

アプリケーションノート
熱式質量流量センサー
FS7



アプリケーションノート

熱式質量流量センサー

FS7

1.	FS7	3
1.	センサーについて	3
2.	特徴	3
3.	応用分野	3
4.	センサー構造	3
5.	測定原理	5
6.	寸法と筐体	5
7.	取り付け	6
8.	配送と内容物	7
9.	取り扱い	7
10.	性能	9
11.	影響	10
12.	電子回路図	11
13.	校正と線形化	13
2.	電圧感度 (ESD)	15
3.	関連機器	15
4.	参考資料	15



アプリケーションノート

熱式質量流量センサー

FS7

1. FS7

1.1 センサーについて

IST AGの革新的なセンサー技術による薄膜質量流量センサーは、幅広い流量アプリケーション向けに、大きな利点を備えたソリューションを提供するために開発されました。熱式質量流量モジュールおよび測定システムは、市場で少数のサプライヤーによって幅広いアプリケーション向けに提供されている、よく知られたデバイスです。これらの設計のほとんどは、チャンネルと受動または能動出力を備えたコンパクトですぐに使用できるシステムです。これらのモジュールは、コンポーネントの価格とサイズがあまり重要でない多くの汎用アプリケーションには十分ですが、価格に敏感でスペースが限られた流量制御ソリューションには適していません。

FS7流量センサーは、流量速度を関数として、熱伝達の原理を利用して流量を測定します。流量がセンサーを通過する際、センサーから媒体へ熱が伝達されます。流量が増加すると、伝達される熱量も増加します。この熱伝達量を把握することで、一定の温度差を維持するために必要な電圧補償量から流量を算出できます。

対称ヒーター設計と感度向上を実現したFS7流量センサーは、旧型FS5流量センサーの後継製品です。このセンサーは様々なガスに対応し、幅広い動作温度範囲と流量測定範囲を備えています。フローチャンネルにより、ダイナミックレンジ、応答時間、周囲環境など、お客様の用途要件に最適なセンサーの適合性を実現します。FS7流量センサーは、限られたスペースへのシステム統合に最適で、完成済みのシステムにも容易にアップグレードできます。さらに、チップやハウジング/チャンネルのお客様固有の設計、およびお客様が定義・提供するハウジングへの実装も可能です。

1.2 特徴

以下のリストは、FS7センサーの利点を概説したものです。これはセンサーの全機能を網羅したものではなく、そのように解釈されるべきではありません

- ・ 可動機械部品なし
 - ・ シンプルな信号処理
 - ・ シンプルなキャリブレーション
 - ・ 様々な用途や筐体への容易な適応性
 - ・ 優れた長期安定性
 - ・ 安定したプラチナ技術
 - ・ 再現性が非常に高い
 - ・ お客様専用のセンサーはご要望に応じてご用意いたします。
- ・ FS7.4Wセンサーは、周囲温度+400°Cまで使用可能です。

1.3 応用分野

FS7流量センサーは、特に以下の用途分野に適していますが、これらに限定されるものではありません。:

