

(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
2016年2月25日(25.02.2016)



(10) 国際公開番号

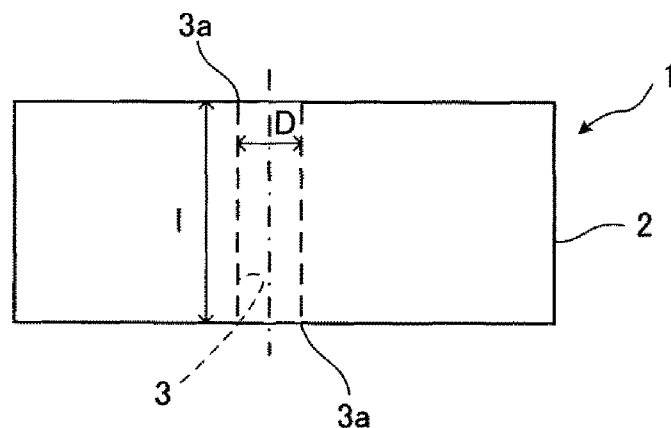
WO 2016/027643 A1

- (51) 国際特許分類:
B22C 3/00 (2006.01) B22C 9/02 (2006.01)
B22C 7/02 (2006.01) B22C 9/04 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/071755
- (22) 国際出願日: 2015年7月31日(31.07.2015)
- (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 2014-165865 2014年8月18日(18.08.2014) JP
- (71) 出願人: 株式会社神戸製鋼所(KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBELCO 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: 堤 一之(TSUTSUMI, Kazuyuki). 小西 毅(KONISHI, Tsuyoshi).
- (74) 代理人: 鮫島 睦, 外(SAMEJIMA, Mutsumi et al.);
〒5300017 大阪府大阪市北区角田町8番1号梅田阪急ビルオフィスタワー青山特許事務所
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, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, 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), ユーロピア (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: EVAPORATIVE-PATTERN CASTING METHOD

(54) 発明の名称: 消失模型鑄造方法

[図1B]



(57) Abstract: The present invention enables formation of a small hole having a diameter of 18 mm or less and a length of 100 mm or greater, the small hole being in excellent condition upon finishing. Where the diameter of a hole 3 is D (mm), where a flexural strength (bending strength) of a mold wash that was heated until resin breakdown and then cooled back down to room temperature is σ_c (MPa), and where the thickness of the mold wash that is to be coated on a foam mold 2 is 1 mm or greater, the mold wash satisfies the following formula. $\sigma_c \geq -0.36 + 140 / D^2$

(57) 要約: 直径が18mm以下で長さが100mm以上である、仕上がり状態が良好な細穴を鑄抜くことができるようにする。穴部3の直径をD(mm)、樹脂分解するまで加熱した後に常温に戻した塗型剤の抗折強度(曲げ強さ)を σ_c (MPa)とすると、発泡模型2に塗布する塗型剤の厚みを1mm以上とし、且つ、以下の式を満たす塗型剤を用いる。 $\sigma_c \geq -0.36 + 140 / D^2$

WO 2016/027643 A1

明 細 書

発明の名称： 消失模型鑄造方法

技術分野

[0001] 本発明は、穴を備えた鑄物を鑄造する消失模型鑄造方法に関する。

背景技術

[0002] 一般的な砂型鑄造による方法に対して、寸法精度の優れた鑄物を鑄造する方法がいくつか提案されている。例えば、インベストメント鑄造法（別名、ロストワックス法）、石膏鑄型鑄造法、消失模型鑄造法などが開発されている。

[0003] その中でも、消失模型鑄造法は、鑄造によって鑄物の内部に穴を形成する（「鑄抜き」と呼ばれる）のに最も適した方法であると考えられる。ここで、消失模型鑄造法は、発泡模型の表面に塗型剤を塗布してなる鑄型を鑄砂の中に埋めた後に、鑄型内に金属の溶湯を注ぎ込み、発泡模型を消失させて溶湯と置換することで、鑄物を鑄造する方法である。

[0004] 特許文献1には、鑄造時の鑄込み時間を、模型のモジュラス（模型の体積÷模型の表面積）に応じて設定する消失模型鑄造法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2011-110577号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] ところで、消失模型鑄造法では、鑄造中（凝固進行中）において、発泡模型の穴部の表面に塗布された塗型剤、および、穴部の内部に充填された鑄砂に対して、周囲からの熱負荷が大きく、また、溶湯から様々な外力が作用する。なお、発泡模型の穴部は、鑄抜きによって穴が形成される部分である。そのため、概念図である図11に示すように、穴部23の穴端部23aや中央部23bにおいて塗型剤24が損傷して、穴部23の内部に充填された鑄

砂 2 5 に溶湯 2 6 が染み出すことがある。特に、直径が 1 8 m m 以下の細穴を鑄抜きする場合には、塗型剤 2 4 に損傷が生じることで、溶湯 2 6 と鑄砂 2 5 とが融着する「焼き付き」が生じて、仕上がり状態が良好な細穴を形成することが困難になる。

[0007] そこで、通常、直径が 1 8 m m 以下で長さが 5 0 m m 以上の細穴は鑄抜きせずに、鑄造した鑄物に後から機械加工で細穴をあけている。あるいは、数度の試作を行って塗型剤の材質や鑄造条件（注湯時の溶湯温度）を決めることで、直径が 1 8 m m 以下で長さが 5 0 m m 以上の細穴を鑄抜いているが、安定的な製造は難しい。

