

# 電子機器の冷却法に関する研究Ⅱ

岡本芳三\*, 神永文人\*, 佐藤和義\*\*, 高嶋正武\*\*\*, 堀内洋治\*\*\*, 渋谷嗣晴\*\*\*

(平成2年8月27日受理)

## Thermal Cooling Techniques of Electronic Components

Yoshizo OKAMOTO\*, Fumito KAMINAGA\*, Kazuyoshi SATOU\*,  
Masatake TAKASHIMA\*\*\*, Yoji HORIUCHI\*\*\*, Tsuguharu SHIBUTANI\*\*\*

**ABSTRACT**—The heat removal technique is one of the most important research item. To ensure an allowable temperature of the electronic components, the cooling method had been improved by the quantitative control of the generated heat from the equipments. The thermoview of the IC base plate had been obtained by the infrared radiation sensor. Isotherm image of an IC package array on the base plate was measured by the radiometer on the CRT display. The paper shows the heat transfer characteristics of the IC array and temperature distribution of the LSI package through a permeable wall, by using an atmospheric wind tunnel.

### 1. はじめに

電子機器を構成するICパッケージ、抵抗、コンデンサーなどの機器部品の熱除去を行なうためには、構成素子を冷却する空気の各素子の周りの流れを可視化し解析することが必要である。

とくに、最近における超LSIや集積回路の高度化にともなって、発熱速度がとみに増加するために、冷却技術の向上は、電子機器の熱設計にともなって、極めて重要な問題である。しかしながら、これらの素子は、基板の上にさまざまな形状、特性の異なる部品が配置されているために、それぞれの部品のまわりの流

れと熱伝達との関係を明らかにする必要がある。

流路内に置かれた基板上における、IC基板の温度分布と流れとの関係を明らかにする目的で、IC基板の発熱を模擬しリードワイヤ付きのパッケージ模擬抵抗体(Beckman 898-1-R22)を用いて実験を行なった。本抵抗体を矩形垂直流路壁に、一定間隔で15ヶ取付け、流路内に空気を流し、強制対流および自然対流のもとで伝熱特性を求めるとともに、透過壁をとうして定常および非定常時の温度分布を赤外放射計により計測した。<sup>1) 2)</sup>

また、発熱量の大きなLSIを風洞テスト部に取付け、動作状態でのLSI表面および裏面の温度分布

\*茨城大学工学部機械工学科(日立市中成沢町)

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ibaraki University, Hitachi 316, Japan

\*\*茨城大学大学院工学研究科機械工学専攻(日立市中成沢町)

Graduate Student, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ibaraki University, Hitachi 316, Japan

\*\*\*写研, 写研メディア研究所

Shaken Media Laboratory, Shaken CO.LTD. Niikura, Wako, Saitama.

を、ポリプロピレン透過膜をとうして赤外放射温度計により求めた。

このような温度分布より、伝熱面の放射特性を求めた実験結果より、IC 模擬抵抗体に関する無次元式を求めた。

## 2. 実験装置

一般に、ICパッケージの半導体部は、直列5Vで動作し、その発熱特性は電圧に対して非線形であるため、入力調整は、時間に対するパルス波形電圧を加えることが行なわれている。このような方式は複雑であり、全負荷直流電圧以上の入力を加えることは可能ではない。このような点を考慮し、発熱入力を与えるリードワイヤ型IC 模擬抵抗器 (Beckmen 898-1-R22)を購入し、これを断熱壁に取付け、矩形型流路壁を構成することとした。

模擬抵抗器は、幅22mm、厚さ8mm、高さ6mmの矩形抵抗器であり、Fig.1にその断面図を示す。この抵抗器の電気回路をFig.2に示す。

抵抗器内には、8つの抵抗器が並列に8本ずつ2列

に配備され、その端子はリードワイヤとして取り出される。また、中央の共通のリードが右端より取り出されている。1本あたりの抵抗は22Ωである。実際にICチップは、全体の抵抗の一部が発熱しているため、8本の中の4本分、すなわち、全長の半分の幅の抵抗部分が発熱するとして、これを銅線につなぎ交流電源につないで入力電圧を調整することとした。実際の4本分の抵抗は、公称11Ω、実測は9.0Ωであった。

