

■ 技術報告 ■

マイコンによる家電・冷熱機器の省エネルギー制御

Energy Savings in Consumer Products with Micro Computer Control

藤井 学*
Manabu Fujii

1. ま え が き

豊かで快適な生活を望むことは人間にとり基本的な欲求の現われであり、家電・冷熱機器は「家事の合理化」、「余暇の活用」、「環境の改善」を通じこの実現に一役買っている。日常生活の必需品となっているこれらの機器では、快適性・操作性・安全性・信頼性などの機能の高度化、新機能の付加、それに加え省資源・省力・省エネルギーなどの社会的要求の達成が永続的なテーマとして捉えられており、改良がなされている。

オイルショック以後、特に省エネルギーに対するニーズが強く、エネルギー消費量の多いルームエアコン・冷蔵庫が特定機器として指定され、「エネルギーの使用の合理化に関する法律」の適用を受けており、メーカーでは機器本体の省エネルギー設計と、合理的な制御アルゴリズムに基づく制御機能の高度化でこれに答えている。この手段の一つとして制御の電子化が行われてきたが、1971年に出現したマイクロプロセッサは革新的な汎用LSIとして、その後の家電・冷熱機器制御の電子化に大きな影響を与え、今やその中心的役割りを担っていると言えよう。LSI製造技術の発達は目覚しく、マイクロプロセッサの機能向上、即ちメモリ、I/Oなど周辺LSIを含めた低価格の1チップマイクロコンピュータ（以下マイコンと称す）の出現が、この傾向に一段と拍車を掛けた事は疑問の余地がない。本稿ではマイコンによる家電・冷熱機器制御の内、省エネルギー制御に焦点を当て概説する。

2. マイコン制御の特徴

マイコン制御システムは通常、マイコン制御回路を

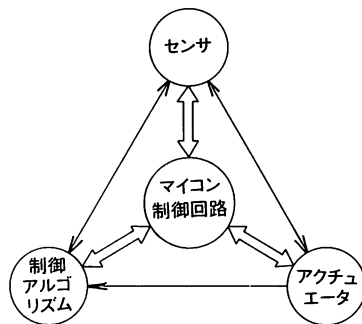


図-1 マイコン制御システムの構成要素

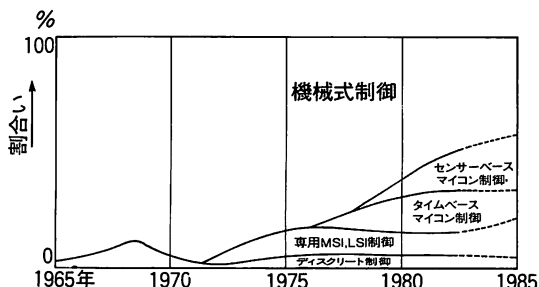


図-2 家電・冷熱機器制御方式の変遷

中心に、その感覚器管としてのセンサ、手足としてのアクチュエータとマイコンの具体的動作を規定する制御アルゴリズムより構成され（図-1）、これがバランス良く機能して合理的な制御が可能となる。マイコンが採用された当初は機械式制御、ディスクリート回路や専用MSI、LSI方式の電子制御の置換より出発したため、タイマやシーケンス動作主体の所謂タイムベース制御の域を出なかったが、昨今はセンサを活用し、合理的な制御アルゴリズムに基づく演算処理動作を主体とするセンサーベース制御へと移行しつつあり（図-2）、マイコンの持つプログラマブルな機能、高速演算機能及び大容量のメモリが充分に活用され、制御の精度向上、高度化などの機能向上に加え、新機能付加など本来の効果が発揮されている。

