

特集

環境共生建築と省エネルギー

# 業務用建築への環境共生手法の導入とその省エネルギー効果 — 建築の自然エネルギー利用 —

## Adaptations of the Green Building Technics for the Commercial Buildings — The Utilization of the Natural Energy Resources —

大 高 一 博\*

Kazuhiro Otaka

### 1. 環境共生建築と自然エネルギー利用

環境共生建築における「省エネルギー」の役割は大きい。例えば図1のオフィスビルのライフサイクルCO<sub>2</sub>を見ると、全体の半分を運用エネルギーが占めている。従ってここを減らすことが「環境負荷低減」に直接的な効果がある。

ところで、一般に建築の環境対策は図2の5つに代表されるが、このうち「省エネルギー」は、①負荷抑制、②自然エネルギー利用、③資源・エネルギー有効利用、の3つの項目で整理される。①の「負荷」とは、建物が不要なエネルギーを使う原因となる熱や光で、その抑制は断熱・気密・日照遮へいといった建築手法が中心である。一方、③は設備技術が中心で、1973年のオイルショック以後今日まで、日本の設備機器・シ

ステムは効率改善が進み、省エネメニューも豊富になった。そして②の「自然エネルギー利用」は、建築と設備の両方にまたがる手法である。建物にとって不要な負荷を遮断する一方、室内を快適にするために風や光

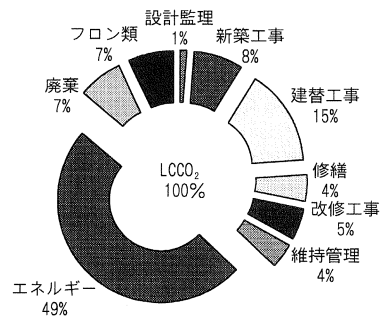


図1 一般的なオフィスビルのライフサイクルCO<sub>2</sub>構成<sup>1)</sup>

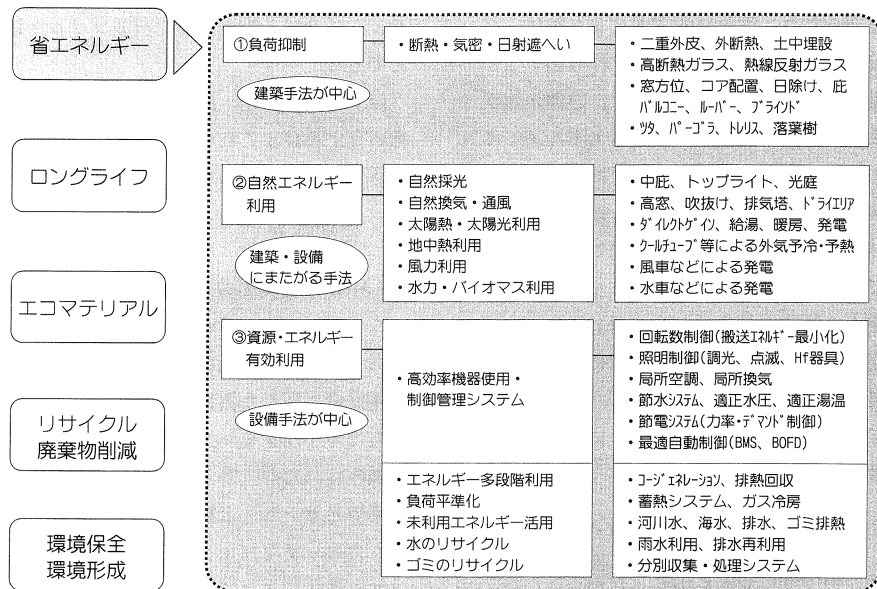


図2 建築の環境対策

\* (株)日建設計 大阪本社設備設計室長  
〒541-8528 大阪市中央区高麗橋4-6-2

などの自然エネルギーを適度に受け入れ、設備を止めたり調整したりして省エネを図る。こうした手法は決して新しい技術ではないが、近年、地球環境問題のクローズアップと共に再び見直されている。徹底して断熱・気密化した密閉空間を、効率の良い照明や空調システムで人工環境化する「カプセル技術」に、省エネの限界が見えたためかもしれない。