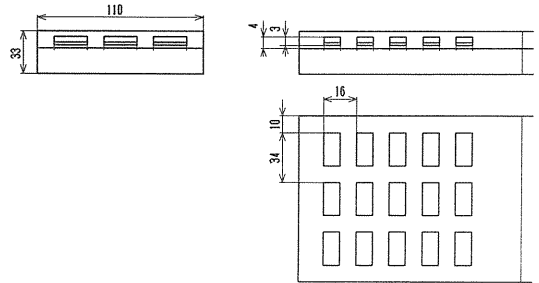


Fig.3 Test rig of simulated IC resistor with lead wire and its 3×5 array

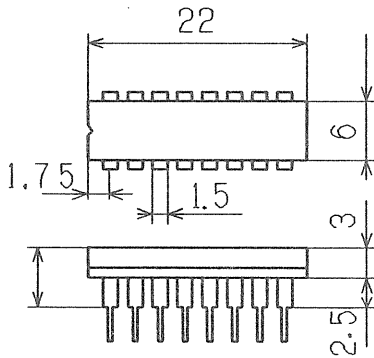


Fig.1 package outline

parallel conection of 4 resistors  
serial next resistor

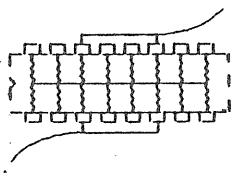


Fig.2 conection diagram of IC resistors

Fig.3に示すように、このような抵抗器を石綿断熱材の上に、5行×3列で15ヶの抵抗器を一定間隔で配置し、5行、3列分をそれぞれ直列につなぎトランスに接続し、AC電圧を調整して入力調整を行なった。

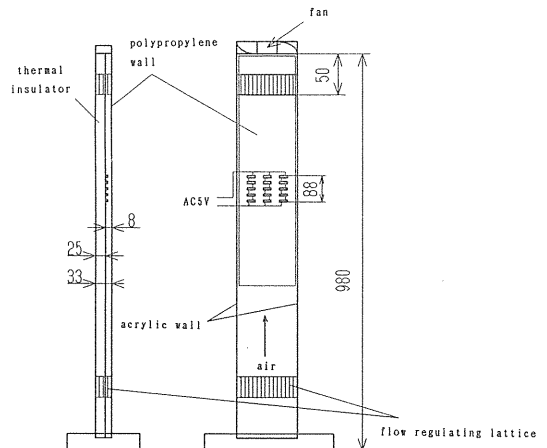


Fig.4 Experimental apparatus

Fig.4に示すように, テスト流路を垂直に置き, 上下に整流格子を取付け, 上部に取付けたファンを動作する。また, 真空ポンプの吸込み口より, 上部より風を吸込み, 流路内において $20\text{m/s}$ 程度の流速が得られるようにした。また, IC模擬抵抗体の流路上面に, 赤外線透過するポリプロピレン膜を取付け, 赤外放射計IRセンサーにより, 抵抗体の温度を測定した。また, 流路空気入口, 出口の温度と流速を, 熱式風速計で計測した。計測位置をFig.5に示す。

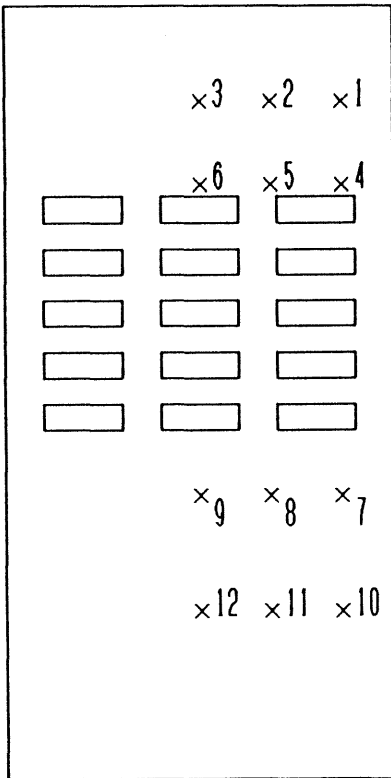


Fig.5 Position of gas temperature and flow velocity measured

実測によると, 上部ファンによるテスト部の流速は, 最大 $5\text{m/s}$ , 真空ポンプ吸込み口では, 最大 $20\text{m/s}$ である。ファンは, 入力電圧を調整することにより, 真空ポンプは吸込み空気量をそれぞれ流速を調整した。また, ICの上面, 裏面に熱電対を取付け, 壁面に溝を切つてうめこみ, 水平方向に流路を横切つて取り出し温度計測を行なった。温度計測位置をFig.6に示す。

