

平成 22 年 4 月 15 日現在

研究種目：若手研究（B）  
研究期間：2007～2009  
課題番号：19760071  
研究課題名（和文）アルミホットチャンバーダイカスト用セラミックス・スリーブの開発

研究課題名（英文）New Ceramic Injection Systems for Hot-chamber Diecasting of Aluminum Alloys

研究代表者  
岡安 光博（OKAYASU MITSUHIRO）  
秋田県立大学・システム科学技術学部・准教授  
研究者番号：40433148

## 研究成果の概要（和文）：

近年、アルミホットチャンバダイカストは（HCD）高品質であるため注目されている。しかしHCDのプロセスにはいくつか技術的問題がある。例えばHCDで使用しているセラミックス・スリーブやピストンの寿命が短いことである。これはピストン軸とスリーブ軸のずれによるかじりなどが原因である。この問題を解決する為、新しいピストンとスリーブを開発した。まずピストンはフレキシブルに動ける構造にした。また、スリーブはインサートタイプとし、磨耗しやすい箇所を交換できるようにした。さらにインサート部は耐磨耗性に強い窒化珪素を用いた。この開発により、かじりの問題は解決した。

## 研究成果の概要（英文）：

Although hot-chamber diecasting (HCD) technology is considered to produce high quality components, the quality of HCD aluminum alloys can vary due to differences of casting conditions, in particular the casting pressure. This is caused by the plunger tip galling during the casting process. To solve this problem, a new injection system is proposed using (i) a flexible movable plunger tip and (ii) an insert type shot sleeve. With this system, the plunger tip can be turned around and slid into the piston holder, which facilitates smooth insertion of the plunger into the shot sleeve. The proposed insert type sleeve can be made with a strong structure. Moreover, even if the sleeve is partially fractured, it can easily be replaced. With the proposed injection system, high quality HCD components can be created.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	630,000	3,930,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械材料・材料力学

キーワード：材料設計，プロセス，物性・評価

### 1. 研究開始当初の背景

(1) ダイカスト鑄造法は日本では1910年頃から行われている。この鑄造技術を用いての製品の生産量は年々増加し、現在では主にアルミニウム合金を用いたダイカスト技術が盛んに行われている。事実、自動車部品は鉄系材料で製造された部品からアルミニウム合金ダイカスト化に変化してきている。特に自動車のエンジン部品、シリンダーブロック(a)、トランスミッションケース(b)などの大型部品からシフトアーム(c)、ロッカーアーム(d)等の小型部品までアルミダイカストが適用されている。

(2) ダイカスト法には主に2つの形式がある。コールドチャンバータイプとホットチャンバータイプである。これらは基本的に金型に溶湯を鑄込む方法が異なる。コールドチャンバー法では溶湯を炉からスリーブを経由して金型内に鑄込む。一方ホットチャンバータイプは炉から金型までセラミックス・スリーブを通して直接鑄込む。現在、アルミニウム合金ダイカストではホットチャンバーダイカスト法よりコールドチャンバー法が主流である。この理由の一つにコールドチャンバー法の高い鑄造性が上げられる。コールドチャンバー法は溶湯を高速・高圧で金型内に鑄込む為、ホットチャンバより鑄造性が優れている。しかし、コールドチャンバーダイカスト法には大きな欠点もある。それは組織欠陥が発生することである。炉からくみ上げた溶湯が金属性スリーブ内に注湯する際、溶湯温度が低下するため初期凝固層が生成し、これが組織欠陥となる。この組織欠陥は破断チル層と呼ばれ、ダイカストの強度や品質を著しく

低下させる。

(3) これらの問題を解決するためにホットチャンバーダイカスト法は有効な手段とされる。これはホットチャンバ法は溶湯を炉から直接金型内に充填する為、初期凝固層は生成しない。しかしホットチャンバー法は亜鉛合金やマグネシウム合金に幅広く使用されているが、アルミニウム合金にはほとんど使用されていない。これにはスリーブの耐久性の低さが原因である。この問題を解決しない限り、高品質アルミニウム合金ダイカストの生産は困難となる。昔よりアルミニウム合金ダイカストのホットチャンバー化は永遠の課題とされている。

### 2. 研究の目的

アルミホットチャンバーダイカスト技術を確立するため下記の研究を行った。

(1) ホットチャンバダイカストのセラミックススリーブの問題点について明確にする。

(2) セラミックススリーブの材料特性に関する基礎研究を行う。材料特性の調査項目は、窒化ケイ素とアルミニウム合金の化学的反応性、セラミックスのアルミニウム合金溶湯中での曲げ強度及び疲労強度、セラミックスの高温大気中での強度調査などである。

