

大規模エアードームの快適性評価に関する実測

(Y G ドーム：神奈川県横浜市)

佐野 仁¹
田中 武耕太²
田中 儀治²
辻 博 美²

概 要

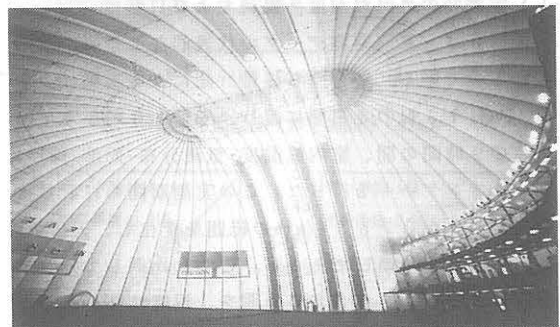
博覧会の展示施設や寒冷地の室内グラウンド・体育館などで盛んに採用されている膜構造建築物は、夏期には、冷房負荷や膜面の放射熱などの問題があり、その改善と室内の快適性が要求される。しかし大空間構造物では、室内全域を空調することはエネルギー消費の点や経常費の面からも問題がある。そこで一般にはスポット空調（夏期はスポットクーリング）が採用されている。筆者らは膜構造建築物の室内環境の快適性向上を目的とし、横浜再開発地区に建設された大規模エアードーム”Y G ドーム”の環境実測を約2年間に渡り行った。本稿ではその実測結果から、スポットクーリングを行っているエアードーム内の夏期の快適性評価について発表する。

1. 研究の目的

本稿では、全域空調（多目的スペース）やスポットクーリング（1, 2, 3階打席）を行っているドーム内の夏期の快適性評価について、実測値を基にPMV（総合的快適指標）およびPPD（予想不満率）により評価した。またドーム内の数カ所についてアンケートを実施しPMV・PPDの計算と比較したので、その結果について発表する。

2. 建築および設備概要

今回実測したエアードームの外観および内観を写真-1に、建築および設備概要を表-1、図-1に示す。ドームの規模は幅80m、奥行110m、最高高さ32mで、建物全体が厚さ0.8mmのスノーホワイト塩ビ膜で構成された高ライズ形エアードームである。内部には地上3階のゴルフ打席があり、打席裏のスペースは多目的スペースとしてバターコースなどの施設が設けられている。多目的スペースおよび打席の上部は熱負荷の軽減および結露水の滴下防止を目的として内膜を取り付けた二重膜構造とした。その他のグリーン部分上部はすべて



(写真-1) YGドーム外観および内観

* 1 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

一重膜であるが、ボールの衝撃から膜面を保護することを目的として20mmメッシュのナイロンネットを設置した。空調設備は各階打席および多目的スペースに設けた。空調方法は、1階多目的スペースは高さ3~5mの部分を水冷式パッケージによる全域冷房を、1~3階の打席部は打席および休憩部分を対象にスポットクーリングを行った。これらの空調域に対してパッケージ計40台(内25台は暖房含)を設置した。

また屋根散水による冷房負荷軽減のため屋根上部には散水装置(18 l/min×10ヶ所)を設けた。

3. 実測概要

1) 自動計測

実測は、自動計測器およびパソコンを使用し、ドーム内外58点の温度、湿度、日射量、外風速などのデータを'91年11月から'93年9月まで10分毎に計測した。今回使用した各実測点の位置を図-1に、主要実測点の一覧表を表-2に示す。なお、図中の黒丸は実測点の位置、数字は実測点番号を示している。ただし南東および北西側の垂直温度は、各高さとも膜面より垂直に50cm離れた点を実測した。

2) 移動計測

自動計測と平行して1993年8月7日から13日の期間、手計測による移動計測を行った。移動計測は多目的スペース、各階打席を中心に、ドーム内に設けた63点の測定ポイントについて、各点の温湿度、微風速、照度などの実測を午前10時から午後7時の時間帯で2から3時間おきに、一日4から5回程度行った。また、アンケートはドーム内8ヶ所の温度・室内騒音・明るさ・眩しさ・臭い・気流分布について調査した。

