

# 大空間建築の気流分布

——モデル空間における冷房時の実験研究——

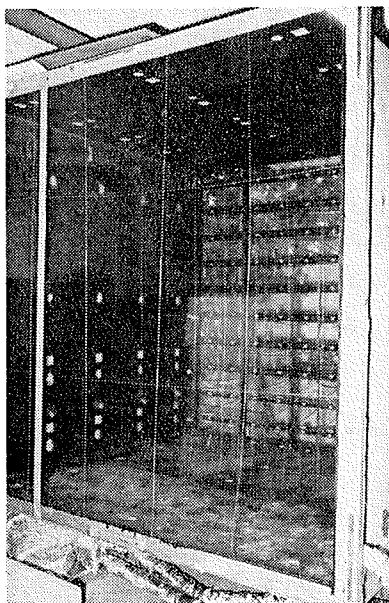
宮川 保之

## 概 要

室内気流分布の模型則理論の精度を厳密に検討するため全く相似な二つのスケールモデルとして一辺が2mと1mの立方体を製作し、吹出・吸込口の形態を種々変化できるようにした。2m立方体を実物、1m立方体を模型と想定しアルキメデス数を合わせた場合と合わせなかった場合について実験を行なったところ前者の場合、誤差は8%程度であり後者の場合でも吹出温度差さえ合わせれば吹出空気速度は倍程度までくわけても室内温度分布にはほとんど影響がなく、アルキメデス数が小さい場合には、模型則はかなり許容巾があることが判明した。また室内気流分布を計算で解くための基礎資料として吹出・吸込口形態、吹出温度差、吹出空気速度を種々変化させて実験を行ない温度分布の変化を観察した。また各吹出・吸込形態の経済性についても検討した。

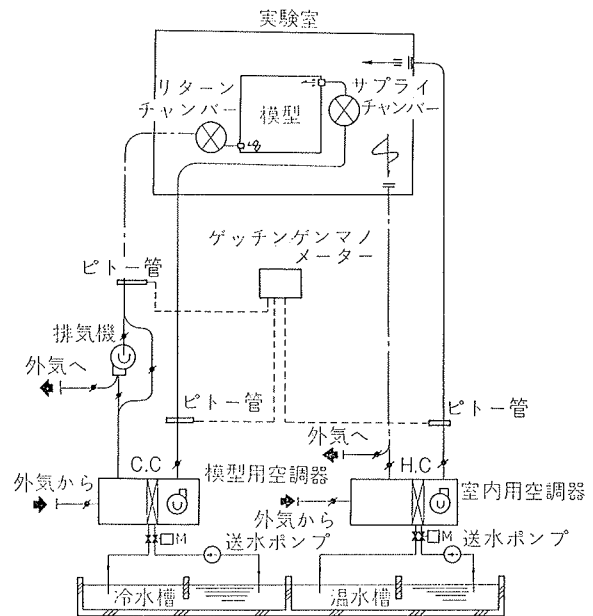
## 1. 実験模型について

実験に使用した2m立方体の大模型、1m立方体の小模型とも9mm厚ベニヤで製作した。吹出温度差が大きくとれるように対向二面(吹出吸込口がない面)はビニール貼りとし外部からの供給熱が侵入しやすいようにした。模型の内部は100のメッシュに分割し、それぞれのメッシュの中心に温度測定点を設けた。この模型を実験室に置き実験室内を加熱し外部から模型内に熱を侵入させる一方、冷風を模型内に吹出し侵入した熱量と吹出された冷風とがバランスして所定の吹出温度差になるように外部からの加熱量を制御した。なお温度測定は0.3mm銅コンスタンタン熱電対により電子管式指示記録計によって自記記録した。模型外

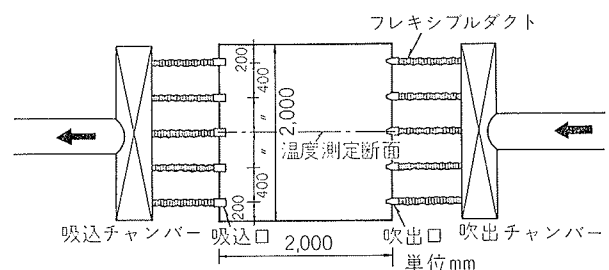


図一1 模型外観

観を図一1に示す。また実験系統図を図一2に、吹出、吸込口配置図を図一3に、模型内温度測定点を図一4に示す。測定点のうち96番を居住域代表点とし、冷房時の実験ではこの点の温度が26°Cになるようにした。吹出口はノズルとし、吸込口は正方形断面のものを使用した。吹出口、吸込口詳細を図一5に示す。



