

溶融中子を用いた高精度中空成形品成形技術の開発

研究報告者 是澤宏之



～プロフィール～

最終学歴	昭和9年3月 九州工業大学大学院情報工学研究科 情報システム専攻博士後期課程修了
専門分野	生産技術分野
学位	博士（情報工学）
所属団体名	九州工業大学 大学院情報工学研究院 機械情報工学研究系
役職名	助教

今後の抱負

射出成形金型は、樹脂材料を使用して生産される工業製品のための生産ツールであると同時に、その成形上の柔軟性や新たな成形材料の開発などから、今後もその使用用途が拡大すると予想されます。今回の研究開発テーマで利用した水溶性プラスチックにおいても、射出成形金型の適用範囲を広げる可能性を有する樹脂材料です。そのため樹脂材料の持つ様々な特性を引き出す金型技術や成形技術の開発は必要不可欠です。今後も日本発の工業製品が高品質・高機能などの面において魅力ある製品であり続けるためには、その基盤技術の一つである金型の設計および生産技術における重要性は高まると考えます。金型を用いた新たなものづくりに貢献するために誠意努力する所存です。

1. はじめに

近年の環境に対する配慮から、これまで金属で製造されていた部品がプラスチック製の部品となる使用材料の転換が要請されている。例えば、鉛や錫が含有する鋳物製品の使用制限の実施などである。この様に、鋳物製品がプラスチック製品へ置換されることで、環境対策の実現のほか、これを実現する工法である射出成形法の有する特徴である、生産性の向上、製品コストの低減、複雑形状を有する成形品の実現など、多くの成形上および産業上の利点も享受できる。

本研究では、これまで鋳物で製造されていたポンプのケーシングを対象として、これをプラスチック成形品として実現することを検討する。この様な成形品の形状は内部に空間を有する中空形状であると同時に、その内部の形状も複雑である。鋳造法では鋳物砂を用いた中子を用いて内部形状を形成し、中子と砂型の空間に溶湯を充填・固化させて製品を得る。中子は、砂型から成形品を取り出す際に、その形状を崩壊させることで中空状の内部から取り出される。この様な中空形状部分は、射出成形方法では、アンダーカットと呼ばれる部分でもあるため、通常の方法では成形そのものが不可能である。よって、前述の鋳物砂に相当するものとして、水溶性プラスチックを用いて、水に溶融可能な中子を製作する。水に浸すことで、中子を崩壊させ、中空形状を有するプラスチック成形品が得られる。

よって本研究は、水溶性プラスチックを用いて中空形状を有するプラスチック成形品の実現を最終目的として、本報告では、水溶性プラスチックの溶融特性の調査およびこれを用いた中子等について成形方案等の検討を実施したので報告する。

2. 水溶性プラスチックを用いた中空形状を有する成形品の成形プロセス

内部に空間を有する中空形状の成形品は、一般的に金型設計・成形が困難な成形品である。そのため、この様な形状のプラスチック成形品を実現するには、例えば、表1に示す各種の成形方法が提案されており、各方法には一長一短がある。①については、半割の中空状の成形品をまず成形し、その後金型内部でダイをスライドさせて、型締後に接合面に2次射出することで成形品を得る手法であり、射出成形の利点を生かした成形方法であるといえる反面、ダイを移動させる機構などが必須であるために、金型や成形機が大型化する可能性がある。②については、別途に成形した成形品を超音波溶着機により接合面同士を結合させる方法であるが、熱可塑性樹脂の使用を前提とする点や接合面の接合強度等が課題となる場合がある。③については、プラスチック製容器などに多用される手法であるが、一般的に肉厚や偏肉の成形が困難である。④については、中子の材料に低融点合金を使用した場合、中子の重量が重い、合金によっては鉛などの物質を含有する場合もある。

表 1 中空形状成形品を実現する手法

① ダイスライド方式 ¹⁾
② 超音波接合方式 ^{2), 3)}
③ ブロー成形法 ⁴⁾
④ 溶融中子（ロストコア）方式

本研究では、④の手法を基本として、中子の材料として水溶性プラスチックを利用する。その特性として、水への可溶性、生分解性と高い環境安全性などを有し、その融点は210℃以上であり、射出成形機での利用が可能である。図1(a)に示す様な、内部に中空形状を有する所望の成形品を得たい場合、図1(b)～(d)に、水溶性プラスチックを用いた中空形状品の成形に対する成形プロセスを示す。これは、3つの成形プロセスで構成される。

