

氏名	やま さわ きよ ひと 山 沢 清 人
授与学位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 55 年 4 月 9 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最終学歴	昭和 45 年 3 月 東北大学大学院工学研究科電気及通信工学専攻 修士課程修了
学位論文題目	感温磁心の磁束制御とその応用に関する研究
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 松尾 正之      東北大学教授 岩崎 俊一 東北大学教授 穴山 武

## 論 文 内 容 要 旨

室温あるいは比較的低い温度領域にキュリー温度を有し、飽和磁束密度、保磁力、透磁率など各種の磁気特性の温度変化が著しい磁心いわゆる感温磁心はキュリー温度を安定な温度基準値として利用できること、キュリー温度の上下で磁気特性がゼロと有限値を示し、その変化比は無限大であること、熱応答速度の増大のため、感温磁心の容積を小さくしても励磁速度の増加により所望の感温出力が得られること、永久磁石との併用により駆動電源を必要とせず所望の温度領域でのみ入力を加勢することが可能であること、熱入力に対する変化量として、飽和磁束密度、保磁力、透磁率、ヒステリシス損などいずれでも単独あるいは組合せて利用できるため応用範囲が広いことなどの優れた特徴を有し、その応用分野は計測、制御、エネルギー変換、情報記憶など多岐の分野にわたり、すでに一部は実用に供せられつつある。しかし、従来の研究は感温磁心の飽和磁束密度、透磁率などの個々の磁気特性の温度変化を単に現象的にとらえ、その具体的応用を検討するにとどまり、感温磁心の基礎的な磁気特性および温度対磁気特性の利用の方法などについて統一的な検討は行なわれていない。このため、使用目的に応じた望ましい温度対磁気特性を有する感温磁心の開発および使用方式による特性の改良の可能性の有無、感温磁心の特徴をいかした使用回路方式の分類、各応用分野における感温特性の評価方法の確立など、実際に感温磁心を応用する場合に問題となる基礎的事項については十分な説明がなされていない。

本研究は感温磁心の基礎特性の一つである温度対磁気特性を系統的には握し、これより磁心磁束量の熱入力による制御動作について検討を行ない、感温磁心を計測、制御などの各種の分野に応用する場合に必要な事項を明確にしたものである。

以下に各章の概要を示す。

## 緒 言

緒言においては、感温磁心の開発とその応用に関する研究の歴史的背景を述べ、感温磁心は計測、制御、エネルギー変換、情報記憶など広範な分野に応用できること、および感温磁心を用いたエネルギー変換器は現在良好な特性の感温磁心が得られていないため実用の域に達していないが、熱を入力とする変調器では現用の感温磁心の使用でも実用に供し得る特性のものが開発可能であることを明らかにした。次いで感温磁心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たものである。

## 第 1 章 感温磁性材料の温度対磁気特性の利用に関する基礎的考察

第 1 章においては、従来より報告されている各種の感温磁性材料について、その温度対磁気特性を概観するとともに多岐の分野にわたる応用例を分類整理し、温度対磁気特性の利用について検討を行ない、後章の考察に必要な基礎を与えている。

## 第 2 章 感温磁心の磁気特性

本章においては、感温磁心の磁気特性について統一的な検討を行なうために、現在入手可能な数種の結晶質合金、非晶質合金、フェライト、磁性流体などの感温磁性材料について、飽和磁束密度、保磁力、初透磁率、ヒステリシス損などの温度依存性、および感温フェライトの抵抗率と比熱の温度依存性を測定し、それら磁性材料の温度対磁気特性の良さの評価ならびに温度依存性の改良の可能性などについて考察を行なっている。

すなわち、各種の感温磁心の温度対磁気特性を系統的には握することにより、供試の Mn - Cu 系フェライト磁心および Ni - Cu 合金磁心では材料の成分比の調整によるキュリー温度の広範囲でかつ任意な制御が可能であり、その温度対飽和磁束密度特性もキュリー温度の高低に応じて劣化することなく比例推移的に変化することを明らかにした。

また、供試感温磁心の飽和磁束密度は温度の上昇に伴ない減少し、その実測値は簡単な仮定のもとに求めた Weiss の分子磁界理論による計算値と比較的良好な一致を示すものが多いが、Weiss 理論に一致せず比較的広い温度範囲にわたって飽和磁束密度が温度の上昇に伴ない直線的に減少する特性の感温磁心も製作可能であることを明らかにした。

さらに、感温磁心の保磁力は温度の上昇に伴ない様に減少するが、ある種の Ni - Cu 合金磁心と整磁鋼磁心ではキュリー温度近傍において保磁力の急激な増加と減少を伴う変動を観測した。この不規則な保磁力変動の原因について簡単な仮定のもとに磁壁わん曲モデルを用いて実験的な検討を行ない、この不規則変動は試料内部の欠陥あるいは溶解の不均一性に基づく成分濃

