外部の測定で管内の温度を知る方法[†]

芝 亀 吉*・田 中 弘 明**・原 口 正 次***

Measurement of Temperature in a Pipe by an External Process

Kamekichi SHIBA*, Hiroaki TANAKA** and Masaji HARAGUCHI***

It is known in the previous paper that the temperature of the steady flow of water in a pipe can be measured by outer process with two Schmidt's belts.

In this paper some results of further experimental studies are reported.

The sensors used in this paper are the same as previously used.

It is considered that the temperature measurement becomes very convenient under some special conditions. We take as special conditions, the ratio $(\tau_1 - \theta_1)/(\tau_2 - \theta_2)$ is equal to n_1/n_2 , where $n_1 - n_2 = 1$.

The results of experiments show that the temperature $t^\circ\text{C}$ of liquid in the pipe is obtained by this method, that is

$$t = \tau_2 - n_2(\tau_2 - \tau_1)$$

where, τ_1, τ_2 are the temperatures of the inner surfaces of both Schmidt's belts.

Keyword: temperature measurement, heat flow meter, external process, water flow in pipe, steady flow

1. は し が き

前報¹⁾では、2個のSchmidtベルトによって管内を定常流となって流れている液体の温度が測定されることが実験によっても認められた。しかし、いろいろの点でさらに検討すべきことがある。

ここでは、Schmidtベルトの上面の温度 $\theta^\circ\text{C}$ を変えると、その下面との温度差 $(\tau - \theta)^\circ\text{C}$ も変わることを利用して、特殊の条件を満たさせるようにして、 $t^\circ\text{C}$

の測定が都合よくできることを研究する。また、その測定原理によると、定数 k （管径、管壁の厚さ、管内の液体の熱伝導度、管壁およびSchmidtベルトの熱伝導度による定数）が知られていれば、1個のSchmidtベルトで測定ができることは知られているが、 k については、あまり詳しくは知られていない。

2. 理論的考察

被測定温度を $t^\circ\text{C}$ 、Schmidtベルト上面、下面の温度をそれぞれ $\theta^\circ\text{C}$ 、 $\tau^\circ\text{C}$ とすると、

$$t - \tau = k(\tau - \theta) \quad (1)$$

であることが前報で知られている¹⁾。 k は、前述のように管径、管壁の厚さとそれぞれの熱伝導度による定数であり、熱伝導度が多少温度によるので、 k も多少温度による。 $\theta^\circ\text{C}$ の2通りの値 $\theta_1^\circ\text{C}$ 、 $\theta_2^\circ\text{C}$ に対応する $(\tau - \theta)^\circ\text{C}$ をそれぞれ $(\tau_1 - \theta_1)^\circ\text{C}$ 、 $(\tau_2 - \theta_2)^\circ\text{C}$ とすると、

$$t = \frac{\tau_1(\tau_2 - \theta_2) - \tau_2(\tau_1 - \theta_1)}{(\tau_2 - \theta_2) - (\tau_1 - \theta_1)} \quad (2)$$

であることが(1)式によって知られる。

2.1 特殊の条件を満たす場合

$\theta^\circ\text{C}$ を変えると $(\tau - \theta)^\circ\text{C}$ も変わることを利用し、つぎのように、特殊の条件が満たされると、 $t^\circ\text{C}$ が容易に知られるようにすることができる。

1) $\tau - \theta = 0$ であるようにする。

(1)式から知られるように、この条件が満たされているときには、

$$t = \tau = \theta \quad (3)$$

である。それで、 $\tau^\circ\text{C}$ あるいは $\theta^\circ\text{C}$ の測定で $t^\circ\text{C}$ が知られる。

2) $\tau_1 - \theta_1 = 2(\tau_2 - \theta_2)$ であるようにする。

このときには、(2)式は、

$$t = 2\tau_2 - \tau_1 = \tau_2 + (\tau_2 - \tau_1) \quad (4)$$

となる。

$\tau_2 - \theta_2 = 2(\tau_1 - \theta_1)$ としても同様で、(4)式の代りに

$$t = 2\tau_1 - \tau_2$$

となる。

[†] 第43回応用物理学会学術講演会で発表(昭57・9)