[0008] 本発明の目的は、直径が 1 8 m m 以下で長さが 1 0 0 m m 以上である、仕上がり状態が良好な細穴を鑄抜くことが可能な消失模型鑄造方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明は、発泡模型の表面に塗型剤を塗布してなる鑄型を鑄砂の中に埋めた後に、前記鑄型内に金属の溶湯を注ぎ込み、前記発泡模型を消失させて前記溶湯と置換することで、鑄物を鑄造する消失模型鑄造方法において、鑄造によって、直径が 1 8 m m 以下の穴を前記鑄物に形成するとともに、前記穴が形成される部分である前記発泡模型の穴部の直径を D (m m)、樹脂分解するまで加熱した後に常温に戻した前記塗型剤の抗折強度を σ_c (M P a) とすると、前記発泡模型に塗布する前記塗型剤の厚みを 1 m m 以上とし、且つ、以下の式を満たす前記塗型剤を用いることを特徴とする。

$$\sigma_c \geq -0.36 + 140/D^2$$

発明の効果

[0010] 本発明によると、鑄造によって、直径が 1 8 m m 以下の穴を鑄物に形成するに際し、発泡模型に塗布する塗型剤の厚みを 1 m m 以上とし、且つ、上記の式を満たす塗型剤を用いる。塗型剤の高温強度を直接測定することは困難であり、また、常温の塗型剤の抗折強度と、塗型剤の高温強度との相関は小さい。そこで、高温下における塗型剤の強度の代わりに、樹脂分解するまで

加熱した後に常温に戻した塗型剤の抗折強度を用いると、上記の式が得られる。よって、上記の式を満たす塗型剤を用いて、発泡模型に塗布する塗型剤の厚みを1 mm以上とすることで、直径が18 mm以下で長さが100 mm以上の細穴を備えた鋳物を鋳造しても、塗型剤が損傷しないようにすることができる。これにより、鋳造時に焼き付きが生じないので、直径が18 mm以下で長さが100 mm以上である、仕上がり状態が良好な細穴を鋳抜くことができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1A]鋳型の上面図である。

[図1B]鋳型の側面図である。

[図2]鋳型の側面図である。

[図3]図2のA－A断面図である。

[図4]図2の要部Bの拡大図である。

[図5]鋳型の側面図である。

[図6]図5のC－C断面図である。

[図7]図5の要部Dの拡大図である。

[図8]塗型剤の種類と平均鋳抜き可能径との関係を示す図である。

[図9]乾燥させた塗型剤の常温における抗折強度と鋳抜き可能径との関係を示す図である。

[図10]樹脂分解するまで加熱した後に常温に戻した塗型剤の抗折強度と、鋳抜き可能径との関係を示す図である。

[図11]消失模型鋳造法による鋳造の概念図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本発明の好適な実施の形態について、図面を参照しつつ説明する。

[0013] (消失模型鋳造方法)

本発明の実施形態による消失模型鋳造方法は、発泡模型の表面に塗型剤を塗布してなる鋳型を鋳砂（乾燥砂）の中に埋めた後に、鋳型内に金属の溶湯を注ぎ込み、発泡模型を消失させて溶湯と置換することで、鋳物を鋳造する

方法である。この消失模型鑄造方法は、「鑄抜き」によって、例えば、直径が18mm以下で長さが100mm以上の細穴を備えた鑄物を鑄造するのに最も適した方法であると考えられる。

[0014] 消失模型鑄造方法は、金属（鑄鉄）を溶解して溶湯とする溶解工程と、発泡模型を成形する成形工程と、発泡模型の表面に塗型剤を塗布して鑄型とする塗布工程と、を有している。さらに、消失模型鑄造方法は、鑄型を鑄砂の中に埋めて鑄型の隅々にまで鑄砂を充填する造型工程と、鑄型内に溶湯（熔融金属）を注ぎ込むことで、発泡模型を溶かして溶湯と置換する鑄込工程と、鑄型内に注ぎ込んだ溶湯を冷却して鑄物にする冷却工程と、鑄物と鑄砂とを分離する分離工程と、を有している。

[0015] 溶湯にする金属としては、ねずみ鑄鉄（JIS G 5501:1995 FC250）または片状黒鉛鑄鉄（JIS G 5501:1995 FC300）などを用いることができる。また、発泡模型としては、発泡スチロールなどの発泡樹脂を用いることができる。また、塗型剤としては、シリカ系骨材の塗型剤などを用いることができる。また、鑄砂としては、 SiO_2 を主成分とする「けい砂」、ジルコン砂、クロマイト砂または合成セラミック砂などを用いることができる。なお、鑄砂に粘結剤または硬化剤を添加してもよい。

[0016] ここで、本実施形態では、発泡模型に塗布する塗型剤の厚みを1mm以上としている。なお、塗型剤の厚みは3mm以下が好ましい。塗型剤の厚みが3mm以上になると、塗型剤の塗布と乾燥とを3回以上繰り返す必要があり手間がかかる上に、厚みが不均一になりやすいからである。また、以下の式（1）を満たす塗型剤を用いている。

[0017] $\sigma_c \geq -0.36 + 140/D^2 \cdots \text{式(1)}$

ここで、Dは発泡模型の穴部の直径（mm）、 σ_c は樹脂分解するまで加熱した後に常温に戻した塗型剤の抗折強度（曲げ強さ）（MPa）である。なお、発泡模型の穴部は、鑄抜きによって穴が形成される部分である。

[0018] ここで、上面図である図1Aおよび側面図である図1Bに示すように、直

方体の発泡模型 2 の中央部に、直径が D (mm) で長さが l (mm) の穴部 3 が上面から下面にかけて貫通して設けられた鑄型 1 を用いて、直径が 18 mm 以下で長さが 100 mm 以上の細穴を備えた鑄物を鑄造する場合について考える。なお、穴部 3 は、その穴端部 3 a において発泡模型 2 の面との間に角が生じるように設けられている。即ち、穴端部 3 a にテーパなどの加工は施されていない。また、穴部 3 の直径 D は、穴部 3 の中心線を挟んだ穴部 3 の表面間の長さであり、穴部 3 の表面に塗布された塗型剤の表面間の長さではない。

[0019] ここで、細穴の直径は、10 mm 以上であることが好ましい。また、細穴の直径は、18 mm 以下であることがより好ましい。直径 10 mm の細穴の表面に厚み 3 mm の塗型剤を塗布すると、細穴の内側の空間の内径が 4 mm となり、細穴の内部に鑄砂を投入するのが困難になるからである。

