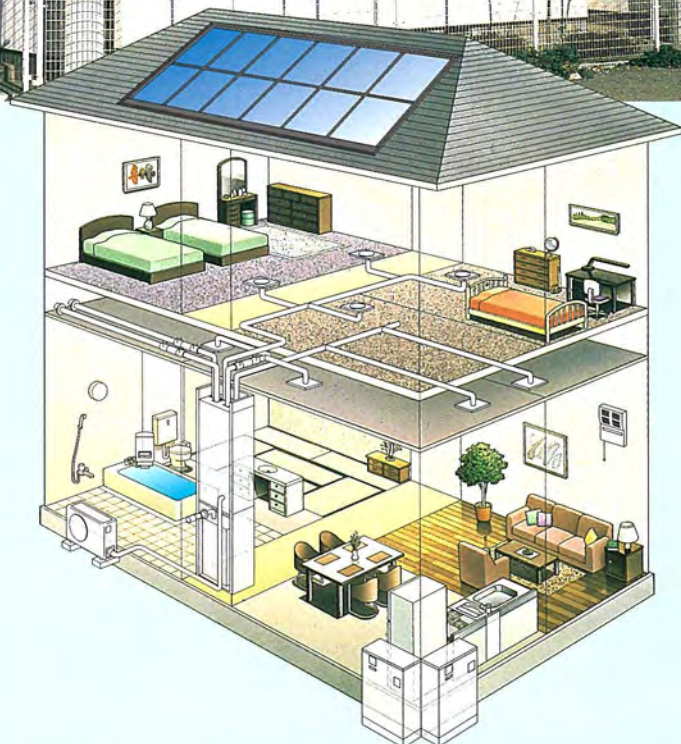


MITSUBISHI

三菱電機技報 Vol.70 No.8

特集 “住環境技術”

'96 8



特集 “住環境技術”

目 次

特集論文

住環境技術特集に寄せて……………	1
大西 進	
住環境技術の現状と展望……………	2
山中睦郎・菅波拓也・田中 博	
住宅用ダクト空調システム“エアリゾート”……………	6
大西茂樹・丸山和弘・兎玉晴之	
戸建住宅用“エアフロー環気システム”……………	11
清水拓也・佐藤成人・篠塚 新	
省エネルギールームエアコン“霧ヶ峰”FX シリーズ……………	17
吉橋 淳・鹿嶋美津夫・望月昌二・大葛勝久・青嶋成明	
NEW SLIM パッケージエアコン コンパクトカセット室内機……………	24
曾根靖雄・吉田孝行・石川博章	
多機能ヒートポンプシステム……………	29
平岡 宗・倉持 威・友田伸一・安藤昌之	
氷蓄熱マルチエアコン……………	34
宮本守也・堀池保宏	
HCFC-22 代替冷媒空調機……………	40
田中直樹・谷村佳昭・境野恵樹・飯島 等・関屋 慎	
新冷媒仕様地中送電線冷却用冷凍機……………	46
新海光史・杉山邦生・松下一雄・後藤耕治・小澤 明	
密閉形圧縮機用 DC ブラシレスモータ“V 8 DC モータ”……………	53
鈴木康巨・及川智明・米谷晴之・馬場和彦	
熱交換器詳細設計手法……………	58
吉田孝行・加賀邦彦・山田賢一・古藤 悟	
施設照明器具用新インバータ……………	63
小川 勇・前田忠司・荒井武司・永井 敏・江口健太郎	
24 時間風呂“一番風呂”……………	68
高橋光孝・寺内利和・中津川直樹・水島浩明・守川 彰	
全自動洗濯機 MAW シリーズ……………	72
山崎正博・萬谷和彦・藤江京子・山上和彦・石井哲夫	
ジャー炊飯器の新炊飯法“うまみ炊き”……………	78
平敷 勇・竹内繁樹・小暮栄治・藤本 渉・塚原広明	
空調システム開発のオブジェクト指向技術……………	82
伊藤善朗・井上雅裕・藤崎克己・増井弘毅・中筋義人	
住空間統合システム……………	88
粟田 浩	
認知科学的アプローチによる製品の“わかりやすさ”向上……………	95
坂田理彦・辰己裕子・田中基寛・永田滋之・酒井新一	

特許と新案

「貯湯式電気温水器の制御装置」「軸流送風機用電動機」……………	100
「液体燃料燃焼装置」……………	101

スポットライト

大能力・コンパクトタイプ除湿機“MJ-80 LHX”……………	102
住宅用太陽光発電システム……………	103
多機能地下収納庫“電水艦”……………	104
省エネルギー照明システム“MELSAVE SYSTEM”……………	(表3)

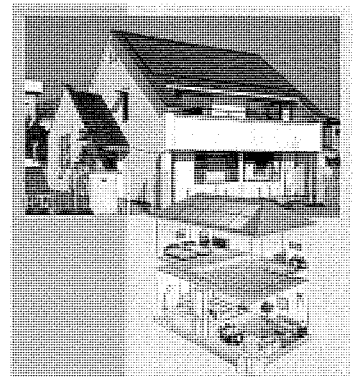
表紙

環境と共生する快適で安全な住環境造り

“持続可能な発展”の理念の下に、エネルギー・資源・廃棄物等の面を十分に考慮した環境と共生する住宅造りが重要となってきた。

三菱電機は、高気密・高断熱住宅用換気冷暖房システム、深夜電力を有効利用する給湯器、洗剤なしで食器が洗えるクッキングウォッシュャなど、数多くの住宅設備で省エネルギー・省資源技術を活用してきた。

本年度は更に、クリーンな太陽エネルギーを活用する太陽光発電システムで高効率システムを提供し、エネルギー問題の解決と快適な住環境の創出の両立を進めている。



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

住環境技術の現状と展望

山中晤郎・菅波拓也・田中 博

三菱電機技報 Vol.70・No.8・p.2～5 (1996)

冷凍・空調機器や家電機器などの住環境技術の開発現状と展望について述べる。最近では、地球環境問題の一環として、オゾン層を保護するための空調機用冷媒HCFC-22の代替化や、地球温暖化防止のための省エネルギーの追求などが重要となっている。さらに、高齢社会化の進展にも対応して、低騒音化、快適性・操作性向上、健康など、人にやさしい技術の視点でも開発を行っている。これら住環境技術の進歩の状況と今後の方向について考察した。

多機能ヒートポンプシステム

平岡 宗・倉持 威・友田伸一・安藤昌之

三菱電機技報 Vol.70・No.8・p.29～33 (1996)

空調(冷房・暖房・換気)のほか、給湯(温水器)、風呂加熱、浴室の換気・暖房・乾燥ができる多機能ヒートポンプシステムを開発した。

このシステムは、冷房排熱を利用した高効率、省エネルギーが特長の全電化システムである。

本稿では、特に冷房温水器同時運転時の性能について述べる。

住宅用ダクト空調システム“エアリゾート”

大西茂樹・丸山和弘・児玉晴之

三菱電機技報 Vol.70・No.8・p.6～10 (1996)

近年、快適性や省エネルギー性向上の対応策の一つとして、住宅の高気密・高断熱化が進んでいる。このような住宅の高性能化に伴って、住宅性能と適合する空調システムを開発するために、実験住宅及び住環境解析システムを構築した。

さらにその成果として、より快適性・省エネルギー性の向上を実現した住宅用ダクト空調システム“エアリゾート”の開発を行った。

氷蓄熱マルチエアコン

宮本守也・堀池保宏

三菱電機技報 Vol.70・No.8・p.34～39 (1996)

日本のエネルギー問題を解決するための一方策として、エネルギーの中でも日本の総エネルギーに占める割合が大きい電力に注目して、特に電力の負荷平準化を目的とした氷蓄熱を利用した空調機や冷凍機が注目されている。

本稿では、このような氷蓄熱の利用分野及び応用機器、電力会社や国による氷蓄熱普及に対する助成施策をまとめるとともに、当社で開発した氷蓄熱マルチエアコンについてその原理と特長を紹介する。

戸建住宅用“エアフロー環気システム”

清水拓也・佐藤成人・篠塚 新

三菱電機技報 Vol.70・No.8・p.11～16 (1996)

高気密化が進行する戸建住宅の換気を効率良く行う換気システム“エアフロー環気システム”を開発した。

システムコントローラは、サニタリゾーンに設置された複数の排気換気扇を定風量制御し、浴室の暖房・乾燥ユニット及び排気換気扇を連動制御する。強制給気ユニットは、外気清浄フィルタを備え、居室ゾーンに新鮮空気を安定して供給する。このシステムは、このように住宅内に居室からサニタリへの通気を創出して、適正な室内環境を維持する。

HCFC-22代替冷媒空調機

田中直樹・谷村佳昭・境野恵樹・飯島 等・関屋 慎

三菱電機技報 Vol.70・No.8・p.40～45 (1996)

オゾン層にやさしいハイドロフルオロカーボン混合系を冷媒とした空調機の試験解析を行った。その結果、圧力が少し高いR-410Aは機器性能が良く、従来候補のR-407Cに加えて、有力な候補であることが分かった。また、これらの冷媒に対応する冷凍機油の検討も進め、冷媒と相溶するポリオールエステル油に加えて、非相溶で当社独自のアルキルベンゼン油も有力であることが明確になった。今後は冷媒、油とも機種ごとに最適に選定して、製品化開発を進める予定である。

省エネルギールームエアコン“霧ヶ峰”FXシリーズ

吉橋 淳・鹿島美津夫・望月昌二・大葛勝久・青嶋成明

三菱電機技報 Vol.70・No.8・p.17～23 (1996)

ルームエアコンは、近年冷媒回路周辺をも含めた総合的な“省エネルギー”が要求されている。当社は、96シリーズ年度、更にこれに次いで要求の高い“パワー”と“健康”にも視点を置いた“ワイド&省”のFXシリーズを商品化した。

本稿では、この新FXシリーズの概要と、省エネルギー、健康、パワーを実現した新技術について述べる。

新冷媒仕様地中送電線冷却用冷凍機

新海光史・杉山邦生・松下一雄・後藤耕治・小澤 明

三菱電機技報 Vol.70・No.8・p.46～52 (1996)

東京電力(株)向け地中送電線冷却用冷凍機はこれまで冷媒R-22を使用してきたが、昨今の環境問題からオゾン破壊係数ゼロのHFC冷媒の採用を強く要望され始めた。

これにこたえるため、1993年からHFC仕様の地中送電線冷却用冷凍機の製品開発を推進し、先に開発した水冷スクルーチラーや開発試作機でのデータを基に、現在入手が容易な唯一のHFC冷媒であるR-134aに対応した冷凍機を1995年に製品化した。

NEW SLIMパッケージエアコン

コンパクトカセット室内機

曾根靖雄・吉田孝行・石川博章

三菱電機技報 Vol.70・No.8・p.24～28 (1996)

熱交換器に対する吹き出し風速分布の均一化及び比騒音5dBの低減を図ったターボファンと、複数個の突起による風の流れのコアング効果とはく(剥)離及び偏向の制御性を持たせた風路を開発し、“Mr. SLIM”のカセット形室内機に搭載した。新ターボファンによる36%のコンパクト化、新風路によるスマッシングレス、及び植毛レスペーンを実現し、小規模空間空調と快適性向上ニーズに対応した。

密閉形圧縮機用DCブラシレスモータ“V8DCモータ”

鈴木康巨・及川智明・米谷晴之・馬場和彦

三菱電機技報 Vol.70・No.8・p.53～57 (1996)

ルームエアコン“霧ヶ峰”の省エネルギーを進めるため、密閉形圧縮機用DCブラシレスモータを開発し、製品化した。回転子は、従来のステンレス外殻を廃止し、回転子鉄心の中に8枚のフェライト磁石をV字形状に埋め込む構造とすることで、ステンレス外殻に生じる渦電流による損失削減、巻線通電相への磁束集中、リラクタンストルクの積極利用が可能となり、新制御技術の採用と併せ、当社従来品に対して効率を7.5%改善した。本稿では、このモータの高効率化技術について述べる。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 8, pp. 29~33 (1996)

A Multifunction Heat Pump System

by Hajime Hiraoka, Takeshi Kuramochi, Shin'ichi Tomoda & Masayuki Ando

Mitsubishi Electric has developed a multifunction heat pump capable of supporting HVAC, a hot-water heater, bath water heating, and bathroom heating, drying and ventilation. The highly efficient electronically controlled system utilizes waste heat from the air-conditioner to heat water, and manages energy use for an entire household. This article reports on the system's performance in simultaneous air-conditioning and water heating applications.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 8, pp. 2~5 (1996)

The Present and Future Trends in Living Environment Systems Technologies

by Goro Yamanaka, Takuya Suganami & Hiroshi Tanaka

This article surveys living environment systems technologies, including refrigeration and air-conditioning equipment and domestic appliances. Environmental concerns are behind growing demand for alternatives to replace the air-conditioner refrigerant HCFC-22 and energy-saving measures to combat global warming. Other key development themes associated with Japan's aging society include low-noise design, enhanced-amenity control, easier equipment operation and health-related equipment.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 8, pp. 34~39 (1996)

A Multiunit Split-Type Air-Conditioner with Ice Storage

by Moriya Miyamoto & Yasuhiro Horiike

Ice storage offers a method to reduce peak electrical power consumption, an important issue in Japan where electrical power usage accounts for a large proportion of the nation's total energy consumption. This article summarizes applications fields, equipment and government and power-utility sponsored incentives for ice-storage technology, and introduces a Mitsubishi-developed multiunit split-type air-conditioner that employs ice storage.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 8, pp. 6~10 (1996)

"Air Resort" Duct-Type Central Air-Conditioning System for Residential Use

by Shigeki Onishi, Kazuhiro Maruyama & Haruyuki Kodama

Japan's housing construction industry is adopting airtight and insulated residential designs to enhance comfort and lower energy consumption. Mitsubishi Electric has constructed an experimental house and an indoor thermal environment simulator to support development of air-conditioning systems for these dwellings. The tools are used to develop Mitsubishi "Air Resort," a duct-type central air-conditioning system for residential use featuring enhanced comfort and energy efficiency.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 8, pp. 40~45 (1996)

Air-Conditioners with HCFC-22 Alternatives

by Naoki Tanaka, Yoshiaki Tanimura, Keiju Sakaino, Hitoshi Iijima & Makoto Sekiya

The authors have tested air-conditioners using mixed hydrofluorocarbon refrigerants with minimal ozone-depleting potential. R-410A, which operates at a slightly higher pressure than other formulations, showed significant performance advantages over the previously used refrigerant R-407C. Refrigerating oils for these refrigerants were also investigated. Polyolester miscible oil and Mitsubishi-developed alkylbenzene immiscible oil were the best performers. Mitsubishi Electric plans to develop commercial products based on optimum refrigerant and oil combinations.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 8, pp. 11~16 (1996)

Ventilation System for Single-Dwelling Residences

by Takuya Shimizu, Naruto Sato & Arata Shinozuka

Mitsubishi Electric has developed a ventilation system to improve the air quality of well-sealed, single-dwelling residences. The system controller provides a constant airflow by operating several exhaust fans in sanitary zones simultaneously, and controls the bathroom heater/drier unit. A stable supply of fresh air is drawn in from outside the home through air filters and circulated through the living zones via fresh-air supply units. The system maintains a comfortable environment inside the house by establishing airflow patterns from living zones to sanitary zones.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 8, pp. 46~52 (1996)

An Ozone-Friendly Refrigeration Unit for Cooling Underground Power Transmission Cables

by Koji Shinkai, Kunio Sugiyama, Kazuo Matsushita, Koji Goto & Akira Ozawa

Environmental concerns make it imperative to supplant R-22 refrigerant used in previous cooling systems for underground power transmission cables with ozone-friendly HFC refrigerants. In 1993, Mitsubishi Electric began developing a refrigeration unit using R-134a, the only widely available HFC refrigerant, for Tokyo Electric Power Company. An R-134a-based water cooled screw chiller was tested, and the prototype test data used to develop a commercial product that was completed in 1995.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 8, pp. 17~23 (1996)

FX Series Energy-Saving Room Air-Conditioners

by Makoto Yoshihashi, Mitsuo Kashima, Shoji Mochizuki, Katsuhisa Otsuta & Nariaki Aoshima

Recent energy-saving improvements to room air-conditioners include enhancements to the refrigerant circuit and its periphery. Mitsubishi FX Series room air-conditioners for 1996 continue this trend, offering enhanced power and comfort, a wider airstream and energy savings. This article introduces the product line and the technical improvements behind these features.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 8, pp. 53~57 (1996)

A Brushless DC Motor for Hermetic Compressors

by Yasuhiro Suzuki, Tomoaki Oikawa, Haruyuki Kometani & Kazuhiko Baba

In order to manufacture more energy-efficient room air-conditioners, Mitsubishi Electric has developed a brushless DC motor for use in hermetic compressors. The motor's rotor, which is not encased in stainless steel, is comprised of eight pieces of ferrite magnet installed to form four symmetrical Vs. This design eliminates the loss caused by the eddy currents created in the circumference of the stainless steel casing, concentrates the magnetic flux in the windings and takes full advantage of the reluctance torque. In combination with new control technology, the motor efficiency is improved 7.5% over previous designs. This article introduces the motor and the highly efficient technologies incorporated.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 8, pp. 24~28 (1996)

New Mr. Slim Commercial Air-Conditioners with Compact Ceiling Cassettes

by Yasuo Sone, Takayuki Yoshida & Hiroaki Ishikawa

Mitsubishi Electric has developed a compact ceiling cassette for the new line of Mr. Slim commercial air-conditioners. The unit is 36% smaller, provides a more uniform air velocity profile to the heat exchanger and features a turbo fan that reduces noise by 5db. The ducts include projections that make use of the Coanda Effect, and create cleaner airstream separation and better directional control. The new ducts are also designed to prevent collection of dirt and utilize flockless vanes.

アブストラクト

熱交換器詳細設計手法

吉田孝行・加賀邦彦・山田賢一・古藤 悟

三菱電機技報 Vol.70・No.8・p.58～62 (1996)

空調・冷凍用熱交換器の性能向上を目的として、熱回路網法を土台とした熱交換器評価設計プログラムを開発した。

このプログラムは、従来不明であった熱交換器内の冷媒の温度・圧力分布による性能差が把握できるとともに、機器に組み込んだ場合の熱交換器の風速分布や冷媒分配の影響なども考慮することができる。このため、実用上十分な精度で、熱交換器の最適な設計が可能となり、機器の効率化を実現できた。

ジャー炊飯器の新炊飯法“うまみ炊き”

平敷 勇・竹内繁樹・小暮栄治・藤本 渉・塚原広明

三菱電機技報 Vol.70・No.8・p.78～81 (1996)

炊きあがった飯中のグルコース含量を増やし、食味を向上させるため、米粒に含まれる酵素を利用した炊飯法を開発した。この方法は炊飯前に米に最適な温度で水中保温するもので、この間に糖加水分解酵素を働かせ、甘味を増加させる。グルコース増加に最適な温度は65℃付近であり、65℃で保温し含水させる機能を“うまみ炊き”としてジャー炊飯器に搭載した。

施設照明器具用新インバータ

小川 勇・前田忠司・荒井武司・永井 敏・江口健太郎

三菱電機技報 Vol.70・No.8・p.63～67 (1996)

施設用照明器具において、Hf蛍光ランプを点灯させるために、固定出力タイプ及び段調光タイプの2種類の電子安定器を開発した。

出力固定タイプでは、整流平滑回路にアクティブフィルタを用いず高調波低減を実現した。段調光タイプでは、高耐圧集積回路(High Voltage IC: HVIC)を搭載することによって小型化を実現した。

空調システム開発のオブジェクト指向技術

伊藤善朗・井上雅裕・藤崎克己・増井弘毅・中筋義人

三菱電機技報 Vol.70・No.8・p.82～87 (1996)

空調システムに対するニーズは、快適性・省エネルギー性の向上を重点に、ますます高度化・多様化している。今回、空調システム開発にオブジェクト指向技術を導入し、サブシステム、様々な空調関連機器、機器組み込みのマイコンソフトウェアのすべてをオブジェクトとしてモデル化し、部品化開発する手法を開発し、実用化した。これによって、ユーザの目的に合わせた部品を自由に選択し、組み合わせ、迅速にシステムを提供することが可能となった。

24時間風呂“一番風呂”

高橋光孝・寺内利和・中津川直樹・水島浩明・守川 彰

三菱電機技報 Vol.70・No.8・p.68～71 (1996)

近年、お風呂の快適志向はますます高まってきており、中でも24時間風呂はいつでも入浴できる快適さと掃除不要の手軽さにより、市場規模が拡大している。

本格的浄化・殺菌を可能とする“特殊活性炭による物理吸着と生物浄化によるダブル浄化”“間欠オゾン殺菌方式”、浄化材の手洗いを不要にした“自動洗浄方式”などを開発し、使用当初から良好な浄化・殺菌ができ、長期間維持可能な24時間風呂“一番風呂”の開発に成功した。

住空間統合システム

栗田 浩

三菱電機技報 Vol.70・No.8・p.88～94 (1996)

制御システムにおける機能の分散化とともに、その統合化が進んでいる。このような分散と統合の流れの中で、空調・照明といった従来の機能単位のシステムから、その機能が作用する空間全体の整合を考えた制御システムを開発した。

空調・照明を中心とした住環境空間に作用する制御機器を有機的に接合できるシステムについて、適用事例を示しながら、その特長について紹介する。

全自動洗濯機 MAWシリーズ

山崎正博・萬谷和彦・藤江京子・山上和彦・石井哲夫

三菱電機技報 Vol.70・No.8・p.72～77 (1996)

全自動洗濯機の需要は、家事の合理化志向を背景に年々増加し、今後更に増加する見込みであり、市場ニーズとして、洗浄力の向上やコンパクト大容量化が求められている。

MAWシリーズでは、新洗浄方式の開発や振動解析システムの構築などにより、高洗浄力化・コンパクト大容量化を実現した。また、高精度な負荷量検知方式の開発による節水や操作性の向上など、市場ニーズに合わせた製品を開発した。

認知科学的アプローチによる

製品の“わかりやすさ”向上

坂田理彦・辰己裕子・田中基寛・永田滋之・酒井新一

三菱電機技報 Vol.70・No.8・p.95～99 (1996)

家電製品の“わかりやすさ”を向上させるために、ユーザインタフェースの評価・設計手法として“セミオティックアナリシス”と称する手法を開発した。これは、これまで一般に利用されているインタフェース設計原則、ガイドライン、及びチェックリストの欠点を改善したものであり、製品の認知的インタフェースを認知科学と記号論の知見を応用した視点で考察する、理論的かつ体系的な手法である。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 8, pp. 78~81 (1996)

A Flavor-Enhancing Rice-Cooking Technology

by Isamu Hirashiki, Shigeki Takeuchi, Eiji Kogure, Wataru Fujimoto & Hiroaki Tsukahara

The authors have developed a preheat function for rice cookers that improves the flavor of cooked rice. A soak at 65°C prior to cooking enables the enzymes present in rice grains to start breaking down starch into simple sugars, giving the rice a richer and sweeter taste. The function is available in Mitsubishi Electric's new-model rice cookers.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 8, pp. 58~62 (1996)

A System for Designing Heat Exchangers

by Takayuki Yoshida, Kunihiko Kaga, Ken'ichi Yamada & Satoru Koto

The authors have developed software for heat-exchanger design and evaluation that utilizes thermal network analysis to improve the performance of heat exchangers for refrigeration and air-conditioning applications. The program can determine the refrigerant pressure and temperature distribution inside a heat exchanger, and analyze their effects on performance. It is also capable of determining air-velocity profiles and refrigerant distribution effects when the heat exchanger is mounted in a duct or cabinet. Engineers can use the program to optimize a heat-exchanger's performance for particular applications, leading to improved operation efficiency.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 8, pp. 82~87 (1996)

Object-Oriented Technologies for Air-Conditioning System Development

by Yoshiaki Ito, Masahiro Inoue, Katsumi Fujisaki, Hirotaka Masui & Yoshito Nakasuji

In addition to the requests for greater comfort and energy savings, consumer expectations of air-conditioning systems are becoming more advanced and diversified. The authors have introduced object-oriented technologies into the development of air-conditioning systems, and have utilized a practical object-oriented modeling technique to model various elements such as subsystems of air-conditioning systems, a variety of components and embedded microprocessor software. As a result of the free selection of object-oriented parts and their combinations, it is possible to quickly supply systems that meet users' needs.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 8, pp. 63~67 (1996)

New Electronic Ballasts for Fluorescent Lighting Fixtures

by Isamu Ogawa, Tadashi Maeda, Takeshi Arai, Satoshi Nagai & Kentaro Eguchi

Mitsubishi Electric has developed two electronic ballasts for fluorescent lighting applications, one with a fixed-level output and the other with dimmer capabilities. In the fixed-level ballast, the rectifier and smoothing circuit suppress high-order harmonics without use of an active filter. The dimensions of the dimmer-function ballast have been reduced by use of a high-voltage IC.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 8, pp. 88~94 (1996)

An Integrated Home Environment System

by Hiroshi Awata

Control systems for residences are developing with dual trends toward distributed control and overall integration. This article reports on a system that organically combines separate control systems for lights, air-conditioning and other functions into a single system for controlling the entire home.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 8, pp. 68~71 (1996)

Water Treatment and Sterilization Technologies for a 24-Hour Bath System

by Mitsutaka Takahashi, Toshikazu Terauchi, Naoki Nakatsugawa, Hiroaki Mizushima & Akira Morikawa

The convenience of comfort and reduced need for cleaning have led to increased demand for 24-hour bath systems in the Japanese market. As a result, Mitsubishi Electric has developed a new 24-hour bath system. Utilizing special biologically activated carbon as the treatment material, intermittent ozonization equipment and an automatic cleaning system, greater efficiency has been achieved in the treatment and sterilization of bath water.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 8, pp. 95~99 (1996)

An Approach from Cognitive Science and Semiotics for Evaluating and Designing User Interfaces of Consumer Products

by Masahiko Sakata, Yuko Tatsumi, Motohiro Tanaka, Shigeyuki Nagata & Shin'ichi Sakai

The authors have developed a user interface design and analysis method named "Semiotic Analysis," which is intended to make more intuitive user interfaces for consumer products. The method improves on previous basic interface design rules, guidelines and checklists, analyzing user interfaces from the standpoints of cognitive science and semiotics in a logical and systematic way.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 8, pp. 72~77 (1996)

Development of MAW Series Fully-Automatic Washing Machines

by Masahiro Yamazaki, Kazuhiko Mantani, Kyoko Fujie, Kazuhiko Yamagami & Tetsuo Ishii

Demand for fully-automatic washing machines is growing in Japan, and this growth is projected to continue for several years. Consumers are seeking products with better washing performance, and that offer large-capacity cleaning in relatively compact dimensions. The MAW Series of washing machines meets these needs through use of a newly developed washing system and extensive vibration analysis. The series also features improved load detection that contributes to water savings and easier operation.

住環境技術特集に寄せて

ここ数年の社会情勢の急激な変化は消費者意識を大幅に変革し、適切な価格で納得のいく本物商品やシステムが求められるようになった。

さて、我々が売っているものは何だろう。この問いに対して、先の本誌“冷凍・空調—よりよい環境をめざして—”特集(1994年5月号)で快適な環境を提供する商売であらねばならないと記したが、これはむしろ空調機器のみならず住環境機器全般にあてはまることであり、光・空気・水をキーワードとした快適な住環境の創出を所々で指示しているところである。例えば空気に関しては、住宅自体の高性能化に対応してその質的要素が重要となってくるであろうし、水に関しては、飲むための水、洗うための水など、使用目的に応じた活用を、排水処理まで含めて考える必要がある。住環境の概念としては、一般の住宅だけでなくビル等の非居住空間や冷凍・冷蔵などの物に対する環境も含めて考えており、また生活の道具という観点からは、より使いやすく、より安全にといった視点も重要である。人や建物に対する快適性の追求は様々に発展してきており、各種の快適要素が高度に絡み合う複合環境の創造が必要となっている現在、生活者にとっての快適な住環境を体系的な視点を含めて確認する必要がある。

上記のように、住環境の快適性は建物自体との関連性を高めており、住宅メーカー等に対しては協業を含めた提案を積極的にさせていただく。このため、施工性やメンテナンス性を考慮に入れた開発・販売・サービス体制を構築している。

社会的要請からいえば、エネルギー問題では、国や電力会社等との関係も重要である。廃家電一貫処理リサイクルシステム開発やフロン回収支援、処理技術開発等では、業界を通じた取組も積極的に推進していく。

我々の経営活動の根幹としては、地球環境問題に最重要点を置かねばならない。水道の蛇口をひねって出てくる水には塩素等が含まれており、味もよくない。きれいにすることが目的の洗剤も下水に垂れ流せば環境悪化の一因となるのである。物を開発製造する際には、原料調達から製造、流通、販売、使用、廃棄、再資源化に至るライフサイクルアセスメントに配慮して物造りを行っていく必要がある。当社においては、製品レベルのみならず工場管理等においても、ISO 14001等の国際規格にも対応しつつ、ライフサイクルマネジメントの考え方を導入し、普及させている。

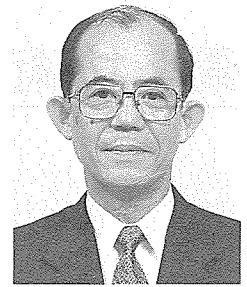
ここで、最近の当社の設計例を引いてみる。ルームエアコンや冷蔵庫等の個別機器における省エネルギー設計は言うまでもないが、換気・冷暖房システム“エアリゾート”を始めとしたシステム製品は、高気密・高断熱住宅化指向の中で、使用される状況に応じた更なる省エネルギーと快適性の両立を可能としている。

また、クリーンな太陽光エネルギーを活用する太陽光発電は、電力負荷のピークカットにも役立ち、地球環境保護の観点だけでなく、エネルギーの安定供給からも有用である。また、洗剤を使用しないで食器を洗うクッキングウォッシュは、資源節約となると同時に、下水に流す洗剤量を減らすことにも役立つ。

社会的情勢の移り変わりは激しく、今後も加速していくであろうが、目先にとらわれず、お客さま、生活者の視点と地球環境からの“人類の持続的発展”の視点に立って、本質的で創造的な開発と物造りを実践していく。これが、グローバル企業としての当社の見解の一つである。広い意味において人々に“安全”と“ゆとり”を提供できることを願って……。

専務取締役
住環境事業本部長

大西 進



住環境技術の現状と展望

山中 晤郎*
菅波 拓也**
田中 博***

1. ま え が き

冷凍・空調機器や家電機器などの住環境技術を開発していく上で、地球環境問題や高齢社会化などの視点が極めて重要となっている。

こういった社会的要請を踏まえて、人にやさしい製品作りに取り組む必要があると考えている。以下に、その技術開発の現状と展望について述べる。

2. 環 境 問 題

近年は、地球環境問題が、産業活動や人間の生活に大きくかかわるようになってきている。

2.1 オゾン層保護

オゾン層破壊を防止するため、1985年にウィーン条約が採択され、冷凍・空調機器に使用される冷媒の一部のフロンについてその使用を規制していくこととなった。その内容がモントリオール議定書で決められ、'87年以降数次にわたって改訂されて規制はより厳しい方向に進んできた。

先進国では、冷蔵庫・冷凍機用に使われていた特定フロンのCFC-11/-12、R-502は'89年に規制が始まり、'95年に全廃が完了した。これに続いて、空調機に多用されるHCFC-22の規制は'96年から開始された。この規制については、'95年12月のウィーン会議において最新の規制スケジュールが図1のように定められた。

2.2 地球温暖化防止

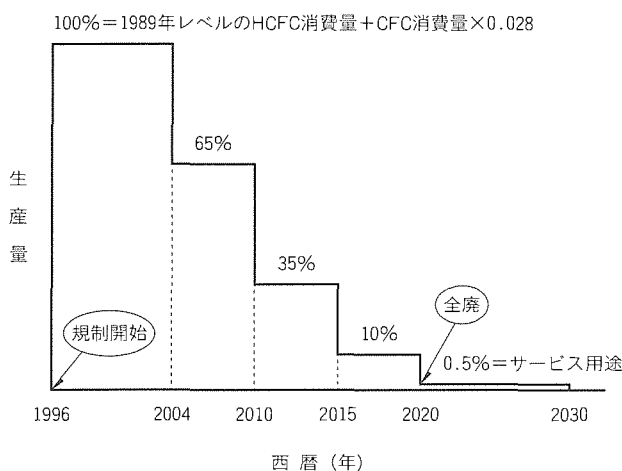


図1. HCFC-22の規制スケジュール
(モントリオール議定書ウィーン改定1995年12月)

大気中における二酸化炭素の増加を主な原因とする地球温暖化が'80年代に入って世界的な問題として認識されるようになった。我が国は、2000年以降における国民1人当たりの二酸化炭素の排出量をおおむね'90年レベルで安定化することを目標に掲げている。このためには、化石エネルギーの利用効率化や消費の抑制が必要で、エネルギーの有効利用の徹底的追求が今後も重要なテーマである。

通商産業省のエネルギーの使用の合理化に関する法律では、主要な家電製品に対する性能向上を義務付けるようになってきている。例えば、冷暖房機の容量や形式によって基準のエネルギー消費効率(COP)を設定し、その値を下回らないように規定している。COPは冷・暖房出力を消費入力で除した値である。最新の公布⁽¹⁾では、平成10冷凍年度('97年10月1日~'98年9月30日)の製品では、分離型のルームエアコンで、冷房専用機のCOPは3.09、ヒートポンプ機の平均COPは2.97と定められている。

2.3 電源高調波抑制

パワーエレクトロニクス技術の急速な進歩により、半導体応用機器が省エネルギー化や機器の制御性向上の進展に大きく寄与するようになった。しかし、これら機器から発生する高調波電流により、電力系統の電圧ひずみが増大する傾向にある。このため、この高調波電流を規制する動きがある。

欧州では、高調波電流抑制について、'96年1月から欧州EMC指令を発効させている。一方国内でも、'96年1月から、通産省のガイドラインが発効され、これに基づいて各工業会は対策実行計画を作成し、実行段階にある。

住環境機器では、ルームエアコン、パッケージエアコン、照明器(インバータ)が対象となり、機種ごとに規制に対応をすることになっている。

3. 冷 凍 ・ 空 調 機 器

3.1 フロン代替化

(1) 冷蔵庫

当社は'93年に、特定フロンのCFC-12をHFC-134aに代替化した冷蔵庫をいち早く製品化した。また、断熱材の発泡剤として使用されていたCFC-11も代替化した。この冷蔵庫では、ロータリ圧縮機に低粘度の合成油を採用した。この油は冷媒との相溶性が低いいため、圧縮機内の油分離機構や油戻しできるヘッダ構造などで独自技術を開発して、信頼性と効率で優れた冷凍サイクル⁽²⁾を実現した。

表 1. 空調用代替冷媒の特性

冷 媒	HCFC -22	HFC -134a	R-407C HFC -32/-125/-134a 構成比 (23/25/52)	R-410A HFC -32/-125 構成比 (50/50)
オゾン破壊係数 (CFC-11=1基準)	0.055	0	0	0
可燃性	不燃	不燃	実用上不燃	実用上不燃
冷媒の取扱い	単一冷媒	単一冷媒	非共沸冷媒	擬共沸冷媒
C O P 比 (HCFC-22基準)	1.00	1.01	0.90~0.97*	0.94~1.00*
能力比 (HCFH-22基準)	1.00	0.64	1.00	1.37
吐出圧力(MPa)	2.03	1.39	2.19	3.17

*最近のユニット性能報告から推測される値

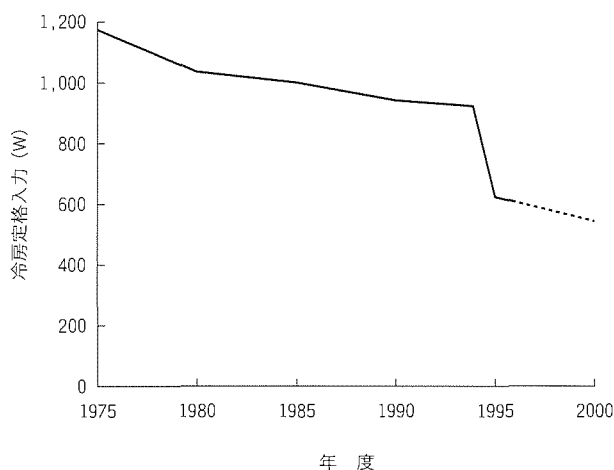


図 2. ルームエアコンの消費電力変化
(2.5kWヒートポンプタイプ)

(2) 空調機

空調機用冷媒 HCFC-22 の代替冷媒は機器・用途によって異なるが、現在は R-407 C (HFC-32/-125/-134 a), R-410 A (HFC-32/-125) が有力候補である。表 1 にこれらの候補冷媒の特性を示す。R-407 C は、圧力が HCFC-22 とほぼ同じで、圧縮機の圧力設計変更が不要な点で優れているが、混合冷媒の非共沸性と呼ばれる性質が強く、熱交換器設計に工夫が必要である。

一方、R-410 A は、冷媒特性として配管の圧力損失が小さく、また、伝熱効率が良いために高性能化しやすい。しかし、圧力が HCFC-22 の 1.6 倍程度で、この高圧化に応じた機器を新たに開発する必要がある。

これらの冷媒は機器対応で最適に選定されるが、共通的な課題として冷凍機油の開発があり、当社では相溶油のほかに、先に説明した相溶性の低い油の検討も進めている。空調機における HCFC-22 代替化もここ数年内に実用化される状況にある。

3.2 省エネルギー化

(1) ルームエアコン

ルームエアコンの省エネルギー化の進歩を、その消費電力量の推移として図 2 に示す。この図は当社の過去の実績を実線で示したものである。特にここ数年間において、省電力に対する市場の要求が高まっており、当社としても大幅な省エネルギー化を実現した。こういった省エネルギー化には後述する熱交換器や圧縮機などの性能向上が大きく寄与している。

また近年は、省エネルギー性能を評価する指標として、COP から 1 年間を通じた期間エネルギー消費効率 (SEER) 重視に移行する状況にもある。これは、エアコンの年間を

通しての種々の負荷での使用状況に対応した平均的効率を意味するものである。

(2) 新システム

電力供給のピーク負荷の軽減に対する一つの対策として、負荷の平準化を目的に氷蓄熱を利用した空調システム⁽³⁾が業務用で実用化されている。夜間にヒートポンプを運転して氷を作り、昼間の冷房に活用することによってランニングコストの低減などの経済効果も得られるようになっており、今後の拡大が期待できる。

家庭用においても、住宅内の熱エネルギーをヒートポンプによって有効に利用できるシステムを考えていく必要がある。ヒートポンプによる空調、給湯、浴室乾燥等の機能を備えた多機能システムの開発にも取り組んでいるが、これは、省エネルギー性の高いシステムである。

(3) 住宅の高気密・高断熱化

地球にやさしい環境作りが社会的に定着しつつある中、住宅の熱的 (省エネルギー性)・質的 (快適性) 向上を目指して、高気密・高断熱化が進んでいる。このような住宅は、全国で '94 年度約 2 万戸、2000 年で 40 万戸程度と予想されている。

高気密住宅では、換気不足になると室内空気の汚染、非暖房室の結露、カビ・ダニの発生などの問題が起こり、自然換気不足を補う常時機械換気が不可欠である。一方、高断熱化によって比較的小さな冷暖房能力の空調機一台で住宅全体を空調することが可能となり、新築時に換気と冷暖房を計画的に設備化する動きが定着しつつある。

高気密・高断熱住宅は、省エネルギー性や快適性の確保以外にも、住宅の蓄熱による電力使用ピークの平準化にも有効であることや、部屋間のヒートショックが少ない等のメリットがあり、社会的に必要な度の高いインフラの一つである。

高気密・高断熱住宅のメリットを生かし、住宅の全体換気と冷暖房を同一のダクトによって合理的に住宅全体を空調できるダクト式セントラル換気冷暖房システム「エアリゾート」は、高気密・高断熱住宅に最適な空調方式の一つとして、

今後の伸長が期待されている。

(4) 太陽光発電とその利用システム

自然エネルギーを活用する太陽光発電はクリーンなエネルギーであり、環境にやさしい技術である。安価で効率の高いソーラセルやその発電制御機器、さらに、複合的省エネルギー利用システムの開発などの課題もあるが、将来重要と考える。

3.3 要素技術の進歩

機器の低コスト化、省エネルギー化、低騒音化、小型化、快適性向上などの性能を刷新していくためには、要素技術の進歩が必ず(須)である。以下に、その最近の状況について述べる。

(1) 送風機

空調機に使用される送風機にとって最も重要な課題は、同一風量でいかに低騒音化が実現できるかである。当然ながら送風機単体の性能向上の取組は必要不可欠であり、当社としても“エクストラファン”を代表とした単体性能の向上を図ってきている。しかしながら、特に送風機は、空調機というシステムに組み込まれたときに、熱交換器や吸込み・吹出し風路系との最適構成が図られているかどうかにより、騒音に大きな違いを生じることがある。ユニット実装の低騒音化技術が今後重要となる。

(2) 熱交換器

空調機の省エネルギー化・小型化はもちろんのこと、低騒音化にも熱交換器の高性能化が大きく関連している。熱交換器の性能改善には、空気側や管内側の熱伝達率の向上が重要である。図3に、空調機に一般的に使用されているプレートフィンチューブ熱交換器の空気側熱伝達率の改善推移を示す。また、送風機と同様に、ユニット実装時における吸込風速分布又は冷媒の流し方の影響により、熱交換能力に差異が生じることも多々あり、ユニット実装時を想定した熱交換器

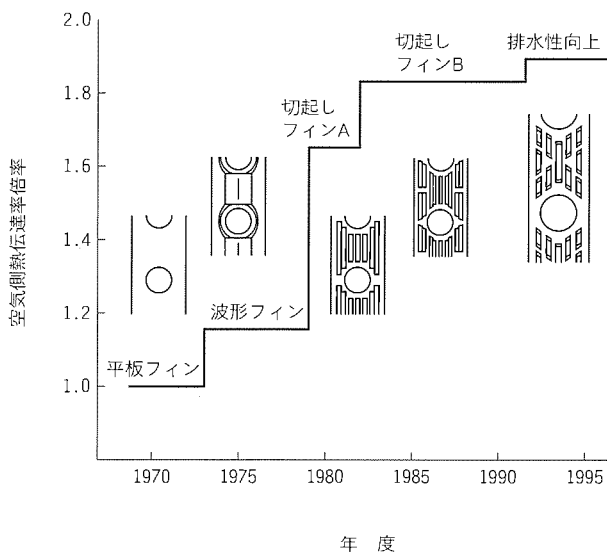


図3. 熱交換フィンの高性能化推移

単体の性能予測技術の確立も重要な課題である。

(3) モータ技術

圧縮機モータでは、空調機の省エネルギー追求から高効率化が期待でき、低速運転でも効率低下の小さい直流ブラシレスモータが開発されている。これは、ルームエアコンの省エネルギー化にも大きく貢献している。また、誘導電動機についても、インバータとの組合せによる低コスト化や効率改善が重要である。

送風機駆動用のファンモータの分野では、可変速化のニーズに対応し、従来の位相制御に替わるインバータ方式やチョップ式可変速制御⁽⁴⁾が開発されている。今後、適用の拡大が期待されている。

(4) 圧縮機

空調機用圧縮機分野においては、ロータリ、スクロール、スクリューといった形式の回転式圧縮機が、高効率・低騒音・高信頼性を実現するものとして主流を占めてきている。特にスクロール圧縮機は、運転中の圧縮動作がスムーズで振動・騒音が低く高効率な構造的長長を持つものとして、中容量域の空調分野において、従来のレシプロ式から置き換えられてきている。この分野のスクロール圧縮機は、アルミ合金スクロールやクラウニングピボット軸受⁽⁵⁾などの新技術を採用して、可変速化や信頼性の向上を達成している。

今後も高効率化、低振動・低騒音化、信頼性向上などへの取組が重要である。

4. 家電機器

この章での家電機器としては、調理家電、家事家電、照明器具、及び健康・環境関連機器を想定している。これらの機器は豊かで快適な生活を実現するための必需品が多く、しかも、幅広い機器分野にまたがっている。

これらの機器の開発に当たっては、先に述べた省エネルギー化などのほかに、急速に進展する高齢社会化を特に考慮す

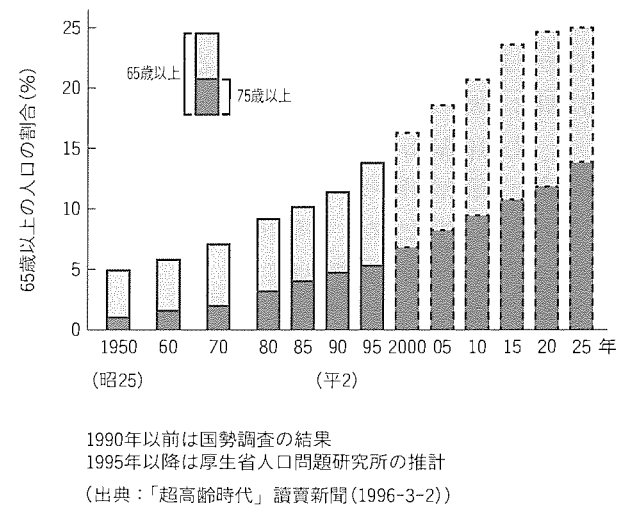


図4. 総人口に占める65歳以上の人口割合の推移と予測

る必要がある。図4は高齢者(65歳以上)の全人口に対する割合の推移予測を示している。2000年には65歳以上の高齢者が全人口の16%以上を占めると予測されており、これに対応して操作性向上、バリアフリー化、健康重視といった人にやさしい技術の視点も重要視する必要がある。

4.1 調理家電・家事家電

調理家電は冷蔵庫、電子レンジ、ジャー炊飯器等が主力商品である。これら商品の省エネルギー化の技術動向としては、既存技術の小さな改善の積み重ねというよりも、シーズの革新による大幅省エネルギー化が重要である。

冷蔵庫では、断熱材の高性能化や高効率モータの採用、炊飯器では、シーズヒータ加熱からIH加熱方式への変更等である。特にIH加熱器の場合には、シーズヒータ加熱と比べて約1.5倍(IH:ヒータ=83%:56%)加熱効率が高く、均一加熱性の良さも生かして今後いろいろな製品に応用されるものと思われる。

また、家事家電の代表例である全自動洗濯機についても同様である。'73年から'94年までの約20年間で平均6%の節水がなされてきたが、'95年度には槽全体で立体水流を発生させる新洗浄方式が開発され、従来品より30%節水を実現した製品も出現した。今後ともこの傾向は続くものと考えられ、次なる技術革新が待たれている状況である。

4.2 照明器具

照明の分野では、蛍光灯のインバータ化が重要である。インバータの普及率は'95年度で約23%であるが、省エネルギー性と目に対するやさしさの利点を生かして、'98年には普及率38%へと大きく伸長するものと予測されている。この蛍光灯のインバータ化にはパワーエレクトロニクスの技術が活用されており、特に新しい技術として、高耐圧IC(HVIC)が注目される。これは600Vの高電圧を制御できるICであり、このHVICを活用することにより、基板面積40%減、部品点数30%減という大幅小型化を実現した例もある。

この技術は今後照明分野だけでなく、すべてのエレクトロニクス分野に応用されていくものと考えられる。

4.3 健康関連機器

この分野は今後大きな伸びが期待される。社会の健康・清潔指向に合致した新商品として、24時間風呂、ミネラル水生成器、自動温水洗浄器等の新製品が出現し、急速に普及し始めている。これらの商品には、エレクトロニクス技術に加えて、バイオ活用技術、水質制御技術、浄化殺菌技術、さら

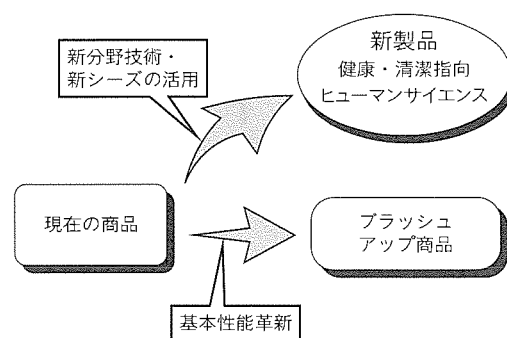


図5. 生活家電機器の発達パターン

にはヒューマンサイエンス等の新技術が重要な役割を果たしている。例えば、24時間風呂では、浄化材としてセラミックボールの代わりに生物活性炭とオゾン殺菌と組み合わせた新技術の活用によって高い浄化能力を実現したり、浄水器等への抗菌プラスチックの活用などはその具体例である。

今後、これらの新技術の更なる高度化により、新製品の普及が加速し、図5に示すように、基本機能の革新と合わせて、生活家電機器の発展に寄与するものと考えられる。

5. むすび

今後とも、地球環境問題や高齢社会化の進展などに対応して、地球にやさしく、人にもやさしい技術を更に発展させる開発を進めていきたい。そして、より豊かな生活の実現に大きく貢献できるよう努めたい。

参考文献

- (1) 通産省告示第650号,平成5年12月10日(1993)
- (2) 隅田嘉裕,小西広繁,川口進,増田昇:HFC-134a対応ロータリ圧縮機搭載冷蔵庫の開発,冷凍,69, No.800, 640~644(1994)
- (3) 今西正美,田頭秀明,吉田武司,浜宏明,宮本守也:氷蓄熱パッケージエアコン,三菱電機技報,67, No.4, 391~395(1993)
- (4) 岸添義彦,西尾直樹,春日井誠,中込靖,今城昭彦:ファンモータ用チョップ式可変速制御,三菱電機技報,68, No.9, 828~832(1994)
- (5) Sano, F., Ogawa, H., Ikeda, K., Kimura, T., Kobayashi, N.: A High Reliability Study of the Scroll Compressor, Proc.of Int. Compressor Conf. at Perdue, 1, 199~204(1994)

住宅用ダクト空調システム “エアリゾート”

大西茂樹*
丸山和弘**
児玉晴之***

1. ま え が き

人間が生活し多くの時間を過ごす室内の環境を居住者にとって過ごしやすく快適にするために、住宅と設備機器の両面で、長年様々な研究開発が行われている。設備機器の中でも温度に関係する機能を持つ空調システムは、他の住宅設備機器と比較して多くのエネルギーを消費するため、室内環境の快適性向上とともに、省エネルギー化に関しても多くの研究開発課題がある。

室内環境の快適性とその環境を形成するために必要なエネルギーは、住宅の躯体としての熱的性能と空調システムの性能の両者に依存している。特に近年は、居住環境の快適性の向上や住宅躯体側の省エネルギー化への対応策の一つとして、住宅の高気密・高断熱化が進んできている。このような住宅の高性能化に伴って、住宅設備機器としての空調システムも、それ単独で性能を発揮すればよいというだけでなく、住宅性能と連携して、より快適化・省エネルギー化を図る空調システムの方式や機能が求められているのは当然と言えよう。

このような要求にこたえ得る空調システムを開発するために、空調システムの評価フィールドとしての実験住宅と、解析ツールとしての住環境解析システムについて述べる。さらにこれら設備を利用した開発成果として、'95年に発売したダクト空調システム“エアリゾート”の特長についても紹介する。

2. 住宅性能と空調システム

空調システムの目的は、居住者に、できるだけ少ないエネルギーでより快適な室内温熱環境を提供することである。したがって、空調システムを開発し、評価するためには、様々な条件下において空調システムが形成する室内環境とその消費エネルギー量を正確に把握することは必ず(須)の項目である。

室内形成環境と空調エネルギーを決定付ける主な要因として外界条件、住宅性能、空調システムの三つが挙げられるが、特に断熱性と気密性に代表される住宅の熱的な性能は、室内温熱環境及び空調システムの消費エネルギー量に直接影響を与える要因である。さらに、エネルギー政策や環境政策の一環として住宅新省エネルギー基準(新省エネルギー基準)の告示(1992年)がなされる⁽¹⁾など、国レベルでの対応も行われているため、住宅の熱的性能の高性能化が急テンポで進

んでいる。

このような住宅の高性能化に適合する空調システムを開発するために、実験住宅及び住環境解析システムを開発し、構築した。実システムの開発・評価フィールドである実験住宅と、種々の条件下における詳細な室内形成環境と空調エネルギーを解析するツールである住環境解析システムを利用することによって、実測と解析の両面から、高性能住宅に適合した快適性や省エネルギー性の高い空調システムの開発を行っている。

以下に、それら設備の概要を述べる。

3. 実験・解析設備

3.1 実験住宅

(1) 住宅性能向上の背景

表1に、住宅性能に関する時代背景⁽²⁾を示す。'79年に「エネルギーの使用の合理化に関する法律(省エネルギー法)」が制定されて以来、種々のエネルギー対策が講じられてきた。例えば、'91年にツーバイフォー協会による超高気密高断熱住宅「R-2000住宅」の認定基準制定や、'92年の住宅新省エネルギー基準の告示などである。

このような背景の下に各ハウスメーカーは、住宅で消費されるエネルギーの多くを占める空調エネルギーを削減するために、高気密・高断熱住宅の開発を進めており、一方、電力会社や機器・部材メーカー等は、それに対応した開発推進のために実験住宅の構築を進めている。

機器メーカーである三菱電機(株)も、向上する住宅性能に合致した空調システムの開発のために、'93年に実験住宅の構築を行ったので、以下にその概要を述べる。

表1. 住宅性能に関する時代背景

年代	内 容
1979年	エネルギーの使用の合理化に関する法律(省エネルギー法)の制定
1980年	住宅の省エネルギー基準告示 金融公庫割増融資開始
1986年	「R-2000住宅」日本紹介
1989年	公的住宅への断熱構造化工事の義務化
1990年	北方型住宅の認定制度発足
1991年	「R-2000住宅」認定基準制定
1992年	住宅省エネルギー基準(新省エネルギー基準)に関する告示

表 2. 実験住宅の仕様

規 模	155.7㎡(47.1坪), 総2階建て	
気密性能	2cm ² /m ²	
断熱性能	2kcal/hm ² °C	
気密・断熱性能の参考値(関東以西)		
	気密性能	断熱性能
超高気密高断熱住宅(R-2000住宅)	1以下	1以下
新省エネルギー法基準	5以下*	3.4以下
気密・断熱化を行わない在来住宅	10前後	—

*5以下を気密住宅と定義し、北海道地区のみで規定

(2) 実験住宅の概要

空調システムを開発するための設備として、理想的には様々な外界条件と住宅性能が設定可能な機能を持つ設備が望ましいが、外界条件は制御できないが、近年の住宅性能の向上を勘案して妥当と思われる性能を持つ戸建住宅を建設した。すなわち、今後マスボリュームとなるようなこれからの住宅の平均的仕様となり得る性能を、この住宅では採用してい

る。この住宅の仕様を表 2 に示す。この表で示すように、実験住宅はR-2000住宅ほどの超高性能は持っていないが、在来の戸建住宅と比較するとかなり高い気密性能と断熱性能を持っているといえよう。実験住宅の平面図を図 1 に、外観を図 2 に示す。この実験住宅は神奈川県鎌倉市に所在している。

実験住宅では、実験設備としての基本性能である気密性能と断熱性能を、住宅全体のみならず部屋ごと、部材別ごとにあらかじめ把握してから各種空調システムの評価を行うが、特に詳細な住宅性能を把握した上でのシステム評価は他に例がない。

(3) 付帯設備

この実験住宅に隣接して、外界条件を把握するための気象観測設備、種々の計測・制御を行うための計測棟が設置されている。また測定系として、気密性能や断熱性能などの住宅性能測定システムや、室内形成環境測定システム、消費エネルギー・機器効率測定システムが設置されており、様々な住宅設備

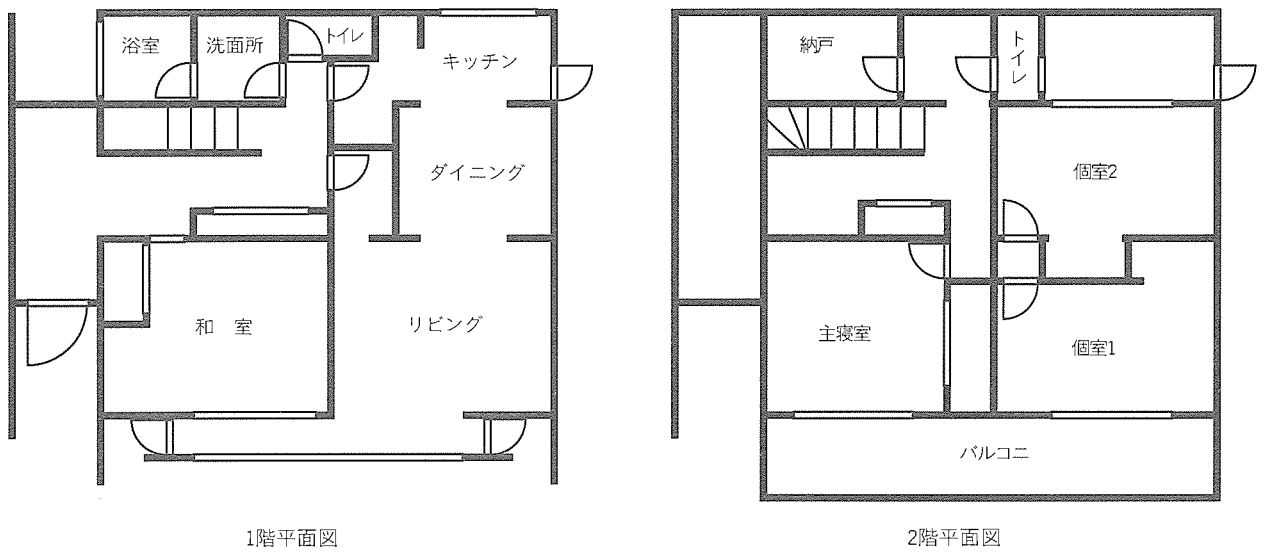


図 1. 実験住宅の平面図

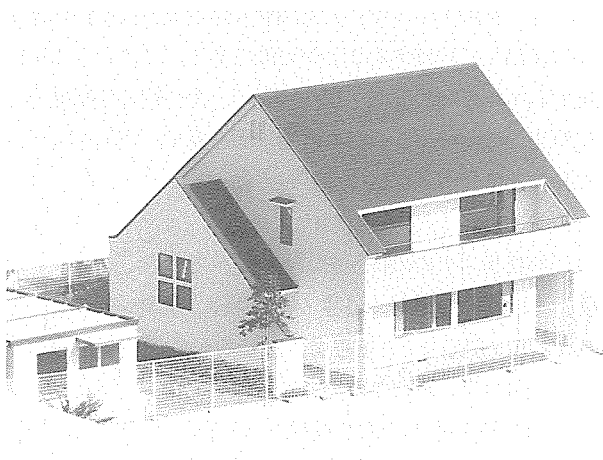


図 2. 実験住宅の外観

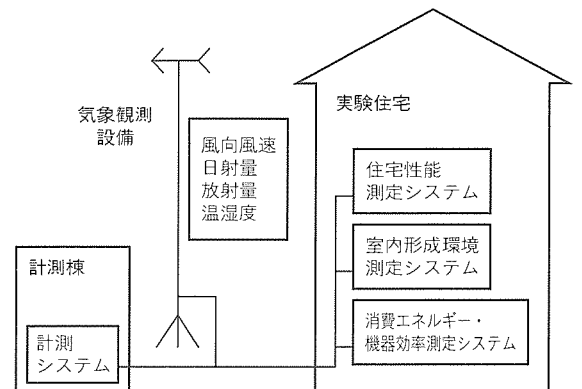


図 3. 実験住宅の全体構成

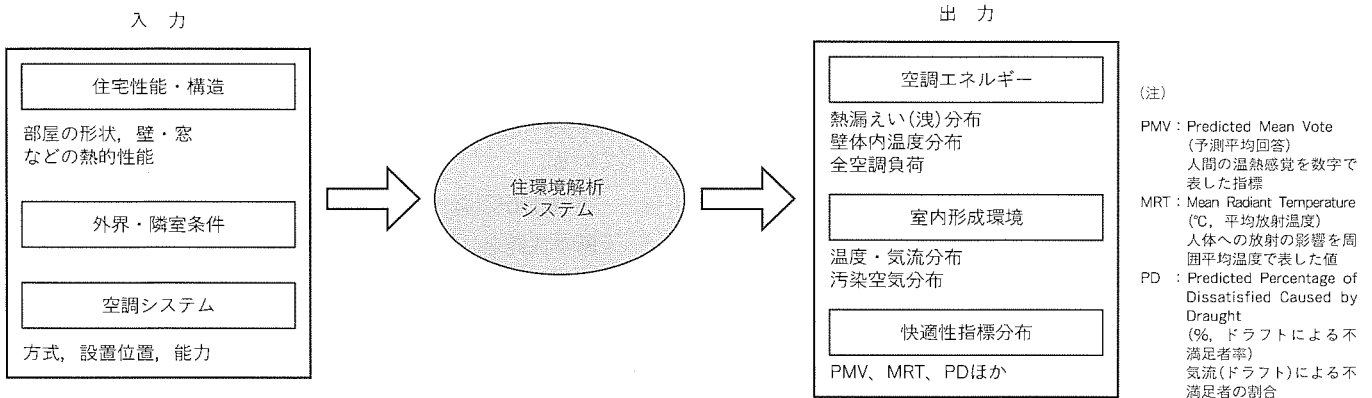


図4. 住環境解析システム概念

暖房時の空気温度分布の差異

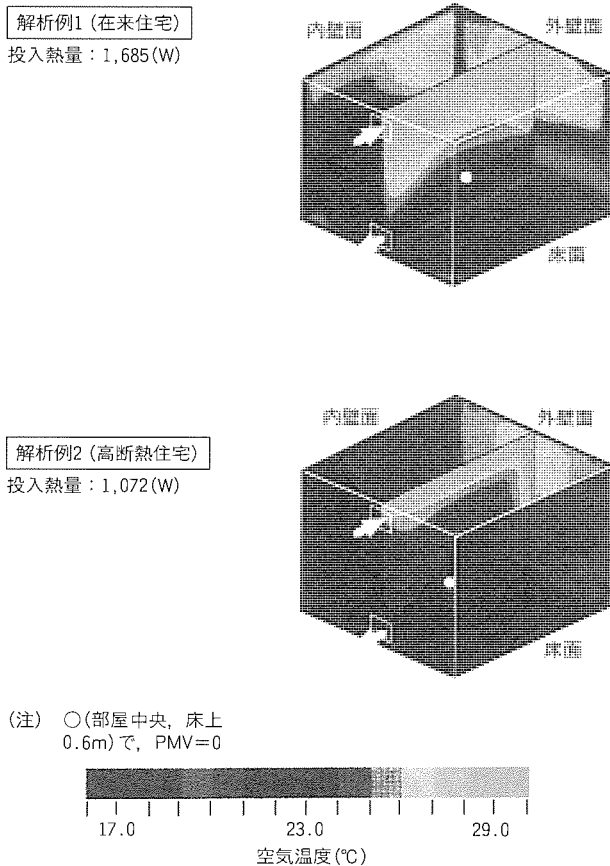


図5. 住環境解析システムの解析例

機器の実測が可能である。これら設備を含めた実験住宅の全体構成を図3に示す。

(4) 実験住宅における評価項目

実験住宅で空調システムの実測を行うと、実使用条件に即した快適性と省エネルギー性の評価が可能である。すなわち、温度・湿度・気流・放射などの室内形成環境と快適性の関係評価と、空調負荷・機器効率・消費エネルギーなどの評価である。これら快適性と省エネルギー性が実使用レベルで評価

できることが実験住宅の利点である。

さらに実験住宅では、実住宅である点を生かした施工性の評価も可能である。ダクト空調システムなど住宅設備機器システムは、施工を要するため、イニシャルコストとして工事費が発生する場合が多く、施工費低減も開発の1テーマであるといえる。したがって、実規模の住宅以外では困難な施工性の評価が行えるという点も、実験住宅の大きな特長のひとつといえよう。

3.2 住環境解析システム

(1) 概要

以上述べた実験住宅では、実使用条件での空調システムの評価が可能であるが、一方、空調システムの運転条件として外界条件や住宅性能を任意に設定することができない。したがって、実験住宅での評価が困難な様々な条件下における室内形成環境や空調エネルギーを評価・検証するために、住環境解析システムを構築した。その概念を図4に示す。住環境解析システムは、住宅性能や外界条件、空調システムを条件として入力すると、空調エネルギーや室内形成環境及び快適性指標分布が出力されるシステムである。

この解析システムは、空調システムや建物性能の多様化に対応して、空調エネルギーと室内形成環境及び快適性指標を同時に算出して評価することが可能である。このように室内環境とエネルギーの評価を同時に行い、かつ快適性指標を正確に算出できる解析システムは他に例を見ず、空調システムの開発に非常に有効なツールといえよう。

(2) 特長

この解析システムの特長を以下に述べる。

- (a) 住宅性能・構造、外界・隣室条件、空調システムの差異(方式、形態など)を考慮した室内形成環境と、機器効率、空調負荷の解析が可能である。
- (b) 外界や隣室との熱の授受を、正確かつ分布的に把握できる。
- (c) 人体の温熱感覚に対応したPMV (Predicted Mean

Vote：予測平均回答)など種々の快適性指標が算出可能である。PMVとは、環境条件及び居住者の状態から予測される居住者の温熱感覚であり、非常に暑い(+3)～非常に寒い(-3)で表現され、一般的にPMV=0が目標とされる。

(3) 解析例

この解析システムによる解析的評価の一例を図5に示す。これは冬期暖房時の場合、在来住宅(解析例1)と高断熱住宅(解析例2)における室内空気温度分布の差異を示したものである。この解析例ではどちらも室内中央の点でほぼ同じ温熱環境(PMV=0)となるように空調している。両者を比較すると、高断熱住宅の方が室内温度分布が小さくて良好な環境を形成していることが分かる。さらに高断熱住宅の方が投入熱量が少ないことから、室中央で同程度の環境を得るためには、高断熱住宅の方が少ない空調エネルギー(=投入熱量)で済むことが明らかである。

