

空調システムシミュレータ“TACSS”の
設備計画への適用

Application of the “TACSS” to HVAC Systems

TACSSは、各種ビルの空気調和設備について、その方式、容量、消費エネルギー量、制御効果などを総合的かつ定量的に把握できるシミュレーションプログラムである。

本プログラムはTACSS-S、TACSS-D及びTACSS-Cの3種類のプログラムから成る。

TACSSの適用事例として、事務所ビルでの空気調和設備計画、空気調和設備設計についての事例と、店舗ビルでの空気調和設備の省エネルギー解析事例について述べる。事務所ビルについては、空気調和方式の比較検討及び冷房・暖房ピーク熱負荷計算による容量決定への過程を述べる。店舗ビルについては、空気調和設計条件の見直し、各種制御施策の実施評価を行ない、省エネルギー形新店舗への見通しについて述べる。

1緒言

空気調和設備は、一般にビル設備のエネルギー消費量の約40%を占めており、近年のエネルギー単価の高騰に伴い、省エネルギー化のニーズが、とみに強まっている。

このニーズに対応して、空気調和を空気調和方式、設備運用までを含めたシステムの見地に立って、省エネルギー効果を定量的に把握し、空気調和方式と運用の評価を行なうためのツールとして、コンピュータ利用によるTACSS(Total Air-Conditioning System Simulator：空調システムシミュレータ)を開発し、空気調和設備計画への適用を拡大しつつある。

TACSSの適用事例として、事務所ビルでの空気調和設計例と店舗ビルでの省エネルギー解析例について紹介する。

2TACSSの概要

TACSSは空気調和設備の方式、容量、消費エネルギーなどについて、総合的かつ定量的に検討・評価できるシミュレータであり、図1のような目的に利用できる。またその種類

表1 TACSSの種類と用途 TACSSは一般ビル(主に事務所ビル、店舗ビル)の空気調和設備計画時に有用なシミュレーションプログラムである。

	TACSSの種類	用 途
1	TACSS-S(Static) 空気調和設備概略設計用プログラム	(1)ピーク熱負荷計算 (2)空気調和設備概略仕様出力(設備仕様、価格) (3)空気調和方式の経済比較(設備費、運転費評価)
2	TACSS-D(Dynamic) 空気調和設備動的状態評価用プログラム	(1)居室及び空気調和設備機器の動特性把握 (2)詳細エネルギー消費量計算に基づく空気調和方式比較
3	TACSS-C(Control) 空気調和設備制御評価用プログラム	各種省エネルギー制御施策の定量的評価

注：略語説明 TACSS(Total Air-Conditioning System Simulator)

藤田興一*
奥田雅夫*
吉駒義文**
山上和夫***
田村一郎****

Kôichi Fujita
Masao Okuda
Yoshifumi Yoshinari
Kazuo Yamagami
Ichirô Tamura

は表1に示すとおり3種類に分類され、各種用途に利用されている^{1),2)}。TACSSは一般に空気調和設備の検討で次のようにS、D、Cを使い分けることができる。

TACSS-Sは、空気調和設備計画時に与えられた設計条件を入力として熱負荷計算を行ない、その結果に基づいて設備仕様を決定し、その設備での消費エネルギー量を計算する。

TACSS-Dは、TACSS-Sで決定した設備機器の実際の動き方を流量、風量、負荷率などの時間変化及び居室の温度、湿度の時間変化などについてダイナミックにシミュレートするものである。

TACSS-Cは、その設備に各種制御施策を施した場合の省エネルギー効果を、消費エネルギー量の面から評価することができる。なお、TACSS-Cは通常TACSS-Dと組み合わせて使用する。

機能の基本となる熱負荷計算法については、周期定常法³⁾をTACSS-Sに、非定常計算法³⁾(レスポンスファクタ法)をTACSS-D、TACSS-Cに採用し、従来の手法、定常計算法³⁾に比べ、より精度の高い動的な熱負荷シミュレーションを可能としている。このようにTACSSは、今後の空気調和設備設

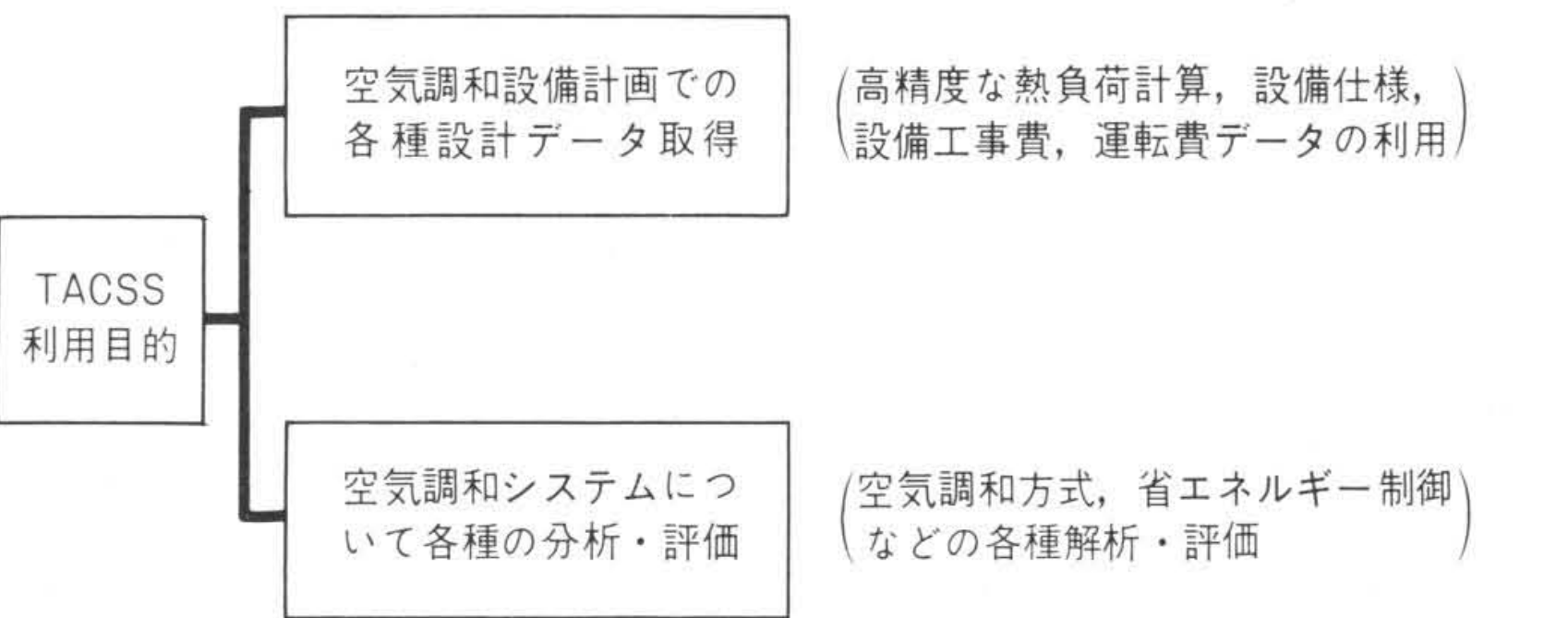


図1 TACSSの利用目的 TACSSは空気調和設備設計又は空気調和設備の動的状態などの分析・評価に利用できる。

* 日立製作所システム事業部 ** 日立製作所機電事業本部
*** 株式会社日立建設設計 **** 日立プラント建設株式会社

計には欠かせないエンジニアリングツールとして重要な役目を担っている。

3 TACSSの適用事例

3.1 事務所ビル空気調和設備設計の事例

下記ビル空気調和設備の設計で、TACSS-Sを使用したピーク熱負荷計算、その結果に基づく空気調和方式の経済比較、蓄熱槽シミュレーションによる熱源容量決定などについて述べる。

3.1.1 建築概要

- (1) 建物名称……常盤ビル(日立ソフトウェアエンジニアリング株式会社本社第2ビル)
- (2) 所在地……神奈川県横浜市戸塚区品濃町545-25
- (3) 用途……事務室、電子計算機センター、食堂
- (4) 建物規模……地下2階、地上6階、塔屋1階
- (5) 敷地面積……2,917.33m²
- (6) 建築面積……1,596.02m²
- (7) 延床面積……11,652.19m²

3.1.2 設備基本計画

このビルの特徴は、1社が全フロアを借りるテナントビルであり、事務所として用いられる。したがって、オーナー工事としての空気調和計画に際しては、一般事務所ビルとして計画した。

テナントによる特殊な使い方、例えばOA(オフィスオートメーション)機器の集中使用、計算機室として使用などの対応についてはテナント工事とし、これら工事が容易に行なえるように、スペース、シャフトへの配慮を行なっている。