[0020] まず、基本的な鑄造条件にしたがって、発泡模型 2 の穴部 3 の表面に塗布された塗型剤に作用する負荷を予測する。ここで、細穴を鉛直方向に沿って設ける場合、穴部 3 の穴端部 3 a に塗布した塗型剤には以下の外力が作用する。

(1) 溶湯の静圧 (σ_p)

(2) 溶湯の流れによる動圧 (σ_m)

(3) 塗型剤と溶湯との凝固時の熱収縮・膨張差 (σ_{thout})

(4) 穴部 3 内の鑄砂と塗型剤との熱収縮・膨張差 (σ_{thin})

(5) 発泡模型の燃焼で発生したガスの圧力 (P_{gout}) (σ_{gout})

(6) 発泡模型の燃焼で発生したガスが穴部 3 の内部に溜まって生じる内圧 (P_{gin}) (σ_{gin})

[0021] したがって、溶湯（熔融金属）の温度と同等の高温下における塗型剤の強度を σ_b とすると、以下の式 (2) が成立すれば、塗型剤の損傷による溶湯と鑄砂との「焼き付き」を生じさせることなく、「鑄抜き」することが可能となる。

[0022] $\sigma_b > \sigma_p + \sigma_m + \sigma_{thout} + \sigma_{thin} + \sigma_{gout} + \sigma_{gin} \cdots$ 式 (2)

[0023] 以下、各外力について検討する。

[0024] (溶湯の静圧)

鋳型 1 の側面図である図 2 に示すように、発泡模型 2 を消失させて溶湯 6 と置換すると、発泡模型 2 の周囲に充填された鋳砂 5 は、溶湯 6 の静圧を受ける。図 2 の A-A 断面図である図 3 に示すように、穴部 3 の表面に塗布された塗型剤 4 は、周方向に圧縮力を受ける。

[0025] ここで、発泡模型 2 の周囲に充填された鋳砂 5 の量が十分である場合には、図 2 の要部 B の拡大図である図 4 に示すように、穴端部 3 a に塗布された塗型剤 4 において、溶湯 6 の静圧と鋳砂 5 からの反力とが釣り合う。よって、穴部 3 の軸方向の負荷は無視することができる。

[0026] 一方、穴部 3 の内部に充填された鋳砂 5 の量が不十分である場合には、穴端部 3 a に塗布された塗型剤 4 には、溶湯 6 の静圧（浮力）による曲げ応力が作用する。

[0027] ここで、穴部 3 の直径を D (mm)、重力加速度を g 、溶湯 6 の密度を ρ_m (kg/mm^3) とすると、溶湯 6 の静圧による穴部 3 (半円) への外力 w (N/mm) は、平均ヘッド差 (溶湯の湯口と穴部 3 との鉛直方向高さの差) h (mm) として、次式 (3) で求めることができる。なお、溶湯の湯口とは、穴部よりも上方において、発泡模型を囲む鋳砂に開口されて、溶湯が注ぎ込まれる箇所である。

$$\begin{aligned}
 [0028] \quad w &= \rho_m g h \times \int (D/2 \sin \theta \times \theta) d\theta \\
 &= \rho_m g h D/2 \times \int \sin^2 \theta d\theta \\
 &= \rho_m g h D/2 [\theta/2 - \sin 2\theta/4] \\
 &= (\pi/4) \rho_m g h D \cdots \text{式 (3)}
 \end{aligned}$$

[0029] 溶湯 6 の静圧により、穴部 3 の表面に塗布された厚み t (mm) の塗型剤 4 に作用する応力は、穴部 3 の内部に充填された鋳砂 5 からの反力が無いと仮定して平板に近似すると、梁理論から次式 (4) の σ_p (MPa) となる。

$$[0030] \quad \sigma_p \doteq M/l \times t/2 = (\pi/8) \rho_m g h l^2 / t^2 \cdots \text{式 (4)}$$

ここで、 M は穴部3の両端に作用するモーメント、 I は半円筒の断面2次モーメントである。

$$M = (\pi / 48) \rho_m g h D I^2$$

$$I = D t^3 / 12$$

[0031] (溶湯の流れによる動圧)

溶湯の流れによる動圧は、溶湯の流れが静かであることを前提とすると、無視することができる。

[0032] (塗型剤と溶湯との凝固時の熱収縮・膨張差)

線膨張率は、鋳砂より鋳鉄の方が大きい。よって、塗型剤と溶湯との凝固時の熱収縮・膨張差は、塗型剤の軸方向に圧縮力を与える。この圧縮力は、塗型剤が形成する円管が座屈により破壊される原因になりうるが、無視できるほど小さいと考えられる。また、塗型剤の周方向の応力も無視することができる。

[0033] (穴部内の鋳砂と塗型剤との熱収縮・膨張差)

穴部3内の鋳砂や塗型剤は、溶湯よりも温度変化が小さい。よって、穴部3内の鋳砂と塗型剤との熱収縮・膨張差による影響は、塗型剤と溶湯との凝固時の熱収縮・膨張差よりも小さく、無視することができる。

[0034] (発泡模型の燃焼で発生したガスの圧力)

鋳型1の側面図である図5に示すように、発泡模型2を消失させて溶湯6と置換すると、発泡模型2の周囲に充填された鋳砂5は、発泡模型2の燃焼で発生したガスの圧力を受ける。

[0035] 図5のC-C断面図である図6に示すように、穴部3の表面に塗布された塗型剤4は、周方向に圧縮力を受ける。しかし、図5の要部Dの拡大図である図7に示すように、穴部3の軸方向には、次式(5)の引張力を与える。

[0036] $\sigma_{gout} \propto P_{gout} / D^2 \cdots$ 式(5)

[0037] なお、図7に示すように、発泡模型2の周囲に充填された鋳砂5の量が十分である場合には、ガスの圧力と鋳砂5からの反力とが釣り合うので、穴部3の軸方向の負荷は無視することができる。

[0038] (発泡模型の燃焼で発生したガスが穴部の内部に溜まって生じる内圧)