4. 実測結果

1) 実測時の外気温湿度・風速および日射量

図-2は、夏期実測データの代表的な1週間を取出したものである。このうち移動計測による実測は、7日、8日、13日の3日間に渡り、午前10時から午後7時の9時間の間、室内温湿度・気流分布・照度・環境に関するアンケートを行った。この実測期間の日射量は最大175から75.5 w/m²hの範囲を変化し、天候は曇り、および晴れの日であった。これに比例して外気温湿度は、20から33℃の範囲を、湿度は20から100%の範囲を変化した。特に晴天日の11日から13日の日中は、20から40%と非常に乾燥した状態になるが夜間は最大80から90%程度まで上がることが判った。また、外風速は曇天時は2から3 m/s程度

表-1 建築および設備概要

膜造種別	空気膜構造
膜材料	PVCコートポリエステル繊維布(スノーフイト)
敷地面積	11000.00㎡
建築面積	7856.78㎡
建築延床面積	8899.78㎡
ドーム床面積	7426.55㎡
ドーム膜表面積	10117.40㎡
ドーム空間ボリューム	55431.00㎡
空調機(水冷式パッケージ)	冷房能力32558w/h×40台 暖房能力19767w/h×25台
冷却塔 4台	冷却トン数 125RT 冷却能力 56395 w/h 水量 1625 l/min
冷却水ポンプ* 2台	口径 125 循環水量 1070 l/min 揚程 12 m
冷却水ポンプ* 2台	口径 125 循環水量 1231 l/min 揚程 5 m
送風機	820m/min×3台(内常用2台) +1300m/min×1台

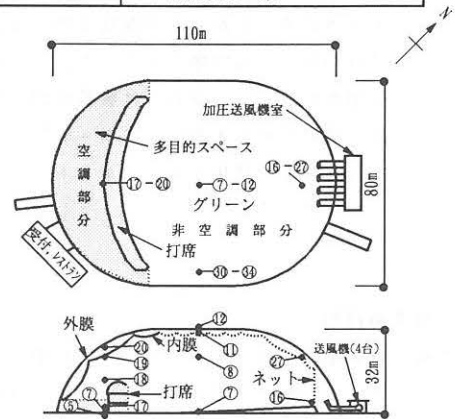


図-1 YGドーム概略寸法および主要実測点

表-2 主要実測点一覧

No.	測定点名称	No.	測定点名称
①	外気温度	⑲	垂直温度 打席 22.0m
②	外気湿度	⑳	垂直温度 打席 28.0m
③	全天日射量	㉕	垂直温度 7'07- 2.0m
④	垂直温度 中央 -0.1m	㉖	垂直温度 7'07- 22.0m
⑤	垂直温度 中央 23.0m	㉗	垂直温度 南東 0.0m
⑥	垂直温度 中央 32.0m	㉘	垂直温度 南東 2.0m
⑦	膜表面温度 中央 32.0m	㉙	垂直温度 南東 22.0m
⑧	垂直温度 打席 -0.5m	㉚	膜表面温度 南東 22.0m
⑨	垂直温度 打席 0.0m	㉛	垂直温度 北西 2.0m
⑩	垂直温度 打席 2.0m	㉜	垂直温度 北西 22.0m
⑪	垂直温度 打席 12.0m	㉝	垂直温度 北西 22.0m

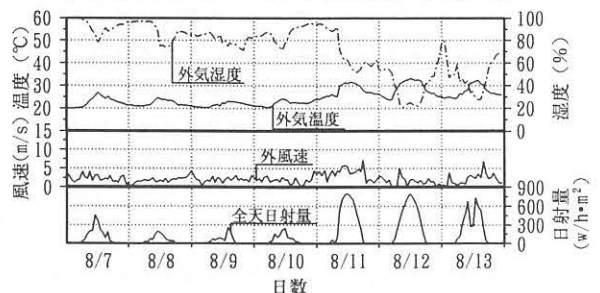


図-2 実測時の外乱状況(温湿度、風速、日射量)

