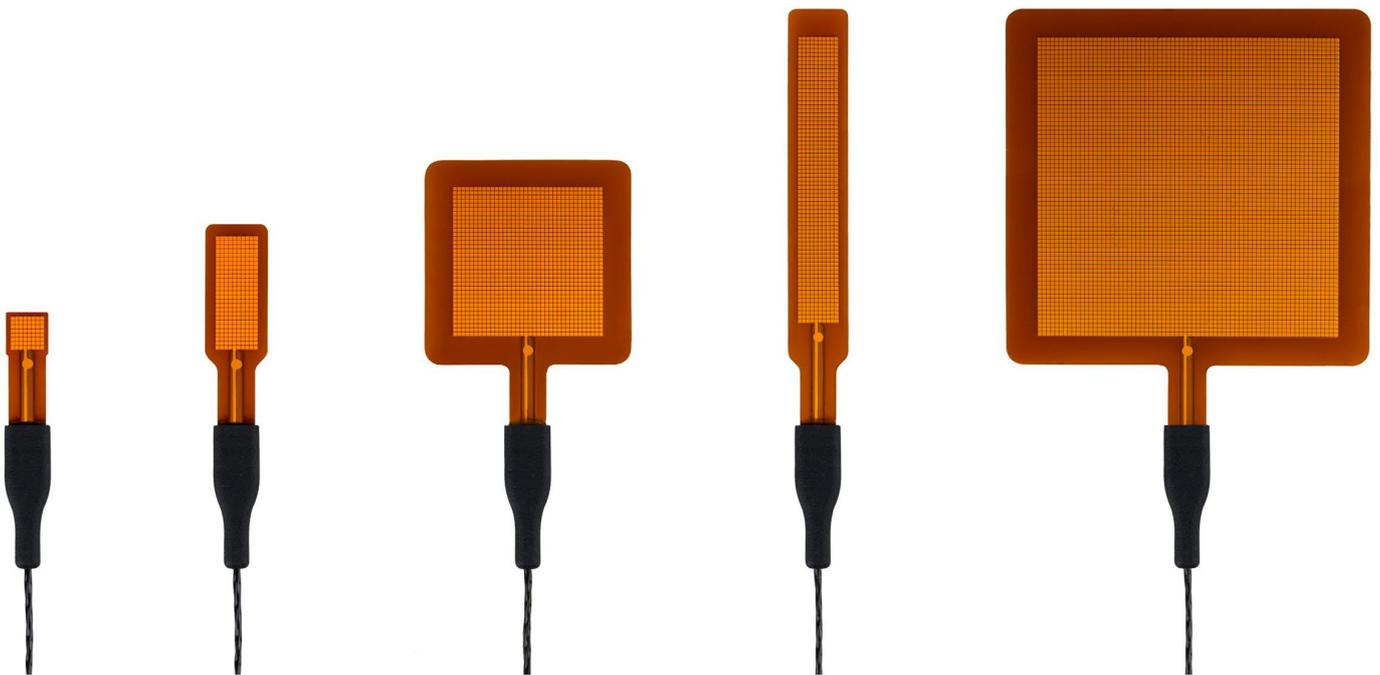


# 薄膜熱流センサ CHF-FHF05シリーズ ユーザーマニュアル

- 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
はじめに.....	5
1 CHF-FHF05シリーズと納品時の確認 .....	8
1.1 CHF-FHF05シリーズ .....	8
1.2 同梱品.....	8
1.3 簡易動作確認.....	9
2 原理と理論 .....	10
2.1 熱流センサとは.....	10
2.2 放射と対流の測定 .....	13
3 CHF-FHF05シリーズの仕様 .....	14
3.1 CHF-FHF05シリーズセンサの仕様.....	14
3.2 CHF-FHF05シリーズの寸法 .....	17
4 使用に関する標準および推奨事項 .....	19
4.1 工業における熱流束測定 .....	19
5 CHF-FHF05シリーズの設置 .....	20
5.1 空隙を避ける理由 .....	20
5.2 サイト選定と設置.....	20
5.3 曲面への設置.....	23
5.4 電気配線.....	24
5.4.1 電気回路図 .....	24
5.4.2 通常接続.....	25
5.4.3 感度向上と測定面積の拡大 — 複数センサの直列接続.....	26
5.4.4 感部面半面のみでの読み出しの接続.....	27
5.5 データ取得／増幅のための要件 .....	28
6 メンテナンス、トラブルシューティング .....	29
6.1 推奨メンテナンスと品質保証 .....	29
6.2 トラブルシューティング.....	30
6.3 検証・校正.....	32
7 付録 .....	33
7.1 ケーブルおよびケーブル延長に関する付録 .....	33
7.2 CHF-FHF05シリーズ熱流センサの設置に関する付録.....	34
7.3 「黒」「金」ステッカーとの併用に関する付録.....	37
7.4 校正の標準に関する付録 .....	38
7.5 校正階層に関する付録.....	39
7.6 温度依存性の補正に関する付録 .....	40
7.7 異なる温度での測定範囲に関する付録 .....	41
7.8 温度測定精度に関する付録 .....	42
7.9 CHF-FHF05シリーズセンサの-200℃までの低温での使用に関する付録.....	44
7.10 真空におけるCHF-FHF05シリーズセンサの使用に関する付録.....	45
7.11 結露、湿潤、水中環境での長期使用に関する付録 .....	46
7.12 CHF-FHF05シリーズセンサの加圧下における使用に関する付録.....	47
7.13 EU適合性宣言 .....	48

## 記号一覧

項目	記号	単位
熱流束	$\Phi$	W/m <sup>2</sup>
電圧出力	U	V
感度	S	V/(W/m <sup>2</sup> )
温度	T	°C
単位面積あたりの熱抵抗	R <sub>thermal,A</sub>	K/(W/m <sup>2</sup> )

## 添字

ヒートシンク特性	heatsink
最大値、仕様限界値	maximum

## はじめに

CHF-FHF05シリーズは、汎用熱流計の標準モデルです。5種類のサイズと感度係数があります。サイズが大きいほど感度が高く、熱流束が平均化される面積が大きくなります。FHFシリーズ熱流センサはすべて柔軟性があり、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、 $\text{W}/\text{m}^2$ 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し、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。

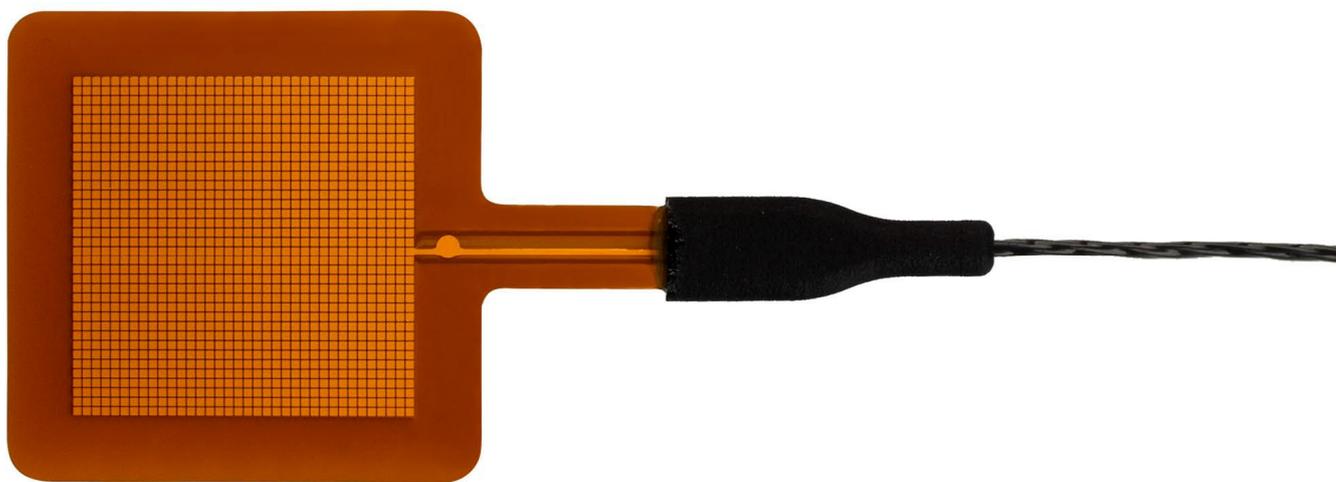


図 0.1 サーマルスプレイダー付き薄膜熱流センサ「CHF-FHF05-50X50モデル(Mサイズ)」:薄型で柔軟性があり、多用途に使用できます。

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<sup>2</sup>)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  $\geq 7.5 \times 10^{-3}$  m)
- 低熱抵抗
- 広い使用温度範囲
- 高速な応答速度
- 広いガードエリア
- 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
- IP保護等級 IP67
- 真空での使用が可能(付録参照)

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シリーズにはオプションで放射を吸収する「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、すべてのサイズに対応したステッカーをご用意しています。

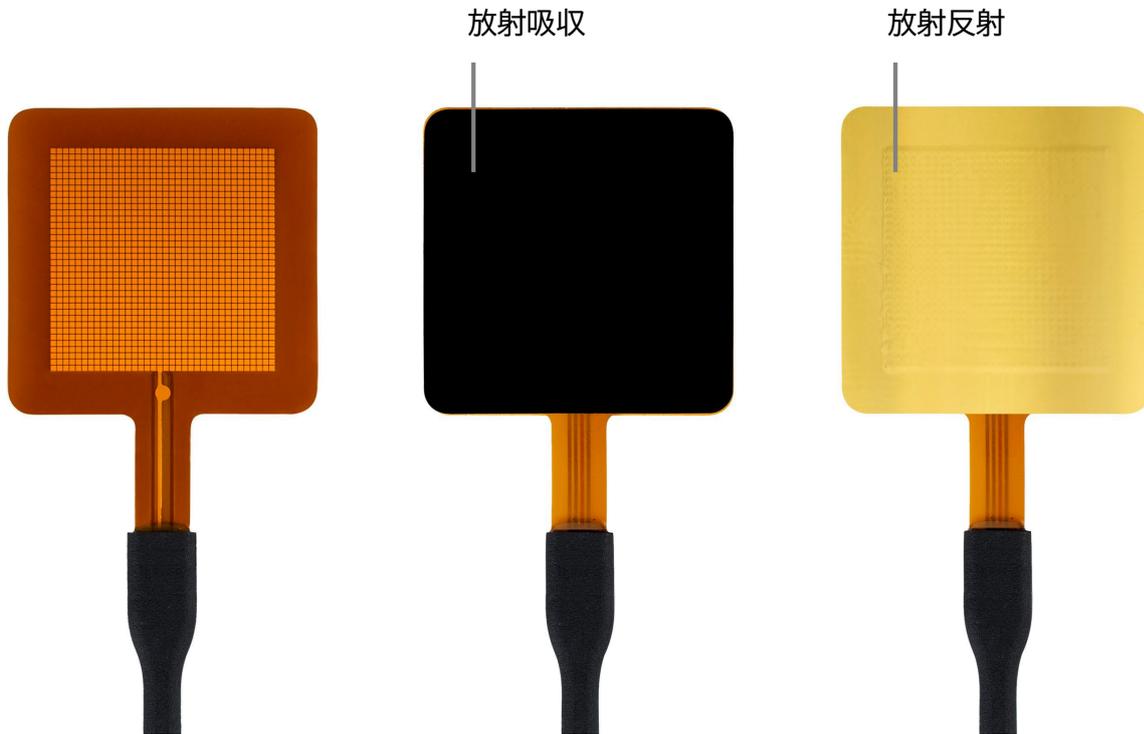


図 0.3 CHF-FHF05-50X50熱流センサ(Mサイズ)(左から、ステッカー無し、BLK-50X50「黒」ステッカー付、GLD-50X50「金」ステッカー付)

