

熱交換用ラティス構造の設計技術に関する研究

機械金属部 ○宮川広康 吉田勇太 新谷正義
企画指導部 高野昌宏 化学食品部 宗本隆志

1. 目的

カーボンニュートラル社会の実現のため、エネルギー源の脱炭素化に加え、省エネルギー化を進める必要がある。現在、活用できる可能性があるにもかかわらず捨てられている未利用熱エネルギーは一次エネルギー（石油や天然ガスなどのエネルギー源が本来もっているエネルギー）の消費量の約 6~7 割に達している。この未利用熱を有効活用することで、必要なエネルギー自体を減らすことができる。例えば、生産設備からの排熱や自動車の排気ガスなども未利用熱であり、これらから熱エネルギーを取り出し、加熱工程への活用や空調等に使用することができる。熱エネルギーを排熱等から取り出すには熱交換器が必要となり、その性能によって取り出せる熱量が変化する。

近年、積層造形の普及により、今までの製造プロセスに縛られない複雑形状の製品設計が可能となってきた。特に熱交換器への適用については、流路の形状や配置を工夫することで飛躍的な性能向上が期待される。本研究では金属積層造形を活用した高性能熱交換器の設計技術の構築を目的とする。

2. 内容

2.1 本研究で扱った熱交換器の概要

図 1 に本研究で提案した熱交換器の概略を示す。30x30x17[mm]の体積内に高温流体（熱水）用の流路と低温流体（冷水）用の流路を配置している。網目状の高温用流路と低温用流路が一定の距離で隣接する構造となっているため、流路内壁全周で効率的に熱交換を行うことができ、かつ流路自体の蛇行による熱伝達率向上も期待できる。

流路は図 2 に示すユニットセルの繰り返しで構成される。ユニットセルは流路角度 θ 、水力直径 d_h 、最小壁厚 t を設計パラメータとしている。最小壁厚 t については薄いほど性能が高まるため、造形可能な最小壁厚である 0.4mm とした。残りの 2 つの設計パラメータの値を調整することで、熱交換対象に応じた最適化が可能であると考えられる。

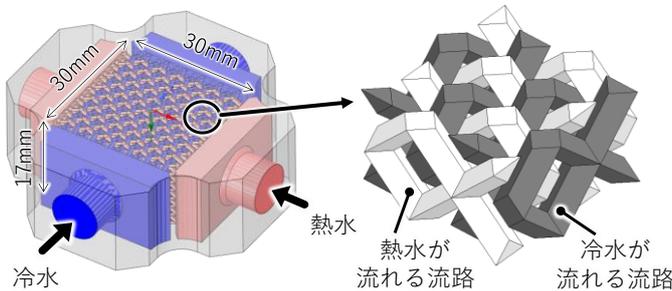


図 1 本研究で提案した熱交換器の外観

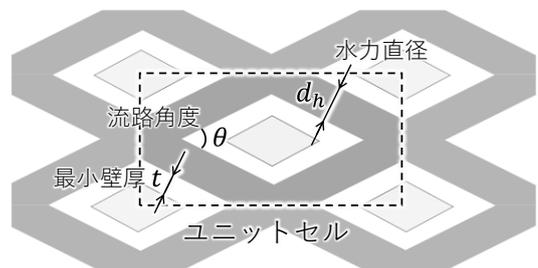


図 2 熱交換用流路のユニットセル

2.2 シミュレーションによる流路内流れの予測

図 3 に水力直径 d_h を固定し、流路角度 θ を変化させたときの流速分布を流体シミュレーションにより予測した結果を示す。流路角度が増加するにつれ、蛇行による流速の偏りが大きくなり、曲がり後の内側では流れが大きく剥離している様子が確認できる。これより、流路角度が大きいほど流動抵抗が大きくなることが予測できる。一方で図 4 に流路断面の流速ベクトルを流体シミュレーションで予測した結果を示す。流路角度が増加するにつれ、断面内に 2 つの渦（二次流れ）が生じている様子が確認できる。二次流れは熱伝達率を向上させる効果を持つ。ここで注意すべき点として、このシミュレーションでは流量を一定

にした条件下で比較を行っているが、実用上はポンプによって流体を流すため、流動抵抗が大きいと流れる流量は減少し、熱伝達率も減少する。したがって、流動抵抗と熱伝達率は流路角度とともに変化し、適用するポンプなどの条件によってユニットセルの最適な値が存在することが考えられる。