図一2 模型実験系統図



図一3 吹出口、吸込口配置図(大模型)

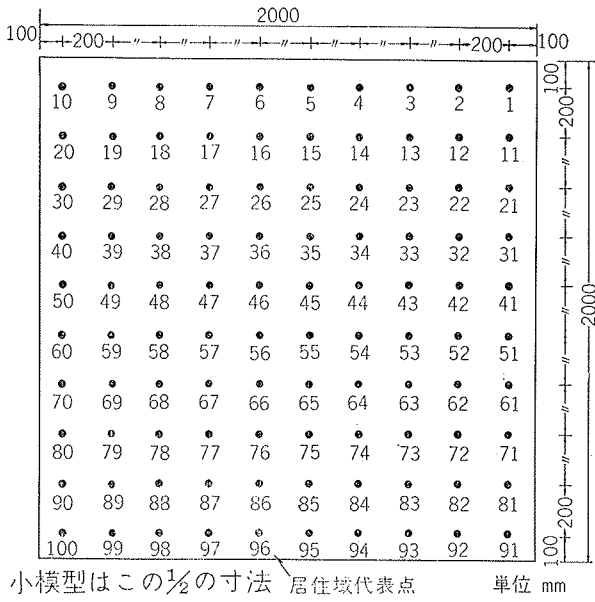


図-4 大模型内温度測定点 (小模型では寸法が半分となる)

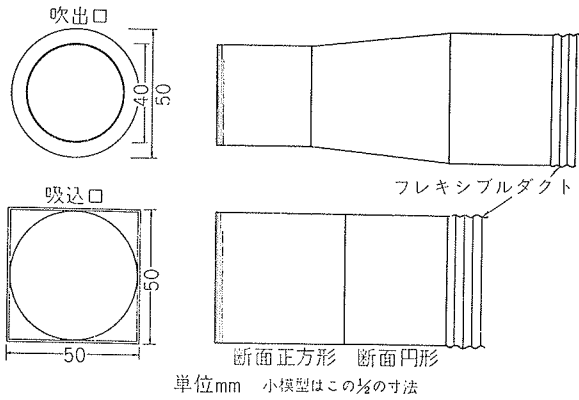


図-5 吹出口, 吸込口詳細図

2. 模型則理論の厳密な検討

2.1. 模型則理論について

非等温吹出の模型実験を行なう際の相似則理論については Baturin, 東大勝田教授らによって確立されており, その骨子は次のようなことである。

非等温吹出において模型の気流分布を相似にさせるためには浮力と慣性力と重力との関係であるアルキメデス数 (以下 Ar 数) を考えなければならない。

$$Ar = g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot l / u^2 \dots\dots\dots(1)$$

ここに

- u : 空気速度 (m/s), l : 長さ (m)
- $\Delta t$  : 吹出温度差 (°C), g : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)
- $\beta$  : 体膨張係数 (= 1/273 + t) (1/°C)

いま添字を実物に対してはN, 模型に対してはMとよめれば実物と模型において Ar 数を合わせなければならないので次式が成り立つ。

$$Ar_N = Ar_M$$

ここで長さの比  $l_N/l_M$  を m とおくと速度に関しては次式が成り立つ。

$$u_N = u_M \cdot m^{1/2} \cdot (\Delta t_N / \Delta t_M)^{1/2} \cdot (T_M / T_N)^{1/2} \dots\dots\dots(2)$$

