



Title	事務所建築における省エネルギー計画手法に関する研究
Author(s)	酒井, 寛二
Citation	大阪大学, 1985, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/1830
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

事務所建築における
省エネルギー計画手法に関する研究

昭和60年5月

酒 井 寛 二

事務所建築における
省エネルギー計画手法に関する研究

昭和60年5月

酒井寛二

目 次

結論	1
—本研究の目的・意義と構成—	3
第1章 既往研究からみた本研究の位置づけ	5
第1節 空調設備分野の研究状況	6
第2節 照明設備分野の研究状況	10
第3節 その他の設備分野の研究状況	11
第4節 建築デザイン分野の研究状況	12
第5節 総合的な研究の状況	13
第6節 要約	14
第2章 省エネルギー建築の計画法に関する研究	15
第1節 熱経済性ベクトルによる省エネルギー建築計画手法	15
第2節 システムシュミレーション手法	32
第3節 ソーラーシステム概算評価法	55
第4節 要約	67
第3章 省エネルギー建築の要素手法の開発と適用に関する研究	69
第1節 昼光利用と窓面積と空調負荷	70
第2節 ダブルスキンの熱特性	78
第3節 反射装置を持つ太陽エネルギー利用システムに関する研究	90

第4節	要約	106
第4章	建築物のエネルギー消費量の実態調査に関する研究	108
第1節	事務所建築物のエネルギー消費量の実態	108
第2節	店舗、病院、ホテル、学校等施設のエネルギー消費量の実態	115
第3節	各種エネルギー源および上下水道料金の上昇率に関する調査	116
第4節	要約	122
第5章	省エネルギー計画手法の検証と評価に関する研究	124
第1節	省エネルギー計画の実施例	124
第2節	実施建築物の利用実績	147
第3節	要約	173
	総括ならびに結論	175
	引用・参考文献	180
	謝辞	191

以上

緒 論

省エネルギーの必要性は、資源面と同時に環境面からも重要であり、かつ急務である。

まず資源面からの必要性は、すでに1973年に発生した『第一次オイルショック』、ならびにそれ以降続発した原油価格の急上昇で明らかなように、我々が最も依存しているエネルギー資源である原油が、もう数十年分しか残されていない点からである。石油に代替するエネルギー資源の開発は、各国で精力的に行われているものの、コスト的に成立するものが少なく、また核融合は実用化までまだ数十年を要すると見込まれている。

以上の理由から、我々は次のエネルギー資源が開発されるまで、当分の間は石油資源を利用せざるを得ない。そこで限りある資源を、少しでも寿命を延ばして利用するために、省エネルギー化が必要である。

次に環境面からの必要性であるが、我々が使ったエネルギー資源は、熱力学の第一法則、ならびに第二法則に従って、最終的には全量が廃熱として地球上に放出される。人類が消費するエネルギー量が少ないうちは、この廃熱密度が、自然状態の太陽からの入射熱密度に比して著しく小さいので、巨視的にみると周囲環境に大きな影響を与えることはない。しかし近年の大都市や工業地帯のように、多量のエネルギーを局所的に密集して消費すると、熱拡散が追いつかず、その地域だけ気温が上昇するいわゆるヒートアイランド現象が発生しつつある。

我々が今後も消費エネルギー量を増加させ続ければ、このヒートアイランド現象はさらに拡大し、国全体としての異常気象を誘発させるとみられており、さらに地球全体で見ると、気温が上昇して極地の氷が溶けだし、海水面が数十m上昇して、多くの大都市が水没すると予想する説もある。これらの説には異論も多々あるようだが、少なくとも誤りであることが確証されるまでは、我々はエネルギー消費量の増加を抑えるべき時期に来ていると考えられる。

以上の理由から、我々はたとえ石油に代わるエネルギー資源を開発できても、エネルギー消費量を増加させないことが大切であり、省エネルギー化を図って生じた余剰のエネルギーを、より良い社会の建設に活用することが必要であろう。

さて、日本のエネルギー消費量は、1982年は 3.6×10^{15} kcalであった⁽¹⁾。その内訳をみると、約13%は住宅で、そして約13%が住宅以外の事務所等の建物で消費されており、合計の約26%は建物内の環境維持や、給湯、機器類の運転等に使われていることとなる。一方このような建築関連分野の省エネルギー化は、本研究で後述するように、エネルギー消費量を1/4ぐらいにまで低減させることも可能であり、他の火力発電所の発電効率向上や、自動車の燃費の改善に比して、大幅な改善が可能である。以上の理由から、建築の省エネルギー化の研究は、日本全体が消費するエネルギー量を節減するのに、極めて効果が大きく、また実現可能と言える。

このように、建築の省エネルギー化は、社会的に意義あるものにもかかわらず、実際に建設されている建物の多くが、それほど大幅に省エネルギー化されていないのが実情である。この理由としては、事務所等の建物については、技術的に次の3項目があげられる。

- (1) 建物を設計するには、建築デザイン、構造、空調・衛生設備、電気設備と4種類の異なる分野の技術者が共同作業しなくてはならないが、省エネルギーに対する共通の認識や、共通の評価法がなかった。
- (2) 省エネルギー建築が実際に建設されるためには、一般の商業建築であれば、省エネルギーをした方が経済的に有利である証明が必要となる。このことに関する立証は不可能ではないが、省エネルギー化の意志決定を支援する材料が、技術的裏付けのもとに、効果的に作成されていなかった。
- (3) 新しい省エネルギー手法を考案しても、それが実際に予測されたほどの効果が上がるのか、検証してみる必要がある。建築の場合には、工期が1~2年と長く、かつ竣工後1年以上の運転経過後でないとならば効果が実証できない。すなわち立案してから、その効果が検証されるまでに数年間を要し、技術改善のテンポがおそくならざるを得ない。

以上に述べた3項目の内、前の二者について有効な解決方法が開発され、そして第三項の実施物件への適用と検証がなされれば、技術上の基本的問題は一応解消できる。そうすれば、省エネルギー建築の普及もより加速されることとなるので、上記問題解決は工学上の大きな課題であるといえる。

本研究の目的は、事務所建築の省エネルギー化を図るにあたって、前述（１）に示した問題点を解決すべく、各種技術分野の省エネルギー要素手法を、対等かつ総合的に評価する計画手法を開発することにある。そして評価指標としては、前述（２）に示した問題点を解決すべく、実際に省エネルギー建築を計画する時に使えるように、経済性に重点をおいたものを開発することとした。

次にこの計画手法を適用して、建築デザインと空調設備、あるいは建築デザインと照明設備の複合技術領域について、新しい省エネルギー要素手法を実際に考案し、この計画手法の効果を評価することとした。

そして最後に、本計画手法や新しい省エネルギー要素手法を用いて、徹底して省エネルギー化を図った建物を計画・設計し、竣工後２年間の運転結果を分析して、前述（３）に示したこの手法の妥当性について検証することとした。

本論文は、緒論と本文５章および総括並びに結論から成っている。

緒論では本研究の社会的ならびに工学的必要性について論じ、つづいて研究目的と論文の構成概要を述べる。

第１章では、在来の省エネルギー化に関する研究の歴史と、本研究との関係について論じる。まず第１節では空調設備分野、第２節では照明設備分野、第３節では給排水衛生設備や電力設備分野、第４節では建築デザイン分野、そして第５節ではこれらの総合化に関する研究について分析し考察する。

第２章は、省エネルギー建築の計画法について論じる。まず第１節では、熱経済性ベクトルと言う新しい概念を用いた計画手法について検討する。つづいてこの手法を構成する要素として、第２節ではエネルギーシミュレーション手法、第３節ではソーラーシステム概算評価手法について詳細に論じる。

第３章では、建築と設備との複合技術分野で、新しい省エネルギー要素手法を開発し、前章の計画手法を用いて評価を行う。第１節では昼光利用と窓面積、第２節ではダブルスキン、そして第３節では反射集熱するソーラーシステムについて検討する。

第4章は、建築物が実際に消費しているエネルギー量の実態について調査した結果を示す。まず第1節では事務所建物について、第2節では店舗、ホテル、病院等について、そして第3節では光熱費を求めるのに必要なエネルギー単価についてそれぞれ述べる。

第5章では、第3章、第4章で前述した計画手法や省エネルギー要素手法を用いて計画・建設した、徹底した省エネルギー建物について取り扱い、第1節ではこの計画内容を述べ、つづいて第2節では、竣工後の運転実測・解析した結果について分析する。

最後に、本研究の総括並びに結論を述べる。

第1章 既往研究からみた本研究の位置づけ

実際の建物でエネルギーを消費している部分は、モータ、ボイラ、照明器具等であり、いずれも設備システムを構成する要素においてである。このようなことから、かつては消費エネルギーに関しては、設備技術者が検討する事項との認識が、建築設計関係者の間では暗黙のうちに了解されていた。

1973年に発生した「第一次オイルショック」以前では、燃料や電気代が割安であり、一般建物の設計時に、年間光熱費が大きく注目されることはなかった。その例外としては、地域冷暖房計画のように、エネルギーを売買する企業の収益予測のためにのみ、年間消費エネルギー予想が重視されていた。あるいは、空調設備の熱源システムの選定にあたって、限られた機器の年間消費エネルギー量が、複数の設備システムの経済性比較において予測計算されていた。そしてこのような状況下において、特にエネルギー消費量の多い空調設備分野では、省エネルギーにつながる要素機器、サブシステム等の研究がなされていた。

ところが、建物の維持管理費が、「第一次オイルショック」以後、たび重なる原油価格の上昇によって急増し、省エネルギー化の要求が社会の表面に現れるようになって来た。これに伴って、設備技術者は年間消費エネルギー量を詳細に求める手法開発に力を入れ始め、さらにこの手法を活用して、種々な機器やシステムの省エネルギー効果を分析するようになった。

これらの研究過程から、自然エネルギーをうまく使うことが大切との認識が深まり、建物自身の方位や断熱が、省エネルギーに非常に大きく影響することがはっきりしてきた。そして、多くの建築デザイナーは、設備技術者のこのような研究に誘発されて、省エネルギーを定量的に意識した設計をするようになりつつあるのが現状である。

ところで、実際に建物を計画し設計するには、下記のような異なる分野の技術者が協同で作業する必要がある。

- (1) 建築デザイン（意匠）
- (2) 構造
- (3) 空気調和設備
- (4) 給排水・衛生設備
- (5) 電気・照明設備

このうち、(3)の空気調和設備と(4)の給排水・衛生設備は同一の人物が計画・設計することもあるが、(1),(2),(5)はお互いに全く独立した異なる分野の技術者が設計する。このことから最低4種類の技術者が、共同で作業せざるを得なかった。そしてこのうち、計画の始めから関与する建築デザイナーが作業を先行させ、他の技術者がその方針に従って細部をつめ、デザイナーが全体の調整を図っているのが一般的仕事の進め方である。

この共同作業は、法規制の強化、新素材や機器の開発、設計期間の短縮、設計作業の効率化等によって、次第に分業化の色が強まりお互いに相手の分野内部にまで議論しないような風潮となってきた。その結果として、省エネルギーの研究は設備技術者だけがやれば良いといった傾向が残っており、建築を全体として把握した総合的研究が、その必要性にもかかわらず、あまりなされていなかった原因といえる。

本章では、このような経緯をふまえて、各技術分野における省エネルギー化の研究状況と、本研究との関係について述べる。

第1節 空調設備分野の研究状況

本分野は、取扱う領域が広く、機器単体に関する研究は、100年に近い歴史を有している。ここでは、空調設備機器の単体に関する研究は除外し、空調システムの省エネルギー化に関する主要な項目、ならびに空調システム決定に大きく影響を与える熱負荷計算手法について、現在に至るまでの研究動向や、本研究との関連について述べる。

1-1 熱負荷計算法

建物の冷暖房負荷を求めることは、空調設備機器の容量決定の基礎になる計算であり、冷暖房設備と同じ長さの歴史を有しているといえる。建物の熱負荷は、ガラス窓を通しての透過日射、壁等を通しての熱通過、外壁のすきま等から侵入するすきま風、室内の人体や照明器具による発熱の4要素からなる熱取得と、取り入れ外気負荷、ダクトや配管系の損失から構成されている。これら各要素のうち、非定期的性格の強い日射にかかわる計算がかなり複雑である。また通常の運転では夜間に空調を停止するので、夜間の熱負荷が蓄熱され、翌日の早朝に立ち上がり負荷として出現することも、計算上はかなりやっかいな部分である。そしてこれら機器容量の決定には、夏と冬の最大熱負荷が求められれば良く、昔から種々の計算法が提案されてきており、また実用上も多様な手法が使われてきていた。

ところが建物が年間に消費するエネルギー量を予測するには、このような最大熱負荷計算法では不十分であり、年間を通じてより詳細な、かつ精度の高い計算法が必要であった。

この要求に答える研究は、Mitalas と Stephenson (1967)⁽²⁾ が開発したレスポンスファクタ法(Response Factor Method)によって基礎が固まった。この方法は応答係数法とも呼ばれ、まず建物構成部材が単位時間の温度変化に対して、どのような熱流応答をするか計算し、その応答を時系列の係数として求めておく。次に各時刻の温度に対し、この応答の係数を乗じ、時間をずらせながら合計を取ることによって、任意の非定常温度変化に対する壁や床からの熱流が求められる。

年間の熱負荷を詳細に求めるには、この応答係数法によって建物外郭からの流出入熱量を求める外に、室内発生熱が時間おくれをもって室内空気を加熱する問題や、窓から入ってくる日射が室内表面で熱となり、相互ふく射を経て室内空気を加熱する問題を解く必要がある。さらに、室温が変動した場合の、壁や床、じゅう器等からの熱の出入も解析する必要がある、はん用の非定常熱負荷計算法が確立するまでに数年を要した。そして米国ではアメリカ暖房冷凍空調学会 (ASHRAE) (1971)⁽³⁾ がASHRAE 負荷計算法を発表し、日本でも空気調和・衛生工学会(1972)⁽⁴⁾ が負荷計算プログラムHASPを体系化して発表した。そして、この計算法に必要な年間一時間刻みの気象データが、東京については1974年に空気調和・衛生工学会から発表された⁽⁵⁾。

この負荷計算プログラムHASPは、詳細計算が可能で、種々な問題解析に応用可能であり、かつ学会で衆智を集めて作成したものであったので、以降日本国内では熱負荷計算の標準プログラムとして扱われ、多くの建物の省エネルギー解析に活用されている。しかしこの計算は、理論上いくつかの問題点があり、かつぼう大な気象データを入力する必要がある、さらに計算時間が長いという実用上の欠点があった。そしてこれらの欠点については、順次研究が進められ、プログラムを修正する形で機能向上が図られつつある。

たとえば福島ら(1978)⁽⁶⁾ が、非空調時の室温変動計算時に、HASPプログラムでは、バリエータとインテリアゾーン間の空気は流動しないとしていたのを改め、この時間帯のみ単一ゾーンとして計算する方法を提案し、現場実測からその妥当性を立証した。この改良によって、冬期熱回収運転の予測精度が大幅に向上した。

また同年に岩崎ら(1978)⁽⁷⁾ が、HASPの計算時間短縮をねらって、毎月2日の代表日についてのみ負荷計算することによって、年間熱負荷を精度良く予測する手法を提案

し、HASP精算法の結果と比較して、実用に耐えることを示した。そして代表日の選び方として、月間気象変動が正規分布すると仮定し、(月間平均値)±(標準偏差)で一か月間に二日分の気象データを合成する方法を採用している。この改良によって、年間熱負荷が短時間で、すなわち安い費用で求められるようになり、種々な省エネルギー手法の効果分析に威力を発揮するようになった。

本研究で用いた熱負荷計算法は、学会が発表したプログラムHASPに、前述の改良をほどこしたDYNAMIC LOAD (Dynamic Heat Load) によっている。そしてこのDYNAMIC LOADを使用した研究の一例として、著者酒井(1981)⁽¹⁰⁾が、取入外気量を種々変化させた場合の省エネルギー的效果を、系統的に研究している。

また遠藤(1984)⁽⁹⁾が、熱容量の大きい壁体の場合、応答係数法では計算精度が下がるので、応答関数法を使うこととし、土中壁の熱負荷を、短時間で精度良く求める手法を開発している。この計算手法は、今後省エネルギー化のため、建物を一部土中に埋設することが増加すると予想されるだけに、有効なものになると考えられる。

1-2 システムシミュレーション法

建物の年間熱負荷が、前項の方法等によって詳細に求められても、空調システムの消費エネルギー量は簡単に求められない。その理由は、空調システムを構成する機器が、室温や湿度、水温、流量によって特性がいちぢるしく変化し、相互に複雑な影響を与え合っているため、厳密には多元高次連立方程式を、年間にわたって毎時刻解く必要があるためである。そしてこのような解法は、実務上は時間と費用がかかりすぎて、実施不可能である。

そこでまず、空調システムの一部を独立したサブシステムと考え、このサブシステム内について、各要素間の関係を簡略化しつつ、年間にわたって一時間刻みで消費エネルギー量が解析され始めた。そして矢作ら(1977)⁽¹⁰⁾が搬送システムについて研究結果を発表し、中原ら(1978)⁽¹¹⁾が熱源システムについての研究を発表している。

そして次の段階で、前述のサブシステムを統合化して、一つの空調システムとして扱う計算法が研究され、Lokmanhekimら(1978)⁽¹²⁾が、米国のシステムシミュレーション法の標準とされるDOE-1を発表した。一方日本では、標準化の作業がおくられており、主要熱源機器の特性値が空気調和・衛生工学会(1979)⁽¹³⁾から発表され、種々な研究組織でばらばらに計算法が開発されつつある。この一例が1980年に発表された、著者酒井ら⁽¹⁴⁾によるシミュレーションプログラムで、この内容については第3章第2節で詳

細に記述する。

1-3 蓄熱槽

日本における蓄熱槽の普及は、1953年頃から、地盤の悪い市街地建物の地下に設置されている、ゆう水槽を転用することから本格化した。当時は、このような蓄熱槽を導入することによって、冷凍機の容量を大幅に削減出来、建設費が安価となる観点から急速に普及したが、理論的追求はかなりおこなわれていた。

地下のゆう水槽を蓄熱槽に転用すると、その形状は、水深の浅い、6m×6m程度の小水槽が連続することとなり、連続多槽形と呼ばれる。この連続多槽形蓄熱槽の特性解析は、中島(1968)⁽¹⁵⁾により一連の研究が始められ、松平(1972)⁽¹⁶⁾も同様の研究を行っている。

その後、この型式の蓄熱槽の運転実績が増加するにつれて、水質汚染や上階床面の結露が発生したり、熱損失が予想より多い等の欠点が明らかとなり、普及速度が一次低下した。

しかし原子力発電所の増設等により、電力の昼夜需要差を減少させる必要から、電力会社の要望もあって、1975年頃から再度蓄熱槽に関する研究が盛んとなり始めて現在に至っている。これら新しい研究の中には、著者酒井ら(1978)⁽¹⁷⁾によって発表された既存建物改造による蓄熱槽設置に関する研究や、著者酒井ら(1975-78)⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾が発表した温度成層蓄熱槽に関する実験的研究がある。

本研究では、第5章において、温度成層蓄熱槽を採用した建物の、運転実態について解析している。

なお海外においては、見るべき研究は少なく、日本の技術を吸収して活用している例が多い。

1-4 電算機制御

省エネルギー手法の多くは、刻々と変わる気象条件や、建物の使用状況に応じて、適切に調節・制御して始めてその効果が発揮できる。この制御が、比較的簡単な論理によっている場合には、在来から空調設備分野で使用されてきていた。アナログ式自動制御で目的が達成されていた。

しかし、省エネルギー手法が同時に多数採用されるようになり、またより高い効果を求めて制御論理が複雑化し、さらに各種省エネルギー手法間の相互干渉効果にまで配慮するよう

になると、もはやアナログ式では追従できなくなってきた。そしてデジタル演算機能を持つ電算機によって、空調設備機器やシステムの制御が試みられるようになってきた。

このような電算機制御は、1970年にサンフランシスコで竣工した、Firemen's Fund Insurance Bldg. に導入されたのが最初であり、日本では1973年に竣工した、大阪大林ビルと大阪国際ビルがその始めである。

電算機制御は、このように米国での導入が先行したが、研究に関しては日本が中心となって展開してきている。たとえば1974年にパリで開催された、建築環境工学への電算機利用シンポジウムでは、電算機制御の発表5編は、蜂須賀⁽²⁰⁾、高田⁽²¹⁾等すべて日本人によるものであった。また大阪大林ビルの電算機制御については、竣工後長期間にわたって制御実態が調査分析され、中原⁽²²⁾によって報告されている。

このような初期の電算機制御に関する開発が一段落した後、半導体の急速な技術革新から、著者酒井ら⁽²³⁾はマイコンを用いた電算機制御の普及を予想していた。そしてこのことは、ここ2年ほど前から実現しつつあり、第5章で述べる省エネルギー建築の実施例においても、多数のマイコンが分散配置された構成の電算機制御システムを採用しており、省エネルギー効果を上げている。

1-5 その他

前述した以外に、VAV方式に関する松本ら⁽²⁴⁾の一連の研究や、ソーラーシステムに関する稲沼ら⁽²⁵⁾、著者酒井ら⁽²⁶⁾の運転実態分析、牧ら⁽²⁷⁾による運転予測法に関する研究がある。第5章に述べる省エネルギー建築の実施例では、これら研究成果を分析し、さらに改良を加えて採用している。

第2節 照明設備分野の研究状況

本分野については、光源ならびに照明器具の研究と、照明方式ならびに昼光利用の研究に大別出来る。前者は、白熱電球の発明以後長い研究の歴史を有し、蛍光灯、水銀灯、高圧ナトリウム灯の発明等、その成果が着実に実社会に普及しつつある。しかしこれらの研究開発は、建築に関係する技術者とは全然別の人達によってなされており、一つの独立した学問体系を有しているのので、ここでは言及しない。

照明方式ならびに昼光利用については、建築と非常にかかわりが深いだけに、古くより

建築に係る技術者が中心となって、研究が行われてきた。ここではこれらについて、現在に至るまでの研究動向や、本研究との関連について述べる。

まず昼光利用についてであるが、建物外部の明るさを、窓を通して室内に導入することは、古来より用いられていた採光方式であり、これを定量的に解析する手法も、古くより研究されてきていた⁽²⁸⁾。しかし蛍光灯の普及や空調設備の完備に伴い、照明は日中でも人工光源で行うのが一般化し、事務所建物等で昼光を積極的に利用することは非常に少なくなってきた。

しかし石油ショック以降、照明の分野でも、次第に省エネルギーに関する研究が増加し、昼光を人工照明と併用することが、伊藤(1978)⁽²⁹⁾によって提言された。そして昼光を利用して、窓際の人工照明を消灯する効果分析が松浦ら(1979)⁽³⁰⁾によってなされ、また直射光を受ける窓面から、ブラインドを通して入射する昼光利用について伊藤ら⁽³¹⁾が研究を進めた。そしてこれら研究成果がさらに展開し、窓面積と省エネルギーの関係に関する研究へと発展した。この事項については、第3章にて詳細に述べる。

つぎに照明方式についてみると、執務部分のみを局所的に照明する方法が中原ら(1977)⁽³²⁾によって検討され始め、このような局所照明の視作業性について伊藤ら⁽³³⁾の研究が基礎的データを作成した。そしてこの両者の研究を統合する形で、齊藤(1981)⁽³⁴⁾によってタスクアンビエント照明(Task and Ambient Lighting)方式が実用化されるに至った。この照明方式は、第5章にて後述する省エネルギー建物にほぼ全面的に導入され、照明分野での大幅な省エネルギーに有効であることが立証された。

第3節 その他の設備分野の研究状況

建築設備のうち、先の第1節、第2節で述べなかった給排水衛生設備と電力設備は、その消費エネルギー量が少ないこともあり、システムも簡単であるので、省エネルギー化の余地は少ない。このような理由から、体系だった省エネルギーの研究は少ない。

まず給排水衛生設備については、給湯用のエネルギーが最大となることが多く、この熱源に太陽熱を使う研究は多数あるが、太陽熱暖房と原理が同一であるので、第1節のソーラーシステムの中にすでに言及した。これ以外には、使用水量を節減することによって、建物内の揚水、排水、水処理動力を減少させることが効果的である。そしてこの手法は、すでに多くの省エネルギービルに使われており、実践を通じて手法が確立しつつある。また

建物屋上等に降った雨水を利用する研究は、著者ら(1980)⁽³⁵⁾によってなされており、都市レベルでの省エネルギーと、省資源に有効である。

一方電力設備については、損失の少ないトランスやコンデンサの開発が電気機器のメーカーの手によって研究され、市販されるようになってきた。そしてこれらの製品を部分負荷に合わせて、適切に切替制御する方法が、やはり実践を通して普及しつつある。また太陽電池を用いて発電し、これを建物内で利用する方法については、斉藤ら⁽³⁶⁾による研究がある。

以上述べた太陽熱給湯、節水、雨水利用、トランス台数制御、太陽電池利用等の省エネルギー手法は、第5章で述べる建物に適用されて実際に運転中で、その効果を第5章で分析している。

第4節 建築デザイン分野の研究状況

建物形態がエネルギー消費量に及ぼす影響は、熱負荷計算を行うことによって求められる。そして先の1-1で前述したように、空気調和・衛生工学会から発表された非定常熱負荷計算プログラムHASPが普及するにつれて、多数の計算が比較的簡単に行えるようになった。そこで始めて建築デザインを少しづつ変えた場合の熱負荷の変化を、詳細に追いかけられるようになってきた。

このような状況下で、多くの建築要素を変えた場合の影響を、実験計画法を用いて解析することが横山ら(1976)⁽³⁷⁾によってなされ、省エネルギー化するのに有効な手段が、デザイナーにも分かる形で表現されだした。ただこの研究では、建築要素を変えた時の影響度は求められるが、具体的建物が与えられた時の実際の負荷は求められない欠点があった。

その後省エネルギーをより推進する必要性から、「エネルギー使用の合理化に関する法律」が施行されることとなり、建物の熱負荷が簡単に求められ、省エネルギー設計の道具になるような方法が求められるようになった。そしてこれに答えるべく松尾(1979)⁽³⁸⁾が開発した拡張デグリデー法によって、各種建物の省エネルギー的建築デザインが、比較的簡単な手順によって計算できることとなった。

一方、このような省エネルギーは、建物を年間にわたって人工的に空気調和するとの前提に立った話であるのに対し、多少室内環境が変動しても良いから、自然エネルギーをうまく利用しようとする動きが表れ出した。これをパッシブデザインと総称するが、具体的には

建物を土でおおったり、建物の南面に温室を付設したり、南面の窓の内部に大きな黒色蓄熱体を設置する手法が含まれる。

これらパッシブデザインの初期のものは、過去の住宅等を参考にし、直感的に設計されたものが多かったが、次第に定量化されるようになり、基本的な手法について解析法がいくつか出るようになって来ている⁽³⁹⁾⁽⁴⁰⁾。また建物外表面を、空気流動空間をはさんで二重化したダブルスキンについては、著者酒井ら(1981)⁽⁴¹⁾による研究があり、本論文で詳細に後述する。

本研究においては、これら建築デザイン分野に限られた省エネルギー手法にとどまらず、次節で述べる総合的な領域を研究の中核としている。

第5節 総合的な研究の状況

今まで第1節から第4節まで記述したものは、単独分野内における省エネルギーの研究である。しかし建築の本当の省エネルギーのためには、各専門分野を越えて、総合的に組合せた研究が不可欠である。そしてこのような研究が、今まであまり行われてこなかった原因については、本章の緒論のところで言及した。

この領域に始めて取組んだ研究は、著者酒井ら(1979)⁽⁴²⁾によって発表された。これは建築の各分野の省エネルギー手法を、一元的に経済性の見地から評価しようとするものであり、その後適用範囲の拡大が研究され⁽⁴³⁾⁽⁴⁴⁾⁽⁴⁵⁾、本論文の第2章第1節で詳細にその内容を述べている。

また窓まわりについて、昼光利用と空気調和を考えた場合、窓面積に最適値があるかどうかの研究も総合的研究と言えよう。このテーマについては、松尾(1979)⁽⁴⁶⁾が研究結果を発表し、窓面積は大きい方が良いとの結論を得た。一方著者酒井ら⁽⁴⁷⁾は、松尾の昼光利用計算論理が現実的ではないとの見地から、ブラインドの操作性をも含めて再度研究をし、1980年には窓が小さい方が良いとの結論を得た。この内容については本論文第3章第1節で詳細に述べる。

以上述べたように、この研究分野が本論文の中核をなすものであり、在来の研究から一歩進んで、実際に省エネルギー建築を計画する時に利用しうる手法を開発しえたものと考えている。

第6節 要約

本章では、まず建築の設計が4種類以上の異なる分野の技術者によってなされ、近年分業化が進むにつれて、お互いに相手の分野内部にまで立ち入らない風潮があること、そして省エネルギーに対する検討は、建物内でエネルギーを消費する部分を設計している設備技術者にまかせてしまう傾向があり、総合的な研究が行われにくかった状況を説明した。

次に建物の省エネルギーに関する在来の研究の歴史と本研究との関係を述べた。まず空調設備分野に関しては、熱負荷計算法、システムシミュレーション法、蓄熱槽、電算機制御等についてとりあげた。照明設備分野については、昼光利用と照明方式について述べた。その他の設備分野では、給排水衛生設備と電力設備について述べ、さらに建物デザイン分野についても概説した。

そして最後に、省エネルギーに関する各分野の総合的な研究の歴史について述べ、この領域の研究が本論文の中核をなすものであり、在来の研究から一步進んだものと位置付けている。

第2章 省エネルギー建築の計画法に関する研究

省エネルギー建築を計画するに当たっては、外壁を断熱したり、窓ガラスの仕様変更、全熱交換器の採用、低電力消費型蛍光灯の採用等、各種省エネルギー要素手法を、建築計画に組み込むこととなる。そしてこれら手法の中で、かなり多数のものは、建築の平面計画や構造計画に密接な関係をもっているため、計画の初期の段階で、どの省エネルギー要素手法を採用するのか、適確な判断が要求される。

この検討に許容される期間は、実務上は比較的短期間であるので、多様な省エネルギー要素手法が、建物のエネルギー消費量や光熱費にどのように影響を与えるのか、短時間に精度良く、定量的に予測することが非常に大切である。しかし実際の建物を計画するに当たっては、この予測手法だけでは片手落ちであり、有効な計画手法とはなり得ない。なぜなら、建設費が、これら省エネルギー要素手法を採用することによっていくら増加するのか、さらに投資資金が何年で回収可能なかが解明されていないからである。

そこで本章では、各種省エネルギー要素手法について、その手法のエネルギー消費量削減効果を、迅速かつ高精度で予測する計算法について検討すると同時に、この省エネルギー要素手法が建設費をどれだけ変化させるのか、短時間でかなり精度良く予測する計算法についても検討した。

さらに、エネルギー消費量が、精度良く求められるエネルギーシミュレーション法について、電算機を用いて詳細計算する方法と、手計算によって簡略に計算する方法について検討した。

なお最後に、近年次第に採用例が増加しつつあるソーラーシステムについて、その通年の性能と経済性を総合的に予測する計算法についても検討した。

第1節 熱経済性ベクトルによる省エネルギー建築計画手法(1)(2)(3)(4)

1-1 熱経済性による総合評価法

(1) 熱経済性ベクトル

ある一つの省エネルギー要素手法を取り出し、現在計画中の建物に、この手法を採用しない場合と採用した場合の両者を考える。採用しない場合のイニシャルコストを IC_0 、年間ランニングコストを RC_0 とし、採用した場合については同様に IC_1 、 RC_1 とする。

両者の差額は、式（2.1）、（2.2）のようになる。

$$\Delta IC = IC_1 - IC_0 \quad \dots\dots (2.1)$$

$$\Delta RC = RC_1 - RC_0 \quad \dots\dots (2.2)$$

一方、二次元直交座標を考え、縦軸にランニングコスト差額 ΔRC 、横軸にイニシャルコスト差額 ΔIC をとる。そして、具体的な省エネルギー手法について計算して求めた ΔIC 、 ΔRC を座標上にプロットすれば、図 2.1 に示すように 1 本の二次元ベクトルが書ける。このベクトルは、省エネルギー要素手法を消費エネルギー量（化石燃料換算すると熱エネルギー量となる）ならびに経済性の両観点から同時に評価できるので、熱経済性ベクトルと名付ける。

なお純数学的には、ベクトルは長さの絶対値と方向に意味をもつものである。ここでは、方向は後述の償却年数を示し、横軸とのなす角が大きいほど償却年数が短くなり、経済性の指標となる。一方、長さは厳密には直接的意味をもたないが、直感的に垂直成分から省エネルギー量を読み取れるので、あえてベクトルと名付けた。

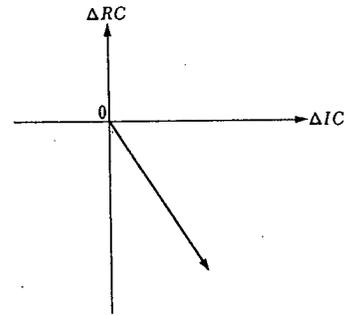


図 2.1 熱経済性ベクトル

(2) 償却年数

各々の省エネルギー要素手法の有効性を判断するにあたっては、イニシャルコストとランニングコストを総合的にとらえ、その低廉化を図ることが必要である。このために、一般にはイニシャルコストの増分 ΔIC を、ランニングコストの年間節約額 ΔRC によって何年で償却できるかの値を償却年数と呼び、この年数が小さい省エネルギー要素手法ほど、実施計画に採用して効果的であると判断できる。

省エネルギー要素手法の償却年数を求めるには、式（2.1）（2.2）に示した ΔIC 、 ΔRC を求め、借入金の金利やエネルギー単価上昇率を考慮に入れて計算する。

今、イニシャルコストの増分を毎年平均支出の増加分に引き直すのに平均利子法を用いると、式（2.3）のようになる。

$$P = \Delta IC (1 - r) \frac{1}{T} + \Delta IC r i + \Delta IC (1 - r) \frac{i}{2} \left(\frac{T+1}{T} \right) \quad \dots\dots (2.3)$$

ここに、

P：毎年平均支出の増分

ΔIC : イニシャルコストの増分

γ : 終価率 (償却完了時にスクラップ価格として評価出来る割合)

T : 償却年数

i : 借入金利

なお平均利子法とは、図 2.2 に示すように初期投資を全額借入金で賄い、毎年借入金を均等に返済しつつ、かつ残った借入金の金利も毎年同時に支払う方法をいう。この場合、当然毎年の支払額は次第に減少するが、これを全体の返済期間で平均化した値を使う。一方、ランニングコストの減少分を、毎年平均支出の減少分に引き直すと、次式のようになる。

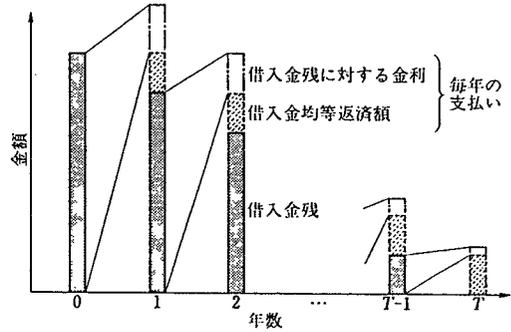


図 2.2 平均利子法の支払費用

$$I = \Delta RC \frac{(1+j)^T - 1}{Tj} \quad \dots\dots (2.4)$$

ただし、 $j=0$ では、 $I = \Delta RC$

ここに、

I : 毎年平均支出の減少分

j : 年間エネルギー単価上昇率

ΔRC : 運転開始初年度における年間ランニングコスト (計画時点で、この値を予測するにあたっては、運転開始初年度までのエネルギー単価上昇率を見込む必要がある)

式 (2.3) と式 (2.4) を等値することによって、償却年数を求めることができる。ここで、一般には終価率を 0 として差し支えないので、式 (2.5) のようになる。

$$\Delta IC \left[1 + \frac{i(T+1)}{2} \right] = \Delta RC \frac{(1+j)^T - 1}{j} \quad \dots\dots (2.5)$$

また、逆に式 (2.5) から i, j, T を与えたときの、熱経済性ベクトルのこう配 ($\Delta RC / \Delta IC$) が求まる。この計算結果の例を表 2.1 に示す。またこれを図面上に表現した一例を図 2.3 に示す。

表2.1 熱経済性ベクトルのこう配 ($\Delta RC/\Delta IC$)

i [%]	T(a) j [%]	3	5	7	10	14	20	30	40	50
		6	0	0.373	0.236	0.177	0.133	0.104	0.0815	0.0643
	7.5	0.347	0.203	0.141	0.0940	0.0621	0.0376	0.0187	0.00981	0.00524
	10.0	0.338	0.193	0.131	0.0835	0.0518	0.0285	0.0117	0.00504	0.00217
	12.5	0.330	0.184	0.121	0.0740	0.0431	0.0213	0.00726	0.00253	0.00088
	15.0	0.323	0.175	0.112	0.0655	0.0378	0.0159	0.00444	0.00125	0.00035
	20.0	0.308	0.159	0.0960	0.0512	0.0245	0.00873	0.00163	0.00030	0.00006
8	0	0.387	0.248	0.189	0.144	0.114	0.0820	0.0747	0.0660	0.0608
	7.5	0.359	0.213	0.150	0.101	0.0685	0.0425	0.0217	0.0116	0.00630
	10.0	0.350	0.203	0.139	0.0904	0.0572	0.0321	0.0136	0.00596	0.00281
	12.5	0.342	0.193	0.129	0.0801	0.0476	0.0241	0.00842	0.00299	0.00106
	15.0	0.334	0.184	0.119	0.0709	0.0395	0.0180	0.00515	0.00148	0.00042
	20.0	0.319	0.167	0.102	0.0555	0.0270	0.00986	0.00190	0.00036	0.00007
10	0	0.400	0.260	0.200	0.155	0.125	0.103	0.0850	0.0763	0.0710
	7.5	0.371	0.224	0.159	0.110	0.0749	0.0473	0.0247	0.0134	0.00736
	10.0	0.363	0.213	0.148	0.0973	0.0626	0.0358	0.0155	0.00689	0.00305
	12.5	0.354	0.203	0.137	0.0862	0.0521	0.0268	0.00959	0.00346	0.00123
	15.0	0.346	0.193	0.127	0.0763	0.0432	0.0200	0.00587	0.00171	0.00049
	20.0	0.330	0.175	0.108	0.0597	0.0296	0.0110	0.00216	0.00042	0.00008

なお、原点を通る償却年数T年の線上の点から水平軸に垂線を下ろした点の読みは、イニシャルコストの変化量を表すと同時に、これと等価になるT年間の累積ランニングコスト変化量を同時に示している。よって、図2.4に示すように、熱経済性ベクトルの先端から償却年数T年のこう配で平行線を左上に引き、横軸との交点を求めれば、この省エネルギー要素手法によって、T年間にイニシャルコストとランニングコストの和でどれほどの差額が生じるかを求めることができる。

(3) ベクトル列から意志決定へ

省エネルギー建築の計画にあたって、外壁を断熱したり、窓ガラスの仕様変更、全熱交換器の採用、低電力消費型蛍光灯の採用等、一般にはかなり多数の省エネルギー要素手法について採否を検討する必要がある。熱経済性ベクトルを採否の判断基準とする場合には、まず第1段階として各要素手法単独の経済性を、熱経済性ベクトルを用いて解析する。つぎに第

2段階として、これらの手法を複合して採用した場合の効果は、単独採用時の効果の和とはならないので、再度計算する必要がある。この場合、各省エネルギー要素手法の有効性に差異があるので、単独効果分析の結果、償却年数の小さかったものほど経済性が高いので、

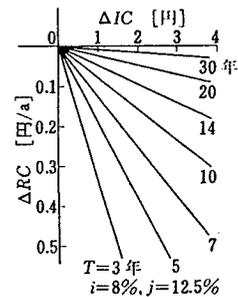


図2.3 熱経済性ベクトルこう配の一例

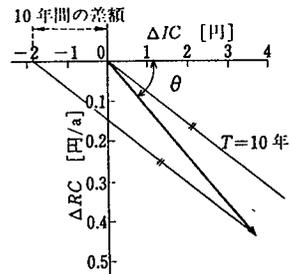


図2.4 T年間の総費用差額

経済性の高い順序で累積して採用するものとし、各手法を加えるごとに ΔIC 、 ΔRC の累積効果値を求める。各計算段階で得られた熱経済性ベクトルを、鎖状に連結して熱経済性ベクトル列を作ると図 2.5 のようになる。この図を用いると、つぎに示す4種類の異なった立場から、計画中の省エネルギー建築において採用すべき省エネルギー手法について、迅速かつ的確な意志決定が可能となる。

- 1) 総建設工事費を変えずに省エネルギーを図りたい場合には、図 2.5 において、基準となる建物を原点に置き、熱経済性ベクトル列と、縦軸との交点Aを求める。この場合には、ベクトル列のA点までの省エネルギー手法を採用し、A点以後の手法は採用しないのが要求を満足する解となる。

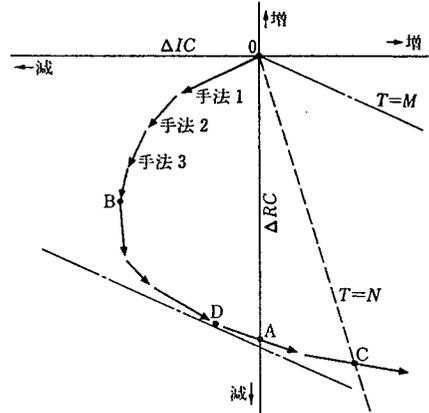


図2.5 熱経済性ベクトル列

- 2) 総建設工事費を極小とし、かつ省エネルギーも多少図りたい場合には、図において、ベクトル列の ΔIC が極小となるB点を求め、この点までの省エネルギー手法を採用すればよい。
- 3) 総建設工事費が多少増加しても、省エネルギーによってN年でその増加分が償却できればよい場合には、図において、原点から償却年数N年のこの配の直線を右下に引き、ベクトル列との交点をCとする。この点までの手法を採用すればよい。
- 4) M年間の総費用（建設工事費と運転費の和）を最小にしたい場合には、図において、償却年数M年のこの配の平行線とベクトル列との接点Dを求める。この場合には、ベクトル列のD点までの省エネルギー手法を採用するのが適切である。これは、図 2.4 に記述した方法を応用したもので、M年間の総費用の差額は、この線が水平軸と交わる点の座標で与えられ、この値が最も小さくなるのは、図 2.5 に示すようなベクトル列への接線となることから明らかであろう。この総費用の差額は、厳密な意味でのライフサイクルコスト差額ではないが、M値を十分大きく取った場合に、ライフサイクルコストを最低とする解答の、おおよその見当を与えるものと考えられる。

1-2 熱経済性略算手法

熱経済性ベクトル作成にあたって、イニシャルコストとランニングコストの増減を、あ

る程度短時間に、かつ正確に求められなければ、利用価値は著しく低いものとなってしま
う。そこで、電算機を用いてこれらを略算できるプログラムを開発した。

このプログラムは、フィジビリティスタディ用であることを考慮して、インプットは従
来の熱負荷シミュレーションプログラムに比べて、できる限り簡略化した。しかし計算の
基本となる熱負荷は、周期定常RF(Response Factor), WF(Weighting Factor)などを
用いた詳細計算を行い、実施設計に発展した時点で、建物外郭・空調システムなどの大幅
な設計変更が生じないように配慮してある。

以下、その概要を述べる。

(1) プログラムフロー

本プログラムの概略フローを、図 2.6に示
す。

(2) 影響要因の選択

省エネルギーに寄与する影響要因は、数多く
あると考えられるが、本プログラムで解析可
能なものは、表 2.2に示す比較的影響の大き
いと思われるものに限定をした。

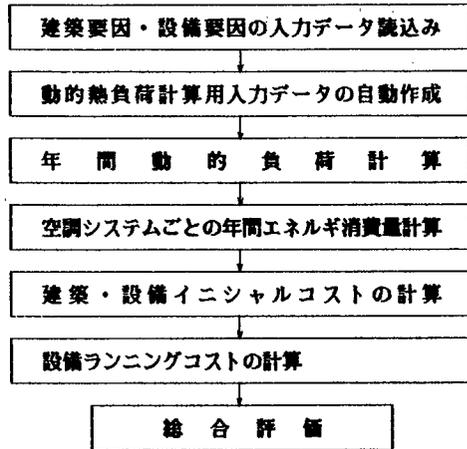


図2.6 プログラム概略フロー

表2.2 解析可能な省エネルギー影響要因

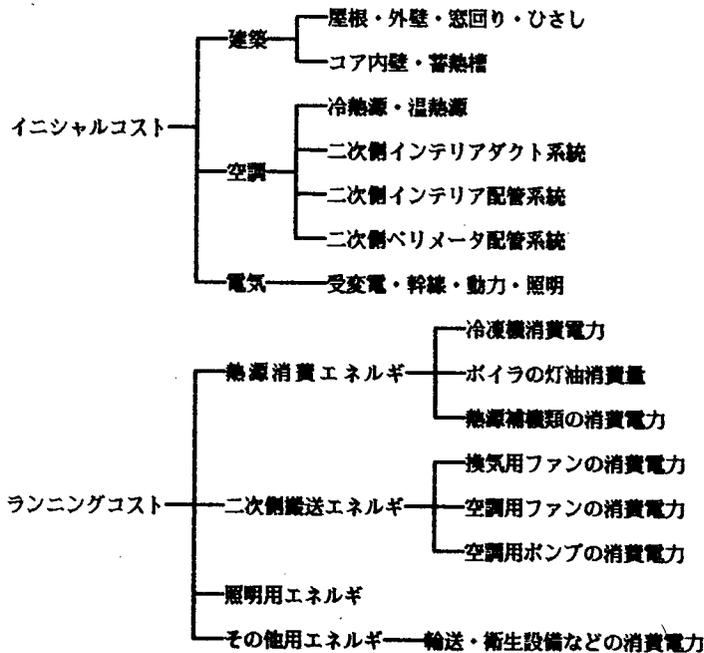
要 因 お よ び 水 準	
建築的 要 因	1) 地域 (任意に設定可能) 2) 建物形状 (同上) 3) 建物方位 (同上) 4) 建物コア位置 (同上) 5) ひさし (同上) 6) 窓ガラス種類 (同上) 7) 窓面積比 (同上) 8) 外壁種類 (同上) 9) 外壁断熱 (同上) 10) ペリメータ裏行き (同上)
設備的 要 因	1) 内部発熱: 人員・照明 (任意に設定可能) 2) 室内設定温度 (同上) 3) 必要外気取入れ量 (同上) 4) 空調システム a) 一般システム (b~kを不採用) b) 外気冷房 c) 全熱交換器 d) 予冷熱時外気取入れ停止 e) 炭酸ガス濃度制御 f) 蓄熱システム g) 熱回収システム h) 大温度差小流量方式 i) VAV方式 j) VWV方式 k) a)~j)の任意の組合せ 5) 照明システム a) 一般システム (b~eを不採用) b) 省電力照明器具 c) 昼光併用システム d) 昼休み消灯 e) a)~d)の任意の組合せ

(3) コスト構成要素

本プログラムで算出するコストは、表 2.2に示した要因水準の変化によって影響を受け

る建築工事要素のみであり、例えばイニシャルコストで、要因の影響を受けない工事要素、すなわち内装工事費・衛生設備工事費や外構工事費などは除外している。表 2.3に、本プログラムで算出するイニシャルコスト・ランニングコストの構成要素を示す。

表2.3 コスト構成要因



(4) 空調・電気設備イニシャルコスト

(4.1) 空調イニシャルコスト

空調方式として、冷熱源と温熱源を別個にもち、二次側は、インテリアは各階ユニット、パレメータはファンコイルユニットから構成されるものを標準と設定した。そして、この方式の幾つかのモデル建物について概算を行い、空調設備工事費をつぎの5要素別に算出した。

- 1) 冷熱源回り（冷凍機、冷却塔、関連ポンプ、配管、制御などを含む）
- 2) 温熱源回り（ボイラ、関連ポンプ、配管、制御などを含む）
- 3) 二次側インテリアダクト系統（空調機、ダクト、吹出し、吸込み口などを含む）
- 4) 二次側インテリア配管系統（ポンプ、配管、制御などを含む）
- 5) 二次側パレメータ配管系統（ポンプ、配管、ファンコイルユニットなどを含む）

各要素については、表 2.4に示した各種機器、あるいは方式の組合せごとに単価をプログラム中に内蔵している。そして、具体的な内蔵データの一例を表 2.5に示した。

表2.4 空調イニシャルコスト単価積算プログラム内蔵項目

要素	項目	水 準	
冷熱源回り	熱源機器種類	水冷遠心式 水冷遠心式ダブルバンドル 温水発生機（油だき） 空冷ヒートポンプパッケージ	水冷チラー 空冷ヒートポンプスクリー 温水発生機（ガスだき）
	基準能力 a) 蓄熱槽 b)	小 なし	大 あり
温熱源回り	熱源機器種類	鑄鉄製組合せボイラ（油だき） 炉筒煙管ボイラ（油だき） 真空式温水ボイラ（油だき） 電気ボイラ	鑄鉄製組合せボイラ（ガスだき） 炉筒煙管ボイラ（ガスだき） 真空式温水ボイラ（ガスだき） 電気ヒータ
	基準能力 a) 蓄熱槽 b)	小 なし	大 あり
二次側 インテリアダクト系統	空調機 基準送風量 [m ³ /m ² ・h] 空調面積 c)	A H U 15 小	P A C 25 大
	省エネルギーシステム	外気冷房 VAV CO ₂ 制御による取入れ外気量制御	全熱交換器 予冷時外気取入れ停止
二次側 インテリア配管系統	搬送システム 基準負荷 d) 空調面積 [m ²] 利用温度差 [°C] 蓄熱槽	C W V 80 10,000 5 なし	V W V 120 50,000 10 あり
	二次側 パレメータ配管系統	搬送システム 基準負荷 e) 空調面積 [m ²] 利用温度差 [°C] 蓄熱槽	C W V 100 10,000 3 なし

注 a) 基準能力の値 [USRt]、[Mcal/h]は熱源機器種類ごとに異なる。
 b) 空冷ヒートポンプパッケージと蓄熱槽あり、および電気ヒータと蓄熱槽ありとの組合せはない。
 c) A H Uの場合は10,000m²と50,000m²、P A Cの場合は2,000m²と10,000m²。
 d) インテリアピーク負荷 [kcal/m²・h]
 e) パレメータピーク負荷 [kcal/m²・h]

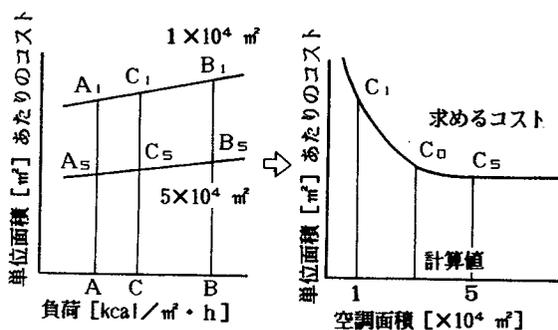
表2.5 空調イニシャルコスト単価内蔵データの一例

要素記号	要素	水 準	能力または負	標準単価*	能力または負	標準単価*	備 考
A	冷熱源回り	水冷遠心式	115 USRt	20.18	300 USRt	12.92	蓄熱槽なし
B	温熱源回り	鑄鉄製組合せボイラ（油だき）	70 Mcal/h	7.25	500 Mcal/h	1.98	蓄熱槽なし
C	二次側インテリアダクト系統	A H U	15m ³ /m ² ・h	1.51	25m ³ /m ² ・h	1.86	空調面積10,000m ²
		外気冷房増分	15m ³ /m ² ・h	0.16	25m ³ /m ² ・h	0.20	
D	二次側インテリア配管系統	C W V	80kcal/m ² ・h	0.34	120kcal/m ² ・h	0.40	空調面積10,000m ² 利用温度差 5°C 蓄熱槽なし
E	二次側パレメータ配管系統	C W V	100kcal/m ² ・h	2.32	150kcal/m ² ・h	2.83	空調面積10,000m ² 利用温度差 3°C 蓄熱槽なし

注 *単位：A [万円/USRt]、B [万円/Mcal・h]、C、D、E [万円/m²]

ただし、C、Dはインテリア面積あたり、Eはパレメータ面積あたり

実際の建物では、負荷密度や延べ床面積に対するコストのスケールメリットがあるので、これを補正するために、二つの基準になる値をあらかじめ与えておき、実際の計算時には内そうによって必要な値を求めるようにした。例えば、図 2.7において、二次側インテリア配管系統では、図 2.7の左図のように、 $10,000\text{m}^2$ における基準負荷A, Bの単位面積あたりのインシヤルコスト A_1, B_1 , $50,000\text{m}^2$ における同様のコスト A_5, B_5 がデータとして内蔵されており、熱負荷計算結果から得られた計算負荷Cにおける $10,000\text{m}^2$, $50,000\text{m}^2$ でのコスト C_1, C_5 は、それぞれ A_1 と B_1, A_5 と B_5 から内そう・外そうによって求められる。さらに、図 2.7の右図のように、 $10,000\text{m}^2$ でのコスト C_1 と $50,000\text{m}^2$ でのコスト C_5 から、求める空調面積におけるコスト C_0 を算出する。ここで、 $50,000\text{m}^2$ 以下では、対数曲線による内そう・外そうとし、 $50,000\text{m}^2$ 以上では $50,000\text{m}^2$ のコストで一定としている。また、熱源回りについては、空調面積による補正は不要で、単に機器能力のスケールメリットのみを補正している。



注 A, B: 基準負荷 C: 計算負荷
 A_1, A_5, B_1, B_5 はコスト内蔵データを示す。

図 2.7 空調インシヤルコストの算出法

このようにして得られたコスト C_0 に、熱源であれば機器容量を、二次側インテリア系統であれば延べインテリア面積、二次側ペリメータ系統であれば延べペリメータ面積を乗じて、各要素のインシヤルコストを求めている。

(4.2) 電気インシヤルコスト

電気インシヤルコストに関しては、4要素に区分し、各要素について設備容量あたりの単価を内蔵データとしている。これを表 2.6に示す。

プログラム内部で各要素の設備容量を自動的に算出し、上記単価に乗じてインシヤルコストを算出している。

表 2.6 電気インシヤルコスト単価内蔵データ

要素	標準単価 [万円/kV·A]
受変電	2.188
幹線	0.919
動力	1.768
照明	24.745

(5) 建築イニシャルコスト

プログラム内部に、各要素の標準単価をデータとして内蔵しており、各要素の面積を累計（蓄熱槽の場合は熱負荷計算結果から必要体積を算出）し、これに単価を乗じてイニシャルコストを算出している。

例えば、外壁に関しては表 2.7 に示すような標準壁の単価が内蔵され、窓部については表 2.8 に示すような単価が内蔵されている。なお、標準仕様以外の壁を使う場合には、その単価を入力することによって計算可能としている。

表 2.7 標準外壁の仕様および単位内蔵データの一例

種 類	材 料 名	材 厚 [mm]	断熱材厚 [mm]	標準単価 [万円/㎡]
一 般 外 壁	コンクリート 断熱材（発泡スチロール・グラスウール） モルタル（断熱材なしの場合） プラスチックボード （断熱材ありの場合、軽鉄下地）	170	0	2.484
		25	25	2.684
		12	50	2.861
カーテンウォール 外 壁	アルミニウムまたはガラス 空気層（半密閉） 断熱材（岩綿形成板） 石綿セメント板	3	0	8.743
		12	25	9.275
		12	50	9.376
ALC板 外 壁	軽量気泡コンクリート（ALC板） 空気層（半密閉） プラスチックボード	120 12	—	1.835

表 2.8 窓回りの使用および単価内蔵データの一例

種 類	標準単価*万円/㎡	種 類	標準単価* [万円/㎡]
透明 8mm ガラス	5.634	熱線吸収 8mm ガラス	6.114
透明 6mm ペアガラス	8.914	熱線反射 8mm ガラス	7.334

注 * ガラス・1/5の縦横回転サッシ・コーキング・ブラインドを含む

(6) 設備システム別ランニングコスト

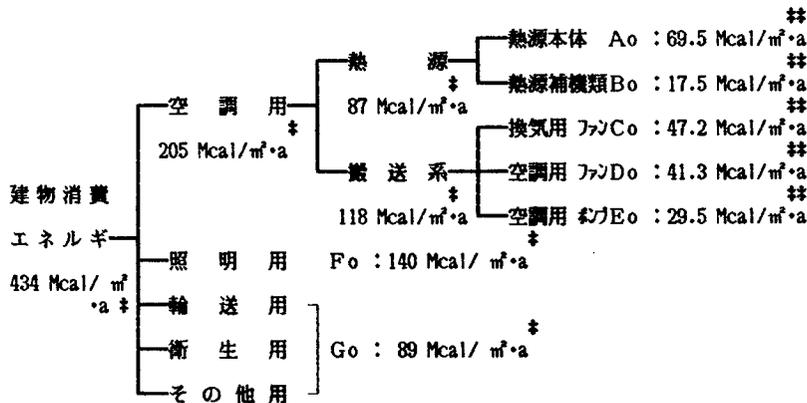
(6.1) 年間エネルギー消費量の算出

一般事務所建物のエネルギー消費量実態調査結果⁽⁵⁾⁽⁶⁾によれば、エネルギー消費量構成はおおよそ表 2.9のとおりである。

本プログラムでは、表中の熱源消費エネルギー量A₀、B₀に関しては、各空調システムごとにつき示すような、各月代表日負荷に基づく簡略年間空調エネルギーシミュレーション⁽⁷⁾⁽⁸⁾によって算出している。

- 1) 室内除去熱量〔非空調時インテリア・ペリメータの完全混合仮定に基づく計算方法（9）による〕および外気負荷を計算し、各時刻ごとに両者を合計（両者が異なる符号を有する時は相殺効果が発生する）してコイル負荷を求める。

