

(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
2014 年 4 月 10 日(10.04.2014)



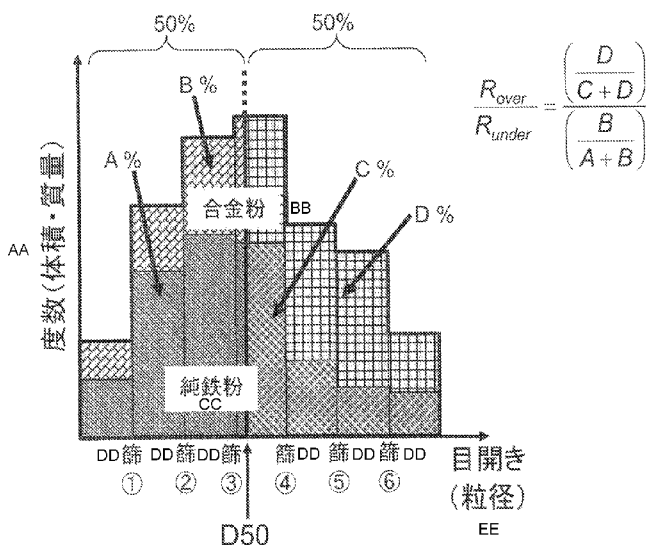
(10) 国際公開番号
WO 2014/054430 A1

- (51) 国際特許分類:
H01F 1/20 (2006.01) *C22C 38/00* (2006.01)
B22F 1/00 (2006.01) *H01F 1/22* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/075328
- (22) 国際出願日: 2013 年 9 月 19 日(19.09.2013)
- (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 2012-221698 2012 年 10 月 3 日(03.10.2012) JP
特願 2013-032625 2013 年 2 月 21 日(21.02.2013) JP
- (71) 出願人: 株式会社神戸製鋼所(KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO(KOBE STEEL, LTD.))
[JP/JP]; 〒6518585 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目 2 番 4 号 Hyogo (JP).
- (72) 発明者: 宮村 剛夫(MIYAMURA, Takeo). 三谷宏幸(MITANI, Hiroyuki).
- (74) 代理人: 植木 久一, 外(UEKI, Kyuichi et al.); 〒5300003 大阪府大阪市北区堂島 2 丁目 1 番 1 6 号 フジタ東洋紡ビル 9 階 Osaka (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, BN, 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, KE, KG, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, 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, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: SOFT MAGNETIC MIXED POWDER

(54) 発明の名称: 軟磁性混合粉末

〔図3〕



(57) Abstract: Provided is soft magnetic powder used to manufacture a dust core having good mechanical strength and superior formability while iron loss is reduced. The soft magnetic powder for dust cores according to the invention is soft magnetic mixed powder that includes pure iron powder and soft magnetic iron-base alloy powder, wherein the proportion of the soft magnetic iron-base alloy powder in the mixture is 5 to 60 mass%, the ratio of the modes of the particle size distributions of the soft magnetic iron-base alloy powder and the pure iron powder ((the mode of the particle size distribution of the soft magnetic iron-base alloy powder)/(the mode of the particle size distribution of the pure iron powder)) is 0.9 or more and less than 5, and the ratio $R_{\text{over}}/R_{\text{under}}$ is 1.2 or more, where R_{over} is the mass proportion of soft magnetic iron-base alloy powder in mixed powder with a particle size of D50 or more based on the mass fraction, and R_{under} is the mass proportion of soft magnetic iron-base alloy powder in mixed powder with a particle size of less than D50 based on the mass fraction.

(57) 要約:

[続葉有]

AA FREQUENCY (VOLUME, MASS)
BB ALLOY POWDER
CC PURE IRON POWDER
DD SIEVE
EE OPENING (PARTICLE SIZE)



鉄損が低減されながら成形性に優れ、且つ良好な機械的強度を有する圧粉磁心を製造するために用いられる軟磁性粉末を提供する。本発明に係る圧粉磁心用軟磁性粉末は、純鉄粉と軟磁性鉄基合金粉とを含む軟磁性混合粉末であって、軟磁性鉄基合金粉の混合割合が5質量%以上60質量%以下であり、純鉄粉と軟磁性鉄基合金粉の粒度における最頻値の比（軟磁性鉄基合金粉の粒度の最頻値／純鉄粉の粒度の最頻値）が0.9以上5未満であり、且つ、質量分率を基準としたD50以上の粒度の混合粉末に占める軟磁性鉄基合金粉の質量割合 R_{over} と、質量分率を基準としたD50未満の粒度の混合粉末に占める軟磁性鉄基合金粉の質量割合 R_{under} の比（ $R_{\text{over}}/R_{\text{under}}$ ）が1.2以上である。

明 細 書

発明の名称：軟磁性混合粉末

技術分野

[0001] 本発明は、軟磁性混合粉末に関する。本発明の軟磁性混合粉末によれば、鉄損が低減されながら成形性に優れ、且つ良好な機械的強度を有する圧粉磁心が得られる。

背景技術

[0002] モータ、あるいはチョークコイル、リアクトルといったインダクタ等の電磁気部品は、磁心の周囲に電気伝導体のコイルを形成した構造単位を持つ。磁心には、板状、箔状、粉末状等様々な形状の軟磁性材料が用いられる。このうち、板状および箔状の軟磁性材料は、積層磁心として使用される。積層磁心は板状または箔状の軟磁性材料が積層されたものであるため、積層磁心の形状は2次元に制限され、磁束の向きも板面または箔面と平行な方向に制限される。

[0003] 一方、軟磁性粉末を成形加工して得られる圧粉磁心は、金型形状を変えることで任意の形状に成形できるため、圧粉磁心の形状を3次元的に設計することが可能である。さらに、圧粉磁心には、前記積層磁心の様な磁束の方向性が無いため、磁気特性が等方的であり、3次元的な磁気回路を設計することが可能となる。モータなどの電磁気部品では磁束の向きがトルクなどの特性に大きく影響するため、圧粉磁心を用いて3次元的な磁気回路とすれば磁心の形状による効果で電磁気部品の特性を向上できる可能性があり、近年、圧粉磁心を用いたモータなどが注目されている。

[0004] モータやインダクタ等の電磁気部品は、交流磁場中で使用されることが多いため、圧粉磁心をモータやインダクタ等に使用する場合、電磁変換特性向上の観点から、鉄損の低減が求められる。

[0005] 鉄損は、強磁性体内部に交流磁界を加えたときに生じる磁性体内部でのエネルギー損失として定義される。鉄損は、材料内部で磁束変化の緩和現象（

磁気共鳴など）を伴わない領域であれば、ヒステリシス損と渦電流損の和で表される。ヒステリシス損は、材料内の磁場方向を変えるのに必要な最低限のエネルギーであり、ヒステリシス損の値は磁場変化のしきい値である保磁力が小さいほど低減される。渦電流損は、磁場変化に対する電磁誘導で発生する起電力に伴う誘導電流のジュール損であり、材料の電気抵抗が小さいほど渦電流損は低減される。また、圧粉磁心のように、材料内部にさらに独立した軟磁性材料からなる構造単位が存在する場合、各構造単位内部でも渦電流が発生しており、構造単位が小さいほど構造単位内の渦電流に由来する渦電流損は低減される。

[0006] 鉄損を低減するため、保磁力が低い軟磁性材料を含む2種類以上の軟磁性材料の粉末を混合して圧粉磁心を製造することがある。2種類以上の軟磁性材料の組合せとしては、純鉄やFe-3%Si合金、Fe-6.5%Si合金、センダスト（登録商標）、アモルファス合金などがあり、これらの2種類以上の軟磁性材料の混合物は、磁心材料として使用されている。このうち、センダストはFe-9.5%Si-5.5%Al合金の呼称であり、純鉄などの一般的な軟磁性材料に比べて透磁率が高く保磁力が低いため、特に高周波の交流磁気特性に優れ、高周波用の磁心材料に適している。ただし、センダストは特有の結晶構造をとるため非常に硬く脆い材料であるという欠点があり、センダスト粉を純鉄粉のように圧粉成形することは難しく、一般的には、センダスト粉は樹脂中に分散させて使用される場合が多い。センダスト粉の圧粉成形も不可能ではないが、非常に高い成形圧力が必要になるため成形用の金型寿命が短くなるなどの問題がある。また、高周波用磁心材料には非晶質合金（微結晶を含む）やパーマロイなどもあるが、非晶質合金はセンダスト以上に硬く成形し難い材料であり、パーマロイは高価な金属であるNiを多く含むため純鉄やSi合金粉、センダスト粉に比べてコストの点で大きく劣る。

[0007] 一方、従来技術として純鉄粉、Si合金粉、非晶質合金粉、センダスト粉などの一般軟磁性粉末のいずれか2つ以上を混合し、磁気特性や成形性を向

上させる技術がある。例えば、特許文献1では、非晶質軟磁性合金粉末と軟磁性合金粉末（センダストなどの結晶質材料）とを特定の割合で、粒度分布の最頻値が5倍以上異なるような粒度で混合すれば、成形圧が低減され、最大磁束密度、鉄損を向上できることが記載されている。特許文献2は、純鉄と、センダストあるいはパーマロイのいずれかとの混合に関する発明である。特許文献3は、高圧縮性軟磁性金属粉末（純鉄粉かFe-3%Si合金粉）と鉄合金粉（Fe-9.5%Si合金粉かセンダスト粉）の混合、あるいはそれらとソフトフェライトとの混合に関する発明である。特許文献4は、センダストと高展延性金属粉末（純鉄粉、モリブデン-パーマロイ粉、Fe-Si合金粉）との混合に関する発明である。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開2001-196216号公報

特許文献2：特許4586399号

特許文献3：特開平6-236808号公報

特許文献4：特開2654944号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] しかしながら、保磁力が低い軟磁性材料を含む2種類以上の軟磁性材料の粉末を混合して圧粉磁心を製造しても、十分な成形性、機械的強度、鉄損が得られない場合があった。

[0010] 特許文献1では、成形性が悪く、成形体密度（占積率）も低いため成形体の強度が低いという問題がある。また、特許文献1では混合する2種の粉末A、Bの粒度分布の最頻値が5倍以上異なることが既定されているが、そのような粒度差が大きい粉末を袋や容器に充填すると、微細な粒子だけが底部に偏るなどの問題が生じてしまうことがある。

[0011] 更に、センダストや純鉄粉などの結晶質粉末は、圧粉磁心製造の際、圧粉

成形後に400℃以上の歪取り焼鈍をしなければ磁気特性が十分向上しないものの、非晶質粉末は600℃程度の高熱処理をすると結晶化して結晶粒が粗大化する場合がある。このため、熱処理温度を十分に上げられず熱処理による強度向上の効果が得られないという、非晶質／結晶質の混合粉末に特有の問題もある。

また、特許文献2～4では、成形体の強度が低い、もしくは鉄損が十分低減できていないという問題点がある。

[0012] 本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、その目的は、安価である純鉄粉に軟磁性合金粉末を混合した混合粉末において、鉄損が低減されながら成形性に優れ、且つ良好な機械的強度を有する圧粉磁心に用いられる軟磁性混合粉末を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0013] 上記課題を解決することのできた本発明に係る軟磁性混合粉末とは、軟磁性鉄基合金粉と純鉄粉とを含む軟磁性混合粉末であって、軟磁性鉄基合金粉の混合割合が5質量%以上60質量%以下であり、軟磁性鉄基合金粉および純鉄粉の粒度の最頻値の比（軟磁性鉄基合金粉の粒度の最頻値／純鉄粉の粒度の最頻値）が0.9以上5未満であり、且つ、軟磁性混合粉末の累積50%質量平均粒子径D₅₀以上の粒度の軟磁性混合粉末に占める軟磁性鉄基合金粉の質量割合R_{over}と、前記D₅₀未満の粒度の軟磁性混合粉末に占める軟磁性鉄基合金粉の質量割合R_{under}の比（R_{over}／R_{under}）が1.2以上であることを特徴とする。

また、前記軟磁性鉄基混合粉の累積50%質量平均粒子径D₅₀は、45μm以上であることが好ましい。

前記軟磁性鉄基合金粉はFeおよび1質量%以上19質量%未満のSiを含むことが好ましい。また、前記軟磁性鉄基合金粉は、さらに、1質量%以上35質量%未満のAlを含むことが好ましい。前記軟磁性鉄基合金粉は、Fe、1質量%以上35質量%以下のAlおよび1質量%以上19質量%以下のSiを含む合金粉、または、Feおよび1質量%以上19質量%以下の

Siを含む合金粉であることが好ましい。

前記軟磁性混合粉末は、絶縁皮膜を有することが好ましい。また、軟磁性混合粉末の、表面または絶縁皮膜中に有機物からなる潤滑剤を有することが好ましく、少なくとも軟磁性鉄基合金粉の、表面または絶縁皮膜中に有機物からなる潤滑剤を有することが好ましい。潤滑剤の含有量は軟磁性混合粉末に対して0.1質量%以上0.6質量%以下であることが好ましい。

本発明には、本発明の軟磁性混合粉末を用いて得られた圧粉磁心も包含される。

発明の効果

[0014] 本発明の軟磁性粉末は、純鉄粉と軟磁性鉄基合金粉とを含む軟磁性混合粉末であって、軟磁性鉄基合金粉の混合割合が5質量%以上、60質量%以下であり、軟磁性鉄基合金粉と純鉄粉の粒度の最頻値の比（軟磁性鉄基合金粉の粒度の最頻値／純鉄粉の粒度の最頻値）が0.9以上5未満であり、且つ、累積50%質量平均粒子径 D_{50} 以上の粒度の軟磁性混合粉末に占める軟磁性鉄基合金粉の質量割合 R_{over} と、累積50%質量平均粒子径 D_{50} 未満の粒度の軟磁性混合粉末に占める軟磁性鉄基合金粉の質量割合 R_{under} の比（ R_{over} / R_{under} ）が1.2以上であるため、本発明の軟磁性混合粉末によれば、鉄損が低減されながら成形性に優れ、且つ良好な機械的強度を有する圧粉磁心が得られる。

[0015] また、軟磁性合金粉末と純鉄粉を混合した軟磁性混合粉末は、粉末中に異なる硬さの粉末を有しているため、硬い粉末よりも軟質な粉末の方が優先的に変形し、特に硬い粉末の周囲に位置する軟質な粉末は高い歪みを受ける。このような観点で、混合粉末への潤滑剤の添加と圧縮性の変化について検討したところ、本発明に係る軟磁性混合粉末の表面または絶縁皮膜中に有機物からなる潤滑剤を有することで、成型加工時の圧縮性を向上し、成形体の密度を一層向上できることが判明した。このような圧縮性向上の効果は変形し難い軟磁性鉄基合金粉の周囲で生じる過度な摩擦を軽減することにより得られるものである。また、軟磁性混合粉末において、少なくとも軟磁性鉄基合