実際に模型実験を行なう場合は吹出口の Ar 数さえ合わせれば壁面付近の境界層以外では室内空気分布は相似になる。

2.2. 実験による誤差率の算定

模型則理論の精度に関しては過去, 万博某パビリオン, 某屋内競技場等において模型実験と実物実測とのデータを比較したところ10%以内の誤差におさまっていることが判明した。模型実験を行なう場合, 模型のスケール, 吹出温度差 (以下  $\Delta t$ ) を考慮して吹出空気速度 (以下  $u_0$ ) を(2)式より決定するわけであり, 理論上は  $\Delta t$  をどのようにとっても Ar 数さえ合わせれば温度分布は全く同じになるはずであるが, 実際に模型実験を行なった場合,  $\Delta t$  が大きい場合と小さい場合で誤差がどのようになっているかを知っておかなければならない。このため大模型を実物, 小模型を模型と想定し, 大模型において  $\Delta t$  が 6°C,  $u_0$  が 3m/s の条件下に代表的吹出, 吸込形態3通りについてまず実験を行ない得られたそれぞれの温度分布を実物の温度分布とする。一方, 小模型において Ar 数一定の条件下に  $\Delta t$  を 6°C, 9°C, 12°C, 15°C, 18°C と変化させ (当然のことながら実物と模型とで Ar 数が等しいと

大模型(実物) ( $l = 2m$ )	小模型(模型) ( $l = 1m$ )					
	Ar数を合わせた場合			Ar数を合わせなかった場合		
	$\Delta t$	$U_0$	Ar数	$\Delta t$	$U_0$	Ar数
①  $\Delta t = 6^\circ C, U_0 = 3m/s, Ar数 = 0.044$	Ⓐ 6°C	2.12m/s	0.044	Ⓔ 9°C	1.85m/s	0.086
	Ⓑ 9°C	2.60m/s	"	ⓐ "	2.10m/s	0.067
	Ⓒ 12°C	3.00m/s	"	ⓑ "	3.00m/s	0.033
	Ⓓ 15°C	3.35m/s	"	ⓓ "	3.70m/s	0.022
	Ⓔ 18°C	3.67m/s	"	ⓔ "	4.50m/s	0.015
②  $\Delta t = 6^\circ C, U_0 = 3m/s, Ar数 = 0.044$	Ⓚ 6°C	2.12m/s	0.044	Ⓕ 9°C	1.70m/s	0.102
	Ⓛ 9°C	2.60m/s	"	ⓓ "	2.10m/s	0.067
	Ⓜ 12°C	3.00m/s	"	ⓑ "	3.00m/s	0.033
	Ⓨ 15°C	3.35m/s	"	ⓔ "	3.70m/s	0.022
	ⓞ 18°C	3.67m/s	"	ⓕ "	4.10m/s	0.015
③  $\Delta t = 6^\circ C, U_0 = 3m/s, Ar数 = 0.044$	Ⓣ 6°C	2.12m/s	0.044	/		
	Ⓤ 9°C	3.60m/s	"			
	Ⓡ 12°C	3.00m/s	"			
	Ⓢ 15°C	3.35m/s	"			
	Ⓡ 18°C	3.67m/s	"			

図-6 誤差率算定のための実験方法

するため  $u_0$  が変化してくる。) それぞれの温度分布を実物の温度分布と比較し、どの程度の精度で模型実験が行なわれたかを検討するため誤差率を算定した。また  $Ar$  数を故意に合わせないで実験を行なった場合、すなわち模型則理論によれば模型において  $\Delta t$  が  $9^\circ\text{C}$  の場合  $u_0$  は  $2.60\text{m/s}$  としなければならないが、 $u_0$  を図一6に示すように種々違えた場合、誤差はどのように大きくなっていくかの検討も行なった。各場合の実物に対する誤差率 ( $\varphi$ ) は図一4に示す測定点100点それぞれについて次式によって算定した。

