熱電対が測っているのは温度ではなく、二つの接点のあいだの積分である

— ゼーベック係数が一定（41 μV/℃）なら、100 − 0 ℃ も 500 − 400 ℃ も起電力は 4.100000 mV で同じ — 分離子は、ゼーベック係数が温度に依らず一定か、温度とともに変わるか — [論文774]

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)
Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan｜山岸勇輝ラボ
2026年9月

— *From thinking to syncing.* —

要旨

熱電対は温度計として使われる。けれど二本の金属の接点に出る起電力は、一つの温度では決まらない。起電力が何の差を測っているか、そして基準をどう取るかで読みがどれだけ変わるかを数える。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、係数が一定なら、同じ温度差は同じ起電力になる——100 − 0 ℃ も 500 − 400 ℃ も 4.100000 mV（第2節）。 第二に、係数が変わると、同じ温度差でも起電力が違う——4.000000 mV と 4.800000 mV、1.200000 倍（第2節）。 第三に、それでも起電力は区間ごとに足し合わせられる——中間温度の法則は、係数が変わっても差 0 で成り立つ（第2節）。 第四に、これが本稿の芯である。基準接点を取り違えると、そのずれは係数の形で変わる——25 ℃ の取り違えで、係数一定なら 25.000000、係数が変わると 24.074286 から 17.899160（第3節）。 第五に、ずれは測る温度が高いほど小さく見える——300 ℃ で 21.912255（第3節）。 第六に、分離子は、ゼーベック係数が温度に依らず一定か、温度とともに変わるかである——「熱電対で温度を測った」は、基準接点の温度と係数の形を言うまで、何を測ったかが決まらない（第4節）。 キーワード：ゼーベック効果、熱電対、基準接点、ゼーベック係数、中間温度の法則、差を測る計器。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——ゼーベック効果、起電力がゼーベック係数の温度積分であること、中間温度の法則、基準接点の温度を知る必要があることは、いずれも既知である（ロウ 1995、カサップ 2006）。係数は代表値である——41 μV/℃ と $39 + 0.02T$ μV/℃ は比べるための値で、実在の熱電対の表や高次の項は使わない。回路を扱わない——冷接点補償の回路や計器の雑音は扱わない。発電を扱わない——熱電発電の効率や性能指数は扱わない。均質な導線と置く——導線の途中の不均質による起電力は入れない。既刊との関係：論文402 は、四つ目の衛星が位置のためではなく時計のためであることを示した——そこでは受信機の時計が未知なので、位置のほかに時計の分だけ一つ多く測る必要があった。ここでは熱電対が接点のあいだの積分しか測らないので、基準接点の温度を別に知らなければ温度にならず、その取り違えのずれが係数の形で変わる。基準が未知なら、それを押さえる手がもう一つ要る。加えたのは、係数一定と係数が変わる場合で同じ温度差の起電力を比べたこと、中間温度の法則が係数の形に依らず成り立つことを確かめたこと、基準接点の取り違えのずれを三つの温度で出したこと、分離子を「係数が一定か」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：熱電対の起電力は、ゼーベック係数 $S(T)$ を基準接点の温度 T_r から測る点の温度 T まで積分したものである。係数が温度の一次式なら次の形になる。

$$E(T, T_r) = \int_{T_r}^{T} S(T')\,dT', \qquad S(T) = S_0 + S_1 T, \qquad E(T, T_r) = S_0 (T - T_r) + \tfrac{1}{2} S_1 (T^2 - T_r^2)$$

係数一定の場合は $S = 41$ μV/℃、変わる場合は $S_0 = 39$ μV/℃、$S_1 = 0.02$ μV/℃^{2} と置く。

問い：熱電対の起電力は、温度を測っているのか。

2. 同じ温度差、違う起電力

計算 2.1：同じ 100 ℃ の差を、低い側と高い側で測った起電力を、二つの係数で出した。

係数	$100 - 0$ ℃	$500 - 400$ ℃
一定 41 μV/℃	4.100000 mV	4.100000 mV
$39 + 0.02T$ μV/℃	4.000000 mV	4.800000 mV

> **観察 2.2**
>
> 係数が一定なら、同じ温度差は同じ起電力になり、係数が変わると 1.200000 倍違う。起電力は温度差ではなく、係数をその区間で積分した量だからである——「同じ温度差なら同じ電圧」は、係数が一定のときだけの話である。

> **観察 2.3**
>
> それでも起電力は、区間ごとに足し合わせられる。0 → 500 ℃ と、0 → 400 ℃ に 400 → 500 ℃ を足したものの差は 0 だった——積分だから区間で分けられ、係数の形に依らない。

