

熱交換器の性能に及ぼす二次流れの効果

名城大学 理工学部 機械システム工学科 教授 藤田秀臣

Prof. Hideomi Fujita
Department of Mechanical Engineering
School of Science and Technology
Meijo University



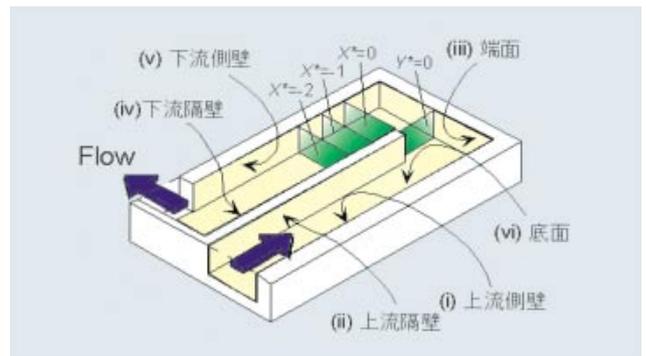
まえがき

管内を流体が流れているとき、管軸に垂直な断面内に速度成分をもつ二次流れが生じることがある。二次流れの速度は主流に比べて1~2オーダー小さいが、流れを3次元化するため、熱交換器などでは伝熱性能に大きな影響を及ぼすことがある。曲った円管内の流れには、遠心力の作用により、プラントルが第1種の二次流れと呼んだ二次流れが発生することはよく知られている。真っ直ぐな管においても、管の断面が円形でなく、しかも流れが乱流であれば、乱流応力の非一様性によって第2種の二次流れが発生する。筆者らはこのような二次流れを伴う複雑な流れにおける流動および伝熱特性に関する実験を行ってきたが、ここではその例を紹介し、熱交換器に適用する際の留意点などを述べてみたい。

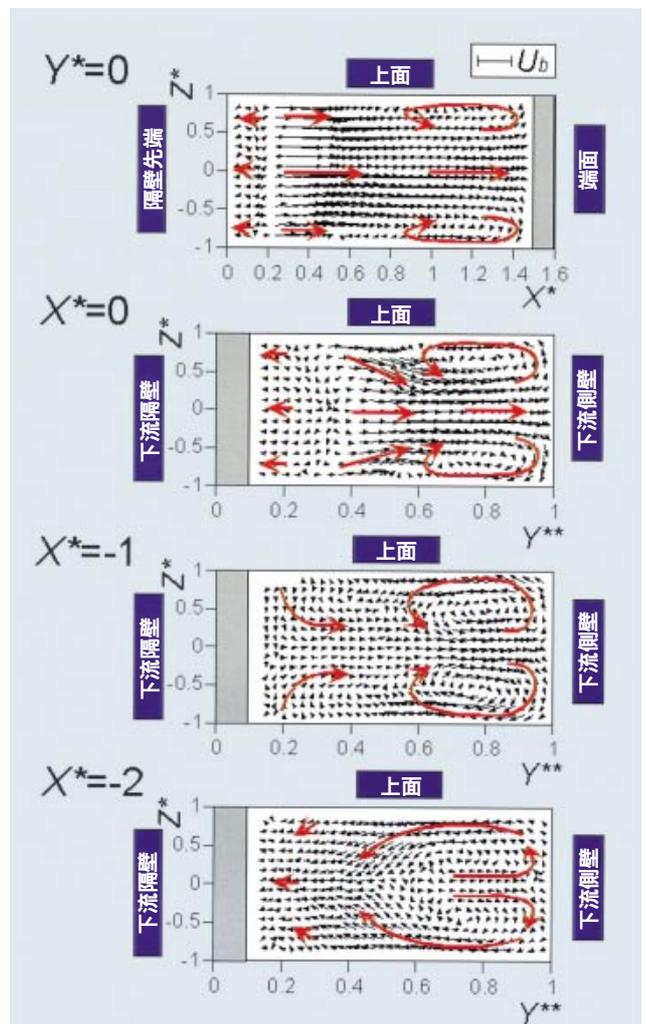
シャープターンをもつ矩形流路内の流れと伝熱

第1図のようなシャープターンをもつ流路は熱交換器に多くみられるが、ガスタービンの翼内冷却流路としても使用されている。この流路の断面は矩形であるから第2種の二次流れも発生するが、ターンの近傍では遠心力による第1種の二次流れがより強い影響を及ぼす。ただ、この場合はターンが急激であるため、隔壁先端における流れの剥離とその後の再付着による作用も付加される。第2図は、第1図に示す流路各断面内における二次流れの速度場をPIV(Particle Image Velocimetry)を用いて測定し、ベクトル表示した例である。流れ方向に二次流れのパターンが複雑に変化する様子が見える。

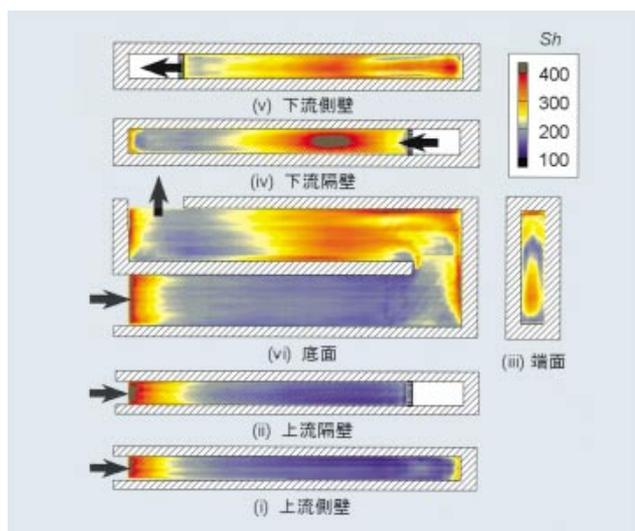
第3図は同じ流路のすべての壁面における熱伝達率の分布を、熱伝達と物質伝達のアナロジーに基づくナフタレン昇華法を用いて測定した結果である。図は物質伝達率の無次元数であるシャーウッド数Shで表示しているが、Shは熱伝達率に対応している。流路の壁面



