

## 解説



## Review

## 最近のダイカスト技術の紹介

蓮野昭人\*

## Introductions of Recent Die Cast Technology

Akihito Hasuno

## Synopsis

The demand of quality improvement and reduction in costs from the user of die casting products increases every year. And, in order to fulfill the requirement, new technologies are developed as follows;

- (1) The high vacuum process reduces the gas content in the die castings and enables the welding of die cast products.
- (2) The high speed casting process enables larger and thinner product.
- (3) New die lubricant technique and optimization of cooling by CAE contributes to productivity improvement.

On the other hand, these new technologies might give the die serious damages. Further cooperation of related manufacturers is necessary and indispensable for a further improvement in the future.

## 1. はじめに

ダイカストは金型に溶融金属を高速で流し込んだのち、高圧下で短時間に凝固させる鋳造法である。ダイカストは他の鋳造法と比較して、

- 冷却速度が速く、微細な凝固組織が得られる。
- 高圧で鋳造することで良好な鋳肌が得られる。
- ハイサイクルでの鋳造が可能である。
- 短時間で充填することにより、薄肉の製品を鋳造できる。

などの長所があり、多くの工業製品に用いられている。

本稿では、ダイカストを取り巻く現状や技術の紹介と、リョービ株式会社（以下、当社という）での取組事例について述べる。

## 2. ダイカスト産業を取り巻く環境

ダイカスト製品の主要ユーザーは自動車業界であり、その動向はダイカスト産業に大きな影響を及ぼす。

Fig.1 に 2001 年から 2006 年までのアルミニウムダイカストの生産量と、そのうちの自動車向け製品の生産量の

推移を示す。自動車向け製品は総生産量の約 8 割を占めており、近年の自動車業界の好調により、総生産量は右肩上がりに上昇している。

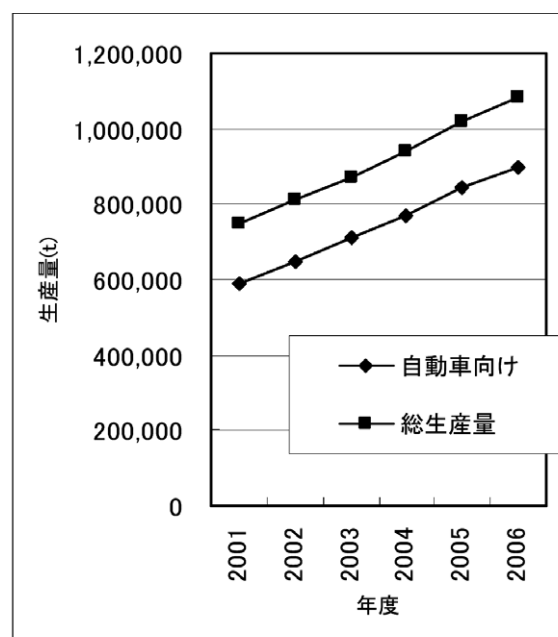


Fig.1. Transition of products of aluminum die casting.

2007 年 7 月 13 日受付

\*リョービ株式会社 ダイカスト本部研究開発部, Ph.D. (Ph.D., Research and Development Dep., Die Casting Div., Ryobi Limited)

ダイカスト製品の主な用途としては、従来ではカバー類、ケース類やシリンダブロックなどであった。しかし、近年では地球環境保護や石油資源保護の観点から車体重量の軽量化が大きな課題となっており、従来では用いられていなかった足回りやボディフレーム部品などの構造部品への適用が行われている。

また近年では、自動車会社を含めユーザー産業が海外、特に中国・アジアへ進出していったことを受け、これらの国々の企業とのコスト競争が激化している。このため、高品位の製品を低コストで生産するための生産技術の改善を進めていくことが重要である。

### 3. 高品位ダイカスト製造技術

現在、アルミダイカストの新たな用途として、フレームなどの機能部品への展開が盛んに進められている。これらの部品は、

- (1) 構造上、他の部材と溶接する必要がある。
- (2) 機械的性質を確保するために、T6 など溶体化を伴う熱処理を行う場合がある。
- (3) 構造部品であることから、とくに高延性であることが必要である。
- (4) 大物品である。

