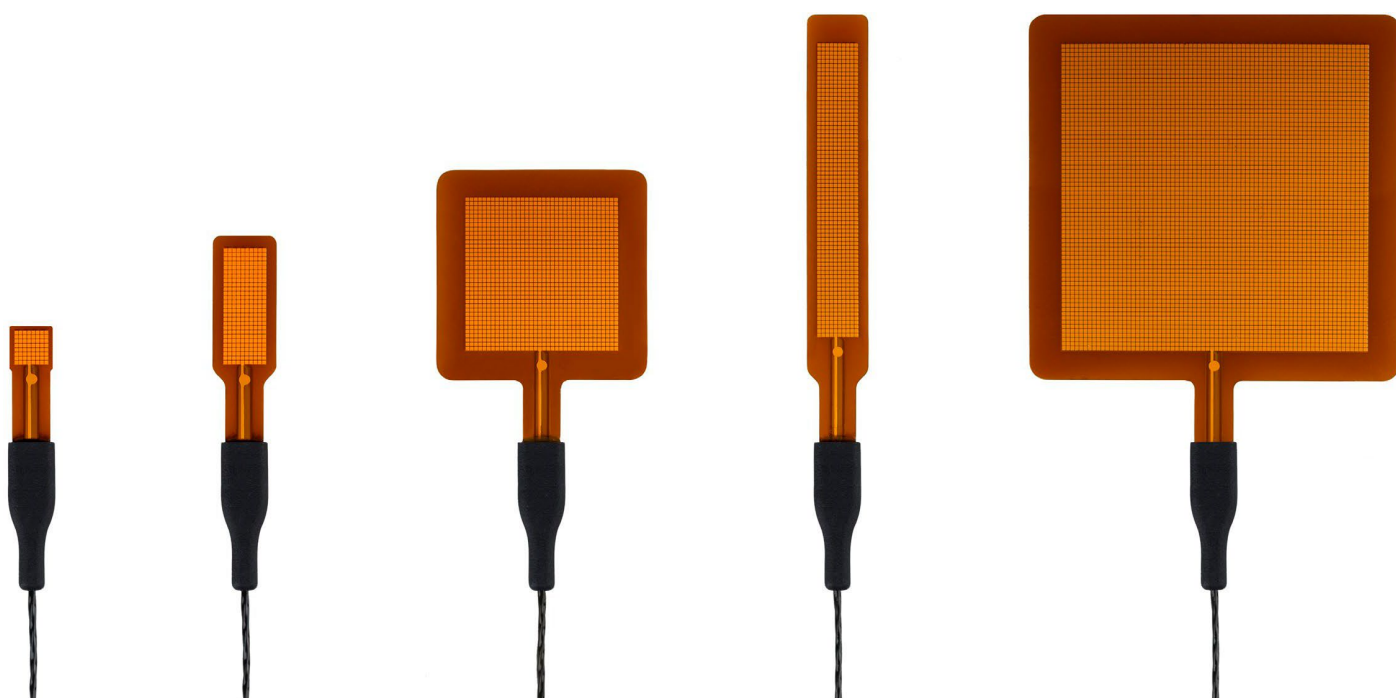


ユーザーマニュアル CHF-FHF05シリーズ


薄膜熱流センサ


- 平面以外にも設置できる柔軟な構造
- 熱伝導率依存を減らすサーマルスプレイダー
- 5種類のサイズと感度係数
- 温度センサを内蔵




安全上の重要な注意事項

注意事項は、危険の度合いに応じて、危険、警告、注意、注記の4つがあります。

 危険
「危険」は、指示に従わない場合、死亡または重篤な身体的傷害を負うことになります。

 警告
「警告」は、指示に従わない場合、死亡または重大な身体的傷害を負う危険性があります。

 注意
「注意」は、指示に従わない場合、軽傷または中程度の身体的傷害を負う恐れがあります。

注記
「注記」は、指示に従わない場合、機器の破損や機器の信頼性を損なう恐れがあります。

目次

安全上の重要な注意事項	2
目次	3
記号一覧	4
概要	5
1 注文と納品時の確認	8
1.1 CHF-FHF05シリーズを注文する	8
1.2 同梱品	8
1.3 簡易動作確認	9
2 機器の原理と理論	10
3 CHF-FHF05シリーズの仕様	13
3.1 CHF-FHF05シリーズの仕様	13
3.2 CHF-FHF05シリーズの寸法	16
4 使用に関する標準および推奨事項	18
4.1 産業における熱流束測定	18
5 CHF-FHF05シリーズの設置	19
5.1 場所の選定と設置	19
5.2 曲面への設置	21
5.3 電気配線	22
5.3.1 正常な接続	22
5.3.2 複数のセンサを直列に接続して感度を上げる	23
5.3.3 感部面半面のみを読み出しに対応した接続	24
5.4 データ取得／増幅のための要件	25
6 メンテナンス、トラブルシューティング	26
6.1 推奨メンテナンスと品質保証	26
6.2 トラブルシューティング	27
6.3 現場での校正・確認	28
7 付録	29
7.1 ケーブル延長に関する付録	29
7.2 CHF-FHF05シリーズ薄膜センサの取り付けに関する付録	30
7.3 「黒」「金」ステッカーとの併用に関する付録	33
7.4 校正の標準に関する付録	34
7.5 校正トレーサビリティに関する付録	35
7.6 温度依存性の補正に関する付録	36
7.7 異なる温度での測定範囲に関する付録	37
7.8 温度測定精度に関する付録	38
7.9 EU適合性宣言	40

記号一覧

項目	記号	単位
熱流束	Φ	W/m ²
電圧出力	U	V
感度	S	V/(W/m ²)
温度	T	°C
単位面積あたりの熱抵抗	R _{thermal,A}	K/(W/m ²)
添字		
ヒートシンク特性 最大値、仕様限界値	heatsink maximum	

概要

CHF-FHF05シリーズは、汎用熱流計の最新標準モデルです。5種類のサイズと感度係数があります。従来のFHF01からFHF04までのモデルに代わり、大幅な薄型化と柔軟性を実現しました。非常に汎用性が高く、温度センサを内蔵し、熱伝導率依存を低減するためのサーマルスプレイダーを備えています。伝導、放射、対流による熱流束を測定し、温度範囲は $-70^{\circ}\text{C}\sim+120^{\circ}\text{C}$ となります。オプションで、放射と対流による熱輸送を別々に測定するための「黒」ステッカーと「金」ステッカーを各センサモデル向けにご用意しています。

CHF-FHF05は、組み込まれた対象物または取り付けられた対象物を通過する熱流束を計測し、 W/m^2 の単位で表現します。内部のセンサはサーモパイルです。このサーモパイルは、CHF-FHF05の柔軟な本体を介して温度差を測定します。また、T型熱電対も内蔵されています。サーモパイルと熱電対は受動型センサのため、電力を必要としません。

センサを覆う導電層を形成する複数の小型サーマルスプレイダーは、測定の熱伝導率依存性を低減させるのに役立ちます。スプレイダーを組み込んだCHF-FHF05シリーズの感度は、環境に左右されません。競合する多くのセンサは、サーマルスプレイダーを備えていません。センサ周囲のガードエリアは、エッジ効果による測定誤差を低減することが出来、また、設置にも使用されます。ヒーターを使った熱流・温度計測センサをお探しの場合は、当社の熱流センサCHF-FHF05SCシリーズをご覧ください。

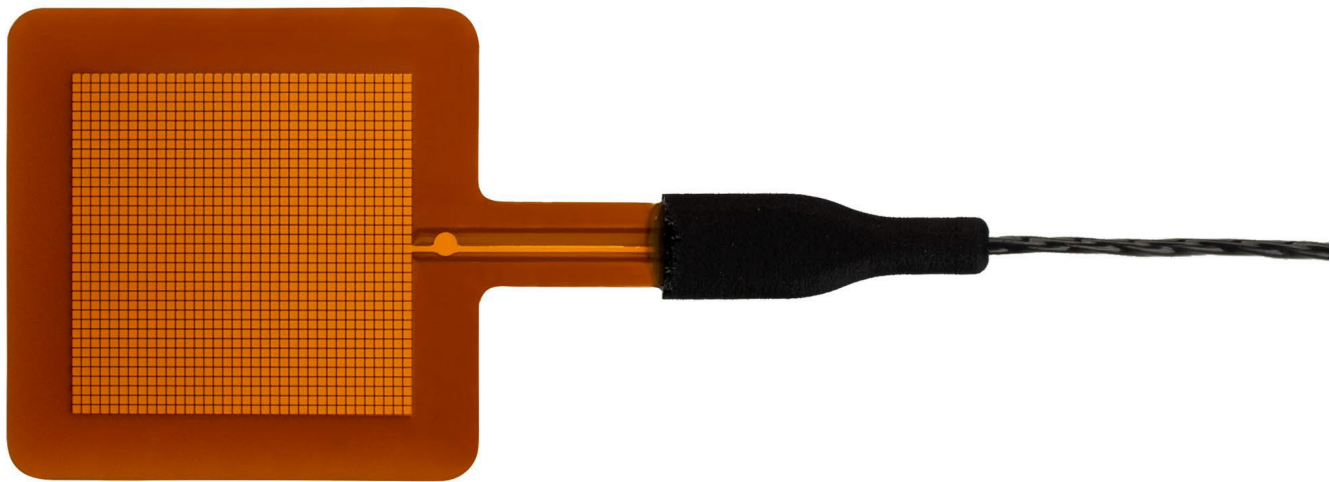


図 0.1 サーマルスプレイダー付き薄膜熱流センサ「CHF-FHF05-50X50モデル(Mサイズ)」:薄型で柔軟性があり、多用途に使用できます。

CHF-FHF05シリーズの使い方は簡単です。一般的に使用されているデータロギングシステムに直接接続することができます。熱流束(W/m^2)は、センサ出力である微電圧を感度係数で割ることで算出されます。感度係数は、製品証明書に記載されています。

CHF-FHF05シリーズは、独自の機能と利点を備えています。

- 柔軟(曲げ半径 $\geq 7.5 \times 10^{-3} \text{ m}$)
- 低熱抵抗
- 広温度範囲
- 高速応答速度
- 広防護範囲
- 熱伝導率依存性低減のための一体型サーマルスプレイダー
- T型熱電対内蔵
- センサとケーブルの間の負担緩和としても機能するコネクタブロックを含む堅牢性
- 屋外での使用には必須のIP保護等級 IP67

