

(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
2018年10月4日(04.10.2018)

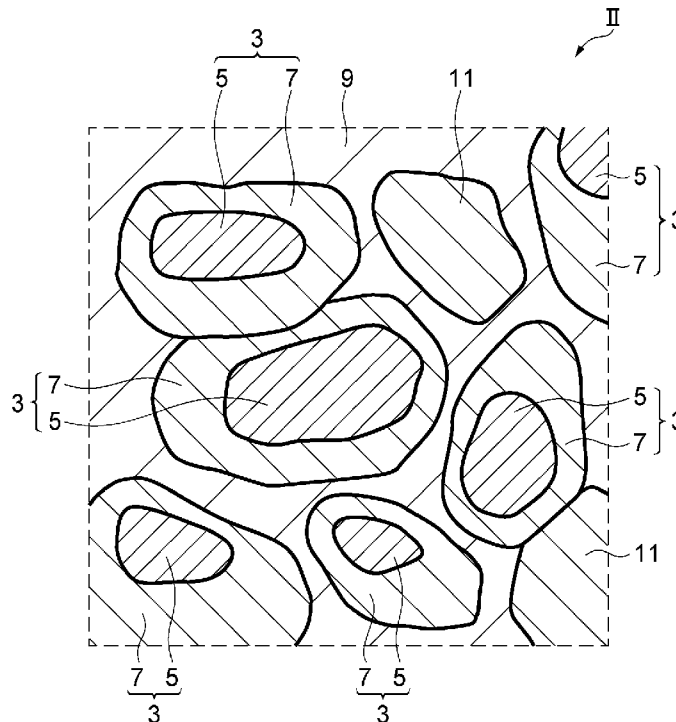


(10) 国際公開番号
WO 2018/181581 A1

- (51) 国際特許分類:
H01F 1/057 (2006.01) C22C 33/02 (2006.01)
B22F 3/00 (2006.01) C22C 38/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/012976
- (22) 国際出願日: 2018年3月28日(28.03.2018)
- (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 2017-068631 2017年3月30日(30.03.2017) JP
- (71) 出願人: T D K株式会社(TDK CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1080023 東京都港区芝浦三丁目
9番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 諏訪 孝裕(SUWA Takahiro); 〒1080023
東京都港区芝浦三丁目9番1号 T D K株
式会社内 Tokyo (JP). 田中 大介(TANAKA
Daisuke); 〒1080023 東京都港区芝浦三丁目9
番1号 T D K株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki
et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二
丁目1番1号丸の内 M Y P L A Z A
(明治安田生命ビル) 9階 創英国際特
許法律事務所 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,

(54) Title: PERMANENT MAGNET AND ROTARY MACHINE

(54) 発明の名称: 永久磁石及び回転機



(57) Abstract: Provided is a permanent magnet which has a good balance between residual magnetic flux density and coercivity among permanent magnets that contain Y and Ce as substitute elements for Nd. A permanent magnet 10 according to the present invention is provided with main phase particles 3 that contain a rare earth element R, a transition metal element T and boron; the rare earth element R comprises at least Nd, Y and Ce; the transition metal element T comprises at least Fe; each main phase particle 3 has a core 5 and a shell 7 that covers the core



WO 2018/181581 A1

DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, ST, 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 :

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

5; and if $[Y]_{\text{CORE}}$ atom% is the content of Y in the core 5, $[Y]_{\text{SHELL}}$ atom% is the content of Y in the shell 7, $[Ce]_{\text{CORE}}$ atom% is the content of Ce in the core 5 and $[Ce]_{\text{SHELL}}$ atom% is the content of Ce in the shell 7, $[Y]_{\text{CORE}}$ is larger than $[Y]_{\text{SHELL}}$ and $[Ce]_{\text{SHELL}}$ is larger than $[Ce]_{\text{CORE}}$.

(57) 要約 : Ndの代替元素としてY及びCeを含む永久磁石の中でも残留磁束密度及び保磁力のバランスのとれた永久磁石が提供される。永久磁石10は、希土類元素R、遷移金属元素T、及びホウ素を含む主相粒子3を備え、希土類元素Rは、少なくともNd、Y及びCeを含み、遷移金属元素Tは、少なくともFeを含み、主相粒子3が、コア5と、コア5を覆うシェル7と、を有し、コア5におけるYの含有量が $[Y]_{\text{CORE}}$ 原子%であり、シェル7におけるYの含有量が $[Y]_{\text{SHELL}}$ 原子%であり、コア5におけるCeの含有量が $[Ce]_{\text{CORE}}$ 原子%であり、シェル7におけるCeの含有量が $[Ce]_{\text{SHELL}}$ 原子%であり、 $[Y]_{\text{CORE}}$ が $[Y]_{\text{SHELL}}$ よりも大きく、 $[Ce]_{\text{SHELL}}$ が $[Ce]_{\text{CORE}}$ よりも大きい。

明 細 書

発明の名称：永久磁石及び回転機

技術分野

[0001] 本発明は、永久磁石及び回転機に関する。

背景技術

[0002] 主相としてNd₂Fe₁₄B相を含む永久磁石は、残留磁束密度B_r、キュリー温度T_c、及び異方性磁界H_a等の磁気特性のバランスが良いことから、様々な技術分野において実用されている。例えば自動車の回転機（モーター）に用いる永久磁石は、高温環境下で使用されることから、大きい保磁力（H_{cJ}）が要求される。永久磁石の保磁力は、Dy又はTb等の重希土類元素の添加により増加する。しかし、重希土類元素は高価であり、その供給量が安定しないので、重希土類元素を使用しない永久磁石が望まれる。重希土類元素を使用しない永久磁石を構成する元素のうち、Ndが最も高価であり、原材料費の大部分をNdの価格が占める。したがって、Ndの使用量を低減するために、Ndの一部をY、La又はCe等の安価な元素に置換する研究が行われている。（下記特許文献1参照。）

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2016-115774号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、Y、La又はCe等の安価な元素から構成される主相の飽和磁化I_s及び異方性磁界H_aは、Nd₂Fe₁₄B相と比較して著しく小さい。そのため、Ndの一部がY、La又はCe等で置換された永久磁石の残留磁束密度B_r及び保磁力H_{cJ}は、Ndが置換されていない場合に比べて著しく小さい。

[0005] 本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、Ndの代替元素として

Y及びCeを含む永久磁石の中でも残留磁束密度及び保磁力のバランスのとれた永久磁石、及び当該永久磁石を備える回転機を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0006] 本発明の一側面に係る永久磁石は、希土類元素R、遷移金属元素T、及びホウ素を含む主相粒子を備え、希土類元素Rは、少なくともNd、Y及びCeを含み、遷移金属元素Tは、少なくともFeを含み、主相粒子が、コアと、コアを覆うシェルと、を有し、コアにおけるYの含有量が $[Y]_{CORE}$ 原子%であり、シェルにおけるYの含有量が $[Y]_{SHELL}$ 原子%であり、コアにおけるCeの含有量が $[Ce]_{CORE}$ 原子%であり、シェルにおけるCeの含有量が $[Ce]_{SHELL}$ 原子%であり、 $[Y]_{CORE}$ が $[Y]_{SHELL}$ よりも大きく、 $[Ce]_{SHELL}$ が $[Ce]_{CORE}$ よりも大きい。
- [0007] 本発明の一側面においては、 $[Y]_{CORE}/[Y]_{SHELL}$ が1.05以上1.22以下であってよく、 $[Ce]_{SHELL}/[Ce]_{CORE}$ が1.04以上1.20以下であってよい。
- [0008] 本発明の一側面に係る回転機は、上記永久磁石を備える。

発明の効果

- [0009] 本発明によれば、Ndの代替元素としてY及びCeを含む永久磁石の中でも残留磁束密度及び保磁力のバランスのとれた永久磁石、及び当該永久磁石を備える回転機が提供される。

