到達させることが重要である。それに対して、これまで様々な取組を行ってきたが、室内の温度ムラ、足元の寒さ、不快な風当たり感に対するユーザーの不満はいまだに多く、更なる改善が必要であった。

そこで、最近の住宅構造や据付け実態に着目し、据付け場所にかかわらず人中心の空調を実現する“パノラマアイすっきりがみね・霧ヶ峰FS”(図1)を開発した。

本稿では、この開発の背景、実現したエリア空調の効果、そして具現化のためのキーパーツであるワイド気流“広角ツインフロー”と人体検知センサ“パノラマアイ”的仕組みについて紹介する。

2. 開発のねらい

2.1 背 景

暖房の快適性を確保するには、足元に温風を到達させることが必要である。この課題を解決するため、我々は幾つかの技術開発を行ってきた。その一例が、室内機に上下二つの吹出し口を設け、上から吹き出す温風で下から吹き出す温風の

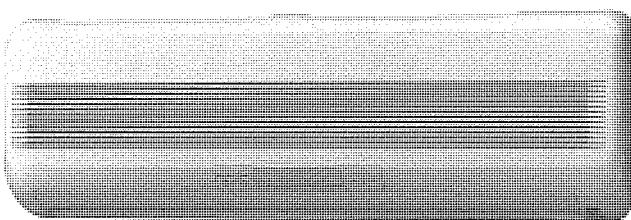


図1.“パノラマアイすっきりがみね”MSZ-FS284の外観

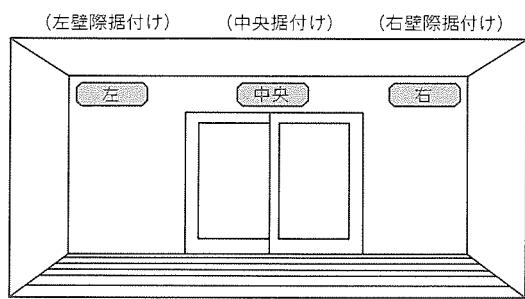


図2. 室内機の据付け位置例

上昇を抑え込んだ“ツインファン”やツインフローといった気流制御の商品化であり、さらに、床面に届いた温風が部屋全体に均一に広がるように、室内機を窓上の狭いスペース(壁の中央、図2参照)にも設置可能とした“霧ヶ峰F”的商品化である。このような取組によってエアコン暖房の満足度は年々向上しているが、まだ不満も残り、更なる改善が望まれた。

第1の視点は室内機の設置場所で、1993年3月に全国の200世帯を対象に行った調査から、次のような実態が明らかになった。

- (1) 室内機の6割は、左右の壁際に据え付けられている。
- (2) 買替えユーザーの8割は、従来の配管穴を流用して据え付けている。
- (3) 居間はLDKタイプの増加で大型化し、かつ7割は長方形である。

ここ数年、エアコンは買替え需要(古いエアコンを新しいものに替える)が増加する傾向にある。古いエアコンは室内機の高さが36cm以上あって、窓上スペースに入らなかったため、必然的にそこで(袖)壁(左右の壁際に)に設置されるケースが多い。したがって(2)からは、高さをコンパクトにして窓上設置を可能にしても、結局壁際に設置されることを意味する。また(3)からは、仮に壁の中央に設置しても、対

表1. 室内機据付け位置と暖房の不満度

単位：%

暖房の不満度	室内機据付け位置	
	左右壁際	部屋中央
暖まりが遅い	25.8	17.6
足元が寒い	47.3	35.4

注 実施時期 1993年3月

調査地域 全国

対象者 二人以上の一般世帯200世帯

表2. エアコンに欲しい機能

単位：%

欲しい機能	欲求度
冷房時、冷風による冷え過ぎを防ぐ	71
暖房時、不快な風を当てない	58
室内の温度ムラをなくす	18

注 実施時期 1992年10月

調査地域 東京

対象者 2～3年内にエアコンを購入したいと考えている主婦100人

象となる部屋自体には左右の幅広がありがあることを意味する。

一方、エアコン暖房に対する不満と室内機の設置場所の相関をとると、表1に示すように、暖房性能へのユーザーの不満は中央設置より壁際に設置した方が多いことが分かった。

この内容から不満の原因は、左右風向の可変幅が15°程度しかない従来エアコンのワイド方向の暖房性能にあると推定できる。

第2の視点は風である。これまでエアコンの快適性の改善は、部屋全体をムラなく均一に冷暖房することに注力してきた。しかし、表2に示すように、ユーザーは部屋を均一に冷暖房するよりも風に当たって起こる冷え過ぎの解消を期待しており、エアコンの風を多くの人が不快と感じているのは明らかである。このような不満を解消するには、常に人の居場所を認識し、人が快適と感じるときに風を向け、不快を感じるときに風を避ける的確な気流制御を実現しなければならない。

2.2 開発コンセプト

上述の二つの視点から“室内機をどこに設置しても、人が居る方向に風を向ける、又は避けることが可能なエアコンの実現”を開発のねらいとし、また、人の位置の認識と気流のワイド化を技術課題とした。この取組は、使用者に快適さをできるだけ速く、安い電気代で提供するというエアコンの基本機能の改善につながる。

冷暖房の速さは、室温が上がる(下がる)スピードだけでなく、人が受ける温熱感覚で価値が決まる。人が居る場所が分かると、暖房立ち上がり時は温風を人の足元をねらって吹き出して暖房感を与える、冷房立ち上がり時は人に冷風を自然なりズムで当てる。避けるを繰り返して暑苦しさをすばやく

解消することが可能となる。

また、暖房時に温風が届く場所と届かない場所の間には大きな温度ムラができる。温風が届かない場所に人が居ると、快適性を確保するには室温を更に上げるために、電気代の無駄が生じる。つまり、気流をワイド化し、かつ、人の居場所を認識すれば大きな節電効果をもたらす。

これまで述べたように、今年度の“霧ヶ峰”は基本機能全般の改善をねらい、開発コンセプトを“人の居場所が分かるから、広く、速く、優しく、ムダがない”とした。

3. ワイド気流“広角ツインフロー”

3.1 従来の吹出し口構造と問題点

一般に室内機から吹き出す気流は、連結アームで連結された複数の左右風向板(以下“風向板”という。)の傾きに沿って、左又は右に向きを変える。従来の吹出し口は図3に示すように、左右端のガイド壁が直線的で、かつ風向板の回転中心と連結アームの連結点との距離Lがすべて同一で、風向板がすべて同じ角度だけ傾く構造だった。この構造では、

(1) 風向きが風向板の見かけの傾き角ほどには曲がらない。

風向板の向きを変えて、ガイド壁に沿う気流が直進するため、風向板に沿って吹き出す流れを規制してしまう(図3A部)。

(2) 冷房時に、吹出し口の左右端に結露して滴下・飛散やすい。

例えば風向を大きく右に向けると、最左端の風向板と左ガイド壁の間に気流のはく(剥)離による負圧域が生じて、周囲の高温・多湿の空気を巻き込むため、冷風で冷やされた構造表面に結露する(図3B部)。

という原理上の問題があり、左右風向きの変更幅は最大でも15°程度が限界だった。

3.2 広角ツインフローの吹出し口構造

広角ツインフローは、前述のワイド冷暖房実現のために、左右風向き変更幅の大幅な拡大をねらって開発した気流制御である。図4に広角ツインフローの吹出し口構造を示す。特長は次の2点である。

(1) 左右のガイド壁の吹出し側に大きな曲面を形成した。

(2) 風向板の回転中心と連結アームの連結点との距離Lを左右端から中央の風向板に向かって順次小さくし、連結構造をとることによって、中央部の風向板ほど傾き角を大きく、左右端部の風向板ほど傾き角を小さくした。

3.3 左右風向きの拡大理由と効果

新構造による左右風向きの拡大理由について説明する。まず前節(2)の特長によ

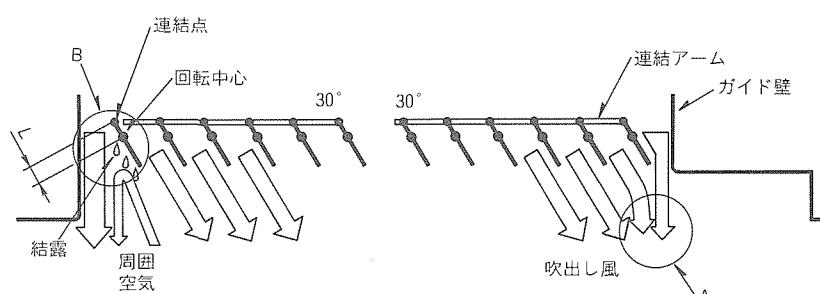


図3. 従来の“Wツインフロー”吹出し口構造

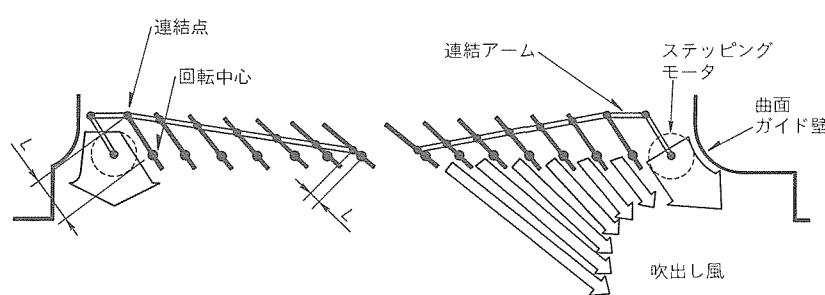


図4. “広角ツインフロー”吹出し口構造

り、左又は右に風向板を傾けたとき隣合う風向板の間隔は中央部ほど狭くなる。一般に左右端部よりも中央部の方が風速が速いため、中央部近傍の風向板の間を通過する気流ほど縮流されて風速は更に増大する。風向きを右又は左に向けるとき、通過風速が速い中央部ほど風向板の傾きが大きいため、これが左右端部から吹き出す気流を抑え込む効果を生み、風向き偏向力が強化される。一方、前節(1)の特長により、左右端部の流れに曲面のガイド壁に沿って流れようとするコアンダ効果が生まれ、気流はガイド壁の規制もなくスムーズに向きを変える。規制がないため、このときの風量低下も小さい。

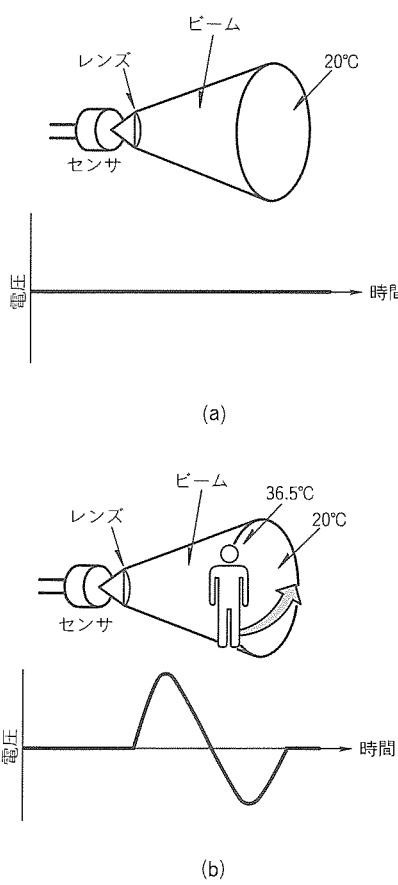


図 5. 人体検知の原理

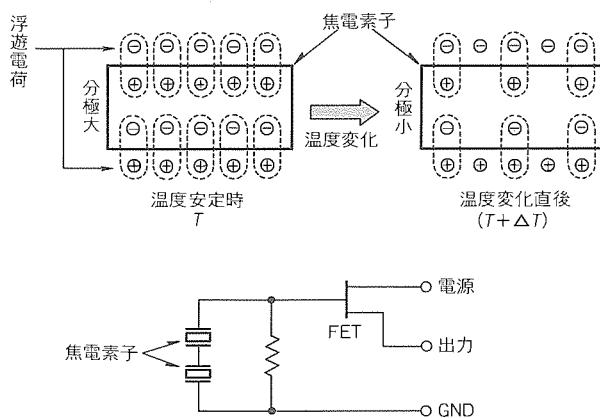


図 6. 焦電センサの原理

冷房時の結露問題についても、従来に比べて左右端の風向板の傾きが小さいために、ガイド壁との間に気流の剥離も発生しにくくなる。

従来、15°程度だった風向き偏向幅は、広角ツインフローの二つの特長の相乗効果により、約45°という3倍幅へ改善した。

4. 人体検知センサ

4.1 人体検知の原理

人体検知センサは、焦電センサを用いて人体が放射する赤外線量の変化を検出する。絶対0°以上のすべての物体は、その温度に応じた赤外線を放射している。図5のように、焦電センサの検知エリア内に人体が入ると、背景との温度差によって焦電センサの受ける赤外線量が変化する。この赤外線量の変化を焦電センサが吸収し、焦電効果によって出力を得る。

焦電効果は、焦電センサ内の焦電素子によって生じる。焦電素子は強誘電体で、分極処理を施すことによって生成される。図6のように、通常、焦電素子は自発分極をしており、表面は大気中の浮遊電荷を吸引し、電気的に中和している。自発分極の大きさは温度に依存しており、焦電素子の温度を変化させると、自発分極の大きさも変化する。このとき、表面電荷は自発分極ほど速く温度変化に対応できないので、図6のように、焦電素子の表面では自発分極が変化した分だけ電荷を短時間観測することができる。そこで、焦電素子の両面に電極を形成し、高インピーダンスの負荷をつないで出力電圧として取り出している。したがって、赤外線量の変化分を、微分型の電圧波形として出力する。実際の焦電センサでは、インピーダンス変換用のFETを同一パッケージに内蔵している。

また、人体検知センサでは、その使用環境が多岐にわたるため外部雑音も無視できない。したがって、今回は環境温度の変化や振動等による外部雑音を低減する機能を持つデュアルエレメントタイプの焦電センサを使用した。この焦電センサは、二つの焦電素子を直列に配列し、内部補償機能を持た

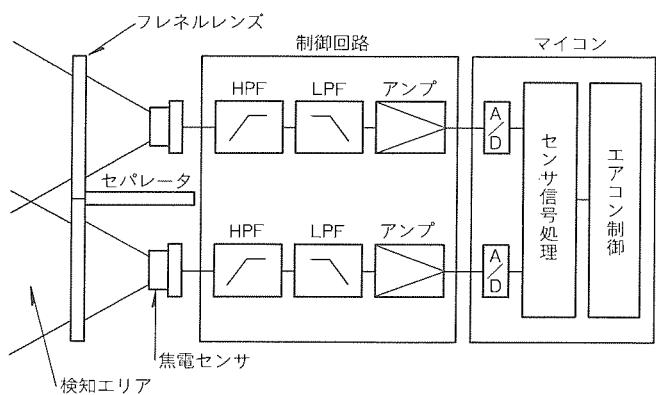


図 7. パノラマアイの構成

せたセンサで、最もポピュラーに使用されている。現在、このタイプの焦電センサは、照明・換気扇の自動制御等の人体検知に使用されている。

4.2 人体検知センサの構成

図7に今回開発した人体検知センサの構成を示す。人体検知センサは、2個の焦電センサ、焦電センサに赤外線を集光するフレネルレンズ、焦電センサの出力信号の増幅を行う制御回路から構成される。

フレネルレンズは、検知エリアから放射される赤外線を焦電センサに集光する。集光された赤外線は、焦電センサによって電圧信号に変換されて出力される。焦電センサの出力は、制御回路内で増幅とフィルタリングが行われる。焦電センサの出力電圧は小さいので、マイコン内で処理しやすいように増幅する必要がある。また、ノイズ成分を除去し、人の活動周波数のみを増幅するために、0.2~15Hzのバンドパスフィルタを回路上で構成している。制御回路で増幅されたアナログ信号はA/D変換を行い、デジタル信号としてマイコンに取り込む。取り込んだ左右の焦電センサの検知データをマイコン内で分析、ファジー推論することによって、人の存在方向・距離を判断する。

4.3 位置判断方法

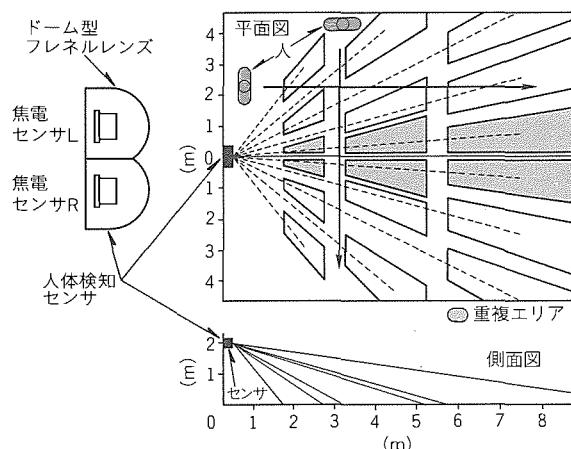


図8. 検知エリア

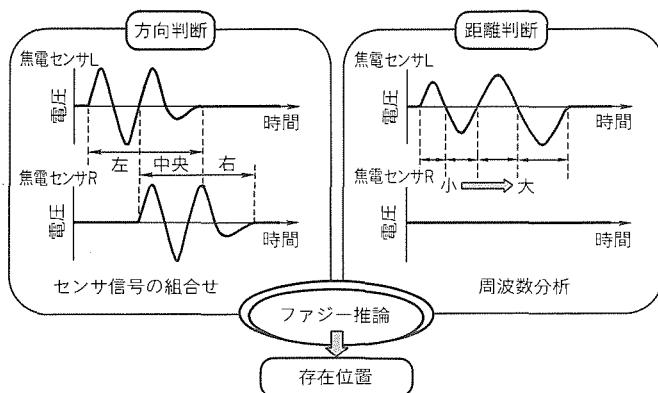


図9. 位置検知判断

4.3.1 検知エリア

人体検知センサは、検知エリアの重ね合わせというアイデアにより、二つの焦電センサから取り込んだ電圧波形を分析して室内を3×3の9ブロックに区切った位置判断を行う。今回は、ファジー推論を用いて存在位置の推論を行い、検知精度を向上させている。

検知エリアの重ね合わせは、フレネルレンズによって行う。図8のように、今回のフレネルレンズは重ね合わせを効率的に行うためにドーム形状をしている。この人体検知センサのフレネルレンズは、片側のセンサの検知領域が12領域、両方のセンサで18領域を検知するように設計した。つまり、片側12の検知領域中で、中央の6領域は双方のセンサで検知可能なようにオーバラップしている。これによって二つの焦電素子で左、右と中央の3方向の判断ができる。また、検知領域の大きさを近距離領域では小さく、遠距離領域では大きくした。これにより、3方向の判断に加え、近・中・遠の三つの距離判断を可能にした。

4.3.2 存在方向判断

人の存在方向は、左右の焦電センサの出力信号の組合せによって3方向を判断する。図8、図9のように、人が検知領域を横切ると、左側のセンサのみ、左右のセンサ、右側のセンサのみの順番に、検知領域に応じて出力信号を観測できる。すなわち、左側のセンサのみ検知した場合には人は左方向に、左右のセンサ共に検知した場合には中央方向に、右側のセンサのみ検知した場合には人は右方向に存在すると判断する。このとき、左右の焦電センサの微妙な出力波形を比較し、精度良く3方向に判断するためにファジー推論を用いている。複合的で判断が難しい波形の比較がファジー推論で可能となり、検知精度向上につながった。

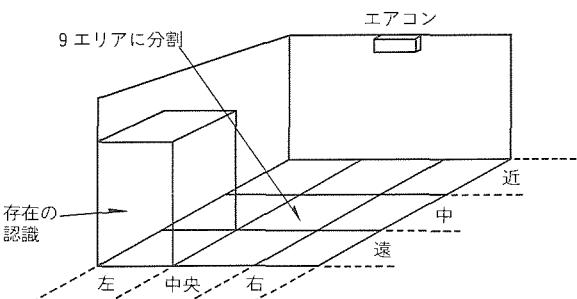


図10. 存在認識方法

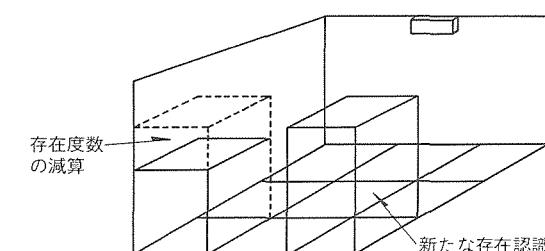


図11. 情報の更新方法

4.3.3 存在距離判断

存在距離は、遠近の検知エリアの大きさが異なっていることを利用して判断する。図8、図9のように、人が近距離から遠距離方向に移動すると、出力信号の周波数は次第に長くなる。逆に、人が遠距離から近距離方向に移動すると、出力信号の周波数は次第に短くなる。この周波数の変動の度合いをファジー推論を用いて3段階の距離を判断している。

上記のように、独自のアルゴリズムとファジー推論を用い3方向と3距離の判断を行い、室内を9ブロックに区切った存在位置検知を精度良く行える。

4.4 存在認識制御

今回開発した人体検知センサは、人体の移動を赤外線量の変化でとらえ、リアルタイムに判断するという特長を持っている。このセンサを用いて、エアコンの新しい快適な制御を実現するためには“静止している人”的有無をどう判断するかにある。

焦電センサの機能上、移動する人に対して波形を出力するが、静止している人に対して波形を出力しない。したがって、人が静止しているのか、人が検知エリアを通過してそこには居ないのかの区別がつかない。そこでこの弱点を克服するため、図10に示すようにマイコン上の記憶領域を9エリアに分割し、リアルタイムで人の移動を検知し、その情報に対して、一時的な動作なのか静止し続けている動作なのかを判定し、静止し続けている動作と判断したならば、前記マイコン上の記憶領域に存在度数を足し込み記憶させる。また、存在

度数の飽和を防ぐため、図11に示すように、新しく情報が記憶されるごとに9エリア上の存在度数を一律削減させる。これらの制御によって静止した人も認識ができた。

4.5 仕 様

人体検知センサの仕様を列記する。表3のように、室内を9ブロックに区切って存在位置を検知する。その検知能力は、最大検知距離が7m、視野角が120°で16畳の部屋までカバーできる。検知動作速度も0.2~1.0m/sであり、室内における人の動作に十分追随できる。また、存在位置を検知可能な人体検知センサとしては、駆動部レス、コンパクト、低コストを実現している。

5. エアコン制御への応用

パノラマアイにより、人の存在位置が認識できるから、今までにない二つの自動モードを持たせることができた。一つは人の居る場所へ直接温冷風を送り込む“エリア自動モード”，もう一つは人の居る場所を避けて温冷風を送り込み、気流感を感じさせないことで肌寒さや不快感を与えない“エリア自動ソフトモード”である。

(1) エリア自動モード

図12に示すように、吹出し空気の温度が高い暖房時には、人の居る足元へ向かって温風を送り、素早く暖める。壁際に設置した場合でも、わずか5分で部屋中央の足元を20°Cに暖められる(図13)。また、従来型と同じ設定温度で運転するとき、安定時の足元平均温度が約3°C高く保てるから、

表3. パノラマアイの仕様

項目	スペック
存在方向	3方向(左、右、中央方向)
存在距離	3距離(近、中、遠距離)
最大検知距離	7m
センサ視野角	120°
人体動作速度	0.2~1.0m/s
センササイズ	横85×縦35×奥行き35(mm)

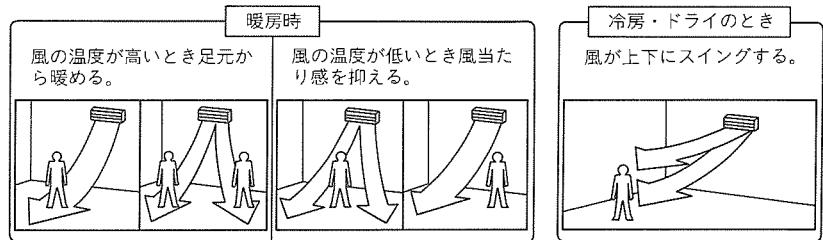
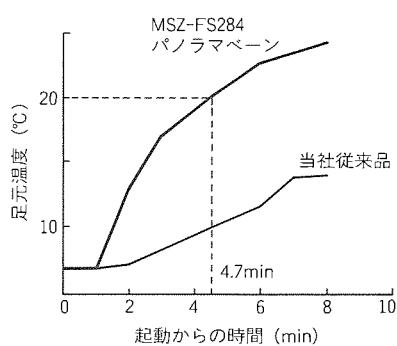
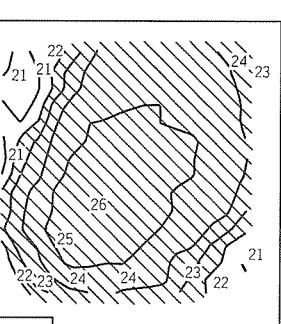


図12. エリア自動モード時の風向制御



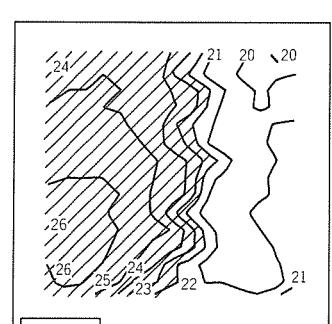
測定条件：8畳間、
部屋中央部床面から5cm、
外気温7°C

図13. 壁際設置時の部屋中央足元温度上昇



(a) MSZ-FS284

測定条件：右壁際設付け、室内ユニット高さ1.9m、暖房安定時、風速Hi、外気温0°C、設定温度22°C、8畳間、床上50cm
網掛け部：設定温度以上に室温が上がっているエリア



(b) 当社従来品

図14. 足元温度分布比較

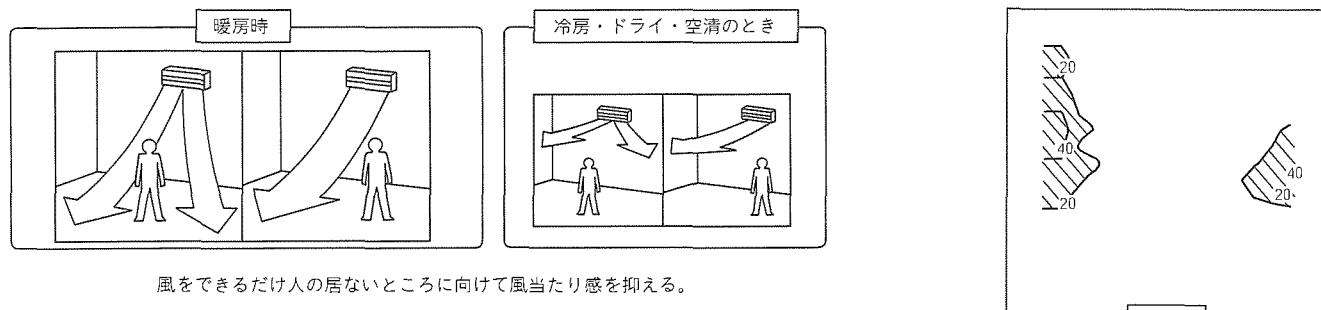


図15. エリア自動ソフトモード時の風向き制御

同一快適性で約15%電気代を節約できる。その温風の到達領域は部屋全体の96%にも達する(図14、従来型は58%)。さらに、吹出し空気の温度が低く、吹かれ感による不快感が生じるときは、自動的に風向きを人の居ないエリアに向か、快適さを維持する。

