

## 熱流計測の技術：

### なぜ熱抵抗が低く、スプレイダー付きセンサーを使用するのか？

熱流の測定は容易ではありません。巨視的なレベルでは、センサーの存在は局所熱流に影響を与える可能性があります。代表的な測定のために、低い熱抵抗のセンサーを使用してください。また、微視的レベルではセンサーの環境-周囲の材料の熱電動率-は潜在的に熱流計の感度に影響を与えます。このため、Huksefluxセンサーには「スプレイダー」というサーモパイルを覆う薄い金属箔があり、内部サーモパイルセンサーが設置方法に依存しない環境を作り出しています。テスト\*は優秀な性能を確認します。



図1 エスプレッソマシン金属表面の熱損失を調べるための熱流計

#### 熱流計

熱流計は、薄い層で形成された材料を熱が通過したときの温度差を測定します。通常、2つの異なる導体、一般的に金属合金の交互パターンを作成することによって製造されるサーモパイルを採用しています。図2を参照してください。

#### 巨視レベル：熱抵抗

巨視的なレベルで、熱流計は、一定の熱抵抗を有します。

- 測定表面に取り付けられたセンサーは常に追加熱抵抗を表します。
- 材料の周囲では、センサーは局所的に熱抵抗の増加または減少する可能性があります。

ユーザーは、これが測定にどのような影響を与えるかを認識する必要があります。

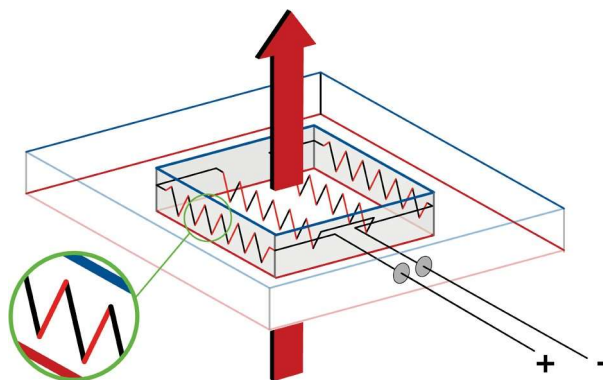


図2 熱流計原理：センサには、2つの金属合金の交互パターンからなるサーモパイルが使用されています。

\* HuksefluxはFHF02およびFHF04モデルを使用し他のモデルは導電性インクに基づくサーモパイルを備えた印刷熱流計の大手サプライヤーから購入したセンサー、および半導体サーモパイルを採用したセンサーモデルで実験を行いました。テスト結果は、他のメーカーが製造したセンサーや製造技術の向上が行われた場合、適用できない場合があります。

熱抵抗による測定エラーを避けるために、Hukseflux は以下の対策を講じています:

- 高熱伝導性材料 (HFP01: セラミックス-プラスチック複合材料) を使用
- 薄いセンサーを使用 (FHF シリーズ)
- ガードの使用。中央の熱流計の周囲に非感知部を設けて、測定誤差が最も高い端 (HFP01 及び FHF02) をセンサーが測定しないようにする。

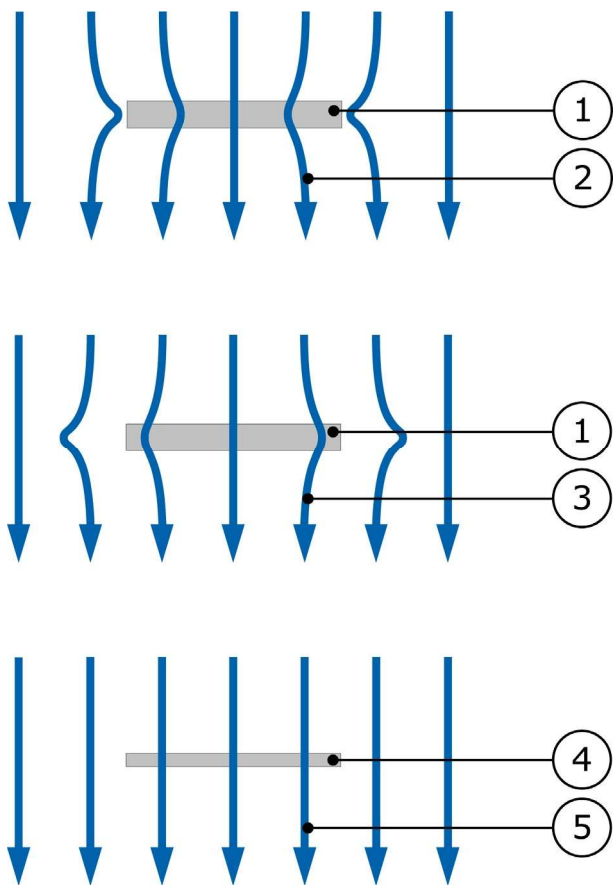


図3上図: 熱流計の巨視的な図、(1)熱流計測部。環境よりも熱伝導率が高いセンサーを示します。熱流(2)はセンサーに向かって流れる傾向があります。測定結果は、実際の(乱れのない)熱流の過大評価になります。

