

通気二重窓の冷房負荷低減効果 Cooling energy savings of ventilated double-glazed windows

技術フェロー ○奥山 博康 (神奈川大学) 非会員 亀井 大樹 (小田原市役所)

Hiroyasu OKUYAMA*¹ Daiki KAMEI*²

*¹ Kanagawa University *² Odawara city hall

Synopsis: Airflow windows, which reduce solar heat cooling load and heat penetration loss, have a ventilated air layer sandwiched between double panes and contain internal blinds. Solar heat absorbed by the blinds or panes is removed by airflow through the air layer. We model and compare four airflow modes (air layer circulation to an air conditioner, external exhaust, natural ventilation, and no air layer flow) as heat, vapor, and airflow networks for an office building, and evaluate the cooling loads. The smallest cooling load was achieved by external exhaust.

1. はじめに

近年の事務所ビルは、ファザードに大きなガラス面を持つものが増えている。従って熱貫流率による熱損失も大きい上に日射熱負荷も大きい。そこで二枚のガラスの間の通気層にブラインドを持つ Air Flow Window (以下 AFW と略す) という窓が開発されている。現状、通気層内の熱気は外気へ機械排気するか、または空調器に戻す方法が検討されている。しかし熱負荷計算では熱流応答係数法のモデルが主流なので、この省エネルギー効果の検討には問題があると思われる。そこで熱換気回路網モデルによれば、適切な計算が可能になるので、村上等¹⁾の研究がなされているが、比較する空調方式の取入外気量が異なっている様なので、その計算モデルを見直し、再検討が必要と思われた。本研究では、空調器にかかる顕熱負荷と潜熱負荷を計算する熱・換気・水蒸気の流動回路網モデルを、AFW の外気との自然換気モードも含めて、幾つかの空気流動モードについて構築し、省エネルギー効果の比較検討を行った。

2. 窓の熱負荷計算の原理的な問題

現在標準の非定常熱負荷計算法の原理は、壁体の熱流の時系列応答係数法に基づくものであり、熱回路網モデルの様に空間的な温度分布を時々刻々解いて計算を進めるものではない。従って既報²⁾でも述べたが、次図-1の右に示す様に、時系列熱流応答係数法では、熱的に軽い窓は定常の熱貫流モデルで扱わなければならない。一方、熱回路網モデルによれば、図-1の左に示す様に、例えばブラインドとガラスの間の空気層の温度等は、室内空間との換気の影響も、両表面間の長波長放射伝熱と表面对流熱伝達の影響も、室内表面間の放射伝熱の影響も、天空放射の影響も考慮した比較的に適切なモデルで解くことができる。窓の熱貫流モデルでは、窓周りの様々な部分の熱的な連成を考慮できない。そこで様々な窓の日射熱取得量は、演繹的モデルで予測計算するのではな

く、厚みが 3mm のガラス一枚だけの窓の日射熱取得量を基準として、一定の遮蔽係数を乗じて計算する方法がとられる。この従来の計算モデルの原理的な制約により、標準の窓とは熱的な構造が異なる AFW の様な窓については、遮蔽係数を求める別途の実験あるいは比較的に正確な予測計算が必要となるだけでなく、遮蔽係数が本来は太陽位置や空気層換気量に依存して変化するはずであり、一定値として扱って大丈夫なのか等の問題がある。