(3) これら基礎研究結果を基に長寿命高強度ホットチャンバセラミックススリーブの開発に取り組む。

### 3. 研究の方法、4. 研究成果

#### (1) アルミホットチャンバダイカストの材料特性

アルミホットチャンバダイカストの機械的性質について調査を行った。主な調査内容は材料のミクロ組織構造と引張・疲労強度特性である。Fig.1にアルミダイカスト合金、ADC12（ホットチャンバとコールドチャンバ）のミクロ組織と結晶方位像（EBSD）を示す。結晶方位分析は、鏡面研磨した試験サンプル面をカーボンによるコーティングした後行った。使用した分析装置は日本電子製JSM-1001Fである。測定は加速電圧15kV、傾斜角70度、測定領域100 $\mu\text{m}$ ×100 $\mu\text{m}$ で行った。Fig. 1より両アルミ合金の結晶方位は結晶毎に様々な方向を向いていた。また組織形態はホットチャンバダイカストの場合、微細で球状化していた。一方、コールドチャンバダイカストは結晶粒が大きく、複雑な形状で構成されていた。この微細で球状化したホットチャンバの組織は機械的強度を向上させると考えられる。

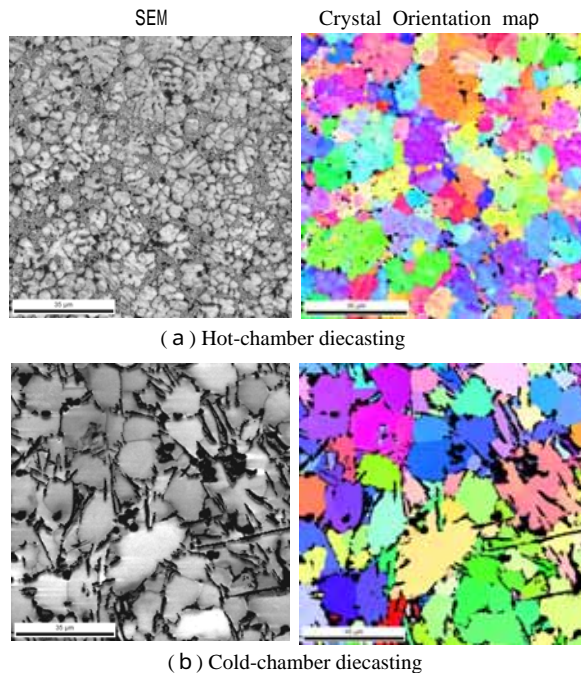


Fig. 1 EBSD analysis of cold- and hot-chamber diecasting.

両サンプルの機械的性質について調査した。機械的調査は、引張強度と疲労き裂進展速度について行った。Fig.2に引張試験結果（引張強さ、破断伸び）を示す。この結果、ホットチャンバダイカストの引張強度及び破断伸びはコールドチャンバダイカストより

り約20%及び約300%向上した。Fig. 3に疲労き裂進展速度（ $da/dN$  vs.  $\Delta K$ ）の試験結果を示す。図の縦軸は1サイクルで進展するき裂進展量（速度）、横軸に応力拡大係数範囲を示す。 $da/dN - \Delta K$ 曲線はホットチャンバダイカストサンプルの方がコールドチャンバダイカストより右側にシフトしている。このためホットチャンバダイカストの方がコールドチャンバより疲労強度特性は高いと考えられる。その他、両者の機械的性質については発表雑誌論文[2]にまとめている。

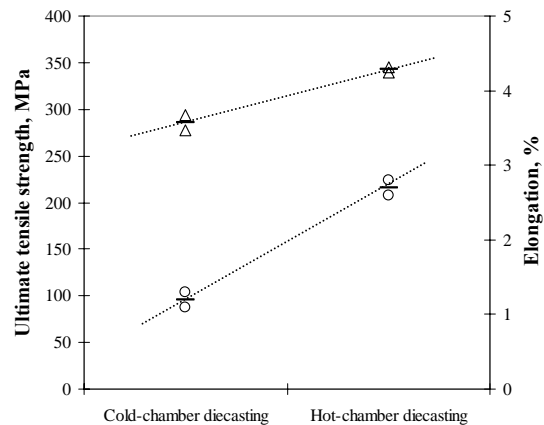


Fig. 2 Tensile properties of cold- and hot-chamber diecast samples.