度のむらに起因することを明らかにした。

### 第3章 感温磁心の磁束制御に関する基礎的考察

本章においては、感温磁心の特性利用の方法について統一的な検討を行なうために、感温磁心の磁束量は熱入力により制御されるものと考え、その磁束制御形式を飽和磁束値制御形、保磁力制御形、透磁率制御形、ヒステリシス損制御形の4種に分類し、各制御形式を利用する際の基礎事項について考察を行なっている。

すなわち、飽和磁束値制御形では単一の磁心による温度の検出および制御回路、保磁力制御形ではリアクトル回路、透磁率制御形ではLCRの直列共振回路などを例にとり、各制御形式についてその基本的な動作特性を明らかにするとともに、各制御形式に望ましい感温磁心の磁気特性および制御方式の特徴を明確にした。

さらに、これらの磁束制御形式に基づき、感温磁心の特性利用について一般的な考察を行ない、感温磁心の性能にはその温度対磁気特性だけでなくその熱応答特性も大きく寄与することを明らかにした。

### 第4章 感温磁心の計測および制御素子への応用

本章では多岐の分野にわたる感温磁心の応用例のなかで、計測および制御素子について簡単な応用回路の基本形を例にとり、その動作特性を明らかにし、これより感温磁心で構成した応用素子の特徴を従来の素子と比較して考察するとともに、有用な特性を示す計測、制御、保護装置を提案し、その基礎特性について検討を行なっている。

すなわち、感温磁心を用いた温度計測素子は熱応答速度を増大させても所望の感温出力が得られ、使用する外部条件に対して材料的に安定なものが多く、簡単な回路構成による温度のデジタル変換が可能であることなどの特徴を有し、温度の遠隔測定が容易にできることを明らかにした。また、感温磁心を用いた制御素子はキュリー温度を安定な基準値として利用できかつキュリー温度の上下で磁気特性がゼロと有限値を示すこと、永久磁石との併用により駆動電源を必要とせず、かつ温度対出力特性の電気回路的な改善も可能であることなどの特徴を有し、民生用機器の温度制御素子として実用に供し得ることを明確にした。

さらに、感温磁心の温度対磁束値特性を利用する計測および制御素子のなかで最も簡単な場合を例にとり、感温磁心の性能係数について考察を行ない、計測および制御分野における感温磁心の良さの評価方式を提案し、性能係数を最大とする磁心寸法を明らかにした。

次いで、感温フェライト磁心と感温特性を有するコンデンサとを組合せて用いた新しい制御素子を提案し、感温磁心の単独使用では得られない有用な出力特性を得た。すなわち、熱入力によりインダクタンス、キャパシタンスおよび発振周波数を制御し、所望の温度においてのみ出力が急変する特性を実現し、この出力特性を利用した温度制御装置は制御温度の設定範囲が比較的広くかつ制御特性も良好であることを明らかにした。

また、保磁力の温度依存性を利用して出力の温度制御を行なう感温磁気増幅器を提案し、その

動作特性の解明を行なった。すなわち、保磁力は温度の上昇に伴ない様に減少するが、飽和磁束密度は温度に依存せず一定であり、かつ良好な角形ヒステリシス特性を有する感温磁心を用いて、磁束リセット方式の異なる2種類の感温磁気増幅器を試作し、負荷電流の温度変化率が一定な制御特性と負荷電流が所望の温度で急変する制御特性との2種類の有用な特性が得られることを明らかにした。

さらに、非晶質磁性体の結晶化に伴なう急激でかつ非可逆的な磁気特性変化を利用した保護素子を提案し、本素子が過電流のシャ断機能と過電流値の記憶機能を有することを明らかにした。

## 第5章 感温複合磁心の特性とその応用

前章までの考察の結果、感温磁心の応用に際してはその磁気回路を永久磁石あるいはケイ素鋼板などの感温磁性材料以外の磁性材料と組合せて構成する場合も多いことを指摘した。第5章では磁気特性の異なる複数個の感温磁性材料で構成された感温複合磁心の動作特性について検討を行なっている。

すなわち、磁気回路の一部に感温磁性材料を直列にそう入した磁心の複合磁気特性を、各構成部のヒステリシス特性を既知とすることにより、簡単な仮定のもとに図式的に計算する方法を提案した。さらに、感温フェライトと純鉄を用いて5種類の感温複合磁心を試作し、図式解析に基づく計算値が実測値と良好な一致を示すことを明らかにするとともに、これら感温複合磁心では単独の磁心では得られない有用な磁気特性の実現が可能であることを明確にした。

