

膜構造物の温熱環境に関する研究 (第3報)

— 膜構造物の建築気候に関する年間環境実測 —

佐野 武仁^{*1} 田中耕太郎^{*2}

今井 礼子^{*3} 田中 儀治^{*2}

尾川友佳子^{*4}

概 要

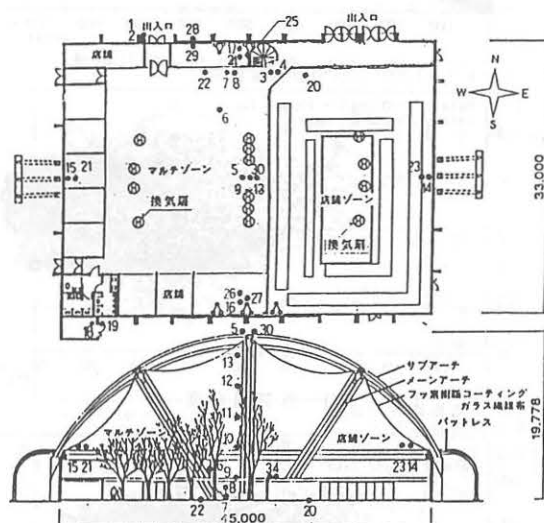
厳しい自然環境の中で膜構造物は可能であるかが、当初の懸案であった。環境工学の立場から膜構造物を観察すると、居住性としての快適性、建物熱負荷とエネルギー消費量、騒音および音の伝搬、結露、発塵量や炭酸ガスなど室内有害物質、建物と換気性能など建築気候を構成するパラメータは多い。そこで筆者らは、1989年12月末から91年8月末まで、寒冷地帯広に建つ膜構造物(写-1)を対象に、日射量、建物内外の温湿度、風速などの実測を行った。ハイブリッド、マイコン(写-2)を現地に設置し本格的に環境実測を開始し、1年間のデータを収集した。既報では、採光、日射量などを知るためのテフロン膜、塩ビ膜など膜材料の基礎研究、寒冷地の膜構造物の結露、夏期の室内環境実測、エネルギー消費量と夏期温熱環境のシミュレーションなどについて発表した。本報では建築気候としての年間環境実測結果について発表する。

1. 建築概要及び実測点

建築概要および実測点については、既報第1から4報に詳報している。本報ではその概要を述べるにとどめる。

建物の主要部分1485 m^2 (32 $\text{m} \times 45\text{m}$)は、平屋建て、その屋根部分は、0.80mm厚のテフロン膜で構成されている。最高屋根高さは19.5 m である。膜からの採光は建物全体にさし込み自然な採光が可能である。壁は、GLから6 m の立上げで建物四周をコンクリートで覆っている。暖房設備は、床パネルヒーター(延床面積当たり平均134 $\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}$)、ファーンズ(97 $\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}$)、計231 $\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}$ が設備されている。夏期は排煙ファン(76.9 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$)を兼用して換気(外気冷房)を行うのみで冷房設備はない。暖房期間は11月から4月末の6ヶ月、外気冷房は6月から9月末のうち室温が28 $^{\circ}\text{C}$ 程度になると運転する。その他の期間は壁に設けられた窓を開閉し、なるべくクロスベンチレーションを行っている。測定点は(図-1)に示す通り膜、壁、床などの表面温度

、建物中心部での垂直温度分布などを実測したほか、



(図-1) 平面図および断面図

敷地面積	4559 m^2	建築面積	1485 m^2	最高高さ	19.5 m
膜面積	1485 m^2	構造	鉄筋コンクリート造		
膜構造形式	ケーブル補強サスペンション膜構造				
膜材	フッ素樹脂コーティングガラス繊維布(A種)				
温水ボイラー	200000 kcal/h	ファーンズ	155000 kcal/h		
パネルヒーター	405 m^2				
立上り(排煙兼用)	118 m^2/min (8台)、160 m^2/min (6台)				

