

大空間の温熱空気環境に関する数値シミュレーション ——関西新空港ターミナルロビーの解析——

Numerical Simulation on Velocity and Temperature Field of Large Scale Indoor Space
—Case Study on Terminal Lobby of Kansai New Airport—

村上 周三*・加藤 信介**・近藤 靖史***・近本 智行****
Shuzo MURAKAMI, Shinsuke KATO, Yasushi KONDO and Tomoyuki CHIKAMOTO

大空間における環境計画の一例として、計画中の関西新空港ターミナルビル出発ロビーの屋内環境に関して、数値シミュレーション(k-εモデル)により各種の検討を行った。数値解析は基本設計初期段階の冷暖房空間に関して、気流分布・温度分布についてなされた。得られた詳細な結果は、同空間の基本・実施設計の際の有効な資料として活用される。

1. はじめに

大空間においては、一般に冷房時の温度成層や吹出風起因したコールドドラフト、暖房時の窓面近傍の冷氣によるコールドドラフトなどの問題が生じやすく、設計・計画時における室内温熱環境の予測・検討が重要となる。このための主な予測手法としては①模型実験、②数値シミュレーション等がある。前者については過去に数多く実績があり^{1),2),3)}、後者についてもいくつかの報告例がある^{4),5)}。また実測によるデータも蓄積されてい

る^{6),7)}。本報では、計画中の空港ターミナルビル出発ロビーの大空間(関西新空港、図1参照)を対象として数値計算(k-ε乱流モデルによる3次元シミュレーション)により行った各種の検討を紹介する。数値解析は基本設計初期の大空間内の温熱空気環境に関して、等温時・冷房時・暖房時の各ケースについて(表2参照)行っている。この数値解析により基本・実施設計段階で必要とされる温熱空気環境に対する詳細な資料が与えられた。

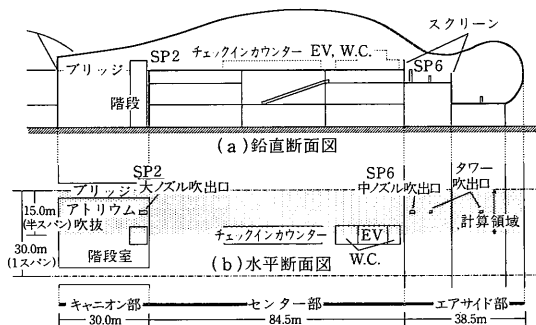


図1 計算対象空間

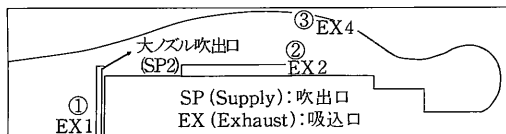


図2 大ノズルの吹出風量に対する吸込口のパターン(冷房時、大ノズル(SP2)の給気量(25,700m³/h)に対する排気口の箇所を①~③のように変更し、大ノズル(SP2)からの吹出噴流の到達距離がどのように変化するかを検討した。)

<記号> U_i : i 方向平均流速 ($i = 1, 2$ (水平), 3 (垂直)) P : 圧力の平均値 k : 乱流エネルギー P_k : k の速度勾配による生産項((6)式) G_k : k の浮力による生産項((7)式) ϵ : k の散逸率 θ : 温度の平均値 g_i : i 方向重力加速度($g_3 = -9.8$) β : 体膨張係数 ν_t : 渦動粘性係数($= C_\mu \cdot k^2 / \epsilon$) l : 乱れの長さスケール δ_i : クロネッカーのデルタ D/Dt : ラグランジュ微分

表1 k-εモデル基礎式(非等温場, Viouletタイプ)

$$\text{(連続式)} \quad \frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\text{(運動方程式)} \quad \frac{DU_i}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_i} \left[P + \frac{2}{3} k \right] + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\nu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

$$\text{(k-方程式)} \quad \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\nu_t \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + P_k + G_k - \epsilon \quad (3)$$

$$\text{(\epsilon-方程式)} \quad \frac{D\epsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\sigma_\epsilon \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + \frac{\epsilon}{k} (C_{\epsilon 1} P_k + C_{\epsilon 2} G_k - C_{\epsilon 2} \epsilon) \quad (4)$$

$$\text{(\theta-方程式)} \quad \frac{D\theta}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\sigma_\theta \frac{\partial \theta}{\partial x_i} \right] \quad (5)$$

$$P_k = \nu_t \left[\frac{\partial U_i}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_i} \right] \frac{\partial U_i}{\partial x_i} \quad (6) \quad G_k = g_i \cdot \beta \cdot \frac{\nu_t}{\sigma_\theta} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x_i} \cdot \delta_{i3} \quad (7)$$

$C_{\epsilon 1}$: 1.44 $C_{\epsilon 2}$: 1.92 $C_{\epsilon 3}$ は $G_k > 0$ の場合1.44, $G_k \leq 0$ の場合0.0。
 σ_k : 1.0 σ_ϵ : 1.3 σ_θ : 0.9 C_μ : 0.09

表2 計算ケース

温度条件	冷房				
	等温	Case 2-1	Case 2-2	Case 2-3	暖房
ケース	Case 1	Case 2-1	Case 2-2	Case 2-3	Case 3
センター部 大ノズル吹 出風量に対 する吸込口 の位置	キャニオン 下部 (図2①)	キャニオン 下部 (図2①)	センター部 カウンター 上部 (図2②)	センター部 天井面 (図2③)	キャニオン 下部 (図2①)