CHF-FHF05シリーズは、負担緩和の役割を果たす保護用ポット型のコネクタブロックを備えており、水分が浸透しないので、非常に堅牢で安定していることが証明されています。



図 0.2 パイプの熱流束を測定するために薄膜熱流センサ CHF-FHF05-15X85(LGサイズ) を取り付ける様子

CHF-FHF05シリーズは、国際標準にトレーサブルな校正を行っています。工場での校正方法は、ASTM C1130-21の推奨実施方法に準拠しています。校正基準条件と異なる条件で使用した場合、CHF-FHF05シリーズの熱流束感度は、証明書に記載されている値と異なる可能性があります。ベストプラクティスについては、本マニュアルの第2章を参照してください。

Huksefluxは、エネルギー移動測定や熱流束測定を次のレベルに進めるお手伝いをします。CHF-FHF05シリーズには、放射を吸収する「黒」ステッカーと放射を反射する「金」ステッカーがあります。CHF-FHF05シリーズにステッカーを貼ることで、黒ステッカーでは対流束と放射流束、金ステッカーでは対流束のみを測定することが可能になります。これらの結果から放射流束を求めることができます。ステッカーは、ユーザー自身でセンサに貼ることも、工場であらかじめ貼られたものを注文することもでき、すべてのセンサモデルで使用できます。

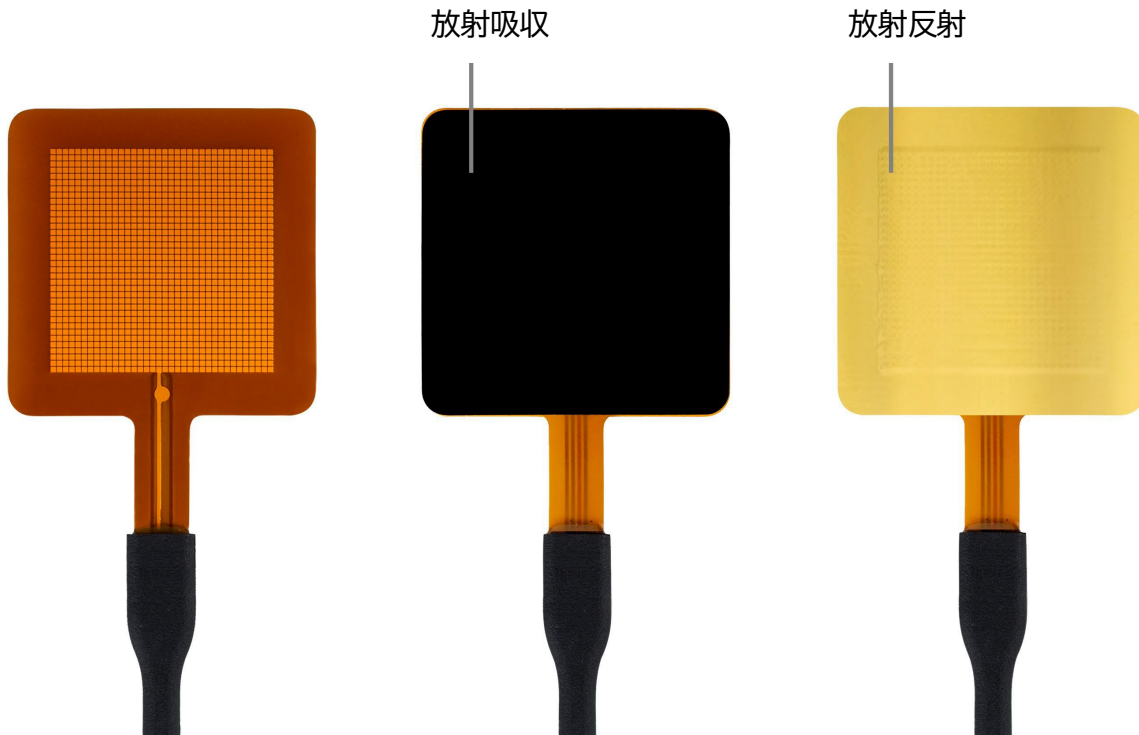


図 0.3 CHF-FHF05-50X50熱流センサ(Mサイズ)(左から、ステッカー無し、BLK-50X50「黒」ステッカー付、GLD-50X50「金」ステッカー付)

こちらも合わせてご覧ください。

- CHF-FHF05自己校正モデル「CHF-FHF05SCシリーズ」
- FHF型センサの校正・性能確認用「HTR02シリーズヒーター」
- 感度が向上したモデル「CHF-HFP01」(CHF-FHF05を2個以上直列に並べることも有効)
- 放射熱流束と対流熱流束を分離するための「黒・金ステッカーシリーズ」(各センササイズに対応)
- Huksefluxは、様々な予算に応じて、最高品質の熱流センサを提供します。

1 注文と納品時の確認

1.1 CHF-FHF05シリーズを注文する

CHF-FHF05シリーズの標準構成は、CHF-FHF05-50X50-02(Mサイズ)に2mのケーブルが付属します。一般的なオプションは次の通りです。

- CHF-FHF05-10X10モデル(SSサイズ)
- CHF-FHF05-15X30モデル(Sサイズ)
- CHF-FHF05-15X85モデル(LGサイズ)
- CHF-FHF05-85X85モデル(Lサイズ)
- ケーブル長2mを5mまたは10mへ変更
- ケーブルなし、コネクタブロックなし
- ケーブル長2m、5m、10mの別ケーブル
- 校正と性能検証を行うホイールヒーター(HTR02シリーズ)
- 「黒」ステッカー(対流熱流束及び放射熱流束測定用)
- 「金」ステッカー(対流熱流束測定用)
- 「黒」「金」ステッカーは、各センササイズに合わせて工場ですり付け可能

1.2 同梱品

配送時の梱包品には、以下が含まれます。

- 熱流センサCHF-FHF05(注文時ご指定の長さのケーブル付)
- 機器のシリアル番号に一致する製品証明書



図 1.2.1 CHF-FHF05-50X50モデル(Mサイズ):ケーブルの端にシリアル番号と感度が表示されています。

1.3 簡易動作確認

マルチメータに接続することで、簡易的な動作確認を行うことができます。

1. CHF-FHF05のケーブルの端のラベルに記載されているセンサのシリアル番号と感度を、付属の製品証明書と照らし合わせて確認します。
2. 機器に損傷がないかを点検します。
3. 赤線[+]と黒線[-]間のセンサの電気抵抗を確認します。1,000 Ω 範囲のマルチメータを使用します。まず一方の極性でセンサの電気抵抗を測定し、逆の極性でも測定し、平均値を取ります。典型的なケーブルの抵抗値は 0.3 Ω/m です。典型的なセンサの抵抗は、表3.1.1に記載されているセンサの公称抵抗値に、ケーブル1mごとにケーブルの抵抗 0.6 Ω (行きと帰り分)が足されたものになります。抵抗値が無限値の場合、回路の故障が考えられます。抵抗値がゼロまたは 1 Ω より小さい場合、短絡が考えられます。
4. 茶線[+]白線[-]間の熱電対の電気抵抗を確認します。100 Ω 範囲のマルチメータを使用します。まず一方の極性でセンサの電気抵抗を測定し、逆の極性でも測定し、平均値を取ります。銅配線の標準的な抵抗値は 0.3 Ω/m、コンスタンタン配線は 6.5 Ω/m です。標準的な熱電対の抵抗値は、熱電対の公称抵抗値 2.5 Ω に、ケーブル1mごとにケーブルの抵抗 6.8 Ω (行きと帰り分)が足されたものになります。抵抗値が無限値の場合、回路の故障が考えられます。抵抗値がゼロまたは 1 Ω より小さい場合、短絡が考えられます。
5. センサが熱に反応するかどうかを確認します。マルチメータを最も感度の高いDC電圧測定範囲(通常は 100×10^{-3} VDC範囲以下)に設定します。センサを熱にさらします。裏側(ドット(表面表示)のない側)を熱にさらすと、赤線[+]と黒線[-]の間にプラスの信号が発生するはずですが、表側(ドット(表面表示)のある側)も同様にすると、出力信号が反転します。

2 機器の原理と理論

CHF-FHF05の学名は熱流センサです。熱流センサは、センサ自身を通る熱流束密度を測定します。 W/m^2 で表されるこの量は、熱流束と呼ばれます。

CHF-FHF05のユーザーは通常、測定された熱流束がセンサの位置で乱されていないものであると見なします。また、科学的な判断に基づいた補正を行うことも可能です。

CHF-FHF05に搭載されているセンサはサーモパイルです。このサーモパイルは、センサのポリイミド間の温度差を測定します。サーモパイルは完全に受動的に機能し、この温度差からリニアな微電圧を発生させます。熱流束は、温度差を熱流センサ本体の有効熱伝導率で割った値に比例します。

CHF-FHF05の使い方は簡単です。測定には、ミリボルト範囲で動作する正確な電圧計が必要なだけです。測定された電圧 U を熱流束 Φ に変換するためには、センサごとに一定値である感度 S で電圧を割る必要があります。

$$\Phi = U/S \quad (\text{式2.1.1})$$

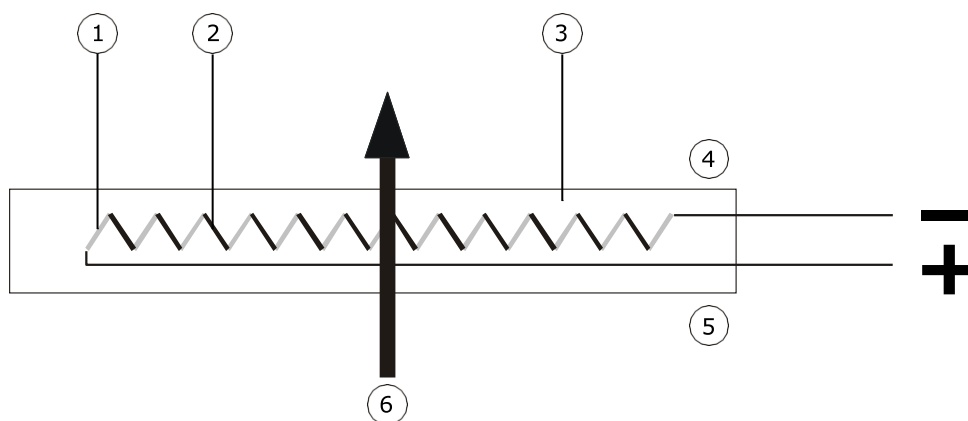


図 2.1 熱流センサの一般的な動作原理。CHF-FHF05に内蔵されているセンサはサーモパイルです。サーモパイルは、2つの金属合金からなる多数の熱電対(①、②)を電氣的に直列に接続したものです。1個の熱電対は、その高温部と低温部の温度差に比例して出力電圧を発生させます。熱電対を直列に並べると、信号が増幅されます。熱流センサでは、高温部と低温部はセンサ面を挟んでそれぞれ反対側に配置されます(④、⑤)。定常状態では、熱流束(⑥)はセンサの温度差とセンサ本体(③)の平均熱伝導率の一次関数となります。サーモパイルは、センサを通過する熱流束に比例した電圧出力を発生させます。センサの正確な感度は、メーカーでの校正によって決定され、センサに付属する製品証明書に記載されています。



