

# 天窓採光による照明の省エネルギー化の研究（その1）

——天窓実験棟による波板ガラスの採光，熱的特性の実験——

安倍 隆

## Energy Conservation in Lighting by Providing Skylights (Part 1)

——Experiment and Evaluation of Daylight Utilization and Heat Losses of Skylight——

Takashi Abe

### Abstract

Skylights which provide daylight in spaces are usually adopted for large halls such as factories and gymnasiums in order to save energy for lighting. However, a skylight also tends to pose problems of glare due to sunlight, increases of cooling and heating loads, and condensation on skylight glass panes. This paper describes evaluations of a skylight system with wave glass with steel wires in it which was developed at the Ohbayashi-gumi Technical Research Institute. Distributions of daylight, effect of room air temperature and condensation on glass were measured with a skylight model in order to evaluate the daylight utilization and heat losses of the skylight.

### 概 要

昼光利用による照明の省エネルギー手法として，工場，体育館などの大空間建築物で，天窓による採光方式が採用されるが，この方式は室内の昼光率分布が均一にとれるという利点がある一方，直射日光によるグレア，温度上昇，冬季の結露等の問題が生じやすい。本研究はこれらを改善した安価で効果的な天窓採光方式を開発することを目的としたもので，大林組技術研究所内に天窓実験棟を設置して種々の実験を行なっている。本報告では，天窓材料として網入波板ガラスを使用した場合について，実験棟内の昼光率分布，温度上昇，結露の状態等について測定した結果を述べ，天窓採光方式の問題点を明らかにし，今後の研究の方向を示した。

### 1. はじめに

建築物における照明の省エネルギー手法として，昼光利用が採用される例が最近増えてきている。事務所ビルにおいては，側窓による片側採光で，昼光センサーにより窓際の一列ないし二列の照明器具を消灯あるいは調光するシステムがあり，この場合の昼光と人工光の協調の問題や，在室者に与える心理的な影響についての報告例もいくつか見られる<sup>1),2)</sup>。また，昼光による明るさのみでなく，熱的な面から空調設備の冷暖房負荷の増減をもとらえた総合的なエネルギー収支の研究も行なわれている<sup>3)</sup>。

一方，工場，体育館，倉庫など，大空間の建築物では側窓のみの採光では十分な昼光が得られなかったり，室内の障害物のために主たる作業領域まで昼光が届きにくいことがあり，天窓による採光方式が採り入れられる。

天窓採光による方式では，室内を均一に照明することができ，照明用電力の節減量が大きいという利点があるが，室外の明るさの変化が直接室内側へ影響したり，直射日光によるグレア，夏季温室効果による室温の上昇，冬季の結露などの問題が生じる。これらを解決するためには直射日光対策として乳白系の天窓材料を使用したり，ブラインド，ルーバーなどの直射日光しゃへい装置の使用，二重ガラスの採用が挙げられるが，現状ではこれらを含めた天窓の設置コストが非常に高くなってしまい，省エネルギー効果による償却年数が長くなる欠点がある。本研究はこの点を改善して，安価で効果的な天窓採光方式を開発することを目的としたものであるが，本報告では技術研究所敷地内に設置した天窓実験棟において，天窓材料として厚さ6.8mmの網入波板ガラスを使用した場合の採光特性についての実験結果を述べる。

## 2. 実験概要

### 2.1. 天窓実験棟の概要

図-1 に天窓実験棟の概要を示す、実験棟の大きさは間口 2,400 mm, 奥行 3,690 mm, 天井高 2,400 mm で、屋根中央に有効開口 700 mm×1,700 mm の採光窓が設置してある。屋根は鉄板で、天井は化粧合板、天井裏に 25 mm のグラスウールがあり、壁はカラー鉄板サンドイッチパネルで、間に 22 mm の断熱材 (イソバンド) がはさみ込んである。北面の側窓および南面ドア部の窓ガラスは透明ガラス (3 mm) でサッシはアルミニウム、天窓は 6.8 mm の網入波板ガラスである。写真-1 に実験棟の外観、写真-2 に天窓部を室内側から見た状況を示す。また、図-2 に天窓部の詳細を示す。