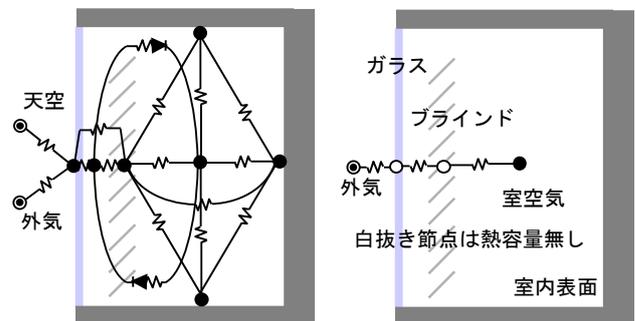


図-1 窓の熱負荷の二通りの計算モデル

本研究での AFW のモデル化についても同様に原理的な問題が存在すると考えられる。そこで本研究では熱・換気・水蒸気の流動回路網モデルを用いる。

3. 基準階断面のモデルと熱負荷計算

既往の研究¹⁾の事務所建築の例にならい、基準階の南東外皮付近断面と空気流動図を図-2の様に想定した。基準階の床面積は 1380.6m²/h、階高は 4.5m、天井高 3.0m とした。外皮は床から 3m の AFW と 1.5m のスパンドレルの 2 つに分割し、其々オフィス空間と天井空間に接する。AFW はブラインドを内蔵し、ガラス厚は外側が 15mm、内側が 8mm である。窓の長さは南西面 39m、南東面 35.4m であり、これらは全面 AFW とした。検討する AFW は南東面と南西面の 2 方位あるので、太陽位置と外皮の関係を考慮すると、外皮のモデル図は 2 方位の

其々で作成する必要がある。一方、熱負荷のとらえ方としては、通常行われる様に、ペリメータとインテリアに分けることで暖房と冷房が並行して行われる様な無駄は生じない様に、間仕切り等の建築的な手法や、両方の領域の空気混合が何らかの設備的な方法で行われると仮定し、熱負荷的な室内領域は一つとすることがAFWの性能評価にも適切と考えた。これはAFWにより、仮に外皮の熱的な性能が向上するとすれば、所謂ペリメータレス空調となり、実際的にもこの仮定は合理的となる。

