

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「完全充填・電動制御スリーブ式ダイカスト装置
およびダイカスト法の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年3月

委託者 近畿経済産業局
委託先 財団法人新産業創造研究機構

目 次

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（高度化目標、技術的目標）	・・・	1
1 - 2	研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	・・・	4
1 - 3	成果概要	・・・	5
1 - 4	当該プロジェクト連絡窓口	・・・	6

第2章 本論

2 - 1	完全充填・電動制御スリーブ式ダイカスト装置の開発	・・・	7
2 - 2	湯流れ制御に関する開発	・・・	10
2 - 2 - 1	）X線による溶湯流動可視化観察と数値シミュレーション精度の向上	・・・	10
2 - 2 - 2	）電動サーボモータ駆動最適化ソフト開発	・・・	12
2 - 2 - 3	）金型の高温制御による低速充填技術の開発	・・・	18
2 - 3	電動サーボモータ駆動式ダイカスト装置による製造技術開発	・・・	20
2 - 3 - 1	）中子を利用した複雑形状製品の製造技術開発	・・・	20
2 - 3 - 2	）高品位・高精度ダイカスト製品の製造技術開	・・・	23
2 - 3 - 3	）低コスト、高生産性金型製造法の開発	・・・	24

最終章 全体総括

・・・ 26

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 (高度化目標、技術的目標)

1) 研究の目的

本研究開発は「高度化指針」に定めている川下製造業者等の抱える課題及びニーズ「鑄造に係わる技術」のなかで特にダイカスト鑄造に係る技術であり、新規のダイカスト装置の開発とその装置を用いたダイカスト法の開発により基盤技術の高度化目標を達成しようとするものである。自動車、家電などが主な川下産業であり、以下のニーズがある。

1 - 1) 自動車に関する事項

ダイカスト製品の80%以上、生産額は約4,800億円が自動車産業向けである。技術的には、車体の軽量化と高信頼性のために、ガス巻き込み等の鑄造欠陥がなく、高強度、高耐圧性をもつダイカスト製品技術が求められている。また、国際競争の激化に伴うコスト低減要求、例えば薄肉化や複雑形状製品の一体成型等による軽量化と総コスト低減が求められている。自動車産業のニーズに応え、競争力強化に貢献し、活性化することで、ダイカスト産業自身にとっても更なる拡大、波及効果が期待できる。

1 - 2) 家電に関する事項

家電製品用のダイカスト製品生産額は、約550億円であり、デジタルカメラ、ビデオカメラ等の小型で精密なダイカスト製品が求められている。発熱部や精度を必要とする部品は、軽量で高剛性のアルミ合金等による小型・高精度・高品位のダイカスト製品技術により、新たなダイカスト製品市場拡大が期待できる。

1 - 3) その他産業に関する事項

空圧機器や小型農作業機械等、その他産業分野においても、自動車産業と同様、薄肉化、複雑形状製品・一体成型等に対応するダイカスト製品技術により、製品の軽量化とコスト低減による新たな市場創生と波及効果が期待できる。

本研究開発では、上記ニーズを背景として、従来の油圧制御では困難な中低圧で精密な数値射出制御による欠陥のない高品位のダイカスト製品の製造を可能にする技術、製品の実用化を目指して開発を進めた。

2) 研究の目標

自動車、家電、その他産業からの高強度化、複雑形状化、軽量化、微細加工化、低コスト化等のニーズを踏まえ、複雑形状を実現し、微細加工、品質の確保および向上等に資する鑄造技術開発のため、射出スリーブを溶湯で完全充填し、完全電動サーボモータ化した射出制御により、中低圧でガス巻き込みを回避した整流充填を実現する新規ダイカスト装置とその製造技術の開発のため、下記の今年度の実施項目を完遂する。

これらの成果を踏まえ、最終年度の実用化技術の完成へ展開する。

- ・H20年度に製作した電動制御方式のダイカスト装置本体の吸引・射出機構を完成し、本装置を用いた鑄造実験
- ・溶湯流動可視化実験用装置を用いて実施した可視化実験結果とシミュレーション結果との比較
- ・電動サーボモータ駆動の最適化ソフトのプログラミング、及びその検証と完成
- ・ダイカスト装置を用いた鑄造自動化装置の製作、及び装置温度特性の解析、塗型剤の評価実験
- ・開発したダイカスト装置本体を用いた複雑形状の中子を利用した鑄造実験
- ・試作金型による低コスト・高生産性の評価実験

以下、実施項目ごとに、内容を詳述する。

2 - 1) 完全充填・電動制御スリーブ式ダイカスト装置の開発

(有限会社ティミス、アイ・イー・ソリューション株式会社、岩機ダイカスト工業株式会社)
昨年度は、鑄造実験の際に仕込み溶湯量が不足するなど、溶解・保持炉周辺でのトラブルがあり、今年度はその対策を優先的に実施し、着実に利用実験が展開できるようにする。具体的には、溶解・保持炉の改造、及びアクロナイネン株式会社が担当して開発する中子式金型へ対応するための油圧装置を付設する改造を行う。

これらのダイカスト装置本体の改造整備完了後、岩機ダイカスト工業株式会社、アイ・イー・ソリューション株式会社の技術的協力のもとに、吸引・射出機構の評価実験を行う。また、昨年度改造した「温度カメラ・管理ソフト」、「温度モニター式スプレー制御」等の付加機能の実証評価を行う。

2 - 2) 湯流れ制御に関する開発

2 - 2 - 1) X線による溶湯流動可視化観察と数値シミュレーション精度の向上

(アイ・イー・ソリューション株式会社、兵庫県立工業技術センター、国立大学法人大阪大学)
本開発では、モデル黒鉛鑄型による溶湯流動状態観察について、データ件数10件以上を目標とした可視化実験を行い、溶湯流動現象のシミュレーション精度が80%以上の能力を有するシミュレーション技術の開発を目指している。

本年度は、昨年度までに観察した実験結果を基にアイ・イー・ソリューション株式会社が、シミュレーション精度の検証を行い、兵庫県工業技術センターと大阪大学の協力を得て、精度80%以上のシミュレーション技術を確立する。

2 - 2 - 2) 電動サーボモータ駆動最適化ソフト開発

(アイ・イー・ソリューション株式会社)

本開発では、形状電子データから、下記を満足するシミュレーションソフトを開発する。

- a) 湯回り不良なし
- b) ガス、酸化皮膜の巻き込み量が最小
- c) 汎用PCで計算時間12時間以内

電動サーボモータ駆動最適化ソフトの昨年度までの検証実験結果を基に、本年度は、プログラムを完成し、昨年度までの直接観察結果とシミュレーション結果との比較によりソフトを改善し、湯回り不良がなく、ガスや酸化皮膜の巻き込み量が最小となるような最適条件を12時間以内に計算できるシミュレーションソフトを開発する。

2 - 2 - 3) 金型の高温制御による低速充填技術の開発

(有限会社ティミス、兵庫県立工業技術センター、岩機ダイカスト工業株式会社)

本開発では、下記の条件にて、湯まわり不良、焼き付きが発生しない低速充填技術を開発する。

- a) 注湯直前の金型温度制御範囲： (400 ~ 450) ± 2.0
- b) 下限溶湯流速： 1 m/s

本年度は、有限会社ティミスが「温度測定カメラ」をダイカスト装置に附設する改造を行い、兵庫県立工業技術センターが、装置温度特性の解析、塗型剤の評価実験を行い、岩機ダイカスト工業株式会社の保有する実データ、ノウハウを活用して、評価法の検討、評価用金型の作成を行う。

2 - 3) 電動サーボモータ駆動式ダイカスト装置による製造技術開発

2 - 3 - 1) 中子を利用した複雑形状製品の製造技術開発

(アクロナイネン株式会社、和歌山県工業技術センター)

本開発項目 で開発するダイカスト装置では低速、低圧で射出を行うことから、中子の利用が可能となる。下記の実際の試作品の中子を用いて鑄造し、製造技術を実証する。

a) 小型内燃機用ピストン :

- ・ 40 mm x 高さ 30 mm
- ・ 軽量化のための肉抜き部をアンダーカット形状の中子を用いて一体成形

本年度は、試作した金型を用いて、本ダイカスト装置による金属製中子および砂中子を利用した複雑形状鑄物の試作評価を行う。アクロナイネン株式会社は、金型・中子の設計全般、鑄造試験および鑄造品評価を行う。和歌山県工業技術センターは、砂中子利用時に問題となる溶湯差し込みへの鑄造圧力の影響に関する評価を行う。

2 - 3 - 2) 高品位・高精度ダイカスト製品の製造技術開発

(有限会社香川ダイカスト工業所)

本開発では、項目 で行った湯流れ制御に関する開発結果を踏まえ、項目 の開発装置にてデジタルカメラ用高精度部品、自動車用耐圧強度部品の試作を行い、試作品の精度やガス巻き込み量の検証によって高品位・高精度の鑄造技術を実証する。それぞれの部品における最終目標値は以下のとおりとする。

a) デジタルカメラ用高精度部品精度 : $\pm 5 \mu\text{m}$

b) 自動車用耐圧強度部品 :

- ・ ガス巻き込み量 : 0.5 cc/100g - Al 以下
- ・ 適用する熱処理 : T6 熱処理 (JIS H 0001:1998 . 450 ~ 550 での溶体化処理後人工時効硬化処理 (120 x 24 hr) したもの)

本年度は、自動車部品、デジタルカメラ用の製品用に試作した金型を用いて、本ダイカスト装置による鑄造製品の試作評価を行う。

また、自社保有の既存法のダイカスト装置による鑄造製品との比較検討も行う。

2 - 3 - 3) 低コスト、高生産性金型製造法の開発

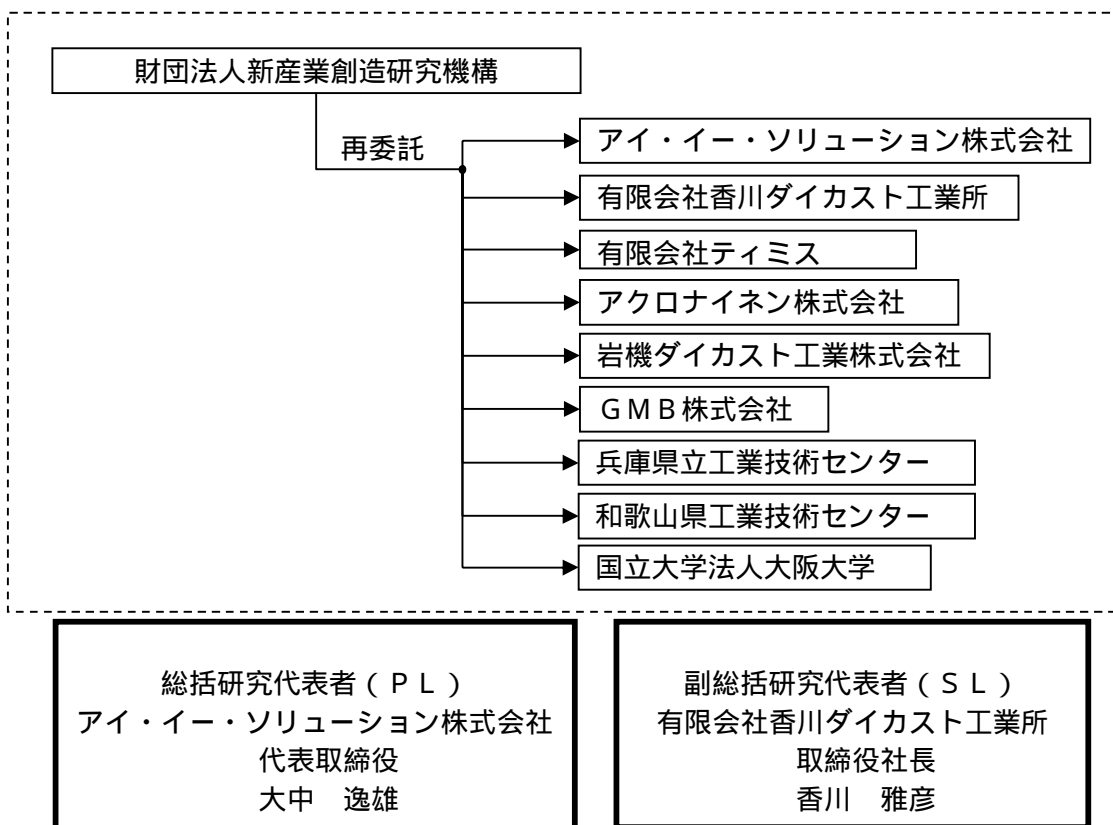
(GMB 株式会社)

