

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2011 年 6 月 30 日(30.06.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/077694 A1

- (51) 国際特許分類:
H01F 37/00 (2006.01) H01F 27/24 (2006.01)
H01F 1/26 (2006.01) H01F 27/255 (2006.01)
H01F 1/33 (2006.01) H01F 41/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/007369
- (22) 国際出願日: 2010 年 12 月 20 日(20.12.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2009-296417 2009 年 12 月 25 日(25.12.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社タムラ製作所(TAMURA CORPORATION) [JP/JP]; 〒1788511 東京都練馬区東大泉 1 丁目 1 9 番 4 3 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大島泰雄 (OSHIMA, Yasuo) [JP/JP]; 〒1788511 東京都練馬区東大泉 1 丁目 1 9 番 4 3 号株式会社タムラ製

作 所 内 Tokyo (JP). 繁田 進 (HANDA, Susumu) [JP/JP]; 〒1788511 東京都練馬区東大泉 1 丁目 1 9 番 4 3 号株式会社タムラ製作所内 Tokyo (JP). 赤岩 功太 (AKAIWA, Kota) [JP/JP]; 〒1788511 東京都練馬区東大泉 1 丁目 1 9 番 4 3 号株式会社タムラ製作所内 Tokyo (JP). 田村 泰治 (TAMURA, Yasuharu) [JP/JP]; 〒1788511 東京都練馬区東大泉 1 丁目 1 9 番 4 3 号株式会社タムラ製作所内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 木内光春 (KIUCHI, Mitsuharu); 〒1050003 東京都港区西新橋 1 丁目 6 番 1 3 号虎ノ門吉荒ビルディング 5 階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST,

[続葉有]

(54) Title: REACTOR AND METHOD FOR PRODUCING SAME

(54) 発明の名称: リアクトル及びその製造方法

[図1]



S1 SOFT MAGNETIC POWDER
S2 INORGANIC INSULATION POWDER IS MIXED
S3 FIRST HEAT TREATMENT
S4 BONDING LAYER IS FORMED
S5 LUBRICATING AGENT IS MIXED
S6 PRESSURE MOLDING
S7 SECOND HEAT TREATMENT
AA POWDER MAGNETIC CORE

(57) Abstract: Provided are a reactor having excellent direct current superposition characteristics wherein the L value (inductance) is not drastically reduced in a high magnetic field, and a method for producing the reactor. In a first mixing process, a soft magnetic powder mainly composed of iron, and 0.4-1.5 wt% of an inorganic insulation powder relative to the soft magnetic powder are mixed by a mixer. The mixture obtained through the first mixing process is heat-treated under a non-oxidizing atmosphere at not less than 1,000°C and not more than a temperature at which sintering of the soft magnetic powder starts. In a granulation process, 0.1-0.5 wt % of a silane coupling agent is added to form an adhesion reinforcing layer as a first layer; 0.5-2.0 wt% of a silicon resin is added to a soft magnetic alloy powder in which an adhesion reinforcing layer is formed as a second layer by the silane coupling agent, to form a bonding layer; and, after that, a lubricant resin is mixed, and a pressure-molding operation is performed to form a compact. In an annealing process, a reactor is formed using a powder magnetic core produced by annealing the compact under the non-oxidizing atmosphere.

(57) 要約: 高磁界でL値(インダクタンス)が大きく低下しない優れた直流重畳特性のリアクトルとその製造方法を提供する。第1混合工程では、鉄を主とする軟磁性粉末と軟磁性粉末に対して0.4wt%~1.5wt%の無機絶縁粉末を混合機を使用して混合する。第1混合工程を経た混合物に対して1000°C以上且つ軟磁性粉末が焼結を開始する温度以下の非酸化性雰囲気中で熱処理を行う。造粒工程では、第1層目として0.1~0.5wt%のシランカップリング剤を添加し密着強化層を形成する。第2層目としてシランカップリング剤による密着強化層を形成した軟磁性合金粉末に、0.5~2.0wt%のシリコンレジンを追加し結着層を形成する。その後、潤滑性樹脂を混合し、加圧成形することにより、成形体を形成する。焼鈍工程では、前記成形体に対して、非酸化性雰囲気中にて焼鈍

処理を行うことにより作製した圧粉磁心を用いてリアクトルを形成する。



SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,

GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：リアクトル及びその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、圧粉磁心よりなるリアクトルコアを用い、リアクトルコアの外周に巻き線を施したリアクトル及びその製造方法に関する。

背景技術

[0002] O A 機器、太陽光発電システム、自動車、無停電電源などの制御用電源には電子機器としてチョークコイルが用いられており、そのコアとして、フェライト磁心や圧粉磁心が使用されている。これらの中で、フェライト磁心は飽和磁束密度が小さいと言う欠点を有している。これに対して、金属粉末を成形して作製される圧粉磁心は、軟磁性フェライトに比べて高い飽和磁束密度を持つため、直流重畳特性に優れている。

[0003] 圧粉磁心は、エネルギー交換効率の向上や低発熱などの要求から、小さな印加磁界で、大きな磁束密度を得ることが出来る磁気特性と、磁束密度変化におけるエネルギー損失が小さいという磁気特性が求められる。エネルギー損失には、圧粉磁心を交流磁場で使用した場合に生じる鉄損（ P_c ）と呼ばれるものがある。この鉄損（ P_c ）は、[式 1] に示すように、ヒステリシス損失（ P_h ）、渦電流損失（ P_e ）の和で表される。このヒステリシス損失は [式 2] に示すように、動作周波数に比例し、渦電流損失（ P_e ）は動作周波数の 2 乗に比例する。そのため、ヒステリシス損失（ P_h ）は低周波領域で支配的になり、渦電流損失（ P_e ）は高周波領域で支配的になる。圧粉磁心は、この鉄損（ P_c ）の発生を小さくする磁気特性が求められている。

$$[\text{式 1}] \quad P_c = P_h + P_e \cdots (1)$$

$$[\text{式 2}] \quad P_h = K_h \times f \quad P_e = K_e \times f^2 \cdots (2)$$

K_h : ヒステリシス損係数 K_e = 渦電流損係数 f = 周波数

[0004] 圧粉磁心のヒステリシス損失（ P_h ）を低減するためには、磁壁の移動を

容易にすればよく、そのためには軟磁性粉末粒子の保磁力を低下させればよい。なお、この保磁力を低減することで、初透磁率の向上とヒステリシス損失の低減が図れる。渦電流損失は〔式 3〕で示されるように、コアの比抵抗に反比例する。

$$[式 3] \quad K_e = k_1 B_m^2 t^2 / \rho \cdots (3)$$

k_1 : 係数、 B_m : 磁束密度、 t : 粒子径（板材の場合厚さ）、 ρ : 比抵抗

[0005] このような圧粉磁心は、電子機器用スイッチング電源等に用いられ、直流出力に重畳する交流成分（ノイズ）を除去するリアクトルのコアとして使用される。リアクトルのコアとして用いられる圧粉磁心では、ノイズ除去の効果のために、高い飽和磁束密度が要求される。また、リアクトルには電源装置の主電流が流れるため、圧粉磁心の損失が大きいと多量の熱が発生する。この発熱を防止するために、リアクトルのコアとなる圧粉磁心は、低鉄損であることが求められる。

[0006] そこで、図 13 に示すように、磁心を飽和させる電流値を大きくし、大電流を流しても磁束密度の飽和が抑制されて、リアクトル磁心としての機能が確保するために、リアクトルのコアとなる圧粉磁心の磁路に直交して複数個のギャップを形成し、そのギャップに例えば樹脂性の絶縁材（非磁性）を配置する方法が知られている（例えば、参考文献 1～3 参照）

[0007] しかしながら、特許文献 1～3 の発明では、ギャップ付近の漏れ磁束が巻き線、コアの発熱を引き起こし、これをリアクトルに用いた場合、回路効率が低下する。また、漏れ磁束が周辺機器に対するノイズ源になるとともに、周辺の導体に渦電流損失を誘発する。さらに、構造上、コアの組み立て工程が複雑になりコストが高くなる問題や駆動時に各ギャップ部において、ギャップと磁性体が衝突、離反することで騒音が発生するなどの問題があった。

[0008] そこで、リアクトル磁心にギャップを設けた場合、そのギャップに起因する諸問題を解消又は軽減するために、リアクトル磁心として低透磁率材としてナノ結晶材料を用いてギャップを無くしたリアクトルも知られている。（

例えば、特許文献4、5参照)

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特開2004-095935号公報

特許文献2：特開2007-012866号公報

特許文献3：特開2009-224584号公報

特許文献4：特開2006-344867号公報

特許文献5：特開2006-344868号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] しかしながら、特許文献4、5で使用するナノ結晶材料を利用した圧粉磁心では、粉末自体が固いため、成形が困難となり圧粉磁心の密度が低くなる（理論密度の85%以下）。そのため、ナノ結晶材料で作製した圧粉磁心の透磁率は、低く出来るが、透磁直流重畳特性が劣化する。また、材料自体の最大磁束密度が小さいため、リアクトルとして使用しても高磁界でL値（インダクタンス）が大きく低下するという問題点がある。

[0011] 本発明は、上述した課題を解決するためになされたものであり、その目的は、軟磁性粉末の周囲を絶縁性微粉末で均一に分散し、高圧成形することで作製した圧粉磁心をリアクトル磁心として利用することで、高密度を保ち、透磁率が低い圧粉磁心を利用することにより、リアクトル磁心の直流重畳特性を改善できるので、リアクトルの小型化が可能となるギャップがいないリアクトル及びその製造方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0012] 前記の目的を達成するために、本発明のリアクトルは、軟磁性粉末と軟磁性粉末に対して0.4wt%～1.5wt%の無機絶縁粉末を混合し、熱処理を施した軟磁性粉末と無機絶縁粉末とに結着性絶縁樹脂を混合して造粒し、その混合物に対して潤滑性樹脂を混合し、その混合物を、加圧成形処理し

て成形体を作製し、その成形体を焼鈍処理することにより圧粉磁心を作製し、その圧粉磁心に導線を巻回し、リアクトルのコアとなる圧粉磁心の磁路に直交してギャップを設けないことを特徴とする。

[0013] なお、使用する圧粉磁心が以下の述べるリアクトル及びその製造方法も本発明の一形態である。

(1) 軟磁性粉末と無機絶縁粉末とを混合した後に、 1000°C 以上且つ軟磁性粉末が焼結を開始する温度以下での非酸化性雰囲気中で熱処理を行うことにより作製したもの。

(2) 軟磁性粉末の表面に均一に分散し、絶縁性を保持するために、無機絶縁粉末の平均粒子径が $7\sim 500\text{nm}$ としたり、珪素成分が $0.0\sim 6.5\text{wt}\%$ の軟磁性粉末を使用したもの。

(3) 珪素成分が $0\sim 6.5\%$ の前記軟磁性合金粉末を使用したもの。

発明の効果

[0014] 本発明のリアクトルによれば、直流重畳特性に優れた圧粉磁心を用いることで、以下のような効果を奏することができる。

(1) ギャップのないリアクトルのコアにより、ギャップ付近の漏れ磁束による巻き線及びコアの発熱を防止し、回路効率が低下を防止することができる。

(2) ギャップ付近の漏れ磁束による周辺機器に対するノイズを防止し、周辺の導体の渦電流損失を低減できる。

(3) コアにギャップを形成しないので、コアの組み立てが簡易であり、安価である。

(4) 駆動時に各ギャップ部において、ギャップと磁性体が衝突、離反することで騒音が発生する。さらに、本発明は圧粉磁心の直流重畳特性を改善できるため、リアクトルの小型化が可能となる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]実施例の圧粉磁心の製造方法を示すフローチャート