発泡模型2の燃焼で発生したガスが穴部3の内部に溜まって生じる内圧は、塗型剤に式(6)の周方向の応力、および、式(7)の軸方向の応力を生じさせる。

[0039] $\sigma_{gin} \div D \times P_{gin} / t \cdots$ 式(6)

$\sigma_{ginz} \div D \times P_{gin} / (2t) \cdots$ 式(7)

[0040] ここで、穴部3の直径Dが小さいほど鋳抜きがし難いことから、式(6)、式(7)で表される外力の影響は無視できるほど小さいといえる。

[0041] 以上から、鋳砂の充填量が十分である場合には、塗型剤への負荷は小さい。しかし、実際には、鋳砂からの反力は十分ではなく、塗型剤には、溶湯の静圧による曲げ応力、および、発泡模型2の燃焼で発生したガスの圧力による軸方向の引張力が作用する。よって、塗型剤は、これらに耐えうる強度を有する必要がある。したがって、鋳抜き条件として、式(2)は、式(4)と式(5)とを用いて、式(8)のように近似することができる。

[0042] $\sigma_b > \sigma_p + \sigma_{gout} = (\pi/8) \rho_m g h l^2 / t^2 + k P_{gout} / D^2 + \gamma \cdots$ 式(8)

ここで、kは比例定数、 $\gamma = \sigma_m + \sigma_{thout} + \sigma_{thin} + \sigma_{gin} \div 0$ である。

[0043] 式(8)は、鋳砂の反力が無いときに成立する、もっとも厳しい条件である。そこで、鋳砂の反力も加味して各項を係数に置き換えると、式(9)のような、穴部3の直径Dと長さl、および、塗型剤の厚みtの関数とすることができる。

[0044] $\sigma_b > \alpha \cdot l^2 / t^2 + \beta / D^2 \cdots$ 式(9)

[0045] ここで、高温下における塗型剤の強度 σ_b (MPa)の代わりに、樹脂分解するまで加熱した後に常温に戻した塗型剤の抗折強度 σ_c (MPa)を用いる。すると、樹脂分解するまで加熱した後に常温に戻した塗型剤の抗折強度と、穴部の鋳抜き可能な直径(鋳抜き可能径)との関係から、式(9)は式(10)で表すことができる。なお、樹脂分解するまで加熱した後に常温に戻した塗型剤の抗折強度と、鋳抜き可能径との関係については後述する。

[0046] $\sigma_c \geq -0.36 + 140/D^2 \cdots$ 式(10)

[0047] よって、上記の式(10)を満たす塗型剤を用いて、発泡模型に塗布する塗型剤の厚みを1mm以上とすることで、直径が18mm以下で長さが100mm以上の細穴を備えた鋳物を鋳造しても、塗型剤が損傷しないようにすることができる。

[0048] (鋳抜き評価)

次に、発泡模型に塗布する塗型剤の厚みを1mmとし、鋳抜きで形成する細穴の長さを100mmとした場合について、塗型剤、鋳砂、および、穴部3の直径をそれぞれ異ならせて、鋳抜きの可否を評価した。塗型剤の種類を表1に、鋳砂の種類を表2に、それぞれ示す。また、鋳抜き可否の結果を表3に示す。また、塗型剤の種類と平均鋳抜き可能径との関係を図8に示す。

[0049] [表1]

塗型剤	かさ密度 ρ_c (g/cm ³)	常温抗折強度 TSc' (MPa)	骨材粒径 ($\times 100 \mu\text{m}$)
A	1.3~1.5	>1.5	1
B	2.8~3.0	>4.4	0.9
C	1.3~1.5	>5.0	1.5

物性はすべて乾燥後の値

[0050] [表2]

通称・製品名	主成分	かさ密度 ρ_s (g/cm ³)	線膨張係数 α_s (1/°C)
けい砂	SiO ₂	1.3~1.5	1×10^{-5}
人工砂	Al ₂ O ₃	1.7	0.3×10^{-5}
	3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂		
ジルコン砂	ZrO ₂ ·SiO ₂	2.8~3.0	0.3×10^{-5}

[0051] [表3]

組合せ	塗型剤	穴部の砂	鑄抜き可能径(平均値*) (mm)
1	A	けい砂	16
2	A	ジルコン砂	14
3	A	人工砂	11
4	B	けい砂	13
5	B	ジルコン砂	11
6	B	人工砂	12
7	C	けい砂	17
8	C	ジルコン砂	16
9	C	人工砂	16

* 樹脂を使用した時と使用しない時との平均値

[0052] この評価は、同じ成分のねずみ鑄鉄（J I S G 5501 : 1995 F C 250）を用いて、同じ鑄造方法で行っている。よって、表1に示した3種類の塗型剤は、それぞれ高温強度（最高温度約1200℃）が式（9）を満たすものと推定できる。

[0053] ここで、塗型剤の高温強度を直接測定することは困難である。そこで、塗型剤の強度を間接的に推定する方法を検討した。乾燥させた塗型剤の常温における抗折強度（曲げ強さ）（表1）と鑄抜き可能径（表3）との関係を図9に示す。図9からわかるように、両者の相関は低い。よって、常温の塗型剤の抗折強度と、塗型剤の高温強度との相関は小さい。これは、塗型剤が乾燥した後の抗折強度においては、粘結剤（樹脂分）の特性が強く影響する一方、実際の鑄造で塗型剤が200～400℃以上に加熱されると、粘結剤が分解して生じる炭素（あるいは炭化物）に関係する別のメカニズムによる強

度特性が支配的になるためと考えられる。

[0054] そこで、乾燥した塗型剤を樹脂分解するまで加熱して焼結体とし、それを常温に冷却してから抗折強度を測定した。本実施形態では乾燥した塗型剤を 1100°C に加熱した後、常温まで冷却して抗折強度試験を実施した。樹脂分解するまで加熱した後に常温に戻した塗型剤の抗折強度と、鋳抜き可能径との関係を図10に示す。

なお、抗折強度試験は、以下の要領により実施した。

(1) 塗型剤を型に流し込み、室温または 25°C で12時間以上自然乾燥した後、 50°C の恒温乾燥機で2時間以上乾燥し、その後所定の大きさに切り出し、 $50\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 、厚さ $2 \pm 0.5\text{ mm}$ の測定用試験片を作製した。