表2.9 一般事務所建物のエネルギー消費量



注 数字は一次エネルギー換算値、面積は延べ床面積である。

*の値は、松尾ら⁽⁵⁾の調査結果による。

**の値は、著者らが数件のモデル建物を選定して解析を行って得た値である。

- 2) システムロスをも10%見込んで熱源負荷とする。
 3) 熱源機器の月別平均COP(Coefficient of Performance)を考慮して、熱源エネルギー消費量を算出する。

また、照明用エネルギー消費量 F_0 に関しては、熱負荷計算用インプットデータである照明密度から算出し、搬送系エネルギー、輸送・衛生・その他用エネルギーに関しては、表2.9の実態調査結果の値を、一部修正のうえ算出している。

すなわち、搬送系については表2.9に示す消費エネルギー量 C_0 、 D_0 、 E_0 の値を、各空調システムならびにピーク最大負荷（熱負荷計算結果）を考慮して修正し（例えば、換気用ファン C_0 について、外気冷房システムの場合はそのファン動力エネルギーの増加分を計算して加えるなど）、延べ床面積を乗じて算出し、輸送・衛生・その他用の消費エネルギー量 G_0 については、表2.9の値をそのまま用い、延べ床面積を乗じて算出している。

(6.2) ランニングコストの算出

各要素の年間エネルギー消費量を、温熱源に関しては燈油またはガス消費量に換算し、それ以外のものは消費電力に換算して、それぞれのランニングコストを算出している。

すなわち、燈油やガス代は燈油またはガス消費量に内蔵データである燈油またはガス単価を乗じて算出し、電力料金は建物計画地域に応じた電力会社の供給規定（業務用電力）に基づいて、基本料金・従量料金・特別料金・夏期料金などを算出している。

1-3 単一省エネルギー要素手法の評価と解析例

種々ある省エネルギー要素手法の一つだけに注目し、その手法の影響要因水準を種々に変えて熱経済性の比較検討を行った。その結果の幾つかの例を熱経済性ベクトルを用いて示す。なお、各ケースにおいて特に指示がない場合は、表2.10に示す条件下で計算を行った。

表2.10 モデル建物の固定因子とその水準

因	子	水	準
地用階天平	域途高高窓 井面高窓	東京事務所 3.6m 2.5m 細長比1:1.5、センターコア	
	窓	4面、各面とも窓面積比 50% 透明 8mmガラス	
断熱	ベリメータ 熱輿行	屋根および外壁 25mm 断熱材 3.0 m	
規	模	地上9階、延べ床面積10,000㎡ 貸室面積比 78%	
室内設定	温湿度	夏期: 27℃、60% 冬期: 21℃、40% 中間期: 24℃、50%	
人員	密度	ベリメータ: 0.15人/㎡ インテリア: 0.20人/㎡	
照明	密度	ベリメータ: 15W/㎡ インテリア: 20W/㎡	
外気取入れ量	空調システム 照明システム	20㎡/人・h 一般システム 一般システム	

(1) 建物平面形の主軸の方位による影響
平面形の主軸方向の変化による影響を、
平面形の細長比 1:3 について比較した。

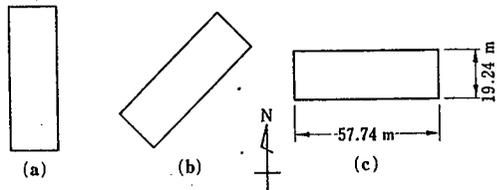


図 2.8 に比較した主軸方向と計算結果を示す。この図からも明らかのように、東西方向に長手がくるタイプのほうが有利である。なお図中で (a) の結果を原点に設定

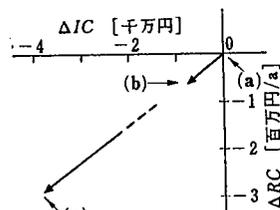


図2.8 主軸方向の熱経済性ベクトル

している。

(2) コア形式

各種コア形式を同一貸室面積比で設定して、比較を行った。比較したコア形式と、その結果を図 2.9 に示す。この図からも明らかなように、ダブルコアや西側片コアが有利である。図中で (a) は原点としている。

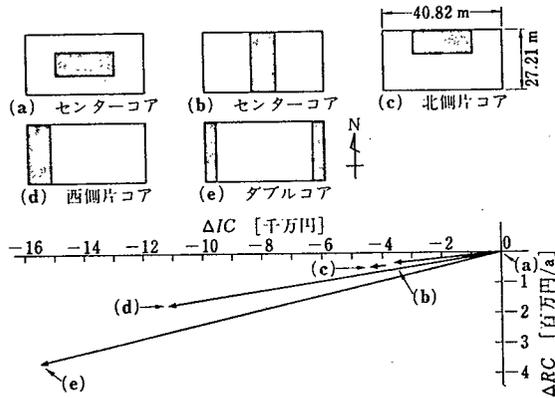
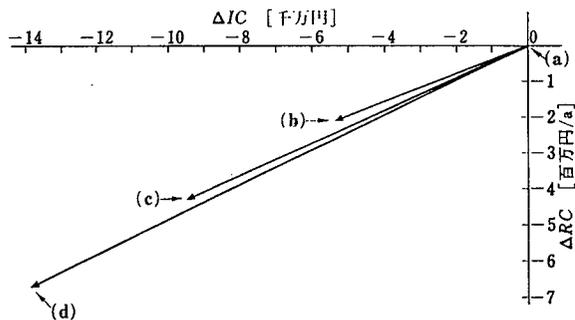


図 2. 9 各種コア形式の熱経済性ベクトル

(3) 窓面積比

各種窓面積比について比較してみた。

図 2.10 から、窓面積比を減少させることは、イニシャルコストとランニングコストの両者を大幅に低減させる効果大きいことがわかる。図中で (a) は原点としている。



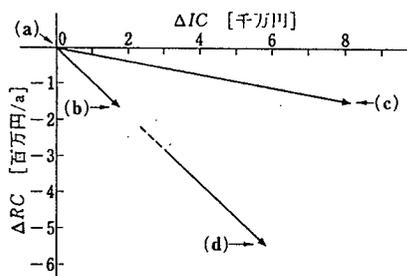
- 注 (a) 各面とも 65% (建物を外から見て)
 (b) 各面とも 50% (建物を外から見て)
 (c) 各面とも 35% (建物を外から見て)
 (d) 各面とも 20% (建物を外から見て)

図 2. 10 窓面積比の熱経済性ベクトル

(4) 窓ガラス仕様

各種窓ガラス仕様について比較を行った。

図2.11から、透明6mmペアガラスは、暖房負荷と冷房負荷がおおよそ同等となるこのような建物例では、コスト高となって経済的メリットが得にくいことがわかる。このようなガラスの採用は、省エネルギーよりむしろ音や結露防止効果を評価してから行うべきであろう。また、同じペアガラスでも、(d)の場合には熱経済性が大幅に改善されており、今後しばしば採用されることが予想される。また図中で(a)は原点としている。



- 注 (a) 透明 8 mm ガラス
 (b) 熱線吸収かつ熱線反射 8 mm ガラス
 (c) 透明 6 mm ペアガラス
 (d) 熱線反射 6 mm + 透明 6 mm ペアガラス

図2.11 窓ガラス仕様の熱経済性ベクトル

(5) 空調システム

各種空調システムについて比較を行った。

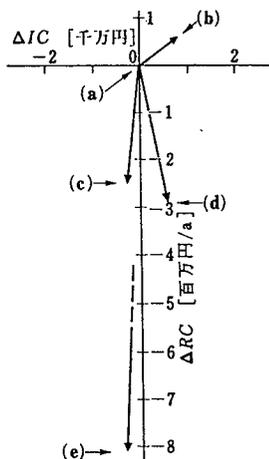
図2.12から、全熱交換器や熱回収ヒートポンプの効果が著しいことがわかる。一方、外気冷房は、この計算では外気取入れ送風機を大形1台新設と仮定したため、イニシャルコストはこの分だけ増加し、送風機消費電力量がかなり大きくなり、年間のランニングコストは逆に少し増加している。設計が適切であればそれなりの効果が出るが、制御がらみの話もあり、効果予測の略算はかなり困難な場合がある。図中で(a)は原点としている。

(6) 照明システム

昼光を有効に利用し、窓際人工照明を自動点滅した場合、照明用消費電力の節減を図ることが可能であり、同時に冷房負荷の軽減も期待できる。この昼光併用(窓際消灯)システムと一般システムとを比較した。

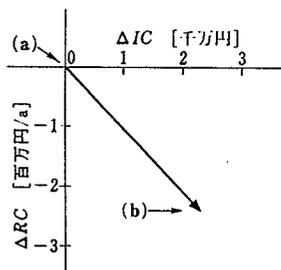
図2.13から、人工照明自動点滅装置や自動ブラインドの設置によってイニシャルコストがかなり増大する一方、ランニングコストはかなり低下し、採否の判断に迷うような傾向を示す。

しかし、窓面積比が小さく、かつ窓ガラスの日射透過率が小さい場合には、省エネルギー効果が見込めないこともある。



- 注 (a) 一般システム(特に省エネルギー手法を採用していない場合)
 (b) 外気冷房
 (c) 全熱交換器
 (d) 外気冷房+全熱交換器
 (e) 熱回収ヒートポンプと上記(d)+VWV+蓄熱槽

図2.12 空調システムの熱経済性ベクトル



- 注 (a) 一般システム
 (b) 昼光併用システム(全自動ブラインドを含む)

図2.13 照明システムの熱経済性ベクトル

1-4 累積省エネルギー要素手法の評価と解析例

実際の省エネルギー建築計画では、前記単一あるいは複合省エネルギー要素手法の効果分析によって熱経済的に有効な省エネルギー要素手法を取捨選択し、有効なものを順次取り入れ、全手法の累積した熱経済性を総合的に評価する必要がある。

一例として、表2.10に示したモデル建物について、この建物を原点とし、累積省エネルギー要素手法の効果分析を東京について行ったので、この結果を図2.14に示す。

図から、各省エネルギー手法の効果の順位がはっきりわかる。すなわち、一般的に言って建築的手法がランニングコストの低減のみならず、イニシャルコストも同時に低減できるのに対し、設備システムの省エネルギー手法では、ランニングコストは低下するがイニシ

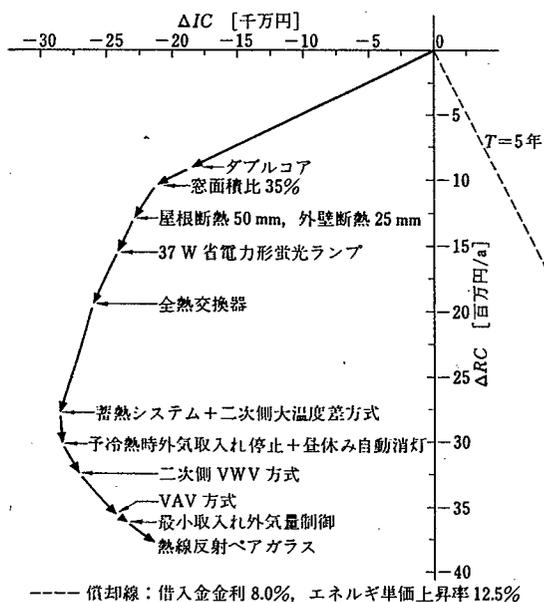


図2.14 各種省エネルギー手法の累積効果例

ャルコストは増大する。このことから、建物の省エネルギー化を図るにあたっては、設備システムだけではなく、建築的省エネルギー手法も同時に採用することによって、経済的にも裏付けられた計画ができると言えよう。

1-5 既存建物の省エネルギー改修への応用

今までの記述は、主として新築建物に対するものであった。しかし、既存建物の省エネルギー改修についても、改修単価さえ人力でできれば解析可能であるので、試算例をここに示す。ここで改修コストは、改修を行う時期によってかなり異なる。そこで、下記の3時点において改修した場合についての評価を行ってみた。

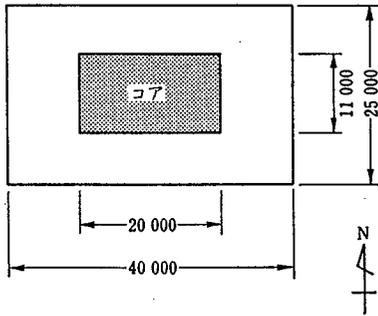
- 1) 単独改修：エネルギー消費量減によるランニングコストの低減のみ可能である。
- 2) 熱源機器更新時改修：空調冷温熱源回りのみ取り替える時期に合わせて改修する場合で、熱源回りのイニシャルコストの低減、ならびに契約電力が500kW以上の場合は、装置容量低減による契約電力の低減も期待できる。
- 3) 建物全体大幅改造時改修：空調・電気設備全体を取り替える時期に合わせて改修する場合で、空調熱源のみならず空調二次側、電気の受電・幹線などを含めて全体的にイニシャルコストの低減が可能であり、また契約電力の低減も可能である。

(1) 既設モデル建物における計算例

図2.15に示すような東京に建つ既設モデル建物を設定し、表2.11に示すような既設建物に採用しやすい省エネルギー手法を導入した場合の効果の効果を、熱経済性ベクトルを用いて解析した。計算の結果を図2.16に示した。

表2.11 既設建物省エネルギー化手法

手 法	改 修 概 要
①外壁断熱 ②日照調節フィルム ③窓面断熱パネル	外壁の室内側に、発泡スチレン25mm裏打ちプラスチックボード張付け 窓ガラスの室内側に張付け 窓面積の30%につき室内側サッシわくに断熱材25mm入りサンドイッチパネルを取り付ける
④ルーバ ⑤昼休み時強制消灯	窓面積の40%につき、室外側サッシ枠に取り付け 照明用電源線の根元に信号発信器を、各分岐回路ごとに受信装置を設けて制御
⑥省電力形ランプ ⑦予冷熱時の外気取入停止	40Wランプを光束の変わらない37Wランプに取替え 各階外気取入れダンパをモータダンパとし、タイマ・リレーを設置して制御
⑧CO ₂ 濃度による取入れ外気量制御	外気系ダンパをモータダンパとし、各階にCO ₂ 濃度計およびコントローラを設置



規模：地上10階建て，延べ床面積10,000 m²，レ
ンタブル比78%，階高3.6 m，天井高2.5 m
外壁：モルタル25 mm，普通コンクリート150 mm
モルタル25 mm
窓：透明8 mm ガラス
4方位とも窓面積比50%
空調システム：インテリア各階 AHU，ペリメ
ータFCU，冷熱源は電動速心冷凍
機，温熱源は灯油だき鋳鉄製組合
せボイラ

図2.15 既設モデル建物

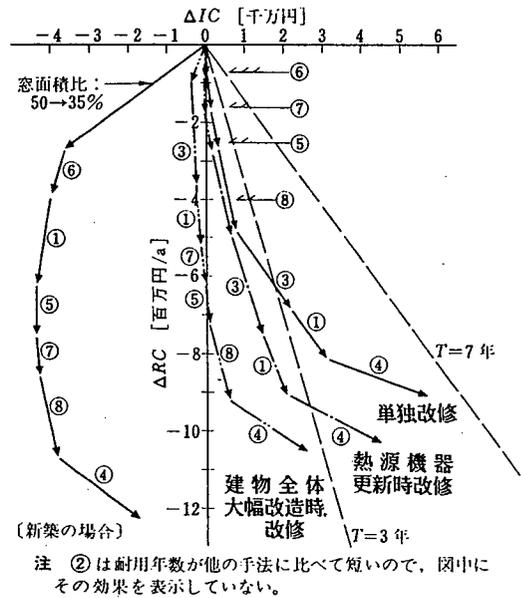


図2.16 既設建物省エネルギー改修の熱経済性ベクトル

(2) 計算結果の考察

図から明らかのように，改修時期が経済性を大きく支配している。大幅な設備更新などと同時に省エネルギー改修を実施すれば，比較的短期間で償却できるが，熱源機器をいじらずに省エネルギー改修する場合には，経済的に成立しうる省エネルギー要素手法の数は，ある程度限定されてしまい，その効果も小さくならざるをえない。

また，この図に新築時に同一の省エネルギー手法を採用した場合の熱経済性ベクトルを併記したが，新築時から省エネルギーを図ったほうが，竣工後しばらくしてから改修するよりも経済的であることははっきりわかる。

第2節 システムシミュレーション手法

2-1 空調システムシミュレーションの必要性

前節において述べた、熱経済性ベクトルを求めるには、年間エネルギー消費量を予測することが不可欠である。そして前節の計算例では、演算時間を短縮する必要性から、略算法による結果を用いた。しかし場合によっては、エネルギー消費量をより詳細に予測する必要があるし、また前記略算法の開発や検証のためにも、精度の高い予測計算法が必要である。

空調用に消費するエネルギー量を予測することは、運転状況が気象条件や室内条件に応じて刻々と変わるだけに、非常に困難である。これに比して、衛生用や照明用に消費するエネルギー量は、使用状況があまり気象条件に支配されず、また室内条件の影響も受けにくい。よって予測計算はほとんど定常的考え方で良く、計算方法の開発に特別な研究を要することが少ない。

以上のような理由から、空調システムシミュレーション手法を開発することは、省エネルギー建築を計画するにあたって、非常に重要となる。

2-2 空調システム詳細シミュレーション法

(1) 空調システムシミュレーションの概要

本計算法では、空調システムの構成、機器特性、制御システム等を考慮に入れてシミュレーションを行い、熱負荷から空調システムの年間消費エネルギー量を算出する。システム状態の急変に追従可能なよう、計算は年間を通じて一時間ごとに行うのが一般であり、さらに冷却コイルや冷却塔、室温変動等の計算部分では、平衡点を見いだすためにくり返し計算が必要となる。

この計算法の研究の歴史については、すでに第1章第1節にその概要を示したが、ここではこれら各種研究の成果をふまえて、著者ら⁽¹⁰⁾によって開発された、空調システムシミュレーションプログラム(E-SAVER)の骨子を簡単に示す。

(2) 計算の流れ

本計算プログラムでは、計算時間の短縮を図るために、各月当たり1~4日の代表日について計算している。この代表日の決め方については、岩崎ら⁽¹¹⁾がすでに発表しているように、月間の毎時気象データが正規分布すると近似し、平均値±標準偏差から2日分の代表日を決めている。そしてこの2日のデータをさらに内そうして、3あるいは4

日分の代表日を作っている。

この1~4日の代表日について毎時刻の熱負荷計算を行い、その後、図2.17に示す計算フローに入る。計算は、室内からファン、空調機、ポンプ、蓄熱槽そして熱源機器へと順を追って進められる。

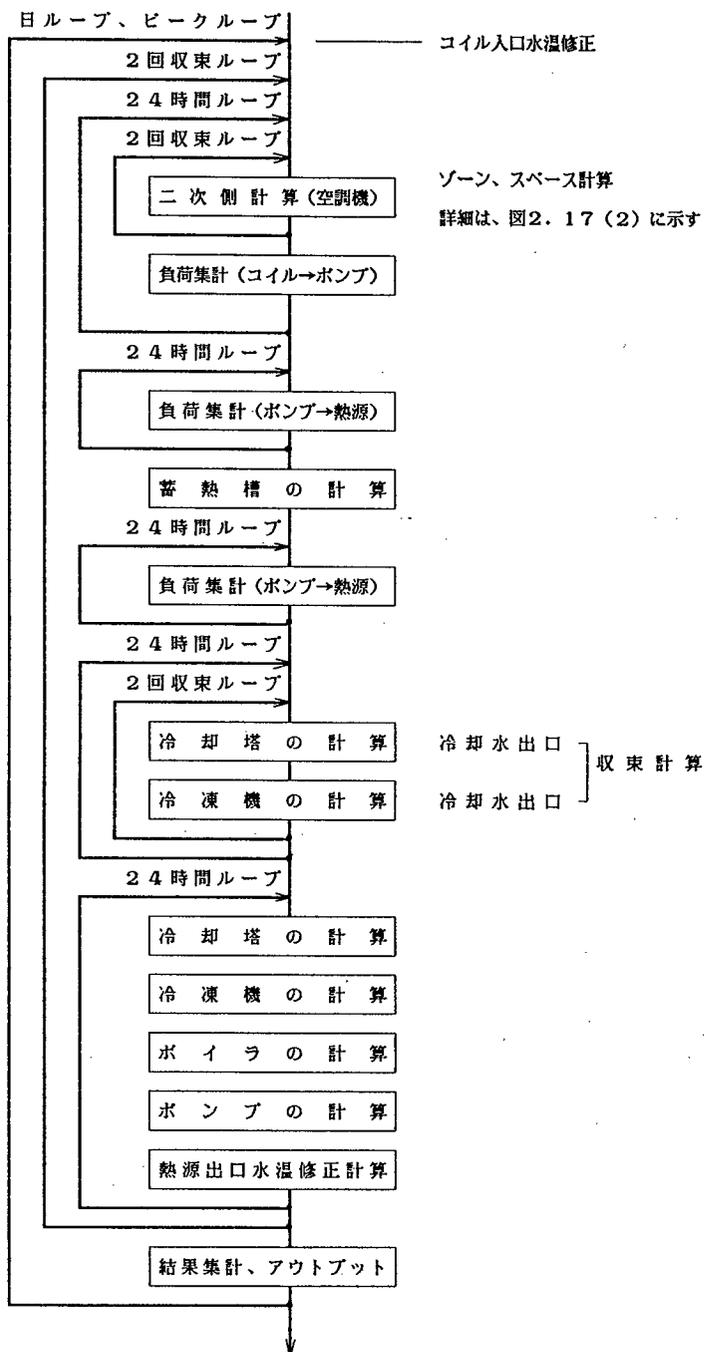


図2.17 (1) 全体フロー

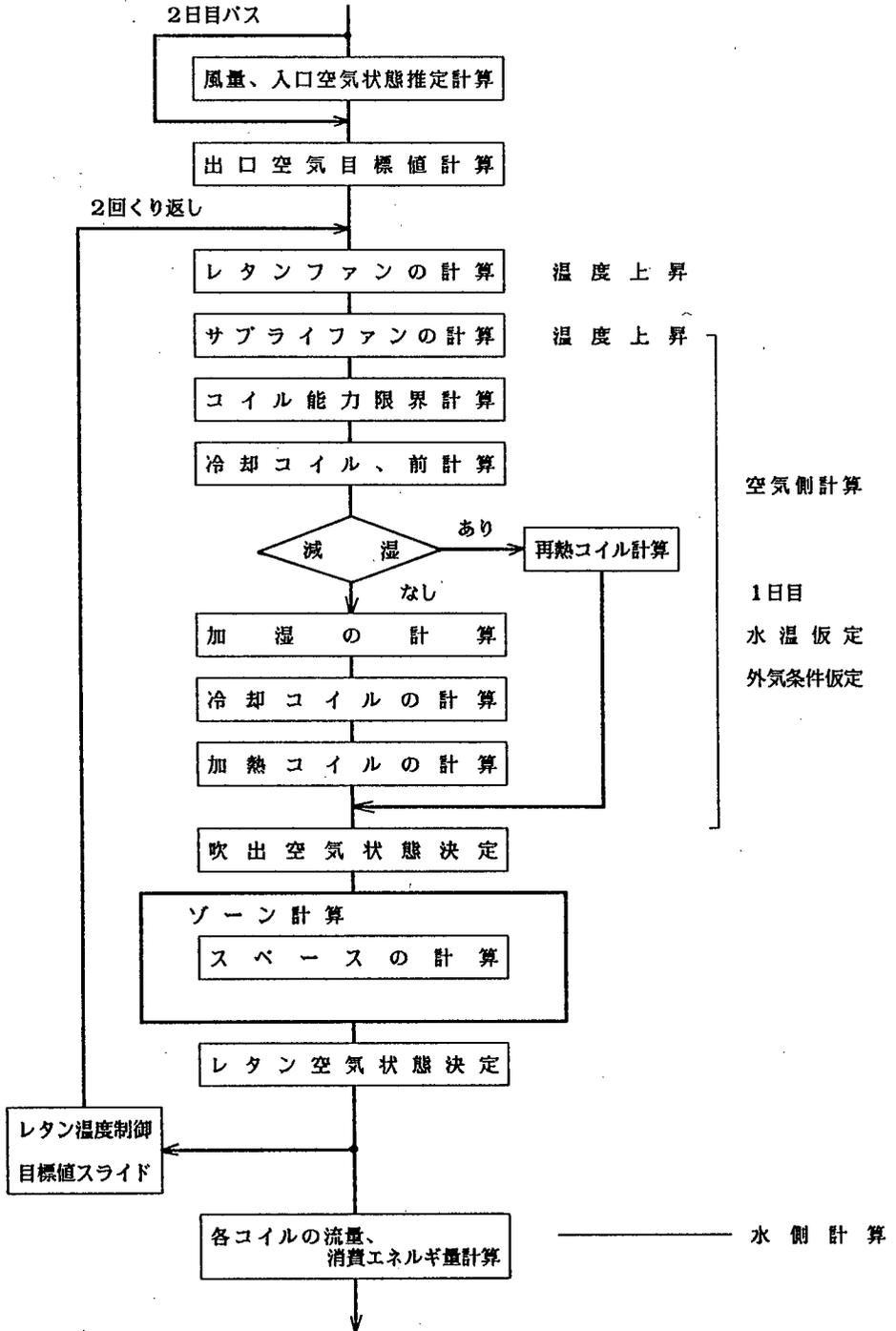


図2.17 (2) 二次側計算フロー

この計算の流れの中で、毎時刻の平衡状態を探索するために、くり返し計算を要するところがかなりあり、それぞれ厳密に計算しては、とても時間がかかりすぎる。そこで近似的ではあるが、ある程度の誤差を許容しつつ計算ループが少なくすむような工夫がされている。またさらに、完全な平衡状態になるまでくり返し計算しなくても、年間のエネルギー消費量を求めれば、春の誤差と秋の誤差が相殺される効果がある。そこで全体としての精度がそれほど低下しないとの確認のうえで、収束ループ計算は2回に限って行うこととした。

(3) コイル解析

冷却コイル出口空気状態の解析に、詳細なコイルシミュレーションを行うと、計算時間がばく大となる。このため本プログラムでは、除湿限界湿度を用いた簡略手法を採用した。

図2.18に最も単純なADP法、最も精度の高いシミュレーション法、そして本プログラムで採用した比較湿度法による出口空気状態の変化を示す。

ここで比較湿度法と名付けた方法は、図中で t_i から t_a までは顕熱冷却のみで、 t_a 以下では比較湿度一定曲線に乗って出口空気状態が変わるとしたものである。この方法は、低負荷時に出口湿度に誤差を生じるが、実用域ではそれほど大きな差とならない。なお図中の除湿限界湿度は、コイル列数によって90~95%の値を選んでいる。

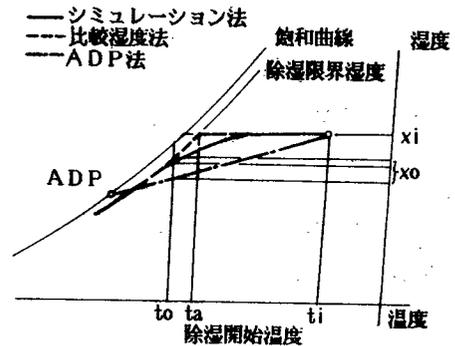


図2.18 冷却コイル出口空気状態解析法

コイル水量の解析は、空気側解析の後に行っており、コイルメーカーで用意された流量特性、風速補正、入口空気温度補正、入口水温補正等線図を折線で近似し、くり返しなしで近似演算している。

(4) 機器特性

搬送及び熱源機器の特性は、負荷率による部分負荷特性は二次式で、水温・外気温度などによる季節特性は二変数の多項式で与えている。たとえば、ターボ冷凍機の冷却能力は、下式のように表現している。

$$F_p(L) = 0.4741 + 0.01337L - 0.00008113L^2 \quad \dots\dots (2.6)$$

ここに $F_p(L)$: 部分負荷時の成績係数の補正係数

L : 負荷率

$$\begin{aligned} \text{COP}(T_c, T_{cv}) = & 1.918 - 0.0489T_c + 0.00731T_c^2 - 0.0329T_{cv} + 0.000164T_{cv}^2 \\ & + 0.000838T_c T_{cv} - 0.000125T_c^2 T_{cv} - 0.00000418T_c T_{cv}^2 \\ & + 0.00000624T_c^2 T_{cv}^2 \quad \dots\dots (2.7) \end{aligned}$$

ここにCOP(T_c, T_{cv}) : 各温度条件での全負荷時成績係数

T_c : 冷水出口温度〔℃〕

T_{cv} : 冷却水入口温度〔℃〕

$$\text{COP}(T_c, T_{cv}, L) = F_p(L) \cdot \text{COP}(T_c, T_{cv}) \quad \dots\dots (2.8)$$

ここにCOP(T_c, T_{cv}, L) : 実負荷運転時の成績係数

(5) 室温・室温解析

室の熱負荷に対して、空調システムで処理しうる負荷が過剰であったり不足すると、室内の温湿度が設定値から変位するところとなり、厳密には熱負荷計算をやり直す必要がある。

しかしこのような大きなループ計算を実施するとなると、計算時間がばく大となるので、空調システムシミュレーションは、熱負荷計算と独立して演算するのが通常である。そして、このような場合に発生する室温・室温変位を簡便に計算し、実際に発生するであろう変位とは異なるが、空調の質を評価できる指標とすることが多い。本プログラムにおける処理方法を次に示す。

過不足熱量

$$RQ_s = Q_s - 0.288V_{sp}(T - T_o) \quad \dots\dots (2.9)$$

$$RQ_r = Q_r - 720V_{sp}(X - X_o) \quad \dots\dots (2.10)$$

室温・室温変位

$$\Delta T = RQ_s / \{KA + 0.288(VR + V_{sp})\} \quad \dots\dots (2.11)$$

$$\Delta X = RQ_r / \{720(VR + V_{sp})\} \quad \dots\dots (2.12)$$

ここに

RQ_s : 室内顕熱過不足熱量〔kcal/h〕

RQ_r : 室内潜熱過不足熱量〔kcal/h〕

Q_s : 室内顕熱除去熱量〔kcal/h〕

Q_r : 室内潜熱除去熱量〔kcal/h〕

T : 室温〔℃〕

To	: 吹出温度	[°C]
X	: 室湿 (絶対湿度)	[g/kg']
Xo	: 吹出湿度	[g/kg']
Vsp	: 吹出風量	[m ³ /h]
KA	: WFの時系列和	[kcal/h°C]
VR	: 室容積	[m ³]

この計算法は、通常は時間おくれを伴って発生する変位を、すべてその時刻にあらわれるとし、それ以前の時刻の変位の影響を受けず、それ以降の時刻に影響を与えないと仮定したものである。

2-3 負荷パターン法による空調エネルギー略算法

(1) 略算法の位置付け

前項では、空調システムが年間に消費するエネルギー量を、詳細に求めるシミュレーション法について述べた。この方法は、得られる結果の精度は高いが、電算機による計算時間がかかり、計算費用がかさむ。また計算を実行させるために要する入力項目も、かなりの技術力がないと満足に与えられない。

一方、多くの建物に省エネルギーを普及させることを目的として、「エネルギー使用の合理化に関する法律」が施行され、空調システムが年間に消費するエネルギー量を、簡単に求めることが要求されるようになった。そして手計算でこの消費量が求められるものとして、全負荷運転時間法と、この負荷パターン法が併行して開発されることとなった。

本節は、筆者が開発に関与した負荷パターン法について、その全体像と負荷パターンの分析、ならびに空調機負荷の略算法について述べる。

(2) 略算法の全体構成⁽¹²⁾

室内の年間熱負荷が求められた後、年間の空調用エネルギー消費量を求めるのには、図2.19に示すような手順で、各段階の数値を求めてゆく必要がある。そしてこのすべての計算を、手計算で行うためには、ある程度大胆な仮定を置きながら進めざるを得ない。

まず室内年間負荷は、「エネルギー使用の合理化に関する法律」で、建物周囲空間の年間熱負荷を求めるべく、松尾ら⁽¹³⁾によって開発された拡張デグリデー法によるPAL値(perimeter anual load)計算の結果と、インテリア熱負荷の合計として、手計算で求めることができる。

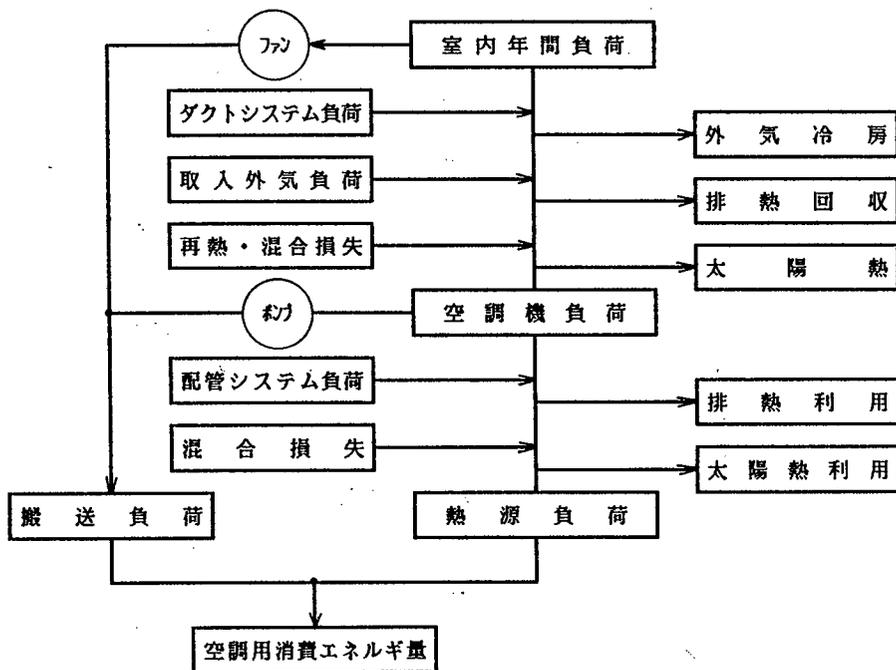


図2.19 エネルギー消費量の構成

次に空調機負荷を求めるのには、取入外気負荷と室内負荷が相殺することが多々あるので、単純和とはならない。この負荷が相殺する効果は、建物の室内負荷が暖房偏重か冷房偏重かによって異なるし、冷房負荷が一日のうちどの時刻に大きくなるかによっても異なる。そこでこの複雑な現象を手計算で処理可能とするため、建物をその発生負荷のパターンによっていくつかに分ける。そしてこの負荷のパターン毎に、あらかじめ電算機で求めた詳細な熱負荷発生比率（負荷係数）から、空調機負荷を求める。そしてこの演算方法は次項にて詳しく述べる。

次にこの空調機負荷から、熱源機器にかかる負荷と、送風機やポンプ等の搬送機器にかかる負荷を併行して求め、合計することによって空調システムの年間エネルギー消費量が求められる。

なおこれらの計算の前提として、建物の使用状況を設定しておく必要がある。そこで、表2.12に示すような、一般的事務室の条件を定めた。

表2.12 建物使用条件

温湿度条件		夏（冷房時） 26℃、50% 冬（暖房時） 22℃、40% 中間期及び冬期冷房負荷時及び夏期暖房負荷時は成行				
運転条件（東京）	運転停止日	日曜、祝日、12/31～1/3				
	運転時間	夏期	平日	8:00～18:00	土曜	8:00～13:00
		中間期	〃	8:30～18:00	〃	8:30～13:00
		冬期	〃	8:00～18:00	〃	8:00～13:00
熱源運転期間	冷熱源	5/15～10/15		温熱源	11/1～4/15	
外気取入量		設計人員に対して1人当り20m ³ /h				
在室人員	人員数	事務室	0.2人/m ² （日平均は0.1）			
		会議室	0.4人/m ² ホール 0.03人/m ²			
	スケジュール	8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20時				
100% = 0.1 [人/m ²]	平日	50←	100 →	50 ←	100 →	75 40 10 0 %
	土曜	50←	100 →	65 25 10 ←	0 →	0 %
照明	設備電力	事務室 20W/m ² 、会議室 15W/m ² 、ホール 10W/m ²				
	点灯スケジュール	8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20時				
	100% = 20 [W/m ²]	平日	50←	100 →	50 ←	100 →
	土曜	50←	100 →	75 50 25 ←	0 →	0 %

(3) 空調機負荷算出のための負荷パターン分析(14)

(3.1) 空調機負荷の構成と軽減策： 空調機負荷は、室負荷と外気負荷とから構成される。熱源負荷はこの空調機負荷にシステム負荷（配管の熱損失、ダクトの熱損失と漏気、二重ダクトシステムにおける冷温風の混合等）を加えたものである。

空調機負荷を手計算で略算するに当たって、近年種々採用される省エネルギー手法の効果が正当に評価されなくてはならない。室負荷の軽減は、建物外かくについては仕様の変更や平面計画の再検討によって達成され、別途提案されている拡張デグリーデー（Degree Day）法を用いて手計算で略算できる。また室内発生熱の軽減も、簡単に評価することができる。本研究においては、外気処理方式の評価について述べている。在来この処理の年間にわたる効果は、手計算では精度良く略算できなかつた。本研究では、主要な省エネルギー手法である外気取入時間制御（予冷熱時外気取入停止等）、取入最小外気量制御（室内CO₂濃度による外気取入量制御等）、取入外気状態制御（全熱々交による熱回収等）、取入最大外気量制御（外気冷房）の四者について、比較的短時間にその効果が求まる方法を開発した。また外気負荷専用の空調機として設置される外調機の有無は、前記四手法の効果に大きく影響するので、あわせて評価対象要因に含めている。

(3.2) 負荷パターン別期間累積負荷の略算法： 空調機負荷は、室負荷と外気負荷を合成したものであるが、この両負荷の関係は図2.20に示すような、いくつかの大小関係ならびに正負の組合せ（負荷パターン）が考えられる。そして各々の組合わさり方によって、外気負荷を増加または減少させることが空調機負荷の軽減につながる。

空調機負荷を詳細に求めるに当っては、冷暖房期間中を通じて1時間ごとに室負荷と外気負荷を求め、上記の負荷パターンに区分し、採用されている外気処理方式の効果を加味して外気負荷を修正した後に両者を合算し、これを冷暖房期間の各々について毎時累積すれば良い。しかしこれを手計算で精密に算出するのは不可能に近いことである。そこで手計算で略算可能とするために、次のような計算手順を考えた。

要冷却 ↑ 要加熱 ↓	①	②	③
	室冷却負荷 外気冷却負荷	室冷却負荷 外気加熱負荷 室加熱負荷	室冷却負荷 外気加熱負荷
	室負荷と外気負荷が共に同じ符号なので空調機で混合しても、負荷を相殺できない。よって、外気負荷をできるだけ減少させた方がよい時期	外気負荷を、室負荷に見合う程度にまで増大させた方がよい時期	外気負荷を、室負荷に見合う程度にまで減少させた方がよい

図2.20 室負荷と外気負荷による負荷パターンの分類

- (a) 拡張デグリーデー法を応用して、手計算で年間の室と外気の冷却および加熱負荷を求める。
- (b) 年間負荷を図2.20の分類で、負荷パターン別の期間累積負荷に分割する。
- (c) 各負荷パターン別の外気負荷を、(4.2)にて後述する、採用する外気処理方式によって修正する。
- (d) 各負荷パターン別ごとに、修正済み外気負荷と室負荷を合算し、さらに暖房期間、冷期間ごとに累積して、年間の空調機負荷を求める。

本項では、上記(a)の結果を用い、手計算で上記(b)の計算をする部分を扱っており、負荷係数を次式のように定義した。

$$\text{(負荷パターン別の負荷係数)} = \frac{\text{(負荷パターン別期間累積負荷)}}{\text{(年間負荷)}} \dots\dots (2.13)$$

(3.3) 負荷係数： 式(2.13)で定義される負荷係数が、各々の負荷パターンごとに与えられておれば、年間負荷はすでに開発済みの手計算法によって簡単に求められるので、負荷パターン別期間累積負荷が手計算で求められることとなる。そしてこの値と外気負荷を合計することによって、外気取り入れ方法の差による省エネルギー効果の差異が、正しく評価できるようになる。

負荷パターンは、基本的には図2.20に示したように3種である。しかし冷房期間と暖房期間に区分して考えると6種となる。また暖房時の加湿負荷は、空調システムの加湿方式によって必要一次エネルギー量が異なるので、別途独立して求めておく必要があるので、1つの負荷パターンとして扱う。この結果、全部で図2.21に示すような7種の負荷パターンを考える。

ここで各負荷パターンについて、図2.21に示すような負荷係数を求める必要がある。この略算法では、標準的空調システムとして、ゾーニングしている場合はインテリアが空調機、ペリメータがファンコイルユニット方式と同等のものに限定して考えた。このため図中の負荷パターン2～5については、室負荷の内インテリア負荷についても負荷係数を求めている。この理由は、外気冷房を行う場合はインテリアゾーンにしか外気が導入できぬためである。また負荷パターン4、5については、室負荷の内ペリメータの加熱負荷について負荷係数を求めている。この理由は、ゾーニングしている場合、インテリア冷却負荷と外気加熱負荷が空調機で相殺しうるのに対し、ペリメータ加熱負荷はファンコイルユニット等で直接熱源の負荷になる差異があることによる。

なおこの負荷係数で、たとえば室冷却用負荷係数の和 $A_1 + A_2 + \dots + A_5$ は1.0とはならないが、この理由は、冷暖房をしない中間期に発生した室冷却負荷分が差し引かれているためである。また建物の断熱仕様が向上するほど、 A_1 が減少し夏季の冷房負荷の年間負荷に対する比率が小さくなり、逆に A_4 や A_5 が大きくなり、冬季の冷房負荷比率が増加することがわかる。

具体的に負荷係数を求めるに当たっては、HASPを基準とした計算方法D Y L O A Dを用い、計算時間の短縮を図るために月2日代表日法によって、年間にわたる熱負荷を求めた。

(3.4) 建物の熱特性のグループ分類： 負荷係数で問題としているのは負荷の比率なので、室負荷の絶対値はあまり関係がなく、むしろ室負荷の発生が加熱側に片寄っているのか、冷却側に片寄っているのかが重要である。

期間	冷房期間									暖房期間									
負荷パターン番号	1		2			3			4				5			6		7	
負荷パターン別 期間累積負荷	RC1 OC1		RC2 IC2 OH2			RC3 IC3 OH3			RC4 IC4 PH4 OH4				RC5 IC5 PH5 OH5			RH6 OH6		HU7	
負荷係数	A1	C1	A2	E2	D2	A3	E3	D3	A4	F4	E4	D4	A5	F5	E5	D5	B6	D6	G7
期間累積 負荷の計算	RC1 = A1 x TRC OC1 = C1 x TOC		RC2 = A2 x TRC IC2 = E2 x TRC OH2 = D2 x TOH			RC3 = A3 x TRC IC3 = E3 x TRC OC3 = D3 x TOH			RC4 = A4 x TRC PH4 = F4 x TRH IC4 = E4 x TRC OC4 = D4 x TOH				RC5 = A5 x TRC PH5 = F5 x TRH IC5 = E5 x TRC CH5 = D5 x TOH			RH6 = B6 x TRH CH6 = D6 x TOH		HU7 = G7 x TOH	
記号説明	RCn: パターン n の累積室冷却負荷 RHn: " 室加熱負荷 OCn: " 外気冷却負荷 OHn: " 外気加熱負荷 HUn: " 外気加湿負荷係数 An: " 室冷却負荷用負荷係数 Bn: " 室加熱負荷用 " " Cn: " 外気冷却負荷用負荷係数 Dn: " 外気加熱負荷用 " " En: " インテリア冷却負荷用負荷係数 Fn: " ぺリメータ加熱負荷用 " " Gn: " 外気加湿負荷内数用負荷係数 TRC: 年間室冷却負荷 TRH: " 加熱負荷									ICn: パターン n の累積インテリア冷却負荷 (※) PHn: " ぺリメータ加熱負荷 (※) (※) インテリア・ぺリメータのゾーニングを行わない場合は、便宜上 ICn = RCn PHn = RHn とする。 TOC: 年間外気冷却負荷 TOH: " 加熱負荷									

図2.21 負荷係数と負荷パターン

室加熱負荷を最も支配するのは熱伝導であり、断熱の良い建物ほど加熱負荷が減少し、冷却負荷はそれほど変化しない。室冷却負荷を最も支配するのは日射によるふく射熱であり、日射しゃへいの良い建物ほど冷却負荷が減少し、加熱負荷はそれほど変化しない。よって建物の断熱性と日射しゃへい性の2つをパラメータとすれば、負荷係数を求めるための建物グループ分類が可能と考えられる。

これら2つのパラメータについては、すでに年間熱負荷係数を拡張デグリデー法で求める計算過程で、熱損失係数 L と、日射熱取得係数 μ が使われており、ここでは基準階の L 、 μ を次式のようにして求めて、パラメータとする。

$$L = \left\{ \sum_{\text{方位}} \sum_{\text{部位}} (K_i \cdot A_i) \right\} / AF \quad \dots\dots (2.14)$$

$$\mu = \left\{ \sum_{\text{方位}} \sum_{\text{部位}} (\eta_i \cdot A_i) \right\} / AF \quad \dots\dots (2.15)$$

ただし

AF : 基準階ペリメータゾーンの床面積

K_i : 各部位の熱貫流率

η_i : 各部位の日射透過率

A_i : 各部位の表面積

なおペリメータゾーン奥行の取り方、コア外壁の取扱いなど計算上の詳細については、拡張デグリデー法における算出方法に準じる。

この他に、負荷係数を大きく支配する要因として、空調ゾーニングの有無と、基準階の面積があげられる。前者は年間室加熱負荷の値や、外気冷房効果の差異に大きく影響するし、後者はペリメータとインテリアの負荷比率を大きく支配する。

以上のような配慮から、建物の熱特性をまず図2.22によってグループ分類し、図中の一領域に対して二種の基準階床面積と、二種の空調方式（ゾーニングの有無）について合計四種類の負荷係数群を、表2.13に示すモデル建物について求め、その一部を表2.14に示した。

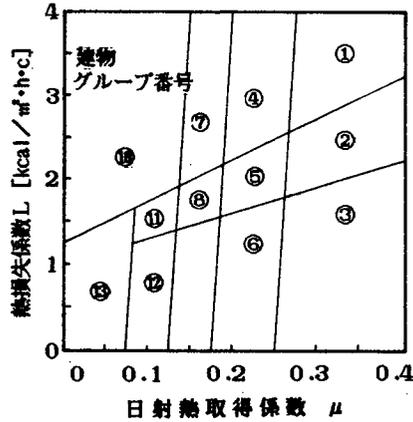


図2.22 建物の熱特性のグループ分類

表2.13 各建物パターンを代表するモデル建物

グループ番号	基準階床面積	コ型	ア式	窓面積比	窓ガラス仕様	壁断熱	L	μ
①	1,000 m ² 500	B	F	65% "	透明 "	なし "	3.26	.330
							3.31	.323
②	1,000 m ² 500	B	F	" "	" "	50mm "	2.51	.300
							2.60	.294
③	1,000 m ² 500	B	F	" "	透ペア "	" "	1.55	.300
							1.68	.294
④	1,000 m ² 500	D	H	" "	透明 "	なし "	2.58	.233
							2.85	.257
⑤	1,000 m ² 500	D	H	" "	" "	50mm "	2.09	.214
							2.32	.235
⑥	1,000 m ² 500	D	H	" "	透ペア "	" "	1.47	.214
							1.63	.235
⑦	1,000 m ² 500	C	G	50% "	透明 "	なし "	2.13	.154
							2.63	.178
⑧	1,000 m ² 500	C	G	65% "	" "	50mm "	1.86	.164
							1.84	.169
⑨	1,000 m ² 500	C	G	" "	透ペア "	" "	1.42	.164
							1.38	.169
⑩	1,000 m ² 500	C	G	35% "	反ペア "	なし "	1.71	.076
							2.19	.096
⑪	1,000 m ² 500	A	E	65% "	透明 "	50mm "	1.43	.117
							1.55	.125
⑫	1,000 m ² 500	A	E	" "	透ペア "	" "	1.14	.117
							1.25	.125
⑬	1,000 m ² 500	A	E	35% "	反ペア "	" "	0.92	.042
							1.01	.046

透ペア：透明ペアガラス、反ペア：熱線反射ペアガラス

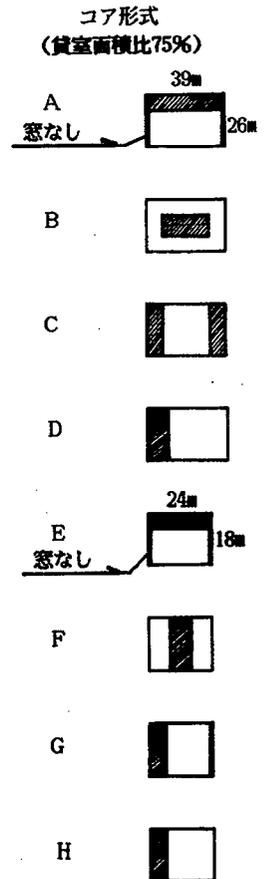


表2.14 負荷係数の一部

グループ 番号	基準階 床面積 [㎡]	ゾーニング の有無	負 荷 係 数																		
			A1	C1	A2	E2	D2	A3	E3	D3	A4	F4	E4	D4	A5	F5	E5	D5	B6	D6	G7
⑦	1,000	有	.51	1.0	.16	.09	.05	.01	.01	.01	.06	.00	.03	.02	.16	.27	.11	.61	.70	.19	.28
		無	.52	1.0	.17	.17	.05	.00	.00	.01	.10	.00	.10	.07	.10	.00	.10	.41	.96	.34	.28
	500	有	.66	1.0	.11	.04	.02	.05	.01	.03	.02	.00	.00	.00	.04	.00	.01	.04	.94	.77	.28
		無	.69	1.0	.16	.16	.05	.00	.00	.00	.05	.00	.05	.02	.03	.00	.03	.11	.94	.70	.28
⑧	1,000	有	.46	1.0	.16	.08	.05	.00	.00	.01	.06	.00	.03	.03	.20	.15	.10	.65	.82	.15	.28
		無	.46	1.0	.16	.16	.08	.00	.00	.00	.16	.00	.16	.17	.10	.00	.10	.49	.96	.17	.28
	500	有	.51	1.0	.13	.04	.03	.04	.01	.03	.05	.00	.01	.01	.14	.03	.03	.34	.92	.47	.28
		無	.52	1.0	.16	.16	.05	.00	.00	.01	.13	.00	.13	.13	.08	.00	.08	.33	.95	.36	.28
⑨	1,000	有	.38	1.0	.15	.08	.05	.00	.00	.01	.08	.00	.04	.05	.27	.00	.11	.71	1.0	.06	.28
		無	.38	1.0	.16	.16	.06	.00	.00	.00	.24	.00	.24	.31	.11	.00	.11	.46	1.0	.05	.28
	500	有	.41	1.0	.14	.04	.04	.02	.01	.02	.05	.00	.01	.02	.25	.00	.05	.61	.99	.20	.28
		無	.41	1.0	.16	.16	.06	.00	.00	.00	.23	.00	.23	.30	.08	.00	.08	.46	1.0	.07	.28

(3.5) 計算の手順： 建築設計図が与えられ、拡張デグリーデー法を応用して年間空調負荷を求めれば、図2.23に示す手順によって負荷パターン別期間累積負荷が求められる。なお拡張デグリーデー法はゾーニングが計算の前提であるが、ゾーニングがない場合の年間加熱負荷は、ペリメータとインテリアの空気が混合することになり、加熱負荷は多少小さくなる。よってこれを補正する必要があり、建物パターン別の補正係数を表2.15に示す。

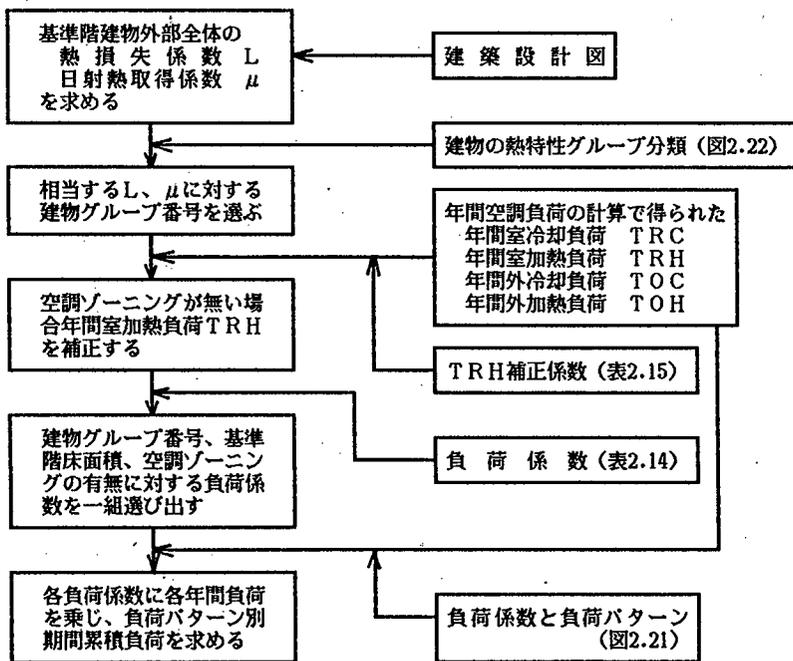


図2.23 計算の手順

(4) 外気制御効果を考慮した空調機負荷の略算法⁽¹⁵⁾

(4.1) 空調機負荷の略算法： 前項では、空調機負荷算出のために、負荷パターン別期間累積負荷の算出法について報告した。本項では、この負荷パターン別期間累積負荷を、採用する外気処理方式に応じて修正し、空調機負荷を算出する略算法について報告する。

外気処理方式の評価を行うには、冷暖房期間中を通じて1時間ごとに計算し評価するのが望ましいが、手計算では不可能である。そこで本略算法では、室負荷と外気負荷との大小関係に着目し、負荷パターンごとに外気処理方式を考慮して、近似モデルによって外気負荷の修正を行う。こうして得られた負荷パターン別修正外気負荷と室負荷とを合成し、期間別に合成負荷を累計して空調機負荷を算出する。この算出手順を図2.24に示す。

表2.15 年間室加熱負荷補正係数 J

基準階 床面積		補正係数 J			
		1,000 m ²		500 m ²	
グ	①	0.95		0.94	
	②	0.89		0.85	
	③		0.52		0.47
ル	④	0.86		0.95	
	⑤	0.83		0.94	
	⑥		0.98		0.75
ブ	⑦	0.83		0.93	
	⑧	0.87		0.92	
	⑨		0.95		0.80
号	⑩	0.87		0.99	
	⑪	0.83		0.76	
	⑫		0.87		0.81
	⑬	1.00		0.98	

ゾーニングがない場合の年間室加熱負荷
=補正係数 J × TRH

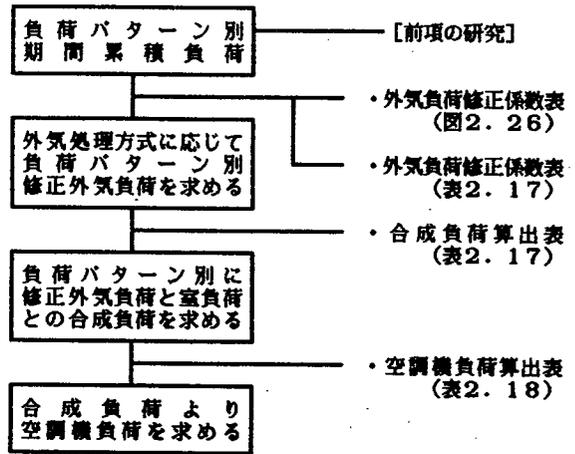


図2.24 空調機負荷算出手順

(4.2) 外気処理方式： 本略算法では、外気の省エネルギー的処理としてよく採用されている下記の方式について計算可能である。なお、各外気処理方式と外気負荷修正との対応関係を図2.25に示す。

1) 外気取入時間制御

冷暖房の予冷熱時間中には、建物には人がいないと考えて良いので、外気取入を自動的に停止する。但し、停止時間は1時間とする。

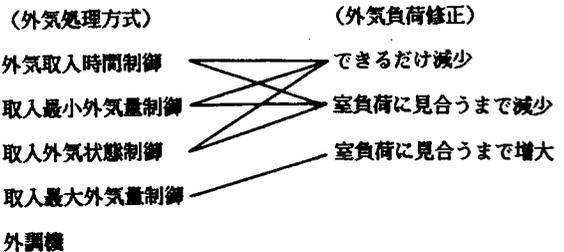


図2.25 外気処理方式と外気負荷修正との対応

2) 取入最小外気量制御

建物内の実際の在室者数は、一般に設計時の予想に比較して少ない。そこで、在室者数に合わせて取入外気量を絞り、省エネルギーを図る。この場合の制御水準としては、検知管で室内CO₂濃度を定期的に計測し、外気取入ダンパを遠隔手動調節する方式と、室内CO₂濃度連続測定による自動制御方式の2種の場合について略算可能である。

3) 取入外気状態制御

排気中の熱を取入外気と熱交換させることにより、取入外気の状態を室内側に近づける

手法で、一般には全熱交換器が使用される。制御水準としては、年間運転、運転又は停止の二位置制御、及び回転数制御等による効率比例制御の3種について略算可能である。

4) 取入最大外気量制御

主として中間期に、常時の設計風量以上に外気を多量に取入れ、外気冷房を行う手法である。制御水準としては、乾球温度差検出とエンタルピ差検出による自動調節の2種について略算可能である。

5) 外調機の有無

空調システムにおいて、空調機を外気負荷処理用と室負荷処理用とに区分して設置する場合がある。このとき、外気負荷処理用空調機を外調機と略称している。なお、外調機のある場合の制御水準として、本略算法では、外気を室内状態まで自動調節する場合にのみ限定している。

