

審査の結果の要旨

氏名 植竹 宏往

本論文は「磁場の空間分布制御と物質流制御への応用」と題し、磁気力を利用したプロセスに必要な 10T 級の磁場の空間分布制御方法や磁気力場の計測法、及び磁場の応用に関して研究を行った成果をまとめたものであり、全 8 章で構成されている。

第 1 章では序論として本研究の背景に関して述べられている。近年、超伝導マグネットの発達により、大容量の室温ボアを有する 10 T 程度の強磁場が比較的容易に用いられるようになってきており、常磁性や反磁性等の弱磁性物質に対する磁場の効果が注目されている。本章ではこれまでの強磁場を利用した研究について概観し、本論文の目的である空間分布制御の重要性が述べられている。

第 2 章では高磁気力場空間形成のシミュレーションに基づく検討が行われている。現在、水の反磁性浮上が可能な程度の強磁気力場は数 10T 級の強磁場施設でのみ可能であるが、本論文では既製のマグネットボア内に強磁性体である鉄のリングを挿入するという簡便な方法での高磁気力化の可能性が検討されている。その結果、内径の小さな(~ 10 mm)鉄のリングを挿入することで水の反磁性浮上が達成可能な程度まで高磁気力化が可能であることが示されている。また、小型の高磁気力マグネットに関しての設計についても検討を行い、下方に扁平なコイルを設置し、上方にそれとは反対方向の磁場を発生させるコイルを対向して配置することによって強い磁気力を得るという新しい方法を提案している。このマグネットは実際の製作が現在行われている。

第 3 章においては均一磁場、均一磁気力場空間形成法に関して議論されている。従来、常磁性、反磁性の物質はその磁化率が非常に小さいために、磁場分布に対して影響を与えないと考えられてきたが、10T 程度の強磁場下においてはこれらの物質でも比較的大きな磁化を持つために、磁場の分布を変化させることに着目し、常磁性体と反磁性体を組み合わせて用いることで、均一な磁気力場空間を広く形成できることが示されている。さらに、2 章で得られた強磁性体を用いて磁気力場を増強する手法と組み合わせることで、均一な高磁気力場も得られることが示されている。

第 4 章においては空間を指定した磁気シールド法に関して検討されている。漏れ磁場を防ぐ方法としては強磁性体を用いた磁気シールドが古くから知られているが、10 T 級の強磁場に関しては、その方法について有効な指針が示されていない。本研究では、計算機を用いた磁場分布シミュレーションにより、方向や空間を指定することで磁場を効率良く遮蔽する方法に関する知見が得られている。

第 5 章においては非磁性液体を用いた磁気力場計測センサーの開発について報告されている。前章までに述べられているように、磁気力は非常に興味深い実験環境を与え、その応用が期待されているが、磁気力場を直接計測する手段はこれまでなかった。本研究では、高磁場中で液

体の液面が変形するモーゼ効果、および 2 液体の界面が変形するエンハンストモーゼ効果を応用して磁気力場を直接測定する全く新しい手法に関して検討され、液体の濃度や量を変化させることによって広い範囲にわたって磁気力場を計測できることを示している。

第 6 章では磁場を用いた熱対流制御に関して検討が行われている。現在、工業的に用いられているさまざまなプロセスにおいて、流体が関わるものでは物質の濃度や温度に応じて対流が発生し、さまざまな影響を与えている。したがって、対流の制御はプロセス制御の観点から非常に重要であると考えられる。磁場は物質に非接触で力を与えることができるので、それによって対流の制御が可能となれば工学的に非常に有意義である。本研究では、磁場を利用して気体の熱対流を制御する方法に関して、空気を例として検討し、空気の成分の中で常磁性を示す酸素の体積磁化率の温度変化を利用することで超伝導磁石のボア空間に大容量の送風が可能であること、熱対流の磁場による制御が可能であることを示している。また、このような磁場による流体制御に関して定量的検討を行っている。これらの結果は、磁場により非接触でプロセスを制御できる可能性を示唆しており、高磁気力磁石の発達と共にさまざまな応用への展開が期待される。

第 7 章ではエネルギー的な観点から材料プロセスへの磁場印加の効果の熱力学的考察が行われており磁場の配向効果、弱磁性物質間の相互作用の可能性が示唆されている。

第 8 章では論文全体がまとめられている。

以上のように、本論文は強磁場、強磁気力場の応用のために必要不可欠な磁場の空間分布制御方法、磁気力の計測方法、強磁場の物質流制御に関して新しい方法論や新たな実験的知見を提供したものであり、高く評価される。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。