

膜構造物の環境実測（夏期）

（まいどーむ：北海道帯広市）

佐野 武仁¹

田中耕太郎²

田中 義治²

稲岡 英子³

概 要

わが国では、日本万国博覧会（1960年：大阪）の芙蓉グループパビリオン（エアビーム）、電力館（エアビーム＋サスペンション膜構造）、アメリカ館（エアドーム）など仮施設として端を発した膜構造建築物は、今日では神戸ポートピア博、科学万博、青森・青函博、ならシルクロード博など大形博覧会施設の展示施設として、その技術が開花するが、これと平衡して、東京ドーム、秋田スカイドーム、帯広・まいどーむ、釧路・鳥取ドームなど、野球場、陸上競技場、商業施設など多数の人々が参集する恒久大規模施設としての採用も盛んである。特に、秋田スカイドーム、帯広・まいどーむ、釧路・鳥取ドームは、東北、北海道などの寒冷地に位置し、室内温熱環境、膜内表面結露、コールドドラフトの問題など環境的には、種々の問題を含んでいる。筆者らはこれらの諸問題を解決することを目的として、1989年夏から長期に渡り、帯広・まいどーむの環境実測を進めている。手始めに、その第1報として、夏期の環境実測について報告する。

1. 研究の目的

膜構造建築物は、膜を通しての昼光利用が可能である。この結果、自然採光のもとで快適な室内環境の演出が可能であり、照明計画における省エネルギー化の面においても優れた建築方式である。特に、冬期に日照時間の少ない雪国では、太陽光のもと、雪の無いグラウンドでスポーツが楽しめるのも利点の一つである。

しかし、外皮として室内外を分ける膜壁は1mmに満たない材料のため、室内温熱環境、音・光環境、室内空気質などの面において解決を要する問題が多々ある。筆者らは、膜構造建築物に快適空間を作ることを目的として研究を進めている次第である。

2. 建物概要

本建物は、一重膜サスペンション構造物である（写真-1）。建物用途は、商業施設で、地上5mまでが



（写真-1）建物外観および内観

* 1, * 3 昭和女子大学 生活美学科住居学教室

* 2 小川テント株式会社 建築設計部

鉄筋コンクリート造、最高高さは19.5mで、屋根部分の膜材は、テフロン膜0.80mm厚を使用している。室内は、レストラン、生鮮食品の売り場として構成されている。この両室は高さ3mのコンクリート壁によって仕切られているが、その上部空間は一つの空間としてつながっている。

3. 設備概要

夏季は、天井部に設けられた排煙ファンを用い外気を取り入れ外気冷房を行なっている。給気は、1・2階の窓を開放し、新鮮空気を取り入れる。冬期は、床パネルヒーティング(200,000kcal/h)とファーンレス(155,000kcal/h)により温風暖房を行っている。

4. 実測概要

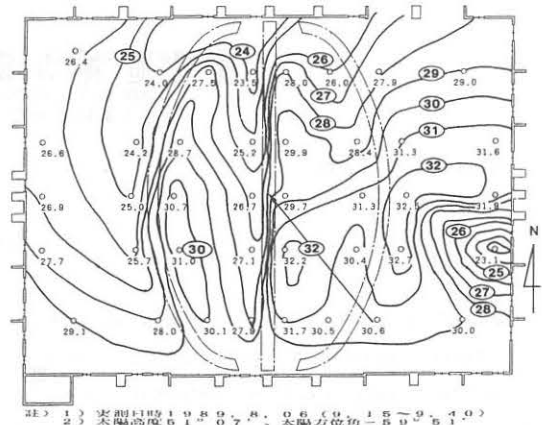
実測点は、外気温湿度1点・室内温湿度1点・全天照度および日射量・透過照度および日射量各1点、垂直温度分布7点・膜内外表面温度東西南北計8点・床表面温度2点等合計30点を10分間隔で24時間連続的に実測している。また、1989年7月28日から8月8日まで現地において、手による実測も行った。実測項目として、デジタル温湿度計および、アスマン温湿度計を用いて、室内温度を、また、照度計を使い室内各点を、屋外水平照度は、30秒ごとに同時に実測を行った。その他、実測項目として、在室者数、使用電気量、各種換気ファン風量、出入口室内気流分布について実測を行った。

