

報告番号 ※ 甲第 1173号

主論文の要旨

題名 直交流形熱交換器の
伝熱性能向上に関する研究

氏名 山下博史

主論文の要旨

報告番号	※甲第 1173 号	氏名	山下博史
<p>本研究は直交流形熱交換器の性能向上を目的とし、とくにその熱伝達特性を理論解析により解明すると共に、実験により検証した。直交流形熱交換器に対する研究はすでに数多くあるが、物性値および熱伝達特性量が変化するような問題、動特性のような非定常状態の問題、および熱貫流係数を流動状態から求めるような問題については、まだ十分な取扱いがなされていない。そこで本研究ではこれらの3課題について、熱交換器の性能をϵ-NTU法に基づいた方法によって評価検討することにより取扱った。以下に本論文の内容および成果の要旨を述べる。</p> <p>第1章では、緒論として、熱交換器の性能向上に関する研究が強く要望され、とくに熱交換器内の流体の流動方式が直交流形となるものは、小形軽量で高伝熱性能が得られるプレートフィン形のいわゆるコンパクト熱交換器を始め広く適用されていることを指摘した。また、熱交換器の設計法として従来より修正係数法とϵ-NTU法があるが、後者は直接的であり電子計算機による設計に適していることを指摘し、この方法の概要を説明した。さらに、直交流形熱交換器に対する従来の研究の概略を述べ、本論文で取扱った上述の3課</p>			

主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

山下博史

題についての解明が十分なされていないことを指摘した。

第2章では、3課題について報告する準備として、各種の流動方式とそれらに対応する従来の理論による温度効率 ε と受熱流体に関する伝熱ユニット数 NTU_c の関係について示した。また、第3章～第6章における理論解析で用いた基本的仮定を纏めて説明した。

第3章では、上述の1番目の課題について、とくに熱貫流係数が場所あるいは流体温度に依存する場合の解析について報告した。ここでは、直交流形の3形式について、熱貫流係数 K の変化を、無次元化した形で $K=1+m x^n$ あるいは $K=1+m \theta_c^n$ と仮定して、解析的あるいは数値的に計算を行った。これらの関数形は、受熱流体の流れ方向の位置 x あるいは温度 θ_c に対する依存の程度を表す m 、および依存の様相を表す n という明確な意味をもつ2つだけのパラメータを有し、 K の変化が熱伝達特性に及ぼす影響を一般的に議論する場合に有効である。数値計算では、両流体とも混合する場合には割線法、受熱流体のみ混合する場合にはルンゲ・クッタ・ギル法、および両流体とも混合しない場合には中心差分法を用いた。これらの計算により、

主論文の要旨

報告番号

※甲第**1173**号

氏名

山下博史

温度効率 ε と伝熱ユニット数 NTU_c° の関係を求め、 ε の値は $m=0$ の場合に比べて、 $m>0$ のときは大きく、 $m<0$ のときは小さくなり、 $|m|$ の値が大きくなるにつれてその差は大きくなること、 n の値が大きいときにはこのような m の効果が減少し、小さいときには増大すること、および NTU_c° が大きくなるとこのような m および n の効果は飽和することを示した。また、 $m=0$ の場合の値 ε_0 を基準とした効率変化率 $(\varepsilon-\varepsilon_0)/\varepsilon_0$ を導入して整理することにより、 m および n の影響を定量的に一層明確に示すと共に、種々の流動方式の比較を行い、 $NTU_c^\circ=1.0\sim 3.0$ では、 $(\varepsilon-\varepsilon_0)/\varepsilon_0$ の値は、向流形、両流体とも混合しない直交流形、受熱流体のみ混合する直交流形、両流体とも混合する直交流形および並流形の順に小さくなることを示した。さらに、Colburnの用いた真の平均熱貫流係数を意味する単純熱貫流係数の概念を直交流形に拡張して用い、これと従来の簡便な設計方法による平均熱貫流係数を比較することにより、 m が大きい場合には、従来の方法は適用できないことを示した。

第4章では、2番目の課題について、とくに流体の入口温度のステップ変化に対する過渡応答特性の解析

主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	山下博史
<p>について報告した。ここでは、両流体とも混合しない直交流形について、2種類の差分法により数値的に解析した。第1の差分法は、Myersらが無限大の水当量比をもつ場合の解析に用いた差分法を3次元に拡張したものであり、加熱流体、受熱流体および固体壁温度に対する方程式を連立させたままで、各方程式を熱交換器内部の流体の移動の状態を考慮して差分化したものである。これによれば入口温度がステップ変化するような不連続な温度場についても、基礎方程式を近似することなく精度よい計算ができる。第2の差分法は、熱交換器内の位置(x, y)および時間τについての立方体の差分格子の中央の点における関数値および導関数を、周囲の8個の格子点における値の平均値で与えるような中心差分化を行ったものである。これによれば、固体壁に関する伝熱ユニット数$NTU_s < 0.05$となるような固体壁熱容量が比較的大きい場合について、第1の差分法よりも少ないきざみ数で精度よい計算ができる。これらの差分法により、熱交換器内の局所温度の時間および場所に対する変化を計算し図示した。とくに加熱流体温度は時間τおよび位置yに関して不連続な変化をすることを示した。また、温度効率の時間変</p>				

