熱線プローブによる各種ガス-空気混合気流の濃度・速度 同時測定に関する一考察

A Consideration on the Simultaneous Measurement of Concentration · Velocity for the Various Gas-Air Mixture Flow by the Hot Wire Probe

○ 正 酒井康彦 (名大工) 学 蒲原 寛 (名大院) 正 櫛田武広 (名大工)

Yasuhiko SAKAI, Dept. of Mechano-Informatics & Systems, Nagoya University
Satoru KAMOHARA, Grad. School of Eng., Nagoya University
Takehiro KUSHIDA, Dept. of Mechano-Informatics & Systems, Nagoya University

Key Words: gas-air mixture, two hot wire probe, concentration, velocity, simultaneous Measurements

1. はじめに

本論文では、Sakai ら⁽¹⁾によって発展させられた2本平行熱線方式による CO₂-Air 混合気の瞬時濃度・速度同時測定法について再吟味し、特にその測定精度の考察から、同測定法の他のガス-空気混合気での有効性を調査した。

2. 熱線流速計による濃度・速度同時測定

2. 1 熱線流速計の出力電圧に関する理論

いま、電流 I で加熱されている抵抗 R_w の熱線を考える。熱線と気流の温度をそれぞれ $T_w(K)$ 、 $T_0(K)$ 、熱線の長さを l 、 λ を気体の熱伝導率とし、熱損失がすべて熱伝達によるとすると、以下の式が成り立つ。

$$I^2 R_w = \pi l \lambda (T_w - T_0) \cdot Nu \quad \text{----(1)}$$

ここで、 Nu はヌッセルト数であり Simpson & Wyatt⁽²⁾は Ne-Air、Ar-Air 混合気に対して、次式の有効性を確かめている。

$$Nu = (T_m / T_0)^{0.17} \left[0.24 \{ Pr / (Pr)_{air} \}^{0.20} + 0.56 \{ Pr / (Pr)_{air} \}^{0.33} Re^{0.45} \right] \quad \text{----(2)}$$

ここで、 $T_m = (T_w + T_0) / 2$ は境界膜平均温度と呼ばれている。また、 Pr 、 $(Pr)_{air}$ は温度が T_m でのガスと空気のプラントル数を表している。現在のところ、すべてのガス-空気混合気に対して有効な Nu の表現は見いだされていないが、ここでは、一つの試みとして、式(2)を基礎にして議論を進めることにする。なお、熱線の抵抗 R_w は次式で与えられる。

$$R_w = R_0 [1 + b(T_w - T_0)] \quad \text{----(3)}$$

ここで b は定数、 R_0 は気流温度 T_0 における熱線の抵抗である。結局、熱線の加熱電圧 E は次式で得られる。

$$E^2 = \pi l \lambda (T_w - T_0) R_0 [1 + b(T_w - T_0)] (T_m / T_0)^{0.17} \times \left[0.24 \{ Pr / (Pr)_{air} \}^{0.20} + 0.56 \{ Pr / (Pr)_{air} \}^{0.33} Re^{0.45} \right] \quad \text{----(4)}$$

この式(4)を用いることで、空気および各種ガス流中における熱線の出力を予想することができる。

2. 2 熱線流速計の出力電圧の予想

図 1(a),(b)に代表的な例として、CO₂ と空気および C₂H₆ と空気の E^2-U 曲線を加熱比 ϵ_T を変化させて調べた結果を示す。図 1(a)より、 ϵ_T が小さい場合、CO₂ の流れでは空気よりも低い電圧が予想されている。しかし、 ϵ_T が大きい場合はこの関係が逆転していることがわかる。一方、図 1(b)より、C₂H₆ と空気流については、図 1(a)にみられるような曲線の逆転現象はみられないけれども、その濃度依存性はかなり大きく変化していることがわかる。

2. 3 較正曲線の変化と測定精度に関する考察

低加熱比での熱線の出力を E_1 、高加熱比での熱線出力を E_2 とする。このとき、 (E_1^2, E_2^2) 平面と物理平面 (U, T) 平面

の間の変換を考えることにより、低加熱比と高加熱比に対して、熱線出力の濃度依存性が逆転している場合に測定精度が高いことが明らかにされた。本研究では、CO₂、Ar、Ne、C₂H₆、CO 流と空気流の E^2-U 曲線を調べた結果、CO₂ 流のみが上記のような逆転現象が観察された。このことは、CO₂-Air 混合気流に対する2本平行熱線方式の有効性を示すものである。なお、たとえ逆転現象が見られなくても、低加熱比と高加熱比で熱線出力の濃度依存性の差が大きい場合、十分有効な較正図が作成できる可能性がある。したがって、たとえば C₂H₆-Air 混合気流については2本平行熱線方式が有効となる可能性がある。

文献

- (1) Sakai, Y. ら, 他 4 名, *Proc. 3rd Symp. on Turbulence, Heat and Mass Transfer* (2000), 149-156.
- (2) Simpson, R.L. & Wyatt, W.G., *J. Phys. E: Scientific Instruments*, 6(1973), 981-987.

図 1 E^2-U 曲線の加熱比に対する変化
(a) CO₂&Air (b) C₂H₆&Air