計画に際しては、空気調和の質の向上、省エネルギーへの考慮及び保守を容易にするため監視の集中化を図った。

(1) 熱源計画

熱源方式としては集中方式と分散方式があるが、保守の面から集中化することとした。ただし、テナント工事として専用パッケージ形空気調和機による分散配置ができるように冷却塔の設置場所を確保した。

エネルギー源として電気とガスのどちらを用いるべきかを検討するため、空気熱源ヒートポンプとガスだき吸収式冷温水ユニットの場合について、TACSS-Sを利用し、後述のようにコストの経済的評価を行なった。この結果と操作性、保守性などの諸条件を考慮し、最終的に空気熱源ヒートポンプ方式を採用した。

また、監視室、警備室など負荷の一部に24時間空気調和を必要とする部屋があることと、冷凍機の運転効率を高めるために蓄熱槽を設け、省エネルギー化を図ることを考慮した。

(2) 空気調和計画

一般事務所スペースには南側と北側に各々ペリメータゾーンを設け、VAV(可変風量空気調和方式)の採用により、外気による熱負荷の変動を調和空気の送風量を変えて吸収し、温度分布を良好にした。また、空気調和機はペリメータ処理用、インテリア処理用各々1台を各階に設け、各階ごとに温度制御を可能にしてある。空気調和機には除塵用フィルタを設け、ビル管理法の許容基準を満足させるとともに、外気取入れには全熱交換機を用いて省エネルギーを図った。

監視室、警備室、食堂及び管理事務室にはファンコイルユニット又は空気調和機を各々の部屋用に設け、空気調和条件の違い、使用時間帯の違いに応じられるように単独系統とした。

保守を容易にするため、各空気調和機器の発停及び運転、故障表示を監視室で集中監視制御ができるようにした。

3.1.3 空気調和方式の検討及び空気調和設備設計

(1) TACSS-S入力条件

TACSS-Sシミュレーションを実行するための入力条件として、設計外気条件、室内設定温湿度、建物構造条件、居室の人員・照明器具などの熱負荷条件、空気調和系統条件、空気調和設備の運転条件などが必要である。まず、建築図面からの計測データ及び顧客計画での諸条件により入力データを設定した。なお、未定の入力条件については、事務所ビル用標準データを設定した。

(2) 空気調和方式比較

TACSS-Sを実行すると、図2に示すような熱負荷シミュレーションを行ない、空気調和設備仕様を決定し、設備費と運転費が得られる。空気調和方式の比較検討のために、熱源の種類を変えた場合の設備費と運転費を求め経済比較を行なった。熱源方式としては、基本計画のとおり集中方式とし、熱源の種類は取扱いが容易でかつ専用スペースを小さくできる冷暖房共用形のヒートポンプ方式とした。またエネルギー源は、電気又はガスを利用することにし、空冷ヒートポンプチラーユニット(蓄熱槽あり)と、ガスだき冷温水ユニットの二とおりについて比較した。TACSS-Sランの結果、表2に

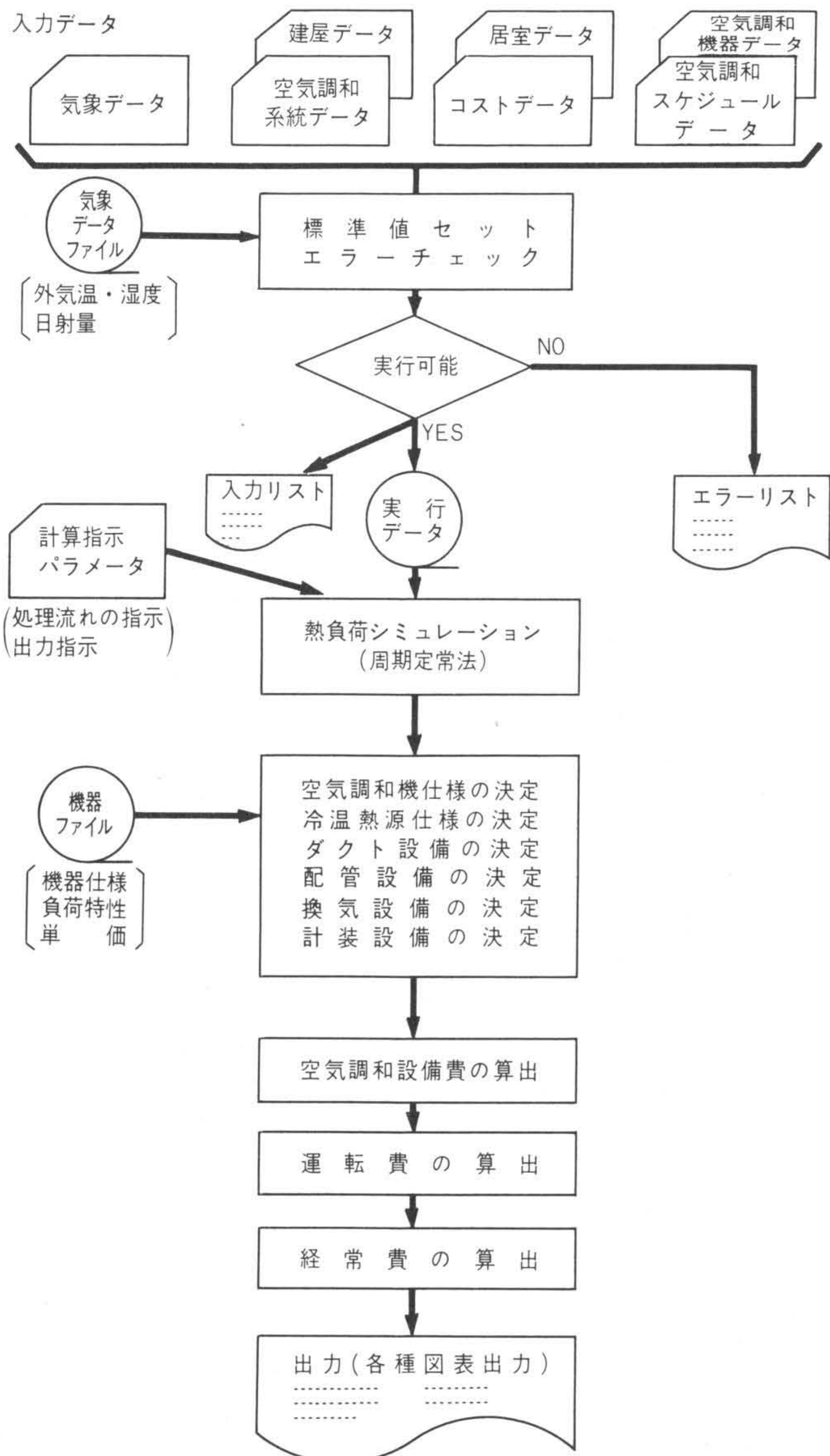


図2 TACSS-Sの処理概要 TACSS-Sの出力は、入力データ、出力データとも編集のうえ、漢字プリンタで図表出力している。

表2 熱源方式比較(指数比較) 設備費は、空気調和設備機器費と工事費の合計であり、運転費は年間の消費エネルギー費(電気、ガス、水)である。

No.	方 式	設備費	運 転 費
1	空冷ヒートポンプチラーユニット (蓄熱槽あり)	100	100 (12,721,000円/年)
2	ガスだき冷温水ユニット	143	128 (16,316,000円/年)

(昭和58年)

