

システム開発
20-F-7

軽量高強度薄肉鋳造品製造のための
高真空吸引加圧鋳造システムに関する
フィージビリティスタディ
報告書
— 要 旨 —

平成 21 年 3 月

財団法人 機械システム振興協会
委託先 財団法人 素形材センター



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp>



序

わが国経済の安定成長への推進にあたり、機械情報産業をめぐる経済的、社会的諸条件は急速な変化を見せており、社会生活における環境、都市、防災、住宅、福祉、教育等、直面する問題の解決を図るためには技術開発力の強化に加えて、多様化、高度化する社会的ニーズに適応する機械情報システムの研究開発が必要であります。

このような社会情勢の変化に対応するため、財団法人機械システム振興協会では、財団法人JKAから機械工業振興資金の交付を受けて、システム技術開発調査研究事業、システム開発事業、新機械システム普及促進事業を実施しております。

このうち、システム技術開発調査研究事業及びシステム開発事業については、当協会に総合システム調査開発委員会(委員長：東京大学名誉教授 藤正 巖氏)を設置し、同委員会のご指導のもとに推進しております。

本「軽量高強度薄肉鋳造品製造のための高真空吸引加圧鋳造システムに関するフィージビリティスタディ」は、上記事業の一環として、当協会が財団法人素形材センターに委託し、実施した成果をまとめたもので、関係諸分野の皆様方のお役に立てれば幸いです。

平成21年3月

財団法人 機械システム振興協会

はじめに

我が国の製造業は、世界的に経済が激動する中、かつてない不況に直面しております。厳しい雇用情勢、エネルギー・環境・リサイクル問題の重要性の増大等、その環境が厳しさを増す中、情報技術革新への対応、企業の事業再構築、グローバル化等々の動きが加速しており、経済構造改革の推進の重要性が高まっています。

折しも、昨年 9 月に経済産業省は「新経済成長戦略 2008 改訂版」を策定し公表しました。この中で、(1)「資源生産性」の抜本的向上に集中投資して、資源高時代、低炭素社会の勝者になる、(2)製品・サービスの高付加価値化に向けてイノベーションの仕組みを強化するとともに、グローバル化を徹底し、世界市場を獲得するといった二つの基本戦略を打ち出しています。

鋳造業は、主に機械部品供給産業として、我が国製造業の国際的競争力向上に大きな役割を果たしてきましたが、今、資源生産性をさらに進めた技術の向上と市場戦略が求められています。近年、高品質で国際競争力がある軽量高強度鋳造品のニーズが増大してきましたが、これに応える各段の技術開発が求められているといえます。

このような観点に立って、本年度、財団法人素形材センターでは、財団法人機械システム振興協会から「軽量高強度薄肉鋳造品製造のための高真空吸引加圧鋳造システムに関するフィージビリティスタディ」について委託を受け、本テーマを推進するために当センター内に「高真空吸引加圧鋳造システム研究開発委員会(小西邦彦委員長)」を設置し、事業を推進してきました。本報告書は、この開発成果をとりまとめたものです。

ここに、本報告書を作成するにあたり、ご指導・ご援助をいただいた経済産業省および財団法人機械システム振興協会に深く感謝の意を表するとともに、小西委員長をはじめとする委員会委員、再委託機関及び協力者に対し、厚く御礼申し上げます。

本書が関係各方面で十分に活用され、我が国素形材の発展に寄与することを願う次第です。

平成 21 年 3 月

財団法人 素形材センター

目 次

序

はじめに

1 スタディの目的	1
2 スタディの実施体制	2
3 スタディ成果の要約	4
3-1 高真空吸引加圧 casting 装置の開発・製作	4
3.1.1 装置の概要	4
3.1.2 装置の動作	7
3-2 金型及びセラミック型の設計・製作	9
3.2.1 金型の作製	9
3.2.2 黒鉛型の作製	14
3.2.3 セラミック型の作製	15
3-3 casting 実験及び casting 品の評価	16
3.3.1 casting 用合金	16
3.3.2 casting 条件の最適化	16
3.3.3 casting 実験結果	23
3.3.4 casting 品の評価	25
3-4 casting 時の湯流れ直接観察と casting シミュレーション	33
3.4.1 はじめに	33
3.4.2 方法	33
3.4.3 結果	36
3-5 総合的考察	45
3.5.1 本 casting 法の特徴	45
3.5.2 本 casting 法の問題点—ガスの巻き込み機構	46
3.5.3 高強度・高信頼性 casting 品の製造のための改善	49
3-6 スタディ成果(まとめ)	51
4 スタディの今後の課題及び展開	54

1 スタディの目的

(1) 目的

平成 16 年度に財団法人機械システム振興協会（以後「本協会」）から支援を受けて「高強度薄肉ダイカスト品開発のためのダイカスト湯流れ直接観察システムのフィージビリティスタディ」を実施したが、その目的の一つは、「より高度な鑄造技術及びダイカストマシンの開発につなげること」であり、事業終了後も種々の湯流れ観察を継続し、研究した結果、全く新たな鑄造法を考案するに至った。

本フィージビリティスタディは、この考案（特願 2007-98865、国際出願 PCT/JP2007/073637、特許庁 中小企業等特許先行技術調査支援事業の調査で先行技術なしとの報告）とこれまでの研究成果に基づき、清浄な溶湯のみを鑄型空隙部に供給し、ガスの巻き込みや酸化皮膜の生成・巻き込みを最小限にできる省エネルギー型の高真空吸引加圧鑄造装置の設計、試作、評価を実施するものである。これにより、従来のダイカスト品や他の鑄造品より機械的性質のばらつきが極めて少なく、設計強度を格段に大きく設定できる鑄造品を、ダイカストと同等以上の生産性で、かつより低コスト、低エネルギーで製造でき、多品種少量生産にも対応可能な画期的鑄造法の可能性が明らかになる。なお、図 1 に予備的研究によりこの考案の原理で試作した試験片の写真を示す。加圧できない簡易装置であるため、多少凹凸があるが、室温の金型を使用したにもかかわらず従来法では製造が困難な厚さ 0.5mm の部分でも充満しており、さらにポロシティ欠陥のない高品質なものが得られており、本考案の大きな可能性を示している。



材 質：ADC12
金型温度：室温
先端厚さ：0.5mm

図 1 本考案による試験

(2) 必要性

地球温暖化防止、石油資源の枯渇対策、資源の効率的利用等の要求などから、軽量高強度鑄造品の需要が増大している。Al 合金や Mg 合金などの軽合金ダイカスト技術が近年かなり進歩したが、これらの鑄造品の実体強度は、依然として理想的に作成した試験片の数分の 1 以下と低い上に、強度のばらつきが大きい。

このため、これらの鑄造品の設計強度は理想的試験片強度の数分の 1 以下、特に安全性が問題となる場合には 1/10 以下の低い値が使用されている。これは、材料の使用量あるいは製品の重量が数 100% 以上増えることを意味しており、極めて大きな無駄である。

実体強度の低下やばらつきは、これらの合金が酸化しやすく、保持炉中及び注湯時

に湯面に酸化皮膜が生成し製品に巻き込まれ、気孔欠陥や亀裂発生の源となるからである。また、鑄込み時の空気などの巻き込みや凝固収縮による引け巣欠陥も強度を低下させる。従来、前者に着目した研究・開発は少ない。もし、理想的試験片と同等でばらつきのない鑄造品を製造できるようになれば、これは飛躍的な高強度材料を開発したことと同じであり、機械システムの性能を飛躍的に向上させることが可能になる。

一方、現在、日本は薄肉品の生産に適したダイカスト技術において比較優位性があるが、近年中国等のアジア諸国における素形材産業の競争力の向上に対応し、我が国素形材産業と機械産業の競争力を維持するための技術力格差の維持向上を図っていくことが極めて重要となっている。さらに地球温暖化防止のために省エネルギーが必要である。

本事業開発は、これらに極めて大きな貢献をすることができる。

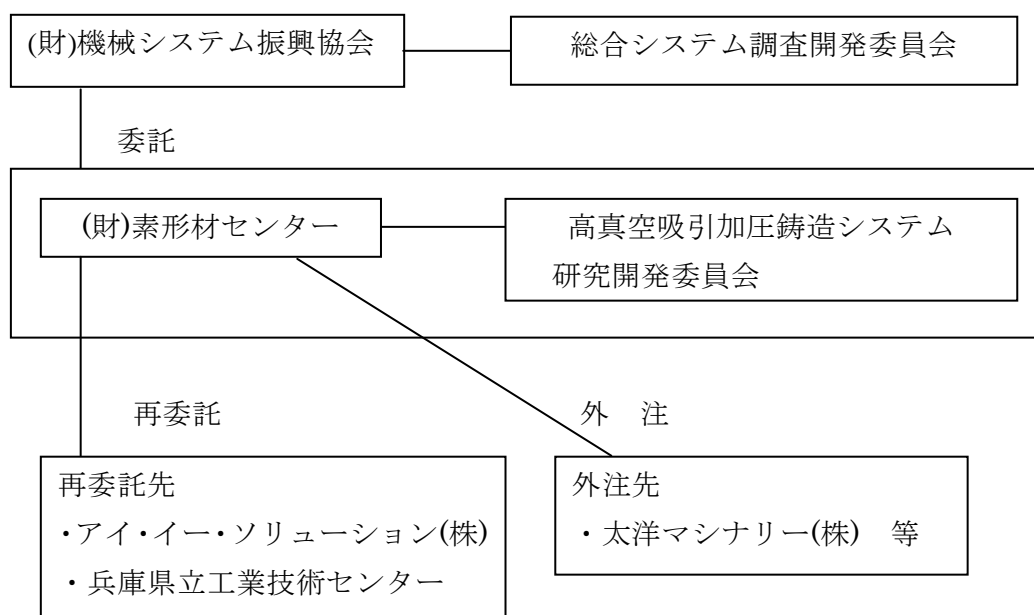
2 スタディの実施体制

(1) 実施体制(委員会の設置等)

本スタディは、(財)機械システム振興協会より(財)素形材センターが委託を受け、実施した。なお、(財)機械システム振興協会内に「総合システム調査開発委員会(詳細は「(3)委員会構成」の①の通り)」を設置し、同委員会指導のもと、(財)素形材センターがスタディを推進した。

さらに、(財)素形材センター内に学識経験者、ダイカスト企業の専門技術者等からなる高真空吸引加圧鑄造システム研究開発委員会を設置し、計画の立案、検討審議及び結果の評価等を行い、その決定に基づき事業を推進し、この活動から得られた成果を報告書にまとめた。

なお、具体的なスタディの遂行は、素形材センター及び再委託先であるアイ・イー・ソリューション(株)等がテーマを分担し実施した。



(2) 委員会構成

「(1)実施体制」に示した、総合システム調査開発委員会及び高真空吸引加圧鋳造システム研究開発委員会の委員構成は、以下の通りである。

① 総合システム調査開発委員会（順不同・敬称略）

委員長	藤正 巖	東京大学名誉教授
委員	太田 公廣	埼玉大学総合研究機構 教授
〃	金丸 正剛	独立行政法人産業技術総合研究所 エレクトロニクス研究部門 研究部門長
〃	志村 洋文	独立行政法人産業技術総合研究所 デジタルものづくり研究センター 招聘研究員
〃	中島 一郎	東北大学大学院工学研究科 教授
〃	廣田 薫	東京工業大学大学院総合理工学研究科 教授
〃	藤岡 健彦	東京大学大学院工学系研究科 准教授
〃	大和 裕幸	東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授

② 高真空吸引加圧鋳造システム研究開発委員会

委員長	小西 邦彦	小西技術事務所 代表
委員	桑名 紀文	株式会社双立 取締役会長
〃	谷 義紀	株式会社クボタ 水・環境・インフラ事業本部 統括部・担当部長
〃	中林 正興	日本ルツボ株式会社技術生産本部 技術開発部長
オブザーバ	阿部 容久	経済産業省製造産業局素形材産業室 課長補佐
〃	大中 逸雄	アイ・イー・ソリューション株式会社 代表取締役
〃	杉山 明	アイ・イー・ソリューション株式会社 開発部長
〃	柏井 茂雄	兵庫県立工業技術センター 材料技術部部長
〃	米北 洋一	太洋マシナリー株式会社 専務取締役
〃	高道 博	太洋マシナリー株式会社技術企画グループ 課長
〃	小林 繁	堺エンジニアリング株式会社 代表取締役社長
事務局	板谷 憲次	財団法人素形材センター 専務理事
〃	笹谷 純子	財団法人素形材センター 技術部長
〃	田邊 秀一	財団法人素形材センター技術部 技術課長

3 スタディ成果の要約

3-1 高真空吸引加圧鑄造装置の開発・製作

3.1.1 装置の概要

高真空吸引加圧鑄造装置の基本設計を行い、本装置設計上のポイントとなる鑄型空隙部を高真空にするための溶湯遮断部のシール性や可動負荷を評価・計測しながら、耐久性シール板及びその保持板の材質、形状、寸法精度、金型移動及び鑄物の取出し機構、加圧機構などについて詳細設計を実施し、図 1-1 に示すような装置を開発することとした。

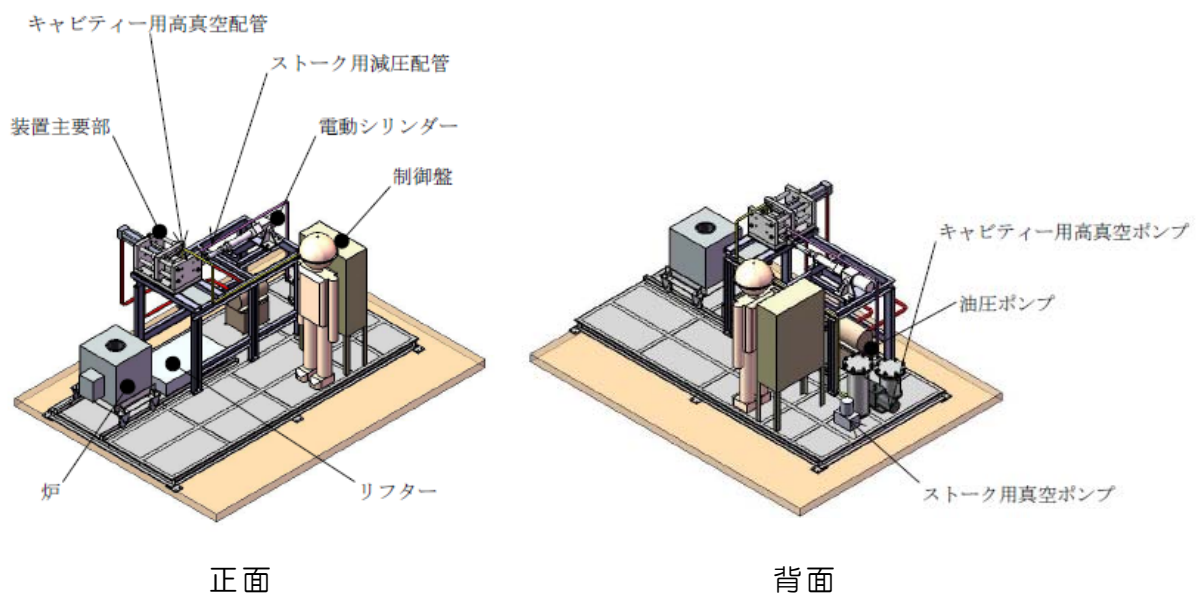


図 1-1 高真空吸引加圧鑄造装置の外観図

本開発装置の最大の特徴はシール板を利用した高真空吸引注湯方式であり、次の鑄造工程を実現する機構となっている。図 1-2 にシール板の動作を示す。

- (1) アルミニウム合金を坩堝炉で溶解する。
- (2) 坩堝炉を装置本体位置まで移動後、上昇させ、ストックをアルミニウム溶湯内に挿入する。
- (3) シール板に設置してあるストック内減圧配管によりアルミニウム溶湯を吸引し、トラップに溶湯表面の不純物を集める(図 1-2(a))。
- (4) この間に金型に設置してある金型内真空配管により、金型内を減圧する。
- (5) シール板を移動して金型とストックを連絡し、金型内に溶湯を吸引する(図 1-2(b))。
- (6) 更にシール板を移動して、金型とストックを遮断して注湯を完了する(図

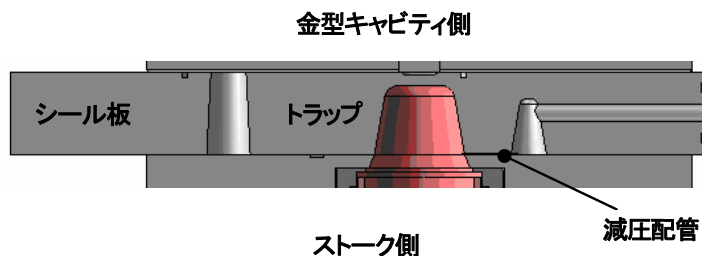
1-2(c))。

(7)必要に応じて金型内に加圧を加え、製品を加圧する。

(8)金型締め付け油圧シリンダーを移動して、製品を取り出す。

(9)(3)から(8)までの繰り返しを行う。

(a)初期



(b)シール板移動



(c)シール板移動完了

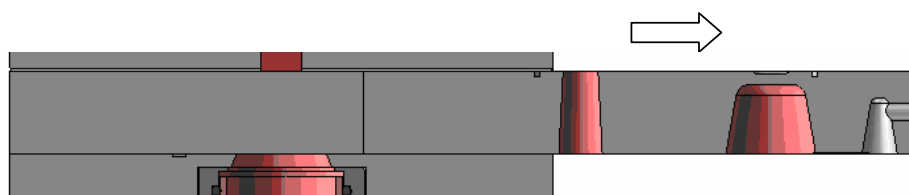


図 1-2 シール板の動作

開発装置の仕様は表 1-1 の通りである。

表 1-1 高真空吸引加圧鋳造装置の仕様

項目	仕様
金型内真空度	1kPa
ストック内減圧度	大気圧～-80kPa に設定可能
溶解量	18kg(製品 500g のものを 10 回鋳造可能)
型締め力	4000kg
取付可能金型最大寸法	200mm 幅×200mm 高さ×150～200mm 奥行
金型最大移動量	200mm
サイクルタイム	3 分
金型内加圧力	100kg

図 1-1 に示すように製作した装置は①基礎と架台、②型締め部、③シール板部、④真空装置、⑤炉、⑥リフタ、⑦加圧装置、⑧制御盤、⑨測定装置で構成されている。図 1-3 に製作した高真空吸引加圧鑄造装置を示す。



図 1-3 高真空吸引加圧鑄造装置の外観写真

基礎と架台に装置各部が組み込まれている。基礎部に架台や炉を移動させるためのレールが取り付けられている。また油圧ポンプや、金型キャビティ用高真空ポンプ、ストーク用真空ポンプ、制御盤などが設置されている。

型締め部は金型を開閉する装置で、 $200 \times 200 \text{mm}$ の金型が取り付け可能である。型締めは油圧シリンダーで行い、金型押し付け力は 4 トン、ストロークは 200 mm である。溶湯は最大 10 気圧まで加圧することが可能である。