- ・ 圧縮空気料金請求
- ・ HVAC (空調設備) - ビルオートメーション
- ・ 自動車関連
- ・ 医療用途
- ・ 器監視
- ・ 冷却液監視



1.4 センサー構造

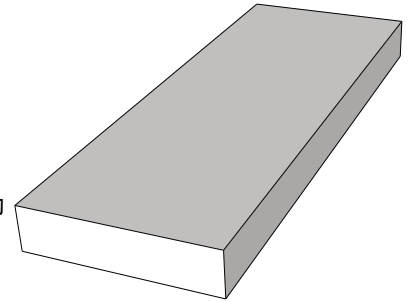
以下の段落では、センサー構造の複数のステップについて説明し、詳細に解説する。

基板

FS7流量センサーチップの基板は、熱伝導率の低い特殊セラミックです。

FS7流量センサーの製造は、セラミック基板上に高純度白金薄膜を成膜することから始まります。

高品質なセンサーを製造するため、化学洗浄およびエッチング工程を自動化システムで実施し、湿式化学処理を行います。

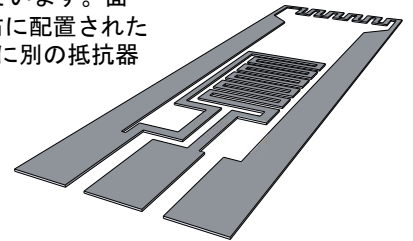


抵抗構造

センサー上の抵抗構造は、1つのチップ上に4つの白金抵抗器で構成されています。面積の小さい低抵抗抵抗器はヒーターとして使用されます。ヒーターの左右に配置された2つの高抵抗抵抗器は、流量と流向を検出するために使用されます。さらに別の抵抗器によってガス温度を測定できます。

センサーは複数の工程を経て製造されます。具体的には、感光性レジストのスピコート、マスクを通した感光性レジストへの照射、感光性レジストの現像、そして白金のエッチングを経て、チップ上にセンサー構造のみが残ります。

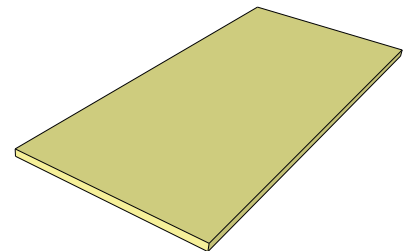
センサーは、顧客指定の抵抗値に合わせて個別にレーザー加工されます。



不動態化

抵抗構造はスクリーン印刷によるガラスパッシベーション層で覆われており、これにより堅牢性と強度がさらに向上しています

抵抗構造はスクリーン印刷によるガラスパッシベーション層で覆われており、これにより堅牢性と強度がさらに向上しています





線接続

FS7センサーは、自動溶接機でチップ上に溶接されたワイヤ接続部を備えています。設計への組み込みを容易にするため、センサーはお客様のご要望に応じた長さ、要件、仕様でご注文いただけます。

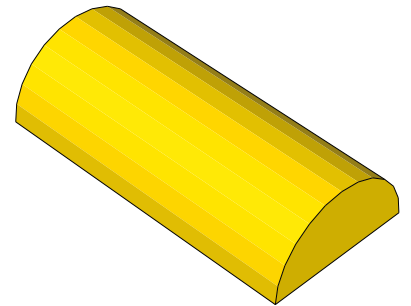
標準のFS7センサーには、圧着およびコネクタの取り付けに適した、長さ195mmの黒色PTFE絶縁AWG 30/7撚り線が付属しています。

電線は5mm被覆を剥がします。



配線固定

溶接部分はさらにポリイミドで覆われており、堅牢性が向上し、10Nの引張強度を実現している。



1.5 測定原理

革新的なセンサー技術であるIST AGのFS7流量センサーは、流量速度に応じて変化する熱伝達係数に基づいています。熱式質量流量センサーは、熱伝達の原理を利用して媒体の流速を測定します。

流量速度はヒーターによる熱エネルギー損失を変化させます。媒体がセンサーを通過する際、センサーから媒体へ熱が伝達されます。流量が増加すると伝達される熱量も増加するため、流量速度の増加は冷却効果の向上につながります。この効果により熱伝達係数が変化します。したがって、冷却効果は質量流量に依存します。

制御装置を調整することで、ヒーターと温度センサー間の温度差を一定に保つことができます。この測定原理は定温風速計（CTA）と呼ばれます。温度差を制御する電力は、流速の関数です。電力はブリッジ回路によって電圧出力信号に変換され、容易に取り出すことができます。媒体の温度が分かれば、一定の温度差を維持するために必要な電圧補償量から流量を算出できます。

