(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1月18日(18.01.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/012602 A1

(51) 国際特許分類:
C22C 23/02 (2006.01)　*C22C 23/00* (2006.01)

(21) 国際出願番号：　PCT/JP2017/025598

(22) 国際出願日：　2017年7月13日(13.07.2017)

(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 2016-140004　2016年7月15日(15.07.2016)　JP

(71) 出願人：住友電気工業株式会社 **(SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.)** [JP/JP]；〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目５番３３号 Osaka (JP)．国立大学法人富山大学 **(NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION UNIVERSITY OF TOYAMA)** [JP/JP]；〒9308555 富山県富山市五福３１９０ Toyama (JP)．

(72) 発明者：水谷　学 **(MIZUTANI, Manabu)**；〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目１番１号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内 Hyogo (JP)．吉田 克仁 **(YOSHIDA, Katsuhito)**；〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目１番１号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内 Hyogo (JP)．河部 望 **(KAWABE, Nozomu)**；〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目１番１号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内 Hyogo (JP)．才川 清二 **(SAIKAWA, Seiji)**；〒9308555 富山県富山市五福３１９０ 国立大学法人富山大学内 Toyama (JP)．

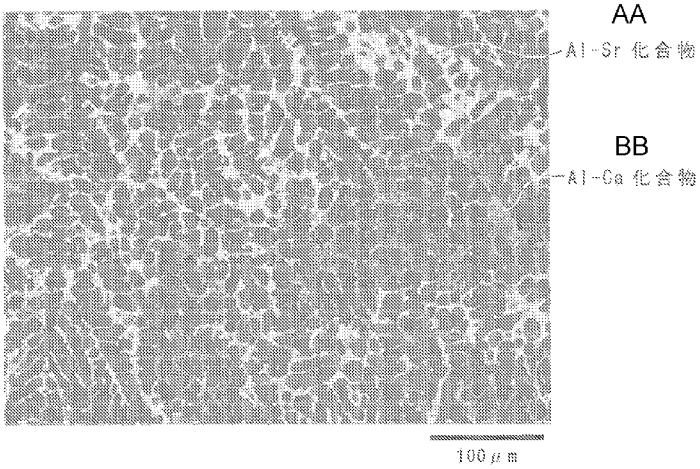
(74) 代理人：山野 宏 **(YAMANO, Hiroshi)**；〒5320011 大阪府大阪市淀川区西中島六丁目１番

WO 2018/012602 A1

(54) **Title:** MAGNESIUM ALLOY

(54) 発明の名称：マグネシウム合金

[図1]



AA　Al-Sr compound
BB　Al-Ca compound

(57) **Abstract:** A magnesium alloy containing 5.0 mass% to 15.0 mass% of Al, 2.5 mass% to 7.0 mass% of Sr, 0.05 mass% to less than 3.0 mass% of Ca, and 0.1 mass% to 0.6 mass% of Mn, the balance being Mg and unavoidable impurities.

(57) 要約：Ａｌを５．０質量％以上１５．０質量％以下、Ｓｒを２．５質量％以上７．０質量％以下、Ｃａを０．０５質量％以上３．０質量％未満、Ｍｎを０．１質量％以上０．６質量％以下含み、残部がＭｇ及び不可避不純物であるマグネシウム合金。

［続葉有］

３号 アストロ新大阪第２ビル１０階 啓明特許事務所 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, DJ, DK, DM, DO, 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:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

明　細　書

発明の名称 ： マグネシウム合金

技術分野

[0001] 本発明は、マグネシウム合金に関する。

本出願は、２０１６年７月１５日付の日本国出願の特願２０１６－１４００００４に基づく優先権を主張し、前記日本国出願に記載された全ての記載内容を援用するものである。

背景技術

[0002] マグネシウム合金は、実用金属で最も比重が小さく、比強度、比剛性に優れるので、軽量素材として注目されている。そのマグネシウム合金は、各種の添加元素を含有することで、各種の特性を有する（例えば、特許文献１や特許文献２）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２０１２－１３６７２７号公報

特許文献2：特開２０１０－２４２１４６号公報

発明の概要

[0004] 本開示に係るマグネシウム合金は、

Ａｌを５．０質量％以上１５．０質量％以下、

Ｓｒを２．５質量％以上７．０質量％以下、

Ｃａを０．０５質量％以上３．０質量％未満、

Ｍｎを０．１質量％以上０．６質量％以下含み、残部がＭｇ及び不可避不純物である。

図面の簡単な説明

[0005] [図1]試験例１で作製した試料Ｎｏ．１－１７のダイカスト材の断面を走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ）で観察した顕微鏡写真である。

発明を実施するための形態

[0006] ［本開示が解決しようとする課題］

耐熱性に優れる上に、難燃性に優れるマグネシウム合金の開発が望まれている。

[0007] 自動車部品や航空機部品などの部品は、使用環境温度が常温よりも高い場合がある。例えば、エンジンルームの近くに配置される部品は、使用環境温度が１００℃～１８０℃程度である場合があり、耐熱性に優れることが望まれる。特に、これらの部品は、他の部品や設置対象にボルトなどによって締結される場合、経時的な変形によって締結状態が緩む虞があり、締結力（残留軸力）が低下し難いこと、即ち高温耐クリープ性に優れることが望まれる。

[0008] これらの部品は、代表的には鋳造部材で構成されている。この鋳造部材を製造する際、マグネシウム合金の溶湯の発火を抑制するために、一般的に、防燃ガスが用いられている。この防燃ガスの使用は、部品コストが高くなる上にその扱いが煩雑になり易い。そのため、マグネシウム合金は難燃性に優れることが望まれる。

