

## 低層アトリウムにおける室内環境について

白澤 達哉 横木 雄介

### 要旨

低層アトリウムにおける室内環境を把握するために、当技術研究所本館内にあるアトリウムを対象に実測調査を行ったのでその結果を報告する。また設計時に行った数値解析シミュレーションによる室内温熱環境の予測結果と実測との整合性の検討を行ったのでここに報告する。

実測からアトリウムの夏期および冬期における室内温熱環境を把握することができた。またアトリウム内の冬期における温熱環境を実測および数値解析を用いて検討し、両者がほぼ一致することを確認した。

### 1. まえがき

近年、外部との連続性や開放的な空間としてアトリウムを有する建物が多く設計されるようになった。またアトリウムは、太陽光などの外部環境を積極的に取り入れるものが多く、室内環境への影響が大きくなっている。そこで、このアトリウムの室内環境を把握するために、当技術研究所本館内にある低層アトリウムにおいて室内環境の実測調査を行ったので、ここに報告する。

またアトリウムのような大空間を構成する空間の設備設計などにおいて、空調設備機器の選定および吹出し口などの設定をするために、数値解析による室内温熱環境予測を行い、最適設計を行う方法が重要となっている。しかし数値解析手法は、モデル化や境界条件などの設定で、その結果は大きく異なるため、実験的検証を重ねることで、数値解析手法の高度化を図る必要がある。そこで、実測調査と数値解析とを比較することで、これらの整合性を検討したのでここに報告する。

### 2. 建物概要

建物概要を表-1に、その内部を写真-1に示す。また、建物1階平面図および断面図を図-1および2に示す。対象建物は5階建事務所および研究施設で、建物中央部にアトリウムを有する。2~4階までのアトリウムおよび執務室は、開放型であり連続空間となっている。5階では、アトリウムと食堂とがガラスで仕切られている。なお、今回はアトリウム空間が閉鎖された場合を想定し、2~4階のアトリウムを囲む防火シャッターを閉じた場合の測定とし、数値解析モデルもこれと同様の条件とした。

表-1 建物概要

所在地	栃木県那須郡西那須野町
竣工年月日	1994年3月
用途	事務所
階数	地上5階、地下1階、塔屋1階
建築面積	2,347 (m <sup>2</sup> )
延面積	6,492 (m <sup>2</sup> )
アトリウム面積	9 × 22 (m)
高さ	2.9 (m)
トップライト	複層ガラス (熱線反射ガラス+透明網入りガラス)
給排気扇	2,500(m <sup>3</sup> /h)×2
遮蔽スクリーン	ガラス繊維(0.7mm厚) (遮光率:94.5%)



写真-1 建物内部

アトリウム頂部は、熱線反射ガラスと透明網入りガラスの複層ガラスで構成され、太陽光を遮蔽する開閉式のスクリーンがガラス内側に設置されている。また、熱だまり処理のための給排気ファンが頂部側面に設置されている。空調設備は1階をファンコイルユニットによる居住域空調とし、その他の階については執務室をファンコイルユニットによって空調し、夜間蓄熱運転を行っているため、アトリウム下部に蓄熱槽を有している。

また、1階アトリウム床面には床表面温度22°Cの床暖房設備が設置されている。

### 3. 測定期間および条件

測定は夏期および冬期について行い、夏期は1994年8月13日～19日までの7日間、冬期は、1995年2月13日午後10時～14日午前6時までの深夜に行った。夏期については、上部熱だまり処理の違いを調査するために表-2に示す測定条件について行った。