流量測定範囲は非常に広く、用途に合わせて調整可能です。電子回路を介して、媒体の温度に応じてヒーターの温度を上昇させることができます。



1.6 寸法と筐体

以下に、IST AG社製の標準的なFS7型熱質量流量センサー2種類(ハウジングなしのFS7.0とハウジング付きのFS7.A)の寸法を示します。

1.6.1 FS7.0

標準FS7.0 寸法 6.9 mm x 2.4 mm x 0.2 mm

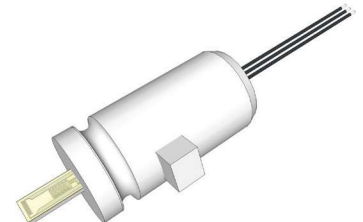
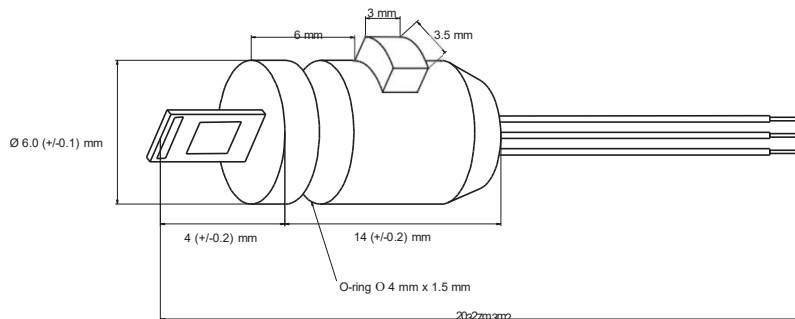


公差: 外形寸法(チップ): ± 0.2 mm、厚さ(チップ): ± 0.1 mm、高さ: ± 0.3 mm

その他の寸法、お客様指定の筐体、および電線長はご要望に応じて対応可能です。

1.6.2 FS7.A

溝への容易な取り付けのために、FS7.Aは標準ハウジング付きで提供されます。



標準 FS7.A 寸法 $\varnothing 6.0 (\pm 0.1)$ mm, L = 14 (± 0.2) mm. PTFE 線寸法 195 mm.

その他の寸法、お客様指定の筐体、および電線長はご要望に応じて対応可能です。

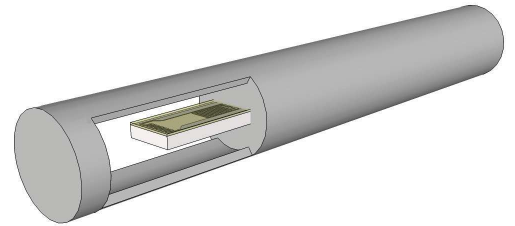


1.7 取り付け

以下の取り付け例はあくまでも参考例です。具体的な取り付け方法についてご質問がある場合は、お客様の用途に最適なソリューションをご提案いたしますので、お気軽にお問い合わせください。

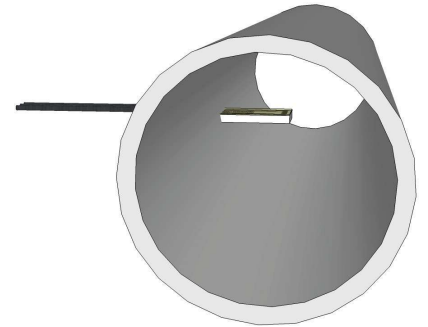
ダクト取り付け式流量計

センサーはダクト流量プローブに取り付けられます。空気の流
れの方向はセンサーを横切る方向、つまりセンサーの有効表
面を空気が流れる方向でなければなりません。



流量センサー付きのカスタムチャンネル／パイプ

センサーは空気流路内に設置されます。空気の流れはセン
サーを横切る方向、つまりセンサーの有効表面上を流れるよ
うにする必要があります。



O-リング

Oリングのサイズは4mm × 1.5mmです。材質はNBRで、ショア硬度は70です。

その他の素材やサイズについては、ご要望に応じて対応いた
します。

コネクタ

標準仕様のIST AG FS2流量センサーにはコネクタは付属していませんが、JSTコネクタなど付きのものをご購入いただけ
ます。各種コネクタのオプションに関する詳細は、IST AGまでお問い合わせください