冷房では、人に心地よい自然感覚の風を送り出し、スピーディかつ経済的な運転を行う。マニュアル使用時と比べると、25%の電気代が削減される。

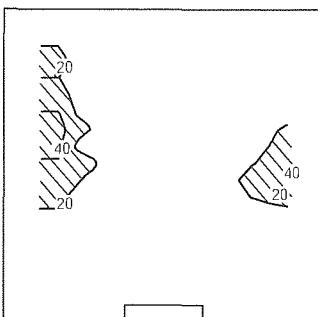
(2) エリア自動ソフトモード

図15に示すように、女性やお年寄りなどエアコンの風による吹かれ感を嫌う人のために、人が居るエリアに風を送らないよう自動風向き調整を行う運転モードである。この場合、人が居るエリアの体感風速は0.1m/s以下に抑えられ(図16)、ほとんど無風に近い健康的な快適環境を作り出すことができる。

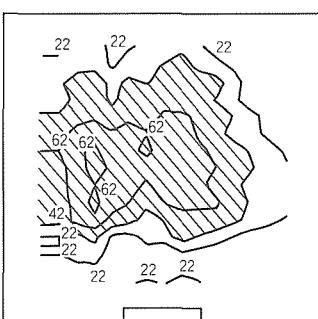
6. むすび

“パノラマアイすっきりがみね・霧ヶ峰FS”は、従来のような部屋中心の空調ではなく、“人・生活する場所”といった人中心のエリア空調を実現した。

Room Air ConditionerからLife Air Conditionerへの転換を目指す上で、この“人に優しく、ムダを省く”というエリア空調は、エアコンの新しい標準になると確信する。今後はエリア空調の他シリーズへ拡大展開を図るとともに、エリア空調技術の強化を図っていく所存である。



(a) MSZ-FS284



(b) 当社従来品

測定条件：中央据付け、室内ユニット高さ2.1m、暖房安定時、風速Hi、外気温0°C、設定温度22°C、8畳間、床上50cm
網掛け部：気流を体感する風速(40cm/s)以上
以上のエリア

図16. 足元風速分布比較

HFC-134a対応ロータリ圧縮機 及び搭載冷蔵庫

川口 進* 増田 昇*
清水辰秋* 隅田嘉裕**
小西広繁*

1. まえがき

冷蔵庫は、地球環境保護の立場から大きく変わろうとしている。熱力学特性に優れたCFC-12は、冷媒として長年冷蔵庫に使用してきた。

しかし、米国カリフォルニア大学のローランド教授らの研究によって、CFC-12等の特定フロンはオゾン層を破壊するという論文が発表され、1992年11月第4回締約国会議において特定フロンを1995年末までに全廃することが決定された。

当社においても地球環境保護の立場から、このCFC-12を使用しない圧縮機及び冷蔵庫の開発を進めてきた。

開発の主眼は以下のとおりである。

- (1) オゾン層を破壊しない冷媒を用いること。
- (2) 省エネルギー、省スペース性に優れるロータリ圧縮機を

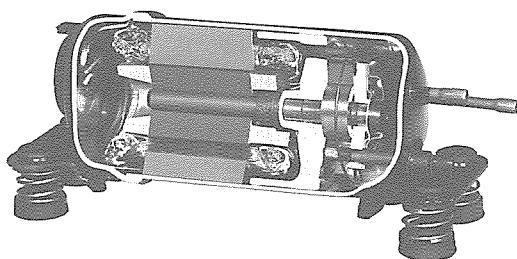


図1. HFC-134a対応ロータリXAZ形圧縮機



図2. HFC-134a対応冷蔵庫 MR-V25A

搭載すること。

- (3) 従来以上の高信頼性を確保すること。

検討の結果、冷媒としてODP(オゾン破壊係数)ゼロのHFC-134aを使用し、“冷凍機油と冷媒の相溶性は絶対条件”という常識を根本から見直し、冷凍機油としてHFC-134a冷媒とはほとんど溶け合わない非相溶性のアルキルベンゼン油を使用することとした。

業界に先駆けて実用化したこのHFC-134a対応ロータリ圧縮機(図1)搭載冷蔵庫は、250ℓ冷蔵庫“MR-V25”(図2)を初めに、1993年12月から順次発売している。そして、1995年6月までには、当社全冷蔵庫をHFC-134a対応冷蔵庫に切り替えていく予定である。

この論文では、HFC-134a対応圧縮機及び冷蔵庫の信頼性確保を可能にした非相溶冷凍機油選定の背景や冷凍サイクル性能及び圧縮機への油戻り特性について紹介する。

2. 各種HFC-134a対応冷凍機油の特性比較

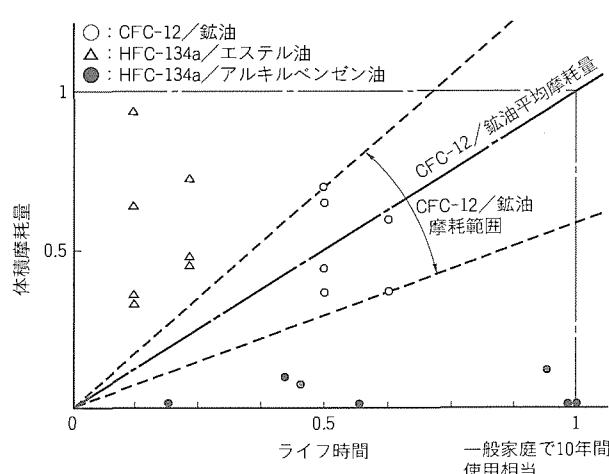
HFC-134a対応冷凍機油の選定は、圧縮機及び冷蔵庫の信頼性確保の大きな因子となる圧縮機摺動部の耐摩耗性とスラッジ生成に着目して行った。

2.1 圧縮機摺動部の耐摩耗性

フロン分子中に含まれる塩素原子は、オゾン層を破壊するという欠点とは逆に、圧縮機摺動部表面の活性化した鉄と反応し、潤滑性に優れた層状構造の塩化鉄をつくるため潤滑において重要な役割を持っている。したがって、塩素原子を含有するCFC-12から塩素原子のないHFC-134aにすること

により、冷媒の潤滑性がなくなり、圧縮機摺動部の潤滑は極めて過酷なものになる。

図3は、寿命試験を実施した後の、ベーン先端、ピストン外周(図4)の体積摩耗量の和を示したもので、従来のCFC-12系の一般家庭10年使用相当の平均摩耗量を1として無次元化したものである。冷媒HFC-134aの冷凍機油としては、冷媒と溶け



合う相溶性のエステル油と、冷媒とほとんど溶け合わない非相溶性のアルキルベンゼン油を用いた。また、従来の冷媒 CFC-12 の冷凍機油は鉛油であり、図 3 の破線内は、CFC-12 / 鉛油系の摩耗範囲である。図 3においてエステル油を使用したときの摩耗量は、従来の CFC-12 / 鉛油に比べて 3 ~ 10 倍の摩耗量であり、一般家庭で 10 年使用することを想定すると、圧縮機の性能が低下して冷蔵庫が冷却不良を起こす可能性がある。このエステル油の耐摩耗性の低さは、潤滑性のない冷媒が油に溶け込み、局所的に潤滑が低下することや、エステル油の吸湿性が高いため油に含まれる水分やエステルの加水分解によって生じた酸が金属表面を腐食させ摩耗を促進させること、またベーン先端とピストン外周間の線接触のような極圧下での油の粘度が低下することなどによる結果と考えられる。したがって、エステル油を使用するに当たっては、ベーン、ピストンの材質・表面処理など摺動材料での対策が必要となってくる。

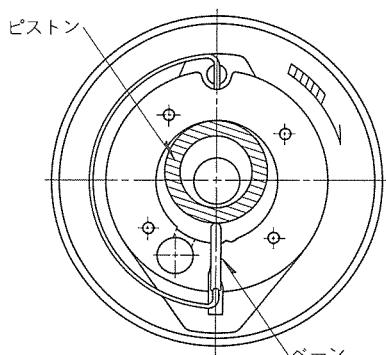


図 4. 圧縮機摺動部断面

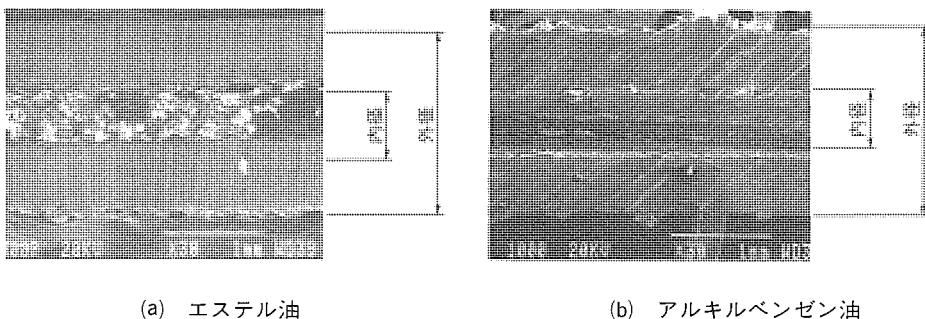


図 5. 毛細管内のスラッジ生成状態

表 1. HFC-134a 対応冷凍機油の特性比較

冷媒	CFC-12		HFC-134a		
	鉛油	PAG油	エステル油	アルキルベンゼン油	
耐摩耗性	○	△	△	◎	
スラッジ生成	○	△	△	○	
熱安定性	○	○	○	○	
電気絶縁性	○	×	△	○	
吸湿性	○	×	△	○	
低温流動性	○	○	○	△	
相溶性	○	○	○	×	

一方、冷媒とほとんど相溶性のないアルキルベンゼン油を使用したときは、摩耗が極めて少なく、従来の CFC-12 / 鉛油と比べても 1/2 程度である。これはアルキルベンゼン油では冷媒の溶け込みがないため、油のみの潤滑となった結果と考えられる。

2.2 スラッジ生成

図 5 は、寿命試験後の HFC-134a / エステル油とアルキルベンゼン油の冷蔵庫毛細管の断面写真である。毛細管は、冷蔵庫の凝縮器の高圧の液冷媒を減圧するごく細い管（内径 0.6 ~ 0.9 mm）である。エステル油では多量のスラッジがたい（堆）積している。このため冷媒の流れを阻害し、冷蔵庫において致命的な冷却不良という現象を引き起こす可能性がある。エステル油は吸湿性が高いため加水分解を起こし、圧縮機摺動部の摩耗粉の金属イオンと反応して金属石鹼を生成し、その生成物が毛細管に堆積する。したがって、吸湿性の高いエステル油を使用する場合、冷凍サイクル内の水分やエステルの加水分解を促進させるコンタミネーションの徹底した管理を施さなければこのスラッジは避けることができず、現在の製造プロセスでは非常に困難である。

一方、アルキルベンゼン油を使用した冷蔵庫毛細管のスラッジは極めて少なく、良好な結果を得た。これは吸湿性が低く、熱安定性に優れているとともに、圧縮機摺動部の潤滑性が良く、摩耗粉が少ないためである。

摺動部の耐摩耗性、スラッジ生成の特性に加え、他の諸特性（表 1）を考慮し、当社では高い信頼性を得るために冷媒 HFC-134a 対応ロータリ圧縮機の冷凍機油として非相溶性のアルキルベンゼン油を選定した。

3. サイクル性能

3.1 理論サイクル性能

表 2 は、HFC-134a と CFC-12 の理論サイクル性能を、凝縮温度 40°C、蒸発温度 -30°C、圧縮機吸入温度 30°C の条件で、比較したものである。この結果 HFC-134a の効率(COP) はほぼ等しいが、同一の圧縮機を用いた場合の HFC-

表 2. HFC-134a と CFC-12 の

理論サイクル性能比較

冷媒	HFC-134a	CFC-12
凝縮圧力 (MPa)	1.017	0.960
蒸発圧力 (MPa)	0.085	0.100
冷凍能力比	90.5	100
COP比	98.8	100

注 凝縮温度 : 40°C
蒸発温度 : -30°C
圧縮機吸入温度 : 30°C

134a の冷凍能力は CFC-12 に比べて約 10 % 低下する。これは HFC-134a の圧縮機吸入密度が CFC-12 よりも小さいためである。したがって、CFC-12 と同一能力を得るために、圧縮機押しのけ量を約 10 % 程度大きくする必要がある。

3.2 サイクル性能と油粘度、油循環量の関係

冷蔵庫蒸発器温度とアルキルベンゼン油の粘度、油循環量の関係を図6に示す。なお、油循環量(5)は次式で表される。

$$\xi = [Q_0 / (Q_R + Q_0)] \times 100 \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

ここで、 Q_0 ：サイクル内循環油量

Q_R : サイクル内循環冷媒量

この図から、低粘度の油を使用し、油循環量を減少させれば、サイクル性能は改善できることが分かる。これは油の粘度が高くなり、油循環量が増大すると、圧縮機から吐出された油が、蒸発器の管内壁に付着して熱交換効率を悪化させ、冷却性能を低下させるためである。

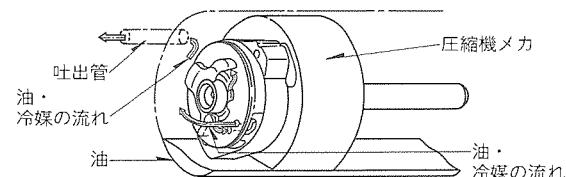
そこで、HFC-134a 対応冷凍機油は、低粘度のアルキルベンゼン油を用い、また圧縮機は冷媒と冷凍機油の分離機能を向上させた。図7は、圧縮機の新油分離機構である。油分離機構は、圧縮機メカの吹出し口から吐出管までの距離を長くし、また圧縮機内吐出マフラーに油分離機構を設けたものである。これにより、冷凍サイクル内への油循環量を減少することができた。

3.3 実機性能

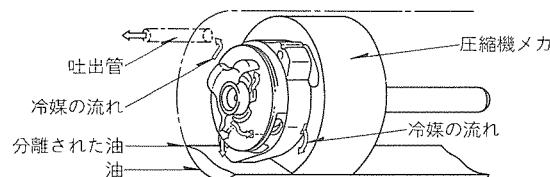
内容積360 ℥の冷蔵庫を用いて、HFC-134aとCFC-12のサイクル性能を比較した結果を表3に示す。HFC-134aでは圧縮機の押しのけ量を増加させ、また低粘度アルキルベンゼン油を使用し、新油分離機構を内蔵したロータリ圧縮機を搭載することにより、CFC-12と同等の冷凍能力を得ることができる。また、HFC-134a／低粘度アルキルベンゼン油系では、冷媒の溶け込みがほとんどないため、冷媒充てん(填)量をCFC-12／鉛油系よりも約30%削減することができる。さらに、HFC-134a／低粘度アルキルベンゼン油系の冷蔵庫連續運転時の蒸発入口及び出口温度の変化を、CF

C-12／鉱油系と比較して図 8 に示す。

HFC-134a／低粘度アルキルベンゼン油系の圧縮機起動時の蒸発器出口の冷え遅れは、従来のCFC-12／鉱油系に比べて小さく、冷却到達時間が短くなっている。これはHFC-134a／低粘度アルキルベンゼン油系では、圧縮機内の冷凍機油への冷媒の溶け込みがないため、圧縮機起動時のサイクル内の冷媒不足が生じないためと考えられる。このようにHFC-134a／低粘度アルキルベンゼン油系では、圧縮機の押しのけ量を増加させたにもかかわらず、断続運転時の冷却



(a) CFC-12対応仕様



(b) HFC-134aの対応仕様

図7. 圧縮機内の油分離の改善

表 3. 冷蔵庫実機性能の比較

冷媒	HFC-134a	CFC-12
潤滑油	新潤滑油	鉱油
圧縮機押しのけ量 (mℓ)	5.00	4.18
凝縮温度 (℃)	35.6	36.2
蒸発温度 (℃)	-28.4	-28.3
冷媒充填量比	69	100
消費電力量比	100	100

注 周围空气温度：30℃

電源周波数：50Hz

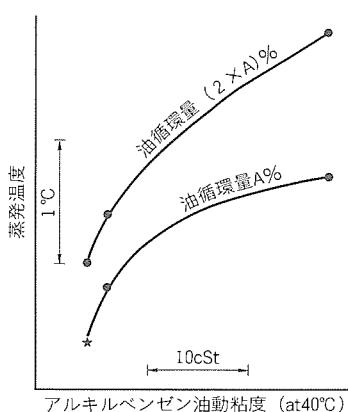
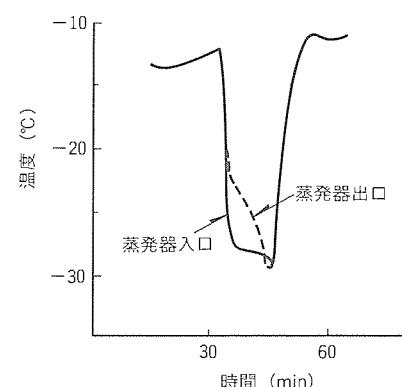


図6 ノルカリバニヤン油の粘度と冷却性能



(a) HEC-134a / 低粘度アルキルビニルベンゼン油

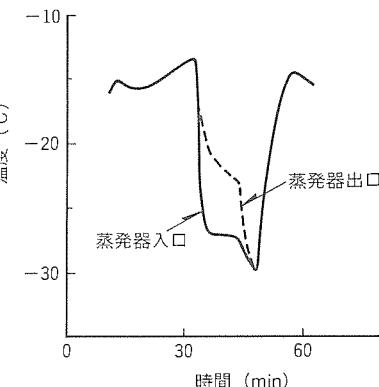


図 1 脈結運動時の蒸発器の温度変化

到達時間が短縮されるため、表3に示したように冷蔵庫の消費電力量は、従来のCFC-12／鉛油系と同等となる。

4. 圧縮機への油戻り性

冷凍サイクルでは、使用条件下で冷媒と冷凍機油が十分溶解するため、圧縮機から吐出された冷凍機油は系内を循環し、圧縮機内に容易に戻る。しかし、冷媒 HFC-134a の冷凍機油として選定したアルキルベンゼン油は非相溶油のため、サイクル内での圧縮機への油戻りが懸念される。このため、3 章で述べた圧縮機内部の油分離向上による油循環量低減や、油戻りを確実にするサイクルの改良、また様々な冷蔵庫使用条件で圧縮機への油戻り限界を把握することが非相溶油を使用する冷凍サイクルの信頼性において非常に重要である。

4.1 冷媒蒸気管内の返油限界速度

液体が管内壁に膜状に分布するような垂直管二相流を仮定した場合、気体流速がある速度以上に達すると、液膜は自重に逆らって上昇する。この速度は管径や気体、液体の状態値から算出される。冷凍サイクル配管内での冷媒流速(U_g)がこの流速以上であれば、冷凍機油の滞留はない。ここでこの流速を返油限界流速とし、Wallis の相関式から、返油限界流速(U_{g*})は次式で表される。

$$U_g^* = C [gd(\rho_{oi1} - \rho_g)/\rho_g]^{1/2} \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 C ：係数

g ：重力加速度 (m/s^2)

d : 管内径 (m)

ρ_{oil} : 油密度 (kg/m^3)

ρ_g : 冷媒蒸气密度 (kg/m^3)

そこで、内容積 360 ℓ の冷蔵庫の蒸発温度 (T_e)、凝縮温度 (T_c) における返油限界流速をこの推算式によって求め、管内冷媒流速 (U_g) との関係を求めた。一例として、凝縮器入口における返油限界条件を図 9 に示す。図において、管内冷媒流速 (U_g) と返油限界流速 (U_g^*) が等しくなる返油限界流速線よりも上の領域では管内冷媒流速 (U_g) のほうが大きくなり、冷凍機油の滞留は生じない。下の領域では逆に管内冷媒流速 (U_g) のほうが小さくなり、冷凍機油の滞留は生じる可能性がある。通常の冷蔵庫の使用条件は実線で囲んだ領域であり、冷凍機油の滞留は生じない。

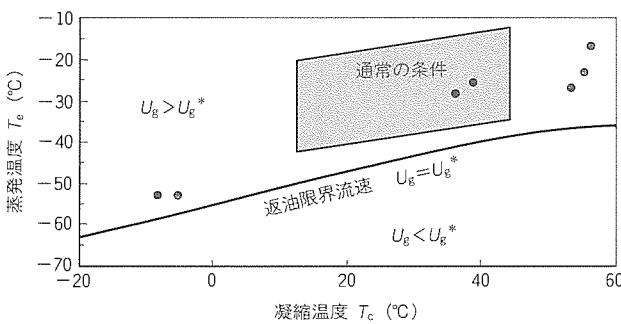


図 9. 凝縮器入口における返油限界条件

また、蒸発器出口、圧縮機吸込管、吐出管での冷媒流速(U_g)も返油限界流速(U_g^*)より十分大きく、冷蔵庫の蒸気管内での冷凍機油の滞留は生じない。

4.2 ヘッダでの油戻り性

冷凍サイクルで、上述した冷媒流速 (U_g) が最小となるヘッダでは、冷媒流速 (U_g) が返油限界流速 (U_{g*}) より小さくなるため、冷凍機油が滞留する可能性がある。ヘッダとは、冷蔵庫の蒸発器と圧縮機の間にあり、負荷変動による冷媒量調節の役割をするものである。

図10は、CFC-12対応とHFC-134a対応のヘッダ内の状態を示したものである。HFC-134a対応ヘッダでは、非相溶の冷凍機油を使用するため、下層に比重の大きい液冷媒、上層に冷凍機油がた(溜)まる。この冷凍機油を圧縮機に戻すためにHFC-134a対応ヘッダは、冷媒の流れ方向を逆にして上層の冷凍機油が圧縮機に戻るように改良を行った。また図11は、外気温度変化(10~40°C)によるヘッダ内の油面挙動である。外気温度による負荷変動に伴い、液冷媒、冷凍機油の液面高さは各々変化するが、ヘッダ内に滞留する油量は圧縮機の冷凍機油封入量の約5~15%程度で、圧縮機内の油量は十分に確保される。また、全液面高さは配管の高さと一致する。したがって、油は確実に圧縮機に戻っていく。

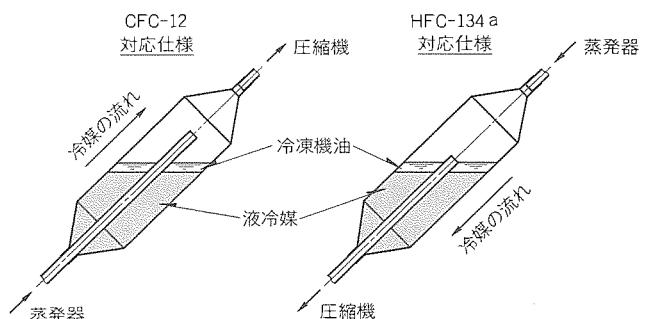


図10. 蒸発器ヘッダの改善

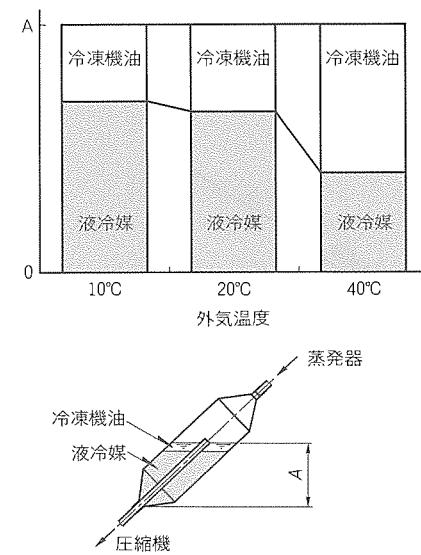


図11. 負荷変動によるヘッダ油面変化

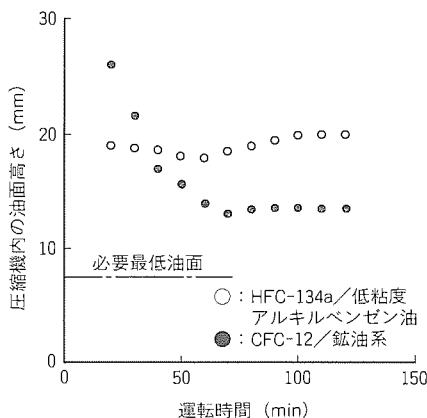


図12. 圧縮機内油面変化

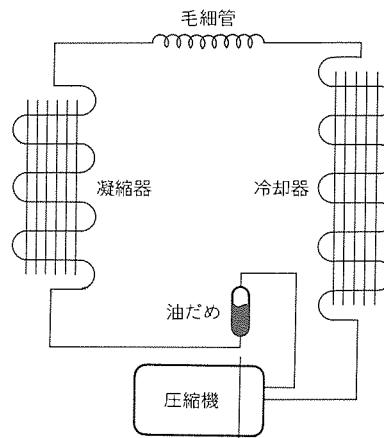


図13. 油ブロック試験装置

る。

4.3 実機での油挙動調査

実際の冷蔵庫運転中の圧縮機への油戻りを確認するため、配管を可視化した冷蔵庫で冷凍機油の挙動を観察した。図9の点が測定した各条件である。このすべての条件において冷凍機油の滞留ではなく、圧縮機への油戻りを確認することができた。図12は、圧縮機起動時から圧縮機内の油面変化を測定した一例である。HFC-134a／低粘度アルキルベンゼン油系の圧縮機内の油面高さはほぼ一定を保ち、冷凍機油は確実に圧縮機に戻ることが分かる。また、安定する油面高さが従来のCFC-12／鉱油系より高いのは、アルキルベンゼン油が冷媒と相溶性がないことや、圧縮機内の油分離機構により、圧縮機以外のサイクル内に存在する油量が従来よりも減少したことが考えられる。

さらに、冷蔵庫転倒時などに冷凍機油が冷凍サイクル内へ多量に流出した最悪の場合を想定した圧縮機への油戻りを確認するために、図13に示す実験装置で油ブロック試験を行った。装置は、冷蔵庫の凝縮器と圧縮機吐出管の間に油だめを設け、この油だめには圧縮機に封入する冷凍機油の約80%が注入されている。これは、全封入量から圧縮機内部に付着して外部流出しない油量を除いた量に相当する。さらに、冷媒を寝込ませた状態で圧縮機を起動し、圧縮機の油面変化を測定した。一例として、外気温度5°Cでの測定結果を図14に示す。起動後約20分間は油面は観測されないが、20分以降は油面が観測され、約60分後には油面は安定する。したがって、HFC-134a対応の冷凍サイクルの構成では、このような過酷な条件においても冷凍機油は確実に圧縮機に戻ることが確認された。

5. むすび

冷媒とほとんど溶け合わない非相溶性の冷凍機油を採用し、圧縮機の新油分離機構による油循環量の低減や、冷凍サイクルの改良で圧縮機への油戻りを確実にすることにより、従来のエネルギー効率を維持し、しかも高い信頼性を持つロータ

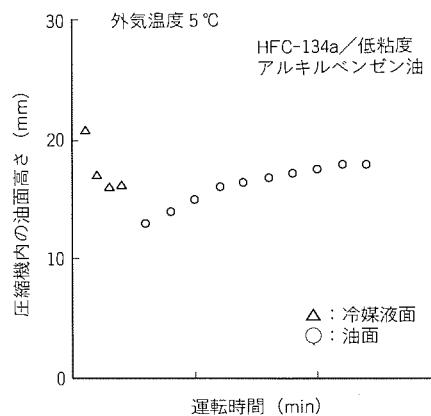


図14. 油ブロック試験での圧縮機内油面変化

り圧縮機及び搭載冷蔵庫の開発を実現した。

なお、今回のCFC-12代替に関する開発を踏まえ、今後とも地球環境保護のため積極的に取り組んでいく所存である。

参考文献

- (1) 隅田嘉裕：HFC134a 対応ロータリ圧縮機搭載冷蔵庫の開発、日本冷凍協会学術講演会講演論文集, 57~60 (1993)
- (2) 権守仁彦：冷凍サイクルの断続時エネルギー損失、日本冷凍協会論文集, 3, No.2, 37~44 (1986)
- (3) Wallis, G. B. : One-Dimensional Two-Phase Flow, U. K. A. E. A Rep., No. AEEW-R 123 (1961)
- (4) 植田辰洋：気液二相流、養賢堂 (1981)
- (5) Takaichi, K. : Lubricant for HFC 134 a Compatible Rotary Compressor, Proceeding of the 1992 International Compressor Engineering Conference at Purdue, 3, 1035~1044 (1992)
- (6) 角南元司：潤滑油との適合性、冷凍, 68, No. 786, 417~427 (1993)

