

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「優れた金型転写性と寸法精度を有する超精密部品の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 財団法人 青葉工学会

目 次

| | |
|--|----|
| 第1章 研究開発の概要 | 1 |
| 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標 | 1 |
| 1-2 研究体制（研究組織・管理体制・研究者氏名・協力者） | 2 |
| 1-3 成果概要 | 5 |
| 1-4 当該研究開発の連絡窓口 | 6 |
| | |
| 第2章 本論 | 7 |
| 2-1 アルミ合金に適した半凝固スラリーカップの設計技術の開発 | 7 |
| 2-2 半凝固スラリー生成条件の開発 | 11 |
| 2-3 CAE解析による金型設計技術および鑄造方案の確立 | 16 |
| 2-4 合金の特性評価（金属組織観察・硬さ試験・表面処理の特性評価） | 21 |
| 2-5 寸法精度 面粗さの機能評価（転写性） | 26 |
| | |
| 第3章 全体総括 | 30 |
| 3-1 研究開発成果 | 30 |
| 3-2 研究開発後の課題・事業化展開 | 30 |

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

<研究開発の背景>

データストレージ・デジタルAV・家庭用ゲーム機に使用される光学ドライブの録再生の心臓部であるレンズホルダー・フォーカス・トラッキングユニットは、優れた金型転写性と寸法精度が要求される超精密部品である。従来は樹脂成型品が主流であったが、金型転写性と寸法精度の品質要求が大きくなってきたことから亜鉛鋳造品が用いられるようになった。しかしながら、光学ドライブの記録再生部品は動作時に高速かつ微細な運動を継続的に反復する為、ユニット重量の軽量化が求められるようになった。亜鉛鋳造では部品自体の重量が増加してしまい動作性能面で不利となる。比重の軽いマグネシウム鋳造品、若しくはアルミ鋳造品を使用するのが最良の選択になるのだが、従来のダイカスト法では、どちらの素材においても鋳造時の金型転写性が低く精密形状の再現が不可能であった。そこで、新たな半凝固鋳造技術を用いて軽量化のニーズと金型転写性と寸法精度の品質要求を満足した世界初のアルミダイカスト製品の事業化を図る。

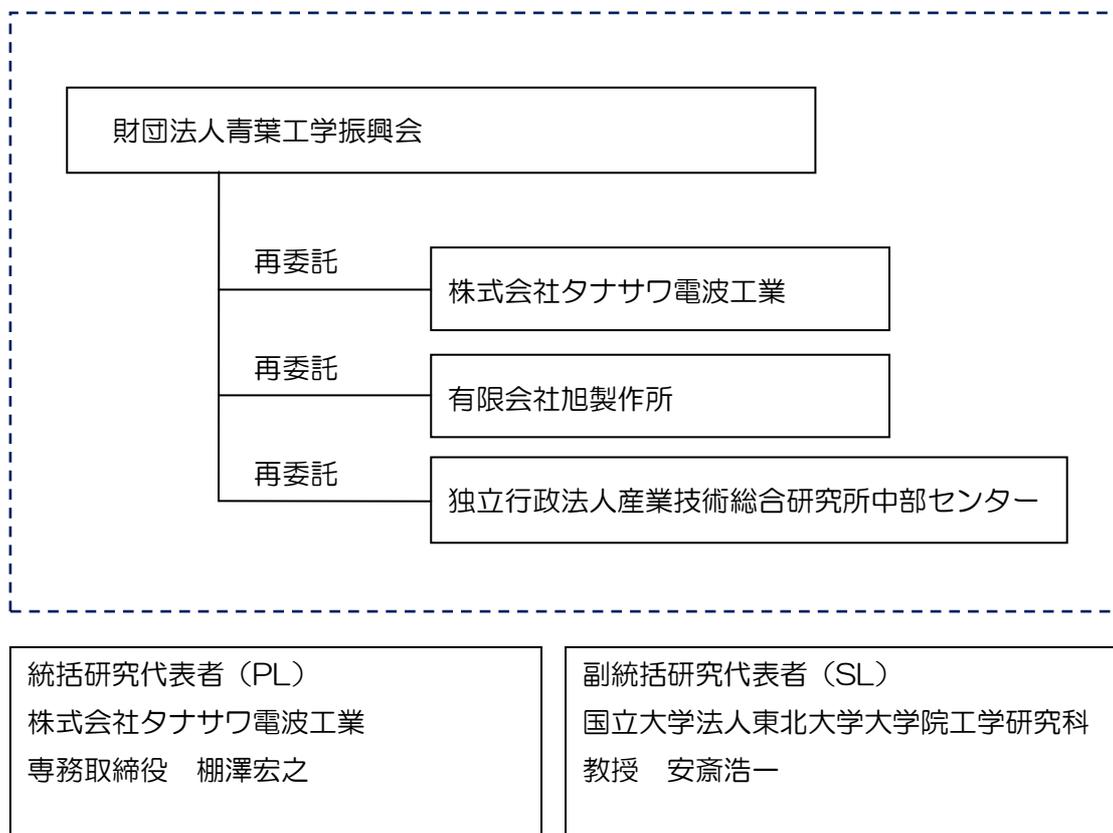
<研究目的及び目標>

本研究開発では、優れた金型転写性と寸法精度が要求される超精密部品に対して軽量化のニーズを満足した世界初のアルミダイカスト製品の事業化を図ることである。ハイエンドの光学ドライブの記録再生商品に求められる特性は、①高い機械的強度、②耐熱性、③軽量で高い運動性能、④複合部品による部品点数の減少、⑤超精密構造の高再現性である。従来の成形法では、①と②の要求は満足しているが、③、④と⑤の要求は達成できていない。市場のニーズに応えるためには、優れた金型転写性と寸法精度をもつアルミダイカスト部品を実現することが重要である。

従来のダイカストでは、精密形状の金型転写性能・内部欠陥の対策方法が確立されていない。そこで、本研究開発によって、軽量かつ内部欠陥が無い光学ドライブ記録再生ユニットのアルミダイカスト化で事業化を実現しようとするものである。

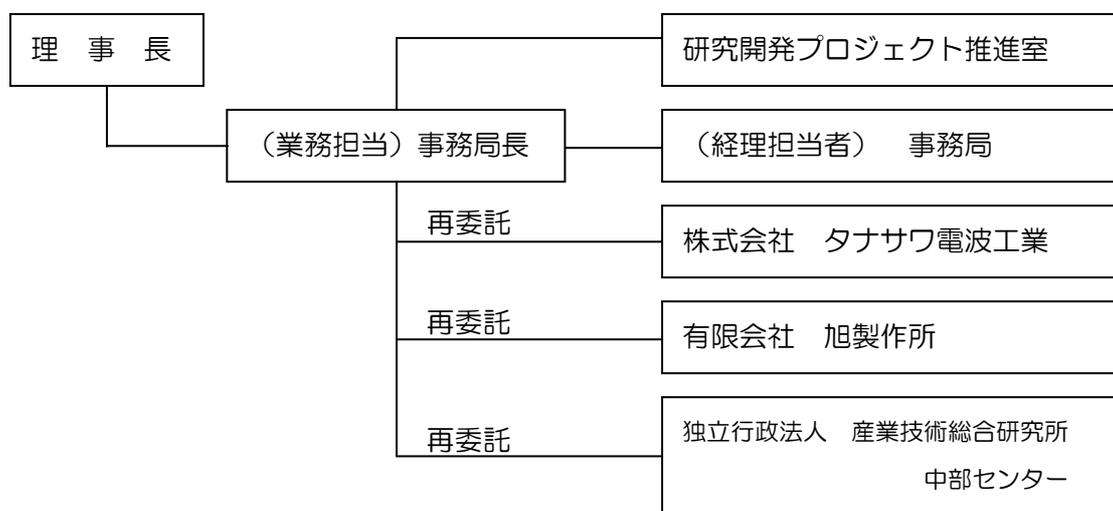
1-2 研究体制

(1) 研究組織



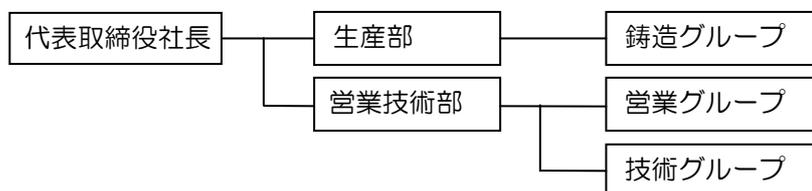
(2) 管理体制

① 事業管理者【青葉工学振興会】

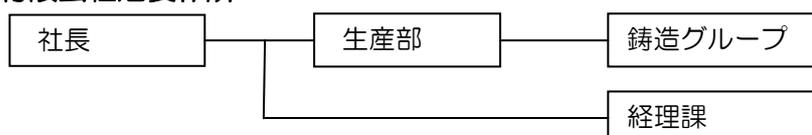


② 再委託先

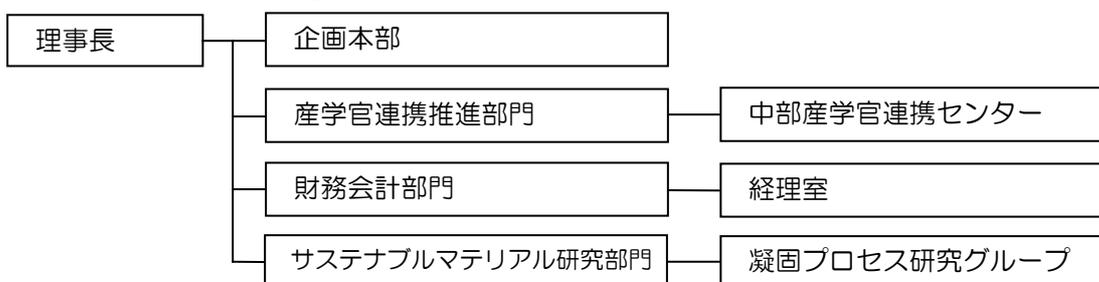
株式会社タナサワ電波工業



有限会社旭製作所



独立行政法人産業技術総合研究所 中部センター



(3) 管理員及び研究員（役職・実施内容別担当）

【事業管理者】 財団法人 青葉工学振興会

① 研究員

| 氏名 | 所属・役職 |
|-------|--|
| 安斎 浩一 | 研究開発プロジェクト推進室研究員 (東北大学大学院工学研究科 教授) |
| 平田 直哉 | 研究開発プロジェクト推進室研究員 (東北大学大学院工学研究科 助教) |
| 板村 正行 | 研究開発プロジェクト推進室研究員 (東北大学大学院工学研究科 研究員) |

② 管理員

| 氏名 | 所属・役職 |
|--------|------------|
| 霜山 忠男 | 事務局長 |
| 米谷 いし子 | 事務局 経理主任 |
| 櫻井 正彦 | 事務局 契約主任 |
| 四十川 千秋 | 産学連携アドバイザー |

