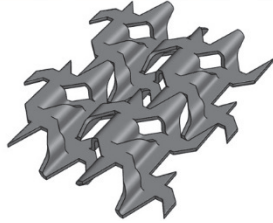
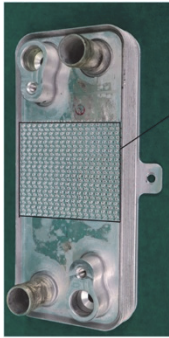


移動体への搭載を実現する小型熱交換器用 オフセットフィンの開発

Development of Compact Heat Exchanger with Offset Fins for Mounting on Vehicles



江口 駿作*¹
Shunsaku Eguchi

中拂 博之*²
Hiroyuki Nakaharai

上藤 陽一*³
Yoichi Uefuji

谷本 浩一*⁴
Koichi Tanimoto

近年、CO₂排出規制が強化され、世界的に移動体の電動化、燃費改善が急速に進められている。移動体の電動化に伴い、熱源となっていた内燃機関がなくなることで、熱源が不足するため、移動体の熱マネジメントの重要性が増している。移動体の熱マネジメントシステムの重要な構成部品の一つに熱交換器があり、バッテリーの適切な温度管理による航続距離の向上、運動性能向上に向け、熱交換器の小型・軽量化が重要となっている。

本報では、熱流動解析技術を援用し、従来フィンに対して同一圧力損失対比の伝熱量が1.5倍以上増加する3次元構造を有する新型のオフセットフィン構造を見出し、さらに、中大量生産に適用可能なプレス加工により試作、性能試験を行い、伝熱性能向上効果を確認した。

1. はじめに

移動体に搭載する機器は、搭載スペースの制限や航続距離・運動性能向上の観点から、小型・軽量化が求められている。搭載機器の一部である熱交換器では、1~2mm程度の等価直径を有するインナーフィンをプレートと交互に積層し、ろう付けにより一体化することで、伝熱流路微細化による熱伝達率の向上、フィンの面積拡大効果による伝熱面積の高密度化を行い、小型・軽量化が進められてきた。また、インナーフィンには、前縁効果により、層流域において高い伝熱性能を発揮するオフセットフィンが多く採用されてきた。

一般に、オフセットフィンは、流れ方向に対して、スパン方向にオフセットさせた構造となっている。しかし、このようなオフセットフィンでは、プレートとフィンが接する伝熱面において、流れ方向にフィンの段差がないパスが存在し、温度境界層が厚く発達することで、熱伝達が阻害されることから、この領域を改善することで、伝熱性能最適化の余地がある。

三菱重工業株式会社(以下、当社)では、熱流動解析を援用することで、流路内の流速分布の偏りをなくし、フィン形状に伴う断面二次流れの活用、プレートとフィンの設置面における前縁効果の促進により、オフセットフィンの高性能化を実現した。また、移動体など中大量生産品に適用するため、比較的高速でフィンを成形できるプレス加工により3次元構造を有するフィン構造を実現した。本報では、新型オフセットフィンの開発状況及び今後の展望について紹介する。

*1 総合研究所 伝熱研究部

*2 総合研究所 伝熱研究部 室長 工博

*3 総合研究所 特殊システム研究推進部 主席研究員

*4 総合研究所 伝熱研究部 工博

2. 新型オフセットフィンのコンセプト及び形状

オフセットフィンとは、フィンが流れ方向に対して、スパン方向にオフセットして配置されることで、プレートとフィンの接合部にフィン板厚分のステップ面が存在する。このステップ面では、フィン面積拡大部と同様に、温度境界層が破壊されるため伝熱促進される。従来のオフセットフィンでは、このステップ面が存在する流路パスと存在しない流路パスがあることに起因して、フィン同一断面内で圧力がバランスするように流速の偏りが生じ、また、ステップ面の存在しない流路パスにて、早期に温度境界層が発達し、熱伝達率が低下する課題がある。また、一般的に、熱交換器の伝熱促進の際、流れ場に旋回成分や二次流れ成分を与えることで、温度境界層厚みを低減できることが知られている。

