

## HFS Heat Flux Sensor Instruction Manual

### はじめに

熱流速センサーは、システムの表面を移動する単位面積あたりの熱エネルギーを測定し定量化することができます。また、HVAC システム、断熱性分析、冷却システム、およびその他多数の熱応用途の熱伝達を測定することができます。

### 熱流速センサーの概要

HFS-5、HFS-6、および UHFS-09 熱流速センサーは、差温熱電対列設計を利用して、センサー表面を移動する単位面積あたりの熱エネルギー（熱流束）の動きを測定します。各 HFS センサーには、センサーの温度測定に使用できる一体型のタイプ T 熱電対が搭載されています。各センサーの感度は、個々の校正証明書に記録されている各ユニットで提供されています。センサーの校正手順は、ASTM 標準の C1130 に準拠しており、本書の後半で説明されています。

### 本書の目次

1	熱流束センサーの使用法	
	熱流束センサーの使用法の概要	3
	センサー信号の測定	3
	熱流束電圧の測定	3
	熱電対電圧の測定	4
	HFS センサーの機能の確認方法とトラブルシューティング	4
	センサーの取り付け/設置	6
	測定面からのセンサーの取り外し	6

2	熱流束および温度の測定値の変換	
	タイプ T 熱電対の測定	6
	HFS 熱流束センサーの温度依存性	6
	熱流束の計算	7
	熱流束センサー感度の決定	8

<b>3</b>	指令、コンプライアンス	
	RoHS コンプライアンス	9
	REACH コンプライアンス	10
	CE コンプライアンス	11

本マニュアルで使用される記号のリスト

記号が表す意味	記号	米英単位系	メートル/SI 単位系
熱流束	$q''$	BTU/(ft <sup>2</sup> -hr)	W/m <sup>2</sup>
電気抵抗	$\Omega$	オームまたはキロオーム	
電圧出力	$\Delta V$	V または mV または $\mu V$	
熱流束センサーの感度	S	$\mu V / \text{BTU}/(\text{ft}^2\text{-hr})$	$\mu V / (\text{W}/\text{m}^2)$
温度	T	° F	° C
温度差	$\Delta T$	° F	° C
ある温度での熱流束センサー感度	$S_{@T_c}$	$\mu V / \text{BTU}/(\text{ft}^2\text{-hr})$	$\mu V / (\text{W}/\text{m}^2)$
感度増倍率	M.F.	単位なし	
温度勾配	$dT/dx$	° F/ft	° C/m
材料の厚さ	$\delta$	フィート	m
熱伝導率	$\lambda$ または k	BTU/(ft <sup>2</sup> -hr)/° F	W/(m-K)
熱抵抗	$R''$	° F/BTU/(ft <sup>2</sup> -hr)	(m <sup>2</sup> -K)/W

単位変換係数

用語	変換方法
熱流束	$1 \text{ W}/\text{m}^2 = 0.317 \text{ BTU}/\text{ft}^2\text{-hr}$
センサー感度	$1 \mu V / (\text{W}/\text{m}^2) = 3.155 \mu V / (\text{BTU}/(\text{ft}^2\text{-hr}))$
	$1 \mu V / (\text{W}/\text{m}^2) = 10 \text{ mV} / (\text{W}/\text{cm}^2)$

## セクション 1：熱流束センサーの使用法

以下に熱流速センサーを使用して、熱測定を実施する方法の詳細を説明します。これらの手順は、一般的な使用例です。最も正確な測定値を得るために、用途に応じて試験条件を変更することができます。