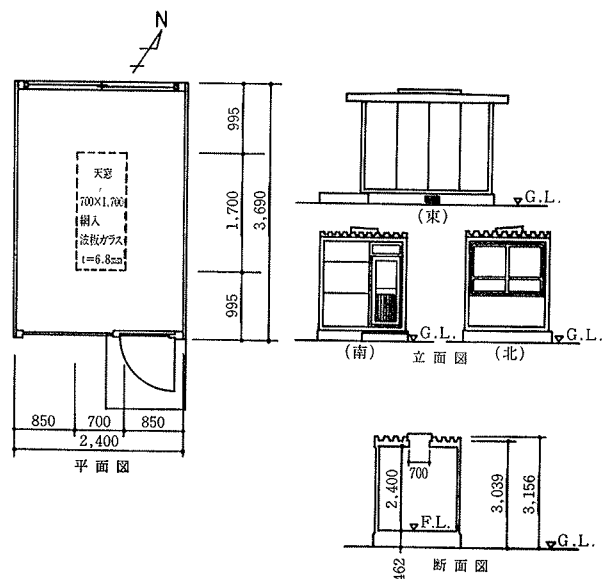


図-1 天窓実験棟の概要

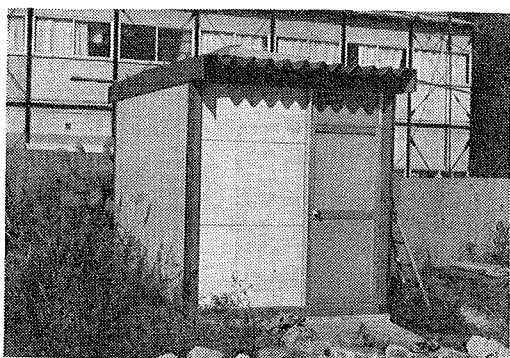


写真-1 天窓実験棟の外観

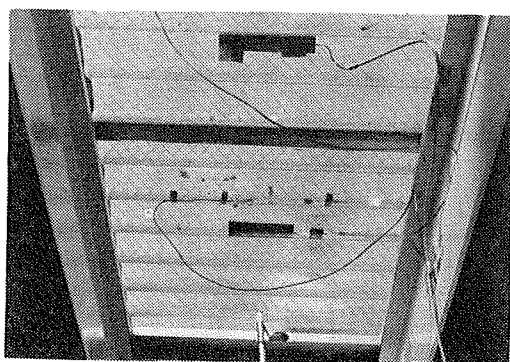


写真-2 天窓部の状況

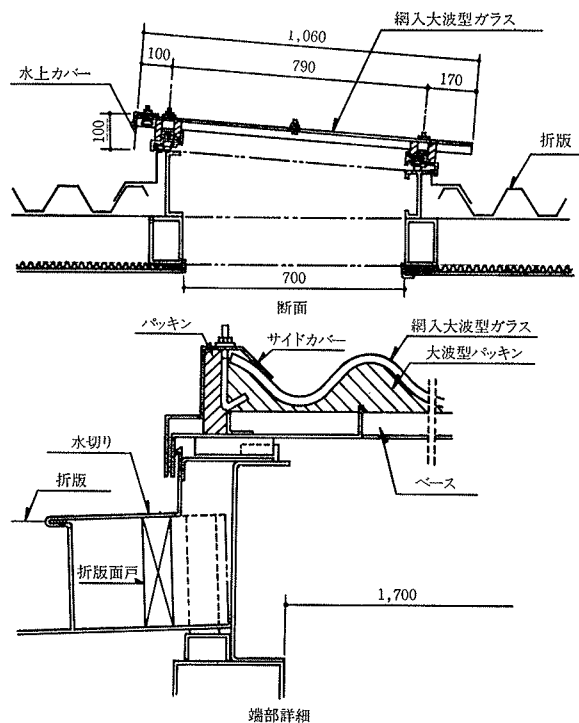


図-2 天窓部の詳細

### 2.2. 実験方法

実験は昭和57年8月26日～9月30日と12月7日～14日にかけて、断続的に行なった。実験方法および測定項目は以下の通りである。

測定項目は採光特性に関しては全天空照度と室内各点の昼光照度であり、これにより室内昼光率分布を求めた。全天空照度は実験棟の屋根最頂部に全天候型照度計 (ライカ pH 2129-7805) を設置し、室内昼光照度は光電池照度計 (ミノルタ T-1) を使用し、両者の測定値を多点