図面の簡単な説明

- [0010] [図1]図1中の(a)は、本発明の一実施形態に係る永久磁石10の模式的な斜視図であり、図1中の(b)は、図1中の(a)に示される永久磁石10の断面10csの模式図(b-b線方向の矢視図)である。
- [図2]図2は、図1中の(b)に示される永久磁石10の断面10csの一部11の拡大図である。
- [図3]図3は、本発明の一実施形態に係る回転機の模式的な斜視図である。
- [図4]図4は、実施例1の永久磁石の断面の写真である。

発明を実施するための形態

- [0011] 以下、場合により図面を参照して、本発明の好適な実施形態について説明する。ただし、本発明は下記実施形態に何ら限定されるものではない。図面において、同一又は同等の構成要素には同一の符号を付す。以下に記載の単位 (kOe) は、「 $\times (10^3/4\pi) \times (kA/m)$ 」と等価である。本発明に係る永久磁石は、焼結磁石、又は熱間加工磁石であってよい。本発明に係る永久磁石は、希土類磁石であってよい。
- [0012] 本実施形態に係る永久磁石10の全体は、図1中の(a)に示される。永久磁石10の断面10csは、図1中の(b)に示される。図2は、永久磁石10の断面10csの一部11の拡大図である。図2に示されるように、実施形態に係る永久磁石10は、複数の主相粒子3と、主相粒子3の間に位置する粒界相9と、を備える。例えば、永久磁石10は、粒界相9を介して互いに焼結した多数の主相粒子3から構成される焼結体であってよい。各主相粒子3は、コア5と、コア5を覆うシェル7と、を有する。シェル7は、コア5の一部又は全体を覆っていてよい。永久磁石10は、コア5及びシェル7を備えない磁性粒子11を含んでよい。
- [0013] 各主相粒子3は、少なくとも希土類元素R、遷移金属元素T、及びホウ素(B)を含む。希土類元素Rは、少なくともNd(ネオジウム)、Y(イットリウム)及びCe(セリウム)を含む。つまり、Ndの一部が、Y及びCeで置換されている。遷移金属元素Tは、少なくともFe(鉄)を含む。遷移金属元素Tは、FeとCo(コバルト)とを含んでよい。つまり、上記のFeの一部がCoで置換されてよい。各主相粒子3は、ホウ素に加えて炭素(C)を含んでよい。つまり、上記のBの一部がCで置換されてよい。主相粒子3は、主相として $R_2T_{14}M$ を含んでよい。元素MはBのみであってよい。元素Mは、B及びCであってもよい。換言すれば、 $R_2T_{14}M$ は、 $Nd_{2-x-y}Y_xCe_yFe_{14-s}Co_sB_{1-t}C_t$ と表されてよい。x+yは、0より大きく2未満である。xは、0より大きく2未満である。yは、0より大きく2未満である。sは、0以上14未満である。tは、0以上1未満である。例え

ば、主相粒子3は、 $Nd_2Fe_{14}B$ を含んでよい。例えば、主相粒子3は、 $Y_2Fe_{14}B$ を含んでもよい。例えば、主相粒子3は、 $Ce_2Fe_{14}B$ を含んでもよい。

[0014] コア5におけるYの含有量（濃度）は、 $[Y]_{CORE}$ 原子%と表される。シェル7におけるYの含有量（濃度）は、 $[Y]_{SHELL}$ 原子%と表される。コア5におけるCeの含有量（濃度）は、 $[Ce]_{CORE}$ 原子%と表される。シェル7におけるCeの含有量は、 $[Ce]_{SHELL}$ 原子%と表される。 $[Y]_{CORE}$ は $[Y]_{SHELL}$ よりも大きく、 $[Ce]_{SHELL}$ は $[Ce]_{CORE}$ よりも大きい。 $[Y]_{CORE}$ が $[Y]_{SHELL}$ よりも大きく、且つ $[Ce]_{SHELL}$ が $[Ce]_{CORE}$ よりも大きい場合、Ndの代替元素としてY及びCeを含む永久磁石の中でも、本実施形態に係る永久磁石10は、バランスの良い残留磁束密度及び保磁力を有することができる。その理由は以下の通りである、と本発明者らは考える。ただし、本発明の効果を得られる理由は以下に限定されない。

[0015] $Nd_2Fe_{14}B$ の飽和磁化 I_s は1.60Tであり、 $Y_2Fe_{14}B$ の飽和磁化 I_s は1.42Tであり、 $Ce_2Fe_{14}B$ の飽和磁化 I_s は1.17Tである。つまり、 $Y_2Fe_{14}B$ の飽和磁化 I_s は、 $Ce_2Fe_{14}B$ の飽和磁化 I_s よりも大きく、 $Nd_2Fe_{14}B$ と $Y_2Fe_{14}B$ との間の飽和磁化 I_s の差は、 $Nd_2Fe_{14}B$ と $Ce_2Fe_{14}B$ との間の飽和磁化 I_s の差よりも小さい。したがって、主相($Nd_2Fe_{14}B$)のNdをYで置換することによる飽和磁化 I_s の減少量は、主相のNdをCeで置換することによる飽和磁化 I_s の減少量よりも小さい。すなわち、Yで置換されたNdの数が、Ceで置換されたNdの数よりも多い場合であっても、NdがYで置換された永久磁石の残留磁束密度 B_r は、NdがCeで置換された永久磁石の残留磁束密度 B_r と同等である。したがって、NdをYで置換することにより、NdをCeで置換する場合に比べて、残留磁束密度 B_r の減少を抑制しながら、Ndの使用量を低減して、永久磁石の原材料費を低減することができる。一方、 $Y_2Fe_{14}B$ の異方性磁界 H_a は、 $Ce_2Fe_{14}B$ の異方性磁界 H_a よりも小さく、 $Nd_2Fe_{14}B$ と $Y_2Fe_{14}B$ との間の異方性磁界 H_a の差は、 $Nd_2Fe_{14}B$

と $Ce_2Fe_{14}B$ との間の異方性磁界 H_a の差よりも大きい。 $Nd_2Fe_{14}B$ の異方性磁界 H_a は 67 kOe であり、 $Y_2Fe_{14}B$ の異方性磁界 H_a は 20 kOe であり、 $Ce_2Fe_{14}B$ の異方性磁界 H_a は 30 kOe である。したがって、 Nd を Y で置換することに因る異方性磁界 H_a の減少量は、 Nd を Ce で置換することに因る異方性磁界 H_a の減少量よりも大きい。しかし、 $[Ce]_{SHELL}$ が $[Ce]_{CORE}$ よりも大きいいため、シェル7中の Nd は、コア5中の Nd に比べて、 Ce で置換され易い。シェル7において Ce で置換される Nd の数の増加により、シェル7の異方性磁界 H_a がコア5の異方性磁界 H_a よりも大きくなり、主相粒子3同士の磁気分断が起こり、保磁力 $H_c J$ の低下が抑制される。以上のように、 $[Y]_{CORE}$ が $[Y]_{SHELL}$ よりも大きいいため、コア5中の Nd が Y で置換され易く、 Nd の置換に伴う残留磁束密度 B_r の低下が抑制される。一方、 $[Ce]_{SHELL}$ が $[Ce]_{CORE}$ よりも大きいいため、シェル7中の Nd が Ce で置換され易く、 Nd の置換に伴う保磁力 $H_c J$ の低下が抑制される。つまり、 Nd を置換する各元素の含有量がコア5とシェル7との間で異なることにより、永久磁石全体10の残留磁束密度 B_r 及び保磁力 H_c の減少が最小限に抑制されながら、より多くの Nd が Y 及び Ce で置換され、永久磁石10の原材料費が低減される。