### 熱流束センサーの使用法の概要

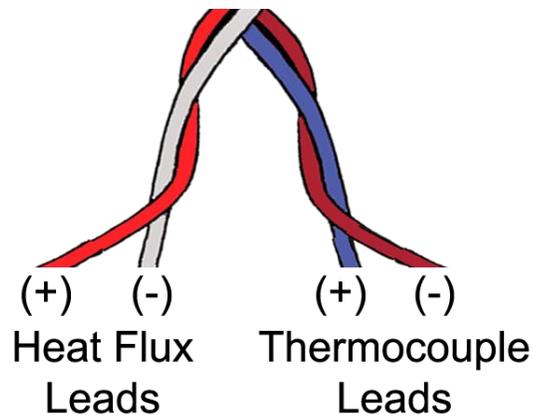
1. 単純な機能試験を実施して、センサーが適切に動作していることを確認します。
2. 測定面にセンサーを取り付けます。
3. センサーのリード線と一体型熱帯電リード線を精密電圧計または精密データ収集装置に接続します。
4. リード線のアナログ DC 電圧信号を読み取ることで測定値を収集します。
5. センサーの温度と温度依存関数に従って、熱流速センサーの感度を調整します (UHFS-09 センサーでは不要)。センサの感度は、個々の校正証明書の各ユニットと温度依存関数で提供されています。
6. 調整した感度を使用して熱流速を計算します。

$$q'' = \frac{\Delta V_{q''}}{S_{@T_{\text{ref}}}}$$

7. 必要に応じて、測定面からセンサーを外します。このとき、測定面が損傷しないように十分に注意してください。

### センサー信号の測定

HFS の出力は、センサーが吸収した熱流束と直線的に比例する DC 電圧になります。同様に、HFC の表面温度測定に使用するタイプ T 熱帯電は、センサー表面と電圧測定位置の温度差に比例する DC 電圧を出力します。出力された DC 電圧信号は、マイクロボルト ( $\mu\text{V}$ ) 分解能を使用した精密電圧計またはサードパーティ製電圧データ収集システムで測定できます。HFS の構造設計により、4 本の線を使用して熱流束と温度差の両方を測定できます。



### 熱流束電圧の測定

センサーの熱流束の吸収により発生するによるセンサーの出力電圧 ( $\Delta V_q$ ) を測定するには、電圧測定装置のプラス (+) 端子を薄い赤の線に接続し、マイナス (-) 端子を白い線に接続します。熱流束は、センサーの方向に応じてプラスかマイナスになるため、これらの線の極性を気にする必要はありません。

### 熱電対電圧の測定

センサーの表面温度を測定するために、熱電対が各 HFS 熱流束センサーに組み込まれています。熱電対からの電圧出力を測定することで、センサー表面上部の温度測定位置と電圧測定位置の温度差がわかります。電圧測定位置の追加温度測定には、センサーの絶対温度を決定する必要があります。この基準温度は冷接点補償ともいい、一般的にはデータ収集システムに組み込まれています。

濃い赤のコンスタantan線を電圧測定装置のマイナス (-) 端子に接続します。プラス (+) の電圧測定装置のリード線は、青い銅線に接続する必要があります。

### HFS センサーの機能の確認方法とトラブルシューティング

いくつかの異なるサンプル試験を実施して、HFS が適切に動作していることを確認します。センサーの取り付け前後にこれらの試験を実施することを推奨します。これにより、取り扱い時に損傷した可能性のある不具合のあるセンサーを使用して不正確な測定値が誤って計測されないようにします。

#### 1. 熱流束センサーの電気抵抗の確認

抵抗計を薄い赤のリード線と白いリード線に接続し、熱流束センサーの電気抵抗を確認します。HFS-5 センサーの場合は、1000  $\Omega$  未満、HFS-6/UHFS-09 センサーの場合は、5 k $\Omega$  未満である必要があります。抵抗がこれらの値を大きく超えている場合、センサーに異常が発生している可能性があります。標準的な 3 m のリード線より長いリード線を使用しているセンサーの場合、抵抗がわずかに大きくなる場合があります。電気抵抗が無制限に超過している場合（断絶）、熱流束センサーが破損しています。

#### 2. 熱電対の電気抵抗の確認：

電気抵抗計を暗い赤のコンスタantan線と青い銅線に接続します。当社の標準的な 3 m のリード線の場合、電気抵抗は約 50  $\Omega$  になる必要があります。リード線が長くなるほど、抵抗が大きくなります。リード線の通常の抵抗は、1 フィートあたり 5  $\Omega$ 、1 メートルあたり 16  $\Omega$  になります。電気抵抗が無制限に超過している場合（断絶）、熱電対が破損しています。