[図2]第1の特性比較において、 (110) 、 (200) 、 (211) の各面

の半価幅の合計を示した図

[図3] 第2の特性比較において、微粉末の添加量に対する直流重畳特性の関係を示す図

[図4] 第2の特性比較において、圧粉磁心の直流BH特性を示した図

[図5] 第2の特性比較において、直流BH特性から、微分透磁率と磁束密度の関係を示した図

[図6] 第3の特性比較において、微粉末の添加量に対する直流重畳特性の関係を示す図

[図7] 第4の特性比較において、圧粉磁心の直流BH特性を示した図

[図8] 第4の特性比較において、直流BH特性から、微分透磁率と磁束密度の関係を示した図

[図9] 第4の特性比較において、直流重畳電流とインダクタンスとの関係を示す図

[図10] 第4の特性比較において、直流重畳電流とインダクタンスとの関係を示す図

[図11] 第4の特性比較において、直流重畳電流とインダクタンスとの関係を示す図

[図12] 第4の特性比較において、直流重畳電流とインダクタンスとの関係を示す図

[図13] 従来のコアにギャップを有するリアクトルを示す断面図

発明を実施するための形態

[0016] [1. 圧粉磁心の製造工程]

本発明のリアクトルコアとする圧粉磁心の製造方法は、図1に示すような次のような各工程を有する。

(1) 軟磁性粉末に無機絶縁粉末を混合する第1混合工程(ステップ1)

。

(2) 第1混合工程を経た混合物に対して熱処理を施す熱処理工程(ステップ2)。

(3) 熱処理工程を経た軟磁性粉末と無機絶縁粉末とに結着性絶縁樹脂を混合する造粒工程(ステップ3)。

(4) 結着性絶縁樹脂で造粒した軟磁性粉末に対して、潤滑性樹脂を混合する第2混合工程(ステップ4)。

(5) 第2混合工程を経た混合物を、加圧成形処理して成形体を作製する成形工程(ステップ5)。

(6) 成形工程を経た成形体を焼鈍処理する焼鈍工程(ステップ6)。

以下、各工程を具体的に説明する。

[0017] (1) 第1混合工程

第1混合工程では、鉄を主とする軟磁性粉末と無機絶縁粉末とを混合する。

[軟磁性粉末について]

軟磁性粉末は、ガスアトマイズ法、水ガスアトマイズ法及び水アトマイズ法で作製した平均粒径が $5 \sim 30 \mu\text{m}$ で、珪素成分が $0.0 \sim 6.5 \text{ wt}\%$ の軟磁性粉末を使用する。平均粒径が、 $5 \sim 30 \mu\text{m}$ の範囲より大きいと渦電流損失(P_e)が増大し、一方、平均粒径が $5 \sim 30 \mu\text{m}$ の範囲より小さいと、密度低下によるヒステリシス損失(P_h)が増加する。また、軟磁性粉末の珪素成分は、前記軟磁性粉末に対して $6.5 \text{ wt}\%$ 以下が良く、これより多いと成形性が悪く、圧粉磁心の密度が低下して磁気特性が低下するという問題が発生する。

[0018] 軟磁性合金粉末を水アトマイズ法で製造した場合には、軟磁性粉末の形状は不定形であり、粉末の表面が凹凸になる。このため、軟磁性粉末の表面に無機絶縁粉末を均一に形成することが難しい。さらに、成形時に粉末表面の凸部に応力が集中し絶縁破壊しやすい。そこで、軟磁性粉末と無機絶縁粉末との混合には、V型混合機、W型混合機、ポットミルなどのメカノケミカル効果を粉末に発現する装置を用いる。その他にも、圧縮力、せん断力の機械的エネルギーを粒子に与えるタイプの混合機を使用し、混合と表面改質を同時に行っても良い。

[0019] さらに、軟磁性粉末に無機絶縁粉末を混合した混合粉に対して、該無機絶縁粉末の表面への均一分散と粉末表面の凹凸を均一にするための平坦化処理を行なう。直流重量特性は粉末のアスペクト比に依存しており、この処理によりアスペクト比を1.0～1.5にすることとしても良い。この方法は、表面を機械的に塑性変形させて行なう。その一例としてはメカニカルアロイング、ボールミル、アトライター等がある。

[0020] [無機絶縁粉末について]

ここで混合する無機絶縁粉末の平均粒径は、7～500nmとする。平均粒径が7nm未満であると、造粒が困難であり、500nm超であると、軟磁性粉末の表面に均一に分散することができず、絶縁性を保持することができない。また、添加量としては、0.4～1.5wt%が好適である。0.4wt%未満であると、性能が充分に発揮できず、1.5wt%を超えると、密度が著しく低下するために、磁気特性を低下させる。このような無機絶縁物質としては、融点が1500℃超であるMgO（融点2800度）、Al₂O₃（融点2046度）、TiO₂（融点1640度）、CaO粉末（融点2572度）のうち少なくとも1種類以上を使用することが望ましい。

[0021] また、後述の熱処理工程を行わない場合は、タルクや炭酸カルシウムなどの絶縁性の粉末であれば、融点の温度にとらわれず使用することができる。

[0022] (2) 熱処理工程

熱処理工程では、ヒステリシス損失を低減する目的と成形後の焼鈍温度を高くする目的で、前記第1混合工程を経た混合物を1000℃以上且つ軟磁性粉末が焼結を開始する温度以下の非酸化性雰囲気中で熱処理を行う。非酸化性雰囲気は、水素雰囲気等の還元雰囲気でも、不活性雰囲気でも、真空雰囲気でもよい。つまり、酸化雰囲気でないことが好ましい。

[0023] このとき、第1混合工程で軟磁性合金粉末の表面に均一に分散された無機絶縁粉末は、絶縁層は上記目的と熱処理時における軟磁性粉末同士の融着防止となる。また、1000℃以上の温度で熱処理を行うことで、軟磁性粉末内に存在する歪みの除去、結晶粒界などの欠陥の除去、軟磁性粉末粒子中の

結晶粒子の成長（拡大）によって、磁壁移動が容易となり、保磁力を小さくし、ヒステリシス損失を低減することができる。また、軟磁性粉末が焼結してしまう温度で熱処理を行うと、軟磁性粉末が焼結し固まってしまい、圧粉磁心の材料として使用できなくなるという問題点がある。そのため、軟磁性粉末が焼結を開始する温度以下の温度で熱処理を行う必要がある。

[0024] この熱処理工程は、使用する無機絶縁粉末の種類によっては、省略することもできる。この場合は、第1混合工程における混合において、軟磁性粉末の表面への均一分散と粉末表面の凹凸を均一にするための平坦化処理を行なうので、無機絶縁粉末の硬度が低いほうが、成形時の歪みを緩和できるため、ヒステリシス損失の低減をすることができる。

[0025] (3) 造粒工程

造粒工程では、前記無機絶縁粉末を均一に分散させる目的と密着性を向上させる目的のために、2重構造の絶縁被膜を構成する。第1層目として、軟磁性合金粉末の表面にシランカップリング剤による密着強化層を形成する。このシランカップリング剤は無機絶縁粉末と軟磁性粉末の密着力を高めるために添加し、添加料は、0.1～0.5wt%が最適である。これより量が少ないと密着量効果が不十分であり、多いと成形密度の低下を引き起こし焼鈍後の磁気特性を劣化させる。第2層目としては、シランカップリング剤による密着層を形成した軟磁性合金粉末の表面に、シリコーンレジンによる結着層を形成する。このシリコーンレジン、結着性能を向上させるとともに、成形時、金型と粉末の接触によるコア壁面の縦筋の発生を防止するために添加し、添加量は0.5～2.0wt%が最適である。これより量が少ないと絶縁性能の低下、成形時コア壁面への縦筋が発生する。多いと成形密度の低下を引き起こし焼鈍後の磁気特性を劣化させる。

[0026] (4) 第2混合工程

第2混合工程では、成形時の上パンチの抜き圧低減、金型と粉末の接触によるコア壁面の縦筋の発生を防止する目的で、前記造粒工程を経た混合物に潤滑性樹脂を混合する。ここで混合する潤滑性樹脂としては、ステアリン酸

、ステアリン酸塩、ステアリン酸石鹼、エチレンビスステアラマイドなどのワックスが使用できる。これらを添加することにより、造粒粉同士の滑りを良くすることができるので、混合時の密度を向上することができ成形密度を高くすることができる。さらに、粉末が金型へ焼き付くことも防止することが可能である。混合する潤滑性樹脂の量は、前記軟磁性粉末に対して0.2～0.8wt%とする。これよりも少なければ、十分な効果を得ることができず、形時コア壁面への縦筋の発生、抜き圧が高くなり最悪の場合、上パンチが抜けなくなる。多いと成形密度の低下を引き起こし焼鈍後の磁気特性を劣化させる。

[0027] (5) 成形工程

成形工程では、前記のようにして結着剤により結着した軟磁性粉末を金型に投入しダイ・フローティング法による1軸成形を行なうことにより、成形体を形成する。この時、加圧乾燥された結着性絶縁樹脂は、成形時のバインダーとして作用する。成形時の圧力は従来技術と同様で良く、本発明においては1500MPa程度が好ましい。

[0028] (6) 焼鈍工程

焼鈍工程では、前記成形体に対して、 N_2 ガス中や $N_2 + H_2$ ガス非酸化性雰囲気中にて、600℃を超える温度で焼鈍処理を行うことで圧粉磁心が作製される。焼鈍温度を上げ過ぎると絶縁性能の劣化から磁気特性が劣化するため、特に渦電流損失が大きく増加してしまうことにより、鉄損が増加するのを抑制するためである。

[0029] また、このとき結着性絶縁樹脂は、焼鈍処理中に一定温度に達すると熱分解する。圧粉磁心の熱処理が窒素雰囲気中で行われることで、結着性絶縁樹脂は軟磁性粉末の表面に付着する。そのため高温で熱処理を行っても絶縁性が劣化せず、酸化などによるヒステリシス損失が増加しない。また、機械的強度を改善する役目も果たす。

[0030] [2. 測定項目]

測定項目として、透磁率と最大磁束密度と直流重畳性を次のような手法に

より測定する。透磁率は、作製された圧粉磁心に１次巻線（２０ターン）を施し、インピーダンスアナライザー（アジレントテクノロジー：４２９４Ａ）を使用することで、２０ｋＨｚ、０．５Ｖにおけるインダクタンスから算出した。

[0031] コアロスは、圧粉磁心に１次巻線（２０ターン）及び２次巻線（３ターン）を施し、磁気計測機器であるＢＨアナライザ（岩通計測株式会社：ＳＹ－８２３２）を用いて、周波数１０ｋＨｚ、最大磁束密度 $B_m = 0.1$ Ｔの条件下で鉄損（コアロス）を測定した。この算出は、下記〔式４〕により、鉄損の周波数を用いた最小２乗法により、ヒステリシス損失係数、渦電流係数を算出することで行った。

