

フィンランドにおける省エネルギーオフィスに関する研究

— 日本のオフィスビルへの適用検討 —

小野島

Research on the Energy Conservation Office in Finland

— Case Study of the Application of Energy Conservation Technologies to Japan —

Hajime Onojima

Abstract

An energy conservation prototypical office building, METOP, has been designed and built in Finland using heavy insulation and air-tightness strategies, which are traditional in the Scandinavian countries. This report describes a case study of an application of these strategies, and verifies the METOP system in the climates of Helsinki and Tokyo using system simulation program, TRNSYS.

The control strategies of METOP were thus shown to operate appropriately in both Helsinki and Tokyo. It is possible to optimize the indoor environment and energy consumption by appropriate setting and tuning of the system mode decisions. The problem of latent load was shown to be a major issue in the application of the Scandinavian energy conservation strategies under the hot and humid condition in Tokyo.

概 要

北欧型高断熱・高気密建築の日本への適用の一例として、フィンランドで計画・建設された省エネルギーオフィスプロトタイプビルMETOPについて、システムシミュレーションプログラムTRNSYSを用いた、ヘルシンキ市および東京での気象条件下におけるシステム動作検証を行い、室内環境での問題点について考察した。

計算の結果、METOPのゼロエネルギーバンド制御、および分散型個別制御システムはヘルシンキ、東京両地点においておおむね適切に動作していることがわかった。特に、冷房・暖房・換気モード判定を行う温度設定を最適化していくことで、年間の消費エネルギーおよび室内の熱的快適性も向上させることが可能であることを示した。また、計算の結果より、東京の高温多湿な夏の気象条件においてMETOPのような北欧型高断熱・高気密建築を実現した場合の問題点として、室内の潜熱負荷の問題を示した。

1. METOPプロトタイプオフィス

METOP CFCフリー・省エネルギーオフィスプロトタイプビルディング（以下、METOPと略す。）は、フィンランド国立研究所VTT Building Technologyの主導により、フィンランドの建築・設備メーカー各社の協力によって建設されたプロトタイプオフィスビルである。延べ面積165m²の地上2階建て、フィンランド共和国のエスポー市、オタニエミに建設された¹⁾²⁾。METOPはフィンランドの断熱技術基準を満たした高断熱・高気密建築で断熱性能は非常に優れ、-2.6℃外気温の条件下での総合ヒートロス³⁾は97.2kJ/m²h (27W/m²)である。

METOPの空調システムの系統図をFig. 1に示す。このシステムは主として外気を処理するメインユニットと、各事務室へ細かな対応をするパーソナルユニットによって構成される。メインユニットは顕熱交換器による熱回

収および冷却・加熱コイルを備え外調機として稼働し、冷房システムとして排気側には間接蒸発冷却システムが装備されている。パーソナルユニットでは、冷房に対してはVAV方式、暖房に対しては加熱補助ヒータによって部屋ごとに制御可能である。

メインユニットは、その運転モードを室温ではなく建築躯体を利用した還りダクトの空気温度を用いて判断している。もし、この温度が暖房モード判断温度以下だった場合、メインユニットは建物が暖房モードにあると判断し、温水コイルを稼働可能にし、顕熱交換器による熱回収を行う。加熱コイルは自ら装備しているDDC制御器によって暖房設定温度まで還りダクトの温度を上昇させるように制御される。逆にダクトの還り温度が冷房モード判断温度以上だった場合、建物が冷房モードにあると判断する。還り温度が冷房稼働温度を越えたときには冷却コイルおよび間接蒸発冷却システムを稼働させる。熱

回収用の顕熱交換器は必要量の外気を確保するよう運転するが、外気冷房運転の判断を行い、外気冷房時には顕熱交換器はバイパス運転される。

この方式では室内の温度の変動をある程度許容し、ある範囲内の室温をゼロエナジーバンドとして制御する。躯体温度および外気の温度をそれぞれ検知しながら多岐に及ぶ運転モードを決定するために、IF-THEN型の判断プログラムを必要とする。ここではシミュレーションモデル上にこのようなモード判断を行うモデルを作成し、それによって各システムの運転モードを決定した。

室内側の細かな制御を行うのは各部屋ごとに設置されたパーソナルユニットである。これらは直接室温を感知し、もし低ければ補助用の電気ヒータを運転して室温を比例制御する。もし高過ぎれば室内への取り込み風量を増加させる。このセットポイントは各居住者に設定が任されているが、もちろんメインコントローラーとの協調も行っている。