など、従来のダイカストでの製造は困難であった。そこで、近年では以下に述べる要素技術を確立することで、ダイカストの適用範囲の拡大が行われている。

#### 3. 1 高真空技術

一般的にこれまでのダイカスト法は、その特徴のひとつである金型への溶湯の高速充填の際、金型内の空気を巻き込み、ブローホールなどの製品欠陥が発生してしまう。このため高強度・高延性を求められる強度部品に關しての適用は限られたものであった。さらに、多くのフレーム類では他の部材との溶接を行う必要があり、製品内部に多くのブローホールを持つダイカスト製品は、適用が困難であった。

この製品内部のブローホールを削減するアイテムとして近年広く用いられているのが、高真空ダイカスト技術である<sup>2)~5)</sup>。この技術は金型キャビティ内の空気を強制的に外部へ排出することにより、製品内部に巻き込まれるガス量を低減することを目的とした技術である。これらの技術の実用化に伴い、欧州をはじめとして、日本国内においてもサブフレームなどの足回り構造部品の量産化が実現している。

当社においても、早くより高真空ダイカスト技術の開発を行ってきた<sup>6)</sup>。Fig.2 に高真空金型の概略図を示す。

金型キャビティの排気を極力長時間行うために、キャビティからの排気経路に、当社独自技術である RSV(Ryobi Shut Valve) と呼ばれるバルブを設置してある。このバルブは溶湯の到達を電氣的に感知してバルブを閉じる機構を持ち、充填完了間際まで効率よく排気を行うことができる。さらに、金型パーティングラインのみではなく、押し出しピン穴や内冷穴に加え、インサートやシリンダなどの金型構成部材の合わせ面など、キャビティ内から外部への真空漏れ経路にシールを行うことによりキャビティ内の減圧効率を向上させている。これらの高真空技術を活用することにより、Fig.3 に示すようなサブフレーム品の量産化を実現することが可能となった。

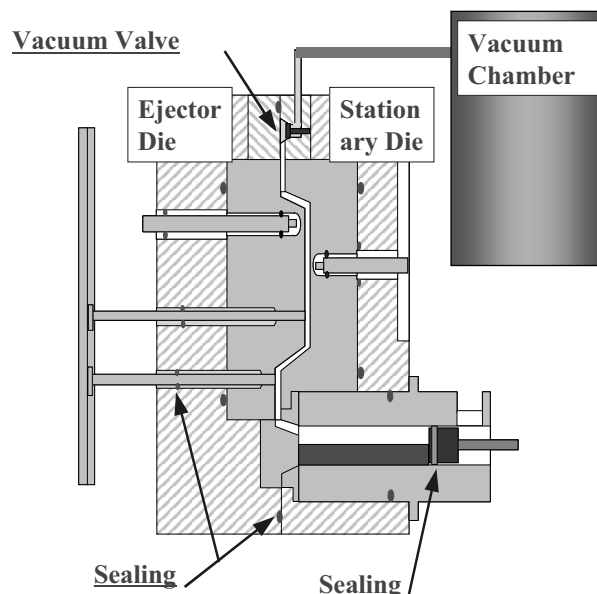


Fig.2. Schematic drawing of die system for high-vacuum die casting.



Fig.3. Appearance of aluminum die casting sub-frame.

### 3. 2 超高速ダイカストによる大物製品や薄肉製品の casting

ユーザーの軽量化の推進のもと、さらなる薄肉化に加え、部品の一体化・大型化のニーズが高まっている。ダイカスト法は、金型キャビティ内へ短時間で溶湯を充填できることから、他の casting プロセスに比較して薄肉製品の製造に適した方法であるが、さらなる大型化を進めるためには、従来のダイカストマシンの射出速度では不十分であった。そこで、近年では空打ちでの射出速度を 10 m/s 程度まで上げて casting できる超高速ダイカストマシンが実用化されている。当社においても、超高速ダイカストマシンを用いることで、大画面プラズマディスプレイシャーシなど大型・薄肉製品の量産化を行ってきた。また、先に述べたサブフレーム量産化においても、充填時間を短縮し良好な凝固組織を得ることできる超高速ダイカスト法は、製品の機械的性質の安定化に大きく寄与している。