# 1 CHF-FHF05シリーズと納品時の確認

## 1.1 CHF-FHF05シリーズ

CHF-FHF05シリーズの標準品は、CHF-FHF05 Mサイズ(50X50mm)に2mのケーブルが付属したものになります。一般的なオプションは次の通りです。

- CHF-FHF05 SSサイズ(10X10mm)
- CHF-FHF05 Sサイズ(15X30mm)
- CHF-FHF05 LGサイズ(15X85mm)
- CHF-FHF05 Lサイズ(85X85mm)
- 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(センサ部のみ)
- 別売ケーブル2m、5m、10m
- 性能検証を行う薄膜型ヒーター(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合します。
2. センサ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。ケーブルの抵抗典型値は 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(往復分)を加えた値になります。抵抗値が無限値の場合、回路の断線が考えられます。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。
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 0.3Ω/m、コンスタンタン配線は 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(往復分)を加えた値になります。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 1Ω 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 $100 \times 10^{-3}$  VDC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 原理と理論

### 2.1 熱流センサとは

熱流センサは、センサを通る熱流束密度を測定します。この量は $W/m^2$  で表され、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あります。

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（プラスチックボディ）の表裏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 $\Phi$ に変換するには、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。

$$\Phi = U/S \quad (\text{式2.1.1})$$

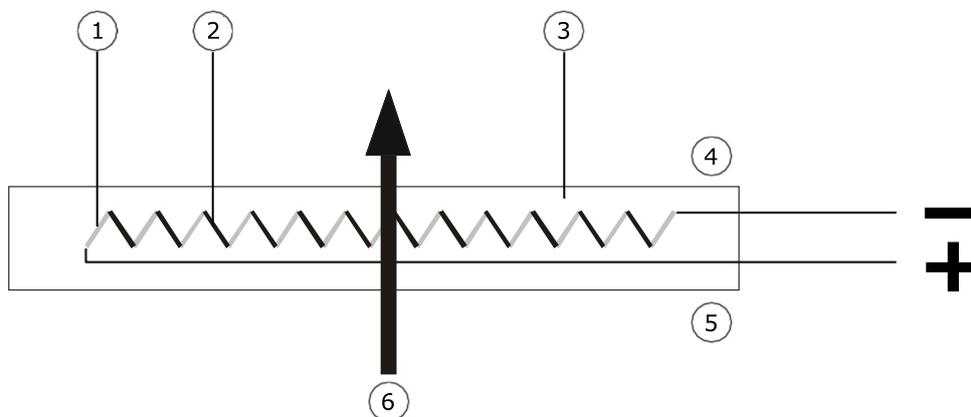


図 2.1 熱流センサの一般的な動作原理。CHF-FHF05に内蔵されているセンサはサーモパイルです。サーモパイルは、2つの金属合金からなる多数の熱電対(①、②)を電氣的に直列に接続したものです。1個の熱電対は、その高温部と低温部の温度差に比例して出力電圧を発生させます。熱電対を直列に並べると、信号が増幅されます。熱流センサでは、高温部と低温部はセンサ面を挟んでそれぞれ反対側に配置されます(④、⑤)。定常状態では、熱流束(⑥)はセンサの温度差とセンサ本体(③)の平均熱伝導率の一次関数となります。サーモパイルは、センサを通過する熱流束に比例した電圧出力を発生させます。センサの正確な感度は、メーカ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
- 300 もしくは 600W/m<sup>2</sup> 程度の熱流束
- アルミ製ヒートシンクの使用

CHF-FHF05は、一般的な工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°C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う、もしくは変化をモニターする。
- 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薄膜型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。詳細は温度依存性の補正に関する付録を参照。
- オプションの「黒」ステッカーをセンサ表面に貼り、放射線を吸収させる。
- オプションの「金」ステッカーをセンサ表面に貼り、放射線を反射させる。

不確かさの評価については、ユーザー自身で実験解析を行い、判断する必要があります。CHF-FHF05シリーズの連続使用時の定格温度範囲は-70~+120 °Cですが、短時間であれば、ピーク温度は-160~+150 °Cまで許容されます。-160 °Cで測定する場合は、Hukseflux社にお問い合わせください。+150°C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。

一つの熱流センサは、複数の小さな熱流センサが集まって校正されたセンサと考えることができます。センサ表面積や感度を大きくしたい場合は、複数のセンサを電氣的に直列に接続することを検討します。電氣的な接続については5.4項を参照してください。

## 2.2 放射と対流の測定

表面では、熱は多くの場合、放射と対流の組み合わせによって伝達されます。対流を正確に測定するためには、センサの熱抵抗をできるだけ低くする必要があります。放射については、センサの光学的な表面特性が周囲を代表するものである必要があります。

以下の点に留意する必要があります：

- 放射は、人間が見ることのできるスペクトル範囲(可視光)だけでなく、可視光以外の遠赤外線も伝達される。
- ブランクメタルは可視光も遠赤外線も反射する。
- 塗料やプラスチックコーティング、木材や石材は可視光域でのそれぞれの色によって吸収する範囲が異なる。これらの素材は通常、遠赤外線ではすべて「黒」として振る舞う。

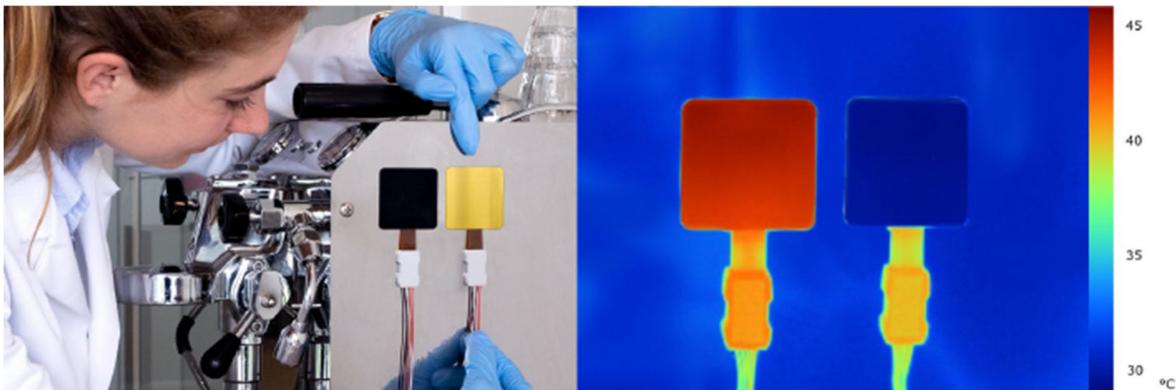


図3.1 エスプレッソマシンの放射熱流束と対流熱流束を測定するためのFHFモデルへの黒ステッカーと金ステッカーの貼付け。マシンの金属表面は研磨されている。右の赤外線画像は、左の黒ステッカー、センサワイヤー、コネクタブロックが放射していることを示しており、赤くなっている。金ステッカーとマシンの金属表面は放射量が少なく、青っぽく見える。同じ表面に取り付けられた両ステッカーの温度は同じ。金ステッカーを貼ったセンサの測定値は研磨された金属表面の熱流束を最もよく表しているが、黒ステッカーを貼ったセンサは熱流束を過大評価している。

## 3 CHF-FHF05シリーズの仕様

### 3.1 CHF-FHF05シリーズセンサの仕様

CHF-FHF05シリーズ熱流センサは、センサの表面を通過す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。サーモパイルセンサを使用することで、FHF05はこの熱流束に比例した微電圧を発生させます。温度測定用にT型熱電対が付属します。また、電源は不要です。FHF05センサは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規格に基づくセンサ種別	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 $20^{\circ}C$ において $(-10\sim+10) \times 10^3 W/m^2$ 詳しい計算方法は付録を参照
感度(公称値)	
CHF-FHF05-10X10(SSサイズ)	$1 \times 10^{-6} V/(W/m^2)$
CHF-FHF05-15X30(Sサイズ)	$3 \times 10^{-6} V/(W/m^2)$
CHF-FHF05-50X50(Mサイズ)	$13 \times 10^{-6} V/(W/m^2)$
CHF-FHF05-15X85(LGサイズ)	$7 \times 10^{-6} V/(W/m^2)$
CHF-FHF05-85X85(Lサイズ)	$50 \times 10^{-6} V/(W/m^2)$
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、正の電圧出力信号が発生する。
表裏誤差	$< 2\%$
感度および測定面積の拡大	複数のセンサを電気的に直列に接続することができる。その結果として得られる感度は、個々のセンサ感度の合計となる。得られる測定値はセンサが覆う面積における熱流束の代表値であり、センサ間の面積における熱流束の代表値である可能性もある。
想定電圧出力	$(-100\sim+100) \times 10^{-3} V$ センサの表裏を入れ替えると、センサの電圧出力が反転する。
測定機能(物理演算が必要)	$\Phi = U/S$
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 $> 10^6 \Omega$
オプション内臓センサ	T型熱電対 1チャンネル
ケーブル定格負荷	$\leq 1.6 kg$
定格曲げ半径	$\geq 7.5 \times 10^{-3} m$
定格温度範囲(連続使用時)	$-70 \sim +120^{\circ}C$ $-200^{\circ}C$ での測定については付録参照
定格温度範囲(短時間)	$120 \sim +150^{\circ}C$
温度依存性	$< 0.2\%/^{\circ}C$ (温度依存性の補正に関する章も参照)
非直線性	$< 5\%$ ( $0 \sim 10 \times 10^3 W/m^2$ )
太陽光吸収係数	0.75
熱伝導率依存性	ごくわずか $< 3\%/(W/m \cdot K)$ $270$ から $0.3 W/m \cdot K$ まで
センサ厚さ	$0.4 \times 10^{-3} m$
センサ熱抵抗	$11 \times 10^{-4} K/(W/m^2)$
センサ熱伝導率	$0.36 W/(m \cdot K)$
応答性(95%)	3秒
センサの長さ・幅	
CHF-FHF05-10X10(SSサイズ)	$(10 \times 10) \times 10^{-3} m$
CHF-FHF05-15X30(Sサイズ)	$(15 \times 30) \times 10^{-3} m$