#### 3. センサーを移動するゼロ熱流束による出力電圧の確認

電圧測定装置を熱流束リード線に接続して、センサーでゼロ吸収熱流束が発生しているときに、出力熱流束電圧を測定します（可能な場合）。これは、何も無いテーブルの上などの周囲条件で装置を配置したままにすると簡単に実行でき

ます。熱流束出力電圧のアナログ DC 電圧測定値は、約  $0.0 \mu V$  ( $\pm 5 \mu V$  は電氣的ノイズになります) になる必要があります。

**4. センサーを移動する誘導熱流速による出力電圧の確認：**物理的に熱流束を導入すると、HFS が適切に動作しているかどうか簡単に判断することができます。HFS センサーを金属面に配置して、センサー表面全体に手のひらをしっかりと置きます。HFS の場合、最終的なピーク DC 出力電圧値は、約  $1.0 mV$  になる必要があります (この値は、状況に応じて  $20\%$  変化する場合があります)。センサーをひっくり返して、記号 (プラス (+) とマイナス (-)) を逆にして同様の出力 DC 電圧信号を測定することもできます。

**5. 出力熱電対電圧の確認：**

センサーと電圧の測定位置で温度が同じ場合、熱電対からの出力電圧は、ゼロマイクロボルトになる必要があります (多くの場合、この試験シナリオは簡単には完了しません)。試験の熱電対の電気抵抗が十分にある必要があるため、この試験はほとんど実施する必要はありません。

**6. センサのシリアル番号と校正証明書の一一致の確認** 熱流束センサのシリアル番号と校正証明書に記載されているシリアル番号が一致しているか再確認してください。これにより、センサーに適切な正しいセンサー感度を使用していることを確認できます。センサーのシリアル番号はリード線に付いているタグに記載されています。

### センサーの取り付け/設置

熱流束センサーを取り付ける方法は、用途に応じて異なります。滑らかで汚れのない表面にセンサーを取り付けると正しい結果を得ることができます。HFS を取り付ける際は、センサーを強く密着させ、できるかぎり均一になるよう測定面に接触させてください。これにより、測定面とセンサー間の接触熱抵抗が減少するため、測定の精度が向上します。次のいずれかの取り付け方法が推奨されますが、試験の設定に応じて、調整することができます。

#### 取り付け方法 #1：両面テープ

硬い表面に一時的に取り付ける場合は、市販の両面テープが適しています。両面テープを使用する場合、測定面に汚れがないことを確認して、取り付け部分に両面テープを貼り付けてから、テープにセンサーを強く均一に押し付けます。何枚かの両面テープを使用する場合、テープ自体が重ならないようにしてください。

**取り付け方法 #2 : 熱伝導性接着剤**

熱伝導性接着剤は、HFS を永続的に接着する場合に使用します。取り付ける前に、測定面とセンサー表面から汚れを取り除きます。センサー表面に熱伝導性接着剤を薄く、均一に塗ります。接着剤が乾くまで、センサーに一定の均一な圧力をかけます。接着後、表面からセンサーを取り外すと、センサーが破損する場合があります。

**取り付け方法 #3 : 熱伝導性ペースト**

熱伝導性ペーストは、測定中のセンサーが一定の均一な圧力で所定の位置に保持されている場合にのみ適しています。適切な測定シナリオの例としては、センサーを強く押して、所定の場所に保持している 2 つの表面の間にセンサーを配置して、センサーを伝導性熱伝達に使用する場合があります。熱伝導ペーストは、センサーと各表面の間に使用され、接触熱抵抗を最小限に抑えます。Omega 製の OmegaTherm 201 伝導ペーストを使用している製品を推奨します。熱伝導ペーストがない場合は、代替品として歯磨き粉を使用すると同様の効果を得ることができます。

その他の方法では、センサーと測定面の間に熱伝導ペーストの薄い膜を使用することもできます。次に、両面テープをセンサー全体に使用して、センサーを表面に保持した状態を保ちます。

