

温風ヒーターの衝突面温度分布の測定

長野工業高等専門学校 機械工学科

代表者 上條 将広

樋本 航

1. はじめに

温風発生機の用途としては、1) 乾燥炉内の昇温・加熱・乾燥 2) 洗浄後の水滴除去 3) 電子部品接着後の乾燥・硬化 4) 水性塗料の乾燥 5) 塗装部品の予熱および乾燥 6) 食品機材の加熱・殺菌 7) 室内の簡易暖房 8) 結露除去、防止 9) 基板の乾燥などさまざまである。そのため、用途に応じて各種シリーズの温風発生機が製造されている。

ところで、温風発生機を用いて物体を乾燥させる場合には、温風発生機の噴出口に送風用ダクトを設け、その先にノズルを取り付ける方法が考えられる。それらのノズルには多種多様な形状があり、またそれらのノズルから噴出された温風が、いかなる温度分布を呈しているかは明らかではない。

そこで、ここでは形状の異なる4種類のノズルを温風発生機の噴出口出口に取り付け、それらのノズルから噴出した温風を平板面に衝突させた場合の、平板面上の温度を感温液晶シートを用いて定量化し、ノズル形状の違いによる温度分布の相違を検討した。

2. 実験装置と方法

2-1 感温液晶の温度校正

[用意するもの]

- ・感温液晶シート (A4 サイズ) 1 枚
- ・温度校正用加熱板
- ・デジタルカメラ

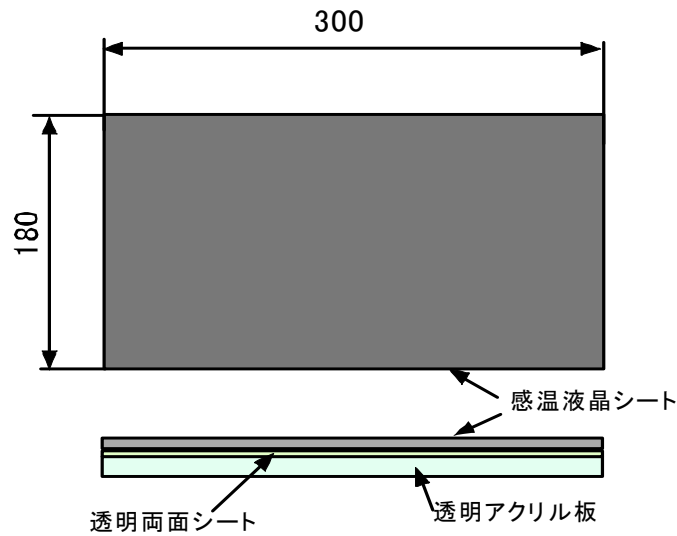


図1 衝突平板面の構造

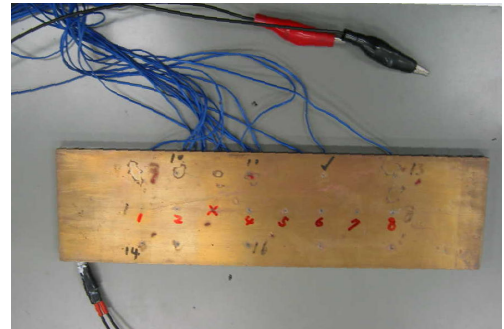
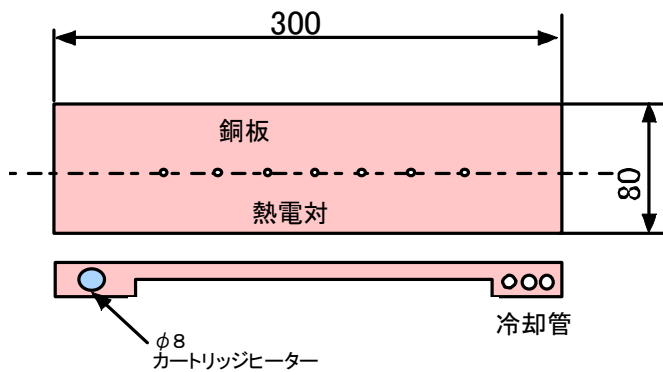


図2 温度校正用加熱板

図1に示すように透明なアクリル板の表面に透明な両面粘着シート（ソニーケミカル製）を貼る. 中性洗剤を水で薄めたものをアクリル板表面にぬり，空気泡が両面シートとアクリル板表面にできるだけ入り込まないように注意する.