CHF-FHF05-50X50(Mサイズ)	$(50 \times 50) \times 10^{-3} \text{ m}$
CHF-FHF05-15X85(LGサイズ)	$(15 \times 85) \times 10^{-3} \text{ m}$
CHF-FHF05-85X85(Lサイズ)	$(85 \times 85) \times 10^{-3} \text{ m}$
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
サイズごとのセンサ抵抗範囲	
CHF-FHF05-10X10(SSサイズ)	5~30Ω
CHF-FHF05-15X30(Sサイズ)	50~90Ω
CHF-FHF05-50X50(Mサイズ)	200~300Ω
CHF-FHF05-15X85(LGサイズ)	100~180Ω
CHF-FHF05-85X85(Lサイズ)	800~1300Ω
必要電力	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	ASTM E230に準拠した標準グレードのT型 (IEC 60584 クラス2) ± 1.0 °C または $0.0075 \times  T $ (いずれか大きい方) センサ部とコネクタブロックの温度が同じ場合。 その他の条件については付録を参照。
標準ケーブル長	2m
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、PFA シースで束ねたもの
ケーブル径	$2 \times 10^{-3} \text{ m}$
表面表示	熱流センサー表面にドット表示あり
IP等級	IP67
定格動作湿度範囲	0~100%
長期間にわたる水への曝露	結露、湿気、水中での長期使用は付録参照。
定格動作圧力範囲	薄膜センサ部分のみ: 8 bar 圧力下での使用に関する付録参照 薄膜センサ部分のみ: 真空下での使用が可能 真空下での使用に関する付録参照。
総重量(2mケーブル含む)	約0.5kg
正味重量(2mケーブル含む)	約0.5kg

## 設置と使用

代表的な使用条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実験室や工業での測定</li> <li>・ 数分から数年間の曝露</li> <li>・ ユーザーのデータ収集機器への接続</li> <li>・ センサの定期点検</li> <li>・ センサ温度の継続モニタリング</li> <li>・ イミュニティ、エミッション、耐薬品性に関する特別な要件なし</li> </ul>
推奨センサ数	測定場所1か所につき2個もしくは2個以上
設置	設置に関する章を参照
曲げ角度	曲面への設置も関する章を参照
ケーブル延長	ケーブル延長に関する付録を参照するか、より長いケーブル長のセンサを注文する。
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を参照。
<b>校正</b>	
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"> <li>・ 20°C</li> <li>・ 熱流束300 W/m<sup>2</sup>(モデル:LGサイズ、Lサイズ) または 600 W/m<sup>2</sup>(モデル:SSサイズ、Sサイズ、Mサイズ)</li> <li>・ アルミ製ヒートシンクの使用</li> <li>・ 周囲環境の熱伝導率0.0 W/(m·K)</li> </ul>
校正の有効性	実績的には、保管中に機器の感度が変化することはない。使用時には、「非安定」仕様が適用される。校正基準条件と異なる条件で使用する場合、FHF05の熱流に対する感度は、その証明書に記載されている値とは異なる場合がある。推奨される解決策については、機器の原理に関する章を参照。
現場校正	校正用基準センサと比較することで可能。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。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する。標準的な試験時間は24時間以上。検証と校正に関する項を参照。
<b>測定精度</b>	
測定の不確かさ	全体的な測定の不確かさに関しては、個別にのみ行うことができる。
<b>バージョン/オプション</b>	
ケーブル長を長くしたい場合	オプションのケーブル長から選択する。
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る。詳細は付録を参照。
「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る。
「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る。
<b>アクセサリ</b>	
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。長さ2m、5m、10m。
「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。
「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。

### 3.2 CHF-FHF05シリーズの寸法

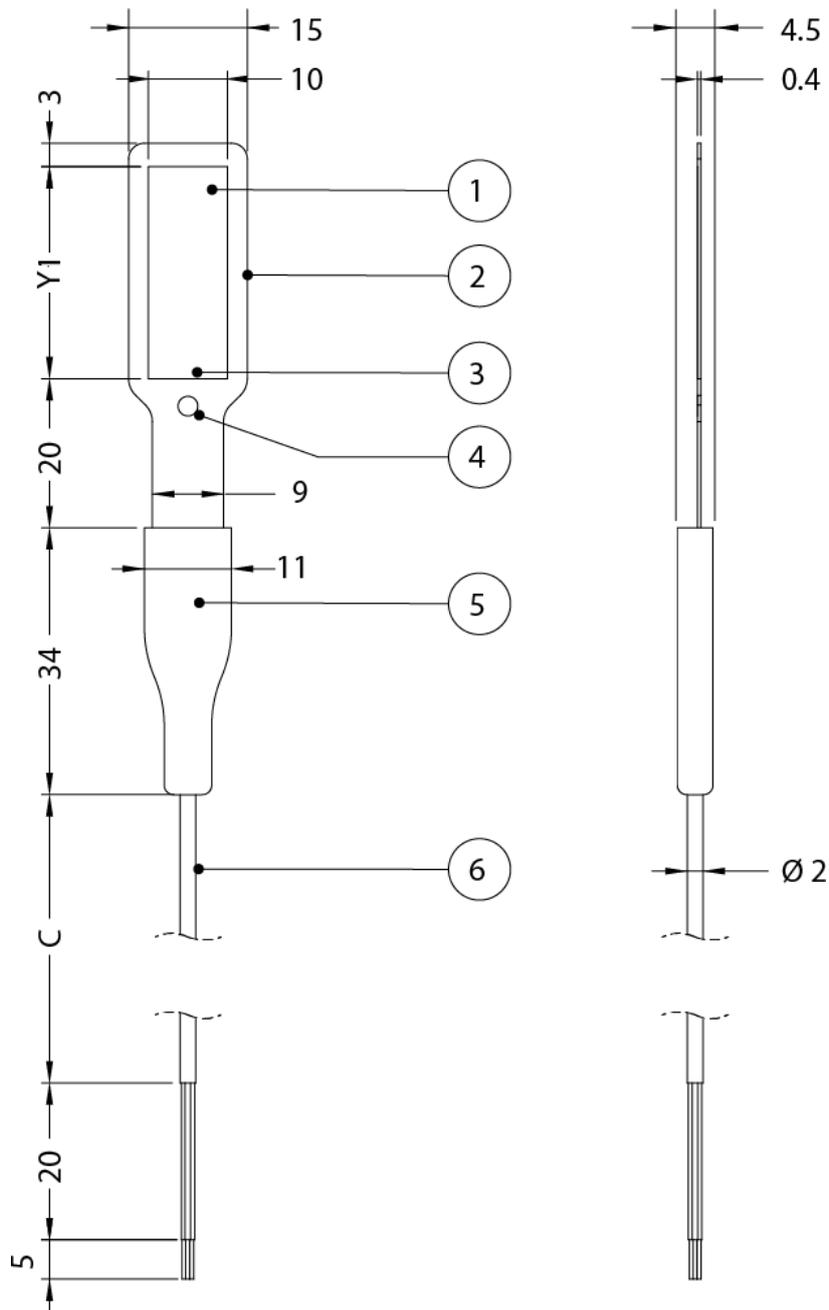


図 3.2.1 CHF-FHF05 15X30モデル(Sサイズ) および 15X85モデル(LGサイズ)。Y1 = 27 または 71 ( $\times 10^{-3} m$ )

- 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  $C = 2 m$ )

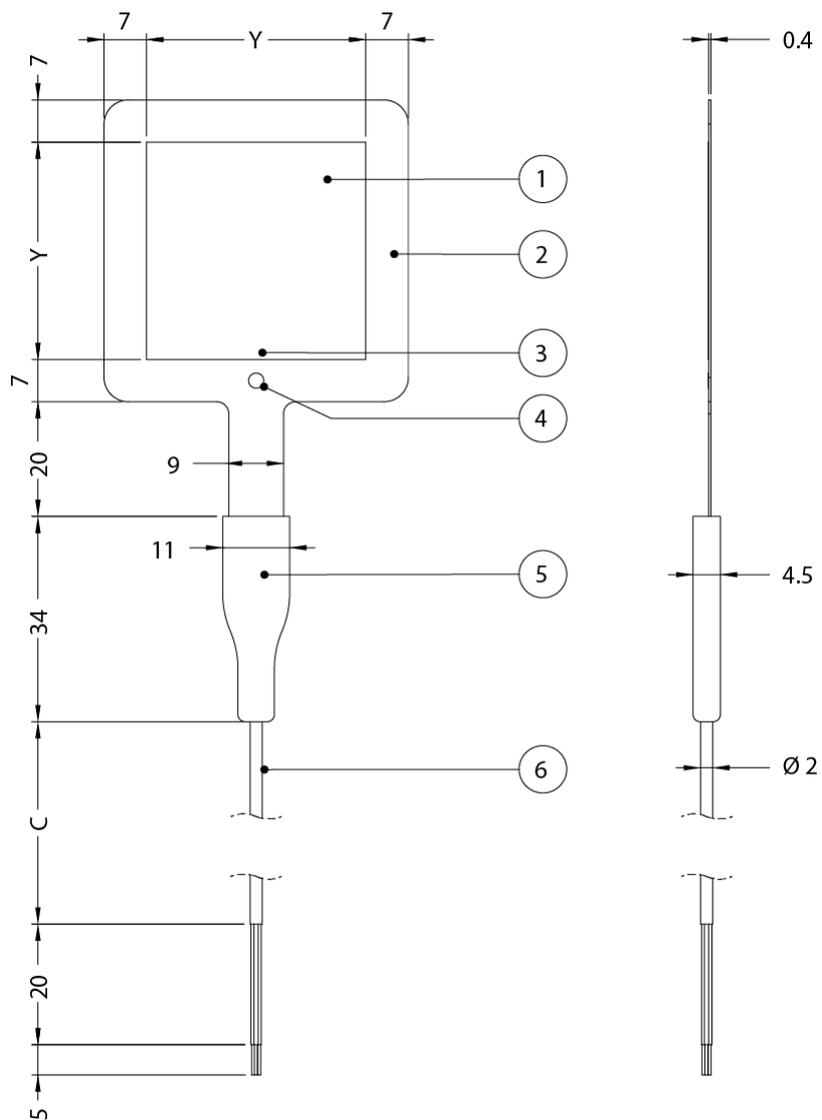


図 3.2.2 CHF-FHF05 10X10(SSサイズ)、50X50(Mサイズ)、85X85モデル(Lサイズ)。Y = 8, 36, 70 ( $\times 10^{-3} m$ )

- 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。

本製品のような熱流センサにおけるISO、ASTM、IEC標準の推奨使用方法はありません。

### 4.1 工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の推定に使用されています。

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)を工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

熱流センサを恒久的に設置して測定を行う前に、センサと測定システム全体を幅広くテストすることをお勧めします。

例えば、

- 恒温槽で温度センサの機能と測定精度を確認する。
- HTRシリーズのような電気ヒーターやヒートシンクを用いた別の実験で熱流束測定の機能と精度を確認する。

上記のような実験で、基準となる温度と熱流センサを選定し、この基準に対する偏差を決定することができます。

### 5.1 空隙を避ける理由

空気の熱伝導率は $0.02 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 程度です。そのため、わずかな空気の層でも熱抵抗はかなり大きくなります。プラスチックや熱伝導ペーストの熱伝導率は $0.2 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 程度なので、同じ厚さの場合、熱抵抗は10分の1になります。例えば、 $0.05 \times 10^{-3}\text{m}$ の空気の層の場合、熱抵抗は $20 \times 10^{-4} \text{ K}/(\text{W}/\text{m}^2)$ となります。これは、FHFセンサの約 $10 \times 10^{-4}\text{K}/(\text{W}/\text{m}^2)$ と比較できるため、小さな空気の層はFHFの熱抵抗をそれぞれ200%増加させます。熱伝導率が空気の約10倍の $0.05 \times 10^{-3}\text{m}$ の充填材を使用すると、熱抵抗は $2.5 \times 10^{-4}\text{K}/(\text{W}/\text{m}^2)$ に減少し、熱抵抗の影響は約20%に減少します。

