

# ダイカストの解析技術の開発

横野 航太

## 1 はじめに

KYBの自動車用電動パワーステアリング（以下EPS）のギヤケースや油圧パワーステアリング（以下HPS）用ベーンポンプのボデーと呼ばれる部品はダイカスト工法で製造されている（図1）。

EPSは自動車のステアリング操作において電動モータが発生するトルクをパワーアシストとして利用するものである。HPS用ベーンポンプは油圧の力により、わずかな操作でステアリング操作を可能とし、危険回避にも素早く対応できるなど安全運転に不可欠な装備である。

これらのダイカスト部品において引け巣などの铸造欠陥が発生した場合、水の浸入による錆の発生や、作動油のリークが発生し動作不良の原因となる。

铸造欠陥が試作段階で発生した場合、追加試作を経て欠陥の対策をするため、型修正や試作に費用と期間が必要になる。

本報では、開発リードタイムの短縮を狙ったダイカストシミュレーションの欠陥予測精度向上の取り組みと、その適用事例について紹介する。

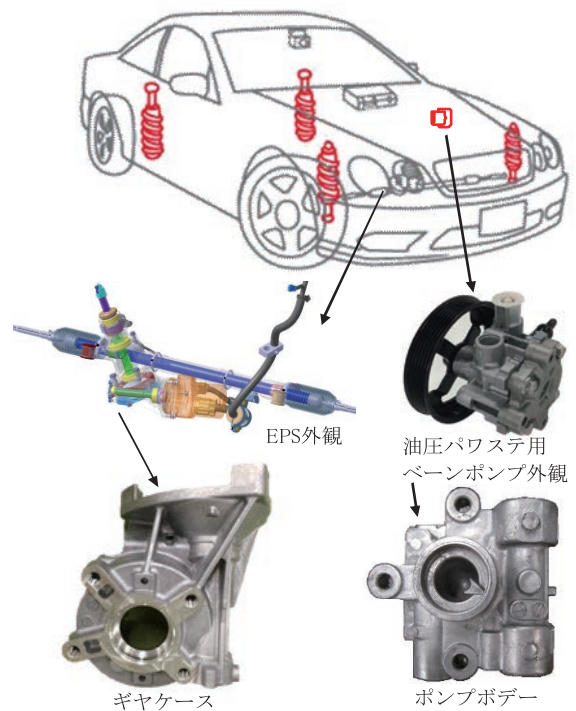


図1 KYBのダイカスト部品の例

## 2 铸造欠陥と対策

铸造欠陥にはガス巻き込み、湯じわ、引け巣といった欠陥がある（図2）。

ガス巻き込みは、金型内に溶湯が射出される際に巻き込まれた空気が製品部に気泡として残ったものである。ガス巻き込みは空気を巻き込みにくい湯道形状にすることで対策する。

湯じわは、溶湯が完全に融合する前に凝固し、しわ状のくぼみとなる表面欠陥であり、溶湯温度の低下を防止することで対策する。

引け巣は、溶湯の凝固収縮により製品内に発生した空隙で、主に肉厚中心部や最終凝固部に発生することが多い。引け巣には厚肉部の冷却を強化し指向性凝固を行う、局部加圧により溶湯を補給するなど

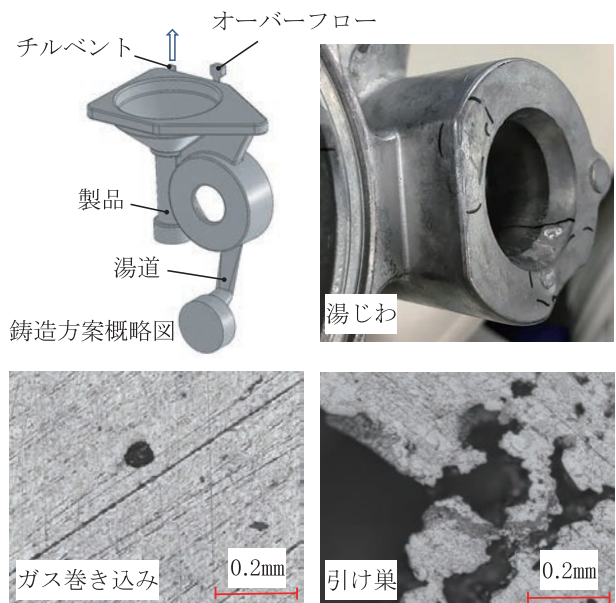


図2 铸造方案と铸造欠陥

の対策をする。

これらの欠陥は製品の機械的性質を悪化させ、切削加工後に欠陥が露出した場合にはリークの原因となる。しかし、ダイカストでは工法上、製品の引け巣やガス巻き込みを避けられないため、外観検査やリークテストにより不良品の流出を防止している。また、不良率が高い場合、今までの経験から金型や射出条件を変更し対策していた。しかし、金型修正のリードタイムが伸びることや修正回数が複数に及ぶ問題があった。