中央図: 熱伝導率が低いセンサー(1)とその環境を示しています。測定ポイント(センサーの中心)における熱流(3)は、センサーの影響を受けていない部分に比べて低くなります。

下図: 比較的薄くてよく伝導するセンサー(4)を示しており、ほとんど乱れない熱流と小さな測定誤差を可能とします。

## 微視的レベル: スプレイダーと熱伝導依存性

熱流計の内部には、通常プラスチック材料に埋め込まれたサーモパイルがあります。図2を参照してください。サーモパイルのトレースは電気伝導体であり、通常は熱も非常によく伝導します。外から見ると、センサーは図5の「A」のように見えます。「スプレイダー」は、サーモパイルを覆う薄い金属箔です。「B」のように1つの大きなスプレイダー、または「C」のような複数の小さなスプレイダーがあります。スプレイダーを使用する利点を説明するために、図4のようにセンサーを拡大し、微視的効果に焦点を当てます。

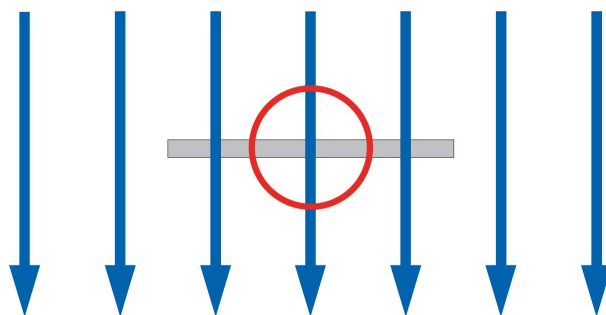


図4は、熱流計の一部にズームインする微視的効果を説明します。この詳細は図7に示されています。

図5のように区別します。

- A: スプレイダーのないセンサー。サーモパイルは目に見える可能性があり、直接露出している
- B: よく伝導する金属箔の単一の大きなスプレイダーを備えたセンサー。(HFP01、FHF02、FHF03)
- C: 複数の小型スプレイダーを搭載したセンサー (Hukseflux新モデルFHF04に適用)

図7では、熱流に対して微視的レベルで何が起こるかを確認できます。

- A1: 熱伝導率の高い材料に囲まれたスプレイダーのないセンサーは、高すぎる熱流を測定します
- A2: 低熱伝導率の材料に囲まれたスプレイダーのないセンサーは、低すぎる熱流束を測定します
- B、C: 単一のスプレイダーまたは複数の小さいスプレイダーが付いたセンサーで、サーモパイルセンサーはスプレイダーにより常に周囲と同じ環境になります。

結果として、センサーモデルAは周囲の物質の熱伝導率に依存する感度を持つこととなります。

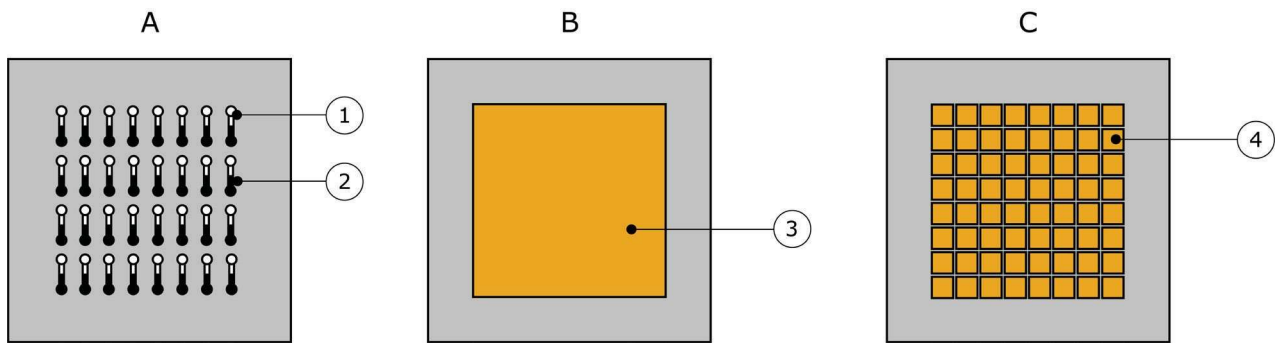


図5 A: スプレイダーのないセンサ。1つのサーモパイル合金(1)、他のサーモパイル合金(2)。BおよびCは、サーモパイルはスプレイダーで覆われている。B: 単一の大きいスプレイダーが付くセンサー(3) C: 複数の小さいスプレイダーが付いたセンサー(4)

