

平成 26 年 6 月 26 日現在

機関番号：50102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656421

研究課題名(和文)中空薄肉鉄球分散による鋳物の軽量化

研究課題名(英文)Creating a lightweight castings dispersed hollow iron ball of thin-walled

研究代表者

高澤 幸治 (TAKAZAWA, KOHJI)

苫小牧工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：20331952

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：鋳物に新しい手法で発泡構造を形成し、超軽量鋳物をつくることを試みた。具体的には、鋳型の中に、中空かつ薄肉の小径鉄球(直径2～4mm)を充填しておき、そこへ、真空中で熔融金属を含浸させた。含浸させる金属として、マグネシウム合金、アルミニウム合金、銅合金を用いた場合、最も軽量化したものの密度比は、それぞれ27%、52%、42%であった。いずれも、既存の発泡金属と同様に、比較的低い応力で大きな塑性変形が得られた。

研究成果の概要(英文)：The lightweight casting has been prototyped by forming a foam structure in the casting using new method. In this study, molten metal is impregnated into a mold was filled small-diameter hollow iron ball of thin-walled (diameter 2-4 mm) in vacuum atmosphere. In the case of using a magnesium alloy, aluminum alloy and copper alloy as a metal to be impregnated, the lowest density ratio is 27%, 52% and 42%, respectively. Similar to the foam metal of conventional, large plastic deformation is obtained at a low stress in any case.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学，構造・機能材料

キーワード：新機能材料 鋳造

1. 研究開始当初の背景

鋳造は、砂型重力鋳造でも、真空ダイキャストであっても、中空型の中に熔融金属を注入して凝固させるという基本的な方法は同様である故、鋳物には、湯流れや熱応力等の観点から、力学的な設計要求とは無関係な余肉が必要となる。これは、鋳物の無用な重量増加を招くため、特に自動車等の軽量化が至上命題とされるような分野においては、薄肉鋳造技術の研究によって改善が図られている。しかし、薄肉化にも限界があり、また、産業機械やプラント等の大型部品の鋳造では、薄肉化はそもそも難しいのが現状である。

そこで、近年では、発泡金属の研究が注目されており、金属系素形材の軽量化のブレイクスルーが期待されている。代表的な製造原理は、熔融金属中に不活性ガスや発泡剤を注入することにより直径数 mm 程度の独立した球形空隙群を分散させる方法である。これを鋳造に応用すれば、鋳物の大幅な軽量化が可能となる。

上述の方法はもちろん実用化が期待されるものであるが、JFE テクノリサーチ社が開発した直径数 mm の中空薄肉鉄球「TEC-BALL」を鋳型内に予め充填し、そこに注湯することで、粒径の揃った球形空隙群を鋳物内に分散させ、既存の発泡金属と同様の構造を得られると考えられる。TEC-BALL は、既に、その集合・成型体の作製方法や機械的性質について検討が行われており、上述の手法についても、実現性は高いと予想される。また、この方法によれば、球形空隙群を意図的に偏析させることも可能であると考えられ、一つの鋳物内で、見かけの密度や強度、ヤング率をはじめ、振動減衰能や熱伝導率等をデザインすることが期待できる。

本研究で提案した手法が実現できれば、技術的にも費用対効果的にもありふれた製造技術となりつつある鋳造に、新しい付加価値を与える事が可能となり、また、鋳物という枠を超えて、軽量かつ巨視的に特殊な材料特性を有する金属系発泡素形材として、応用が期待される。

2. 研究の目的

本研究では、アルミニウム合金、マグネシウム合金、銅合金および鋳鉄を基地材料とする鋳物の中に上述の TEC-BALL が分散した超軽量鋳物を試作し、その性質について調べることを目的とする。具体的には、第一に、鋳型内に充填した TEC-BALL 間の空隙に溶湯を含浸させる手法として、大気中での重力鋳造法と、真空中での押湯法について検討する。第二に、得られた TEC-BALL 分散鋳物の外観や組織、みかけ密度について調べる。第三に、TEC-BALL 分散鋳物の圧縮破壊挙動を調べる。