[0009] そこで、耐熱性に優れる上に、難燃性に優れるマグネシウム合金を提供することを目的の一つとする。

[0010] ［本開示の効果］

本開示のマグネシウム合金は、耐熱性に優れる上に、難燃性に優れる。

[0011] 《本発明の実施形態の説明》

本発明者らは、耐熱性に優れる上に、難燃性に優れるマグネシウム合金を製造するべく、添加元素の種類及び含有量を鋭意検討した。その結果、アルミニウム（Ａｌ）、ストロンチウム（Ｓｒ）、カルシウム（Ｃａ）、及びマンガン（Ｍｎ）を添加元素とし、Ｃａの量を比較的少なくすると共にＳｒの量を比較的多くすることで、耐熱性に優れる上に、難燃性に優れるマグネシウム合金が得られるとの知見を得た。本発明は、上記知見に基づくものである。最初に本発明の実施態様の内容を列記して説明する。

[0012] （１）本発明の一態様に係るマグネシウム合金は、

ＡｌをＳ．０質量％以上１５．０質量％以下、

ＳｒをＳ．５質量％以上７．０質量％以下、

ＣａをＯ．０５質量％以上３．０質量％未満、

ＭｎをＯ．１質量％以上Ｏ．６質量％以下含み、残部がＭｇ及び不可避不純物である。

[0013] 上記の構成によれば、耐熱性に優れる上に、難燃性に優れる。これは、詳しくは後述するが、Ｃａの量を比較的少なくすると共にＳｒの量を比較的多くしたためであると考えられる。耐熱性に優れることで、マグネシウム合金からなる各種の素材に好適に利用できる。難燃性に優れることで、大気中で溶解しても溶湯の発火を抑制できるため、防燃ガスを不要にできて製造作業性を向上できる。溶湯が発火しないとは、マグネシウム合金の代表的な溶湯温度で静置した状態において発火しないこと言う。各添加元素の詳細は、後述する。

[0014] （２）上記マグネシウム合金の一形態として、断面におけるＭｇとＡｌとを含む化合物の面積割合が５％以下である組織を備えることが挙げられる。

[0015] ＭｇとＡｌとを含む化合物は比較的低融点であるため、その化合物の面積割合を５％以下とすれば、耐熱性の低下を抑制し易い。

[0016] （３）上記マグネシウム合金の一形態として、希土類元素をＯ．５質量％以上３．０質量％以下含むことが挙げられる。

[0017] 希土類元素の含有量をＯ．５質量％以上とすれば、アルミニウムと希土類元素とを含む化合物を合金組織中に存在させられて、高温耐クリープ性を向上させ易い。希土類元素の含有量を３．０質量％以下とすれば、アルミニウムと希土類元素とを含む化合物が過度に多くなり過ぎることを抑制して、熱間割れを抑制し易い。

[0018] （４）上記マグネシウム合金の一形態として、ＳｒとＣａの合計含有量が６．０質量％以下であることが挙げられる。

[0019] ＳｒとＣａの合計含有量を６．０質量％以下とすれば、鋳造金型への焼付きと熱間割れなどの欠陥とを抑制し易い。

[0020] 《本発明の実施形態の詳細》

本発明の実施形態の詳細を、以下に説明する。

[0021] 〔マグネシウム合金〕

実施形態に係るマグネシウム合金は、添加元素としてＡｌ、Ｓｒ、Ｃａ、Ｍｎをそれぞれ特定の量含有し、残部がＭｇ及び不可避不純物である。このＭｇ合金の特徴の一つは、Ｓｒの含有量が比較的多くてＣａの含有量が比較的少ない点にある。以下、その詳細を説明する。

[0022] ［アルミニウム（Ａｌ）］

Ａｌは、高温耐クリープ性を向上する。加えて、Ａｌは、耐食性、強度、耐塑性変形性といった機械的特性を向上する。Ａｌは、Ｓｒを含む化合物（Ａｌ－Ｓｒ化合物）やＣａを含む化合物（Ａｌ－Ｃａ化合物）などを形成して合金組織中に存在する。各化合物の詳細は後述する。

[0023] Ａｌの含有量は、５．０質量％以上１５．０質量％以下が挙げられる。Ａｌの含有量を５．０質量％以上とすることで、Ａｌ－Ｓｒ化合物やＡｌ－Ｃａ化合物を十分に形成し易く、高温耐クリープ性を向上し易い。Ａｌの含有量を１５．０質量％以下とすることで、適度な靭性を有することができる。また、Ｍｇを含む化合物（Ｍｇ－Ａｌ化合物）が過度に形成（析出）されないため、高温耐クリープ性の低下を抑制し易い。Ａｌの含有量は、更に６．０質量％以上１２．０質量％以下が好ましい。Ａｌの含有量を６．０質量％以上とすれば、マグネシウム合金の融点が低下することで湯流れ性が良くなるため鋳造性を向上し易い。Ａｌの含有量を１２．０質量％以下とすれば、Ｍｇ－Ａｌ化合物の形成を抑制し易く、耐熱性を更に向上し易い。Ａｌの含有量は、特に８．０質量％以上１０．０質量％以下が好ましい。Ａｌの含有量を８．０質量％以上１０．０質量％以下とすれば、鋳造性、耐食性、強度、靭性のバランスに優れる。

[0024] ［ストロンチウム（Ｓｒ）］

Ｓｒは、高温耐クリープ性を向上すると共に、難燃性を向上する。難燃性の向上により、大気中で溶解しても溶湯の発火を抑制できる。溶湯の発火を

抑制とは、マグネシウム合金の代表的な溶湯温度で静置した状態において発火を抑制できるこという。マグネシウム合金の代表的な溶湯温度とは、例えば、６６０℃以上７５０℃以下程度が挙げられる。そのため、防燃ガスを不要にできて製造作業性を向上できる。Ｓｒは、ＡＩ－Ｓｒ化合物を形成して合金組織中に存在する。このＡＩ－Ｓｒ化合物の形成により、Ｍｇ－ＡＩ化合物の形成（析出）が抑制される。

