

(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
2024年7月4日(04.07.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/142174 A1

(51) 国際特許分類:

H01F 41/02 (2006.01) H01F 1/059 (2006.01)
H01F 1/055 (2006.01) H01F 1/08 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2022/048013

(22) 国際出願日: 2022年12月26日(26.12.2022)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 株式会社 レゾナック (RESONAC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1057325 東京都港区東新橋一丁目9番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 平良 有紗 (TAIRA Arisa); 〒1006606 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 昭和電工マテリアルズ株式会社内 Tokyo (JP). 竹

内 一雅 (TAKEUCHI Kazumasa); 〒1006606 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 昭和電工マテリアルズ株式会社内 Tokyo (JP). 伊藤 輝雄 (ITO Teruo); 〒1006606 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 昭和電工マテリアルズ株式会社内 Tokyo (JP).

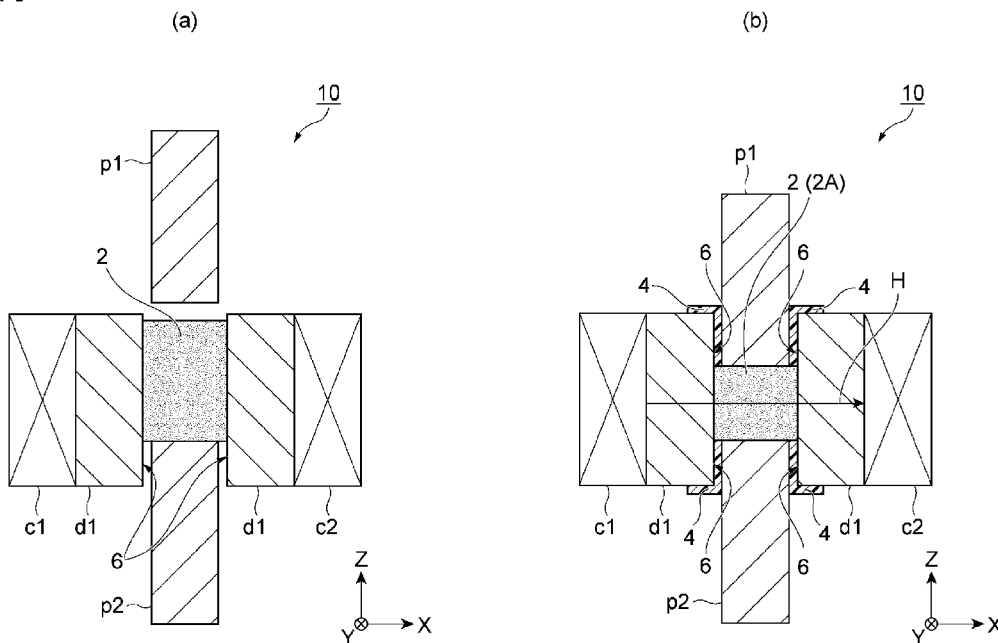
(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外 (HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 9階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

(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,

(54) Title: MANUFACTURING METHOD FOR MAGNETIC MOLDED BODY AND MANUFACTURING METHOD FOR ANISOTROPIC BOND MAGNET

(54) 発明の名称: 磁性成形体の製造方法、及び異方性ボンド磁石の製造方法

[図1]



(57) Abstract: This manufacturing method for a magnetic molded body comprises: a supply step for supplying, into a mold, a compound containing magnet powder, a thermosetting resin, and wax; a molding step for compressing the compound in the mold while applying a magnetic field to the compound in the mold heated at a molding temperature T_m , and thereby forming a molded body from the compound and removing the wax from the molded body; a demagnetizing step for demagnetizing the molded body after the molding step; and a thermosetting step for heating, after the demagne-

CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))

tizing step, the molded body at a temperature equal to or higher than the thermosetting temperature of the thermosetting resin to obtain a magnetic molded body. The magnet powder includes a Sm-Fe-N-based permanent magnet. The molding temperature T_m is equal to or higher than the dropping point of the wax and lower than the thermosetting temperature of the thermosetting resin.

(57) 要約: 磁性成形体の製造方法は、磁石粉末と熱硬化性樹脂とワックスとを含むコンパウンドを、型内に供給する供給工程と、成型温度 T_m で加熱された型内のコンパウンドへ磁場を印加しながら、型内のコンパウンドを圧縮することにより、コンパウンドから成形体を形成し、且つ成形体からワックスを除去する成型工程と、成型工程後、成形体を脱磁する脱磁工程と、脱磁工程後、熱硬化性樹脂の熱硬化温度以上である温度で成形体を加熱することにより、磁性成形体を得る熱硬化工程と、を含む。磁石粉末は、Sm-Fe-N系永久磁石を含む。成型温度 T_m は、ワックスの滴点以上であり、且つ熱硬化性樹脂の熱硬化温度未満である。

明 細 書

発明の名称：

磁性成形体の製造方法、及び異方性ボンド磁石の製造方法

技術分野

[0001] 本開示は、磁性成形体の製造方法、及び異方性ボンド磁石の製造方法に関する。

背景技術

[0002] $\text{Sm}-\text{Fe}-\text{N}$ 系永久磁石（サマリウム－鉄－窒素系永久磁石）は、 $\text{Nd}-\text{Fe}-\text{B}$ 系永久磁石（ネオジム－鉄－ホウ素系永久磁石）等の他の希土類磁石に比べて安い原料から製造可能であり、優れた磁気特性を有している。しかし、 $\text{Sm}-\text{Fe}-\text{N}$ 系永久磁石の結晶構造は高温（約 500°C ）において劣化し易いので、 $\text{Sm}-\text{Fe}-\text{N}$ 系永久磁石から焼結磁石を製造することは困難である。したがって、 $\text{Sm}-\text{Fe}-\text{N}$ 系永久磁石は、結晶構造が維持される低温での加熱（磁石粉末と混合される熱硬化性樹脂の熱硬化）によって製造可能な異方性ボンド磁石の原料に用いられる。

[0003] 異方性ボンド磁石の原料として、磁石粉末（永久磁石からなる多数の磁石粒子）及び熱硬化性樹脂を含むコンパウンドが用いられる。異方性ボンド磁石の製造では、コンパウンドが型内に供給される。コイルによって発生する磁場を型内のコンパウンドへ印加しながら、コンパウンドを型で圧縮することにより、コンパウンドから成形体が形成される。成形体中の各磁石粒子（各磁石粒子中の磁区）は、磁場に沿って磁化及び配向（*oriented*）される。成形体は脱磁され、脱磁された成形体は加熱により硬化され、硬化された成形体の着磁により、異方性ボンド磁石が得られる。異方性ボンド磁石の重要な磁気特性の1つである残留磁束密度（ B_r ）は、成形体中の磁石粉末の配向、及び成形体中の磁石粉末の充填率の増加によって向上する。

[0004] 上記の製造方法以外にも、 $\text{Sm}-\text{Fe}-\text{N}$ 系永久磁石を用いた様々な製造方法が知られている。例えば下記特許文献1は、金属バイнда（ Zn 及び C

u等)を含むSm-F e-N系磁石粉末の高圧(1~5 G P a)での冷間圧密成形により、高い残留磁束密度を有する磁石成形体を製造する方法を開示している。下記特許文献2は、Sm-F e-N系磁石粉末及び低粘度の熱硬化性樹脂を含むコンパウンドからボンド磁石を製造する方法を開示している。下記特許文献3は、ボンド磁石用の原料として、Sm-F e-N系磁石粉末、エポキシ樹脂、及びワックスを含むコンパウンドを開示している。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2016-82175号公報

特許文献2：特開2021-127515号公報

特許文献3：国際公開第2019/106813号

特許文献4：特開2019-48948号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] Sm-F e-N系永久磁石からなる磁石粉末は、異方性(anisotropy)を有することができる。つまり、Sm-F e-N系永久磁石からなる磁石粉末を構成する各磁石粒子(各磁石粒子中の磁区)は、一つの方に延びる磁化容易軸(結晶軸)を有することができる。したがって、磁石粉末がSm-F e-N系永久磁石からなる場合、磁場が印加されたコンパウンドの圧縮過程において、コンパウンド中の各磁石粒子が磁場によって回転し、各磁石粒子(各磁区)の磁化容易軸が磁場の方向に沿って容易に配向される。その結果、高い残留磁束密度を有する異方性ボンド磁石を得ることができる。しかし、コンパウンド中の熱硬化性樹脂の粘度が高いほど、コンパウンド中の各磁石粒子が磁場によって回転し難く、各磁石粒子(各磁区)の磁化容易軸が磁場の方向に沿って配向され難い。コンパウンド中の熱硬化性樹脂の粘度が高い場合であっても、高い強度を有するパルス磁場を用いることによって、コンパウンド中の各磁石粒子は磁場によって回転する。しかし、パ

ルス磁場の発生のためには、大型の磁場発生装置が必要である。一方、小型の磁場発生装置によって発生する静磁場（連続する一定の磁場）が用いられる場合、コンパウンド中の各磁石粒子の磁化容易軸を磁場に沿って十分に配向させることは困難である。

[0007] コンパウンドが磁石粉末及び熱硬化性樹脂に加えてワックスを含む場合、ワックスの潤滑性に因り、コンパウンド中の各磁石粒子は回転し易い。しかし、ワックスは、熱硬化性樹脂（バインダー）とは異なり、加熱によって硬化せず、磁石粒子同士を結着しない。したがって、コンパウンド中のワックスの含有量の増加に伴って、コンパウンドから形成される成形体の機械的強度が低下し、異方性ボンド磁石の機械的強度も低下する。例えば、機械的強度は、圧壊強度（*crushing strength*）又は圧環強度（*radial crushing strength*）と言い換えられてよい。

[0008] 本発明の一側面の目的は、残留磁束密度及び機械的強度に優れた異方性ボンド磁石の製造に用いる磁性成形体の製造方法、及び残留磁束密度及び機械的強度に優れた異方性ボンド磁石の製造法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0009] 例えば、本発明の一側面は、下記の〔1〕～〔8〕のいずれか一項に記載の磁性成形体の製造方法、及び下記の〔9〕に記載の異方性ボンド磁石の製造方法に関する。

[0010] 〔1〕 磁石粉末と熱硬化性樹脂とワックスとを含むコンパウンドを、型内に供給する供給工程（*supplying step*）と、

成型温度（*molding temperature*） T_m で加熱された型内のコンパウンドへ磁場を印加（*apply*）しながら、型内のコンパウンドを圧縮（*compress*）することにより、コンパウンドから成形体（*compact*）を形成し、且つ成形体からワックスを除去する成型工程（*molding step*）と、

成型工程後、成形体を脱磁する脱磁工程（*demagnetizing*

s t e p) と、

脱磁工程後、熱硬化性樹脂の熱硬化温度以上である温度で成形体を加熱することにより、成形体から磁性成形体 (m a g n e t i c c o m p a c t) を得る熱硬化工程 (t h e r m a l c u r i n g s t e p) と、
を含み、

磁石粉末が、S m - F e - N 系永久磁石 (S m - F e - N b a s e d p e r m a n e n t m a g n e t) を含み、

成型温度 T_m が、ワックスの滴点 (d r o p p i n g p o i n t) 以上であり、且つ熱硬化性樹脂の熱硬化温度未満である、
磁性成形体の製造方法。

[0011] [2] 成型工程が、第一加圧工程と、第一加圧工程に続く第二加圧工程と、
を含み、

第一加圧工程において、成型温度 T_m で加熱された型内のコンパウンドへ作用する圧力が、第一圧力 P_1 に維持され、

第二加圧工程において、成型温度 T_m で加熱された型内のコンパウンドへ作用する圧力が、第二圧力 P_2 に維持され、

第二圧力 P_2 が、第一圧力 P_1 よりも高く、

第二加圧工程において、成形体からワックスが除去される、

[1] に記載の磁性成形体の製造方法。

[0012] [3] 成型工程において、成型温度 T_m で加熱された型内のコンパウンドへ作用する圧力を、第二圧力 P_2 まで連続的に増加させることにより、成形体からワックスが除去される、

[1] に記載の磁性成形体の製造方法。

[0013] [4] 成形体が収容された型を、成型温度 T_m から滴点未満である温度まで冷却する冷却工程を更に含み、

冷却工程が、成型工程に続き、

脱磁工程が、冷却工程後に実施される、

[1] ～ [3] のいずれか一項に記載の磁性成形体の製造方法。

- [0014] [5] クリアランス (clearance) が型に形成されており、
成型温度 T_m でのワックスの粘度が、成型温度 T_m での熱硬化性樹脂の粘度よりも低く、
成型工程では、成形体から除去されたワックスが、クリアランスを通じて、型外へ排出される、
[1] ~ [4] のいずれか一項に記載の磁性成形体の製造方法。
- [0015] [6] 磁石粉末の質量及び熱硬化性樹脂の質量の合計が、 M_1 と表され、
コンパウンド中のワックスの質量が、 M_2 と表され、
 $(M_2 / M_1) \times 100$ が、2 以上 10 以下である、
[1] ~ [5] のいずれか一項に記載の磁性成形体の製造方法。
- [0016] [7] 熱硬化性樹脂が、エポキシ樹脂、マレイミド化合物、ポリイミド、ポリアミド、及びポリアミドイミドからなる群より選ばれる少なくとも一つの樹脂を含む、
[1] ~ [6] のいずれか一項に記載の磁性成形体の製造方法。
- [0017] [8] ワックスが、モンタン酸エステルを含む、
[1] ~ [7] のいずれか一項に記載の磁性成形体の製造方法。
- [0018] [9] [1] ~ [8] のいずれか一項に記載の磁性成形体の製造方法を含み、
磁性成形体を着磁することにより、異方性ボンド磁石を得る着磁工程 (magnetizing step) を更に含む、
異方性ボンド磁石 (anisotropic bond magnet) の製造方法。
- [0019] つまり、本発明の一側面に係る異方性ボンド磁石の製造方法は、
磁石粉末と熱硬化性樹脂とワックスとを含むコンパウンドを、型内に供給する供給工程と、
成型温度 T_m で加熱された型内のコンパウンドへ磁場を印加しながら、型内のコンパウンドを圧縮することにより、コンパウンドから成形体を形成し、且つ成形体からワックスを除去する成型工程と、

成型工程後、成形体を脱磁する脱磁工程と、
脱磁工程後、熱硬化性樹脂の熱硬化温度以上である温度で成形体を加熱することにより、成形体から磁性成形体を得る熱硬化工程と、
磁性成形体を着磁することにより、異方性ボンド磁石を得る着磁工程と、
を含み、
磁石粉末が、 $\text{Sm}-\text{Fe}-\text{N}$ 系永久磁石を含み、
成型温度 T_m が、ワックスの滴点以上であり、且つ熱硬化性樹脂の熱硬化温度未満である。

発明の効果

[0020] 本発明の一側面によれば、残留磁束密度及び機械的強度に優れた異方性ボンド磁石の製造に用いる磁性成形体の製造方法、及び残留磁束密度及び機械的強度に優れた異方性ボンド磁石の製造法が提供される。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]図1中の(a)及び図1中の(b)は、本発明の一実施形態に係る磁性成形体の製造方法に用いる製造装置の模式的な断面図であり、図1中の(a)及び図1中の(b)に示される断面は、一对のパンチ、ダイ、コンパウンド、及び一对のコイルの全てを横断し、一对のパンチがコンパウンドに及ぼす圧力の方向(加圧方向)に平行である。

[図2]図2は、成型工程における時間の経過に伴う型の温度の推移、及び成型工程における時間の経過に伴う型内のコンパウンドへ作用する圧力其々の推移を示すグラフである。

[図3]図3は、成型工程における時間の経過に伴う型の温度の推移、及び成型工程における時間の経過に伴う型内のコンパウンドへ作用する圧力其々の推移を示す別のグラフである。

[図4]図4は、本発明の一実施形態に係る磁性成形体(又は異方性ボンド磁石)の模式的な断面図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、図面を参照しながら、本発明の好適な実施形態が説明される。図面

において、同等の構成要素には同等の符号が付される。本発明は下記実施形態に限定されるものではない。図1中の(a)、図1中の(b)、及び図4に示されるX、Y及びZは、互いに直交する3つの座標軸を意味する。X軸、Y軸及びZ軸其々の方向は、図1中の(a)、図1中の(b)、及び図4に共通する。

