

(19) 機械工学における最適設計に関する研究

A STUDY ON THE OPTIMAL DESIGN FOR MECHANICAL ENGINEERING

伊藤宏幸*

辰野 晋*

柱尾正弘*

上村茂弘**

Hiroyuki ITOH, Susumu TATSUNO, Masahiro HASHIRAO, Shigehiro UEMURA

In general in the field of mechanical engineering optimal design of the whole system organized with many elements is important process. In this paper design of air-conditioners is singled out as an example. The inverter system for driving compressor and the electrical expansion valve improve Annual Performance Factor with optimal control parameters calculated by simulation of behavior of air-conditioners.

Intelligent CAD system based on expert system makes it possible to transfer the experts' technology to beginners.

Key Words : Optimal Design, Air Conditioner, Expert System, Annual Performance Factor, Intelligent CAD

1 緒 言

空調機に限らず、機械工学において、複数の要素を組み込んでシステムとして設計する場合、1)各要素の性能を十分引き出すためのシステム的なマッチング（最適設計）¹⁾、2)不特定多数の設計者が最適設計を行うための技術的ノウハウを取り入れた支援エキスパート・システムの構築が有効となる。そこで、今回、空調機システムの最適設計および空調機開発支援エキスパート・システムのプロトタイプについて述べる。

2 空調機システム

2.1 冷凍サイクル

図1に、冷凍サイクルを、図2に、冷媒の状態変化とp-h線図を示す。要素として、圧縮機、凝縮器、減圧機構（電動弁）、蒸発器があり、閉サイクルをなすことで、蒸発器側から熱を汲み上げ、凝縮器側より熱を放出する。室内機を蒸発器として用いると冷房運転となり、逆に、室内機を凝縮器として用いると暖房運転となる。四路弁により冷媒の流れを切換えることにより冷暖房運転の両者が可能なヒートポンプとなる。

* ダイキン工業（株） 機械技術研究所

** ダイキン工業（株） 機械技術研究所 主任研究員

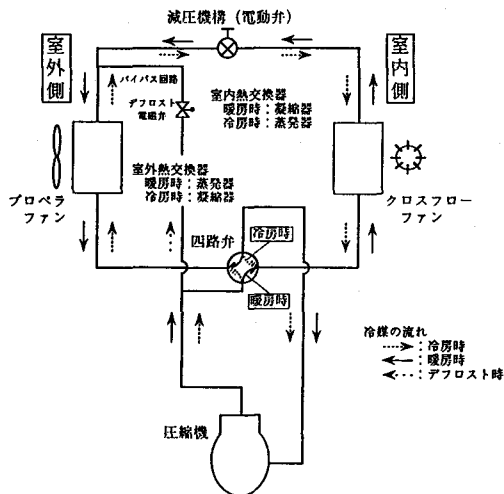


図1 冷凍サイクル

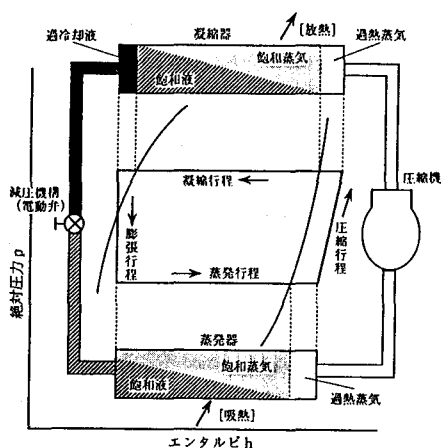


図2 冷媒の状態変化とp-h線図

2.2 システム支援ソフト

インバータ機の場合、圧縮機の周波数を変化させることによって、オンオフ運転の減少による省エネ化と設定温度に対する高い追随性による快適性向上が実現される。現在、このように、インバータなどの制御要素を組込むことにより、空調機の高度化が進展しつつある。反面、要素数が増大するばかりか、一つの要素自体の自由度も増加するため、各要素の性能を十分活かしシステム性能を引き出すべく、システム的なマッチングへの要求も高度化している。