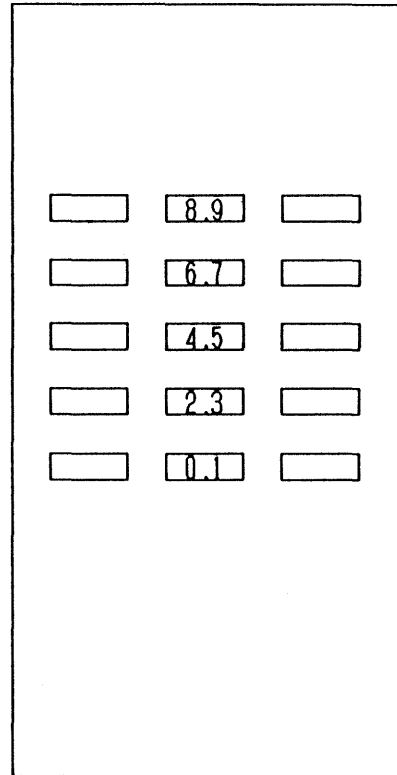


Fig.6 Attached position of thermo - couple

Fig.7に垂直流路と赤外線センサーの概要を示す。一方, LSIパッケージの表面および表面の温度分布を計測するために, 風洞出口部にアクリル製の流路を取付け, LSIを配置し, その表面および表面の温度分布を, 透過壁をかいて赤外放射計により求めた。その写真をFig.8に示す。<sup>3) 4)</sup>

LSIの形式, 電流電圧を以下に示す。

形式 Am 2 9 1 1 6

寸法  $l = 66, W = 20, h = 4$  (mm)

入力電圧 DC 5V

Fig.9-10にフィンなしICおよびフィンありICの上部から見た写真を示す。

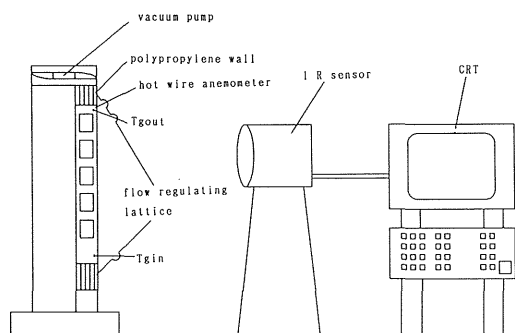
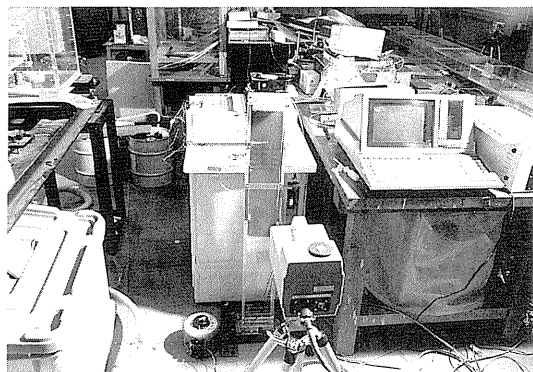


Fig.7 Layout of test section and I R sencer

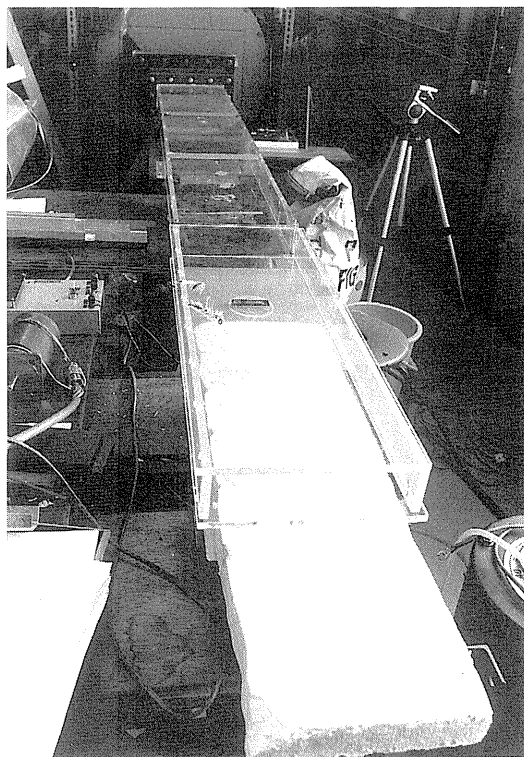


Fig.8 Wind tunnel test section heat transfer test

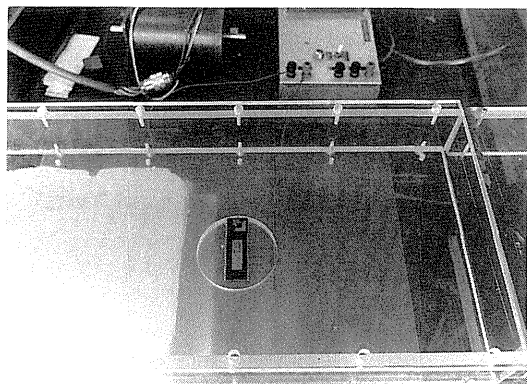


Fig.9 Test section (Fin less L S I)