金粉の表面または絶縁皮膜中に有機物からなる潤滑剤を有することが重要である。さらに、潤滑剤の質量割合が軟磁性混合粉末100質量%に対して0.1質量%以上0.6質量%以下であると、成型加工時の圧縮性や成形体の密度がより一層向上する。

図面の簡単な説明

[0016] [図1] 図1は、各粒度において、純鉄粉と軟磁性鉄基合金粉を均等に混合した場合の粒度構成の一例を示す。

[図2] 図2は純鉄粉と粗大な粒度の軟磁性鉄基合金粉を混合した場合の粒度構成の一例を表す。

[図3] 図3は、篩分けにより得られる粒度分布の一例を表す。

[図4] 図4は、レーザー回折散乱測定により得られる粒度分布の一例を表す。

[図5] 図5は、ガスアトマイズ法ならびに粉碎法により得られたセンダスト粉、および、水アトマイズ法により得られた純鉄粉の形状を示すSEM画像である。

[図6] 図6は、実施例において用いられた粒度1の粒度構成を表す。

[図7] 図7は、実施例において用いられた粒度2の粒度構成を表す。

[図8] 図8は、No. 6の軟磁性混合粉末の粒度構成を表す。

[図9] 図9は、No. 7の軟磁性混合粉末の粒度構成を表す。

[図10] 図10は、No. 8の軟磁性混合粉末の粒度構成を表す。

[図11] 図11は、No. 9の軟磁性混合粉末の粒度構成を表す。

[図12] 図12は、No. 10の軟磁性混合粉末の粒度構成を表す。

[図13] 図13は、No. 28～No. 48の軟磁性混合粉末を用いて得られた圧粉磁心の成形体密度を示す。

[図14] 図14は、No. 49～No. 52の軟磁性混合粉末を用いて得られた圧粉磁心の成形体密度を示す。

[図15] 図15は、No. 53～No. 56の軟磁性混合粉末を用いて得られた圧粉磁心の成形体密度を示す。

[図16] 図16は、No. 57～No. 60の軟磁性混合粉末を用いて得られ

た圧粉磁心の成形体密度を示す。

発明を実施するための形態

[0017] 本発明では、鉄損や成形性、機械的強度を向上させるべく混合する２種類の粉末の粒度構成と特性の関係を調査した。その結果、純鉄粉に軟磁性鉄基合金粉を混合した軟磁性混合粉末のうち、軟磁性鉄基合金粉の混合割合が５質量％以上６０質量％以下で、且つ軟磁性鉄基合金粉と純鉄粉の粒度の最頻値の比（軟磁性鉄基合金粉の粒度の最頻値／純鉄粉の粒度の最頻値）が０．９以上５未満であり、且つ、軟磁性混合粉末の累積５０％質量平均粒子径 D_{50} 以上の粒度の軟磁性混合粉末に占める軟磁性鉄基合金粉の質量割合 R_{over} と、前記 D_{50} 未満の粒度の軟磁性混合粉末に占める軟磁性鉄基合金粉の質量割合 R_{under} の比（ R_{over}/R_{under} ）を１．２以上とすれば鉄損や成形性、機械的強度が向上することを見出したものである。

すなわち、本発明は、合金粉の粒度が相対的に粗大であり、純鉄粉の粒度が相対的に微細となるような粒度構成にすることが重要であり、このような粒度にすることで低減された鉄損と優れた成形性、機械的強度を得ることができる。

[0018] 純鉄粉に軟磁性合金粉を混合するという従来技術により、純鉄粉の優れた成形性と軟磁性合金粉の優れた高周波磁気特性を兼ね備えた材料を提供したものの、その効果は最大化できていなかった。高周波磁気特性の一種である鉄損を低減するためには、鉄損を構成する渦電流損とヒステリシス損のいずれか、あるいは両方を減少させることが重要である。渦電流損に関しては、軟磁性鉄基合金粉は純鉄粉よりも高い電気抵抗を持つものであるため、本発明のように軟磁性鉄基合金粉の粒度を相対的に粗大なものとすれば、粗大粒であっても渦電流損を効果的に抑制できる。また、渦電流損失は、構造単位の大きさ（例えば、粉末のサイズ）の２乗に比例するものであるため、純鉄粉を相対的に微細な粒度とすれば、渦電流損を更に抑制できる。さらに、ヒステリシス損に関しては、軟らかい純鉄粉を微細な粒度にしているため、純鉄粉が変形することで硬く変形し難い軟磁性鉄基合金粉の隙間を有効に埋め

ることができる。これにより、成形体のヒステリシス損が低減される。さらに、成形性が向上するとともに、成形体の密度も向上し、その結果、鉄損（渦電流損とヒステリシス損の和）の低減と、機械的強度の向上が実現できる。

[0019] 一般に、単一の粒度を有する粉末に比べ、粗大な粉末と微細な粉末が均等に混合されている粉末の方が成形性に優れることが知られており、粗大な粒子間の隙間を微細な粒子が埋めるという原理で理解されている。例えば、粗大な粒度と微細な粒度の粒径比が 7 : 1 の場合に充填率が最も高くなるとされている（「粉末冶金の科学」 三浦秀士 内田老鶴圃）。また、一般的に交流用軟磁性粉末の表面には絶縁皮膜が存在し、これによって渦電流損は粒子内に流れる渦電流に由来するものに留められている。このため、粉末全体の粒度を微細にすることで渦電流損を低減できるという従来知見が存在する。

[0020] 本発明の軟磁性混合粉末は、混合後の全体の粒度構成が同じであっても（ $R_{\text{over}}/R_{\text{under}}$ ）比を所定の範囲とすることによって、得られる圧粉磁心の磁気特性および機械的特性を向上することができるものである。したがって、1 種類の軟磁性材料からなる粉末で見られるように、単純な粒子径によって磁気特性が向上されるものではなく、また単純な理想充填比（7 : 1）によって機械的特性が向上されるものでもない。本発明の磁気特性向上効果及び機械的特性向上効果は、所定の粒度構成を有する 2 種類の粉末を混合した場合に特有の効果であり、本発明と上述の従来技術とは本質的に異なっている。

以下、本発明について詳しく説明する。

[0021] 1. 軟磁性混合粉末

本発明の軟磁性混合粉末は、純鉄粉および軟磁性鉄基合金粉を含む。軟磁性鉄基合金粉の混合割合は、軟磁性混合粉末の全量に対して 5 質量%以上 60 質量%以下である。軟磁性鉄基合金粉の混合割合が 5 質量%未満では混合による鉄損の低減効果が得られず、60 質量%を超えると効果が飽和してしまうと共に、成形体密度の低下が著しくなり最大磁束密度が低下してしまう

。鉄損の低減効果の観点から、軟磁性鉄基合金粉の混合割合は、好ましくは、10質量%以上であり、特に好ましくは25質量%以上である。また、軟磁性鉄基合金粉の混合割合が多すぎると、鉄損の低減効果が飽和すると同時に、成形体密度が低下しやすくなり、その結果最大磁束密度が低下する。そのため、軟磁性混合粉末における軟磁性鉄基合金粉の混合割合は、50質量%以下であることが好ましく、45質量%以下であることが特に好ましい。

[0022] 本発明の軟磁性混合粉末は、軟磁性鉄基合金粉と純鉄粉の粒度における最頻値の比（軟磁性鉄基合金粉の最頻値／純鉄粉の粒度の最頻値）は0.9以上5未満である。最頻値の比が5未満であると、軟磁性混合粉末の偏析が抑制され、安定した特性を有する圧粉磁心が得られるため好ましい。好ましくは、4.5以下であり、より好ましくは3以下である。また、前記最頻値の比が小さくなり過ぎると、鉄損が増大し、強度および磁束密度が減少するため好ましくない。そのため、最頻値の比（軟磁性鉄基合金粉の最頻値／純鉄粉の粒度の最頻値）は0.9以上であり、好ましくは1.0以上、より好ましくは1.1以上である。

[0023] 粒度の最頻値は、本発明においては、粒度分布の中で最も高い質量分率を示す粒度として定義される。各粒度に幅がある場合、粒度の最頻値は、最も高い質量分率を示す粒度の中央値として定義される。

[0024] 本発明において、粒度分布は、例えば、篩分けによって測定することができる。篩分けによって粒度分布を測定する場合、軟磁性混合粉末を粒度の異なる篩いにかけたとき、ある粒度（ x ）の篩を通過し、1段階小さい粒度（ $x-1$ ）の篩を通過しない軟磁性混合粉末を、前記粒度（ x ）の軟磁性混合粉末とする。各粒度の軟磁性混合粉末の粒子数を数えることで個数基準の粒度分布を得ることができ、体積および質量を測定することで各粒度における体積基準および質量基準の粒度分布を得ることができる。また、各粒度に含まれる粉末の粒度は全て一定と仮定してよい。例えば、粒度（ x ）である粉末は、全て粒度（ x ）であると仮定してよい。

篩い分けに用いる篩はJIS Z 8801-1に記載されたものが好ま

しい。篩分けの際、粒度の数は3粒度以上であることが好ましい。

[0025] また、本発明において、粒度分布は、レーザー回折散乱法（マイクロトラック法）によって簡便に得ることも可能である。レーザー回折散乱法（マイクロトラック法）は、粒子に光を照射したときに散乱される散乱光量とパターンが粒子径によって異なることを利用して、サブミクロン領域から数ミリメートル程度の粒子径を測定するものである。レーザー回折散乱法（マイクロトラック法）は、乾式または湿式での測定が可能であり、本発明の純鉄粉、軟磁性鉄基合金粉および軟磁性混合粉末に適用する場合、乾式での測定が好ましい。なお、レーザー回折散乱法によって得られる粒度分布は測定の原理上体積基準の粒度分布であるが、純鉄粉および軟磁性鉄基合金粉の密度を用いることで質量基準に換算することができる。

[0026] また、本発明の軟磁性混合粉末は、軟磁性鉄基合金粉の累積50%質量平均粒子径 D_{50} 以上の粒度を有する軟磁性混合粉末において軟磁性鉄基合金粉が占める質量割合を R_{over} とし、 D_{50} 未満の粒度の軟磁性混合粉末において軟磁性鉄基合金粉が占める質量割合を R_{under} とすると、 R_{over} と R_{under} の比（ R_{over}/R_{under} ）が1.2以上である。（ R_{over}/R_{under} ）比が1.2未満では、鉄損改善効果が得られず、強度・最大磁束密度も低い値となってしまう。そのため、2以上が好ましく、5以上であることがさらに好ましい。（ R_{over}/R_{under} ）比の上限は特に限定されず、 R_{under} が0に近い場合は非常に大きい値（例えば、 1×10^3 ）の（ R_{over}/R_{under} ）になることもある。 R_{over} と R_{under} の比（ R_{over}/R_{under} ）は、好ましくは 1×10^3 以下であり、 1×10^2 以下がより好ましく、 0.5×10^2 以下がさらに好ましい。

R_{over} と R_{under} の比（ R_{over}/R_{under} ）の値は、粗大な粒度の軟磁性鉄基合金粉を用いるほど大きくなり、微細な粒度の軟磁性鉄基合金粉を用いるほど小さくなる。

[0027] また、本発明の軟磁性混合粉末は、累積50%質量平均粒子径 D_{50} が $45 \mu m$ 以上であることが好ましい。軟磁性混合粉末の D_{50} が $45 \mu m$ 以上であると、機械的強度が向上するため好ましい。より好ましくは $50 \mu m$ 以

上、さらに好ましくは $60\mu\text{m}$ 以上である。

[0028] 累計50%質量平均粒子径 D_{50} は、メジアン径とも呼ばれる。累計50%質量平均粒子径 D_{50} は、粒度分布を有する粉体を、ある粒子径から粗大な粉末と微細な粉末の2つに分けたとき、粗大側と微細側が等しい質量となる粒子径を表す。図1は、各粒度において、合金粉と純鉄粉を均等の割合で混合した従来知見による混合例の粒度分布を示し、図2は、相対的に粗大な粒度において合金粉を多く混合し、相対的に微細な粒度において純鉄粉を多く混合する本発明による混合例の粒度分布を示す。

[0029] 本発明では、軟磁性混合粉末の累計50%質量平均粒子径 D_{50} は、軟磁性混合粉末の粒度分布から求めることができる。軟磁性混合粉末の粒度分布は、例えば、篩分けによって純鉄粉および軟磁性鉄基合金粉のそれぞれについて粒度分布を測定し、各粒度について純鉄粉および軟磁性鉄基合金粉の含有量を加算して求めることができる。図3に示す例のように、累計50%質量平均粒子径 D_{50} となる粒径（粒度）が篩（3）と篩（4）の目開きの間にある場合、篩（3）と篩（4）の間の粒度分布は一定と仮定してよい。ため、微細側、あるいは粗大側の粒度から質量分率を累積して50質量%となる粒径（粒度）の値が累計50%質量平均粒子径 D_{50} となる。 D_{50} は、小数点以下まで測定する必要はなく、整数の値で測定できればよい。

[0030] 1-1. 軟磁性鉄基合金粉

本発明の軟磁性鉄基合金粉は、Feに加えて1質量%以上35質量%以下のAl、1質量%以上19質量%以下のSiのいずれか一方または両方を含み、残部が不可避不純物であることが好ましい。本発明の軟磁性鉄基合金粉におけるAlの含有割合は、さらに好ましくは2質量%以上、特に好ましくは3質量%以上である。また、Alの含有割合は、より好ましくは20質量%以下であり、さらに好ましくは10質量%以下であり、特に好ましくは8質量%以下である。また、本発明の軟磁性鉄基合金粉におけるSiの含有割合は、より好ましくは1質量%以上15質量%以下、さらに好ましくは1質量%以上12質量%以下、特に好ましくは1質量%以上10質量%以下であ

る。

[0031] 本発明の軟磁性鉄基合金粉としては、F e、1質量%以上35質量%以下のA lおよび1質量%以上19質量%以下のS iを含む合金粉、F eおよび1質量%以上35質量%以下のA lを含む合金粉、またはF eおよび1質量%以上19質量%以下のS iを含む合金粉が好ましい。

[0032] また、前記の成分範囲において、高周波の磁気特性に優れる観点から、軟磁性鉄基合金粉としては、F e、5質量%以上6質量%以下のA lおよび9質量%以上10質量%以下のS iで構成されるセンダスト粉、F eおよび1質量%以上4質量%以下のS iを含むF e－3% S i粉、ならびに、F eおよび6質量%以上7質量%以下のS iを含むF e－6.5% S i合金粉が好ましく、センダスト粉が特に好ましい。

[0033] 軟磁気特性に優れたパーマロイやパーメンジュールなどを用いても本発明の効果を得ることができるが、高価な元素を使用しているため材料コストが増加するという点で好ましくない。また、本発明の軟磁性鉄基合金粉として、非晶質合金および微結晶合金を使用しても本発明の効果自体は得られるが、非晶合金または微結晶合金を用いると、圧粉磁心を製造する際、圧縮成形した後の歪み取り焼鈍によって、結晶化または結晶粒の成長が起きて保磁力が極端に増大する場合がある。したがって、本発明の軟磁性鉄基合金粉としては、結晶性の合金粉が好ましい。