新型オフセットフィンは、上記課題の解決及びさらなる伝熱促進に向けて、①フィンとプレート接合部におけるステップ面がすべての流路パスに均一に存在するようにフィンを配置すること、②ステップ面及びフィン拡大面の形状を斜め構造にすることで、流路断面内に二次流れを形成し、温度境界層厚みを低減する構造とした(図1)。

また、新型オフセットフィンを中大量生産するにあたり、金属積層造形や機械加工による成形では生産能力及びコストが適合しないため、量産性に優れたせん断・曲げ加工(プレス加工)を選定した。このとき、フィン一枚の板材をプレス加工して成形するため、成形したフィン形状を展開した際に、材料同士の干渉、フィン材とプレス金型の干渉を回避する形状とする必要がある。そこで、加工前の薄板材にスリットを設けることで、これらの課題を解決する構造を実現した。

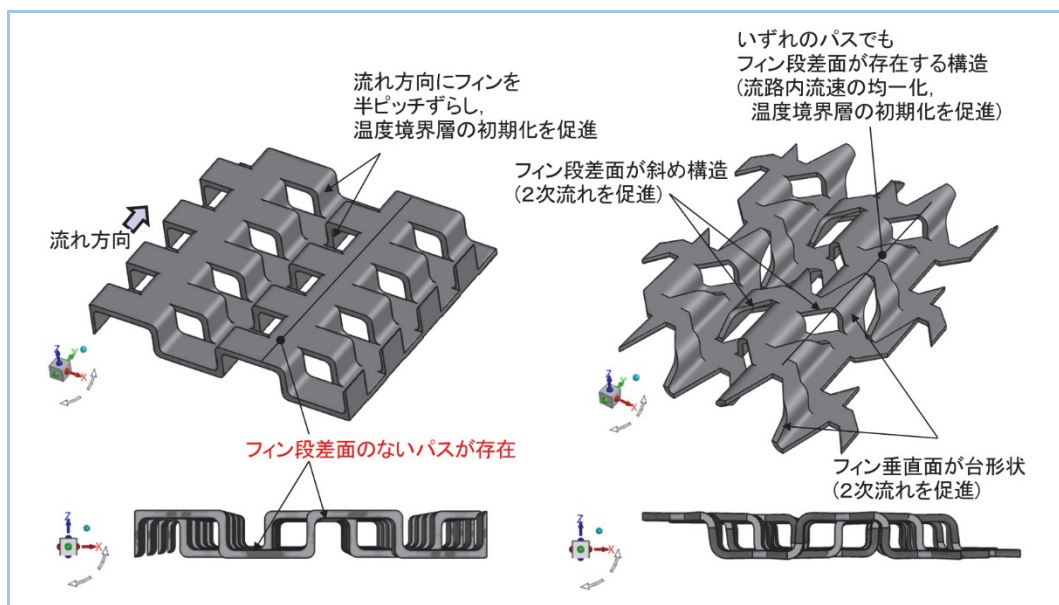


図1 従来オフセットフィン構造(左)及び新型オフセットフィン構造(右)

3. 新型オフセットフィンの伝熱性能評価

本章では、新型オフセットフィンの熱流動解析によるコンセプト検証結果、試作・性能評価試験による熱流動解析の検証、従来フィンとの伝熱性能比較・評価結果について説明する。

3.1 解析による性能評価

新型オフセットフィンについて、熱流動解析を実施し、2章で説明した性能向上効果が得られるかを検証した。熱流動解析には、汎用熱流動解析コードである“ANSYS Fluent”を使用した。本解析では、フィン後流の乱れの影響や、衝突・二次流れの影響があること、壁面近傍の流れの評価が重要となることから、粘性モデルとして乱流モデルである SST $k-\omega$ モデルを用いた。フィンはスパン方向に対して周期的な構造であることから、1 周期分を切り出し、スパン方向に周期境界条件を設定し、また、流れが十分に発達した領域までを解析するため、入口から約 50D の距離をモ

