

論文の内容の要旨

申請者 椎原 尚輝

論文題目

赤外線カメラを用いた円管内乱流熱伝達変動の新測定手法開発と複雑な流れ場への応用

伝熱機器の熱設計（耐熱設計や信頼性設計）のためには、流体－固体間の伝熱量を予測し、機器の温度を正確に見積もることが重要である。その際、熱伝達率の空間分布を正確に把握しておく必要がある。また、熱伝達率が時間的に変動すると、多かれ少なかれ固体壁の温度が変動し、壁温一定と仮定された従来の経験式や数値解析では伝熱量を正しく予測できない恐れがある。また、熱伝達率変動により壁温が変動すると、固体の熱応力変動が繰り返されて高サイクル熱疲労を起こす可能性もある。そのため、熱伝達率の時間変動についても定量的に把握しておく必要がある。

本研究では、赤外線カメラを用いて円管内の乱流熱伝達変動を定量的に測定する新手法を開発した。まず、最も基本的な流れ場である円管内の流れ場および温度場が充分発達した状態において乱流熱伝達の非定常測定を行い、本手法の妥当性を検証した。その上で、代表的な流れ場における熱伝達率の分布や変動に関する基礎データを取得することを目的に、本手法を、はく離・再付着を伴う流れ場、および急加速・急減速を伴う流れ場に適用した。

本測定を実現するために、伝熱模型の構造を新たに考案した。伝熱面には金属箔を用いて通電加熱したが、その際、高速な熱伝達変動を伝熱面の温度変動として捉えるために、伝熱面の熱容量を可能な限り小さくした。金属箔には熱容量の小さいチタン箔を採用するとともに、チタン箔の厚さは水流に伴う伝熱面の変形や振動の影響が大きくなる範囲で可能な限り薄く（20～40 μm）した。また、円管の曲面を被測定面としているため、多方向からの周囲放射が被測定面で反射して赤外線カメラに入射するが、この影響を極力抑えるため、伝熱面に黒ペイントを塗布して放射率を高めるとともに、周囲放射を一様にするための工夫を行った。また、本実験で用いた伝熱面の熱容量や熱伝導に起因した時間的・空間的な減衰を復元するためのプログラムを開発した。その結果、本伝熱模型を用いて、充分発達した円管内

乱流だけでなく、はく離・再付着を伴う流れ場や流れの急加速・急減速を伴う複雑な流れ場であっても熱伝達率の瞬時分布およびその変動を定量的に測定することに成功した。

はく離・再付着を伴う熱伝達測定では、伝熱模型内に口径比 0.5 のオリフィス板を設置し、オリフィス周囲における熱伝達測定を行った。その結果、熱伝達率の可視化情報を基に、流れの再付着領域における熱伝達の時間的・空間的な挙動を明らかにした。また、従来から、時間平均的な流れの再付着位置と時間平均的な熱伝達率の極大位置が一致しないことが指摘されてきたが、上流側に再付着する流れほど伝熱促進への寄与度が高いことが上記位置の相違の原因であることを明らかにした。

流れの急加速・急減速を伴う熱伝達測定では、流れに矩形波状の脈動を与え、流れ場の変動と熱伝達の変動の同時測定を行った。その結果、流れの急減速時は、乱流のストリーク状の構造が流れ方向に潰れたようなスポット状の伝熱促進構造が現れ、これが伝熱促進に寄与することが明らかになった。また、急加速時は流れが層流化し、これが伝熱抑制をもたらすことが明らかになった。以上の結果を基に伝熱促進が得られる実験条件を検討した結果、同一流量における脈動のない流れに比べ、最大で 50%以上の伝熱促進が得られることを実証した。