

太陽熱のパッシブ利用に関する研究 (その5)

——ダブルスキンの性能評価——

岡 建 雄

Passive Systems for Solar Heating and Cooling (Part 5)

——Evaluations of Performances of the Double Skin——

Tatsuo Oka

Abstract

The Double Skin, which is a glass-covered space similar to a greenhouse, is provided on the south side of an office building, the Ohbayashi-Gumi Super Energy Conservation Building. The Double Skin reflects the sun and releases heated air by natural ventilation in summer, and works as a solar collector in winter. This paper describes the evaluations of the performance of the Double Skin in the summer and winter modes. In the summer mode, the thermal structure in the Double Skin is that of 50% of incident solar energy reflected, 33% released by natural ventilation, and the remainder penetrating into the room as cooling load. In the winter mode, fresh air taken in at air handling units is heated by solar energy passing through the Double Skin. The efficiency of solar collection in relation to insolation is about 16% and the outlet air temperature is between 27 and 32°C. The Double Skin collects solar energy of 500 kcal/m² day on a fine day in winter. The energy saving performances of the Double Skin with regard to heating and cooling loads are 22% in the summer mode and 24% in the winter mode. The Double Skin is verified to be an effective energy saving system vis-a-vis cooling and heating loads throughout the year.

概 要

測定に基づいてダブルスキンの性能評価を行なったものである。夏モードでは上下の開口部を開放し、暖まった空気を自然換気によって排熱し、冷房負荷の低減を計る。この時、ガラス面に当たる日射の50%は外側ガラスによって遮へいされ、33%程度が自然換気によって排熱される。このため南窓からの冷房負荷は一般ビルの3分の1に減少した。冬モードでは導入外気を太陽熱で加熱し、空調機に送るものである。集熱温度は27~32°Cで、1日約500 kcal/m²日の集熱能力がある。ダブルスキンによって省エネルギー化が計られる割合は、夏モードで2次側熱負荷の22%、冬モードで24%程度であった。

1. はじめに

(株)大林組技術研究所本館には省エネルギー手法の一つとしてダブルスキンが採用されている。夏モードでは上下の開口部を開放してダブルスキン内の暖まった空気を自然換気によって排熱し、冷房負荷の低減を計る。冬モードでは導入された外気を太陽熱によって加熱し、空調機に送るものである。ダブルスキンはこのように付設温室に近い機能を持つハイブリッドシステムであり、本

報告は測定結果に基づいて、その性能を評価したものである。

2. ダブルスキンの構造と測定方法

写真-1にダブルスキンの外観を示す。(株)大林組技術研究所本館は延面積3,776 m²、RC造4階建の事務所建築で、南面に幅28.8 m、高さ15.1 m、ガラス面積435 m²のダブルスキンが取り付けられている。ガラス面は真南から東に27°振れている。ダブルスキンの構造

は鉄骨造で外側は8mm厚の熱線反射ガラス、室内側は5mm厚の透明ガラスである。内部にはグレーチングと呼ばれる歩廊があり、庇として大きな効果を発揮している。また断熱戸も設けられており、冬モードでは終業後に閉鎖され、日中暖められた室内の熱を逃がさないように考慮されている。

測定はダブルスキンの空気温度29点、外側ガラス、内側ガラス、断熱戸等の表面温度7点、日射量5点、ダクト内風速1点、風向風速、外気温等ですべてデータ集録装置を介してパソコンに収録した。

3. 総括熱通過率と熱容量

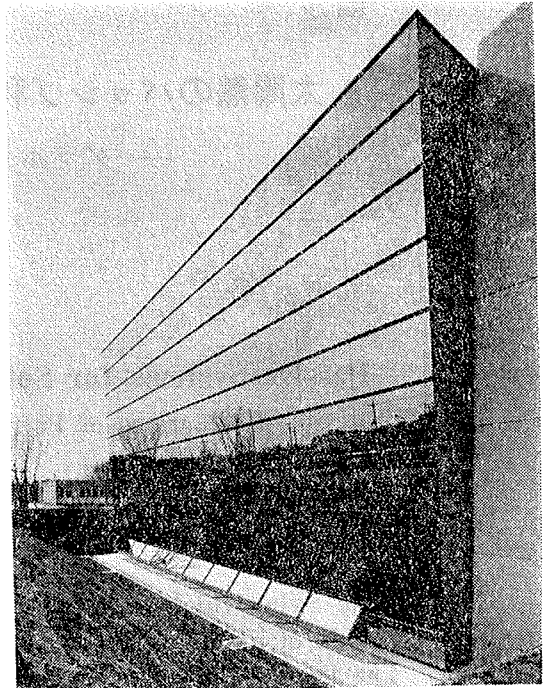
松尾 陽¹⁾の提案に従ってダブルスキンの総括熱通過率 W (kcal/h°C) と熱容量 Q (kcal/°C) を算出した。ここでは外気温 θ_0 (°C)、室温 θ_r (°C)、外部の垂直面日射量 S_0 (kcal/m²h) の測定データからダブルスキン内の空気温度 θ_a (°C) を計算することとした。すなわち外気温に対する θ_a の重み関数 \mathcal{S}_a (1/h) と S_0 に対する θ_a の重み関数 \mathcal{S}_s (°C/kcal) を用いて次式で表現した。