本開発では、自動車のウォーターポンプのような製品の金型作成コストを 20% 以上あるいは、製造期間を 30% 以上削減出来る金型製造法を開発する。

本年度は、昨年度に試作したラピッドプロトタイピングによる焼結金型及び新構造の金型、合計二種類を用いて、ダイカスト装置を使った鑄造実験により、コスト低減と生産時間の短縮の可能性、問題点を検討する。

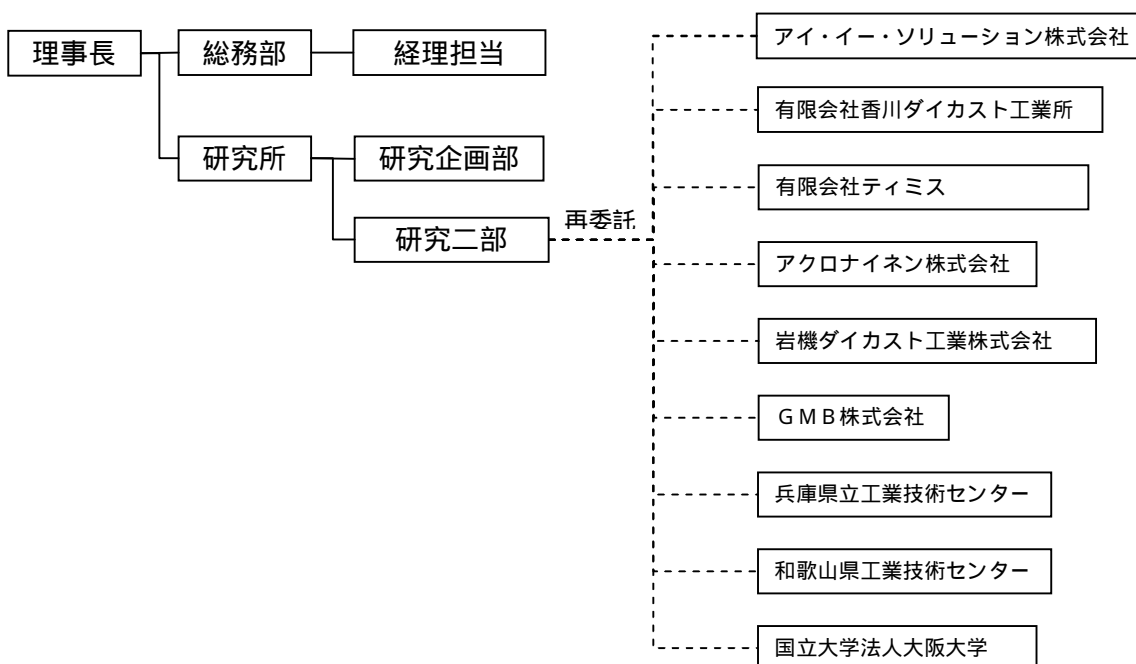
1 - 2 研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

1) 研究組織 (全体)



2) 管理体制

[財団法人新産業創造研究機構]



1 - 3 成果概要

1) 研究開発の方向性

平成21年度は、本事業の研究開発の最終年度であり、実用化技術としての完成度を高めることを目的として位置づけ、以下を実施した。

平成19年度に製作、平成20年度に改造を行った電動制御方式のダイカスト装置本体の吸引・射出機構につき、更に湯道管の改良等を行い、本装置を用いた鑄造実験を行う。

溶湯流動可視化実験用装置を用いて実施した可視化実験結果とシミュレーション結果との比較

電動サーボモータ駆動の最適化ソフトのプログラミング、及びその検証と完成

ダイカスト装置を用いた鑄造自動化装置の製作、及び装置温度特性の解析、塗型剤の評価実験
開発したダイカスト装置本体を用いた複雑形状の中子を利用した鑄造実験

試作金型による低コスト・高生産性の評価実験

2) 成果の概要

完全充填・電動制御スリーブ式ダイカスト装置の開発

ダイカスト装置本体は、有限会社ティミスが鑄造実験の際に仕込み溶湯量が不足するなど、溶解・保持炉周辺でのトラブル対策の改造の設計を担当し、これを優先的に実施した。具体的には、溶解・保持炉の改造、及びアクロナイン株式会社が開発する中子式金型へ対応するための油圧装置を付設する改造を行った。

これらのダイカスト装置本体の改造整備完了後、鑄造実験中の炉周辺での溶湯漏れは完全には押さえ込むことは出来なかったが、本鑄造の実験は、初期の計画を完了することが出来た。岩機ダイカスト工業株式会社、アイ・イー・ソリューション株式会社の技術的協力のもとに、吸引・射出機構の評価実験を行った。

そして、有限会社香川ダイカスト工業、アクロナイン株式会社の試作した金型を用いて、鑄造実験を行い、各金型開発の担当テーマの目標を実験実証するために用いた。

また、昨年度改造した「温度カメラ・管理ソフト」、「温度モニター式スプレー制御」等の付加機能の基本的な機能の実証評価も行った。

- 1 X線による溶湯流動可視化観察と数値シミュレーション精度の向上

大阪大学に設置した溶湯流動の可視化実験装置を用いて、アイ・イー・ソリューション株式会社が、モデル黒鉛鑄型による溶湯流動状態観察データ件数10件以上の可視化実験を行った。

また、これらのデータや兵庫県立工業技術センターの協力も得ながら、溶湯流動現象のシミュレーション精度が80%以上の能力を有するシミュレーション技術の開発を完了した。

- 2 電動サーボモータ駆動最適化ソフト開発

アイ・イー・ソリューション株式会社が、電動サーボモータ駆動の最適化ソフト開発を行った。

昨年度から、シミュレーションプログラム構築のため、市販の鑄造シミュレーションソフト(JSCAST)を導入し、田口法を取り入れ、オリジナルのプログラム開発を行った。また、プリ(データ入力等)・ポスト(グラフィック処理等)の部分については、専門のソフト会社(クオリカ)に外注することにより、担当企業のマンパワー不足を補い全体効率化を図りながら、一般利用者にも利用しやすいユーザーフレンドリーなソフト開発を完了した。

また、別途実施した溶湯流動可視化実験による直接観察結果とシミュレーション結果との比較によりソフトを改善し、湯回り不良がなく、ガスや酸化皮膜の巻き込み量が最小となるような最適条件を12時間以内に計算できるシミュレーションソフトとして完成した。

- 3 金型の高温制御による低速充填技術の開発

本年度は、有限会社ティミスが「温度測定カメラ」をダイカスト装置に附設する改造を行った。

これとは別に、兵庫県立工業技術センターが、この温度測定カメラを用いて温度分布の実測実験を行い、基本特性の評価実験を行い、スプレー制御に使用可能な特性であることを確認した。

また、岩機ダイカスト工業株式会社の試作した流動長試験用の金型により鑄造実験・評価を行った。その結果、注湯直前の金型温度制御範囲： $(400 \sim 450) \pm 20$ 、下限溶湯流速：1 m/s という目標条件を確認した。

- 1 中子を利用した複雑形状製品の製造技術開発

アクロナイン株式会社が試作した金型を用いて、和歌山県工業技術センターとの共同により、本ダイカスト装置による金属製中子を利用した複雑形状鑄物（40 mm x 高さ30 mm 相当のエンジンピストンを模擬した形状。特に、軽量化のための肉抜き部をアンダーカット形状の中子を用いて一体成形）の試作評価を行った。寄木細工のような特殊な構造の金型の動作は、油圧装置により駆動し、微調整を行って、所期の動作を実証するとともに、狙い通りのアンダーカット形状の試作鑄造品を得ることが出来た。

また、和歌山県工業技術センターは、砂中子利用時に問題となる溶湯差し込みへの鑄造圧力の影響に関する評価を行うべく基礎実験装置を製作し、特性評価を行った。実験評価の範囲では、崩壊性砂中子を塗型等の表面コーティングを施さない状態で利用することが非常に困難であるとの知見を得た。

- 2 高品位・高精度ダイカスト製品の製造技術開発

有限会社香川ダイカスト工業所が、本開発のダイカスト装置を用い、自動車部品、デジタルカメラ用部品等に相当する金型を合計4種類試作し、鑄造実験による試作評価を行った。その結果、デジタルカメラ用高精度部品精度： $\pm 5 \mu\text{m}$ 、自動車用耐圧強度部品として、T6熱処理が可能な鑄造品の試作に成功した。

- 3 低コスト、高生産性金型製造法の開発

GMB 株式会社が、溶融金属の潜熱利用による冷却構造を有する金型を用いた実験を進め、所期の効果が得られることを実証した。その結論として、自動車のウォーターポンプのような製品の金型作成コストを20%以上あるいは、製造期間を30%以上削減出来る金型製造法を開発した。

1 - 4 当該プロジェクト連絡窓口

財団法人新産業創造研究機構 研究二部 部長 高谷芳明
tel : 078-306-6803 、 fax : 078-306-6812 、 E-mail : takatani@niro.or.jp

第2章 本論

2 - 1 完全充填・電動制御スリーブ式ダイカスト装置の開発

1) 研究開発の概要

H21年度の研究開発において、鑄造実験の際に仕込み溶湯量が不足するなど、溶解・保持炉周辺でのトラブルがあった。今年度はその対策を優先的に実施し、着実に利用実験が展開できるようにした。具体的には、溶解・保持炉の改造、及びアクロナイン株式会社が担当して開発する中子式金型へ対応するための油圧装置を付設する改造を行った。

これらのダイカスト装置本体の改造整備完了後、吸引・射出機構の評価実験を行った。また、H21年度改造した「温度カメラ・管理ソフト」、「温度モニター式スプレー制御」等の付加機能の実証評価を行った。

2) 研究開発成果

2 - 1) 装置の課題抽出

本年度は、これまでに改造して来た装置を使用して、アルミ合金によるダイカスト鑄造を行ったが、主として湯道管周辺で溶湯アルミの漏れが発生し、その応急的対策により、鑄造実験を進めた。溶湯の供給系統については、専門メーカーの協力により実用に供し得る信頼度向上を図ることが今後の事業化における課題である。

2 - 2) 試作鑄造実験による装置性能の実証

(1) 種々の金型による試作鑄造結果

試作金型による試作実験状況と試作鑄造品の外観を写真 2-1-1~2-1-5 に示す。



写真 2-1-1 固定型（左）と可動型（中央）及び 製品（右）



写真 2-1-2 固定型（左）と可動型（中央）及び 製品（右）



写真 2-1-3 固定型（左）と可動型（中央）及び 製品（右）



写真 2-1-4 固定型（左）と可動型（中央）及び 製品（右）



写真 2-1-5 固定型（左）と可動型（中央）及び 製品（右）

(2) 射出性能の実証

試作鋳造実験の際の制御条件設定画面と金型の型締め条件を図 2-1-1 に示す。



図 2-1-1 射出設定画面（左） と 型締め設定画面（右）

試作鋳造実験により、従来法によるダイカスト鋳造では、0.1m/s という射出速度は低速領域と呼ばれるが、この射出速度では、金型部およびそこまでの区間で溶湯の凝固現象が進行しつつ巻き込んだ空気が抜けずに、金型へ混入してくるため、その結果、鋳造製品としては、不良品が排出される条件であるとの認識が一般的である。

一方、本開発装置では、スリーブ内に空気の巻き込みが生じないという原理的な特長のため、“完全充填”が達成されているならば、射出速度は0.1~0.5mm./sの低速域であっても金型への充填が可能であると想定した。また、本開発で採用した電動サーボ化（電動サーボモーターでMAX 0.5m/s）の妥当性が、基本的に裏付けされる。

実験の結果、上記の射出条件にて、前記の種々金型における試作鋳造品の外観写真に示す通り、致命的な欠損を生じることなく鋳造が可能であったので、想定した電動サーボ化の実用性が実証できた。また、射出波形の画面を図 2-1-2 に示すように、設定した射出条件に対応して忠実に追従している。従来の油圧制御などでは、このような制度を担保できない。つまり、このことは、最適化鋳造ソフトに対応して、射出条件と実速速度が対応でき、射出条件の再現性が確認できたことであり、電動サーボ化の効果であることを実証したことになる。