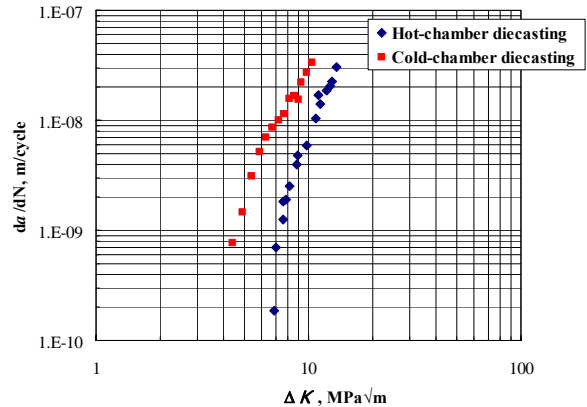


Fig. 3  $da/dN$  vs.  $\Delta K$  relations of cold- and hot-chamber diecasting.

#### (2) アルミホットチャンバ用スリーブ

Fig. 4に破壊したホットチャンバダイカスト用射出スリーブを示す。図から明らかのようにスリーブ内にき裂が確認できる。このスリーブの損傷原因は、主に射出ピストンとスリーブ間の摩擦抵抗（かじり）が原因であった。ここで使用しているスリーブ材料は高強度セラミックスを使用しているため、破壊にはスリーブ内の高い応力が原因と考えられる。そこでこの応力レベルについて有限要素法により調査した。かじりを想定し、計算した結果（Hoop応力分布）

をFig. 5に示す。この解析より、スリーブ中心部付近に高い応力の分布が確認できる。この応力レベルはセラミックスの破壊強度と同等であるため、スリーブは強く損傷したと考えられる。詳細の解析結果及び考察については発表雑誌論文[1]をまとめている。

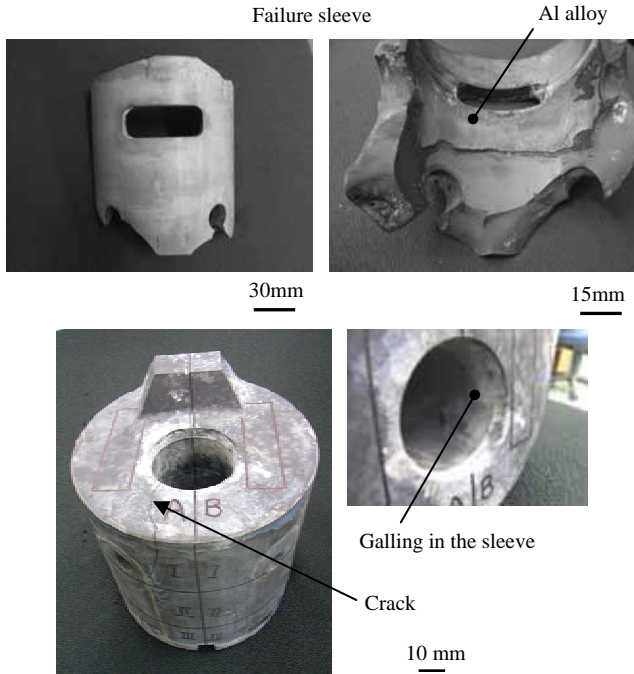


Fig. 4 Failure and galled conventional ceramic sleeve.

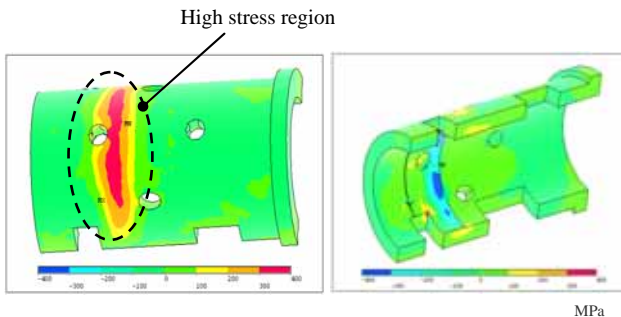


Fig. 5 Hoop stress distribution in the ceramic sleeve.