[0032] 〔式４〕

$$P_c = K_h \times f + K_e \times f^2$$

$$P_h = K_h \times f$$

$$P_e = K_e \times f^2$$

P_c ：鉄損

K_h ：ヒステリシス損失係数

K_e ：渦電流損失係数

f ：周波数

P_h ：ヒステリシス損失

P_e ：渦電流損失

[0033] また、直流重畳性は、作製されたリアクトルに対して、ＬＣＲメータを使用することで測定した。

実施例

[0034] 本発明の実施例１～２４を、表１～５を参照して、以下に説明する。

[0035] 〔３－１．第１の特性比較（熱処理工程の熱処理の温度の比較）〕

第１の特性比較では、熱処理工程の熱処理による軟磁性粉末の表面の改質の比較を行った。表１では、実施例１～３及び比較例１として熱処理工程において粉末に加える温度の比較を行った。表１は、軟磁性粉末に加えた温度

と軟磁性粉末をX線回折法（以下、XRDとする）における評価を示した表である。

[0036] 実施例1～3及び比較例1では、ガスアトマイズ法で作製した平均粒子径 $2.2\ \mu\text{m}$ の珪素成分3.0wt%のFe-Si合金粉末に、無機絶縁粉末として、平均粒径13nm（比表面積 $100\text{m}^2/\text{g}$ ）の Al_2O_3 を0.4wt%添加する。その後、実施例1～3の試料に対して、 $950^\circ\text{C}\sim 1150^\circ\text{C}$ の水素25%（残り75%は、窒素）の還元雰囲気中で2時間保持し熱処理を行った。

[0037] 表1は、実施例1～3と比較例1について、XRDにて（110）、（200）、（211）の各面のピークについて半価幅の評価を行ったものであり、図2は、実施例1～3と比較例1について、（110）、（200）、（211）の各面の半価幅の合計を示した図である。

[表1]

	第1熱処理	半価幅		
	温度($^\circ\text{C}$)	(110)	(200)	(211)
比較例1	—	0.2349	0.334	0.345
実施例1	1050	0.0796	0.094	0.080
実施例2	1100	0.0773	0.077	0.080
実施例3	1150	0.0783	0.076	0.081

[0038] 表1及び図2から判るように、熱処理工程において熱処理を施さない比較例1では、XRDにおける（110）、（200）、（211）面のピークについて、半価幅が大きくなっていることが判る。半価幅は、粉末の歪みが大きいほど大きくなり、歪みが小さいと小さくなるので、比較例1では、粉末に大きな歪みが存在している。一方、第1の熱処理工程において熱処理を施した実施例1～3では比較例1と比較して、XRDにおける（110）、（200）、（211）面のピークについての半価幅が小さくなる。すなわち、熱処理工程において熱処理を施すことによって、粉末の歪みが除去されるためである。また、表中には示していないが熱処理工程を 1000°C 以上

で行った場合でも同様の効果を得ることができる。

[0039] すなわち、軟磁性粉末に対して 1000°C 以上で熱処理を行うことで、軟磁性粉末の表面を改質することができることがわかる。これにより、磁性粉末の表面の凹凸を除去することができ、磁性粉末同士のギャップが小さいところに磁束が集中して、接点付近の磁束密度が大きくなり、ヒステリシス損失が大きくなることを防止することができる。さらに、磁性粉末同士のギャップを均一にすることで、磁性粉末間に設けられたギャップが分散型ギャップとなり、直流重畳特性の改善をすることができる。一方、軟磁性粉末が焼結してしまう温度で熱処理を行うと、軟磁性粉末が焼結し固まってしまい、圧粉磁心の材料として使用できなくなるという問題点がある。そのため、軟磁性粉末が焼結を開始する温度以下の温度で熱処理を行う必要がある。

[0040] 以上より、リアクトルに使用する圧粉磁心の熱処理工程の熱処理の温度としては、 1000°C 以上且つ軟磁性粉末が焼結を開始する温度以下とする。これにより、軟磁性粉末の熱処理時に焼結して固まることがなく、ヒステリシス損失を効果的に低減することができる圧粉磁心を利用したリアクトル及びリアクトルの製造方法を提供することができる。

[0041] [3-2. 第2の特性比較（無機絶縁物質の添加量の比較）]

第2の特性比較では、珪素成分 3.0 wt % の Fe-Si 合金粉末に添加する無機絶縁物質の添加量の比較を行った。表 2 は、比較例 2～6 及び実施例 4～14 として軟磁性粉末に添加した無機絶縁物質の種類と成分を示した表である。各無機絶縁物質の平均粒径は、 Al_2O_3 が 13 nm （比表面積 $100\text{ m}^2/\text{g}$ ）及び 60 nm （比表面積 $25\text{ m}^2/\text{g}$ ）、 MgO が 230 nm （比表面積 $160\text{ m}^2/\text{g}$ ）である。

[0042] 本特性比較で使用する試料は、ガスアトマイズ法で作製した平均粒子径 $22\text{ }\mu\text{m}$ の珪素成分 3.0 wt % の Fe-Si 合金粉末に対して、下記のように無機絶縁粉末を添加して作製した。

項目 A の比較例 2 では、無機絶縁粉末を添加しない。

項目 B の比較例 3、4 では、無機絶縁粉末として、 13 nm （比表面積 1

0.0 m²/g) の Al₂O₃ を 0.20 ~ 0.25 wt % 添加する。

また、実施例 4 ~ 10 では、無機絶縁粉末として、13 nm (比表面積 10.0 m²/g) の Al₂O₃ を 0.40 ~ 1.50 wt % 添加する。

[0043] 項目 C の比較例 5 及び実施例 11 ~ 13 では、無機絶縁粉末として、60 nm (比表面積 25 m²/g) の Al₂O₃ を 0.25 ~ 1.00 wt % 添加する。

項目 D の比較例 6 及び実施例 14 では、無機絶縁粉末として、230 nm (比表面積 160 m²/g) の MgO を 0.20 ~ 0.70 wt % 添加する。

[0044] その後、これらの試料に対して、1100°C の水素 25% (残り 75% は窒素) の還元雰囲気中で 2 時間保持する熱処理を行う。そして、シランカップリング剤を 0.25 wt %、シリコーンレジン を 1.2 wt % の順に混合し加熱乾燥後 (180°C __ 2 時間)、潤滑剤としてステアリン酸亜鉛を 0.4 wt % 添加して混合した。

[0045] これらの試料を室温にて、1500 MPa の圧力で加圧成形し、外径 16 mm、内径 8 mm、高さ 5 mm のリング状をなす圧粉磁心を作製した。そして、これらの圧粉磁心に対して窒素雰囲気中 (N₂ + H₂) にて、625°C で 30 分間焼鈍処理を行った。

[0046] 表 2 は、実施例 4 ~ 14 と比較例 2 ~ 6 について、軟磁性粉末、無機絶縁粉末の種類と添加量、第 1 熱処理温度、透磁率及び単位体積あたりの鉄損 (コアロス) との関係について示した表である。図 3 は、実施例 4 ~ 14 と比較例 2 ~ 6 について、微粉末の添加量に対する直流重畳特性の関係を示す図である。また、図 4 は、実施例 4, 7 と比較例 2 との直流 BH 特性を示した図であり、図 5 は、図 4 の直流 BH 特性に基づき、微分透磁率と磁束密度の関係を示したものである。

[表2]

項目	第一の絶縁層 新磁粉末				第一の熱 処理	第二の熱 処理	密度	磁気部分 の密度	コアロス (KW/m ³) 100mT@10kHz				直流BH特性			透磁率の 低下率	
	種類	比表面積 m ² /g	粒子径 nm	添加量 wt%					P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	μ		%		
													C=0T	B=1T			
A	—	—	—	—	℃	℃	g/cm ³	%	Pc	P ₁	P ₂	P ₃	C=0T	B=1T	%	100.0	比較例2
B	Al ₂ O ₃	100	13	0.25	1100	725	7.08	93.5	115	103	8	8	100	51	50.7	100.0	比較例2
				0.25	1100	725	7.10	93.4	93	81	8	85	44	52.6	84.6	比較例3	
				0.25	1100	725	7.06	92.9	101	90	9	73	36	49.8	72.9	比較例4	
				0.40	1100	725	7.08	93.0	91	82	8	75	43	57.9	75.7	実施例4	
				0.30	1100	725	7.06	92.6	89	80	8	67	43	83.9	67.3	実施例5	
				0.70	1100	725	7.03	92.1	87	76	9	62	42	86.9	62.3	実施例6	
				0.80	1100	725	7.00	91.6	86	74	9	60	41	89.1	60.7	実施例7	
				1.00	1100	725	6.97	91.0	82	72	9	58	40	87.8	58.3	実施例8	
				1.20	1100	725	6.95	90.6	79	70	8	57	38	86.9	57.5	実施例9	
				1.50	1100	725	6.88	89.4	78	65	8	49	31	83.9	48.7	実施例10	
C	Al ₂ O ₃	25	60	0.25	1100	725	7.09	93.2	86	74	10	72	41	57.0	72.7	比較例5	
				0.40	1100	725	7.09	93.2	74	65	10	66	42	82.6	66.4	実施例11	
				0.70	1100	725	7.05	92.3	66	56	9	60	42	88.8	60.4	実施例12	
				1.00	1100	725	7.02	91.7	66	56	10	57	39	88.1	57.3	実施例13	
D	MgO	150	230	0.20	1100	725	7.08	93.3	103	92	12	80	45	57.2	79.5	比較例6	
				0.70	1100	725	7.00	91.8	90	85	8	63	39	82.0	63.7	実施例14	

[0047] [直流BH特性について]

表2の直流BH特性の%とは、磁束密度が0Tでの透磁率 μ (0T)と1Tでの透磁率 μ (1T)の比 (μ (1T) / μ (0T)) である、この値が大きいと直流重畳特性が優れている意味である。すなわち、表2から判るように、Siが3.0wt%のガスアトマイズ法で作製した軟磁性粉末では、項目Bの比較例3、4と実施例4～10、項目Cの比較例5と実施例11～13、項目Dの比較例6と実施例14では、すべての項目において、微粉末を0.4wt%以上添加することにより直流BH特性が良くなることが判る。

[0048] 一方、表2の各項目における密度及び透磁率からは、微粉末を添加しない項目Aと微粉末を添加する項目B～Dとを比較すると、微粉末を添加することにより密度が低下するため透磁率が低下し、直流BH特性に悪影響を及ぼす。特に、微粉末を1.5wt%より多く添加すると、密度が大きく低下し、直流BH特性が低下する。

[0049] [ヒステリシス損失について]

表2のヒステリシス損失 (Ph) では、無機絶縁体としてAl₂O₃を添加した実施例4～14及び比較3～6の場合、無機絶縁粉末を添加していない比較例1よりも、10kHzにおけるヒステリシス損失 (Ph) が低下している。それにより、全体での磁気特性が向上していることが判る。

[0050] 一般的には、高密度ほど、ヒステリシス損失が小さくなるが、本実施例では密度は低下しているがヒステリシス損失 (Ph) が低下している。その理由としては、軟磁性粉末の表面に微粉末を不均一に分散すると、磁性粉末同