家電・冷熱機器へのマイコン応用では

*三菱電機応用機器研究所電子制御開発部
ホームオートメーションGグループマネージャー
〒661 尼崎市塚口本町8-1-1

- (1) 回路の簡素化, 制御器の小形化 (省電力)
- (2) 部品数削減, 短期開発 (信頼性・経済性)
- (3) ハードウェアの標準化 (設計の省力化)
- (4) ソフトウェアでの機能修正能力 (柔軟性)
- (5) 複雑・高度化する制御アルゴリズムへの対処及び自己診断機能 (機能向上, 新機能付加)
- (6) 多様なマンマシンインタフェースとの結合 (操作性)

などの数多くのメリットが期待できる。これらを、従来のディスクリート回路、或いは専用のMSI・LSIなど、その処理・構成が並列的・空間的対応を示す制御方式で実現するのは、価格、寸法・重量、信頼性の面で困難を伴ない、その処理・構成が直列的・時間的対応を示すマイコン制御に目が向けられたのは当然の結果である。

マイコン制御システムにおいて、マイコン制御回路と制御対象となる機器の間はセンサとアクチュエータを介した閉ループフィードバック系が形成され、センサベース制御を可能とする。一方、マイコン制御回路と操作者である人間の間はスイッチ・操作キーなどの設定器と各種表示器を介したマンマシンインタフェース系が形成される (図-3のA)。機器の構成上、域いはリモコン操作の必要上、マイコン制御回路を複数個分散配置しなければならないケースも多いが、この際各マイコン制御回路を伝送回路を介して1対のシリアル伝送ラインでリンクする事により、複雑な制御アルゴリズムに対処可能となる。シリアル伝送用の伝送手順はマイコンのソフトウェアで対応できる (図-3のB)。

上記においてマイコンの役割りは

- (1) 操作する人の指令の解釈・判断と機器への操作指令

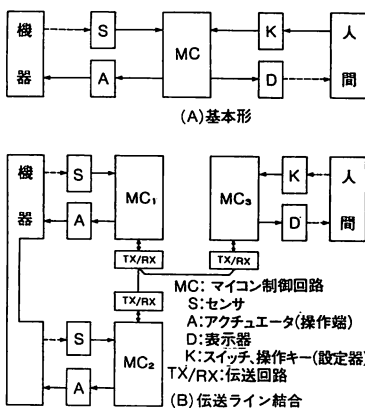


図-3 マイコン制御システムのブロック構成

- (2) 機器の情報の収集・処理とその結果の表示、及び別のシステムへの信号伝送
 - (3) 機器の情報の収集・処理とその結果の機器制御指令出力による閉ループ系の構成
- に分類でき、通常これらの機能が複合化され用いられる。

3. 省エネルギー制御具体例

省エネルギー制御の対象はエネルギー多消費形の冷・暖房空調及び冷凍・冷蔵機器が主体となるが、その省エネルギー実現の方法には

- (1) 使用の合理化による省エネルギー
- (2) 制御の高度化による省エネルギー
- (3) 新制御方式導入による省エネルギー

が考えられる。(1)は室温の表示、室温・タイマ時刻のダイレクト設定による過剰冷・暖房防止などのムダの排除が、(2)はサーモの高精度化、ファン速調や燃焼量制御の多段化による機器の運転効率向上が、さらに(3)は全く新しい発想に基づく制御アルゴリズムの具現化による機器の運転効率向上が該当する。特に(2)、(3)の省エネルギー効果を高めるには、センサ・アクチュエータの役割りが大きく、冷凍サイクル、燃焼系など機器本体の見直しに加え、これをサポートする新しいセンサやアクチュエータの開発に依存する例が多い。

表1にマイコンによる家電・冷熱機器の省エネルギー制御内容をまとめているが、各機種の特徴的な項目につき説明を加える。

3.1 石油ガス化ファンヒータ

従来のHi/Lo燃焼2段制御では、小部屋、端境期などの条件下ではLo燃焼でも発生熱量が大き過ぎて室温が必要以上に上昇する欠点があった。Hi/Lo/OFF燃焼3段制御 (図-4) にはOFFモードがあり、マイコンが設定温度と室温とを監視し自動点に能力及び点火・消火制御を行うので、使用者に操作の手間を掛けずに快適性と省エネ性を提供できる。この実現の背景には着火・消火時に発生する未燃ガス臭気を加圧切換弁、ツイン点火プラグを用いた新燃焼系の最適シーケンス制御で最少限に押える技術の開発がある。