(4.3) 修正外気負荷の計算

前項で得られた、負荷パターン別期間累積負荷のうち外気負荷を、採用する外気処理方式に応じて修正してゆく。その修正手順を図2.26に示す。

この図の使い方を説明すると、まず負荷パターン1について、すでに求められている外気負荷 OC_1 を、外気取り入れ時間制御の有無によって、その効果を示す係数 α を乗じて、修正外気負荷 $OC_1^{(1)}$ を求める。次に取り入れ最小外気量制御の効果を示す係数 β を乗じて、修正外気負荷 $OC_1^{(2)}$ を求める。以下同様にして、他の省エネルギー要素手法の効果に乗じて、最終的に $OC_1^{(4)}$ を求める。そしてこれを、他の負荷パターンについても同様に繰り返す。

この外気負荷修正図は、外調機の有無に応じて2種類用意されているが、図2.26には外調機なしの場合を示す。図中の外気負荷修正係数 $\alpha \sim \delta$ は、外気処理方式の制御水準と負荷パターンとの組合せによって異なり、それらを表2.16に示し、その算出モデルを以下に述べる。

期 間		冷 房 期 間			暖 房 期 間				
負荷パターン番号		1	2	3	4	5	6	7	
負荷の状況									
外気処理方式	制御水準								
外気取入 時間制御	1	$OC1^{(1)} = OC1 \times \alpha$		$OH2^{(1)} = OH2 \times \alpha$		$OH3^{(1)} = OH3 \times \alpha$		$OH4^{(1)} = OH4 \times \alpha$	
	2							$OH5^{(1)} = OH5 \times \alpha$	
	3							$OH6^{(1)} = OH6 \times \alpha$	
取入最小 外気量制御	1	$OC1^{(2)} = OC1^{(1)} \times \beta$		$OH2^{(2)} = OH2^{(1)} \times \beta$		$OH3^{(2)} = OH3^{(1)} \times \beta$		$OH4^{(2)} = OH4^{(1)} \times \beta$	
	2							$OH5^{(2)} = OH5^{(1)} \times \beta$	
	3							$OH6^{(2)} = OH6^{(1)} \times \beta$	
取入外気 状態制御	1	$OC1^{(3)} = OC1^{(2)}$		$OH2^{(3)} = OH2^{(2)}$		$OH3^{(3)} = OH3^{(2)}$		$OH4^{(3)} = OH4^{(2)}$	
	2	$OC1^{(3)} = OC1^{(2)} \times \gamma_a$		$OH2^{(3)} = OH2^{(2)} \times \gamma_b$		$OH3^{(3)} = OH3^{(2)} \times \gamma_b$		$OH4^{(3)} = OH4^{(2)} \times \gamma_c$	
	3			$OH2^{(3)} = OH2^{(2)}$		$OH3^{(3)} = OH3^{(2)}$		$OH4^{(3)} = OH4^{(2)}$	
	4			$OH2^{(3)} = OH2^{(2)}$		$OH3^{(3)} = OH3^{(2)} \times \gamma_b$ 但し、 $OH3^{(3)} < IC3$ ならば、 $OH3^{(3)} = IC3$		$OH4^{(3)} = OH4^{(2)}$	
4	$OH2^{(3)} = OH2^{(2)}$			$OH3^{(3)} = OH3^{(2)} \times \gamma_b$ 但し、 $OH3^{(3)} < IC3$ ならば、 $OH3^{(3)} = IC3$		$OH4^{(3)} = OH4^{(2)}$			
取入最大 外気量制御	1	$OC1^{(4)} = OC1^{(3)}$		$OH2^{(4)} = OH2^{(3)}$		$OH3^{(4)} = OH3^{(3)}$		$OH4^{(4)} = OH4^{(3)}$	
	2	$OC1^{(4)} = OC1^{(3)} \times \{ (1 - \delta 2c) + \delta 2c \times R \}$		$OH2^{(4)} = OH2^{(3)} \times \delta 1c \times R$		$OH3^{(4)} = OH3^{(3)}$ 但し、 $OH3^{(4)} > IC3$ ならば、 $OH3^{(4)} = IC3$		$OH4^{(4)} = OH4^{(3)} \times \delta 1H \times R$ 1は制御水準番号 但し、 $OH4^{(4)} > IC4$ ならば、 $OH4^{(4)} = IC4$	
	3	$OC1^{(4)} = OC1^{(3)}$		$OH2^{(4)} = OH2^{(3)}$ 1は制御水準番号 但し、 $OH2^{(4)} > IC2$ ならば、 $OH2^{(4)} = IC2$					
修正済み外気負荷		$OC1^{(4)}$		$OH2^{(4)}$		$OH3^{(4)}$		$OH4^{(4)}$	
								$OH5^{(4)}$	
								$OH6^{(4)}$	
								$HU7^{(4)}$	

$\alpha \sim \delta$: 外気負荷修正係数, R : 最大取入外気比率

RCn, ICn, RHn, PHn, OCn, OHn, HUn : 図3. 21と同じ

図2. 26 外気負荷修正図 (外空調機なしの場合)

表2.16 外気負荷修正係数

外気処理方式	制 御 水 準		修 正 係 数
外 気 取 入 時 間 制 御	1	なし	$\alpha_1 = 1.0$
	2	予冷熱時1時間 外気取入自動停止	$\alpha_2 = 0.88$
取 入 最 小	1	なし	$\beta_1 = 1.0$
	2	定期計測による遠隔 手動調節	$\beta_2 = 1 - (1-x) \times 0.3$
外 気 量 制 御	3	室内CO ₂ 濃度自動 調節	$\beta_3 = x$
取 入 外 気 状 態 制 御	1	なし	$\gamma_a = (1 - \eta_a)$ $\gamma_b = (1 - \eta_b)$ $\gamma_c = (1 - \eta_c)$
	2	年間運転	
	3	二位置制御	
	4	効率比例制御	
取 入 最 大	1	なし	$\delta_1 = 1.0$
	2	乾球温度差検出による 自動調節	$\delta_{2c} = 0.91, \delta_{2h} = 1.0$ $\delta_{2'c} = 0.98$
外 気 量 制 御	3	エンタルピ差検出による 自動調節	$\delta_{3c} = 0.98, \delta_{3h} = 1.0$

1) 外気取入時間制御

予冷熱時外気取入停止を行った場合の外気負荷修正係数として、本略算法では年間外気加熱負荷TOHに着目し、早朝1時間外気取入停止を行った場合の同負荷TOH'との比で一律に設定した。すなわち、電算機シミュレーションの結果、 $\alpha_2 = TOH' / TOH = 0.88$ としている。なお、年間外気冷却負荷に着目した場合も、値にそれほど差はない。

2) 取入最小外気量制御

設計在室人員に対する年間平均在室率をxとして、各制御水準についての外気負荷修正係数表2.16のように設定した。

3) 取入外気状態制御

図2.26中の、この制御による外気負荷修正係数 $\gamma_a, \gamma_b, \gamma_c$ は、式(2.16)に示す期間別全熱交換器効率 η_i より $\gamma_i = 1 - \eta_i$ で求められる。ここに添字iは、 $i = a$ のとき冷房期間で外気冷却負荷の場合(図2.26の負荷パターン番号1)、 $i = b$ のとき冷房期間で外気加熱負荷の場合(同2, 3)、 $i = c$ のとき暖房期間で外気加熱負荷の場合(同4, 5, 6)を示す。

$$\eta_i = \eta_{ei} \times V_1 / V_2$$

$$\eta_{ei} = \eta_s \times R_{si} + \eta_r \times R_{ri} \quad \dots (2.16)$$

ここで η_{ei} : 期間別全熱交換器の給気側顕熱・潜熱平均効率

V_1 : 全熱交換器処理外気量

V_2 : 取入全外気量

η_s : 全熱交換器給気側顕熱効率 = $(t_1 - t_2) / (t_1 - t_3)$

η_r : 全熱交換器給気側潜熱効率 = $(x_1 - x_2) / (x_1 - x_3)$

R_{si} : 期間別外気平均顕熱比率

東京の場合, $R_{sa} = 0.09$

$R_{sb} = 0.73$ $R_{sc} = 0.65$

R_{ri} : 期間別外気平均潜熱比率 = $1 - R_{si}$

t_1 : 全熱交換器給気側入口温度〔℃〕

t_2 : 全熱交換器給気側出口温度〔℃〕

t_3 : 全熱交換器排気側入口温度〔℃〕

x_1 : 全熱交換器給気側入口絶対湿度〔kg/kg'〕

x_2 : 全熱交換器給気側出口絶対湿度〔kg/kg'〕

x_3 : 全熱交換器排気側入口絶対湿度〔kg/kg'〕

4) 取入最大外気量制御

外気冷房による最大取入外気比率Rを次式で定義する。

$$R = (\text{最大取入可能外気量}) / (\text{標準取入外気量}) \quad \dots (2.17)$$

このRを用い、外気冷房によって相殺可能な室冷却負荷 Q_{max} は次式で表わされる。

$$Q_{max} = Q_{oh} \times \delta \times R \quad \dots (2.18)$$

ここで、 Q_{oh} は外気加熱負荷であり、 δ は制御設定幅、ファン発熱等による割引率である。本略算法では、この δ を外気負荷修正係数として、次のように設定した。

イ まず、空気調和・衛生工学会標準気象データ（東京）を用い、冷房期間・暖房期間について、単位風量当たりの累積室内外エンタルピ差を図2.27(イ) から求める。これを、

I_{cc} : 冷房期間冷却負荷側の累積室内外エンタルピ差

I_{hc} : // 加熱負荷側の //

I_{ch} : 暖房期間冷却負荷側の累積室内外エンタルピ差

I_{hh} : // 加熱負荷側の //

とする。

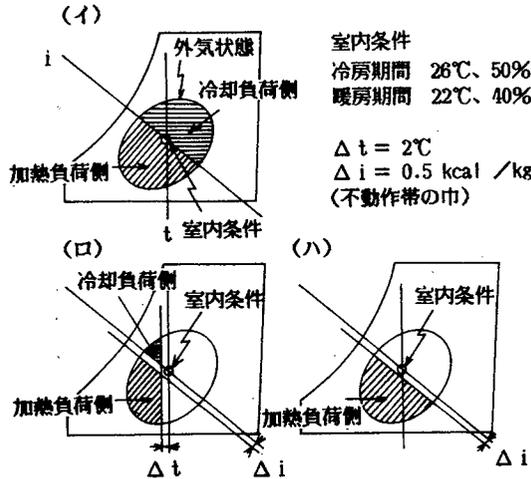


図2.27 外気冷房用修正係数算出モデル

ロ 乾球温度差検出の場合、図2.27(ロ)のように不動作帯を設けて、単位風量当たりの累積室内外エンタルピ差を、前記同様に算出する。これを前記記号に' を付けて表すと、修正係数 δ は次のように設定される。

$$\text{冷房期間の場合} \quad \delta_{2c} = I_{hc}' / I_{hc}$$

$$\text{暖房期間の場合} \quad \delta_{2h} = I_{hh}' / I_{hh}$$

なお、この場合は図で示されるように、冷房期間における外気冷却負荷の増大を招く場合があり、これを次のような修正係数 δ'_{2c} で考慮する。すなわち、

$$\delta'_{2c} = I_{cc}' / I_{cc}$$

ハ エンタルピ差検出の場合は、図2.27(ハ)のような不動作帯を設けて、前記同様単位風量当たりの累積室内外エンタルピ差を算出する。これを" を付けた記号で表すと、修正係数 δ は次のように設定される。

$$\text{冷房期間の場合} \quad \delta_{3c} = I_{hc}'' / I_{hc}$$

$$\text{暖房期間の場合} \quad \delta_{3h} = I_{hh}'' / I_{hh}$$

以上の各修正係数を実際に計算して求めた値が、表2.16に示されている。

(4.4) 空調機負荷の算出： 前節で得られた修正外気負荷と室負荷を、負荷パターンごとに合成し、更にこの合成負荷を冷暖房期間別に累積し、空調機負荷を求める。その算出手順をそれぞれ、表2.17及び表2.18に示す。

表2.17 合成負荷算出表

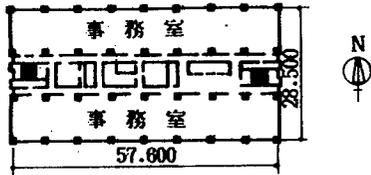
期間	冷 房 期 間			暖 房 期 間			
	1	2	3	4	5	6	7
n							
A	$TL_1 =$ (4) $RC_1 + OC_1$	$TL_2 =$ (4) $RC_2 - OH_2$	$TL_3 =$ (4) $RC_3 - OH_3$	$TL_4 =$ (4) $PH_4 + [OH_4$ $- IC_4]$ 但し、 (4) $OH_4 \leq IC_4$ の場合 $TL_4 =$ PH_4	$TL_5 =$ (4) $PH_5 + [OH_5$ $- IC_5]$ 但し、 (4) $OH_5 \leq IC_5$ の場合 $TL_5 =$ PH_5	$TL_6 =$ (4) $RH_6 + OH_6$	$TL_7 =$ (4) HU_7
B	$TL_1 =$ (4) $RC_1 + OC_1$	$TL_2 =$ RC_2	$TL_3 =$ RC_3	$TL_4 =$ (4) $PH_4 + OH_4$	$TL_5 =$ (4) $PH_5 + OH_5$	$TL_6 =$ (4) $PH_6 + OH_6$	$TL_7 =$ (4) HU_7

n：負荷パターン番号、 A：外調機なしの場合、 B：外調機ありの場合

表2.18 空調機負荷算出表

加湿方式	負 荷	空調機冷却負荷	空調機加熱負荷	加湿装置負荷
水噴霧をし、コイルの熱で蒸発させる方式		$TL_1 + TL_2 + TL_3$	$TL_4 + TL_5 + TL_6$	0
コイルと別熱源で、蒸気を発生させる方式		同 上	$TL_4 + TL_5 + TL_6$ $- TL_7$	TL_7

(4.5) モデル建物による計算結果： 図2.28のような東京に建つモデル建物を設定し、外気処理方式として、何も採用しない場合と、外気取入時間制御および取入外気状態制御（制御水準：年間運転）を採用した場合の2種類について、本略算法を用いて空調機負荷の算出を行った。さらに電算機を用い、HASP計算方法を基本とした DYLOAD (11) による空調機負荷の算出を同様に行ったので、それらの結果を図2.29に比較する。



- ・地上9階建、延床面積15,000㎡、基準階床面積約1,600㎡
- ・階高3.8m、天井高2.7m
- ・窓面積比 南・北40%、東・西0%
- ・熱損失係数 $L = 2.42 \text{ kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃}$
- ・日射熱取得係数 $\mu = 0.169$
- ・建物グループ番号①、空調ゾーニングあり、外調機なし
- ・加湿方式 水噴霧方式
- ・全熱交換器額・潜熱効率 $\eta_s = 0.7$ 、 $\eta_l = 0.7$

図2.28 モデル建物

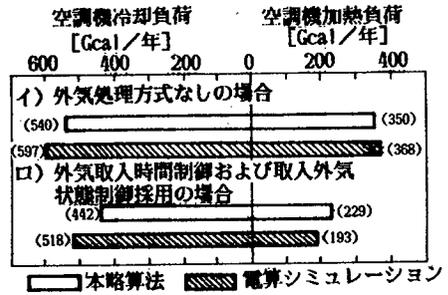


図2.29 空調機負荷計算結果

図2.29より、電算機を用いたいわゆる標準偏差法による空調機負荷に対して、本略算法を用いた場合は、最大で±20%程度の差がある。これを大きいと判断するか、小さいと判断するかはむずかしいが、ともかく手計算でこの程度の精度が得られることがわかっただけでも、意義あることと考える。

第3節 ソーラーシステム概算評価法⁽¹⁶⁾

3-1 ソーラーシステムの設計手順

太陽熱を、機械力を用いて冷暖房給湯に利用するソーラーシステムは、ここ10年ほどの間に竣工物件が多数見られるようになってきた。そしてこのシステムは、確かに建物の消費エネルギー量を節減できるので、省エネルギーに寄与していると言えよう。

しかし一方、その経済性に目を向けると、余分に投資した費用を回収するのに、7~30年と長期間を要し、場合によっては機器耐用年数以上となってしまふ。すなわち、経済的にはかえって不利となる場合もある。そこで、ソーラーシステムを計画するに当たっては、よほど適切な設計をしないことには、導入した利点が発生しなくなる。

ソーラーシステムの設計は、図2.30に示すような手順で行われる。そしてシステムの採否は、設計初期段階に判断されることが多く、かつ集熱量の他、システム全体の省エネ効果や経済性の検討を要求される。しかし、ソーラーシステムは建築要素と密接に関係するため、詳細な検討の基でシステム全体の評価を行うことは困難な場合が多い。一方、はん用システムシミュレーションプログラムを作ることは、最適ソーラーシステムを設計する上で重要であるが、実用上幾つかの問題点が存在する。例えば、(1) 使用可能な気象データが限定され、適用できる地域が限られる。(2) 入力データ数が多く複雑である。(3) 計算時間がかかり、システムを決定するのにかなりの経費を要するなどである。したがって、設計手順上からも、簡易的なシステム評価のできる手法の必要性が高い。そして本節は、上記要求に答える概算評価法について研究した内容を述べる。

3-2 概算評価の計算

本評価法は、気象データの作成・集熱量の算定・エネルギー収支の算定および償却年数の算定などを概算手法に基づき実行するものである。図2.31に入出力概要と概略フローを示す。

(1) 気象データの作成

気象庁から公表されている月平均気象データ⁽¹⁷⁾に基づき、集熱計算などソーラーシステムの検討に必要な時刻別気象データを以下に示す統計的手法等を用い作成する。気象要素は、法線面直達・水平面拡散日射量の月別時刻別平均ひん度分布、月別時刻別平均外気温、月別平均絶対温度および夜間ふく射量などである。

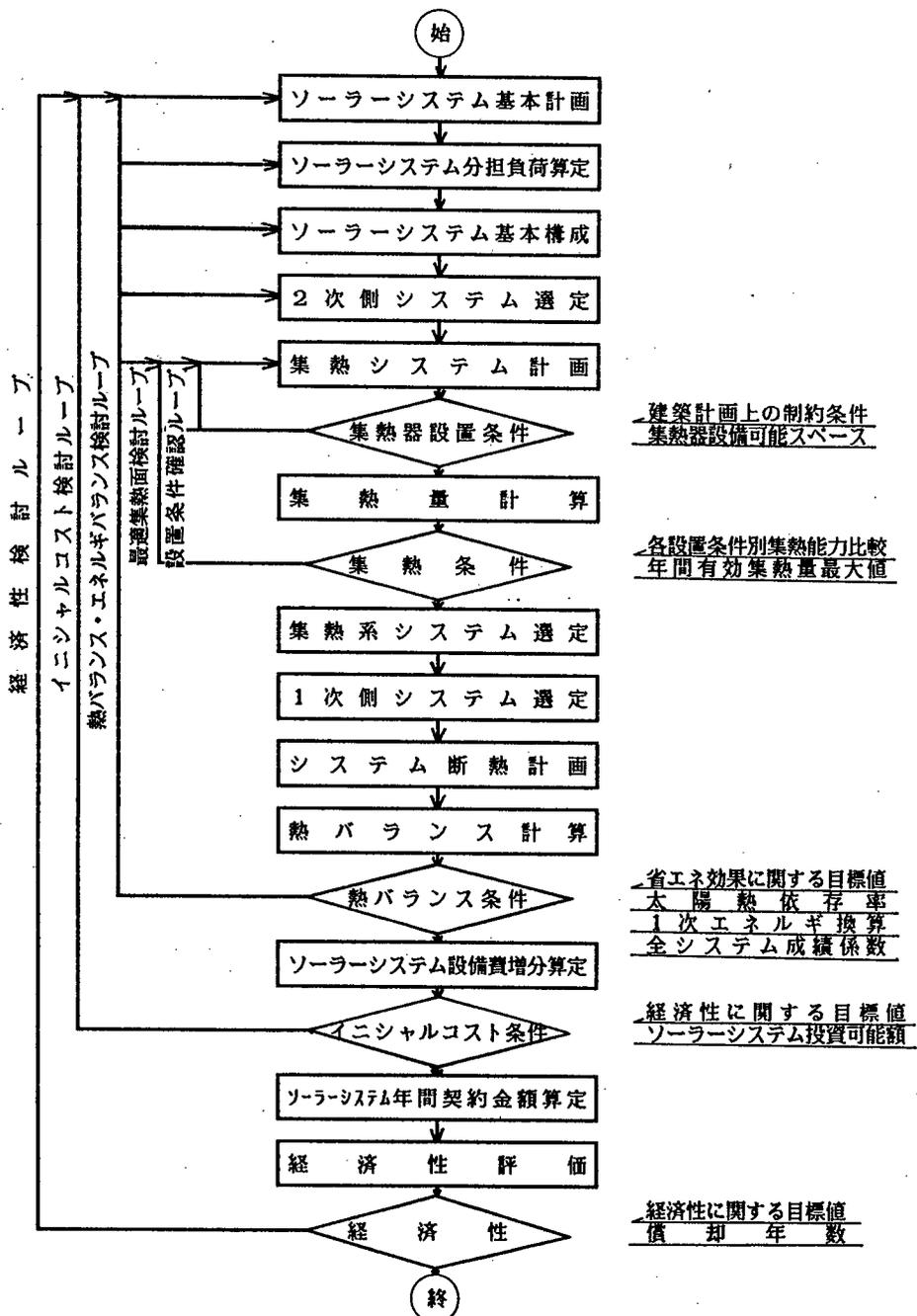


図2.30 ソーラーシステム設計フロー

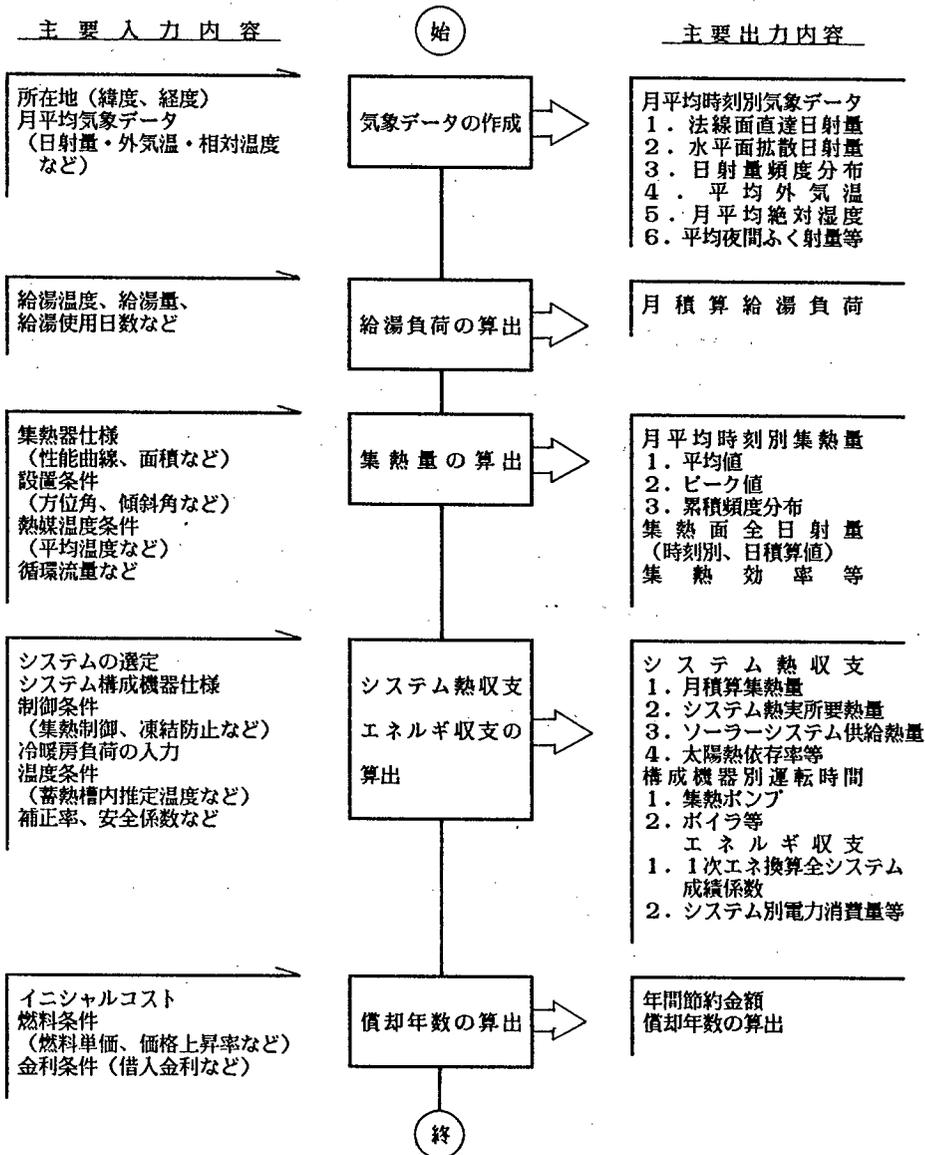


図2.31 入出力概要と概略フロー

(1.1) 日射量 : 日射量の算出は、宇田川⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾らによる月平均日積算日射量と対象地点の緯度・経度から算出する統計的推定法を用いた。その方法は、

- i) 水平面全天日射量の日変動曲線の推定⁽¹⁹⁾、ii) 水平面全天日射量の直達・拡散成分の分離⁽¹⁸⁾、iii) 時刻別日射量のひん度分布の推定⁽¹⁹⁾

の3つに大別される。それらの基本式は、下記の通りである。

$$I_{th} = \frac{\pi}{2\tau} \times \cos\left(\frac{t-t_n}{\tau}\pi\right) \cdot \Sigma I_{th} \quad \dots\dots (2.19)$$

ここに、 I_{th} : 毎時水平面全日射量 [kcal/m²h]

ΣI_{th} : 日積算水平面全日射量 [kcal/m²day]

t, t_n : 時刻, 南中時刻

τ : 可照時間 [h]

$$I_{dn} = I_{dh} / \sin h = I_o \times K_{dt} \quad \dots\dots (2.20)$$

$$I_{sh} = I_{th} - I_{dh} \quad \dots\dots (2.21)$$

ここに、 I_{dn} : 法線面直達日射量 [kcal/m²h]

I_{dh} : 水平面直達日射量 [kcal/m²h]

I_{sh} : 水平面拡散日射量 [kcal/m²h]

$K_{dt} = -0.43 + 1.43K_{tt}$ ($K_{tt} \geq K_{ttc}$ のとき)

$K_{dt} = (2.277 - 1.258\sin h + 0.2936\sin^2 h) \times K_{tt}^3$

($K_{tt} < K_{ttc}$ のとき)

$K_{ttc} = 0.5163 + 0.3331\sin h + 0.00803\sin^2 h$

I_o : 太陽定数 [kcal/m²h]

h : 太陽高度 [度]

$$P(K_{tt}) = \left(\Phi\left(\frac{K_{tt} - \mu}{\sigma}\right) - \Phi(\xi_1) \right) / \left(\Phi(\xi_2) - \Phi(\xi_1) \right)$$

$\dots\dots (2.22)$

ここに、 $P(K_{tt})$: 時刻別水平面全天日射量と大気圏外日射量との比

(K_{tt}) の累積度数

$$\Phi(x) = \frac{1}{2\pi \cdot \sigma} \int_0^x e^{-t^2/2} dt$$

ξ_1, ξ_2 : $\mu/\sigma, (K_{tt \max} - \mu)/\sigma$

μ : $\Phi\left(\frac{K_{tt} - \mu}{\sigma}\right)$ の期待値。 ($= 0.001638 e^{9.162\sqrt{\overline{K_{tt}}}}$)

σ : $\Phi\left(\frac{K_{tt} - \mu}{\sigma}\right)$ の分散。 ($= 0.1971 e^{4.292(\overline{K_{tt}})^2}$)

$K_{tt \max} = 1.08 + 0.357 \ln(\overline{K_{tt}})$

$\overline{K_{tt}}$: K_{tt} の平均値。

(1.2) 外気温 : 時刻別平均外気温は Degelman (20) による日平均温度と最高・最低温度の平均値から算出する統計的推定法を用いた。これは、最低外気温を日の出時刻とし、最高外気温を最高外気温の最多出現時刻とし、日の出から最高外気温および最高外気温から翌日の日の出までの間を別々の \cos 曲線で近似する。

①日の出から日最高温度時刻の間

$$\theta(t) = \theta_1 - \theta_a \times \cos\left(\frac{t - tr_1}{t_{max} - tr_1} \pi\right) \quad \dots\dots (2.23)$$

②日最高温度時刻から翌日の日の出時刻までの間

$$\theta(t) = \theta_2 + (\theta_{max} - \theta_2) \times \cos\left(\frac{t - t_{max}}{tr_2 - t_{max}} \pi\right) \quad \dots\dots (2.24)$$

ここに、 $\theta(t)$: t 時における平均外気温 [°C]

θ_1 : $(\theta_{max} + \theta_{min}) / 2$ [°C]

θ_2 : $\frac{\theta_{ave} \times 24 - \theta_1 \times (t_{max} - tr_1)}{(tr_2 - t_{max})}$ [°C]

θ_a : $(\theta_{max} - \theta_{min}) / 2$ [°C]

θ_{ave} : 月平均外気温 [°C]

θ_{max} : 月平均最高外気温 [°C]

θ_{min} : 月平均最低外気温 [°C]

t : 時刻

tr_1 : 日の出時刻

tr_2 : 翌日の日の出時刻

t_{max} : 最高外気温の最多出現時刻

なお、本プログラムでは便宜的に $\theta(t) < \theta_{min}$ の場合、 $\theta(t) = \theta_{min}$

とし、また $tr_2 = tr_1$, $t_{max} = 14:00$ とした。

(1.3) 絶対湿度 : 平均絶対湿度は一日一定と仮定し、月平均相対湿度と月平均外気温から Goff-Gratchの式(21)を用い算出する。ただし、算出した平均絶対湿度と、上記②で求めた時刻別外気温とから求める時刻別相対湿度が98%以上の場合、便宜的に相対湿度が98%となるよう絶対湿度を補正した。

(1.4) 夜間ふく射量 : 平均夜間ふく射量は、日平均雲量と(1.2) で求めた時刻別外気温および(1.3) で求めた時刻別絶対湿度から Bruntの式⁽²¹⁾ を用いて算出した。

(2) 集熱量の算定

集熱量は熱平衡式をたてて理論的に求めることができる。しかし、ここでは、実用上以下に示す便宜的方法によっている。すなわち、各集熱器メーカーの提示する集熱特性曲線に基づき、i) ガラス面の入射角特性、ii) 集熱器相互間の影、iii) 反射装置の効果、iv) 地表面反射率の考慮および、v) ガラスの汚れ係数などを加味し集熱量を算出する。出力内容は、月別時刻別平均値、95%値および累積ひん度分布である。

(2.1) ガラス面入射角特性 : 直達日射の集熱面入射角特性を考慮し、集熱効率を補正した。

$$\eta'_c = \eta_c \times I_{g, \cos \theta} / I_{g, \cos 0^\circ} \quad \dots\dots (2.25)$$

ここに、 η'_c : 修正集熱効率

η_c : 集熱特性曲線に基づく効率で、 $\eta_c = Q_c / I_{tc}$

$= K_1 - K_2 (t_w - t_a) / I_{tc}$ (ただし、 $t_w \leq t_a$ のとき

$\eta_c = K_1 + K_3 (t_a - t_w)$, なお、 K_1, K_2, K_3 は、

集熱効率に関する係数、 t_w, t_a は、集熱器内平均熱媒温度、集熱器周囲外気温)

$I_{g, \cos \theta}$: 集熱面入射角 θ° の場合のガラス面透過日射量 [kcal/h]

$$= I_d \times \left(\sum_{k=0}^5 a_k (\cos \theta)^k \right) + I_s \times 0.762$$

$I_{g, \cos 0^\circ}$: 入射角が 0° の場合のガラス面透過日射量 [kcal/h]

$$= I_d \times 0.849 + I_s \times 0.762$$

I_d, I_s : 集熱面直達日射量、拡散日射量 [kcal/h]

$$a_0 = -0.11745, \quad a_1 = 3.10438, \quad a_2 = -2.46055$$

$$a_3 = -2.30450, \quad a_4 = 4.44280, \quad a_5 = -1.81577$$

- (2.2) 集熱器相互の影 : 集熱器をのこ歯状に設置した場合, 前列の集熱器によって後列の集熱面に影を生じ, 集熱面直達日射量が減少する。同時に, 天空に対する形態係数も減少し, 天空拡散日射量も同様に減る。ここでは, 前列と後列の集熱面日射量を別々に求め, 集熱面全体の日射量および減少率を算出している。(22)
- (2.3) 反射装置の効果 : 上記ののこ歯状の前列と後列の集熱器の間に反射装置を設け, 集熱面日射量の増加を図ることがある。この場合, 反射面と集熱面で日射の相互反射効果などを検討する必要がある。ここでは, 実測データにより検証を行った反射プログラムを用い, 反射装置による集熱面日射量および集熱量の増減を算出している(22)(23)(24)
- (2.4) 地表面反射日射の考慮 : 積雪地域での利用や地表面に対する集熱面の形態係数が大きい場合, 地表面反射日射を考慮し, 集熱計算する必要がある。ここでは, 月別に地表面反射率を入力し, 集熱面全日射量を算出している。
- (2.5) ガラスの汚れ係数の考慮 : ガラス面の汚れによる集熱量への影響は, 反射装置と同様大気汚染状況やじんあい発生施設の有無, あるいは雨天ひん度などによって異なり, 一般化することは困難である。ここでは, 実測データ(25)等を参考に月別に一定割合でガラス面日射透過率が低下するものとして処理している。

- (2.6) 集熱量 : (2.2)~(2.5)で求めた値や方法に基づき集熱面直達・拡散日射量を算出する。さらに, これら日射量に基づき時刻別集熱量を求める。その際, (2.22)式に示す K_{Tt} の最小値と最大値を20分割し, 各々の K_{Tt} に対する集熱効率を求め集熱量と集熱量分布を算出する。その基本式は,

$$Q_c = \sum_{k=1}^{20} (I_{Tck} \times \eta'_{ck}(I_{Tck}, t_a) \times P_k) \quad \dots\dots (2.26)$$

ここに,

Q_c : 時刻別集熱量 [kcal/m²・h]

η'_{ck} : 各分割域における修正集熱効率 (I_{Tck} と t_a の関数)

I_{Tck} : 各分割域における平均集熱面全日射量 [kcal/m²・h]

t_a : 集熱器周囲平均外気温 [°C]

P_k : 各分割域における I_{Tck} の確率密度

(3) エネルギー収支の算定

システム全体のエネルギー収支は、可能集熱量、各構成要素の入出力熱量、損失熱量、運転時間、消費電力等を月単位で算出し、太陽熱依存率(%Solar)、一次エネルギー換算全システム成績係数(TSCOP)等を求めている。なお、本プログラムでは、便宜的に季節別太陽熱依存率の上限値を設け、可能集熱量がその上限値を超えた場合、上限値を有効集熱量として、残りを過剰集熱状態などによる非有効熱量としている。

- (3.1) 日積算可能集熱量 : 前述の時刻別集熱計算法を用い、入力値である平均集熱温度に基づき、有効集熱日数を考慮し算出する。
- (3.2) 各要素間の入出力熱量 : システムを構成する各機器の入出力熱量は、独立して計算する集熱量と入力値である月積算負荷に基づき、各機器の能力、容量および断熱仕様、さらに制御条件や安全率などから算出する。
- (3.3) 損失熱量 : 配管や蓄熱槽からの損失熱量は入力値である各熱媒温度、断熱仕様、安全率などと計算値である周囲温度、運転時間などから算出する。
- (3.4) 各機器の運転時間 : i)集熱ポンプの実働時間は、前述の時刻別集熱量ひん度分布に基づき、一定以上の集熱量を得るひん度数をその時刻における集熱運転時間とした。ii)凍結防止時ポンプ実働時間は、熱媒循環方式による制御を行なう際に求める必要がある。ここでは、凍結防止時に一度集熱器内に入る蓄熱槽内の熱媒が、凍結防止運転指令温度まで再び降下するまでの時間をポンプ最低実働時間などから算出している。iii)空調機などは、入力値である日平均運転時間と使用日数から求め、他の熱源機器やポンプは、(3.2)で求める入出力熱量と機器能力および安全率などから算出する。
- (3.5) 消費電力 : 各機器の消費電力量は、入力値である時間当たり平均所要動力と(3.4)で求めた運転時間を乗じて算出する。なお、自動制御機器消費電力は便宜的に各システム全体に対する消費電力比率を入力することによって算出する。
- (3.6) TSCOP, %Solar : ソーラーシステムの省エネ効果と節約度合を知るため、TSCOPと% Solarを以下の定義に基づき算出する。

$$TSCOP = \frac{\text{(末端での負荷 [kcal/h])}}{\text{(補助熱源所要熱量 [kcal/h])} + \text{(全所要動力 [kW])} \times 2450} \quad (2.27)$$

$$\% \text{ Solar} = \frac{(\text{ソーラーシステム実供給熱量 [kcal/h]})}{(\text{末端での負荷に対する実所要熱量 [kcal/h]})} \times 100 \quad \dots (2.28)$$

ここに、ソーラーシステム実供給熱量とは、ソーラーシステムを設けることによる増加要素からの全損失熱量を有効集熱量から差し引いた値。

(4) 償却年数の算定

償却年数は経済性を評価する上で不可欠である。ここでは、エネルギー価格上昇率、借入金利および資本利益率などを変動要因とし、(3) で算定したエネルギー収支結果から得られる年間節約エネルギー量と入力値であるイニシャルコスト条件などから、以下に示す複利計算法に基づき償却点を算出する。

$$F(n) = (1+r)^n \times Cr - (1+r')^{n-1} \times \left[\sum_{k=1}^n \left(\frac{1+i}{1+r'} \right)^{k-1} \right] \times Cs = 0 \quad (2.29)$$

ここに、n：償却年数〔年〕（F(n) = 0のときの解）

Cr, Cs：ソーラーシステムイニシャルコスト増分、年間節約金額〔円〕

r, r', i：借入金利、資本利益率、エネルギー上昇率〔%〕

3-3 HASP型気象データによるプログラム検討

日射量・外気温および集熱量に関し、平均年気象データ（HASP型・8760時間データ）を用いた場合と本プログラムで作成した気象データ（上記HASP型気象データから月別平均値を求めてから時刻別値を推定）を用いた場合との比較結果を示す。なお、集熱量算定には同一プログラムを用いた。

図2.32は集熱面全日射量誤差の割合と傾斜角・方位角との関係を示す。方位角の変化が大きい場合、本算出法による日射量比率が大きくなる。これは、HASP型に比べ、拡散日射成分が比較的大きくなるためと考えられる。図2.33は、日射量の違いを地域別・季節別に示す。多少の差異はあるがほぼ数%の誤差範囲内にある。図2.34は、1月、5月、8月における時刻別平均外気温の違いを示す。本方法では最高温度出現時刻を14時に固定しているため、多少の誤差が生じている。

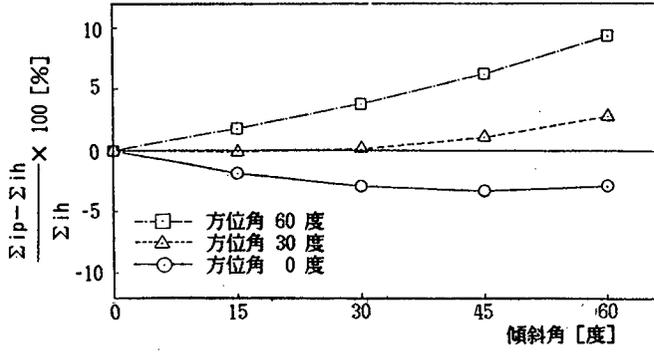


図2.32 傾斜角別・方位角別日射量比較 (東京の場合)

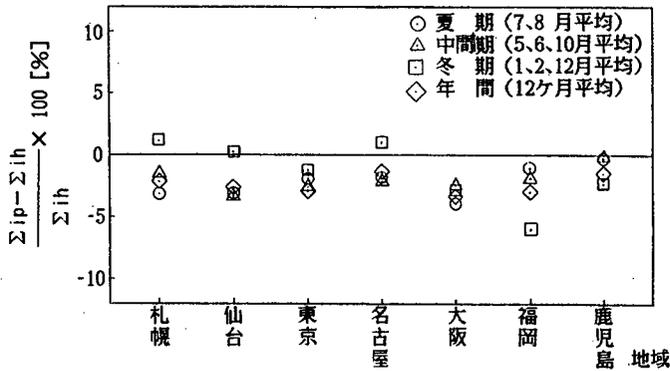


図2.33 地域別・季節別日射量比較 (方位角 0°、傾斜角30°)

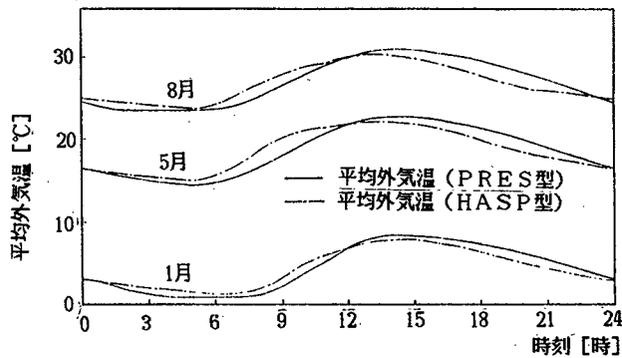


図2.34 時刻別平均外気温度比較 (東京1、5、8月の場合)
 記号説明 Σip 、 Σih 、 Σqh : 本プログラムによる集熱面積算日射量、積算集熱量、
 HASP型気象データによる集熱面積算日射量、積算集熱量 [kcal/m²・期]

図2.35は集熱量の違いを地域別・季節別に示す。図2.33に示す日射量と同様な傾向を示すが、その差は多少拡大している。また、図2.36は季節別に時刻別集熱誤差を日積算集熱量に対する比率で示したものである。本方法では集熱量が午前になく、午後になくなる傾向を示す。これは、日射量の日変動曲線を南中時を中心に対称であるという仮定がHASP型気象データと合致していないためと思われる。また、図2.34に示した外気温の時刻別誤差も起因している。

3-4 試算例

図2.37~2.40は、下記に概要を示す冷暖房給湯ソーラーシステムの試算結果であり、コンピュータによるプロッター出力である。図2.37は、集熱器の設置条件を変えた場合の集熱量比較を示す。この歯状に配置した場合や反射装置を設けた場合の集熱量の違いがは握できる。図2.38は、試算モデルの冬期モードにおけるシステム構成要素ごとの熱収支を示す。概算ではあるが、システム全体の熱バランスをは握できる。図2.39は、冬期モードにおけるエネルギー収支を

示す。給湯・暖房に対する各々の太陽熱依存率やモード全体としてのTSCOPが示され、省エネ効果を概略は握できる。図2.40は、冷暖房給湯システム全体の償却年数が、エネル

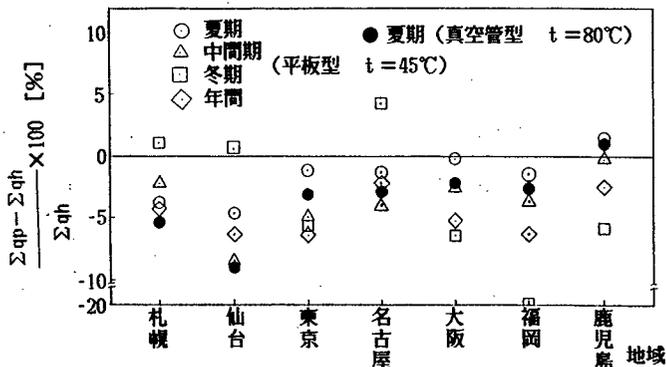


図2.35→地域別・季節別集熱量比較 (方位角 0°、傾斜角30°)

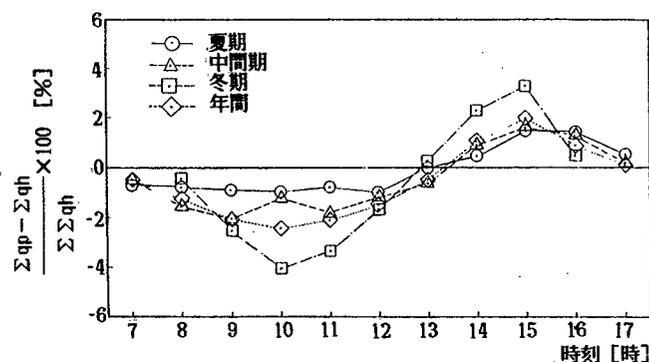


図2.36 時刻別・季節別集熱量比較 (東京の場合)
 Σqp, Σqh, ΣΣqh: 本プログラムによる時刻別積算集熱量、HASP型気象データによる時刻別積算集熱量、積算集熱量 [kcal/m²・期間]

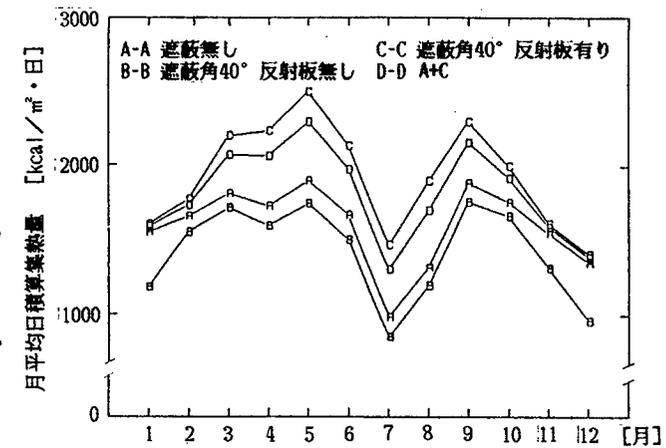


図2.37 集熱器・設置条件別集熱量比較 (方位角 0°、傾斜角35°)

ギ上昇率ごとに示されている。この結果、システムの経済性を検討できる。これらの出力を利用し、規模やシステムおよび仕様の変更などによる省エネ効果や経済性の違いを容易には握ることができる。

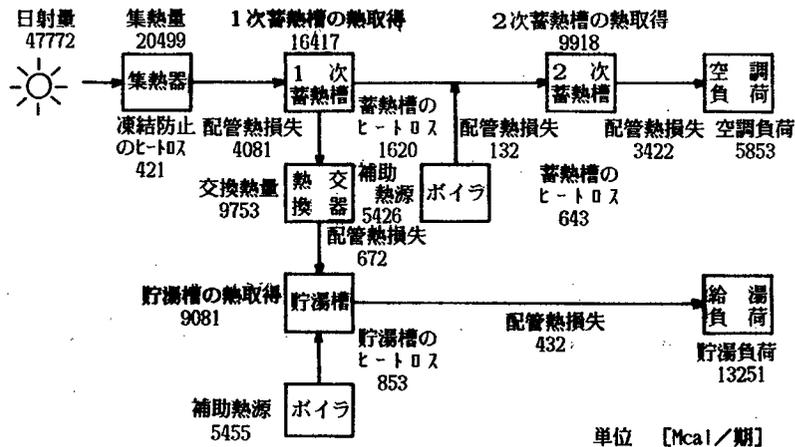


図2.38 試算モデル熱バランス図(暖房給湯モード)

〈試算モデルの概要〉

- ・用途：某実験施設の給湯
- ・冷暖房システム
- ・地域：香川県高松市
- ・主要機器仕様：

集熱器：平板型，
有効集熱面積 100㎡，
傾斜角35°，方位角 0°

反射装置：ステンレス反射板，
反射板面積60㎡，傾斜角40°

集熱槽：有効容量 2㎡，
表面積14.1㎡，
断熱ウレタン50mm

ボイラ：暖房能力30,000kcal/h

給湯能力14,000kcal/h

冷凍機：太陽熱用12,000kcal/h

補助用15,000kcal/h

空調機：暖房能力17,200kcal/h

冷房能力29,700kcal/h

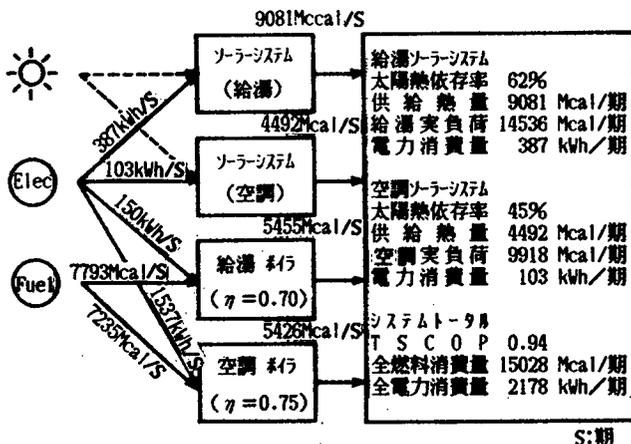


図2.39 試算モデルエネルギーバランス図(暖房・給湯モード)

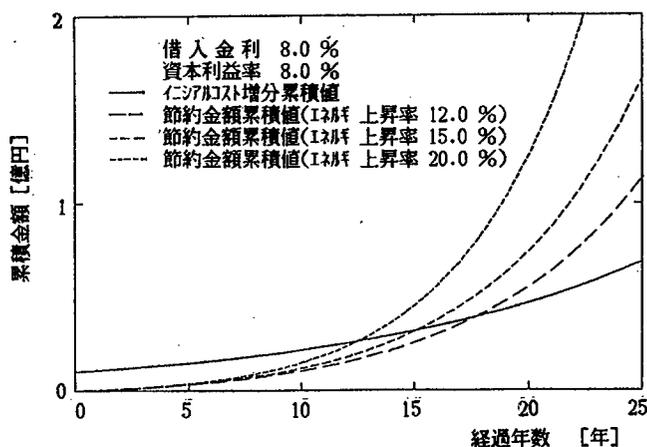


図2.40 試算モデル償却年数算出図

3-5 概要

本評価法は、3-3で示したHASP型気象データとの比較結果から、気象データの作成法や集熱量の算定法に関し、実用上有効であると判断した。また、図2.37~2.40に示す集熱量・熱収支・エネルギー収支および償却年数の図形出力は、概算とはいえ、エネルギーの流れをとらえ、省エネ効果や経済性を検討する上で十分役立つものとする。

第4節 要約

省エネルギー建築を計画するに当たっては、各種建築デザインや設備システムに対して、エネルギー消費量や光熱費を予測するとともに、建設費の増減を同時に予測しないと、実用的な計画法とはならない。

第1節では、全体的な省エネルギー要素手法の経済性評価法を扱っている。具体的には、各種省エネルギー要素手法の効果を、イニシャルコストとランニングコストの変化を直交二軸とする平面に、ベクトルで表現する手法を開発した。さらに、イニシャルコストとランニングコストを、電算機を用いて短時間に求める方法も同時に開発した。このベクトル線図を用いると、建築主の多様な考え方に対応した適切な省エネルギー化の解が、幾つかの補助線を用いることによって簡単に求められる。また、建築デザイン、構造、設備各分野の省エネルギー手法の効果が、対等に評価されて表現されるので、各分野の技術者間で意識の統一が図りやすくなる。そしてこの手法を用いて、いくつかの建物の省エネルギー化に関する例題を試算し、適切かつ迅速に、経済性に立脚した採用すべき省エネルギー要素手法の選択ができることを示した。また、省エネルギー建築は、必ずしも建設工事費の高騰を伴わないことがわかった。そして本計画法が、バランスのとれた省エネルギー建物を計画するのに有効であることを示した。

第2節では、第1節の計算に必要な空調システムが消費するエネルギー量を、詳細に、あるいは手計算で近似的に求める手法について述べた。詳細計算法は、年間を通じて1時間刻みで空調システムの状態を求めるもので、実用上許容可能な範囲まで精度を落として、計算時間の短縮を図っている。たとえば、1か月の気象データを標準偏差を利用して人工的に作成して、30日間の計算を2~4日間の計算に短縮する等、種々な工夫を加えたものを開発した。手計算法では、建物の熱負荷発生パターンに着目して、建物をいくつかの

グループに分類し、空調機負荷までを図表を用いて求める手順を考えた。この手計算法は、前述の詳細計算法に比して最大で±20%程度の誤差に収まる事を確認した。そして、この手計算法を利用して、外気取入方法にまつわるいくつかの省エネルギー要素手法の効果を、簡単に定量化することが可能なことを示した。

第3節では、しばしば採用される省エネルギー要素手法であるソーラーシステムの性能と経済性を、計画初期段階でかなり高精度で予測する方法を開発し、これについて述べている。そしてこの方法では、気象データがあまり詳細に入手できない地域にも適用可能なように、統計的手法によって入力値以上のより詳細な気象条件を自動作成可能とした。この方法を適用して、あるモデルシステムを試算し、経済性の問題点や、性能上の改善すべき点が明瞭になることを示した。

第3章 省エネルギー建築の要素手法の開発と適用に関する研究

省エネルギー建築は、第2章の前述した計画手法を活用して、多様な省エネルギー要素手法を総合的視野から取捨選択し、適切に組み合わせ取り扱うことによって実現可能となる。すなわち前述の計画手法と同時に、効果的な省エネルギー要素手法が必要不可欠である。

今までの省エネルギー建築に関する研究の中心は、すでに第1章に述べたように、空調設備、照明設備あるいは建築デザイン分野と、それぞれの独立した分野についてであった。そしてこれら単独技術分野の省エネルギー要素手法については、すでにかなり多数の研究成果が公表されており、それぞれの要素手法の効果は、解析することが簡単にできるようになってきている。

一方、これら技術分野の境界領域、あるいは複合領域については、第1章で述べたような理由から、研究があまりなされておらず、まだまだ効果的な省エネルギー要素手法の開発の余地があるものと考えられる。

そこで本章では、建築デザインと空調設備、あるいは照明設備との境界・複合領域について、3つの新しい省エネルギー要素技術を開発し、その効果について解析してみた。

その第一は昼光利用と窓面積率と空調負荷の関係解析である。一般の高層建物の場合、主として壁面の窓から昼光が入射する。窓を大きくすると照明上は省エネルギー化できるが、空調面では冷暖房負荷が増大して不利となる。この相反する効果について分析し、最適な窓面積があるのか検討している。

第二はダブルスキンの熱特性解析である。ダブルスキンとは、建物の外かくを二重とし、その内部空間の気流等を制御することによって省エネルギーを図る機構をいう。今までにない新しい建築形態であるので、その効果を定量的には握る計算理論について述べる。

そして第三は反射集熱をするソーラーシステムについてである。一般にソーラーシステムの普及を妨げているのは、経済性が低い点である。そこで屋根自体の一部を反射面とすることによって、あまり建設費を上昇させることなく、集熱器に入射する日射量を増大させることができる。そして高価な集熱器を増設することなくシステムの性能を向上させ、経済性の改善を図る手法について検討している。

第1節 昼光利用と窓面積と空調負荷(1)(2)

1-1 研究の目的

昼光利用による窓際消灯は、照明設備の省エネルギー手法の一つとして重要な地位を占めており、最近ではかなりの採用実績があるとともに、これに関する種々の研究も行われている(3)(4)。

本研究では、第2章第1節で記述した熱経済性ベクトル図を用いて、この手法の省エネルギー効果を解析することを目的としている。そしてモデル建物を設定し、完全点滅方式による窓際消灯、段調光照明器具を使った場合の窓際消灯、および建物にひさしを設けた場合の窓際消灯の各々について、消灯シミュレーションを行った。そしてこの結果をもとに、窓際消灯の総合的な経済性を窓面積率、段調光の付加、そしてひさしの効果をからめて解析した。

1-2 シミュレーションモデル

図3.1,3.2 に示すような建物・室をモデルとし、窓際の照明器具1ないし2列を、下記のような方法で消灯もしくは段調光を行なうとした。

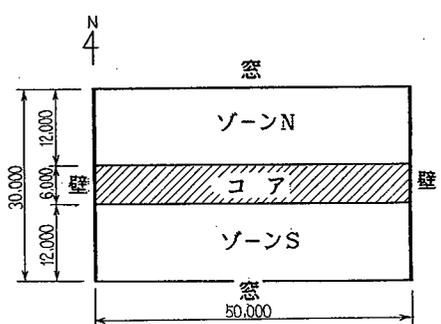


図3.1 モデル建物

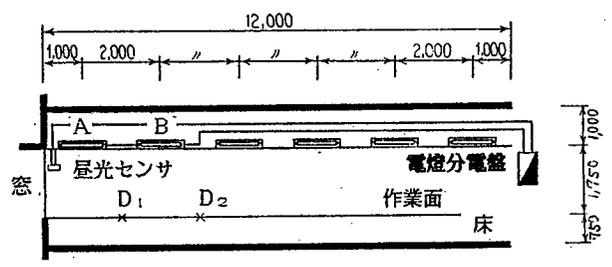


図3.2 窓際照明の消灯、段調光方法

場所：東京
 建築概要：地上10階建 延床面積 15,000㎡
 貸室面積比 80%
 外壁：普通コンクリート 150mm
 発泡ウレタン 25mm
 プラスターボード 12mm
 コア内壁：モルタル 25mm
 普通コンクリート 120mm
 モルタル 25mm
 照明設備：埋込み下面開放蛍光灯 40W 2燈形
 照明密度(安定器損失含まず) 20W/㎡

A、B：消灯、段調光対象照明器具(40W 2燈形)
 D₁：窓際1列 消灯、段調光時の消灯判定代表点(窓から2m)
 D₂：窓際2列 消灯、段調光時の消灯判定代表点(窓から4m)

- ・ D_1 点の昼光照度が $E_d 1x$ 以上の時Aが消燈（窓際 1列時）
- ・ D_2 点の昼光照度が $E_d 1x$ 以上の時AとBが同時に消燈（窓際 2列時）

段調光付加方式

- ・ D_1 点の昼光照度が $E_d 1x$ 以上の時Aが消燈, $1/2 E_d 1x$ 以上の時Aが50%点燈（窓際 1列時）
- ・ D_2 点の昼光照度が $E_d 1x$ 以上の時AとBが同時に消燈, $1/2 E_d 1x$ 以上の時A, Bとも50%点燈（窓際 2列時）