士のギャップが小さいところに磁束が集中して、接点付近の磁束密度が大きくなり、ヒステリシス損失を増加させる一因となる。本実施例では、微粉末を均一に分散することで、磁性粉末同士のギャップを均一にし、磁性粉末同士のギャップに磁束が集中することによるヒステリシス損失を低減させる。これにより、密度が低下しても、ヒステリシス損失（ P_h ）が低下させることができる。さらに、磁性粉末間に設けられたギャップが分散型ギャップとなり、直流重畳特性の改善をすることもできる。

[0051] 以上より、リアクトルに使用する圧粉磁心の珪素成分 3.0 wt % の Fe-Si 合金粉末の軟磁性の粉末に添加する無機絶縁物質の添加量としては、軟磁性粉末に対して、0.4 ~ 1.5 wt % であることが良い。これよりも少なければ、十分な効果を得ることができず、1.5 wt % より多くなると密度低下による直流 BH 特性の要因となる。これにより、珪素成分が 3.0 wt % の軟磁性粉末でも熱処理時に焼結して固まることがなく、ヒステリシス損失を効果的に低減することができる圧粉磁心を利用したリアクトル及びリアクトルの製造方法を提供することができる。

[0052] [3-3. 第3の特性比較（無機絶縁物質の添加量の比較）]

第3の特性比較では、軟磁性の粉末として、珪素成分 6.5 wt % の Fe-Si 合金粉末に添加する無機絶縁物質の添加量の比較を行った。表3は、比較例7~9及び実施例15~18として軟磁性粉末に添加した無機絶縁物質の種類と成分を示した表である。無機絶縁物質の平均粒径は、 Al_2O_3 が 13 nm（比表面積 $100 m^2/g$ ）である。

[0053] 本特性比較で使用する試料は、ガスアトマイズ法で作製した平均粒子径 $2.2 \mu m$ の珪素成分 3.0 wt % の Fe-Si 合金粉末に対して、下記のように無機絶縁粉末を添加し、V型混合機を使用し30分混合することにより作製した。

項目Eの比較例7では、無機絶縁粉末を添加しない。

項目Fの比較例8, 9では、無機絶縁粉末として、13 nm（比表面積 $100 m^2/g$ ）の Al_2O_3 を 0.15 ~ 0.25 wt % 添加する。

また、実施例 15～18 では、無機絶縁粉末として、13 nm（比表面積 $100 \text{ m}^2/\text{g}$ ）の Al_2O_3 を 0.40～1.00 wt % 添加する。

[0054] その後、これらの試料に対して、1100℃の水素25%（残り75%は、窒素）の還元雰囲気中で2時間保持する熱処理を行う。そして、シランカップリング剤を0.25 wt %、シリコーンレジンに1.2 wt %の順に混合し加熱乾燥後（180℃__2時間）、潤滑剤としてステアリン酸亜鉛を0.4 wt % 添加して混合した。

[0055] これらの試料を室温にて、1500 MPa の圧力で加圧成形し、外径16 mm、内径8 mm、高さ5 mmのリング状をなす圧粉磁心を作製した。そして、これらの圧粉磁心に対して窒素雰囲気中（ N_2 90% + H_2 10%）にて、625℃で30分間焼鈍処理を行った。

[0056] 表3は、実施例15～18と比較例7～9について、軟磁性粉末、無機絶縁粉末の種類と添加量、第1熱処理温度、透磁率及び単位体積あたりの鉄損（コアロス）との関係について示した表である。図6は、実施例15～18と比較例8、9について、微粉末の添加量に対する直流重畳特性の関係を示す図である。

[表3]

項目	第一の絶縁層 絶縁粉末				第一の熱 処理	第二の熱 処理	密度	磁性部分 の密度	コアロス (KW/m ³) 100mT ① 10kHz			直流BH特性		透磁率の 低下率		
	種類	比表面積 m ² /g	粒子径 nm	添加量 wt%					P _c	P _h	P _e	μ				
												B=0T	B=1T			%
E	—	—	—	—	—	725	6.70	91.6	106	89	7	98	33	33.7	100.0	比較例7
F	Al ₂ O ₃	100	13	0.15	1100	725	6.72	91.7	89	80	8	82	30	36.3	83.7	比較例8
				0.25	1100	725	6.73	91.6	63	75	8	76	28	36.9	77.7	比較例9
				0.40	1100	725	6.68	90.9	61	73	8	66	28	40.6	69.9	実施例5
				0.60	1100	725	6.65	90.3	60	71	8	63	27	41.9	64.9	実施例6
				0.80	1100	725	6.58	89.1	74	65	8	57	23	40.9	58.4	実施例7
				1.00	1100	725	6.53	88.3	73	64	8	54	21	38.2	55.6	実施例8
				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

[0057] [直流BH特性について]

表3の直流BH特性の%とは、磁束密度が0 Tでの透磁率 μ （0 T）と1 Tでの透磁率 μ （1 T）の比（ μ （1 T）/ μ （0 T））である、この値が大きいと直流重畳特性が優れている意味である。すなわち、表3及び図6から判るように、Siが6.5 wt %のガスアトマイズ法で作製した軟磁性粉末では、項目Fの比較例8、9と実施例15～18では、微粉末を0.4 wt %以上添加することにより直流BH特性が良くなることが判る。

[0058] 一方、表3及び図6の各項目における密度及び透磁率からは、微粉末を添

加しない項目Eと微粉末を添加する項目Fとを比較すると、微粉末を添加することにより密度が低下するため透磁率が低下し、直流BH特性に悪影響を及ぼす。特に、微粉末を1.5wt%より多く添加すると、密度が大きく低下し、直流BH特性が低下する。

[0059] [ヒステリシス損失について]

表3のヒステリシス損失(P_h)では、無機絶縁体としてAl₂O₃を添加した実施例15～18及び比較例8, 9の場合、無機絶縁粉末を添加していない比較例7よりも、10kHzにおけるヒステリシス損失(P_h)が低下している。それにより、全体での磁気特性が向上していることが判る。

[0060] 一般的には、高密度ほど、ヒステリシス損失が小さくなるが、本実施例では密度は低下しているがヒステリシス損失(P_h)が低下している。その理由としては、軟磁性粉末の表面に微粉末を不均一に分散すると、磁性粉末同士のギャップが小さいところに磁束が集中して、接点付近の磁束密度が大きくなり、ヒステリシス損失を増加させる一因となる。本実施例では、微粉末を均一に分散することで、磁性粉末同士のギャップを均一にし、磁性粉末同士のギャップに磁束が集中することによるヒステリシス損失を低減させる。これにより、密度が低下しても、ヒステリシス損失(P_h)が低下させることができる。さらに、磁性粉末間に設けられたギャップが分散型ギャップとなり、直流重畳特性の改善をすることもできる。

[0061] 以上より、リアクトルに使用する圧粉磁心の珪素成分6.5wt%のFe-Si合金粉末の軟磁性の粉末に添加する無機絶縁物質の添加量としては、軟磁性粉末に対して、0.4～1.5wt%であることが良い。これよりも少なければ、十分な効果を得ることができず、1.5wt%より多くなると密度低下による直流BH特性の要因となる。これにより、珪素成分が6.5wt%の軟磁性粉末でも熱処理時に焼結して固まることがなく、ヒステリシス損失を効果的に低減することができる圧粉磁心を利用したリアクトル及びリアクトルの製造方法を提供することができる。

[0062] [3-4. 第4の特性比較(軟磁性合金粉末の種類の比較)]

第3の特性比較では、無機絶縁粉末を添加する軟磁性粉末の種類の比較を行った。本特性比較で使用する軟磁性粉末は、水アトマイズ法で作製した粒度 $75\mu\text{m}$ 以下の純鉄、水アトマイズ法で作製した粒度 $75\mu\text{m}$ 以下の純鉄を平坦化処理し、円形度を 0.85 とした純鉄及び、水アトマイズ法で作製した粒度 $63\mu\text{m}$ 以下の珪素成分 $1\text{wt}\%$ の $\text{Fe}-\text{Si}$ 合金粉末である。

[0063] 本特性比較で使用する試料は、下記のように作製した。

項目Gの実施例19では、水アトマイズ法で作製した粒度 $75\mu\text{m}$ 以下の純鉄に、無機絶縁物質として Al_2O_3 が 13nm （比表面積 $100\text{m}^2/\text{g}$ ）を添加し、V型混合機を使用し30分混合する。

項目Hの実施例20では、水アトマイズ法で作製した粒度 $75\mu\text{m}$ 以下の純鉄を平坦化処理し、円形度を 0.85 とした純鉄に、無機絶縁物質として Al_2O_3 が 13nm （比表面積 $100\text{m}^2/\text{g}$ ）を添加し、V型混合機を使用し30分混合する。

項目Iの実施例21では、水アトマイズ法で作製した粒度 $63\mu\text{m}$ 以下の珪素成分 $1\text{wt}\%$ の $\text{Fe}-\text{Si}$ 合金粉末に、無機絶縁物質として Al_2O_3 が 13nm （比表面積 $100\text{m}^2/\text{g}$ ）を添加し、V型混合機を使用し30分混合する。

[0064] その後、これらの試料に対して、 1100°C の水素 25% （残り 75% は、窒素）の還元雰囲気中で2時間保持する熱処理を行う。そして、シランカップリング剤を $0.25\text{wt}\%$ 、シリコーンレジン $1.2\text{wt}\%$ の順に混合し加熱乾燥後（ 180°C __2時間）、潤滑剤としてステアリン酸亜鉛を $0.4\text{wt}\%$ 添加して混合した。

[0065] これらの試料を室温にて、 1500MPa の圧力で加圧成形し、外径 16mm 、内径 8mm 、高さ 5mm のリング状をなす圧粉磁心を作製した。そして、これらの圧粉磁心に対して窒素雰囲気中（ $\text{N}_2 90\% + \text{H}_2 10\%$ ）にて、 625°C で30分間焼鈍処理を行った。

[0066] 表4は、実施例19～21について、軟磁性粉末、無機絶縁粉末の種類と添加量、第1熱処理温度、透磁率及び単位体積あたりの鉄損（コアロス）と

の関係について示した表である。図 7 は、実施例 19～21 の直流 B-H 特性を示した図であり、図 8 は、図 7 の直流 B-H 特性に基づき、微分透磁率と磁束密度の関係を示したものである。

[表 4]

項目	第一の絶縁層 絶縁粉末				第一の熱 処理 °C	第二の熱 処理 °C	密度 g/cm ³	磁性部分 の密度 %	リアクタス (KW/r3) 100mT@10kHz			直流BH特性		透磁率の 低下率		
	種類	比表面積 m ² /g	粒子径 nm	添加量 wt%					Pc	Ph	Pe	μ_i				
												B=0T	B=1T			%
G	Al ₂ O ₃	100	13	0.75	1100	650	7.21	90.9	96	72	20	103	53	51.1	73.5	実施例19
H				0.50	1100	650	7.20	91.0	98	80	18	84	57	68.1	80.2	実施例20
I				0.50	1100	630	7.12	90.0	98	78	16	71	58	80.6	71.4	実施例21

[0067] [直流 B-H 特性について]

