

氏名	まつ 松	き 木	ひで 英	とし 敏
授与学位	工学博士			
学位授与年月日	昭和55年3月25日			
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第1項			
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気及通信工学専攻			
学位論文題目	感温磁性流体を用いた温度の計測及び制御に関する研究			
指導教官	東北大学教授 村上 孝一			
論文審査委員	東北大学教授	村上 孝一	東北大学教授	津屋 昇
	東北大学教授	穴山 武	東北大学教授	岩崎 俊一

## 論 文 内 容 要 旨

磁性流体は、微細な強磁性粉末を液相中に安定に分散させたものであり、磁場に感応する溶液として注目されてきた。特に、不均一磁場中で磁性流体に作用する体積力を応用した回転軸封止装置は、既に実用に供せられており、磁気分離装置等もその実用化が期待されている。

一方、一般に磁性流体は高粘度である上、非ニュートン流体としてふるまうこともあって、流動状態にある磁性流体を応用に結びつける報告は数少なく、また、磁性流体の磁化特性が超常磁性的であり、分散質の磁化に比べてより温度に依存し、且つ履歴を示さず、その温度特性も定量的に表わすことができる等、温度の計測、制御に应用する上で優れた特色を有すると考えられるにもかかわらず、磁性流体を温度の計測、制御に应用する報告はほとんどなされていない。

しかしながら、近年、温度センサに対する要求は強く、その中で、検出精度、速応性、簡便性等に優れたセンサの開発が期待されているが、従来の速応性に富む温度センサは、一般に機械的強度に乏しく、ケース等で保護する必要がある、これは、熱的接触を高め熱伝導をよくする要求とは相入れない面を有している。

これに対して、感温磁性流体を接触形センサとして応用すれば、形状の任意性に富むため、熱的接触や速応性にも優れたセンサとなりうることが期待される。

また現在、発熱を伴う機器の動作範囲の拡大やその動作の安定性を向上させるためには、機器の温度制御が重要な要素となっており、そのための熱設計の結果、強制空冷や強制水冷等の手段

が導入されている。しかしながら、これらの手段は冷却のための駆動エネルギーを必要とする。かりに機器の動作の結果発生する廃熱を利用できれば、エネルギーの有効利用の上からも有益なものと考えられる。従って、常温付近の温度範囲で動作する感温磁性流体を用いた熱、機械エネルギー変換装置は、発熱を伴う機器の冷却装置として応用されることが期待される。

本研究は、これらの観点にたち、感温磁性流体を用いた温度の計測及び制御装置に関して、その動作について検討を行ない、その有用性を明らかにしたものである。

以下に各章の概要を示す。

## 第1章 緒 言

本章においては、磁性流体の開発とその応用に関する研究の歴史的背景を述べ、分散質に感温磁性材料を用いた感温磁性流体は、計測、制御、エネルギー変換等の広範囲な分野に応用できることを明らかにした。次いで、感温磁性流体の応用に際して重要となる基礎的事項を明確にし、本研究の意図するところを述べている。

## 第2章 感温磁性流体の基礎特性

本章においては、Mn-Zn系フェライトを分散質とする感温磁性流体の製法を示すと共に感温磁性流体を温度の計測、制御に応用するに際し重要と思われる基礎特性として、磁化特性、粘度、熱的性質に着目し、種々の検討を行なった。

すなわち、磁化特性に関しては、分散質の粒径分布が対数正規分布であること、及び基本的にはその磁化が超常磁性的であることを仮定し、粒子間の相互作用は無視して磁性流体の磁化を表現し、粒径分布に関するメジアン径及び標準偏差を常温における磁化特性の実験値から求めた。その結果として得られた磁化曲線を基に磁化の温度特性を求めたところ、実験値と良好な一致をみた。換言すれば、感温磁性流体の分散質粒子群は、対数正規分布を粒径分布として有し、その磁化は超常磁性的であることが明らかとなった。