$$\varphi = \frac{|t_M - t_N|}{t_{N,\max} - t_{N,\min}} \times 100 (\%)$$

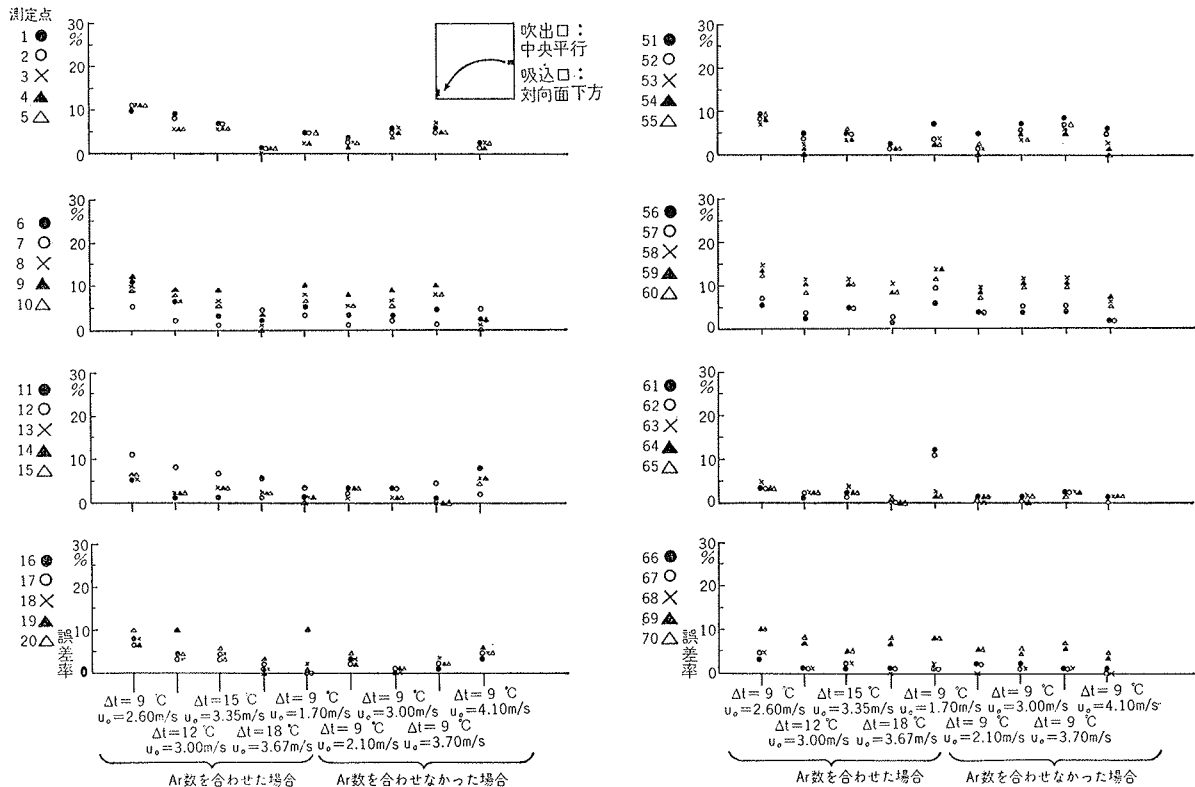
ここに

- $t_M$ : 模型実験におけるある点の温度
  - $t_N$ : 実物における対応する点の温度
  - $t_{N,\max}$ : 実物における測定点中の最高温度
  - $t_{N,\min}$ : " 最低温度
- (冷房時であるので吹出空気温度)

図一6に示した3通りのうち②の吹出口が中央にある時の各場合の誤差率の結果を図一7、図一8に、③の吹出口が上方にある時の誤差率の結果を図一9に示す。なお③の時は  $Ar$  数が合う場合のみ実験を行なった。

### 2.3. 考察

$Ar$  数を合わせた場合の  $\Delta t$  の変化による温度分布の誤差率の変化は②の中央平行ではほとんどなく、③



図一7 誤差率 (吹出口中央平行, 吸込口対向面下方)