式データロガーに入力して同時測定を行なった。図-3 に昼光率測定点を示す。また、電子計算機により室内昼光率分布を計算し、実測値と比較した。計算に必要な室内各面の反射率および天窓部のガラス透過率は実測により求め、この結果天井面反射率63.3%、壁面61.9%、床面11.9%、天窓透過率は71.3%であった。また昼光率の測定に際しては天窓のみによる影響を求めめるため、北側の側壁窓および南面ドア部の窓は厚紙でおおい、この部分からの昼光の入射を防いでいる。

熱特性に関する測定項目は、室中央における垂直温度分布、天窗ガラス内外表面温度と熱流、純放射量、外気温および室内の絶対湿度（冬季のみ）である。これらの測定結果より天窗からの日射による夏季の室内温度上昇、冬季結露状態を調べ、また天窗部の熱貫流率を測定により求めた。温度検出素子は銅-コンスタンタン熱電対、熱流は熱流素子、純放射量は放射収支計（英弘精機CN-11）、湿度は絶対湿度計（芝浦電子SM-310）を使用し、温度測定用の熱電対にはふく射の影響を除去するためにアルミはくの筒をかぶせた。外気温は実験棟の北側地上2mの地点の温度をとった。測定は多点式データロガーによる各点同時測定とし、1時間ごとの測定値を記録した。図-4に各測定点を示す。

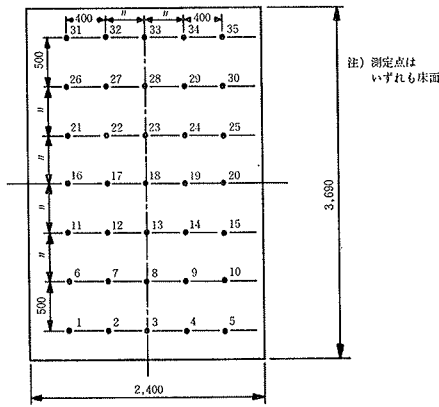


図-3 屋光率測定点

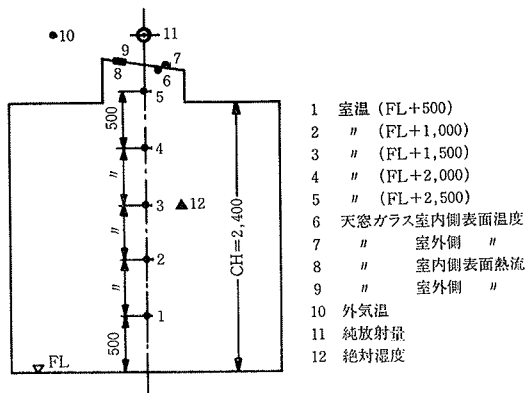


図-4 熱特性測定点

3. 実験結果

図-5に室内屋光率分布の測定結果と電子計算機による計算結果を示す。図の上段が実測値、下段が計算値である。測定は昭和57年8月26日に、直射日光が無く完全曇天空とみなせる時を選んで行なった。図の値はこのような状態で測定を3回行った値の平均値である。電子計算機による理論計算では、天空輝度分布を一様と仮定し、天窗部を長方形光源として室内各点に対する投射率

を求め、これに窓面と天空の輝度比を乗じて直接屋光率を求めた。また室内各部の相互反射による間接屋光率は、室内各部で一定とし、作業面切断公式<sup>4)</sup>により求めた。図-6に計算に用いた室内各部の反射率の測定結果を示す。

図-7~10に室内の垂直温度分布と外気温の測定結果を示す。図-7, 8は夏季（昭和57年9月25, 26日）の晴れの日と曇りの日の結果であり、図-9, 10は冬季（12月11, 12日）の晴れと曇りの日の結果である。また、表-1に冬季の測定結果より求めた天窗の熱貫流率などの値を示す。表中の風速は大林組技術研究所本館の屋上にて測定、記録しているものを用いた。熱貫流率の計算には、日射の影響を避けるために夜間の測定結果を用い、さらに測定中は実験室内を加熱して室温と外気温との差をできるだけ大きくとるようにした。計算方法は文献<sup>5)</sup>