1.8 配達と内容物

IST AG社製FS7センサーの標準納期は、ご注文受付後4～6週間です。

FS7センサーには電子部品やモジュールは付属していません。



1.9 取り扱い

FS7.0センサーはブリスターパックに入った状態で出荷されますので、以下の手順に従って取り扱ってください。



FS7.0センサーは、センサーの種類とロット番号が明記されたラベルが付いたブリスターパックで納品されます



両手でブリスターパックを慎重に開けてください。



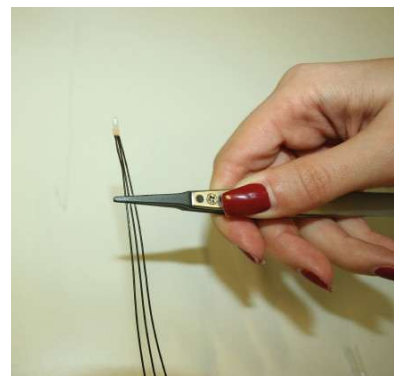
センサーを覆っているプラスチックの帯を取り外します。



カートンを開けてセンサーを解放します



電線に巻き付いているプラスチック製のらせんを慎重に取り外してください。



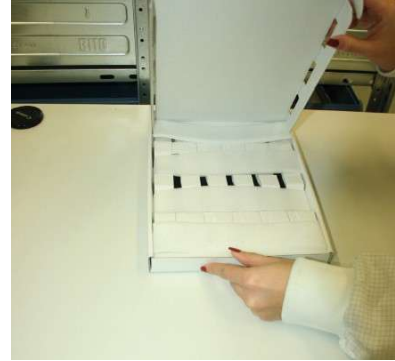
センサーの取り扱いにはプラスチック製のピンセットのみを使用してください。



FS7.Aは段ボール箱に梱包されて配送されますので、以下の手順に従って取り扱ってください。



FS7.Aセンサーは、センサーの正確な種類とロット番号を示すラベルが付いた箱に入れてお届けします。



両手で慎重に箱を開けてください。



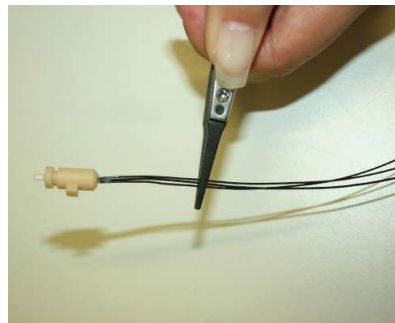
センサーを覆っているプラスチックの帯を取り外します。



カートンを開けてセンサーを解放します



電線に巻き付いているプラスチック製のらせんを慎重に取り外してください。

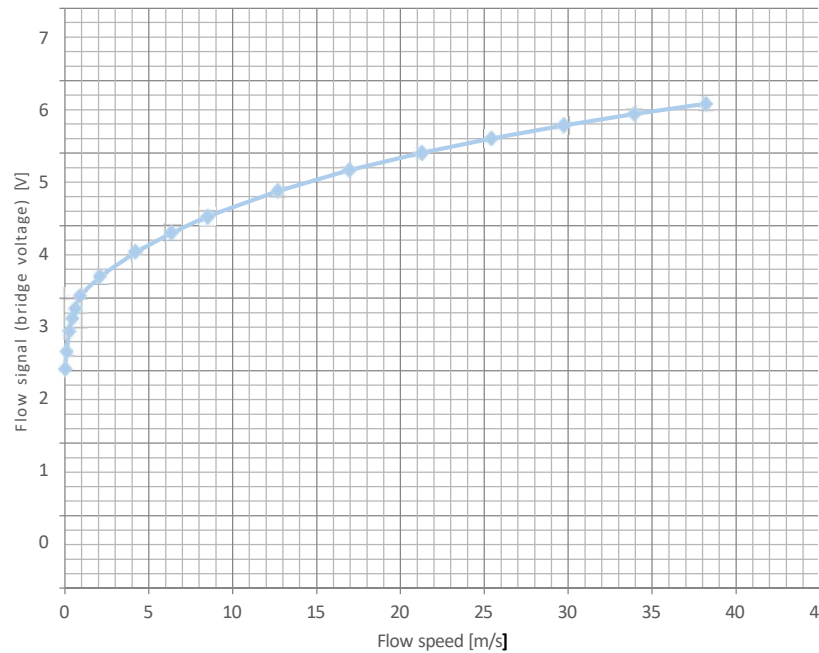


センサーの取り扱いにはプラスチック製のピンセットのみを使用してください。



1.10 性能

以下のグラフは、IST AG FS7センサーの実使用時の性能を示しています。具体的な用途や影響要因によっては、測定値が異なる場合があります。8



