

## 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 Investigation of Calculation Models for Solar Radiation Cooling Load Caused by Window with Blinds

正会員 奥山 博康(清水建設) 正会員 野部 達夫(工学院大学)  
Hiroyasu OKUYAMA\*<sup>1</sup> Tatsuo NOBE\*<sup>2</sup>  
\*<sup>1</sup> Shimizu Corporation \*<sup>2</sup> Kogakuin University

**Synopsis:** Conventional calculation models of thermal load caused by solar radiation are insufficient for windows with blinds. However, the computer simulation NETS thermal and airflow network model is superior. Comparison of results from three conventional models and the NETS model revealed significant differences in whether the air layer ventilation between glass and blinds is considered. In addition, NETS prediction of cooling load closely correlated with that of the experimental facility, which has two full sized identical chambers exposed to actual meteorological conditions with the capability of thermal load measurement including solar radiation.

### 1. はじめに

従来の熱負荷計算法では、窓周りのモデル化にも問題があると思われる。一方、熱・換気回路網モデルによる計算プログラム NETS[1]を開発中であるが、この問題解決に一つの可能性を与えている。例えばブラインドを持つ窓の場合には、ガラス窓とブラインドの間の空気層で生じる換気を考慮し、またガラスとブラインドの間等の長波長放射伝熱と空気層との対流熱伝達は分けて考慮されるべきであると考え、そこでこの様な考慮をしたモデルと、していない従来モデルを、日射熱負荷について典型的な条件で比較検討した。さらに実大規模実験施設での熱負荷実験値と NETS の計算値を比較した結果についても紹介する。

### 2. 窓周り計算モデルの現状と問題

従来の熱負荷計算法では、外壁が通気層を有する場合でも問題があるが、窓周りでも幾つかの問題が考えられる。ブラインドを持つ場合を簡略化して描いてみる。図1は本熱・換気回路網によるモデルで以下に提案モデルと呼ぶ。図2の従来モデル[3][4]でも、ガラスとブラインドの2層から成る総合透過率  $e$  を計算し、また其々の吸収率  $a_g$  と  $a_b$  も計算する。各層の日射吸熱から室空気への伝達は熱流構造が1次元と仮定し、外表面伝達抵抗  $R_o$ 、空気層抵抗  $R_a$ 、室内側表面伝達抵抗  $R_i$  として、ガラス吸熱から熱負荷への配分は  $N_g = R_o / (R_o + R_a + R_i)$  で、ブラインド吸熱から熱負荷への配分は  $N_b = (R_o + R_a) / (R_o + R_a + R_i)$  となるから、合計の日射熱負荷は  $= e + N_g \cdot a_g + N_b \cdot a_b$  で計算されるとしている[4]。これに対し提案モデルではブラインドとガラスの間の空気層は換気で繋がり、ブラインドはガラスや室内表面と長波長放射熱交換でも繋がる。これらの放射伝熱の一般化熱コンダクタンスは表面温度に従って変化する。さらにガラス外表面は仮想天空温度節点とも長波長放射熱で繋がる。さらに遮蔽係数[3]を用いたモデルと本提案モデルでは違いが予想される。遮蔽係数法では、厚み3ミリの標準ガラス窓の

日射透過量と日射吸熱の室内熱伝達の二種の値を基準にし、前者には輻射遮蔽係数[3]を、後者には対流伝達遮蔽係数(全遮蔽係数[3]から輻射遮蔽係数を引いた値)を乗じて日射熱取得量を計算している。各種の日射遮蔽物の入射角度依存特性は標準ガラスと同じではないから一定の遮蔽係数で十分か問題である。

### 3. 幾つかのモデルの典型的条件での比較検討

本提案モデルや従来の3つの典型的なモデルに関して、1mの立方体の箱状モデルで、日射熱負荷を比較検討してみた。用いた日射条件は空調便覧[5]掲載のもので、太陽位置は東京の7月23日のものである。当便覧の垂直南面全日射と標準ガラス窓の日射熱取得量も参考にした。