$$\theta_a = \int_0^t \theta_0(t-\tau) \mathcal{S}_a(\tau) d\tau + \int_0^t \theta_r(t-\tau) \mathcal{S}_a(\tau) d\tau + \int_0^t S_0(t-\tau) \mathcal{S}_s(\tau) d\tau \quad \dots\dots\dots(1)$$

得られた結果を表一に示す。これから垂直面日射量 20.2 kcal/m²h (または19.1) でダブルスキンの空気温度を1°C上昇させることになる。実際には外側ガラス面で反射されたり、吸収された後に放散される成分があるために、夏の熱容量を算出するにはダブルスキン内の空気に直接作用する日射量の割合を求める必要がある。ここではダブルスキンの集熱量が直接測定されていることに注目して、集熱運転時の熱平衡式を(2)式で表現した¹⁾。

$$\theta_a = \int_0^t \theta_0(t-\tau) \mathcal{S}_a(\tau) d\tau + \int_0^t \theta_r(t-\tau) \mathcal{S}_a(\tau) d\tau + \int_0^t S_0(t-\tau) \mathcal{S}_s(\tau) d\tau + \int_0^t C(t-\tau) \mathcal{S}_s(\tau) d\tau \quad \dots\dots\dots(2)$$

(2)式で θ_a , θ_0 , θ_r , S_0 に測定値を与え、集熱量 C (kcal/h) を求める。(2)式から算出された C と直接測定された集熱量を比較すれば、ダブルスキン内の空気温度を1°C上昇させるために必要な真の熱量が決定できる。図一は算出された C に0.4を乗じた値と C の測定値を比較したものである。図一からダブルスキン内の空気に直接作用する熱は垂直面日射量の40%程度であり、残り60%は反射されたり、室内まで透過したり、外側ガラスに吸収された後に外部に放散される熱量である。表二に夏の総括熱通過率と熱容量を示す。



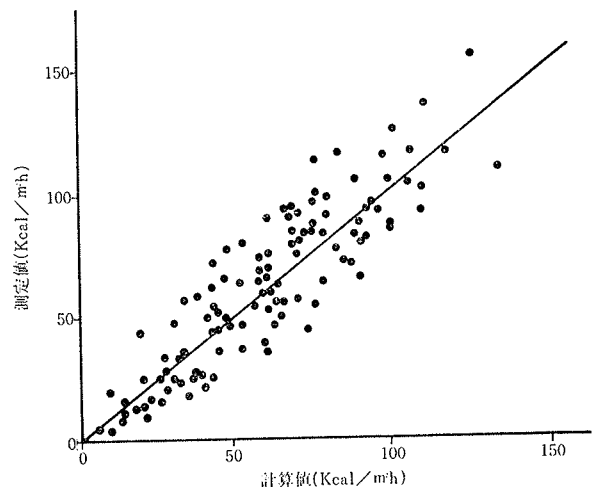
写真一 ダブルスキンの外観

	12/31~1/4 (断熱戸閉)	1/15~1/17 (断熱戸開)
総括熱通過率 (Kcal/m ² h°C)	20.2	19.1
ガラス面積当りの熱容量 (Kcal/m ² °C)	40.5	31.8

表一 見掛けの総括熱通過率と熱容量

	12/31~1/4 (断熱戸閉)	1/15~1/17 (断熱戸開)
総括熱通過率 (Kcal/m ² h°C)	8.1	7.6
ガラス面積当りの熱容量 (Kcal/m ² °C)	16.2	12.7

表二 真の総括熱通過率と熱容量



図一 ダブルスキン集熱量の測定値と計算値の比較

4. ダブルスキン運転

(1) 日射透過率

ダブルスキン外側のガラスを透過する日射量と室内まで透過する日射量は各々日射計により測定されている。図-2は外部の垂直面日射量と各々の日射透過率を示したものである。外側ガラスの日射透過率は平均25%程度であるが、朝方や夕方など太陽入射角が小さい場合には20%程度まで低下する。室内まで透過する日射量の割合はグレーチングやサッシ等のために大きくばらついているが、平均では外部垂直面日射量の10%程度である。