(表-1) 施設概要

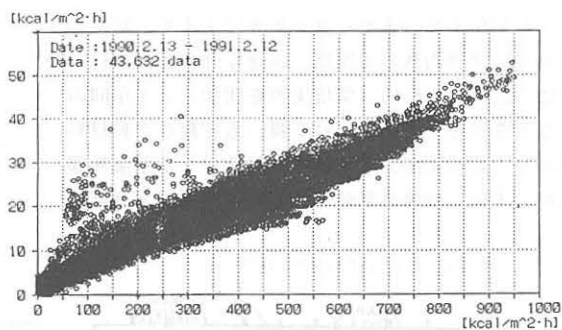
全天日射量、透過日射量、外部風速などについて実測した。また露点温度については、飽和蒸気圧 P_s をその温度の水または氷の飽和蒸気圧 P と同じとし、Wexler-Hyland の式を採用しニュートンラプソン法を用いて計算した。

1) 水と接する場合 ($T=273.16 \sim 473.15\text{K}$ に対して)

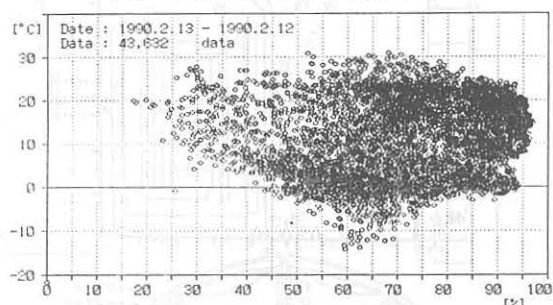
$$\begin{aligned} \ln P_s = & -5.8002206 \times 10^{-3}/T + 1.3914993 \\ & -4.8640239 \times 10^{-2}T + 4.1764768 \times 10^{-5}T^2 \\ & -1.4452093 \times 10^{-8}T^3 + 6.54596731 \ln T \end{aligned}$$

2) 氷と接する場合 ($T=173.15 \sim 273.16\text{K}$ に対して)

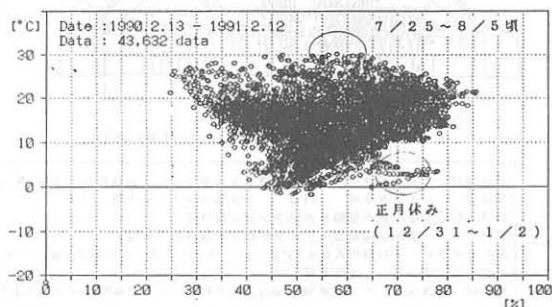
$$\begin{aligned} \ln P_s = & -5.6745359 \times 10^{-3}/T + 6.3925247 \\ & -9.6778430 \times 10^{-2}T + 6.2215701 \times 10^{-5}T^2 \\ & + 2.0747825 \times 10^{-9}T^3 - 9.4840240 \times 10^{-13}T^4 \\ & + 4.16350191 \ln T \end{aligned}$$