成形プロセス1：射出成形法により中子を成形する。その際、水溶性プラスチックを成形機で可塑化・溶融し、金型（以後、中子用金型と呼ぶ）に射出・固化させて中子を得る（図1(b)）。

成形プロセス2：成形プロセス1で成形された中子は、製品を成形する金型（以後、製品用金型と呼ぶ）に取り付けられる。型締後に、この金型と中子で形成されるキャビティ空間に製品用の非水溶性の溶融樹脂（以後、製品用樹脂と呼ぶ）を射出・充填し、これを固化させた後に取り出す（図1(c)）。この段階では、水溶性プラスチックの中子と非水溶性プラスチックの製品とは一体化した状態にある。

成形プロセス3：成形プロセス2で得られた成形品を水に浸すことで、水溶性プラスチック製の中子を水に溶解させる。水溶性プラスチックが完全に溶解されると、中空形状を有する所望の成形品が得られる（図1(d)）。

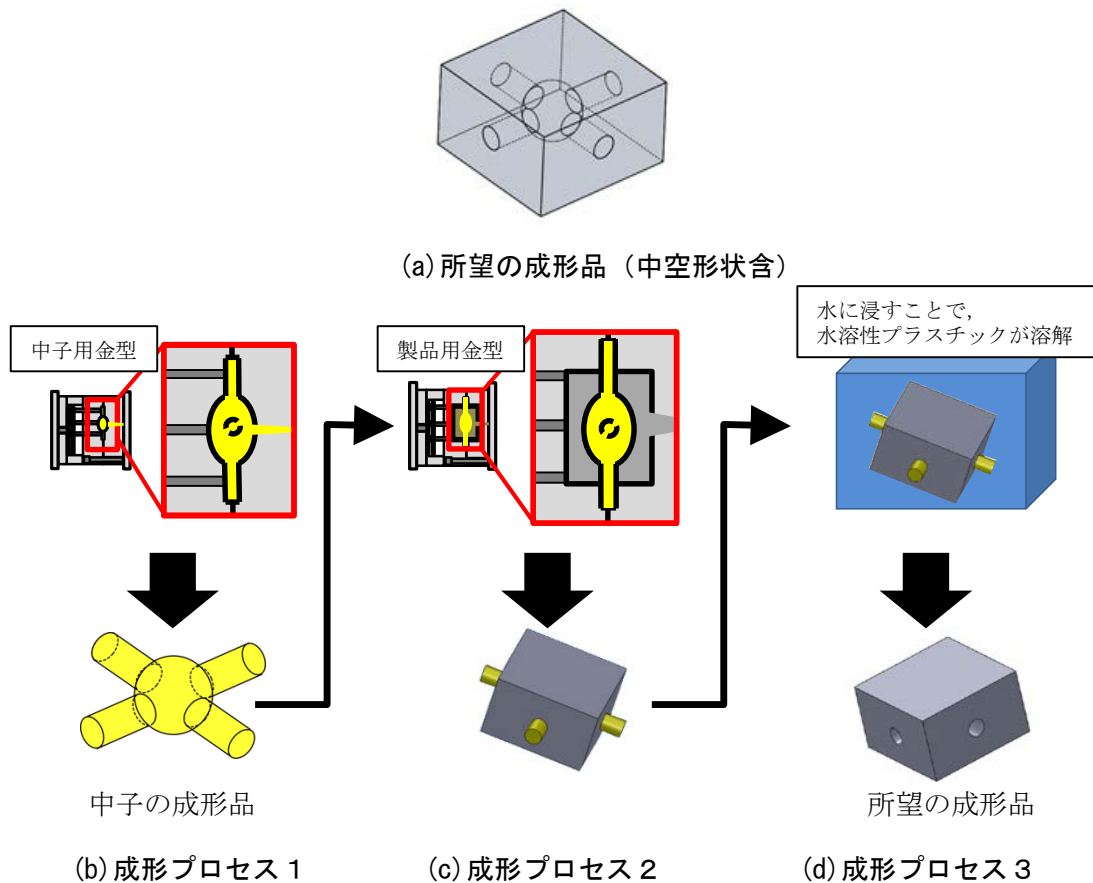


図1 中空形状を有する成形品の成形プロセス

3. 水溶性プラスチックの溶融特性

3-1 実験方法

水溶性プラスチックの溶融時の特性を検討する。図2に実験装置の概略を表2に実験条件を示す。図に示す様に、射出成形で製作した水溶性プラスチックの試料を水に浸し、容器の下からヒーターにより水温が一定となる様に加熱し、所定の水温と溶解時間における試料の溶融状態を調査する。