さて、今回のテーマ「環境共生建築」は、いろいろな環境負荷低減手法の中でも、とりわけ「建築」と、これを取り巻く、緑・風・光・雨・土などの「自然」とを、近づける手法に力点が置かれている。多少「環境＝自然」というイメージの先行もありそうだが、これを省エネルギーに当てはめると、「自然との接点を増やして省エネルギーを図る」という視点の強調と考えられる。そこで本稿では、環境共生手法のうち特に「自然エネルギー利用」について、業務用建築へ適用する場合の課題とその実践例を紹介する。

## 2. 業務用建築の自然エネルギー利用

オフィスをはじめ、劇場、ホテル、商業施設、病院、研究所などのいわゆる「業務用建築」は、一般に室内環境を思い通りにコントロールできることが「必要な機能」といわれる建物である。住宅のように「がまん」とか「ライフスタイル」といった発想が表立っては通用しない。業務効率を上げ、サービスの質を高め、あるいは生命を守ったり、実験を成功させるために、必要な室内環境を「自由」に「思い通り」作り出すことが、建築・設備双方に求められる。また、業務用建築は、経済活動に伴う投資であるから、省エネルギーの初期投資は、何年かのうちにエネルギーコストなどの削減で償却することが望まれる。こうした建物に、変化に富む自然エネルギーや、自然環境の効果を適用するのは決して容易でない。

一方、最近よく話題になる「グリーンビル」は、こうした業務用建築でありながら、積極的に自然エネルギー利用を行うことを特徴とする建物で、必要な機能を満足させながら、受動的（パッシブ）に自然エネルギーを利用する様々な工夫が見られる。

## 3. 自然エネルギーと人工エネルギー

室内の任意な環境調整機能を担保しながら、自然利用をするには、自然エネルギーだけでは不足してしまう環境性能を、いかに「効率よく」「連続的に」設備システムで補うかが課題である。

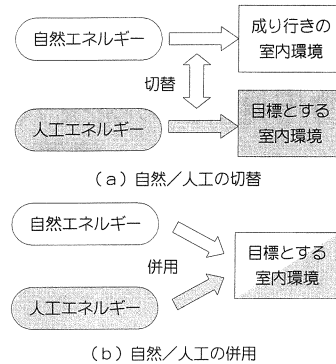


図3 業務用建築における自然エネルギー利用の考え方

図3(a)のような自然エネルギーと人工エネルギーの切替型は、自然エネルギーだけで室内環境を満足できる時間が十分あれば、省エネルギー効果も高いが、そのためには「切替」を確実に行うための自動的（あるいは半自動的）な仕組みが、建築と設備に必要である。自然換気と空調の切替を、換気口の自動開閉などで行う場合などはこれに当たる。また(b)の併用型では、自然エネルギーの不足分を、人工エネルギーでスムーズに補完できる設備システムを組む。自然エネルギーがマイナスに働いた場合、これを遮断する制御も必要である。たとえば、「自然採光」と「照明調光」、「アンビエント自然換気」と「タスク空調」、「クールチューブ冷却・加温」と「空調コイル冷却・加熱」などである。

以下に自然採光、自然換気、クールチューブの事例を紹介するが、これからの業務用建築に更に広く利用できるよう、成熟して欲しい技術分野である。

## 4. 自然採光

### 4.1 Hf照明器具の普及

ここ数年の省エネルギー技術の中で最も大きな進展があったのは、高効率(Hf)照明器具の普及と、自然採光量に応じた調光技術ではないかと思われる。考え方はオイルショック以前からあり、いくつかのビルで試みられたが、余り評判が良くなかった。これは調光用の光センサーと無段階調光技術が未熟だったため、今日、インバータを有するHf照明器具と調光センサー技術によって問題はほとんどなくなった。

### 4.2 調光による省エネルギー効果

図4は、モデルオフィスで調光システムの省エネルギー効果と初期投資に対する単純償却年数を試算した

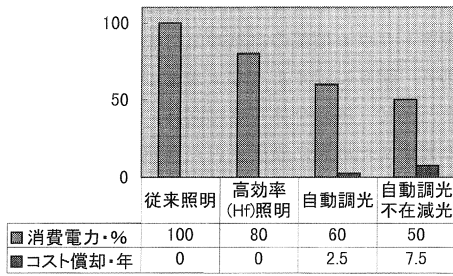


図4 高効率 (Hf) 照明の省エネルギー効果試算例

例である。この図で「自動調光」とはHf照明を、自然採光照度に応じてインバータ調光した場合で、「不在減光」とは、これに人センサーで、一定時間がいないエリアを減光する制御を加えた場合である。いずれも業務用建築で採用できる経済性の範囲にある。