図2.2 裏面から表面への熱流束により、プラスの電圧出力信号が発生します。薄膜上のドットが、表側を示す表面表示になります。

CHF-FHF05は、裏面から表面への熱流束により、プラスの電圧出力信号が発生するように設計されています。薄膜上のドットが、表側を示す表面表示になります。

CHF-FHF05シリーズの特徴は、柔軟性(曲げ半径 $\geq 7.5 \times 10^{-3}$ m)、低熱抵抗、広温度範囲、高速応答、屋外用途に不可欠な保護等級 IP67、熱伝導率依存性を低減するためのサーマルスプレイダーを搭載していることなどが挙げられます。

CHF-FHF05は、以下の基準条件下で校正されています。

- 伝導熱流束(放射熱流束もしくは対流熱流束は加味せず)
- センサ及び保護表面への均一な熱流束
- 室温
- HTR02シリーズで発生する 300 もしくは 600W/m² 程度の熱流束
- アルミ製ヒートシンクの使用

CHF-FHF05は、一般的な産業用途を想定した導電性の金属製ヒートシンクを用い、20℃で伝導熱流束にさらして校正されています。校正基準条件と異なる条件下、例えば極端な高温や低温、あるいは放射流束にさらされた状態で使用した場合、FHF05シリーズの熱流束に対する感度は証明書に記載されているものと異なる場合があります。そのような場合、ユーザーは以下の選択をすることができます。

- 感度を使用せず、相対的な測定のみを行い、変化をモニタする。
- センサを金属箔の上や間に設置することで、校正条件を再現する。
- 既知の熱流束を発生させるアルミ箔ヒーターを使用するなど、専用の校正実験を設計する。
- 感度の温度依存性を補正する。詳細は付録7.6を参照。
- 当社製「黒」ステッカーをセンサ表面に貼り、放射線を吸収させる。
- 当社製「金」ステッカーをセンサ表面に貼り、放射線を反射させる。

ユーザー自身で実験解析を行い、不確かさの評価を行う必要があります。CHF-FHF05シリーズの連続使用時の定格温度範囲は-70~+120℃ですが、短時間であれば、ピーク温度は-160~+150℃まで許容されます。-160℃で測定する場合は、Hukseflux社にお問い合わせください。+150℃付近の温度で長時間使用する場合、製品の劣化を促進させます。

3 CHF-FHF05シリーズの仕様

3.1 CHF-FHF05シリーズの仕様

CHF-FHF05シリーズは、センサの表面を通過する熱流束密度を測定します。W/m² で表されるこの量は、熱流束と呼ばれます。サーモパイルは完全に受動的に機能し、この熱流束に比例した微電圧を発生させます。適切な測定システムとの組合せでのみ使用できます。

表 3.1.1 CHF-FHF05シリーズの仕様(次頁に続く)

CHF-FHF05シリーズ仕様	
センサ種別	薄膜熱流センサ
ASTM規格に準拠したセンサ種別	熱流センサ または 熱流変換器
測定対象	熱流束
SI単位での測定値	熱流束密度 W/m ²
測定範囲	ヒートシンク温度20°Cにおいて (-10~+10) × 10 ³ W/m ² 詳しい計算方法は付録をご覧ください。
感度(公称値)	
CHF-FHF05-10X10(SSサイズ)	1×10 ⁻⁶ V/(W/m ²)
CHF-FHF05-15X30(Sサイズ)	3×10 ⁻⁶ V/(W/m ²)
CHF-FHF05-50X50(Mサイズ)	13×10 ⁻⁶ V/(W/m ²)
CHF-FHF05-15X85(LGサイズ)	7×10 ⁻⁶ V/(W/m ²)
CHF-FHF05-85X85(Lサイズ)	50×10 ⁻⁶ V/(W/m ²)
方向感度	裏面から表面(ドットのある面)への熱流束により、プラスの電圧出力信号が生成される。
表裏誤差	< 2 %
感度の向上	複数のセンサを電気的に直列に配置することができます。 その場合、感度は個々のセンサ感度の合計となります。
想定電圧出力	(-100~+100) × 10 ⁻³ V センサをひっくり返すと、センサの電圧出力が反転します。
測定機能(物理演算が必要)	Φ = U/S
必要な計測機器	1差動電圧チャンネル または 1シングルエンド電圧チャンネル 入力抵抗 > 10 ⁶ Ω T型熱電対1チャンネル
内臓センサ	温度計
ケーブル定格負荷	≦ 1.6 kg
定格曲げ半径	≧ 7.5×10 ⁻³ m
定格温度範囲(連続使用時)	-70 ~ +120 °C
定格温度範囲(短時間)	-160 ~ +150 °C (-160 °Cで測定する場合はHuksefluxに連絡してください。)
温度依存性	< 0.2 %/°C
非線形性	< 5 % (0 ~ 10 × 10 ³ W/m ²)
太陽光吸収係数	0.75
熱伝導率依存性	ごくわずか < 3 %/(W/m·k) 270 から 0.3 W/m·K まで
センサの長さ・幅	
CHF-FHF05-10X10(SSサイズ)	(10 × 10) × 10 ⁻³ m
CHF-FHF05-15X30(Sサイズ)	(15 × 30) × 10 ⁻³ m
CHF-FHF05-50X50(Mサイズ)	(50 × 50) × 10 ⁻³ m
CHF-FHF05-15X85(LGサイズ)	(15 × 85) × 10 ⁻³ m
CHF-FHF05-85X85(Lサイズ)	(85 × 85) × 10 ⁻³ m

表 3.1.1 CHF-FHF05 シリーズの仕様(続き)

感部面	
CHF-FHF05-10X10(SSサイズ)	$0.64 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
CHF-FHF05-15X30(Sサイズ)	$2.70 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
CHF-FHF05-50X50(Mサイズ)	$12.96 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
CHF-FHF05-15X85(LGサイズ)	$7.10 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
CHF-FHF05-85X85(Lサイズ)	$47.70 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
感部面の長さ・幅	
CHF-FHF05-10X10(SSサイズ)	$(8 \times 8) \times 10^{-3} \text{ m}$
CHF-FHF05-15X30(Sサイズ)	$(10 \times 27) \times 10^{-3} \text{ m}$
CHF-FHF05-50X50(Mサイズ)	$(36 \times 36) \times 10^{-3} \text{ m}$
CHF-FHF05-15X85(LGサイズ)	$(10 \times 71) \times 10^{-3} \text{ m}$
CHF-FHF05-85X85(Lサイズ)	$(70 \times 71) \times 10^{-3} \text{ m}$
ガードエリア	
CHF-FHF05-10X10(SSサイズ)	$0.36 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
CHF-FHF05-15X30(Sサイズ)	$2.25 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
CHF-FHF05-50X50(Mサイズ)	$12.04 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
CHF-FHF05-15X85(LGサイズ)	$5.65 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
CHF-FHF05-85X85(Lサイズ)	$22.55 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
ガード幅と厚みの比率	
CHF-FHF05-10X10(SSサイズ)	2.5
CHF-FHF05-15X30(Sサイズ)	6.25
CHF-FHF05-50X50(Mサイズ)	17.5
CHF-FHF05-15X85(LGサイズ)	6.25
CHF-FHF05-85X85(Lサイズ)	18.75
センサ厚み	$0.4 \times 10^{-3} \text{ m}$
センサ熱抵抗	$11 \times 10^{-4} \text{ K/(W/m}^2\text{)}$
センサ熱伝導率	$0.36 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
応答速度(95 %)	3 s
センサ抵抗範囲	
CHF-FHF05-10X10(SSサイズ)	5 ~ 30 Ω
CHF-FHF05-15X30(Sサイズ)	50 ~ 90 Ω
CHF-FHF05-50X50(Mサイズ)	200 ~ 300 Ω
CHF-FHF05-15X85(LGサイズ)	100 ~ 180 Ω
CHF-FHF05-85X85(Lサイズ)	800 ~ 1300 Ω
必要なセンサ電力	不要(パッシブセンサ)
温度センサ	T型熱電対
温度センサ精度	$\pm 5 \%$ Class 2 熱電対の標準仕様である $\pm 2 \%$ に不確かさを低減する方法については、付録7.8 を参照してください。
標準ケーブル長	2 m
オプションケーブル長	ケーブルなし、5m、10m
ケーブル	銅線3本、コンスタンタン線1本、AWG28、ソリッドコア、MFA シースで束ねたもの
ケーブル径	$2 \times 10^{-3} \text{ m}$
標識	薄膜にドットがある面が熱流センサ前面となります。CHF-FHF05のケーブルの端に、シリアル番号と感度が記載されたラベルが貼り付けられています。
IP保護等級	IP67
定格動作相対湿度範囲	0 ~ 100 %
水中での使用	水中での連続使用には適していません。
真空での使用	真空での使用はできません。
2mケーブルを含む総重量	約 0.5 kg
2mケーブルを含む正味重量	約 0.5 kg

表 3.1.1 CHF-FHF05 シリーズの仕様(続き)