但し, E_d は消燈判定昼光照度

消燈, 段調光の目安となる設定基準照度 E_d は, 実験の結果より, 昼光の影響を除外した全点燈時の人工照明のみの平均照度とした。いま, このモデル建物の照明器具を埋込み下面開放けい光燈40W 2灯形とし, 室内の反射率を天井80%, 壁40%, 床20%とすれば, この場合の室指数 RI と照明率 Uとの関係は, 国際照明委員会の勧告による方法 (CIE 法) (5) によって数値計算が可能となり, その結果は図3.3 のようになるが, これを最小自乗法で近似式を求めると次式のようなになる。

$$U = 0.505 + 0.674 \log RI - 0.258(\log RI)^2 \quad \dots\dots (3.1)$$

これから, モデル建物では $U = 0.87$ ($RI \approx 5.5$) となり, 器具1台あたりのランプ光束を6,000 lm, 保守率を0.75とすると, その平均照度は約1,000 lxとなる。なを, 昼間人工照明制御装置には, チャタリング現象を防止するために不動作帯が設けられているため, 消燈レベルと点燈レベルの比を 2 : 1とした。

次に昼光照度を計算する場合, ブラインドの種類と使用条件が大きな影響をもってくる。ここでは, 水平形の明色ベネチャンブラインド (スラット反射率80%, スラット幅とスラットピッチの比1.17程度) を想定し, 使用条件は以下の3タイプを考えた。

(1) 全自動操作

直射日光が入射するときだけブラインドが自動的に降り, このときのスラット角は30度で一定とする。

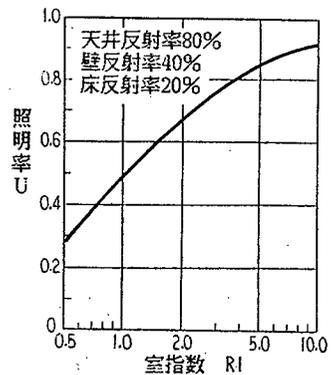
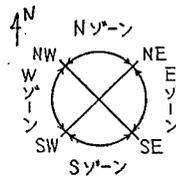


図3.3 埋込み下面開放蛍光燈 40W 2灯形の照明率

(2) 手動による1日1回操作

図3.4のように方位別に定められた時間帯だけ、直射日光の入射の有無にかかわらずブラインドを手動で昇降する。ただし、直射日光がないときはスラットを水平に調節し、直射日光が入射する場合はスラット角を30度にする。



Sゾーン：1日中 ブラインドを降ろす
NWゾーン：13時以降 ブラインドを降ろす
Nゾーン：1日中 ブラインドを降ろさない
Eゾーン：13時まで ブラインドを降ろす

図3.4 方位別ブラインド操作パターン

(3) 1日中降ろしっ放し

ブラインドは1日中降ろしっ放しにするが、直射日光が入射しない場合はスラットを手動で水平に調節する。

なお直射日光の有無は、法線面直射日光照度が $18,000lx$ を越えるかどうか⁽⁶⁾で判定し、その有無によって昼光照度を次のような方法で計算する。

(a) 直射日光がなく天空光だけの場合

この場合は消燈判定代表点の昼光率を計算し、これに全天空照度をかける。なお、ブラインドが降りているときのブラインド輝度と天空輝度の比を 0.08 とし⁽⁷⁾、ひさしがある場合はひさしの裏面輝度と天空輝度の比を 0.03 とした⁽⁸⁾（コンクリートの反射率を 30% と仮定）。

(b) 直射日光がある場合

直射日光が入射する場合は、どのブラインド操作条件でも必ずブラインドが降りていることになるが、この場合の昼光照度の計算方法は現在のところ確立されたものがない。したがって、今回はベネチャンブラインドの採光特性の実測結果をもとに、以下のような方法で計算を行った。

(i) 松浦によって報告されているベネチャンブラインドの輝度係数⁽⁹⁾を利用して、ブラインドの室内側の実効輝度を求める。

(ii) この実効輝度を使って面光源の計算式から直接照度を求める。ただし直射日光がある場合、天空光による窓面照度と直射日光による窓面照度の比を $1:6$ と仮定する⁽¹⁰⁾。

(iii) 間接照度は室内で一様とし、ブラインド透過光の上向き、下向きの光束比を $6:4$ と仮定して、作業面切断公式を使って算出する。

(iv) ひさしがある場合は、窓のうち直射日光が入射する部分の面積比率を求めたのと同様の方法で計算する。

以上のような条件で窓際消燈の可能性を判定し、この結果を冷暖房負荷計算の照明密度に時々刻々と反映させて、照明用電力と空調用エネルギー量の予測計算を年間にわたって行った。

1-3 年間の昼光照度データ

今回のシミュレーションでは、年間の昼光照度のデータとして、空調の熱負荷計算で使用する直達日射量と、天空日射量のデータに照度換算係数を乗じて利用することにした。東京地区のこの種のデータは、空気調和・衛生工学会から平均年気象データ (HASP/ACLD/7302) が発表されているが、ここではこのデータを基礎にして、一部分直達日射量と天空日射量の値を宇田川などにより報告されている方法⁽¹¹⁾で修正したものを使った。

また、日射量から照度への換算係数を求めるために1978年9月から1979年8月までの1年間、東京の清瀬市で日射量と昼光照度の実測を行ったが、その結果を図 3.5, 図 3.6に示す。この実測結果をもとにここでは以下の換算係数を使うことにした。

- (1) 直達日射量から直射日光照度への換算係数 C_a

$$C_a = 27.8 \sin h + 95 \quad [\text{lm/W}] \quad \dots\dots (3.2)$$

- (2) 天空日射量から全天空照度への換算係数 C_d

$$C_d = 7.18 \sin h + 115.5 \quad [\text{lm/W}] \quad \dots\dots (3.3)$$

ただし、 h : 太陽高度

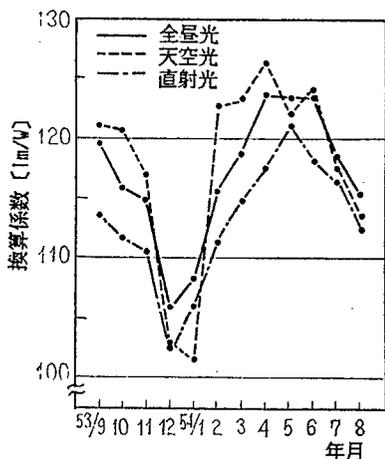


図3.5 換算係数の季節変動

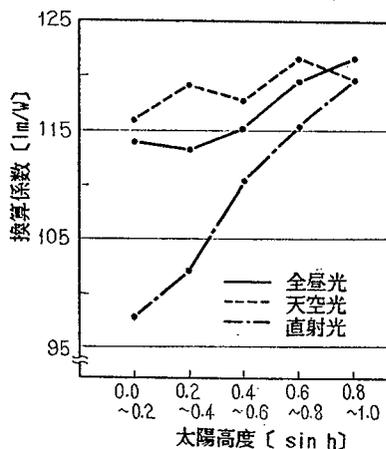


図3.6 換算係数と太陽高度との関係

また、各月とも代表日1日(その月の20日)で、その月の計算をすべて行うため、日射量のデータは各月の各時刻別の平均日射量 R_t とその標準偏差 σ_t を用いて、 $R_t - \sigma_t$

と $R_t + \sigma_t$ の間で1か月間の日射量の値が直線的に分布しているものとした。

1-4 シミュレーションによる計算成績と結果

計算条件としては、表 3.1に示すように、窓際消灯に影響を及ぼす種々の要因を変えて計算を行った。

これらの要因のうち窓面積率が窓際消灯に最も大きな影響を及ぼすと考えられるが、ここでは各窓面積率とも窓は連窓と仮定した。また、南面にだけ図 3.7のような標準的なひさしを考えたが、これらの設定条件下

におけるシミュレーション結果を表 3.2, 図 3.8, 図 3.9に、熱経済性ベクトルを使った窓際消灯、段調光の評価を図3.10に示す。なお、窓際消灯を行わない場合のブラインド操作は、降ろしっ放し（スラット調節有り）とした。

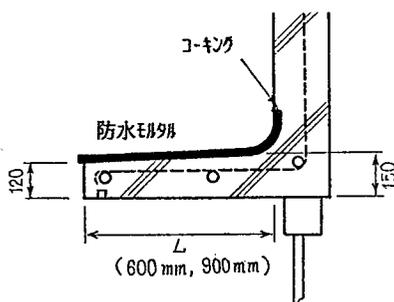


図3.7 ひさしの構造

表3.1 モデル建物における消灯シミュレーションの計算条件

変更条件		
窓面積率 (%) ※	20 (28), 35 (49), 50 (70), 65 (91)	
ブラインド操作のオン	全自動、方位別1日1回、降ろし放し（スラット調節有り）	
ひさしの長さ	600mm (両面だけ) 900mm (南面だけ)	
消灯方式	(A) 完全点滅方式 (年間) (B) 完全点滅方式 (4~11月) (年間) (C) 段調光付加方式 (年間)	
消灯範囲	窓際1列 窓際2列	
固定条件		
窓ガラス断熱	透明 8mm (可視光透過率89%)	
断熱	発泡ウレタン25mm	
ブラインド種類	ベネチャンブラインド (スラット反射率60%)	
空調期間	冷房: 6~9月 暖房: 12~3月	
照明密度	20W/m ² (安定器損失含まない)	
作業面高さ	床上 0.75 m	
熱負荷計算の設定条件		
	室内設定条件	装置運転時間
夏期 (6~9月)	27℃, 60%	8 (予冷) ~ 9 ~ 17
冬期 (12~3月)	21℃, 40%	7 (予熱) ~ 9 ~ 17

バリエータ奥行: 3m

人員密度: 0.2人/m²

外気取入量: 20 CMH/人

気象データ: 東京平均年気象データ

※ 外から見た窓面積率、()内の値は室内から見た窓面積率

表3. 2 消燈方式による照明用省電力量、建物トータル一次エネルギー消費量の比較

(窓際2列消燈、段調光の場合)

ブラインド 操作パターン	消燈 方式	照明用省電力量 [kWh/㎡・a]				建物トータル一次エネルギー消費量 [Mcal/㎡・a]			
		Rω: 20%	Rω: 35%	Rω: 50%	Rω: 65%	Rω: 20%	Rω: 35%	Rω: 50%	Rω: 65%
全自動操作	A	0	1.08	4.43	5.05	396.3	403.2	402.7	410.5
	B	0	0.99	3.85	4.33	396.3	403.3	403.4	411.4
	C	1.17	3.77	6.27	6.71	392.9	396.1	398.5	406.9
方位別 1日1回操作	A	0	0.54	2.86	3.53	396.1	404.3	406.8	414.4
	B	0	0.50	2.43	2.98	396.1	404.4	407.4	415.1
	C	0.95	3.15	5.17	5.66	393.3	397.3	401.2	409.3
降ろしっ放し スラット調節有り	A	0	0	0.95	1.60	395.2	404.3	409.8	416.7
	B	0	0	0.88	1.48	395.2	404.3	409.9	416.9
	C	0.69	2.30	3.66	4.22	393.2	397.8	402.7	410.0

注 (1) Rω: 外からみた窓面積率

(2) 消燈方式 A: 完全点滅方式(年間) B: 完全点滅方式(4月~11月)

C: 段調光付加方式(年間)

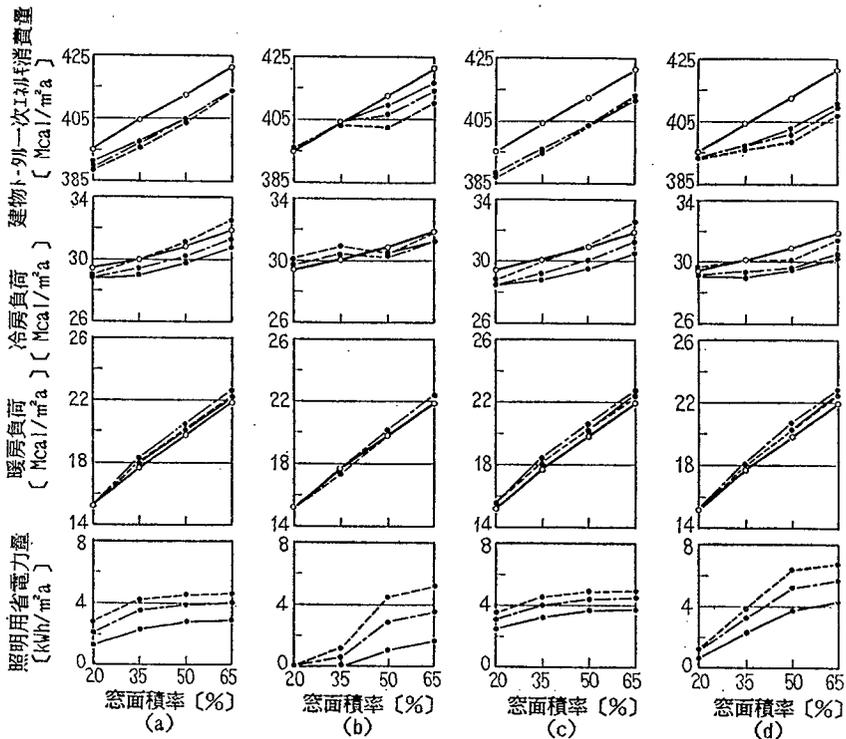


図3. 8 モデル建物における消燈シミュレーションの計算結果

- (a) 完全点滅方式(窓際1列)、(b) 完全点滅方式(窓際2列)、(c) 段調光付加方式(窓際1列)
 (d) 段調光付加方式(窓際2列) 〰 方イF 全自動操作、 方イF 方位別1日1回操作(手動)
 方イF 降ろしっ放し(手動によるスラット調節有り) 方イF 降ろしっ放し(手動によるスラット調節有り)
 ○ 窓際消燈なし(方イF 降ろしっ放し) ● 窓際消燈あり

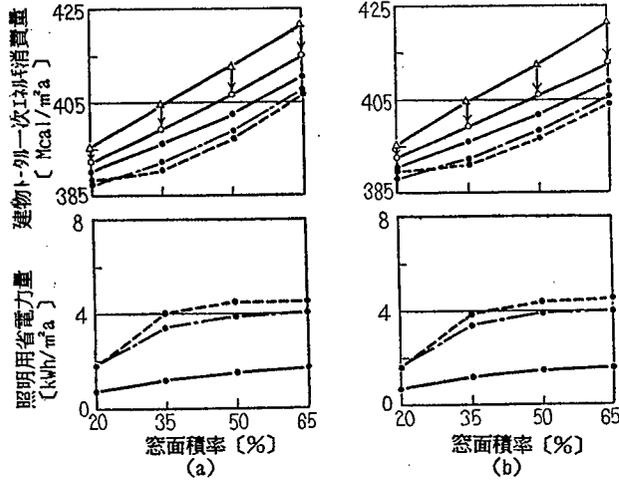


図3.9 ひさしを付けた場合の計算結果

- (a) ひさしの長さ 600mm
 消燈範囲：窓際1列
 --- ライト全自動操作
 - - - ライト方位別1日1回操作
 ライト降ろし放し (スラット調節有り)
- (b) ひさしの長さ 900mm
 消燈方式：完全点滅方式(年間)
 △窓際消燈無し (ひさし無し)
 ○窓際消燈無し (ひさし有り)
 ●窓際消燈有り (ひさし有り)

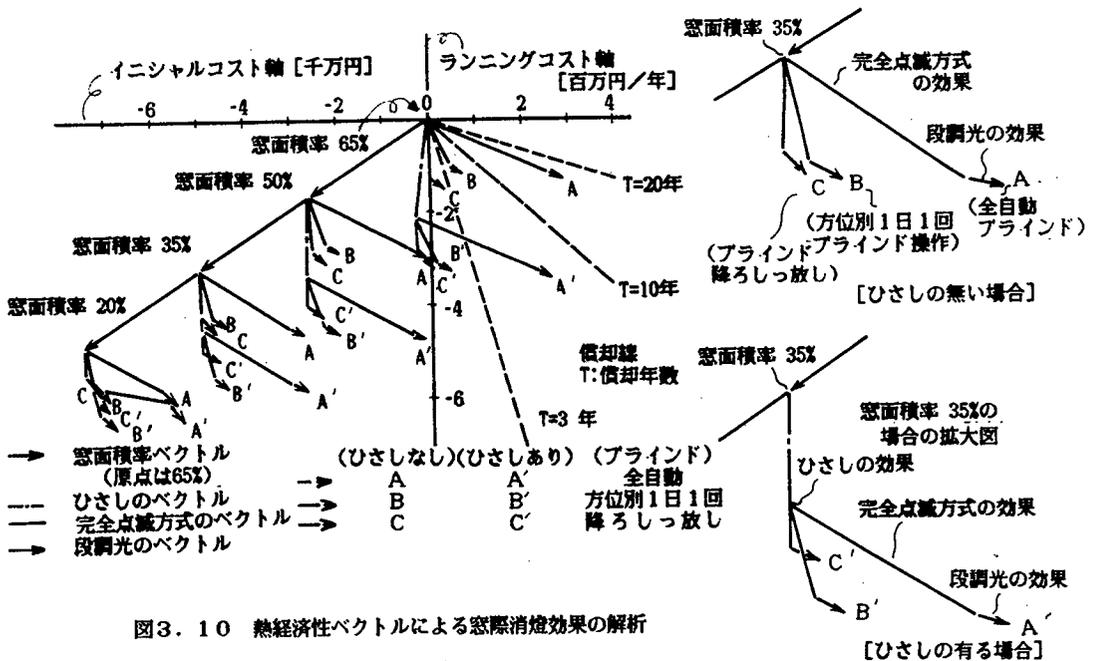


図3.10 熱経済性ベクトルによる窓際消燈効果の解析

【注】(1) 消燈範囲：窓際1列 (2) ひさしの長さ：900mm
 (3) 償却年数Tは借入金金利8% エネルギー単価上昇率を10%とした場合のものである。

今回のシミュレーションは、一般に省エネルギー的であるといわれている南北2方向採光の建物における窓際消燈、および段調光効果について解析したが、これによって以下の結論が得られた。

全自動操作ブラインドを用いた窓際消燈は、いずれもランニングコストの低減が最も大きいですが、インシヤルコストの増加も大きく償却までに十数年を要する。また、方位別1日1回操作および降ろしっ放しブラインドでは、インシヤルコストの増加があまり大きくないので、数年以内で償却でき十分検討の価値がある。

段調光を付加した場合は、窓際1列時で約305万円、窓際2列時で約600万円のコスト増になるが、窓面積率が小さい場合は、段調光付加による照明用電力量の省エネルギー効果の増加が大きくなるため数年で償却可能となる。逆に窓面積率が大きい場合は、段調光の付加による照明用電力量の省エネルギー効果の増加が小さいので、あまりメリットがないといえる。

ひさしの経済的効果は、窓際消燈に及ぼす影響が小さい反面、冷房負荷の低減効果が大きいいため、空調の装置容量が小さくてすみ、インシヤルコスト、ランニングコストともかなり低減することができる。

熱経済性ベクトルで評価する限り、図3.10から明らかなように、窓面積率の減少、ひさしの設置、完全点滅方式による窓際消燈、段調光付加方式による窓際消燈の順で省エネルギー効果が大きいといえる。しかしながら、これは既存建物における窓際消燈の省エネルギー上の有効性を否定するものではない。

完全点滅方式における年間窓際消燈と、冬期(1~3月と12月)窓際消燈をしない方式とを比較すると、各ブラインド操作タイプともわずかではあるが、年間消燈のほうが建物トータル一次エネルギー消費量が少ない。したがって、冬期に窓際消燈を行ってもエネルギー消費量の面で不利にはならない。

第2節 ダブルスキンの熱特性(12)(13)(14)

2-1 研究の目的

ダブルスキンは、太陽熱のパッシブ的利用を目的として、通常の外壁・窓ガラスの外側に1~2mの距離をおいて、全面ガラスの外被をさらに構築するもので、ダブルスキン内は温室的な空間となる。

このダブルスキン廻りには、図3.11、3.12に示すような、下記の省エネルギー手法の採用が考えられる。

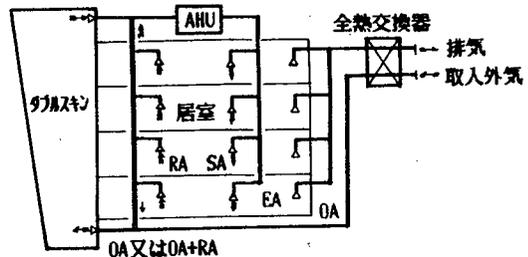
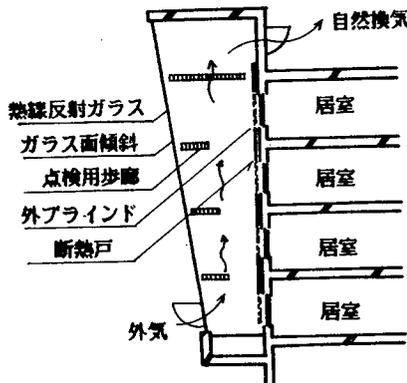


図3.11 ダブルスキン廻りの省エネルギー手法 図3.12 空調用空気の流れの断面図

- (1) 外側のガラスに熱線反射ガラスを用いる。
- (2) 外側のガラスを傾斜させる。
- (3) 内側の窓ガラスに外ブラインドを取付ける。
- (4) ダブルスキンの上部と両サイド及び点検用歩廊のもつひさし効果を利用する。
- (5) 内側の窓には、断熱戸を取付け冬季夜間に閉じる。
- (6) 夏季には、自然換気によりダブルスキン内の温度上昇を防止する。
- (7) 冬季には、空調用外気又は空調用外気と還気の混合空気をダブルスキン内に循環し予熱する。

しかしこのような各種省エネルギー手法の効果を定量的には握るためには、かなり複雑な計算が必要であり、今まで研究発表された例はなかった。そこで本研究では、この計算を実施する手法を開発するとともに、モデル建物についてその効果を試算してみることを目的とした。

2-2 多数室モデル熱負荷計算法

一般建物の熱負荷計算は、第1章第1節1-1で述べた、空気調和・衛生工学会が開発した動的熱負荷計算法（HASPと略称）を基礎としていることが多い。そして本論文の多くの熱負荷計算は、著者らによってHASPプログラムに機能追加、ならびに計算時間短縮の改善がなされたDYLOADプログラム⁽¹⁵⁾によってなされている。

このHASPあるいはDYLOADプログラムは、いずれも単数室モデルと呼ばれ、計算対象室がいくら多くても、それらの室温は同一であると仮定して計算している。一方ダブルスキンがある場合には、少なくともこの温室的空間内部の温度と、人が居住している室の温度の2つを未知数として、連立方程式を毎時刻解いてゆく必要がある。このような室温の異なる多数室の熱負荷を精度良く求める計算法は、多数室モデル熱負荷計算法といわれるが、計算時間がかかるために、実際の設計に使えるような計算法は公表されていなかった。

さてHASPプログラムでは、年間を一時間刻みで順次計算している。一方DYLOADプログラムでは、月代表日について一時間刻みでくり返し計算して収束値を求める周期定常計算法を採用している⁽¹⁶⁾。そこでDYLOADプログラムにおいて、ある時刻の隣室温湿度として、収束計算途中の前日同時刻の値を用いることとした。そして計算対象全室について、並行して収束計算することによって、あまり計算時間をかけることなく、多数室モデル熱負荷計算ができるようになった。そしてこのプログラムを以降 MSDYLOAD と略称する。

2-3 ガラス面透過日射の計算

ダブルスキン外側のガラスを透過した日射のうち、一部は壁面に入射して壁面温度上昇により伝導熱として、一部は内側の窓ガラスを透過し日射熱として空調スペースの熱取得となる。単純な多数室モデルプログラムではこのような日射計算が不可能なため、計算上特殊な配慮を行った。

内側の壁・ガラス面に入射する日射を図4.13に示すように算出している。

$$R_{di} = R_{do} \times G_{do} \times A_{do} \times \tau_o \quad \dots\dots (3.4)$$

$$R_{si} = R_{so} \times G_{so} \times \tau_o \quad \dots\dots (3.5)$$

$$R_{ri} = R_{ro} \times G_{ro} \times \tau_o \quad \dots\dots (3.6)$$

ただし、 R_{di} ： 内側の壁・ガラス面へ入射する法線面直達日射

R_{si} ： " 水平面拡散日射

R_{ri} ： " 水平面反射全日射

R_{do} ： 外側のガラス面へ入射する法線面直達日射

- Rso: // 水平面拡散日射
- Rro: 屋外の水平面反射全日射
- Gdo: 外側のガラス面の方位・傾斜に対する標準ガラス直達日射熱取得率
- Gso: 直達ガラス拡散日射熱取得率
- Gro: 標準ガラス反射日射熱取得率
- Ado: 外側ガラス面の庇等による直達日射日当たり率
- τ_0 : 外側ガラスの日射透過率

内側の壁・窓ガラスでは、この日射を用いて通常の外壁・窓ガラスの計算を行う（ただし夜間ふく射は考慮しない）。

ダブルスキン内スペースにおける日射熱取得は、外側のガラス面から入射した熱量から内側のガラス面を透過した分と内側の壁面に吸収した分（一度吸収した後、ダブルスキン内に再放熱される部分については、計算上日射熱取得と扱わず、壁の吸熱応答計算に含めて処理している）を差し引いたものとなる。

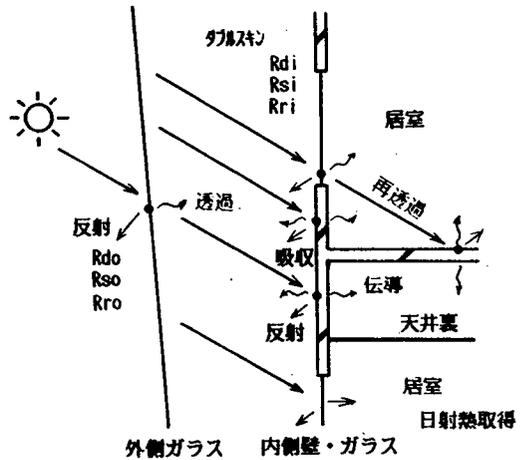


図3.13 窓面通過日射の計算

2-4 ダブルスキンの自然換気計算

ダブルスキン内に2つの外部開口がある場合の自然換気計算は次のように行っている。

$$\Delta P_w = (C_u - C_h) \times \frac{\gamma_0}{2g} \times v^2 \quad \dots\dots (3.7)$$

$$\Delta P = (\gamma_i - \gamma_o) \times (h_u - h_h) \quad \dots\dots (3.8)$$

$$Q = \alpha A \times \sqrt{\frac{2g}{\gamma_0}} \times \sqrt{\Delta P_w + \Delta P_b} \quad \dots\dots (3.9)$$

ただし、 ΔP_w : 風圧 ΔP_b : 温度差による浮力

C_u, C_h : 2開口の風圧係数

h_u, h_h : 2開口の基準面よりの高さ

γ_1, γ_0 : ダブルスキン内, 外気の空気比重量

g : 重力加速度 v : 風速

αA : 2開口及び点検用歩廊を含んだ実効面積

Q : ダブルスキンの自然換気量

このプログラムでは, 1スペース内の温湿度は均一であるとの仮定で計算を行っている。ダブルスキン内の上下温度分布を考慮する場合には, 点検用歩廊などを境として, いくつかのスペースに分割して計算することが可能である。このときのダブルスキンの自然換気計算及び空調用空気循環計算は, 図3.14に示す複数スペースについて, 次式より求まる空気比重量と実効面積を用いて行えばよい。

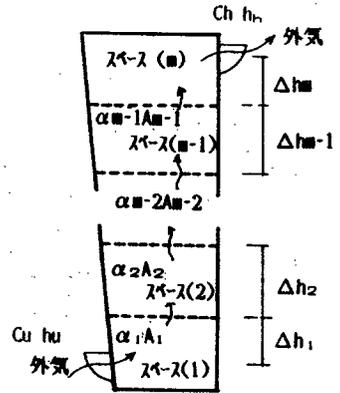


図3.14 ダブルスキン自然換気の複合スペース計算

$$\gamma_1 = \frac{\sum_{n=1}^m (\gamma_n \times \Delta h_n)}{\sum_{n=1}^m \Delta h_n} \dots\dots (3.10)$$

$$\left(\frac{1}{\alpha A}\right)^2 = \sum_{n=1}^{m-1} \left(\frac{1}{\alpha_n A_n}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_u A_u}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_h A_h}\right)^2 \quad (3.11)$$

2-5 ペリメータ部分の負荷解析

前述したプログラム MSDYLOAD を用いて, モデル建物のペリメータ部分の負荷を計算してみた。モデル建物としては, 5階建の一般的オフィスビルを想定し, 階高等の寸法は図3.15の通りである。窓面積率は, 図3.15により屋内側から見て72%となっている。地域, 建物方位, 部位構成材料, 空調設計・運転条件は表 3.3の通りとした。

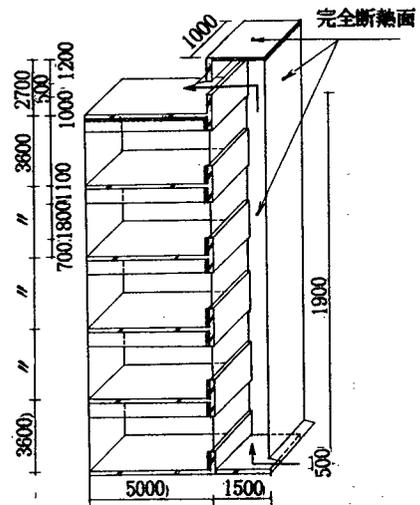


図3.15 建物の寸法

建物形態としては, 「ダブルスキンのある

場合」と「ダブルスキンの無い場合」とに分けた。前者については屋外側のガラス面の材料を2種類（熱線反射ガラス、普通ガラス）選定し、屋内側の窓ガラスとして普通ガラスを用い、ダブルスキン内にはブラインドを設けた。後者については窓ガラスとして普通ガラスを用い、その屋内側にブラインドを設けた。

表3.3 各種の計算条件

計算元、地域方位		部位構成材料	
札幌 N 40° 03' E141° 30'	S	○屋根：発泡ポリスチレンフォーム50mm+コンクリート 120mm +アスファルトルーフィング12mm+軽量コンクリート80mm	
	W	○天井：岩綿吸音板12mm+プラスターボード 9mm	
	E	○床：コンクリート 120mm+モルタル30mm+プラスチックタイル 2mm ○最下床：プラスチックタイル 2mm+モルタル30mm+コンクリート 150mm +モルタル30mm+割栗石 150mm+土	
東京 N 35° 41' E139° 46'	S	○天井裏、外壁、腰壁：プラスターボード12mm+発泡ポリスチレンフォーム 50mm+コンクリート 170mm (内断熱)	
	W	○ダブルスキン	
	E		
鹿児島 N 31° 34' E130° 33'	S	屋内 	
	空調設備条件		空調運転条件
温湿度条件	○夏期：26℃DB、50%RH ○中間期：24℃DB、45%RH ○冬期：22℃DB、40%RH		温湿度条件 ○夏期 (24~26℃、50%) ○中間期 (23~26℃、45%) ○冬期 (22~24℃、40%)
取入れ外気量	20m ³ /h・人		取入れ外気量 同左
在室人員	0.02人/m ² 		在室人員 ○0.1人/m ² ○スケジュール 同左
照明	0.25W/m ² 		照明 ○25W/m ² ○スケジュール 同左
外気カット	装置運転開始時刻から9:00AMまで		外気カット 同左
全熱交換器	使用 (η=60%)		全熱交換器 同左

空調負荷を計算する際、ダブルスキンがある場合には、夏期・中間期に1日中自然換気によりダブルスキン内を外気で換気させる。一方冬期にはダブルスキン内を屋外から隔離した状態にして、パレメータ空調用取入れ外気分を流す。この取入れ外気は、予熱時間を除いた空調時間帯にわたって、全熱交換器で屋内からの排気と熱交換させた後、ダブルスキン内で予熱し、パレメータ負荷処理用空調機へ送り込むような運転条件にした。空調負荷はパレメータ部分のみに注目し、ピーク負荷と年間負荷とに分けてそれぞれ算出し、パレメータ単位面積当たりの負荷としてまとめた。計算の結果として、札幌（冬の寒さが厳

しい地点), 東京(温暖な地点)及び鹿児島(夏の暑さが厳しい地点)の3地点について, 3方位(南, 西, 東)面それぞれに対する(鹿児島は南面のみ)ペリメータ単位面積当たりの冷暖房ピーク負荷を図3.16に示し, 年間冷暖房負荷を図3.17に示す。東京の南面における各月毎の冷暖房負荷を図3.18に示す。

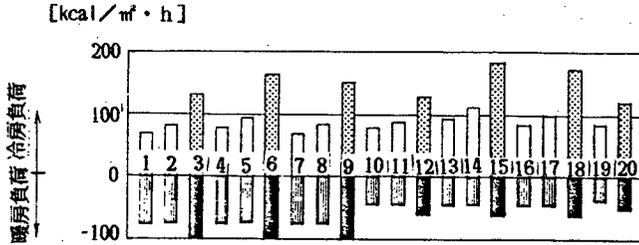


図3.16 ピーク負荷

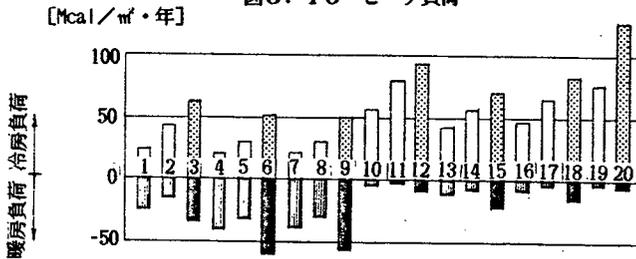


図3.17 年間負荷

そして計算結果より, 以下のようなことが考察される。

(1) ピーク負荷

札幌, 東京及び鹿児島(南面のみ)のいずれの地点においても, 方位別冷房負荷の値は, 熱線反射ガラスを使ったダブルスキンの場合が最小値となっている。これは, 熱線反射ガラスによる日射に対する反射効果, ダブルスキン内に設けたブラインドによる日射遮へい効果, さらに自然換気効果によるものと考えられる。

上記の冷房負荷をダブルスキンが無い場合のそれと比べると, 減少幅は南面よりも東西面の方が大きい。これは, ダブルスキンの無い場合には, 東西面は南面に比べて日射熱取得が大きく, それだけ冷房負荷が大きい。ダブルスキンのある場合にはその日射熱取得に比例して, ダブルスキン内の自然換気量が増し, 冷房負荷があまり増えないためである。

札幌, 東京及び鹿児島(南面のみ)のいずれの地点においても方位別暖房負荷の値は,

CASE No	地点	方位	ダブルスキンの有無	外側ガラス材
1	札幌	S	○	熱反
2	"	"	○	普通
3	"	"	×	熱反
4	"	W	○	熱反
5	"	"	○	普通
6	"	"	×	熱反
7	"	E	○	熱反
8	"	"	○	普通
9	"	"	×	熱反
10	東京	S	○	熱反
11	"	"	○	普通
12	"	"	×	熱反
13	"	W	○	熱反
14	"	"	○	普通
15	"	"	×	熱反
16	"	E	○	熱反
17	"	"	○	普通
18	"	"	×	熱反
19	鹿児島	S	○	熱反
20	"	"	×	熱反

[Mcal/m²·月] ○:有 ×:無

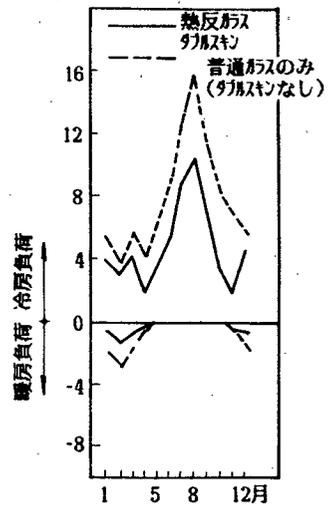


図3.18 月間冷暖房負荷

普通ガラスを使ったダブルスキンの場合と、熱線反射ガラスを使った場合とはほとんど等しい。また暖房負荷では、その減少幅は方位による差が見られない。これは、日射はすべて拡散光のみとして扱っているためである。

以上より熱線反射ガラスを使ったダブルスキンは、ピーク時の冷房負荷カットに有効であるとともに、暖房負荷でも特に不利な点が認められない。

(2) 年間負荷

冷房負荷では、熱線反射ガラスを使ったダブルスキンの場合がどの方位においても最小値となり、ダブルスキンが無い場合と比較して約38～60%減少している。

暖房負荷では、普通ガラスを使ったダブルスキンの場合がどの方位においても最小値となり、ダブルスキンが無い場合と比較して約48～77%減少している。

ダブルスキンは、寒冷地の札幌に適用した場合に、その冷暖房負荷合計値の低減効果が著しい。

2-6 こう配を持つダブルスキンの建物全体熱負荷への影響

前節では、バリメータゾーンだけを独立した建物と考え、ダブルスキンの効果を試算した。しかし冬期の晴天日においては、南面をダブルスキンとしたことによって冬期の冷房負荷が減少しているが、内部を通過する取入外気が過熱されて空調機側で冷房負荷を増大している場合がある。実際のシステムでは、建物の北面で生じる暖房負荷と相殺されうる場合がある。それゆえ、建物全体で発生する負荷を考え合せると、ダブルスキンのある場合の冬期の冷房負荷は、前節の計算値よりもその分小さくなる可能性がある。またダブルスキンの外側のガラスを、垂直以外の角度に取り付けることも、場合によって省エネルギー効果を発揮するので、これらの影響を合わせて解析した。

まずモデル建物として一般的オフィスビルを想定し、図3.19に示す基準階の5層分を対象とした。窓面積率は、ダブルスキンの有無を論じる方位に面する側で、屋内側から見て72%、これと反対側の方位に面する側では36%としている。地域、部位構成材料は表4.4に示し、空調設計・運転条件は表3.5に示す。

建物形態としては2つに分けた。ダブルスキンのある場合については、ダブルスキン構築側の屋外側のガラス面の材料を2種類（熱線反射ガラス、普通ガラス）選定し、南面に限ってその熱線反射ガラスの傾斜角を5種類（80, 85, 90, 95, 100°）に分けた。また屋内側の窓ガラスとして普通ガラスを用い、ダブルスキン内にはブラインドを設けた。

ダブルスキン側と反対方位の窓ガラスの仕様はペアガラスまたは普通ガラスとした。ダブルスキンの無い場合については、窓ガラスとしてペアガラスまたは普通ガラスを用い、南・東・西の方位に面する時のみ、その屋内側にブラインドを設けた。

建物の空調負荷を計算する際、ダブルスキンがある場合には、夏期・中間期にその内部を自然換気する。一方、冬期にはダブルスキン内を屋外から隔離した状態にして、空調用取入外気分を通気する。この取入外気は、予熱時間を除いた空調時間帯にわたって全熱交換器に通気した後、ダブルスキン内で予熱され、空調機へ送り込まれるような運転条件にした。

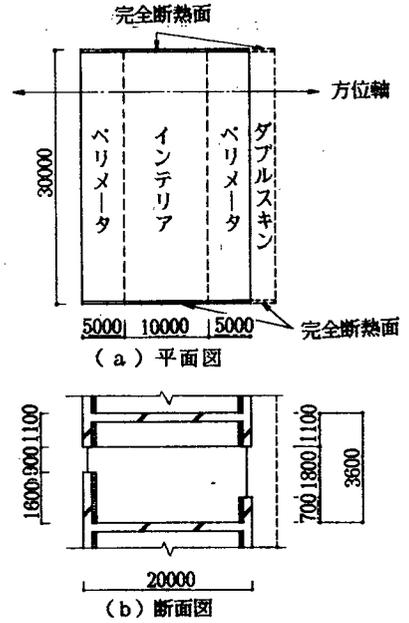


図3.19 基準階の寸法

表3.4 地域・構成材料

地域	部位	構成材料
札幌 N 43° 03' E141° 20'	○天井	岩綿吸音板12mm+プラスターボード 9mm
	○床	コンクリート 120mm+モルタル30mm +プラスチックタイル 2mm
東京 N 35° 41' E139° 46'	○天井裏外壁、腰壁	プラスターボード12mm+ 発泡ポリスチレンフォーム 40mm (札幌) + 25mm (東京)
		コンクリート 170mm

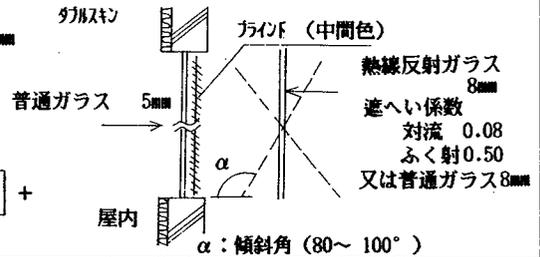


表3.5 空調設計・運転条件

項目	空調設計条件	空調運転条件
温湿度条件	○夏期 (6月~9月) : 26℃DB、50%RH ○中間期 (10月~11月、4月~5月) : 24℃DB、45%RH ○冬期 : 22℃DB、40%RH	○夏期 (6月~9月) : 24~26℃DB、50%RH ○中間期 (10~11月、4月~5月) : 23~26℃DB、45%RH ○冬期 (1~3月、12月) : 22~24℃DB、40%RH
取入れ外気量	○20m ³ /h・人	○20m ³ /h・人
在室人員	○0.2人/m ² ○スケジュール: 	○0.1人/m ² ○スケジュール: 同左
照明	○18W/m ² ○スケジュール: 	○13.5W/m ² ○スケジュール: 同左
外気カット	装置運転開始時刻から9:00AMまで	同左
全熱交換器	使用 (η=60%)	同左

建物全体の空調負荷を、ピーク負荷と年間負荷とに分け、表 3.6に示す各ケースについてそれぞれ算出し、単位床面積当たりの負荷としてまとめた。また、建物方位軸が南北の場合には、2系統（南、北）にゾーニングした空調機の中の北側系統の空調負荷を、冬期の各月ごとにそのゾーンの単位床面積当たりの月間負荷としてまとめた。

表3.6 各 ケ ー ス の 計 算 条 件

CASE No	地 域	方 位 軸	ダブルスキンのある側面			ダブルスキンの無い側面			
			方 位	傾斜角	屋 外 側 ガ ラ ス 傾 斜	方 位	傾 斜 角	ガ ラ ス 材 料	プ ラ イ ン ドの有無
1	札幌	S,N	—	—	—	S,N	90°	ペア	Sのみ有
2	〃	〃	S	90°	普通	N	〃	〃	無
3	〃	〃	〃	80°	熱反	〃	〃	〃	〃
4	〃	〃	〃	85°	〃	〃	〃	〃	〃
5	〃	〃	〃	90°	〃	〃	〃	〃	〃
6	〃	〃	〃	95°	〃	〃	〃	〃	〃
7	〃	〃	〃	100°	〃	〃	〃	〃	〃
8	東京	〃	—	—	—	S,N	〃	普通	Sのみ有
9	〃	〃	—	—	—	〃	〃	〚(S) 普通(N)	〃
10	〃	〃	S	90°	普通	N	〃	普通	無
11	〃	〃	〃	80°	熱反	〃	〃	〃	〃
12	〃	〃	〃	85°	〃	〃	〃	〃	〃
13	〃	〃	〃	90°	〃	〃	〃	〃	〃
14	〃	〃	〃	95°	〃	〃	〃	〃	〃
15	〃	〃	〃	100°	〃	〃	〃	〃	〃
16	〃	W-E	—	—	—	W,E	〃	〃	有
17	〃	〃	W	90°	熱反	E	〃	〃	〃
18	〃	〃	—	—	—	W,E	〃	〃	〃
19	〃	〃	E	90°	熱反	W	〃	〃	〃

札幌（冬の寒さが厳しい地域）、東京（温暖な地域）の2地域についての建物単位床面積当たりの冷暖房ピーク負荷を図3.20に示し、年間冷暖房負荷を図3.21に示す。北側空調ゾーンの単位床面積当たりの冬期月間冷暖房負荷を札幌と東京に分けて、それぞれ図3.22と図3.23に示す。

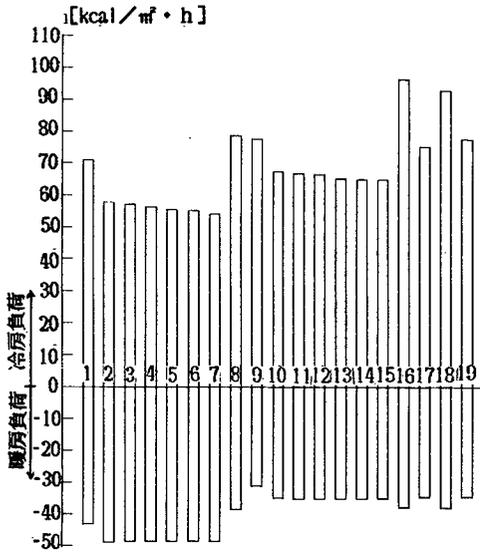


図3.20 ピーク負荷

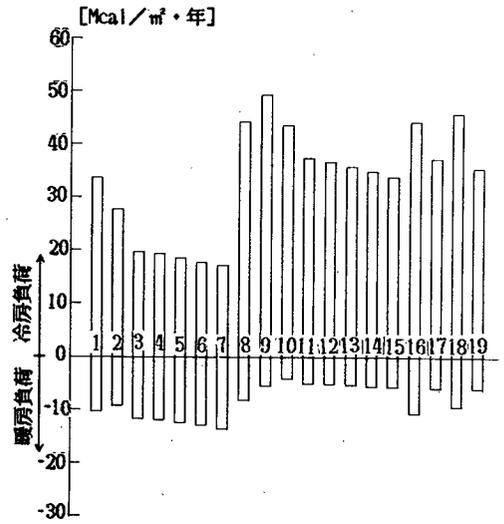


図3.21 年間負荷

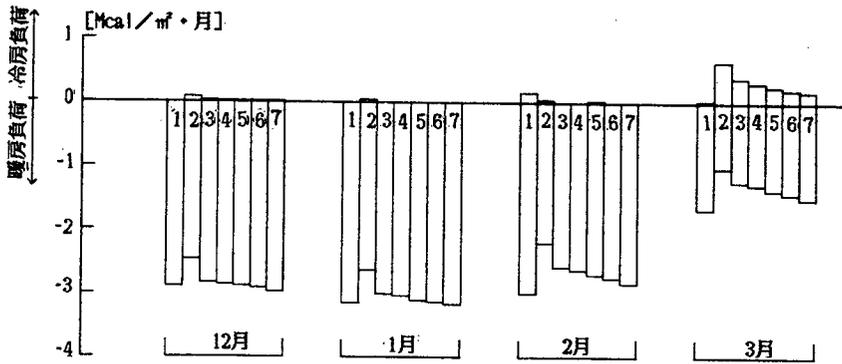


図3.22 北側ゾーン月間負荷(札幌)

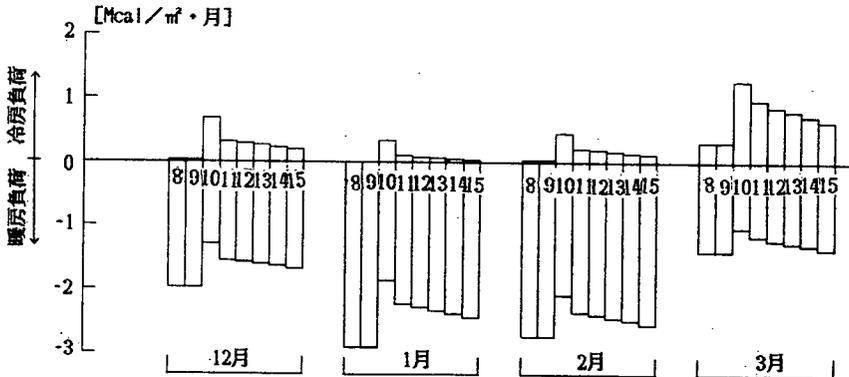


図3.23 北側ゾーン月間負荷(東京)

計算結果から次のようなことがわかる。

(1) ピーク負荷

札幌及び東京のいずれの地域においても、冷房負荷の値は、南面にダブルスキンを設け、熱線反射ガラスの傾斜角を 100° にした場合 (No. 7,15) が最小値となっている。これは、オーバーハングした熱線反射ガラスによる日射に対する反射効果の増大、ダブルスキン内に設けたブラインドによる日射しゃへい効果、さらに自然換気効果によるものと考えられる。

熱線反射ガラスの傾斜角を変化させた場合には、その傾斜角が増加するに従い冷房負荷は徐々に減少している (No.3~7,11~15)。

東又は西面にダブルスキンを設けた場合は、ない場合と比べて冷房負荷の減少が著しい (No. 17, 19)。しかし、南面に設けた場合に比べると冷房負荷が大きい。

札幌の暖房負荷の値は、ダブルスキンを設けずにペアガラスを使った場合 (No.1) が最小値となっている。同様に、東京の暖房負荷の値は、ダブルスキンを設けずに南面にペアガラスを使った場合 (No.9) が最小値となっている。これは、暖房ピーク発生日が曇天日であり、日射はすべて拡散光のみのため、全熱交換器を経てある程度予熱された取入外気に対しては、ダブルスキン内がコレクタとしての機能を果たさず、逆にその周囲のガラス面から屋外に熱が流出している結果と考えられる。従って、このような日には取入外気をダブルスキンに通さずに、直接空調機に送るような取入制御を行えば、そのような熱損失は防止でき、暖房負荷の増大にはならないと考えられる。

寒地におけるダブルスキンの計算ケースでは、ダブルスキンの屋内側ガラスが普通ガラスであり、これをペアガラスにおき換えれば、暖房負荷の減少が期待できると考えられる。

(2) 年間負荷

冷房負荷では、南面にダブルスキンを設け、熱線反射ガラスの傾斜角を 100° にした場合 (No. 7,15) が札幌、東京とも最小値となっている。札幌では、ダブルスキンの無い場合と比較して約49%減少し、一方東京では、ダブルスキンが無かつ普通ガラス仕様 (方位軸が南北) の場合と比較して約23%減少している。

札幌の暖房負荷では、熱線反射ガラスを使ったダブルスキンの場合が、これを用いないペアガラスの場合より大きい値となっている。これは、東京に比べて外気温度が著しく低い4・11月を中間期として扱い、ダブルスキン内を自然換気する条件で負荷計算をしたために、この時期の暖房負荷が増大した理由による。従って、札幌のような中間期も寒い地

域では、ダブルスキンの自然換気の期間を短くすれば、このような暖房負荷増大傾向はなくなるはずである。

冬期の北側ゾーンの月間負荷において、ダブルスキン内を通過して予熱又は過熱された取入外気による、そのゾーンの暖房負荷の減少効果は、札幌の場合、2・3月に比較的大きく、12・1月は小さい。これは、12・1月の日射量が比較的小さく、かつ外気温度がかなり低いために、ダブルスキンのガラスを通しての屋外への熱損失が大きくなり、ダブルスキンの効果が著しく相殺された結果と考えられる。一方、東京の場合、冬期のどの月でも北側ゾーンの暖房負荷がかなり減少している。これは、この時期の外気温度が札幌と比べてかなり緩和されているので、この効果が比較的好く表れた結果と考えられる。

第3節 反射装置を持つ太陽エネルギー利用システム⁽¹⁷⁾

3-1 研究の目的

太陽エネルギー利用装置において、反射装置によって見掛けの入射日射量を増加させる方法は、太陽エネルギーの利用率の向上に有効とされるが、反射装置に関する実測や解析など、定量的な研究報告はあまり多く見られない⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾。集熱器を複数列並べた時、前方集熱器の影の解析⁽²⁰⁾⁽²¹⁾や、平面反射板による直達日射量増分・拡散日射量増分を各々求めた研究⁽²²⁾⁽²³⁾は過去に見られるが、これらを総合的にとらえ、かつ相互反射まで考慮した解析は見られない。

本研究の目的は、平板型集熱器などを有する太陽エネルギー利用システムにおいて、平面反射板を導入することによるシステムの経済性向上を定量化するための、実務的資料を得ることにある。そして本研究の内容は、反射材の性能、集熱器などの面への入射日射量計算法、反射集熱系の集熱特性と経済性、の3部分から成っている。

3-2 反射材の性能

(1) 反射率の定義と測定法

物質の反射率に関しては、米国 I E S の基準⁽²⁴⁾によると、分光および視感を除いても、11種類の反射率が定義されている。しかし、現在のところ、特に太陽集光用として使うような反射材料の各種反射率の定義と測定値は、いまだ整備されていない。

反射日射量を計算するにあたって必要な反射率の値は、後述の理論モデルについては図3.24に示す3種類であり、この定義と求め方を次に示す。

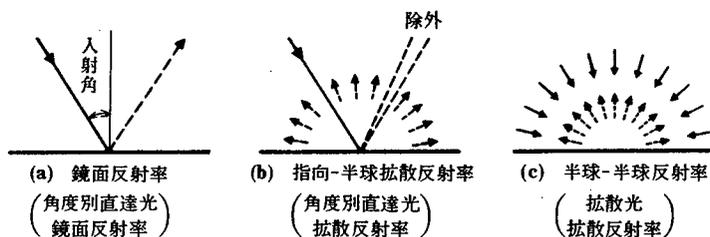


図3.24 各種反射率

鏡面反射率(角度別直達光鏡面反射率)は、反射面に入射した光束に対する正反対方向に反射される光束の比率、と定義する。この値は、JIS Z 8741 - 1962 光沢度測定方法の定めるところによって、光源および受光器の角度を変えながら測定した。

指向-半球拡散反射率（角度別直達光拡散反射率）は、反射面に入射した光束に対する正反射方向以外に拡散反射される光束の比率、と定義する。この値は、反射面に積分球をかぶせて光源の角度を変えながら、正反射の位置のみ積分球に穴をあけておけば求められる。しかし、現実にはこのような測定器がないので、入射角が9° の場合の9-d方式色差計によって、正反射成分を除いた値を測定し、反射率は入射角に依存せず一定と近似した。

半球-半球反射率（拡散光拡散反射率）は、反射面に均等に入射した光束に対する各方位に反射する光束との比率、と定義する。この値は、鏡面反射が主たる材料では、前述した鏡面反射率の測定時に、正反射方向以外の角度についても反射率を求めておき、これを積分したものの平均値として算出した。一方、拡散反射が主たる材料では、前述の9-d方式色差計によって、正反射成分を含めた値を測定し、近似的この値を採用した。

いずれも、光源には太陽光に比較的近いスペクトルを有するものを用い、受光器も0.4～0.7μm に対して感度を持つものを使っている。なお、反射板自身の昇温による赤外線放射については無視している。これは、一般のガラスは3.0μm 以上の波長に対する透過率はほぼ0となることと、60℃程度の物体表面から放射される赤外線は10μm 以上の波長が中心で、かつ絶対量が少ないことから、ガラスで表面を覆われている太陽集熱器や太陽電池の入力として、赤外線の影響は小さいと判断したことによる。

(2) 暴露試験装置と試験方法

反射材が屋外に長期間放置されたときに、どの程度反射性能が劣化するかはよく知られていない。そこで、これを確認するために暴露試験を行った。

屋外暴露の方法は、JIS Z 2381 屋外暴露試験方法通則、ならびにJIS Z 0304 さび止め処理金属の大気暴露試験方法に準じて行った。暴露試験装置の概要を表 3.7に示した。

表3.7 暴露試験装置の概要

地域 項目	神 田	清 瀬	清 瀬
場 所	東京都千代田区	東京都清瀬市	東京都清瀬市
方 位	S 0°	S 0°	N 29° W
傾 斜	30°	30°	38°
暴 露 開 始	昭和55年 6 月	昭和55年 6 月	昭和55年 6 月
測 定 間 隔	3 箇月	3 箇月	3 箇月

テストピースは3カ月ごとに試験装置から取り外し、鏡面反射率、指向-半球拡散反射率、ならびに半球-半球反射率を測定した後に、再度そのままの状態、表面に手を触れ

ることなく、この試験装置に取り付けた。なお、1枚のテストピースのみは、水洗の効果を見るために測定前にその都度入念に水洗を行った。

測定にあたっては、毎回各資料ごとに同一の基準反射率板をめぐってから校正し、しかる後に実測した。また鏡面反射率測定にあたって、実測対象となる面積が小さいため、表面の反射むらが測定結果に非常に大きく影響することが考えられる。このため、あらかじめ平均的反射率を示す部分を求めた後に実測した。

暴露試験を行った反射材は、比較的安価で、建物の屋根材として長期使用に耐え得るものを中心として、7種類選択した。

(3) 反射性能の経時変化

暴露試験を行った各材料について、初期の反射率を表 3.8 に示す。

表3.8 初期の反射率

材 料	鏡 面 反 射 率 [%]				指向-半球 拡散反射率 [%]
	入射角 20°	入射角 45°	入射角 60°	入射角 75°	
白 ペ イ ン ト	2.6	4.7	8.5	24.5	86.3
銀 ペ イ ン ト	0.6	4.3	6.2	17.0	69.3
白色焼付け塗装	3.5	5.0	8.7	24.7	86.6
裏面アルミニウム 蒸着アクリル板	87.9	80.1	78.9	63.8	0.8
ステンレス鋼板 B A 仕 上 げ	40.8	53.3	55.4	60.9	9.0
ステンレス鋼板 # 600研磨仕上げ	43.6	50.5	52.0	56.2	6.2
ステンレス鋼板 # 800研磨仕上げ	53.1	52.8	56.2	56.9	5.3

注 ステンレス鋼板：SUS 304

次に、鏡面反射が卓越した3種の材料の、暴露期間と反射率の関係の実測値の一部を、図3.25、図3.26に示す。この図からもわかるように、反射率は暴露初期にかなり低下するが、それ以後はあまり変化が見られないことがわかる。また、耐食性のある反射材では、水洗によって反射率は初期の値が維持できていることもわかる。地域差については、やはり東京都心の神田のほうで、郊外の清瀬より性能低下が著しい。

また、一部の資料では、3カ月暴露以後、鏡面反射率の上昇傾向が見られる。この原因としては、前述したように資料の実測対象領域が狭く、測定値にばらつきが発生しやすいことや、測定器の校正操作時に誤差が発生しやすいことなどが考えられる。このようなこ