一台当たりの値段が高いHf照明を採用してもコストが増えないのは、Hf照明の明るさが従来の蛍光灯に比べ1.5倍(4,500lm/3,000lm)あり、設置台数が減るためである。柱モジュールにもよるが、例えば65m×13mのオフィス平面に、設計照度700Lxで配置を行うと、Hf型では器具台数が約25%減少する。

### 4.3 ライフサイクルCO<sub>2</sub>でみる自然採光の効果

平均的なオフィス建築における年間の照明エネルギーは、全エネルギー消費量の約25%を占める。従って、LCCO<sub>2</sub>から見た環境負荷削減上も、この手法の効果は大きい。

図5は3,000m<sup>2</sup>クラスの庁舎ビルにおいて、実際に積み上げ方式でLCCO<sub>2</sub>を算出したものである。基準庁舎にグリーン手法を適用することで、LCCO<sub>2</sub>は37.95から30.45へ約20%減っている。この削減量7.5kg-C/m<sup>2</sup>年のうち、省エネルギーで削減した分は5.7kg-C/m<sup>2</sup>年あり、図6はその内訳である。この例は、Hf照明+調光までで不在減光はないが、自然採光の照明エネルギー削減は、省エネ全体の25%を占め、効果量1.45kgC/m<sup>2</sup>年は、断熱や日射遮蔽などの建築手法1.2kgC/m<sup>2</sup>年を上回る。手法のポイントは、いかに効果的に自然採光を計画するかにあって、窓の形状が重要である。図7に示す中庇はその典型で、直射光を遮蔽しつつ、庇の上面に当たった光を天井に反射させ、自然採光効果を高めるものである。

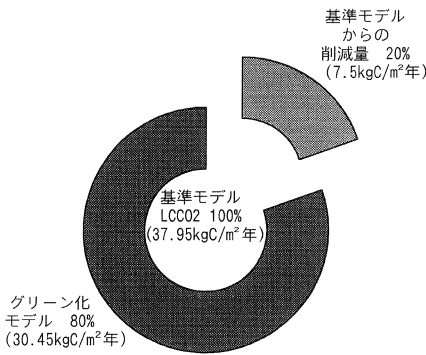


図5 モデル庁舎におけるグリーン化手法の効果量

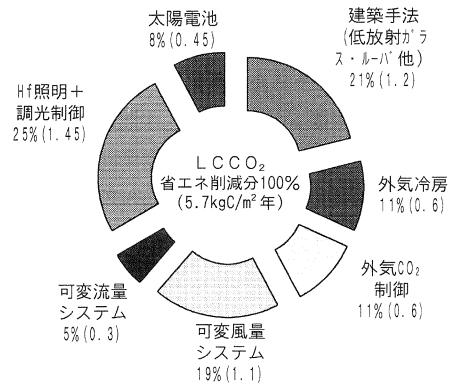


図6 モデル庁舎における省エネルギー手法の効果量

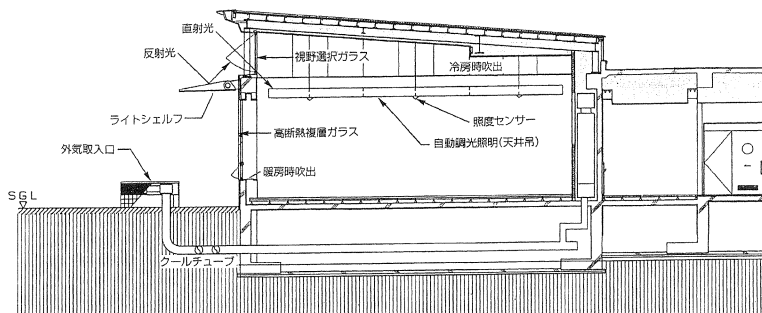


図7 中庇(ライトシェルフ)による日射遮蔽と自然採光(印西市総合福祉センターの例)

