

論文の要旨

題目 曲がり管内脈動乱流の流動構造が壁面对流熱伝達に及ぼす影響
(Effect of Flow Structure of Pulsating Turbulent Flow in a Curved Duct on Convective Heat Transfer at the Wall)

氏名 加藤 由幹

本研究では、自動車用エンジン排気管を応用先に、管の曲がりや流動脈動を有する管内流れの熱伝達/流動構造を調査した。特に、「二重曲がり管内定常流の熱流動特性における曲がりの影響」、「直管内流れの熱流動特性における脈動の影響」、「二重曲がり管内の熱流動特性における脈動と曲がりの影響」について議論を行った。実験では、主に熱電対による管路垂直断面温度分布計測とサーモグラフィによる壁温計測、Particle image velocimetry (PIV) による流れ場計測を実施した。また、Conjugate Heat Transfer (CHT) シミュレーションを用いて伝熱特性を評価し、流動構造と結びつけることで伝熱メカニズムを解明した。作動流体は高温 (398 K) の空気であり、Reynolds 数は約 60000 の完全に乱流の条件で実験を実施した。

「二重曲がり管内定常流の熱流動特性における曲がりの影響」については、直管と二重曲がり管のそれぞれで、定常流れにおける管全体の空間平均ヌセルト数を実験的に求めることで評価した。その結果、他の先行研究と同様に直管と比較して曲がり管のヌセルト数が大きくなっており、曲がりによる伝熱促進が生じることが確認できた。CHT により伝熱促進が生じる位置を調査した結果、主に第一曲がりで見ることが分かった。原因としては、曲がりにより生じる Dean 渦等により、曲がり外側で渦拡散が促進され、乱流熱流束が増加するからであった。これに加えて、曲がり外側は内側よりも伝熱面積が大きくなったことも相まって、放熱量が大きくなり伝熱促進が生じていた。

「直管内流れの熱流動特性における脈動の影響」については、直管内に脈動流れを生成した実験を行い、ヌセルト数を計算することで評価した。その結果、脈動周波数が 25-35 Hz においてヌセルト数がピークを持ち、伝熱促進が生じることが分かった。メカニズムを調べるために壁面近傍の速度変動を計測した結果、15 Hz では速度が小さくなった際に乱れが極端に小さくなる再層流化とみられる現象が観測された。25-35 Hz でもこの現象は観測されたが、脈動が速いため高速時の大きな乱れが残留しており、15 Hz と比べて乱れが大きい時間が長かった。この高速時の大きな乱れの残留により、25-35 Hz では乱流混合が促進され伝熱促進が生じたと考えられる。なお、60 Hz 以上の脈動周波数では速度振幅が小さいため、高速時にさほど乱れが大きくなり、かつ再層流化の影響を受けなかったとみられる。また、時定数を考慮した 2 線式熱電対による非定常温度計測を実施した結果、減速時に壁温と流体温度の差が大きくなっていった。これと減速時の乱れの増加が相まって、25-35 Hz において伝熱促進が生じたと考えられる。

「二重曲がり管内の熱流動特性における脈動と曲がりの影響」については、二重曲がり管において脈動流れを生成し、ヌセルト数を実験的に求めることで評価した。その結果、曲がりによる伝熱促進はどの周波数でも生じていた。しかし、25-30

Hz では定常曲がり流れに比べてヌセルト数が 2 割強減少しており，直管内脈動流とは対照的に脈動による伝熱の抑制が確認された．この原因は，脈動による伝熱促進が生じやすい減速時において曲がりによる伝熱促進の源である Dean 渦（二次流れ）の強度が減少するためであった．よって，曲がりによる伝熱促進と脈動による伝熱促進は単純に足して考えることはできず，両者が加わることで逆に伝熱が抑制される場合があることが分かった．