図 2-1-2 射出波形画面

(3) スリーブ・チップの耐摩耗性の実証

本ダイカスト装置の開発において、当初から課題であると認識していた、可動部品、摺動部品の耐摩耗性の検証結果を示す。写真 2-1-6 にスリーブ内部の外観写真を示す。この部分の磨耗の有無を寸法計測により検討した結果を以下に示す。



写真 2-1-6 スリーブ内部

スリーブ内径の測定寸法は、40H7 で公差 +0.025mm であったが、完全無給油状態(空運転)の状態を実験したところ、100 ショット、及び 500 ショットで損耗による寸歩変化はゼロであった。同じく、鑄造実験を無給油状態で 100 ショット実施したが、これも問題はなかった。次に、チップ及びリングの外観写真を写真 2-1-7 に示す。



写真 2-1-7 チップ(左) リング(中央) 及び 変形したピストンリング(右)

射出スリーブ・チップは、無給油の仕様で摺動することを前提に鑄造実験で耐久性を確認した。完全無給油状態の空運転では、100 ショット、500 ショットで問題はなかった。また、鑄造実験で無給油状態でも 100 ショットにおいては、問題はなかった。しかし、鑄造実験で無給油状態においては、スリーブ冷却を行わない場合、写真 2-1-7 (右) に示す通り、ピストンリングのチップは破損した。逆にこのことから、スリーブ冷却を行えば、ピストンリングのチップへの決定的なダメージを回避、または一定期間の寿命延長に貢献できることを例証できたという成果・知見が得られた。

(4) 金型温度測定用サーモカメラ

金型の表面温度を測定し、その温度分布情報を元にして、ロボット制御でスプレー冷却を行う際の制御情報を得る目的で H 2 0 年度にサーモカメラのシステムを製作した。このスプレー

最適化という付加機能も本研究開発のテーマの一つであった。

サーモカメラを使用した実験状況とその計測したサーモグラフを写真 2-1-8 に示す。この実験では、湯流れと射出速度との関係を観察したものである。この温度分布を確認して、金型温度と鑄造製品の温度のデータが、スプレー制御装置にフィードバックして、スプレーロボットを駆動して、スプレーする位置を最適に制御するということになる。

金型が常温時において、低速 0.2m/s の射出速度でも、鑄造出来る事が確認できた。なお、今回の研究開発においては、射出速度を低速条件で実施したため、金型温度は高温に維持して、鑄造トラブルを回避する方向に考えて実験を行った。実用段階においては、ハイスループットを目指して、スプレー冷却を併用するシステムから、今後、本研究開発で実験した成果が生かされる段階が来るものと期待する。

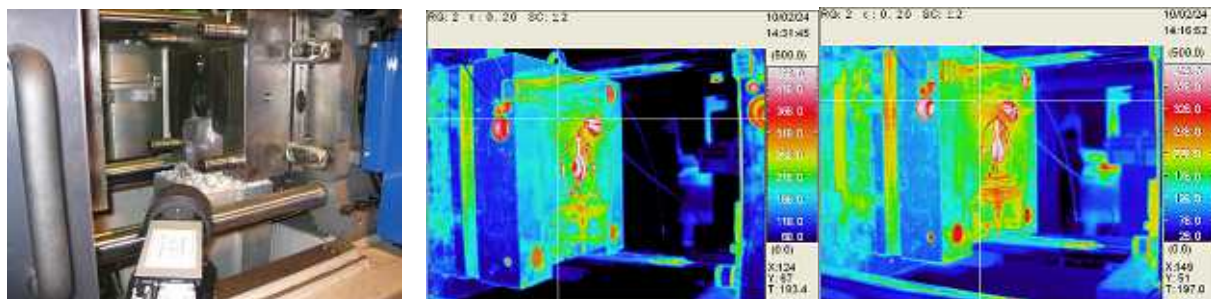


写真 2-1-8 可動型の金型温度（温度設定 2 ケースの比較）

2 - 2 湯流れ制御に関する開発

2 - 2 - 1) X線による溶湯流動可視化観察と数値シミュレーション精度の向上

(1) X線による溶湯流動可視化観察

アイ・イー・ソリューション株式会社が大阪大学と兵庫県立工業技術センターの協力を得て、黒鉛鑄型による十数件の可視化実験を実施した。さらに、実験結果と計算結果を比較し、湯流れの大まかな傾向に於いて現状での計算結果が実験結果と比較的一致することを示した。しかしながら、詳細な点で不一致も多く、より高精度化が期待された。

数値計算における境界条件として供することを目的として、プランジャチップ速度の精密な測定を行った。さらに、シミュレーションの検証となるデータを抽出するために、直接観察結果の詳細な解析を行った。湯流れシミュレーションは溶湯の充填過程を予測するものであるから、充填するまでの「時間」や溶湯の充填過程を予測するための「位置」、さらに溶湯の「速度」といった情報が重要である。そこで、シミュレーション精度に関して、これら「時間」「位置」「速度」についての検証を前提に、直接観察結果を解析した。

プランジャチップの移動速度

数値シミュレーションの精度を考える場合、計算の初期条件と境界条件が重要となる。参照実験の条件と計算の条件が異なれば精度について議論することはできない。そこで、本研究ではプランジャチップの移動（位置の時間変化）をレーザー変位計で計測し、これを速度に換算することで境界条件としての設定を試みた。実験はスリーブに溶湯などを充填していない状態でを行った。そのため、実際の充填過程とは少し挙動が異なる可能性がある。プランジャチップの移動速度は実験時と同じく最高速度の 60%（高速射出条件）と 30%（低速射出条件）に設定し、低速から高速への切替についても確認した。結果をまとめて、図 2-2-1 に示す。

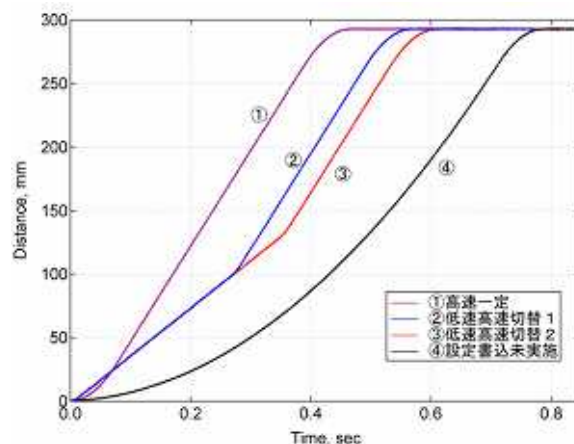


図 2-2-1 プランジャチップの移動

計測した結果、プランジャ速度は比較的高い精度で安定していることがわかった。図中の高速射出条件の場合、初期と末期に加速区間が0.05秒程度存在するが、ほとんどの移動区間で一定速度となっていた。グラフの任意の2点間の傾きを平均したところ、高速射出条件でのプランジャ速度は約0.75m/sであった。また、図中の速度切替の場合、低速(30%：傾きの平均は約0.375m/s)から高速への切替は極短時間で完了しており、瞬時に速度が切り替わっていることがわかった。図中ととは速度の切替タイミングを変えており、これによって設定した切替位置と実際の速度との関係を確認した。本研究の可視化実験装置では、速度の切替位置を4点で設定することができる。設定方法としては、切替位置に対して速度率(最高速度に対する割合)を割り当てる。

このとき、切替位置を設定した場合、高速に設定した位置で切り替わるとすれば双方ほぼ同じ挙動を示すはずである。また、低速設定位置が優先すれば、挙動が大きく異なると予想される。実際には速度の切替においては低速設定位置が優先され、低速域の終端ですぐに次の速度に変化していた。特に、(a)の条件の場合、低速域の終端と高速域の先端の位置が比較的離れているが、切替が起こる際に加速区間が生じることもなく、すぐに高速一定の速度になっていた。実際の射出時には様々なパターンで速度を切り替えているが、この結果をふまえて、境界条件の設定を行った。最後に図中は速度の切替を「書き込み」しなかった場合の挙動である。装置上の特徴であるが、速度を切り替えた場合や装置が再起動した場合、途中で射出が停止して手動操作を行った場合などはメモリ内の条件がクリアされ、設定如何に関わらずのような加速運動をすることがわかった。実験ではの状態をできるだけ回避しているが、結果的にの状態になった場合、計算時の境界条件についてもできるだけ一致するように設定した。

直接観察結果の詳細分析

数値計算の精度確認のため、比較対象となる直接観察結果の詳細データを分析した。

図2-2-2にまとめて示す通り、「矩形キャビティ」、「円盤状キャビティ」、「ABOキャビティ」、「ボックス状キャビティ」の4種の形状の型への流入する溶湯のX線観察を行い、その直接観察結果と前記シミュレーションの比較を定量的に行った。



図2-2-2 左から「矩形」「円盤状」「ABO」「ボックス」の型に流入する溶湯の様子

(2) シミュレーション精度の向上

本年度は、本プロジェクトに於いて開発を進めてきた表面張力と堰寸法の誤差防止を考慮したプログラムを用いて計算を実施し、直接観察結果と比較することで精度の検証を行った。

以下に本年度実施した内容を述べる。

シミュレーション結果と可視化実験結果の比較

シミュレーションの精度を検討するため、上記のように可視化実験結果との比較を行った。可視化で使用した4種類の鋳型に対してSTLデータを作成し、計算に供した。境界条件としては、再測定した速度を用いた。プランジャチップ速度の計測に於いては溶湯をスリーブ内に充填せず、空打ちの状態で行ったため、実際の射出速度と比較して若干高速である可能性がある。計算ではこの点もふまえて精度を検討した。

数値計算は、高速高機能鋳造シミュレーションソフトである「JACAST Ver 8」をベースに、表面張力の効果と堰寸法の防止機能を組み込んで実施した。なお、JSCASTは計算精度向上の

ため「直交 - 非直交混合要素」システムおよび「背圧考慮計算プログラム」を有しており、本プロジェクトの方案のように曲線が多い（特にランナー部分など）モデルやガスの巻き込みが予想されるモデルに効果を発揮する。また、複数 CPU に対応した高速化アルゴリズムを有しており、昨今のマルチ CPU（Core 2 Duo や QuadXeon など）を用いることで計算時間の短縮が図れる。計算に使用したモデルは、ほぼ同じような要素数であり、鋳型も含めた要素数が約 250 万要素、鋳物部分が、約 12 万要素程度とした。要素サイズはゲートなどの細い部分の分割も考慮し、0.8mm から 1.5mm の間で自動メッシュを行った。

前記の X 線可視化実験で用いた型（図 2-2-2）に対応するシミュレーション結果の例を図 2-2-3 に示した。

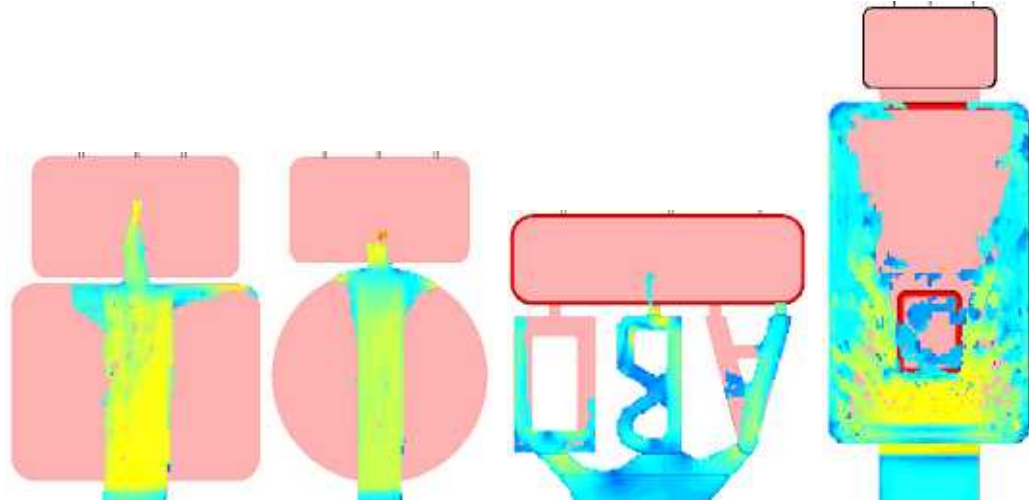


図 2-2-2 左から「矩形」「円盤状」「ABO」「ボックス

まとめ

シミュレーション精度の向上のために、堰寸法の誤差修正機能と表面張力を考慮したプログラムを開発し、観察結果と比較した。堰寸法は、ゲートの断面積を実測値通りに計算する機能であり、より実態に近い計算を実行することができる。そこで、ゲート通過後の溶湯挙動を比較することで、精度の検証を行った。なお、実験に於いては黒鉛鋳型の強度の問題などもあり、キャビティのみに溶湯を充填させることが困難であったため、部分的な平均流速でも評価した。また、表面張力は溶湯の衝突分離などの際の挙動に影響がある。