出力信号は流量ゼロ時に3.0Vに調整され、これは約30Kの温度差（ヒーター温度－周囲温度）に相当します。この温度差により、発熱体の最適なオーバーヘッドが生成され、完璧な性能が実現されます。1.12節で述べられているキングの法則によれば、センサーの性能は流量が低いほど感度が高くなります。

1.11 影響

以下のリストは考えられる影響を示していますが、アプリケーションによって大きく異なります。特定のアプリケーションとその影響についてご質問がある場合は、IST AGまでお問い合わせください。お客様のアプリケーションに最適なソリューションをご提案いたします。

汚染

センサーの汚染（例えば、ほこりなど）によって特性が影響を受ける可

能性があります。

アライメント

特性はセンサーの配置/向きに依存します。センサーは、流れがセンサーの有効表面を通過するように配置する必要があります。IST AG FS2流量センサーは、流れの方向には依存しません



温度(中域)



特性は媒体温度に依存するため、正確な測定を行うには温度補正が必要である。



媒体の温度変化は、CTAエレクトロニクスを使用することで既に補償されています(「一次」)。



1.12 電子回路図

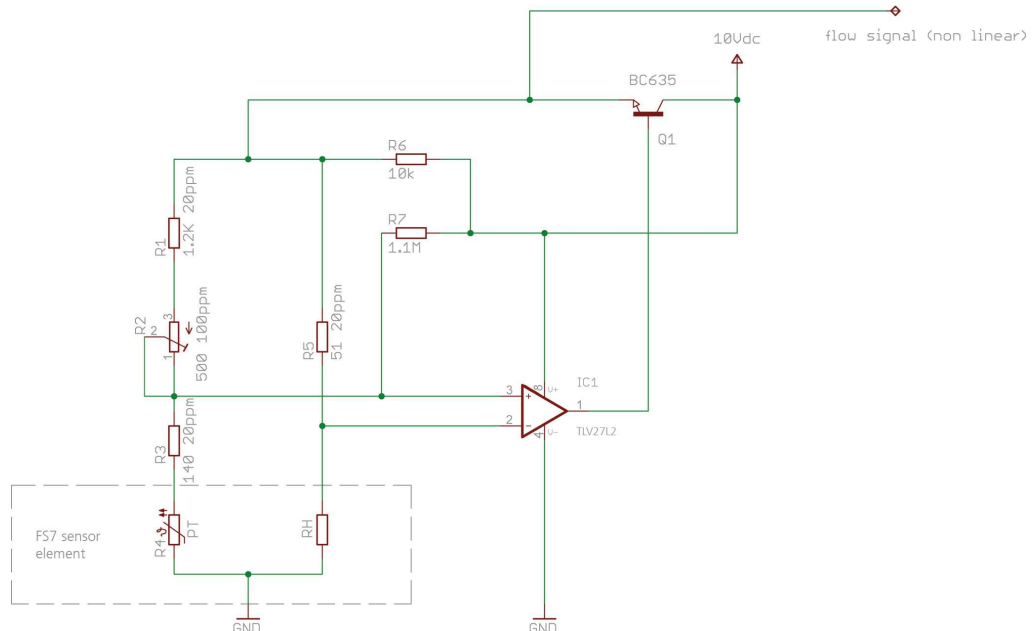


CTAモード(定温風速計)は、流量センサー上のヒーターの温度調節のためのシンプルなフィードバック回路で構成されています。流量速度が変化すると、ヒーターによる熱エネルギー損失も変化するためです。媒体がセンサーを通過すると、センサーから媒体へ熱が伝達されます。流量が増加すると、伝達される熱量も増加するため、流量速度の増加は冷却効果を高めます。この効果により、熱伝達係数が変化します。したがって、冷却効果は質量流量の関数となります。