表 4 の直流 B-H 特性の % とは、磁束密度が 0 T での透磁率 μ (0 T) と 1 T での透磁率 μ (1 T) の比 (μ (1 T) / μ (0 T)) である、この値が大きいと直流重畳特性が優れている意味である。すなわち、表 4 から判るように、Si 成分が 0 である実施例 19、20 及び Si 成分が 1.0 wt % である実施例 21 においても、Si が 3.0～6.5 wt % のガスアトマイズ法で作製した軟磁性粉末と同様に、無機絶縁粉末を添加することにより、直流 B-H 特性が良くなることが判る。また、図 8 の実施例 20、21 とを比較すると、平坦化処理を行ったものは、直流重畳特性が優れることがわかる。

[0068] また、図 7、8 からは、軟磁性粉末に対して平坦化処理を行わない実施例 19 に対して、平坦化処理を行った実施例 20 の方が、印加磁界における比透磁率が優れることが判る。これは、軟磁性粉末に対して平坦化処理を行うことで、表面の凹凸を除去し粉末の形状を球に近くすることができる。このため、低い圧力でも密度が高い圧粉磁心を製作することができる。圧粉磁心は、密度が高くなると直流重畳特性が優れるという特性があり、圧粉磁心の密度が高くなることにより直流重畳特性が向上していることがわかる。

[0069] 以上より、リアクトルに使用する圧粉磁心の軟磁性合金粉末としては、珪素成分が 0～6.5 wt % の Fe-Si 合金粉末の軟磁性の粉末を利用することにより低損失な圧粉磁心を提供できるだけでなく、高密度で直流重畳特性に優れた圧粉磁心を提供することができる。また、平坦化処理をあわせて行うことで、さらに高密度で直流重畳特性に優れた圧粉磁心を利用したリア

クトル及びリアクトルの製造方法を提供することができる。

[0070] [3-1. 第3の特性比較（リアクトル磁心の無機絶縁物質の添加量の比較）]

第3の特性比較では、軟磁性粉末に添加する無機絶縁物質の添加量を変化させたリアクトル磁心の比較を行った。表5は、比較例10～12及び実施例22～24として軟磁性粉末に添加した無機絶縁物質の添加量を示した表である。無機絶縁物質の平均粒径は、 Al_2O_3 が13nm（比表面積100 m^2/g ）である。

[0071] 本特性比較で使用する試料は、ガスアトマイズ法で作製した平均粒子径22 μm の珪素成分3.0wt%のFe-Si合金粉末に対して、下記のように無機絶縁粉末を添加して作製した。

項目J～Mの比較例10～12及び実施例22～24は、無機絶縁粉末として、13nm（比表面積100 m^2/g ）の Al_2O_3 を0.25～1.00wt%添加する。

[0072] その後、これらの試料に対して、1100℃の水素25%（残り75%は、窒素）の還元雰囲気中で2時間保持する熱処理を行う。そして、シランカップリング剤を0.25wt%、シリコーンレジン1.2wt%の順に混合し加熱乾燥後（180℃_2時間）、潤滑剤としてステアリン酸亜鉛を0.4wt%添加して混合した。

[0073] 項目J、K、Mの試料は、室温にて1500MPaの圧力で加圧成形し、項目Lの試料は、室温にて1200MPaの圧力で加圧成形した。その後、外径60mm、内径30mm、高さ25mmのリング状をなす圧粉磁心を作製した。そして、これらの圧粉磁心に対して窒素雰囲気中（ $\text{N}_2 + \text{H}_2$ ）にて、625℃で30分間焼鈍処理を行った。これらの試料に対して、線径2.2mmの銅線を60ターン（巻き）、巻き線を施してリアクトルを作製して、LCRメータにて直流重畳特性を測定した。

[0074] 表5は、実施例22～24と比較例10～12について、無機絶縁粉末の添加量、密度、磁性部分の密度及び透磁率との関係について示した表である

。

[表5]

項目	添加量	密度	磁性部分 の密度	透磁率	
	wt%	g/cm ³	%		
J	0.25	7.10	93.4	73	比較例10
K	0.25	7.10	93.4	52	比較例11
L	0.25	6.98	91.9	54	比較例12
M	0.40	7.08	93.0	68	実施例22
	0.70	7.03	92.1	54	実施例23
	1.00	6.97	91.0	51	実施例24

表2からは、無機絶縁粉末の添加量を多くするに従って、密度、磁性部分の密度及び透磁率が低下することが判る。また、図9は、実施例22と比較例10について、直流重畳電流とインダクタンスとの関係を示す図である。図9の比較例10は実施例22と比較すると、12A以下では比較例10の方がインダクタンスが大きい、12Aを超えると比較例10の方がインダクタンスが低下することが判る。すなわち、インダクタンスの低下率は比較例10の方が大きく、インダクタンスの影響が大きいリアクトルであることが判る。

[0075] 図10は、実施例22と比較例11、12について、各実施例及び比較例における直流重畳電流とインダクタンスとの関係を示す図である。図10からは、実施例22と比較例12とを比較すると、リアクトルにギャップを設けた比較例12のほうが25A以上でのインダクタンスの低下率が低いことが判る。すなわち、無機絶縁粉末の添加量が少なくてもリアクトルにギャップを設けることにより、優れた重畳特性を得ることができることが判る。

[0076] 図11は、実施例23、24と比較例11について、各実施例及び比較例における直流重畳電流とインダクタンスとの関係を示す図である。図11からは、実施例23、24と比較例12とを比較すると、リアクトルにギャップを設けない実施例23、24においても、リアクトルにギャップを設けた比較例12と同等の直流重畳特性であることが判る。

[0077] 図 1 2 は、実施例 2 3, 2 4 と比較例 1 2 について、各実施例及び比較例における直流重畳電流とインダクタンスとの関係を示す図である。比較例 1 2 は、成形時の圧力を低下することにより、密度を低下して、L 値を実施例 2 3, 2 4 にあわせたものであるが、1 0 A 以上で L 値が大きく低下することが判る。すなわち、実施例 2 3, 2 4 のように絶縁粉末を添加して、所定の圧力で成形することで、直流重畳特性が改善できることが判る。

[0078] 以上より、リアクトルに使用する圧粉磁心の軟磁性粉末と 0. 4 w t ~ 1 . 5 w t % の無機絶縁粉末とを混合し、第 1 の熱処理温度が 1 0 0 0 °C 以上且つ軟磁性粉末が焼結を開始する温度以下での非酸化性雰囲気中で熱処理を行うことにより作製された圧粉磁心を、リアクトル磁心として使用したリアクトルでは、高磁界で L 値（インダクタンス）が大きく低下しない優れた直流重畳特性のリアクトルと、その製造方法を提供することができる。

請求の範囲

- [請求項1] 軟磁性粉末と軟磁性粉末に対して0.4wt%～1.5wt%の無機絶縁粉末を混合し、
その混合物と結着性絶縁樹脂を混合して造粒し、その混合物に対して潤滑性樹脂を混合し、
その混合物を加圧成形処理して成形体を作製し、その成形体を焼鈍処理することにより作製した圧粉磁心に導線を巻回したリアクトルにおいて、
リアクトルのコアとなる圧粉磁心の磁路に直交してギャップを設けないことを特徴とするリアクトル。
- [請求項2] 前記軟磁性粉末と前記無機絶縁粉末とを混合した後、その混合物に対して1000℃以上且つ軟磁性粉末が焼結を開始する温度以下での非酸化性雰囲気中で熱処理を行うことにより作製した圧粉磁心に導線を巻回したことを特徴とする請求項1に記載のリアクトル。
- [請求項3] 前記無機絶縁粉末の平均粒子径が7～500nmであることを特徴とする請求項1または2に記載のリアクトル。
- [請求項4] 前記軟磁性粉末の珪素成分が0～6.5wt%であることを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載のリアクトル。
- [請求項5] 軟磁性粉末と前記軟磁性粉末に対して0.4wt%～1.5wt%の無機絶縁粉末とを混合する第1混合工程と、
前記第1混合工程を経た軟磁性粉末と無機絶縁粉末に結着性絶縁樹脂を混合して結着する結着工程と、
前記結着工程を経た混合物に対して、潤滑性樹脂を混合する第2混合工程と、
前記第2混合工程を経た混合物を、加圧成形処理して成形体を作製する成形工程と、
前記成形工程を経た成形体を焼鈍処理し圧粉磁心を作製する焼鈍工程と、

前記焼鈍工程を経た圧粉磁心に導線を巻回する実装工程とを備えるリアクトルの製造方法において、

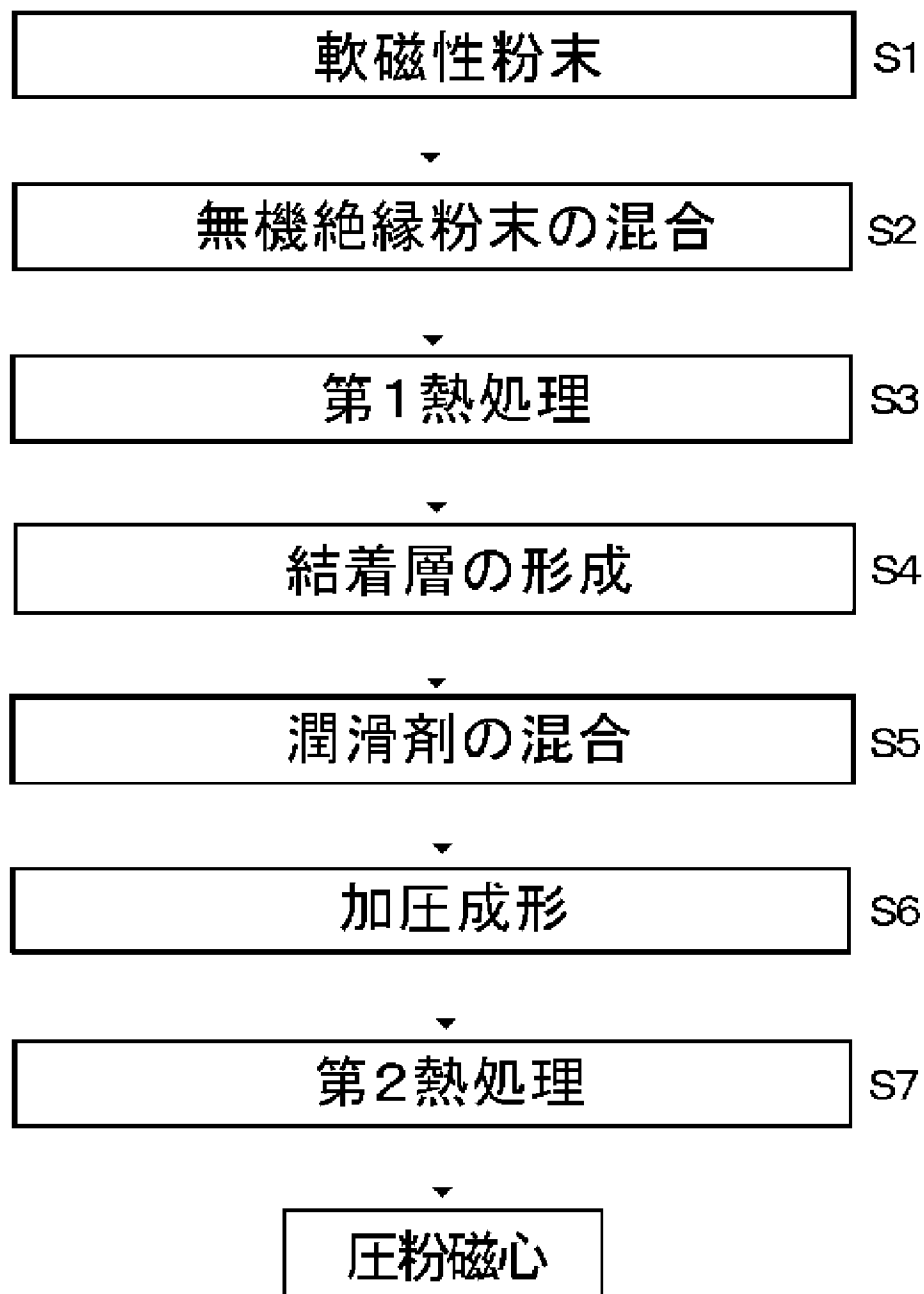
リアクトルのコアとなる圧粉磁心の磁路に直交してギャップを設けないことを特徴とするリアクトルの製造方法。

