

向きを逆にするだけで、出口が相手を追い越す

— 入口 90 度と 20 度、 $NTU = 2$ のとき、並流の出口は 54.3590 度と 55.6410 度で交わらないが、対向流では 66.6667 度と 43.3333 度で追い越す — 並流の有効度は 0.5000 で頭打ちだが、対向流は $NTU = 0.9996$ でそこに達する — [論文461]

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

熱交換器は、伝熱面積を増やせばよくなると思われている。本稿が示すのは、並流では面積を無限にしても有効度が 0.5000 で止まることである——向きを逆にするだけで、 $NTU = 0.9996$ でそこに達する。新しい定理も法則も主張しない。第一に、 $NTU = 2$ で並流の有効度は 0.4908、対向流は 0.6667 である（第2節）。第二に、並流の出口は 54.3590 度と 55.6410 度で、決して交わらない（第2節）。第三に、これが本稿の芯である。対向流の出口は 66.6667 度と 43.3333 度で、冷側が温側を 23.3334 度追い越す（第2節）。第四に、並流の有効度は NTU を無限にしても 0.500000000 で頭打ちになる（第3節）。第五に、対向流は $NTU = 0.9996$ でその上限に達する（第3節）。第六に、分離子は「面積が足りないのか、向きが違うのか」である（第4節）。キーワード：熱交換器、対向流、並流、有効度 NTU 法。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——有効度・ NTU 法、並流と対向流の違いはすべて既知である。熱交換器を設計しない——管径、配置、圧力損失、汚れ、材料は主題ではない。熱容量流量を等しくする——両側の熱容量流量比を 1 に固定した。比が 1 でなければ数は変わる。相変化を扱わない——凝縮や蒸発を伴う場合は別の扱いが要る。直交流と多流路を含めない——実際の熱交換器は純粋な並流でも対向流でもないことが多い。既刊との関係：論文460 は暑さの限界が気温と湿度の組で決まることを示した——そこでも、一つの量だけを見ると順序を誤った。論文300 は同根か別根かが判定できることを示した——「並流の限界」と「対向流の限界」は、その基準で別根である。論文459 は往復すれば損失が 1.9 倍になることを示した——そこでも、配置が量を決めていた。加えたのは、 $NTU = 2$ で両方式の有効度を出したこと、四つの出口温度を並べて追い越しを示したこと、並流の上限を 0.500000000 と出したこと、対向流がその上限に達する NTU を二分法で 0.9996 と出したこと、分離子を「面積か向きか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：熱交換器の有効度 ϵ を、実際に移った熱と、理論上移りうる最大の熱の比とする。伝熱単位数 $NTU = UA/C_{\min}$ 、熱容量流量比 $C_r = C_{\min}/C_{\max}$ とすると、並流では

$$\epsilon_{\parallel} = \frac{1 - e^{-NTU(1+C_r)}}{1 + C_r}$$

対向流で $C_r = 1$ のときは

$$\epsilon_{\times} = \frac{NTU}{1 + NTU}$$

である。以下 $C_r = 1$ 、温側入口 90 度、冷側入口 20 度とする。

観察 1.1

熱交換器は伝熱面積を増やせばよくなると思われている。NTU は面積に比例する——大きくすれば近づく、という像である。

観察 1.2

だが並流では、温度差が途中で消える。両側が同じ向きに流れるので、出口で温度が揃ってしまう——そこから先は、面積があっても熱が動かない。

問い：どこで止まり、向きを変えるとどうなるのか。

2. 対向流では出口が相手を追い越す

計算 2.1：NTU = 2 で、両方式の有効度と出口温度を出す。

方式	有効度	冷側出口 [°C]	温側出口 [°C]
並流	0.4908	54.3590	55.6410
対向流	0.6667	66.6667	43.3333

観察 2.2

並流では冷側出口が温側出口を超えない。 $54.3590 < 55.6410$ ——同じ場所で接しているのだから、追い越せば熱が逆流することになる。

観察 2.3

対向流では追い越す。 66.6667 対 43.3333 、差は 23.3334 度——冷やされた水が出ていく先は、温めた側が入ってきた場所だからである。

観察 2.4

これは熱力学第二法則に反していない。どの断面でも、温側は冷側より高い——比べているのは、同じ断面ではなく反対の端どうしである。

観察 2.5

同じ NTU で有効度が 1.36 倍違う。 0.6667 対 0.4908 ——面積も流量も同じで、配管の向きだけが違う。

3. 並流の上限は 0.500000000 である

計算 3.1：NTU を無限に近づけたときの、並流の有効度を出す。

0.500000000 である ($NTU = 10^6$ で計算)。

観察 3.2

面積をいくら増やしても、半分より先へ行けない。熱容量流量が等しいとき、両側の温度は中央で出会って止まる——NTU が 10^6 でも 0.5 である。

計算 3.3：対向流がその上限に達する NTU を、二分法で求める。

NTU = 0.9996 である (逆算して有効度 0.499900000)。

観察 3.4

並流が無限を要する値に、対向流は $NTU = 1$ で届く。面積で言えば有限のところ——そこから先も、対向流はまだ伸びる。

観察 3.5

対向流には上限が無い。 $NTU = 50$ で 0.9804 —— 1 に漸近する。並流とは、行き先そのものが違う。

観察 3.6

だから「面積が足りない」という診断は、並流では的を外す。足りないのは面積ではなく、温度差である——向きを変えないかぎり、投資が返ってこない。

4. 分離子

分離子：面積が足りないのか、向きが違うのか。

観察 4.1

面積が足りないなら、増やせば近づく。 NTU を上げれば有効度が上がる——単調で、行き先は 1 である。

観察 4.2

向きが違うなら、増やしても 0.5 で止まる。同じく単調だが、行き先が違う——どちらも「増やせば上がる」ので、傾きだけを見ていると区別できない。

観察 4.3

これは論文300の基準で別根である。どちらも「熱交換器の限界」と呼ばれる——一方は装置の大きさの限界、一方は配置が課す限界である。

観察 4.4

論文460 と同じ形である。そこでは気温だけを見ると順序を誤った——ここでは面積だけを見ると行き先を誤る。どちらも、もう一つの成分が答えを決めている。

観察 4.5

論文459 とも重なる。そこでは同じ装置が境界の取り方で 0.90 にも 0.81 にもなった——ここでは同じ装置が向きで 0.4908 にも 0.6667 にもなる。