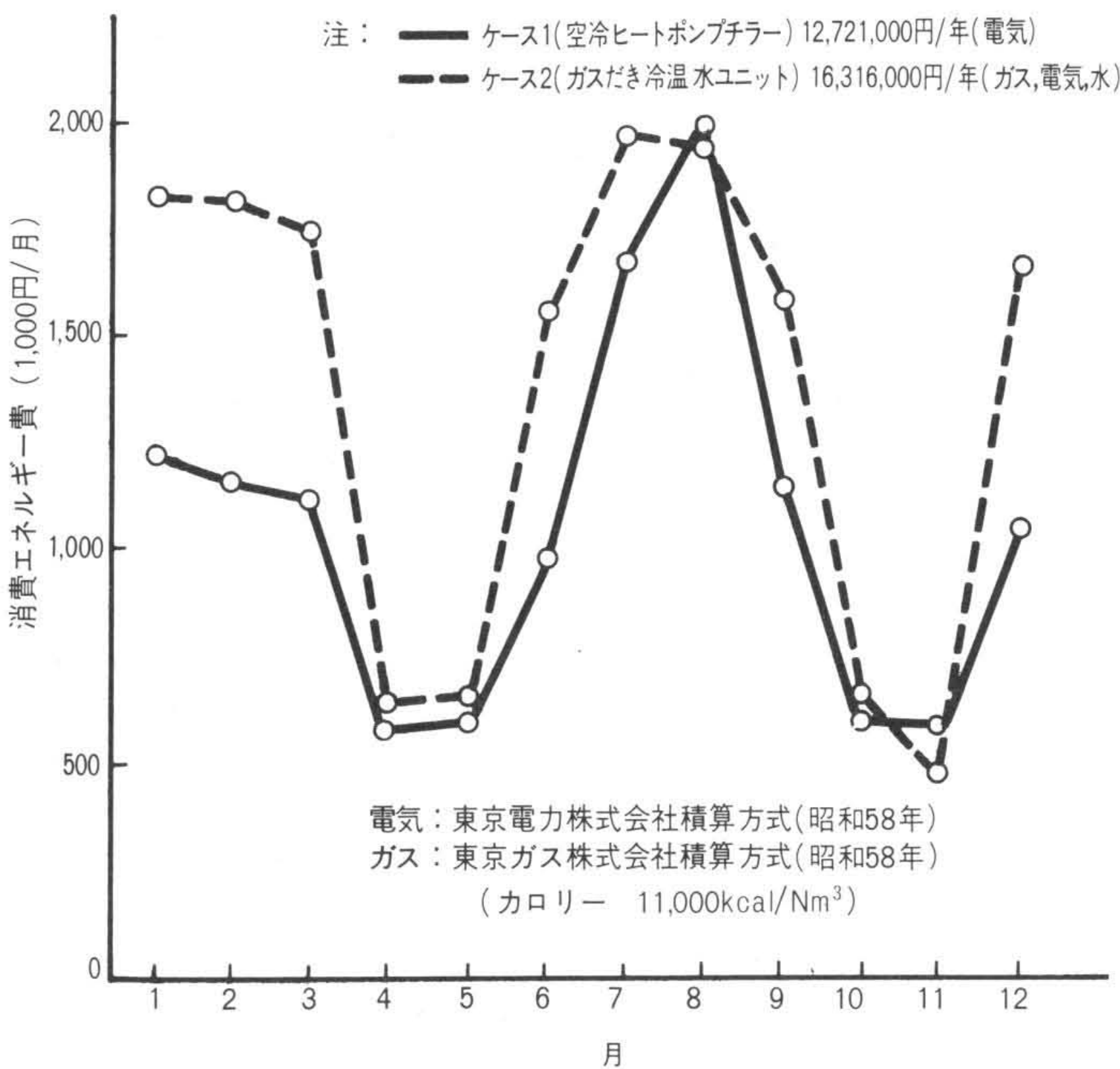


図3 TACSS-Sによる消費エネルギー費比較 消費エネルギー費は、熱源、空気調和機、補機類及び換気設備の消費エネルギー量を費用換算したものである。

示すとおり空冷ヒートポンプチラーの場合が設備費、運転費とも優れるという結果を得た。運転費については、図3に示すとおり、二とおりの各々毎月の空気調和設備消費エネルギー費をシミュレーションし、年間合計により比較した。空冷ヒートポンプチラー方式のほうが、蓄熱槽利用による熱源容量の低減と夜間電力利用による蓄熱運転が大きく影響し、蓄熱槽工事費を考慮しても経済的に有利であることが確認できた。なお、蓄熱槽は地下二重スラブを利用するもので、工事費としては断熱防水工事費がほとんどである。

以上のシミュレーション結果に、機器の取扱い及び保守の容易性を考慮すると電気式のほうが有利であり、最終的に空冷ヒートポンプチラーユニットによる電気式の熱源方式を採用した。

3.1.4 TSCSS-Sピーク熱負荷シミュレーションによる設備容量決定

熱源方式検討時のランでのピーク熱負荷計算結果から、空気調和設備機器の仕様を決定する。冷房ピーク日の熱負荷パターン結果を図4に示す。

熱源容量を決めるに当たって、まず冷房ピーク値と暖房ピーク値を比較すると、冷房ピーク値のほうが絶対値が大きいので、冷房ピーク計算をもとに熱源容量を決定する。次に、図4で全熱交換機使用による取入れ外気負荷の低減分を検討

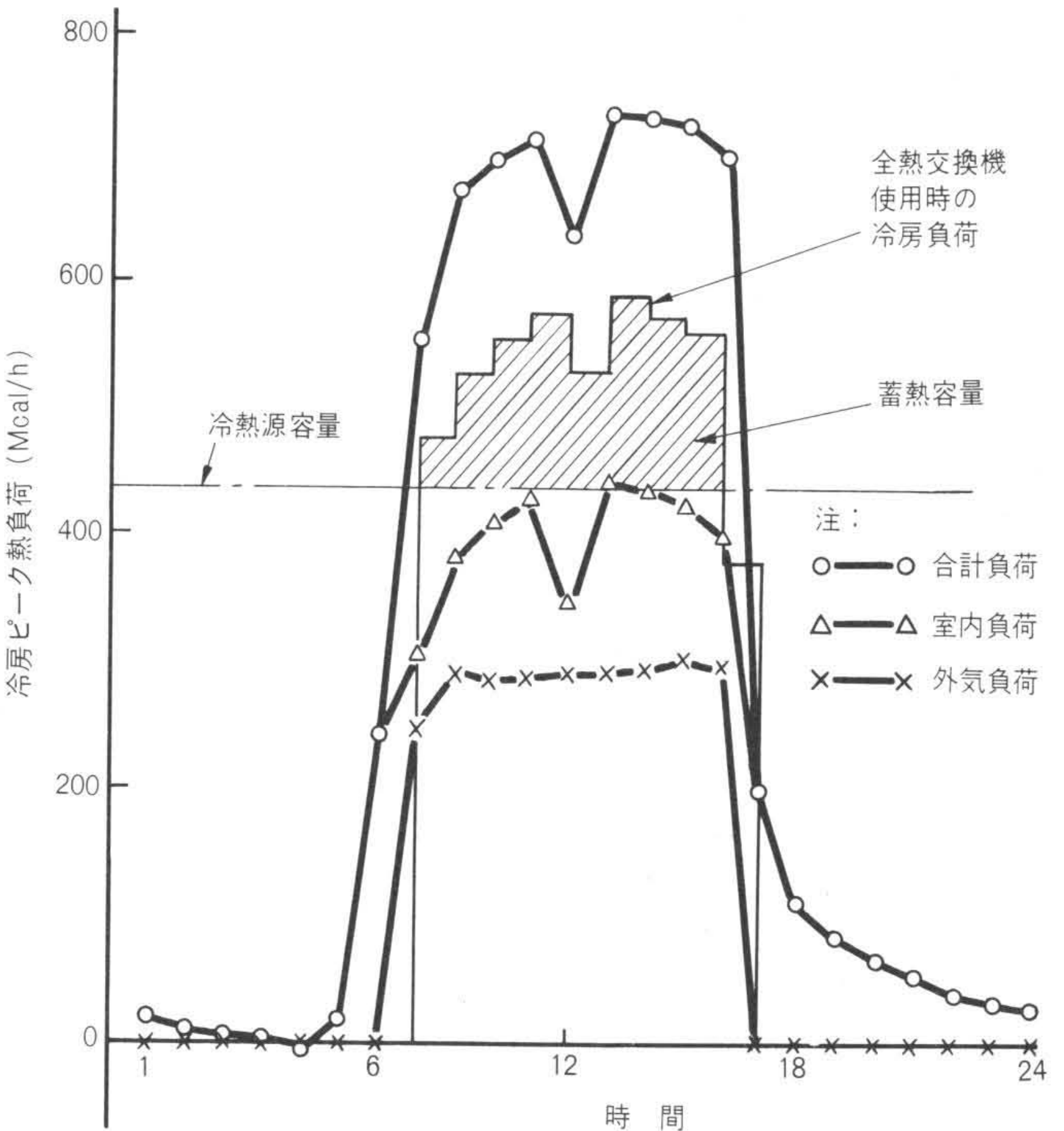


図4 TACSS-Sによる冷房ピーク日の熱負荷変化 冷房ピークは13時台となり、うち、室内負荷60%、取入れ外気負荷40%である。

する。今回の使用条件として、取入れ外気量と室内排気量の比が1.6となり、その状態における熱交換率は56%である。よって、取入れ外気負荷が56%低減される。この低減を考慮した負荷パターンは同図に示すとおりである。

蓄熱槽についてはシミュレーション結果から、最適水容積483m³、ピークカット率43.1%、運転時間16.1時間/日という結果が得られたが、本ビルの構造上、水容積が300m³しか得られないため、図5に示すとおり計算を実行した結果、熱源容量は439.6Mcal/h必要となることが判明した。この結果と熱源の経年変化を考慮し、空冷ヒートポンプチラーユニットは、100HP(240Mcal/h)、120HP(266Mcal/h)各1台と決定した。