[請求項6] 前記軟磁性粉末と前記無機絶縁粉末とを混合する第1混合工程の後、その混合物に対して1000℃以上且つ軟磁性粉末が焼結を開始する温度以下での非酸化性雰囲気中で熱処理を行う熱処理工程を備えることを特徴とする請求項5に記載のリアクトルの製造方法。

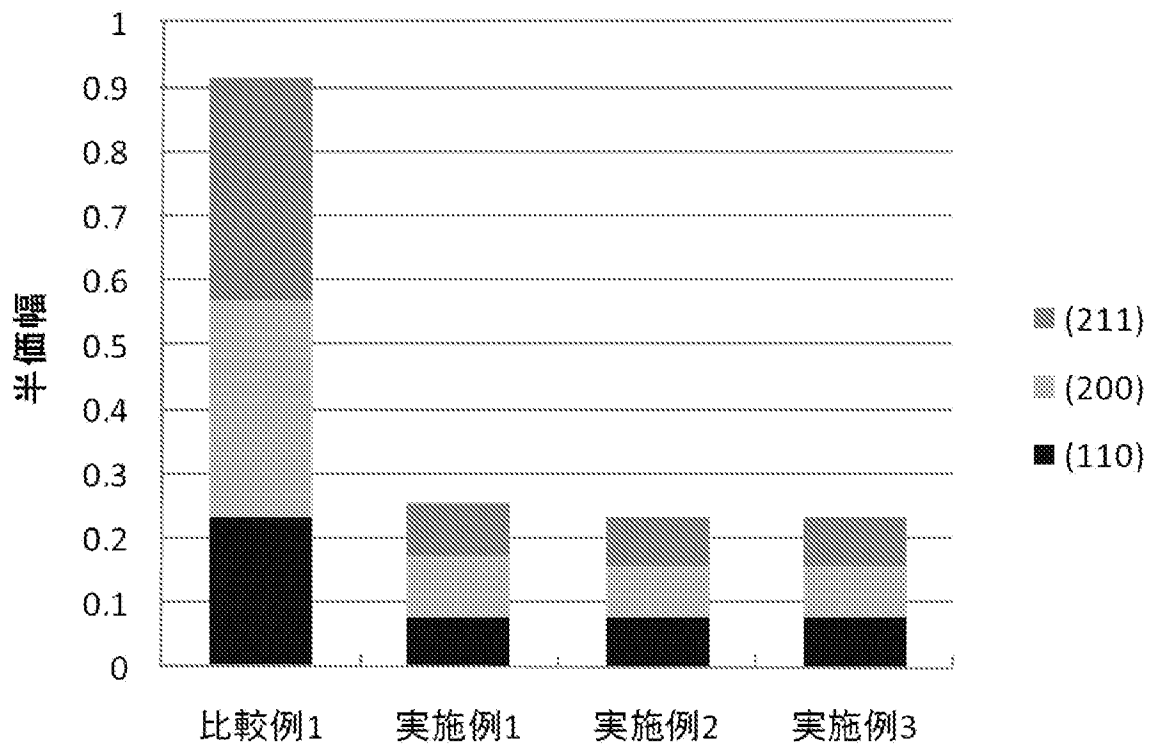
[請求項7] 前記無機絶縁粉末の平均粒子径が7～500nmであることを特徴とする請求項5または6に記載のリアクトルの製造方法。

[請求項8] 前記軟磁性粉末の珪素成分が0～6.5wt%であることを特徴とする請求項5～7のいずれか1項に記載のリアクトルの製造方法。

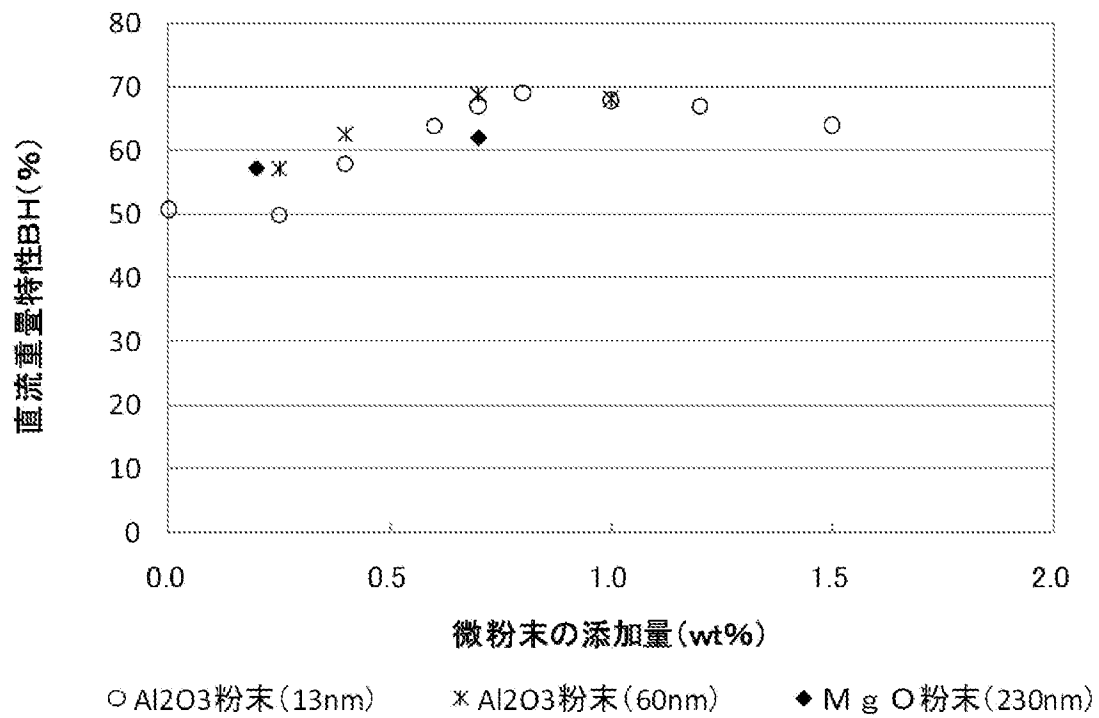
[図1]



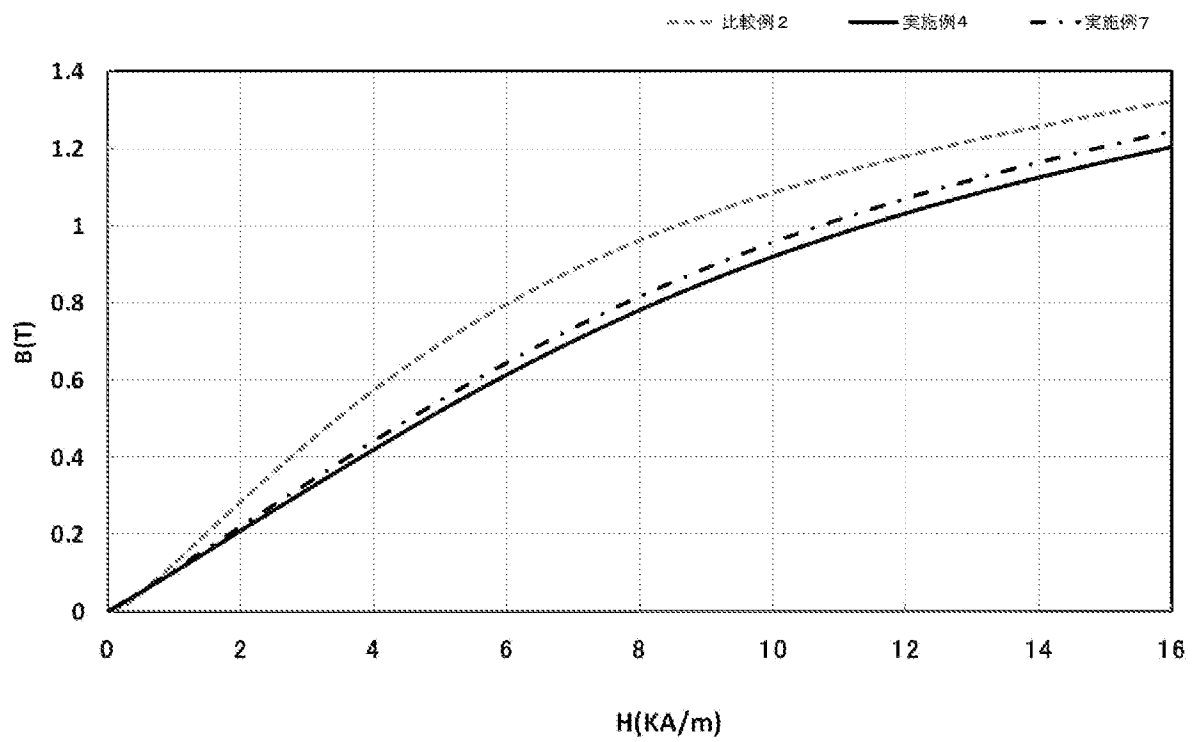
[図2]