シール板部は溶湯の表面不純物を除去した後、溶湯を金型に通すための重要装置である。本装置はラピッドプロトタイプモデルなどで試作し、数案を比較検討して構造を決定した。ブロック状のシール板ホルダに直方体のシール板が組み込まれている。シール板は電動シリンダーで駆動される。能力は 500kg で、速度は 60mm/秒である。インバータにより速度は可変できるようになっている。シール板ホルダ下部にはストークがストーク取り付け部品により取り付けられている。この部分で湯がつまる、また空気が漏れるなどの問題があり、4 回構造を変更した。

真空装置は金型キャビティ用高真空ポンプとその配管系及びストーク用真空ポンプとその配管系の 2 系統で構成されている。金型キャビティ用高真空は高真空ポンプ、タンク、配管系で構成されており、配管先端での到達真空度は 50Pa である。ストーク用真空は真空ポンプ、タンク、レギュレータとその配管系で構成されている。レギュレータに 0 から 5V の電圧を入力することで、減圧度を大気圧から -90kPa まで制御可能である。

炉は炉内径が $\phi 300 \text{mm}$ 、高さが 400mmH で最大使用温度が 900°C 、 $3\text{kW} \times 200\text{V}$

の発熱能力がある。炉に入れることのできるるつぼは最大 10kg まで溶解可能である。リフタは炉を持ち上げるためのもので、200kg までの積載が可能である。炉をリフタ位置まで移動後、リフタで炉を持ち上げ、ストーク先端に浸すことで、ストーク中に湯を入れることができる。

加圧装置は油圧で金型湯溜り部を押すための装置である。今回は湯が完全に充填するまでに到らなかったため使用しなかった。制御盤は油圧、真空ポンプなどの電源などのほか、装置動作の各種設定と手動、自動運転の切り替えと運転を行うことができる。設定できるのはストーク真空調節用レギュレータ圧力、シール板移動開始時間、シール板速度などである。

装置の性能を調べるために、シール板の動きを測定用ロードセル、変位計、及び、真空度を調べるための高真空計と真空計を用いた。

3.1.2 装置の動作

図 1-4 に装置の動作を示す。アルミニウムを溶かした炉をリフタの位置まで移動し、炉をリフタで持ち上げることで、溶湯をストーク下部に浸す。続いて、ストーク用真空ポンプを起動することで、ストーク内を減圧し、溶湯を装置のシール板部まで持ち上げる。

シール板部にはトラップが設置されており、ここで溶湯表面の不純物が捕捉する。続いてシール板を移動してシール板に設置してある貫通穴をストークと金型の湯口とを貫通することで、溶湯を金型内に入れる。金型内は事前に金型キャビティ用高真空ポンプで約 1kPa の真空状態に保持されているので、清浄な溶湯を真空状態の金型内に入れることができる。

前項図 1-2 に示したように、続いて更にシール板を移動し、ストーク内を大気に開放することで、溶湯を炉に戻す。なお、シール板は移動開始時間、速度などが自動運転可能である。金型を開いて製品を取り出す。またシール板のトラップと貫通穴に残った残渣物を取り除く。金型に離型剤を塗布し、金型を締め、シール板を初期の位置に戻す。この状態でシール板を移動すると、次のショットが可能となる。サイクルタイムは約 3 分である。

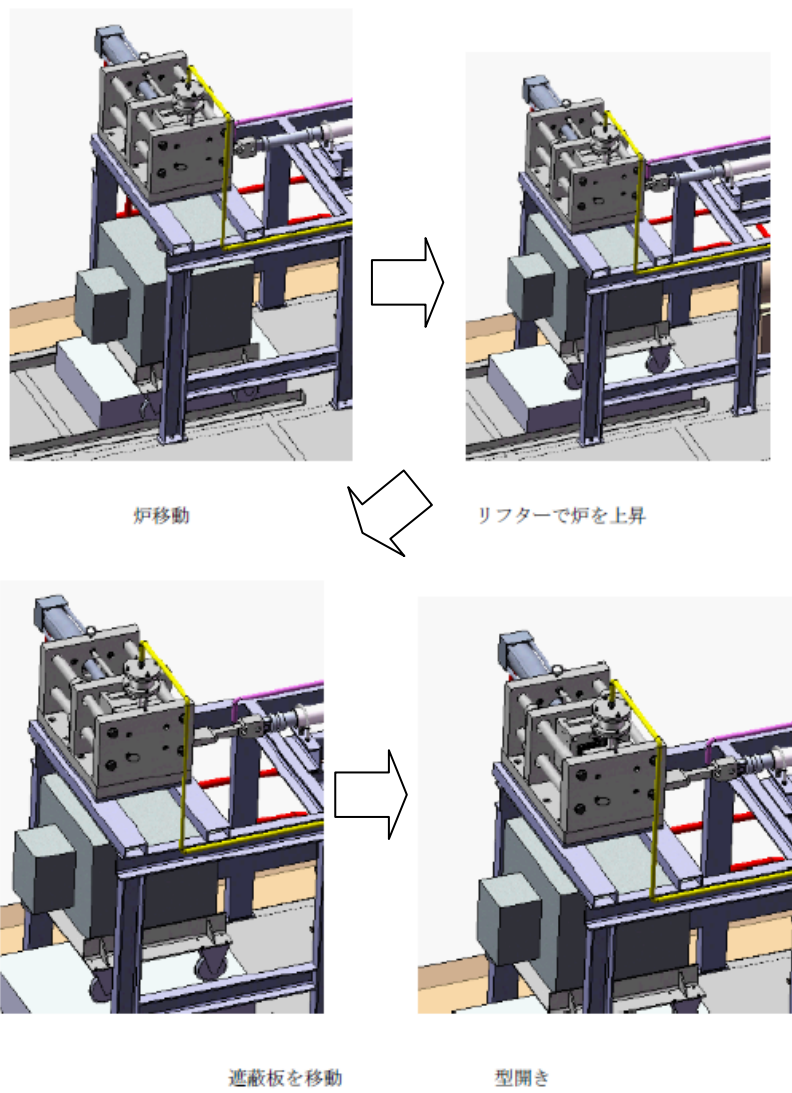


図 1-4 装置の主な動作

3-2 金型及びセラミック型の設計・製作

3.2.1 金型の作製

実験に使用した金型は①湯流れ試験金型(図 2-1、図 2-2)、②引張試験金型(図 2-3、図 2-4)、③矩形平板金型(図 2-5、2-6)、及び④実部品モデル金型(図 2-7、2-8)の 4 型である。

湯流れ金型は、実験条件と湯流れとの関係を調べるのが目的で作成した。幅 5mm、深さ 2mm、長さ 1400mm の溝を金型内にツヅラ折に配置し、下端から湯を入れ、先端部を高真空吸引する構造である。

引張試験金型は、引張試験片を 4 枚採取する目的で作成した。全長が 120mm で、試験部は幅 12.5mm、長さが 60mm である。試験片厚さは 2mm と 4 mm の各 2 枚である。下側から溶湯を入れ、4 枚の試験片に溶湯を通して、上側の湯たまりから吸引する構造である。溶湯が半凝固状態で加圧できるよう、湯たまり部に加圧用ピンを 2 箇所設置した。

矩形平板金型は、溶湯の充填状況観察と引張試験片を採取するのが目的で作製した。引張試験金型で作成した試験片は、金型下の湯道と上側の湯たまりで拘束されるため、中央部で破断されているものが多くて、引張試験ができず、平板から試験片を作成することにした。下側から湯を入れ、扇状に広げ、幅 100mm×長さ 100mm×厚さ 3 mm の試験片採取部に溶湯を入れ、上側に湯たまりがある構造である。本金型にも湯たまり部を加圧できるようにした。

鑄造実験によって、扇形部から試験片採取部に入る角部に溶湯が充填しないことがわかった。シミュレーション結果から、この箇所は最終充填場所であると推定されたので、この箇所の周りを土手で囲み、最終充填場所付近に深さ 0.2mm の空気通路を設けた。これにより試験片採取部の長さは 100mm から 63 mm になった。さらに囲んだ部分に吸引通路を高真空吸引口まで設置してこの部分から吸引可能とした。

実部品モデル金型を作製した。この金型から得られる製品は農機具用ホースの継ぎ手用部品を模したのもので、大きさは外径 ϕ 30mm×高さ 20mm のツバ付き円筒状のものである。下側から溶湯を製品部に入れる方案である。3 箇所の深さ 0.2mm の溝を通じて、製品部周辺に設置した吸引通路から高真空吸引できるようにした。製品の外表面全体から吸引できるよう、発泡金属で作成した型を固定金型に埋め込み、金型内に設置した通路を通じて、高真空吸引できるようにした。

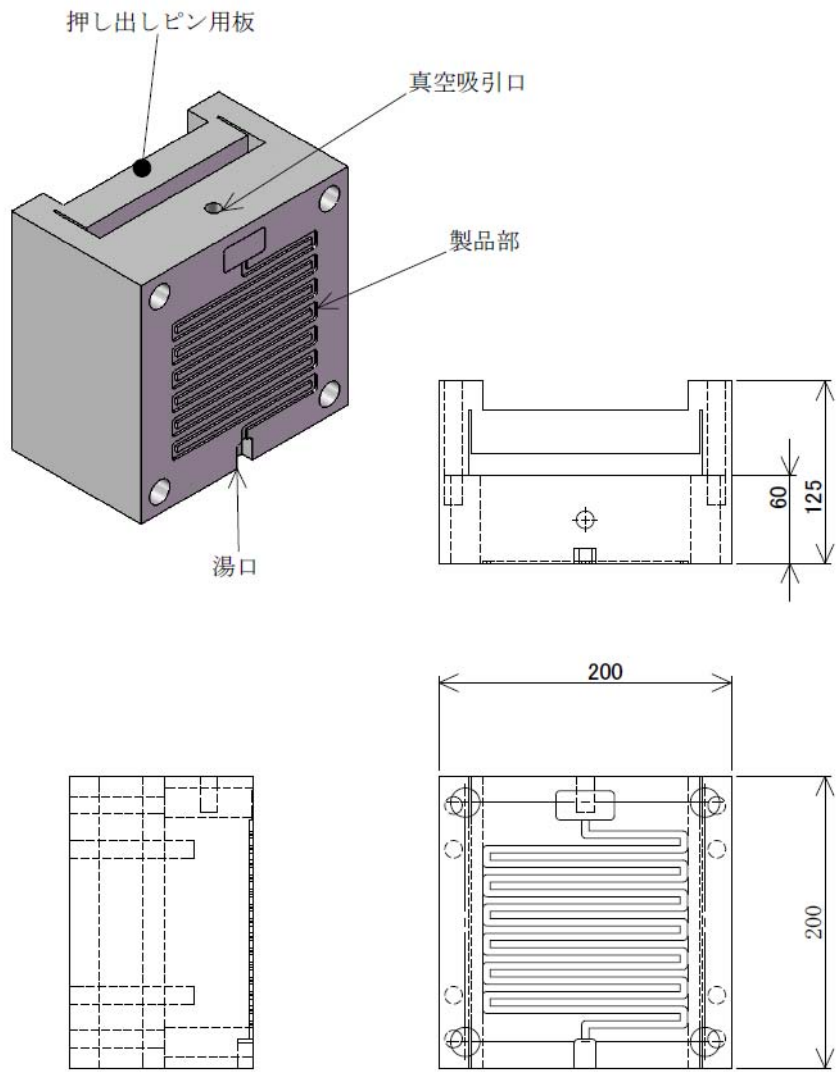


図 2-1 湯流れ試験金型形状



図 2-2 湯流れ試験金型

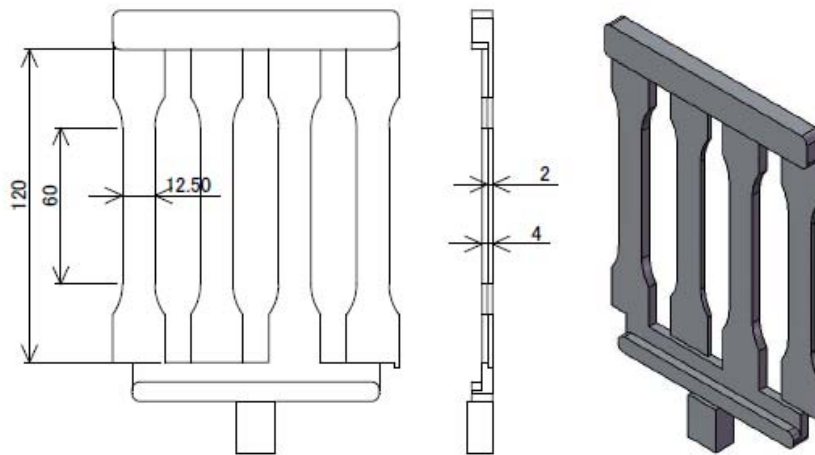
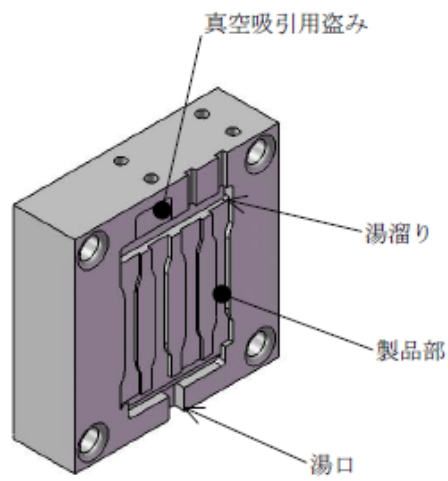