*東京大学生産技術研究所 付属計測技術開発センター
**東京大学生産技術研究所 第5部
***㈱日建設計(元民間等共同研究員)
****東京大学大学院

2. 計算概要

計算対象空間は空港ターミナルビル出発ロビーの一部である。ターミナルビルは約300m×約150mにわたる建物で、その長手方向(300m余り)には、1スパン30mをユニットとする空間が連続しており、さらにその空間の対称性を利用し、半スパン(15m)のみ計算を行う。対象空間は図1に示すように、全長153m、幅15m、最大天井高27.5mの空間¹⁾で、建築計画上大きく3分割されており、キャニオン部、エアサイド部、センター部により成る。旅行者はキャニオン部のブリッジ(図1, 11参照)

表3 境界条件の与え方

吹出口	$U_m = \text{既知(表4参照)}$ $k_m = 1/2 \cdot (U_m \times 0.1)^2$ $\theta_m = \text{既知(吹出口の短辺の1/2)}$ $\epsilon_m = C_p \cdot k_m^2 / \theta_m$ $\Theta_m = \text{既知(表4参照)}$ ここで $C_p = 0.09$
吸込口	$U_m = \text{既知(表4参照)}$ k, ϵ, θ 等のスカラー量はフリースリップ
壁面	速度については一般化対数則を用いた ⁹⁾ 。また温度に関する境界条件としては図4に示すように熱流を与えて計算した。
暖房時の隙間風	キャニオン部およびエアサイド部の側壁下部から流入する隙間風を想定した(図4参照)。この隙間風に相当する風量は天井面から一様に排気されるものとした。風量はキャニオン部で11,070m ³ /h、エアサイド部4,069m ³ /h。温度は-1.9°C。

表5 計算条件¹²⁾

X₁, X₂, X₃座標系は図3参照。メッシュ分割数は72(X₁)×15(X₂)×35(X₃)=37,800で直交メッシュ。移流項はCase1, 2-1でQUICKスキームを用いた。その結果は一次風上差分を用いた場合とほぼ同様であった。したがってその他のケースでは計算時間も考慮し、すべて一次風上差分で計算した。計算において諸量は実スケールで与えている。

をチェックインカウンターのあるセンター部へと向かう。更にエアサイドは各搭乗ウィングへと接続する。キャニオン部、エアサイド部は一部ガラスで囲まれたアトリウム(吹き抜け)空間である。センター部とエアサイド部はそれぞれ大ノズル(SP2, 図3参照)と中ノズル(SP6)

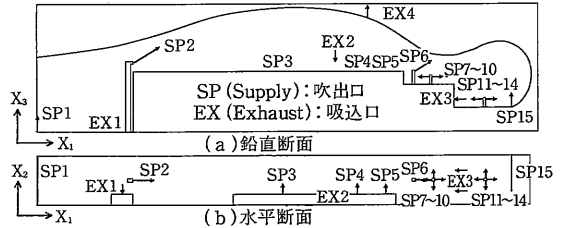


図3 吹出口・吸込口位置(表4に対応)

表4 吹出・吸込条件(基本設計初期の条件, SP1等の位置は図3参照)

吹出口 No.	寸法 (m×m)	風速 (m/s)	暖房時吹出温度 (°C)	吹出口 No.	寸法 (m×m)	風速 (m/s)	暖房時吹出温度 (°C)	吸込口 No.	寸法 (m×m)	風速 (m/s)
SP1	15.0×0.15	2.25	44.3	SP5	5.0×0.1	1.20	21.6	EX1*	6.0×1.0	2.033
SP2*	1.1×1.1	5.90	26.2	SP6*	0.65×0.65	6.00	38.0	EX2*	2.5×2.0	1.00
SP3	30.0×0.1	1.20	21.6	SP7-14	0.7×0.1	2.89	31.1	EX3	15.0×2.0	0.20
SP4	6.5×0.1	1.20	21.6	SP15	15.0×0.1	1.20	31.1	EX4*	15.0×2.75	0.00

- *1 冷房時の吹出温度はすべて17°C。
- *2 SP2, SP6: 上向き40°の方向に吹出す。
- *3 SP7~10, SP11~14は円柱状タワー吹出口を模擬
- *4 EX1: Case 2-2, 2-3で風速0.833 m/s, 流量-17,991m³/h
- *5 EX2: Case 2-2では、風速2.43m/s, 流量-43,700m³/h
- *6 EX4: Case 2-3では、風速0.173m/s, 流量-25,700m³/h
- 注) 換気回数はキャニオン部1.6回/h, センター部2.3回/h, エアサイド部2.7回/h, トータルで2.2回/h。