制御装置を調整することで、ヒーターと温度センサー間の温度差を一定に保つことができる。温度差を制御する供給電力は、流量速度の関数である。この電力はブリッジ回路によって電圧出力信号に変換され、容易に読み取ることができる。媒体の温度が分かれば、一定の温度差を維持するために必要な電圧補償量から流量を算出できる。

媒体温度の変動は、チップ上の温度センサー(Pt1200)によって補償されます。抵抗R1~R6は、下図の回路図に示すように選択できます。ヒーター(RH)と媒体(RS)間の温度差(ΔT)は、抵抗R3によって設定されます。例えば、空気の場合、 $\Delta T=30K$ です。抵抗R2は、校正のために $\pm 10\%$ の範囲で調整可能である必要があります。抵抗R7は、風速計回路の安定性を確保するために配置されています。

使用するオペアンプによって、 $1.1M\Omega$ から $3M\Omega$ の範囲の値を取る必要があります。



電子回路や曲線進行などがその例です。精度レベルに関連する各アプリケーションには、システムの個別の校正が必要です。



CTAはキングの法則によって説明される。:



$$P_H = I_H^2 \cdot R_H = (A + B \cdot \bar{v}^n) \cdot \Delta T \quad n = 0.3 \dots 0.5$$



変換と簡略化により、この方程式は次の形式で得られます。



$$U = U_0 \cdot \sqrt{1 + k \cdot \bar{v}^n}$$



U = CTA-output

k = Fluidic dependent constant

U₀ = Free convection offset

v = Fluid velocity

Uは流量に依存する出力信号を表します。U₀は、自然対流によって生じる、流量ゼロ時のヒーターと流体間の一定の温度差(ΔT)の値を表します。CTAのコントローラは、ヒーターと温度センサ間のΔTを一定に保ちます。

最大供給電圧

2 V ~ 5 V

ヒーターの最大電圧

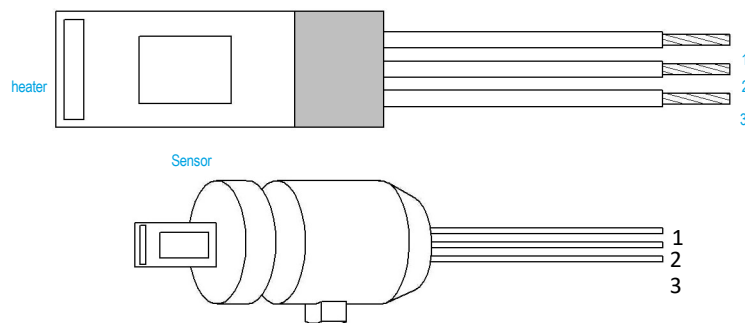
3 V (at 0 m/s)

最適な抵抗値(ヒーター抵抗)