图 2-3 引張試験金型形状



图 2-4 引張試験金型

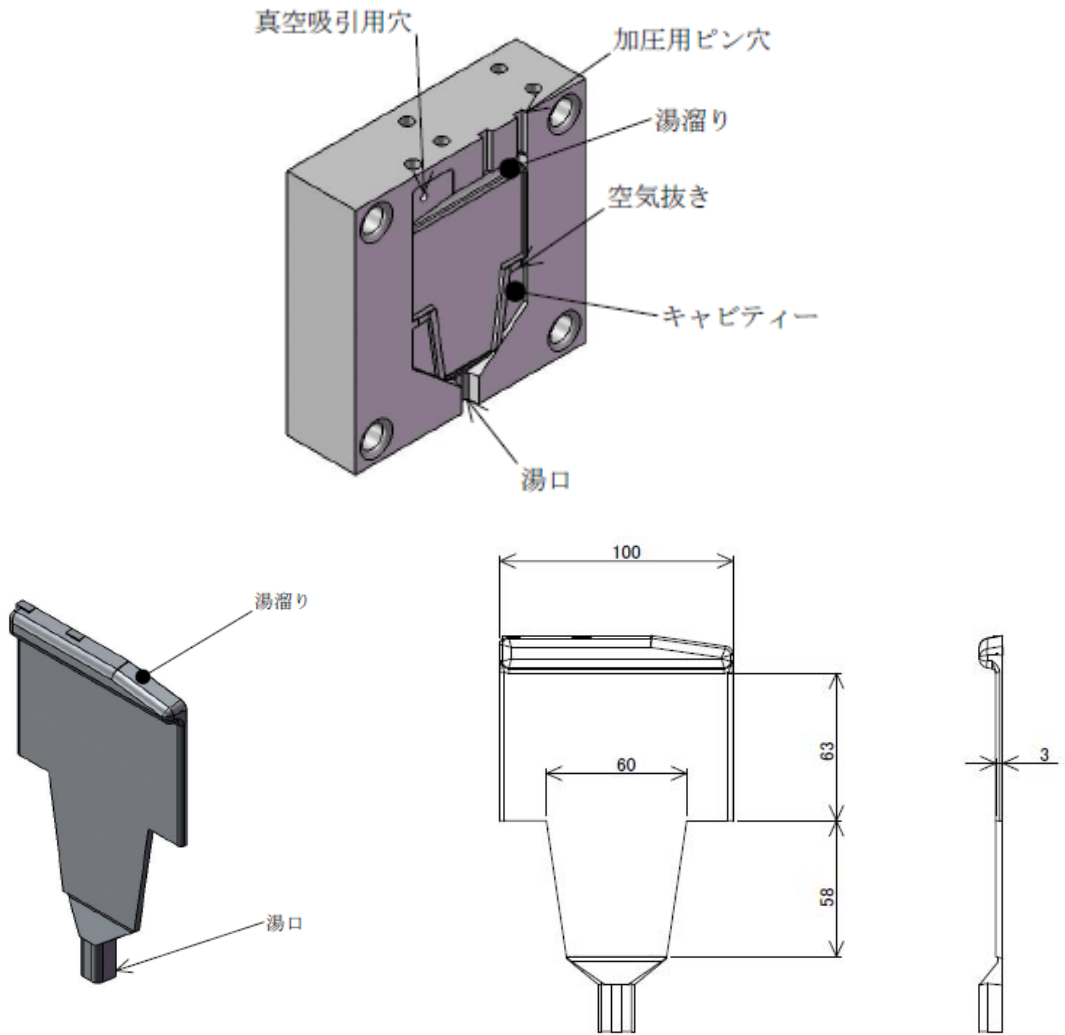


図 2-5 矩形平板金型形状



図 2-6 矩形平板金型

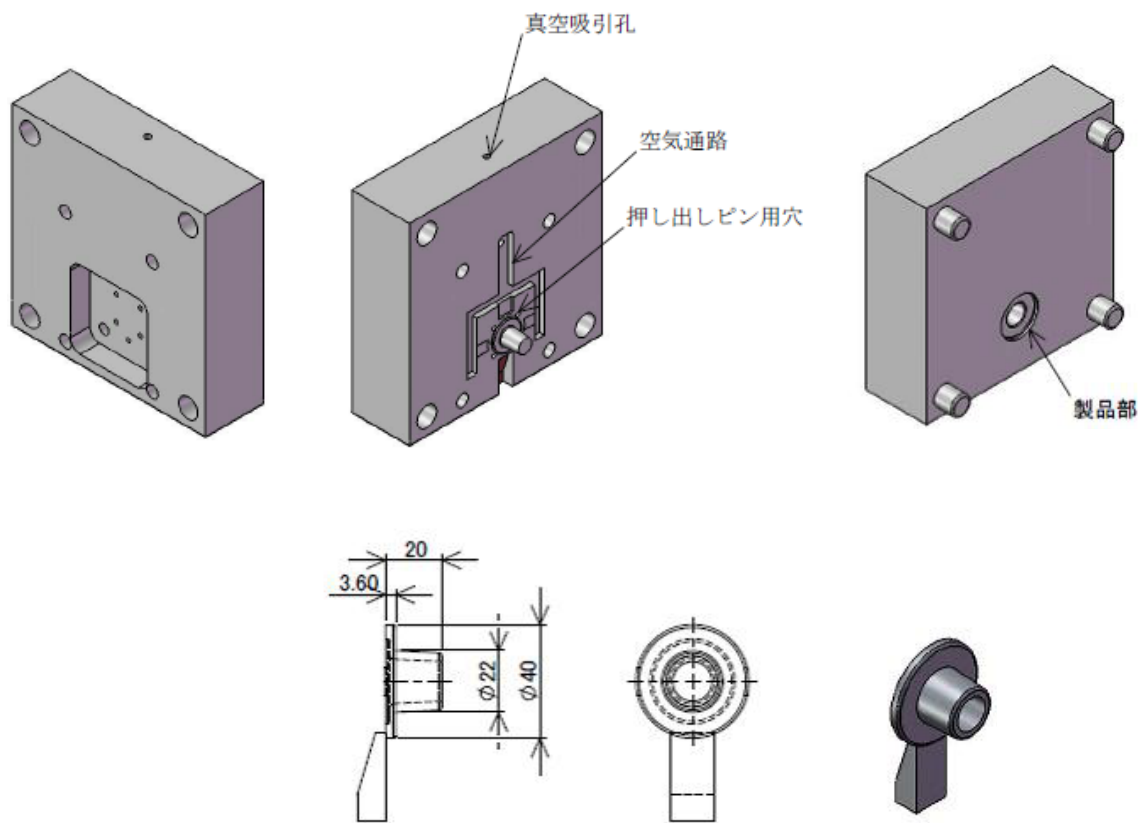


図 2-7 実部品モデル金型形状



図 2-8 実部品モデル金型

3.2.2 黒鉛型の作製

本スタディで製作した金型は、X線を透過しないので直接観察には使用できない。そこで、図 2-9 及び図 2-10 に示すような黒鉛製の鋳型を使用した。

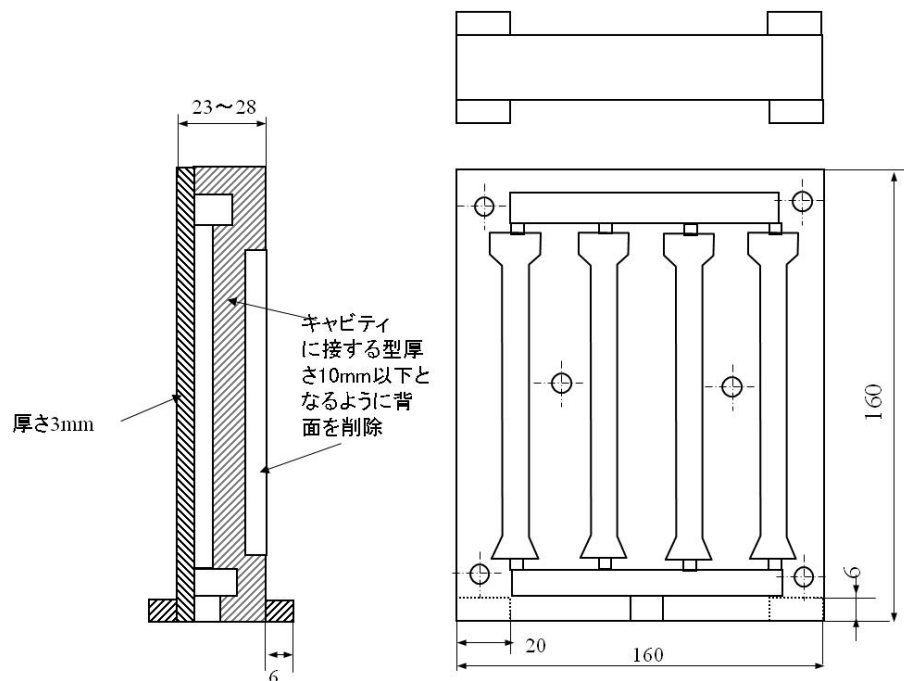


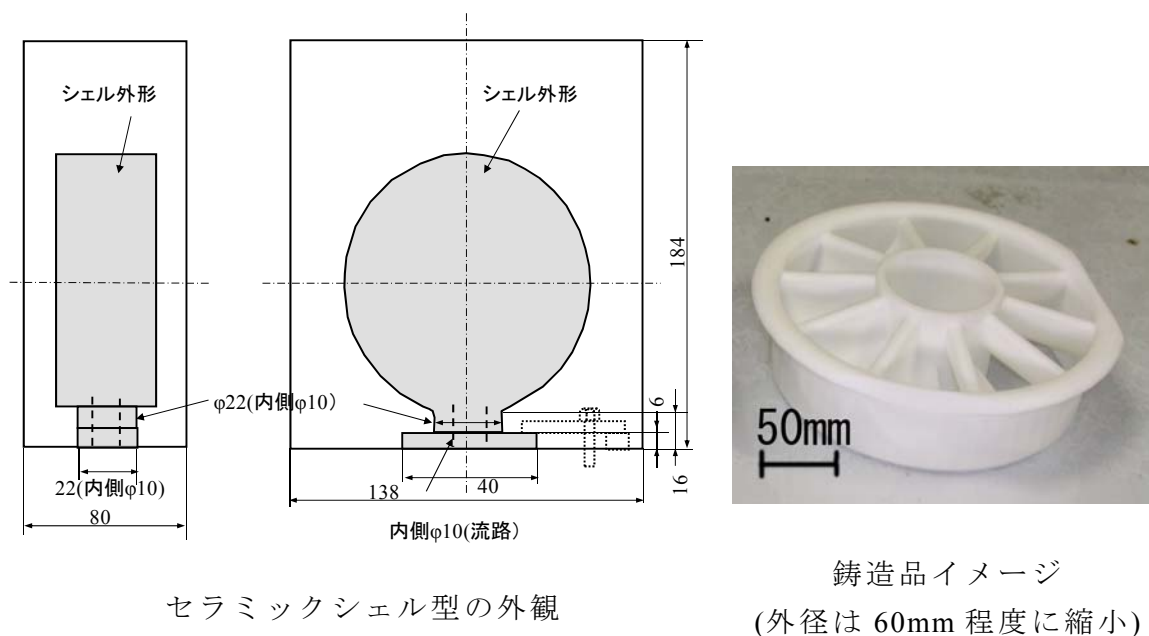
図 2-9 黒鉛型形状



図 2-10 黒鉛型

3.2.3 セラミック型の作製

多品種少量生産への応用や金型では、生産困難な複雑形状品への適用可能性を調べるためロストワックス法により、羽根車部品を模した図 2-11 及び図 2-12 に示すセラミック型を製作した。



セラミックシェル型の外観

鋳造品イメージ
(外径は 60mm 程度に縮小)

図 2-11 セラミック型形状



図 2-12 セラミック型

3-3 鑄造実験及び鑄造品の評価

3.3.1 鑄造用合金

鑄造条件の最適化に関しては、入手しやすいダイカスト用合金 ADC12 を主に使用した。また、機械的性質等の評価に関しては、ダイカストでは鑄造性が悪くあまり使用されない鑄物用合金 AC4CH を選択し入手した。本合金に決定した理由は、本合金に関して機械的試験や熱処理などについて従来多くの研究があるため、比較しやすく機械的性質が優れており、自動車用車輪・架線金具・航空機用エンジン部品及び油圧部品など高級鑄物に用いられているので、評価結果が今後の実用化にも役に立つと予想されるからである。なお、合金組成は表 3-1 の通りで、今回の材料は、より引張強さ、伸びともにより高純度の方が優れるという知見に基づき、より高純度のものを使用することとした。また図 3-1 に高純度材 T6 処理後の機械的性質を示す。

表 3-1 供試材の化学成分(単位：%)

AC4CH	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Ti	Ni	Sn	Al
供試材	7.0	0.12	0	0.01	0.45	0	0.02	0	0.12	0	0	残部
JIS 規格	6.5 ～ 7.5	0.20 以下	0.10 以下	0.10 以下	0.25 ～ 0.45	0.05 以下	0.10 以下	0.05 以下	0.20 以下	0.05 以下	0.05 以下	残部

3.3.2 鑄造条件の最適化

(1) 初期の実験

主に、平板試験片で、ADC12 を使用して、シール板によるストークと鑄型空隙部の溶湯遮断解除のタイミング、鑄型空隙部への溶湯吸引後のシール板によるストークとの遮断タイミング、遮断後の溶湯加圧圧力とそのタイミング、鑄型空隙部の真空度、ストークの減圧速度等を変化させた鑄造実験を実施した。

鑄造条件としては、以下が考えられる。

- a) ストーク減圧用真空ポンプの設定圧力
- b) 吸引開始時間からシール板駆動開始までの時間
- c) シール板駆動速度
- d) 貫通穴（開口部）がストーク部に存在する時間
- e) 鑄型空隙部の真空度

なお、e)は鑄造条件として重要であり、真空度が高いほど望ましいという考

えから、最高到達真空度(1~5kPa)で実験した。一定値ではないのは、金型やシール板の組み立て状況により気密性が変化して最高到達真空度も変化するためである。

これらの条件を変化させ種々実験したが、第1章で述べたように初期には溶湯がなかなか鑄型に入らず、苦労した。この原因は、前述のようなストーク取付け部の気密性が悪いのが最大の原因であった。しかし、気密性を改善しても(最終的なものではないが)、図 3-1 に示すような充満状況であった。ここで、興味深いのは、トラップに残留していた凝固物と開口部の凝固物の形態である(図 3-2、図 3-3)。

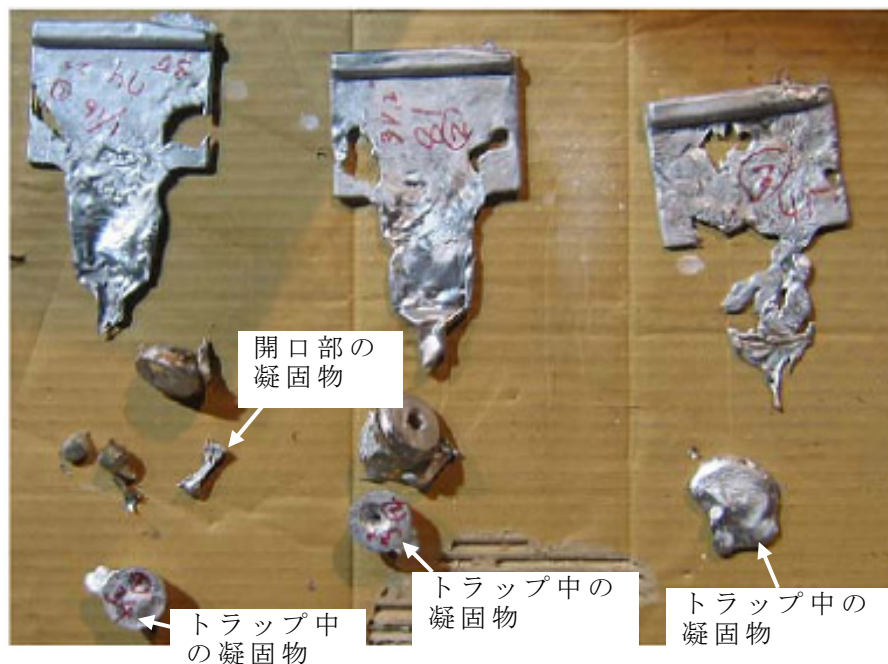


図 3-1 初期の実験結果(鑄造合金 AC4CH)

設計では、トラップには汚れた湯面の溶湯が充満して残留すると想定していたが、実験では、図 3-2 に示すように、場合によっては(a) に示すようにかなり少ないことがあり、この場合には鑄型への充満率も低いことがわかった。また、これらの凝固物の表面は汚いことが多く、湯面の酸化物等の除去に役立っていると考えられる。

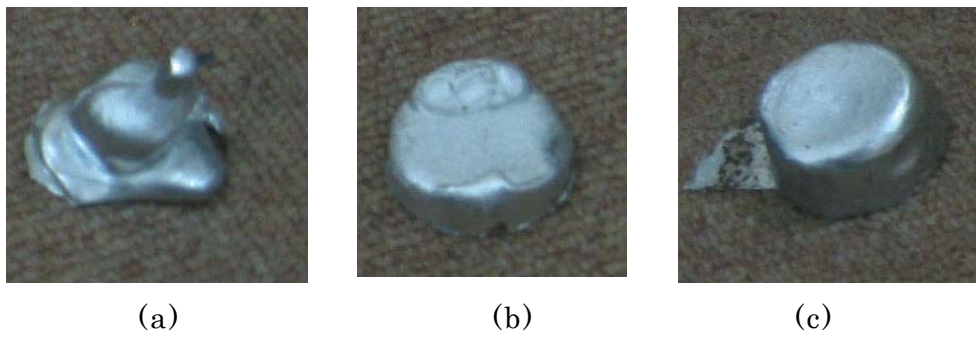


図 3-2 トラップに残留した凝固物



図 3-3 開口部に残留した凝固物

トラップに溶湯が充満しない理由としては、以下の通りと考えられる。図 3-4 に示すように、ストークを減圧する減圧溝は、シール板の下部に設けられており、湯面が上昇して、減圧溝に流入すると、それ以上は減圧されない。従って、湯面の上昇もシール板の下端付近で停止し、トラップには流入しないことになる。

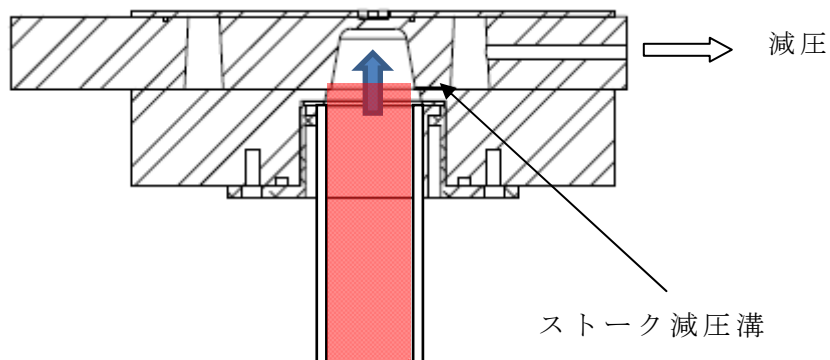


図 3-4 トラップへの溶湯流入

しかし、ある程度減圧速度が速く、溶湯の上昇速度が速ければ溶湯の慣性により、流入するのであろう。

次に、図 3-3 に示すように開口部の凝固物が、開口部の形状ではなく、興味深い形状となっていたのは、図 3-5 に示すように、鑄型充填時間が短く、開口部が、ストーク上面に多少でも入るとその狭い隙間から溶湯が吸引されたことと、開口部にはガスが存在していたことが考えられる。

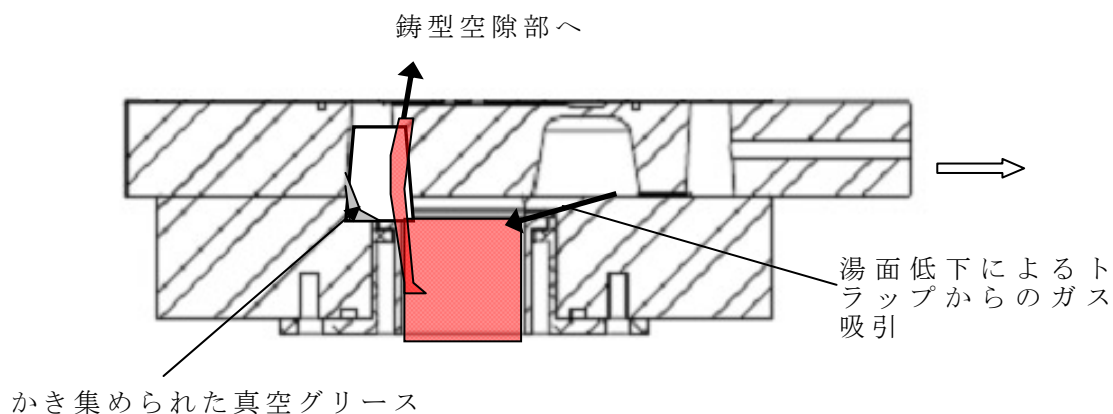


図 3-5 開口部からの溶湯吸引とガス

開口部にガスが存在する理由は、シール板とシール板支持盤の間隙からのガス吸引、ストーク湯面上部のガス吸引の他に開口部に真空グリースがかき集められアルミニウム溶湯からの加熱でガス化したことが考えられる。

ここで、特にストーク中の湯面上部にガスが存在するとそのガスは溶湯と共に鑄型に吸引され欠陥となるし、鑄型空隙部の圧力を上げ、空隙部が溶湯で充填されない内に、吸引力がなくなってしまう。従って、湯面のガスがない状況を作り出す必要がある。

そこで、図 3-6 に示すようにストークの下端を密閉し、ストーク内の圧力変化を種々の条件で測定した。その結果を図 3-7 に示す。

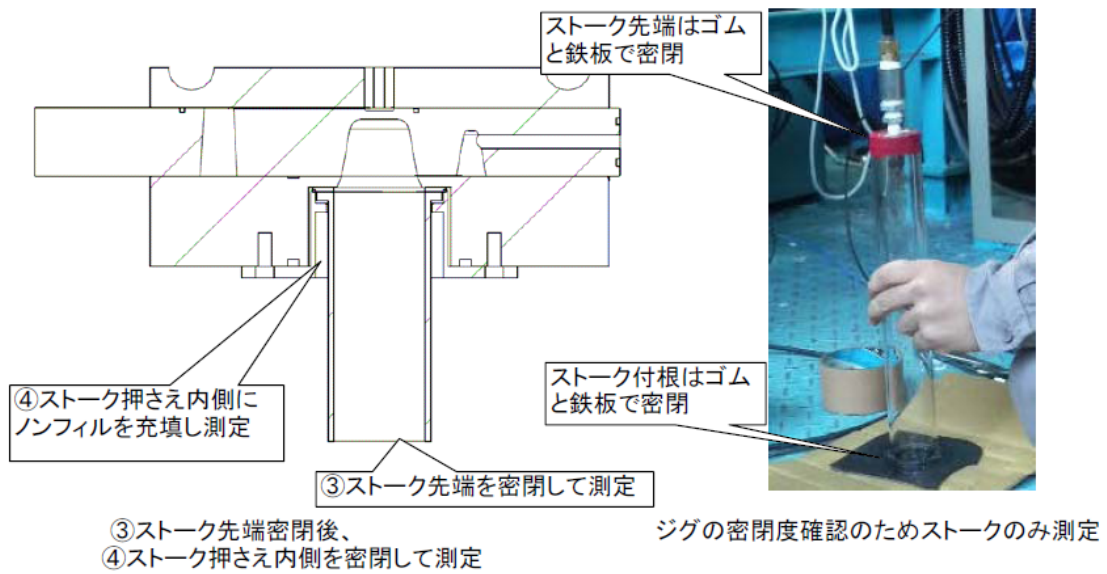


図 3-6 ストーク内の圧力変化測定方法

遮蔽板を手動で移動したときの金型真空度、ストーク配管真空度の変化
(設定電圧は1.5V)