【再委託先】 ※研究員のみ

株式会社タナサワ電波工業

| 氏名 | 所属・役職 |
|----------------|----------------------|
| 棚澤 宏之 赤星 直樹 | 専務取締役 営業技術部長兼技術課長 |

有限会社旭製作所

| 氏名 | 所属・役職 |
|-------|-------|
| 中村 哲也 | 代表取締役 |

独立行政法人産業技術総合研究所 中部センター

| 氏名 | 所属・役職 |
|-----------------------------------|--|
| 三輪 謙治 田村 卓也 尾村 直紀 村上 雄一朗 | サステナブルマテリアル研究部門主幹研究員 サステナブルマテリアル研究部門研究員 サステナブルマテリアル研究部門研究員 サステナブルマテリアル研究部門研究員 |

(4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

研究開発推進会議 委員

| 氏名 | 所属・役職 | 備考 |
|-----------------------------------|--|--------|
| 霜山 忠男 四十川 千秋 | 財団法人青葉工学会 事務局長 財団法人青葉工学会 産学連携アドバイザー | |
| 棚澤 宏之 赤星 直樹 | 株式会社タナサワ電波工業 専務取締役 株式会社タナサワ電波工業 営業技術部長兼技術課長 | PL |
| 中村 哲也 | 有限会社旭製作所 社長 | |
| 安斎 浩一 平田 直哉 板村 正行 | 東北大学大学院工学研究科 教授 東北大学大学院工学研究科 助教 東北大学大学院工学研究科 研究員 | SL |
| 三輪 謙治 田村 卓也 尾村 直紀 村上 雄一朗 | 独立行政法人産業技術総合研究所 中部センター 主幹研究員 独立行政法人産業技術総合研究所 中部センター 研究員 独立行政法人産業技術総合研究所 中部センター 研究員 独立行政法人産業技術総合研究所 中部センター 研究員 | |
| 新井 大介 | エントラスト株式会社 営業部 | アドバイザー |
| 川崎 雅敏 | ソニー株式会社調達本部 PI&SI 調達プロジェクト部長 | アドバイザー |
| 神谷 剛二 | 三洋メディアック株式会社 技術顧問/相談役 | アドバイザー |

1-3 成果概要

本研究開発で製造されたピックアップの精度は、一部 0.005 程度外れている部分もあるが、それ以外の部分では狙い値通りの寸法精度を得ることができた。製品毎でのバラつきも 0.03 の中に入っており目標とする寸法精度 ± 0.05 を満足する結果が得られた。

この 0.005 程度外れた原因は、本開発で算出した金型製作時の収縮率を 8/1000 に決定したことによる。この収縮率を 9/1000 にすれば満足することが予想されるので、引き続きこの収縮率についての開発に取り組むことで解決できるものと思われる。

金型転写性を要する製品上での面粗さ目標値一般面 Rz12.5 μ 製品上での主要部 Ra1.6 μ に対し製品全体に対して Ra1.6 μ の範囲という満足する結果が得られた。

以上の結果から、本研究開発で製造された製品は、「優れた金型転写性と寸法精度を有する超精密部品の開発」の目的をほぼ達成したといえる。

1-3-1 アルミ合金に適した半凝固スラリーカップの設計技術の開発

- (1) AC4C 合金の材料分析（熱物性、組成）をおこない、溶湯重量に応じたカップの最適設計・製作をおこなうことができた。
- (2) スラリーカップ体積-溶湯量による固相率を推定することで、それぞれの合金における $\gamma-T_{eq}$ 曲線を求め、その線図にカップ厚みに対する γ を求めることで固相率が推定され、カップの最適設計をおこなうことができた。

1-3-2 半凝固スラリー生成条件の開発

AC4C用薄肉精密形状用金型について結晶粒径 100 μ m 以下の半凝固スラリーを生成するための溶解温度、攪拌時間の最適条件を求めることができた。

1-3-3 CAE 解析による金型設計技術および鋳造方案の確立

- (1) 試料より実際に鋳造された試料の寸法と金型の寸法を比較すると収縮率は、8/1000であることが分かった。これにより、本開発の為の金型製作時の収縮率を 8/1000に決定することができた。
- (2) 湯流れ解析専用ソフトを用いて金型設計・製作をおこなう前にピックアップの半凝固鋳造・湯流れ解析をおこない湯流れ・凝固に伴う鋳造欠陥を防ぐことができ、最適な金型設計技術を確立することができた。

1-3-4 合金の特性評価（金属組織観察・硬さ試験・表面処理の特性評価）

(1) 金属組織観察

組織観察をおこなった結果、固相率は溶湯温度およびカップ温度に応じて変化する結果となった。固相粒子はランナ部ではデンドライト状あるいは凝集した

形態をとるが、製品部、オーバーフロー部と流れていくにつれ分散状態は向上した。

(2) 硬さ試験結果

硬さは組織の違いに強く依存する結果となった。また、固相率による硬さの差は小さいが、混合組織と共晶部分の硬さは固相率の減少に伴いに上昇、初晶の硬さは固相率の減少に伴い低下する傾向があった。

(3) 表面処理の特性評価

- ① 三価アロジン処理実施後、24 時間塩水噴霧試験にて表面に異常は無なかった。
- ② アルマイト処理実施後、24 時間塩水噴霧試験にて表面に異常は無なかった。
- ③ 三価アロジン処理＋静電塗装実施後、48 時間塩水噴霧試験にて表面に異常は無なかった。
- ④ 三価クロム鍍金処理実施後、48 時間キャス試験にて表面に異常は無なかった。

1-3-5 寸法精度 面粗さの機能評価（転写性）

図面規格寸法に対して電磁攪拌を使用しての半凝固鑄造法にて製造された製品の精度は一部 0.005 程度外れている部分もあるが、それ以外の部分では狙い値通りの寸法精度を得ることができた。製品毎でのバラつきも 0.03 の中に入っており目標とする寸法精度 ± 0.05 を満足できた。

金型転写性を要する製品上での面粗さ目標値一般面 Rz12.5 μ 製品上での主要部 Ra1.6 μ に対し製品全体に対して Ra1.6 μ の範囲にできあがっていることが分かった。

1-3-6 プロジェクトの管理・運営

研究開発委員会を開催し研究体構成員相互の調整を図るとともに、委託業務の適正な経理処理を指導するなど、プロジェクトの管理・運営をおこなった。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人青葉工学振興会 事務局長：霜山忠男

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-4

Tel 022-795-7991 Fax 022-221-4236

第2章 本論

2-1 アルミ合金に適した半凝固スラリーカップの設計技術の開発

(財団法人青葉工学振興会 国立大学法人東北大学)

2-1-1 目的

アルミ合金の中のAC4CH合金を用いてカップの最適設計・製作をおこない、結晶粒径 $100\mu\text{m}$ 以下の良質な半凝固スラリーを得るためのスラリーカップの設計技術の開発をおこなう。

2-1-2 AC4CH合金の熱物性値・材料組成

AC4CHの化学分析結果を表2-1-1、表2-1-2に示す。AC4CHの固相率と溶湯温度の関係を図2-1-1に示す。

表2-1-1 AC4CH合金の化学分析結果

| Cu | Mg | Si | Zn | Fe | Cr | Ni | Mn | Sn |
|-------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 0.007 | 0.45 | 7.12 | 0.007 | 0.11 | 0.006 | 0.003 | 0.006 | <0.01 |

表2-1-2 ADC12合金の化学分析結果

| Cu | Mg | Si | Zn | Fe | Cr | Ni | Mn | Sn |
|------|------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|
| 2.01 | 0.29 | 10.48 | 0.48 | 0.55 | 0.033 | 0.042 | 0.14 | 0.012 |

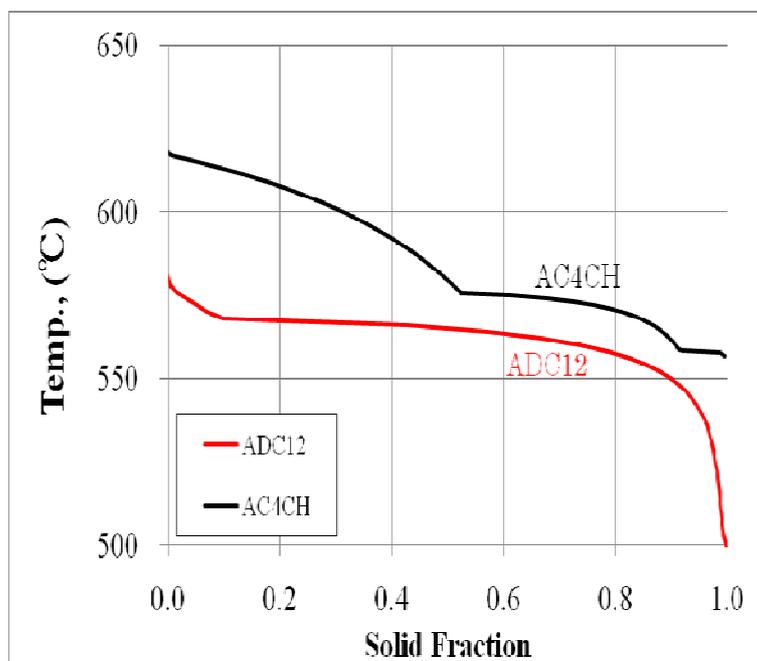


図2-1-1 AC4CH合金の固相率と溶湯温度の関係

2-1-3 スラリーカップの最適設計・製作

(1) カップの最適設計の手順

カップおよびスラリーの熱物性値（密度 ρ 、比熱 C_p 、体積 V ）とスラリー量の関係からカップ形状を決定する。そのスラリーカップの最適設計の手順を図 2-1-2 に示す。

