

Advanced Algorithm & Systems

〒150-0013 東京都渋谷区恵比寿 1-13-6 恵比寿 IS ビル 7F

TEL: 03-3447-5501 (代) FAX: 03-3447-4100

URL: <http://www.aasri.jp/>

[商品シミュレータ名]

AA&S 電磁流体解析ソフト GSMAC-MHD

[商品紹介とご提案]

導電性を有する流体は、流体の速度場と電磁場の間の相互作用の影響で、通常の流体では見られないような興味深い挙動を示すことが知られています。電磁流体力学 (Magneto Hydro Dynamics、略して MHD) は、このような電磁流体に起こる現象を対象とした学問です。MHD が扱う流体は、主に、圧縮性のあるプラズマなどの電離気体や、非圧縮性を仮定できる液体金属に分類されます。

今回ご紹介致しますのは、MHD における三次元の非圧縮性電磁流体を数值的に解析するソフトウェアです。本ソフトウェアでは、流体解析には慶応大学で棚橋先生が開発された GSMAC (Generalized-Simplified Marker and Cell) 有限要素法を、電磁場解析には辺要素有限要素法を用いています。また、流体-電磁場連成系の解析は、いわゆる、弱連成法で行っています。

本ソフトウェアは、例えば、電気工学分野における、液体金属を用

いた MHD 発電の研究開発、工業分野における、溶接プロセスの解析、鉄鋼分野における、材料電磁プロセッシング (Electromagnetic Processing of Materials) の解析、あるいは、原子力工学分野における、ALIP (Annular Linear Induction Pump) 型電磁ポンプの設計などの場面でその能力を発揮することが期待されます。(様々な問題に対応するために、棚橋先生のご指導の下、本ソフトウェアのカスタマイズ作業も行わせていただきます。)

解析対象

MHD における三次元非圧縮性電磁流体

計算方法

流体解析 : GSMAC 有限要素法
電磁場解析 : 辺要素有限要素法

流体モデル

非圧縮性 Newton 流体

応用範囲

液体金属を用いた MHD 発電の研究開発
溶接プロセスの解析
材料電磁プロセッシングの解析
ALIP 型電磁ポンプの設計
など

[計算方法：GSMAC 有限要素法+辺要素有限要素法]

本ソフトウェアでは、流体と電磁場の連成解析を、GSMAC 有限要素法による流体解析と、辺要素有限要素法による電磁場解析を交互に行わせる（弱連成の）方法で行っています。

GSMAC 有限要素法は、非圧縮性流体の数値解析における、速度-圧力分離型差分法として定評のある HSMAC 法（SOLA 法とも呼ばれる）を有限要素法化したものであり、近年は、学術分野のみならず、産業分野においても、単純性、頑強性、効率性を平均的に満足した数値解析手段として注目されています。

一方、辺要素有限要素法は電磁場解析の分野で発達した数値解析方法であり、電磁場が持つゲージ場としての性質と適合し易いという、優れた特徴を有しています。

[解析事例：立法体空洞内 MHD 強制対流問題]

三次元流体解析におけるベンチマーク的問題の一つとして立方体空洞内の強制対流問題があります。ここでは、この問題を、磁場印加状態で（MHD に拡張して）解析した結果を紹介いたします。なお、この結果の詳細については、文献[1]をご覧ください。