3. 研究の方法

供試材料は、中空薄肉鉄球として、直径が

1.8, 2.3, 3.0 および 4.0mm の「TEC-BALL」(JFE テクノリサーチ社製)を用いた。図1に、直径 4mm の TEC-BALL の外観と、殻の断面組織の光学顕微鏡写真を示す。

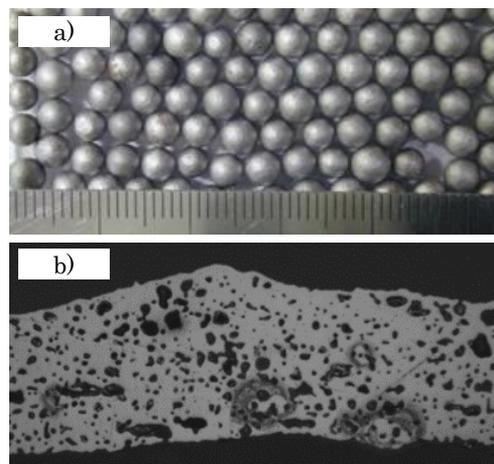


図1 TEC-BALL (直径 4mm) の a)外観および b)殻の断面組織

また、鋳物の基地材料には、アルミニウム合金 AC3A、マグネシウム合金 AM60B、銅合金 CAC203、鋳鉄 FC250 を用いた。

本研究では、鋳型内の TEC-BALL 間の空隙に溶湯を含浸させる手法として、大気中での重力鋳造法と真空中での押湯法を用いている。重力鋳造では砂型および自作金型による試作を行った。図2に型の模式図を示す。

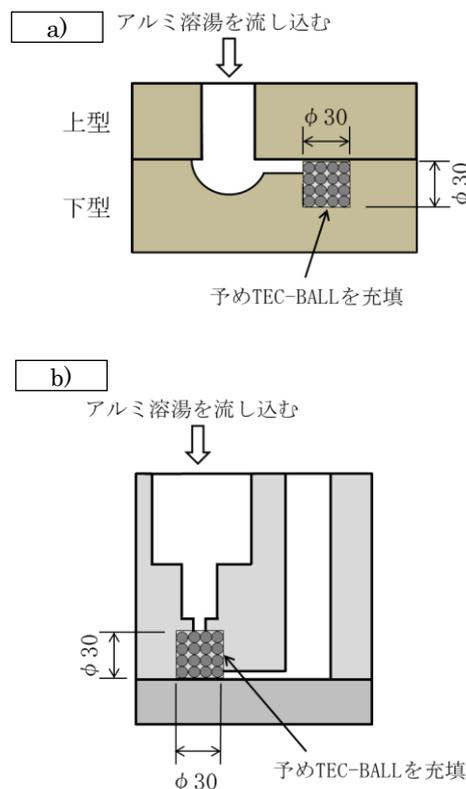


図2 a)砂型鋳造および b)金型鋳造の概要

内径 30mm の型内に TEC-BALL を充填しておき、そこへ、高周波溶解炉で溶解した基地材料を注湯した。一方、真空中での押し湯を行う方法として、黒鉛ダイス（内径 30mm）・パンチに TEC-BALL と基地材料を封入しておき、それを放電プラズマ焼結機に設置し、パンチに加圧しながら真空雰囲気中で所定の温度に加熱することで溶湯の含浸を行う手法を用いた。図 3 に放電プラズマ焼結機による溶湯含浸の模式図を示す。

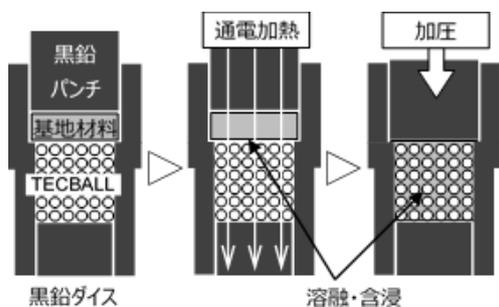


図 3 放電プラズマ焼結機による真空中での溶湯の含浸

得られた TEC-BALL 分散鋳物について、外観のマクロ観察、断面組織の走査型電子顕微鏡観察およびエネルギー分散 X 線分光による元素濃度分析、みかけ密度の測定を行った。また、円柱状に加工した TEC-BALL 分散鋳物について、材料試験機による圧縮試験を行った。