(2) 作製した試験片に対して、中央集中荷重による3点曲げ試験により抗折力を測定した。この際、試験片作製時に型と接触して乾燥した面に対して荷重 ($0.05 \sim 0.1\text{ N/s}$) を負荷した。

(3) 試験後に、試験片の破断面の厚みを、中央および両端を含む3箇所以上で測定してその平均値を用いて、抗折力を算出した。

(4) 同一条件により作製した試験片を用いて、上記3点曲げ試験を3回以上行い、その抗折力の平均値を求め、この平均値を塗型剤の抗折強度とした。

(5) 上記3点曲げ試験は、 $0.05 \sim 0.1\text{ N/s}$ の負荷能力を有する抗折試験機を用い、支点間距離 40 mm で支点先端形状が $R1.5\text{ mm}$ の試験用治具を用いた。

[0055] 図10に示す関係から、鋳抜きで形成する穴の直径を $D\text{ (mm)}$ 、樹脂分解するまで一度加熱した後に常温に戻した塗型剤の抗折強度（曲げ強さ）を $\sigma_c\text{ (MPa)}$ とすると、次式(11)が得られる。

[0056] $\sigma_c \geq -0.36 + 140/D^2 \cdots$ 式(11)

[0057] よって、式(11)を満たす塗型剤を用いることで、直径が 18 mm 以下で長さが 100 mm 以上の細穴を備えた鋳物を鋳造しても、塗型剤が損傷し

ないようにすることができるとわかる。

[0058] (実施例)

次に、ねずみ鋳鉄 (J I S G 5501 : 1995 FC250) を溶湯として用いて、100 (mm) × 100 (mm) × 200 (mm) の直方体の発泡模型に、上面から下面にかけて貫通する、長さ100 mmで直径14 mmの穴部を配置した鋳型を用いて、細穴を備えた鋳物を鋳造した。

[0059] 鋳造には、式 (1) に $D = 14$ (mm) を代入することで得られた、骨材径が $100 \mu\text{m}$ 以下のシリカ系骨材の塗型剤 (表1のB) を用いた。また、鋳砂として SiO_2 を主成分とする「けい砂」を用いた。

[0060] 発泡模型に塗型剤を1 mm以上塗布して鋳造を行った結果、「焼き付き」を生じさせることなく、仕上がり状態が良好な細穴を鋳抜くことができた。

[0061] (効果)

以上に述べたように、本実施形態に係る消失模型鋳造方法によると、鋳造によって、直径が18 mm以下の穴を鋳物に形成するに際し、発泡模型2に塗布する塗型剤の厚みを1 mm以上とし、且つ、上記の式 (1) を満たす塗型剤を用いる。塗型剤の高温強度を直接測定することは困難であり、また、常温の塗型剤の抗折強度と、塗型剤の高温強度との相関は小さい。そこで、高温下における塗型剤の強度の代わりに、樹脂分解するまで加熱した後に常温に戻した塗型剤の抗折強度を用いると、上記の式 (1) が得られる。よって、上記の式 (1) を満たす塗型剤を用いて、発泡模型2に塗布する塗型剤の厚みを1 mm以上とすることで、直径が18 mm以下で長さが100 mm以上の細穴を備えた鋳物を鋳造しても、塗型剤が損傷しないようにすることができる。これにより、鋳造時に焼き付きが生じないので、直径が18 mm以下で長さが100 mm以上である、仕上がり状態が良好な細穴を鋳抜くことができる。

[0062] (本実施形態の変形例)

以上、本発明の実施形態を説明したが、具体例を例示したに過ぎず、特に本発明を限定するものではなく、具体的構成などは、適宜設計変更可能であ

る。また、発明の実施の形態に記載された、作用及び効果は、本発明から生じる最も好適な作用及び効果を列挙したに過ぎず、本発明による作用及び効果は、本発明の実施の形態に記載されたものに限定されるものではない。

[0063] 本出願は、出願日が2014年8月18日である日本国特許出願、特願第2014-165865号を基礎出願とする優先権主張を伴い、特願第2014-165865号は参照することにより本明細書に取り込まれる。

符号の説明

- [0064]
- 1 鋳型
 - 2 発泡模型
 - 3 穴部
 - 3 a 穴端部
 - 4 塗型剤
 - 4 a 端部
 - 5 鋳砂
 - 6 溶湯
 - 2 3 穴部
 - 2 3 a 穴端部
 - 2 3 b 中央部
 - 2 4 塗型剤
 - 2 5 鋳砂
 - 2 6 溶湯

請求の範囲

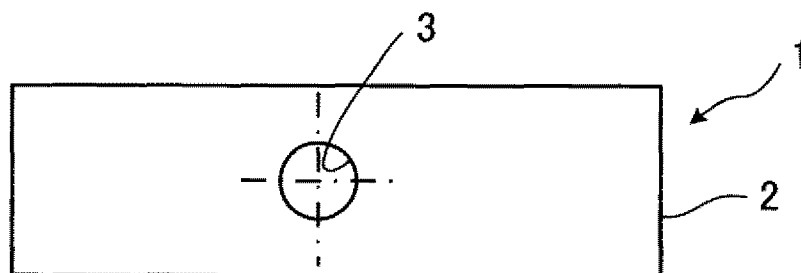
[請求項1] 発泡模型の表面に塗型剤を塗布してなる鋳型を鋳砂の中に埋めた後に、前記鋳型内に金属の溶湯を注ぎ込み、前記発泡模型を消失させて前記溶湯と置換することで、鋳物を鋳造する消失模型鋳造方法において、