(2) 夏モードの運転

夏モードのダブルスキンは上下の開口部を開放して、自然換気によって排熱するパッシブシステムである。図-3は夏の静穏な晴天日における測定結果である。外側のガラス温度は日射を吸収して日中43℃まで昇温する。ダブルスキン内部の空気温度も上昇するが、換気量が多いために外気温に比較して3℃程度高くなるに過ぎない。グレーチングや断熱戸の表面温度は日射により熱せられ外気温より5~8℃高くなる。

(3) 冬モードの運転

冬モードでは上下の開口部を閉鎖し、下部ダクトから外気を導入し、太陽熱によって加熱された空気を上部ダクトから空調機に送るアクティブシステムとなる。図-4は冬モードのダブルスキンの運転状態を示したものである。冬季でも外側ガラスの表面温度は日中40℃程度まで上昇する。集熱時間は9時から14時まで5時間であり、集熱温度は27~32℃である。冬の晴天日における集熱量はダブルスキン1m²当り100kcal/m²h程度である。

集熱しないと仮定した場合の予測空気温及び日射がないと仮定した場合の予測空気温を式(1)によって計算し、図-4に示した。集熱しないとすればダブルスキン内の空気温度は日中40℃になり、日射がないとすれば15℃程度になる。従ってダブルスキン内の空気を加熱した熱量の40%程度が空調機に送られ、残り60%は伝熱損失として逸散していることになる。一方、図-4に示されたようにダブルスキンの空気に作用する熱は垂直面日射量の40%であることを考慮すると、最終的な集熱効率は16%程度になる。

(4) 集熱効率

ダブルスキンの集熱効率を図-5に示す。これは集熱している時間帯の集熱量の測定値と外部の垂直面日射量、集熱温度、外気温を用いて1日の平均値として表現したものである。集熱効率は12%から20%までばらついているが、平均的には16%程度となる。1月から3月ま

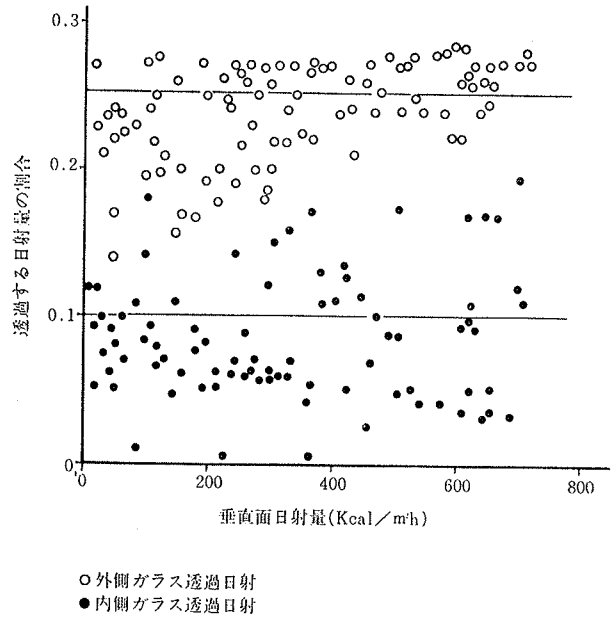


図-2 日射の透過率

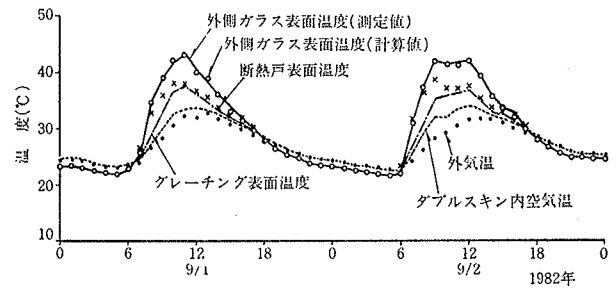


図-3 ダブルスキン各部の温度変動(夏モード)

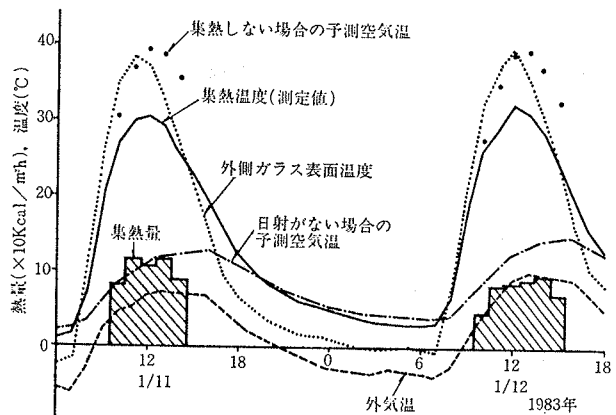


図-4 ダブルスキン各部の温度変動と集熱量(冬モード)