* 東洋大学工学部 川越市鯨井字中野台 2100

** 東京瓦斯(株)技術研究所 東京都港区芝浦 1-16-5

*** 東京都立王子工業高等学校 東京都北区滝野川 3-54-7

* Faculty of Engineering, Toyo University, Kawagoe

** Research and Development Institute, Tokyo Gas Co., Ltd., Minato-ku, Tokyo

*** Tokyo Metropolitan Oji Technical High School, Kita-ku, Tokyo

(Received June 29, 1983)

(Revised March 26, 1984)

3) $(\tau_2 - \theta_2) = -(\tau_1 - \theta_1)$ であるようにする。

このときは、(2)式により、

$$t = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2} = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \quad (5)$$

である。

4) $(\tau_1 - \theta_1)/(\tau_2 - \theta_2) = n_1/n_2$ であるようにする。

ここに、 n_1, n_2 はいずれも整数であり、 $n_1 > n_2$ とする。このときには、

$$n_2(t - \tau_1) = n_1(t - \tau_2) \quad (6)$$

であり、

$$(n_1 - n_2)t = n_1\tau_2 - n_2\tau_1$$

すなわち、

$$\begin{aligned} t &= \frac{n_1\tau_2 - n_2\tau_1}{n_1 - n_2} = \frac{(n_1 - n_2)\tau_2}{n_1 - n_2} + \frac{n_2(\tau_2 - \tau_1)}{n_1 - n_2} \\ &= \tau_2 + \frac{n_2}{n_1 - n_2}(\tau_2 - \tau_1) \end{aligned} \quad (7)$$

として、 $t^\circ\text{C}$ が知られる。

2 個の同様の Schmidt ベルトを使用するとし、いずれも nv 対の熱電対で構成された熱電堆を用いる。

第 1 のベルトの熱電堆の中の n_1v 対の熱電対の熱起電力の和が第 2 ベルトの n_2v 対の熱電対の熱起電力の和に等しくなるように、第 2 ベルトの上面を加熱して制御する。

特に、 $n_1 - n_2 = 1$ であるようにすると、(7)式は

$$t = \tau_2 + n_2(\tau_2 - \tau_1) \quad (8)$$

となり、連接温度計として、演算増幅器で簡単に $t^\circ\text{C}$ が知られる。

2.2 k の求め方

任意の 2 通りの $\theta^\circ\text{C}$ の値 $\theta_1^\circ\text{C}, \theta_2^\circ\text{C}$ として、 $(\tau_1 - \theta_1)^\circ\text{C}, (\tau_2 - \theta_2)^\circ\text{C}$ および $\tau_1^\circ\text{C}, \tau_2^\circ\text{C}$ を測定して、(2)式によって $t^\circ\text{C}$ を求め、その $t^\circ\text{C}$ を利用して、 $(t - \tau_1), (t - \tau_2)$ を計算し、(1)式を書きなおした、

$$k = \frac{t - \tau_1}{\tau_1 - \theta_1}, \text{ あるいは } k = \frac{t - \tau_2}{\tau_2 - \theta_2} \quad (9)$$

によって k を知ることができる。

これとは、別の方法で k を求めることができる。

(1)式を τ で微分すると、

$$-1 = k \frac{d(\tau - \theta)}{d\tau} \quad (10)$$

が得られる。

$t^\circ\text{C}$ を不変に保って、 $\theta^\circ\text{C}$ をいろいろに変えて、それに対応する $\tau^\circ\text{C}$ と $(\tau - \theta)^\circ\text{C}$ とを測定し、横座標に $\tau^\circ\text{C}$ 、縦座標に $(\tau - \theta)^\circ\text{C}$ を採用して、 $(\tau - \theta)$ と τ との関係を表すグラフを描く、Fig. 1 はその想定図である。このようなグラフの傾斜が $d(\tau - \theta)/d\tau$ であるから、このようなグラフによって k を知ることができ