5. 実測結果

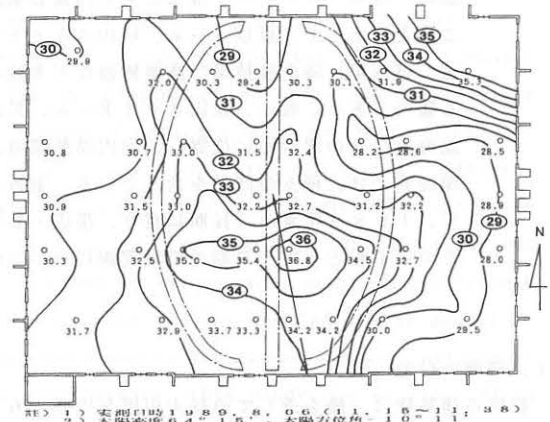
1) 膜面の表面温度について

(図-1)から(図-3)は8月6日の膜表面の温度分布を示したものである。この日は快晴だったため、正午すぎに外気温度は最高29℃を記録している。(図-1)は9:15分の測定結果を示したもので太陽高度ならび方位角は $h = 51^{\circ} 07'$ 、 $\alpha = -59^{\circ} 51'$ となる。日射を直接受ける南東の膜表面部分においては外気温度23.1℃に対して膜表面温度は約10℃高い32.2℃となっている。この時刻では分布状態もかなりばらつきがあり、影の部分では外気温度とほぼ同じ23℃程度になっている。ちなみに測定点40点の平均は28.5℃となっている。

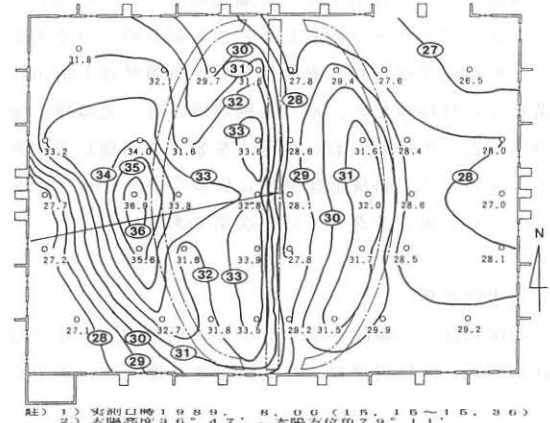
(図-2)は11:15分の測定結果を示したもの



(図-1) 膜表面温度 [9:15]



(図-2) 膜表面温度 [11:15]



(図-3) 膜表面温度 [15:15]

で太陽高度ならび方位角は $h = 64^{\circ} 15'$ 、 $\alpha = -10^{\circ} 11'$ となる。膜表面温度も外気温の上昇に伴い全体的に上がっている。膜表面温度が最も高くなった部分は9:15分の測定時と同じ位置で、外気温 26.9°C に対し 36.8°C を記録している。分布状態は太陽がほぼ南に位置しているので、建物の中央部分から放射状に膜表面温度が低くなっている。平均膜表面温度は 31.7°C となり9:15分の測定結果と比較すると 3.8°C 上昇している。

(図-3)は15:15の測定結果を示したもので太陽高度ならび方位角は $h = 36^{\circ} 47'$ 、 $\alpha = 79^{\circ} 11'$ となる。11:15分の測定時と比較して外気温が 28.5°C とほぼ同じなので膜表面温度についても大きな差異はない。但し分布状態はかなり異なり膜表面温度の最も高い部分は西側となり、北側と南側が中心を境にして対角的に分布している。またこの時刻になると東側は影となるので膜表面温度は低くなっている。平均膜表面温度は11:15分の測定時とほぼ同じで 30.5°C となっている。

2) 室内および屋外温湿度について

(1) 外気温湿度分布

(図-4)は、実測時7月19日から8月7日までの外気温湿度をハイブリットにて、10分間隔24時間連続して実測した結果を、点グラフにしたものである。上温が 32°C 、下温 15°C 、相対湿度は、40%~90%とかなりはばがあることが分かった。