[0025] Ｓｒの含有量は、２．５質量％以上７．０質量％以下が挙げられる。Ｓｒの含有量を２．５質量％以上とすることで、ＡＩ－Ｓｒ化合物を十分に形成してＭｇ－ＡＩ化合物の形成を抑制し易いため、高温耐クリープ性を向上する。その上、難燃性を向上し易い。Ｓｒの含有量は、多いほどＡＩ－Ｓｒ化合物が十分に形成されて、結晶粒界により多く存在して粒界すべりなどを抑制し易い上に難燃性を高め易い。Ｓｒの含有量を７．０質量％以下とすることで、鋳造金型への焼付きを抑制し易い。Ｓｒの含有量は、更に２．５質量％以上５．０質量％以下が好ましい。Ｓｒの含有量を５．０質量％以下とすれば、鋳造金型への焼付きを低減できる。Ｓｒの含有量は、特に２．５質量％以上４．０質量％以下が好ましい。Ｓｒの含有量を４．０質量％以下とすれば、耐熱性を低下させることなく鋳造金型への焼付きを更に低減できる。

[0026] ［カルシウム（Ｃａ）］

Ｃａは、高温耐クリープ性を向上する。Ｃａは、ＡＩ－Ｃａ化合物を形成して合金組織中に存在する。このＡＩ－Ｃａ化合物の形成により、Ｍｇ－ＡＩ化合物の形成（析出）が抑制される。

[0027] Ｃａの含有量は、０．０５質量％以上３．０質量％未満が挙げられる。Ｃａの含有量を０．０５質量％以上とすることで、ＡＩ－Ｃａ化合物を十分に形成してＭｇ－ＡＩ化合物の形成を抑制し易いため、高温耐クリープ性を向上し易い。Ｃａの含有量が多いほど、Ｓｒと同様、ＡＩ－Ｃａ化合物が十分に形成されて、粒界により多く存在して粒界すべりなどを抑制し易い。Ｃａの含有量を３．０質量％未満とすることで、ＡＩ－Ｃａ化合物が過度に存在して熱間割れなどの欠陥の原因になることを抑制し易い上に、鋳造性を向上

できる。Ｃａの含有量は、更に０．５質量％以上２．０質量％以下が好ましい。Ｃａの含有量を０．５質量％以上とすれば、ＡＩ－Ｃａ化合物を形成して耐熱性を向上させる上に、溶湯の難燃性を向上し易い。Ｃａの含有量は、特に０．５質量％以上１．５質量％以下が好ましい。Ｃａの含有量を１．５質量％以下とすれば、耐熱性及び溶湯の難燃性を損なうことなく熱間割れなどの欠陥の発生を抑制できる。

[0028] ［マンガン（Ｍｎ）］

Ｍｎは、高温耐クリープ性を向上する。その上、Ｍｎは、マグネシウム合金中に不純物として存在し得るＦｅを低減して、耐食性の向上にも寄与する。Ｍｎは、ＡＩを含む化合物（ＡＩ－Ｍｎ化合物）を形成して、Ｍｇ－ＡＩ化合物の形成（析出）を抑制する。

[0029] Ｍｎの含有量は、０．１質量％以上０．６質量％以下が挙げられる。Ｍｎの含有量を０．１質量％以上とすることで、ＡＩ－Ｍｎ化合物を十分に形成し易くてＭｇ－ＡＩ化合物の形成（析出）を抑制し易い。その上、耐食性を向上し易い。上記の効果は、Ｍｎの含有量が０．６質量％程度で飽和する。Ｍｎの含有量は、更に０．２質量％以上０．４質量％以下が好ましい。Ｍｎの含有量を０．２質量％以上０．４質量％以下とすれば、耐食性を悪化させる不純物のＦｅ量を低減できる。Ｍｎの含有量は、特に０．２質量％以上０．３質量％以下が好ましい。Ｍｎの含有量を０．２質量％以上０．３質量％以下とすれば、不純物のＦｅ量の低減効果を損なうことなく粗大なＡＩ－Ｍｎ化合物の発生を低減できるため、耐熱性や機械的特性に悪影響を及ぼさずに耐食性を向上できる。

[0030] ［希土類元素（ＲＥ）］

ＲＥは、高温耐クリープ性を向上する。ＲＥは、ＡＩを含む化合物（ＡＩ－ＲＥ化合物）を形成して合金組織中に存在する。このＡＩ－ＲＥ化合物の形成により、Ｍｇ－ＡＩ化合物の形成（析出）が抑制される。ＲＥは、周期表３族の元素、即ちスカンジウム（Ｓｃ）、イットリウム（Ｙ）、ランタノイド、アクチノイドの中から選択される少なくとも１種の希土類元素であっ

て、複数種の希土類元素を含む合金であるミッシュメタルも含む。

[0031] ＲＥの含有量は、０．５質量％以上３．０質量％以下が挙げられる。ＲＥの含有量を０．５質量％以上とすることで、ＡＩ－ＲＥ化合物が十分に形成されて、粒界により多く存在して粒界すべりなどを抑制し易い。ＲＥの含有量を３．０質量％以下とすることで、ＡＩ－ＲＥ化合物が過度に存在して熱間割れなどの欠陥の原因になることを抑制し易い。ＲＥの含有量は、更に０．５質量％以上２．０質量％以下が好ましい。ＲＥの含有量を２．０質量％以下とすれば、耐熱性を向上させた上で、熱間割れを低減できる。ＲＥの含有量は、特に０．５質量％以上１．５質量％以下が好ましい。ＲＥの含有量を１．５質量％以下とすれば、耐熱性を十分に向上できる。その上、高価な希土類元素の使用量を低減できて合金コストを低減できる。

