

絶対熱電能測定における熱電対からの熱損失解析

Analysis of Heat Loss from Thermocouple in Absolute Seebeck Coefficient Measurements

産総研 ○天谷 康孝, 山本 淳, 阿子島 めぐみ, 藤木 弘之, 金子 晋久

AIST○ Yasutaka Amagai, Atsushi Yamamoto, Megumi Akoshima, Hiroyuki Fujiki, Nobu-hisa Kaneko

E-mail: y-amagai@aist.go.jp

1. 緒言

熱電材料の評価に欠かせない、金属材料の単体の熱電能(絶対熱電能)はトムソン効果から決定される[1]。産業技術総合研究所では、トムソン係数の導出に熱伝導率を必要とする従来法の課題を解決するため、ACとDC電流を組み合わせたAC-DC法を考案し、Ptのトムソン係数の評価に成功した[2], [3]。一方、トムソン効果から熱電能を求める方法は熱電対回路の熱起電力と温度差から熱電能を算出する方法と異なり、試料中央部の温度変化を測定する。そこで、従来考慮されなかった熱電対からの熱損失を加味した熱伝導解析を行い、熱損失に起因する補正項を導いた。

2. 解析方法と実験結果

温度勾配を与えた金属線にDC電流を印可したときの定常一次元熱伝導方程式は次式で与えられる。

$$a\kappa \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \mu I \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{I^2 \rho}{a} = 0 \quad (1)$$

(1)式に熱電対からの熱損失を考慮した境界条件を課して得られる試料中央部の温度解 T_m から、次のトムソン係数を導くことができる。

$$\mu_{DC} = \frac{4a\kappa\delta T_m}{\Delta T I} \left(1 + \frac{K_1}{K_0} \right) \quad (2)$$

ここで、 K_1 および K_0 は、熱電対と試料の熱コンダクタンスで熱電対からの熱損失を示す。熱損失が無視できる場合($K_1 = 0$)は従来の式($\mu = (4a\kappa\delta T_m)/(\Delta T I)$)と一致する。AC電流を印可した場合には、トムソン効果が相殺されるため(1)式の第2項は消失し、試料中央の温度変化は $\Delta T_{AC} = (I^2 \rho / a^2 \kappa)(l^2/2)/(1+K_1/K_0)$ で与えられる。

さらに(2)式を少し変形して、 ΔT_{AC} および試料の電気抵抗 $R = 2\rho l/a$ を代入すると次の式が導かれる。

$$\mu_{AC} = \frac{I_{AC} R}{\Delta T} \frac{\delta T_m}{\Delta T_{AC}} \quad (3)$$

AC および DC 電流印加時の温度比を取ることで熱損失が相殺されるため(3)式には補正項がない。解析の検証のため、直径 0.5 mm、試料長 30 mm の Pt 線について異なる径の Cu/CuNi 製熱電対を取り付け、評価を行った(図1)。従来法では、熱損失の影響で、トムソン係数が熱電対径に強く依存した。一方、AC-DC法では熱電対径の依存性が大幅に改善された。以上のように、厳密な熱伝導解析から従来法における熱損失に起因する補正項を導出した。さらに AC-DC 法では補正無でトムソン係数の測定が可能であることを示した。

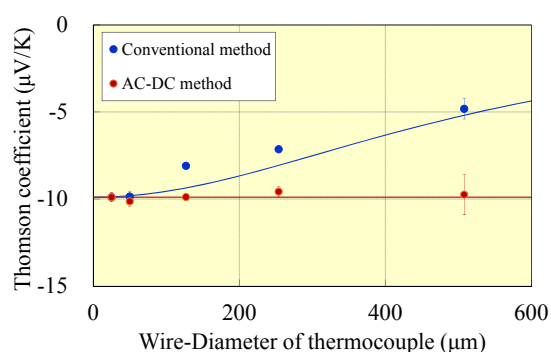


Fig. 1 Dependence of the measured Thomson coefficient on wire-diameter of Cu-CuNi thermocouples.

参考文献

- [1] R. B. Robert, *Nature* **265** 226 (1977) .
- [2] 天谷他、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集 18a-A7-8 (2014).
- [3] Y. Amagai *et al.*, *IEEE. Trans. Instrum. Meas.* **64** (2015).

謝辞：本研究はJSPS 科研費 15K21659 の助成を受けた。