4. 研究成果

大気中の重力鋳造で試作した TEC-BALL 分散鋳物の代表的な外観を、図 4 に示す。

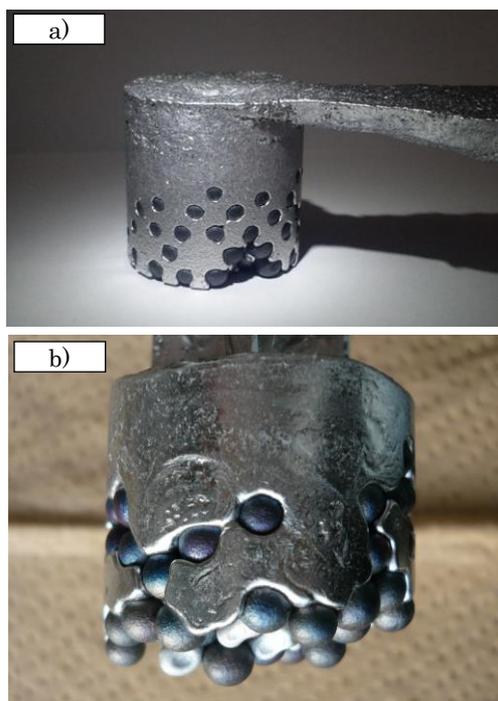


図 4 a)砂型および b)金型を用いた大気中重力鋳造による TEC-BALL 分散アルミニウム合金鋳物の外観

写真の鋳物の基地材料は、AC3A である。砂型および金型いずれを用いた場合でも、ある程度、溶湯が含浸しているといえる。しかし、鋳物の下方（含浸の流れでは下流方向）は含浸が不十分である。また、巨視的には含浸されている領域でも、個々の TEC-BALL 表面と含浸した基地材料との界面は接触角が比較的大きくなっていることがわかる。これらの要因としては、注湯によって、大気中で高温の溶湯と TEC-BALL が接触するため、TEC-BALL 表面に酸化膜が形成されることが考えられる。すなわち、TEC-BALL 表面の酸化膜によって熔融金属との濡れ性が悪くなり、接触角が大きくなる。また、そのことが、型内に充填された TEC-BALL 間の空隙に熔融金属を含浸させるために必要な圧力を大きくしていると考えられる。その結果、本研究で用いた砂型・金型の押し湯量では、十分な圧力が得られず、図 4 に示すような不十分な含浸になったといえる。

そこで、以降、放電プラズマ焼結機を用いて真空中で押し湯をすることとした。試作した TEC-BALL 分散鋳物の外観を図 5 に示す。

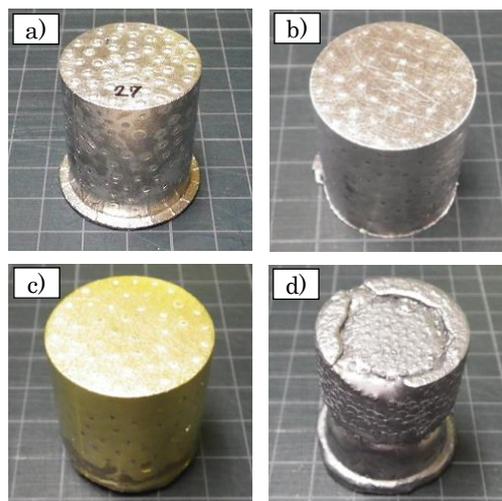


図 5 放電プラズマ焼結機を用いて真空中で押し湯をして試作した TEC-BALL 分散鋳物の代表的な外観、a)アルミニウム合金 AC3A、b)マグネシウム合金 AM60B、c)銅合金 CAC203、d)鋳鉄 FC250

いずれも、放電プラズマ焼結機を用いて真空中で基地材料を加熱・溶解し、同時にパンチ加圧により TEC-BALL が充填された黒鉛鋳型内へ熔融した基地材料を押し込む、という手法を用いている。その結果、大気中の重力鋳造で見られたような、酸化膜の形成による濡れ性の低下とそれに起因する含浸不足は認められない。ただし、基地材料として鋳鉄を用いたものについては、写真ではわかりづらいが、鋳鉄を含浸できる温度域まで黒鉛型全体を加熱するため、TEC-BALL も軟化・変形あるいは部分的に溶解してしまっている。現時点において、本研究で用いた方法で

