季節別の太陽高度の変化を利用した日射制御窓の開発

その1. 日射制御窓の概要と性能予測

DEVELOPMENT OF A SOLAR CONTROL WINDOW UTILIZING THE SEASONAL CHANGE IN SOLAR ALTITUDE

Part 1. Outline of the solar control window and its performance estimation

石川幸雄 —*1 樋口作夫 —*2
石田 光 —*3 斉藤栄亮 —*4

Yukio ISHIKAWA —*1 Sakuo HIGUCHI —*2
Hikaru ISHIDA —*3 Takayoshi SAITO —*4

キーワード:

窓, 日射制御, 透過率, プロファイル角, 日射熱取得率

Keywords:

Window, Solar control, Transmittance, Profile angle, Solar heat gain factor

With the use of a seasonal change in the solar altitude, a proposed solar control window, both of the inside surfaces of insulating glass striped with reflection films, can change both solar, visible ray transmittance and solar heat gain factor, according to the control purposes. The window can decrease solar heat gain, while increasing the use of daylight. This paper describes the principle of the solar control window and its solar control performance estimated by simulations. Next paper describes the performance estimated by experiments and the estimated simulation results of energy performance with the use of a typical building model.

1. はじめに

窓は建築物の省エネルギーを考慮する上で、重要な要素である。窓の熱的・光学的性能を高める工夫をすることにより、さらに日射負荷、貫流負荷、昼光利用による照明負荷の低減が可能である。本研究では、アクティブな制御装置に頼らず、季節毎の太陽高度の変化を利用してパッシブに日射を制御し、断熱性を維持し、日射負荷を低減しつつ、可視光透過率を低下させずに昼光利用の向上を図り得る窓を考案した。本窓の日射制御性能及び断熱性能を予測し、試作窓を用いて行った測定結果と照合した。さらに事務所ビルをモデルに本窓を適用した場合のエネルギー性能をシミュレーションにより評価した。本報では、このうち、この日射制御窓の原理、シミュレーションによる日射制御性能及び断熱性能の予測、さらに、日射制御を目的とした窓仕様の設定例について述べる。

2. 日射制御窓

2.1 開発の目的

夏季に高く、冬季に低い太陽高度の季節変化を利用し、季節毎の目的に応じて、夏季には日射の遮蔽と可視光の利用の両立、冬季には、日射と可視光の取得を可能とする窓を開発し、内部環境を向上させつつ、冷暖房負荷と照明電力を削減し、省エネルギーを図る。太陽位置の季節別変化を太陽のプロファイル角の変化としてとらえ、図-1に東京の場合の南面、東・西面に対するプロファイル角の変化を示す。図-1(a)より、夏季の遮蔽したい日射と冬季の取得したい日射の境界は、南面で概ねプロファイル角 50° 近辺(札幌約 48° 、東京約 55° 、鹿児島約 60°)にあるといえる。夏季

の日射は冷房負荷増大の主原因であり、冬季の日射は暖房負荷軽減に大きく寄与することから、プロファイル角 50° を境界としてそれ以上で日射熱取得率が小さく、それ以下で日射熱取得率が大きいという特性を持つ窓は、省エネルギー上有効であると考えられる。一方、図-1(b)に示した東・西面のプロファイル角の変化から、西面では、 40° 以下のプロファイル角に対して日射透過率を小さくすることができれば、我国各地域で概ね夏季の15時以降の日射侵入を抑制することになり、西日による暑熱感の軽減が期待できる。また、これらの特性をブラインド等の日射遮蔽物を用いずに実現することは、視界確保の観点から重要である。

2.2 日射制御窓の構成

季節毎のプロファイル角の変化に注目し、図-2に示す日射制御窓を検討・考案した。本窓は、複層ガラスの中空層に面するガラス表面に熱線反射膜を水平ストライプ状にコーティングしたもので、その可変パラメータとしては、複層ガラスの間隔(A)、熱線反射膜の反射率(r)、ストライプのピッチ(B)・幅(C)・内外ガラス面での相対位置の差(D)とし、これらを変化させて使用目的に応じた日射制御性能を得る。

3. 日射制御窓の熱性能、光学性能の予測

日射透過率、可視光透過率及び日射熱取得率を予測し、他種窓[熱線反射複層ガラス(以下熱反ペアと略称)、普通複層ガラス(普通ペア)]のそれらの値と比較する。

*1 ㈱竹中工務店技術研究所 主任研究員・工博
(〒270-1395 千葉県印西市大塚1-5-1)

*2 旭硝子㈱硝子・建材事業本部 主任技師

*3 旭硝子㈱硝子・建材事業本部 技師

*4 旭硝子㈱硝子・建材事業本部 技師

*1 Chief Researcher, Takenaka R&D Institute, Dr. Eng.

*2 Senior Staff Engineer, Asahi Glass Co., Ltd., F.G.&C. M.G. Div.

*3 Engineer, Asahi Glass Co., Ltd., F.G.&C. M.G. Div.

*4 Engineer, Asahi Glass Co., Ltd., F.G.&C. M.G. Div.