HCFC-141b発泡冷蔵庫用 断熱材／内箱材料

山田 祥* 横山淳一**
安部千佐* 鏡園 弘**
西本芳夫**

1. まえがき

1974年にローランド⁽¹⁾らにより、CFC (Chloro Fluoro Carbon) が成層圏のオゾン層を破壊する説が発表されて以来、オゾン層の保護に関してウィーン条約(1985)、モントリオール議定書(1988)が採択され、日本では1988年にオゾン層保護法が制定、公布された⁽²⁾。1989年7月から、発泡、冷媒、洗浄等様々な用途に使用されてきたCFC(特定フロン)は、生産、消費及び輸入に規制が開始された。その後、オゾン層の破壊が予想を上回る速さで進んでいることが明らかとなり、段階的な規制強化を経て、1992年11月の第4回締約国会議(コペンハーゲンにおいて)でCFCsの1995年末全廃が決定された。図1に、CFCsの規制スケジュールと削減の実態(日本)を示した。

このような国際情勢を踏まえ、当社では1990年に特定フロンの1995年7月1日全廃を全社方針として決定し、オゾン層保護に取り組んでいる。

日本国内における特定フロンの出荷量は、図2に示すように約60,000トン(1992年)であり、その内訳はCFC-11が14,200トン(約24%)を占め、CFC-12が18,000トン(約30%)、CFC-113が26,800トン(約45%)、残りがCFC-114、CFC-115となっている。この中で冷蔵庫の断熱材発泡用としてCFC-11が約2,900トン、コンプレッサの冷媒用としてCFC-12が約700トン使用されている。さらに、冷蔵庫の大型化傾向に伴って特定フロンの必要量は増加傾向があり、冷蔵庫におけるフロン削減技術開発の重要性は高い。

当社は、発泡用フロンにHCFC-141b、冷媒用フロンにHFC-134aを採用した特定フロン全廃の冷蔵庫(図3)を1993年12月に発売した。

ここでは、この冷蔵庫に適用したHCFC-141b発泡ウレタン断熱材及び対応する内箱材料について、技術開発内容を述べる。

2. 代替フロン適用に対する課題

2.1 冷蔵庫箱体の構成とウレタン断熱材の役割

冷蔵庫の普及率は、1970年代にはほぼ100%に達し、生活必需品となっている。また、健康に直結する食料品を保存し、かつ家電製品の中で保証期間が5年間と最も長く、製品ライフサイクルも10年前後と長期にわたり、いったん設置されると製品廃棄時まで連続稼働するため、製品の長期信頼性が

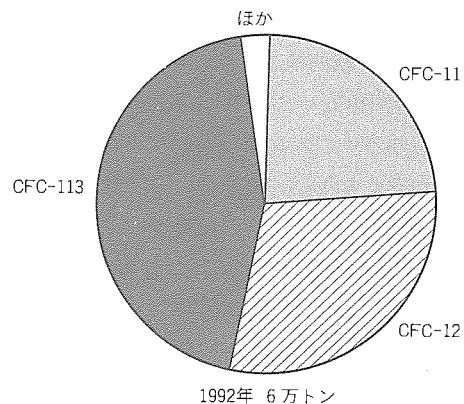


図2. 特定フロンの出荷量(日本)

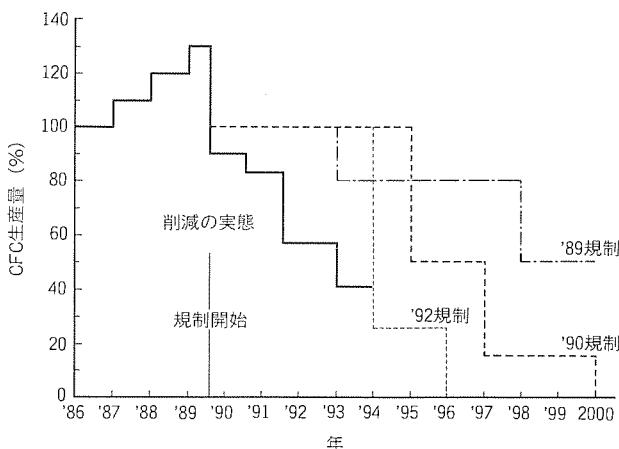


図1. 特定フロン(CFC)の規制スケジュール

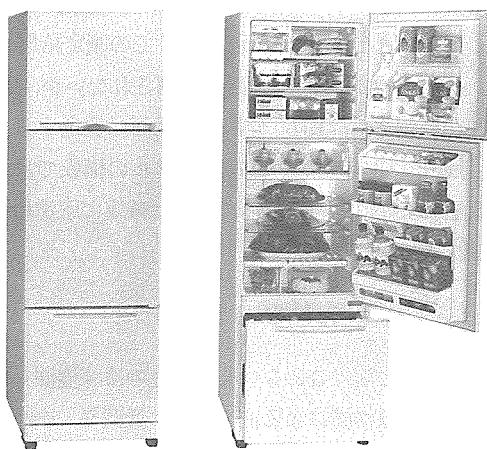


図3. フロン代替冷蔵庫(MR-V25A)

要求される。また、冷蔵庫の家庭内消費電力に占める割合も約20%と大きく、省エネルギー化の社会的なニーズも高まっている。

冷蔵庫箱体は図4に示したように、外箱(鋼板)と内箱(ABS樹脂: Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Copolymer)との間に断熱特性に優れるウレタンフォームで接着一体化した構造である。このサンドイッチ構造により、併せて箱体としての構造強度を発現させている。

冷蔵庫1台当たりのウレタンフォーム使用量は、平均約5kgであり、発泡剤のフロンを約700g 使用している。さらに、近年は冷蔵庫の大型化が進み、容積効率の向上と消費電力量の低減が重要となっている。容積効率向上には、ウレタン断熱性能を高めて壁厚の薄肉化が不可欠である。

2.2 ウレタンフォームの断熱性に及ぼす因子

ウレタン樹脂は、図5に示すように、ポリオール、水とイソシアネートの反応により、ウレタン結合や尿素結合を形成する樹脂であり、優れた機械的強度と接着性を示す。このとき、ポリオールにCFC-11のような発泡剤を溶解させておくと、反応熱によってCFC-11が気化し、ウレタン樹脂は微小な気泡(セル)からなる多孔質体となる。この気泡は独立気泡であり、発泡剤は気泡中に封じ込められる。

フォームの熱伝導には、4種類の熱伝導機構が寄与し、熱伝導率は次式のように表される⁽³⁾。

$$\lambda = \lambda_g + \lambda_s + \lambda_r + \lambda_c$$

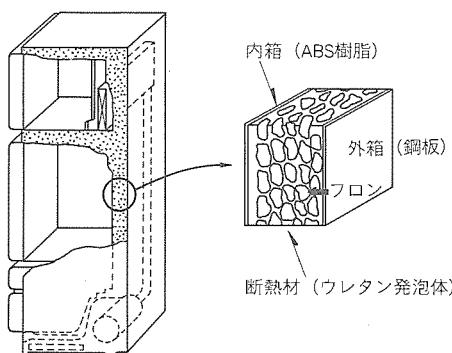


図4. 冷蔵庫における断熱箱体の構成

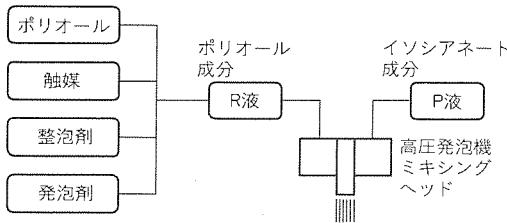


図5. ウレタンフォームの発泡原理

ここで、 λ : フォームの熱伝導率

λ_g : ガスによる熱伝導

λ_s : 樹脂による熱伝導

λ_r : ふく(幅)射による熱伝導

λ_c : 対流による熱伝導

ウレタンフォームの熱伝導率への各熱伝導機構の寄与は、体積分率が95%以上あるガスの熱伝導(λ_g)が最も大きくて50~60%を占め、次いで樹脂(λ_s)、輻射(λ_r)による熱伝導となる。フォーム内の対流による熱伝導は、セル径1mm以下のフォームでは無視してよいと言われている⁽³⁾⁽⁴⁾。

このようにフォームの断熱性にはガスの熱伝導率が大きな影響を及ぼす。さらに、断熱特性を改善するには樹脂による熱伝導、輻射による熱伝導を低減させることが重要である。

2.3 代替フロンの選択と開発課題

表1には、CFC-11と代替フロンの特性を示した。CFC-11はガスの熱伝導率が小さく、沸点は24°Cであり、室温で液状のため取扱いが容易である。加えて不燃性、化学的安定性に優れ、低毒性、低腐食性等の特長を持ち、断熱材発泡用として広く使用してきた。

代替フロンとしては、以下の特性が要求される。

- オゾン破壊係数(Ozone Depletion Potential:ODP)、地球温暖化係数(Glowbal Warming Potential:GWP)が小さい。
- ガス状態での熱伝導率(λ_g)が小さい。
- 安全性等が現行のCFC-11と同等。

さらに、冷蔵庫の生産性、信頼性確保の観点からは、次の項目が要求される。

- 断熱材物性(熱伝導率、機械的特性)に優れる。
- 発泡効率が良好である。
- 併用する材料への影響が少ない。
- 現状設備の改造が最小限。

さらに、削減スケジュール履行のため新規フロンの供給安定性も大きな選択要因となる。

我々は、これらを考慮してHCFC-123、HCFC-141bを断熱材発泡用代替フロンの候補材料とした。オゾン破壊係数、

表1. 代替フロンの特性比較

	CFC-11	HCFC-141b	HCFC-123
構造式	CCl ₃ F	CH ₃ CCl ₂ F	CHCl ₂ CF ₃
分子量	137.2	117.0	152.9
沸点(°C)	23.8	32.0	27.8
ODP	1.0	0.11	0.02
GWP	1.0	0.12	0.02
大気中寿命(年)	60	7.8	1.6
毒性	○	○(PAFT II)	△(良性腫瘍)
可燃性	なし	弱燃性(引火点なし)	なし
ガスの熱伝導率 25°C (mW/m·K)	8.4	9.2	9.8
樹脂に対するアタック性	小	中	大

ガスの熱伝導率からは HCFC-123 が有望であるが、PAFT (代替フロン国際共同安全性確認試験: Program for Alternative Fluorocarbon Toxicity Testing) の中間報告でラットに良性しゅよう (腫瘍) が発生する等の慢性毒性が懸念されるデータが提出され、安全性、供給安定性の観点から HCFC-141b を代替発泡剤とする開発を進めてきた。

表 1 に示したように、HCFC-141b は CFC-11 と比較してガスの熱伝導率が 10 %余り大きく、樹脂に対する溶解性も大きい。そのため冷蔵庫への適用には、

- 冷蔵庫断熱性能の確保
- 周辺材料への影響把握と信頼性確保

が重要であり、これらを満足する材料開発が必要となる。

3. HCFC-141b 対応冷蔵庫用材料の開発

3.1 ウレタン断熱材

冷蔵庫用ウレタンフォームの物性で特に重要なものは、断熱性能であり、また低温／高温での寸法変化のないこと、箱体としての構造強度を保持するため機械的強度の高いことが要求される。さらに、経済性、生産性からは低密度化、成形サイクルタイムの短縮化も必要である。

フォームの熱伝導率に及ぼす発泡剤組成の影響を図 6 に示した。HCFC-141b はガス状態の熱伝導率が CFC-11 と比較して 10 %余り大きく、発泡剤の単純な代替だけではフォームの断熱特性の悪化は避けられない。また、HCFC-141b は樹脂に対する溶解性が大きく、セル内で可塑剤的效果を発揮して強度低下を引き起こす。そこで、フォームの断熱性能向上と樹脂に対する溶解性低減のため、①発泡体のセルの微細化と②ウレタン樹脂組成の最適化を行った。セルの微

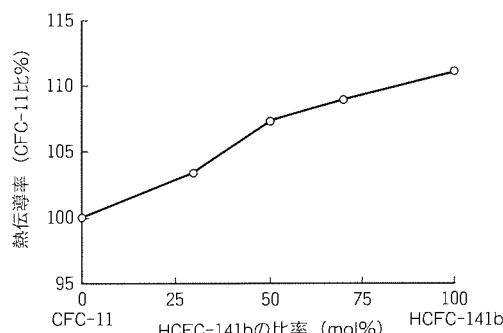


図 6. 発泡剤組成とフォーム熱伝導率の関係

表 2. パネルフォームの物性比較

	HCFC-141b 発泡	CFC-11 発泡
密度 (kg/m^3)	25.2	25.1
圧縮強度 (MPa)	0.12	0.10
圧縮弾性率 (MPa)	3.40	2.30
熱伝導率 ($\text{mW}/\text{m}\cdot\text{K}$)	18.0	19.3
耐寒寸法安定性 (%)	0.1	0.3
湿熱寸法安定性 (%)	0.6	0.8

注 厚さ 50mm, スキンなし

細化により、単位体積当たりのセル数を増加させるとともに、樹脂を剛直化し、HCFC-141b に耐性を持たせ機械的特性の向上を図り、輻射による熱伝導 (λ_r)、樹脂の熱伝導 (λ_s) を低減できる。

ウレタン樹脂の HCFC-141b 溶解性を低減するためには芳香族ポリオールが有効であり、水酸基価の増加や架橋密度の増加等による樹脂の高剛性化が開発のポイントとなった。一方、高剛性化に伴って反応後期の泡粘度が増加し、フォームの流動性が低下して冷蔵庫箱体空間内への充てん(填)性が低下する。この現象には触媒系の選択やポリオールの分子量を調整して反応性を制御し、流動性の最適化を図った。その結果、発泡立ち上がり状態、流動性ともに良好で、樹脂反応性も従来材と同等とすることことができた。

断熱特性の改善は、主としてセルの微細化とセル内ガス濃度の最適化によって実現した。また、セルの微細化とともにフォーム強度が低下し、寸法安定性も低下するため、高剛性化とともにフォーム密度の増加を図った。

表 2 には、このように改良したウレタン断熱材のパネルフォーム物性を示した。初期の熱伝導率は、従来の CFC-11 発泡断熱材より向上し、高剛性化によって圧縮強度、圧縮弾性率が増加し、寸法安定性も CFC-11 と同等以上の性能を得た。フォーム断面の電子顕微鏡写真(SEM)を図 7 に示す。従来、平均セル径が 250 ~ 300 μm であったが、HCFC-141b による新しい発泡方式では 150 ~ 200 μm と小さくなり、同時にセル径分布が狭くなっていることが確認できた。

図 8 にウレタン断熱材の熱伝導率の温度依存性を示した。高温域では CFC-11 発泡フォームと比較して 5 %程度の改

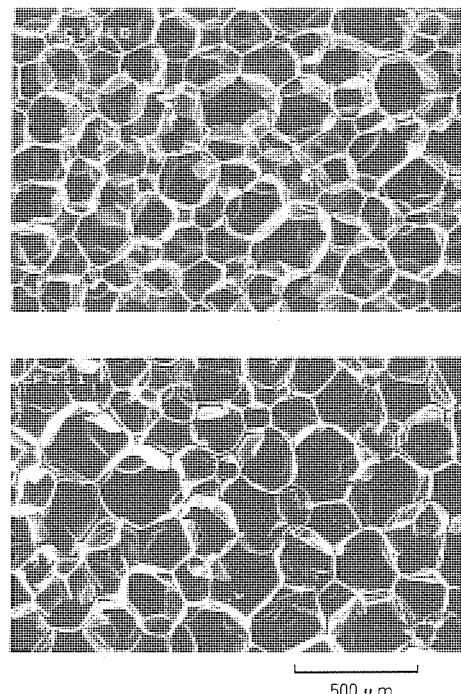


図 7. フォーム断面の電子顕微鏡写真 (SEM)

善が見られ、低温域ではCFC-11とほぼ同等の熱伝導率を示すことが分かる。HCFC-141bは、沸点が32°CでCFC-11より約8°C高い。そのために低温域での発泡剤の凝縮による断熱特性の低下が考えられ、低温域での断熱性能を確保するため室温域での熱伝導率を小さく設定した。その結果、冷蔵庫の実用温度域である平均温度0~20°Cで、従来断熱材以上の断熱特性が得られた。

冷蔵庫のウレタン断熱材は、狭い間げき(隙)でかつ棚受けリブや中仕切、コンプレッサ部等の複雑形状がある空間に、フォームとして均一に流动し、充填する必要がある。図9(a)にはフォームサンプル採取部位を、(b)~(d)に、それぞれフ

ォームの密度・熱伝導率・寸法安定性の分布を示した。セルの微細化に対応して全体の密度は増加しているが、安定した密度分布が冷蔵庫各部で得られており、フォームの流动性がほぼ均一で、開発したウレタン原液が良好な充填性を持つことが分かる。また、従来のCFC-11発泡フォームと比較してHCFC-141b発泡フォームは、初期の熱伝導率が小さくなり、耐寒寸法変化は同等であることが分かる。さらに、弾性率、圧縮強度等の機械的特性が向上しており、箱体として信頼性の高いものになっている。

表3には、冷蔵庫の冷却試験結果と消費電力を示した。フォーム単体試験と同様に、冷蔵庫の冷却性能としてCFC-11発泡断熱材のものより冷却性能が3~4%向上した。

3.2 内箱材料

HCFC-141bは樹脂に対する溶解性がCFC-11より大きく、内箱材のABS樹脂はケミカルアタックを受ける。そのため、従来のABS樹脂をそのまま使用すると、箱体強度の低下や応力集中が大きい内箱棚受けリブ部、真空成形による薄内部に、クラック、クレーズが発生する(図10)。図11にABS樹脂の組成と樹脂物性との関連を示した。このように

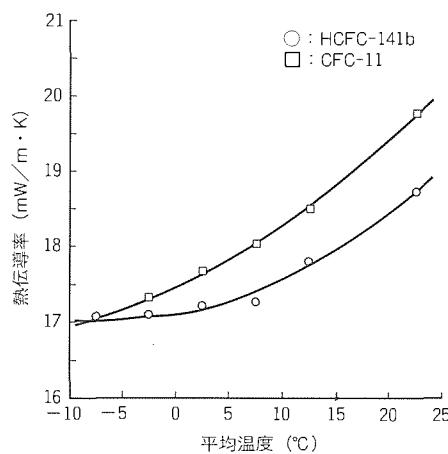
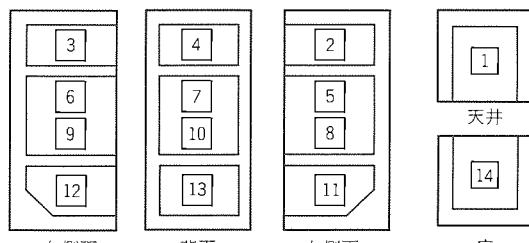
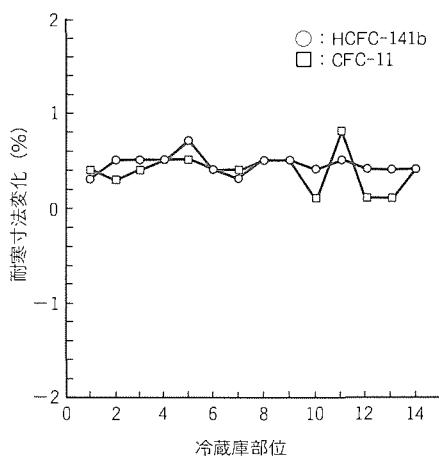


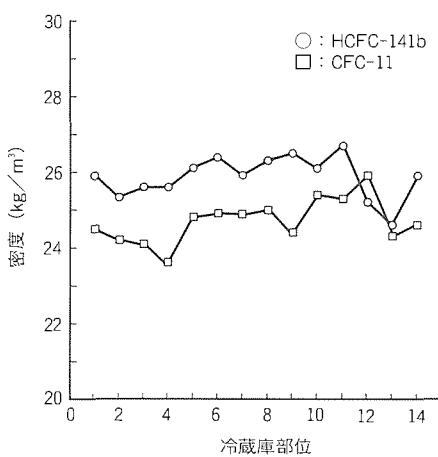
図8. 热伝導率の温度依存性(フォーム)



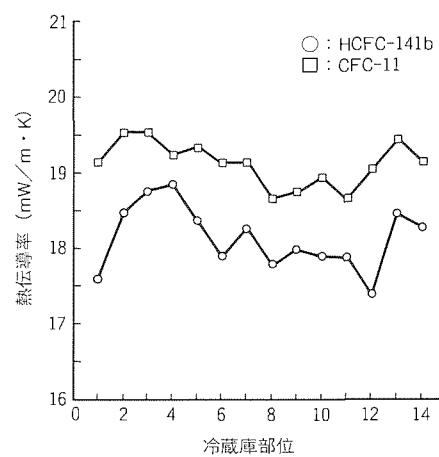
(a) サンプル採取部位



(c) 热伝導率分布



(b) 密度分布



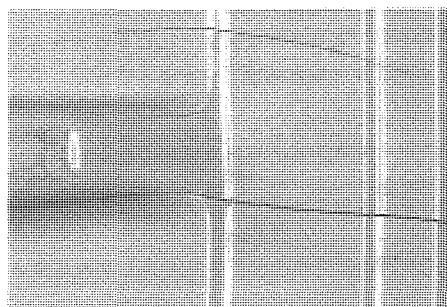
(d) 寸法安定性

図9. 箱体各部のフォーム物性比較

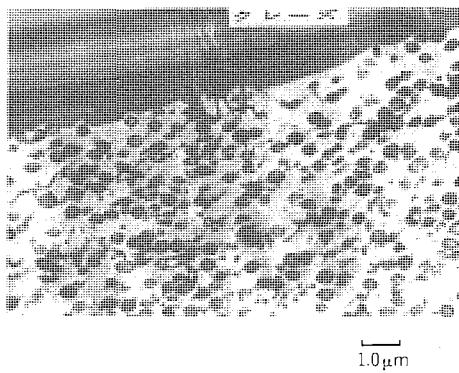
表3. HCFC-141b発泡冷蔵庫性能試験

外気温 (°C)	15	30
冷却試験 (消費電力vs. CFC-11)	-3.6%	-4.0%
消費電力量 (kW・h/月)	29	

注 現行冷蔵庫消費電力量: 30kW・h/月



(a) 内箱表面 (ヒートサイクル試験後)



(b) 断面電子顕微鏡写真 (TEM)

図10. フロンのケミカルアタック

A成分(アクリロニトリル)は耐薬品性、S成分(スチレン)は剛性、B成分(ブタジエンゴム)は耐衝撃性に関与し、これらの組成比がシート押出成形、真空成形に大きな影響を及ぼす。A成分を増加させると耐薬品性が向上し、HCFC-141bに対する耐性改善に寄与するが、その反面高温保持時の樹脂の着色、熱安定性の低下、真空成形性の低下、接着性の低下等の問題が発生する。生産信頼性の点からは、樹脂の着色、熱安定性は重要である。また、HCFC-141bはABS樹脂のブタジエンゴムに選択的に吸収されやすく(図12)、そのためクラックが発生しやすくなると考えられる。

我々は、これらを考慮してA成分の増加は極力抑え、耐フロン(HCFC-141b)性の改良を目指した。そのため、B成分よりフロンの吸収量の多い新しいゴム成分を加えて選択的にフロンを吸収させ、耐クラック性は従来のB成分が担う組成とした。

内箱材にはシート成形時の熱安定性と良好な真空成形性が要求される。図13に樹脂の伸び特性の温度依存性を示した。開発材料は真空成形時の高速変形に対しても優れた伸び特性を示すことが分かる。樹脂の押出性は、従来内箱材より良好

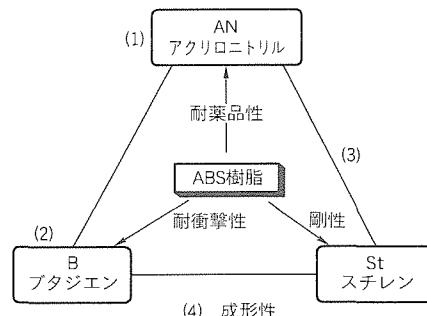


図11. 組成と物性との関係 (ABS樹脂)

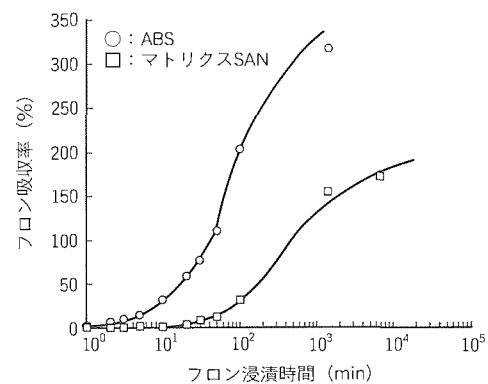


図12. フロン吸収挙動

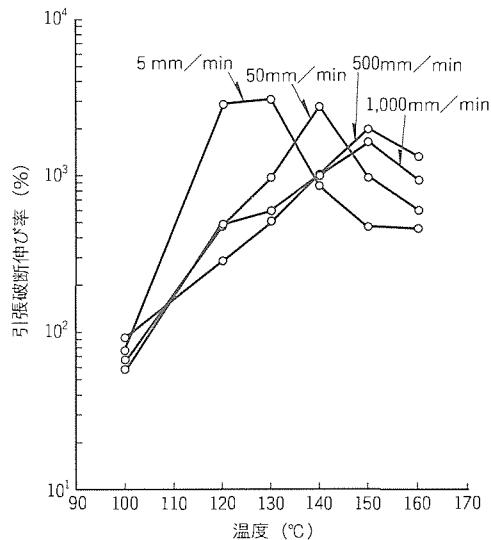


図13. 破断伸び率の温度依存性

で、当社の冷蔵庫内箱製造ラインの特長であるシート押出しと真空成形を連動させたVCE (Vacuum Forming Connected Extrusion)⁽⁵⁾ラインの生産性向上にも大きく寄与した。従来の内箱材用ABS樹脂と開発した内箱材の特性を比較し、表4に示す。

表5に冷蔵庫の熱衝撃試験結果を示した。開発した冷蔵庫は、発泡終了後に箱体を急冷するヒートショック試験(発泡直後→-5°C)，高低温繰り返しを行うヒートサイクル試験(-30°C→60°C)で内箱にクラックや白化などの不具合は認められなかった。また、製品強度を評価する荷重負荷試験

表4. 開発材のシート物性

	ABS樹脂	開発材
引張強度 (MPa)	36	30
曲げ強度 (MPa)	60	53
曲げ弾性率 (MPa)	2,400	2,000
衝撃強度 (kg·cm/cm)	42	30
耐HCFC-141b性	×(クラック発生)	○
真空成形性	○	○
押出性	○	○
熱安定性	○	○

表5. 冷蔵庫製品試験結果

	320ℓ
ヒートショック試験	○(クラック, 白化なし)
ヒートサイクル試験	○(クラック, 白化なし)
強度試験変形量 (CFC-11比) 扉 箱体	-12% -24%