しかしその一方で、従来法に比べて金型トラブルが増加する傾向がある<sup>8)</sup>。

Table 1 に普通ダイカスト型と超高速ダイカスト型の寿命と寿命までのクラック補修回数を比較した結果を示す。普通ダイカスト型にくらべ、超高速ダイカスト型が補修回数も多く、短寿命であることがわかる。Fig.4 に超高速ダイカスト型と普通ダイカスト型のクラック断面を比較した結果を示す。超高速ダイカスト型のクラックは、開口幅が広く、アルミが深くまで差し込んでいる。また Fig.5 に示すように硬度測定の結果、普通ダイカスト金型に比べ、超高速ダイカスト金型では金型表面での軟化が確認できた。これらの現象は、従来に比べ短時間で充填された高温の溶湯に起因すると考えられ、

- (1) 従来よりも細かいクラックへ容易に溶湯が差し込む。
- (2) 差し込んだ溶湯が凝固し、楔となって、金型表面が熱膨張する際に新たなクラックを誘発する。

ものと考えられる。現状、これらのクラックでは金型材質・硬度の変更や、表面処理などによる対策では十分抑制できない場合があり、湯道形状、射出条件などの最適化による対策が必要不可欠である。

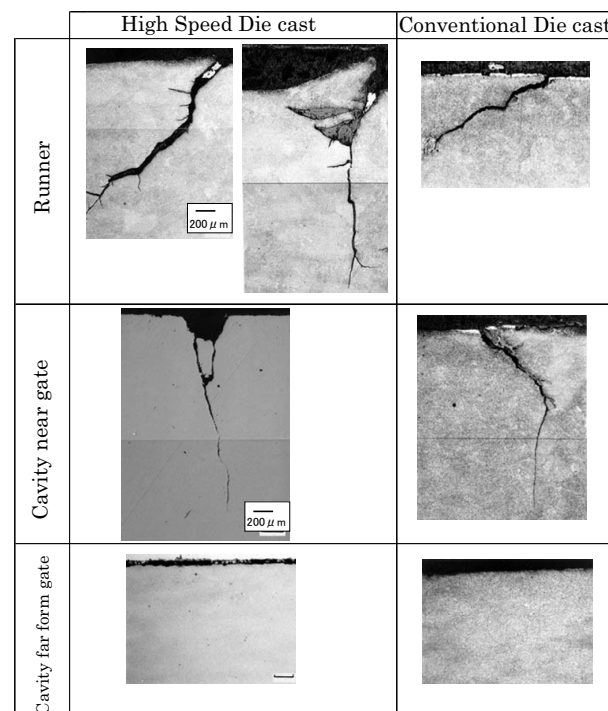


Fig.4. Cracks observed in the high speed die casting mold.

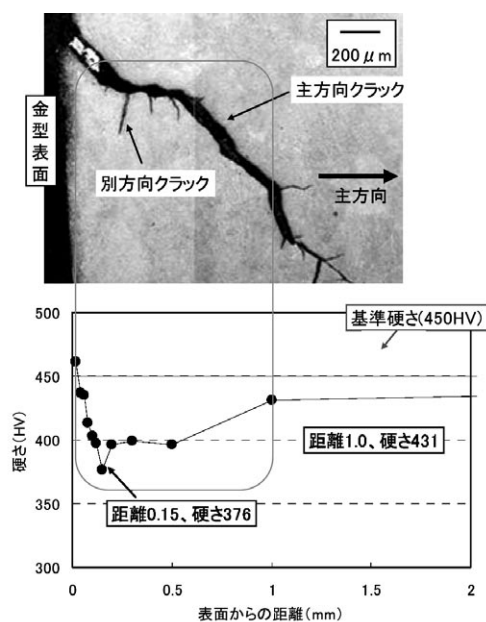


Fig.5. Profile of hardness near the surface of the die.

Table 1. Comparison of Number of maintenances and die life between dies for conventional die casting and high-speed die casting.