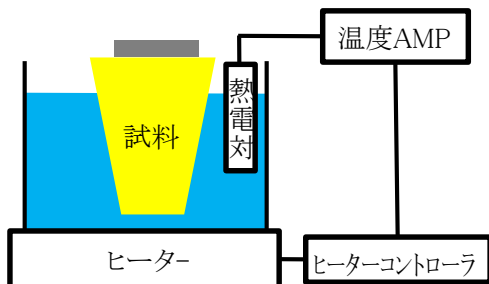


図2 溶解特性実験概略

表2 実験条件

試料	PVA
水温 [°C]	20 / 40 / 60
溶融温度 [h]	2 / 4
乾燥時間 [h]	8 以上

3-2 実験結果および考察

図3に実験結果を示す。横軸は水に浸した時間、縦軸は水に浸す前と浸した後の試料の体積の変化である。正の値を示せば、体積は減少することから樹脂の水への溶解を意味し、負の値を示せば、体積が増加することから試料は膨張したことを意味する。水温および溶解時間で溶解量に変化を確認できる。水温が低い場合は溶解が進まない反面、水温が高い場合(60°C)では、4時間後には、完全に試料が溶解した。逆に、水温が低い場合は、試料の体積が膨張したことが確認された。これは、溶解の程度が低いあるいは無い状態で、試料が外部から内部に水を取り込み、結果的に試料の体積が膨張したと推察される。

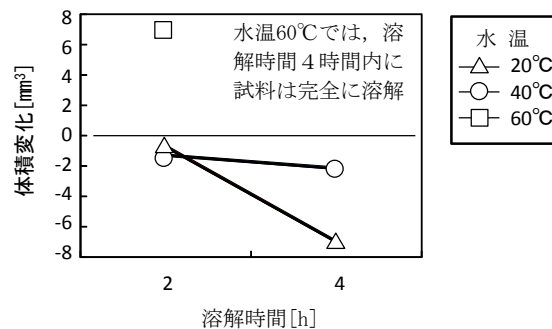


図3 溶解時間に対する試料の体積変化

4. 成形品形状の外部形状と内部形状の分離

図4に、本研究で使用したポンプのケーシングの概略を示す。図5に、これを内部形状と外部形状に分離した形状を示す。図5(a)は成形品の外部形状であり、図5(b)は成形品の内部形状である。特に、内部形状においては、成形品の使用用途から、内部には水を流すために、非常に複雑な形状となっている。外部形状と内部形状で構成されるキャビティ空間に製品用樹脂を射出することで、所望の成形品の形状が形成される。またこの内部形状が、水溶性プラスチックを用いて成形する中子の基本形状となる。

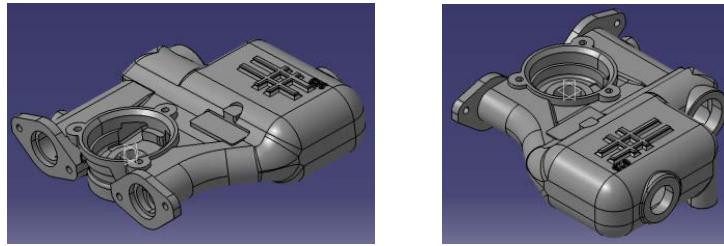
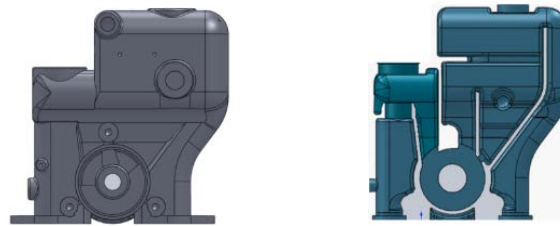