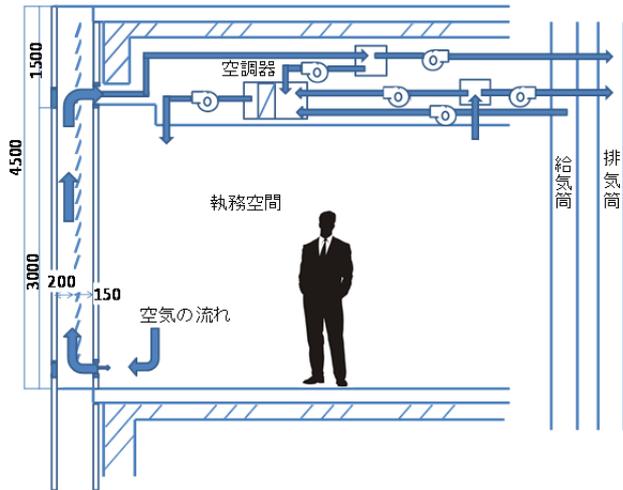


図-2 基準階断面と空気流動図

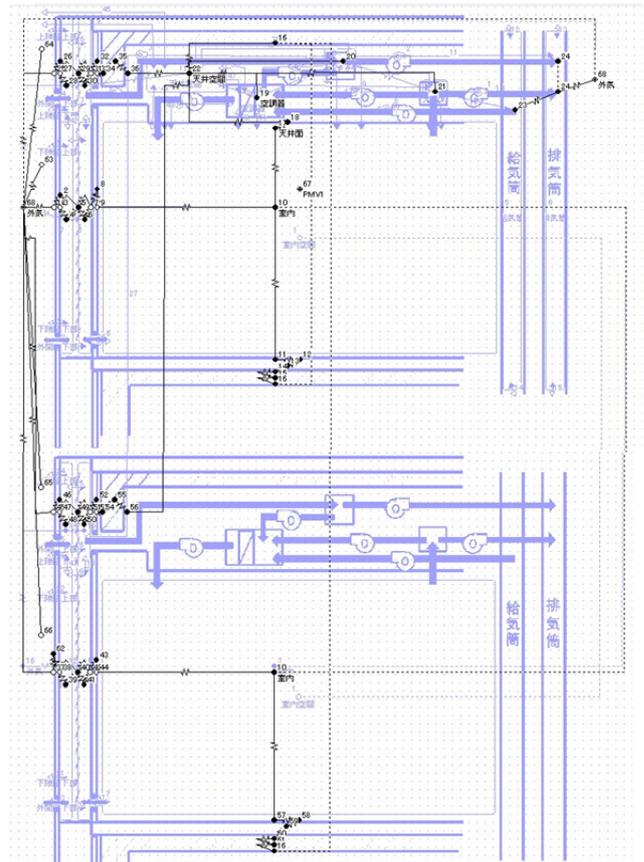


図-3 南東・南西の2断面の熱回路網

従来の熱負荷計算法3)での冷房負荷とは、室空気の温・湿度を一定の値に保つために必要な、室空気を冷却し除湿する熱流として定義されているが、本研究では室内空間の温冷感予測申告値PMVが0になる室温にするために必要な、空調器の冷水コイルでの冷却熱流と定義し、PID制御によって計算した。これにより窓面による長波長放射熱環境も考慮して評価できる。さらに他の計算の条件としては表1に示す。通常の勤務時間の始まりの1時間前から予冷のために空調が始まるとする。

表-1 計算条件表

勤務時間：9:00~20:00
冷暖房除湿時間：8:00~20:00
オフィス在室時間と密度：8:00~20:00, 0.2 人/m ²
発熱量と 水蒸気発生量：執務者の顕熱 53W/人, 潜熱 92g/h・人 照明 20W/m ² , OA 機器 20W/m ²
PMV：気流速 0.1m/s 着衣量 0.5clo, 代謝量 1.2met その他の気温, 湿度, 平均放射温度は計算モデルより得る
ブラインド水平 (プロファイル角度 45 度の場合): 透過率 0.21, 反射率 0.05

4. 熱・換気・水蒸気流動回路網モデル

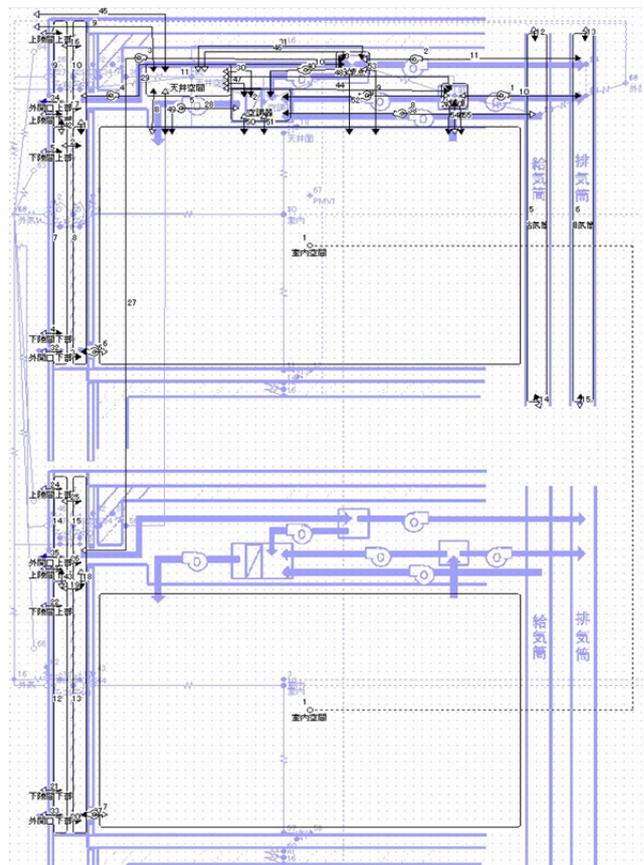


図-4 南東・南西の2断面の換気回路網

連成した換気、水蒸気、熱回路網モデルについて述べる。空気流動は換気回路網で解かれ、これによる一般化熱コンダクタンスで構成される熱回路網で温度が解かれて空気密度が決まる。通気層の温度差換気量は熱と換気の回路網モデルの連成で解かれる。水蒸気回路網の絶対湿度も、換気回路網の風量による一般化湿気コンダクタンスを用いて解かれる。これら三種のモデル其々は、ゾーン静圧、絶対湿度、温度の節点系と見なせるが、これらの節点系は集合論的にこの順番で包含される関係にあり、節点番号の対応関係が定義される。この対応関係に基づき、一般的なデータ構造とアルゴリズムにより、連成モデルが構成され計算される。