[0016] $[Y]_{CORE} / [Y]_{SHELL}$ は 1.05 以上 1.22 以下であってよく、 $[Ce]_{SHELL} / [Ce]_{CORE}$ は 1.04 以上 1.20 以下であってよい。 $[Y]_{CORE} / [Y]_{SHELL}$ 及び $[Ce]_{SHELL} / [Ce]_{CORE}$ の増加に伴い、コア5及びシェル7間での Y 及び Ce それぞれの含有量の差が増加し、残留磁束密度 B_r 及び保磁力 H_c の減少が抑制され易く、より多くの Nd が Y 及び Ce で置換され易く、永久磁石10の原材料費が低減され易い。 $[Y]_{CORE} / [Y]_{SHELL}$ が 1.22 以下であり、 $[Ce]_{SHELL} / [Ce]_{CORE}$ が 1.20 以下である場合、 Ce がコア5全体へ浸透し難い。その結果、 Nd を置換する Y 及び Ce それぞれの含有量がコア5とシェル7との間で異なることによる効果が発現し易い。 $[Y]_{CORE} / [Y]_{SHELL}$ は 1.05 以上 1.33 以下であってよく、 $[Ce]_{SHELL} / [Ce]_{CORE}$ は 1.04 以上 1.20 以下であってよく、

. 30以下であってもよい。 $[Y]_{CORE} / [Y]_{SHELL}$ は1.22以上1.33以下であってもよく、 $[Ce]_{SHELL} / [Ce]_{CORE}$ は1.20以上1.30以下であってもよい。 $[Y]_{CORE} / [Y]_{SHELL}$ は1.05以上1.13以下であってもよく、 $[Ce]_{SHELL} / [Ce]_{CORE}$ は1.04以上1.12以下であってもよい。

[0017] 粒界相9は、R及びTの金属間化合物を含む相を含んでよい。金属間化合物は、例えば、 RT_2 であってよい。 RT_2 は、 $Nd_{1-\gamma-\delta}Y_{\gamma}Ce_{\delta}Fe_{2-\varepsilon}Co_{\varepsilon}$ と表されてよい。 γ 及び δ それぞれは0以上であり、 $\gamma + \delta$ は0以上1以下である。 ε は、0以上2以下である。 RT_2 は、例えば、 $NdFe_2$ 、 YFe_2 又は $CeFe_2$ であってよい。粒界相9は、 RT_2 からなるラーベス(Laves)相を含んでよい。粒界相9は、主相粒子3及びラーベス相よりもRの含有量が多いRリッチ相を含んでよい。粒界相9は、YN(窒化イットリウム)を含む相、又はYNからなる相を含んでよい。粒界相9は、上記外の異相を含んでよい。異相は、例えば、O(酸素)、C(炭素)及びN(窒素)からなる群より選ばれる少なくとも一種を含んでよい。永久磁石10におけるO、C及びN等の不純物元素の含有量は小さいほどよい。永久磁石10におけるOの含有量は5000質量ppm以下、又は3000質量ppm以下であってよい。Oの含有量が小さいほど、希土類元素の酸化物(非磁性成分)が永久磁石10に含まれ難く、永久磁石10の磁気特性が損なわれ難い。永久磁石10におけるNの含有量は、920質量ppm以上2100質量ppm以下であってよい。Nの含有量が920質量ppm以上2100質量ppm以下であっても、本実施形態によれば、Ndの置換に伴う永久磁石全体10の残留磁束密度Br及び保磁力Hcの減少が抑制される。

[0018] 永久磁石10における希土類元素Rの含有量は、例えば、11原子%以上20原子%以下あってよい。希土類元素Rの含有量が11原子%以上である場合、永久磁石10が十分な量の主相($R_2T_{14}B$ 相)を含み易く、 $\alpha-Fe$ 等の軟磁性体が永久磁石10中に析出し難い。その結果、永久磁石10が大きい保磁力を有し易い。希土類元素Rの含有量が20原子%以下である場合

、永久磁石10における主相($R_2T_{14}B$ 相)の体積比率が十分に高く、永久磁石10が大きい残留磁束密度を有し易い。

[0019] 永久磁石10は、希土類元素Rとして、Sc(スカンジウム)、La(ランタン)、Pr(プラセオジウム)、Sm(サマリウム)、Eu(ユウロピウム)、Gd(ガドリニウム)、Ho(ホルミウム)、Dy(ジスプロシウム)及びTb(テルビウム)からなる群より選ばれる少なくとも一種を更に含んでよい。原材料費を抑制するために、Ho、Dy及びTbの含有量の合計は、永久磁石10全体に対して1原子%以下であってよい。残留磁束密度及び異方性磁界を増加させるために、Nd、Y及びCeを除く他の希土類元素の含有量の合計は、永久磁石10全体に対して1原子%以下であってよい。永久磁石10に含まれる全希土類元素の数に対するNdの数の割合は、40%以上90%以下であってよい。全希土類元素の数に対するNdの数の割合が40%以上である場合、残留磁束密度及び保磁力が増加し易い。全希土類元素の数に対するNdの数の割合が90%以下である場合、原材料費が低減される効果と、残留磁束密度及び保磁力の減少が抑制されるという上記効果とが得られ易い。

[0020] 永久磁石10におけるBの含有量は、4原子%以上7原子%以下であってよい。Bの含有量が4原子%以上ある場合、永久磁石10が大きい保磁力を有し易い。Bの含有量が7原子%以下ある場合、永久磁石10が大きい残留磁束密度を有し易い。

[0021] 永久磁石10におけるFeの含有量は、70原子%以上85原子%以下であってよい。永久磁石10におけるCoの含有量は、0.0原子%以上4.0原子%以下であってよい。Coは、永久磁石10のキュリー温度を高めたり、粒界相9の耐食性を向上させたりする。永久磁石10は、Al及びCuのうち一方を含んでよい。永久磁石10は、Al及びCuの両方を含んでもよい。永久磁石10におけるAl及びCuの含有量の合計は、0.01原子%以上1.2原子%以下であってよい。Al及びCuの含有量の合計は、0.01原子%以上1.2原子%以下である場合、永久磁石10の保磁力、耐

食性及び温度特性が向上し易い。

[0022] 永久磁石10は、例えば、Ni（ニッケル）、Zr（ジルコニウム）、Ti（チタン）、Bi（ビスマス）、Sn（錫）、Ga（ガリウム）、Nb（ニオブ）、Ta（タンタル）、Si（ケイ素）、V（バナジウム）、Ag（銀）及びGe（ゲルマニウム）からなる群より選ばれる少なくとも一種を更に含んでよい。

[0023] 永久磁石10の分析方法は限定されない。永久磁石10は、走査型電子顕微鏡（SEM）、電子線マイクロアナライザ（EPMA）、エネルギー分散型X線分光器（EDS）、蛍光X線（XRF）分析法、ICP（Inductively Coupled Plasma）発光分析法、不活性ガス融解 - 非分散型赤外線吸収法、酸素気流中燃焼 - 赤外吸収法、又は不活性ガス融解 - 熱伝導度法等によって分析されてよい。

[0024] （永久磁石の製造方法）

目的とする永久磁石10の組成に一致するように、希土類元素R、遷移金属元素T、及びホウ素を含む一種以上の出発原料を秤量する。出発原料は、上記元素の単体（単体金属）、又は上記元素を含む合金であってよい。出発原料は、例えば、純ネオジム、純イットリウム、純セリウム、純鉄、並びに、鉄及びホウ素の合金（ホウ化鉄）であってよい。下記のストリップキャスト法、高周波誘導溶解法、その他の溶解法により、上記の出発原料から原料合金を作製してよい。還元拡散法によって出発原料から原料合金を作製してもよい。原料合金の酸化を抑制するために、ストリップキャスト法等の溶解法を非酸化雰囲気中で実施してよい。非酸化雰囲気は、例えば、真空、又はAr等の不活性ガスであってよい。

[0025] ストリップキャスト法では、上記出発原料を非酸化雰囲気中で溶解して、溶湯（原料合金の融液）を作製する。溶湯を、非酸化雰囲気中で、回転するロールの表面へ出湯（pour）する。溶湯がロールの表面で急冷され、凝固することにより、原料合金の薄板又は薄片（鱗片）が得られる。溶湯の凝固に伴う偏析を抑制するため、溶湯を、水冷銅板の表面へ出湯してもよい。