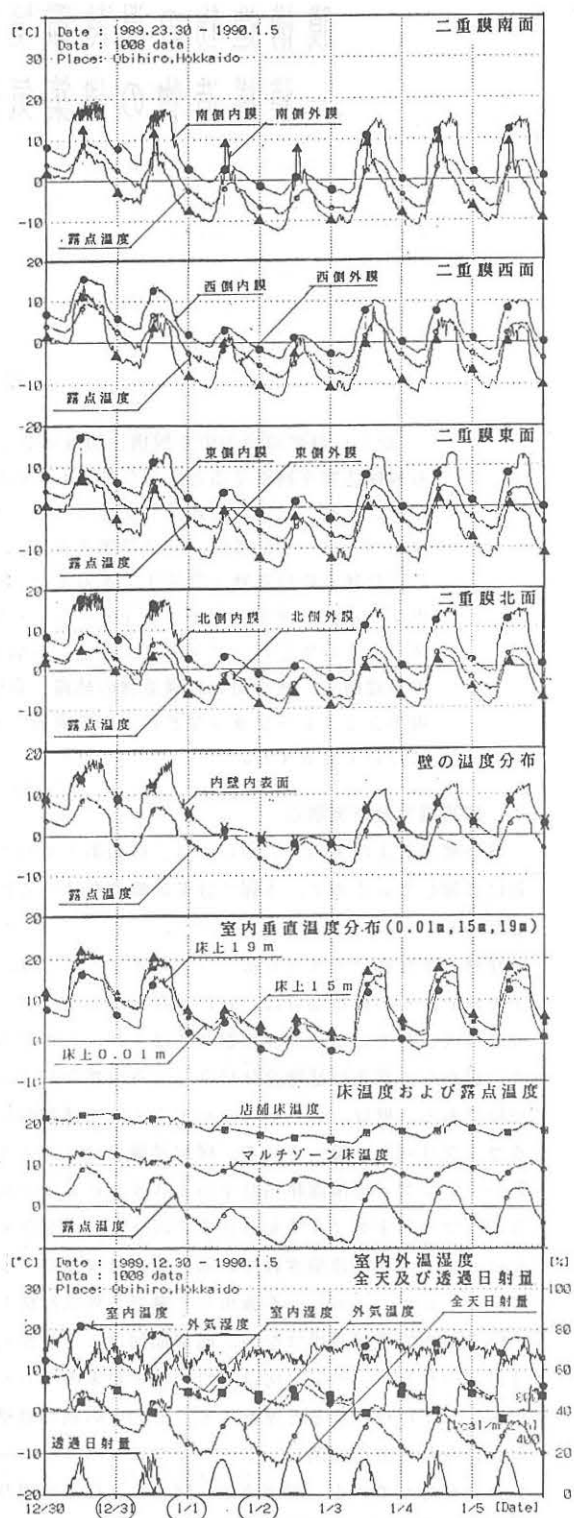
(図-2) 全天および透過日射量



(図-3) 外気温湿度



(図-4) 室内温湿度



(図-5) 冬期環境実測(1989.12.30 - 1990.1.5)

$$p = \psi p_s \text{ より } p_s = \frac{p}{\psi}$$

2. 年間実測結果

膜構造物の建築気候に関する年間のデータは、国の内外を通じてほとんど公開されたものではなく、特に寒冷地でのデータは皆無に等しい。ここに示すデータのうち室内および外気温湿度は1990年2月13日から1991年2月12日の1年間のデータで、実測はハイブリッドを用い10分間隔で30点計測し、その結果の一部を本稿に示した。その母集団は52560データの内フロッピー交換などの欠落データを除くと収集データ数は43632データで、データ収集率83.0%である。また、(図-5~7)に示す冬期、夏期、中間期のデータはそのシーズンの特異日および標準日が組み合わされたデータの各シーズン1週間とした。また(図-5~7)のY軸方向の温度スケールが、図面レイアウト上実測項目により上下しているのに注意して見ていただきたい。

□全日射量および透過日射量(図-2)

年間日射量の最大値は $950 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ である。透過日射量については、室内6mの高さの位置で測定したが、受熱面では膜面に来るエネルギーの4から7%前後であった。

□外気温湿度(図-3)

