

大阪ドームの風圧特性と内部環境に関する研究 (その3)

——座席空調システムの快適性——

土井 暁 岩波 洋
(本社 エンジニアリング
本部)
佐藤 英和 宮川 保之

A Study on Wind Pressure and Interior Environment for Osaka Dome (Part 3)

——Human Comfort by an Air-Conditioning System Using the Stair and the Back-side of Seats——

Satoru Doi Hiroshi Iwanami
Hidekazu Sato Yasuyuki Miyagawa

Abstract

This paper describes human comfort experimental studies using a mock-up of the personal seat air-conditioning system for Osaka Dome. These studies aim at estimating human comfort provided by this system. There are 12 seats (3 seats for every 4 steps) in this mock-up. The subjects are seated in the center seats of each step. In these experiments, the returns of subjects and their skin temperature (8 points) were obtained. The experimental results show that there were no drops in skin temperature above the lower limbs, and that the comfort of the subjects increased. The contact of cooling air with the lower limbs is of concern, but it has no effect on human comfort. It was proved that this air-conditioning system is very comfortable. The relationship between skin temperature and human comfort is available for optimum control and operation of this system.

概要

大空間において効率的に空調を行うため、当多目的ドームでは空調域を居住域に限定した座席空調システムを採用した。観客席の座席背面のオープンダクトを利用した吹出し方式を持つこのシステムはほとんど前例がない。本研究では、このシステムの快適性を評価するために、スタンド客席実大模型を用いて被験者による体感実験を実施した。実験では、被験者の温冷感の申告値および身体各部位の体表面温度、実験室内各部の温度を測定した。その結果、下腿部を除く各部位に顕著な温度低下は認められず、申告値も時間の経過に伴いより快適な方向に移行した。懸念された冷気流の下腿部への接触は全身温冷感に影響を与えない程度であり、当該空調システムは快適性に関し問題はないことが判明した。更に、得られた体表面温度と温冷感との間の相関は、本システムの最適運転制御に有効に利用できると考えられる。

1. はじめに

近年、各地で多目的ドームが建設されるようになったが、エネルギー消費型のアミューズメント施設であるため、その経済性、特に省エネルギー化が重要な課題の一つとなっている。

標記ドームにおいてもその気積は120万 m^3 に達するが、このうち居住域の気積はその一割にも満たない。この居住域を効率的に空調するため、座席空調システムを採用した。このシステムは客席段床蹴上げ部より冷気流を斜め上方に吹出し、前席座席背面のオープンダクトに沿って上昇、拡散させ、座席周辺を個別に空調するものであり、ほとんど前例がない。そのため、前報ではその設計諸元を得るために実施した実験および数値解析結果について報告した。本報では快適性を評価することを目的と

して実施したスタンド客席実大模型による被験者体感実験について報告する。

2. 実験方法

2.1 実験装置

図-1に本実験に使用した実験装置の概要を示す。前室に囲まれた $4\text{m}\times 5\text{m}\times 4\text{m}$ の実験模型室内に3席 \times 4段の段床のスタンド客席実大模型を製作した。段床は建築設計上、上段席と下段席とで段差が違う(上段:約500mm, 下段:約300mm)が、実験模型ではそれを最小限で再現するために3席 \times 4段とした(段床:床面からの高さ300, 600, 900, 1,400mm)。

スポットエアコンから吹出された冷気流は吹出しチャンバ内で整流され、座席中心線上の最下段を除く段床蹴上げ部に設けられている吹出し口より 22°C , $33\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{口}$