またFig. 4より、アルミニウム合金がスリーブ表面に付着していた。このアルミニウム合金は簡単に剥がすことができなかった。この理由は次節で考察する。

ホットチャンダイカストの铸造性について調査した。Fig. 6にホットチャンダイカスト法で製造した機械部品のサンプル写真を示す。サンプルは10、20、30サイクル目で採取した。写真より溶湯の充填率はショットサイクル数の増加とともに減少

した。図より30サイクル目でサンプルの形状はほとんど確認できなかった。実際、この部品の製造は30サイクルで止めて、メンテナンス作業を行った。この充填率の低下の原因は、ショットスリーブとピストンのかじりによる充填圧力の低下であった。この対策案については以下で詳しく報告する。また、射出スリーブに使われた窒化ケイ素はアルミニウム合金の溶湯中で長時間保持される為、材料強度は低下したと考えられる。

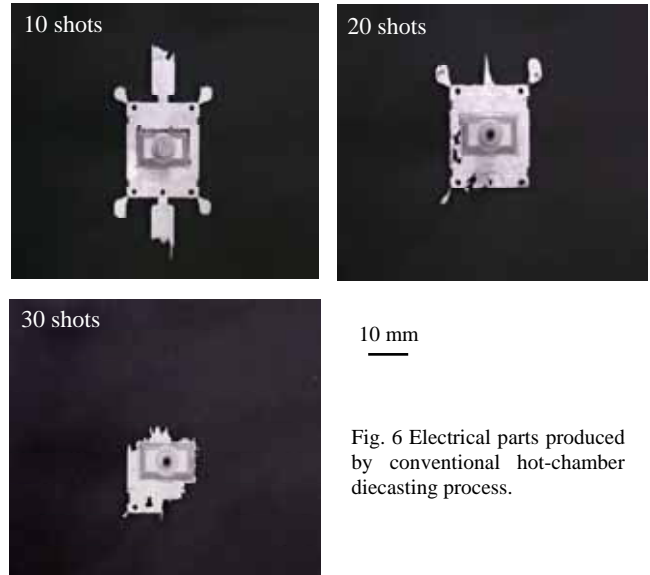


Fig. 6 Electrical parts produced by conventional hot-chamber diecasting process.

上記で述べたようにセラミックスリーブにアルミニウム合金が付着していた。この原因について調査するため、アルミニウム合金とセラミックスの断面について組織観察と材料分析を行った。Fig. 7に両材料の断面写真とEDXによるアルミニウムと鉄の材料分析結果を示す。Fig. 7から明らかのように、セラミックに鉄系の介在物が付着している。これは鉄と窒化ケイ素が化学的に反応したためと考えられる。

### (3) 窒化ケイ素の材料特性

セラミックスリーブの材料特性について詳しく調査するため、このセラミックスを大気中、高温大気中、アルミ合金の溶湯中の3条件で機械的性質を調査した。材料特性は静的強度と疲労強度で評価した。アルミニウム合金はFig. 8に示す容器内で溶かし、セラミック試験片を溶湯中でセットして機械的性質を調査した。

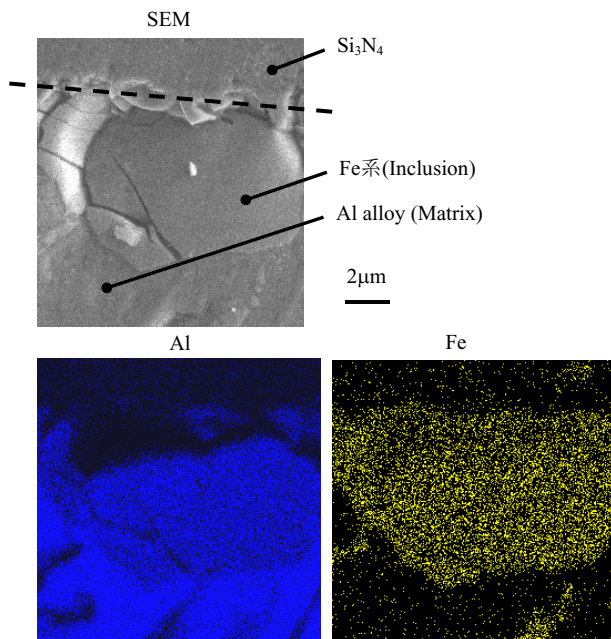


Fig. 7 SEM micrograph of Al alloy with EDX mapping showing the various elements.