**測定面からのセンサーの取り外し**

測定面からの HFS の取り外しは、熱伝導ペーストまたは両面テープなどの一時的な接着剤を使用して取り付けられている場合のみ推奨されます。強力な接着方法では、センサーを測定面から取り外す場合、センサーの完全性を構成することができます。

**重要:** センサーを取り外す場合、片手でリード線の一方を慎重に取り外して、もう一方の手で反対側から剥がします。このとき、できるかぎりセンサーを曲げないようにしてください。わずかにセンサーが曲がっても性能に影響しませんが、センサーを表面から引きがして、強く折り曲げたりしないようにしてください。

**セクション 2 : 熱流束および温度の測定値の変換****タイプ T 熱電対の測定**

熱電対の温度測定は、冷接点補償付きの T タイプの熱電対に対応する熱電対計で記録できます。（推奨される熱電対計：Omega DP41-TC）

**HFS 熱流束センサーの温度依存性**

HFS-5 および HFS-6 熱流束センサーからの出力信号は、センサー自体の温度にある程度依存しています。この依存性により、温度が変わるとセンサーの感度がわずかに変化します。UHFS-09 センサーにはこの依存性がないため、このセンサーモデルを使用する場合、このセクションは無視してください。

## HFS Heat Flux Sensor Instruction Manual

各センサは基本となるセンサー温度（25° C）で校正されています。この温度での感度は、各熱流束センサーに付属の校正シートに記載されています。校正感度の例（ $S_{Calib}$ ）は、以下の赤い円で示しています。

熱流束センサーを 25° C とは異なる温度で使用する場合、感度を調整し、次の手順に従って温度温存性を補償してください。

### Calibration Test Results

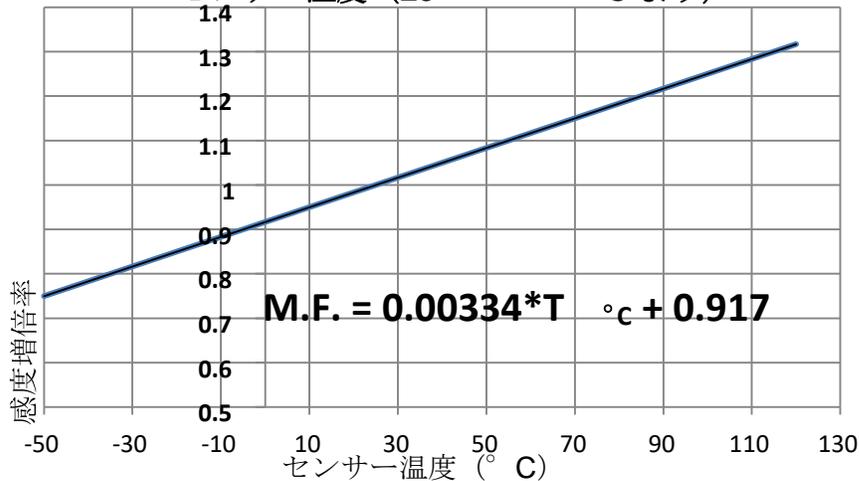
Heat Flux Sensor Sensitivity, $S_{Calib}$	1.00 ± 0.03 $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$
Sensor Temperature at Time of Calibration, $T_{Calib}$	25.0 °C
Heat Flux at Time of Calibration	3000 $\text{W}/\text{m}^2$

校正した感度（ $S_{Calib}$ ）に応じて各測定でセンサの温度測定（ $T_c$ ）を使用し、特定の温度（ $S_{@T_c}$ ）で熱流束感度を決定します。

$$S_{@T_c} = S_{Calib} * [0.00334 * T_c + 0.917]$$

感度増倍率と

センサー温度（25 °C より）



### 熱流束の計算

熱流束のリード線（白と薄い青）から取得した DC 電圧測定を使用して、特定のセンサーに対して調整した感度と次の式を使用して、熱流束の値を計算できます。

$$q'' = \frac{\Delta V_{q''}}{S_{@T_c}}$$

$q''$  がセンサーから吸収した熱流束の場合、 $\Delta V_{q''}$  が HFS センサー出力の熱流束電圧になり、 $S_{@T_c}$  は、その特定の時間のセンサー温度に応じて調整されたセンサーの感度になります。

