

## 気流温度変化によるドリフトを補償した COR-CTA

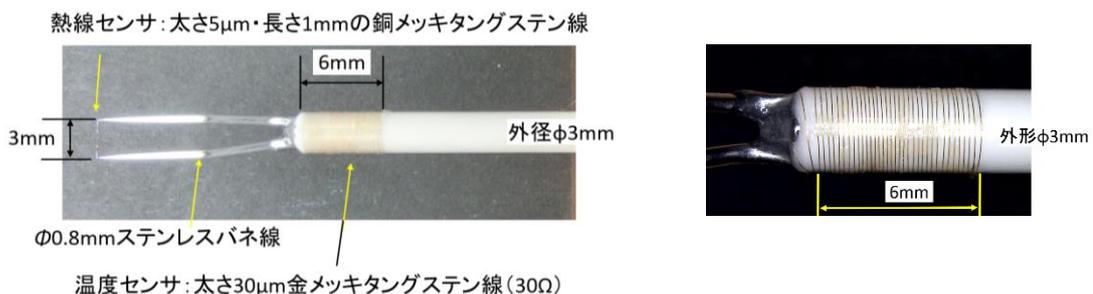
Pantec は現在 Slim 型と Tube 型 CTA (Constant Temperature Anemometer)、さらには温度ドリフトを補償するための熱線・温度センサ分離型の CTA (Model COR-CTA) は供給中です。この度、温度センサと熱線センサを **1つの熱線プローブに合体**し、Slim 型 CTA を組み合わせた理想的な温度補償型の超小型 CTA の供給目処がたちましたのでご案内申し上げます。

供給中の温度補償した Model COR-CTA では、熱線センサはタングステン線、一方温度センサは白金線であるため、センサの温度係数が異なることからある程度の温度補正を必要としました。しかし、新温度補償型 CTA モデルでは、温度センサとして熱線センサと同材質のタングステン線の採用と熱線センサケーブルを最短化したことで**温度較正は完全不要**となり、また熱線プローブに温度センサを巻きつけていることから、温度補償を意識せずに従来感覚で使用することが可能となりました。さらに、温度センサのタングステン線は金メッキを施してあることから白金線に匹敵する安定した温度特性と熱線の動作温度を従来の 200°C から 290°C まで高めることができます。

Slim 型 CTA と熱線・温度センサプローブを組み合わせたことから、Model 名を Slim COR-CTA と命名しました。なお、COR は **C**onstant **O**verheat **R**atio (定加熱比:  $=R_w/R_a$ ; 次ページ(6)式) の頭文字をとったもので、Takagi S. が 1986 年に発表した CTA の温度補償法<sup>1)</sup>に基づき、定加熱比を維持することで温度補償が実現されます。詳細は数式を用いて後述いたします。

### Slim COR-CTA の特徴と特性

1. 補償する流体温度の範囲:  $0^{\circ} \sim 40^{\circ}$  (上限温度は加熱比の値に依存)
2. プローブ外径: 3mm (外径 4mm の従来型に比べて**低抵抗**、サポート挿入部は 4mm)
3. 温度センサ: 太さ  $30\mu\text{m}$  の金メッキタングステン線、室温抵抗値約  $30\Omega$
4. 温度センサのロバスト性: 極薄の透明収縮チューブで保護
5. 熱線センサ: 銅メッキ  $5\mu\text{m}$  タングステン線
6. 熱線センサ抵抗:  $3.6\Omega \sim 4.4\Omega$
7. CTA ブリッジ回路の応答周波数は、30kHz (流速 20m/s)
8. 電気雑音は、流速 20m/s において 0.0025% (0.1Hz~1kHz)
9. CTA 全回路基板は、14mm×14mm×130mm のステンレスケースに内蔵
10. CTA 回路に応答性調整用の矩形波内臓 (1kHz)
11. 供給直流電源は、単一 5V~6.5V (目安~150mA: 流速に依存)



左図は新開発の熱線・温度センサプローブの外観と右は温度センサ部拡大

注) 世間では加熱比を一定に保つ温度補償法を、定温度差 ( $T_w - T_a = \text{一定}$ ) 方式と呼びますが、この表現が正しくないことは次頁の説明で明白になると思います。

## 熱線風速計の温度補償法の概説

一様な流速  $U$  中で電流  $I$  で Joule 発熱している二次元とみなせる程度に十分長い金属線が、流れによる強制冷却と熱的に平衡状態を保っていれば、次の King の法則が成り立ちます。

$$I^2 R_W = (T_W - T_a) h(U) = (T_W - T_a) (A + BU^n) \quad (1)$$

ここに、 $A$ 、 $B$  および  $n$  は流体温度変化内では定数とみなします。熱線の動作温度  $T_W$  と流体温度  $T_a$  における熱線及び測温抵抗体の抵抗値は、

$$R_W = R_{W0} (1 + \alpha_w T_W) \quad (2)$$

$$R_a = R_{W0} (1 + \alpha_w T_a) \quad (3)$$

$$R_c = R_{c0} (1 + \alpha_c T_a), \quad (4)$$

の関係が知られていますが、ここに、 $\alpha_w$  と  $\alpha_c$  は熱線と温度計の温度係数、 $R_{W0}$ 、 $R_{c0}$  は零度における熱線と温度計の抵抗値で既知とします。なお、ここで取り扱う温度変化内では二次の温度係数は小さいものとして省略しています。

サーボアンプによるホイートストーンブリッジの平衡条件から、次の関係式が導けます。

$$R_W = R_1 R_c / R_2 = R_1 R_{c0} (1 + \alpha_c T_a) / R_2. \quad (5)$$

次に、熱線を含んだブリッジの上腕抵抗  $R_1$  の降下電圧  $\Delta V$  は  $\alpha_w = \alpha_c$  なら

$$\begin{aligned} (\Delta V)^2 &= R_1^2 I^2 = \frac{R_1^2 (T_W - T_a) h(U)}{R_W} \\ &= \frac{R_1^2}{R_{W0} \alpha_w} \left( 1 - \frac{R_a}{R_W} \right) h(U) \\ &= \frac{R_1^2}{R_{W0} \alpha_w} \left( 1 - \frac{R_{W0} R_2}{R_1 R_{c0}} \frac{1 + \alpha_w T_a}{1 + \alpha_c T_a} \right) h(U) \\ &= \frac{R_1^2}{R_{W0} \alpha_w} \left( 1 - \frac{R_{W0} R_2}{R_1 R_{c0}} \right) h(U) \end{aligned} \quad (6)$$

となります。式(6)右辺は加熱比  $R_W/R_a$  が一定に保たれれば、流体の温度を陽に含まないで、 $\Delta V$  ないしは熱線の加熱電流  $I$  は流体の流速のみの関数  $h(U)$  となって、King の式における  $A$  および  $B$  の温度依存性が無視できる範囲内であれば、自動的に温度補償されることが分かります。

新開発のシステムでは、熱線ケーブル抵抗や温度センサケーブル抵抗は無視できる程度の長さにしたことで、ケーブル抵抗によるセンサの温度係数の変化が無視できたこと、また温度センサと熱線センサの材質を同一にしたことで、理想的な温度補償が可能となったこと、さらに各センサケーブルのリアクタンスも無視できたことから CTA ブリッジの周波数特性は従来の性能を維持できたことは注目すべき点と言えるでしょう。