[0023] (製造装置)

図1中の(a)及び図1中の(b)は、本実施形態に係る磁性成形体の製造方法に用いる製造装置10(成型装置)の模式的な断面を示す。

[0024] 製造装置10は、互いに対向する一对のパンチ(第一パンチp1及び第二パンチp2)と、一对のパンチが挿入される筒状のダイd1と、を含む。ダイd1において第一パンチp1と向かい合う端面には、第一開口部が形成されており、第一パンチp1は第一開口部へ挿入される。ダイd1において第二パンチp2と向かい合う端面には、第二開口部が形成されており、第二パンチp2は第二開口部へ挿入される。ダイd1に挿入された第二パンチp2と、ダイd1と、から、キャビティー(凹型)が構成される。第一パンチp1は、コア(凸型)として機能する。つまり、互いに対向する一对のパンチ(第一パンチp1及び第二パンチp2)と、一对のパンチが挿入される筒状のダイd1とが、一組の型を構成する。

[0025] 磁性成形体及び異方性ボンド磁石の原料であるコンパウンド2は、第二パンチp2及びダイd1から構成されるキャビティー内に供給される。(図1中の(a)参照。)キャビティー内のコンパウンド2が、第一パンチp1及び第二パンチp2の間に挟まれ、且つ第一パンチp1及び第二パンチp2によって加圧及び圧縮される。(図1中の(b)参照。)第一パンチp1及び第二パンチp2其々がコンパウンド2に及ぼす圧力の方向(加圧方向)は、Z軸に平行である。本実施形態において「型内のコンパウンドへ作用する圧力」とは、第一パンチp1及び第二パンチp2其々がコンパウンド2に及ぼす圧力である。「型内のコンパウンドへ作用する圧力」は、成型圧力Pと表記される。

[0026] クリアランス 6 が型に形成されている。例えば、クリアランス 6 が、第一パンチ p 1 及び第二パンチ p 2 其々の側面とダイ d 1 の内壁との間に形成されている。クリアランス 6 に因り、第一パンチ p 1 及び第二パンチ p 2 其々の側面がダイ d 1 の内壁と容易に摺動 (S l i d e) する。後述の通り、コンパウンド 2 中のワックス 4 の一部又は全部は、成型工程において、クリアランス 6 を通じて型 (キャビティー) 外へ排出される。クリアランス 6 の幅は十分に小さく、コンパウンド 2 中の磁石粉末及び熱硬化性樹脂は、クリアランス 6 を通じて、型外へ排出されない。例えば、クリアランス 6 の幅は、磁石粉末を構成する各磁石粒子の粒径未満であってよい。型 (キャビティー) の内部がクリアランス 6 を介して型の外と連通 (c o m m u n i c a t e) している限り、型においてクリアランス 6 が形成される位置は限定されない。

[0027] 第一パンチ p 1、第二パンチ p 2、及びダイ d 1 其々の寸法及び形状は、限定されない。例えば、第一パンチ p 1、第二パンチ p 2、及びダイ d 1 其々の寸法及び形状は、磁性成形体又は異方性ボンド磁石の所望の寸法及び形状に応じて変更されてよい。第一パンチ p 1、第二パンチ p 2、及びダイ d 1 其々の組成は限定されない。例えば、第一パンチ p 1、第二パンチ p 2、及びダイ d 1 其々は、型として十分な機械的強度を有する金属であってよい。

[0028] 製造装置 1 0 は、一对のコイル (第一コイル c 1 及び第二コイル c 2) を含む。ダイ d 1 及びダイ d 1 内のコンパウンド 2 は、一对のコイル (第一コイル c 1 及び第二コイル c 2) の間に配置される。第一パンチ p 1、第二パンチ p 2 は、一对のコイル (第一コイル c 1 及び第二コイル c 2) 其々の内側を貫通しない。

[0029] 製造装置 1 0 は給電機構を更に含む。給電機構は、第一コイル c 1 及び第二コイル c 2 其々に電氣的に接続されている。給電機構より、第一コイル c 1 中に生じる第一電流の向き及び絶対値、第二コイル c 2 中に生じる第二電流の向き及び絶対値其々が自在に制御される。給電機構は、各図において省

略されている。

[0030] 第一コイル c 1 において発生する磁場と、第二コイル c 2 において発生する磁場と、から磁場 H が合成され、合成された磁場 H がダイ d 1 内のコンパウンド 2 へ印加されてよい。第一コイル c 1 及び第二コイル c 2 のうち一つのコイルのみによって発生した磁場 H が、ダイ d 1 内のコンパウンド 2 へ印加されてもよい。磁場 H の詳細は後述される。

[0031] 第一コイル c 1 及び第二コイル c 2 其々の中心軸線は互いに一致し、X 軸に平行である。第一コイル c 1 及び第二コイル c 2 によって発生する磁場 H も、X 軸に平行である。磁場 H の方向は、加圧方向に垂直である。つまり、加圧方向に対して垂直な磁場 H が、コンパウンドに印加される。ただし、磁場 H の方向は限定されない。第一コイル c 1 及び第二コイル c 2 其々の配置の変更により、磁場 H の方向が変更されてよい。例えば、第一パンチ p 1 が第一コイル c 1 の内側を貫通してよく、且つ第二パンチ p 2 が第二コイル c 2 の内側を貫通してよく、且つダイ d 1 が、第一コイル c 1 及び第二コイル c 2 の間に配置されてよく、且つ第一コイル c 1 及び第二コイル c 2 其々の中心軸線が互いに一致してよく、且つ第一コイル c 1 及び第二コイル c 2 其々の中心軸線が加圧方向に平行であってよい。その結果、加圧方向に対して平行な磁場 H が、コンパウンド 2 に印加されてよい。

[0032] 第一コイル c 1 及び第二コイル c 2 其々が導電体である限り、第一コイル c 1 及び第二コイル c 2 其々の組成は限定されない。第一コイル c 1 及び第二コイル c 2 其々は、空芯コイルであってよい。第一コイル c 1 及び第二コイル c 2 其々の内部に鉄心（ヨーク）が設置されていてもよい。第一コイル c 1 及び第二コイル c 2 其々の内径及び巻き数（ターン数）は限定されない。第一コイル c 1 及び第二コイル c 2 其々の内径は互いに同じであってよい。第一コイル c 1 及び第二コイル c 2 其々の内径は互いに異なってもよい。第一コイル c 1 及び第二コイル c 2 其々の巻き数は互いに同じであってよい。第一コイル c 1 及び第二コイル c 2 其々の巻き数は互いに異なってもよい。

[0033] (磁性成形体の製造方法、及び異方性ボンド磁石の製造方法)

本実施形態に係る磁性成形体の製造方法は、供給工程、成型工程、(冷却工程、)脱磁工程、及び熱硬化工程を含む。本実施形態に係る異方性ボンド磁石の製造方法は、磁性成形体の製造方法を包含し、更に熱硬化工程に実施される着磁工程を含む。つまり、本実施形態に係る異方性ボンド磁石の製造方法は、供給工程、成型工程、(冷却工程、)脱磁工程、熱硬化工程に加えて更に着磁工程を含む。以下では、各工程の詳細が説明される。

[0034] 「磁性成形体」とは、磁石粉末、及び熱硬化性樹脂の硬化物を含み、磁石粉末を構成する各磁石粒子(各磁石粒子中の各磁区)中の磁化容易軸が、所望の方向(成型工程における磁場の方向)に沿って配向(*oriented*)されている成形体である。「異方性ボンド磁石」とは、磁石粉末、及び熱硬化性樹脂の硬化物を含み、磁石粉末を構成する各磁石粒子(各磁石粒子中の各磁区)中の磁化容易軸(*easy magnetization axis*)が、所望の方向(成型工程における磁場の方向)に沿って配向されており、各磁石粒子が所望の方向に磁化されており、磁石の全体が所望の方向に磁化されている磁石である。

[0035] <供給工程>

供給工程では、磁石粉末と熱硬化性樹脂とワックスとを含むコンパウンド2が、上記の型(キャビティー)内へ供給される。(図1中の(a)参照。)

磁石粉末は、永久磁石からなる多数の磁石粒子と言い換えられる。磁石粉末は、 $\text{Sm}-\text{Fe}-\text{N}$ 系永久磁石を含む。磁石粉末は、 $\text{Sm}-\text{Fe}-\text{N}$ 系永久磁石のみからなっていてよい。磁石粉末の詳細は後述される。型内へ供給されるコンパウンド自体の温度は室温であってよい。コンパウンド2は室温において固体であってよい。例えば、コンパウンド2は粉末であってよい。コンパウンド2の代わりに、コンパウンド2からなるタブレット(錠剤)が型内へ供給されてもよい。

[0036] <成型工程>

成型工程では、成型温度 T_m で加熱された型内のコンパウンド2へ磁場 H

を印加しながら、型内のコンパウンド 2 が圧縮される。（図 1 中の（b）参照。）成型温度 T_m は、ワックスの滴点以上であるので、コンパウンド 2 中のワックスは液化される。液化されたワックスの潤滑性に因り、磁石粒子同士が互いに滑り易く、磁場 H によって磁化された各磁石粒子が回転し易く、各磁石粒子中の磁区の磁化容易軸が磁場 H に沿って配向する。換言すれば、各磁石粒子 3 の磁化方向 m が磁場 H と略平行になるように各磁石粒子 3 が配向される。（図 4 参照。）各磁石粒子 3 が単結晶粒（単磁区）である場合、各磁石粒子 3 の磁化方向 m は、各磁石粒子の磁化容易軸が延びる方向と同じである。成型温度 T_m は、熱硬化性樹脂 5 の熱硬化温度未満であるので、成型工程中に熱硬化性樹脂の熱硬化が抑制され、磁場 H に駆動される各磁石粒子 3 の回転及び配向が、熱硬化性樹脂 5 の熱硬化によって阻害され難い。コンパウンド 2 の圧縮に伴って、磁場 H に沿って配向された磁石粉末及び熱硬化性樹脂（未硬化物）を含む成形体 2 A が形成される。脱磁される前の成形体 2 A 全体の磁化方向 M は、成型工程においてコンパウンド 2 へ印加される磁場 H の方向と略平行になる。

[0037] 上述の通り、成型工程中のワックスの潤滑性に因り、磁石粉末の配向性に優れた成形体 2 A が得られる。磁石粉末が配向された状態は、成形体 2 A の脱磁及び熱硬化によって得られる磁性成形体においても維持される。したがって、磁性成形体の着磁によって得られる異方性ボンド磁石は、磁石粉末の優れた配向性に起因する高い残留磁束密度を有することができる。さらに、成型工程におけるコンパウンド 2 の圧縮（つまり、成形体 2 A における磁石粉末の充填率の増加）に因り、異方性ボンド磁石の残留磁束密度が増加する。

[0038] 本実施形態によれば、熱硬化性樹脂の粘度が高く、熱硬化性樹脂が磁石粒子の回転及び配向を阻害する場合であっても、液化されたワックスの潤滑性に因り、各磁石粒子が回転及び配向することができる。したがって本実施形態によれば、従来は異方性ボンド磁石の原料に用い難かった熱硬化性樹脂（例えば、粘度が高い耐熱性の熱硬化性樹脂）を用いて異方性ボンド磁石を製

造することができる。例えば、耐熱性の熱硬化性樹脂は、エポキシ樹脂、マレイミド化合物、ポリイミド、ポリアミド、及びポリアミドイミドからなる群より選ばれる少なくとも一つの樹脂であってよい。熱硬化性樹脂の詳細は後述される。

[0039] 上述の通り、ワックスに因り、異方性ボンド磁石の残留磁束密度が増加する。しかし、ワックスは、熱硬化性樹脂（バインダー）とは異なり、硬化せず、磁石粒子同士を結着しない。したがって、成形体 2 A 中に残存するワックスに因り、成形体 2 A の機械的強度が低下する。コンパウンド 2 に由来するワックスが、成形体 2 A から得られる磁性成形体中に残存することに因り、磁性成形体の機械的強度も低下する。コンパウンド 2 に由来するワックスが、磁性成形体から得られる異方性ボンド磁石中に残存することに因り、異方性ボンド磁石の機械的強度も低下する。しかし、成型工程では、ワックスの滴点以上である成型温度 T_m で型を加熱しながら、コンパウンド 2 が圧縮される。その結果、成形体 2 A の形成過程（コンパウンド 2 の圧縮過程）において、成形体 2 A 中の液化されたワックスの一部又は全部が成形体 2 A から染み出して、ワックスが成形体 2 A から除去される。したがって、本実施形態によれば、異方性ボンド磁石の残留磁束密度の増加に寄与するワックスに起因する異方性ボンド磁石の機械的強度の低下を抑制することができる。つまり、本実施形態によれば、高い残留磁束密度と高い機械的強度とを両立することができる。

[0040] 成型工程において、成形体 2 A から除去されたワックス 4 は、型に形成されたクリアランス 6 を通じて、型外へ排出される。（図 1 中の（b）参照。）成型温度 T_m は、ワックスの滴点以上であり、熱硬化性樹脂の熱硬化温度未満である。したがって、成型温度 T_m でのワックスの粘度は、成型温度 T_m での前記熱硬化性樹脂の粘度よりも低く、ワックスは成型温度 T_m において熱硬化性樹脂よりも流動し易く、ワックス及び熱硬化性樹脂は成型温度 T_m において相溶し難い。その結果、ワックス 4 は、成型工程において、熱硬化性樹脂から分離し易く、ワックス 4 及び熱硬化性樹脂のうちワックス 4 の

みが選択的に成形体 2 A から除去され、ワックス 4 のみが選択的にクリアランス 6 を通じて型外へ排出され易い。一方、熱硬化性樹脂は成型工程において成形体 2 A から除去され難く、熱硬化性樹脂はクリアランス 6 を通じて型外へ排出され難い。

[0041] ワックスの滴点 (dropping point) とは、加熱によりワックスが液化する温度である。例えば、ワックスの滴点は、所定の内径を有する開口部が形成された容器内のワックスが加熱によって液化され、液化されたワックスが開口部から滴下し始める時点におけるワックスの温度である。例えば、ワックスの滴点は、JIS (日本産業規格) K 2220、又は ASTM (America Society for Testing and Materials) 規格の D-566 及び D-2265 に基づいて測定されてよい。

[0042] ワックスの滴点は、ワックスの組成に依る値であり、限定されない。熱硬化性樹脂の熱硬化温度は、熱硬化性樹脂の組成に依る値であり、限定されない。成型温度 T_m は、ワックス及び熱硬化性樹脂の組合せに依る値であり、限定されない。例えば、成型温度 T_m は、 60°C 以上 150°C 以下、好ましくは 70°C 以上 110°C 以下、より好ましくは 80°C 以上 100°C 以下であってよい。

[0043] 成型工程は、第一加圧工程と、前記第一加圧工程に続く第二加圧工程と、を含んでよい。図 2 に示されるように、第一加圧工程において、成型温度 T_m で加熱された型内のコンパウンドへ作用する圧力 (成型圧力 P) は、 0 MPa から第一圧力 P_1 (単位: MPa) へ連続的に増加し、所定の時間にわたって第一圧力 P_1 に維持される。図 2 に示されるように、第二加圧工程において、成型温度 T_m で加熱された型内のコンパウンドへ作用する圧力 (成型圧力 P) は、第一圧力 P_1 から第二圧力 P_2 (単位: MPa) へ連続的に増加し、所定の時間にわたって第二圧力 P_2 に維持される。つまり、第二圧力 P_2 は、第一圧力 P_1 よりも高い。第一加圧工程において比較的低い第一圧力 P_1 でコンパウンドを加圧することにより、コンパウンドの過度の圧縮

が抑制され、各磁石粒子同士の摩擦又は接触が抑制され、コンパウンド中の各磁石粒子が回転し易く、各磁石粒子が磁場に沿って配向され易い。第二加圧工程において比較的高い第二圧力 P_2 で成形体（コンパウンド）を加圧することにより、ワックスが成形体から除去され易い。

[0044] 例えば、第一圧力 P_1 は、 0 MPa より大きく 500 MPa 未満であってよい。例えば、第二圧力 P_2 は、 500 MPa 以上 2000 MPa 以下、好ましくは 700 MPa 以上 2000 MPa 以下、さらに好ましくは 980 MPa 以上 2000 MPa 以下であってよい。第一圧力 P_1 が低いほど、コンパウンドの過度の圧縮が抑制され易く、コンパウンド中の各磁石粒子が回転し易く、各磁石粒子の磁化方向が磁場と略平行に配向され易い。第二圧力 P_2 が高いほど、成形体（コンパウンド）が圧縮され易く、ワックスが成形体から除去され易い。

