



# 熱流センサによる食材への熱移動の計測

久保田 洋志

日置電機株式会社 PM 部フィールドデザイン課

## 1. 諸 言

同じ温度の物体でも、触れた時の熱さや冷たさの感じ方は異なる。例えば、80℃のサウナには入れるが、80℃のお風呂には入れない。また、サウナにおいて、金属の物体には熱くて触ってられないが、同じ温度のタオルや木のベンチには座ってられる。これは、物体から人体への熱の移動量の違いのためである。

水は高い所から低い所へ流れる。電気も高電位から低電位へ電流が流れる。熱も同様に、温度が高い所から低い所へ移動する。

熱流センサにより、その移動する熱エネルギーの「方向」と「量」を検出できる。

## 2. 熱流センサとは

熱流センサ（熱流束センサ）は、熱流板などともよばれ、主に建築の研究において以前より使われてきた。従来の熱流センサは、ガラエポ基板に多数の熱電対が直列接続されたサーモパイルであり、表と裏の温度差から熱流センサを垂直に横切る熱エネルギーを検出する。しかし、従来の熱流センサは、大きく、厚く、曲げにくいので、平面での計測が多い建築では使いやすいものの、曲面や小さいものでは使い勝手が悪かった。

新たな熱流センサ（Fig. 1）は、フレキシブル基板の内部に半導体の熱電発電素子が多数内蔵されている。また、熱流センサに熱電対を内蔵した熱電対付き熱流センサ（Fig. 2）も用意している。こちらは、熱流と一緒に温度も計測できる。

この小さく、薄く、防水のフレキシブルな熱流センサにより、新たな熱流計測の機会が増えている。最近では、建築の研究だけではなく、自動車や家電、繊維や農業、食品加工などでも熱流計測の機会が増えている。

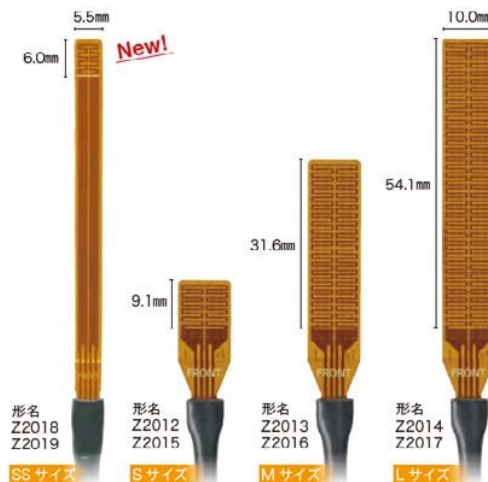


Fig. 1 新しい熱流センサ

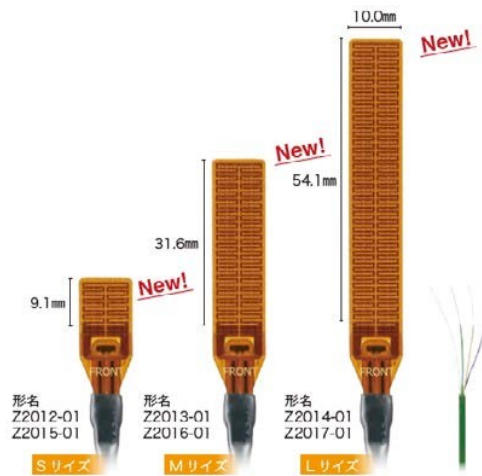


Fig. 2 熱電対付き熱流センサ

## 3. 熱流ロガーとは

熱流センサには固有の感度が校正されている。例えば、弊社で販売している熱流センサ Z2013 の代表感度は 0.049 mV/(W/m<sup>2</sup>) である。これは、熱流センサを 1 W/m<sup>2</sup> の熱エネルギーが通過したとき、0.049 mV の

〒386-1106 長野県上田市小泉 81  
† Fax: 0268-28-1453, E-mail: kubota@hioki.co.jp

電圧が出力されることを意味する。

一方、熱流センサの出力を記録するロガーなどの測定器は、電圧の値として記録するため、熱流センサの出力電圧を熱流値に変換する必要がある。従来のロガーは、電圧の値を変換するスケーリング機能が搭載されているが、1Vあたりの熱流の値（変換比）を計算し設定する必要がある。熱流センサの感度の逆数を計算し、それを変換比としてロガーに設定する。

熱流ロガー LR8416 で (Fig. 3) は、感度をそのまま入力するだけで、変換比を自動設定できる。さらに、熱流ロガーの本体とユニットを無線化し、多現象の計測をしやすいとしている。

#### 4. 熱流計測による利点

熱流計測では、温度ではわかりづらい熱移動の「向き」と「量」がわかるため、発熱と受熱の切り分けが可能となる。一般的には温度計測が多いが、そこに熱流計測を加えることにより、温度変化の要因解析などを行える。

熱の侵入があれば温度は上がり、熱の流出があれば温度は下がる。これにより、熱対策や熱設計に役立てられる。空調や衣服などの快適性能（温熱感覚）の評価でも注目されている。