また室内条件として、2～5階の執務室および食堂の空調は、シャッター閉鎖時および開放時いずれも設定温度を25°Cとした。

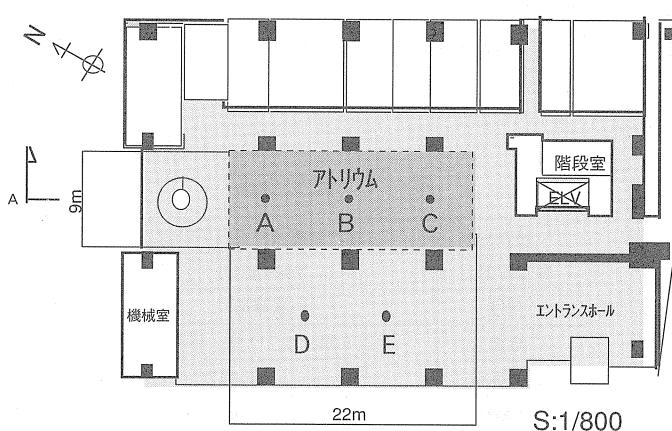


図-1 平面図

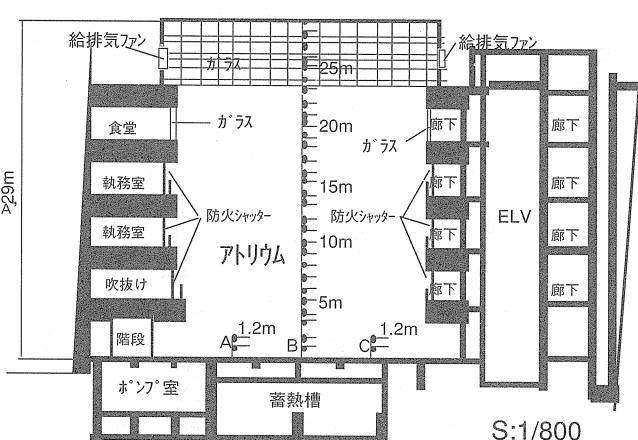


図-2 断面図

表-2 測定条件 (1994年8月)

	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日
防火シャッター	閉	閉	閉	閉	閉	閉	開
1階空調	×	○	○	○	○	○	○
遮蔽スクリーン	×	×	×	○	×	○	×
給排気ファン	×	×	×	×	○	○	×

表-3 測定項目

項目	測定場所	測定機器	測定間隔	床面からの高さ(m)
垂直温度	B	T型熱電対	10分	1m間隔
水平温度	A～E	T型熱電対	10分	0, 0.3, 1.2, 2.0
天部温度		T型熱電対	10分	
壁面温度		サーモグローブ	1時間	
放射温度	A～E	グローブ温度計	1時間	1.2
	B	環境分析器	10分	1.2
湿度	B	環境分析器	10分	1.2
気流速度	B	環境分析器	10分	1.2
PMV	B	環境分析器	10分	1.2
室内全天日射計	B	全天日射計	10分	0
外気温度	敷地内			気象庁気象観測法に 準拠する
外気湿度	敷地内			
屋外全天日射量	屋上			

#### 4. 測定項目

測定内容を表-3に、測定点を図-1および2に示す。アトリウム中央B点で垂直温度分布を床面より1m間隔で測定し、居住域の温度分布をA～E点でそれぞれ熱電対を用い測定を行う。また頂部および壁表面の温度については、サーモトレーサで測定を行う。

#### 5. 測定結果および考察

##### 5. 1. 温熱環境（夏期）

アトリウム床面下部に図-2に示すような蓄熱槽ピットおよびポンプ室を有しているため、床表面温度がこれからの影響を受けた状態で測定を行う。それぞれの室温は、それぞれ約22℃および28℃である。

###### 5. 1. 1. 室温・グローブ温度・外気温度

B点の床面から1.2mでの室温、グローブ温度および外気温度を図-3に示す。測定期間中の外気の日最高気温は、いずれも真夏日で、31～35.5℃の範囲にあり、ばらついている。空調していない13日のB点の床面から1.2mでの室温と空調した14～19日のそれとでは、それぞれ26～29℃および23～26℃の範囲であり、前者が後者より3℃程度高い。また同点で、頂部の条件による違いを見ると、14～18日の日最高温度がいずれも25℃前後で、その差はあまり見られない。さらに同点で、防火シャッターを開放とした19日の室温は、それを閉鎖した14および15日に比べ、0.5～1℃程度低いが、これは外気温度が他の日に比べ日中の気温が低いためと考えられる。空調していない13日のE点のグローブ温度は、空調をしている14～19日のそれらに比して高い値を示す。また頂部の条件による違いを見ると、14～18日のB点でのグローブ温度は、いずれも同様な傾向で特に大きな温度差はない。B点は直射日光が当たらないため、直射日光が当たるA点におけるグローブ温度を図-4に示す。直射日光が当たる時刻は11時前後で、その時のグローブ温度は、遮蔽スクリーンを使用した16および18日を除き28℃以上あり、最も高いグローブ温度は34℃を示す。これに比べ、遮蔽スクリーンを使用した場合の16および18日のA点でのグローブ温度は、11時前後に特に高くなる傾向は見られない。