は、鋳鉄中に TEC-BALL を分散させることは困難であると考えられる。しかし、それ以外のアルミニウム合金、マグネシウム合金および銅合金については、TEC-BALL の主成分たる Fe との融点の差が比較的大きいため、含浸過程における TEC-BALL の巨視的な損傷は認められない。図 6 に X 線 CT による TEC-BALL 分散鋳物（基地材料：AC3A，TEC-BALL： ϕ 4mm）の断面構造の例を示す。TEC-BALL が鋳物に対して比較的大きいので、一部 TEC-BALL の分散が偏っている箇所があるものの、TEC-BALL の変形も無く、TEC-BALL 間の空隙に基地材料がよく含浸していることがわかる。

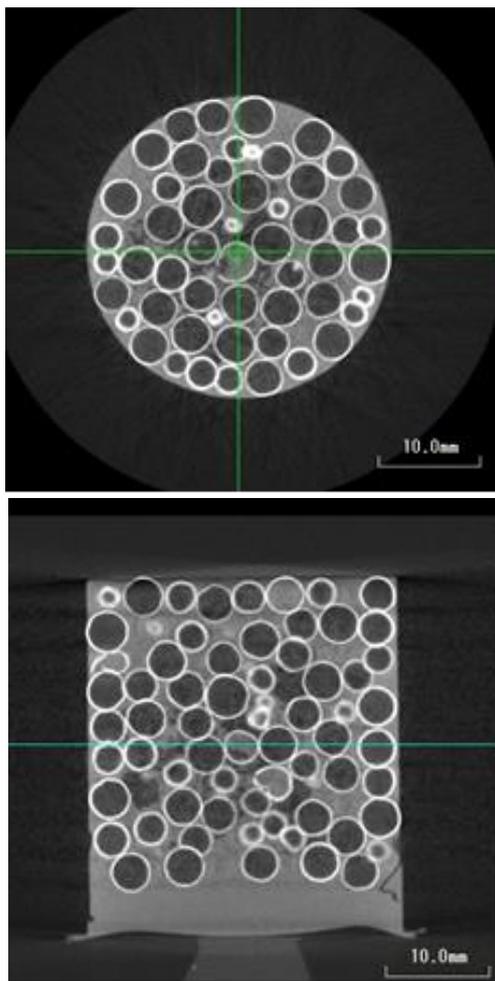


図 6 放電プラズマ焼結機を用いて真空中で押し湯した TEC-BALL 分散鋳物の X 線 CT 像（基地材料：AC3A，TEC-BALL： ϕ 4.0mm）

TEC-BALL と基地材料との界面における反応層の形成について、走査型電子顕微鏡とエネルギー分散型 X 線分光分析で調べた。図 7、8 および 9 に、アルミニウム合金 AC3A、マグネシウム合金 AM60B および銅合金 CAC203 を基地材料としたものの SEM 像と元素濃度マップをそれぞれ示す。写真はそれぞれ、左側が TEC-BALL の殻（主成分：Fe），右側が含浸した基地材料となっている。