[0034] 本発明の軟磁性混合粉末に用いられる軟磁性鉄基合金粉の粒度の最頻値は、軟磁性鉄基合金粉および純鉄粉の粒度の最頻値の比（軟磁性鉄基合金粉の粒度の最頻値／純鉄粉の粒度の最頻値）が0.9以上5未満となる範囲で適宜選択することができるが、軟磁性鉄基合金粉の粒度分布の最頻値は、例えば、40 μ m以上であることが好ましい。軟磁性鉄基合金粉の粒度分布の最頻値が大きくなるほど、得られる圧粉磁心の鉄損が低減し、機械的強度が向上する。そのため、より好ましくは50 μ m以上であり、さらに好ましくは60 μ m以上である。また、軟磁性鉄基合金粉の粒度分布の最頻値が大きくなると、粒子内渦電流損に起因して鉄損が増大するとともに、軟磁性混合粉

末が偏析しやすくなる。そのため、軟磁性鉄基合金粉の粒度分布の最頻値は、好ましくは $150\mu\text{m}$ 以下であり、より好ましくは $140\mu\text{m}$ 以下であり、さらに好ましくは $120\mu\text{m}$ 以下である。軟磁性鉄基合金粉の粒度分布の最頻値は、純鉄粉を篩分けし、各粒度の純鉄粉を所望の割合で混合すること等によって調整することができる。

[0035] 本発明の軟磁性混合粉末に用いられる軟磁性鉄基合金粉は、軟磁性鉄基合金原料を粉末状にすることによって得られる。軟磁性鉄基合金原料を粉末状にする方法としては、アトマイズ処理（水アトマイズ処理もしくはガスアトマイズ処理）、粉碎処理が挙げられる。

アトマイズ処理は、金属の溶湯を細流とし、この細流に高速の気体や液体を吹き付けることによって、溶湯を飛散、急凝固させて金属粉末を得る方法である。ガスアトマイズ処理で製造された金属粉末は、形状が球状に近く、密度が高い。水アトマイズ処理で製造された金属粉末は、粒子形状が複雑であるため、圧縮成形の際に粒子同士が噛み合い、得られる圧粉磁心の機械的強度が高い。

また、粉碎処理は、鑄造によって金属塊を作製し均質化熱処理を経た後、前記金属塊をジョーククラッシャーやボールミル加工等によって機械的に粉碎することによって、金属粉末を得る方法である。粉碎処理は、セグダストなどの脆性材料の粉碎に適している。

[0036] 水アトマイズ処理では、表面に難還元性の酸化物が形成されてしまうため、ガスアトマイズ処理か粉碎法で作製された軟磁性鉄基合金が好ましい。また、粉碎処理により得られた軟磁性鉄基合金粉は粉末粒子中にクラックが存在し磁気特性を低下させるため、ガスアトマイズ処理により得られた軟磁性鉄基合金粉がより望ましい。

[0037] これらの合金粉末は作製後に不活性ガスあるいは還元性ガス中で熱処理を行うことが望ましい。不活性ガスあるいは還元性ガス中で熱処理を行うことにより、粉碎粉であれば粉碎時に蓄積した歪を除去でき、ガスアトマイズ粉であれば凝固に伴う偏析を解消でき、水アトマイズ粉であれば表面酸化物・

酸化介在物を低減することができる。不活性ガスとしては、例えば、窒素ガス、アルゴンガス等が挙げられ、還元性ガスとしては、例えば、水素ガス、および水素ガスと不活性ガスの混合ガス等が挙げられる。

[0038] また、本発明の軟磁性鉄基合金粉は、結晶構造が特有の D O_3 相であるために優れた磁気特性を発現する。前記好適組成を有する合金を不活性ガスあるいは還元性ガス中で 850°C 以上の温度に加熱することによって D O_3 相が形成される。したがって、本発明の軟磁性鉄基合金粉を得るためには、 850°C 以上の温度で加熱しその後緩やかに徐冷することが好ましい。上記熱処理温度は、より好ましくは 900°C 以上、さらに好ましくは 920°C 以上である。熱処理温度が高くなりすぎると、軟磁性鉄基合金粉が融着結合しやすくなるため好ましくない。したがって、本発明の軟磁性鉄基合金粉を製造するためには、熱処理温度は 1250°C 以下とすることが好ましく、より好ましくは 1200°C 以下である。熱処理時間は、1時間以上であればよい。

[0039] 1-2. 純鉄粉

本発明の純鉄粉は、含まれる不純物元素が少ないほどよい。不純物に起因した介在物が少ないほど優れた磁気特性を付与することができる。

[0040] 本発明の軟磁性混合粉末に用いられる純鉄粉の粒度の最頻値は、軟磁性鉄基合金粉および純鉄粉の粒度の最頻値の比（軟磁性鉄基合金粉の粒度の最頻値／純鉄粉の粒度の最頻値）が0.9以上5未満となる範囲で適宜選択することができるが、純鉄粉の粒度の最頻値は、例えば、 $25\mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。粒度分布の最頻値が大きくなるほど、偏析が抑制される。そのため、純鉄粉の粒度の最頻値は、より好ましくは $30\mu\text{m}$ 以上であり、さらに好ましくは $35\mu\text{m}$ 以上である。また、純鉄粉の粒度分布の最頻値が大きくなると、粒子内渦電流損に起因して鉄損が増大する。また、純鉄粉の粒度分布の最頻値が低いほど、得られる圧粉磁心の機械的強度が向上するため、純鉄粉の粒度の最頻値は、好ましくは $80\mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $75\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは $70\mu\text{m}$ 以下である。純鉄粉の粒度の最頻値は、純鉄粉を篩分けし、各粒度の純鉄粉を所望の割合で混合すること等によっ

て調整することができる。

[0041] 本発明の軟磁性混合粉末に用いられる純鉄粉は、軟磁性混合粉末に対する混合割合が40質量%以上95質量%以下であることが好ましい。純鉄粉の割合が大きいと、成形体密度が向上し、その結果最大磁束密度が向上する。そのため、軟磁性混合粉末に対する純鉄粉の混合割合は、より好ましくは50質量%以上、さらに好ましくは55質量%以上である。純鉄粉の混合割合が多すぎると、鉄損が低減されにくくなる。そのため、軟磁性混合粉末に対する純鉄粉の混合割合は、より好ましくは90質量%以下、さらに好ましくは75質量%以下である。

[0042] 本発明の軟磁性混合粉末に用いられる純鉄粉は、純鉄原料を粉末状にすることによって得られる。純鉄原料を粉末状にする方法としては、アトマイズ法（ガスアトマイズ法もしくは水アトマイズ法）または電解処理が挙げられる。電解処理は、硫酸鉄、塩化鉄等の水溶液から鉄を電解析出させて鉄粉を得る方法である。機械強度を重視するのであれば粒子形状が複雑な水アトマイズ粉が望ましく、高い密度を求める場合は球状に近いガスアトマイズ粉が望ましいものの、それらに限定されるものではない。

[0043] 純鉄粉は、不活性ガスあるいは還元性ガス中で熱処理されたものであることが好ましい。特に水アトマイズ法では、粉末を形成する際、表面に難還元性の酸化物が形成されやすいため、軟磁性混合粉末に用いる際には、このような粒子表面の酸化物や粒子中の介在物が消失されたものであることが好ましい。不活性ガスあるいは還元性ガスとしては、上記と同様のものが挙げられる。

[0044] 熱処理温度の下限は特に限定されず、例えば、850℃以上で熱処理することが好ましい。850℃以上の温度で熱処理すれば、粗純鉄粉内の結晶粒径を粗大化できるため、圧粉磁心のヒステリシス損を低減することができる。上記熱処理温度は、より好ましくは950℃以上、更に好ましくは1000℃以上である。しかし熱処理温度が高くなりすぎると、焼結が進み過ぎる結果、純鉄粉が融着結合しやすくなる。従って、本発明の純鉄粉を製造する

ためには、熱処理温度は1250℃以下とすることが好ましく、より好ましくは1200℃以下である。

[0045] 1-3. 混合方法

本発明の軟磁性混合粉末は、純鉄粉と軟磁性鉄基合金粉を混合することによって得られる。軟磁性混合粉末において、純鉄粉と軟磁性鉄基合金粉とを所定の混合割合、および粒度構成とするためには、予め純鉄粉と軟磁性鉄基合金粉とを各粒度にそれぞれ篩分けし分級したものをを用い、所望の混合割合、および粒度構成となるように混合すればよい。純鉄粉と軟磁性鉄基合金粉を混合する方法としては特に限定されず、従来公知の方法を用いることができる。例えば、ミキサー等の公知の混合機で混合することができる。

[0046] 軟磁性混合粉末において、純鉄粉および軟磁性鉄基合金粉の粒度構成は、以下のように測定される。まず、軟磁性混合粉末を目開きの異なる篩いにかかけ、軟磁性混合粉末を各粒度に分級する。次に、各粒度において、純鉄粉と軟磁性鉄基合金粉それぞれの粒子数を数えることによって、各粒度の軟磁性混合粉末における純鉄粉と軟磁性鉄基合金粉の個数割合を得ることができる。個数割合は、各粒度の個数平均粒子径（粒度そのもの）を用いて各粒度の体積割合に換算することができ、体積割合は、純鉄粉および軟磁性鉄基合金粉の密度を用いて各粒度の質量割合を概算することができる。各粒度の質量を直接測定できる場合は、質量測定により質量割合を得ることが好ましい。これにより、純鉄粉及び軟磁性鉄基合金粉の粒度構成（個数割合、体積割合、質量割合）を測定することができる。純鉄粉および軟磁性鉄基合金粉の粒度構成を測定する際には、各粒度で50個以上の粉末を識別することが好ましい。

[0047] 軟磁性鉄基合金粉と純鉄粉は、光学顕微鏡により確認される色の違い、硬さの差異、走査型電子顕微鏡（SEM）などを用いたエネルギー分散形X線分析（EDS）等により識別することができる。また、純鉄粉と軟磁性鉄基合金粉がそれぞれアトマイズ法、粉碎法等異なる方法で作製されている場合、光学顕微鏡やSEMにより形状を観察し、形状により識別することも可能

である。図5に示すように、ガスアトマイズ法で作製された粉末は、表面が滑らかな球形であり、水アトマイズ法で作製された粉末は、表面に滑らかな凹凸があり、粉碎法で作製された粉末は、表面に尖った凹凸がある。さらに、軟磁性混合粉末において、純鉄粉と軟磁性鉄基合金粉との密度差が大きい場合、気流分級器を用いて純鉄粉と軟磁性鉄基合金粉とを分離することができる。

[0048] また、上記粒度構成の算出はレーザー回折散乱法（マイクロトラック法）によって簡便に行うことも可能である（図4参照）。

[0049] 未知の粒度構成を持つ純鉄粉および軟磁性鉄基合金粉を混合する場合は上記の手法によって粒度構成を測定することができる。また、分級された粒度別の純鉄粉および軟磁性鉄基合金粉が準備されている場合は、粒度別に混合割合を変えることで任意の粒度構成を得ることができる。

[0050] 1-4. 絶縁層

純鉄粉および軟磁性鉄基合金粉を混合して得られた軟磁性混合粉末は、そのままでも軟磁性混合粉末として用いることができ、表面に後述する絶縁層をさらに形成して軟磁性混合粉末として用いることもできる。鉄損、特に渦電流損低減の観点から、軟磁性混合粉末の表面には絶縁層を形成することが好ましい。

絶縁層を構成するものとしては、例えば、絶縁性無機皮膜や絶縁性樹脂皮膜が挙げられる。前記絶縁性無機皮膜の表面には、更に絶縁性樹脂皮膜が形成されることが好ましい。絶縁層を形成する場合、絶縁層の厚み（例えば、絶縁性無機皮膜と絶縁性樹脂皮膜との合計厚み）は250nm以下とすることが好ましい。膜厚が250nmを超えると、磁束密度の低下が大きくなる場合がある。

[0051] 1-4-1. 絶縁性無機皮膜（形成方法も含む）

上記絶縁性無機皮膜としては、例えば、りん酸系化成皮膜、クロム系化成皮膜、水ガラス皮膜、酸化物皮膜などが挙げられ、好ましくはりん酸系化成皮膜である。上記絶縁性無機皮膜は、2種類以上の皮膜を積層して形成して

もよいが、通常は単層でよい。

[0052] リン酸系化成皮膜は、Pを含む化合物を用いて形成されるアモルファス状またはガラス状の皮膜であればその組成は特に限定されるものではない。上記リン酸系化成皮膜は、P以外に、Ni、Co、Na、K、S、Si、B、Mgなどから選択される1種または2種以上の元素を含んでいてもよい。これらの元素は、上述の熱処理工程の際に、酸素がFeと半導体を形成して比抵抗を低下させるのを抑制する作用を有している。

[0053] 上記リン酸系化成皮膜の厚みは、1～250nm程度が好ましい。膜厚が1nmより薄いと絶縁効果が発現しないことがある。また膜厚が250nmを超えると、絶縁効果が飽和する上、圧粉磁心の高密度化の点からも望ましくない。より好ましい膜厚は、10～50nmである。

[0054] 本発明で用いるリン酸系化成皮膜形成粉末は、いずれの態様で製造されてもよい。例えば、水および／または有機溶剤からなる溶媒に、Pを含む化合物を溶解させた溶液と、粗粉化した軟磁性鉄基粉末とを混合した後、必要に応じて前記溶媒を蒸発させて得ることができる。本工程で用いる溶媒としては、水や、アルコールやケトン等の親水性有機溶剤、およびこれらの混合物が挙げられる。溶媒には公知の界面活性剤を添加してもよい。

[0055] 1-4-2. 絶縁性樹脂皮膜（形成方法も含む）

上記絶縁性樹脂皮膜としては、例えば、シリコーン樹脂皮膜、フェノール樹脂皮膜、エポキシ樹脂皮膜、ポリアミド樹脂皮膜、ポリイミド樹脂皮膜などが挙げられる。好ましくはシリコーン樹脂皮膜である。上記絶縁性樹脂皮膜は、2種類以上の皮膜を積層して形成してもよいが、通常は単層でよい。なお、上記絶縁性とは、好ましくは最終的な圧粉磁心の比抵抗を4端子法で測定したときに、50 $\mu\Omega\cdot m$ 程度以上になることを意味している。

[0056] 熱的安定性の観点から、メチル基が50モル%以上のメチルフェニルシリコーン樹脂を用いることが好ましく、メチル基とフェニル基の合計に対するメチル基の割合は、70モル%以上がより好ましく、フェニル基を全く持たないメチルシリコーン樹脂がさらに好ましい。

