

磁場出口の円管内液体金属電磁流体流れに関する三次元数値解析

Three-Dimensional Numerical Analyses on Liquid-Metal Magnetohydrodynamic Flow through Circular Pipe in Magnetic-Field Outlet-Section

○ 熊丸 博滋, 兵庫県大院, 671-2280 兵庫県姫路市書写 2167, E-mail: kumamaru@eng.u-hyogo.ac.jp
 伊藤 和宏, 兵庫県大院, 671-2280 兵庫県姫路市書写 2167
 下権谷祐児, 兵庫県大院, 671-2280 兵庫県姫路市書写 2167
 Hiroshige Kumamaru, University of Hyogo, 2167 Shosha, Himeji, Hyogo 671-2280
 Kazuhiro Itoh, University of Hyogo, 2167 Shosha, Himeji, Hyogo 671-2280
 Yuji Shimogonya, University of Hyogo, 2167 Shosha, Himeji, Hyogo 671-2280

Three dimensional numerical calculations were performed on liquid-metal MHD flow through a circular pipe in the outlet region of a magnetic field. Calculation results showed that along the flow axis, i.e. the pipe axis, the pressure decreases steeply as a fully-developed MHD flow, drops more sharply in the magnetic-field outlet-region, and finally decreases slowly as a normal non-MHD flow.

1. 序言

液体金属電磁流体 (MHD) 流れは、核融合炉ブランケットの冷却などにおいて重要となる。MHD 流れにおいては、印加磁場と液体金属流れの相互作用により MHD 圧力損失が大きくなる問題があるが、特に磁場入口あるいは出口においては、磁場内発達部に比べて著しく圧力損失が大きくなると考えられる。

著者らは既に、三次元で上流側および下流側に十分な領域を取って磁場入口の円管内流れについて数値解析を実施した。本研究では磁場出口の円管内流れについて、数値解析を行った。

2. 数値解析

基礎式は連続の式、運動方程式および誘導方程式である。運動方程式にはローレンツ力項を含む。また誘導方程式は Maxwell の式および Ohm の法則より導かれる。円管半径、 z 方向 (主流れ方向) 平均流速などを用いて無次元化し、 Re : Reynolds 数、 Ha : Hartmann 数および Rm : 磁気 Reynolds 数を導入する。無次元化した基礎式を有限差分法-MAC 法により解いた。

絶縁壁円管内の流れについて、 $Ha = 100, Re = 1000, Rm = 0.01$ の条件について解いた。外部磁場は y 方向に印加し、 $z = 0 \sim z_1$ は $Ha = 100$ 、 $z = z_1 \sim z_2$ は Ha 減少、 $z = z_2 \sim z_0$ は $Ha = 0$ である。 z_1/z_2 は 10/20 から 10/0.05 まで変化させた。

3. 解析結果

Fig. 1 に z 軸に沿った圧力変化を示す。 $z = 0$ から $z = z_1$ までは、磁場内 MHD 発達流れの圧力変化に従って大きな一定の圧力低下を示す。 $z = z_1$ から $z = z_2$ までは、磁場出口部であり磁場内発達流れよりさらに大きな圧力減少を示している。 $z = z_2$ から $z = z_0$ までは、磁場なしの通常流れのゆるやかな圧力低下を示す。磁場出口部の圧力損失は、磁場減少勾配が大きくなるほど大きくなっているが、 $z_1/z_2 = 10/0.1$ 以上の勾配では飽和していることが分る。

z 方向流速の分布は、磁場内 MHD 発達流れの中心部 ~ 1.1 の平坦な分布から、中心部 2.0 の磁場なし通常流れの放物形分布へ変化する。

Fig. 2 に、 $z_1/z_2 = 10/15$ の場合について、 $y = 0$ の $x-z$ 平面における誘導電流を示す。 $z = 0 \sim 8$ の磁場内発達部においては、誘導電流は x 負方向に流れ、 z 方向にはほぼ一様である。この誘導電流により、ローレンツ力が z 負方向へ働き、 z 軸方向にはほぼ一定の圧力損失が発生する。 x 負方向に流れた誘導電流は同じ z の $x-y$ 断面内において壁極近傍の流速 ~ 0 の領域に戻るループを形成する。 $z = 8 \sim 17$ の磁場出口部においては、電流は主に $x-z$ 断面内でループを形成する。このループの電気抵抗は磁場内発達部より小さいため、

誘導電流は発達部より大きくなる。このため、 $z = 8 \sim 13$ では、 x 軸負方向に流れる誘導電流も大きくなり、 z 負方向に作用するローレンツ力も大きくなり、従って圧力損失も大きくなる。

4. 結言

圧力は流れすなわち円管の軸に沿って、磁場内 MHD 発達流れの一定の大きな圧力損失、磁場出口部におけるさらに急激な圧力損失、磁場なし通常流れの緩やかな圧力損失を示した。

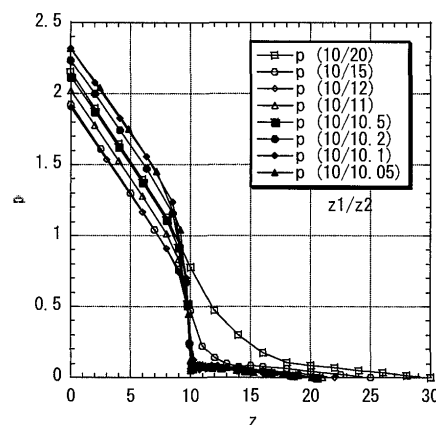


Fig. 1 Pressures along z -axis for various magnetic field gradients

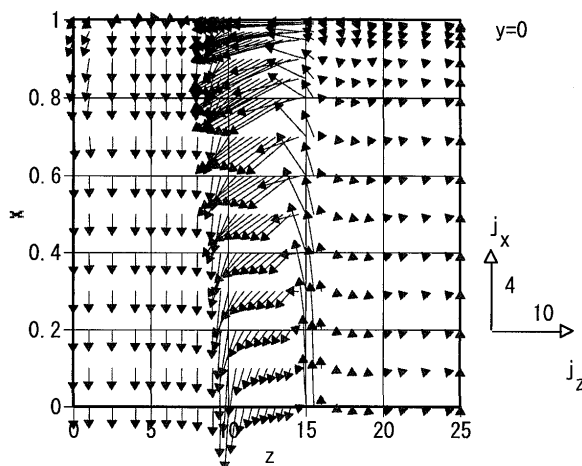


Fig. 2 Induced current distribution for case of $z_1/z_2 = 10/15$