3. 1 日射制御窓の光学性能、日射熱取得性能の予測法

(1) 透過率 (T)

図-2において、複層ガラスは高さ方向に水平ストライプを有し、幅は無限に長いものと仮定する。太陽のプロファイル角 ϕ に対し、複層ガラス中で光線は2回反射までを考慮すると、一般に、

$$T = \tau_1 \tau_2 + \tau_1 \tau_2 r_1 r_2 + \dots \quad (1)$$

となる。ここで、本窓では、内外ガラス共、各々の τ (透過率)、 r (反射率)、 a (吸収率)は、透明部 (普通ガラス) への入射光線に対しては透明部の値、反射部 (熱線反射ガラス) への入射光線に対しては反射部の値をそれぞれ用いる。光線が透明部に入射するか、反射部に入射するかはプロファイル角 ϕ 及びA、B、C、Dにより幾何学的に決定される。外側ガラスの高さ方向を微小幅で分割し、図-3の例に示す外側ガラスの透明部及び反射部の各点に入射した光線の各々について、式(1)によりTを求め、これについてBとCの重みつき平均操作を加えることで本窓のTを得る。計算に用いた普通ガラス及び各種の熱線反射膜 (熱線反射ガラス) の τ 、 r のプロファイル角 (方位角 0°) 特性 (日射波長域、可視光波長域) を図-4 (a)、(b) に示す。また、放射率は、透明部 (0.896)、反射部 [膜a (0.31)、膜b (0.67)、膜c (0.896)、膜d (0.896)] とした。

(2) 日射熱取得率 (η)

日射熱取得率は、式(2)により求める。

$$\eta = T + A_{12} \cdot (\alpha_i / (\alpha_o + \alpha_i)) \quad \dots (2)$$

ここで、 A_{12} は複層ガラス中での2回反射の過程で、内外ガラスに吸収される日射の和 ($= a_1 + \tau_1 a_2 + \tau_1 r_2 a_1 + \tau_1 r_1 r_2 a_2$) で、さらに複層ガラスを便宜的に一体ガラスと見なすことで室内への放熱量を求める。

(3) 性能予測結果

複層ガラスは、A = 6mm、12mm が一般的に普及しているため、Aはこの二値について検討した。

図-1 (a) 太陽のプロファイル角の変化 (東京、南面)

図-1 (b) 太陽のプロファイル角の変化 (東京、東・西面)

図-2 日射制御窓

図-3 透明部、反射部への太陽光線の入射・反射のパターン例

図-4 (a) 各種ガラスの τ 、 r (日射)

図-4 (b) 各種ガラスの τ 、 r (可視光)

A. 透過率 (T)

I. 複層ガラス内の熱線反射膜ストライプのD=0の場合

検討結果の一例として反射膜a、A=6とし、BとCを変えた場合の結果を図-5(a)、(b)に、またB:C=3:1とし、Aを変えた場合の結果を図-6(a)、(b)に示す。図-6からプロファイル角によっては値が突変する部分もあるが、B:Cが一定の場合、Aの変化による影響は小さい。

II. 複層ガラス内の熱線反射膜ストライプが千鳥の場合

Dを変えた場合の結果(A:B:C=6:18:6、反射膜aの例)を図-7(a)、(b)に示す。さらに反射率の影響を検討するため、反射膜を変えた場合の結果(A:B:C:D=12:10:12:11の例)を図-8(a)、(b)に示す。なお、図-7のタイプ1、図-8のタイプ2については、3.3でその構成と特長を述べる。

B. 日射熱取得率 (η)

予測結果を図-9に示す。

3.2 日射制御窓の熱貫流率の予測法

熱貫流率(U)を式(3)により求める。

$$1/U = 1/\alpha_o + 1/g + 1/\alpha_i \quad \dots (3)$$

$$\text{ここで、} 1/g = R_{g1} + 1/g_s + R_{g2} \quad \dots (4)$$

$$1/g_s = 1/(24.8/A + 5.04/\epsilon) \quad \dots (5)$$

$$1/\epsilon = 1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1 \quad \dots (6)$$

ただし、中空層部分の有効放射率については、反射部対反射部、反射部対透明部、透明部対透明部の三つの組合せがあり、日射制御窓の熱貫流率は各々の組合せ毎の熱貫流率を面積平均して求めた。熱貫流率の算定結果を表-1に示す。

3.3 最適ガラス仕様の設定

3.1に示した各形状に対する検討結果から、年間を通じて、日射負荷軽減に効果のある形状、すなわち日射熱取得率がプロファイル角 50° 以上で小さく、 50° 以下で大きい構成の一つとしてタイプ1(A:B:C:D=6:18:6:3、反射膜a)、また主として、西日除けに効果のある形状、すなわちプロファイル角 40° 以下で日射透過率および日射熱取得率の小さい構成の一つとしてタイプ2(12:10:12:11、反射膜a)を提案する。日射遮蔽性能は熱反ペア>タイプ2>タイプ1>普通ペアであるが、可視光透過性能はこの逆の傾向を示しており、タイプ1、タイプ2は共に両性能を偏りなく併せ持っていることがわかる。なお、日射熱取得率は、普通ペア>タイプ1>タイプ2>熱反ペアとなっている。また、3.2の結果から、断熱性能は、タイプ2(2.22W/m²K)>熱反ペア(2.79)>タイプ1(3.24)>普通ペア(3.40)となっており、いずれも普通ペア以上の断熱性能を保持している。