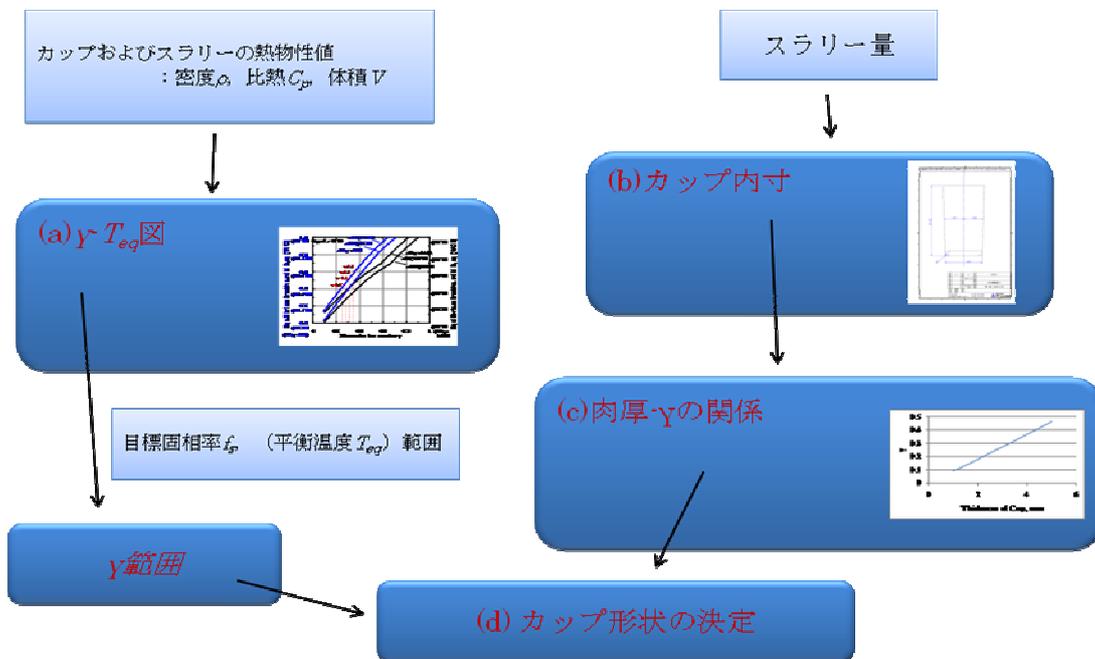


図 2-1-2 カップの最適設計の手順

(2) γ 値（カップと溶湯の熱容量の比）を用いた固相率の推定方法

γ 値（カップと溶湯の熱容量の比）を用いてスラリーの固相率の推定方法は、まず比熱分析により図 2-1-3 に示す固相率-温度曲線を求める。

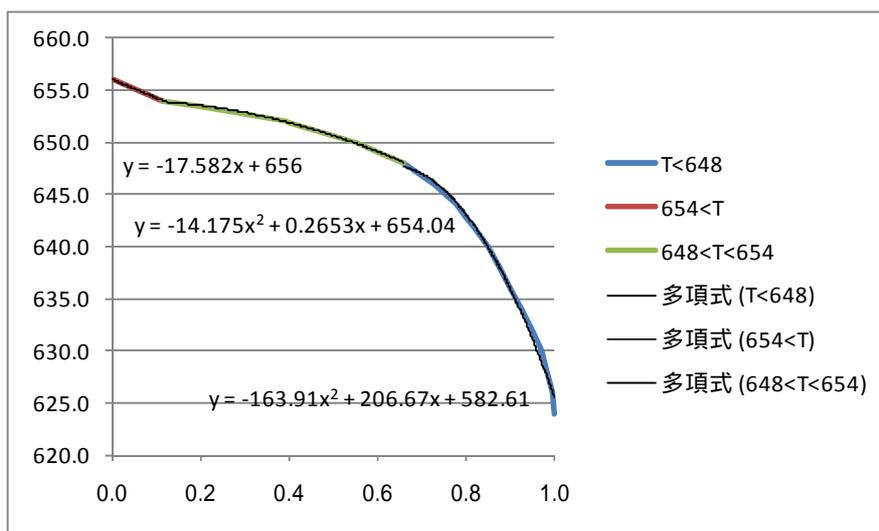


図 2-1-3 固相率-温度曲線

つぎに、固相率-温度曲線を最小自乗近似により 2 次方程式で近似をおこない、以下の 3 式を得る。

654°C < T

$$T = -17.582 f_s + 656 \quad (2-1)$$

648°C < T ≤ 654°C

$$T = -14.175 f_s^2 + 0.2653 f_s + 654.04 \quad (2-2)$$

654°C < T

$$T = -163.91 f_s^2 + 206.67 f_s + 582.61 \quad (2-3)$$

ここで T は温度、 f_s は固相率である。式(2-1)から(2-3)における T を平衡温度 T_{eq} とし、熱エネルギー保存則より得られる平衡温度 T_{eq} に関する次式と連立させることで、 γ 値と予想平衡温度（固相率） T_{eq} の関係を得る。

$$T_{eq} = \frac{T_c + \gamma T_m + H'_f f_s}{1 + \gamma} \quad (2-4)$$

ここで T_c は溶湯初期温度、 T_m はカップ初期温度、 H'_f は溶湯の凝固潜熱を比熱で除いたものである。 γ 値は次式で表され、カップと溶湯の熱容量の比である。

$$\gamma = \frac{\rho_m c_m \cdot V_m}{\rho_c c_c \cdot V_c} \quad (2-5)$$

ここで ρ は密度、 c は比熱、 V は体積であり、添え字 c は溶湯、添え字 m はカップのものであることを示す。

(3) γ 値を用いたスラリーカップ体積-溶湯量による固相率の推定結果

表 2-1-3 に γ 値を用いてスラリーカップ体積-溶湯量による固相率を推定したカップの形状を示す。これらのカップと溶湯の熱容量より定まる無次元数 γ 値を用いて、外気への抜熱を無視した場合の平衡温度の推定をおこなった。

表 2-1-3 スラリーカップ形状

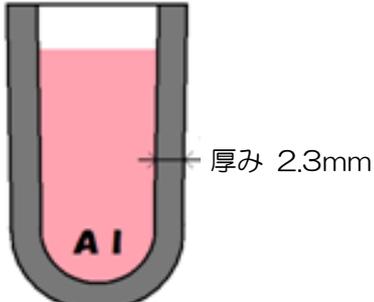
| | |
|---|--|
| <p>カップ形状 φ55mm×155mm</p> <p>カップ厚み 2.3mm</p> |  |
|---|--|

表 2-1-4 γ 計算に用いた物性値

| | |
|----------------------|--------------------------|
| Density (mold) | 7758.0 kg/m ³ |
| Heat Capacity (mold) | 553.0 J/kg · K |
| Volume (mold) | 20493 mm ³ |
| Heat Capacity (melt) | 1100.0 J/kg · K |

表 2-1-3 のカップを用い溶湯注湯量を A 位置 (800g)、B 位置 (500g) とし、カップ初期温度 35℃、溶湯初期温度を 623℃ (加熱度 5℃)、668℃ (加熱度 50℃) とした場合の γ 値と予想平衡固相率の関係を図 2-1-4 に示す。A 位置 (800g) および B 位置 (500g) の γ 値はそれぞれ 0.309 , 0.495 で、対応する予想平衡固相率は 0.39 , 0.63 であることが推定される。

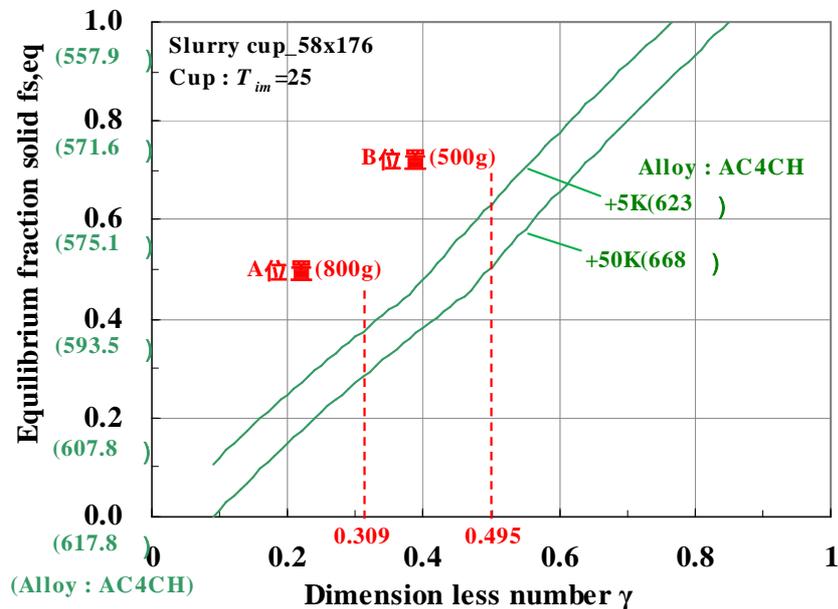


図 2-1-4 γ - T_{eq} 曲線



図 2-1-5 カップ外観写真

2-1-4 まとめ

- (1) AC4C 合金の材料分析（熱物性、組成）をおこない、溶湯重量に応じたカップの最適設計・製作をおこなうことができた。
- (2) スラリーカップ体積-溶湯量による固相率を推定することで、それぞれの合金における $\gamma-T_{eq}$ 曲線を求め、その線図にカップ厚みに対する γ を求めることで固相率が推定され、カップの最適設計をおこなうことができた。

2-2 半凝固スラリー生成条件の開発

（財団法人青葉工学会 国立大学法人東北大学）

（株）タナサワ電波工業（有）旭製作所

2-2-1 目的

AC4C 用薄肉精密形状用金型についての半凝固スラリー生成実験をおこない、結晶粒のサイズが $100\mu\text{m}$ 以下となるスラリー生成条件を開発する。

2-2-2 スラリー生成試験

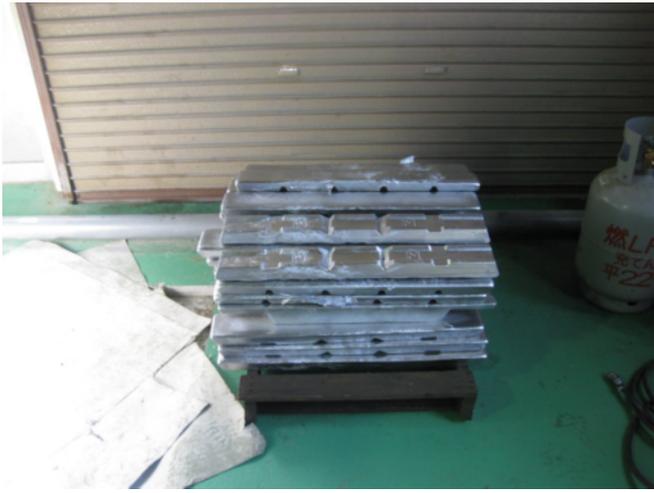
溶解保持炉にてアルミ鋳物材 AC4C150Kg を予め設定しておいた溶解温度（ $680^{\circ}\text{C}\sim 720^{\circ}\text{C}$ ）にて溶かし、溶けて液体状になったアルミ鋳物材 AC4C を溶解保持炉より人間がすくいあげ、ナノ装置（電磁攪拌装置）にセットされている半凝固スラリーカップへ注ぎ入れナノ装置（電磁攪拌装置）によりアルミ鋳物材 AC4C の攪拌をおこないスラリーカップ内にて半凝固状態を作り出す。

表 2-2-1 に使用する機器を、表 2-2-2 に使用する機器の説明内容を示す。

表 2-2-1 使用する機器

| | |
|----------|--|
| 溶解保持炉 | (株)メイチュー製ガス式溶解保持炉 (AL150Kg) + 黒鉛ルツボ |
| ナノ電磁攪拌装置 | 山城精機製作所製 SM-80-ST |
| スラリー用カップ | カップ形状 $\phi 55\text{mm}\times 155\text{mm}$ カップ厚み 2.3mm |