3. 基準接点の取り違え

計算 3.1：基準接点が実は 25 ℃ なのに 0 ℃ と思い込んで、起電力を温度に直した読みとずれを出した。

測る点	読み（一定）	ずれ（一定）	読み（変わる）	ずれ（変わる）
100 ℃	75.000000 ℃	25.000000	75.925714 ℃	24.074286
300 ℃	275.000000 ℃	25.000000	278.087745 ℃	21.912255
800 ℃	775.000000 ℃	25.000000	782.100840 ℃	17.899160

> **観察 3.2**
>
> これが本稿の芯である。基準接点を取り違えると、そのずれは係数の形で変わる。係数一定ならどの温度でもちょうど 25.000000 だが、係数が変わると 100 ℃ で 24.074286、800 ℃ で 17.899160 になる——高い温度では係数が大きく、同じ起電力の不足が小さな温度差に換算されるからである。

> **観察 3.3**
>
> だから、ずれを一つの数で直すことはできない。300 ℃ で 21.912255 のずれを、100 ℃ の 24.074286 で直せば、今度は別のずれが残る——基準接点の温度を知り、係数の積分で直す以外にない。

4. 分離子

> **観察 4.1**
>
> 分離子は、ゼーベック係数が温度に依らず一定か、温度とともに変わるかである。一定なら起電力は温度差に比例し、基準のずれもそのまま温度のずれになる。変わるなら同じ温度差でも起電力が違い、基準のずれも測る温度で変わる——「熱電対で温度を測った」は、基準接点の温度と係数の形を言うまで、何を測ったかが決まらない。

> **観察 4.2**
>
> 論文402 と並べる。402 は、受信機の時計が未知なので、位置のほかに一つ多く衛星が要ることを示した——ここでは基準接点の温度が未知なら、起電力は温度にならない。差しか測れない計器は、基準を押さえる手がもう一つ要る。

> **観察 4.3**
>
> 言わないこと。実在の熱電対の表も、冷接点補償の回路も、発電の効率も扱わず、係数は代表値である——示したのは、熱電対が積分を測ること、そして基準と係数の形が読みを決めることである。

5. 点呼と結び

1. 一定で **4.100000 mV**（計算 2.1）：同じ差は同じ電圧。
2. 変わると **4.000000 mV**（計算 2.1）：低い側。
3. 変わると **4.800000 mV**（計算 2.1）：高い側。
4. **1.200000** 倍（観察 2.2）：同じ差で違う。
5. 中間温度の差 **0**（観察 2.3）：区間で足せる。
6. 一定のずれ **25.000000**（計算 3.1）：そのまま。
7. 100 ℃ で **24.074286**（計算 3.1）：係数が変わる。
8. 300 ℃ で **21.912255**（観察 3.3）：一つの数で直せない。
9. 800 ℃ で **17.899160**（観察 3.2）：本稿の芯。
10. 係数が一定か（観察 4.1）：分離子・論文402。

結び：熱電対が測っているのは温度ではなく、二つの接点のあいだの積分である。ゼーベック係数が一定なら、$100-0\,^\circ\mathrm{C}$ も $500-400\,^\circ\mathrm{C}$ も $4.100000\,\mathrm{mV}$ で同じだが、係数が $39+0.02T\,\mu\mathrm{V}/^\circ\mathrm{C}$ と変わると $4.000000\,\mathrm{mV}$ と $4.800000\,\mathrm{mV}$ で 1.200000 倍違う——それでも中間温度の法則は差 0 で成り立ち、起電力は区間で足し合わせられる。基準接点が実は $25\,^\circ\mathrm{C}$ なのに $0\,^\circ\mathrm{C}$ と思い込むと、係数一定なら読みはどこでも 25.000000 ずれるが、係数が変わるとずれは $100\,^\circ\mathrm{C}$ で 24.074286、$300\,^\circ\mathrm{C}$ で 21.912255、$800\,^\circ\mathrm{C}$ で 17.899160 と測る温度で動く——ずれを一つの数で直すことはできない。分離子は、ゼーベック係数が温度に依らず一定か、温度とともに変わるかである——「熱電対で温度を測った」は、基準接点の温度と係数の形を言うまで、何を測ったかが決まらない。既刊との位置——論文402 は未知の時計のために衛星が一つ要ることを示した。ここは未知の基準接点のために、起電力が温度にならないことを数えた。正直に言えば——係数は代表値で、実在の熱電対の表も補償の回路も発電も扱っていない。

参考文献

1. Kasap, S. O. (2006). *Principles of Electronic Materials and Devices* (3rd ed.). McGraw-Hill.
2. Rowe, D. M. (Ed.). (1995). *CRC Handbook of Thermoelectrics*. CRC Press.
3. 山岸勇輝 (2026). 『四つ目の衛星は、位置のためではなく時計のためである』[論文402]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699392

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

© 2026 Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan · Licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)