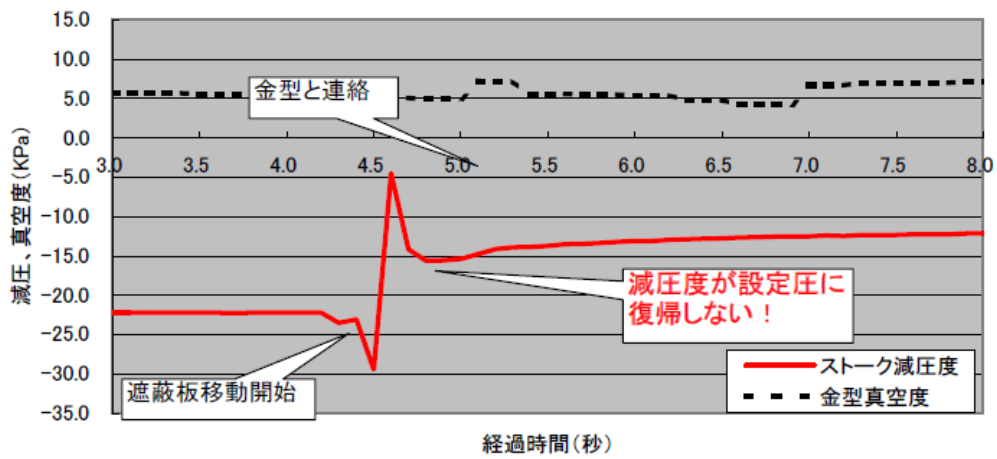


図 3-7(1) ストーク中の圧力変化 (気密度不良)

遮蔽板を自動で移動したときの金型真空度、ストーク真空度の変化(遮蔽板移動開始時間は1.5秒)

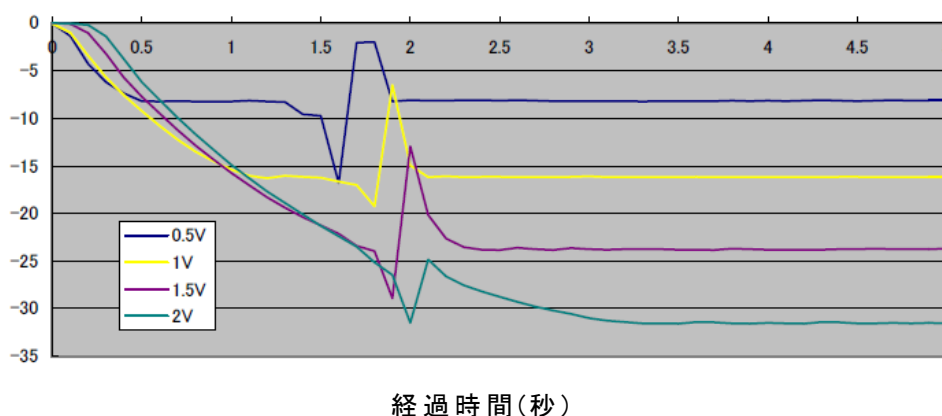


図 3-7(2) ストーク中の圧力変化(気密度良好)

図 3-7(1)は気密度が悪い場合、図 3-7(2)は改善した場合である。いずれの場合もシール板(溶湯遮断板)を移動開始直後に真空度がいったん良くなった後、急激に低下し、気密性が悪いと圧力は回復しなかったが、機密性を改善した場合には回復している。真空度が上がるのは、高真空に減圧している開口部がストーク上部に近づき、吸引されるためであろう。しかし、その後の一時的真空度低下は不可解であり、ストーク取付け部からのガス放出の可能性もある(ガス発生の可能性のある充填物を使用している)。また、シール板が移動することで、シール板と周囲の構造物の隙間が大きくなり、気密性が低下すると仮定すると、移動開始直後の真空度上昇が理解困難である。

いずれにしても、シール板が移動するとストーク内の圧力は、上昇するので、溶湯が存在すると湯面にガス(空気)が流入することになり、鋳型内に巻き込まれる。

(2) 鋳型形状と鋳造方案

図 3-8 に初期に実施した試験片の外観写真を示す。TP-0、TP-1 は初期に設計した金型鋳造したもので、TP-1 ではほぼ充満している。しかし、なぜかこの後、このように充満率の高いものが得られなかった(TP-2)。そこで、鋳型形状を変更し、切り欠いた部分からも減圧吸引できるように変更した(図 2-6 の金型使用)。TP-5 はその中でも比較的良い試験片である。

いずれにしても、まだ湯回りが十分ではないが、本鋳造法においても、他の鋳造法と同様に鋳造方案によって品質が変わることがわかる。



図 3-8 比較的初期に得られた鑄造試験片の外観

(3) 鑄造条件の設定

① 鑄型空隙部真空度

前述のように鑄型空隙部真空度は、なるべく高い方が良くということで、1～5kPa とした。一定値でないのは、鑄型のセット毎に多少最高到達圧力が変化したためである。なお、最も条件の良い場合には 1kPa 以下も実現できている。

② ストック内の減圧度

溶湯がシール板まで上昇するのに必要なヘッド差が基本となる。しかし、このヘッドではシール板近傍での上昇速度は極めて小さくなるので、有る程度それより大きくする必要があるのである。そこで、真空ポンプのスイッチを入れた後、ある圧力になったと予想される時刻にシール板を移動させることとした。

③ シール板の移動

当初は、移動、停止、移動というシール板の駆動工程を想定していたが、停止時間を 1、2 秒としてもあまり良い結果が得られなかった。そこで、後述のシミュレーションの結果、充填時間は 1 秒以下の非常に短い時間で、シール板を停止している余裕はないことがわかった。すなわち、ストックの移動開始時間、移動速度、停止時間が鑄造条件となる。

ストック減圧開始時刻からシール板移動開始時刻までの時間(以後「移動開始時間」)は重要で、ストック減圧度とも関係することがわかった。また、速度も重要であることがわかった。溶湯加圧については、設備的には問題なかったが、溶湯の充填度が想定以上に不十分であったため、溶湯を加圧するには加圧ピストンの断面積及びストロークが不足しており、その効果を確認できなかった。さらに、塗型剤についても数種類検討し、粉末塗型が良さそうだということはいわかったが、今回は費用、納期等の制約から窒化ボロン(BN)系の塗型とした。

この他、金型方案も重要であることがわかった。このような検討・改良に伴うガス巻き込み状態の変化を後述の図 3-21 に示す。ステップ 2 では、ステップ

1 から湯口左右の部分をカットし鑄物を T 字形状に変更、さらにカットした部分からも減圧を行った。次にステップ 3 では、スライドするシール板を改良することにより、気密性を高めた。更にステップ 4 では、ストーク上部に残存していた空気の排除、O リングの利用によるストーク取付け部の気密性向上などの工夫を行った。さらに、これらの改良より、巻き込みが減少していることが X 線透過観察により確認できた。

一方、本試験装置ではないが、後述の可視化用に改造した装置で得られた、試験片の外観写真(4 項の図 4-4)では、本試験装置で得られたものより、外観及び X 線観察では優れたものが得られている。可視化用装置の原理は本試験装置と同じであるが、鑄型内部のみの減圧ではなく、鑄型を真空ボックスに入れ、ボックス内部を減圧する点と通気性のある黒鉛鑄型を使用している点及び約 70% 程度の小型装置である点が異なっている。

3.3.3 鑄造実験結果

上記のような検討により、上記の板状試験片型以外で鑄造した結果を以下に示す。

(1) 引張試験片型を用いた鑄造実験結果

図 3-9 に鑄造試作品の外観を示す。当初計画では、無加工で機械試験を実施する予定であったが、試験に耐えられる鑄物が作れなかった。

(2) 湯流れ試験型を用いた鑄造実験結果

図 3-10 に鑄造試作品の外観を示す。予想外に湯周り長さが短い。厚さ 0.5mm でもかなりの距離に流れる場合もあり、鑄造方案によってかなり流動長が変化するのかもしれない。

(3) 実部品モデル型を用いた鑄造実験結果

図 3-11 に鑄造試作品の外観を示す。一応、形はできているが、表面はダイカスト品のような光沢はみられない。これは、加圧をしていないため、鑄造品と鑄型との間にガスギャップが生じているためかも知れない。今後、加圧できるように金型を変更すれば、鑄造品の表面性情はかなり改善されると予想される。

(4) セラミック型

図 3-12 に鑄造試作品の外観を示す。実験条件は真空ボックス(シェル内の圧力とほぼ同じ)の圧力が約 -80MPa であった。なお、この実験は、3-4 項に記載する図 4-1~4-3 に示す可視化実験装置に真空ボックスに入れて鑄造したものである。

シェルが硬く羽根部分の除去がまだ除去できていないが、図 3-13 ように X

線観察の結果からは鋳物になっており、シェルを除去した部分の外観はかなり良く、シェルの肌が良い転写されている。



図 3-9 引張試験片型で試作した鋳物



図 3-10 湯流れ試験型で試作した鋳物



図 3-11 実部品モデル型で試作した鋳物



図 3-12 セラミック型で試作した鋳物(外観)

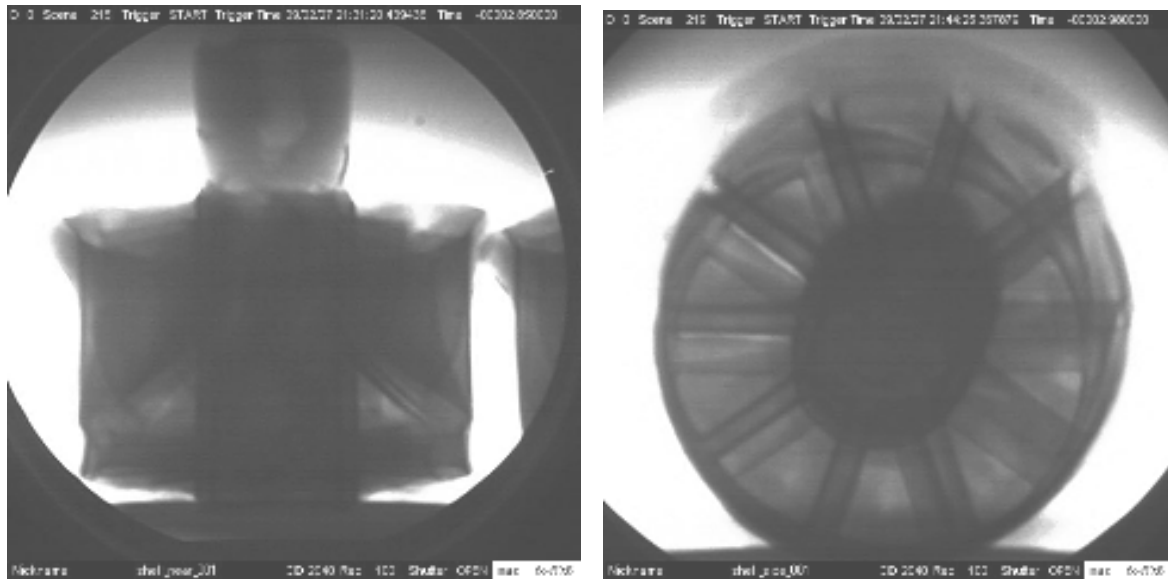


図 3-13 セラミック型でした鋳物(X線観察の結果)

3.3.4 鋳造品の評価

前記のような鋳造条件で製作された、試験片について、X線透過観察、材料評価試験などにより品質の評価を行うことを目的とし、各種試験を実施した。

3.3.4.1 評価・試験方法

(1) 引張試験

引張試験の試験片形状を図 3-14 に示す。試験片は鋳造品上部より採取し(図 3-8 参照)、試料状態に応じて一つの試料から 1~2 本を採取した。なお、厚みは鋳造のままの 3mm とした。加工した試験片は、インストロン型万能材料試験機により引張強さを測定した。

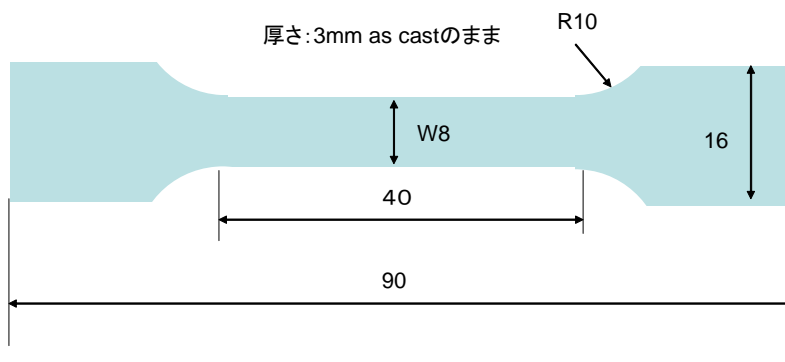


図 3-14 引張試験片形状

(2) X線透過観察

島津製作所製マイクロフォーカスX線テレビジョンシステム SMX-160V を用い、鋳造品及び引張試験片の内部に巻き込まれた気泡の観察を行った。なお、観察は管電圧 100kV、電流 $60\mu\text{A}$ で行った。

(3) 比重測定

MIRAGE 製 ED-120T 型の比重測定装置を用い、アルキメデス法により測定を行った。なお、引張試験片の側面には開口した気泡が多数存在していたが、そのまま水中にて比重を測定した。開口した気泡は試料とは見なされないため、求まる比重は実際よりは高めの値である。また、密度は測定した比重の真比重に対する相対値として%で求めた。なお、ADC12、AC4CH の真比重はそれぞれ 2.70、2.68 として計算した。

(4) 材質

鋳造合金は、ダイカストで最も広く利用されている ADC12 合金と、砂型鋳物で広く用いられている AC4CH 合金の 2 種類である。TP-0、TP-1、TP-2 は ADC12 合金、その他は AC4CH 合金である。なお引張試験片は、TP-1 からは 2 本、その他の試料からは 1 本の試験片を採取した。

3.3.4.2 外観観察及び X 線透過観察

図 3-8 に鋳造試料の外観写真を示す。なお、TP-4 以降は湯回りを考慮して鋳物形状を変更した。外観からもわかる通り、いずれも湯回りが不完全であった。図 3-15～3-19 に試験片を採取した位置付近の試料上部の X 線透過観察結果を示す。

いずれの試料も比較的粗大な欠陥が多数観察された。その形状は丸みを帯びていることから、湯流れ中に巻き込んだガスによるガスホール欠陥であると考えられる。開発されている鋳造システムは金型内部が高真空でありガスは存在しない。しかし、実際は真空シール用オイルの分解、摺動部、合わせ面からの気密もれなどによりガスが金型内に存在し、欠陥が発生したと考えられる。

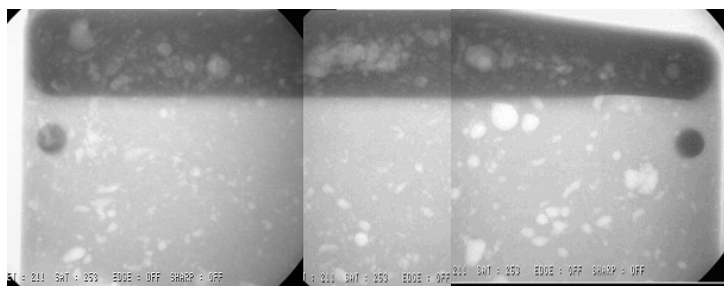


図 3-15 X 線透過観察結果 TP-0 (ADC12、81g)

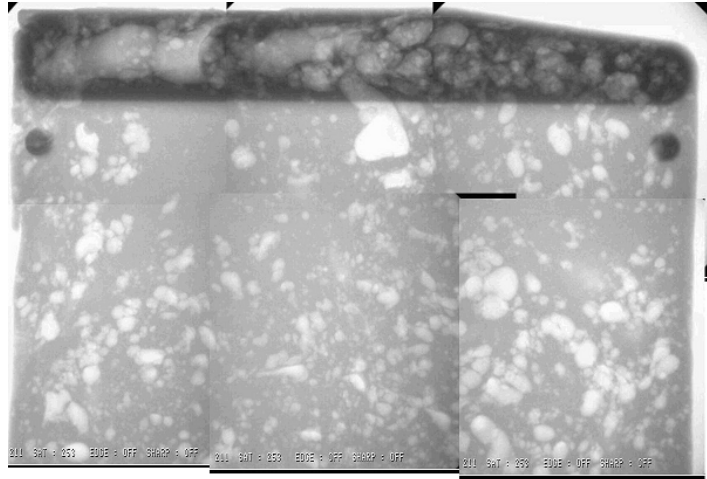


圖 3-16 X 線透過觀察結果 TP-1 (ADC12、97g)

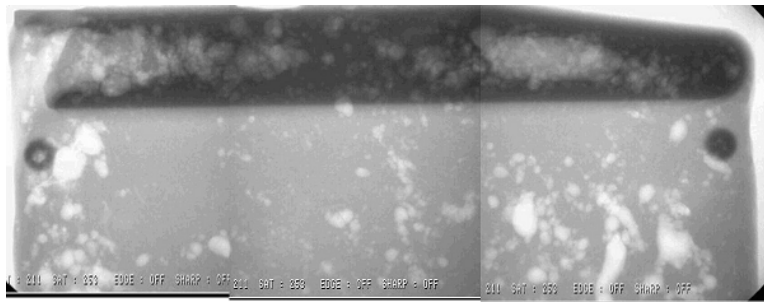


圖 3-17 X 線透過觀察結果 TP-2(ADC12、83g)

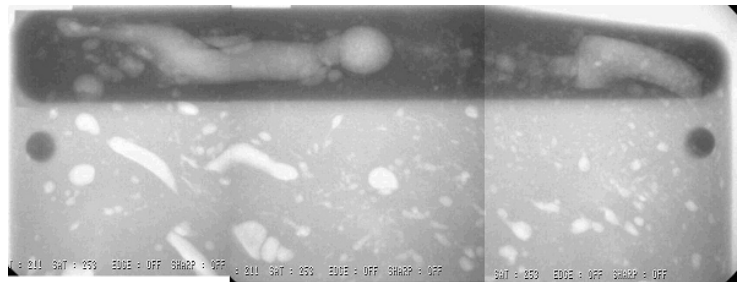


圖 3-18 X 線透過觀察結果 TP-4(AC4CH、86g)

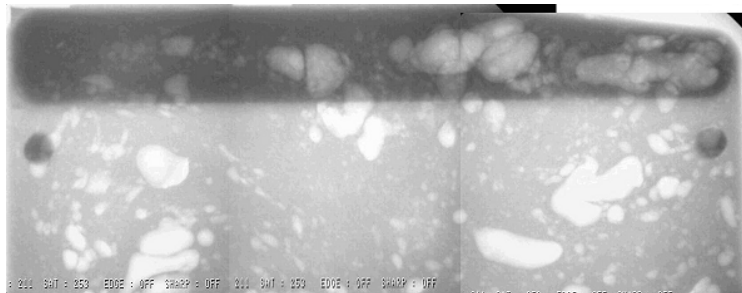


圖 3-19 X 線透過觀察結果 TP-5(AC4CH、83g)

3.3.4.3 引張試験結果

表 3-2 に引張試験及び比重(密度)測定の結果を合わせて示した。引張強さは 83~168N/mm² であり、JIS に記載されている引張強さに比較すると低い値であった。また、伸びは TP-0 が 3% で比較的良好な値を示したが、その他は 1% 以下であった。引張試験後の試料について、X 線透過観察した結果を図 3-20 に示した。TP-0 の試料はガスホール欠陥が少なく、比較的良好な試料であり、その結果引張強さが今回の測定試料の中で最も高い値となっていることがわかる。