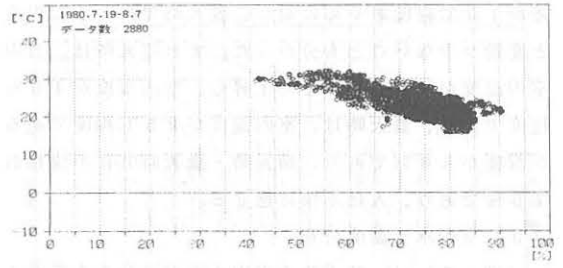
(2) 外気温湿度と室内温湿度

(図-5)は、7月30日、曇天時の外気温湿度と室内温湿度の1日の変化をグラフ化したものである。また、(図-6)は、8月3日、晴天時のものである。

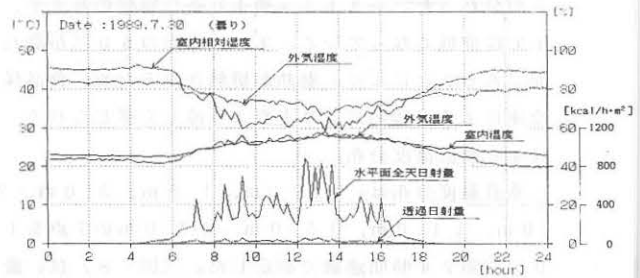
(図-5、6)より各時間とも外気温・室内温度とも $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ の差がある。

日中は、室内温度が外気温より $1\sim 3^{\circ}\text{C}$ 下回るが、19時から8時までは、外気温より室内温度の方が上まわることが分かった。これは日中は、換気ファンにより、建物周囲の給気窓や出入口からの給気が、室内空気とは余り混合せず、膜面で加熱され、膜面に沿って排気されるためではないかと考えられる。夜間は換気ファンを止め、日中に床・壁に蓄熱された熱が放熱する為に、外気温より室内温度が高くなると考えられる。湿度は、温度の高低により同じ様な動きを示していることが分かった。

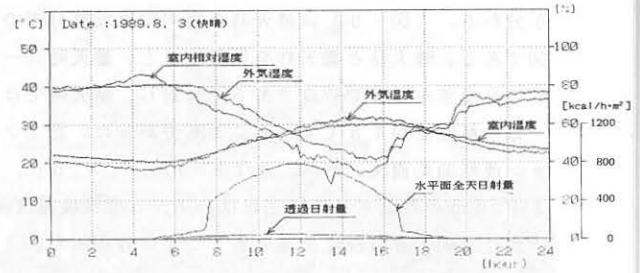
晴天時と曇天時を比較すると、晴天時は1日の温度



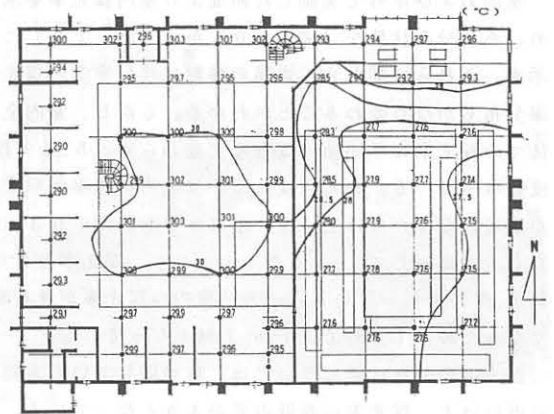
(図-4) 外気温湿度分布図



(図-5) 外気温湿度および室内温湿度分布



(図-6) 外気温湿度および室内温湿度分布



(図-7) 室内水平温度分布 [1989.8.2 14:15]

差が10℃程度あるのに対し、曇天時では、5℃程度と変動が少ないことも分かった。また晴天時は、日中室内温度が30℃近くまで上昇し、室内湿度が40%程度であり、曇天時は、室内温度が25℃程度であるが湿度が80%であり、晴天時・曇天時共に不快指数75%であり、人は不快に感じる。

(3) 室内水平温度分布

(図-7)は、晴天時の室内水平温度分布を等温グラフにより示したものである。レストランおよび売り場とも水平温度分布は0.5℃程度の温度差しかないことが分かった。レストラン側より売り場側の温度が、1℃程度低くなっている。また、床面の50%が濡れ面であることにより、潜熱が排熱されるため、食品保冷庫による冷輻射により実際より涼しく感じられる。