[0045] 図3に示されるように、成型工程において、成型温度 T_m で加熱された型内のコンパウンドへ作用する圧力（成型圧力 P ）を、 0 MPa から第二圧力 P_2 まで連続的に増加させることにより、成形体からワックスが除去されてもよい。図3に示される成型工程においても、成型圧力 P は、所定の時間にわたって第二圧力 P_2 に維持されてよい。

[0046] 磁石粉末の質量及び熱硬化性樹脂の質量の合計は、 M_1 （単位： g ）と表される。コンパウンド中のワックスの質量は、 M_2 （単位： g ）と表される。 $(M_2/M_1) \times 100$ は、2以上10以下、2.5以上8以下、2以上5以下、2.0以上4.0以下であってよい。 $(M_2/M_1) \times 100$ が2以上である場合、ワックス4の潤滑性に因り、各磁石粒子3が回転し易く、各磁石粒子3が磁場 H に沿って配向され易い。 $(M_2/M_1) \times 100$ が10以下である場合、成型工程中にワックスの殆どが成形体から除去され易く、ワックスが異方性ボンド磁石中に残存し難く、異方性ボンド磁石が高い機械的強度を有し易い。例えば、 $(M_2/M_1) \times 100$ が2以上10以下であるコンパウンドから磁性成形体及び異方性ボンド磁石が製造される場合、磁性成形体中のワックスの含有量は、0.0質量%以上0.1質量%以下で

あってよく、異方性ボンド磁石中のワックスの含有量も、 0.0 質量%以上 0.1 質量%以下であってよい。

成型工程を経た成形体（磁性成形体）中のワックスの質量 M_3 は、コンパウンド中のワックスの質量 M_2 よりも小さく、成型工程によって成形体（コンパウンド）から除去されるワックスの質量は、 $M_2 - M_3$ である。一方、成型工程において、コンパウンド（成形体）中の磁石粉末及び熱硬化性樹脂の質量の合計 M_1 は略変化しない。したがって、 $M_2 - M_3$ は、型内へ供給されたコンパウンドの質量と成型工程後の成形体の質量との差に略等しい。つまり、型内へ供給されたコンパウンドの質量と成型工程後の成形体の質量との差に基づいて、磁性成形体中（又は異方性ボンド磁石中）のワックスの含有量を算出することができる。

[0047] 成型工程では、加熱された型の温度が成型温度 T_m に達した時点以降に、型内のコンパウンドへの磁場の印加が開始されてよい。その結果、液化されたワックスの潤滑性に因り、磁石粒子同士が互いに滑り易く、各磁石粒子が回転し易く、各磁石粒子が磁場に沿って配向され易い。

[0048] 成型工程では、型内のコンパウンドへの磁場の印加が、型内のコンパウンドの圧縮と同時に開始されてよい。型内のコンパウンドへの磁場の印加が、型内のコンパウンドの圧縮よりも早く開始されてもよい。型内のコンパウンドへの磁場の印加が、型内のコンパウンドの圧縮よりも早く開始される場合、コンパウンドの圧縮が抑制された状態においてコンパウンド中の各磁石粒子が回転し易い。その結果、各磁石粒子が磁場に沿って配向され易い。成型工程では、型内のコンパウンドへの磁場の印加が、成型圧力 P が減少し始める時点で中止されてよい。つまり、型内のコンパウンドへの磁場の印加は、第二加圧工程の終了と同時に中止されてよい。型内のコンパウンドへの磁場の印加は、第二加圧工程の開始と同時に中止されてもよい。つまり、型内のコンパウンドへの磁場の印加は、成型圧力が第二圧力 P_2 に達した時点で中止されてもよい。

[0049] 磁場 H は、静磁場（連続する一定の磁場）であってよい。磁場 H は、パル

ス磁場（パルス方式の磁場）であってもよい。磁場Hの強度が高いほど、成形体中の磁石粉末の配向性が向上する。磁場Hを型内のコンパウンドへ印加する時間が長いほど、成形体中の磁石粉末の配向性が向上する。磁場Hを型内のコンパウンドへ印加する回数が多いほど、成形体中の磁石粉末の配向性が向上する。

[0050] 異方性ボンド磁石の製造に用いる静磁場の強度は、パルス磁場の強度よりも低い。磁場Hが静磁場である場合、十分に長い時間にわたって磁場Hを型内のコンパウンドへ印加することにより、コンパウンド中の各磁石粒子が磁場に沿って十分に配向される。例えば、静磁場の強度は、0.5 T（テスラ）以上2.5 T以下、好ましくは1.0 T以上2.5 T以下、より好ましくは2.0 T以上2.5 T以下であってよい。例えば、静磁場を型内のコンパウンドへ印加する時間は、0.08分以上4分以下、好ましくは0.5分以上4分以下、より好ましくは1分以上4分以下であってよい。

[0051] 異方性ボンド磁石の製造に用いるパルス磁場は、静磁場よりも高い強度を有する。パルス磁場は瞬間的に発生するため、パルス磁場の発生に要する電流に因る発熱量（コイルにおけるジュール熱）を抑制することができる。高い強度を有するパルス磁場を型内のコンパウンドへ瞬間的に印加することにより、コンパウンド中の各磁石粒子が磁場に沿って瞬間的に且つ十分に配向される。市販のパルス方式の磁場発生装置で発生可能なパルス磁場の強度の限界、及びコストの観点から、パルス磁場の強度の上限値は、12 T程度である。例えば、パルス磁場の強度は、4 T以上12 T以下、又は8 T以上12 T以下であってよい。パルス磁場がコンパウンドへ印加される回数は、1回又は複数回であってよい。例えば、強度が4 T以上であるパルス磁場が1回以上コンパウンドに印加されてよい。

[0052] <冷却工程>

上述の通り、磁性成形体の製造方法は、冷却工程を更に含んでよい。冷却工程は上記の成型工程に続く。脱磁工程は冷却工程後に実施されてよい。冷却工程では、成形体が収容された型が、成型温度 T_m からワックスの滴点未

満である温度（例えば、室温）まで冷却される。冷却工程においては、磁場 H が型内の成形体へ印加される必要はない。ただし、冷却工程において磁場 H が型内の成形体へ印加されてもよい。

[0053] 成形体中の熱硬化性樹脂（未硬化物）は、成型工程中の型の加熱によって軟化される。成形体中の軟化された熱硬化性樹脂は、冷却工程によって固まる。ワックスが成形中に残存する場合、成形体中の液化されたワックスが、冷却工程によって固まる。これらの理由により、冷却工程中に成形体の機械的強度が高まり、冷却工程以降の各工程における成形体の変形及び破損が抑制される。その結果、最終的に得られる異方性ボンド磁石の機械的強度が高まり易い。成形体中の熱硬化性樹脂（未硬化物）及びワックスが十分に固まる前に脱磁工程が実施される場合、脱磁工程における成形体への磁場の印加に伴って、成形体中の各磁石粒子の位置及び配向方向が変化し易く、成形体中の磁石粉末の配向性が損なわれ得る。つまり、冷却工程を実施せずに、成型工程に続いて脱磁工程が実施される場合、成形体中の磁石粉末の配向性が脱磁工程において損なわれ得る。

[0054] 例えば、成形体が収容された型を冷却する方法は、型の自然冷却であってよい。図2及び図3に示されるように、冷却工程（型の温度 T が室温まで低下する過程）において、成型圧力 P が第二圧力 P_2 から 0 MPa へ徐々に減少してよい。冷却工程の開始時点（成型工程の終了時点）において、成型圧力 P が瞬間的に解消されてもよい。つまり、冷却工程の開始時点（成型工程の終了時点）において、成型圧力 P が第二圧力 P_2 から 0 MPa へ瞬間的に減少してもよい。

[0055] <脱磁工程>

脱磁工程は、成型工程後に実施される。脱磁工程では、成型工程で用いた磁場 H とは逆の方向の磁場（逆磁場）を成形体に印加することにより、成形体が脱磁される。上述の理由から、脱磁工程は、成型工程に続く冷却工程後に実施されてよい。脱磁工程は、冷却工程と同時に実施されてもよい。つまり、型の冷却と平行して、型内に収容された成形体へ逆磁場を印加すること

により、成形体が脱磁されてよい。冷却工程と同時に成形体が脱磁された後、成形体は型から取り出される。成型工程に用いられた上記製造装置 10（成型装置）により、脱磁工程が実施されてよい。冷却工程後、型から取り出された成形体が別の磁場印加装置によって脱磁されてもよい。

[0056] ＜熱硬化工程＞

熱硬化工程は脱磁工程後に実施される。熱硬化工程では、熱硬化性樹脂の熱硬化温度以上である温度で成形体が加熱される。その結果、成形体中の熱硬化樹脂が硬化され、成形体から磁性成形体が得られる。磁性成形体中の磁石粉末は熱硬化性樹脂の硬化物によって互いに結着され、各磁石粒子が磁性成形体内に固定される。熱硬化工程では、脱磁工程を経た複数の成形体が一括して加熱されてよい。

[0057] 熱硬化工程では、成形体の温度が、室温から、熱硬化性樹脂の熱硬化温度以上である温度まで増加する。熱硬化工程において成形体の温度が熱硬化温度に達する前の時点では、成形体中の熱硬化性樹脂（及びワックス）が軟化され、成形体自体が軟化している。軟化された成形体中の各磁石粒子の位置及び向きは、軟化された熱硬化性樹脂によって十分に固定されない。仮に脱磁工程を実施せずに熱硬化工程が実施される場合、成形体自体が有する磁力により、軟化された成形体中の各磁石粒子の位置及び向きが変化して、成形体中の磁石粉末の配向性が損なわれる。その結果、異方性ボンド磁石が高い残留磁束密度を有し難い。例えば、軟化された成形体の表面近傍に位置する各磁石粒子が熱硬化性樹脂（及びワックス）を伴って成形体の表面から突出する。つまり、磁石粒子及び熱硬化性樹脂を含む一つ以上の突起が成形体の表面に形成される。なぜなら、脱磁工程を経ていない成形体の表面のうち磁束密度が高い部分において、磁力が、成形体の表面近傍に位置する磁石粒子に作用し易いからである。

[0058] ＜着磁工程＞

着磁工程は、熱硬化工程後に実施される。着磁工程では、成型工程で用いた磁場 H と同じ方向の磁場が磁性成形体へ印加される。その結果、磁性成形

体が着磁され、異方性ボンド磁石になる。図4に示されるように、異方性ボンド磁石2 B全体の磁化方向Mは、成型工程においてコンパウンド（成形体）へ印加される磁場Hの方向と略平行である。換言すれば、異方性ボンド磁石2 B中の各磁石粒子3の磁化方向mは磁場Hと略平行である。

[0059] <分析方法>

磁性成形体及び異方性ボンド磁石其々の組成を分析及び特定するために、磁性成形体及び異方性ボンド磁石其々の粉砕によって得られた試料が分析されてよい。磁性成形体及び異方性ボンド磁石其々から遡及的にコンパウンド自体の組成を分析及び特定するために、磁性成形体及び異方性ボンド磁石其々の粉砕によって得られた試料が分析されてもよい。更に、粉砕によって得られた試料を有機溶媒中に溶解して、試料を構成する磁石粉末が、有機溶媒中に溶解した樹脂組成物から分離されてよい。互いに分離された樹脂組成物及び磁石粉末其々が個別に分析されてよい。

未硬化のコンパウンドの組成が分析及び特定される場合も、コンパウンドを有機溶媒中に溶解して、磁石粉末が、有機溶媒中に溶解した樹脂組成物から分離されてよい。互いに分離された樹脂組成物及び磁石粉末其々が個別に分析されてよい。

例えば、樹脂組成物を構成する各成分（熱硬化性樹脂及びワックス等）は、赤外分光（Infrared Spectroscopy； IR）、核磁気共鳴（Nuclear Magnetic Resonance； NMR）、質量分析（Mass Spectrometry； MS）、ガスクロマトグラフィー（Gas Chromatography； GC）、及び高速液体クロマトグラフィー（High Performance Liquid Chromatography； HPLC）からなる群より選ばれる一つ以上の分析方法によって分析及び特定されてよい。

例えば、磁石粉末は、蛍光X線分析（X-ray Fluorescence； XRF）、誘導結合プラズマ（Inductively Coupled Plasma； ICP）発光分光、光電子分光（X-ray P

hotoelectron Spectroscopy; XPS)、エネルギー分散型X線分光 (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy; EDS又はEDX)、及び質量分析からなる群より選ばれる一つ以上の分析方法によって分析及び特定されてよい。

磁性成形体 (又は異方性ボンド磁石) の残留磁束密度 $B_r 1$ 、及び磁石粉末自体の残留磁束密度 $B_r 2$ は、下記数式 1 を満たしてよい。

$$B_r 1 = B_r 2 \times (V_2 / V_1) \times D \quad (\text{数式 1})$$

数式 1 中の V_1 は、磁性成形体 (又は異方性ボンド磁石) の全体の体積である。数式 1 中の V_2 は、磁性成形体 (又は異方性ボンド磁石) に含まれる磁石粉末自体の体積である。 V_2 / V_1 は、磁性成形体 (又は異方性ボンド磁石) における磁石粉末の充填率に相当する。数式 1 中の D は、磁性成形体 (又は異方性ボンド磁石) における磁石粉末の配向度である。上記数式 1 に基づけば、配向度 D は、 $B_r 1 / \{B_r 2 \times (V_2 / V_1)\}$ と表される。つまり、 $B_r 1$ 、 $B_r 2$ 、 V_1 及び V_2 其々の測定に基づいて、配向度 D を特定することができる。高い配向度は、磁性成形体に含まれる磁石粉末を構成する各磁石粒子中の磁化容易軸が配向されていることを意味する。換言すれば、高い配向度は、異方性ボンド磁石に含まれる磁石粉末を構成する各磁石粒子の磁化方向が配向されていることを意味する。例えば、磁性成形体 (又は異方性ボンド磁石) における磁石粉末の配向度 D (単位: %) は、80%以上100%以下であってよい。

[0060] (コンパウンド)

<磁石粉末>

上述の通り、磁石粉末は、 Sm-Fe-N 系永久磁石を含む粉末 (SmFeN 粉末) である。例えば、 SmFeN 粉末は、主相として $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ (合金) を含む粉末であってよい。例えば、 SmFeN 粉末の少なくとも一部は、 Th_2Zn 型結晶 (菱面体晶) を主相として含む異方性磁石粉末があつてよい。異方性磁石粉末とは、磁石粉末を構成する個々の磁石粒子が単結晶である磁石粉末、又は磁石粉末を構成する個々の磁石粒子が多数の微細な単

結晶粒（磁区）から構成されており、且つ各結晶粒の磁化容易軸の方向が特定の方向に揃っている磁石粉末である。例えば、 SmFeN 粉末の少なくとも一部は、 TbCu_7 型結晶（六方晶）を主相として含む等方性磁石粉末であってもよい。等方性磁石粉末とは、磁石粉末を構成する個々の磁石粒子が多数の微細な単結晶粒（磁区）から構成されており、且つ、各結晶粒の磁化容易軸の方向が無秩序である磁石粉末である。

[0061] SmFeN 粉末の製造方法は限定されない。例えば、 SmFeN 粉末の製造方法は、 Sm および Fe を含む合金粉末をメカニカルアロイング法によって形成する工程と、合金粉末を窒素ガス中で加熱することにより、 SmFeN 粉末を得る工程を含んでよい。 SmFeN 粉末は、急冷凝固法により製造されてもよい。急冷凝固法では、合金の溶湯が、回転する水冷ロールの表面へ供給される。その結果、合金の溶湯が水冷ロールの表面において急冷され、凝固する。凝固した合金を粉砕することにより、 SmFeN 粉末が得られる。また、HDDR (Hydrogenation Disproportionation Desorption Recombination) 法により、 SmFeN 粉末が製造されてもよい。