鋳造によって、直径が18mm以下の穴を前記鋳物に形成するとともに、

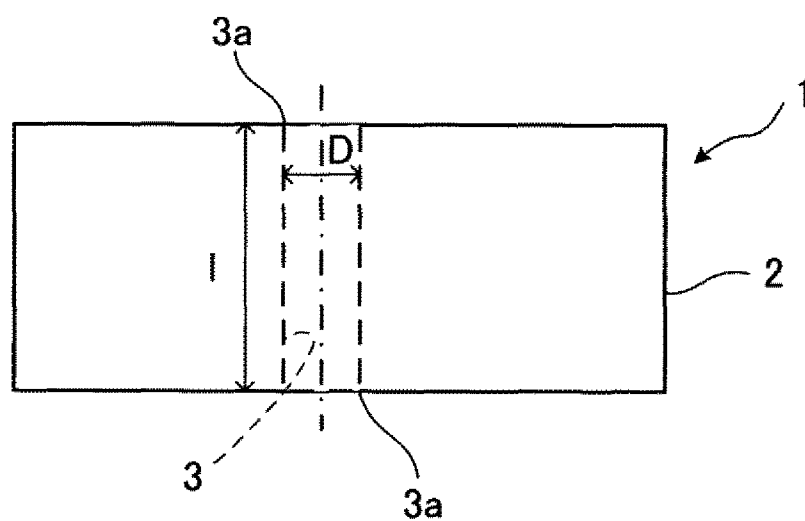
前記穴が形成される部分である前記発泡模型の穴部の直径をD（mm）、樹脂分解するまで加熱した後に常温に戻した前記塗型剤の抗折強度を σ_c （MPa）とすると、前記発泡模型に塗布する前記塗型剤の厚みを1mm以上とし、且つ、以下の式を満たす前記塗型剤を用いることを特徴とする消失模型鋳造方法。

$$\sigma_c \geq -0.36 + 140/D^2$$

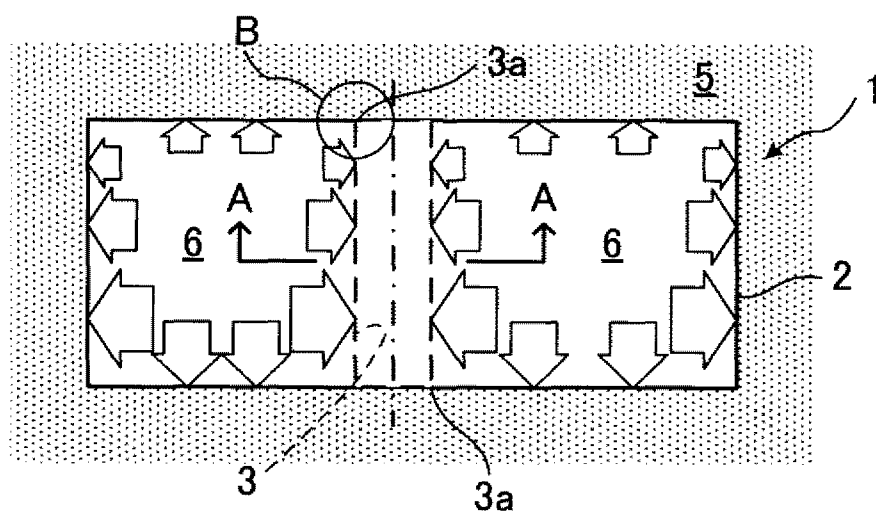
[図1A]



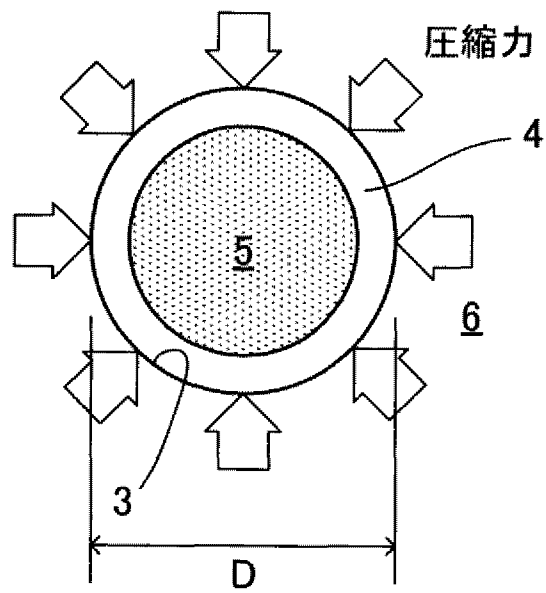
[図1B]



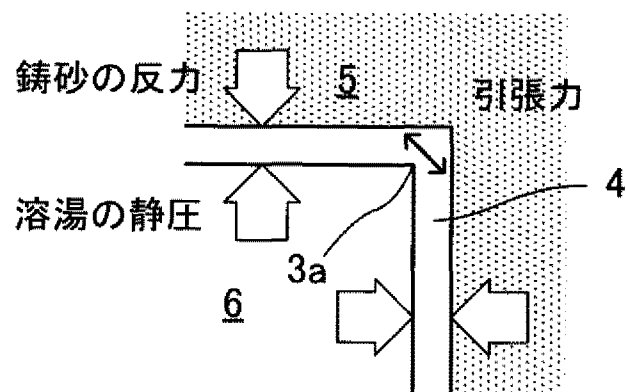
[図2]



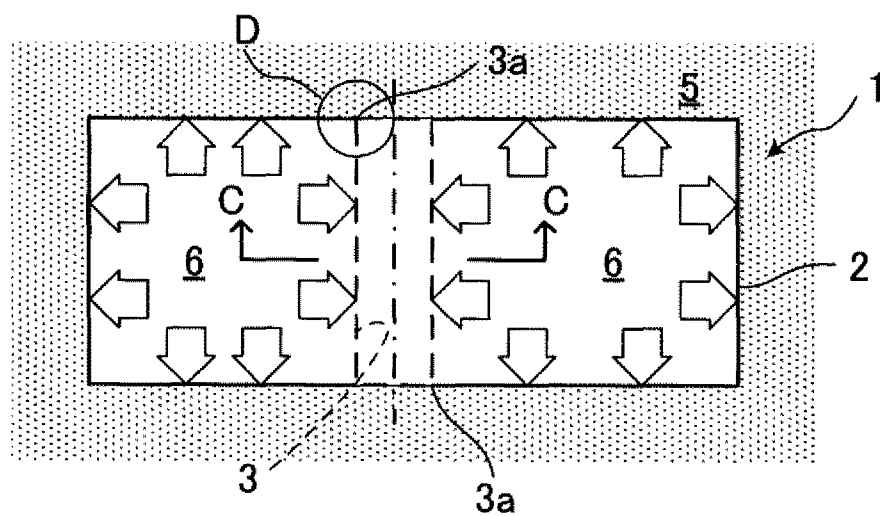
[図3]