Fig. 1 Relation between $(\tau - \theta)$ and τ

る。

$t^\circ\text{C}$ をいろいろに変えて、この方法で k を求めると、 k と $t^\circ\text{C}$ との関係を知ることができる。

Fig. 1 のグラフがいろいろの $t^\circ\text{C}$ について、平行な直線群となるならば、 k は $t^\circ\text{C}$ によらない定数とみられる。

3. 実験方法

試作された内部温度計（外部での操作で管内の温度が知られる温度計）を管に装置し、一定温度の水あるいは軽油を一定流量で管内を流して、液体の温度を測定する。

内部温度計の表面温度 (Schmidt ベルトの上面温度) $\theta^\circ\text{C}$ を変えて、2.1 で述べた特殊な条件を与え、定常状態となったとき、管中心部に装置された熱電温度計で知られた温度 $t^\circ\text{C}$ と内部温度計で知られた温度 $\tau^\circ\text{C}$

Fig. 2 Schematic diagram of the grafting circuit with two sensors

Fig. 3 Operational circuit for calculating Eq. (8)

とが、よく一致するかどうか、どの条件であれば簡単に内部温度 $t^{\circ}\text{C}$ が知られるか調べる。

2. 1 特殊な条件の 1)~3) と k を求める実験は、Fig. 2 に示す回路を用い、特殊な条件 4) については Fig. 3 の回路で行う。

管内を流れる液体の流速は、約 20 m/min で行う。液体温度 90°C 以上は軽油を用いて実験する。

4. 実験装置

4.1 接続温度計

Fig. 2 は、2 個のセンサ (Schmidt ベルト) A, B による接続温度計の回路図を示す。 P_1 , P_1^* , P_2 , P_2^* の電位と接続温度 $t_0^{\circ}\text{C}$ の電位とで、 $\theta_1^{\circ}\text{C}$, $\tau_1^{\circ}\text{C}$, $\theta_2^{\circ}\text{C}$, $\tau_2^{\circ}\text{C}$ に相当する電圧を演算回路で演算させ出力させる¹⁾。

4.2 (8) 式の接続演算回路

Fig. 3 は (8) 式を演算するための回路の概略である。①は温度検出回路と演算回路とで構成されている。 R は 0°C における抵抗値が 100Ω の白金測温抵抗線、基準温度 $t_0^{\circ}\text{C}$ は 0°C としたので、固定抵抗 λ の値は R_0 の値に等しく、 r は高固定抵抗と可変抵抗とで構成されている。 E は加算器であり、接続温度 $t_0^{\circ}\text{C}$ に比例する電圧が得られる。②は温度 $\theta^{\circ}\text{C}$ と $\tau^{\circ}\text{C}$ の検出回路で、それぞれ逆に連結されている。 V_{P1} , V_{P2} では $\tau_1^{\circ}\text{C}$, $\tau_2^{\circ}\text{C}$ に比例する電圧であり、 V_{P1}^* , V_{P2}^* では、(7) 式の中で $n_1=2$, $n_2=1$ としたときの温度差 $(\tau_1-\theta_1)^{\circ}\text{C}$ および $2(\tau_2-\theta_2)^{\circ}\text{C}$ に比例する電圧である。温度がそれぞれ $\theta^{\circ}\text{C}$, $\tau^{\circ}\text{C}$ の接点以外の接点はすべて測温抵抗体 R と同じ接続温度 $t_0^{\circ}\text{C}$ に保たれている。③は $\theta_2^{\circ}\text{C}$ を変えて、 $V_{P2}^*=V_{P2}-V_{P1}$ が 0 となることを検証するための減算回路である。 V_{P2}^* が 0 であるときに、演算回路④によって (8) 式が演算され、管内を流れる液体の温度 $t^{\circ}\text{C}$ に比例する電圧 V_{tE} が得られる。

4.3 実験装置の概略

Fig. 4 Schematic drawing of experimental apparatus

Fig. 4 に実験装置の概略図を示す。内部温度計は、センサ I, II と接続演算回路および 2 個のスライダックとで構成されている¹⁾。管の外径は 48.6mm, 管壁の厚さは 3.5mm, 長さは 1m, 管の種類は配管用炭素鋼鋼管 (SGD-B) などは、前報と同じである。ただし、内部温度計の熱電堆の構成が前報と異なる点があるほかは、センサの構造は前報とほぼ同じであり、Schmidt ベルトの厚さは 3mm である。