R_H (0 °C) = 45 Ohm ± 1 %

ガス用途の場合、温度差(抵抗値)は30Kにすることが推奨されます。

ピン配置



1	2	3
heater	temperature sensor	GND



1.13 校正と線形化

1.13.1 校正

線形化には、CTA方程式の逆関数が使用されます。

$$U = U_0 \cdot \sqrt{1 + k \cdot \bar{v}^n} \quad \text{CTA - equation}$$

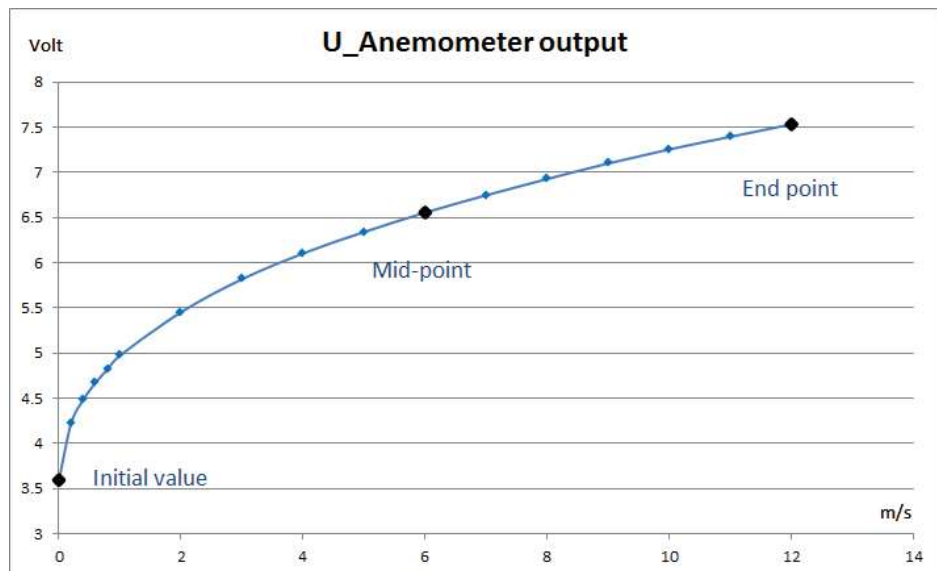
$$\bar{v} = \frac{[(U - U_0) \cdot (U + U_0)]^{\frac{1}{n}}}{(k^n) \cdot U_0^{\frac{2}{n}}} \quad \text{Reverse function}$$

1. nパラメータは0.5に近い値(0.48~0.52)です。ほとんどの流量計モジュール(それぞれ異なるFS7センサーを搭載)は、流量計に個別に取り付けられており、n値は0.51です。k値は0.9~0.93の範囲で、センサーの配置と流量プロファイルによって異なります。nとkの値は、3つのポイントでの流量校正によって決定できます。

2. 測定範囲の中間点
3. 測定範囲の終点: 測定範囲全体の値

風速計出力校正

測定曲線範囲：0~12m/s。





1.13.2 風速計出力の線形化

kとnの計算方法:

風速計の出力図の校正点を用いることで、方程式系を構築することができる。図および方程式系に基づく校正点は以下のとおりである。

$$U_0 = 3.6 \text{ V at } v_0 = 0 \text{ m/s}$$

$$U = 3.6V \cdot \sqrt{1 + k \cdot 0 \text{ m/s}^n} = 3.6V$$

$$U_{50\%} = 6.6 \text{ V at } v_{50\%} = 6 \text{ m/s}$$

$$U = 3.6V \cdot \sqrt{1 + k \cdot 6 \text{ m/s}^n} = 6.6V$$

$$U_{100\%} = 7.5 \text{ V at } v_{100\%} = 12 \text{ m/s}$$

$$U = 3.6V \cdot \sqrt{1 + k \cdot 12 \text{ m/s}^n} = 7.5V$$

連立方程式の解法:

A. nの計算

$$\text{where: } \frac{\vec{v}_{100\%}}{\vec{v}_{50\%}} = 2$$

B. kの計算

$$k = \frac{\left(\frac{U_{50\%}}{U_0}\right)^2 - 1}{\vec{v}_{50\%}^n} = \frac{2.36111}{6^{0.5}} = 0.964$$

B. 線形化の結果

計算された3つの値 U_0 、 k 、 n を用いて、線形化された特性を求めることができます。方程式系を解くことで、 k と n が求められました。 n は常に0.50に設定できると仮定すると、フルレンジの校正点のみが必要となります。これは、流量センサーの逆関数(線形化用)です。

$$\vec{v} = \frac{[(U - U_0) \cdot (U + U_0)]^{\frac{1}{n}}}{(k^n) \cdot U_0^{\frac{2}{n}}}$$