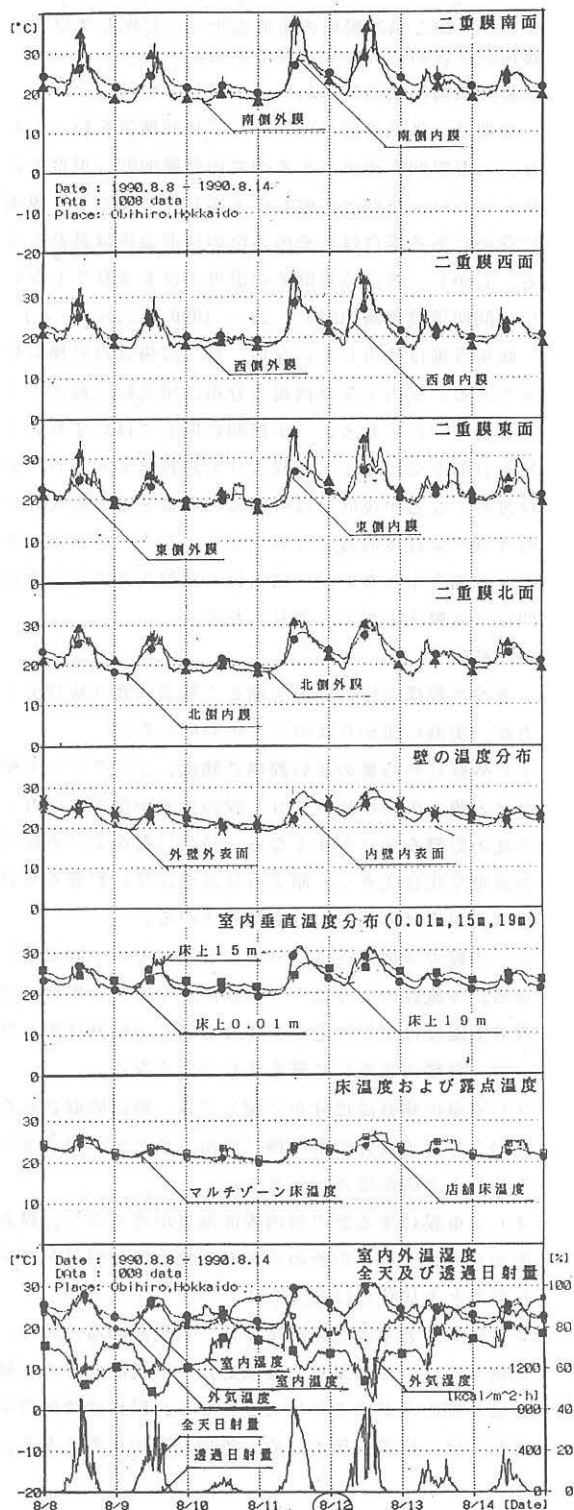
気温は7月25日から8月10日頃の2週間が最も高温となり 32°C 前後を示した。最低気温は -13°C 程度で平年並みの冷え込みである。湿度に関しては、気温の日較差が大きく、これに関連して夜間はかなり高くなる日がある。

□室内温湿度(図-4)

床上1.5mの点の温湿度を示す。冷房装置がないため夏期の数時間は 30°C を越す日もある。また、年末年始の休業時には室温は 0°C 程度まで下がる。

□冬期環境実測(1989.12.30 - 1990.1.5)(図-5)

一日の日射量は晴天日で $400 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ を切る。外気温は -5 から 6°C 程度に下がる日が多い。床暖房は24時間運転、ファーンレスは営業時間中運転している。暖房時の室温は 20°C 程度まで上昇する。東西南北いずれの方位においても、外膜は露点温度以下に下がり、結露が起きやすい状況である。ただし南面などで太陽光を受ける面は膜表面温度が上昇し日中は結露が起きない。内膜外膜間の温度差は暖房時5deg前後である。内膜床面は露点温度以下にはなら



(図-6) 夏期環境実測(1990.8.8 - 1990.8.14)

ない。床面と頂部膜面の垂直温度分布に関しては、非暖房時を含め4deg程度である。

□夏期環境実測(1990.8.8 - 1990.8.14) (図-6)

夏期は、外気冷房を目的として強制換気を行っており、二重膜間も通風があるので内外膜面間の温度差は生じにくい。冬期と比較して太陽高度も高くなり膜面に受熱がある場合は、その方位の膜面温度は最高となる。しかし、各部位別間での温度差はあまり生じない。