本提案モデルは空気層と室空間の2ゾーンの換気回路網も連成し、換気風量は温度に依存して変化するモデルとした。ブラインドの通気抵抗は文献[7]の鍍戸のものを用いた。2つめは図2のモデルで窓法線方向の1次元モ

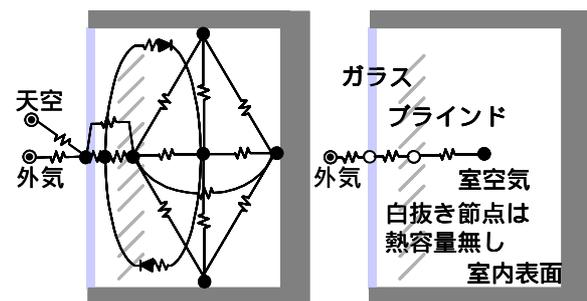


図1 提案モデル

図2 従来モデル  
(1次元モデル)

表1 検討用モデル(遮蔽係数モデル以外)

モデル名称	表面伝達モデル	空気層換気	日射吸熱部位
提案モデル	放射と対流を分離	あり	床天井表面
分析用モデル	放射と対流を分離	あり	室空気
	放射と対流を分離	無し	床天井表面
	総合熱伝達率近似	あり	床天井表面
1次元モデル	総合熱伝達率近似	無し	室空気

デル[4]と呼ぶ。3つめは遮蔽係数を用いるモデルである。さらに4つめは日射吸熱の負荷取得調整モデルと呼ぶものも導入する。これは本来の1次元モデルでは空気層換気による熱取得が考慮されないの、恣意的に $Nb=1$ と書いたものである。しかし通常の $Ro < Ri$ の場合では、 $Ng+Nb = (Ro+Ra+Ro) / (Ro+Ra+Ri)$ が1より小さくならないのに対して、 $Ng+1$ と1より大きくなり、不合理を生じることになる。なお本試算での遮蔽係数0.71もこの日射吸熱の負荷取得調整を行ったものである。以上4種のモデルの違いの原因を探るために、表1に示すように、1) 空気層内表面や室内表面の伝達モデルについて放射と対流伝達を分けるか総合伝達で近似するか、2) 空気層の換気を考慮するか否か、3) 透過日射が吸熱されるのが床・天井か室空気か、の違いで3通りの分析用モデルも計算した。

現状のNETSのブラインドの日射透過、反射、吸収の特性モデルは未だ十分に開発しておらず、ガラスのそれらの扱いと同様な入射角度依存モデルである。この角度依存はかなりフラットなものと仮定したが、透過に関してプロファイル角が小さい場合に過小評価する問題が内在する。本比較ではブラインド法線入射の場合の透過、吸収、反射は其々0.4, 0.3, 0.3と仮定した。ただし適切な比較のために従来モデルでの日射特性も同じものに揃えたので、これらの日射特性値が多少不適切としても結果に大きな影響はない。1次元モデルの空気層は文献[4]から $Ra=0.052m^2K/W$ とし、各種表面伝達抵抗も文献[4]

に合わせた。表面伝達を放射と対流に分けた場合に、ブラインド表面での対流伝達は温度差依存のNusselt式[8]を、室内表面では $4.65W/m^2K$ の一定伝達率を使った。放射は温度依存である。総合伝達に近似した内外表面伝