表 2-2-2 使用する機器の説明

| | |
|--|---|
|  A photograph showing a large industrial furnace in a factory setting. Three workers are standing around the furnace, which has a robotic arm attached to its top. The furnace is silver and cylindrical. | <p>＜溶解保持炉の外観写真＞ 既に黒鉛ルツボがセットされており、中央に見えるアームは溶けたアルミ鋳物材 AC4C を溶解炉から汲み上げる為のロボット</p> |
|  A close-up photograph of the interior of a furnace. A white robotic arm is positioned over a large, dark, circular graphite crucible. The crucible contains a molten metal. | <p>＜黒鉛ルツボの外観写真＞ インゴットを入れガスバーナーの火力によって溶解（680℃～720℃）をおこなう</p> |
|  A photograph showing a stack of several aluminum ingots. The ingots are rectangular and have a metallic, slightly oxidized appearance. They are stacked on a wooden pallet. | <p>＜アルミインゴットの外観写真＞ アルミ鋳物材 AC4C 搬入時の外観写真</p> |

| | |
|---|--|
|  | <p>＜ナノ電磁攪拌装置の外観写真＞ 溶解させたアルミ鋳物材 AC4C をナノ電磁攪拌装置の上部投入口よりスラリー用カップに注ぎ、半凝固スラリーを生成させる</p> |
|  | <p>＜AC4C の注湯時の外観写真＞ スラリー用カップに AC4C を注湯する</p> |
|  | <p>＜スラリー生成実験時の写真＞ 溶解炉設定温度と電磁攪拌時間がスラリーの品質に及ぼす影響を調査</p> |

2-2-3 スラリー温度計測条件

スラリーカップ内の溶湯の測温箇所を図 2-2-1、計測実験を図 2-2-2 に示す。

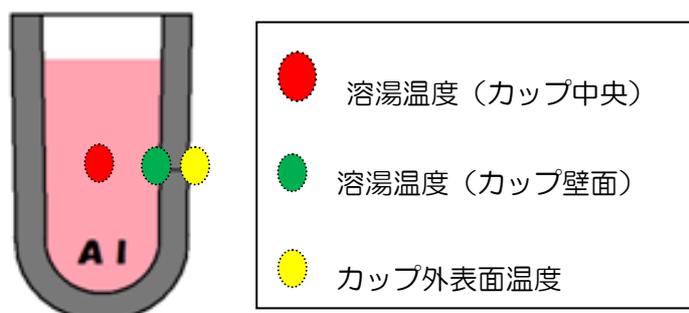


図 2-2-1 温度計測箇所



図 2-2-2 スラリーカップ内部の溶湯温度計測実験

2-2-4 スラリー生成試験による温度計測結果

カップ内部の溶湯温度計測結果を図 2-2-3 に示す。カップへ注湯開始後、15sec でかなり均一な温度分布になっていることがわかった。

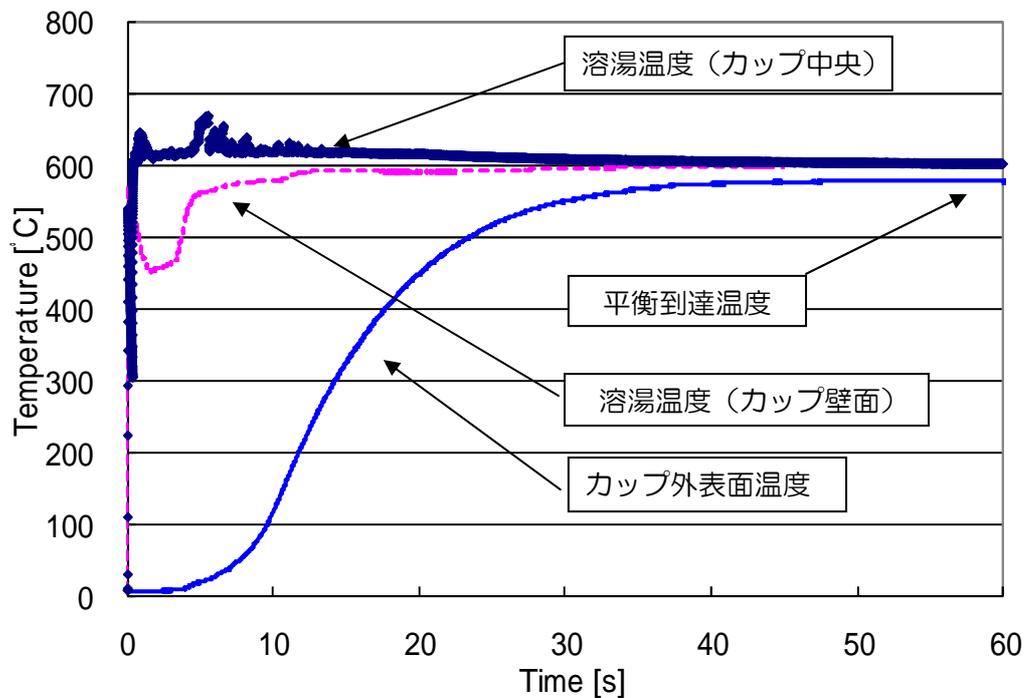


図 2-2-3 カップ内部の溶湯温度計測結果

2-2-5 スラリー生成試験によるスラリー組織観察結果

溶湯温度と電磁攪拌時間の条件をかえてスラリー生成試験(図2-2-4)をおこない、最適なスラリー生成条件を求めた。その結果を表2-2-3に示す。半凝固スラリー品質を評価するための組織評価をおこなうため、振動式自動研磨機(図2-2-5)を用いて結晶粒径の組織観察をおこなったところ図2-2-6に示すように初晶サイズ $100\mu\text{m}$ 以下のスラリーを生成することができた。

表 2-2-3 最適なスラリー生成条件

| | |
|---------|------|
| 溶解炉設定温度 | 720℃ |
| カップ温度 | 200℃ |
| 攪拌時間 | 8秒 |
| 沈静時間 | 2秒 |



図 2-2-4 スラリー生成の状態



図 2-2-5 振動式自動研磨機

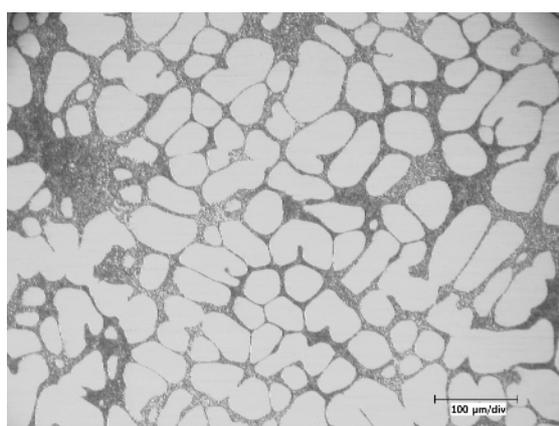


図 2-2-6 スラリーの組織観察結果

2-2-6 まとめ

AC4C用薄肉精密形状用金型について結晶粒径 $100\mu\text{m}$ 以下の半凝固スラリーを生成するための溶解温度、攪拌時間の最適条件を求めることができた。

2-3 CAE 解析による金型設計技術および鑄造方案の確立

2-3-1 目的

湯流れ解析専用ソフトを用いてピックアップの半凝固鑄造として最適な金型設計技術の確立および鑄造方案の確立をおこなう。

2-3-2 解析条件

鑄造CAE ソフトADSTEFAN Version9.0 を用いてピックアップ金型の湯流れ解析をおこなった。解析に用いた条件を表2-3-1に材料物性値、表2-3-2に境界条件を示す。

表2-3-1 材料物性値

| | 鑄物(AC4CH) | 鑄型(SKD61) |
|--------------------------|-----------|-----------|
| 密度(g/cm ³) | 2.7 | 7.8 |
| 比熱(cal/(g·deg)) | 0.23 | 0.1 |
| 熱伝導率 (cal/(cm·s·deg)) | 0.37 | 0.102 |
| 初期温度(deg. C) | 622 | 200 |
| 潜熱(cal/g) | 93 | - |
| 液相線(deg. C) | 617 | - |
| 固相線(deg. C) | 558 | - |

表2-3-2 境界条件

| | |
|---|------------------------|
| 熱伝達係数 (cal/(cm ² ·s·deg)) | 鑄物/鑄型：0.2 鑄型/空気：0.2 |
| 流入速度(cm/s) | 200 |

2-3-3 ピックアップ・半凝固鑄造・湯流れ解析結果

図2-3-1 にピックアップの半凝固鑄造・湯流れ解析結果を示す。図2-3-2 の拡大図に示すように溶湯の合流部にエアバントを設けることにより湯流れによる欠陥を未然に防ぐことができる。