注 ヒートショック試験：発泡直後→-5℃

ヒートサイクル試験：-30℃↔60℃

の箱体変形量も従来より低減できた。

3.3 その他の材料

発泡剤の HCFC-141b 化によって影響を受けるその他の材料に、冷蔵庫扉の上下のキャップと呼ぶ射出成形部品、断熱材中に組み込む電気部品類のカバーやコード、部品固定用のテープ類がある。扉のキャップ材は内箱材と同成分系列の射出成形グレード樹脂とした。その他の材料は、HCFC-141b 性への耐性試験を行い、現行材料と同等以上を確認した。

4. むすび

HCFC-141b を発泡剤にした断熱材は、断熱性能、強度等で現行 CFC-11 発泡断熱材より優れた特性を持ち、内箱

材として HCFC-141b に耐性のある改良材を得た。

この技術を適用した冷蔵庫は、冷媒の代替化 (CFC-12→HCFC-134a) とともに、1993年12月に発売した。

フロン規制は強化の方向にあり、現在代替化を進めている HCFC-141 b はオゾン破壊係数が 0 ではないことから、第4回締約国会議 (1992年11月) で規制対象物質に指定され、1996年からの使用量凍結規制、2020年の全廃が決定した。そのため、HCFC-141 b に続く新発泡剤を適用した次世代断熱材の開発が急務となってきている。

次世代断熱材としては、①HFC 発泡断熱材、②炭化水素系発泡断熱材、③水 (CO₂) 発泡断熱材、④真空断熱等が考えられ、冷蔵庫用断熱材としてその最適化を目指して開発を開始している。

冷蔵庫は廃棄物量の削減や再資源化促進の対象製品に指定されており、我々はそれらとライフサイクルエネルギーを含めた製品アセスメントについても取り組みつつある。

参考文献

- (1) Molina, M. J., Rowland, F. S.: Nature (London), 249, 810 (1974)
- (2) 法律第3号「特定物質規制等によるオゾン層の保護に関する法律」1988. 5. 20. 公布
- (3) McIntire, O. R., Kennedy, R. N.: Chem. Eng. Progr., 44 (9) 727 (1948)
- (4) 大塚正久 訳：セル構造体 (Gibson, L. T., Ashby, M. F.: Cellular Solids-Structure Properties), 内田老鶴園, 275 (1993)
- (5) 馬場文明, 斎藤 勝, 大村 武, 柏 直：冷蔵庫内箱用押出連動真空成形システムの開発, 三菱電機技報, 56, No.7, 550~554 (1982)

大型冷蔵庫用 ツインメカ横置ロータリ圧縮機

川口 進*
酒井正敏*
前山英明*

1. まえがき

当社は、1980年に世界初の低温用横置型ローリングピストン式ロータリ圧縮機(KLZシリーズ)を開発し、冷蔵庫用圧縮機のロータリ化の先駆者(鞭)をつけた。また、1984年には、小型・軽量・高効率を追求したXLZシリーズを量産化し、さらに1987年には冷凍能力の拡大を図ったYLZシリーズを量産化した。現在では、ほとんどの冷蔵庫にこのローリングピストン式ロータリ圧縮機が搭載されている。

一方、昨今の冷蔵庫の大型化、形態の多様化に伴って、圧縮機の大容量化も進んでいる。当社はこの流れにいち早く対応し、冷蔵庫用大容量ロータリ圧縮機の開発と静音化に取り組んできた。近年、480ℓミッドフリーザーに代表される大型冷蔵庫の比重が高まるとともに、更なる静音化・低振動化が課題となってきた。

また、このような冷蔵庫の大型化、形態の多様化とともに、フロン規制による冷媒・発泡剤の変更に柔軟に対応できる大

容量・低騒音・低振動・高効率の新形態の圧縮機が必要となってきた。

大容量冷蔵庫用の圧縮機でこの課題を解決するには、モータの両側に圧縮要素部分を配置したツインメカ方式のロータリ圧縮機が最も優れていることが分かった。

そこで、従来は組立てが困難であった両持ち軸受構造を採用しながら、シェル構造・モータの仕様をより低騒音・高効率に改良した。この大容量低騒音・低振動・高効率圧縮機WLZシリーズ(図1)は、1993年2月発売の480ℓ冷蔵庫(MR-J48M)(図2)に搭載した。

この論文では、この大容量冷蔵庫用ツインメカ横置ロータリ圧縮機の開発課題とその解決技術について述べる。

2. 新開発ロータリ圧縮機のコンセプトと概要

2.1 コンセプト

冷蔵庫の需要は昨今の市場の景気低迷にもかかわらず、400ℓ以上のクラスは常に20%以上の需要構成比になっている。このような容量域の冷蔵庫には、冷凍能力の大きな圧縮機を搭載する必要がある。一般に圧縮機は大容量になればなるほど

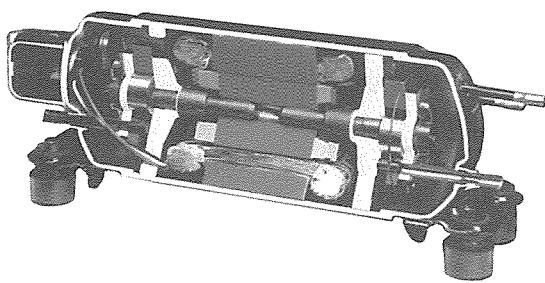


図1. 世界初ツインメカロータリ圧縮機“WLZ”

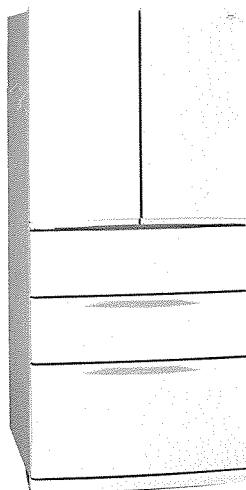


図2. 480ℓ冷蔵庫“MR-J48M”

表1. WLZの特長（当社従来機YLZとの比較）

	WLZ	YLZ
形 式	2シリンダロータリ	1シリンダロータリ
圧縮機構配置	両 側	片 側
軸受機構	両持ち	片持ち
ストロークボリューム(cm ³)	6.1~11.7	5~6.5
寸 法 (mm)	径113×286	径92×199
質 量 (kg)	10.2	5.7

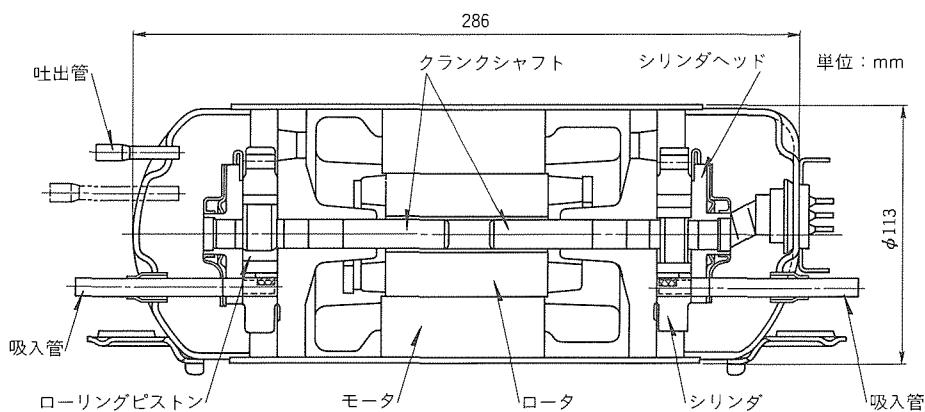


図3. ツインメカロータリ圧縮機WLZ断面

ど騒音・振動は大きくなるが、市場の“大型＝高級品”という思い込みから、圧縮機への低騒音・低振動の要求は強まっている。

冷蔵庫の低騒音化に関しては、しばしば遮音材を用いた静音対策が採られてきたが、遮音材で防ぐにくい500 Hz以下の低周波域の低減が課題であった。

また、高効率化に関しては、大型化に伴う消費電力の抑制に加え、1995年末に全廃となる特定フロン規制に伴う圧縮機の容量増加の必要性から、より一層の高効率化が課題であった。

このような背景から、以下の点を開発の目標とした。

- (1) 400 ℥以上の大容量冷蔵庫用圧縮機において、市場規模の大きい300～400 ℥級冷蔵庫用圧縮機と同等以上の低騒音・低振動を実現する。
- (2) 特に冷蔵庫搭載時に箱体の遮音効果の少ない500 Hz以下の低周波域を低減し、装置側の用途範囲を広げる。
- (3) 圧縮機を高効率化して、大型化、フロン規制においても冷蔵庫の省エネルギーに寄与する。

2.2 諸元及び構造

製品化したツインメカロータリ圧縮機 WLZ の主な諸元及び特長を表1に示す。表に示すように質量・外形寸法では、従来のロータリ圧縮機に比べて大きくなっているが、能力レ

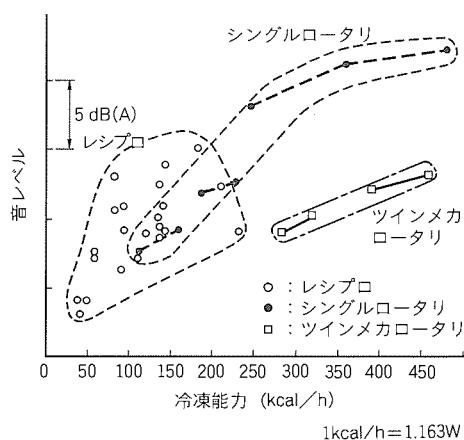


図4. 各種圧縮機による騒音比較

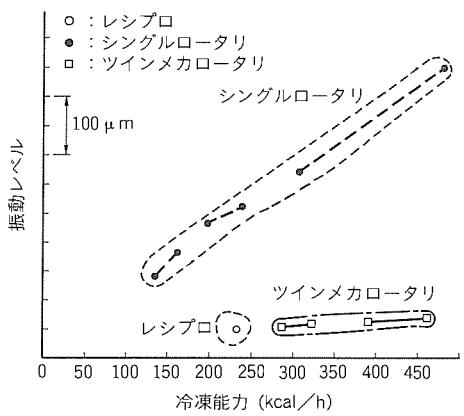


図5. 各種圧縮機による振動比較

ンジは従来のYLZ型圧縮機に比べて約2倍あり、家庭用大型冷蔵庫のみならず、騒音問題・フロン規制等で今後の改善が必要となる業務用へも適用できる。

図3はWLZ型圧縮機の断面構造を示す。モータの両側に圧縮要素を配置した両持ち構造(ツインメカ)が最大の特徴であり、従来、工作精度等の困難があり採用できなかったこの構造を、精密部品加工技術と組立技術によって導入できた。

図4～図6は、従来のレシプロ圧縮機及びシングルロータリ圧縮機と今回開発したツインメカロータリ圧縮機との比較を騒音、振動、効率について示したものである。ツインメカロータリは、騒音、効率は従来のレシプロ及びシングルロータリより優れ、さらに振動では密閉容器内でスプリング支持されたレシプロ圧縮機とほぼ同等の低騒音・低振動・高効率が実現できた。

3. ツインメカによる低騒音化

両持ちのツインメカ構造を採用した理由とその効果について述べる。

3.1 低騒音設計

冷蔵庫用圧縮機の騒音は、大きくは次の3種類に分類できる。

- (1) ロータの振れ回りに起因する電磁音
- (2) 圧縮機内のメカのしうう(摺)動部で生じる機械音
- (3) 圧縮機内を通る冷媒による流体音

冷蔵庫の箱体の遮音特性から考えると、周波数の低い(1)の電磁音が重要な検討対象となる。

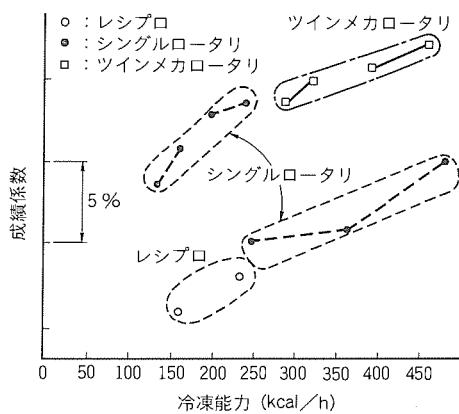


図6. 各種圧縮機による効率比較

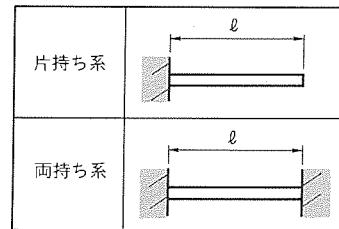


図7. 棒の横振動モデル

3.2 電磁音の抑制

電磁音の発生要因としては、ロータの振れ回りが考えられる。すなわち、ロータリ圧縮機のロータには、圧縮機の回転バランスをとるために、通常、おもり（錘）が付加されている。この錘により、ローリングピストンやクランクシャフト等の偏心質量によって発生する振動を打ち消している。しかし、この付加した錘で発生した遠心力により、ロータが挿入されたクランクシャフトはわずかにたわむ。従来のロータリ圧縮機のロータは、図7に示すように、フレームの軸受部を支点とした片持ちはり（梁）構造になっており、上記の遠心力によってロータがたわみ、その影響でモータのエアギヤップが不均一になり、電磁音が発生していた。

この電磁音の発生周波数は、電源周波数の偶数倍成分が基本で、

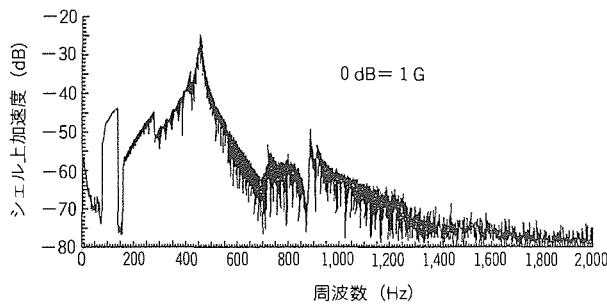
の各成分を持つ。

ここで, $n = 1, 2, 3 \dots$

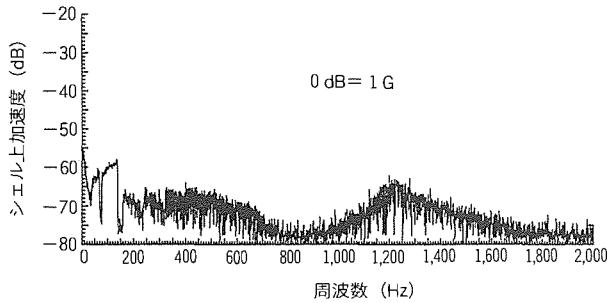
f ：電源周波数

また、電源周波数の奇数倍成分も、

が存在し、特に $n_2 = \pm 1$ が問題となり、うなり音を発生させやすい。



(a) シングルロータリ (片持ち系)



(b) ツインメカロータリ (両持ち系)

表2. CAEでの軸系共振周波数解析結果

	両持ち系	片持ち系
1次共振周波数 (Hz)	1,210	404

ここで、 $n_1 = 1, 2, 3 \dots$

$$n_2 = -5, -3, -1, +1, +3, +5 \dots$$

S : すべり

これらの電磁加振力は高次になれば小さくなるが、クランクシャフト系の共振周波数、つまり応答系の共振周波数によって問題となる電磁音の周波数は決まる。

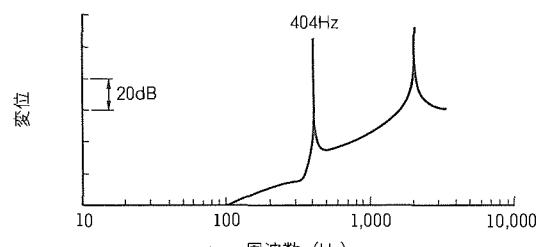
当社の従来の冷蔵庫用ロータリ圧縮機で、この応答系の共振周波数を測定した。測定は、主巻線の励磁によるロータ系の非回転時における応答で行った。図 8(a)に示すように、共振周波数は 454 Hz 付近にあった。

小型の圧縮機ではこの電磁加振力が小さく、騒音としては顕著化しないが、大型冷蔵庫用圧縮機ではそれが問題となる。

この電磁音対策として、二つの機械的な対策が考えられる。

- (1) クランクシャフトの剛性を上げて、遠心力によるたわみの影響を抑制する。
 - (2) ロータを両端支持として、ロータ系の共振周波数を高くする。

(1)については、剛性を上げるためにクランクシャフトの径を大きくするのが簡単な対策であるが、軸受部などの機械



(a) 片持ち系

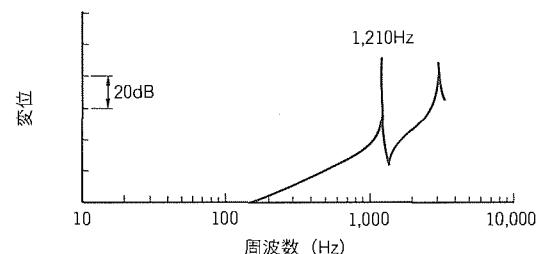


図 9 CAFでのロータリ系応答特性解析結果

損失が増加し、圧縮機の効率の面からは好ましくない。また、曲げ剛性を単に2倍にしても共振周波数は1.4倍程度にしかならず、有効な方法とはいえない。

一方、対策(2)の横振動モデルは両端固定の両持ち系として考えることができ、従来のロータリ圧縮機での一端固定の片持ち系に比べ、共振周波数は6倍以上に高くすることができる。

すなわち、図7に示す棒の横振動モデルで考えると、

$$\omega_n = (\lambda^2 / \ell^2) \times \sqrt{EI \cdot g / \gamma A} \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 ω_n :共振周波数

λ^2 :定数

ℓ :棒の長さ

EI :曲げ剛性

g :重力加速度

γ :比重

A :断面積

その結果、片持ち系 1次 $\lambda^2 = 3.516$

両持ち系 1次 $\lambda^2 = 22.37$

が得られる。さらに、この共振周波数を確認するために、軸受におけるばね要素及び減衰を考慮して長大軸系横振動解析プログラム⁽¹⁾でCAE解析をした。その結果を表2に示す。

従来の片持ち系のロータリ圧縮機に比べ、共振点が3倍程度高くなっている。このときのロータ系の応答特性をCAE解析した結果を図9に示す。従来機と同様に実機での応答特性を測定した図8(b)で、CAE解析とほぼ同様の結果が得られた。すなわち、共振周波数は片持ち系では454 Hzであったが、両持ち系では1,220 Hz付近の低いピークであることが分かった。

これらの結果から、軸の支持方法は両持ち系が望ましいと考え、実機による騒音比較を行った。実機での圧縮機騒音を従来の1シリンダ圧縮機と比較して図10に示す。500 Hz以下の低周波域ではかなり騒音低減効果のあることが分かる。

3.3 低騒音シェル設計

次に圧縮機内の摺動部品の衝突等に起因する機械音の対策

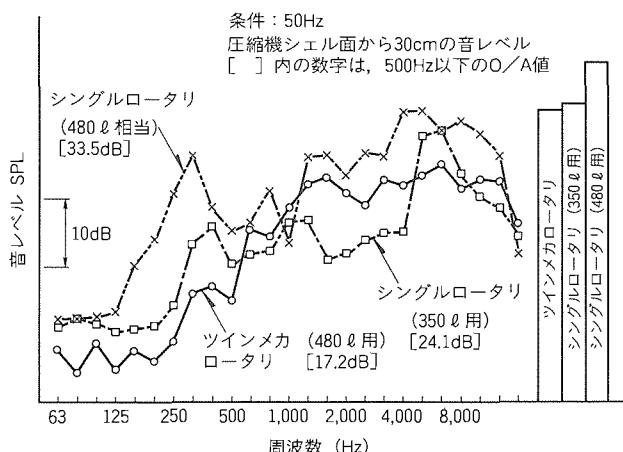
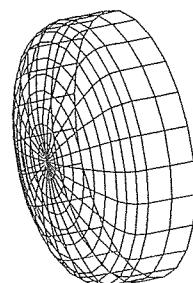


図10. 実機での圧縮機騒音比較

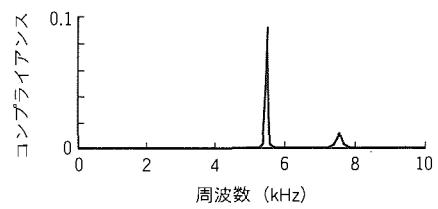
について述べる。これらの音は数kHz以上の高周波音であり、シェル等の振動伝達によって増幅され、放射される騒音が主である。そこで、加振されるシェル等の振動伝達特性を改善し、騒音を低減させることが有効となる。

図11は、シェルのコーナRの形状変更と振動伝達特性について固有値解析比較した例である。この解析には、SDRC社のNASTRANを用いた。従来のシェルでは、5.8kHz付近に共振点があったのに対し、コーナRを変更した新設計シェルの共振点は8.8kHz付近に移り、しかも共振点での振動増幅率が1/5以下に低減した。この新設計シェルをWLZ型圧縮機に適用した実機試験結果を図12に示す。1/3オクターブ分析で、5~6.3kHzの帯域の低減効果が確認できた。

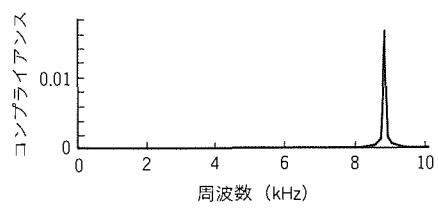
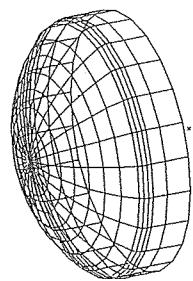
{解析モデル}



{解析結果}



(a) 従来シェル



(b) 新設計シェル

図11. CAEによるシェル固有値解析結果

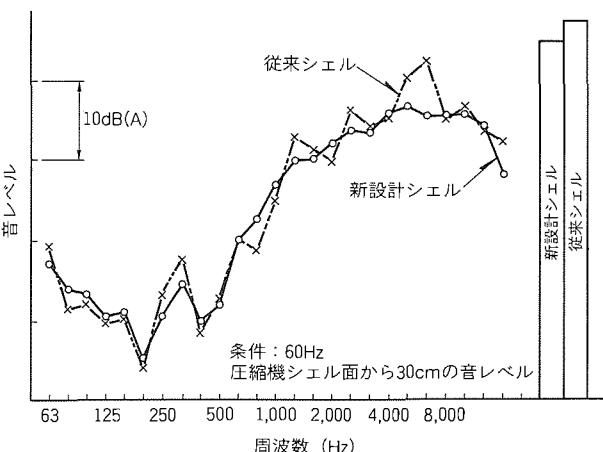


図12. 新設計シェルによる実機での騒音低減効果

このような低騒音化対策の積重ねにより、圧縮機単体では10 dB (A) の騒音低減が実現できた。また、この圧縮機を搭載した冷蔵庫の騒音も、480 ℥の大容量でありながら、23dB(A) (測定法はJISによる。)という低騒音を実現した。

4. ツインメカによる低振動化

圧縮機の振動は、圧縮機が圧縮動作をすることに伴うトルク変動によって生じるものである。図13に理論トルク変動の比較を示す。2シリンダ化することにより、トルク変動は $1/3.25$ 程度減少でき、トルク脈動の1次成分も2倍の周波数になり、防振系の共振点より高い領域では周波数の2乗に反比例するので、この方式で十分振動を抑えた圧縮機が実現できる。一般に、空調用ではモータの一端に圧縮要素を配置しているが、ここでは低騒音化の手法とした両持ち構造とそれにマッチした形態の2シリンダでモータを挟み、両側に圧縮要素を配置している。実機での振動振幅値は、従来の同容量の1シリンダロータリ圧縮機に比べ、図5に示したように $1/5$ 以下に低減できた。

5. ツインメカによる高効率化

これまでにツインメカロータリが騒音・振動の面で有利であることを述べた。ここでは、さらに効率の面でも有利であることを述べる。

一般に、冷蔵庫用圧縮機では単相モータが使われる。磁界は主巻線磁界、補助巻線磁界の交番磁界からなっており、それらのバランスが騒音・効率に大きく影響する。そのため、従来の1シリンダロータリ圧縮機では、実運転負荷においてできるだけ均一磁界を形成する必要があった。しかし、モータを両持ち構造にしたことにより、電磁音については伝達系の改善が図れ、主巻線、補助巻線の電磁不平衡を考慮する必要がなくなった。それにより、モータ設計上は効率のみを追求でき、5%のモータ効率の改善ができた。

さらに、ツインメカ構造にすることで、各々の圧縮要素は、従来の $1/2$ の容量のシングルロータリ圧縮機と等価にできる。よって、各々の軸受にかかる荷重は、従来の同容量のシングルロータリ圧縮機の $1/2$ になる。それによりクランクシャフトの外径を細くでき、機械損失を3%改善した。

ロータリ圧縮機では、シリンダの内径と高さの比が圧縮室

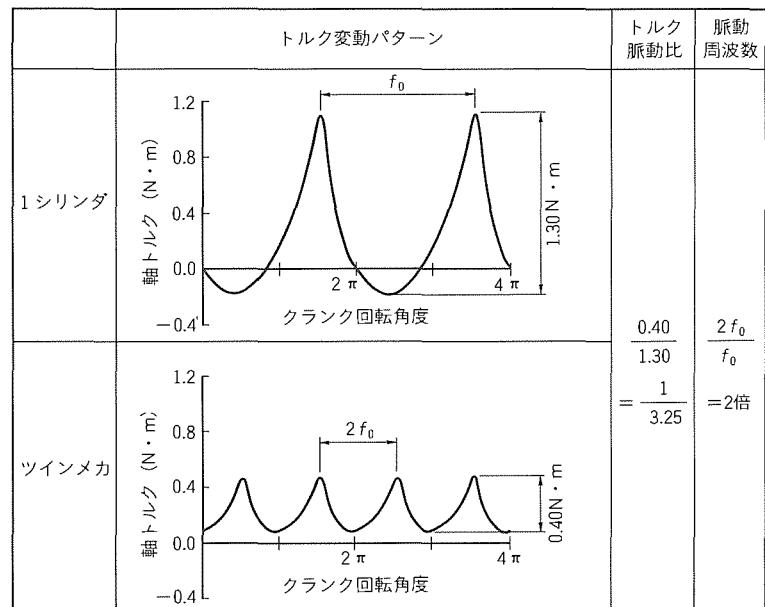


図13. 圧縮動作によるトルク変動比較

の漏れ損失に影響する。これらの寸法の寄与度を見直し、従来の同クラスの圧縮機に比べて2%の漏れ損失の改善ができた。

両持ち構造、クランクシャフトの細径化といった設計変更により、圧縮機としては10%の効率改善が図れた。また、この圧縮機を搭載したMR-J48Mは、480 ℥クラス、同形態の冷蔵庫において業界一の省エネルギー(JIS A法月間消費電力 59kWh/月)を達成した。

6. むすび

シリンダをモータの両側に対称配置したツインメカ横置ロータリ圧縮機は、圧縮機単体の騒音で、従来のレシプロ及びシングルロータリ圧縮機に比べ、10dB(A)低減し、振動も $1/5$ に低減した。また、480 ℥の大容量冷蔵庫に搭載し、23dB(A)の低騒音が実現できた。

ツインメカ横置ロータリ圧縮機を搭載した冷蔵庫は世界初であり、この技術は、今後のフロン規制等にも低騒音・高効率の面で対応できよう。また、大型冷蔵庫用の圧縮機の新しい流れとなろう。

参考文献

- (1) 川面恵司、松倉欣孝、村井幸雄、青木幸男、八木耕三：長大軸系の横振動解析プログラム“MARS”の概要、三菱電機技報、50、No.7、401～406 (1976)