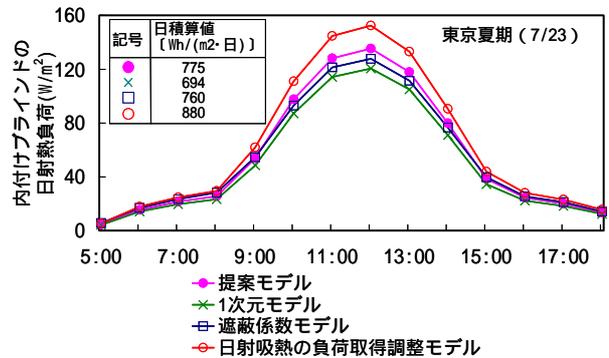


図5 代表的4種類のモデルの日射熱負荷比較

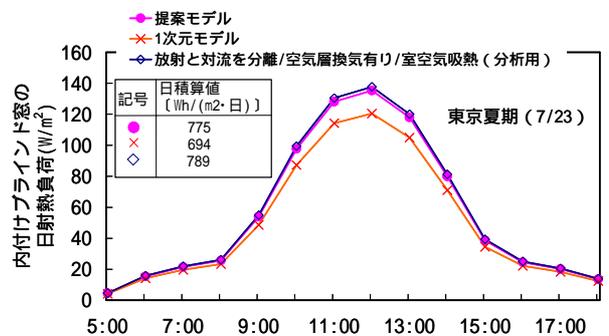


図6 放射と対流を分けた条件で日射吸熱部位の違いによる負荷比較

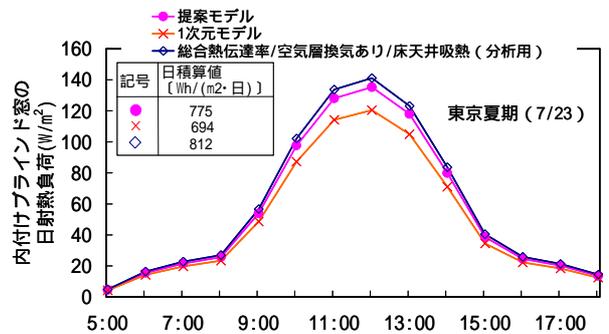


図7 表面伝達を総合熱伝達率近似にした場合との負荷比較

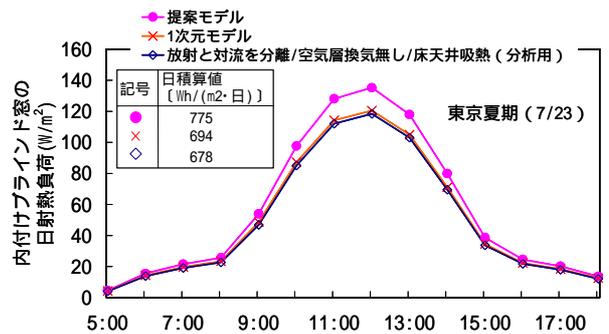


図8 提案モデルで空気層換気を閉塞した条件との負荷比較

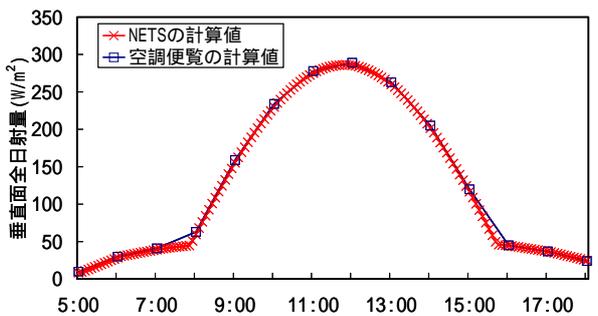


図3 直・散日射から垂直南面日射への計算一致を確認

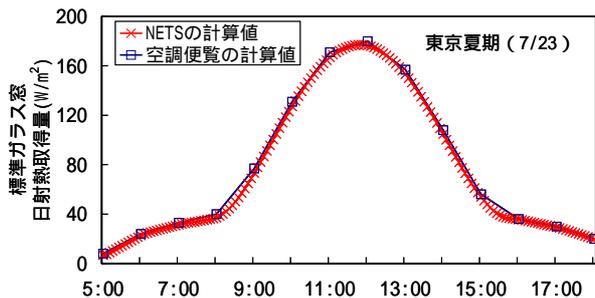


図4 透明3mmガラス窓の日射熱取得量の一一致確認

達率は文献[4]に合わせた 窓の貫流熱負荷は消去されるように、内外気温共に 0 として室空気の除去熱量を求めた。

まず NETS の傾斜面全日射量計算を空調便覧との比較で図3に示す様に確認した。次に基準となる標準ガラス窓の日射熱負荷計算も図4に示す様に検証した。アルベドは0である。図5に前述の4種のモデルの日積算負荷も比較したが、提案モデルに対して1次元モデルは日積算負荷で10%程度少ない。遮蔽係数モデルは2%程度小さい。日射吸熱の負荷取得調整モデルは逆に14%大きい。Nb=1 とおくことは負荷の過剰評価を招くが、同様に Nb=1 とおいた遮蔽係数モデルでは、法線入射時の遮蔽係数を全時間に使用した近似が偶然に良い結果をもたらしたと思われる。見方を変えれば遮蔽係数を一定値とすることで15%ぐらいの誤差を持つと思われる。本提案モデルの正午近くの結果は、内外気温 0 基準に対し、ガラスは 2 , 空気層は 1 , ブラインドは 6.5 , 天井表面は 11.5 , 床は 3.8 , 壁は 2 で、ブラインド透過の平均風速は 4.5cm/s であった。