両面粘着シートの接着面に感温液晶シートの感温面を接着する. この際も上記と同様に空気泡ができないように注意する.

図2には温度校正に用いた加熱板を示す. その大きさは 80mm×300mm であり，一方の側に直径 8mm のカートリッジヒーター（(株) 八光製）を埋め込み，もう一方の冷却管には水を流すための穴が開けられている. 加熱板の中央部には 30mm 間隔で直径 100 μ m のクロメル・アルメル熱電対が埋め込まれている.

[校正実験方法]

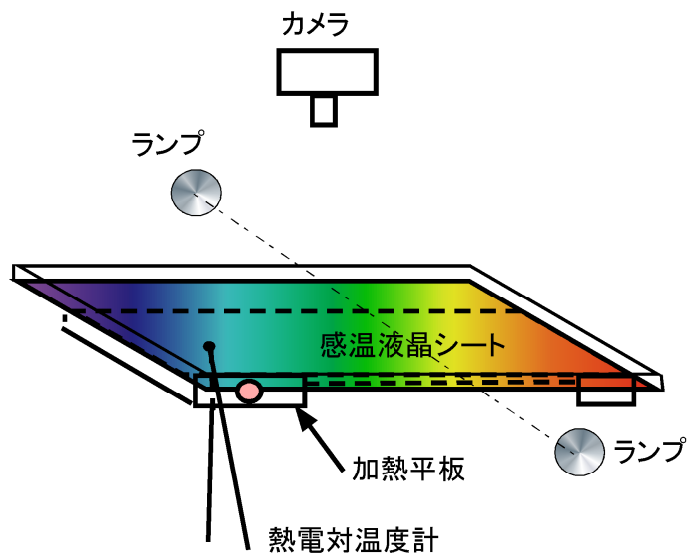


図3 温度校正実験

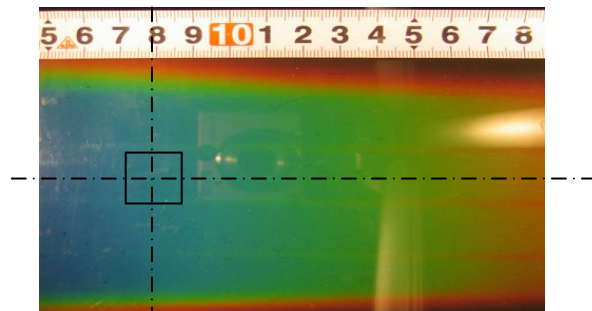


図4 加熱により色が変わった感温液晶シート

- ① 加熱平板の上に感温液晶シートを貼ったアクリル板を液晶面が加熱板に接触するようにのせる。
- ② 感温液晶シートの感温範囲は約 28°Cから 40°Cである。28°C以下では黒を呈し、温度が上昇するにつれ赤、緑、青に変色する。カートリッジヒーターの電圧を調節して、加熱平板に埋め込んだ一つの熱電対温度計の温度を最初に約 28°Cに設定する。温度がほぼ一定になるのを待って熱電対の温度を記録する。
- ③ 温度がほぼ一定のときに、図 3 に示すように感温液晶の色画像を垂直上方からデジタルカメラで撮影する。実験室の窓には暗幕を張り、撮影には 60W のハロゲン電球（ネオハロビーム、東芝ライテック製）を 2 個用いた。感温液晶シートに対する光源の位置および撮影位置の幾何学的関係は、すべての実験でできるだけ一定になるようにした。
- ④ スライダックスの電圧を調節しながら、熱電対温度計の温度を約 0.5°Cずつ上昇させ、温度がほぼ一定になるのを待って、熱電対の温度を記録し③と同様に撮影を行う。
- ⑤ 熱電対の温度が約 40°Cになるまで、温度測定と撮影を行った。
- ⑥ 撮影した画像の一例を図 4 に示す。撮影した画像の電子データをパソコンに取り込み、データ数を削減するために、図 4 に示すように温度測定を行った熱電対と接触している領域の画像を切り取った。