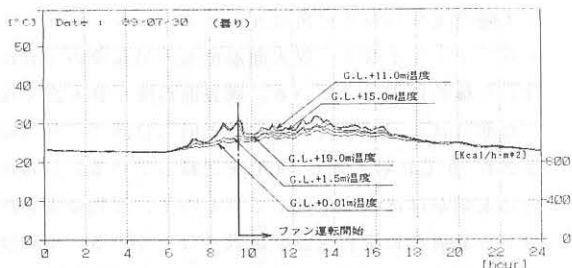
(4) 垂直温度分布

垂直温度分布は、0.01m, 1.5m, 3.0m, 7.0m, 11.0m, 15.0m, 19.0mの7点を10分間隔24時間連続で測定した。(図-8)は、曇天時の実測値をグラフ化したものである。実測結果より、上部に行くにつれて温度は高くなっているが、19.0mでは、11.0mの温度より下回っていることが分かる。(図-9)は晴天時の室内垂直温度分布の図である。晴天時と曇天時を比較すると、曇天時は一日の温度差が10℃程度であるのに対し、晴天時では、一日の温度差が15℃であることも分かった。屋上ファン運転開始直後、G.L.+19.0m, 15.0m, 11.0mの各高さでの測定値は、2~3度程度温度が下がり、約15分程度で落ち着くことが分かった。

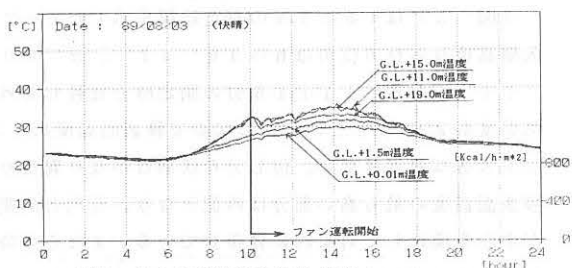
3) 照度について

室内および屋外で実測した照度より室内採光率を求め、その分布状態を(図-10)から(図-12)に示す。これらの図から、太陽の移動に伴い室内の採光率分布もかなり変わることがわかる。しかし、室内全体での採光率の平均値はほとんど変わらず、5.5%程度となっている。また照度について室内の水平面照度が最高になったのは正午で、屋外水平面照度103,000lxに対して7,960lxとなり、採光率としては7.7%になっている。一方、室内の採光率が最も高くなったのは15時で、10.7%となっている。

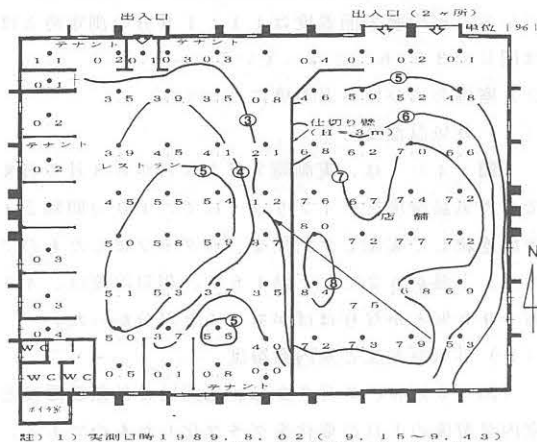
採光率の分布状態については、日の射している方向に近いほど、採光率の高低の差が大きくなっている。特に15時にはレストラン側、店舗側の差がかなり出



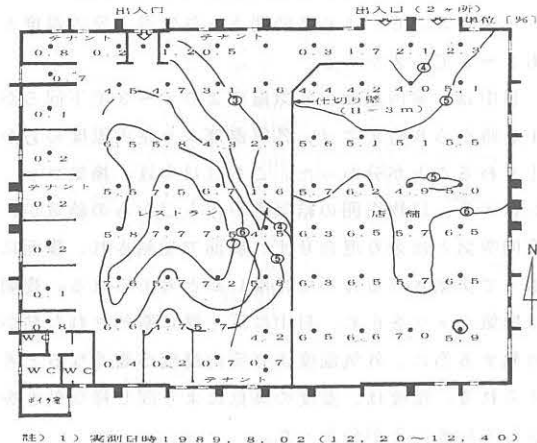
(図-8) 室内垂直温度分布



(図-9) 室内垂直温度分布



(図-10) 採光率分布 [9:15]