とから、図に示された反射率の実測値はそのまま使うのではなく、ある期間にわたって計測したものの平均値を使うことが望ましいと思われる。

一方、拡散反射が中心となる3種の材料について、反射率の経時変化を図3.27, 3.28に示す。全体的傾向は鏡面反射のそれとほぼ同様である。暴露3カ月以後反射率が少しずつ上昇しているが、これは反射率測定日の数日前に雨が降ったことが重なったためと、反射板表面にたい積したじんあい自身がかなり白っぽいことが原因として考えられる。また、アルミニウム顔料を主成分とする銀ペイントは、反射率が急速に低下することがわかる。

なお、図3.27, 3.28の指向-半球拡散反射率は暴露1年以後も少しずつ増加しており、一方、これら材料の鏡面反射率は低下傾向を示している。

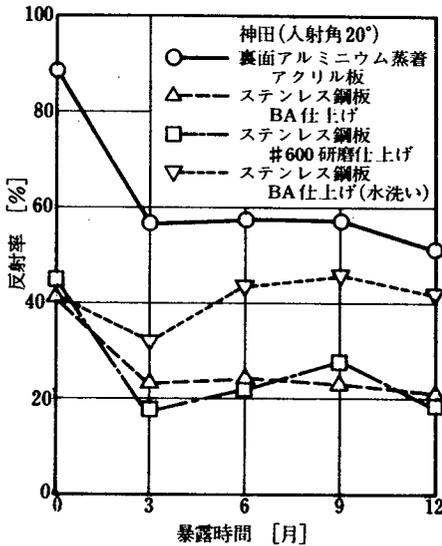


図3.25 鏡面反射率の経時変化(1)

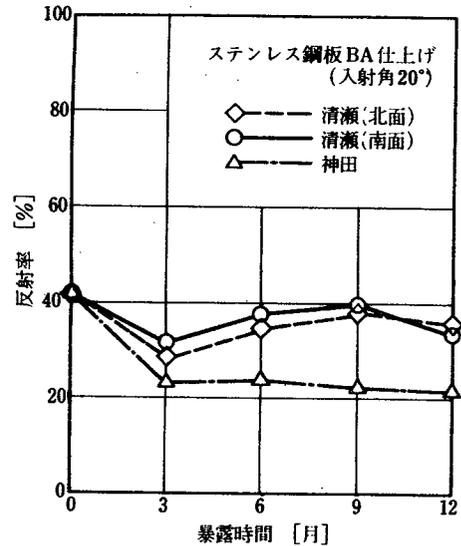


図3.26 鏡面反射率の経時変化(2)

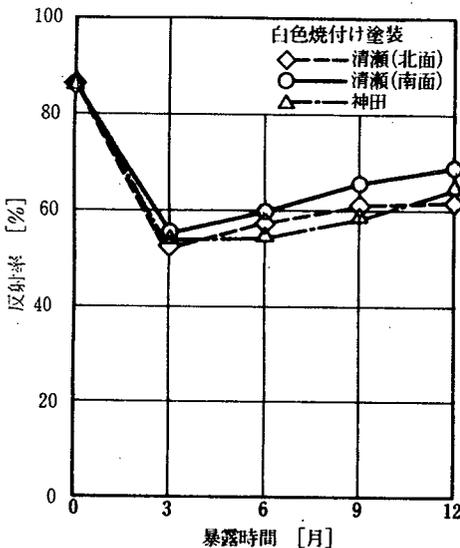


図3.27 指向-半球拡散反射率の経時変化(1)

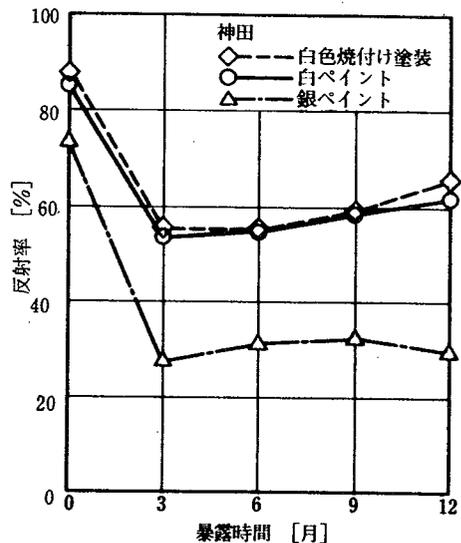


図3.28 指向-半球拡散反射率の経時変化(2)

以降の計算を実施するにあたって、平均的反射率を定める必要がある。そこで、東京都心（神田）における暴露後3,6,9,12箇月の反射率の平均値をもって、各反射材の長期暴露後の反射率とみなした。表 3.9に、代表的反射材3種類と、ガラスに対する反射率を示した。なお、ガラスについては、暴露によって反射率が変わらないものと近似し、新品に対するメーカーの試験結果の値をそのまま用いている。

表3.9 暴露後の反射率

材 料	鏡面反射率 [%]				指向-半球 拡散反射率 [%]	半球-半球 反 射 率 [%]
	入射角20°	入射角45°	入射角60°	入射角75°		
白色焼付け塗装	0.96	1.87	3.64	13.6	57.8	57.9
裏面アルミニウム蒸着 アクリル板	55.2	50.5	42.5	33.9	11.1	46.3
ステンレス鋼板 BA仕上げ	22.2	23.1	22.1	26.0	9.53	25.9
透明 3mmガラス板	7.60	9.30	15.6	37.3	0.0	14.8

注 ステンレス鋼板：SUS304

3-3 集熱器などの面への入射

日射量計算法

(1) 理論式の導出

集熱器や太陽電池の面（以後、集熱器と呼ぶ）と反射板の配置関係と、両面に入射する日射の関係を図3.29に示す。そして、集熱器への集射日射量は以下の諸式に基づいて算出した。

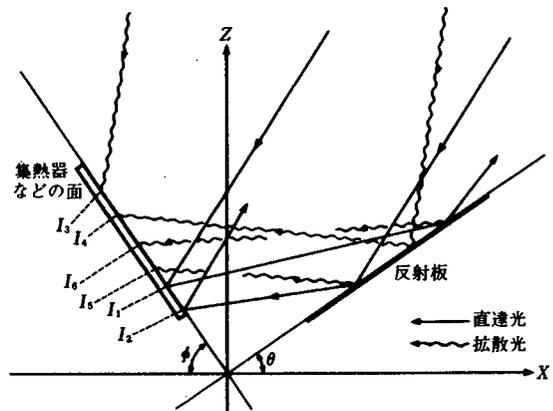


図3.29 反射集光系に入射する日射

$$I_{ct} = \sum_{k=1}^8 I_k \quad \dots\dots (3.12)$$

$$I_1 = I_{dn} \cos \theta_{ic} U_{cr} S_c \quad \dots\dots (3.13)$$

$$I_2 = I_{dn} \cos \theta_{ir} U_{rc} S_r \rho_{rdd} \eta_{cr} \quad \dots\dots (3.14)$$

$$I_3 = I_{sh} \phi_{cs} S_c \quad \dots\dots (3.15)$$

$$I_4 = I_{sh} \phi_{rs} S_r \rho_{rss} \phi_{rc} \quad \dots\dots (3.16)$$

$$I_5 = I_{dn} \cos \theta_{ir} U_{rc} S_r \rho_{rds} \phi_{rc} \quad \dots\dots (3.17)$$

$$I_6 = I_1 \rho_{cdd} \eta_{rc} \rho_{rds} \phi_{rc} \quad \dots\dots (3.18)$$

$$I_7 = \left(\sum_{k=1}^2 I_k \rho_{cds} + \sum_{k=3}^6 I_k \rho_{css} \right) \phi_{cr} \rho_{rss} \phi_{rc} \quad \dots\dots (3.19)$$

$$I_8 = I_7 \rho_{css} \phi_{cr} \rho_{rss} \phi_{rc} \quad \dots\dots (3.20)$$

- ここに、 I_{ct} : 集熱器への入射日射量の合計 [kcal/h]
- I_1 : 直接入射する直達日射量 [kcal/h]
- I_2 : 反射板で鏡面反射して入射する直達日射量 [kcal/h]
- I_3 : 直接入射する拡散日射量 [kcal/h]
- I_4 : 反射板で1回反射して入射する拡散日射量 [kcal/h]
- I_5 : 反射板に入射する直達光による反射板からの拡散反射のうち、集熱器に入射する量 [kcal/h]
- I_6 : 集熱器で鏡面反射した直達光が、反射板で拡散反射した後、再び集熱器に入射する量 [kcal/h]
- I_7 : $I_1 \sim I_6$ が集熱器で拡散反射し、一度反射板で拡散反射した後に、再度集熱器に入射する量 [kcal/h]
- I_8 : I_7 が集熱器で拡散反射し、一度反射板で拡散反射した後に、再度集熱器に入射する量 [kcal/h]
- I_{dn} : 法線面直達日射量 [kcal/m² h]
- I_{sh} : 水平面直達日射量 [kcal/m² h]
- θ_{ic} : 集熱器直達日射入射角
- θ_{ir} : 反射板直達日射入射角
- ϕ_{cs} : 集熱器と天空との間の形態係数
- ϕ_{cr} : 集熱器と反射板との間の形態係数
- ϕ_{rs} : 反射板と天空との間の形態係数
- ϕ_{rc} : 反射板と集熱器との間の形態係数
- ρ_{rdd} : 反射板の鏡面反射率

- ρ_{rds} : 反射板の指向-半球拡散反射率
- ρ_{rss} : 反射板の半球-半球反射率
- ρ_{cdd} : 集熱器の鏡面反射率
- $\rho_{c ds}$: 集熱器の指向-半球拡散反射率
- ρ_{css} : 集熱器の半球-半球反射率
- Sc : 有効集熱面積 [m²]
- Sr : 有効集熱面積 [m²]
- Ucr : 集熱器の日向面積率
- Urc : 反射板の日向面積率
- η_{cr} : 集熱器の有効反射面積率
- η_{rc} : 集熱器の有効反射面積率

日なた面積率とは、図3.30に示すように、直達光の一部が前面のしゃへい物によってさえぎられ、受光面上で日影となる部分を除外した日なた部分の面積率と定義した。また有効反射面積率とは、図3.31に示すよ

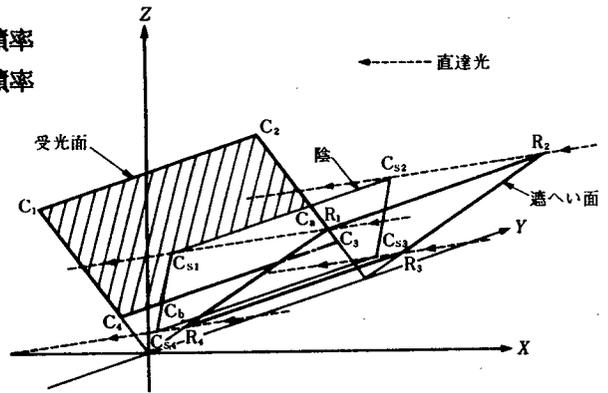


図3.30 日なた面積率説明図

うに反射面に集射した直達光が、鏡面反射によって相対する受光面全面積のうち、どれだけに像を結ぶかの比率として定義した。なお、ここで受光面と反射面という表現は、二つの相対する面に相対的に名付けたものであり、集熱板や反射板が相互に受光面であったり反射面であったりする。これらは以下の手順によって計算できる。

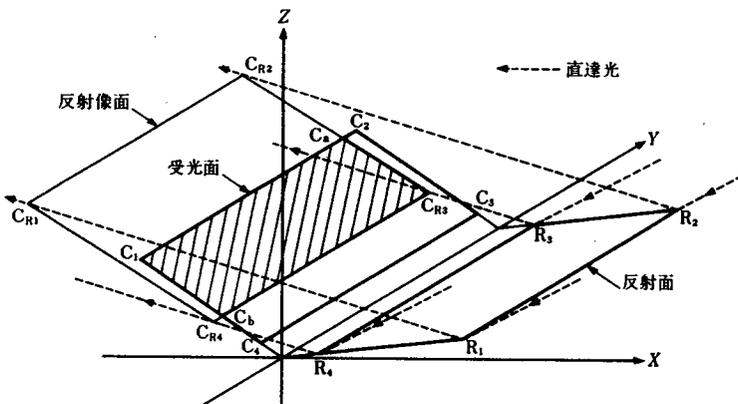


図3.31 有効反射面積率説明図

太陽光の方向ベクトルは次式で表せる。

$$P = \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos h \cos(\delta - \gamma) \\ -\cos h \sin(\delta - \gamma) \\ -\sin h \end{bmatrix} \quad \dots\dots (3.21)$$

ここに、
 h : 太陽高度
 δ : 太陽方位角
 γ : 反射面方位角

反射面で鏡面反射された後の太陽反射光の方向ベクトル⁽²⁵⁾は、次式で表せる。

$$P' = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} = RP \quad \dots\dots (3.22)$$

ここにRは反射光変換行列で、図3.32に示す角関係のとき、次式のようになる。

$$R = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} \left(\frac{\cos 2\beta \cos 2\alpha + \cos 2\beta - \cos 2\alpha + 1}{\cos 2\beta - \cos 2\alpha + 1} \right) & \frac{1}{2} (1 - \cos 2\beta) \sin 2\alpha & \sin 2\beta \sin \alpha \\ \frac{1}{2} (1 - \cos 2\beta) \sin 2\alpha & \frac{1}{2} \left(\frac{\cos 2\alpha \cos 2\beta - \cos 2\alpha - \cos 2\beta - 1}{\cos 2\alpha - \cos 2\beta - 1} \right) & \sin 2\beta \sin \alpha \\ \sin 2\beta \cos \alpha & \sin 2\beta \sin \alpha & \cos 2\beta \end{bmatrix}$$

ここに、
 α : 反射光の方位角
 β : $90^\circ -$ (反射面の傾斜角) \dots\dots (3.23)

反射光方程式は、次式にて表せる。

$$\frac{X - x_0}{\Delta x} = \frac{Y - y_0}{\Delta y} = \frac{Z - z_0}{\Delta z} \quad \dots (3.24)$$

ここに、

x_0, y_0, z_0 : 反射面における太陽光入射点の座標

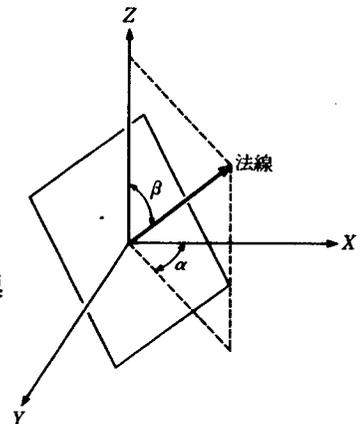


図3.32 反射面法線の角度

受光面方程式は、図3.29から

$$Z = -\tan \phi \cdot X \text{ または } -\tan \theta \cdot X = aX \quad \dots\dots (3.25)$$

式(3.22)と式(3.23)を連立して解くと、受光平面における反射光入射点の座標が求められる。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta z - a\Delta x} \begin{bmatrix} \Delta z & 0 & -\Delta x \\ a\Delta y & \Delta z & -a\Delta x \\ a\Delta z & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \quad \dots\dots (3.26)$$

式(3.26)を用いて受光平面上の反射像境界点を算出し、受光面と反射像の共通部分を求めてから、有効反射面積率を算出した。

一方、日なた面積率は、式(3.24)において $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ を X_s, Y_s, Z_s と読み変えて x_0, y_0, z_0 とし、日影の原因となる物体の座標を代入することによって、同様の手順を踏んで求められる。

(2) 実験による理論式の検証

前項において導出した理論式の妥当性を検証するために、反射板を持つ太陽集熱系について実験を行った。

東京都郊外の清瀬市にある大林組ソーラハウス2号において、図3.33に示すように集熱器と反射板を交互に設置し、第2列目の集熱器における集熱量を、昭和55年7～9月の26日間にわたって実測するとともに、計算値を求めた。この図の第1列目と第2列目集熱器

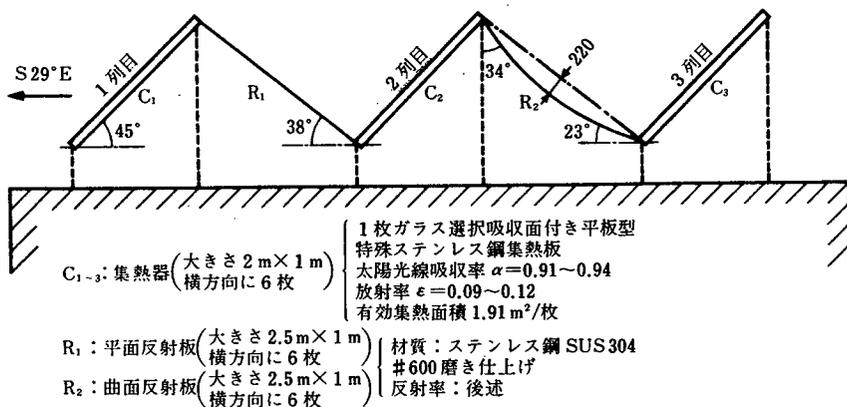


図3.33 集熱器と反射板の設置状況

の間に挿入した反射板は、新品のステンレス鋼研磨板で、実験の後半には白色ペイントを

塗装した。これによって、反射板が鏡面反射主体のものと、拡散反射主体のものとの二つの場合について、理論式の検証が可能となった。

集熱量の実測値は、集熱器出入口の水温差と流量の積から求めた。一方計算値は、集熱器面と平行に取り付けられたシャドーリング付きのものと、付かないものの二つのエブリ一日射量計の実測値を基礎とし、材料の初期反射率を用いて、式(3.12)から集熱器への入射日射量を求めた。そして、集熱器の効率を直達光入射特性を加味して次のように修正し、集熱量を求めた。

$$Q_c = \eta_c' I_{ct} \quad \dots\dots (3.27)$$

$$\eta_c' = \eta_c I_{g\theta} / I_{go} \quad \dots\dots (3.28)$$

$$\eta_c = K_1 - K_2 (t_w - t_a) / I_{et} \quad \dots\dots (3.29)$$

$$I_{g\theta} = I_D \sum_{k=0}^5 a_k \cos^k \theta + 0.762 I_s \quad \dots\dots (3.30)$$

$$I_{go} = 0.849 I_d + 0.762 I_s \quad \dots\dots (3.31)$$

ここに、

Q_c : 集熱量 [kcal/h]

η_c' : 直達光の集熱面入射角が θ のときの修正集熱効率

η_c : 直達光が法線方向から入射した場合の集熱器集熱効率

K_1, K_2 : 実測から定まる係数

t_w : 集熱器出入口水温の平均値 [°C]

t_a : 外気温 [°C]

I_{et} : 集熱面日射量 [kcal/m²·h]

$I_{g\theta}$: 直達光の集熱面入射角が θ である場合の3mmガラス透過日射量 [kcal/m²·h]

I_{go} : 直達光の集熱面入射角が0である場合の3mmガラス透過日射量 [kcal/m²·h]

I_d : 集熱面直達日射量 [kcal/m²·h]

I_s : 集熱面拡散日射量 [kcal/m²·h]

$a_0 = -0.1175 \quad a_1 = 3.1044 \quad a_2 = -2.4606$

$$a_3 = -2.3045 \quad a_4 = 4.4428 \quad a_5 = -1.8158$$

なお、この計算において、式(3.13)、(3.14)における I_1 と I_2 を直達光とし、式(3.15)～(3.20)の $I_3 \sim I_6$ は均一分布の拡散光と近似して扱った。

5分ごとの集熱量の計算値と実測値を求めた結果を図3.34、3.35に示す。この図から、前述した反射集熱系の集熱量を予測する理論式が、実用域では十分に使用に耐えられるものと判断した。

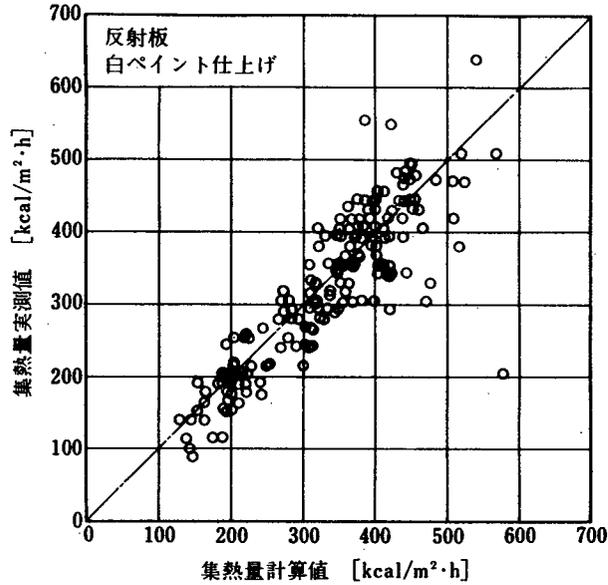


図3.34 集熱量の実測値と計算値の比較 (1)

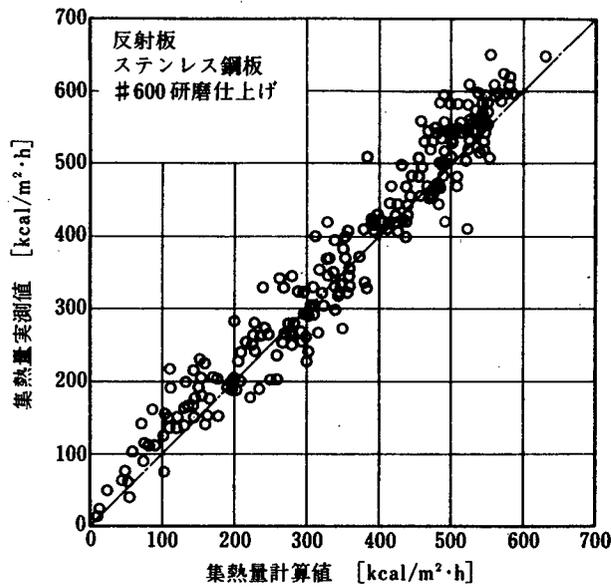


図3.35 集熱量の実測値と計算値の比較 (2)

3-4 反射集熱系の集熱特性と経済性

(1) 反射集熱系の入射日射量特性

前節に示した入射日射量計算法, さらには集熱量計算法において, 太陽位置はかなり速く変化するし, 影や直達光反射像も急速に移動する。そこで, 変化の激しい日なた面積率と有効反射面積率のみを12分ごとに求め, これらの1時間平均値を使って, 月間あるいは年間集熱量を計算することとし, 新たな略算法を開発⁽²⁵⁾した。以下の計算結果はすべてこの略算法によったもので, 気象データとしては東京標準年を加工して用いた。

まず集熱面の縦横比の影響を見るために, 図3.36に示すような反射集熱系において, 8時30分から15時30分の推定集熱時間帯の集熱面入射量を, 冬期(12~3月), 中間期(4, 5, 10, 11月), 夏期(6~9月)と年平均について求め, 図3.37にその結果を示した。

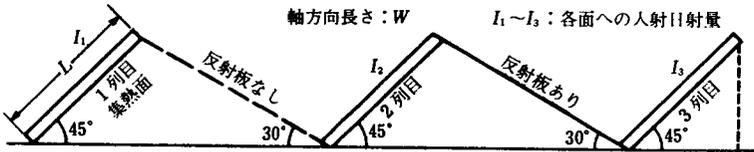


図3.36 反射集熱系のモデル

この図から, 集熱面の縦横比 W/L が5以上であれば, 入射日射量の増加率 I_3/I_2 はほぼ一定となる。すなわち, 反射集熱系の効果を十分に発揮させるためには, 縦横比が5以上あることが望ましいことがわかる。また, 反射板を取り付けない状態で集熱器をこの歯状に配列した場合, 第2列目以後の集熱器への入射日射量減少分が無視できないこともわかる。

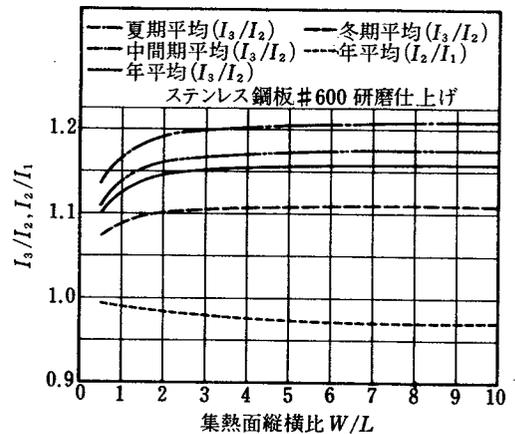


図3.37 集熱面縦横比と入射日射量増加率

次に, 図3.36に示すような反射集熱系で,

$W/L=5.0$ と固定したうえで, 反射材料別

に集熱面入射日射量増加率を月別と年平均について求めた結果を, 図3.38に示す。図から, 鏡面反射率が比較的高い値を示す反射板は(ステンレス鋼板#600研磨仕上げや, 裏面アルミニウム蒸着アクリル板等), 直達光の反射光がうまく集熱面に入るかどうかで入射日射量が大きく変わるため, 季節的变化が急である。一方, 拡散反射が主体となる反射面では, 反射光の影響が穏やかに出て, 季節的变化が比較的少ない傾向が見られる。

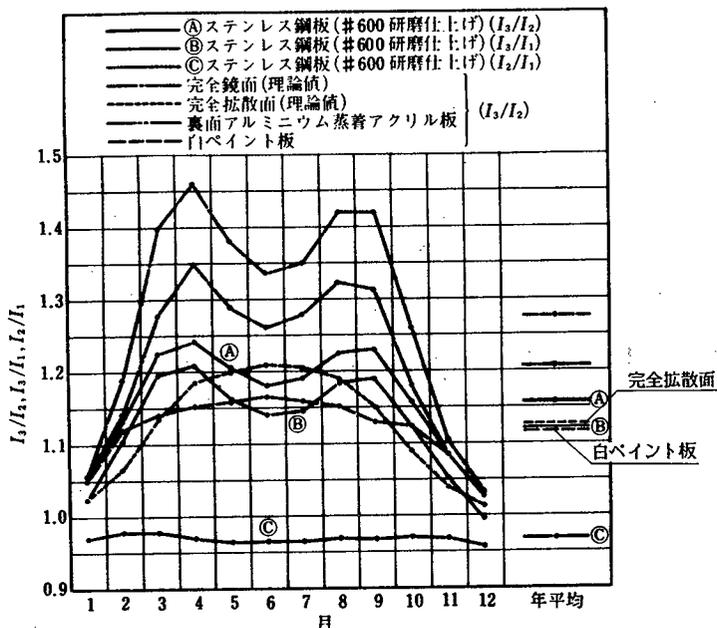


図3.38 反射材料別の入射日射量増加率

(2) 反射集熱系の年間集熱量

実際のソーラシステムに、反射集熱系を適用した場合の年間集熱量を試算してみた。熱負荷側の条件まで組み込んで計算すると、負荷の多様性から普遍性に欠けるきらいがある。そこで、ここではソーラシステムの太陽依存率が小さく、かつ年間を通じて集熱温度が設定値に保持される場合をモデルとした。そして、設定集熱温度としては次の三つの場合が比較的多いと考え、これらについて計算を行った。

- 1) 冷暖房システム用として、夏期(6~9月)は85℃、その他は45℃で集熱
- 2) 暖房・給湯システム用として、年間45℃で集熱
- 3) 予熱システム用として、年間30℃で集熱

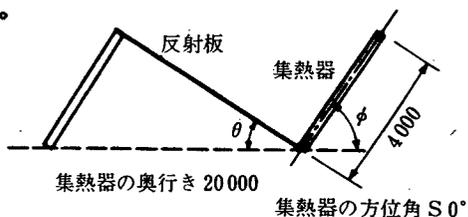


図3.39 反射集熱系の計算モデル

反射集熱系のモデルとしては、図3.39に示すような連続したのこ歯状集熱器の1ピッチ分を取り出した。そして、反射板のない場合と反射板を取り付けた場合については、価格や耐候性・防火性を考えて、白色焼付け塗装とステンレス鋼板BA仕上げを採用したときの結果を、図3.40~3.42に示す。

これらの結果を比較すると、反射板を取り付けることによって、実用域での年間集熱量は約25~15%向上することがわかる。また反射板がない場合には、遮へい角が大きくなる



図3.40 年間集熱量 (1)

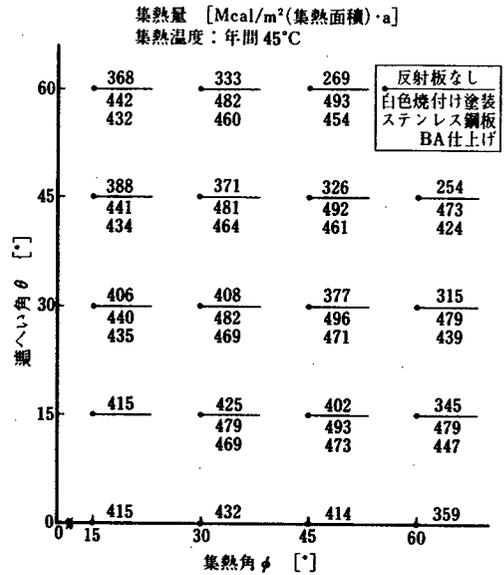


図3.41 年間集熱量 (2)

に従って集熱量が減少するのに対し、反射板があると、常識的の遮へい角の範囲では集熱量はあまり遮へい角と関係しないこともわかる。このことは、限られた屋根面積でできるだけ多くの集熱をしたい場合に、反射集熱系では集熱器設置間隔を小さくしても性能低下ならず、非常に有効な解決策となることを示す。

(3) 反射集熱系の経済性

(2)で示したように、反射集熱系は集熱量を増加させるうえで有効であるが、反射板ならびにこれの取付け架台のために新たに費用が発生する。そこで、これらを総合的にとらえて経済性を見地から検討してみた。

まず集熱器の価格を架台や取付け工事費込みで 60,000(Cc) [円/集熱m²] とする。次に反射板取付けに伴う価格上昇を Cr [円/(反射板m²)] とし、 $r = Cr/Cc$ としたときに、 $r = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3$ の4通りについて試算してみた。このうち、 $r = 0.0$ は建物の屋根材をそのまま反射板として利用する場合で、当然最も経済的となる。

経済性の指標としては、式(3.32)で定義されるR値を用いた。

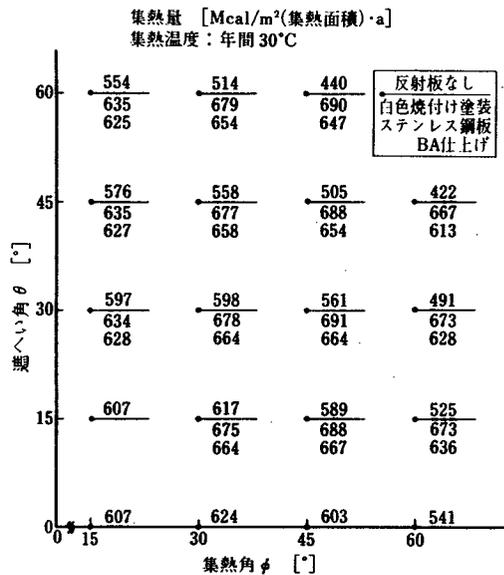


図3.42 年間集熱量 (3)

$$R \left[\frac{\text{kcal}}{\text{円}} \right] = \frac{\text{年間集熱量} [\text{kcal}/\text{集熱m}^2 \cdot \text{a}]}{\text{反射集熱系設備費の毎年費用} [\text{円}/\text{集熱m}^2 \cdot \text{a}]} \quad \dots (3.32)$$

ここに、分母は次式で計算される。

$$0.1315 \left[C_c + C_r \frac{\sin(\text{集熱角})}{\sin(\text{遮へい角})} \right] \quad \dots (3.33)$$

0.1315とは、金利10%で15年返済で借金したときの年間返済費用の比率である。

そして、このR値を白色焼付け塗装ならびにステンレス鋼板BA仕上げの反射板について計算した結果を、図3.43~3.48に示す。

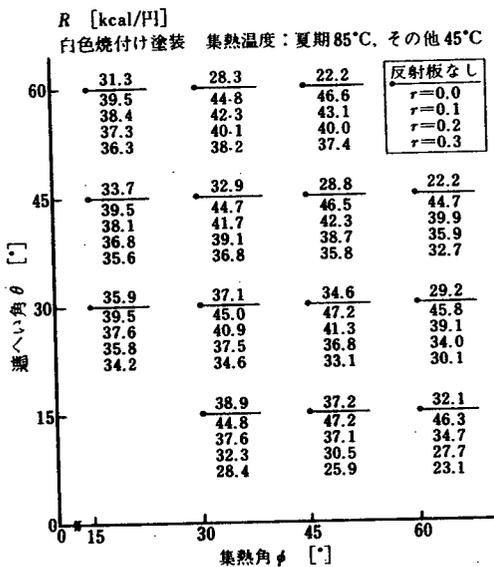


図3.43 R値(1)

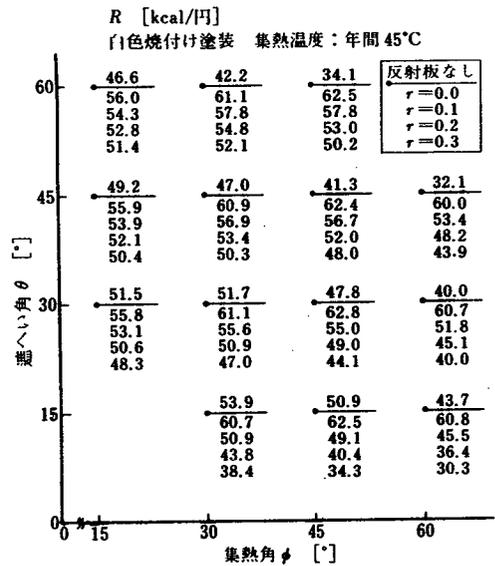


図3.44 R値(2)

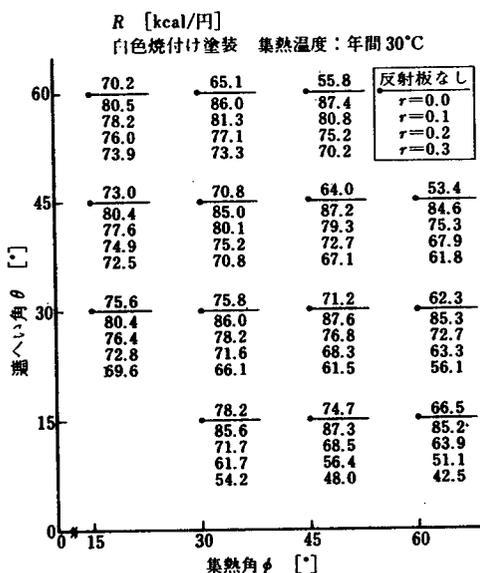


図3.45 R値(3)

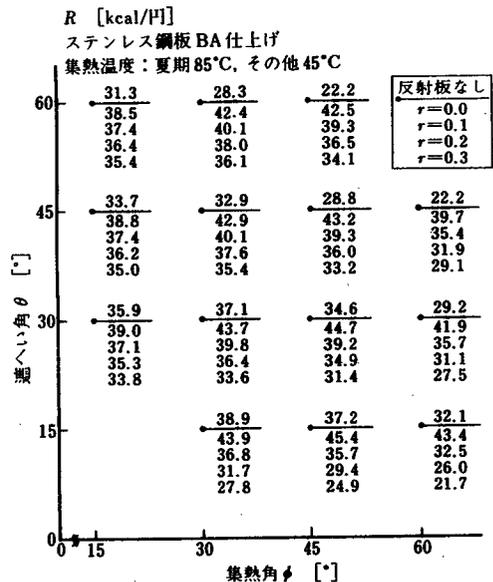


図3.46 R値(4)

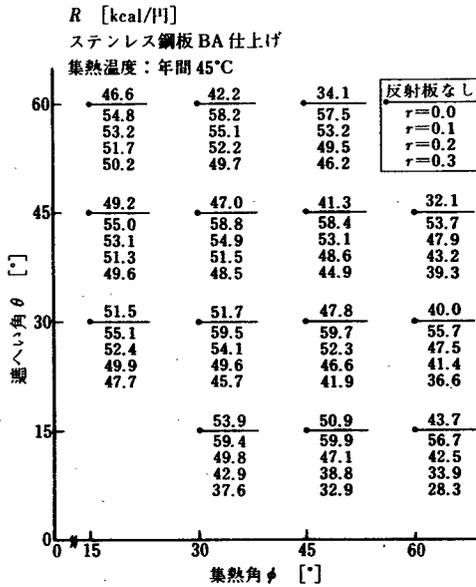


図3.47 R 値 (5)

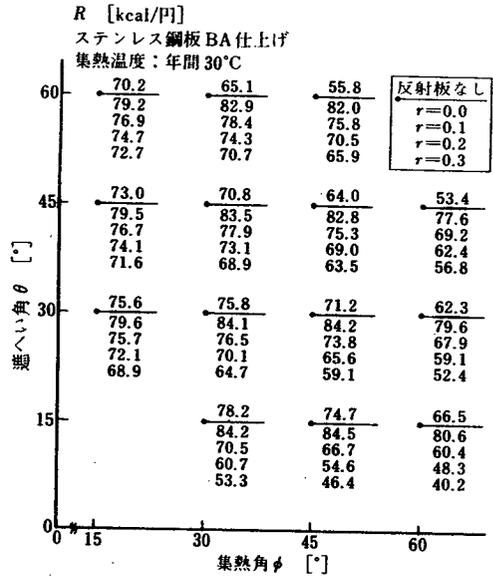


図3.48 R 値 (6)

これらの図から、反射板取付けに伴う費用が $r = 0.1$ 程度以下で済むのであれば、反射板がない場合の最適配置に比べて約10%以上有利となる場合があり、特に高温で集熱する場合ほど効果が大きいことがわかる。また、反射集熱系の経済性は、遮へい角が15~60°の範囲では、角度が大きいほど少しずつ高い値を示しているのが特徴である。

(4) 太陽電池の解析への応用

(2)で検討したモデルと同一の設置条件の下で、集熱器を太陽電池に置き換えて反射板の効果を解析した。図3.49に、反射板なしおよび白色焼付け塗装反射板の場合の年間発電量を示す。

太陽電池は今のところ高価であり、のこ歯状に多数設置されることは少ないが、集熱器の場合に比べて反射板が相対的に安価であるだけに、反射集光系が経済的に有利になることがわかる。

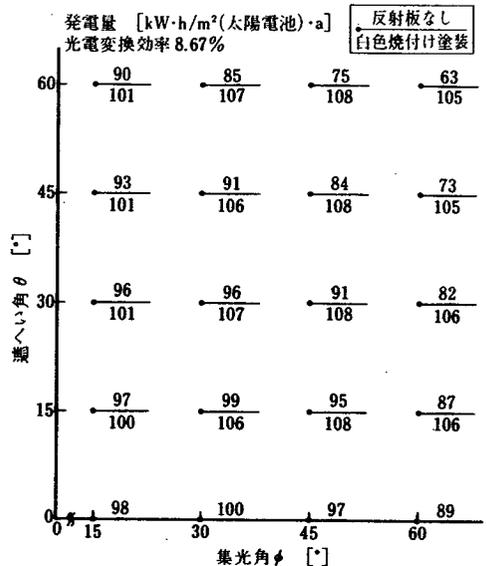


図3.49 年間発電量

第4節 要約

本章では、建築デザインと空調設備、あるいは照明設備との境界・複合領域について、3つの新しい省エネルギー要素技術を開発し、その効果について解析した。

第1節では昼光利用と窓面積と空調負荷の関係を解析し、最適窓面積率があるのかどうか、前章で述べた熱経済性ベクトル図を用いて検討した。解析に当たっては、昼光利用による窓際消燈法として点滅と段調光を考えた。また室内に入射する昼光量を求めるに当たって、ブラインドやひさしの効果が適正に評価されるよう配慮した。

年間の建物全体消費エネルギー量を予測計算し、かつ省エネルギーの為に要した建設費増分とから、熱経済性ベクトル図を作成した。この結果、昼光利用を考えても窓面積は小さい方が良く、かつひさしも有った方が良くなった。さらにブラインドの操作は、全自動式では省エネルギー効果が大いだが経済性がやや劣るのに対し、一日一回程度の手動操作でもかなりの省エネルギーにつながる事が判明した。

第2節では、ダブルスキンの熱特性を解析した。ダブルスキンは、今までほとんど経験のない建築形態であるだけに、その効果を定量的に把握し、省エネルギー手法としての有効性を評価する必要がある。そこでこの解析を行うために、在来の熱負荷計算プログラムの機能を拡大し、複数の室の温度が任意の値を取りうる、多数室モデル熱負荷計算法を開発した。そしてさらに、日射が外気に直接接触しない室にまで侵入する場合も計算可能とした。

モデル建物について、この新しい計算法で、ピーク時ならびに年間の熱負荷を求めた。この結果から、いろいろな要因が複雑に影響し合っているので、常に大幅な省エネルギーが達成可能とはいえないことが判明した。しかし南面のダブルスキンでは、外側を反射ガラスとし、さらにオーバーハングして取り付けると省エネルギー効果が大いことがわかった。

第3節では、反射装置を持つ太陽エネルギー利用システムについて解析した。すなわち、比較的安価な反射装置を用い、見掛けの入射日射量を増加させることによって、システム全体の経済性が向上しないか検討した。

まず平板型集熱器などと平面反射板を、交互にのこ歯状配置した反射集熱系について、集熱量などを精度良く求め得る理論式を導出するとともに、実用的反射材について上記の計算に必要な反射率を暴露試験から求めた。

次に、この反射率データと理論式を用いて各種集熱条件下の年間集熱量を求め、反射板によって集熱量が25～15%向上することを確認するとともに、経済性についても10%程度以上の向上があり得ることがわかった。さらに、太陽電池を用いた場合においても、発電量が10～5%増加することがわかった。

第4章 建築物のエネルギー消費量の実態調査に関する研究

現在使用中の建物が、どの程度エネルギーを消費しているのか分析することは、建築の省エネルギー化を考える上で非常に重要である。

その理由は、今後のエネルギー消費量の目標の設定や、それぞれの建物における運転管理の参考値となるのみならず、省エネルギー化を計る場合の戦略のたて方にも有用な情報が含まれているからである。

以上のような事情から、省エネルギーの要求が高まるにつれ、このような消費エネルギー量実態調査が多数行われるようになって来た。しかし、正式に発表されている調査結果は、それほど多くはない。この理由は、月ごとのエネルギー消費量ぐらいのデータは各建物共所有しているが、用途別の詳細エネルギー消費量はほとんど計量されていない。また貸ビルでは、消費エネルギー量を公表すると、入居者から徴収している光熱費との差額が問題化する恐れがあり、スーパーマーケットのような量販店では、支払う光熱費が企業機密とされているような場合もあるからである。

本章では、今までに発表されている事務所建物と、店舗、ホテル、病院等に関する消費エネルギー量の実態、ならびにその分析結果について述べる。

また、エネルギー源の単価ならびにその上昇率は、消費エネルギー量から光熱費を求める時に必要な値であり、同時に省エネルギー化の経済性を論じる場合には、必要不可欠である。そこで、この単価に関する調査結果をも、合わせて本章で述べることとする。

第1節 事務所建物のエネルギー消費量の実態

1-1 多変量解析による調査データの解析

著者もその一員として参加した、空気調和・衛生工学会、空調設備基準委員会、省エネルギー小委員会、環境・エネルギー消費量調査ワーキンググループでは、過去の文献によってこれらのデータを分析すると共に、東京ビルディング協会が収集した、昭和47年10月から49年3月までの、事務所建物の月別消費エネルギー量を解析した⁽¹⁾。

データを解析するにあたって、エネルギー消費量の単位を、建物延べ床面積あたりの年間の一次エネルギー換算総エネルギー消費量（電力、ガス、石油消費量の合計値）としたが、これはエネルギー消費量と延べ床面積の相関が強いこと（相関係数0.911）と、収集されたデ

ータの中で延べ床面積が、考えられる他の指標（有効面積、空調面積、設備容量等）と比較して、最も信頼度の高いデータであることによる。また、集計の年度を主として昭和48年としたが、石油ショックによる電力や石油の消費規制は、昭和49年1月から実施された。よってエネルギー消費量の面では、石油ショックの影響を受けていない年度といえる。

東京ビルディング協会から提供を受けたデータは、東京地区の事務所建物 256むねについてであった。これらの内、総エネルギー消費量を算出するのに、データが完備していたのは 193むねについてであり、以降この 193むねのデータについて解析した。

図 4.1はデータの昭和48年度のエネルギー消費量度数分布であるが、350~400Mcal/m²・aを中心とする正規分布に近い形を示し、全体の71%の建物が 250~500Mcal/m²・aの範囲にある。250 Mcal/m²・a未満の建物数は少なく約 7%,500 Mcal/m²・aを超える建物は比較的多く22%であった。これらのデータを単純平均すると 438 Mcal/m²・aとなり、エネルギー消費量の大きい建物に引きずられて、分布の山よりもエネルギー消費量の大きい側に移行している。

主たる用途が事務所である建物であっても、その他の部分の使われ方は建物によって相当に異なり、建物のエネルギー消費量をみる場合、単に平均値だけでなく、データのばらつきに着眼する必要がある。そこで、エネルギー消費量のばらつきに関係し、

何がどの程度の影響を与えるかについて、重回帰分析という統計手法を用いて分析した。

今回の重回帰分析にあたって採用したデータは、全データの中から検討対象因子のすべてについて、実測値が完全に記載されている 142~126 の建物のものを用いた。

重回帰分析にあたって、回帰式をつぎのような形と仮定した。

$$\text{予測エネルギー消費量} = \text{定数項} + \beta_1 \chi_1 + \beta_2 \chi_2 + \dots + \beta_n \chi_n$$

ここに、

χ_i : i 因子の変数

β_i : 偏回帰係数

上記の回帰式において、定数項ならびに偏回帰係数を未知数とおき、すべての建物に対

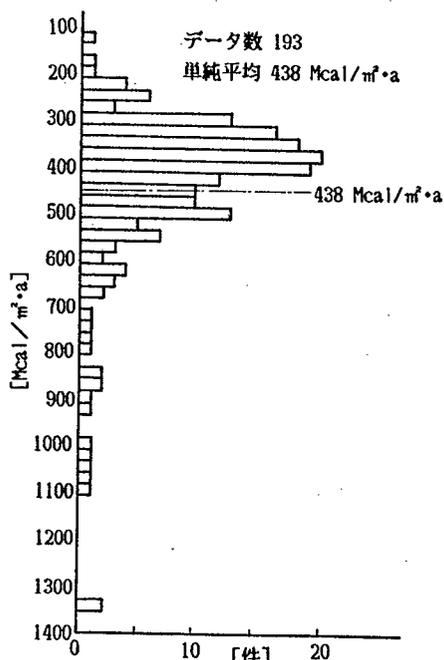


図4.1 昭和48年エネルギー消費量（一次エネルギー換算）度数分布（東京）

する予測値が実測値と最もよく一致する（両者の偏差の総和が最小となる）ように未知数を決定した。この際、因子として何を選ぶかは任意であり、選択される因子次第で未知数が異なって求まることは言うまでもない。なお、因子として延べ床面積や店舗率のような連続量を採用する場合は問題がない。しかし、空調方式や熱源方式は本来連続的に扱うのが困難であるので、各方式をそれぞれ独立した因子とみなし、その方式を用いていれば $x_i = 1$ 、用いていなければ $x_i = 0$ として処理した。

重回帰計算は、因子数が多くなるとかなり大変であり、実用上は電算機の利用が必要となる（ソフトウェアは、日本ユニバック社のライブラリBMD-03Rを使用）。

回帰式としては、因子の選択次第で種々なものが求められる。得られた種々の回帰式相互の優劣判定にあたっては、下記の4項を基準として行った。

(1) 回帰式のF値が十分に大きいこと。このF値は二つの母集団が別のものかの判定に用いる。ここでは、回帰式によって有意要素と誤差との分離が十分にできたかを判定できる。ここで説明変数が10、データ数が126の場合には、F値の自由度は10と $(126-10-1)=115$ となる。危険率1%のもとでのF値は、 $F(10,115) 1.0\% = 2.47$ であるので、回帰式のF値が2.47以上なら、危険率1.0%以下で上記の分離ができたと判定する。

(2) 重相関係数が1に近いものほどよい。なお重相関係数は予測値と実測値の相関の強さを示す係数である。関連する度合いの目安は、つぎのようである。

1.0~0.7 かなり強い関連がある。

0.7~0.4 かなり関連がある。

0.4~0.2 やや関連がある。

0.2~0.0 ほとんど関連がない。

(3) 各因子に対する偏相関係数 R_i が0.1以下のものは、その因子は予測値にあまり関係がないとし、その因子を棄却して回帰式を作り直す。ここで偏相関係数とは、ある特定の2因子間の相関の強さを示す係数である。ここでは、エネルギー消費量実測値と回帰式中の特定の1因子間の相関について述べている。

(4) 各因子に対する偏回帰係数 β_i に対するt値が1.0以下のものは、 $\beta_i = 0$ となる危険性が大きいので、その因子を棄却して回帰式を作り直す。なおt値とは“ $t = \text{偏回帰係数} / \text{分子の標準偏差}$ ”で定義される値で、偏回帰係数 $\beta_i = 0$ となる危険率を検定できる。今回の自由度では、 $t = 1.0$ で30%、 $t = 2.0$ で5%の危険率となる。

このようにして十数回の試行錯誤の後、つぎの式が最も適切であると判断した。また、

この回帰式による予測値と実測値との関係を図 4.2に示す。なお、式中の各因子の寄与率を知るためには、標準偏回帰係数の大小で比較するのが適切であるので、これも合わせて示す。

(1) 予測一次エネルギー消費量 $[\text{Mcal}/\text{m}^2 \cdot \text{a}] = 50.73 + 5.980 \times \text{店舗率} [\%] + 4.826 \times (\text{地上階数} + \text{地下階数}) + 19.08 \times \text{営業時間} [\text{h}] + 0.8640 \times \text{照明用電力} [\text{W}/\text{m}^2] + 2.497 \times \text{送風用電力} [\text{W}/\text{m}^2] + 2.978 \times \text{その他用電力} [\text{W}/\text{m}^2] - 43.52 \times 1 (\text{パッケージ式}) + 40.47 \times 1 (\text{水- 空気方式}) + 61.13 \times 1 (\text{冷熱源が“圧縮式+吸収式”}) + 65.58 \times 1 (\text{冷熱源が吸収式}) \dots\dots (4.1)$

(2) 標準偏回帰係数

- 店舗率：0.472,
- 階数：0.157,
- 営業時間：0.328,
- 照明用電力：0.078,
- 送風用電力：0.129,
- その他用電力：0.202,
- パッケージ方式：-0.098,
- 水- 空気方式：0.149,
- 圧縮式+吸収式：0.074,
- 吸収式：0.102,

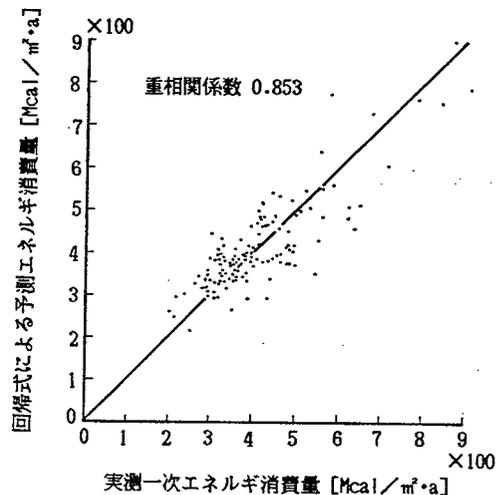


図4.2 一次エネルギー消費量の実測値と回帰式による予測

(3) データ数：126

- F 値=30.8
- 一次エネルギー消費量平均値= 412 $\text{Mcal}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$
- 一次エネルギー消費量標準偏差= 126 $\text{Mcal}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$
- 回帰式による予測の標準偏差= 68.4 $\text{Mcal}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$
- 重相関係数= 0.853

なお標準偏回帰係数は“偏回帰係数 $\beta_i \times$ 因子の標準偏差 / 全体の標準偏差”で求められる。偏回帰係数は各因子のばらつきの程度が標準化されていないので、その大小でもって全体に対する寄与率を判断できない。そこで、上記の標準化をすることにより、寄与率が判断できるようになる。

得られた重回帰式によれば、店舗率が1%増加すると一次エネルギー消費量は約 6 $\text{Mcal}/$

$\text{m}^2 \cdot \text{a}$ 増加する。また1日あたりの営業時間が1時間延びると $19\text{Mcal}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ 、階数が1階増すと $5\text{Mcal}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ 、延べ床面積あたりの照明・コンセント設備容量が1W増加すると $0.9\text{Mcal}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ 増加し、パッケージ方式の建物は他の建物より約 $40\text{Mcal}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ エネルギー消費量が少ないという結果となった。また一次エネルギー消費量に影響を及ぼす各因子の寄与率は、下記の三つのグループに区分できる。

1) 大きく影響する：店舗率・営業時間

2) 中程度に影響する：その他用電力、地上階数+地下階数、水-空気方式、送風用電力

3) 小さく影響する：冷熱源に吸収式を用いる、パッケージ方式、照明用電力

さらに当初因子として竣工年次や延べ床面積を考えていたが、空調方式や建物階数を因子にしたほうがよりよく実態を説明できることがわかり、最終的にはこれら竣工年次や延べ床面積は、影響因子から除外されてしまった。なお、冷凍機やボイラの定格出力はあまり影響がないことがわかった。

1-2 既往の実態調査の報告例⁽¹⁾

建物のエネルギー消費の実態調査は、本調査以前にも多くの調査が行われ、報告されている。ここではそれらの調査資料を紹介するとともに、各調査結果の平均値を一覧にして、本調査結果と比較した。もちろん各調査資料とも標本の性格が違うので、比較結果をそのままのみにはできないが、およその傾向を探る目的で、表 4.1に各資料のエネルギー消費量の集計結果(平均値)と、その一次エネルギー換算値および二次エネルギー換算値を示す。

表 4.1から、本調査と同じ分類の標本(東京、事務所建物)を対象としたものは資料番号が①、②、④、⑤、⑦の各資料であるが、これらの一次エネルギー換算値をみると $396 \sim 487\text{Mcal}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ であり、かなり幅はあるが、本調査の結果と類似している。個別に比較すると、資料①平均値が最も高いが、これは、資料①の標本が規模が大きく、竣工年次の新しい建物が多く、年間空調を行っているものが多いためと考えられる。また、前記五つの資料データ採取期間はほぼ同一時期であるが、オイルショック(昭和48年秋)を中にはさんでいるために、その影響を大きく受けていることも考慮に入れる必要がある。資料①にはオイルショック前(昭和47年10月~昭和48年9月)とオイルショック後(昭和48年10月~昭和49年9月)の二つの平均値が出されているので、比較することができる。また、資料⑥には名古屋地区のオイルショック後の経年のエネルギー消費量が示されている。

表4.1 事務所建物の消費エネルギー量調査結果

資料 番号	既存実態調査資料	地 域	用 途	標 本 (建物)数	データ採取期間 (年/月)	平 均 竣工年次 (昭和)	平 均 延床面積 [㎡]	一次エネルギー 換 算 [Mcal/㎡・a]	二次エネルギー 換 算 [Mcal/㎡・a]	備 考
①	東京電力：ビルに於けるエネルギー使用の実態調査報告 (S.50.6)	東 京	事 務 所	48		39	38,330	487 (420)	228 (200)	()内は48/10～ 49/9 以降ジョック後
②	尾島ほか：空調設備の経常費 (第8報)事務所ビルの10年後の再調査、空気調和・衛生工学、50-2 (S.50.2)	東 京	事 務 所	35	48/4～49/3	34	24,618	369	181	
③	大阪工業大学小林研究室：大阪市内に於ける貸ビルの設備とエネルギー実態調査(S.50.1)	大 阪	事務所ほか	296	48/1～48/12	38	12,476	392	186	
④	ビル管理教育センター：厚生省委託研究”ビルの近代化に関する研究” (S.50.3)	東 京	事 務 所	66	47/10～48/9	38	10,197	418	191	
⑤	松尾ほか：事務所建物におけるエネルギー消費の実態とその分析、空気調和・衛生工学、49-11 (S.50.11)	東 京	事 務 所	101	48/1～48/12	—	—	434	178	
⑥	ビルディング照明の実態調査照明学会誌、59-2 (S.50.2)	全 国	事務所ほか	247	48/1～48/12	—	11,213	557	290	
⑦	日本ビルディング協会連合会：ビル経営に於ける省エネルギーマニュアル、(S.53.3)	東 京	事務所ほか	299	51/4～52/3	—	12,399	469	217	
		大 阪		26		—	17,510	426	204	
		札 幌		29		—	8,310	463	298	
		九 州 (福岡)		45		—	13,655	455	228	
		全 国		731		—	13,016	457	218	
⑧	中原・辻本・奥宮ほか：既設ビルのエネルギー消費と省エネルギー対策の実態(第1報)、日本建築学会東海支部研究報告、(S.54.2)	名 古 屋	事務所ほか	56	52/1～52/12	38	21,812	419	195	データの完備した47件 についての値
				34	48/1～48/12 49/1～49/12 50/1～50/12 51/1～51/12 52/1～52/12			421 373 390 401 408	195 175 179 185 185	

また、資料番号が③、⑦、⑧の資料には、東京以外の主要都市の事務所建物についての集計結果が出ている。特に資料⑦においては、同じ集計方法で地域別のエネルギー消費量比較を行っているので、比較的正確な比較ができる。資料⑦から、東京と札幌の一次エネルギー換算値はほぼ同じであるが、二次エネルギー換算値は大きく異なる。表から明確なように、東京と札幌の（冷房用）電力消費量の差および（暖房用）重油消費量の差が起因しているのであるが、使用するエネルギーの違いによって一次エネルギー換算と二次エネルギー換算では大きく異なる好例である。