## 5. 自然換気

### 5.1 自然換気と外気冷房

自然換気は、窓や換気口を開閉すれば効果が得られるので一見簡単そうに思えるが、業務用建築ではこの「開閉判断」と「操作」を誰が行うかが問題である。春秋の一定期間、空調しないことが決められる建物であれば、暑さをしのぐため利用者が自発的に窓を開けるかもしれないが、不特定多数が利用する公共的な空間や商業施設で、そうしたことは期待できない。

一方、従来からある空調機を用いた外気冷房システムは、取り入れる外気量とこれに相当する排気量を、室温に応じて自動コントロールするので、無理なく外気の冷却効果を使える優れた方式である。しかし十分な効果を得るには、室換気に必要な最小外気量の3～5倍を給排気する必要があり、マルチエアコンやファンコイルユニットなど室単位で空調を行う分散方式では採用しづらい。セントラルダクト方式の建物では、外気冷房を計画しやすいが、今日のように、分散空調が増えると採用できないことが多い。もし窓や室内の換気口を、室温と外気の状態によって自動開閉できれば最も簡単であるが、従来、こうした試みは余り行われてこなかった。

### 5.2 自動開閉窓による自然換気

ここに紹介する2つの建物は、中間期に室内と外気の温度を比較することで換気窓を自動開閉し、これと連動して空調機を停止する制御を行って、大きな省エネルギー効果をあげている。

図8は横浜市にあるオフィスであるが、南側の窓と北側アトリウム頂部の自然換気口を室温と連動させて開閉し、図9に示すようなエネルギー節約を図った。

また図10（施設全体写真は図15）は、兵庫県加古川市の健康文化施設に設置された自然換気口で、この建物も、春と秋は上述のオフィスと同じ方法で換気口の自動開閉を行っている。従来、公共施設は、冷暖房費

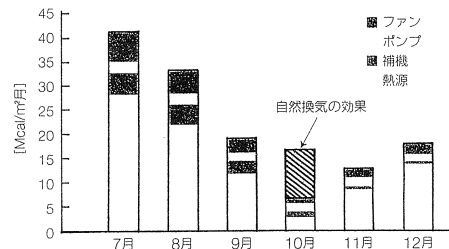
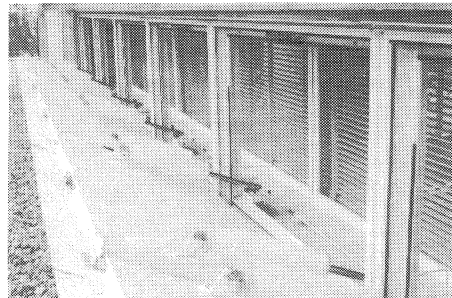


図9 空調用一次エネルギー消費における自然換気の省エネルギー効果<sup>3)</sup>



(加古川ウェルネスパーク。写真はホール棟換気口で自動開閉は圧縮空気を利用したピストンで行う。)

図10 自動開閉する換気口の例<sup>4)</sup>

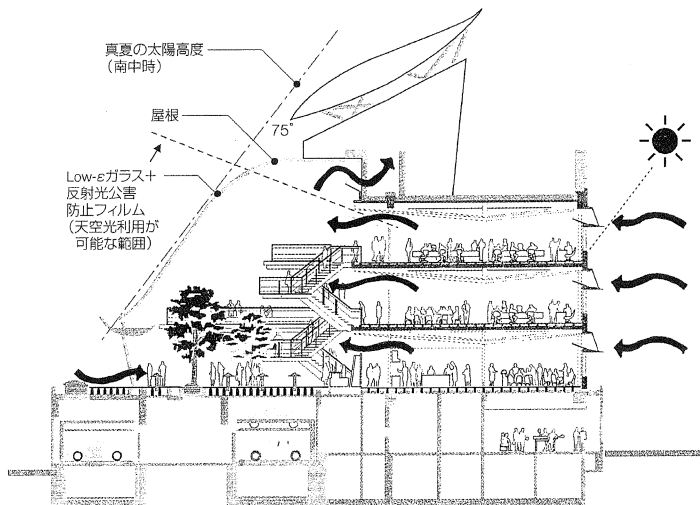
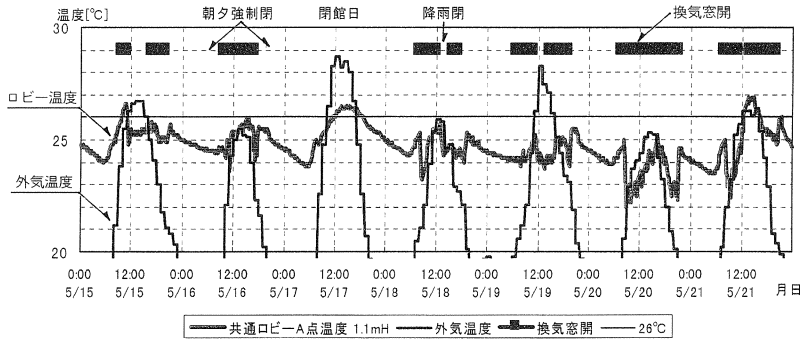
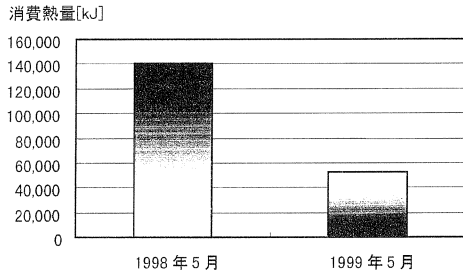