例：1.80 mV の電圧値は、熱流束のリード線全体で測定され、センサの校正された感度は、0.90  $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$  と等しいと指定され、センサの温度は、その時点での熱電対リード線からの 30° C と等しいと測定されます。熱流束の計算方法は、次のとおりです。

1. 最初に、センサーの一体型のタイプ T 熱電対からの測定済みセンサー温度に従って感度を調整します。（UHFS-09 センサーを使用している場合、この手順は無視してください）。

$$S_{@T_c} = [0.00334 * T_c + 0.917] * S_{Calib}$$

$$S_{@T_c} = [0.00334 * (30^\circ C) + 0.917] * 0.90 \left( \frac{\mu V}{(W/m^2)} \right)$$

$$S_{@T_c} = 0.915 \left( \frac{\mu V}{(W/m^2)} \right)$$

2. 次に、調整した感度と熱流束リード線の電圧測定を使用して、熱流束を計算します。

$$q'' = \frac{\Delta V_{q''}}{S_{@T_c}} = \frac{1800 \mu V}{0.915 \mu V/(W/m^2)} = 1967 W/m^2$$

正電圧と負電圧の両方は、HFS センサーで測定できることに注意してください。正電圧と比較される負電圧値は、熱流束が反対方向に移動していることを意味しています。

#### 熱流束センサー感度の決定

センサー感度は、センサーにより誘導された出力電圧を、センサーを移動して伝導した熱流束で除算した値です。

$$Sensitivity = S = \frac{\Delta V}{q''_{absorbed}}$$

オーダーメイドの校正機器を使用すると、熱流束は測定した温度差と標準参照材料の既知の熱抵抗を使用して計算できます。

センサーの感度は、センサーからの出力電圧を熱流束で除算することで決定できます。

$$q'' = \frac{\Delta T}{R''_{SRM}} = \frac{\Delta V_{q''}}{S_{@T_c}}$$

$$S_{@T_c} = \frac{\Delta V}{q''}$$

この感度は、温度に応じて調整することができます。

$$S_{@T_c} = [0.00334 * T_c + 0.917] * S_{Calib}$$

この場合、 $T_c$  はセンサの温度（摂氏）で、 $S_{Calib}$  が上記の表に記載されている校正済みのセンサ感度になります。

## Section 4 : 指令、コンプライアンス

### RoHS3 宣言の適合性宣言

電気および電子機器における特定の有害物質の使用制限  
に関する 2015 年 6 月 4 日付け欧州議会および欧州理事会の指令 (EU) 2015/863

指令 2015/863 は、10 種類の制限される物質を定義しています。各物質の重さでの最大濃度を、以下に記載します。

物質	最大濃度 <sup>1</sup>
鉛 (Pb)	0.1% <sup>2</sup>
水銀 (Hg)	0.1%
カドミウム (Cd)	0.01%
六価クロム (Cr VI)	0.1%
多臭素化ビフェニル (PBB)	0.1%
ポリ臭素化ジフェニルエーテル (PBDE) )	0.1%
フタル酸ビス (2-エチルヘキシル) (DEHP)	0.1%
フタル酸ブチルベンジル (BBP)	0.1%
フタル酸ジブチル (DBP)	0.1%
フタル酸ジイソブチル (DIBP)	0.1%

<sup>1</sup> 均質物質の重さで許容される規制物質と最大濃度値

<sup>2</sup> 除外物質 6(a) : 機械加工用の鋼、および重さで最大 0.35 % の鉛を含む亜鉛めっき鋼に含有する合金化元素としての鉛、除外物質 6(b) : 重さで最大 0.4 % の鉛を含むアルミニウムに含有する合金化元素としての鉛、除外物質 6(c) : 重さで最大 4 % の鉛を含む銅合金、除外物質 7(c)-I : コンデンサ (圧電素子)、またはガラス/セラミックのマトリックス化合物の誘電セラミック以外のガラスまたはセラミックに鉛を含む電気/電子部品。