次いで、この計算法に基づき永久磁石と感温磁性材料とで構成した複合磁気回路の動作特性について考察を行ない、感温部の磁束値の温度変化を大きくするためには永久磁石のリコイル曲線の傾きが急しゅんでありかつリコイル曲線上の磁束密度の最大値が大きいことが必要であることを明らかにした。

また、感温複合磁心を用いた温度対磁気特性の改良の可能性についても考察を行ない、磁心内部の熱おくれ現象を利用することにより、見かけ上の特性の改変が可能であることを示した。

## 結 言

結言においては本研究で解明された事項について述べている。

(1) 現在入手可能な各種感温磁性材料の温度対磁気特性を系統的には握ることにより、材料の成分比の調整によるキュリー温度の広範囲にわたる任意な制御が可能である感温磁心もあること、および温度対飽和磁束密度特性がWeiss理論に一致せず、比較的広い温度範囲にわたって飽和磁束密度の温度変化率が一定となる感温磁心の製作が可能であることを明らかにした。また、金属磁心ではキュリー温度の近傍で保磁力の不規則な変動が認められるものがあり、この不規則変動の原因を実験的に解明した。

(2) 感温磁心の磁束量は熱入力により制御されるものと考え、その磁束制御形式を温度対磁気特性に基づいて分類し、感温磁心の特性利用の方法について統一的な検討を行ない、各制御形式に望ましい感温磁心の磁気特性を明確にするとともに、感温磁心の性能には熱応答特性が寄与する

ことを明らかにした。

(3) 感温磁心を用いた計測および制御素子について、その特徴を他種の素子との比較対照より明らかにし、特徴をいかした使用方式を指摘するとともに、感温磁心の良さの評価方式を提案し、性能係数を最大とする磁心寸法を明らかにした。

(4) 感温 L, C セラミックスを用いた温度制御素子、感温 フェライト磁心の温度対保磁力特性を利用した感温磁気増幅器、および非晶質磁性体の結晶化を利用した過電流保護素子など感温磁心の新しい応用例を提案し、その動作特性を解明し、これら各種の装置は応用上有用な特性を示すことを明らかにした。

(5) 磁気回路の一部に感温磁性材料をそう入した感温複合磁心のヒステリシスループについて、簡単な仮定に基づく図式的な計算方法を提案し、この計算法が複数個の強磁性材料および感温磁性材料より成る磁気応用素子の動作解析に際して有用であることを明らかにした。

以上、本研究で得られた結論を要約して記述した。

## 審 査 結 果 の 要 旨

最近、磁気相転移温度を常温付近に有する感温磁性材料を用い、熱入力に対する磁気特性変化を計測、制御、情報処理及びエネルギー変換の分野に積極的に利用しようとする研究が盛んになり、そのいくつかは既に実用に供されている。然しこれまでの報告をみると、感温磁性材料の磁気特性の温度依存性を個々に応用した例が多く、これら感温磁性材料を上記の各分野の機器に実用する場合に必要な基礎的事項についての統一的な研究は殆んど行われていない。

著者は早くより感温磁性材料の有用性に着目し、これらの基礎的事項を明確にする事は実用上極めて重要であると考え、感温磁気特性の利用、評価に関する著者の提案にもとづき、感温磁性材料の特性とその温度計測及び制御への応用に関し系統的な研究を行った。本論文はそれらの研究成果をまとめたもので、緒言、本文5章及び結言よりなる。

緒言では、本研究の目的について述べている。

第1章では、多岐の分野に亘る応用例を分類整理し、感温磁性材料の利用方法について考察を行っている。

第2章では、結晶質合金、非晶質合金、フェライト及び磁性流体などの各種感温磁性材料を用い、飽和磁束密度、保磁力、初透磁率及びヒステリシス損の温度依存性につき詳細な測定を行っている。その結果、キュリー温度の近傍で保磁力の著しい変化を示すものがあることなど、応用上興味ある事項を指摘している。

第3章では、感温磁心の熱入力に対する磁束制御を4種の形式に分類し、これらを温度の計測、制御に利用する場合の特徴及び必要な回路構成などにつき、応用の立場から統一的な検討を行っている。これは実用上有益な成果である。

第4章では、感温磁心の計測及び制御装置への応用の利点について述べている。先ず応用回路の基本形を例にとり、その動作特性を明らかにすると共に、感温磁心で構成した応用装置の特徴を従来のものと比較して考察している。更に感温磁心の特徴を生かした制御装置を多数考案し、感温磁心の有用性を実証している。

第5章では、磁気特性の異なる複数個の感温磁性材料で構成された複合磁心の場合、単独の感温磁心で得られない優れた磁気特性の実現が可能であることを明らかにしている。

結言では、本研究の成果を要約して述べている。

以上要するに、本論文は感温磁性材料の温度の計測及び制御への応用に関する新しい工学分野の体系化をこころみ、この有用性を実証したものであり、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。