

## Hartmann 境界層モデルを用いた MHD 対流解析

## Numerical analyses of MHD convection with use of the Hartmann layer modeling

○ 田川俊夫, 首都大, 日野市旭が丘 6-6, E-mail: ttagawa@cc.tmit.ac.jp  
Toshio TAGAWA, Dept. of Aerospace Engineering, TMU, Hino 191-0065, Japan

In the presence of a uniform magnetic field, some characteristics of the convective flows in enclosures are presented numerically. The direction of the uniform magnetic field is parallel to the main circulation of convection flow. The well known analytical solution in the Hartmann layers allows taking directly their influence via new boundary conditions for the core flow. This modeling of the new boundary conditions saves important memory and CPU resources, and its solution is much closer to the true solution.

## 1. はじめに

MHD (Magnetohydrodynamics) 対流解析における困難さの一つは、磁場が強い場合、つまり高 Hartmann 数 (Ha) 時に、印加磁場に直交する壁面近傍に形成される境界層の薄さに起因する。この境界層では、大略、電磁力と粘性力がバランスし、境界層厚さは Ha 数の逆数に比例することが知られている。この境界層を Hartmann 境界層と呼ぶ。

Hartmann 流れ<sup>(1)</sup>においては、容器壁が電気絶縁される場合には、主流で発生した電流が全てこの Hartmann 境界層内を通過するので、電流密度が大きくなり、境界層内の電磁力も大きくなる。Hartmann 流れでは、速度分布や電流分布が Hartmann 境界層を除いてフラットになるという結果が知られている。壁の導電率や厚さに依存して、流体内部に生じる電場の大きさが変化するので、結果として電流場や流れ場も変化する。

本研究では、電気絶縁される矩形容器内における MHD 浮力対流ならびに円筒容器内の MHD スピンナップを例にとり、それぞれにおいて、以下の3通りの解析手法を比較検討する。

- 1) 通常の数値解析
- 2) 次元を落とした解析
- 3) Hartmann 境界層モデルを適用した解析

上記の1)の方法では、境界層を含む計算領域を全てメッシュを切って数値解析することを意味する。2)の方法は、Hartmann 境界層の外側のコア領域が磁場方向に変化の無い流れと仮定し、三次元解析は二次元解析に、二次元解析は一次元解析に、次元を一段落として解析することを意味する。3)の方法は、Hartmann 境界層については、メッシュを切らずに、コア流れに対する境界条件を与え、コア領域の流れのみ差分解析することを意味する。

## 2. 解析モデル

Fig. 1 にまず一つ目の解析モデル<sup>(2)</sup>を示す。縦長の矩形容器には、非圧縮性の Newton 流体を仮定する導電性流体 (液体金属) が充填されている。向かい合う鉛直面がそれぞれ等温で加熱・冷却され、その他の四面は断熱とする。また六面すべては電気的に絶縁されているとする。温度勾配に対して、直交する水平一様磁場を想定する。なお、温度勾配に平行な水平磁場 (電場による影響が小さく、Hartmann 境界層に電流が集中しない) については、本稿では触れない。

Fig. 2 に別の解析モデル<sup>(3)</sup>を示す。鉛直円筒容器 (半径  $a$  = 高さ  $h$ ) にも、同じく非圧縮性の Newton 流体を仮定する導電性流体 (液体金属) が充填されている。ある瞬間から一定角速度で容器が回転を始める。流体が周方向に回転運動を始めた後も上面はフラットな自由表面であると仮定する。均一な磁場が軸方向に平行に印加される。容器の側壁および底面は電気絶縁されている場合を想定する。両ケースの解析結果については、講演要旨に記す。

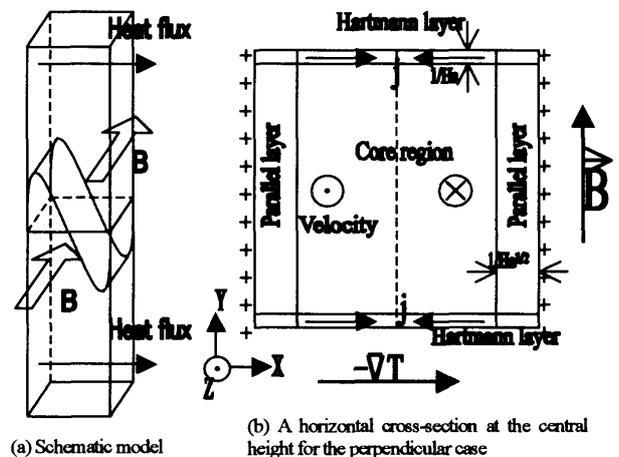


Fig. 1 A rectangular cubical enclosure and a horizontal cross-section. The cross-section is divided into three regions.

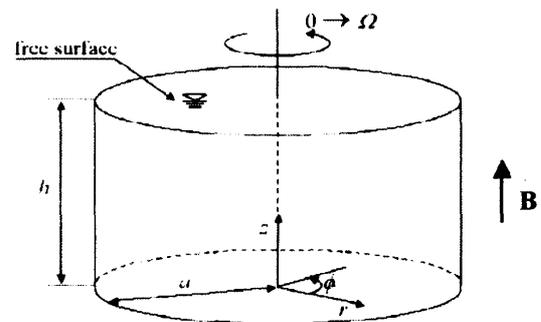


Fig. 2 Flow geometry and coordinates.

## 参考文献

- (1) R. Moreau, "Magnetohydrodynamics", Kluwer Academic Publishers, (1990).
- (2) T. Tagawa, G. Authié, and R. Moreau, "Buoyant flow in long vertical enclosures in the presence of a strong horizontal magnetic field. Part 1 Fully-established flow", *Eur. J. Mech. B-Fluid*, 21 (4) pp. 383-398, 2002.
- (3) G. Authié, T. Tagawa and R. Moreau, "Buoyant flow in long vertical enclosures in the presence of a strong horizontal magnetic field. Part 2 Finite enclosures", *Eur. J. Mech. B-Fluid*, 22 (3) pp. 203-220, 2003.
- (4) C.H. Lee, T. Tagawa, J.M. Hyun, and H. Ozoe, "Spin-up from rest in a cylinder of an electrically conducting fluid in an axial magnetic field", *Acta Mechanica*, in press.