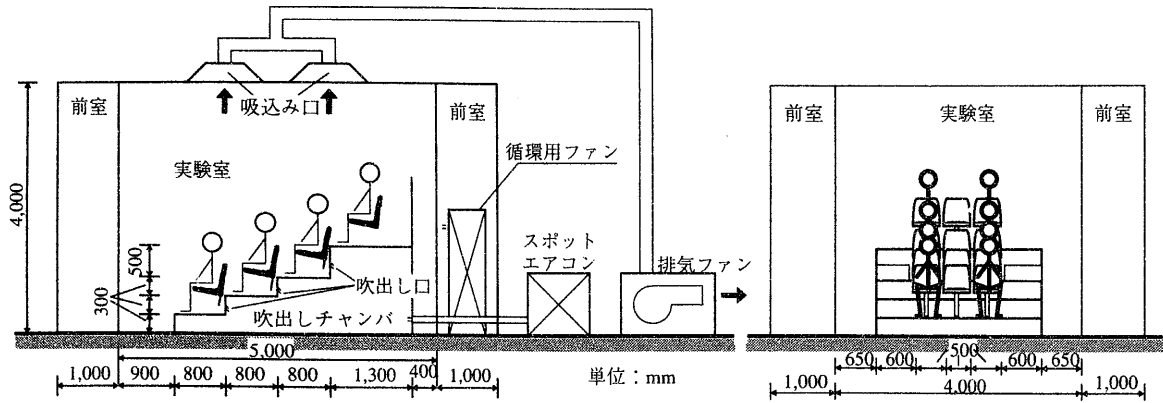


図-1 実験装置概略

表-1 被験者内訳

性別	男										女		
年齢(才代)	20代					30代	40代	20代	40代	50代			
体調	比良	普通	良い	普通	普通	普通	普通	普通	普通	普通	良い	普通	
室温の好み	普通	比暖	普通	比暖	比暖	普通	普通	比暖	暖	比暖	普通		
湿度の感受度	比敏	普通	比敏	普通	普通	普通	比鈍	普通	普通	比敏	比鈍	普通	
気流の感受度	普通	普通	比敏	比鈍	普通	普通	比鈍	普通	普通	普通	比鈍	普通	
身長 (cm)	172	170	170	171	170	176	176	167	161	158	153	155	
体重 (kg)	52	61	63	80	55	65	59	57	47	50	50	53	
着衣	半袖シャツ ブリーフ 半ズボン 靴下 靴						半袖ブラウス ブラジャー&パンティ 薄スカート パンティストッキング 靴						

*但し 比良:比較的良い 比暖:比較的暖かい 暖:暖かい
比敏:比較的敏感 比鈍:比較的鈍感

の風量で斜め上方に吹き出される。実験模型室は室内が28°C、50~60%RHになるように制御した。実験模型室天井の吸込み口からは外部ファンにより流入流量と流出流量が等しくなるように機械排気した。実際のドームでの排気はドーム屋根に設けた排気口(エアムーバ)にて外部風による吸引効果を利用して行う。

実験装置各部の雰囲気温度を測定するため熱電対を48カ所に取り付けた(図-2参照)。各点の温度を1分間隔で記録した。

2.2 被験者

本研究では、快適性を評価する上で重要となる生理量、心理量を得るために全12名の被験者の協力を仰ぎ実験を実施した。被験者は性別、年齢、体形とも出来るかぎり幅をもたせて選定した。なお、着衣に関しては、男女別に統一性を持たせた。被験者の内訳を表-1に示す。

実験時間は1ケース2時間とし、被験者は1ケースにつき4名抽出され、各段中央の座席に1名ずつ着席させられた。被験者は着席時に体調、室温の好み、湿度および気流の感受度を申告し、実験中は前方の大型テレビでスポーツビデオを鑑賞した。また、実験開始時より終了時まで20分毎に計7回心理量を申告した。図-3に申告

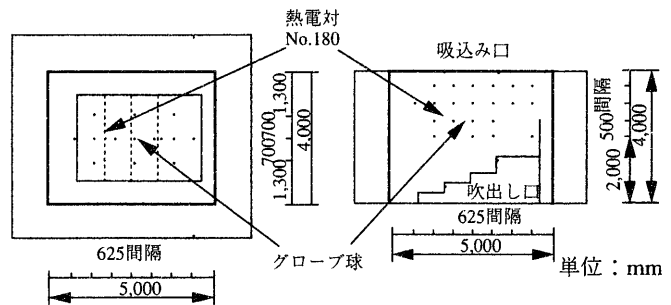


図-2 室内温度測定点

記入者名: _____
記入時刻: 時 分

問1 現在の快適性、温冷感についてお尋ねします。

① 現在の居心地(快適性)は (1,快適 2,比較的快適 3,ふつう 4,比較的不快 5,不快)