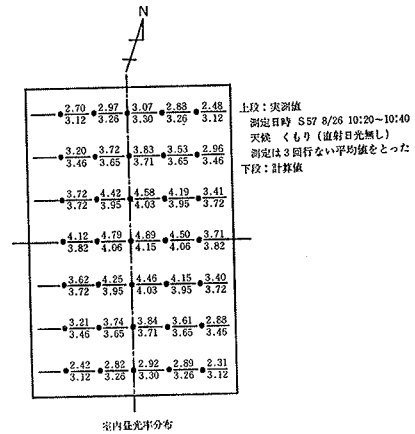
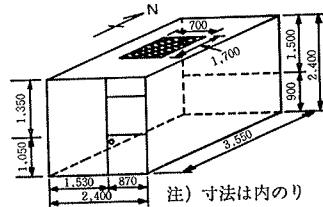


図-5 屋光率測定結果



部位	面積(m <sup>2</sup> )	1	2	3	4	5	平均	備考
天井	7.33	E 190	172	166	160	223		
		L 39	34	33	36	44		
		ρ	64.5	58.4	63.6	70.7	59.3	63.3
床	8.52	E 1220	791	1010	662	894		
		L 47	28	45	23	33		
		ρ	12.1	11.1	13.9	10.3	11.6	11.9
壁(北窓部)	3.6	E 1190	1660	1750	1210	7360		
		L 265	325	350	220	1470		
		ρ	59.9	61.5	62.8	571	62.6	60.8
壁(南窓部)	0.91	E 1150	1160	1430	1160	855		
		L 251	272	321	243	180		
		ρ	68.6	73.7	70.5	65.8	66.1	68.9
壁(南ガラス部)	1.17	E 779	806	94.1	734	635		
		L 90	149	188	149	83		
		ρ	36.3	58.1	62.8	63.7	41.0	52.4
壁(南ガラス部)	1.17	E 1020	909	841	681	783		
		L 211	190	187	144	163		
		ρ	64.3	65.6	69.9	66.4	65.4	66.3

注) E: 照度(lx), L: 輝度(cd/m<sup>2</sup>), ρ: 反射率(%), ρ = πL/E × 100

図-6 室内反射率測定結果

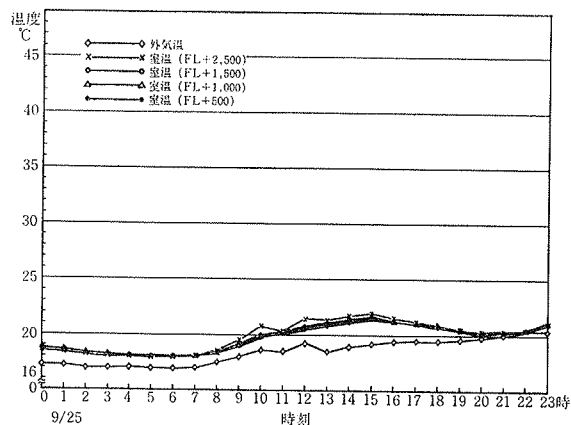


図-7 室内垂直温度分布(昭和57年9/25, 曇り)

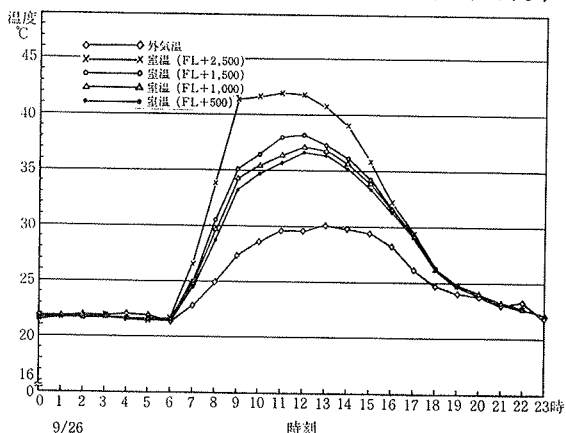


図-8 室内垂直温度分布(昭和57年9/26, 晴れ)