[0032] ［Ｓｒ＋Ｃａ］

ＳｒとＣａの合計含有量は、３．０質量％以上が好ましい。この合計含有量を３．０質量％以上とすれば、高温耐クリープ性の効果的に向上させ易い。ＳｒとＣａの合計含有量は、６．０質量％以下が好ましい。この合計含有量を６．０質量％以下とすれば、鋳造金型への焼付きや熱間割れなどの欠陥を効果的に抑制し易い。ＳｒとＣａの合計含有量は、更に３．０質量％以上５．０質量％以下が好ましく、特に３．５質量％以上４．５質量％以下が好ましい。ＡＩの含有量が多いほど、ＳｒとＣａの合計含有量は、上記範囲内において多いことが好ましい。そうすれば、ＡＩの含有量が多くても、ＡＩ－Ｓｒ化合物やＡＩ－Ｃａ化合物を形成してＭｇ－ＡＩ化合物の形成を効果的に抑制し易い。

[0033] ＳｒとＣａの含有比は、例えば、２：１～５：１が好ましい。そうすれば、高温耐クリープ性の向上効果と、鋳造金型への焼付きと熱間割れなどの欠陥の抑制効果とをバランス良く得易い。ＳｒとＣａの含有比は、特に３：１程度が好ましい。

[0034] ［組織］

マグネシウム合金は、上述のＡＩ－Ｓｒ化合物、及びＡＩ－Ｃａ化合物の

少なくとも一方、代表的には両方が結晶粒界に分散した組織を有する。マグネシウム合金が添加元素としてＲＥを含む場合、Ａｌ－ＲＥ化合物もＡｌ－Ｓｒ化合物やＡｌ－Ｃａ化合物と同様、粒界に分散して存在する。このマグネシウム合金は、Ｍｇ－Ａｌ化合物が少ない又は実質的に存在しない組織を備える。

[0035] これらＡｌ－Ｓｒ化合物、Ａｌ－Ｃａ化合物、及びＡｌ－ＲＥ化合物は、代表的には晶出物である。Ａｌ－Ｓｒ化合物、及びＡｌ－Ｃａ化合物の融点は１０００℃以上であり、Ａｌ－ＲＥ化合物の融点は１１００℃以上であり、Ｍｇ－Ａｌ化合物の融点（４６２℃）よりも十分に高い。これらＡｌ－Ｓｒ化合物、Ａｌ－Ｃａ化合物、及びＡｌ－ＲＥ化合物のような高融点化合物が粒界に分散して存在し、Ｍｇ－Ａｌ化合物のような低融点化合物が少ないことで、高温に保持された場合でも粒界すべりなどを抑制し、クリープ変形し難くすることができると考えられる。

[0036] Ａｌ－Ｓｒ化合物の種類は、例えば、Al_2Sr、Al_4Sr、$Mg_{13}Al_3Sr$、$Mg_{11}Al_3Sr$、Mg_9Al_3Srなどが挙げられる。Ａｌ－Ｃａ化合物の種類は、例えば、Al_2Ca、Al_4Ca、$(MgAl)_2Ca$などが挙げられる。Ａｌ－ＲＥ化合物の種類は、例えば、Al_2RE、$Al_{11}RE_3$などが挙げられる。Ｍｇ－Ａｌ化合物の種類は、例えば、$Mg_{17}Al_{12}$が挙げられる。これら化合物の組成は、例えば、エネルギー分散型Ｘ線分析法（ＥＤＸ）や、オージェ電子分光法（ＡＥＳ）などによって成分分析を行うことで確認できる。

[0037] Ｍｇ－Ａｌ化合物が少ない又は実質的に存在しない組織とは、定量的には、マグネシウム合金の断面におけるＭｇ－Ａｌ化合物の面積割合が５％以下である組織とする。上記面積割合が少ないほど、高温耐クリープ性に優れる上に上記熱間割れなどの欠陥を抑制できる。上記面積割合は４％以下が好ましく、更に２％以下が好ましい。上記面積割合は０％、即ちＭｇ－Ａｌ化合物が存在しないことが最も好ましい。

[0038] 上記面積割合の測定方法は、次の通りである。マグネシウム合金の断面の

顕微鏡写真を用いて、観察視野Ｓｆ（３５０μｍ×２５０μｍ）中に存在するＭｇ－ＡｌＭｇ$_{17}$Ａｌ$_{12}$）を抽出してその面積を求め、更にその合計面積Ｓｍを求める。そして、（Ｓｍ／Ｓｆ）×１００％をその断面におけるＭｇ－Ａｌ化合物の面積割合として求め、１０個の観察視野における面積割合の平均を面積割合（％）とする。断面の採取は、市販のクロスセクションポリッシャ（ＣＰ）加工装置を用いて行える。Ｍｇ－Ａｌ化合物の断面積は、画像処理装置によって顕微鏡写真（ＳＥＭ像）を二値化処理した二値化像などを利用すると容易に測定できる。二値化処理は、Ｍｇ－Ａｌ化合物と、母相及びそれ以外の化合物とを色調の違いで区別することで行える。このとき、ＥＤＸによる点分析を行うことで、母相及び各化合物の種類を確認できる。