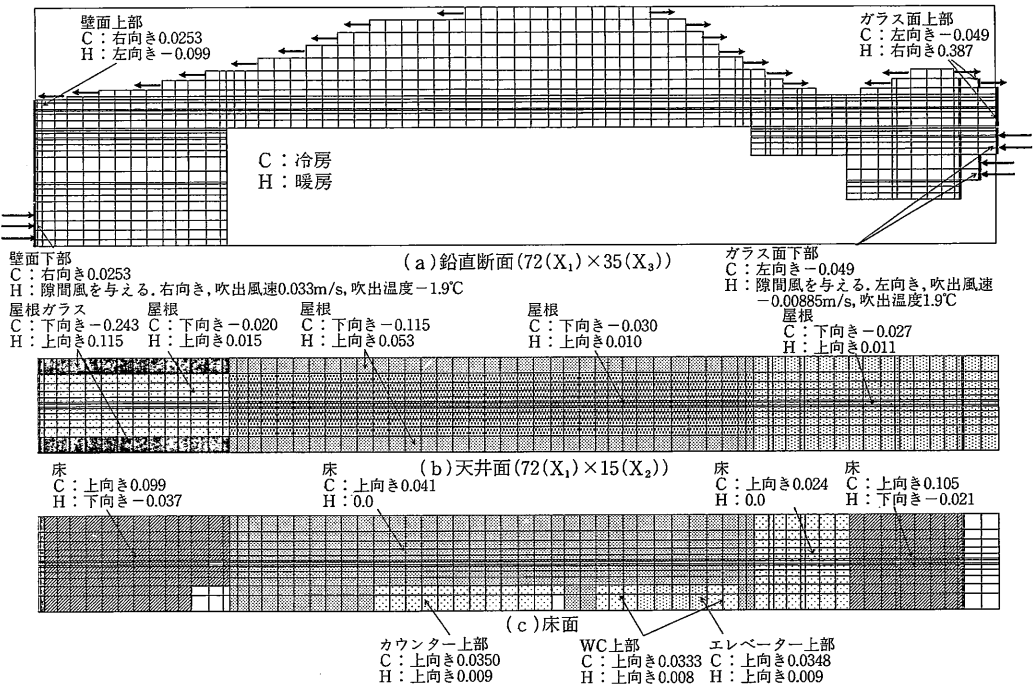


図4 メッシュ分割と熱流, 隙間風の境界条件

(図中熱流の値は°C・m/sで示している。kcal/m²・hに換算するには1,044を乗ずればよい。)

を持つ。計算ケースを表2に示す。等温、冷房、暖房の各ケースについて数値計算を行い、特に冷房時についてはセンター部大ノズル(SP2)の吹出風量に対応する吸込口の位置を図2に示すように変更させた場合についても詳しい検討を行う。k-ε乱流モデルの基礎式を表1に、与えた境界条件を表3~4、および図3~4に示す。また計算条件を表5に示す。

3. 結果および考察

3.1 等温流れ場 (Case 1, 表2参照) の結果

①センター部に関して (図5~8)

・センター部大ノズル吹出口近傍 (図5中央)

センター部大ノズル(Supply: SP2, 吹出風速5.9m/s, 図3参照) から天井面に沿って吹出された気流 (図中右方向) によりセンター部全域にわたる大循環流の形成を当初意図したが、それほど遠くに到達せずに下降する。その後床面に沿いキャニオン部へ向かって (図中左方向)

還流している(風速0.2m/s以上)。このノズルからの噴流の到達距離は30m程度(センター部全体の長さの約1/3)であった。“到達距離”とは、本報では、センター部大ノズル吹出噴流のX₁方向の風速が0.2m/sに減衰するまでの距離と定義している。このセンター部大ノズルによる時計方向の循環流は吹出口を含む中心鉛直断面(図5中央)で最も大きく、両サイド(図6参照)で循環流は小さくなり風速も減少している(風速0.2m/s程度)。さらに吹出ノズルからX₂方向に最も離れた断面である図7を見ると渦状のパターンがなくなりセンター部内の空気は吸込口(Exhaust: EX1, 図3参照)のあるキャニオン部のほうへ向かう。

・その他の領域 (図5中央)

センター部大ノズル吹出口近傍を除くセンター部の大部分で気流は5cm/s以下となり空気は滞留している。

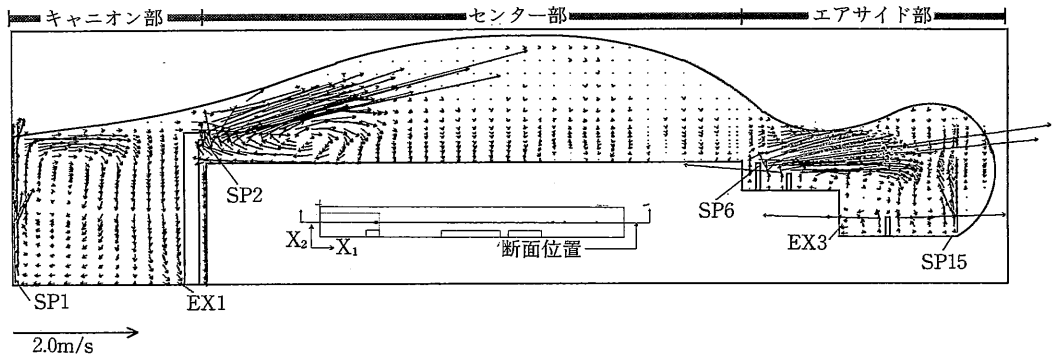


図5 等温流れ場 (Case 1) の風速ベクトル (中心鉛直断面)

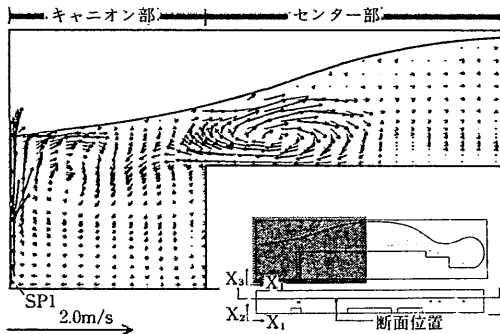


図6 等温流れ場 (Case 1) の風速ベクトル (中心よりサイドの鉛直断面)

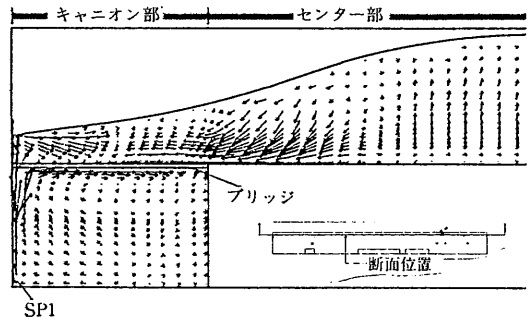


図7 等温流れ場 (Case 1) の風速ベクトル (ブリッジを含む鉛直断面)