このように、住環境解析システムによって、種々の条件下における室内形成環境及び空調エネルギーの解析的評価が可能である。

(4) その他の対応例

前述の解析例では住宅の断熱性能の差異を評価対象とした場合の結果を例示したが、さらに、下記のような要因に対しても同様な解析が行え、実験住宅で対応しきれない様々な条件下での解析的評価が可能である。

- 外界条件：日射量, 外気温度, 外部風
- 建物性能：断熱性能, 気密性能, 住宅躯体の形状
- 空調システム：空調機設置位置, 空調方式(対流/放射など)
- 室内の状態：発熱体や障害物の有無

4. 開発の結果

実験住宅及び住環境解析システムでは空調システムを始めとした様々な住宅設備機器システムの評価・開発が可能であるが、ここでは、ここ数年主として開発を行ってきたダクト空調システムを例にとり、実験住宅と住環境解析システムを用いた開発結果を以下に述べる。

4.1 快適性

住宅性能や空調システムの性能・形態(吹出し口位置など)は室内形成環境及び快適性に多大な影響を及ぼすが、実験住宅や住環境解析システムを用いることによって、詳細な室内形成環境の評価ができるようになった。各室での吹出し口位置や換気機能などの検討を行った結果、より均一な室内温熱環境や良好な空気質が維持できる、住宅性能に合致した空調システムの開発が可能となった。

4.2 省エネルギー性

当社開発の風量制御方式や“ロスナイ”の採用に

よる送風機動力及び換気負荷の低減並びに住宅の高性能化などによって、在来住宅で個別空調を行う場合と比較して、約50%の省エネルギーを達成した。

4.3 省施工性

部材削減や施工性の簡略化が可能なダクティング方式を開発し実験住宅で評価した結果、工事費の約30%低減を確認した。

5. 製品開発の例

以上のように、これら開発設備を利用した結果を取り入れて製品化された商品として、'95年に発売した高気密高断熱住宅用換気・冷暖房システム“エアリゾート”がある。

当社では住宅用全館空調システムとして、従来から“換気空調システム”や“住宅用エアマルチ”などの製品があったが、今回これら空調システムを地域、住宅構造、費用などに応じてシステム選択を可能にしたダクト空調システムをエアリゾートとしてシリーズ化した。以下にその概要と特長を述べる。

5.1 エアリゾートの概要

一般的にダクト空調システムは、1台の熱源機、冷温風を送風するためのダクトワーク、各室の吹出し口、コントローラ等から構成されており、全館空調が可能な空調システムである。エアリゾートは、更に換気機能の付加や、熱源機や室内機などのバリエーションの充実などで、主に高気密高断熱住宅を対象として開発されたシステムである。

エアリゾートシリーズの一例であるヒートポンプタイプ床置システムの概要を図6に示す。1階機械室に本体ユニットと換気装置(ロスナイ)が設置され、本体ユニットからの給気はダクトを介して各室に分配される。各室からの還気は、各室のドアアンダカットと廊下を介して再び本体ユニットに吸気される。また、本体ユニットに併設された換気装置によって導入された新鮮外気は本体ユニットで冷温風と混合されて各室に給気され、室内の汚染空気は本体ユニットからロス

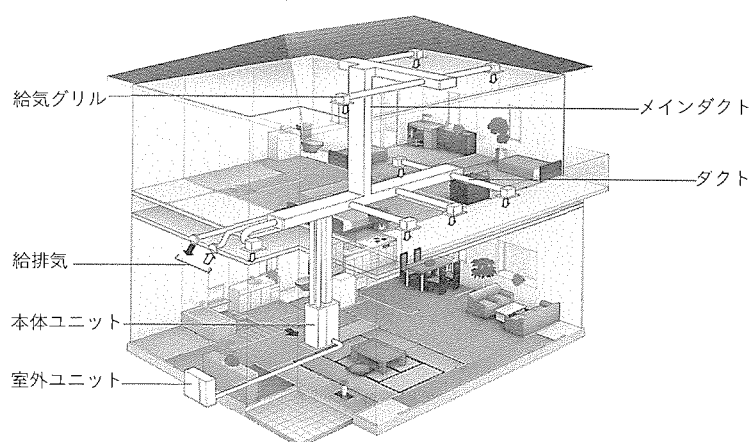


図6. “エアリゾート”の概要(ヒートポンプタイプ床置形)

ナイに流れ、導入外気と熱交換されて外界に排出される。以下に、エアリゾートの特長を述べる。

5.2 エアリゾートの特長

(1) 全館換気・冷暖房システム

1システムで24時間計画換気をしながら冷暖房を行い、さらに導入外気の花粉・粉じん(塵)などをフィルタで処理することによって、カビ・ダニの発生や室内結露を抑えた快適な環境が実現できる。

(2) 省エネルギー、省スペース

全熱交換方式のロスナイ採用による換気負荷減少や、最小動力で送風可能な風量制御方式採用によって、省エネルギー性が向上した。また、室内ユニットを廊下・階段下・天井裏などの非居住スペースに設置することによって、室内のインテリア性・省スペース性を向上した。

(3) システムバリエーション

熱源機の種類や能力、室内機形態(床置き/天井埋込み)のバリエーションによって、様々な地域の気候特性や建物性能に適合できる。

6. むすび

より快適で省エネルギーな居住環境を提供するという共通

した目的の下で、住宅メーカーと機器メーカーは様々な製品開発を行ってきている。特に地球環境問題への関心が高まる昨今、省エネルギー性を推進するために、高性能住宅が今後とも増加していくことが予測される。

快適な居住環境を提供することは、本来設備機器のみで達成すべき課題ではなく、建物側と連携して実現していくべきである。我々は住宅性能とより適合した空調システムを開発するために実験住宅や住環境解析システムを構築し、製品開発を行ってきた。

その成果の一例が“エアリゾート”であるが、今後とも建物側との連携を深めながら、より良い空調システムを開発していく所存である。

参考文献

- (1) 財団法人・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) ㈱三菱総合研究所：住宅産業の新パラダイム(セミナー用資料) (1994)

戸建住宅用“エアフロー環気システム”

清水拓也*
佐藤成人*
篠塚 新*

1. ま え が き

省エネルギーや地球環境への意識の高まりから、今後、住宅の高気密・高断熱化が一層進められていくと考えられる。しかしながら、高気密住宅では自然換気量が極めて少なく、住宅内で常に発生する炭酸ガスなどの空気汚染物質や湿気を室外へ排出するためには計画換気(常時機械換気による決められた経路及び風量での換気)が不可欠である。そうしたニーズに対応し、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として、住宅内の計画換気を合理的かつ効率的に行う“エアフロー環気システム”を開発し、既に商品化している。この集合住宅に主眼を置いたシステム⁽¹⁾に加え、今回、戸建住宅にも対応可能なシステムを開発した。

本稿では、戸建住宅向けシステムの効果について、実住宅での実証試験結果を基に述べる。

2. エアフロー環気システムの概要

エアフロー環気システムは、住宅の気密性を維持しつつ、24時間各居室へ室外の新鮮空気を給気し、各居室から廊下等を通して、汚れた空気を浴室・洗面所・トイレなどのサニタリから排気することで、住宅内の一定の換気を確保する換

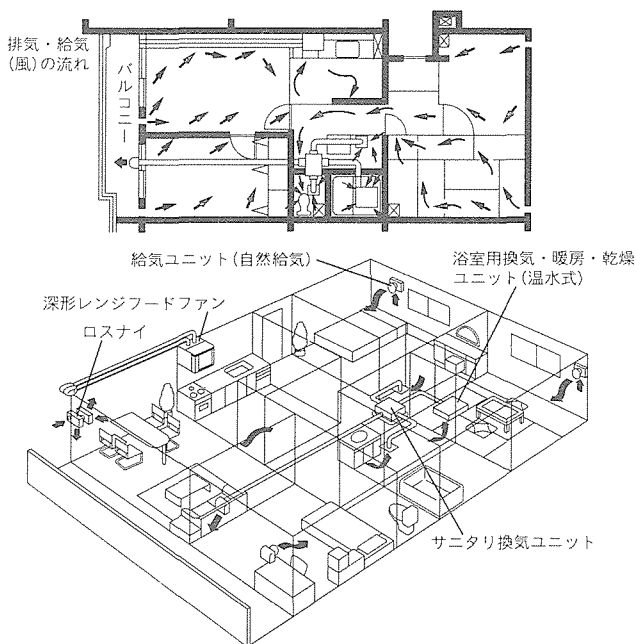


図1. エアフロー環気システムの概念

気システムである(図1)。

このシステムの最大の特長は、排気側の換気扇を常に一定風量で運転する“定風量コントロール機能”であり、強風時や高層階への設置時の外風圧、台所でのレンジフードファンの運転時などに生じる室内負圧の変動、ダクト配管等の施工条件などに左右されず、常に設定された換気風量を維持できるということである。

外気の給気は、住宅の床面積や気密性能などに応じてサニタリからの排気によって生じる室内外差圧を利用した自然給気で行うか、又は給気専用換気扇(以下“強制給気ユニット”という。)による強制給気で行う。

3. 集合住宅向けシステム(天井排気タイプ)

まず、既にある集合住宅向けシステムの考え方について簡単に触れる。

住宅の気密性能は、主に窓などの開口部に分布する住宅全体のすき(隙)間に相当する面積を床面積で除した、単位床面積当たりの隙間相当面積 $\alpha A'$ (cm^2/m^2) で表す。最近の都市型集合住宅は“気密性能グレード1”と呼ばれる $\alpha A' = 0.95 \sim 1.7 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 、又はそれよりも高い気密性能であり、勸住宅・建築省エネルギー機構の“住宅の新省エネルギー基準と指針”⁽²⁾で定義された“気密住宅”の $\alpha A' = 5 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 以下に比べて高い気密性能を持っている。

このように極めて気密性能が高く床面積がさほど大きくない住宅では、外気の給気経路は一定の給気開口を設けるだけで十分である。

集合住宅向けシステムは、給気を屋外に面した各居室の自然給気ユニットで行い、天井裏に取り付けられるサニタリ換気ユニット(3部屋用中間取付け形ダクト用換気扇の形態)1台でサニタリ全室の天井排気グリルから排気を行う。

常時換気による効果として、住宅内が高湿度になりがちなRC造りの新築集合住宅では湿度改善効果も確認しており、結露の防止等による建物保全効果が期待できる。

4. 戸建住宅向けシステム(壁排気タイプ)

このシステムを戸建ての高気密住宅へ展開する市場からの要望が高まっており、それに対応するため、戸建住宅に適したシステムを今回開発した。

4.1 戸建住宅向けシステムへの要求

エアフロー環気システムのような計画換気システムを、戸

建住宅へ適用する場合、集合住宅向けの場合に対して、以下の点を考慮する必要がある。

(1) 自然給気口からの外気給気量

同一αA'の気密性能の住宅であっても、床面積の増大に伴って住宅全体の隙間に相当する面積が増大するため、自然給気ユニット等の自然給気口からの給気よりも、隙間からの外気漏入が次第に支配的になる。また2階建て、3階建てのような住宅になると、浮力による空気の流れで各室からの給気量の不均衡を生じるなど、計画換気上の問題が懸念される。

(2) 天井裏スペースの縮小化への対応

最近の戸建住宅では、住宅の低コスト化のため、天井裏スペースを縮小化する傾向にある。したがって、サニタリ換気ユニットを天井裏に取り付けて各部屋へダクト配管を行うシステムでは、施工が困難となる。戸建住宅では各々の部屋が屋外に面していることが多く、直接壁穴を設けて設置する施工が現実的でもある。

このような点から、戸建住宅向けのエアフロー環気システムの形態として、各居室へ強制給気ユニットで外気を給気し、浴室、洗面所、トイレの壁に取り付けた排気パイプ用ファンでサニタリから排気する方式を採用した。排気パイプ用ファンはすべてシステムコントローラで制御する(図2)。集合住宅向けシステムの3部屋用中間取付け形ダクト用換気扇(サニタリ換気ユニット)の機能をシステムコントローラで制御された3台(又は4台)の排気パイプ用ファンで置き換えたものとなっている(図3)。

4.2 システムの特長

戸建住宅向けシステムの特長は以下のとおりである。

(1) 省施工

このシステムは、すべての換気扇をパイプ用ファンで構成するのでダクト配管が不要となり、取付けは壁に直径100mmのスリーブを設けるだけでよく、戸建住宅における施工コストの削減が可能である。

(2) 省エネルギー

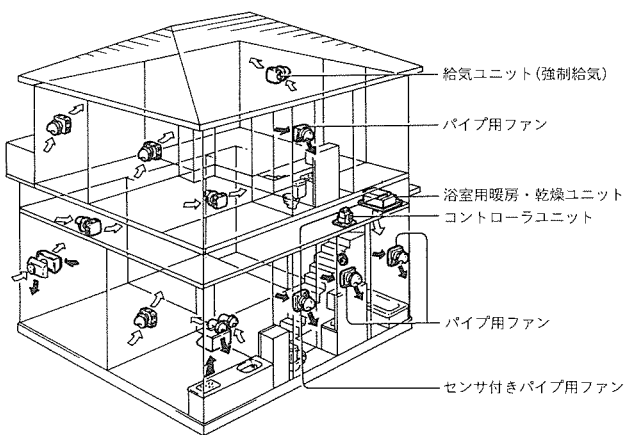


図2. 戸建住宅向けエアフロー換気システムの構成

4 LDKの住宅を想定してこのシステムを強制給気ユニット6台、排気パイプ用ファン4台で運転した場合、常時換気時(排気風量20m³/hに設定)の消費電力は19.2W/19.8W(50Hz/60Hz)と低消費電力である。また、エアフロー環気システムの特長である定風量コントロールによって必要以上の換気を行わないので、換気による空調負荷も最小限にできる。

(3) 低コスト

パイプ用ファンによる構成でダクト配管が省略でき、システム全体のコストを抑えられる。

4.3 システム制御

常時換気時、システムコントローラがサニタリからの排気を一定小風量に制御する。また使用者の要求に応じてワイヤレスリモコンで操作し、浴室と洗面所を個別に風量アップし、実使用に合わせた排気運転への変更も可能である。さらに、システムコントローラは、浴室暖房・乾燥ユニット(電気式)との連動で、浴室の予備暖房及び浴室を利用した衣類乾燥の機能を提供できる。

サニタリの常時排気風量制御は、トイレ用のファンに取り付けたオリフィスの前後の差圧を微差圧センサで電圧に変換し、そのセンサ出力電圧をコントローラのマイコンが設定風量時の値と比較し、通電率制御回路でファンモータに印加する電源電圧を変化させて行う(図4)。

各居室への外気給気は、強制給気ユニットによって計画的に行う。強制給気ユニットが、内蔵した外気清浄フィルタ(10μmの細かなホコリを82%(重量法で)除去する。)を通過した新鮮空気を常時室内へ供給する。

5. 戸建住宅向けシステムの実住宅における実証試験

5.1 試験概要

5.1.1 試験対象

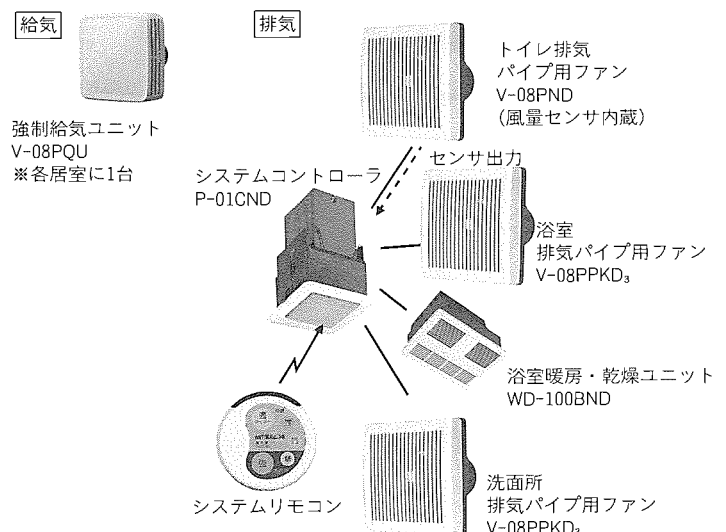


図3. システム構成部材

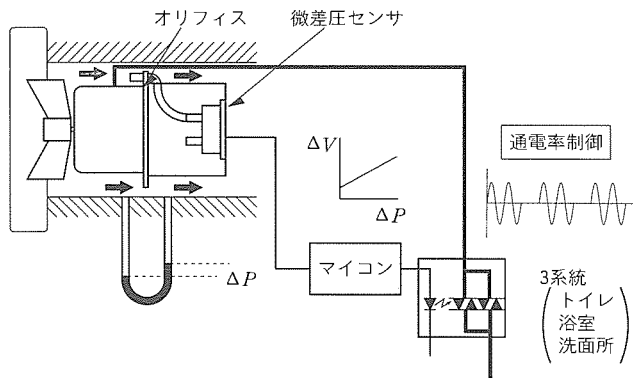


図4. 定風量制御機構

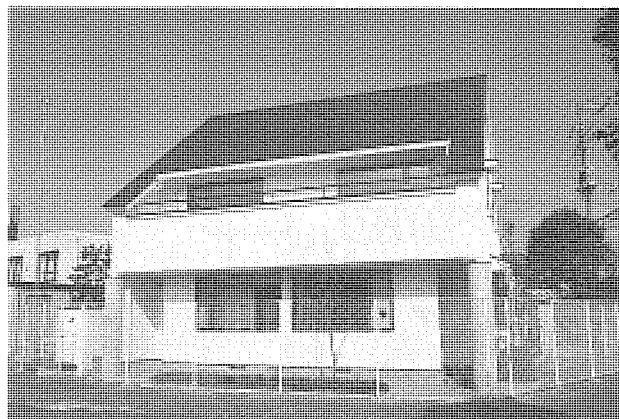


図5. 試験住宅の外観

このシステムの試作機による戸建住宅での実証試験を、当社環境研究開発センターに設置されている高気密・高断熱木造2×4住宅(図5: 総2階建て, 4LDK, 延床面積155.67m²)で行った。この実験住宅の断熱性能は1.91 kcal/h・m²・°Cである。システムは、強制給気ユニット6台、排気パイプ用ファン4台(うち1階トイレ用1台はセンサユニット付き)、自然給気タイプの同時給排形レンジフードファンで構成した。

5.1.2 試験項目

このシステムの実証試験前に、まずシステムを住宅に施工した後の住宅の気密性能を測定し、その後、次のシステム評価試験を行った。

- 換気システム各部の給排気風量
- システム運転時の騒音及び消費電力
- 常時換気時の室内の温度分布、室温変化
- 常時換気時の暖房負荷

5.1.3 試験条件

試験は11月下旬から12月上旬にかけて行い、換気試験時の室内外温度差が約10°C(暖房負荷、温度分布測定時は

表1. 戸建住宅向けシステム用換気扇一般特性

機種名	消費電力(W)	風量(m ³ /h)	騒音(dB)
V-08PQU	2.2/2.3	23.5/27.5	27.5/29.5
V-08PND*	3.9/3.7	30.0	30.5
V-08PPKD ₃	3.2/3.4	81.0/93.0	31.0/34.0

注 *システムコントローラP-01CNDの消費電力2.4Wを含む。

約15°C)となるよう、各部屋に設けた電子サーモ付き電気温風器(0.8kW又は1kW)で室温調節を行った。2階南側の部屋は日差しを遮へい(蔽)し、日中の日差しによる温度上昇を抑えるようにした。サニタリの排気風量は、各部屋30m³/hになるように設定した(電源電圧100V/50Hz)。

5.2 試験方法及び試験結果

5.2.1 試験住宅の気密性能

このシステム施工後の試験対象の住宅の気密性能を知るために、住宅気密測定器による気密測定を行った。結果を表2に示す。測定は、室内の圧力を減少して住宅の隙間からの外気漏入量から気密性能を求める減圧法で行った。この結果、換気扇施工後の建物本体の $\alpha A'$ が2.46cm²/m²、換気扇の開口を含めた $\alpha A'$ は3.26cm²/m²という気密性能であった。

5.2.2 換気システム各部の給排気風量と室内外差圧

図6は通常の常時換気時の風量、図7は常時換気時にレンジフードファンを強運転した場合の風量の測定結果を示す。また、図8には、給気側の強制給気ユニットを停止し、排気パイプ用ファンを運転した場合の風量及び1階、2階の各室内外差圧の測定結果を示す。負値は排気を意味する。

図6の場合、常時換気運転時に各部屋で20~25m³/h程度の給気風量を確保しており、強制給気ユニットが確実に外気を給気している。住宅全体で見た外気給気量は平均で137.6m³/hとなり、これを試験住宅の室容積380m³で割ると、換気回数(=換気量/室容積)は0.36回/h程度を

表2. 試験住宅の気密性能

	換気扇 テーピング	レンジ フード シャッタ	給気 ユニット シャッタ	隙間特性値 ⁿ	隙間相当 面積 αA (cm ² /m ²)	単位面積当たり 隙間相当面積 $\alpha A'$ (cm ² /m ²)
本体施工前	—	—	—	1.39	324.3	2.08
本体 施工 後	換気扇テーピング	○	テーピング	1.53	382.5	2.46
	テーピングなし、 給気ユニットのみ開	×	閉	1.62	507.8	3.26

(注) 天候 曇り、外気温 11.1°C

常時換気運転時の換気風量(単位 m^3/h)

気温13.5℃

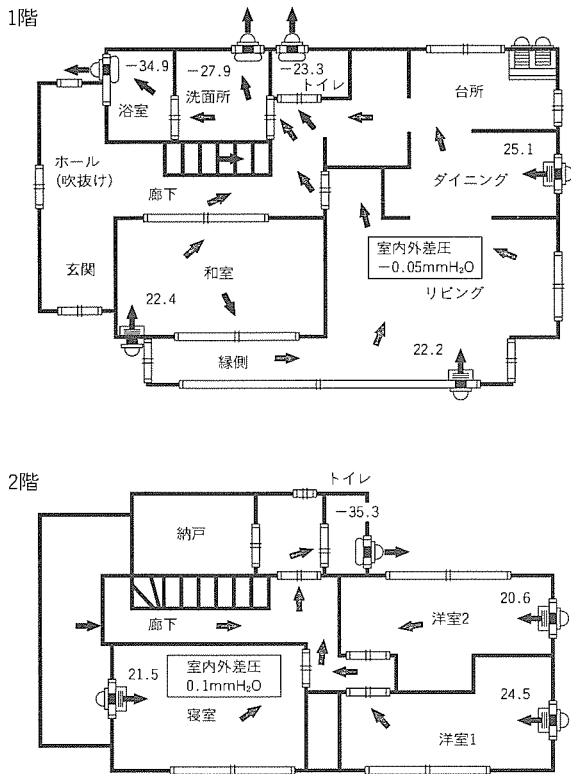


図6. エアフロー環気システム標準運転時の各部の風量

排気パイプ用ファンのみ運転時の換気風量(単位 m^3/h)

気温13.5℃

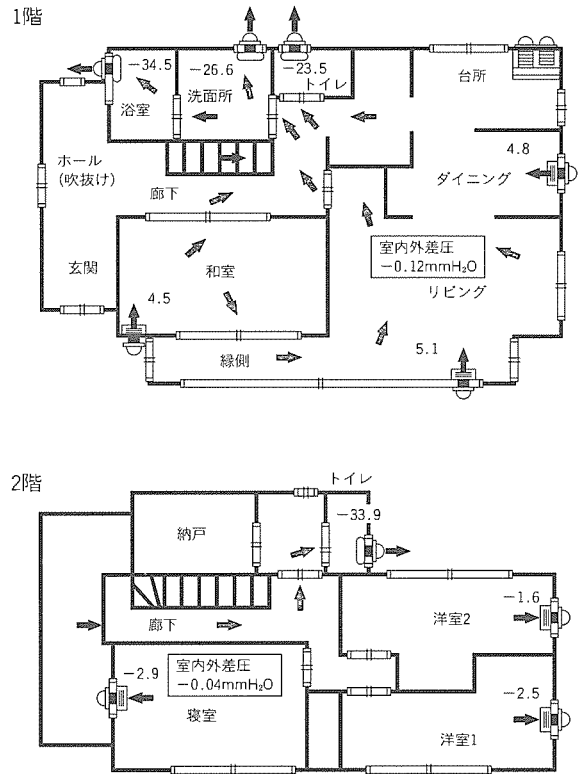


図8. 排気パイプ用ファンのみを運転した場合の各部の風量

レンジフードファン運転時の換気風量(単位 m^3/h)

気温13.5℃

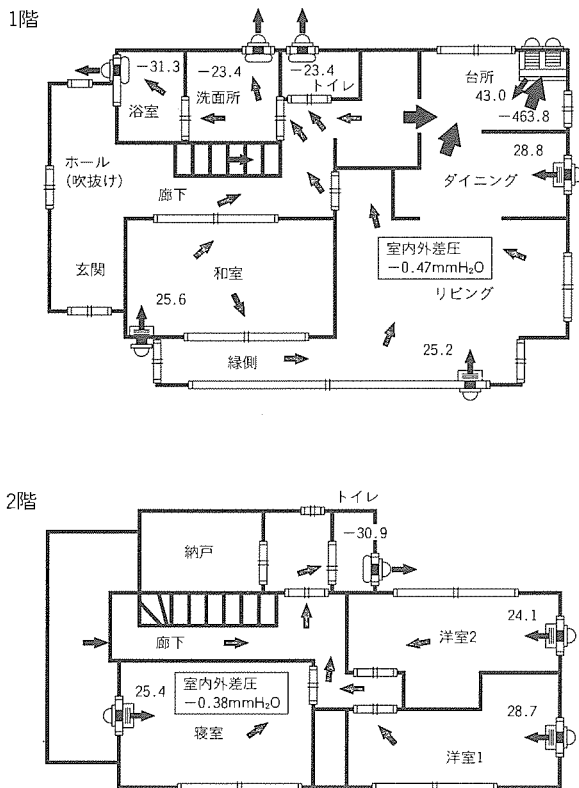


図7. レンジフードファンを強運転させた場合の各部の風量

確保していることが分かる。

図7の場合、レンジフード運転時に排気パイプ用ファンの排気風量が室内負圧にかかわらず安定していることが分かる。

図8の強制給気ユニットを停止させて自然給気口とした場合、1階に設置されたユニットからは給気、2階に設置されたユニットからは排気傾向の風の流れが確認できた。また、サニタリから排気される空気ほとんどが住宅の隙間からの漏入で賄われており、これらのことから、自然給気による方法では給気経路が不明確となって計画的な給気が行われなると言える。

2階建ての戸建住宅では、室内空気が暖められると浮力によって空気が上昇するため、それによって住宅内の室内外差圧の分布に差が生じ、1階の隙間や給気口から外気が漏入し、2階の隙間や給気口から室内空気が漏出する自然の流れができる⁽³⁾。したがって、自然給気方式では給気が非常に不安定となるため、戸建住宅における給気として強制給気ユニットのような給気専用ファンを設けることが最も効率的な方法と言える。

5.2.3 システム運転時の運転音及び消費電力

各換気扇実取付け時のシステム全体の消費電力、及び各運転時の換気扇正面斜め下45度下方1mにおける運転音を測定した。表3にその結果を示す。居室に取り付けた強制給気ユニットの常時換気時の運転音は、最大でも33.2 dBで、

表 3. システムの運転音と消費電力

単位：各部の運転音(dB(A)), システム消費電力(W)

	浴室	洗面所	1階トイレ	2階トイレ	ダイニング	リビング	和室	2階寝室	2階洋室1	2階洋室2	消費電力
常時換気のみ	36.2	35.5	35.1	38.0	35.1	30.2	33.0	31.5	33.2	32.2	24.3
レンジフード強	43.4	43.6	40.2	41.4	*46.1	*40.2	34.4	31.4	34.1	32.4	26.8

(注) 100V, 50Hz運転時。暗騒音27.5dB以下。*は台所レンジフードの運転音の影響があると思われる。

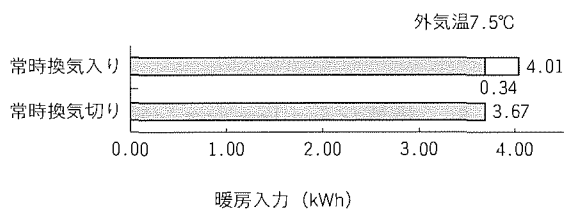
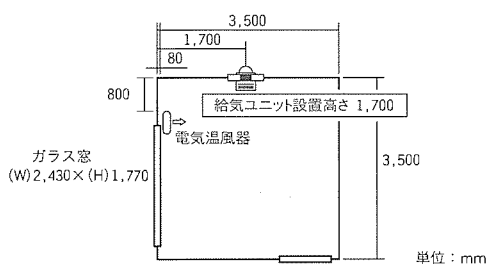
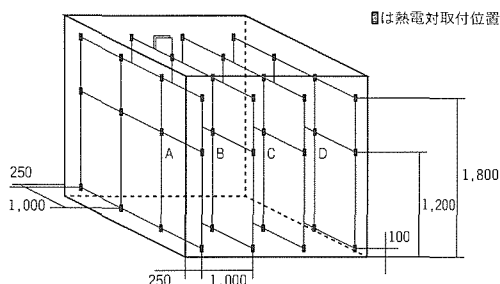


図 9. 常時換気による暖房負荷

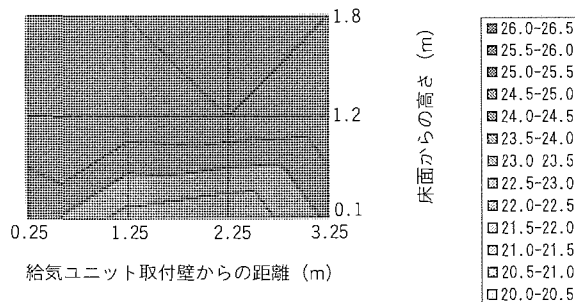


(a) 寝室平面図

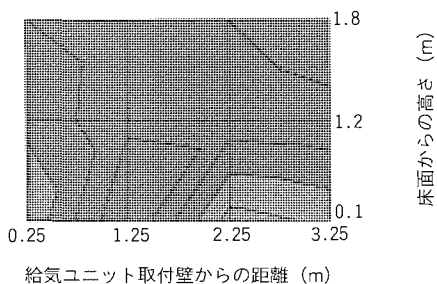


(b) 温度分布測定面

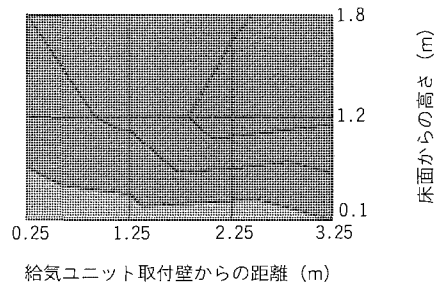
図10. 室内温度分布測定点



(a) A面



(b) B面



(c) C面

図11. 給気時の室内温度分布(暖房時)

通常の生活では気にならないレベルである。排気パイプ用ファンも入力を抑えて運転しているので、運転音も抑えられている。

常時換気時の消費電力は、合計 10 台の換気扇を運転しても 24.3 W と少ない。

5.2.4 常時換気による暖房負荷

換気による空調負荷への影響を知るため、常時換気時の暖房負荷を測定した(図 9)。このとき、室内空気を常に扇風機でかくはんし、部屋の中央での温度を 25°C に保った。暖房負荷は強制給気を行う各部屋に設置した電気温風器とかくはん用扇風機の消費電力の積算値とした。

常時換気運転した場合は、運転しない場合(自然換気のみ)に比べて、住宅全体の暖房負荷が図のように 9%程度増

加した(外気温 7.5°C)。常時換気を行った場合の住宅全体の暖房負荷は、1時間当たり 4 kWh 程度であった。

5.2.5 常時換気時の室内の温度分布、室温変化

特に冬期の給気系の室内温熱環境への影響を確認するため、常時換気時の室内温度分布(夜間の暖房時)を測定した。代表として 2 階寝室に 1m 間隔で縦方向 4×横方向 4×高さ方向 3 の計 48 点に熱電対を設けた(図 10)。暖房時の強制給気ユニット取付面に対して垂直な A, B, C 面における温度分布を図 11 に示す。このとき室温は部屋の中央で 25°C となるように設定し、室内空気のかくはんは止めた。給気ユニットに近い B, C 面には、給気の影響と思われる設定温度よりも 1~2°C 低温な領域が現れている。B 面の方は、電気温風器の温風で外気の給気による冷気の拡散が抑えられてい

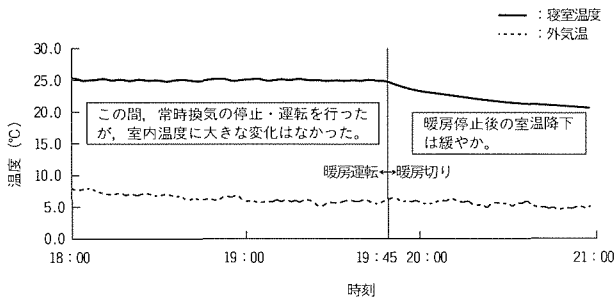


図12. 常時換気運転時の室温

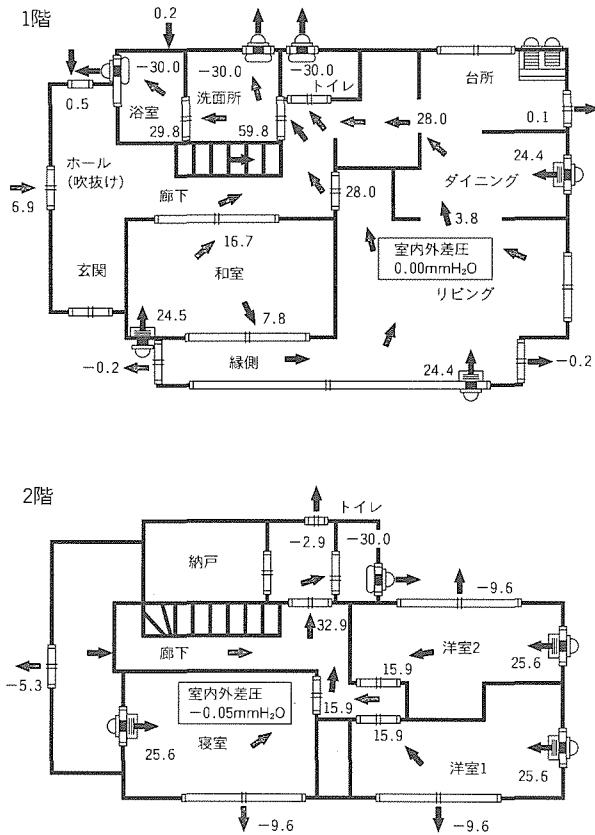


図13. 戸建住宅における換気シミュレーション例

の様子分かる。A面の床面付近には、ガラス窓からの放熱による低温部分が現れている。

図12に温度分布試験時の外気温、及び寝室中央のグローブ球(床面からの高さ1.1m)の温度(室温)を示す。常時換気の運転による室内温度の急激な変化は見られず、暖房停止後の室温の下降も緩やかであることから、常時換気による熱ロス住宅自体の熱容量に比べるとかなり小さいことが分かる。

5.2.6 実験結果のまとめ

以上、実住宅における戸建住宅向けエアフロー環気システムの実証試験を行った。システム自体の基本機能の確認と同時に、以下のことが分かった。

- 高気密・高断熱戸建住宅向け計画換気システムでは、強制給気機能を設けることが重要である。
- 必要最小限の風量で換気を行うことで、室内温熱環境へ与える影響は少ない。

6. 換気シミュレーション結果

換気回路網計算による換気シミュレーションプログラムを用い、今回試験を行った戸建住宅をモデルに常時換気時の換気シミュレーションをEWS上で行った。ただし、条件として室内外の温度は均一、外風はないものとし、室内外1階と2階の浮力による圧力差を試験結果を基に0.12 mmHgに設定した。図13にその結果を示す。

これまでは、戸建住宅における換気性状の実測データがなく、シミュレーションモデルに階高による圧力差等のパラメータを正確に盛り込めなかったが、これらを考慮することで、シミュレーションでも実測(図6)に近い結果が確認できた。

7. むすび

高気密化傾向が高まる戸建住宅に対応した“エアフロー環気システム”について、試験結果を主に述べた。試験結果及び換気シミュレーションからも、このシステムが温暖地域の高気密・高断熱住宅においてさほど室内温熱環境に影響を及ぼさず、しかも効果的に計画換気が行えるシステムであることを確認した。

今後とも高気密住宅に不可欠な換気について改善を重ね、新しい機能の検討等を行うことで、より一層快適な住環境の提供を追求していきたい。

参考文献

- (1) 佐藤成人, 大嶋兼芳, 原 茂夫: 都市型住宅用サニタリー・リビング換気システム, 三菱電機技報, 68, No.5, 440~446 (1994)
- (2) 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)
- (3) 石原正雄: 換気設計, 朝倉書店 (1969)
- (4) 空気調和・衛生工学会編: 空気調和・衛生工学便覧(第12版), 丸善 (1995)

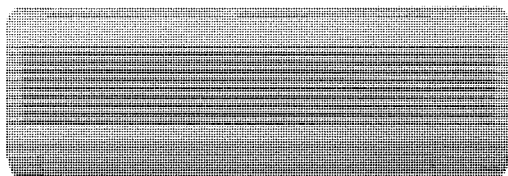
省エネルギーエアコン “霧ヶ峰”FXシリーズ

古橋 淳* 大蔦勝久**
鹿嶋美津夫* 青嶋成明***
望月昌二*

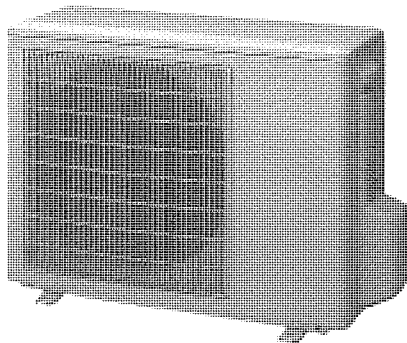
1. ま え が き

ルームエアコンの現在の技術動向は、消費者の商品に対するここ数年来の最大ニーズである省エネルギーの推進に重点が置かれ、各社は、省エネルギー機の製品開発と技術開発競争にしのぎを削っている状況にある。三菱電機(株)は95シーズン年度(昨シーズン年度)にエアコンの本質機能である“省エネルギー”と“快適性”の改善をコンセプトにしたFXシリーズを商品化し、年間電気代で対前年度比約35%の低減とともに、ワイド気流による足元暖房性能の改善も他社にない視点として市場の評価を得た。

消費者の意識は“適切な価格で納得のいく本物商品”を求めており、昨シーズンの商品コンセプトはこれにうまく合致したと言える。このような視点から、96シーズン年度(本シーズン年度)に向けて省エネルギーの更なる推進とともに、消費者の要望の多い“冷え過ぎない冷房・ドライ”という健康空調への展開、ヒートポンプエアコンの弱点である暖房パワーの改善に注力することにより、省エネルギー(Minimum)・健康(Vivid)・パワー(Power)の三つの本質機能改善を柱とする“ワイド&省”新FXシリーズ(図1)を商品



(a) 室内機



(b) 室外機

図1. “ワイド&省”FXシリーズ

化した。

2. 導入技術アイテム

以下に、導入技術アイテムを開発コンセプト別に述べる。

(1) 省エネルギー (Minimum)

室内機は、図2に示すように、逆V形熱交換器にプレミアム熱交換器を搭載して伝熱面積を前年比1.3倍まで広げ、新形状スリットフィンを採用して熱交換性能の改善を図った。

室外機は、図3に示すように、圧縮機の運転効率を最適化する2レベルコンバータを搭載し、また、冷凍サイクルにおいても最適冷媒流量コントロールを行うために電子膨張弁を採用し、全運転条件で高効率運転を可能とした。さらに、新形状ストレイク型プロペラファンによる大風量化、室内・室外ファンモータに高効率なDCブラシレスモータの採用などによって、年間電気代で昨年度比15%を削減し、2.8kWクラスで、32,300円と業界No.1を達成した。

(2) 健康 (Vivid)

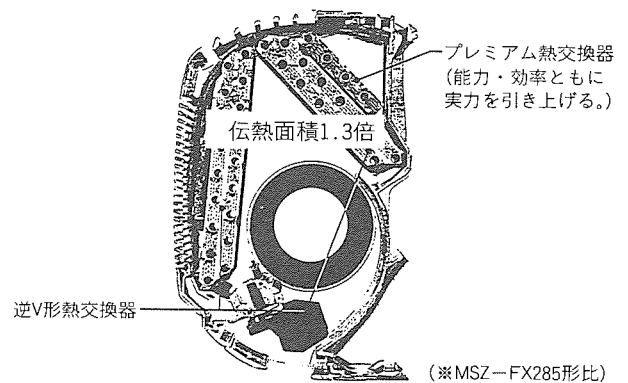


図2. 室内機の断面図

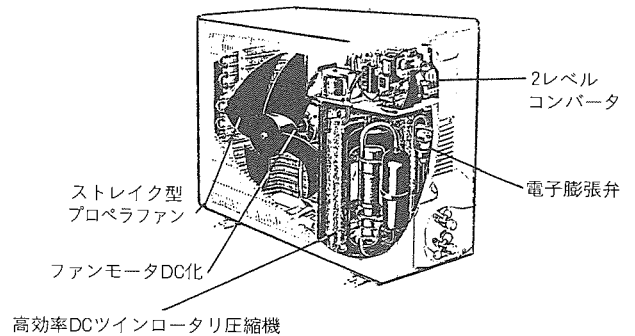


図3. 室外機の透視図

“冷え過ぎ感の少ない健康的な空調”の要求に対しては、室内機の吹出し風向を上吹き 5°の角度に設定し、居住空間にいる人の体に直接風を当てない、寒く感じないドライ運転を実現した。前述の省エネルギー技術の採用など、少ない電気代でより多くの湿気を取ることに注力し、除湿量 560 cc/h、除湿効率 3.29 (除湿効率とは 1 W で取れる除湿量を示し、次の式で表せる。除湿効率=1時間当たりの除湿量÷消費電力)と、共に業界 No.1 を達成した。

(3) パワー (Power)

サイクリックロスフローファン (以下、クロスフローファンを“ラインフローファン”という。)や吸音プラスチックの採用によって大風量を実現し、前述の省エネルギー技術の採用と併せて、低温暖房能力業界 No.1 の 4.5 kW を達成した。

本稿では、これら技術アイテムの中から、前記の開発コンセプト別に主力技術を述べる。

3. 省エネルギー (Minimum)

省エネルギーとしては、年間電気代に換算して 95 シーズン年度品比約 15% の低減をし、業界 No.1 を達成した。本稿では、この改善に大きく寄与した“2レベルコンバータ”について紹介する。

2レベルコンバータとは、100 V 系のインバータ機種で使用されている倍電圧整流回路を全波整流回路にも切り換えられるようにして、コンプレッサの高回転領域では従来どおりの倍電圧整流 (DC 280 V) でインバータを制御し、中～低回転領域では全波整流 (DC 140 V) で制御するようにしたものである (図 4)。このように、実使用上よく使われるコンプレッサの中～低回転領域を全波整流でインバータを制御することによって下記(1)～(4)の効果が得られ、年間電気代を低減している。

(1) インバータの発生トルクリプル低減による効率改善

図 5(b)に示すように、全波整流にすることによってモータ駆動電流のリプルが減り、モータの効率改善が図られる。

(2) コンプレッサ用モータとして使用されている直流ブラ

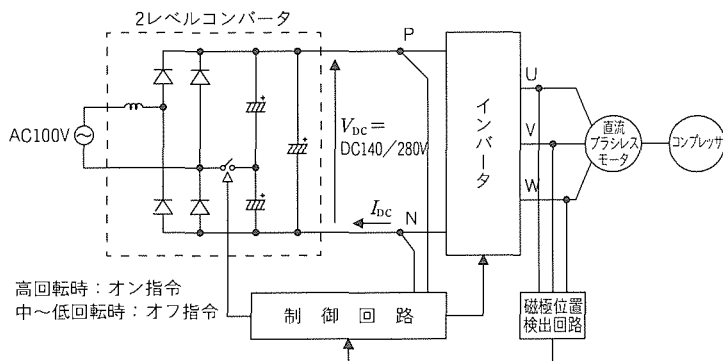
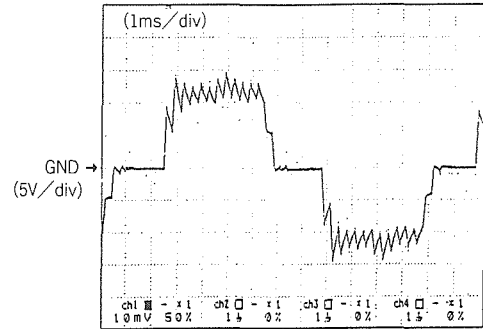


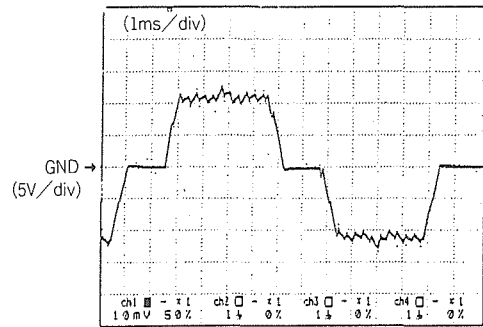
図 4. 2レベルコンバータ

シレスモータの磁極位置検出精度向上による制御性改善
図 6(b)に示すように、全波整流にすることによってデューティが倍電圧整流時の倍になり、磁極位置の検出精度を向上している。

(3) インバータの PWM 制御によるスイッチング損失の低

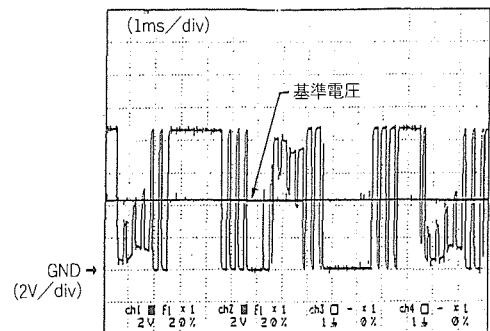


(a) 倍電圧整流

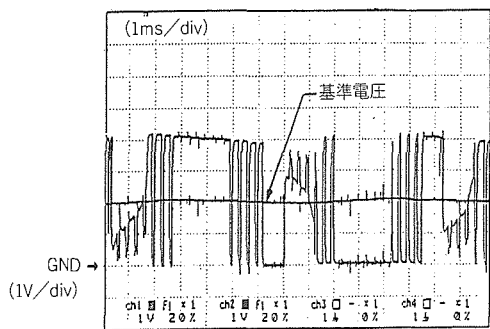


(b) 全波整流

図 5. モータ駆動電流波形(40Hz時)



(a) 倍電圧整流



(b) 全波整流

図 6. 端子電圧波形(分圧後)(40Hz時)

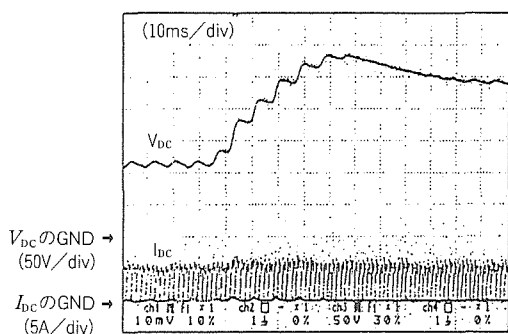


図7. 全波整流→倍電圧整流切換え時の各部波形

減

(4) コンプレッサ用モータに発生する渦電流損失の低減

また、全波整流でインバータを動作させることによって漏れ電流(洩)電流を倍電圧整流時のほぼ半分に抑えることができ、安全面でも有利に働いている。全波整流と倍電圧整流の切換えは本年度から採用したインバータ回路の非絶縁化(母線電圧の負極側とマイコン系のGND側を共通化)により、直接母線電圧値を高速フィードバックしてインバータをPWM制御することで実現している(図7)。

4. 健康 (Vivid)

ドライ運転時は体に直接風を当てない、寒く感じないドライを実現するために、95シーズン年度品までの水平から下吹きに約14°であった実運転時の吹出し口直後の風向を、水平から上吹きに約5°にする必要があった。本稿では、この“上向き気流5°”の開発について述べる。

冷房・ドライ運転に対する大きな課題の一つに、消費者の要望で“冷え過ぎ感の少ない冷房・ドライを”という点がある。この開発ではこのうちのドライ運転時に注目した。冷え過ぎないドライの一般的な方法は、弱い冷房運転を行い、顕熱及び潜熱の変化を利用して除湿をし、顕熱変化による温度低下をヒータで再加熱して抑え込むというものである。しかしこの方法では、前述した“少ない電気代”という考え方に反するため、今回開発の製品では、別方法のドライ運転技術を開発した。

4.1 新ドライ運転技術(風よけドライ)

この開発では、吹出し気流制御の結果、実際の空間の快適性が居住している人間からみるとどのようになっているのか、環境実験室“霧ヶ峰体感ラボ”でサーマルマネキン(人間では感覚でしか分からない気流感などの快適感覚を皮膚温度という数値データとして定量的に計測・評価できるセンサーマネキン。)を使用して実施した。

図8(a)はこの環境実験室における96シーズン年度品の実運転時(ドライ運転時)垂直断面の温度分布とサーマルマネキン皮膚上の温度分布を示す実験結果で、(b)は95シーズン年度品の同様の実験結果である。実験条件は、室外温度

24°C、室外湿度80%、運転はドライ運転モードとして行った。前述のように上下風向は、96シーズン年度品が上吹き5°、95シーズン年度品が下吹き14°である。直接風がサーマルマネキンに当たっていない96シーズン年度品と、当たっている95シーズン年度品のサーマルマネキン平均皮膚温度と室内平均温度の関係を見ると、室内平均温度は双方とも同一であるにもかかわらず、平均皮膚温度は96シーズン年度品の方が約1.4°C高い。さらに皮膚上の温度分布を比較すると、96シーズン年度品はほぼ均一になっているが、95シーズン年度品は最大約5°C近く差があることが分かる。これらの結果より、明らかに96シーズン年度品の方が、冷え過ぎ感の少ない健康なドライ運転を達成できていると判断できる。上記のように冷やされた空気を再加熱して温度を上げなくても、吹き出される気流が居住している人間を避ける(上下方向吹出し角度を上吹きにして避ける。)ように流れれば、冷え過ぎ感の少ない健康なドライ運転が可能となることが分かる。この風向に大きく寄与する要素は、上下ベーン形状と風路形態(ケーシング形状を含め、要素部品の位置関係など)である。この開発では、特に後者におけるラインフローファンと熱交換器の位置関係について初めて流れ解析シミュレーションを実施し、風向を机上検討予測をして決定した。

4.2 解析

使用したソフトウェアは、STAR-CD Ver 2.3である。解析方法及び解析条件と境界条件は、以下に示す内容⁽¹⁾で行った。

(1) 解析モデル

図9は96シーズン年度仕様(a)と95シーズン年度仕様(b)の解析モデルの計算格子全体図を示している。領域を熱交換器から吹出し口までとし、二次元(ラインフローファン軸方向は単位厚さと考え、格子は一層とした。)解析とした。領域内は静止している計算格子(熱交換器、風路、吹出し口)と回転する計算格子(ラインフローファンの翼列部(羽根部)及び内部)の2領域で構成され、後者はラインフローファンと同期して回転運動する。解析モデル全体の計算格子数は約26,000、回転部の計算格子数は約23,000である。

(2) 解析方法

上述したように、ラインフローファン部分を実際回転させながら解析するスライディングメッシュ方法を採用した。この方法は、静止している計算格子と回転する計算格子の間で質量保存則と運動量保存則が成立するように、移動座標系における座標変換マトリックス行列式などを導入し、以下に示す式(1)、式(2)⁽²⁾のような基礎方程式を使用している。

$$1/\sqrt{g} \times \partial(\sqrt{g}P)/\partial t + \partial(\rho u_i)/\partial X_i = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$1/\sqrt{g} \times \partial(\sqrt{g} \rho u_i)/\partial t + \partial(\rho u_j u_i + \tau_{ij})/\partial X_j = \partial P/\partial X_i + S_i \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 ρ : 密度 (kg/m³)
 P : 圧力 (Pa)

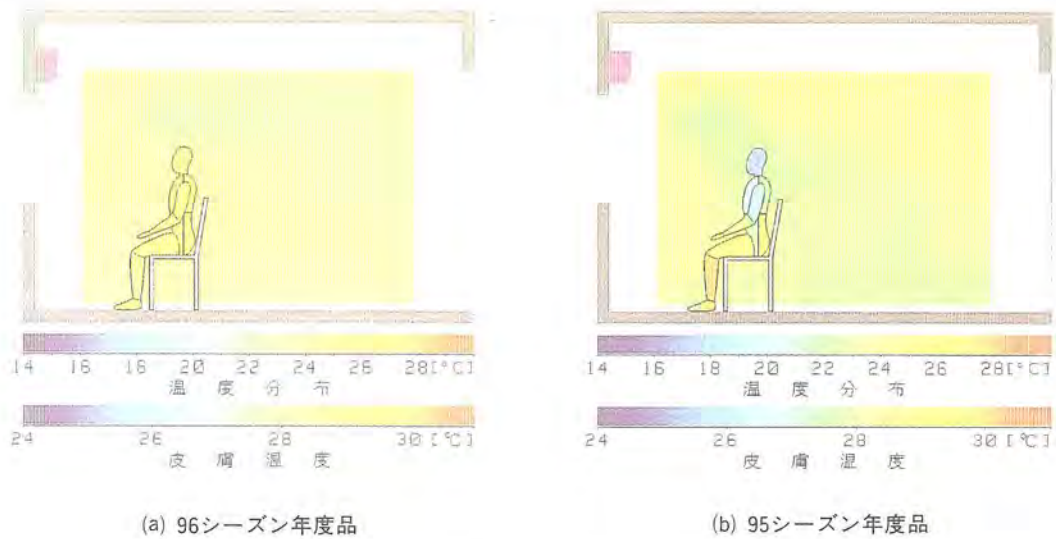


図8. 室内断面温度分布とサーマルマネキン皮膚温度分布

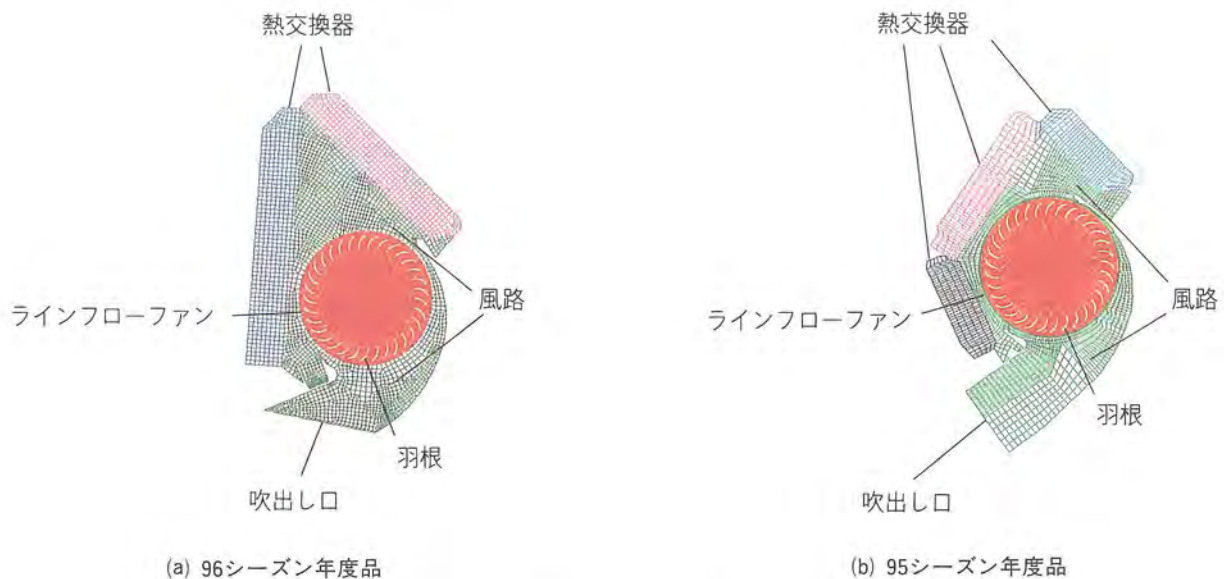


図9. 解析モデルの計算格子全体図

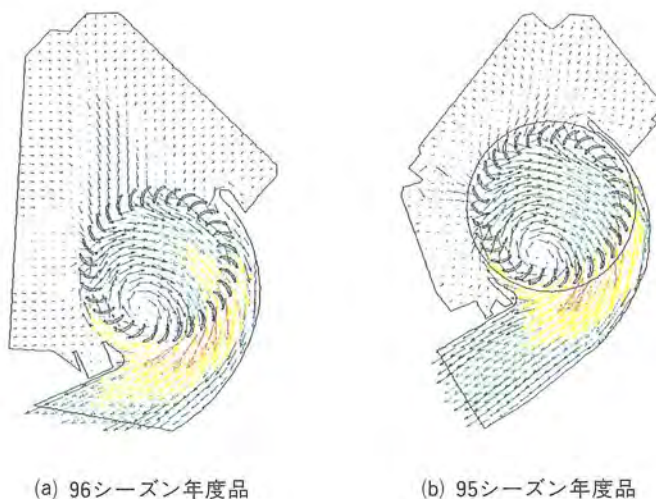


図10. 解析結果(絶対速度ベクトル図)

- t : 時間 (s)
- X_i : デカルト座標系 ($i=1, 2, 3$)
- u_i : x_i 方向絶対速度成分 (m/s)
- u_j : 速度 u_j で動く移動座標系との相対速度 (m/s)
- τ_{ij} : 応力テンソル成分
- S_i : 運動量ソース項
- \sqrt{g} : 移動座標系における座標返還マトリックス行列式

(3) 解析条件

ラインフローファンの流れの挙動を過渡的に解析する非定常解析とし、解析時間間隔はスライディングメッシュ境界上の計算格子数とラインフローファンの計算回転数から決定した。また乱流モデルは、一般的な $K-\epsilon$ モデルを採用した。

(4) 境界条件

吸込み口，吹出し口の圧力は共に大気圧に設定した。また，熱交換器の圧損は，通過する流速の二次関数として近似した実験式を用いた。

4.3 仕様検討結果（解析結果）

図10はそれぞれの解析結果の絶対速度ベクトル図を，図11は吹出しノズル内縦方向の速度分布を示している。96シーズン年度仕様のように，ユニットに対するラインフローファンの位置を下方に配置し，さらに熱交換器形状を従来のラムダ形から逆V形にすることにより，送風性能を低下させずに吹出しノズル内の風速分布が正面吹出し（ノズル内主流が上部に移動する。）になるように変更可能と予測できた。

図12(a)は環境実験室（霧ヶ峰体感ラボ）における96シーズン年度品の実運転時（ドライ運転時）垂直断面の温度分布を示す実験結果，(b)は95シーズン年度品での同様の実験結果である。実験条件は，室外温度24℃，室外湿度80%，運転はドライ運転モードとして行った。温度の比較的低い21～22℃の部分が，昨年度品では居住空間に存在する一方，96シーズン年度品では上方に移動して居住空間に存在しなくなっていることが分かる。

今回，シミュレーションを利用して吹出し主流を最適化する要素部品の配置を検討するとともに，上下ベーン形状を実験的に最適化することにより，直接風を体に当てない寒く感じないドライ運転が可能となった。

5. パワー（Power）

パワーアップに関しては，低温暖房能力業界 No.1の4.5 kWを達成した。今回の低温暖房能力改善方法には，前述の室内熱交換器の大型化や，ストレイク形プロペラファンによる室外送風量アップ，室内送風性能改善が寄与している。本稿では，特に室内機の送風性能の改善に寄与したサイクリックラインフローファンの開発について述べる。

ルームエアコン室内機に使用されている送風機を含め，送風機の低騒音化を図るには，Sharland⁽⁹⁾によれば，一般的に，同一風量を得るためにファン回転数を低くできれば可能

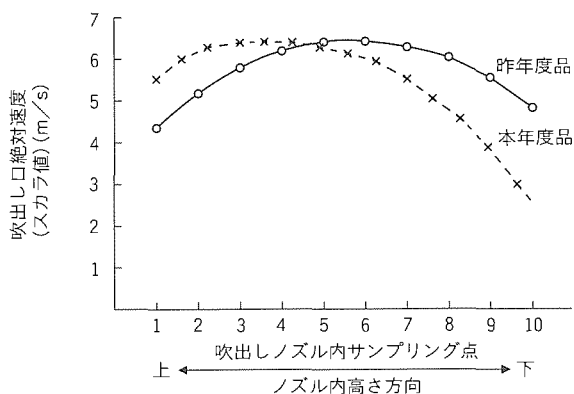


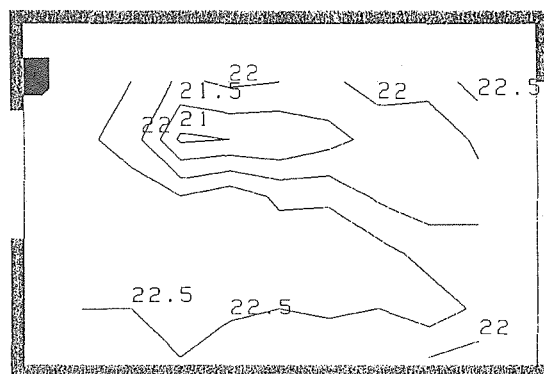
図11. 吹出しノズル内の速度分布図

という。すなわち，翼（羽根）負荷の増大に伴って騒音の相関面積が増大しても，騒音に対してより大きく効く翼（羽根）面上の流体の相対速度を低下できるためである。これを実現するために，通常は，スタビライザとラインフローファンの距離を狭める方向の検討を行う。しかしこの結果，ラインフローファンの回転と同期して発生する回転音が，騒音のオーバオール値に対しピーク値として顕著化してくる。これを回避するために，ランダムピッチ形ラインフローファンの導入が不可欠となる。

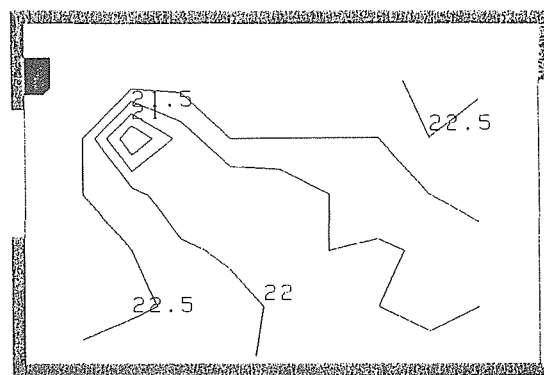
5.1 サイクリックラインフローファンの考え方

上記ランダムピッチ形ラインフローファンの代表的な形状の考え方は，“羽根の取付け間隔が周期性を持たず乱数的に配置される”というものである。今回新たに開発したサイクリックラインフローファンは，この考え方を更に一歩進め，羽根の取付け位置を基準羽根をスタートに，隣の羽根との間隔角度をサイン曲線の振幅変化に対応するように（サイクリックに）配置するというものである。考え方の概念を図13に示す。羽根の位置を従来の均等間隔に配置された場合の位置を基準としてどれだけ変更するか，サイン曲線の振幅・周期とどのような関係にあるかを示している（それぞれ，AはA同士，BはB同士という具合に対応する。）。

今回の開発品は，ラインフローファンの外周を一周する間に2周期のサイン曲線を存在させ，最適な変調を周波数に

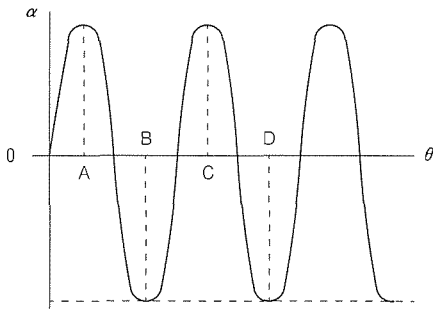


(a) 96シーズン年度品

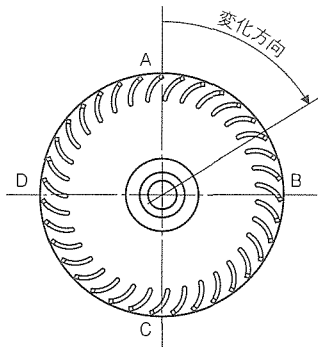


(b) 95シーズン年度品

図12. 温度分布図

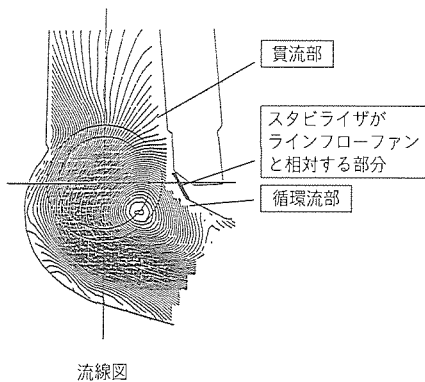


(a) サイン曲線



(b) サイクリックラインフローファン断面図

図13. 羽根位置とサイン曲線の相関図



流線図

図14. ラインフローファン内部の流れ

かけるように形状を決定したことにより、騒音のピーク値を分散させて絶対値を低減できたと同時に機械的バランスをとることも可能となった。

5.2 形状・仕様検討

設計に際しては、4章で述べたラインフローファンと熱交換器の位置関係の仕様決定と同様にシミュレーションを実施し、事前に机上検討を行った上で、実機検討を実施した。

シミュレーションにおける解析方法及び解析条件は、以下に示す内容で行った。

(1) 解析方法

スタビライザ周りの流れとラインフローファンの干渉によって発生する回転音に注目するため、この流れとラインフローファンの羽根とが相互作用し、流れの相対迎え角の変動によって回転音が発生するという仮定でモデル化・解析を行っ