Fig. 9に静的曲げ試験の結果を示す。大気中では大気温度が上昇しても強度変化は確認できなかった。しかしアルミ合金湯溶中では材料強度は急激に減少した。この原因は明らかではないがFig. 7で示した鉄系の介在物とセラミックスの化学的な反応が影響していると考えられる。そこで、鉄の含有量が異なるアルミニウム合金を用いて疲労試験を行った。鉄の含有量は0.7 wt. % (L-Fe)と1.7 wt. % (H-Fe)である。疲労試験の結果をFig. 10に示す。この結果、アルミ溶湯中の試験では疲労強度が低下するが、鉄含有量の増加に伴い疲労強度はさらに低下傾向を示した。これより、窒化ケイ素の疲労強度はアルミ溶湯内の鉄の濃度に強く影響されると考えられる[3]。

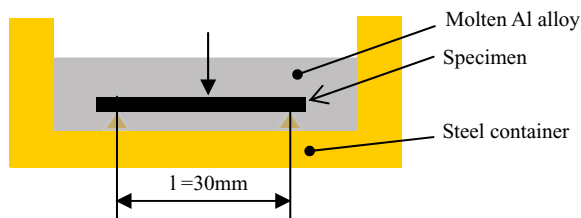


Fig. 8 Schematic illustration showing experimental set up for fatigue and bending tests in molten aluminum alloys.

#### (4) 新ホットチャンバ用窒化ケイ素射出システムの開発

本研究で使用したセラミックス・スリーブは数千ショットサイクルで破損した。この原因は、(i) セラミックスの強度低下 (アルミ溶

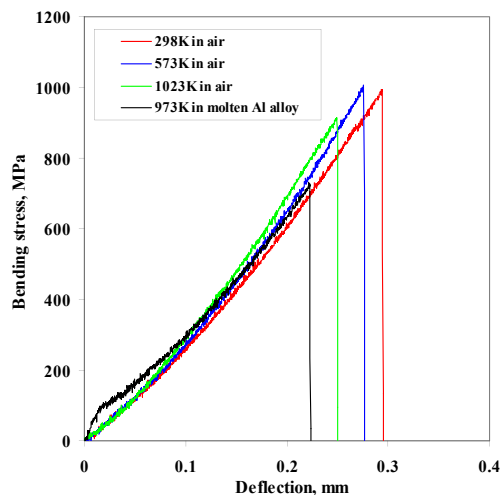


Fig. 9 Bending stress vs. deflection relationships for  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ceramics tested under various conditions.

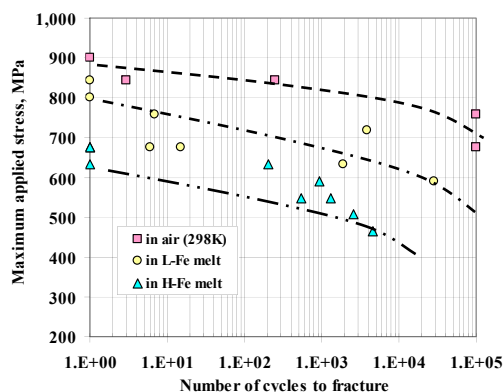


Fig. 10 Maximum stress vs. number of cycles to failure for  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ceramics.

湯中)、(ii)ピストン軸とスリーブ軸のずれによるかじりであることが判明した。そこで軸のずれによるかじりを防止させる為、ピストンとスリーブの改造を行った。まずピストン形状とピストンホルダーの形状を変更させ、ピストンがフレキシブルに動けるようにした。一方、スリーブはインサートタイプとし、磨耗しやすい箇所を交換できるようにした。またインサート部は耐磨耗性に強い窒化珪素を用いた (Fig. 11)。実際作製したスリーブとピストンの写真を Fig. 12 に示す。詳細の構造については発表雑誌論文[4]に記載しているが、新しいピストンとスリーブにより、かじりの問題は解決した。実際、長時間連続で铸造しても問題はほとんど起こらなかった。Fig. 13はホットチャンバで製作した機械部品である。連続铸造20サイクル目に採取したものである。写真から明らかのように溶湯は全体に回っており、高品質であることが確認できる (Fig. 6と比較)。