これらの資料より、一般事務所建物のエネルギー消費量は、地域・規模による差を含めて、一次エネルギー換算値で 400～500 Mcal/m²・a程度と推察される。

1-3 省エネルギー事務所建物の運転実績

前項ならびに前々項は、特に省エネルギー化されていない、一般の事務所建物に対する調査結果を示している。

一方「オイルショック」以降、かなり省エネルギーを意識した建物が設計されるようになりだし、大巾にエネルギー消費量をへらし得た建物がいくつか出現するようになってきた。これらの中から、運転実績あるいは予測値が公表されている代表的建物をいくつか選び、表 4.2に示した。

表 4. 2 日米の代表的省エネルギー建物

建物名称 竣工・所在地	規 模	エネルギー消費量 [Mcal/m ² a]	備考 文献
東京電力大塚支社 1979・東京	地下1階・地上4階 延 5477m ²	241	(2)
中部電力岡崎支社 1979・愛知	地下1階・地上7階 延 11402m ²	243	(3)
中国電力可部営業所 1980・広島	地上3階 延 1361m ²	150	(4)
マンチェスタービル 1976・ニュー・ハンプシャー	地下2階・地上7階 延 15792m ²	364	(5)
ペカ連邦ビル 1977・カナダ	地下2階・地上4階 延 31170m ²	408	(6)
カリフォルニア州政府ビル 1983・カリフォルニア	地下1階・地上6階 延 23250m ²	121	設計値 (7)
TVAチカソピービル 1985・テネシ	地上6階 延 110000m ²	242	設計値 (8)

この表からわかるように、日本の今までの代表的省エネルギー建物は、いずれも電力会社の施設で、200～250 Mcal/m²・a程度のエネルギーを消費している(2)(3)(4)。この

値を一般的事務所のものと比較すると、約50%のエネルギー消費量と言える。

一方アメリカにおける代表的省エネルギー建物は、5年程前は表中に示したマンチェスタービル⁽⁵⁾とトベカ連邦ビル⁽⁶⁾であった。そしてその運転実績では、省エネルギーと言いながらも、日本の一般事務所並のエネルギー量を消費している。この理由として、アメリカの一般事務所建物では24時間暖房が一般であり、また室内照度が日本の2倍以上が平均値である等により、1000 Mcal/m²・a程度消費するのが普通であることがあげられる。

それ以降、アメリカでは一層の省エネルギー技術が開発され、より一段と進んだ省エネルギー建物が建設されている。そしてこの中の代表的なものとして、カリフォルニア州政府ビル⁽⁷⁾とTVAチャタヌーガビル⁽⁸⁾を選び、表中に示した。両者とも運転実績は未だ公表されたいないが、計画値として120~240 Mcal/m²・aをあげている。なかでもカリフォルニア州政府ビルは、米国内で最もエネルギー消費量の少ないであろう建物として広く紹介されている。

日本とアメリカ以外の国でも、省エネルギー建築に関する研究は盛んで、実績も多い。しかしヨーロッパ諸国の技術は、暖房中心のもので冷房はほとんど考える必要がない。このようなことから、エネルギー消費量をならべても比較にならないので、この表には記載しなかった。

第2節 店舗、病院、ホテル、学校等施設のエネルギー消費量の実態

この分野の消費エネルギー量実態については、著者が直接調査したわけではないので、過去に発表された代表的文献をあげ、その調査結果を整理して示すのにとどめる。

事務所建物の消費エネルギー量については、すでに前節にも示したように、多くのデータが集められ、詳細な分析がされている。これに対して、店舗、病院、ホテル等は、事務所建物以上にエネルギーを消費するにもかかわらず、運用状態のばらつきが大きく、また建物数がそれほど多くなく、さらに建物所有者間の情報連絡組織が弱かったこともあって、分析に耐えるほどの調査結果は極めて少ない。

まずこの種の調査で、ある程度まとまった古いものとしては、昭和50年に東京電力が行ったものがある⁽⁹⁾。この調査は、百貨店、学校・研究所、病院、劇場ならびにホテルについて、昭和47年10月~49年9月の2年間にわたるデータを集めて、各分野別の平均値を求めている。

次に昭和54年に中島らは⁽¹⁰⁾、店舗を大型と小型に分け、さらに各々を業態別に細分して、そのエネルギー消費量を求めている。しかし調査結果の数値に多少不ぞろいがあり、詳細な分析にまで至っていない。

橋口らは⁽¹¹⁾昭和55年に、ホテル、病院そしてデパートについて、オイルショック以前と以後のデータを整理し、両者の間にそれほどの差異が無いとしている。

最近のものとしては、中原らが⁽¹²⁾昭和57年にホテル、病院、百貨店およびスーパーマーケットについて、対象地域を名古屋と大阪に絞り、昭和47年～54年に至る長期間の消費エネルギー量を分析している。しかしデータ量が事務所ほど多くない。多変量解析や要因分析は精度良くは求められていない。

これらの数値をまとめて表4.3に示すが、学校・研究所以外については、ほとんどすべての調査結果から、事務所建物より多量にエネルギーを消費していることがわかる。この原因としては、百貨店やスーパーマーケットでは照明と人間の密度が事務所より大きく、病院やホテルでは運転時間が2倍ぐらい長いことがあげられる。

表4.3 店舗、病院、ホテル等施設の消費エネルギー量調査結果

用途	文献	建物数	データ採取期間	一次エネルギー換算値 (Mcal/m ² a)	備考
百貨店	(9)	10	'72/10-'74/9	402 (345)	
	(11)	10	'71-'73, '77-'78	761 (721)	
	(12)	18	'72-'79	(595)	
スーパーマーケット	(12)	16	'73-'79	(761)	
病院	(9)	7	'72/10-'74/9	733 (714)	関東を含む
	(11)	6	'71-'72, '77-'78	757 (820)	
	(12)	45	'72-'79	(752)	
ホテル	(9)	10	'72/10-'74/9	932 (793)	
	(11)	10	'69-'72, '77-'78	1020 (990)	
	(12)	24	'72-'79	(772)	
学校 研究所	(9)	6	'72/10-'74/9	242 (214)	
劇場	(9)	7	'72/10-'74/9	609 (527)	

()内はオイルショック以降の値

第3節 各種エネルギー源および上下水道料金の上昇率に関する調査⁽¹³⁾

3-1 調査目的

建築設備の種々のシステムの経済評価を長期的に行うには、エネルギー源価格等の上昇率が必要となる。しかしこれらの上昇率について公表されたデータはあまり無い。そこで、

地区・項目・年数を限定して調査した。今回調査したものは、東京・大阪・名古屋地区の電気・ガス・上下水道・燃料油の料金と価格についての昭和55年を基準とした過去15年間の動きである。地区・項目・年数が限られてはいるが、ライフサイクルコストのような長期的な経済評価を行うには有益な資料となろう。

3-2 各種エネルギーおよび上下水道料金の推移

(1) 電気料金：東京電力・関西電力・中部電力の業務用電力の電気料金及び電気税率について調査した⁽¹⁴⁾。表4.4に東京電力の電気料金の推移の例を、表4.5に電気税率の推移を示す。昭和55年4月より電力量料金が夏季料金とその他季料金に分けられた。

表4.4 東京電力の電気料体系の推移 業務用電力（1カ月、税抜）

種別	改定年月日	昭和36年 8月 5日	49年 6月 1日	51年 8月31日	55年 4月 1日		
一般 料 金	基本 料金	6kV	390 円/kW	770 円/kW	1,000 円/kW	1,560 円/kW	
		20kV	380 "	720 "	950 "	1,510 "	
		60kV	385 "	670 "	910 "	1,460 "	
	電 力 量 料 金	その 他 季	6kV	6.15 円/kWh	10.60 円/kWh	12.65 円/kWh	19.70 円/kWh
			20kV	5.85 "	10.25 "	12.25 "	19.30 "
			60kV	5.20 "	9.70 "	11.85 "	18.90 "
		夏 季	6kV	————	————	————	21.67 "
			20kV	————	————	————	21.23 "
			60kV	————	————	————	20.79 "
	特 別 料 金	基本 料金	6kV	————	924 円/kW	1,200 円/kW	1,900 円/kW
			20kV	————	864 "	1,140 "	1,888 "
			60kV	————	804 "	1,092 "	1,825 "
電 力 量 料 金		その 他 季	6kV	————	————	15.18 円/kWh	24.63 円/kWh
			20kV	————	————	14.70 "	24.13 "
			60kV	————	————	14.22 "	23.63 "
		夏 季	6kV	————	————	————	27.09 "
			20kV	————	————	————	26.54 "
			60kV	————	————	————	25.99 "
基準電力を求め るための割合		————	全て一般料金 とする。	80%	50%		

※ 夏季とは毎年7月1日より9月31日まで、その他季とは毎年10月1日より翌月6月30日までをいう。

表4.5 電気税率の推移 [%]

改定年月	昭和23年	37年5月	38年4月	39年4月	48年10月	50年1月
税率	10	9	8	7	6	5

なお、業務用蓄熱調整契約及び定時調整契約は除外してある。また、一般料金と特別料金の区別の無いものは一般料金の項に、その他季料金と夏季料金の区別の無いものはその他季料金の項に入れた。関西電力と中部電力の昭和29年改定の料金表では、電力量料金について第一段料金と第二段料金の区別がある。これは現在の一般料金と特別料金の区別に似たものである。

(2) ガス料金： 東京瓦斯・大阪瓦斯・東邦瓦斯のガス料金とガス税率について調査した。表4.6に東京瓦斯のガス料金の例を、表4.7にガス税率を示す。発熱量は、東京瓦斯が5,000kcal/m³、大阪瓦斯・東邦瓦斯が4,500kcal/m³の場合のものである。基本料金は昭和55年4月1日の改定で新しく設けられた項目であり、また冷房用契約料金は除外した。

表4.6 東京ガスの料金体系の推移 5,000 kcal/m³ (1カ月、税抜)

区分	改定月日	昭和37年10月	48年8月	49年9月	51年10月	55年4月
基本料金		—	—	—	—	690円
0~	7 m ³	266.56円/m ³	500円/m ³	575円/m ³	690円/m ³	70.30円/m ³
8~	72	22.85	26.74	41.00	49.75	70.33
73~	360	22.65	26.50	41.00	49.75	70.33
361~	720	22.42	26.23	40.73	49.42	70.33
721~	7,200	22.01	25.75	40.25	48.84	70.33
7,201~	72,000	21.16	24.76	39.26	47.64	70.33
72,001~	360,000	19.70	23.05	37.55	45.56	70.33
360,001~		16.93	19.81	37.55	45.56	70.33

表4.7 ガス税率の推移 [%]

改定年月	昭和40年現在	48年10月	49年10月	50年1月	50年6月	52年1月
税率	7	6	5	4	3	2

(3) 上下水道料金： 東京都・大阪市・名古屋市の事務所ビルに適用される上下水道料金を調査した。表4.8, 表4.9 に東京都の上下水道料金表の例を示す。

表4. 8 東京都の水道料金体系の推移 (1カ月)

年 月	需 要 区 分 及 び 料 金			
	事 務 用 ・ 一 般 用		営 業 用	
昭和36年 7・18 都 条 例 昭和36年 8月分から適用	8㎡まで	120円	10㎡	140円
	10㎡	140円	超過 1㎡	32円
	超過 1㎡	20円		

(昭和41年 2月から適用分省略)

呼 び 径	装 置 料 金	水 道 料 金			
		第 一 段	第 二 段	第 三 段	第 四 段
13mm 20mm 25mm	100円	9~18㎡	19~30㎡	31~50㎡	51~
	120円	20円/㎡	25円/㎡	28円/㎡	45円/㎡
	140円				
30mm 40mm 50mm	250円	1~50㎡	51~100㎡	101~200㎡	201~
	500円	35円/㎡	45円/㎡	55円/㎡	68円/㎡
	1,000円				
75mm 100mm 150mm 200mm 250mm 300mm	2,000円	1~50㎡	51~100㎡	101~200㎡	201~
	3,800円	40円/㎡	55円/㎡	65円/㎡	75円/㎡
	7,000円				
	12,000円				
	17,000円				
	28,000円				

(昭和50年 9月分から適用分は省略)

需 要 区 分	料 金 区 分	基 本 料 金	従 量 料 金						
			1㎡ ~10㎡	11 ~20	21 ~30	31 ~100	101 ~200	201~ 1,000	1001 ~
一 般 用	13mm	410円	円/㎡	円/㎡	円/㎡	円/㎡	円/㎡	円/㎡	円/㎡
	20mm	550円	0	80	100	120	170	210	250
	25mm	680円	円/㎡			円/㎡	円/㎡	円/㎡	円/㎡
	30mm	1,700円	120			170	210	250	
	40mm	3,400円	円/㎡						
	50mm	11,000円	210						
	75mm	24,000円	250						
	100mm	50,000円	円/㎡						
	150mm	85,000円	250						
	200mm	180,000円	250						
250mm	250,000円	250							
300mm以上	420,000円	250							

表4. 9 東京都の下水道料金体系の推移 (1カ月)

改定年 区分 月日	S.36年 8月	S.40年 4. 1	S.50年 9. 1	S.53年 4. 1	S.54年 4. 1	S.55年 4. 1	S.56年 4. 1
0㎡~10㎡	8㎡ま	8㎡を	100円	140円	160円	180円	325円
11~20	で36円	こえない 80円	20円/㎡	30円/㎡	35円/㎡	40円/㎡	70円/㎡
21~50			30	40	50	55	100
51~100	10㎡ま	8㎡を	35	55	60	70	125
101~200	で42円		45	65	75	85	150
201~500	超過	こえるもの	55	80	90	105	190
501~1,000			65	95	110	125	225
1,001~	6円/㎡	10円/㎡	75	110	130	145	260

(4) 燃料油価格：東京・大阪・名古屋地区のA重油と白燈油の価格を調査した⁽¹⁵⁾。

表4.10に東京地区の大口需要家・ローリ渡し⁽¹⁵⁾の年平均価格の例を示す。

表4.10 東京地区の燃料油年平均価格の推移 [円/ℓ]

年 項目	昭和 40年	41年	42年	43年	44年	45年	46年	47年	48年	49年	50年	51年	52年	53年	54年	55年
A重油	10.9	10.7	10.4	10.2	9.5	9.6	10.9	10.5	13.2	26.6	30.5	33.2	33.3	28.5	39.3	67.3
白燈油	12.5	11.3	10.7	10.2	9.4	10.6	11.6	10.7	13.0	22.7	28.7	32.6	33.0	29.6	39.6	67.7

* 大口・ローリ渡し

3-3 各種エネルギー等価格の上昇率

エネルギー価格の平均上昇率は次式より求められる。まず規準年の年平均コストを C_0 とし、平均的年間上昇率を e とすると、規準年より n 年前の年平均コスト C_{0-n} は、

$$C_{0-n} = \frac{C_0}{(1+e)^n} \quad \dots\dots (4.2)$$

よって、

$$e = (C_0 / C_{0-n})^{1/n} - 1 \quad \dots\dots (4.3)$$

そこで本式を用いて、以下の条件の基に平均上昇率を計算し、その結果を表4.11に示した。なお、期間は昭和55年平均を基準に過去15年間、10年間、5年間の3ケースをとった。

(1) 電気料金： 料金種別は業務用電力6kV受電とし、電気税も含まれて考える。計算期間の最初に新規契約するとし、毎月の使用料は等しいとした。また、関西電力と中部電力の第一段料金と第二段料金を算出するための基準負荷率は、類似の需要家（事務所ビル）の平均実績の90%を用いた。

(2) ガス料金： ガス税を含めて考える。ガス使用量を1,000 m^3 /月とした。

(3) 上下水道料金： 口径は40mmとした。毎月の水道使用量は1,000 m^3 とし、上下水の使用量は等しいとした。

(4) 燃料油価格： 毎月の使用量は等しいとし、表4.10の年平均価格より求めた。

表4.11 各種エネルギー源の価格等の上昇率一覧表 [%]

地区	項目		過去 15年間平均	10年間平均	5年間平均	備考
全国	消費者物価指数		7.795	8.992	6.530	総理府統計局
東 京	電気料金 (6kV受電)	基本	8.860	13.58	9.567	東京電力 業務用
		電力量	7.455	11.39	12.31	
	都市ガス料金(1,000 m ³ /月)		7.060	10.77	9.595	東京瓦斯
	水道料金(1,000 m ³ /月)		16.63	12.02	17.17	東京都
	下水道料金(1,000 m ³ /月)		17.78	26.48	32.69	
	A重油価格(大口・ローリー渡し)		12.92	21.45	17.13	建設物価
白燈油価格(大口・ローリー渡し)		11.92	20.33	18.71		
大 阪	電気料金 (6kV受電)	基本	9.378	14.39	8.975	関西電力 業務用
		電力量	7.566	11.56	10.92	
	都市ガス料金(1,000 m ³ /月)		7.054	10.77	8.581	大阪瓦斯
	水道料金(1,000 m ³ /月)		14.21	14.77	10.82	大阪市
	下水道料金(1,000 m ³ /月)		17.85	17.94	14.84	
	A重油価格(大口・ローリー渡し)		12.61	19.83	17.36	建設物価
白燈油価格(大口・ローリー渡し)		11.63	20.16	18.47		
名 古 屋	電気料金 (6kV受電)	基本	9.147	13.43	8.685	中部電力 業務用
		電力量	7.614	11.06	12.39	
	都市ガス料金(1,000 m ³ /月)		7.844	11.99	10.23	東邦瓦斯
	水道料金(1,000 m ³ /月)		14.48	16.07	17.41	名古屋市
	下水道料金(1,000 m ³ /月)		17.53	19.82	30.47	
	A重油価格(大口・ローリー渡し)		12.58	21.24	17.21	建設物価
白燈油価格(大口・ローリー渡し)		11.86	20.48	18.27		

※ 昭和55年平均を基準としている。

3-4 エネルギー源価格の上昇についてのまとめ

各種エネルギー源価格等の年平均上昇率を求めた。この数値は期間のとり方によって異なってくる。これを見ると、いずれの地区でも下水道料金の上昇率が顕著であるが、これは設備が普及段階にあり、その設備費を回収するためだと思われる。なお、参考として消費者物価指数の上昇率も示した。

エネルギー源価格等の今後の動きを推定する事は、政策的な関係もあって困難であるが、過去の上昇率より将来のコストを推定するには、次式を用いれば良い。

$$C_n = (1+e)^n C_0 \quad \dots\dots (4.4)$$

ここで、 C_n : n 年後の年平均価格、 C_0 : 現在の年平均価格

また、今後 n 年間に生じる推定コストの合計は、次式で求められる。

$$C_t = C_0 \frac{(1+e)^n - 1}{e} \quad \dots\dots (4.5)$$

ここで、 C_t : 今後 n 年間に生じる推定コストの合計

第4節 要約

実際に使用中の建物が、どの程度エネルギーを消費しているのか分析することは、建築の省エネルギー化を考える上で非常に重要である。また同時に、エネルギー源の単価の変動を調べることも、省エネルギー建物の経済性を解析するうえで不可欠な事項である。よって本章では、この2つの事項について調査し、分析を行った。

まず事務所建物の消費エネルギー量については、多数のデータが得られたので、多変量解析を行って、どのような要因がエネルギー消費量に大きく影響を与えるのか分析した。この結果、店舗率や営業時間の寄与率が大きく、熱源方式や照明用電力の寄与率が小さいことが判明した。さらに種々な文献の解析結果を整理し、一般事務所建物では 400~500 Mcal/m²・a 程度エネルギーを使っていることが判明した。

次に最近竣工した、日本とアメリカにおける代表的省エネルギー建物について文献調査を行った。この結果、200~250 Mcal/m²・a程度の建物はいくつかあり、最も小さいものがカリフォルニア州庁舎で、121 Mcal/m²・aを予想値としてあげていることを示した。

店舗、病院、ホテル、学校等施設については、調査例が少なく、詳細な解析はほとんど

なされていない。ただ平均値から見れば、病院やホテルは事務所の約2倍、店舗では約1.8倍程度エネルギーを消費していることがわかった。

最後にエネルギーの単価上昇については、東京、大阪、名古屋の3都市について、業務用電力、都市ガス、燃料油、上下水道の各項目の価格を、過去15年間にわたって調査した。そして年平均上昇率を求め、いずれも消費者物価指数を上回る値となった。特に燃料油と下水道料金は消費者物価の2倍以上の率で上昇してきていたことがわかった。

第5章 省エネルギー計画手法の検証と評価に関する研究

建築における省エネルギー計画手法については、すでに第2章にて前述した。また第3章では、この計画手法を用いて、建築と設備の境界領域における、新しい省エネルギー化の複合的な要素手法をいくつか検討した。

この省エネルギー計画手法の妥当性や有効性は、実際の建物に適用したうえで検証したり評価することが望ましいが、一般的には非常に困難である。というのは、一つの建物を建設するには巨額の費用がかかるし、また計画してから竣工するまで数年間を要する。そして竣工後さらに数年間にわたって、運転実態を追跡し、分析しなければならない。このような事情から、簡単に実験を行うことは不可能である。

しかし幸いなことに、著者が現在勤務している職場において、本計画手法を活用して、徹底して省エネルギー化を計った建物を計画・設計する機会を得た。そしてさらに、この建物の竣工後、2年間にわたって運転実態を追跡することができた。そしてこれらの作業や分析を通じて、本計画手法が省エネルギー建築を計画するに当たって、極めて有力な武器になりうるということが立証された。また竣工後の運転実績から、省エネルギー効果がほぼ予測値通りであることが判明し、妥当な計画手法であることも立証されたと考える。

そこで本章では、この徹底した省エネルギー建物の計画の手順と概要を述べ、本計画手法が実際にどのように適用されたかを説明する。つづいて、竣工後2年間にわたる運転実績を分析し、採用された多くの省エネルギー要素手法の効果、ならびに計画手法全体の効果について評価する。

なお第3章に述べた、省エネルギー複合要素のうち、反射装置を持つ太陽エネルギー利用システムについては、実際にはこの省エネルギー建物に採用されなかった。この理由は、第3章までが一般論であったのに対して、実際の建物では、その立地や用途、その他与条件によって、採用して効果のある省エネルギー手法が異なるためである。すなわち、この建物で採用されなかったからと言って、常に効果が無いわけではなく、別の与条件のもとでは、十分に活用される余地があることを言及しておきたい。

第1節 省エネルギー計画の実施例

東京都清瀬市に所在する大林組技術研究所内に、研究室と事務室を収容すべく研究所本

館が建設された。そして1982年 4月 5日に竣工し、同月15日より全面的に使用され初めて現在に至っている。

この建物を計画するにあたっては、通常事務所並の居住性や機能性を確保しつつ、経済的に許容できる限度内で、徹底して省エネルギー化を図ることを一つの主目標とした。

建物の大幅な省エネルギーを達成するためには、建設費は多少増加せざるを得ず、このような建物は短期的収支勘定からは経済的とはならず、今までも建設実績がきわめて少なかった。しかし著者はいくつもの試算から、多くの省エネルギー手法を建築計画の初期段階から総合的に取捨選択して導入すれば、10年以内で収支を黒字とする条件下でも、今までにない大幅な省エネルギー建物が建設可能と推測していた。そしてこの考えを本計画に適用して作業を進めた。

そこで空調設備の計画・設計・施工にあたって、建築や電気・衛生設備との間で熱経済性ベクトル等の評価手法を用い、総合的に検討調整した。そして10年以内に収支が黒字になるという条件下で、徹底して省エネルギー化を図った。この結果、設計完了段階で、年間の延床面積当たり消費エネルギー量が、一次換算で98Mcalと、一般事務所の 1/4程度でおさまるものと予測した。また新しい省エネルギー手法として、ダブルスキン、土中蓄熱、太陽電池駆動集熱ポンプ等を採用し、それぞれの効果を解析することとした。

この建物は、現在までに2年以上運転されており、各種データが収集・分析されている。この結果より、年間のエネルギー消費量は初年度86.7、二年度95.9 Mcal /㎡と当初予測値を下回り、また室内環境は同等建物なみ以上の水準を維持していることがわかった。また新しい省エネルギー手法の効果も種々分析しており、今後の計画に有用なデータが多数得られつつある。

1-1 計画主旨

(1) 計画の経過と背景

わが国における省エネルギー建築の建設は、数度にわたる「オイルショック」を大きな契機として次第に増加してきている。しかし、大幅な省エネを達成するためには建設費は多少増加せざるを得ず、このような建物は短期的収支勘定からは経済的とは言えない。このため多くのビルでは、省エネとは言ってもあまり大幅には達成されていないのが実情である。

一方、著者は幾つもの試算結果から、日ごろから開発あるいは適用してきた多くの省エ

ネ手法を、建築計画の初期段階から総合的に、かつ適切に取捨選択して導入すれば、10年以内で収支勘定を黒字とする制約条件下でも、いままでにない大幅な省エネルギーが達成可能なことを推測していた。そして、この推論を実証するべく、いろいろな物件について発注者を説得したが、なかなかその機会が得られないでいた。

この時期にちょうど、当社の技術研究所本館の建設計画が始まった。この建物は自社保有であるだけに、多少失敗の危険性がある実験的省エネ手法をも採用可能で、経済的に成立し得る限界内で、いままでの省エネレベルを超えて、徹底して省エネルギーを図った建物となすことを目標に計画を進めることとなった。

(2) 計画の目標

第一の目標は、建物の延床面積当たりに年間消費するエネルギー量の一次換算値が、100 Mcal以下になることとした。そして、この100 Mcal/m²・aという値は、第4章第1節にて示した、現在著者が知り得た範囲の情報では、年間空調している事務所建物としては世界一少ないエネルギー消費量である。

第二の目標は、居住性や機能性の確保である。建物は省エネルギーのために建設されるのではなく、使用することが主目的であるから、在来建物並みの使いやすさが不可欠である。窓を極度に小さくして閉鎖感を与えることがないようにとか、使用上の制約を多数設けることがないように配慮することとした。

第三の目標は、経済性の確保である。この建物と同一のものが他所で建設されることはないにしても、同程度に省エネルギーを施した建物が世間一般に多数建設されないと意味がないと考え、十分経済的に成立し得る範囲内で省エネルギーを図ることとした。

そして第四の目標は、採用する多様な省エネ手法について、竣工後その作動実態を計測分析し、効果を定量的に求めて公的機會に発表することとした。そしてこの情報が、広く一般に利用され、省エネ建築の普及拡大の一助になればと考えた。

1-2 設計と条件

(1) 用途・面積の与条件

大林組技術研究所は、昭和40年に東京都清瀬に開設され、以来数回にわたって多数の実験棟が建設されてきた。そして研究所の研究員、職員等は、各実験とう内の一部に間仕切りを設けたり、プレファブの研究とうを仮設して入居していた。

本建物は、ほとんどの研究員と職員を一つの建物に収容することを目的に建設すること

となった。ただし、実験室、食堂は既存建屋を利用し、本建物中には収容しない。

(2) 敷地の与条件

建物の位置は、北側に樹高10m程度の武蔵野の雑木林が残されており、南側には十分広い空間が確保できている場所を選定した。

技術研究所内の道路や建物の配置は、敷地形状にあわせて、南より東へ27°振った方位で、7.2m正方のグリッドに乗せてある。よって、本建物もこのグリッドにあわせた制約条件下で形状を検討することとした。

建設地の支持地盤は、GL-7mにある。よって、地下階なしの建物ではくいが必要だが、地下1階建てとすればくいが不要となり、あまり建設費を上昇させずに地下階が設けられる。また、地下水位はGL-20mと深い。

(3) 都市設備の与条件

上水道は、清瀬市営水道が引き込まれている。排水は、公共下水道へ放流可能である。

電力は、敷地内全建物をまとめて一カ所で引込受電しており、所内変電所から分岐を新設して本建物へ供給する。そして、本建物竣工時に契約電力量を増加させることとした。

都市ガスは、この付近に導管がなく、本建物新築時にも引込費が巨額となるので、利用を考えなかった。

(4) 運転上の与条件

本建物の新築に伴い、所内全建物の設備の保守管理を専門業者に委託する。ただし、休日や夜間は無人運転が可能のようにし、管理費を節約することとする。

本建物の使用状況は、市街地の事務所建物とは多少異なり、休日や夜間にも少人数が執務することが多い。しかし、空調設備については、当社の一般事務所並みの時間しか運転せず、その他の時間帯は必要に応じて窓を開放することとした。

1-3 計画手順

本建物の計画は、昭和55年1月に着手し、56年3月に実施設計完了、同年4月に着工し、57年4月5日に竣工した。

計画・設計期間は約15カ月間であるが、おおよそ基本計画に8カ月、基本設計3カ月、詳細設計と調整に4カ月を要した。

基本計画の最初の段階から実施設計の完了まで、意匠設計、構造設計、設備設計の各設計スタッフのほか、設備技術開発スタッフや利用者側として研究所からも代表が参加し、

定例的な打ち合わせがひんばんに行われた。

計画の第一段階では、考えられるあらゆる省エネ手法を挙げ、実現が非常に困難なものをふるい落としとしていった。ここで除外されたものの中には、建物自身を水中に浮かべて時々刻々と方位を変えたりとか、建物外部に巨大ドームを設けてこれを動かす等の案があった。

計画の第二段階では、いままで採用したことがないが、実現の可能性がある省エネ手法について定量的に検討した。この効果を評価するために、新しく電算プログラムを開発する必要に迫られたものもあり、その一つに多数室非定常熱負荷計算プログラムがある。この過程で採用が見送られたものとしては、無機質断熱材によるじかばり外断熱工法、風力発電、SF₆を封入した高性能ペアガラス、光ファイバによる制御信号伝送、180℃集熱コレクタ、ハイブリッドコレクタ等であった。

計画の第三段階では、残った省エネ手法をどのように組み合わせる計画目標と設計条件を満足させるか検討した。種々な組み合わせに対して、年間消費エネルギー量を概算して目標を満足しているか調べるとともに、居室の窓面積率に下限を設けて居住性を確保し、次第に建物の形、設備システムを絞り込んだ。この結果残った省エネ手法は、1-5に後述する。そして実施設計へと入っていった。

基本設計が完了した段階で、年間消費エネルギー量を1-7に示すような手順で詳細に予測計算した。また、経済性の検討のために、省エネのために要した建設費増分が10年以内に回収可能か検討し、さらに建物の予測寿命期間中のライフサイクルコスト差額についても試算した。そしてそれぞれの結果とも、当初の目標を満足していることを確認してから着工に踏み切った。

1-4 建築・設備概要(1)(2)(3)

(1) 建物概要

建物名称	大林組技術研究所本館
所在地	東京都清瀬市下清戸4丁目640
設計施工	株式会社 大林組 東京本社
用途	事務所
建築面積	3775.84 m ² (ダブルスキン内は各階床があるとして計算)
空調面積	2537.6 m ²
構造	鉄筋コンクリート造、一部無梁版構造

階 数 地下1階、地上3階、塔屋1階

標準階高 3.2m、(天井高2.5m)

平面図及び断面図を図 5.1に示す。

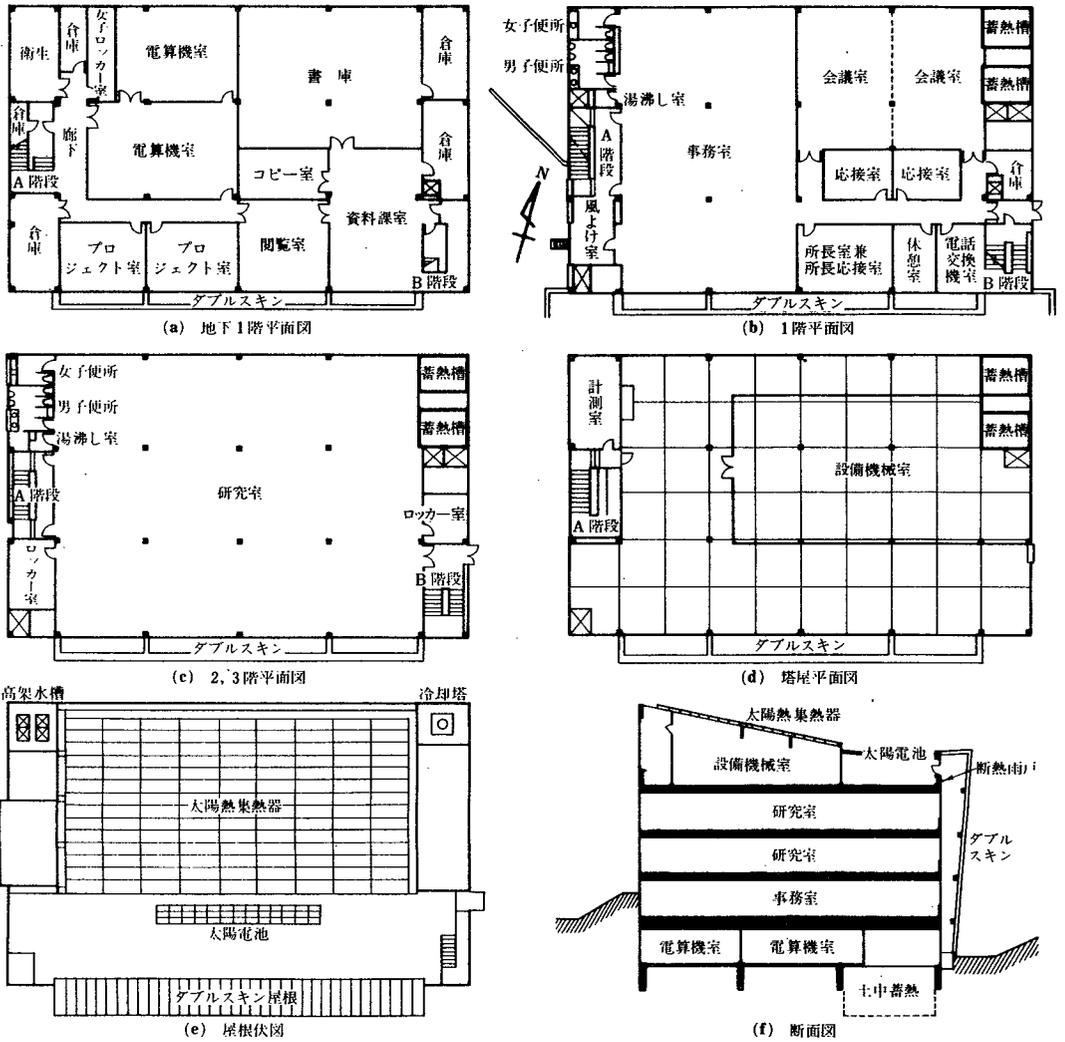


図5.1 平面図・断面図

(2) 空気調和換気設備概要

熱源設備 太陽熱利用冷暖房+熱回収方式

熱回収ヒートポンプ：電動機駆動往復動式冷凍機、

10RT×1台, 15RT×1台

太陽集熱器：真空管形、有効集熱面積220.5㎡

方位 南-27°東、傾斜角 15°

吸 収 冷 凍 機：10RT×1台

冷 却 塔：向流式強制通風形、60RT×1台

冷 水 蓄 熱 槽：縦型温度成層式、70m³

冷却水温水蓄熱槽：同 上

高 温 蓄 熱 槽：ステンレスクラッド鋼板製、8m³

土中蓄熱用コイル：架橋ポリエチレン管、25A×延1200m

二次側設備 ダクト併用ファンコイルユニット方式（VAV方式）

南系統空調機：9600CMH ×58mmAq×3.7kW

（回転数制御、活性炭フィル、水噴霧加湿付）

北系統空調機：同 上

ファンコイルユニット：高温度差形 44台

全熱交換機：回転形、処理風量 6000CMH

土中ダクト：硬質ポリエチレン管 200A×延600m

南系統配管：メイン系統4管方式、ゾーン系統2管方式

北系統配管：2管方式

ダクト設備：低速式、一部天井給気チャンバ方式（2階研究室）

VAVユニット 25個

換気設備 局所式（各階便所、ロッカー室）および自然換気

排煙設備 自然排煙

自動制御設備 電子・電気式

中央管制設備 コンピュータによる最適化予測制御（パーソナルコンピュータ併用）

（3） 衛生設備概要

給水設備 市水および雨水を水源として高架水槽よりの重力給水。但し、1階・地下1階の上水は直結給水

飲用水系統： 受水槽 FRP製4m³、高架水槽 FRP製1.5m³

雨水系統： 沈砂槽 コンクリート製、42m³

雨水貯留槽 地下二重ビット利用 流入槽9m³、貯留槽47m³

高架タンク FRP製 1.5m³

給湯設備 各階湯沸室に電気式給茶器を設置

太陽熱を給茶器補給水の予熱に利用（平板型集熱器利用）

衛生器具 大便器は節水型ロータンク式
小便器は壁掛ストール型で赤外線感知F V式
消火設備 屋内消火栓設備 9カ所
連結散水設備 地下1階部分5系統

(4) 電気設備概要

電気設備 受電電圧 3相3線 6.6kV
変圧器 3相 200V、100kVA
単相 200V-100V、75kVA
3相 200V-100V、10kVA (軽負荷時使用)
ゴムウエータ 定格積載量 200kg、1.5kW

1-5 採用した省エネルギー手法のリスト

前項に延べたような手順を経て、最終的に下記のような省エネ手法を採用することとなった。

(1) 建築のプランニングに関するもの

- 1) 建物位置は、北側に防風林、南に日照が確保できる空き地がある場所を設定。
- 2) 建物の方位を、東西軸方向に長辺がくるように配置。
- 3) 建物形状を、極力立方体に近い形とした。
- 4) 建物の一部を地下階とするとともに、掘さく土を壁に沿って盛土。
- 5) エレベータが不要のように、居室は地上3階までとした。
- 6) 無梁版構造を採用して、階高を減少。
- 7) 東西両壁面にコアを集約し、この壁面に居室が接しないように配置。
- 8) 出入口の位置を、冬期の北風の影響を受けにくい東西壁面とする。
- 9) 主出入口の冬期風上側に、防風壁を設置。
- 10) 主出入口に風除室を設置。
- 11) 階段室と便所には、十分な自然採光が可能なだけの採光窓を設置。

(2) 建物の断熱、日射しゃへい、自然通風に関するもの

- 1) 東西面に窓をなくし、北面の窓を減少し、開放感は南面の大きな窓で確保。
- 2) 北面の窓には、遠赤外線反射型の高性能ペアガラスを採用。
- 3) 屋上面に機械室や太陽熱集熱器を設置し、直射日射をしゃへい。

- 4) 外壁コンクリートの室内側に、断熱材を取り付け。
- 5) 南面ガラス窓部分に、冬期夜間等に自動閉鎖する断熱雨戸を設置。
- 6) 南面室内側窓ガラスの屋外側に、通常室内に取り付けられるブラインドを設置
- 7) 南面室内側窓ガラスの上部に、水平ひさしを取り付け。
- 8) 出入口扉や排煙窓に断熱材を充てん。
- 9) 出入口扉の気密性向上。
- 10) 窓わくの断熱性・気密性を向上。
- 11) 南北面の窓を一部開放可とし、網戸を取付けて夜間等の自然換気可能とする。
- 12) 建物周辺を緑化・植栽し、地面からのふく射量を減少。
- 13) 建物南面にダブルスキンを設け、窓面断熱性を向上。
- 14) ダブルスキン外側に熱線反射ガラスを採用し、冷房負荷削減。
- 15) ダブルスキン外側ガラスを5° オーバーハングさせ、冷房負荷削減。

(3) アクティブソーラーシステム

- 1) 太陽熱による温水を直接利用した暖房と、吸収冷凍機による冷房。
- 2) 太陽熱による自動給茶器の給水予熱。
- 3) 冬期曇天時の低温集熱と、ヒートポンプによる暖房。
- 4) 秋期の余剰太陽熱を、建物下部の土中に数カ月間蓄熱して、冬期の暖房に利用
- 5) 土中蓄熱からの上方向熱損失を、上部居室の床暖房として利用。

(4) 空調システム等による熱負荷の低減

- 1) 全熱交換器を採用。
- 2) 省エネ照明方法を採用することによって、照明用内部発熱を削減。
- 3) 室外光源を用いた室内への採光照明によって、照明用内部発熱を削減。
- 4) 外気冷房制御。
- 5) 室内CO₂濃度検出による、最小外気取入量制御。
- 6) 予冷・予熱時の外気取入停止。
- 7) ダブルスキン内の通風を、夏期は自然換気、冬期は取入外気予熱に切り換え
- 8) 夏期の夜間強制換気による蓄冷運転（ナイトバージ）。
- 9) 外気取入口を建物北側の雑木林ぎわに設置し、日射と夜間輻射の効果減少。
- 10) 外気取入ダクトを土中に埋設し、土の自然温によって夏は予冷、冬は予熱。
- 11) ダンパ全閉時の漏れ量の少ないものを採用。

- 12) 室内平均ふく射温度を在来建物と比較し、分布が均一化されていることによって等しい温感が得られる程度にまで室内状態を緩和。

(5) 搬送動力の低減

- 1) セントラルダクト系に、無段変速モーターによるVAV方式を採用。
- 2) 外気冷房時に、排気系路を大きく取って無動力で排気。
- 3) 水搬送系のポンプ台数制御。
- 4) 水搬送系の温度差を大きく取って、流量を減少。
- 5) 会議室等に吸込口付照明器具を採用し、吹出風量を減少。
- 6) 2階研究室階に天井給気チャンバ方式を採用し、ダクトを不要として抵抗削減
- 7) 空調機用送風機駆動用に高効率モータを採用。
- 8) 同用駆動用に、Vベルトにかわってスリップの少ないタイミングベルトを採用
- 9) ダクト系の抵抗を、通常の設計より小さく選定。
- 10) 配管系の抵抗を、通常の設計より小さく選定。

(6) 空調システム損失の低減

- 1) 熱源に熱回収システムを採用。
- 2) 冷凍機出口冷水温度を負荷に応じて自動的に上昇させ、冷凍機のCOPを向上
- 3) 蓄熱システムを採用。
- 4) 蓄熱槽水面を主要機器類より高くして、落水損失をなくす。
- 5) 温度成層型蓄熱槽とし、槽を小形化して熱損失を減少。
- 6) 深夜に冷却塔を運転して低温冷却水を蓄熱槽に蓄え、昼間に吸収冷凍機へ供給
- 7) 昼間の冷却水循環経路を、冷却水蓄熱槽を優先使用するように制御。
- 8) 空調機起動時刻の最適化制御。
- 9) 蓄熱槽を内断熱し、断熱を一般仕様より強化して熱損失を減少。
- 10) ポンプ、空調機、タンク類の断熱を一般仕様より強化。
- 11) 配管、弁、支持金物の断熱を一般仕様より強化。
- 12) ダクトの断熱を一般仕様より強化。
- 13) ダクトの漏気量を減らすため、はげをシールしガスケットの仕様を向上。

(7) 換気動力の低減

- 1) 屋上機械室の自然換気。
- 2) 便所の局所換気。

3) 空調用排気、ロッカ室排気を地下機械室給気へ二段利用。

(8) 衛生動力の低減

- 1) 節水器具の採用により、揚水量を削減。
- 2) 大便器にロータンク方式を採用し、給水圧を低減して揚水ヘッドを削減。
- 3) 建物低層部水栓は、上水引込管に直結して揚水ポンプ負荷を軽減。
- 4) 各階に自動給茶器を設置して局所給湯。
- 5) 自動給茶器の電源のスケジュール制御。
- 6) 排水のほとんどが自然放流可能なように、便所や洗面所を地下に設置せず。
- 7) 建物屋上とサンクンガーデンに降る雨水を、便所洗浄水と冷却塔補給水に利用
- 8) 空調機やファンコイルユニットのドレン、蓄熱槽排水等を雑用水として再利用
- 9) 過剰雨水を切換弁によって自然放流し、ポンプ排水不要とする。

(9) 照明用電力の低減

- 1) 研究室全体と事務室についてタスク/アンビエント照明方式を採用。
- 2) 会議室、応接室にタブレット点滅方式を採用して、消燈忘れを防止。
- 3) 窓ぎわ天井照明器具を昼光量に応じて100,50%と段調光。
- 4) 便所、階段室照明を昼光量に応じて点滅。
- 5) 一部照明器具の昼休時強制一時消燈制御。
- 6) タスク/アンビエント照明の消し忘れ防止インターバル消燈制御。
- 7) 誘導灯の常時消燈。
- 8) けい光灯の安定器に省電力型を採用。
- 9) 低消費電力形けい光燈を使用。
- 10) 吸込口付照明器具の一部採用により、けい光燈の発光効率向上。
- 11) 建築の内装仕上げ色を明色とし、必要照明器具数を削減。

(10) 電力の低減

- 1) コンデンサを各機器側に設置して力率を改善。
- 2) 低損失形変圧器を使用。
- 3) 変圧器の昼夜間台数制御。
- 4) 無人運転時に、制御監視用CRT電源を自動的に断。
- 5) 動力盤に瞬時励磁接触器を採用。
- 6) ファンコイルユニット電源のスケジュール制御。

- 7) 太陽電池による発電。
- 8) 太陽光発電を、集熱器循環ポンプ駆動用に直接利用。
- 9) 自動販売機電源のスケジュール制御。

1-6 比較的新規性のある省エネルギー手法の概要

本建物に採用された省エネルギー手法は、前項にて約 100項目に分類して示した。これらのうちのかなりの数の手法は、すでに多くの省エネビル等にて日常的に採用されている。また幾つかの手法は、全く初めて採用されるものである。ここでは、このうち新規性のある手法の代表的なものを選んで、以下にその概要を説明する。

(1) ダブルスキン

本建物では、建物の南側に図 5.2に示すような総ガラスばりの温室風空間（これをダブルスキンと呼ぶ）を設け、太陽熱によって暖められた空気を、冬期は室内の暖房に利用し、夏期は自然換気によって排出する手法を採用した。

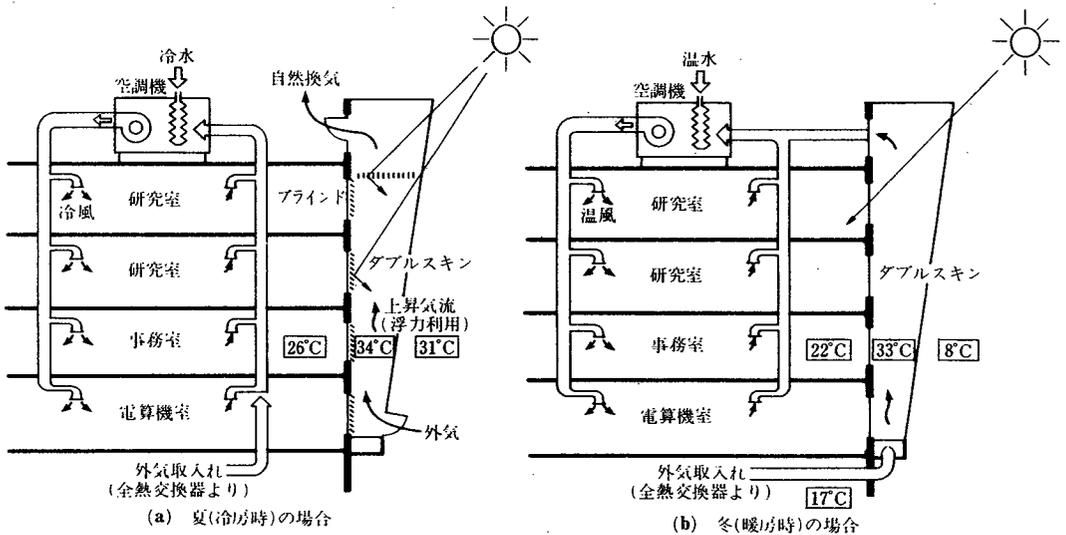


図5.2 ダブルスキンの通風制御

このダブルスキン内の空間は、室内から見ると屋外でありながら雨は入らず、強風が当たることもない。そこで、この空間内に可動機構を有する省エネ装置を装備することとし、一般に室内に取り付けられている可動ブラインドと、断熱材を充てんした可動雨戸を装備した。以上の空気流路の切り替え、ブラインドと断熱雨戸の昇降を適切に行えば、窓ガラス面の日射しゃへいや断熱性能がかなりの巾で制御可能となり、窓面に対する熱的弱点が

大幅に軽減される。よって、このダブルスキン面に大きな窓ガラスを設け、熱的にあまり不利にならずに開放感が得られることをもくろんだ。ちなみに室内側からダブルスキン部分を見ると、窓面積率は65%と大きな値を確保している。

この建物の冷房負荷と暖房負荷を比較すると、断熱や気密性が極度によいことから、建物外部からの熱取得よりも、通年冷房負荷となる内部発熱の占める比重が大きい。よってかなり冷房負荷の方が比率が大きくなっている。そこでダブルスキンの詳細仕様を計画するに当たって、暖房負荷が少々増加してもよいが冷房負荷が大幅に減少することを目標とし、種々なガラス、取付角度の組み合わせについて熱負荷計算を行った(4)(5)(6)(7)。これより、ダブルスキンの屋外側ガラスは、最も日射透過率の小さい反射ガラス(可視光反射率31%、可視光透過率31%、日射透過率51%)を採用した。また、施工性やガラス面の清掃のしやすさを考え5°オーバーハングして取り付けた。これによって太陽高度の高い夏期の日射の入射角度を大きくし、日射透過率をさらに小さくするようにした。

ダブルスキン内の通風制御は、図 5.2に示すように、夏期には上下扉を手動で開放し、冬期には上下扉を閉じて取入外気を供給する。断熱雨戸は、室内に暖房負荷が発生している夜間と、夏期執務時間前の早朝に直接光が室内に入射する時間帯に自動閉鎖する。ブラインドは、夏期で直射光が室内に入射する時間帯に自動閉鎖し、角度調整が可能とした。

(2) 平面計画上の特徴

日射による熱負荷は、直方体状の建物であれば水平面が一番大きく、次いで西東面、そして南面、北面の順序で小さくなる。そこで、冷房負荷を減らすために負荷に大きく影響を与える面にはガラス窓を設けず、さらに居住域が直接外壁と接触しないように、非空調室を中間に配置することとした。

以上の基本方針に従い、各階平面計画に当たっては、図 5.1に示すように西と東の壁面に階段、倉庫、便所、蓄熱槽等を配置し、居住域と外壁の間に完全な非空調ゾーンを形成した。このコア部分は、構造的にも基礎につながる大黒柱として活用することとした。

次に、屋上面についてはかなりの部分の面積に自然換気する機械室を配置し、最上階の居住域が直接日射にさらされた屋上面に接する部分を減少させた。この機械室の位置は、太陽熱コレクタや縦形蓄熱槽取水口、ダブルスキン空気取入口等に近く、配管やダクト部の熱損失と搬送動力の節減にも有効である。

居住域の窓面は、日射の影響が他の面に比して少ない南面と北面に集中して配置するこ

ととなるが、開放感を得つつ、熱負荷を増大させないことを目標とした。このため南面については、前項のダブルスキンを全面的に採用し、北面については目の高さに高性能ペアガラスによる連窓を採用し、武蔵野の雑木林の姿が広く見渡せるようにした。

(3) 土の熱特性の活用

建物は、地下1階、地上3階とし、南側地下部分は居住性を高めるため、掘り込んでサンクンガーデンとしている。そして、ここに資料室等の居室を配置した。一方、北側地下部分には、同一人が常時在室することがない書庫やコンピュータ室を配置し、土中に埋設して無窓室とした。さらに掘削した土は、建物1階の東西面及び北面の採光窓の下端まで盛土し、土のもつ断熱性を利用して熱負荷低減に役立てた。ちなみに、盛土した土は関東ロームで、熱伝導率は $0.5\sim 0.6 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ であるので、1mの盛土は60~80mm厚断熱材並みの断熱効果が期待できる。

一方、土の持つ蓄熱性を利用すべく、
図 5.3に示すように地下居室下部に土中蓄熱を導入した。本建物は太陽熱を冷暖房給湯に利用しているが、給湯負荷が小さいために春と秋に熱が余る。そこで秋期の余剰熱を2~3カ月間蓄熱して暖房に利用すべく、建物下部に埋め込まれたパイプを通じて土中に蓄えた。

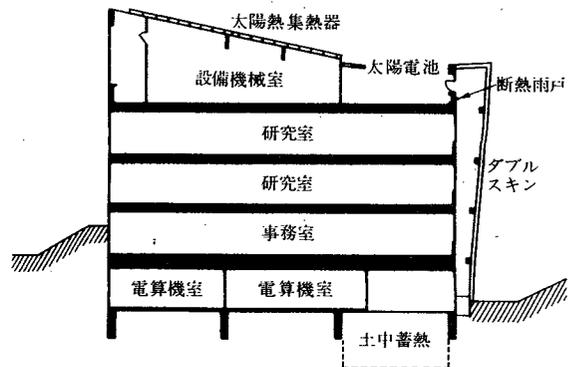


図5.3 建物の断面と土中蓄熱

土中に蓄熱された熱は、数カ月後に直接地下階居室の床を暖めてパネルヒーティング効果をうむほか、厳冬期のピーク負荷時には、熱回収ヒートポンプの低温熱源としても利用する。

(4) 無梁版構造

建物の外表面積をできる限り縮小することは、建築的省エネルギー手法の基本的条件の一つである。本建物では、床のコンクリート中にピアノ線を入れ、大きな張力を与えるアンボンドP、Cフラットスラブを採用することによってはりもなくしている。この結果、同一天井高を確保しつつ、階高を0.4mほど小さくすることができた。

階高が小さいことは、外表面積が小さくなって熱負荷が減るほか、水や空気の垂直搬送距離がわずかではあるが短くなり、抵抗が削減されて搬送用動力が減少する。このほか上水の揚水時に必要なくみ上げ揚程も小さくてすみ、ポンプや送風機を駆動するエネルギーを

節減できる。

また無梁版構造を採用した場合、天井裏の凹凸が少なく気流の障害となるものが少ない。そこで、本建物の2階研究室については全面的に天井裏を給気チャンバとし、給気ダクトが根元しかない方式を採用した。この方式もまた、給気ダクトの抵抗を減少させる効果があり、搬送用エネルギーを節減するのに有効である。

(5) ソーラーシステム

本建物では、太陽熱を冷暖房用に十二分に活用することを目標に、屋上機械室の屋根の上に真空管型集熱器を多数取り付け付けた。

ソーラーシステムの概要を図 5.4に示すが、夏期には、集熱器で85℃の温水をつくり、これで吸収冷凍機を駆動する一般的方式とした。ただし、この吸収冷凍機の性能は冷却水温度によって大きく影響を受けるので、少しでも効率を向上するべく冷却塔を深夜運転して低温の冷却水を蓄熱槽に貯蔵しておき、昼間にこの冷却水を利用することとした。冬期の晴天日には、集熱器で45℃の温水をつくり、これで直接室内を暖房する。しかし、曇天時には45℃まで上昇しないことが多いので自動的に15℃集熱に切り替え、低温水をヒートポンプの冷熱源に利用し、ヒートポンプの温熱源によって暖房することとした。このように集熱温度を切りかえることによって、冬期の集熱器稼働率が向上するものと期待した。

春期には余剰集熱となるが、残念ながら余剰分の有効利用は図られていない。しかし、秋期については前述の土中蓄熱と組み合わせ、太陽熱の有効利用を図っている。

また、実験的ではあるが屋上にピーク時出力 1kWの太陽電池を設置し、その出力を集熱器へ温水を供給する集熱ポンプ駆動用に利用することとした。集熱ポンプは本来、日射量の多い時に運転し、少ない時に停止すればよいわけで、太陽電池出力によくなじむ。しかし、太陽電池のみで直接全ポンプを駆動すると、太陽電池だけでかなり巨額な費用が必要となるため、その必要電力の一部を発電することとした。

本建物は給湯負荷が小さく、その発生場所は各階に設置した給茶器のみである。この給水予熱にも太陽熱を利用すべく、冷暖房用とは別に小形の平板型集熱器を設置した。また温水循環用に、冷暖房と同様に太陽電池駆動方式を用いることとし、小形ポンプを直接動かすこととした。

冬期に南壁面に入射する太陽熱は、前述のダブルスキンが温風式集熱器として働き、室内の暖房に有効に使用されている。すなわち、屋根と南壁の両面に入射する太陽熱が暖房用として利用されている。

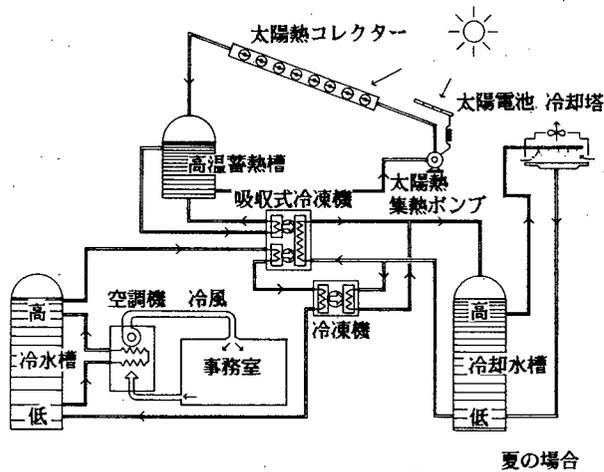
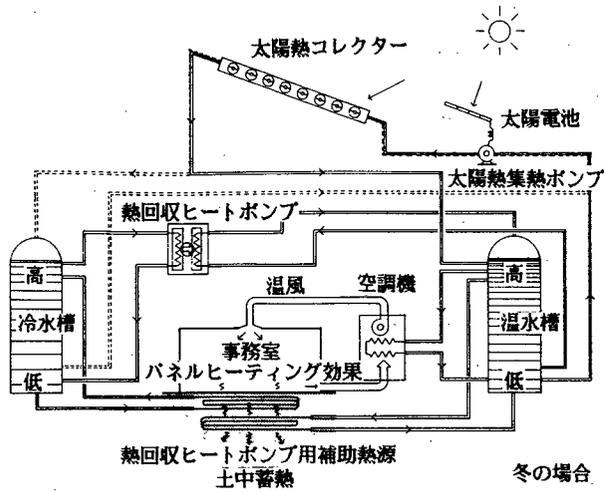


図5.4 ソーラーシステムの概要

(6) 温度成層型蓄熱槽

本建物では、前述のソーラーシステムの概要説明で図5.4にも示したように、通年冷水と、冬期は温水で夏期は冷却水用の槽、そして夏期の高温蓄熱槽と、合計3つの蓄熱槽を有している。このうち高温蓄熱槽は吸収冷凍機の安定運転で槽容量が小さく、循環水量が相対的に大きいので一般的な単室混合型とし、ステンレスクラッド鋼製で機械室内に設置することとした。