た。

解析に使用する基礎方程式は、Sharlandによって示された理論で提唱されている式(3)⁽³⁾とした。

$$E = \rho_0 / (48 \pi a_0^3) \times \int_{\text{span}} C W^4 S [\partial C_L / \partial t]^2 dy \quad \dots(3)$$

ここで、 E : 騒音の全放射エネルギー (J/s)

ρ_0 : 空気密度 (kg/s)

a_0 : 音速 (m/s)

W : 翼(羽根)面上の相対速度 (m/s)

S : 騒音の相関面積 (m²)

C : 翼(羽根)弦長 (m)

y : 翼(羽根)スパン方向座標

C_L : 揚力係数

[] : 翼(羽根)弦長方向平均

揚力係数 C_L の時間変化は相対迎え角の時間変化で表せるため、この角度の時間変動を解析条件にして以下のようにモデル化し、回転音の放射エネルギーを計算した。

ラインフローファンの流れは、一般的に、スタビライザ付近に循環流部が、その周りに貫流部が形成される(図14)。

この図から分かるように、ラインフローファンの吸込み側流れにおけるスタビライザ付近の流れは、循環流部の中心から貫流部までの部分でファンへ流れ込む方向(絶対流入角度)が大きく変化している。すなわち回転する羽根1枚に注目した場合、相対迎え角の時間的変動が大きいと思われる。これより、流れ場の時間変動の大きい部分をこのスタビライザ付近と定義し、以下の式を導入する。

流れ場の時間変動の開始時間から i 時間後で、かつ全羽根枚数の中の k 番目の羽根の迎え角 $\beta_1(i, k)$ を、

$$\beta_1(i, k) = \cos^{-1}(C_a(i, k)/u) \quad \dots(4)$$

とする。ここで、

$C_a(i, k)$: 時間変動している流れ場のラインフローファン軸方向流速成分

u : ラインフローファン外径周速度

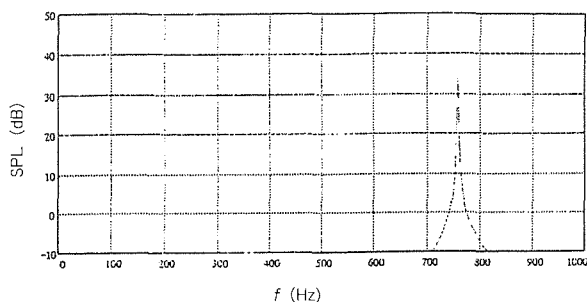
(2) 解析条件

スタビライザ付近吸込み側流速(スタビライザ付近の熱交換器を通過してくる吸込み流れの絶対流速)、羽根枚数、ラインフローファン回転数、時間変動している流れ場の大きさ(スタビライザがラインフローファンと相対する長さ、図12(b)参照)、スタビライザとラインフローファンの距離、これらを解析条件とし、96シーズン年度開発品の数値とした。

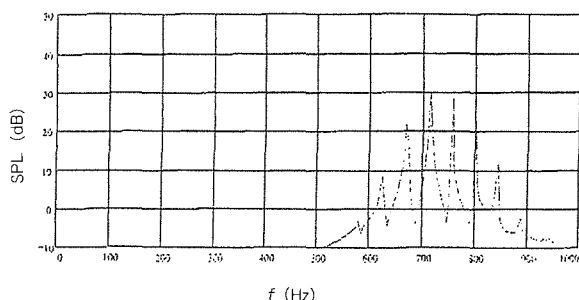
5.3 検討結果

上記のシミュレーションを基に決定した仕様によって実機試験を行った。以下に、騒音値周波数分析のシミュレーション結果及び実機の試験結果を、従来品の等ピッチラインフローファンと開発品のサイクリックラインフローファンとの比較で図15、図16に示す。

図15のシミュレーションにおいて、従来品では757 Hz



(a) 従来品



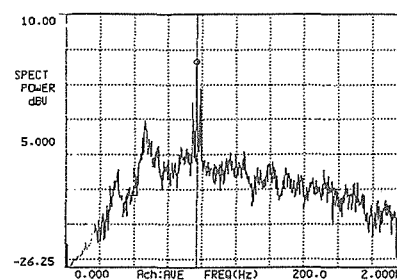
(b) 開発品

図15. 騒音値周波数分析シミュレーション結果

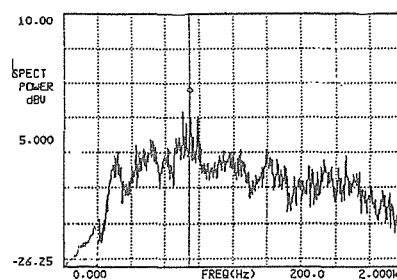
に 33.8 dB (A) のピーク値が存在する一方、開発品ではこれが分散されて最大ピーク値で 30.0 dB (A) になっており、3.8 dB (A) の改善が見られる。これに対し、図 16 の実機試験結果では、従来品は 770 Hz (ラインフローファン回転数：1,317 r/min) に 33.3 dB (A) のピーク値が存在する一方、開発品はシミュレーション同様分散されて最大ピーク値で 29.0 dB (A) になっており、4.3 dB (A) の改善が見られ、改善されるピーク騒音値のレベルがシミュレーションとよく一致していることが分かる。この結果から回転音に対する効果が十分得られることが分かり、これによってラインフローファンとスタビライザの距離を狭めることが可能となって、騒音値を上げることなく風量アップを実現した。さらに、ケーシングなどの最適化により、同一騒音で風量を約 15% 増加させることができた。

6. むすび

前述のように、消費者の意識は適切な価格で納得のいく本物商品を求めており、エアコンの商品価値向上の視点も、エアコンの基本性能・本質機能の強化・改善にある。その中で、



(a) 従来品



(b) 開発品

図16. 騒音値周波数分析実機試験結果

96 シーズン年度 FX シリーズは、省エネルギーの更なる向上と、快適性においては健康という視点を加え、寒く感じないドライ運転の実現を図った。一方で、感覚に個人差がありとら (捉) えにくかった快適性の評価にサーマルマネキンを適用し定量的な評価・解析を取り入れたが、この取組は、これまでに消費者に伝わりにくかった快適性をビジュアルに分かりやすく表現できる効果ももたらした。

今後も、消費者の目線に合った商品開発を目指し、エアコンの本質機能の強化と同時に、消費者から見た適切な価格の実現の両立に取り組む所存である。

参考文献

- (1) 青嶋成明, 吉橋 淳: ルームエアコン用ラインフローファン流れ解析技術, MEE エンジニア, No.26, 22~26 (1995)
- (2) STAR-CD バージョン 2.2 マニュアル, Computational Dynamics Ltd. (1994)
- (3) Sharland, I. J.: J. Sound Vib., I-3 302 (1964)

NEW SLIM パッケージエアコン コンパクトカセット室内機

曾根靖雄*
吉田孝行**
石川博章***

1. ま え が き

近年におけるパッケージエアコン市場での需要構造は、タイプ別に見た場合、カセットタイプの採用率が約6割を占め主流機種となっている。据付け環境においても、従来の大空間はもとより、最近では小店舗、小事務所、さらには住宅の大型リビングといった小規模空間にまで採用の声が高まっている。またこのような据付け環境の多様化に伴い、空調機に対する要求も、コンパクト化、低騒音化、据付け性・サービス性の向上に加えて、健康指向と省メンテナンス指向から、機器本体及び周辺の汚れ防止といった清潔感を含む快適性向上の要求も高まってきている。

そこで今般、小型・軽量化はもちろん、スマッジングレス、植毛レスペーンの採用といった新技術を搭載し、据付けから使いやすさまで追求したコンパクトカセットを開発した。

本稿では、小型化実現アイテムと、スマッジングレス及び植毛レスペーンの採用を実現した新気流制御機構について述べる。

2. 開発のねらい

図1は、コンパクトカセット PLH-J・JK タイプの外観である。このコンパクトカセットは、市場ニーズに対応した製品力・技術力の向上を目的とし、特に次の3点に重点を置いて開発したものである。

(1) コンパクト化・低騒音化

従来機種と同等の性能を維持しつつ、従来機種比で2/3のコンパクトサイズとし、小規模空間への据付けを可能とする。

(2) 快適性の向上

スマッジングレス及び植毛レスペーンの採用を実現させ、安心かつ清潔な空調を提案する。

(3) メンテナンス性の向上

フィルタの着脱性改善を図り、安全かつスピーディなメンテナンスを実現する。

3. コンパクト化

画期的な小型化を図る上で技術課題となるのは、能力の確保と低騒音の維持である。

3.1 能力の確保

ユニットの小型化によって熱交換器の搭載容量が減少するため、熱交換器の効率向上が必要となる。熱交換器の効率向上には、熱交換器全面に均一な風を当てることを実現することが必要である。

4方向吹出しカセット形パッケージエアコンは、図2に示すように、ターボファンを中央に搭載し、熱交換器をその全周に配置しており、ターボファンによって正面から吸い込んだ空気を全周へ送風している。ターボファン内部において風路が90°に曲がっているが、実際の風向は図3に示すように90°曲がりきれず、吹出し風速の分布は上側に偏ってしまう。コンパクトカセットでは、図4に示すように、ターボファンの主板をシュラウドと同一中心の曲げ形状とするとともに、ブレード間の風路面積の増加を滑らかにして増加率一定とした形状とし、風路最小面積部における風向を図5のように改善している。これにより、ターボファン吹出し口の風速分布は図6に示すように均一化され、熱交換ロスを抑えることができたため、熱交換器容量を13%縮小可能とした。

3.2 低騒音の維持

ユニットの小型化は、機内の各風路を狭め、機内圧損が増

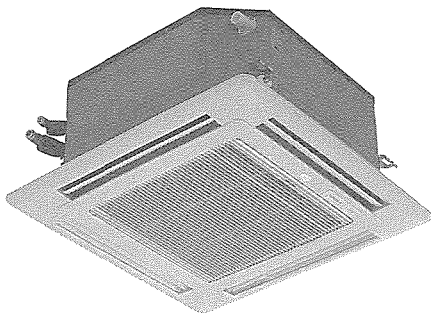


図1. PLH-J・JKタイプ

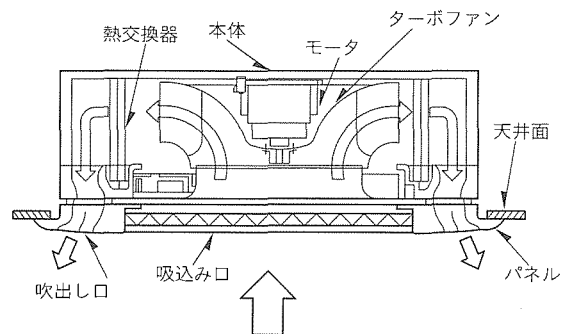


図2. 4方向吹出しカセットの内部構造

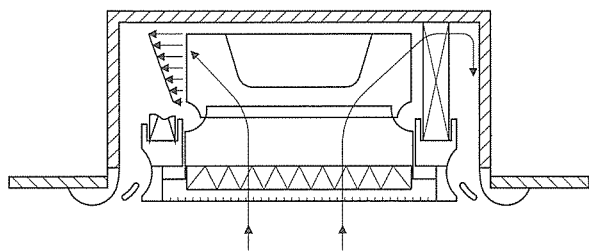


図3. 従来ターボファンの内部風路と吹出し風速分布

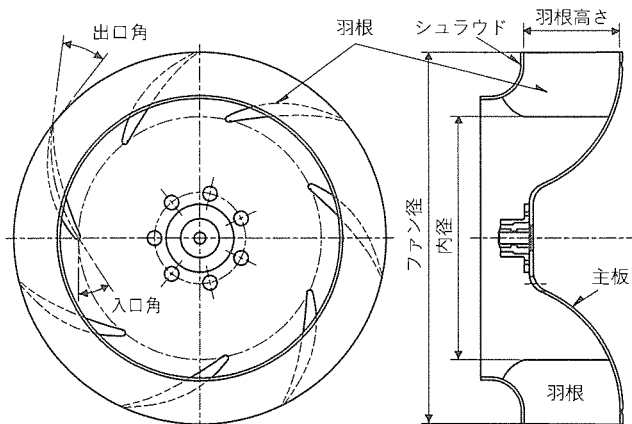


図4. ターボファン

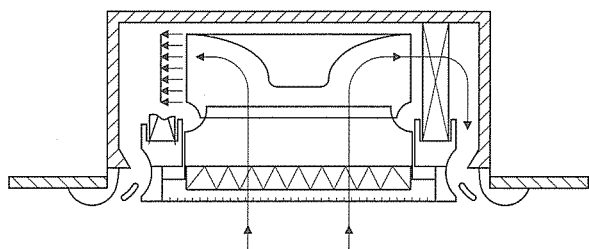


図5. 新ターボファンの内部風路と吹出し風速分布

大するとともに搭載可能なファン径が小さくなり、ファン回転数が増加して騒音が悪化する。送風ユニットの騒音 SPL は式で表され、風量 Q が同等で機内圧損 P が増加する場合、騒音の増加を抑制するには、ファン動作ポイントにおける比騒音 K_s の改善が必要である。なお、送風機特性における動作ポイントは、無次元損失係数 ξ として式で表される。

$$SPL = K_s + 10 \log P^{2.5} Q \dots\dots\dots(1)$$

$$\xi = \psi / \phi^2 = 58,800 \pi^2 (DB)^2 P / Q^2 \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 ψ : 圧力係数 D : ターボファン外径

ϕ : 流量係数 B : ターボファン吹出し口高さ

コンパクトカセットでは、機内風路のモデル化によって風量 Q における機内圧損 P をシミュレートし、動作ポイントが送風機特性において最適となるようにターボファン(図4)を設計している。ターボファンのブレード形状は、翼形としており、出口角はファン動作ポイントにおいて送風効率が最適となる角度として風量と回転数を定め、入口角はその

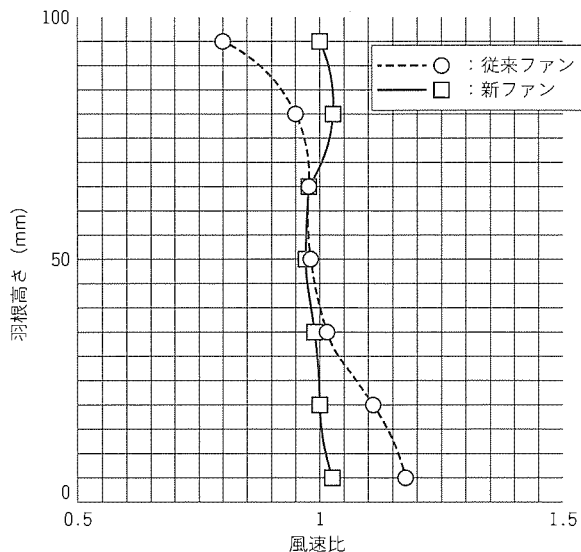


図6. ターボファンの吹出し風速分布

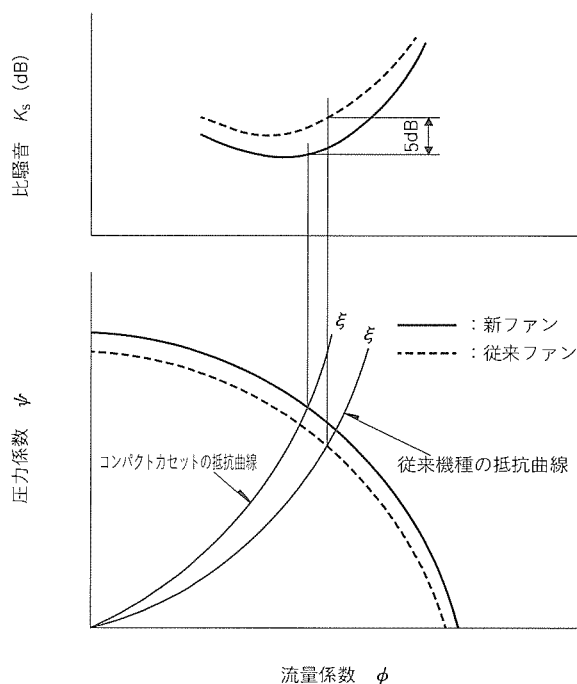


図7. ターボファンの空力・騒音特性

ときの絶対速度(=風量/流入面積)と周速度(=回転数× 2π)から流入抵抗が最小となるようにし、動作ポイントにおける比騒音 K_s を約 5 dB 改善して低騒音化を図っている(図7)。

4. 気流制御機構

4.1 従来の吹出し口構造と課題

吹出し気流における課題は、①天井面のスマッジング ②ベーンへの着露の2点である。

まず、天井面のスマッジングについて説明する。

カセット形エアコンは、特に冷房時は冷風感を直接人に与えずに室内全体を冷やすため、冷風の吹出し角度は水平近く

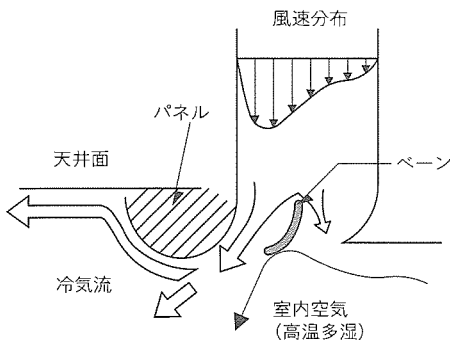


図8. 従来機の吹出し風路

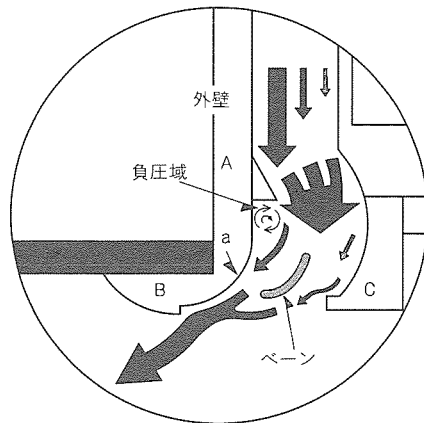


図9. 検討の結果構築された風路

設定される。従来機の吹出し風路 (図8)

では、冷風がコアング効果によってパネル曲面に沿って流れて天井面に付着するため、天井面に結露が生じる。そこに気流中に含まれる微小粉じん (塵) が付着し、吹出し口周囲の天井面を汚すスマッジングが発生する。

次にベーンへの着露について説明する。

冷房運転時、ベーンには着露が起きる。その理由は、図のように、吹出し気流によって冷却されたベーンに室内の高温多湿の空気が接触し、凝縮するためである。従来のベーンには、上記の対策のために、着露した水滴を保持する植毛加工が施されていた。しかし、年月を経ると植毛にカビが発生して黒ずむ。また、拭き掃除等も不可能で不潔であり、美観を大きく損ねていた。

上記の問題を解決するためには、以下に示す気流を実現する吹出し口の形状を構築することが必要となる。

- 吹出し気流が天井面に付着せず、天井面に対して任意角度で安定して吹き出す。
- ベーン近傍への室内空気の巻き込みがない。

4.2 スマッジングレス、植毛レスベーン吹出し口構造

このコンパクトカセットに搭載された新風路形状を図9に示す。図の風路は、ベーンと突起 A, B, C によって、気流を制御している。以下に各突起の機能を述べる。

(1) 突起 A

風路内の気流は、熱交換器を通過後、吹出し風路に流入する際 90°下向きに偏向される (図2)。したがって、風路内の風速は風路の外壁側ほど大きくなる。ベーンの風向制御性を

高め、ベーンへの着露を防止するためには、吹出し風路内の風速分布を一様にする必要がある。

突起 A は、外壁側に偏った気流を風路の中央付近に導くために設けられている。突起 A と対面の壁面は、一定の断面積を保持する湾曲した風路を形成しているため、風路抵抗を増大させることがない。突起 A の後流に形成される負圧域へ、前述の風路外壁側ほど速度の大きい偏った気流が引き寄せられて、

拡大した風路内は一様な風速分布となる。

(2) 突起 B

突起 A の負圧域によって壁面 a に付着した気流は、コアング効果により、壁面 a に沿って流れる。この気流は、突起 B によってパネルからはく (剝) 離し、天井面に付着することなく流れる。

(3) 突起 C

ベーンへの着露を防止するために、ベーンの下側にも気流を確保する必要がある。

突起 C は、内側の壁面とベーン間の気流を偏向してベーンの負圧面側に導くためのもので、これによってベーンの下側への着露が防止される。以下に述べる実験と解析により、これら突起 A, B, C の効果的形状を見いだした。

4.3 検証

4.3.1 実機検証

(1) 実験装置

実験装置を図10に示す。実験では、可視化及び風速測定によって突起の形状と効果について評価した。流れの可視化は、吹出し気流中に混入したトレーサ粒子にレーザーライトシート (アルゴンイオンレーザ) を照射し、その照射面を観察して行った。可視化では、風路内の気流の観察、ベーンへの室内空気の巻き込み状況の確認、吹出し角度 θ (図11) の測定を行った。また、風速測定は、一次元の熱線流速計をベーン

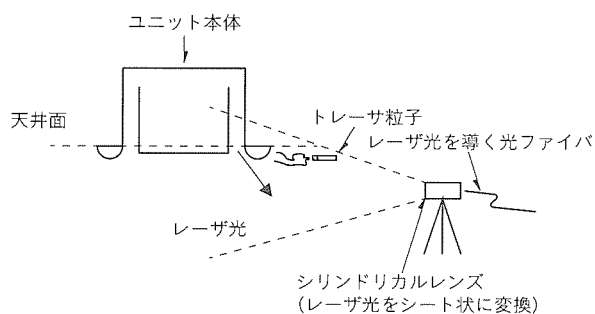


図10. 実験装置

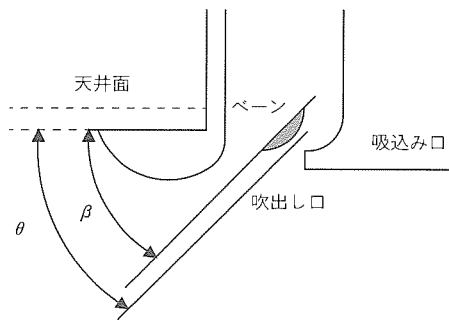


図11. 吹出し角度の定義

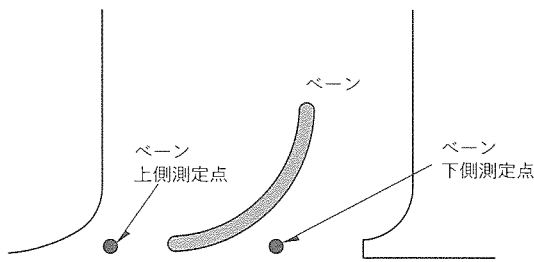


図12. 風速測定点

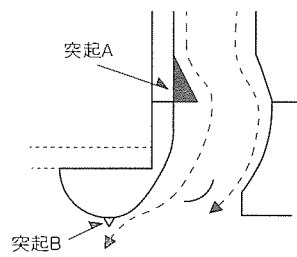


図13. 突起Bの作用

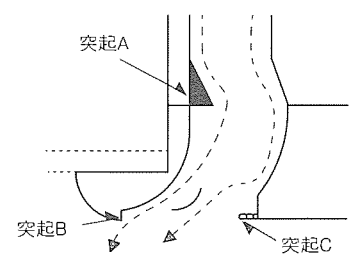


図14. 突起Cの作用

表1. 突起Aの形状と実験結果

モデル No.	形状	風速 (m/s)		吹出し角度	スマッジングの有無	可視化結果
		上側	下側			
1		5.2	4.4	30°	なし	問題なし
2		5.4	4.6	15°	あり	吹出し気流が不安定
3		5.0	4.6	30°	なし	吹出し気流が不安定
4	突起なし	5.3	4.1	30~35°	なし	吹出し気流が不安定

の上側及び下側の風路中央部に挿入し、流れ方向に向けて測定した(図12)。

実験は送風運転で行い、吹出し風量とベーンの取付け角度 β (図11, 30°)は固定した。

(2) 実験結果

突起Aの形状と実験結果を表1に示す。これによると、突起Aがない場合には、ベーンの下側の流速が大きく低下する。また、突起Aの高さ・幅寸法の関係で、縮流による増速と拡大率の増大のため、隔離による非定常流れが強くなり、吹出し気流が安定しなくなることも確認できた。突起の高さには最適値(モデル1)があることが分かった。

突起Bが図13のように山形状であればパネルから気流を剥離させることが可能であるが、意匠上の制約から、図14のような形状とした。突起Bが高すぎると吹出し角度が大きくなるため、スマッジングが防止できる最小の高さに設定した。

また、突起Cにも最適形状が存在し、風路の内側壁面とベーン間の気流をベーンの下側に導く作用を確認できた(図14)。

4.3.2 気流解析

(1) 気流解析の目的と解析方法

実験により、吹出し口形状の基本的な構造を確立した。しかし、実製品においては、機種によって風量が異なる。また、内部構成によって吹出し口への流入風速分布も異なる。実験によって確立した構造が吹出し風量や流入風速分布の差に影

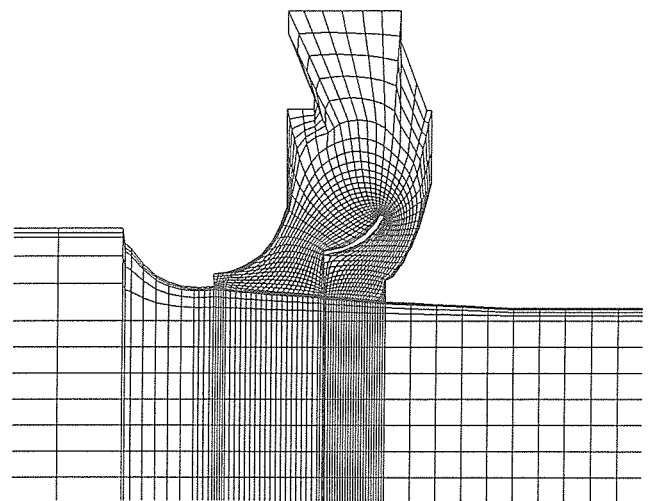


図15. 解析モデル

響を受けない形状であるか確認するため、気流解析を実施した。

解析は、質量、運動量及びエネルギー保存式、また乱流モデルとして $k-\epsilon$ モデルを用いており、乱流エネルギー k とその散逸速度との保存式を連立させて解いた。図15は解析モデルである。解析には一般座標系(BFC)を用い、解析領域は、吹き出し後の気流の風向を正確に予測するため、吹き出し口から広範囲の室内空間までを対象とした。

(2) 解析結果—風路形状

まず、各突起の効果の確認を行った。ここでは、突起Bについてのみ述べる。図16(a)に突起Bがある場合の、(b)に突起Bがない場合の解析結果(流線)を示す。なお、(a)及び(b)は流入風速分布が一様とした。

突起Bがない場合、気流は吹出し直後に天井面に付着している。突起Bがある場合は、コアング効果で壁面に付着する気流が剥離していることが分かる。この結果により、突起Bの存在は、天井面への気流の付着を防止する上で極めて重要であるといえる。

(3) 解析結果—流入風速分布とベーン位置

次に、図17のように流入風速分布が一様な場合と、分布がある場合について検討する。図16(a)に流入風速分布が一様な場合の、(c)に分布がある場合の解析結果を示す。流入風速に分布がある場合は、吹出し気流は天井面に付着してい

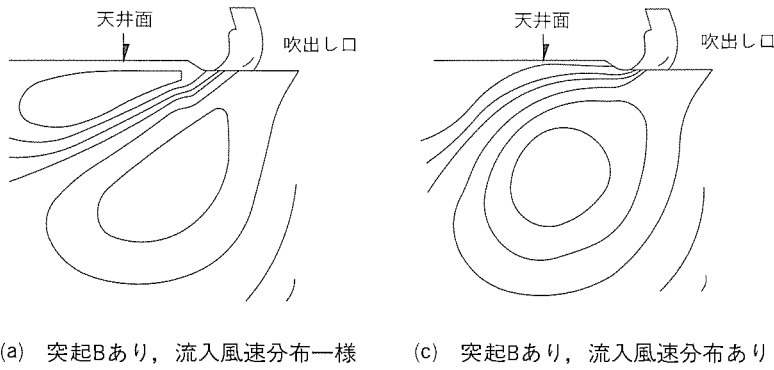


図16. 解析結果(流線)

表 2. コンパクトカセットの仕様

■代表機種J71形

本体寸法	(H)298×(W)660×(D)660 (mm)
パネル寸法	(H) 30×(W)760×(D)760 (mm)
本体質量	20kg
パネル質量	3.7kg
運転音(dB)	39.5/35
静音モード	38/30
スマッジング対応	風路形状でシャットアウト
ベーン汚れ対応	植毛レスのため、汚れたら簡単にふきとることが可能
フィルタの清掃性	2.7m標準天井高さにおいては一般のいす(椅子)を使って着脱可能

る。この結果から、突起 A, B を備えていても、風速分布が異なればスマッジングする可能性が高いといえる。

そこで、ベーンによる気流を突起 B に確実に導くための

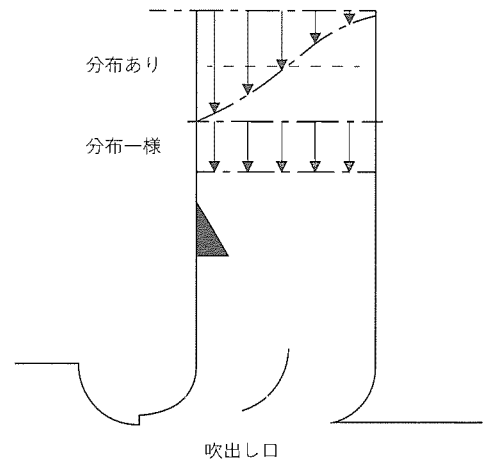


図17. 流入風速分布

ベーンの最適位置を、解析によって見いだした。その結果を(d)に示す。ベーンは、(c)より、外壁側に 12 mm、風路上側に 1 mm 移動した位置が最適位置となり、この場合、流入風速分布がある場合でも天井面への付着は見られず、安定した気流が得られた。

5. 製品の特長

製品の主な特長を示す。

- (1) 従来機種比 2/3 サイズのカセット形である。
- (2) 清潔な空調ができるカセット形である。
- (3) フィルタメンテナンスができるカセット形である。

表 2 に製品の主な仕様を示す。

6. むすび

小型化と快適性の向上を主眼に開発したコンパクトカセット室内機の主な改善項目を述べた。コンパクトでしかも清潔な空調が可能となり、住宅等の新市場に最適な室内機であると確信する。

今後も継続して“使いやすく”“据付けやすく”“お客様に満足していただける”トータル的視点に立った製品作りに努力する所存である。

多機能ヒートポンプシステム

平岡 宗* 安藤昌之***
 倉持 威*
 友田伸一**

1. ま え が き

近年、建物の高層化が進んでいるが、マンション等の住宅も同様である。このような建物では、防災と安全上から、全電化の要求が増えている。また、スペースとメンテナンス性からユニットのシステム化が、さらに、省エネルギー（特に、電力需要としてみた場合には真夏の昼間の電力ピークシフト等。）という要望も求められている。以上の要求を満足するシステムとして開発したのが多機能ヒートポンプシステムである。

多機能ヒートポンプシステムは、ヒートポンプによる空調機のほか、冷房時の排熱が利用できる温水器（以下“温水器”という）、風呂加熱ユニット（以下“追いだ（焚）き”という）、風呂乾燥ユニット（以下“乾燥”という）を備えた全電化システムである。

従来の電力を利用した温水器、追い焚き、乾燥がヒータを利用しているのに対し、多機能ヒートポンプシステムはヒートポンプと排熱利用による高効率で省エネルギーに優れたシステムである。今回特に、冷房排熱を利用した温水器沸き上げ性能について述べる。

2. システム構成

2.1 機器構成と機能

図1に多機能ヒートポンプシステムの構成を示す。また、このシステムの機能を以下に示す。

2.1.1 室内ユニット（図2）

ダクト方式による全館空調及び熱交換換気を行う。

2.1.2 温水器ユニット（図3）

深夜電力で湯を沸かし、貯湯する。昼間はヒートポンプによる沸き増しを行う。特に、冷房シーズンには排熱を利用して湯を沸かす。

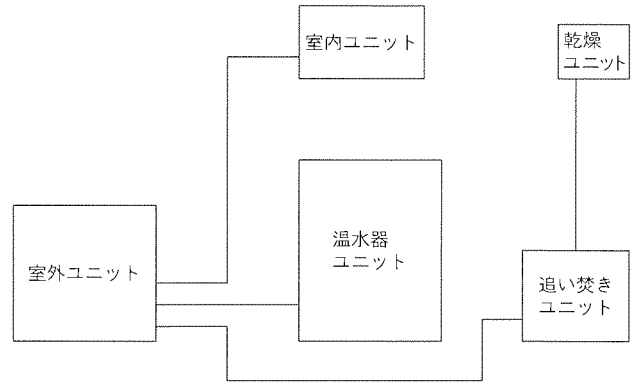


図1. 多機能ヒートポンプシステム

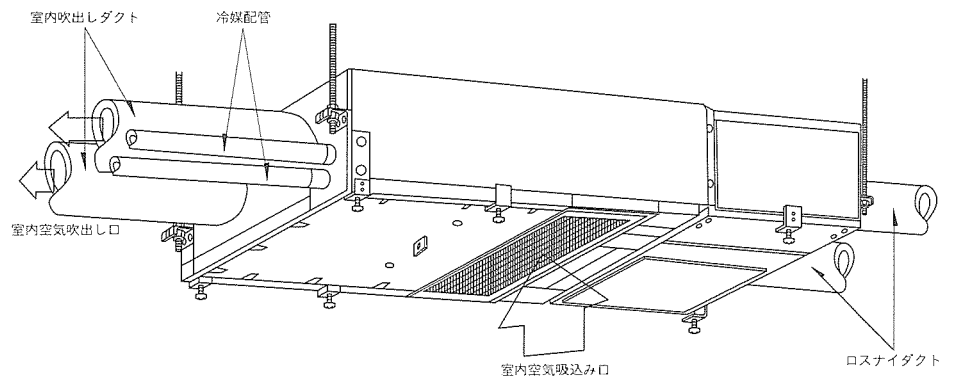


図2. 室内ユニット

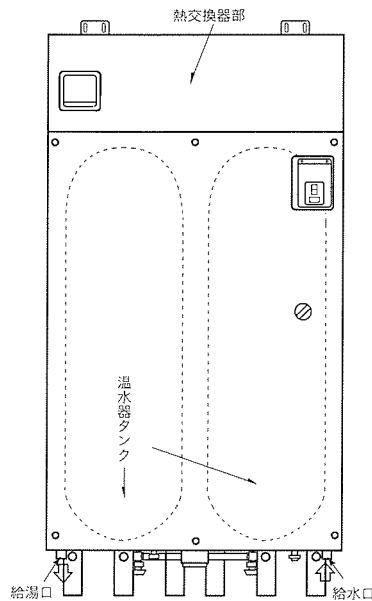


図3. 温水器ユニット

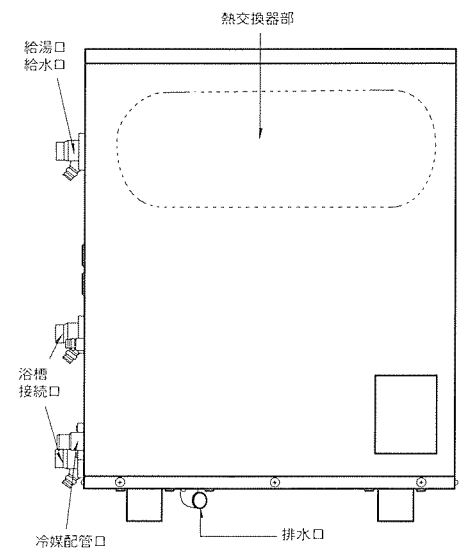


図4. 追い焚きユニット

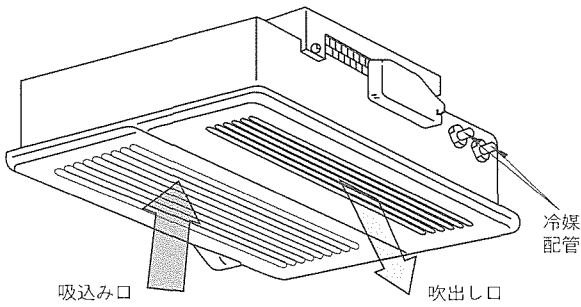


図5. 浴室換気・暖房・乾燥ユニット

2.1.3 追い焚きユニット (図4)

浴槽への自動湯張り, 自動保温, 自動足し湯をヒートポンプによって行う。

2.1.4 浴室換気・暖房・乾燥ユニット (図5)

浴室内の換気, 暖房及び乾燥をヒートポンプによって行う。

2.2 冷媒回路

図6に多機能ヒートポンプシステムの冷媒回路を示す。

室内熱交換器は冷房モードでは蒸発器として, 暖房モードでは凝縮器として使用する。温水器, 追い焚き及び乾燥の際の熱交換器は凝縮器としてのみ使用する。図では, 冷房排熱給湯時と暖房給湯同時の場合の冷媒の流れを示している。凝縮器としての使用は, 冷房排熱給湯では温水器熱交換器, 暖房給湯同時では温水器熱交換器と室内熱交換器である。この

ほか, 同様な使用方法で追い焚きと乾燥熱交換器を凝縮器として使用する。

3. 制御概要

3.1 暖房回路による高圧圧力一定制御

暖房給湯同時運転での冷媒の流れを図6の矢印(実線)で示す。この流れでは, 凝縮を室内熱交換器と温水器熱交換器で行い, 蒸発を室外熱交換器で行う。

負荷の変動によらず能力を一定に保つ方法として採用したのが, 圧力センサを用いた高圧圧力一定制御である。

従来のエアコンの制御は, 空調の必要負荷に応じて圧縮機周波数制御を可変させる方式であるが, この方式では空調の負荷に温水器側の能力が影響してしまう。すなわち, 空調負荷が必要なときは, 圧縮機周波数を上げるので高圧も上昇して温水器側の能力は十分であるが, 空調負荷がなくなると, 圧縮機周波数を低下させるので高圧が十分上がらず, 温水器側の能力が確保できない。しかし, 高圧圧力一定制御を採用することにより, 必要な空調負荷が少なくなったときには, より温水器側の能力を出すことが可能である。

3.2 冷房回路による蒸発温度一定制御

冷房排熱給湯運転での冷媒の流れを図6の矢印(破線)で示す。この流れでは, 凝縮を温水器熱交換器のみで行い, 蒸発を室内熱交換器で行う。

冷房時, 3.1節と同様に高圧一定制御を行った場合, 温水器側が目標温度に達してくると, 圧縮機が一定周波数で運転されて高圧が上昇してしまうため, 圧縮機周波数を徐々に下げしていく。このため, 室内機の冷房能力は, 温水器側の湯温が上昇するにつれて減少してしまう。

そこで, 冷房時は室外機側で蒸発温度を検知し, これを一定に保つように圧縮機の周波数を制御した(蒸発温度一定制御)。この蒸発温度一定制御では, 温水器側の湯温が上昇してもこれに伴う蒸発温度の上昇を抑える, すなわち圧縮機周波数を上げる方向に制御するため, 冷房能力に影響を来すことなく運転することが可能である。さらに, 室内からの情報なしに室外機のみで制御が可能である。

蒸発温度一定制御で冷房排熱給湯のヒートポンプ沸き上げを行った結果が図7であり, 運転開始から180分間安定した冷房能力を得ることができた。このときの冷媒回路では, 室外熱交換器と温水器熱交換器を凝縮器として使用している。一方, 温水器の温度は, 初期水温 25℃

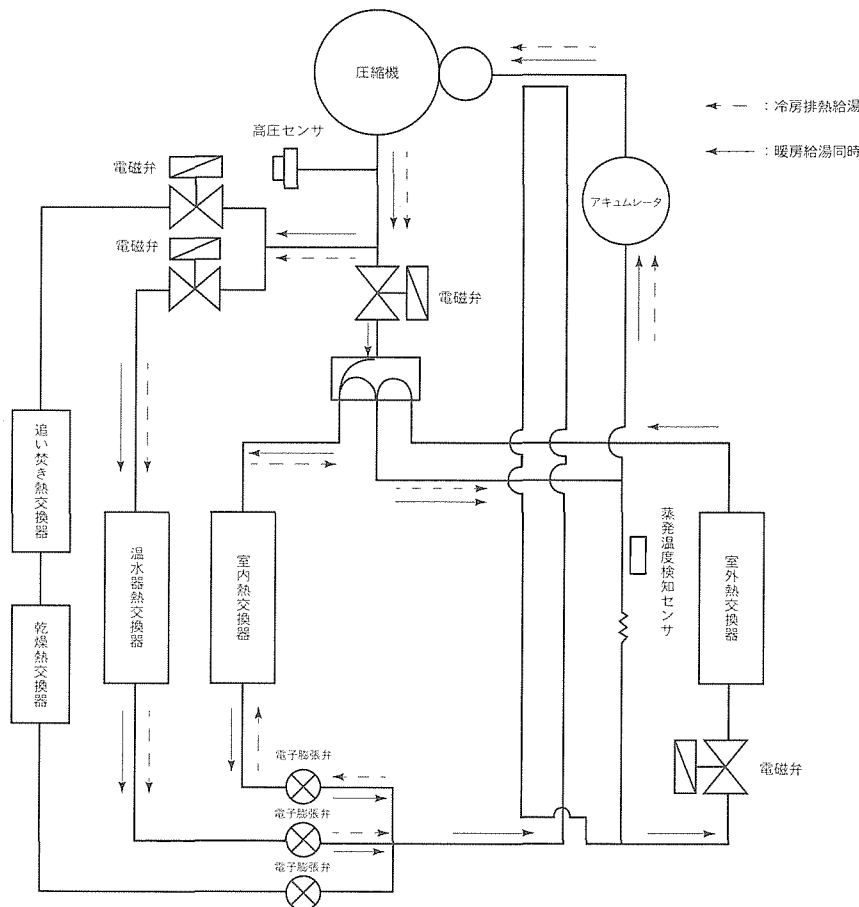


図6. 冷媒の流れ

から 180 分後には 48℃ まで上昇することができた。以上により、蒸発温度一定制御が多機能ヒートポンプに使用可能なことを確認した。

3.3 ヒートポンプ給湯沸き上げ制御

今回の温水器は、従来の深夜 8 時間通電制御型温水器を採用し、夜間、ヒータによってタンク内の水を沸き上げておき、昼間に使用した湯量を冷房排熱を利用して補充する方式である。

特に、夏期は有効に冷房排熱を利用して省エネルギーを図るため、二つあるタンクのうちの 一つのみを沸き上げ、もう一つは冷房排熱ヒートポンプのみによって沸き上げている。例えば、図 8 において、朝、タンク 1 はヒータによって

85℃ に沸き上げているが、タンク 2 は水の状態である。このタンク 2 を昼間の冷房排熱ヒートポンプによって 50℃ まで沸き上げる。夕方、風呂等で湯を使用すると、タンク 2 に給水され、タンク 2 にあった昼間ヒートポンプで沸き上げた 50℃ の湯はタンク 1 内に供給される。このため、図 9 のように冷房排熱を利用しない場合、深夜のヒータでの沸き上げは水温の 25℃ (夏期の想定水温) から 85℃ まで昇温しなければならないのに対して、冷房排熱を利用した場合は 50℃ から 85℃ で済むため、冷房排熱利用の方がヒータのみでの沸き上げに比べて電力量は約 $3/5 (= (85 - 50) / (85 - 25) = 58\%)$ となる。

さらに、湯の必要量が減った場合には、85℃ の温度も必要なくなるため、ヒータでの沸き上げに要する電力量が減り、50℃ 沸き上げならば、ヒータ沸き上げが必要なくなる。

ヒートポンプによる湯の沸き上げは技術的には約 65℃ まで可能であるが、効率は負荷が高ければ高いほど低下する。そこで、このシステムではヒートポンプによる湯の沸き上げ温度を 50℃ とした。50℃ であれば、シャワー等、人が直接利用する場合でも問題なく使

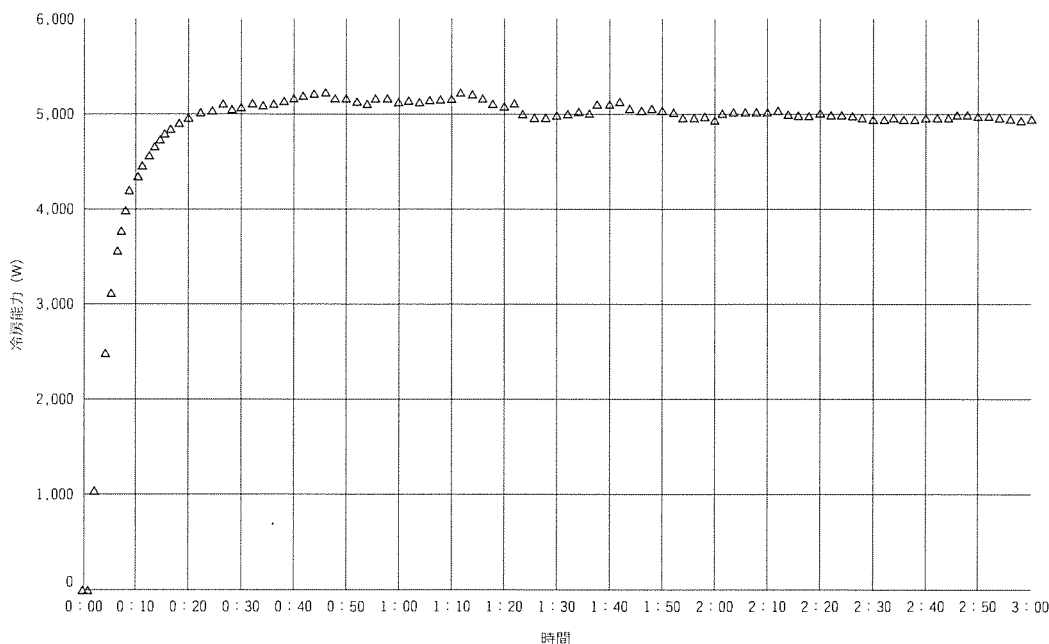


図 7. 蒸気温度一定制御時の冷房能力(冷房排熱給湯時)

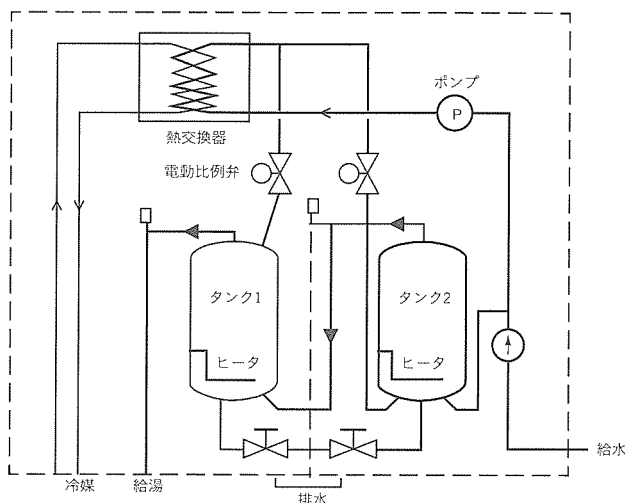


図 8. 温水器配管図

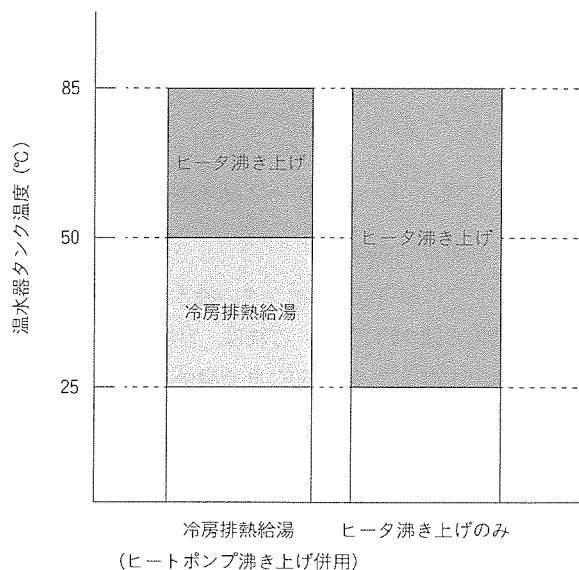


図 9. 冷房排熱を利用した給湯沸き上げ

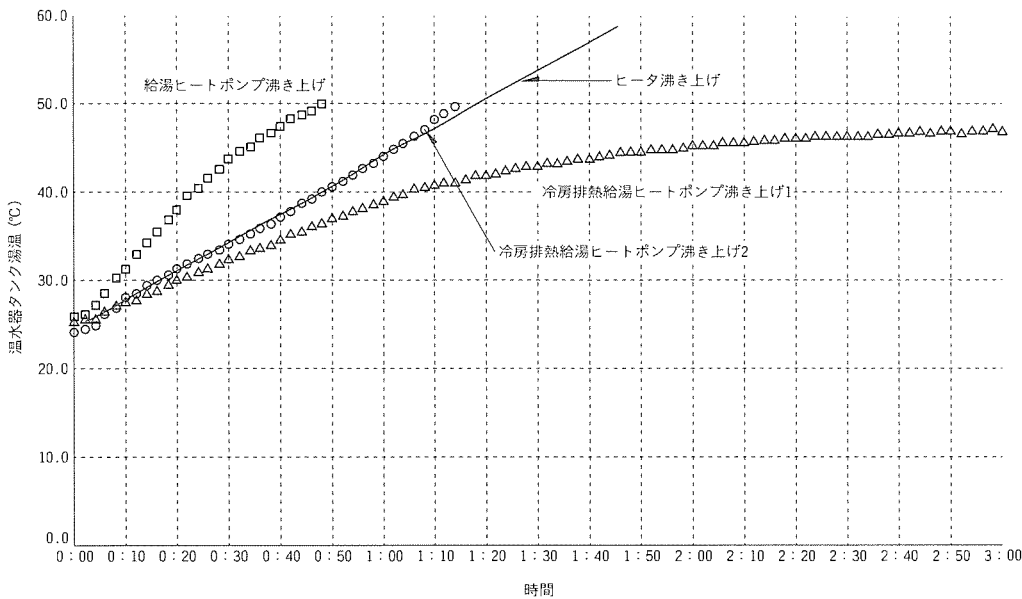


図10. 温水器タンク沸き上げ性能比較

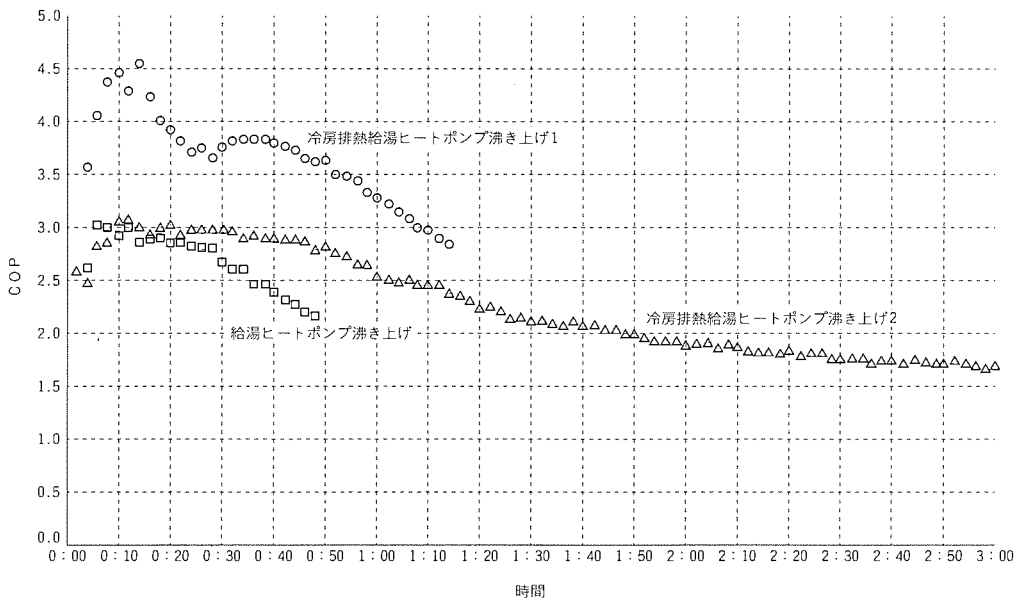


図11. 運転モードによるCOP比較

用可能である。

4. ヒートポンプ給湯性能

4.1 ヒートポンプ給湯

ヒートポンプによる温水器タンクの沸き上げ性能について測定した結果を図10に示す。これは、容量185ℓのタンクを夏期の想定水温25℃から50℃まで沸かしたときの結果である。比較のため、このクラスの深夜電力型温水器(4.4kW)の沸き上げ性能も記載した。

沸き上げ時間はヒータによる沸き上げが約75分に対し、ヒートポンプでは約48分で、64%の時間である。また、エネルギー消費効率(=能力/消費電力、以下“COP”という。)は、図11に示すように、ヒータが約1.0であるのに

対し、ヒートポンプは約2~3とヒータの2~3倍である。

4.2 冷房排熱ヒートポンプ給湯

多機能ヒートポンプの特長は夏期の冷房運転によって発生した熱(通常空調機では屋外に排熱している。)を温水器に利用できることである。ここでは、二通りの冷凍サイクルで、給湯能力と空調能力への影響、システムとしての効率への影響について試験を行った結果を示す。以下、二通りの冷凍サイクルを“冷房排熱給湯ヒートポンプ沸き上げ1、及び2”(以下“沸き上げ1”“沸き上げ2”という。)とする。

4.2.1 室外機と温水器を凝縮器とした冷凍サイクル

室外機と温水器を凝縮器としたときの冷媒回路が図12である(沸き上げ1)。このサイクルでは熱の一部を室外に排出するので、

凝縮圧力が十分に上がらない。しかしながら、運転開始から150分間は温水器タンクを沸き上げるため、冷房排熱を有効に利用できる。このときのCOPは1.7~3.0である(図11)。また、150分以降は冷房運転時と同等のCOPである。

この試験では180分経過後の温水器タンク内の温度は48℃となったが、これを深夜にヒータで沸き上げることで、深夜の電力量を抑えて温水器を使用することが可能である。

4.2.2 温水器を凝縮器とした冷凍サイクル

温水器を凝縮器としたときの冷媒回路が図13である(沸き上げ2)。このサイクルは沸き上げ1に対し、凝縮器が温水器のみとするため熱をすべて温水器側で利用できる。室外への排熱がない分、凝縮圧力も上がり、タンク内の湯温上昇は現行のヒータ沸き上げと同等の能力であった。また、給湯

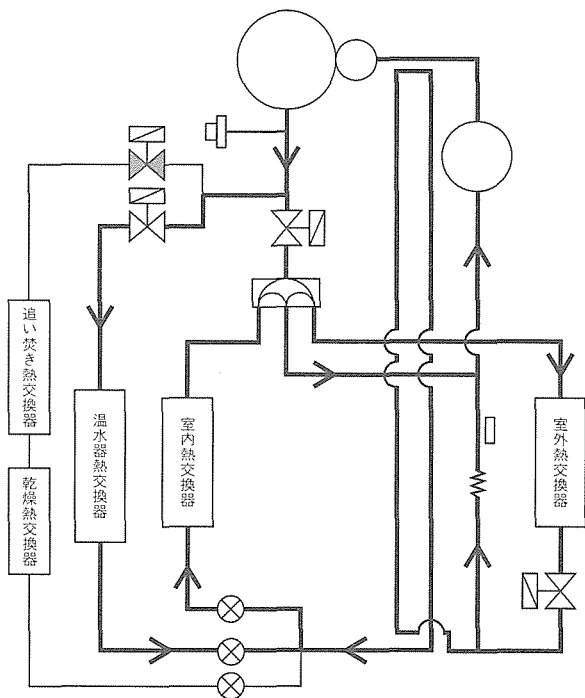


図12. 室外機と温水器を凝縮器としたときの冷房排熱給湯冷媒回路

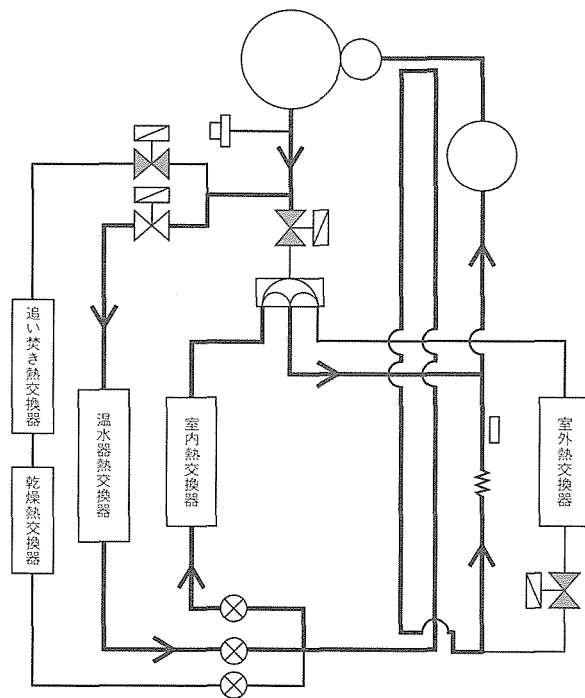


図13. 温水器を凝縮器としたときの冷房排熱給湯冷媒回路

タンク内の温度も 50°C まで確保でき温水器としても利用可能な温度となった。

COP はおよそ 2.8~4.5 と非常に効率が良い (図 11)。

5. むすび

今回、多機能ヒートポンプの特長であるヒートポンプ給湯の性能について“ヒートポンプ給湯”と“冷房排熱ヒートポンプ給湯”に分けて試験を行い、次の結果を得た。

- 多機能ヒートポンプシステムの圧縮機周波数制御として、高圧圧力一定制御、蒸発温度一定制御で制御可能なことを確認した。
- ヒートポンプ給湯運転では、ヒータ沸き上げの 1.5 倍の能力が得られた。
- 冷房排熱ヒートポンプ給湯で、温水器として利用可能な給湯タンク内温度 50°C までの温度が得られた。

- 冷房排熱ヒートポンプ給湯によって深夜電力量を約 3/5 に節減することが可能である。

- 冷房排熱ヒートポンプ給湯では、より効率の良い回路構成 (冷房排熱時は凝縮器として温水器側のみを利用する。) の効果が確認できた。

今後は、これらの結果を基にシミュレーション開発を行い、更に高効率・高温の給湯が可能なシステムの検討を行う所存である。

参考文献

(1) 倉持 威, 松田謙治, 岡田哲治, 谷村佳昭, 七種哲二, 関 潤一郎・排熱利用多機能ヒートポンプシステム, 第 5 回環境工学総合シンポジウム'95 講演論文集 (1995)

氷蓄熱マルチエアコン

宮本守也*
堀池保宏**

1. ま え が き

資源が乏しい日本にとって、エネルギー問題は将来にわたる継続的な課題である。現在、世界的に大きな問題となっている地球環境問題も、エネルギー問題と密接な関係があることは言うまでもない。しかしながら、エネルギーの需要は社会の高度化や経済活動の発展とともに増加することは避けられない。そこで地球環境を保全しながら必要なエネルギーを得るためには、①化石燃料に頼らないクリーンな代替エネルギーへの取組、②既存エネルギーの利用方法の改善、などが必要となる。代替エネルギーの開発は、実用化に時間を要するとともに、技術開発が完了しても事業性がなければ導入は困難となる。したがって、当面は既存エネルギーの利用方法の改善に取り組むことが最も重要な課題である。

エネルギーの中でも安全で使いやすい電気の割合は年々増加しており、日本の総エネルギーに占める電力総需要の割合は、平成5年には全体の約40%にまで達している。これは、我々が携わっている産業用・民生用の電気機器の発展の歴史でもある。したがって、電力の利用方法の改善は、我々に課せられた重要な課題にほかならない。

当社では、電力の利用方法を改善していく一つの手段として、氷蓄熱技術の応用展開を強力に推進している。氷蓄熱応用システムは、夜間電力を利用して蓄熱槽に氷を蓄えることにより、空調機や冷凍機の昼間の電力負荷を低減することに役立つ。

本稿では、氷蓄熱技術の応用分野について述べるとともに、現在普及が進みつつある氷蓄熱空調システムの事業化事例に

ついて紹介する。

2. 氷蓄熱の市場と利用形態

表1に氷蓄熱の市場と利用形態を示す。氷蓄熱の市場は空調だけにとどまらず、食品保存、農作物の栽培・予冷・保冷、食品の冷凍・冷蔵・プロセス冷却、及び工業用の設備冷却等があり、その応用範囲は広い。

利用形態は、用途に応じて以下の三つに大別できる。

2.1 熱回収利用

事務所ビル、店舗、学校などの直膨式パッケージエアコンを用いる中・小規模な空調分野では、氷蓄熱によって熱回収利用ができる。夏は夜間に氷を蓄え、昼間は蓄えた氷を融解して放冷冷房を行う。冬は夜間に温水を蓄え、昼間は蓄えた温水から熱を取り出して放熱暖房を行う。

また、農産物の予冷・保冷、及び食品の冷凍・冷蔵の分野でも、夜間蓄熱した氷を昼間の冷凍機の熱源として回収利用できる。このように熱回収利用では、蓄えた氷から熱を取り出して空調機や冷凍機等の熱源として回収利用する。

2.2 冷水循環利用

大型の事務所ビル、ホテル、百貨店等のセントラル空調方式を用いる大規模な空調分野では、夜間に流動性があるシャーベット状の氷を製氷し、氷水又は冷水として水方式の空調機（負荷側機器）に循環供給して冷房に利用する。

農事用においては、農作物の水耕栽培の分野で氷蓄熱が有効である。冷水を循環して農作物の根を冷却することにより、作物の品質向上や収穫の向上をもたらす。

食品加工分野においては、豆腐の製造工程、冷凍野菜の予冷等の循環冷却水として氷蓄熱を利用する。

また、インフラの分野では、電力需要の増加に伴う送電容量アップの手段として、氷蓄熱技術を利用する冷水循環が有効である。洞道内に敷設されている送電線（地中線）を冷水循環によって冷却したり、氷の融解熱を利用して冷却効率を向上させることにより、従来に比べて1.5～2倍の送電容量アップが可能となる。

2.3 冷水利用

食品のプロセス冷却分野では、一過性

表1. 氷蓄熱の市場と利用形態

氷蓄熱の市場	氷蓄熱の利用形態	
	中小規模システム	大規模システム
事務所ビル、店舗、学校、百貨店等の空調	熱回収	冷水循環
ホテル、病院、レジャー施設等の空調及び給湯	冷水循環	
食品店舗の空調及び食品保存	熱回収	熱回収 冷水循環 冷水利用
農作物の栽培(水耕栽培)	冷水循環	
農作物の予冷・保存	熱回収	
食品の冷凍・冷蔵		
食品のプロセス冷却	冷水循環 冷水利用	
インフラ・工業用設備の冷却	冷水循環	

の冷水が必要となる場合がある。例えば、機械式めん(麵)の製造過程においては、原料の混合、ゆで上がった麵の冷却及び玉取りに冷水が必要となる。乳製品の製造工程においては、原料の冷却清浄及び殺菌冷却を行う際に冷水が必要になる。

食品店舗の分野においては、野菜や魚等の加工ラインで冷水を利用して食品の鮮度維持を図る。

また、工業分野ではブロイラーの冷却洗浄に0℃程度の冷水を必要とする等、氷蓄熱をアイスバンクとして利用する冷水利用の用途は広い。冷水利用は、水の再利用はせずに一過性の冷水として使用するため、冷水循環利用とは区別する。

3. 氷蓄熱空調システムの事業環境

氷蓄熱技術の応用分野の中で事業として現在最も進展しているのは、空調の分野である。電力需要の中で空調需要の占める割合は約40%と非常に高いため、社会的にも注目されている。

3.1 氷蓄熱空調システムの社会的役割

氷蓄熱空調システムは、電力の有効利用、電力需給環境への対応、CO₂排出抑制への対応等、電機メーカーとしての社会的役割を担っている。

3.1.1 電力の有効利用

図1に、最大電力を記録した日の電力の負荷曲線を示す。空調設備の普及拡大、OA化、照明環境の改善等を背景に、1日における昼と夜の電力需要の格差が拡大している。また、年間を通じて、夏場のピーク、冬場のサブピーク、春・秋

