

主 論 文 要 旨

No. 1

報告番号	甲 第	号	氏名	鄭 忠孝
主論文題名				
Coriolis 力と電磁力が作用する熱流体の有限要素法解析				
(内容の要旨)				
<p>電磁熱流体力学は流れ場・温度場・電磁場を含む自然現象を扱う。三つの場の相互関係は流れ場と温度場, 流れ場と電磁場, 温度場と電磁場の関係に分類される。実際の自然現象は場の上に複雑な問題を抱えているため, それぞれの関係について適正な解法が求められている。現在, 工学的に重要な高 Re 数, 高 Ra 数, そして電磁連成を持つ問題には, その解法として非構造格子を使った有限要素法がよく用いられている。そこで, 本研究の目的は, 電磁効果および熱源を持つ高 Re 数の流れに対して GSMAC 有限要素法を導入し, 上流化の手法を明らかにすることである。また, 一定の解析モデルを使用して, 流れ場と温度場, そして電磁場における, それぞれの相互関係を解明するため解析を行ない, 考察することである。</p> <p>第 1 章は序論であり, 本研究で考察する数値解析手法, 上流化の問題, 熱対流および電磁効果に関する従来の研究を概説し, 本研究の位置づけを明らかにする。</p> <p>第 2 章では, 電磁熱流体力学の問題を有限要素法で解くための基礎方程式を設け, その解法である GSMAC 法について詳細にまとめている。また, 係数行列の解析的表示および有限要素法による安定化手法をまとめている。その他, 高 Ra 数の自然対流の解法および表面張力の問題を扱っている。</p> <p>第 3 章では, 同心二重球の解析モデルを用いて自然対流の解析を行なっている。計算に用いたパラメータは $Pr = 0.71$, そして $Ra = 7.1 \times 10^5$, $Ra = 7.1 \times 10^6$ である。 $Ra = 7.1 \times 10^5$ の計算結果において, 半径比 (D_i/d) 3 と 18 の場合は月形状の渦を示している。また, 半径比 0.86 に対して $Ra = 7.1 \times 10^5$ と $Ra = 7.1 \times 10^6$, そして半径比 3 に対して $Ra = 7.1 \times 10^6$ の場合は腎臓形状渦を示している。その他の計算条件では不安定流れを示す。そして, $Ra = 5,964$, $Ra = 229,330$, そして $Ra = 749,760$ の計算結果は Yinらの可視化実験結果と比較し, 良好な一致が確認されている。</p>				

可視化実験結果と比較を行った $Ra=5,964$ の解析結果は月形状の渦を示している。そして、 $Ra=229,330$ および $Ra=749,760$ の解析結果は腎臓形状渦を示している。

第4章では、回転球殻内の溶融金属の熱対流解析を行なっている。誘導磁場の働きを考察するため、電磁場解析に B 法を導入し解析を行ない、法の結果と比較している。B 法による電磁場は法と同じ計算条件($Pr=0.025$, $Ra=100$, $Ta=0$, $Ha=100$ (法, B 法), $Rem=1$ (B 法))下で計算を行なっている。その結果、法は一定の印可磁場(0,0,-1)を持って流れ場に働くが B 法の場合は $\theta=90^\circ$ と $\theta=90^\circ$ において、流れの向きによって誘導磁場が変動している。また、B 法を用いて磁場と Coriolis 力を同時に考慮する場合、対流抑制効果の向上が確認されている。すなわち、 $\theta=90^\circ$ の回転軸方向の速度成分を持つ内球周辺の流れは Ta 数が大きいほど Lorentz 力を受ける程度が大きい。

第5章では、溶融金属のプロセッシングに Lorentz 力を応用している。単結晶成長解析は双2次要素 GSMAC-FEM と Cusp 磁場印可 CZ 法を用いて行ない、定常解の結果に対して、良い結晶を作るための三つの条件を中心に検討を行なっている。Cusp 磁場の中心が融液の中央に配置されると、流れ場および温度場は最も安定した状態になることを示している。そして、三次元円筒容器内の電磁流体問題は交流磁場を用いて解析している。非定常電磁力による液体金属の自由表面の挙動を明らかにするため、流れ場には ALE 法、そして電磁場には A-法を用い、両者を連成させて解析している。この解析では電磁場と自由表面の変動を考察し、金子らの実験結果と良好に一致していることを確認している。

第6章は結論であり、本研究を総括している。