図-3には熱回路網を、図-4には換気回路網を示す。水蒸気回路網は省略するが、ゾーンの湿度節点だけで躯体中の節点はない。換気回路網で計算される風量による一般化熱コンダクタンスは熱回路網の図には描かないが、計算機シミュレーションプログラム NETS 中の熱回路網では、前述の連成モデル構成法により考慮される。

図-3 の上半分は南東断面のモデル図であり、下半分は南西断面のモデル図である。両方面の外皮からの熱的影響は、一体的な室空気に及ぶものとする。図的な理解のため、上と下に別の室空気の如く配置した2つの節点は、実は同じものである。モデル図の表示法の工夫として、同一化という概念を考案してあり、実は同じものを表す節点をモデル図上複数描いても、同一化の点線で結ぶことにより、実質は同じ節点とすることができる。

また基準階が何層か繰り返す、層間で熱的に同様な状況になると仮定できる場合にも同一化の概念は有用である。基準階床スラブの下端の節点は天井スラブ下端と同一化することで合理的な境界条件にできる。

窓ガラスの法線方向の離散化は、ガラス厚みの中心にその熱容量を持つ節点を設け、内外の表面には熱容量0の節点を設けた。ブラインドの節点を設け、ガラスとブラインドの長波長放射伝熱と、通気層の内表面と空気との対流伝達は分けたモデルにした。天井裏空間に接するスパンドレルの部分も同様のモデルとした。

ガラスの直達日射透過と反射特性は入射角余弦の5次の冪級数で計算し、ブラインドのそれらはプロファイル角余弦で計算する。これら複層材間の多重反射を考慮した透過、吸収、反射の計算をする。日射は各ガラスとブラインドおよび床面で吸熱するとした。ブラインドのスラット角度は勤務時間では水平、夜間は全閉とした。

空調器は天井裏にあるものとし、冷却コイルに接する空気の節点だけを持ち、天井裏空間とは熱貫流でつなげた。冷房の顕熱負荷はこの節点への冷却熱流とし、水蒸気回路網の対応する節点での除湿量から潜熱負荷が計算される。湿度制御はオフィスの絶対湿度が0.01kg/kgとなる様にPID制御した。また換気に関する給気筒と排気

筒を持ち、空気流動モードによっては、これらを経由するものとした。

冷却コイルでの冷却熱流を操作量としてPMVを制御するPID制御の3種の係数は、予め単位応答の曲線から求められるが、多節点系の応答曲線を単節点のモデルで近似するので、若干の調整が必要である。

換気回路網はゾーンと流路から成り、ダクトの分流・合流点にはゾーンを設けるので、全圧をゾーン静圧として持つモデルである。ダブルスキンの中はブラインドの室内側と外気側で2つのゾーンに分けた。これら両ゾーンの間には少なくとも上下に2本流路を設けたので、温度差により循環流を起こすモデルである。

ブラインドのAFW内に捕捉された日射熱を空調器に戻したり、排気したり、空気の流動経路は4種のモデルが考えられる。NETSでは、こうしたモデルの変化を、スケジュールや温度条件によるフィードバック制御で行うことができ、モード変化と呼んでいる。