データ構造変換クラスライブラリ生成ツール

熱田ミハル* 黒田清隆* 高野 彰*

1. まえがき

ソフトウェアにデータの入出力部は不可欠である。近年ソフトウェアが大規模化していくに従い、入出力データの構造も従来の単純な構造から複雑な構造へと変化していく傾向にある。通常はアプリケーションごとにデータの入出力部プログラムを作成するが、データ構造が複雑になるにつれてデータ入出力部のプログラム量が増加し、ソフトウェア設計者の負担を増している。こうした問題の一解決法として、ソフトウェアについてもハードウェアと同じく部品化を図り、再利用を進めていくという考え方がある。

我々は入力部プログラム、出力部プログラムをそれぞれ独立した部品ととらえ、これらのプログラム部品を自動的に生成するツールを用いることで上で述べた問題を解決できると考えた。部品化によって入力部と出力部が独立するので、データの入出力の見通しが良くなり、プログラムの読解性の向上が期待できる。また、これらの部品を自動生成で得ることで、プログラム量や作成時間を軽減できる。我々は特に出力部プログラムに着目し、これを部品として自動生成するツール（以下“Ryacc”という。）を開発した。

本稿では、まず2章でデータ構造変換の意味を説明する。3章でRyaccの特長と言語仕様、Ryaccが生成するクラスライブラリについて述べる。4章で応用例を挙げ、5章でまとめる。

2. データ構造変換とは

ソフトウェアではデータの構造変換は必ず（須）である。

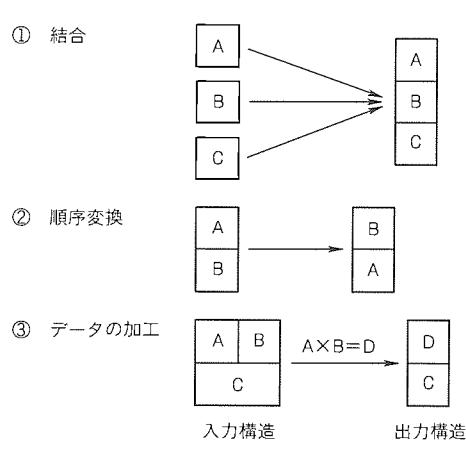


図1. データ構造変換のパターン例

ここで述べているデータ構造変換とは、図1のような変換を指している。①は複数のデータの結合、②はデータの順序変換、③のDはAとBの積であり、データの加工を示している。実際のアプリケーションではこれらの変換パターンが複雑に組み合わされており、入力の解析や出力の生成が難しくなっている。このようなデータ構造変換を簡単に行うためにRyaccが有効である。

図1のようなデータ構造変換において、データ入力部プログラムの自動生成にはUNIX^(注1)のツールである yacc [1] が利用できる。ソフトウェア設計者はBNF (Backus-Naur Form) 記法と呼ばれる文法の記述方法に基づいて入力解析したいデータ構造を記述する。これは yacc プログラムと呼ばれる。 yacc は yacc プログラムを読み込み、ソフトウェア設計者が求めるデータ構造を入力解析する C プログラムを生成する。しかし、 yacc はデータ出力部プログラムを自動生成する機能は持たず、代わりにソフトウェア設計者が yacc プログラム中に直接 C プログラムを埋め込まなくてはならない。例えば入力解析したデータを加工したり、ファイルへ出力したいという場合にはこれを実行するプログラムをソフトウェア設計者が書く必要がある。この C プログラムは yacc プログラム中に散在しているため読解性がよくない。この問題は Ryacc を用いて、出力部プログラムを一括して扱うことで解決できる。

yacc と Ryacc の併用、すなわちデータ入力部プログラムの生成には yacc を用い、データ出力部プログラムの生成には Ryacc を用いることにより、データ構造変換プログラムを生成することができる。

3. Ryaccの機能

3.1 Ryaccの概要

Ryacc はソフトウェアのデータ出力部を自動生成するツールである。すなわち、 Ryacc はソフトウェア設計者が求める出力構造を記述した Ryacc プログラムを読み込み、この出力構造に従ってデータを整形するプログラムを生成する。 Ryacc が生成するプログラムは C⁺⁺ クラスライブラリの形式である。C ではなく C⁺⁺ プログラムを生成するのはプログラムの部品化を促進するのにオブジェクト指向言語が効果的なためであり、また、クラスライブラリにより C⁺⁺ を有効

(注1) “UNIX”は、 UNIX System Laboratories, Inc. が開発し、ライセンスしているオペレーティングシステムである。

に活用するためである。

クラスライブラリは再利用部品を系統だって整理し、まとめたものである。分野向けクラスライブラリを利用すれば、ソフトウェア設計者はプログラムを一から作成することなく目的のソフトウェアを作成できる。ここでは Ryacc によりデータ構造変換向けクラスライブラリを生成することでソフトウェアの再利用部品化を図ることがねらいである。

図 2 は Ryacc の概要図である。

3.2 Ryacc の特長

Ryacc は次のような特長を持つ。

- (1) 入力が BNF 風の記述であるため、 yacc ユーザーは簡単に記述できる。
- (2) 出力は C⁺⁺ プログラムであるため、 C/C⁺⁺ プログラムから利用できる。
- (3) データの入力順序に関してある程度柔軟性を持つ。
- (4) 何段階かのデータ構造変換が必要な場合、 yacc-Ryacc-Ryacc-...-Ryacc というふうに組み合わせて使える。
- (5) 低レベルのデータ構造を定義できる（例えば、 256 バイトの文字列など）。
- (6) 文法記述に日本語名を使える。

3.3 yacc と Ryacc の併用

図 3 は yacc, Ryacc を併用したときの機能説明図である。 yacc は yacc プログラムを読み込み、 Ryacc は Ryacc プログラムを読み込む。 Ryacc が生成するデータ出力部プログラムは出力データ構造を組み上げるプログラムであり、

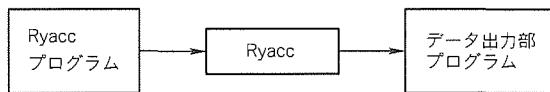


図 2 . Ryacc の概要

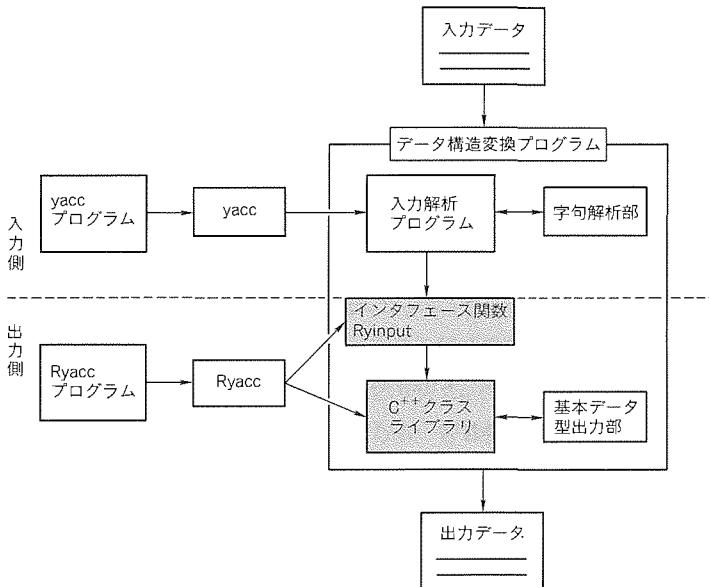


図 3 . yacc, Ryacc の機能説明

具体的には C⁺⁺ クラスライブラリとインターフェース関数（綱掛け部分）から成る。

他に基本データ型出力部を作成した。これはソフトウェア設計者が出力したい int, String などのデータ型を C⁺⁺ クラスで実現したものである。 Ryacc が生成する C⁺⁺ クラスライブラリはこの基本データ型クラスを利用している。

図の入力側から出力側である Ryacc への入力データの受け渡しは、グローバルなインターフェース関数 Ryinput によって行われる。 Ryinput は Ryacc から自動生成される次のような関数である。

Ryinput ("入力データのラベル名", データの値);

第一引数は、入力データの種類を示す。ラベル名はソフトウェア設計者が記述した Ryacc プログラム中の記号名と同じである。第二引数はデータの値である。ソフトウェア設計者は yacc プログラム中にこの関数を埋め込むことで yacc 側で入力解析したデータの値を Ryacc 側に渡すことができる。図の入力データから出力データへの実際の変換プログラムは、 yacc によって得られる入力解析プログラムや Ryacc によって得られるデータ出力部プログラム等を、ソフトウェア設計者が統合することで作成できる。

図では入力側に yacc を用いているが、入力解析が容易な場合は必ずしも yacc を用いる必要はなく、 Ryacc を単独

```

%{
#include "list.h" // ユーザー定義クラス
FILE *fp1, *fp2, *fp3; // ユーザー定義宣言部
WORKList *atableptr, *ptableptr;
int cindex, pindex;
%}
%{
ryout{fp1=fopen("booktablefile", "a");}
fp2=fopen("atablefile", "a");
fp3=fopen("ptablefile", "a"); } // 初期手続き
: 図書テーブル 著者テーブル 出版社テーブル
;

図書テーブル: /*empty*/
| 図書レコード 図書テーブル
{ $1.output(fp1); }
;

図書レコード: タイトル 著者index並び 出版社index 価格 コード
| タイトル 著者index並び 出版社index 価格
;

タイトル: String[256];
著者index並び: 著者index[4];
著者index: int;
出版社index: int(`%4d\n`);
価格: int(`%6d\n`);

著者テーブル: atableptr=new WORKList();
/*empty*/ {atableptr->fileout(fp2);}
| 著者名 著者テーブル
{cindex=atableptr->add($1.get_Data());}
Ryinput("aindex", (void*)cindex);
;

著者名: String[256];
;
;

%%
```

図 4 . Ryacc プログラム例

で用いてもよい。

3.4 言語仕様

Ryacc プログラムは BNF 記法に基づいて記述する。次の例は一つの文法規則を表している。Ryacc プログラムはこの形式の規則の集合である。

a : b c
| d e
;

：印の左辺は構成規則名である。右辺はこの構成規則の構成を記述する。上の規則は a が b と c から、あるいは d と e から構成されることを示している。構成規則の要素の最小単位は int や char といった基本データ型となる。これらの型には C と同じようにソフトウェア設計者がフォーマットを指定できる。また基本データ型は 16 種類用意され、ソフトウェア設計者は必要な型を選択できる。将来はソフトウェア設計者が定義した型も取り込めるように Ryacc を拡張したい。図 4 に図書データの Ryacc プログラム例を示す。

Ryacc プログラムは、主に出力データ構造の仕様の記述

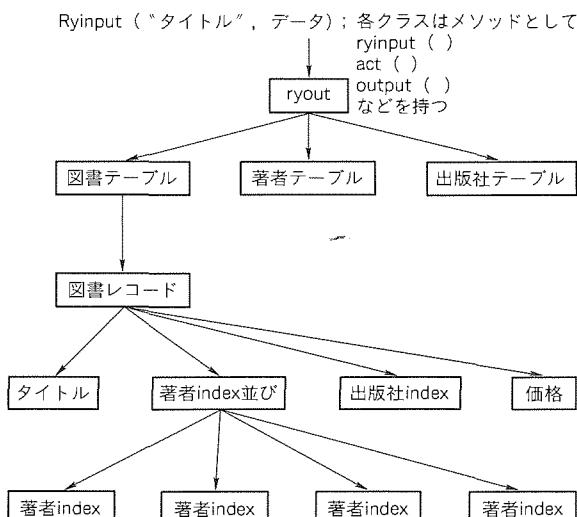


図5. 出力構造ツリー

```

class bookrecord
{
private :
    char*    label; //自分のラベル名
    title*   pl;    //下位クラスへのポインタ並び
    . . .

public :
    bookrecord( );
    ~bookrecord( );
    int    ryinput(char*, void* );
    void   act( );
    void   action( );
    void   output( );
    void   output(FILE* );
    void   output(char* );
    void   reset( );
    void   end( );
    . . .
}

```

図 6. Ryaccが生成するC++クラス定義例

と{ }でくくられたアクション部から成っている。アクション部にはソフトウェア設計者が任意のC⁺⁺プログラムを書くことができる。例えばアクション部にはファイルヘッタを出力するといった内容のプログラムを書く。

また Ryacc は、データの入力順序に関して大きな柔軟性を持つという特長がある。yacc では一つの構成規則の要素間のデータ順序は固定である。しかし、Ryacc は構成規則の要素間でデータの入力順序が逆転しても受理できるという機能を持つ。つまり、“図書レコード”の構成要素である“タイトル”“著者 index 並び”“出版社 index”“価格”といった構成要素はどのデータが先にきても受けることができる。

さらに、ソフトウェア設計者はアクション部で既存の C⁺⁺ クラスを利用できる。例えば既存の List クラスを用いて Ryacc に送られてくるデータを保持することができる。また、ソフトウェア設計者が入力データを加工しラベルをつけ直し、Ryinput 関数によって Ryacc にデータを送り直すこともできる。これらは図の著者テーブルのアクションで示されている。

3.5 Ryaccから生成されるクラスライブラリ

Ryacc から生成されるプログラムの内容は、データ構造変換向けクラスライブラリとグローバルインターフェース関数 Ryinput である。ここでいうクラスライブラリとは、図書データを例にとると図書データの構造変換をするためのクラス群である。これらのクラスは、Ryacc プログラムに従ってデータを構造化するため、出力構造ツリーを構成する。

図5はRyaccがRyaccプログラムに従って生成する出力構造の仕組みを示している。インターフェース関数Ryinput

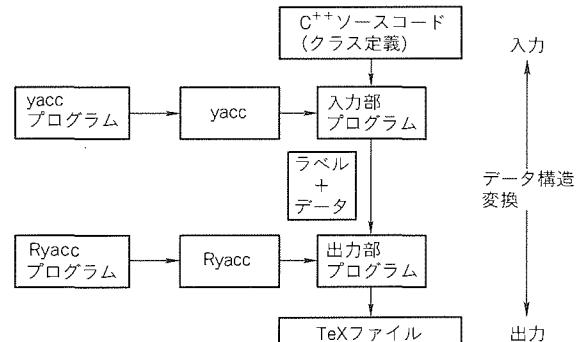


図 7. C⁺⁺ソースからTeXコマンドへの変換

```
class RecordBuffer : private TNSCollection
{
    int writePosNow; // 次に記録を書くインデックス番号
public :
    RecordBuffer(short backLim) : TNSCollection(backLim, ( )) :
        // コンストラクタ。引数で内部バッファの大きさを指定する。
    int indexNow(); /* 現在のインデックスを返す。... */
    Boolean isInBuffer(int pos); /* インデックス番号に対応する記録が、現在... */
    .
    .
    .
};
```

図 8. C⁺⁺ソースコード例

で受け取ったデータは出力構造ツリーのルートに渡され、ツリーを左探索でたどることによって自分のラベル名とマッチするノードを探す。そして正しいノードに格納されたデータは、アクション部に記述されたタイミングにより出力データファイルに出力される。

図6はクラスライブラリのクラス定義の例である。クラスライブラリのすべてのクラスは基本的に共通のプロトコルを持つ。これは具体的には次のような機能を持つ関数群である。

(1) ryinput

出力構造ツリーの下方向にデータを伝搬する。インタフェース関数である Ryinput からツリーのルートに入力データが渡される。データの種類があるクラスで一致するまで再帰的に呼ばれる。

(2) action

ユーザーアクションの内容である。

(3) act

```
%documentstyle[CCTable]{jarticle}
%クラス一覧
%ファイル名{recbuf.h}
%作成日時{1993.6.29}
%クラス概要{記録(文字列)保持バッファ。}
%クラス名{RecordBuffer}
%親クラス名{private TNSCollection}
%privatebegin
%型{int}
%メンバ{writePosNow}
%コメント{次に記録を書くインデックス番号}
%publicbegin
%メンバ{RecordBuffer()}
%引数{short $backLim}
%コメント{コンストラクタ。引数で内部バッファの大きさを指定する。}
%型{int}
%メンバ{indexNow()}
%コメント{現在のインデックスを返す。}
%型{Boolean}
%メンバ{isInBuffer()}
%引数{int $pos}
%コメント{インデックス番号に対応する記録が、現在}
.
.
```

図9. Ryaccから生成されたTeXコマンド例

ある規則で構成要素がすべてそろったときに起こすべき actionなどの関数を呼ぶ。

(4) output

出力構造ツリーに格納されたデータを、ファイルなどへ出力するために用いる。

(5) reset

データのリセットとフラグのリセットを行う。

(6) end

すべてのデータの終りで起こすべき action を呼ぶ。

4. Ryacc応用例

(TeXによるC++クラス表の出力)

C++プログラムのクラス宣言部を、C++クラス表を出力するTeXファイルへ変換するプログラムを例に挙げる(図7)。このC++クラス表出力プログラムの入力部プログラムの生成に yaccを利用し、出力部プログラムの生成に Ryaccを利用する。

C++クラス表出力プログラムへの入力は、図8のような

```
%%
ryout{cout << " \\\ documentstyle[CCTable]{jarticle}\n";
cout << " \\\ クラス一覧\n";
: file_info class_def_sequence
{cout << " \\\ クラス一覧終了\n";
};

file_info : file_name creation_date
{cout << " \\\ ファイル名(" << $1.getData() << ")\n";
cout << " \\\ 作成日時(" << $2.getData() << ")\n";
};

file_name : String[256];
creation_date : String[256];
class_def_sequence : /*empty*/
| class_def class_def_sequence
;
class_def : summary names member_declarations
;

%%
```

図10. 図5のRyaccプログラム

表1. C++クラス表の例

ファイル名：recbuf.h	作成日時：1993.6.29		
クラス名：RecordBuffer	親クラス名：private TNSCollection		
クラス概要			
class : 記録(文字列)保持バッファ。			
メンバ	型	引数	コメント
PRIVATE (メンバ変数：斜体)			
writePosNow	int		次に記録を書くインデックス番号
PUBLIC (メンバ変数：斜体)			
RecordBuffer()		short backLim	コンストラクタ。引数で内部バッファの大きさを指定する。
indexNow()	int		現在のインデックスを返す。インデックスは、バッファへの追加のたびに1ずつ増加する。インデックスは内部バッファの大きさとは無関係に増加する。
isInBuffer()	Boolean	int pos	インデックス番号に対応する記録が、現在内部バッファに存在するかどうかを真偽値で返す。
...

C⁺⁺ プログラムである。出力は図9の TeX ファイルである。この入力、出力の構造が異なるデータの変換を記述した Ryacc プログラムは図10となる (yacc プログラムは省略)。なお、図9を TeX で処理すると表1のような C⁺⁺ クラス表が出力される。

5. む す び

本稿では、ソフトウェアにおけるデータ出力部を生成するデータ構造変換向けクラスライブリ生成ツール Ryacc を提案した。Ryacc は現在プロトタイプが完成し、試使用の段階にある。ソフトウェア設計者は、簡単な出力構造の記述を Ryacc に入力することで、データを構造化し出力するプログラムを得ることができる。したがって、Ryacc は出力構造が複雑なアプリケーションや yacc と組み合わせたデータ構造変換に利用できる。さらに、yacc プログラムと Ryacc プログラムは、どちらもデータ構造を BNF 記法に基づ

いて記述したものであり、同様な構造を持つソフトウェアの入出力部作成において再利用できる。このツールによってソフトウェアの部品再利用を促進し、ソフトウェアの生産性向上を図ることができる。今後は、再帰構造の記述能力の更なる向上、ユーザー定義型の取り込み、などの課題を解決し、より効果のあるツールとして完成させる計画である。

また、このツールを実アプリケーションに適用し、試使用を通じて機能の拡充に努めていきたい。

参 考 文 献

- (1) UNIX System V プログラマ・ガイド リリース 3.1, AT & T
- (2) 熱田ミハル, HongXin Huan, 黒田清隆, 高野 彰: データ構造変換向けクラスライブリ生成ツールの開発, 情報処理学会第47回全国大会, 5 J-7, 249~250 (1993)

情報通信システム分野におけるサービスの体系化

稻本 悠*

1. まえがき

企業を取り巻く市場環境は目まぐるしく変化しており、企業の経営戦略もこの変化への迅速な対応が求められている。したがって、企業の情報通信システムについても、投資効果の観点から見た一層の有効性追及がされてきている。このような企業動向に対応して、コンピュータメーカーは、エンドユーザー部門自身によるシステム構築を前提としたシステム企画や設計サービス、あるいは、エンドユーザー部門を対象とした実戦的な教育サービスをきめ細かく提供していかなければならない。同時に、ダウンサイジング化・オープン化・ネットワーク化などにタイムリーに適応して進化発展し得る情報通信システムを構築するという、システムサービス高度化の要請も満たしていかなくてはならない。

三菱電機では、日々重要性を増しているこのような市場ニーズにこたえて、一貫したサービス体系のもとに品ぞろえされた多様なサービス商品群を提供することを最優先課題としてきた。この課題解決のため、当社の情報通信システムサービスを“SATISFY”の総称のもとに体系化した。これは、当社におけるシステム開発のノウハウを集大成したシステム生産標準“SPRINGAM (System Production and Integration Methodology)”をベースに、情報通信システムのライフサイクル全域にわたるサービスを体系化したものであ

る。

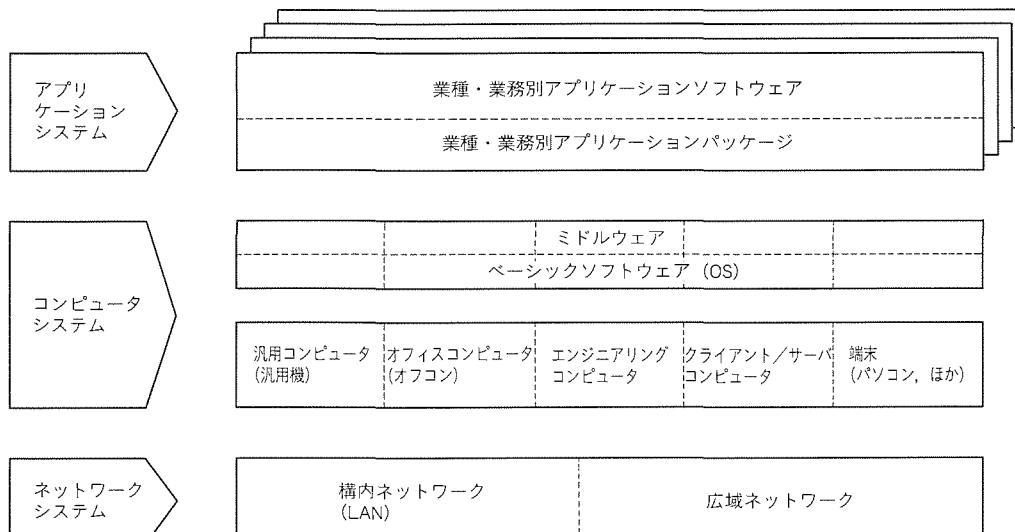
本稿は、SATISFYにおける①サービス体系化の概念、②サービス体系の定義、③サービスメニュー展開、について論じるものである。2章で、システム構成の体系である“システム体系”とシステム生産の“プロセス体系”について述べる。そして、3章でシステム体系とプロセス体系から創出されるサービス体系化の基本概念を論じ、サービス体系を定義する。さらに、4章では、3章で定義したサービス体系を業種、業務、機種ごとのサービスメニューに展開する。最後に、5章でサービス体系化の基盤であるシステム生産標準SPRINGAMとサービス体系SATISFYについて述べる。

2. システム体系とプロセス体系

2.1 システム体系

システム体系の全体を図1に示す。システム体系は、ネットワークを含むコンピュータシステム構成(物理的なシステム構成)をシステムレイヤ(論理的なシステム構成)へ写像したものであり、ネットワークシステムレイヤ、コンピュータシステムレイヤとアプリケーションシステムレイヤの三つのレイヤで構成される。

まず、ネットワークシステムレイヤは、LANシステム(構内ネットワークシステム)とLAN間を接続するルータ/ブリッジなどの、インターネットシステムで構成さ



注 *コンピュータシステムとネットワークシステムには、他社メーカーの製品とISV/IHV製品を含む。

*ミドルウェアとは、システム構築支援ツール／グラフィカルユーザーインターフェース (GUI) / データベースなどである。

図1. システム体系

れるレイヤである。

次に、コンピュータシステムレイヤは、①ハードウェア、②OSなどのベーシックソフトウェアと③ミドルウェアの三つのサブレイヤから構成される。このうち、ハードウェアは、汎用機、オフコン、エンジニアリングコンピュータ、クライアント/サーバコンピュータとパソコンを含む端末といったコンピュータの機種で構成されるサブレイヤである。

ミドルウェアは、ベーシックソフトウェアとアプリケーションシステムの間に位置づけられるものであり、システム構築ツール、データベース、言語、GUI(Graphical User Interface)などのソフトウェア群で構成されるサブレイヤである。

さらに、アプリケーションシステムレイヤは、①アプリケーションソフトウェアと②アプリケーションパッケージからなるレイヤである。アプリケーションソフトウェアは、顧客の要件に従って個別に開発するカスタマイズソフトウェアであり、アプリケーションパッケージは、業種、業務ごとにパッケージ化されたソフトウェアである。

2.2 プロセス体系

システムのライフサイクルは、図2に示すとおり、①構想、②企画、③設計、④開発・構築、⑤保守、⑥運用、⑦監査・評価の7つのプロセスからなっているとしている。ここで、プロセス体系は、これら7つのプロセスにライフサイクル全体にわたる教育プロセスを加えて合計8つのプロセスで構成されるとしている。さらに、それぞれのプロセスは、作業単位であるステップにブレークダウンされる。ここでは、図に示すとおり、システム計画のステップ0からシステム監査のステップ14まで、全体で15のステップが存在するとしている。

サービス体系化に当たり、各プロセスの作業内容とその成果物をSPRINGAMに準拠して明確に定義している。表1

に、各プロセスごとの作業内容の概要と、主な成果物(ドキュメント名称)を示す。

3. サービス体系

3.1 サービス体系化のシナリオ

ここでは、2章で論じたシステム体系と、プロセス体系のもとでサービス体系を定義するシナリオを説明する。サービス体系化のシナリオを図式化したもののが図3である。

(1) まず、縦軸としてシステム体系すなわち6つのシステムサブレイヤをとる。

(2) 次に、横軸にシステム生産プロセスに対応する8つのプロセスをとる。

(3) これらの縦軸と横軸からなるマトリクスを作り、そのマトリクスの一つ一つのエレメントを、サービスの作業単位であるサービスユニットとして定義する。

(4) さらに、システム構成上関連の深い複数のサービスユニットからなるサービスメニューを定義する。ただし、プロセスごとにサービス契約が行われることを前提とするため、サービスメニューはプロセスごとに区切られているものとしている。

(5) 最後に、アプリケーションシステムとコンピュータ&ネットワークシステムのそれぞれに対応するサービスメニューと、それらを統合化した総合サービスメニューを定義している。

3.2 サービスメニューと総合サービスメニュー

サービス体系を図4に示す。サービスメニューと総合サービスメニューがあるが、いずれも契約単位となるため、システム生産プロセス単位に区切られている。サービスメニューは、アプリケーションシステムとコンピュータ&ネットワークシステムで区切られており、一つのプロセス内のアプリケーションシステムあるいはコンピュータ&ネットワーク対応