図6から窓を透過した後の日射が吸熱される部位が、天井や床とするモデルと、室空気に吸熱されるとするモデルの違いは小さい。図7は室内表面熱伝達を放射と対流で分けた場合と総合伝達率で近似した場合の比較であるが約5%近似モデルは大きな負荷を与える。これらに対して図8は空気層の換気を敢えて閉塞させたモデルとの比較であるが大きな違いが見られる。以上により、モデル化における空気層換気の考慮が及ぼす影響が比較的に大きいと思われる。

4. 実大の熱負荷実験施設の概要

本装置は工学院大学八王子キャンパス内に建設された地震防災・環境センターの4~5階部分に設置されている。一対比較を行うために全く同じ仕様の2室があり、西側の実験室をA、東側をBと称する。両室が同一の気象条件に曝された時の、エネルギー消費量および室内環境を比較実験することが可能である。1室の断面を図9に示す。各室は幅4.2m、奥行き6.1m、高さ5.5mの大きさ、南面にガラス窓(透明フロートガラス5mm)がある。本実験では天井高を2.7mとするため、高さ方向を半分に区切る天井を設け、天井裏空間の窓外側の電動シャッターにより天井裏空間への日射熱低減を図った。内壁は図9に示すように高断熱、高气密となっており、窓部を除く平均熱貫流率は0.2W/m<sup>2</sup>K以下になっている。また、実験室周囲の熱的緩衝帯では専用の空調機により任意の温度に保持することが可能である。

5. 実験建物の熱・換気回路網モデル

本建物でのガラスとブラインドの間の空気層の換気も考慮するために、熱と換気の連成したモデルを作った。これらを其々図10と図11に示す。また上下温度分布も

考慮するために、天井高さを4層のゾーンに分割した。冷房吹出風量は、最下ゾーンに直接達し、最上ゾーンから空調器に戻るものとした。最上ゾーンのレタン空気が目標温度になるように空調器での冷却量をPID制御し、