表 3-2 引張試験、比重測定結果

材質	ADC12					AC4CH		
	試料No	TP-0	TP-1		TP-2	JIS 参考値	TP-4	TP-5
1			2					
引張強さ (N/mm ²)	168	83	115	92	225	122	117	150
伸び(%)	3	0	1	1	1.5	1	1	3
比重	2.55	2.50	2.27	2.51	2.70	2.45	2.32	2.68
密度(%)	95	93	84	93		91	86	

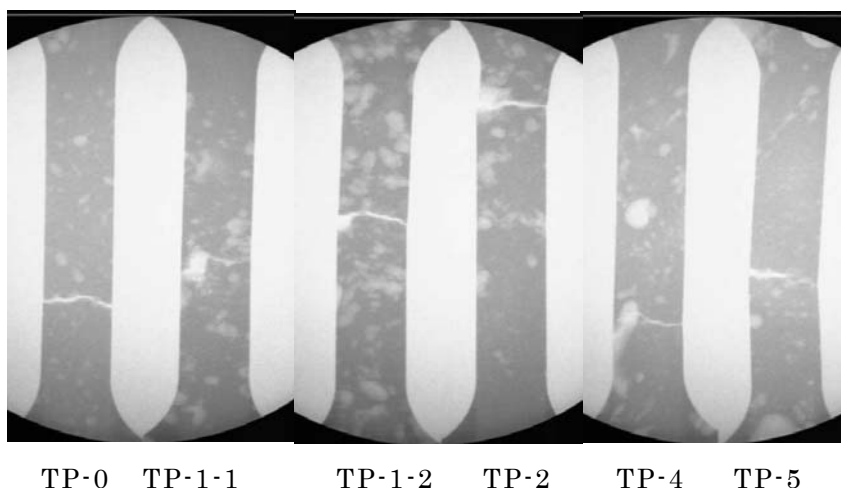


図 3-20 引張試験片のX線透過写真

3.3.4.4 システム改良による品質改善

ガス巻き込みが発生していたことから、システムの改良を行った。装置の改良によるガス巻き込み状態の変化を図 3-21 に示した。ステップ 2 では、ステップ 1 から吸引口左右の部分のカットし鋳物を T 字形状に変更、さらにカットした部分からも減圧を行った。次にステップ 3 では、スライドする遮へい板を改良することにより、気密性を高めた。さらにステップ 4 では、ストーク上部に残存していた空気の排除、O リングの利用によるストークの密閉度の向上など

の工夫を行った。これらの改良より巻き込みが減少していることがX線透過観察により確認できた。

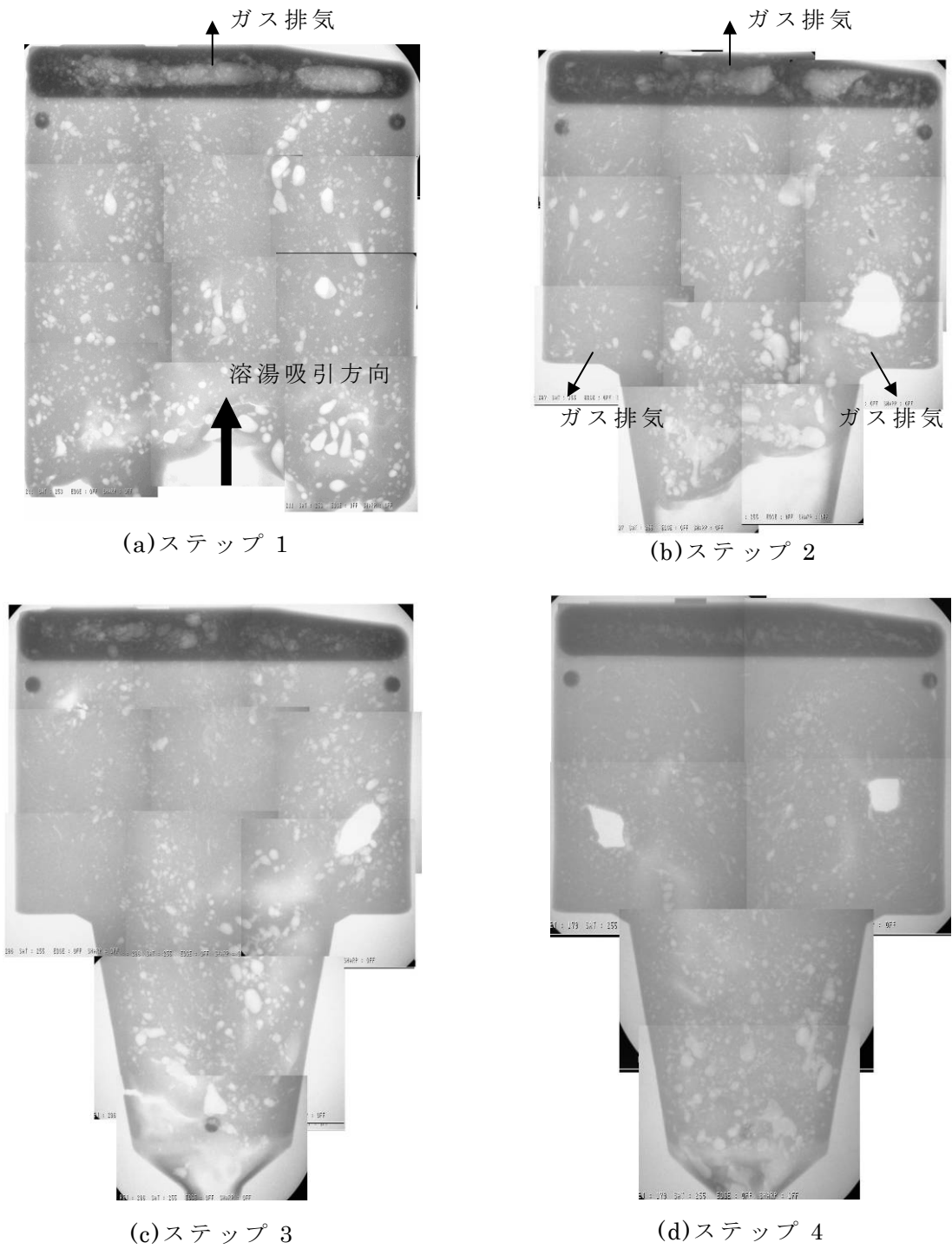


図 3-21 システム改良による気泡巻き込みの変化(X線透過観察)

ステップ 4 の状態で TP-9～13 の 5 試料を作製し、引張試験を行った。その結果を表 3-3 に示すが、気泡の影響がまだ大きく、強度のばらつきも大きいと

考えられる。TP-12 では、JIS 参考値の 150N/mm^2 を越える強度であり、装置の改良による効果が認められる。図 3-22 に TP-12 の光学顕微鏡写真を示す。

表 3-3 引張試験結果(装置改良後)

材質	AC4CH					
試料No	TP-9	TP-10	TP-11	TP-12	TP-13	JIS 参考値
引張強さ (N/mm^2)	116	139	93	158	106	150
伸び(%)	1	2	1	2	1	3

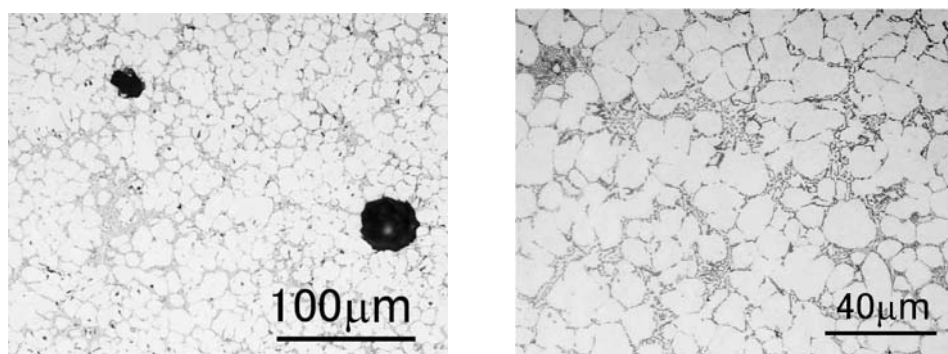


図 3-22 TP-12 の光学顕微鏡写真

3.3.4.5 T6 熱処理の可能性

通常のダイカスト品は T6 熱処理(約 500°C 、1 時間程度)でふくれが発生するため、T6 熱処理が困難である。そこで、 550°C 、1 時間大気雰囲気加熱後、水中急冷し、表面を観察した。結果を図 3-23 に示す。(a)は本試作装置で金型による試料(AC4CH)、(b)、(c)は可視化装置で黒鉛型による試料(ADC12)である。

同図からわかるように(a)ではふくれはほとんどなく、(b)、(c)には認められる。後者、特に(c)は X 線観察では気泡はほとんどなかったが、ふくれが見られる。これは、この実験の場合、溶解時の最高温度が 815°C となったために水素ガスをかなり吸収していた可能性がある。

いずれにしても、鑄造条件が良ければ、本鑄造方法でも T6 熱処理ができる可能性は高いと思われる。



図 3-23 熱処理(T6 処理)によるふくれ

3.3.4.6 ガス分析結果

表 3-4 にいくつかの試料のガス分析結果を示す。水素については堀場高感度水素分析装置(EMGA-521)を使用した。これは水素を不活性ガス—インパルス加熱融解法により抽出し、高感度熱伝導度検出器で測定するものである。

酸素も同様の装置で不活性ガス—インパルス加熱融解法で抽出し、酸素を一酸化炭素として高感度型非分散赤外検出器で、窒素は高感度型熱伝導検出器で測定した。

まず、酸素が多いが、これは酸化物及び空気の巻き込みによるもの(特にサンプル B)と考えられる。また、可視化実験で採取されたサンプルの方が、ガス元素が少ないが、これは、鑄造実験で使用した材料が繰り返し溶解され使用されており、かなり汚染されていた可能性があることを示している。

なお、水素量を通常の単位に変換すると 1ppm は 1.1cc/100Alg であり、サン

プル A のインゴット(鑄造時の溶湯から採取した試料で溶解前の値ではない)で既に約 4cc/100Alg と異常に高く、溶解方法に問題があったと考えられる。また、窒素も多く、空気の巻き込みが考えられる。

以上から、溶解管理に気をつけていれば、より良い結果が得られた可能性があると考えられる。

表 3-4 ガス分析結果一覧

サンプル名	水素 ppm	酸素 ppm	窒素 ppm	備考
A	4.027	68.90	7.33	インゴット溶解時の採取
B	10.197	145.60	8.00	高真空装置からの採取試料
C	7.320	89.08	3.62	高真空装置からの採取試料
D	1.788	29.98	0.26	可視化試験からの採取試料
E	2.135	38.38	4.03	可視化試験からの採取試料

3-4 鑄造時の湯流れ直接観察と鑄造シミュレーション

3.4.1 はじめに

本鑄造法では、ストーク上部での溶湯挙動、鑄型空隙部での溶湯挙動が大きなポイントの一つである。特に、ストーク上部から鑄型ゲート部での溶湯挙動を知りたいが、黒鉛で製作しても密度がAlとあまり変わらず、黒鉛の厚さに比べ気泡の寸法（直径数 mm 以下）が小さく、観察困難であることがわかった。そこで、鑄型空隙部のみの湯流れ観察を実施した。さらに、金型における鑄型充填過程の数値シミュレーションを実施すると共に、今後の開発時間の短縮や鑄型設計に役立てるために、本鑄造法のシミュレーションを可能とするソフトについて検討した。

3.4.2 方法

3.4.2.1 湯流れの直接観察

湯流れの直接観察は、大阪大学に設置されている透過 X 線直接観察装置を使用した。透過 X 線装置は鉛と鉄のクラッド材で覆われ、観察ボックス内のみが管理区域となっている。そのため、観察する対象は鑄型や炉を含め全て観察ボックス内に配置し、外部から遠隔操作する必要がある。また、観察ボックス内には X 線源や Image Intensifier 管(以後 II 管)などが設置されており、炉や鑄型など装置の移動には既設のレールを使用する。そのため、設置できる装置の大きさには限界があり、本プロジェクトで開発した装置を使用することはできない。

鑄造装置は既存の真空吸引装置を使用することとした。しかしながら、既存の装置は直接観察用には設計されていないため、いくつかの点で改良した。また、鑄型内部の溶湯流動を観察するためには、鑄型材質が X 線を透過するものでなくてはならない。これまでの経験から黒鉛鑄型が最有力候補として考えられた。しかしながら、真空吸引で使用する場合、黒鉛の素材としての気密度は低く、想定される真空度(数 kPa)が実現できないと考えられた。そこで、黒鉛鑄型を密閉チャンバーの中に設置し、チャンバー内を減圧することで所定の真空度まで到達できるようにした。この手法は、金型を用いた予備実験で既に実績があり、0.5mm 厚のキャビティへの完全充填を実現した。ところで、密閉チャンバーには内部が観察できるように窓を設置する必要がある。そこで、X 線の透過性に優れたポリイミド(商品名：カプトン)膜を窓の材料とした。以下の点についても改良、あるいは追加加工が必要となった。

改良後の鑄造装置の外観を図 4-1 に、概略図を図 4-2 にそれぞれ示す。また、チャンバーの詳細図を図 4-3 に示す。

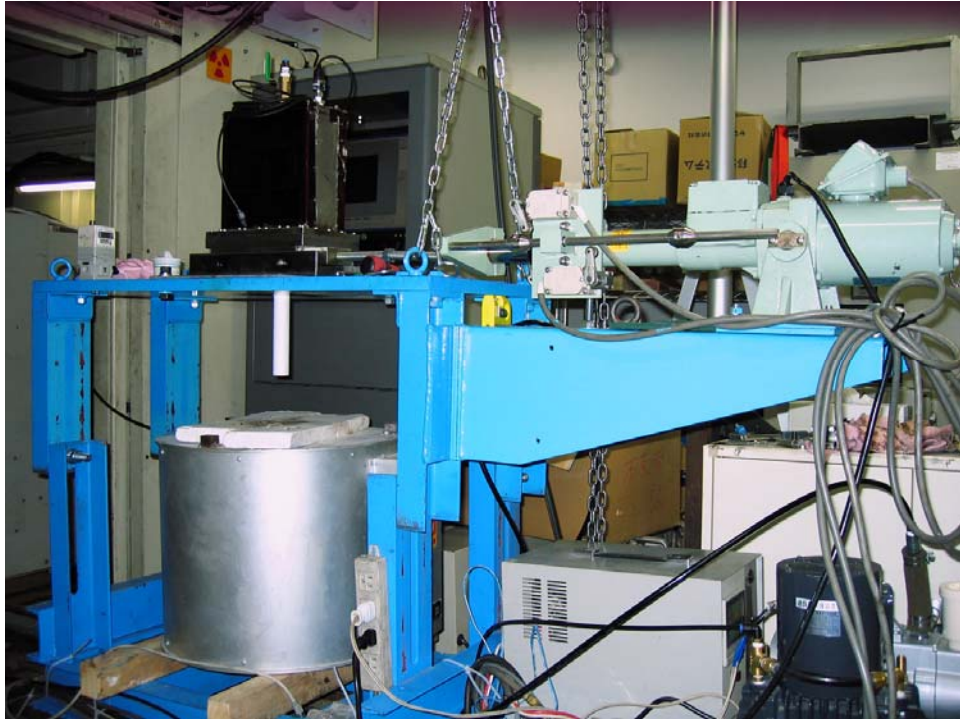


図 4-1 装置外観

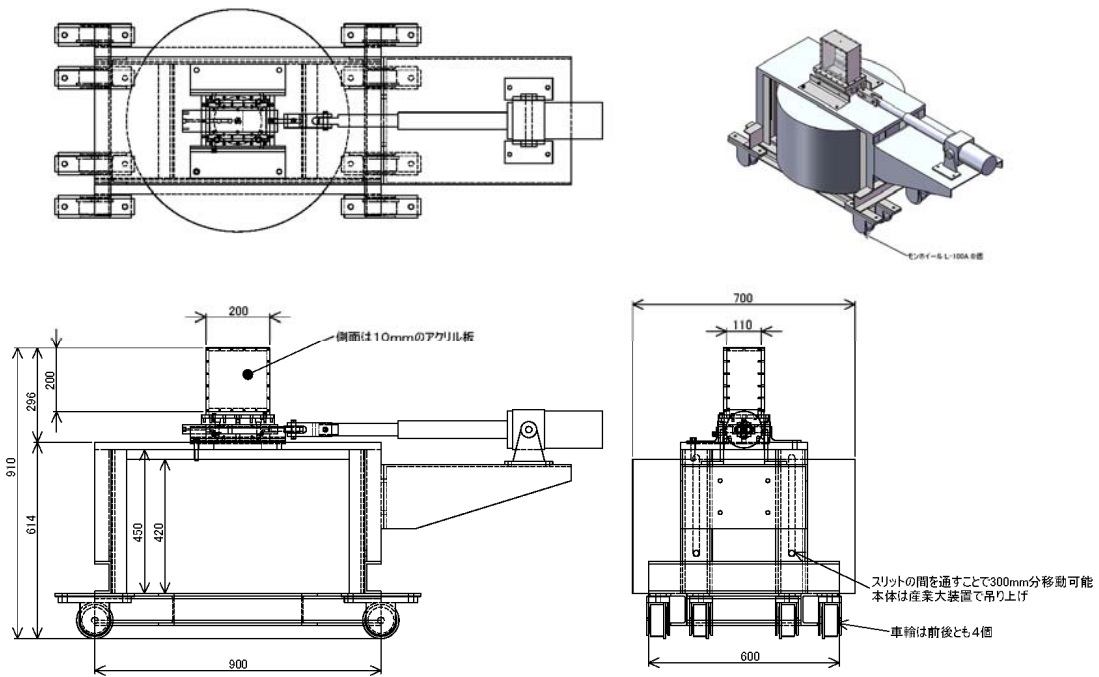


図 4-2 改良した装置概略図

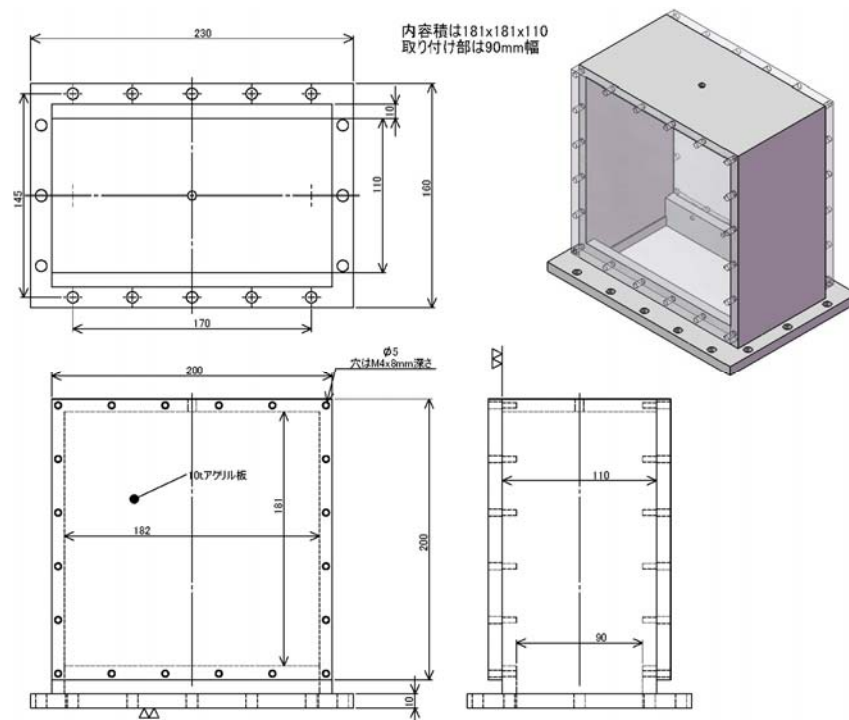


図 4-3 真空チャンバーの概略図

直接観察用に改造した鋳造装置は、本プロジェクトで開発する装置と鋳造方法や動作原理に於いて同一のものである。すなわち、キャビティ内を減圧して溶湯を吸引し、所定時間経過後に遮蔽板で溶湯供給路を分断して製品と未凝固溶湯を切り離す。この結果、キャビティ内(製品部分)の溶湯の落下を防ぐと共に、ストークス内の未凝固溶湯は炉まで落下し次の鋳造に備えることができる。主たる相違点は上述のキャビティ減圧方法である。本スタディで開発する鋳造装置が生産性向上のために密閉チャンバーは用いず、金型から直接減圧しているのに対し、直接観察装置では密閉チャンバーを使用した。金型から直接減圧する手法の場合、キャビティ内の真空度を高くできる可能性があるが、減圧口の設置位置が限られるため、吸引される流体の流動方向も制限される。一方、本密閉チャンバーでは真空度を高くすることはできなかったが(可能性は十分ある)、鋳型全体から減圧でき、セラミック型にも適用できるので、多品種少量生産には実用化の可能性はある。