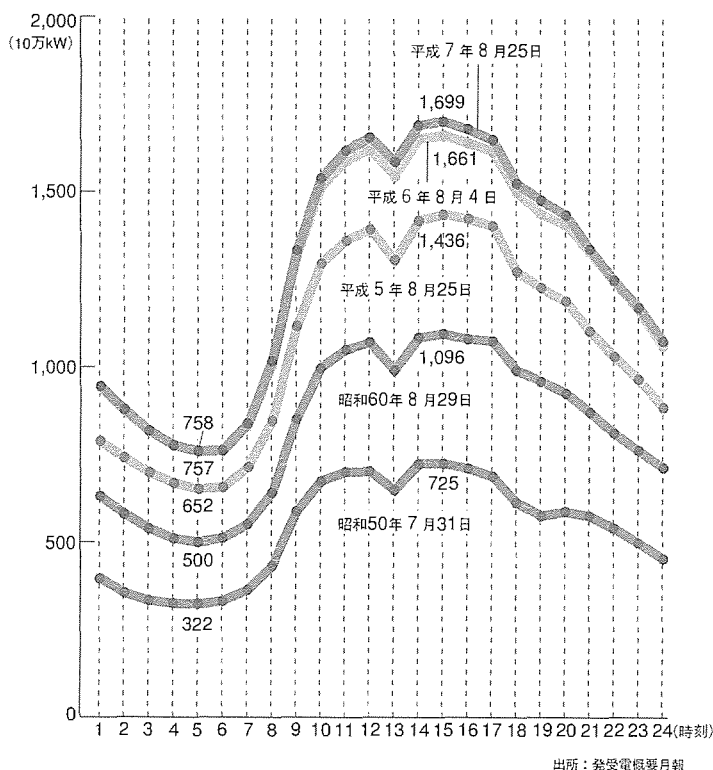


図1. 1日の電力負荷曲線(最大電力を記録した日, 9社合計)⁽¹⁾

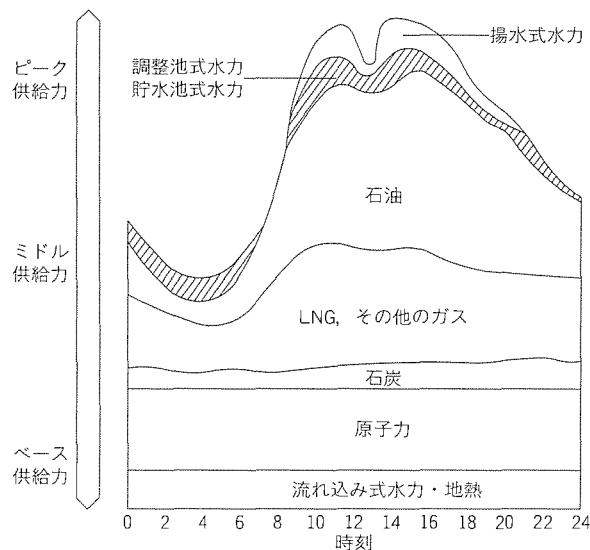


図2. 1日の電源設備の組合せ⁽¹⁾

の谷というパターンが顕著になっている。

電力を有効利用するためには、電力設備の効率低下の原因となる負荷のアンバランスを改善する必要がある。氷蓄熱空調システムは、夜間電力を利用することによって1日の電力負荷平準化に役立つとともに、年間の負荷平準化にも寄与する。

3.1.2 電力需給環境への対応

図1に示すとおり、昭和60年の1日当たりの最大電力が9電力会社合計で1億960万kWであったのに対し、平成7年には1億6990万kWに達した。平成7年の夏は猛暑の影響もあるが、冷房による電力需要は、年々増加傾向にある。

氷蓄熱空調システムは、夜間電力を利用することにより、昼間の電力需要を削減することに役立つ。

3.1.3 CO₂排出抑制への対応

図2に1日の電源設備の組合せを示す。電源設備は、流れ込み式水力、地熱、原子力、石炭火力、天然ガス火力、石油火力、貯水池水力等によって構成されており、需要の変動に応じて使い分けられている。深夜は、電力需要が少ないためベース電力と呼ばれる流れ込み式水力、地熱、原子力、石炭火力等の電源が稼働しており、CO₂の発生が少ない電源構成になっている。一方昼間は、電力需要の増加に応じてベース電力に加えて天然ガス火力や石油火力等が使われるため、夜間に比べてCO₂の発生量が増加する。

氷蓄熱空調システムは、深夜電力を利用することで昼間空調で使用される電力の需要を削減するため、非蓄熱式空調システムに比べてCO₂の排出抑制に役立つ。

3.2 ユーザメリット

氷蓄熱空調システムを導入することにより、ユーザには以下に述べるメリットがあり、社会的役割とともに普及促進の柱となる。

3.2.1 電気料金が安価

氷蓄熱空調システムは非蓄熱空調システムに比べて熱源機

容量が小さくなるので、契約電力が低くなり、基本料金を低減できる。さらに、氷蓄熱空調システムは、割安な夜間電力を使って氷を蓄えて昼間の冷房に利用するため、蓄熱調整契約に加入することにより、蓄熱運転時には昼間の30%の電気料金が適用される。この結果、非蓄熱空調システムに比べて年間電気料金も安くなり、非蓄熱空調システムに比べて高いイニシャルコストをランニングコストで回収することができる。

3.2.2 受変電設備コストの削減

氷蓄熱空調システムは非蓄熱空調システムに比べて熱源機容量を小さくできるので、受変電設備の容量及びコストを削減できる。

3.2.3 空調負荷の増加への対応

氷蓄熱空調システムは熱源機容量を小さくできるので、OA機器の増加や照明の照度アップによる空調負荷の増加に対し、契約電力の範囲内で空調機器の増設が行える。

3.3 普及促進のための支援制度

先に述べたように、氷蓄熱空調システムは、電力の負荷平準化及び電力需給対策とともに国のエネルギー政策や地球環境保全に大きく寄与するシステムであるため、国及び電力会社から普及促進のための各種支援制度が実施されている。この支援策により、氷蓄熱空調システムを設置する際のイニシャルコストの回収年数は大幅に短縮され、現在では3年程度になっている。

3.3.1 公的助成制度

(1) 利子補給制度

氷蓄熱式空調システム設置のために金融機関から受けた融資に対し、国から3%の利子補給が受けられる。

(2) エネルギー需給構造改革投資促進制度

対象となる設備を取得した場合には、税額の一部が控除されるか、特別償却として計上することができる。

(3) 低利融資制度

政府系金融機関により、対象となる設備取得に対して低利で融資が受けられる。

3.3.2 電力会社による普及支援策

(1) 普及奨励金制度

電力会社が氷蓄熱式空調システムの製造メーカーに対し、販売した機器のピークシフト電力量に応じて普及奨励金を支払う。

(2) 電気料金割引制度

昼間電力使用から夜間電力利用へ移行をするユーザーには、電気料金の割引制度が導入されている。

(3) リース制度

氷蓄熱ユニットシステム、氷蓄熱式パッケージエアコン、及び氷蓄熱式ビルマルチエアコンを対象としたリース制度が導入されている。

4. 氷蓄熱マルチエアコンの概要

以上のように氷蓄熱空調機は、電力の平準化、CO₂発生の抑制等の社会的効果にとどまらず、電力料金の抑制、受電設備の低減等のユーザメリットにおいても優れたものである。さらに最近では、電力会社や国からの、ユーザやメーカーに対する補助金等、氷蓄熱空調機が普及するための環境は整いつつあるといえる。

このような背景の下、当社では、氷蓄熱利用直膨式マルチエアコン（以下“シティマルチ ICE Y”という。）を開発したので、その概要と仕様を以下に紹介する。

4.1 開発コンセプト

氷蓄熱空調機に対する基本的な市場要求コンセプトは、昼間の空調運転の消費電力低減による電力負荷のピークカット又はピークシフトによるランニングコストの低減である。

こうした市場要求コンセプトに対して、シティマルチ ICE Yでは、以下を開発コンセプトとした。

4.1.1 蓄冷熱利用方式

冷房時の蓄熱（氷蓄熱）システムの多くは、蓄熱の利用方法において、圧縮機（空気熱源）が冷房負荷のベース負荷分を賄い、それ以上の変動負荷分を蓄熱熱源で賄おうとするものである。この方式は、電力負荷が一定となる利点がある反面、蓄熱利用分による冷房が少なくなるため、電力ピークシフト量を大きくできない。

シティマルチ ICE Yにおける冷房標準負荷時の氷蓄熱利用方式を図3に示す。また、軽負荷時の氷蓄熱利用方式を図4に示す。この方式は、ベース負荷分を蓄熱熱源分（放冷冷房分）で賄い、変動負荷分を空気熱源分（圧縮機冷房分）が賄うものである。この方式では、蓄熱熱源分（放冷冷房分）を優先して利用するため、年間を通じての電力ピークシフト率を大きくすることができる。さらに、冷房負荷が図4に示すような軽負荷なら、冷房負荷に占める蓄熱熱源分（放冷冷房分）が大きくなるため、電力ピークシフト率が大きくできるという特長がある。

4.1.2 ユニット構成

図5にユニット構成を示す。構成は、室外ユニット、蓄熱槽ユニット、及び複数の室内ユニット群で構成される。各ユニットにおける主な構成要素は次のとおりである。

室外ユニットは、インバータ圧縮機、冷媒ポンプ、及び室外熱交換器を内蔵している。冷媒ポンプとは、通常の圧縮機の運転が圧縮比4程度であるのに対し、圧縮比2以下の低圧縮比で運転する冷媒搬送手段である。

蓄熱槽ユニットは、製氷時、最大837 MJ (200,000 kcal) を蓄熱できる蓄熱槽を備えている。蓄熱槽内部には、蓄熱用の伝熱配管を縦方向に千鳥状に配列し、蓄熱材として水2,600 kgを収納している。

4.1.3 冷凍サイクル

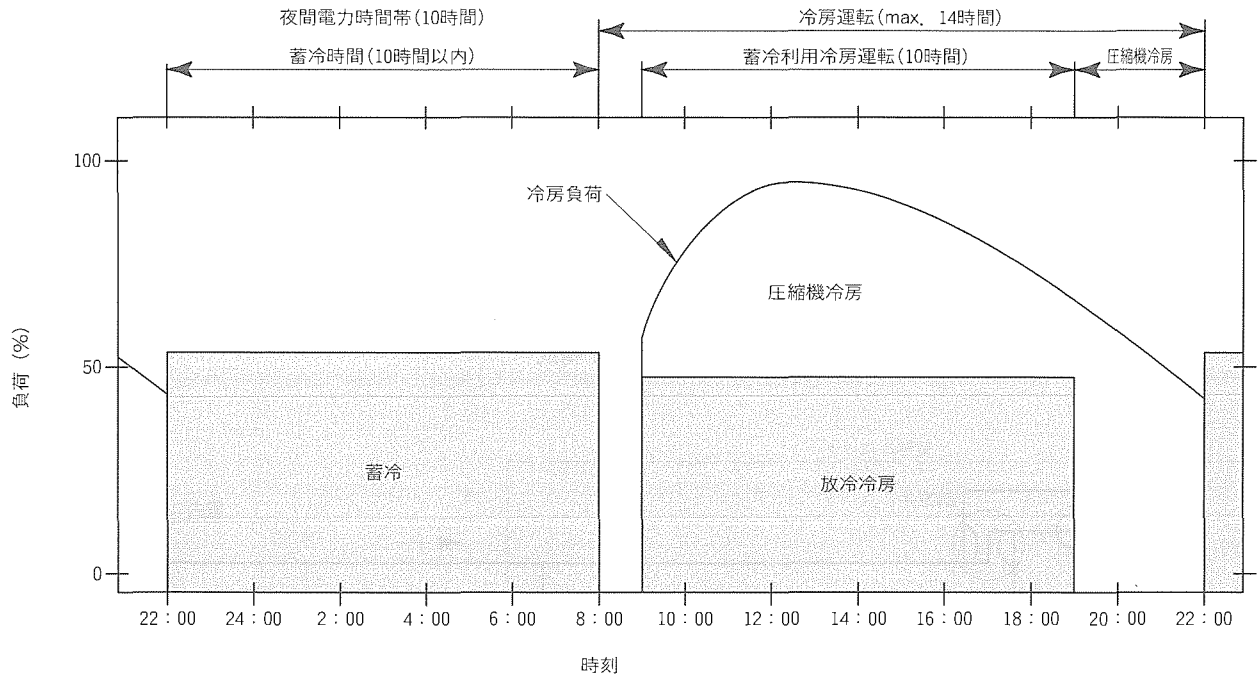


図3. 冷房標準負荷時の氷蓄熱利用方式

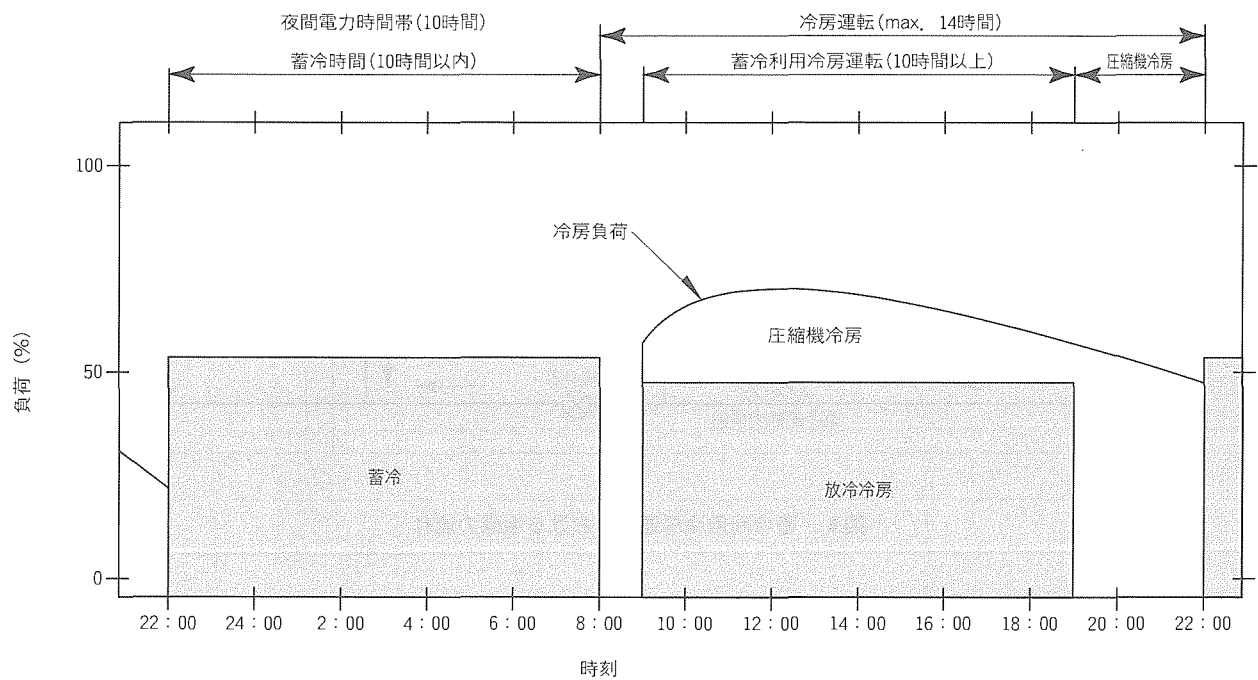


図4. 冷房軽負荷時の氷蓄熱利用方式

このユニットでは、冷房時期の夜間に行う蓄冷運転、蓄冷を利用する蓄冷利用冷房運転、及び蓄冷消化後の冷房運転である圧縮機冷房運転の三つの運転モードがある。暖房では、夜間に行う蓄熱運転、蓄熱を利用する蓄熱利用暖房運転、及び蓄熱消化後の暖房運転である圧縮機暖房運転の三つの運転モードがある。

以下に、上記合計六つの運転モードのうち、ピークシフト冷房運転となる蓄冷利用冷房運転の紹介をする。蓄冷利用冷房運転における冷媒の流れを図6に示す。蓄冷利用冷房運

転では、圧縮機と冷媒ポンプを運転する。圧縮機から吐出された高温高圧のガス冷媒は、室外熱交換器で凝縮液化する(圧縮機冷房側)。一方、冷媒ポンプから吐出された高温高圧のガス冷媒は、蓄熱用熱交換器で凝縮液化し(放冷冷房側)、室外熱交換器からの液冷媒と合流する。合流後の冷媒は、減圧された後、室内熱交換器で蒸発し、圧縮機と冷媒ポンプにそれぞれ吸入される。このとき、室内空気を冷却することによって冷房運転を行う。冷媒ポンプの運転は、製氷状態にある蓄熱槽内に収納されている蓄熱用熱交換器が凝縮器となる

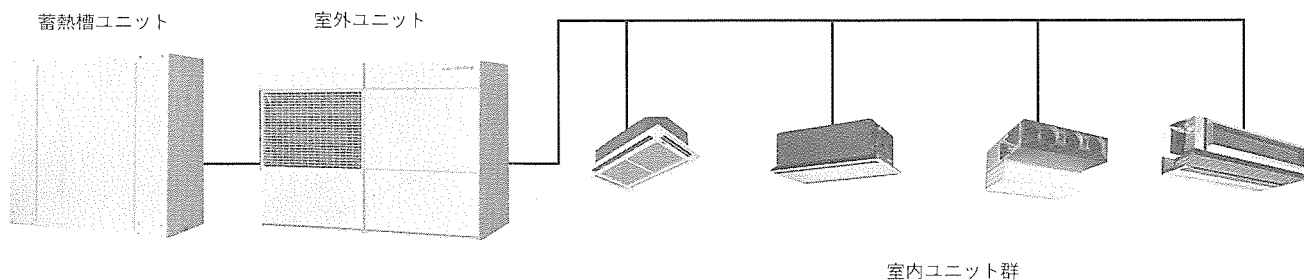


図 5. ユニット構成

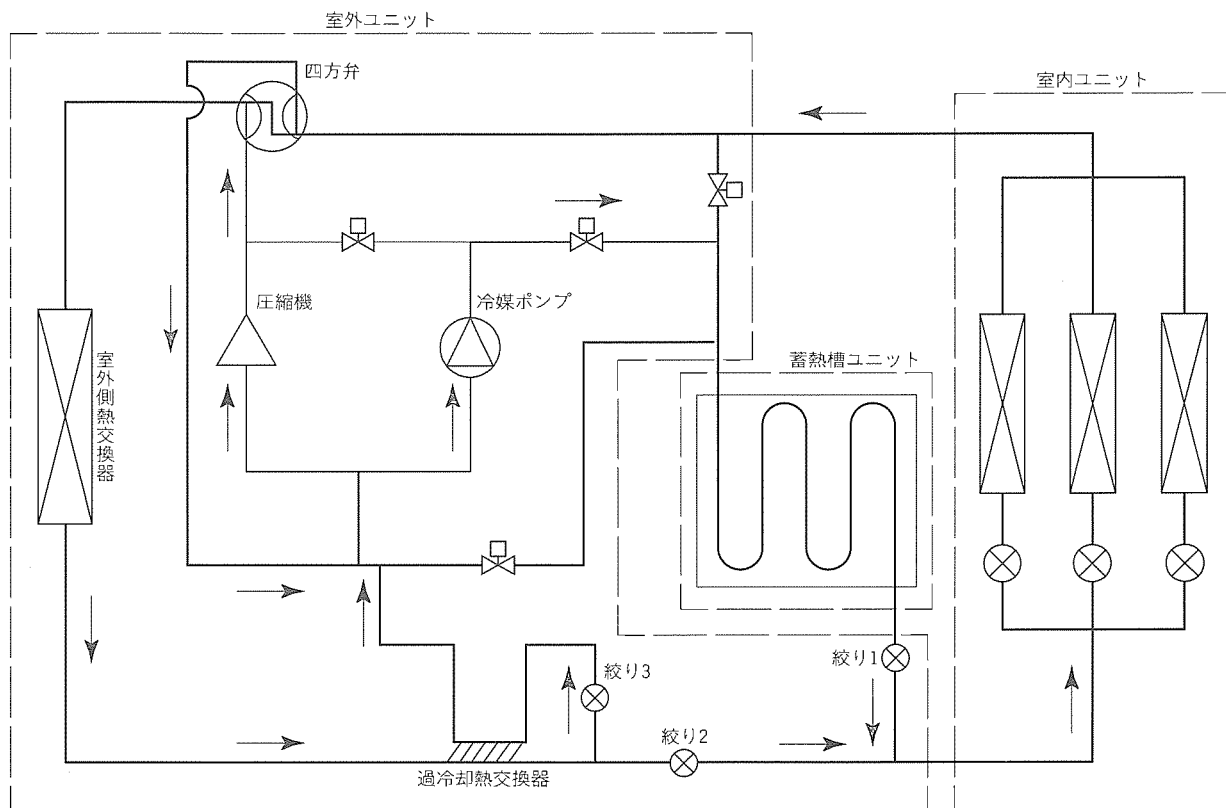


図 6. 蓄冷利用冷房運転における冷媒の流れ

ため、凝縮温度が低く、低圧縮比運転となる。この結果、同一の冷房能力を発揮するのに必要な消費電力は、通常の蓄熱を利用しないマルチエアコンと比べ、放冷冷房を全冷房能力の約 50% 利用した蓄冷利用冷房で約 60% となる。

4.2 仕様

シティマルチ ICE Y の仕様を表 2 に示す。

室外ユニットは、13 馬力相当と 16 馬力相当の 2 種類がある。蓄熱槽ユニットは、13 馬力相当、16 馬力相当とも共通である。

4.3 特長

シティマルチ ICE Y の特長は下記のとおりである。

4.3.1 蓄熱利用による消費電力の低減

(1) 蓄冷利用冷房運転

前述の蓄冷利用冷房による消費電力低減効果により、蓄熱

を利用しない空調機と比べると、消費電力量を最低でも 34% (当社比) 低減することができる。

(2) 蓄熱利用暖房運転

このユニットは、蓄冷を利用した冷房運転以外に、蓄熱を利用した暖房運転モードがある。この運転モードでは、蓄熱槽内に蓄熱運転で 40℃ の湯を蓄え、暖房運転時にその 40℃ の湯から採熱して暖房を行うため、通常の蓄熱を利用しないマルチエアコンの暖房運転消費電力と比べ、約 30% も消費電力を低減することができる。

4.3.2 蓄熱利用空調時間

空調負荷のほとんどを賄える 10 時間という長い時間、蓄冷・蓄熱利用の空調運転を可能とした。

4.3.3 製氷方式

上記 10 時間という長時間の冷房用の蓄冷量を確保するた

表 2. 仕 様

室外ユニット形名	PUHY-J355IM-A	PUHY-J450IM-A
相当馬力	13馬力相当	16馬力相当
電 源	三相200V (50/60Hz)	
外形寸法 (mm)	(高さ)1,445×(幅)1,990×(奥行き)995	
製品質量 (kg)	520	
運転質量 (kg)	520	
冷房(蓄冷利用時)*1		
能力 (kW)	35.5	45.0
消費電力 (kW)	9.1/9.1	12.5/11.5
蓄冷利用運転時間	10時間	
夜間蓄冷時間	10時間以内	
暖房(蓄熱利用時)*2		
能力 (kW)	35.5	45.0
消費電力 (kW)	8.9 / 8.9	11.3 / 11.5
蓄熱利用運転時間	10時間	
夜間蓄熱時間	10時間以内	
圧縮機電動機出力 (kW)	4.2	6.4
冷媒ポンプ電動機出力 (kW)	0.5×3	0.5×3
ファン電動機出力 (kW)	0.08×4	
蓄熱槽ユニット形名	STY-26A	
外形寸法 (mm)	(高さ)1,805×(幅)2,350×(奥行き)1,060	
製品質量 (kg)	600	
運転質量 (kg)	3,200	
水 張 量 (m ³)	2.6	
製 氷 方 式	スタティック方式	
I P F (%)	70以上	
冷媒配管径 (mm)	空調用(液/ガス)	15.88/31.75
	蓄熱用(液/ガス)	15.88/31.75

*1 冷房能力と消費電力は水温0℃時の値を示す。

*2 暖房能力と消費電力は水温40℃時の値を示す。

めに、製氷方式には、高密度氷蓄熱に適したスタティック方式を採用した。このため、氷充てん(填)率 (Ice Packing

Factor: IPF) を 70%以上とすることができ、蓄熱槽のコンパクト化・省スペース化が実現できた。

4.3.4 回収年度

以上の効果により、年間での電力料金を約 30% (約 18 万円) 低減することができる。その結果、蓄熱を利用しないユニットに対してイニシャルコストが 100 万円程度高くなるにもかかわらず、そのコストアップ分を、電力料金の低減のみで、約 5.5 年で回収可能である。さらに、電力会社や国からの補助金によって、この回収年度は約 2.5 年に短縮できる。

5. む す び

先に述べたように、氷蓄熱技術の応用範囲は多分野にわたり、今後ますます利用拡大が見込まれる。そして、その普及拡大のかぎ(鍵)を握るのは、言うまでもなくイニシャルコストである。現状の氷蓄熱応用システムは、事業分野ごとに独立してシステム構築がなされており、コストアップの要因となっている。

今後は、製氷技術の適正化、蓄熱槽の標準化、蓄熱制御技術の標準化等によってイニシャルコストを低減し、ユーザにとって更に魅力ある商品に育てていく必要がある。

参 考 文 献

- (1) 電気事業連合会：電気事業の現状 (1995, 1996)

HCFC-22代替冷媒空調機

田中直樹* 飯島 等*
 谷村佳昭* 関屋 慎*
 境野恵樹**

1. ま え が き

ハイドロクロロフルオロカーボン HCFC-22は、安全で運転効率が高い冷媒として、広範囲な空調機器に採用されてきた。しかし、その分子内の塩素がオゾン層へ悪影響を及ぼすことが判明し、今後は代替物質への転換が余儀なくされる状況になってきた。当社は既に、オゾン層にやさしいハイドロフルオロカーボン HFC-134 a を冷媒に用いた除湿機と大型チリングユニットの製品化を完了し、他の機器でも代替化開発を鋭意推進中である。

本稿では、これら冷媒代替化の現状を述べるとともに、新冷媒に対応できる独自開発の冷凍機油について概要を紹介する。

2. 冷媒規制の動向

オゾン層保護に関するウィーン条約は1985年に採択され、その後のモントリオール議定書で規制が具体化されてきた。当初はオゾン層破壊係数(ODP)の大きなクロロフルオロカーボン(CFC)のみが規制対象であった。しかし、オゾン層保護の効果を高めるために、ODPの小さなハイドロクロロフルオロカーボン(HCFC)も対象に含まれるようになり、空調機用冷媒 HCFC-22の代替化が必要になった。

1995年12月の締約国会議では、先進国のHCFC全廃時期が2020年に決められた。また、1989年の生産量から決めた規制基準値に対して、1996年は100%、2004年に65%、2010年に35%、2015年に10%と漸減させることが義務付けられた。

3. 代替冷媒開発の現状

代替冷媒については、日本冷凍空調工業会の参加各社が協調して試験解析を分担し、安全性や運転性能の観点からデータ収集と比較評価を行ってきた。現在は、データがほぼ出そろい、各社が機種ごとに最適冷媒を定めて製品化に進む段階

表1. 空調用代替候補冷媒の特性(冷房運転時)

冷 媒	冷媒分類	蒸発圧力 (MPa)	凝縮圧力 (MPa)	能力比	COP比
HCFC-22	単一	0.58	2.03	1(基準)	1(基準)
R-407C	非共沸混合系	0.59	2.19	1.01	0.97
R-410A	擬共沸混合系	0.93	3.17	1.43	0.92

比較条件：凝縮温度52℃、蒸発温度5℃での熱特性値による

である。

有力な代替冷媒は分子内に塩素を含まないハイドロフルオロカーボン(HFC)の混合系で、当社は小型・中型機種に対して表1に示すR-407C(質量混合割合はHFC-32:HFC-125:HFC-134a=23:25:52%)とR-410A(HFC-32:HFC-125=50:50%)に着目して開発を行っている。また、大型機種に対しては、既にチリングユニットでHFC-134aを採用して製品化済みなので、更に小型・高効率化ができる冷媒を検討している。

4. 代替冷媒と冷凍機油の特徴と課題

4.1 冷媒と冷凍機油の特徴

候補冷媒のR-407CとR-410Aは両者ともHFCの混合系であるが、特性の差異は大きい。

R-410Aは動作圧力がHCFC-22の約1.6倍になる問題があるものの、共沸系(混合液の組成と沸騰して発生する蒸気の組成が同一な系)に酷似する擬共沸冷媒であり、二相域の温度勾配が小さくて熱伝達率も良いという利点がある。これに対し、R-407Cは非共沸で、二相域の温度勾配が大きく、組成の変動、熱伝達率の低下に問題があるものの、動作圧力がHCFC-22に近いという利点がある。

代替冷媒に対応した冷凍機油には、エステル(POE)油とアルキルベンゼン(AB)油がある。POE油は冷媒と相溶するため、従来のユニット設計が適用できる。しかし、水分や不純物の混入によって油劣化が生じやすく、冷凍機油を取り扱う際の管理項目が増える問題がある。これに対し、AB油は管理項目が現行のままで済む。しかし、冷媒と相溶しないために圧縮機への油戻しを改善する必要があり、機器が複雑化したり、配管の制約が増加する問題がある。

4.2 冷媒と冷凍機油の組合せ

現在考えられる冷媒と冷凍機油の組合せを表2に示す。冷媒と冷凍機油は、それぞれメリットとデメリットを併せ持つため、各空調機器の特性と利用環境を勘案して、このマトリックス上で最適な組合せを選択する必要がある。

表2. 冷媒/油の選択

油	冷媒	
	単一, 共沸, 擬共沸	非共沸
相 溶	(現行: HCFC-22/鉱油) R-410A/POE油	R-407/POE油
非 相 溶	R-410A/AB油	R-407/AB油

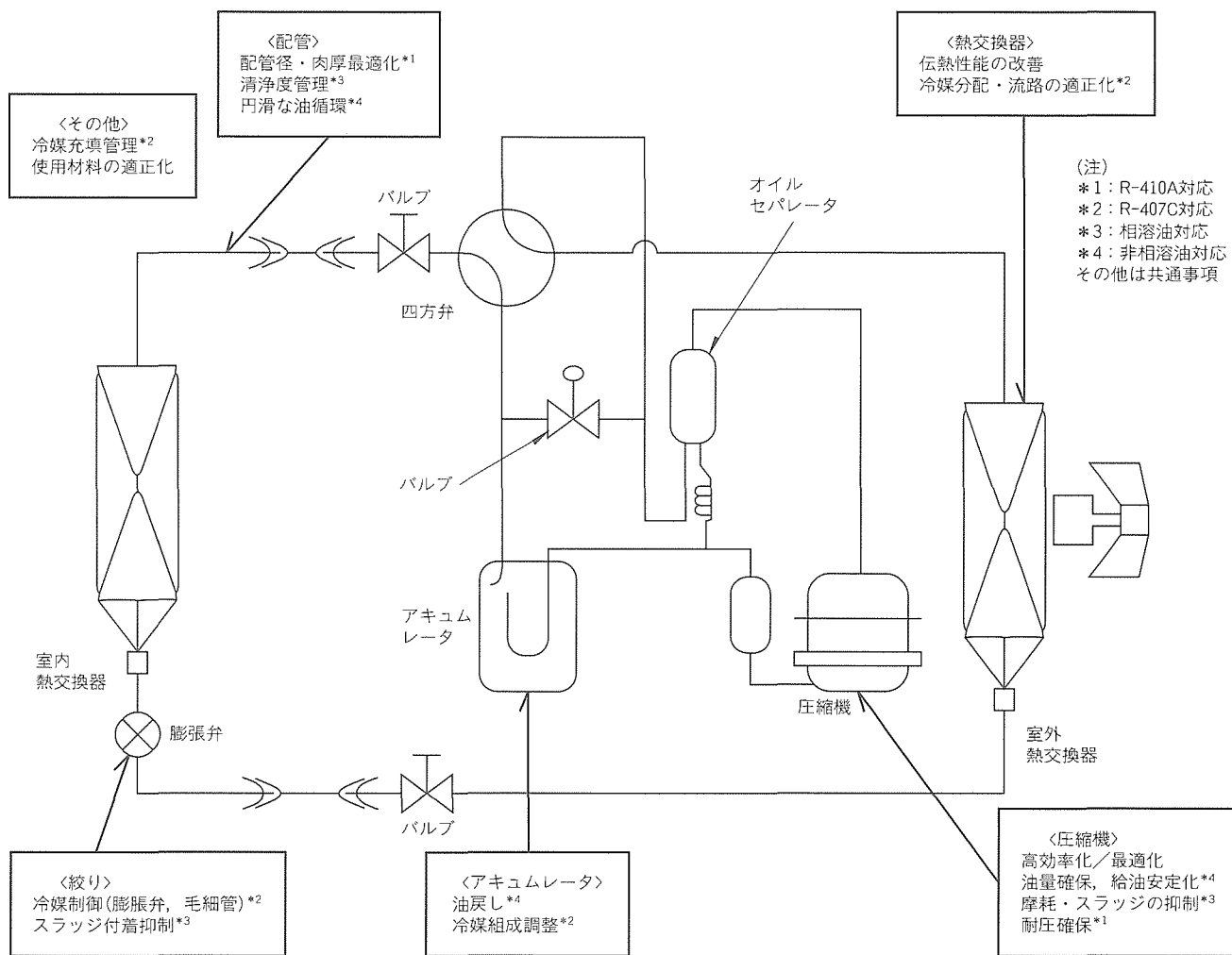


図1. 代替冷媒と冷凍機油の課題

現行では HCFC-22/鉱油が単一成分/相溶であるので、このマトリックス上では、R-410 A/POE 油の組合せが技術的には現行に最も近い。一方、R-407 C/AB 油は最も遠い組合せである。これらの新しい組合せに関連して、図1に冷媒回路構成とこれに対応する具体的課題を示し、以下で概要を述べる。

4.3 擬共沸冷媒 R-410A の課題

R-410 A は HCFC-22 の約 1.6 倍の圧力で動作するため、これに対応した圧縮機設計が必要である。また、熱交換器と配管は耐圧を高め、さらに、冷媒流速の低下に対応した管径の再設計が必要である。

4.4 非共沸冷媒 R-407C の課題

R-407 C は非共沸で、冷媒回路内での組成が変わりやすい。これに対応して、組成を安定化させるための冷媒充填(填)管理法の確立や、運転条件変化や冷媒漏えい(洩)時の冷媒制御法が課題である。また、熱交換器における不均一な冷媒分配が性能低下に大きく影響するので、設計に留意が必要である。

4.5 相溶油 POE の課題

POE 油は従来と比較してしゅう動部の耐焼付性・耐摩擦

性が低下し⁽¹⁾、また、加水分解でスラッジが生じるため⁽²⁾、添加剤などによる改善が必要である。特に、ロータリ圧縮機では、条件の厳しいしゅう動部で発生するスラッジが毛细管詰まり⁽³⁾を起こさないように、圧縮機の温度対策や冷媒回路内の清浄度管理が必要である。

4.6 非相溶油 AB の課題

AB 油は冷媒液との共存下で分離して上方に浮く特性がある。そこで、圧縮機の油戻し面からは、配管での円滑な油循環とアキュムレータからの油戻しに改善が必要である。また、圧縮機に多量の冷媒液が混入したときに給油の油濃度を高める方法が課題である。

5. 代替冷媒と冷凍機油の技術開発

5.1 代替冷媒関連の技術開発

5.1.1 R-407C の試験評価

表1に示したように、R-407 C の熱特性上の凝縮・蒸発圧力は HCFC-22 に近く、COP (Coefficient of Performance) も同程度である。従来から、R-407 C が有力視されてきた理由は主としてこれらの点である。

実機試験はルームエアコン及びパッケージエアコンを用い

表 3. 冷暖房試験結果

空調機		ルームエアコン			パッケージエアコン		
冷媒		HCFC-22	R-407	R-410A	HCFC-22	R-407	R-410A
冷房	吐出圧力 (kPa)	1,790	2,000	2,750	2,140	2,530	3,280
	凝縮温度 (°C)	45.9	47.7	46.1	52.4	52.8	52.2
	低圧圧力損失 (kPa)	43	35	28	81	71.5	40
	能力比	100	99	99	100	100	100
	COP比	100	97	96	100	90.4	107
暖房	吐出圧力 (kPa)	1,860	2,010	2,850	2,020	2,380	3,130
	凝縮温度 (°C)	47.3	48.2	47.3	50.3	50.5	50.6
	低圧圧力損失 (kPa)	20	16	10	22	16	10
	能力比	100	99	101	100	99	100
	COP比	100	94	93	100	94	99
ユニット仕様 (変更)		ベースユニット	室内外熱交換器 パス数/パターン変更	圧縮機押しのけ 容積変更	ベースユニット	ベースユニット	圧縮機押しのけ 容積変更

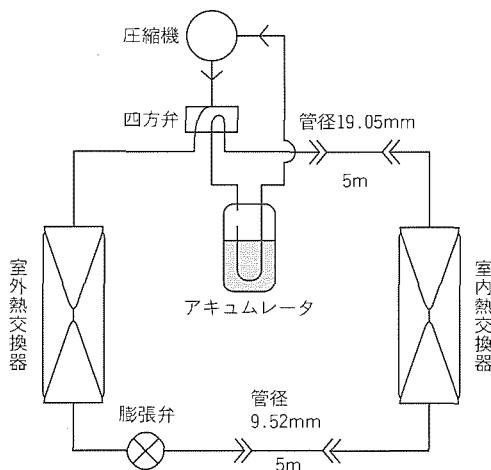


図 2. パッケージエアコンの試験冷媒回路

て実施した。パッケージエアコンの冷媒回路構成を図 2 に、また、主要な試験結果を表 3 に示す。ルームエアコンの試験では図よりも細い配管を用い、アキュムレータを除いて、より簡素な冷媒回路で行った。

試験結果では、COP 比が 90~97% となり、熱特性計算値に比べて低い COP となった。これは主に熱伝達率の低下が原因であり、最適化を実施すれば性能が向上すると考えられる。

なお、冷媒充填量を増すと循環冷媒組成が変化し、運転能力が増大する一方で、COP は 5% 程度低下⁽⁴⁾ することが分かった。この点には今後、十分な留意が必要である。

5.1.2 R-410A の試験評価

R-410 A は、冷媒熱特性で判断すると表 1 のように、COP が HCFC-22 と比較して 8%、R-407 C と比較しても 5% 低く、圧縮機試験でこの傾向が確認された。従来はこの点で、R-410 A は魅力が薄い冷媒とされていた。しかし、空調機では配管の圧力損失や熱交換器での伝熱性能が COP に大きく影響するので、この効果を計算と試験で調べた。

まず、低圧圧力損失の冷房 COP に対する影響を計算した

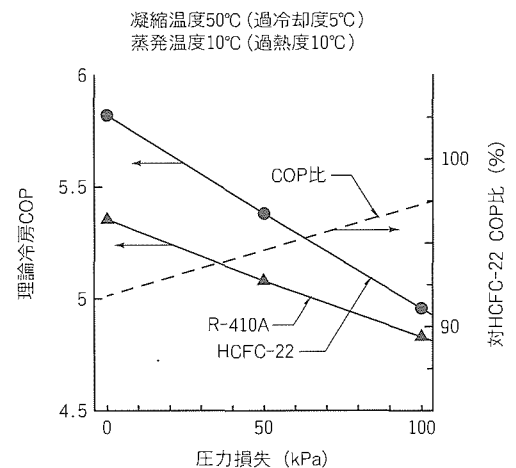


図 3. 低圧圧力損失がCOPに及ぼす影響

結果を図 3 に示す。圧力損失が 0 のときは表 1 と同じ結果であるが、圧力損失が増加するにつれて HCFC-22 と R-410 A の性能差が縮まる傾向にあることが分かった。また、同じ冷房能力の場合に圧力損失が約 35% 低減する⁽⁵⁾ ことを考えると、吸入側での圧力損失が 100 kPa 程度ある場合には、冷媒熱特性での不利を補って、HCFC-22 と同等の性能になることが期待できる。

前節と同様の実機試験での結果を表 3 に示す。R-410 A は HCFC-22 に比べて圧力損失が低く、前述の冷媒熱特性のみでの計算値に比べて COP が上昇し、93~107% の COP を得ることができた。

また、試験結果について詳細に解析した結果を図 4 に示す。圧力損失低減と蒸発熱伝達率向上の割合は機器と運転条件によって異なるが、すべて COP 向上につながる事が分かった。一方、ルームエアコン用の圧縮機の単体効率も 2~5% 低い結果となったが、これは設計変更によってほぼすべて改善できると考えられる。

以上、総合的に判断すると、R-410 A は R-407 C とともに代替冷媒として有力であることが明確になった。

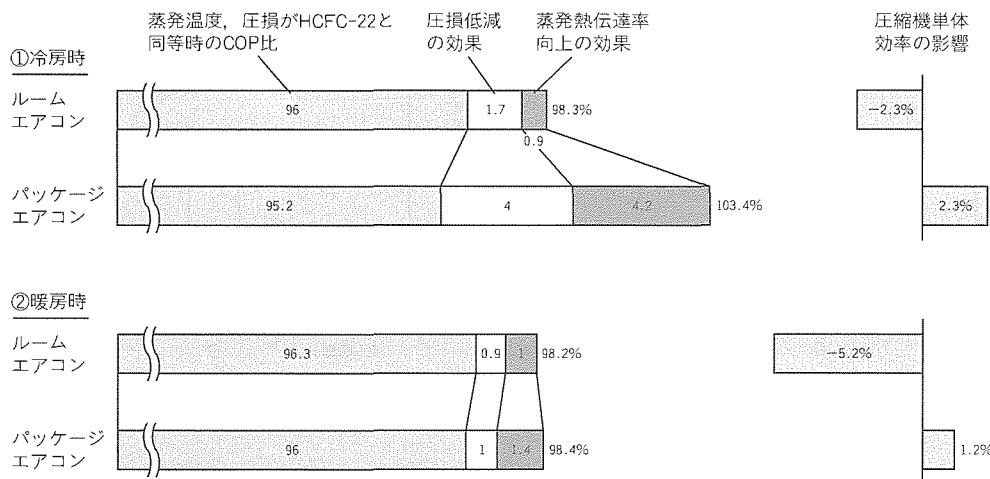


図4. COP比の詳細解析結果

5.2 冷凍機油関連の技術開発

5.2.1 ロータリ圧縮機耐久試験

ロータリ圧縮機での冷凍機油の性能を明確化するために、表4に示す冷凍機油/しゅう動材の組合せで耐久試験を実施した。ケースAはHCFC-22に対して、現在採用している鉱油を用いた組合せであり、基準として取り扱う。ケースB~Dは冷媒としてR-407Cを用い、冷媒と相溶するPOE油と非相溶性のAB油を組み合わせている。

なお、ケースB、Cで摩耗防止剤を添加しているのは、あらかじめ実施したPOE油単独の試験で過大な摩耗が発生し、試験続行が不能であったためである。また、表面の改質はベーンしゅう動材に施した。

以下、重要な指標である摩耗量とスラッジ量についての試験結果を述べる。

(1) 摩耗量

ベーンとピストンのしゅう動部分の摩耗量の試験結果をまとめて図5に示す。ケースBの結果から、POE油では単に摩耗防止剤を添加しただけでは摩耗量が現行よりも増加することが分かった。しかし、ケースCのように摩耗防止剤に加えて、ベーンしゅう動材を表面改質した場合には、摩耗は大幅に減少して実用可能となることが判断できる。

一方、ケースDのAB油では、現行しゅう動材のままでも、HCFC-22/鉱油よりも摩耗量は大幅に減少し、潤滑が良好であることが分かった。

(2) スラッジ量

毛細管に付着したスラッジ量を図6に示す。摩耗の小さかったケースCでは、スラッジ量がHCFC-22/鉱油と同等程度の良い結果が得られた。ケースBとの比較によって、表面改質によってしゅう動状態が改善されたことがスラッジ生成の抑制につながったと考えられる。

一方、ケースDのAB油では、現行しゅう動材のままでも、スラッジ付着量が小さい、良好な結果を得た。

5.2.2 POE油(相溶)の適用と課題

前節の結果から、POE油は添加剤としゅう動材の適切な改善によって摩耗量とスラッジ付着量が低減し、実用化が可能であることが分かった。ただし、POE油は吸湿性が高く、また、防せい(錆)油や加工油などが残存した場合にスラッジが発生しやすいデメリットがあるため、管理を厳しく維持する必要がある。

また、POE油をR-410A冷媒と組み合わせる場合には、ベーンとピストンのしゅう動部におけるしゅう動負荷がR-407C以上に増大し、しゅう動条件がより厳しくなることが予測される。このため、実用化に向けた評価・改善を更に推進する必要がある。

5.2.3 AB油(非相溶)の適用と課題

5.2.1項の結果により、AB油は、しゅう動部摩耗、スラッジ付着量とも現行より低減する優れた油であることが分かった。しかし、候補冷媒に対しては非相溶油であるために、油と液冷媒が分離しやすく、冷媒回路での円滑な油循環や圧縮機での給油に支障を来す可能性が残っている。

以下、この改善策についての検討結果を示す。

(1) 冷媒回路での円滑な油循環

当社では、小型・高効率なロータリ圧縮機を搭載した冷蔵庫に、AB油といわれる非相溶油を採用した。しかし、相溶油の使用が伝統であることに反した非相溶油の採用に対し、冷媒回路では油戻しに十分な配慮が必要であった。

例えば、配管中の油戻しに関しては、円滑な油循環が維持できる蒸気速度の影響を明確化した⁶⁾。この考え方は、空調機器にも適用可能である。

一方、空調機のアキュムレータに相当する液だ(溜)め部では冷凍機油が多量に滞留し、圧縮機で油不足になることが分かった。そこで、従来の図7(a)の構造を図(b)のように変更し、冷媒の流れを逆転させた。この結果、油の流れが円滑になり、圧縮機の油不足が解消できた。

空調機のアキュムレータでも、基本的には図7と同じ構造が適用できると考えられる。しかし、一方で、充填冷媒量

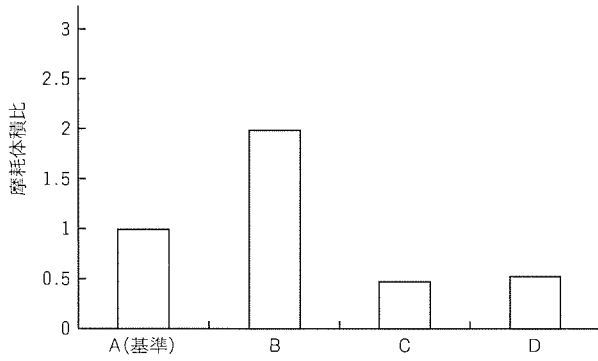


図 5. ベーン-ピストンしゅう動部の摩耗量

表 4. ロータリ圧縮機の耐久試験

ケース	A(基準)	B	C	D
冷 媒	HCFC-22	R-407C	R-407C	R-407C
冷 凍 機 油	鉱油	POE油+ 摩耗防止剤	POE油+ 摩耗防止剤	AB油
しゅう動材	現行材	現行材	現行材+ 表面改質	現行材

が多いために、油戻しが不十分な場合が生じることが予想された。そこで、基本に立ち返って新構造のアクキュムレータを提案し、開発を行っている。

(2) 圧縮機での給油

圧縮機では、過度な液戻りや停止中の温度低下によって、シェル内に液冷媒が多量に存在することがある。AB油を採用した圧縮機では、油が上部に浮いて給油系に液冷媒が入りやすいので、対策が必要である。

スクロール圧縮機を用いて、液戻り運転時のジャーナル軸受部潤滑状況を接触抵抗法⁽⁷⁾で調べた。この試験結果を図 8 に示す。電位が 0.1 V の場合は軸と軸受が非接触状態、0 V では接触状態に相当し、軸受部は断続的に接触していて、不完全な潤滑状態であった。目視観察では、給油系の吸込み部が液冷媒中にあり、この付近の液を抽出して測定した結果、油は 3~4% の低濃度であった。

液中の油濃度を上げる工夫の一つとして、軸端部に回転可能な円板(特許出願中)を設けて、上記と同条件で試験を行った。(b)はその試験結果である。(a)と比較すると、接触状態(0 V)がなくなり、潤滑が大幅に改善されることが分かった。

なお、吸込み部付近の液冷媒中の油濃度は測定結果で約 30% になり、回転円板のかくはん作用が効果的であった。

6. む す び

本稿では、従来から検討してきた冷媒 R-407C に加えて、R-410A が有力な代替候補であることを明らかにした。しかし、R-410A は動作圧力が従来の 1.6 倍になるため、耐圧性アップのために製品が重くなったり、余分な工事が増える可能性がある。この点からは R-410A を小型機種、R-

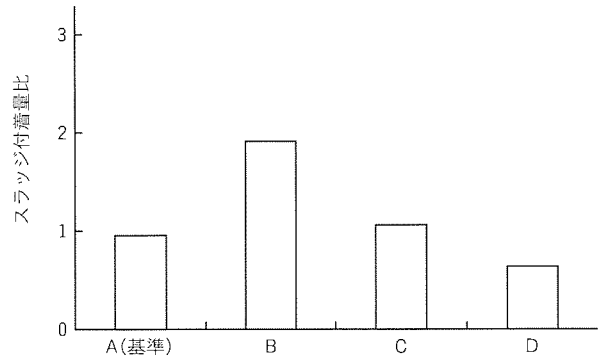


図 6. 毛細管へのスラッジ付着量

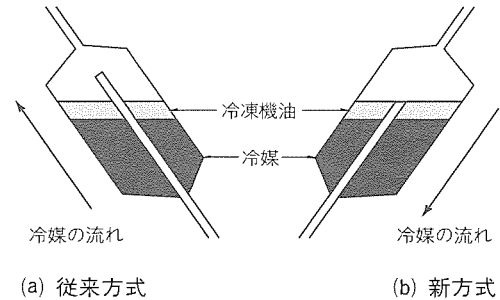
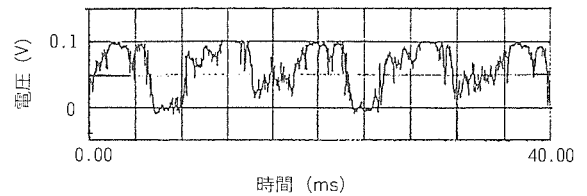
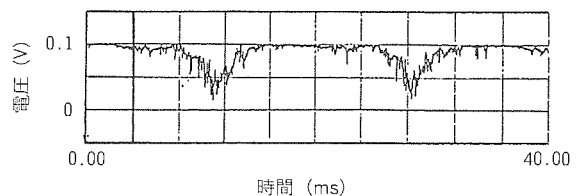


図 7. 冷蔵庫液溜め部の構成



(a) 円板なし



(b) 円板あり

図 8. スクロール圧縮機ジャーナル軸受の液戻り運転時潤滑状況(R-407C/AB油)

407C を中形機種に採用する方向が適切と考えられる。

今後は、それぞれの機器に対応した得失を比較して冷媒を決め、製品化開発につなげる予定である。

一方、冷凍機油に関しては、当社の冷蔵庫で培った非相溶油の利用技術を空調機にも展開できる可能性が確認できた。今後は、選定された冷媒に対して相溶/非相溶のそれぞれのメリット、デメリットを更に詳細に検討し、最適な選択を行っていく予定である。

参考文献

- (1) 中尾英人：冷媒雰囲気におけるジャーナル軸受の耐焼付性能，第5回冷凍・空調および冷凍機油に関するシンポジウム・講演論文集，4-1（1995）
- (2) 萩原敏也，酒井章充，山下 修，田原秀雄：エステル系冷凍機油の加水分解性，トライボロジ会議・講演論文集，45（1994）
- (3) 火威 進，外山俊之，河原克巳，野村雅樹：HFC系冷媒用ロータリ圧縮機の評価，第5回冷凍・空調および冷凍機油に関するシンポジウム・講演論文集，7-1（1995）
- (4) 中山雅弘，飯島 等，谷村佳昭：R 32/125/134 a混合冷媒を用いた空調機の循環組成変化と性能への影響，Proceedings, The International Symposium on R 22 & R 502 Alternative Refrigerants '94, 79~83（1994）
- (5) 七種哲二，中山雅弘，飯島 等，谷村佳昭：HCFC 22代替冷媒空調機の運転特性，第30回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集，177~180（1995）
- (6) 隅田嘉裕，小西広繁，川口 進，増田 昇：HFC-134 a対応ロータリ圧縮機搭載冷蔵庫の開発，冷凍，96, No.800, 48~52（1993）
- (7) 谷口正成，犬飼智博，高木 相，赤崎 勇：摺動コンタクトの接触電気抵抗とコンタクト表面との相関に関する実験的検討，日本トライボロジ学会トライボロジ会議講演論文集，15~16（1993）



新冷媒仕様地中送電線冷却用冷凍機

新海光史* 後藤耕治**
 杉山邦生* 小澤 明***
 松下一雄*

1. ま え が き

東京電力(株)では、都市部における電力需要の増大に対応するため、図1に示すように、洞道内の地中送電線に並行して水冷管を敷設し、冷凍機から得た冷水を循環させて洞道内を間接冷却してケーブルからの発生熱を吸収し、送電容量を増加させるシステムの導入を進めている。

三菱電機(株) (以下“当社”という。)は、東京電力(株)から建設コストの低減、設備の信頼性向上を目的とした“コンパクト型地中送電線冷却システム用冷水製造設備の研究開発”を委託研究として受けて推進した結果、当初目標の高信頼性、コンパクト、低騒音、全自動運転を達成し、1988年に275kV 豊島線増容量工事の冷却ステーションである西巣鴨調整所に第1号機(総冷却容量530 USRTの冷水製造設備)を納入し、その後も他の調整所に地中送電線冷却用の冷凍機を納入してきた。

しかしながら、従来機は使用している冷媒が指定フロンHCFC-22 (以下“R-22”という。)であったため、“昨今の環境問題から、公共性の高い設備にはオゾン破壊係数“0”の

HFC冷媒を使用していきたい。”との客先意向から、HFC冷媒対応機の製品化を強く要望され始めた。

これにこたえるため、当社は '93年から HFC冷媒仕様の地中送電線冷却用の冷凍機の製品開発を推進した結果、'95年に3調整所、'96年に1調整所(いずれも275kV 横浜港北線)に HFC冷媒仕様機を納入することができた。

本稿では、HFC冷媒仕様機の開発及び製品シリーズを中心に紹介する。

2. 地中送電線冷却システムの概要と要求される機能

地中送電線冷却システムは、前述のように洞道内に敷設された水冷管内に冷水(約10℃)を循環させ、送電線からの発生熱を吸収し、送電容量を増加(約1.3~1.5倍)させている。この水冷管内を循環している冷水は、地中送電線ルートに沿って約5~8km間隔で建設される冷却ステーション(以下“調整所”という。)から供給される。

調整所は図2に示すように、冷凍機、蓄熱槽、及び付帯設備から構成される冷水製造設備を収納している。したがって、地中送電線冷却システムにおいて、冷水製造設備はその

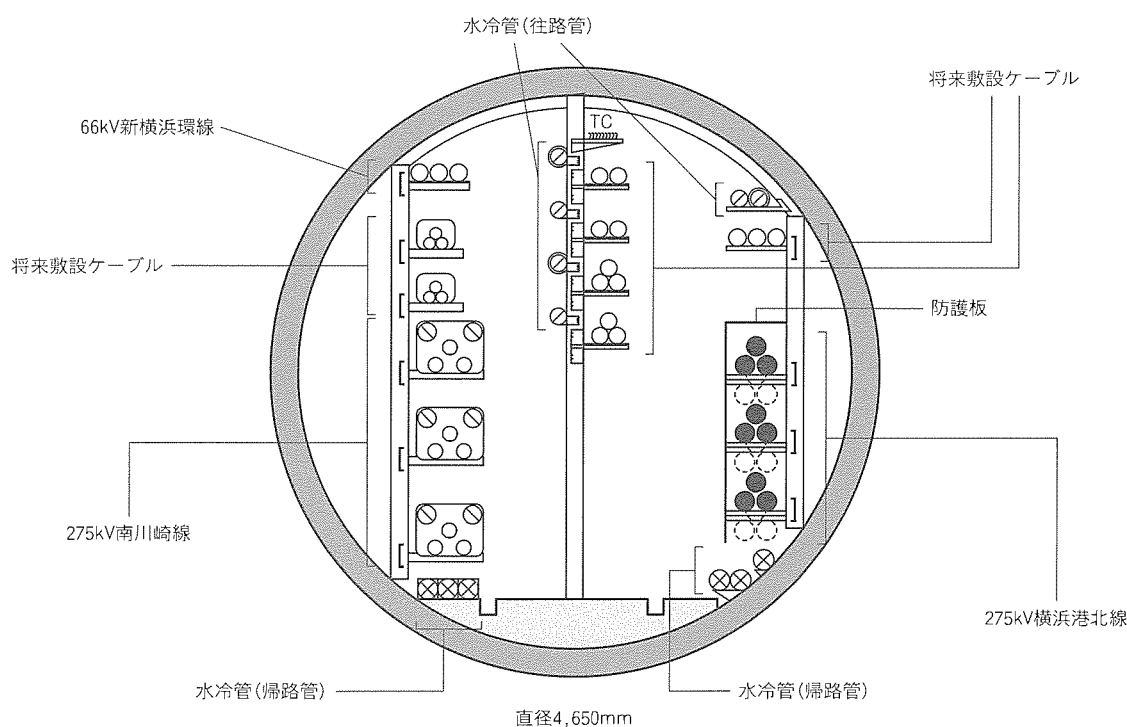


図1. 地中送電線洞道断面(例)

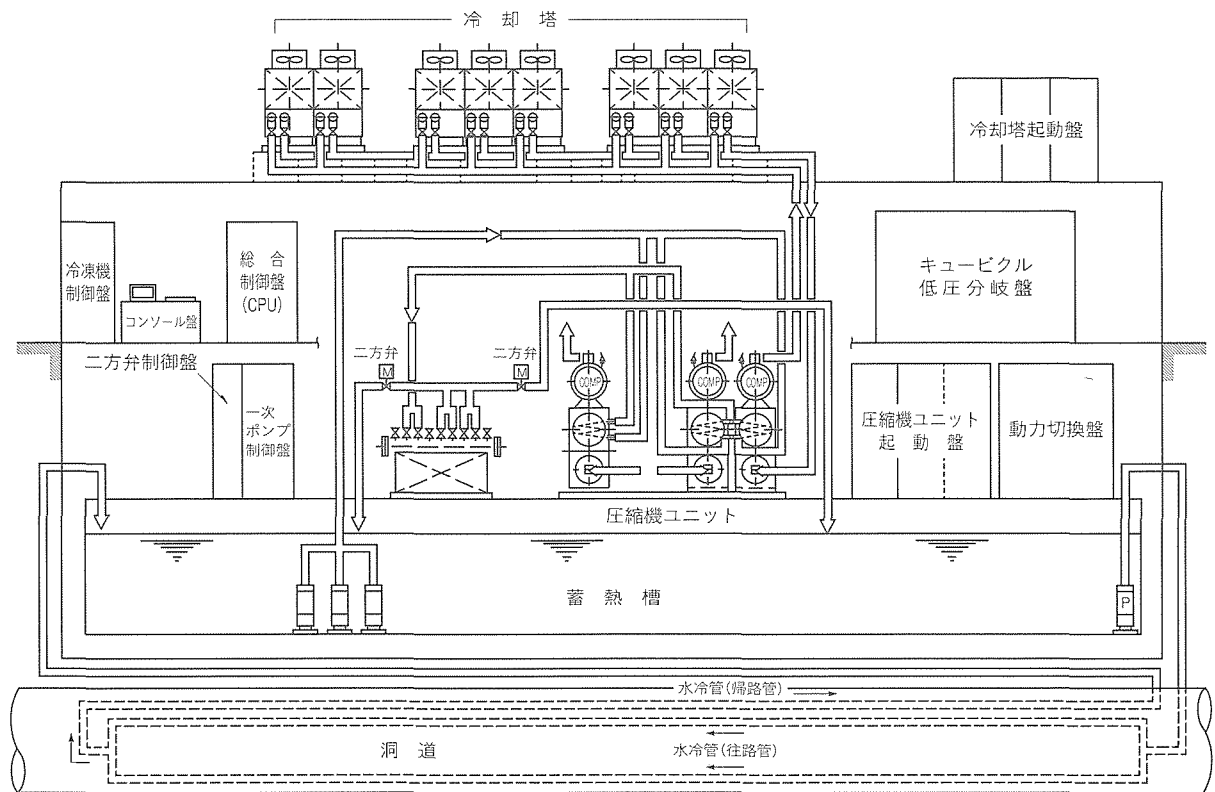


図 2. 地中送電線冷却用冷水製造設備

中枢となる重要設備であり、従来から次のことが要求されている。

(1) 高信頼性

都市部への電力供給という社会的責任と密接に結び付いた送電線の冷却にかかわるため、高い信頼性を確保すること。

(2) コンパクト

調整所は都市部に建設されるため、土地の確保、建設コストの面からコンパクトであること。

(3) 低騒音 (空冷凝縮器)

民家と隣接して建てられることが多く、屋上に設置される空冷凝縮器 (以下“冷却塔”という。) は低騒音であること (敷地境界線上で 45~50 dB (A))。

(4) 全自動運転

年間を通して全自動運転が可能な制御システムを持っていること。

さらに今回、新たな要求として、

(5) HFC 冷媒仕様

公共性の高い設備であることから環境問題を考慮し、オゾン破壊係数“0”の HFC 冷媒を採用していることが追加された。

なお、冷凍機は、夏期などにおいての水不足という不測の事態でも冷却機能を保持させる必要があるため空冷式に、さらに低騒音の観点から、圧縮機を機械室設置とするリモート空冷式に限定されている。

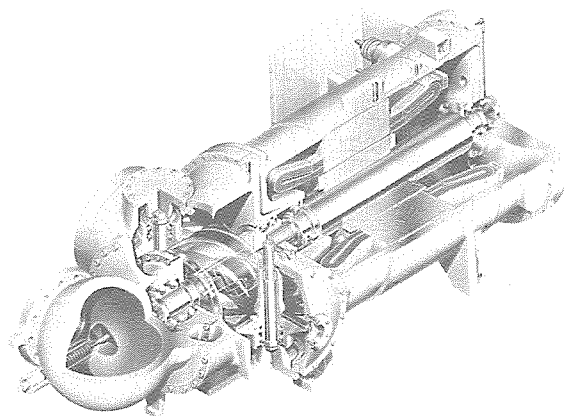


図 3. リキッドインジェクション方式
半密閉大型シングルスクロー圧縮機

3. HFC 化に伴う要求課題に対する対応

HFC 冷媒としては、高圧ガス取締法に記載され、現在市場での入手が容易な唯一の HFC 冷媒である R-134 a を採用した。ただし、R-134 a は、本来 CFC-12 の代替冷媒であるため、R-22 とは冷媒の特性が大きく異なる。特に性能面ではガス比容積が大きくなるため、同一性能を得るために圧縮機の容量を R-22 の約 1.6~1.7 倍にする必要がある。

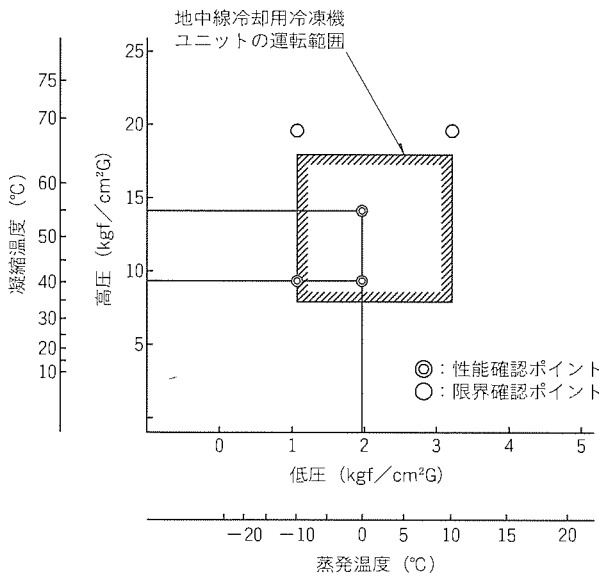


図4. 地中送電線冷却用冷凍機の運転範囲

3.1 高信頼性

高信頼性化は、構成要素の信頼性向上と、ユニット構成による信頼性向上の両面から向上を図っている。

3.1.1 構成要素の信頼性向上

(1) リキッドインジェクション方式半密閉型大型シングルス

クリーク圧縮機の採用 (図3)

心臓部ともいべき圧縮機に、耐久性に優れた当社独自の技術であるリキッドインジェクション方式半密閉型大型シングルスクリーク圧縮機を採用した。これによって吐出ガス温度が吐出圧力飽和温度相当となるため、過熱運転による焼付き及び油・冷媒の熱分解・熱劣化のトラブルを解消している。

なお、今回 R-134a 仕様となるため、従来よりも圧縮機容量が約 1.6~1.7 倍大きく、従来では 60, 75 kW (R-22 時) の複数台搭載であったものが、大型の 120~320 kW (R-22 時) の複数台搭載となる。R-134a 対応の大型スクリーク圧縮機は既に水冷式冷凍機 (130~600 USRT) に使用されており、冷凍機油 (エステル油) との相性やモータ絶縁については検証済みである。これに加えて、図4に示すこの製品の運転範囲を超えた条件での運転を実施し、問題のないことを確認している。

(2) 乾式水冷却器の採用

水冷却器は、一般に、乾式と満液式に分けられる。地中送電線冷却用冷凍機の場合、冷水凍結が起こりにくい、特別な油戻しが不要、冷媒量が少ないといった信頼性及び経済性の面から、乾式水冷却器を従来から採用している。特に今回、使用する冷凍機油が吸湿性の高いエステル油であるので、万一の冷水凍結に対して配慮し、乾式水冷却器とした。