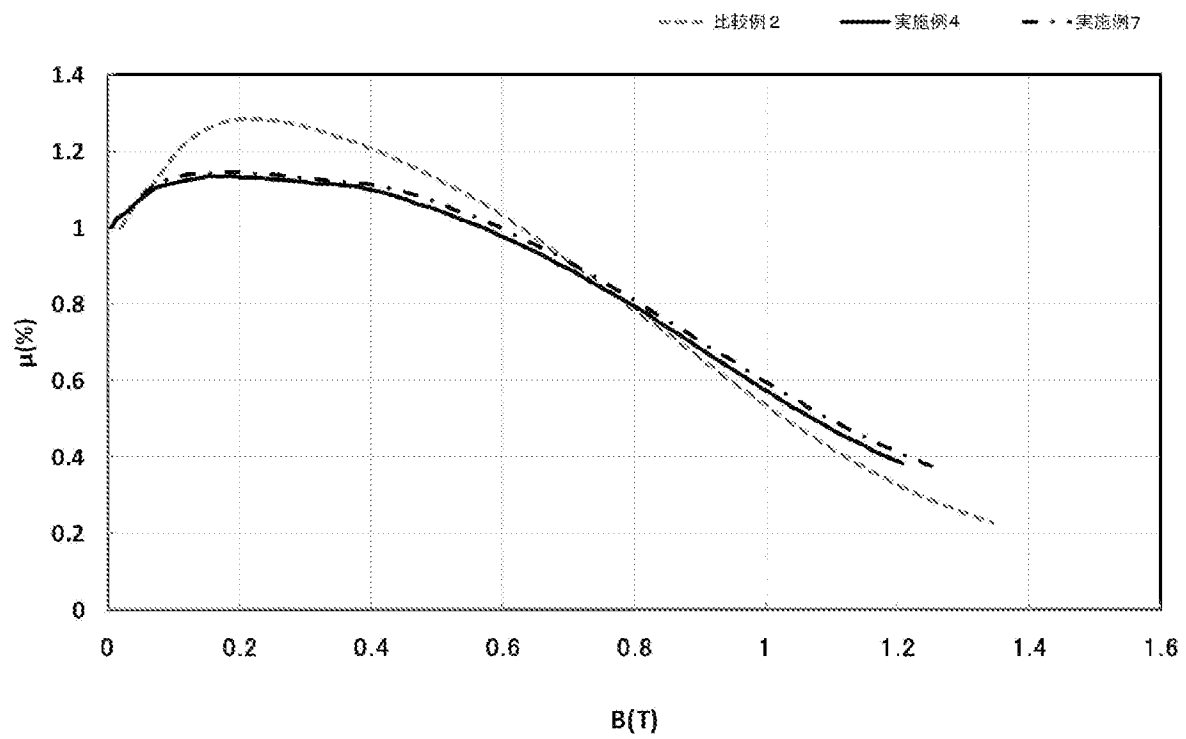
[図3]



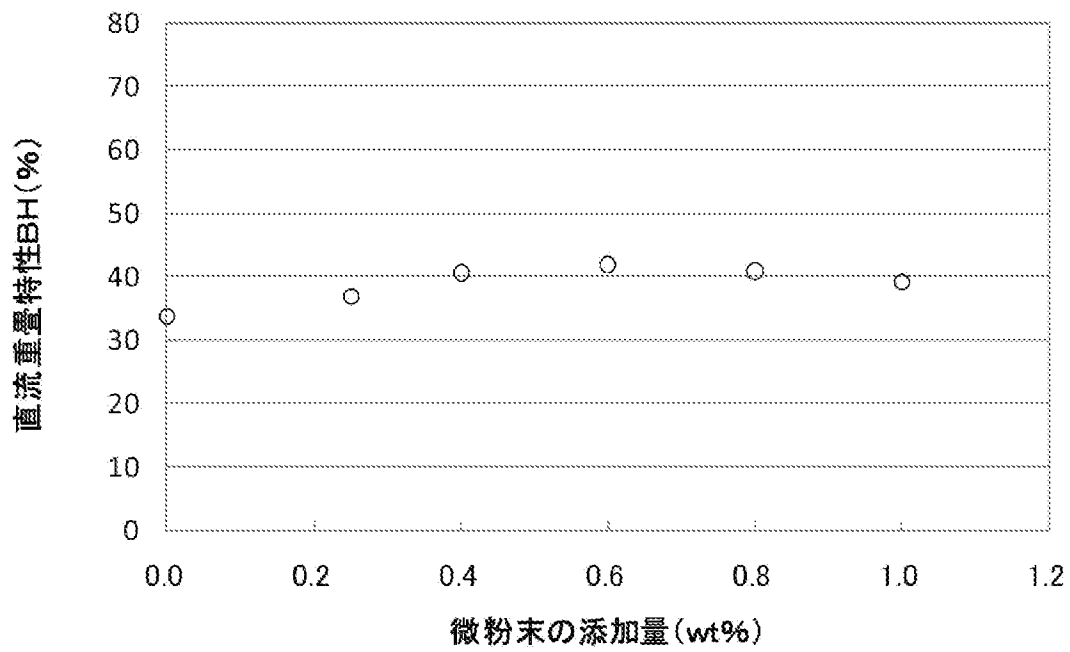
[図4]



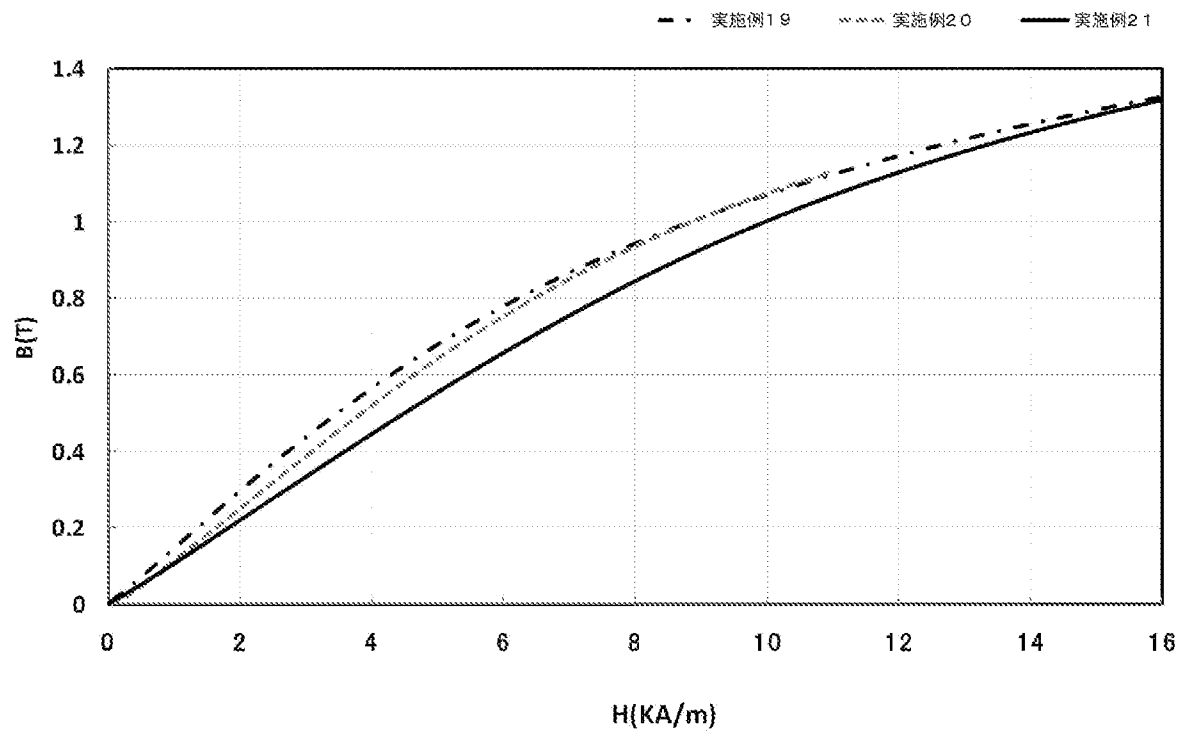
[図5]



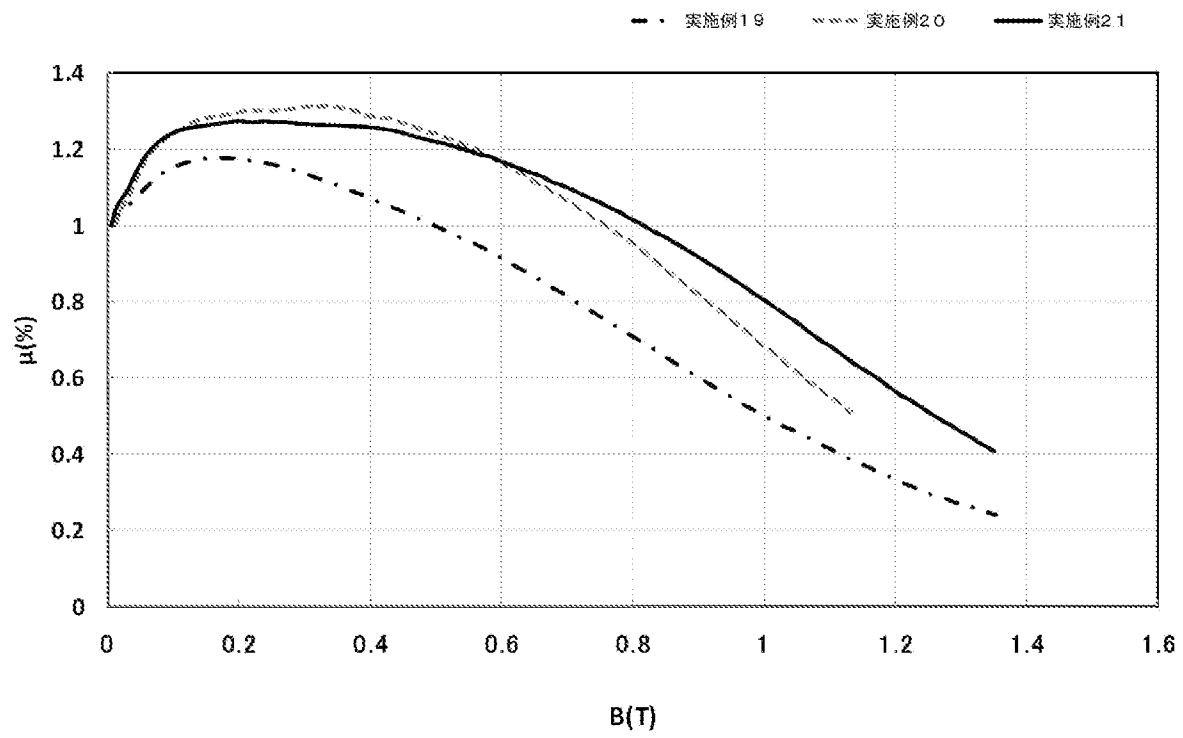
[図6]



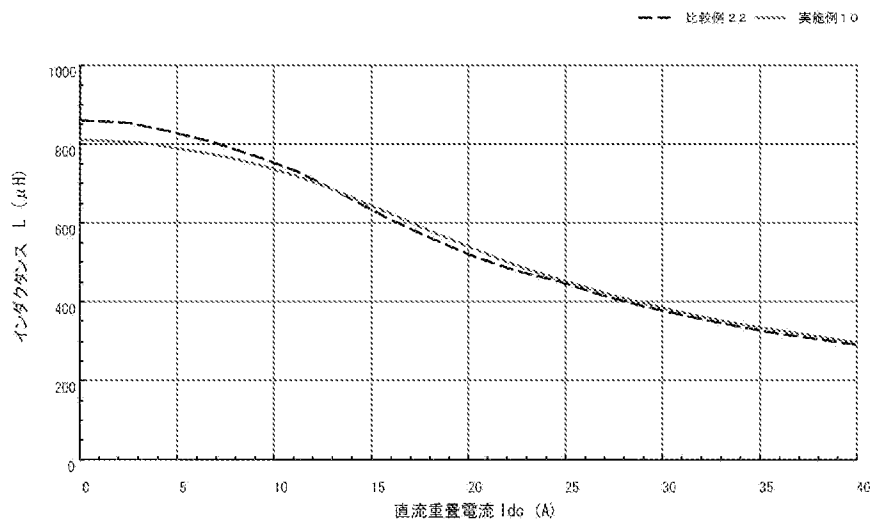
[図7]