上記のような着眼点で、4 種類の鋳型についてシミュレーションを実施した結果、部分的な溶湯流速については 90% 前後の高い精度を確保することができた。また、ゲート通過後のキャビティ充填時間については、キャビティ外への溶湯の侵入がほとんど見られなかったボックス型で評価し、80 を超える精度を確認することができた。

なお、精度が非常に低い場合もあったが、これは、鋳型間の隙間に溶湯が流入した場合であり、実際の鋳造ではこのような場合、鋳型を交換するか、再加工するので、対象外としている。

2 - 2 - 2) 電動サーボモータ駆動最適化ソフト開発

(1) 概要

本開発の達成目標は、形状電子データから、下記を満足する電動サーボモータ駆動最適化ソフトを最終年度終了までに開発することである：

- a) 湯回り不良なし
- b) ガス、酸化皮膜の巻き込み量が最小
- c) 汎用 PC で計算時間 1 2 時間以内

初年度（H 1 9）は、電動サーボモータ駆動最適化ソフト開発に参考となる種々の最適化法およびダイカストにおける射出速度の最適化に関連した文献調査およびソフトウェアの基本設計を行った。昨年度（H 2 0）は、初年度の基本設計成果を基に、プログラムを作成し、試行計算を行った。本年度（H 2 1）は、昨年度開発したソフトを市販ソフト「JSCAST」に組み込み、

最適化条件での実機実験を試みた。

最適化は、製品、ゲート等（以下「方案」という）を7個以下のブロックに分け、各ブロックでは断面積が一定で溶湯は各断面を充満して流れると仮定して、温度低下量を近似計算し、全温度低下量がある限度内となる最低流速を求め、その流速を基準値として、各ブロックに3水準の速度を設定し、田口法により、最適水準を選択する。なお、この場合、温度は2水準設定できる。

また、評価関数（SN比）は以下の通りとしている：

- ・巻き込みガス体積： 少ないほど良いが2乗の逆数とすることで膨大特性としている。

$$SN \text{ 比} = 10 \log (1 / \text{巻き込みガス体積}^2) \cdots (\text{式} 1)$$

- ・製品最大温度低下： 小さいほど良い望小特性なので2乗の逆数として膨大特性としている。

$$SN \text{ 比} = 10 \log (1 / \text{製品部での最大温度低下量}^2) \cdots (\text{式} 2)$$

すなわち、各ブロックの溶湯速度を最適化してガス巻き込み、湯周り不良が最小となるようにするものである。酸化被膜の巻き込みはガス巻き込みと同等としているが、この理由は、実用合金での酸化被膜の検出方法が現在未知であり、原理的に考えて、ほぼ同等と考えても良いと判断したためである。

(2) 最適化の検証

以下に最適化の手順と検証例を示し、同時に本年度完成したソフトの内容を示す。

準備

最適化計算を開始する前に、製品およびゲート、オーバーフローなどの方案形状、寸法、物性値、境界条件などを JSCAST で入力する。形状等は JSCAST で作成しても良いが、他の CAD ソフトで作成し、その STL データをインポートするのが普通のやり方である。対象としたバルブの方案を図 2-2-2-1 に示す。材質は ADC 1 2 である。さらに、通常の湯流れシミュレーションと同様に要素分割し、材質、境界条件などを入力する。なお、ガスの巻き込みは、製品部と重要部分で評価可能としているので、製品部以外と重要部分を指定する。

最適化計算の開始 - ブロック化

まず、射出速度および射出温度の標準値を決定するため、湯口系、製品等をブロック化する。

このため、JSCAST のプリ・プロセッサの画面（図 2-2-3）で、「設定」、「最適化」、「ブロック化」をクリックして選択すると、図 2-2-4 に示す画面が現れ、方案の断面変化（反重力方向が上）が現れる。そこで、基準レイヤ、ブロック1始点レイヤ（通常 0）を入力し、この断面積変化曲線を見て、ブロックの終点となるレイヤ番号（ブロック指定のレイヤ番号）を変化させる。レイヤ番号の位置は、断面変化曲線上の赤マークで示される。

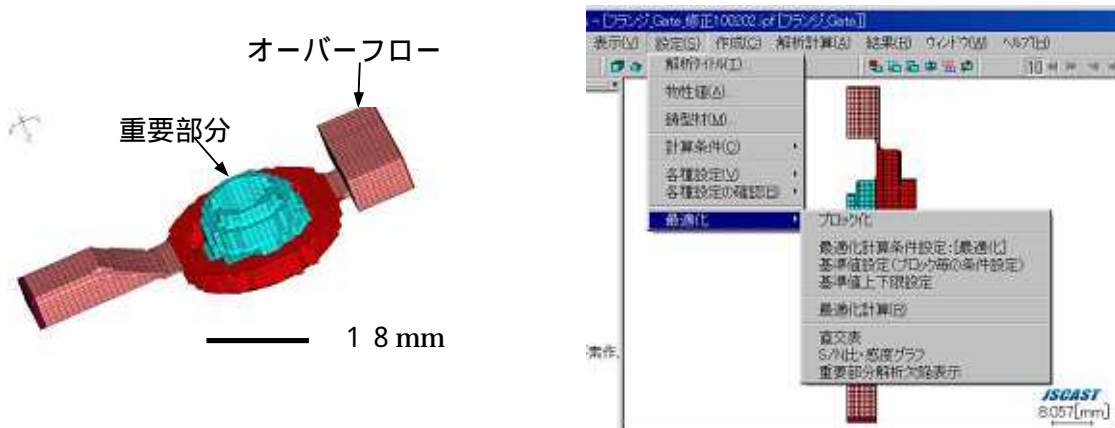


図 2-2-3 検証に使用したモデル（左） と 最適化計算の画面（右）

適当なレイヤ番号と判断し、「適用」をクリックすると指定されたレイヤ番号がそのブロックの終了レイヤ番号あるいは次のブロックの開始レイヤ番号となる。

ブロック数は、7個以下に限定しており、同一断面積の領域と近似し、各ブロックにおける温度低下を算出する。ブロックを決定すると画面に各ブロックの断面積、鑄型接触面積、長さが表示される。また、ブロック指定したレイヤ位置が方案図上にも示される。なお、断面積の小さい部分（例えば、ゲート部）から断面積の大きい部分に溶湯が流出する場合、溶湯速度が0.5m/s以上になるとガス巻き込みが大きくなることが分かっているため、ブロック化では、最小断面積のレイヤをブロック終点とせず、多少広い断面に入ったレイヤとした方が良い。

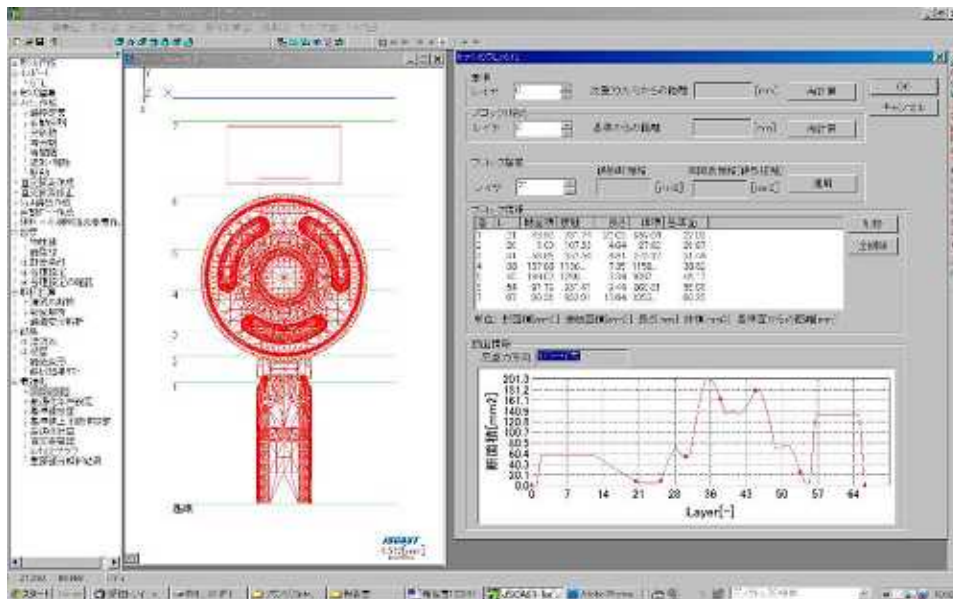


図 2-2-4 ブロック化画面

基本情報の入力

次に、図 2-2-3 の画面で「最適化計算条件設定」をクリックすると図 2-2-5 に示す画面が現れるので、チップ径と初期チップ速度、溶湯と鑄型間の熱伝達係数、鑄型温度、射出温度、チップ最大速度を入力する。なお、チップ最大速度とは装置により実現できる最大速度が決まっているので、その値を入力する（1回入力すれば通常変更する必要はない）。また、射出する合金により射出標準温度を登録しておけば、合金を選択することで射出温度を入力できる。これらのデータを入力後、「OK」をクリックするとこの条件（ブロックに関係なく、チップ速度一定で計算）で、最初の計算が実行される。



図 2-2-5 最適化計算条件の入力画面



図 2-2-6 基準値設定の画面

ブロックごとの条件設定

次に、基準値設定（ブロックごとの条件設定）をクリックすると図 2-2-6 の画面が現れ、図 2-2-5 で入力した条件（チップ速度一定）での各ブロックにおける速度、温度低下量が表示される。この情報を初期情報として、温度低下量がある限度内で、速度がなるべく小さくなるように、特に速度が大きく、温度低下量の小さいブロックの速度を下げても入力する。そして、「計算」をクリックすると瞬時に温度低下量が表示される。この操作を繰り返して、速度がなるべく小さく、かつ温度低下量が少なくとも許容最大温度低下量以下となる条件を見出す。許容最

大温度低下量は、合金の種類や製品の必要表面光沢などで変化するが、少なくとも、射出温度と固相線温度の差以下である。この作業は「OK」をクリックして終了する。

繰返しシミュレーション条件の水準入力

次に、「基準値上下限値設定」をクリックすると、繰返し湯流れシミュレーションのための基準値を設定する画面（図 2-2-7）が現れる。繰返し湯流れシミュレーションでは、直交表 L 18 を標準とし、射出温度を 2 水準、各ブロックの射出速度 3 水準としているのでこれらを入力する。ただし、標準値は、上記 4 の操作で決定された値が自動的に記入されている。従って、温度についてはその値より低い値か、高い値を入力する。各ブロックについては低い値か高い値を入力すると一方の値が自動的に記載される。この自動計算は、速度差が同じになるように設定している。



図 2-2-7 繰返しシミュレーションのための水準の決定

図 2-2-8 繰返しシミュレーションの画面

繰返しシミュレーション

図 2-2-7 の画面で「OK」をクリックすると、「直交表 解析パラメータの計算を実行しますか」というメッセージが出る。そこで「はい」をクリックすると、L 18 直交表に従って、18 回の湯流れシミュレーションが実行される。本検証では 1 回の湯流れシミュレーション時間は約 60 から 120s であり、1 時間以内に計算は終了する。その間、図 2-2-8 に示す画面が現れ、繰返しシミュレーションの進行状況が表示される。

直交表の表示

繰返しシミュレーションが終了し、「直交表確認」をクリックすると、図 2-2-9 のような直交表とその計算結果である最大温度低下、重要部分ガス量、製品ガス量、それぞれに対する評価関数 (SN 値) が画面に表示される。ここで、SN 比 (実質的には評価関数) は前述の (式 1) (式 2) で示される。