5. 実験結果

1) $\tau-\theta=0$ であるとき

Fig. 5 は $\tau-\theta=0$ としたときの管内を流れる液体の温度を内部温度計で測定して得られた $t_E^{\circ}\text{C}$ と熱電温度計で直接測定した液体の温度 $t_P^{\circ}\text{C}$ (管内を流れる液体の温度 $t^{\circ}\text{C}$ に等しいものとする) との関係を示す。ここに、温度 $t_E^{\circ}\text{C}$ と温度 $t_P^{\circ}\text{C}$ は各温度において、かなりよく一致していることが認められる。

2) $\tau_1-\theta_1=2(\tau_2-\theta_2)$ であるとき

Fig. 6 は $\theta_2^{\circ}\text{C}$ を変えて、 $\tau_1-\theta_1=2(\tau_2-\theta_2)$ とした

Fig. 5 Relation between $t_P^{\circ}\text{C}$ and $t_E^{\circ}\text{C}$ under the condition that $\tau-\theta=0$
 $t_P^{\circ}\text{C}$; temperature obtained by thermoelectric thermometer directly immersed in liquid
 $t_E^{\circ}\text{C}$; temperature obtained by trial external thermometer

Fig. 6 Relation between $t_P^{\circ}\text{C}$ and $t_E^{\circ}\text{C}$ under the condition that $(\tau_1-\theta_1)=2(\tau_2-\theta_2)$

Fig. 7 Relation between t_p^* °C and t_E °C under the condition that $(\tau_2 - \theta_2) = -(\tau_1 - \theta_1)$

Fig. 8 Relation between t_p^* °C and t_E °C under the condition that $(\tau_1 - \theta_1)/(\tau_2 - \theta_2) = n_1/n_2$

Fig. 9 Relation between τ and $(\tau - \theta)$

とき, τ_1 °C, τ_2 °C を測定して, (4) 式で演算して得られた温度 t_E °C と t_p^* °C との関係を示す. 各温度においてかなりよく一致している.

3) $(\tau_2 - \theta_2) = -(\tau_1 - \theta_1)$ であるとき

Fig. 7 は θ_1 °C を変えて $(\tau_2 - \theta_2) = -(\tau_1 - \theta_1)$ としたとき, τ_1 °C, τ_2 °C を測定して, (5) 式によって演算して得られる温度 t_E °C と t_p^* °C との関係を示す. 各温度においてかなりよく一致している.

4) $(\tau_1 - \theta_1)/(\tau_2 - \theta_2) = n_1/n_2$ であるとき

Fig. 8 は θ_2 °C を変えて, $n_2(\tau_1 - \theta_1) = n_1(\tau_2 - \theta_2)$ とし, $n_1 = 2$, $n_2 = 1$ としたときの τ_1 °C, τ_2 °C の出力電圧を Fig. 3 の接続演算回路で演算させて得られた温度 t_E °C と t_p^* °C との関係を示す. 各温度においてかなりよく一致している.

5) k と t °C との関係

t °C ($= t_p^*$ °C) を 74.3°C から 113°C の範囲でいろいろ変えたときの $(\tau - \theta)$ °C と τ °C との関係を Fig. 9 に示す. 結果は, ほとんど k は t °C によらないことが知られる.

6. む す び

θ °C を変えると $(\tau - \theta)$ °C も変わることを利用して, 特殊な条件を満たせるようにして, t °C を測定した結果, 採用したどの条件においてもかなりよく温度 t °C が測定されることが知られた. (8) 式による演算回路によれば, 前報より演算回路構成および測定操作も簡単となり, t °C の測定がかなり容易になった. また, 試作内部温度計では k は t °C にあまりよらないことが知られた.

参 考 文 献

- 1) 芝, 田中, 原口: 外部の測定で管内の温度を知る方法, 計測自動制御学会論文集, 18-6, 583/588 (1982)