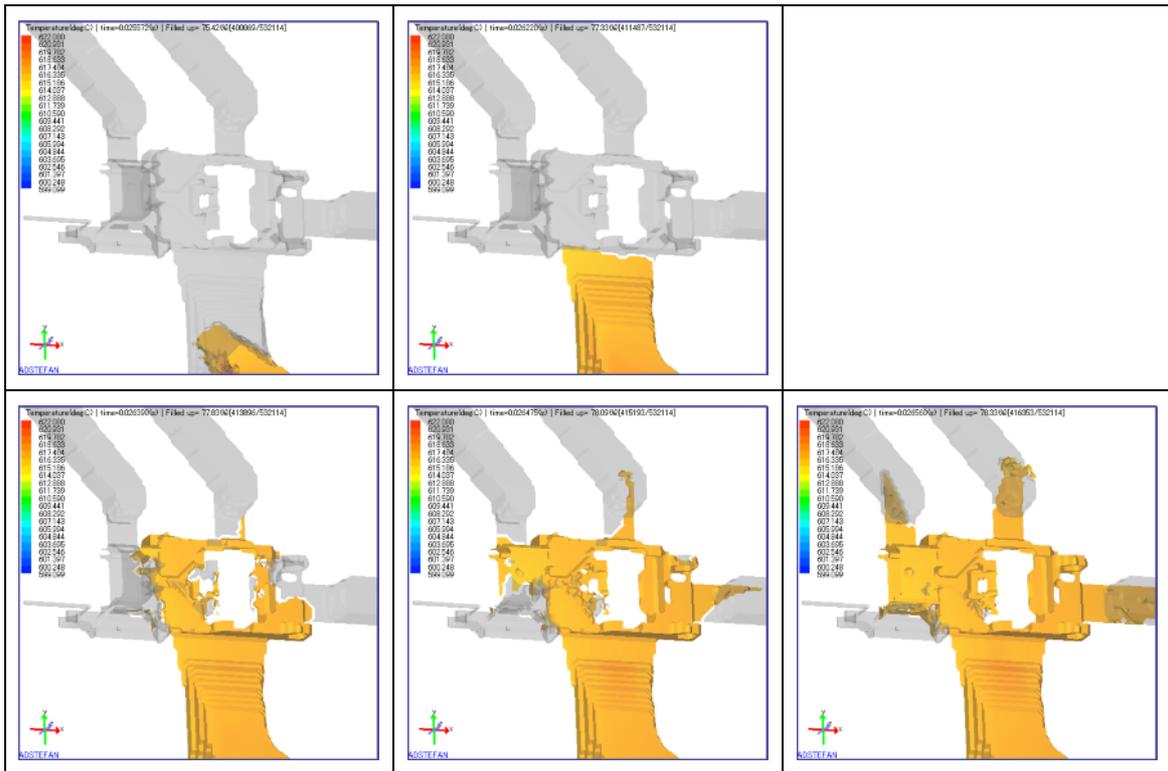


図 2-3-1 ピックアップ・半凝固铸造・湯流れ解析結果

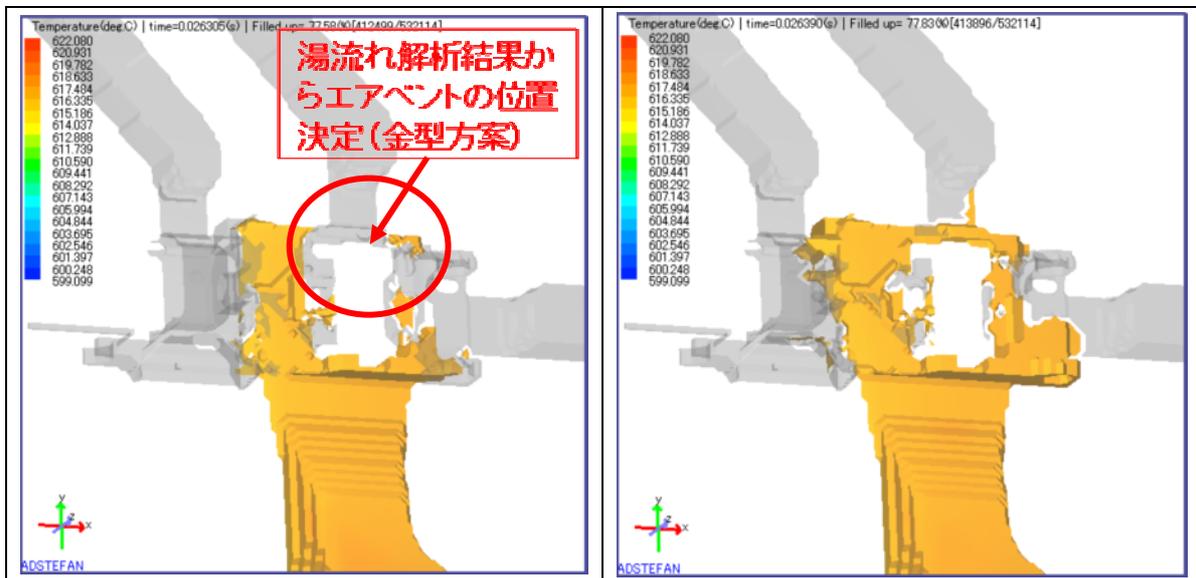


図 2-3-2 ピックアップ・半凝固铸造・湯流れ解析結果

2-3-4 金型製作時の収縮率の算出

金型を作製する上で重要な項目の一つである製品寸法に対する縮み代をいくつにするか？一般的なアルミダイカスト法で铸造されている製品の場合5/1000~6/1000の間で金型を作製しておけば、铸造後製品の収縮が落ち着いた状態で寸法公差

の範囲内に入れることができるが、AC4C という鋳物に使用する材料を電磁攪拌を用いた半凝固法で鋳造する場合の収縮率が一般ダイカスト法と同じで良いものなのかという疑問が開発当初より胸中にあった為、これを実際に電磁攪拌を用いた半凝固法で単純な形で確かめることにした。その方法を下段に記載する。

下記に掲載する写真に示す様に縦横の寸法が同じブロックの中に2mm間隔で線を刻みアルミ鋳物材 AC4C を電磁攪拌を使用しスラリーを作り実際に鋳造をおこない、金型上の寸法と鋳造後の試料の寸法を測定しDATA 化し収縮率の決定することにした。図 2-3-3 の格子状になっている部分が2mm間隔で金型が作製されている。この交点全てを測定する。

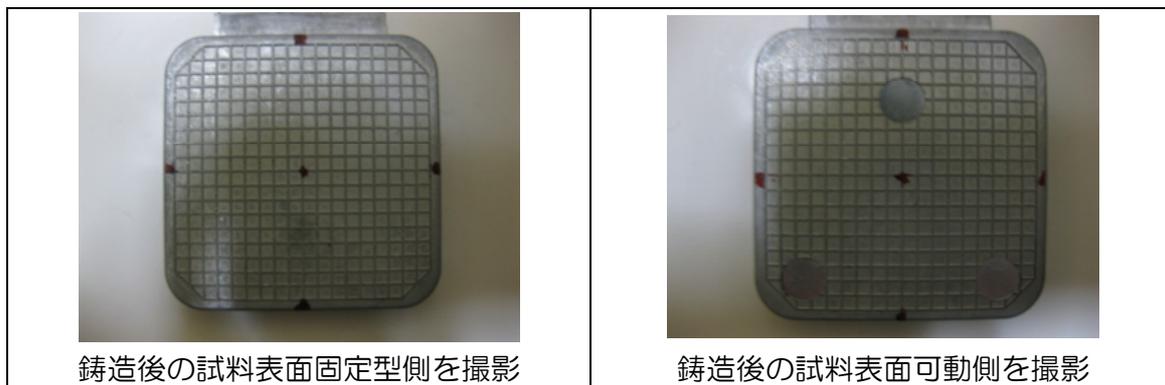


図 2-3-3 形状寸法の測定箇所

図 2-3-4 に測定した DATA を添付するが全ての点の数値を掲載することはスペースの問題で困難な為、測定点は表示するが数値は代表して四隅のみを掲載する。

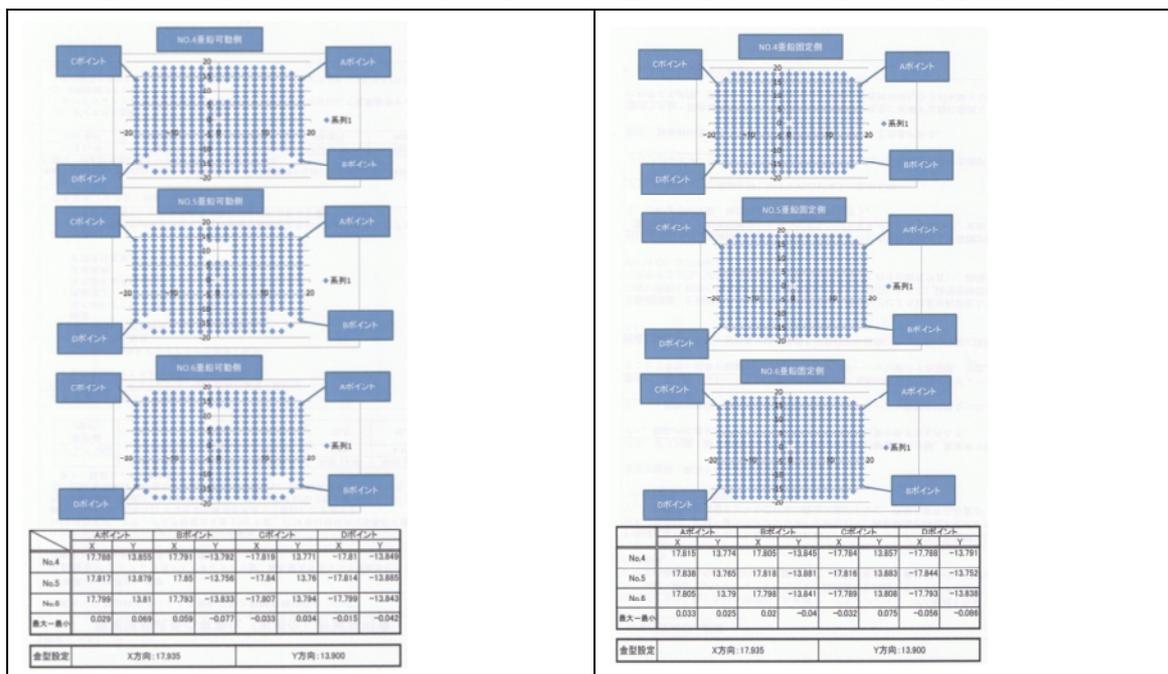


図 2-3-4 四隅の寸法計測結果

ポイント ABCD の①固定側 X 方向、②固定側 Y 方向、③可動側 X 方向、④可動側 Y 方向について製品寸法のバラつきデータにより実際に鑄造された試料の寸法と金型の寸法を比較すると収縮率は8/1000であることがわかった。これにより本開発の為の金型製作時の収縮率は8/1000に決定する。図 2-3-5 に光ピックアップのダイカスト用金型の外観を示す。



図 2-3-5 光ピックアップのダイカスト用金型

2-3-5 鑄造条件の算出

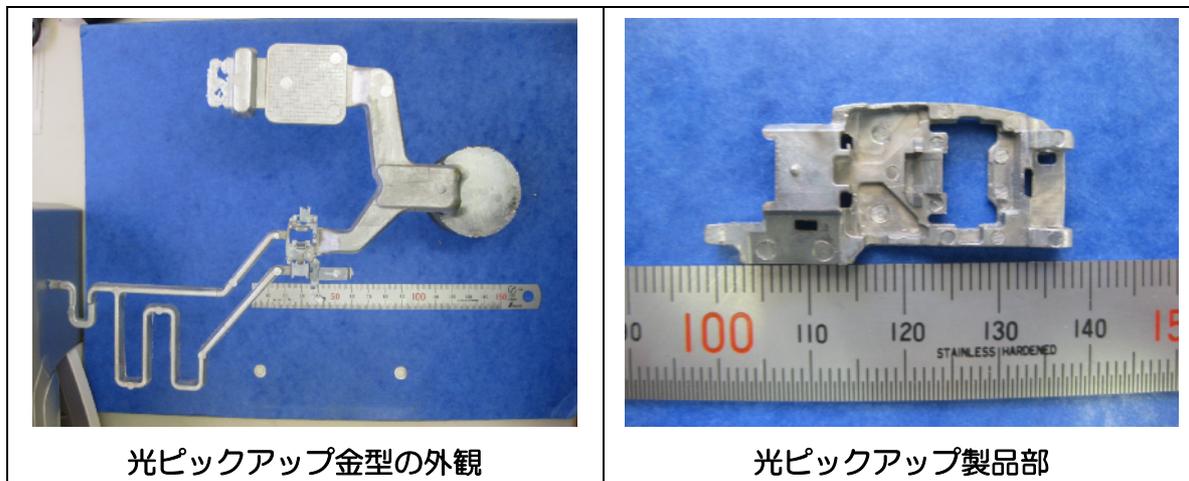
図 2-3-6 に示す東洋機械金属(株)製 BD-1 25V5 を用いて、図 2-3-7 に示すピックアップの鑄造試験をおこない、最適な鑄造条件を求めた。その最適な鑄造条件を表 2-3-3 に示す。