この例は、高熱伝導テープは必ずしも必要ではないことも示しています。通常の薄いテープを使用すれば十分と言えます。

空気の層は、熱伝導の熱抵抗を高めるだけでなく、まったく異なる放射バランスをもたらす可能性もあります。空気の層は、放射伝達に対する「抵抗」(放射スクリーン)です。空気の層が埋め尽くされることで、抵抗ではなくなります。放射(遠赤外線)熱流が大きい場合は注意が必要です。その場合、空気の層の存在が誤差の主な原因となる可能性があります。空隙のあるセンサは放射シールドとして機能し、理論上の最大値である50%まで局所的な放射伝達を減少させるからです。

### 5.2 サイト選定と設置

表 5.2.1 熱流センサCHF-FHF05シリーズ設置に関する推奨事項

場所	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 分析するプロセスの代表的な場所を選ぶ。</li><li>▪ 可能であれば、日光や雨などにさらさない。</li><li>▪ 通気や横方向の熱流にさらさない。</li><li>▪ 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ない。</li></ul>
代表的な測定の実施/ 推奨されるセンサ数	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 測定場所ごとに2つ以上のセンサ使用を推奨。この冗長性により、測定精度の評価も向上する。</li></ul>
取り付け	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ CHF-FHF05を取り付ける際は、指向性感度に留意する。</li><li>▪ 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生じる。</li><li>▪ 最高精度の温度測定を実現するには、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の温度にできるだけ近くなるようする。(付録参照)</li></ul>
表面のクリーニングと平滑化	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 使用するセンササイズより大きい面積で、きれいで滑らかな表面を作る。</li></ul>
機械的な取り付け	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 設置時および使用時には、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。</li><li>▪ コネクタブロックに負担緩和を施してセンサを設置し、その後、追加の負担緩和をケーブルに施す。</li></ul>

短期間の設置	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ センサと測定対象表面との間の空隙を避けるため、短期間の設置には熱伝導性グリスまたはグリセリンの使用を推奨。</li> <li>▪ センサの設置にはテープを使用。可能であれば、ガード部分(受感部の周囲)のみにテープを貼る。(図5.2.1参照)</li> <li>▪ センサのコネクタブロックをテープで固定する。</li> <li>▪ 通常、ケーブルは追加の負担緩和を行い設置する。例えば、図5.2.1のようにケーブルタイで固定する。</li> </ul>
常設	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 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、シリコン接着剤等で埋める。</li> <li>▪ 熱伝導グリスは乾燥しやすいため、長期間の設置には非推奨。シリコン接着剤はより安定性が高く、信頼性が高い。</li> </ul>
信号増幅	電気接続の項を参照

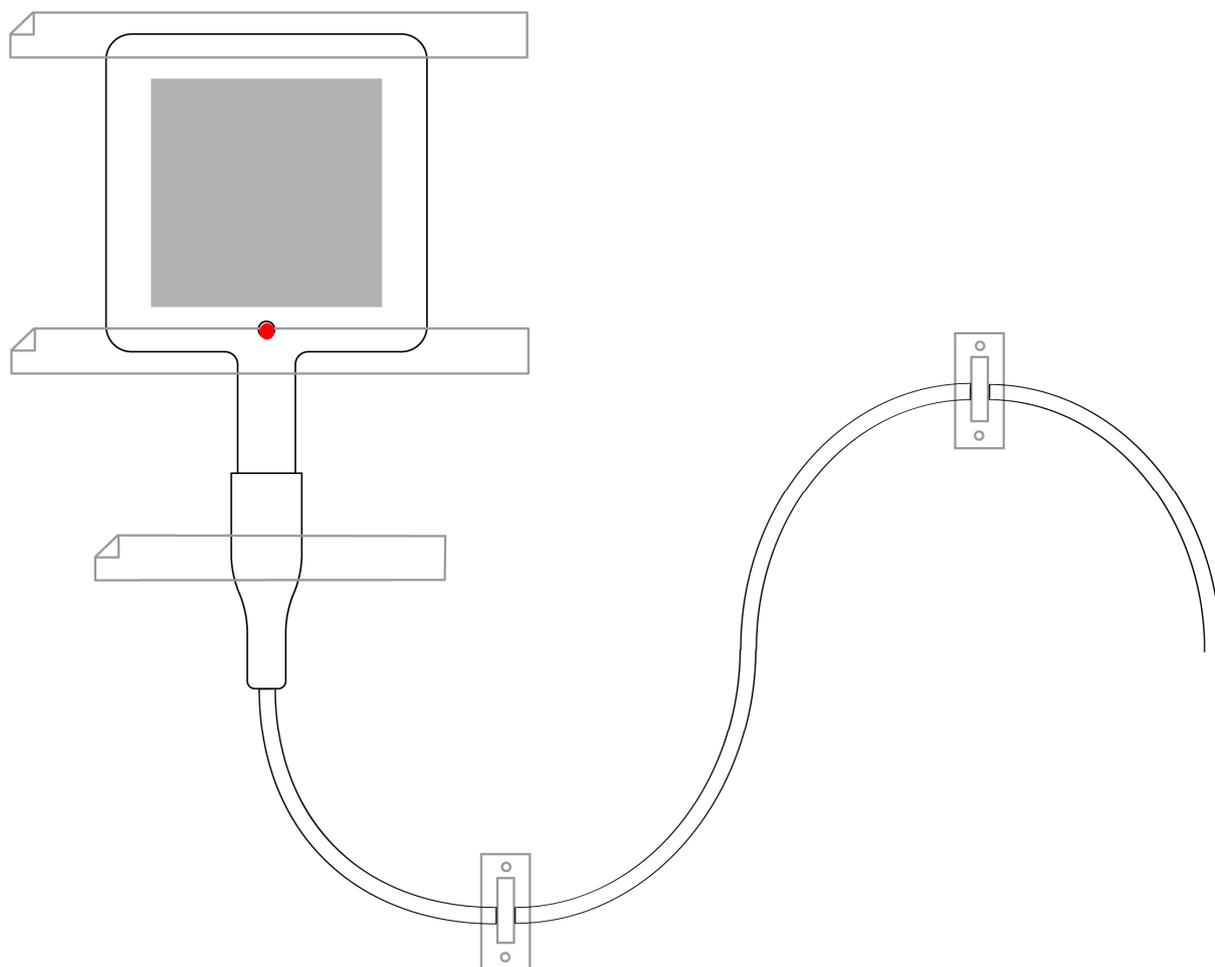


図 5.2.1 センサとコネクタブロックをテープで固定したCHF-FHF05-50X50モデル(Mサイズ)。両面テープタイプのタイマウントを使用し、ケーブルの負担緩和を行います。表5.2.1に示すように、センサを固定するテープはガード部分に貼り、感部面には貼らないことが望ましい。(上図灰色の網掛け部分が感部面)。この図ではドット(上図赤色の部分)がありますが、これは表側であることを示している。

表 5.2.2 熱流センサ設置オプション。センサの固定だけでなく、空隙を埋める役割も果たす。

製品タイプ	期間	温度範囲(°C)	機能	備考
片面テープ	一時的、恒久的	-260~150	固定のみ	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 熱伝導グリスなどの充填剤と併用する。</li> <li>▪ <b>TESA 51408ポリイミド粘着テープ</b>など</li> <li>▪ 市販のほとんどのカプトンテープが適している。</li> </ul>
シリコン接着剤	恒久的、将来的に取り外し可	-45~200	固定、充填	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 市販のほとんどのシリコン接着剤が適している。</li> <li>▪ <b>DOWSIL 3145シリコンシーリング材</b>など</li> <li>▪ シリコンが硬化する前に、通常はテープを使用してセンサを固定する。</li> </ul>
高温用エポキシ	恒久的、取り外し不可	~300	固定、充填	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Duralco 4460 耐熱エポキシ系接着剤など</li> </ul>
グリセリン	短期間	~120	充填のみ	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 短期間の実験用の充填のみ。</li> <li>▪ 安全に使用でき、水に簡単に溶ける。</li> </ul>
歯磨き粉	短期間(数日)	40	充填のみ	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 充填のみ。片面テープなどの固定方法と併用する。</li> <li>▪ 水性</li> <li>▪ 市販のほとんどの歯磨き粉が適している。</li> </ul>
熱伝導グリス	数週間	~177	充填のみ	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 充填のみ。片面テープなどの固定方法と併用する。</li> <li>▪ シリコンオイル系</li> <li>▪ DOW CORNING 340シリコンヒートシンクコンパウンド</li> </ul>

### 5.3 曲面への設置

CHF-FHF05シリーズは、柔軟で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 5.3.1 CHF-FHF05-50X50モデル(Mサイズ)の曲面への取り付け(パイプへの取り付け例)

曲面での測定を行う場案、グリセリンではなく熱伝導グリスの使用を推奨する以外は、設置の推奨事項は前章のものと同じです。曲面への設置では、通常はガード部分をテープで貼るだけでは不十分です。センサが局面に対して確実に固定され、良好な熱接触状態を維持できるように十分なテープを使用してください。必要に応じて、感部面にもテープを使用してください。

表 5.3.1 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	センサは任意の方向に曲げることができる。
定格曲げ半径	$\geq 7.5 \times 10^{-3} \text{m}$
感度への影響	感度への大きな影響はない。