3.2 石油ガス化瞬間湯沸器

マイコンを用いたPID制御が燃焼量を必要に応じ連続的に自動制御するので、出湯量の変化に関係なく湯温を設定温度に一定化できる。従来この種要求には貯湯槽と高価な混合弁を用いて対応していたが、貯湯槽レスの本方式では貯湯槽からの熱漏洩損失がなく省スペースに加え省エネルギーが可能となる。

3.3 冷房専用形エアコン

室内側熱交換器が冷却器のみからなる冷房専用形エアコン（除湿形は冷却用と加熱用の2部構成）において、室温低下を微少にとどめ、湿度除去を最大限に行なう湿度優先制御（エレクトロニクスドライ）を実用化した（図-5）。この制御でマイコンは室温センサ情報に基づき

- (1) 室温の記憶
- (2) 許容温度の算出・算定
- (3) 圧縮機運転モードの決定
- (4) 室内送風機の高頻度プログラム制御
- (5) 室温降下後の時間測定監視
- (6) 停止後の圧縮機プログラム制御
- (7) 室温監視による着霜防止制御

などマイコンのメモリ・演算機能を活用した制御処理

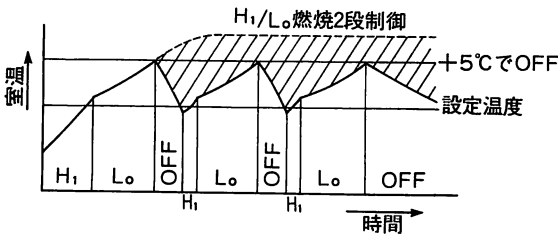


図-4 Hi/L0/OFF燃焼3段階制御

を行っている。

通常の除湿形エアコンと異なり、熱交換器の全てを除湿に利用できるため除湿量が多く、同一の除湿量を得るのに必要な消費電力量は約13%少なく（当社比）、快適性と省エネルギーを両立させた（図-6）

一般に冷房温度1℃高めると電気代は10%節約できる。高精度の室温ダイレクト設定及び表示器（グリーンサイン）は過剰冷房を視覚管理上防止する目的で有効であり、エアコンの基本機能の一つとなっている。

冷房時の快適性は温度・湿度のバランスで決まり、温度が多少高くても、湿度が低ければ快適性を保持できる。温・湿度バランス制御（ドライシフト回路）は室温センサ情報により室内送風機のプログラム制御により圧縮機停止時の室内への湿気の再蒸発侵入を防止し、55%の低湿度（通常70%）を維持できる。湿度15%の低下は快適上、室温1℃上昇と等価なので、湿度55%への低下を検出（サーモが4回オン・オフで検出）した後設定温度を自動的に1℃高めに設定する（図-7）この結果、温度を1℃上げたことで10%、湿度の再蒸発侵入防止で8%、送風機制御で2%と合計20%の維持費の節約になる。