での測定結果であるが、月別による相違はなかった。

5. ダブルスキンの熱構成

ダブルスキン自体は単純なハイブリッドシステムであるが、その熱構造は複雑である。外側ガラスによって反射される熱量、自然換気によって排気される熱量、室内負荷となる熱量、集熱量、蓄放熱量等を定量化し、全体の熱バランスを明確にする必要がある。ここではダブルスキン内部の熱平衡式を導き、測定結果に基づいて、各熱量を算出した。図一6は夏季及び冬季の熱構成を示したもので、ダブルスキンに当たる日射量の50%は外側ガラスに反射されたり、吸収された後に外部へ放散される。30~35%はダブルスキンの自然換気によって排熱される。静穏な晴天という気象条件であったが、換気回数は50~100回/時程度は確保されていた。換気回数の算出方法はダブルスキン内の空気を加熱する熱量を求めておき、ダブルスキン出入口の空気温度差で除したものである。室内の冷房負荷となる割合は約10%で、ダブルスキンの冷房負荷低減効果は大きいと言えよう。

冬季では昼夜のダブルスキン内の温度変動が大きいために蓄放熱量も夏季に比べて大きくなっていることが特徴として挙げられる。ダブルスキン内の空気温と外気温の差が大きいために伝熱損失も増大し、日射量の62%は反射されたり、ガラスに吸収された後に外部に放散される熱量となっている。9時から15時頃まで集熱でき、集熱量は垂直面日射量の16%程度である。9時頃はダブルスキン内の空気の上昇率も大きいので、蓄熱量の割合も日射量の20%前後に達する。室内に侵入する熱は最大時でも日射量の10%程度である。

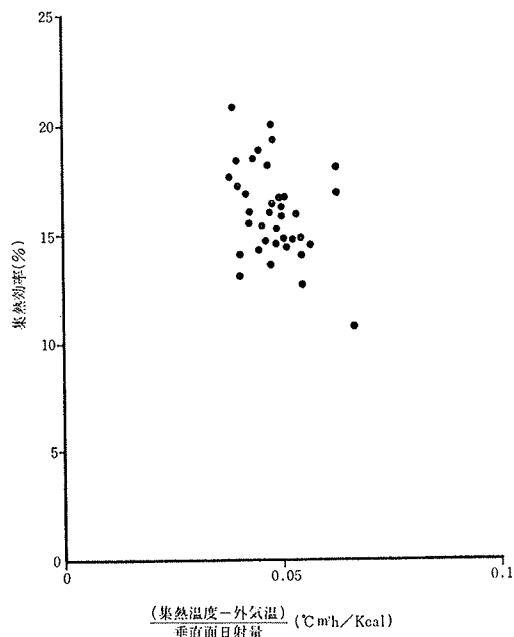
本建物の冷房負荷は暖房負荷の2倍であるために、ダブルスキンの設計に当っては冷房負荷を削減する目的の方に比重が置かれている。また冬モードは比較的高温で集熱して、極力直接暖房の熱源として使用しているのが特徴として挙げられる。

6. ダブルスキンの熱負荷低減効果

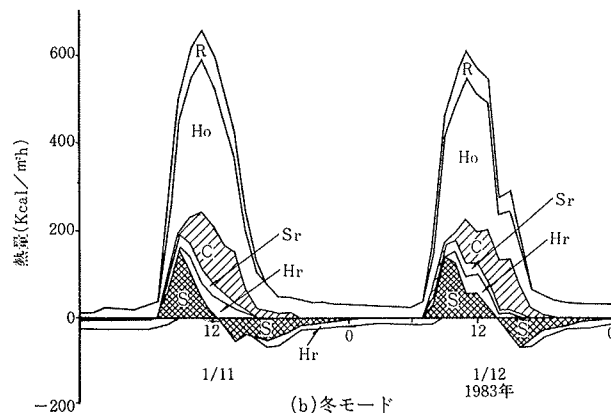
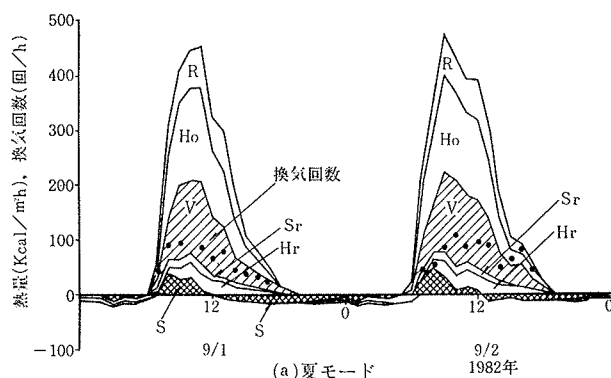
本建物では2次側熱負荷が測定されており、ダブルスキンの冷房負荷低減効果や集熱量と対比した。2次側熱負荷は空調機とFCUに送られる熱量である。