## 5.4 電気配線

### 5.4.1 電気回路図

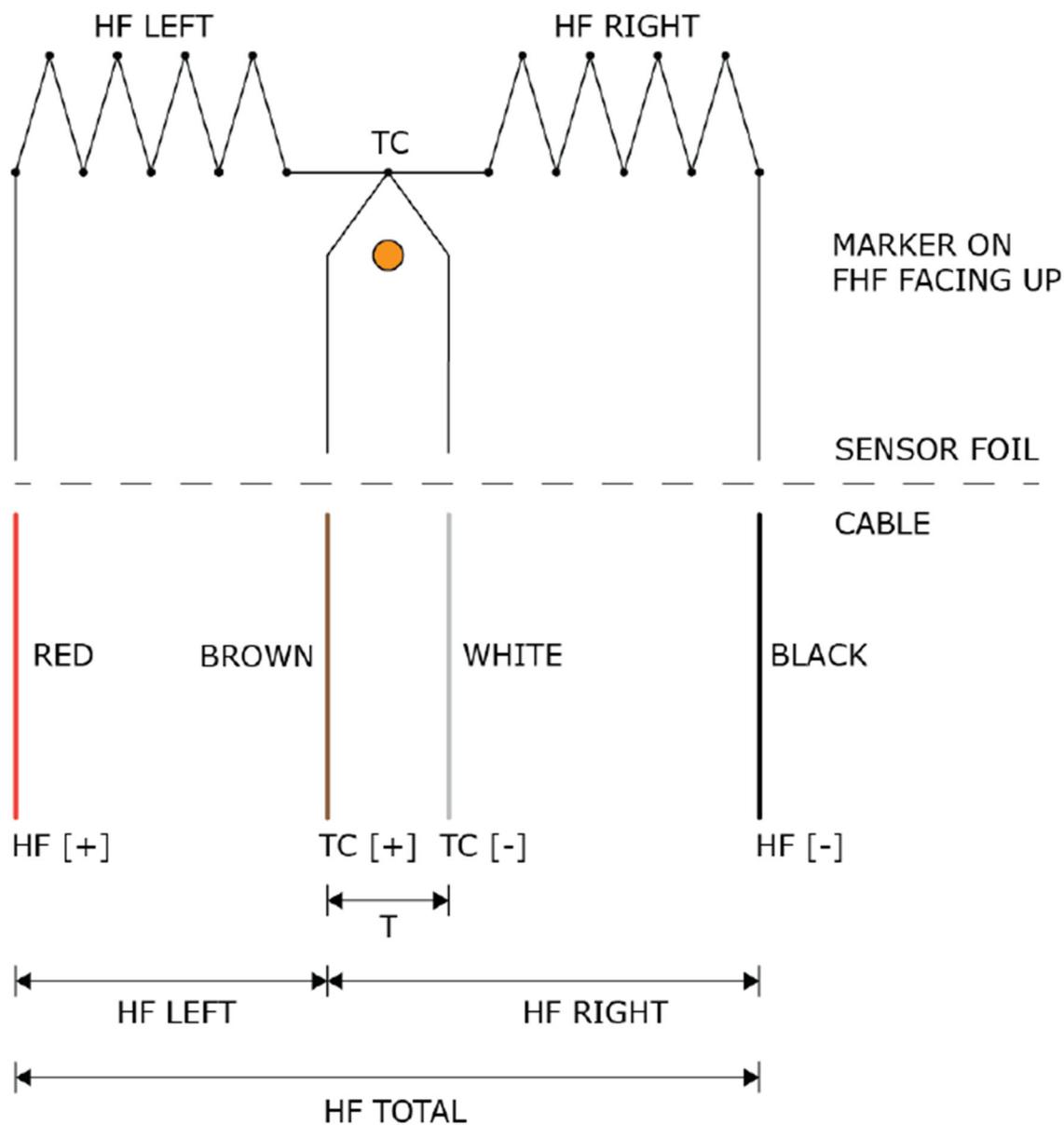


図 5.4.1.1 CHF-FHF薄膜熱流センサの電気回路図

## 5.4.2 通常接続

熱流センサは、通常、いわゆるデータロガーと呼ばれる計測システムに接続する必要があります。CHF-FHF05の熱流および温度センサは、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のノイズを拾うことによって計測誤差の原因となる可能性があります。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することが推奨されます。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

センサのケーブルに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。

### 注記

熱流センサと熱電対は、CHF-FHF薄膜センサ内部で電氣的に接続されています。センサ出力の測定に使用される機器側で熱流信号と熱電対を電氣的に短絡させてないでください。信号出力が50%減少します。

### 5.4.3 感度向上と測定面積の拡大 — 複数センサの直列接続

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、結果として得られる出力は個々のセンサの出力の合計になります。また、感度も個々のセンサ感度の合計値となります。

結果として得られる測定値は、センサが覆う面積の熱流束を代表する値となり、また、センサ間の面積の熱流束を表すこともあります。

以下は、2つのセンサを使用する場合の式です。必要に応じて、2つ以上のセンサを直列に接続し、感度をさらに高めることもできます。

$$\Phi = U / (S_1 + S_2) \quad (\text{式5.4.3.1})$$

また

$$U = U_1 + U_2 \quad (\text{式5.4.3.2})$$

**表5.4.3.1 CHF-FHF05センサ1と2の直列接続。**この場合、感度は個々のセンサの2つの感度を足したものになります。同様の方法で、さらにセンサを追加することができます。

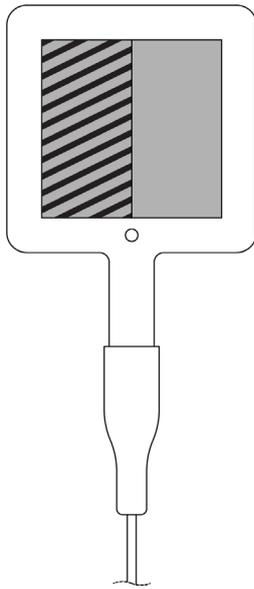
センサ	ケーブル	計測システム	
1	赤	信号1 [+]	電圧入力 [+]
1	黒	信号1 [-]	信号2 [+] に接続
1	茶	T型熱電対 [+]	
1	白	T型熱電対 [-]	
2	赤	信号2 [+]	信号1 [-] に接続
2	黒	信号2 [-]	電圧入力 [-] または グランド
2	茶	T型熱電対 [+]	
2	白	T型熱電対 [-]	

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。

温度測定については、ユーザーは以下の方法が考えられます。

- 一つの熱電対のみを読み取る。
- 複数の熱電対を並列に配置する(複数の熱電対を1つの入力チャンネルに入れる)。これにより、温度の値は信号の加重平均となります。加重は、電気抵抗Rによる1/Rです。ケーブルの長さが等しく、導体の直径も同じ場合、これは通常の平均値となります。

#### 5.4.4 感部面半面のみを読み出しの接続



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ように接続することができます。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（通常は50%付近）の信号が接続した半面から発生します。2つの50%の信号が読みだされる場合、センサの茶線は通常熱電対入力に接続され、そこから2本の銅線を使って同じ信号を2つの50%の熱流束のmVの読み出し入力に接続することができます。

注意：[-]をグラウンドに接続した形で電圧測定を行う場合は、100%または右側50%の信号のみで使用し、左側での読み出しでは使用しないでください。これらは、熱流センサ[-]とグラウンドが共通となります。左側も同様に接続すると、右側からの信号が短絡し、左の信号のみ測定されます。

図 5.4.4.1 斜線部分:CHF-FHF05-50X50(Mサイズ) 感部面の左半分

表 5.4.4.1 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 グラウンド
茶	T型熱電対 [+]	
白	T型熱電対 [-]	

表 5.4.4.2 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 グラウンド
白	T型熱電対 [-]	

表 5.4.4.3 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 グラウンド
茶	T型熱電対 [+]	電圧入力 [+]
白	T型熱電対 [-]	

## 5.5 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機器の販売元へお問い合わせください。なお、類似センサのプログラムがある場合は、それを使用することが可能です。CHF-FHF05は、他の熱流センサやアナログのサーモパイル日射計と同じように扱うことができます。

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。

表 5.5.1 CHF-FHF05 シリーズの標準構成におけるデータ収集及び増幅機器の要件

微小電圧信号の測定が可能	<p>推奨: <math>&lt; 5 \times 10^{-6} \text{ V}</math> の不確かさ            最小要件: <math>20 \times 10^{-6} \text{ V}</math> の不確かさ            (取得／増幅機器の想定される温度範囲全体に対して有効)</p> <p>熱流センサの感度と想定される熱流束レベルに基づいてデータロガーの電圧レンジ設定を選択する。</p> <p>データロガーの電圧レンジを高く設定しすぎると、分解能が低く、オフセットが大きくなり、低レベルの熱流束を検出できなくなる可能性がある。</p> <p>データロガーの電圧レンジを低く設定しすぎるとオーバーレンジになり、熱流束レベルまたは温度の測定に上限が生じたり、データロガーの測定エラーにつながったりする可能性がある。</p>
データロガーまたはソフトウェアの機能	<p>データを格納すること、熱流束を計算するために感度による除算を実効できること。  <math>\Phi = U/S</math></p>
T型熱電対の測定が可能	<p>推奨: <math>&lt; \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}</math> の不確かさ</p>
データ取得入力抵抗	<p><math>&gt; 1 \times 10^6 \text{ } \Omega</math></p>
絶縁検出(警告)	<p>絶縁抵抗計は使用しない。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く。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、電流は熱を発生させ、これが測定されることで一時的なオフセットとして観測値に影響を与える。</p>

## 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によって検出されます。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う。

推奨の熱流センサの最小限メンテナンス			
	実施間隔	項目	実施内容
1	1週間	データ分析	<ul style="list-style-type: none"><li>測定データと最大の有り得る熱流束または最大の想定熱流束との比較や、冗長計器などによる他の測定値との比較などを行う。</li><li>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する。</li><li>温度と熱流束の許容間隔を設定し、測定データをその許容間隔と比較する。</li></ul>
2	6ヶ月	検査	<ul style="list-style-type: none"><li>センサ磨耗、ケーブルや芯線の状態、取り付け、設置場所の点検を行う。</li><li>測定データの繰り返しパターン(昼夜、季節性)を探す。そのパターンを検討する。</li></ul>
3	2年	検証、再校正	<ul style="list-style-type: none"><li>現場での校正基準センサとの比較による検証については、検証と校正に関する章を参照。</li><li>センサメーカーに校正を依頼する。</li></ul>
4	2年	経年変化評価	<ul style="list-style-type: none"><li>機器があと2年は信頼性が確保できるか、または交換すべきか判断する。</li></ul>

