

環境負荷軽減の建築

Environmentally Sustainable Architecture

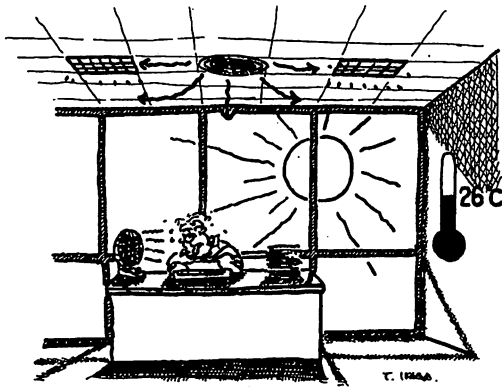
伊香賀 俊 治*

Toshiharu Ikaga

1. はじめに

業務用建築はもとより、住宅にも冷房が装備され、もはや冷房のない生活は考えられない時代となった。

住宅では、夏、人目を気にせず下着1枚で多少暑くても冷房なしで過したり、昼間、多少暗くても照明を点灯しないなど、住む人のライフスタイル次第でエネルギー消費の節約も可能である。ところが、オフィスビルでは、下着1枚で許されるはずはなく、ネクタイを外すことすら難しい。さらに、狭いスペースに多くの人が働き、年々増えるOA機器が排熱をまき散らし、昼間から人工照明が全点灯している現在のオフィスにおいて、空調設備は、もはや快適性向上のための贅沢品ではなく、執務できる環境を整えるために必要不可欠な装備となった。



日射の差し込むオフィスでは、室温を26°Cに冷房しても快適ではない!!

建築計画の弱点を設備計画だけでカバーしようとすれば、大容量の設備が必要となるばかりでなく、多大なエネルギー消費と、それらに伴う多大な負荷を環境にかけることになる。

図-1 オフィスの快適性と省エネルギー

快適性向上の要求は、近年さらに高まっているが、それを単純にエネルギー消費の増大に結びつけないために、住宅以外の業務用建築の代表例としてオフィスビルを取り上げ、環境負荷削減対策を検討したので、その概要を報告する。

2. オフィスの快適性とエネルギー消費

2.1 評価方法

(1) 快適性の評価

室内環境の快適性は、熱・光・色・音・臭いなどに起因する生理的・心理的反応が複雑に係わって決まるが、それらを総合的に定量化できる便利な指標は、今のところない。オフィスビルの年間エネルギー消費量の約半分は空調需要であることから、本報では、空調需要に関連の深い熱的快適性を取り上げた。熱的快適性と環境側物理量を関係づける評価指標として、ISO（国際標準化機構）でも推奨基準値が示されているPMV（Predicted Mean Vote：予測平均申告）とPPD（Predicted Percentage of Dissatisfied：予測不満足者率）を採用した。PMVは、人体の熱平衡のずれと温熱感を関係づけたもので、PPDはある温熱環境に不満を感じる人の割合（%）である。これらを実験指標として室内の熱環境を年間にわたり1時間毎に解析した。

(2) エネルギー消費量の推定

年間エネルギー・シミュレーションにはHASP/ACSS 8502⁷⁾を使用した。なお、熱的快適性シミュレーションプログラム⁸⁾により夏季ピーク日の時刻別熱負荷および快適性の算定を行い、またHASP/ACSSにより年間の時刻別熱負荷およびシステムシミュレーションを行った。両者の熱負荷算定手法は異なっているが、得られた結果が概ね一致していることを確かめた。

* (株)日建設計 東京本社環境計画室設備設計主管
〒112 東京都文京区後楽 2-1-2

2.2 快適性がエネルギー消費に与える影響

表1及び図2~3に示すオフィスビル（延床面積約8000m²の単純形状ダブルコア）を検討対象とし、表2に示す条件で解析した結果を以下に示す。

(1) 快適性と夏季最大電力

検討モデル①~⑤の室内設定温度を変化した場合の快適性（快適感を持つ人の割合（100-PPD））と、省エネルギー性（最大電力と逆の軸とする）との関係をプロットしたものを図4に示す。ここでは冷房設定室温26℃の②平均モデルを原点として、このモデルよりも快適であるか、または省エネルギーであるかにより各モデルの長所・短所を検討した。

建築・設備的対策を施すと最大電力を大幅に削減できるが（最大10W/m²程度の削減）、反対に対策を施さないと電力需要が増えるばかりか快適性を大きく損なう。また設定室温を下げると（26→24℃）、電力需要は増えるが（約5W/m²）快適性は向上し（約15