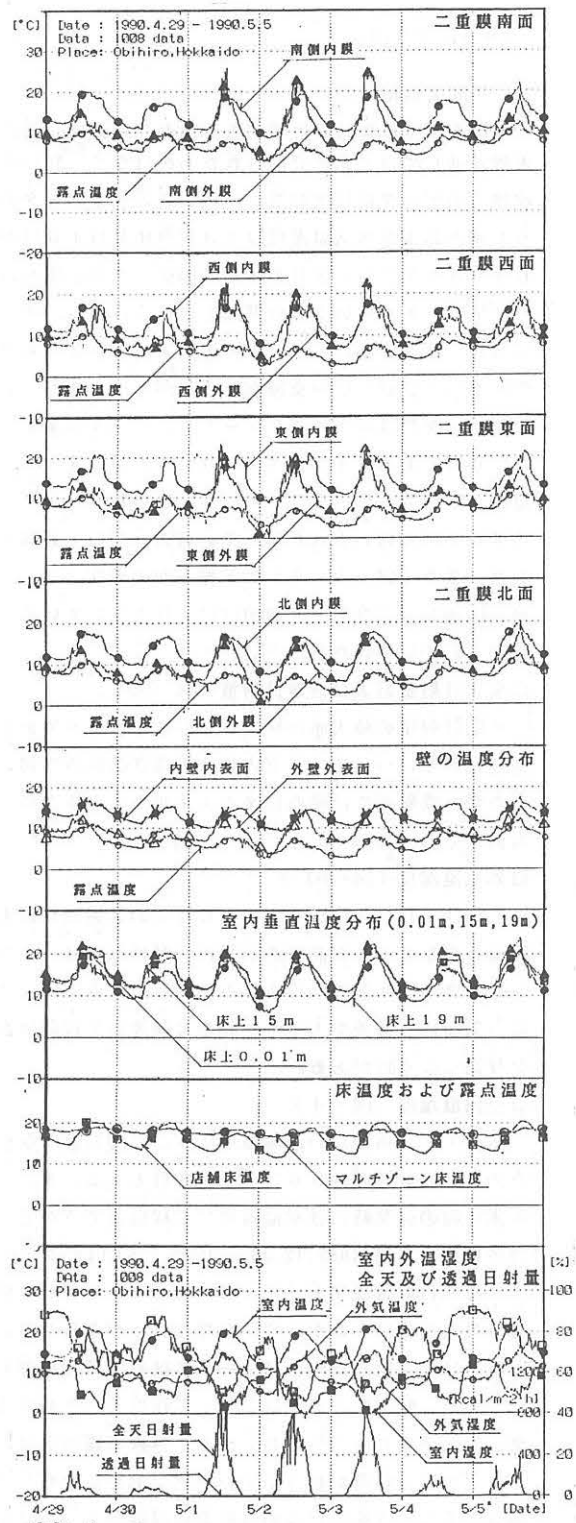
□中間期環境実測(1990.4.29 - 1990.5.5) (図-7)

暖房設備は使用していない。換気設備は自然換気程度である。室内上下垂直温度分布は晴天時に最大で3degでいどである。二重膜間に関してはいずれの方位も日射を受けると、内膜よりも外膜は最大3deg程度高くなるが夜間には外気温の影響を受け最大3から4deg程度内膜よりも下がる。また、結露はほとんどの場合生じないが、晴天日で放射冷却の起こる夜間には外膜内表面で一部見られる。