## 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

一般事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ センサに損傷がないか点検する。</li> <li>▪ 取り付け/設置状況を点検する。</li> <li>▪ 配線がデータロガーに適切に行われているか点検する。</li> <li>▪ ケーブルの状態を点検する。</li> <li>▪ データロガープログラムをチェックし、特に正しい感度が入力されていることを確認する。FHF センサの感度とシリアル番号は、製品証明書とケーブルの端に記載されている。</li> <li>▪ センサのすべての線間の電気抵抗を点検する。多くの場合、これは信号線のクランプのネジで実施できる。その他のケースでは、信号線をデータ収集から切断する必要がある。</li> <li>▪ 線の組み合わせごとの公称電気抵抗については、以下の表を参照。</li> <li>▪ まず一方の極性で抵抗を測定し、次に逆の極性で測定する。実際の抵抗値は、センサによって、またケーブルの長さによって異なる場合がある。銅配線(赤線、茶線、黒線)の標準抵抗値は <math>0.3\Omega/m</math>、コンスタンタン配線(白線)の標準抵抗値は <math>6.5\Omega/m</math>。抵抗が無限となった場合は回路の故障が考えられ、抵抗が <math>0</math> または <math>1\Omega</math> 未満の場合は短絡が考えられる。</li> </ul>
センサから信号が出力されない	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ センサが熱に反応するかどうかを確認する:マルチメータをDC電圧測定用最も敏感なレンジ(通常は <math>100 \times 10^{-3}</math> VDC以下)に設定する。センサを熱にさらす。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、出力信号が逆転する。</li> <li>▪ センサを予備品と交換し、データを確認する。</li> </ul>
センサの信号が非現実的に高い、または低い	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 配線の状態を確認する。</li> <li>▪ 信号線が金属導体にしっかりと固定され、プラスチック被覆に(部分的に)固定されていないことを確認する。</li> <li>▪ データ受信装置から熱流束の信号線を切断する。</li> <li>▪ <math>1 \times 10^{-6}</math> V レンジで <math>1 \times 10^{-6}</math> V電圧かけて、<math>1 \times 10^{-6}</math> Vを計測できているか確認する。</li> <li>▪ データ収集装置の入力側を <math>10\Omega</math>抵抗で短絡してデータ出力を確認する。出力が <math>0W/m^2</math>に近いか確認する。</li> <li>▪ データロガーの電圧レンジの設定を確認する。</li> <li>▪ 電圧レンジの設定が高すぎる場合、信号の分解能が低くなり、オフセットが高くなる。</li> <li>▪ 電圧レンジの設定が低すぎる場合、信号が最大レベルで頭打ちになり、データロガー側でエラーとなることがある。</li> <li>▪ 熱流束信号と熱電対出力の干渉の可能性がないか確認する。熱流束信号と熱電対は、熱流束センサ内部で電気的に接続されている。熱流束信号と熱電対が(一部)接地されている場合、電気的に短絡回路が発生し、熱流束の信号出力が50%減少する可能性がある。</li> <li>▪ 熱電対の信号線が接続されている状態で、データ収集装置から熱流束の信号線を切り離し、熱電対の読値の挙動を観察する。</li> <li>▪ 熱流束の信号線が接続されている状態で、データ収集装置から熱電対の信号線を切り離し、熱流束の読値の挙動を観察する。</li> <li>▪ 熱電対測定と熱流束/電圧測定に開回路検出がないことを確認する。有効になっている場合は、無効にする。</li> </ul>
センサ信号が予期しない変動を示す	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 強力な電磁放(レーダー、無線)の発生源がないか確認する。</li> <li>▪ 配線状態を確認する。</li> <li>▪ 測定中に信号線が動いていないか確認する。</li> <li>▪ 50 Hz または 60 Hz のノイズフィルタリングをオンにする。(データロガーが対応している場合)</li> <li>▪ データロガーを接地する。</li> </ul>
温度が非現実的な値になる	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ データロガー側でT型熱電対が選択されているか確認する。</li> <li>▪ プログラムで正しい基準温度が選択されているか確認する。</li> <li>▪ 茶線[+]と白線[-]間の熱電対の電気抵抗を確認する。<math>100\Omega</math>レンジのマルチメータを使用する。まず熱電対の抵抗を一方の極性で測定し、次に逆の極性で測定する。測定値の平均値を算出する。銅配線の標準抵抗値は <math>0.3\Omega/m</math>、コンスタンタン配線では <math>6.5\Omega/m</math>。標準抵抗値は、公称熱電対抵抗値の <math>2.5\Omega</math>に信号線1mごとの抵抗 <math>6.8\Omega</math>(往復分)を加えたものになる。無限大の抵抗値は回路の故障が考えられ、<math>0</math>または <math>1\Omega</math>未満の抵抗値は短絡が考えられます。</li> <li>▪ コネクタブロックの温度が、できるだけ熱流束センサの温度に近づくようにする。詳細は温度測定精度に関する付録を参照。</li> <li>▪ データロガーのプログラム設定、信号レンジ設定、およびサンプリング速度を確認する。データファイルについて不明な点がある場合は、データロガーのメーカーに問い合わせる。</li> <li>▪ データロガーで開回路検出を使用しない FHF05センサでは熱電対が熱流束センサに電気的に接続されている。一部の古いデータロガーでは、このような電気的接続を適切に処理できない。デ</li> </ul>

- ータロガーから熱流束の信号線を外し、これが問題の原因となっているかどうかを確認する。
- 熱電対の信号線とデータロガーの接続を確認する。信号線が金属導体にしっかりと固定され、プラスチック被覆に(部分的に)固定されていないことを確認する。
  - 熱電対[－]は接地しない。必要に応じて、熱流[－]のみ接地する。熱流、温度両方のマイナス信号を設置すると、熱流センサが部分的に50%短絡し、信号が約50%減少する。
  - センサが外部からの電氣的ノイズ(ターやエアコンなどの大型機械がセンサに熱風や冷風を吹き付けている場合など)を拾っていないことを確認する。

表 6.2.2 CHF-FHF05 SSサイズの標準ケーブル長(2m)における線間電気抵抗の目安

	赤	黒	茶	白
赤	×	15Ω	10Ω	25Ω
黒		×	10Ω	25Ω
茶			×	15Ω
白				×

表 6.2.3 CHF-FHF05 Sサイズの標準ケーブル長(2m)における線間電気抵抗の目安

	赤	黒	茶	白
赤	×	70Ω	35Ω	50Ω
黒		×	35Ω	50Ω
茶			×	15Ω
白				×

表 6.2.4 CHF-FHF05 LGサイズの標準ケーブル長(2m)における線間電気抵抗の目安

	赤	黒	茶	白
赤	×	160Ω	80Ω	95Ω
黒		×	80Ω	95Ω
茶			×	15Ω
白				×

表 6.2.5 CHF-FHF05 Mサイズの標準ケーブル長(2m)における線間電気抵抗の目安

	赤	黒	茶	白
赤	×	280Ω	140Ω	155Ω
黒		×	140Ω	155Ω
茶			×	15Ω
白				×

表 6.2.3 CHF-FHF05 Lサイズの標準ケーブル長(2m)における線間電気抵抗の目安

	赤	黒	茶	白
赤	×	1100Ω	550Ω	565Ω
黒		×	550Ω	565Ω
茶			×	15Ω
白				×

## 6.3 検証・校正

熱流センサの推奨校正間隔は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。

現場での検証、つまりセンサが目的に適していることの確認は、校正用の基準センサとの比較により可能です。通常は、現場のセンサの横に並べて、あるいはセンサの上に取り付けます。

現場での検証に関する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、同じタイプの校正基準と比較する。
- 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センサを取り付け、センサごとの温度の器差をなくす。
- 4) 標準的な試験時間: > 24時間
- 5) 比較に使用される典型的な熱流束値: > 200 W/m<sup>2</sup>
- 6) ±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すべきで、感度の修正につながるものであってはならない。

また、よく特性化された薄型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 ケーブルおよびケーブル延長に関する付録

CHF-FHF05シリーズは、4本の芯線から成る1本のケーブルが付属します。3本の銅線(赤、茶、黒)と1本のコンスタンタン線(白)で、標準ケーブル長は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。

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原因となることがあります。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は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、センサの電気抵抗が非常に低いため外部からの影響を受けにくく、データロガーの電圧測定回路が高インピーダンスであるため、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。また、電流が流れず抵抗損失もありません。

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

ケーブルおよび芯線	<ul style="list-style-type: none"><li>赤線、茶線、黒線は銅線で延長する。</li><li>白線はコンスタンタン線で延長する</li><li>コンスタンタン線は、T型熱電対測定用の適切なものを使用する。(Cu<sub>55</sub>Ni<sub>45</sub>)</li><li>コンスタンタンおよび銅は、ASTM E230 もしくは IEC 60584 Class 2に準拠した標準グレードのT型を使用する。T型熱電対の延長ケーブルは、熱電対ケーブルとほぼ同じ組成のため、延長が可能。</li><li>Huksefluxが提供する標準ケーブル: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</li></ul>
別ケーブル	2m、5m、10mから選択可能(より長いケーブル長が必要な場合はご相談ください)
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する。
導体抵抗	< 0.3 Ω/m (銅線)
ケーブル外径	2 × 10 <sup>-3</sup> m
長さ	<ul style="list-style-type: none"><li>ケーブルはできるだけ短くする</li><li>全長100m未満まで</li></ul>
接続	<ul style="list-style-type: none"><li>金メッキ防水コネクタを使用するか、延長ケーブルの導線とシールドを元のセンサケーブルの導線とシールドに半田付けし、熱収縮チューブと熱溶解接着剤を使用して防水接続する。</li><li>熱電対の延長コネクタを使用する場合は、T型熱電対専用のコネクタを使用するか、温度差が生じない重金属性のハウジング用コネクタを使用するか、温度差が生じない筐体内に接続部を設置する。</li></ul>

## 7.2 CHF-FHF05シリーズ熱流センサの設置に関する付録

CHF-FHF05シリーズは、オプションでケーブルやコネクタブロックがないご注文いただけます。また、ケーブルを別部品としてご注文することも可能です。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する必要があります。推奨事項については、表7.2.1および表7.2.2を参照してください。

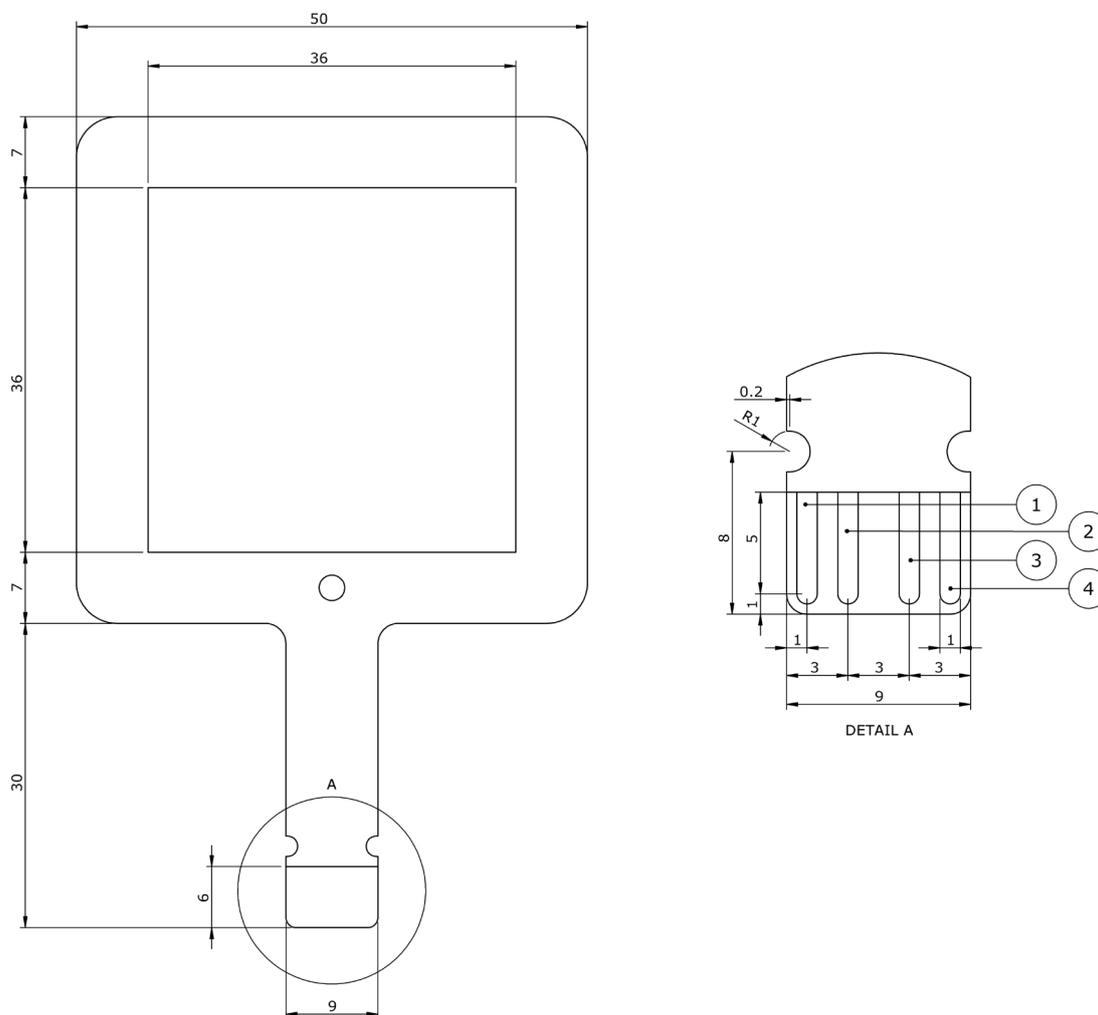


図 7.2.1 CHF-FHF05-50X50(Mサイズ)薄膜センサ:上図DETAIL Aはすべての CHF-FHF05 シリーズで共通です。(寸法は  $\times 10^{-3} \text{ m}$ )