3.4.2.2 鋳造シミュレーション

本プロジェクトで開発した装置における金型内部の溶湯流動や、直接観察実験での溶湯流動に関し、鋳造シミュレーションを行った。鋳造シミュレーションには、市販の JSCASTver.8 を用いた。計算には、直交-非直交混合要素を用い、計算精度の向上を図った。真空吸引鋳造であるため、境界条件としてはキャビティ内あるいは真空チャンバー内の圧力と大気圧との差圧を設定し、キャビティ内部にはガスが存在しない(流動抵抗となる背圧が生じない)条件で計算した。流動計算中に溶湯からの熱の移動も計算し、場合によっては凝固も考慮するが、生じた固相は液相と共に流動すると仮定し、凝固による流動の停止は考慮していない。

3.4.3 結果

3.4.3.1 湯流れの直接観察

試験片形状キャビティ内部に流入する溶湯の直接観察を行った。得られた鋳物の外観を図4-4に示す。鋳物には大きなバリがみられるが、製品部に目立った欠陥は見られなかった。実験条件は次の通りである。炉内温度は815℃、溶湯はADC12相当であり、チャンバー内圧力は、約15kPaとした。溶湯のストークス内への吸引と同時に溶湯遮蔽板を動作し、ストークスとキャビティを接続するタイミングで2秒間停止した。キャビティ上部(鋳型上面)には直径約1mmのベントを設けた。溶湯のキャビティ内への流入は約0.4秒で完了しているため、充填完了後も溶湯がキャビティへ供給され続けていたと考えられる。

キャビティ内への充填過程を図4-5に示す。溶湯は、4本ある試験片キャビティにほぼ同時に流入した。しかしながら、端の2本への流入量が多く、中央の2本よりも先に充填が完了した。いずれのキャビティに於いても溶湯は勢いよく上面に到達し、キャビティ上部から下部方向へ充填が進行するような状態となった。また、キャビティ内部では激しく気泡を巻き込む様子が観察された。気泡は外部から流入するというよりも、キャビティ内部で巻き込まれているように見えた。しかしながら、ストークスの接続部分等にリーク及びガス発生(ガス発生しやすい充填物を使用している)の可能性があり、十分検討する必要がある。キャビティ内への溶湯の充填が完了した後、巻き込まれた気泡は急速に上昇し、製品部から排出された。このとき、溶湯はまだ凝固しておらず、鋳型上部のベントから流出しており、浮力と溶湯の流れに沿って気泡が排出されたものと思われる。結果的に、非常に気泡欠陥の少ない鋳物を作成することができた。現状では実際の金型鋳造に於いても気泡の巻き込みを完全に抑制することは困難が予想されるため、直接観察実験で見られたように効率的に気泡を排出する工夫が必要であると考えられる。直接観察の場合、鋳型から流出した溶湯は密閉チャンバー内部に付着したが、適切なオーバーフローを設けることで流出した溶湯は十分回収可能であると思われる。

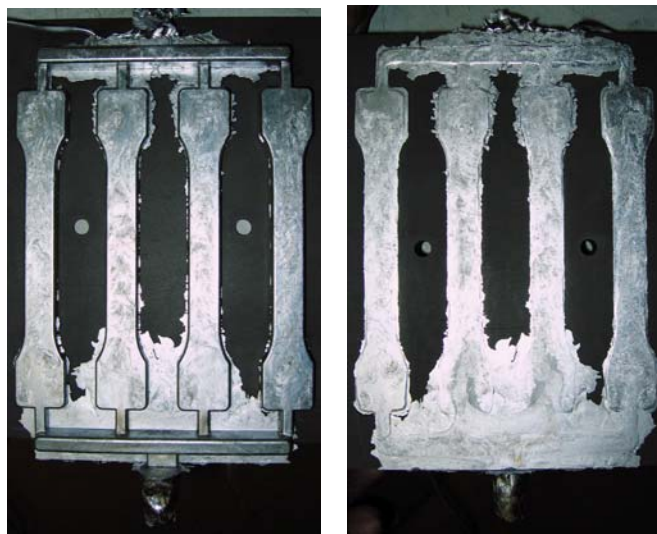


図 4-4 鋳物外観

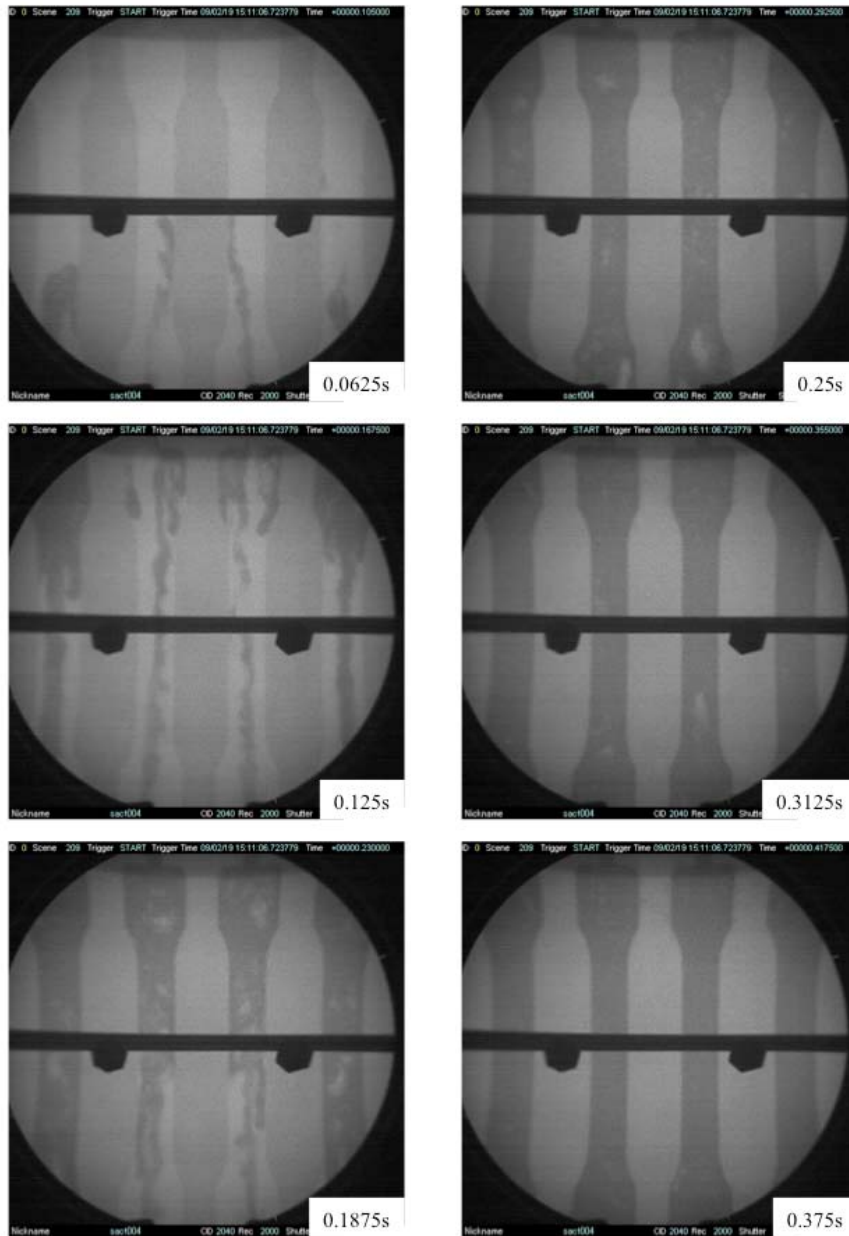


図 4-5 溶湯の充填過程

3.4.3.2 鋳造シミュレーション

本プロジェクトで開発した装置での鋳造過程についてシミュレーションを実施した。計算した 3 種類の金型(キャビティ)形状を図 4-6(a)(b)(c)に示す。また、直接観察実験で使用したモデル(黒鉛鋳型)のキャビティ形状を、図 4-7 に示す。いずれも、型の入り口を境界とし、ストークス内の流動は計算していない。現状では、熱計算の精度をそれほど考慮する必要がないため、金型の範囲としてはキャビティの周囲 10mm とした。また、図 4-6(a)に関しては、キャビティ上部の湯溜まりの効果を検証するため、単純な平板キャビティの場合について比較

計算した。

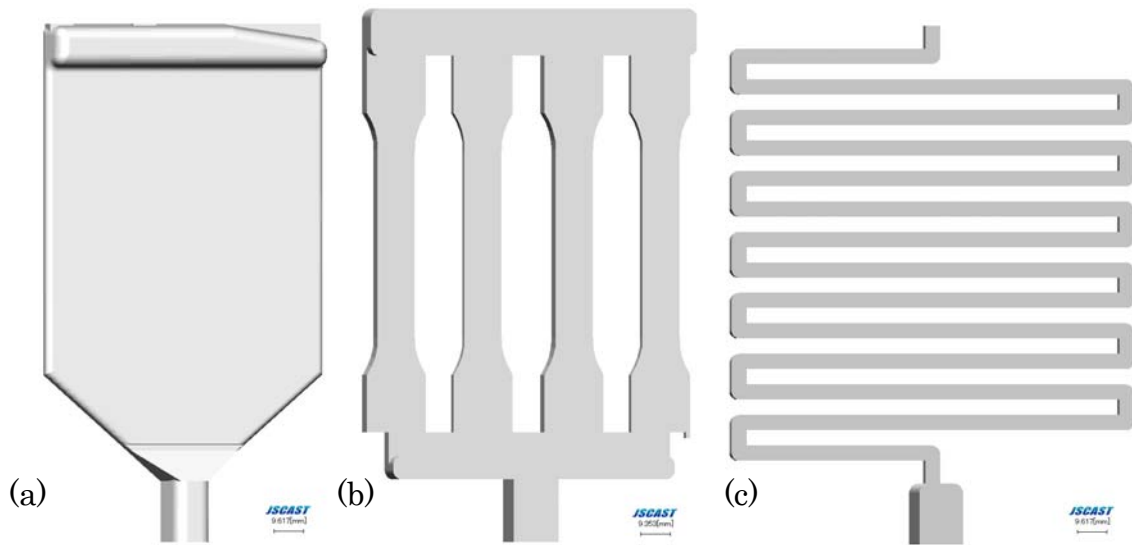


図 4-6 計算モデル

(a)平板モデル、(b)試験片形状モデル、(c)流動長モデル



図 4-7 黒鉛鑄型の計算モデル

溶湯は、ADC12 を想定し、金型モデルに関しては、金型材料として SKD61 を想定した。また、直接観察実験では黒鉛型を使用したため、図 4-7 の計算では鑄型の物性値を黒鉛の物性値に置き換えた。鑄造実験での測定結果から金型内の真空度が約 4kPa、黒鉛鑄型の場合のチャンバー内圧力が約 15kPa であったため、大気圧との差圧としてそれぞれ 97325Pa、86000Pa を境界圧とした。計算結果を図 4-8~4-12 に示す。表示色は速度の大小を示す(赤が大)。

平板状モデルの場合(図 4-8)、キャビティ中央部が壁面に沿って流入し、上部で反転した。

そのため、キャビティ内に気体が残存していると気泡となって巻き込む可能性がある。キャビティ上部に湯溜まりがなかった場合(図 4-9)、キャビティ上辺に衝突した溶湯がすぐに反転し、速度の大きな下降流となった。そのため、上昇流と下降流の衝突部分では激しい乱れが生じると思われる。キャビティ内に気体が残存する場合、同様に多くの気泡が巻き込まれると思われる。直接観察の結果から、流出経路さえ確保できれば巻き込まれた気泡は外部に排出できると思われる。上部の湯溜まりには気泡をトラップする効果が期待できるが、そのためには形状を含め最適化が必要である。

試験片形状モデルの場合(図 4-10)、まず、中央の 2 本に溶湯が流入した。その後、上辺で衝突して左右に分かれ、両脇の試験片に上部から流入した。そのため、場合によっては両脇の試験片内部に湯境が生じる可能性がある。なお、流入が左右対称にならないのはメッシュ分割等の影響も考えられる。

流動長モデルの場合(図 4-11)、凝固による流動停止を考慮しないとあまり意味がないが、流動の特徴としては、水平キャビティでは上辺に沿った流れになる点があげられる。このため、コーナー部分では空隙が生じ、気体が残存すれば気泡の巻き込みに繋がると思われる。

直接観察実験の試験片形状モデルの場合、ランナー部等の形状が金型モデルと異なるため全く異なる充填過程となった。充填過程を図 4-12 に示す。溶湯はまず下部のランナー上辺に衝突して左右に分かれた。その後、下部ランナーの左右鑄壁に衝突して上昇するため、直接観察結果同様に左右端のキャビティへまず流入し、中央キャビティに比べて流入量も多くなった。中央部キャビティは下部ランナーが満充填した後から本格的に流入がはじまるため、左右端のキャビティへの流入と比較して遅れ気味となった。

いずれの試験片状キャビティに於いても、溶湯は中央部を上方に流入し、上辺に衝突した。これは、直接観察結果とほぼ一致する。溶湯同士は、上部のランナー内で衝突するため、製品内部に湯境等は生じにくいと思われる。流入時には自由表面が乱れており、観察結果同様に気泡の巻き込みが予想される。充填過程も直接観察同様に上部から順次充填し、試験片キャビティの下部が最終充填位置となった。直接観察結果ではこの後気泡の上昇等が見られたが、計算はこの時点で停止している。