3.4 冷・暖・除湿形エアコン

湿度センサにより室内湿度を検知し、圧縮機のオン・オフ運転を行えば湿度一定運転ができる（図-8）。

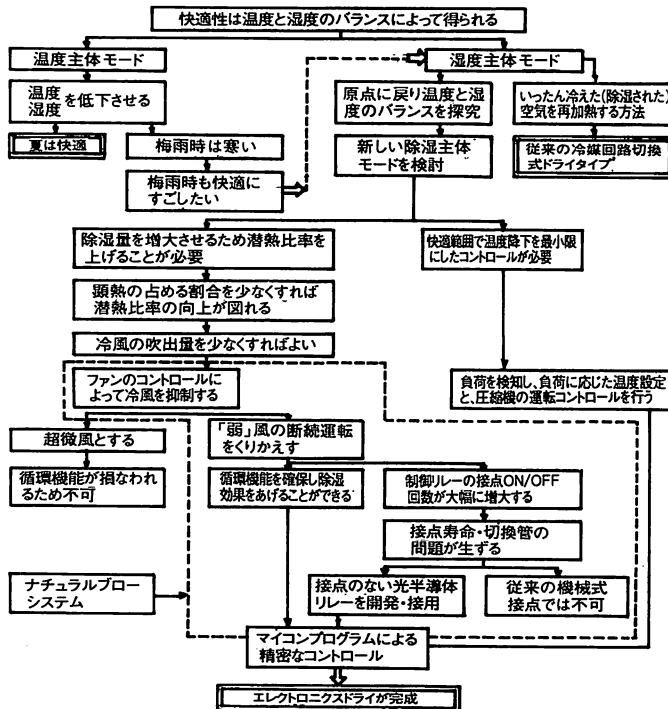
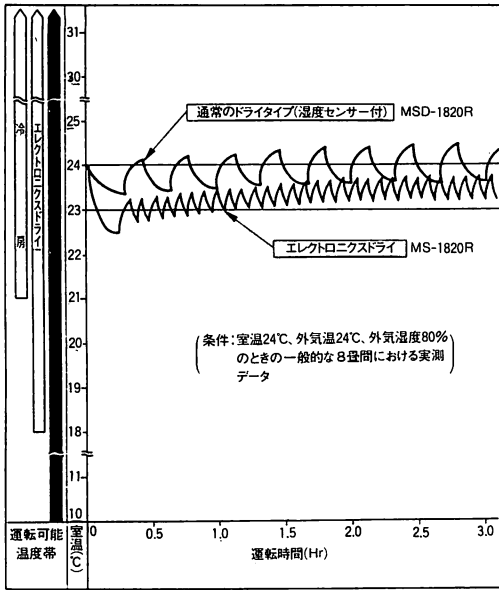
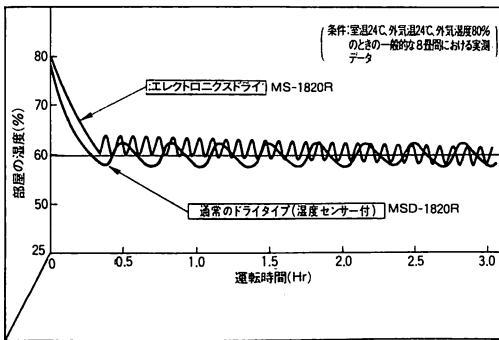


図-5 湿度優先制御（エレクトロニクスドライ）のフロー図



(A)温度変化



(B)湿度変化

図-6 湿度優先制御の運転特性

湿度センサなしの除湿運転では連続運転となるため、湿度60%設定の圧縮機のオン・オフ運転（運転率60%）は約40%の消費電力量の低下をもたらす。

勿論、除湿運転中の室温調整も可能で、室温が所定温度より高くなると自動的に冷房運転に切り換わる。更に、室内熱交換器が冷却用と加熱用に2分割されている利点を生かし、外気温により冷房気味、或いは暖房気味の除湿を選択できる。

マイコン制御機種は一般に時刻が来ると入または切動作可能なタイマを装備しているが、本来必要なのはセットした時刻に部屋の温度が希望する値になっていることであろう。ここで述べる室温監視形暖房入タイマ制御は、セットした時刻前より室温を監視し、室温が低い場合は早目に、また高い場合は遅目に入動作を行い、セットした時刻に希望温度に近い値に室温を維