- (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 ( $\text{Cu}_{55}\text{Ni}_{45}$ )
- (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	AWG28以上の絶縁電線を使用する。 どの接点にどのタイプのケーブルを使用するかは、図7.2.1 を参照。
準備	はんだ付け前にイソプロピルアルコール(IPA)で接点を清掃する。
はんだ素材	無鉛はんだを使用する。
はんだ付け温度	最大350°Cのはんだ付け温度を使用する。
接触時間	なるべく短くする。(±2秒)
表面	はんだパッド付きのセンサを絶縁性の高い場所に置く。
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施す。

**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。熱流センサの電圧出力は、最大熱流の50%または0になる場合があります。温度センサの出力は0になり、その後、パネル温度のみを測定する場合があります。

**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。

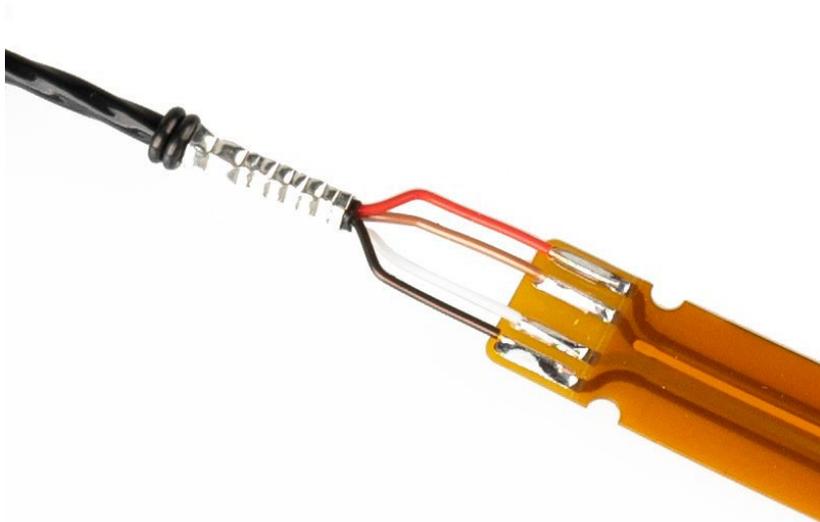


図 7.2.2 はんだ付けされたCHF-FHF05 シリーズ薄膜センサ

表 7.2.2 CHF-FHF05シリーズ薄膜センサのZIF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(ゼロ挿入力)
コンタクト数	8接点(ポジション1、3、6、8のみ使用)
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・安定した環境でのみ使用。

### 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を反射するため、対流熱流束のみを測定します。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。

ステッカーは、CHF-FHF05シリーズの各センサに合わせたサイズがあります。

ステッカーは、ユーザーが貼るように設計されていますが、CHF-FHF05センサにあらかじめ工場でステッカーを貼った状態のものを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。

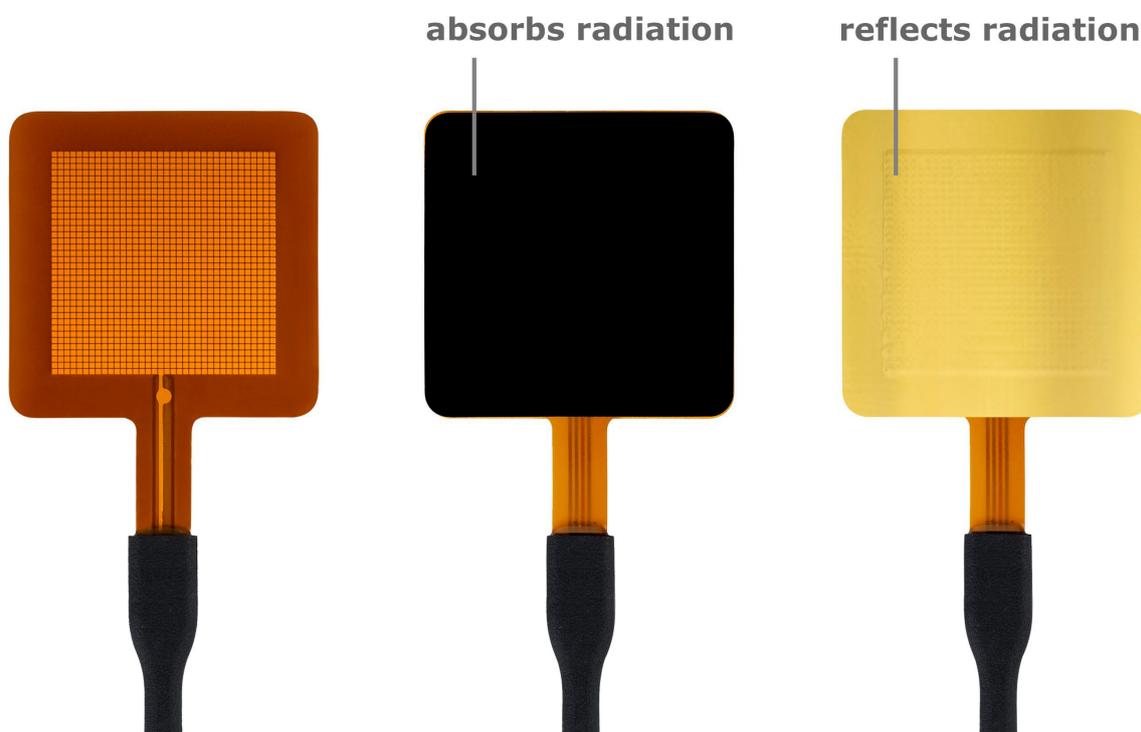


図 7.3.1 CHF-FHF05-50X50(Mサイズ)熱流センサ 「黒」「金」ステッカー付

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、指向性感度に注意する。 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する。
曲面への設置	センサを取り付ける前前に、ステッカーを貼る。
設置場所	直射日光を避ける。
感度への影響	ステッカーは感度に大きな影響を与えない。

## 7.4 校正の標準に関する付録

ASTM C1130-21 Standard Practice for Calibrating Thin Heat Flux Transducer(薄型熱流束変換器の校正のための標準的手法)の第6章では、保護熱板法、熱流量計、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、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従い、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される薄型ヒーター装置に依存します。

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	ISOの専用の熱流束校正標準はない。
同等の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 校正階層に関する付録

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数学的手順によってトレーサブルになります。発生した熱流束の正式なトレーサビリティは、電圧と電流から電力、長さから表面積へとつながっています。

Hukseflux HFPC法は、ASTM C1130-21の推奨方法に準拠し、ASTM C1114-06の第4項に記載された原理に従い、第8.2項および ASTM C1044-16に記載された片面操作の薄型ヒーター装置に依存します。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、 $<0.2\%/^{\circ}\text{C}$ と規定されています。

校正基準温度は $20^{\circ}\text{C}$ です。

$20^{\circ}\text{C}$ から大きく乖離した温度で測定するユーザーや、幅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。

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

$\Phi$ は熱流束( $\text{W}/\text{m}^2$ )、 $U$ はCHF-FHF05シリーズの電圧出力(V)、 $S$ は $20^{\circ}\text{C}$ での感度( $\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$ )、 $T$ はCHF-FHF05の温度です。 $0.002$ または $0.2[\%/K]$ の係数は、感度の温度依存性に関してHuksefluxが現在有する最良の推定値です。

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 $(-10 \sim +10) \times 10^3 \text{ W/m}^2$ です。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。特定のアプリケーションにおけるセンサ温度 $T(^{\circ}\text{C})$ 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は、ヒートシンク温度別の測定範囲です。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の温度を使用してください。

注:計算値は、センサの熱抵抗のみに基づいています。接着剤層の熱抵抗は無視できるものと仮定しています。

表7.7.1 異なるヒートシンク温度に対する測定範囲

ヒートシンク温度	測定範囲
20 °C	$91 \times 10^3 \text{ W/m}^2$
40 °C	$73 \times 10^3 \text{ W/m}^2$
60 °C	$55 \times 10^3 \text{ W/m}^2$
80 °C	$36 \times 10^3 \text{ W/m}^2$
100 °C	$18 \times 10^3 \text{ W/m}^2$

## 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。

温度測定の不確かさは、熱電対測定の不確かさ(センサ特性)、電子機器の電圧測定の不確かさ、基準接点測定の不確かさの和になります。接点の不確かさと電子機器の不確かさは、電子機器の仕様の一部であるべきです。後者の2つは、一般的に影響が小さいため、無視されることが多いことに注意してください。

CHF-FHF05シリーズには、T型熱電対、IEC 60584-1:2013 class 2またはASTMとして指定された不確かさを持つ熱電対延長ケーブルが使用されています。茶色の銅線(Cu)[+]と白色のコンスタンタン線(Cu<sub>55</sub>Ni<sub>45</sub>)[-]から構成されています。測定の不確かさに対する熱電対特性の影響は、冷接点T<sub>2</sub>とセンサの冷接点T<sub>3</sub>の間の温度差の1°Cまたは±0.75%(いずれか大きい方)となります。(図 7.8.1 参照)

ほとんどの用途では、冷接点の不確かさは無視できるほど小さく、温度T<sub>1</sub>とT<sub>2</sub>は同一であると仮定できます。

仕様に記載されたように、拡張された測定の不確かさの合計は次のようになります：

$$u_c(T) = (1^\circ\text{C or } \pm 0.75\% \cdot \Delta T_2) \quad (\text{式7.8.1})$$

より詳細な情報をご希望の場合：FHFセンサ自体では、測定対象にある熱電対接合部(T<sub>1</sub>)は、接続ブロックから熱流センサの感度領域の端まで延びる銅とコンスタンタンの線で構成されています。これらの線は通常の熱電対素材と比較してゼーベック係数がわずかに異なるため、T<sub>1</sub>とT<sub>2</sub>の接合部間の温度差には、±5%のより高い不確かさが生じます。

拡張された測定の不確かさは次のようになります。

$$u_c(T) = \text{冷接点} + 5\% \cdot \Delta T_1 + (1^\circ\text{C or } \pm 0.75\% \cdot \Delta T_2) \quad (\text{式7.8.2})$$

式7.8.2から、精度が最も高い、すなわち2%の範囲内であるのは、T<sub>1</sub>が温度T<sub>2</sub>に近ければ、つまりΔT<sub>1</sub>=0の場合であることが明らかです。温度測定が重要である場合は、より精度の高い別の温度センサの使用を検討してください。