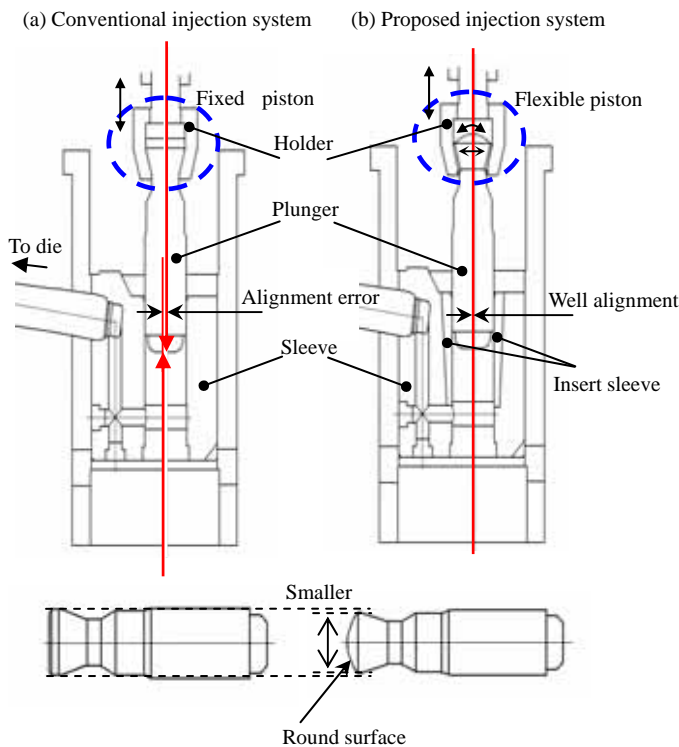


Fig. 11 Schematic illustration for (a) conventional and (b) proposed injection system.



Fig. 12 Proposed hot-chamber injection system: (a) plunger tip and (b) insert type shot sleeve.

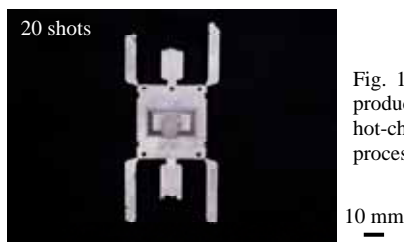


Fig. 13 Electrical parts produced by proposed hot-chamber diecasting process.

## 5. 主な発表論文 (査読有り)

〔雑誌論文〕(計4件)

M.Okayasu, M.Hitomi, H.Yamazaki “New Ceramic Injection Systems for Hot-chamber Diecasting of Aluminum Alloys”, International Journal of Cast Metals Research, (2010), In press.

M.Okayasu, M.Hitomi, H.Yamazaki “Mechanical and Fatigue Strengths of Silicon Nitride Ceramics in Liquid Aluminum Alloys”, Journal of the European Ceramic Society, Vol.29, (2009), pp.2369-2378.

M.Okayasu, S.Yoshifuji, M.Mizuno, M.Hitomi, H.Yamazaki “Comparison of Mechanical Properties of Diecast Aluminum Alloys: (i) Cold- vs. Hot-chamber Diecasting and (ii) High- vs. Low-speed Filling Diecasting”, International Journal of Cast Metals Research, Vol. 22, (2009), pp.374-381.

M.Okayasu, M.Hitomi, H.Yamazaki “Material Properties of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Ceramic for Injection System of Aluminum Hot-chamber Diecasting”, International Journal of Cast Metals Research, Vol.21, (2008), pp.339-348.

〔学会発表〕(計6件)(査読有り)

M.Okayasu, M.Hitomi, H.Yamazaki, “Mechanical Properties of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Ceramics in Liquid Aluminum Alloys”, The 6<sup>th</sup> International Conference on Advanced Materials and Processing (ICAMP-6), (2010/7/22), Lijiang China, Accepted.

M.Okayasu, M.Hitomi, H.Yamazaki, “Newly Developed Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>Ceramic Injection Systems for Hot-chamber Diecasting of Aluminum Alloys”, The 6<sup>th</sup> International Conference on Advanced Materials and Processing (ICAMP-6), (2010/7/22), Lijiang China, Accepted.

M.Okayasu, S.Yoshifuji, K.Sakai, M.Mizuno, M.Hitomi, H.Yamazaki, “Mechanical and Fatigue Properties of Aluminum Hot-Chamber Diecasting, The 5<sup>th</sup> International Conference on Creep, Fatigue and Creep-Fatigue Interaction, (CF5), (2008/9/24), Tamil Nadu, India, CD-ROM.

M.Okayasu, S.Yoshifuji, M.Hitomi, H.Yamazaki, K. Sakai, M. Mizuno, M.Higano “Mechanical Properties of Hot-chamber Diecasting Aluminum Alloy”, The 5<sup>th</sup> International Conference on Advanced Materials and Processing (ICAMP-5), (2008/9/5), Harbin China, p.46.

## 6. 研究者組織

(1) 研究代表者

岡安 光博 (OKAYASU MITSUHIRO)

秋田県立大学・システム科学技術学部・准教授

研究者番号：40433148