###### 5. 1. 2. 気流速度

B点における高さ1.2mでの時刻ごとの気流速度を図-5に示す。1階部を空調していない13日の気流速度は0.05～0.15m/sの範囲内にある。また、1階部を空調した14～19日の気流速度は0.15～0.3m/sの範囲内である。

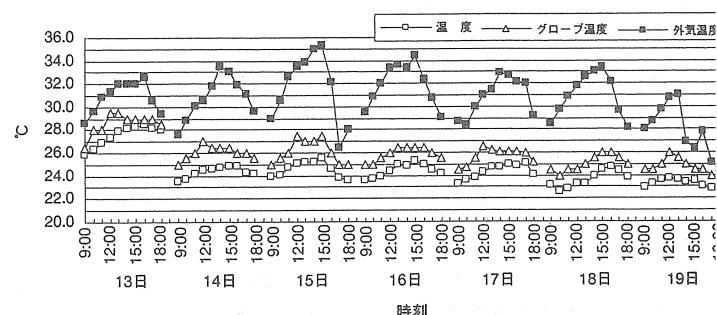


図-3 B点における温度・グローブ温度・外気温度

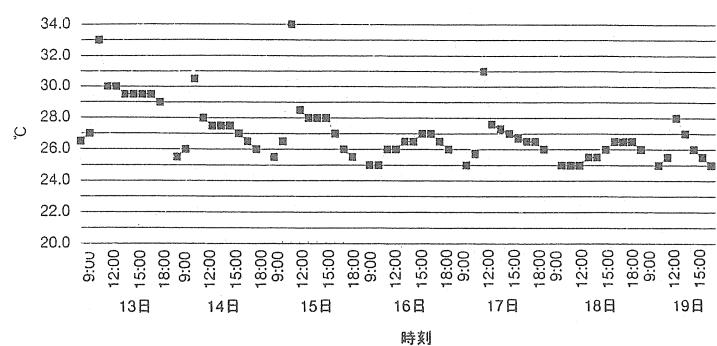


図-4 A点におけるグローブ温度

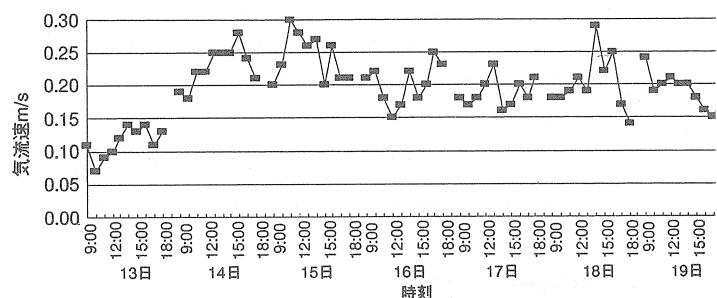


図-5 B点における気流速度

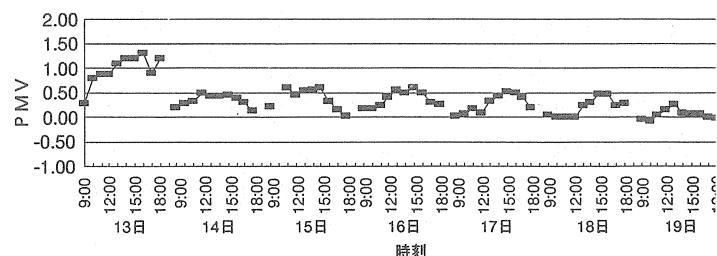


図-6 B点におけるPMV

### 5. 1. 3. PMV

B点における高さ1.2mでの時刻ごとのPMVを図-6に示す。ここでの設定条件として着衣量および代謝量をそれぞれ0.6cloおよび1.4metとする。また、室内の相対湿度は50~60%内の範囲にある。図に示すように1階を空調していない13日は0.3~1.3の範囲にあり、やや暖かい範囲にある。そして、1階を空調している14~19日のそれは0~0.5前後の範囲にあり、快適な範囲を示す。前述したように13日の気温およびグローブ温度が空調した日より高いため、PMV値も高い。

### 5. 1. 4. 垂直温度分布

B点の13時における13~15日および19日の垂直温度分布を図-7、また14~18日の頂部条件の違いによる垂直温度分布を図-8に示す。図-7に示すように、防火シャッターを閉めた状態で、空調していない13日の床面より1~9mでの温度は空調している14および15日より1~3°C程度高い。