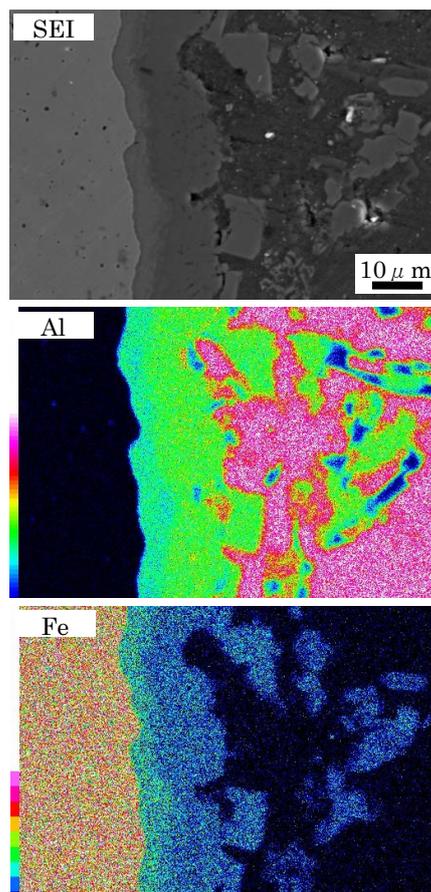


図 7 TEC-BALL と AC3A との界面近傍

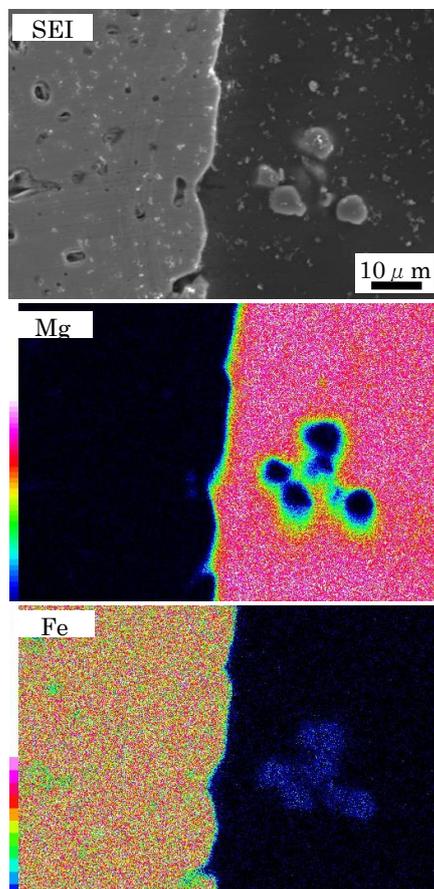


図 8 TEC-BALL と AM60B との界面近傍

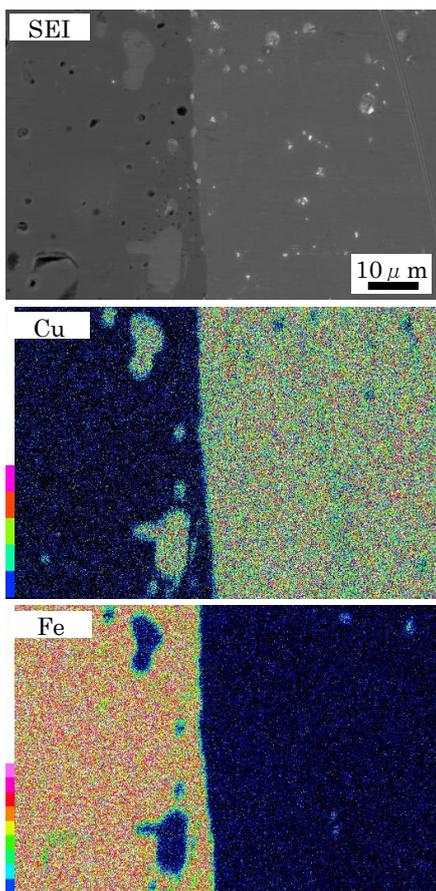


図9 TEC-BALLとCAC203との界面近傍

アルミニウム合金 AC3A との界面近傍には、Al と Fe からなる金属間化合物が形成されていると考えられる。一方、マグネシウム合金 AM60B や銅合金 CAC203 との界面には、反応層のような組織や元素の分布も認められない。金属間化合物は、一般的には金属よりも脆いため、アルミニウム合金を用いた TEC-BALL 分散鋳物は、基地材料と TEC-BALL との界面で微視的に脆性的な破壊挙動を呈すると推測される。