直交表結果	温度	速度1	速度2	速度3	速度4	速度5	速度6	速度7	最大温度低下	重要部分ガス量	製品ガス量	SN1	SN2	SN3
解析計算1	640.0000	4.8000	1.4000	0.5000	1.5000	1.5000	3.0000	6.0000	47.4147	0.0017	0.0017	4.7415	5.5473	5.5473
解析計算2	640.0000	4.8000	1.6000	0.6000	1.7000	1.7000	3.2000	7.0000	40.3474	0.0014	0.0014	4.0347	5.7115	5.7115
解析計算3	640.0000	5.0000	1.2000	0.4000	1.5000	1.5000	3.2000	7.0000	35.7578	0.0013	0.0013	3.5758	5.7400	5.7400
解析計算4	640.0000	5.0000	1.4000	0.5000	1.7000	1.7000	2.8000	5.0000	43.6941	0.0016	0.0016	4.3694	5.6038	5.6038
解析計算5	640.0000	5.0000	1.6000	0.6000	1.3000	1.3000	3.0000	6.0000	40.3505	0.0017	0.0017	4.0351	5.5294	5.5294
解析計算6	640.0000	5.2000	1.2000	0.5000	1.3000	1.7000	3.0000	7.0000	41.8365	0.0023	0.0023	4.1837	5.2815	5.2815
解析計算7	640.0000	5.2000	1.4000	0.6000	1.5000	1.3000	3.2000	5.0000	40.8375	0.0016	0.0016	4.0838	5.6121	5.6121
解析計算8	640.0000	5.2000	1.6000	0.4000	1.7000	1.5000	2.8000	6.0000	41.5742	0.0017	0.0017	4.1574	5.5144	5.5144
解析計算9	650.0000	4.8000	1.2000	0.6000	1.7000	1.8000	3.0000	5.0000	34.9584	0.0020	0.0020	3.4958	5.3071	5.3071
解析計算10	650.0000	4.8000	1.4000	0.4000	1.3000	1.7000	3.2000	6.0000	40.6264	0.0013	0.0013	4.0626	5.7938	5.7938
解析計算11	650.0000	4.8000	1.6000	0.5000	1.5000	1.3000	2.8000	7.0000	45.4221	0.0016	0.0016	4.5422	5.6099	5.6099
解析計算12	650.0000	5.0000	1.2000	0.5000	1.7000	1.3000	3.2000	6.0000	43.1820	0.0016	0.0016	4.3182	5.5702	5.5702
解析計算13	650.0000	5.0000	1.4000	0.6000	1.3000	1.8000	2.8000	7.0000	35.4761	0.0014	0.0014	3.5476	5.7053	5.7053
解析計算14	650.0000	5.0000	1.6000	0.4000	1.5000	1.7000	3.0000	5.0000	42.0159	0.0010	0.0010	4.2016	6.0220	6.0220
解析計算15	650.0000	5.2000	1.2000	0.6000	1.5000	1.7000	2.8000	6.0000	44.5250	0.0013	0.0013	4.4525	5.7760	5.7760
解析計算16	650.0000	5.2000	1.4000	0.4000	1.7000	1.3000	3.0000	7.0000	40.6782	0.0013	0.0013	4.0678	5.7674	5.7674
解析計算17	650.0000	5.2000	1.6000	0.5000	1.3000	1.8000	3.2000	5.0000	45.2211	0.0012	0.0012	4.5221	5.8125	5.8125
解析計算18	650.0000	5.2000	1.6000	0.5000	1.3000	1.5000	3.2000	5.0000	41.5280	0.0013	0.0013	4.1528	5.7668	5.7668

図 2-2-9 直交表と計算結果表示の画面

SN 比の表示

次に「S/N比の表示」をクリックすると、図 2-2-7 で設定した各水準に対する温度低下量とガスの巻き込み量の評価結果が S/N 比として図 2-2-10 のように表示される。これから、各ブロックでの最適条件（値の大きい水準）の番号をクリックする。

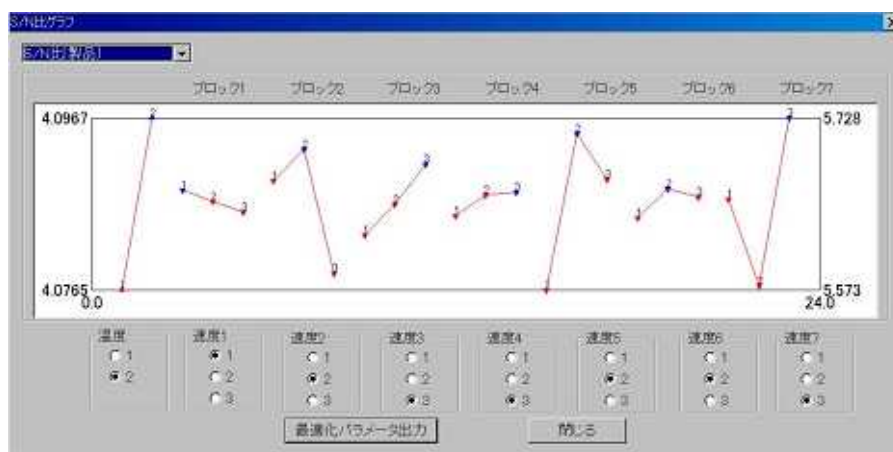


図 2-2-10 S/N 比の表示（直交表計算結果）

最終シミュレーション

図 2-2-10 の画面で、「最適化パラメータ出力」をクリックすると、「選択データが出力されました」と表示される。さらに、「OK」をクリックすると、「最適解のデータを取得します（計算を実行します）」と表示されるので、「OK」をクリックすると「最適解のデータを取得しました。境界条件データに反映しますか」と表示されるので、「OK」をクリックする。すると「境界条件にデータを反映しました」と表示される。これにより、選択した最適条件と思われる射出条件が最終湯流れシミュレーションの射出条件として登録される。具体的には、図 2-2-1 の画面で、「計算条件設定」「境界条件」をクリックすると図 2-2-11 に示すようなゲート速度が設定されている。そこで、「OK」をクリックすると、「引き続き「最適化パラメータで選択した値」で湯流れ計算を行いますか」と表示される。「OK」をクリックすると「湯流れ解析を実行します。よろしいですか。」が表示され、「OK」をクリックすると、最後のシミュレーションが実行される。計算が終了したら、図 2-2-1 の最適化メイン画面で「重要部分解析結果」をクリックすると、解析結果が図 2-2-12 のように表示される。重要部分でのガス巻き込み量は 0.1mm^3 と小さいことが分かる。また、通常の湯流れシミュレーションと同様に、充填状況の変化や巻き込みガス位置（図 2-2-13）、速度分布などを表示できる。

これで問題ないと判断して、計算結果のファイル中で、Cvel.csv のファイルを開くと、表 2-2-1 のようにプランジャチップ速度変化が記録されているので、その値をダイカスト装置に手入力する。もし、上記の最終シミュレーションで問題がある場合には、シミュレーションでの欠陥発生位置とその欠陥から対応を考えることになる。例えば、ガス巻き込みが問題である場合、巻き込み部の流動状況から、単に速度を遅くすれば解決できそうか、ゲートやオーバーフロー位置を変更する必要があるしかなど判断して対応する。



図 2-2-11 最終シミュレーションの境界条件



図 2-2-12 最終シミュレーション結果

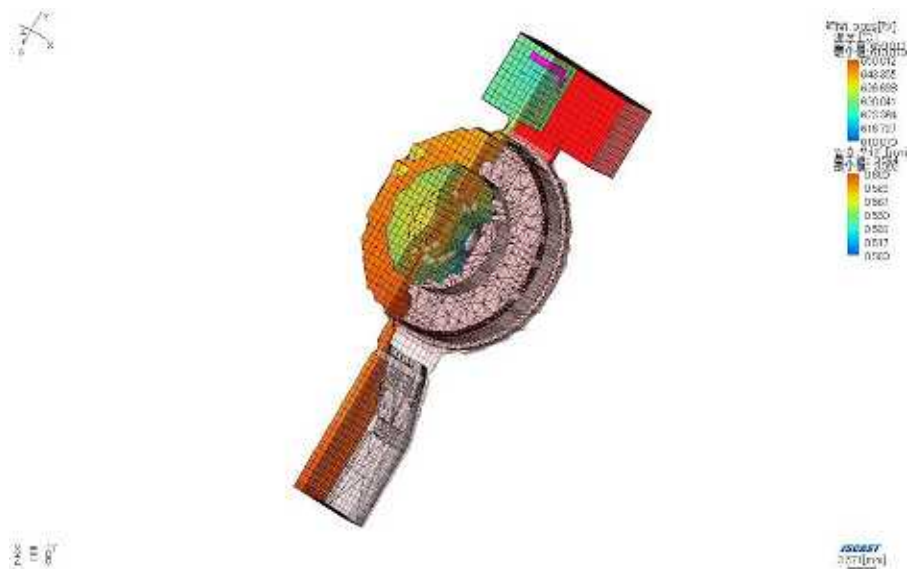


図 2-2-13 最終シミュレーション結果例
オーバーフロー部以外に大きなガス巻き込みは予測されない。

表 2-2-1 マシンに入力する射出条件

	時間[ms]	チップ速度[m/s]	チップ移動距離[mm]
0	0	0	0
1	4.589583	0.166318	0.763332
2	7.903869	0.006688	0.785498
3	15.92054	0.027158	1.003212
4	20.24406	0.21342	1.925941
5	25.1374	0.176835	2.791255
6	28.28406	0.219244	3.481141
7	30.23263	0.553758	4.560178

試作機による鑄造実験と考察

試作機において表 2-2-1 の射出条件で、鑄造を実施した。その結果、第 1 段階、第 2 段階では数 ms 以下の短時間内に速度を 0 から 0.166m/s に上げ、さらに 0.0067m/s に下げるといふ急加減速射出は困難であることが判明した。これは、本試作機では停止状態から 0.1m/s の速度に達するだけでも約 16ms 必要であったためである。さらに、0.05m/s 以下の低速では射出できなかった。これは、多分、スリーブ内で溶湯が冷却され、スリーブ内およびゲートで凝固が進行したため大きな射出抵抗が生じたためと推定される。本最適化では、プランジャ・スリーブ内での冷却を対象外としていたが、少なくとも本試作機のような小型マシンでは考慮する必要があるようだ。

すなわち、残念ながら、開発した射出速度の最適化方法が妥当かどうかの検証はできなかった。しかし、以下のような今後の改善により、射出条件設定の有効なツールとなると考えられる。

- a) スリーブ内での温度変化を考慮する。射出速度が遅いと、ゲート入口温度が低下するだけでなく、溶湯がスリーブと接触する部分で凝固し、その凝固片が製品部に巻込まれ、欠陥となる危険性が増す。また、凝固が進みすぎると射出できなくなる。従って、スリーブ内での凝固解析を実施し(JSCAST で可能) 射出完了までに許容できる時間を最初に求める。

これは、製品とは無関係に検討できるので、1度実行して表やグラフにまとめておけば繰り返し利用できる。

- b) 図 2-2-6、図 2-2-7 でプランジャチップの追従性を考慮して速度を与える。ただし、これらの図では、各ブロックの速度が表示されており、プランジャ・チップの速度が分からない。そこで、プランジャ・チップの速度と位置も併記して分かるようにしておけば、マシンの性能を考慮して速度を与えることができる。より望ましくは、マシン性能以上の入力となされた場合には、自動的にその旨赤字で表示して再入力することを要求するようにする。
- c) サーボモータの制御プログラム変更やモータ特性などの改善、スリーブ温度の高温化などにより、より幅広い速度変化が可能ないようにする。

(3) まとめ

湯周り不良がなく、ガスおよび酸化皮膜の巻込みが最小となる射出条件を普通も PC で 12 時間以内に求めるという達成目標に対して、まず、計算時間は、検証例では 1 時間程度で達成目標を満足している。要素数が多くなれば当然時間がかかるが、1 回の湯流れシミュレーション（温度変化、背圧やガス巻込みを考慮する必要あり）に要する計算時間が、35 分程度（多くの実用的鑄物を含むの）であれば、12 時間内に可能である。さらに、1 回のシミュレーションに数時間必要な場合、複数の PC で分担して計算すればやはり 12 時間以内で可能となる。