また防火シャッターを開けた状態の19日の垂直温度分布は、防火シャッターを閉じた14および15日に比べ、1~3°C程度低く、2~4階となる7~16m付近が、他の高さよりその温度差は大きい。しかし、19日の外気温度が14日及び15日のそれよりも低いことを考えると、これらの原因が防火シャッターの開閉による影響と安易に断定はできない。次に、図-8に示すように遮蔽スクリーンを使用した場合の16日および18日の床面から20mの高さまでの温度は、遮蔽スクリーンを使用しなかった14、15および17日のそれらの温度より0.5~2°C程度低い。また床面から23m以上の温度は、遮蔽スクリーンのみを使用した16日が、他より高い。また図-7および8に示すように、床面から15m付近までとそれ以上とでは、温度勾配は前者より後者が大きい。

### 5. 2. 温熱環境（冬期）

冬期の設計検討のため、最も外気温度が下がった午前5時でのアトリウムにおけるA~K点の垂直温度分布を図10~12に示す。ここでのA~K点は、図-9に示した点における垂直温度分布である。このときの外気温度は、-5°Cであった。

図10~12に示すようにアトリウム内の温度は22°C前後の均一した温度であり、平均温度は21.9°Cであった。また床面から高さ15m付近までの温度は22°Cの均一した温度分布にある。また16~23m付近では、アトリウムのAおよびK点の両端で高さが高いほど低くなる傾向にある。そしてトップライトの部分となる24m以上においては21~23°C前後でばらつく傾向がある。

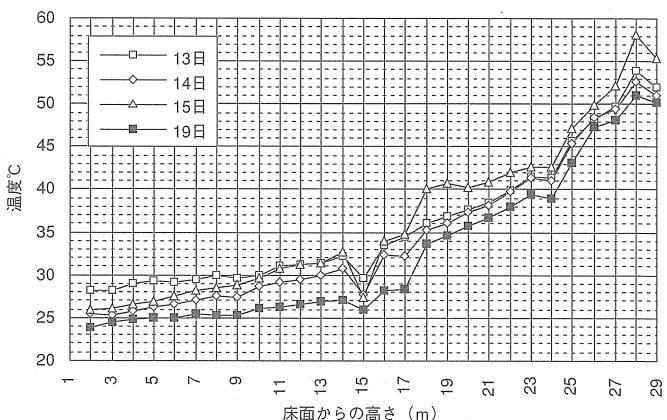


図-7 B点における垂直温度分布(1) (13時)

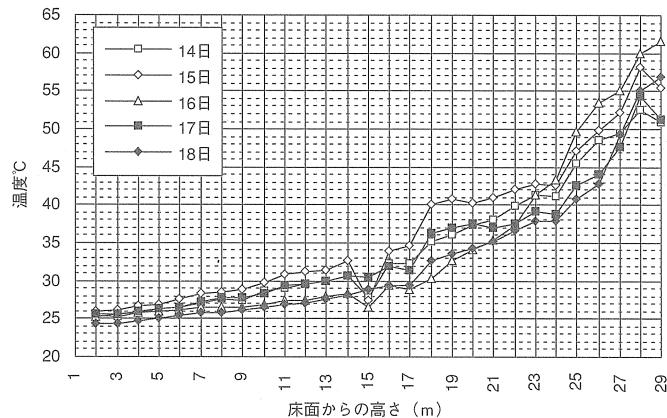


図-8 B点における垂直温度分布(2) (13時)