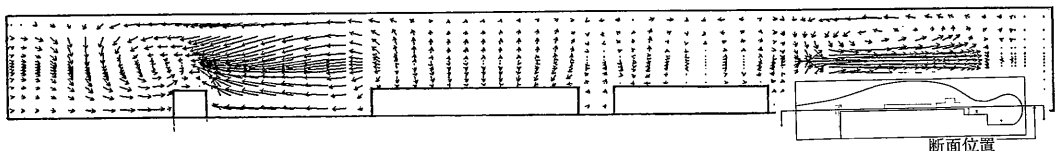


図8 等温流れ場 (Case 1) の風速ベクトル (センター部居住域を含む水平断面, 床上50cm)

②キャニオン部に関して(図5~7)

本ケースにおいて大ノズル(SP2)の吹出風量に対応する吹込口はキャニオン部下部(EX1, 図3)とされているため、センター部からキャニオン部へと気流が流れ込む(図6)。この流れは中心断面(図5左)では大ノズル(SP2)の吹出柱が障害物となりせき止められているが、他の断面ではセンター部から床面に沿って流れ込む気流が、EX1に向かい下降している(図6)。ブリッジを含む断面(図7)では、センター部からの流れがそのままブリッジ上面に沿って流れている(風速0.2m/s程度)。

床面上向きライン状吹出口(SP1)からの流れは壁面に沿って上昇し、天井面やブリッジ下面に到達した後、センター部の方向に流れ、キャニオン部では時計回りの流れが形成される(図5, 6, 7左)。

③エアサイド部に関して(図5, 8)

エアサイド部ではこの領域内で給排気のバランスがとれているので、センター部とエアサイド部の空気の入出はほとんど見られない(図5右端)。

中ノズル吹出口(SP6)により時計回り、逆にSP15により反時計回りの流れが生じている(図5右)。中ノズル(SP6)の吹出気流はすぐに下降し、吸込口(EX3)に向かう。吹出気流の両サイドでは噴流と逆方向の流れと

なっている(図8右)。

3.2 冷房流れ場(Case 2-1)の結果

①センター部に関して(図9, 10)

・センター部大ノズル吹出口近傍

センター部大ノズル(SP2)から吹出された気流(5.9m/s, 17°C吹出し)は、空気の密度差に基づく負の浮力の影響で、等温時の場合よりも急速に下降している(図9)。

チェックインカウンター近傍の領域ではSP3~SP5の吹出気流の影響で冷気が溜っており(図10)、その冷気塊の上をSP2からの気流が滑るように流れている。到達距離はCase 1等温時に比べ50m程度に伸び2倍弱となる。

・その他の領域

センター部では、天井面近傍の高温部(47.4°C)から床面近傍の低温部(23°C)に至るまで各等値線はほぼ水平方向に分布し、大空間特有の顕著な温度成層が生じている(図10)。このためセンター部上部全域(特に床面5m以上)にわたって気流の動きは極めて小さく、特に上下方向の大きな気流の動きは見られない(図9)。

②エアサイド部に関して(図9, 10)

エアサイド部での中ノズル(SP6)の吹出気流(6.0m/s, 17°C)も、センター部と同様、浮力の影響ですぐに下降し吸込口(EX3)へと向かう(図9)。この気流の一部はガ

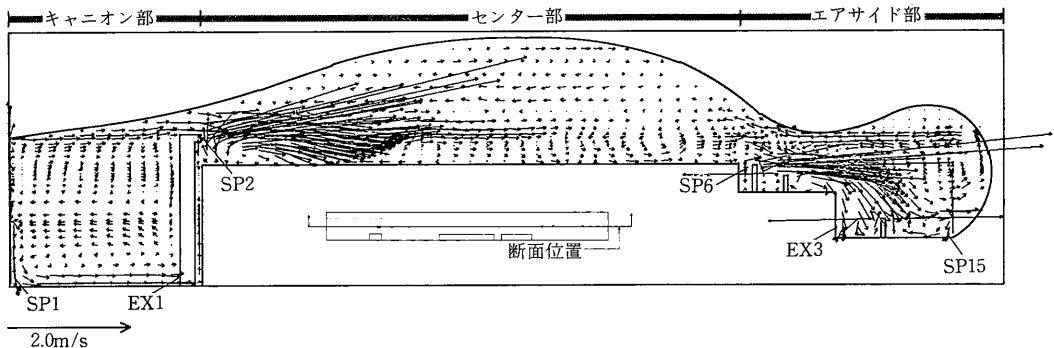


図9 冷房時(Case 2-1)の風速ベクトル(中心鉛直断面)

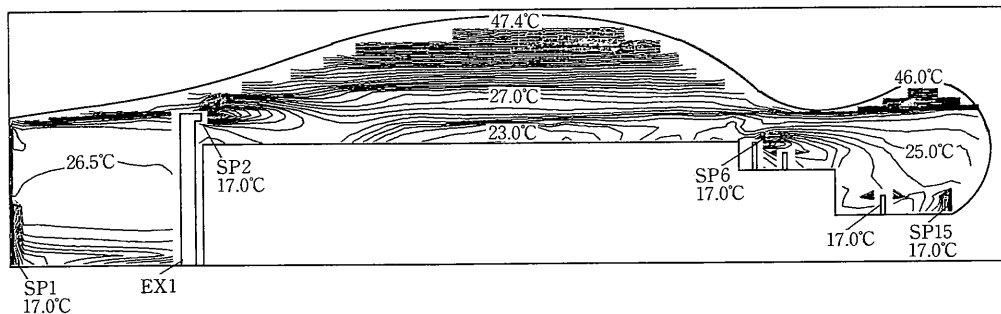


図10 冷房時(Case 2-1)の温度分布(中心鉛直断面)