[0057] 上記シリコン樹脂皮膜の厚みは、1～200nmが好ましく、より好ましくは20～150nmである。

[0058] また、上記りん酸系化成皮膜の上に、更にシリコン樹脂皮膜を有していてもよい。これにより、シリコン樹脂の架橋・硬化反応終了時（圧縮時）には、粉末同士が強固に結合する。また、耐熱性に優れたSi-O結合を形成して、絶縁皮膜の熱的安定性を向上できる。

[0059] 上記シリコン樹脂皮膜の形成は、例えば、シリコン樹脂をアルコール類や、トルエン、キシレン等の石油系有機溶剤等に溶解させたシリコン樹脂溶液と、軟磁性混合粉末とを混合し、次いで必要に応じて前記有機溶剤を蒸発させることによって行うことができる。軟磁性混合粉末としては、りん酸系化成皮膜を有する軟磁性混合粉末（りん酸系化成皮膜形成粉末）であることが好ましい。

[0060] 2. 圧粉磁心

本発明の軟磁性混合粉末を圧縮成形することにより、圧粉磁心を得ることができる。本発明の圧粉磁心は、高周波の駆動周波数で使用される電磁気部品、例えばインダクタ（チョークコイル、ノイズフィルタ、リアクトルなど）のコアに好ましく適用され、また、低周波の駆動周波数で使用される電磁気部品、例えばモータの回転子または固定子のコアにも好ましく適用される。

[0061] 本発明の圧粉磁心は、プレス機と金型を用い、軟磁性混合粉末を圧縮成形することにより得られる。圧縮成形の好適条件は、面圧で、例えば、490～1960MPaである。成形温度は、室温成形、温間成形（例えば、100～250℃）のいずれも可能である。

[0062] 上記軟磁性混合粉末を成形するにあたっては、軟磁性混合粉末に、さらに潤滑剤を配合してもよい。潤滑法としては、粉末中に潤滑剤を分散、あるいは被覆する内部潤滑法と、金型に潤滑剤を塗布、吹付けする型潤滑法のいずれも可能である。粉末に潤滑剤を被覆する具体的な態様としては、表面または絶縁皮膜中に有機物からなる潤滑剤を有する態様等を挙げることができる。

。潤滑剤の作用により、軟磁性混合粉末を成形する際の粉末間、あるいは軟磁性混合粉末と成形型内壁間の摩擦抵抗を低減でき、成形体の型かじりや成形時の発熱を防止することができる。より高強度の圧粉磁心を得る観点からは、型潤滑法であることが好ましい。型潤滑成形と温間成形を同時に行うと、より一層高強度の圧粉磁心が得られるため、好ましい。

[0063] また、軟磁性合金粉末と純鉄粉を混合した軟磁性混合粉末は、粉末中に異なる硬さの粉末を有しているため、硬い粉末よりも軟質な粉末の方が優先的に変形し、特に硬い粉末の周囲に位置する軟質な粉末は高い歪みを受ける。本発明に係る軟磁性混合粉末は表面または絶縁皮膜中に有機物からなる潤滑剤を有することで、成型加工時の圧縮性を向上し、成形体の密度を向上できる。このような圧縮性向上の効果は変形し難い軟磁性鉄基合金粉の周囲で生じる過度な摩擦が、潤滑剤により軽減されることにより得られるものである。軟磁性混合粉末においては、少なくとも軟磁性鉄基合金粉の表面または絶縁皮膜中に有機物からなる潤滑剤を有することが重要である。

表面または樹脂皮膜中に潤滑剤を有することにより成型加工時の圧縮性を向上し、成形体の密度を向上できる効果は、軟磁性混合粉末において軟磁性鉄基合金粉の混合割合が高いほど顕著である。特に、軟磁性鉄基合金粉の混合割合が例えば20質量%以上、より好ましくは30質量%以上、さらに好ましくは40質量%以上であると、潤滑剤の添加による圧縮性向上や成形体密度向上の効果がより一層顕著となる。

[0064] 上記潤滑剤としては、従来から公知のものを使用すればよく、具体的には、ステアリン酸亜鉛、ステアリン酸リチウム、ステアリン酸カルシウム等のステアリン酸の金属塩粉末、ポリヒドロキシカルボン酸アミド、エチレンビスステアリン酸アミド（エチレンビスステアリルアミド）、（N-オクタデセニル）ヘキサデカン酸アミド等の脂肪酸アミド、パラフィン、ワックス、天然または合成樹脂誘導体等が挙げられる。これらの潤滑剤は単独で用いても、2種以上を組合せて用いてもよい。これらのなかでも、脂肪酸アミドが好ましく、ポリヒドロキシカルボン酸アミドがより好ましい。

[0065] 軟磁性混合粉末の表面または絶縁皮膜中に潤滑剤を添加する方法としては、粉末の表面に潤滑剤を付与できれば特に限定されるものではないが、粉末状の潤滑剤を混合粉に添加してV型混合機（容器が回転し、容器内の粉粒体が全体に移動し対流運動を行う混合機）などの混合機で攪拌・混合する方法（粉末混合法）や混合粉末の最表面を覆う有機系の絶縁樹脂皮膜に付与する方法（皮膜混合法）を用いることができる。有機系の絶縁皮膜はトルエンなどの有機溶剤に樹脂を添加した処理液を軟磁性混合粉末と混合することによって処理されるが、この有機溶剤に潤滑剤を溶解あるいは分散させることで皮膜処理と潤滑剤の添加を同時に行うことも可能である。また、軟磁性混合粉末を作製する過程において、軟磁性鉄基合金粉と純鉄粉を混合する前に潤滑剤の添加を行えば、いずれかの種類にのみ潤滑剤を付与することも可能である。

上記粉末混合法、皮膜混合法のうち、粉末混合法では、潤滑剤が最表面に存在し、軟磁性鉄基合金粉の周囲で生じる過度な摩擦を直接的に低減することができるため、より一層圧縮性を向上させることができる。また、皮膜混合法では、絶縁皮膜形成と同時に潤滑剤を添加することができるため、工業的に有利である。

[0066] 上記潤滑剤を粉末中に分散させる場合は、潤滑剤の質量割合は、上記軟磁性混合粉末全体の質量に対して、質量割合で、0.2質量%以上1質量%であることが好ましい。上記潤滑剤の質量割合は、より好ましくは0.3質量%以上であり、更に好ましくは0.4質量%以上である。しかし上記潤滑剤を1質量%を超えて配合してもその効果は飽和し、また潤滑剤の量が多くなると成形体密度が小さくなり、磁気特性が劣化するおそれがある。従って上記潤滑剤の質量割合は、1質量%以下とすることが好ましく、より好ましくは0.9質量%以下、更に好ましくは0.8質量%以下である。なお、成形する際に、型内壁面に潤滑剤を塗布した後、成形するような場合（型潤滑成形）には、潤滑剤量は0.2質量%より少なくても構わない。また、粉末に潤滑剤を被覆する場合、例えば、表面または絶縁皮膜中に有機物からなる潤

滑剤を有する場合等には、潤滑剤の質量割合は、軟磁性混合粉末全体の100質量%に対し、0.1質量%以上0.6質量%以下であることが好ましい。より好ましくは0.15質量%以上であり、さらに好ましくは0.2質量%以上である。潤滑剤の質量割合が多いほど、変形し難い軟磁性鉄基合金粉の周囲で生じる過度な摩擦を軽減することができ、成形加工時の圧縮性を向上し、成形体の密度を向上できる。潤滑剤の質量割合が多すぎると効果が飽和し、逆に成形加工時の圧縮性が低下する場合がある。そのため、潤滑剤の質量割合は、0.5質量%以下であることがより好ましく、さらに好ましくは0.4質量%以下であり、特に好ましくは0.39質量%以下である。

[0067] 次に、本発明では、上記成形体に熱処理を施して圧粉磁心を製造することができる。これにより圧縮成形時に導入された歪が解放され、歪みに起因する圧粉磁心のヒステリシス損を低減できる。このときの熱処理温度は400℃以上が好ましく、より好ましくは450℃以上、更に好ましくは500℃以上である。当該工程は、比抵抗の劣化がなければ、より高温で行うのが望ましい。しかし熱処理温度が700℃を超えると、絶縁皮膜が破壊されることがある。絶縁皮膜が破壊されると鉄損、特に渦電流損が増大し、比抵抗が劣化するため好ましくない。従って熱処理温度は700℃以下が好ましく、より好ましくは650℃以下である。

[0068] 上記熱処理時の雰囲気は、特に限定されず、大気雰囲気下であっても、不活性ガス雰囲気下、又は真空下であってもよい。不活性ガスとしては、窒素、ヘリウムやアルゴン等の希ガスなどが挙げられる。熱処理時間は比抵抗の劣化がなければ特に限定されないが、20分以上が好ましく、より好ましくは30分以上、更に好ましくは1時間以上である。

[0069] 上記の条件で熱処理を行うと、絶縁皮膜の破壊が起こりにくいため、鉄損、特に渦電流損（保磁力にも相当する）を増大させることなく、高い電気絶縁性、即ち高い比抵抗を有する圧粉磁心を製造できる。

[0070] 上記熱処理の後、冷却して常温に戻すことにより本発明に係る圧粉磁心が得られる。

[0071] 本願は、2012年10月3日に出願された日本国特許出願第2012-221698号、及び、2013年2月21日に出願された日本国特許出願第2013-032625号に基づく優先権の利益を主張するものである。2012年10月3日に出願された日本国特許出願第2012-221698号及び2013年2月21日に出願された日本国特許出願第2013-032625号の明細書の全内容が、本願に参考のため援用される。

実施例

[0072] 以下、実施例を挙げて本発明をより具体的に説明するが、本発明はもとより下記実施例によって制限を受けるものではなく、前・後記の趣旨に適合し得る範囲で適当に変更を加えて実施することも勿論可能であり、それらはいずれも本発明の技術的範囲に包含される。なお、以下においては、特に断りのない限り、「部」は「質量部」を、「%」は「質量%」を意味する。

[0073] 以下の実施例で用いた測定法は、以下の通りである。

[0074] (交流磁気測定)

上記測定試料につき、交流B-Hアナライザーを用いて、最大磁束密度0.1 T、周波数30 kHzで鉄損を測定した。

[0075] (レーザー回折測定)

また各軟磁性混合粉末の平均粒径(体積基準のメディアン径)D50をレーザー回折測定装置(HORIBA、LA-920)を用いて測定した。

[0076] (3点曲げ試験)

圧縮成形体の強度は抗折強度を測定して評価した。抗折強度は、板状圧縮成形体を用いて抗折強度試験を行って測定した。試験は、JPMAM09-1992(日本粉末冶金工業会;焼結金属材料の抗折力試験方法)に準拠した3点曲げ試験を行った。抗折強度の測定には引張試験機を用い、支点間距離を25 mmとして測定を行った。

[0077] 下記に示す軟磁性鉄基粉末を準備し、下記に示す手順で圧粉磁心を製造した。

[0078] (純鉄粉の製造)

純鉄粉として水アトマイズ純鉄粉である「アトメル（登録商標）300NH」（神戸製鋼所製）を使用した。目開き150、106、75、63、45 μm の篩を用いて篩分けを行い、各粒度それぞれの純鉄粉を得た。

[0079]（軟磁性鉄基合金粉の製造）

軟磁性鉄基合金として、Fe-9.6%Si-5.5%Al合金（センダスト）、Fe-6.5%Si合金およびFe-Si-B-C系アモルファス合金を使用した。センダストは、真空高周波溶解によってセンダスト組成（Fe-9.6%Si-5.5%Al）の鋼塊とし、得られた鋼塊を振動ボールミルで粉砕してセンダスト合金粉末を作製した。Fe-6.5%Si合金およびFe-Si-B-C系アモルファス合金は、ガスアトマイズ法によって粉末とした。

得られた軟磁性鉄基合金粉についても、目開き150、106、75、63、45 μm の篩を用いて篩分けを行い、各粒度の軟磁性鉄基合金粉を得た。

[0080]（純鉄粉と軟磁性鉄基合金粉の混合）

純鉄粉および軟磁性鉄基合金を表1に示す各々の混合割合および粒度で混合して評価用の軟磁性混合粉末を作製した。混合する合金粉と純鉄粉の粒度については、本発明例として粗大側の粒度に合金粉を混合した粉末を作製し、比較例として各粒度に均等に混合した粉末および微細側の粒度に合金粉を混合した粉末を作製し、 $(R_{\text{over}}/R_{\text{under}})$ 比は0.01~41.80の範囲で変化させた。合金粉の混合量は20%あるいは40%とし、全体粒度は図6、7に示す粒度1と粒度2の2通りとした。詳細は測定結果と共に表1に示している。

[0081]

[表1]

No.	合金粉	粒度	合金粉の混合割合	粒度比*	$R_{\text{lower}}/R_{\text{under}}$ の比率	D50 (μm)	鉄損 (kW/m^3)	密度 (g/cm^3)	抗折強度 (MPa)	
1	Fe-9.6%Si-5.5%Al 合金 (センダスト)	粒度1	20%	1.54	9.05	65	489.5	7.18	63.2	発明例
2				1.19	3.59		501.8	7.13	62.6	発明例
3				1.00	1.45		535.4	7.11	62.1	発明例
4				1.00	0.83		610.5	7.03	61.5	比較例
5				0.65	0.06		688.2	6.87	59.4	比較例
6		粒度1	40%	1.54	5.55	65	463.0	6.63	45.2	発明例
7				1.19	2.65		483.6	6.61	44.9	発明例
8				1.00	1.32		504.7	6.58	44.5	発明例
9				1.00	0.87		555.9	6.55	44.1	比較例
10				0.65	0.19		628.6	6.47	43.7	比較例
11		粒度2	20%	2.23	41.80	105	684.5	7.21	84.9	発明例
12				1.47	2.21		822.8	7.12	82.1	発明例
13				0.84	0.54		893.6	7.03	81.1	比較例
14				0.53	0.09		978.2	6.87	78.5	比較例
15		粒度2	40%	2.23	12.69		556.5	6.71	49.7	発明例
16				1.47	1.56		703.1	6.65	45.4	発明例
17				0.84	0.39		783.5	6.60	43.1	比較例
18				0.53	0.01		883.0	6.49	40.9	比較例
19	Fe-6.5%Si合金	粒度1	40%	1.54	5.34	65	589.6	7.18	103.9	発明例
20				1.19	2.28		623.7	7.17	103.2	発明例
21				1.00	1.28		650.8	7.15	102.4	発明例
22				1.00	0.95		719.9	7.10	100.5	比較例
23				0.65	0.09		796.7	7.01	99.4	比較例
24	Fe-Si-B-C系 アモルファス合金	粒度1	40%	1.54	6.24	65	902.5	6.81	25.1	発明例
25				1.19	1.87		995.8	6.74	24.5	発明例
26				1.00	0.88		1099.7	6.68	22.6	比較例
27				0.65	0.16		1189.6	6.52	20.6	比較例

[0082] (絶縁皮膜の形成)