以上の理由から、図3、4に示すような拡張性のある統合的なシステム支援ソフト（システムの最適化、要素の感度解析）を開発した。

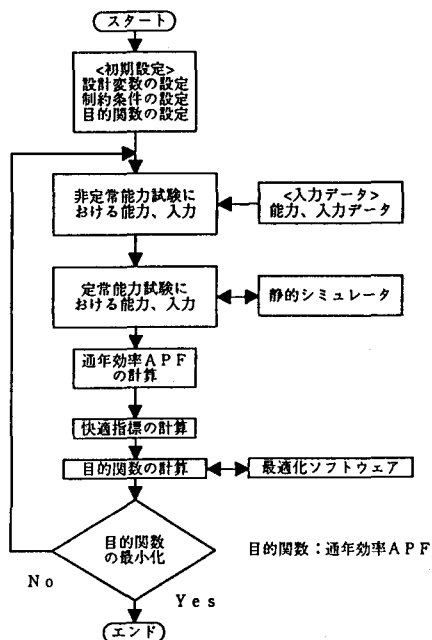


図3 システム最適化のフローチャート

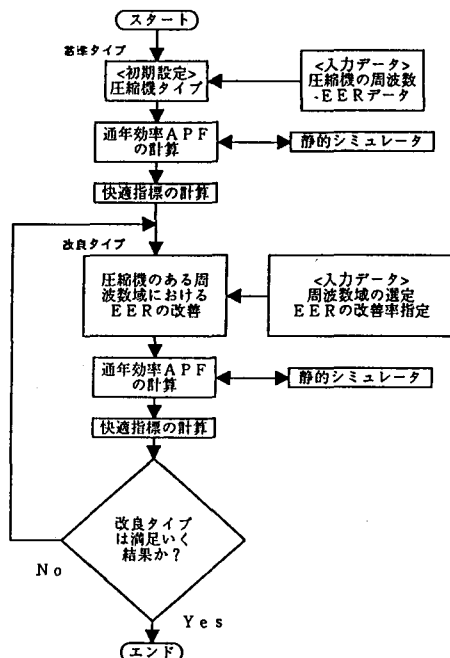


図4 要素感度解析のフローチャート

2.3 システムの最適化

近年に見られる産業界の省エネ化に伴い、JIS（日本工業規格）では空調機における通年効率の算出方法が規格化された。それが、APF（Annual Performance Factor）と呼ばれるもので、数種の異なる試験における能力、入力（11点の試験から能力、入力を12個ずつ求める）と年間を通しての外気温度の出現時間から求められる。

また、省エネ化と同時に快適性に関しても、ユーザ側の意識が高まりつつある。これに即して、通年効率APFと同一環境で評価可能な快適指標を考案した。

通年効率APFの算出に必要な数種の試験における圧縮機周波数を設計変数に、快適指標を制約条件に、通年効率APFを目的関数にすることは、まさに、空調機システムの最適設計につながる。

表1に、システムの最適化に用いた設計変数の初期値、下限値、上限値を示す。また、図5に、最適化の結果を示す。最適化前に比べ、目的関数である通年効率APFが、向上していることが分かる。特に、制約条件である快適指標の条件を厳しくしても、最適化前の通年効率APFの値を上回る。この様に、システムの最適設計（通年効率APFの最適化）となる設計変数を導き出すことができた。

表1 設計変数

設計変数	初期値	下限値	上限値
冷房能力試験 (最低周波数Hz)	37	23	43
冷房低温試験 (最低周波数Hz)	34	23	43
冷房低湿試験 (最低周波数Hz)	40	23	43
暖房能力試験 (最低周波数Hz)	31	23	43
暖房低温試験2 (最高周波数Hz)	110	103	123
冷房断続試験 (周波数Hz)	28	20	40
暖房断続試験 (周波数Hz)	24	20	40
暖房低温試験1 (SH℃)	3.4	2.0	5.0