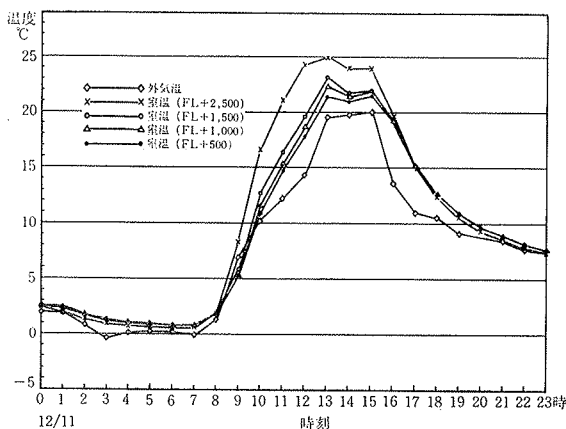


図-9 室内垂直温度分布(昭和57年12/11, 晴れ)

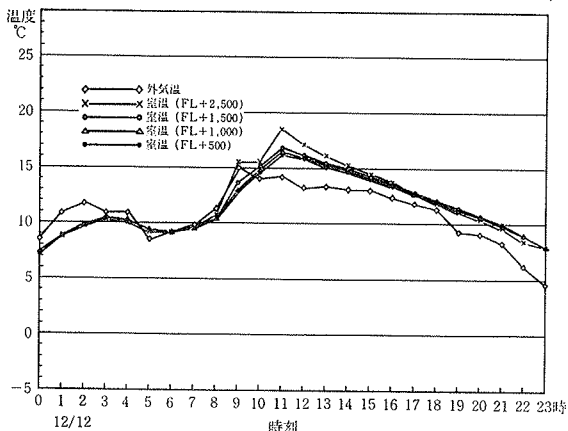


図-10 室内垂直温度分布(昭和57年12/12, 曇り)

と同様である。

図-11と12は昭和57年12月7日から8日にかけてと、12月13日から14日にかけての室内絶対湿度の測定結果より求めた露点温定と、室温，外気温，天窓ガラス室内側表面温度の関係を表わしたものである。

測定日	時刻	外表面熱伝達率 (kcal/m <sup>2</sup> h <sup>2</sup> )	内表面熱伝達率 (kcal/m <sup>2</sup> h <sup>2</sup> )	相当外気温度 (°C)	熱貫流率 (kcal/m <sup>2</sup> h <sup>2</sup> )	風速 (m/s)
昭和57年 12月8日	18:00	20.96	9.89	3.19	6.52	1.17
	19:00	14.57	10.16	2.90	5.84	1.87
	20:00	14.16	10.02	3.14	5.73	1.17
	21:00	16.99	10.62	1.81	6.36	2.10
	22:00	14.51	10.47	2.51	5.96	0.70
	23:00	12.28	10.33	1.57	5.47	1.17
12月9日	0:00	10.39	10.79	-2.36	5.17	0.70
	1:00	9.65	10.22	-5.59	4.87	0.00
	2:00	9.30	10.60	-6.93	4.85	0.00
	3:00	11.07	10.72	-6.63	5.34	1.17
	4:00	—	—	—	—	—
	5:00	10.48	10.58	-8.04	5.16	0.23
	18:00	16.04	10.39	-2.39	6.08	0.23
	19:00	11.51	10.03	-4.39	5.19	0.00
	20:00	11.80	10.32	-5.99	5.34	0.47
	21:00	12.16	11.21	-6.20	5.64	0.00
12月10日	22:00	12.23	11.11	-6.08	5.67	0.00
	23:00	14.52	11.54	-5.25	6.23	0.23
	0:00	12.50	11.13	-6.90	5.71	0.00
	1:00	—	—	—	—	—
	2:00	13.75	10.85	-6.03	5.90	0.00
	3:00	12.45	11.64	-4.85	5.86	0.00
4:00	—	—	—	—	—	
5:00	15.62	10.74	-5.18	6.15	0.00	
平均		13.19	10.64		5.67	