溶湯の急冷及び凝固によって形成された合金は、結晶粒径が $1 \sim 50 \mu\text{m}$ である均質な組織を有している。急冷及び凝固を経た原料合金は、 $R_2T_{14}M$ 構造を有する主相粒子と、主相粒子以外の粒界相とに、分離している。 Nd は、主相粒子と粒界相とに均一に分散し易い。 Y は主相粒子中に偏在し易い。一方、 Ce は RFe_2 相 ($CeFe_2$) となって粒界相中に分散し易く、粒界相における Ce の含有量は主相粒子における Ce の含有量よりも大きくなり易い。ただし、急冷及び凝固を経た合金においては、未だコア及びシェルはない。

[0026] 以上の方法によって得られた一種類の原料合金を用いて、永久磁石を作製してよい。組成が異なる複数種の原料合金を用いる混合法によって、永久磁石を作製してもよい。例えば、 $R_2T_{14}M$ の結晶粒を主成分として含む第一合金 (R の含有量が小さい合金) と、第一合金よりも R の含有量大きい第二合金と、を用いて永久磁石を作製してもよい。

[0027] 上記の溶解及び急冷によって得られた原料合金を粉砕して、粗粉末を得る。原料合金の粉砕方法は、例えば、水素粉砕であってよい。水素粉砕では、原料合金を水素雰囲気において、原料合金に水素を吸蔵させる。原料合金が水素を吸蔵すると、原料合金の体積が膨張する。また、原料合金に含まれる金属の水素化反応が生じて、原料合金が脆くなる。その結果、原料合金にクラックが生じて、原料合金が粉砕される。粗粉末の粒径は、例えば、 $10 \sim 1000 \mu\text{m}$ であってよい。

[0028] 水素粉砕において原料合金中の希土類元素が水素を吸蔵し易い温度は、希土類元素の種類によって異なる。本実施形態では、原料合金を 300°C 以上 500°C 以下、又は 400°C 以上 500°C 以下で加熱しながら、水素を原料合金に吸蔵させる。 300°C 以上での加熱処理により、 Y が効率よく水素を吸蔵するため、 Y の酸化が抑制される。つまり、 Y が水素化物になることにより、 Y の酸化が抑制される。仮に Y が水素化されずに酸化された場合、後の焼結工程において Y の酸化物は窒素と反応し難いため、 Y の窒化に伴う Y の主相粒子から粒界への移動が妨げられる。その結果、 $[Y]_{\text{CORE}}$ が $[Y]_S$

HELLよりも大きくなり難い。水素の吸蔵によって原料合金が粉碎された後、永久磁石において不純物として残留する水素を好適な値に調整するために、水素放出処理を実施する。水素放出処理は、真空中又はArガスのフロー下で行う。水素放出処理では、原料合金を、所定の温度で加熱しながら所定の時間にわたって真空雰囲気中に保持することにより、一部の水素が原料合金から放出される。水素放出処理の加熱温度は、200℃以上、望ましくは350℃以上であってよい。保持時間は、加熱温度との関係、原料合金の重量、厚さ、及び水素残留量の目標値に応じて適宜調整されてよい。水素放出処理後に原料合金中に残留する水素は、後述する焼結工程において完全に除去されてよい。本実施形態では、所望のコアシェル構造を得るために、水素残留量を上記の水素吸蔵及び水素放出処理によって調整することが必要である。ただし、所望のコアシェル構造を得ることが可能であるならば、上記の水素吸蔵及び水素放出処理を実施しなくてもよい。

- [0029] 粗粉碎工程に続く微粉碎工程では、原料合金の粗粉末から微粉末を得る。微粉碎工程では、ジェットミルを用いて原料合金を粉碎してよい。ジェットミルの場合、原料合金の平均粒径を、2.5 μm以上6 μm以下、望ましくは3以上5 μm以下に調整してよい。
- [0030] 微粉碎工程では、原料合金の湿式粉碎を実施してもよい。湿式粉碎の具体的な手段は、ボールミル、又は湿式アトライタであってよい。湿式粉碎の場合、原料合金の平均粒径を、1.5 μm以上5 μm以下、望ましくは2 μm以上4.5 μm以下に調整してよい。湿式粉碎では、原料合金が分散媒中で粉碎されるため、原料合金が大気中の酸素に直接触れ難く、酸素の含有量が小さい微粉末が得られ易い。
- [0031] 後述される成形工程における微粉末の潤滑性及び配向性を向上するために、脂肪酸、脂肪酸の誘導体、その他の炭化水素を微粉末に添加してよい。微粉末に添加される炭化水素は、例えば、ステアリン酸亜鉛、ステアリン酸カルシウム、ステアリン酸アルミニウム、ステアリン酸アミド、オレイン酸アミド、エチレンビスイソステアリン酸アミド、パラフィン、及びナフタレン

からなる群より選ばれる少なくとも一種であってよい。微粉末における上記炭化水素の含有量は、0.01質量%以上0.3質量%以下であってよい。

[0032] 上記微粉末を金型内へ供給する。金型内の微粉末に磁場を印加しながら、微粉末を金型で加圧することにより、成形体を得る。微粉末に及ぼす圧力は、30MPa以上300MPa)以下であってよい。微粉末に印加される磁場の強さは、960kA/m以上1600kA/m以下であってよい。磁場は静磁場又はパルス磁場であってよい。磁場とパルス磁場を併用してもよい。成形体の相対密度は、40~60%であってよい。

[0033] 成形工程に続く焼結工程では、真空下において少量の窒素ガスを成形体へ供給しながら、成形体を加熱する。焼結工程により、コアシェル構造を有する複数の主相粒子3を備える焼結体(永久磁石10)が得られる。焼結工程において主相粒子3のコアシェル構造が形成されるメカニズムは以下の通りである、と本発明者らは考える。ただし、アシェル構造が形成されるメカニズムは以下に限定されるわけではない。

[0034] 上述の通り、焼結工程前の時点では、Yは各主相粒子中に略均一に分布しており、主相粒子におけるYの含有量は、粒界相におけるYの含有量よりもはるかに小さい。また焼結工程前の時点では、Ceは RFe_2 相($CeFe_2$)となって粒界相中に分散しており、粒界相におけるCeの含有量は、主相粒子におけるCeの含有量よりも大きい。上述の水素の吸蔵によって水素化されたYは、約1000°Cにおいて窒化物になって安定化する。一方、 $CeFe_2$ 相が液相に転移する温度は925°Cである。したがって、窒素ガスを成形体に供給しながら成形体を900°C以上1050°C以下で加熱すると、Ceを含む RFe_2 相の液相への転移と、Yの脱水素及び窒化とが同時に進行する。Yの脱水素及び窒化に伴って、Yは主相($R_2T_{14}M$)から抜け出し、粒界相においてYN(窒化イットリウム)になって安定化する。主相から抜け出したYの代わりに、Ceの一部は粒界相(RFe_2 相)から主相へ入り込んで、主相の一部(例えば、 $Ce_2Fe_{14}B$ 相)を構成する。以上のような主相と粒界相との間のY及びCeの移動によって、シェル7におけるYの含有量

が減少し、シェル7におけるCeの含有量が増加する。つまり、主相と粒界相との間でのY及びCeの移動の結果、 $[Y]_{CORE}$ が $[Y]_{SHELL}$ よりも大きくなり、 $[Ce]_{SHELL}$ が $[Ce]_{CORE}$ よりも大きくなる。窒素ガスの成形体への供給を停止した後、高真空下で成形体を900℃以上1100℃以下で加熱して追加的に焼結させる。追加的な焼結によって、焼結体が更に緻密になり、焼結工程が完了する。窒素ガスの供給を伴う焼結時間、及び追加的な焼結時間は、目的とする永久磁石10の組成、原料合金の粉碎方法、原料合金の平均粒径及び粒度分布、並びに、目的とするY及びCeの相互拡散量に応じて、適宜調整されてよい。窒素ガスの供給を伴う焼結時間は、0.5時間以上4時間以下であってよい。窒素ガスの供給を伴う焼結時間が30分未満である場合、主相粒子と粒界相の間でのY及びCeの相互拡散が不十分となり、所望のコアシェル構造が得られない。窒素ガスの供給を伴う焼結時間が4時間よりも長い場合、主相粒子と粒界相の間でのY及びCeの相互拡散が進行し過ぎる。その結果、Ceがシェル7のみならずコア5へ拡散して、主相粒子3全域においてCeの含有量が大きくなり、 $[Ce]_{SHELL}$ が $[Ce]_{CORE}$ よりも大きくなり難い。追加的な焼結時間は、3時間以上12時間以下であってよい。追加的な焼結時間が3時間未満である場合、緻密な焼結体が得られ難く、永久磁石の残留磁束密度が小さくなり易い。追加的な焼結時間が12時間よりも長い場合、成形体内で粒成長が過度に進行して、永久磁石の保磁力が小さくなり易い。