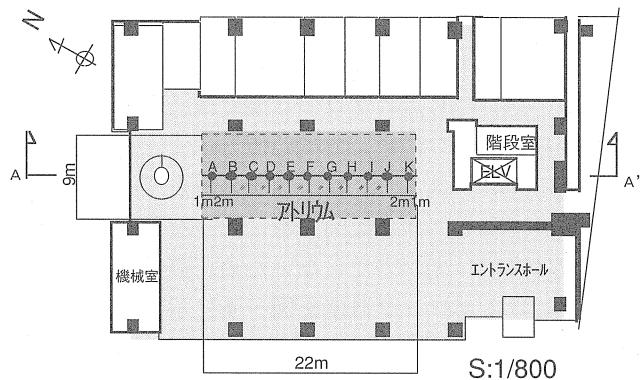


図-9 冬期垂直温度測定点

表-4 境界条件

流入境界	$k_{in} = 0.5 \cdot (U_{in} \times 0.1)^2$ $\epsilon_{in} = 0.09 \cdot k_{in}^{3/2} / L_{in}$
U <sub>in</sub> : 流入速度	
L <sub>in</sub> : 流入口（ディフューザ）の幅	
流入温度	27°C
流出境界	自然流出
初期温度	12°C
備考	速度は対数則を、壁とガラス面には総合伝達係数により外部からの熱の出入りを考慮

## 6. 数値解析シミュレーション

### 6. 1. 数値解析手法

アトリウム空間の冬期における温度分布を数値解析シミュレーションを用いて予測した。使用プログラムは、3次元熱流体解析プログラム「STREAM Ver2.7」で、乱流モデルは、 $K-\epsilon$  2方程式モデルで行った。格子分割数は、 $X=60$ 、 $Y=47$ および $Z=29$ の計81,780個で行い、その分割したモデルを図-13～15に示す。また境界条件を表-4に示す。また冬期で最も外気温度が低い日を想定したため、アトリウム内部に入射する日射はないものとした。速度は対数則を、壁とガラス面には総合熱伝達係数により外部からの熱の出入りを考慮して解析した。

## 6. 2. 数値解析結果

アトリウム内を数値解析により予測した温度分布を図-16および17に示す。図に示すようにアトリウム内の温度分布はトップライト両端を除き19～23℃の範囲で22℃前後となっている。これは表3に示した実測結果とも一致している。またアトリウム両端で高さ16m以上の温度は高さが高くなるほど低くなる傾向にあり、これも実測値と同様な傾向である。

次にアトリウム内の気流の流れを数値解析により予測した結果を図-18および19に示す。図-18に示すように $X-Z$ 面ではトップライト両端付近を除き大きく左まわりの気流分布を示す。同様に $Y-Z$ 面においても左まわりの気流分布を示す。

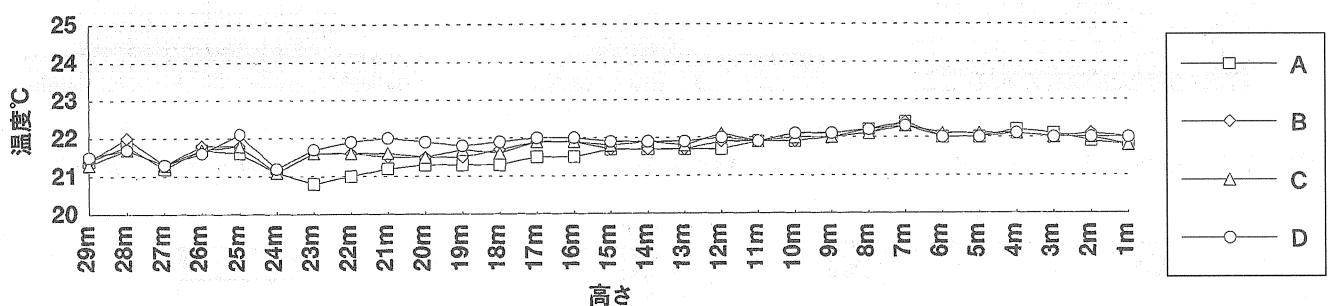


図-10 冬期垂直温度分布 (A～D点)