	メンテナンス回数	型寿命
普通ダイカスト金型	65	69150 ショット
超高速ダイカスト金型	52	102075 ショット

### 3. 3 高延性アルミニウムダイカスト合金

自動車の足回りや車体部品には、機能上とくに従来のダイカスト合金にはない高い延性が要求されることから、延性を向上させた新しい合金が多く実用化されている。合金は大きく分けて

- (1) 熱処理を必要とする Al-Si-Mg 系合金（熱処理系合金）。
- (2) 熱処理を必要としない Al-Mg 系合金（非熱処理系合金）。

の2種類がある。熱処理系合金は、比較的铸造性もよいことから多く用いられているが、熱処理コストや熱処理ひずみの問題などがある。

一方、非熱処理系合金は熱処理を必要としない代わりに、湯回り性や、铸造割れなどの铸造性に関する欠点が多い。

また、これらの合金に共通する特徴として、合金中の Fe の含有量が低い点がある。これは、延性を阻害する主要因である Al-Si-Fe 系金属間化合物の生成を抑制するためであるが、Fe 量が減少することにより焼付きなどの金型トラブルが増加する傾向がある。

### 3. 4 セミソリッド・ダイカスト法

ガスポロシティなどの铸造欠陥が少なく高品位の製品を铸造する方法としては、溶湯を固液共存状態で充填するセミソリッド・ダイカスト法がある。これらの方法はセミソリッド・スラリー（固液共存状態の溶湯）の作製方法で、以下の2つに分類できる。

#### (1) 半溶融铸造法

溶融した合金を攪拌しながら凝固させることで、粒状の組織をもつビレットをあらかじめ作製し、铸造時に再溶解させて用いる方法。

#### (2) 半凝固铸造法

溶湯を固液共存域まで冷却し、初晶を粒状に晶出させた後、そのまま铸造する方法。

固液共存状態で充填を行うことによる利点は、巻き込みや引けなどの欠陥が少なく高品位な製品を铸造できる点である。しかしながら、セミソリッド・スラリーを製造するコストが高いことや、薄肉化が困難であることなどから、実用化の範囲は厚肉の強度部品などに限られていた。近年は、迅速かつ簡便にスラリーを生成するナノキャスト法<sup>9)</sup>が開発され、低価格でのセミソリッド・ダイカストの生産拡大が期待されている。

また、固液共存域まで溶湯温度を低下させる利点を活かして、溶融状態ではダイカスト化が非常に困難である铸铁などの高融点合金のダイカスト化についての研究<sup>10)</sup>も行われており、今後の利用範囲の拡大が期待されている。

## 4. アルミニウム合金以外のダイカスト合金

### 4. 1 マグネシウムダイカスト

マグネシウム合金は、アルミニウム合金にくらべ密度が2/3程度であることから、電気部品ではパソコン・携帯電話などの筐体などに、自動車部品ではシートフレームなどの部品などに使用されている。ところが、従来のマグネシウム合金は高温での耐クリープ性が低下することから、適用範囲が限られていた。これらの欠点を改良した耐クリープマグネシウム合金は、Mg-Al 合金に Si, Ca, 希土類金属などを添加したものが実用化されているが、铸造性や焼付き性に問題があった。

そこで、当社は新たな耐クリープ合金として、Mg-Al-Ca-Sn 合金の RM-2 を開発した<sup>11), 12)</sup>。この合金は、従来の耐クリープ合金である、Mg-Al-Ca 合金に Sn を添加することで従来の問題点であった割れ性や焼付き性を改善した合金である。耐クリープ性においては、Fig.6 に示すとおり、ADC12 とほぼ同程度の値を示しており、今後トランスミッションケースなどパワートレイン部品への適用が期待できる。

### 4. 2 亜鉛ダイカスト合金

亜鉛ダイカストは、铸造性が良く良好な铸肌が得られ、かつ表面处理との相性がよいことから、建築用品金具、ロック部品、自動車部品などから、玩具にいたるまでさまざまな分野で利用されている。従来は、流動性が良いことから薄肉・精密部品の生産が多く行われていたが、近年の軽量化のニーズにこたえるため更なる薄肉化の試みが行われており、佐藤らの報告<sup>13)</sup>では 70 × 100 mm の板状铸件を 0.2 mm の肉厚で铸造した事例が報告されている。