[0035] 焼結工程に続いて、焼結体に時効処理を施してよい。永久磁石の保磁力が時効処理によって増加する。時効処理を二段階に分けて実施してよい。時効処理では、例えば、焼結体を800℃近傍で加熱した後、焼結体を600℃近傍で所定の時間加熱してよい。原料合金を混合法によって調製した場合、800℃近傍での時効処理によって焼結体の保磁力が増加し易い。時効処理を一段階で行なう場合、600℃近傍での時効処理によって焼結体の保磁力が増加し易い。

[0036] (回転機)

本実施形態に係る回転機は、永久磁石として、上記の永久磁石10aを備える。回転機の内部構造の一例は、図3に示される。本実施形態に係る回転機200は、永久磁石同期回転機（SPM回転機）である。回転機200は、円筒状のロータ50と、ロータ50の内側に配置されるステータ30と、を備えている。ロータ50は、円筒状のコア52と、コア52の内周面に沿って配置された複数の永久磁石10aと、を有している。複数の永久磁石10aは、コア52の内周面に沿ってN極とS極が交互に並ぶように配置されている。ステータ30は、その外周面に沿って設けられた複数のコイル32を有している。コイル32と永久磁石10aとは互いに対面するように配置されている。

[0037] 回転機200は、電動機（モータ）であってよい。電動機は、コイル32への通電によって生成する電磁石による界磁と、永久磁石10aによる界磁と、の相互作用により、電気エネルギーを機械的エネルギーに変換する。回転機200は、発電機（ジェネレータ）であってよい。発電機は、永久磁石10aによる界磁とコイル32との相互作用（電磁誘導）により、機械的エネルギーを電気的エネルギーに変換する。

[0038] 電動機（モータ）として機能する回転機200は、例えば、永久磁石直流モータ、リニア同期モータ、永久磁石同期モータ（SPMモータ、IPMモータ）、又は往復動モータであってよい。往復動モータとして機能するモータは、例えば、ボイスコイルモータ、又は振動モータであってよい。発電機（ジェネレータ）として機能する回転機200は、例えば、永久磁石同期発電機、永久磁石整流子発電機、又は永久磁石交流発電機であってよい。回転機200は、自動車、産業機械、又は家庭用電化製品等に用いられてよい。

[0039] 以上、本発明の好適な実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。例えば、粒界拡散法を用いて、永久磁石に対する追加工を行ってもよい。本発明に係る永久磁石は、熱間加工法、成膜法、又は放電プラズマ焼結（Spark Plasma Sintering）法等によって製造されてもよい。

実施例

[0040] 以下では実施例及び比較例により本発明をさらに詳細に説明するが、本発明はこれらの例によって何ら限定されるものではない。

[0041] (実施例1)

[永久磁石の作製]

出発原料として、純ネオジム、純イットリウム、純セリウム、純鉄、鉄及びホウ素の合金、純アルミニウム、純銅及び純コバルトを準備した。永久磁石の組成が下記表1に示される組成に一致するように、各出発原料を秤量して、これ等を混合した。下記表1において各元素記号の後に記載されている数値は、永久磁石における各元素の含有量（単位：原子%）である。

[0042] 上述のストリップキャスト法により、上記出発原料の混合物から、原料合金の薄板を作製した。原料合金の薄板を、1気圧の水素雰囲気下において、400℃で3時間加熱することにより、水素を原料合金に吸蔵させて、原料合金を粉碎した。続く水素放出処理では、粉碎された原料合金を真空下において300℃で30分加熱した。水素放出処理によって得られた合金粉末にオレイン酸アミド（潤滑剤）を添加した。続いて、高圧の窒素ガス中において合金粉末をジェットミルで粉碎することにより、合金の微粉末を得た。

[0043] 成形工程では、合金の微粉末を金型内へ供給した。そして、金型内の微粉末に静磁場を印加しながら、微粉末を金型で加圧することにより、成形体を得た。微粉末に及ぼした圧力は、40MPaであった。微粉末に印加された静磁場の強さは、15kOe（約1194kA/m）であった。磁場方向は加圧方向と垂直であった。成形体の寸法は、20mm×18mm×13mmであった。

[0044] 成形工程に続く焼結工程では、真空下において窒素ガスを成形体へ供給しながら、成形体を1000℃で1時間加熱した。窒素ガスの流量（N₂流量）は、下記表1に示される値であった。窒素ガスの供給を停止した後、真空下で成形体を1000℃で3時間加熱して、成形体を追加的に焼結させた。

[0045] 成形工程において得られた焼結体に対して時効処理を施した。時効処理で

は、焼結体を850℃で1時間加熱した後、焼結体を530℃で1時間加熱した。

[0046] 以上の製造方法により、実施例1の永久磁石を得た。

[0047] [永久磁石の分析]

永久磁石をエポキシ系樹脂に埋設して、エポキシ系樹脂を硬化することにより、分析用の試料を作製した。試料を切断して、試料（樹脂内に埋設された永久磁石）の断面を、研磨紙、バフ及びダイヤモンド砥粒を用いて研磨した。試料の腐食を防止するために、水を研磨に用いなかった。

[0048] 研磨された試料の断面を、走査型電子顕微鏡及び電子線マイクロアナライザで分析した。分析の結果は、以下の通りであった。

[0049] 永久磁石全体の平均的組成は、下記表1に示される組成と一致することが確認された。SEMによって得られた試料の断面の反射電子像と、EPMAによって得られた元素分布像とから、永久磁石は、コア5と、コア5を覆うシェル7と、を有する無数の主相粒子3と、主相粒子3の間に位置する粒相9と、を含むことが確認された。各主相粒子3は、少なくともNd、Y、Ce、Fe、Co及びBを含むことが確認された。SEMで撮影された実施例1の永久磁石の断面は、図4に示される。コアシェル構造を有する30個の主相粒子3を無作為に選んで、各主相粒子3のコア5及びシェル7それぞれの組成を分析した。以下に記載された各元素の含有量は、30個の主相粒子3において測定された含有量の平均値である。

[0050] コア5におけるYの含有量（ $[Y]_{CORE}$ ）は、下記表2に示される。シェル7におけるYの含有量（ $[Y]_{SHELL}$ ）は、下記表2に示される。コア5におけるCeの含有量（ $[Ce]_{CORE}$ ）は、下記表2に示される。シェル7におけるCeの含有量（ $[Ce]_{SHELL}$ ）は、下記表2に示される。 $[Y]_{CORE} / [Y]_{SHELL}$ は、下記表2に示される。なお、表2に記載の $[Y]_c / [Y]_s$ は、 $[Y]_{CORE} / [Y]_{SHELL}$ を意味する。 $[Ce]_{SHELL} / [Ce]_{CORE}$ は、下記表2に示される。表2に記載の $[Ce]_s / [Ce]_c$ は、 $[Ce]_{SHELL} / [Ce]_{CORE}$ を意味する。

[0051] $[Y]_{\text{CORE}} / [Y]_{\text{SHELL}}$ は 1 より大きかった。つまり、 $[Y]_{\text{CORE}}$ は $[Y]_{\text{SHELL}}$ よりも大きかった。実 $[Ce]_{\text{SHELL}} / [Ce]_{\text{CORE}}$ は 1 より大きかった。つまり、 $[Ce]_{\text{SHELL}}$ は $[Ce]_{\text{CORE}}$ よりも大きかった。