各階の調和機についてもシミュレーション結果から容量を決定した。以上から決定した空気調和系統図を図6に示す。

冷熱源機器選定

$$Q_C = \frac{Q_{DC} - Q_{WH}}{T} \times 1,000$$

ここに Q_C : 冷熱源容量 (kcal/h)

Q_{DC} : 1日の冷房熱負荷 (Mcal/d)

Q_{WH} : 蓄熱槽保有熱量 (Mcal/d)

$$Q_{WH} = v \cdot \Delta t \cdot \eta v$$

v : 蓄熱槽水量 (m³)

Δt : 基準利用温度差 (°C)

ηv : 蓄熱槽効率

T : 空調時間

$$Q_C = \frac{4,811 - (300 \times 5 \times 0.95 \times 0.6)}{9} \times 1,000$$

$$\approx 439,600 \text{ kcal/h}$$

図5 熱源容量決定の計算 蓄熱槽は、槽の利用効率を上げるため完全混合形とし、連通方式は配管成層形とした。

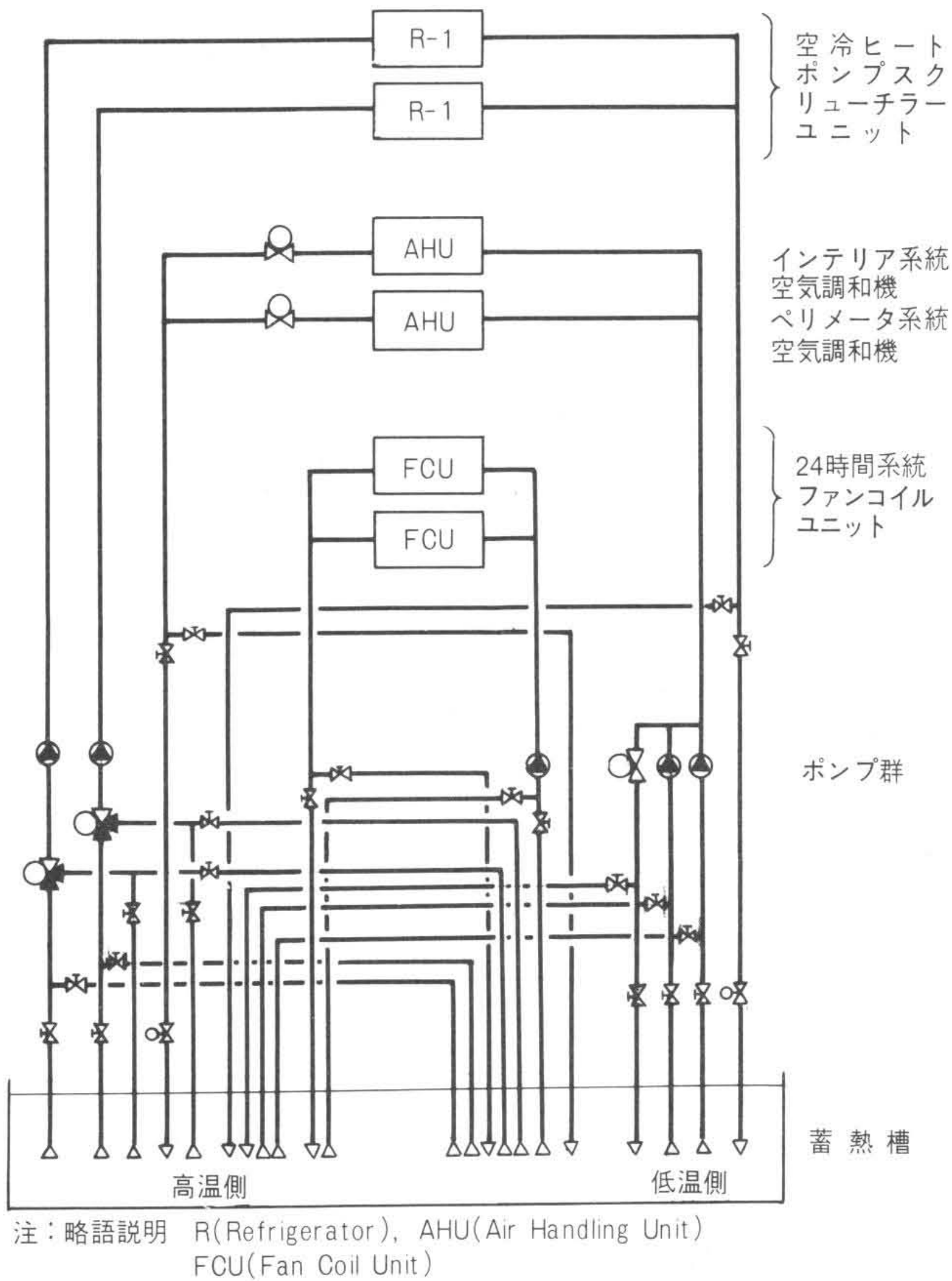
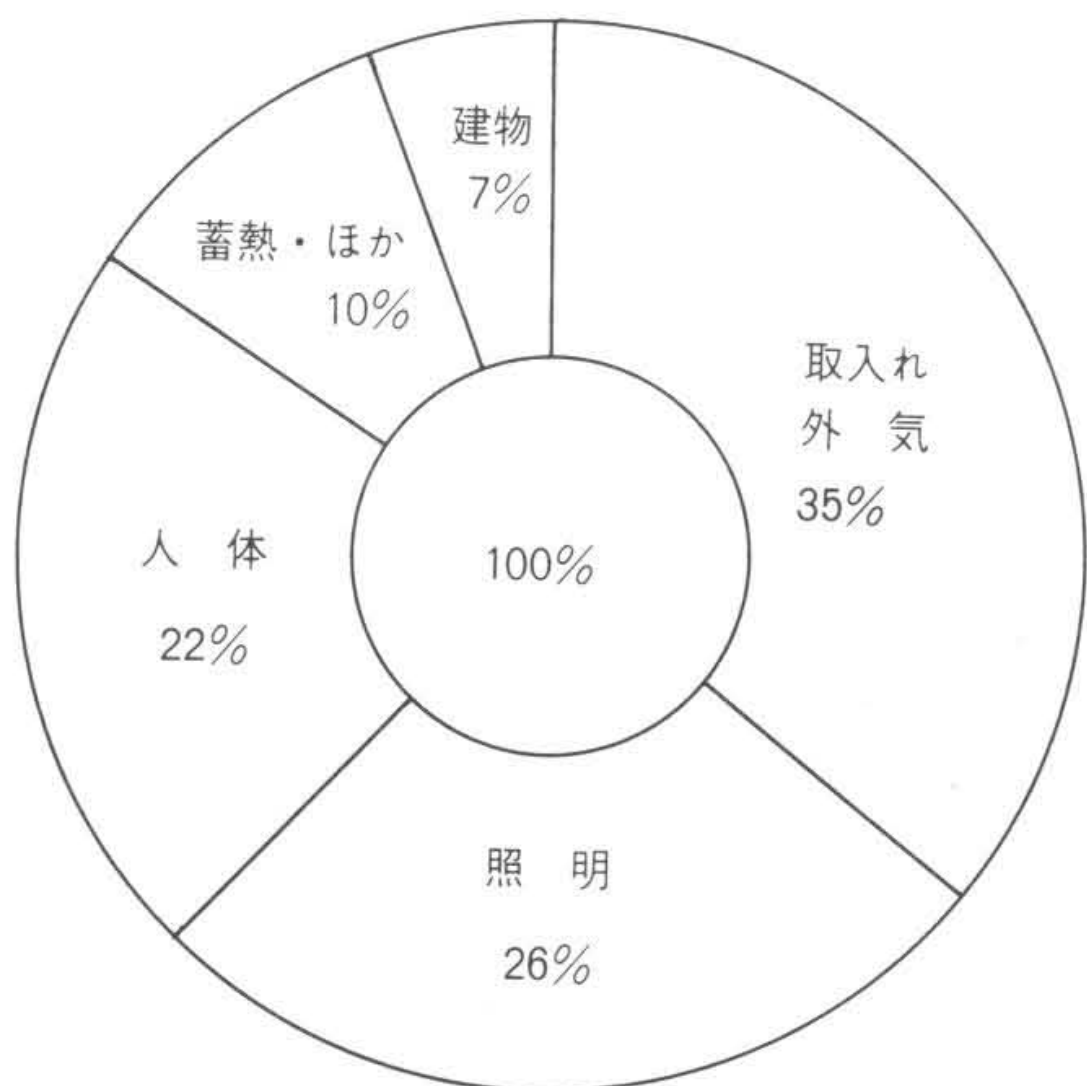
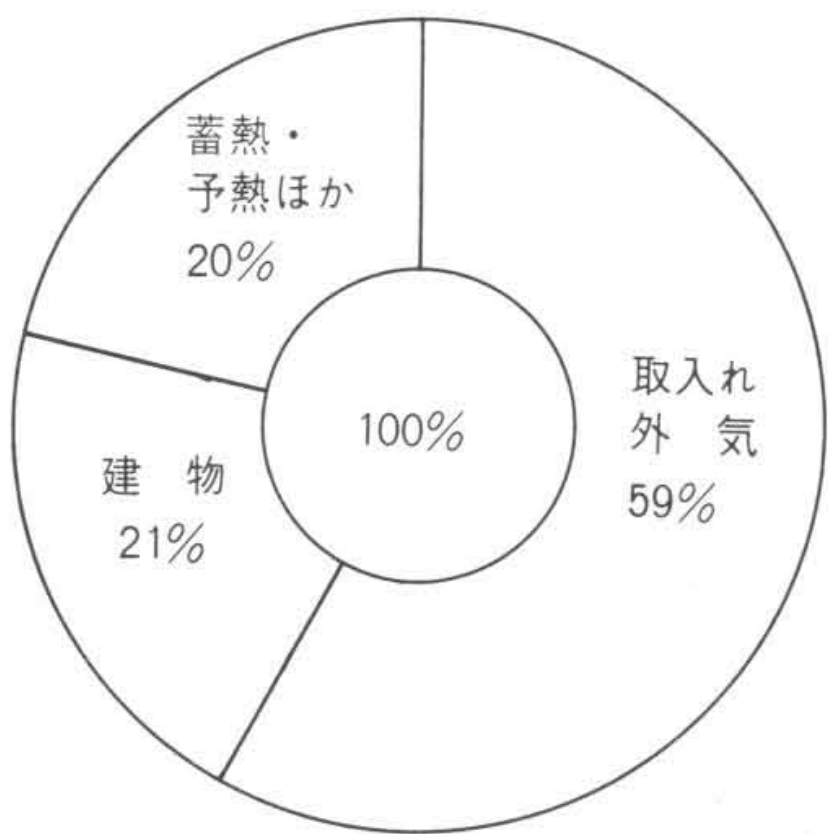