に、晴天時は2.5から7m/sの範囲を変化し、晴天日は風速が大きいことが判った。

2) 垂直温度 (打席裏)

図-3は、晴天日13日の打席裏垂直温度を示したものである。晴天日のため、ドーム内の上下温度差が顕著に表れた。この日は快適性評価に関するアンケートも実施しており、空調・非空調部分を含む打席裏の実測点の温湿度に注目した。

膜面の温度をみると、夜間は25℃程度の一定温度であるが、日射を受けると急激に上昇し、最高52℃まで上がることが判った。また、10時30分から12時の時間帯に行った散水により膜面温度は約15℃下がり、散水が有効であることが判った。

空調域上部の3から5m以上の非空調域(12m, 22m, 28m)は日射量に比例し、3から5℃の温度差で温度成層を成すことが判った。散水効果については、各高さで1から2℃温度が下がったが、下方に行く程その効果は低いことが判った。日射の影響のなくなる16時過ぎから温度差は減少し、高さ方向の温度変化は見られなくなる。

地中-0.5mは外気温に関係なく一日中安定した温度を保っている他、地上0.0m, 2.0mは空調の効果により平均温度22℃、最高でも24.6℃までの上昇で、冷気は地表面に漂うことが判った。

図-4から垂直温度の経時変化がわかる。夜間は高さに関係なく一定温度であるが、日射を受けると膜面温度に近い上部ほど急激に温度上昇することが判った。午後になると打席裏の膜面には直接日射が当たらないため、膜面温度がドーム内温度よりも低い状態になることが判った。以上のことから垂直温度変化は日射の影響が強く、温度成層を成すことが判った。

3) 水平面温度 (22m)

図-5は22mの水平面温度(打席裏, 南東, 北西)について示したものである。非空調域22mは膜面に近いので、外乱の影響を受けやすく、また送風機からの吹出し空気の影響を受け、温度の日較差は大きい。垂直温度に比べ、方位による温度差はほとんど見られないことが判った。図-6は22mの北西と南東および、北西と打席裏の温度の相関関係を示したものである。相関係数は北西・南東間で0.998、北西・打席裏間で0.999で、強い相関性のあることが判った。以上のことから、高さと同じであれば、大空間でも水平面の温度差はほとんど生じないことが判った。

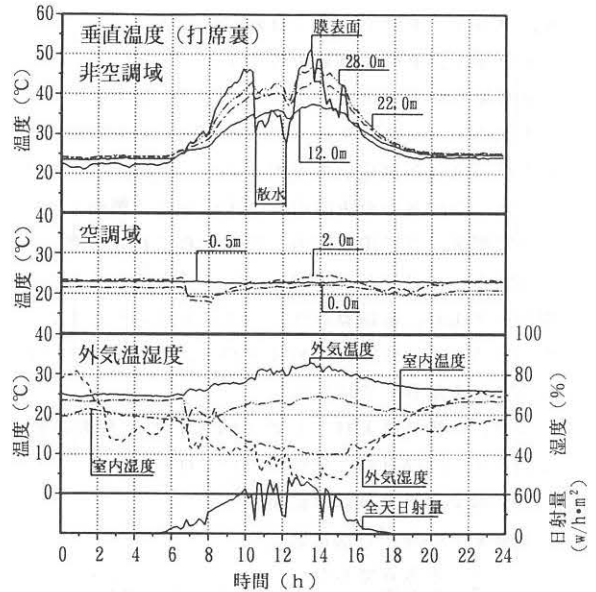


図-3 外気・室内温湿度および日射量(打席裏)

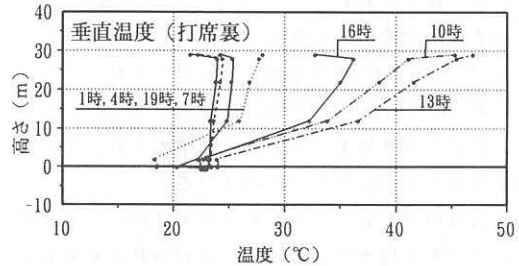


図-4 垂直温度分布の経時変化(打席裏)