[0062] SmFeN 粉末としては、例えば、日亜化学工業株式会社のビルドアップ工法により得られる非粉砕粉（球状の磁石粉末）が用いられてよい。 SmFeN 粉末を構成する各磁石粒子の表面処理により、各磁石粒子の表面が無機物の膜で覆われてよい。例えば、無機物の膜は、リン酸塩又はシリカ系化合物を含んでよい。

[0063] SmFeN 粉末の平均粒子径 d_{50} は、好ましくは $0.5\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $1\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは $2\mu\text{m}$ 以上 $3\mu\text{m}$ 以下であってよい。 SmFeN 粉末の平均粒子径は、レーザ回折法粒度分布測定器により測定することができる。

[0064] <ワックス>

例えば、ワックスは、合成ワックス、飽和脂肪酸、飽和脂肪酸塩、及び飽和脂肪酸エステルからなる群より選ばれる少なくとも一つの組成物であって

よい。例えば、ワックスは、ポリエチレンワックス、アマイドワックス、及びモンタンワックスからなる群より選ばれる少なくとも一種のワックスであってよい。ポリエチレンワックスの市販品としては、リコルブH12、リコワックスPE520、及びリコワックスPED191（以上、クラリアントケミカルズ株式会社製の商品名）からなる群より選ばれる少なくとも一種を用いてよい。アマイドワックスの市販品としては、リコルブFA1（クラリアントケミカルズ株式会社製の商品名）、及びDISPARLON6650（楠本化成株式会社製の商品名）のうち少なくともいずれかを用いてよい。モンタンワックスの市販品としては、リコワックスE、リコワックスOP、リコルブE及びリコルブWE40（以上、クラリアントケミカルズ株式会社製の商品名）からなる群より選ばれる少なくとも一種を用いてもよい。リコワックスE、リコワックスOP、リコルブE及びリコルブWE40のいずれも、モンタン酸エステルである。

[0065] 成型工程における磁石粉末の配向性、成形体の離型性、成型温度及び成型圧力、並びにワックスの融点、滴点及び溶融粘度等、コンパウンドの設計において要求される事項に応じて、ワックスが適宜選択されてよい。成型工程における磁石粉末の配向性を向上させ易い観点において、上記のワックスの中でもモンタンワックス（モンタン酸エステル）が好ましく、リコワックスEが特に好ましい。リコワックスE（モンタン酸エステル）の滴点は82℃であり、リコワックスE（モンタン酸エステル）の100℃での溶融粘度は、30 mPa・sである。

[0066] コンパウンドは、上記のうち一種のワックスを含んでよい。コンパウンドは、上記のうち複数種のワックスを含んでもよい。

[0067] <樹脂組成物>

本実施形態において、「樹脂組成物」とは、コンパウンドのうち磁石粉末及びワックスを除く残りの部分（不揮発性成分）を意味する。樹脂組成物は、少なくとも熱硬化性樹脂を含む。樹脂組成物は、硬化剤、硬化促進剤、カップリング剤、難燃剤、及び流動助剤からなる群より選ばれる少なくとも一

つの成分を更に含んでよい。コンパウンド自体は、有機溶媒を含んでもよい。

[0068] 樹脂組成物は、磁石粉末を構成する複数の磁石粒子同士を結着する結合材（バインダー）としての機能を有する。つまり、樹脂組成物は、コンパウンドから製造される異方性ボンド磁石に機械的強度を付与する。例えば、上記成型工程において、樹脂組成物が複数の磁石粒子の間に充填され、磁石粒子同士を結着する。樹脂組成物の熱硬化により、樹脂組成物の硬化物が、磁石粒子同士をより強固に結着する。

[0069] 例えば、樹脂組成物含まれる熱硬化性樹脂は、エポキシ樹脂、フェノール樹脂（フェノールノボラック樹脂を含む。）、マレイミド化合物、ポリイミド、ポリアミド、及びポリアミドイミドからなる群より選ばれる少なくとも一種の樹脂であってよい。コンパウンドが、エポキシ樹脂及びフェノール樹脂の両方を含む場合、フェノール樹脂はエポキシ樹脂の硬化剤として機能してよい。コンパウンド中の熱硬化性樹脂は、未硬化樹脂及び半硬化樹脂のうち少なくともいずれかであってよい。

[0070] コンパウンド中の磁石粉末の質量は、 M_m （単位：g）と表される、コンパウンド中の樹脂組成物全体の質量は、 M_r （単位：g）と表される。占有率は、 $M / (M_m + M_r) \times 100$ と定義される。占積率は、90.0以上、99.9以下、好ましくは95.0以上、99.5以下、さらに好ましくは96.0以上98.0以下であってよい。占積率が90.0以上である場合、異方性ボンド磁石が十分に高い残留磁束密度を有し易い。占積率が99.9以下である場合、異方性ボンド磁石が十分に高い機械的強度を有し易い。

[0071] <エポキシ樹脂>

1分子中に2個以上のエポキシ基を有するエポキシ樹脂であれば、いかなるエポキシ樹脂も使用できる。異方性ボンド磁石の耐熱性（高温での機械的強度）を向上する観点から、ナフタレン型エポキシ樹脂等の耐熱性のエポキシ樹脂が好ましい。

[0072] 例えば、エポキシ樹脂は、ビフェニル型エポキシ樹脂、スチルベン型エポキシ樹脂、ジフェニルメタン型エポキシ樹脂、硫黄原子含有型エポキシ樹脂、ノボラック型エポキシ樹脂、ジシクロペンタジエン型エポキシ樹脂、サリチルアルデヒド型エポキシ樹脂、ナフトール類とフェノール類との共重合型エポキシ樹脂、アラルキル型フェノール樹脂のエポキシ化物、ビスフェノール型エポキシ樹脂、アルコール類のグリシジルエーテル型エポキシ樹脂、パラキシリレン変性フェノール樹脂及び／又はメタキシリレン変性フェノール樹脂のグリシジルエーテル型エポキシ樹脂、テルペン変性フェノール樹脂のグリシジルエーテル型エポキシ樹脂、シクロペンタジエン型エポキシ樹脂、多環芳香環変性フェノール樹脂のグリシジルエーテル型エポキシ樹脂、ナフタレン環含有フェノール樹脂のグリシジルエーテル型エポキシ樹脂、グリシジレステル型エポキシ樹脂、グリシジル型又はメチルグリシジル型のエポキシ樹脂、脂環型エポキシ樹脂、ハロゲン化フェノールノボラック型エポキシ樹脂、オルソクレゾールノボラック型エポキシ樹脂、ハイドロキノン型エポキシ樹脂、トリメチロールプロパン型エポキシ樹脂、及びオレフィン結合を過酢酸等の過酸で酸化して得られる線状脂肪族エポキシ樹脂からなる群より選ばれる少なくとも一種であってよい。結晶性の高いエポキシ樹脂として、ハイドロキノン型エポキシ樹脂、ビスフェノール型エポキシ樹脂、チオエーテル型エポキシ樹脂、及びビフェニル型エポキシ樹脂等が用いられてもよい。

[0073] 少なくとも一部のエポキシ樹脂は、ナフタレン構造を有するナフタレン型エポキシ樹脂であってよい。ナフタレン型エポキシ樹脂は、常温で固体である。コンパウンドが、ナフタレン型エポキシ樹脂を含む場合、異方性ボンド磁石が、室温及び高温において高い機械的強を有し易い。例えば、ナフタレン型エポキシ樹脂は、ナフタレンジエポキシ化合物、ナフチレンエーテル型エポキシ樹脂、ナフタレンノボラック型エポキシ樹脂、ナフタレンジエポキシ化合物のメチレン結合二量体、及び、ナフタレンモノエポキシ化合物とナフタレンジエポキシ化合物のメチレン結合体等からなる群より選ばれる少な

くとも一種のエポキシ樹脂であってよい。

[0074] ナフタレン型エポキシ樹脂は、3官能エポキシ樹脂及び4官能エポキシ樹脂のうち少なくとも一つであることが好ましい。ナフタレン型エポキシ樹脂は、4官能エポキシ樹脂であることがより好ましい。コンパウンドに含まれるナフタレン型エポキシ樹脂が、3官能エポキシ樹脂及び4官能エポキシ樹脂のうち少なくとも一つである場合、上記熱硬化工程中に、ナフタレン型エポキシ樹脂が互いに三次元的に架橋され、強固な架橋ネットワークが形成される。その結果、異方性ボンド磁石中のナフタレン型エポキシ樹脂の動きが高温下において抑制され易い。つまり、3官能エポキシ樹脂及び4官能エポキシ樹脂其々のガラス転移温度は、2官能エポキシ樹脂のガラス転移温度よりも高い。したがって、コンパウンドに含まれるナフタレン型エポキシ樹脂が、3官能エポキシ樹脂及び4官能エポキシ樹脂のうち少なくとも一つである場合、異方性ボンド磁石が高温において高い機械的強度を有し易い。

[0075] 例えば、3官能のナフタレン型エポキシ樹脂又は4官能のナフタレン型エポキシ樹脂として、DIC株式会社製のHP-4700、HP-4710、HP-4770、EXA-5740、又はEXA-7311-G4等の市販品が用いられてよい。コンパウンドに含まれるナフタレン型エポキシ樹脂は、2官能エポキシ樹脂であってもよい。2官能のナフタレン型エポキシ樹脂としてはHP-4032又はHP-4032D等の市販品が用いられてよい。コンパウンド粉に含まれるナフタレン型エポキシ樹脂は、 β ナフトール型エポキシ樹脂であってもよい。

[0076] コンパウンドは、上記のうち一種のエポキシ樹脂を含んでよい。コンパウンドは、上記のうち複数種のエポキシ樹脂を含んでもよい。

[0077] <硬化剤／フェノール樹脂>

硬化剤は、低温から室温の範囲でエポキシ樹脂を硬化させる硬化剤と、加熱に伴ってエポキシ樹脂を硬化させる加熱硬化型硬化剤と、に分類される。低温から室温の範囲でエポキシ樹脂を硬化させる硬化剤は、例えば、脂肪族ポリアミン、ポリアミノアミド、及びポリメルカプタン等である。加熱硬化

型硬化剤は、例えば、芳香族ポリアミン、酸無水物、フェノールノボラック樹脂、及びジシアンジアミド（DICY）等である。

[0078] 低温から室温の範囲でエポキシ樹脂を硬化させる硬化剤を用いた場合、エポキシ樹脂の硬化物のガラス転移点は低く、エポキシ樹脂の硬化物は軟らかい傾向がある。その結果、コンパウンドから製造された異方性ボンド磁石も軟らかくなり易い。したがって、異方性ボンド磁石の耐熱性を向上させる観点から、硬化剤は、好ましくは加熱硬化型の硬化剤、より好ましくはフェノール樹脂、さらに好ましくはフェノールノボラック樹脂であってよい。特に硬化剤としてフェノールノボラック樹脂を用いることで、ガラス転移点が高いエポキシ樹脂の硬化物が得られ易い。その結果、異方性ボンド磁石の耐熱性が向上し易い。

[0079] 例えば、フェノール樹脂は、アラルキル型フェノール樹脂、ジシクロペンタジエン型フェノール樹脂、サリチルアルデヒド型フェノール樹脂、ノボラック型フェノール樹脂、ベンズアルデヒド型フェノールとアラルキル型フェノールとの共重合型フェノール樹脂、パラキシリレン及び／又はメタキシリレン変性フェノール樹脂、メラミン変性フェノール樹脂、テルペン変性フェノール樹脂、ジシクロペンタジエン型ナフトール樹脂、シクロペンタジエン変性フェノール樹脂、多環芳香環変性フェノール樹脂、ビフェニル型フェノール樹脂、及びトリフェニルメタン型フェノール樹脂からなる群より選ばれる少なくとも一種であってよい。フェノール樹脂は、上記のうちの2種以上のフェノール樹脂から構成される共重合体であってもよい。

[0080] フェノールノボラック樹脂は、例えば、フェノール類及び／又はナフトール類と、アルデヒド類と、を酸性触媒下で縮合又は共縮合させて得られる樹脂であってよい。フェノールノボラック樹脂を構成するフェノール類は、例えば、フェノール、クレゾール、キシレノール、レゾルシン、カテコール、ビスフェノールA、ビスフェノールF、フェニルフェノール及びアミノフェノールからなる群より選ばれる少なくとも一種であってよい。フェノールノボラック樹脂を構成するナフトール類は、例えば、 α -ナフトール、 β -ナ

フトール及びジヒドロキシ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。フェノールノボラック樹脂を構成するアルデヒド類は、例えば、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、プロピオンアルデヒド、ベンズアルデヒド及びサリチルアルデヒドからなる群より選ばれる少なくとも一種であってよい。

[0081] 硬化剤は、例えば、1分子中に2個のフェノール性水酸基を有する化合物であってもよい。1分子中に2個のフェノール性水酸基を有する化合物は、例えば、レゾルシン、カテコール、ビスフェノールA、ビスフェノールF、及び置換又は非置換のビフェノールからなる群より選ばれる少なくとも一種であってよい。

[0082] 市販されているフェノール樹脂としては、例えば、荒川化学工業株式会社製のタマノル758及び759、昭和電工マテリアルズ株式会社製のHP-850N等が挙げられる。

[0083] コンパウンドは、上記のうち一種のフェノール樹脂を含んでよい。コンパウンドは、上記のうち複数種のフェノール樹脂を含んでもよい。

[0084] エポキシ樹脂のエポキシ当量に対するフェノール樹脂の水酸基当量の比率は、0.5以上1.5以下、0.9以上1.4以下、1.0以上1.4以下、又は1.0以上1.2以下であってよい。つまり、エポキシ樹脂中のエポキシ基と反応するフェノール樹脂中の活性基（フェノール性OH基）の比率は、エポキシ樹脂中の1当量のエポキシ基に対して、好ましくは0.5当量以上1.5当量以下、より好ましくは0.9当量以上1.4当量以下、さらに好ましくは1.0当量以上1.4当量以下、特に好ましくは1.0当量以上1.2当量以下であってよい。フェノール樹脂中の活性基の比率が0.5当量未満である場合、硬化後のエポキシ樹脂の単位重量当たりのOH量が少なくなり、樹脂組成物（エポキシ樹脂）の硬化速度が低下する。またフェノール樹脂中の活性基の比率が0.5当量未満である場合、得られる硬化物のガラス転移温度が低下し易く、硬化物の十分な弾性率が得られ難い。一方、フェノール樹脂中の活性基の比率が1.5当量以下である場合、異方性ボン

ド磁石が高い機械的強度を有し易い。

[0085] <マレイミド化合物： ビスマレイミド、及びアミノフェノール付加体>

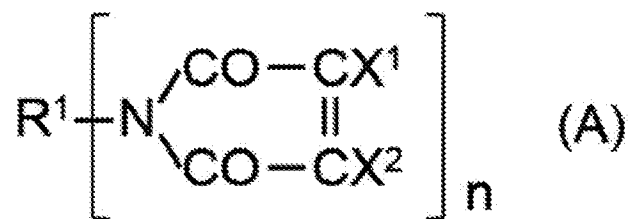
マレイミド化合物とは、ビスマレイミド、及びビスマレイミドのアミノフェノール付加体のうち少なくとも一つの化合物である。ビスマレイミドを構成するイミド環は剛直である。ビスマレイミドのアミノフェノール付加体を構成するフェニル環も剛直である。これらの分子構造に因り、マレイミド化合物は、従来の熱硬化性樹脂（例えば、エポキシ樹脂）に比べて、耐熱性に優れ、熱膨張し難い。特に、アミノフェノール付加体の架橋密度は比較的高い。マレイミド化合物が有する上記の諸特徴に因り、マレイミド化合物（特に、アミノフェノール付加体）は、従来の熱硬化性樹脂（例えば、エポキシ樹脂）に比べて、耐熱性に優れ、熱膨張し難い。換言すれば、マレイミド化合物（特に、アミノフェノール付加体）は高温において軟化及び変形し難い。したがって、マレイミド化合物（特に、アミノフェノール付加体）を含むコンパウンドから製造された異方性ボンド磁石は、高温（例えば150℃）において高い機械的強度を有することができる。