持するものである。外気温が高い場合など、従来のタイマでは部屋を長時間ムダに暖めておくことが生じるが、このタイマではこの様なこともなく経済運転になる。

ヒートポンプ運転の泣き所は、外気温の低下に比例し暖房能力が低下することにある。低外気温時能力アップ制御（ホットアップ回路）は外気温低下を検知し、2方弁により冷媒流量を絞り、圧縮機へ過熱状態の冷媒を戻すことで圧縮機の運転効率と暖房能力の向上を図るものである。余分な電力消費なしに暖房能力を約10%向上でき省エネルギーと共に暖房立上り特性の改善になる（図-9）

3.5 冷蔵庫

冷蔵庫や冷凍室の庫内温度の冷え過ぎ防止のため、庫外より温度設定と庫内温度の確認が行えることが節電を図る上で有効である。

例えば冷凍室に食品が少なく、かつアイスクリームなどが含まれない場合、通常-18°Cの設定を-12°Cに

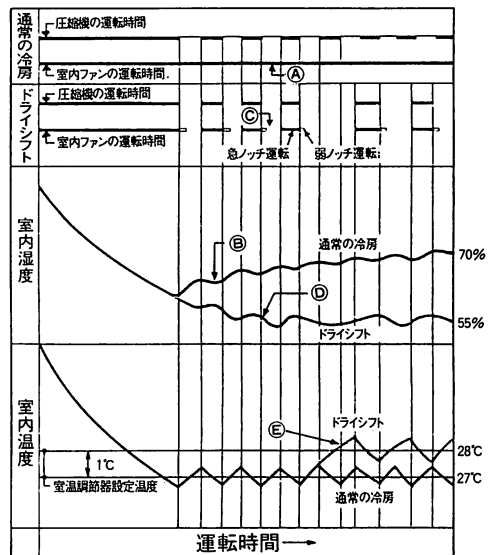


図-7 温・湿度バランス制御（ドライシフト）の運転特性

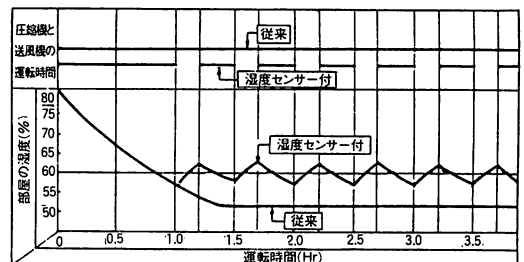


図-8 湿度センサによる運転特性

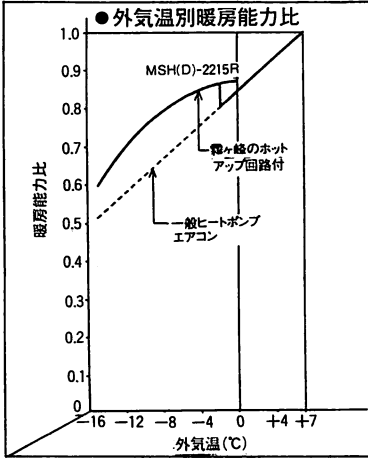


図-9 低外気温時能力アップ制御 (ホットアップ回路)

高めれば年間平均で約20%の省電力になることが試算される。

デフロストはタイムベース制御主体であるが、今後の省エネルギー化の課題の一つに、センサベース制御のデマンドデフロスト即ち、着霜を検知してデフロスト開始する制御の検討が残されている。

3.6 店舗用冷・暖エアコン

家庭用、業務用を問わずユニットが室内・室外間に分散配置されるスプリット形が主流を占めているが、省エネルギーと快適性の両立など、制御の高度化・複雑化する傾向の中で、勢い分散配置されたセンサからの情報を総合的に演算処理するセンサベース制御に重点が置かれるため、センサとマイコン制御回路間の配線本数が増加し工事の省力、省資源の上でも問題となっていた。室内ユニット、室外ユニット、リモコンに各々マイコン制御回路を設け、この間を伝送回路を介して1対のシリアル伝送ラインでリンクする3マイコン方式(図-3のB)を初採用し、室内・室外間2本(従来6本)、室内・リモコン間2本(従来12本)の最少配線本数を可能とした。伝送フォーマットはスタートビット、アドレスビット及び各種制御信号を含むデータビットを含む16ビット構成で、反転連送照合方式を用いた誤り制御を実施し信頼性を確保している。これらの伝送制御手順はマイコンのソフトウェアで行なう。