解析条件

一辺の長さ L の立方体空洞を、一辺 $3L$ の立方体領域の中心に置きます。以下、図 1 を参照して下さい。

流体場に対する境界条件は、流体が立方体空洞内を強制対流するように与えます。（空洞上部壁面上で x 軸正方向に速さ U で流体を駆動します。）

磁場の境界条件は、外部の立方体壁面上で、 z 軸方向に垂直な面については磁気壁境界条件を、その他の面については第一種境界条件を与えます。

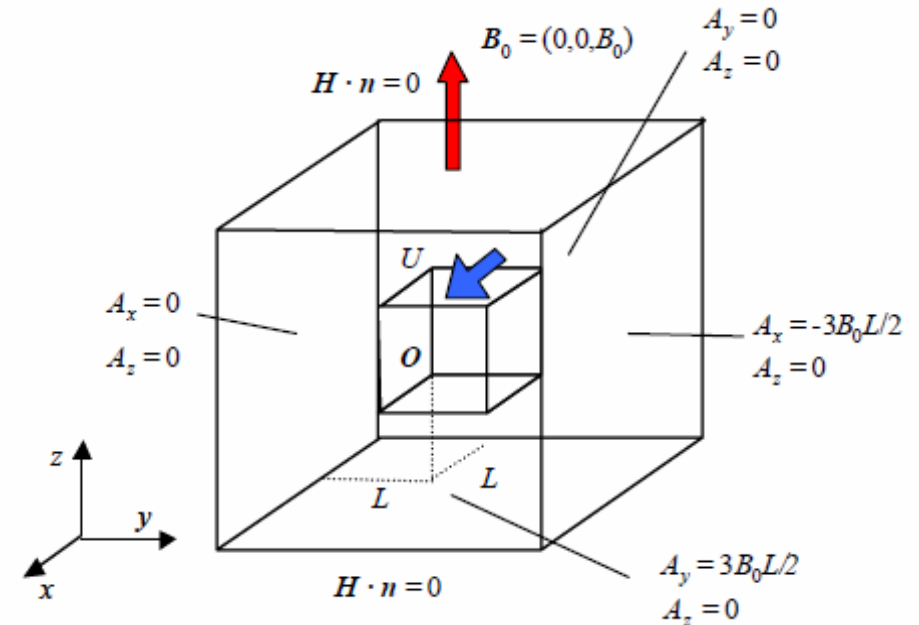
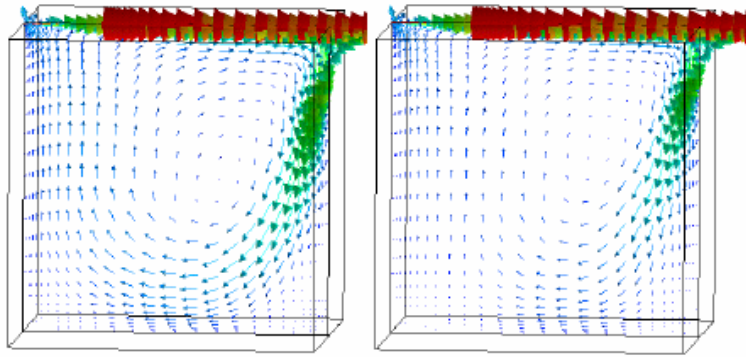


図 1. 解析領域と境界条件

解析結果

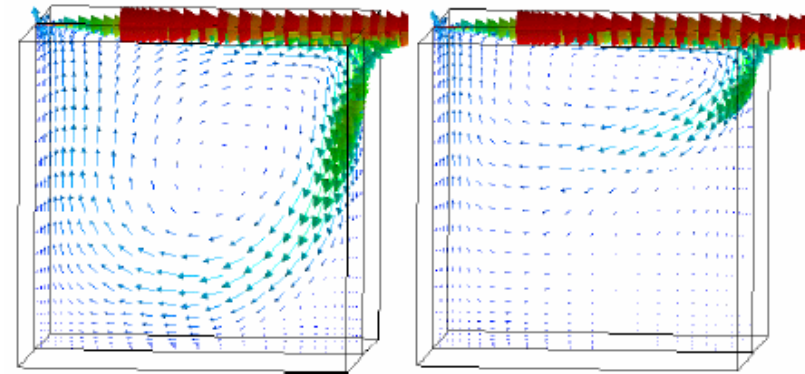
ここでの解析は、Reynolds 数を 1000 に固定したまま、磁気 Reynolds 数 (Rem) と Hartmann 数 (Ha) を動かすことで行います。

以下では、Rem=1 の高磁気レイノルズ数と Rem=100 の低磁気レイノルズ数の結果をご紹介します。



(a) $Ha = 20, Rem = 1$ (b) $Ha = 30, Rem = 1$

図 2. 空洞内対称面上の速度場分布 (低磁気 Reynolds 数の場合)



(a) $Ha = 30, Rem = 100$ (b) $Ha = 50, Rem = 100$

図 4. 空洞内対称面上の速度場分布 (高磁気 Reynolds 数の場合)

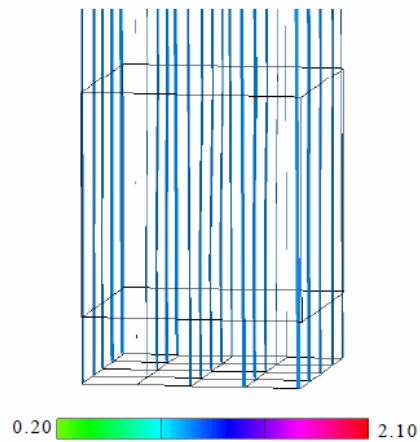


図 3. 空洞周辺の磁力線 ($Ha=10, Rem=1$)

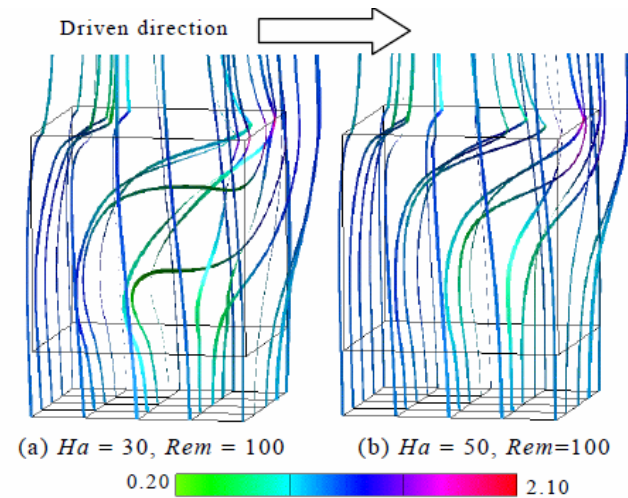


図 5. 空洞周辺の磁力線

[参考文献]

1. 近藤, 棚橋, 「電磁場と速度場の相互作用を考慮した新しい電磁流体解析手法の構築」, Transactions of JSCES, Paper No.20060018