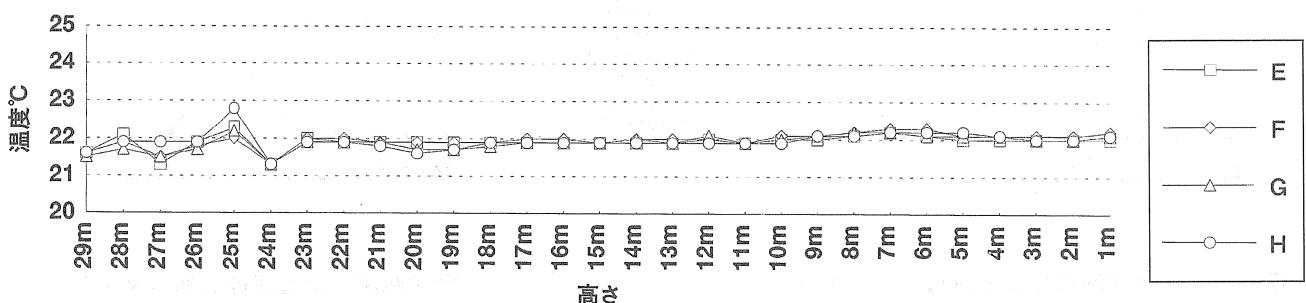


図-11 冬期垂直温度分布 (E～H点)

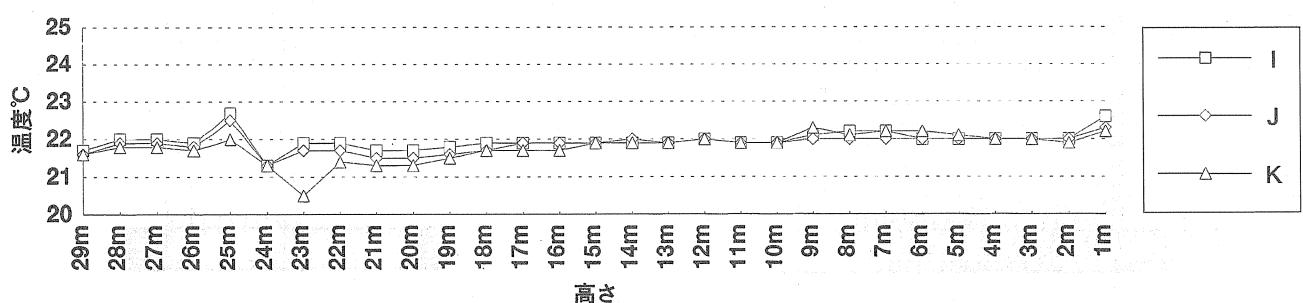


図-12 冬期垂直温度分布 (I～J点)

## 7.まとめ

アトリウム内の夏期および冬期における室内温熱環境を把握した。またアトリウム内の冬期における温熱環境を実測および数値解析を用いて検討し、両者がほぼ一致することを確認した。