[温度校正法]

感温液晶シートの色と温度の校正は次のように行った。0 から 255 の数字にデジタル化された赤、緑、青の色情報をそれぞれ R, G, B とする。R, G, B 情報を次の式で色相 (Hue 値) に変換した。

$$\begin{aligned} \text{明度値 } V &= \max(R, G, B) \\ Z &= \min(R, G, B) \end{aligned}$$

$$L = \frac{(V + Z)}{2}$$

$V = Z$ の場合

$$S = 0$$

$$H = 0$$

$V \neq Z$ の場合

$$S = \begin{cases} (V - Z)/(V + Z) & L \leq 0.5 \\ (V - Z)/(2 - V - Z) & L > 0.5 \end{cases}$$

$$Cr = (V - R)/(V - Z)$$

$$Cg = (V - G)/(V - Z)$$

$$Cb = (V - B)/(V - Z)$$

$$H = \begin{cases} Cb - Cg & R = V \\ 2 + Cr - Cb & G = V \\ 4 + Cg - Cr & B = V \end{cases}$$

定式で Hue 値を H とした.

2-2 使用したノズル形状

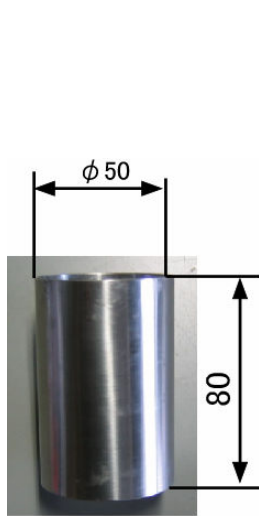
実験に使用したノズルを図 5 (a) ~ (d) に示す. また表 1 にはノズルの出口寸法と縦横比および次式で定義した水力直径 De を示す.

$$De = 2 \times (\text{短辺長さ} \times \text{長辺長さ}) / (\text{短辺長さ} + \text{長辺長さ})$$

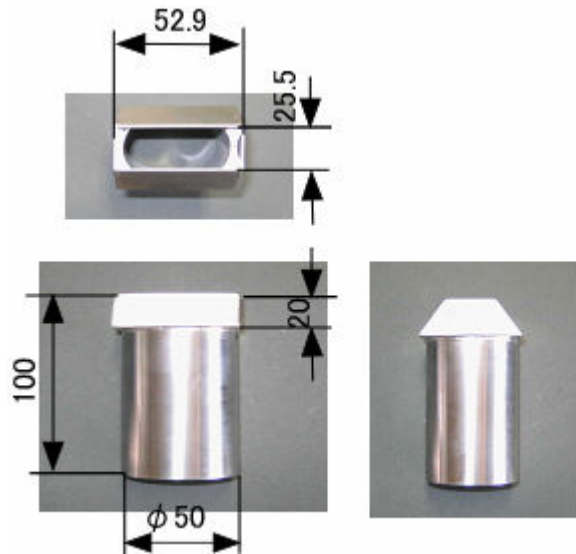
図 5(a) は内径 50mm の円形の管でありタイプ 1 と言う. 他の 3 種類はいずれも出口形状は長方形であり, 図 5(b) ~ (d) をタイプ 2, 3, 4 とそれぞれ言うことにする.