[0039] ［用途］

実施形態に係るマグネシウム合金は、各種鋳造部材の素材に好適に利用できる。

[0040] 〔作用効果〕

実施形態に係るマグネシウム合金によれば、以下の効果を奏することができる。

（１）耐熱性に優れる。そのため、マグネシウム合金の各種鋳造部材の素材に好適に利用できる。

（２）難燃性に優れる。そのため、大気中で溶解しても溶湯の発火を抑制できるので、防燃ガスを不要にできてマグネシウム合金の各種鋳造部材の製造作業性を向上できる。

（３）鋳造金型への焼付きが生じ難い。そのため、マグネシウム合金の各種鋳造部材の製造作業性を向上できる。

（４）熱間割れなどの欠陥が生じ難い。そのため、優れた外観を有するマグネシウム合金の各種鋳造部材の素材に好適に利用できる。

[0041] 《試験例１》

マグネシウム合金を用いてダイカスト材を作製し、そのダイカスト材の耐

熱性と割れと焼付き性とを評価した。本発明のマグネシウム合金は、その製造条件が以下のダイカスト材の製造条件に限定されるわけではない。

[0042] マグネシウム合金の溶湯を作製した。まず、純度９９．９質量％のマグネシウムの塊を５０ｋｇ用意し、Ａｒ雰囲気の溶解炉を用いて６９０℃で溶解し純マグネシウムの溶湯を作製した。続いて、完全に溶解した純マグネシウムの溶湯中に、以下の１～５の添加元素の塊を添加して、表１～表４に示す組成のマグネシウム合金の溶湯を作製した。表１～表４中の「－」は、添加元素を含有していないことを示す。添加元素の添加及び溶解は、湯温は６９０℃に保持した状態で棒状の治具によって１０分間撹拌して行った。

[0043] １．純度９９．９質量％の純アルミニウム塊

２．純度９９質量％のＳｒ塊

３．純度９９．５質量％のＣａ塊

４．アルミニウム母合金（Ａｌ－１０質量％Ｍｎ）

５．純度９９質量％のミッシュメタル塊

ミッシュメタルの含有元素及びその含有量は、Ｌａが２８質量％、Ｃｅが５１質量％、Ｎｄが１６質量％、Ｐｒが質量５％である。

[0044] 作製した各試料のマグネシウム合金溶湯を用いて、ダイカスト材を作製した。ダイカスト材の作製には、コールドチャンバーダイカストマシン（宇部興産機械株式会社製、型番ＵＢ５３０ｉＳ２）を用いた。ここでは、鋳造条件は、溶湯温度を６９０℃、射出速度を２．５ｍ／ｓ、鋳造圧力を６０ＭＰａに設定して鋳造した。ダイカスト材の形状は、リング状とした。

[0045] 〔断面観察〕

作製した各試料のダイカスト材の断面におけるＭｇ－Ａｌ化合物（主として$Mg_{17}Al_{12}$）の面積割合を求めた。断面の採取は、市販のクロスセクションポリッシャ（ＣＰ）加工装置を用いて行った。断面の観察は、ＳＥＭを用いた。Ｍｇ－Ａｌ化合物の面積割合は、次のようにして求めた。ＳＥＭ写真を用いて、観察視野Ｓｆ（３５０μｍ×２５０μｍ）中に存在するＭｇ－Ａｌ化合物（主として$Mg_{17}Al_{12}$）を抽出し、その合計面積Ｓｍを求める

。そして、（Ｓｍ／Ｓｆ）×１００％をその断面におけるＭｇ－ＡｌＩ化合物の面積割合とする。観察視野数は１０個とし、その１０個の観察視野における面積割合の平均を各試料におけるＭｇ－ＡｌＩ化合物の面積割合（％）とした。その結果を表１～表４に示す。Ｍｇ－ＡｌＩ化合物の断面積は、画像処理装置によって顕微鏡写真（ＳＥＭ像）を二値化処理した二値化像などを利用すると容易に測定できる。

[0046] 一例として、試料Ｎｏ．１－１７の顕微鏡写真を図１に示す。図１では、濃い灰色で示される部分はマグネシウム合金の母相、薄い灰色で示される部分はＡｌ－Ｃａ化合物、白色で示される部分はＡｌ－Ｓｒ化合物である。図１に示すように、Ａｌ，Ｓｒ，Ｃａ，Ｍｎを特定の範囲で含む試料Ｎｏ．１－１７は、Ａｌ－Ｓｒ化合物及びＡｌ－Ｃａ化合物が結晶粒界に分散して存在することが分かる。また、試料Ｎｏ．１－１７は、Ｍｇ－ＡｌＩ化合物が確認できず、実質的に存在しない。

[0047] 〔耐熱性の評価〕

作製した各試料のダイカスト材の耐熱性を評価した。この評価は、各試料のダイカスト材とアルミニウム製のブロック材とを鉄製のボルトで締結した試験部材に熱処理を施し、熱処理前後のボルトの歪量から残留軸力（％）を求めることで行った。試験部材は、上記ブロック材の適宜な位置に各試料のダイカスト材の孔と同等径のボルト孔を設け、そのボルト孔と各試料のダイカスト材の孔とを合わせて、鉄製のボルトを締め付けることで作製した。熱処理の条件は、温度を１５０℃とし、保持時間を１７０時間とした。歪量は、ボルトに配置した市販の歪ゲージで求めた。残留軸力は、締結直後であって１５０℃に加熱する前のボルトの歪量をＳｏ、１５０℃×１７０時間の熱履歴を与えた後のボルトの歪量をＳｔとし、［（Ｓｔ－Ｓｏ）／Ｓｏ］×１００（％）により算出した。加熱する前の歪量Ｓｏは、初期締付軸力を９Ｎとして締め付けた際の歪量とした。残留軸力の結果とその評価Ａ～Ｃを表１～表４に示す。評価Ａは残留軸力が５０％以上、評価Ｂは残留軸力が４０％以上５０％未満、評価Ｃは残留軸力が４０％未満とした。表４に示す「※」