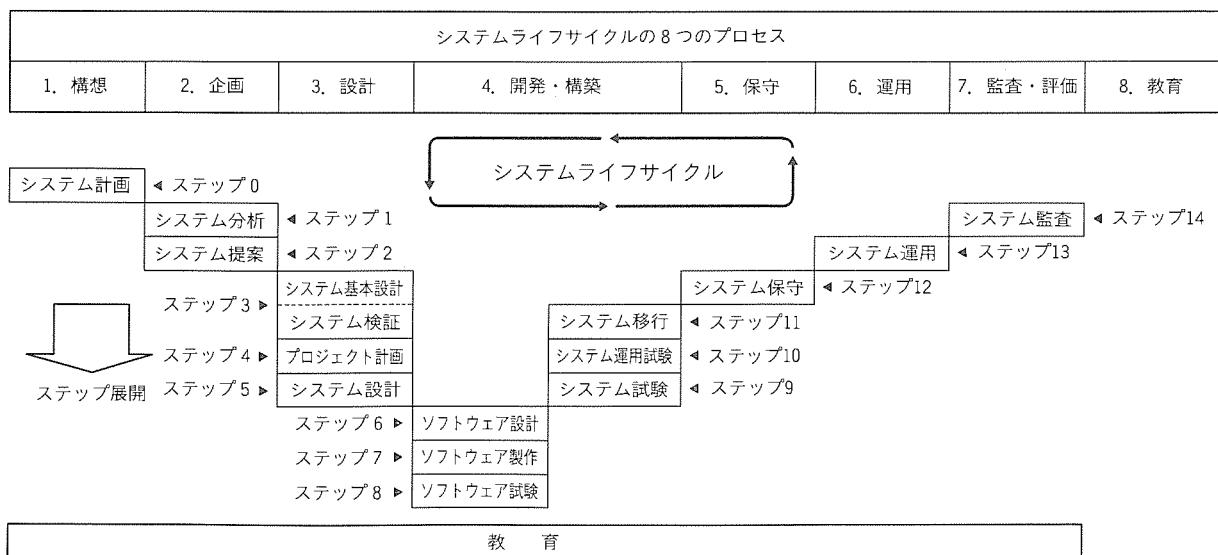


図2. プロセス体系

表1. プロセス作業概要／主要成果物

プロセス	ステップ	作業概要	主要成果物
構想	システム計画	● 経営環境分析／経営指示書などの資料あるいはインタビューにより経営戦略を確認する。 ● 現状業務システムの調査資料などにより、経営戦略を具現化する新しい企業モデルを作成する。 ● 経営戦略を情報システム戦略に展開し、戦略に対応する情報システム計画に立案する。	情報システム計画書
企画	システム分析	● 情報システム化計画の項目(プロジェクト)ごとにシステム化の目的・ねらいを定める。 ● 現状の業務システム／情報システムを分析することにより、現状業務モデルを作成する。 ● 問題点・ニーズ分析／原因分析から、情報システム化の課題を抽出する。 ● 課題解決に向けたシステム要件(業務機能、システムアーキテクチャ、性能、運用など)を設定する。	システム要件定義書 提案依頼書 (REP)
	システム提案	● 業務機能要件を満足するアプリケーションシステム案を作成し、処理内容を明確にする。 ● ハードウェア／ソフトウェアの実現方式を検討し、システムアーキテクチャ案(システム構成案)を作成する。 ● システム開発計画を策定する。	システム提案書
設計	システム基本設計	● システムをサブシステムに分割し、サブシステム間のデータインターフェースを明確にする。 ● コンピュータ処理機能項目を設定し、機能構造を明確にする。入出力(画面、帳票など)項目を設定する。 ● ハードウェアシステム／ベーシックソフトウェア(OS)／ミドルウェアの構成を設計する。 ● データベースの概念設計(主要データ項目の設定など)を行う。	システム基本仕様書
	システム設計	● コンピュータ処理機能の詳細機能を設計し、入出力(画面、帳票など)の仕様を決定する。 ● データベースの論理設計(データ項目定義など)を行う。 ● システム運用設計、システム移行設計を行う。 ● システム試験計画、システム運用試験計画、システム移行計画を行う。	システム仕様書
	プロジェクト計画	● 生産手順／管理(品質、工程など)／試験(方式、体制、評価)の基本方針を策定する。 ● 工程計画を策定し、プロジェクト推進体制を組織化する。 ● 生産／試験の設備／環境要件を設定する。	プロジェクト計画書
開発		● プログラムの詳細機能設計を行う。 ● プログラムのモジュール構成を決定し、処理手順を設計する(プログラム内部構造設計)。 ● モジュールごとのプログラム作成を行い、プログラム試験、ソフトウェア試験を実施する。 ● システム仕様上の機能／性能仕様とシステムの動作との対比検証のため、システム試験を実施する。 ● システム運用準備として、システム運用試験、システム移行を実施する。	ソフトウェア仕様書 プログラム仕様書 ソースプログラムリスト システム試験成績書
構築		● ハードウェア／ソフトウェアシステムの構成を設計し、据付け／配線／LANなどの工事設計を行う。 ● ベーシックソフトウェア(OS)／ミドルウェアに対するシステム生成設計を行う。 ● ベーシックソフトウェア(OS)／ミドルウェアのシステム生成(インストール)を実施する。 ● システム試験、システム運用試験、システム移行を実施する。	工事仕様書 ソフトウェア仕様書 システム試験成績書

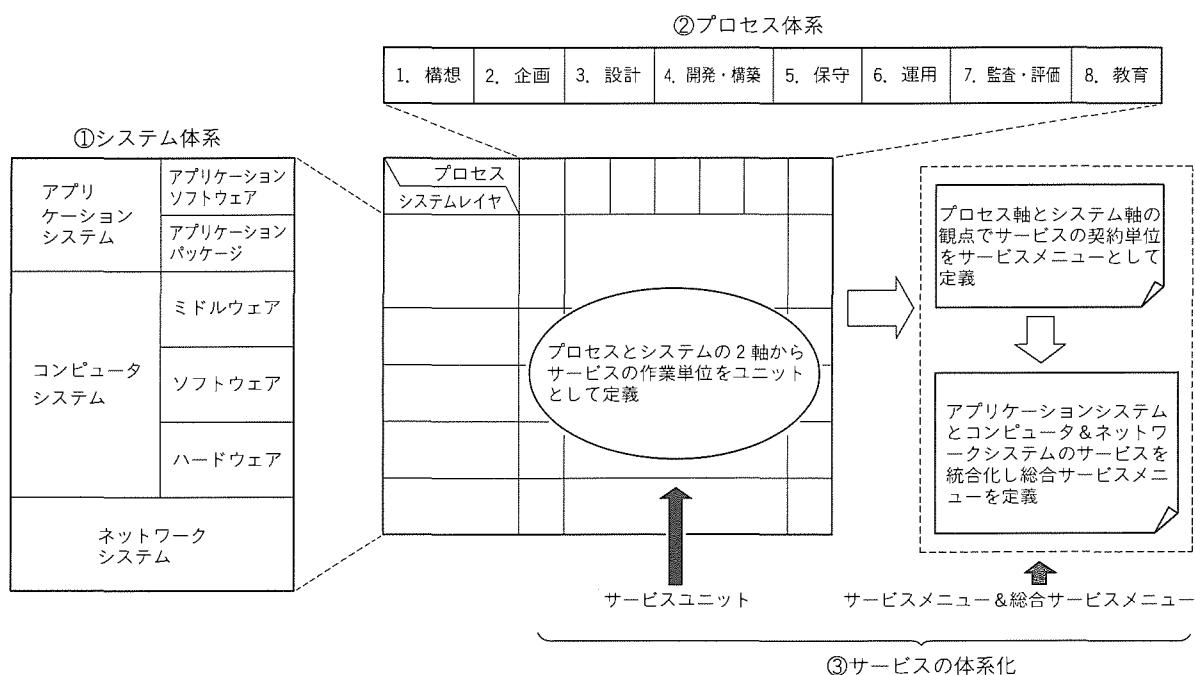


図3. サービス体系化のシナリオ

プロセス レイヤ	1. 構想	2. 企画	3. 設計	4. 開発・構築	5. 保守	6. 運用	7. 監査・評価	8. 教育
アプリケーションソフトウェア	アプリケーションシステム構想サービス	アプリケーションシステム企画サービス	アプリケーションシステム設計サービス	アプリケーションシステム開発サービス	アプリケーションシステム保守サービス	アプリケーションシステム運用サービス	アプリケーションシステム監査サービス	アプリケーションシステム教育サービス
アプリケーションパッケージ	総合システム							
ミドルウェア	構想サービス	企画サービス	設計サービス	開発・構築サービス	保守サービス	運用サービス	監査サービス	教育サービス
ベースックソフトウェア	コンピュータ							
ハードウェア	&ネットワークシステム構想サービス	&ネットワークシステム企画サービス	&ネットワークシステム設計サービス	&ネットワークシステム構築サービス	&ネットワークシステム保守サービス	&ネットワークシステム運用サービス	&ネットワークシステム監査サービス	&ネットワークシステム教育サービス
ネットワーク								

図4. サービス体系

のメニューである。

一方、総合サービスメニューは、一つのプロセス内のアプリケーションシステムとコンピュータ&ネットワークシステムの両方に対応する総合的なサービスメニューである。

4. サービスマニューの展開

3章に定義したサービス体系は、具体的なサービスメニューとして業務、業種と機種で展開される。ここでは、このサービスメニュー展開を、①業種・業務展開と②機種展開に分けて説明する。

4.1 業種・業務展開

総合システムサービスとアプリケーションシステムサービスは、①業種に共通のサービスメニューと②業種別のサービスメニューに展開される。

(1) 業種共通業務展開

サービスメニューは、販売情報、会計情報、人事情報などの情報管理業務ごとに展開される。また、統合画面／文書管理、エンジニアリングオフィスシステム、OAネットワーク、ファクシミリ情報、ネットワーク管理など共通機能対応の展開もある。

(2) 業種別業務展開

製造業分野においては、生産管理、生産日程計画、電子部品情報管理、機械系設計などの業務に展開される。また、流通業分野においては、ストアオートメーション、自動車販売物流管理、要員運用管理などの業務に展開される。さらに、自治体分野においては、総合行政情報管理、自治体財務会計、気象情報などのメニューに展開される。

表2は、プロセスを横軸に、業種・業務を縦軸にとり、サービスメニュー展開をマトリクス表示したものである。このマトリクスの各エレメントがサービスメニューに相当する。例えば、このマトリクス上で、①は“ストアオートメーションシステム構想サービス”，②は“要員運用システム企画サービス”，③は“総合システム設計サービス（共通版）”としてそれぞれ定義される。

4.2 機種展開

総合システムサービスとコンピュータ&ネットワークシステムサービスは、それぞれプロセスごとにコンピュータの機種によって展開される。コンピュータの機種は、システム体系のハードウェアレイヤを構成しており、汎用機（汎用コンピュータ）、オフコン（オフィスコンピュータ）、エンジニアリングコンピュータ、クライアント／サーバコンピュータと端末からなる。

表3は、横軸にプロセスをとり、縦軸に機種をとて、サービスメニュー展開をマトリクス表示したものである。同じく、マトリクスの各エレメントがサービスメニューに相当する。例えば、このマトリクス上で、④は“クライアント／サーバシステム企画サービス”，⑤は“コンピュータ&ネットワークシステム設計サービス（汎用機版）”としてそれぞれ定義される。

5. システム生産標準とサービスメニュー

SPRINGAMはシステム生産標準であり、システム生産において、“いつ”“何を”“どのように”行うかを、生産手順、ドキュメント、プロジェクト管理、技法の4点から明確に定

表2. サービスマニューの業種・業務展開

業種・業務展開		サービス体系		総合システムサービス					アプリケーションシステムサービス					
				構想	企画	設計	開発・構築	保守	教育	構想	企画	設計	開発	保守
業種・業務共通				③										
業種共通業務	販売情報管理													
	会計情報管理													
	給与計算													
	人事情報管理													
	統合画面／文書管理													
	エンジニアリングオフィスシステム													
	OAネットワークシステム													
製造業・業務展開	ファクシミリ情報交換システム													
	生産管理													
	生産日程計画													
	電子部品情報管理													
流通サービス業・業務展開	機械設計													
	ストアオートメーションシステム	①												
	給食業経営管理													
	アスレチッククラブシステム													
	自動車整備業経営管理													
自治体・業務	自動車販売物流管理													
	要員運用管理	②												
	総合行政情報管理													
交通分野・業務	自治体財務会計													
	行政OAシステム													
	航空管制													
	交通分野設備管理													
××業務	航空運用管理													
	気象情報管理													

義している。これら4点に関して、サービス体系化との対応付けを以下に述べる。

(1) 生産手順

システム生産における作業項目と手順を階層的に細分化して定めており、サービス体系化における構想から保守に至るまでのサービスの作業内容をこの生産手順により定めている。

(2) ドキュメント

各サービスごとの成果物としてのドキュメントについて、その種類と、標準目次、標準様式、記述内容を定めている。

(3) プロジェクト管理

各サービスの作業遂行に必要な管理の内容を“管理機能”として体系化し、各種管理資料の標準様式も定めている。

(4) 技法

各サービス作業ごとに、システム生産技法と、プロジェクト管理を対象としたプロジェクト管理技法がある。

(5) 支援ツール

サービスの作業を効率的に進めるため、生産手順／技法／プロジェクト管理に対応した生産支援ツール、管理支援ツールが用意されている。

6. むすび

プロセス体系(横軸)とシステム体系(縦軸)のマトリクス上でサービス体系を定義し、サービスの体系化を図ったことにより、サービス体系としての網羅性を高めることができた

表3. サービスマニュアルの機種展開

サービス体系 機種展開		総合システムサービス						コンピュータ&ネットワーク システムサービス					
		構 想	企 画	設 計	開 発 ・構 築	保 守	教 育	構 想	企 画	設 計	構 築	保 守	教 育
機種共通													
機種 展開	汎用機 (汎用コンピュータ)											⑤	
	オフコン (オフィスコンピュータ)												
	エンジニアリング コンピュータ												
	クライアント/サーバ コンピュータ		④										
	端末 (パソコンほか)												

と考えている。また、サービス体系(横軸)と業種、業務、機種(縦軸)のマトリクス上で、サービス体系をサービスメニューに展開した。これにより、サービスメニューの多様性を評価するとともに、サービスメニューの商品化に向けた目標を定めることができた。今後この目標に向かって、プライオリティを付け、個別のサービスメニューを商品化していく。

また、注目されているRAD(短期アプリケーション開発)やオブジェクト指向など新しい理念へのパラダイムシフトをシステム生産標準SPRINGAMに積極的に導入し、併せてサービス体系SATISFYへ展開していく考えである。これにより、システムサービス内容の高度化と作業の効率向上を図っていきたい。

参考文献

- (1) 小林 博、木村哲雄、明智憲三郎、真野哲也、増田幹男、安田文男：システム生産標準“SPRINGAM”，三菱電機技報，67，No.9，821～826（1993）
- (2) マルチベンダー環境の進展で選択基準の確立を迫られるサービス商品、日経データプロ・OA（1993-11）
- (3) 短期システム開発手法「RAD」に取り組み始めたメーカー／ベンダー、日経データプロ・ソフト（1994-1）

広域監視制御システム“MELFLEXIII”シリーズ

田中英和* 岡村 博** 麻川真一*** 居安正勝* 秋富利伸*

1. まえがき

近年、広域監視制御の分野では、より広域での運用やきめ細かな監視制御導入に伴う情報量が増大しており、多様な通信プロトコルへの対応や高速データ伝送の必要性が増してきている。また、運用や保守の容易化をねらいとした分かりやすいヒューマンインターフェース技術の導入、資源の有効活用や設備の効率的運用をねらいとしたデータベース技術及び知識処理技術を活用した情報処理システムの構築が必要となってきた。平成3年に報告された電気協同研究会におけるHDLC (High Level Date Link Control) 型遠方監視制御装置の標準仕様においても、子局(被制御所装置)にSOE (Sequence of Events: 事故解析用状態変化記録) 機能、 DLL (Down Line Loading: 遠隔メンテナンス) 機能やリモート診断機能など、高機能な仕様が盛り込まれている。

三菱電機(株)では、これまで広域監視制御システムとして8/16ビットアーキテクチャのMELFLEX I/MELFLEX IIシリーズを製品化し好評を得てきたが、上記のような市場動向に対応していくために、EWS (Engineering Work Station)との接続による分散処理システム構築を容易とした機能分散型32ビットマルチプロセッサ構成の広域監視制御システムMELFLEX IIIシリーズを新たに開発した。

以下、その開発目標・システム概要・特長について紹介する。

2. 開発目標

広域監視制御システムMELFLEX IIIシリーズを開発するに当たり、次の開発目標を設定した。

(1) 基本性能の向上

高速・多回線データ伝送能力や大規模システムに対応したデータ容量の確保及び高機能なデータ処理機能を実現するため、ハードウェア基本性能(CPU性能・メモリ容量)とソフトウェア基本性能(OSオーバヘッド・割込み禁止時間等)を向上させる。通信処理能力としては、48kビット/秒のHDL C回線を16回線以上、1,200ビット/秒のCDT回線を300回線以上処理可能とする。

実現手段としては、32ビットマイクロプロセッサ(Intel社製、Intel386TM)を採用し、かつ、機能分散マルチプロセッサ構成を可能とすることにより、目標とするハードウェア基本性能を確保した。

また、ソフトウェアは、CTRON仕様に準拠したリアルタイムOSを開発し、通信処理に必要なリアルタイム性能を満足させた。

(2) 水平分散システムの構築

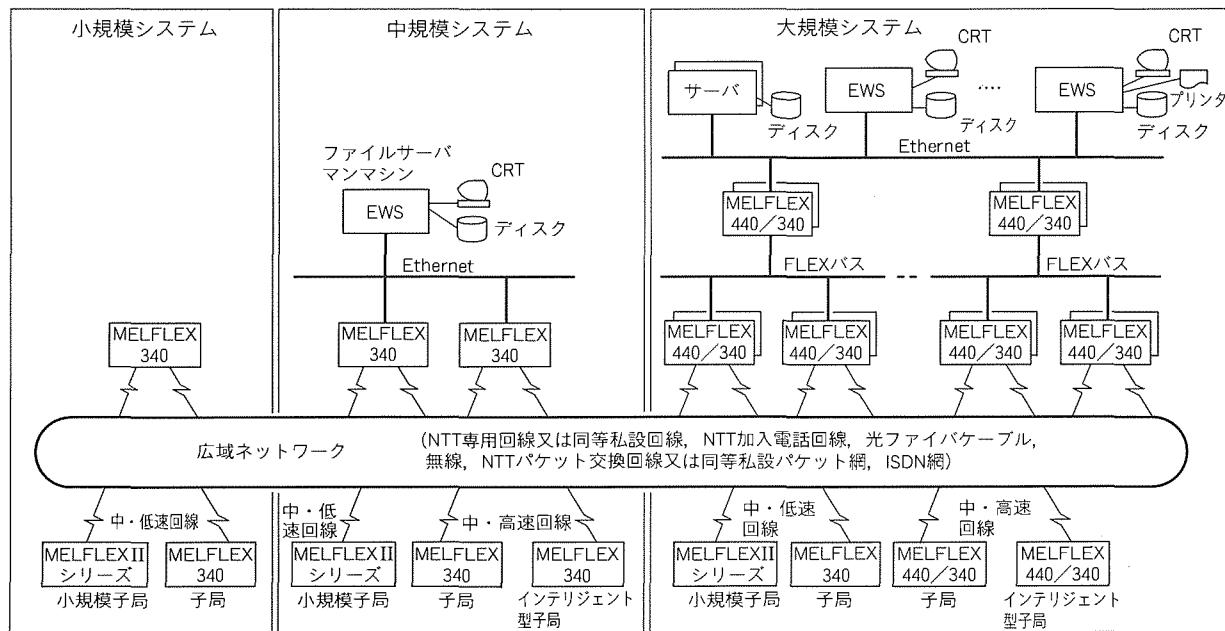


図1. MELFLEXIIIによる広域監視制御システムの構成

親局(制御所装置)は、通信制御装置・ヒューマンインターフェース装置・ファイルサーバの各装置に機能分散した構成とし、小規模から大規模まで必要な装置を必要な台数だけビルディングブロック的に組み合わせることにより柔軟なシステム構成を可能とする。また、高度なヒューマンインターフェース機能はEWSを活用して実現する。

これを実現するために、Ethernetインターフェースを設けEWSとの結合を容易にするとともに、専用高速バスを新たに開発し複数のMELFLEX

装置をバス結合させることを可能とした。

(3) RAS機能の充実

ソフトウェア開発時の試験効率を向上させるとともに稼働中の瞬時障害に対する原因究明を容易とするため、障害解析機能を充実させる。

Intel 386の持つプロテクト機能を最大限に活用して障害を早期に検出し、その障害時の状況をログクラッシュ機能により保存する。さらに、障害情報の解析ツールを完備することにより上記目標を実現した。

(4) 実装方式の標準化

国際規格に準拠した実装方式を採用しMELFLEXシリーズ間の実装方式を統一すると同時に、市販実装パーツ等を活用して実装開発の効率化を図る。

3. システム概要

3.1 システム構成

MELFLEX IIIを適用した広域監視制御システムの構成を図1に示す。MELFLEX IIIにはMELFLEX 440/340がある。MELFLEX 440は応用処理プロセッサがマルチプロセッサ構成であり、MELFLEX 340はシングルプロセッサ構成としている。システム規模、要求される性能により選択する。MEL

FLEX IIIハードウェアの概略仕様を表1に、シャーシの外観を図2に示す。

3.2 MELFLEX440の装置構成

MELFLEX 440は、32ビットアーキテクチャを採用し、高速応答性・高速処理性を追及した機能分散型マルチプロセッサシステムである。

MELFLEX 440は図3に示すように、32ビットプロセッサモジュールを実装するための基本シャーシと、16ビット

表1. MELFLEXIIIハードウェアの概略仕様

大分類	項目	内 容
32ビット プロセッサ モジュール BSP AIOP MPU	CPU素子	Intel386、プロテクトモード
	CPUクロック	20MHz (源発振: 40MHz)
	内蔵メモリ	ローカルROM 512kバイト
		ローカルRAM 2~8Mバイト (モジュールにより異なる)
		2ポートRAM 1~2Mバイト (モジュールにより異なる)
	RAS機能	CPUバストレース、ブレークポイント設定、トリガポイント設定、WDTエラー検出、パリティエラー検出、バスタイムアウト検出、クロック断続検出
メインメモリ	メモリ素子	SRAM, EEPROM
	メモリ容量	16Mバイト、最大128Mバイトまで拡張可
	時計機能	年・月・日・時・分・秒・曜日、月差±6秒又は30秒
	バックアップ方式	バッテリ又はコンデンサ
16ビット プロセッサ モジュール (BIOP)	CPU素子	i80C186XL (Intel社製)
	CPUクロック	14.7456MHz (源発振: 29.4912MHz)
	内蔵メモリ	ローカルROM 128kバイト
		ローカルRAM 256kバイト
		2ポートRAM 256kバイト
	RAS機能	WDTエラー検出、異常アドレスアクセス検出、クロック断続検出
A32バス	用途	システムバス
	方式	マルチマスター方式・非同期転送方式
	データ幅	32ビット
	アドレス空間	メモリ空間 512Mバイト、IO空間 4kバイト
	バス裁定方式	BCM又はMPUによる一括管理方式
	バス長	最大50cm
B16バス	用途	IOバス
	方式	シングルマスター方式・非同期転送方式
	データ幅	16ビット
	アドレス空間	メモリ空間 16Mバイト、IO空間 16kバイト
	バス長	シャーシ内最大50cm シャーシ間総延長10m、リピータ接続により20mまで延長可
	接続可能シャーシ数	最大16シャーシ
F440 基本シャーシ	実装可能枚数	AIOP 最大9枚 (BSPを除く) MM 最大2枚
	外形寸法	高さ400×幅480×奥行き330 (mm)
F340 基本シャーシ	実装可能枚数	AIOP 最大2又は4枚 (MPUを除く) MM 1枚 BIOP/PIO 最大7又は5枚
	外形寸法	高さ400×幅480×奥行き330 (mm)
	実装可能枚数	BIOP/PIO 最大12枚 (BRCVを除く)
拡張シャーシ	外形寸法	高さ300×幅480×奥行き220 (mm)
	入力電圧	AC100V±10% DC24V±10% DC48V±10% DC110V+30%, -20%
電源		

プロセッサモジュール、プロセス入出力モジュール、モデム等を実装するための拡張シャーシから構成されている。

すべてのプロセッサモジュールは一部の外部装置とのインターフェース素子を除き完全CMOS化しており、高性能でありながらファンレスのシステム構成を可能としている。

基本シャーシ、拡張シャーシを構成するモジュールについて以下に説明する。

3.2.1 基本シャーシ構成モジュール

(1) システム監視・制御プロセッサ (BSP)

システム全体の監視、システムの起動・停止・再試行・縮退などの実行制御、二重化構成時の切替制御、クラッシュファイル生成などを行う。

次に述べる AIOPと共に、32ビットマイクロプロセッサ Intel386(動作速度：20MHz)を中心に構成したモジュールである。CPUバストレース、ブレイクポイント設定などの機能をすべての32ビットプロセッサモジュールに実装しており、RAS機能を充実させた。

(2) 32ビットIOプロセッサモジュール (AIOP)

応用処理や拡張シャーシに実装されるモジュールの制御、高速通信制御、LAN制御などを行うモジュールであり、目的に応じて豊富なメニューを用意している。システムに最大9モジュール実装できる。

(3) A32バス制御モジュール (BCM)

基本シャーシ内の32ビットシステムバス(A32バス)のバス裁定、プロセッサ間DMA制御、バストレースを行う。

(4) メインメモリモジュール (MM)

プログラムや各種データを保存するメモリやカレンダー付き時計を実装している。AIOP、BSPは、イニシャル時、MMからプログラムをローディングする構成としており、プログラム変更が容易である。システムに最大2モジュール実装できる。

3.2.2 拡張シャーシ構成モジュール

(1) バスレシーバ、バスリピータ (BRCV, BRPT)

16ビットIOバス(B16バス)の信号をバスマスターのAIOPから受信し、シャーシ内への配信、中継を行う。

(2) 16ビットIOプロセッサモジュール (BIOP)

低速通信制御やシリアルIO制御等を実行するプロセッサモジュールである。16ビットマイクロプロセッサ80C186XL(Intel社製、CPU動作速度：15MHz)を中心に構成しており、各種ファームウェアを高速に実行できる。

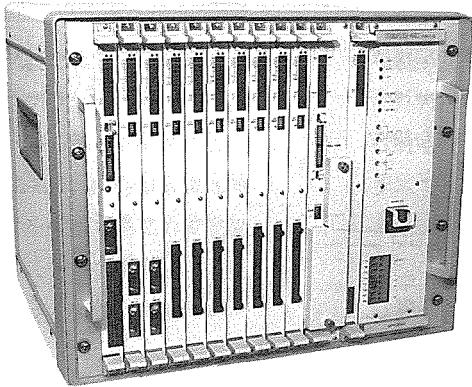
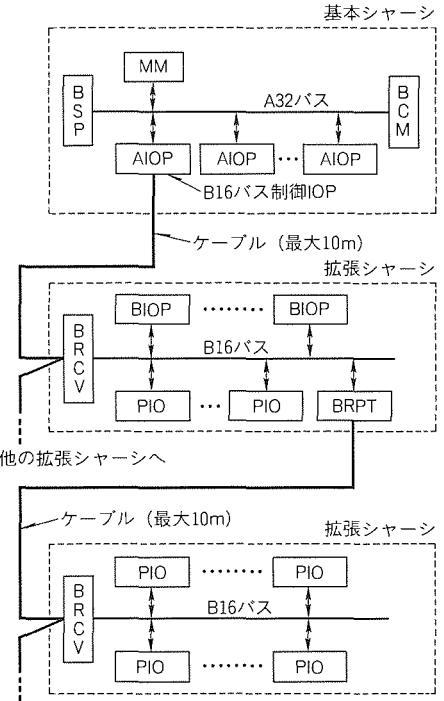