[0052] 不活性ガス融解－熱伝導度法により、永久磁石における N の含有量を測定した。永久磁石における N の含有量 ($[N]$) は、下記表 2 に示される。

[0053] 実施例 1 の永久磁石の残留磁束密度 B_r 及び保磁力 $H_c J$ を、BH トレーサーによって測定した。実施例 1 の残留磁束密度 B_r 及び保磁力 $H_c J$ は、下記表 2 に示される。残留磁束密度 B_r は、1.200 T 以上であることが好ましい。保磁力 $H_c J$ は、950 kA/m 以上であることが好ましい。

[0054] (実施例 2～4)

実施例 2～4 それぞれの永久磁石の作製では、永久磁石の組成が下記表 1 に示される組成に一致するように、各出発原料を秤量した。実施例 2～4 それぞれの焼結工程では、窒素ガスの流量 (N_2 流量) を、下記表 1 に示される値に調整した。これらの事項を除いて実施例 1 と同様の方法で、実施例 2～4 それぞれの永久磁石を作製した。

[0055] 実施例 1 と同様の方法で、実施例 2～4 それぞれの永久磁石を分析した。実施例 2 及び 3 それぞれの永久磁石の分析結果は、下記表 2 に示される。実施例 2～4 のいずれにおいても、 $[Y]_{\text{CORE}} / [Y]_{\text{SHELL}}$ が 1 より大きかった。つまり、実施例 2～4 のいずれにおいても、 $[Y]_{\text{CORE}}$ が $[Y]_{\text{SHELL}}$ よりも大きかった。実施例 2～4 のいずれにおいても、 $[Ce]_{\text{SHELL}} / [Ce]_{\text{CORE}}$ が 1 より大きかった。つまり、実施例 2～4 のいずれにおいても、 $[Ce]_{\text{SHELL}}$ が $[Ce]_{\text{CORE}}$ よりも大きかった。

[0056] (比較例 1～3)

比較例 1～3 それぞれの永久磁石の作製では、永久磁石の組成が下記表 1 に示される組成に一致するように、各出発原料を秤量した。比較例 1～3 それぞれの焼結工程では、窒素ガスを成形体へ供給しなかった。これらの事項を除いて実施例 1 と同様の方法で、比較例 1～3 それぞれの永久磁石を作製した。

[0057] 実施例 1 と同様の方法で、比較例 1 ～ 3 それぞれの永久磁石を分析した。

比較例 1 ～ 3 それぞれの永久磁石の分析結果は、下記表 2 に示される。

[0058] 比較例 1 の $[Y]_{\text{CORE}} / [Y]_{\text{SHELL}}$ は、1.00 であった。つまり、比較例 1 の永久磁石に含まれる主相粒子は、Y の含有量の差異によって識別されるようなコア及びシェルを備えていなかった。

[0059] 比較例 2 の $[Ce]_{\text{SHELL}} / [Ce]_{\text{CORE}}$ は、1.00 であった。つまり、比較例 1 の永久磁石に含まれる主相粒子は、Ce の含有量の差異によって識別されるようなコア及びシェルを備えていなかった。

[0060] 比較例 3 の $[Y]_{\text{CORE}} / [Y]_{\text{SHELL}}$ は、1.00 であった。比較例 3 の $[Ce]_{\text{SHELL}} / [Ce]_{\text{CORE}}$ も、1.00 であった。つまり、比較例 3 の永久磁石に含まれる主相粒子は、Y 及び Ce それぞれの含有量の差異によって識別されるようなコア及びシェルを備えていなかった。

[0061]

[表1]

表1	全体組成		N ₂ 流量 sccm
	原子%		
比較例1	Nd8.4-Y8.0-B5.2-Al0.3-Cu0.1-Co1.0-Fe.bal		0
比較例2	Nd8.4-Ce8.0-B5.2-Al0.3-Cu0.1-Co1.0-Fe.bal		0
比較例3	Nd8.4-Y3.7-Ce4.3-B5.2-Al0.3-Cu0.1-Co1.0-Fe.bal		0
実施例1	Nd8.4-Y3.7-Ce4.3-B5.2-Al0.3-Cu0.1-Co1.0-Fe.bal		0.2
実施例2	Nd8.4-Y3.7-Ce4.3-B5.2-Al0.3-Cu0.1-Co1.0-Fe.bal		0.5
実施例3	Nd8.4-Y3.7-Ce4.3-B5.2-Al0.3-Cu0.1-Co1.0-Fe.bal		1
実施例4	Nd8.4-Y3.7-Ce4.3-B5.2-Al0.3-Cu0.1-Co1.0-Fe.bal		3

[0062]

[表2]

表2	[Y] _{CORE}	[Y] _{SHELL}	[Ce] _{CORE}	[Ce] _{SHELL}	[Y] _c /[Y] _s	[Ce] _s /[Ce] _c	[N]	Br	HcJ
	原子%	原子%	原子%	原子%	-	-	質量ppm	T	kA/m
比較例1	7.78	7.78	-	-	1.00	-	850	1.290	847
比較例2	-	-	5.8	5.8	-	1.00	770	1.182	941
比較例3	3.59	3.59	2.37	2.37	1.00	1.00	800	1.255	915
実施例1	3.59	3.42	2.37	2.46	1.05	1.04	920	1.255	956
実施例2	3.59	3.19	2.37	2.65	1.13	1.12	1050	1.254	988
実施例3	3.59	2.95	2.37	2.84	1.22	1.20	1280	1.254	1008
実施例4	3.59	2.69	2.37	3.08	1.33	1.30	2100	1.244	1018

[0063] 実施例 1～4 及び比較例 1～3 は、Nd の含有量において共通していた。全実施例の残留磁束密度 B_r は 1.200 T 以上であり、且つ全実施例の保磁力 H_{cJ} は 950 kA/m 以上であった。一方、 B_r が 1.200 T 以上であり、且つ保磁力 H_{cJ} が 950 kA/m 以上である比較例はなかった。

産業上の利用可能性

[0064] 本発明に係る永久磁石は、例えば、自動車用の回転機に用いられる。

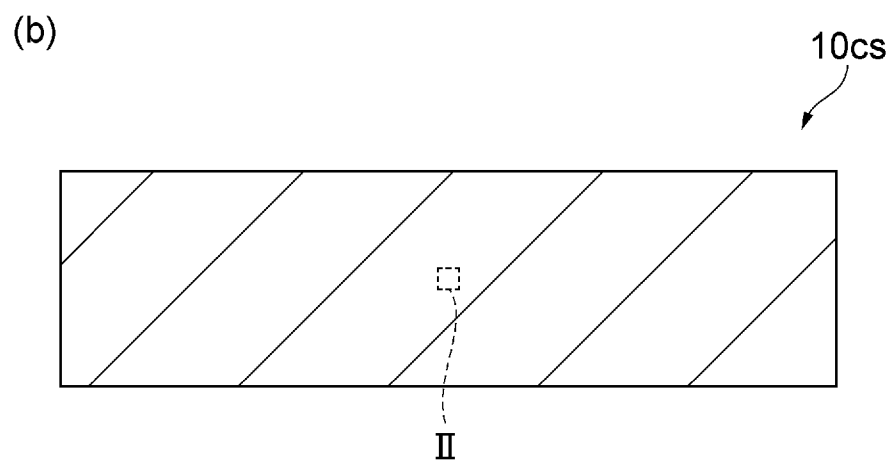
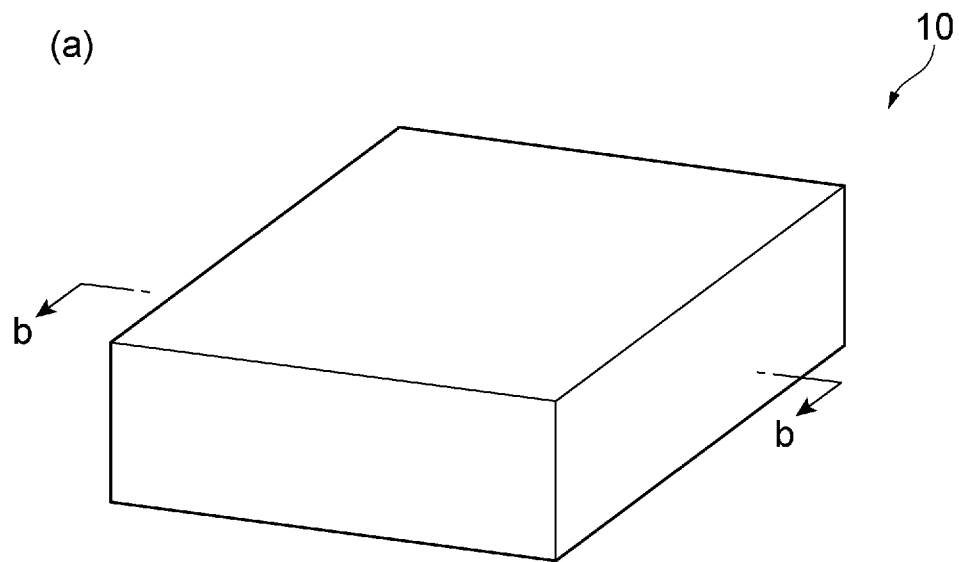
符号の説明