全体的な傾向は直接観察結果と類似しており、その他の計算結果に於いても充填パターンは概ね一致するものと考えられる。

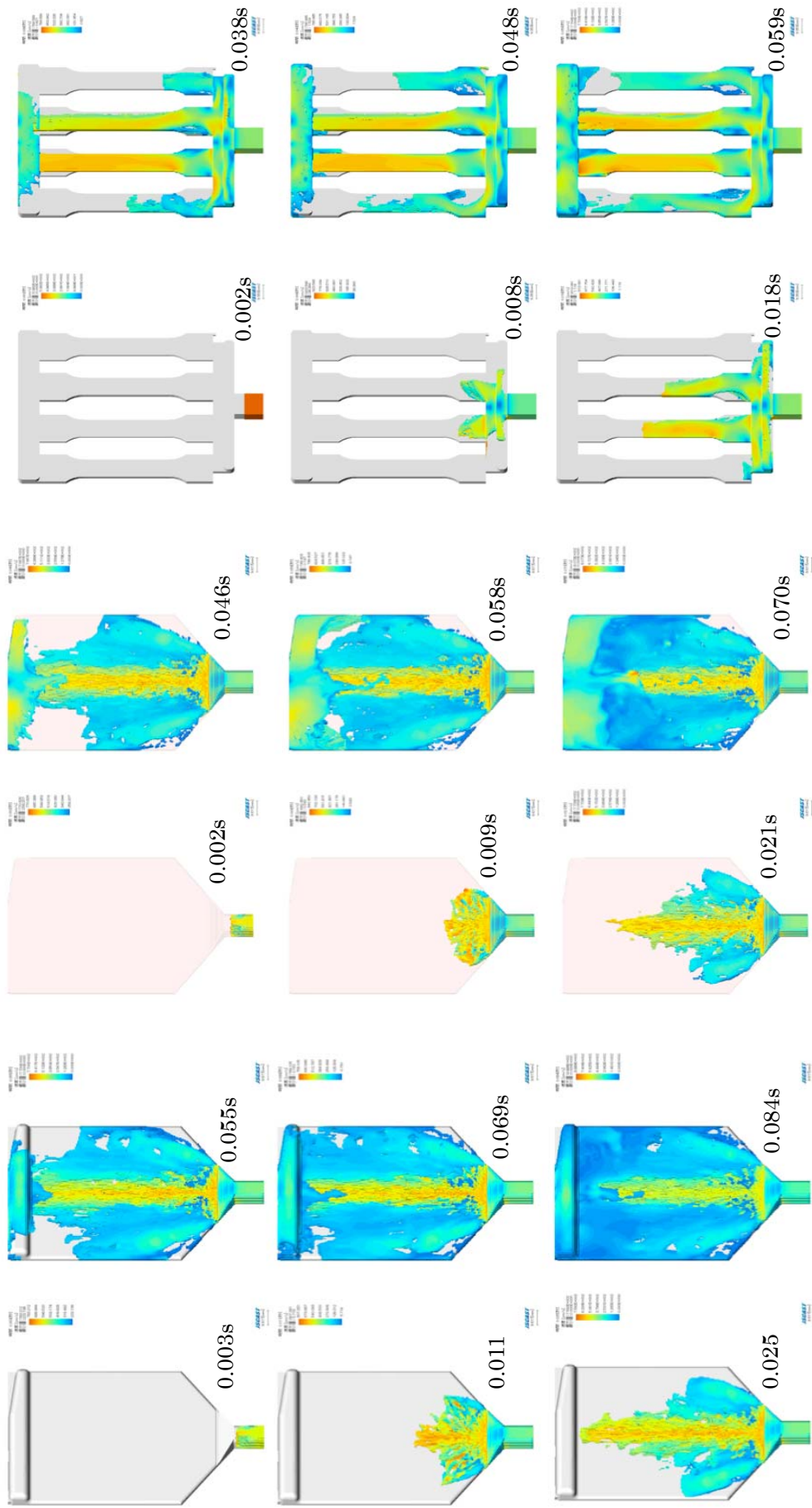


図 4-8 平板状モデル内の流れ

図 4-9 湯溜まりを廃した平板状モデル内の流れ

図 4-10 試験片形状モデル内の流れ

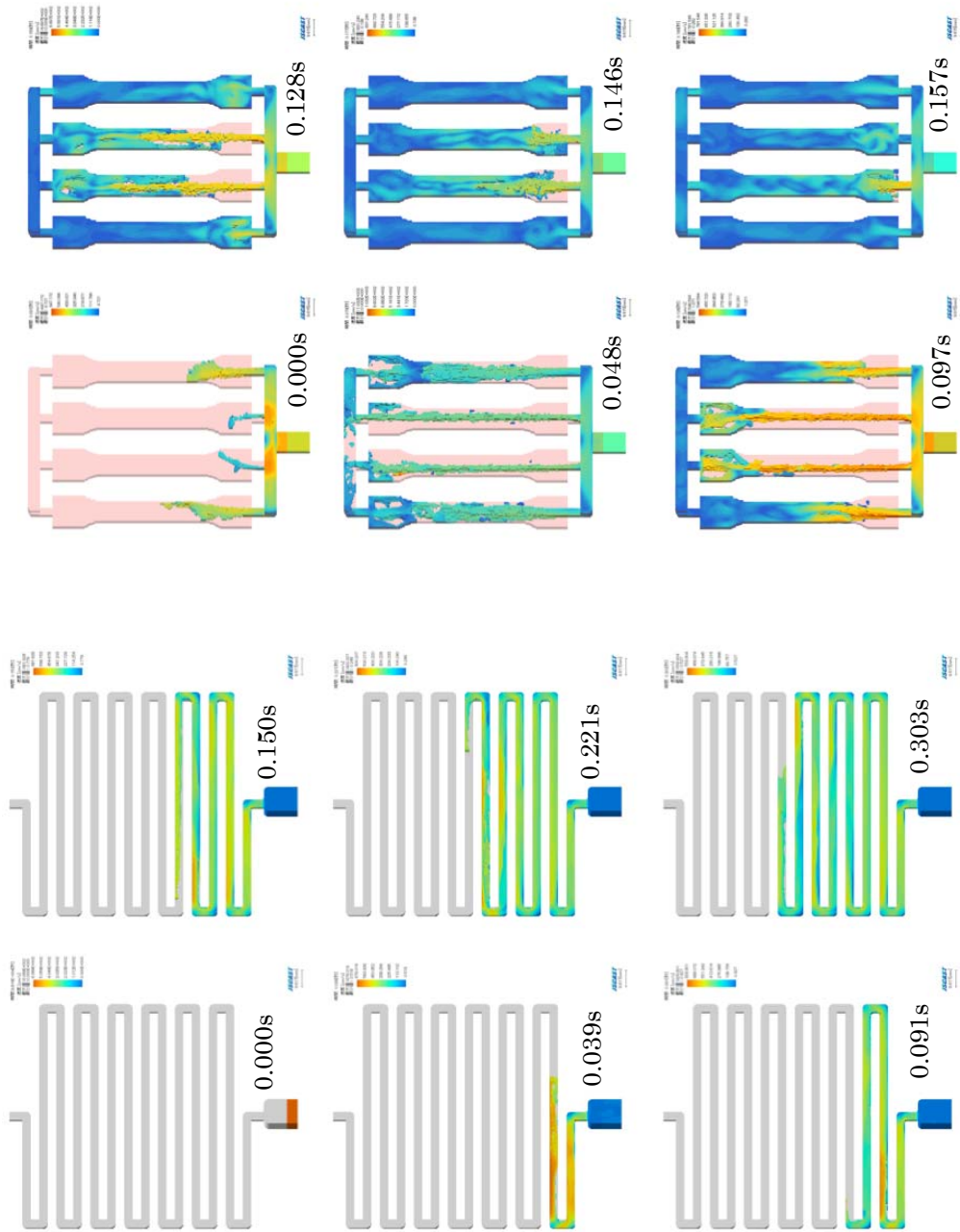


図 4-12 黒鉛キャビティ内の流れ

図 4-11 流動長モデル内の流れ

3.4.3.3 高真空吸引加圧鋳造法のシミュレーション

現在、高真空吸引加圧鋳造法を正確にシミュレーションできるソフトは、存在しないが、今後、開発時間の短縮、操業条件及び鋳造方案の最適化のため、ストーク中の溶湯上昇挙動、鋳型空隙部の溶湯充満挙動、引け巣の生成挙動、これらに及ぼすストーク減圧速度、開口部の開口速度と閉鎖時間、溶湯加圧位置・時間などの情報がシミュレーションで得られれば便利である。ここではこのようなソフトの機能についての検討結果について述べる。

(1) 基本方針

シール板の移動を含めて全てをシミュレーションするのは容易ではない。また、最適鋳造方案の決定には数多くの繰り返し計算が必要であるので、計算負荷はなるべく小さい方がよい。

従って、シミュレーションでは、まず、ストーク内の流動解析と鋳型空隙部の湯流れ解析、凝固解析の三つに分け、それぞれが独立に計算できるものとする。ただし、凝固解析では、湯流れ解析結果も利用できるようにする。また、ストーク内流動解析と鋳型空隙部の流動解析を連成した解析が必要かどうかはさらに検討して後日決定する。

また、当然ではあるが、既存の市販ソフト(特に JSCAT)で解析できるものは、なるべく利用する。凝固解析については、ほぼ JSCAST が利用できるが、加圧時間と場所の最適化には改良の余地がある。

(2) ストーク内の流動解析

ストーク内の減圧速度が大きいと、溶湯の上昇速度が大きくなる。溶湯上昇速度が大きく、ストーク断面が大きいと湯面が乱れ、酸化皮膜などの介在物を巻き込む可能性がある。トラップにはなるべく静かに湯面近傍の汚れた溶湯のみを流入させたいので、低速で湯面上昇させる方がよいが、低速にし過ぎるとトラップに十分な量が流入しないし、溶湯温度が低下し、また生産性にも影響する。従って、湯面に過度の乱れが発生しない状態でなるべく早い速度で上昇させ、介在物捕捉空洞に流入する時期に速度を低下させるのがよいと予想される。このようなシミュレーションは、図 4-13 のようなモデル化で、ベント部の圧力を時間変化させることで可能であろう。

ここで、ゲートでは圧力境界条件として、大気圧とする。保持炉内径が小さいと湯面上昇に従って、そのヘッド分だけ大気圧から低下するが、無視できる場合が多いであろう。また、厳密にはストーク入口での流れ損失があるがこれも速度が計算できれば、無視できるかどうか分かる。

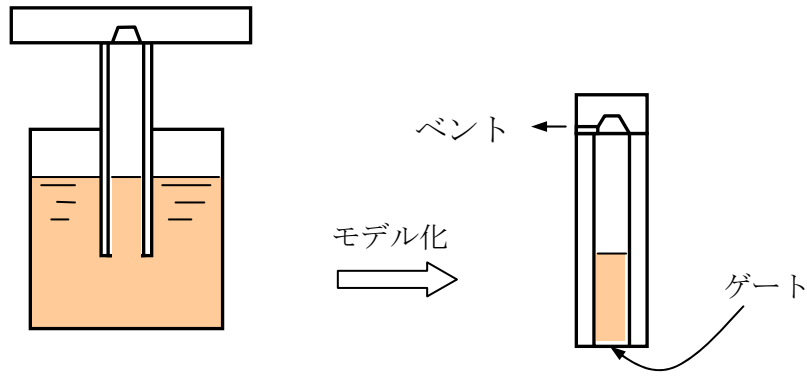


図 4-13 ストック内での流動解析モデル

(3) 鋳型空隙部における溶湯充満挙動

現状で可能なのは、図 4-14 のように過渡期を無視して、瞬時に開口すると仮定し、ゲート部での境界条件を圧力境界条件として解析する方法である。少なくともこれで開口部閉鎖時間を推定できる。なお、このモデル化では、ストック入口圧力損失及びストック内での摩擦損失を考慮できないが、考慮すべきかどうかはゲート速度がわかれば評価できる。

なお、ストック内での断面方向の流速分布を無視してストック内流速を求め、この流速でストック入口損失及び管摩擦損失を評価することは可能であるが、普通の方法では発散することがわかった。これを回避する方法として、仮想ゲート要素の導入が考えられる。

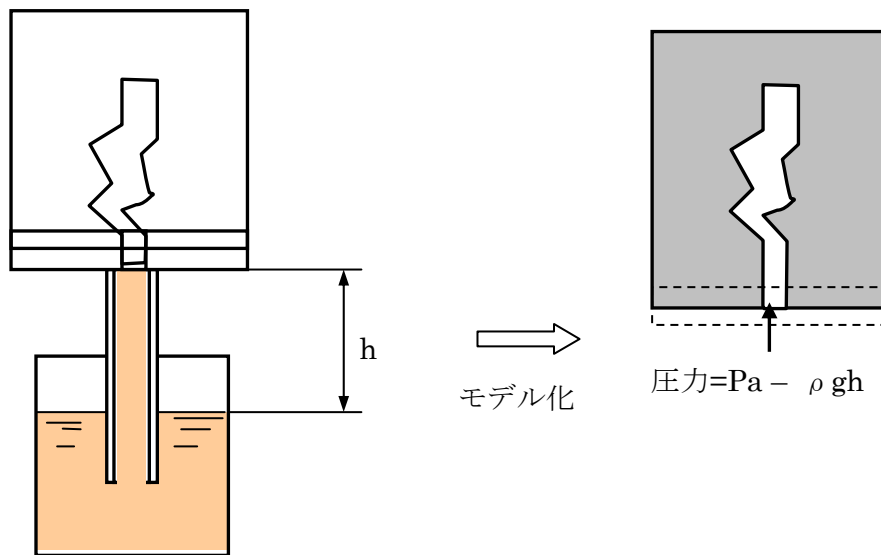


図 4-14 鋳型空隙部内での流動シミュレーション

(4) ゲート開口時の過渡解析

実際にはゲート部の面積は瞬時に全開されるのではなく、徐々に開くが、この間にかなりの溶湯が鋳型空隙部を充満する。そこで、この間の挙動には興味があるが、そのためには、

ゲート断面積を徐々に変化させねばならない。

この方法としては、要素分割をタイムステップ毎に変化させる方法と要素は変更せず、境界条件で対応する方法が考えられる。後者の方が実用的であろう。

後者の場合、開口部の面積を実際と同じように連続的に変化させる方法と要素幅ごとに離散的に変化させる方法が考えられる。

この場合、下記で開口部を決定する。

すなわち、

$l_i - \Delta l / 2 \leq t U_g < l_i + \Delta l / 2$ なら 時刻 t での開口部は l_i の距離までの開口部とする。

ここで、 U_g は溶湯遮断部材の移動速度（一定と仮定）、 Δl は要素幅である。

このような方法でシミュレーションするには、タイムステップごとに境界条件を変更する必要がある。

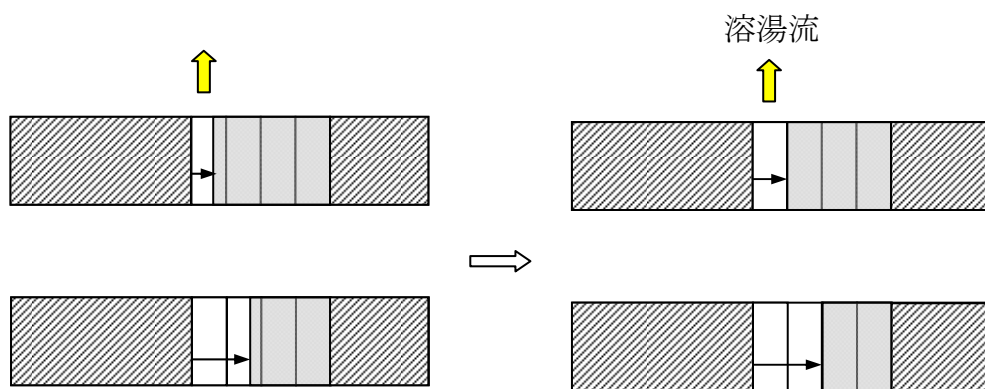


図 4-15 開口部の変化

(5) まとめ

高真空吸引加圧法のシミュレーションの基本方針についての検討結果について述べたが、まず、ストーク内流動解析と開口部一定での鋳型空隙部流動解析を実施する。もし、鋳型空隙部の充填時間が溶湯遮断部材の移動による開口部の開口時間よりかなり長ければ開口部の時間変化は考慮しなくて良いが、短いとすると、その過渡状態のシミュレーションが重要になる可能性がある。

3-5 総合的考察

上記項目の成果を踏まえ、本鑄造法の総合的評価を行い、本試作装置の実用化と高強度・高信頼性鑄造品の製造法の可能性について以下に考察する。

3.5.1 本鑄造法の特徴

本鑄造法の特徴として以下が確認された。

- ① 汚れた湯面の溶湯をトラップにより除去できる可能性がある。
- ② シール板の耐久性については溶湯の咬みこみが心配されたが、正常な運転がなされれば、案外耐久性がありそうである。
- ③ 装置はコンパクトであり、真空ポンプの音が問題になる程度で、作業環境は非常に良い。低圧鑄造のように保持炉が密閉されていないので、溶湯管理も容易である。
- ④ 溶湯搬送等の熱損失が極めて少ないため、また、ダイカストのように大きな射出速度、圧力が不要なので大幅な省エネルギーが可能である。従来ダイカスト装置でプランジャの低速移動機構だけを電動サーボモータに変更するだけで 30% の省エネルギーになるというデータ(株東洋機械金属)があり、本試作装置では、これらの従来装置の駆動装置より 1 オーダ以上小さい電動サーボモータを使用しており、さらに、溶湯輸送時の熱損失は究極的といえるほど少ないので、少なくとも 50% 以上の省エネルギーが期待される。
- ⑤ 常温程度の低温金型で従来ダイカスト法では製造が容易でない肉厚で、また鑄造困難とされている AC4CH 合金の鑄造品がより少ない欠陥で製造できる、また、気密性の向上や、鑄造条件の最適化で、かなり健全な試験片が得られる。
- ⑥ 鑄造条件が良ければ T6 熱処理でのふくれはほとんどなく、T6 熱処理できる可能性は高い。
- ⑦ 金型内部を吸引する方法ではなく、真空ボックスで鑄型全体を吸引する方法の方が鑄造は容易で、より健全な試片が得られる。X 線による直接観察から、これは、ガスを巻き込んでもガスが逃げやすいためと考えられる。従って、金型でも方案を最適化するとより健全な鑄物が製作できる可能性がある。

従って、少なくとも、通常ダイカスト法より良い製品をより低コスト、省エネルギーで得られる可能性はあると思われる。また、真空ボックスで鑄型全体を吸引する方法により、多品種少量製品用の新しい鑄造法となる可能性は高いと考えられる。

一方、高強度・高信頼性鑄造品の製造法という観点からは、その可能性について、確実な結論を得ることはできなかった。しかし、気密性の向上や、鑄造条件の最適化で、かなり健全な試験片が得られるようになったことから、さらなる改善で、より健全な鑄造品を製造できる可能性はあると思われる。

3.5.2 本鑄造法の問題点—ガスの巻き込み機構

本鑄造法の最大の問題点は、ガスの巻き込みがない鑄造法を目指したにもかかわらず、皮肉にもガス巻き込み欠陥が最大の問題となったことである。ガス巻き込みの最大の原因は気密性不足と構造上の問題がある。

これらの問題を理解するために、本鑄造法におけるガスの巻き込み機構についてまず考察する。

図 5.1 に本鑄造法で想定していた鑄造過程(a)と本実験での推定される鑄造過程(b)を示す。

1) トラップへの溶湯流入

基本設計では、ストーク内を減圧して、湯面の汚れた部分をトラップに入れた時点で、シール板を移動させ、開口部をストーク上に移動させ、清浄な溶湯のみを吸引することを想定していた。しかし、本実験では、まず、トラップの上端は減圧溝(シール板の下面に加工している)の位置より上に位置しているため、溶湯で完全に充填することはない。すなわち、減圧溝に溶湯が吸引されるとそれ以上減圧されないため、湯面上昇も停止する。しかし、適当に早い速度で減圧すると、溶湯は慣性によりトラップ中にかなり流入する。

このように考えることで、トラップ中に在留した凝固物がわずかしかならない場合とほぼ充填した状態があり(図 3.3 参照)、後者は減圧速度が速い場合であったこと、及びこの場合でも凝固物の上面形状が上部にはガス(空気)が存在し、自由収縮していることが説明できる。

なお、トラップ近傍では溶湯とシール支持盤が直接接触する部分があり、ここでの凝固が問題となったが、これは断熱性塗型を十分に塗布することで解決している。

2) シール板移動時

トラップに溶湯が流入したら、シール板を移動させる。この間、ストークは溶湯で充填されていると想定していたが、本実験では、湯面上部にガスが存在していると考えられる。この原因としては、以下が考えられる。

a) トラップ中のガス移動

トラップ中にある程度溶湯が存在すれば、ストーク中の湯面が重力で低下してもトラップから溶湯が流入するだけであるが、溶湯が少ないとガスが流入し、湯面上がガスで覆われる。可視化実験用の装置では、トラップの高さは 5mm 程度であったが、本試作装置では 20mm と大きくした。大きいほど汚れた溶湯の除去としては良いが、ストークへのガス供給源になる可能性がある。

従って、ストークの減圧速度を有る程度大きくして、慣性により、トラップ中になるべく多くの溶湯を保持することが重要であると予想され、また実験結果に

もその傾向があった。

b) 不十分な気密性によるガス流入

図 3-8 示したように、ストーク下部を密閉し、ストーク内を減圧した後、シール板を移動させるとストーク内圧力が急に上昇した。実際にストーク中に溶湯が存在する場合、重力があるので、ストーク上部で少しでもガス流入がある(真空度が低下する)と湯面は低下し、上部にガスが存在することになる。シール板の移動で気密性が悪化するのには、シール板移動により、シール板と周囲の構造物の間隔が広がり、あるいはシール部の油膜が途切れ、気密性が低下するためと考えられる。また、ストークと支持盤の接続部からのガス流入の可能性もある。このガス流入を防ぐには、接続部での気密性を上げることが重要であるが、いずれにしてもシール板の移動速度が早いほど、ガス流入量も少なくなるはずである。逆に気密性が悪く、シール板の移動速度が遅いほど、この間に湯面は低下し、湯面上部にガスが溜まることになる。本実験の初期には、移動速度を 50mm/s としていたが、 90mm/s と最大にすることで欠陥が改善されたことは、以上で説明がつく。