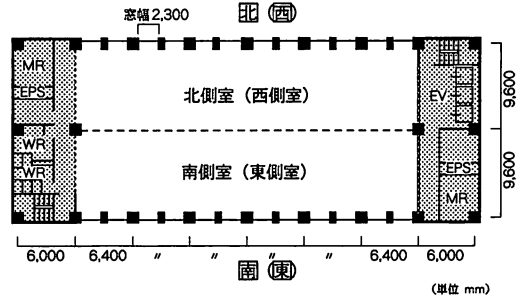


図-2 基準階平面図

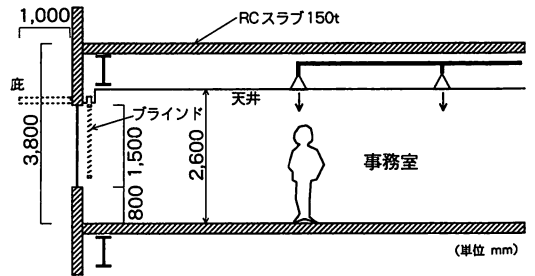


図-3 基準階断面詳細図

表1 検討対象モデル事務所ビルの概要

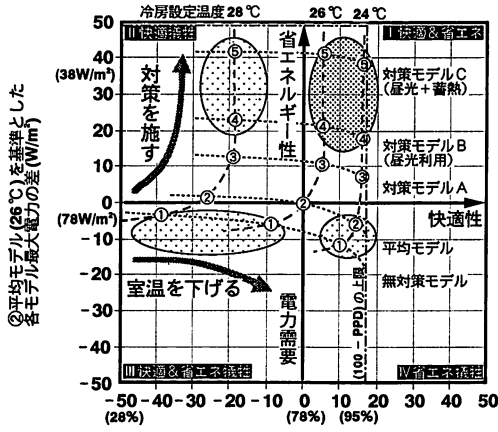
場所	東京（HASP平均年気象データ）
延床面積	7741m ²
基準階床面積	967.7m ² （内居室面積737.3m ² ）
高さ	階高3,800mm、天井高2,600mm（地上7階、地下1階）
駐車場	なし
熱源設備	空冷ヒートポンプチャラーによる冷温水供給屋上機械置場に設置。
空調設備	各階2台の空調機+単一ダクトCAV or VAV方式（還気ファンあり、再熱コイルなし）
換気設備	共用部便所・湯沸室・地下機械室・EV機械室
衛生設備	地下1階機械室に受水槽、屋上に高置水槽を設置
受変電設備	地下1階機械室に設置

％）、反対に上げると（26→28℃）快適性を大きく損なう結果となる（約25％）。省エネと快適性の観点からはグラフで第1象限に入っている設定室温24~26℃の対策を施したモデルが望ましい。対策を施したモデルでは「平均モデル」と同じ室温でも快適性がやや向上し（約5％）、室温を26℃よりやや高めに設定しても快適性を維持できる。対策を施さなければ、設定室温を上げると、省エネにつながらないばかりか快適性までも犠牲になる。

表2 主な検討条件

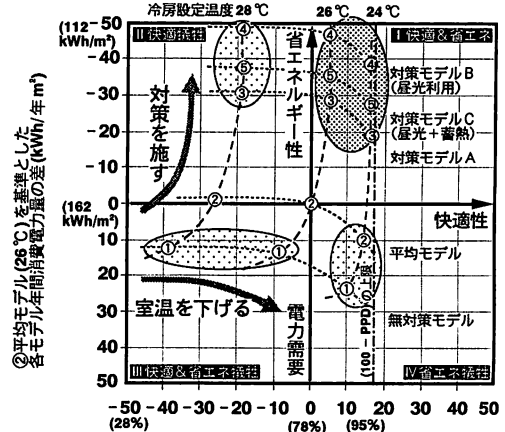
モデルケース名	建築仕様			設備仕様				主要空調設備容量					PAL (年間熱負荷係数) Mcal / m ² / 年	CEC / AC (空調エネルギー消費係数)		
	窓面方位	外壁断熱 (mm)	日射遮蔽	搬送機器	最小外気制御	外気冷房制御	昼光利用制御	蓄熱槽	熱源 冷房・暖房能力 Mcal/h	一次ポンプ 電動機出力 kW	二次ポンプ 電動機出力 kW	空調機 単位面積あたり給気量 m ³ /m ²			給気ファン電動機出力 kW	還気ファン電動機出力 kW
①無対策モデル	東西	0		定風量定流量制御	×	×					18.8	25	64.4	28.0	73	1.75
②平均モデル		25	×			×	×	750	11.1						50	1.33
③対策モデルA	南北	40	水平庇 (0m)	変風量変流量制御	在席率に応じて制御	○	○					20	51.8	21.0	45	0.92
④対策モデルB																
⑤対策モデルC																