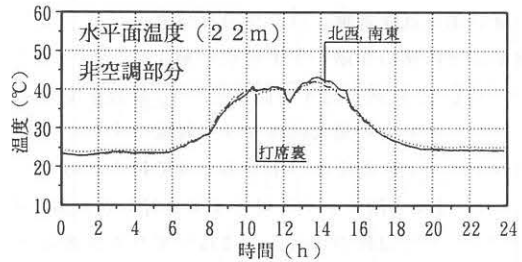


図-5 水平面温度(非空調部分・22m)

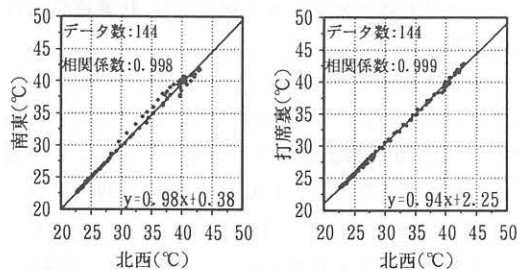


図-6 水平面温度 相関図

5. PMV、PPDによる温熱環境評価

1) PMV、PPD試算の考えかた

PMV、PPDの試算を行った点はアンケートと同じ実測点とし、試算を行う際の各パラメータの設定は、室内温湿度は各試算点での地上2mの実測データを使用した。室内各面の表面温度は床面5点、膜面11点での実測データを用い床面、膜面それぞれ5分割、11分割として計算した。室内の気流分布は一日分の実測データより、各試算点付近の平均を用いた。また、膜面を透過する輻射熱(MRT)は、パラメータとしての室温を加算して用いた。

なお、計算は晴天日として'93年8月13日、曇天日として同じ年の8月8日の2日間について行った。

2) PMV、PPD試算結果

PMVでの評価方法は、

0	どちらでもない	+1	少し暑い
-1	少し寒い	+2	暑い
-2	寒い	+3	非常に暑い
-3	非常に寒い		

以上の7段階で評価をした。一般的にPMVはPMV値-1.0から+1.0の範囲が快適域とされ、その中でも-0.5から+0.5が快適推奨域とされている。また、PPDはPMVの関数として求められ、その快適推奨域は10%以下と言われている。

今回曇りの日として計算した8月8日の外気温度は21から25℃程度であった。この日のPMVおよびPPDの試算値を図-7、8に示す。なお、図中の網掛の薄い部分は快適域、濃い部分は快適推奨域を示す。PMV値は打席の3階が11時頃に最大の+1.3程度まで上昇し、その前後約4時間ほど+1.0以上であった。また、PPDの最大値は45%程度であった。これは他のポイントの温度が日中でも24℃以下であったのに対し、打席3階は27℃付近まで上昇したためである。しかし、それ以外のポイントではいずれも快適域内で変動している。特に空調域である入口付近およびバタコース付近はPMVが0前後となり、快適推奨域の範囲内で変化した。

次に晴天日の結果を図-9、10に示す。晴天日に関しては、全ての点で+1.0の“少し暑い”以上となった。午前6時30分頃、空調域のPMV、打席2、3階のPPDは急激に変化し、PMV値で0.8程度低い-0.2前後、PPD値では10%程度低い8%前後を示した。これは冷房を入れたためであるが、打席3階のスポットクーリングをした区域の周辺温度は低下せず、