得られた軟磁性混合粉末に、絶縁皮膜としてりん酸系化成皮膜とシリコーン樹脂皮膜をこの順で形成した。りん酸系化成皮膜の形成には、りん酸系化成皮膜用処理液として、水：50部、 NaH_2PO_4 ：30部、および H_3PO_4

: 10部、 $(\text{NH}_2\text{OH})_2\text{H}_2\text{SO}_4$: 10部、 $\text{Co}_3(\text{PO}_4)_2$: 10部を混合して、更に水で2010倍に希釈したを含む処理液を用いた。具体的には、上記軟磁性混合粉末1kgに、上記処理液50mlの割合で添加して5分以上攪拌した後、大気中、200℃で30分乾燥し、目開き300 μm の篩を通してりん酸系化成皮膜を形成した。

[0083] シリコン樹脂皮膜の形成には、シリコン樹脂「SR2400」（東レ・ダウコーニング社製）をトルエンに溶解させて調製し、樹脂固形分濃度が5%の樹脂溶液を用いた。具体的には、上記りん酸系化成皮膜を形成した粉末に、樹脂固形分濃度が0.05%となるように上記樹脂溶液を添加、混合し、オープン炉で大気中、75℃、30分間加熱して乾燥してシリコン樹脂皮膜を形成した。

[0084] (圧粉磁心の製造)

表面に絶縁皮膜を形成した軟磁性混合粉末を、プレス機を用いて130℃、型潤滑で、面圧が1177MPa(12t/cm²)となるように圧縮成形して圧粉磁心を製造した。圧縮成形体の形状は、外径32mm×内径28mm×厚み3mmのリング状とした。得られたリング状圧縮成形体に、窒素雰囲気下、600℃で30分間の熱処理を施して、圧粉磁心を製造した。なお、600℃に加熱するときの昇温速度は約10℃/分とした。

[0085] (実施例1)

No. 1～No. 27の軟磁性混合粉末を用いて得られた圧粉磁心について、成形体の密度を表1に示す。また、交流磁気測定によって測定された鉄損、3点曲げ試験によって測定された抗折強度、および、レーザー回折法によって測定された粒度分布を体積分率から質量分率に換算して求めた($R_{\text{over}}/R_{\text{under}}$)比の値を表1に示す。また、図8～12に、No. 6～No. 10の軟磁性混合粉末の粒度構成を示す。

[0086] No. 1～No. 18の軟磁性混合粉末では、軟磁性鉄基合金粉としてセンダスト粉を用いており、No. 19～No. 23の軟磁性混合粉末ではFe-6.5%Si合金粉、No. 24～No. 27の無磁性混合粉末ではア

モルファス合金粉を用いていた。No. 1～No. 3、No. 6～No. 8、No. 11、No. 15、No. 16、No. 19～No. 21、No. 24、No. 25の軟磁性混合粉末は、 $(R_{\text{over}}/R_{\text{under}})$ 比が1.2以上であり本発明で規定する要件を満足していた。前記の軟磁性混合粉末以外のNo. 4、No. 5、No. 9、No. 10、No. 13、No. 14、No. 17、No. 18、No. 22、No. 23の軟磁性混合粉末は、 $(R_{\text{over}}/R_{\text{under}})$ 比が1.2未満であり、本発明で規定する要件を満足していなかった。

[0087] (実施例1の考察)

表1からは以下のように考察できる。

No. 1～No. 3、No. 6～No. 8、No. 11、No. 12、No. 15、No. 16、No. 19～No. 21、No. 24、No. 25の軟磁性混合粉末は、本発明で規定する要件を満足する発明例であり、いずれも高い成形体密度と低い鉄損を示していた。また、 $(R_{\text{over}}/R_{\text{under}})$ 比が大きいものほど鉄損が低減され、成形体密度が向上していた。成形体密度の向上に伴って成形体の強度も向上していた。

[0088] また、No. 24～No. 27の軟磁性混合粉末では、軟磁性鉄基合金粉としてアモルファス合金粉を用いた。 $(R_{\text{over}}/R_{\text{under}})$ 比が1.2以上であるNo. 24及びNo. 25の軟磁性混合粉末では、No. 26～No. 27の軟磁性混合粉末と比べて鉄損が低減され、成形体密度が向上し、成形体強度も向上していたが、軟磁性鉄基合金粉としてセンダストやFe-6.5%Si合金粉を用いた場合 (No. 1～No. 23の軟磁性混合粉末) よりも鉄損が大きい値を持っていた。圧縮成形後の歪み取り焼鈍の際、アモルファス合金粉内部で結晶化が起こり、保磁力が低下したためと考えられる。すなわち、高温環境を避けるべき非晶質粉と、熱処理しなければ歪取りができない結晶質粉の混合は、軟磁性混合粉末の組合せとして望ましくないと考えられる。

[0089] 一方、No. 4、No. 5、No. 9、No. 10、No. 13、No.

14、No. 17、No. 18、No. 22、No. 23の軟磁性粉末は、本発明で規定する要件を満足しない比較例であり、鉄損は、同じ軟磁性鉄基合金粉を用いた場合の発明例と比較して高い値を示していた。また、成形体密度は低い値を持ち、成形体の強度も低下していた。発明例と比較例を比較すると、同一の軟磁性鉄基合金を軟磁性鉄基合金粉に用いた場合であっても、純鉄粉および軟磁性鉄基合金粉の粒度構成によってその磁気的特性や機械的特性が異なっていた。所定の粒度構成を有する純鉄粉および軟磁性鉄基合金粉を用いることによって、鉄損が低減されながら成形性に優れ、且つ良好な機械的強度を有する圧粉磁心が得られることがわかる。

[0090] (実施例2)

純鉄粉、および純鉄粉とそれぞれ20質量%、30質量%、40質量%のセンドラスト粉末を含む軟磁性混合粉末No. 28～No. 60を調製した。この純鉄粉または軟磁性混合粉末に対して、潤滑剤（エチレンビスアマイド）を0%～0.6%の質量割合で添加した。潤滑剤を添加した軟磁性混合粉末を圧粉成型加工し、成形体の密度を測定して圧縮性を評価した。軟磁性混合粉末No. 28～No. 60について、詳細を成形体密度の測定結果と共に表2～表4に示す。

[0091]

[表2]

No.	合金粉	合金粉の割合	粒度比*	$R_{\text{over}}/R_{\text{under}}$	D50 (μm)	潤滑剤の割合	潤滑剤の付与	添加手段	密度変化 (g/cm ³)	
28	Fe-9.6%Si-5.5%Al 合金 (センダスト)	20%	1.30	4.09	63.1	0.0%	純鉄粉/合金粉 皮膜混合		0.000	発明例
29						0.1%			0.042	発明例
30						0.2%			0.048	発明例
31						0.3%			0.036	発明例
32						0.4%			0.001	発明例
33						0.5%			-0.045	発明例
34						0.6%			-0.075	発明例
35		30%		3.47	65.6	0.0%			0.000	発明例
36						0.1%			0.054	発明例
37						0.2%			0.056	発明例
38						0.3%			0.045	発明例
39						0.4%			0.015	発明例
40						0.5%			-0.028	発明例
41						0.6%			-0.045	発明例
42		40%	2.44	68.1	0.0%	0.000			発明例	
43					0.1%	0.080			発明例	
44					0.2%	0.068			発明例	
45					0.3%	0.072			発明例	
46					0.4%	0.039			発明例	
47					0.5%	0.031			発明例	
48					0.6%	0.005			発明例	

[0092]

[表3]

No.	合金粉	合金粉の割合	粒度比*	$R_{\text{over}}/R_{\text{under}}$	D50 (μm)	潤滑剤の割合	潤滑剤の付与	添加手段	密度 (g/cm^3)	
49	-	0%	-	-	-	-	-	-	7.454	従来例
50	-	0%	-	-	-	0.2%	純鉄粉	粉末混合	7.390	従来例
51	Fe-9.6%Si-5.5%Al 合金(センダスト)	30%	1.30	3.47	65.6	-	-	-	7.016	発明例
52	-	30%	1.30	3.47	65.6	0.2%	純鉄粉/合金粉	粉末混合	7.080	発明例
53	-	0%	-	-	-	-	-	-	7.454	従来例
54	-	0%	-	-	-	0.2%	純鉄粉	皮膜混合	7.417	従来例
55	Fe-9.6%Si-5.5%Al 合金(センダスト)	30%	1.30	3.47	65.6	-	-	-	7.016	発明例
56	-	30%	1.30	3.47	65.6	0.2%	純鉄粉/合金粉	皮膜混合	7.073	発明例

[0093]

[表4]

No.	合金粉	合金粉の割合	粒度比*	$R_{\text{over}}/R_{\text{under}}$	D50 (μm)	潤滑剤の割合	潤滑剤の付与	添加手段	密度 (g/cm^3)	
57							純鉄粉	粉末混合	7.048	発明例
58	Fe-9.6%Si-5.5%Al 合金 (センドラスト)	30%	1.30	3.47	65.6	0.2%	合金粉	粉末混合	7.078	発明例
59							純鉄粉	皮膜混合	7.055	発明例
60							合金粉	皮膜混合	7.072	発明例

[0094] No. 28～No. 48、No. 51、No. 52、No. 55～No. 60の軟磁性混合粉末は、軟磁性鉄基合金粉および純鉄粉の粒度の最頻値の比（粒度比）が0.9以上5未満、 $(R_{\text{over}}/R_{\text{under}})$ 比が1.2以上であり本発明で規定する要件を満足していた。

[0095] 本実施例では2つの方法で潤滑剤を添加しており、No. 28～No. 48、No. 54、No. 56、No. 59、No. 60の軟磁性混合粉末では絶縁皮膜処理の段階において、シリコン樹脂溶液中に潤滑剤（エチレンビスアマイド）を添加する方法（皮膜混合）を用いた。また、No. 50、No. 52、No. 57、No. 58の軟磁性混合粉末では、V型混合機に絶縁皮膜付きの粉末と潤滑剤（粉末）を投入して攪拌・混合させる方法（粉末混合）を用いた。このうち、No. 50、No. 54、No. 57、No. 59の軟磁性混合粉末では、純鉄粉のみに潤滑剤を付与し、No. 58、No. 60の軟磁性混合粉末では、センダスト粉のみに潤滑剤を付与した。また、No. 28～No. 48、No. 52、No. 56の軟磁性混合粉末では、混合された状態で両方の粉末（純鉄粉、センダスト粉）に潤滑剤を付与した。片方の粉末にのみ潤滑剤を付与した軟磁性混合粉末は、センダスト粉と純鉄粉を個別に絶縁皮膜処理し、各種の方法で潤滑剤を付与した後にセンダスト粉と純鉄粉を混合して軟磁性混合粉末を作製した。

[0096] （実施例2の考察）

図13はNo. 28～No. 48の軟磁性混合粉末の成形体密度の変化量を潤滑剤の添加量に対してプロットしたものであり、樹脂皮膜に潤滑剤を添加することにより圧縮性が向上することを示す。潤滑剤を添加することによって成形体の密度は向上し、潤滑剤の添加量が0.1%以上0.3%以下の範囲で成形体密度は特に向上した。また、軟磁性鉄基合金粉の質量割合が多いほど、潤滑剤の添加による圧縮性向上効果に優れていた。

[0097] 図14と図15は、No. 49～No. 56の軟磁性混合粉末のそれぞれにおいて、潤滑剤添加による圧縮性の変化を示している。図14は粉末混合により潤滑剤を添加した場合、図15は皮膜混合により潤滑剤を添加した場合である。いずれの場合でも純鉄粉のみの軟磁性混合粉末では、潤滑剤の添加によって密度が低下したのに対して、本発明の軟磁性混合粉末では密度が向上して圧縮性が改善されていた。

[0098] 図16は、軟磁性混合粉末に対して潤滑剤を一定の質量割合（0.2%）

で添加した場合において、潤滑剤を純鉄粉のみに付与したN o. 57、N o. 59の軟磁性混合粉末と、純鉄粉のみに付与したN o. 58、N o. 60の軟磁性混合粉末の成形体みの密度を示している。粉末混合により潤滑剤を添加したN o. 57、N o. 58の軟磁性混合粉末と、皮膜混合により潤滑剤を添加したN o. 59、N o. 60の軟磁性混合粉末のいずれにおいても、純鉄粉よりもセンダスト粉に潤滑剤を付与した軟磁性混合粉末（N o. 58、N o. 60）の方が優れた圧縮性を示していた。この様に、本発明にかかる圧縮性の向上効果を得るためには少なくとも軟磁性鉄基合金粉に潤滑剤を付与されていることが重要であり、軟磁性混合粉末全体に潤滑剤を付与するか、あるいは軟磁性鉄基合金粉のみに潤滑剤を付与する必要がある。

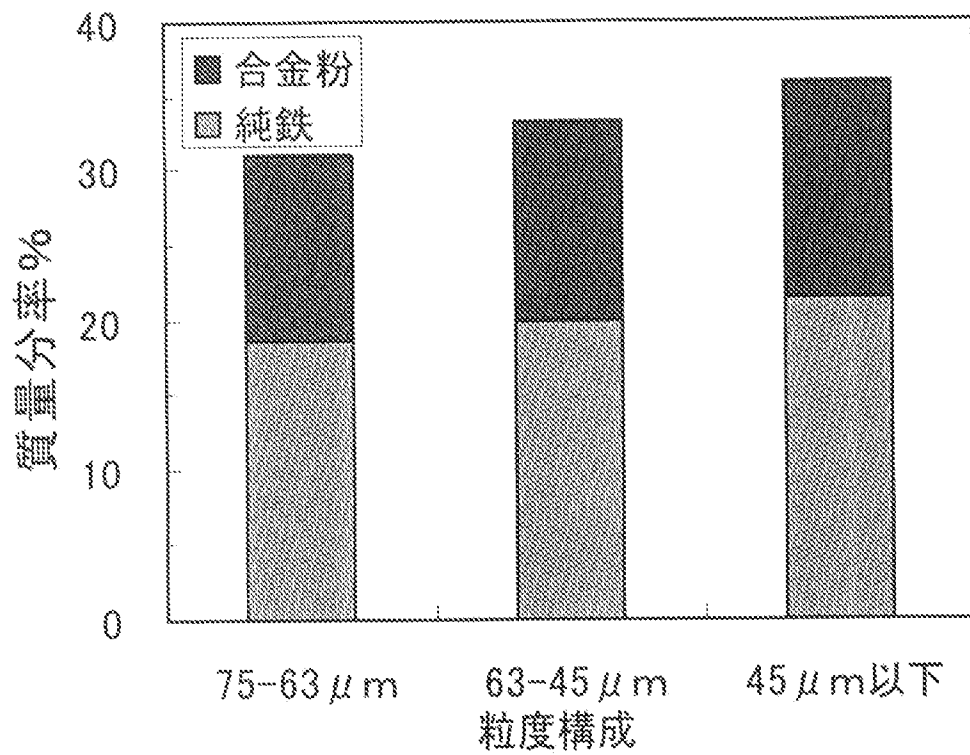
以上の実施例2に示されるように、本発明の軟磁性混合粉末に潤滑剤を添加することによって、軟磁性混合粉末の圧縮性がより一層向上する。