表1 ノズルの寸法

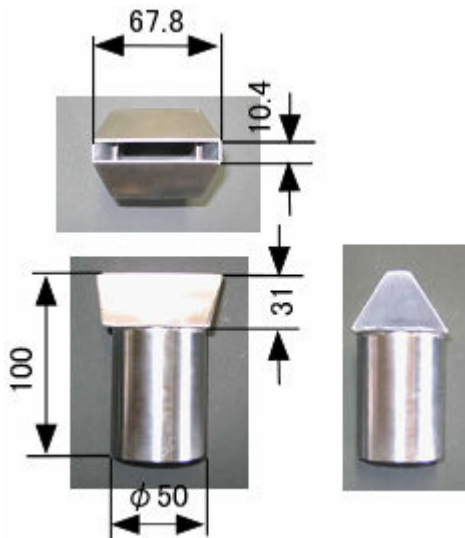
タイプ	出口形状	短辺長さ (mm)	長辺長さ (mm)	縦横比	水力直径 <i>De</i> (mm)
1	円形				50
2	長方形	25.5	52.9	2.1	34.4
3	長方形	10.4	67.8	6.5	18.0
4	長方形	5.6	149.0	26.6	10.8



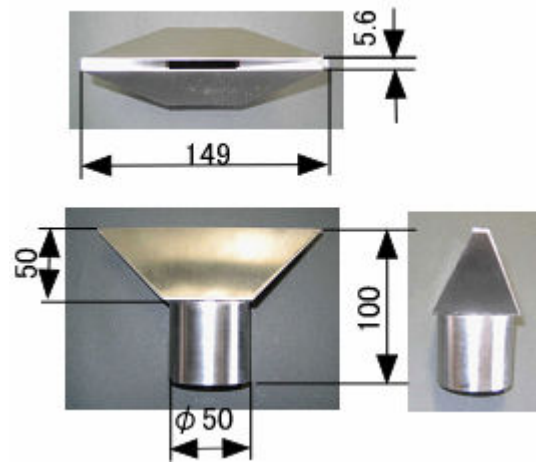
(a) タイプ 1



(b) タイプ 2



(c) タイプ 3



(d) タイプ 4

図5 ノズルの形状

図 6 に示す熱風発生機 HAP4020 の噴出口に上記の 4 種類のノズルを装着した。感温液晶シートの衝突面温度を約 40°Cにするために、図 7 に示す熱風発生機のコントローラー操作パネルの温度設定値を予備実験に基づき 55°Cにした。



図 6 熱風発生機 HAP4020



図 7 コントローラー操作パネル

各種ノズルを取り付けた場合のノズル先端と衝突面との距離は、表 1 に示す水力直径とほぼ同じくなるようにタイプ 1 からタイプ 4 において、50mm, 34mm, 18mm, 11mm とした。

ピトー管で測定したノズル出口流速 U_0 とレイノルズ数 $Re(=U_0De/\nu)$ は表 2 のとおりである。ここで、 ν は空気の動粘性係数 (m^2/s) である。

表 2 ノズル出口流速

タイプ	出口流速 (m/S)	Re
1	6.8	2.2×10^4
2	12.6	2.8×10^4
3	21.5	2.5×10^4
4	19.5	1.4×10^4

3. 実験結果

3-1 温度校正結果

図 8 に感温液晶の色画像から求めた Hue 値と温度の関係を示す. 5 回の実験の再現性は非常に良い.

温度 T と Hue 値 (H) を 8 次の多項式で近似した.

$$T = -1.6581 \times 10^{-5} H^8 + 5.8788 \times 10^{-5} H^7 - 8.3005 \times 10^{-5} H^6 + 6.1989 \times 10^{-5} H^5 - 2.6954 \times 10^{-5} H^4 + 6.9981 \times 10^{-4} H^3 - 1.0568 \times 10^{-4} H^2 + 8.5352 \times 10^{-2} H$$

相関係数 $R = 0.9997$ であった.