は、割れが生じたため測定できなかったことを示す。

[0048] 〔割れの評価〕

作製した各試料のダイカスト材の割れの状態を評価した。この割れの状態の評価は、各試料のダイカスト材の表面を目視確認して亀裂発生頻度を調べることで行った。亀裂発生頻度は、各試料について１０個のダイカスト材を用意し、１０個のダイカスト材における亀裂数の平均とした。亀裂発生頻度（個）の結果とその評価Ａ～Ｃを表１～表４に示す。評価Ａは亀裂発生頻度が０個、評価Ｂは亀裂発生頻度が０個超５個以下、評価Ｃは亀裂発生頻度が５個超とした。

[0049] 〔焼付き性の評価〕

作製した各試料のダイカスト材の焼付き性を評価した。この焼付き性の評価は、割れの評価と同様、各試料のダイカスト材の表面を目視確認して焼付き箇所の数を調べることで行った。焼付き箇所の数は、各試料について１０個のダイカスト材を用意し、１０個のダイカスト材における焼付き箇所の数の平均とした。焼付き箇所（箇所）の結果とその評価Ａ～Ｃを表１～表４に示す。評価Ａは焼付き箇所が０箇所、評価Ｂは焼付き箇所が０箇所超５箇所以下、評価Ｃは焼付き箇所が５箇所超とした。

[0050] 〔総合評価〕

耐熱性、割れ、焼付き性の３つの評価の総合評価の結果を表１に示す。総合評価Ａは、耐熱性、割れ、焼付き性の３つの評価が全てＡの場合であり、総合評価Ｂは、３つの評価のうち１つでもＢがあって、かつＣが１つもない場合であり、総合評価Ｃは、３つの評価のうち１つでもＣがあった場合とした。

[0051]

[表1]

試料No.	Al	Sr	Ca	Mn	RE	Sr+Ca	$Mg_{17}Al_{12}$面積率	残留軸力		亀裂発生頻度		焼付き		総合評価
	(質量%)	(質量%)	(質量%)	(質量%)	(質量%)	(質量%)	(%)	(%)	評価	(個)	評価	(箇所)	評価	
1-1	6.1	2.8	0.7	0.26	–	3.5	0	63	A	0	A	0	A	A
1-2	6.5	4.0	0.5	0.25	–	4.5	0	62	A	0	A	0	A	A
1-3	6.2	3.3	1.5	0.25	–	4.8	0	73	A	0	A	0	A	A
1-4	6.1	2.6	1.8	0.25	–	4.4	0	70	A	0	A	0	A	A
1-5	7.2	3.1	0.9	0.25	–	4.0	0	62	A	0	A	0	A	A
1-6	6.8	2.6	1.8	0.27	–	4.4	0	70	A	0	A	0	A	A
1-7	7.0	3.8	1.0	0.24	–	4.8	0	61	A	0	A	0	A	A
1-8	7.3	4.0	0.6	0.24	–	4.6	0	60	A	0	A	0	A	A
1-9	7.1	3.0	1.5	0.25	–	4.5	0	68	A	0	A	0	A	A
1-10	7.9	4.0	0.6	0.25	–	4.6	1	59	A	0	A	0	A	A
1-11	8.3	2.6	1.5	0.30	–	4.1	0	64	A	0	A	0	A	A
1-12	8.2	4.2	0.5	0.24	–	4.7	2	57	A	0	A	0	A	A
1-13	8.5	3.2	1.0	0.25	–	4.2	0	63	A	0	A	0	A	A
1-14	9.3	2.5	1.5	0.23	–	4.0	0	69	A	0	A	0	A	A
1-15	9.2	4.0	0.6	0.25	–	4.6	3	58	A	0	A	0	A	A
1-16	9.1	3.1	1.8	0.25	–	4.9	0	72	A	0	A	0	A	A
1-17	9.3	3.3	1.5	0.29	–	4.8	0	66	A	0	A	0	A	A

[0052]

[表2]

試料No.	Al	Sr	Ca	Mn	RE	Sr+Ca	$Mg_{17}Al_{12}$面積率	残留軸力		亀裂発生頻度		焼付き		総合評価
	(質量%)	(質量%)	(質量%)	(質量%)	(質量%)	(質量%)	(%)	(%)	評価	(個)	評価	(箇所)	評価	
1-18	10.0	2.6	0.7	0.26	–	3.3	4	57	A	0	A	0	A	A
1-19	9.5	3.4	1.0	0.30	–	4.4	2	67	A	0	A	0	A	A
1-20	9.7	4.0	0.5	0.24	–	4.5	0	57	A	0	A	0	A	A
1-21	9.9	2.7	1.9	0.25	–	4.6	0	65	A	0	A	0	A	A
1-22	6.5	2.6	0.6	0.28	0.5	3.2	0	65	A	0	A	0	A	A
1-23	6.4	3.4	1.1	0.25	1.1	4.5	0	68	A	0	A	0	A	A
1-24	6.4	4.2	0.8	0.25	1.9	5.0	0	66	A	0	A	0	A	A
1-25	8.2	2.8	1.7	0.26	1.6	4.5	0	68	A	0	A	0	A	A
1-26	8.5	3.3	0.9	0.25	0.6	4.2	0	65	A	0	A	0	A	A
1-27	8.2	4.0	1.5	0.27	1.3	5.5	0	70	A	0	A	0	A	A
1-28	9.7	2.8	0.6	0.25	0.7	3.4	0	58	A	0	A	0	A	A
1-29	9.5	3.5	1.0	0.26	1.2	4.5	0	68	A	0	A	0	A	A
1-30	9.8	4.2	1.7	0.25	1.8	5.9	0	76	A	0	A	0	A	A
1-31	6.1	2.7	0.5	0.25	–	3.2	4	54	A	0	A	0	A	A
1-32	9.8	4.0	1.7	0.24	–	5.7	0	74	A	0	A	0	A	A
1-33	9.2	3.3	1.25	0.25	0.75	4.55	0	50	A	0	A	0	A	A
1-34	9.2	3.3	1.25	0.25	1.5	4.55	0	55	A	0	A	0	A	A