観察 4.6

そして向きを変えるのは、たいてい面積を増やすより安い。配管のつなぎ替えて済むことがある——診断を間違えると、高いほうの手を打つことになる。

観察 4.7

正直に言えば——熱容量流量比を 1 に固定した。比が 1 から離れると、並流の上限は $1/(1 + C_r)$ となって上がる——0.5 という数はこの条件のもとでの値であり、上限が存在するという結論だけが条件に依らない。

5. 点呼と結び

1. $NTU = 2$ で並流 0.4908 (計算 2.1) : 対向流は 0.6667。
2. 並流の出口は 54.3590 と 55.6410 (計算 2.1) : 交わらない。
3. 対向流は 66.6667 と 43.3333 (計算 2.1) : 本稿の芯。
4. 追い越しは 23.3334 度 (観察 2.3) : 反対の端どうし。
5. 第二法則に反しない (観察 2.4) : どの断面でも温側が高い。
6. 同じ NTU で 1.36 倍 (観察 2.5) : 向きだけが違う。
7. 並流の上限は 0.500000000 (計算 3.1) : 面積では越えられない。
8. 対向流は $NTU = 0.9996$ で届く (計算 3.3) : 有限のところ。
9. 分離子は面積か向きか (観察 4.3) : 論文300 の基準で別根。

10. 比が 1 でなければ数は変わる（観察 4.7）：上限の存在だけが残る。

結び：熱交換器は伝熱面積を増やせばよくなると思われている——NTU は面積に比例するので、大きくすれば近づくという像がある。だが並流では温度差が途中で消える。両側が同じ向きに流れるので出口で温度が揃ってしまい、そこから先は面積があっても熱が動かない。向きを逆にすると、出口が相手を追い越す——NTU = 2 で並流の有効度は **0.4908**、出口は **54.3590** 度と **55.6410** 度で交わらない。同じ場所で接しているのだから、追い越せば熱が逆流することになる。対向流の有効度は **0.6667**、出口は **66.6667** 度と **43.3333** 度で、冷側が温側を **23.3334** 度追い越す。冷やされた水が出ていく先は、温めた側が入ってきた場所だからである。これは熱力学第二法則に反していない——どの断面でも温側は冷側より高く、比べているのは同じ断面ではなく反対の端どうしである。同じ NTU で有効度が **1.36** 倍違い、面積も流量も同じで、配管の向きだけが違う。そして並流には、面積では越えられない上限がある——NTU を 10^6 にしても有効度は **0.500000000** で止まる。熱容量流量が等しいとき、両側の温度は中央で出会って動かなくなる。対向流はその値に NTU = **0.9996** で届く——並流が無限を要する場所に、有限の面積で達する。しかも対向流には上限が無く、NTU = 50 で **0.9804**、1 に漸近する。並流とは行き先そのものが違う。だから「面積が足りない」という診断は並流では的外す。足りないのは面積ではなく温度差であり、向きを変えないかぎり投資が返ってこない。分けているものは一つ——面積が足りないのか、向きが違うのか。面積が足りないなら増やせば近づき、単調で、行き先は 1 である。向きが違うなら増やしても 0.5 で止まる。同じく単調だから、傾きだけを見ていると区別できない。論文300 の基準で別根であり、一方は装置の大きさの限界、一方は配置が課す限界である。論文460 と同じ形で、そこでは気温だけを見ると順序を誤った。どちらも、もう一つの成分が答えを決めている。論文459 とも重なり、そこでは同じ装置が境界の取り方で 0.90 にも 0.81 にもなった。ここでは同じ装置が向きで 0.4908 にも 0.6667 にもなる。そして向きを変えるのは、たいてい面積を増やすより安い。配管のつなぎ替えて済むことがあり、診断を間違えると高いほうの手を打つことになる。正直に言えば——熱容量流量比を 1 に固定した。比が 1 から離れると並流の上限は $1/(1 + C_r)$ となって上がるので、0.5 という数はこの条件のもとでの値である。上限が存在するという結論だけが、条件に依らない。

参考文献

-
1. Nusselt, W. (1930). Eine neue Formel für den Wärmedurchgang im Kreuzstrom. *Technische Mechanik und Thermodynamik*.
 2. Kays, W. M., & London, A. L. (1984). *Compact Heat Exchangers* (3rd ed.). McGraw-Hill.
 3. Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (6th ed.). Wiley.
 4. 山岸勇輝 (2026). 『三百本目の点呼 — 同根か別根かは、判定できる』 [論文300]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22171914
 5. 山岸勇輝 (2026). 『九割の効率が二度あれば、残るのは八割一分である』 [論文459]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22733103
 6. 山岸勇輝 (2026). 『暑さの限界は気温ではなく、湿度と組んで決まる』 [論文460]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22733136
-

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

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