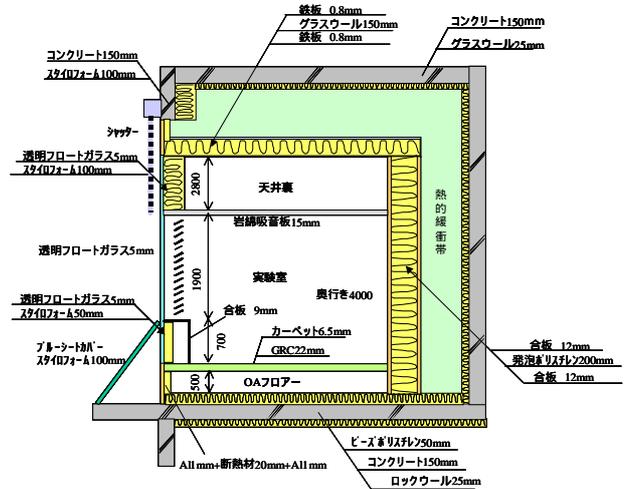


図9 モデル化した環境実験室概要

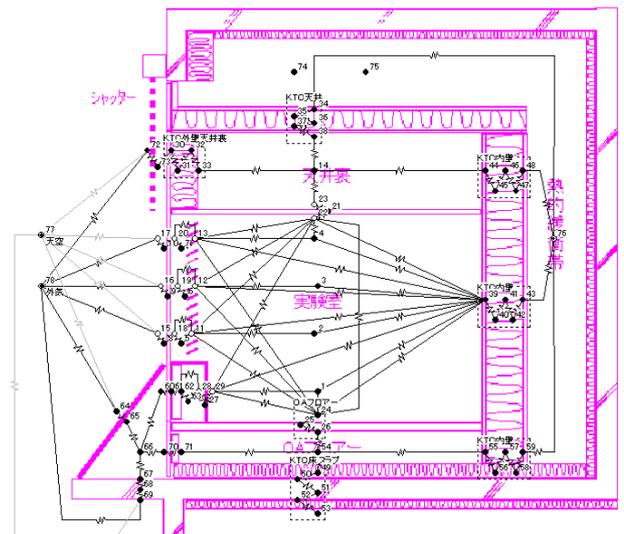


図10 熱回路網モデル

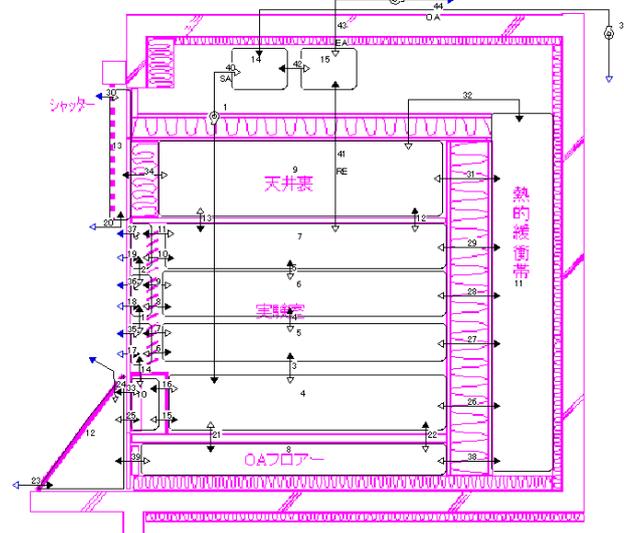


図11 換気回路網モデル

これを熱負荷とした。実験では外気導入はなく、潜熱負荷は無視できる状態であり、計算も同様にした。ブラインドの日射透過、反射、吸収は、法線入射の場合、全閉で其々0.1, 0.6, 0.3そして昼光導入時で其々0.3, 0.4, 0.3とした。

6. 実験値と計算結果の比較

NETS への気象データ(空衛学会方式)のうち直達と拡散は、測定された5分間隔の水平面全日射量に1時間の移動平均を行い、宇田川の方法[6]で直散分離して得た。図12に示す様に10月28日については直散分離が良好に行われ、垂直南面全日射量は良く一致したが、30日は実測に比べ予測値が最大時1割程度小さくなった。冷房負荷の比較は 助走期間がとれた10月28日と30日について、何れも11時から15時までを、A室とB室の負荷で図13に示す。この時間区間での積算負荷比較は表2に示す。実測の負荷は冷却コイル前後の空気温度差と風量から算出した。10月28日については、実測負荷の変動の平均ぐらいを計算値が推移しており、良く一致している。しかし10月30日についてはズレが大きい。これは直散分離が当日は良好でないこと、差し引くために仮定した貫流負荷が比較的に大きく暖房側であること、また実験の空調制御の変動等が原因と思われる。

7. 結論

従来のブラインドを持つ窓周りの計算モデルの問題点を考察し、本提案モデルとの比較検討から、幾つかのモデル化近似の中でも、空気層の換気の適切なモデル化が重要であることを示した。ブラインド吸熱が全て負荷になるとする日射吸熱の負荷取得調整モデルは過剰評価をするが、同様な仮定で一定値の遮蔽係数モデルは偶然にも提案モデルに近い結果を出した。なお本実大実験ではNETS も開発が不十分な点がある割には良い比較結果が得られたと考える。