設置と使用	
代表的な使用条件	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実験室や産業での実験、測定 ・ 数分から数年間の曝露 ・ ユーザーのデータ収集機器への接続 ・ センサの定期点検 ・ センサ温度の継続モニタリング ・ 付録7.9 EU適合宣言 を参照
推奨センサ数	測定場所1か所につき2個
設置	第5章 設置 を参照してください。
曲げ角度	5.2 曲面への設置 を参照してください。
ケーブル延長	付録7.1を参照するか、より長いケーブル長のセンサを注文してください。
薄膜センサの取り付け	ケーブルなし、コネクタブロックなしのFHF05取り付けについては、付録7.2 を参照してください。
校正	
校正トレーサビリティ	SI単位
製品証明書	製品に付属(校正結果、トレーサビリティを表示)
校正方法	ASTM C1130 - 21に準拠したHFPC法
校正の階層	SIから国際標準および社内規定を通じて
校正の不確かさ	$< \pm 5 \% (k = 2)$
推奨再校正期間	2年
校正基準条件	<ul style="list-style-type: none"> ・ 20℃ ・ 熱流束300 W/m²(モデル:LGサイズ、Lサイズ) または 600 W/m²(モデル:SSサイズ、Sサイズ、Mサイズ) ・ アルミ製ヒートシンクの使用 ・ 周囲環境の熱伝導率0.0 W/(m・K)
校正の有効性	実質的には、機器の感度は保管中に変化しません。使用時には、「非安定」仕様が適用されます。校正基準条件と異なる条件で使用した場合、CHF-FHF05の熱流束に対する感度が証明書に記載されている値とは異なる場合があります。解決策については、機器の原理の章を参照してください。
現場校正	校正用基準センサと比較することで可能です。通常、現場センサと並べて設置されますが、現場センサの上に設置することも可能です。なるべく、同じモデルおよびブランドの基準センサと現場センサを比較します。標準的な試験時間は24時間以上です。
測定精度	
測定の不確かさ	全体的な測定の不確かさについては、機器単体特性のバイアスに依ります。
バージョン/オプション	
ケーブル長を長くしたい場合	オプションコード = ケーブル長(メートル)
ケーブルなし、コネクタブロックなし	校正済みCHF-FHF05薄膜センサにユーザーによるハンダ付けまたは接続が必要となります。詳細は付録を参照してください。
「黒」ステッカーの貼り付け	放射線を吸収するための「黒」ステッカーを工場で貼り付けられます。
「金」ステッカーの貼り付け	放射線を反射するための「金」ステッカーを工場で貼り付けられます。
アクセサリ	
ヒールヒーター	試験・校正用として使用可能なHTR02汎用ヒーター。
別ケーブル	銅線3本とコンスタンタン線1本のケーブル、AWG28、ソリッドコア、MFAシースで束ねたもので、長さ2m、5m、10mがあります。
「黒」ステッカー	放射線を吸収する黒ステッカー。ユーザーによる貼付が可能です。
「金」ステッカー	放射線を反射する金ステッカー。ユーザーによる貼付が可能です。

3.2 CHF-FHF05シリーズの寸法

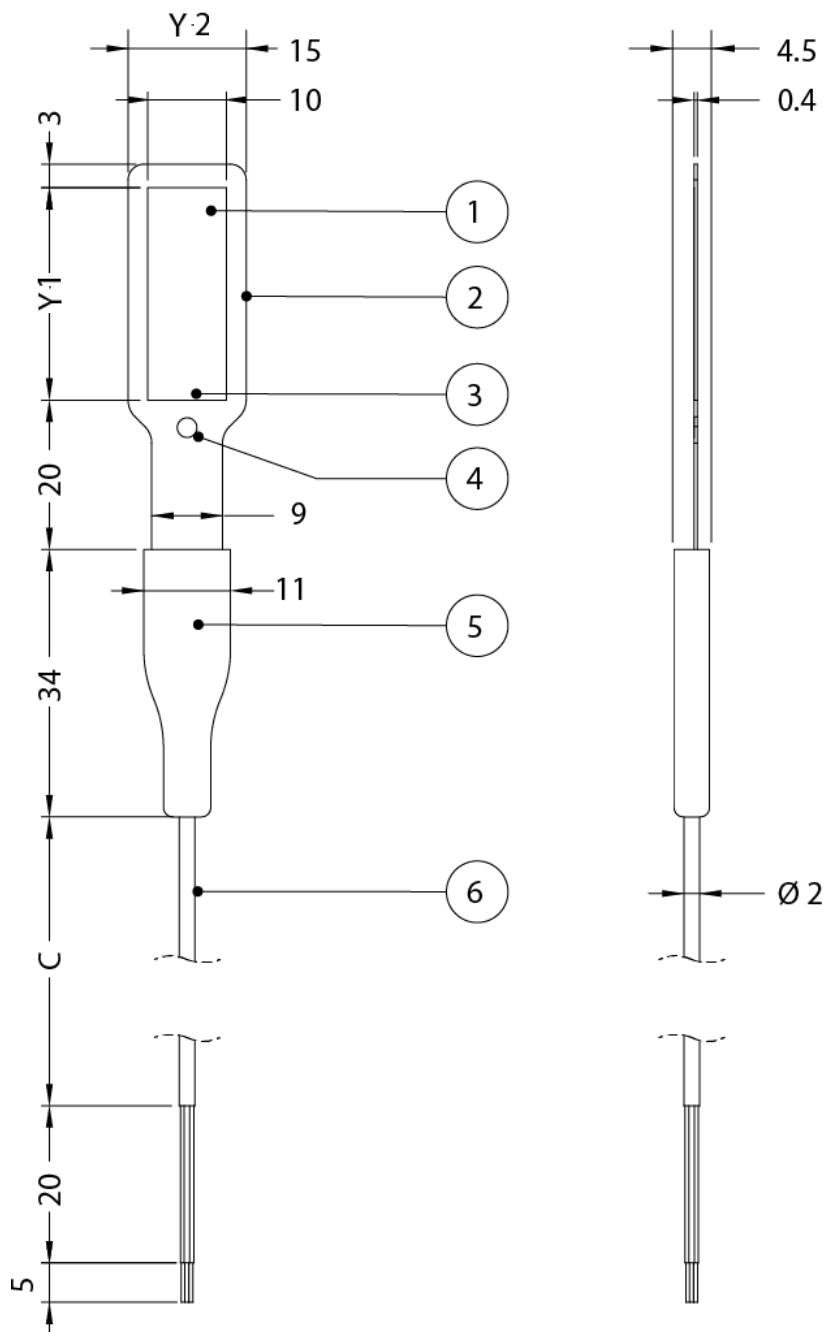


図 3.2.1 CHF-FHF05 15X30モデル(Sサイズ) および 15X85モデル(LGサイズ)。Y1 = 27 または 70、Y2 = 18 または 25 ($\times 10^{-3} m$)。

- ① 感部面(サーマルスプレイダー付)
- ② ガード
- ③ T型熱電対
- ④ ドット(表面表示)
- ⑤ コネクタブロック
- ⑥ ケーブル(標準長 $C = 2 m$)

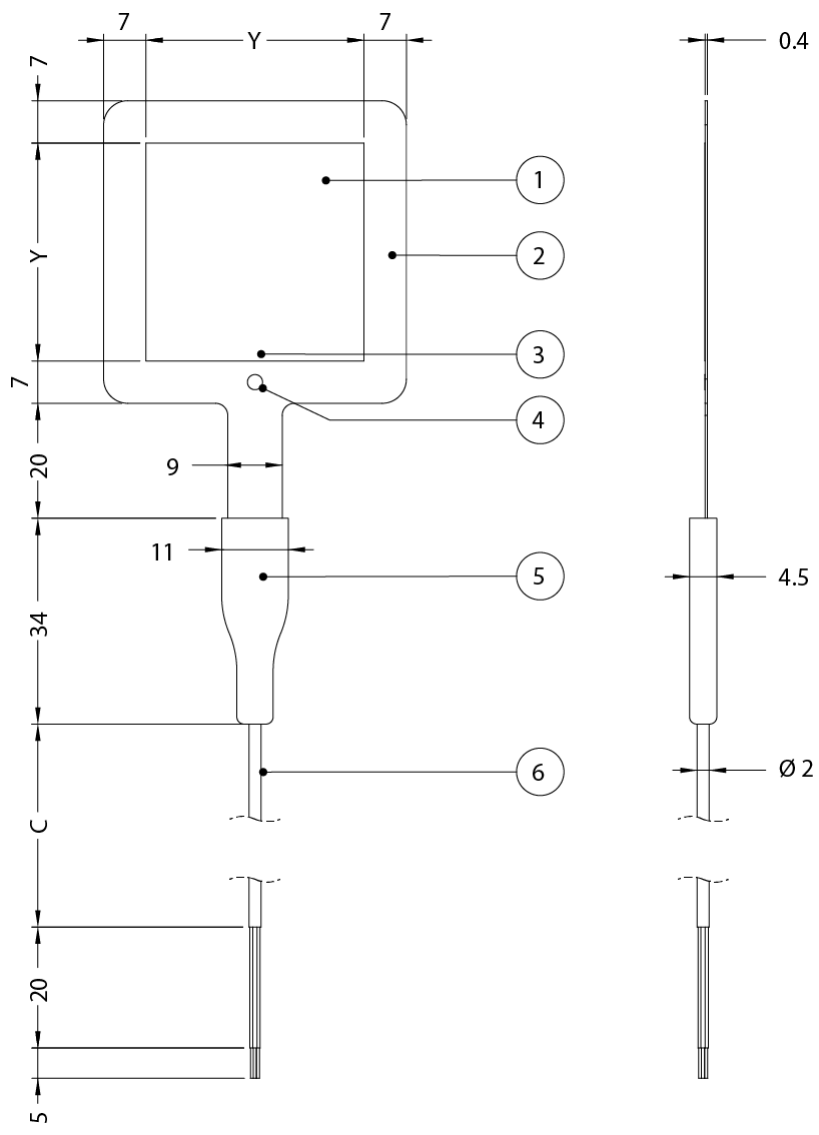


図 3.2.2 CHF-FHF05 10X10(SSサイズ)、50X50(Mサイズ)、85X85モデル(Lサイズ)。Y = 8, 36, 70($\times 10^{-3} m$)

- ① 感部面(サーマルスプレイダー付)
- ② ガード
- ③ T型熱電対
- ④ ドット(表面表示)
- ⑤ コネクタブロック
- ⑥ ケーブル(標準長 C = 2 m)

4 使用に関する標準および推奨事項

CHF-FHF05シリーズは、推奨される使用方法に従ってご使用ください。

4.1 産業における熱流束測定

CHF-FHF05シリーズのセンサは、工業用壁面や金属表面の測定によく使われ、設置場所のエネルギー収支や壁の熱伝導率を推定することができます。

一般的に、総合計測システムは複数の熱流束センサと温度センサで構成されています。多くの場合、熱流センサは傾向モニタリングのために使用されます。このような場合、絶対的な測定精度よりも再現性が重要となります。