図8 高窓と吹抜け換気口の自動開閉による自然換気（東京ガス港北NTビルの例）<sup>3)</sup>



〔5月15日は外気温が26℃を越えた時点で窓が閉鎖され、空調機の運転が入り、室温が下がっていることが分かる。夕方になって外気温が26℃を下回ったところでふたたび窓が開き、その後、外気温の変化で室温が下がっている。16日と20日の外気温は26℃を越えることはないため一日窓が開く条件となるが、16日は運用上の理由で朝夕に強制閉信号が出ている。〕

図11 換気口の自動閉鎖と外気温・室温の実測例<sup>4)</sup>(加古川ウェルネスパーク)



(加古川ウェルネスパークの内、ウェルネス棟約5,800m<sup>2</sup>の月当たり冷温水消費熱量)

- 〔1998年5月換気口開閉なし。全日空調〕
- 〔1999年5月換気口開閉あり。空調連動停止〕

図12 自然換気制御による省エネルギー効果の例<sup>4)</sup>

を節約するため、春・秋には窓を開けるような建築とされてきた。しかし、実際は施設全体の窓の開閉に手間取る上、急な雨風や朝涼しくても昼は気温が上がり冷房があるなど、天候変化への対応が煩雑で、なかなか窓は使われない。実際に管理者にヒアリングしてみると、中間期といっても窓を開けただけで館内を快適に保てるか判断が難しく、利用者のクレームを恐れて冷房してしまうことも多いようである。

そこでこの施設は、ロビー、プール、事務所、図書館など主要室の自然排煙口に、遠隔開閉できる機構を設け、室内温度で開閉制御することとした。図11はこの内、ロビーの換気口の動きと室温・気温の変化である。外気温度20~26℃、風速5m/s以下の条件で窓が開放され、空調は連動停止する。雨が降った時は、自動閉鎖し空調が入る。図12は、この制御を行わなかった前年同月との比較であるが、冷房消費熱量が前年比

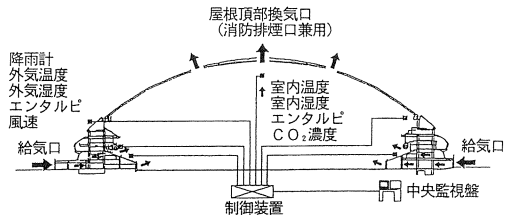


図13 ナゴヤドームの自然換気制御システム<sup>5)</sup>

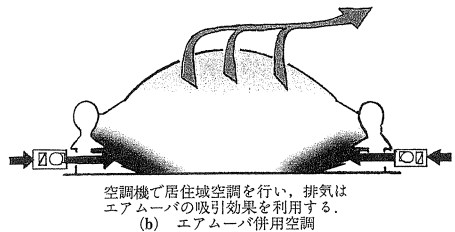
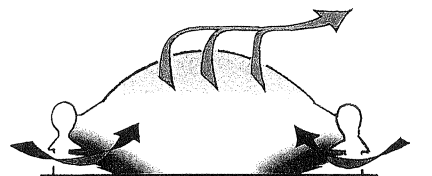
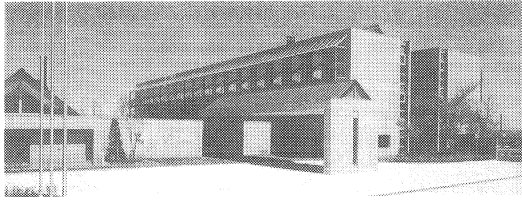