図-5の上部に4通りの空気流動のモードを示す。AFW通過空気を屋外へと排出する「AFW通過換気排気」、AFW通過空気を空調器に全て戻し室内と循環させる

「AFW室間循環」、AFWに空気は通さず閉鎖している普通の窓方式である「AFW閉鎖」、AFWの上下に換気スリット(幅150mm)を設け、外気と温度差換気する

「AFW自然換気」の4つのモードを検討した。

勤務時間内の執務空間での吹出風量は36000m³/h、取入外気量は43000m³/h、AFW通過空気量の43000m³/hは既往の研究1)にならった。特に換気量については4モード間で同じにした。勤務時間外は冷暖房を停止させるが、換気については、必要最低限の2070m³/hを室内に取り込むことにした。

5. 計算機シミュレーションと結果

気象条件は、東京の標準気象データの中で、比較的を外気温が高く、日射量が多い8月13日の一日分を8月13日～19日の7日間にわたり繰り返し用いた。そしてほぼ周期定常に達すると思われる7日目を検討に用いた。なお計算時間間隔は5分とした。

顕熱と潜熱負荷を比較し図-5に示す。日積算の冷房負荷はAFW通過換気排気モードが5870MJ/日、AFW自然換気モードは5920MJ/日、AFW閉鎖モードは6220MJ/日、AFW室間循環モードは6600MJ/日となった。

普通建物のAFW閉鎖モードを基準とすると、其々の省エネ効果はAFW通過換気排気モード6%、AFW自然換気モード5%である。しかし通気層の日射熱を空調器に戻すAFW室間循環モードは6%負荷が大きくなった。ただしAFW内に冷房された室空気が入り、ガラスの室内側の表面温度は低くなるので、ペリメータの熱放射環境は改善される。最も負荷が小さいのは、AFW通過換気排気モードである。これは、換気の排気にAFW内の

日射熱も乗せて排気するからである。AFW 室間循環モードは AFW 内の日射熱を空調器に戻すので、最も冷房負荷が大きくなる。一方、二重窓の外側ガラスの上下に換気スリットを設けて外気と温度差換気すると、断面速が南東面では最大でも 0.22m/s、南西面では最大 0.17m/s になった。この AFW 自然換気モードは 2 番目に冷房負荷が小さかった。AFW 通過換気排気モードと AFW 室間循環モードの通気層の断面速は 0.05m/s であった。この風速（風量）を増やすことで性能が良くなるかもしれない。なお 4 つのモードで換気量は同じなので潜熱負荷の差は見られない。

外側ガラスの最高の室内表面温度は、AFW 通過換気排気モードと AFW 室間循環モードが 45℃、AFW 自然換気が 44℃、AFW 閉鎖モードが 50℃、内側ガラスの最高の室内表面温度は、AFW 通過換気排気モードと AFW 室間循環モードが 40℃、AFW 自然換気が 39℃、AFW 閉鎖モードが 46℃となり、室温と比べると 14℃～25℃高い。

なお AFW 通過換気排気モードと AFW 自然換気モードの省エネ効果は同程度に大きい事が分かったが、遮音性、雨仕舞、汚れ等の検討の必要があるであろう。

6. まとめ

本研究では夏期の AFW に関する 4 つの空気流動のモードでの熱負荷検討を行った。AFW に空気が流れない普通建物の熱負荷を基準にすると、其々は、AFW 通過換気排気モードが 6%、AFW 自然換気モードは 5%省エネになるが、AFW 内の日射熱を空調器に戻す AFW 室間循環モードは 6%熱負荷が増えてしまう結果になった。最も省エネ効果が大いなのは AFW 通過換気排気モードである事が分かった。AFW の空気流動の仕方でも最大 12% の熱負荷の差が生じた。

参考文献

- 1) 村上慶太他,エアフローウィンドウの通過空気処理方法がエネルギー消費に与える影響(その1~6),日本建築学会大会学術講演梗概集 第41670号 2006年9月, pp1383~1384
- 2) 奥山博康,野部達夫,ブラインドを持つ窓の日射熱負荷計算モデルに関する検討,空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(松江),2003年9月,A-9, pp33-36
- 3) 田中俊六監修,『最新 建築設備工学』改訂版,井上書院,2010年7月,第3章, pp101-122,