図 4.1.1 CHF-FHF05-85X85モデル(Lサイズ)を産業用配管計測のために取り付けている例。センサは曲面上に取り付けられています。

5 CHF-FHF05シリーズの設置

5.1 場所の選定と設置

表 5.1.1 熱流センサCHF-FHF05シリーズ設置に関する推奨事項

場所	可能であれば、分析するプロセスの代表的な場所を選び、日光や雨などにさらされないようにしてください。 通気や横方向の熱流にさらさないでください。 サーマルブリッジ、亀裂、加熱・冷却装置、送風機などの周辺に取り付けしないでください。
代表的な測定の実施／ 推奨されるセンサ数	測定場所ごとに2個以上のセンサを使用することを推奨します。また、この冗長性により、測定精度の評価も向上します。
取り付け	CHF-FHF05を取り付ける際は、指向性感度に留意してください。 裏面から表面(ドットがある面)への熱流束により、プラスの電圧出力信号が発生します。 最高精度の温度測定を実現するために、コネクタブロックを測定対象物に固定し、コネクタブロックの温度が熱流センサにできるだけ近くなるようにします。(付録を参照。)
表面クリーニング	使用時に、表面に汚れがなく滑らかな状態になるようにします。
機械的な取り付け(センサ とケーブルの接合部に負担 がかからないようにする。)	設置時および運用時には、ケーブルに適切な負担緩和を施し、コネクタブロックに大きな力がかからないようにする必要があります。 コネクタブロックに負担緩和を施してセンサを設置します。その後、追加の負担緩和をケーブルに施します。
短期間の設置	センサと測定対象物の表面との間に隙間ができないようにしてください。空気の熱伝導率は $0.02 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ の範囲であり、一般的な接着剤の熱伝導率は $0.2 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 程度です。 $0.1 \times 10^{-3}\text{m}$ の隙間は、センサの実効熱抵抗を200%増加させます。 隙間が生じないように、短期間の設置にはサーマルペーストやグリセロールの使用を推奨します。 テープでセンサを固定します。可能であれば、ガード(受感面の周囲)のみにテープを貼ってください。(図3.2.1参照) センサのコネクタブロックをテープで固定します。 通常、ケーブルは図 5.1.1 のようにタイマウントを使用して、追加の負担緩和を行い固定します。
常設	長期間の設置の場合は、センサと測定対象物の間を建築用シリコンシーリング材、シリコン接着剤、シリコン粘着剤等で埋めてください。 サーマルペーストは乾燥しやすいため、長期間の設置には推奨しません。シリコン接着剤はより安定し、信頼性が高いものとなります。
信号増幅	電気接続の項を参照。

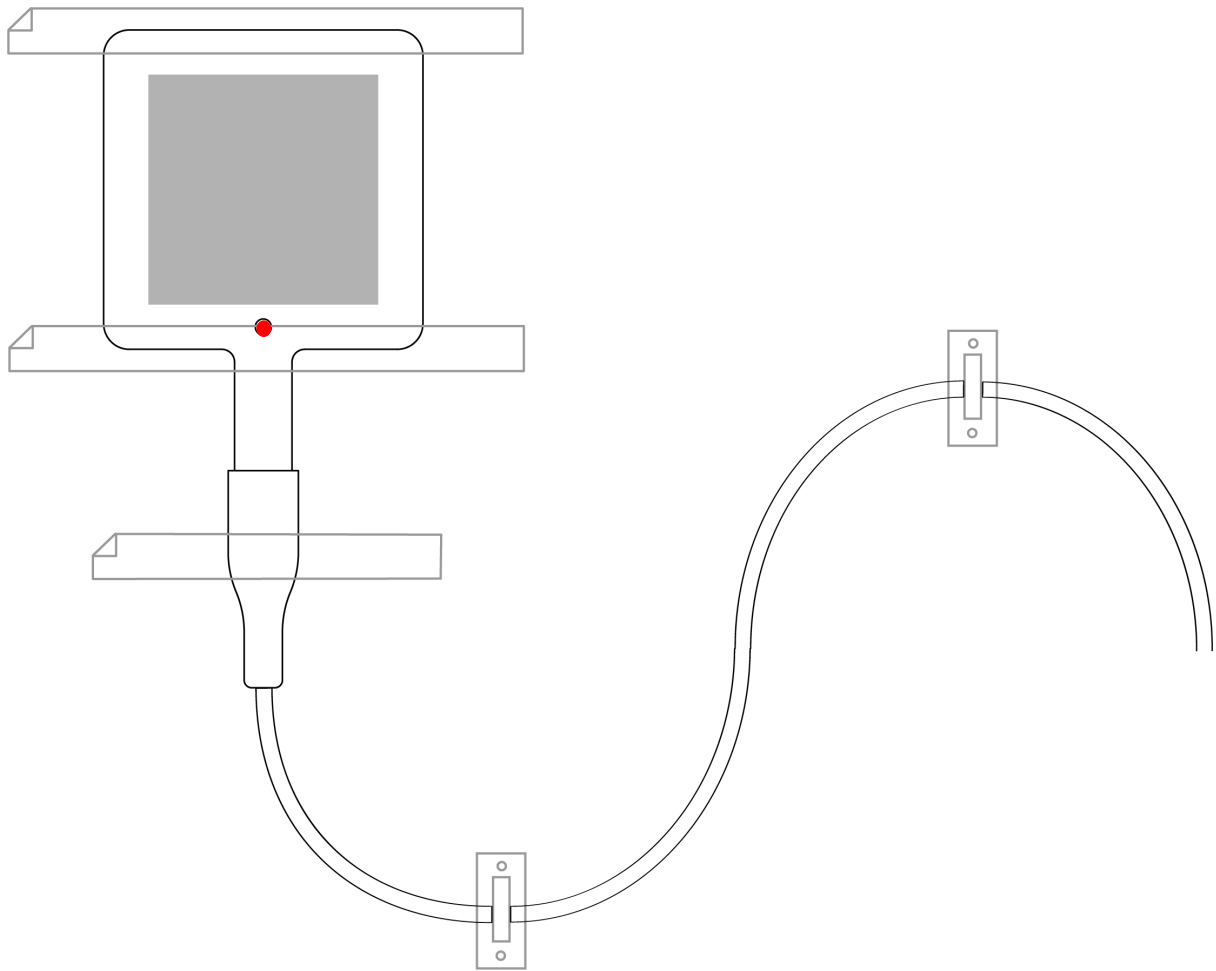


図 5.1.1 CHF-FHF05-50X50モデル(Mサイズ)の設置:センサとコネクタブロックをテープで固定します。両面テープタイプのタイマウントを使用し、ケーブルの負担緩和を行います。表5.1.1に示すように、センサを固定するテープはガード部分に貼るのが好ましく、感部面には貼らないようにします(図5.1.1では灰色の網掛け部分が感部面を示しています)。この図ではドット(上図赤色の部分)がありますが、これは表側であることを示し、裏側は第2章で説明したように、センサを取り付ける対象物に貼り付けられていることを表しています。

熱流センサを取り付ける方法については、アプリケーションノートも参照してください。

5.2 曲面への設置

CHF-FHF05シリーズは、その柔軟性により、曲面への設置に最適です。センサはどの軸周りでも曲げることができます。



図 5.2.1 CHF-FHF05-50X50モデル(Mサイズ)の曲げ加工(パイプへの取り付け例)

曲面での測定は、グリセロールよりもサーマルペーストの使用を推奨する以外は、前章と同じ推奨事項が適用されます。曲面への設置では、通常、ガード部分をテープで貼るだけでは不十分です。センサが固定され、曲面との熱的接触が良好な状態となるように、隙間が生じないようにしてください。必要に応じて、感部面にもテープを使用してください。

表 5.2.1 CHF-FHF05シリーズ薄膜熱流センサの曲面への設置に関する追加推奨事項

曲げ加工	センサは両方向に曲げることができます。
定格曲げ半径	$\geq 7.5 \times 10^{-3} \text{m}$
感度への影響	感度に大きな影響を与えません。

5.3 電気配線

5.3.1 正常な接続

熱流センサは、いわゆるデータロガーに代表される計測システムに接続する必要があります。CHF-FHF05は全モデル、電源を必要としない受動センサです。ケーブルは静電容量性ノイズを拾うことによって計測誤差の発生源として作用してしまいます。データロガーやアンプとセンサの距離をできるだけ短くし、信号線同士を近づけることをお勧めします。ケーブルの延長については、付録を参照してください。

表 5.3.1.1 CHF-FHF05 シリーズの電気配線

信号線	計測システム	
赤	熱流束信号 [+]	電圧入力 [+]
黒	熱流束信号 [-]	電圧入力 [-]
茶	T型熱電対 [+]	熱電対入力 [+]
白	T型熱電対 [-]	熱電対入力 [-]

センサのシリアル番号と感度は、製品証明書とケーブルの端に記載されています。

注記

センサの配線に24V以上の電圧がかかると、センサに損傷を与える可能性があります。

5.3.2 複数のセンサを直列に接続して感度を上げる

複数のセンサを電氣的に直列に接続することができます。その場合、感度は個々のセンサ感度の和になります。以下は、2つのセンサを使用した場合の式です。必要に応じて、2つ以上のセンサを直列に接続し、さらに感度を上げることができます。

$$\Phi = U / (S1 + S2) \quad (\text{式5.3.2.1})$$

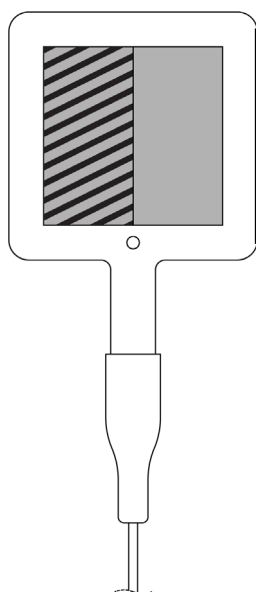
$$U = U1 + U2 \quad (\text{式5.3.2.2})$$

表5.3.2.1 CHF-FHF05シリーズを直列に接続した場合の電気配線表です。この場合、感度は個々のセンサの2つの感度の和となります。同様の方法で、さらにセンサを追加することができます。

センサ	ケーブル	計測システム	
1	赤	信号1 [+]	電圧入力 [+]
1	黒	信号1 [-]	信号2 [+] に接続
1	茶	T型熱電対 [+]	
1	白	T型熱電対 [-]	
2	赤	信号2 [+]	信号1 [-] に接続
2	黒	信号2 [-]	電圧入力 [-] または グラウンド
2	茶	T型熱電対 [+]	
2	白	T型熱電対 [-]	