② 全身温冷感は (1,暑い 2,暖かい 3,比較的暖かい 4,ふつう 5,比較的涼しい 6,涼しい 7,寒い)

③ 身体各部位の温冷感はどうですか。該当するところに○印を付けて下さい。

	暑い	暖かい	比較的暖かい	ふつう	比較的涼しい	涼しい	寒い
	-3	-2	-1	0	1	2	3
頭部							
胸部							
腹部							
背中部							
腰部							
腕部							
大腿部							
下腿部							

④ 輻射を感じますか。(1,感じない 2,少し感じる 3,感じる 4,強く感じる)

⑤ 空気の湿り気はどう感じますか。(1,湿っている 2,比較的湿っている 3,ふつう 4,比較的乾いている 5,乾いている)

⑥ 気流(空気の流れ)を感じますか。(1,感じない 2,少し感じる 3,感じる 4,強く感じる)

問2 そのほか室内環境に関して気が付いたことがございましたら、御記入下さい。

ありがとうございました。

図-3 申告カテゴリ

のカテゴリを示す。被験者の生理量を得るため8カ所(頭部、胸部、腹部、背中部、腰部、腕部、大腿部、下腿部)の体表面温度をサーモカップルシートを用いて測定した。各点の皮膚温度をサンプリングインターバル1分で記録した。

その他の座席には電気毛布をかけた人形を配置し(8体)、人体の椅座状態における平均発熱量(50 kcal/h・人)を電気毛布により発生させた。

2.3 実験条件

座席形状の違い(内野席と外野席)、段差の違い(上段席と下段席)により、観客席は4形態に分類することが出来る。すなわち上段外野席、上段内野席、下段外野席、下段内野席である。そのため図-4に示す2種類の状態を作成し、それぞれの状態につき、生理的気候順化の影響による違いをも考慮して、夏季に2ケース、冬季に2ケース合計8ケースの体感実験を行った。

3. 実験結果

3.1 実験模型室内温度分布

図-5に室内の代表的な位置での温度変化の一例を示す。設定条件である吹出し温度の22°C吸込み温度の28°Cがほぼ正確に保たれている。床面から25mの高さに設置された熱電対とグローブ球の温度変化も同時に示したが、これもほぼ28°Cに保たれていることから空調域は居住域に限定されており、ふく射も考慮しなくて良い程度であると判断できる。

3.2 体表面温度

図-6に被験者の体表面温度変化の一例を示す。人体の末端部に近い下腿部と腕部において若干の温度低下が認められるがその他の部位に関しては特に温度低下は認められなかった。このことは他のケースにおいても同様であった。

前報で報告した気流の可視化実験から冷気流の接触による下腿部の皮膚温度の低下が懸念されていた。図-7に下腿部の皮膚温度変化の一例を示すが、全段の被験者の下腿部皮膚温度が約1~2°C低下している。しかし、下腿部に冷気流が直接接触することがない最前席の被験者も同様の事が言えることから、この皮膚温度低下は冷気流の接触が原因の全てではないことが分かる。実験模型室内に冷気だまりは存在していないため、下腿部および腕部の1°Cほどの皮膚温度低下は、椅座安静の状態を実験開始から終了まで2時間続けることにより起こったと考えられる。

3.3 温冷感申告

表-2に、全てのケースから得られた申告値の平均を実験開始時および実験終了時についてまとめたものを示す。快適性に関しては普通から比較的快適に移行しており、全身温冷感も比較的暖かいから普通に移行している。部位別温冷感も手足を除き同様の推移であるが、特に下腿部の温冷感も普通から比較的涼しいに移行している。これより、被験者が下腿部に注意して温冷感を判断する