第1図 シャープターンをもつ矩形流路の概要



第2図 シャープターンをもつ矩形流路内の二次流れ速度分布 (PIVによる計測)



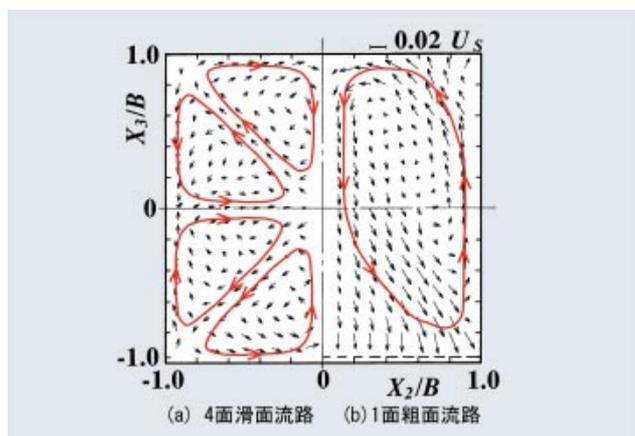
第3図 シャープターンをもつ矩形流路の各壁面における熱伝達率分布

によって、また壁面の場所によって熱伝達率はかなり異なっている。ターン部の間隙や隔壁の傾斜角度など、流路の形状・寸法が変わると流路内の流れもかなり変化するため、熱伝達率の分布や流動抵抗も当然変化する。熱交換器では一般に熱伝達率の高いことが望まれるが、熱伝達率分布の著しい不均一は壁温の不均一をもたらす、装置によっては熱応力の発生原因となるので好ましくないこともある。

粗面をもつ正方形流路内の流動と伝熱

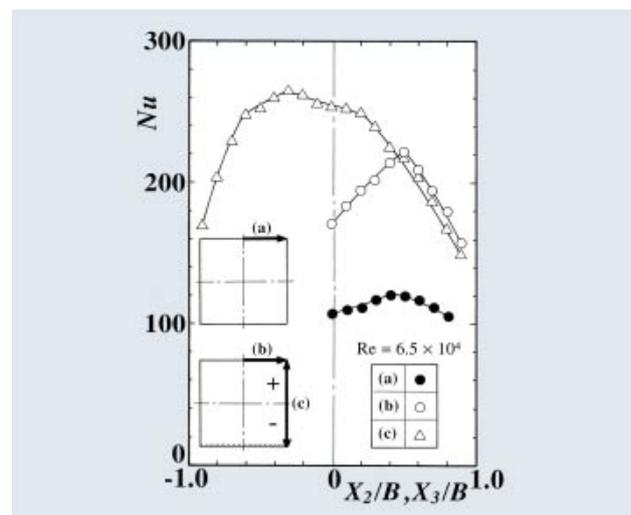
断面が正方形の直線流路内の乱流では、第4図の左半分のような二次流れの存在がよく知られている。この流路の底面にリブ状の粗面を設けた場合、二次流れのパターンは第4図の右半分のように著しく変化する。すなわち、流路の側面に沿って上昇したのち、上面から底面に向かう大きな二次流れが現れる。この強い二次流れは当然温度場にも影響を及ぼすはずである。

第5図は流路の4面を等温に保って局所の熱伝達率分



第4図 正方形流路内の二次流れ速度分布
(X形熱線流速計による計測)

布を測定した結果を、熱伝達率の無次元数であるヌセルト数 Nu で表示している。粗面流路においては、粗面を設けていない側壁および粗面に対向する壁面の熱伝達率も向上している。側壁および対向壁面の平均熱伝達率は、図に黒丸で示してある4面ともに滑面の流路での測定結果に比べて、それぞれ2.0倍、1.7倍にも増大しており、伝熱性能の向上におよぼす二次流れの効果の大きさが注目される。



第5図 1面粗面流路の壁面熱伝達率分布

あとがき

火力発電所や原子力発電所のような蒸気動力プラントは各種熱交換器の集合体であるといっても過言でない。熱交換器の流路は、その断面が円形でなく、また流路が曲げられていることが多いため、二次流れの影響が無視できないことも多いと思われる。本稿のような基礎研究の成果が、装置の設計、製作やメンテナンスに役立ち、発電設備の性能および信頼性の向上に資すれば幸いである。

なお、上記の実験は名古屋大学において行ったものである。廣田真史氏、中山浩氏をはじめとする共同研究者に謝意を表す。

藤田秀臣（ふじたひでおみ）氏 略歴

昭和37年 3月 名古屋大学工学部機械学科卒業
 昭和42年 3月 名古屋大学大学院工学研究科博士課程機械工学専攻修了
 昭和42年 4月 名古屋大学助手 工学部
 昭和47年 4月 三重大学助教授 工学部
 昭和54年 4月 名古屋大学助教授 工学部
 昭和59年 1月 名古屋大学教授 工学部
 平成6年 4月 名古屋大学大学院教授 工学研究科
 平成10年 7月 日本混相流学会技術賞受賞
 平成13年 9月 名古屋大学 退職
 平成13年10月 名城大学教授 理工学部 現在に至る
 平成14年 4月 名古屋大学名誉教授
 平成14年11月 火力原子力発電技術協会中部支部功労者表彰
 専門：熱工学、伝熱工学、流体工学