図6 空気調和設備系統図 熱源系統、空気調和機系統に各々冷温水ポンプを設け、個別に流量制御を行なう。



(a) 冷房ピーク負荷



(b) 暖房ピーク負荷

図7 現設計条件による冷暖房ピーク熱負荷内訳 冷房ピークは15時台、暖房ピークは10時台となる。暖房ピーク熱負荷値は冷房ピークの55%である。

3.2 店舗ビル省エネルギー解析の事例

TACSSを利用した省エネルギー解析の事例として、Aスーパーマーケットで実施した場合について述べる。

店舗の省エネルギーについては、建設省での省エネルギー設計基準〔PAL(Perimeter Annual Load), CEC(Co-efficient of Energy Consumption for airconditioning)〕の制定及び規制の動きがあり、またスーパーマーケット業界では、店舗の設備建設コスト、運転コストの低減が重要な課題となっている。

3.2.1 前提条件及び実施手順

本事例はAスーパーマーケットの既設店舗(延床面積1万3,000m²、ターボ冷凍機使用の各階空調方式)をモデルとし、エネルギー消費量を現状より30%低減、及び設備建設コスト低減を目標として各種方策の解析・評価を実施したものである。

モデル店舗について、主にインシヤルコストに影響する建物条件、環境条件、内部発生熱条件の解析・評価についてはTACSS-Sを使用し、主にランニングコストに影響する空気調和方式、運転・制御方式の解析評価についてはTACSS-D、TACSS-Cを使用した。

実施手順は、モデル店舗の現状調査(現設計仕様と現状運転条件の把握)に基づき店舗のモデル化を実施し、次にそのモデルに各種省エネルギー施策を施した場合の評価について、まず各施策ごとの感度解析を実施し、最後に省エネルギー効果の大きい施策を組み合わせた場合を総合的に解析・評価した。

3.2.2 現状のモデル化

モデルでの現空気調和設計条件によるTACSS-Sピーク熱負荷計算結果は図7に示すとおりである。冷房負荷内訳での取入れ外気、照明、人体による負荷で全体の83%を占める。熱源容量を低減させるためには、この3項目を中心に設計条件を見直す必要がある。建物からの負荷は全体の7%と小さく、店舗では、内部発生熱と人体にリンクした取入れ外気による負荷が大きいことが分かる。

空気調和のランニングコストについては、このモデルでの冷房時の電力消費と暖房時のA重油消費を評価した。TACSS-Dのシミュレーション結果、図8に示すとおり、ターボ冷

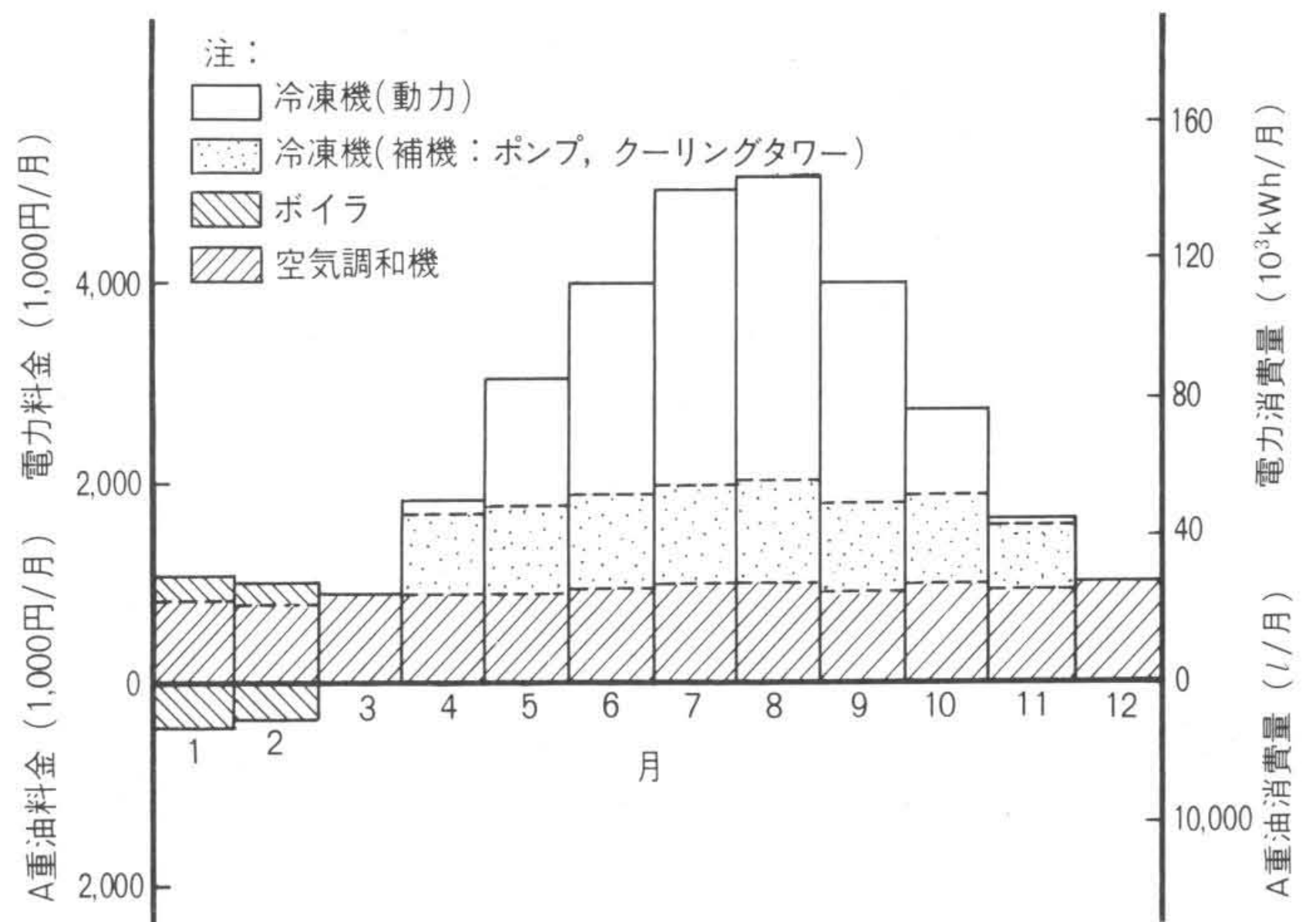


図8 現運転条件による空気調和用エネルギー消費コスト 冷房期間は4月～11月、暖房期間は1月～2月である。3月、12月は空気調和機による換気運転だけである。

表3 総合省エネルギー施策の検討実施項目 各種省エネルギー施策の中から、店舗で効果があると考えられる施策を選択した。

No.	検 討 項 目		内 容
①	建物仕様	壁体及び窓の仕様変更	外壁の構造変更、窓ひさしの設置など
②	店	照明負荷の仕様変更	必要照度の見直し、省エネルギーランプの採用など
③	内熱負荷	人体負荷、取入れ外気の仕様変更	現状の人体密度・スケジュールに応じた取入れ外気量を設定する。
④		ショーケース負荷の仕様変更	ショーケースの漏れ冷気を回収する。
⑤		設定温湿度の見直し	店内夏季28℃、50%(27℃、60%)、冬季18℃、40%で設定する。
⑥	空気調和方式・制御方式	熱源の台数制御	熱源を2～3台に分割し、台数制御を実施する。
⑦		外気冷房制御	中間季に外気冷房を実施する
⑧		冷水送水温度設定制御	空気調和機の負荷率より冷水出口温度を制御する。
⑨		空気調和機可変風量制御	空気調和機ファンの回転数制御を実施する(間欠運転制御)。