センサのシリアル番号と感度は、製品証明書とケーブルの端に記載されています。

5.3.3 感部面半面のみを読み出しに対応した接続



CHF-FHF05シリーズは、感部面の左半分または右半分いずれかのみで熱流束を読み出すことができます。この機能は、品質保証目的で使うことができます。センサが正しく取り付けられていれば、一定の割合の信号が半面から発生します。

図 5.3.3.1 斜線部分:CHF-FHF05-50X50(Mサイズ) 感部面の左半分

表 5.3.3.1 CHF-FHF05 シリーズの 感部面全面信号の電気配線

信号線	計測システム	
赤	熱流束信号 [+]	電圧入力 [+]
黒	熱流束信号 [-]	電圧入力 [-] または グランド
茶	T型熱電対 [+]	
白	T型熱電対 [-]	

表 5.3.3.2 CHF-FHF05 シリーズの感部面左半面信号の電気配線

信号線	計測システム	
赤	熱流束信号 [+]	電圧入力 [+]
黒	熱流束信号 [-]	
茶	T型熱電対 [+]	電圧入力 [-] または グランド
白	T型熱電対 [-]	

表 5.3.3.3 CHF-FHF05 シリーズの感部面右半面信号の電気配線

信号線	計測システム	
赤	熱流束信号 [+]	
黒	熱流束信号 [-]	電圧入力 [-] または グランド
茶	T型熱電対 [+]	電圧入力 [+]
白	T型熱電対 [-]	

5.4 データ取得／増幅のための要件

データロガーの選択とプログラミングは、ユーザーの責任で行ってください。CHF-FHF05シリーズとの使用方法の有無については、データ取得及び増幅装置の販売元へお問い合わせください。なお、類似機器用のプログラムがある場合は、それを使用することも可能です。CHF-FHF05は、他の熱流センサや（アナログ）サーモパイル全天日射計と同じように扱うことができます。

表 5.4.1 CHF-FHF05 シリーズの標準構成におけるデータ収集及び増幅装置の要件

微小電圧信号の測定が可能	推奨: $< 5 \times 10^{-6} \text{ V}$ の不確かさ 最小要件: $20 \times 10^{-6} \text{ V}$ の不確かさ (取得／増幅装置の想定される温度範囲全体において有効)
データロガーまたはソフトウェアの機能	データを格納し、熱流束を計算する感度による除算を実効できること $\Phi = U/S$
T型熱電対の測定が可能	推奨: $< \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ の不確かさ
データ取得入力抵抗	$> 1 \times 10^6 \text{ } \Omega$
絶縁検出(警告)	絶縁抵抗計は、使用しないでください。ただし、通常の測定とは別で、センサの応答時間の5倍以上のサンプリングで、電流値を最小に留めて行う場合は除きます。サーモパイルセンサは、絶縁検出に使用される電流に敏感です。電流は熱を発生させ、一時的なオフセットとして、観測値に影響を与えます。

注記

センサの断線確認などのために絶縁抵抗計は使用しないでください。

6 メンテナンス、トラブルシューティング

6.1 推奨メンテナンスと品質保証

CHF-FHF05シリーズは、低メンテナンスで信頼性の高い測定を実現します。信頼性の低い測定結果は、科学的判断により、不当に大きな測定値や小さな測定値を探すことなどで検出されます。信頼性の高い測定結果を得るためには、測定データを定期的に評価し、可能であれば、他の測定結果と比較することを推奨します。

表 6.1.1 CHF-FHF05 シリーズの推奨メンテナンス。可能であれば、データ解析は毎日行ってください。

最小推奨の熱流センサメンテナンス			
	間隔	項目	実施内容
1	1週間	データ解析	測定データと最大可能熱流束または最大予想熱流束との比較や、冗長器などによる他の測定値との比較などを行ってください。 通常または予期されるものから逸脱したパターンや事象がないかどうかを確認してください。
2	6ヶ月	検査	センサ磨耗、ケーブルや芯線の品質、取り付け位置、および設置場所。
3	2年	再校正	6.3 項を参照し、現場での校正標準器との比較による再校正を行ってください。 センサメーカーによる再校正を依頼してください。
4	2年	経年変化評価	機器があと2年使えるか、または交換する必要があるかどうかを判断します。

6.2 トラブルシューティング

表 6.2.1 CHF-FHF05 シリーズのトラブルシューティング

一般	<p>センサに損傷がないか点検してください。 取り付け／設置状態の点検をしてください。 ケーブルがデータロガーに正しく取り付けられているか点検してください。 ケーブルや配線の状態を確認してください。 データロガーのプログラムを確認し、特に感度が正しく入力されているかどうかを確認してください。シリアル番号および感度は、製品証明書およびケーブルの端に記載されています。 黒線[-]と赤線[+]間のセンサの電気抵抗を確認してください。サイズごとの公称感度については、表3.1.1を参照してください。まず一方の極性でセンサの電気抵抗を測定し、次に逆の極性でも同様に測定し、平均値を取ってください。配線の典型的な抵抗は、0.3Ω/mです。典型的なセンサの抵抗は、表3.1.1に記載されているセンサの公称抵抗値に、ケーブル1mごとにケーブルの抵抗 0.6 Ω(行きと帰り分)を足したものになります。抵抗値が無限となった場合、回路の故障が考えられます。抵抗値がゼロまたは 1Ω より小さい場合、短絡が考えられます。</p>
センサから信号が出力されない	<p>センサが熱に反応するかどうかを確認してください: マルチメータをDC電圧測定の最も敏感な範囲(通常は100×10^{-3} VDC範囲以下)に設定します。センサを熱にさらします。裏側(ドットのない側)を熱にさらすと赤線[+]と黒線[-]の間にプラスの信号が発生し、表側(ドットのある側)を熱にさらすと、出力信号が反転します。 センサを予備品と交換し、データ取得を確認してください。</p>
センサの信号が非現実的に高い、または低い	<p>配線の状態を確認してください。 データ受信装置に1×10^{-6} V電圧をかけて1×10^{-6} Vを計測できているか確認してください。測定結果が想定通りか確認します。 データ取得入力側を 10 Ω抵抗で短絡して、データ出力を確認してください。出力が0W/m²に近いかを確認します。</p>
センサ信号が予期しない変動を示す	<p>強い電磁波の発生源があるか確認してください。(レーダー、無線) センサケーブルの状態を確認してください。 測定中にケーブルが動いていないか確認してください。</p>
温度測定で非現実的な値が表示される	<p>データロガーのプログラムでT型熱電対が選択されているか確認してください。 プログラムで正しい基準温度が選択されているか確認してください。 茶線[+]と白線[-]間の熱電対の電気抵抗を確認します。100 Ω 範囲のマルチメータを使用します。まず一方の極性で熱電対の電気抵抗を測定し、次に逆の極性で測定し、平均値を取ります。 銅線の標準的な抵抗値は 0.3Ω/m、コンスタンタン線は 6.5Ω/m です。典型的な熱電対の抵抗値は、熱電対の公称抵抗値 2.5Ω に、ケーブル1mごとにケーブルの抵抗 6.8 Ω(行きと帰り分)を足したものになります。抵抗値が無限となった場合、回路の故障が考えられます。抵抗値がゼロまたは 1Ω より小さい場合、短絡が考えられます。 コネクタブロックの温度と熱流センサの温度ができるだけ近くなるようにしてください。詳細は、付録の温度測定精度に関する項を参照してください。</p>

6.3 現場での校正・確認

熱流センサの推奨再校正間隔は2年です。
現場の熱流センサの再校正は、センサメーカーが行うのが理想です。

校正用基準センサとの比較により、現場での校正が可能です。通常は、並列に取り付けますが、現場センサの上に取り付けることもできます。

現場での校正に関するHuksefluxの主な推奨事項は以下の通りです。

- 1) 現場のセンサと同じブランドの同じタイプの校正基準器と比較する。
- 2) 両者を同じ電子機器に接続することで、電子機器の誤差(オフセットも)を排除する。
- 3) 同じプラットフォーム上にすべての機器を取り付け、機器ごとの温度の器差をなくす。
- 4) 標準的な試験時間: 24時間以上
- 5) 比較に使用される典型的な熱流束値: $> 200 \text{ W/m}^2$
- 6) $\pm 20\%$ 以上の偏差を補正する。それ以下の偏差は許容範囲と解釈し、再計算された感度に使用しない。

また、特性化されたホイルヒーターを使用するなど、ユーザー自身が校正実験を設計することも可能です。

7 付録

7.1 ケーブル延長に関する付録

CHF-FHF05シリーズは、1本のケーブルに4本のセンサケーブルを内蔵しています。標準ケーブルの長さは2mです。より長いケーブルや、ケーブルなしでのご注文も可能です。別売りで2m、5m、10mのケーブルもご用意しています。

センサケーブルは静電容量性ノイズを拾うことによって計測誤差の発生源として作用してしまうことがあります。データロガーやアンプとセンサの距離をできるだけ短くしてください。

電氣的にノイズがない環境では、CHF-FHF05シリーズのケーブルを問題なく延長することができます。適切に延長された場合、センサの抵抗値が非常に低いため外部からの影響を受けにくく、また、電流が流れず抵抗損失がないため、センサ信号は小さいものの、大きく劣化することはありません。

ケーブルと接続の仕様は以下の通りです。

表 7.1.1 CHF-FHF05 シリーズケーブル延長時の推奨仕様

ケーブル	銅線3本、コンスタンタン線1本、AWG28、ソリッドコア、PFAシースで束ねたもの
別ケーブル	2m、5m、10mから選択可能
拡張シーリング	湿気の侵入を防ぐために、接続部が密閉されていることを確認してください。
導体抵抗	$< 0.3 \Omega/m$ (銅線)
ケーブル外径	$2 \times 10^{-3} m$
長さ	ケーブルはできるだけ短くする必要があり、どのような場合でも全長100m未満でなければなりません。
接続	金メッキ防水コネクタを使用するか、新しいケーブルの各芯線とシールドを元のケーブルの各芯線にはんだ付けし、熱収縮チューブと熱溶解接着剤を使用して絶縁してください。 コネクタを使用する場合は、熱電対のケーブルを延長するために専用のT型熱電対コネクタを使用してください。