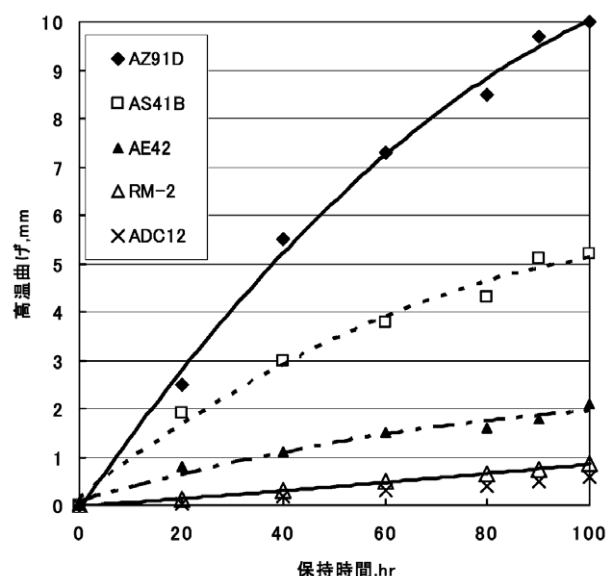


Fig.6. Results of creep resistance test.



## 5. ハイスサイクル化と焼付き防止技術

グローバル化により激化した国際競争を勝ち残るためには、前述の「高品位化」による差別化も重要であるが、従来製品の生産性をいかに向上させ競争力を高めていくことも重要な課題である。

ダイカストの生産性向上のため、サイクルタイムを短縮することは有効な手段の一つではあるが、金型を冷却する時間も短縮されてしまうことで起きるトラブルをいかに回避するかが重要な技術課題である。

金型冷却の基本は金型内部の冷却回路による冷却であり、いかに最適な冷却方案を作成するかが重要である。当社では、冷却方案最適化のアイテムとして早くからCAEの活用を行ってきた<sup>14)</sup>。近年では、金型設計段階から試作段階で積極的にCAEを活用し、冷却方案の最適化はもとより、場合によっては製品形状の変更などの対策も行うことができるようになってきている。Fig.7に示した事例では、金型形状を変更することにより金型表面温度を低下させ、焼付きを抑制することができた<sup>15)</sup>。

また、ダイカストにおける焼付きを抑制するアイテムとして大きな役割を占めているのが、離型剤である。現在は、離型剤の主成分である油分を乳化させた水溶性離型剤が多く用いられている。水溶性離型剤が用いられる以前は、油分を灯油で希釈した灯油希釈型油性離型剤が主であったが、灯油の使用によって生じるオイルミストによる作業環境の悪化や、引火による安全上の問題により現在の水溶性離型剤に主役の座を明け渡した形になっている。

しかしながら、水溶性離型剤は溶媒としてもちいている水を蒸発させて成分を金型表面に付着させるわけであるが、このとき、金型温度が高すぎるとライデンフロスト現象により、乳化した離型成分が金型表面で跳ね返さ

れ付着できず離型性の低下を招き、金型温度が低すぎる場合は、水分の蒸発が十分行われないため、金型表面に付着せず流れ落ちてしまい離型成分が金型に付着しなかったり、蒸発できなかった水分が製品品質の低下を招いたりなど、多くの問題を抱えている。とくに高温での付着性の低下は、サイクル時間短縮によって型温が高くなったときに、焼付き・カジリなどのトラブル増加の要因となる。

そこで当社では、従来の灯油希釈型油性離型剤の欠点を補った新しい油性離型剤とその塗布方法を開発した<sup>16)</sup>。この方法の主な特徴は、

- (1) 離型剤は離型主成分と、その粘性を低下させるための特殊基油成分からなり灯油による希釈を必要としない。
- (2) 少量塗布を可能にしたことにより、作業環境悪化を抑制した。
- (3) 灯油による希釈を廃止したことで、引火の危険性を低減した。
- (4) 水溶性離型剤に比べ広い温度域で付着し離型効果を発揮できる。
- (5) 水溶性離型剤使用時に必要不可欠である、水残り防止のための長時間のエアブロー時間を短縮できる。

などの点にある。とくに、(4)、(5)の特徴はサイクルタイム短縮に大きな効果が期待できる。本法をFig.8に示す二輪車体部品に適用した事例では<sup>14)</sup>、従来の水溶性離型剤から油性離型剤への変更と、Fig.9に示すようなCAEを活用した冷却方案の見直しにより型温上昇を抑制した結果、従来のショットサイクル38sを21.7sまで短縮することができた。