3. 結論

寒冷地膜構造物の環境実測を1年余に渡り続けてきたが、実測結果から次のことが判明した。

- 1) 外壁に熱容量の無い膜構造物は、コンクリート壁などと膜との面積比により、膜の比率が増すにつれ、外乱の影響を受けやすくなる。特に日射を受けた膜材の温度変化は大きく、晴天日は放射冷却の影響も受け膜表面温度は外気温よりも数度下がる。
- 2) 内膜の表面温度は、外気温と室温との中間温度となる。本施設のように、二重膜間が半密閉の場合は内膜表面温度は室温に近く、年間を通じて結露は生じないが、外膜内表面に結露を生じやすくなる。
- 3) 室温の垂直温度分布に関しては、膜に吸収された熱のうち対流成分で室内側に放出された熱が膜頂部にたまり上下の温度差が生じる。
- 4) 二重膜にすると内膜内表面温度が高くなり、膜表面からの在室者への冬の冷輻射や夏の温輻射量が減少し夏冬とも居住性は高くなる。
- 5) 外気温と室温との温度差と二重膜間の温度差は、比例する。この結果単位面積あたりの膜面からの受熱量は冬期の方がはるかに大きくなる。膜構造物熱負荷としては、結露対策も含め、冬期対策が重要である。



(図-7) 中間期環境実測(1990.4.29 - 1990.5.5)

参考文献

- 1) 膜構造物の温熱環境に関する研究(第1報)
(膜材料の温熱環境に関する実験研究)
昭和女子大学生生活美学紀要「学苑」平成元年12月 佐野、稲岡
- 2) 大空間膜構造物の最適システムに関する研究(第2報)
(膜材料の温熱環境に関する研究)
昭和女子大学生生活美学紀要「学苑」平成2年7月 佐野、稲岡
- 3) 大空間膜構造物の最適システムに関する研究(第3報)
(膜構造物の温熱環境実測および熱収支シミュレーション:夏期)
昭和女子大学生生活美学紀要「学苑」平成2年12月 佐野、稲岡
- 4) 膜構造物の温熱環境に関する研究(第4報)
(テフロン膜の動特性に関する研究(その3))
昭和女子大学生生活美学紀要「学苑」平成3年7月 佐野、稲岡ほか
- 5) 膜構造物の温熱環境に関する研究(その1~4)
佐野、井上ほか
日本建築学会学術講演会梗概集(九州)平成元年10月
- 6) 膜構造物の温熱環境に関する研究(その5~7)
佐野、井上ほか
日本建築学会学術講演会梗概集(広島)平成2年10月
- 7) 膜構造物の温熱環境に関する研究(その8~10)
佐野ほか
日本建築学会学術講演会梗概集(仙台)平成3年9月

A Dynamic Study on Thermal Enviroment of Membrane Structure.(part 3) (Field Survey and Annual Enviromental Studies of Membrane Structure.)

Takehito SANO*1 Kotaro TANAKA*2

Reiko IMAI*3 Yoshiharu TANAKA*2

Yukako OGAWA*4

SYNOPSIS

First of all, we discussed about membrane structures construction, in the hard natural environment, which can we build? When we observe it on the environmental engineering, field survey has many probabrams on indoor air qualities such as comfortable habitability, building heat loss and gain, and energy consumption, noises and it's conduction, vapor condensation, mass of dust, CO₂, ability of building ventilation. There are many parameters on the building weather. So from Dec/1989 to Aug/1991, we measured quantity of solar radiation, temperature, humidity and the wind velocity of indoor and outdoor on it, which is builte for cold climate area Obihiro (fig-1). We set hibride recorder and micro computer in it, and gathered nealy conplate annual data.

Until now, we have reported the simulation of PVC and tefrone membranes fundamental studies on daylighting, quantity of solar radiation, vapor condansation in cold climate area, field servay of summer season, and indoor environmental air qualities and energy conservation etc.

In this paper, we will report field survey and annual environmental studies of membrane sturcture.

*1 Depertment of Living Arts, Faculiy of Domestic Science, Showa Women's University

*2 Architectual Design Department, Ogawa Tent Co., LTD.

*3 Graduate Showa Women's Univ. (at present: Architectual Design Department, Ogawa Tent Co., LTD.)

*4 Graduate Showa Women's Univ. (at present: Tokyo Engineering Office, Nikken Sekkei Co., LTD.)