デル化した(図2)。

解析の結果, ①新型オフセットフィンでは各流路パスでの流速の偏りが解消されており, 広範囲で高い熱流束が維持されていること, ②フィン断面内で二次流れが形成されており, 温度境界層が薄膜化していることが確認できた(図3)。熱伝達率・圧力損失を従来オフセットフィンの伝熱特性式である Manglik & Bergles⁽¹⁾の式と比較すると, 熱伝達率は約2倍, 圧力損失は1.0~1.2倍と大幅に伝熱性能が改善していることを確認した(図4)。また, 新型オフセットフィンを移動体に搭載されている従来熱交換器に対して適用した場合の体積低減効果を確認した結果, ヘッダ部を含む熱交換器体積が70%低減する結果を得た(図5)。

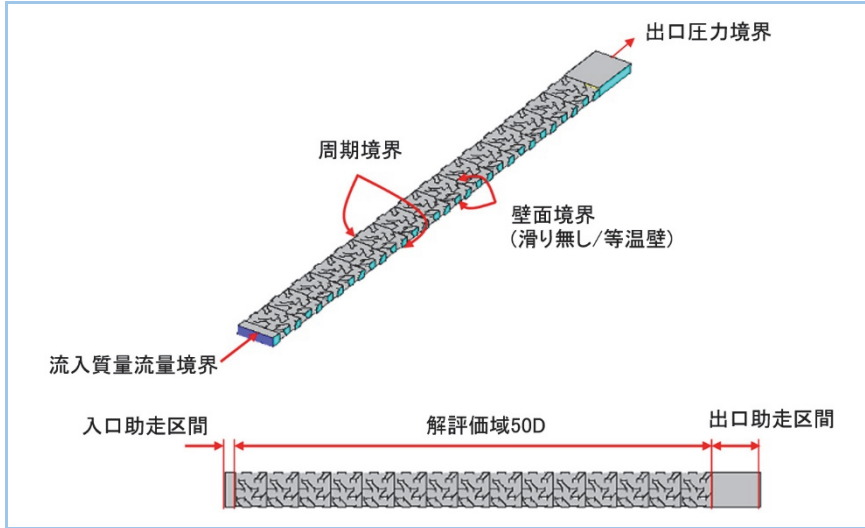


図2 新型オフセットフィン解析モデル

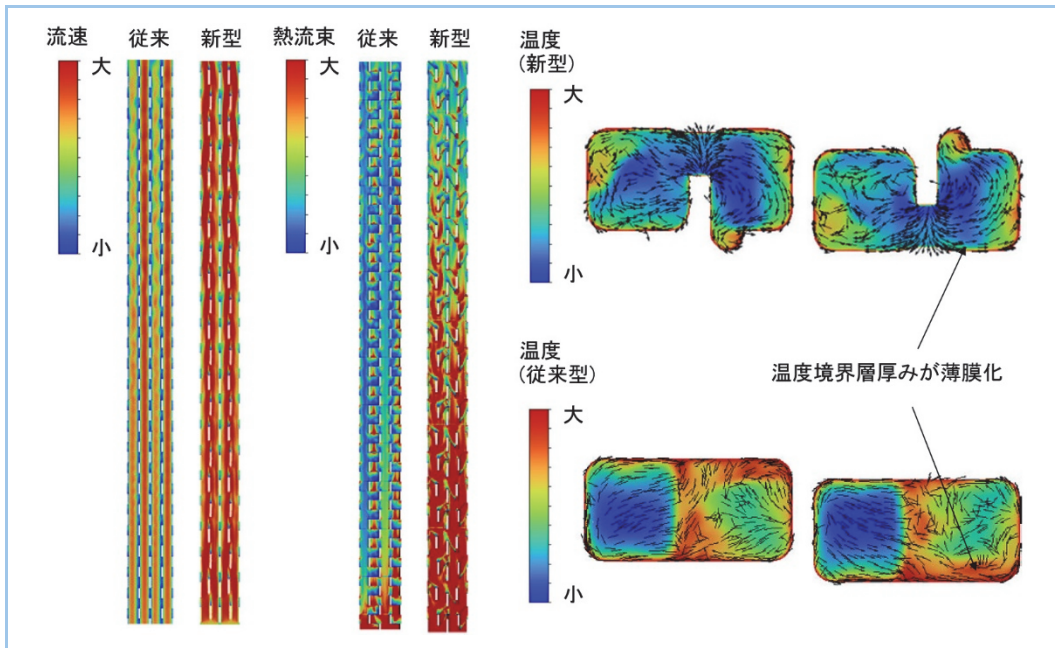


図3 新型オフセットフィン解析結果(流速, 熱流束, 温度コンター図)