表 2-3-3 最適な鑄造条件

| | |
|-----------|---------|
| 低速 1 | 0.13m/s |
| 低速 2 | 0.20m/s |
| 低速 3 | 0.30m/s |
| 高速 | 1.00m/s |
| 鑄造圧力 | 60MPa |
| 金型温度 (固定) | 134℃ |
| 金型温度 (可動) | 134℃ |



図 2-3-6 ダイカストマシンの外観 (東洋機械金属(株)製 BD-125V5)



光ピックアップ金型の外観

光ピックアップ製品部

図 2-3-7 光ピックアップの型の外観と光ピックアップ製品部

2-3-6 まとめ

湯流れ解析専用ソフトを用いて金型設計・製作をおこなう前にピックアップの半凝固
 鋳造・湯流れ解析をおこなうことにより湯流れ・凝固に伴う鋳造欠陥を防ぐことができ、
 最適な金型設計技術を確立することができた。

2-4 合金の特性評価（金属組織観察・硬さ試験・表面処理の特性評価）

2-4-1 組織観察結果

ピックアップ AC4C 合金の特性として、成型品におけるスラリー流動方向のうち、ランナ部分、製品部分、オーバーフロー部分について組織観察をおこない、製品の流動形態の調査をおこなった。今回組織観察をおこなった試料の作製条件を表 2-4-1 に示す。条件は攪拌時間 8s、沈静時間：2s、金型温度は固定側が 169℃、可動側が 169℃である。

表 2-4-1 組織観察用サンプルの条件

| サンプル No | 溶湯設定温度 ℃ | カップ温度 ℃ | 鑄造圧力 MPa |
|---------|-------------|------------|-------------|
| 1 | 725 | 160 | 41.4 |
| 2 | 722 | 170 | 41.0 |
| 3 | 713 | 170 | 41.1 |
| 4 | 699 | 180 | 40.9 |
| 5 | 718 | 200 | 74.1 |
| 6 | 709 | 140 | 60.0 |
| 7 | 697 | 135 | 60.0 |
| 8 | 699 | 50 | 60.0 |
| 9 | 725 | 16 | 60.0 |
| 10 | 725 | 135 | 60.0 |

組織観察をおこなった位置を図 2-4-1 に示す。図中①の A がランナ部分、①の B、C が製品部分であり、②と③がオーバーフロー部分である。なお、サンプル 6 の製品部 C は研磨準備時に欠落、サンプル 6・9 は試料採取時にオーバーフロー部分が欠落していたため観察できなかった。

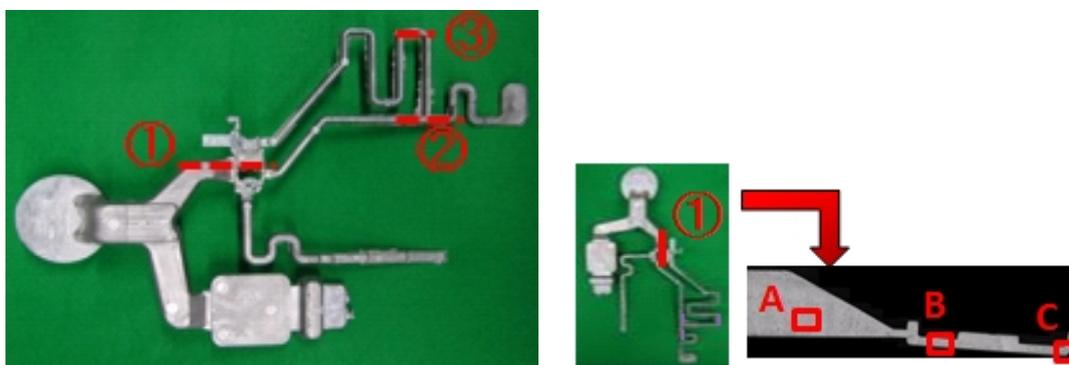


図 2-4-1 組織観察位置

製品部およびランナ部分の組織観察の結果を以下に示す。低固相率（サンプル4・5）ではランナ部にデンドライト状の固相が存在した。一方、高固相率の試料では、ランナ部分の固相粒子が凝集した形態となった。いずれの試料に関しても、製品部ではランナ部に比べ固相粒子の分散性が向上していた。また、固相率は溶湯温度およびカップ温度に応じて変化する結果となった。

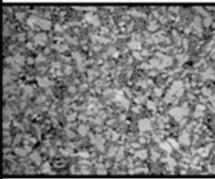
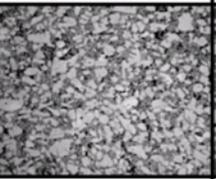
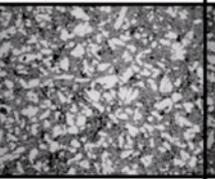
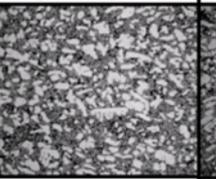
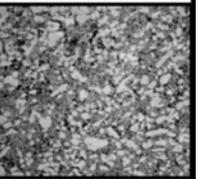
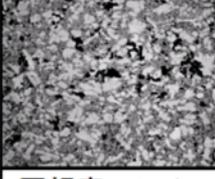
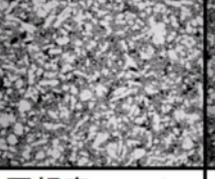
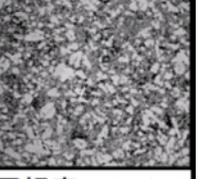
表 2-4-2 組織観察結果

| | サンプル1 | サンプル2 | サンプル3 | サンプル4 | サンプル5 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ランナ部 A | | | | | |
| 製品部 B | | | | | |
| | | | | | |
| | 固相率:41.8% | 固相率:42.6% | 固相率:41.6% | 固相率:37.4% | 固相率:27.6% |

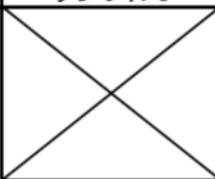
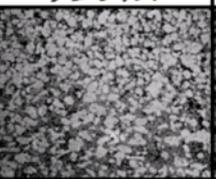
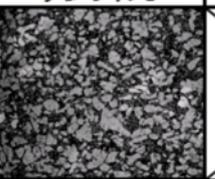
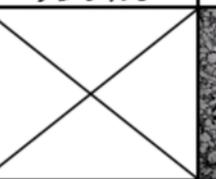
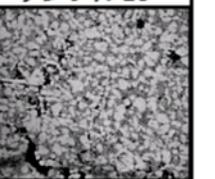
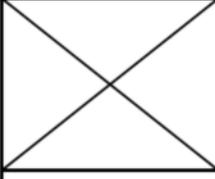
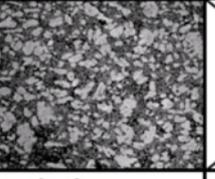
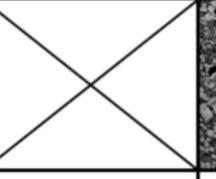
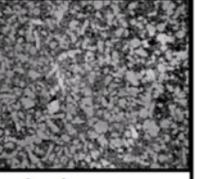
| | サンプル6 | サンプル7 | サンプル8 | サンプル9 | サンプル10 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ランナ部 A | | | | | |
| 製品部 B | | | | | |
| | | | | | |
| | 固相率:44.7% | 固相率:45.6% | 固相率:47.4% | 固相率:49.5% | 固相率:41.5% |

オーバーフロー部分の組織写真を以下に示す。固相粒子の分散性は良好であるが、形状は不均一である。また、ランナ部・製品部に比べ、粒子の分散性は向上している。

表 2-4-3 組織観察結果

| | サンプル1 | サンプル2 | サンプル3 | サンプル4 | サンプル5 |
|------|---|---|---|--|---|
| ②直線側 |  |  |  |  |  |
| | 固相率: 41.8% | 固相率: 44.7% | 固相率: 42.0% | 固相率: 36.4% | 固相率: 27.4% |
| ③曲線側 |  |  |  |  |  |
| | 固相率: 37.8% | 固相率: 37.4% | 固相率: 37.8% | 固相率: 36.0% | 固相率: 29.2% |

200μm

| | サンプル6 | サンプル7 | サンプル8 | サンプル9 | サンプル10 |
|------|---|---|---|--|---|
| ②直線側 |  |  |  |  |  |
| | | 固相率: 45.7% | 固相率: 47.5% | | 固相率: 40.3% |
| ③曲線側 |  |  |  |  |  |
| | | 固相率: 45.4% | 固相率: 49.7% | | 固相率: 40.8% |

200μm

以上より、組織観察をおこなった結果、下記の結果が得られた。

- ・ 固相率は溶湯温度およびカップ温度に応じて変化する結果となった。
- ・ 固相粒子はランナ部ではデンドライト状あるいは凝集した形態をとるが、製品部、オーバーフロー部と流れていくにつれ分散状態は向上した。

2-4-2 硬さ試験結果

前節で組織観察をおこなった試料について、マイクロビッカース硬さ試験を実施した。試験は荷重 50g でおこない、製品部分を 10 カ所測定し、最大値と最小値を除いた 8 カ所の平均値を算出した。なお、本試料は図 2-4-2 に示すように白色の初晶 α 相粒子、灰色の共晶組織、共晶組織中に細かい α 相が分散した混合組織に分けることができる。このため、いくつかの試料については組織ごとに硬さを算出した。

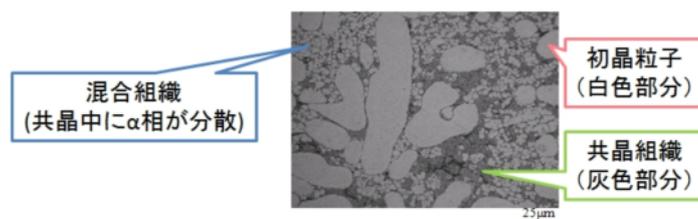


図 2-4-2 組織別硬さ測定的位置

組織ごとの硬さ試験の測定結果を図 2-4-3 に示す。硬さは組織の違いに強く依存する結果となった。また、固相率による硬さの差は小さいが、混合組織と共晶部分の硬さは固相率の減少に伴いに上昇、初晶の硬さは固相率の減少に伴い低下する傾向があった。