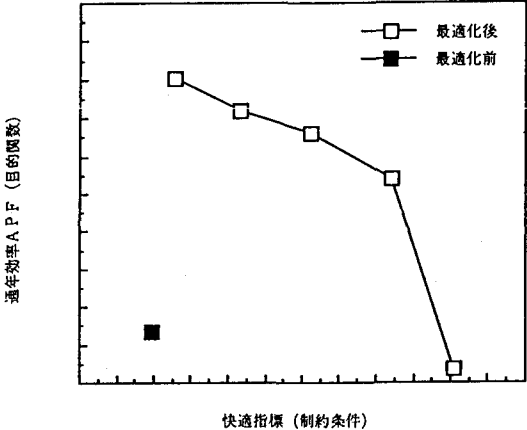


図5 最適化の結果

2.4 要素の感度解析

設計変数が多数存在したり、制約条件が明確化しにくい場合、また、設計変数が時系列的に変化する場合、さらには、目的関数が複数存在し階層的になっている場合には、最適化を行うのは現状では困難である。

しかし、要素のある設計変数だけを変化させることによって、その設計変数によるシステム性能への感度を把握することはできる。この様にすることで、要素への設計仕様を導き出すことが可能になり、システム性能を向上させることができる。以上の様に、要素の感度解析は最適化しにくい際の有効な一手段となる。

圧縮機の周波数-EER曲線において、ある周波数域のEERを改良することが、システム性能となる通年効率APFに、どの程度影響するかを今回取り上げる。図6に、圧縮機の周波数-EER曲線の一例を、表2に、感度解析の結果を示す。高周波数領域のEERを改良する方が通年効率APFの向上につながるということが分かる。

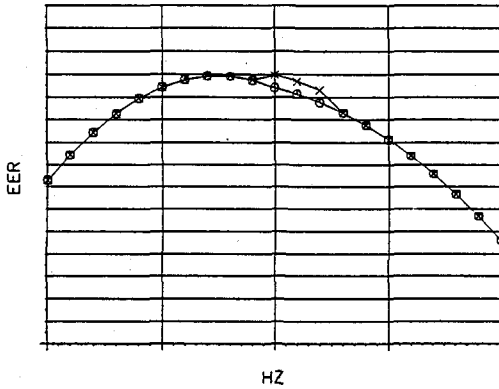


図6 圧縮機の周波数－EER曲線

表2 感度解析結果

	圧縮機の 改良周波数域	E E R	快適指標	通年効率 A P F
基本タイプ		1.00	1.0000	1.0000
改良タイプ1	30～50	1.05	0.9998	0.9933
改良タイプ2	70～90	1.05	0.9947	1.0101
改良タイプ3	100～120	1.05	1.0001	1.0017

3 空調機開発支援エキスパートシステム

空調機に限らず、複数の要素を組み合わせることで有機的な高性能システムを作り上げたり、ある制約条件で要素仕様を決定したりする場合には、汎用最適化ソフトウェアは有効な手段となる。

しかし、ある分野で経験の浅い技術者が性能向上のために、汎用最適化ソフトウェアを利用しても、必ずしも良い結果が得られるとは限らない。これは、その分野の経験から得られる専門的なノウハウの欠如や、汎用最適化ソフトウェアの使用ノウハウの少なさに起因する。

合理化と平行して、労働不足の慢性化により、様々な技術分野で未熟練者の進出が顕著に現れつつある現在、熟練者が持っている経験的知識を如何に顕在化された技術的ノウハウとして蓄積して行くかが課題となってくる。エキスパートシステムはこれらの問題を解決するために、熟練者のノウハウを計算機上に実現し、ユーザフレンドリイな知的マンマシーンインターフェイスを通して、経験、未経験を問わない不特定多数者の利用を目指した支援システムである。

このエキスパートシステムは最適化ソフトウェアと結合することによって、有効な最適化用の支援ツールとなる。以下に、エキスパートシステムの構築システム例並びに試行錯誤型システムの検証例を示す。

3.1 電気用品取締法アドバイザー

初心技術者のノウハウ不足による電気用品取締法（電取法）の見落としを避けるため、電取法エキスパートシステムのプロトタイプを、IF-THENルールを用いて構築した。図7にその画面例を示す。