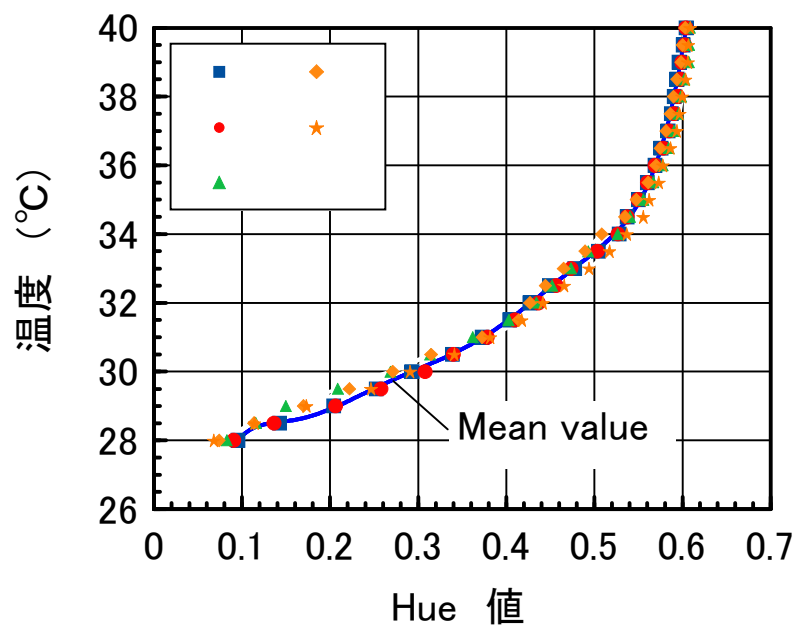


図 8 Hue 値と温度の関係

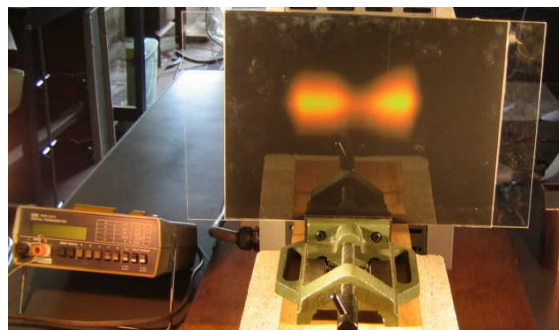


図 9 熱風を感温液晶に衝突させた様子

3-2 衝突面の温度分布

図 9 に熱風発生機から噴出した温風をタイプ 4 のノズルを介して感温液晶に衝突させた場合の様子を示す。

図 10(a)~(d)には、タイプ 1 からタイプ 4 のノズルから噴出させた熱風を衝突面に衝突させ定常状態になった際の感温液晶シートの色変化の様子を示す。図中の破線はノズルの出口形状を示す。タイプ 1 の円形ノズルから噴出した場合でも円形の同一色は得られず右上に低温部が見られる。これは熱風発生機の内部のヒーターの配置に起因していると考えられる。ノズル出口が長方形の場合には、複雑な形の色分布となっている。