請求の範囲

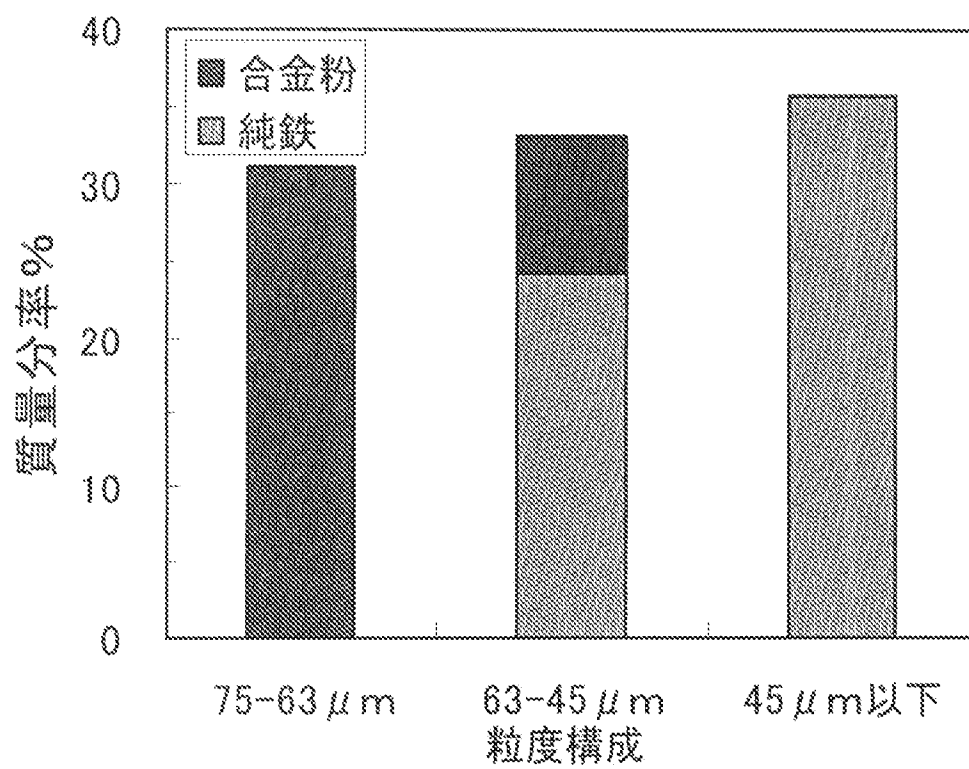
- [請求項1] 軟磁性鉄基合金粉および純鉄粉を含む軟磁性混合粉末であって、軟磁性鉄基合金粉の混合割合が5質量%以上60質量%以下であり、
- 軟磁性鉄基合金粉および純鉄粉の粒度の最頻値の比（軟磁性鉄基合金粉の粒度の最頻値／純鉄粉の粒度の最頻値）が0.9以上5未満であり、且つ、
- 軟磁性混合粉末の累積50%質量平均粒子径 D_{50} 以上の粒度の軟磁性混合粉末に占める軟磁性鉄基合金粉の質量割合 R_{over} と、前記 D_{50} 未満の粒度の軟磁性混合粉末に占める軟磁性鉄基合金粉の質量割合 R_{under} の比（ R_{over}/R_{under} ）が1.2以上であることを特徴とする軟磁性混合粉末。
- [請求項2] 前記軟磁性混合粉末の累積50%質量平均粒子径 D_{50} が $45\mu m$ 以上である請求項1に記載の軟磁性混合粉末。
- [請求項3] 前記軟磁性鉄基合金粉がFeおよび1質量%以上19質量%以下のSiを含むものである請求項1に記載の軟磁性混合粉末。
- [請求項4] 前記軟磁性鉄基合金粉がさらに1質量%以上35質量%以下のAlを含むものである請求項1に記載の軟磁性混合粉末。
- [請求項5] 前記軟磁性鉄基合金粉が、Fe、1質量%以上35質量%以下のAlおよび1質量%以上19質量%以下のSiを含む合金粉、または、Feおよび1質量%以上19質量%以下のSiを含む合金粉である請求項1に記載の軟磁性混合粉末。
- [請求項6] 前記軟磁性混合粉末が絶縁皮膜を有する請求項1に記載の軟磁性混合粉末。
- [請求項7] 軟磁性混合粉末の、表面または絶縁皮膜中に有機物からなる潤滑剤を有する請求項6に記載の軟磁性混合粉末。
- [請求項8] 少なくとも軟磁性鉄基合金粉の、表面または絶縁皮膜中に有機物からなる潤滑剤を有する請求項6に記載の軟磁性混合粉末。

- [請求項9] 軟磁性鉄基合金粉が絶縁被膜を有するものであり、軟磁性鉄基合金粉の表面および／または絶縁被膜中に有機物からなる潤滑剤を有する請求項5に記載の軟磁性混合粉末。
- [請求項10] 潤滑剤の質量割合が軟磁性混合粉末100質量%に対して0.1質量%以上0.6質量%以下である請求項7に記載の軟磁性混合粉末。
- [請求項11] 請求項1～10のいずれかに記載の軟磁性混合粉末を用いて得られたことを特徴とする圧粉磁心。

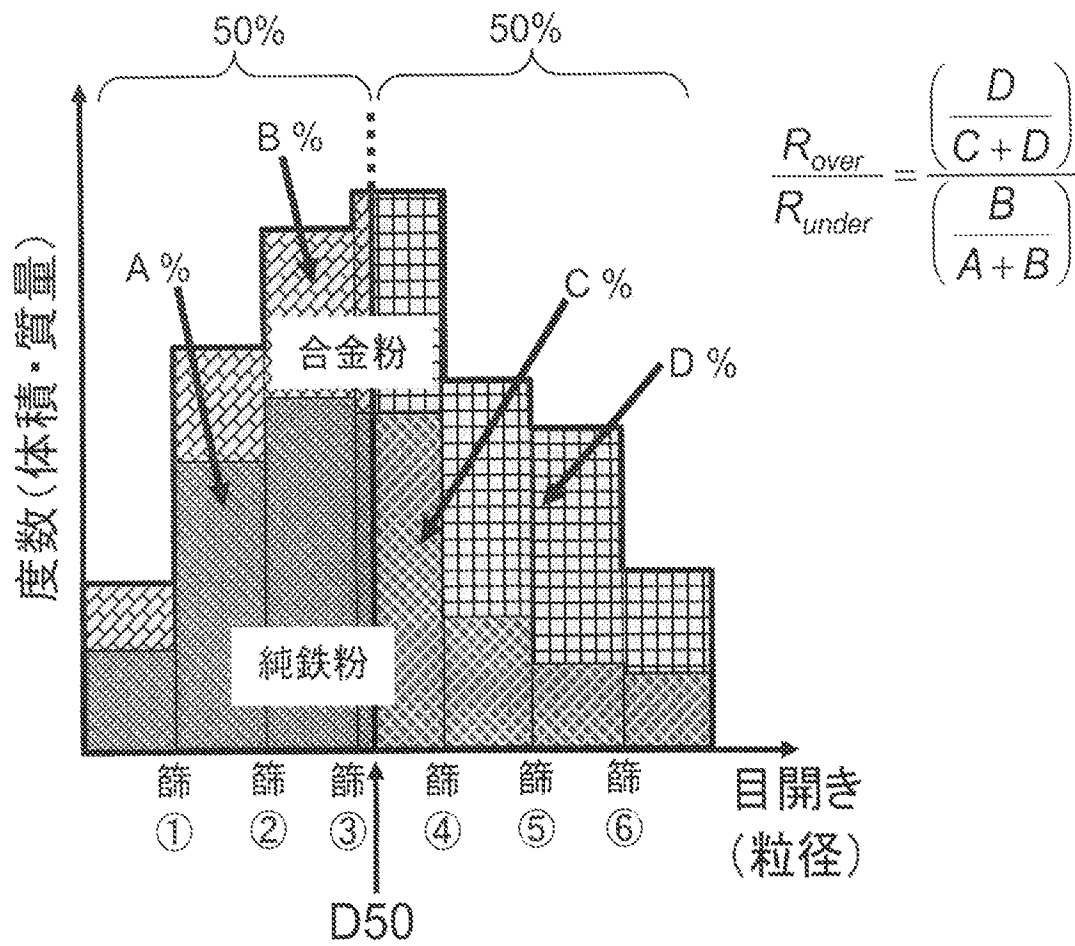
[図1]



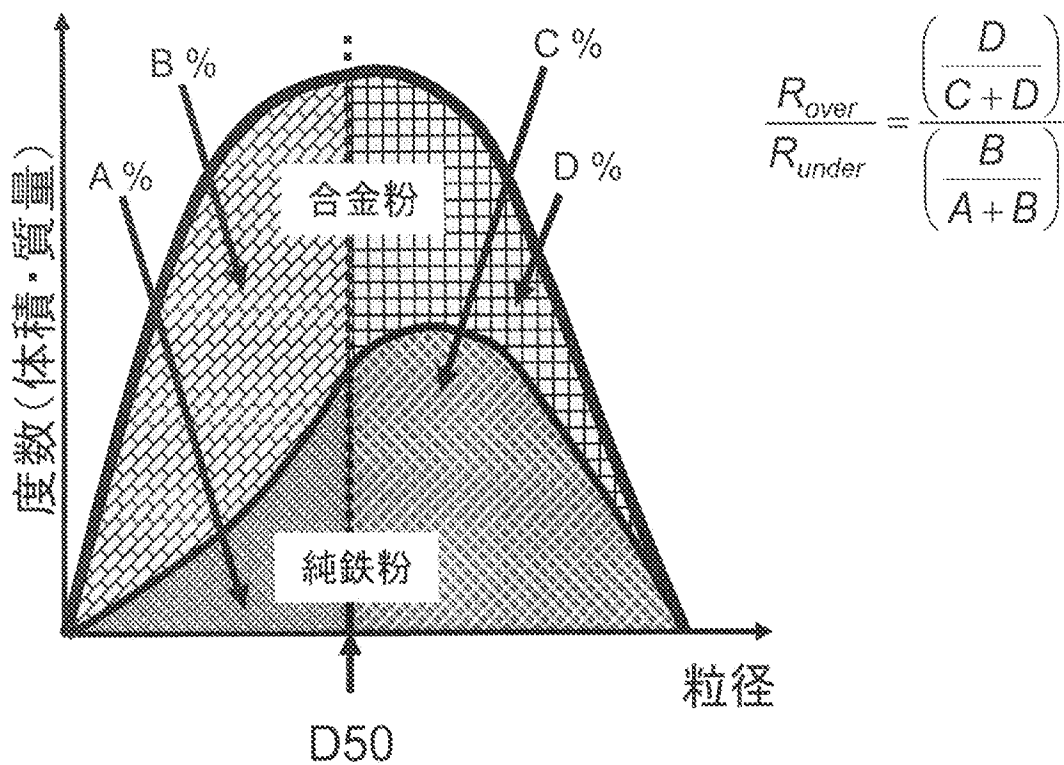
[図2]



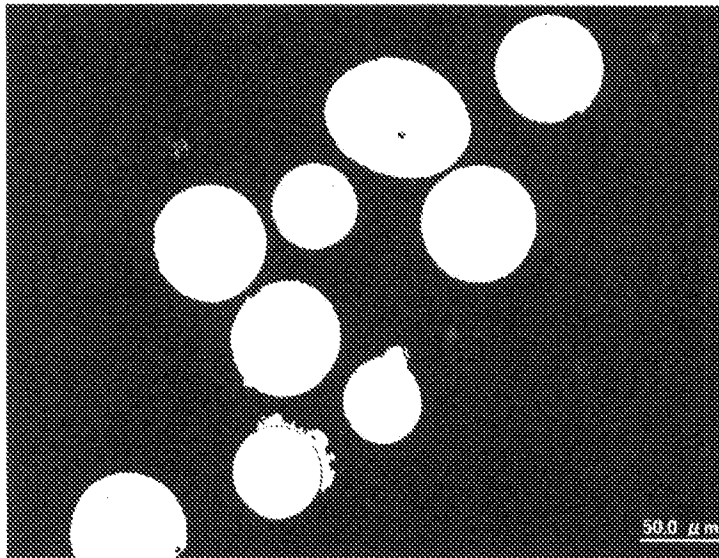
[図3]



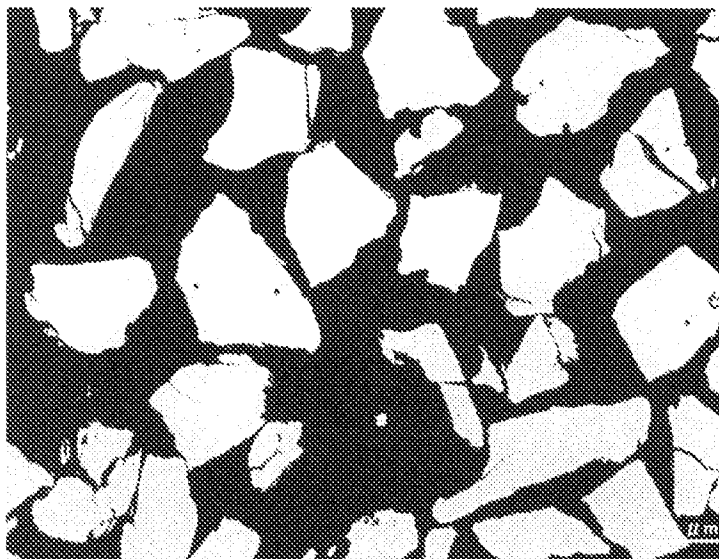
[図4]



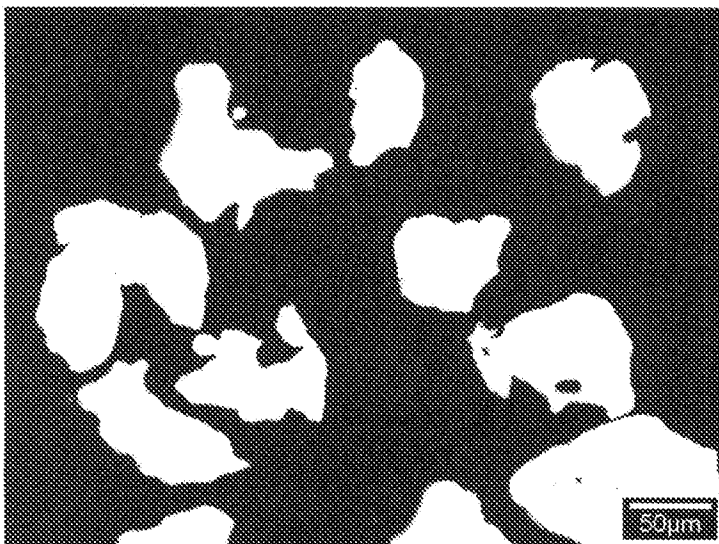
[図5]