3マイコン・シリアル伝送ライン方式の採用は、より高度な制御アルゴリズムを民生品として相応な価格で実現する上に効果がある。例えば冷房時に外気温に比例して、室内設定温度をスライドする外気温追従室

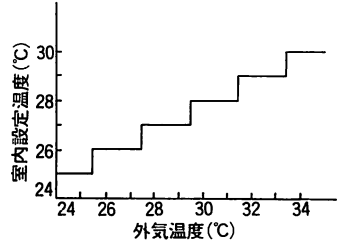


図-10 外気温追従形室温制御パターン (室温一設定温)

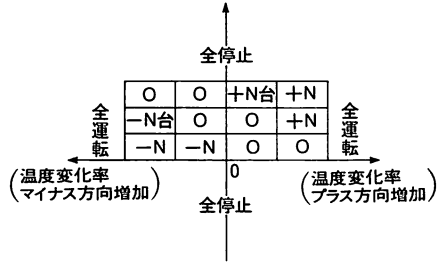


図-11 室温変化率を併用した予測形フローティング容量制御

温制御により健康性と省エネルギーを両立させた。特に外気温と室温設定値の差を外気温により変化させる、より効果的な制御パターンが可能となる(図-10)。

3.7 大形水冷パッケージエアコン

大形の業務用エアコンでは複数台圧縮機の容量制御で省エネルギー運転を行う例が多い。従来、室温と設定温度との差に応じ運転台数を決めていたが、ここではマイコンのメモリ及び演算機能を活用して、上記の温度差に加え室温の変化率の大きさをパラメータに用い、サーモのオン・オフ点に到達する以前に空調負荷を予測しフローティングで運転台数を決める制御方式を実用化した(図-11)。この制御は室温がバランスする迄の時間を短縮すると共に、予測により早目に容量制御を行うため節電効果がある。2000㎡の事務所の試算によれば、この予測形フローティング容量制御を含む新サーモ制御により8%、外気温追従室温制御で3%、ポンプやクーリングタワーなど補機制御で4%、合計15%の節電となる。

3.8 ヒートポンプチラーユニット

冷水・温水を用いる空調方式の熱源機としてヒートポンプチラーユニットは多用されるが、効率よく冷水・温水を発生することがマイコン制御の課題となる。暖房運転即ちヒートポンプ時、外気が高く、軽負荷の条件では必要以上の高い温水温度となりヒートポンプは成績係数の低い値で過剰暖房運転となる(図-12)。

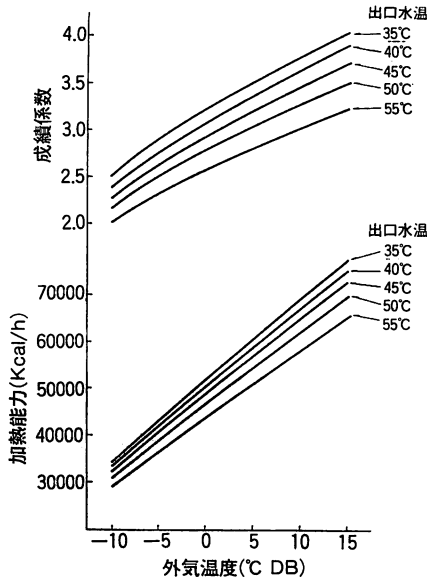


図-12 ヒートポンプの加熱能力と成績係数 (CAH-K20E形)