冷水槽と温水・冷却水槽は槽容量が大きいものが必要であるが、地中ばりと耐圧盤との間の空間はほとんどないこと、熱損失を大幅に減らしたいこと、落水損失をなくしたいこと等から、建物内のコアに縦形の温度成層型として導入することとした。

槽の形状を縦形とする利点としては、槽容量に対して水深が大きくなって温度成層性が

保ちやすくなり、蓄熱効率がより向上することが挙げられる。逆に欠点としては、高い水圧に耐える容器がコスト面で割高となることがある。また容器内に断熱をすると水圧で断熱材が収縮し、防水層に亀裂を起こして漏水や熱損失が増大する恐れがある。一方、外断熱にすると熱橋が発生しやすく、かつ容器自身の熱容量が温度成層性を阻害する恐れもある。

本建物ではこれら諸問題を解決すべく、蓄熱槽容器として建物のコンクリート躯体を直接利用し、コストダウンと面積の有効利用を図ることとした。また断熱方法は容器の内側に断熱することとし、防水層としては断熱材の変位に応じて変形するフレキシブルシートを採用することとした。この断熱防水法によって、熱橋は貫通配管部分のみに限られることとなる。また、コンクリートや金属が直接水と接触しないので、槽内の水質管理が非常にやりやすくなる。

縦形蓄熱槽は、建物のコア部分に1階から塔屋まで貫通して収容することとした。そして、槽内の水面は屋上階機械室に設置した各種ポンプより高い位置に設定し、ポンプが常時加圧下におかれるようにする。この結果、落水損失はほとんどなくなるし、起動時のエア吸込によるトラブルの発生を根本的に阻止できる。

(7) コンピュータによる最適化予測制御

前項にてこの建物で採用した省エネルギー手法を多数挙げたが、これらのうちかなりのものは、その時々気象条件や建物の使用状況に応じて適切に運用して初めてその効率が十分に発揮できる。

これらの多くの手法は、相互に密接な、そして複雑な関連を持っており、人力のみによって迅速かつ正確に対応することは不可能である。そこで本建物では電算機を用いて、状況に応じて最も省エネルギーとなるような運転制御を行っている。

本建物で採用したハードウェアは、図 5.5に示すように、一本の光ファイバ互換形共用伝送線に、多数の分岐がマイクロコンピュータを介して連結している分散型構成としている。これら分岐回路は必要に応じて簡単に増設削減が可能であり、建物や設備システムの改造に追従が容易である。また、マンマシンインターフェイスとしてパーソナルコンピュータを接続している。一方、ソフトウェアについては、本建物ではBASIC言語を用いて、パーソナルコンピュータに省エネルギーソフトウェアを収容した。というのも、いままで省エネソフトは、竣工後しばしば変更した方がよいにもかかわらず、運転員や設計者にとって不可解で複雑なソフトであったため、結局手動運転の比率を高めてしのいでいる

現場が非常に多かった。この問題点を解消すべく、われわれはパソコンとBASIC言語の導入に踏み切った。すでに多くの人達がパソコンを操作できるようになってきており、さらに将来使用できることが技術者の必須条件となりつつある。このような道具で省エネ制御がされておれば、設計者のみならず、ビルの保守管理員でさえ、少し勉強すれば自分の経験を生かしてよりよい制御システムを創出することが可能と考えている。そしてこのことが、いままで一方的な受身の姿勢にあった、ビルメンテ技術者の意欲を発掘する機会にもなることを期待している。

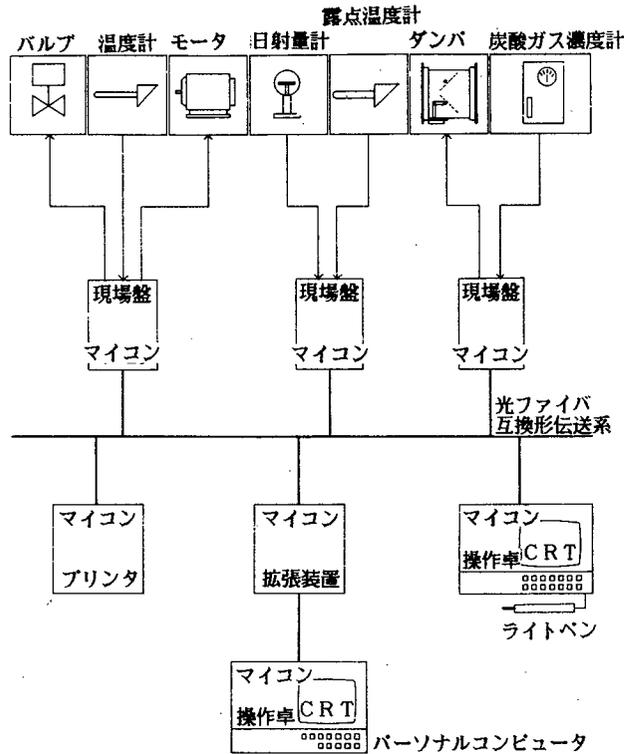


図5.5 コンピュータ制御の概要

(8) タスク/アンビエント照明

タスク/アンビエント照明とは、従来の全照明方式が、作業と環境照明の両方を天井に設置した照明器具で行っていたのに対し、作業照明はタスク・ライトのみで必要な明るさを確保し、環境照明はアンビエント・ライトにより低照度照明を行う方式である。すなわち、タスク・ライトとアンビエント・ライトの役割りを明確に分け、非作業域よりも高照度を必要とする作業域については、その近くにタスク・ライトを設置することにより、光のより効率的な利用が可能となる。このため、全般照明方式に比べ照明設備負荷を少なくでき、また不在者のタスク・ライトの消燈が可能のため、年間の照明用エネルギー消費量も

大幅に低減できる。

このようなタスク/アンビエント照明方式の利点に着目し、当建物ではローバーティションと組み合わせたタスク/アンビエント照明方式を採用することとした。なお当建物内の作業が、1階事務室では一般事務作業で、執務者間の接触が常時必要であり、2・3階研究室では専門的作業で、研究者個々の作業に独立性が強いというように二形態に分かれるため、タスク/アンビエント照明もこれらの作業形態の特性に合うように配慮した。

具体的な照明器具の配置は、次のようにした。

1) タスク・ライト

作業状態に応じて、その位置を調節できるように、各階ともパイプアームを使った可動式とし、各ワークステーションとも机の左右に1台ずつ設置。スイッチは、マニュアルスタート形のものを使用し、中央管制装置によるインターバル消燈を行なう。光源は15Wのけい光ランプとし、前面にプリズムパネルを取り付ける。

2) アンビエント・ライト

1階事務室の照明器具は、30形28Wと40形38Wの環形けい光ランプの上下に、プリズムカバーを取り付けた半直接照明形とした。そして取り付け方法は、ライティングダクトによる可動式とし、天井から500mm吊下げた。

2・3階研究室の照明器具は、40形37Wの直管けい光ランプの両側に、バンチングメタルカバーを取り付けた半直接照明形とした。そして取り付け方法は固定式とし、天井から300mmつり下げた。

1-7 エネルギー消費量予測(1)(日)

第2章第2節で前述した各種のシステムシミュレーションプログラム等を用いて、計画完了段階で算出したエネルギー消費量の予測結果を図5.6、表5.1に示す。

これらより、本建物のエネルギー消費量は計画目標値 $100\text{Mcal}/\text{m}^2\cdot\text{a}$ 以下を満足している。

以下に、エネルギー消費量の予測手法について述べる。

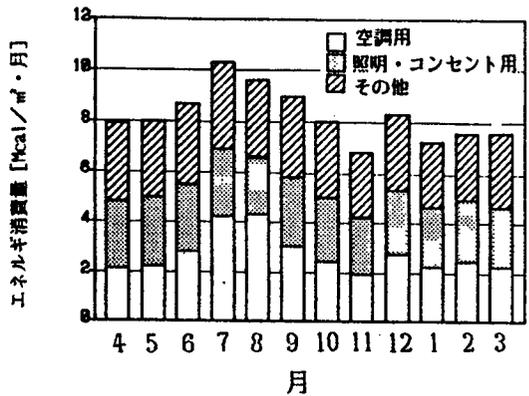


図5.6 エネルギー消費量の月別変動(予測値)

表5.1 エネルギー消費量構成(予測値)

エネルギー消費 構 成	エ ネ ル ギ 消 費 量			構 成 比
	[kWh/年]	[Mcal/年]	[Mcal/m ² 年]	
空 熱 源	18,574	45,506	12.1	12.2
調 機 送	31,220	76,488	20.3	20.7
用 (小 計)	(49,794)	(121,994)	(32.3)	(32.9)
照明・コンセント	44,668	109,437	29.0	29.6
そ 換 気	812	1,989	0.5	0.5
の 衛 生	6,108	14,965	4.0	4.1
他 事務機器等	49,828	122,080	32.3	32.9
用 (小 計)	(56,748)	(139,034)	(36.8)	(37.5)
合 計	151,210	370,465	98.1	100

(1) 空 調 用

熱負荷は多数室モデル熱負荷計算プログラム(MSDYLOAD)⁽⁴⁾を用いて算出し、システム負荷(熱損失等)は負荷パターン法による略算法⁽⁹⁾に基づいて算出した。これらを入力値として、空調用シミュレーションプログラム(E-SAVER)⁽¹⁰⁾によりエネルギー消費量を予測した。なお、ソーラーシステムの効果については、ソーラーシステム概算評価プログラム(PRESOLAR)⁽¹¹⁾を用いて算出した結果より、太陽熱利用による吸収冷凍機、ヒートポンプ、直接暖房、土中蓄熱分及びこれらに関連したポンプ類のエネルギー消費量を補正した。

(2) 照明・コンセント用

勤務時及び残業時の照明点灯率及びコンセント使用率を想定し、手計算によりエネルギー消費量を予測した。

(3) その他用

衛生設備については雨水利用プログラム(USERRAIN)⁽¹²⁾を用い、ほかは設置機器及び使用条件を考慮し、さらに類似機器については稼働状態を実測し、手計算でエネルギー消費量を予測した。

1-8 熱経済性ベクトルによる経済性予測

本建物の計画の目標としては、十分経済的に成立し得る範囲内で省エネを図ることとした。そして、経済性の具体的目標として、第一に省エネのために要した建設費増分が、10

年以内に回収可能であることとした。

著者は、このような回収年数の計算と、各省エネ手法の経済的効果を解析するのに、熱経済性ベクトル図を使うことを提言し、すでに第2章第1節にてその手法を論じた。本建物についてもこの方法を用い、図5.7のように解析を行った。図において、横軸はイニシャルコストの差額、縦軸はライニングコストの差額を示す。本建物と同一規模の建物で、省エネを考えない場合を想定し、建設費と光熱費を試算してこれを原点においた。なお、この仮想建物の概略仕様は2-14にて後述する。次にこの建物に種々の省エネ手法を採用したときの、建築工事・設備工事両者にわたるイニシャルコストとランニングコストの増減を予測し、この図上にベクトルで表示している。採用した省エネ手法のうち経済的に有利なものから順次並べたものがここに図示されている。

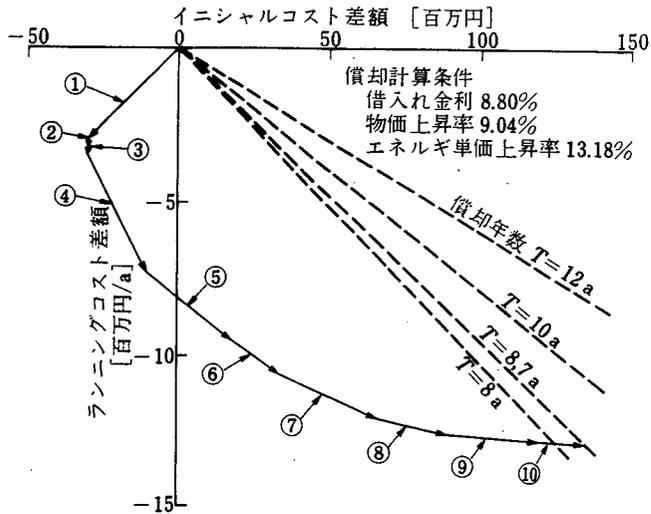
本建物の場合、計画過程で種々の議論や検討を行った後、図上のベクトル列の最右下端まで省エネ手法を採用し、これより経済性の劣る手法は採用しないこととした。最終ベクトルの位置は、建設費で約1.3億円増、運転費で約1.3千万円/年減となる。

建設費増分が何年で回収できるかを求めるには、建設費の資金構成とその金利並びにエネルギー単価の上昇率を仮定する必要がある。そこで、とりあえず前者については全額借入金とし、その金利を計画時点の長期プライムレートであった8.8%とした。また後者については、計画時点から過去10年間の、東京電力の業務用電力料金の平均値上率として13.18%を用いた。このような条件下では8.7年で回収可能となり、当初目標値を十分満足する結果となった。なお、この図において原点から右下へ延びる破線は、このこう配なら何年で回収可能かを示している。本建物で採用した個々の省エネ手法のうちには、10年以内に回収不可能なものが多数含まれているが、これは次項に記述するライフサイクルコストを安くするためには有効なものであり、総合的見地から導入している。

1-9 ライフサイクルコスト差額による経済性予測

前項に続いて、経済性の第二の具体的目標として、建物寿命期間中に要する総費用、すなわちライフサイクルコストがかなり安価になることを挙げた。

前項に記述した回収年数とは、投資増分を回収するまでのことを考えており、赤字を出さないための指標と言えよう。そしてこの回収年数以後は、毎年利益が生み出されてくるわけで、建物の寿命期間中にどれだけ黒字が出るかの指標がライフサイクルコストと言える。



- ① 建築のプランニング：建物方位の最適化、一部地中埋設と盛り土、ツインコア、階高減少、建物形状をサイコロ状に、その他 6 手法
- ② 衛生動力の低減：節水器具の使用、局所給湯、その他 7 手法
- ③ 換気動力の低減：局所換気、空調空気の二段利用、その他 2 手法
- ④ 熱負荷の低減：全熱交換器の使用、外気冷房制御、最小外気取入れ量制御、外気取入れ土中ダクト採用、ノーリークダンパの使用、その他 7 手法
- ⑤ 建築の断熱・日射遮へい・通風：窓面積の減少、断熱雨戸の使用、外ブラインドの使用、ダブルスキンの使用、ダブルスキングラス面傾斜、その他 10 手法
- ⑥ 搬送動力の低減：VAV 方式を採用、大温度差方式を採用、ポンプ台数制御、その他 7 手法
- ⑦ 照明電力の低減：タスクアンビエント照明、窓際照明器具段調光、昼休み強制消灯制御、その他 8 手法
- ⑧ 効率向上：熱回収システムを採用、温度成層形蓄熱槽を採用、最適起動制御、設備系断熱強化、その他 9 手法
- ⑨ アクティブソーラ：太陽熱冷暖房直接利用、太陽熱土中蓄熱、その他 3 手法
- ⑩ 電力の低減：力率改善、変圧器の台数制御、太陽光発電の直接利用、その他 5 手法

図5.7 熱経済性ベクトル図

建物のライフサイクルコストについては、詳細な研究が始まったばかりであり、いまのところ公的に定められた計算方法はない。また計算対象は非常に広範囲に及ぶので、予測精度を上げるのは困難な点が多い。そこで今回は、2-14に後述する同一規模の省エネをしていない建物と本建物について、ライフサイクルコスト差額を比較することとした。すなわち両者の間で大きな差異がない項目については、ライフサイクルコストの計算を省略することによって精度を下げずに結果を得ようとするものである。なお建物の寿命期間、種々な事情によって決まってくるが、ここではコンクリート造事務所建物の法定耐用年数である65年として計算した。

省エネをしていない建物と本建物で、支出する費用に差異があるものとしては、まず建設費と光熱費がある。次に、竣工した建物を維持管理するために毎年保守費が必要で、これは建設費の毎年1%と推定した。また設備機器類は、寿命が平均的に16~18年とされるので、65年間に3回全面取替を行うものとした。そしてこの取替費用は、残存価格等を考えて初期の設備工事費で賄えるものと仮定した。そしてこれ以外の費用については、両建物間に差がないとしてライフサイクルコストの差額を計算した。

計算結果を図 5.8に示したが、物価上昇とエネルギー単価上昇をどう見込むかで得られる値に大差があるが、いずれにせよ本建物の方が、長い目で見てかなり安価であることが推測でき、当初の目標を満足していると考えられる。

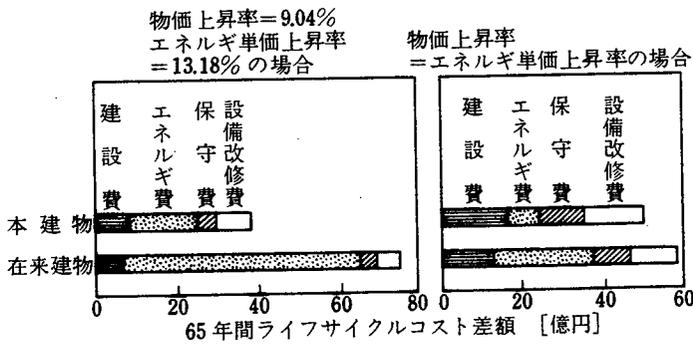


図5.8 ライフサイクルコスト差額

第2節 実際建物の利用実績(13)(14)(15)(16)(17)

大林組技術研究所本館は、1982年4月15日から全面的に使用を開始して、現在に至っている。この建物の使用状況は、研究所ということで、一般事務所と異なる点がある。まず第一に、深夜や休日でも使用されることが多い点であり、第二に一人当たり専有面積が大きいことである。

本建物の運用に当たっては、当社の他の職場との関係を考慮して、空調は通常勤務時間内のみ運転し、照明は時間的に年間無制限に使用可能とした。

まず空調機は、休日は原則として一切停止し、平日は8時10分頃から17時10分まで運転、土曜は毎週12時で停止した。そして年間延べで82年度は2413、83年度は2365時間か働した。なお空調機の起動時刻は、制御用電算機によって毎日自動的に最適決定されているが、室内環境保持のため、おそくとも8時30分に起動した。

熱源は5月中旬～10月中旬まで冷房運転、10月下旬～5月上旬まで熱回収運転をした。またこの建物では、自然換気も可能なように開放できる窓をいくつか設置している。しかし周囲が関東ロームの畑で、砂ぼこりが多く、また虫も多い。そこで外気冷房可能時にも窓を閉鎖し、空調機によって外気をろ過してから室内に供給している。そして休日や夜間のみ、必要に応じて窓を開放するようにしている。

照明・コンセントの電源は、年間を通じて常に生かしており、休日や深夜の使用は制限しなかった。ただし、コンセントから、電気ポットや個人用冷蔵庫の電源を取ることについては、協議のうえ遠慮してもらうこととした。

この建物の在館者数は、通常勤務時間帯を平均すると、空調面積当たり0.048人程度であった。一般的事務所の例として、当社の本社建物について実測したところ、0.089人程度であった。このことより、在館者密度は一般事務所の50%ぐらいで使われていることがわかる。なお本建物が一般事務所並の在館者密度で使用された場合、予測されるエネルギー消費量については後述する。

上記のような使用状況下における、エネルギー消費量の実績、室内環境の実態、各種省エネルギー手法の効果分析について以下に記述する。また経済性の検証についても、現時点で可能な範囲で検討を加えている。

2-1 エネルギー消費量実績

(1) 建物全体のエネルギー消費量

昭和57年 4月15日から昭和59年 4月14日までの2年間における建物全体のエネルギー消費量を表 5.2に示す。また、エネルギー消費量の月別変動を図 5.9に示す。

建物全体のエネルギー消費量は初年度 86.7、二年度95.9Mcal/m²・aであった。なお、エネルギー消費量の原単位は、一次エネルギー換算値の、延床面積当たりの値であり、以降の値についても同様である。

表5.2 エネルギー消費構成（実績値）

エネルギー消費 構 成	エ ネ ル ギ 消 費 量				2年間平均値 の 構 成 比	
	昭 和 5 7 年 度		昭 和 5 8 年 度			
	[kW h/a]	[Mcal/m ² ・a]	[kW h/a]	[Mcal/m ² ・a]	[%]	
空 熱 源 調 養 送 用	24,060	15.6	57,426	17.8	18.3	
	16,611	10.8	18,514	12.0	12.5	
	(40,671)	(26.4)	(45,967)	(29.8)	(30.8)	
照 明 ・ コ ン セ ン ト	55,361	35.9	59,797	38.8	40.9	
そ の 他 の 用	換 気	652	0.4	786	0.5	0.5
	衛 生	3,243	2.1	3,325	2.2	2.3
	事 務 機 器 等	33,689	21.9	37,916	24.6	25.4
	(小 計)	(37,584)	(24.4)	(42,027)	(27.3)	(28.3)
合 計	133,616	86.7	147,791	95.9	100.0	

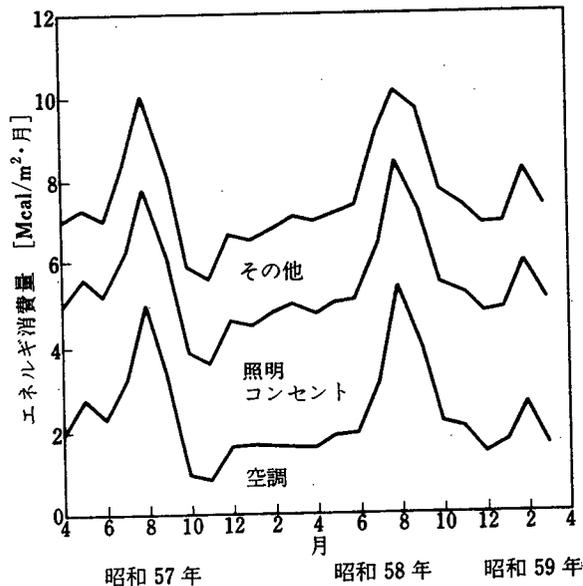


図5.9 建物全体のエネルギー消費量月別変動

(2) 用途別のエネルギー消費量

昭和57年 4月15日から昭和59年 4月14日までの2年間における空調主要機器用、照明・コンセント用、ならびにその他用のエネルギー消費量を表 5.3に示す。

表5.3 用途別エネルギー消費量詳細

エネルギー消費量構成		エネルギー消費量				2年間平均 値の構成比 [%]	
		昭和57年度		昭和58年度			
		[kWh/a]	[Mcal/m ² a]	[kWh/a]	[Mcal/m ² a]		
空調	熱源	ヒートポンプ 1	9,597	6.2	9,758	6.3	6.9
		ヒートポンプ 2	6,626	4.3	9,105	5.9	5.7
		吸収冷凍機・ポンプ	2,145	1.4	2,502	1.6	1.6
		冷却塔・冷却水ポンプ	2,365	1.5	2,310	1.5	1.6
		熱源1次ポンプ	1,659	1.1	1,983	1.3	1.3
		太陽熱集熱ポンプ	1,416	0.9	1,529	1.0	1.0
		土中熱ポンプ	252	0.2	239	0.2	0.2
	搬送	空調機	9,201	6.0	11,213	7.3	7.2
		ファンコイルユニット	1,675	1.1	2,091	1.4	1.4
		全熱交換機・ファン	2,907	1.9	2,224	1.4	1.8
空調2次ポンプ		2,828	1.8	3,013	2.0	2.1	
照明 コンセント	照明	52,682	34.2	56,262	36.5	38.7	
	コンセント	2,679	1.7	3,535	2.3	2.2	
その他 の 用 機 器 等	衛生	給茶器	2,892	1.9	2,989	1.9	2.1
		ポンプ類	351	0.2	336	0.2	0.2
	自動制御	換気	652	0.4	786	0.5	0.5
		中央	8,164	5.3	8,187	5.3	5.8
	事務 機 器 等	ローカル	4,020	2.6	4,259	2.8	3.0
		電算端末機	4,520	2.9	6,426	4.2	3.9
		OA機器	2,641	1.7	3,623	2.4	2.2
		複写機	7,260	4.7	7,639	5.0	5.3
		電話交換機	1,675	1.1	1,718	1.1	1.2
		その他	5,409	3.6	6,064	3.9	4.1
総計		133,616	86.7	14,791	95.9	100	

空調用エネルギー消費量の実績値は初年度では 26.4 Mcal/m²・aで、予測値の約83%にとどまっている。その内訳をみると、熱源用が予測値を上回っているのに比し、搬送用がかなり少なくなっている。これら差異の原因としては、予測手法の精度、初年度にありがちな機器・センサ等の末調整、安全を計って熱源機器を過剰運転したことなどが考えられる。

照明・コンセント用エネルギー実績値は $35.9 \text{ Mcal}/\text{m}^2\cdot\text{a}$ で、予測値の約 123% になっている。この主たる原因は、建物の運用上空調とは異なり、休日や深夜にも少人数の利用者のために電源を生かす必要があり、使用状況が前もって予測しにくい面があり、この点の過少予測にあるといえる。また、床がカーペットのため電気掃除機を使用したり、私物の時計や電卓アダプタ等が予想外に多く、電力消費量が大幅に上回った。

なお、代表階である研究室階の照明設備容量は、安定器損失を含んで $9.4\text{W}/\text{m}^2$ 、実際の稼働状況は執務時間平均で $6.1\text{W}/\text{m}^2$ であった。

その他用エネルギー消費量の実績値は $24.4 \text{ Mcal}/\text{m}^2\cdot\text{a}$ で、予測値の65%にとどまっている。この主たる原因は、予測が困難な事項が多くて過大な安全率を見込んだこと、使用者の省エネ意識が高かったことなどである。

その他用の中で、比較的エネルギー消費量が多いのが自動制御設備であり、建物全体の約 9.1 %を占めていることが注目に値する。

2-2 室内環境実態

室内環境については、渡辺ら^{(1) 目}が詳細に実測・分析して報告している。ここではその報文の概要を引用する。

室内環境値のうち、乾球温度、相対湿度、炭酸ガス濃度、一酸化炭素ガス濃度、および浮遊粉じん濃度に関して以下に実績値を示す。環境値のうち、粉じん濃度を除いた他の値についてはおおむね良好に維持されたといえるが、粉じん濃度については、建物竣工直後は「ビル管法」の基準値 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ を上回る値が全測定回数に対して約 35 %あった。ただし、昭和57年11月以降ファンコイルユニット運転制御方式を変更し、VAVユニットの最小開度を $0 \rightarrow 40\%$ に変えた後では、室内の換気量が増大し、それだけ室内空気中の浮遊粉じんが空調機内のフィルタで除去されることが多くなり、日平均値がすべて $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ を下回るようになった。

(1) 乾球温度

乾球温度は、中央管制装置のデータログに30分間隔で記録された勤務時間帯の実測値から、各階代表1点の値の累積ひん度値を図5.10に示す。冷房期の室温は、その大半が 23°C ~ 25°C に維持されており、設計目標値 27°C に比してかなり低い値であったといえる。これは、VAVのサーモ設定が、ローカルで手動設定可能であることが主たる原因と考えられる。また暖房期の室温は、その大半が 19°C ~ 23°C に維持されている。

これらより、冷房期の室温が省エネルギー上からは多少過冷状態ではあったものの、快適性の面からは年間を通して良好に維持されたといえる。

(2) 相対湿度

相対湿度は、乾球温度と同様の実測値で、2階研究室の南側および北側に設置した湿度センサの値の累積ひん度値を解析した。この結果、冷房期の相対湿度はその大半が55%~65%に、暖房期の相対湿度は40%~45%に維持されている。

これらより、相対湿度は年間を通して良好に維持されたといえる。

(3) 炭酸ガス濃度

炭酸ガス濃度は、「ビル管法」にもとづいて測定した値を示す。測定点は各階2点で、測定は隔月代表日のほぼ定時に、一日3回実施している。

図5.11に年間の度数分布を示す。制御用コンピュータにより、CO₂濃度にもとづく外気取入れ量制御を行っており、結果としてCO₂濃度は良好に維持されたといえる。基準値の1000ppmを超えたのは、年間を通じて3.6%であった。

(4) 一酸化炭素ガス濃度

一酸化炭素ガス濃度については、炭酸ガス濃度と同様、「ビル管法」にもとづいて測定した値を解析した。測定点および測定時刻は炭酸ガス濃度測定の場合と同じである。

この結果、一酸化炭素ガス濃度は、年間を通して平均2ppmと良好に維持されており、測定値のすべてが、基準値の10ppmを大幅に下回っている。

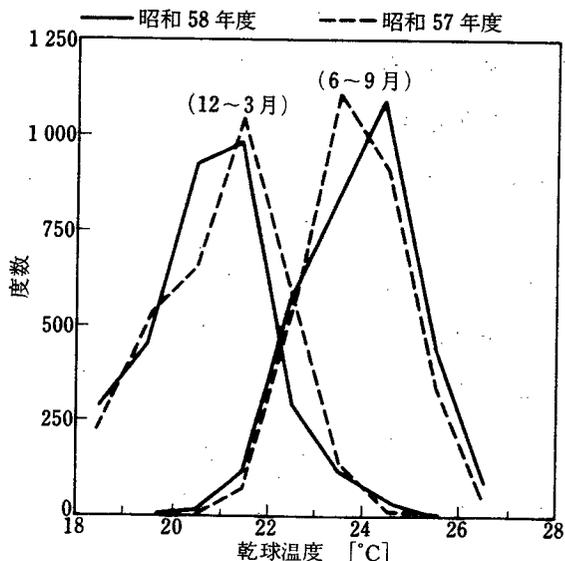


図5.10 室温累積ひん度分布

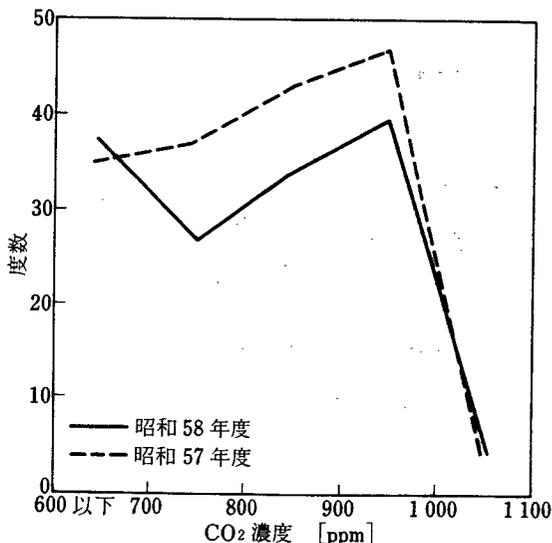


図5.11 CO₂ガス濃度分布

(5) 浮遊粉じん濃度

浮遊粉じん濃度については、炭酸ガス濃度と同様、「ビル管法」にもとづいて測定した値を解析した。

図5.12に、57年11月以降の瞬時値の度数分布を示す。この11月の運転方式変更後の各階の日平均値（3つの瞬時値の平均）は いずれも $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ を下回っており、法の許容値以下におさまっている。

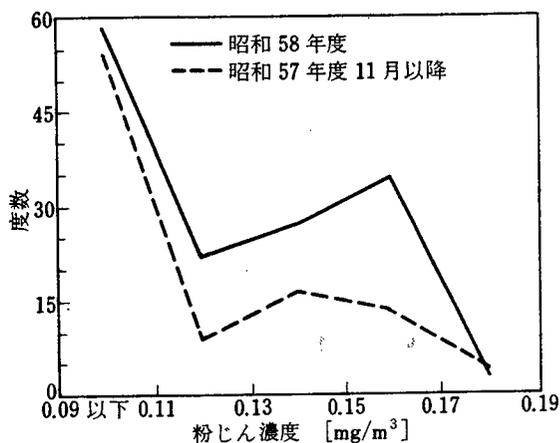


図5.12 浮遊粉じん濃度分布

2-3 アンケート調査結果

本調査については、渡辺ら(10)が詳細に調査・分析して報告している。ここではその報文の概要を引用する。

全居住者に対して、夏と冬に環境、居住性等に関するアンケート調査を行い、心理的な面から本建物の居住性評価を行なった。実際にアンケート結果を集計すると、年齢や性別による相違が現れてくる項は少なく、ここでは居住者全員の回答を合計して分析した結果について述べる。

(1) 夏季アンケート調査結果

昭和57年 8月上旬に 167名の居住者全員を調査対照としてアンケート調査を行った。

この結果室内の温湿度に関してはおおむね良好であるという回答が得られたが、約30%の人が不満を示している。そして特に地下1階に不満が多い。これは夏季の一時期VAVユニットの風量調整が不十分なために寒過ぎるという理由によるものであった。1～3階においては70%程度の居住者が室内環境はかなり良好あるいは比較的良好と回答している。ダクトやファンコイルユニットからの気流が気になるという居住者は全体の17%に達する。しかしそれ程強い不満ではなく、おおむね良好であるといえよう。

室内の換気に関して不満足という回答が50%に達しており、特にたばこの煙に対しては62%の人が気になると回答している。VAV開度は冷房負荷だけで制御すると風量が極端に少なくなってしまう場合もでてくるので、この調査結果より最小開度40%が確保される

ように変更した。省エネルギー一般に言われることがあるが、たばこの煙と換気量は大きな問題であり、今後様々な制御方式を採用しながら、最適な手法を選択していく必要があるだろう。

夏季にはダブルスキン内の歩廊がひさしとして働くために、ブラインドを下ろすことがほとんどなかったため、ブラインドの使用が執務環境の居住性を向上させているかどうかの質問に対し、60%の人がどちらとも言えないと回答している。ブラインドは冷房負荷削減に対する効果は高いものの、開放感を損なうという欠点があり個別制御方式に切り換える等、今後意識調査の面から検討を要する課題である。

照明システムは、タスク/アンビエント照明方式を採用しているが、机上の明るさに対する不満が18%と少ない。室内の明るさにはやや不満が多いが、良好な執務環境であると推察された。

(2) 冬季アンケート調査結果

アンケート調査は、昭和58年中旬に147名の居住者を対象として行なった。室内の温湿度に関しては、半数の人が良好であると回答している。冬季の室温状態が寒いと回答している人が53%に達しているが、これは1月のある時刻に室温が18℃まで下った日が数日続いたことを指したものである。階別の分析をすると、冬季は地下階の方が暖かく3階が最も室温が低かった。このため不満は3階に強く現れ、地下階は満足との回答者が多かった。またダクトやファンコイルユニットからの気流、ドアや窓からのすき間風、ドラフトに関しては不満は少なく、良好な室内環境にあるといえる。

以上のアンケート調査によると室内の温湿度、明るさ等総合的な室内環境は十分良好に保たれていると結論できる。しかし室内のたばこによる空気の汚れについては、今後改良を要すると考えられる。

2-4 ダブルスキンの運転実績

本項目については、岡(19)が詳細に実測・分析して報告している。ここではその報告の概要を引用する。

(1) ダブルスキンの運転

1) 日射透過率

ダブルスキンの外側ガラスの日射透過率を測定したところ、おおむね25%程度であった。室内まで透過する日射量はグレーチング等にさえぎられ、大きくばらつくが、平均では外

側ガラスに当たる垂直面日射量の10%程度である。

2) 冷房シーズンの運転

外側ガラス温度は日中日射を吸収して43℃まで昇温する。ダブルスキン内の空気温度も上昇するが、換気量が多いために外気温より 3～4℃高温になるに過ぎない。

3) 熱回収シーズン

熱回収シーズンのダブルスキンは太陽熱を空気集熱するアクティブシステムである。

図5.13に熱回収シーズンの運転状態を示す。

冬期でも外側ガラスの表面温度は日中40℃まで上昇する。集熱時間は 9時から14時頃まで約 5時間である。集熱温度は27℃から32℃程度となり、冬の晴天日における集熱量はダブルスキン 1㎡当たり 100kcal/h前後である。

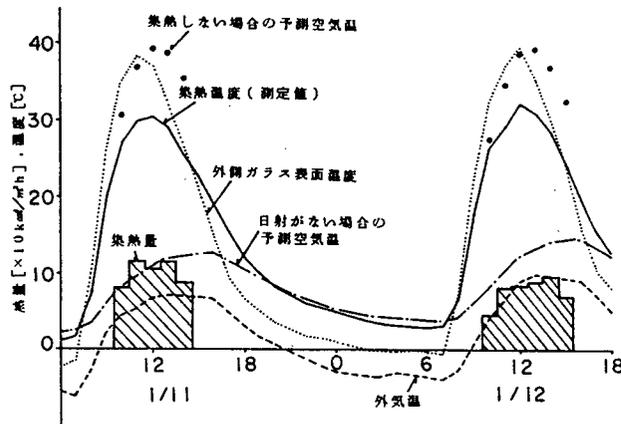


図5.13 ダブルスキンの各部温度、集熱量

4) 集熱効率

集熱効率を外部垂直面日射量に対する集熱量と定義して、1月から3月までの集熱している時間帯の日平均は16%程度となった。

(2) ダブルスキンの熱構成

ダブルスキン自体は単純なハイブリッドシステムであるが、その熱構成は複雑である。外側ガラスにさえぎられる熱量、自然換気によって排気される熱量、室内負荷となる熱量、蓄放熱量等を定量化し、全体の熱バランスを明確にした。

夏期の熱構成では、ダブルスキンに当たる垂直面日射量の50%は外側ガラスで反射されたり、吸収された後に外部に放熱される。30%から35%はダブルスキンの自然換気によって排熱される。静穏な晴天日では、換気回数は50～100回/時程度は確保されていた。そ

して室内の冷房負荷となる割合は約10%で、ダブルスキンの冷房負荷低減効果は大きいことが確認された。

冬季の熱構成では、昼夜のダブルスキン内の温度変動が大きいために蓄放熱量も夏季に比べて大きくなっていることが特徴として挙げられる。ダブルスキン内の空気温と外気温の差が大きいため伝熱損失も増大し、ガラス面に当たる日射量の62%は外側ガラスによってさえぎられる熱量になっている。9時から15時頃まで集熱でき、集熱量は垂直面日射量の16%程度である。9時頃はダブルスキン内の空気温の上昇率が大きいので、蓄熱量の割合も日射量の20%に達する。室内に侵入する熱量は最大時でも垂直面日射量の10%程度である。

(3) ダブルスキンの熱負荷低減効果

本建物では二次側熱負荷が測定されており、ダブルスキンの冷房負荷低減効果や集熱量と対比した。二次側熱負荷は空調機とファンコイルユニットに送られる熱量である。

夏期の冷房負荷低減効果を推定するために、ダブルスキンのある場合とない場合の南側窓面からの冷房負荷計算をした。ダブルスキンがある場合は室内垂直面日射量、室温、室内側ガラス表面温度の測定データから計算できる。ダブルスキンがない場合の冷房負荷は日射や外気温の測定データを用い、熱負荷計算プログラムを用いて算出した。

ダブルスキンがない場合を一般ビルと想定して、表 5.4に 7月から 9月までの計算結果を示す。7月は冷房負荷が小さいうえに試運転中ということもあり、8月と9月のデータを対象として解析する。8月の測定結果では、南側窓面からの冷房負荷はダブルスキンによって41%に削減される。ダブルスキンを取り外した場合の熱負荷を 100% とすると、ダブルスキンを取り付けたことによって、二次側熱負荷は18.9%減少し、これをダブルスキンの省エネルギー効果とすることができる。9月は二次側熱負荷が小さいために省エネルギー効果は24.6%となる。

表5.4 ダブルスキンの効果

	南窓からの冷房負荷		2次側冷房負荷 C [Mcal]	南窓のみの効果率 *	2次側冷房負荷減少率 **	計測日数 [日]
	一般ビル A [Mcal]	ダブルスキン B [Mcal]				
7月	1242	367	954	0.30	0.478	10
8月	2066	856	5208	0.41	0.189	12
9月	1378	333	3210	0.24	0.246	15

* B/A ** (A-B) / [C + (A-B)]

表 5.5に冬期における集熱量と二次側熱負荷を示す。冬期の必要暖房熱量は二次側熱負荷にダブルスキンの集熱量を加えたものである。集熱量をこの必要暖房熱量で除した値を冬期のダブルスキンによる省エネルギー効果とすると、1月から3月の省エネルギー効果は16.7%から32%になる。1月は晴天日も比較的多く、暖房負荷が小さいためにダブルスキンの集熱量に依存する割合は32%と高く、3月は暖房負荷も大きく依存率は低下している。

表5.5 ダブルスキンの集熱量

	蓄熱槽 A [Mcal]	2次側暖房負荷 B [Mcal]	省エネルギー効果 *	計測日数 [日]
1月	2074	4405	0.320	19
2月	2051	6643	0.236	23
3月	1662	8169	0.167	28

* $A / (A + B)$

2-5 土中蓄熱の運転実績

本項目については、安江⁽²⁰⁾が詳細に実測・分析して報告している。ここでは、その報文の概要を引用する。

(1) システムの概要

ソーラーコレクタで集熱した約45℃の温水は温水槽に蓄える。この温水を、土中に埋設したコイル中を循環し、土中に蓄熱する。土中蓄熱分のうち、垂直方向の損失熱は、数か月後に地下1階の床面を暖め、パネルヒーティング効果を生む。また、厳冬期のピーク負荷発生時もしくは長期にわたって悪天候が連続した場合、冷水槽の冷水を土中コイルに循環して土中蓄熱分を回収する。この回収熱はヒートポンプの低温熱源として利用される。

図5.14、図5.15に土中コイルの埋設位置を示す。土中に埋設したコイルは、高密度架橋ポリエチレン製で、各スパンごとに埋設深さ60cm間隔に各4段設置されている。延埋設長さは1200mで、掘削土量は約500m³である。

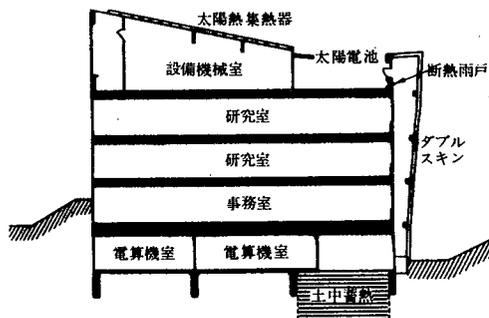


図5.14 土中コイル埋設位置(断面図)

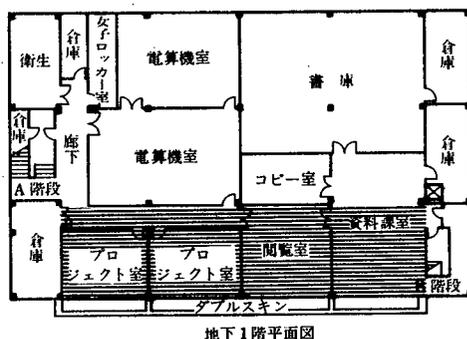


図5.15 土中コイル埋設位置(平面図)

コイル埋設部分は関東ローム層で、自然状態における熱的性状は以下のとおりである。

比 熱： 0.6 ~ 0.7 kcal/kg℃

重量含水率： 120 ~ 130 %

密 度： 1.2 ~ 1.3 g / cm³

熱伝導率： 0.5 ~ 0.6 kcal/mh℃

(2) 運転実績

1982年度の運転実績を示す。この年度は11月15日～12月9日の、主に17時頃から翌朝にかけて蓄熱運転を行った。また、12月9日～3月末にかけては、必要に応じて蓄熱運転と回収運転を行った。

土中蓄熱量、回収熱量、床表面放熱量の累積値および熱量割合を図5.16に示す。期間中の総蓄熱量は、合計で 7.04 Gcalであった。一方、床表面からの放熱量は 2.01 Gcal、回収熱量は 0.81 Gcalであり、土中蓄熱量の利用割合は約40%であった。

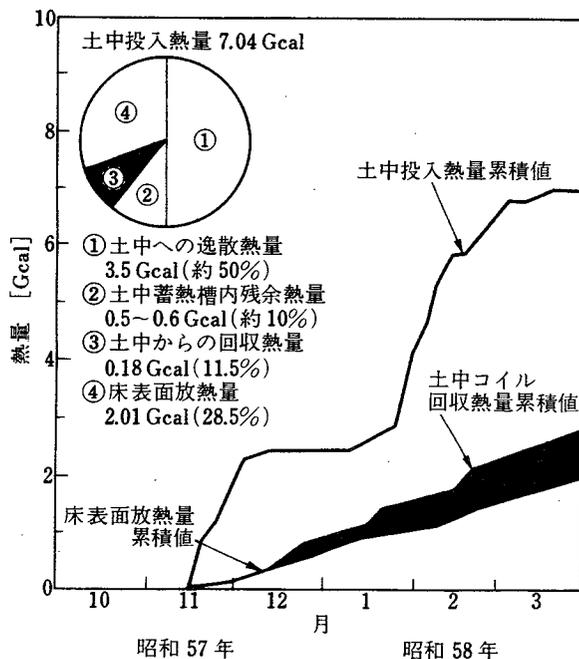


図5.16 土中蓄熱・回収熱量および床表面放熱量

回収運転の延長時間は約80時間で済み、暖房の補助熱源としての役割を十分な余裕をもって果たすことができたといえる。また、回収運転時のコイル返水温は常時15℃以上を確保でき、ヒートポンプの低温熱源としては空気熱源に比し成績係数の面で有利であるといえる。

2-6 温度成層式縦型蓄熱槽の運転実績⁽²¹⁾

本建物では、躯体内にビルトインされた温度成層式縦型蓄熱槽（以下蓄熱槽と略）が2槽設置されており、冷房期は冷水槽および冷却水槽、暖房期は冷水槽および温水槽として使用している。以下に、蓄熱槽システムの概要および性能に関する実測結果を報告する。

(1) 蓄熱槽システムの概要

図5.17に熱源系統図を示す。二槽のうち、一槽は通年冷水槽、他の一槽は冷房期に冷却水槽、暖房期に温水槽として使用している。

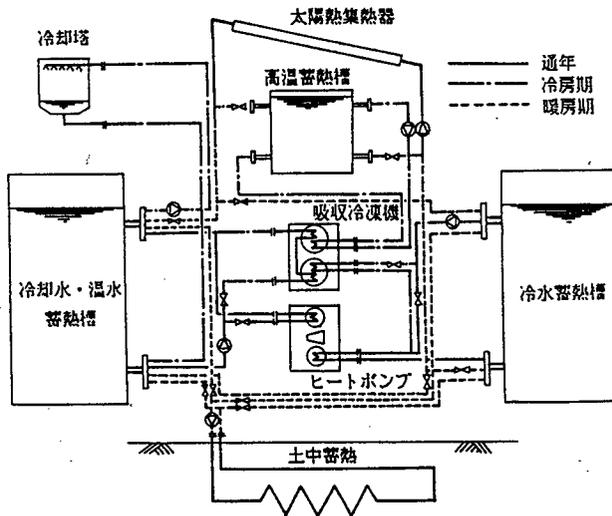


図5.17 熱源系統図

(2) 槽特性

図5.18に、冷水槽の蓄熱運転時、および放熱運転時の蓄熱槽内垂直温度分布の一例を示す。これより、蓄熱槽の出入口水温が良好に制御されていることがわかる。また、b図の10時から14時まで温度躍層が降下していないのは、熱源機器を運転したためであり、このような槽内の水の流れが逆転しても界面の温度こう配に大きな変化は認められない。また、この時の界面の厚さは、0.5-0.6m程度である。

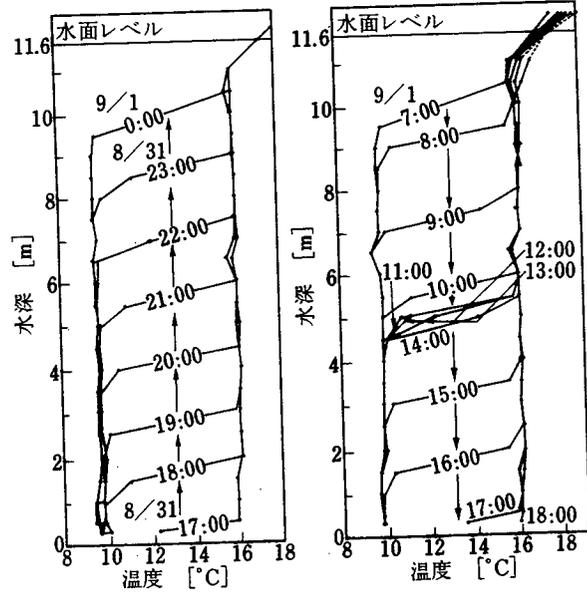


図5.18 冷水蓄熱槽の垂直温度分布

これらの特性は、設定水温が変更されないかぎり維持され、温度成層性は年間を通して良好であった。温水槽、冷却水槽の垂直温度分布も、ほぼ同様で良好なものであった。

(3) 蓄熱槽からのヒートロス

蓄熱槽からのヒートロスを求めるため、正月休みの5日間にわたる熱損失を実測した。この結果実測総合熱通過率は $0.31 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}$ となり、理論計算で求めた値とほぼ完全に一致し、断熱が良好に施工されたことがわかる。

(4) 槽内温度応答と蓄熱効率

単位応答計測時の槽内垂直温度分布より、蓄冷片サイクルにおける蓄熱槽効率は95.6%と求められた。

次に一次側冷水限界出口水温を 8C とした場合の単位システム効率は94.6%であった。これは冷水蓄熱片サイクルの値で、槽からの熱損失を含んだ値である。なお、蓄熱・放熱を含めたサイクル効率では、放熱運転時に下段吸込口より下に死水域が生じるため、蓄熱槽効率および単位システム効率共片サイクル時の値より若干数値は低くなるであろうと推定される。

2-7 太陽電池駆動集熱ポンプの運転実績

本項目については、安倍⁽²²⁾が詳細に実測・分析して報告している。ここでは、その報文の概要を紹介する。

太陽熱利用による冷暖房システムの集熱ポンプは3台あり、集熱量、集熱温度などに応じて中央管制装置により台数制御されるが、このうち1台のポンプの電源に太陽電池を利用している。ポンプ容量はいずれも400Wである。本システムの特徴は、①蓄電池を介さずに太陽電池の出力を直接負荷へ入力している事、②負荷としてインバータと誘導電動機の組み合わせでなく、直流電動機を採用している事、の2点である。これによりシステムをシンプルに構成して保守性の向上を図り、また価格上昇と効率の低下をおさえている。蓄電池がないため、太陽電池への入射エネルギー量の変動にともない、ポンプ出力も変動するが、同時に集熱量も同様に変動をすると予測されるため、システムへの影響は少ないと考えた。

太陽電池はリボン結晶形のものを採用し、1モジュール当たり26W（入射エネルギー 100 mW/cm^2 、素子温度 25C の時）のものを39モジュール接続して、最大出力1014Wを得ている。素子合計面積は 11.7m^2 で、光電変換効率は8.7%である（素子温度 25C の時）。

1982年5月より83年4月までの、1年間の集熱ポンプの運転実績を図5.19、図5.20に示す。

図5.19は太陽電池の総発電量に対する直流ポンプ消費電力量の割合（太陽電池利用率）

の各月の推移を示したものである。ここで太陽電池発電量とは、直流ポンプを運転しない日も含まれ、わずかの入射エネルギーでもこれに対応する太陽電池出力をすべて積算したものである。利用率はこのうち直流集熱ポンプを運転するために有効に利用された電力の割合であり、余剰発電量はすべて太陽電池側で熱として消費されている。

本システムは蓄電池設備を設けていないため、入射エネルギーが直流ポンプの容量を下まわる低レベルの場合の電力は有効に利用されず、年間の平均利用率は40.7%であった。また利用率は夏期よりも冬期の方が大きい。これは集熱運転そのもののひん度の差によるもので、高温集熱（85℃）の期間（5月～9月）と、中温集熱（45℃）及び低温集熱（15℃）も行う期間（10月～4月）でのひん度の差がそのまま現れている。太陽電池への全入射エネルギーの積算値は年間11335.7 kWh であった。これに対する利用電力量の割合をシステム効率と定義すれば、（システム効率）= $(372.6 \text{ kWh} / 11335.7 \text{ kWh}) \times 100 = 3.3\%$ となる。すなわち太陽光より受け取った総エネルギーのうち 3.3%が利用されたことになる。また太陽電池の光電変換効率の一年間の平均値は、（システム効率/平均利用率）で示され、8.1%になる。この値はカタログ値 8.7%より若干低いがこれは実際の使用状態において素子温度が平均的に25℃より高くなっているためである。

図5.20は交流ポンプ2台を含めた集熱ポンプ全体の消費電力量に対する直流ポンプの消費電力量の割合（太陽電池依存率）の各月の推移を示したもので、依存率は年間で25.3%となった。依存率の各月ごとの変化は利用率ほど

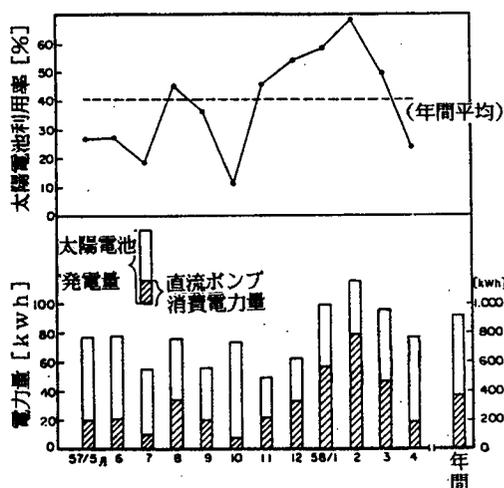


図5.19 太陽電池利用率

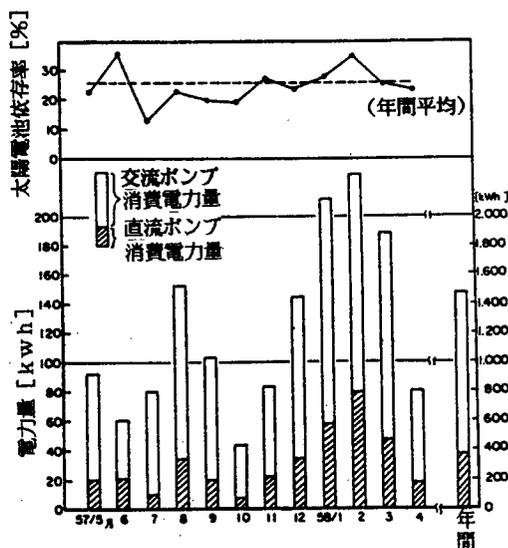


図5.20 太陽電池依存率

大きくなく、最大は 6月および 2月の約35%、最低は 7月の約13%であった。また図の棒グラフは集熱ポンプ全体の消費電力量で、集熱運転のひん度の差も表しているが、前述したようにこれは図5.19の太陽電池利用率の推移とほぼ一致している。

2-8 空調二次側への供給熱量実績

空調機およびファンコイルユニットへの供給熱量実績値は、冷水および冷温水ポンプの送水側に設置した流量計と温度計、および還水側に設置した温度計の計測値から演算で求めた。

図5.21に年間月別の供給熱量を、図5.22、図5.23に冷房および暖房の最大負荷日における時刻別の供給熱量を示す。なお、参考値として、多数室モデル動的熱負荷計算プログラム (MSDYLOAD) を用い、HASP東京標準年気象条件下で算出した熱負荷計算結果を、計算値として併記している。なお、図中の予測値には、管路等からの熱損失を含めている。

年間の二次側供給熱量実績のうち、冷房供給熱量の最大月は 8月で、計算値の96%である。また、年間の冷房供給熱量の実測値は、計算値の69%にとどまっている。

年間の暖房供給熱量の最大月は 3月で、計算値の1.85倍に達している。また、年間実績値の合計は、計算値の94%であった。また、冷房・暖房共、供給熱量実績値の最大日は休日明けの月曜日に生じている。

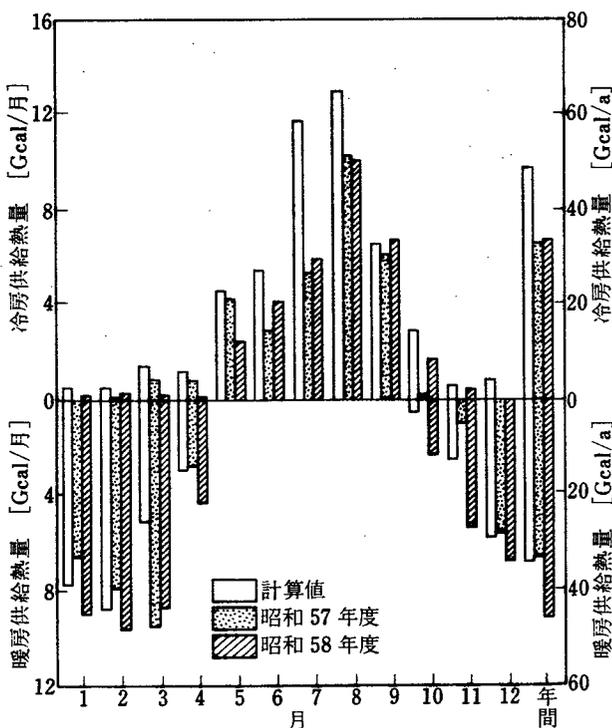


図5.21 月別年間空調二次側負荷

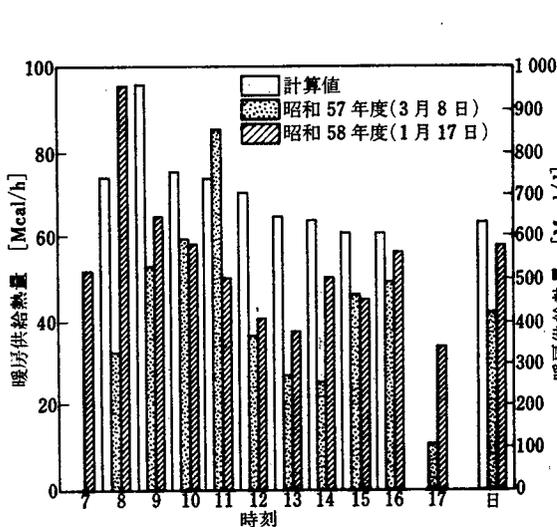


図5.22 最大負荷日暖房負荷

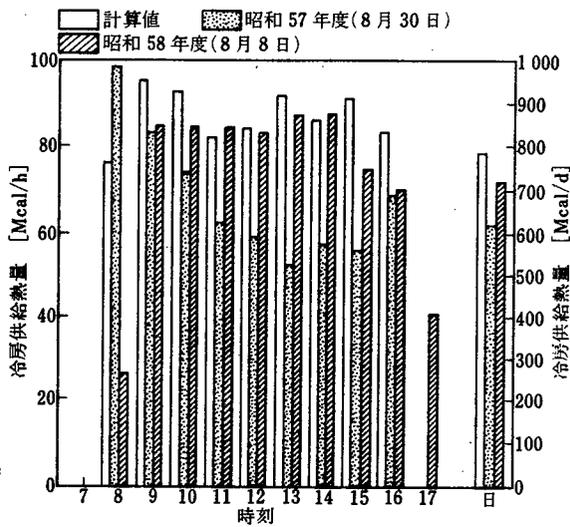


図5.23 最大負荷日冷房負荷

2-9 主要機器の運転実績

表 5.6、表 5.7に、空調用主要機器ならびに衛生・換気用機器の初年度の運転実績を示す。その他用の主要機器のうち、事務機器等の運転実績を表 5.8に、自動制御機器の運転実績を表 5.9に示す。負荷率の値はいずれも年間の延時間数に対する値である。