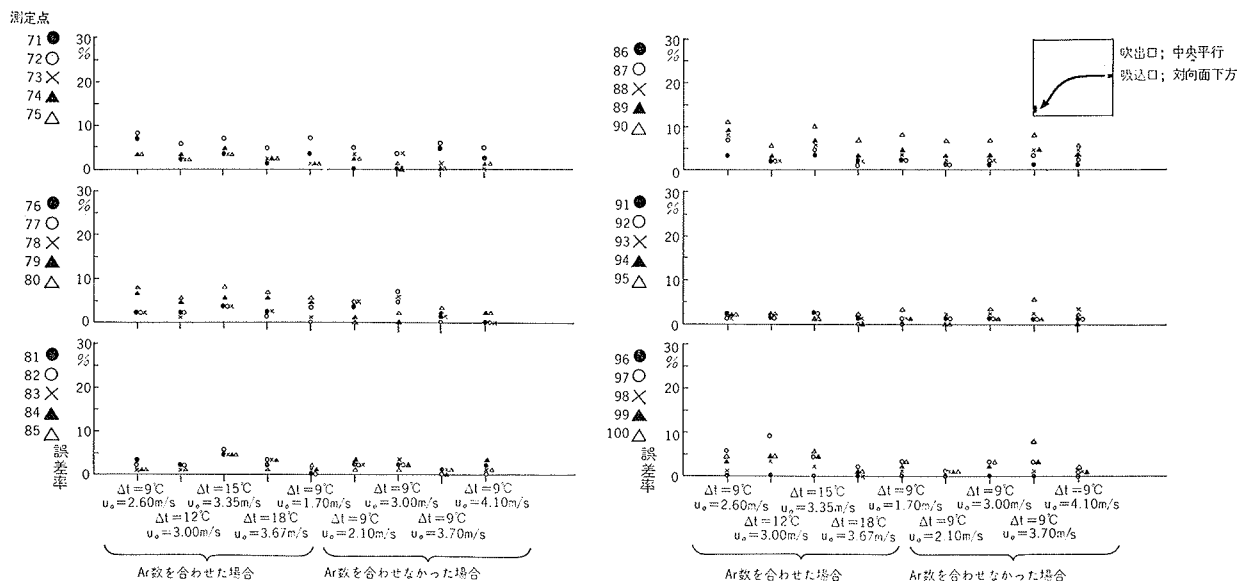


図-8 誤差率 (吹出口中央平行, 吸込口対向面下方)

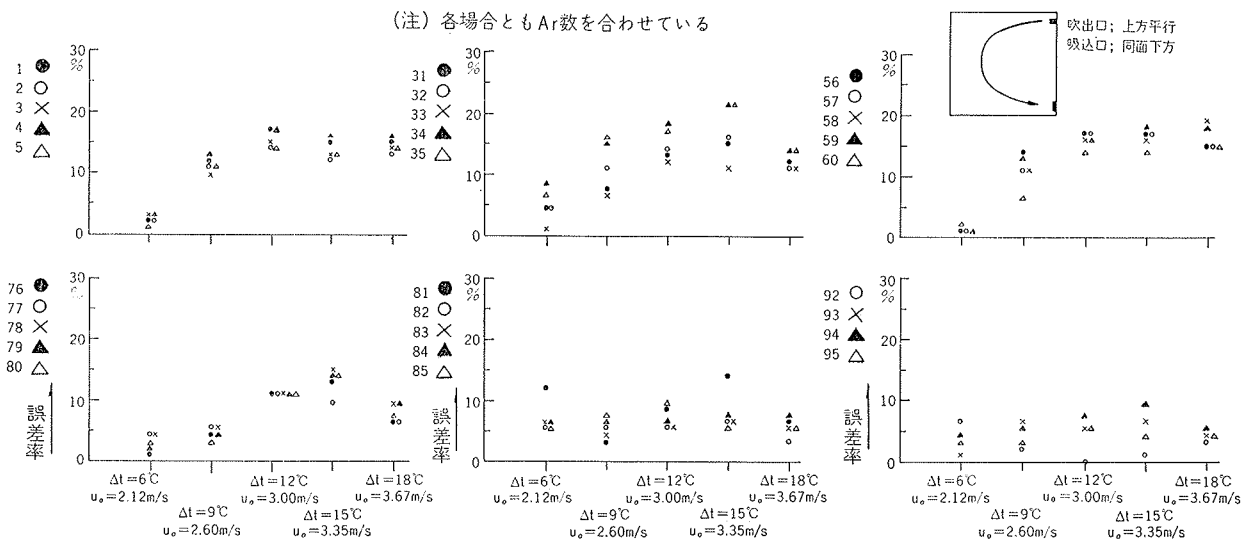


図-9 誤差率 (吹出口上方平行, 吸込口同面下方)

の上方平行では  $\Delta t$  が実物と同じ  $6^\circ\text{C}$  の時が最も小さく  $\Delta t$  が大きくなるにしたがい誤差も大きくなる傾向にある。また図には示していないが①の場合ではほとんど差異はみられなかった。