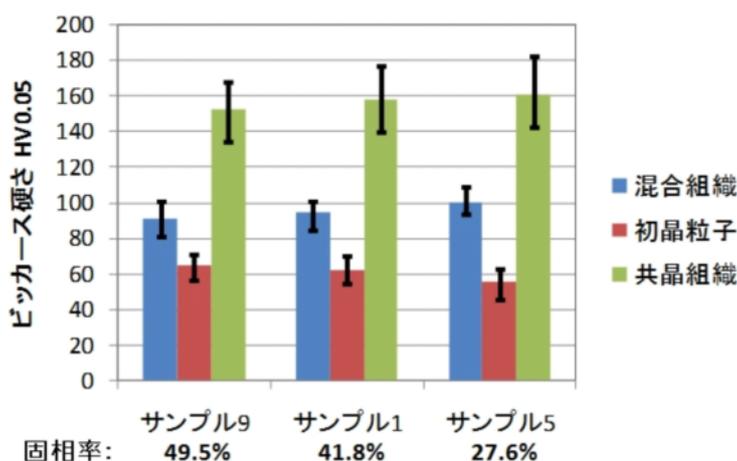


図 2-4-3 硬さ測定結果

混合組織部分の硬さ試験の測定結果を図 2-4-4 に示す。混合組織部分の硬さは固相率の増加に伴い減少する傾向が得られた。

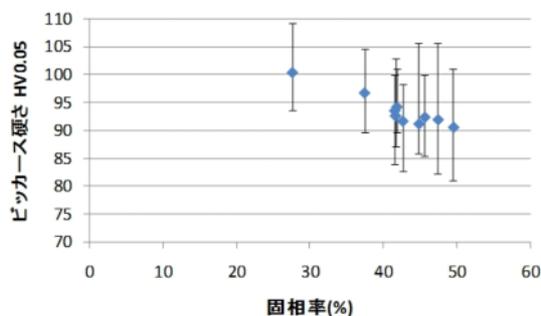
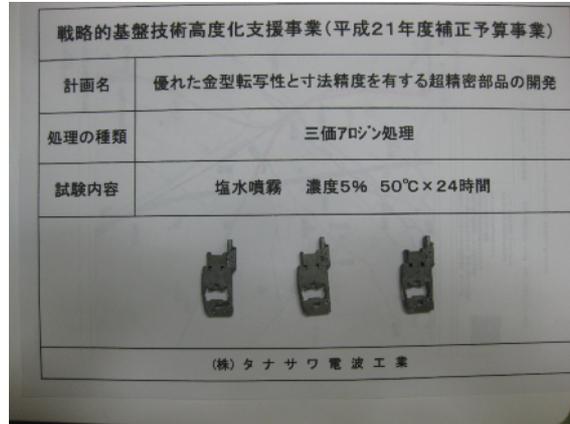


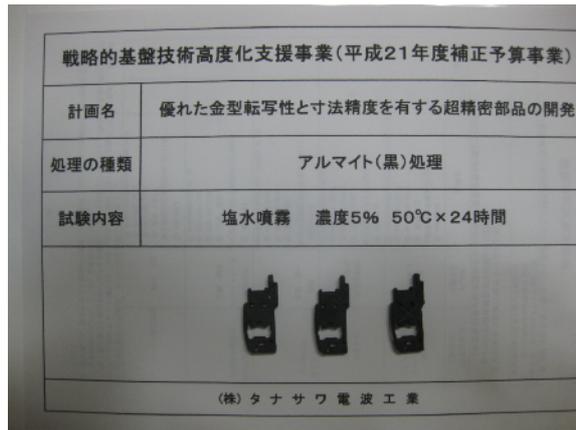
図 2-4-4 混合組織における固相率と硬さの関係

2-4-3 表面処理の特性評価

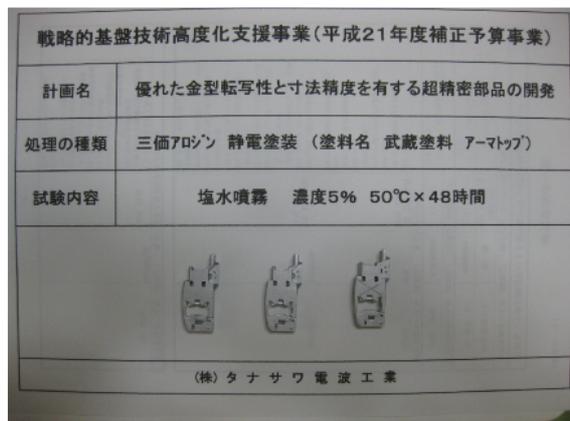
(財団法人 青葉工学会 国立大学法人東北大学)
 (独立行政法人 産業技術総合研究所 中部センター)



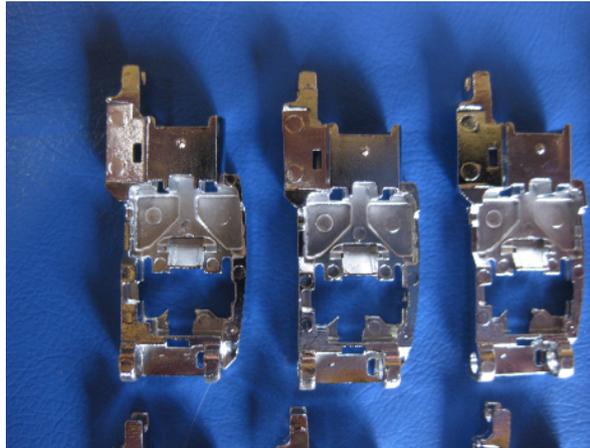
三価アロジン処理実施後 塩水噴霧試験 24 時間実施後表面に異常無
 図 2-4-5 24 時間塩水噴霧試験結果



アルマイト処理実施後 塩水噴霧試験 24 時間実施後表面に異常無
 図 2-4-6 24 時間塩水噴霧試験結果



三価アロジン処理+静電塗装実施後 塩水噴霧試験 48 時間実施後表面に異常無
 図 2-4-7 48 時間塩水噴霧試験結果

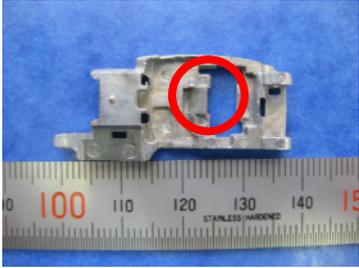
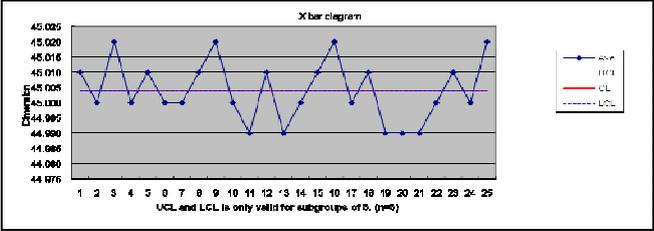
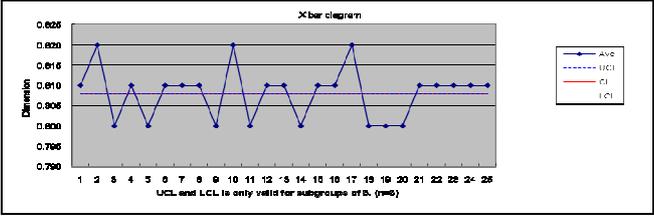


三価クロム鍍金処理実施後 キヤス試験 48 時間実施後表面に異常無
 図 2-4-8 48 時間キヤス試験結果

2-5 寸法精度 面粗さの機能評価 (転写性)

ピックアップの寸法精度・面粗さの機能評価 (転写性) をおこなう上で最も重要な形状部分について工具顕微鏡、三次元測定機、粗さ測定器を用いて計測をおこなった。その結果を表 2-5-1 に示す。表 2-5-1 に示す実測値については製品 25 個を測定し製品毎のバラつきを計測し、その平均値を表示した。この平均値の算出については、アドバイザーであるソニー株式会社の協力により作成した。

表 2-5-1 ピックアップの寸法精度・面粗さの計測結果

| | |
|---|---|
| <p>【図面規格寸法 45° ± 30'】</p>  | <p>寸法合格範囲 44.5° ~45.5° 実測値 (25 個の平均値) 45.005°</p>  |
| <p>【図面規格寸法 面粗 1.6a】 (45° 面)</p>  | <p>寸法合格範囲 Ra 0~1.6a 実測値 (25 個の平均値) Ra 0.865 μ</p>  |

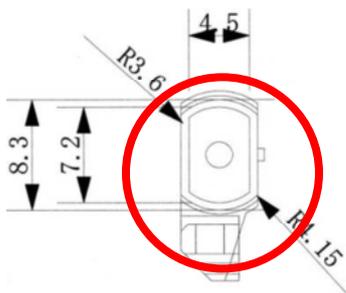
【図面規格寸法 R3.6+0/-0.03】

【図面規格寸法 R4.15+0.03/-0】

【図面規格寸法 芯入れ 0.02】

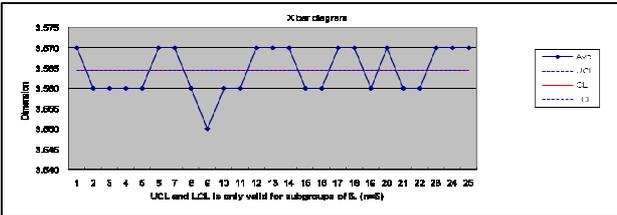
(3.6と4.15の芯入れ)

【図面規格寸法 R3.6 部面粗 1.6a】



寸法合格範囲 R3.57~R3.60

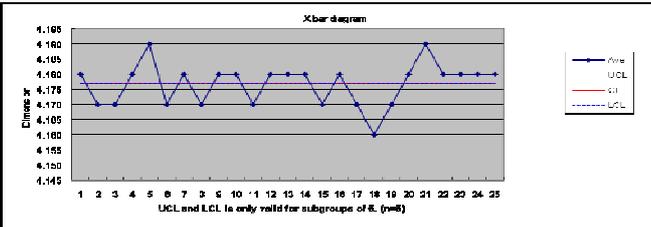
実測値 (25個の平均値) 3.565



※ 下限寸法より 0,005 外れている

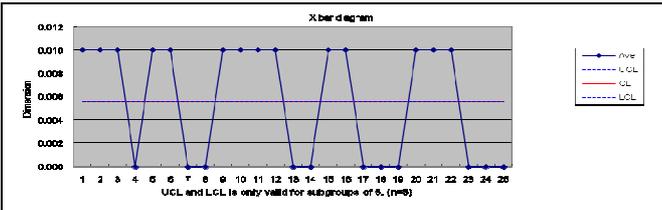
寸法合格範囲 4.15~4.18

実測値 (25個の平均値) 4.176



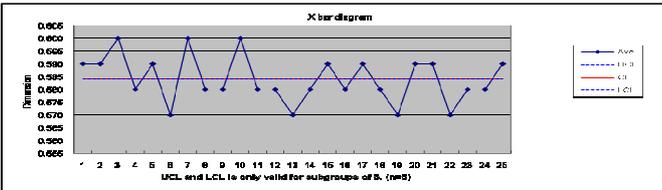
寸法合格範囲 0~0.02

実測値 (25個の平均値) 0.005



寸法合格範囲 Ra0~1.6 μ

実測値 (25個の平均値) Ra0.585 μ



【図面規格寸法 $\Phi 2.5+0.02/-0.015$ 】

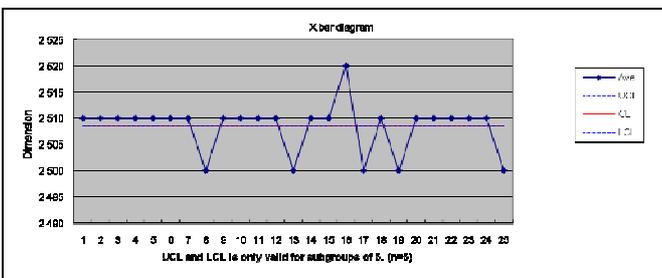
【図面規格寸法 $\Phi 2.5$ 内径面粗 1.6a】

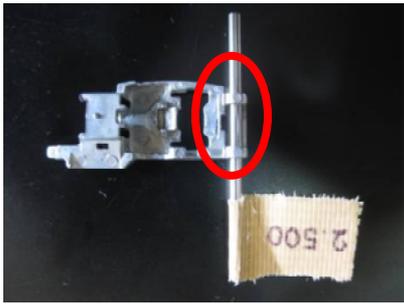
【図面規格寸法 芯入れ 0.02】

(2か所の入れ量)