本手法で決定した射出条件が本当に適切なものかどうかの検証は、マシン特性の把握が遅れたためできなかった。しかし、シミュレーション結果は従来の経験からある程度信用できるので、マシン特性を超えない範囲で、射出条件を設定すれば、開発したソフトは利用できると考える。また、前述のような今後の改善により、射出速度決定のための効果的なツールになるであろう。さらに、本試作機はプランジャ・スリーブ内径が 40mm と小さいが、大型のマシンになるとスリーブでの温度低下も少なく、鑄造品の寸法も大きくなるので、プランジャチップ速度変化もそれほど細かい制御が不要になる可能性が大きく、本開発ソフトはそのままでも利用できる可能性がある。

2 - 2 - 3) 金型の高温制御による低速充填技術の開発

(1) 概要

本研究開発では、電動サーボを射出動力として用いることで低速射出を実現し、充填時のガス巻き込みを最小に押さえることでガス巻き込みの少ないダイカスト製品の製造を可能にすることを目的としている。このためにはプランジャー速度が 1m/s でも十分な湯回りを確保する必要があり、高温の金型（例えば 400℃）での鑄造が必要となる。金型温度が高くなると、金型とアルミニウムの反応による焼き付きが多発し金型の損傷につながるため、これまでに高温でも離型性が損なわれない離型剤の選択を行った。

今年度は低速充填技術の確立を目的として、開発した電動サーボ式ダイカスト装置を用いて金型の温度分布測定、1m/s 以下の射出速度での鑄造実験による湯回り状況の検証、試作したダイカスト製品の欠陥、含有ガス量などの評価を行った。

(2) 金型温度測定と流動長測定

金型温度監視システムでは放射型温度計（サーモカメラ）により金型表面温度を測定する。金型表面の酸化や離型剤塗布により放射率が変化するため、正しい温度を測定するには適切な放射率の選択が必要である。そこで、金型に見立てた炭素鋼に熱電対を取り付け、放射温度計と熱電対との温度を一致させることで放射率を設定した。さらに、金型の冷却中の温度変化を熱電対と放射温度計とで比較し、放射温度計の測定誤差を検証した。実験は繰り返し過熱した場合、水溶性、油性離型剤を塗布した場合について行った。

(3) 鑄造品の低速充填と品質検査

前掲の通り、写真 2-1-1~3 に示したように具体的な川下ユーザーからの引き合い情報を参照し、種々のモデル金型を用いた試作鑄造を行ってきた。ここでは、X 線回折、比重測定によ

って欠陥の有無を分析評価した。その中から、代表的な結果 2 例を示した。
 図 2-2-14 は、デジタルカメラ部品を想定した試作鋳造品の例である。

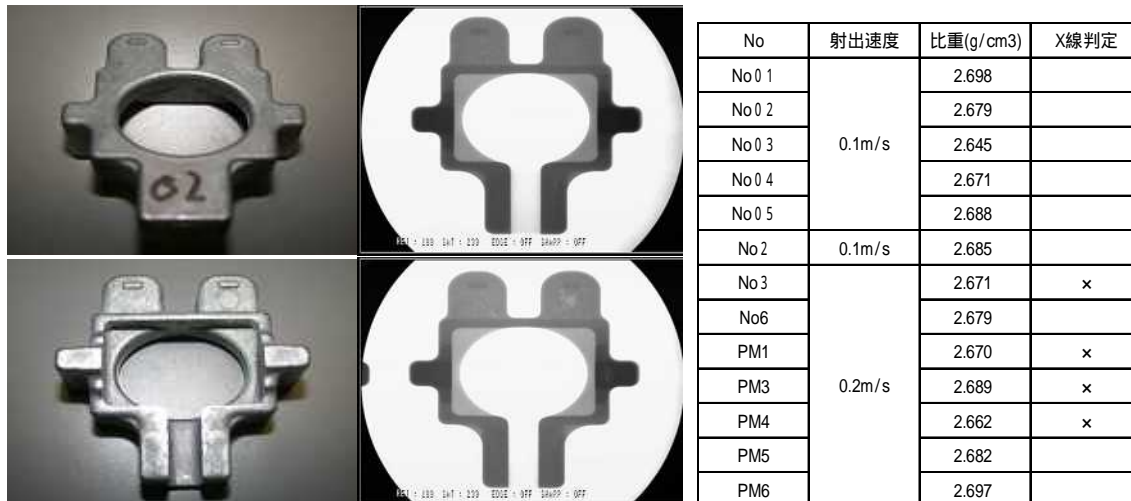


図 2-2-14 精密部品の試作品の外観と X 線透視結果

図 2-2-15 は、強度を要するコンロッド状の部品の例である。

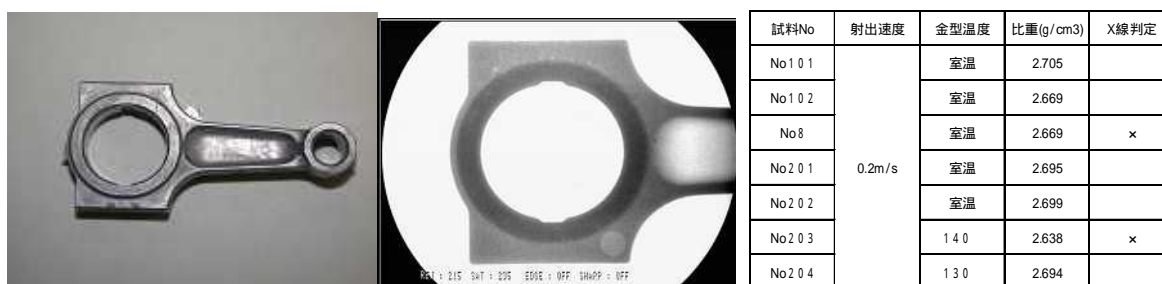


図 2-2-15 高強度部品の試作品の外観と X 線透視結果

(4) まとめ

開発したダイカスト装置を用いて鋳造を行うにあたり、金型の温度分布の測定、流動長試験金型による射出速度の評価、低速充填によるダイカストの試作およびそれらの欠陥評価を行った。

その結果、サーボ式のダイカストマシンを用いる事で目標の 1m/s を下回る 0.2m/s 以下の低速射出速度での湯回りを確認し、試作品の鋳造が可能となった。

鋳造品には多数の欠陥があり、品質のばらつきが認められた。これは最適な方案の検討が不十分であったため、ガス巻き込みが発生したためと考えられる。

比較的良好なダイカスト製品について T6 処理(490)を行ったところ、図 2-2-16 に示すように、表面のふくれ発生は従来法の場合に比較して大変すくなく、本装置で鋳造したダイカスト製品の T6 処理の可能性を示すことができた。



図 2-2-16 490 の T 6 処理後の外観 (黒い印はふくれ部分)

2 - 3 電動サーボモータ駆動式ダイカスト装置による製造技術開発

2 - 3 - 1) 中子を利用した複雑形状製品の製造技術開発

(1) 概要

従来の高圧・高速射出のダイカスト法では困難であった中子を用いたアンダーカット形状の一体成形を、中低圧・低速射出での鋳造を行う本事業の開発ダイカストマシンで実現するための中子利用技術を開発し、製品製造に適用することを目的とする。平成19年度から始まる事業の最終年度として、アンダーカット形状を持つ40mm程度の小型内燃機用ピストンについて、金属製中子を利用した製品製造実証を目指した。また、ダイカストで崩壊性中子の利用を検討する際に有用な情報となる、砂中子表面への溶湯差し込みに及ぼす鋳造圧力の影響についても調べた。

(2) アンダーカット形状を持つ小型内燃機用ピストンの製造実証鋳造試験

一般的なダイカスト法で現在量産している小型ピストン(図2-3-1)をモデルとして目的とする形状を図2-3-1のように設定した。

前者にはアンダーカット部が存在せず、後者である開発ダイカストマシンで試作する形状では、ヘッドとピストンピンの軸受けの間にアンダーカット部を設けている。



図 2-3-1 モデルとした、現行量産されているアルミダイカストピストン

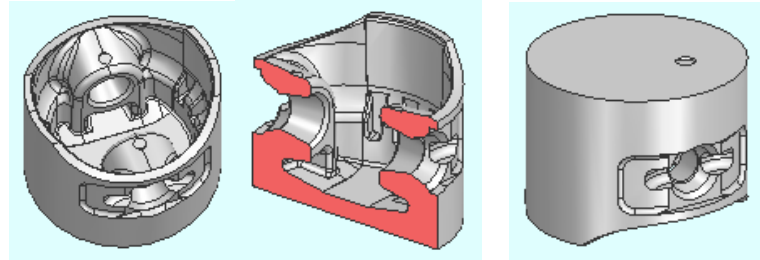


図 2-3-2 目的とする形状

(3) 金型の開発

H19年度及び20年度には、組中子を作成する際の基礎データの収集のための実験確認を行い、可動部を持つ金型を設計する型間ギャップ、抜け勾配などを定量把握した、アンダーカット部を形成させるための中子分割とその抜き取り動作を図2-3-3に示すように考案し、金型を図2-3-4および図2-3-5に示す通り試作した。