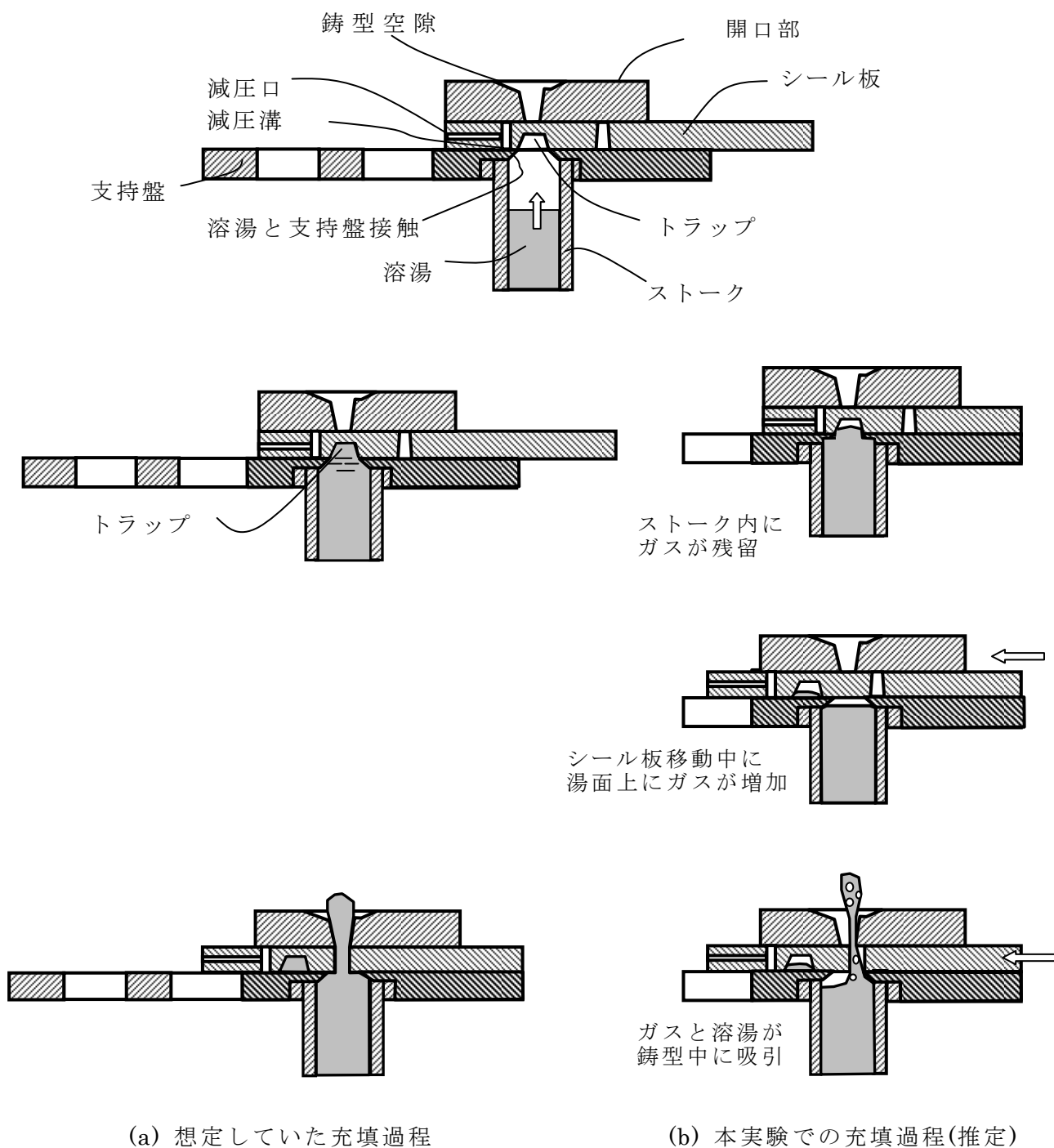


図 5.1 本鑄造法における溶湯充填過程

3) 開口部がストーク上部に存在する時点

想定としては、開口部は溶湯で充満されると思っていたが、ストーク開口部に残留する凝固物で、開口部の形状をしているものはほとんどなく、図 3-4 に示すような酸化皮膜主体の少量の凝固物が多かった。これには以下の理由が考えられる。

- a) 鋳型空隙部が溶湯及びガスで充填される時間が短く(図 4-9 のシミュレーション結果からも予想されるように充填時間は 0.1 秒程度)、またシール板の移動速度が遅いため開口部とストークが多少でもつながると(開口部を溶湯が充填しなくても)鋳型がガス及び溶湯で充填される、あるいは溶湯吸引力がなくなる。
- b) 開口部に真空シール用潤滑剤が集積され、溶湯と接触してガス化し、開口部が溶湯で充填することを妨げた。開口部に潤滑剤が集積されるのは、潤滑剤が過剰に存在し、シール板の移動により開口部にかき集められるためと考えられる。これは、潤滑剤の使用量を最小限とし、油かき用の溝加工を施すことで軽減される。
- c) 開口部と周囲の隙間のガス吸入
開口部周囲からガスが吸引されれば、当然、開口部は溶湯で充填されることはない。

4) 鋳型空隙部充填時

上記のように鋳型空隙部は溶湯とガスの混合物で充填されるが、さらに、金型の見切面に塗布している真空シール用潤滑剤が内部に吸引され、溶湯と接触しガスが発生したことも考えられる。これにより、繰り返し鋳造を行うに従い、金型面での潤滑剤が少なくなっている様子及び鋳物表面が綺麗になることが説明できる。

3.5.3 高強度・高信頼性鋳造品の製造のための改善

以上のことから、本鋳造法で高強度・高信頼性鋳造品を製造するには以下の改善が考えられる。

- (1) 溶湯開閉板の移動速度を増大する。気密性が同じでも、溶湯開閉板の移動速度を増大するとガスの吸引時間が減り、吸引量を減少できるので、欠陥が少なくなるはずである。
- (2) 金型分割を垂直ではなく、水平割とする。鋳型を水平割りに変更すれば、鋳型開閉時の摺動部はなくなり、O リングの利用も可能となる。また、シール板と周囲の寸法精度を上げることが可能となり、気密性も向上するはずである。さらに、溶湯開閉板を円柱とすれば、寸法精度はより向上し、場合によっては O リングの使用も可能である。これらの変更により、ガス巻き込み欠陥は著しく減少するはずである。
- (3) ストークの材質及び寸法を変更し、取付け部の気密性を向上させる。
今回のほとんどの実験では石英パイプをストークとして使用したが、石英パイプでは耐久性がなく、実際には使用できない。耐久性のある低圧鋳造等で実績

のある窒化珪素では、本実験程度の寸法では湯温が低下して凝固が生じる。従って、より寸法を大きくし、またストーク周囲の断熱、鑄造に先立つ加熱(溶湯を上げ、下げすることで加熱可能)などを工夫することで湯温低下問題は解決可能なはずである。気密性についてももう少し寸法が大きくなれば、種々の工夫が可能なはずである。

- (4) 塗型を粉末塗装型とする。高真空化ダイカストで使用されて実績のある粉体塗装を採用し、ガス発生を抑える。
- (5) 鑄造方案を最適化する。本実験では本鑄造法に適した鑄造方案が全く不明であったため、むしろ方案としては悪い方案を使用していたようだ。充満最終位置を減圧口とする、適切な体積のオーバー・フローを適切な位置に配置する、金型温度を従来ダイカスト並みに上げ(ショット数が上がれば自然に温度は上がる。)、凝固時間を長くし、巻き込んだ気泡が外部に排出される時間を長くする、など鑄造方案の工夫でも欠陥をかなり減らせそうだ。
- (6) ハイブリッド注湯方式に変更する。上記のような方法で、どうしても欠陥を無くせない場合には、鑄型空隙部の減圧程度を下げ、ストーク内の溶湯をガス加圧や電磁ポンプ、その他の方法で押し上げ、注湯すれば、欠陥を防げるはずである。この場合でも、従来の低圧鑄造より生産性は上がり、より高品質の鑄造品を、より低コストで生産できると期待される。

3-6 スタディの成果(まとめ)

本スタディは、清浄な溶湯のみを鋳型空隙部に供給し、ガスの巻き込みや酸化皮膜の生成・巻き込みを最小限にできる省エネルギー型の高真空吸引加圧鋳造装置の可能性を確認するため、装置を設計、試作し、鋳造実験を行い評価したものであり、下記の成果が得られた。

3.6.1 試験装置の製作

新たな原理による鋳造装置を設計・製作した。重要な設計項目としては、鋳型空隙部の高真空を実現し、シール板を適切な駆動力で駆動できる耐久性シール板及びその保持板の材質、形状、寸法精度とシール方法、金型移動及び鋳物取出し機構、加圧機構などである。なお駆動は電動サーボモータを使用し、溶解・保持炉(電気炉)は、Al合金で10kgの溶解保持が可能な炉とした。なお、鋳物の自動取出し機構は、技術的には容易であるが、本スタディには必要ではなく、金型等他の費用が不足したため割愛した。

本スタディの前に試作した予備実験装置よりも実用化を考えて、設計したが小型装置であり、気密性不足、ストーク内での凝固など予想外の問題が種々発生した。しかし、これらの問題を結局はかなり解決し、一応鋳造実験が可能な装置となった。

3.6.2 金型及びセラミック型の設計・製作

上記の鋳造装置による鋳造品の品質を調べるため、金型(板状試験片、湯流れ試験形状、実用的な製品形状 合計3型)を設計・製作した。なお、実際には、金型の方案により欠陥の程度が変化することが明らかになり、金型の製作個数は増えている(費用は受託企業等で負担した)。さらに、多品種少量生産や、金型では生産困難な複雑形状品への適用可能性を調べるためロストワックス法によるセラミック型(合計3個)を製作した。予定では、セラミック型は3種類となっていたが、セラミックは破損しやすく、製作にコストがかかるため、同一形状のものを3個製作した。

3.6.3 鋳造実験及び鋳造品の評価

3.6.3.1 鋳造実験

上記の金型及びセラミック型を使用して鋳造実験を実施した。

実験当初は、気密性不足等で鋳型中に溶湯があまり流入しない状況であったが、試行錯誤及び鋳造過程の考察により、装置を改善して鋳造可能となった。

鋳造では以下が重要であることが明らかになった：

- 1) 鋳型空隙部を高真空とするためのシール板と金型間、金型の分割面のみならず、ストークの取付け部とストーク自体の気密性も極めて重要である。

- 2) シール板の移動速度を早くすることが重要である。これは、シール板の移動速度が速いほどガス流入量が少なくなるからである。
- 3) ストークの減圧速度はある程度大きい方が良い。これは、溶湯の慣性により、減圧溝位置より上部にあるトラップの中に溶湯を十分流入させるためである。トラップ中に溶湯が少なく、上部にガスが残存するとそれが、鑄型中に巻き込まれる危険性がある。
- 4) 鑄型空隙部の充満時間は 0.5 秒以下であり、本実験の場合、シール板の移動速度が遅いので、開口部をストーク上に停止させる必要はない。
- 5) 真空シール用のグリースの使用は極力少なくする。

なお、注湯後の遮断後、溶湯を加圧するタイミングについては、加圧ピストン径、ストロークが短く、その効果を確認できなかった。

塗型としては、窒化ボロン(BN)系塗型剤を使用した。

湯流れ試験形状、実用的な製品形状の型、セラミック型に対して鑄造を行い、本鑄造法により、鑄造の可能性が高いことがわかった。

3.6.3.2 鑄造品の評価

鑄造実験で得られた試験片の欠陥を X 線測定などで調べ、機械的性質を測定した。なお、ワイブル分布を求めることは欠陥の少ない試験片の個数が不足したためできなかった。

多くの鑄造試験片で気泡欠陥が観察されたが、気密性の改善、鑄造条件の最適化により、AC4CH 合金の場合、最高引張強さ 158N/mm^2 (JIS 参考値 150N/mm^2)、伸び 2%(JIS 参考値 3%)という測定結果が得られた。また、可視化装置で得られた黒鉛鑄型による試験片では ADC12 合金で引張強度 273N/mm^2 (JIS 参考値 150N/mm^2)、伸び 1%(JIS 参考値 3%)と、引張強さは JIS 以上の値が得られたが、伸びは多少少なかった。

また、鑄造条件が良ければ T6 熱処理ができる可能性は高いことがわかった。

3.6.4 鑄造時の湯流れ直接観察と鑄造シミュレーション

3.6.4.1 湯流れの直接観察

本鑄造法では、ストーク上部での溶湯挙動、鑄型空隙部での溶湯挙動(ガスの巻き込みが本当にないか)が大きなポイントの一つであるが、この部分では構造上、X 線方向に厚い材料を使用する必要があり、黒鉛でも困難という検討結果となった。鑄型空隙部での湯流れの可視化には成功し、最初多くの気泡が巻き込まれているが、上昇して鑄型外に排出され、最終的には、健全なものが得られるという興味深い観察結果であった。

3.6.4.2 鋳造シミュレーション

数値シミュレーション結果、充填時間が 1 秒以下の短時間であり、また、減圧されているため常温金型でも薄肉鋳造品が得られる理由がわかった。また、キャビティ内にガスが存在すると気泡の巻き込みは避けがたいものと考えられる。

なお、上記のシミュレーションでは、ゲート部が溶湯で充満されていると仮定している。シール板の移動などを考慮したソフトについて考察した。

3.6.5 総合的考察

以上を総合して、本鋳造法の総合的評価を行った。

すなわち、本鋳造法の特徴で確認されたこととして、①汚れた湯面の溶湯をトラップにより除去できる可能性がある。②シール板は正常な運転がなされれば、案外耐久性がありそうである。③装置はコンパクトで、真空ポンプの音が問題になる程度で、作業性は非常に良い。低圧鋳造のように保持炉が密閉されていないので、溶湯管理も容易である。④溶湯搬送等の熱損失が極めて少ないため、また、ダイカストのように大きな射出速度、圧力が不要なので大幅な省エネルギーが予想される。⑤常温程度の金型でも、従来ダイカスト法では製造が容易でない AC4CH で薄肉のものがより少ない欠陥で製造できる、また、気密性の向上や、鋳造条件の最適化で、かなり健全な試験片が得られる可能性がある。⑥鋳造条件が良ければ T6 熱処理でのふくれはほとんどなく、T6 熱処理できる可能性は高い。⑦金型内部を吸引する方法ではなく、真空ボックスで鋳型全体を吸引する方法の方が鋳造は容易で、より健全な試片が得られる。X線による直接観察から、これは、ガスを巻き込んでもガスが逃げやすいためと考えられる。従って、金型でも方案を最適化するとより健全な鋳物が製作できる可能性がある。

などであり、少なくとも、通常ダイカスト法より良い製品をより低コスト、省エネルギーで得られる可能性はあると思われる。また、真空ボックスで鋳型全体を吸引する方法により、多品種少量製品用の新しい鋳造法となる可能性は高いと考えられる。

一方、高強度・高信頼性鋳造品の製造法という観点からは、その可能性について、確実な結論を得ることはできなかった。しかし、気密性の向上や、鋳造条件の最適化で、かなり健全な試験片が得られるようになったことから、さらなる改善で、より健全な鋳造品を製造できる可能性はあり、継続的に研究・開発することが望まれる。

4 スタディの今後の課題及び展開

4.1 今後の課題

実用化に向けて、以下のような課題が残っている。

- (1) 溶湯開閉板の移動速度を増大する。気密性が同じでも、溶湯開閉板の移動速度を増大するとガスの吸引時間が減り、吸引量を減少できるので、欠陥が少なくなるはずである。
- (2) 金型分割を垂直ではなく、水平割とする。鋳型を水平割りに変更すれば、鋳型開閉時の摺動部はなくなり、Oリングの利用も可能となる。また、シール板と周囲の寸法精度を上げることが可能となり、気密性も向上するはずである。さらに、溶湯開閉板を円柱とすれば、寸法精度はより向上し、場合によってはOリングの使用も可能である。これらの変更により、ガス巻き込み欠陥は著しく減少するはずである。
- (3) ストークの材質及び寸法を変更し、取付け部の気密性を向上させる
今回のほとんどの実験では石英パイプをストークとして使用したが、石英パイプでは耐久性がなく、実際には使用できない。耐久性のある低圧鋳造等で実績のある窒化珪素では、本実験程度の寸法では湯温が低下して凝固が生じる。従って、より寸法を大きくし、またストーク周囲の断熱、鋳造に先立つ加熱(溶湯を上げ、下げすることで加熱可能)などを工夫することで湯温低下問題は解決可能なはずである。気密性についてももう少し寸法が大きくなれば、種々の工夫が可能なはずである。
- (4) 塗型を粉末塗装型とする。高真空化ダイカストで使用されて実績のある粉体塗装を採用し、ガス発生を抑える。
- (5) 鋳造方案を最適化する。本実験では本鋳造法に適した鋳造方案が全く不明であったため、むしろ方案としては悪い方案を使用していたようだ。充滿最終位置を減圧口とする、オーバー・フローを適切な位置に配置する、金型温度を従来ダイカスト並みに上げ(ショット数が上がれば自然に温度は上がる)、凝固時間を長くし、その間に巻き込んだ気泡を効果的に外部に排出する、など鋳造方案の工夫でも欠陥をかなり減らせそうだ。
- (6) ハイブリッド注湯方式に変更する。上記のような方法で、欠陥を無くせない場合には、鋳型空隙部の減圧程度を下げ、ストーク内の溶湯をガス加圧や電磁ポンプ、その他の方法で押し上げ、注湯すれば、欠陥を防げるはずである。この場合でも、従来の低圧鋳造より生産性は上がり、より高品質の鋳造品を、より低コストで生産できると期待される。

4.2 今後の展開

前記の今後の課題を追求するために、戦略的基盤技術高度化支援事業に応募す

る準備を進めている。また、基本的な課題として、このような吸引鑄造法での鑄造方案がほとんどわかっていない。そこで、可視化や数値シミュレーションと本スタディで開発した装置(不十分ではあるが、方案でどこまで改善可能かは興味ある所である)を使用した実験を基に最適方案決定に役立つ技術開発を文部科学省の科学研究費補助金を得るべく申請した。

また、前述の改善(ハイブリッド方式の開発を含む)を行うプロジェクトを、戦略的基盤技術高度化支援事業に応募予定である。本計画は、本スタディでの成果を基により確実に鑄造可能な方式としている。アルミニウム合金用のホットチャンバダイカストマシンの開発が熱望されており、これまでに、いくつかのプロジェクトが実施されたが、従来的高速・高圧ダイカストに耐えられるスリーブやプランジャがなく、実用化例はほとんどない。本開発は、この長年の問題を解決できる可能性もある。さらに、本装置により、本スタディで目指していた、吸引だけでの鑄造の可能性をさらに追求できる。

耐久性の評価には時間とコストがかかるので工夫が必要である。シリンダブロック等の大物の鑄造には適切な時期にユーザとの共同開発が必要である。

システム開発 20-F-7

軽量高強度薄肉鋳造品製造のための高真空吸引加圧鋳造
システムに関するフィージビリティスタディ
(要旨)

平成21年3月

作成 財団法人 機械システム振興協会
東京都港区三田一丁目4番28号
TEL03-3454-1311

委託先 財団法人 素形材センター
東京都港区芝公園三丁目5番8号
TEL03-3434-3907