ガスアトマイズ製センドスト粉

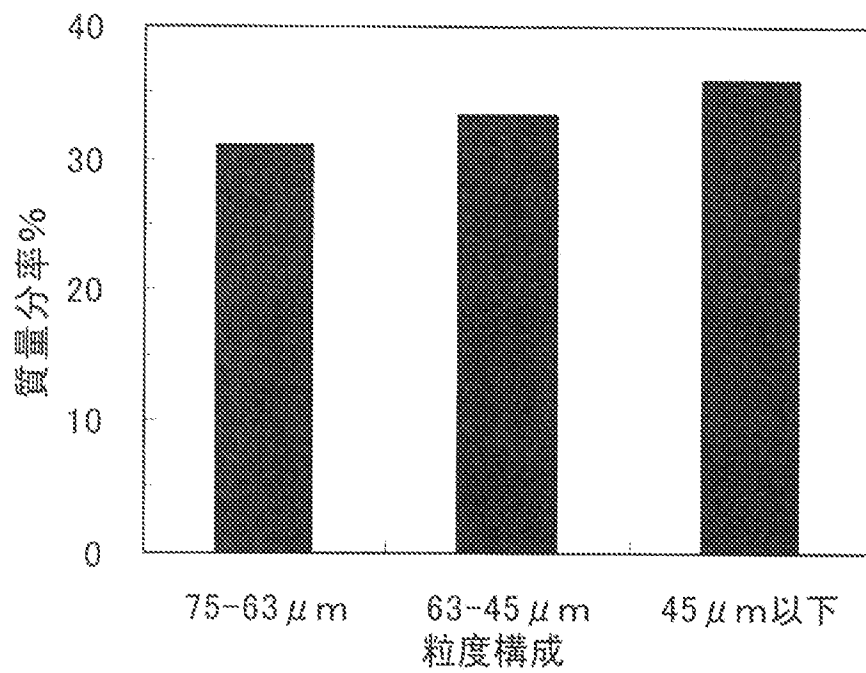


粉碎製センドスト粉

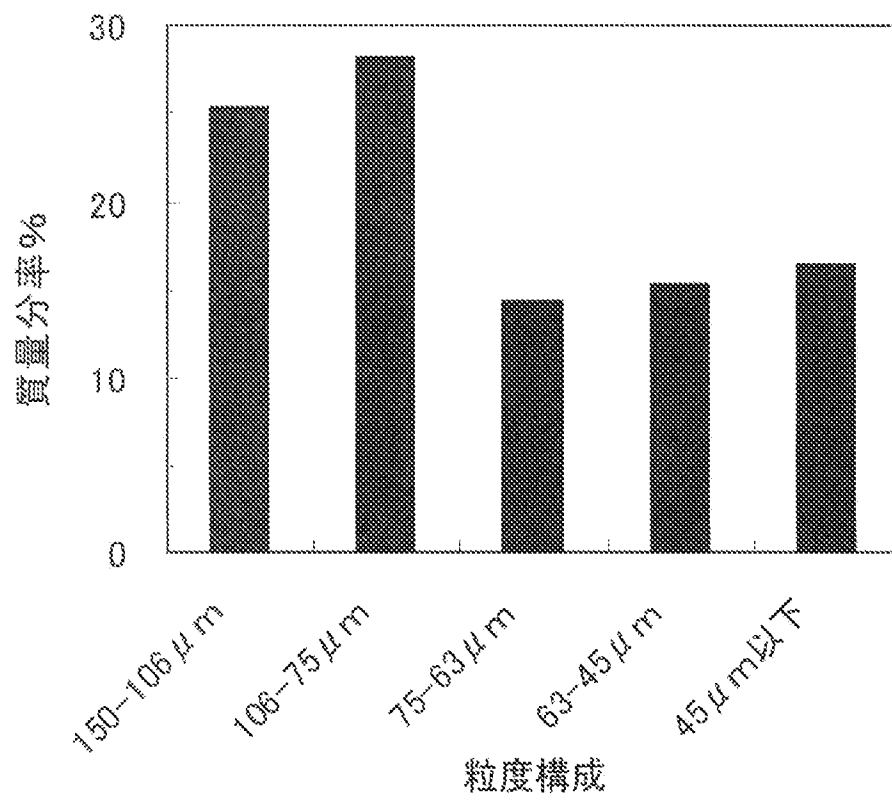


水アトマイズ製純鉄粉

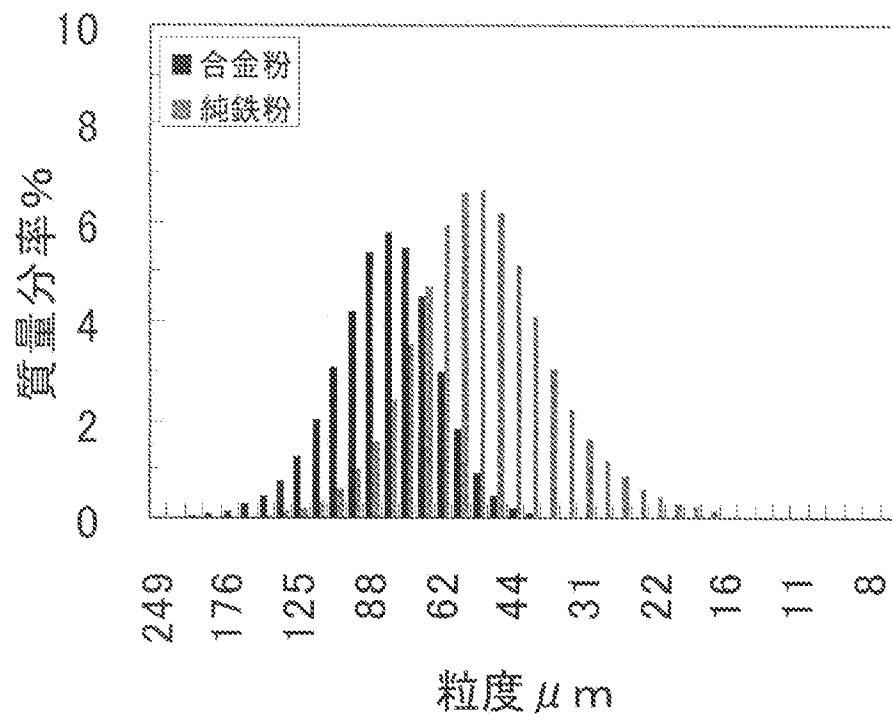
[図6]



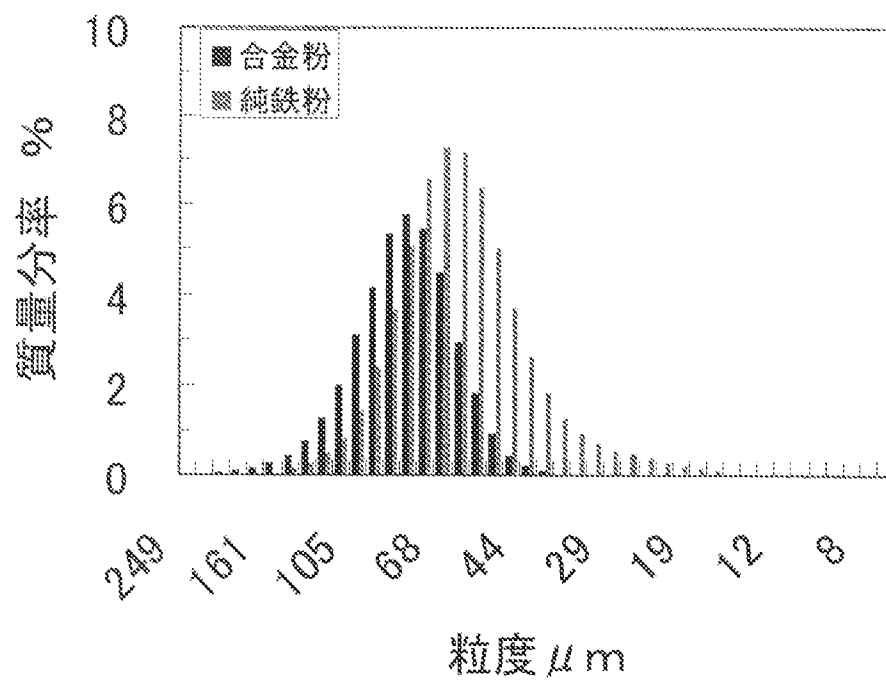
[図7]



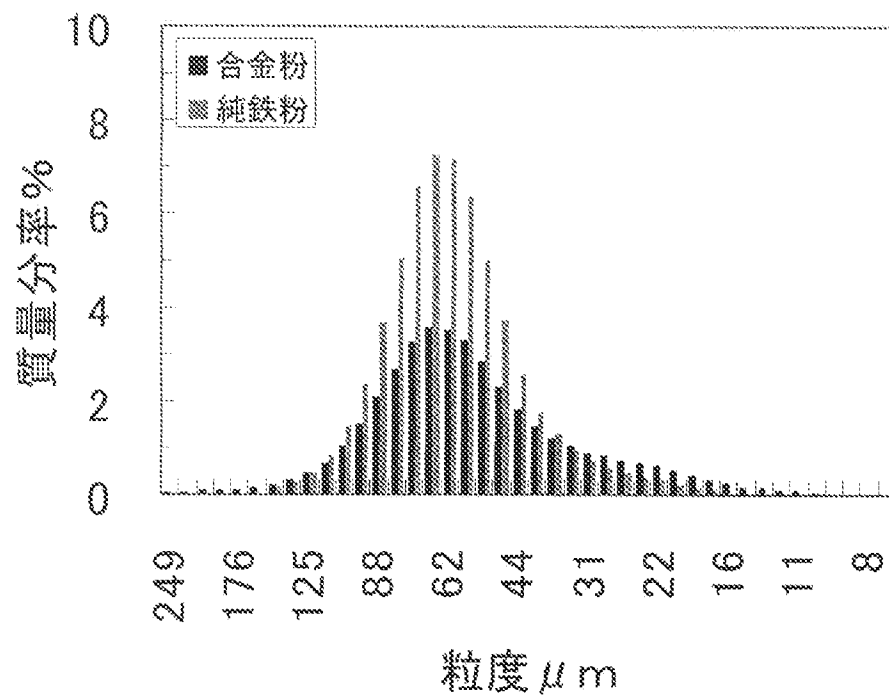
[図8]



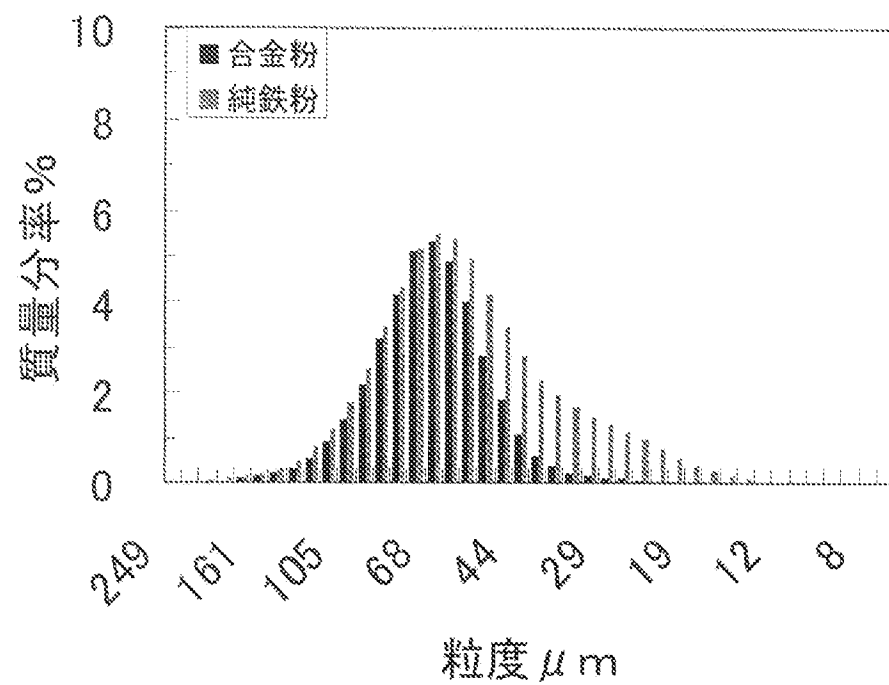
[図9]



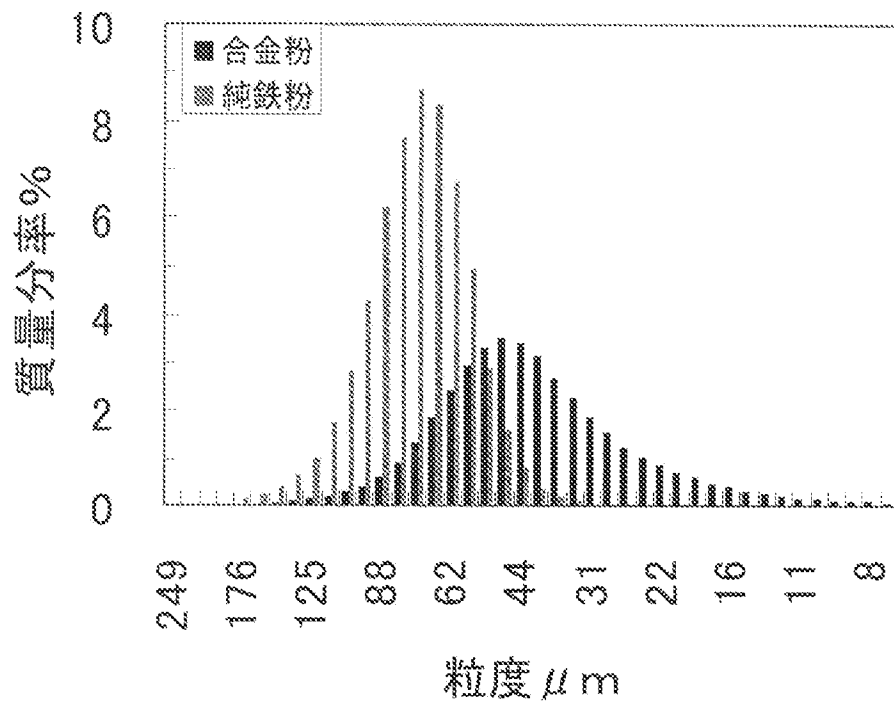
[図10]