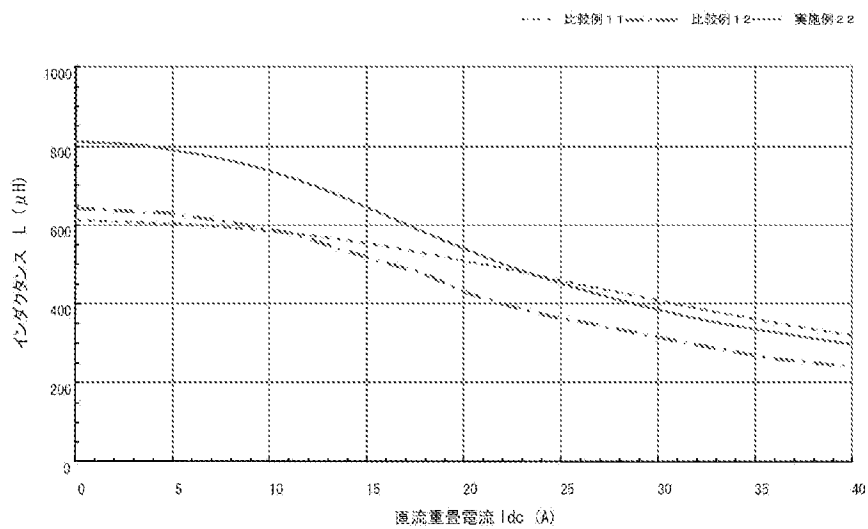
[図8]



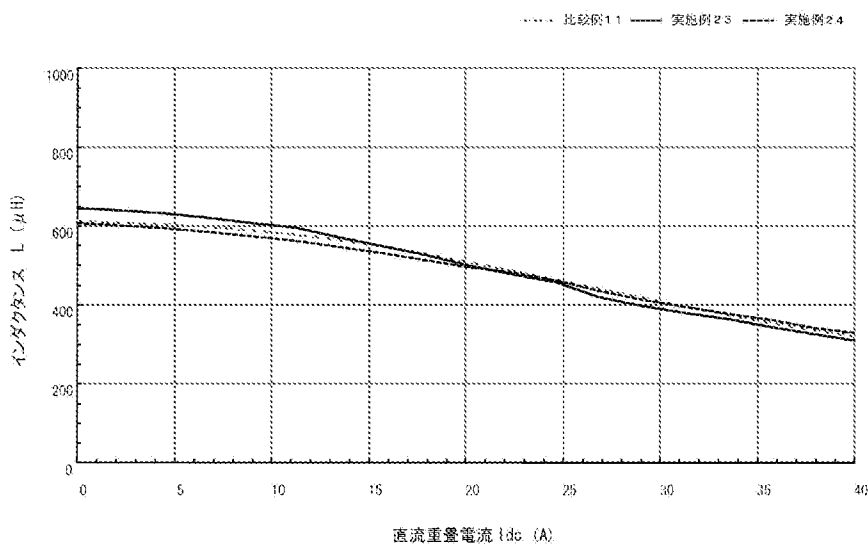
[図9]



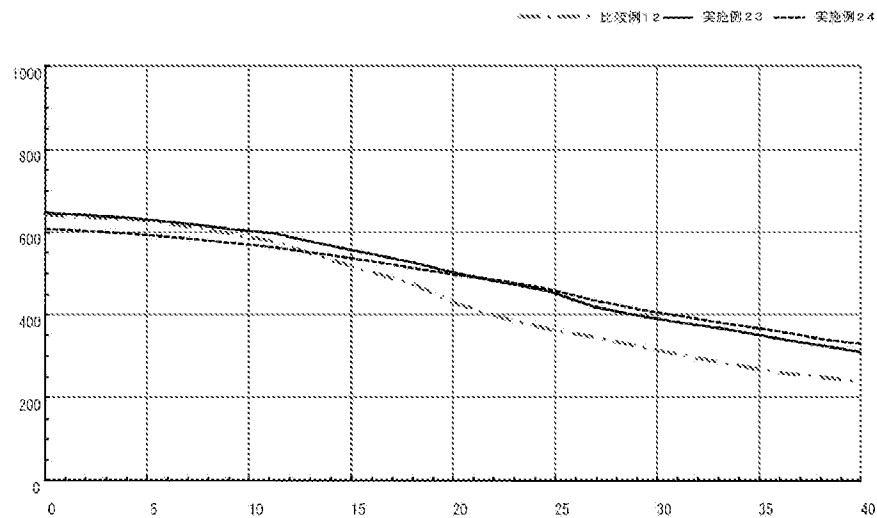
[図10]



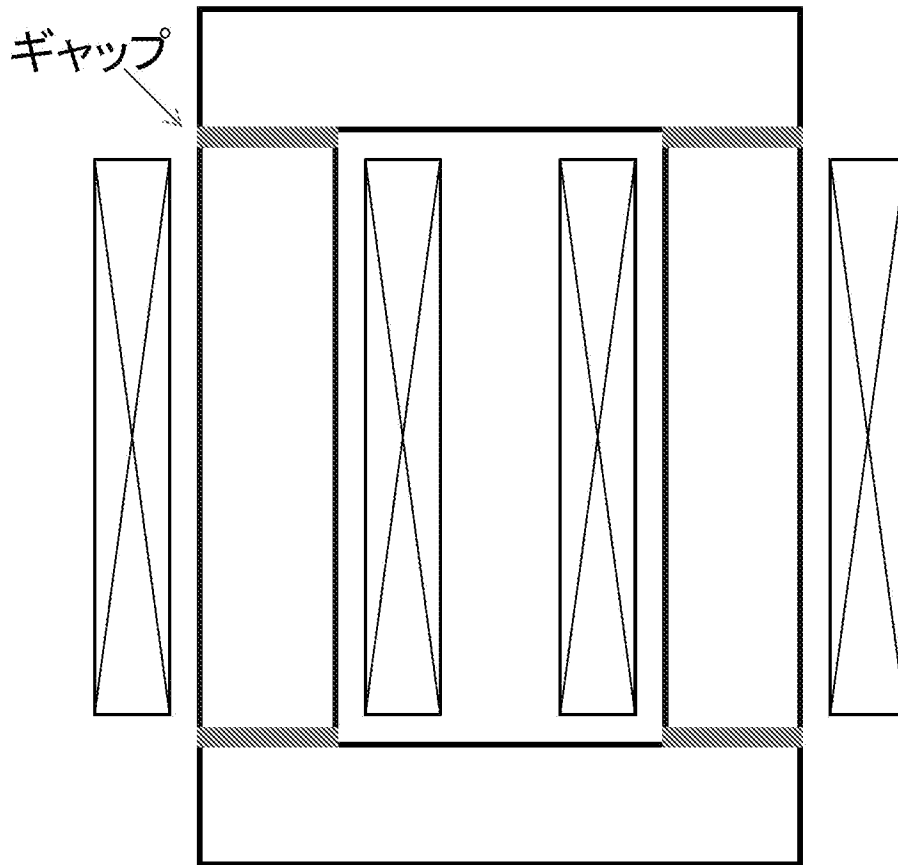
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/007369

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01F37/00(2006.01)i, H01F1/26(2006.01)i, H01F1/33(2006.01)i, H01F27/24(2006.01)i, H01F27/255(2006.01)i, H01F41/02(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01F37/00, H01F1/26, H01F1/33, H01F27/24, H01F27/255, H01F41/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-217919 A (NEC Tokin Corp.), 31 July 2003 (31.07.2003), paragraphs [0041] to [0051] (Family: none)	1-8
Y	JP 2007-214366 A (Toyota Motor Corp.), 23 August 2007 (23.08.2007), paragraphs [0001], [0026], [0039], [0045], [0049] (Family: none)	1-8
Y	JP 2008-112935 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 15 May 2008 (15.05.2008), paragraphs [0001], [0008], [0038] to [0041] (Family: none)	1-8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
11 March, 2011 (11.03.11)

Date of mailing of the international search report
22 March, 2011 (22.03.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/007369

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-332116 A (Hitachi Powdered Metals Co., Ltd.), 21 November 2003 (21.11.2003), claims 6, 7; paragraphs [0001], [0017], [0034], [0035] (Family: none)	3, 7
A	JP 2009-302165 A (Tamura Corp.), 24 December 2009 (24.12.2009), paragraphs [0018], [0055] to [0062] (Family: none)	1-8
A	JP 2005-217289 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 11 August 2005 (11.08.2005), claim 3; paragraph [0049] & US 2008/0231409 A1 & EP 1710815 A1 & WO 2005/073989 A1 & CN 1914697 A	1-8
A	JP 2005-336513 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 08 December 2005 (08.12.2005), paragraphs [0038] to [0042] & US 2005/0257854 A1 & EP 1600987 A3	1-8
A	JP 2002-033211 A (Tokin Corp.), 31 January 2002 (31.01.2002), paragraphs [0017] to [0019] (Family: none)	1-8
P, A	JP 2010-245459 A (Tamura Corp.), 28 October 2010 (28.10.2010), claim 1 (Family: none)	1-8
P, A	JP 2010-251474 A (Tamura Corp.), 04 November 2010 (04.11.2010), claim 1 (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01F37/00(2006.01)i, H01F1/26(2006.01)i, H01F1/33(2006.01)i, H01F27/24(2006.01)i,
H01F27/255(2006.01)i, H01F41/02(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01F37/00, H01F1/26, H01F1/33, H01F27/24, H01F27/255, H01F41/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2003-217919 A（エヌイーシートーキン株式会社）2003.07.31, 段落【0041】－【0051】（ファミリーなし）	1-8
Y	JP 2007-214366 A（トヨタ自動車株式会社）2007.08.23, 段落【0001】、【0026】、【0039】、【0045】、【0049】（ファミリーなし）	1-8
Y	JP 2008-112935 A（住友電気工業株式会社）2008.05.15, 段落【0001】、【0008】、【0038】－【0041】（ファミリーなし）	1-8

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 1 . 0 3 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

2 2 . 0 3 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

池田 安希子

電話番号 03-3581-1101 内線 3565

5 R

4 1 7 5

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2003-332116 A (日立粉末冶金株式会社) 2003.11.21, 【請求項 6】、【請求項 7】、段落【0001】、【0017】、【0034】、【0035】 (ファミリーなし)	3, 7
A	JP 2009-302165 A (株式会社タムラ製作所) 2009.12.24, 段落【0018】、【0055】－【0062】 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 2005-217289 A (住友電気工業株式会社) 2005.08.11, 【請求項 3】、段落【0049】 & US 2008/0231409 A1 & EP 1710815 A1 & WO 2005/073989 A1 & CN 1914697 A	1-8
A	JP 2005-336513 A (住友電気工業株式会社) 2005.12.08, 段落【0038】－【0042】 & US 2005/0257854 A1 & EP 1600987 A3	1-8
A	JP 2002-033211 A (株式会社トーキン) 2002.01.31, 段落【0017】－【0019】 (ファミリーなし)	1-8
P, A	JP 2010-245459 A (株式会社タムラ製作所) 2010.10.28, 【請求項 1】 (ファミリーなし)	1-8
P, A	JP 2010-251474 A (株式会社タムラ製作所) 2010.11.04, 【請求項 1】 (ファミリーなし)	1-8