これらのうち、自動制御機器は他に比して高負荷率で運転されており、エネルギー消費量の面でも全体の 9.1%を占めていた点が注目される。

表5.6 空調用主要機器の稼働実績

機 器 名		定 格 [kW]	消費電力量 [kWh/年]	[h/年]
熱 源	ヒートポンプ 1	7.57	6083/3514	803/ 464
	ヒートポンプ 2	11.12	5856/ 770	526/ 69
	吸収冷凍機・他	2.68	2133/ 0	796/ 0
	冷却塔・冷却水ポンプ	2.25	2438/ 0	1084/ 0
	冷水・冷温水ポンプ	3.00	1105/ 554	368/ 185
	太陽熱集熱ポンプ	1.20	587/ 829	480/ 691
	土中熱ポンプ	0.40	0/ 252	0/ 629
搬 送	空 調 機	7.48	4678/4523	625/ 605
	ファンコイルユニット	1.84	914/ 761	467/ 414
	冷水・冷温水ポンプ	2.25	1643/1185	730/ 527
	全熱交換器・ファン	1.80	1143/1764	635/ 980

／は、冷房シーズン/熱回収シーズン値を示す。

表5.7 衛生・換気用機器の運転実績

機 器 名	定 格 値 [kW]	時 間 数 [h/a]	消 費 電 力 [kW/h/a]	負 荷 率 [%]
換 気 フ ァ ン	0.28	3043	625	76.5
揚水ポンプ(飲揚系)	3.0	8760	135	0.5
排水ポンプ(雑用系)	3.0	8760	184	0.7
揚 水 ポ ン プ	3.0	8760	32	0.1
給 茶 器	2.85	2348	2892	43.2

表5.8 主要な事務機器等の運転実績

機 器 名	定 格 値 [kW]	時 間 数 [h/a]	消 費 電 力 [kWh/a]	負 荷 率 [%]
電算機端末装置	5.200	8760	4520	9.9
複 写 機	12.178	8760	7260	6.8
電 話 交 換 機	0.720	8760	1675	26.6
自 動 販 売 機	0.374	8760	1310	40.0

表5.9 自動制御機器の運転実績

機 器 名		定 格 値 [kW]	時 間 数 [h/a]	消 費 電 力 [kWh/a]	負 荷 率 [%]		
中 央	加圧ポンプユニット ディスクユニット C R T リモートステーション パーソナルコンピュータ フレームプリンター	200W×1台 150W×2台 180W×1台 300W×2台 400W×1台 55W×1台	1.735	8760 (=24h/日× 365日/年)	8164	53.7	
	連 統 稼 働	温度調整器 CO ₂ 発振器 電磁流量計 露点温度検出器・他	6W×27台 15W×1台 40W×4台 42W	0.379	8760	3320	100
カ ル	不 連 統 稼 働	エジト-ルータ VAVユニット 小型電動二方弁 モータリブ・他	14W×64台 24W×25台 7W×31台 14W	1.187	8760	700	6.7

2-10 在館者数の状況

平日および土曜日の在館者数の調査結果を図5.24、図5.25に示す。なお、標準的な事務所ビルと考えられる東京大林ビル（東京都千代田区神田司町、地下2階、地上9階、延べ面積9810㎡）の調査結果を併記した。

勤務時間帯（平日：9時～17時、土曜日：9時～12時）における空調面積当りの平均在館者数は以下のとおりである。

平日	技研本館	0.048 人/㎡	（2日間の平均値）
	東京大林ビル	0.089 人/㎡	
土曜日	技研本館	0.043 人/㎡	（2日間の平均値）
	東京大林ビル	0.084 人/㎡	

技研本館の在館者数は、平日・土曜日とも、東京大林ビルの約半分である。また一般事務所ビルの在館者数の実例が、学会等で報告されているが、0.1 人/㎡程度が多い。

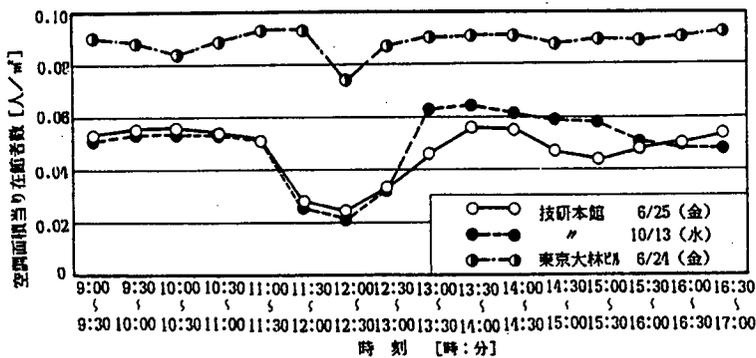


図5.24 平日の在館者数

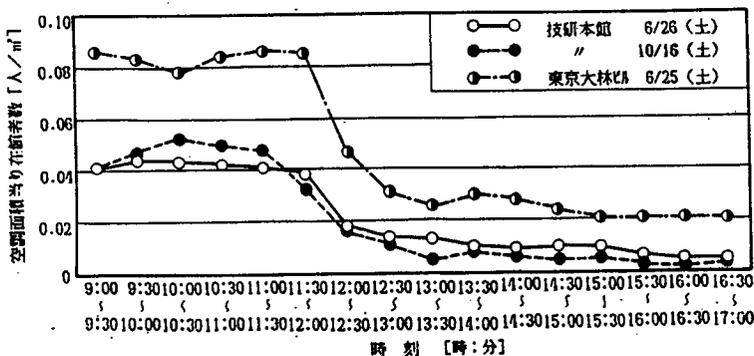


図5.25 土曜日の在館者数

2-11 タスク/アンビエント照明の使用状況

タスク/アンビエント照明は、1階事務室、2・3階研究室の総延1550㎡にわたって採用されたが、このうち2・3階研究室のタスク・ライトの使用状況調査結果を、執務者の在席率と合わせて図5.26に示す。

これらの結果から、以下のようなことがわかる。

- 1) タスク・ライトの消燈率は、ほぼ在席率に比例している。
- 2) 離席時のタスク・ライトの点燈率は、80%以上になっているが、午後よりも午前の方がやや低くなっており、若干消し忘れが多い。
- 3) タスク・ライトのインターバル消燈を毎日定時刻（12時、15時、17時30分、21時23時）に行っているが、これにより消し忘れ防止の効果が明確に現れている。

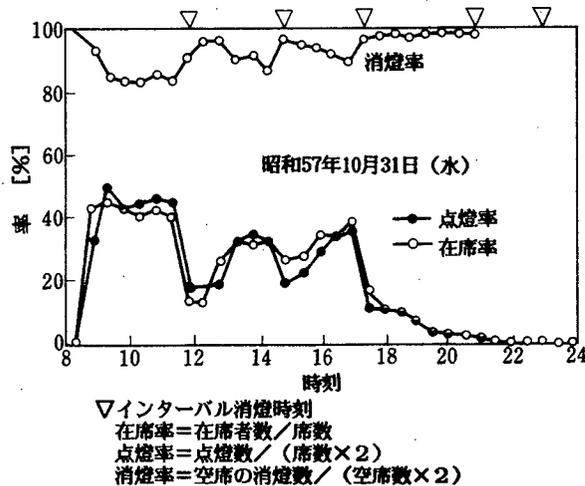


図5.26 タスク・ライトの使用状況 (▽印はインターバル消燈時刻を示す)

2-12 水消費量実績

(1) 消費水量の構成

給水設備は飲用水系（水道水使用）と雑用水系の2元給水方式で、雑用水は屋上および建物周辺緑地などの雨水や機器類のドレンを沈殿処理のみで利用している。雑用水は、便器洗浄水、冷却塔補給水（昭和58年6月より雑用水給水開始）、消火用水、機械室掃除用水に給水している。省エネルギー手法としては、節水器具の使用、大便器ロータンク方式による給水圧の低減、局所給湯、自動給茶機のスケジュール制御を行っており、排水は地下階の少量の排水を除いて自然放流している。本建物の年間消費量の実績値を図5.27に示す。一日当たりの一人当たりの使用水量は25.4ℓで、一般事務所ビルに比べて約40%節水されている。

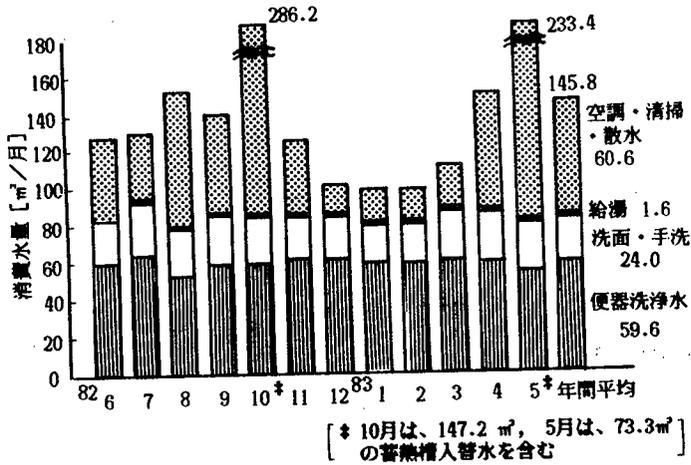


図5. 27 消費水量

(2) 雨水・機器類ドレンの利用

雑用水に利用する雨水の集水量は、屋上：舗装道路：その他（芝生など）の割合が15：4：1であった。雑用水の水質は、極めて良好であり、雨水等を沈殿処理のみで便器洗浄水、冷却塔補給水として十分使用できることがわかった。図5.28は、雨水、機器類ドレンを貯留する雨水貯留槽の流入・流出の水支出を示している。年間の雨水貯留槽流入量は、雨水68.3%、上水による補給水12.3%、ドレン10.5%、その他8.9%であった。雨水貯留槽の流出水は、年間値で便器洗浄水87.1%、掃除用水4.1%、オーバーフロー水8.2%であった。雨水などによる上水の代替率は、便器洗浄水量の85.7%、または全使用水量の35.0%となった。

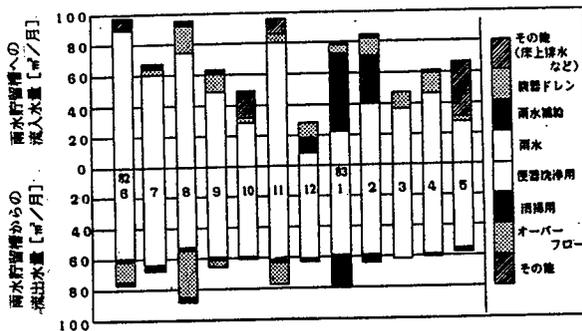


図5. 28 雨水貯留槽の流入・流出水量

2-13 経常費の実態と経済性

(1) 経常費

表5.10に初年度の経常費を、表5.11に経常費算出の諸条件を示す。なお、表中の基準ビ

ルの値は、2-14で後述する比較の基準として想定した建物に対して推定した値である。

固定費のうち、減価償却費は資本回収係数を用いて算出した値である。不動産所得税は

表5.10 経常費 [単位：円/年]

項 目		本 建 物	基 準 ビ ル
固定費	原 価 償 却 費	72,281,000	62,942,000
	不 動 産 取 得 税	1,082,000	1,125,000
	損害保険・固定資産税・他	6,701,000	6,701,000
	(小 計)	(80,064,000)	(70,768,000)
変動費	電 力 費	6,255,000	17,710,000
	燃 料 費	0	2,268,000
	上下水道費	672,000	1,264,000
	人 件 費	9,469,000	12,310,000
	維 持 費	5,722,000	3,905,000
	環境衛生管理費	14,355,000	12,979,000
	(小 計)	(36,453,000)	(50,436,000)
合 計		116,499,000	121,204,000

表5.11 経常費算出の諸条件

項 目		本 建 物	基 準 ビ ル	
建 設 費	建 築	498,600,000	458,600,000	
	設 備	321,400,000	226,100,000	
	合 計	820,000,000	683,000,000	
資 金 構 成	開発銀行融資	400,000,000	0	
	ソラシテム融資	125,000,000	0	
	市中銀行借入	295,000,000	683,000,000	
	合 計	820,000,000	683,000,000	
借 入 金 利	開発銀行融資	0.075	税 率	
	ソラシテム融資	0.065		
	市中銀行借入	0.084		
耐 用 年 数	建 築	65年	不動産取得税	0.03
	設 備	15年	固定資産税	0.014
残 存 価 値	建 築	0%	都市計画税	0.003
	設 備	10%	損 害 保 険	0.0002
課税対象評価額は両建物共 389,664,449 円				

注) 建設費、資金構成の単位：円

建物が建設された段階で課せられる税金であるが、取得価格の中に含めて減価償却費と同様に資本回収係数を用いて算出した。損害保健、固定資産税および都市計画税は、両建物共課税対象評価額を同一とみなして算出した。

変動費のうち、電力費は東京電力の業務料金のうち、新設建物に適用される特別料金を適用して算出した。なお、契約電力は本建物が 126 kW、基準ビルが 360 kW で算出している。燃料費は燈油料金を 65 円/ℓ として算出した。上下水道費は、両建物共水道の引込口径を 50A とし、清瀬市の上下水道料金を適用して算出した。人件費は、両建物共管理者 2 名とし、基準建物についてはボイラ技士および冷凍機主任者に対する資格手当として 30% 増の人件費を見込んでいる。維持修理費は設備機器に対するもので、環境衛生管理費は清掃費、水質検査費および空気環境測定費を含んでいる。

これらより、本建物の光熱水道費は、基準ビルに比して年間 1431.5 万円少なく、年間経常費では 470.5 万円少ない実績となった。そして光熱水道費の減少額は、計画段階で予測していた値を 10% 程上回った。

(2) 償却年数およびライフサイクルコスト差額

これら数値の実績は、10 年とか 60 年とかの長時間経過の後でなければ得られない。よって現時点では推論することとなるが、計画段階で記述した内容に比して、年間光熱費が予測より少し安くすんだり、建設費の借り入れ金利がかなり低いものが利用できた。よって償却年数やライフサイクルコスト差額は、計画値よりもやや経済的に好ましい方向に変化しており、今後エネルギー単価の暴落でもない限り、当初計画値が十分達成可能と考えている。

2-14 比較の基準とした一般ビルの概要

各種の省エネルギー手法に関して、その効果を算出するために、建築・設備両面にわたって省エネルギー的配慮がほとんどなされていない基準ビルを想定した。その平面を図 5.29 に、建築概要を表 5.12 に、設備概要を表 5.13 に示す。

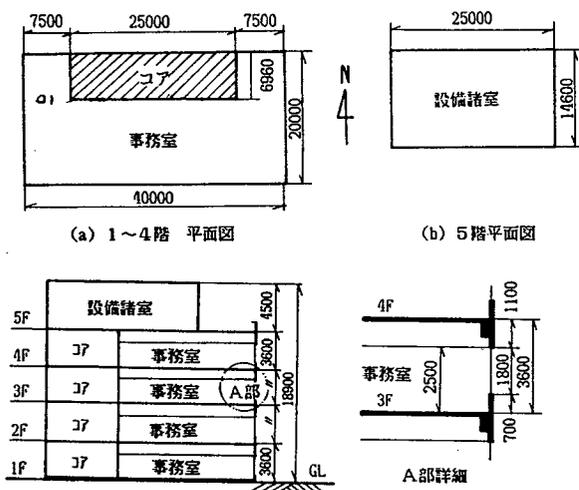


図5.29 基準ビル 平面・断面図

表5.12 基準ビル 建築概要

項目	概要
建物用途	事務所
建設場所	東京都区内
構造	R C 造
階数	地上5階（5階は設備機械室のみ）
延床面積	3,564.9 m ² （技研本館からダブルスキン部分を除いた値）
コア形式	北面片側コア
アスペクト比	1：2
窓ガラス材料	透明ガラス 8mm
窓面積比	東西南北面共 50%（ただし、コア部分を除く）
ブラインド	室内側 明色ベネシャンブラインド
外壁断熱	屋根面のみ ロックウール 25mm
ひさし	なし
ダブルスキン	なし
他の省エネ配慮	なし

表5.13 設 備 概 要

項 目	概 要			
設計条件	室内湿温度	冷房期冷房期 (6月~9月)	26℃	60%
		中間期中間期 (4・5・10・11月)	24℃	50%
		暖房期暖房期 (12月~3月)	22℃	40%
	在 室 人 員	0.15人/㎡ (技研本館 設計条件と同じ)		
	取 入 外 気 量	20㎡/h・人 (技研本館 設計条件と同じ)		
	照 明 ・ コ ン セ ント	20W/㎡		
空調熱源	冷 房 用	電動ターボ冷凍機 125 RT		
	暖 房 用	組合せボイラ (燈油だき) 400,000 kcal/h		
空調方式	イ ン テ リ ア	セントラル方式・南北2系統・CAV		
	ベ リ メ ー タ	ファンコイルユニット		
	配 管	2管式、CWV		
換気設備	第 1 種 換 気	3 系 統	第 3 種 換 気	3 系 統
衛生設備	給 気	高置水槽からの重力給水方式		
	給 湯	給茶器による局所給湯方式		
	排 水	自動放流		
電気設備	受 変 電	屋外キュービクル		
	照 明	けい光燈による天井照明方式		

2-15 気象データの比較

空調用のエネルギー消費量に影響を与える気象データについて、以下の3種類のデータのうち、乾球温度と水平面全天日射量を比較し、表5.14に示した。

A：東京都清瀬市内 大林組技術研究所での2年間の実測値

B： // 千代田区内 東京中央气象台での //

C：HASP新東京標準年気象データ

これより、1972年度の夏は温度・日射共にやや低く、冬は温度のみやや低かった。1973年度の夏の温度は平年並で日射は少なく、冬は非常に寒く日射も少なかったことが判る。

表5.14 気象条件の比較

月平均外気温度

月	83/4	5	6	7	8	9	10	11	12	84/1	2	3
A	14.4	18.4	19.6	22.9	26.7	21.9	15.6	9.5	3.9	0.9	0.8	4.0
B	15.9	19.7	20.5	23.8	27.5	23.1	17.7	12.3	7.1	3.7	3.0	5.9
C	13.9	18.7	21.9	25.2	26.5	23.2	17.5	12.7	8.1	5.5	5.1	8.6

A：清瀬市技研内 B：東京中央気象台 C：HASP新東京標準年

単位 [°C]

月平均日積算水平面全天日射量

月	83/4	5	6	7	8	9	10	11	12	84/1	1	2
A	3.45	4.27	3.68	2.97	3.21	2.26	2.27	2.08	1.87	2.07	2.52	2.93
B	3.18	4.30	3.51	2.84	3.20	2.10	2.27	2.10	1.96	2.13	2.56	3.15
C	3.36	3.99	3.00	3.54	4.05	2.49	2.23	1.71	1.65	1.98	2.55	3.26

A：清瀬市技研内 B：東京中央気象台 C：HASP新東京標準年

単位 [Mcal/m²・日]

2-16 本建物を都心に建てた場合のエネルギー消費量の推定

本建物を都心に建てた場合のエネルギー消費量を以下のケースで試算してみた。すなわち
 試算No. A、気象データ：S.57年度清瀬データ、在室人員密度：技研本館の実測値

〃 B、〃：HASP標準年データ、〃：技研本館の実測値

〃 C、〃：HASP標準年データ、〃：東京大林ビルの実測値

Aは本建物そのものであり、BおよびCのエネルギー消費量を推定するための基本とした。
 BはA気象条件のみを変化した場合であり、Cは気象条件および在室人員密度を変更した
 場合で、一般事務所に使用された場合の東京都心の省エネビルに対応するといえる。

(1) 空調用エネルギー消費量

本建物の空調用エネルギー消費量が年間熱負荷に比例すると仮定し、各ケースでの空調用
 エネルギー消費量を推定した。この結果、空調用エネルギー消費量は、Aに比してBが約 3.2
 %、Cが約 9.1%それぞれ増加するものと推定される。

(2) 照明・コンセント用エネルギー消費量

照明・コンセント用エネルギー消費量のうち、タスクライトおよびコンセントの分のみが

在室人員に比例すると仮定し、A、Bでは 0.048人/㎡、Cでは 0.089人/㎡としてエネルギー消費量を推定した。この結果、照明・コンセント用エネルギー消費量は、A、Bに比してCが 8.8%増加するものと推定される。

(3) その他用エネルギー消費量

その他用エネルギー消費量のうち、自動制御機器用エネルギー消費量のみは不変とし、他の衛生用機器、事務機器等用のエネルギー消費量は在室人員に比例すると仮定した。この結果、この分野のエネルギー消費量は、A、Bに対してCで約49.4%増加することが予測された。

(4) 建物全体のエネルギー消費量

上記のような方法で推定した、空調用、照明・コンセント用およびその他用を加えた建物全体のエネルギー消費量推定は、単位面積当たり一年間に消費するエネルギー量に換算して、A：86.7 Mcal/㎡・a（S.57 年度本建物の実績値に等しい）、B：87.5 Mcal/㎡・a、C：104.3 Mcal/㎡・aとなった。すなわち、気候の影響は少なく、在室人数の影響が大きいことがわかる。

第3節 要約

すでに第2章と第3章で前述した、省エネルギー建築計画手法、あるいはこの手法に基づいて開発した、新しい省エネルギー化の複合要素手法を、実際の建物に適應する機会を得た。

この建物は、東京都清瀬市に所在する大林組技術研究所内の本館で、1982年4月に竣工した。

本建物を計画するにあたって、下記の4つの目標を設定した。

- 1) 徹底して省エネルギーを計り、建物の延床面積当たり年間消費するエネルギー量の一次換算値が、100Mcal 以下になるようにする。
- 2) 居住性や機能性は、在来建物並み以上を確保する。
- 3) 省エネルギーの為に要した投資増分が、10年以内に回収できるようにして経済性を確保する。
- 4) 採用した多様な省エネルギー要素手法の効果を、追跡調査して公表する。

これら目標を達成するために、熱経済性ベクトル、エネルギーシミュレーション、ソーラーシステムシミュレーション等の各手法を駆使した。建物の計画を進めて行く上で、熱経済性ベクトル図を用いた計画手法は、境界・複合技術分野で、関係する技術者間の省エネルギー意識の統一を図る上で、極めて有効に働いた。また省エネルギー要素手法の評価が、経済性の立場から統一的になされるために、実施計画時に予算超過から基本計画までやり直すといった、むだな作業をほとんど避けることができた。そしてまた、完成した建物はデザイン的にも優れたものと評価されており、この計画手法が、デザインを著しく拘束するようなものではないことも立証された。

また昼光利用、ダブルスキン等の、新しい複合省エネルギー要素手法の導入に努めた。また新しい省エネルギー技術として、土中蓄熱、タスク/アンビエント照明、太陽電池、コンピュータによる最適化予測制御等を、積極的に採用した。そして計画完了段階で、本建物は、上記の4つの目標を満足できると予測した。

本建物は、1982年4月より使用が開始され、2年間にわたって、その運転実態を詳細に調査し、その結果を分析した。

まずエネルギー消費量は、初年度86.7、二年度95.9Mcal/m²・aとなり、計画当初の目標を達成し得た。

居住性や機能性は、室内物理環境値の分析と、入居者のアンケート調査結果から、たば

この煙に多少問題はあるものの、その他は十分良好であると考えられる。

経済性については、現時点の見込みでは、投資増分が回収できるのは 8.7年より短くなるようで、これも計画当初の目標を達成できそうである。

そして省エネルギー手法の効果結果の公表については、すでに関連学会に20報以上の報文を発表している。これらのうち、ダブルスキン、土中蓄熱、温度成層型蓄熱槽等の詳細な運転実績を紹介するとともに、計画段階での効果推定値との差異の原因についても考察している。

さらに補足的資料として、気象条件が平年値と比較してどうであったのかとか、都心の一般事務所並の使われかたならばエネルギー消費量がどうなるのか、予測した結果についても言及している。

総括ならびに結論

省エネルギーの必要性は、化石エネルギー資源が有限であるという資源面と同時に、エネルギー消費が終局的に環境を汚染するという環境面からも重要であり、かつ急務である。

事務所等業務用建築の分野における省エネルギー化は、社会的に意義あるものにもかかわらず、それほど大幅に実施されていないのが実情である。この理由としては、事務所等業務用建築の省エネルギー化を図るうえで、実務上効果的な計画手法がなかったことがあげられる。そして本研究の目的は、上記の効果的計画法を開発することにあった。

本研究は5章と緒論、総括ならびに結論より成っている。

緒論では、本研究の社会的ならびに工学的必要性について論じ、つづいて研究目的と論文の構成概要を述べた。

第1章では、既往研究からみた本研究の位置づけを述べた。

まず事務所等業務用建築の設計が4種類以上の異なる分野の技術者によってなされ、近年分業化が進むにつれて、お互いに相手の分野内部にまで立ち入らない風潮があること、そして省エネルギーに対する検討は、建物内でエネルギーを消費する部分を設計している、設備技術者にまかせてしまう傾向があり、総合的な研究が行われにくかった状況を説明した。

次に事務所等業務用建物の省エネルギーに関する在来の研究の歴史と本研究との関係を述べた。まず空調設備分野に関しては、熱負荷計算法、システムシミュレーション法、蓄熱槽、電算機制御等についてとりあげた。照明設備分野については、昼光利用と照明方式について述べた。その他の設備分野では、給排水衛生設備と電力設備について述べ、さらに建物デザイン分野についても概説した。

そして最後に、省エネルギーに関する各分野の総合的な研究の歴史について述べ、この領域の研究が本論文の中核をなすものであり、在来の研究から一歩進んだものと位置付けている。

第2章では、省エネルギー建築の計画法に関する研究について述べた。

省エネルギー建築を計画するにあたっては、各種建築デザインや設備システムに対して、

エネルギー消費量や光熱費を予測するとともに、建設費の増減を同時に予測しないと、実用的な計画法とはならない。

第1節では、全体的な省エネルギー要素手法の経済性評価法を扱っている。具体的には、各種省エネルギー要素手法の効果を、イニシャルコストとランニングコストの変化を直交二軸とする平面に、ベクトルで表現する手法を開発した。さらに、イニシャルコストとランニングコストを、電算機を用いて短時間に求める方法も同時に開発した。そしてこの手法を用いて、いくつかの建物の省エネルギー化に関する例題を試算し、適切かつ迅速に、経済性に立脚した採用すべき省エネルギー要素手法の選択ができることを示した。そして本計画法が、バランスのとれた省エネルギー建物を計画するのに有効であることを示した。

第2節では、第1節の計算に必要な空調システムが消費するエネルギー量を、詳細に、あるいは手計算で近似的に求める手法について述べた。詳細計算法は、年間を通じて1時間刻みで空調システムの状態を求めるもので、実用上許容可能な範囲まで精度を落として、計算時間の短縮を図るため種々な工夫を加えたものを開発した。手計算法では、空調機負荷までを、図表を用いて求める手順を考え、外気取入れ方法にまつわるいくつかの省エネルギー要素手法の効果を、簡単に定量化することを可能とする方法を開発した。

第3節では、しばしば採用される省エネルギー要素手法である、ソーラーシステムの性能と経済性を、計画初期段階でかなり高精度で予測する方法を開発し、これについて述べている。そしてこの手法では、気象データがあまり入手できない地域にも適用できるように、統計的手法によって入力値以上のより詳細な気象条件も自動作成可能とした。

第3章では、省エネルギー建築の要素手法の開発と適用に関する研究について述べた。そして具体的には、建築デザインと空調設備、あるいは照明設備との境界・複合領域について、3つの新しい省エネルギー要素技術を開発し、その効果について解析した。

第1節では昼光利用と窓面積と空調負荷の関係を解析し、最適窓面積率があるのかどうか、前章で述べた熱経済性ベクトル図を用いて検討した。解析に当たっては、昼光利用による窓際消燈法として点滅と段調光を考えた。また室内に入射する昼光量を求めるに当たって、ブラインドやひさしの効果が適正に評価されるよう配慮した。この結果、昼光利用を考えても窓面積は小さい方が良く、かつひさしも有った方が良いとなった。さらにブラインドの操作は、全自動式では省エネルギー効果が大きいが経済性がやや劣るのに対し、一日一回程度の手動操作でもかなりの省エネルギーにつながる事が判明した。

第2節では、ダブルスキンの熱特性を解析した。この解析を行うために、在来の熱負荷計算プログラムの機能を拡大し、複数の室の温度が任意の値を取りうる、多数室モデル熱負荷計算法を開発した。そしてさらに、日射が外気に直接接触しない室にまで侵入する場合も計算可能とした。そしてこの新しい計算法で、モデル建物について、ピーク時ならびに年間の熱負荷を求めた。この結果から、南面のダブルスキンでは、外側を反射ガラスとし、さらにオーバーハングして取り付けると省エネルギー効果が大きいことがわかった。

第3節では、反射装置を持つ太陽エネルギー利用システムについて解析した。すなわち、比較的安価な反射装置を用い、見掛けの入射日射量を増加させることによって、システム全体の経済性が向上しないか検討した。このため、まず種々の反射材の反射率が長期的にどう変化するか実測した。そして次に、集熱装置に入射する直達ならびに拡散日射量が、反射装置によってどれだけ増加するか理論的に解析し、実験によって理論式を検証した。そしてこの理論式を用いて、冷暖房給湯用の平板集熱器に反射装置を付加した場合、反射装置のコストがどの程度であれば経済的に成立するのか求めた。また同様な試算を、太陽電池の場合についても行った。

第4章では、実際に使用中の建物が、どの程度エネルギーを消費しているのか分析するとともに、エネルギー源の単価の変動について調査し、分析を行った。

第1節では、事務所建物の消費エネルギー量について調査・分析した。事務所建物については、多数のデータが得られたので、多変量解析を行って、どのような要因がエネルギー消費量に大きく影響を与えるのか分析した。この結果、店舗率や営業時間の寄与率が大きく、熱源方式や照明用電力の寄与率が小さいことが判明した。さらに種々な文献の解析結果を整理し、一般事務所建物では $400\sim 500 \text{ Mcal}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ 程度エネルギーを使っていることが判明した。

次に最近竣工した、日本とアメリカにおける代表的省エネルギー建物について文献調査を行った。この結果、エネルギー消費量が $200\sim 250 \text{ Mcal}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ 程度の建物はいくつかあり、最も小さいものがカリフォルニア州庁舎で、 $121 \text{ Mcal}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ を予想値としてあげていることを示した。

第2節では、店舗、病院、ホテル、学校等施設について分析した。この種の建物については調査例が少なく、詳細な解析はほとんどなされていない。ただ平均値から見れば、病院やホテルは事務所の約2倍、店舗では約1.8倍程度エネルギーを消費していることがわか

った。

第3節では、エネルギー源の単価上昇について調査・分析した。東京、大阪、名古屋の3都市について、業務用電力、都市ガス、燃料油、上下水道の各項目の価格を、過去15年間にわたって調査した。そして年平均上昇率を求め、いずれも消費者物価指数を上回る値となった。特に燃料油と下水道料金は消費者物価の2倍以上の率で上昇してきていたことがわかった。

第5章では、第2章にて述べた省エネルギー計画手法、ならびに第3章にて述べた、この手法を用いて開発・評価した省エネルギー要素手法等を採用して、徹底して省エネルギー化を図った建物を計画した実例をあげた。そして竣工後の運転実績を分析することによって、本研究の妥当性を検証するとともに、有効性を評価した。

第1節では、省エネルギー計画の実施例を示した。まず建物の計画を進めて行く上で、熱経済性ベクトル図を用いた計画手法は、境界・複合技術分野で、関係する技術者間の省エネルギー意識の統一を図る上で、極めて有効に働いた。また省エネルギー要素手法の評価が、経済性の立場から統一的になされるために、実施計画時に予算超過から基本計画までやり直すといった、むだな作業をほとんど避けることができた。そしてまた、完成した建物はデザイン的にも優れたものと評価されており、この計画手法が、デザインを著しく拘束するようなものではないことも立証された。

以上のような結果から、本計画手法は、省エネルギー建築を計画するにあたって、極めて有効性が高いと考えられる。

第2節では、実施建物の利用実績を分析した。すなわち、竣工後2年間の運転実績を分析することによって、計画段階で本計画手法を用いて予測した、各種省エネルギー効果や、建物の経済性について妥当性を検証した。

まず建物全体のエネルギー消費量は、計画値 $98\text{Mcal}/\text{m}^2\cdot\text{a}$ に対して、初年度 86.7 、二年度 $95.9\text{Mcal}/\text{m}^2\cdot\text{a}$ となった。実際の建物では、気象変動、人居者数、残業時間等を完全に予測し得ないので、計画値から多少異なる実績となるのはやむを得ず、この程度の差異であれば、十分実用に耐える予測法と言える。

次に、各々の省エネルギー要素手法の効果は、単独の効果だけを取り出して計測することが多くの場合困難であるので、それほど明確に予測と実測の対比は行われていない。しかし、いくつかの実測、解析結果より、その効果が実証できたものもあるし、予測法を部分

的に修正して良い結果が得られたものもあった。

さらに経済性については、正確な評価を行うには長時間経過後でない困難であるが、2年間の運転実績から、今後原油価格の暴落でも無い限り、計画段階で予測したよりも多少有利な状況で推移している事が判明した。

以上に述べた各章の研究成果を総括すると、事務所等業務用建物の省エネルギーを計画するにあたって、今まで欠けていた下記の2点が、本研究によって明らかにされたと考える。

- (1) 省エネルギーについて、広い分野にわたる関連技術者に共通認識を与え、かつ共通して使える実用的計画法を開発した。
- (2) 建築関連技術者間の、技術の境界ならびに複合領域について、今まで使用されていなかった省エネルギー建築のための新しい要素手法をいくつか開発し、その効果を予測した。

つぎに、上に示した2点の研究成果を実際の建物に適用し、徹底した省エネルギー建物を計画・設計・建設した。そして竣工後2年間にわたって、この建物の利用実績を詳細に分析した。この結果、ここで示された計画手法ならびに要素手法は、事務所等建築の省エネルギーにとって極めて有効であり、経済的に成立する範囲内で省エネルギーを計画したにもかかわらず、在来建物の1/4しかエネルギーを消費しないですむことが立証できた。

以上のような結果から、本研究の成果は、事務所等の省エネルギー建築を計画するにあたって、実用上非常に有効なものであり、本研究の目的は十分達成できたと考える。

第1章

- (1) 資源エネルギー庁：総合エネルギー統計 昭和53年度版
- (2) Mitalas, Stephenson : Room Thermal Response Factors, ASHRAE Trans., Vol.73, (1970), p. III.2.1
- (3) ASHRAE Task Group on Energy Requirements for Heating and Cooling :
Procedures for Determining Heating and Cooling Loads for Computerized
Energy Calculations, (1971)
- (4) 空調設備基準委員会第二小委員会負荷算法分科会：電算機による動的空調負荷計算
法, 空気調和・衛生工学, Vol.46, No.3, (1972), p.215
- (5) 空調設備基準委員会第二小委員会標準気象データ分科会：標準気象データに関する
研究, 空気調和・衛生工学, Vol.48, No.7, (1974), p.603
- (6) 福島正之, 岩崎博志, 中原信生：非空調時における室温変動の予測と実測, 日本建
築学会大会学術講演梗概集, (昭53-9), 計画系 p.355
- (7) 岩崎博志, 福島正之, 中原信生：標準偏差を用いた期間冷暖房負荷算法, 日本建
築学会大会学術講演梗概集, (昭53-9), 計画系 p.487
- (8) 酒井寛二：取入外気量と熱負荷, 日本建築学会環境工学委員会熱分科会第11回熱シ
ンポジウム, (1981-8), p.37
- (9) 遠藤清尊：逐次積分法を用いた地中建物熱負荷解析プログラム, 日本建築学会第6
回電子計算機利用シンポジウム, (1984), p.217
- (10) 矢作和久, 吉井功：搬送系の省エネルギー, 空気調和・衛生工学論文集, No.5,
(1977), p.43
- (11) Nakahara, Fukushima: Evaluation of Heat Source System and Energy Analysis
for Effective Use of Energy and Energy Conservation in Air-Conditioning
by System Simulation, Third International Symposium on the Use of Computer
for Environmental Engineering Related to Buildings, (1978-5), p.529
- (12) Lokmanhekim, et al: DOE-1 a New State-of-the-Art Computer Program for the
Energy Utilization Analysis of Buildings, same as (10), p.401

- (13) 空調設備基準委員会省エネルギー小委員会機器特性WG：冷温熱源機器の各種特性値の調査結果，空気調和・衛生工学，Vol.53, No.6, (昭54), p.509
- (14) 酒井寛二，岩崎博志他：空調システムシミュレーションプログラム，日本建築学会第2回電子計算機利用シンポジウム，(1980), p.361
- (15) 中島康孝：冷水槽（蓄熱槽）の実験的研究（その1），空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，（昭43-10）
- (16) 松平秀雄，阪倉康男：蓄熱水槽の蓄熱量の解析（1），空気調和・衛生工学，Vol.46, No.4, (昭47), p.335
- (17) 酒井寛二，佐藤洋，船岡昭郎，藤井弘：既存建物改造による電力ピークシフト用蓄熱システム（その1），空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，（昭53-10） p.45
- (18) 酒井寛二，小林満，中島裕介：温度成層型蓄熱槽の実験的研究，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，（昭50-10），p.21
- (19) 酒井寛二，中島裕介，伊勢博：温度成層型蓄熱槽の実施例について（シーモールしものせきの場合），空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，（1978-3），p.13
- (20) Hachisuka, Nakahara: Air Conditioning Facilities of Osaka Ohbayashi Gumi and Its On-line Computer Control Operating Systems of Optimization and Prediction Features, Second Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings, (1974), p.J2E
- (21) Takeda: Computer Controls of Air-Conditioning System for Data Communication Building, same as (19), p.J6E
- (22) 中原信生：空調設備の最適化制御に関する実践的研究・第一報，空気調和・衛生工学会論文集，No.17, (1981), p.63
- (23) 酒井寛二，渥美勝利：マイクロコンピュータ利用の実施例・個別制御，空気調和・衛生工学，Vol.54, No.2, (昭55), p.143
- (24) 松本敏男，井上宇市：VAV方式の熱効率・混合損失・省エネルギー指数，空気調和・衛生工学会論文集，No.9, (1979), p.83
- (25) 稲沼実，小原俊平他：サンシャイン計画・大分大学研究棟の太陽冷暖房（第1報）空気調和・衛生工学会学術講演会論文集，（昭54-10），p.17

- (26) 酒井寛二, 安江進他: 某保育園ソーラーセントラル給湯システムの運転実績, 同上
(昭55-10), p.105
- (27) 牧英二, 猪岡達夫: 実験計画法を用いた太陽熱冷暖房・給湯システムの因子分析による省エネルギー効果と経済性に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, No.10,
(1979), p.71
- (28) 小木曾定彰: 建築学大系第8巻, 彰国社, (昭30), p.165
- (29) 伊藤克三: 昼光照明設計に関する研究目標について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭53-9), 計画系 p.61
- (30) 松浦邦男, 田中久富: 省エネルギーのための窓際最適消灯範囲, 同上, (昭54-9),
計画系 p.29
- (31) 伊藤克三, 佐藤隆二: 直射日光を受けるベネチアンブラインド窓面の透過指向特性に関する研究, 同上, (昭54-9), 計画系 p.39
- (32) 中原信生, 斎藤満: タスクライティング及び窓面積の照明効果に及ぼす影響について, 同上, (昭52-9), 計画系 p.173
- (33) 伊藤克三, 佐藤隆二, 大野治代: 視作業性から見た局部照明の検討, 同上, (昭54-9), 計画系 p.25
- (34) 斎藤満: タスク/アンビエント照明方式の省エネルギー効果分析, 同上, (昭56-9),
計画系 p.209
- (35) 酒井寛二, 小川幸正, 岩波洋: 雨水利用における初期雨水水質と処理性能の検討,
空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, (1980-10), p.401
- (36) 安倍隆, 斎藤満, 野田久生: 省エネルギー化を計った設備システムに関する研究 その7, 同上, (1983-10), p.513
- (37) 横山浩一, 牧英二, 石野久弥: 建築における省エネルギー手法の効果分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭51-10), 計画系 p.359
- (38) 松尾陽: 期間熱負荷予測のためのデグリーデー法の拡張について, 同上, (昭54-9),
計画系 p.505
- (39) R.M.Lebens: Passive Solar Heating Design, Applied Science Publishers,
(1980)
- (40) T.L.Holthusen: The Potential of Earth-Sheltered and Underground Space,
Pergamon Press, (1981)

- (41) 酒井寛二, 岩崎博志:ダブルスキンの熱特性に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭56-9), 計画系 p.555
- (42) 酒井寛二, 福島正之:建築・設備の一体化設計における省エネルギー・省コストの簡易評価手法, 日本建築学会第1回電子計算機利用シンポジウム, (1979-3),p.313
- (43) 酒井寛二, 福島正之, 遠藤清尊:省エネルギー建築の計画手法に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, Vol.11, (1979-10),p.107
- (44) 酒井寛二, 遠藤清尊:改修を伴う既設建物省エネルギー化手法の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭55-9), 計画系 p.139
- (45) 酒井寛二:省エネルギー建築の計画手法, 空気調和・衛生工学, Vol.56,No.9,(1982) p.801
- (46) 松尾陽:建築における窓面積とエネルギー消費量に関する考察, 日本建築学会環境工学論文集, No.1, (昭54-5),p.25
- (47) 酒井寛二, 斉藤満, 遠藤清尊:窓面積が建築コスト、消費エネルギー量に及ぼす影響について, 同上, No.2, (昭55-5),p.43

第2章

- (1) 酒井寛二, 福島正之, 遠藤清尊:建築・設備一体化設計における省エネルギー・省コストの簡易評価手法, 日本建築学会第1回電子計算機利用シンポジウム, (1979-3),p.313
- (2) 酒井寛二, 福島正之, 遠藤清尊:省エネルギー建築の計画手法に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, No.11,(1979-10),p.107
- (3) 酒井寛二, 遠藤清尊:改修を伴う既設建物省エネルギー化手法の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭55-9),計画系 p.139
- (4) 酒井寛二:省エネルギー建築の計画手法, 空気調和・衛生工学, Vol.56,No.9, (昭57),p.801
- (5) 松尾陽, 赤坂裕, 射場本忠彦:事務所建物におけるエネルギー消費の実態とその分析, 空気調和・衛生工学, Vol.49,No.11,(昭50),p.1143
- (6) 東京電力営業部地域開発課:ビルにおけるエネルギー使用の実態調査報告書, (昭

- (7) 塚越東男, 中原信生: 建物と熱源システムの特性を考慮した事務所ビルの省エネルギー効果分析, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, (昭53-10), p.25
- (8) 福島正之, 中原信生: 熱源の最適設計のためのエネルギーアナリシス(その4), 同上, (昭53-10), p.1
- (9) 福島正之, 岩崎博志, 中原信生: 非空調時における室温変動の予測と実測, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭53-9), 計画系 p.355
- (10) 酒井寛二, 岩崎博志他: 空調システムシミュレーションプログラム, 日本建築学会第2回電子計算機利用シンポジウム, (1980-3), p.361
- (11) 岩崎博志, 福島正之, 中原信生: 標準偏差を用いた期間冷暖房負荷計算法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭53-9), 計画系 p.487
- (12) 酒井寛二, 中原信生, 矢作和久他: 負荷パターン法による空調エネルギー消費係数の略算法に関する研究 その1, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, (昭55-10), p.329
- (13) 松尾陽: 期間熱負荷予測のためのデグリーデー法の拡張について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭54-9), 計画系 p.505
- (14) 酒井寛二, 遠藤清尊他: 負荷パターン法による空調エネルギー消費係数の略算法に関する研究 その2, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, (昭55-10), p.333
- (15) 酒井寛二, 遠藤清尊他: 同上 その3, 同上, p.337
- (16) 酒井寛二, 宮崎友昭, 湯浅潤吾: ソーラーシステム概算評価プログラム, 日本建築学会第4回電子計算機利用シンポジウム, (1982-3), p.235
- (17) 気象庁: 日本気候表(その2) 地点別月別平年値, (昭47-3)
- (18) 宇田川光弘, 木村建一: 水平面全天日射量観測値より傾斜面全天日射量への統計的変換, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭50-10), 計画系 p.377
- (19) 木村建一, 宇田川光弘, 吉村正孝: 日積算全天日射量から毎時直達、拡散日射量への統計的変換, 同上, (昭51-10), 計画系 p.397
- (20) L.D.Degelman, D.R.Witt: Dept. of Architectural Engineering Report, Pennsylvania Univ., 1969
- (21) 木村建一: 建築設備基礎理論演習, 学献社, (昭45), p.154, p.284
- (22) 酒井寛二, 宮原英男, 宮崎友昭: 反射装置を持つ太陽エネルギー利用システムに関する

第3章

- (1) 酒井寛二, 斉藤満, 遠藤清尊: 窓面積が建築コスト、消費エネルギー量に及ぼす影響について, 日本建築学会建築環境工学論文集, Vol.2, (昭55-5), p.43
- (2) 酒井寛二, 斉藤満, 遠藤清尊: 熱経済性ベクトルを使った昼光利用による窓際消灯効果の解析, 照明学会誌, Vol.65, No.4, (昭56), p.58
- (3) T.Kusuda, J.W.Bean: Comparison Between a Simplified Daylighting Calculation Procedure and Comprehensive Interreflection Model Calculation Procedures, 3rd. International symposium on the use of computers for environmental engineering related to buildings, (1978), p.569
- (4) 松尾陽: 建築における窓面積とエネルギー消費量に関する考察, 日本建築学会建築環境工学論文集, Vol.1, (昭54-5), p.25
- (5) 照明学会: 照明率計算方法基準作成委員会報告書, 照明学会, (昭59)
- (6) CIE T.C.-4.2: Vocabulary, Sunshine Duration, 1979
- (7) 日本建築学会: 採光設計, (昭45), 彰国社
- (8) 松浦邦男: 二次元ルーバの輝度と透過率, 照明学会全国大会論文集, (昭46), p.47
- (9) 松浦邦男: 直射日光をうけるベネチアンブラインドの輝度測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭52-10), 計画系 p.163
- (10) 伊藤克三, 大野治代, 佐藤隆二: ベネチアンブラインドによる直射光遮蔽時の室内照度分布に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭53-9), 計画系 p.71
- (11) 宇田川光弘, 木村建一: 水平面全天日射量観測値より傾斜面全天日射量への統計的変換, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭50-10), 計画系 p.377
- (12) 酒井寛二, 岩崎博志: ダブルスキンの熱特性に関する研究(第1報), 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭56-9), 計画系 p.555
- (13) 酒井寛二, 清水満, 斉藤友哲: 同上(第2報), (昭56-9), p.557
- (14) 酒井寛二, 清水満, 斉藤友哲: ダブルスキンの熱特性に関する研究(第1報), 空

気調和・衛生工学会学術論文集, (1981-10), p.113

- (15) 酒井寛二, 岩崎博志他: 空調システムシミュレーションプログラム, 日本建築学会第2回電子計算機利用シンポジウム, (1980-3), p.361
- (16) 岩崎博志, 福島正之, 中原信生: 標準偏差を用いた期間冷暖房負荷計算法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭53-9), 計画系 p.487
- (17) 酒井寛二, 宮崎友昭, 宮原英男: 反射装置を持つ太陽エネルギー利用システムに関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, No.20, (1982-10), p.73
- (18) 稲垣清和, 隅田勲他: 平面線集光型太陽熱コレクタの特性, 日本太陽エネルギー学会第2回研究発表会講演論文集, (昭51), p.37
- (19) D.P.Grimmer: Augmented Solar Energy Collection Using Different Types of Planer Reflective Surfaces; Theoretical Calculation and Experimental Results, Solar Energy, Vol.21, (1978), p.497
- (20) 吉村正孝, 木村建一, 宇田川光弘: 集合住宅の屋上太陽熱集熱器の配置に関する基礎研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭50-10), 計画系 p.389
- (21) Appelbaum J. et al: Shadow Effect of Adjacent Solar Collectors in Large Scale Systems, Solar Energy, vol.22, (1979), p.497
- (22) D.K.McDaniels et al: Enhanced Solar Energy Collection Using Reflector-Solar Thermal Collector Combinations, Solar Energy, Vol.17, (1975), p.277
- (23) S.L.Grassie et al: The Use of Planar Reflectors for Increasing the Energy Yield of Flat-Plate Collectors, Solar Energy, Vol.19, (1977), p.663
- (24) IES: Proposed American National Standard Nomenclature and Definitions for Illuminating Engineering (Proposed Revision of Z7.1-R 1973), Journal of IES, October, (1979), p.2
- (25) 奥山博康, 木村建一: 集光型太陽熱集熱器の計算に有効な反射マトリックスの誘導, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭50-10), 計画系 p.391
- (26) 酒井寛二, 宮崎友昭, 湯浅潤吾: ソーラーシステム概算評価プログラム, 日本建築学会第4回電子計算機利用シンポジウム, (1982-3), p.235

第4章

- (1) 空調設備基準委員会省エネルギー小委員会：事務所建物におけるエネルギー消費量の実態，空気調和・衛生工学，Vol.53, No.6, (1979), p.206
- (2) 成田勝彦：省エネルギー事務所建物の運転実績 東京電力大塚支社，空気調和・衛生工学，Vol.55, No.2, (1981), p.115
- (3) 桜井昌和：同上 中部電力岡崎ビル，同上，Vol.55, No.2, (1981), p.103
- (4) 稲沼実，小原俊平：中国電力鶴可部営業所・ソーラーシステムを適用した省エネルギービルの運転実績（その2），冷凍，Vol.58, No.668, (1983), p.584
- (5) NBS：Thermal Performance of Norris Cotton Federal Office Building in Manchester
- (6) GSA：An Instructional Case Study Based on the Topeka Federal Building
- (7) B.S.V.Settey：The Nation's Most Energy-Efficient Office Building, ASHRAE, Vol.21, No.11, (1979), p.31
- (8) SD編集部：TVA Chattanooga Office Complex, SD, 8302, (1983-2), p.24
- (9) 東京電力：ビルにおけるエネルギー使用の実態調査報告，（昭50-6）
- (10) 中島康孝，大橋一正：省エネルギーに関する実態調査報告（その2），空気調和・衛生工学会学術講演会論文集，（1979-10），p.117
- (11) 橋口敬，安斎明良：各種建物の建築設備の省エネルギー計画に関する研究（その4），同上，（1980-10），p.225
- (12) 中原信生，相良和伸：建物のエネルギー消費量等調査（その2），同上，（1982-10），p.553
- (13) 酒井寛二，湯浅潤吾：各種エネルギー源価格等上昇率に関する調査，日本建築学会大会学術講演梗概集，（昭57-10），計画系 p.447
- (14) 東京電力，関西電力，中部電力：電力供給規定
- (15) 建設物価調査会：建設物価

第5章

- (1) 酒井寛二、清水 満、斎藤 満、志村昌巳、伊藤信三：省エネルギー化を計った設備システムに関する研究 その1 設備概要と消費エネルギー量予測、空気調和・衛生工学会学術論文集、(1982-10)、p.385
- (2) 酒井寛二、志村昌巳、伊藤信三、斎藤友哲：省エネルギー化を計った建物に関する研究その1 -建物概要と熱負荷低減策、日本建築学会大会学術講演梗概集、(昭57-10)、p.803
- (3) Kanji Sakai : Super Energy Conservation Building Ohbayashi-Gumi Technical Research Institute, Energy Developments in Japan, Vol.7,(1984-10),p.181
- (4) 酒井寛二、岩崎博志：ダブルスキンの熱特性に関する研究 (第1報) 熱負荷計算手法、日本建築学会大会学術講演梗概集、(昭56-9)、p.555
- (5) 酒井寛二、清水 満、斎藤友哲：ダブルスキンの熱特性に関する研究 (第2報) 種々の要因の及ぼす影響、同上、(昭56-9)、p.557
- (6) 酒井寛二、清水 満、斎藤友哲：ダブルスキンの熱特性に関する研究 (第1報) 空気調和・衛生工学会学術論文集、(1981-10)、p.113
- (7) K.Sakai, M.Shimizu, T.Saitoh : Super-Energy-Conserving Building Project and Thermal Load Characteristics of Double-Skin、ASHRAE Trans., Vol.1A 1983 , p.56
- (8) 酒井寛二、清水 満、斎藤 満：省エネルギー化を計った建物に関する研究 その2 -消費エネルギー量の予測、日本建築学会大会学術講演梗概集、(昭57-10)、p.805
- (9) 酒井寛二、中原信生、他5名：負荷パターン法による空調エネルギー消費係数の略算法に関する研究 その4 システム負荷とその略算法、空気調和・衛生工学会学術論文集、(1980-10)、p.341
- (10) 酒井寛二、岩崎博志、他2名：空調システムシュミレーションプログラム、日本建築学会第2回電子計算機利用シンポジウム、(1980-3)、p.361
- (11) 酒井寛二、宮崎友昭、湯浅潤吾：ソーラーシステム概算評価プログラム、日本建築学会第4回電子計算機利用シンポジウム、(1982-3)、p.235
- (12) 小川幸正、平松功、岩波洋：省エネルギー化を計った設備システムに関する研究

- その8 消費水量の実績、空気調和・衛生工学会学術論文集、(1983-10)、p.517
- (13) 酒井寛二、清水 満、斎藤 満：省エネルギー化を計った建物に関する研究 その4-消費エネルギー量の実績、日本建築学会大会学術講演梗概集、(昭58-9)、p.895
- (14) 酒井寛二、清水 満：省エネルギー化を計った建物に関する研究 その5-用途別消費エネルギー量の実績と分析、同上、(昭58-9)、p.897
- (15) 酒井寛二、清水満：同上 その10 二年目の運転実績と改良点、同上、(昭59-9)、p.449
- (16) 酒井寛二、清水 満：省エネルギー化を計った設備システムに関する研究 その2 消費エネルギー量の実績、空気調和・衛生工学会学術論文集、(1983-10)、p.497
- (17) 酒井寛二、清水満：同上 その10 2年目の運転実績と総括、同上、(1984-10)、p.269
- (18) 渡辺真知子、田中辰明、岡建雄：同上 その3 室内環境の実態、同上、(1983-10)、p.501
- (19) 岡建雄：同上 その5 ダブルスキンの性能評価、同上、同上、p.509
- (20) 安江進：同上 その6 土中蓄熱システムの性能評価、同上、同上、p.277
- (21) 酒井寛二、前田茂哉、清水 満、斎藤隆雄：同上 その4 温度成層式縦型蓄熱槽の性能評価、同上、同上、p.505
- (22) 安部隆、斎藤満、野田久生：同上 その7 太陽電池駆動太陽集熱ポンプ系の性能評価、同上、同上、p.513

謝 辞

本論文の内容となった研究のほとんどは、著者が㈱大林組 東京本社 設備部 計画第二課に在籍中の約7年間に行われたものです。この部署は、実務処理と研究との中間領域を埋めるために設けられたものです。よって、本研究の遂行に当たっては、基礎的研究部分では、やや突っ込みが不足した点を感じています。しかしその逆に、研究成果が実際の建物に全面的に適用され、その成果を検証できるという、またとない機会を持つ事ができました。

上記職場に在籍中に、事務所等建築の省エネルギーに関して、色々な角度から技術開発を進める一方、その成果がまとまったものをいくつか、研究成果として発表してきました。そして、この積み重なった研究成果が、一応一貫した研究体系になったと考え、学位論文としてまとめることにした次第です。

これらの断片的研究を、一つの論文としてまとめるにあたり、大阪大学教授 内藤和夫博士に多大の御指導をいただき、ここに厚く感謝の意を表します。また、大阪大学教授 橋本 奨博士、同 吉川 暁博士、同 檜崎正也博士には、論文の懇切な査読をいただき、多くの御指摘を頂きましたことを、深く感謝致します。

このように長年にわたり、省エネルギー建築に係わる技術開発の場を与えていただき、またその成果を、折りにふれ学会等に発表することが出来たのは、ひとえに㈱大林組の役員ならびに上司の御理解によるものです。なかでも、直属の上司であった元設備部長 西山程一氏、現在の設備部長 宮脇 毅氏、ならびに省エネルギー建築の実施例をとりまとめていただいた、元設備設計部長 伊丹 孝氏の御理解に深く感謝の意を表します。

また本研究を遂行するにあたっては、多くの方々に御協力賜りました。なかでも、㈱大林組 東京本社 設備部 計画第二課に在籍中の、あるいは在籍されていた

清水 満君、斎藤隆雄君、斉藤 満君、福島正之君、斉藤友哲君、岩崎博志君、
宮崎友昭君、遠藤清尊君、宮原英男君、湯浅潤吾君、前田茂哉君、他多勢の方々
には、実験や実測、解析にあたり、種々の作業を手伝っていただき、深く感謝の意を表します。さらに、ここに記載出来なかった関連部門の多数の方々のご協力にも、合わせて厚く感謝致します。