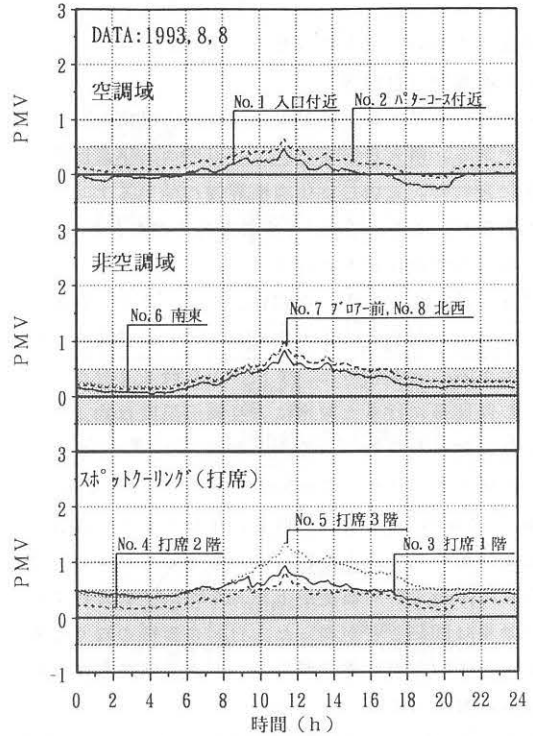


図-7 曇りの日のPMV試算結果('93.8.8)

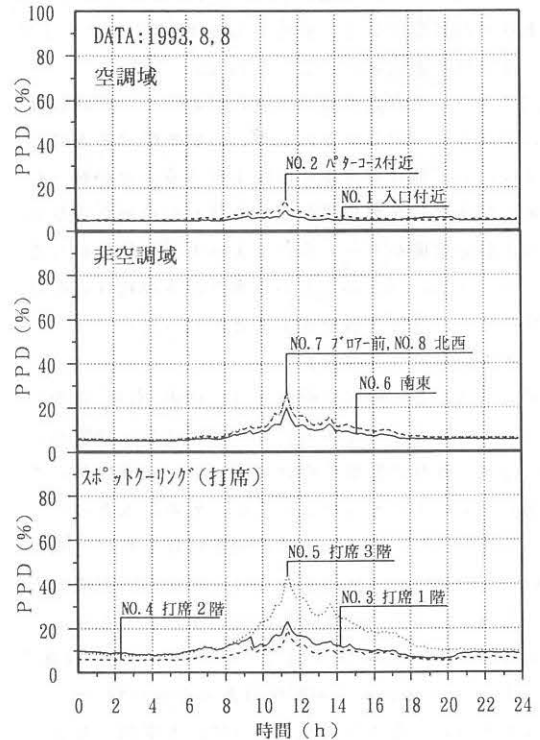


図-8 曇りの日のPPD計算結果('93.8.8)

PMV、PPD値ともあまり良い値を示さなかった。また、午前10時30分から12時の時間帯で行った膜屋根散水の効果は全試算点で見られ、PMV値で0.5程度、PPD値では20%以上も下がり、散水効果の大きいことが判った。打席部分で早朝に1階と2階の値が逆転しているが、これは各階打席の温度差によって生じたのではなく、風速の差によるものである。空調域で入口付近がパターコース付近よりも若干低めなものも風速の差である。

ちなみに打席1階の平均風速0.09 (m/s)に対して、2階は0.28 (m/s)、パターコース付近0.25 (m/s)に対して入口付近では0.44 (m/s)となっている。

6. アンケートによる評価

移動計測中に行った環境アンケートの結果を、図-11に示す。図中の黒丸とナンバーは図-7~10の図中のナンバーと対応しており、実測ポイントは空調域2点、非空調域3点、スポットクーリング部(打席)3点の合計8点で行った。アンケートを実施したのは8月7, 8, 13日の三日間で、延べ人数は58人である。全ての測定点で“どちらでもない”を表す“0”の回答が最も多く30人前後になっているが、“0”以外の回答は各点での違いが現れた。PMVの計算値で最も快適であったNo.1入口付近、No.2パターコース付近の“-1”の人数は、20人程度と“0”の次に多くなっている。また非空調部分であるNo.6南東、No.8北西は、空調域で観られた“-2”と答える被験者がいなくなり、“+1”が7から8人程度になっている。スポットクーリングを行っている打席部分の1階では、他の点よりも“0”の人数が少なく、“0”と同じぐらいの人数が“少し寒い”と答えている。2階では、“-1”と“+1”が12から3人と同じぐらいの人数となった。3階では“-1”がほとんどいなくなり、“+2”や“+3”が増え、晴天日は1階に比べてやや快適性に欠けることが判った。