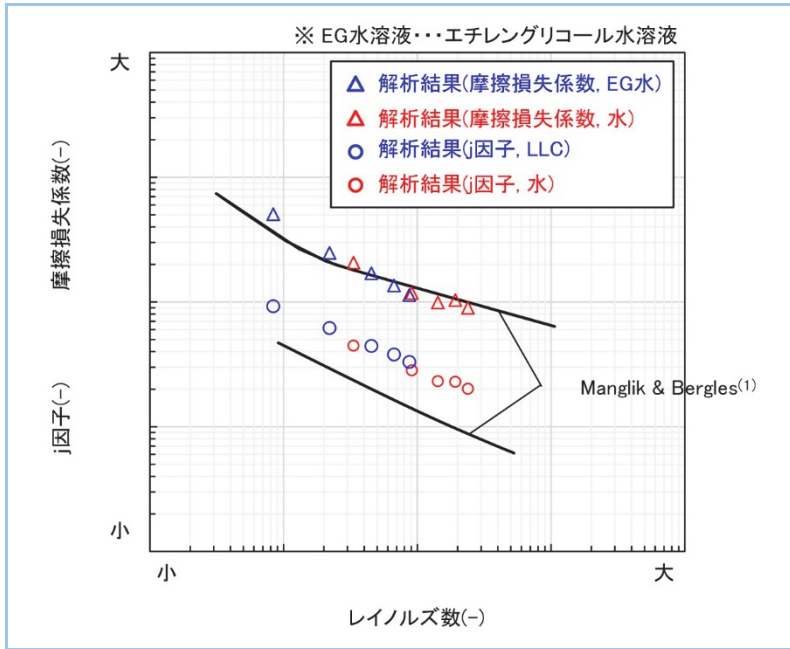


図4 熱伝達率(j 因子)・圧力損失(摩擦損失係数)評価結果

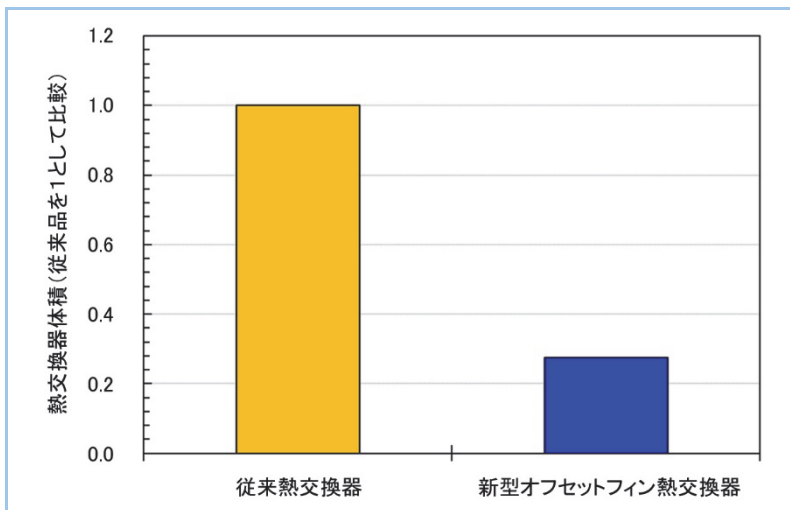


図5 熱交換器体積比較結果

3.2 解析検証試験

新型オフセットフィンの熱流動解析の妥当性を検証するため、移動体に利用される二種類の流体(水・エチレングリコール水溶液)を用いて、熱伝達率・圧力損失の計測を実施した。供試体は、[図6](#)に示すとおり、熱交換器に適用する流路の1流路分のフィンを取り出し、解析と同様にフィン方向には均一に流体が流れる構成とした。熱伝達率計測時には、供試体の両面を加熱し、圧力損失計測時には、断熱状態として試験を実施した。試験では、Wilson-plot 法によりフィンの熱伝達率を算出した。このとき、試験装置の健全性を確認するため、比較的低流量で、供試体の入出口温度差がとれる条件にて、供試体をヒートシンクと供試体の間に設置した熱流束センサーによる熱通過量と供試体を流れる流体の顕熱変化量を比較し、熱収支を確認し、熱収支が5%程度で一致することを確認した([図7](#))。