図14 大阪ドームの自然換気<sup>6)</sup>

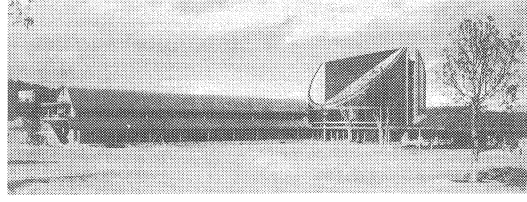
40%と激減し、前述のオフィスの例と同じく、自然換気の省エネルギー効果が大きく出ている。

5.3 大空間の自然換気

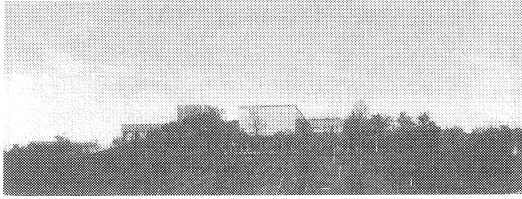
大空間建築やアトリウムは、上下に換気口を設けると安定した効果が得られるので、オフィスなどに比べ、自然換気を積極的に計画した例が多い。図13に示す名



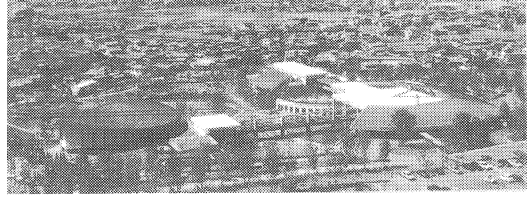
北海道国際センター（北海道帯広市）<sup>7)</sup>



RITE本部施設（京都府相楽郡）<sup>8)</sup>

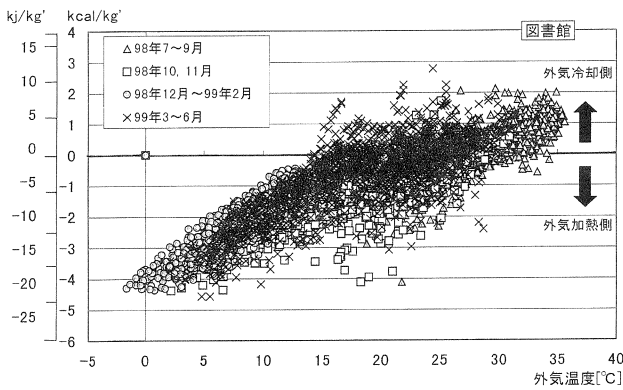


UNEP環境技術センター（滋賀県草津市）<sup>8)</sup>



加古川ウェルネスパーク（兵庫県加古川市）<sup>4)</sup>

図15 クールチューブを備えた建物の例<sup>4)</sup>



加古川ウェルネスパーク・図書館棟の共同溝を兼用した空調外気取り入れ地中コンクリートダクト。実測データは毎時の瞬時値で、たて軸は、外気エンタルピと地中コンクリートダクト末端の空調機取り入れ外気エンタルピとの差。コンクリートダクトは断面積 $8.1\text{m}^2$ 、総延長 $55\text{m}$ 、外気量 $25,400\text{m}^3/\text{H}$

図16 クールチューブ実測データの例<sup>4)</sup>

古屋ドームは、外気状態とイベント種類から、自然換気と機械換気だけで室内温度がどうなるかを予測演算して、運転者が事前に冷凍機運転の要否を判断できる制御システムを備えている。

また、少し変わった自然換気の使い方として、図14に示す大阪ドームのアリーナは、空調時に排気ファンを用いずに、屋根の自然換気口（エアムーバ）から排気する第2種換気としている。エアムーバには大阪湾からの海風によって吸引力が働くので、排気動力を節約できる。試算ではアリーナの全空調動力の約8%に当たる量を節約している。