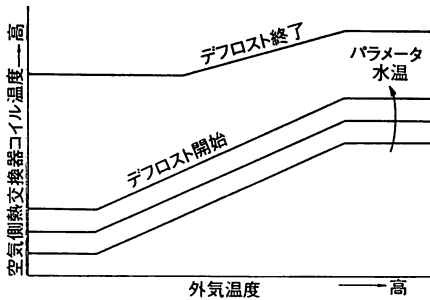


図-13 デマンドデフロスト (除霜) 制御パターン

冷房運転時についても同様な傾向のため、結局、水温を外気温と反比例となる様制御すれば年間を通じ能力向上と成績係数向上の二重の省エネルギー効果を達成できる。この外気温補正冷・温水制御により標準的な空調条件下で約7%の省エネルギー効果が試算されている。

暖房運転での課題の一つにデマンドデフロスト制御がある。着霜は蒸発器表面の露点温度が0℃以下で発生するので、除霜開始は蒸発温度で決定するのがよい。ただ蒸発温度は外気温や水温にも左右されるため、これらのパラメータを考慮し、最適なタイミングで除霜開始可能とした(図-13)。

3.9 食品店舗用ショーケース

ショーケースは通常1台の冷凍機に複数台接続され冷凍システムが構成される。このため冷凍機を含むショーケース群管理が必要で、外部に付属するショーケ

ース制御器でシステム全体が一括制御される。

制御の主体は庫内の冷やし過ぎ防止にあり、例えば夜間、各ショーケースの照明オフに連動して、庫内温度設定をアップするナイトセットバック制御、強制間欠運転を行うデューティサイクル制御を含め、ショーケース制御器により約20%の節電効果が生じる。

4. まとめ

マイコンによる家電・冷熱機器の省エネルギー制御につき概説した。マイコン自体、処理速度の高速化、メモリの大容量化、低消費電力化、I/O機能、例えばA/D変換器や液晶表示ドライバなどの高機能化が1チップマイコンでも急激に進展している。一方、機能を簡素化した低価格1チップマイコンの発売も相次いでおり、センサ及びアクチュエータのインテリジェント化とこれを用いてシリアル伝送ラインで結合されたマイコン制御システムの構築が一段と容易となろう。

このことは高度な制御アルゴリズムの処理を可能とするベースとなるので、安全性・信頼性・快適性・量産性を満足した上で省エネルギーの向上が図られるものと予測される。

既に一部のエアコンではインバータや電子式膨張弁などパワーエレクトロニクス及びメカトロニクス技術が、また光ファイバ、光無接点リレー、光ワイヤレスリモコンなどオプトエレクトロニクス技術が採用されているが、自動車へのエレクトロニクス技術応用の推移から見て、家電・冷熱機器でもこの傾向が一段と強まるであろう。

また家庭内や店舗の省エネルギーを総合的に捉えることもコンピュータ応用技術と伝送制御技術の複合化により目前にその実用化が迫っており、これまで説明した家電・冷熱機器のシステム化対応を検討すべき時期にきている。

<参考文献>

- 1) 大野, 他: 電学誌98, 10, 923 (昭53-10)
- 2) 安藤, 他: 三菱電機技報55., 6, 413 (昭56-6)
- 3) 本田, 他: 同上55, 6, 401 (昭56-6)
- 4) 富樫, 他: 同上55, 2, 158 (昭56-2)
- 5) 藤井, 他: IEEE TRNS. CE-28, 4, 571 (1982-11)
- 6) 藤井, 他: IMAC 80 予稿集, 393 (1980-7)
- 7) 富樫, 他: 三菱電機技報56, 11, 858 (昭57-11)
- 8) 塚原, 他: 同上56, 11, 862 (昭57-11)
- 9) 井出, 他: 東芝レビュー37, 7, 635 (昭57-7)
- 10) 正田 : 電学誌98, 10, 919 (昭53-10)