B208 マッハツェンダー干渉計による超臨界二酸化炭素流れの温度分布計測

桜井克巳^{*}、高漢瑞、岡本 孝司、班目 春樹(東大)

Measurement of temperature distribution of supercritical fluids using Mach-Zehnder interferometer

Katsumi SAKURAI*, KO Han Seo*, Koji OKAMOTO*, Haruki MADARAME*

For development of nuclear reactor or other boilers that use supercritical water, importance of experimental knowledge is increasing to investigate thermal characteristic of supercritical fluid, which is very peculiar. It is well known that there occurs heat transfer enhancement and deterioration in supercritical fluid, however, it is very hard to observe in a case of forced convection because of difficulties in high pressure and temperature. In this study, boiling-like phenomenon in forced convection heat transfer was observed by white-light illumination. Also dependency of boiling to physical parameters was examined. Moreover, Mach-Zehnder interferometer was also applied to investigate temperature distribution in the flow. Temperature variation around the heated wall was measured by interferogram.

Keywords: supercritical pressure, carbon dioxide, forced convection heat transfer, Mach-Zehnder interferometer

1. 序論

超臨界圧ボイラの実用化や超臨界圧水を冷却材に用いた新型炉の開発などに伴い、超臨界流体の熱伝達特性の解明は大きな課題となって進められている⁽¹⁾。一般に超臨界域において流体は密度、比熱などの物性値が気相、液相の通常状態に比べて温度に依存して連続的に大きく変動するため、それらを制御パラメータにして工学、化学的に様々な応用がなされている。熱工学的には、熱伝達率の増大などが注目されている⁽²⁾⁽³⁾。とりわけ臨界近傍で定圧比熱は急激な変化を起こし、疑似臨界点と呼ばれる臨界点より数度高い温度でピークを持つ。この領域では、低い熱流束に対しては大幅な伝熱促進が起こるが、質量速度が充分高い条件では、熱流束が高くなるにつれ、伝熱劣化が生じてくる。このような特殊な性質は数多く報告され、議論されてきた。また、気液の区別が無い超臨界状態においても沸

騰に近い現象が発生することは知られている。この現象が伝熱に寄与している部分があるとも考えられている。こういった現象を含め、超臨界流体の強制対流の熱伝達における流れの様子は工学上重要な問題ではあったが、可視化画像で観測することは、超臨界流体が高温高压で取扱いが困難なこともあって、少なかった。

本研究では、超臨界流体の加熱流動に耐用する高压容器流体を用い、矩形流路を垂直上昇させながら壁面から加熱する強制対流熱伝達の条件で疑似沸騰を発生させ、それを白色光とレーザーを用いたマッハツェンダー干渉計で可視化計測実験を行った。

2. 実験装置

ループ装置の概要は以下のようになっている。二酸化炭素はボンベから約 6MPa の圧力で供給され、冷却タンク内で 10 度ほどで水冷されてから液化された状態でメインタンクに貯蔵される。さらに数度以下まで冷却され、ポンプで加圧される。ポンプはダイヤフラム型を用い、吸い込み圧力はタンク圧力と同じ 6MPa で、流量は最大で 155L/H である。ポンプは一定流量

* Nuclear Engineering Research Laboratory,
University of Tokyo, Tokai-mura, Ibaraki, 319-11

Fig.1 sideview of the testsection

で作動し、圧力コントロールはフィードバック電子制御式のコントロールバルブで行い、設定値に一定に保たれる。また、熱媒槽を通過させることで流体はテストセクション手前で一定のバルク温度に調節される。

図1は可視化測定用のテストセクションである。垂直上昇の矩形流路で、長さは600mm、流路面積は10cm x 20cmである。流路の片面全体が銅ブロックで、容量600Wのヒーター壁になっている。熱電対は流体入口温度、出口温度、テストセクション中間での流体温度と、ヒーターに6箇所設置した。可視化測定用窓は流路途中に設けられている。窓には高温高压耐用のガラスでなおかつ可視化波長で光を減衰させない特殊なものを使用した。直径は23mmで、肉厚は60mmである。

この装置において、強制対流熱伝達、疑似沸騰を観測するために、白色光源による可視化とマッハツェンダー干渉計による温度分布計測を行った。白色光源による可視化は、疑似沸騰発生時の密度変動により光が散乱され、透過光が減衰するのを観察するためである。

また、壁面近傍の温度分布を可視化するために15mW、532nmのHe-Neレーザーを用いたマッハツェンダー干渉計を適用した。

3. 実験結果

二酸化炭素の臨界点は圧力：7.38 MPa、温度：31.1℃である。白色光による実験条件は流体バルク温度を31℃、圧力を7.4MPa、ヒーター出力は576Wとした。臨界近傍に設定し、テストセクション内で疑似臨界に達する条件にした。図2は得られた画像である。円形の可視化窓内の右側の黒い部分は壁面である。疑似沸騰は、暗い領域となって見えている。また、ほかのパラメータの条件を同じにして圧力を9.0MPaに上昇して行った実験では、疑似沸騰は発生しなかった。これは圧力上昇に伴って疑似臨界点が上昇したためであると思われる。

次に、マッハツェンダー干渉計によって得られた温度分布画像を示す。これは圧力9.0MPa、流体バルク温度31℃である。ヒーター出力は100Wほどで低くし

Fig. 2 image of boiling-like phenomena

Fig. 3 initial condition of interferogram

Fig. 4 temperature distribution by interferometer

てある。これは、疑似沸騰が発生する条件だと密度変動が激しすぎて干渉縞が消滅するからである。図4は初期状態の、ヒーターを用いていない状態の干渉縞である。干渉縞は、ここでは温度上昇に伴って上側にシフトするセッティングにしてある。ヒーター壁面から入熱のある状態は図5である。やや縞は乱れているが、壁面近傍で縞が上側にシフトしているのがわかる。

4. 結論

超臨界圧二酸化炭素について、強制対流熱伝達の内部分の状態を可視化することに成功した。また、それに伴う疑似沸騰現象も可視化し、マッハツェンダー干渉計を用いて温度分布の変動の可視化も行った。強制対流状態でも、壁面付近で通常のものと同じような疑似沸騰が観測され、圧力条件などによる発生の違いも示された。

参考文献

- [1]Y.Oka, S.Koshizuka and T.Yamasaki
J.Nucl.Sci.Technol.29,585-588(1992)
- [2]N.L.Dickinson and C.P.Welch,
Trans.Am.Soc.Mech.Engrs.80,746(1958)
- [3]S.Koshizuka, N.Takano and Y.Oka,
Int.J.Heat Mass Transfer,
Vol.38,No.16,pp3077-3084(1995)