### 3 シミュレーションの予測精度向上

シミュレーションソフトは市販の鋳造用解析ソフト（ADSTEFAN<sup>注1)</sup>を用いた。シミュレーションを活用するためには、実体とシミュレーションの欠陥の有無や発生個所が一致する必要がある。実際の鋳造欠陥についてはX線CTスキャンを用いて空隙分布を確認後、それぞれの部位の断面を観察することで引け巣とガス巻き込みの2種類の欠陥に分類した。シミュレーションソフトには、比熱や熱伝導率などの物性値がデフォルトで用意されているが、そのままの値では欠陥の発生を正確に予測することができない。そこで、以下の手順で予測精度を向上させた。

注1) 株式会社日立産業制御ソリューションズの商標登録。

#### 3.1 温度分布の予測精度向上

実体の金型温度をシミュレーションで再現することは湯流れ、凝固解析における欠陥予測には不可欠である。そのためにはシミュレーションの温度分布の予測精度向上が必要である。

鋳造モデルは溶湯や金型、金型の水冷回路などの要素から構成されている(図3)。温度分布の予測精度向上には、比熱や密度などの各要素固有の物性値と、要素間の熱伝達係数を把握する必要がある。要素固有の物性値については、比熱、密度、熱伝導率、粘度を測定し、実測値をシミュレーションに反映した。

熱伝達係数は測定できなかったため、サーモグラフィで金型温度を実測し、実測した温度をシミュレーションで再現できるように調整した。

デフォルトの物性値では最大で100℃以上の温度差があった。実測の物性値を用いて熱伝達係数を調整することで実体との温度差を最大20℃以下に収めることができた(図4)。また、機種が変わっても各材質や工程が同じであれば、物性値を再度調整することなく実体との温度差を20℃以下に収めることができた。

#### 3.2 欠陥の予測精度向上

ガス巻き込みは射出開始から完了までのガス圧を

表示する「最大空気圧力」を用いて評価した。巻き込んだ空気が高圧になった部分に発生すると考え、あるガス圧以上の部分のみを表示させた。その結果、デフォルトの状態では部位Aを予測できず、他の部分で欠陥を過剰に予測した。物性値や温度分布を実際の値に近づけることで部位Aを予測し、更に過剰予測部分も減ったことからガス巻き込みの予測精度を向上することができた(図5)。