次に、感温磁性流体の粘度は、粒子表面の吸着層を考慮した実効体積分率を用いることにより表わされるが、印加磁界強度やずり速度によっても変化し、磁性流体は非ニュートン流体としての性質を有することを概説した。さらに、磁性流体の磁化特性に寄与する分散質粒子の代表粒径と、みかけの粘度に寄与する分散質粒子の代表粒径に差があることから、分散質粒径を、分散安定性を損わず且つ超常磁性的の性質を失わない程度に大きくすれば、低粘度且つ高磁化の磁性流体が得られる可能性のあることを示した。

また、温度の制御に応用する場合には、熱容量が重要な意味を有しており、分散媒として液体金属等を用いるまでもなく、むしろ取扱い易さの点からも現状では水が適当であることを示した。

## 第3章 感温磁性流体を用いた温度計測装置

本章においては、感温磁性流体を用いた温度計測に関する基礎と応用について検討を行なっている。

すなわち、感温磁性流体を交番励磁した際に、任意の印加磁界強度最大値に対して検出される誘起電圧尖頭値が、温度に関係し且つその温度特性は分散媒の有無に依らないことを、粒径分布を考慮した磁化特性を用いて明らかにした。

これに基づいて、感温磁性流体を被測定物に塗布し、検出コイルを近づけて温度を計測する塗布法及び被測定物と駆動用ポンプとを管路で接続して感温磁性流体を循環させ、適当な位置におかれた検出コイルで温度を計測する循環法を提案し、それぞれの方法について詳細な考察を行なった。

その結果、塗布法では、一定量の感温磁性流体を検出コイルの断面積以下の面積で塗布すれば計測は可能であり、その熱応答特性も25℃～80℃の変化に対して3秒程度の時定数が得られるなど比較的良好であることが明らかとなった。この塗布法による計測では、被測定物と感温磁性流体間の熱抵抗を軽減できるため、密閉管路内を流れる有害あるいは有臭の流体温度の外部からの連続的且つ精密な測定が要求される場合や、複雑な形状を有する物体の表面温度分布の測定が要求される場合に適当な方法と考えられる。

循環法に関しては、計測に適当な流量範囲を定量的に導くと共に、複雑な構造を有する物体の内部温度の測定や、後述する冷却装置と組合せ、発熱を伴う機器の冷却と同時に、外部よりその温度を計測する場合に適すること等を明らかにした。

以上の結果に基づいて、いずれの方法にも適用可能な温度計測装置を試作し、感温磁性流体を用いた温度計測方式の有用性を確めた。

#### 第4章 感温磁性流体を用いた温度の制御装置

本章においては、感温磁性流体を用いた熱、機械エネルギー変換を利用した温度の制御装置を提案し、詳細にその動作の解明を行なうと共に、制御装置を試作しその有用性を実証した。

まず、感温磁性流体に温度差を与え、高温部近傍に磁極を配置すると、磁性流体は低温部より高温部に向かい連続的に流動するが、この熱、機械エネルギー変換により得られる駆動圧力は、近似的には印加磁界強度最大値の2乗及び温度差に比例する形で表わされ、現在入手可能な感温磁性流体では100 mm H<sub>2</sub>O程度であることを実験的及び理論的に示し、循環路を構成した場合、駆動圧力はほぼ損失水頭と平衡する領域であることを明らかにした。この時、磁性流体の流動により高温部の熱量は低温部に移動しており、この点に着目すれば、熱、機械エネルギー変換装置を機器の損失に基づく廃熱をエネルギー源とする冷却装置として応用することが考えられる。

その際に、冷却装置を構成するのに十分な循環過程を熱力学的に考察し、感温磁性流体の温度上昇と減磁を一過程で行なわせ得ることを示した。

さらに、実際に冷却装置を試作し、これを用いて、機器の発熱に伴う温度上昇が自動的に抑制されることを実証した。

このような冷却効果は、機器の温度、発熱量、感温磁性流体内部温度分布、流速、駆動圧力等が相互に影響しあう複合的現象であるがここでは近似的に、機器の発熱量を入力とし機器の温度上昇を制御する伝達関数で表現することを試みた。

