

熱エネルギーと伝熱

名古屋工業大学大学院 工学研究科 教授 辻 俊博

Professor Toshihiro Tsuji
Graduate School of Engineering
Nagoya Institute of Technology



はじめに

熱力学は熱的平衡状態にある系を扱い、主に19世紀に体系化された普遍的な学問である。そして、熱エネルギー、力学的エネルギー、化学エネルギー、電磁気的エネルギー、光・放射線エネルギーおよび核エネルギーは形態こそ異なるが等価なエネルギーとして認識され、熱力学の法則に従って相互にエネルギー変換される。これらのエネルギーは、目的に応じて使用された後、最終的にすべて熱エネルギーとして環境に放出される。一般に、熱エネルギーは制御が難しいこともあって、高品位のエネルギーとは見なされていない。また、時間的・空間的な熱エネルギーの移動については、熱力学だけの知識では不十分である。それを補うのが伝熱学であり、これを利用して様々な伝熱現象の解明や熱関連機器の技術開発が進められている。

本稿では、伝熱が関わっている基本的な事象と最近のトピックスを紹介する。

伝熱現象と研究動向

伝熱学は、主に20世紀になってから熱力学を基礎として体系化された学問であるが、従来の知見とは異なる伝熱現象の発見や、技術開発に有用な伝熱計算式の修正もあり、まだ完成されたものではない。その意味で伝熱学は学問と言うより科学である。しかしながら、昨今のもので、ものづくりにおいては、伝熱学の知識は最初のおざりにされ、技術開発の途上で伝熱現象に関わる問題が浮上してその重要性が認識されることが多いようである。ものづくりの先頭には立つことはまれであるが、常に縁の下で力持ち的存在なのが伝熱学である。

伝熱現象は、物質内の熱移動(伝導伝熱)、流体による熱輸送(対流伝熱)、溶融・凝固、沸騰・凝縮など潜熱が寄与する熱移動(相変化熱移動)および電磁波による熱移動(放射伝熱)に大別される。一般に、熱流体機器等において遭遇する伝熱現象は、これらが複雑に絡んでおり、計測することによって、ある程度の実験的情報を得ることはできる。しかしながら、熱移動を直接観察することが困難なため、現象の理解が進まないことも多い。そのため、コ

ンピュータの発達とともに、数値解析が盛んになり、計算結果をグラフィック化するなどして、実験では得ることのできない情報を収集する研究が最近顕著になっている。しかしながら、現在のコンピュータの能力では、数値解析によって正確な情報を収集できる伝熱現象は限られている。かなり複雑な系を扱えるように工夫された市販ソフトウェアもあるが、実際の現象に対して、近似や仮定を用いて計算負荷を低減する処理が施されているため、実際の現象を再現できないこともあり、更なる改良が必要である。

最新の伝熱研究に関する動向については、2010年8月8日～13日にワシントンDCで第14回国際伝熱会議が開催されたので、それに基づいて少し紹介する。この会議は、オリンピックの開催年の中間で4年毎に催される伝熱関係では最も大きな行事で、世界中から多くの研究者が参加し、基調講演を含めて約900件弱(参加者は1,100名超)の研究発表が行われた。

研究発表の内容は、熱伝導、衝突噴流、溶融・凝固、ナノ・マイクロ構造物の伝熱、対流伝熱、電子機器の冷却、燃料電池、沸騰(蒸発)伝熱、熱流体計測法、バイオ伝熱、燃焼、自然・共存対流、多孔質体、熱放射、熱交換器など多岐に亘るが、熱関連機器の実用化や先端技術の利用および環境・バイオに関連の応用研究が殆どで、やはり実験的研究よりコンピュータを用いた解析的研究(市販ソフトウェアによる解析を含めて)が相対的に多くなっている。また、中国からの参加者が急増しているのも今回の会議の特徴であった。

浮力流の伝熱特性の向上に関する研究例

筆者は、これまで伝熱分野で主に密度差(温度差)によって生じる浮力流(自然対流および共存対流)の実験および解析



第14回国際伝熱会議風景

の研究に携わってきた。この熱流動は、大気・海洋などの自然や空調・火災などの日常的な現象、そして単結晶成長や電子機器の冷却などの工学的問題に関わっている。ところが、その本質はあまり理解されていないのが実状である。例えば、静止した空気中に置かれた加熱面(平板)周りに発生する浮力流(自然対流境界層)については、加熱面の高さによって、流れは層流から乱流へ遷移するが、この対流に浮力と同じ方向に僅かな流れを付加すると、その乱流遷移点が極端に下流(加熱面の高いところ)に変移する⁽¹⁾。そのため、乱流であった状態が層流化し、伝熱特性が急激に劣化する。これは、浮力流中の乱れ(変動)が流れの付加によって抑制されることに起因する。通常の流れでは、空気の流速を増加させれば、伝熱特性が向上するが、この浮力流では、伝熱特性が返って悪化する。大型の電力施設などの熱発生体の自然冷却を行うには、この点に注意が必要である。一方、フィンなどを用いて浮力流における伝熱性能を上げようとしても、その効果は通常の流れ程現れず、これまで自然冷却における伝熱促進は難しいとされてきた。