次に Ar 数を故意に合わせなかった場合についてみると①, ②とも Ar 数を合わせた場合とほぼ同じ程度の誤差率となっている。また Ar 数の大小による誤差率の変化もほとんどみられない。今回の実験では Ar 数を合わせない場合として、通常の模型実験での  $u_0$  を考慮して 1.70m/s から 4.50m/s までの空気速度としたため Ar 数が非常に小さくなり、慣性項に比して浮力項の影響が非常に小さくなり空気分布は  $u_0$  によって左右されてしまったためと思われる。なお Ar 数の算定の際、長さ  $l$  としては部屋の高さをとった。

各測定点の誤差はどの場合も噴流付近では大きく、

下にいくにしたがって誤差は小さくなっている。

### 3. 室内温度分布

#### 3.1. 各条件下における温度分布の変化

図-12に示す各吹出, 吸込形態において  $u_0$  が 2m/s と 3m/s の場合,  $\Delta t$  が  $3^\circ\text{C}$  から  $18^\circ\text{C}$  まで  $3^\circ\text{C}$  おきの各場合についてそれぞれ実験を行なった。冷房時の吹出された噴流の中心軸の軌跡を図-10に示す。噴流の算定式を次式に示す。

$$y_0 = \frac{x_0}{d_0} \tan \alpha + \text{Ar} \left( \frac{x_0/d_0}{\cos \alpha} \right)^2 \left[ 0.51 \times \frac{1}{2K} \times \left( \frac{x_0/d_0}{\cos \alpha} \right) + 0.11 \right] \dots \dots \dots (3)$$

$x_0, y_0$  は吹出口中心を基点とする噴流中の点であり、

$\alpha$  は吹出軸方向が水平となす角である。 $d_0$  は吹出口の径であり  $K$  はスロー定数である。また(3)式中の  $Ar$  数算定の際  $l$  としては  $d_0$  を考えた。

得られた室内温度分布の一部を図-11に示す。 $u_0$  は 3m/s,  $\Delta t$  は 12°C の場合であり居住域代表点の温度は 26°C である。

### 3.2. 設備容量の経済化の検討

大空間建築を冷房する際には床から数 m までの居住空間だけを上部空間と切りはなして冷房すれば最も経済的である。このため各種の吹出口, 吸込口の形態が考えられるが最も経済的な形態を見つけ出す意味で図-12に示す吹出口, 吸込口の形態について次のような検討を行なった。

吹出口から吹出された冷風は室内を冷却するために使われるが, いま図-4に示すように模型内を 100 のメッシュに分割しそれぞれのメッシュの空気温度に着目する。吹出空気温度を基準に考えた場合 100 点それぞれの温度が吹出空気温度とどの程度の差が生じているかを計算し, この温度差すべてを合計した時にこの和が大きいほど, 空調部分とは無関係の非空調部分が

多いことを示しており設備の経済化がはかられていることになる。この場合相対的比較をしているのでそれぞれのメッシュの空気熱容量は 1 と仮定してもさしつかえなく結局次式のようなになる。

$$Q = \sum_{j=1}^{100} (T_j - T_0) \dots\dots\dots(4)$$

$T_j$ : メッシュの空気温度,  $T_0$ : 吹出空気温度  
結果を  $u_0$  が 2m/s と 3m/s とに分けて図-12に示す。図からも明らかなように吹出口が下方下向 30° の場合が最も有利であり, 下方平行の場合がこれについている。

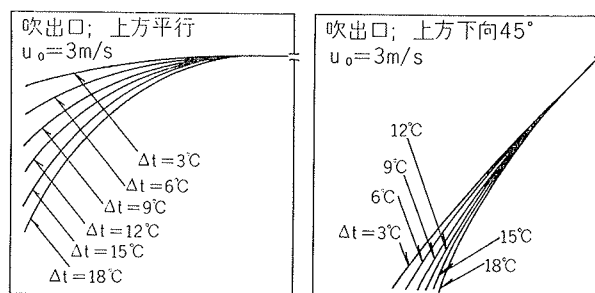


図-10 噴流の中心軸 (冷房時, 大模型)

