様々な機械式攪拌条件下における浴内流動のPIV測定*

佐藤 新吾^{*} (北海道大学), 大参 達也 (北海道大学), 植村 知正 (関西大学),
井口 学 (北海道大学)

PIV measurement of fluid flow in a bath under various mechanical agitation conditions

Shingo SATO, Tatsuya OHMI, Tomomasa UEMURA and Manabu IGUCHI

ABSTRACT

We proposed three kinds of mechanical agitation methods to replace the conventional centric agitation method: offset agitation, centric agitation with an immersion cylinder, and offset agitation with an immersion cylinder. They remarkably enhanced agitation efficiency in a bath. In this study, Particle Image Velocimetry (PIV) measurement is carried out to reveal the mechanism of high agitation efficiency of these three agitation methods.

Keywords: PIV measurement, Mechanical agitation, Impeller

1. 結 論

インペラを用いた機械式攪拌は現在様々な分野で用いられている。主に用いられている機械式攪拌の攪拌方式は、インペラを浴中心軸に設置する中心攪拌である。しかし近年では、攪拌効率の更なる向上が望まれている。著者らは、これまで中心攪拌とは異なる新規攪拌方式を検討し、①インペラを浴中心からずらす偏心攪拌、②浴表面にわずかに円柱を浸漬させる浸漬円柱攪拌、さらには、③浸漬円柱攪拌と偏心攪拌の併用を行うことで、低密度粒子の良好な分散が見られる等の攪拌効率の向上が達成できることを見出した^{2,4)}。しかし、これらの手法による攪拌効率の向上のメカニズムが未だ不明である。

本報では、これら三種の攪拌方式における浴内流動を粒子画像流速計(Particle Image Velocimetry: PIV)により明らかにするとともに、攪拌効率の向上メカニズムについて検討を行った。

2. 実験装置および実験条件

2.1 実験装置

実験装置は、浴深 $H_w=300\text{mm}$ となるように水を満たした透明アクリル製の内径 $D=200\text{mm}$ の円筒容器とインペラを有する攪拌装置から構成されている。インペラは羽根の傾斜角 θ が 45° 、直径 $D_i=75\text{mm}$ の傾斜パドル型4枚羽根のものを使用した。また、インペラの容器底からの設置高さを $H=50\sim 200\text{mm}$ とし、インペラの回転数 N を 200, 500, 700rpm と変化させ測定を行った。偏心攪拌ではインペラを浴中心軸とインペラの回転軸との距離 R_E が $D/4$ となるように設置し、浸漬円柱攪拌では、

Fig.1 Positions of impeller and cylinder under offset agitation with an immersion cylinder. (Top view)

は、外径 $D_c=35\text{mm}$ の円柱を浴中心から $L_c=D/4$ の位置に $H_c=20\text{mm}$ となるように浸漬させた。円柱を浸漬させた偏心攪拌では、Fig.1 に示すような位置に円柱を浸漬させた。インペラの回転を開始し、十分な時間が経過した後には浴内の流動を PIV 測定した。

2.2 PIV 測定条件

本研究では、浴内流動を 3 次元的に解析するため、容器の縦断面と横断面の 2 通りについて PIV 測定を行った。また、攪拌装置に対して照射するレーザーの位置を変えることで、浴内全体での流動を観察した。縦断面について、レーザー照射位置は容器手前を $x=0\text{mm}$ とし、容器奥に向かって $x=20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180\text{mm}$ と移動させた 9 つの位置で測定を行った。横断面について、容器底を $z=0\text{mm}$ とし、浴表面に向かって

Fig.2 Velocity vectors in the bath.
(Vertical cross section, $N=200\text{rpm}$, $x=100\text{mm}$)

Fig.3 Schematic of rotating flow in the bath.

$z=50, 100, 150, 200, 250\text{mm}$ と移動させた 5 つの位置で測定を行った。

各条件について 100 枚の画像を得た。連続する 2 枚の写真から 1 枚のベクトル図を作成するので、各条件につき 50 枚のベクトル図を作成し、平均をとった。

3. 実験結果

3.1 偏心攪拌

Fig.2 にレーザー照射位置 $x=100\text{mm}$ での縦断面での PIV ベクトル図を示す。偏心攪拌において、インペラ羽根周辺に羽根に向かう強い流れが観察された。低密度粒子がこの流れに乗ってインペラに衝突することにより、浴内の広い範囲への分散が可能になったものと考えられる。

3.2 浸漬円柱攪拌

円柱を浸漬させることによって、中心攪拌下の浴内流動に変化が生じた。Fig.3 に円柱を浸漬させた場合での浴内流動の模式図を示す。円柱近傍から下向きの流れが生じ、それに伴って浴内の回転中心が傾斜していったと考えられる。この傾斜角度は水平から約 22.5° 度であった。

Fig.4 Tip position of vortex tube.
($H=50\text{mm}$, $N=500\text{rpm}$, Type C)

3.3 円柱を浸漬させた偏心攪拌

円柱を浸漬させることにより、偏心攪拌時に形成していた傾斜渦の挙動に変化が生じた。Fig.4 に横から見た浴内の様子を写真で示す。インペラ回転数 $N=500\text{rpm}$ の場合、円柱を浸漬させない偏心攪拌では、傾斜渦の先端はインペラまで到達していなかった。それに対し、円柱を浸漬させると、渦管の先端がインペラまで到達し、またインペラ回転軸の中心から羽根先端に向かってずれているのが確認された。このような現象は、Fig.1 に示した Type A, B, C のすべての場合において観察された。この現象が浴表面に散布した低密度粒子の浴内への分散効率向上に寄与していると考えられる。

4. 結論

新規攪拌方式における浴内流動を粒子画像流速計 (PIV) により測定した。得られた結果を以下にまとめる。

- 偏心攪拌時には、インペラ羽根に向かう強い流れとインペラ下部における放射状流れが観察された。
- 中心攪拌の場合、円柱を浸漬させることにより浴内の回転中心が傾斜した。
- 円柱を浸漬させた偏心攪拌では、渦管がインペラまで到達しやすくなり、さらに渦管の接触位置がインペラ羽根先端側にずれることが確認された。

参考文献

- 1) ISIJ: 100th and 101st Nishiyama Memorial Lecture, ISIJ, Tokyo (1984).
- 2) T. Nomura and M. Iguchi: Effects of Mechanical Offset Agitation on Dispersion of Low Density Particles in Cylindrical Bath, *Testu-to-Hagane*, 88-1 (2002), pp.1-7.
- 3) Y. Takahashi and M. Iguchi: Flow in a Bath with an Immersion Cylinder under Mechanical Agitation Condition, *Tetsu-to-Hagane*, 94-11 (2008), pp.461-467.
- 4) S. Sato, T. Ohmi and M. Iguchi: Dispersion behavior of low-density particles and water flow in a bath under offset agitation with an immersion cylinder, *Testu-to-Hagane*, 95-12 (2009), printed.