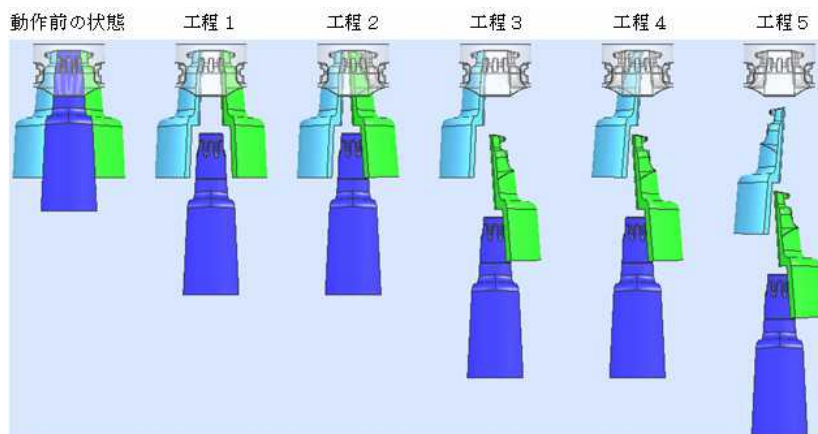


図 2-3-3 アンダーカット部の抜き取り動作

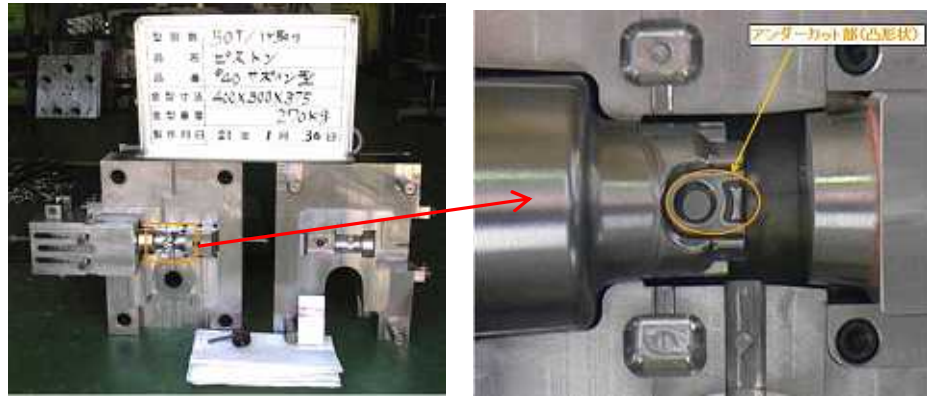


図 2-3-4 製作した金型の外観写真

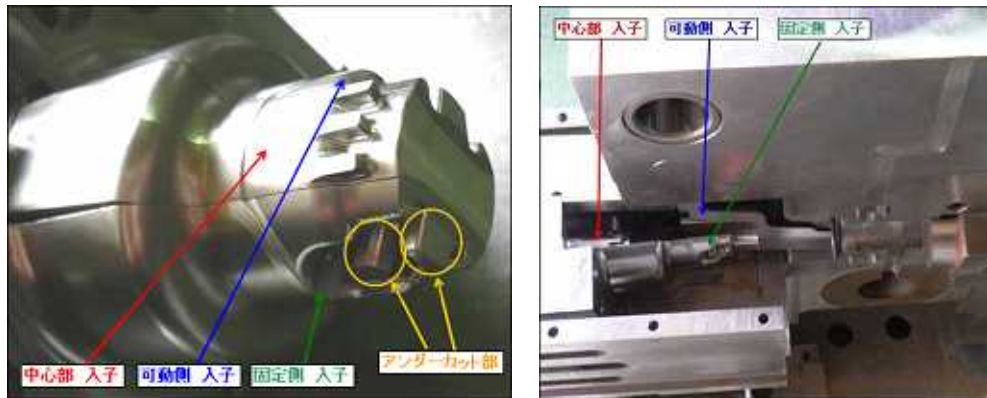


図 2-3-5 ピストン製品部の分割写真と製品取り出し時の状態

(4) 製造実証鑄造試験

数度の試行錯誤を重ねた結果、目的としていたアンダーカット形状を持つピストンのサンプルを得る事ができた。図 2-3-6 は得られたサンプルの写真である。

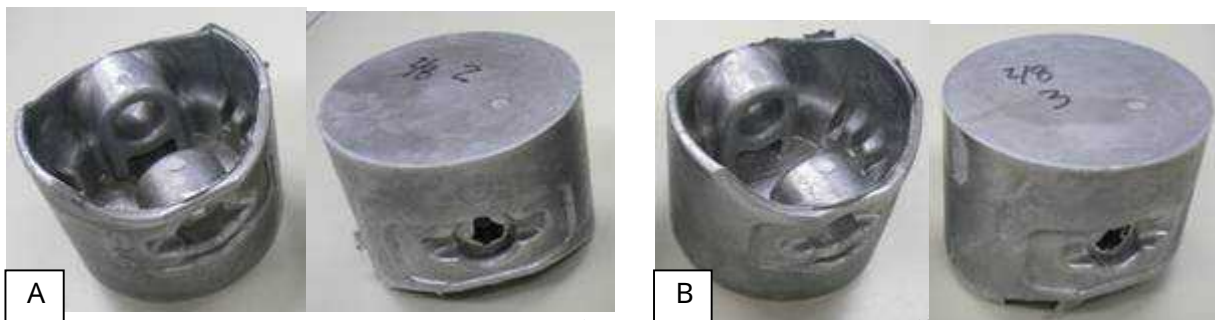


図 2-3-6 得られたアンダーカットのある鑄造サンプル(A,B)

(5) 鑄造品の評価

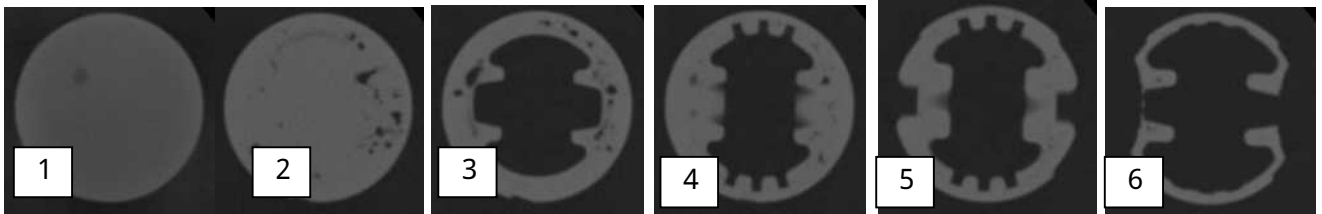
得られたサンプルA・Bについて、和歌山県工業技術センターにて透過画像を撮影した。両サンプルは外観には大きな相違はないが、CT スキャナによるスライス画像(図 2-3-7)及び線による透過画像(図 2-3-8)により、鑄造品質はサンプルAのほうがBと比較して良い事が分かる。鑄造条件としては、ゲート流速はできるだけ小さくし、層流充填を目指した方が良い傾向であると言える。サンプルAの方が鑄造品質は良いとはいえ、肉厚部には巣がある。最適なプランジャ速度の設定を含め、より良い品質を得られる鑄造条件を見出す事に関しては今後の実験に期待したい。



サンプルA・Bともにヘッド面から 3mm ピッチにてスライスした画像を順に並べている。



サンプルA



サンプルB

図 2-3-7 CTスキャンによるスライス画像

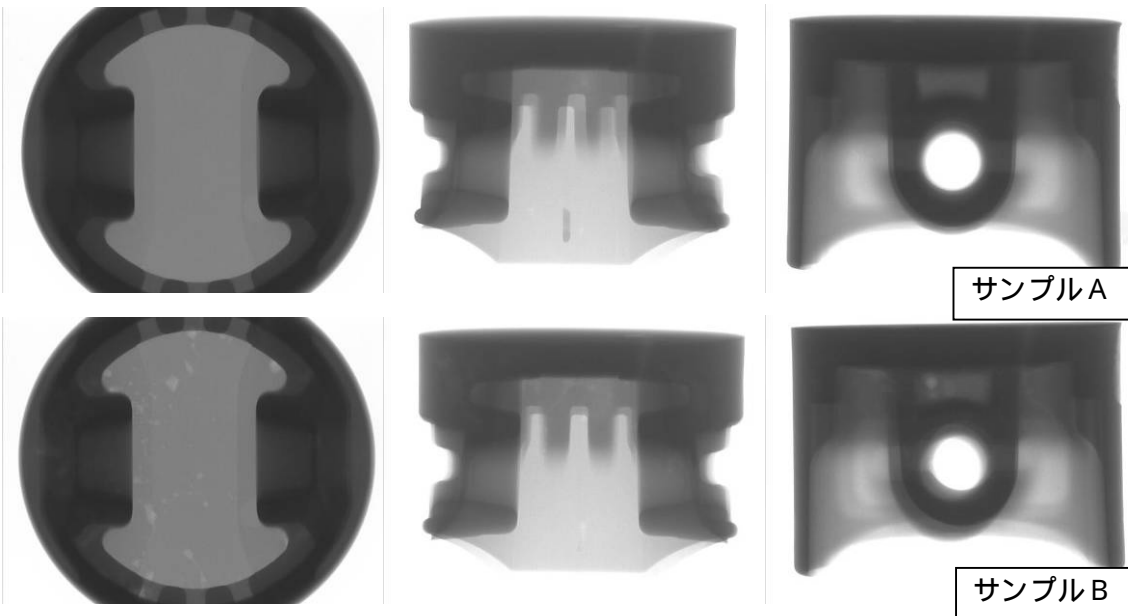


図 2-3-8 X線による透過画像

(6) 崩壊性砂中子表面への溶湯差し込みに及ぼす鋳造圧力の影響

平成 19 ~ 20 年度事業において、従来機の低鋳造圧運転（鋳造圧：40 MPa）により、開発機での使用に耐えうる崩壊性砂中子を検討した。骨材（砂）、バインダー、表面コーティングを変えた試作中子を鋳造実験に供し、強度、鋳造後の崩壊性と表面への溶湯の差し込みについて評価を行った。その結果、塗型の付与により砂中子を開発機で利用し得ることを確認した。しかし、省工程数・低コスト化の観点からより理想的な表面コーティングを施さない砂中子では、溶湯の差し込みが発生し、鋳物表面への砂の残留が避けられなかった。

本年度は、表面コーティングを施さない造型されたままの砂中子において差し込みが起こらない鑄造圧力を検討するための基礎データ取りを行った。

中子の利用に有利な中低圧・低速射出で高品質な鑄物を製造できる「完全充填・電動制御スリーブ式ダイカスト装置」の特徴を活かした、中子を利用した複雑形状製品の製造技術開発を検討してきた。開発マシンに用いる金型・中子構造を検討・試作して鑄造実験を行い、目標であったアンダーカット形状を持つ小型内燃機用ピストンの製造実証に成功した。得られたピストンは、従来ダイカスト品より鑄巣が大幅に少ないものであり、開発マシンが高品質ダイカスト鑄物を製造できるものであることを明確に示した。

2 - 3 - 2) 高品位・高精密ダイカスト製品の製造技術開発

(1) 概要

本年度は自動車部品、コピー機の部品、強度部品についての試作を行い、以下の目標数値を実証確認することを目的として、研究開発を進めた。

- a) 高精度部品相当品を対象とし、目標精度： $\pm 5 \mu\text{m}$
- b) 自動車用耐圧強度部品相当品を対象とし、
 - ・ガス巻き込み量 $0.5 \text{ cc} / 100 \text{ g}$ - A 1 以下
 - ・T 6 熱処理が可能になること

(2) 成果

前掲の通り、写真 2-1-1 ~ 写真 2-1-3 に示すような前項の目標に従った各種の試作品の製造を担当した。前述の通り、欠陥の分析や T6 処理の適正も評価した。ここでは、その詳細は省略するが、最後に新たなニーズに基づき「ヒートシンク」を模擬した試作品を製造したので、付記、紹介する。

電子部品や LED ランプなどの性能維持のため放熱効果のあるヒートシンクの需要が高まっている。小型で放熱性の高いヒートシンクの開発のため、従来にはないような形状のものを本装置による鑄造で開発できないか試作を行った。従来の鑄造機では湯まわり不良が発生したり、製品が金型から出ないなどの問題が発生する形状を設計した。

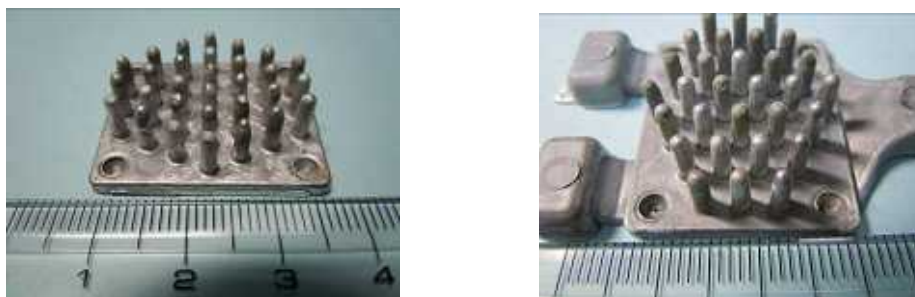


写真 2-3-1 ヒートシンク試作鑄造品

(3) まとめ

本開発に使用した装置で鑄造した製品の内部ガス量を下に示す。

	射出速度 m/sec	ガス量 cc /100g
	0.1	45~50
	0.2	27
	0.1	17
	0.1	17

最初に鑄造した結果は射出条件がつかめない状況であった。そこで製品の外観がよくなった段階のものをサンプルとし基準にすることとした。結果に基づき射出速度を変更したところのような結果が得られた。かなりの改善結果ではあるが射出速度の変更だけでは目標値の実現には難しいことがわかった。この条件をもとにこの試作品の鑄造を行った。これはガス抜きをもう少し大きくしてみることにした。その結果さらに改善が見られた。これらの鑄造の金型温度は約 35 程度であった。この温度では普通ダイカスト法でも金型の油脂、離型剤の水分が残留し、量産時の金型温度が 100 前後の製品内部のガス量が 25 ~ 40cc /100g であることを考慮

すると 40cc /100g を大きく上回るガス量になると推察できる。段階で既に、低温にも関わらず本装置の特徴である超低速鋳造を実現できたことにより、普通ダイカスト法の量産時の平均数値の低い値のガス量を実現できたことは大きい。さらに金型温度を上昇させることと、湯流れ最適化シミュレーションに基づいたゲート方案で金型を作成し本装置で鋳造を行うことで、さらに数値の改善が可能になることは、これまでの弊社の鋳造経験からみても明らかである。

今回の試作品を兵庫県立工業技術センターにて T6 処理相当の加熱試験を行った結果、従来の普通ダイカスト法に比較するとガス巻き込み巣によるフクレが少ない。これは実測したガス量の数値からみるより、実際は少ないのではないかと思うような結果であった。

この要因は、本装置の目指した「完全充填スリーブ」により、製品内部に霧状で巻き込んで入り込むガスが減少し、製品全体に細かく含まれていなかったため、製品表面近傍のガス巻き込み巣によるフクレが減少したのではないかと推察する。更に、「電動サーボ」方式を採用したことにより、超低速充填が可能になることで金型内部のガスも、真空鋳造を行わなくても、よどみなく排出することが可能であり、「完全充填スリーブ」と「電動サーボ」の相乗効果による効果である。