夏季の冷房負荷低減効果を推定するために、ダブルスキンを取り付けた場合と取り外した場合の南窓からの冷房負荷を計算した。ダブルスキンがある場合は測定データに基づいて求められる。ダブルスキンがない場合は日射や外気温の測定データを用いて、通常の熱負荷計算法によって計算した。

ダブルスキンがない場合を一般ビルと想定している。



図一5 ダブルスキンの集熱効率



R: 反射成分 Ho: 外側ガラス表面から外部へ逸散する熱量 V: 換気により排熱される熱量 C: 集熱量 Sr: 室内に透過する日射量 Hr: 室内に伝熱される熱量 S: ダブルスキン構造体に蓄放熱される熱量

図一6 ダブルスキンの熱構成

表一3に7月から9月の計算結果を示す。7月は冷房負荷が小さいうえに試運転中ということもあり、8月と9月のデータを対象とする。8月のデータでは、南窓からの冷房負荷はダブルスキンによって41%に削減される。これは2次側負荷に与える省エネルギー効果が18.7%であることを示している。9月は冷房負荷が小さいために省エネルギー効果は24.6%となる。一方、8月のピーク日でダブルスキンの省エネルギー効果を算出すると17%であった。

表一4に冬季における集熱量と2次側熱負荷を示す。集熱量も本来2次側熱負荷に占める割合は16.7~32%になる。3月は暖房負荷が大きく、集熱量が小さいためにダブルスキンの集熱量に依存する割合は低下している。一方、一月は晴天日も多く、暖房負荷が小さかったために32%という高い依存率が得られた。

7. 結論

(1) 夏モードでは、ガラスに当たる日射量の50%が外側ガラスで遮られる。30~35%の熱は自然換気によって排気される。換気回数は静穏な晴天日で、50~100回/時程度である。10%程度が室内の冷房負荷となる。

(2) 冬モードのダブルスキンの集熱効率率は平均16%である。集熱温度は27~32℃で、1月の晴天日では1日約500 kcal/m² 日程度集熱できる。

(3) ダブルスキンが2次側冷暖房負荷に与える省エネルギー効果は冷房時のピーク日で17%、平均で21.7%である。暖房時には2次側暖房負荷に占める集熱量の割合は16.7~32%であった。

参考文献

- 1) 松尾 陽: 測定にもとづく室温予測および暖房性能の評価法について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭和51.10), pp. 337~338
- 2) 岡 建雄: 太陽熱のパッシブ利用に関する研究 第1報 小実験室に取り付けられたパッシブシステム,

	南窓からの熱取得		2次側冷房負荷 (Mcal/月)	計測日数 (日)
	一般ビル (Mcal/月)	ダブルスキン (Mcal/月)		
7月	1242	367	954	10
8月	2066	856	5208	12
9月	1378	333	3210	15

表一3 2次側冷房負荷と南窓からの熱取得 (1982年)

	集熱量 (Mcal/月)	2次側暖房負荷 (Mcal/月)	計測日数 (日)
1月	2074	4405	19
2月	2051	6643	23
3月	1662	8269	28

表一4 2次側冷房負荷と集熱量 (1983年)

空気調和・衛生工学会論文集, No. 21, (1983.2), pp. 73~81

- 3) 伊藤直明, 他: 環境工学における市街地風の変動とその影響に関する総合的研究—7, 8, 日本建築学会論文報告集, 第191号, (昭和47.1), pp. 27~43
- 4) 小林定教: 建築物の室内側熱伝達特性に関する実験的研究, 第2報 換気のない室内における各面の流入熱量とその熱伝達特性について, 日本建築学会論文報告集, 第292号, (昭和55.6), pp. 79~86
- 5) 木村建一: 建築設備基礎理論演習, 学献社, (1970)
- 6) 空調設備基準委員会: 電算機による動的空調負荷計算法, 空気調和・衛生工学, 第46巻, 第3号, (昭和47.3), p. 3