ラス壁面で暖められ同面に沿って上昇し、センター部に流れ込む。

エアサイド部天井付近は強い温度成層が形成されており気流の動きは極めて小さい。

③キャニオン部に関して(図11, 12)

キャニオン部では、 X_2 - X_3 断面でキャニオン全域にわたる時計方向の大きな1つの渦が見られる。キャニオン部上部にあるブリッジがその流れの障害となっている(図11(a))。またキャニオン部にも温度成層が認められる(図11(b))。

図12に示すようにキャニオン部下部では、SP1からの上向き冷風(17°C)は吹出直後下降し床面に沿って吸込口(EX1)に向かう流れを形成する。またキャニオン部上部では、壁面(図中左端)で暖められた空気が上昇し屋根面に沿ってセンター方向(図中右方向)に向かう流れを形成している。

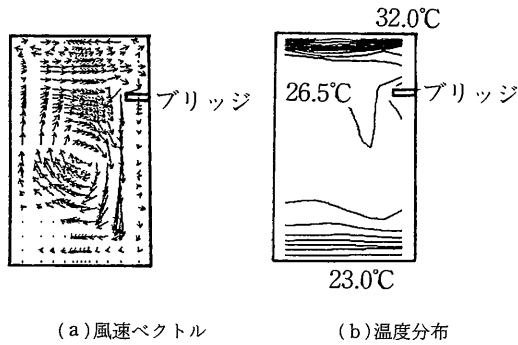


図11 冷房時(Case 2-1)キャニオン部(X_2 - X_3 鉛直断面)

④センター部居住域およびブリッジ上面に関して(図13, 14)

居住域での水平断面(床上50cm, 図13, 14中央)ではカウンター上部の X_2 方向吹出流(SP3~SP5, 17°C)が床面近くまで下降して、その後向きを変え、キャニオン部へ向かい(図中左方向)センター部左端の壁に沿って流れ落ちる、というパターンがみられる(図19(a))。この流れの一部はブリッジ上面に沿ってやや速く流れる(風速0.5m/s程度)。

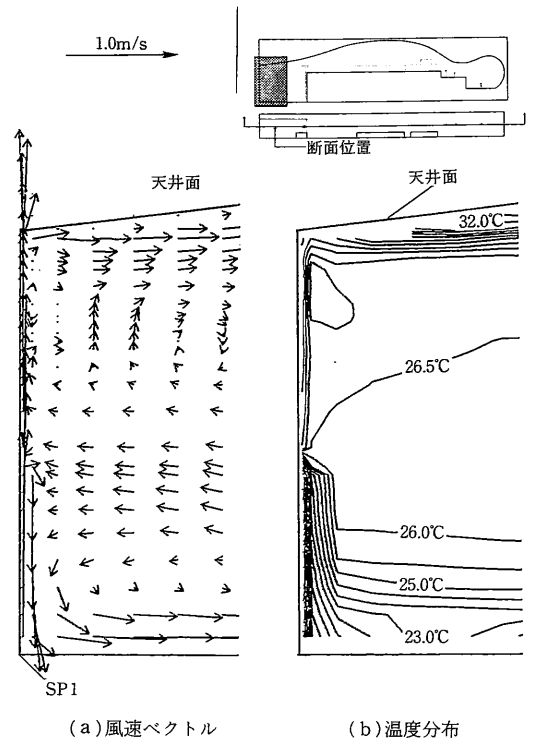


図12 冷房時(Case 2-1)キャニオン部(X_2 - X_3 鉛直断面)

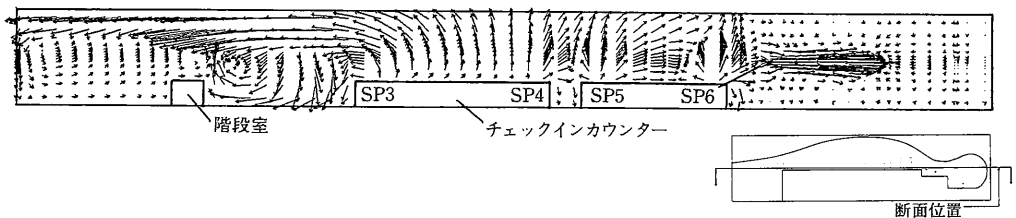


図13 冷房時(Case 2-1)の風速ベクトル(センター部居住域を含む水平断面, 床上50cm)

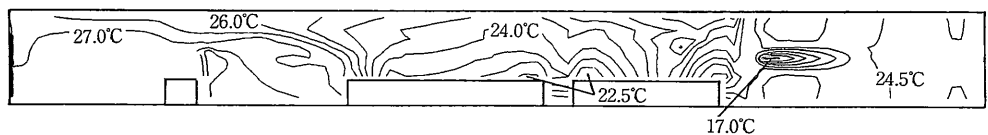


図14 冷房時(Case 2-1)の温度分布(センター部居住域を含む水平断面, 床上50cm)

3.3 暖房流れ場 (Case 3) の結果

①センター部に関して (図15, 16)

センター部大ノズル吹出 (SP2, 5.9m/s, 26.2°C) による気流は浮力の影響で上昇し, 天井面に沿って流れ, センター部全域にわたって大きな循環流を形成する (図15, 床面風速0.5m/s). センター部全域は十分に混合され, 温度分布はほぼ一様となっている (図16, 20°C~22°C).