[0086] ビスマレイミド（下記のビスマレイミド類（a））は、2つ以上のマレイミド基を有する構造単位を含む化合物（例えば、モノマー又はポリマー）である。ビスマレイミドのアミノフェノール付加体は、ビスマレイミド類（a）とアミノフェノール類（b）との付加反応物（例えば、付加重合体）である。つまり、ビスマレイミド類（a）及びアミノフェノール類（b）の付加反応（例えば、付加重合反応）により、ビスマレイミドのアミノフェノール付加体を得られる。例えば、ビスマレイミド類（a）の一つの分子と、アミノフェノール類（b）の一つ以上の分子との反応によって、アミノフェノール付加体の一つの分子が合成されてよい。エポキシ化合物（c）（エポキシ樹脂）が、マレイミド化合物（特にアミノフェノール付加体）へ添加されてよい。エポキシ化合物（c）が添加されたマレイミド化合物（特にアミノフェノール付加体）の熱硬化により、マレイミド化合物（特にアミノフェノール付加体）がエポキシ化合物（c）で変性され、マレイミド化合物（特にア

ミノフェノール付加体) 及びエポキシ化合物 (c) から構成される複雑なネットワーク構造が形成される。その結果、マレイミド化合物 (特にアミノフェノール付加体) とエポキシ化合物 (c) から形成される硬化物のガラス転移温度が高まり易く、異方性ボンド磁石の高温での機械的強度が高まり易い。

[0087] ビスマレイミド類 (a) は、下記化学式 A で表される。

[化1]



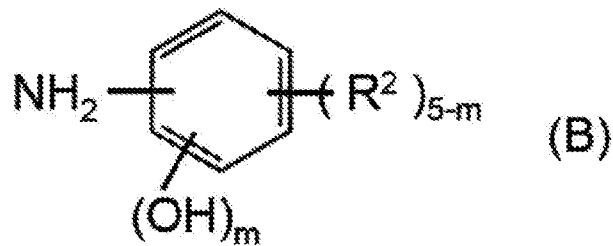
上記化学式 A 中の R^1 は、 n 価の有機基である。上記化学式 A 中の X^1 及び X^2 其々は、水素若しくはハロゲンから選ばれる 1 価の原子、又は 1 価の有機基である。 X^1 及び X^2 は同一であってよく、 X^1 及び X^2 は互いに異なってもよい。上記化学式 A 中の n は、2 以上である整数である。

[0088] 例えば、ビスマレイミド類 (a) は、エチレンビスマレイミド、ヘキサメチレンビスマレイミド、 m -フェニレンビスマレイミド、 p -フェニレンビスマレイミド、2, 2 - ビス [4 - (4 - マレイミドフェノキシ) フェニル] プロパン (別名; ビスフェノール A ビス (4 - マレイミドフェニルエーテル))、4, 4' - ビスマレイミドジフェニルメタン (別名; 4, 4' - ジフェニルメタンビスマレイミド)、4, 4' - ジフェニルエーテルビスマレイミド、4, 4' - ジフェニルスルホンビスマレイミド、4, 4' - ジシクロヘキシルメタンビスマレイミド、 m -キシリレンビスマレイミド、 p -キシリレンビスマレイミド、及び 4, 4' - フェニレンビスマレイミドからなる群より選ばれる少なくとも一種の化合物であってよい。コンパウンド粉は、必要に応じてモノマレイミド類を更に含んでよい。モノマレイミド類は、例えば、 N -3-クロロフェニルマレイミド、又は N -4-ニトロフ

エニルマレイミドであってよい。

[0089] ビスマレイミドのアミノフェノール付加体を構成する上記アミノフェノール類 (b) は、下記化学式 B で表される。

[化2]



化学式 B 中の式中 R^2 は、水素若しくはハロゲンから選ばれる 1 価の原子、又は 1 価の有機基である。化学式 B 中の m は、1 以上 5 以下である整数である。

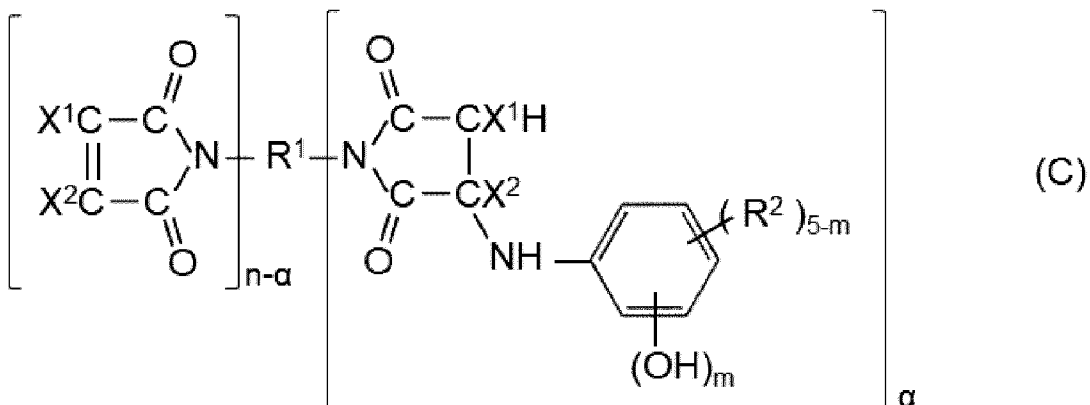
[0090] 上記化学式 A で表されるビスマレイミド類 (a) と、上記化学式 B で表されるアミノフェノール類 (b) から、下記化学式 C で表されるアミノフェノール付加体が合成されてよい。

下記化学式 C 中の α は、1 以上 n 以下である整数である。

下記化学式 C 中の R^1 は、 n 価の有機基である。下記化学式 C 中の X^1 及び X^2 其々は、水素若しくはハロゲンから選ばれる 1 価の原子、又は 1 価の有機基である。 X^1 及び X^2 は同一であってよく、 X^1 及び X^2 は互いに異なってもよい。下記化学式 C の n は、2 以上である整数である。

下記化学式 C 中の式中 R^2 は、水素若しくはハロゲンから選ばれる 1 価の原子、又は 1 価の有機基である。下記化学式 C 中の m は、1 以上 5 以下である整数である。

[化3]



[0091] 例えば、アミノフェノール類（b）は、o-アミノフェノール、m-アミノフェノール、p-アミノフェノール、o-アミノクレゾール、m-アミノクレゾール、p-アミノクレゾール、アミノキシレノール、アミノクロルフェノール、アミノブロムフェノール、アミノカテコール、アミノレゾルシン、アミノビス（ヒドロキシフェノール）プロパン及びアミノオキシ安息香酸からなる群より選ばれる少なくとも一種の化合物であってよい。

コンパウンド粉は、ビスマレイミド類（a）と重合するコモノマーとして、アミノフェノール類（b）以外の化合物を更に含んでもよい。例えば、コンパウンド粉は、ビスマレイミド類（a）と重合するコモノマーとして、アミノフェノール類（b）以外の芳香族アミン類、ビニル化合物、アリル化合物、アリルフェノール類、及びイソシアネート類からなる群より選ばれる少なくとも一種の化合物を更に含んでもよい。

[0092] マレイミド化合物へ添加される上記エポキシ化合物（c）は、分子内に2個以上のエポキシ基を有してよい。例えば、エポキシ化合物（c）は、ビスフェノールA型エポキシ樹脂、ビスフェノールF型エポキシ樹脂、ノボラック型エポキシ樹脂、ポリカルボン酸のグリシジルエステル樹脂、ポリオール、のポリグリシジルエーテル、ウレタン変性エポキシ樹脂、不飽和化合物をエポキシ化した脂肪酸型のポリエポキシド、不飽和化合物をエポキシ化した脂環型のポリエポキシド、複素環を有するエポキシ樹脂、異節環を有するエポキシ樹脂、及びアミンをグリシジル化したエポキシ樹脂からなる群より選

れる少なくとも一種の化合物であってよい。

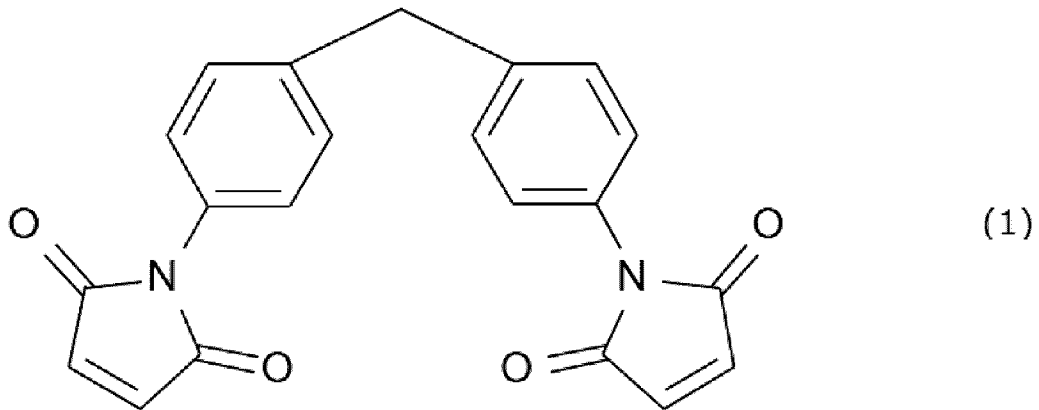
[0093] アミノフェノール類（b）の質量の割合は、100質量部のビスマレイミド類（a）に対して、0～40質量部、5～40質量部、好ましくは10～30質量部であってよい。アミノフェノール類（b）の質量の割合が5質量部以上である場合、付加反応物と上記エポキシ化合物（c）との相溶性が十分である。アミノフェノール類（b）の質量の割合が40質量部以下である場合、アミノフェノール付加体中のアミノ基の数が適度に抑制され、アミノフェノール付加体が優れた耐熱性を有し易い。ビスマレイミド類（a）及びアミノフェノール類（b）の反応温度は、例えば、50～200℃、好ましくは80～180℃であってよい。ビスマレイミド類（a）及びアミノフェノール類（b）の反応時間は、数分から数十時間の範囲内で適宜調整されてよい。

[0094] コンパウンド粉に含まれる全ての熱硬化性樹脂のうちマレイミド化合物の割合は、例えば、30～100質量%、又は30～80質量%であってよい。

[0095] ビスマレイミドのアミノフェノール付加体を含む樹脂組成物としては、KIR-3、KIR-30、KIR-50及びKIR-100から選ばれる少なくとも一種の市販品（以上、京セラ株式会社製の商品名）が用いられてよい。KIR-3は、エポキシ化合物（c）（エポキシ樹脂）を含まないアミノフェノール付加体の一例である。KIR-30は、エポキシ化合物（c）（エポキシ樹脂）が添加されたアミノフェノール付加体の一例である。

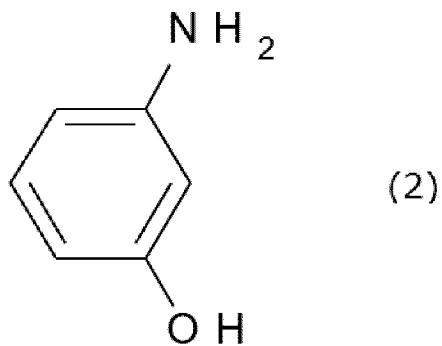
[0096] 例えば、KIR-3及びKIR-30は、ビスマレイミドとして、下記化学式1で表される4,4'-ジフェニルメタンビスマレイミドを含む。

[化4]



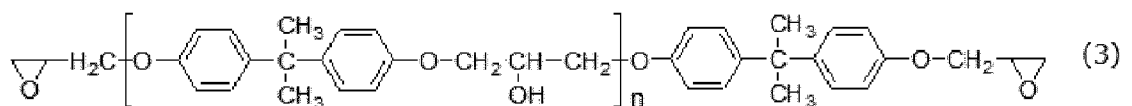
[0097] 例えば、K I R-3 及び K I R-3 O は、下記化学式 2 で表される m-アミノフェノールを含む。

[化5]



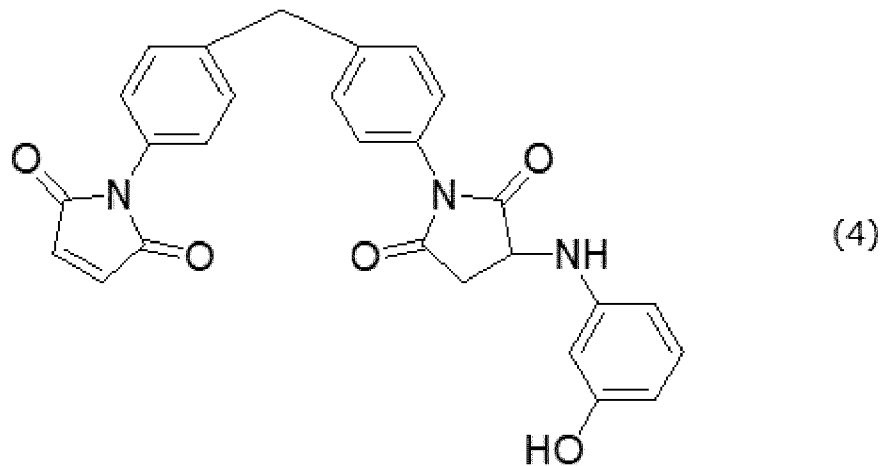
[0098] 例えば、K I R-3 O は、エポキシ化合物（エポキシ樹脂）として、下記化学式 3 で表されるビスフェノール A 型エポキシ樹脂を含む。下記化学式 3 中の n は、ゼロ以上である整数である。

[化6]



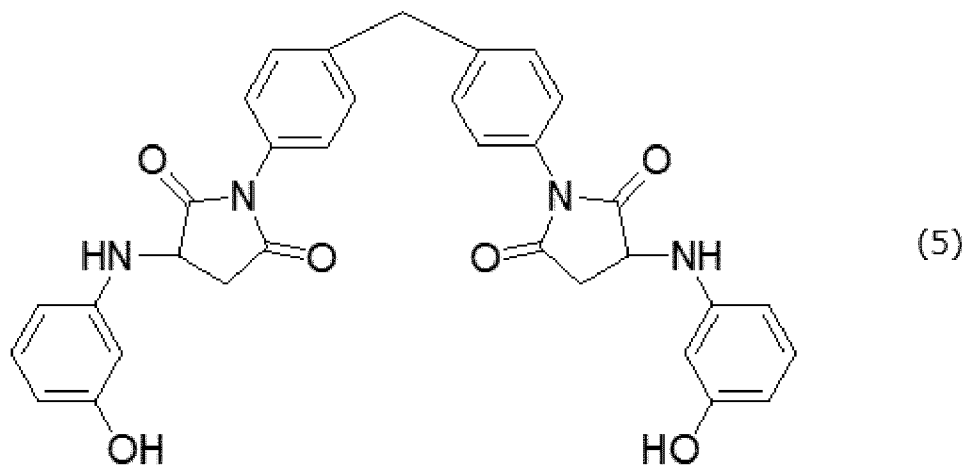
[0099] 例えば、K I R-3 及び K I R-3 O は、下記化学式 4 で表されるアミノフェノール 1 付加体を含む。アミノフェノール 1 付加体は、4,4'-ジフェニルメタンビスマレイミドの一つの分子と m-アミノフェノールの一つの分子との付加反応によって合成される。

[化7]



[0100] 例えば、K I R-3 及び K I R-3 O は、下記化学式 5 で表されるアミノフェノール 2 付加体を含む。アミノフェノール 2 付加体は、4, 4'-ジフェニルメタンビスマレイミドの一つの分子と m-アミノフェノールの二つの分子との付加反応によって合成されてよい。アミノフェノール 2 付加体は、上記のアミノフェノール 1 付加体の一つの分子と m-アミノフェノールの一つの分子との付加反応によって合成されてもよい。

[化8]



[0101] <ポリイミド>

例えば、ポリイミドは、テトラカルボン酸無水物と 4, 4'-ビス（3-アミノフェノキシ）ビフェニルの脱水重縮合物であってよい。ポリイミドは、オーラム PL 450 C、オーラム PL 500 A、オーラム PL 6200、オーラム PD 450 L（以上、三井化学株式会社製の商品）、Soliver

P I - 5 6 0 0（ソルバー社製の商品）、及びサープリム（三菱ガス化学株式会社製の商品）から選ばれる少なくとも一種の樹脂であってよい。

[0102] ＜ポリアミド＞

例えば、ポリアミドは、 ϵ カプロラクタムから得られるナイロン6の粒子、およびラウリルラクタムから得られるナイロン12の粒子のうち少なくともいずれかであってよい。例えば、ポリアミドは、ナイロン6からなる粒子（東レ株式会社製のTR-1及びTR-2）、並びにナイロン12からなる粒子（東レ株式会社製のSP-500及びSP-10）からなる群より選ばれる少なくとも一種の樹脂であってよい。