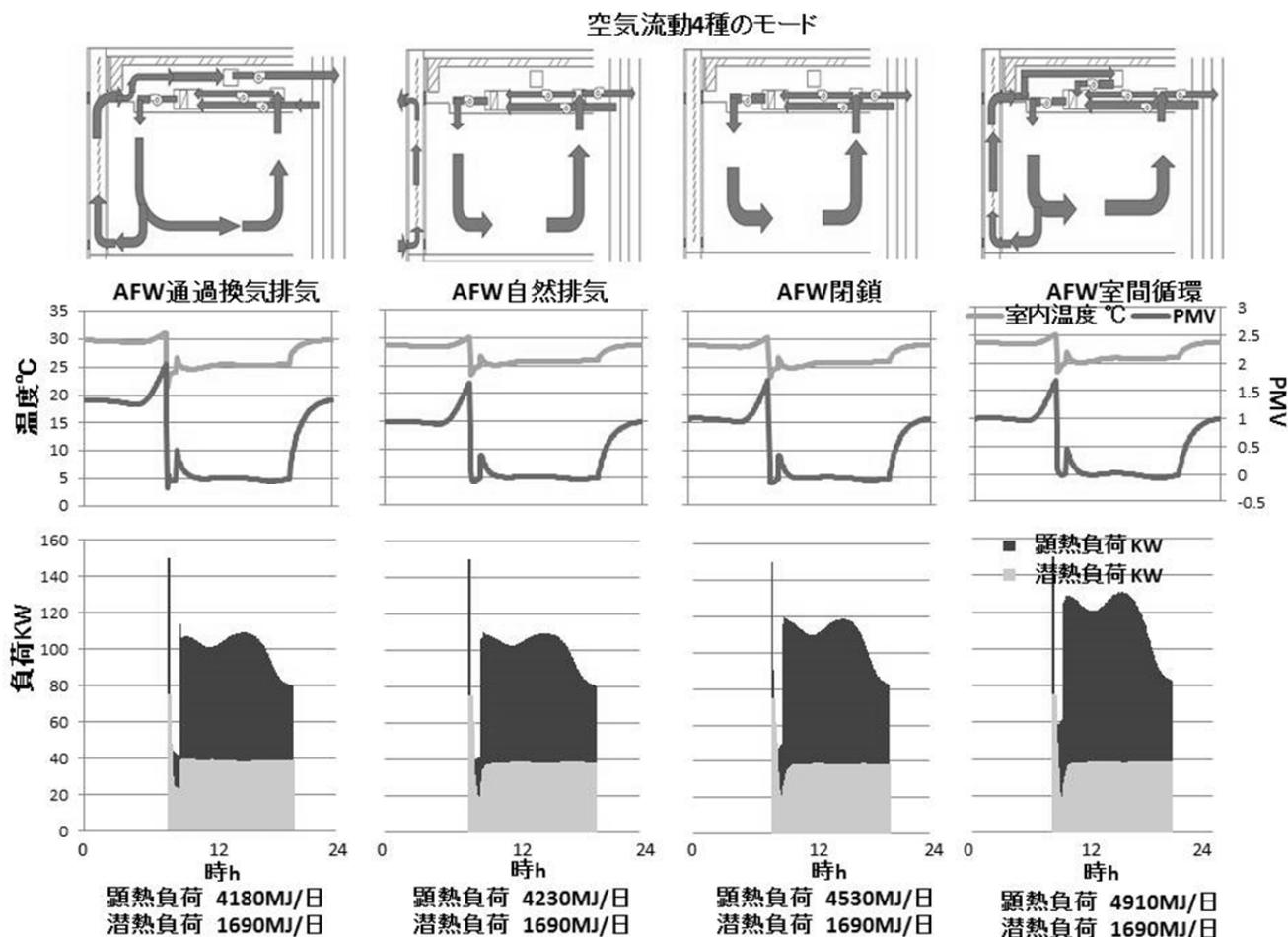


図-5 空気流動の4種のモードにおける冷房負荷比較