2. 気象データ

北欧の高緯度に位置するフィンランドは冬に非常に低温でそのかわり夏にはそれほど高温にはならない。また高緯度に位置するために夏期には20時間を越える日照時間があるが冬期には逆に日照時間が6時間に満たない。今回シミュレーションで比較するに当たって、本報では両国で一般的に空調システム設計に用いられている標準的な気象データを用いた。

フィンランドでは一般に1979年の実測データが標準的に用いられている³⁾。ここではヘルシンキ地区のデータとしてHelsinki-Vantaa国際空港での実測値を用いた。日本では通常、HASP標準気象データと呼ばれる10年以上の気象実測データを分析標準化されたデータセットを使っている⁴⁾。ここでは日本の代表的な気象条件として東京を例として取り上げ、新東京気象データを用いた。

3. 計算条件および方法

システムシミュレーションに用いたプログラムはTRNSYS (Transient System Simulation Program) と呼ばれる1970年代に米国で開発されたプログラムである⁵⁾。

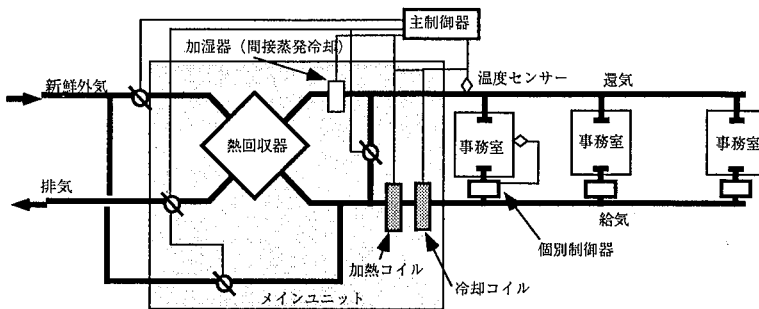


Fig. 1 空調システムの概要
Schematic Chart of METOP Air Conditioning System

TRNSYSの大きな特徴は、モジュール化された構造にあり、設備システムを構成する機器やダクト、建物そのものなどのシステムを構成する要素をモジュールとして記述し、それらをリンクしていくことでシステムを記述する。

今回の計算において建物の構造については実際の構造にできるだけ準じてモデル化した。ホロコアスラブを用いたコンクリートダクトについては、今回コンクリートの熱容量および上下階への熱伝達のモデル化がプログラムの上、困難で断念した。建物の使用スケジュールや負荷条件についてはフィンランドの仕様 (8:00~16:00) に合わせた。Table 1にそれらの条件を示す。

Table 2に今回のシミュレーションで実行した計算ケースの一覧を示す。Case 0 は比較の基礎となる計算例であり、METOPで用いられている制御システムを用いず、単に室温とセットポイントとを比較して冷却コイルおよび加熱コイルを運転・制御する方式である。以降、METOPをモデルとした4ケースを検討した。Case 1 ではメインコントローラーのセットポイントを東京でのセットポイントレベルを想定して適宜定めたものである。フィンランドでは夏期に温度が高くなりすぎる可能性がある。Case 2 ではCase 1の結果を受けて、セットポイントを北欧向けに最適化した例である。Case 3 ではセットポイントはCase 2と同じとして、東京での夏期の湿度を考慮して、顕熱交換器を日本でよく用いられる全熱交換

Table 1 計算設定条件
Condition of Simulation

項目	設定条件	備考
人体発熱	96W/人 0.07kg/h人	30%対流70%輻射
照明発熱	事務室100W 廊下200W 会議室400W	70%対流30%輻射
機器発熱 (計算機他)	事務室130W	70%対流30%輻射 冷房時には換気機から直接排気。暖房時には発熱を暖房に利用。
運転スケジュール	月~金 8:00~16:00運転	祝日は考慮せず