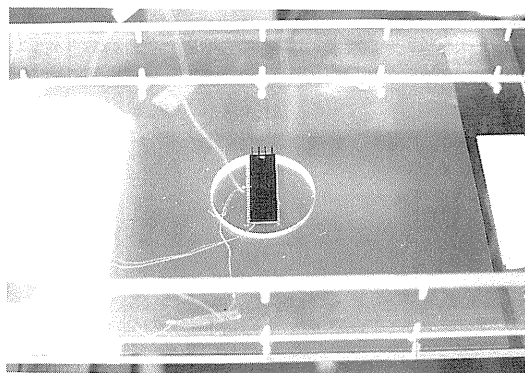


Fig.10 Test section (Fin attached L S I)

### 3. 実験結果

#### 3・1 模擬 IC 抵抗器群の伝熱特性

Table.1に模擬 IC 抵抗器群について行なった伝熱の実験条件を示す。自然対流および強制対流にともなう流速と, 入力電圧を表に示すような条件で変化させて実験を行なった。Fig.11~17は, 模擬 IC 抵抗器群について, 入力電圧が12, 10, 8 V の場合に, 流速がそれぞれ 0, 1.0, 3.0, 9.0, 12.0 (m/s) の強制対流のもとでの, 定常時の温度をサーモグラフィで求めたものである。流れの方向は, 下方から上方に流れる方向を示す。各素子の温度は, 平坦な山形の分布を示し, 流れ方向に沿って温度は増加している。また, 上下方向に見える串形の形状は, ワイヤービンの存在を示している。Table.2に IC 群の試験条件を示す。

Table.1 Test condition of IC package simulation

W = 110	(mm)
H = 8	(mm)
Velocity v = 0 ~ 20	(m/s)
Voltage V = 8, 10, 12	(V)
Re = 0 ~ 16000	
pitch of chip column	34 (mm)
pitch of chip array	16 (mm)

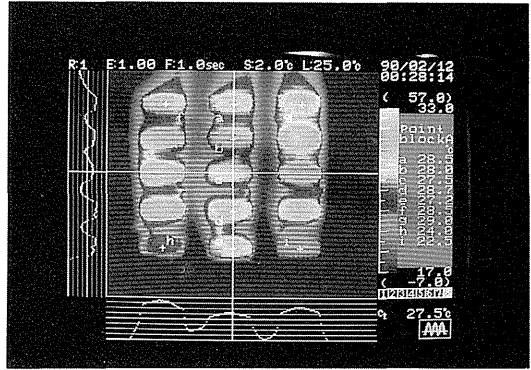


Fig.12 Temperature distribution of IC array vertical wall after power-on for various cooling condition  $v=1.0$  (m/s)  $Q=0.550$  (kcal/h)

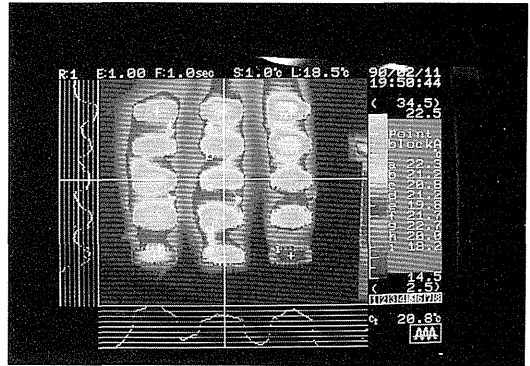


Fig.13 Temperature distribution of IC array vertical wall after power-on for various cooling condition  $v=3.0$  (m/s)  $Q=0.550$  (kcal/h)

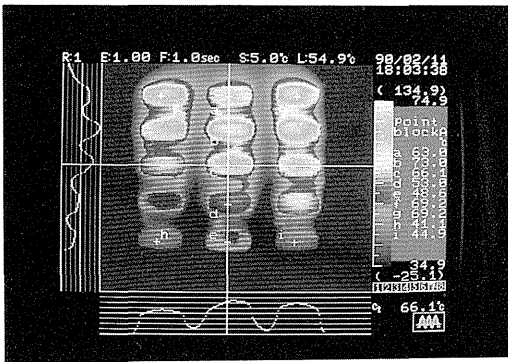


Fig.11 Temperature distribution of IC array vertical wall after power-on for various cooling condition  $v=0$  (m/s)  $Q=0.550$  (kcal/h)