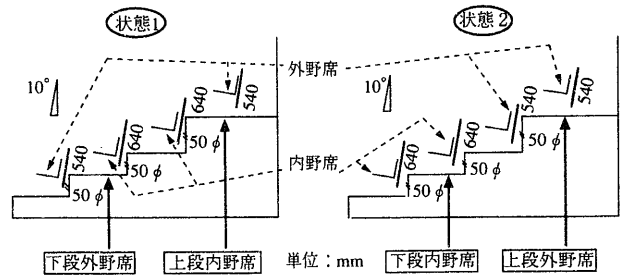


図-4 座席形態

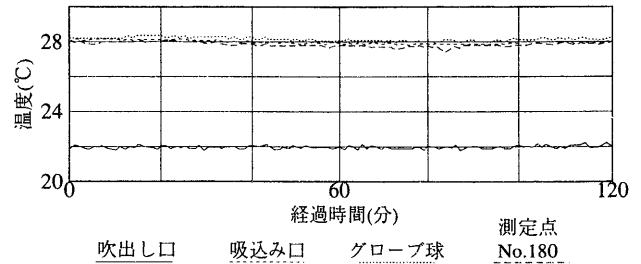


図-5 座席空調による室温変化の一例 (状態1, 夏季)

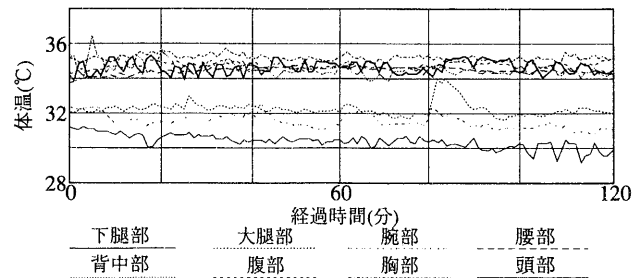


図-6 下段内野席における体表面温度変化の一例 (状態1, 夏季)

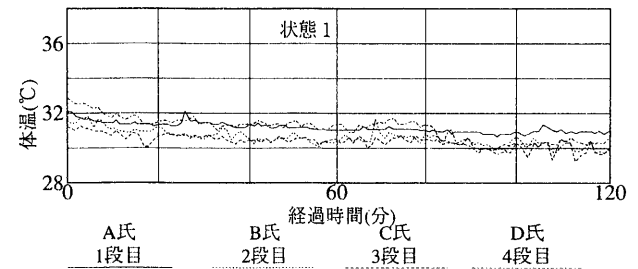


図-7 下腿部の皮膚温度変化 (夏季)

ときには冷気流による冷えを感じるが、快適性、全身温冷感には影響を及ぼさない程度であると判断できる。

快適性に関する座席形態別の申告平均値の推移を図-8に、全身温冷感の推移を図-9に、下腿部の温冷感の推移を図-10に示す。快適性に関しては中立からより快適な方向に移行し、全身温冷感も比較的暖かいから中立に移行する。部位別の申告を見ると下腿部のみ中立から比較的涼しいに移行し、他の部位は全身温冷感と同様の推移を示した。温冷感については全身および部位別を問

表-2 申告平均値の変化

	快適性	全身 温冷感	頭部	胸部	腹部	背中部	腰部	腕部	大腿部	下腿部	輻射	湿気	気流
開始時	普通	比較的 暖か	比較的 暖か	比較的 暖か	比較的 暖か	比較的 暖か	比較的 暖か	普通	普通	普通	感じない	普通	少し 感じる
終了時	比較的 快適	普通	普通	普通	普通	普通	普通	普通	普通	比較的 涼し	感じない	普通	少し 感じる