[0065] 3…主相粒子、5…コア、7…シェル、9…粒界相、11…コア及びシェルを備えない磁性粒子、10, 10a…永久磁石、10cs…永久磁石の断面、30…ステータ、32…コイル、52…コア、200…回転機。

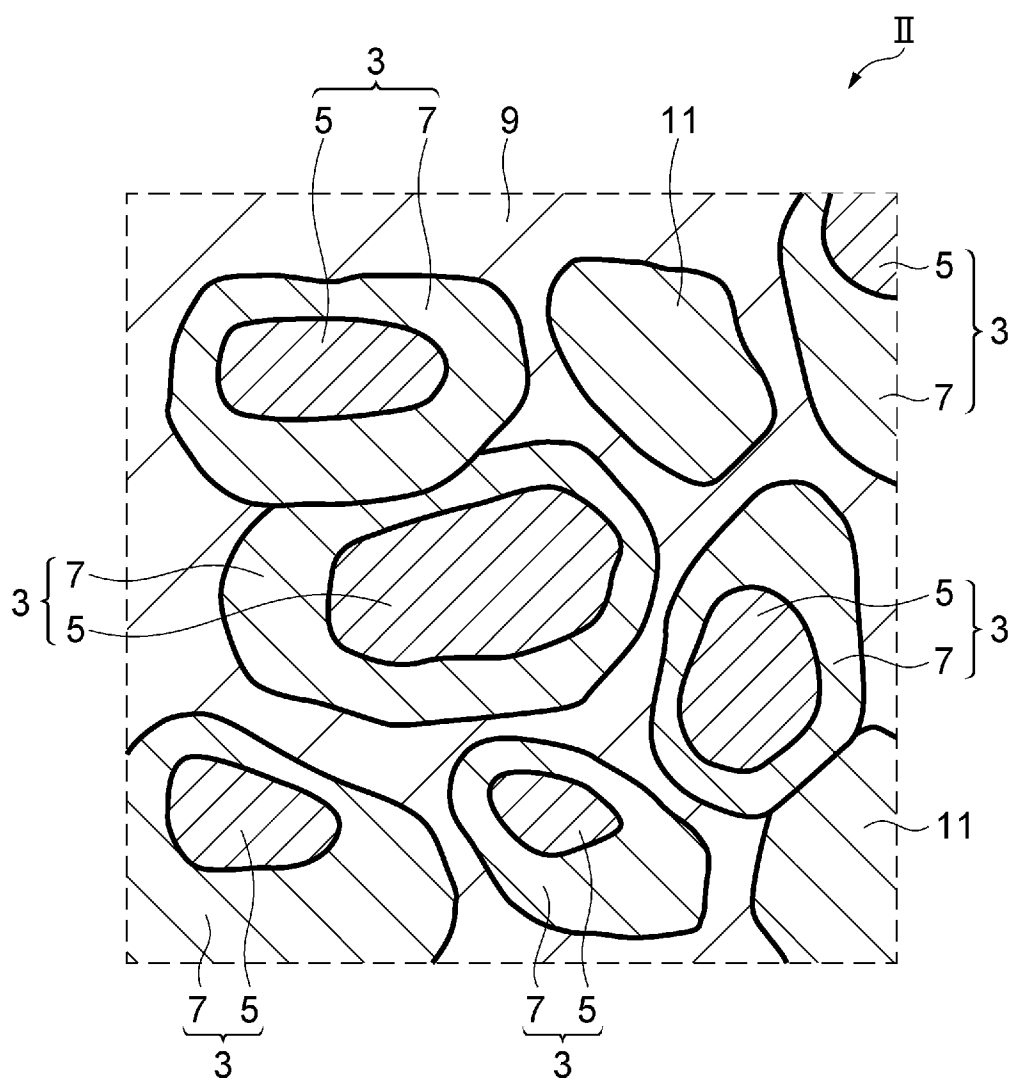
請求の範囲

- [請求項1] 希土類元素R、遷移金属元素T、及びホウ素を含む主相粒子を備え、
- 前記希土類元素Rは、少なくともNd、Y及びCeを含み、
- 前記遷移金属元素Tは、少なくともFeを含み、
- 前記主相粒子が、コアと、前記コアを覆うシェルと、を有し、
- 前記コアにおけるYの含有量が $[Y]_{CORE}$ 原子%であり、
- 前記シェルにおけるYの含有量が $[Y]_{SHELL}$ 原子%であり、
- 前記コアにおけるCeの含有量が $[Ce]_{CORE}$ 原子%であり、
- 前記シェルにおけるCeの含有量が $[Ce]_{SHELL}$ 原子%であり、
- $[Y]_{CORE}$ が $[Y]_{SHELL}$ よりも大きく、
- $[Ce]_{SHELL}$ が $[Ce]_{CORE}$ よりも大きい、
- 永久磁石。
- [請求項2] $[Y]_{CORE} / [Y]_{SHELL}$ が1.05以上1.22以下であり、
- $[Ce]_{SHELL} / [Ce]_{CORE}$ が1.04以上1.20以下である、
- 請求項1に記載の永久磁石。
- [請求項3] 請求項1又は2に記載の永久磁石を備える、
- 回転機。