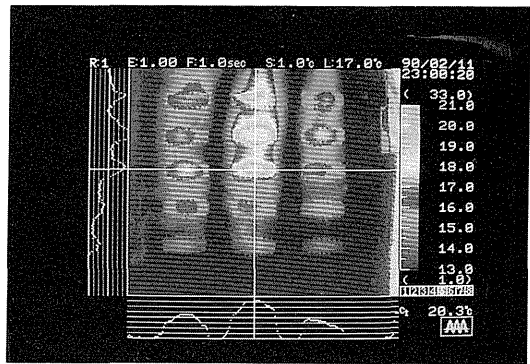


Fig.14 Temperature distribution of IC array vertical wall after power-on for various cooling condition  $v=12.0$  (m/s)  $Q=0.550$  (kcal/h)

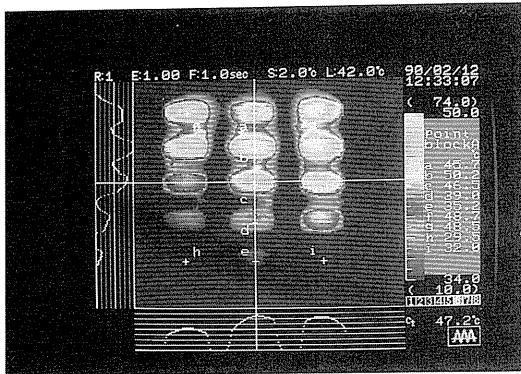


Fig.15 Temperature distribution of IC array vertical wall after power-on for various cooling condition  $v=0$  (m/s)  $Q=0.382$  (kcal/h)

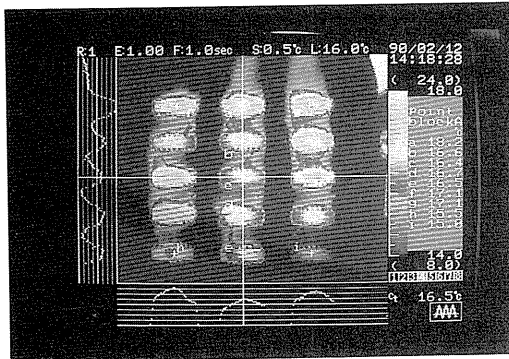


Fig.16 Temperature distribution of IC array vertical wall after power-on for various cooling condition  $v=2.0$  (m/s)  $Q=0.382$  (kcal/h)

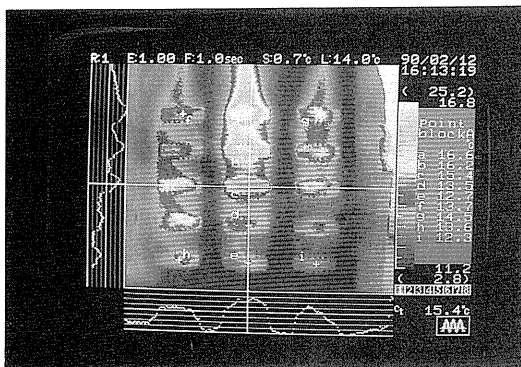


Fig.17 Temperature distribution of IC array vertical wall after power-on for various cooling condition  $v=14.0$  (m/s)  $Q=0.382$  (kcal/h)

Table.2 Test result of I C package array

Fig.No.	flow velocity $v$ (m/s)	power $Q$ (kcal/h)	heat flux $q$ (kcal/h·m <sup>2</sup> )	gas temp. $T_g$ (°C)	wall temp. $T_w$ (°C)	tip difference $\Delta T$ (°C)
11	0			19.0	84.26	65.3
13	3.0	0.550	1545	16.14	32.74	16.6
14	12.0			15.1	21.9	6.64
15	0			16.9	61.98	45.04
16	2.0	0.382	1073	14.4	24.68	10.26
17	14.0			14.0	17.9	3.9
18	0			17.7	81.7	64.0
19	12.0	0.550	1545	14.6	19.5	3.9
20	0			15.2	46.3	31.1
21	13.0	0.245	688.2	13.7	15.4	1.7

Fig.18~21は模擬 IC 抵抗器群について、入力電圧 12, 10, 8 V の場合それぞれ流速 0, 12.0, 13.0, 14.0 (m/s) のもとで、定常状態となった時の IC 群の真ん中の列の下から 2 番目の IC を拡大し、サーモグラフィで求めたものである。流れは下方から上方向に流れる。上下の串はワイヤーピンを示している。IC の横断面では、ほぼ平均的な温度分布を示している。また Fig.19,21 に示すように、後流のウェークの発生による基板面の温度上昇の様子が観測された。Table.3 に代表的な IC についての試験条件を示す。