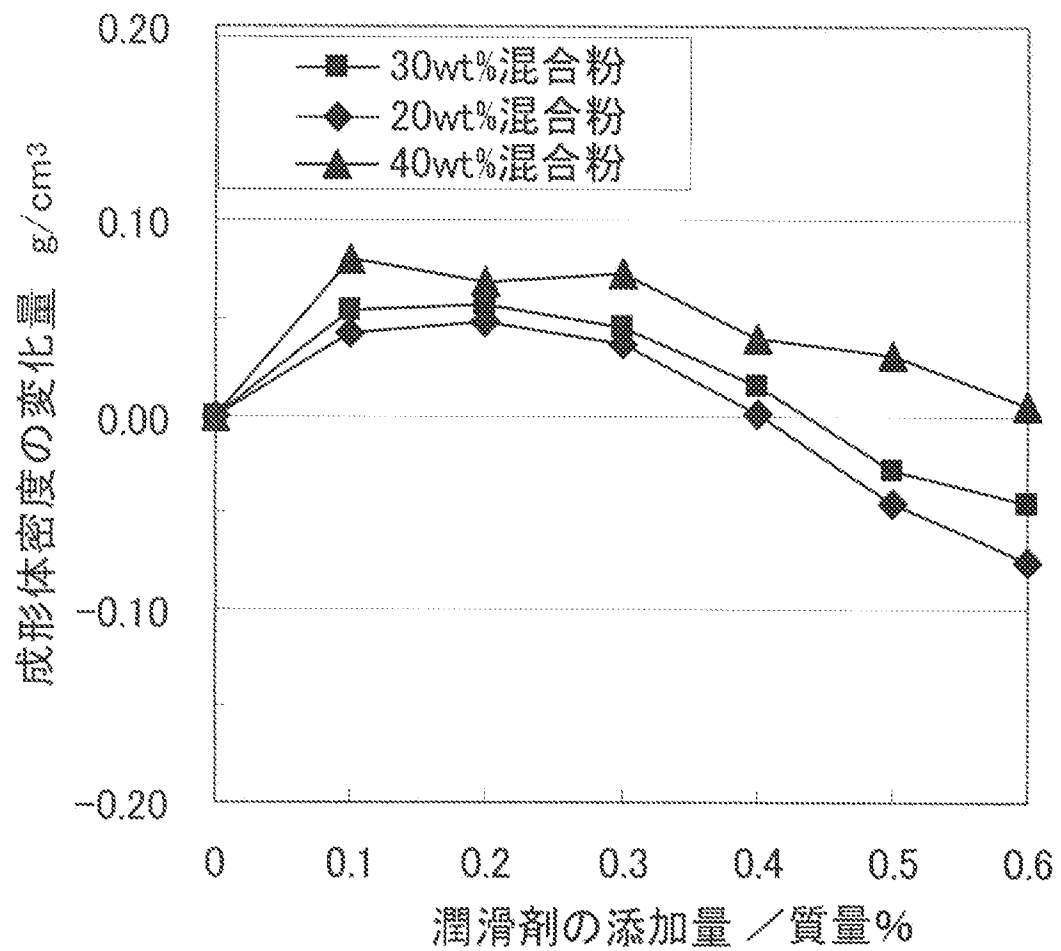
[図11]



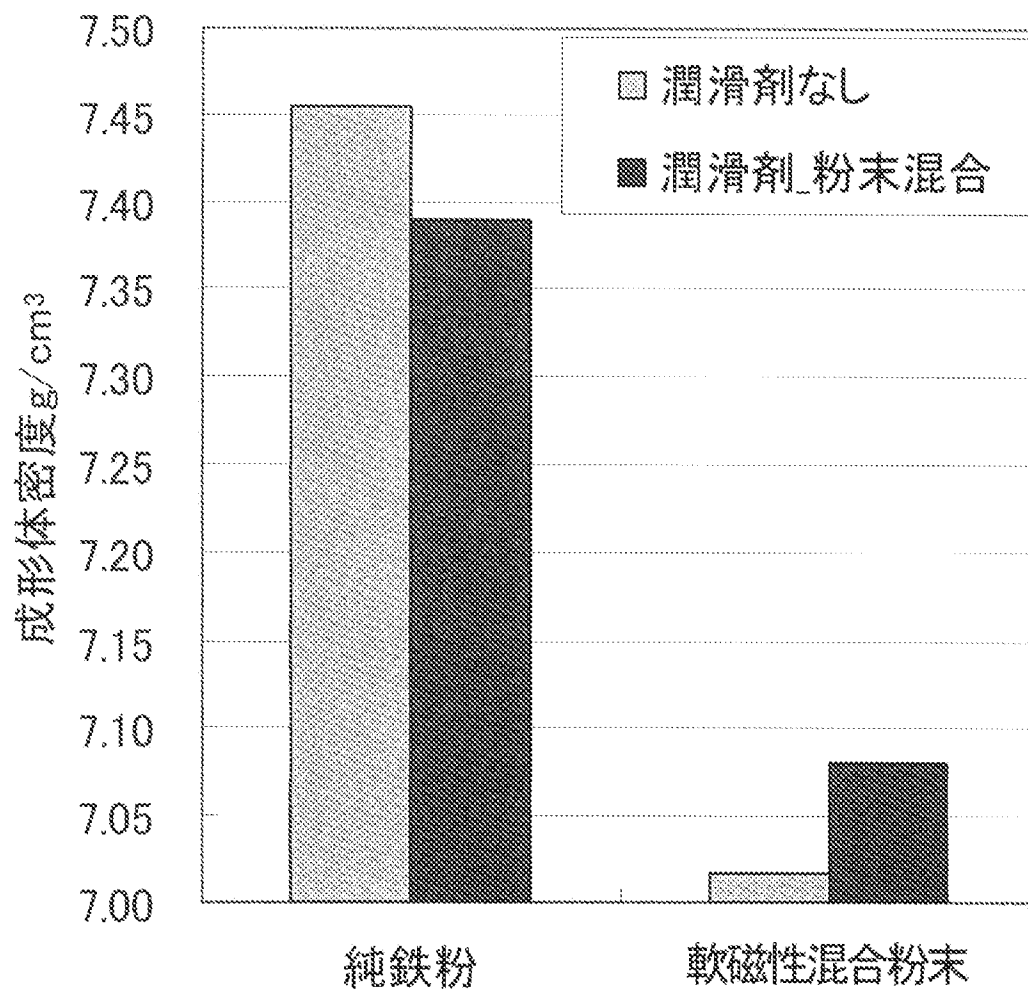
[図12]



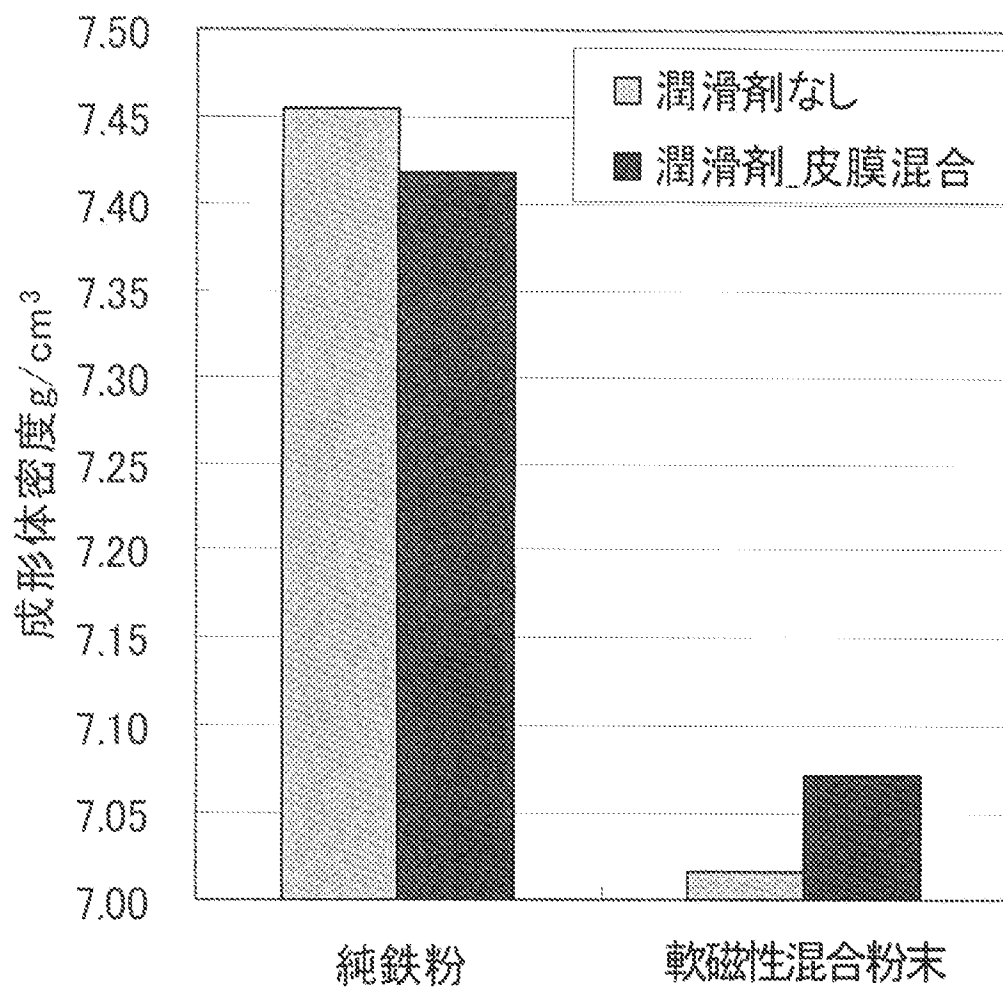
[図13]



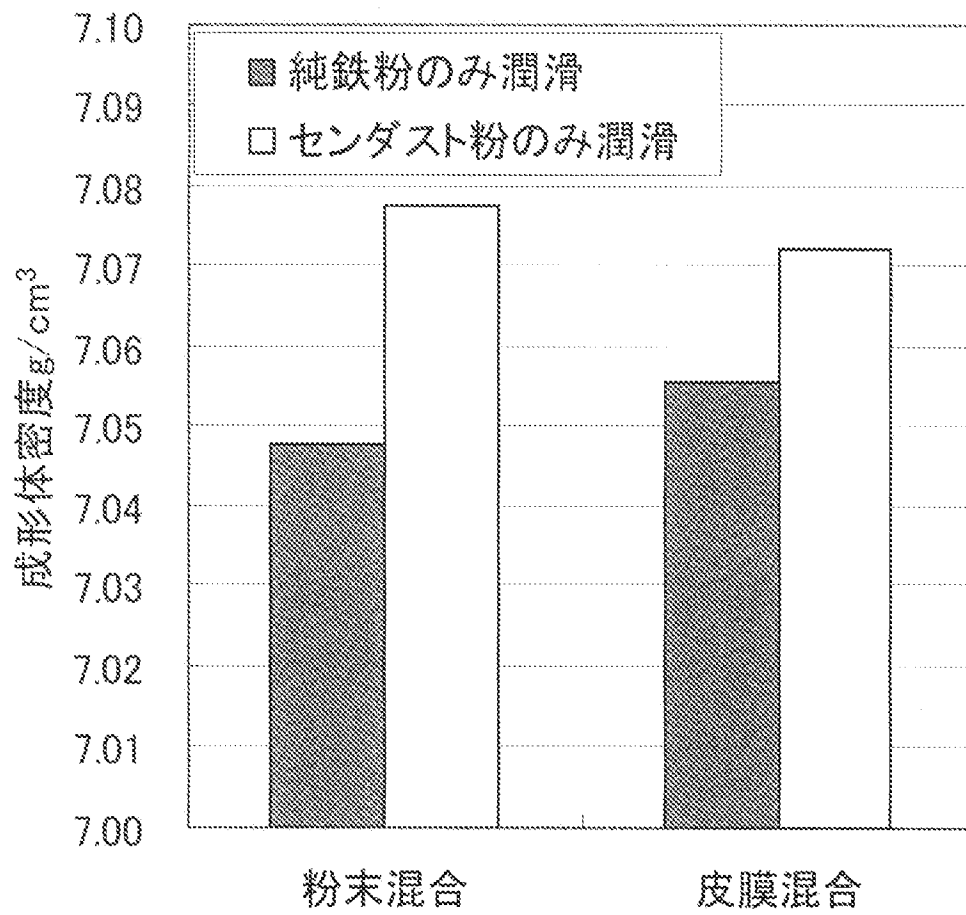
[図14]



[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/075328

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01F1/20(2006.01)i, B22F1/00(2006.01)i, C22C38/00(2006.01)i, H01F1/22(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)

H01F1/20, B22F1/00, C22C38/00, H01F1/22

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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.
X Y	WO 2012/128037 A1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 27 September 2012 (27.09.2012), paragraphs [0061], [0067], [0086], [0111] to [0112], [0116] to [0120] & JP 2012-212856 A	1-6 7-11
Y	WO 2011/010561 A1 (Hitachi Powdered Metals Co., Ltd.), 27 January 2011 (27.01.2011), paragraphs [0024], [0027] to [0029] & JP 2011-29302 A & US 2012/0119134 A1 & EP 2458601 A1 & CN 102473517 A & KR 10-2012-0032562 A	7-11

☒ 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
29 October, 2013 (29.10.13)

Date of mailing of the international search report
12 November, 2013 (12.11.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/075328

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-114022 A (Hitachi Ferrite Electronics Ltd.), 21 April 2000 (21.04.2000), paragraphs [0012], [0017]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-11
A	JP 08-236331 A (Kobe Steel, Ltd.), 13 September 1996 (13.09.1996), paragraphs [0021] to [0022] (Family: none)	1-11
A	JP 2007-012745 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 18 January 2007 (18.01.2007), paragraphs [0022] to [0026]; fig. 2 (Family: none)	1-11

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01F1/20(2006.01)i, B22F1/00(2006.01)i, C22C38/00(2006.01)i, H01F1/22(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. H01F1/20, B22F1/00, C22C38/00, H01F1/22

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 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 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
X Y	WO 2012/128037 A1（住友電気工業株式会社）2012.09.27, 段落 [0 0 6 1]、[0 0 6 7]、[0 0 8 6]、[0 1 1 1] - [0 1 1 2]、[0 1 1 6] - [0 1 2 0] & JP 2012-212856 A	1-6 7-11
Y	WO 2011/010561 A1（日立粉末冶金株式会社）2011.01.27, 段落 [0 0 2 4]、[0 0 2 7] - [0 0 2 9] & JP 2011-29302 A & US 2012/0119134 A1 & EP 2458601 A1 & CN 102473517 A & KR 10-2012-0032562 A	7-11

☒ 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

2 9 . 1 0 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

1 2 . 1 1 . 2 0 1 3

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 1 0 0 - 8 9 1 5
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

5 D

4 1 7 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 5 1

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
A	JP 2000-114022 A (日立フェライト電子株式会社) 2000.04.21, 段落【0012】、【0017】、【図1】－【図3】 (ファミリーなし)	1-11
A	JP 08-236331 A (株式会社神戸製鋼所) 1996.09.13, 段落【0021】－【0022】 (ファミリーなし)	1-11
A	JP 2007-012745 A (住友電気工業株式会社) 2007.01.18, 段落【0022】－【0026】、【図2】 (ファミリーなし)	1-11