Table 2 計算ケース
Calculated Cases

	主制御器設定	個別制御器設定	その他の設定要素
Case 0	暖房モード: 22.0℃ 冷房モード: 26.0℃		顕熱熱回収器効率: 0.6
Case 1	暖房モード: 23.0℃ 冷房モード: 24.0℃ 加熱コイル設定: 22.0℃ 冷却コイル設定: 25.0℃ 外気冷房設定: 22.0℃	補助ヒータ設定: 22.0℃ VAV設定: 25.0℃	顕熱熱回収器効率: 0.6 間接蒸発冷却利用
Case 2	暖房モード: 20.5℃ 冷房モード: 23.0℃ 加熱コイル設定: 22.0℃ 冷却コイル設定: 23.5℃ 外気冷房設定: 22.5℃	補助ヒータ設定: 20.0℃ VAV設定: 21.5℃	顕熱熱回収器効率: 0.6 間接蒸発冷却利用
Case 3	暖房モード: 20.5℃ 冷房モード: 23.0℃ 加熱コイル設定: 22.0℃ 冷却コイル設定: 23.5℃ 外気冷房設定: 22.5℃	補助ヒータ設定: 20.0℃ VAV設定: 21.5℃	全熱熱回収器効率: 0.6
Case 4	暖房モード: 20.5℃ 冷房モード: 23.0℃ 加熱コイル設定: 22.0℃ 冷却コイル設定: 23.5℃ 外気冷房設定: 22.5℃	補助ヒータ設定: 20.0℃ VAV設定: 21.5℃	顕熱熱回収器効率: 0.6 間接蒸発冷却利用 外気絶対湿度が室内より高いときは外気冷房を行わない。

器に変更した例である。Case 4 ではセットポイントは Case 2 と同じとし、外気冷房時に外気絶対湿度と室内絶対湿度の判定を行い、東京の梅雨時などの外気の方が室内より絶対湿度が高い場合には、たとえ温度が低くても外気冷房を行わないようにした例である。

5. 計算結果および考察

5.1 室内環境

Fig. 2, 3にCase 1において得られた室内環境を空気線図上にプロットした例を示す。冬中心のモードで動作し、年間で見ると22℃30%前後で推移するヘルシンキに比べ、東京では25℃60%前後の状態が多い。特にヘルシンキでは低湿度の環境が目立つが、これはフィンランドでは室内空調時に加湿を行うことがないため、低温の外気の影響で相対湿度も低くなるためである。

計算の結果、東京の気象条件においては夏期に70%を越える高湿度が発現している。他のケースの計算の結果、東京を想定した設定温度の変更 (Case 2)、全熱交換器の利用 (Case 3)、外気冷房における湿度条件判定 (Case 4) などの湿度に対する対策を行ったとしても高い相対湿度は発現することがわかった。METOPでは、高断熱性により顕熱負荷が減少しており、相対的に潜熱の割合が大きく低い顕熱比になる。そのため、何らかの湿度コントロールを行わない限り、東京での環境下では湿度の問題は解決しにくいと考えられる。

5.2 システム動作

Fig. 4に各計算条件における運転モード時間の比較を示す。Case 1では他のケースに比べ設定の温度レベルが高いため、全体として暖房モードで動作する時間が長く、東京で1/3、ヘルシンキでは2/3前後を暖房運転でしめる。全体としてヘルシンキでは冷房モードは非常に少なく、ほとんど無視できると言っても良い。東京では冷房モードは4分の1前後を占めている。Case 2~4ではCase 1に比べ東京・ヘルシンキともに暖房モードでの運転時間が小さくなる。注目すべきは、東京の方が換気のみで運転する時間が長いことである。気候的に春秋が短く冬の長いヘルシンキに比べ、四季がはっきりしている東京では春や秋での外気冷房換気運転によってかなりの空調をまかなうことができる可能性がある。

Fig. 5に外気冷房運転の積算時間の比較を示す。ヘルシンキでは年間ほとんど、外気による冷房が可能であるが、東京では25%、湿度判定も考慮する (Case 4) と約半分は外気冷房は不可能である。

Fig. 6に暖房用に消費されたエネルギーの比較を示す。Case 1とCase 2~4を比較すると、特にヘルシンキにおいてはパーソナルユニットのヒータの稼働率に違いがある。Case 1ではほとんどの負荷がメインユニットの加熱コイルでまかなわれ、個別ユニットはあまり稼働していない。しかし、Case 2~4ではパーソナルユニットでの処理熱量が大きくなっている。全体の消費熱量でもCase 1

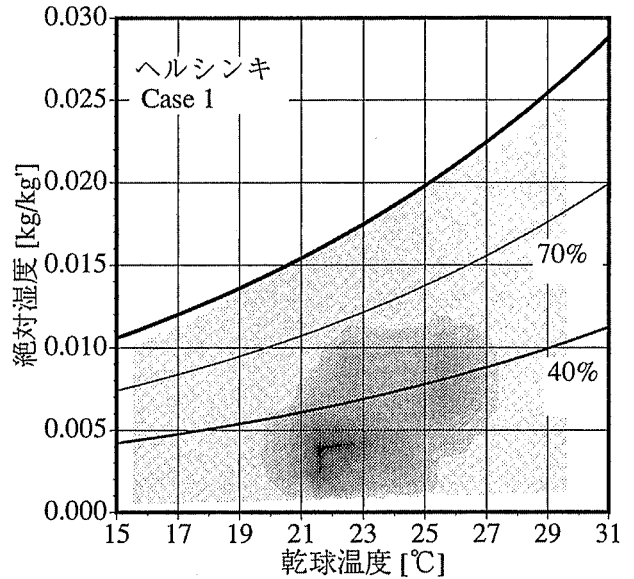


Fig. 2 年間室内温湿度状況 (ヘルシンキ: Case 1)
Annual Indoor Air Condition (Helsinki: Case 1)

