35 ヘリウム-空気置換流の 流速分布計測および可視化

埼玉大学工学部 川橋 正昭、*細井 健司
日本原子力研究所 文沢 元雄

Velocity Measurements of the Buoyancy-Driven Exchange Flow between Helium and Air through a Small Opening

Masaaki KAWAHASHI*, Kenji HOSOI*, Motoo FUMIZAWA**

In this paper, experimental results of visualization and velocity measurements of the buoyancy-driven exchange flows through the small opening are described. This type flow might be caused by a pipe rupture accident in a high temperature gas cooled reactor.

After helium gas had been filled in the test cylinder, the cap covered the top of the opening was abruptly removed. Then an ascending helium current issuing from the opening and an entering air current into the test cylinder were occurred. The ascending flows seeded with fine particles were illuminated by sweeping beam scanned by a polygon mirror in vertical and horizontal planes. And multi-exposure specklegrams of the flows were recorded on the films. The velocity vector diagrams of the helium current were obtained from the specklegrams by means of Young's fringe method.

Experimental results show that maximum velocity of helium current depends on the shapes of the opening with/without throat.

1. まえがき

外部と異なる密度の流体で満たされた容器に、何等かの原因で突然開口部が生じると、内部と外部の流体間で置換流が生じる。このような置換流については、CO₂-空気⁽¹⁾、温度差のある気体⁽²⁾、塩水-水⁽³⁾等について調べられてきており、容器内の質量変化計測による置換流量の時間経過特性の解析や、フルード数⁽³⁾による流動状態の整理がなされてきた。さらに、最近高温ガス炉の上部配管破断事故を想定したヘリウム-空気の置換流についての一連の報告⁽⁴⁾がなされており、その特性について塩水-水で得られた結果と比較された。

しかし、開口部における置換流の挙動は極めて不規則であるとともに、置換流量および流動状態は、開口部形状や開口面の傾きなどによって変化する。したがって、その流れの構造を明らかにすることは容易でない。最近、ヘリウム-空気置換流について、マッハツェンダ干渉計による可視化⁽⁴⁾やレーザドップラ流速計による流速計測⁽⁵⁾がなされ、流れの構造が調べられてきた。しかし、非定常な置換流の構造を明らかにするためには、変動する流れの可視化とともに、対向流の瞬時流速分布の定量的計測、さらにその時間的変動の計測が必要である。

* Saitama University, 255 Shimo-okubo, Urawa, Saitama, 338 Japan

** Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-Mura, Ibaraki, 319-11 Japan.

本報告では、浮力によって誘起されるヘリウム-空気置換流について、ビームスイープ照明法を用いたレーザーライトシートによる可視化、および多重露光高密度粒子像の光処理による流速計測法（スペックル法、または高像密度光処理PIV）を適用し、流速分布計測および可視化を行なった結果について報告する。

2. 実験及び計測法

置換流の特性は開口部の形状によって変化する。本報告で示すヘリウム-空気置換流では、開口部の形状が、傾斜した首部をともなって傾いた開口面を有する場合、比較的安定な置換流が生じて、置換流量が最大となる傾斜角が存在する⁽⁸⁾。一方、開口面が水平の場合には置換流が不安定となる。そこで本実験では、ヘリウム容器の上部に水平な開口面が存在する場合に限定し、首部長さが異なる場合について、置換流の可視化および流速測定を行なった。

実験装置の概略図が図1に示されている。用いたヘリウム容器は、内径約200mm、高さ400mmであり、上部に直径(D)20mmφの円形開口部が設けられている。首部の長さ(H)は、10mm、100mmおよび200mmであり、 H/D の値は、それぞれ0.5、5、10となる。なお、首部を有する場合、開口には40mmφのつばが付けられている。容器内の空気は、真空ポンプによる排気とヘリウムの供給を繰り返して、ほぼ100%のヘリウムに置換される。さらに、供給ヘリウムに光散乱粒子を懸濁し、容器内に注入する。用いた粒子はタルクパウダ（ベビーパウダ）である。また、容器内圧力は外部圧力と同じになるよう調整される。