[0103] ＜ポリアミドイミド＞

例えば、ポリアミドイミドは、シロキサン構造を有するポリアミドイミドであってよい。ポリアミドイミドは、当該ポリアミドイミドの分子鎖の両末端のうち少なくとも一方の末端に2個以上のカルボキシ基を有してよい。ポリアミドイミドは、特開2019-48948号公報に記載のポリアミドイミドであってよい。

[0104] ＜その他の樹脂＞

樹脂組成物は、上述された複数種の熱硬化樹脂を含んでよい。樹脂組成物は、上記の熱硬化性樹脂に加えて、他の樹脂を更に含んでよい。例えば、異方性ボンド磁石の機械的強度が損なわれない限りにおいて、樹脂組成物は、熱硬化性樹脂に加えて、熱可塑性樹脂を含んでよい。例えば、樹脂組成物は、ポリフェニレンサルファイド樹脂、アクリル樹脂、メタクリル樹脂、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、ポリ塩化ビニル、ポリエチレンテレフタレート及びシリコーン（silicone）樹脂からなる群より選ばれる少なくとも一種の他の樹脂を更に含んでよい。

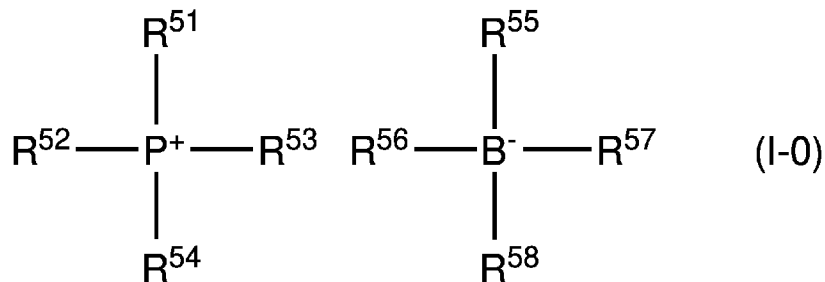
[0105] ＜硬化促進剤＞

例えば、硬化促進剤は、イミダゾール類を含んでよい。例えば、イミダゾール系硬化促進剤は、1-シアノエチル-2-ウンデシルイミダゾール、2-ウンデシルイミダゾール、2-ヘプタデシルイミダゾール、2-エチル-

4-メチルイミダゾール、及び1-シアノエチル-2-フェニルイミダゾールから選ばれる少なくとも一種の化合物であってよい。イミダゾール系硬化促進剤の市販品としては、例えば、2MZ-H、C11Z、C17Z、1,2DMZ、2E4MZ、2PZPW、2P4MZ、1B2MZ、1B2PZ、2MZ-CN、C11Z-CN、2E4MZ-CN、2PZ-CN、C11Z-CNS、2P4MHZ、TPZ、及びSFZ（以上、四国化成工業株式会社製の商品名）等が挙げられる。これらの中でもC17Zが好ましい。上記の硬化促進剤を用いることで耐熱性に優れた異方性ボンド磁石が得られる。

[0106] 硬化促進剤は、テトラ置換ホスホニウム・テトラ置換ボレートを含んでよい。テトラ置換ホスホニウム・テトラ置換ボレートは、下記式（I-0）で表される化合物であってよい。

[化9]



式（I-0）中、 $\text{R}^{51} \sim \text{R}^{58}$ は、それぞれ独立して、炭素数が1～18である有機基である。 $\text{R}^{51} \sim \text{R}^{58}$ の全てが同一でもよく、 $\text{R}^{51} \sim \text{R}^{58}$ が互いに異なってもよい。

[0107] 上記一般式（I-0）の $\text{R}^{51} \sim \text{R}^{58}$ は、置換又は非置換の脂肪族炭化水素基、置換又は非置換の脂肪族炭化水素オキシ基、置換又は非置換のカルボニル基、置換又は非置換のオキシカルボニル基、置換又は非置換のカルボニルオキシ基、置換又は非置換の芳香族炭化水素基、及び置換又は非置換の芳香族炭化水素オキシ基からなる群より選択される少なくとも一種の有機基であってよい。

[0108] 例えば、置換又は非置換の脂肪族炭化水素基は、メチル基、エチル基、プ

ロピル基、イソプロピル基、*n*-ブチル基、*sec*-ブチル基、*tert*-ブチル基、ペンチル基、ヘキシル基、オクチル基、デシル基、ドデシル基、アリール基及びビニル基等の脂肪族炭化水素基、並びにこれらをアルキル基、アルコキシ基、アリール基、水酸基、アミノ基及びハロゲン原子等で置換した有機基であってよい。

[0109] 置換又は非置換の脂肪族炭化水素基は、置換又は非置換の脂環式炭化水素基を含む。例えば、置換又は非置換の脂環式炭化水素基は、シクロペンチル基、シクロヘキシル基、シクロヘプチル基、シクロペンテニル基及びシクロヘキセニル基等、並びにこれらをアルキル基、アルコキシ基、アリール基、アリールオキシ基、水酸基、アミノ基及びハロゲン原子等で置換した有機基であってよい。

[0110] 例えば、置換又は非置換の芳香族炭化水素基は、フェニル基及びトリル基等のアリール基；ジメチルフェニル基、エチルフェニル基、ブチルフェニル基及び*tert*-ブチルフェニル基等のアルキル基置換アリール基；メトキシフェニル基、エトキシフェニル基、ブトキシフェニル基及び*tert*-ブトキシフェニル基等のアルコキシ基置換アリール基；並びにこれらをアルキル基、アルコキシ基、アリール基、アリールオキシ基、アミノ基及びハロゲン原子等で置換した有機基であってもよい。

[0111] 上記一般式（I-O）において、 $R^{51} \sim R^{54}$ が置換又は非置換の脂肪族炭化水素基であってよく、且つ $R^{55} \sim R^{58}$ が置換又は非置換の芳香族炭化水素基であってもよい。

[0112] 例えば、テトラ置換ホスホニウム・テトラ置換ボレートは、テトラブチルホスホニウム・テトラフェニルボレート、*n*-ブチルトリフェニルホスホニウム・テトラフェニルボレート、テトラフェニルホスホニウム・テトラフェニルボレート、トリメチルフェニルホスホニウム・テトラフェニルボレート、ジエチルメチルフェニルホスホニウム・テトラフェニルボレート、ジアリルメチルフェニルホスホニウム・テトラフェニルボレート、（2-ハイドロ

キシエチル) トリフェニルホスホニウム・テトラフェニルボレート、エチルトリホスホニウム・テトラフェニルボレート、p-キシレンビス(トリフェニルホスホニウム・テトラフェニルボレート)、テトラフェニルホスホニウム・テトラエチルボレート、テトラフェニルホスホニウム・トリエチルフェニルボレート、及びテトラフェニルホスホニウム・テトラブチルボレートからなる群より選ばれる少なくとも一つの化合物であってよい。これらの中でも、コンパウンドの保存安定性の観点から、テトラブチルホスホニウム・テトラフェニルボレートが好ましい。

[0113] 上記一般式(1-0)で表される化合物としては、PX-4PB(北興化学株式会社製、商品名)が挙げられる。

[0114] 上記の硬化促進剤を用いることで耐熱性に優れた異方性ボンド磁石が得られる。コンパウンドは、上記のうち一種の硬化促進剤を含んでよい。コンパウンドは、上記のうち複数種の硬化促進剤を含んでもよい。

[0115] 硬化促進剤の配合量は、硬化促進効果が得られる量であればよく、特に限定されない。ただし、熱硬化性樹脂の硬化性及び磁場中での磁石粉末の配向性の観点から、硬化促進剤の配合量は、100質量部のエポキシ樹脂に対して、好ましくは0.1質量部以上30質量部以下、より好ましくは1質量部以上15質量部以下であってよい。硬化促進剤の配合量が0.1質量部未満である場合、十分な硬化促進効果が得られ難い。硬化促進剤の配合量が30質量部を超える場合、コンパウンドの保存安定性が低下し易い。硬化促進剤の含有量は、エポキシ樹脂及び硬化剤(例えばフェノール樹脂)の質量の合計に対して0.001質量部以上5質量部以下であることが好ましい。

[0116] <カップリング剤>

カップリング剤は、エポキシ樹脂(エポキシ化合物)等の樹脂組成物が有するグリシジル基と反応するカップリング剤であればよい。カップリング剤は、磁石粒子と樹脂組成物との密着性を向上させ、異方性ボンド磁石の機械的強度を向上させる。グリシジル基と反応するカップリング剤は、例えば、シラン系化合物(シランカップリング剤)であってよい。例えば、シランカ

カップリング剤は、エポキシシラン、メルカプトシラン、アミノシラン、アルキルシラン、ウレイドシラン、酸無水物系シラン（例えば、無水コハク酸基を有するシラン）及びビニルシラ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。

コンパウンドは、上記のうち一種のカップリング剤を含んでよい。コンパウンドは、上記のうち複数種のカップリング剤を含んでもよい。

[0117] <難燃剤>

コンパウンドの環境安全性、リサイクル性、成形加工性及び低コストのために、樹脂組成物は難燃剤を含んでよい。例えば、難燃剤は、臭素系難燃剤、燐系難燃剤、水和金属化合物系難燃剤、シリコーン系難燃剤、窒素含有化合物、ヒンダードアミン化合物、有機金属化合物および芳香族エンブラからなる群より選ばれる少なくとも一種の化合物であってよい。コンパウンドは、上記のうち一種の難燃剤を含んでよく、上記のうち複数種の難燃剤を備えてもよい。

[0118] <コンパウンドの作製>

磁石粉末、樹脂組成物、及びワックスを混合することにより、コンパウンドが得られる。磁石粉末、樹脂組成物を構成する各成分、及びワックス其々の質量は、上述されたコンパウンドの組成と整合するように調整される。磁石粉末、樹脂組成物を構成する全成分、ワックスの全てが一括して混合されてよい。磁石粉末及び樹脂組成物の混合物が予め作製された後、当該混合物及びワックスが混合されてもよい。

[0119] 以下の方法により、磁石粉末を構成する各磁石粒子の表面を樹脂組成物で被覆した後、磁石粉末及びワックスを混合することにより、コンパウンドが得られてもよい。

[0120] 樹脂組成物を有機溶媒中で均一に攪拌及び混合することにより、樹脂溶液が調製される。樹脂溶液は、熱硬化性樹脂に加えて、硬化剤、硬化促進剤、カップリング剤、難燃剤、流動助剤、及び反応性希釈剤等を含んでよい。有機溶媒は、樹脂組成物を溶解する液体であればよく、特に限定されない。例

例えば、有機溶媒は、アセトン、N-メチルピロリジノン（N-メチル-2-ピロリドン）、γ-ブチロラクトン、ジメチルホルムアミド、ジメチルスルホキシド、メチルエチルケトン、メチルイソブチルケトン、トルエン及びキシレンからなる群より選ばれる少なくとも一種の溶媒あってよい。

[0121] 上記の樹脂溶液及び磁石粉末を攪拌及び混合した後、有機溶媒を樹脂溶液から除去することにより、磁石粉末及び樹脂組成物からなる混合粉が得られる。樹脂溶液からの有機溶媒の除去に伴って、樹脂組成物が、磁石粉末を構成する各磁石粒子の表面に付着する。樹脂組成物は、各磁石粒子の表面の全体に付着してよい。樹脂組成物は、各磁石粒子の表面の一部のみに付着してもよい。有機溶媒を樹脂溶液から除去する方法は、特に限定されない。例えば、樹脂溶液及び磁石粉末の混合物を乾燥することにより、有機溶媒が樹脂溶液から除去されてよい。例えば、樹脂溶液を乾燥する方法は、真空乾燥であってよい。

[0122] 磁石粉末及び樹脂組成物からなる上記混合粉とワックスとを更に混合することにより、コンパウンドが得られてよい。

[0123] <タブレットの作製>

金型に充填されたコンパウンドの圧縮成型により、コンパウンドからなるタブレットが作製されてよい。タブレットの寸法及び形状は特に制限されない。例えば、タブレットは、円柱であってよい。例えば、円柱の直径は5 mm以上であってよく、円柱の高さは5 mm以上であってよい。タブレットの形状が維持され易い観点において、タブレットの作製のための成型圧力は、100 MPa以上であることが好ましい。タブレットの作製のための成型圧力が高過ぎる場合、上述の成型工程において磁石粉末が回転し難く、配向され難い。このような理由から、タブレットの作製のための成型圧力は、60 MPa以下であることが好ましい。

[0124] 本発明は必ずしも上述された実施形態に限定されるものではない。本発明の趣旨を逸脱しない範囲において、本発明の種々の変更が可能であり、これ等の変更例も本発明に含まれる。

実施例

[0125] 以下の実施例及び比較例により、本発明が詳細に説明される。本発明は以下の実施例によって限定されるものではない。

[0126] (実施例 1)

磁石粉末、熱硬化性樹脂、硬化促進剤、及びワックスを、プラスチックボトル内で 1 時間混合することにより、実施例 1 のコンパウンド（粉末）が作製された。プラスチックボトルの容量は、500 ml であった。

磁石粉末としては、 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ からなる主相を含む SmFeN 粉末が用いられた。磁石粉末は、住友金属鉱山株式会社製であった。

熱硬化性樹脂としては、エポキシ樹脂及びフェノールノボラック樹脂が用いられた。

エポキシ樹脂としては、三菱ケミカル株式会社製の YX-4000H が用いられた。YX-4000H は、ビフェニル型エポキシ樹脂である。

フェノールノボラック樹脂としては、昭和電工マテリアルズ株式会社製の HP-850N が用いられた。

硬化促進剤としては、四国化成株式会社製の C17Z が用いられた。C17Z は、イミダゾール系硬化促進剤である。

ワックスとしては、クラリアントケミカルズ株式会社製の Licowax E が用いられた。Licowax E は、モンタン酸エステルである。Licowax E の滴点は、82℃ である。

コンパウンド中の磁石粉末の質量は、下記表 1 に示される。

コンパウンド中の YX-4000H の質量は、下記表 1 に示される。

コンパウンド中の HP-850N の質量は、下記表 1 に示される。

コンパウンド中の C17Z の質量は、下記表 1 に示される。

コンパウンド中の Licowax E の質量は、下記表 1 に示される。

下記表 1 に記載の質量の単位は、グラム (g) である。

$(M2/M1) \times 100$ は、下記表 1 に示される。 $(M2/M1) \times 100$ の定義は、上述の通りである。

[0127] 以下の方法により、実施例1のコンパウンドから磁性成形体及び異方性ボンド磁石が作製された。成型装置（油圧プレス装置）としては、株式会社玉川製作所製のTM-MPH10525-10A2TM型が用いられた。

[0128] 供給工程では、約2gのコンパウンドが、成型装置の型内に供給された。型（キャビティー）の形状は立方体であり、型（キャビティー）の容量は7mm×7mm×7mmであった。

[0129] 成型工程では、型の温度が成型温度 T_m に達するまで、型が3～5分間加熱された。成型温度 T_m は100℃であった。つまり、成型温度 T_m は、ワックスの滴点（82℃）より高く、且つコンパウンド中の熱硬化性樹脂の熱硬化温度未満であった。

成型工程として、以下の第一加圧工程と、第一加圧工程に続く第二加圧工程が実施された。第一加圧工程では、成型温度 T_m で加熱された型内のコンパウンドへ静磁場を印加しながら、型内のコンパウンドが10MPa（第一圧力 P_1 ）で1分間圧縮された。静磁場の強度は、1.0Tに維持された。第二加圧工程では、成型温度 T_m で加熱された型内のコンパウンド（成形体）が1000MPa（第二圧力 P_2 ）で5分間圧縮された。

以上の成型工程により、コンパウンドから成形体が形成された。第二加圧工程では、ワックスが成形体から除去された。第二加圧工程中、成形体から除去されたワックスは、型に形成されたクリアランスを通じて、型（キャビティー）の外へ排出された。

[0130] 成型工程に続く冷却工程では、成形体が収容された型が、100℃（成型温度 T_m ）から50℃（ワックスの滴点未満である温度）まで冷却された。型は大気中で約10分間冷却された。冷却工程後、成形体が型から取り出された。