②エアサイド部に関して (図15, 16)

中ノズル吹出 (SP6, 6.0m/s, 38.0°C) による気流は浮力の影響で上昇するが, その上部ではエアサイド部天井面付近で暖気の滞留域が形成されている (図16, 天井面近傍温度20.8°C). エアサイド部床面の温度はやや低い値

を示す (床面居住域温度17.1°C).

③キャニオン部に関して (図15~17)

キャニオン部上向き床吹出 (SP1, 2.25m/s, 44.3°C) による気流は, 冷房時とは逆に気流の方向と浮力の方向が同じ (図中上方向) であるため天井面まで上昇, 到達し, センター部方向 (図中右方向) へと流れる (図15, 風速0.8m/s以上). またセンター部よりキャニオン部上部へやや暖かい空気 (20.3°C) が流入してくる (図17). この2つの流れがキャニオン部上部で衝突し, また天井面で冷やされ, 下向きの流れを生んでいる. キャニオン部床面近傍温度は17~20°C (図16).

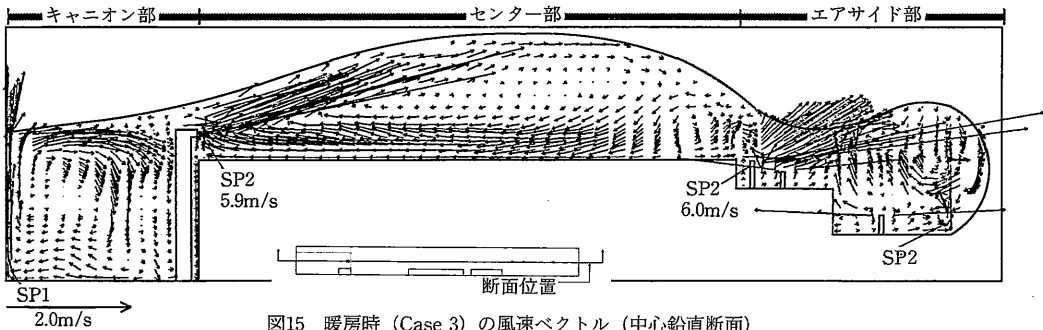


図15 暖房時 (Case 3) の風速ベクトル (中心鉛直断面)

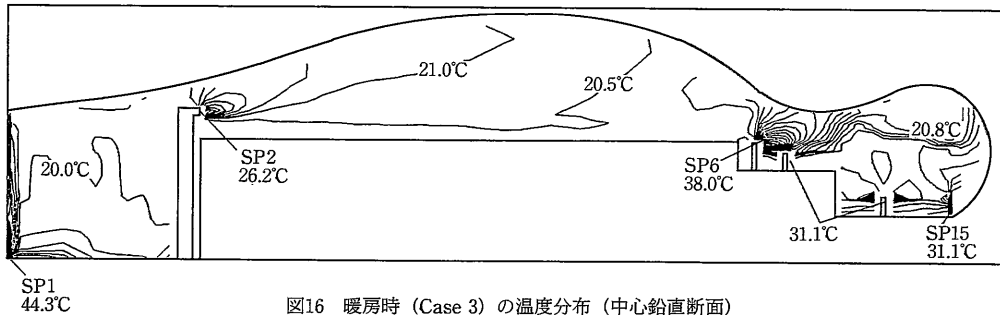


図16 暖房時 (Case 3) の温度分布 (中心鉛直断面)

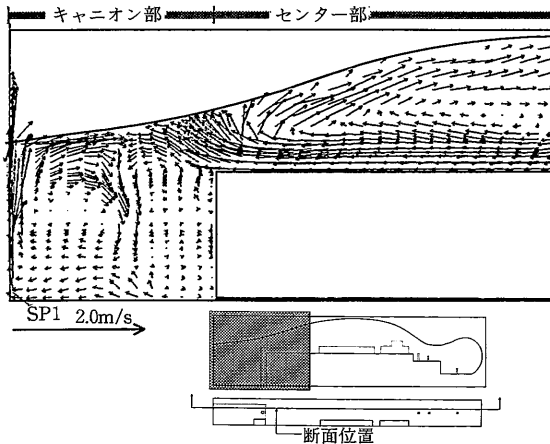
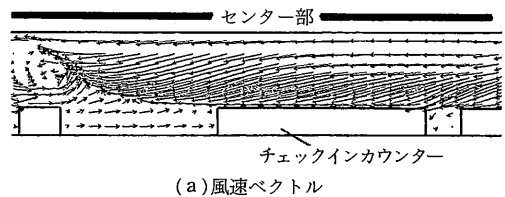
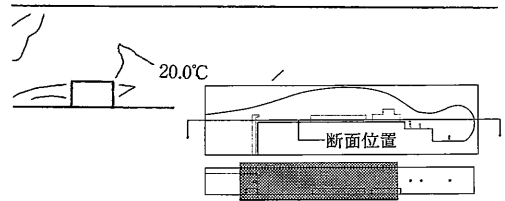


図17 暖房時 (Case 3) の風速ベクトル (中心よりサイドの鉛直断面)



(a) 風速ベクトル



(b) 温度分布

図18 暖房時 (Case 3) (センター部床上50cmの水平断面)

④センター部居住域に関して(図18(a), (b))

センター部床上50cmでは冷房時とは異なり一様にキャニオン部へ向かって気流が生じている(図18, 風速0.6m/s)。図18(b)は前述のセンター部における大循環流を部分的に見たものである。また温度分布はほぼ一様(20°C程度)。