図4 ポンプのケーシング外観



(a) 外部形状

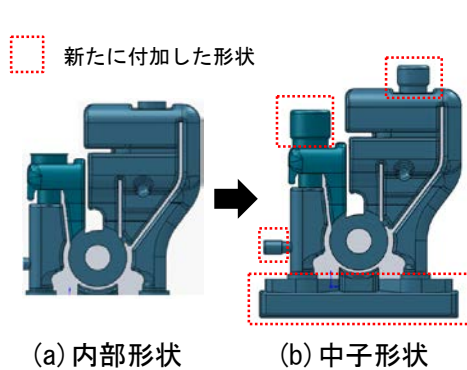
(b) 内部形状

図5 外部形状と内部形状

5. 中子形状の設計・製作・成形

5-1. 中子形状の決定

前述した成形プロセス2において、図2 (b)に示した中子を製品用金型の内部で使用するには、製品用金型が内部形状を支持できる様に取り付け部位を付加する必要がある。本研究では、図6に示す様に、図6 (a)の内部形状に対して、図6 (b)の破線で囲まれた部位を新たに付加することで中子形状とする。これにより、図7に示す様に、成形プロセス2の終了後の成形品形状は、外部形状と中子形状が複合した形状になる。またこの中子形状は、貫通穴を有する複雑な形状をしており、これを一体で成形するには、スライドコアなど有する金型設計が必要となると同時に、これは中子用金型の製作コストの高騰を伴う。よって本研究では、図8に示す様に、中子形状を中心から半分に分割し、金型を製作しやすい様な形状とし、成形後2つの形状を接合することで、所望の中子形状を得るものとする。



(a) 内部形状

(b) 中子形状

図6 中子形状の作成

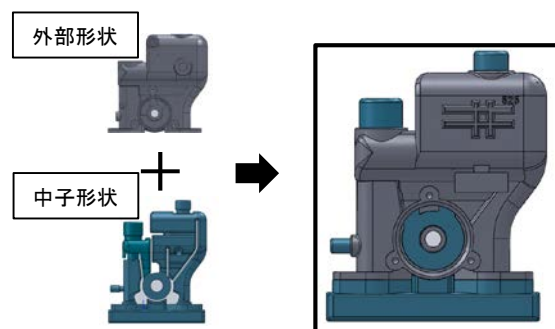


図7 成形プロセス2終了後の成形品形状

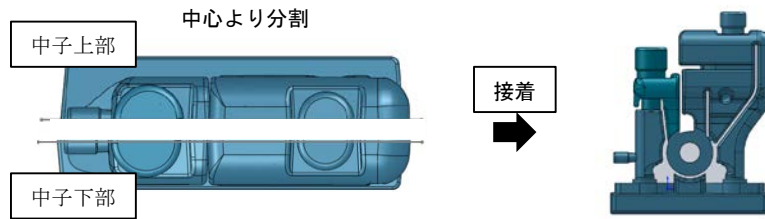


図8 中子形状の製作方法

5-2. 流動解析による成形検討

中子形状は、前述の成形プロセス2において、溶融した製品用樹脂から、高い成形圧力を受ける。金型内部の中子の取り付け状態は、製品用金型内で浮いている様な状態である。成形時に製品用樹脂から作用する外力は、最終的に中子を金型で支持する部位に発生する曲げに伴う応力であると想定されることから、この部分の強度が低下する成形状況を回避する必要がある。具体的には、成形中に発生するウエルドラインに伴う強度低下である。これは、射出・充填中における、溶融樹脂のメルトフロントが会合する際、その会合角度によって発生する成形不良である。本中子形状は、穴形状を有すことから、ウエルドラインを全く発生しない成形方案の決定は困難と考える。しかしながら、ゲート位置の適切な決定により、発生部位の調整は可能である。よって、複数のゲート位置を想定して樹脂流動解析を実施し、成形中に発生するウエルドラインを予測・評価し、適切なゲート位置となる成形方案を決定する。