[0131] 冷却工程後の脱磁工程では、逆磁場を成形体へ印加することにより、成形体が脱磁された。逆磁場の方向は、成型工程に用いた静磁場の方向と逆であった。

[0132] 脱磁工程後の熱硬化工程では、180℃（熱硬化性樹脂の熱硬化温度以上

である温度)で成形体を20分間加熱することにより、磁性成形体を得られた。

[0133] 熱硬化工程後の着磁工程では、磁場を磁性成形体へ印加することにより、異方性ボンド磁石が得られた。着磁工程に用いた磁場の方向は、成型工程に用いた静磁場の方向と同じであった。

[0134] <残留磁束密度の測定>

異方性ボンド磁石の残留磁束密度 B_r (単位: テスラ) が測定された。 B_r の測定には、高感度型常電導電磁石タイプ (電磁石式) の振動試料型磁力計 (Vibrating Sample Magnetometer; VSM) が用いられた。振動試料型磁力計は、株式会社玉川製作所製であった。実施例1の異方性ボンド磁石の残留磁束密度 B_r は、下記表1に示される。

[0135] <圧壊強度の測定>

万能圧縮試験機を用いて、圧縮圧力が異方性ボンド磁石の端面に印加された。つまり、異方性ボンド磁石の高さ方向において、圧縮圧力が異方性ボンド磁石へ印加された。圧縮圧力を増加させて、異方性ボンド磁石が破壊された時の圧縮圧力が測定された。異方性ボンド磁石が破壊された時の圧縮圧力は、圧壊強度 (単位: MPa) を意味する。万能圧縮試験機としては、株式会社島津製作所製のAG-10TRBが用いられた。圧壊強度の測定におけるクロスヘッドの速度は、0.5 mm/分であった。圧壊強度の測定は室温で行われた。実施例1の異方性ボンド磁石の圧壊強度は、下記表1に示される。

[0136] (実施例2)

実施例2のコンパウンドの作製では、熱硬化性樹脂として、KIR-30が用いられた。上述の通り、KIR-30は、京セラ株式会社製の商品である。KIR-30は、ビスマレイミドのアミノフェノール付加体及びエポキシ樹脂の混合物 (未硬化樹脂) を含む。

実施例2のコンパウンド中のKIR-30の質量は、下記表1に示される

。

実施例2のコンパウンド中のLicowax Eの質量は、下記表1に示される。

実施例2の $(M2/M1) \times 100$ は、下記表1に示される。

上記の事項を除いて実施例1と同様の方法で、実施例2のコンパウンド、磁性成形体及び異方性ボンド磁石が作製された。実施例1と同様の方法で、実施例2の異方性ボンド磁石のBr及び圧壊強度が測定された。実施例2の測定結果は、下記表1に示される。

[0137] (実施例3)

実施例3のコンパウンドの作製では、熱硬化性樹脂として、KIR-30が用いられた。

実施例3のコンパウンド中のKIR-30の質量は、下記表1に示される

。

実施例3のコンパウンド中のLicowax Eの質量は、下記表1に示される。

実施例3の $(M2/M1) \times 100$ は、下記表1に示される。

上記の事項を除いて実施例1と同様の方法で、実施例3のコンパウンド、磁性成形体及び異方性ボンド磁石が作製された。実施例1と同様の方法で、実施例3の異方性ボンド磁石のBr及び圧壊強度が測定された。実施例3の測定結果は、下記表1に示される。

[0138] (実施例4)

実施例4のコンパウンドの作製では、熱硬化性樹脂として、KIR-30が用いられた。

実施例4のコンパウンド中のKIR-30の質量は、下記表1に示される

。

実施例4のコンパウンド中のLicowax Eの質量は、下記表1に示される。

実施例4の $(M2/M1) \times 100$ は、下記表1に示される。

上記の事項を除いて実施例 1 と同様の方法で、実施例 4 のコンパウンド、磁性成形体及び異方性ボンド磁石が作製された。実施例 1 と同様の方法で、実施例 4 の異方性ボンド磁石の B_r 及び圧壊強度が測定された。実施例 4 の測定結果は、下記表 1 に示される。

[0139] (実施例 5)

実施例 5 のコンパウンド中の磁石粉末の質量は、下記表 1 に示される。

実施例 5 のコンパウンド中の $YX-4000H$ の質量は、下記表 1 に示される。

実施例 5 のコンパウンド中の $HP-850N$ の質量は、下記表 1 に示される。

実施例 5 のコンパウンド中の $Licowax E$ の質量は、下記表 1 に示される。

実施例 5 の $(M2/M1) \times 100$ は、下記表 1 に示される。

上記の事項を除いて実施例 1 と同様の方法で、実施例 5 のコンパウンド、磁性成形体及び異方性ボンド磁石が作製された。実施例 1 と同様の方法で、実施例 5 の異方性ボンド磁石の B_r 及び圧壊強度が測定された。実施例 5 の測定結果は、下記表 1 に示される。

[0140] (比較例 1)

比較例 1 の成型工程における成型温度 T_m は、 60°C であった。つまり、比較例 1 の成型温度 T_m は、ワックスの滴点 (82°C) よりも低かった。

上記の事項を除いて実施例 1 と同様の方法で、比較例 1 のコンパウンド、磁性成形体及び異方性ボンド磁石が作製された。実施例 1 と同様の方法で、比較例 1 の異方性ボンド磁石の B_r 及び圧壊強度が測定された。比較例 1 の測定結果は、下記表 1 に示される。

[0141] (比較例 2)

比較例 2 の第二加圧工程における第二圧力 P_2 は、 500MPa であった。比較例 2 の第二加圧工程中、ワックスは、型に形成されたクリアランスを通じて、型の外へ排出されなかった。つまり、比較例 2 の成型工程では、ワ

ックスは実質的に成形体から除去されなかった。

上記の事項を除いて実施例 1 と同様の方法で、比較例 2 のコンパウンド、磁性成形体及び異方性ボンド磁石が作製された。実施例 1 と同様の方法で、比較例 2 の異方性ボンド磁石の B_r 及び圧壊強度が測定された。比較例 2 の測定結果は、下記表 1 に示される。

[0142] (比較例 3)

比較例 3 の第二加圧工程における第二圧力 P_2 は、500 MPa であった。比較例 3 の第二加圧工程中、ワックスは、型に形成されたクリアランスを通じて、型の外へ排出されなかった。つまり、比較例 3 の成型工程では、ワックスは実質的に成形体から除去されなかった。

上記の事項を除いて実施例 2 と同様の方法で、比較例 3 のコンパウンド、磁性成形体及び異方性ボンド磁石が作製された。実施例 1 と同様の方法で、比較例 3 の異方性ボンド磁石の B_r 及び圧壊強度が測定された。比較例 3 の測定結果は、下記表 1 に示される。

[0143] (比較例 4)

比較例 4 の脱磁工程は、実施されなかった。脱磁工程を除いて実施例 1 と同様の方法で、比較例 4 の磁性成形体及び異方性ボンド磁石の作製が試みられた。しかし、比較例 4 の熱硬化工程では、成形体の表面が毛羽立った (fluffed)。その結果、成形体の形状及び成形体中の磁石粉末の配向性が損なわれ、比較例 4 の磁性成形体及び異方性ボンド磁石を作製することはできなかった。

[0144]

[表1]

表 1	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4	実施例 5	比較例 1	比較例 2	比較例 3	比較例 4
磁石粉末 [g]	980	980	980	980	960	980	980	980	980
YX-4000H [g]	12.8	0	0	0	25.6	12.8	12.8	0	12.8
HP-850N [g]	7.2	0	0	0	14.4	7.2	7.2	0	7.2
KIR-30 [g]	0	20	20	20	0	0	0	20	0
Licowax E [g]	25	30	20	40	30	25	25	30	25
CZ17 [g]	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
(M2/M1) × 100 [-]	2.5	3.0	2.0	4.0	3.0	2.5	2.5	3.0	2.5
Br [T]	1.03	1.02	1.02	1.02	0.81	0.44	0.61	0.81	—
圧壊強度 [MPa]	58	37	38	37	54	52	45	29	—

産業上の利用可能性

[0145] 例えば、本発明の一側面によれば、残留磁束密度及び機械的強度に優れた異方性ボンド磁石が提供される。

符号の説明

[0146] 2…コンパウンド、2 A…成形体、2 B…異方性ボンド磁石、3…磁石粒子（磁石粉末）、4…ワックス、5…熱硬化性樹脂（樹脂組成物）、6…クリアランス、10…製造装置（成型装置）、c 1…第一コイル、c 2…第二コイル、d 1…ダイ、H…磁場、m…磁石粒子の磁化方向、M…異方性ボンド磁石の磁化方向、p 1…第一パンチ、p 2…第二パンチ、P 1…第一圧力、P 2…第二圧力。

請求の範囲

- [請求項1] 磁石粉末と熱硬化性樹脂とワックスとを含むコンパウンドを、型内に供給する供給工程と、
- 成型温度 T_m で加熱された前記型内の前記コンパウンドへ磁場を印加しながら、前記型内の前記コンパウンドを圧縮することにより、前記コンパウンドから成形体を形成し、且つ前記成形体から前記ワックスを除去する成型工程と、
- 前記成型工程後、前記成形体を脱磁する脱磁工程と、
- 前記脱磁工程後、前記熱硬化性樹脂の熱硬化温度以上である温度で前記成形体を加熱することにより、磁性成形体を得る熱硬化工程と、
- を備え、
- 前記磁石粉末が、 $S_m - Fe - N$ 系永久磁石を含み、
- 前記成型温度 T_m が、前記ワックスの滴点以上であり、且つ前記熱硬化性樹脂の前記熱硬化温度未満である、
- 磁性成形体の製造方法。
- [請求項2] 前記成型工程が、第一加圧工程と、前記第一加圧工程に続く第二加圧工程と、を含み、
- 前記第一加圧工程において、前記成型温度 T_m で加熱された前記型内の前記コンパウンドへ作用する圧力が、第一圧力 P_1 に維持され、
- 前記第二加圧工程において、前記成型温度 T_m で加熱された前記型内の前記コンパウンドへ作用する圧力が、第二圧力 P_2 に維持され、
- 前記第二圧力 P_2 が、前記第一圧力 P_1 よりも高く、
- 前記第二加圧工程において、前記成形体から前記ワックスが除去される、
- 請求項1に記載の磁性成形体の製造方法。
- [請求項3] 前記成型工程において、前記成型温度 T_m で加熱された前記型内の前記コンパウンドへ作用する圧力を、第二圧力 P_2 まで連続的に増加させることにより、前記成形体から前記ワックスが除去される、

請求項 1 に記載の磁性成形体の製造方法。

[請求項4] 前記成形体が収容された前記型を、前記成型温度 T_m から前記滴点未満である温度まで冷却する冷却工程を更に備え、
前記冷却工程が、前記成型工程に続き、
前記脱磁工程が、前記冷却工程後に実施される、
請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の磁性成形体の製造方法。

[請求項5] クリアランスが前記型に形成されており、
前記成型温度 T_m での前記ワックスの粘度が、前記成型温度 T_m での前記熱硬化性樹脂の粘度よりも低く、
前記成型工程では、前記成形体から除去された前記ワックスが、前記クリアランスを通じて、前記型外へ排出される、
請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の磁性成形体の製造方法。

[請求項6] 前記磁石粉末の質量及び前記熱硬化性樹脂の質量の合計が、 M_1 と表され、
前記コンパウンド中の前記ワックスの質量が、 M_2 と表され、
 $(M_2 / M_1) \times 100$ が、2 以上 10 以下である、
請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の磁性成形体の製造方法。

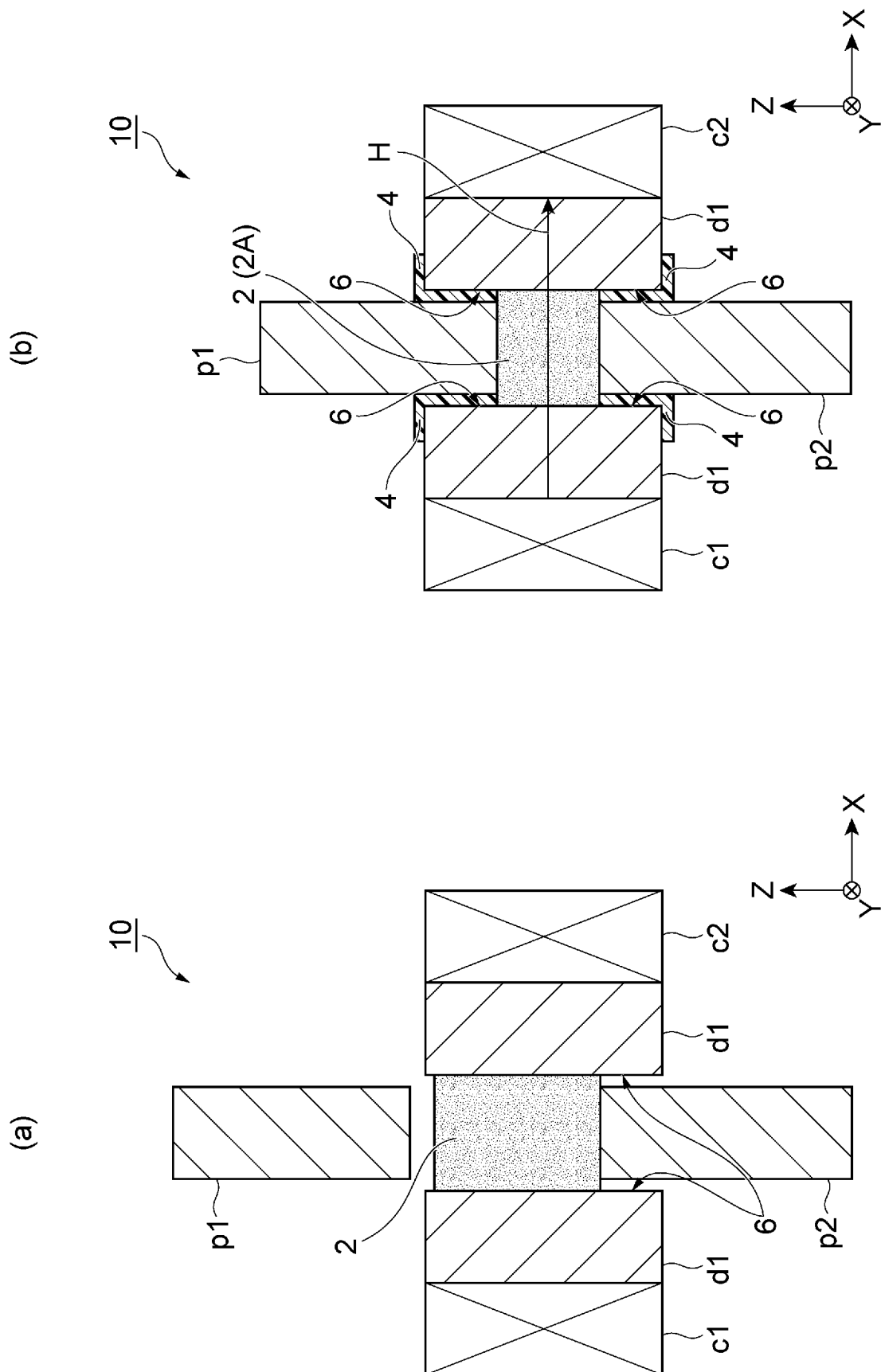
[請求項7] 前記熱硬化性樹脂が、エポキシ樹脂、マレイミド化合物、ポリイミド、ポリアミド、及びポリアミドイミドからなる群より選ばれる少なくとも一つの樹脂を含む、
請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の磁性成形体の製造方法。

[請求項8] 前記ワックスが、モンタン酸エステルを含む、
請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の磁性成形体の製造方法。