Table.4 に示すような平均温度差が求まり、熱伝達率が計算された。

また、チップの表面と裏面の温度差は、自然対流では最高 3°C で平均 0.5°C 程度座面の温度が高くなっているのに対して、強制対流では平均 0.3°C 以内でありほとんど温度差はみられなかった。

$T_w$  と  $T_g$  より、平均の壁面とガス温度を求めることにより、IC の熱伝達率  $\alpha$  は、次のように表される。

$$\alpha = Q / a (T_w - T_g) \quad (1)$$

$a$  : 加熱体の表面積

求めた熱伝達率  $\alpha$  より、 $Nu$  は次のように求められる。

$$Nu = \alpha \cdot 2H / \lambda \quad (2)$$

いっぽう、流速  $v$  より、 $Re$  は次のように求められる。

$$Re = v \cdot 2H / \nu \quad (3)$$

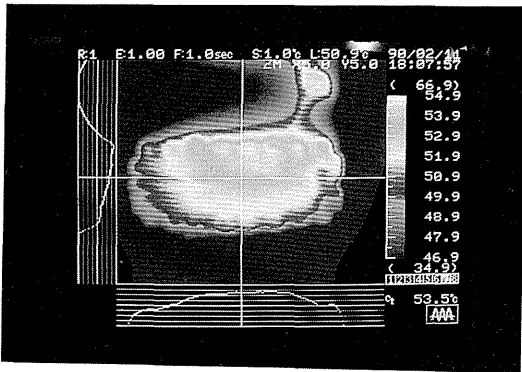


Fig.18 Temperature distribution of IC vertical wall after power-on for various cooling condition  $v=0$  (m/s)  $Q=0.550$  (kcal/h)

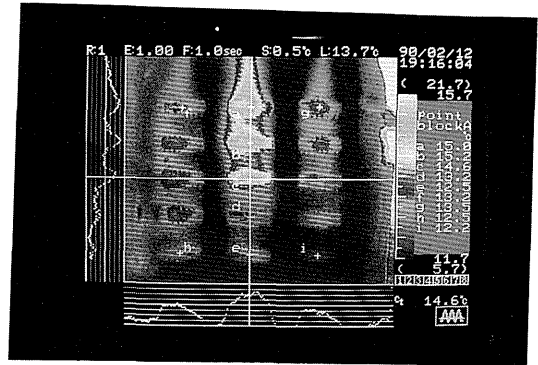


Fig.21 Temperature distribution of IC vertical wall after power-on for various cooling condition  $v=13.0$  (m/s)  $Q=0.245$  (kcal/h)

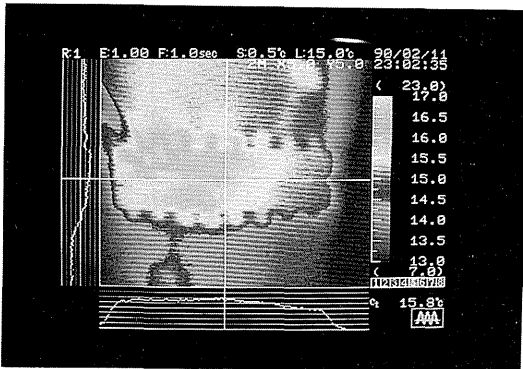


Fig.19 Temperature distribution of IC vertical wall after power-on for various cooling condition  $v=12.0$  (m/s)  $Q=0.550$  (kcal/h)

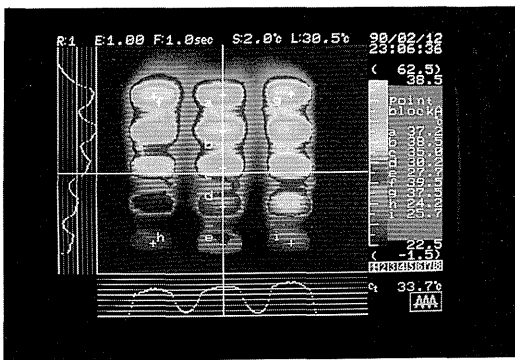


Fig.20 Temperature distribution of IC vertical wall after power-on for various cooling condition  $v=0$  (m/s)  $Q=0.245$  (kcal/h)

$\Delta T$  = Temperature rise ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\Delta \tau$  = Time constant (minute)