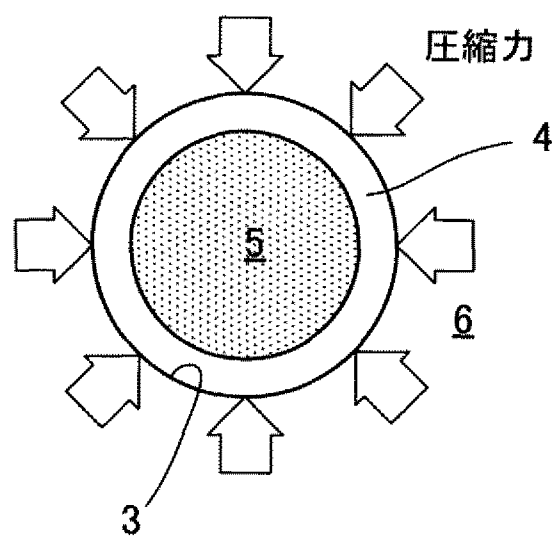
[図4]



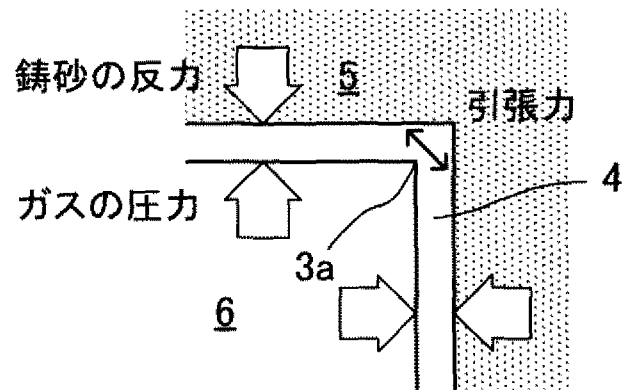
[図5]



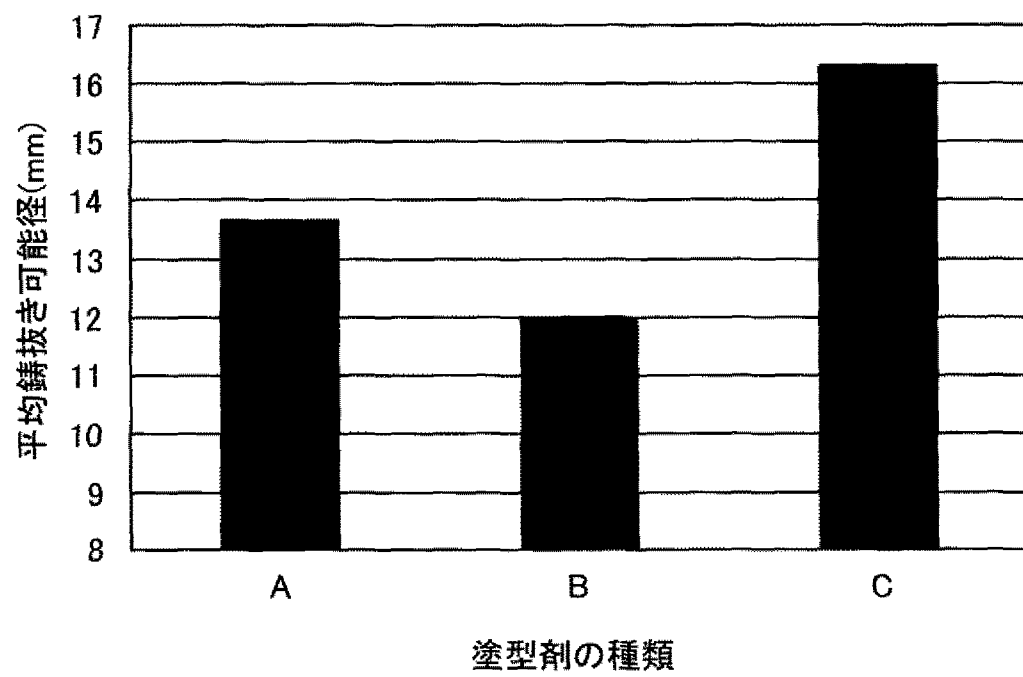
[図6]



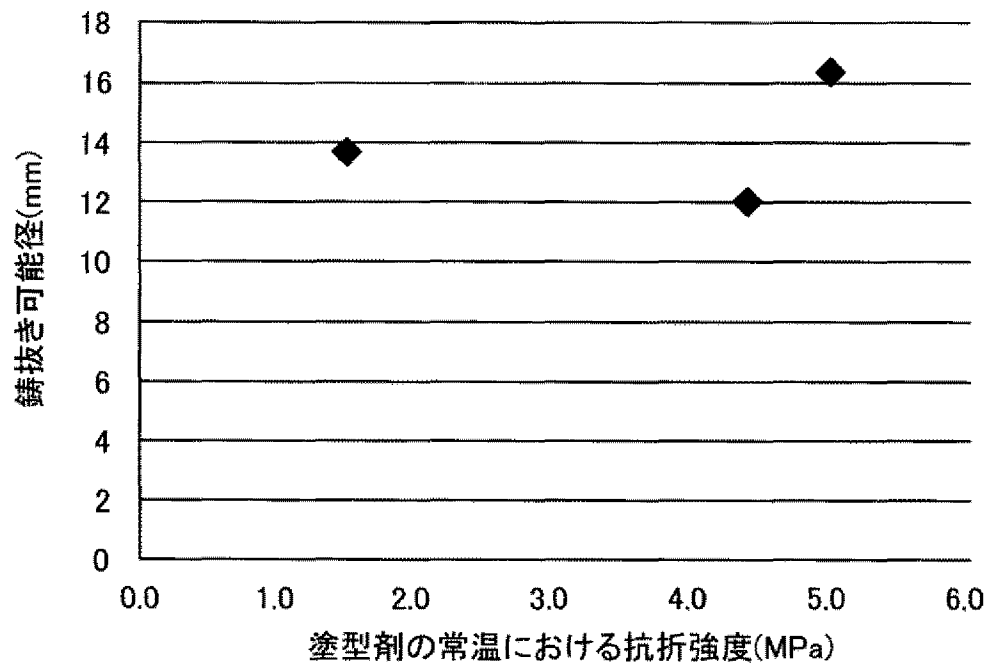
[図7]