7.2 CHF-FHF05シリーズ薄膜センサの取り付けに関する付録

CHF-FHF05シリーズは、オプションでケーブルなし、コネクタブロックなしのご注文も可能です。別ケーブルでのご注文も可能です。ケーブルをはんだ付けするか、代わりにFFC/FPC ZIFコネクタを使用して、センサへの接続を確実に行う必要があります。表7.2.1および表7.2.2を参照してください。

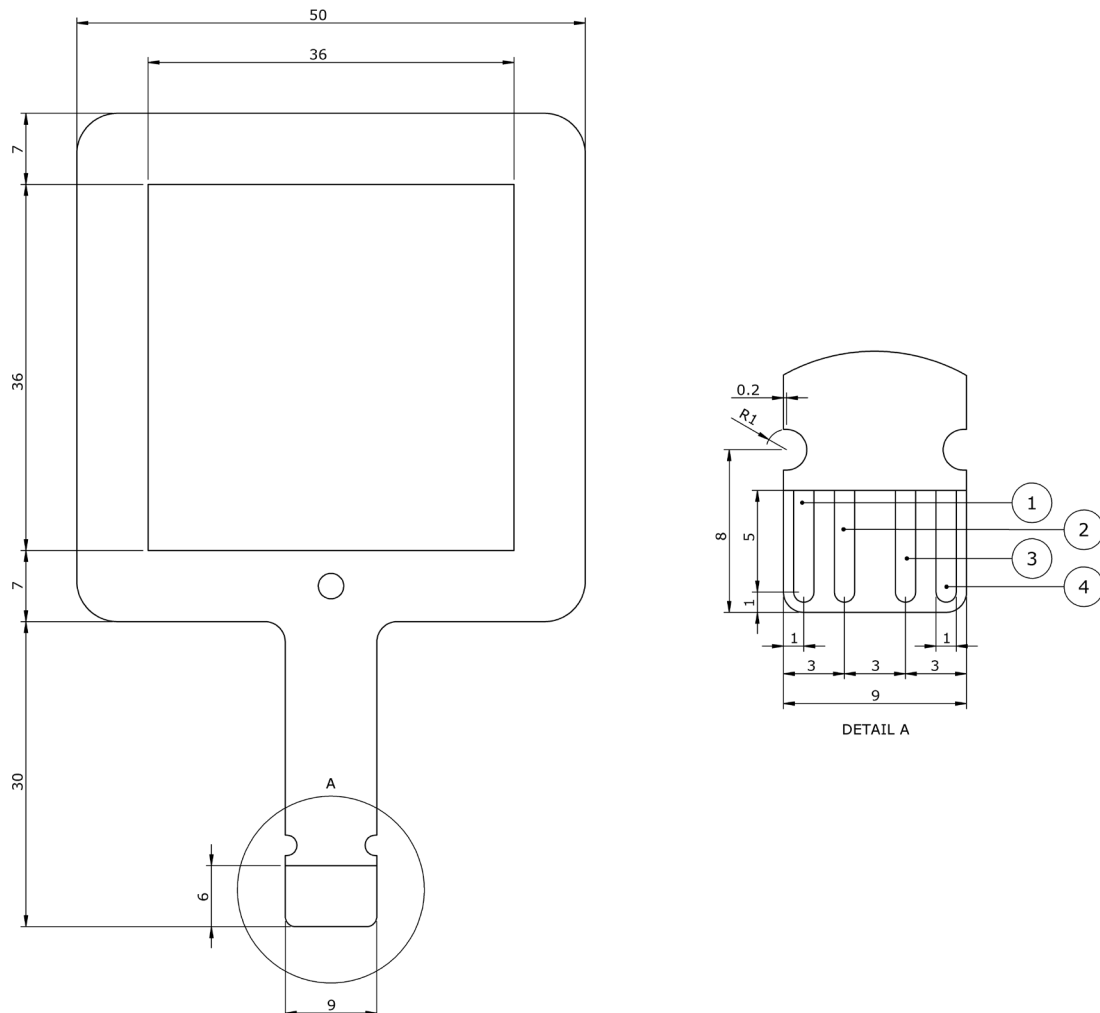


図 7.2.1 CHF-FHF05-50X50(Mサイズ)薄膜センサ:上図DETAIL Aはすべての CHF-FHF05 シリーズで共通です。(寸法は $\times 10^{-3} m$)

- (1) 熱流束信号 [+], 銅
- (2) T型熱電対 [+], 銅
- (3) T型熱電対 [-], コンスタantan ($Cu_{55}Ni_{45}$)
- (4) 熱流束信号 [-], 銅

表7.2.1 CHF-FHF05シリーズ薄膜センサのはんだ付けに関する推奨事項

ケーブル	なるべくAWG28の絶縁電線を使用してください。 別ケーブルをご注文いただけます。 どの接点にどの素材を使用するかは、図7.2.1 を参照してください。
準備	はんだ付け前にイソプロピルアルコール(IPA)でパッドを清掃してください。
はんだ素材	無鉛はんだを使用することが推奨されます。
はんだ付け温度	最大350℃のはんだ付け温度を使用してください。
接触時間	なるべく短くしてください。(2秒以内)
表面	はんだパッド付きセンサを絶縁性の高い場所に置いてください。
負担緩和	エポキシ樹脂でポッティングするなど、はんだ接続部の負担緩和を実施してください。

注記

はんだ付けの際に配線を交差接続させると、センサが短絡します。

注記

はんだ付けの際、過剰な熱ははんだ付けの接触部を損傷する可能性があるため、長時間の接触は避けてください。

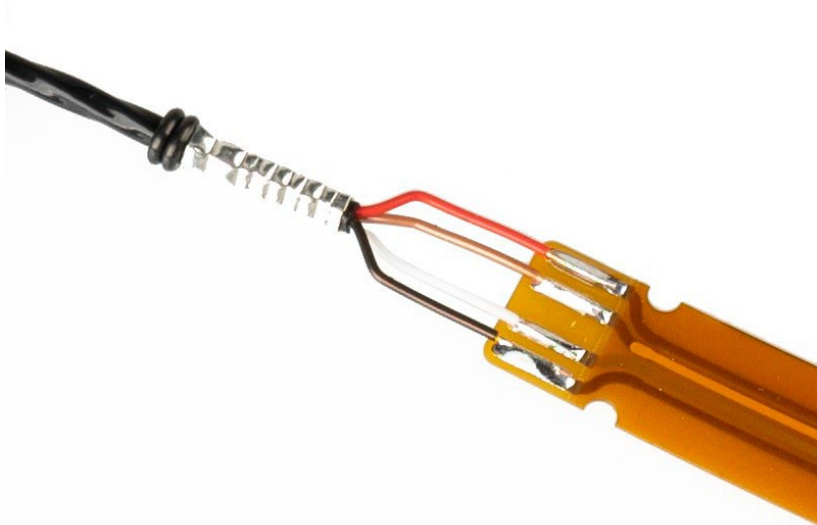


図 7.2.2 CHF-FHF05 シリーズのはんだ付けされた薄膜センサ

表 7.2.2 CHF-FHF05シリーズ薄膜センサのコネクタ推奨事項

コネクタタイプ	FFC / FPC(フラットフレックスケーブル/フレキシブルプリント基板)
コネクタバリエーション	ZIFコネクタ(ゼロ総入力)
コンタクト数	4点
ピッチ	$1 \times 10^{-3} \text{ m}$
外部環境	コネクタ付きCHF-FHF05薄膜センサは、乾燥・安定した環境でご使用ください。

7.3 「黒」「金」ステッカーとの併用に関する付録

「黒」ステッカーと「金」ステッカーは、熱流センサCHF-FHF05シリーズ、CHF-FHF05SCシリーズ用のアクセサリです。「黒」ステッカーを貼ったセンサは、放射熱流束と対流熱流束の両方に反応します。「金」ステッカーを貼ったセンサは放射熱を反射するため、対流熱流束のみに反応します。2つの測定値を差し引くことで放射熱流束を求めることができます。

CHF-FHF05シリーズの各センササイズ用に「黒」「金」ステッカーがあります。

「黒」「金」ステッカーは、ユーザーによる貼付を前提としていますが、オプションとしてCHF-FHF05にステッカーを貼付した状態でご注文いただくことも可能です。

詳しくは、「黒」「金」ステッカーシリーズのユーザーマニュアルをご覧ください。

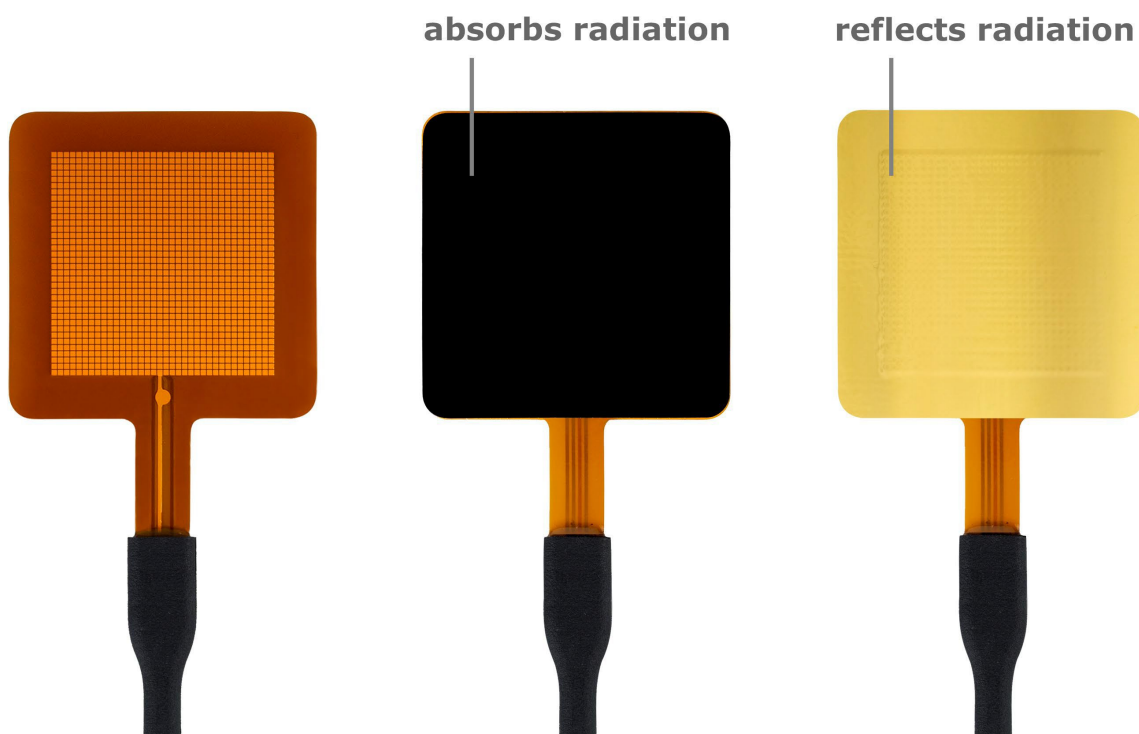


図 7.3.1 CHF-FHF05-50X50(Mサイズ)熱流センサに「黒」「金」ステッカーを貼った状態

表7.3.1 熱流センサCHF-FHF05シリーズの「黒」「金」ステッカー使用時の推奨事項

貼り付け	CHF-FHF05にステッカーを貼る場合は、指向性感度に注意してください。 裏面から表面(ドットのある面)への熱流束により、プラスの電圧出力信号が発生します。
曲面への設置	センサを設置する前に、ステッカーを貼ってください。
設置場所	直射日光を避けてください。
感度への影響	ステッカーは感度に大きな影響を与えません。