4. 速度場・温度場に対する、吸込口位置の影響について(冷房時, Case 2-1, 2-2, 2-3, 表2, 図2参照)

センター部大ノズル(SP2)は、本来センター部全域にわたる大循環流を形成させ、空間全体をカバーして空調するよう意図・計画された。前述のCase 2-1ではその意図がほとんど実現されていないため、本節では吸込口位置を変更することによりどの程度改善するかを検討した。すなわち条件の悪い冷房時についてセンター部大ノズル(SP2)の吹出風量に対応する吸込口位置を①Case 2-2: センター部チェックインカウンター上部に、②Case 2-3: センター部天井面のそれぞれに変更した場合に関し、これが空間全体へ及ぼす影響、特にSP2の吹き出し噴流の到達距離、温度成層の解消等について検討する。

4.1 Case 2-2 (SP2の風量に対する吸込口をカウンター上部(EX2)に変更した場合)

①センター部に関して(図19(b), 20(b))

センター部大ノズル(SP2)からの吹出噴流はCase 2-1と同様浮力により下降する。その後気流はカウンター上部に沿ってEX2に向かう(図20(b), 風速0.5m/s程度)。EX2の吸込風量が増したため吹出噴流の到達距離はCase 2-1に比べ20m程伸び約70m。

センター部天井面近傍の温度は47.5°Cで依然強い温度成層が生じている(図省略)。

②キャニオン部に関して(図19(b))

Case 2-1では床面に沿ってセンター部からキャニオン部へと流れ込み下降, EX1に向かう流れが見られたが(図20(a), 風速0.5m/s程度), Case 2-2では下降流は小さくなった(図19(b), 風速0.3m/s)。

4.2 Case 2-3 (SP2の風量に対する吸込口をセンター部天井面に変更し、天井面近傍の高温空気の排除を意図した場合)

①センター部に関して(図20(c))

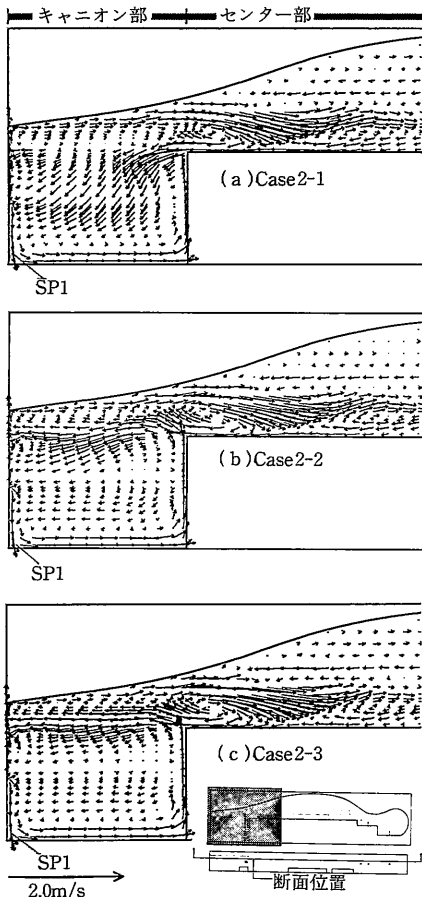


図19 冷房時の風速ベクトルの比較(キャニオン部)

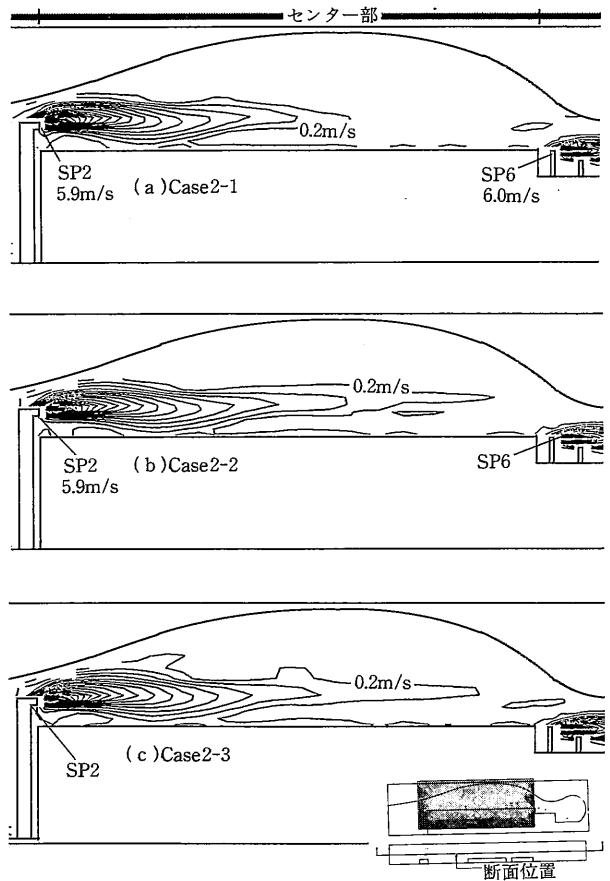


図20 冷房時のスカラー風速分布の比較(センター部)

大ノズル(SP2)の吹出噴流はわずかに上部に誘引される傾向が強くなるが、流れの基本的パターンに変化はなく、大ノズル吹出噴流はすぐに下降し、カウンター上部に沿って流れる(図19(c))。到達距離もCase 2-2と同様70m程度であった。センター部天井面近傍の温度は43.2°Cとなり、Case 2-1, 2-2に比べ約5°C下がったが、依然強い温度成層が生じている(図省略)。