なお、離型性の改善に関しては水溶性離型剤の付着性改善についての報告や<sup>17)</sup>、金型表面処理による離型剤レス化についての報告<sup>18)</sup>などあり、今後もその動向が注目される。

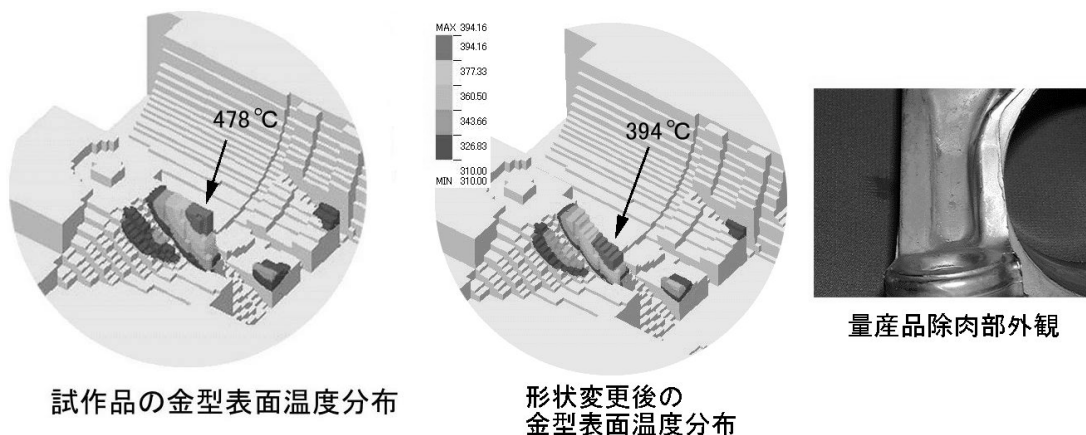


Fig.7. Comparison between calculated mold temperatures and soldering.



Fig.8. Appearance of Brace cowling for motor cycle.

## 6. まとめ

以上述べてきたとおり、ダイカスト製品の高品位化を実現するためにさまざまな要素技術が実用化されている。しかしながら、これらの技術の導入により金型に対する負荷はより一層増加する傾向にあり金型トラブルの一層の増加が懸念される。