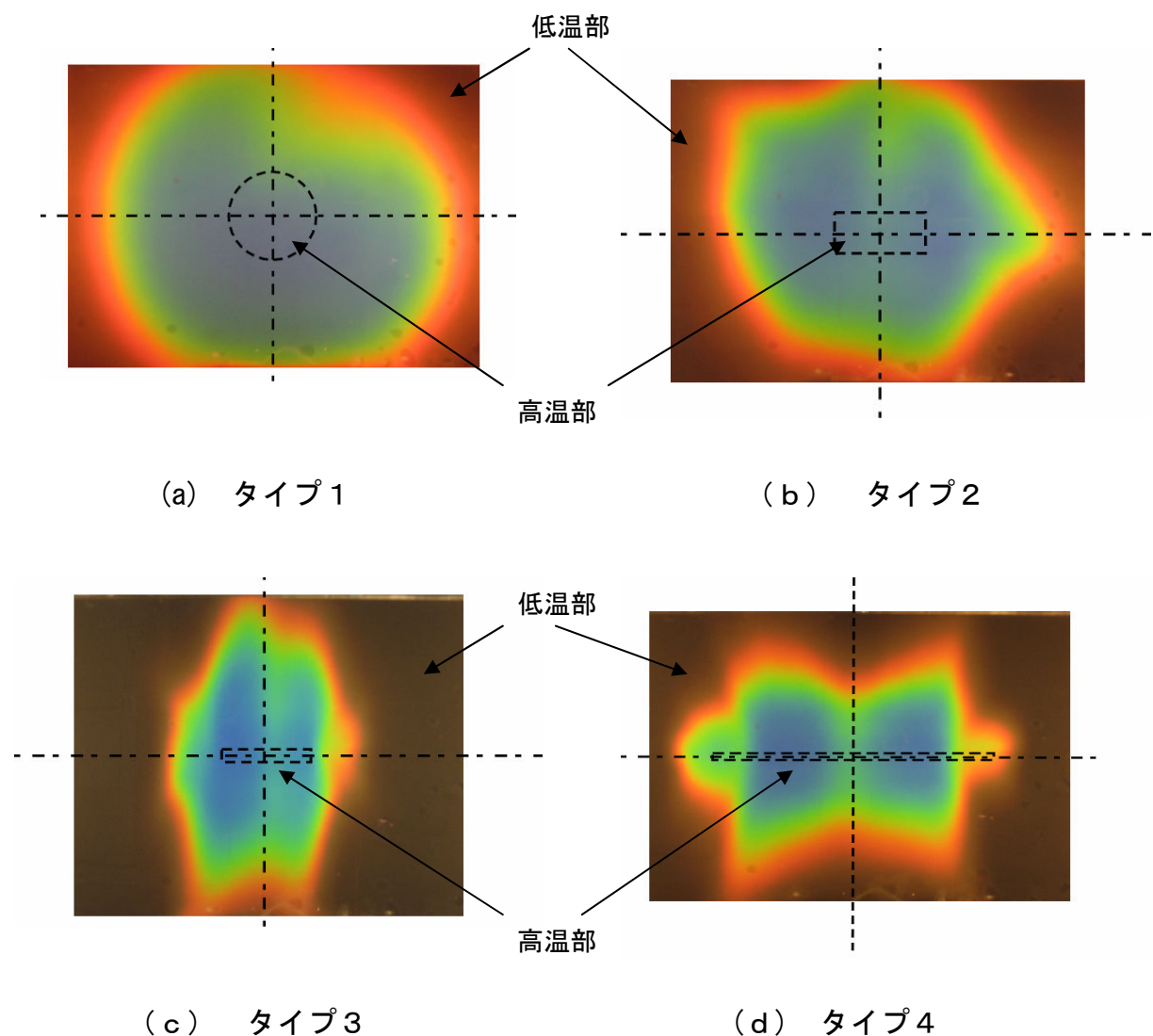
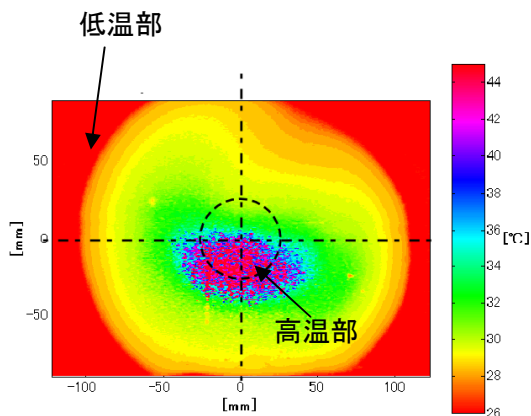