7.4 校正の標準に関する付録

ASTM C1130-21「Standard Practice for Calibrating Thin Heat Flux Transducer」6章では、保護熱板法、熱流計法、ホットボックス、薄型ヒーター装置のいずれもが使用可能であると規定されています。Huksefluxでは薄型ヒーター装置を採用しており、X1.1 に従って線形関数を使用してX2.2 に従って公称温度 20 °Cを使用しています。

Hukseflux HFPC 法は、ASTM C1114-06 の第4項に記載されている原理による薄型ヒーター装置を第8.2項および ASTM C1044-16に記載されている片面操作で使用します。

ISOには、熱流センサ校正のための専用の標準作業手順がありません。Huksefluxでは、ASTM C1130-21の推奨事項に準拠しています。

表 7.4.1 ISO および ASTM に準拠した熱流センサの校正

機器の分類と校正に関する標準	
ISO規格	専用の熱流束校正標準はありません。
相当するASTM規格	ASTM C1130-21: Standard Practice for Calibration of Thin Heat Flux Transducers ASTM C 1114-06: Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Thin-Heater Apparatus ASTM C1044-16: Standard Practice for Using a Guarded-Hot-Plate Apparatus or Thin-Heater Apparatus in the Single-Sided Mode

7.5 校正トレーサビリティに関する付録

CHF-FHF05シリーズの工場校正は、SI国際単位系から国際標準を経て、既知の誤差を補正する社内での規定によって各サイズの違いによる発電電圧はすべてトレーサビリティが確保されています。

Hukseflux HFPC法は、ASTM C1130-21の推奨方法に準拠し、ASTM C1114-06の第4項に記載されている原理による薄型ヒーター装置を第8.2項および ASTM C1044-16に記載されている片面操作で使用します。この方法は、第一者適合性評価において、保護熱板法による校正と比較することで検証されています。

7.6 温度依存性の補正に関する付録

CHF-FHF05シリーズの感度は、センサの温度に依存します。CHF-FHF05シリーズの温度依存性は、 $<0.2 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ と規定されています。

校正基準温度は 20°C です。

20°C から大きくずれた温度で測定するユーザーや、広い温度範囲で測定するユーザーは、この温度依存性を補正することが望まれます。

感度の温度依存性を補正するには、以下の測定関数を用います。

$$\Phi = U / (S \cdot (1 + 0.002 \cdot (T - 20))) \quad (\text{式7.6.1})$$

Φ は熱流束(W/m^2)、 U はCHF-FHF05シリーズの電圧出力(V)、 S は 20°C での感度($\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$)、 T はCHF-FHF05の温度です。

感度 S は、製品証明書とケーブルの端に記載されています。

7.7 異なる温度での測定範囲に関する付録

CHF-FHF05シリーズの測定範囲は、ヒートシンク温度20°Cにおいて $(-10 \sim +10) \times 10^3 \text{ W/m}^2$ と規定されています。これは非常に控えめな仕様となっています。

実際には、連続使用時の定格温度である+120 °Cが限界仕様となります。具体的な用途でのセンサ温度 $T(^{\circ}\text{C})$ は、ヒートシンク温度 $T_{\text{heatsink}}(^{\circ}\text{C})$ 、熱流束 $\Phi(\text{W/m}^2)$ 、センサの単位面積あたりの熱抵抗 $R_{\text{thermal,A}}(\text{K}/(\text{W/m}^2))$ に依存します。

$$T = T_{\text{heatsink}} + \Phi \cdot R_{\text{thermal,A}} \quad (\text{式7.7.1})$$

つまり、ヒートシンクの温度が高いほど測定範囲は狭くなります。

$$\Phi_{\text{maximum}} = (120 - T_{\text{heatsink}}) / R_{\text{thermal,A}} \quad (\text{式7.7.2})$$

表7.7.1にヒートシンク温度別の測定レンジを示します。センサがヒートシンクに取り付けられていない場合は、ヒートシンク温度の代わりに周囲温度を使用してください。

表7.7.1 ヒートシンク温度別の測定範囲

ヒートシンク温度	測定範囲
20 °C	$84 \times 10^3 \text{ W/m}^2$
40 °C	$67 \times 10^3 \text{ W/m}^2$
60 °C	$51 \times 10^3 \text{ W/m}^2$
80 °C	$34 \times 10^3 \text{ W/m}^2$
100 °C	$17 \times 10^3 \text{ W/m}^2$

7.8 温度測定精度に関する付録

CHF-FHF05シリーズは、被測定物の温度を測定するための熱電対を内蔵しています。この熱電対は、メインの熱流束測定に加え、二次測定として提供されます。

不確かさ

測定の総合的な不確かさは、熱電対測定の不確かさと冷接点の不確かさの和になります。冷接点の不確かさは、機器の仕様書に記載されています。通常、 $\pm 1^\circ\text{C}$ となっています。

熱電対測定の不確かさ

CHF-FHF05シリーズは、T型熱電対(IEC 60584-1:2013 class 2)仕様の熱電対延長ケーブルを使用しています。茶色の銅線(Cu)[+]と白色のコンスタンタン線($\text{Cu}_{55}\text{Ni}_{45}$)[-]から構成されています。精度は、 T_2 と T_3 の温度差 ΔT_2 に対して $\pm 2\%$ です。(図 7.8.1 参照)。

CHF-FHF05センサ自体では、熱電対接合部(T_1)は、コネクタブロックから熱流センサ感部面の端まで延びた銅とコンスタンタンの配線で構成されています。これらの配線は、電線と比較してゼーバック係数がわずかに異なるため、 T_1 接合部と T_2 接合部間の温度差 ΔT_1 に対して $\pm 5\%$ という高い測定不確かさにつながります。

$T_1 = T_2$ ならば、

$$u_c(T_1) = \text{冷接点} + 2\% (\Delta T_1 + \Delta T_2)$$

T_1 における不確かさ $U_c(T_1)$ は、 ΔT_1 、 ΔT_2 、およびゼーバック係数の温度差測定の不確かさを基とします。

$T_1 \neq T_2$ ならば、組み合わせた標準不確かさは不確かさの伝播則によって計算することができます。

$$U_c(T_1) = 5\% \cdot \Delta T_1 + 2\% \cdot \Delta T_2 \quad (\text{式 7.8.1})$$

簡略化のため、絶対温度($^\circ\text{C}$)測定の精度の最悪の場合である $\pm 5\%$ を、測定の不確かさの仕様としています。

式7.8.1から明らかのように、 T_1 を温度 T_2 に近づけて、 2% の範囲で測定するのが最も精度がよいこととなります。温度測定が重要な場合は、別の温度センサを使用することを検討してください。

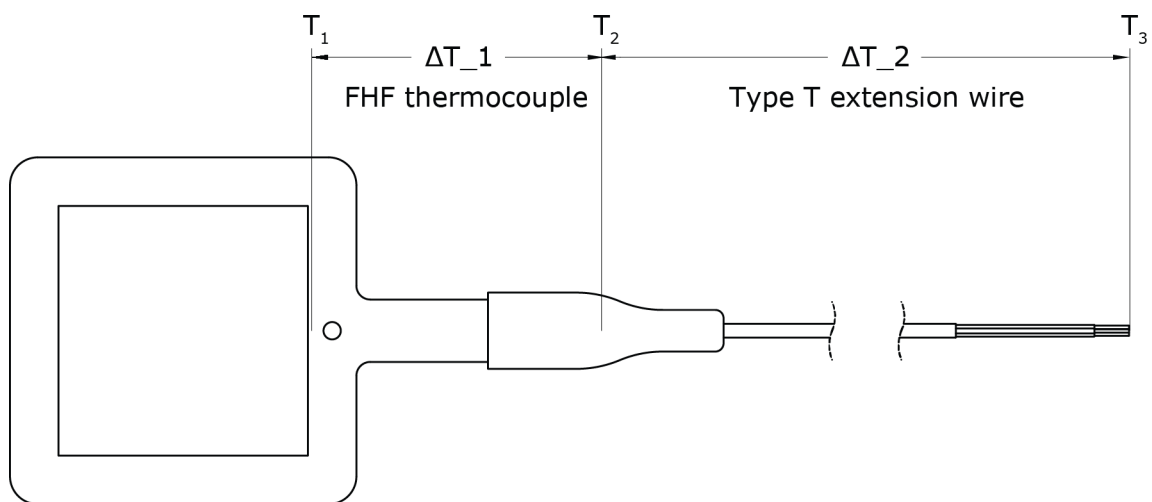


図 7.8.1 CHF-FHF05-50X50(Mサイズ)と熱電対の接合部。不確かさを最小にするために、 ΔT_1 がゼロに近いことを確認してください。

7.9 EU適合性宣言



We, Hukseflux Thermal Sensors B.V., Delftechpark 31, Delft,
The Netherlands

hereby declare under our sole responsibility that:

Product model FHF05 series, all models
Product type Heat flux

sensors conform with the following

directive(s):

2011/65/EU, EU 2015/863 The Restriction of Hazardous Substances Directive

This conformity is declared using the relevant sections and requirements of the following standards:

Hazardous substances RoHS 2 and EU 215/863 amendment known as RoHS 3

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Eric Hoeksema', written over a faint, light blue grid background.

Eric HOEKSEMA
Director
Delft, 09 November, 2022