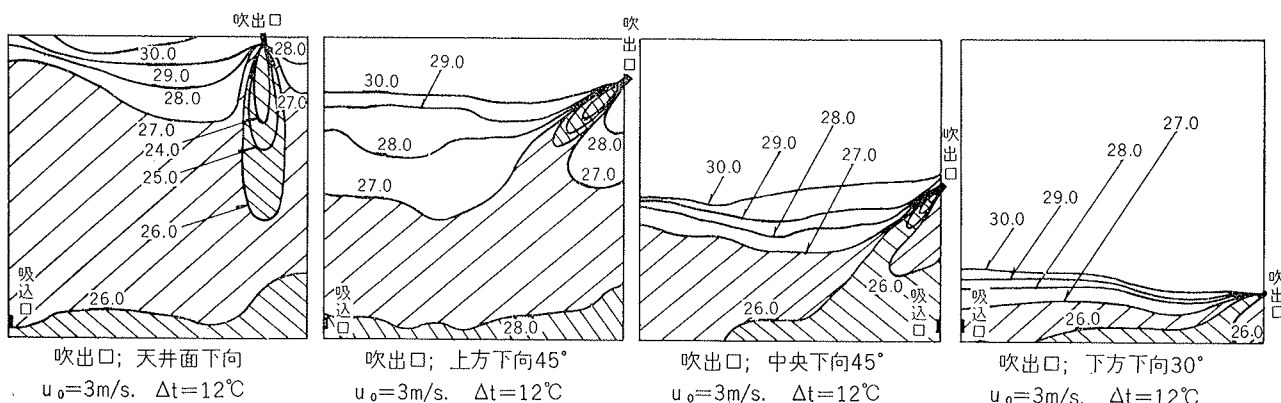


図-11 室内温度分布 (冷房時, 大模型)

$U_0 = 2 \text{ m/s}$

吹出口	上方平行	上方上向30°	上方下向45°	上方平行	上方下向45°	天井面下向	上方平行	中央平行	中央下向45°	中央平行	中央下向45°	下方平行	下方下向30°
吸込口	对向面下方	对向面下方	对向面下方	同面下方	同面下方	对向面下方	同面中央	对向面下方	对向面下方	同面下方	同面下方	对向面下方	对向面下方
吹出形状													
3°C	361.0		366.2	260.6	346.4	292.7		361.5	496.5	347.9	403.8	494.1	505.8
6°C	760.9		677.5	614.8	656.0	631.4		734.2	783.8	728.2	821.1	950.0	1016.7
9°C	1020.1		990.0	1002.8	1003.8	939.8		1109.5	1253.7	1129.8	1297.7	1391.1	1515.9
12°C	1387.2		1348.2	1410.9	1424.2	1313.7		1467.5	1622.7	1446.0	1594.2	1852.1	2003.8
15°C	1675.5		1696.8	1789.2	1805.0	1620.7		1824.8	1984.7	1787.9	2034.8	2343.6	2415.1
18°C	1995.1		2093.8					2242.4	2378.9	2211.5			

$U_0 = 3 \text{ m/s}$

吹出口	上方平行	上方上向30°	上方下向45°	上方平行	上方下向45°	天井面下向	上方平行	中央平行	中央下向45°	中央平行	中央下向45°	下方平行	下方下向30°
吸込口	对向面下方	对向面下方	对向面下方	同面下方	同面下方	对向面下方	同面中央	对向面下方	对向面下方	同面下方	同面下方	对向面下方	对向面下方
吹出形状													
3°C	298.5	296.5	342.4	303.3	364.3	333.4	285.5	335.1	370.7	286.5	406.7	405.1	478.1
6°C	684.1	622.8	693.3	754.2	722.3	643.8	582.1	650.9	811.6	737.4	927.0	868.7	1039.1
9°C	902.3	927.0	952.4	1137.6	1050.8	1030.9	1033.5	1091.3	1289.0	1084.7	1206.4	1394.2	1521.3
12°C	1377.8	1398.2	1371.0	1317.2	1358.7	1254.5	1417.4	1481.1	1703.8	1521.2	1647.2	1960.8	2227.0
15°C	1713.1	1763.7	1692.7	1725.5	1725.0	1576.7		1875.3	2090.7	1863.4	2008.6		

図-12 各吹出, 吸込口形態の経済性