[0053]

[表3]

試料No.	Al	Sr	Ca	Mn	RE	Sr+Ca	$Mg_{17}Al_{12}$面積率	残留軸力		亀裂発生頻度		焼付き		総合評価
	(質量%)	(質量%)	(質量%)	(質量%)	(質量%)	(質量%)	(%)	(%)	評価	(個)	評価	(箇所)	評価	
1-35	8.5	6.2	1.0	0.25	-	7.2	0	74	A	0	A	4	B	B
1-36	9.8	5.9	1.5	0.25	-	7.4	0	79	A	0	A	3	B	B
1-37	11.4	3.1	2.9	0.25	-	6.0	0	82	A	4	B	0	A	B
1-38	14.9	4.5	2.7	0.27	-	7.2	4	65	A	3	B	1	B	B
1-39	14.7	6.8	0.07	0.25	-	6.87	4	41	B	0	A	5	B	B
1-40	5.1	3.2	1.2	0.24	-	4.4	0	48	B	0	A	0	A	B
1-41	5.5	2.6	0.08	0.25	-	2.68	4	45	B	0	A	0	A	B
1-42	5.3	2.7	0.05	0.23	2.0	2.75	0	49	B	0	A	0	A	B
1-43	14.5	2.8	0.05	0.25	-	2.85	5	45	B	0	A	0	A	B

[0054]

[表4]

試料No.	Al	Sr	Ca	Mn	RE	Sr+Ca	$Mg_{17}Al_{12}$面積率	残留軸力		亀裂発生頻度		焼付き		総合評価
	(質量%)	(質量%)	(質量%)	(質量%)	(質量%)	(質量%)	(%)	(%)	評価	(個)	評価	(箇所)	評価	
1-101	9.1	2.7	—	0.27	—	—	10	33	C	0	A	0	A	C
1-102	9.3	3.5	—	0.28	—	—	8	35	C	0	A	0	A	C
1-103	9.3	5.0	3.7	0.30	—	8.7	0	—※	C	25	C	0	A	C
1-104	7.2	2.0	1.3	0.25	—	3.3	6	39	C	6	C	0	A	C
1-105	6.0	2.5	—	0.26	—	—	6	34	C	1	B	0	A	C
1-106	8.4	—	2.1	0.25	—	—	7	37	C	16	C	0	A	C
1-107	11.2	6.0	4.1	0.25	2.5	10.1	5	65	A	18	C	1	B	C
1-108	5.5	6.3	4.5	0.24	3.5	10.8	0	67	A	13	C	1	B	C
1-109	5.2	2.0	—	0.24	3.7	—	6	39	C	0	A	0	A	C
1-110	11.5	—	3.5	0.27	3.6	—	0	—※	C	8	C	0	A	C
1-111	4.0	—	—	0.25	4.0	—	0	57	A	9	C	0	A	C
1-112	7.0	0.3	3.1	0.28	—	3.4	0	55	A	16	C	0	A	C
1-113	8.4	3.5	—	0.22	1.5	—	9	35	C	0	A	0	A	C
1-114	8.5	3.4	—	0.21	3.0	—	0	39	C	0	A	0	A	C
1-115	11.4	3.3	4.2	0.25	—	7.5	0	80	A	8	C	0	A	C
1-116	9.3	8.1	1.0	0.25	—	9.1	0	65	A	0	A	8	C	C
1-117	8.5	9.5	1.8	0.24	—	11.3	0	69	A	0	A	13	C	C

[0055] 表１～表３に示すように、Ａｌ：５以上１５質量%以下，Ｓｒ：２．５質量%以上７質量%以下，Ｃａ：０．０５質量以上３．０質量%未満，Ｍｎ：

０．１質量％以上０．６質量％以下含む試料Ｎｏ．１－１～試料Ｎｏ．１－４３は、残留軸力が高く、割れが少なく、焼付きも少ないことが分かる。この試料Ｎｏ．１－１～試料Ｎｏ．１－４３は、Ｍｇ－ＡＩ化合物の面積率が低く、５％以下であることが分かる。特に、表１，表２に示すように、ＡＩ：６以上１０質量％以下，Ｓｒ：２．５質量％以上５質量％以下，Ｃａ：０．５質量以上２．０質量％以下，Ｍｎ：０．１質量％以上０．６質量％以下含む試料Ｎｏ．１－１～試料Ｎｏ．１－３４は、残留軸力が５０％以上、割れが０個、焼付きが０箇所であり、耐熱性、割れ、焼付き性の全てにおいて優れていることが分かる。一方、表４に示すように、上述の特定の組成を有していない試料Ｎｏ．１－１０１～試料Ｎｏ．１－１１７は、残留軸力が低かったり、割れが多かったり、焼付きが多かったりしており、耐熱性、割れ、及び焼付き性のいずれか１つ又は２つが、試料Ｎｏ．１－１～試料Ｎｏ．１－４３に比べて劣ることが分かる。また、これらの試料から、Ｓｒの含有量が多いほど、焼付きが生じ易いこと、Ｃａの含有量が多いほど、割れが生じやすいことが分かる。

[0056] 《試験例２》

マグネシウム合金の難燃性を評価した。難燃性の評価は、マグネシウム合金の溶湯の発火状態を確認することで行った。まず、試験例１の試料Ｎｏ．１－１３（表１）と試料Ｎｏ．１－１０５（表４）と同じ組成のマグネシウム合金の溶湯を試験例１と同様にして作製した。続いて、大気中で、溶湯を撹拌することなく湯温を７００℃にした状態を１時間保持して、溶湯の発火状態を確認した。