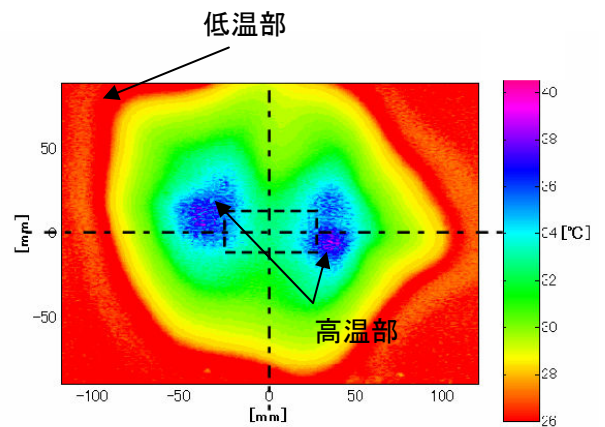
図 10 各ノズルからの熱風を感温液晶シートに衝突させた場合の色変化

図 10 の色情報から Hue 値を求め感温液晶シートの温度分布に変換したものが図 11(a)~(d)である。

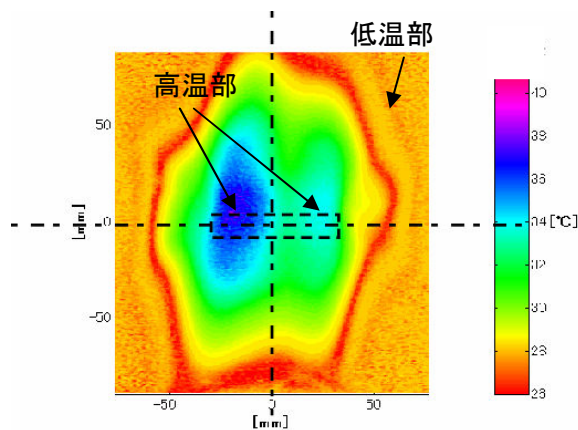
円形ノズルから噴出したタイプ 1 の場合には、出口の下側に高温部が認められる。タイプ 2 からタイプ 4 の場合にはいずれも長方形出口の長辺方向の 2 箇所高温部が認められる。



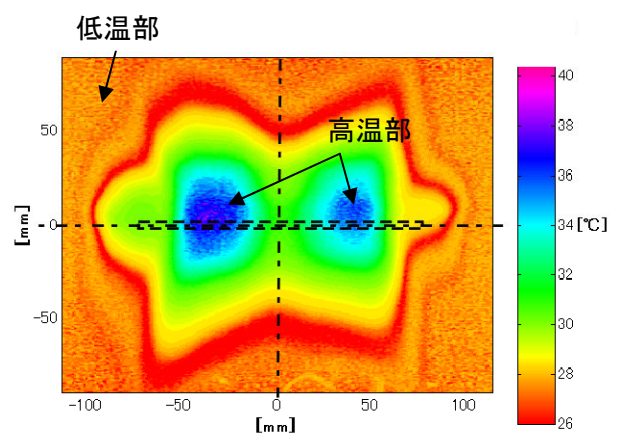
(a) タイプ 1



(b) タイプ 2



(c) タイプ 3



(d) タイプ 4

図 11 感温液晶シートの温度分布

4. まとめ

熱風発生器に4種類のノズルを取り付け、そこから噴出する熱風を平板面に衝突させた場合の平板面上の温度分布を感温液晶シートを用いて定量化した。

その結果、ノズル形状が長方形の場合には長辺方向に沿って二箇所的位置で高温部が存在する温度分布をしていることがわかった。ノズル縦横比によって温度分布が大きく異なることが明らかになった。

謝辞

ノズルの製作や熱風ヒーターをお貸しくくださった(株)八光の方々に心より感謝申し上げます。