②キャニオン部に関して(図19(c))

Case 2-2と同様な流れである。

5. ま と め

基本設計段階の大空間内の温熱・空気環境について数値解析により検討を行い、以下の結果を得た。

①センター部大ノズル(SP2)により、センター部全体を循環する流れを形成させることは等温時・冷房時には実現されていない。②冷房時には、強い温度成層が形成される。③大ノズル(SP2)の吹出風量に対応する吸込口をキャニオン部からセンター部中央チェックインカウンター上部に変更した場合(Case 2-2)、SP2の吹出気流の到達距離はCase 2-1に比べ約20m伸びた。④また天井排気を行った場合(Case 2-3)、天井面近傍は高温空気が排出され、温度は約5°C下がった。⑤暖房時(Case 3)、センター部大ノズル(SP2)による吹出気流によりセンター部全体を循環する流れが生じ、空間全域にわたってほぼ様な温度分布が形成された。キャニオン部下部、エアサイド下部でやや低い温度(17°C程度)となっていた。

シミュレーション結果は、大空間の温度・気流性状に関する既往の実測結果や実験結果等を勘案すれば充分妥当なものであろうと判断される。

ただし、本計算結果ではセンター大ノズル(SP2)吹出噴流の到達距離、冷房時の温度成層等の計算結果の解釈に関して、計算実行上または条件設定上の制約に関連して以下の点に対する配慮が必要である。

①噴流部のメッシュ分割の不足により数値拡散の影響が現れている可能性がある。すなわち、吹き出し方向の運動量が過小に評価されている恐れがあると考えられ、実際の到達距離は計算結果より多少長い可能性が大きい²²⁾。②今回壁面間の輻射計算を行っていないが、実際には輻射熱伝達により、冷房時、高温となる天井面から床面へ熱が伝達され、上下温度分布が弱まることが予測される。③今回天井面で熱流を与える条件で計算を行っている²³⁾が、この結果天井面の温度を過大に評価している可能性がある。すなわち、天井の一部はガラスなど熱的に薄いものが想定されており、このような箇所では現実には室(天井面近傍、特に冷房時には高温部である)から屋外に熱が一部流出することがありえる。

以上のような問題点はあるものの、今回の基本設計初期を対象とした3次元解析により、大空間内部の温熱・

空気環境を詳細に検討する事が可能となり、基本・実施設計のための有効な判断材料が作られた。

あ と が き

本計算を行うにあたって、(株)日建設計 藤本健氏、池沢広和氏、大高一博氏、杉山隆氏に種々のご協力をいただいた。ここに記して謝意を表す。

(1990年5月8日受理)

参 考 文 献

- 1) 村上, 加藤, 孔, 中川; スロット吹出空調による屋内体育館の温熱空気環境に関する模型実験(その1, 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和62年10月
- 2) 村上, 加藤, 高橋, 大和田; 大空間の自然換気に関する研究(その3, 4), 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和61年8月
- 3) 宮川; 大空間建築の気流分布の模型実験と実測, 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和53年9月
- 4) 坂本, 武田, 関根, 倉田; 数値解析による大空間の気流・温度分布に関するケーススタディ, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 昭和62年10月
- 5) 野村, 松尾, 鎌田, 加藤, 佐藤, 国平; 大空間における空気分布の数値解法に関する研究(その1, 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和54年10月
- 6) 岡本, 早川, 田中, 戸河里, 佐藤, 荒井; 新国技館の大空間空調と雨水利用(その3), 空気調和・衛生工学 第60巻第7号
- 7) 大高, 関, 杉山, 田中; 体育館の熱環境調査(その1, 2, 3), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 昭和59年10月
- 8) 中川, 村上, 加藤; 非等温室内気流の数値解析に関する研究(その4) Viollet型とRodi型のk-εモデルに基づく水平非等温噴流の解析, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 平成元年10月
- 9) 加藤, 村上, 永野; 室内気流数値シミュレーションの診断システムに関する研究(第17報), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 昭和63年9月

注1) 計算対象は1989年7月時点での基本設計初期のものである。

注2) 本計算では、乱流統計計算(k_{in}, ϵ_{in})は既往の実験・計算等による経験から表3のように与え、次のように2段階の計算を行った。まずメッシュ数 $44(X_1) \times 9(X_2) \times 22(X_3) = 8,720$ メッシュの粗いメッシュで計算し、次に図4に示すメッシュ系 $72(X_1) \times 15(X_2) \times 44(X_3) = 37,800$ メッシュ)での値を補間によって求め、その結果を初期値として計算を行った。2つのメッシュ系で得られた結果は速度場、温度場の主な部分でほぼ同様であった。この意味で今回のようなケースでは大きな流れのパターンに関しメッシュ依存性は少なかった。また k_{in}, ϵ_{in} 等の値を多少変えても大きなパターンに対する影響は少ないと推定される。すなわち噴流近傍のシアにより生産される乱流エネルギーは充分大きいと考えられる。

注3) 今回は温度に関する境界条件として、壁面温度を与えるものでなく、熱流を与えるものを採用した。これは、空間内への日射等の熱負荷を正しく再現したいためである。熱流を与える境界条件ではこれが可能であるが、一方、壁面温度を与えた条件では壁面での対流熱伝達を正しく評価できなければ、空間内への熱負荷を再現できない。一般に今回の数値解析のように粗いメッシュでの計算では対流熱伝達を正しく評価できないことが知られている。また壁面温度は事前には分からないので、壁面温度を計算するためには壁体内の熱伝導も同時に計算する必要がある等、計算が複雑になる。