試験の結果、熱流動解析結果に対して、計測した熱伝達率は±15%以内、圧力損失は±5%以内でよく一致することを確認([図8](#))し、解析の妥当性を検証した。

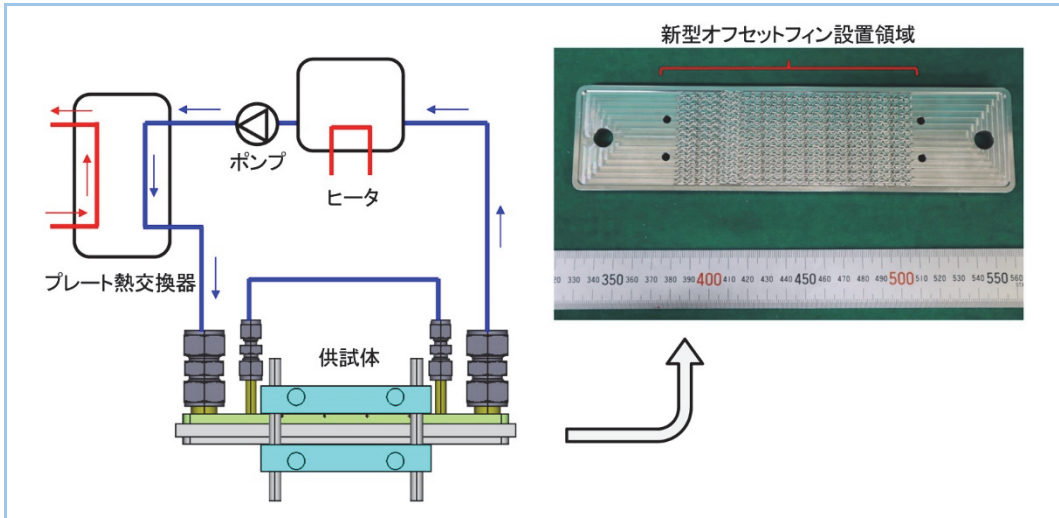


図6 試験回路図及び供試体写真

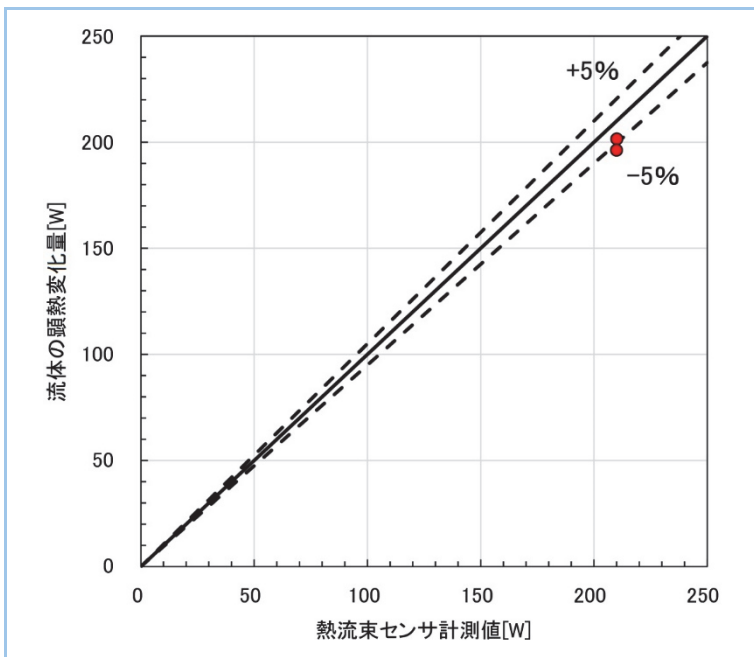


図7 熱収支評価結果

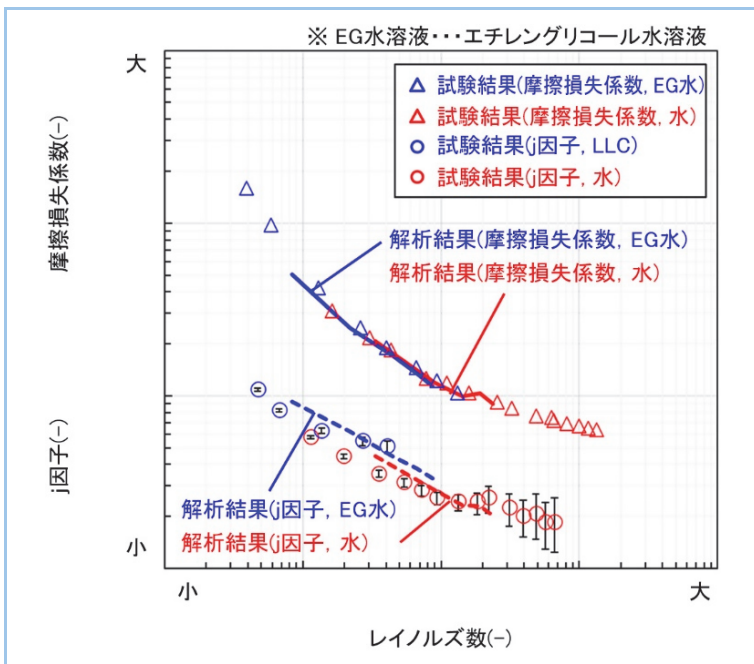


図8 解析と試験の熱伝達率(j因子)・圧力損失(摩擦損失係数)比較結果

4. まとめ

本報では、移動体へ搭載する小型・軽量な熱交換器の開発の取組み事例について紹介し、前縁効果の促進と断面二次流れによる伝熱促進を行った新型オフセットフィン構造の提案、試作・性能検証を実施し、従来オフセットフィンに対して、同一圧力損失対比で高い伝熱性能が得られることを示した。

当社では、本報で紹介したフィンのコンセプト設計、CFD 解析による性能評価、プレス加工による試作・性能評価に限らず、熱交換器の振動・強度評価など品質保証の観点からもフィン形状、熱交換器構造の適正化を進めている。移動体をはじめ他製品にも適用可能な熱交換器の開発に取組み、当社製品の高度化に貢献していく。

参考文献

- (1) M. Manglik, E. Bergles, Heat transfer and pressure drop correlations for the rectangular offset strip fin compact heat exchanger, Exp. Thermal and Fluid Science, Vol. 10 p. 171~180