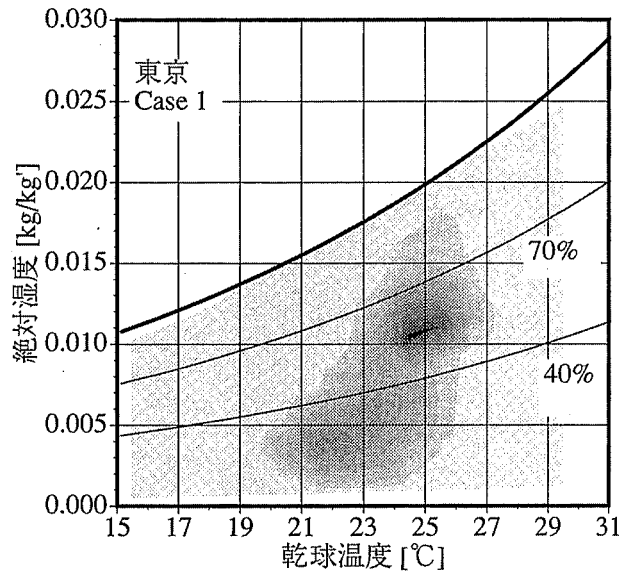


Fig. 3 年間室内温湿度状況 (東京: Case 1)
Annual Indoor Air Condition (Tokyo: Case 1)

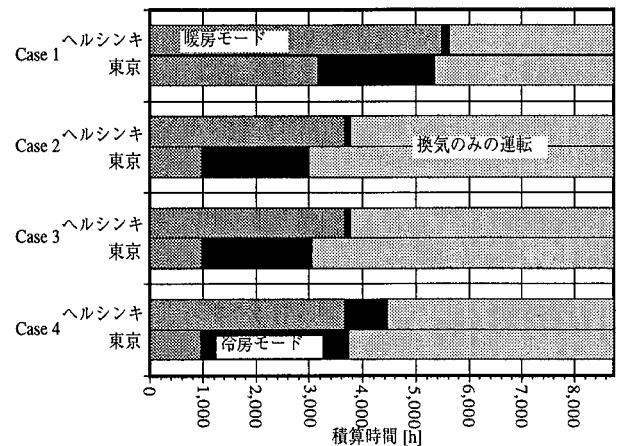


Fig. 4 運転モードの年間積算時間比較
Comparison of Annual Integrated Time of Operation Mode

は最も大きく、Case 2~4で採用された温度設定にすることがヘルシンキでは妥当と考えられる。ヘルシンキではCase 0の消費エネルギーはCase 2~4とほとんど変わらない。東京においてはMETOPで用いられた制御を採用することによって暖房用のエネルギーは非常に小さくでき、約半分に低減することができる。

Fig. 7に冷房用の消費エネルギーの比較を示す。ヘルシンキにおいてはCase 1~4のMETOP制御を採用することで消費エネルギーを削減できているが、東京では逆に大きくなっている。実際には室内での温度レベルがCase 2~4においては低く、Case 0とは異なっているので、直接エネルギーを比較することは難しいが、エネルギーのみの観点で見ると、東京ではCase 1で用いた設定温度によれば、妥当なエネルギー消費量になると思われる。

6. 結論

METOPのような北欧式高气密・高断熱建築を、高温多湿な夏をもつ東京の気候に適用した場合、最も大きな問題点は室内の相対湿度と考えられる。METOPでは外皮から室内へ流入する顕熱が小さくなっているために、室内では相対的に潜熱負荷の割合が大きくなり、外気や人体から発生する潜熱負荷を処理しきれない。東京のような高湿度の夏をもつ気候条件下では特に潜熱負荷について何らかの対策が必要と考えられる。

全体的に見て、METOPの制御プログラムそのものは東京の気象環境下でも十分適切に動作している。特に今回の計算結果では消費エネルギーや室内環境に大きく影響を及ぼす各コントローラーの設定温度について、東京においてはヘルシンキでの設定に比べ高めめの設定をした方が消費エネルギーの面から見ると適切に動作する。METOPのように設定温度がそのまま室内環境に直結しない場合、温度設定には十分な検討が必要となる。