その結果、感温磁性流体の流速及び加速度にそれぞれ対応した等価熱抵抗、等価熱インダクタ

ンスを導入すれば，本装置における冷却効果は，拡張された等価熱回路として表現できることを示した。

また，機器の温度上昇値と発熱量，伝熱係数，印加磁界強度，感温磁性流体の比熱や密度，流速といった量との関係を明らかにし，自然空冷との対比を表わす冷却率の導入により冷却能力を表現し，印加磁界強度の増加に伴い冷却率も増加し，機器と空気及び感温磁性流体間の伝熱係数で定まる一定値に漸近する傾向のあることを示すと共に，本冷却装置の適用範囲を明らかにした。

## 第 5 章 結 言

本章においては，本研究で明らかとなった事項について述べている。

(1) 感温磁性流体の磁化特性は，分散質の粒径分布を考慮することにより表現できることを明らかにし，次いで低粘度で且つ高磁化の磁性流体を得るための条件を示した。

(2) 感温磁性流体を温度センサとして用いた温度計測法を提案し，試作測定器によりその有用性を明らかにした。

(3) 感温磁性流体を用いた熱，機械エネルギー変換を利用した温度の制御装置を提案し，その動作を解明すると共に，試作装置により，機器の発熱に伴う温度上昇が自動的に抑制されることを実証した。

以上，本研究で得られた結論を要約して記述した。

## 論文審査の要旨

磁性流体は、微細な強磁性粉末を液体中に安定に分散させたものであり、磁場に感應する流体として、最近種々の分野でその応用が注目されている。著者はこのような磁性流体の中で、温度の上昇下降に伴い磁化の値を変化する感温磁性流体に着目し、感温磁気特性と流体としての特徴を巧みに結合させ、感温磁性流体を温度の計測及び制御に応用する研究を行ない、いくつかの有用な成果を得た。本論文はその研究をまとめたもので全編5章よりなる。

第1章は緒言であり、本論文の研究目的を述べている。

第2章では、実験に用いたMn-Zn系のフェライトを用いた感温磁性流体の基礎特性について詳細に検討し、次いで低粘度で且つ高磁化の磁性流体を得るための条件についても考察を行っている。

第3章では、感温磁性流体を用いた温度計測に関する基礎と応用について述べている。著者は感温磁性流体を温度センサとして用いれば、検出される誘起電圧尖頭値は被測定物の温度に関係し、その値は分散媒の有無に殆んど依存しない事を見出し、これに基づいて複雑な形状を有する物体の表面温度分布を連続的に測定できる塗布法及び構造の複雑な物体の内部温度を外部より測定できる循環法を提案し、詳細な考察を行なっている。更に測定器を試作しその有用性を確めている。感温磁性流体を温度センサとして応用する事は興味ある着想である。

第4章では、感温磁性流体を用いた温度制御について述べている。感温磁性流体に温度差を与え、高温部に近い所に磁極を配置すると、磁性流体は低温部より高温部に向かい連続的に流動する。著者は先ず、此の様な感温磁性流体を用いた熱・機械エネルギー変換系の駆動方法について熱力学的考察を含めて検討を行ない、次いでその結果を応用し、永久磁石と感温磁性流体を組み合わせ、機器の損失に基づく廃熱をエネルギー源とする冷却装置を提案し、詳細に動作の解明を行なっている。更に実際に冷却装置を試作し、これを用いれば機器の発熱に伴う温度上昇が自動的に抑制されることを実証している。本装置は感温磁性流体の駆動のために電源その他が全く不要であり、感温磁性流体が廃熱の輸送媒体であるなど、実用上興味ある特徴を有している。

第5章は結言である。

以上要するに、本論文は感温磁性流体の有用性に着目し、その特徴を生かした新しい形式の温度計測及び制御方式が可能である事を実証したもので、電気工学の進展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。