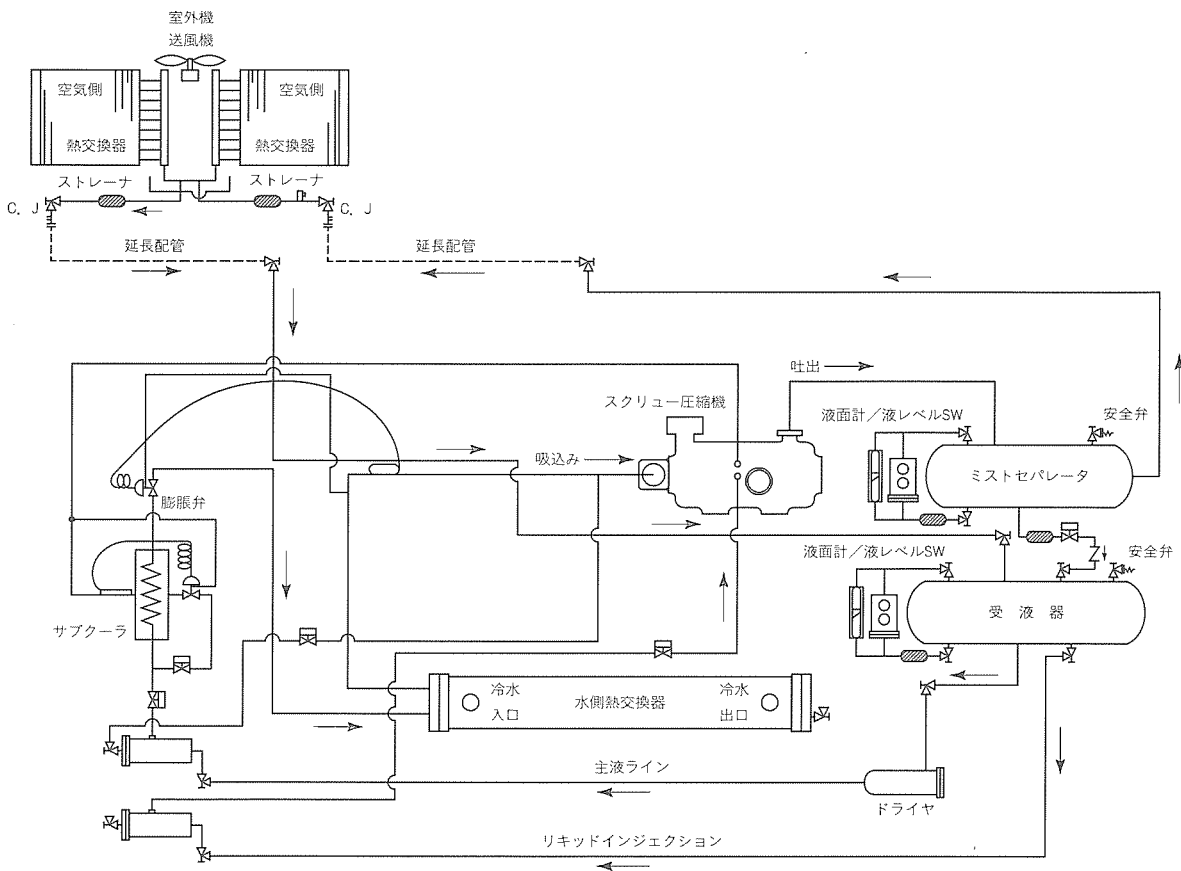


図5. 22.5kW試作機冷媒配管系統

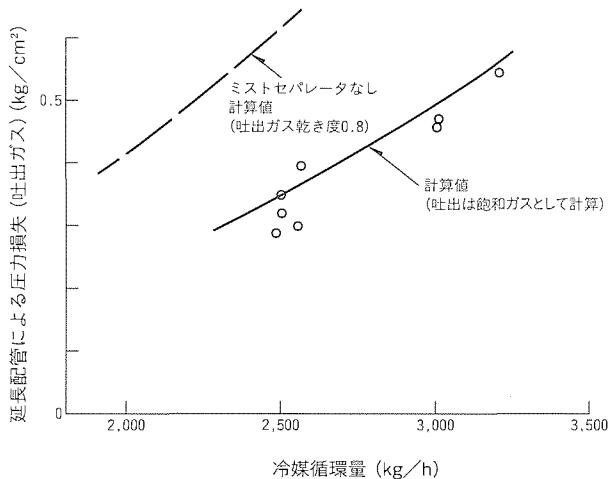


図 6. 延長配管における冷媒側圧力損失

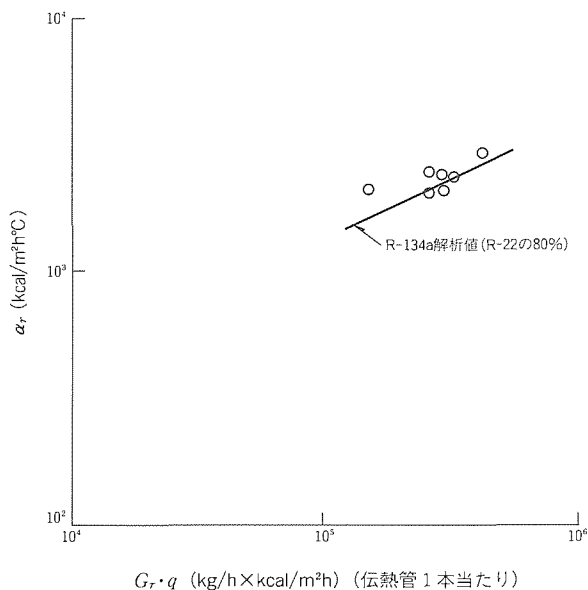


図 7. R-134a蒸発熱伝達率

(3) 標準部品の採用

冷却塔・受液器・制御弁・電気部品等は、使用実績のある標準部品を極力採用し、信頼性を高めている。

(4) 試作機による検証

地中送電線冷却用の冷凍機は 100～400 USRT と容量が大きく、またリモート空冷式を採用しているため、様々な外気条件を想定した検証を環境試験室内で実施することが難しい。そこで、図 5 に示すような 22.5 kW 相当の小型の試作機を製作し、環境試験室内で検証を行い、以下のような結果を得た。

(a) クールダウン特性

高外気温度時の高温還水を想定し、外気温度 35°C DB、冷水温度 35°C の条件から始動した結果、異常なく運転が継続され、約 120 分で冷水温度が 7°C まで低下することを確認した。

(b) 低外気温度時立ち上がり特性

低外気温度時の高圧圧力が立ち上がりにくく、リキッドインジェクションが供給されにくい条件を想定し、外気温度 -2～0°C DB の条件から始動した。ファンコントロールによって高圧圧力が上昇し、約 10 分で始動制御が終了した。この間リキッドインジェクションも良好で、問題なく始動することを確認した。

(c) 冷媒配管圧力損失

延長配管における高圧側圧力損失を測定した。この測定結果は、リキッドインジェクションによって気液二相となった吐出ガスがミストセパレータで気液分離され、飽和ガスのみが延長配管内を搬送されるものとして修正 L-M (Lockhart-Martinelli) 法によって計算した結果とほぼ一致することを確認した (図 6)。

(d) 冷媒側熱伝達率 (熱交換器特性)

空気側熱交換器での凝縮熱伝達率、水側熱交換器での蒸発熱伝達率を測定し、次式 (1)、(2) による解析値とほぼ一致することを確認した。特に乾式水冷却器における R-134 a の蒸発熱伝達率はこれまで実験的に求めたことがなかったが、図 7 に示すとおり R-22 の約 80% となることを確認した。

管内凝縮熱伝達率 α_c (kcal/m²h°C) は、次式 (Traviss の式) で表される

$$\alpha_c \propto F(X_{tt})^{1.15} \cdot F_2^{-1} \cdot \lambda_e \cdot G_r^{0.9} \cdot \mu_e^{0.9} \cdot Pr_e \dots\dots(1)$$

また、管内蒸発熱伝達率 α_e (kcal/m²h°C) は、次式 (Pierre の式) で表される。

$$\alpha_e \propto \lambda_e \cdot G_r \cdot \mu_e^{-1} \cdot \Delta \chi^{0.5} \cdot q_e^{0.5} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 $F(X_{tt})$: マルチネリパラメータ X_{tt} の関数

- X_{tt} : 粘度と密度の関数
- F_2 : プラントル数 Pr とレイノルズ数 Re の関数

λ_e : 熱伝導率 (kcal/mh°C)

μ_e : 粘度 (kg・s/m²)

G_r : 冷媒流量 (kg/h)

χ : 冷媒の乾き度

q_e : 潜熱 (kcal/kg)

(5) 圧縮機ユニットの耐震対策

従来 R-22 仕様機は地震を想定して、圧縮機ユニット、冷却塔ともに実機による加振試験を実施している。今回、冷却塔は従来品と同一仕様であるため、圧縮機ユニットのみ NASTRAN による耐震シミュレーション (図 8) を実施し、実地震応答スペクトルによる耐震強度評価を行った。

この結果を基に圧縮機ユニットに補強を実施し、さらに輸送試験でも補強の効果を確認することにより、耐震強度を向上させた。

3.1.2 ユニット構成による信頼性向上

(1) マルチ構成

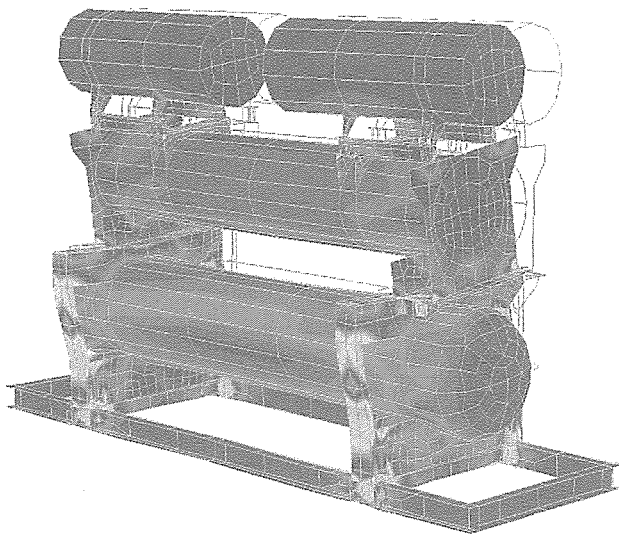


図 8 . NASTRANによる耐振シミュレーション

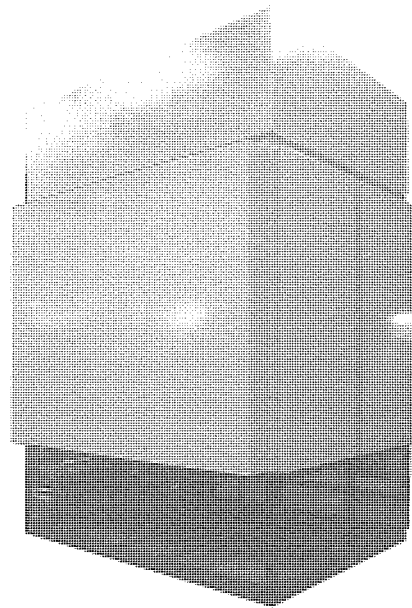


図10. 冷却塔の外観

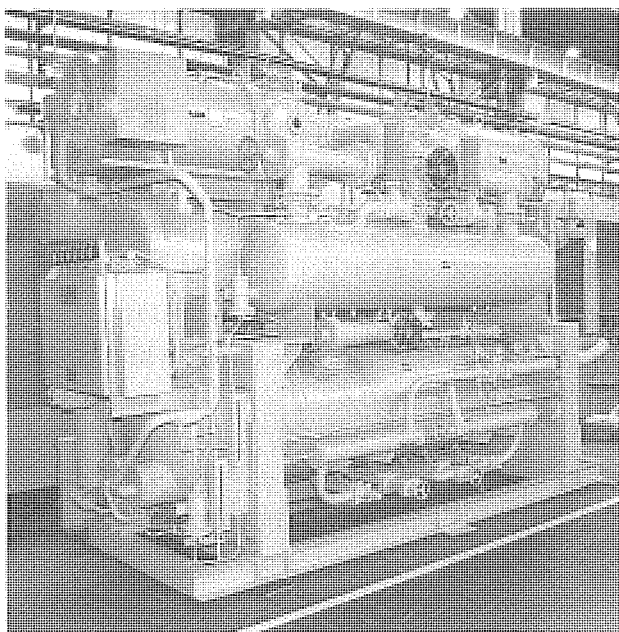


図 9 . 圧縮機ユニットの外観

圧縮機ユニットは2台の圧縮機を搭載し、さらに調整所は圧縮機ユニット、冷却塔ともに常用ユニット、予備ユニットを設置するマルチ構成を従来と同様に採用した。ユニット(圧縮機)が点検・調整中であっても、他のユニット(圧縮機)が運転することによって要求冷却能力に対して十分な余裕を持ち、送電線冷却に支障を来さないよう、信頼性を確保している。

(2) 標準化・モジュール化

150 USRT以上の空冷式大型冷凍機の場合は通常現地組立方式となるが、ユニットのコンパクト化・モジュール化によって圧縮機ユニット、冷却塔とも工場での組立てが可能となった。R-134a仕様機の場合、使用する冷凍機油(エステル油)の特性上、水分と異物の管理が重要となるが、コンパ

クト化・モジュール化によって現地工事が現地冷媒配管のみとなるため、水分や異物の混入を最小限に抑えることができ、これに伴うトラブルの発生を防止している。また、工場においてユニット試験が可能のため、現地試運転時に生じやすい初期トラブルを解消することができた。

冷却塔については、“65 RT 冷却塔”と“50 RT 冷却塔”の2種類の容量のモジュールとし、これらを組み合わせることによって圧縮機ユニット容量の大小に対応している。圧縮機ユニット、冷却塔の外観を図 9、図 10 に示す。

3.2 コンパクト化

(1) ミストセパレータの採用と現地冷媒配管サイズの最適化
シングルスクリュウ圧縮機の吐出ガスは、リキッドインジェクションによって気液二相となる。従来機ではこれを直接冷却塔へ搬送していたが、R-134aの場合、ガス比容積が大きいので、気液二相冷媒のままでは現地冷媒配管での圧力損失が大きくなり、冷却塔の台数が増加してしまう。そこで、気液二相の吐出ガスのうちの液相の大部分をミストセパレータで分離し、冷却塔へ搬送される冷媒を可能な限りガス相とすることにより、現地冷媒配管における圧力損失を低減して冷却塔の台数増加を防止している。

一方、圧縮機ユニットから冷却塔までの現地立上り配管は、油戻りの限界流速を確保できる配管径以下にならなければならない。したがって、“圧力損失低減”と“限界流速の確保”という相反する2要素を考慮した上で、各圧縮機容量に見合った配管径を決定する必要がある。現地冷媒配管サイズの決定に当たっては、次式(3)“Wallisの式”をベースとし、試作機での試験データを基に配管サイズを決定した。

返油限界流速 U_g (m/s) は、次式 (Wallis の式) で表される。

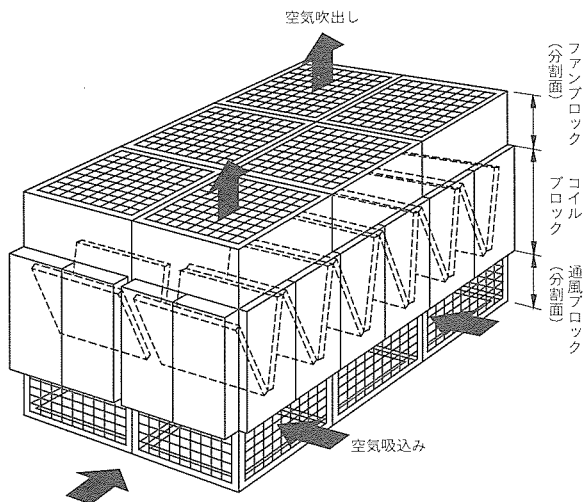


図11. 冷却塔の連続集中設置

$$U_g = U_g^* \{g \cdot D (\rho_l - \rho_g) / \rho_g\}^{1/2} \dots\dots\dots(3)$$

- ここで、 U_g^* : 無次元速度 (定数)
- g : 重力加速度 (m/s²)
- D : 配管内径 (m)
- ρ_l : 油密度 (kg/m³)
- ρ_g : 冷媒ガス密度 (kg/m³)

(2) 冷却塔の連続集中設置

冷却塔の空気側熱交換器には従来と同様にルーバステアフィンと内面溝付き管を用い、さらに図11に示すようにV

字形構成とすることによって連続集中設置を可能とし、据付け面積のコンパクト化を図っている。

(3) 圧縮機ユニットのコンパクト化

R-134a仕様化によって搭載圧縮機の容量が従来のR-22仕様機の約1.6~1.7倍となるが、配管サイズや熱交換器の最適化、構成機器のレイアウトの最適化により、圧縮機ユニットのコンパクト化を図った。これにより、従来機とほぼ同等のサイズを実現した。

3.3 低騒音 (冷却塔)

当社の低騒音化技術の成果を反映した75cmのエクストラファンと、吸音材を内張りした防音パネル構造を採用し、低騒音化を実現している。

3.4 全自動

調整所は基本的に無人であるが、冷却システムは遠隔地からの設備管理、発停操作及び全自動運転が可能であり、有人運転と同等の制御・管理機能を持っている。図12に示す制御システムブロック図のとおり、総合制御盤による冷却システムの群管理と、冷凍機制御盤による冷凍機等の機器の制御との機能階層化を図っている。冷却システムは、温度・圧力等の計測情報に基づいた総合制御盤からの発停・制御指令によって全自動運転を行う。

4. R-134a仕様の製品シリーズ

3章の結果を踏まえて製品化したシリーズの仕様を表1に示す。

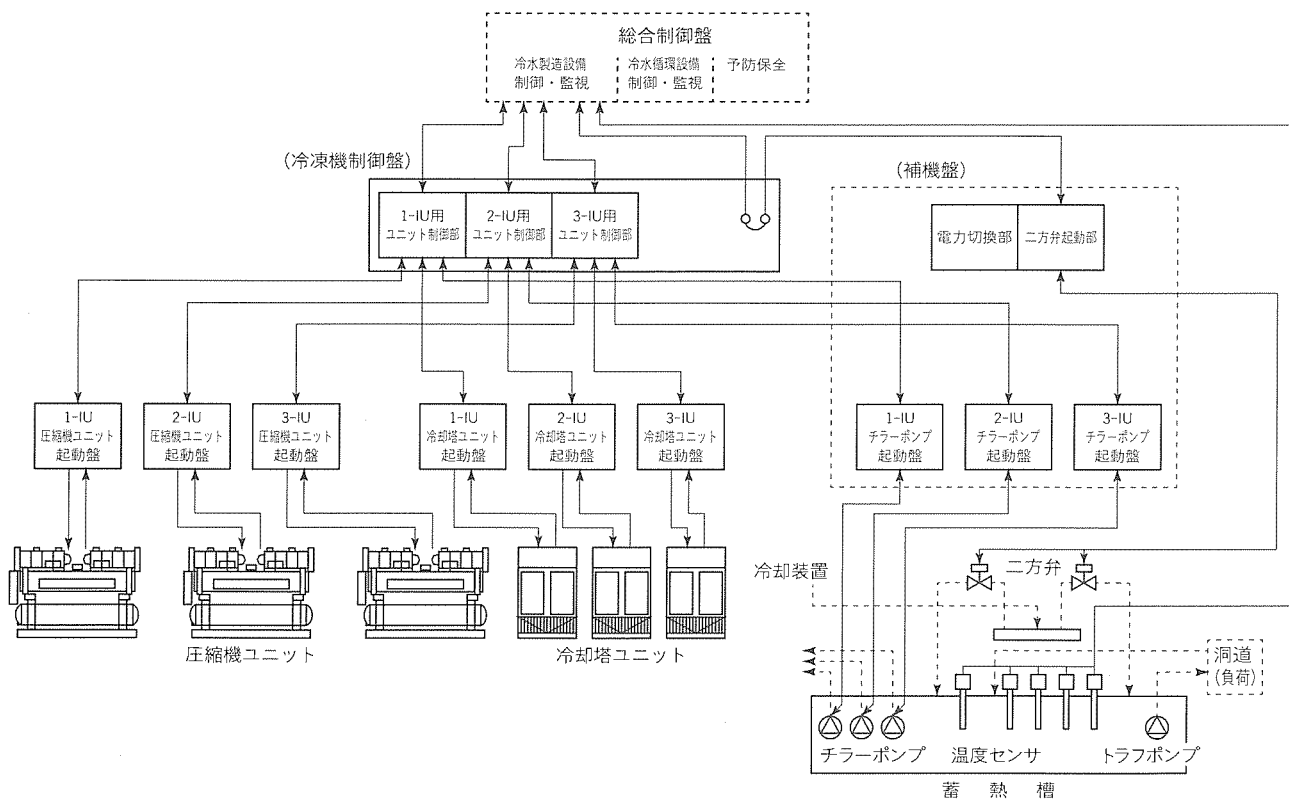


図12. 地中送電線冷却装置制御システムブロック図

表1. R-134a仕様地中送電線冷却用冷凍機の仕様

形名		CFR-200BS1-AF	CFR-200BS2-AF	CFR-260BS-AF	CFR-300BS-AF	CFR-340BS-AF	CFR-370BS-AF	CFR-500BS-AF		
項目										
公称能力	USRT	100	125	150	175	200	250	300		
実能力	USRT	103	122	150	173	210	252	313		
圧縮機ユニット	圧縮機電源		三相 400V 50Hz							
	寸法	高さ	mm	2,650	2,650	2,695	2,800	2,850	2,997	3,100
		幅	mm	4,000	4,000	4,060	4,100	4,300	4,273	4,400
		奥行き	mm	1,530	1,530	1,541	1,650	1,650	1,794	1,850
	圧縮機	形式×台数		半密閉単段シングルスクリュウ圧縮機×2台						
		始動方式		リアクトル						
		定格出力	kW	130×2	115×2	140×2	150×2	155+200	200×2	230+265
		1日の冷凍能力	法定トン	70.2	70.2	86.2	104.6	118.2	131.8	181.2
	水冷却器	形式		乾式シェル&チューブ						
		水量	m ³ /h	62.3	73.8	90.7	104.6	127.0	152.4	189.3
		水頭損失	mAq	10以下						
		水側接続配管サイズ		10K-125A	10K-125A	10K-150A	10K-150A	10K-200A	10K-200A	10K-250A
	受液器		シェル&チューブ(過冷却コイル内蔵)							
	製品質量	kg	7,150	7,150	9,560	9,750	10,250	10,790	12,710	
騒音	dB(A)	87	87	87	87	89	91	91		
冷却塔	冷却塔の組合せパターン	種類×台数	65RT×2	50RT×1 + 65RT×2	65RT×3	50RT×5	50RT×6	50RT×8	50RT×9	
	チューブの種類		内面溝付管							
	フィンの種類		ルーバステアフィン							
	送風機電源		三相 200V 50Hz							
	送風機台数	台	8	11	12	15	18	24	27	
	消費電力	kW	4.6	6.3	6.9	8.6	10.3	13.7	15.5	
	風量	m ³ /min	1,460	2,000	2,190	2,700	3,240	4,320	4,680	
	製品質量	kg	4,870	6,640	7,240	8,950	10,640	14,080	15,830	
冷凍機油		エステル油								
冷媒		R-134a								
外気条件/冷水条件		外気32°C DB/冷水入口12°C → 冷水出口7°C								
現地冷媒配管サイズ	ガス	80A	80A	90A	90A	90A	100A	100A		
	液	50A	50A	50A	65A	65A	80A	80A		

* 現地冷媒配管相当長は100mを想定。

5. むすび

以上、R-134aを採用した地中送電線冷却用冷凍機について述べた。今後、都市部における電力需要は情報化の発展等によってますます増大し、その対応策として地中送電線冷

却システムの適用も増えていくと思われる。

一方、冷媒についても HCFC-22 の代替冷媒の研究が進められており、本機においても更なる製品開発が必要になるであろう。今後も業界トップシェアを確保するために、更に研究を重ねてより良いシステムの開発に努めたい。

密閉形圧縮機用 DC ブラシレスモータ “V8DC モータ”

鈴木康巨* 馬場和彦***
及川智明*
米谷晴之**

1. ま え が き

近年、ルームエアコンは“一家に一台”から“一部屋に一台”の時代となり、消費者からは、家庭電化製品の中で最も電気代のかかるエアコンの省エネルギー化が求められている。また、社会的には、夏場のピーク電力カットや地球温暖化抑制の観点から、一層の省エネルギー化が求められている。

こうした中、エアコンの消費電力の中でその割合が最も高い圧縮機に対し、更なる高効率化が強く求められている。

可変速運転されるルームエアコン用圧縮機は、その負荷・回転数範囲が広域にわたる。そのため、その圧縮機構部は、ローリングピストン式ロータリ圧縮機構が最も適しており、それは十数年にも及ぶ開発設計の中で既に最適化されてきた

部分である。以上の観点より、ルームエアコン用圧縮機の高効率化を解決するには、圧縮機用モータの直流 (DC) 化が最も有効な手段となる。

当社においても既に DC ブラシレスモータ搭載圧縮機を開発して量産化し、ルームエアコンの省エネルギー化に貢献してきた。そのモータ回転子の構造は、鉄心の外側に4枚のフェライト磁石を配置し、それらをステンレス製キャン (以下“CAN”という。) で覆った物 (以下“CAN形”という。) であった。

今回の DC ブラシレスモータ (以下“DC モータ”という。) の開発は、更なる高効率化とともに低コスト化を実現し、省エネルギー技術の拡大普及を目的に行った。

検討の結果、フェライト磁石 (以下“磁石”という。) を回転子鉄心に埋め込んだ構造 (以下“埋込み形”という。) で、かつ、8枚の磁石をV字形に配置させたことにより、高効率・低コストを実現できた。この、今回開発した DC モータを“V8DC モータ” (図1) と名付た。

本稿では、圧縮機の高効率化の革新技術となったこのモータの高効率化技術を中心に述べる。

2. 圧縮機用モータ

可変速運転される圧縮機用モータは、三相モータが採用され、PWM (Pulse Width Modulation) 制御インバータによって駆動される。この圧縮機用モータは、高効率化のために大きく変ぼう (貌) し、図2に示すように、特に回転子においてその特長が大きく変化している。

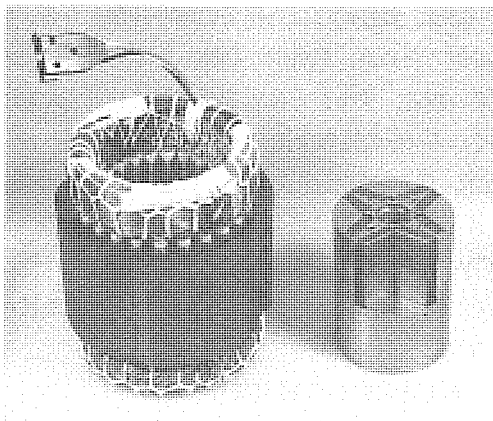


図1. V8DCモータ

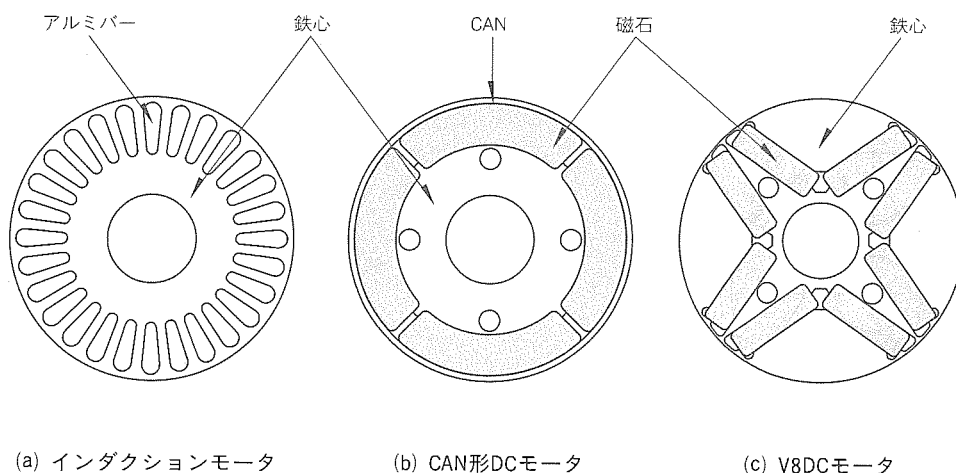


図2. 圧縮機用モータの回転子構造

従来はインダクションモータを採用しており、このモータはアルミバーに電流を流し、回転子に磁束を作る必要があった。

これに対し、最近では高効率化実現のため、この回転子電流を必要としないDCモータが採用されている。圧縮機用DCモータは、三相4極モータで、巻線の誘起電圧を検知して回転子位置を推定する方式で駆動(位置センサレス駆動)される。このため、インバータの主回路素子の休止時間が必要で、図3に示すように120°通電方式が採用される。そのため、巻線には通電相と無通電相が存在する。

従来の当社DCモータのCAN形は、鉄心の外側に4枚の磁石が配置され、その外側を回転子の回転に伴う遠心力による磁石飛散防止のためのCANで覆う構造である。

これに対し、V8DCモータは、8枚の磁石が鉄心の中に収められ(埋込み形)、V字形に配置されることが特長である。回転子の回転によって磁石には遠心力が生じるが、埋込み構造のためその力は鉄心に作用し、磁石は鉄心によって保持される。図4にその構造の詳細を示す。磁石挿入孔は、110°の角度で内径側から見てV字形状に形成され、90°ごとに4か所ある。磁石挿入孔にはそれぞれ2枚の直方体形状の磁石が納められ、磁石間には空けき(隙)が設けられる。なお、鉄心は磁石挿入口を境に内径側と外径側に区別され、磁石挿入孔の外径側に突出した部分を外径薄肉部、磁石挿入孔の外径側の部分を外径側扇形部という。

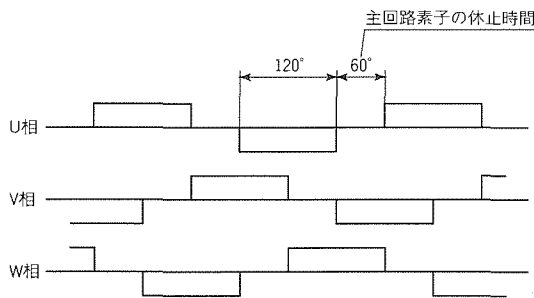


図3. 120°通電方式

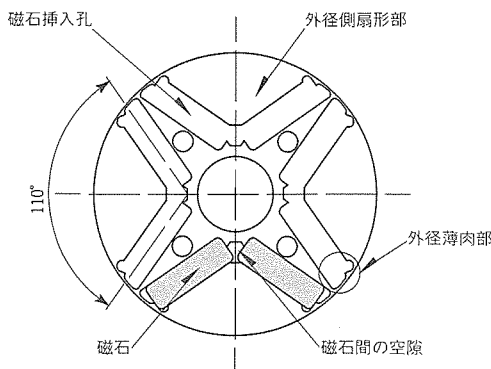


図4. V8DCモータの回転子構造

3. 高効率化技術

3.1 埋込み形の採用

当社従来のCAN形の場合、遠心力による磁石の飛散防止のためCANが存在した。CANは非磁性体のため回転子内での磁束の短絡はないが、非常に抵抗が低いため、インバータのスイッチングによる外部の磁束変化があると渦電流が発生し、これが損失となっていた。

図5に示すとおり、CAN形のモータ損失は、鉄損と銅損のほか、CANでの渦電流損が存在し、全損失の20%以上をも占めている。更なる高効率化のためには、この渦電流損の削減が最も効果的である。

一方、埋込み形の場合、電磁鋼板1枚1枚の表面の絶縁被膜により、渦電流が流れる経路は非常に高い抵抗となり、渦電流が流れにくい。また、この渦電流損を削減できると同時に、等価エアギャップ(電磁気的エアギャップ)は縮小され、総磁気抵抗が減少し、効率が改善される。当然、CANのコストも削減できる。

なお、埋込み形の場合、磁石の磁束の一部が回転子鉄心を経路として自己又は隣の磁石に短絡してしまうことによる効率低下を抑制する必要がある。V8DCモータの場合、この磁束の短絡は、最終的には外径薄肉部が経路となる。この効率低下抑制のために、最終的な経路となる外径薄肉部を磁気抵抗の高い構造、すなわち強度上許される範囲内で幅寸法を細くしている(その外径薄肉部の強度上の検討は、詳細を後述する)。なお、磁石挿入孔の磁石間の空隙は、磁束の短絡を抑制するために設けたものである。

3.2 “V8”形状の採用

ここでは、8枚の磁石をV字形状に配置させた技術背景を述べる。

3.2.1 巻線通電相への磁束集中

圧縮機用DCモータは、120°通電方式で駆動されるので、固定子巻線には無通電相が存在する。一方、DCモータの発

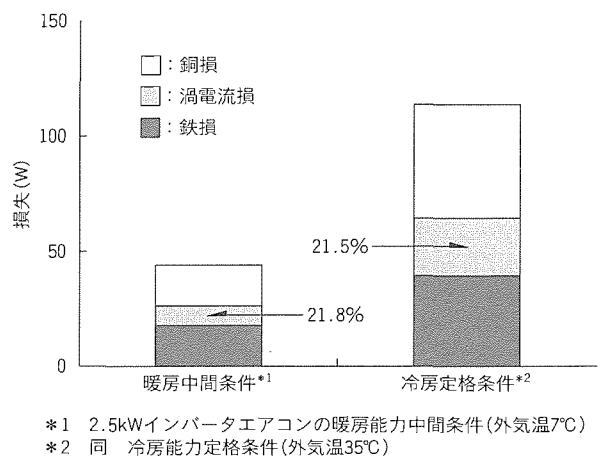


図5. CAN形の損失割合

*1 2.5kWインバータエアコンの暖房能力中間条件(外気温7°C)
*2 同 冷房能力定格条件(外気温35°C)

生トルクは、通電相に鎖交する回転子磁石の磁束 B と電流 I によって得られる。すなわち、フレミングの左手の法則によるトルク(以下“BILトルク”という。)である。

図6に、CAN形とV8DCモータの磁束の流れを示す。CAN形の場合、磁石の磁束が通電相だけでなく無通電相にまで通っている。すなわち、無通電相に流れている磁束は、モータの発生トルクには無効である。

一方、V8DCモータの場合、 110° の角度で磁石が配置されることによって通電相に磁束が集中し、トルク発生に無駄なく磁束を利用している。これによって、少ない電流で必要トルクを発生することができ、効率改善ができる。

3.2.2 リラクタンストルクの積極利用

V8DCモータの発生トルクは、BILトルクのほかにリラクタンストルクがある。リラクタンストルクとは、巻線電流による磁束にとって回転子位置による磁気抵抗小(インダクタンス大)の位置と磁気抵抗大(インダクタンス小)の位置がある場合、磁氣的安定(インダクタンス大)な位置へ動こうとするトルクである。これは磁石に依存するものでなく、回転子の鉄心形状に依存するものである。このとき、磁石の磁束中心をd軸、これに対する電気角 90° 位相をq軸と呼び、q軸インダクタンス L_q とd軸インダクタンス L_d との比(突

極比) L_q/L_d が大きいほど、リラクタンストルクは大きくなる。

図7に、V8DCモータの巻線電流による磁束の流れとd軸及びq軸を示す。磁石は磁気抵抗大のため、巻線電流による磁束が磁石を通過しない回転子位置が磁気抵抗小の磁氣的安定な位置であり、その電気角が 90° ずれた位置が磁気抵抗大の不安定な位置となる。これを突極比で表せば $L_q/L_d > 1$ となり、V8DCモータはリラクタンストルクを発生することが分かる。

一方、CAN形の場合、巻線電流による磁束の磁気抵抗は回転子位置によらず常に一定であることが容易に想像でき($L_q/L_d=1$)、リラクタンストルクは発生しないことが分かる。

BILトルクは前述のインダクタンス最大の位置で最大となるが、リラクタンストルクは理論上それより電気角が 45° 進んだ位置で最大となる。したがって、V8DCモータで効率良くトルクを得るためには、BILトルクとリラクタンストルクの和が最大となるように、印加電圧の位相制御を行う必要がある。このリラクタンストルクを積極利用することにより、効率が改善できる。

3.3 各形態での効率比較

前述までは、V8DCモータの高効率化技術について個々に述べてきたが、ここでは他の形態のモータと比較してその高効率化の度合いを検証する。検証では、埋込み形の採用とV8形状の採用による下記二つの項目に注目する。

- 渦電流損削減と回転子内での磁束の短絡抑制の兼ね合い
- 巻線通電相への磁束集中とリラクタンストルクの積極利用の効果

効率検証のために、CAN形、埋込み円弧形、V8DCモータの3形態について解析と実機試験を行った。図8に埋込み円弧形の回転子構造を示すが、これはCAN形と同形状・同配置の磁石を、鉄心に設けた磁石挿入孔へ納める埋込み形である。

解析は、巻線の巻数を一定とし、起磁力を電流

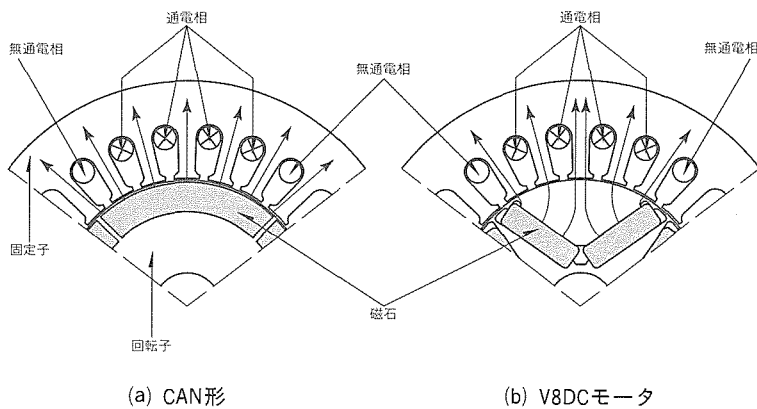


図6. CAN形とV8DCモータの磁束の流れ

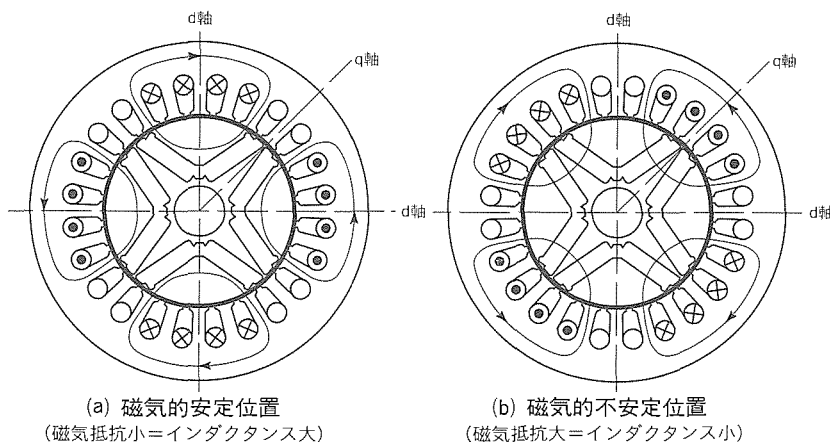


図7. V8DCモータの巻線電流による磁束の流れとd軸及びq軸

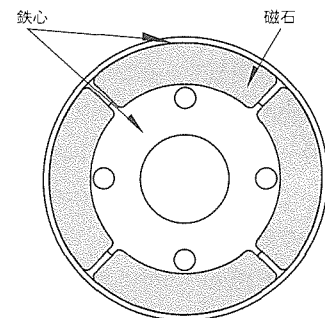


図8. 埋込み円弧形の回転子構造

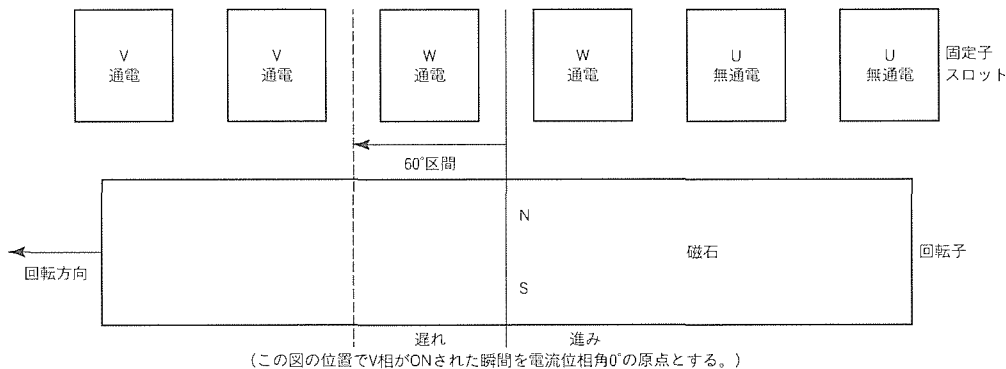


図9. 電流位相角と固定子スロット配置

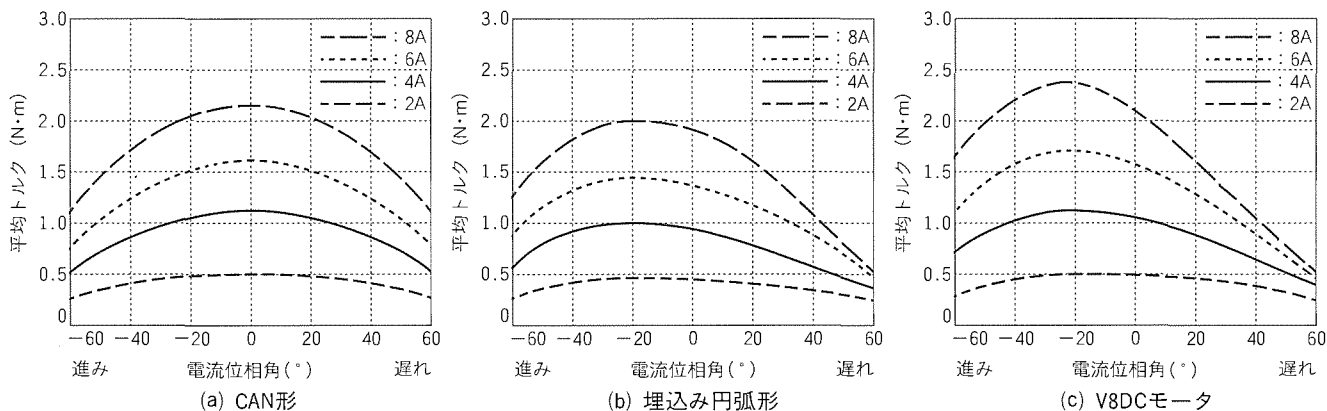


図10. 各解析形態の平均トルク (静解析)

値で表し、巻線電流を与え、回転子を6°(機械角3°)ごとに回転させながらトルク計算を行った。平均トルクは120°通電を考慮し、60°区間の平均トルクとした(60°進むと相切換えが起こり、後の60°区間はこの平均トルクと同様になる)。また、電流位相角は、ある相の極中心に磁石中央がある地点から60°区間を0°とした。1極1相当りのスロット数が2であるため、図9に示す位置を電流位相角0°とした。

図10に、巻線電流をパラメータとして、各解析形態の電流位相角と平均トルクの関係を示す。表1に、解析値の最大平均トルクと、そのときの電流位相角を示す。ただし、渦電流損及び鉄損は考慮されていない。

CAN形の最大トルクを得るための電流位相角はほぼ0°である。したがって、CAN形はBILトルクのみを利用したモータであり、リラクタンストルクを利用していないことが分かる。

埋込み円弧形では、電流位相角が進んでいることからリラクタンストルクを利用していることが分かる。このモータの効率は、渦電流損削減効果及びリラクタンストルクの付加による効率改善分と、回転子内での磁束の短絡による磁束低下分との兼ね合いで決まる。このモータの発生トルクはCAN形のそれに対して約15%低下しているが、この発生トルクの低下分がおおよそ磁束の短絡による効率低下分である。このことは、埋込み形において磁束の短絡抑制が重要であることを示す。

表1. 各解析形態の最大平均トルクとそのときの電流位相角

解析形態	巻線電流	2A	4A	6A	8A
		最大平均トルク(N·m)	0.52	1.04	1.56
CAN形	電流位相角(°)	0	0.05	0.05	0.05
	最大平均トルク(N·m)	0.44	0.91	1.43	2.01
埋込み円弧形	電流位相角(°)	0.45	0.92	1.75	2.00
	最大平均トルク(N·m)	0.52	1.06	1.66	2.34
V8DCモータ	電流位相角(°)	1.20	1.70	1.90	2.00

V8DCモータの最大トルクを得る電流位相角は、埋込み円弧形よりも更に進み位相となり、リラクタンストルクを有効に利用していることが分かる。これは、外径側扇形部の磁性部分により、q軸インダクタンスが増大しているためである。また、リラクタンストルクは飽和のない範囲では電流の2乗に比例して大きくなるため、解析ではその傾向が示されている。このモータの発生トルクをCAN形のそれと比較すると、同値以上を示している。このことは、V8DCモータがCAN形に比べてより小さい電流で同一トルクを発生でき、銅損が低減され、高効率化されていることを示す。すなわち、V8DCモータは回転子内での磁束の短絡が最小限に抑制され、V8形状による巻線通電相への磁束の集中とリラクタンストルクの付加による効果により、効率が改善されている。なお、解析では渦電流損及び鉄損を考慮していないので、実機では発生トルクの解析値の増加率以上にV8DCモータの方が高効率であることが予想される。

図11に、CAN形とV8DCモータのモータ単体試験結果を示す。V8DCモータの試験において、BILトルクとリラクタンストルクの和が最大となるように電圧位相角(電流位相角+力率角)を制御しているのは述べるまでもないが、これに加え、2レベルコンバータを採用したインバータによる試験結果も示す。

2レベルコンバータを採用したインバータとは、PWM制御における母線電圧を2段階に設定することにより、低速運転時の比較的運転電圧の低い領域において印加電圧の波形率を改善できるインバータである。この制御により、モータ全損失の35~55%程度を占める鉄損のうち、高調波鉄損といわれるインバータのスイッチングによる損失低減ができる。

いずれの運転条件においても、V8DCモータの方が高効率であり、2レベルコンバータを採用した場合は更に高効率である。負荷トルク(電流)が増大するに従って、V8DCモータの効率改善分が減少しているが、これはCAN形において全損失に占める渦電流損の割合が低下していることによる。

この結果、CAN形に比べ、エアコンの年間電力消費量の中で大きな割合を占める暖房中間条件において6%、2レベルコンバータの採用と合わせて7.5%の効率改善となった。

4. 信頼性設計

4.1 外径薄肉部の強度

前述のとおり、V8DCモータの外径薄肉部の幅寸法及び形状は、強度との兼ね合いから決定されている。外径薄肉部には、圧縮機運転のたびに磁石と鉄心の外径側扇形部の遠心力が作用し、この遠心力に対する強度が必要となる。

図12に遠心力による外径薄肉部の発生応力について解析した例を示すが、外径薄肉部の幅寸法と形状は、発生応力のばらつきと電磁鋼板の強度のばらつきを考慮して、圧縮機運転範囲内の効率と強度の最適化を図っている。

4.2 空隙による減磁保護

減磁は、永久磁石に許容値以上の逆磁界が作用すると瞬時に起きる。DCモータの磁石で減磁が起きると、その磁束が減少して効率低下や制御性の悪化を起し得る。

V8DCモータの磁石間の空隙部は、回転子内での磁束の短絡防止とともに減磁耐力確保のために最適化している。

5. むすび

8枚のフェライト磁石をV字形に配置したV8DCモータは、埋込み形採用による低コスト化の成功と渦電流損の削減、V字形形状による巻線通電相への磁束の集中、リラクタンストルクの積極利用等によって、高効率化と機械的・電気

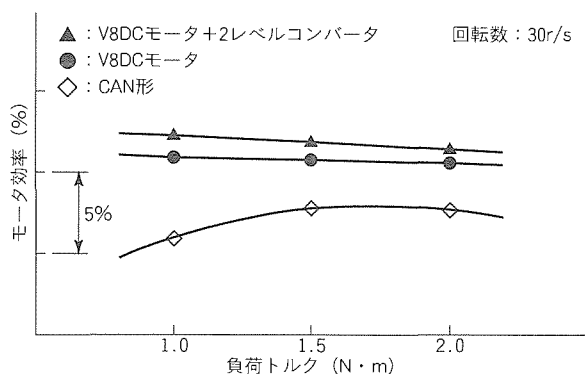


図11. モータ単体試験結果

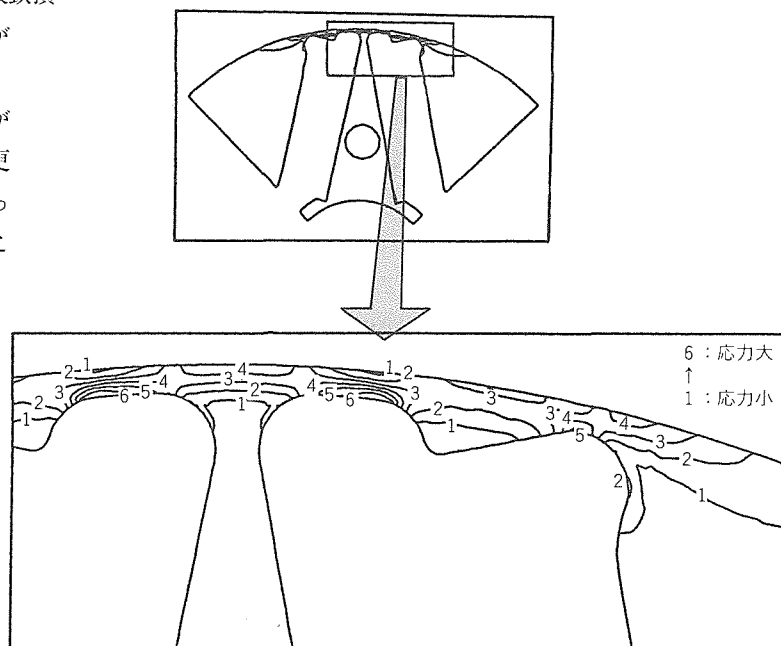


図12. 外径薄肉部の応力分布図

的信頼性向上を高次元に実現できた。

その結果、2レベルコンバータの採用と併せ、当社従来DCモータに比べて7.5%の効率改善となった。

このモータを搭載したツインロータリ圧縮機SHB形は、ルームエアコン“霧ヶ峰”FXシリーズに、シングルロータリ圧縮機KHB形は同GXシリーズに搭載され、当社ルームエアコンの省エネルギー推進に大きく貢献してきた。これら“霧ヶ峰”FX、GXシリーズは、共に市場において好評を博している。

なお、今後とも省エネルギー推進に積極的に取り組んでいく所存である。

参考文献

- (1) 梶谷定之, 和田義彦: リラクタンスマートル, 三菱電機技報, 38, No.6, 908~913 (1964)
- (2) 松井信行, 千葉 明, 武田洋次: リラクタンストルクを利用した回転機, T.IEE JAPAN, 114-D, No.9, 824~831 (1994)

熱交換器詳細設計手法

吉田孝行* 古藤 悟***
加賀邦彦**
山田賢一*

1. ま え が き

近年、冷凍機及び空調機において快適性・省エネルギー性・低騒音化・コンパクト化等の要求が高まっている。一方、熱交換器は、圧縮機や送風機などとともに性能を大きく左右する重要な要素部品である。

熱交換器は、設計パラメータが非常に多く、それらの組合せによる性能への影響を推定するのが難しい。さらに、機器へ組み込んだ場合の実際の使用条件における特性把握も困難を極めていた。以上のような状況から、計算機の高度利用による開発・設計支援システムが望まれていた。

そこで、図1に示すような冷凍・空調機器に搭載されているプレートフィンチューブ型熱交換器を対象とし、性能向上を目的として詳細設計手法を開発した。

この手法は、熱交換器(Heat Exchanger)についての熱回路網法(Network)を土台とした性能評価プログラムである。以下、この手法を“HexNet”という。

このプログラムの利用により、従来不明であった熱交換器内の冷媒の温度・圧力分布による性能差が把握できるとともに、機器に組み込んだ場合の熱交換器の風速分布や冷媒の流量分配の影響も考慮することができる。さらに、この手法の設計現場における効率的運用のために、プリ・ポストプロセッサについても開発した。

本稿では、HexNetについての特長、計算モデルとその検証、及び適用事例について述べる。

2. HexNet の特長

前章で述べたように、HexNetは冷凍・空調用熱交換器

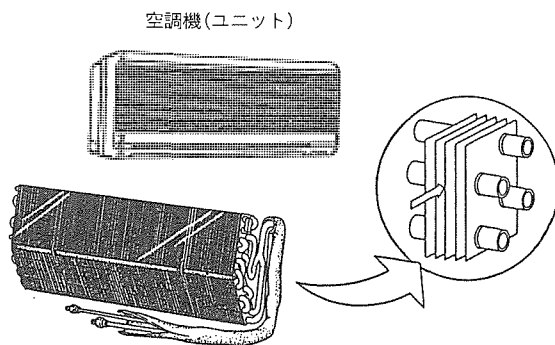


図1. プレートフィンチューブ型熱交換器

の性能評価用に開発された専用プログラムである。その機能を以下に列挙する。

- (1) 熱交換器内部を要素に分割し、熱回路網法によって冷媒、空気、パイプ、フィンの温度分布を予測
- (2) 冷媒流れについては“等価比熱”という概念を導入し、局所的な冷媒の相状態を考慮
- (3) 流体管路網法によって冷媒の圧力分布を予測
- (4) 物質移動を計算し、局所的な湿度分布を予測
- (5) 代替冷媒を含む各種冷媒に対する熱交換器の性能を予測

これらの機能により、以下に示すような、熱交換器の設計のために重要な豊富な情報が得られる特長がある。

- 設定した冷媒循環量における熱交換器能力
- 熱交換器の冷媒の出口過熱度又は出口過冷却度
- 各列・段ごとの処理能力
- 近接したパイプ間で熱伝導によってフィンを介して流れる熱量(熱ロス)の割合
- 冷媒の圧力損失及び流量分配

また、設計者が計算条件を変化させて計算を実行することにより、以下のような事柄を調べることができる。

- 冷媒側条件(循環量、入口又は出口圧力など)の相違による性能比較
- 空気側条件(風量、熱交換器吸込み風速分布、温度・湿度分布)の相違による性能比較
- 冷媒経路(以下“パスパターン”という。)の相違による性能比較

また、設計者の考える熱交換器仕様を容易に設定できるプリプロセッサと、計算結果をビジュアルに表現して熱交換器性能が総合的に判断できるポストプロセッサを別途開発した。

3. HexNet の解析手法

この章では、HexNetで採用されている熱交換器の解析モデルと、温度場と冷媒圧力場を支配する基礎方程式について述べる。

HexNetにおいては、この基礎方程式を解く数値計算の手法として、熱回路網法及び流体管路網法を用いている。以下の節では、熱回路網法及び流体管路網法による熱交換器内部のモデル化について説明する。

3.1 熱回路網法による熱交換器のモデル化

熱回路網法⁽¹⁾は、温度場を求める数値解析方法の一手法であり、特に、複数の構成要素からなる複雑な機器の内部の

温度分布を予測するのに適した方法である。

熱回路網法では、まず温度場を計算しようとする機器の内部を幾つかの体積要素に分割し、それぞれをノードによって代表する。そして、隣り合うノード同士を熱抵抗で連結することによって熱の流れを表す熱回路網を構成し、各ノードに流れ込む熱流の総和が0であること(すなわち、エネルギー保存則が成り立つこと)を表す方程式を立てる。すべてのノードに対してこの方程式を連立させて解くことにより、全ノードの温度を求める。一般的には、ノード*i*についての離散化したエネルギー保存式は次のように書ける。

$$\sum_j \frac{1}{R_{ij}} (T_i - T_j) = Q_i \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 n_i : ノード*i*と隣り合うノードの全数

R_{ij} : ノード*i*とノード*j*との間の熱抵抗(°C/W)

T_i, T_j : 各ノード*i, j*における温度(°C)

Q_i : ノード*i*の発熱量(W)

ノード間をつなぐ熱抵抗の値は、二つのノード間の伝熱形態によって異なり、それぞれに応じて熱伝達率等の計算式を用いる。HexNetでは熱交換器を構成する基本要素を、①冷媒 ②パイプ ③フィン ④空気、の四つとし、各要素を更に小さな体積要素に分割している(図2)。

要素分割のルールとして、冷媒、パイプ、フィンについては、各列・各段ごとに分割して、それぞれ一つのブロックとみなす。また、空気については、各列・各段のブロックの中で、さらに空気流れ方向に沿って1ブロック当たり4分割している。

HexNetでは、モデル化された熱交換器の各ノードについて式(1)に示した方程式を立て、すべてのノードについて連立した方程式を直接法によって解く。ただし、熱抵抗は連

結するノードの温度・圧力に依存するので、繰返し計算によって解を収束させる方法を採用した。

3.2 冷媒相状態の判断

HexNetにおいては、冷媒に関する熱抵抗は、後述するように、冷媒の相状態によって計算式を使い分けるため、繰返し計算の過程で各冷媒ノードの相状態を知る必要がある。そこで、HexNetでは、等価比熱の概念を用いて冷媒の相状態をモデル化している。その方法は以下のとおりである。

各冷媒ノードは、基本的に冷媒圧力*P*及び冷媒温度*T*の情報を持っている。まず*P*から飽和温度*T_s*を求める(HexNetでは、これを求めるデータベースを内蔵している。)

R-22等の単一冷媒の場合には、この飽和温度を中心にした温度幅Δ*T*を設定して、次のように相状態を判断する。

- $T > T_s + \Delta T / 2$: 過熱ガス状態
- $T_s + \Delta T / 2 \geq T \geq T_s - \Delta T / 2$: 二相状態
- $T < T_s - \Delta T / 2$: 過冷却液状態

HexNetでは、Δ*T*をΔ*T*=1.0(K)と固定している。また、このとき、二相状態における潜熱変化を表すため、等価比熱*C_p**を次のように導入している。

$$C_p^* = \frac{L_t}{\Delta T} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで、*L_t* : 蒸発潜熱(J/kg)

3.3 流体管路網法による冷媒流れのモデル化

熱交換器の性能を予測する場合、冷媒の蒸発温度は冷媒圧力に依存するため、冷媒の圧力分布を予測することは極めて重要である。HexNetでは、熱回路網法によって熱交換器各部の温度を求めると同時に、流体管路網法(接点法)⁽²⁾を用いて冷媒の流れに沿った圧力分布を計算し、熱交換器の冷媒圧損と複数パスの冷媒流量バランスを計算することが可能である。

流体管路網法は、ダクト内流れのような一次元流れについて、流れに沿って局所的な圧力を代表するノードを設け、隣り合うノード間の流量に依存する摩擦抵抗・形状抵抗等の冷媒の流体抵抗と、冷媒の位置ヘッド、及びポンプの圧力ヘッドとのバランスを解いて、系全体の圧力損失や複数パスの流量バランスなどを求める手法である。

ノード*i*に出入りする単位時間当たりの質量(すなわち質量流量)の保存と、各ノード間の圧力損失を考慮すれば次の式が得られる。

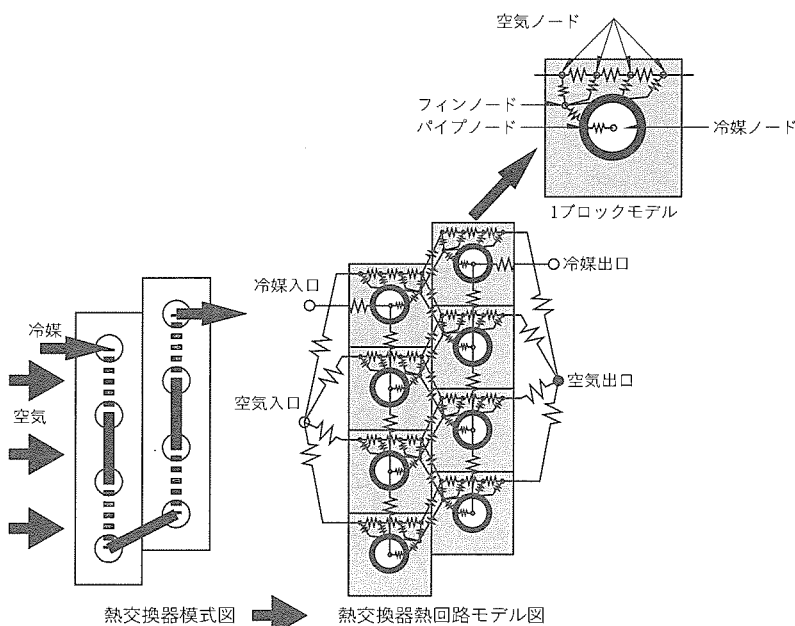


図2. HexNetによる熱交換器内部の熱回路網計算モデル図

$$\sum_j^{n_{w,i}} \frac{1}{R_{w,i,j}} \{H_i - H_j + \rho_m g (z_i - z_j) + E_{ij}\} = Q_{w,i} \quad \dots\dots(3)$$

ここで、 $n_{w,i}$ ：ノード*i*と隣り合う冷媒ノードの全数

$R_{w,i,j}$ ：ノード*i*と*j*との間の管路抵抗
(Pa/ (kg/s))

$Q_{w,i}$ ：ノード*i*からわき出す流量 (kg/s)
(境界以外では 0)

H_i ：ノード*i*の全圧 (Pa)

$\rho_m g (z_i - z_j)$ ：ノード*i*と*j*のヘッド差によって
生じる圧力差 (Pa)

$E_{i,j}$ ：ポンプなどによるノード*i*からノード*j*に向
かっての圧力上昇 (Pa) (通常 0)

式(3)を、すべてのノードについて立て、連立させて解くこと
によって各ノードの全圧*H*が求められる。

ノード間の管路抵抗*R_w*に含まれる損失係数として、Hex
Netでは、直管部における摩擦損失と曲がり部における損
失係数を求める実験整理式を採用している。これらの損失係
数は、局所的な温度と乾き度に依存するため、先に述べた熱
回路網法による温度計算とリンクさせて収束計算を行う。

4. 計算精度の検証

HexNetの開発に当たり、熱交換器の単体試験による性
能評価結果と対応する計算結果を比較し、計算の精度を検証
した。その結果、能力予測時の誤差は、凝縮器、蒸発器とも
に2~3%程度で、設計のために十分な精度があることを確
認した。

検証結果の一例として、単体凝縮器の性能を予測した結果
について以下に述べる。供試熱交換器の寸法は、図3に示
すとおりである。また、その他の仕様は以下のとおりである。

- パイプ仕様：素管外径 7 mm (拡管率 1.05)，
内面溝付き管
- フィン仕様：フラットフィン
- 冷媒種類：R-22 (HCFC-22)

図4に、冷媒の流れ方向に沿った温度分布の実験結果と

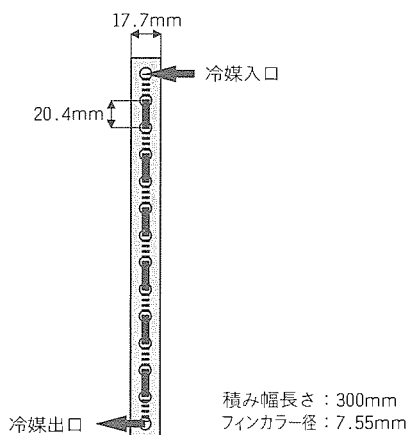


図3. 計算精度検証用1列熱交換器の模式図

計算結果を比較して示した。凝縮器の場合、冷媒は高温のガ
ス状態で熱交換器に流入し、二相状態となって温度一定で流
れた後、過冷却域に入り、なだらかに温度が低下していく。
この様子が HexNet による計算によって正しく表現されて
いることが分かる。

5. 適用事例

この章では、HexNet を用いて性能改善を行った事例を
2例紹介する。

事例1は、家庭用ルームエアコンにおける室内熱交換器
において、風速分布を考慮したパスパターンの設計について
述べ、事例2は、代替冷媒候補の一つである R-407 C を用
いた場合の熱交換器のパス数とパスパターンの最適化につい
て述べる。

計算はいずれも蒸発器について行った。

5.1 風速分布を考慮したパスパターン設計

図5は家庭用ルームエアコンの室内機の断面図である。
図に示すように、機器へ組み込んだ場合は、熱交換器と送風
機の位置関係により、熱交換器を通過する風速に分布が生じ
る。そこで、熱交換器を有効に機能させるためには風速分布

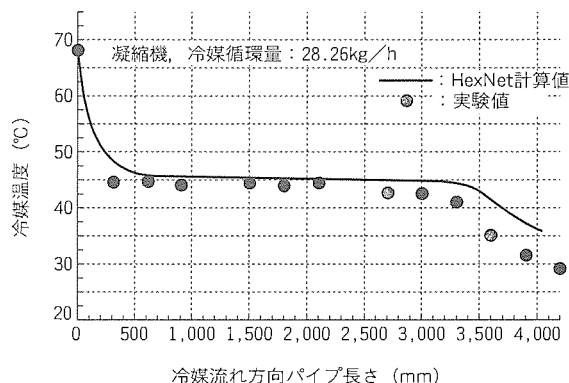


図4. HexNet計算結果と実験結果との比較

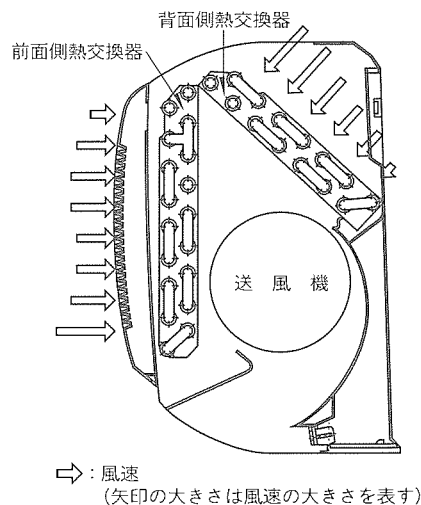


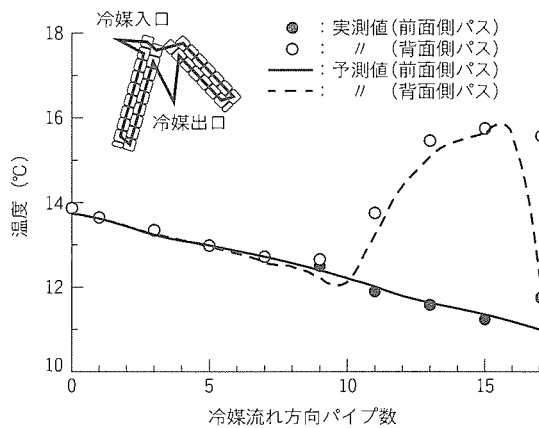
図5. 室内機の断面と風速分布

を考慮したパスパターンが要求され、具体的には、風速の大きい場所には冷媒を多く流すか又は冷媒の流路を短くし、冷媒の過熱ガス部を小さくすることが考えられる。

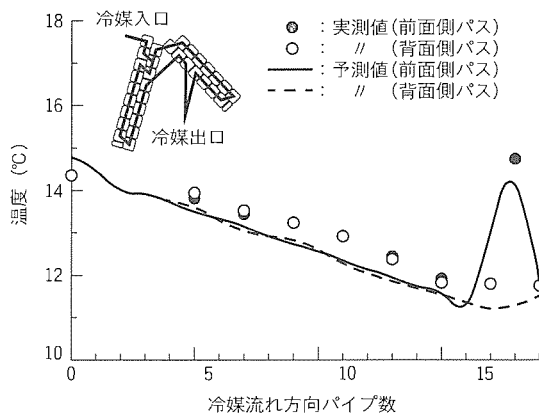
図 6(a)に、風速分布を考慮しない標準的なパスパターンにおける冷媒の温度分布の HexNet による予測結果を示した。図の横軸は冷媒流れ方向のパイプ数、図の縦軸は冷媒の温度 (°C) であり、実測値も併せて示した。この図によれば、前面側パスでは冷媒温度が流れに沿って一様に低下していくのに対して、背面側パスでは流路の中程から過熱ガスとなって温度が上昇しており、背面側パスの方が熱負荷が大きいことが分かる。