課題としては、次のようなことが挙げられる。

- 1) 「エキスパートのノウハウ」の高度化
- 2) 実用性を高めるための図表の多用化

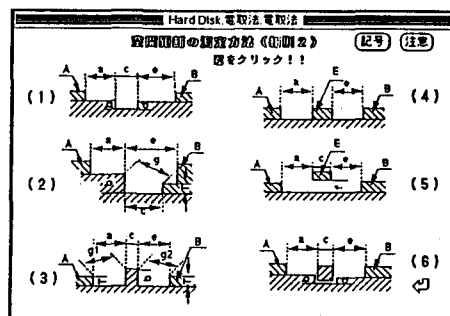
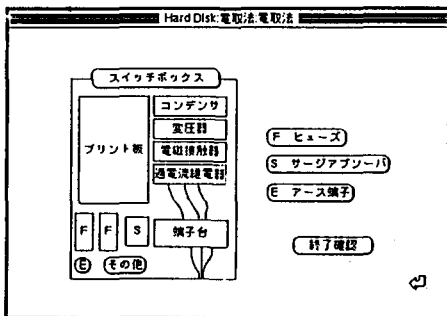


図7 エキスパートシステムの画面例

3.2 試行錯誤型システム

設計過程は「概念設計」、「基本設計」、「詳細設計」の3つに分類できる。その中の「基本設計」過程の処理内容は、「試行錯誤」的である。そこで、試行錯誤型の問題が解決可能であるかを、インパルス回路の構成部品であるパワートランジスタ容量決定を例に上げ、システムの構築を行い確認した。

図8にルールネットワークを示す。利用者はシステムからの要求に対して、製品の必要能力や電流波効率を入力しておけば良い。もし、不適当な結果が得られたら再考を促す。

しかし、専門家からの知識獲得が困難であるため、まだ反映されていない知識もあり、実用化にはさらに多くのルール、メタルールの追加の必要となる。なお、設計手順が確立されていないので、試行錯誤が必要となるが、これは、むしろエキスパートシステム化に適した性質と言える。

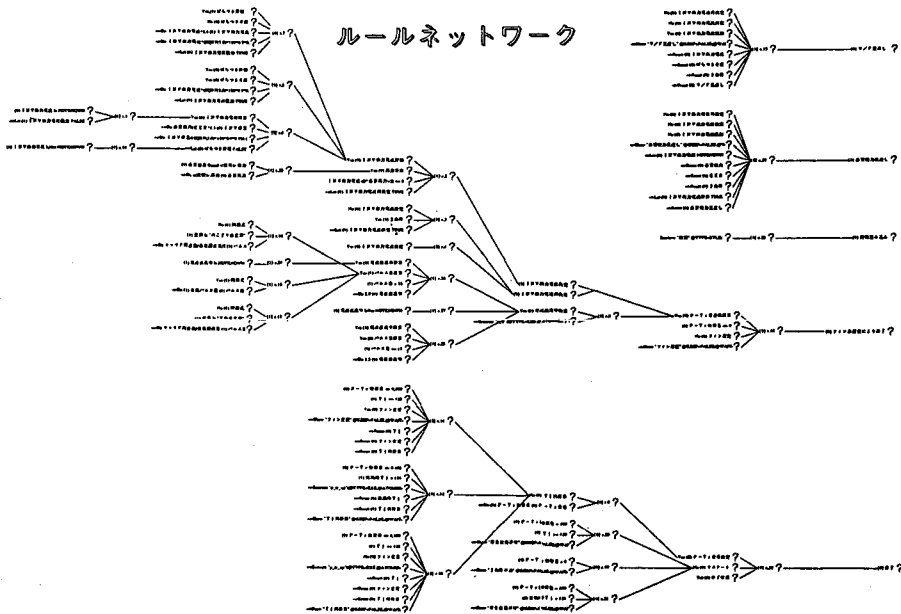


図8 ルールネットワーク

4 結 言

空調機開発におけるシステム制御の動作点最適化、および、エキスパート・システムを利用したインテリジェントCADの試みについて述べた。不特性多数の利用者を対象とした機能設計の自動最適化により、コスト・ダウン、工数の低減が図られ、開発効率の向上につながるものと考えられる。

参考文献

- 1) 伊藤宏幸, 康 倫明, 杉本博之 : 空調機開発における最適化問題
システム最適化に関するシンポジウム講演論文集, pp.35-40, 1989.