注) 12/9 4:00及12/10 1:00と4:00は欠測

表-1 天窓の熱貫流率等の測定結果

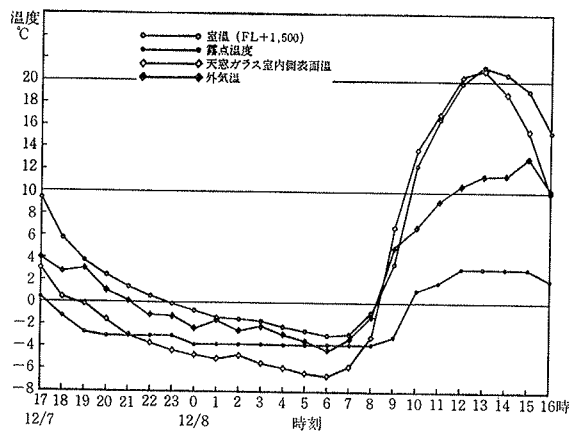


図-11 露点温度と各部温度(12月7日~8日)

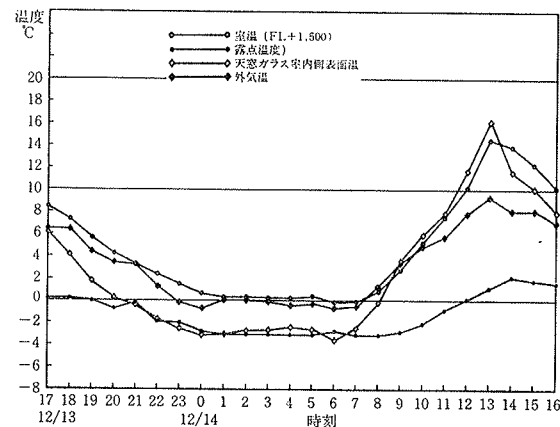


図-12 露天温度と各部温度(12月13日~14日)

#### 4. 考 察

網入り波板ガラスは天窓材料としては光の透過率も高く、板ガラスに比べて拡散性も優れており、直射日光によるグレアが生じにくい材料である。このため条件がそれほどきびしくない場合にはまぶしさの面からは直射日光対策をとくに施さなくても使用できるという利点がある。しかし図-8に示す通り、夏季日射がある場合には室温がかなり上昇し、特に天井付近では40℃以上にも達した。実際に工場、体育館などに使用する場合には、天井高が10~20 m と高い場合が多いので、作業領域と天井付近の温度分布を詳細に検討する必要があるが、このような温度上昇が問題になることは十分に予想され、適切な日射しゃへい対策が必要となる。また図-10, 11に示す通り、天窓ガラスの室内側表面温度が露点温度を下回り結露を生ずる。採光窓と換気口をうまく組み合わせた構造や、結露による水滴をうまく外部に流してやる方法を取り入れるなどの対策が必要となる。熱貫流率の測定結果については、厚さ6.8 mm の板ガラスの熱貫流率が5.71 kcal/m<sup>2</sup>h℃ というデータがあり<sup>6)</sup>、ほぼ妥当な結果が得られた。

#### 5. おわりに

今回の実験は天窓材料として最も一般的と思われる網入り波板ガラスを用いたものであるが、結果は大体予想されたものとなった。今後は、今回の結果を基準として、換気口との組み合わせや、他の材料との比較を行ない、施工法も合わせて研究する予定である。

#### 参考文献

- 1) 田淵義彦：側窓採光の事務所照明におけ昼光と人工光の協調の要件，照明学会誌，Vol. 66, No. 10, (1982), pp. 483~487
- 2) 安倍，谷邨，斎藤：事務所ビルにおける窓際照明の自動点滅の省電力効果と存室者に与える影響，照明学会誌，Vol. 67, No. 1, (1983), pp. 21~26
- 3) 斎藤，酒井，遠藤：熱経済性ベクトルを使った窓際消灯効果の解析，照明学会誌，Vol. 65, No. 4, (1981), pp. 58~62
- 4) 松浦邦男：建築照明，共立出版，(昭和50.1)，pp. 116~130
- 5) 田中，安倍：住宅における天窓の採光特性と熱特性の測定，大林組技術研究所報，No. 25, (1982), pp. 162~166
- 6) 日本板ガラス総合カタログ