解析の結果、本中子では、図9(a)に示す様に、2点ゲートにより成形する。図9(b)、図9(c)および図9(d)に、それぞれ充填解析結果、圧力解析結果およびウエルドライン解析結果を示す。図9(b)に示す様に、約6秒で充填完了をしている。その際、図9(c)に示す様に、成形品部分の圧力分布に大きな偏りはなく、約10MPaで成形可能であり、流動末端にも十分に成形圧力は伝わっている。図9(d)に示す様に、中子と金型の固定部分にウエルドラインの発生は確認されず、この部分の強度については、ウエルドラインの発生に基づく強度不足は発生しないと考えられる。ただし、図中の丸で囲んだ部分である形状の薄肉部と樹脂の合流部に、ウエルドラインが発生していることから、実際の成形時に注意が必要である。

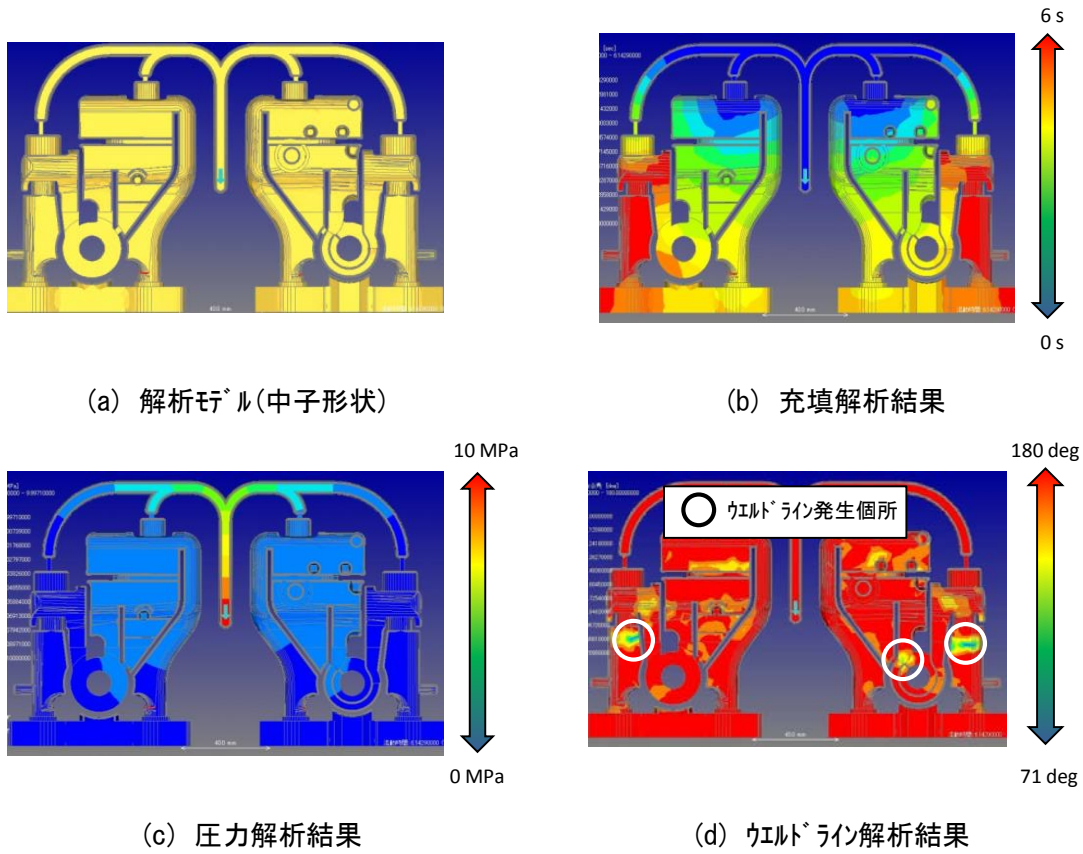


図9 中子形状の解析モデルおよび各種解析結果

5-3. 金型の製作と成形

図10に作製した中子用金型を示す。この金型を用いて成形して得られた中子を図11に示す。これより、所望の中子が得られた。

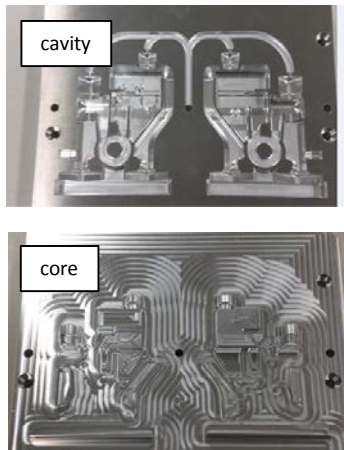


図10 中子用の金型



図11 成形された中子

6. 外部形状の設計検討

6-1. 流動解析による成形検討

外部形状においては、成形後のソリに基づく変形を低減する成形方案を検討するために、樹脂流動解析を実施する。中子の場合と同様、複数のゲート位置を想定して解析を実施し、可能な限りの低圧での成形とソリの発生量が少ない成形方案を検討する。