## 6. クールチューブ

最後にクールチューブを紹介する。建物に取り入れる外気を、地中を通して加温・冷却する手法であり、都市部の高層建築では、建物の接地面積が小さいためか、発表されている事例が少ない。

一方、図15に示す4つの建物は、いずれも郊外に立地する低層建物であるが、外気を全て地中ダクトから取り入れ、省エネルギー効果を実測で確かめている。北海道の例は、塩ビ製配管を土中に埋設して、専用の外気取り入れを行っている。他の3つは、いずれも構造体や共同構を部分的に地中コンクリートダクトとして兼用している。

代表的なデータとして、図16に加古川ウェルネスパークで'98.7月～'99.6月の一年間に、開館時間中、毎時計測したクールチューブ入口空気と出口空気のエンタルピ差のプロットを示す。冬の加熱効果が大きく、夏はどちらかというとピークカットが多い。図17はこの測定結果から試算した省エネ効果で、年間の外気負荷削減量は約9%である。

また、図18、図19に示す、大阪市中央体育館では、屋根頂部のエアモニター換気口とクールチューブを併用して、夏に外気より涼しく、冬暖かい自然換気を行っ

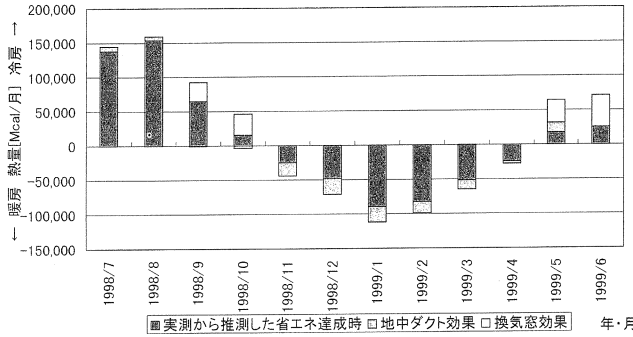


図17 実測に基づく地中ダクトと自然換気の省エネルギー効果試算例<sup>4)</sup>(加古川ウェルネスパーク)

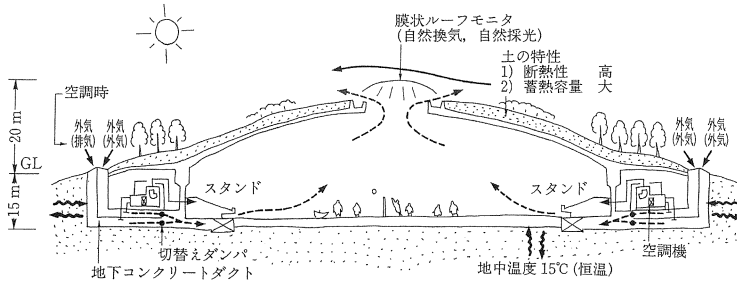


図18 大阪市中央体育館の地下コンクリートダクトと自然換気<sup>10)</sup>

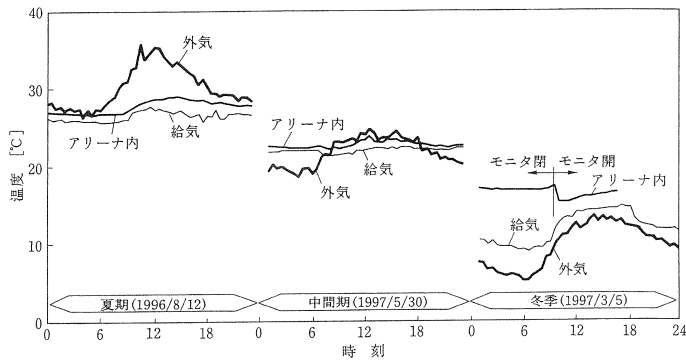


図19 大阪市中央体育館のメインアリーナの温度変化<sup>10)</sup>

ている。

クールチューブは効果予測が困難な上、地中ダクトという大がかりな手法であるため、短期間にコスト償却できる省エネ機器と比べて、業務用建築では採用が難しい。一方、どんな建物でも建物接地点に基礎、土止め、地下壁といった構造体があり、こうした部分を外気取り入れ空間として工夫して利用できれば、省エネルギー上、「得ができる」という発想がある。衛生面の配慮は欠かせないが、業務用建築におけるこの技術の戦略ではないかと思われる。発表事例はここに挙げた以外にもいくつかあるが、実は部分的にでもこう