主論文の要旨

報告番号	※甲第 1173号	氏名	山下博史
<p>化についても計算し、初期条件および各種のパラメータの影響を図示した。とくにパラメータの影響については、非定常パラメータとして、滞留時間比 R、固体壁に関する伝熱ユニット数 NTU_s および熱伝達率比 R_α があり、定常パラメータとして、受熱流体に関する伝熱ユニット数 NTU_c および加熱流体に関する伝熱ユニット数 NTU_h あるいは水当量比 R_w があることを指摘し、流体の移動によるおくれと、熱伝達のおくれに注目して検討した。非定常パラメータ R、NTU_s および R_α の影響は時間もが大きくなると消滅し、すべての場合の ε は同じ定常値に近づくこと、その近づき方は R が小さいほど NTU_s が大きいほど速いことを示した。また、R_α の影響はかなり小さく、全体としての熱抵抗を表す熱貫流係数 K が同じならば、固体壁の両側における熱伝達率の比がいかに変化しても、受熱流体の受ける影響はほとんど同じであることを示した。定常パラメータ NTU_c および NTU_h あるいは R_w の影響については、定常値 ε^* との比 $\varepsilon/\varepsilon^*$ で整理することにより、相対的に NTU_s の値が大きくなるような場合に最も速く定常状態となることを明らかにした。</p> <p>第5章では、3番目の課題について、とくに一様流</p>			

主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名
			山下博史
<p>で伝熱面の熱抵抗がない場合において、伝熱面に垂直な方向の温度分布を考慮した解析について報告した。ここでは、両流体とも混合しない直交流形を中心に並流形および向流形についても数値的に解析した。数値計算では、すべての場合について、陰的な差分化を行い連立一次方程式を解くことに帰着させた。並流形および直交流形では、加熱側および受熱側について同時に解くことができ、入口側から逐次計算を進めることができるが、向流形ではあらかじめ伝熱面の温度分布を仮定することにより、加熱側および受熱側について別々に取扱い、伝熱面における境界条件により伝熱面温度を改良しながら収束するまで繰返し計算を行わなければならない。これらの計算により、流れ方向のみならず、伝熱面に垂直な方向の温度分布を求め、またこの温度分布により局所ヌッセルト数を求め、その流れ方向の変化を示した。さらに、温度効率εと無次元流路長さX_0の関係に対する流動方式およびパラメータの水当量比R_wおよび熱抵抗比R_λの影響について示した。流動方式の影響については、従来の理論によるεとNTU_cの関係と比較しながら図示し、温度効率は向流形、直交流形および並流形の順に小さくなるこ</p>			

主論文の要旨

報告番号

※甲第**1173**号

氏名

山下博史

とを示した。この傾向は ε と NTU_c の関係と同じであるが、 ε と X_o の関係では、 X_o が小さいところでの変化が急激である。木当量比 R_w の影響についても、その傾向は ε と NTU_c の関係と同様、 R_w が小さいほど ε が大きくなるが、 R_w をきわめて小さくしないと $R_w=0$ の場合の曲線に近づかない。熱抵抗比 R_λ の影響は、 ε と NTU_c の関係では考慮できないが、 R_λ が大きくなると ε は大きくなり、 $R_\lambda=\infty$ の曲線に収束する。また、直交流形では、さらにパラメータとして流路長さ比 R_L があるが、これは熱交換器内部の温度分布にのみ影響する。なお、この章の解析は第3章の「熱貫流係数が場所あるいは流体温度に依存して変化する場合」の一つの例でもあり、この場合の単純熱貫流係数を求め、これと X_o の関係を各流動方式および木当量比 R_w について図示した。

第6章では、3番目の課題に対する第5章の解析を拡張すると共に、解析に対応した透過式熱交換器を用いた実験について報告した。ここでは、解析は層流の場合について行い、さらに熱伝達だけでなく物質伝達についても適用できるようにした。一方、実験は熱伝達と物質伝達について別々に行った。熱伝達の実験で

主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名
			山下博史

は、2流体として温度差のある空気、交換面として銅板を用い、温度分布および温度効率と無次元流路長さおよび水当量比の関係を得た。理論値と比較して、温度分布は全体に低い値を示し、温度効率は X_0 の増大とともに低下することもあった。物質伝達の実験では、2流体として湿度差のある空気、交換面として和紙を用い、湿度効率と無次元流路長さおよび水当量比の関係を得た。また、熱伝達と物質伝達の比較を行い、両者にはほぼアナロジーが成立することを指摘した。

第7章では、本研究において得られた結果が総括されており、3課題の関連性について言及し今後の展望を示した。