今後、さらに他物件に対し同様な測定を行い、実測データの蓄積を行い、アトリウムを有する建物への設計手法の確立を行っていく考えである。

最後に、本研究にあたり、日本大学生産工学部板本研究室の方々に多大なるご協力をいただきました。ここに深謝いたします。

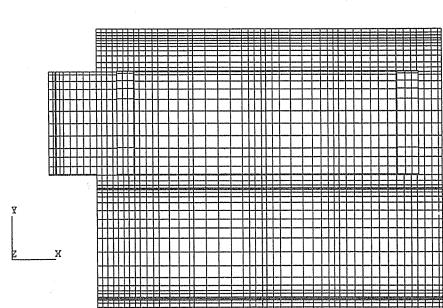


図-13 解析モデル（X-Y）

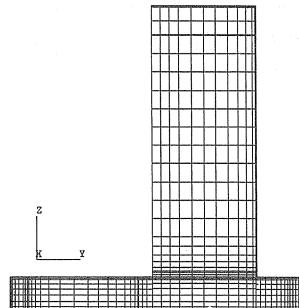


図-14 解析モデル（Y-Z）

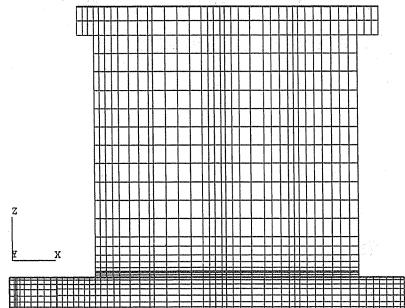


図-15 解析モデル（X-Z）

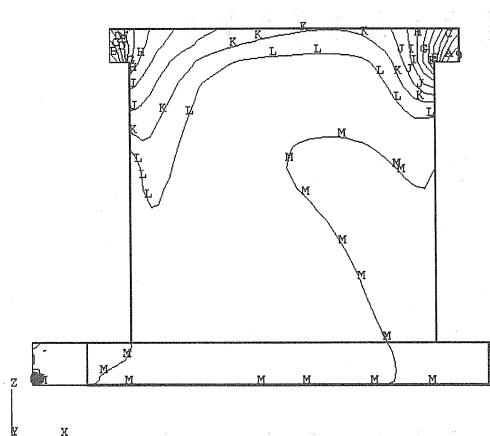


図-16 数値解析による温度分布（X-Z）

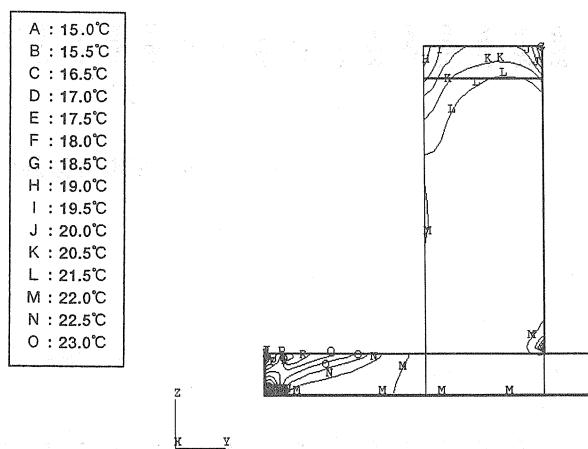


図-17 数値解析による温度分布（Y-Z）

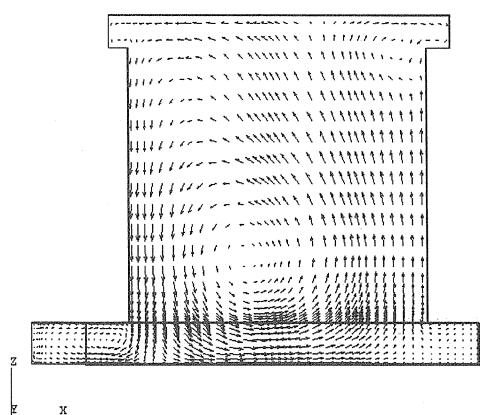


図-18 数値解析による気流分布（X-Z）

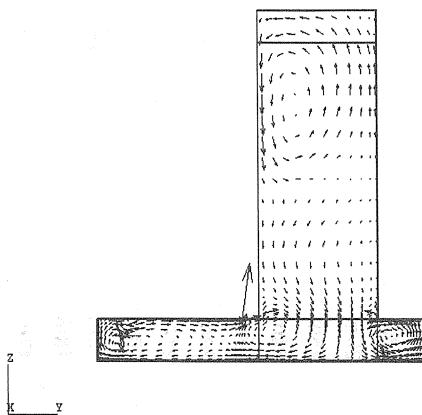


図-19 数値解析による気流分布（Y-Z）