7. おわりに

本研究の遂行に当たってはVTT Building Technology, FinlandのJuhani Laine, Mikko Saari両氏に多大なご協力をいただいた。また、同じくVTTのMikko Nyman氏およびIsmo Heimonen氏, Olof Granlund OyのKenneth Lassila氏からも非常に有用なアドバイスをいただいた。また何よりも私にVTTへ留学のチャンスを提供していただいたABB Installaatiot, Reijo Kohonen先生にここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Laine, J., et al.: METOP CFC-aineeton matalaenergia-toimistotalo, VTT Rakenusteknikka, (1994) (in Finnish)
- 2) Laine, J., et al.: Realization of Good Indoor Climate in Low-Energy Office, Building and Environment, Vol. 29, No. 3, p. 401~408, (1994)

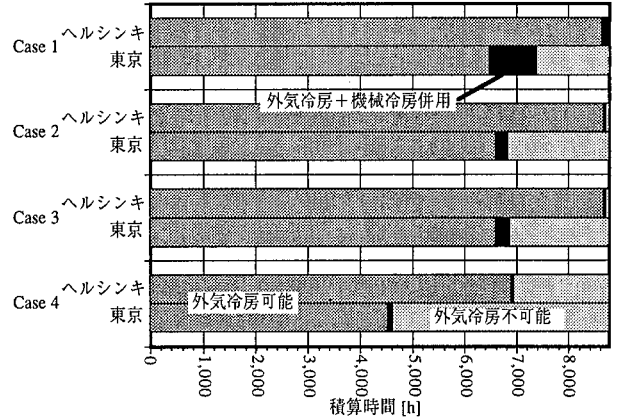


Fig. 5 外気冷房運転モードの年間積算時間比較
Comparison of Annual Integrated Time of Free Cooling Mode

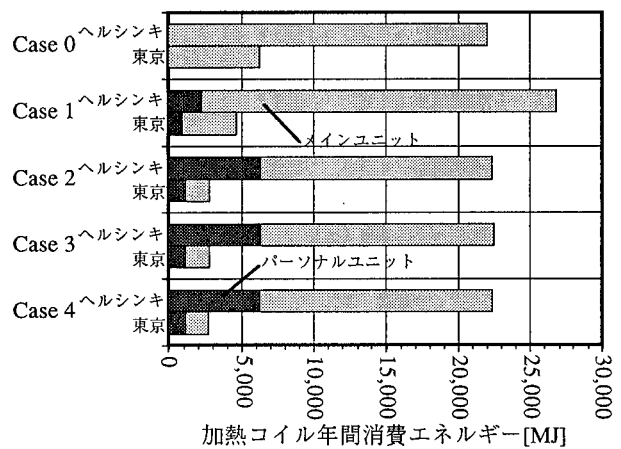


Fig. 6 加熱コイル年間消費エネルギー比較
Comparison of Annual Energy Consumption at Heating Coil

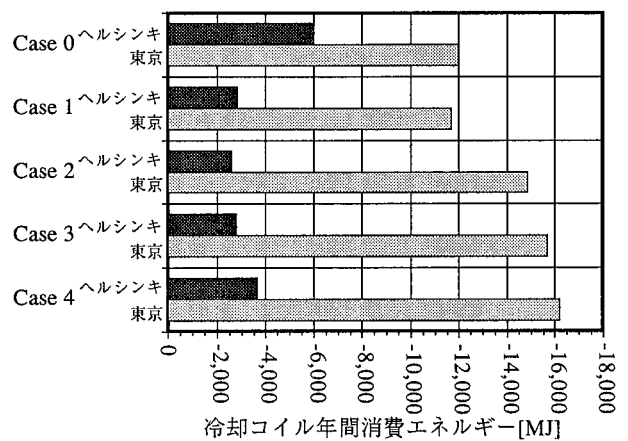


Fig. 7 冷却コイル年間消費エネルギー比較
Comparison of Annual Energy Consumption at Cooling Coil

- 3) Gabriësson, J.: Weather Model for Indoor Air Calculations, Indoor Air '93, Vol. 2, p. 681~686, (1991)
- 4) 松尾, 他: 空調設備の動的熱負荷計算入門, 建築設備技術者協会, (1980)
- 5) Blair, N.: TRNSYS A Transient System Simulation Program, Solar Energy Laboratory, (1990)