注1：窓はいずれも透明一重ガラス+ブラインド。注2：内部発熱はCECの基準固定条件（照明25W/m²、コンセント20W/m²）
 注3：最小外気制御は設計人員密度0.2人/m²に対し在席率50％で計算。注4：昼光制御は机上750lx確保を条件とした。
 注5：蓄熱槽は完全夜間移行できる容量とした（500m³、20槽分割）。注6：エレベータ動力はCEC/EV、換気動力はCEC/Vの方法により、また衛生ポンプ動力、給湯動力は、1日給水・給湯加熱量に250日/年を乗じて求め、モデルに係らず一律に与えた（これらの省エネルギー効果は、本検討では算入せず）。注7：各モデル共に冷房設定温度24℃、26℃、28℃を計算した。
 注8：PMV、PPDの計算は、代謝量1.2met、着衣量0.5clo（夏）、0.8clo（春秋）、1.0clo（冬）を人体側条件とした。



②平均モデル(26℃)を基準とした各モデル(100 - PPD)の差

図-4 熱的快適性と最大電力の関係



②平均モデル(26℃)を基準とした各モデル(100 - PPD)の差

図-5 熱的快適性と年間消費電力量の関係

(2) 快適性と年間消費電力量

図-4と同じケースについて快適性と年間消費電力量との関係をプロットしたものを図-5に示す。④対策モデルB(昼光利用)と⑤対策モデルC(昼光+蓄熱)の関係が逆転した点を除けば、図-4と同傾向は一致し、建築・設備的に対策を施すと年間消費電力量が大幅に削減される(②平均モデルと比較して47kWh/m²の削減)。反対に対策を施さないと電力需要が増えるばかりか快適性が大きく損なわれる。

2.3 需要家にとっての省エネルギー対策の意義

省エネルギー対策の導入による最大電力と年間消費電力量の削減効果と快適性向上の様子を図-6に示す

(冷房設定温度26℃の場合の試算結果)。⑤対策モデルCは、①無対策モデルに比して、最大電力で47W/m²、年間消費電力量で50kWh/年m²の削減となっている。同時に、14%の快適性向上が達成できている。

需要家側が建築計画・設備計画において適切な対策を施せば、快適性の向上と電力需要(最大電力、年間消費電力量)の削減が両立し得ることを示している。

省エネルギー対策を導入するためには、余分な初期投資と初期CO₂排出が必要となる。これを運用にかかわる毎年コスト削減とCO₂排出量の削減によって、何年で回収できるかを図-6の右側に示す。また試算根拠の概要を表3に示す。CO₂回収年数は約1年であり、

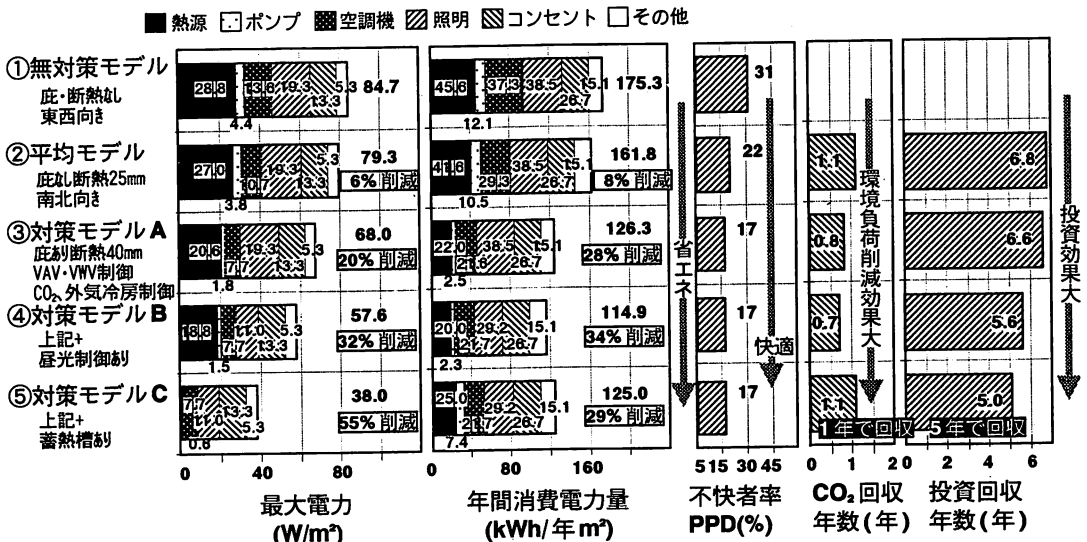


図-6 建築側の環境負荷削減対策の試算結果

表3 コスト回収年数, CO₂回収年数の試算条件

CO₂原単位は文献2, 5による。電力のCO₂原単位は0.13kg-C/kWh.