Test condition		( $\leftarrow$ up stream) tip No. (down stream $\rightarrow$ )				
		1	3	5	7	9
Natural convection $v=0$ (m/s)	$\Delta T$	67.5	66.0	69.6	69.6	69.6
	$\Delta \tau$	47	48	48	49	49
Forced convection $v=1.0$ (m/s)	$\Delta T$	33.8	34.8	31.0	30.9	29.6
	$\Delta \tau$	8	20	21	24	22
Forced convection $v=3.0$ (m/s)	$\Delta T$	15.8	18.5	16.9	17.3	19.1
	$\Delta \tau$	3	5	5	6	7
Forced convection $v=9.0$ (m/s)	$\Delta T$	6.0	8.5	11.3	12.3	10.1
	$\Delta \tau$	1	3	2	3	6
Forced convection $v=12$ (m/s)	$\Delta T$	3.9	5.5	8.9	11.6	9.3
	$\Delta \tau$	1	1	1	2	2

Table.3 Test result of temperature and time constant  $T_w$  for various cooling condition

$\Delta T$  = Temperature rise (°C)  
 $\Delta \tau$  = Time constant (minute)

Q = 0.245 kcal/h

Test condition		← up stream tip No. (down stream →)				
		1	3	5	7	9
Natural convection	$\Delta T$	32.3	31.8	34.0	34.5	32.8
	$v=0$ (m/s) $\Delta \tau$	44	44	45	46	47
Forced convection	$\Delta T$	12.5	13.5	12.4	12.4	11.9
	$v=1.0$ (m/s) $\Delta \tau$	5	8	8	10	8
Forced convection	$\Delta T$	7.1	7.9	7.0	6.9	6.2
	$v=3.0$ (m/s) $\Delta \tau$	2	3	3	6	5
Forced convection	$\Delta T$	2.2	2.9	3.9	4.9	4.8
	$v=9.0$ (m/s) $\Delta \tau$	1	1	1	2	3
Forced convection	$\Delta T$	1.7	2.2	3.3	4.2	4.4
	$v=12$ (m/s) $\Delta \tau$	1	1	1	2	2

Table.4 Test result of temperature and time constant  $T_w$  for various cooling condition

Fig.22に強制対流における  $Nu$  と  $Re$  の関係を示す。実線は平行平板の式を表し、それに対して実測値は、点線で示す熱エレメントに関するMoffatの式とほぼ一致している。

また、自然対流においては、 $Nu$  と  $Ra$  の関係について求めた。ここでは、代表長さを

$$\xi = 0.347H \quad (4)$$

とし、 $Ra$  は次の式で表される。<sup>5)</sup>

$$Ra = Pr \cdot Gr \cdot \xi / l' = Pr \cdot g (T_w - T_g) \xi^4 / T_g \cdot \nu^2 \cdot l' \quad (5)$$