【謝辞】

本論をまとめるにあたり同僚の大西由哲氏の協力を得ました。また実験では、コカケカサヒ 榊原陸雄氏、また卒業生の水島氏と釜氏にお世話になりました。

【参考文献】

[1] 奥山博康, "熱・換気回路網モデル計算プログラム NETS の検証", IBPSA-Japan 講演論文集 2002, ISSN 1347-4391, pp.15-22  
 [2] 登石久美子, 奥山博康, 野部達夫, 矢川明弘, 多井慶史, "昼光導入型ブラインドの省エネルギー性能に関する研究 (その1~その3)", 建築学会全国大会梗概集, 環境工学 D-2 分冊, 平成15年  
 [3] 日本建築学会編, "増補版・建築設計資料集成・設備計画編", 丸善, 昭和52年, p.26  
 [4] (財)住宅・建築省エネルギー機構・発行, "住宅の次世代省エネルギー基準と指針", 編集: 次世代省エネ基準解説書編集委員会, 平成11年第一版

[5] 空気調和・衛生工学便覧<第13版> 3 空気調和設備設計篇, 2001年11月30日第13版第1刷発行, 第5編空気調和設備設計第2章冷暖房負荷  
 [6] 宇田川光弘, "パソコンによる空気調和計算法", オーム社, 昭和61年, p.62  
 [7] 建築換気設計, 日本建築学会設計計画パンフレット 18, 昭和55年第一版, 第10刷  
 [8] 渡辺要編, "建築計画原論", 丸善, 昭和54年, 第2版, 第4刷

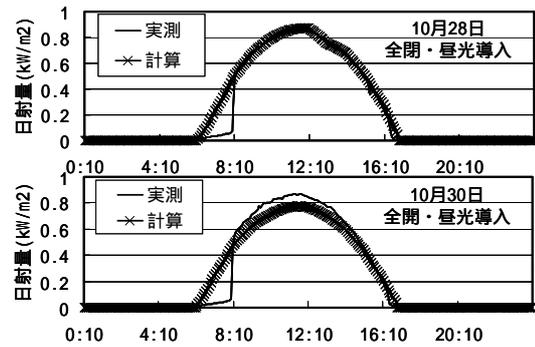


図12 垂直南面全日射の測定値と直散分離からの計算値

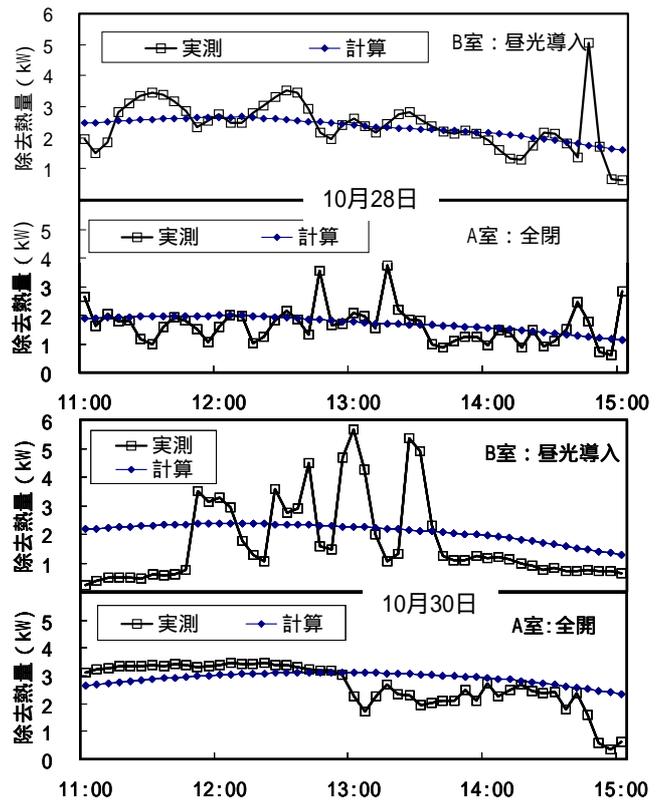


図13 冷房負荷の測定値と計算値の推移

表2 11時から15時までの積算負荷の測定値と計算値(MJ)

実験実施日	10月28日		10月30日	
	全閉	昼光導入	昼光導入	全閉
目標室温 / 平均外気温	21	18.6	23	17.6
実測結果	24.4	35.3	25.9	39.3
計算結果	25.1	34.2	30.8	42.8