(b)は、(a)の計算結果を基に熱負荷を考慮したパスパターンにおける冷媒温度の予測値と実測値である。冷媒の温度分布を見ると、パスごとの熱負荷バランスが良いため、前面側パスと背面側パスで温度分布に差が見られず、熱交換器の性能を十分に引き出していることが分かる。

表 1 は、改善前後の熱交換量を比較した結果である。パスパターンを最適に設計することにより、大幅な性能改善が実現できた。また、図 6 に示したように、HexNet による予測値と実測値は比較的良好に一致した。



(a) 改善前



(b) 改善後

図 6. パスパターンと冷媒温度分布

5.2 代替冷媒使用時のパスパターン設計

図 7(a)は、R-22の代替冷媒候補の一つである R-407 C を用いた場合の熱交換器のパスパターン、及び冷媒流れ方向に沿った冷媒温度分布の HexNet による予測結果である。冷媒 R-407 C は、非共沸混合冷媒のため、相変化に伴って温度が変化するという特性を持っている。

(b)は、後に述べるように、熱交換器の性能を十分に引き出すように考案されたパス数とパスパターンでの、冷媒温度分布の HexNet による予測結果である。表 2 は、図 7 の各ケースについて、熱交換量の予測値を示したものである。

(a)の予測値を見ると、非共沸混合冷媒の特性により、冷媒流れ方向において冷媒の温度が上昇し、出口付近の冷媒は空気 (27°C) との温度差がとれていないことが分かる。そのため、冷媒 R-22 の場合に比べて熱交換量が低下する。また、風上に位置するパイプ本数が 5 本である上側パスが乾いているのに対し、風上に位置するパイプ本数が 4 本と少ない下側パスの冷媒は、熱交換器出口が二相状態となっている。第一の事例のようにパスごとの熱負荷バランスが悪く、これでは熱交換器の性能を十分に引き出しているとは言えない。

そこで、(b)に示される改善案では、前述の非共沸混合冷媒の特性に対して凝縮時の能力を落とすことなく蒸発時の能力を十分に得るように、蒸発時に対向流となるパスを 1 本設けた ((b)のパス 2)。また、パスを 1 本増やして 3 本とすることで、機器の性能向上に大きく影響する管内圧損の低減を図るとともに、各パスの流路長さを等しくして熱負荷のバランスがおおよそ等しくなるようにした。

(b)に示した HexNet による予測結果によれば、蒸発時に対向流を図った中間パスの冷媒温度が最も上昇している。特に、風上側のパイプ (4 本目以降) で他のパスよりも冷媒温度の上昇が大きくなっており、対向流化によって中間パスの能力が増加していることが予測できた。

以上の結果、表 2 に示すように、蒸発時の能力を約 3% 向上することが予測できた。

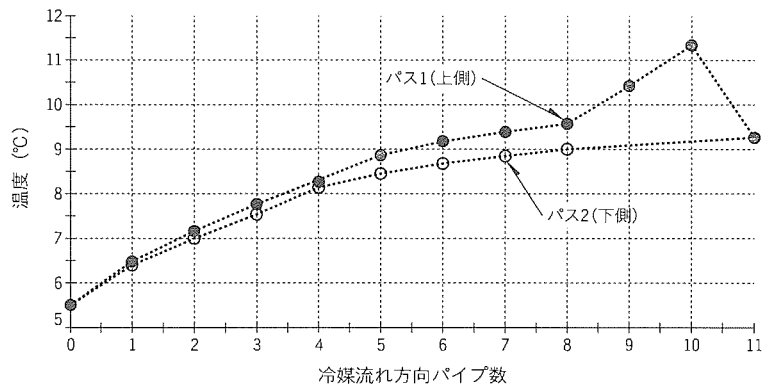
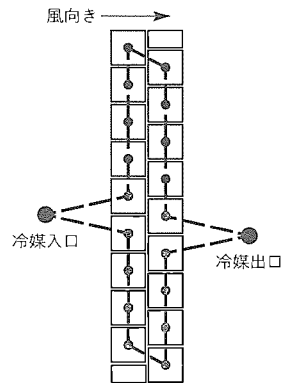
上記のように、HexNet を用いることにより、実際に実験を行わなくても、熱交換器各仕様の変化に対する性能の予測値が容易に得られるようになり、熱交換器設計を合理的に行うことができた。

表 1. 熱交換量の比較(事例 1)

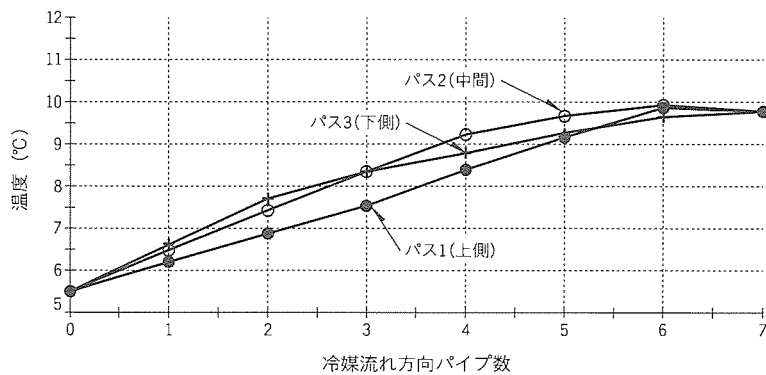
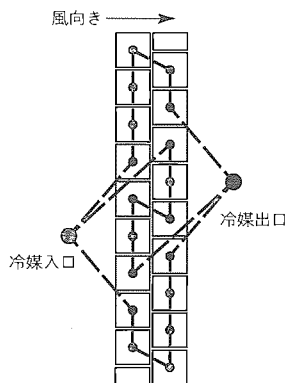
	改善前	改善後
熱交換量(W)	2,190	2,478
比率 (%)	100	113

表 2. 熱交換量の比較(事例 2)

	改善前	改善後
熱交換量(W)	2,391	2,455
比率 (%)	100	103



(a) 改善前



(b) 改善後

図7. パスパターンと冷媒温度分布

6. むすび

この HexNet 手法により、実用上十分な精度で熱交換器の最適設計が可能となり、機器の効率化を実現することができた。

今後はこの手法の応用展開として、代替冷媒に対応した熱交換器の高性能化や、機器への組込み特性のモデル化による設計効率化を進めていく所存である。

参考文献

- (1) Ellison, N.G.: Thermal Computations for Electric Equipment, Van Nostrand Reinhold Co., New York (1984)
- (2) 日本原子力学会: 気液二相流の数値解析, 朝倉書店 (1993)

施設照明器具用新インバータ

小川 勇* 永井 敏**
前田 忠司* 江口 健太郎**
荒井 武司**

1. ま え が き

蛍光灯の電子安定器が製品として出現してからはや十余年、これまでの間、蛍光灯電子安定器は小型化・高効率化を目指して様々な改良がなされてきた。近年では省エネルギー、省施工のニーズにこたえるために、特に施設用としては、Hf 蛍光ランプ（高周波点灯専用蛍光ランプ）と専用の電子安定器との組合せによって、発光効率の向上、照明器具の薄形・軽量化などが図られている。ここでは、この発光効率の高い Hf 蛍光ランプを点灯させるために開発した高出力固定タイプ（アクティブフィルタレスインバータ）と段調光タイプ（高耐圧 IC 使用インバータ）の 2 種類の電子安定器について述べる。

2. 高出力固定タイプ

近年、半導体応用製品の普及に伴って発生する高調波電流による高調波障害が問題となっており、国内においても照明器具を含めた家電製品に対する高調波抑制対策ガイドラインが既に発行されている。蛍光灯電子安定器においては、このガイドライン規制値を満足するためには、従来、アクティブフィルタ（A/F）を用いるのが一般的であった。しかし、この回路方式は部品点数が多く、形状も大きくなるなどの問題を含んでいた。

そこで今回、A/F を用いずに高調波ガイドライン規制値を満足する蛍光灯電子安定器を開発したので、これについて述べる。

2.1 蛍光灯電子安定器における入力電流高調波の現状

蛍光灯電子安定器に使用する整流平滑回路は、照明器具の用途により、コンデンサインプット方式、部分平滑方式、A/F 方式などが使い分けられている。表 1 にそれぞれの入力電流に含まれる高調波成分の分析結果を示す。これを高調

波ガイドライン規制値と比較すると、コンデンサインプット方式では第 11 次までのすべての領域で規制値を超えており、部分平滑方式でも規制値を満足するには不十分である。すべての領域で規制値を満足しているのは A/F 方式である。

2.2 A/F を用いた高調波低減回路

図 1 は、A/F を用いた蛍光灯電子安定器の基本回路構成を示したものである。この A/F は、昇圧型チョップ回路を応用したもので、回路動作は次のとおりである。

この回路構成は昇圧型チョップといわれ、インダクタ L1 とスイッチング素子 Q3 の ON/OFF 動作とによって全波整流した脈流電圧よりも高い電圧に昇圧する。すなわち、スイッチング素子 Q3 の ON 期間にインダクタ L1 に電流を流し込み、OFF 期間にインダクタ L1 に蓄えられたエネルギーをダイオード D1 を介して平滑用コンデンサ C4 に充電する。このチョップ動作を脈流の全期間にわたって高周波で繰り返すと、インダクタ L1 に流れる電流は図 2 のようなこぎり波状の波形となる。これを入力側のフィルタを介して入力電流を平均化すると、入力電流波形は図 3 のように正弦波状となる。

このほか、A/F 方式は、高調波を抑制するばかりでなく、電源電圧変動に対する制御、負荷変動に対する制御など多くの機能を持たせることができるため、蛍光灯電子安定器の整流平滑回路として広く用いられている。

また、インバータ回路動作は次のとおりである。

スイッチング素子 Q1 の ON 期間には平滑用コンデンサ C4 の放電電流がスイッチング素子 Q1 → インダクタ L2 の経路で流れ、コンデンサ C2 を充電する。次に、スイッチング素子 Q2 の ON 期間にはコンデンサ C2 の放電電流がインダクタ L2 → スwitching 素子 Q2 の経路で流れる。この一連の動作を高周波で繰り返すことによってランプに高周波電流が流れる。

2.3 A/F レスインバータ

図 1 に示すように、A/F は、インバータ回路とは別に昇圧型チョップ回路のスイッチング素子やその制御回路を必要とするために、部品点数が多く、形状も大きくなる等の問題を含んでいる。

これらの問題を解決するために、インバータのスイッチング素子と昇圧型チョップのスイッチング素子とを兼用した形の A/F レスインバータ回路を開発した。

表 1. 電子安定器における電源回路と高調波

高調波 (%)	次数	ガイドライン規制値	コンデンサインプット方式	部分平滑方式	A/F 方式
	3次	30×λ	89.5	20.4	6.5
5次	10×λ	72.5	9.4	2.7	
7次	7×λ	51.4	16.9	1.2	
9次	5×λ	30.7	5.9	1.4	
11次	3×λ	14.8	7.8	1.0	
力率 λ (%)		59	93	99	

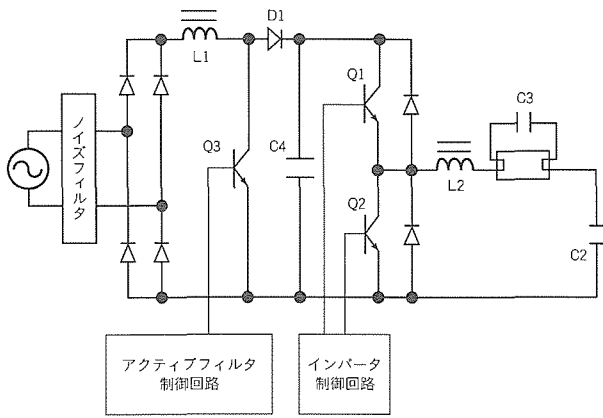


図 1. A/Fを用いた電子安定器の基本回路

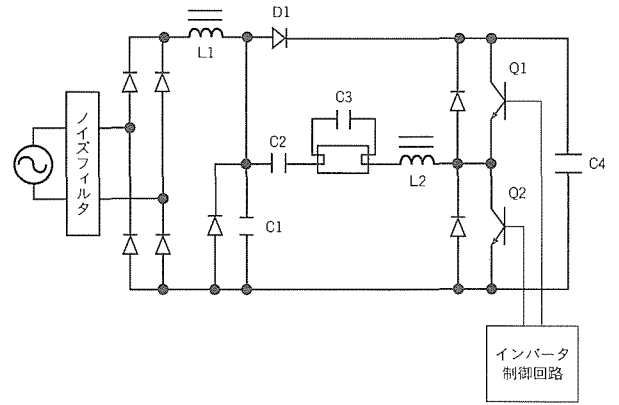


図 4. A/Fレス方式を用いた電子安定器の基本回路

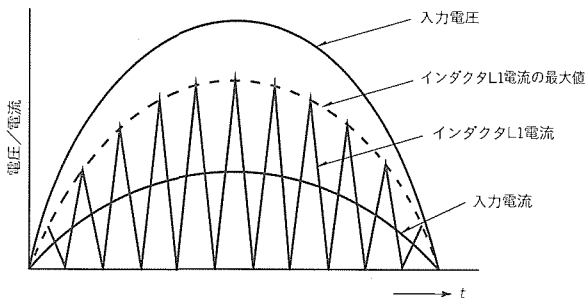


図 2. A/Fの制御波形

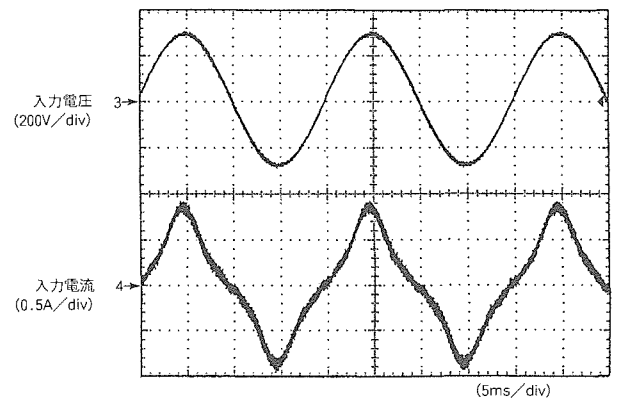


図 5. A/Fレス方式を用いた電子安定器の入力波形

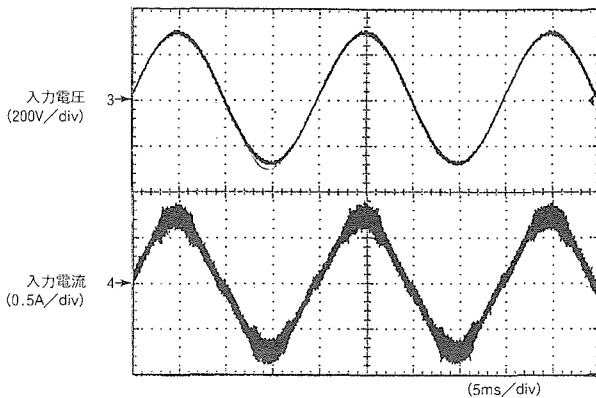


図 3. A/Fを用いた電子安定器の入力波形

出力固定タイプの目標仕様は次のとおりである。

- 高出力 (45 W) 固定
- 定格入力電圧は 200 V 専用
- 高調波低減 (ガイドライン適合)
- 小型化 (照明器具の中央穴を給電に使用可能とする。)

A/Fレスインバータの回路構成は以下のとおりである。

図 4 は、A/Fレス方式を用いた蛍光灯電子安定器の基本回路構成を示したものであり、この回路においては、インバータのスイッチング素子 Q2 が、ランプ負荷を介して昇圧型チョップとしての動作を兼ねるような構成になっている。また、インバータ回路はハーフブリッジインバータを構成し

ており、負荷回路は、蛍光灯及びコンデンサ C1~C3、インダクタ L2 によって LC 共振回路を形成している。

この回路においては、インダクタ L1 とインバータのスイッチング素子 Q1、Q2 の ON/OFF 動作及び負荷回路の共振とによって、全波整流した脈流電圧よりも高い電圧に昇圧している。そこで、この回路動作を代表的なモードに分けて説明すると次のとおりである。

(1) モード 1 (スイッチング素子 Q2 の ON 期間)

インダクタ L1 → コンデンサ C2 の経路でインダクタ L1 に電流を流し込むとともに、コンデンサ C1 の電荷を放電する。

(2) モード 2 (スイッチング素子 Q1 の ON 期間 (その 1))

インダクタ L1 の蓄積エネルギーがコンデンサ C1 に充電されるとともに、平滑用コンデンサ C4 の放電電流が負荷回路に流れる。

(3) モード 3 (スイッチング素子 Q1 の ON 期間 (その 2))

インダクタ L1 の蓄積エネルギーがダイオード D1 を介して平滑用コンデンサ C4 に充電されるとともに、コンデンサ C2 を放電する。

表 2. A/Fレスインバータの特性

高調波 (%)	次数	ガイドライン規制値	A/Fレス方式
	3次	$30 \times \lambda$	20.4
	5次	$10 \times \lambda$	4.1
	7次	$7 \times \lambda$	0.7
	9次	$5 \times \lambda$	1.0
11次	$3 \times \lambda$	0.8	
入力電圧 (V)		200	
入力周波数 (Hz)		50	
入力電流 (A)		0.495	
入力電力 (W)		97.3	
力率 λ (%)		97.6	

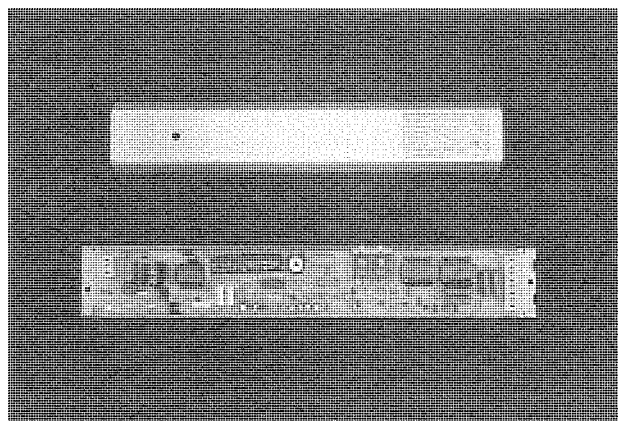


図 6. A/Fレス方式を用いた電子安定器

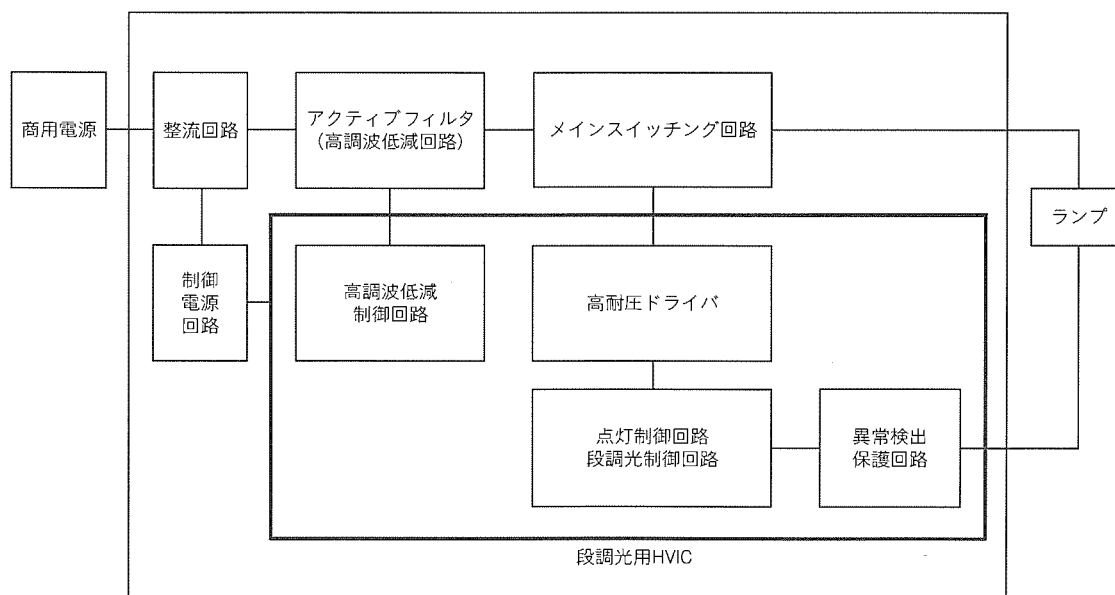


図 7. 段調光タイプのブロック図

このような一連の動作は昇圧型チョップの動作と類似しており、これによってランプに高周波電流を流すとともに、入力電流は図 5 のようにほぼ正弦波状となる。A/Fレス方式ではこのようにして高調波低減を行っている。

この回路を FHF 32 W 2 灯用 (高出力) に適用したときの特性を表 2 に示す。この結果は、高調波ガイドライン規制値を満足している。また、従来の A/F を搭載したものと比較した場合、A/Fレス方式を用いることによって外形寸法では従来の $570 \times 55 \times 25$ (mm) から $354 \times 55 \times 25$ (mm) へと長さを約 40% 短くすることができた。図 6 に A/Fレス方式を用いた電子安定器の外観を示す。

この方式により、A/Fを用いず、簡単な回路構成で高調波ガイドライン規制値を満足し、かつ小型な蛍光灯電子安定器を実現できた。

3. 段調光タイプ

段調光 (明るさ切換え) タイプの電子安定器は、高調波低

減回路として A/F を使用している。

前述したように、A/F はインバータ回路とは別にスイッチング素子とその制御回路を必要とするために、部品点数が多く、形状も大きくなる等の問題を含んでいた。この解決のため HVIC (High Voltage IC) を新規に開発した。

3.1 段調光タイプの目標仕様

段調光を行うタイプの電子安定器の主な目標仕様を下記のように定め、特に小型化を重視し、これを実現するため HVIC を開発した。

- 明るさ切換え (45/32 W) 可能
- 遠隔切換制御可能
- 高調波低減 (ガイドライン適合)
- 小型化 (照明器具の中央穴を給電に使用可能とする。)

その他の目標仕様は従来の段調光タイプと同等とした。

3.2 段調光タイプの構成と動作

3.2.1 構成

図 7 に回路ブロック図を示す。回路構成は従来の段調光

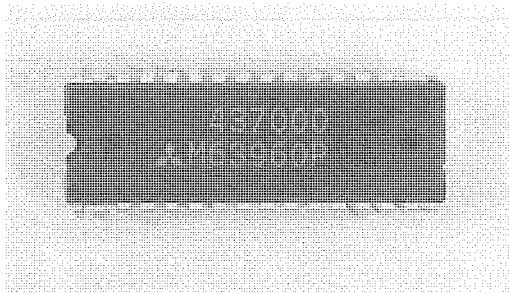


図 8. HVICの外観

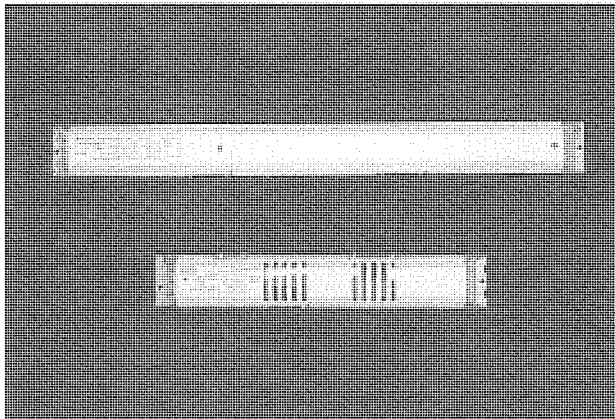


図 9. HVICを使用した電子安定器(下)

タイプの電子安定器と同様であり、整流回路、高調波低減回路としてのA/F、ハーフブリッジインバータを構成し負荷のランプを点灯するメインスイッチング回路、このスイッチング回路のパワーデバイスを駆動するドライバ及びその他の制御回路からなる。また、HVICは、高調波低減制御回路、点灯制御回路、異常検出保護回路、高耐圧ドライバなどから構成される。

3.2.2 回路全体の動作

商用交流電源が整流回路で全波整流され、この直流電圧はA/Fによって所定の電圧に昇圧される。この昇圧された直流電圧は、メインスイッチング回路のハーフブリッジインバータのスイッチング動作によって高周波電圧に変換される。電源投入時には負荷の蛍光ランプの電極を予熱する状態とし、次いで、ランプ端子間の印加電圧を上昇させて放電を開始させる。ランプは、この高周波電圧から電流制限用のコイルを介して高周波で点灯する。

明るさを切り換える(段調光)ときは、切換スイッチなどによって制御回路を段調光の状態にする。これにより、制御回路はランプ電流を減少させるように駆動信号を発生する。

負荷の蛍光ランプが2灯のときは、並列的に点灯するように、ランプそれぞれに電流制御用のコイルを接続している。

3.2.3 HVICの構成

HVICは大別して次の(1)~(3)の機能を持っている。

- (1) 高調波低減の制御、及びA/Fのスイッチングデバイス

表 3. HVICの主要特性

項目	仕様
耐圧	600V
最大出力電流	0.5A
制御電源電圧	15V
出力制御範囲	70%/100% 2段
パッケージ	32ピンSDIP

表 4. 段調光タイプの特性

形名		段調光インバータ			
		FTN32DHE		FTN32DPE	
適合ランプ		Hf32W1灯		Hf32W2灯	
電源電圧		100V	200 ~240V	100V	200 ~240V
入力電力	全光時	49W	49W	99W	98W
	調光時	37W	37W	73W	72W
調光範囲		2段階 70%/100%			
入力電流高調波		ガイドラインクラスC適合			
高調波低減回路		昇圧形DC-DCコンバータ方式			
調光信号		内部コネクタ又は外部スイッチによって切換え			
外形寸法		354×55×25 (mm)			

(MOS FET)の駆動

- (2) メインスイッチング回路を制御する点灯制御回路、及びランプの未接続などの異常状態を検出する異常保護機能
- (3) メインスイッチング回路を構成するハーフブリッジインバータのハイサイド及びローサイドのパワーデバイス(MOS FET)を駆動する高耐圧ドライバ機能

3.2.4 HVICの動作

HVICには制御電源回路から制御電源が与えられ、以下の動作を行う。

- (1) 高調波低減制御回路は、昇圧チョッパ回路によるA/Fの動作原理と同様に商用電源電圧波形と相似した信号電圧波形を入力することで、入力電流波形がほぼ正弦波状になるようにA/FのスイッチングデバイスをON/OFF制御する。また、電源電圧変動に対しても出力直流電圧が所定値になるように制御する。
- (2) 点灯制御回路は、ハーフブリッジインバータの動作周波数を制御するための周波数生成が主要な動作であり、始動時の蛍光ランプのフィラメント予熱、点灯時のランプ電流設定など、それぞれに必要な周波数を発生する。また異常時には、メインスイッチング回路の動作を停止するなどの保護を行う。
- (3) 高耐圧ドライバは、ハーフブリッジインバータの直列接続された2個のMOS FETを駆動することができるように構成されており、絶縁トランスなどを使用せずに駆動できる。

このHVICの特性は表3に示すように高耐圧ドライバは600Vの耐圧を持ち、MOS FETを駆動できる。HVICの外観を図8に示す。

3.3 段調光タイプの特性

この HVIC を使用した電子安定器の特性を表 4 に示す。電気的特性は従来の段調光タイプとほぼ同等であるが、外形寸法ではその長さを従来の 570 mm から 354 mm へと短くすることができた。これは HVIC の使用によって部品点数を削減できたことが寄与している。

図 9 に HVIC を使用した電子安定器の外観を示す。比較のため、従来からの電子安定器も示す。

3.4 ま と め

電気的特性及び明るさ切換機能を同等に維持しながら、HVIC を使用することによって外形寸法を従来より約 40 % 短くすることができた。この小型化によって照明器具の中央穴を給電に使用可能としたので、施工上の改善が図れる。

4. 今後の展開

Hf 蛍光ランプ用の電子安定器では、高調波低減の技術開発が活発に進められている。その技術は、一方では A/F を使用しないで高調波低減を実現しようとするものであり、他方は A/F を使用しつつ小型化などを実現しようとするものである。今後、高調波低減の技術開発は更に続けられ、さらに、機能的にも連続調光等の高機能化を図りつつ、かつ小型で効率の高い方式の実現へと向かうであろう。

また、これらの高調波低減の技術は、Hf 蛍光ランプ用の電子安定器だけでなく、これ以外のランプの電子安定器にも

適用されていき、電子安定器の普及促進に寄与すると思われる。

5. む す び

Hf 蛍光ランプを点灯させるために開発した 2 種類の電子安定器は、出力固定タイプにおいてはアクティブフィルタ (A/F) を用いず、簡単な回路構成で高調波低減を行うため、電子安定器の小型化が実現できた。

また、段調光タイプにおいては A/F のスイッチングデバイスの制御、メインスイッチング回路の制御及び異常保護の制御、メインスイッチング回路のパワーデバイスを駆動する高耐圧ドライバ機能の HVIC 化により、電子安定器の小型化が実現できた。

参 考 文 献

- (1) 江口健太郎, 小川 勇: 蛍光灯電子安定器における高調波低減の一方式, 平成 8 年度照明学会全国大会講演論文集, 89 (1996)
- (2) 青池南城: 照明用インバータの高調波歪み対策, 電子技術, 38, No.3, 40~45 (1996)
- (3) 山崎広義, 大竹登志男, 武田輝明, 前田憲行, 村上勝男: 新オフィス照明器具“Hf シリーズ”, 三菱電機技報, 67, No.6, 588~593 (1993)

24時間風呂 “一番風呂”

高橋光孝* 水島浩明***
 寺内利和** 守川 彰***
 中津川直樹***

1. ま え が き

近年、お風呂の快適志向はますます高まってきており、中でも24時間風呂はいつでも入浴できる快適さと掃除不要の手軽さにより、図1に示すように市場規模が拡大している。1994年には年間15.5万台(出荷台数)を突破し、需要総額は460億円、普及率は約2%で、さらにその将来の成長が期待されている。

市場参入メーカーは50社以上にのぼり、その浄化・殺菌機構に関しては、簡易的な処理方式から本格的な処理方式まで、様々である。

三菱電機(株)は本格的浄化・殺菌を可能とする“特殊活性炭による物理吸着と生物浄化によるダブル浄化”“間欠オゾン殺菌方式”、浄化材の手洗いを不要にした“自動洗浄方式”などを開発し、使用当初から良好な浄化・殺菌性能を長期間維持する24時間風呂“一番風呂”の開発に成功した。

本稿では、その機器構成及び浄化・殺菌・洗浄方式を中心に紹介する。

2. 機器構成及び基本機能

24時間風呂の外観を図2に、機器構成を図3に示す。浴室内に本体を設置し、浴水は本体内のポンプによって毎分13ℓ程度で循環する。まずプレフィルタで髪の毛などの荒ゴミを除去し、次に浄化部に充てん(填)されたろ(濾)材(生物活性炭)によって浴水中の汚濁物質を吸着し、生物分解して浄化する。

その後、浴水はセラミックヒータで加熱され、吐出口から

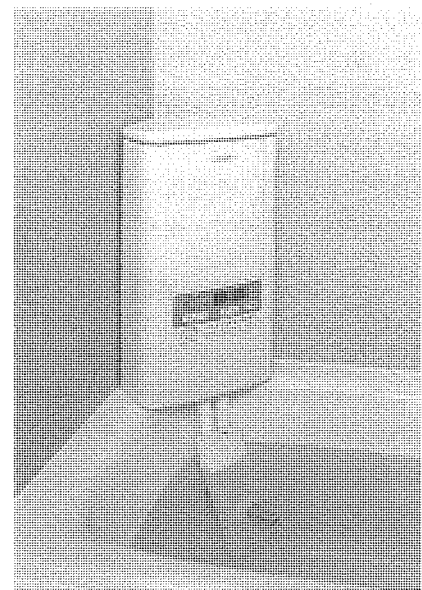


図2. 24時間風呂の外観

浴槽に戻る。また同時に、小型オゾンナイザから供給されるオゾンで殺菌される。浴水の吹出しは“滝湯”“泡風呂”“標準”の3パターンが選択でき、“滝湯”にすれば、下部から滝のようにお湯が出る構造となっている。

浄化部内の濾材の洗浄は、本体内に設けた3方弁の切り換えにより、逆流かくはんすることで自動的に行う。

本体とは別設置の電源トランスで、浴槽内は24V低電圧化して安全性を確保した。また、転倒防止金具、過電流防止装置、ヒータ空だき防止装置などの各種安全装置も併用している。

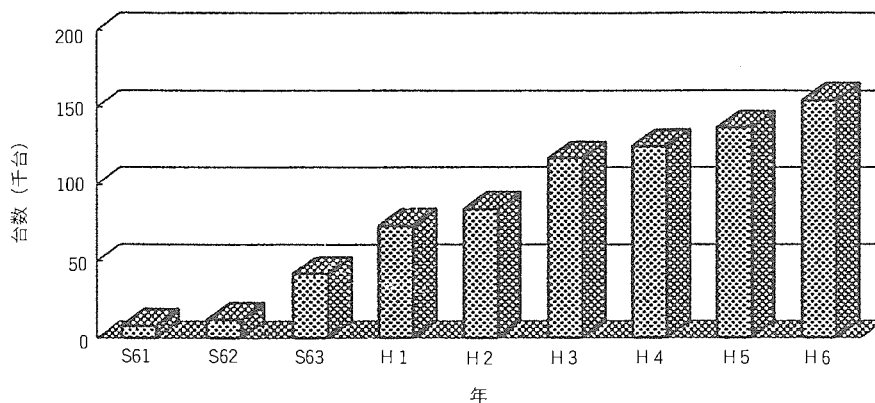


図1. 24時間風呂の市場動向(24時間風呂協議会実績)

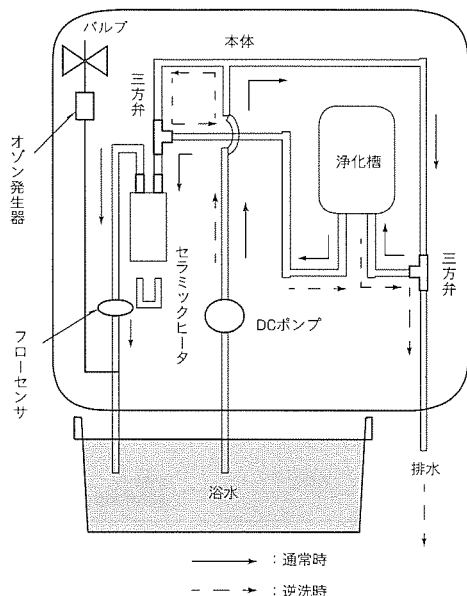


図3. 24時間風呂本体構成

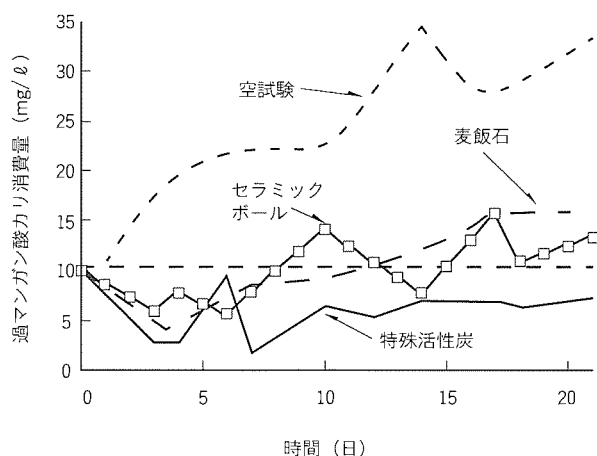


図4. 各種濾材の浄化性能の比較

3. 浄化・殺菌・洗浄方式

3.1 特殊生物活性炭による浄化方式

浴水中の汚濁成分を浄化する方式としては、物理濾過、凝集、吸着、生物処理、及びこれらの組合せの方法があるが、経済性・メンテナンス性・浄化性能などから生物浄化方式(生物濾過)を検討した。

従来の24時間風呂の生物浄化方式の中で特に天然石などを固定化担体(濾材)とした生物浄化方式は、浄化に寄与する微生物が浄化材に定着(浄化材表面に付着固定化)するまでに時間がかかり、良好な浴水浄化性能が得られるまで長期間を要するなどの問題点があった。

そこで、浄化材としては特殊活性炭を用い、使用開始当初は活性炭の物理吸着作用によって浴槽水中の汚濁物質を吸着することで浄化し、その後の実使用に伴って浴槽水中の微生物が活性炭に固定化され、この固定化微生物で浴槽水中の有

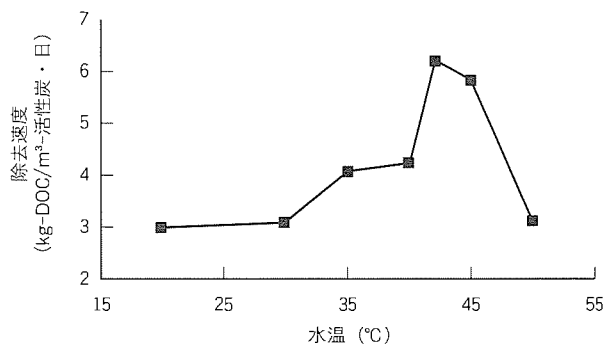


図5. 有機物除去速度の温度依存性

表1. 各種濾材の性状比較

濾材	比表面積 (m ² /g)	見掛け比重 (g/l)	粒径 (mm)
特殊活性炭	1,242	500	3~5 (ペレット)
セラミックボール	50	1,100	5
麦飯石	4	1,500	3~5

機物を生物分解する生物活性炭方式とした。この方式により、特殊活性炭は生物活性炭として良好に機能し、使用開始当初から浴水浄化性能維持を可能としている。

特殊活性炭は、従来から浄化材として多用されている麦飯石などの天然石に比べ、比表面積が約300倍程度のものを用いた。比表面積を天然石など従来の浄化材と比較し、表1に示す。この活性炭は、充填密度が約500g/l、ヨウ素吸着量が約1,000mg/l、大きさ(粒度)は3~5mmのペレット状で、硬度面での配慮もした。同表に示す各種浄化材を試験対象として、その浄化性能を比較した結果を図4に示す。

また、約3か月間、延べ約250人の入浴実験後の浴水でも、過マンガン酸カリウム消費量1.3mg/l、濁度0.3度で、使用開始当初から公衆浴場浴水基準(過マンガン酸カリウム消費量25mg/l以下、濁度5度以下)を満たす良好な処理水質が維持可能であることが確認された。

生物活性炭に固定化されている微生物の濃度は、高度浄水処理プロセスで用いられている生物活性炭と同程度の10⁷(個/g-活性炭)であった。

実風呂系で運用して良好な浄化性能を確認した生物活性炭を対象に、その有機物(水中に溶存する有機態炭素:DOC)除去速度の温度依存性を評価した結果を図5に示す。同図から、中温性の一般細菌の生育至適温度域(30~37°C)よりも若干高い42°Cで除去速度の最大値を得た。このことから、浴水温度中では、複合風呂系微生物群の中で一般細菌の生育至適温度よりも高い、42°Cに生育至適温度がある浴槽水浄化菌群が、特殊活性炭に優先的にスクリーニング固定されていることが分かる。有機物除去性能としても、6(kg-DOC/m³-活性炭・日)であり、高い値であることが確認さ

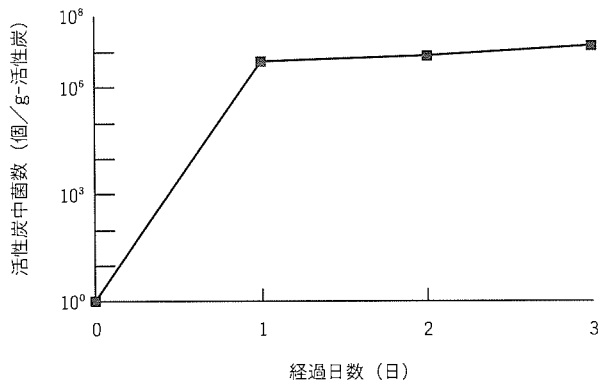


図 6. 活性炭への菌の付着特性

れた。

生物活性炭への微生物の付着固定特性に関して、1/10 スケールの連続実験で評価した結果を図 6 に示す。微生物を含む液に接触することで、1~2 日の短期間で、浴水を浄化する性能として十分な $10^6 \sim 10^7$ (個/g-活性炭) に達することが確認された。

3.2 間欠オゾン殺菌方式

浴水中の汚濁成分を生物活性炭によって浄化する方式に加え、入浴に起因する浴水中の微生物を殺菌処理する方式を検討した。殺菌方式としては、オゾン殺菌・紫外線殺菌・熱殺菌・電解殺菌などがあるが、この中で、近年、浄水の高度処理プロセスやプール水の殺菌などに用いられつつあるオゾン殺菌方式を採用した。

オゾンを人工的に発生させるには、放電法・電解法・光化学法などがあるが、放電法によるものが一般的であり、この方法を用いた。また、誘電体には熱的・機械的に安定なセラミックスを使用した小型で、かつ小発生量での信頼性が高い沿面放電式小型オゾナイザ(オゾン発生量 5 mg/h)を用い、オゾンの間欠注入する方式を採用した。

殺菌条件については、オゾン臭の鼻のいき(閾)値や生体への安全性などを考慮し、実使用条件において気相・液相ともに 0.05 ppm 以下となるようにし、間欠注入を繰り返す方式とした。公衆浴場浴水基準における微生物項目としては大腸菌群数があり、100 個/100 ml 未満という基準があるが、この方式によれば、約 3 か月間、延べ約 250 人の入浴実験後の浴水でも、大腸菌群数は検出されないレベルにまで殺菌可能となった。

実機の 1/10 スケールでの殺菌実験結果からは、大腸菌の 5 時間処理で、殺菌率 76% ($2.7 \times 10^5 \rightarrow 7.0 \times 10^4$ 個/ml)、Pseudomonas 属細菌の 6 時間処理で殺菌率 42% ($2.6 \times 10^6 \rightarrow 1.5 \times 10^6$ 個/ml)であり、浴水中微生物の殺菌能力としては十分であることが確認された。

3.3 濾材の自動洗浄方式

従来の 24 時間風呂に用いられている浄化材は、ユーザが手洗いなどを適宜実施するなど、メンテナンス上の煩雑さが

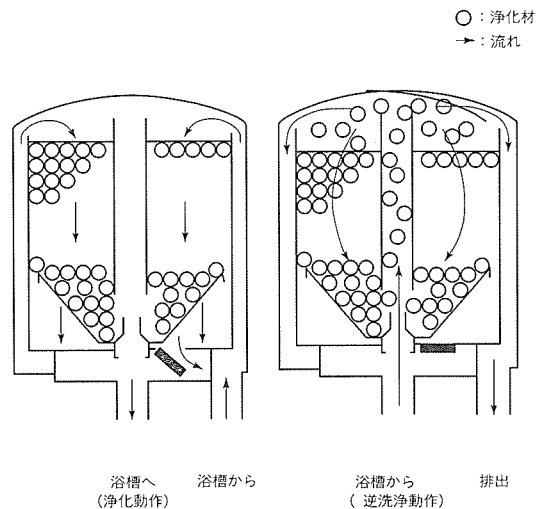


図 7. 洗浄機構

あった。そこで、この問題点を解決するために、浄化部で用いている生物活性炭を自動洗浄する方式を検討した。具体的には、浄化部中の浮遊物質や生物活性炭に表面固定された余剰微生物を、図 7 に示すように、系外に自動排出する逆流洗浄方式を採用した。

水流によるせん断と活性炭粒子の擦れ合いによって汚濁物質をはく(剥)離をすることを基本としたこの方式での洗浄効果確認を前述の約 3 か月の入浴実験時に行った結果、生物活性炭は、 5×10^6 個/ml 程度以上の付着菌数を維持し、良好な水質を維持でき、活性炭のマッドボール化も認められず、この方式が有効であることが確認できた。

評価実験時の洗浄排水中の蒸発残留物と過マンガン酸カリウム消費量の推移を図 8 に示す。同図から、洗浄効果は 30 秒経過時点で最も高く、60 秒ではほぼ十分であった。このときの活性炭の菌数変化を図 9 に示す。同図に示すように、生物活性炭は、 5×10^6 個/ml 程度以上の付着菌数を維持し、良好な水質を維持できた。

4. む す び

以上のように、今回新たな浄化・殺菌及び浄化方式を採用した 24 時間風呂“一番風呂”を製品化して好評を得ているが、今後、この製品を三菱電機の住空間ビジネスの中での水(お湯)関連の事業の根幹と考えており、引き続き次の観点からの開発を推進し、技術の拡大を図る所存である。

- 風呂機能の更なる改良及び簡素化
- 装置のコンパクト化
- 快適性の更なる向上
- 風呂機能のシステム化、住空間ビジネスでの水(お湯)周り機能の在り方の追求

参 考 文 献

- (1) 西鳴 渉, 岡田光正: 生物活性炭による低濃度有機化合

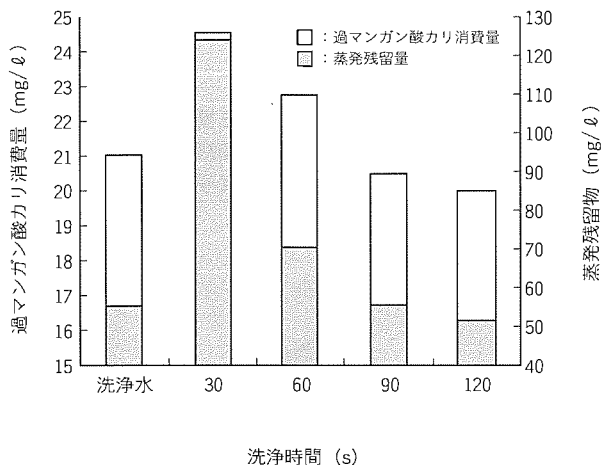


図 8. 洗浄水中の過マンガン酸カリ消費量と蒸発残留物量

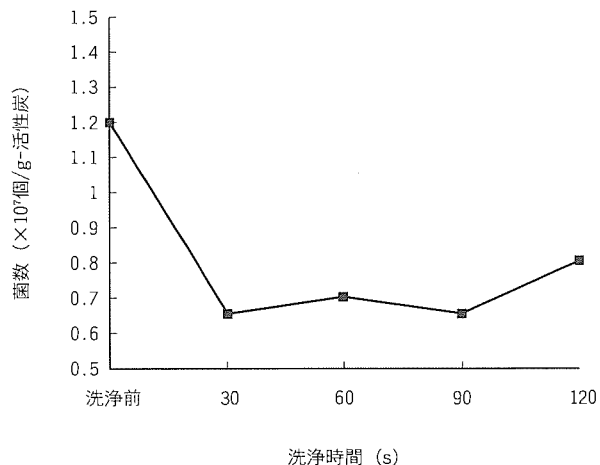


図 9. 洗浄過程における生物活性炭の菌数推移

物の分解除去, 水環境学会誌, 15, No.10, 683~689 (1992)

- (2) 西嶋 渉, 岡田光正: 生物活性炭における付着細菌の役割, 用水と廃水, 35, No.8, 37~45 (1993)
- (3) 水島浩明, 守川 彰, 中津川直樹, 野村健次: 小型浄化

装置における生物活性炭の洗浄機構とその検討, 第 30 回日本水環境学会年会講演集, 139 (1996)

- (4) 守川 彰, 水島浩明, 中津川直樹, 野村健次: 高水温下における生物活性炭の浄化プロセスの検討, 第 30 回日本水環境学会年会講演集, 140 (1996)

全自動洗濯機 MAW シリーズ

山崎正博* 山上和彦***
 萬谷和彦* 石井哲夫***
 藤江京子**

1. ま え が き

洗濯機の市場は、買い替え需要を中心に、図1に示すとおり、年間約470万台前後の安定したものとなっている。

全自動洗濯機の需要は、共働き家庭の増加や家事の合理化志向を背景に年々増加し、今後、更に拡大していく見込みである。また、“汚れたら洗う”から“着たら洗う”への習慣の変化による洗濯量の増加や、毛布などの大物洗いができることにより、5kg以上の大容量機種への移行も進んでいる。

全自動洗濯機に対する三菱電機(株)の意識調査では、現状の洗濯機の洗浄性能に対する不満が強く、特に、靴下などの泥汚れに対する洗浄力の強さが、第一の市場ニーズとして挙げられた。

新機種“MAWシリーズ”では、革新的な技術により、市場ニーズであるコンパクト大容量化、高洗浄力化、操作性の向上、省資源化など、洗濯機本来の基本性能の充実を目的として開発を行った。図2に代表機種であるMAW-60J1形の外観を示す。

本稿では、その具体的内容として、①洗浄性能、②負荷量検知、③振動解析、④操作性の各項目について述べる。

2. 洗 浄 性 能

2.1 洗浄方式と性能

通常洗浄性能は、次の二つの要因で構成される。

- 機械力：衣類に外部から力を加えて汚れを取り除く
- 化学力：洗剤(界面活性剤、酵素等)による化学効果

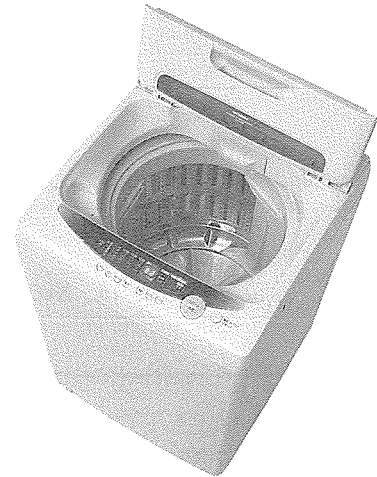


図2. MAW-60J1形の外観

表1. 従来洗浄方式の特徴

洗浄方式	長 所	短 所
渦巻き式 (パルセータ)	・洗濯時間が短い ・洗浄力が強い	・布絡みが多い ・洗いむらが大い
かくはん式 (アシテータ)	・布絡みが少ない ・洗いむらが小さい	・洗濯時間が長い ・回転翼が大きい (大物の出し入れ時邪魔)

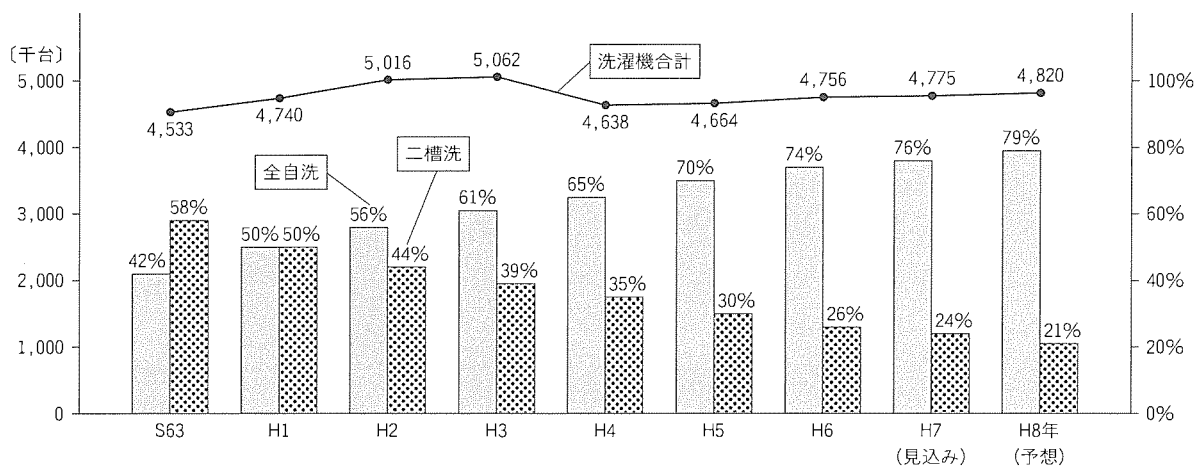


図1. 洗濯機市場動向

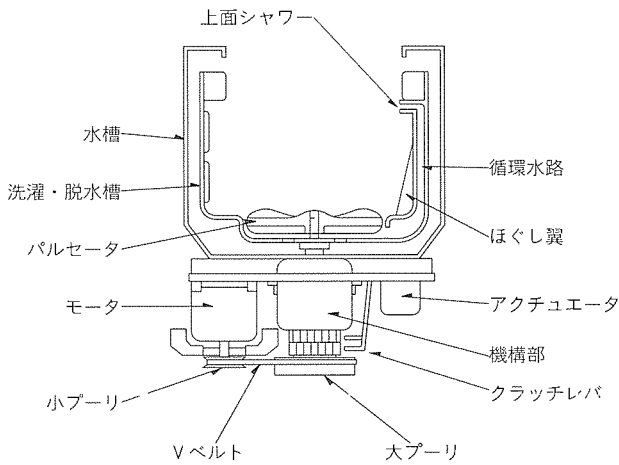


図 3. 全自動洗濯機の構造

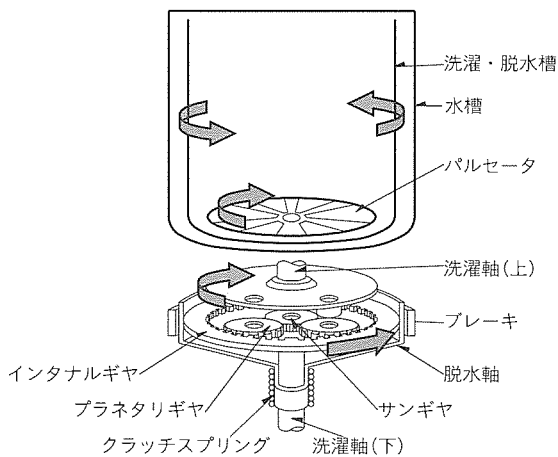


図 4. 槽回転発生メカニズム

従来洗浄方式の特徴を表 1 に示す。

当社はこれまで、かくはん式の長所、特に布絡みの少なさに着目し、業界に先駆けたマイコンの搭載による多彩な運転制御方式を開発し、製品化してきた。

新洗浄方式では、毛布など大きな物の出し入れのしやすさを考慮し、基本構造は渦巻き式としながら、従来固定していた洗濯槽をパルセータと逆回転させることでかくはん式のメリットを併せ持たせた。さらに、洗濯物の回転効率を高めるため、洗濯槽の形状、ほぐし翼、上面シャワーの最適設置を行った。これらにより、従来の二次元的な洗浄方式から、底部（パルセータ）、側面（洗濯兼脱水槽）、上面（シャワー効果）による三次元的な洗浄方式を得ることができた。

2.3 洗濯槽回転メカニズム

全自動洗濯機の構造を示す側断面図を図 3 に示す。衣類が入る洗濯槽の外側に水槽があり、この水槽の下部に駆動源としてのモータ、排水弁の開閉によって排水の制御を行うアクチュエータ、そして、洗濯及び脱水回転の切換え・減速・ブレーキの役割を持つ機構部が取り付けられている。

洗濯状態におけるパルセータ回転は、モータ回転をプーリー

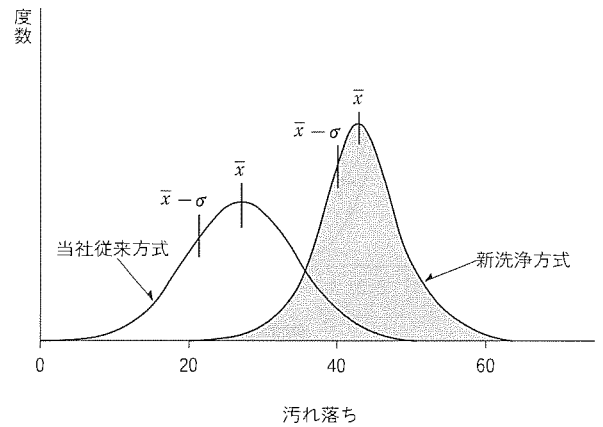


図 5. 洗浄性能比較

とVベルトで機構部に伝え、機構内部の遊星ギヤによる減速を経て伝達される。

図 4 に槽回転発生メカニズムを示す。洗濯運転中の遊星ギヤは、まず、モータからの力をサンギヤ（洗濯軸（下））で受け、インタナルギヤを介してプラネタリギヤからパルセータに伝える。このとき、プラネタリギヤからの回転反力がインタナルギヤに発生し、その力が脱水軸から洗濯槽に伝わる。この回転反力により、それぞれに結合されている洗濯軸（上）と脱水軸は、逆向きに回転することになる。すなわち、パルセータと洗濯槽はほぼ同時に逆向きに回転する。

洗濯槽の回転数は、洗濯槽とパルセータの慣性力比、遊星ギヤ比、洗濯槽とパルセータの回転に伴う抵抗力比の設定によって決まる。

従来機では、洗濯と脱水行程の切換えを行うクラッチスプリング機構を片開き構造としているため、洗濯中に洗濯槽を回転させることができなかった。新構造では、クラッチスプリング機構を両開きとする構造を開発し、別の駆動源を設けずに、洗濯中の洗濯槽回転を実現した。

2.4 性能

図 5 は、標準的な条件で洗濯し、各洗濯物の汚れ落ちを測定し、グラフ化したものである。今回の新洗浄方式は当社の従来方式に比べ、汚れ落ちの平均値が向上したばかりでなく、ばらつきも減少している。このことから、洗いむらの減少も含め、大きな性能向上が得られていることが分かる。

3. 負荷量検知

3.1 概要

全自動洗濯機では、投入された衣類の量（以下“負荷量”という。）に従って水位、洗剤量、洗濯行程を決定しており、洗浄性・すすぎ性を向上させつつ布傷みを低減し、かつ節水を図るといった要求にこたえるため、短時間で高精度な負荷量検知を行うことが求められている。

MAW シリーズでは、従来機と同等の回転センサを用い、ニューラルネットワークによる高度な知的処理を応用するこ

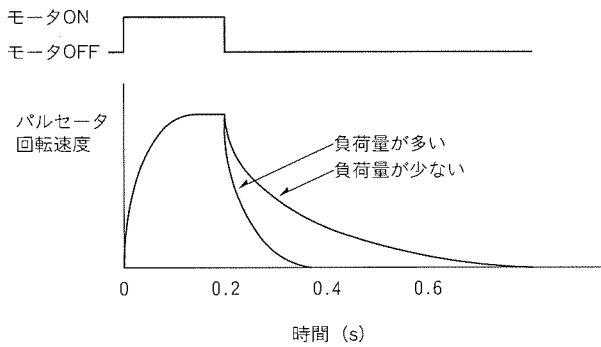


図6. 投入負荷量とパルセータ回転数の関係

とにより、低コストかつ高精度な負荷量検知方式を開発し、搭載した。

3.2 負荷量検知の流れ

負荷量検知とは、ユーザが洗濯・脱水槽に衣類を投入しスタートボタンを押すと、パルセータが時計回り/反時計回りに数回往復回転することによって負荷量を判定する機能のことである。この負荷量検知の結果を基に水位、洗剤投入量、洗濯行程が決定され、それらを操作パネルに表示する。

3.3 基本原理

パルセータを短時間回転させたときの速度時系列変化は、モータ ON 後に定常回転数近傍まで上がり、モータ OFF 後に減衰するというパターンを示す。負荷量をパラメータとしてこのパターンの変化を見ると、モータ ON 後よりもモータ OFF 後の方が負荷量との相関が高いことが分かっている。

モータ OFF 後のパルセータ慣性回転速度の減衰は、主としてパルセータと衣類の摩擦によって生じるため、負荷量が少なければ摩擦が小さくなり慣性回転の減衰は小さく、負荷量が多ければ摩擦が大きくなり減衰は急しゅん(峻)となる。投入負荷量とパルセータ慣性回転速度の関係を図6に示す。

従来機は、この負荷量とパルセータ慣性回転の減衰との関係を停止までの回転角度としてとら(捉)え、しきい値によって段階的に判定していたが、しきい値近傍での判定誤差が大きかった。

MAW シリーズでは、より高精度な判定を行うため、負荷量とパルセータ慣性回転の減衰との関係をニューラルネットワークに学習させることによって得ることにした。

3.4 ニューラルネットワークの適用

ニューラルネットワークは、生物の情報処理のメカニズムを工学的に実現したもので、入力と教師データ(正しい答)を与えて、学習させることにより、入力に対して適切な出力を返すようになる。

まず、パルセータ慣性回転の減衰率を時系列データとして3回採取し、回数によるばらつきを防ぐため平均化処理を行い、ニューラルネットワークが取り扱える値に正規化する。

この前処理したパルセータ慣性回転の減衰率を入力値とし、

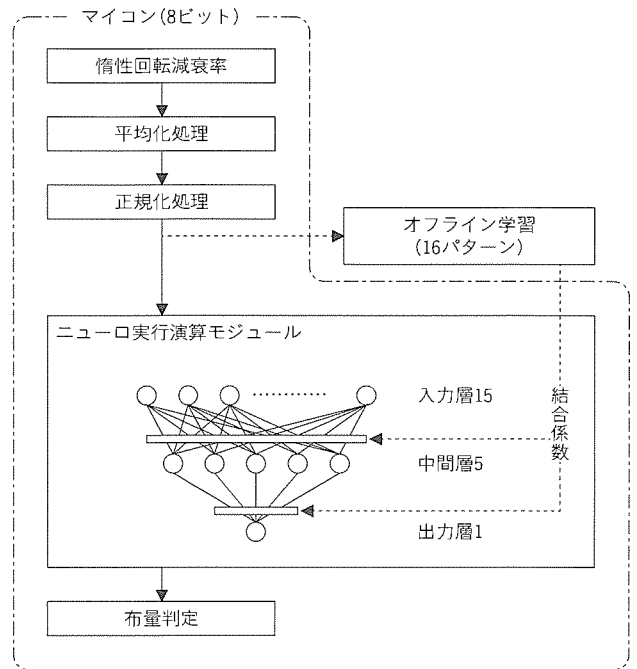


図7. 負荷量検知のブロック図

衣類の質量(答)を教師データとしてニューラルネットワークに呈示し、ワークステーションによってオフライン学習させた。これらの学習データは16パターン(負荷量を0~5kgまで0.3kg刻み)用意し、学習方式はバックプロパゲーションとした。

学習終了後に生成されたニューロン間の結合係数をマイコンにテーブル化するとともに、既開発の“ニューロ実行演算モジュール”にネットワーク構造を割り付けてオンライン計算を実行すると、衣類の質量が算出される。

今回用いたマイコンによる負荷量検知のブロック図を図7に示す。ニューラルネットワークの構造は3層階層型とし、各層のニューロン数は、それぞれ、入力層15、中間層5、出力層1とした。

3.5 ニューラルネットワークの特長

ニューラルネットワークは、次の特長を持ち、全自動洗濯機の負荷量検知処理に適している。

- (1) 非線形な入出力問題が得意である。
- (2) 学習させた減衰曲線から少し外れた値が入力されても、補完して結果を出力する汎化能力を持つ。

なお、負荷量検知の誤差要因として、機構部(メカロス)のばらつき、電源電圧変動、経年変化などが挙げられる。MAW シリーズに搭載するに当たり、これらの要因を考慮して学習データの調整を行った。

3.6 効果

この負荷量検知方式を採用することにより、以下の効果を

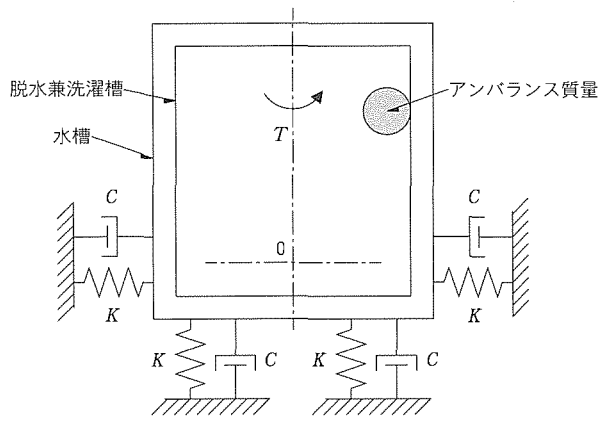


図 8. 全自動洗濯機の解析モデル

得た。

- (1) 検知時間約 2 秒で 0~5 kg までの無段階検出 (業界初) を実現し, 検出誤差を約 1/3 に低減した。
- (2) 検出精度向上によって 10% 節水でき, これによって使用洗剤量も 10% 節約できた。
- (3) ニューラルネットワークを使用することにより, 設計変更にも結合係数テーブルの書換えのみで容易に対応できる汎用性を持つ。
- (4) 既開発のマイコン用ニューラルネット実行モジュールの採用により, 開発時間が短縮された。