凍機関連の電力消費と空気調和機の電力消費がランニングコストの大部分を占めることが分かる。店舗の特徴として、冷房運転が多く、冷房時のエネルギー消費が大部分であり、暖房運転による消費は少ない。すなわち、冷房設備に対する省エネルギー施策実施の効果が大きいことが分かる。

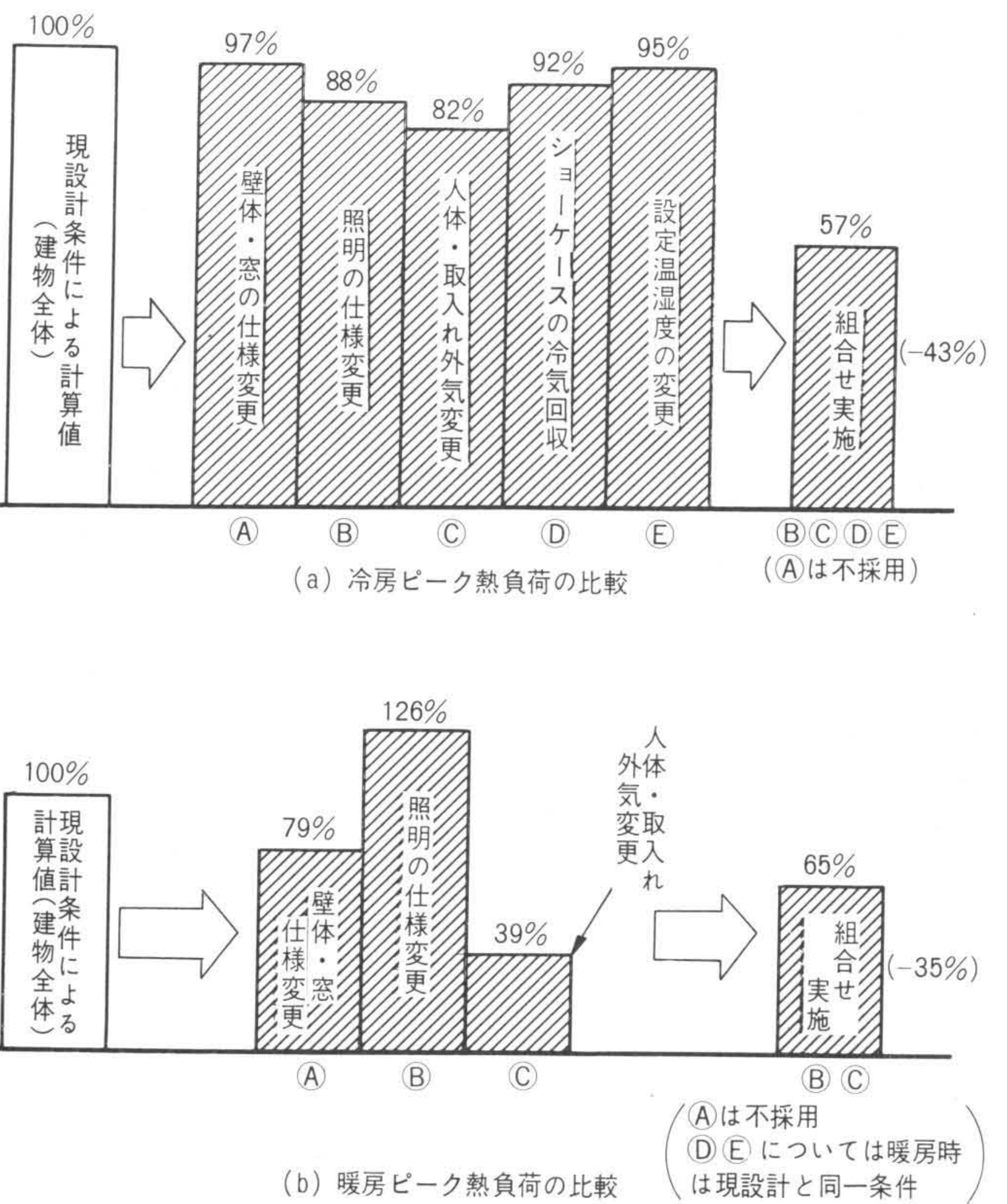


図9 冷暖房ピーク熱負荷の低減効果 照明密度の見直しにより、冷房時は負荷低減効果があるが、暖房時は照明の暖熱源としての効果を弱め負荷は増大する。

3.2.3 省エネルギー制御施策

本モデルに適用した省エネルギー施策は、店舗の特徴に着目し、店内発生熱に関する条件、冷房設備に対する制御施策を中心に設定した。表3にその一覧を示す。本店舗の設計条件は、人体密度、照明密度の設定値が大きく、その見直しが必要である。本モデルでは現状調査を実施し、省エネルギー施策に応じた設計条件を設定した。

3.2.4 省エネルギー可能量のシミュレーション結果

(1) ピーク熱負荷の低減

図9は空気調和設計条件(①～⑤)を実施した場合のピーク熱負荷の低減効果結果を示す。各条件の感度解析の結果、人体密度、取入れ外気量及び照明密度の設定値見直しによる効果が大きい。壁体からの負荷は、外壁の断熱を強化しても効果が少ない。特に店舗の場合、内部発生熱が大きいため、外壁の断熱を強化すると夜間空気調和停止時、内部熱の放出が促進されず蓄熱負荷として残り、空気調和立上げ時の負荷を増大させてしまう。

以上の施策を組み合わせた結果、冷房ピーク43%低減、暖房ピーク35%低減となった。外壁については前述の理由により組合せ時採用していない。組合せの総合効果は②～⑤の各施策間相互の関連がないので、効果を単純加算したものとなる。

(2) 消費エネルギー量(空気調和用電力消費)の低減

現設計条件のモデルでの消費エネルギー量に対して、⑥～⑨の制御施策を施した場合の低減効果を図10に示す。間欠運転制御は、空気調和機にだけ着目すると26%の低減効果が得られたが、この制御は空気調和機が停止したとき外気冷房効果が落ちるので、冷凍機動力は12%増加してしまい、差し引きトータルで3%の増加となった。本制御を実施する場合は外気冷房制御との相互の関連性を考慮した制御が必要である。これらの制御を組み合わせる実施した結果、47%の総合省エネルギー効果が得られた。なお、本効果は施策②～⑤の実施を含めての効果である。以上の比較を熱源について月ごとに電力消費量を計算したのが図11である。エネルギー消費コストは年間で、現設計に比較し、省エネルギーモデルは42%減となった。