図 10 に、基地材料の密度と TEC-BALL 分散鋳物のみかけ密度との関係を示す。

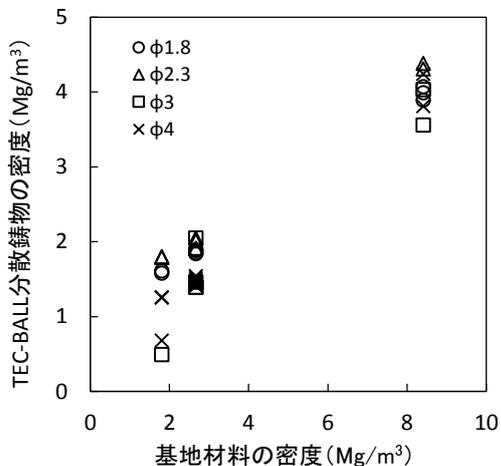


図 10 基地材料の密度と TEC-BALL 分散鋳物のみかけ密度との関係

TEC-BALL 分散鋳物のみかけ密度は、基地材料が、密度 1.8Mg/m^3 のマグネシウム合金で $0.49\sim 1.81\text{Mg/m}^3$ 、密度 2.66Mg/m^3 のアルミニウム合金で $1.39\sim 2.05\text{Mg/m}^3$ 、密度 8.41Mg/m^3 の銅合金で $3.56\sim 4.38\text{Mg/m}^3$ と、比較的大きな幅を呈している。これは、TEC-BALL の直径と殻の厚さとの比が一定ではなく、直径が小さいものほど、鋳型内に充填した TEC-BALL の質量が相対的に増加してしまう傾向があるためである。ただし、これは、TEC-BALL の製造工程において改善が可能であろう。本研究の結果における密度比（分散鋳物／基地材料）のチャンピオンデータは、マグネシウム合金で 27%、アルミニウム合金で 52%、銅合金で 42% である。なお、密度の大きい銅合金では、上述のような影響は少なく、安定して平均 48% の密度比を達成できた。

図 11 に、圧縮特性の例として、基地材料としてアルミニウム合金 AC3A を用いた TEC-BALL 分散鋳物の圧縮試験結果を示す。いずれの直径の TEC-BALL を用いた場合でも、降伏点を過ぎた後、一定の荷重で塑性変形が継続するプラトー領域が認められる。この傾向は既存の発泡金属と同様である。また、TEC-BALL 直径によって、降伏点及びプラトー領域の応力が異なるが、これは、TEC-BALL の殻の厚さ（強さ）に由来するものである。言い換えれば、TEC-BALL の殻の厚さを変えることで、軽量化とはトレードオフになるものの、圧縮特性のある範囲で制御できるといえる。

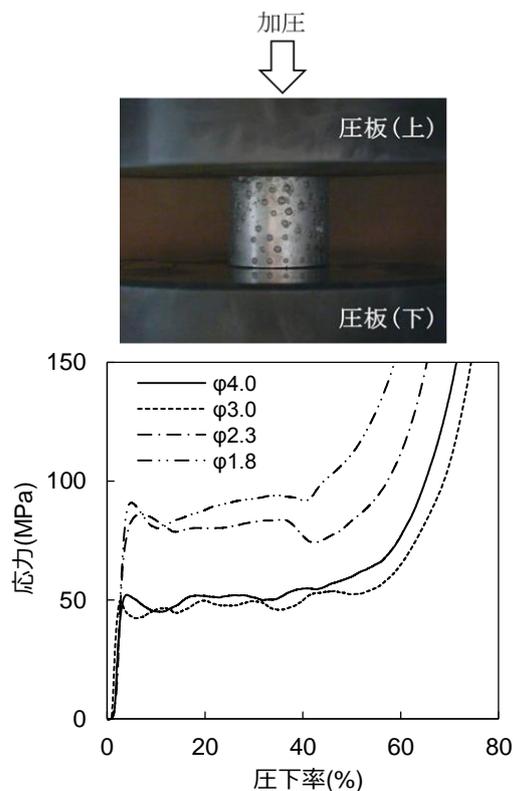


図 11 圧縮試験結果（基地材料：AC3A）

以上の結果を総括すると、中空薄肉鉄球分散による鋳物の軽量化は、十分に可能であり、既存の発泡金属と競合できる可能性がある。要点は、第一に、鋳物の基地材料は鉄よりも融点が低いものであること、第二に、鉄球および溶湯表面が酸化していない状態で含浸が行われること、第三に、鉄球が変形しない範囲での押し湯を行うこと、である。また、中空薄肉鉄球の薄肉化や高強度化といった特性の向上によっても、それを分散した鋳物の軽量化や高強度化が可能であり、本手法による軽量鋳物の応用が期待される。

()

研究者番号：

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高澤 幸治 (TAKAZAWA, Kohji)

苫小牧工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：20331952

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者