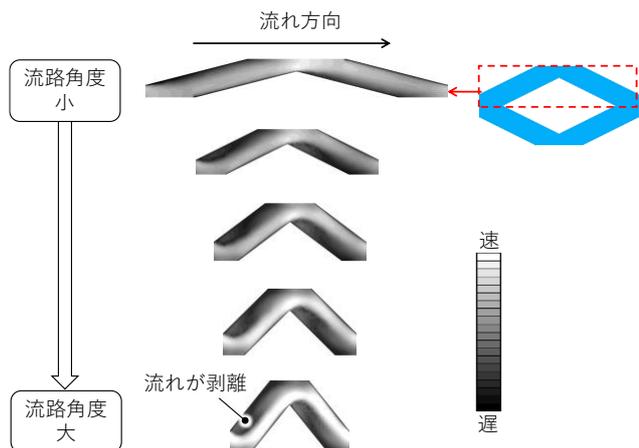


図3 流れ方向に平行な断面の流速分布

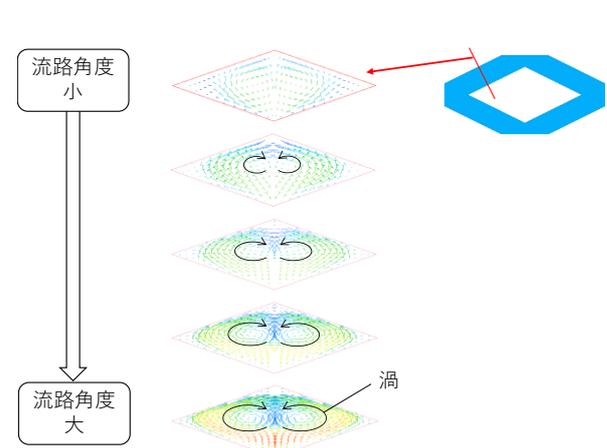


図4 流れ方向に垂直な断面の流速ベクトル

2.3 ユニットセルの最適化

図5に流路角度を変化させたときの単位体積当たりの熱コンダクタンス（単位温度差あたりの熱交換量）について流体シミュレーションで予測した結果を示す。ここで、流路角度を変化させても流動抵抗が同じになるよう水力直径を調整している。このとき、ポンプ動力を0.1Wに固定した場合、図5から、おおよそ流路角度 $\theta = 50^\circ$ で最大の性能となることが確認できる。このように設計パラメータを適切に調整することで性能を最大化できることが流体シミュレーションにより確認できた。

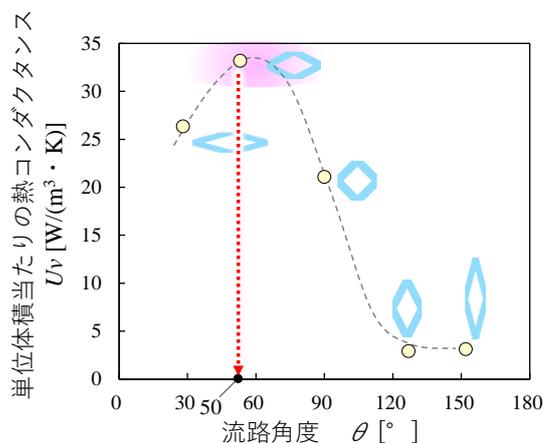


図5 流路角度による熱交換性能の変化

2.4 金属積層造形により作製した提案流路の熱交換器の性能評価実験

従来用いられてきた直線流路の熱交換器と本研究で提案した熱交換器との性能比較実験を実施した。流体シミュレーションで予測した最適な流路角度である $\theta = 50^\circ$ のものと最適な流路角度から少しはずれた $\theta = 90^\circ$ のものを金属積層造形機によって造形し、実験に用いた。その結果、流路角度が 90° のものでは直線流路との比較で熱コンダクタンスが約1.5倍（50%の性能向上）であったのに対し、流路角度 50° の熱交換器では約2.0倍（100%の性能向上）となることが確認できた。これにより、本研究で提案した網目状流路構造の有用性と流路設計パラメータの最適化による効果が実験により確認された。

3. 結果

網目状流路を有する熱交換器を提案し、流路角度と水力直径を変化させることで熱交換性能を調整できることを確認した。また、ポンプ動力に最適な流路角度をシミュレーションによって導出し、実験によりその有効性を確認した。その結果、直線流路の熱交換器に比べて同ポンプ動力条件下で約2倍の熱交換性能を得ることができた。