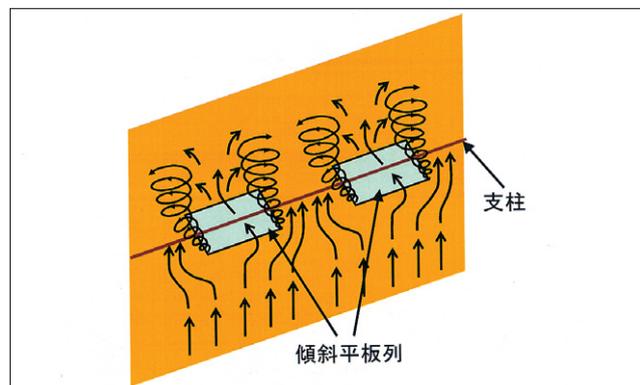
そこで、浮力流に関する伝熱促進技術の確立を目的として、加熱面周りの浮力流中に物体を挿入し、流れをコントロールすることにより、その伝熱特性の変化を調査した。その結果、鉛直加熱面上の浮力流については、物体として隙間を設けた多数枚の傾斜平板を加熱面の幅方向に並べたものを用いると、伝熱特性が格段に向上することを見出した。この方法は、浮力流が層流であるか乱流⁽²⁾であるかに拘わらず有効である。一例として、小型の電子機器筐体などの自然冷却を想定し、加熱面の大きさを300mm×300mmとした場合の浮力流について実験⁽³⁾と数値解析⁽⁴⁾を行った。浮力流中に、45°に傾斜させた10mm×(12~20)mmの平板を10mmの間隔を設けて加熱面幅方向に並べると(挿入位置は加熱面の中央の高さで加熱面と平板の間隔は1mm)、その下流における熱伝達率は局所的に60%程向上する。そして、このような平板列を加熱面高さ方向に数段重ねて、浮力流中に挿入すると、平均で約50%の伝熱性能の向上が得られた。

この伝熱特性の向上は、平板列によって発生する縦渦と傾斜平板を乗り越える流動の相乗効果によるものである(第2図)。そのとき、周囲の低温流体が加熱面近くに侵入するとともに加熱面近くの高温流体が傾斜平板列の隙間部で周囲に放出される(第3図)。このような傾斜平板列を加熱面の高さ方向に複数段設置すると、縦渦が増幅され、一層の伝熱促進効果をもたらすことが分かった(第4図)。

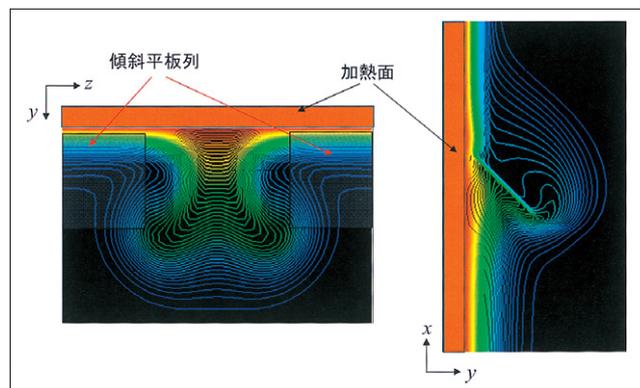
おわりに

先にも記したように、伝熱学はものづくりの先頭に立つことが少なくなったが、ものづくりの過程には必須の

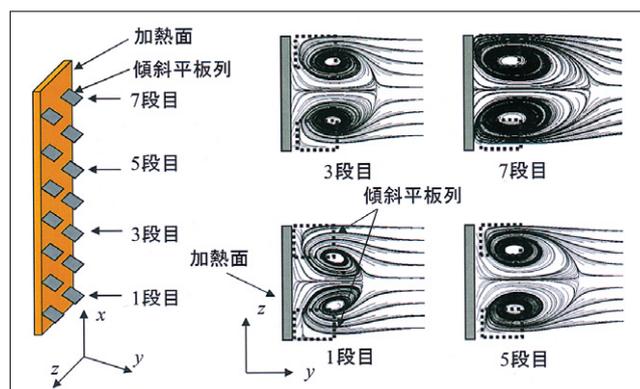
知識である。また、伝熱現象についても未だ不明なところが多い。浮力流の例で示したように、現象に応じて何らかの工夫をすれば、更に効率的な伝熱特性の向上を見出すことも可能である。本稿が伝熱現象を理解する上での一助になればと願っている。



第2図 傾斜平板列による縦渦の発生



第3図 傾斜平板周りの温度分布



第4図 複数段設置の傾斜平板列による縦渦の成長

【参考文献】

- (1) Abedin et al.: International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.53 (9-10), pp.2213-2212(2010)。
- (2) Tsuji et al.: International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol.28, pp.1472-1483(2007)。
- (3) 松野, 他: 日本機械学会論文集B編, Vol.75, No.750, pp.310-315(2009)。
- (4) 梶田・辻: 熱工学コンファレンス2010講演論文集, pp.369-370(2010)。

辻 俊博(つじとしひろ)氏 略歴

昭和51年 九州大学大学院工学研究科博士課程修了
 昭和51年 名古屋工業大学工学部助手
 昭和57年 名古屋工業大学工学部助教授
 平成6年 名古屋工業大学工学部教授
 平成14年 名古屋工業大学大学院教授