4. 振動解析

4.1 概要

脱水運転の起動時に洗濯兼脱水槽内の衣類に片寄りが生じると, 振れ回り振動が発生する。過大な振れ回りに対しては, 安全のため振れを検知して運転を停止させる安全スイッチを設けている。

設計時には実際の使用条件で安全スイッチの動作率を評価して適切な値に設定する必要があるが, これを試験で評価するのは大変である。そこで, 振動解析モデルを構築し, モンテカルロ手法と連携させて安全スイッチ動作率予測を行い, 設計への適用を図った。

4.2 解析モデル

全自動洗濯機の解析モデルを図 8 に示す。水槽は 3 方向の並進及び 3 方向の回転が可能な自由度 6 のモデルとなっている。また, 水槽はサスペンション支持としてバネ及びダンパを 6 方向に付加した。洗濯兼脱水槽の衣類の片寄りをアンバランスマスとして洗濯兼脱水槽内に配置することで, 水槽内に働くアンバランス力を考慮した。並進及び回転方向の運動方程式は式(1)から求められる。

$$[M]\ddot{x}(t) + [C]\dot{x}(t) + [K]x(t) = F(t) \dots\dots(1)$$

ここで, $[M]$ は水槽と洗濯兼脱水槽の全質量マトリックス, $[C]$ は減衰マトリックス, $[K]$ は剛性マトリックス, x は変位ベクトル (並進及び回転), F は外力ベクトル (アン

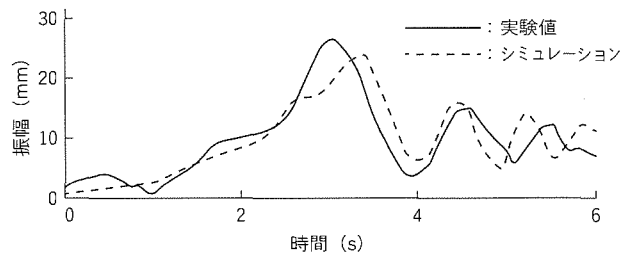


図 9. 水槽振幅

バランス) である。

また, モータによる駆動トルク $T(t)$ を付加すると, 水槽回転方向の運動方程式は式 (2) のようになる。

$$I\theta(t) + S = G(t) + T(t) \dots\dots(2)$$

ここで, I は回転慣性モーメント, S は抵抗の総和で, $G(t)$ は回転外力 (アンバランス), θ は回転角である。

4.3 予測解析

予測解析は, 事象の確率分布によってランダムに発生させ, 予測目的の変数の動きを検証するモンテカルロ手法を用いた。アンバランスの洗濯兼脱水槽内での発生し得る質量と位置, 及び安全スイッチ位置を設計値内で確率分布を与えた。予測目的の変数は, 水槽の最大変位と安全スイッチの動作率とし, この解析モデルで算出した。

4.4 解析モデルの検証

この解析モデルを用いた衣類 4.6 kg 時の解析結果を図 9 に示す。水槽振幅は並進 2 方向のベクトル和で求めている。脱水起動時は, 解析, 実験ともに振幅の最大値が 25 mm 前後となっており, 1 次ピーク時の最大変位発生時間も 3.5 秒前後であり, 両者はよく一致している。

全自動洗濯機の水槽の並進方向固有振動数は 1 Hz 程度であり, 洗濯兼脱水槽の回転数がこの固有値を通過するとき水槽は共振を起こして大きく振動する。脱水起動時は回転速度と時間はほぼ比例関係にあり (毎秒 20 r/min 上昇), 洗濯兼脱水槽が回転速度 70 r/min 程で最大変位が発生する現象がよく一致している。

4.5 設計への適用

脱水運転の起動時における水槽変位の挙動を設計段階で検討することができる全自動洗濯機の振動解析モデルと, モンテカルロ手法を用いた安全スイッチ動作率予測解析システムを構築した。これにより, 安全スイッチの動作率を低減させるためにはどのパラメータを対策すればよいかを評価できるとともに, これまで膨大な時間を費やしていた安全スイッチ動作率の評価試験時間を減らすことが可能となった。その結果, きょう (筐) 体と水槽のすき (隙) 間の小さいコンパクトな全自動洗濯機が開発できた。

5. 操作性

5.1 “わかりやすさ” への取組

製品の多機能化に伴う操作性の複雑化が問題となっており、“わかりやすさ”が求められている。従来機においてもこの点には問題があった。この原因としては、認知的側面からの操作性検討の不足、及びユーザの視点や生活シーンへの配慮の不足が挙げられる。

そこで今回の開発では、操作の“わかりやすい製品”を開発するという目標を掲げ、開発初期から操作性評価者、設計者、デザイナーなどが一体となって操作性の設計を行った。

5.2 操作性設計の流れ

操作性設計の初期の段階から、操作の分かりやすさ向上のための設計手法である“セミオティックアナリシス”を適用した。これは認知的インタフェースに関する設計視点を記号論で体系化した当社オリジナルの手法である。

操作性設計の流れは以下のとおりである。

(1) 操作性コンセプトの作成

まずユーザニーズに合致した操作性コンセプトを作るため、使用実態調査の結果を分析した。その結果、手動機能の利用率の高さ、全自動コースの内容の設定変更などのニーズが明確化し、“洗濯スタート後も設定変更可能”などの操作性コンセプトを作り上げた。

(2) 基本仕様の検討

操作性コンセプトを実現する具体的な仕様へ展開する。セミオティックアナリシスの手法に従い、ボタンのレイアウトなどの操作パネルの基本構成や操作手順の設計を進めた。この時点で仕様を絞り込むためにモニタ評価を行い、詳細仕様の検討へ移った。最終段階の試作品の評価に至るまで提案・検討・評価を繰り返し行った。

上記(2)の過程における新しい試みとして、操作パネル案をパソコンを使ってシミュレーションする方法を採用した。この方法では、仕様の提案や絞り込みがパソコン画面で行えるとともに、モニタ評価も可能となる。これにより、開発工程上流で設計ができ、操作の“わかりやすさ”向上と、実機試作回数の削減などの効率化が達成できた。

5.3 操作パネル

作成した操作パネルを図10に示す。操作パネルの主な特長とその理論的背景を述べる。

(1) スタートボタン

スタートボタンは、大きく、目立つ色(パープル)であることが特徴的である。これは、ファーストアフォーダンスと

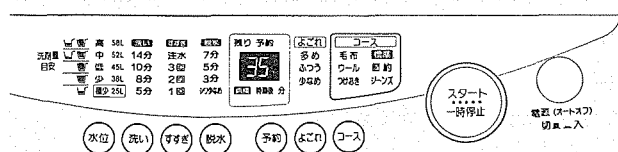


図10. MAW-60J1形の操作パネル

いう発想によるものである。ファーストアフォーダンスとは、ユーザに最初にしてもらいたい行動を誘発するアフォーダンスのことであり、そのねらいは、“ここを押せばよい”というボタンが一目で分かるようにすることである。

(2) ボタン・表示のレイアウト

MAWシリーズでは、ボタンの上方にその応答を表示した。入力部とその応答の表示部とを視覚的に対応させること(マッピング)により、“わかりやすさ”が向上する。

さらに、ボタンの用途や使用シーンを考慮したフレーム分けを行った。具体的には、①スタートボタン、②自動系(コース、よごれ、予約)、③手動系(洗い、すすぎ、脱水、水位)と認識しやすいように分類し、色使いによって明確に表現している。

(3) 操作手順

現在市場にある全自動洗濯機は、操作手順が分かりにくく使いこなせない、という声がよく聞かれる。そこで、操作手順の改善を目的に、ユーザの立場から洗濯機の利用方法などを考えた。その結果、センサ搭載の全自動洗濯機であるにもかかわらず、毎回洗い時間やすすぎ回数などをすべて自分で設定しているユーザが多いことが分かった。その理由は下記のとおりである。

- (a) センサが決定する水位などに不満な場合がある。
- (b) 自分好みに設定したいのは洗い時間だけなどの一部であるのに、操作が分かりにくい。
- (a)については、洗濯がスタートした後も設定値の変更を可能にすることにより、水量などが不満な場合の再設定を可能にした。(b)は、全自動コースと、自分好みの設定の組合せ操作を可能にすることで改善した。

(4) 表示

コースやよごれボタン名称決定に当たっては、以下の点を考慮している。

- (a) 実現される機能と整合性があり、エラーを誘発しない。
- (b) 操作時のユーザの思考プロセスへ適合させる。

5.4 効果

この全自動洗濯機は操作が“わかりやすい”とともに機能

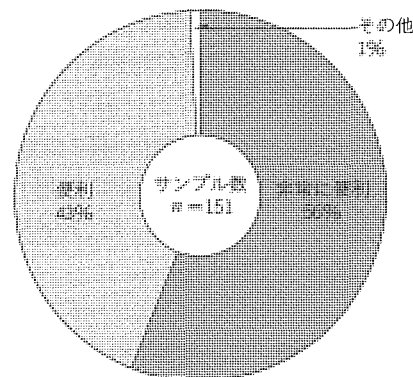


図11. スタート後の設定変更機能に関するアンケート結果

が十分に使いこなされていることは、購入者のアンケートやモニタによる実使用評価の結果から確認された。特に、スタート後の設定変更機能は、図 11 に示すとおり、99%のユーザに便利であると評価されている。

6. むすび

全自動洗濯機 MAW-60 J 1 形は、財省エネルギーセンター主催の平成 7 年度省エネバングード 21 で会長賞を受賞することができた。受賞のポイントとして以下の項目が考えられる。

- (1) 洗濯槽回転という新洗浄方式による洗濯時間の短縮、消費電力の低減
- (2) 無段階負荷量検知による節水効果
- (3) 分解性を考慮した組立構造によるリサイクル性の向上や再生材使用の拡大

以上、全自動洗濯機 MAW シリーズの主な特長について述べた。今後、洗浄性能を始めとした基本性能の更なる充実

はもちろんのこと、時間短縮、環境保全など市場ニーズを早急的確にとらえた新製品の開発を推進していく所存である。

参考文献

- (1) 松浦克昌：回転機械の危険速度通過について、日本機械学会第 483 回講習会教材，61～70（1979）
- (2) 坂田理彦，辰己裕子，田中基寛，永田滋之，酒井新一：認知科学的アプローチによる製品の“わかりやすさ”向上，三菱電機技報，70，No.8，871～875（1996）
- (3) 藤江京子，近藤 恭，酒井新一，坂田理彦，辰己裕子，田中基寛，永田滋之：“アフォーダンス”の拡張概念と設計評価への適用について，計測自動制御学会 ヒューマンインタフェース部会，第 11 回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集，753～758（1995-10）
- (4) ノーマン，D. A.：誰のためのデザイン？，新曜社（1986）



ジャー炊飯器の新炊飯法 “うまみ炊き”

平敷 勇* 藤本 渉***
竹内繁樹** 塚原広明***
小暮栄治***

1. ま え が き

今日、日本人の主食である米を“おいしく食べたい”という消費者の要求はますます強くなってきている。良食味品種である、“コシヒカリ”“ササニシキ”“あきたこまち”等の銘柄米の人気は不変であり、炊飯器も“おいしく炊く”ため、厚釜搭載のものや、電磁誘導加熱式 (IH) ジャー炊飯器が主流になってきた。

こうしたおいしいご飯への要求にこたえるため、新しい視点による新炊飯方法を考察し、炊飯操作を分子レベルでとらえ直した。すなわち米飯中の甘味物質である糖に着目し、甘味を従来法より増やした炊飯方法を求めた。

米粒の大部分はデンプンである。デンプンはグルコース (ブドウ糖) のポリマーであるから、その加水分解を促進してグルコース等を増加させれば、いろいろな程度の甘味を持つ米飯に炊き分けられる可能性を秘めていると言える。

この研究は、米飯中に含まれる糖を増やすため、もともと米に含まれているデンプン分解酵素に着目し、酵素の作用を生かした炊飯方法はどうかを探った。一気に沸騰まで昇温する現行方法では、酵素が熱で急激に変性し、失活 (触媒能を失う。) してしまい、酵素を生かした炊飯法ではないと考えたからである。

研究の結果、従来法より明らかに糖が増える炊飯法を考案でき、'95年度発売の当社 IH ジャー炊飯器 (NJ-HNS 形、図 1) に“うまみ炊き”として搭載した。本稿では、この新炊飯法における酵素の働きと、増加する糖について概説する。



図 1. NJ-HNS 形ジャー炊飯器

2. 糖類と糖加水分解酵素

2.1 糖 類

糖類は炭水化物とも呼ばれ、動植物の主要エネルギー源である。したがって、主食になる食品中に多く含まれ、我が国では米飯がこれに当たる。糖類は単糖類、オリゴ糖類 (少糖類)、多糖類に大別できる。単糖類としてはグルコース (ブドウ糖) が代表的でよく知られている。グルコースは図 2 に示すような構造をとり、甘い味を持つ。

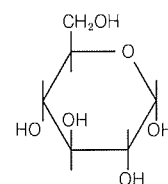
オリゴ糖類は 2~6 個の単糖がつながったもので、図 3 に示すスクロース (砂糖、しょ糖) が一般になじみ深い。スクロースは、グルコースにフルクトース (果糖) がつながって出来ている。二つの単糖からなるスクロースのような糖は、特に二糖類と総称される。二糖類のもう一つの代表例はマルトース (麦芽糖) である。図に示すようにグルコースが 2 分子から成る。同じ二糖類といえどもそれぞれ甘味が異なり、スクロースの方が甘味が強く、マルトースの約 3 倍甘い。

3 個以上の単糖から成るオリゴ糖類や多糖類は、ほとんど無味である。

多糖類の例としてデンプン (図 4) やグリコーゲンがあり、両者ともグルコースが長くつながったものである。デンプンが加水分解され、グルコースやマルトースを生じてくれば甘く感じられるようになる。グルコースはマルトースの約 2 倍甘いとされ、グルコースを増やす方が甘味増加の目的に、より有効である。

2.2 糖類の加水分解酵素

オリゴ糖類又は多糖類を加水分解で切断して低分子化する酵素は、微生物から植物内、動物の消化液中まで広く分布している。オリゴ糖や多糖類分子の端から特定個 (1 個~数個つながったまま) の糖を切り出してくる酵素はエキソ (exo) 型といわれ、分子鎖をランダムに切断して低分子化する酵素



六員環の炭素原子と、これに結合した水素原子を省略した。

図 2. グルコースの構造 (開環状)

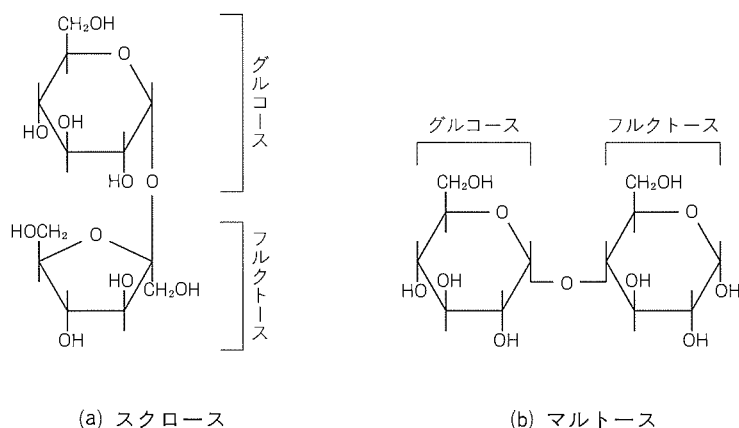


図3. スクロース, マルトースの構造

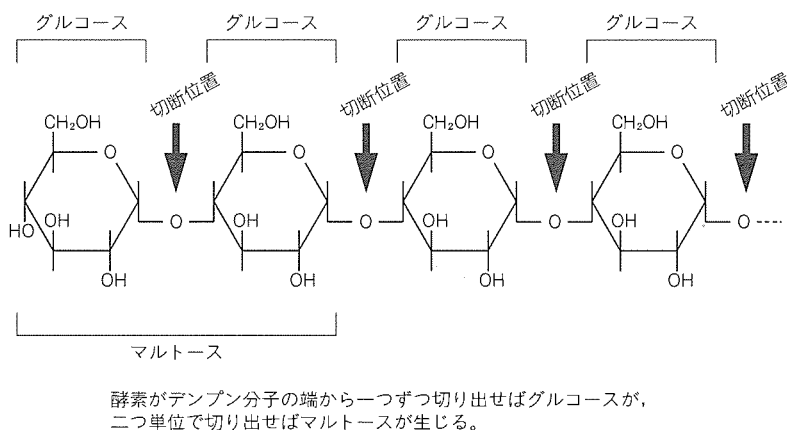


図4. デンプンの構造

はエンド (endo) 型といわれる。

精白米の中には、デンプンを加水分解する酵素がもともと含まれている。精白米に炊飯のため水を加えると、様々な糖類加水分解酵素が働き始める。

一部のデンプンは炊飯中に酵素で切断され、低分子化されるといわれている。酵素作用で単糖やオリゴ糖類が生じてくれば米飯の風味に影響するであろうし、高分子であるデンプンがエンド型酵素で低分子化されれば米飯の物性(粘り, 硬さ)に影響すると思われる。

精白米に含まれる酵素として同定されているものを挙げると、エンド型酵素の α -アミラーゼ, エキソ型でマルトースを遊離させる β -アミラーゼ, エキソ型でグルコースを遊離させる α -グルコシダーゼ⁽¹⁾がある。炊飯中にこれら酵素がそれぞれどのように働き、結果的にご飯のおいしさにどう関係するのか解明されていない。精白米中の酵素は、量的に無視できない程あり、酵素作用を制御した新炊飯法開発の余地が残されていた。

3. 実験方法

3.1 試料米

米粉は市販のものを使用した。コシヒカリは市販品を使用

し、粉碎機で米粉として調製した。

3.2 糖分析法

還元糖, 還元末端は Somogyi - Nelson 法⁽²⁾で定量した。糖の同定と定量には HPLC (高速液体クロマトグラフ) 装置を用いた。グルコースの選択的定量には、グルコースオキシダーゼ-ペルオキシダーゼの共役法⁽²⁾も用いた。

3.3 官能試験

官能試験は、41名のパネラで行った。従来の炊飯方式と新炊飯方式で炊いたご飯とで、味の違いがあるか、味の違いの内容、どちらを好むかの3点について調査した。

4. 実験結果

4.1 水中保温による還元糖の生成

デンプン分子の加水分解が1回起きると、一つの還元末端が生じる。還元末端を持つ糖は還元糖と呼ばれ、その還元性を利用して化学的な定量が可能である。各保温温度における米粒内多糖類又は少糖類の加水分解程度を見積もるため、米粉を30分間水中保温の後、還元末端(還元糖)量を測定した。保温温度を上げていくと65℃までは還元糖が増加するが、これより高い温度ではかえって減少する。常温, 65℃, 95℃での還元糖生成量を図5に示す。

デンプンが非酵素的に加水分解されるのならば、温度が高いほど生成してくる還元末端数は増加するはずである。

しかし、図5のようにある温度を最高とする上に凸のパターンを示すことは、デンプンの加水分解が酵素的に起きていることを示唆している。酵素は蛋白質であり熱に弱いため、温度が高いと変性し、失活することによる現象である。すなわち、仮に酵素が熱で失活しない触媒であれば、温度上昇とともに反応速度は上昇し、単位時間当たりの生成物量は増える(図6(a))。しかし、酵素は熱による変性のため温度を上げるにつれ失活する(b)。結果的に酵素が触媒する反応は、ある温度をピークにした温度-反応速度曲線を与えることになる(c)。

4.2 還元糖量の時間変化

コシヒカリ米粉中に生じてくる還元糖量の時間的変化を、65℃と沸騰温度に近い95℃で調べた(図7)。65℃で保温したとき、還元糖は時間とともに増加した。95℃保温で保温すると、還元糖生成量は65℃の場合に比べて少なく、増加も短い時間内に止まった。多くの酵素は、50℃付近から不可逆的に失活し始めることが知られており、米粒中の酵素も95℃では急激に失活し、還元糖生成が止まると考えられる。

4.3 米粉(市販品)を水中保温すると生じてくる糖

市販の米粉を水中保温し、生じてくる糖の同定と定量をHPLCで行った。65℃と95℃で保温した試料についてそれぞれ調べたところ、いずれの試料にもグルコースとスクロースが含まれていた。

スクロース量はどちらの温度でも、保温時間による変化が余りない(図8)。グルコースの場合、95℃保温で時間に伴う変化はないが、65℃で保温すると増加が続いた。これらの結果から、グルコースは酵素的に生じると考えられる。米粒中のグルコース源としては、デンプン分子、又は含まれている少糖類等が予想される。グルコースを生じさせる植物由来の糖加水分解酵素は α -グルコシダーゼと呼ばれている。

米粉を含水加温すると、グルコースが増加してくることが分かった。したがって、実際の炊飯操作において、効率良く α -グルコシダーゼをデンプン等に作用させれば、より甘味のあるご飯が得られることになる。

4.4 コシヒカリを保温含水すると生じてくる糖

良質米の代表であるコシヒカリ新米の米粉を、65℃で含水保温すると、市販の米粉に比べて1.5倍のグルコースが生成した。コシヒカリ米粉でも、グルコースは時間とともに増加するが、スクロース量は一定値に達した後、ほとんど増加しない(図9)。

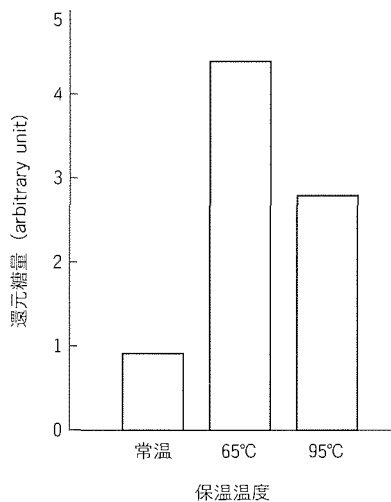


図5. 水中保温による還元糖の生成量

4.5 新炊飯法によるグルコース増加

保温含水操作を行う新炊飯法の昇温パターン例を図10に示す。従来の炊飯法では45℃で15分間予熱した後、一気に沸騰まで到達させるが、新炊飯法は、酵素による糖生成を生かすため65℃で30分間の加熱後、沸騰させて炊飯する。

新炊飯法による米飯を分析すると、従来法の米飯に比べてグルコースが増加することが確認された(表1)。

三菱電機(株)は、この新炊飯法の名称を、米のうまみを引き出す炊飯方式として“うまみ炊き”とした。この方法は、米粒がもともと持っている酵素の能力、言い換えれば、おいしさ増加の潜在能力を引き出す炊飯法である。

この方法は炊飯操作中の温度制御で達成され、添加物を使用しないことも特長の一つである。

4.6 官能試験結果

官能試験の結果、従来炊飯法と新炊飯法では、41人中31人(76%)が味に差があると答え、およそ半数の人(21人, 51%)が、新炊飯法でのご飯が好みであった。新炊飯法の食味変化として、従来法より粘りがあると答えた人が16人(39%)、柔らかくなったと答えた人が9人(22%)、甘さを感じた人が6人(15%)であった。グルコース含量が、従来法より増加する新炊飯法であるが、甘いと感じる人より、好みであると判断する方が比較的に高い結果となった。新炊

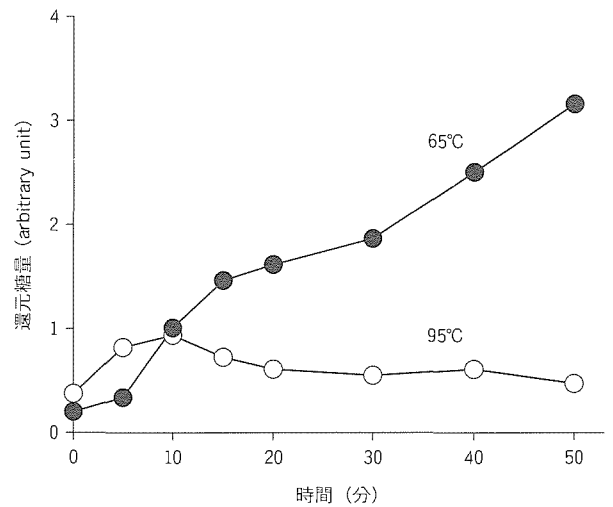
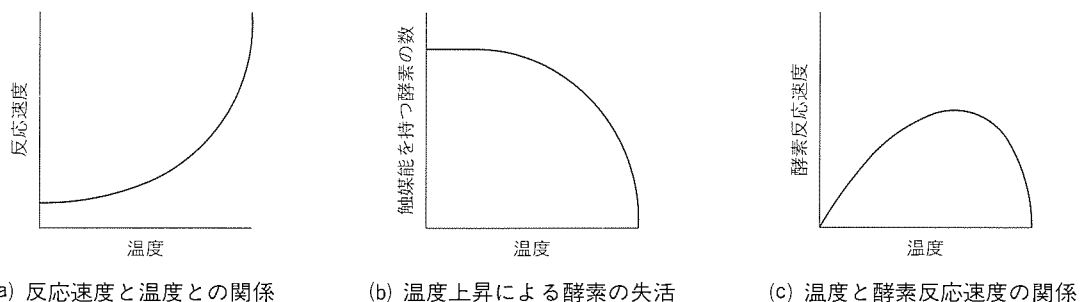


図7. コシヒカリ米粉中の還元糖量変化



(a) 反応速度と温度との関係

(b) 温度上昇による酵素の失活

(c) 温度と酵素反応速度の関係

図6. 温度と酵素反応速度

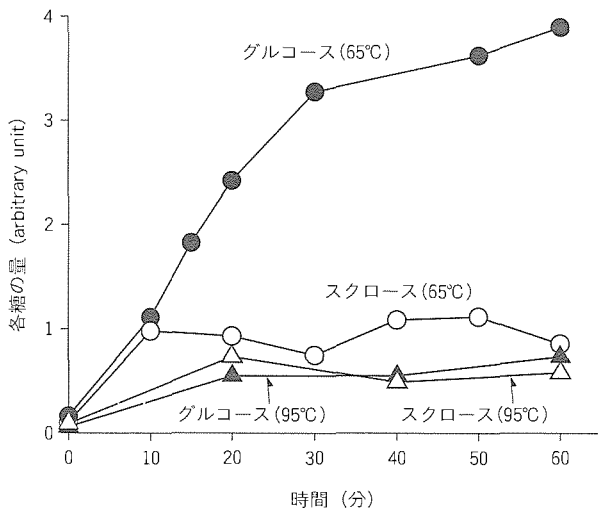


図8. 米粉中のグルコース、スクロース量変化

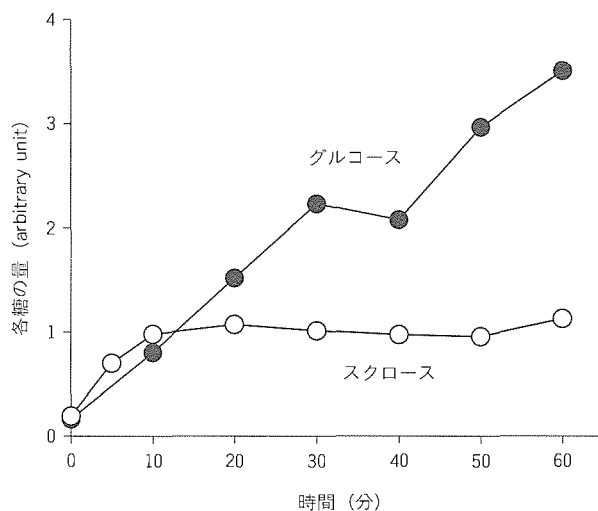


図9. コシヒカリ米粉中のグルコース、スクロース量変化

飯法で得られるグルコース含量は、味覚の感知しきい値付近であると考えられる。はっきりとした甘味ではなく、隠し味的な効果で食味向上に寄与しているものと推察する。

5. ま と め

新炊飯法“うまみ炊き”によって米飯中の甘味成分(グルコース)を増加させた。この方法は米に含まれる酵素の働きを利用した方法であり、米が本来持っている“おいしくなる力”を生かした炊飯方法であると言える。 α -グルコシダーゼなどの糖加水分解酵素は、どの品種の精白米にも普遍的に存在しており、したがって新炊飯法は米の銘柄によらず、おいしさを増すことができると考えている。

米の糖分についてはグルコース、マルトース、スクロース、マルトオリゴ糖⁽³⁾の存在が報告されていた。しかし、炊飯操作による各種糖の増減について詳細に調べた報告はなかった。

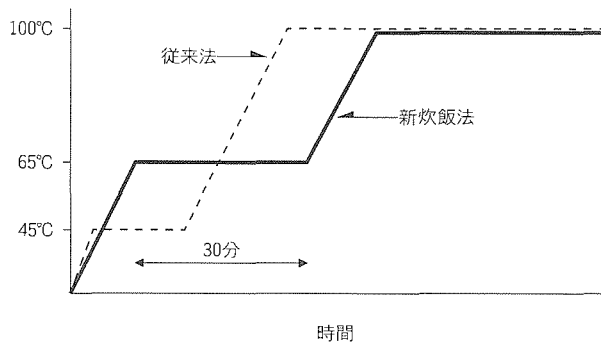


図10. 新炊飯法の昇温パターン

表1. 米飯中のグルコース量比較

炊飯条件	米飯中のグルコース量
従来法	検出限界以下*
うまみ炊き	0.07%

注 * 検出限界0.05%

この研究で、グルコースが米飯の甘味糖成分であり、かつ温度コントロールによって増加させ得ることが明らかになった。

官能試験の結果、新炊飯方式のご飯を好む人は全体の半数に達した。ご飯に粘りを感じた人も多く、この粘り増加のメカニズムも今後解明する。

ご飯に対する好みは人によって様々で、米の銘柄や炊飯の水加減を積極的に変え、ご飯の炊きあがり状態を調節する場合も多いと思われる。新炊飯法“うまみ炊き”は、甘味成分増加に加え、粘りも変える。“うまみ炊き”搭載ジャー炊飯器は従来の炊飯モードも選択可能であり、軟らかさの好みや料理内容等に合わせ、ご飯を炊き分けることもできる。

6. む す び

新炊飯法は、素材の持つ良さを生かす調理法の一つと位置付け、“うまみ炊き”として当社IHジャー炊飯器に搭載し、1995年8月に発売した。

今後も食材の持つ自然なおいしさを引き出す方法を研究し、調理器具の機能に反映させる所存である。

参 考 文 献

- (1) Takahashi. N., Shimomura. T., Chiba. S. : Studies on α -glucosidase in Rice, Agric. Biol. Chem., **35**, No.13, 2015~2024 (1971)
- (2) 福井作蔵：還元糖の定量法(第2版), 学会出版センター (1990)
- (3) 田島 眞, 堀野俊郎, 前田万里, 孫 鍾録: 米粒外層から抽出されるオリゴ糖類, 日本食品工業学会誌, **39**, No.10, 857~861 (1992)

空調システム開発の オブジェクト指向技術

伊藤善朗* 増井弘毅**
井上雅裕* 中筋義人***
藤崎克己*

1. ま え が き

空調システムに対するニーズは、快適性・省エネルギー性の向上を重点に、ますます高度化・多様化している。様々なユーザーニーズに個別に対応するシステム開発の形態では、迅速なシステムの提供は困難である。

三菱電機㈱では、ユーザーの求める様々な空調システムを柔軟・迅速に対応した開発を可能とする手法として、空調システムの部品化開発を実施した。様々な要求に柔軟・迅速に対応できるフレキシブルなシステム製品を設計するために、システム全体への要求機能を空調システムの基本単位となるサブシステムに分担し（以下“システム部品”という）、さらにサブシステムの機能を機器に分担させ、各機器に分担された機能はハードウェアやソフトウェア部品で構成する。こうした様々なレベルの部品の中からユーザーの要求に合った部品を自由に選択して組み合わせることで、小さなシステムから大きなシステムまでを柔軟・迅速に構築可能とする。

今回、上記のようなシステム機能を各部品へ分担させて設

計する部品化開発に、オブジェクト指向技術を適用した。本稿では、ビル用空調システムを例に、オブジェクト指向技術を核としたシステムの部品化、機器の部品化、機器組み込みソフトウェアの部品化開発の手法と、これに基づく開発プロセスを構築して実用化したことを述べる。

2. ビル用空調システム開発の課題

2.1 ビル用空調システムの構成

ビル用空調システムの形態には、集中配置された冷温水熱源を利用した水方式空調システムや、熱源を個別分散配置した直膨式空調システムなどがある。さらに、それぞれのシステムは目的に合わせた多様な機器として、例えば様々な形態の室内機や、全熱交換器、換気装置などが準備されている。当社ビル用空調システムでは、“フリープランシステム”をシステムコンセプトに、これら多様な機器の中からユーザーの目的に合ったものを自由に選択し、自在に組み合わせる（フリープラン）ことが可能な空調システムを開発して提供している。

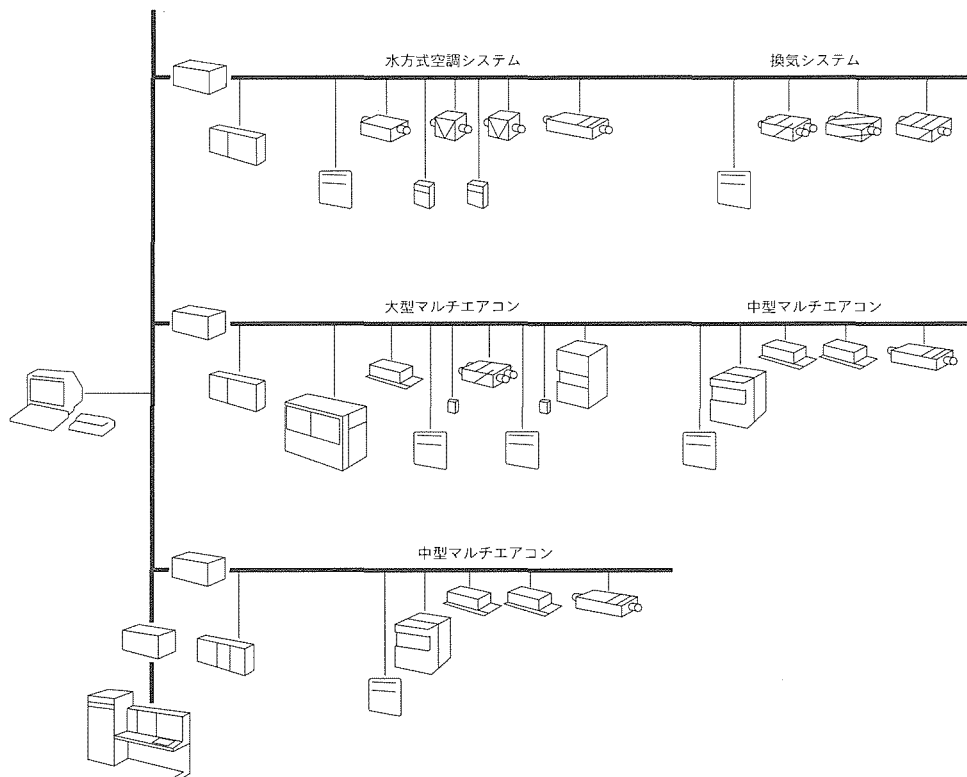


図1. 空調システムの構成図

その実現手段の一つとして、熱源機器・空調機器・換気機器・管理システム用機器の制御方式を統一し、自由なネットワークの実現によって空調システムの設計自由度を拡大している⁽¹⁾。

図1にこのネットワークシステムのコンセプトを示したシステム構成図を示す。図のように、様々なタイプの空調関連機器が同一の制御ネットワークに接続され、様々な目的に対応した空調方式を用いてサブシステムを構成している。

図2では、空調システムの実現の一例として水方式空調システムを示す。エアハンドリングユニット、VAVユニット、“ロスナイ”などの空調機器や、リモコンなどの操作器は共通のネットワークに接続され、統一された制御によって有機的な連携運転と合理的な運用管理が可能となっている。

このようにユーザの目的に合ったサブシステムを選択し、これらをビルディングブロック方式に組み上げることで、小さなシステムから大きなシステムまで柔軟に構成することが可能である。

2.2 ビル用空調システム開発の課題

前項で述べたようなシステムの設計においては、システム全体の機能は、まずサブシステム、その次に各機器の機能として順次分担され、定義される。それぞれの機器がシステムの中で分担した役割を果たすことで、全体システムが最適に機能する。こうした機能分割の際には、一部の機能が停止した場合にもその影響を最小限にとどめる危険分散の設計思想や、システムの長いライフサイクルを考慮した陳腐化しない拡張性の高い設計など、様々なことを考慮しなければならない。

こうしたシステム設計は、製品開発の根幹であり、システムの柔軟性・拡張性・信頼性に大きく影響する。システム設

計が悪い場合には、機器間の接続に相互接続性を確保するために余計なコストを発生させたり、一方の機器の機能が制約となって新たな機能の開発に多大な労力を要し、迅速なシステムの提供を阻害するなどといった問題が発生する。

こうしたシステムの高度な機能のほとんどは各機器のマイコンに組み込まれたソフトウェアで分担されて実現されており、システム設計の結果を品質の高いソフトウェアで実現することが重要である。

これまで述べたように、各機器が同一制御ネットワークの上で相互に接続・連携可能な空調システムの開発の課題として、

- 柔軟性・拡張性・信頼性の高いシステム設計
- 品質の高い制御ソフトウェア設計

を、迅速に実現する設計手法が必要とされている。

2.3 課題解決策

課題解決策として、空調システムの部品化開発を検討した。各機器を有機的に連携して高度な快適性・省エネルギー性を実現する様々なシステム制御機能を部品化し、空調システムの構成要素である機器を部品化する。ハードウェアが様々な部品（圧縮機、モータ、ネジ、IC、基板など）から構成されているのと同じように、“システムの部品化（サブシステム化）”“機器の部品化”，そして“機器組込みソフトウェアの部品化”により、ユーザの目的に合わせたソフトウェア部品、機器部品、システム部品を組み合わせることで、システムを構成するものである。

これにより、システム、機器のソフトウェアを次のようなステップで組み立てることが可能となる。

- (1) ユーザの目的に合わせたハードウェア部品と制御機能を選択し、これに対応したソフトウェア部品を集める。

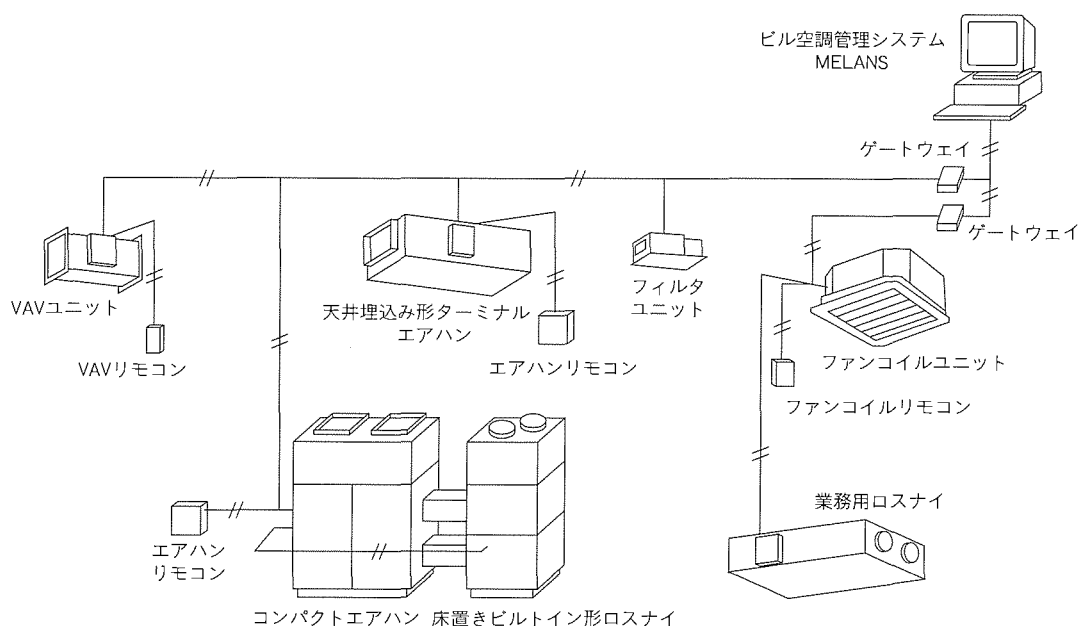


図2. 水方式空調システムの例

- (2) 集めたソフトウェア部品を組み立て、機器部品を構成する。
- (3) 機器部品を組み合わせてサブシステムを構築する。
- (4) サブシステムを組み合わせて、目的の空調システムを構成する。

こうした部品化開発の技術を確立することで、ユーザの目的に合ったシステムを迅速に提供する開発が可能となる。今回、上記のように空調システムを部品化開発する技術として、オブジェクト指向技術の導入を検討した。

2.4 オブジェクト指向による課題解決

ソフトウェアの部品化開発の手法としてオブジェクト指向概念に基づく開発方法論^{(2)~(6)}が提案され、業務処理、グラフィカルユーザインタフェース (GUI)、データベースシステムなど様々な対象に適用されその有効性が報告されている。

オブジェクト指向ではシステムを構成する“もの”に着目し、この“もの”の持つ性質を利用して仕様をモデル化し、それをそのままソフトウェア部品の単位とする。今回システム設計にこのオブジェクト指向の概念を適用し、システムを構成する様々な機器をオブジェクトとしてモデル化・部品化し、定義した。これによってシステムはオブジェクトの集合で表現することができる。その詳細な効果は次章で述べる。

さらに、各機器のソフトウェア開発にもオブジェクト指向を適用し、機器の制御機能を実現する制御ソフトウェアを部品化する。機器が制御する様々なハードウェア (センサ、アクチュエータの類) に依存した仕様は、“もの”である各ハードウェアオブジェクトとして円滑にモデル化することができる。一方、空調システムでは、各機器が有機的に連携制御しあう (システム制御) ことで、更に高度な快適性・省エネルギー性を生み出す。このシステム制御機能をオブジェクトとしてどのようにモデル化し、部品化するかがソフトウェア開発の課題となる。

一般に提案されているオブジェクト指向開発方法論は、各モデルの概念、表記方法、モデル構築方法の一般的分析・設計指針を示しているが、空調システムなど制御システムの組込みソフトウェアの分野に対する適用事例は少なく、この分野における方法論は確立されていない。このため、一般的に示されている手法を開発現場に直ちに展開するには、作業手順、作業方法、モデル化の指針の詳細さが不足し、さらに前述のような適用分野に特有な課題が残っている。そこで、オブジェクト指向による開発手法を空調システムのソフトウェア部品の開発に実用化するため、組込みソフトウェア開発の分野に適したモデルの構築方法や、表記方法、分析、設計の作業手順、文書として残す成果物を定めた“オブジェクト指向による組込みソフトウェアの部品化開発プロセス：ROOP (Realtime Object - Oriented Development Process)”を構築した (図 3)。

3. オブジェクト指向による空調システムのモデル化

前章で述べたように、まず空調システムのモデル化にオブジェクト指向技術を適用し、システムを構成する機器をオブジェクトとして定義した。図 4 は、図 2 で示すような空調システムをオブジェクトモデルで表現した例である。

次の「」で記述したものは図 4 中で四角で示した要素であり、これは各機器のオブジェクトモデルである。エアハンドリングユニットには「コンパクト形 (以下「C形」とする。）」、「ターミナル形 (以下「T形」とする。）」など様々な種類があり、これらは温度設定や風量操作など同様な仕様を持つ。これに対し抽象化した (一般的な) 「エアハンドリングユニット (以下「エアハン」とする。)) というオブジェクトを考え、「エアハン」は温度設定や風量操作の仕様を持つものと定義すれば、「C形」「T形」等はそれらの特殊な仕様を持つ形態であるところ (捉) えることができる。こうした抽象化された「エアハン」と、「C形」「T形」エアハンの関係 (△表示) の概念を、オブジェクト指向では一般/特殊構造という。

一方、エアハンやファンコイルユニットなどと、“操作する”“監視する”という関係にある各々の手元リモコンも、「エアハン」同様にこれらを一般化したりモコンとして、設定温度の操作機能や、運転/停止操作、室温表示機能を持つ「操作器」を定義することができる。

こうした概念を利用し、「エアハン」「操作器」という一般化されたオブジェクトモデルを定義することで、例えば「エアハンリモコン」は一般化された「エアハン」に対応した運転操作、運転監視機能を開発することにより、C形もT形も同様に操作・監視することができる。また、同様な関係にあるファンコイルユニットとファンコイルユニット用手元リモコンの開発も、「エアハン」や「エアハンリモコン」と異なる部分のみを追加・変更して開発することで迅速に対応することができる。さらに、システム全体を集中的に操作・監視する集中管理コントローラを開発する場合にも、ファンコイルやエアハンドリングユニットを同様なインタフェースで扱うことが可能となり、容易に集中管理システムを構築することが可能となる。

このようにオブジェクト指向の概念を利用してシステム構成要素を整理し、制御システムの中での各機器間の関係や各機器の役割を明確にしたオブジェクトモデルを定義することで、システムをオブジェクトという部品の集合で扱うことが可能となり、様々な機器を容易に組み合わせて空調システムを設計することができる。

4. オブジェクト指向ソフトウェアの開発

前章においてオブジェクトモデル化されシステムの中での役割を明確化された各機器は、その役割を、組み込まれたマ

アイコンのソフトウェアで実現する。ここでは、こうした制御ソフトウェアを部品化開発するための手順について述べる。

4.1 オブジェクト指向ソフトウェア開発プロセスの構築

前述した開発プロセスである ROOP 構築の主題として、以下の2点を設定した。

- (1) オブジェクト指向に基づく部品化開発の設計手法と設計成果文書の体系を定め、品質を開発の中で作り込むこと。
- (2) 部品となるオブジェクトの抽出に明確な指針と手順を与えること。特に、様々な制御機能、制御手順を矛盾なく、理解しやすく、検証可能な部品化できること。

4.2 ROOP

以下、上記主題への対応を中心に構築した開発プロセスと、部品化の過程を述べる。ROOP は主に分析を中心に七つの作業過程 (A 1~A 7) で構成している。

- A 1: 物理部品の分類, 整理
(物理オブジェクト候補の抽出)
- A 2: 機能の分類, 整理
(制御目的オブジェクト候補と機能項目の抽出)
- A 3: 機能項目の詳細化
(プリミティブな機能への分割とデータ抽出)
- A 4: オブジェクトの選択と機能の割付け

(オブジェクトモデルの定義)

(オブジェクトの機能モデルの定義)

A 5: オブジェクトの振る舞いの分析

(オブジェクトの動作モデルの定義)

A 6: オブジェクト全体モデルの構築

(ソフトウェア基本構造の決定)

A 7: 実装設計

(実装のためのオブジェクトの分割・追加など)

4.3 プロセスの解説

以下、プロセスの主要作業について述べる。

(1) オブジェクト候補の抽出 (A 1, A 2)

A 1, A 2 のステップでは制御対象を分析しながらオブジェクトの候補を選択する。今回、組込み制御ソフトウェアの分野において、より具体的・形式的にオブジェクトを決定可能な視点として次の二つを決め、それに基づくオブジェクトの抽出方法をルール化した。

- 目に見える物理的な部品
- ユーザニーズに基づく制御設計者の制御目的

制御器開発は、ユーザニーズに基づく制御設計者の目的を果たすための制御仕様を、マイコンのソフトウェアで自動化するものである。制御設計者は、センサを用いて情報を収集

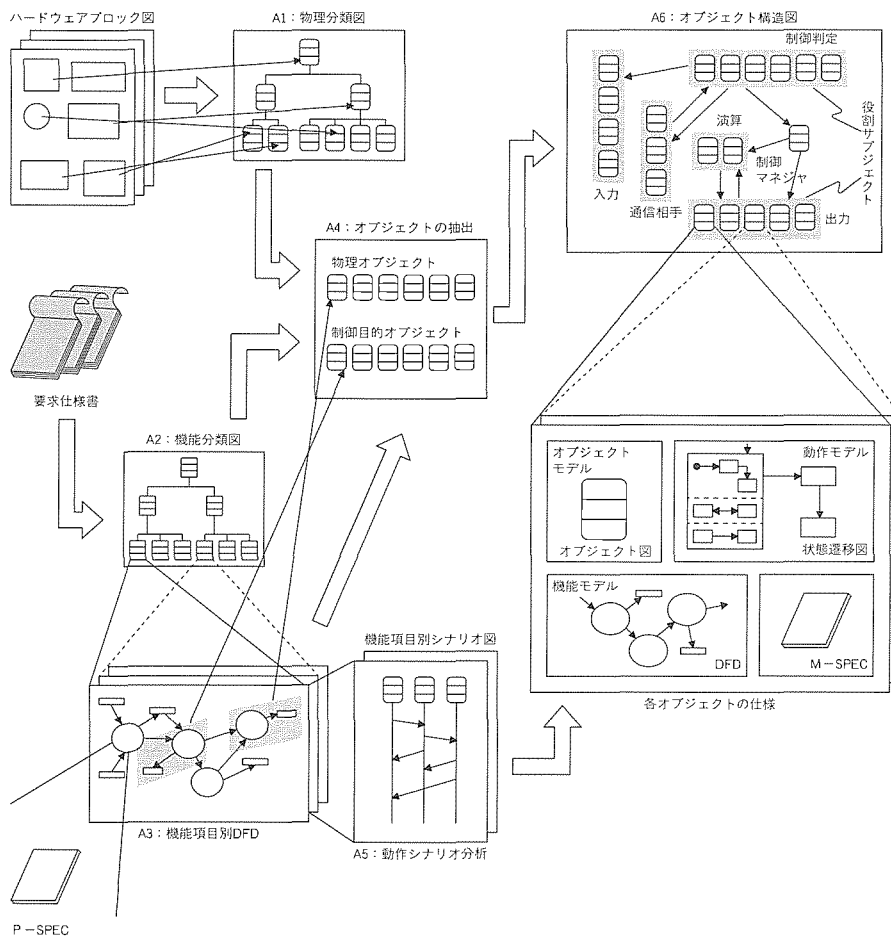


図3. 組込みソフトウェアの部品化開発プロセス

し、その情報を判定し、目的を満たすようにアクチュエータを介して機械を動かす。これらセンサとアクチュエータは物理的なオブジェクトとしてモデル化できることが分かる(図

5)。さらに、残された部分である制御設計者の意図する目的をモデル化することが、制御目的によるオブジェクトの抽出である(図6)。

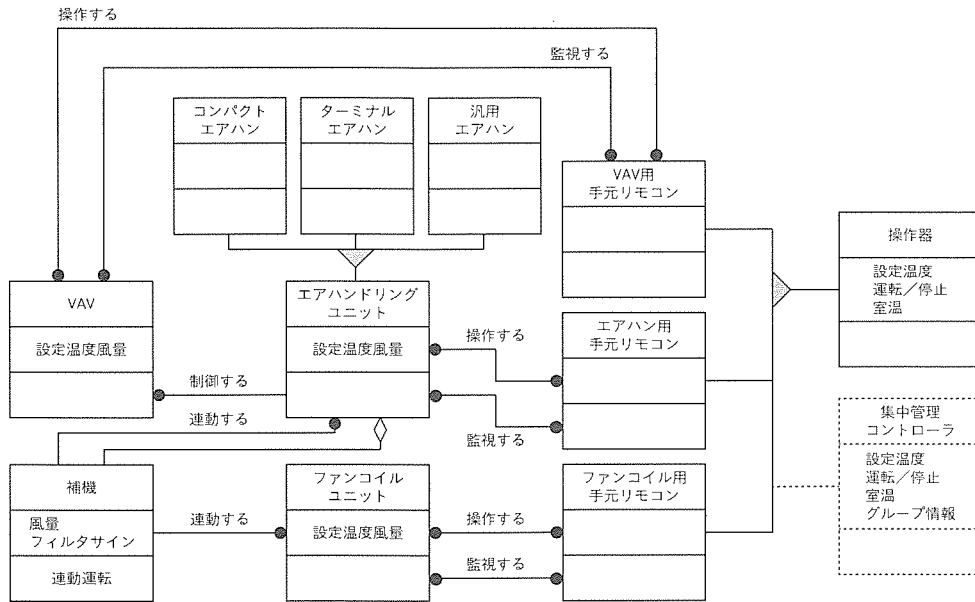


図4. 空調システムのオブジェクトモデル例

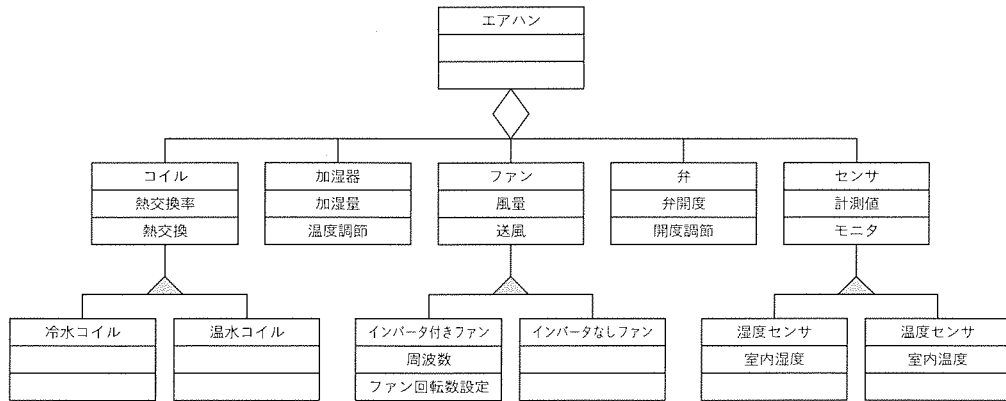


図5. 物理分類図の例

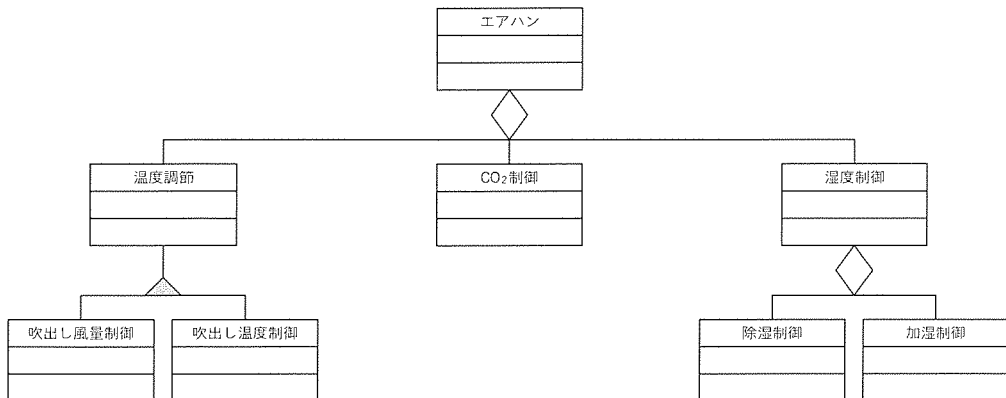


図6. 機能分類図の例

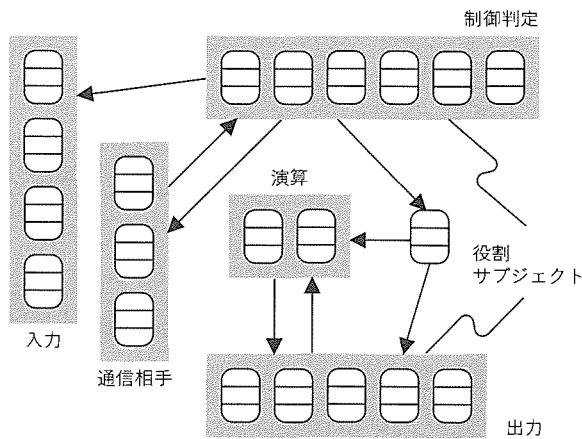


図7. オブジェクト構造図

このようにユーザのニーズに基づく階層的な抽出手順を定めることにより、分析者による個人差のない共有モデルを作成することが可能である。

(2) 機能項目の詳細化 (A 3)

このステップでは、前節で抽出した“機能項目”ごとに詳細な仕様をデータフロー図 (DFD) を用いて作成する。この作業により、目的を実現する機能項目ごとに、さらにその機能を実現するためのプリミティブな機能へ分割する。

(3) オブジェクトの選択と機能の割付け (A 4)

このステップでは、DFDでグラフ化されている各機能項目を、オブジェクトを用いて記述することを考える。プリミティブな機能に分割されたDFDのプロセスとデータを、先の“物理オブジェクトの候補”と“制御目的オブジェクトの候補”から適当なオブジェクト候補を選択し、割り付ける作業を実施しながらオブジェクトを選択して決定する。

(4) オブジェクト構造図 (フレームワーク) の構築 (A 6)

前ステップまでのオブジェクトの有機的な集合として、全体のオブジェクトを表したオブジェクト構造図を作成する (図7)。大きなモデルの理解を支援するため、最も抽象化されたオブジェクトを“サブジェクト”として設定することが提案されている⁽²⁾。

今回オブジェクトの集合に構造を与える手段としてサブジェクトを利用し、さらにサブジェクトによる対象の各分割領

域の意味付けを明確にするため、これを“役割サブジェクト”と命名した。以上のようにして、機器のソフトウェア構造の骨格となる標準的オブジェクト構造が完成した。この標準的構造をフレームワークと呼ぶ。各機器の開発では、その目的に合わせて必要なソフトウェア部品をフレームワークの各役割サブジェクトに収納することで、ユーザのニーズに迅速に対応した機器のソフトウェア開発が可能となる。

5. むすび

空調システム開発にオブジェクト指向技術を導入し、システムのオブジェクトモデルによる部品化と、各機器に組み込まれる制御ソフトウェアを部品化する開発手法を構築し、これを開発プロセス“ROOP”として実用化した。これによってユーザのニーズに対応した様々なレベルの部品 (システム部品、機器部品、ソフトウェア部品) を用意し、各ユーザの目的に合った製品を迅速に、かつ高品質に提供できると考える。

今後は、この手法により、更にきめ細かく、迅速にユーザニーズに対応できるような部品の蓄積と運用を図りたい。

参考文献

- (1) Honda, Y., Inoue, M., Ito, Y., Sato, T.: Integrated Network Architecture for Heating, Refrigerating, and Air-conditioning, ASHRAE Journal, 3714 (1993)
- (2) Coad, P., Yourdon, E.: Object-Oriented Analysis, Prentice Hall (1990)
- (3) Coad, P., Yourdon, E.: Object-Oriented Design, Prentice Hall (1991)
- (4) Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F., Lorezen, W.: Object Oriented Modeling and Design, Prentice Hall (1991)
- (5) 本位田真一, 山城昭宏: オブジェクト指向システム開発, 日経 BP 社 (1993)
- (6) Shlaer, S., Mellor, S.J.: Object-Oriented Systems Analysis, Prentice Hall (1988)

住空間統合システム

栗田 浩*

1. まえがき

制御システムの変遷をたどると、“集中”“分散”そして“統合”という経過で発展してきた。“集中”の段階では、大型のコンピュータを使い、情報を1か所に集中することによって全体を制御しようとするものであった。その後、システムの低価格化・小型化・高性能化により、集中していた機能が分散されるようになってきた。いわゆる、ダウンサイジングである。システムの分散化は次のようなメリットをもたらした。

- システムの柔軟性向上
- システムの応答性向上
- 操作性の向上
- システムの拡張性向上
- システムの信頼性向上

分散化を促進したもう一つの要因は、通信によるネットワーク技術である。そして、このネットワーク技術が分散したシステムの統合化を可能とした。そして現在、システムの統合化の時代を迎えつつあると言える。

当社が対象とする住環境空間（以下“住空間”という。）における制御システムも、この潮流の中にある。

本稿では、ビル空調管理システム“MELANS”（Mitsubishi Electric Air-conditioner Network System）における住空間に対するシステム統合化への対応について述べる。

2. システムの階層化と統合

住空間の集合体であるビルを管理するための管理システムを例に、MELANSの位置付けとシステムの統合化のコンセプトについて説明する。図1に一般的なビルの管理システムの構成概念を示す。ここでは、ビルの管理を設備レイヤからサービスレイヤまでの5階層にモデル化している。この目的は、制御と管理の機能分担を明確にするためである。すなわち、設備レイヤでは操作が主体であり、その操作によって機器自体が制御を実施する。ローカル/センター制御レイヤでは管理が主体であり、設備の監視、管理、設備間の連動制御を実施する。管理レイヤは運営管理が主体である。

MELANSは図の網掛けで示した範囲を基本としている。MELANSとして提供されるリモコンを始めとするコントローラが、システムの中でどの階層に属し、どのような機能を分担するか、また、操作の主体がだれかを明確にして製品開発を行うことがシステム統合化の基本であると考えている。

次に、機能統合と空間統合について述べる。

ビルにおける管理システムの構成は、図に示したように、上位のビル管理システムと、その下に空調・照明・防災・昇降機などのサブシステムが接続されるという形となる。

従来は、各サブシステムが独立した機能を持ち、サブシステム間は直接関係を持たず、その上位のローカル/センター制御レイヤ、又は更に上位の管理レイヤで連動が行われていた。このタイプのシステムは、機能別にシステムが統合されていることから、機能統合形システムと呼ばれる。これは、各サブシステムが、メーカーの違いや通信プロトコルの違いなどから、機能別に独立したシステムとして開発されてきたためである。

しかし、上記のシステムアーキテクチャに対して通信によるインタフェースにおける標準プロトコルという基盤が整い、さらにサブシステム自体の機能の向上、また危険分散の考え方から、より下位のレイヤでの連動が要求され、また実現されてきた。これは、サブシステム間で必要な情報を相互に交換・連携し、インテグレーション機能として新たな付加価値を作り出すことによって、システムとしての商品価値を一層高めようという考え方によるものである。この考え方は、当初、大規模システムにおいて顕著であった。しかし、小規模システムにおいても、設備に対する投資削減のために上位の中央管理装置を省略しても、サブシステム間での最小限の連

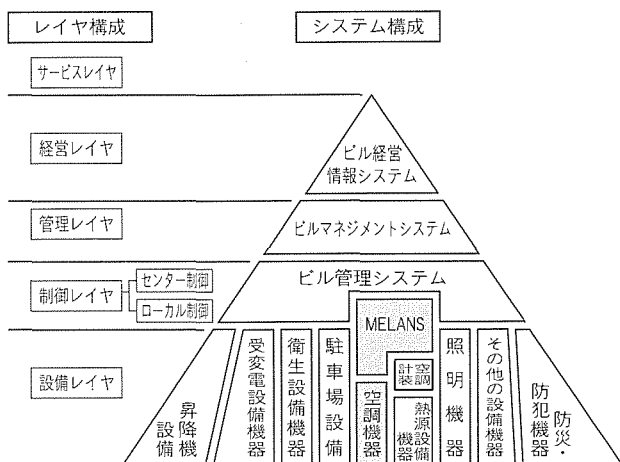


図1. ビルの管理システムの概念

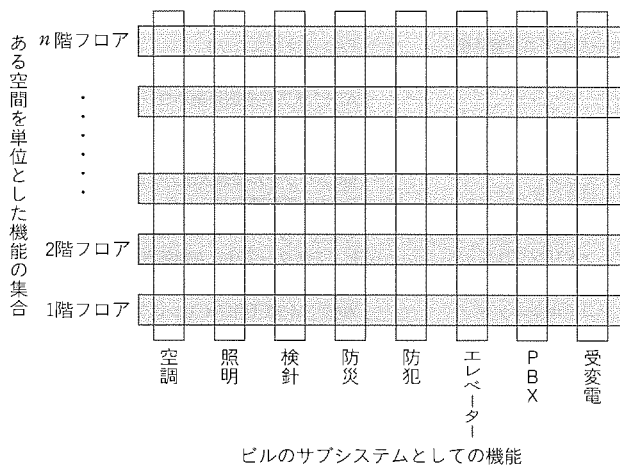


図 2. 機能統合と空間統合の概念

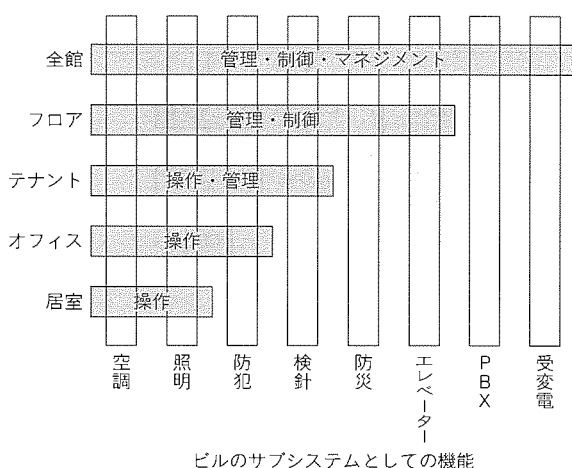


図 3. 住空間の広がりによる統合の範囲と内容

動制御を実現したいという要求にこたえるものとして受け入れられてきた。

すなわち、いままでは機能的に独立していたサブシステムが、一定の機能が作用を及ぼす空間における整合性を考慮して何らかの連動を行い、一つの空間として機能が統合化されるようになってきた。例えば、サブシステム間の統合は中央監視装置においてビル全体のレベルでなされていたが、フロアレベルへ、さらにテナント、オフィス、又は個人の居室へと、下位のレベルでの機能の統合が要求されてきている。住空間のように、機能が作用する空間を中心に、ある目的のために機能が統合されるシステムが空間統合形システムである。

図 2 に機能統合形と空間統合形システムの概念を示す。空間統合形システムは、その空間が個人レベルの居室から執務空間であるオフィスに、さらに、テナント、フロア、全館へと段階的に広がりを持つ。この各段階において、図 3 に示すように統合の主体となる機能も異なってくる。

また、住空間としての統合が意識される背景には、単に機能を住空間の中で整合を採るといったことだけでなく、その機器の操作性やユーザインタフェース、デザインをも含めた統合を目指すというコンセプトがある。このコンセプトに基づいて MELANS の製品開発は行われてきた。