その結果、外部形状では、1点ゲートで充填する成形方案を採用した。図12(a)、図12(b)および図12(c)に、それぞれ充填解析結果、圧力解析結果およびソリ解析結果を示す。図12(a)より、充填工程は、約2秒で完了する。図12(b)より、成形圧力はゲート付近で約8.7MPa程度での成形が可能であり、成形後の変形については、図12(c)より、上下で、約1.7mm程度の変形であることを確認した。

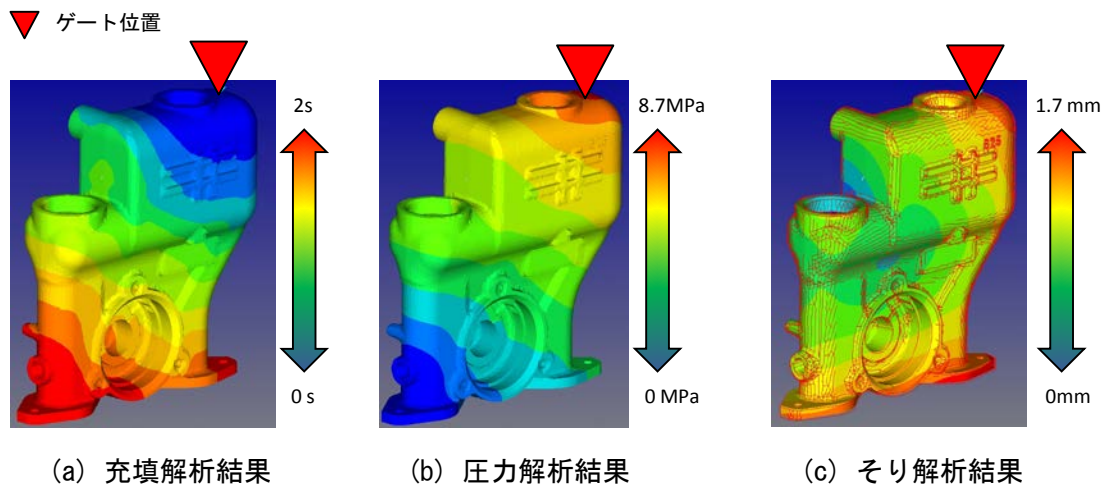


図12 外形形状の解析結果

7. おわりに

本研究は、水溶性プラスチックを用いた中空形状を有する成形品の実現を最終目的として、水溶性プラスチックの溶融特性の調査および具体的形状としてポンプのケーシングを用いて中空形状を実現する中子およびケーシングの外部形状である成形品の成形検討等を実施し、以下の知見等を得た。

- (1) 水溶性プラスチックの溶融特性については、水温が高い程、水への溶解量が高い。
- (2) 水溶性プラスチックを用いた中子については、樹脂流動解析を用いて成形方案を検討・決定し、金型の製作および成形を実施し、所望の中子を取得できた。外部形状についても樹脂流動解析を用いて成形方案を検討し、成形後のソリの発生を1.7mm程度とする成形方案を決定した。

今後の予定として、中子と外部形状を射出成形法により一体で成形し、中子を水で溶解させて所望の成形品形状を取得すると同時に、得られた成形品の形状精度などを評価・検討する予定である。

謝辞

本研究は、公益財団法人三井金型振興財団殿による研究助成により実施されたことを記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 西田ほか, 成形加工, 8(7), (1996), pp. 460-466.
- 2) 例えば, D. V. Rosato, *Plastics Encyclopedia and Dictionary*, Hanser, (1993), p. 786.
- 3) 例えば, プラスチック成形加工用語辞典, 工業調査会, (1990), pp. 331-332.
- 4) 例えば, 型技術便覧, 日刊工業新聞社, (1990), pp. 174-187.