続いて、従来法の高精度や高強度対応技術との比較について議論する。「PF法」のように酸素を消費せず、「真空鋳造法」のようにコンプレッサー装置を作動させなくても、本装置をさらに改良し、湯流れシミュレーションによって最適化条件に基づいた金型を作成し鋳造を行うことで、省エネルギーで環境にも優しく、ハイサイクルで稼働できるダイカストマシンが出来上がると確信している。さらに高コストではあるが、T6 処理が可能になるということで注目されている技術である「半凝固鋳造法」の最新の鋳造技術で作られたアルミダイカスト品は約 0.2cc/100g であり、この数値との比較において、本開発ダイカスト装置の試作段階で、当初の目標数値の 0.5cc/100g という内部のガス量を実現できる可能性を確認できたことにより、高価な「半凝固鋳造法」に匹敵する鋳造品質を安価な普通ダイカスト鋳造法で実現できることの意義は大きい。更なる改良により、ハイサイクルでこの数値を可能にすることができれば、日本の鋳造界を牽引する技術の一つとして、大きに貢献できる装置であると期待する。

2 - 3 - 3) 低コスト、高生産性金型製造の開発

(1) 概要

本研究では、3 年の間に、自動車のウォーターポンプのような製品の金型作成コストを 20% 以上あるいは、製造期間を 30% 以上削減出来る金型製造法と薄肉製品の鋳造において、低速・低圧充填した場合でも生産性を落とさない金型構造の開発を行った。

H20 年度は、相変化物質を充填した中子ピンのシミュレーション結果の妥当性を確認するため、実鋳造によって得られたデータとシミュレーション結果を比較検討した。また、中子ピンのような部分的なモデルだけではなく、金型全体に相変化物質を充填した場合に、相変化物質が金型に与える影響を検討するため、シミュレーションを行い、金型入子を製作した。

H21 年度は、相変化物質の選定と、簡易的なピンを用いて、繰り返し鋳造時における相変化物質が金型に与える影響を検討した。また、前年度に製作した金型の加熱実験を行った。

(2) 実験結果の一例

H20 年度までの潜熱物質を亜鉛・マグネシウム合金、亜鉛・錫合金など、他の合金系の検討を基礎物性の検討を行った。また、加熱・冷却方法として、バーナー加熱、水冷など種々のパラメータ検討を行ったが、これらの結果は省略する。本開発技術のコンセプトを実証した実験の代表例として、空冷の場合の結果を以下に示す。

相変化物質を充填したピンの実験結果を図 2-3-9 に、全て SKD 6 1 製のピンの実験結果を図 2-3-10 に示す。相変化物質を充填したピンは、加熱時では、全て SKD 6 1 製のピンに比べ、ピン先端の最高温度が 15 程度低くなっており、ピン先端と内部との温度差も小さくなっている。また、冷却時では、ピン先端の温度とのピン内部の温度差が小さくなっている。これは、相変化物質を充填したピンでは、相変化物質が潜熱を放出することで、ピン先端の温度低下を抑制しているためである。さらに、全て SKD 6 1 製のピンでは、開始時には 150

程度であったピン先端の温度が、サイクルを繰り返す度に上昇しているが、相変化物質を充填したピンは、温度上昇が見られないことから、相変化物質が潜熱を吸収し、ピン全体の温度上昇を抑制しているといえる。

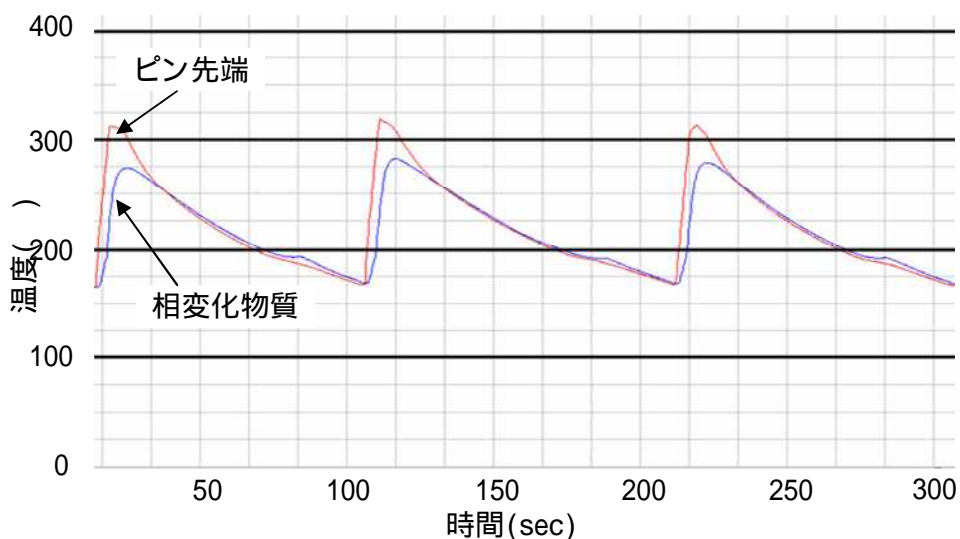


図 2-3-9 相変化物質を充填したモデルの外部空冷実験結果

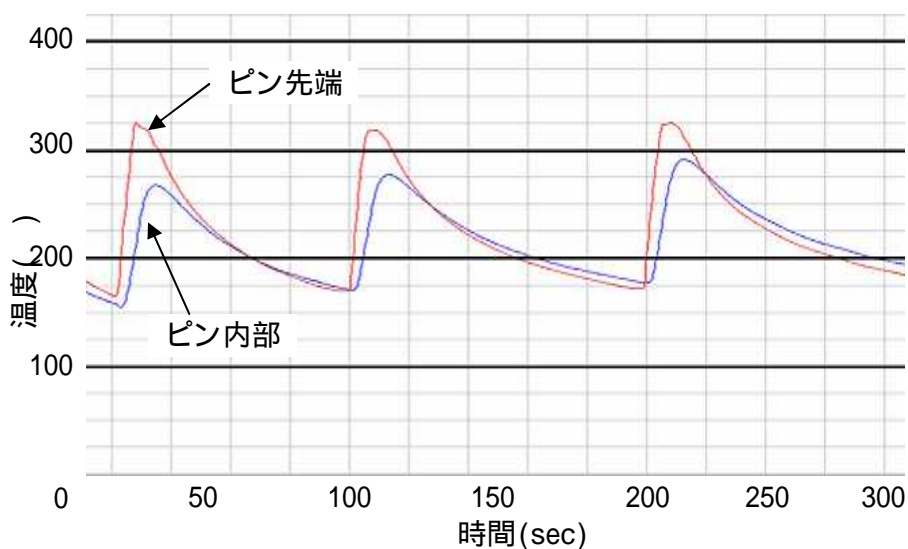


図 2-3-10 全て SKD61 製の外部空冷実験結果

最終章 全体総括

本研究開発により、次のような成果を得ることができた。

完全充填・電動制御スリーブ式ダイカスト装置の開発

ダイカスト装置本体は、有限会社ティミスが設計を担当し、鑄造実験中の炉周辺での溶湯漏れは完全には押さえ込むことは出来なかったが、本鑄造の実験は、計画を完了することが出来た。また、岩機ダイカスト工業株式会社、アイ・イー・ソリューション株式会社の技術的協力のもとに、吸引・射出機構の評価実験を行った。そして、有限会社香川ダイカスト工業、アクロナイネン株式会社の試作した金型を用いて、鑄造実験を行い、各金型開発の担当テーマの目標を実験実証するために用いた。また、「温度カメラ・管理ソフト」、「温度モニター式スプレー制御」等の付加機能の基本的な機能の実証評価も行った。



-1 X線による溶湯流動可視化観察と数値シミュレーション精度の向上

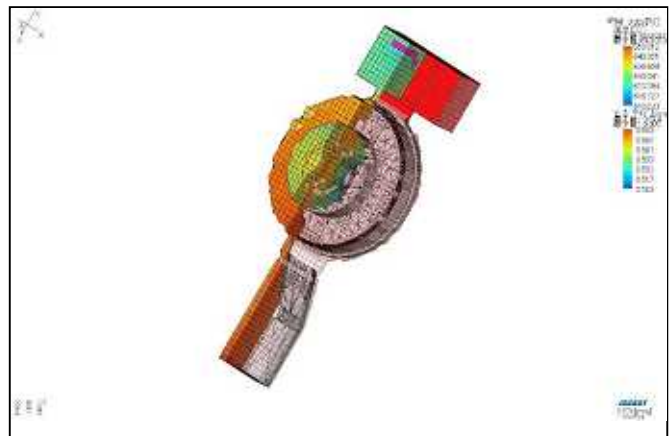
大阪大学に設置した溶湯流動の可視化実験装置を用いて、アイ・イー・ソリューション株式会社が、モデル黒鉛鑄型による溶湯流動状態観察データ件数10件以上の可視化実験を行った。(右写真)

また、これらのデータや兵庫県立工業技術センターの協力も得ながら、溶湯流動現象のシミュレーション精度が80%以上の能力を有するシミュレーション技術の開発を完了した。



-2 電動サーボモータ駆動最適化ソフト開発

アイ・イー・ソリューション株式会社が、電動サーボモータ駆動の最適化ソフト開発を行った。市販の鑄造シミュレーションソフト(JSCAST)を導入し、田口法を取り入れ、オリジナルのプログラム開発を行った。プリ(データ入力等)・ポスト(グラフィック処理等)の部分については、一般利用者にも利用しやすいユーザーフレンドリーなソフト開発を完了した。また、別途実施した溶湯流動可視化実験による直接観察結果とシミュレーション結果との比較によりソフトを改善し、湯回り不良がなく、ガスや酸化皮膜の巻き込み量が最小となるような最適条件を12時間以内に計算できるシミュレーションソフトとして完成した。



-3 金型の高温制御による低速充填技術の開発

有限会社ティミスが「温度測定カメラ」をダイカスト装置に附設する改造を行った。これとは別に、兵庫県立工業技術センターが、この温度測定カメラを用いて温度分布の実測実験を行い、基本特性の評価実験を行い、スプレー制御に使用可能な特性であることを確認した。また、岩機ダイカスト工業株式会社の試作した流動長試験用の金型により鑄造実験・評価を行った。その結果、注湯直前の金型温度制御範囲： $(400 \sim 450) \pm 20$ 、下限溶湯流速：1m/sという目標条件を確認した。

-1 中子を利用した複雑形状製品の製造技術開発

アクロナイネン株式会社が試作した金型を用いて、和歌山県工業技術センターとの共同により、本ダイカスト

装置による金属製中子を利用した複雑形状鋳物(30mm x 高さ 30mm相当のエンジンピストンを模擬した形状、特に、軽量化のための肉抜き部アンダーカット形状の中子を用いて一体成形)の試作評価を行い、寄木細工のような特殊な構造の金型の動作は、油圧装置により駆動し、微調整を行って、所期の動作を実証するとともに、狙い通りのアンダーカット形状の試作鋳造品(試作サンプル:右写真)を得ることが出来た。また、和歌山県工業技術センターは、砂中子利用時に問題となる溶湯差し込みへの鋳造圧力の影響に関する評価を行うべく基礎実験装置を製作し、特性評価を行った。実験評価の範囲では、崩壊性砂中子を塗型等の表面コーティングを施さない状態で利用することが非常に困難であるとの知見を得た。



-2 高品位・高精密ダイカスト製品の製造技術開発

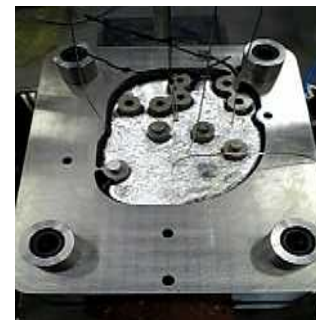
有限会社香川ダイカスト工業所が、本開発のダイカスト装置を用い、自動車部品、デジタルカメラ用部品等に相当する金型を合計4種類試作し、鋳造実験による試作評価を行った。その結果、デジタルカメラ用高精密部品精度: $\pm 5 \mu\text{m}$ 、自動車用耐圧強度部品として、T6熱処理が可能な鋳造品の試作に成功した。(試作サンプル:右写真)



-3 低コスト、高生産性金型製造法の開発

GMB 株式会社が、熔融金属の潜熱利用による冷却構造を有する金型を用いた実験を進め、所期の効果が得られることを実証した。その結論として、自動車のウォーターポンプのような製品の金型作成コストを 20%以上あるいは、製造期間を 30%以上削減出来る金型製造法を開発した。

(試作金型:右下写真)



以上