加えて、中国・アジア諸国との競争を勝ち抜くにはより一層の生産性の向上が必要であり、金型起因によるチョコ停時間の削減は製造現場の抱える大きな課題である。

これらの課題の解決には、金型鋼材のみではなく、型設計・製作、熱処理、表面処理、離型剤など多くの技術を結集していく必要がある。

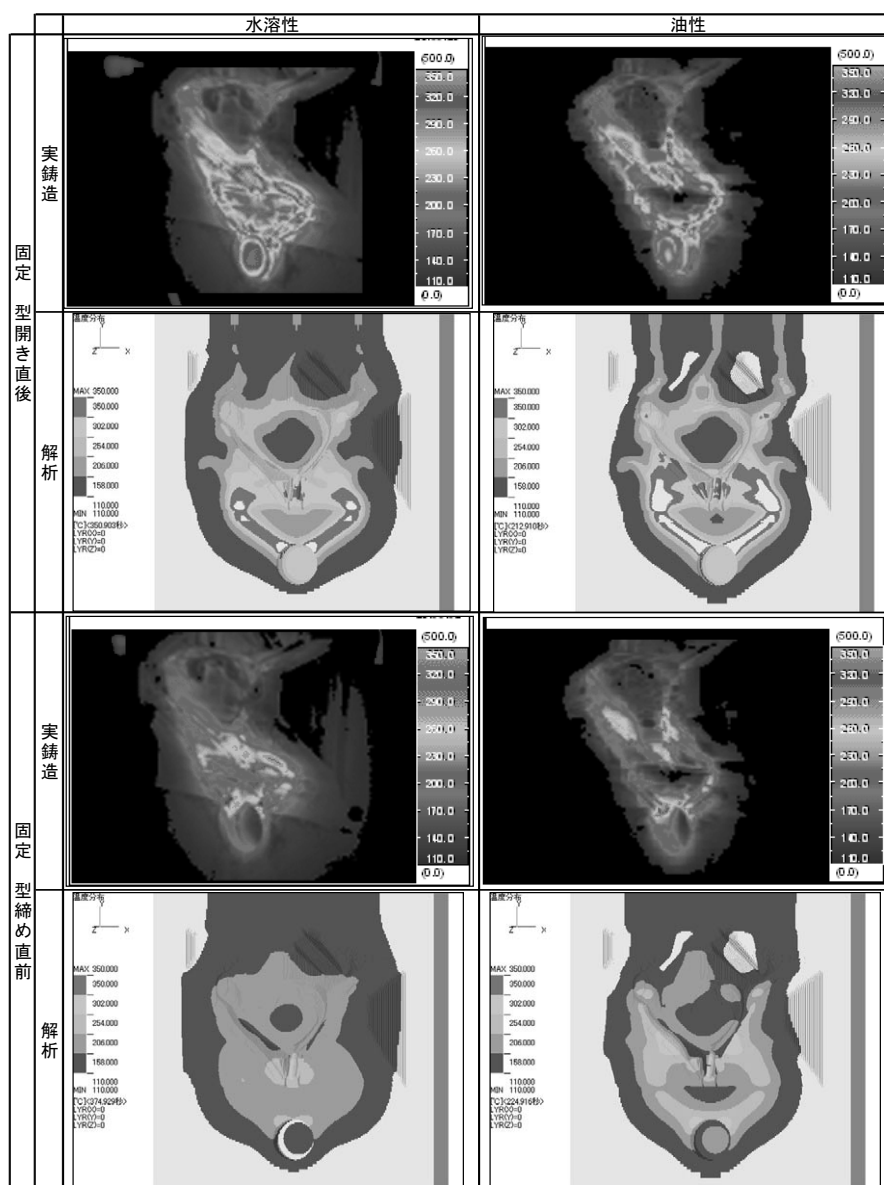


Fig.9. Comparison between measured mold temperature and calculated mold temperature.

## (文 献)

- 1) 経済産業省 鉄鋼・非鉄・金属製品統計月報.
- 2) 西 直美：日本鑄造工学会研究報告 91, 日本鑄造工学会, 2003, 4.
- 3) 野崎美紀也, 水野慎也：アルトピア, 35 (2005), 1, 15.
- 4) 橋内透, 山縣裕：日本ダイカスト会議論文集, 2004, 271.
- 5) 金内良夫, 伊藤俊久, 小暮浩, 茂木達也：日本ダイカスト会議論文集, 2006, 229.
- 6) 村上 衛, 安原由章, 浅田 穰, 菅波宏哉, 竹田 敬, 福地文亮：日本ダイカスト会議論文集, 2006, 217.
- 7) 北村 弘, 辻 眞, 横山宏司：日本ダイカスト会議論文集, 1996, 65.
- 8) 有須田康弘, 蓮野昭人, 吉田潤二, 谷井一也：日本ダイカスト会議論文集, 2006, 29.
- 9) 渡邊一彦, 土屋金雄, 小林英二, 花田和直, 板村正行, 金宰民, 洪俊杓：日本ダイカスト会議論文集, 2004, 229.
- 10) 機械システム振興協会：高融点金属のセミソリッド鑄造法の開発に関する調査研究報告書要旨, 2004.
- 11) 大村博幸, 山田洋二：日本鑄造工学会 第 143 回全国講演大会講演概要集, 143 (2003), 81.
- 12) 大村博幸, 山田洋二, 村島泉, 松村正博：日本ダイカスト会議論文集, 2004, 109.
- 13) 佐藤健二, 西直美, 早野勇：日本ダイカスト会議論文集, 2006, 161.
- 14) 山内率旨, 岩国信夫, 久野英明, 中川昌也：日本ダイカスト会議論文集, 1996, 173.
- 15) 日本ダイカスト協会：ダイカストのコンピュータシミュレーション活用事例集, 2004, 195.
- 16) 井澤龍介, 外川浩司, 大平博文, 小林正尚：日本ダイカスト会議論文集, 2004, 77.
- 17) 西浦賢一, 高松亮太：日本ダイカスト会議論文集, 2006, 83.
- 18) 河田一喜, 関谷慶之, 木立徹, 飯沼育雄：日本ダイカスト会議論文集, 2006, 55.