図2. シャーシの外観



BSP : Basic Supervisory Control Processor
 AIOP : A32bus IO Processor
 BCM : Bus Control Module
 MM : Main Memory
 BRCV : Bus Receiver
 BRPT : Bus Repeater
 BIOP : B16bus IO Processor
 PIO : Process IO

図3. MELFLEX440の装置構成

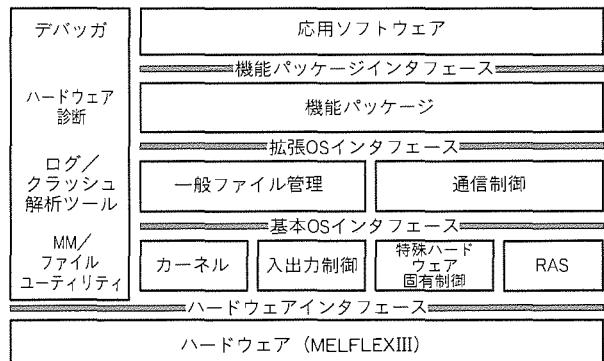


図4. MELFLEXIIIのソフトウェア構成

(3) プロセス入出力モジュール (PIO)

B16バス直結型とシリアルIO型を用意しており、要求される応答性能や設置環境に応じて選択できる。

3.3 MELFLEX340の装置構成

MELFLEX 340は、高速応答性、高速処理性を維持しつつ経済性を考慮したシングルプロセッサシステムである。MELFLEX 440のBSP、BCM、B16バス制御AIOPの機能を集約したMPU(Main Processor Unit)を中心に、AIOP、B16バス接続モジュールを基本シャーシ内に収容可能とした。応用処理は原則としてMPUのみに実装する。

3.4 ソフトウェア構成

図4にMELFLEX IIIのソフトウェア構成を示す。また、表2に基本ソフトウェアの一覧を示す。基本OS(カーネル、出入力制御、特殊ハードウェア固有制御、RAS)、及び拡張OS(通信制御、一般ファイル管理)はCTRON仕様で開発した。また、ソフトウェアの生産性を向上させるため、適用分野ごとに共通な機能を機能パッケージとしてまとめた。

デバッガは、オンライン／オフラインに対応しておりMELFLEX 440/340で共通に利用できる。また、オフラインのツールとしてハードウェア診断、ログ／クラッシュ解析ツール、MM／ファイルユーティリティをそろえている。

4. MELFLEXIIIの特長

4.1 分散処理システム構築の容易化

MELFLEX IIIの開発に当たっては、図1に示すような分散処理システムを実現するように開発を進めた。以下に、開発のポイントを説明する。

(1) FLEXバスの開発

高速専用バス“FLEXバス”を新たに開発し、MELFLEX装置単位のビルドアップ構成を可能とした。主仕様を表3に示す。

FLEXバスの開発に当たっては、平均256バイト単位のブロック伝送で、1.2Mバイト／秒以上のスループットと20ms以下のレスポンスを実現することを目標とした。これを安価に、かつ、低消費電力で実現するため、25ペアのツイストペアケーブルにより伝送する方式とし、総延長距離、転送速度、耐ノイズ性確保のためRS-485インターフェースを採用した。また、広域監視制御システムでは同一データを複数の装置に配信して処理する場合が多いため、通信方式は1回で任意の複数局にデータ転送ができるマルチキャスト方式とし、実効スループットを向上させた。

なお、FLEXバスには従来機種のMELFLEX IIシリーズも接続可能である。

表2. MELFLEXIIIの基本ソフトウェア一覧

ソフトウェア名称(分類)	解説
<u>CTRONカーネル(基本OS)</u>	<ul style="list-style-type: none"> ●タスク生成／起動／就寝／起床／情報取得など ●イベントフラグ生成／セット／イベント待ち、セマフォ生成、／信号／待ち、メッセージボックス生成／送信／受信、シリアルユーザブル資源定義／占有／解放など ●割込み禁止／解除、割込みハンドラ登録／起動など ●例外禁止／解除、例外処理ハンドラ登録／起動など ●システムタイマ制御、時刻取得／設定 ●メモリ確保・解放機能 ●統計情報収集／参照など ●私用タイマ生成／開始／停止など
<u>割込み機能</u>	データ入出力、デバイス制御機能(CTRON入出力制御準拠)
<u>例外管理</u>	<ul style="list-style-type: none"> ●MMへのアクセス ●GP-IB(適合装置)による他装置結合 ●制御用データウェイによる装置間結合 ●MELFLEXシリーズ間結合 ●高速パラレル計算機間結合 ●HDLC高速通信、無手順 ●Ethernetによる装置間結合、簡易LLC手順 ●専用シリアル回線によるプロセス入出力 ●電気学会方式／電気協同研究会方式サイクリック伝送 ●専用シリアル回線による通信、調歩同期 ●専用HDLC回線による通信、LAP-B手順 ●専用HDLC回線による通信、無手順 ●専用HDLC回線による通信、NRM手順
<u>時計管理</u>	
<u>メモリ管理</u>	
<u>統計情報管理</u>	
<u>私用タイマ</u>	
<u>入出力制御(基本OS)</u>	
MMドライバ	
GP-IBドライバ	
データウェイ制御ドライバ	
FLEX-BUSドライバ	
BT009ドライバ	
光AD-IFドライバ	
簡易LLC手順ドライバ	
シリアルIOドライバ	
PS/SPドライバ	
USARTドライバ	
LAP-Bドライバ	
HDLCドライバ	
HDLC NRMドライバ	
<u>通信制御(拡張OS)</u>	データ送受信、プロトコル制御(CTRON通信制御準拠)
LAP-B	<ul style="list-style-type: none"> ●CCITT勧告X.25 LAP-B(80年度版)
X.25	<ul style="list-style-type: none"> ●CCITT勧告(84年度版) DTE(Data Terminal Equipment)
TCP/IP	<ul style="list-style-type: none"> ●TCP/IPによる装置間結合(下位レイヤはEthernet)
UDP/IP	<ul style="list-style-type: none"> ●UDP/IPによる装置間結合(下位レイヤはEthernet)(開発中)
<u>一般ファイル管理(拡張OS)</u>	MMのファイル管理機能(CTRON一般ファイル管理準拠)
<u>RAS(基本OS)</u>	IPL(Initial Program Loading), 実行制御、障害管理機能
<u>ハードウェア固有制御</u>	
A32-DMA	<ul style="list-style-type: none"> ●A32バスDMA転送 ●MELFLEXIII内プロセッサ間通信
プロセッサ間通信	
<u>ツールユーティリティ</u>	
デバッガ	<ul style="list-style-type: none"> ●専用ソフトウェアデバッガ
MMユーティリティ	<ul style="list-style-type: none"> ●MMのセットアップユーティリティ
ファイルユーティリティ	<ul style="list-style-type: none"> ●MMのファイル操作
ログ解析ツール	<ul style="list-style-type: none"> ●動作履歴の解析ツール
クラッシュ解析ツール	<ul style="list-style-type: none"> ●カーネルリソースの解析ツール
ハードウェア診断ツール	<ul style="list-style-type: none"> ●ハードウェアモジュールの診断ツール

表3. FLEXバス主仕様

項目	内容
用途	MELFLEX装置間結合
転送ライン形状	データ8ビットのパラレルバス
伝送媒体	ツイストペア25対、特性インピーダンス120Ω
データ転送速度	4Mバイト／秒
総延長距離	最大50m
ノード間距離	最大50m
ノード数	最大32
データ転送形式	ブロック転送 最大(16k-1)バイト／ブロック
通信形態	マルチキャスト通信
バス占有方式	共通クロック(1MHz)による衝突回避方式 三菱電機独自のCバス方式準拠
データ同期方式	送信側の発生する送信クロックに同期
誤り制御方式	バイトごとのparity検定、ブロック長検定
共通クロック発生源切替え	自動切替え
電気的インタフェース	RS-485準拠

(2) 汎用 LAN インタフェースの開発

ハードウェアとして汎用 LAN “Ethernet” の制御モジュールを開発し、上位プロトコルとして TCP/IP, UDP/IP を開発した。これにより、UNIX 系の EWS, サーバとの接続が容易になり、グラフィック機能を駆使した高度なマシンマシン機能、大量データのファイリング、データベース応用、AI 制御／ファジー制御など最新の制御技術を EWS, サーバとの機能分散で実現する構成が可能となった。

4.2 CTRONの採用

MELFLEX IIIに求められる高速通信処理や、プラントプロセスの即時応答に対応できる OS として CTRON を採用した。CTRON は、(社)トロン協議会によって TRON プロジェクトの一つとして定義された情報通信向けのリアルタイムOS で、ハードウェア機種に依存しない共通の OS インタフェース仕様を規定したものである。CTRON の採用で、将来の応用ソフトウェアの流通性確保とプログラマの教育期間短縮が可能となり、マクロな観点からソフトウェアの生産性向上が図れる。

カーネルは、Intel 386 プロテクトモードをサポートし、強力なメモリ保護機能や高速なタスクスイッチングを CPU レベルで実現させている。しかも、CTRON 仕様に従って CPU 固有部分を意識させないインターフェースに仕上がっており、以下に、Intel 386 上での CTRON 実現方式の幾つかを示す。

(1) メモリ管理

4G バイトのリニアアドレス空間をサポートし、Intel 386 のセグメントによる保護機能を生かすため、コード、データ、スタックの 3 種類のセグメントを用いるコンパクトモデルを採用した。また、GDT (Global Descriptor Table : Intel 386 のタスク共有メモリの管理テーブル) で管理するタスク間の共通領域とは別に、各タスクの固有領域を管理する LDT (Local Descriptor Table : Intel 386 のタスク固有メモリの管理テーブル) をタスクごとに独立して割り当てることにより、タスク間のメモリ保護を実現した。

さらに、CTRON のメモリ管理では、Intel 386 特有機能であるセグメントの存在を隠すために、GDT/LDT で管理するセグメントに論理的な識別子を対応付けた。これにより、応用ソフトウェアのハードウェア依存部分を極力少なくすることができる。

(2) タスク管理

タスク管理では、高速で信頼性の高いマルチタスクのスケジューリングを実現するため、CPU が持つ TSS (Task State Segment : Intel 386 のタスク状態管理セグメント) を、TCB (Task Control Block : OS のタスク管理テーブル) に対応付けた。これにより、CTRON のタスク管理に必要な情報を管理しつつ、Intel 386 が持つ高度なタスクスイッチ機能が活用できた。

(3) 割込み管理

通常、割込み要因はハードウェアに依存する物理的な割込み番号で識別するが、MELFLEX III では、割込み番号を CTRON の規定する論理的な番号体系に変換して取り扱うことにより、ハードウェアの変更などによる応用ソフトウェアへの影響をなくすようにした。

さらに、タスクよりも優先的に実行する割込み処理でも、中断されたタスクの実行環境を保護するため、割込みハンドラに Intel 386 の割込みタスクという概念を導入して 4 段階の特権レベル保護機能を利用できるようにした。

また、OS のシステムコール処理は、ソフトウェア割込みを使用して最上位の特権レベルへ移行し、応用ソフトウェアから保護された実行環境で処理できるようにした。

(4) 例外管理

CTRON の特長の一つに例外管理機能がある。CTRON は、システムコールエラーなどの異常が発生したとき、該当タスクの実行を一時中断し、例外ハンドラと呼ぶ特殊処理 (タスクと同一のメモリ空間や実行レベルで動作するプログラム) を起動する。応用ソフトウェアを作成する際、この機能を利用するとプログラミング上の異常処理 (例外ハンドラ) を本質的な機能処理から分離することができ、すっきりとした分かりやすいプログラムにすることができる。

4.3 RAS機能の充実

MELFLEX III では、① 多様なシステムに対応できるフレキシブルな実行制御、② 現地障害の早期発見と障害調査の容易性、③ ソフトウェア開発時のテスト／デバッブ時間

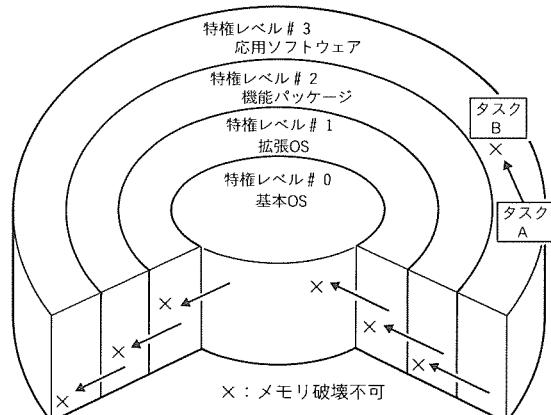


図 5. Intel 386 プロテクト機能

表 4. ログ解析情報

ログ 名称	詳細データ
各種リセット	発生日時、リセット要因
各種実行制御	発生日時、スタート、停止
アラーム監視結果	発生日時、異常発生要因
IOPヘルスチェック異常発生	発生日時、異常プロセッサ
各種例外発生	発生日時、例外要因、レジスタ情報
NMI発生	発生日時、NMI要因、レジスタ情報
アプリケーションログ	発生日時

の短縮を RAS 機能の重点課題とした。

(1) 障害監視と異常検出

以下に RAS 機能として基本 OS が検出する異常項目の一覧を示す。

(a) 回路診断

CPU, ROM, RAM, 2 ポート RAM をソフトウェアで診断し、回路異常を検出する。

(b) CPU 例外

Intel386 が検出する異常を CPU 例外として内部割込みにより認識する。

(c) ソフトウェア例外

システムコールからのエラーリターンなどプログラミング上の異常をソフトウェア割込みにより検出する。

(d) プロセッサ異常

プロセッサの状態をソフトウェアのヘルスチェックにより監視し、異常を検出する。

(e) ハードウェアモジュール異常

BCM, MM などソフトウェアの搭載されないハードウェアモジュールの信号を監視し、異常を検出する。

基本 OS は、これらの異常を検出すると、LED 表示と警報出力により外部に知らせるとともに、クラッシュダンプ機能により CTRON カーネルの全作業領域とあらかじめ設定されたメモリ領域をメインメモリに退避する。これらのデータは、システムの動作履歴を格納したログファイルとともに後述するツールにより障害解析に使用される。

(2) マルチプロセッサシステムの基本制御

前記(1)で述べたような障害により正常動作が保証できない場合、基本 OS は次に示す 3 種類の実行制御を行う。

(a) 再試行

IPL (Initial Program Loading) をやり直し、リスタートする。ただし、一定時間以上継続して正常動作ができない(再試行を繰り返す)ときは、システム停止とする。

(b) 縮退

異常を発生させたプロセッサを停止し、縮退運転をする。

(c) 停止

すべてのプロセッサを停止する。

再試行は、該当プロセッサのみ行うことも、システム全体で行うことも可能である。これらの制御は、設定により選択することができ、システムテスト時は停止、実運用時は再試行などの使い分けができるように考慮した。また、応用プログラムが障害を発見した場合にも、通常のシステムコールのかたちでこれらの実行制御を実現することができる。

(3) Intel386 プロテクト機能

表 5. クラッシュ解析情報

リソース名称	クラッシュ解析で得られる情報
タスク	実行していたタスクや実行待ちのタスクなど
イベントフラグ	イベント待ち状態にあるタスクや待ち条件など
セマフォ	獲得しているタスクやセマフォ待ち状態にあるタスクなど
メッセージボックス	メッセージ待ち状態にあるタスクや受信待ちメッセージなど
シリアルリユーザブルリソース	占有しているタスクや生成タスクなど
メモリプール	獲得待ちのタスクや空き領域の容量など
私用タイマ	タイマカウント中、停止中や生成したタスクなど
割込み状態	割込みのベクタ番号やネスティング状態、割込み発生の LDT など
その他	カーネルの作業用ブロックのリンク状態など

ソフトウェア開発時のテスト／デバッグ時には、Intel386 の持つプロテクト機能が有効である。MELFLEX III では、不用意に他のプログラムの領域を破壊しないよう Intel386 の特権レベルごとにプログラムのロケーションを決め、これを遵守するよう規定化している(図 5)。さらに、プログラム実行の最小単位であるタスクは、タスクごとに独立した LDT を持ち、他のタスクに割り当てられたメモリ領域を破壊することはできない。これらにより、特定プログラムのバグによる他プログラムへの影響を最小限に止めることができる。

(4) 障害解析ツール

障害解析ツールは、前項で述べた障害情報を人間にとて分かりやすいかたちで表示、プリントアウトするものであり、MAXY などの AX パソコンで動作する。メインメモリに格納されたログファイルやクラッシュファイルは、いったんパソコンのファイルにコピーされ、解析される。これにより、現地のシステムを長時間停止させることなく、また、工場で現象を再現させることなく障害の調査、解析が可能である。

ログ解析ツールはシステム的なイベントの発生履歴を解析するためのツールであり、プロセッサ ID, ログ名称、発生日時をキーとして必要な情報だけを表示することができる。

一方、クラッシュ解析ツールは、CTRON カーネルが管理するリソース情報の表示、検定、ダンプ機能を持ち、異常発生時の障害部位を特定するために用いる。表 4, 表 5 にログファイルとクラッシュファイルから得ることのできる解析情報の一例を示す。

5. む す び

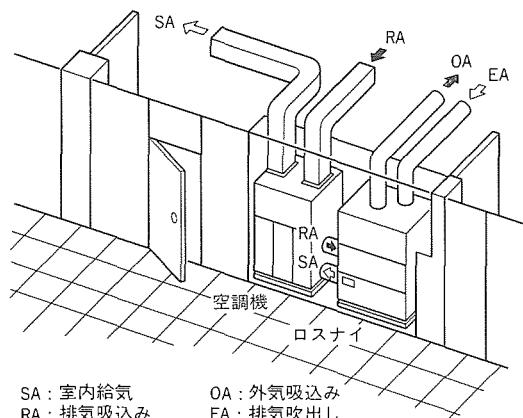
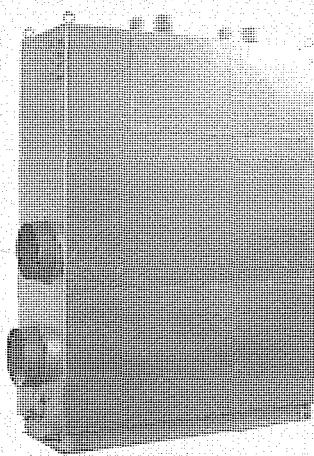
以上、広域監視制御システム MELFLEX III についてその概要を述べた。情報化が指向されている広域監視制御システムに対応できる機種として、ユーザー各位の期待に十分こたえるものと確信している。

高機能化・高性能化の要求は今後ますます増大していくものと予想される。今回の開発をベースとして、更に最新技術の導入を図り、広域監視制御システムに最適な機種の開発を継続していく所存である。

床置ビルトイン形

スポットライト

“ロスナイ”^{ワタ}



特性

基本タイプ

形名	LB-80-50・60			LB-100-50・60			LB-150
電源	単相200V50又は60Hz			単相200V50又は60Hz			三相200V50/60Hz
換気方式	ロスナイ換気						ロスナイ換気
ノッチ	(特強)	強	弱	(特強)	強	弱	—
風量 (m³/h)	800/800	775/755	735/690	1,000/1,000	960/950	900/880	1,500
機外静圧 (mmH ₂ O)	18.0/18.0	17.0/16.0	15.0/13.5	17/19	15.7/17.1	13.8/14.7	22/38
温度交換効率 (%)	74/74	74.2/74.6	74.9/75.5	74/74	74.5/74.5	75/75	75
エンタルピー	暖房時	65/65	65.3/65.7	66.2/67	65/65	65.5/65.5	66.5/67
交換効率 (%)	冷房時	60/60	60.3/60.7	61.2/62.2	60/60	60.5/60.5	61.5/62
騒音 (ホン) (本体正面1.5m)	41/41	40.5/39	39/38	41/42	39.5/40.5	39/39	45/48
外形寸法 (mm)	縦1,750×横1,200×奥行き490			縦1,750×横1,300×奥行き490			1,830×1,790×590
質量 (kg)	168			184			230

加湿付きタイプ

形名	LB-80K-50・60			LB-100K-50・60			LB-150K
電源	単相200V50又は60Hz			単相200V50又は60Hz			三相200V50/60Hz
換気方式	ロスナイ換気						ロスナイ換気
ノッチ	(特強)	強	弱	(特強)	強	弱	—
風量 (m³/h)	800/800	785/755	745/680	1,000/1,000	960/950	900/880	1,500
機外静圧 (mmH ₂ O)	17.5/17.5	16.5/15.5	15.0/12.5	16/18	14.7/16.2	13.2/13.9	20/36
温度交換効率 (%)	74/74	74.1/74.6	74.7/75.6	74/74	74.5/74.5	75/75	75
エンタルピー	暖房時	65/65	65.2/65.7	66/67.2	65/65	65.5/65.5	66.5/67
交換効率 (%)	冷房時	60/60	60.2/60.7	61/62.3	60/60	60.5/60.5	61.5/62
加湿量 (kg・h)	2.0/2.0	1.98/1.93	1.91/1.81	2.55/2.55	2.45/2.43	2.41/2.40	2.80
騒音 (ホン) (本体正面1.5m)	40/40	39/38.5	38/37	40/42	39.5/40.5	38/39	45/48
外形寸法 (mm)	縦1,750×横1,200×奥行き490			縦1,750×横1,300×奥行き490			1,830×1,790×590
質量 (kg)	180 (満水時193)			200 (満水時217)			270 (満水時290)

最近の大型ビルの空調システムは、ゾーンごとにきめ細かな対応が求められ、使用区分ごとのゾーニング空調が主流となっています。

床置ビルトイン形“ロスナイ”は省スペースでゾーニング空調を可能にし、しかもメンテナンスを容易に行うことができます。基本タイプと加湿付きタイプをラインアップし、より快適なビル空調を実現します。

特長

(1) 省スペース形、メンテナンス性容易

奥行き490mm(80・100タイプ)、奥行き590mm(150タイプ)の省スペース床置きタイプです。

●柱と柱の空間へすっきりと納まる省スペース床置き形ですので、機械室や天井裏の施工が不用です。

●廊下側の柱の間に設置することにより、廊下など共用のスペースからのメンテナンスが行えます。

(2) ゾーニング空調とのシステム性

テナント・使用区分ごとのゾーニング空調が可能

●風量バリエーションは800, 1,000, 1,500m³/hがあり、ゾーニング計画に合わせたきめ細かい機種選定ができます。

●制御は空調機との連動や、居室からのコントロールあるいは集中管理など、自由な設計が可能です。

●ターミナルエアハンドリングユニットやパッケージエアコンとの組合せなど、空調機と合わせたゾーニング空調が計画できます。

(3) 快適性

透湿膜加湿器を搭載(加湿付きタイプ)

●自然蒸発式の白粉の発生しないクリーンな加湿を実現する透湿膜加湿器を採用。

(4) 室内外の温度条件により換気モードを自動切替え

●給気側と排気側のセンサが温度を検知し、条件により熱回収省エネ換気(ロスナイ換気)と外気冷房(普通換気)を自動選択します。

(5) 空調機とのシステム設計を考えた機外静圧設定

(6) 低騒音設計



特許と新案 * * *

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 知的財産専門部
総合グループ Tel/(03)3218-2137

4 温度式冷蔵庫 (特許 第1781756号)

この発明は各種食品を適切な温度で保存できる4温度式冷蔵庫に関するものである。従来の冷蔵庫では、冷蔵室、低温ケース、野菜室はあらかじめ設定された風量で、冷蔵室のダンパサーモによって3室とも制御されていたので、低温ケースは“冷えすぎ”あるいは“高すぎ”になることがあった。

この発明はこの点にかんがみてなされたもので、図1、図2の実施例により説明する。冷却器(2)の冷気は冷却ファン(3)によって冷凍室(1)に吹き出し、冷凍室用温度調節器(20)で圧縮機の入・切制御を行い、冷凍室は適温に保持される。一方、冷気の一部は冷蔵室(6)に吹き出され、冷蔵室ダンパサーモによって3~4°Cの適温に保持される。また、連絡ダクト(7c)を通った冷気は引出し式の氷温室(10)に吹き出され、冷蔵室を通って冷却器に戻るが、感温部(21a)により温度を検知し、氷温室ダンパサーモ(21)を制御して、氷温室を0~-2°Cの適温に保持している。また、氷温室に吹き出された冷気の一部は引出し式の野菜室(14)に導かれ、野菜ケース(35)の周りを巡回した後、氷温室、冷蔵室を通り冷却器に戻るが、野菜室は5~7°C程度になるように、吹出口、吸込口の寸法が決められている。

この発明による冷蔵庫では、冷凍室、冷蔵室、氷温室、野

菜室を上から順に縦に配置するとともに、冷凍室、冷蔵室、氷温室にそれぞれ独立した温度制御装置を設けることによって冷凍室、冷蔵室、氷温室とも温度を精密に制御でき、また、冷蔵室と野菜室の間に引出し式に氷温室を設けて氷温室を目線より下にし、扱いやすく、奥の食品の出し入れがしやすいものにできる。

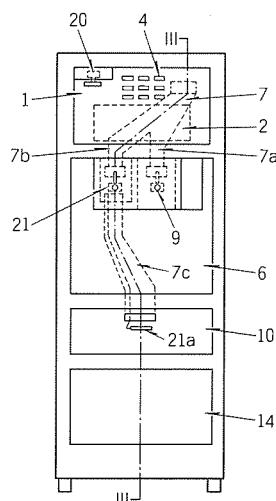


図1. 冷蔵庫の扉を外した状態

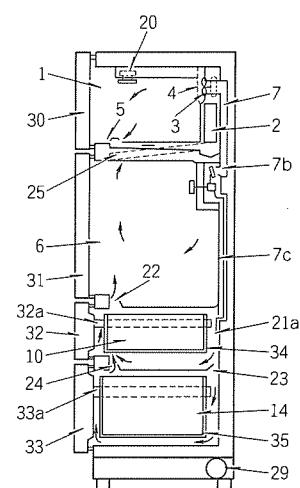


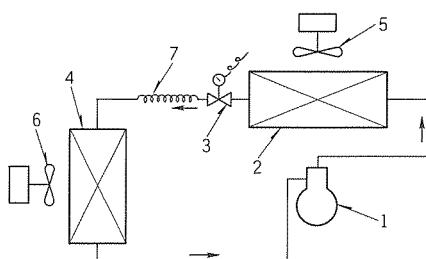
図2. 図1のIII-III断面

空気調和装置 (特許 第1373030号)

この発明は空気調和装置に関するものである。従来の空気調和装置は、圧縮機が起動してから徐々に高低圧差が大きくなりながら定常運転へと移っていく。このため定常運転に達するまでに長時間を要し、所定の室温に達するのに時間がかかり、快適性が損なわれる欠点があった。

この発明はこの点にかんがみてなされたもので、図の実施例で説明する。圧縮機(1)で高温高压に圧縮された冷媒ガスは凝縮器(2)に流入し、高温高压の液となる。さらに電磁弁(3)を通り、毛細管(7)で低温低压となり、蒸発器(4)に流入蒸発してガスとなり圧縮機に戻る。ここで、電磁弁は圧縮機の停止時に閉じ、圧縮機起動の後所定の短時間経過後タイマによって開くように制御されているので、圧縮機停止時及び起動時は圧縮機で圧縮された冷媒が毛細管、蒸発器に流れないから、電磁弁の入口側と圧縮機の吐出側の間で急激に圧力が上