[0057] 試料Ｎｏ．１－１３のマグネシウム合金の溶湯は発火しなかったのに対して、試料Ｎｏ．１－１０５のマグネシウム合金の溶湯は発火した。この結果から、ＡＩ，Ｓｒ，Ｃａ，Ｍｎを特定の範囲で含むマグネシウム合金は、難燃性に優れることが分かった。

[0058] なお、本発明はこれらの例示に限定されるものではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含ま

れることが意図される。

請求の範囲

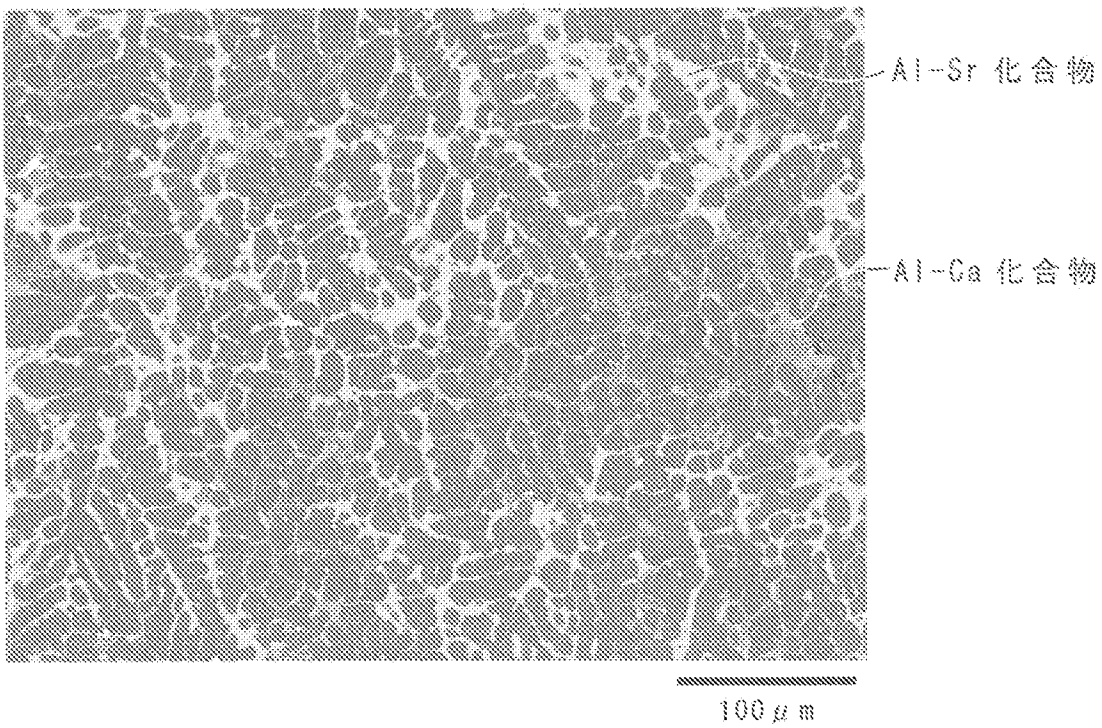
[請求項1] ＡｌをＳ．０質量％以上１５．０質量％以下、
ＳｒをＳ．５質量％以上７．０質量％以下、
ＣａをＯ．ＯＳ質量％以上３．０質量％未満、
ＭｎをＯ．１質量％以上Ｏ．６質量％以下含み、残部がＭｇ及び不可避不純物であるマグネシウム合金。

[請求項2] 断面におけるＭｇとＡｌとを含む化合物の面積割合が５％以下である組織を備える請求項１に記載のマグネシウム合金。

[請求項3] 希土類元素をＯ．５質量％以上３．０質量％以下含む請求項１又は請求項２に記載のマグネシウム合金。

[請求項4] ＳｒとＣａの合計含有量が６．０質量％以下である請求項１から請求項３のいずれか１項に記載のマグネシウム合金。

[図1]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/025598

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
C22C23/02(2006.01)i, *C22C23/00*(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)
C22C1/00-49/14

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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 2010-242146 A (Toyota Central Research and Development Laboratories, Inc.), 28 October 2010 (28.10.2010), (Family: none)	1-4
A	WO 2010/055897 A1 (Toyota Industries Corp.), 20 May 2010 (20.05.2010), & US 2011/0220251 A1 & EP 2369025 A1 & CN 102197153 A	1-4
A	WO 2012/133522 A1 (Advance Technologies Inc.), 04 October 2012 (04.10.2012), & US 2014/0044586 A1 & EP 2692884 A1 & CN 103635598 A	1-4

☒ 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	Date of mailing of the international search report
30 August 2017 (30.08.17)	12 September 2017 (12.09.17)

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

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/025598

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013-007068 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 10 January 2013 (10.01.2013), (Family: none)	1-4
A	KR 10-2009-0062749 A (KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS), 17 June 2009 (17.06.2009), (Family: none)	1-4

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／０２５５９８

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　C22C23/02(2006.01)i, C22C23/00(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.　C22C1/00-49/14

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	１９７１－２０１７年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１７年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１７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 2010-242146 A (株式会社豊田中央研究所) 2010.10.28, (ファミリーなし)	１－４
A	WO 2010/055897 A1 (株式会社豊田自動織機) 2010.05.20, & US 2011/0220251 A1 & EP 2369025 A1 & CN 102197153 A	１－４
A	WO 2012/133522 A1 (株式会社新技術研究所) 2012.10.04, & US 2014/0044586 A1 & EP 2692884 A1 & CN 103635598 A	１－４

☑　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	国際調査報告の発送日
３０．０８．２０１７	１２．０９．２０１７

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　４Ｋ　９８３３
河野　一夫
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３４３５

C（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2013-007068 A (住友電気工業株式会社) 2013.01.10, (ファミリーなし)	１－４
A	KR 10-2009-0062749 A (KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS) 2009.06.17, (ファミリーなし)	１－４