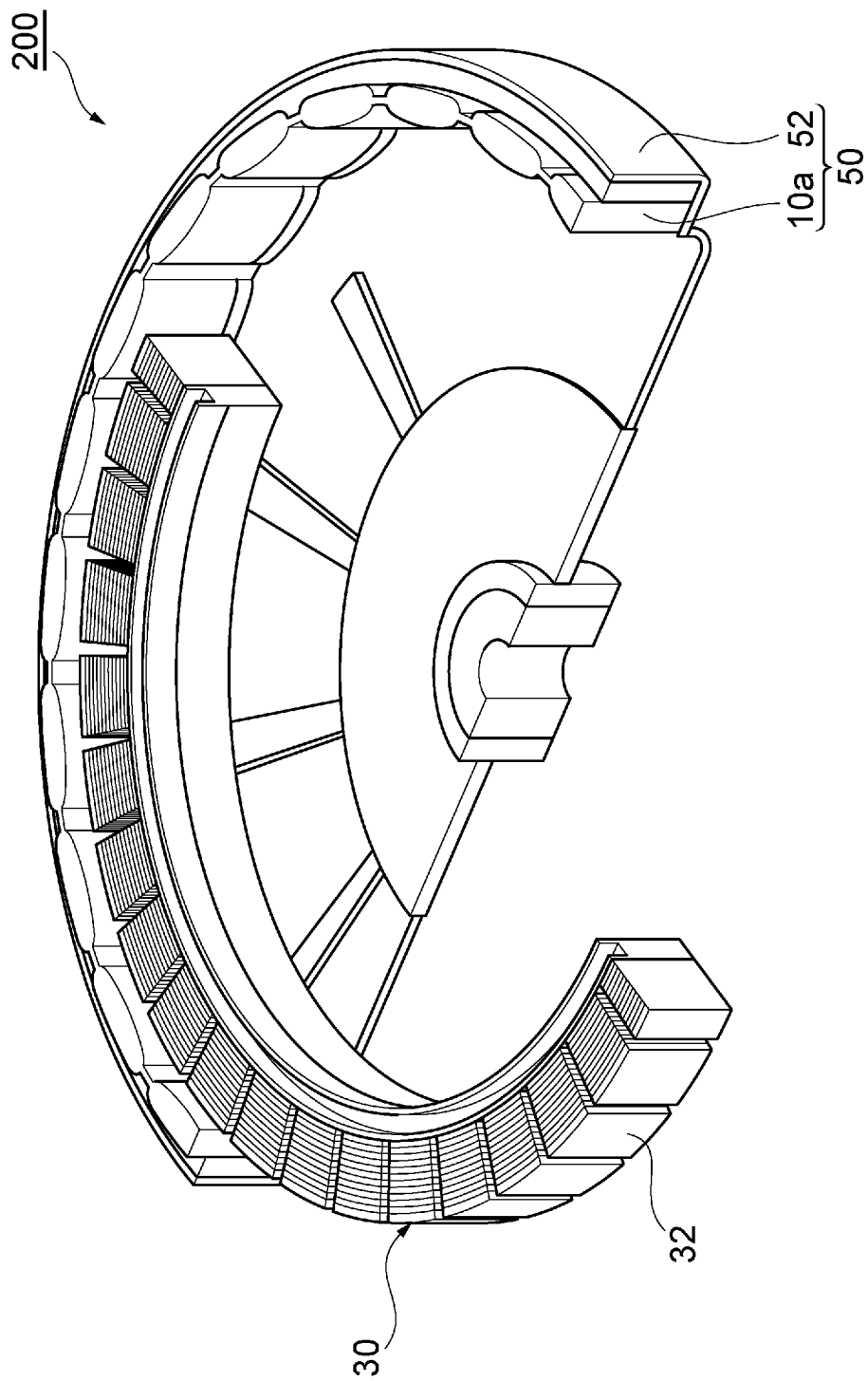
[図1]



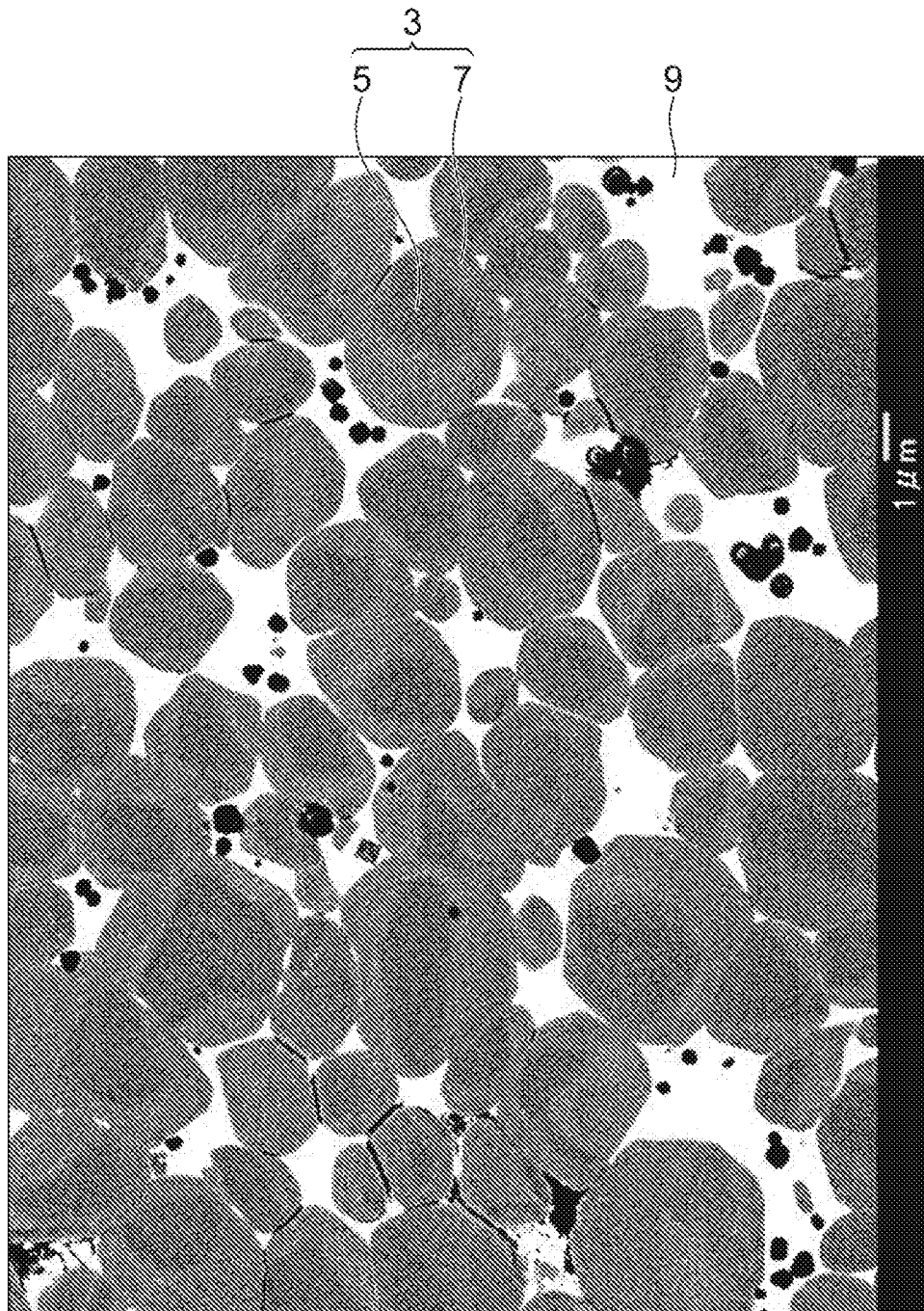
[図2]



[図3]



[図4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/012976

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 Int.Cl. H01F1/057 (2006.01) i, B22F3/00 (2006.01) i, C22C33/02 (2006.01) i,
 C22C38/00 (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)
 Int.Cl. H01F1/057, B22F3/00, C22C33/02, C22C38/00

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

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 A	JP 5464289 B1 (TDK CORPORATION) 09 April 2014, paragraphs [0007]-[0009], [0019], [0026], [0030]-[0038] & US 2014/0311287 A1, paragraphs [0008]-[0010], [0021], [0028], [0032]-[0042] & JP 2014-216338 A & DE 102014105551 A & CN 104112555 A	1, 3 2
Y A	JP 5686214 B1 (TDK CORPORATION) 18 March 2015, paragraphs [0013], [0029], [0038]-[0044] & US 2015/0279526 A1, paragraphs [0012], [0029], [0037]-[0046] & JP 2015-192043 A & DE 102015104639 A & CN 104952575 A	1, 3 2

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"I" 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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 05 June 2018 (05.06.2018)	Date of mailing of the international search report 19 June 2018 (19.06.2018)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01F1/057(2006.01)i, B22F3/00(2006.01)i, C22C33/02(2006.01)i, C22C38/00(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 (IPC))

Int.Cl. H01F1/057, B22F3/00, C22C33/02, C22C38/00

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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 A	JP 5464289 B1 (TDK株式会社) 2014.04.09, 段落0007-0009, 0019, 0026, 0030-0038 & US 2014/0311287 A1, 段落0008-0010, 0021, 0028, 0032-0042 & JP 2014-216338 A & DE 102014105551 A & CN 104112555 A	1, 3 2
Y A	JP 5686214 B1 (TDK株式会社) 2015.03.18, 段落0013, 0029, 0038-0044 & US 2015/0279526 A1, 段落0012, 0029, 0037-0	1, 3 2

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

05.06.2018

国際調査報告の発送日

19.06.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/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

5D

4175

電話番号 03-3581-1101 内線 3551

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
	0 4 6 & JP 2015-192043 A & DE 102015104639 A & CN 104952575 A	