(3) 空気調和機間欠制御と外気冷房制御との運転コントロール

前述のように、空気調和機間欠運転制御と外気冷房制御は

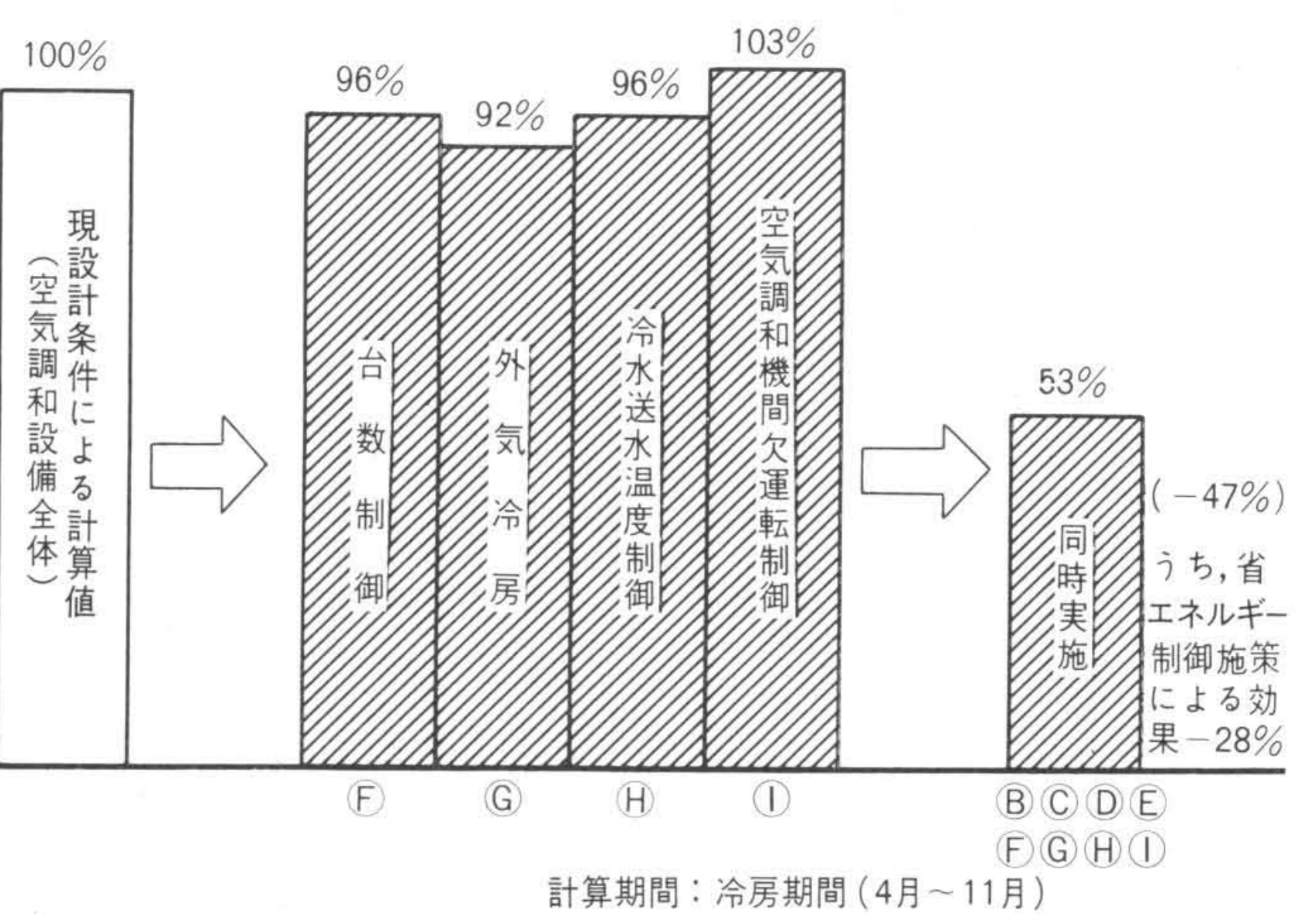


図10 空気調和用電力消費量の低減効果 台数制御は、冷凍機は2台とし実施した。温度制御は過負荷となるまで、冷水送水温度を7℃から上げていく制御である。

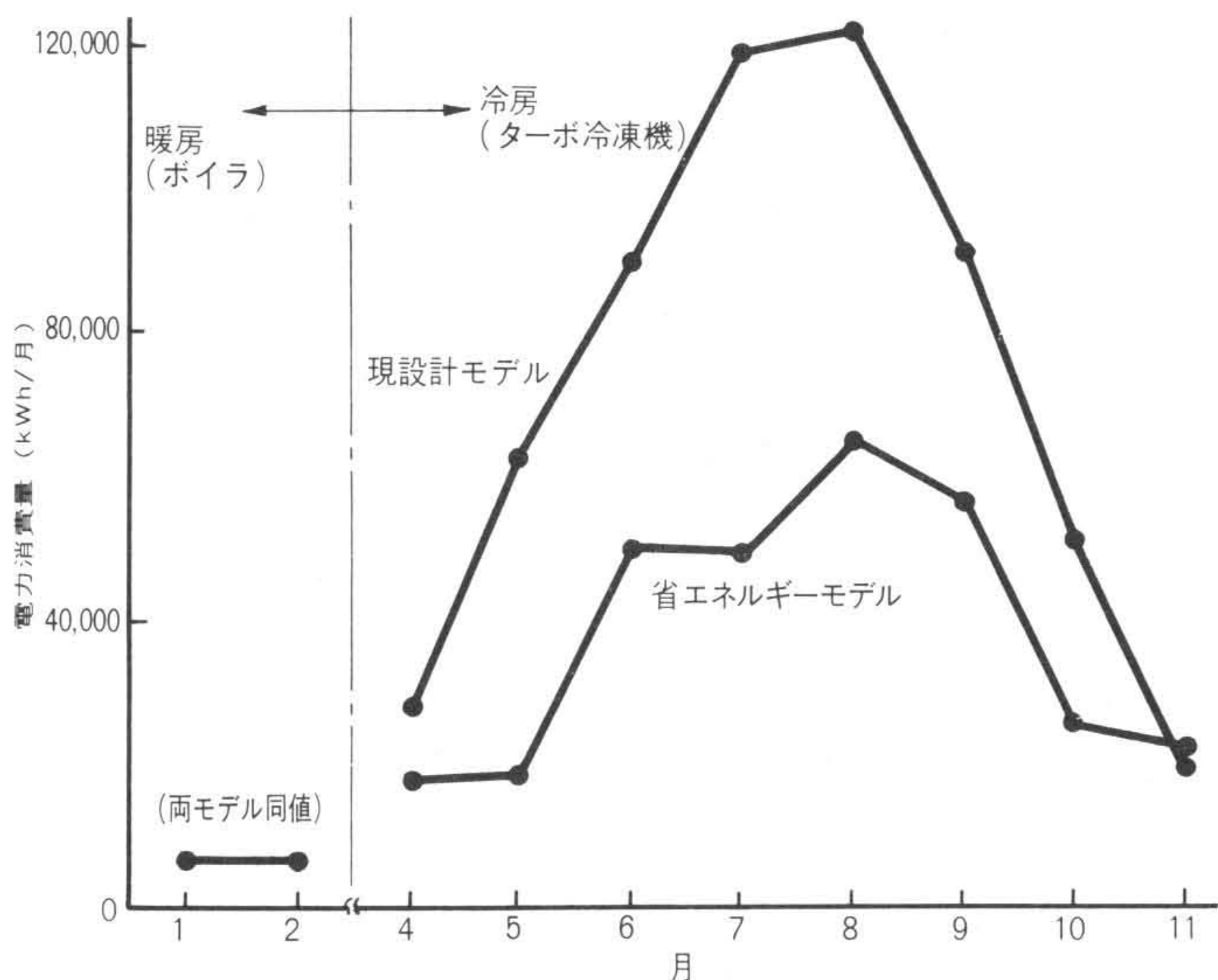


図11 熱源の電力消費量月別推移 省エネルギーモデルは、前図10の制御施策を組み合わせで実施した場合である。

相反する制御となる。すなわち外気冷房が実施できるとき、このまま風量制御を実施すると風量が抑えられ外気冷房の効果が減少し、冷凍機の負荷が減らないことになる。そのため外気冷房実施時は、外気冷房を優先的に行なう判断機能が必要となる。この判断を行なうための判定式を図12に示す。(1)式はある負荷の冷房を行なう場合、外気冷房が得か、冷凍機を動かすほうが得かという考えに基づいている。(1)式を外気冷房実施の判定式とする。すなわち、 $\delta_i < \frac{\alpha}{\beta}$ の場合は冷凍機運転及び空気調和機間欠運転を実施し、外気冷房は行なえない。 $\delta_i > \frac{\alpha}{\beta}$ かつ最大外気熱量 $Q_{Amax} = G_{Amax} \cdot \delta_i$ で $Q_{Amax} < Q_R$ (室内負荷) の場合、冷凍機運転及び外気冷房運転が併用できる。更に、 $\delta_i > \frac{\alpha}{\beta}$ かつ $Q_{Amax} > Q_R$ の場合、完全外気冷房ができ冷凍機は停止し、空気調和機運転だけで冷房が実施できる。