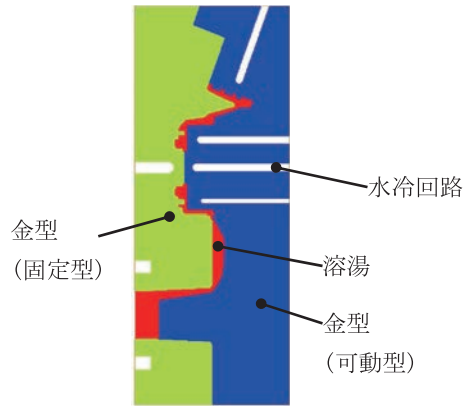


図3 鋳造モデルの概略図

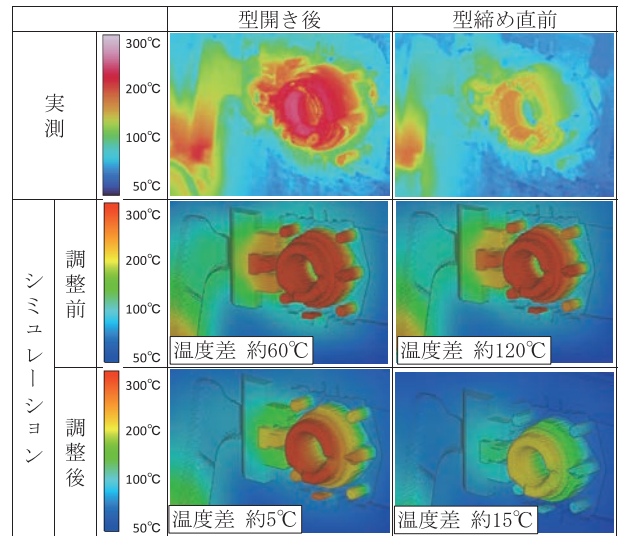


図4 金型温度分布の合わせ込み結果

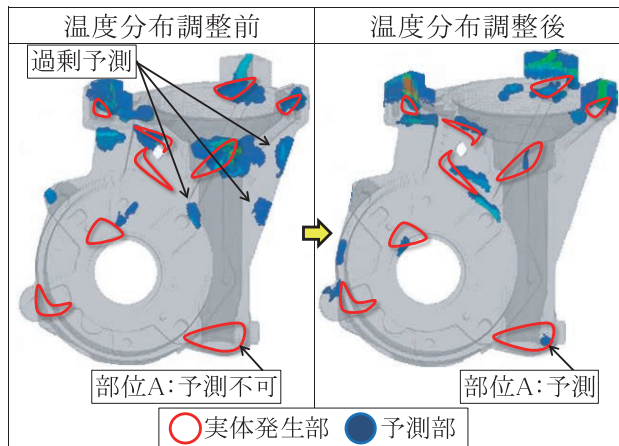


図5 ガス巻き込み予測結果



湯じわは充填完了時の溶湯の「空気接触時間」が長く、溶湯が合流する際の温度が低い箇所と実体の湯じわの発生個所が一致した(図6)。

引け巣の予測方法は溶湯の凝固収縮と凝固収縮による溶湯の移動を考慮する「健全度」を用いた。健全度は率で表され、数値が小さいほど引け巣の危険度は高まる。ガス巻き込み同様に物性値や温度分布を実際の値に近づけることで予測精度を向上できた(図7)。また、引け巣の発生場所は、凝固中の未凝固部分を絞り込んだ「固相率」でも一致させることができた(図8)。健全度は局部加圧<sup>注2)</sup>の効果も再現し、未凝固部はより引け巣範囲を精度良く予測できることも分かった。

注2) 凝固過程中に金型内の一部を直接加圧し、凝固収縮する溶湯を補う方法。

## 4 シミュレーションの適用事例

### 4.1 ギヤケースの引け巣対策

部位Aにて欠陥が発生しているギヤケースの原因調査と欠陥の対策をした(図9)。部位Aには主に引け巣が発生していることが観察結果から確認できた。そこで、シミュレーションを用いて対策を事前検討した後、鑄造実験をした。

引け巣は金型の冷却を強化することで対策した。金型の構造上追加冷却が可能である場所に水冷管を追加した。シミュレーションの結果、金型温度が下がり健全度は変わらないが未凝固部分が小さくなるのが分かった(図10)。この結果から引け巣を消滅させることはできないが、切削加工後に加工面に引け巣が露出してリークに繋がる危険度が下がると判断した。

鑄造実験の結果、引け巣の程度を小さくすることができ、リーク不良率を大幅に減らすことができた。

### 4.2 湯じわ対策

新機種の鑄造方案検討時に、過去に類似形状の部品で湯じわが発生していた。同様の部位に湯じわが発生する可能性が高く、シミュレーションを用いて鑄造方案の対策をした。

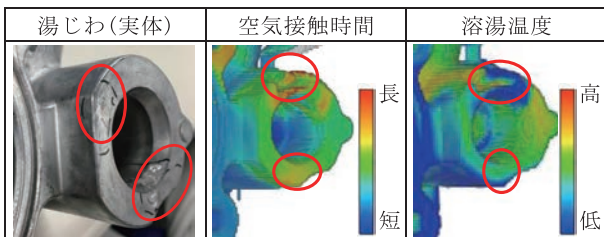


図6 湯じわ予測結果

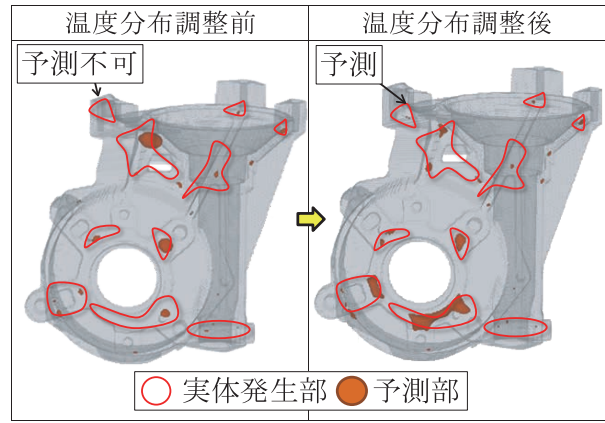


図7 引け巣予測結果(健全度)

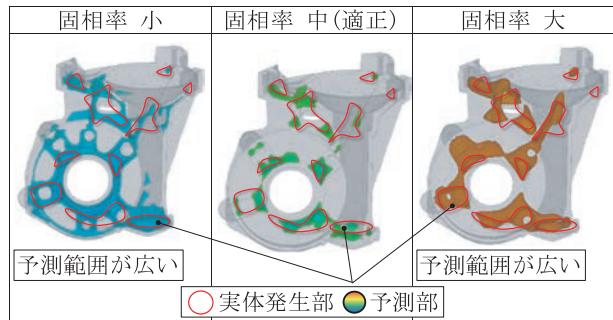


図8 引け巣予測結果(未凝固部)