総合評価として、晴天日は全域が空調された1階多目的スペースは快適であるが、スポットクーリングを行っている打席・休憩スペースなどは、快適性が低いことが判った。非空調域の1階は比較的快適であった。

7. まとめ

室内の温熱環境は、日射及び送風機からの吹出し気流の影響を強く受けることが判った。夜間はエアドーム内の垂直・水平面温度は共に一定の温度を保っているが、日射を受けると膜面の温度が上昇し、垂直方向に温度成層をなす。しかし水平面では同じ高さでの温

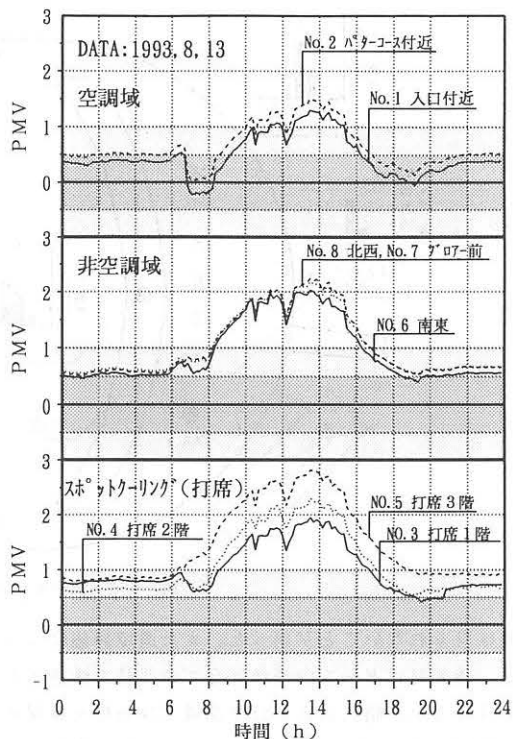


図-9 晴天日のPMV計算結果('93, 8, 13)

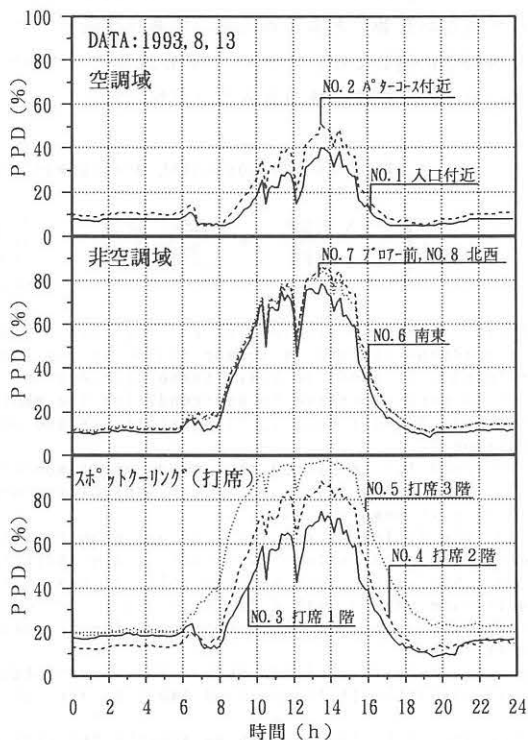


図-10 晴天日のPPD計算結果('93, 8, 13)