### 熱伝導依存性

熱伝導依存性は、その感度が周囲の材料の熱伝導性に依存する熱流計の本質的な特性となります。これは感度の変化として現れます、熱伝導率の変化は絶対または  $[W/(m \cdot K)]$  に対して表されます。

熱伝導依存性は、金属ヒートシンクに取り付けられた校正基準条件での感度に対する相対性で報告されます。標準化された評価テスト方法はありませんが、提示された結果は「比較」のみです。

### テスト結果

センサーの感度は、異なる条件下でテストされました。基準条件はアルミニウムに取り付けられた状態です。パイレックス(ガラス)とシリコン(プラスチック)での条件下では、異なった熱伝導性を持つ環境を作り出します。

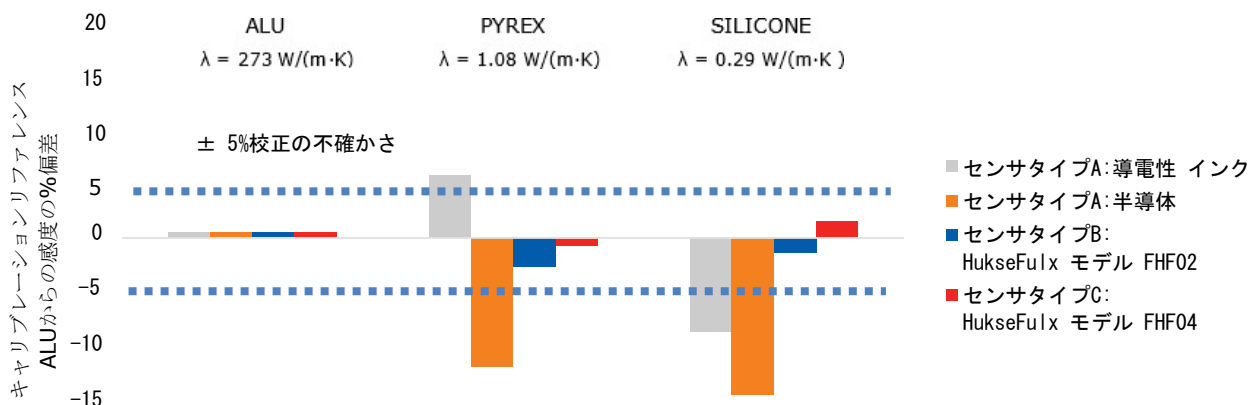


図 63 センサー 種類の熱伝導依存性試験。サーモパイル 2 種類のAタイプ センサー、一つは電気伝導性インク、もう一つは半導体から製造されたタイプ。校正の不確かさは5%。素材の違う測定部においてセンサーAは15%までのエラーがある。B そして C センサー のエラーは小さい。

センサータイプA(図5)のうち、一流のサプライヤーから2つの異なる製造技術で作られたサーモパイルをテストしました:一つ目は導電性インクに基づく物、そして二つ目は半導体材料に基づく物です。試験結果は図6に示します。感度を判断する際、1%の再現性と3%の変化を測定する能力があるものを基準とします。この実験での校正の不確かさは5%±に設定されています。

試験結果は、タイプAのセンサの熱伝導率が非常に大きい誤差を示し、タイプBおよびCは校正の不確かさよりもはるかに小さくなります。

### 結論

- 校正基準条件(校正が有効な条件)とは異なる条件下で使用する場合、スプレイダーのない熱流計は熱伝導依存性のために大きな測定誤差がある事になります。
- スプレイダーとのセンサーの使用は、これらのリスクを低減します。測定誤差は無視できる範囲です。