昇する。また、電磁弁の出口側から圧縮機の吸入側は、冷媒が流れてこないため、圧縮機の引き込みによって急激に圧力が低下することとなり、高圧側、低圧側ともに短時間で定常時の圧力に近い圧力となる。そして、電磁弁は圧縮機の起動時より少し時間をおいて開くように設定されているので、電磁弁が開くとすぐに定常の空気調和がされることとなる。





特許と新案***

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 知的財産専門部
総合グループ Tel(03)3218-2137

この発明は短絡移行アーク溶接法に関し、溶接トーチの振れによる短絡とアークの繰り返しの不安定をなくす目的のものである。

従来の短絡移行アーク溶接法では短絡とアークを交互に繰り返して溶接しているが、アーク再生から次の短絡までのアーク期間の電流を、常に所定値になるように管理をしていなかった。そのため、溶接トーチの振れや被溶接物のひずみなどの外乱によってアーク再生から次の短絡までのアーク期間の電流が大きく変わることで溶接ワイヤの溶融量や被溶接物の溶け込み深さが大きく変わり、短絡とアークの繰り返し等の溶接状態が不安定になるなどの問題があった。

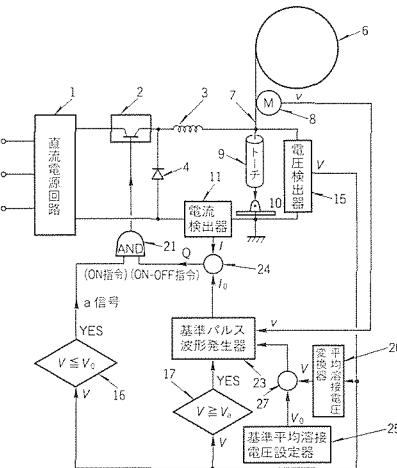
この発明は上記のような欠点を除去するためになされたものである。すなわち、図の短絡アーク溶接の概略回路において、ワイヤ電極(7)と被溶接物(10)間の平均溶接電圧 V を求めるための変換器(26)と、この変換器の出力電圧と所定の電圧 V_0 を比較する比較器(27)と、この比較器の出力に応じて上

(特許 第1616240号)

発明者

田畠要一郎、殖栗成夫、水野孝治、瀬川博久、平本誠剛
記アーケ放電期間の電荷量 Q を調整するようにした。

以上のように、アーケ放電期間の電荷量 Q を調整することにより、溶接トーチの振れ等によらず常に最適な溶接ビードが得られる効果がある。



〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 68 No. 6 特集“発展する光通信”

特集論文

- 光通信研究の現状と展望—社会的課題と先端技術的課題—
- 三菱電機における光通信システム
- 三菱電機における光通信用部品の歩み
- 三菱電機における光通信用半導体デバイスの歩み
- 光増幅中継器回路
- SDH 600M 多重端局終端装置
- 大容量 CT/RT 光加入者線多重伝送装置
- ATM 加入者線伝送装置
- 高速ディジタル光加入者伝送装置
- FV-600M-H1 形 HDTV 映像伝送装置

- 1.5Mbps/6.3Mbps専用線用I インタフェースDSU
- ATM特性測定装置
- 622Mbps-16ch コヒーレント光伝送装置
- サブキャリア多重光伝送技術とその応用
- 2.5Gbps 長距離伝送用DFBレーザとそのモジュール
- CATV用ひずみDFB-LDとそのモジュール
- 光FDM用レーザアレーモジュール
- 光インタコネクション用半導体レーザアレー
- ATMシステム用LSI
- SDHインターフェースLSI

三菱電機技報編集委員
委員長 田岡恒雄
委員 永田譲蔵 鈴木幹雄
都築鎮 大井房武
尾関龍夫 江頭英隆
水野久隆 松村恒男
畠谷正雄 才田敏和
鈴木軍士郎 烏取浩
幹事 長崎忠一
5月号特集担当 松村恒男

三菱電機技報68巻5号

(無断転載を禁ず)

1994年5月22日 印刷
1994年5月25日 発行

編集兼発行人	長崎忠一
印刷所	千葉県市川市塩浜三丁目12番地 (〒272-01) 菱電印刷株式会社
発行所	東京都港区新橋六丁目4番地9号 北海ビル新橋 (〒105) 三菱電機エンジニアリング株式会社内 「三菱電機技報」 Tel.(03) 3437局2692
発売元	東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 (〒101) 株式会社 オーム社 Tel.(03) 3233局0641㈹, 振替口座東京6-20018
定価	1部721円(本体700円) 送料別

超高層住宅用換気・空調用屋外端末部材

スポットライト “エクステリアパネル”

最近、超高層マンションなど高気密化住宅が増え、高気密化と高所での外風圧の影響により換気時における適正給気が得られず、計画換気が行われないとともに生活障害(ドアの開閉の困難、開口部の笛鳴り現象など)が生じています。

そこで、当社で開発した高速・高精度換気シミュレータでの解析と実験によって、屋外パネル開口部などの気流について検討し、軒下天井面に設置して外風圧の影響をほとんど受けない換気システム部材“エクステリアパネル”を開発しました。

エクステリアパネルの特長

- 外風30m/sにおいても安定した給・排気風量を確保します。
- 換気扇連動の外気侵入防止電動シャッタ(常閉式)を内蔵しています。
- 建物の外観を損なわないパネルタイプのデザインです。

図1は開発したエクステリアパネルの外観を示します。図2はこの部材を使用した換気システム例を示しています。以下に外風があるときの基本特性について説明します。

図3は外風速を変えて、エクステリアパネルと他の部材との給・排気特性を比較しています。

エクステリアパネルはレンジフードファン運転時、外風速30m/sでもほとんど外風の影響を受けず、安定した給・排気量を確保します。

丸形フード(当社製品)は外風速20m/sで給・排気量が逆転し、室内が正圧になってしまいます(グラフ中A)。

図4はエクステリアパネルの開口部内部の流れを外風30m/sの条件の下で解析した結果です。

外風による逆流もなくパネル開口部から効果的に排気されている様子が示されています。

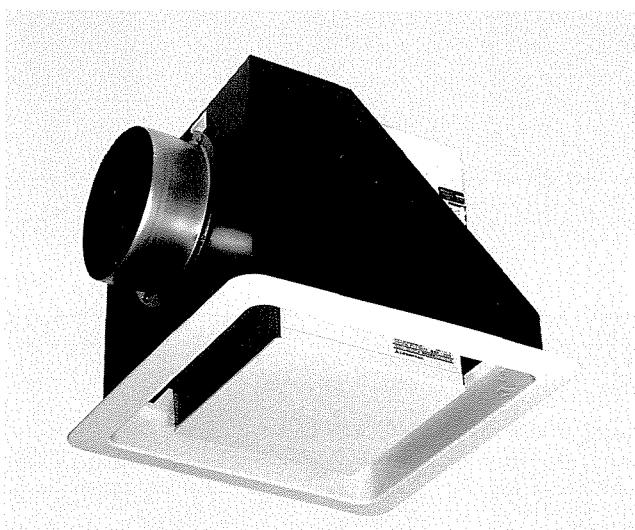


図1. エクステリアパネル

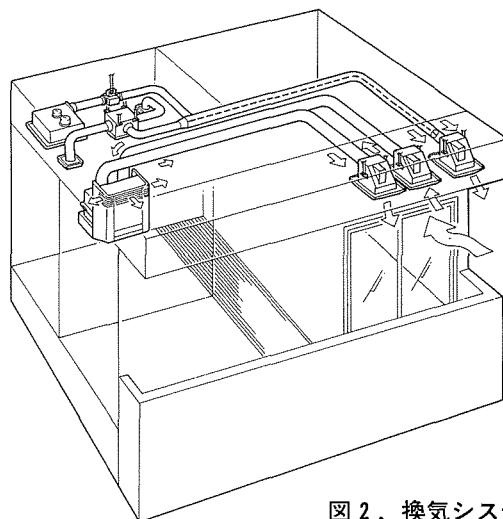


図2. 換気システム例

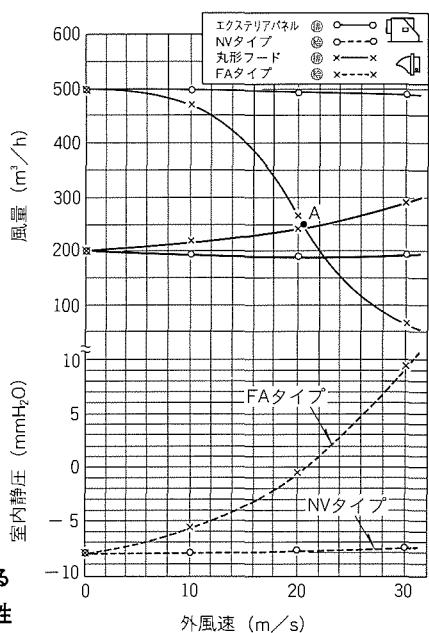


図3. 図2における
給・排気特性

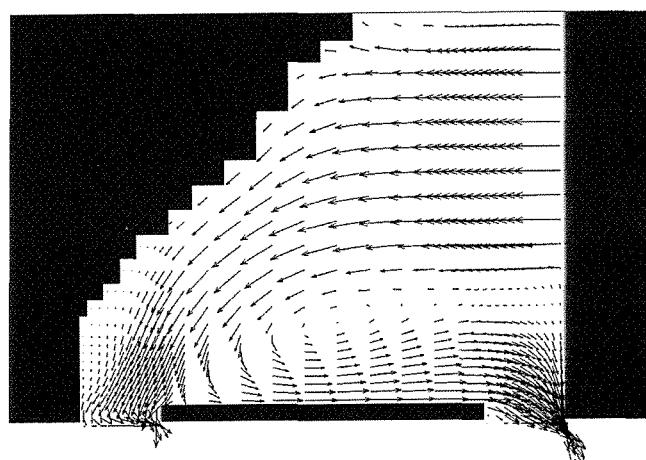


図4. 外風30m/sにおける気流解析結果

新形ホームエレベーター

スポットライト “WELL 2”

ホームエレベーターは、高齢化社会に伴う家庭設備の充実、二世帯住宅の増加、三階建て住宅の増加など住宅事情の変化に伴い、需要が着実に伸びてきています。

三菱ホームエレベーター“WELL”は、昭和63年に他社に先駆けて市場投入して以来、市場ニーズにこたえ高級機種も品ぞろえしてシリーズ化を行い、設置台数を順調に伸ばしてきています。今回、ホームエレベーターをより身近に利用できる低価格化の市場ニーズに合わせて、普及形低価格機種“WELL 2”を本年1月に発売しました。

“WELL 2”はホームエレベーターとしての住宅のインテリアとの調和性・快適性・使いやすさを基本にして、経済性を重視した設計をしています。さらに、2人乗り専用機種に限定し、デザインをシンプルにして低価格化を実現しました(従来当社製品“WELL”カスタムタイプより約20%ダウン)。また、かご構造の簡素化による軽量化に伴って、適用機器の小型化が実現でき、昇降路面積・昇降路頂部寸法を小さくすることができました。さらに、今後の高齢化社会に向けて、家庭内での車いす(椅子)利用に対しても、介護用車椅子と介護人1名が同乗できるかごサイズとしています。

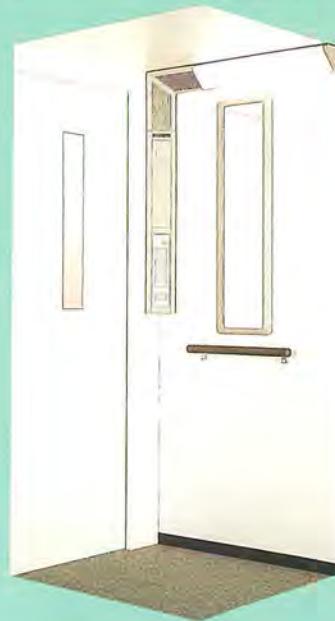
特長

- 卷上機を昇降路のピット内に設置することにより、機械室が不要となっています。
- 卷胴式卷上機を小型化することにより、昇降路面積の縮小を可能としました。
- 昇降路機器はすべて乗場側から取り付ける構造で、昇降路の左右、後方には一切荷重がかからないため、容易に建築設計ができます。
- 停止階床数は、最大4階床(最大昇降行程:10m)まで対応可能です。
- 木造、鉄骨、鉄筋コンクリート等のすべての建築物に対応可能です。
- 介護用車椅子の利用が可能です。
(車椅子サイズ:長さ750mm×幅500mm以下)
(車椅子質量:10kg以下)
- かご操作パネル、乗場コールボタンには押しやすく、一目で分かる大型ボタンを使用しました。
- 停電や故障などによってエレベーターが動かなくなった場合、自動的に三菱電機ビルテクノサービス(株)に通報する、遠隔監視装置のインターフェースを標準装備しています。

乗 場



か ご



製品仕様（基本仕様）

項目	仕様	項目	仕様
用途	個人住宅用	かご室内法寸法(mm)	間口850×奥行き900×高さ2,000
駆動方式	卷胴式・昇降路内駆動機設置	出入口寸法(mm)	幅680×高さ1,900
積載荷重	140kg	電 源	200V単相3線式
定員	2名	昇降路内法寸法(mm)	間口1,650×奥行き1,200
速度	12m/min	ピット深さ(mm)	630
停止箇所	最大4箇所	オーバヘッド寸法(mm)	2,450
昇降行程	最大10m	遠隔監視装置	インターフェース標準装備
戸 形 式	1枚戸片開き式・電動式	車椅子適用	介護用車椅子適用可能

製品仕様（オプション仕様）

項目	仕様
乙種防火戸仕様	不燃化粧鋼板網入りガラス窓
停電時自動着床装置	バッテリ駆動式
地震時管制運転	特別低加速度:30Gal 低 加 速 度 :60Gal
管理用キースイッチ	最下階以外の1箇所取付け可能 (最下階のみ標準装備)
換 気 装 置	天井グリル送風
手 す り	木製
ルームミラー	ガラス製

三菱エンジニアリングワークステーション

スポットライト エントリーモデルME R7120-60/-80

● パーソナルユースに余裕のパワーを提供します。

ME R7120-60/-80は、CPUクロック60／80MHzで58.1／84.1SPECint92, 79／79SPECfp92の高性能を発揮。グラフィックスは256色表示カラーで12,216／17,000 X11perfのハイパワーを実現。CAD・ソフトウェア開発・DTPを始め、広範な分野で利用するパーソナルワークステーションに最適です。

● コンパクトにして充実した機能、拡張性も十分です。

スリムなボディーにSCSI-II, IEEE802.3LANなどの標準I/Oはもちろん、拡張スロットを標準装備。I/O増設やTokenRing, X.25などネットワーク接続の拡張性を実現しています。さらに、1.2Mバイト フォーマットもサポートしたFDDを内蔵、パソコンとのデータ交換も簡単に行えます。マルチメディア対応にCDクオリティAudio I/Oを標準装備、さらにTeleshare(オプション)により電話やFAXにダイレクトにアクセスする機能もサポートします。

● 256色カラーグラフィックスで、豊富なディスプレイヤタイプから選べます。

パーソナルユースで標準の256色表示カラーグラフィックスをサポート。1,400,000 X11ベクトル／秒(ME R7120-80の値)の高速なXウインドウ表示を実現します。

ディスプレイはユーザーが毎日利用する大切なユーザーインターフェースです。従来の19／17／15インチ ディスプレイに加え、新たにコンパクトな11.8インチ(1,024×768)のフラットパネルディスプレイ(TFT液晶)を用意。省スペースでの利用を可能にし、快適なオフィス環境を提供します。



● UNIXビギナでも抵抗感のない操作環境を実現します。

ウインドウシステムは業界標準・X11R5を採用、GUIはOSF/Motif1.2を採用、日本語VUEのサポートによりUNIXの初心者でも抵抗感のない操作環境を提供します。また、統合マルチメディア環境MPowerにより音声・ビデオ・イメージ・ファクシミリなどの多彩なデータを簡単に扱えます。

さらに、ME R7120はマシンのシャットダウン時のわずらわしい操作をなくしました。マシンの電源ボタンを押すだけで自動的にシャットダウンを行います(ソフトシャットダウン)。パソコンと同じような使いやすさです。

● 使いなれた日本語環境を選択することが可能です。

HP XJim, ATOK 8, VJE-γ, HP EGConvert, Wnn XJpの5タイプから、日本語入力環境を選択できます。「どんなときでも、いつもの入力環境がほしい」というユーザーにこたえる豊富な選択肢です。

ME R7120の仕様

項目	ME R7120-60	ME R7120-80
プロセッサ		PA7100LC
クロック(MHz)	60	80
CPU性能	SPECint92 SPECfp92 MFLOPS(倍精度)	58.1 79 12.8 84.1 79 15.6
主メモリ	16～128Mバイト	
キャッシュ(命令+データ)	64Kバイト	256Kバイト
内蔵ディスク	525Mバイト／1Gバイト	
最大ディスク容量	13Gバイト	
内蔵マストレッジ(オプション)	3.5" フロッピーディスクドライブ(720Kバイト, 1.2Mバイト, 1.4Mバイト)	
標準I/O	RS-232C, セントロニクス, SCSI-II, IEEE802.3LAN(10Base5又は10BaseT), PS/2×2(キーボード, マウス), CDクオリティAudioI/O	1 Teleshare(オプション)
Teleshareスロット		1
拡張スロット		
拡張スロット接続インターフェース(オプション)	増設RS-232C, 増設LAN(10Base5) + 増設RS-232C, X.25 + 増設RS-232C, TokenRing, 増設モニタ	
本体寸法(mm)	(幅)405×(奥行き)370×(高さ)70	
質量(最大構成時)	8.4kg	

小型・高機能インバータ スポットライト “FREQROL-A024シリーズ”

省力、自動化、省エネルギーを目的として、一般産業機械からビル空調機器に至るまで幅広い用途でインバータが使用されるようになり、様々な用途へと市場が広がってきています。その中でも、ここ2~3年の間に小型機械に付加価値を高める経済性の優れた小型インバータの市場が大きく拡大してきています。

“FREQROL-A024シリーズ”は、付加価値を更に高めるべく、更に小型で経済性に優れ、より高性能・高機能が容易に発揮できるインバータとして製品化しました。

特長

(1) 小型でありながら充実の高機能

●高始動トルク

当社独自の汎用磁束ベクトル制御を採用することで、従来標準モータでは約80%(6Hz時)の始動トルクであったのに対し、200%以上(6Hz時)の高始動トルクを特別なチューニングなしで実現しました。

●ブレーキ能力の向上

オプションのブレーキ抵抗器やブレーキユニットが接続可能で、頻繁な加減速や連続回生が要求される昇降用途にも対応可能。

●トランジスタ入力に対する回り込み防止端子や運転状態出力端子、1c警報接点など、入出力インターフェースを充実しました。

(2) 音の静かな超低騒音運転

●高キャリア周波数PWM方式によりモータの金属音をなくした超低騒音運転を実現し、静かな環境でも気にせず運転可能。

●非低騒音運転モードでは、音色変調制御で聴感に優しい、より聞きやすい音色での運転が可能。

(3) 安心運転機能が充実

●トリップレス機能

急激な負荷変動や運転中のクラッチ入一切など電流が急激に増加したとき、従来は過電流トリップとなりアラーム停止していましたが、高応答電流制限機能で過電流トリップを防止でき、粘り強い運転が可能。

●瞬停再始動機能

雷などで瞬時停電の多い場所でも復電時に過電流トリップすることなく再始動が可能。

●アラーム時リトライ機能

万一のアラーム発生でも所定時間後に自動始動できるため、アラーム停止したままになることがなく無人運転でも安心。

(4) コンパクトな文庫本サイズ

●0.1~0.75kWでA6サイズの据付け寸法を実現(200Vクラス)。

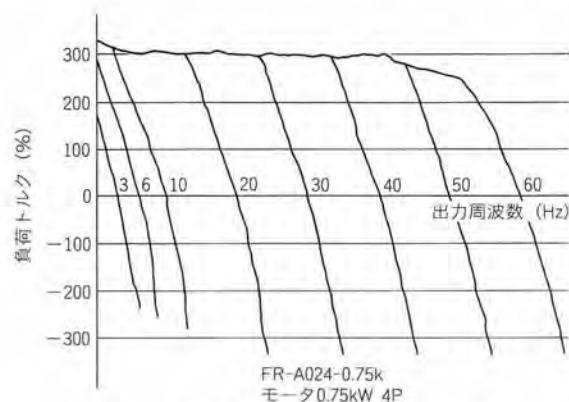
●0.1~3.7kWまで7機種の全容量の高さ寸法を150mmに統一しているため、盤内のレイアウトが容易。

(5) 操作性の改善

簡単操作と応用操作を両立した新開発パラメータユニットの採用で、操作性を改善。



FREQROL-A024シリーズインバータ外観



汎用磁束ベクトル制御のトルク特性例

標準仕様

仕様項目	FREQROL-A024シリーズ
適用モータ容量(kW)	0.1, 0.2, 0.4, 0.75, 1.5, 2.2, 3.7
定格出力電圧	三相200~230V 50/60Hz
入力電圧	三相200~230V 50/60Hz
制御方式	高キャリア周波数正弦波PWM制御 汎用磁束ベクトル制御、V/F制御選択可
周波数制御範囲	0.2~400Hz
トルクブースト	手動トルクブースト設定(0~30%)可能
始動トルク	200%以上(6Hz)汎用磁束ベクトル制御時
制御仕様 制動	コンデンサ帰還: 0.1, 0.2kW~150%以上 0.4, 0.75kW~100%以上, 1.5kW~50%以上 2.2, 3.7kW~20%以上
	高頻度用ブレーキ抵抗器(0.4~3.7kW), ブレーキユニット接続可能
	直流 動作点, 電圧, 時間 設定可
電流制限機能	あり(電流制限レベル0~200%設定可能)
加速・減速時間	0.1~3,600秒(第2 加減速時間 設定可能)
運転	入力信号 正転, 逆転, JOG運転, 多段速指令, 出力停止, リセット, 外部トランジスタコモンなど
仕様	周波数設定信号 0~5V, 0~10V, 4~20mA
出力信号	運転中, 周波数到達, 過負荷警報, 周波数検出の中から2種類選択
内蔵機能	瞬停再始動, アラームリトライ, 第2機能選択など
警報出力	1c接点
モニタ機能	出力周波数, 出力電流
保護機能	過電流, 過電圧, 不足電圧, 瞬停, 過負荷, ストール防止, ブレーキトランジスタ異常など
周囲温度	-10~50°C(凍結のないこと)
保護構造	閉鎖形(IP20)

HFC-134a使用

スポットライト ターボ冷凍機CTF形

地球環境が国際問題として重視されている。このため地球に優しい熱源機として、オゾン破壊係数が0であるHFC系冷媒を使用したターボ冷凍機CTF形を開発したので、その特長を紹介します。

特長

1. HFC-134a使用

今回開発したターボ冷凍機は、フロン規制対象外のHFC-134aを冷媒に使用しています。HFC-134aは高圧冷媒であり、この冷媒の場合、小口径のインペラを高速で回転させる必要があります。当社は特性が極めて類似した高圧冷媒R-12を使用したターボ冷凍機での長年にわたる多数の製作実績をもとに、高速回転に耐え得るインペラを開発するとともに、長期間の寿命試験によりHFC-134aに適した潤滑油や材料を選定しました。

2. 省エネルギー

(1) 高効率圧縮機

三次元翼・シュラウド付きで漏れロスの少ない小型・軽量インペラ、メカロスを最小限に抑える超精密仕上げの增速ギヤや冷媒液冷却式高効率モータを採用しています。

(2) 高効率容量制御

翼形ガイドベーン及び可動ディフューザの採用により、ホットガスバイパスなしに10%まで効率よく容量制御ができます。

(3) 高性能熱交換器

沸騰専用の伝熱管を使用した高効率満液式蒸発器、及び高性能凝縮器を搭載しています。

(4) 冷媒制御

パイロット式膨脹弁を採用し、蒸発器内の冷媒量を最適に制

御できます。

これらの技術により、全負荷状態から低負荷状態まで高い省エネルギー性を得ることができます。

3. 小型・軽量・省スペース

冷媒循環量が低圧冷媒に比べて約20%で済むため、圧縮機や配管が小さくなり、全体的に小型・軽量で省スペースのユニットとなっています。

また、コンパクトでスリムな設計の上、分割搬入が可能な構造となっており、既設機の入れ替えの場合も容易に対応が可能です。

4. 保守管理が容易

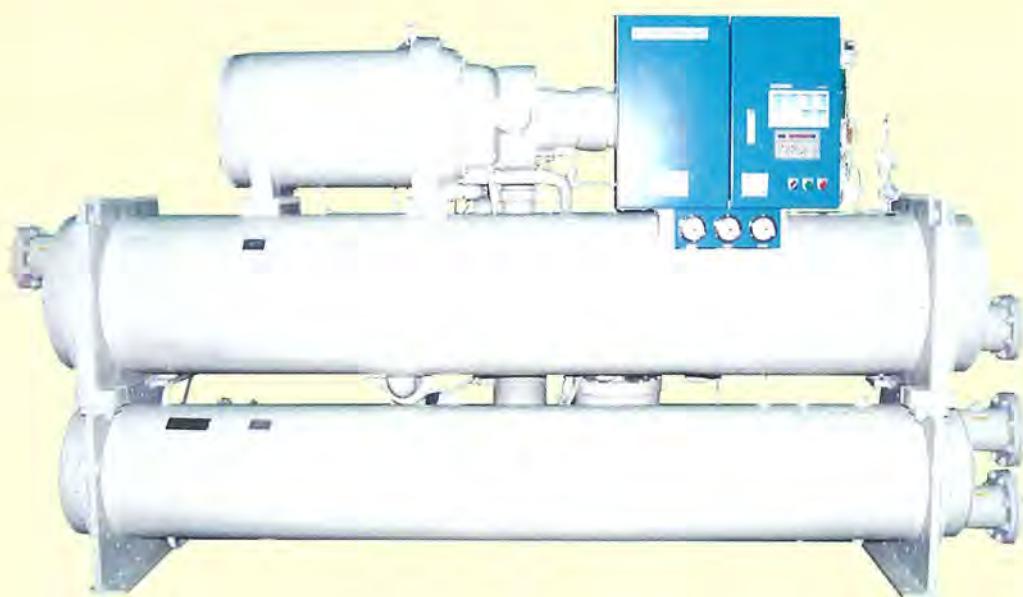
高圧冷媒を使用しているため、どのような運転状態でも冷媒回路が真空にならず、侵入空気による内部の腐食などのトラブルがありません。抽気回収やシーズンごとの冷媒抜取り・精製作業は不要であり、さらに定期的な点検や交換を必要とするドライヤーやオイルフィルタ等の前後には止弁を設けているので、最小限の冷媒や潤滑油のロスで部品の交換が可能です。さらに、始動用高圧電源回路には真空電磁接触器を採用し、接点の保守を不要とするなど一層の省メンテナンス化を図っています。

5. 運転操作が容易

押しボタンだけで自動運転が可能です。専用シーケンサの採用により、運転状態の表示や異常時の個別文字表示など運転操作性を一層向上させています。

6. 完備した保護装置

通常の保護装置のほかに、運転中の停電に対する油圧補償器や、全運転域サーボング検知システムの装備によって、機械をセーフティガードしています。



ターボ冷凍機CTF形外観