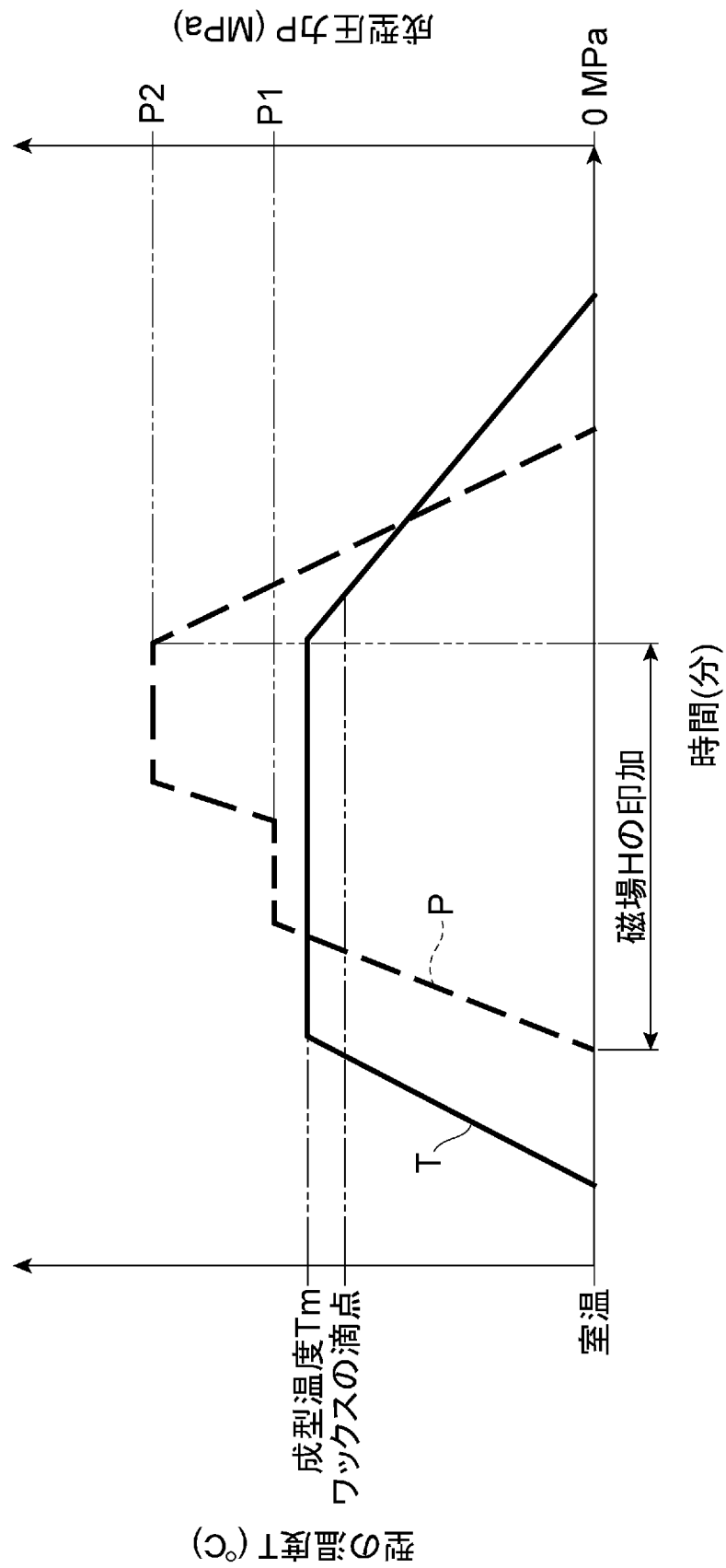
[請求項9] 請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の磁性成形体の製造方法を備え、
前記磁性成形体を着磁することにより、異方性ボンド磁石を得る着磁工程を更に備える、
異方性ボンド磁石の製造方法。

- [請求項10] 請求項4に記載の磁性成形体の製造方法を備え、
前記磁性成形体を着磁することにより、異方性ボンド磁石を得る着
磁工程を更に備える、
異方性ボンド磁石の製造方法。
- [請求項11] 請求項5に記載の磁性成形体の製造方法を備え、
前記磁性成形体を着磁することにより、異方性ボンド磁石を得る着
磁工程を更に備える、
異方性ボンド磁石の製造方法。
- [請求項12] 請求項6に記載の磁性成形体の製造方法を備え、
前記磁性成形体を着磁することにより、異方性ボンド磁石を得る着
磁工程を更に備える、
異方性ボンド磁石の製造方法。
- [請求項13] 請求項7に記載の磁性成形体の製造方法を備え、
前記磁性成形体を着磁することにより、異方性ボンド磁石を得る着
磁工程を更に備える、
異方性ボンド磁石の製造方法。
- [請求項14] 請求項8に記載の磁性成形体の製造方法を備え、
前記磁性成形体を着磁することにより、異方性ボンド磁石を得る着
磁工程を更に備える、
異方性ボンド磁石の製造方法。

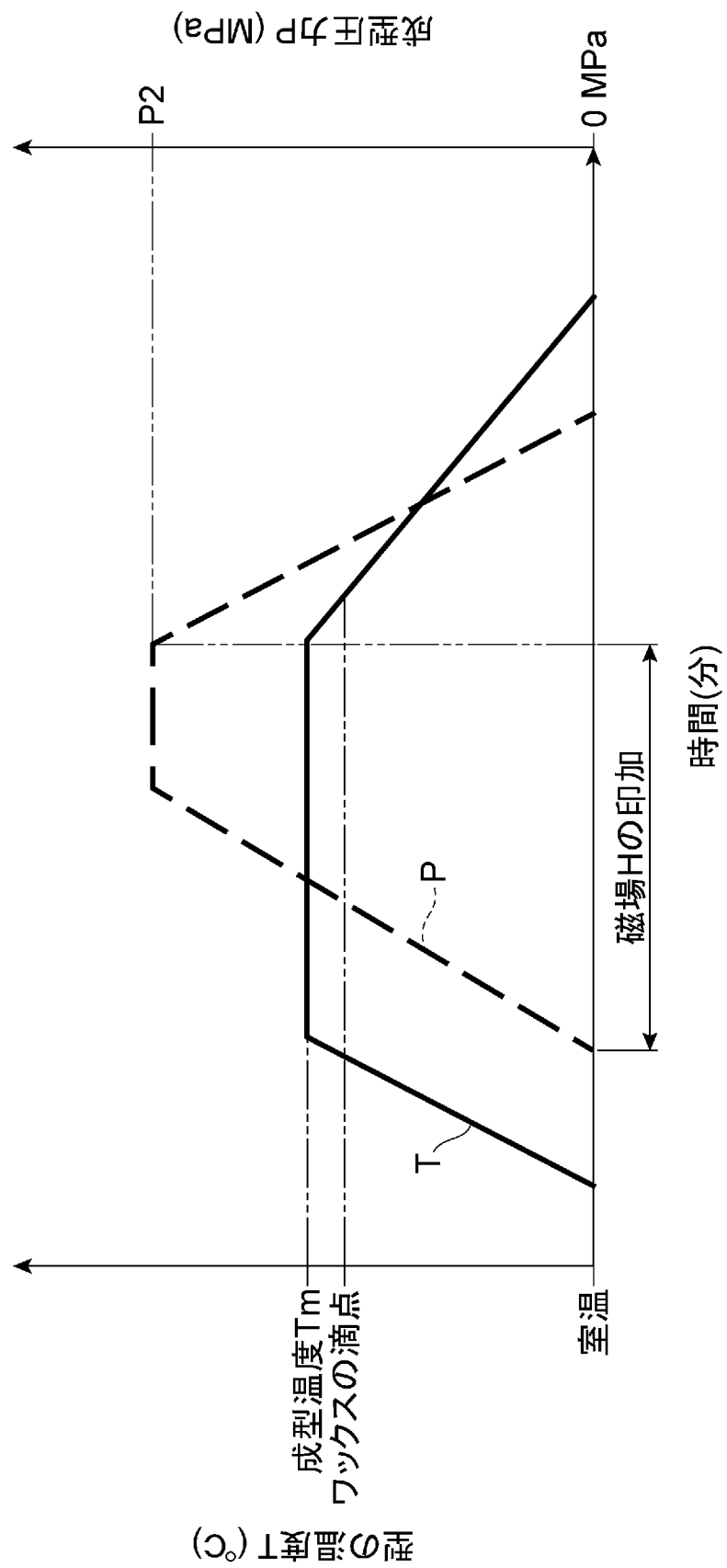
[図1]



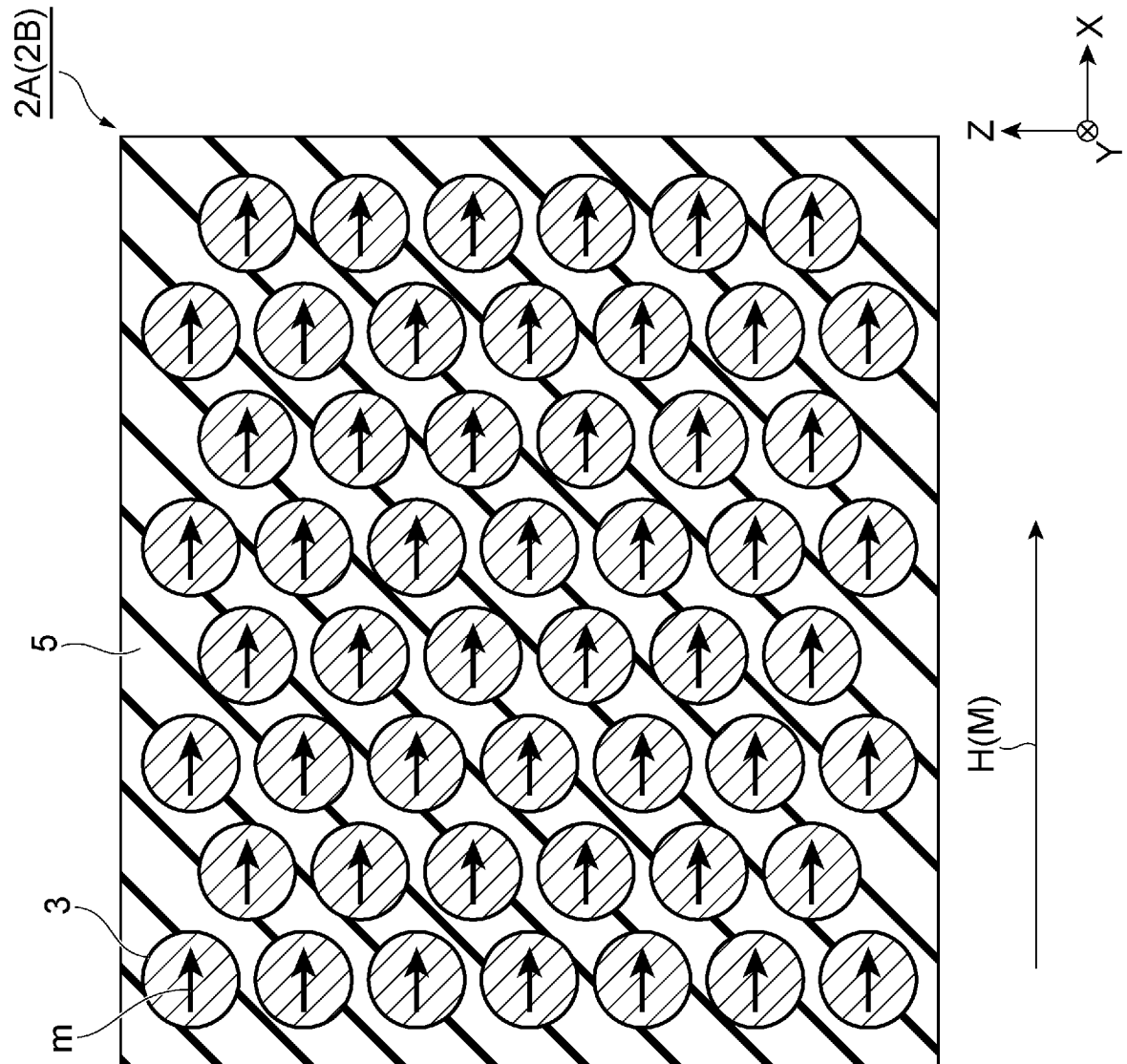
[図2]



[図3]



[図4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/048013

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H01F 41/02**(2006.01)i; **H01F 1/055**(2006.01)i; **H01F 1/059**(2006.01)i; **H01F 1/08**(2006.01)i

FI: H01F41/02 G; H01F1/055 180; H01F1/059 160; H01F1/08 130

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)

H01F41/02; H01F1/055; H01F1/059; H01F1/08

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 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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.
A	JP 9-232132 A (SEIKO EPSON CORPORATION) 05 September 1997 (1997-09-05)	1-14
A	WO 2022/220295 A1 (SHOWA DENKO MATERIALS CO., LTD.) 20 October 2022 (2022-10-20)	1-14
A	WO 2019/106813 A1 (HITACHI CHEMICAL COMPANY, LTD.) 06 June 2019 (2019-06-06)	1-14
A	JP 2005-260016 A (SHOWA HIGHPOLYMER CO., LTD.) 22 September 2005 (2005-09-22)	1-14
A	JP 2005-311149 A (SHOWA HIGHPOLYMER CO., LTD.) 04 November 2005 (2005-11-04)	1-14
A	JP 2014-132599 A (AICHI STEEL WORKS LTD.) 17 July 2014 (2014-07-17)	1-14
A	JP 2001-185412 A (SUMITOMO METAL MINING CO., LTD.) 06 July 2001 (2001-07-06)	1-14
A	JP 2007-250646 A (SUMITOMO METAL MINING CO., LTD.) 27 September 2007 (2007-09-27)	1-14
A	US 2014/0170014 A1 (KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS) 19 June 2014 (2014-06-19)	1-14



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

03 February 2023

Date of mailing of the international search report

14 February 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/048013

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	9-232132	A	05 September 1997	(Family: none)	
WO	2022/220295	A1	20 October 2022	(Family: none)	
WO	2019/106813	A1	06 June 2019	US	2020/0385566 A1
				EP	3719050 A1
				CN	111386295 A
JP	2005-260016	A	22 September 2005	(Family: none)	
JP	2005-311149	A	04 November 2005	(Family: none)	
JP	2014-132599	A	17 July 2014	WO	2012/128371 A1
JP	2001-185412	A	06 July 2001	(Family: none)	
JP	2007-250646	A	27 September 2007	(Family: none)	
US	2014/0170014	A1	19 June 2014	DE	102013207194 A1

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01F 41/02(2006.01)i; H01F 1/055(2006.01)i; H01F 1/059(2006.01)i; H01F 1/08(2006.01)i FI: H01F41/02 G; H01F1/055 180; H01F1/059 160; H01F1/08 130										
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）） H01F41/02; H01F1/055; H01F1/059; H01F1/08										
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年
日本国実用新案公報	1922 - 1996年									
日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2023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								
A	JP 9-232132 A（セイコーエプソン株式会社）05.09.1997（1997 - 09 - 05）	1-14								
A	WO 2022/220295 A1（昭和電工マテリアルズ株式会社）20.10.2022（2022 - 10 - 20）	1-14								
A	WO 2019/106813 A1（日立化成株式会社）06.06.2019（2019 - 06 - 06）	1-14								
A	JP 2005-260016 A（昭和高分子株式会社）22.09.2005（2005 - 09 - 22）	1-14								
A	JP 2005-311149 A（昭和高分子株式会社）04.11.2005（2005 - 11 - 04）	1-14								
A	JP 2014-132599 A（愛知製鋼株式会社）17.07.2014（2014 - 07 - 17）	1-14								
A	JP 2001-185412 A（住友金属鉱山株式会社）06.07.2001（2001 - 07 - 06）	1-14								
A	JP 2007-250646 A（住友金属鉱山株式会社）27.09.2007（2007 - 09 - 27）	1-14								
A	US 2014/0170014 A1（KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS）19.06.2014（2014 - 06 - 19）	1-14								
☐ 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抵触するものではなく、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 03.02.2023	国際調査報告の発送日 14.02.2023									
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 秋山 直人 5D 5893 電話番号 03-3581-1101 内線 3551									

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/048013

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	9-232132	A	05.09.1997	(ファミリーなし)	
WO	2022/220295	A1	20.10.2022	(ファミリーなし)	
WO	2019/106813	A1	06.06.2019	US	2020/0385566 A1
				EP	3719050 A1
				CN	111386295 A
JP	2005-260016	A	22.09.2005	(ファミリーなし)	
JP	2005-311149	A	04.11.2005	(ファミリーなし)	
JP	2014-132599	A	17.07.2014	WO	2012/128371 A1
JP	2001-185412	A	06.07.2001	(ファミリーなし)	
JP	2007-250646	A	27.09.2007	(ファミリーなし)	
US	2014/0170014	A1	19.06.2014	DE	102013207194 A1