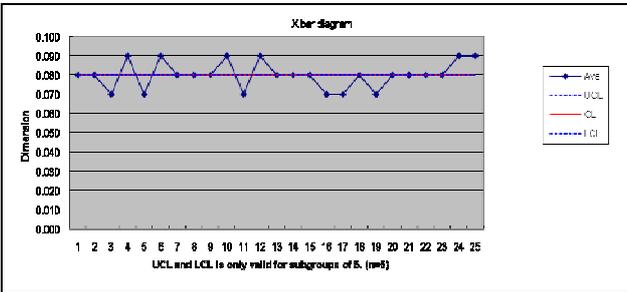
寸法合格範囲 $\Phi 2.485 \sim \Phi 2.520$

実測値 (25個の平均値) $\Phi 2.510$

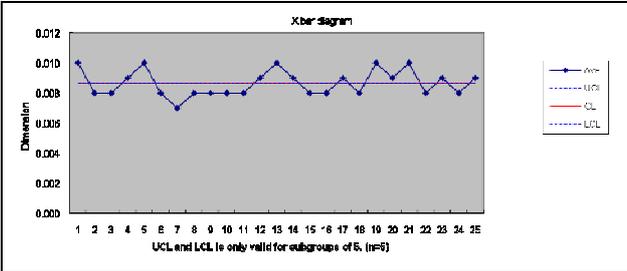




寸法合格範囲 Ra0~1.6 μ
 実測値 (25 個の平均値) Ra0.120 μ



寸法合格範囲 0~0.02
 実測値 (25 個の平均値) 0.009



【計測結果】

図面規格寸法に対して電磁攪拌を使用しての半凝固鋳造法にて製造された製品の精度は一部 0.005 程度外れている部分もあるが、それ以外の部分では狙い通りの寸法精度を得ることができた。製品毎でのバラつきも 0.03 の中に入っており目標とする寸法精度 ± 0.05 を満足できた。金型転写性を要する製品上での面粗さ目標値一般面 Rz12.5 μ 製品上での主要部 Ra1.6 μ に対し製品全体に対して Ra1.6 μ の範囲にできあがっていることが分かった。

【まとめ】

これまで普通ダイカスト法で鋳物用アルミ (AC4C) 材を鋳造し良品を得ることは困難とされていた。その困難な製造をナノ電磁攪拌を使用し溶けた材料を半凝固状態にし鋳造することで平均肉厚 0.6mm、局部 0.3mm のダイカスト法にて製造されるアルミ製部品としては極端に薄い製品を鋳造することができた。又製品に要求される寸法精度、面粗さ精度についても満足することができた。これは単なる半凝固法では無く半凝固化する為に電磁攪拌装置を導入したことに他ならない。電磁攪拌された半凝固状の材料組織は他で紹介、発表されている通り均一に形成され、その組織を保ったまま金型内部に充填され凝固する。今回の実験でそのことも実証することができた。

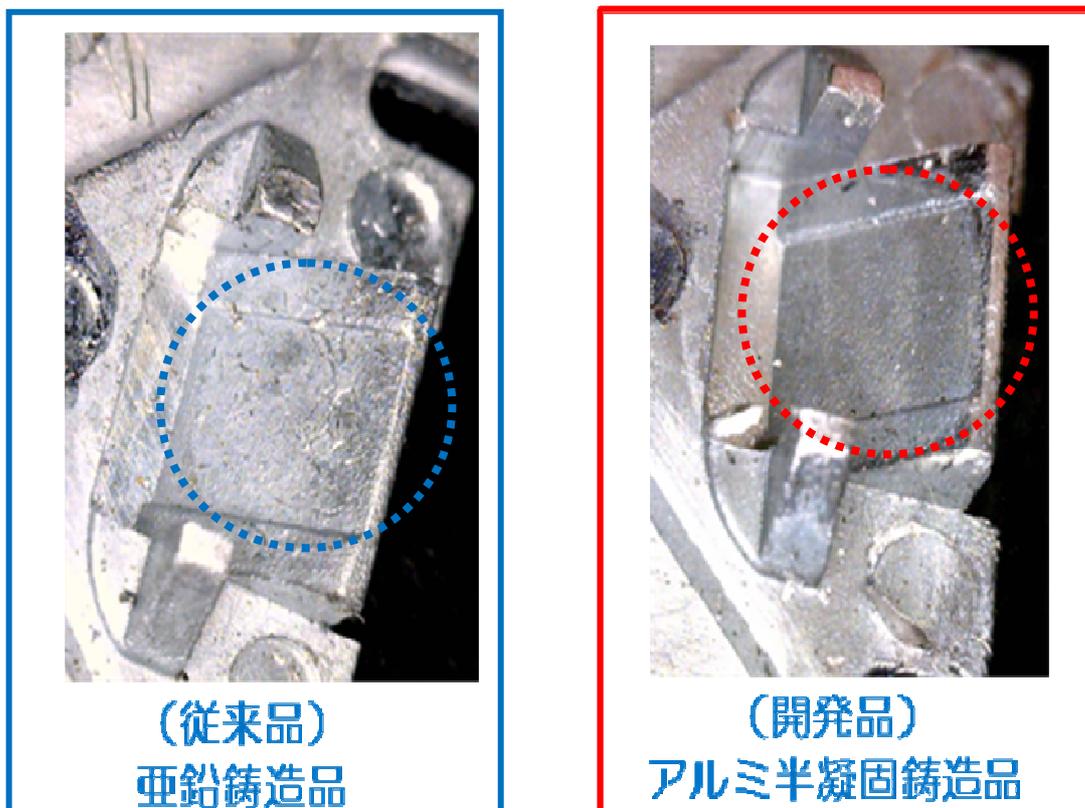


図 2-5-1 従来品と開発品の面粗さの比較

従来品：亜鉛（ZDC2）での一般鋳造品

開発品：アルミ（AC4CH）での半凝固鋳造品

図 2-5-1 に従来品（亜鉛鋳造品）と開発品（アルミ半凝固鋳造品）の面粗さの比較をおこなった外観写真を示す。従来品（亜鉛鋳造品：ZDC2）で鋳造された製品の一部を拡大して観察すると製品輪郭部分全体が R を帯びた様にダシてしまっており、液体で鋳込まれた時に生じる湯じわと言われる現象が 45° 面に出ていることが確認できた。今回従来品（ZDC2）にて 50 個の全てのサンプルに同じ様な現象が出ていることが確認された。

一方、開発品（アルミ半凝固鋳造品：AC4CH）で鋳造されできた製品を同様に観察すると形状の輪郭がくっきりと形成されており、 45° 面にも湯じわ等の有害な事象も出ていないことが分かった。これは、光ピックアップと言う薄肉で小さい部品の中で容易に比較できる部分を取り出して比較する部位として表現したが、この状態が製品全体で発生していることをユーザーのソニー株式会社の関係者と確認することができた。

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果

本研究開発では、アルミ合金（AC4CH）を用いて軽量かつ内部欠陥の無い寸法精度、面粗さ精度（転写性）の優れているハイエンドの光ピックアップを半凝固鑄造法にて製造することを目的として、①アルミ合金に適した半凝固スラリーカップの設計技術の開発、②半凝固スラリー生成条件の開発、③CAE 解析による金型設計技術の確立、④CAE 解析による鑄造方案の確立、⑤金属組織観察・表面処理の特性評価、⑥合金の特性評価、⑦寸法精度・面粗さの機能評価をおこなった。

その結果、これまで普通ダイカスト法で鑄物用アルミ材を鑄造し良品を得ることは困難とされている平均肉厚 0.6mm、局部 0.3mm の極端に薄い製品を鑄造することができた。本研究開発で製造された製品の精度は、一部 0.005 程度外れている部分もあるが、それ以外の部分では狙い通りの寸法精度を得ることができた。製品毎でのバラつきも 0.03 の中に入っており目標とする寸法精度±0.05 を満足する結果が得られた。金型転写性を要する製品上での面粗さ目標値一般面 Rz12.5 μ 製品上での主要部 Ra1.6 μ に対し製品全体に対して Ra1.6 μ の範囲という一応の成果を得ることができた。

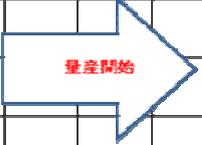
以上の結果から、本研究開発で製造された製品は、「優れた金型転写性と寸法精度を有する超精密部品の開発」の目的をほぼ達成することができた。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

本研究開発では、超精密部品に対して、亜鉛からアルミへの材料転換を図るため、軽量化かつ内部欠陥の無い、寸法精度、面粗さ精度（転写性）に優れているハイエンドの光ピックアップをアルミ半凝固鑄造法で製造できることが確認できた。しかしながら、これらの結果は、手作業によるものであり、今後の量産化に向けて全自動化（システム化）に取り組む必要がある。

今後は、引き続き本研究開発をおこない、①連続鑄造時の問題点の抽出、②連続鑄造を安定させる為の周辺機器を踏まえた全自動化（システム化）に取り組み、川下ユーザーとの情報交換およびマーケット開拓を進めながら事業展開に取り組んでゆく予定である。

事業化計画

| 2019年 7月 | 2019年 8月 | 2019年 9月 | 2019年 10月 | 2019年 11月 | 2019年 12月 | 2020年 1月 | 2020年 2月 | 2020年 3月 | 2020年 4月 | 2020年 5月 | 2020年 6月 |
|---|-------------|-------------|--|--------------|--------------|-------------|---|-------------|-----------------------------------|-------------|-------------|
| 今後の課題克服の為の研究開発・試作 ①連続鑄造時の問題点の抽出 ②連続鑄造を安定させる為の周辺機器を踏まえた全自動化（システム化） | | | | | | | | | | | |
| 川下産業からの製品サンプル品の作製 | | | 受注製品の確定と規格の確定 ①カメラ部品・磁気ヘッドの部品 ②センサー内部部品（小規模ロット品） | | | |  | | | | |
| | | | ロット1000個以下月の小規模生産に対応する設備導入と資金計画の策定 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | 小規模ロットセンサー内部部品 (1000個以下月)の量産開始 | | |