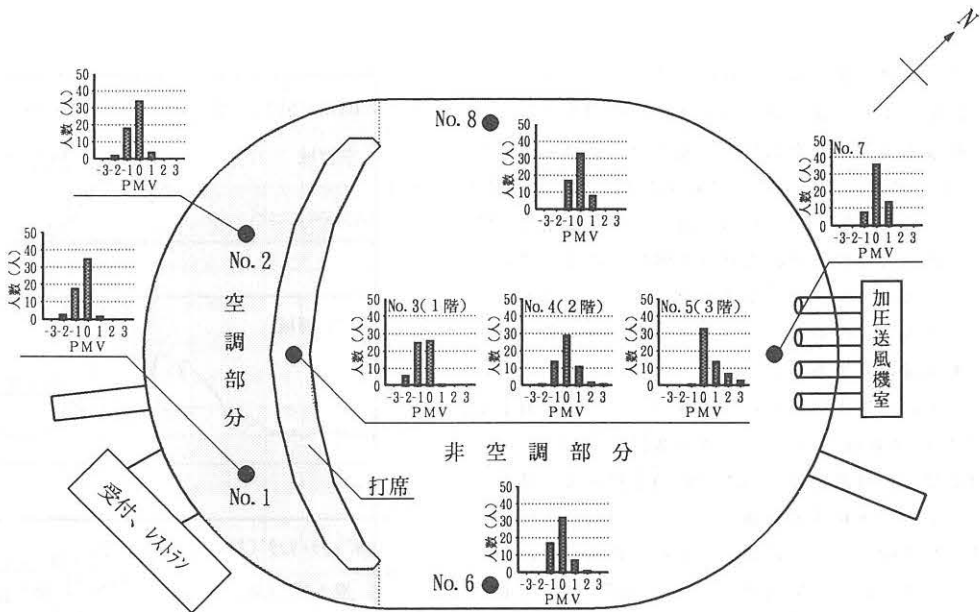


図-1.1 各測定点のPMVアンケート結果('93.8.7-13)

度差は見られないことが判った。また環境評価については、曇天日はドーム内のほぼ全ての部分で快適であると言えるが、晴天日に部分空調域で快適性を確保するのは難しく、屋根散水を行うことにより快適性の向上が見られた。大規模エアドームの冷房負荷の軽減には散水装置が有効であると考えられる。快適性評価としての温熱環境に関しては、PMV・PPD試算値とアンケート結果は、ほぼ整合性があることが判った。

<謝辞>

本研究を進めるにあたって「横浜ゴルフドーム」ならびに「ミズノ(株)」の関係者の方々に色々御世話になりました。紙上を御借りしてお礼を申し上げます。

[参考文献]

- 1) 膜構造の温熱環境に関する基礎研究(その10)~(その13) 佐野、田中ほか
日本建築学会学術講演会 (東北)'91年9月
日本建築学会学術講演会 (関東)'93年9月
- 2) 膜構造の温熱環境に関する研究(その7)~(その8) 佐野、田中ほか
空調調和衛生工学会学術講演会論文 (郡山)'92年10月
空調調和衛生工学会学術講演会論文 (大阪)'93年9月

A STUDY ON ENVIRONMENTAL MEASUREMENT OF LARGE SCALE AIR SUPPORTED DOME. (SUMMER)

Takehito SANO*¹
Kohtaroh TANAKA*²
Yoshiharu TANAKA*²
Hiromi TSUJI*²

SYNOPSIS

There causes the problems of cooling load for air conditioning facilities and thermal radiation from membrane surface in summer season as for the large scale membrane structure. Accordingly, it needs to solve these problems and improve comfortable habitability.

It is so much expensive to air-condition the whole in the big space structure from view points of investment for air conditioning facilities and running cost and so it is effective to use spot air conditioning.

We measured for two years the indoor environmental condition in the air supported dome, so called, "Y. G. DOME" located in Yokohama City, aiming at improving better comfortable habitability for the huge membrane structure.

We got the following results from our measurement.

The vertical temperature distribution are influenced by quantity of solar radiation to a large extent, that is, the more measure point is near the membrane, the more temperature rises and temperature layers with difference 3-5°C are composed in the dome and as far as the horizontal temperature distribution is concerned, the temperatures measured at same horizontal level are almost same.

The habitability in a cloudy summer day is comfortable under spot air conditioning. In a fine summer day, it is difficult to get good habitability, but we can improve it by water sprinkler.

*1 Faculty of Living Arts, Showa Women's University

*2 Architectural Design Department, Ogawa Tendo Co., Ltd.