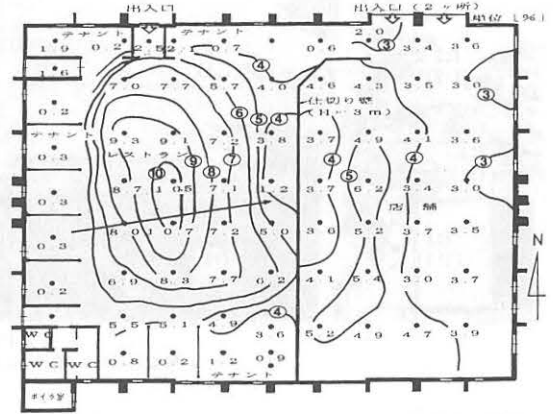
(図-11) 採光率分布 [12:20]

ており、店舗側3～6%とほぼ等採光になっているのに対して、レストラン側は4～10%と採光率に差が出ている。

建物内部には中央部の仕切りとして高さ3mの壁が設けられており、その影によって中央部の採光率は低くなっている。また、テナント部分には2階がありこれにより、2階の無い所よりかなり採光率が低くなっている。

4) 輝度について

レストラン側中央より南面を見たときの晴天時、曇天時の実測結果を(写真-2)に示す。一般的に輝度については、視線から30度以内の視野内で評価される。今回の場合、全測定点が視野に入るので、全点について評価を行った。この実測結果より各々のアパレント・ブライツネスを求めたものが(写真-3)である。この時の順応輝度は、晴天時4.68 n t、曇天時2.15 n tである。(写真-4)は輝度対比を求めた結果である。各図のカッコ内の値は各々の曇天時の値



註) 1) 実測日時 1989. 8. 02 (15:20~15:40)
2) 太陽高度 33°18'、太陽方位角 62°10'

(図-12) 採光率分布 [15:20]

である。最もアパレント・ブライツネスが高い点は曇天時で1100、これに対して晴天時では1500、この時の輝度は各々1670 n tと3600 n tで、実測値では倍以上の差になっている。しかし順応現象によりアパレント・ブライツネスでは大きな差になっていない。



単位: n t ()内は曇天時
(写真-2) 晴天時および曇天時の輝度分布



()内は曇天時
(写真-3) 晴天時および曇天時のアパレント・ブライツネス



() 内は曇天時
 (写真-4) 晴天時および曇天時の輝度対比

6. 実測のまとめ

1) 膜面の表面温度

太陽の時系列変化に伴い、膜表面は日射の影響で温度分布状態もかなり変化する事が分かった。また夏期においては膜表面温度は外気温度より10℃程度の上昇することが分かった。ちなみにテフロン膜の日射吸収率は汚れの状況によっても異なるが約30%程度とされている。

曇天時についても測定を行ったが太陽の時系列に関係なく膜表面の温度差は3℃程度で晴天時に比べ等分布状態となっており、外気温度より約2℃程度高い値となっている。

2) 室内温熱環境

膜構造物は外乱の影響を非常に受け易く、帯広にお

いても短期間ではあるが、商業施設として利用される膜構造物には、冷房設備が不可欠であることが判明した。

3) 室内照度、輝度

膜構造の場合、自然採光が望めると言うのが特徴である。しかし、屋外照度が安定しないときは、室内も不安定な照度となる。また、快晴時には明る過ぎて、まぶしく感じる時もある等の問題も出てきている。

一般的に、室内の採光に関するまぶしさおよび、見え易さと言うものは、輝度対比またはグレアで現される。今回測定した輝度から、膜面とその他のポイントとの輝度対比を見ると、曇天時で、9:1~1:2程度、晴天時で、7:1~1:2となった。

ENVIROMENTAL MEASUREMENT OF MEMBRANE STRUCTURE. (SUMMER)

Takehito SANO^{*1}
 Kohtaroh TANAKA^{*2}
 Yosiharu TANAKA^{*2}
 Eiko INAOKA^{*3}

SYNOPSIS

Recently, membrane structures have been introduced to the merchant facilities as well as the sports ones on a large scale.

However, membrane materials are so thin that there remains some problems from the view point of architectural environment.

This time, we have surveyed some enviromental data for the membrane structure which we installed in Obihiro, Hokaido in order to establish comfort space in cold climate area. (minimum out door temperature is about -20°C.)

We have found the following results that the distributions of illumination and temperature in the membrane structure are influenced by the sunlight to a large extent.

*1, *3 Faculty of Living Arts, Syouwa Women's University
 *2 Architectural Design Department, Ogawa Tendo Co., Ltd.