①無対策モデル→平均モデル: 断熱25mm増: 2.8千円/m²×0.88kg-C/千円, 受変電設備減(受変電設備原単位は120千円/kWとして算定, 以下同様): 0.6千円/m²×89kg-C/kW.

②平均モデル→対策モデルA: 断熱25mm増: 1.4千円/m²×0.88kg-C/千円, VAV・VWV増: 5.0千円/m²×0.52kg-C/千円, 受変電設備減: 1.4千円/m²×89kg-C/kW.

③対策モデルA→対策モデルB: 自動調光システム増: 1.0千円/m²×0.88kg-C/千円, 自動ブラインド増・受変電設備減を相殺した.

④対策モデルB→対策モデルC: 蓄熱槽防水断熱増: 1.9千円/m²×0.88kg-C/千円, 地下ピットは既にあるものとした。配管増・受変電設備減を相殺した.

表4 供給者にとっての省エネルギー対策の意義

電力消費の削減仮定	
延床面積当りの最大電力削減効果:	47W/m ²
延床面積当りの年間消費電力削減効果:	50kWh/年m ²
↓	
この削減効果が首都圏の2,000m ² 以上のオフィスビルで発揮されたとすれば究極的な対策効果は,	
最大電力削減量は………6,300万m ² ×47W/m ² ×10 ⁻³ ≒300万kW	
年間消費電力削減量は………6,300万m ² ×50kWh/年m ² ≒32億kWh/年	

ライフサイクルでの環境負荷削減から見ても意義が大きい。一方、投資回収年数は約5年であり、経済性から無理なく導入できる限界年数であり、なんらかの助成措置が求められるところである。

2.4 供給者にとっての省エネルギー対策の意義

首都圏の1990年度における民間オフィスビルの総延床面積は約1.23億m²であるが、その内2,000m²以上のオフィスビルが全体の51% (総延床面積63,000,000m²) を占める。これらの中規模以上のオフィスビルすべてに省エネルギー対策を導入したとすれば、表4に示す通り、究極的には、最大電力を300万kW減できることを意味する。この値は、大規模発電設備3基分に相当し、1990年度における東京電力の最大電力4,930万kWの6%にあたる。また、年間電力消費量では32億kWh/年となり、販売電力量2,199億kWhの約2%に相当する。電源立地がますます困難になる中で、需要家側での省エネルギー対策推進の意義は大きいと言えよう。

3. LCA的視点からの取り組みの重要性

3.1 日本のCO₂排出の1/3は建築関連⁵⁾

日本のCO₂排出量は全世界の約5%を占め、米国、旧ソ連、中国に次ぐ4番目のCO₂排出国である。また、国民1人あたりのCO₂は、先進諸国の中では少ない方であるものの、世界平均の2倍となっている。

一方、日本の全産業の1/3は、建築分野(建築新增改築+補修+運用(エネルギー消費分))と言われ⁵⁾、その内訳は、住宅及び業務用建築の冷暖房・給湯・照明などに伴うCO₂排出が60%である。このことから、従来から推進されてきた省エネルギー対策は、CO₂排出削減の観点からも重要であることが改めて認識される。残り40%が、建築資材の製造、建築に係る運輸を含む建物の新增改築と補修に係るCO₂排出であり、従来の省エネルギー対策に留まらずに、建設資材の製造に始まる建物の生涯を通しての総合的な環境負荷削減対策が必要なことを示唆している。

西暦2000年度に見込まれる日本のCO₂排出総量は1990年度レベルを約3%上回り、目標を達成できないとされている今、建築分野の果たすべき責任は重く、ISO14000s(環境マネジメント規格シリーズ)の整備を手を拱いて待つてはられない状況にある。

3.2 オフィスビルの環境負荷半減のシナリオ

前半で紹介した試算例では、年間消費電力量が34%削減に留まっていたが、もっと昼光利用に有利な建築形態としたり、春秋季の自然換気などの対策をさらに積み重ねることにより、50%削減も不可能ではない。そのような究極的な試算事例を図-7に示す。図-7は、ライフサイクルアセスメント(LCA)で扱われる環境負荷の中から地球温暖化の主原因とされるCO₂を取り出した、ライフサイクルCO₂の試算例である。上段

