

微細冷却フィン周りの流れ解析 ～熱交換器の高性能化を目指して～

研究・開発機関 : 株式会社デンソー、京都大学、株式会社数値フローデザイン
 利用施設 : スーパーコンピュータ「富岳」
 計算規模 : 600 ノード (28,800 並列)
 利用ソフトウェア : NuFD/FrontFlowRed

Before

- 流体で冷却する熱交換器の開発では、主に一様定常的な流れ場を解析対象とし、流れの乱れ成分を考慮するまでは至っていませんでした。
- これは熱交換器の微細ルーバ (図1) と乱流の干渉に関わる現象の時間スケール差が大きいなど、これらの現象を正確に捉える為には大規模な熱流体計算が必要だったからです。

After

- 一般の計算機では不可能な1億要素の大規模な熱流体解析が「富岳」を利用して約86時間で実施可能になりました。
- これにより、微細ルーバ周りの流れの挙動を詳細に解くことができ、気流の乱れにより生じた微細な渦構造が熱伝達率の向上に寄与している事がわかりました。今後、この知見を設計開発の指針として活用する予定です。

背景と目的

カーボンニュートラル社会における車両の電動化に伴い、機器冷却装置や車室内空調装置の小型化、省電力化が益々重要になっています。特に装置の小型化により、送風機と熱交換器の距離が近くなるため、送風機の生じた乱れをもった流体が熱交換器に流入し、伝熱現象に影響を与えられると考えられ、それをうまく活用した高効率化が求められています。

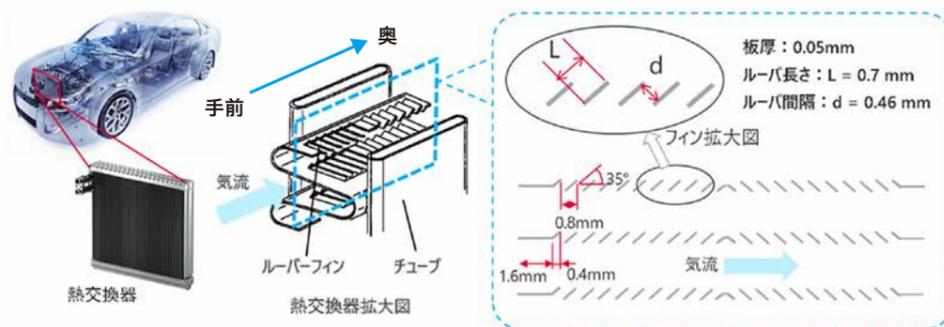


図1 熱交換器のルーバ諸元

そこで本研究では、スーパーコンピュータ「富岳」を用いて送風機から生成された流体の乱れを再現し、熱交換器の微細ルーバ表面が受ける影響を詳細に解くことで、その乱れが熱伝達率に与える影響とメカニズムについての調査を行いました。

■ 利用成果

図2に「富岳」を用いて計算したルーバ表面の局所熱伝達率 (固体の表面と流体の間における熱の伝わりやすさを示した値) 分布を示します。(a)に乱れの無い一様流を流入させた条件、(b)に送風機後流の乱れた流体を流入させた条件の計算結果を示します。(b)の乱れた流体を流入させた条件では、ルーバ1枚目、3枚目の熱伝達率が上昇していることがわかります。ルーバ3枚目の熱伝達率上昇量が特に大きく、ルーバ面全体で26%向上(条件(a)比)し、効率よく冷却されていることがわかります。

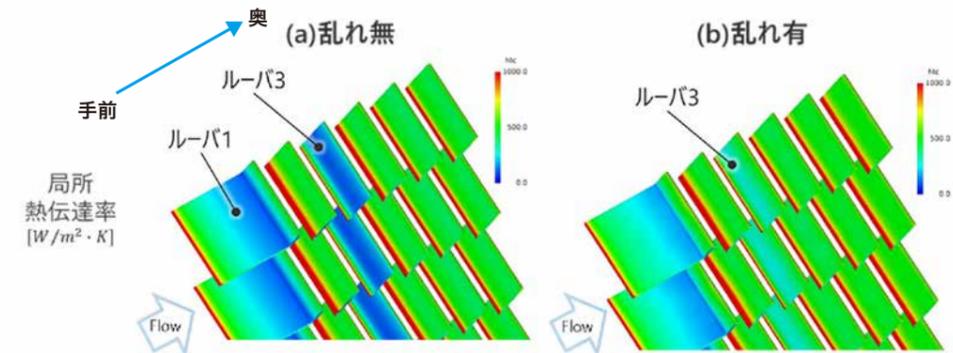


図2 ルーバ伝熱面の局所熱伝達率分布

図3にルーバ周りの渦構造の時系列変化を示します。流体の変形度合い(らせん状や放射状かの度合い)を表現する、速度勾配テンソルの第2不変量(Q値)を用いて渦構造を可視化し、乱れの有無でルーバ周りの渦構造がどのように変化するか調査しました。

図2で示した熱伝達変化の大きいルーバ3枚目周り(図3中赤枠部)の渦構造が乱れの影響により変化していることがわかります。乱れ無(上段)の場合は、ルーバ2枚目から剥離したせん断層に沿って定常的な渦が存在しているのに対し、乱れ有(下段)の場合は、ルーバ2枚目から剥離する渦構造が微細化しており、形状が変化しながらルーバ3枚目の方へ移動する様子がわかります。これは、ルーバ2枚目で生じた剥離せん断層が流体の乱れと干渉している為であると考えられます。この微細な渦構造がルーバ3枚目表面の近傍を移流することにより、ルーバによって暖められた空気がかき混ぜられ、熱交換が促進(熱伝達率が上昇)されるメカニズムが明らかになりました。

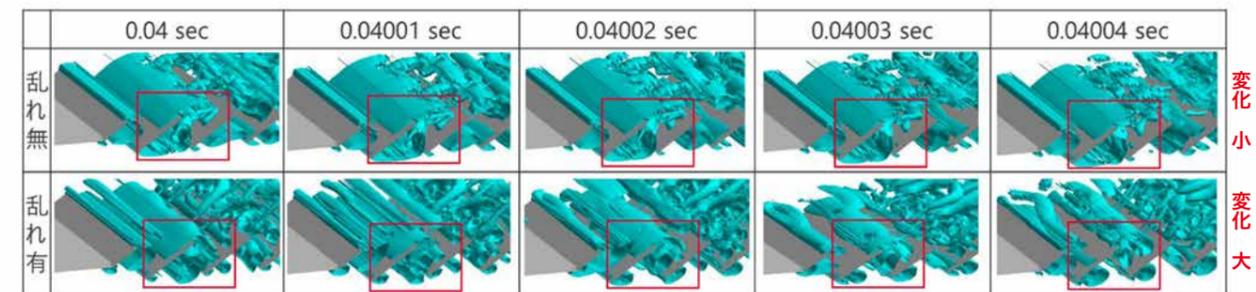


図3 ルーバ周り渦構造の時系列変化

「富岳」の利用により、これまでの解析では見ることのできなかった微細ルーバ周りの詳細な渦構造まで分析可能となり、乱れの効果により熱伝達が促進されるメカニズムを明らかにすることができました。今後も「富岳」を用いて大規模な熱流体解析を行い、渦の熱輸送効果を定量化するとともに、熱伝達を促進する乱れのパラメータ特定に向けて研究を進めて参ります。