すべての HFS-5、HFS-6、および UHFS-09 熱流束製品は、次の RoHS3 コンプライアンスに準拠しています。

**RoHS3 ステータス : 準拠**

準拠していることが指定されているすべての製品の RoHS コンプライアンスは、製造者 (メーカー) による部品番号が RoHS 指令に準拠しているという証拠に基づいています。製造者のコンプライアンスに関する主張を立証するために、制限物質の不在に関する製造者の宣言と、その他の証拠を確認するためのすべての適正措置が実施されています。製造記録の確認と技術情報に基づいて、当社の把握している限り、この製品は、上記で指定されている制限値を超える量のいかなる制限物資も含まれていません。

承認者 : Rande Cherry                      日付 : 6/1/2019

## REACH 適合性宣言の表示

化学物質の登録、評価、認証、および制限 (REACH)、欧州化学機関の設立、指令 1999/45/EC の修正、理事会規則 (EEC) No 793/93 および委員会規則 (EC) No 1488/94、さらに理事会指令 76/769/EEC および委員会指令 91/155/EEC、93/67/EEC、93/105/EC および 2000/21/EC の破棄に関する、2006 年 12 月 18 日付け欧州議会および欧州理事会の指令 EC 1907/2006

この指令は、制限される物質を定義しています。高懸念物質 (SVHC) の REACH 候補リストは、次の場所で確認できます。

[http://echa.europa.eu/chem\\_data/authorisation\\_process/candidate\\_list\\_table\\_en.asp](http://echa.europa.eu/chem_data/authorisation_process/candidate_list_table_en.asp)

すべての HFS-5、HFS-6、および UHFS-09 熱流束製品は、次の REACH コンプライアンスに準拠しています。

### REACH ステータス：準拠

準拠していることが指定されているすべての製品の REACH コンプライアンスは、製造者（メーカー）による部品番号が REACH 指令に準拠しているという証拠に基づいています。製造者のコンプライアンスに関する主張を立証するために、制限物質の不在に関する製造者の宣言と、その他の証拠を確認するためのすべての適正措置が実施されています。製造記録の確認と技術情報に基づいて、当社の把握している限り、この製品は、上記で指定されている制限値を超える量のいかなる制限物資も含まれていません。

承認者： Rande Cherry 日付： 7/19/2019

## EU 適合宣言

会社名 : Omega Engineering Inc.

住所 : 800 Connecticut Ave, Suite 5N01, Norwalk, CT 06854

電話番号 : [1-888-826-6342](tel:1-888-826-6342)

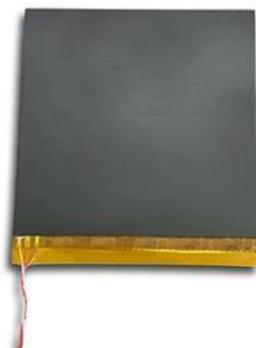
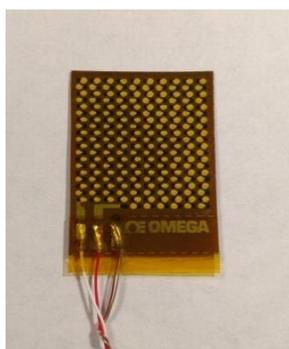
電子メールアドレス : [info@omega.com](mailto:info@omega.com)



当社は、本文書が単独責任の下に発行され、次の製品に属していることを宣言します。

宣言の対象製品 :

製品モデル番号 : HFS-5 および HFS-6 および UHFS-09



上記宣言の対象製品は関連する EU 調和法に準拠しています。

指令 2014/32/EU

次の整合規格と技術仕様が適用されています。

RoHS 2015/863	4 6 月 2015
EN50581:2012	1 11 月 2012

製造元を代表して署名 :

Omega  
Engineering, Inc. 2019-07-18

Rande Cherry CTO