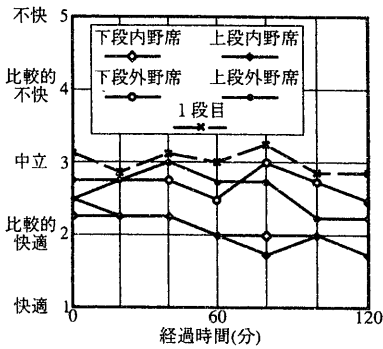


図-8 快適性の変化

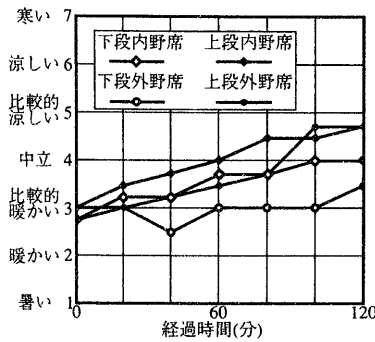


図-9 全身温冷感の変化

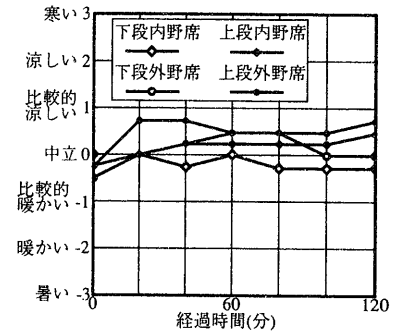


図-10 下腿部の温冷感変化

わず段差 500 mm (上段席) における申告が段差 300 mm (下段席) における申告よりも常に涼しい側の値を示しているが、快適性については上段、下段を問わず常に内野席における申告が外野席における申告よりも快適側の値を示している。図-8 に吹出し気流の直接の影響を受けない 1 段目の被験者の申告平均値も同時に示したが、どの形態の申告値よりも不快側を推移していることがわかり、このシステムの有効性を示す結果となっている。

3.4 被験者の意見

申告時に意見をアンケートしたところ、快適性には影響がないが上半身の暖かさと下半身の涼しさを感じるという意見があった。また、前屈みになると気流を感じ快適であるという意見もあった。これらの意見は特に身長の高い被験者から提出されており、やや暖かく感じている状態から若干前傾姿勢をとると冷気流を受け快適感が増すものと考えられる。ちなみに、PMV (平均予測温感申告) 値¹⁾ は作業強度 1.1 met, 着衣量 0.3~0.4 clo とすると 0.6~0.7 であるが、前傾姿勢により 0.2 m/s の気流を受けると PMV 値は 0.3~0.5 に減少する。

4. おわりに

この研究では、標記多目的ドームに採用する座席空調システムについて、その快適性を評価することを目的とした被験者による体感実験を実大模型を用いて実施した。その結果、以下の事項を確認した。

- ① 腕部と下腿部に若干の温度低下が見られた。
- ② 冷気流の接触および椅子座安静 2 時間持続の複合影響により下腿部のみ皮膚温度が 1~2℃ 低下した。

③ 座席形態による皮膚温度変化の違いは認められなかった。

④ 快適性、全身温冷感 は実験開始から時間の経過に伴い快適な方向に推移した。

⑤ 各部位別の温冷感申告中、下腿部に関してのみ比較的涼しいに移行するが、その他の部位は中立にとどまった。

⑥ 申告値では形態による違いが若干ではあるが認められ、上段席は内外野を問わずやや不快側の値を示した。

⑦ 上半身については、気流を感じると快適さを感じるという意見があった。

以上より、下腿部の皮膚温度の低下は部位別の温冷感申告には影響を与えるが、全身温冷感、快適性には反映されない程度であり、この座席空調システムは快適性が高いことが判明した。また、体表面温度と温冷感との間の相関等、得られた知見は本システムの快適運転制御に有効に利用できると思われる。

謝辞

最後に、本実験を実施するにあたり、(株)大阪シティドーム建設部 南嶋兆司課長、花登庄平課長および(株)日建設計大阪環境事務所 大高一博主管、同大阪管理工務事務所 橋本直樹氏に多大なご協力を賜りました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 空気調和・衛生工学会：空気調和衛生工学便覧，第 I 巻，p. 60~73, (1987)