v = velocity or later mass flow

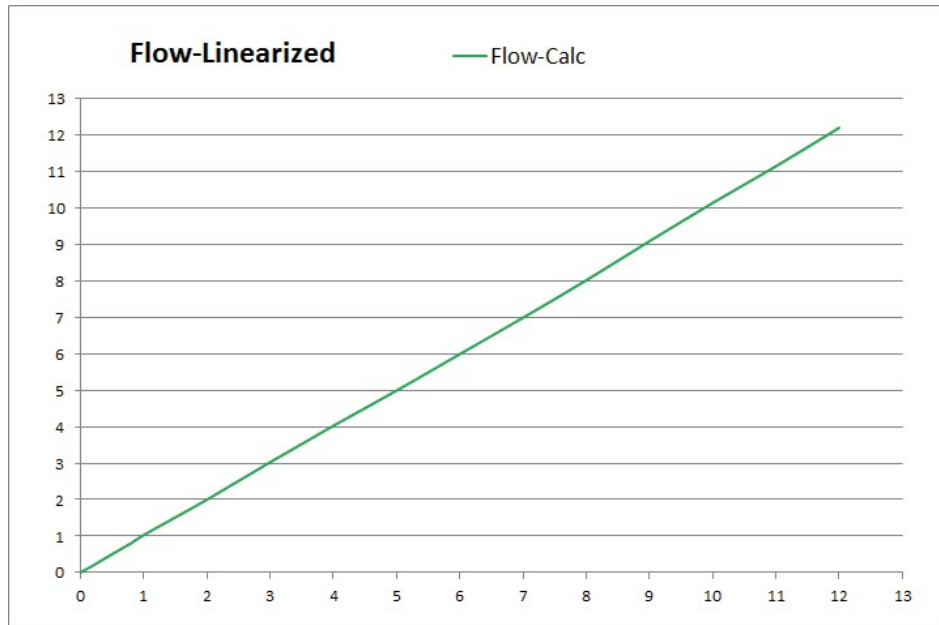
U_0 = 3.6 volts

U = measured voltage depending from mass flow n and k



CTA出力の線形化

実際に測定されたn、k、U0電圧と線形化のための逆関数を組み合わせると、次の曲線が得られます。



1.14 電圧感度(例: ESD)

IST AGの熱流量センサーは白金抵抗器をベースとした受動部品であり、ESDなどの過電圧事象から能動的に保護することはできません。ESD感度に関しては、薄膜抵抗器と同様の挙動を示します。つまり、ESD感度はセンサーの設計に固有のものであり、一般的にはサイズに依存します。しかし、ベース抵抗、蛇行形状、特殊コーティングなども、白金温度センサーのESD感度に影響を与える可能性があります。白金RTDのESDによる損傷は、顧客からの返品ではほとんど見られず、通常は特定の組み立てや用途に関連しています。

お客様側で静電気放電(ESD)による損傷が確認された場合は、センサーの取り扱い時に通常のESD対策を講じることをお勧めします。IST AGは、特別な設計による重要なアプリケーションのサポートや、センサータイプの選定支援も提供可能です。

2. 関連機器s

資料名:

モジュール: DFFS_FSL_Module_E DFFS_FSL_Module_D

3. 参考資料

資料名:

データシート: DFFS7_E DFFS7_J
DFFS74W_E DFFS74W_J



オージー株式会社OGG Co.,Ltd, 〒630-0247,奈良県生駒市光陽台171
TEL 0743-74-4640 Fax: 0742-90-1455 Email:infojp@ogg-co.jp|Web: www.ist-ag-japan.com

特に明記されていない限り、すべての機械的寸法は周囲温度25°Cで有効です。• 機械的寸法以外のすべてのデータは情報提供のみを目的としており、保証された特性として理解されるべきではありません。• 事前の告知なしに技術的な変更が行われる場合があります、また誤りがある場合もあります。• このデータシートの情報は慎重に検討されており、正しいものとして受け入れられます。誤りがあった場合でも責任を負いません。• 長期間にわたって極端な値の負荷がかかると、信頼性に影響を与える可能性があります。• 本書に含まれる資料は、著作権所有者の事前の書面による同意なしに、複製、改変、統合、翻訳、保存、または使用することはできません。• タイプミスや誤りがある場合があります。• 製品仕様は予告なく変更される場合があります。• すべての権利は留保されています。