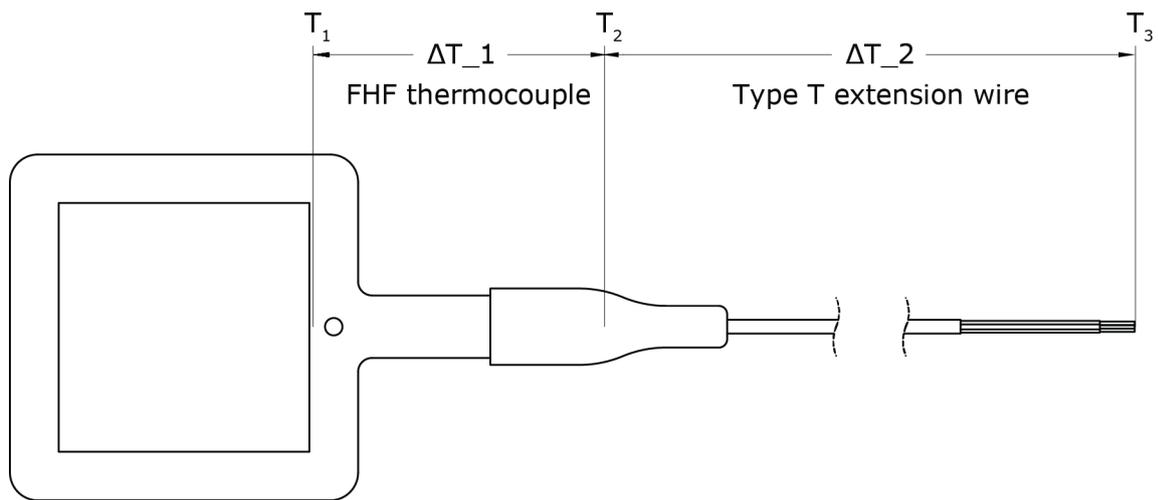


図 7.8.1 CHF-FHFセンサと熱電対接合部。温度測定の不確かさを最小にするために、 $\Delta T_1$ がゼロに近いことを確認してください。

## 7.9 CHF-FHFセンサの-200℃までの低温での使用に関する付録

CHF-FHF05シリーズの下限の定格温度範囲は-70℃ですが、実際にはユーザーにより-70℃以下の極低温環境で使用されています。-70℃より低い温度での使用は可能ですが、Huksefluxでは-200℃までの使用を正式には明示していません。これは、このような温度でのセンサの使用は、CHF-FHFセンサに限らず常に高いリスクを伴うためです。-70℃より低い温度での使用は、ユーザーの責任の下、行ってください。

### 注記

定格温度である-70℃よりも低い温度では、CHF-FHF05、CHF-FHF05SC、CHF-FHF06薄膜熱流センサは、定格温度範囲での使用時よりも硬く、また脆くなる可能性があります。低温での使用は可能ですが、ユーザー自身の責任の下、使用してください。

-70℃以下での使用実例:

- Huksefluxでは、-80℃でテストし、問題がないことを確認しています。
- CHF-FHF05センサは、液化天然ガス(-160℃)の環境下で問題なく使用されています。

-70℃以下での使用に関する指示:

- 薄膜センサ部のみを使用し、ケーブルコネクタブロックは使用しないでください。
- 薄膜センサ部とケーブル間のケーブル接続ブロックはポッティングされており、-70℃より低温には対応していません。それ以下の温度では、ケーブル接続ブロックは使用せず、薄膜センサ部のみを使用してください。
- CHF-FHF薄膜センサは、カプトンエッチングホイール技術を使用して製造されています。使用されている素材は、カプトン(ポリイミド)、アクリル接着剤(CHF-FHF06には使用していません)、およびセンサの金属です。この技術は一般的に、-200℃までの使用に適していると考えられます。
- -70℃以下の温度では、CHF-FHF薄膜センサは硬く、脆くなります。破損の可能性があるため、低温ではセンサ位置の変更をしないことが重要です。低温では、センサは柔軟性を失いますが、それ以外は通常通りに機能します。
- CHF-FHFの標準ケーブルは個別の製品として注文することができます。ケーブルはPFA製で、温度定格は-200~+260℃です。
- 信号線をはんだ付けする際は、マニュアルの指示に従ってください。必要に応じて、適切なポッティング材料を使用して、はんだ付けした接続部を封止してください。
- 小さな信号が想定され、センサがまだ機能しているか、あるいは安定性をモニタしたい場合は、CHF-FHF05SCセンサを使用できます。ヒーター素材は薄膜センサと同じで、はんだ付けも同様です。SCバージョンは特定のCHF-FHF05センササイズのみで利用可能です。
- CHF-FHFセンサの感度は、低温では非常に低くなる場合があります。センサの温度依存性は、 $<0.2\% / ^\circ\text{C}$ です。つまり、-200℃では、室温での校正基準状況と比較して感度の64%が残ります。ユーザーは、マニュアルの近似値を使用して、感度の温度依存性を補正することができます。これは、感度の温度依存性を $+0.2\% / ^\circ\text{C}$ として使用します。より高い精度が必要な場合は、Huksefluxが+50℃から-30℃の感度を決定し、ユーザーはそれを応用して使用する温度を推定することができます。これは、追加料金で利用できる追加サービスとなっています。
- オプションの「黒」ステッカーの使用は-40℃までとなります。ただし、赤外線では、通常のカプトンセンサの表面が黒色のエミッタ及び吸収体として機能するため、「黒」ステッカーは必要ない場合があります。
- オプションの「金」ステッカーの使用は-185℃までとなります。

## 7.10 真空におけるCHF-FHFセンサの使用に関する付録

CHF-FHFセンサシリーズは、ユーザーによって真空環境下で使用することに成功しています。Huksefluxは、真空における使用については規定していません。これは、CHF-FHFセンサに限らず、真空におけるセンサの使用は常に高いリスクが伴うためです。真空における使用は可能ですが、ユーザー自身の責任の下に行ってください。

### 注記

CHF-FHF05、CHF-FHF05SC、CHF-FHF06薄膜熱流センサの真空下での使用は可能ですが、ユーザー自身の責任において使用してください。

真空下での使用に関する指示:

- 薄膜センサ部のみを使用し、ケーブルコネクタブロックは使用しないでください。
- 薄膜センサ部とケーブル間のケーブルコネクタブロックはエポキシでポッティングされています。エポキシは、真空下で揮発ガスを発生させる可能性があります。薄膜センサ部は揮発ガスを発生させません。
- CHF-FHF薄膜センサは、カプトンエッチングホイール技術を使用して製造されています。使用されている素材は、カプトン(ポリイミド)、アクリル接着剤(CHF-FHF06には使用されていません)、およびセンサの金属です。この技術は一般的に、真空環境での使用に適していると考えられます。CHF-FHF06薄膜の揮発ガスについては明示されています。
- センサは真空下で通常通り動作します。
- CHF-FHFの標準ケーブルは個別の製品として注文することができます。これは、真空化での使用に正式に適合しているPFAで作られています。
- 信号線をはんだ付けする際は、マニュアルの指示に従ってください。必要に応じて、適切なポッティング材料を使用して、はんだ付けした接続部を封止してください。
- CHF-FHF06薄膜センサモデルは、正式な揮発ガス仕様(低揮発ガス、喪失量損失0.36%、NASA-JSCによる収集揮発性凝縮性物質(CVCM)0.01%)を満たしています。

## 7.11 結露、湿潤、水中環境での長期使用に関する付録

CHF-FHFユーザーは、結露、湿潤、水中の条件下で、また長期間、高水圧下でもCHF-FHF05、CHF-FHF05SC、CHF-FHF06センサを使用してきました。しかし、Huksefluxは、IP67規格を正式に明示していますが、その使用時間は30分と短く、また水圧も0.5mと限られています。長期間の濡れた状態での使用は可能ですが、常にリスクが高く、このような条件下でのセンサの使用はユーザー自身の責任となります。

成功事例としては、以下のようなものがあります。

- 土中に埋められ、雨水にさらされる。
- 深海パイプラインの模擬サービス試験の一環として高圧水容器に設置(薄膜センサ部のみ、ケーブルやコネクタブロックやセンサケーブルは含まない)。ほとんどの場合、ユーザーは薄膜センサに独自の接続を施す。
- 住宅の壁面に取り付けられ、頻繁に雨水にさらされる。

### 注記

IP67(水深0.5m、30分間)を超えるような濡れた環境下でのCHF-FHF05、CHF-FHF05SC、CHF-FHF06センサの使用は可能ですが、ユーザー自身の責任において行ってください。

湿潤条件下での使用に関する指示:

- 薄膜センサの素材およびポッティングされたケーブルコネクタブロックの素材は、限られた量の水分のみを吸収することができます。しかし、この吸収された水分に長期間さらされると、薄膜センサの合金およびケーブルの導体が徐々に腐食する可能性があります。腐食は感度低下につながる可能性があります。腐食により電気抵抗が増加するため、電気抵抗の変化を測定することで腐食に気づく可能性があります。
- センサケーブルは防水ではありません。ケーブル末端は開放されています。湿気の多い環境で使用する場合、ケーブルおよび/または芯線被覆に損傷があると、導体が直接水にさらされる可能性があります。ほとんどの場合、水にさらされても影響はありません。水の電気抵抗は高い傾向にあります。しかし、水が導通する場合、例えば塩分が含まれている場合、グラウンドループや信号の損失につながる可能性があります。
- センサとケーブルの状態を定期的に点検します。
- 信号線をはんだ付けする際は、マニュアルの指示に従ってください。水にさらされる場合は、適切なポッティング材料を使用して、はんだ付けした接続部を封止してください。

## 7.12 CHF-FHFセンサの加圧下における使用に関する付録

Huksefluxでは、CHF-FHF05薄膜センサの使用を8barまでの均一圧力と規定しています。CHG-FHF06モデルの場合は、25barまでの均一圧力が仕様となっています。この圧力は、圧力下の空気または液体によるもの、或いはセンサが固定されている場合の機械的な圧力によるものです。

### 注記

CHF-FHF05、CHF-FHF05SC薄膜センサを8bar以上の圧力で、CHF-FHF06薄膜センサを25bar以上の圧力下で使用することは可能ですが、ユーザー自身の責任において行ってください。

CHF-FHF05センサの製造工程では、薄膜のラミネート加工を8barの圧力で行っています。そのため、定格動作条件が8barまでであれば安全です。以前は、非常に類似した熱流センサが40barで製造されていたため、Huksefluxでは40barまでの性能に妥当な自信を持っていますが、8barを超える圧力下での使用はユーザー自身の責任となります。

CHF-FHF06センサは、より高圧力で製造されており、またアクリル接着剤層を含んでいません。剛性が高く、25barまで使用できます。

加圧下での使用に関する指示:

- 圧力仕様は、薄膜センサ部のみに適用されます。ケーブルやコネクタブロックには適用されません。
- 圧力仕様は、均一な圧力にのみ適用されます。センサの一点に機械的な圧力を加えることは避けてください。
- 信号線をはんだ付けする際は、マニュアルの指示に従ってください。水にさらされる場合は、適切なポッティング材料を使用して、はんだ付けした接続部を封止してください。

## 7.13 EU適合性宣言



We, Hukseflux Thermal Sensors B.V.,  
Delftechpark 31, 2628 XJ, 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	EU RoHS2 (2011/65/EU) and EU 2015/863 amendment known as RoHS 3
----------------------	--

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Eric Hoeksema', written in a cursive style.

Eric HOEKSEMA  
Director  
Delft, 09 November, 2022