図10での制御施策組合せ時は、TACSS-Cにこのロジックを付加し総合評価を実施した。

3.2.4 省エネルギー施策の総合評価

モデル店舗での現状の設備設計基準及び運転条件を見直し、

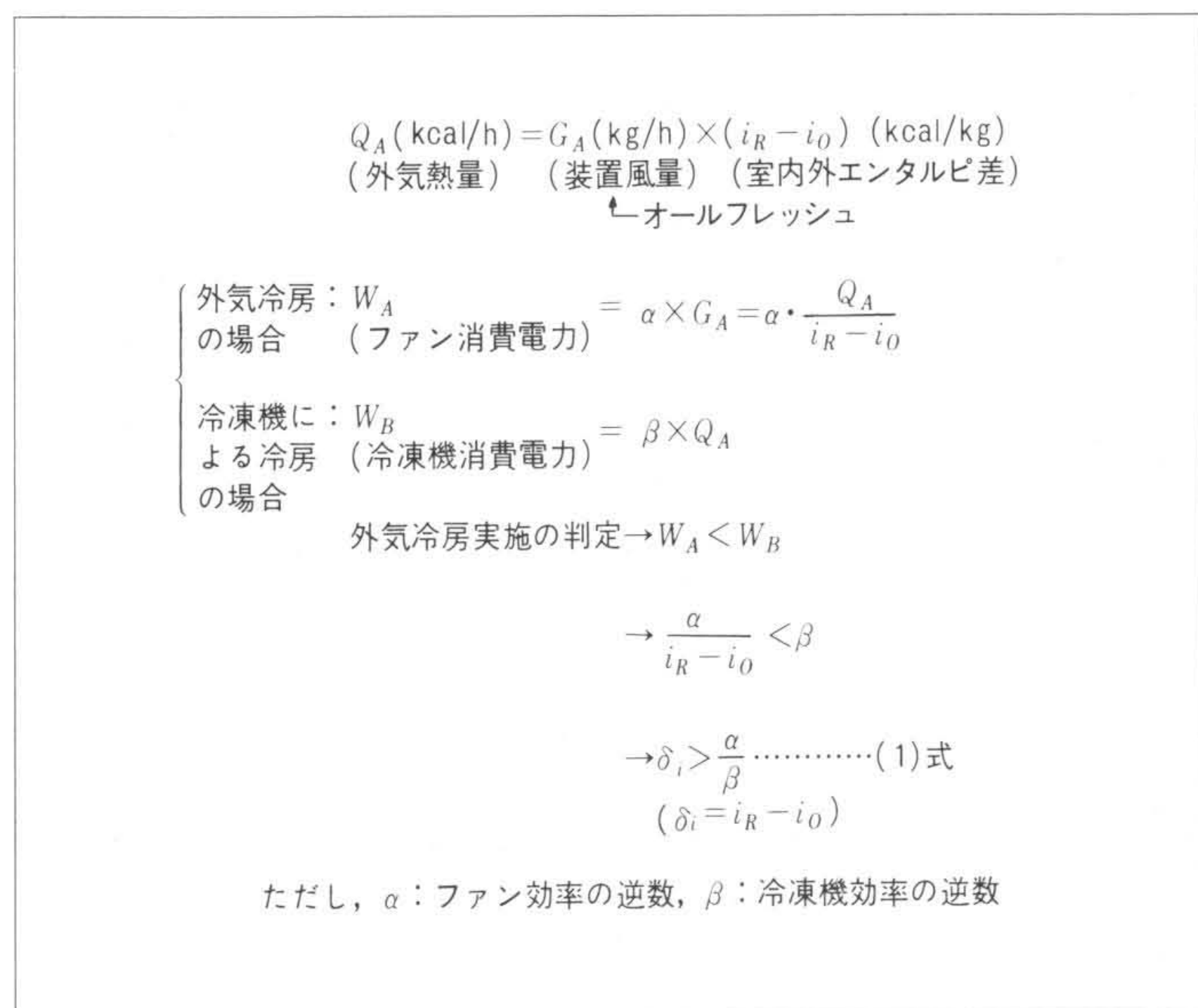


図12 外気冷房実施の判定式 本式により、冷凍機運転制御及び外気ダンプの開度制御を実施する。

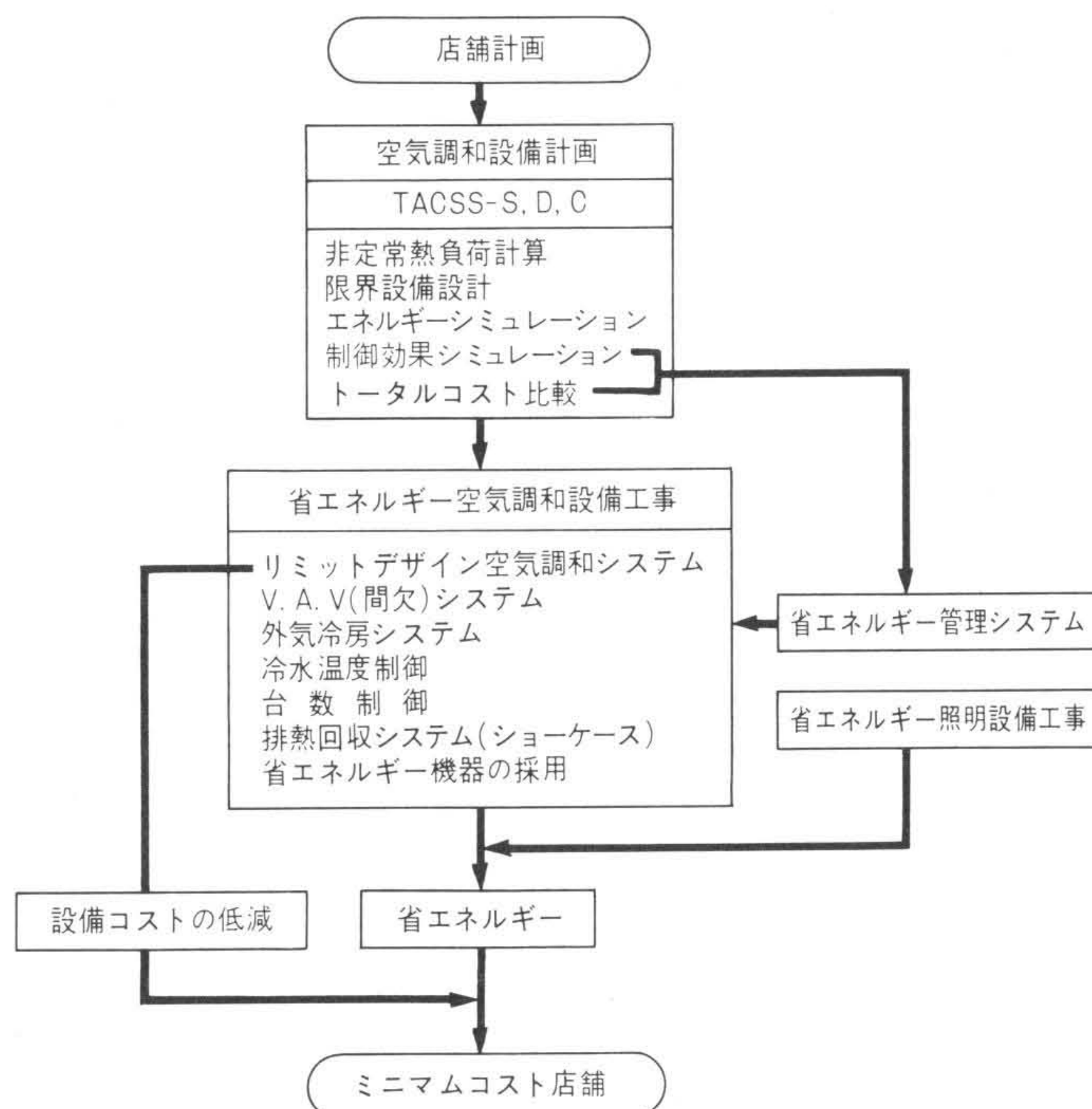


図13 省エネルギー店舗計画での設備計画 ミニマムコストとするには、各種設計条件の見直し及び運転制御施策の実施が必要である。

省エネルギー設計基準、運転制御施策を設定してその効果を把握した。有効な制御施策の組合せ及び省エネルギー設計条件を採用することにより、運転費39%の低減、設備建設費19%の低減が可能であることを確認できた。

今後は、店舗の各種設備を総合監視制御する店舗総合省エネルギー管理システムの実用化、及び省エネルギー設計基準に基づいたローコスト設備工事の実施が望まれる。図13に省エネルギー形新店舗を実現するときの設備に対する総合的な考え方を示す。

4 結 言

空調システムシミュレータTACSSの概要とその適用事例を挙げ、空気調和設備設計へのTACSSの適用方法と検討過程について述べた。TACSSは空気調和設備設計で、(1)イニシャルコストとランニングコストを考慮したトータルコストによる経済比較、及び(2)空気調和設備容量決定についての最適設計、更に(3)各種制御施策の実施での解析評価、が実現でき、また設計の省力化を図るエンジニアリングツールとして非常に有用なものである。

今後、TACSSを活用し、新しい空調方式、新しい機器を使用した場合の評価が、いっそう容易に実現できるようにメンテナンスを重ね、更に各種のビル形態に対する空気調和設備計画・設計に適用できるように努めたい。

参考文献

- 1) 西村、外：空調システムダイナミックシミュレータ“TACSS”、日立評論、62、2、129～134(昭55-2)
- 2) 日立製作所：空調システムシミュレータ、設備とシステム、41、4(昭54-2)
- 3) 空気調和・衛生工学会編：空気調和・衛生工学便覧Ⅱ巻空気調和編、第10版(昭56-4)