4. まとめ

本報では、日射負荷の低減と昼光利用の向上の両立を意図した窓の概念を示し、その日射制御性能と断熱性能をシミュレーションにより予測した。この結果、各地域における日射制御目的に応じて、その可変パラメータ(複層ガラスの間隔、反射膜ストライプの寸法・反射率)を変化させることにより、各種の性能が得られることを示した。さらに、検討結果から、本日射制御窓に対して通年高効果タイプと夏季西日除けに適したタイプとを提案した。

図-5(a) 日射透過率 (A:B:C:D=6:6:3:0)

図-5(b) 可視光透過率 (A:B:C:D=6:6:3:0)

図-6(a) 日射透過率 (A:B:C:D=A:3:1:0)

図-6(b) 可視光透過率 (A:B:C:D=A:3:1:0)

図-7 (a) 日射透過率 (A:B:C:D=6:18:6:D)

図-7 (b) 可視光透過率 (A:B:C:D=6:18:6:D)

図-8 (a) 日射透過率 (A:B:C:D=12:10:12:11)

図-8 (b) 可視光透過率 (A:B:C:D=12:10:12:11)

図-9 日射熱取得率

表-1 熱貫流率

窓・ストライプ寸法 A: B: C: D	反射部 膜種類	面積比			熱貫流率 (W/m ² K)
		反対反	反対透	透対透	
6 3 1 0	a	1	0	3	3.29
6 3 2 0	a	2	0	3	3.18
6 3 3 0	a	3	0	3	3.11
6 2 3 0	a	3	0	2	3.04
6 1 3 0	a	3	0	1	2.93
1 3 1 0	a	1	0	3	4.95
2 3 1 0	a	1	0	3	4.34
3 3 1 0	a	1	0	3	3.94
4 3 1 0	a	1	0	3	3.67
5 3 1 0	a	1	0	3	2.58
6 3 1 0	a	1	0	3	3.29
7 3 1 0	a	1	0	3	3.16
6 18 6 6	a	0	12	12	3.19
6 18 6 5	a	1	10	13	3.21
6 18 6 4	a	2	8	14	3.23
6 18 6 3	a	3	6	15	3.24 *1
12 10 12 11	a	2	20	0	2.22 *2
12 10 12 11	b	2	20	0	2.77
12 10 12 11	c	2	20	0	2.89
12 10 12 11	d	2	20	0	2.89

反: 反射部 透: 透明部 *1: タイプ1 *2: タイプ2

記号

A: 複層ガラスの間隔 [mm]
 A_{12} : 複層ガラスに吸収される日射量 [-]
a: 日射吸収率 [-]
B: 熱線反射膜ストライプのピッチ [mm]
C: 熱線反射膜ストライプの幅 [mm]
D: 熱線反射膜ストライプの内外ガラス面での相対位置の差 [mm]
g: ガラスの熱コンダクタンス [W/m² K]
 g_s : 複層ガラスの中空層の熱コンダクタンス [W/m² K]
 R_s : ガラスの熱伝導抵抗 [m² K/W]
r: 反射率 [-]
T: 透過率 [-]
U: 熱貫流率 [W/m² K]
 α_i, α_o : ガラスの室内側 (9.3) 及び外気側 (23.3) の総合熱伝達率 [W/m² K]
 ϵ : 有効放射率 [-]
 η : 日射熱取得率 [-]
 τ : 各部材の透過率 [-]
 ϕ : プロファイル角 (°)

〈添字〉

1, 2: 各々、複層ガラスの外側ガラスおよび内側ガラス

参考文献

- 石野久彌 他: 開口部の熱遮断機構に関する研究 (第1報) ブラインドの熱遮断特性の基礎理論、空気調和・衛生工学会学術論文集、pp.393～396、1982
- 三浦満雄 他: 開口部の熱遮断機構に関する研究 (第2報) ブラインドの熱遮断特性の基礎実験、空気調和・衛生工学会学術論文集、pp.397～400、1982
- 木下潔 他: ブラインドの使用スケジュールによる室内熱環境と装置負荷、空気調和・衛生工学会学術論文集、pp.569～572、1983
- 斉藤平蔵: 建築気候、共立出版、pp.121～127、1974

謝辞

本研究において関竹中工務店 田中義章、半澤久、中村慎、旭硝子㈱ 松本猛、長谷川重俊の各氏に協力を得た。記して謝意を表す。

(注) 本研究の一部は、日本建築学会大会学術講演会 (近畿、1996) において発表した。

[1998年3月30日原稿受理 1998年7月8日採用決定]