食品加工や調理機器においても、加熱・冷却・冷凍において、食材への熱移動を計測することで、食感や美味しさの研究に役立つと考える。

#### 5. 食材への熱移動の計測

IH 調理器とガスコンロでの調理では、味に違いが出るという意見がある。そこで、大根と鍋に熱流センサ

を設置し、IH とガスの両者で、食材への熱移動を計測 (Fig. 4) した。

大根と鍋に熱流センサを設置した。(Fig. 5) 大根の

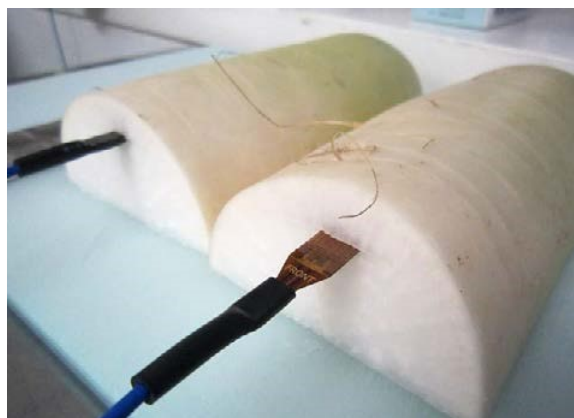


Fig. 4 大根内部へ熱流センサを設置

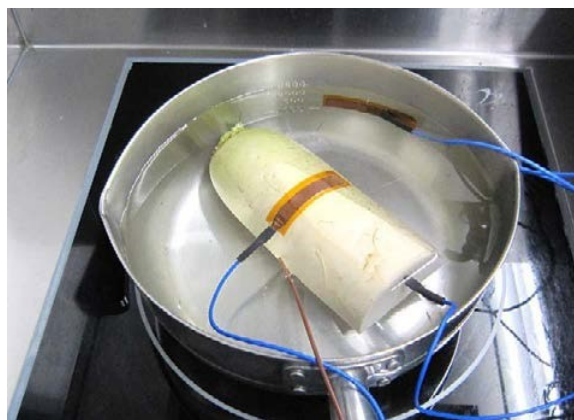


Fig. 5 食材と鍋への熱流センサの設置



Fig. 3 熱流ロガー LR8416 と無線ユニット

表面と、深さ 10 mm の内部に熱流センサを設置し、大根表面から入る熱と大根内部を移動する熱を計測した。熱流センサは熱電対付き熱流センサ Z2015-01 を使用し、熱流だけでなく、温度も同時に計測した。

また、鍋側面内側にも熱流センサを設置し、鍋の側面から伝わる熱も計測した。

実験データを Fig. 6 と Fig. 7 に示す。火力の違いで、どのように水温が上がり、どのように食材に熱が入る

のかを把握できる。ガスコンロでは、炎が鍋側面も包み込み、鍋側面からも大きな熱が加わり、鍋全体で加熱を行っていることが見て取れる。IH 調理器は、環境の温度・湿度を乱さず、快適な厨房環境（労働環境）を実現できる。

食品業界においても、美味しさや食感の研究に熱流計測が役立てば幸いである。

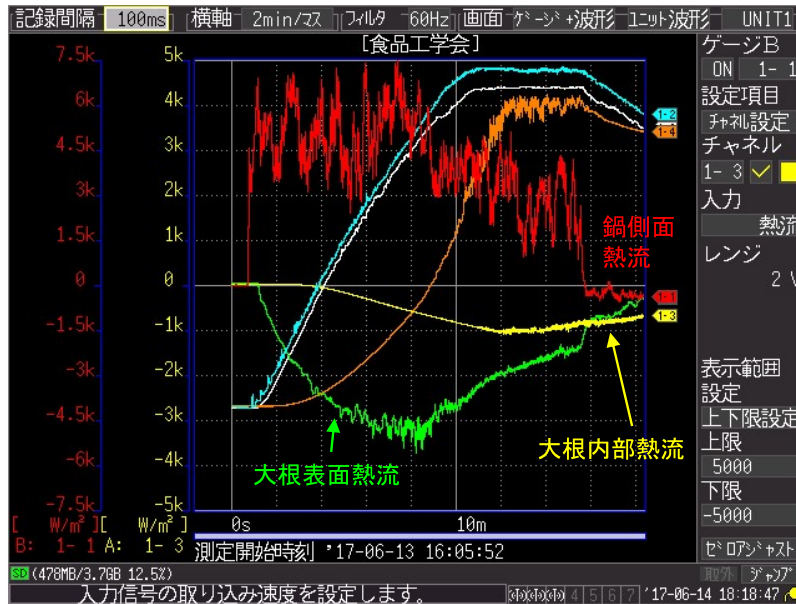


Fig. 6 ガスコンロでの温度と熱流

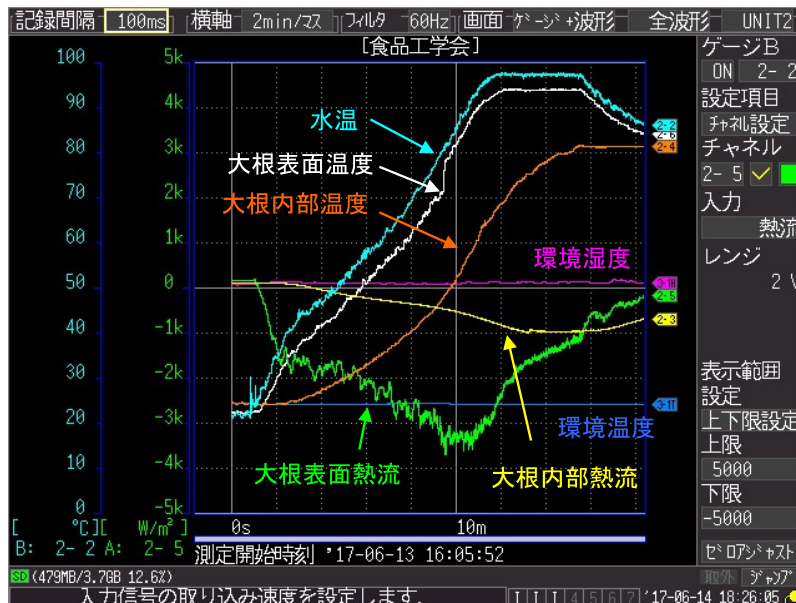


Fig. 7 IH 調理器での温度と熱流