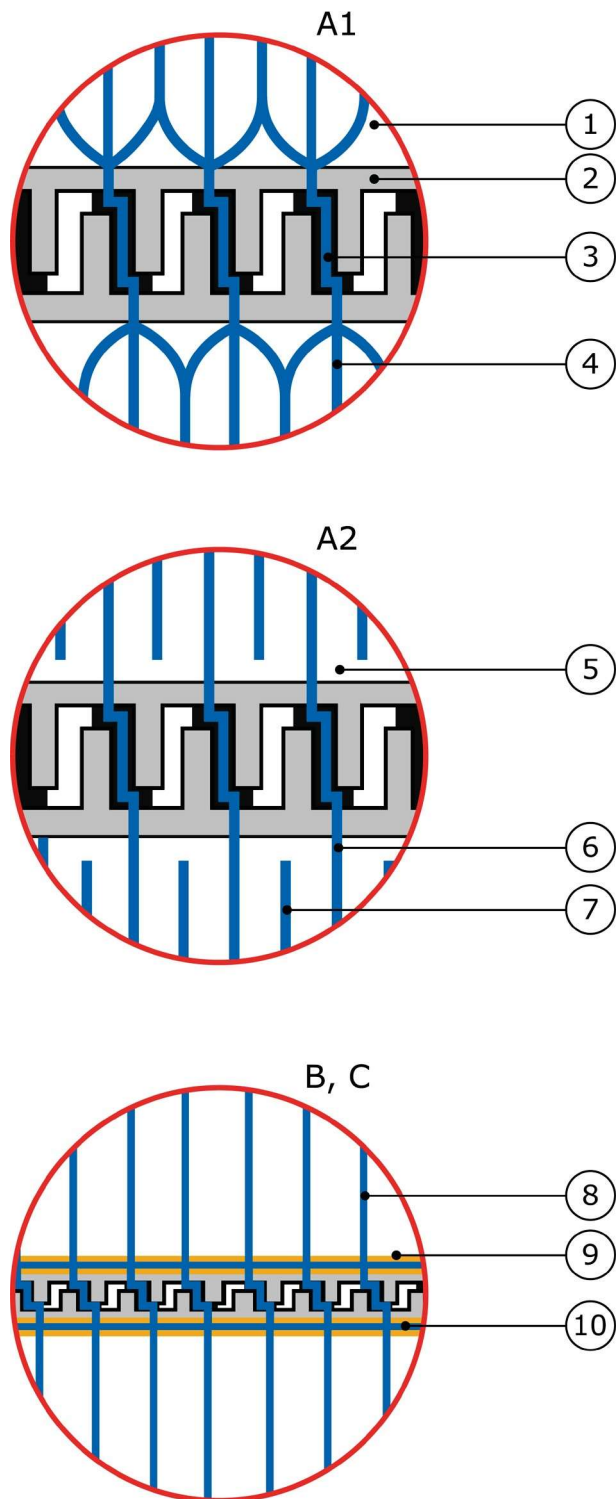


図7 熱流計の微視的効果の図:

上図: センサー(2)、良好な伝導環境(1)、熱(4)はセンサーを通して優先的な経路(3)を選択する。

中央図: 伝導性の低い環境(5)では、熱流(7)はより高い熱抵抗となる。

下図: スプレイダー付きのセンサーにおいて、良好な伝導スプレイダー(9)を全ての熱(8)がサーモパイル内面(10)を伝導し一定の環境を作り出す。

## 議論

Huksefluxに採用されているようなタイプBおよびCのスプレイダーを有するセンサは、無視できる熱伝導性依存性を有する。これに対し、タイプAセンサーは、校正された環境とは異なる環境で使用すると、大きなエラーを生成します。図7、A1およびA2は、これらのセンサにおける顕微鏡スケールで何が起きているかを模式的に示します。

大もしくは小のスプレイダーは、サーモパイルの一定の環境を作り出します(図7B、C)。テストでは、1つの大型スプレイダーまたは複数の小さなスプレイダー(Figure 5、BおよびC)の使用に大きな差は見当たりません。HuksefluxモデルFHF04のように複数の小型スプレイダーを使用すると、1つの大きなスプレイダーを使用する場合よりも高い柔軟性の利点があります。

## 推奨事項

- エラーを避けるために、Huksefluxモデル(FHF02、FHF03、FHF04およびHFP01)のようなスプレイダーと熱流計の使用を強く推奨します。
- どのような用途でも、感度が低くなり過ぎない為、熱抵抗の低いセンサの使用が有効です。

## Huksefluxについて

Huksefluxセンサーと測定システムを製造しています。私たちの目的は、お客様が可能な限り最高のデータで作業できるようにすることです。

当社の製品の多くは、エネルギー転換とエネルギーの効率的な使用をサポートするために使用されています。校正及び材料特性サービスを提供しています。当社の主な専門分野は、熱伝導と熱量(太陽放射、熱流、熱伝導率など)の測定です。HuksefluxはISO 9001認証を受けています。Huksefluxの製品とサービスはオランダ、および地元のディストリビューターのオフィスを通じて、幅広く提供されています。

日本国内問い合わせ電子メール:  
[sales2@weather.co.jp](mailto:sales2@weather.co.jp)