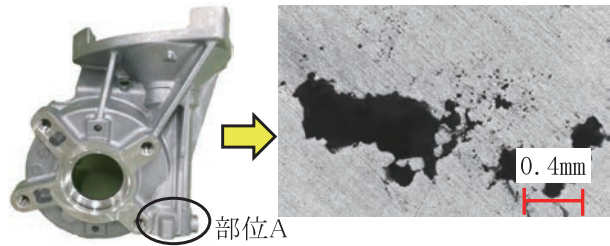


図9 ギヤケースの部位Aに発生した欠陥

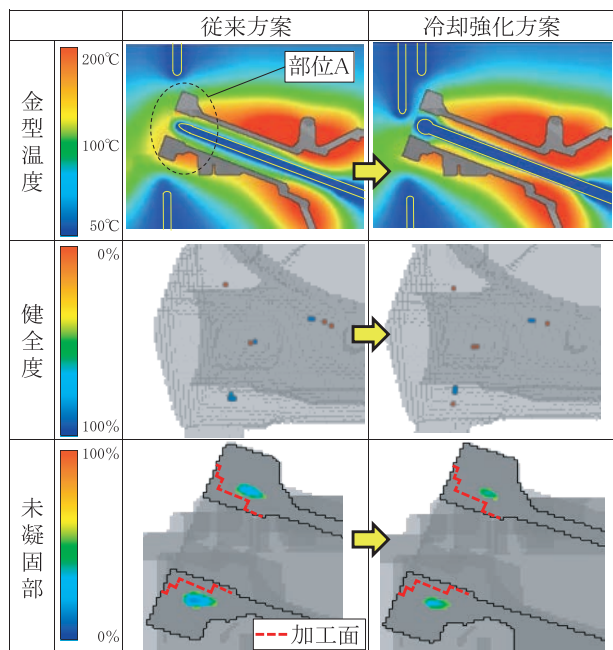


図10 冷却強化による引け巣分布の変化の違い

湯じわが発生した場所は、溶湯が鋳抜きを左右から合流し、合流部の溶湯温度が低下していることがシミュレーションの結果から分かった。

対策として溶湯の合流部の隙間にオーバーフローを設け、オーバーフローを最終充填部にし、温度の低下した溶湯をオーバーフローへ流すことによって対策した。

鋳造の結果、その部分に湯じわは発生せず、金型を修正することなく立ち上げることができ、開発リードタイムの短縮に繋がった（図11）。

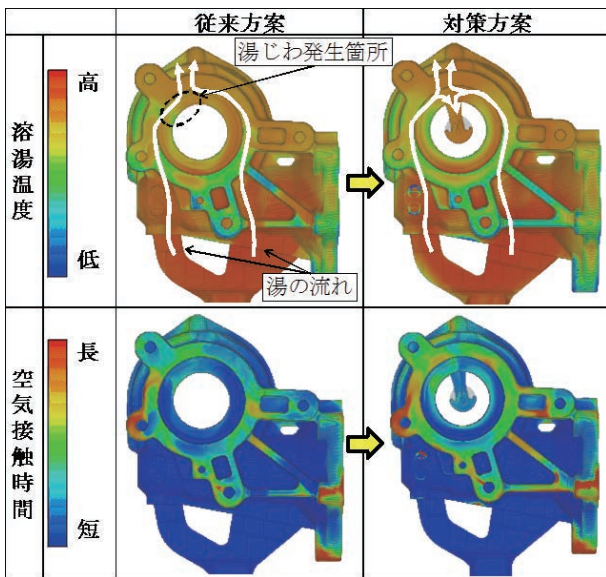


図11 オーバーフロー追加による湯じわ対策

## 5 おわりに

シミュレーション結果が実体の欠陥を再現するまでには多くの時間を要したが、本開発により活用できるレベルになった。しかし、完全には予測できない部分もあることから、シミュレーションの精度は更に向上する必要がある。したがって、事例を増やすことで社内のノウハウを積み上げることが重要だと考える。

今後も開発した欠陥予測方法を活用し、鋳造方案の机上検討による開発リードタイムの短縮、生産性向上に取り組む。最後に関係各位、ならびに御指導御支援頂いた方々に厚く御礼を申し上げます。

著者



横野 航太

2007年入社。技術本部生産技術研究所第一研究室。鋳造技術と塑性加工技術の研究に従事。