この状態で開口部のふたを取り去り、置換流を生じさせる。置換流の可視化は、開口面の中心軸を含む垂直断面と水平面について行なった。流速測定は、前者断面内についてのみ行なった。可視化および流速測定のための粒子像記録には、ポリゴンミラースキャナによるビームスイープ照明法を用いた。著者らは、従来よりシングルビームスイープ⁽⁷⁾、またはデュアルビームスイープ照明法⁽⁹⁾によるスペックル流速計を開発してきた。本実験では、流速値が比較的低速（数10cm/s）であることから、シングルビームスイープによる照明法を用いた。

3. 可視化および流速計測結果

流速計測に先立ち、水平開口による置換流の非定常性を確認するためビデオカメラによる可視化観測を行った。その結果、置換流は短い周期（1/10～1/20s）で変動する非定常流であり、 H/D の値によって流動状態が変化することが観察された。そこで、スチルカメラによる連続撮影を行ない、開口部首部の長さによって変化する置換流の瞬時の可視化

Fig.1 Experimental apparatus.

Fig.2 Visualization of ascending helium currents.

Fig.3 Velocity distribution in ascending helium currents obtained by speckle method.

像を記録した。これらの結果のなかから、各 H/D の値に対する幾つかの典型的な可視化像を図2に示す。図の(a)は、垂直断面の可視化であり、(b)は水平断面の可視化結果である。図中に示した時間は、開口開放後の経過時間である。なお、照明および撮影条件は、ビームスweep周期 1.5 ms 、スチルカメラのシャッター開放時間 $1/30 \text{ s}$ 、使用フィルムはTMAX-3200 (KODAK) であり、垂直断面および水平断面可視化時のシート厚

さは、0.5 mm と 3 mm である。

これらの結果は、以下のことを示している。 H/D の値が 0.5 のとき、上昇ヘリウム流は顕著な 3 次元性を示し、開口中心に対して偏心したほぼ一定位置に渦心を有する渦状流出となる。したがって、垂直断面可視化像では開口面近傍を除いて、粒子像は観察されない。一方、十分長い首部を有する場合 ($H/D = 5$ および 10) は、流れの構造は開口中心軸周りに変動する置換流の傾向を示す。

つぎに、図 2 (a) に示した粒子像につ

いて、光フーリエ変換処理 (ヤング縞法) を適用して求めた流速分布計測結果を、図 3 に示す。この結果から、各首部長さにおける開口面最大流速の値をもとめ、質量変化の計測から得られた平均流速の値とともに図 4 に示す。開口面における最大流出流速値は $H/D \geq 5$ ではほぼ一定であるが、 $H/D = 0.5$ では増加しており、平均流速の増加と対応している。

4. あとがき

密度の異なる気体が水平開口面で接するときの、浮力によって誘起される置換流について、可視化および流速分布計測を試みた。このとき置換流は、短い周期で揺らぐ非定常流となる。ビームスweep照明法を用いて流れの可視化および粒子像光処理流速計測法を適用した結果、置換流の構造について幾つかの知見を得た。今後、さらに照明法や可視化像の記録法を検討し、置換対向非定常流の構造を明らかにしていく。

(文献)

- (1) Mercer, A. & Thompson, H.: J. Br. Nucl. Energy Soc., 14-4 (1975), 327.
- (2) Brown, W. G.: Int. J. Heat Mass Trans., 5 (1962), 869.
- (3) Epstein, M.: Trans. ASME, J. Heat Trans., 110 (1988), 885.
- (4) Fumizawa, M. et al.: Proc. FLUCOME'91 (1991) 333. など。
- (5) 文澤、菱田: JAERI-M, 91-146 (1991), 1.
- (6) Kawahashi, M. et al.: Proc. ISFV6, (to be published).
- (7) Kawahashi, M. & Hosoi, K.: Exp. Fluid, 8 (1989), 109.
- (8) Kawahashi, M. & Hosoi, K.: Exp. Fluid, 11 (1991), 278.

Fig.4 Velocity of helium currents at opening.