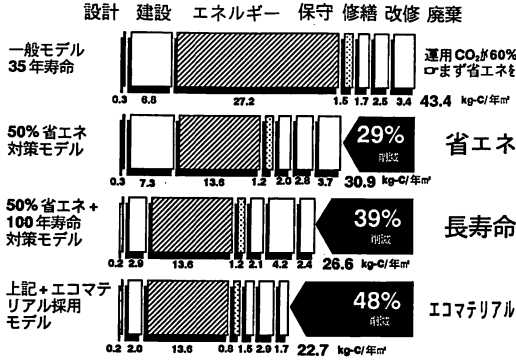


図-7 オフィスビルのライフサイクルCO₂半減のシナリオ

の図に示すように、オフィスビルでは、運用段階におけるCO₂（斜線部分）が60%を占めており、省エネルギー対策がまず大切であることを示唆している。しかしながら、50%省エネルギーという徹底的な対策を行っても、ライフサイクル全体では、まだ29%削減に留まっている。ライフサイクルCO₂を半減させるためには、さらに長寿命化対策、エコマテリアルの徹底採用が不可欠である。

3.3 環境負荷削減の推進策を探る

図-8は、上記の試算例をライフサイクルコストで評価したものである。ライフサイクルCO₂では、半減が達成できた対策も現状の価格体系の下では、15%削減に留まる結果となっている。特に、エコマテリアルの採用は、コスト面では割高である。

現在の価格体系は、環境対策費など将来の世代に対して大きなツケを回すものといえる。基本的に建築主にとっての経済性が判断基準である現状を考えると、コスト評価もCO₂評価並に対策メリットが大きくなるように、例えば、炭素税からの税収を対策導入の助成措置に回すなどのような誘導政策が必要ではないだろうか。

4. おわりに

住宅以外の業務用建築の代表例としてオフィスビルを取り上げ、新築やリニューアルの際に、建築側で適切な対策を施せば、快適性の向上と省エネルギー・環境負荷の削減の両立が可能であることを示した。今後さらに、建築のライフサイクルアセスメント手法の開

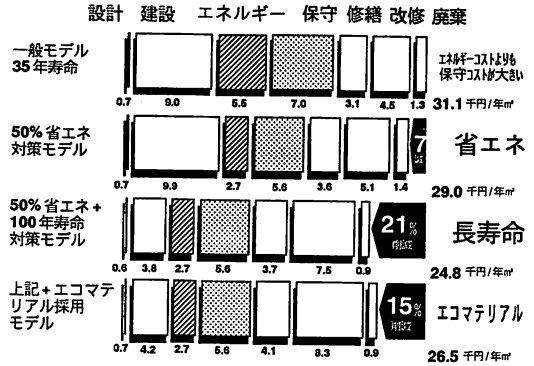


図-8 オフィスビルの環境負荷削減の推進策を探る

発とデータベースの構築を含めて、検討を進める予定である。

本報には、東京電力(株)より(株)日建設計への委託研究『快適性が電力需要に与える影響に関する研究（平成6～7年度）』の一部成果を引用している。研究遂行に当たり、貴重なご指導をいただいた関係各位に謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 伊香賀俊治：建築設備分野のライフサイクルCO₂による地球環境評価，日本学術会議第10回環境工学連合講演会講演論文集，p. 1～8，1995年1月
- 2) 伊香賀俊治，外岡 豊，石福 昭：建物のライフサイクルCO₂分析用CO₂原単位に関する研究 その1～2．産業連関分析による消費支出と資本形成成分CO₂原単位，日本建築学会大会学術講演梗概集，1995年8月
- 3) 伊香賀俊治；地球環境負荷軽減の建築，日本建築学会環境工学委員会第25回熱シンポジウムテキスト，p. 85～92，1995年9月
- 4) 石福 昭，伊香賀俊治；建築設備が地球環境にかかわる問題の枠組み，空気調和・衛生工学第70巻第2号，p. 3～11，1996年2月
- 5) 日本建築学会地球環境委員会ライフサイクルCO₂小委員会：ライフサイクルCO₂で建物を測る～建物の環境負荷評価の手引き～，日本建築学会，1996年2月
- 6) 近本智行，伊香賀俊治，柳原隆司，宮本博和；オフィスビルの電力需要と快適性の相関関係に関する試算，エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集，p. 7～12，1996年4月
- 7) 建築設備技術者協会：空調システム標準シミュレーションプログラムHASP/ACSS/8502版，1986年
- 8) 伊香賀俊治，松縄 堅：熱環境設計支援ツールの研究開発，日本建築学会大会学術講演梗概集，p. 937～938，1989年10月