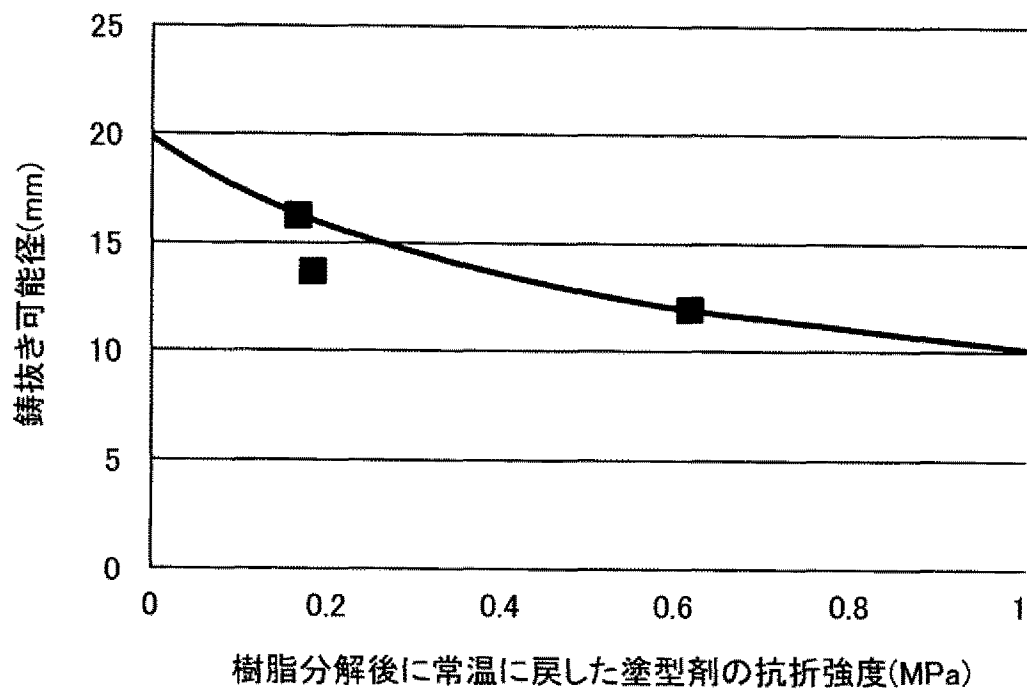
[図8]



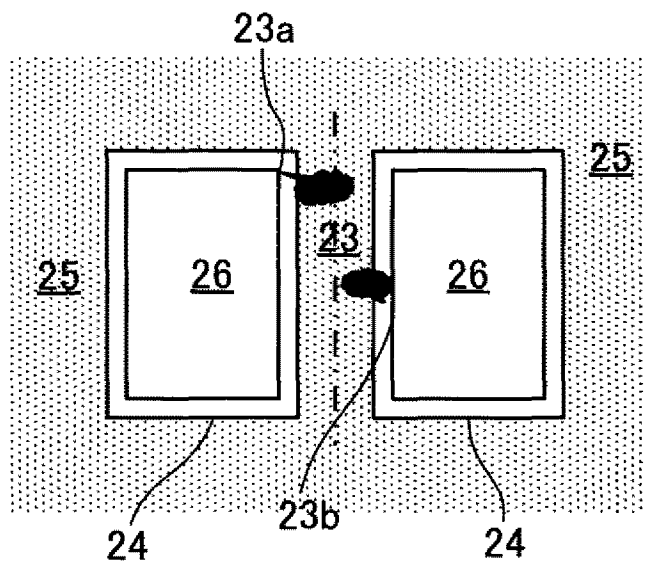
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/071755

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B22C3/00(2006.01)i, B22C7/02(2006.01)i, B22C9/02(2006.01)i, B22C9/04(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)

B22C3/00, B22C7/02, B22C9/02, B22C9/04

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 63-183744 A (Nabeya Co., Ltd.), 29 July 1988 (29.07.1988), Concrete Explanation of the Constitution; examples; fig. 1 to 8 (Family: none)	1
Y	JP 2003-290873 A (Kao Corp.), 14 October 2003 (14.10.2003), paragraphs [0003], [0011], [0030], [0035] (Family: none)	1
Y	JP 1-266941 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 24 October 1989 (24.10.1989), examples (Family: none)	1

☐ 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
27 October 2015 (27.10.15)

Date of mailing of the international search report
02 November 2015 (02.11.15)

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（I P C））

Int.Cl. B22C3/00(2006.01)i, B22C7/02(2006.01)i, B22C9/02(2006.01)i, B22C9/04(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. B22C3/00, B22C7/02, B22C9/02, B22C9/04

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 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 63-183744 A（株式会社 ナベヤ）1988.07.29, 構成の具体的説明・実施例, 第1-8図（ファミリーなし）	1
Y	JP 2003-290873 A（花王株式会社）2003.10.14, [0003][0011][0030][0035]（ファミリーなし）	1
Y	JP 1-266941 A（三菱重工業株式会社）1989.10.24, 実施例（ファミリーなし）	1

☐ 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 7 . 1 0 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

0 2 . 1 1 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

川崎 良平

4 E

4 6 6 1

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 2 5