3. MELANS によるシステム構築

3.1 システムの概要

MELANS は、図 1 のシステム全体の網掛け部分に位置する空調サブシステムを提供するものである。MELANS のシステムの構成を図 4 に示す。MELANS は、当社の総合冷凍空調ネットワーク“M-NET”によって標準化された通信仕様に基づく、空調機を中心とした空調管理システムである。制御対象の機器は機種群ごとに個別の通信規約を持ち、独立したサブバスを構成しており、これを各機種群ごとに用意されたゲートウェイユニット (G/W) を介してシリアルインタフェースユニット (S-IF) で統括している。S-IF は、その上位に MELANS 独自のマンマシンインタフェースとしてのパソコンが接続でき、自立形のシステム構築を可能としている。

また、S-IF は同時に上位のビル管理装置との接続が可能であり、ビル全体のシステムの中で空調サブシステムを構成することが可能である。

3.2 システム事例

MELANS による住空間統合システムとしてシステム構築した一例を示し、その特長について述べる。

3.2.1 湯布郷館

“湯布郷館”は、大分県大分郡湯布院町に 1995 年 7 月にオープンした当社健康保険組合の保養所であり、図 5 に示すように、周囲を緑に囲まれた山間部に位置している。建築及び空調設備の概要は表 1 に示すとおりである。

この保養所は、客室などの主要な空調にエアハンドリングユニット (AHU) とファンコイルユニット (FCU) の水方式による空調を採用し、一部の従業員住宅等にマルチエアコンによる直膨式空調を採用している。これらの空調機器は、水方式と直膨式のそれぞれの空調方式のメリットの融合を目指す

表 1. 建築・空調設備の概要

項目	内容
規模	地下2階, 地上2階, 5棟, 客室22室
面積	敷地: 18,491m ² 建築: 2,503m ² 延床: 4,926m ²
空調設備	水方式空調 ・エアハンドリングユニット: 8台, ファンコイルユニット: 72台 熱源: 温熱源 ボイラ2台(444,000kcal/h×2台) 冷熱源 冷専チラー2台(315,000kcal/h×2台) 直膨式空調 ・ビルマルチエアコン 室外機: 3台(8.0kW×2台, 16.0kW×1台) 室内機: 10台(2.2kW×8台, 7.1kW×2台)

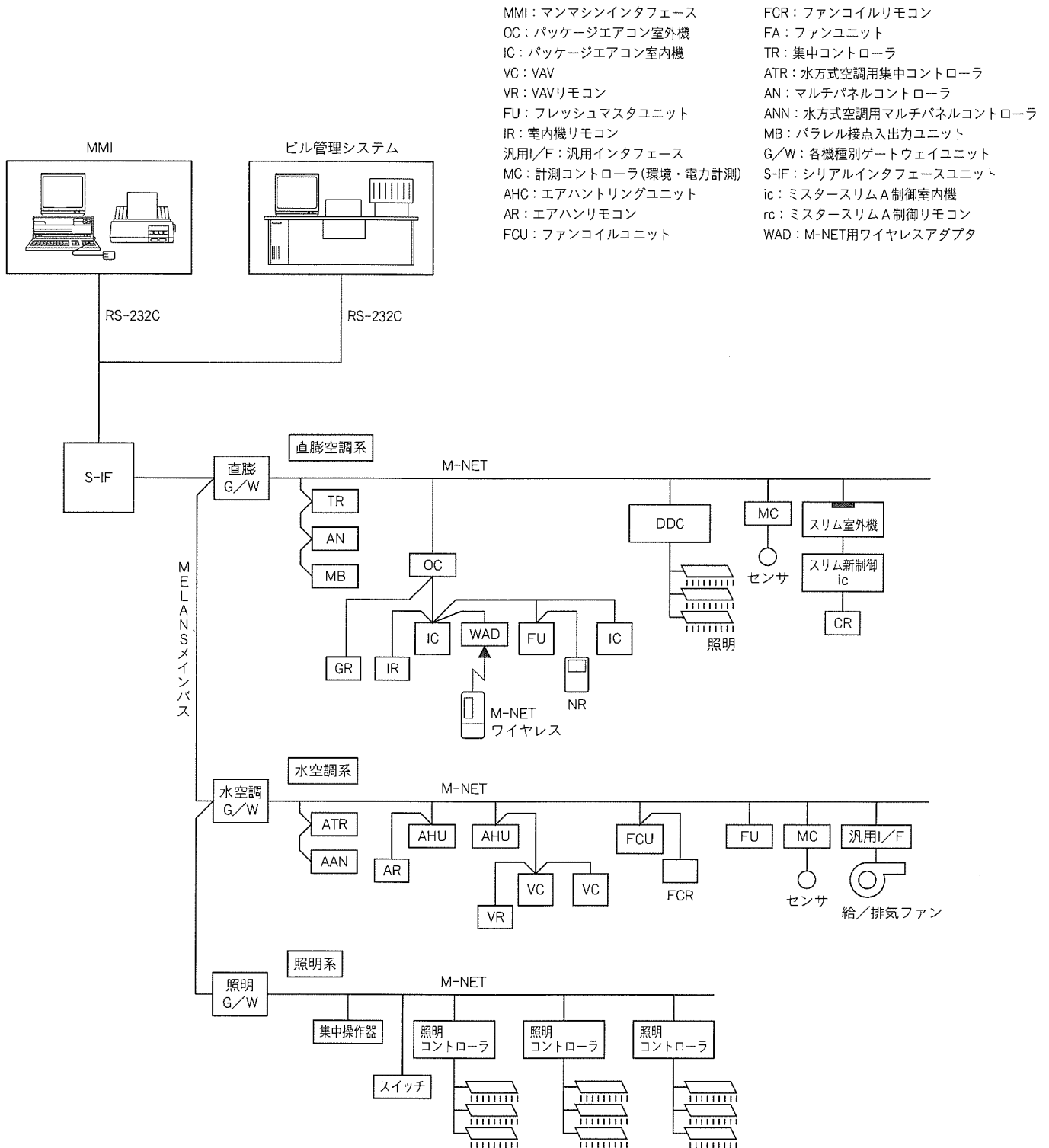


図4. MELANSのシステム構成概要

して当社が開発したビル空調システム“フリープランシステム”によるものである。制御方式の統一によってMELANSへの組込みが自在に可能であり、MELANSによる水方式と直膨式の空調機の混在システムの統合管理が可能となっている。

さらにMELANSは、熱源、ポンプを始めとする全館の主要な設備の制御・監視も行い、また、他のサブシステムと連動して、小規模ながらビル管理システムとしての機能を

持っている。

保養所全館のMELANSのシステム構成を図6に示す。システム全体は、全部で6系統に分かれている。各系統ごとにG/Wで統括され、G/WはさらにS-IFに接続されている。そして、S-IFに接続されるマンマシンインタフェースによって全館の制御・管理を一括して行うことができる。

以下に湯布郷館のMELANSのシステムについて、特長を説明する。

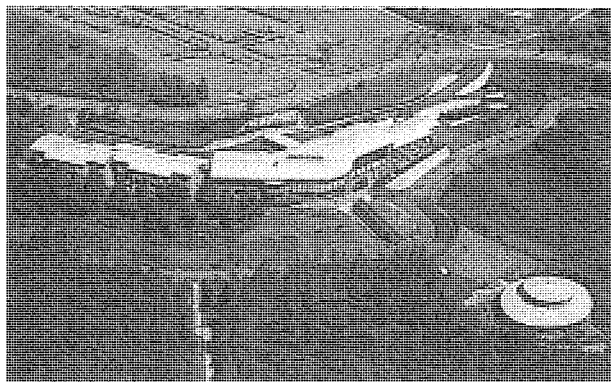


図5. 湯布郷館の全景

3.2.2 マンマシンインタフェース

このシステムは、S-IFに接続されたマンマシンインタフェース(MMI)用のパソコンによって一括管理される。空調機の状態・監視は、図7に示すように画面に表示される建物のフロア平面図上に配置されたアイコンによって行われ、そのロケーションをビジュアルに認識できるようにし、その状態は色別で表示するようにしている。表示される平面図の変更やアイコンの位置変更は、MMI上で簡単に行うことができ、システムの拡張・変更にも柔軟に、素早く対応できるようになっている。

また、空調機の状態は、ローカルに取り付けられたリモコンと同じ操作性をMMI上でも確保し、操作性の統一を図った。このため、MMIから空調機の設定を変更する場合は、管理人は、MMIの画面上に表示されるリモコンを実際のリモコンと同様の操作方法で扱うことが可能である。これはシステムとしての操作性の統合を目指した一例である(図8)。

3.2.3 設備機器の取込み

空調機以外の付帯設備機器をMELANSに取り込んで、システム全体を統合するために、汎用的に設備機器と接続でき、機器の状態監視や機器への指令を接点信号として入出力

するために開発した汎用インタフェース(汎用I/F)を用いている。汎用I/Fは、MELANSへの伝送信号として外部の機器の状態(運転/停止、異常/正常など)を変換し、また伝送信号によって指令される内容を外部へ接点信号として出力することができるシステムパーツである。これにより、M-NETに対応していない機器をMELANSに取り込むことが可能である。

汎用I/Fの仕様を表2に示す。汎用I/Fは、汎用的に使用することを考え、各種の接点仕様に標準的に対応できるように、信号仕様の切換え(レベル/パルス、a/b接点、有電圧/無電圧)、接点の意味付けの変更(異常状態/ON状態)ができるようになっている。また、汎用I/F自体の電源は、伝送線から給電を受けること(バス給電)も、個別に給電を受けること(個別給電)も可能である。これにより、配電盤や動力盤との接続時など機械室等に集中的に多数台設置される場合は個別給電に、個々に広い範囲に分散設置されるような機器、例えば、照明や換気扇などに取り付ける場合はバス給電を選択でき、使用目的によって適切な取付方法を選択できるようになっている。図9に、湯布郷館の機械室に集中設置された汎用I/Fの取付け例を示す。


この汎用I/Fを使用してMELANSで管理している湯布郷館の設備機器とその管理内容を表3に示す。これらの設備機器も空調機と同様にMMIで統合管理されている。

3.2.4 ホテル予約管理システムとの接続

湯布郷館では、宿泊客の管理を行うホテル予約管理システムとMELANSを接続し、予約センター又はフロントの端末からの各客室ごとのチェックイン、チェックアウト、及び事前の予約の有無又はそれらの取消し情報により、客室の空調機の制御を行い、宿泊客へのサービス向上と管理の省力化を図っている。ホテル予約管理システムとMMIのパソコン本体はモデムを介して接続され、ホテル予約管理システムからの情報によって表4に示す制御を客室の空調機に対し

表2. 汎用インタフェースの仕様

項目	内容
電源	DC24V
消費電力	5W
大きさ	(H)120×(W)200×(D)55 (mm)
質量	0.6kg
入力点数	3点
外部接続方式	6点ネジ端子(M3×6ネジ)
入力信号	レベル無電圧、a/b接点切換え可能
入力信号内容	停止/運転、正常/故障1、正常/故障2又は汎用OFF/汎用ON
出力点数	3点
外部接続方式	5点ネジ端子(レベル2点、パルス3点)(M3×6ネジ)
出力方式	リレー接点 レベル(無電圧a接点)/パルス(無電圧a接点/24V有電圧a接点切換え可能)
出力接点仕様	レベル出力:1チャンネル最大負荷AC250V, DC30V10A 最小負荷DC10V10mA パルス出力:2チャンネル最大負荷AC250V, DC30V1A 最小負荷DC10V10mA
出力信号内容	運転(ON)/停止(OFF) JEM-A対応
入出力制御内容	異常連動 : 異常入力時に停止信号出力 COS異常検出: 出力に対するアンサバック監視

AHU：エアハンドリングユニット
 FCU：ファンコイルユニット
：手元リモコン
 TR：集中コントローラ
 G/W：ゲートウェイユニット
 S-IF：シリアルインタフェースユニット
 汎用I/F：汎用インタフェース
 PAC：マルチエアコン(室内機)
 PACOUT：マルチエアコン(室外機)
 MMI：マンマシンインタフェース

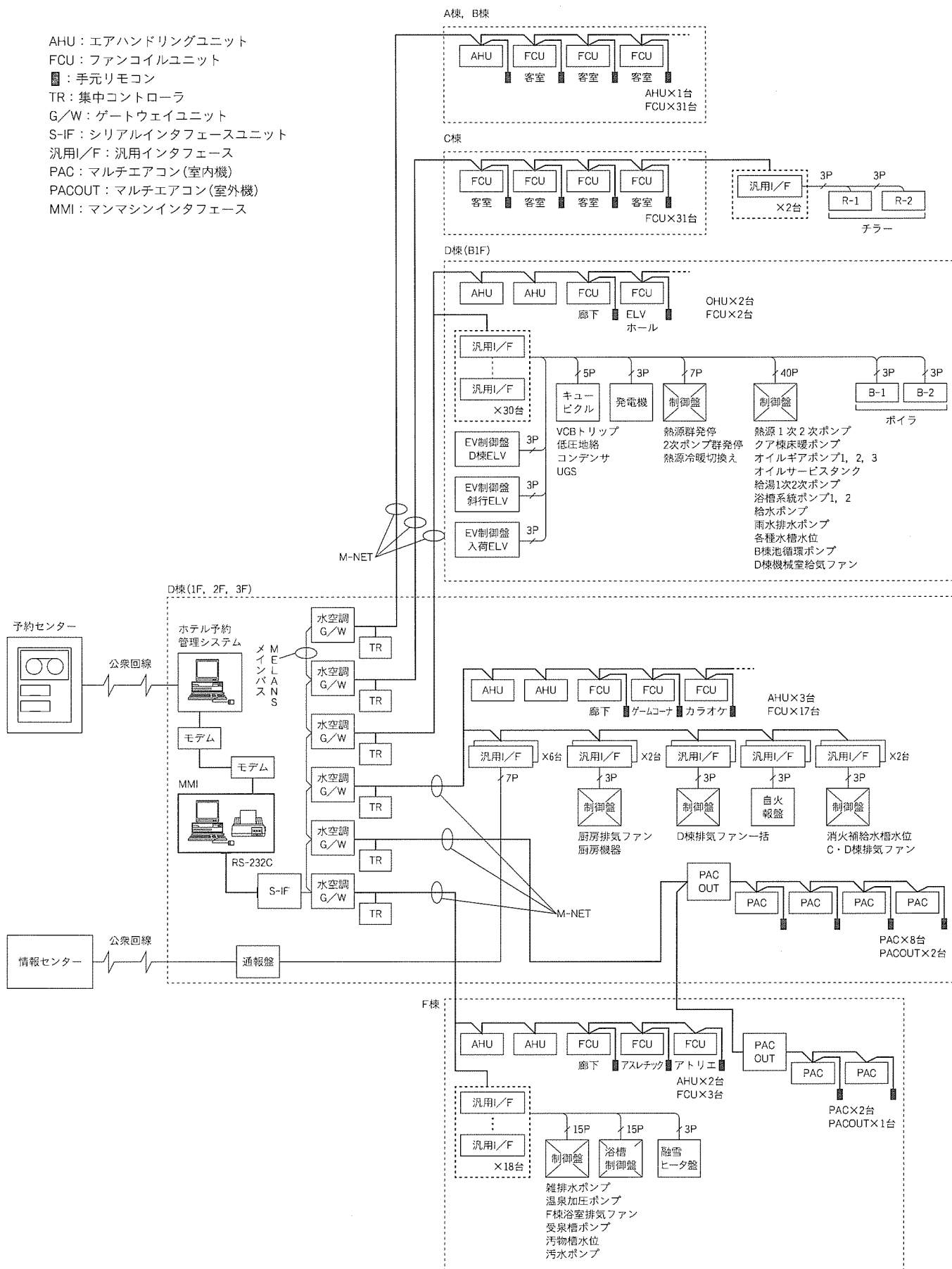


図6. 湯布郷館のシステム構成

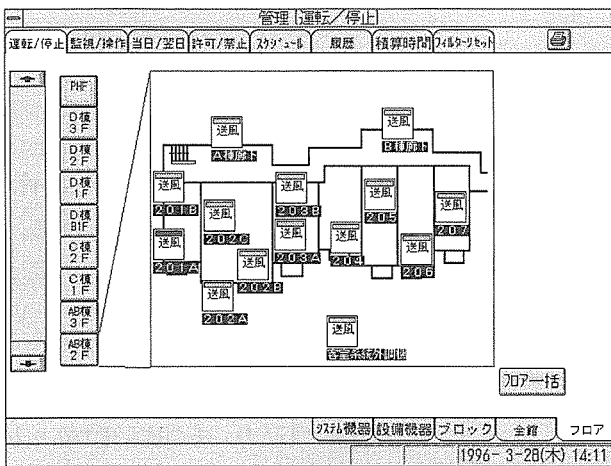


図7. MMIの平面図表示画面例

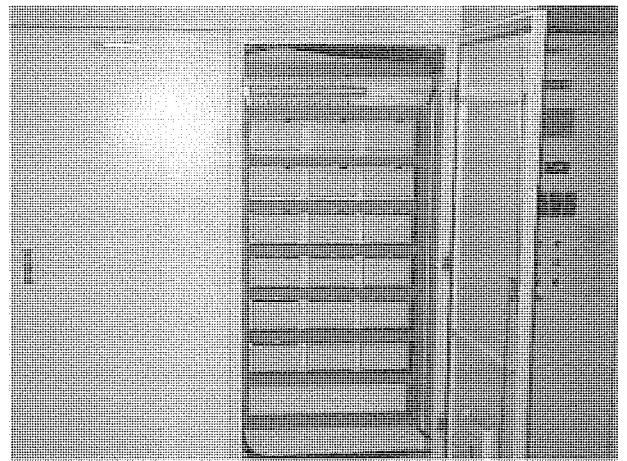


図9. 汎用インターフェースの集合設置の例

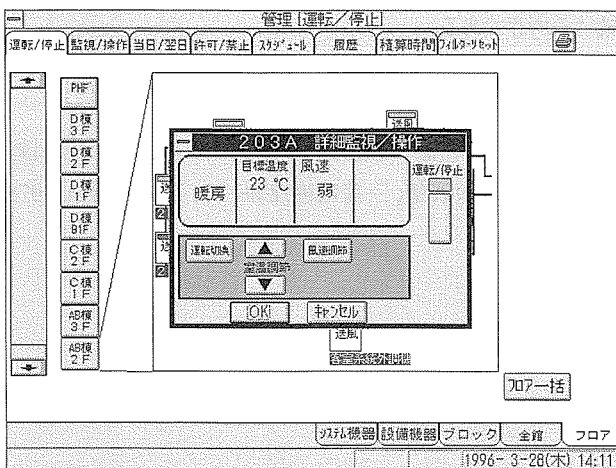


図8. MMIのリモコン表示画面例

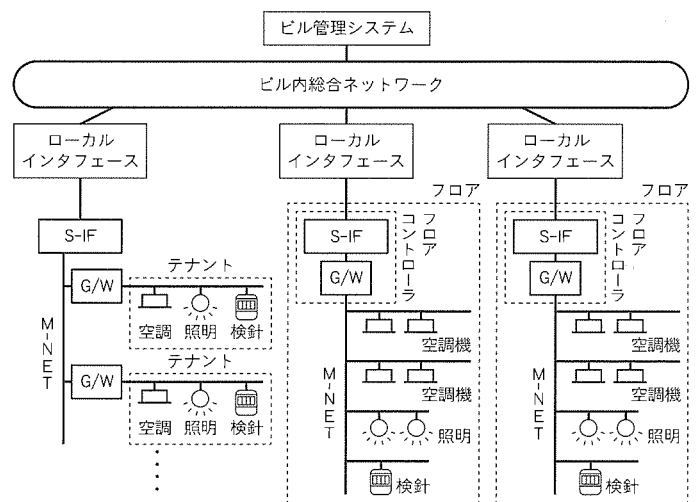


図10. MELANSの住空間統合形システム

て行っている。

3.2.5 情報センターへの遠隔通報

MELANSで管理する機器の異常は情報センターへ遠隔通報されるようになっており、サービスの即応性を図っている。機器から異常通報を受信したMMIは異常の種類別に

表3. 汎用I/Fと接続する機器と管理内容

機器種別	設備機器	管理内容				
		制御		監視		
		発停	切換え	状態	故障	警報
受変電設備	各種機器トリップ, 低圧地絡 発電機, UGS			○	○	○
熱源設備	熱源群発停, 2次ポンプ, 床暖ポンプ	○		○	○	
	熱源冷暖切換え 熱源ボイラ, チラー		○		○	
給湯衛生	給湯ポンプ, 浴槽ポンプ, 給排水ポンプ	○		○	○	
	各種槽水位					○
空調設備	給排気ファン		○		○	
昇降設備	エレベーター				○	
火報設備	火災警報の取込み					○
その他	融雪ヒータ, ろ過機				○	

汎用I/Fを介して通報盤に信号を出力し、通報盤は公衆回線で情報センターに異常発生を通報する。通報される異常の種類は、①受変電設備異常、②熱源設備異常、③給湯衛生設備、④空調設備、⑤昇降機、⑥その他、の6種類である。

3.2.6 火災連動停止

自動火災報知盤からの火災信号を汎用I/F経由でMELANSに取り込み、火災発生時に空調機及び所定の機器に対して停止指令を行い、連動停止させる。

4. 今後の展開

湯布郷館に納めたシステムは、比較的小規模ではあるが、空調を中心として全館の機器の統合管理をMELANSで行った最初の事例であった。しかし、より大規模なビルにお

表4. ホテル予約管理システムとの連動による客室空調機への制御内容

ホテルシステムからの信号内容	当該客室ファンコイルユニットへの指令内容			
	制御タイミング	運転状態指令	温度設定値	風速切換え
チェックイン	即時	ON	A*	弱風
チェックアウト	即時	OFF	—	—
チェックイン予約	チェックイン当日 の設定時刻	ON	B*	弱風
チェックイン取消し	即時	直前の状態に 戻す(停止)	直前の温度に 再設定	直前の風速に 再設定
チェックアウト取消し	即時	直前の状態に 戻す(停止)	直前の温度に 再設定	直前の風速に 再設定

注* 設定温度A, BはあらかじめMMIに登録した値で、MMIで変更可能。
例えば夏期ではA=20℃, B=25℃

いては、フロア、テナントといった機能的にまとまった住空間を一つの単位として、空調・照明・検針・防災・防犯などの設備の自律化が図られる傾向が強まっている。これは、システム全体の処理能力を確保しつつ、危険分散の向上、営繕工事、定期点検等への対応性の向上などを目的としている。

MELANSにおいても、図10に示すように、一つの単位となる住空間ごとに、機能を統合したシステムに対応できるシステム構築が実現可能であり、今後このようなシステム構築の適用が増加していくものと思われる。

5. むすび

MELANSの対象とする住空間はますます拡大し、住空間という範ちゅう(疇)を超えた分野にまでその対象が広がりつつある。そして、また同時に、その空間は特殊化してきている。ビル・店舗・倉庫などその空間の用途によって制御の対象となる機器も多方面にわたり、その統合化の在り方も異なる。このような空間の特質

に柔軟に対応できる制御システムの開発を行い、より快適な住空間又は最適な環境を提供できるよう、なお一層の努力を続ける所存である。

参考文献

- (1) 深澤 豊, 杉浦 了: インテリジェントビルシステム新シリーズの展望, 三菱電機技報, 67, No.10, 974~978 (1993)

認知科学的アプローチによる 製品の“わかりやすさ”向上

坂田理彦* 永田滋之*
辰己裕子** 酒井新一*
田中基寛*

1. まえがき

現在の家電製品は、差別化競争とマイコン利用の増加によって、高機能・多機能化が進展している。その反面、製品が複雑になり、ユーザには使いこなすことができなくなっていることが指摘されている。最近では特に、使いやすさの中でも、“わかりやすさ”“おぼえやすさ”といった認知的側面の重要性が注目されている。

人間の思考過程を解明する学問として認知科学がある。認知科学は、現在までに多くの有効な知見を生み出しており、家電製品のユーザインタフェースの検討にも、これらの視点を取り入れることが不可欠になりつつある。しかし、具体的に製品の評価・設計に適用することは困難で、応用面での方法論的な展開が待たれている。

本稿では、家電製品の“わかりやすさ”を向上させるためのユーザインタフェース評価・設計手法として開発した“セミオティックアナリシス”⁽¹⁾⁽²⁾と称する手法を提案する。

2. ユーザインタフェースへの認知的アプローチ

2.1 ユーザインタフェースへの取組

一般に人と製品とのインタフェースは、物理的側面・感性的側面・認知的側面の三つに分類される(図1)。例えば家電製品の場合、ボタンの“押しやすさ”や表示の“見やすさ”など、ユーザである人間の身体寸法・運動機能・知覚能力への適合性を対象とする物理的側面に関しては、従来からの人間工学的知見を利用した科学的・工学的的方法論がほぼ確立されている。

製品の“美しさ”など、審美性や造形性を対象とする感性

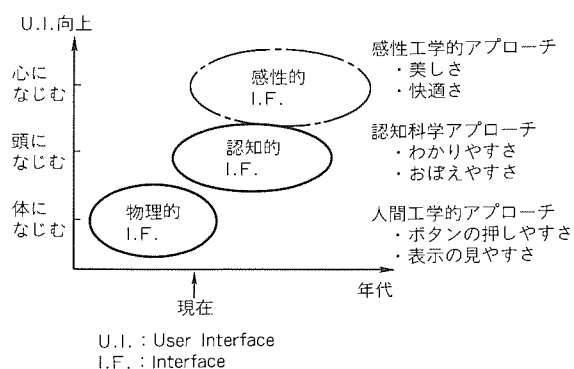


図1. ユーザインタフェースの取組

的側面に関しても、企業内の意匠デザインを担当する部門が、感性工学的アプローチを利用して精力的な取組を進めている。

しかし、“わかりやすさ”“おぼえやすさ”などを対象とする認知的側面に関しては、認知科学などの分野で経験的・実験的事実が蓄積されている段階で、実際の製品設計・評価に適用できる実用的な方法論が確立されているとは言えない。

2.2 認知科学的アプローチ

人間の思考過程を対象とする学問に認知科学がある。認知科学は、1981年に提唱された比較的新しい学問であるが、既に多くの有益な知見を生み出している。その代表的な知見として、図2に示すD.A.Normanのメンタルモデルの概念がある⁽³⁾。

これは、デザインとユーザが共通の理解を持つことの困難さ、両者のギャップを解消することの重要性を指摘しており、製品開発に携わるすべての人が共有すべき考え方を示している。

各種研究機関や多くの企業では、認知的側面の向上を図るため、インタフェース設計に関する様々な原則、ガイドライン、及びチェックリストを考案している。

これら手法はいずれも認知科学的視点を取り入れた優れたものであるが、実際に適用しようとすると戸惑うことが多い。これは主に内容が一般的すぎたり、チェックリスト自体が体系的に整理されていないことに起因すると考えられる(表1)。

このことは、認知科学全般で指摘される問題でもある。認知科学では多くの有益な知見が得られているものの、いまだ記述的で、体系化されていない。そのため、それらの知見を具体的なインタフェース設計・評価に効果的に取り込むためには、新たな体系的な方法論が必要と考えられる。

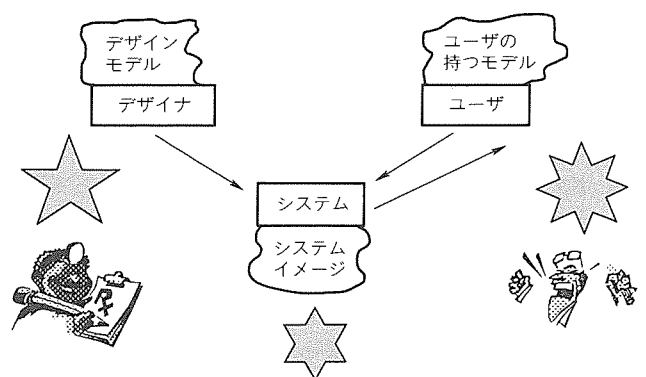


図2. メンタルモデルの三つの側面 (D.A Norman, 1986)⁽³⁾

表1. インタフェース設計原則, ガイドライン, チェックリストの特徴と評価

現状チェックリストの特徴	評価
短期間で簡易的に結果が得られる	○
適切な評価にはノウハウを持った専門家が必要	×
チェックリストを利用する場合は, 結果がその内容に依存してしまう傾向がある	×
チェックリスト自体が体系的に整理されていない場合が多く, 適用が困難な場合が多い	×

○: 利点 ×: 欠点

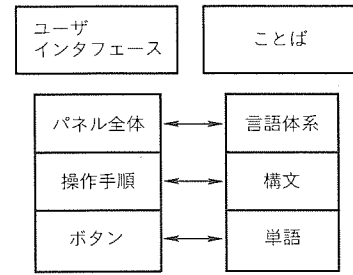


図5. ユーザインタフェースとことば

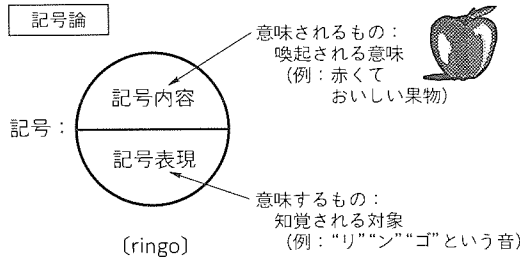


図3. 記号と記号表現・記号内容 (ソシュール, 1916)⁽⁴⁾

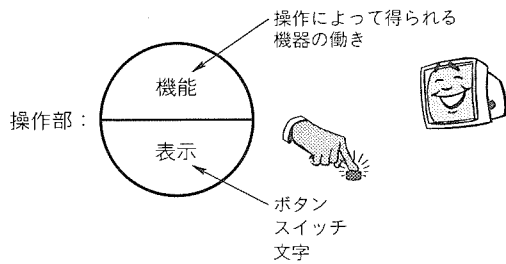


図4. 操作部と表示・機能

3. セミオティックアナリシス

3.1 認知的側面への記号論の適用

人間の知的活動にかかわりの深い学問の一つに記号論がある。記号論では、人間にとって意味のあるものすべてを記号とみなし、言語も記号の主要な一部と考える⁽⁴⁾。この記号論の基本的な概念として、シニフィアン及びシニフィエがある。前者は記号表現(意味するもの)、後者は記号内容(意味されるもの)と訳されている。記号表現は知覚される対象、記号内容は記号表現によって喚起される意味で、図3のように示される。

このような視点から家電製品の操作パネルを考察すると、押しボタンやスイッチ類とそれら进行操作することによって得られる機能との関係を、図4のように示すことができる。図において“表示”とは、押しボタンやスイッチ類の形状・大きさ・色及び文字も含めた概念である。“機能”とは、ボタンやスイッチを操作することによって得られる働きを示す。

上記の関係より、家電製品の操作パネルの押しボタンやスイッチ類を、記号論における記号の一つ一つとしてとら

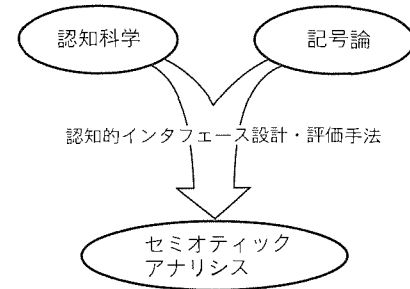


図6. セミオティックアナリシス

(捉)え直すことができる。

3.2 “セミオティックアナリシス”とは

ユーザは、操作パネルやリモコンを介して、製品とコミュニケーションしている。つまり、操作パネルやリモコンは機器とユーザの間に介在する“ことば”とみなすことができる。このアナロジーから、図5に示すように、パネルやリモコン上にある個々のボタンやスイッチ類は“単語”，操作手順は“構文”，パネル全体は“言語体系”と捉え直すことが可能になる。

我々は、製品の認知的側面を設計・評価する具体的な方法論として、認知科学の知見をこのような記号論的な枠組みで体系化した手法であるセミオティックアナリシスを提案している(図6)。

つまり、セミオティックアナリシスとは、製品のインタフェースを、言語体系・構文・単語に対応させ、それぞれ“意味構造設計”“手続設計”“表示・機能設計”という三つの設計法から考察するものである(図7左側)。これら設計法は、認知科学の知見だけでなく、記号論の概念を応用した多くの設計・評価の視点から構成されている(図7右側)。

4. 設計・評価の視点

4.1 意味構造設計

4.1.1 ファーストアフォーダンス

ファーストアフォーダンスとは、製品に接したとき、ユーザに最初にしてもらいたい行動を誘発するアフォーダンスのことであり、セミオティックアナリシス独自の設計視点である。アフォーダンスは、知覚心理学や認知心理学の分野で研究されてきた概念であるが⁽³⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾、我々はこの概念をユーザ

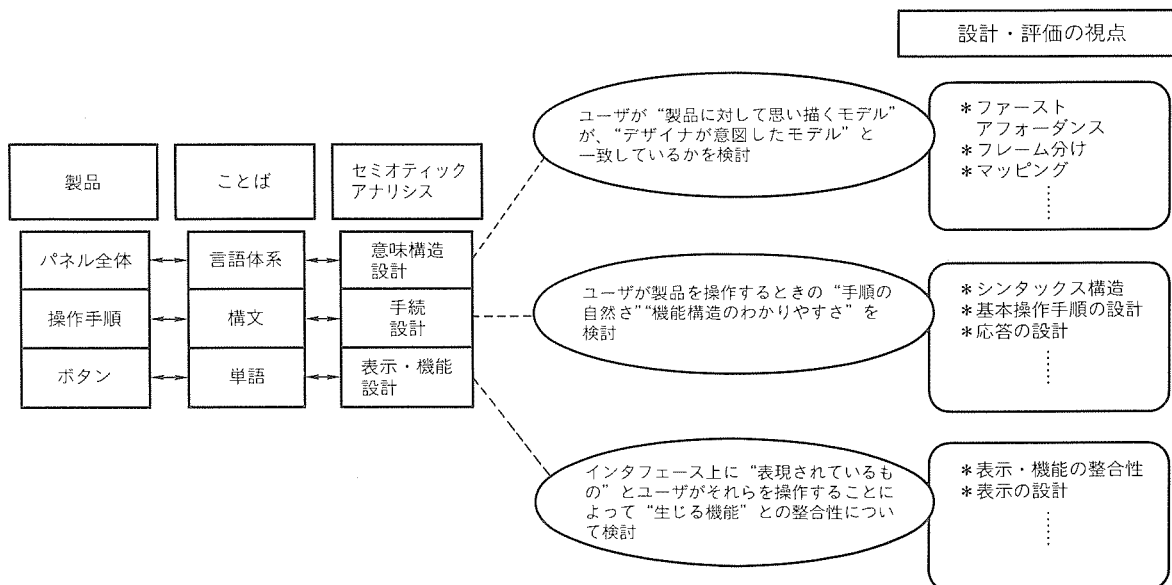
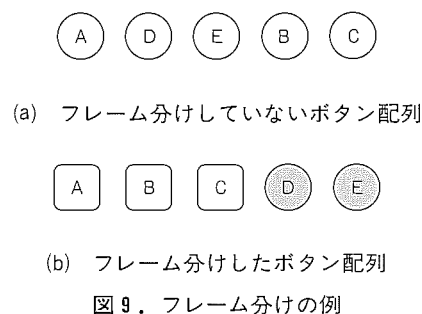
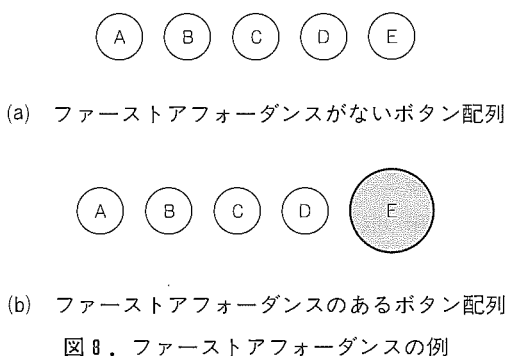


図7. ユーザインタフェース, ことば, セミオティックアナリシスの関係



インタフェースの設計・評価に適用するため、“思わず～したくなる性質”と解釈し、“行動誘発性”と訳している⁽⁷⁾。そして、インタフェース全体で最も優先度の高いアフォーダンスにファーストアフォーダンスと名付けた。これは、一番最初に製品の使い方の手懸かりをユーザに与えるためのアフォーダンスである。

ここに簡単な例を示す。図8に五つのボタンを持つ操作パネルを示す。(a)のように全く同じボタンが多数配置されている操作パネルでは、ユーザは最初に操作すべきボタンを特定しにくく、一つずつ自分の押すべきボタンであるかの判定をしなければならない。(b)の場合、大きさと色を変えて、ボタンEを目立つようにしてあるので、ファーストアフォーダンスがある。すなわち、この操作パネルを見るとボタンEを押すという行動が誘発され、ボタンEを最初に押すことが自然にできるのである。

近年、家電製品の自動化が進み、一つのボタンの操作によって基本的な機能が自動で行われるという機器が増加している。ワンタッチで、洗濯ができる、炊飯ができるという製品である。このような機器のインタフェースでは、ワンタッチのボタンにファーストアフォーダンスを持たせることにより、

著しく操作性を向上させることができる。

4.1.2 フレーム分け

“フレーム”は、記号論や認知科学で扱われている概念であり、何かの記号を解釈するとき頭の中に想起されるイメージの集合のことである。セミオティックアナリシスでは、操作の場面ごとにフレームが存在すると考え、フレームごとにボタンや表示をまとめ、操作パネルを構造化する。また、製品の操作においては、操作場面のほか、入りタイマと切りタイマなど似た機能同士のまとまりなども重要である。そこで、操作場面に対応したボタンの集まりに加え、機能の集まりもフレームとして捉えて拡張している。

“フレーム分け”では、操作パネル上のボタンや表示を操作場面や機能ごとのグループに分け、そのグループを配置・色・形状などで表現することにより、操作パネルを構造化し、操作手順などをわかりやすくする。

この簡単な例を示す。図9に五つのボタンを持つ操作パネルを示す。ボタンA, B, Cは手動機能、ボタンD, Eは自動機能に使うものと仮定する。(a)では、すべてのボタンの形状や色が同じであり、自動機能と手動機能に使うボタンが混在して配置されている。(b)ではA, B, CとD, Eをそれぞれまとめて位置的なフレームに分け、各々のフレーム

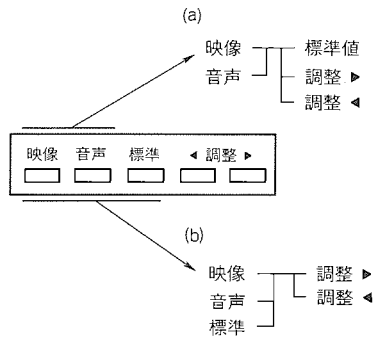


図10. シンタックス構造の例

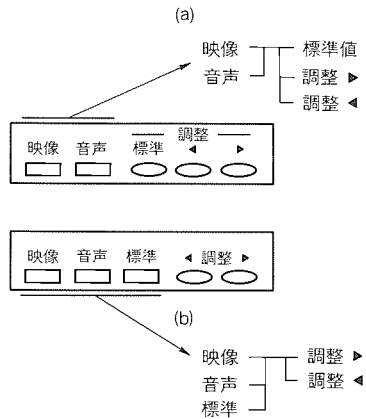


図11. シンタックス構造を配慮した操作パネルの例

をボタンの形状と色で表現している。これによって操作パネルは構造化され、目的のボタンが探し出しやすくなる。

4.2 手続設計

4.2.1 シンタックス構造

“シンタックス構造”では、操作手順を樹形図のように表し、機能の構造、操作手順のわかりやすさを検討する。シンタックス構造自体のわかりやすさとともに、操作パネル上から構造が理解できるかが重要である。

図10に示した操作パネルは、画面の映像や音声を調節するためのボタンである。この操作パネル上からは複数のシンタックス構造を想定できるが、そのうちの二例を(a), (b)に示す。(a)は、映像と音声の二つに関して、標準値への設定又は任意の調節が可能、(b)は、映像、音声、映像と音声の標準値、の三つに関して、任意の設定が可能というシンタックス構造である。この操作パネルは、どちらのシンタックス構造も明確に表現していない。

図11に、図10の(a), (b)それぞれのシンタックス構造に対応した改善例を示した。(a)では、右から三つのボタンを調整に使うボタンとしてまとめ、映像、音声ボタンとは形状を変え、シンタックス構造を想定できるようにしている。一方(b)では、左から映像、音声、標準の三つのボタンをまとめ、これらをだ(橢)円形のボタンで調整するというシンタックス構造を想定できるようにしている。



(a) ボタンの表示 (b) 表示部の絵文字

図12. 表示機能の整合性の例

4.3 表示・機能設計

4.3.1 表示・機能の整合性

インタフェースの表現がそのボタンを押したときに実現する機能と整合性を持っているかについて検討する。ボタンに表現してある表示、操作の応答や機器の動作状態の表示が機能表現内容を的確に表現しているかが対象となる。

例えば、最近の家電機器のインタフェース上によく見られる“自動”という表示であるが、“自動”だけでは、“何が”“どう”自動なのかが分からないことが多い。製品が多機能化すると、インタフェース上に複数の“自動”が存在することになり、“何が”“どう”自動なのかを明確に表現する必要性が高くなる。

図記号や絵文字による表示は、言葉に比べて表現内容が直感的に理解できるとともに、言葉では表現しきれない内容や機能も表現することができ、有効な手段である。ただし、言葉に比べて意味の取り違えの可能性が高いので、十分な吟味が必要である。

図12に、エアコンのリモコンの例を示す。このリモコンには、ボタン上に“ランドリー”と表示しているボタンがある。このランドリー機能は洗濯物を乾かすのに便利な機能である。しかし、“ランドリー”だけでは機能や使い道がイメージしにくいので、このボタンを操作すると、液晶表示部に図の(b)に示した絵文字を表示することにした。これは、言葉と絵文字両方の表示によってわかりやすくなった例である。

5. むすび

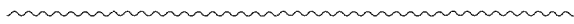
我々は、認知科学で得られた知見を記号論の枠組みで体系化したユーザインタフェース評価・設計手法を確立した。このアプローチによって、これまで設計者個人の勘と経験に頼ってきたインタフェース設計を、理論的かつ客観的にすることを可能にした。現在、“ことば”のごとく自然に操作できる優れたインタフェースを設計するために、このアプローチを家電製品を始めとした数多くの機器へ適用している⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

インタフェースを通して認知科学と記号論との間に基本的な共通点が存在することは、両者が相互に成果を利用しつつ発展することを予想させる。今後、認知科学と記号論があいまって有益な成果が生まれることを期待したい。

参考文献

(1) Ikeda, H., Kondo, K., Sakata, M., Kataoka,

- Y., Fujie, K., Tanaka, M.: TRON HMI Design Analysis by the Semiotic Approach, The Tenth TRON Project International Symposium, 31~36 (1993)
- (2) Sakata, M., Kondo, K., Sakai, S., Kimura, S., Tatusumi, Y., Fujie, K., Tanaka, M.: An Approach from Cognitive Science and Semiotics for Evaluating and Designing User Interface of Audio - Visual Products, International Conference on Consumer Electronics, 316~317 (1991)
- (3) D.A.ノーマン: 誰のためのデザイン?, 新曜社 (1986)
- (4) フェルディナン・ド・ソシュール: 一般言語学講義, 岩波新書 (1993)
- (5) J.J.ギブソン: 生体学的視覚論 人の知覚世界を探る, サイエンス社 (1991)
- (6) 佐々木正人: アフォーダンス—新しい認知の世界, 岩波書店 (1994)
- (7) 藤江京子, 近藤 恭, 酒井新一, 坂田理彦, 辰己裕子, 田中基寛, 永田滋之: “アフォーダンス”の拡張概念と設計評価への適用について, 計測自動制御学会 ヒューマンインタフェース部会, 第11回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, 753~758 (1995-10)
- (8) 山崎正博, 萬谷和彦, 藤江京子, 山上和彦, 石井哲夫: 全自動洗濯機 MAWシリーズ, 三菱電機技報, 70, No.8, 848~853 (1996)
- (9) 辰己裕子, 近藤 恭, 酒井新一, 坂田理彦, 藤江京子, 田中基寛, 永田滋之: セミオティックアナリシスによる「いけばな」の解釈と考察, 計測自動制御学会 ヒューマンインタフェース部会, 第11回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, 505~510 (1995-10)





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 特許センター
Tel.(03)3218-2174

貯湯式電気温水器の制御装置 (特許 第1804802号, 特公平3-16585号)

発明者 窪田秀治, 原 和夫

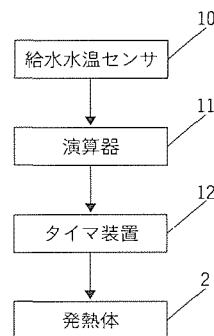
この発明は、深夜電力を利用する貯湯式電気温水器の制御装置に関するものである。

従来のこの種の装置では、給水温度の高い夏期には、短時間で湯を沸き上げてしまうために、沸き上げ後の放置時間が長くなり、貯湯タンクからの自然放熱による熱ロスが大きくなる欠点があった。

この発明は、これらの欠点を解消しようとするもので、図について説明する。給水センサ(10)によって貯湯タンクへの給水水温を検出し、演算器(11)で、検出した給水水温に基づいて発熱体への所要通電時間を算出する。タイマ(12)は、深夜電力通電終了時刻に所要通電時間が得られるように、深夜電力通電時間帯の途中から発熱体への通電を開始させるよう

に作動する。

以上のように、この発明によるものは、給水水温に基づいて、発熱体への所要通電時間を算出し、深夜電力通電時間終了時刻に沸き上がるように通電するので、夏期冬期に関係なく、沸き上がり後の放置時間を少なくでき、貯湯タンクからの放熱ロスを最小限に抑えられるので、維持費が安くなる効果がある。



軸流送風機用電動機 (実用新案登録 第2095707号, 実公平4-16620号)

考案者 原 直行, 古田賢治

この考案は、軸流送風機に用いる電動機のリード線支持構造に関するものである。

従来の電動機のリード線は、端板の間から引き出されていたので、リード線を構造体に引き込む際、端板が邪魔になり、送風機の設置が困難であった。

この考案は、このような欠点を解決するためになされたもので、図1の実施例斜視図、及び図2、図3の要部拡大斜視図に示すように、対向する端板のそれぞれの周縁部に、電動機のリード線を支持する溝を設けた。すなわち、リード線(7)は、端板(2)の支持溝(8)から端板(3)の支持溝(8A)を通過して端板(3)外へ引き出されるので、送風機を構造体に取り付けるとき、リード線(7)は端板(2)、(3)に邪魔されることはない。

この考案による送風機は、以上のような構造になっているので、送風機を構造体に簡単に設置できる効果がある。

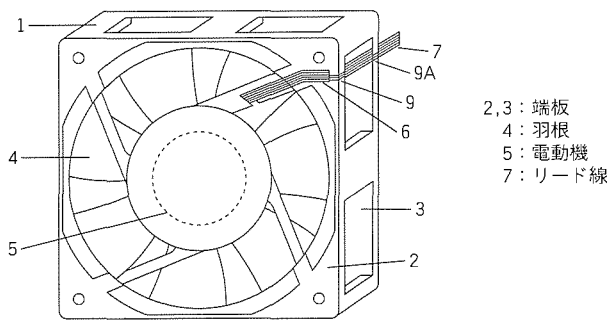


図1

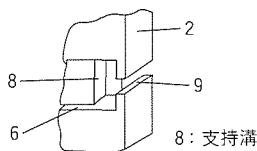


図2

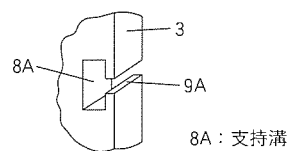


図3



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 特許センター
Tel(03)3218-2174

液体燃料燃焼装置 (特許 第2001754号, 特公平7-33906号)

発明者 山口博志

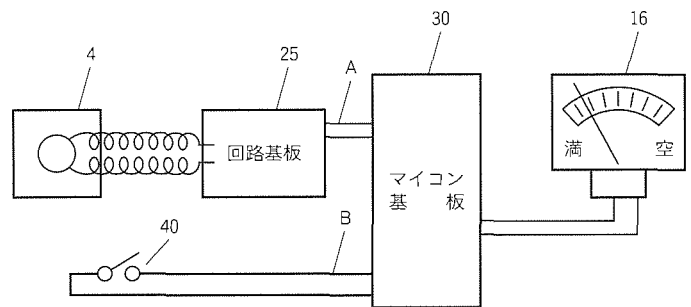
この発明は、液体燃料燃焼装置の液体燃料の残量表示に関するものである。

従来の液体燃料の残量表示は、質量センサの出力が経時変化又は環境条件によって変化した場合の校正手段を持っていないため、燃料の表示が誤表示される問題があった。

この発明は上記の問題点を解消するためになされたものである。図に実施例を示す。灯油とタンクの質量は、質量センサ(4)によって検出され、回路基板(25)でアナログ信号処理をされる。アナログ信号Aは、マイコン基板(30)でA/D変換され、演算処理されて残量信号を得て、D/A変換されてアナログの指示メータ(16)を駆動する。また、タンクの灯油燃料が空のとき、校正スイッチ(40)を操作するとトリガ信号Bがマイコン基板(30)に入力され、燃料が空の状態の校正値が記憶される。それ以後、経時変化又は環境条件によって変化

する質量センサ(4)の信号は、記憶された値で補正され、指示メータ(16)に表示される。

以上のように、この発明は、質量センサの出力を容易に校正でき、精度の高い液体燃料の残量を表示できる。



<次号予定> 三菱電機技報 Vol.70 No.9 “クルマとの調和に貢献する自動車機器技術”

特集論文

- クルマとの調和に貢献する自動車機器技術特集に寄せて
- システム化時代に向けた自動車機器技術の展望
- 外乱オブザーバによるロバストな車速制御技術
- 車間距離制御技術
- 居眠り検出技術
- エアバックシステムの衝突判定アルゴリズム
- 無段変速機用パワダクラッチのロバスト制御技術
- 固体高分子型燃料電池可搬電源システム
- 電気自動車の駆動制御技術
- 電動パワーステアリング制御技術

- ガソリンエンジンの制御技術と制御ユニットの小型化
- エンジン制御用センサの小型化
- 点火装置の小型化
- 始動・充電系の省燃費対応技術
- 車載情報通信機器のヒューマンインタフェースデザイン
- 車載ナビゲーションシステムにおける交通情報表示技術
- 車載ナビゲーションシステムにおける経路案内技術
- 通信機能付き車載ナビゲーションシステム
- デジタル音声放送受信機
- 欧州向け交通情報データ復調装置

三菱電機技報編集委員

委員長 山本 彬
委員 永田 譲 蔵 下村 寛 士
永田 裕 之 河内 浩 明
上 杉 豪 内 藤 明 彦
磯 田 悟 山 本 延 夫
畑 谷 正 雄 才 田 敏 和
園 田 克 己 鳥 取 浩
幹 事 宇 田 川 雅 彰
8月号特集担当 小 林 協 三

三菱電機技報70巻8号

(無断転載を禁ず)

1996年8月22日 印刷
1996年8月25日 発行

編集兼発行人 小 林 保 雄
印 刷 所 千葉県市川市塩浜三丁目12番地 (〒272-01)
菱電印刷株式会社
発 行 所 東京都港区新橋六丁目4番地9号
北海ビル新橋 (〒105)
三菱電機エンジニアリング株式会社内
「三菱電機技報社」 Tel. (03) 3437局2692
発 売 元 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 (〒101)
株式会社 オーム社
Tel. (03) 3233局0641代, 振替口座東京6-20018
定 価 1部721円(本体700円) 送料別

大能力・コンパクトタイプ除湿機

スポットライト

“MJ-80LHX”

開発のねらい

近年、高気密・高断熱住宅が全国的に普及しており、以前より室内が湿めりやすく、家の健康対策、人の健康対策として除湿機の需要が大きく見直されています。

最近の商品傾向としては、除湿能力の大容量化、付加機能の強化、インテリア性など、使用目的・使用シーンに合わせた豊富な商品展開が進んでおり、大きな需要が期待されています。

そこで、これらの需要にこたえるため“大能力でコンパクトな除湿機”を開発しましたので紹介いたします。

商品コンセプト

除湿能力の大容量化に対応しつつ、基本性能・操作性をより向上させることで、短時間除湿と使い勝手の向上を図りました。

特長

●業界No.1の除湿能力

熱交換器仕様、冷媒量、風量、風路などの最適化により、当社比約27%アップの除湿能力“8.0ℓ/日”を達成(60Hz時)。

●業界No.1のタンク容量

本体構成の改善により、当社比約50%アップのタンク容量“4ℓ”を達成(満水検知時は3.5ℓ)。

●強力ランドリー運転

2m³/minの大風量により、洗濯物などの乾燥時間短縮を達成。

●操作性の向上

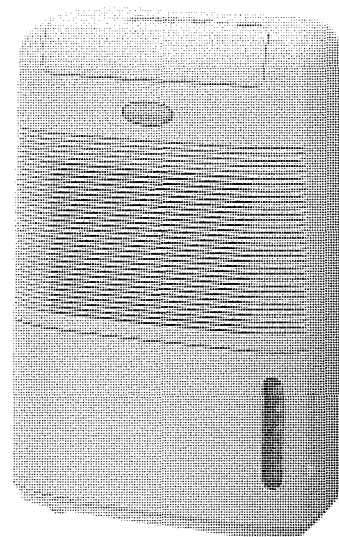
- ①自動除湿運転 : 温度・湿度センサの働きで、お部屋の温度と湿度に応じた快適除湿と約30%の省エネ運転。

- ②フロント湿度サイン : フロントの“湿度サインランプ”により、お部屋の湿度状態を“適湿・やや高湿・高湿”ランプで分かりやすく表示。

- ③切りタイマ : 2, 4, 8時間の自動切り運転

仕様

定格電圧 (V)	100 (50/60Hz)
除湿能力 (ℓ/日)	7.1/8.0
形名	MJ-80LHX
標準価格 (円)	59,800
本体寸法 (mm)	高さ525×幅340×奥行き195
質量 (kg)	9.9
消費電力 (W)	175/210
本体色	ホワイト、グレー
冷媒	HFC-134a



スポットライト 住宅用太陽光発電システム

いま、地球上では化石燃料の大量消費に起因する地球温暖化現象、酸性雨などの環境問題が深刻化しています。しかしながら私たちの快適な暮らしに必要な不可欠な電力は、かなりの割合を化石燃料に依存して発電しているのが現状です。一方では電力需要の増大による電力不足の問題も懸念されており、化石燃料に代わる新しいクリーンなエネルギーの必要性が高まっています。

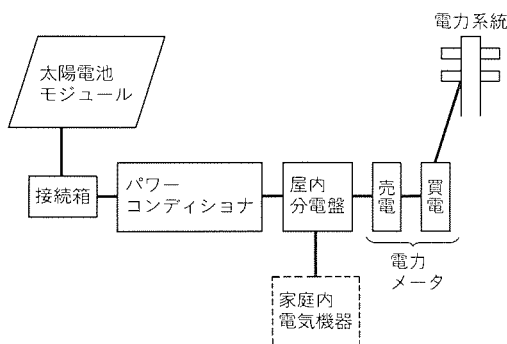
三菱電機の住宅用太陽光発電システムは、これらの環境問題やエネルギー問題に配慮し、クリーンで無尽蔵な太陽エネルギーによって“自家発電”するシステムです。商用電力系統と連系していますので、晴天時など発電電力が多いときは家庭内の電気機器で消費した残りの電力を系統に逆流させて電力会社に“売電”します。また、曇天時など発電電力が少ないときや、雨天時・夜間など発電できないときは、不足電力分を電力会社から“買電”して補います。一年間に発電する電力量は、3.10kWシステムの場合3,000~3,500kWh程度になりますので、平均的な家庭で年間に消費する電力の大部分を賄うことができます。

このシステムでは、業界トップのシステム効率（セルの変換効率、パワーコンディショナの変換効率を含めたシステム全体の効率）の実現を開発のねらいとしました。

特 長

1. パワーコンディショナ

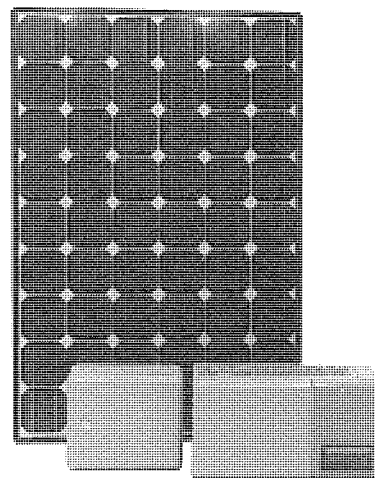
- 薄型コンパクトサイズ(PV-PN03Aの容積 20ℓ)
高変換効率(定格出力時 94%)
低騒音(自然空冷方式)
- 停電時でも日照があれば運転可能な自立運転機能付き
(AC100V, 最大で1,500Wの専用出力)
- 日常の操作が不要な全自動運転
(太陽電池電圧の監視による自動起動/自動停止)
- 大型液晶による発電電力、発電電力量や運転メッセージなどの充実した表示機能
- 最大電力点追従制御により、発電電力をムダなく利用



システム構成

2. 太陽電池モジュール

- 太陽光を効率良く電気に変換する単結晶タイプの太陽電池セル内蔵(変換効率16%)
- 部分的に日影になっても効率低下を抑えるバイパスダイオード内蔵セル搭載
- 屋根に馴染みやすい黒色を基調とした外観



太陽電池モジュール PV-MR001 (後)
パワーコンディショナ PV-PN03A (前右)
接続箱 PV-CN03A (前左)

仕 様

	3.10kWシステム	5.16kWシステム	
モジュール形名	PV-MR001		
外形寸法(mm)	幅1,200×奥行き802×高さ46		
質量(kg)	12.5		
使用モジュール数	24	40	
太陽電池総面積(m ²)	24.0	40.0	
太陽電池総質量(kg)	300	500	
公称太陽電池出力(kW)	3.10	5.16	
パワーコンディショナ	形名	PV-PN03A	PV-PN05A
	定格入力電圧	DC210V	
	定格出力電圧	AC202V, 50/60Hz	
	定格出力	3.0kW	5.0kW
	電力変換効率	94%(定格出力時)	
	出力基本波力率	0.95以上	
	インバート方式	電圧型電流制御方式	
	スイッチング方式	正弦波PWM方式	
	絶縁方式	トランスレス方式	
	電気方式	単相2線式 (単相3線式配電線に連系)	
	連系保護機能	OV, UV, OF, UF	
	単独運転検出機能	受動的方式, 能動的方式	
	外形寸法(mm)	幅470×奥行き170×高さ250	幅710×奥行き170×高さ250
質量(kg)	16	24	

スポットライト 多機能地下収納庫 “電水艦”

多機能地下収納庫“電水艦”は、万一の災害時に最も求められる“水”をテーマに、電気温水器と貯水タンク及び非常用品を収納するスペースを備え、日常的には家庭内の給湯・散水に使用し、非常時には防火用水・生活用水として対応する多機能地下収納庫として、三菱電機㈱、関西電力㈱、積水ハウス㈱の三社で共同開発しました。

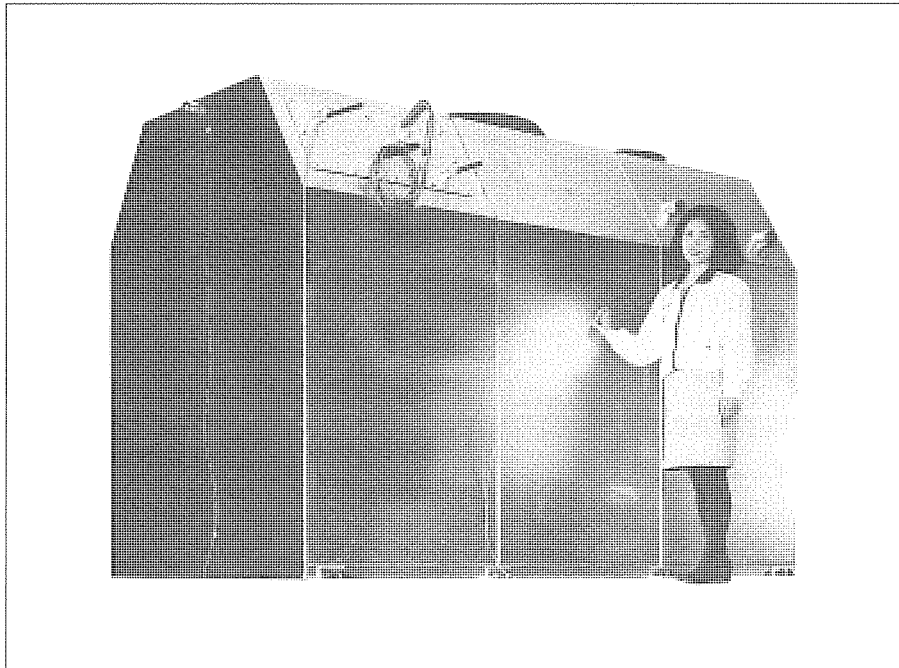
外箱は防水防せい(錆)処理をした鋼鉄製で、住宅のカーポート等の地下スペースに埋設して使用します。内部には上記機器のほかに電気温水器用加圧ポンプ、照明器具、換気扇、はしご、棚等を配置し、工場でユニット化していますので、スピード施工が可能です。

新築住宅はもちろん既設住宅にも設置できます。

仕 様

形 名	LD-1	LD-2	LD-3
外形寸法 (m)	縦3×横1.5×深さ2		
460ℓ電気温水器	○	○	○
2.6m ³ 貯水タンク	×	○	×
2.6m ³ 雨水タンク	×	×	○
収納棚・照明・換気扇	○	○	○
給湯用加圧ポンプ	○	○	○

○：あり ×：ナシ



多機能地下収納庫「電水艦」

スポットライト

省エネルギー照明システム “MELSAVE SYSTEM”

三菱電機照明(株)では、快適な視環境を維持しながら従来照明と比較して約50～70%の大幅な省エネルギーが期待できる自動調光システム“メルセーブシステム”として、Hf32W連続調光器具“メルセーブ-CD”と制御装置“メルセーブベーシック-S”を発売しました。

メルセーブシステムの特長

(1) メルセーブ-CD (Hf32W連続調光器具)

高調波低減制御回路、インバータ制御回路、高耐圧ドライバ等をワンチップに集積化し、蛍光灯連続調光用として世界初の高耐圧IC(HVIC: High Voltage IC)を開発しました。

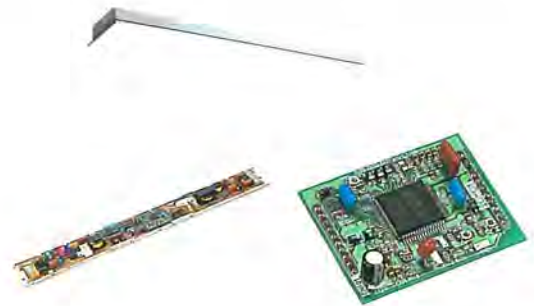
このIC組み込みのインバータを搭載することで光出力5～100%の調光を実現しながら小型・薄型化を図りました。低温、低調光時のランプの立ち消え、ちらつき、寿命低下等の問題を解決し、連続調光でありながら使用条件5～35℃と一般器具同等となりました。

(2) メルセーブベーシック-S (制御装置)

メルセーブ-CDとの組合せにより被照面(机、床等)の照度を適正(一定)に保つ制御装置です。天井に設置される照度センサと分電盤内等に設置されるコントローラから構成され、照度センサが感知する被照面の明るさに応じてコントローラがあらかじめ設定された明るさを保つように照明器具の出力を連続的に制御します。この“適正照度維持”によって目標照度を上回る分の照度を抑制することで省エネルギーを図ります。

メルセーブシステム導入のメリット

- 従来照明より高効率なHfの採用による省エネルギー：24%
- 窓際等の太陽光で明るくなる分の減光による省エネルギー：25%
- 設置当初など設定値より明るい分の減光による省エネルギー：12.5%
- 昼休み等必要照度が低くなる時の減光による省エネルギー：5%
- 夏場の空調電力増大時の照明電力を抑えるため、トータルとしてピーク電力カットに貢献(各省エネルギー率は一定条件下での参考値)



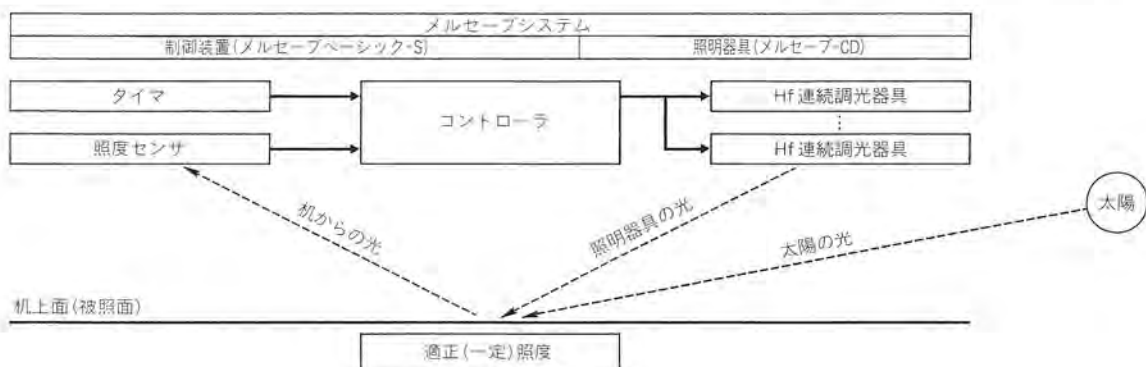
上：メルセーブ-CD外観
左下：Hf32W連続調光インバータ
右下：高耐圧IC(HVIC)



メルセーブベーシック-S 照度センサ



メルセーブベーシック-S コントローラ



システム構成と動作