した試みを行ったケースは以外に多いと思われる。(たとえば、高層オフィスでも、低層部分の外気取り入れを地中ピットを使っている例はかなりあるはずである)。

そもそもクールチューブは、冷暖房において、外気温度が室温より離れるほど効果が高く出る性質があるので、ピークカットの役割を果たす。もっと積極的に用いられてもよい技術と思われる。

### 10. これからの課題

業務用建築の自然利用技術について実践的な事例を

紹介したが、こうした試みが更に増えていくためには、業務用建築といえども、省エネルギーに対する利用者の一定の理解が不可欠と思われる。というのは、自然エネルギー利用は、結果として得られる室内環境に、ある程度の許容幅があると、利用できる期間が長くなり、システムも単純になるためである。しかしこのためには利用者の理解が必要である。たとえばウェルネスパークの自然換気を例にとると、窓が開いていることが誰にも分かれば、一日で室内温度が20℃から26℃まで変化しても利用者のクレームにはならない。これが空調であれば、「暑い・寒い」という声が管理者に集中している可能性がある。こうしたソフト面での環境技術の蓄積にも今後おおいに期待したい。

そもそも1960年代頃から、日本の大都市に出現した大規模オフィスは「はめ殺し窓」と「奥行き深い断面」で建物全体を構成し、「空調」と「蛍光灯」で室内を人工環境化してきた。その結果、室内はどこでも均一な温度と明るさが一日中保てるようになったが、こうした建築はエネルギー消費を減らせば、たちまち快適性も激減してしまう弱点がある。21世紀の建築は、生活環境を大きく犠牲にしないで、エネルギー消費を減らせる建築を目指したい。これまでのように、エネルギー消費と引き替えに均一な室内環境を得るのではなく、変化する自然エネルギーをコントロールしながら使い、これを空調や照明で補って、室内環境を「幅を持った範囲」に納める技術が大切ではないだろうか。

### 参考文献

- 1) 建物のLCA指針(案)～地球温暖化防止のためのLCCO<sub>2</sub>を中心として～, (財)日本建築学会 地球環境委員会 LCA指針策定小委員会 1998年11月 P49 表4.3④基準案より作成
- 2) 新しいオフィス像を考える NIKKEN SEKKEI Report 1998.5 日建設計
- 3) 中村昌行・柴田理・野原文夫・高辻量・斉藤英弥: 東京ガス港北NTビル(アースポート) 空気調和・衛生工学 Vol.72 No.11 1998年11月
- 4) 高山真: 省エネを配慮した換気システム 第32回2000建築設備技術会議テキスト(財)建築設備技術者協会(財)日本能率協会 2000年1月31日～2月4日
- 5) 萩原武治・有吉淳: ナゴヤドーム(特集) 競技場・スポーツ施設の省エネルギー IBEC No.104 Vol.18-5 1998年1月
- 6) 大高一博・橋本直樹: 大阪ドームの空気調和設備 空気調和衛生工学 Vol.73 No.11 1999年11月
- 7) 伊香賀俊治・結崎東衛・土屋中・中村准二: 国際協力事業団北海道国際センター(帯広)における地中熱・太陽熱利用計画の概要と運転実績, 建築設備士・1997年8月
- 8) 丹羽英治・本間俊輝・栗山知広: UNEP国際環境技術センター滋賀における自然エネルギー利用空気調和システムの計画, 空気調和・衛生工学 第71巻 第11号(平成9年11月)
- 9) 池澤・大高・吉田: RITE本部施設の空調・衛生設備 空気調和・衛生工学 第70巻 第12号(平成8年12月)
- 10) 金泰彦・大高一博: 環境調和型全地下体育館の自然エネルギー利用・空調計画—大阪中央体育館 空気調和衛生工学 Vol.72 No.11 1998年11月

協賛行事ごあんない

## 「第14回超高温材料国際シンポジウム」について

主 催: (株)超高温材料研究センター, 山口大学工学部, 山口県 他

問合せ先: (株)超高温材料研究所内

超高温材料シンポジウム事務局

日 時: 平成12年5月29日(月)～30日(火)

Tel 0836-51-7007, Fax 0836-51-7011

場 所: 宇部全日空ホテル 国際会議場西ホール