ここで  $l'$  は、模擬抵抗器群全体の長さである。

Fig.23に、 $Ra$  と  $Nu$  の関係を示す。ほぼ、曲線上にそった値となる。

Table4,5に各種入力流速などの条件の下でのICの温度上昇と時間おくれを示す。

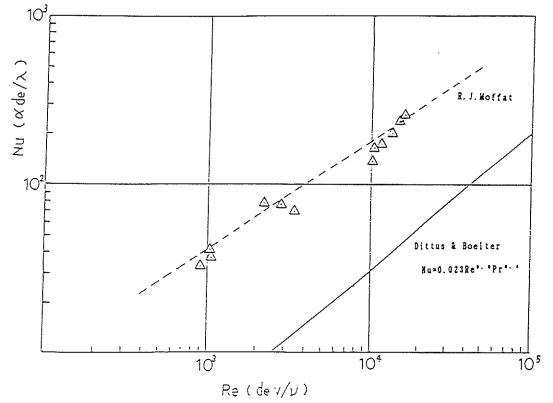


Fig.22 Re—Nu relation of IC package array

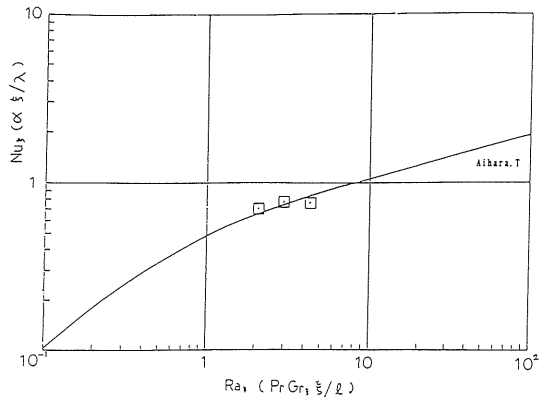


Fig.23 Ra—Nu Relation of IC package array (Natural convection)<sup>5)</sup>

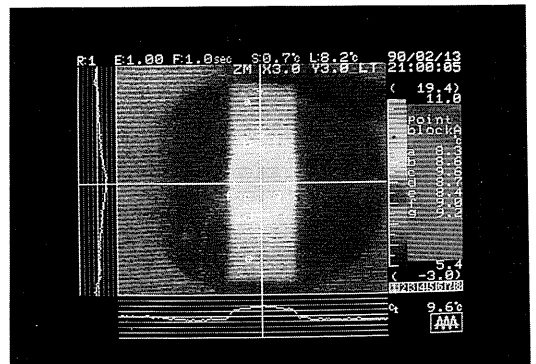


Fig.24 surface temperature distribution of a L S I tip  $v=0$  (m/s)



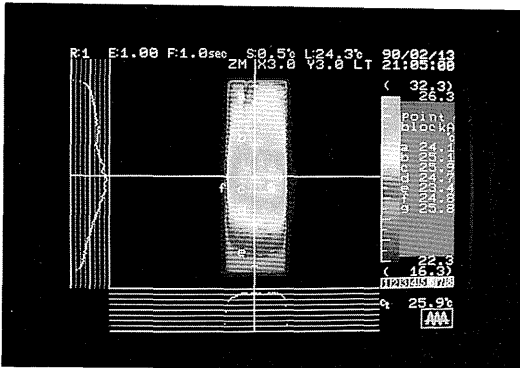


Fig.25 surface temperature distribution of a L S I tip  
 $v=0$  (m/s)

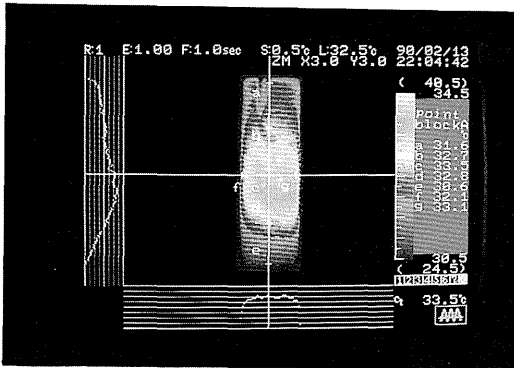


Fig.26 surface temperature distribution of a L S I tip  
 $v=0$  (m/s)

### 3・2 Finつき, FinなしのLSIチップの伝熱特性

Table.6に風洞中に冷却フィンを付けた場合と付けない場合のLSIを挿入して行なった伝熱実験の条件を示す。自然対流および強制対流にともなう流速と、入力電圧を表に示すような条件で変化させて実験を行なった。

Fig.28~30は、風洞中にLSIを挿入した時の実験結果である。電圧5Vを入力後5秒, 10秒, 30秒, 1分, 2分, 5分の各瞬間の様子をサーモグラフィーで、求めたものである。長さの方向には平坦な視野を引く山形の温度分布であるがチップのなかほどではほとんど一様な分布であり、時間と共に温度は上昇する。

## 4. まとめ

- 1) 基板上的のIC素子を模擬した抵抗発熱体を、垂直矩形流路の中に3行×5列に配列し、空気冷却時の特性を求めた。
- 2) IC素子の表面の温度を、熱電対および透過膜を通したサーモグラフィーによって計測し、定常および非定常の温度分布を計測した。
- 3) 同基板上的の自然対流および強制対流の熱伝達率を求め、 $Nu-Re$ ,  $Ra$ の関係を求めた結果、これまでのMoffat, Aihara等の関係式とほぼ一致することを明らかにした。
- 4) IC素子およびフィン付LSIの定常非定常時の特性を求めフィンについて検討した。フィンをつけることにより温度差は $1/2.5$ 近く減少し、フィン効率は0.69程度であり理論解析と一致することを明らかにした。

## 参考文献

- (1) 岡本芳三ほか3名; 感温液晶塗膜および赤外線による同時可視化に関する研究; 流れの可視化, vol19, No. 34, 1989, 7, P361
- (2) 岡本芳三ほか3名; 赤外放射計による透過壁を通しての伝熱面の温度分布の計測; 計測自動制御学会年次大会 SICCE, 1989-7, JS 44-2
- (3) 岡本芳三ほか3名; 電子機器の冷却法に関する研究; 茨城大学工学部集報 vol137, (1989), P127
- (4) 岡本芳三ほか5名; 赤外線放射温度計による透過膜を通してのIC基板の温度分布, 可視化情報 vol110, suppl No.1, (1990) 45, P175
- (5) 日本機械学会; 伝熱工学資料, (1989)