

- (1) 大学名 (Name of Universities)
近畿大学 (Kinki University)

- (2) 提出金型の種類 (Type of Mold)
プラスチック射出成形金型 (Plastic Injection Mold)

- (3) 指導 (担当) 教員 (Academic Staff)
近畿大学 理工学部 機械工学科 (Kinki University, Faculty of Science and Engineering,
Department of Mechanical Engineering)
准教授 西籾 和明 (Associate Professor, Kazuaki Nishiyabu)
准教授 浅野 和典 (Associate Professor, Kazunori Asano)
講師 橋本 知久 (Lecturer, Tomohisa Hashimoto)

- (4) 担当学生 (Students)
近畿大学 大学院 総合理工学研究科 東大阪モノづくり専攻 (Kinki University,
Graduate School of Science and Engineering Research, Innovative Engineering)
2年 長井 孝太郎 25歳 (2nd grade master course student, Kotaro Nagai)
1年 山本 恵司 27歳 (1st grade master course student, Keiji Yamamoto)
近畿大学 理工学部 機械工学科 (Kinki University, Faculty of Science and Engineering,
Department of Mechanical Engineering)
4年 倉留 京介 22歳 (4th grade undergraduate, Kyosuke Kuratome)
3年 岡本 直樹 22歳 (3rd grade undergraduate, Naoki Okamoto)
3年 西向 孝史 21歳 (3rd grade undergraduate, Takashi Nishimukai)
3年 嶋田 翔太 23歳 (3rd grade undergraduate, Syota Shimada)

(5) 金型写真 (Picture of injection mold)

設計・製作した射出成形金型の外観写真を Fig 1 に示す。本金型は、固定側型板、可動側型板およびランナーstripperプレートから構成される市販の 3 プレーットのダイセットに、コア、スライド、キャビティの 3 つの入れ子を取り付けている。



Fig.1 設計・製作した射出成形金型の外観写真 (Photographs of plastic injection mold)

(6) 金型の組立図 (Assembly view of injection mold)

設計・製作した射出成形金型の組立図およびその拡散分解図を Fig 2 および Fig.3 に示す. 金型全体を小型化するとともに, 金型部品数を必要最小限に留めて, 所望の成形品を安定して成形できるような金型構造とした.

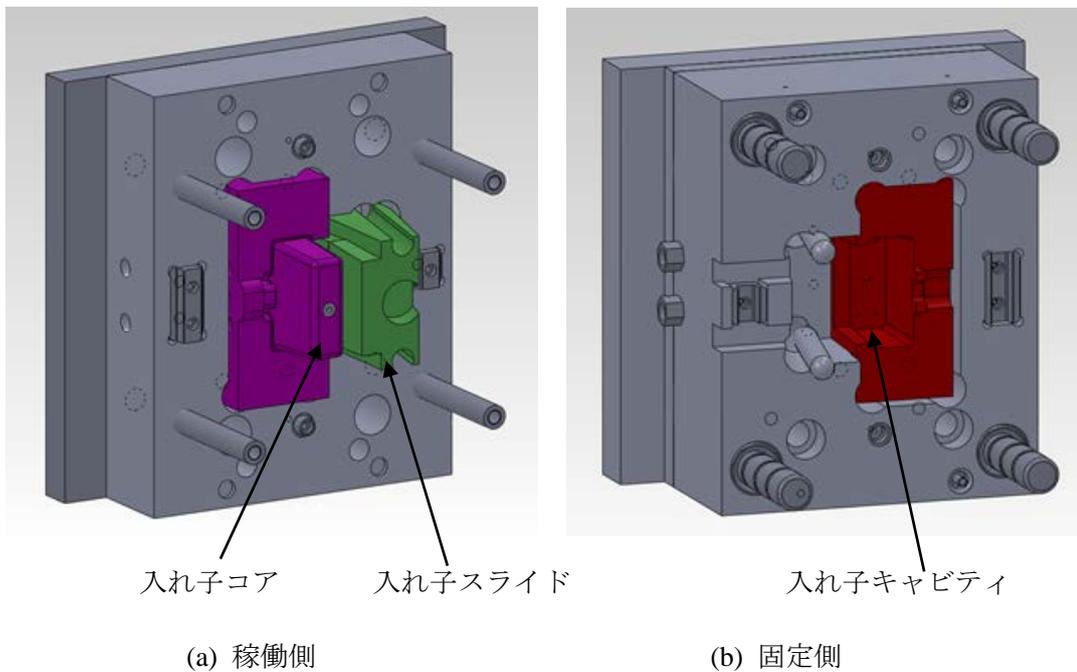


Fig.2 射出成形金型の組立図 (Assembled view of plastic injection mold)

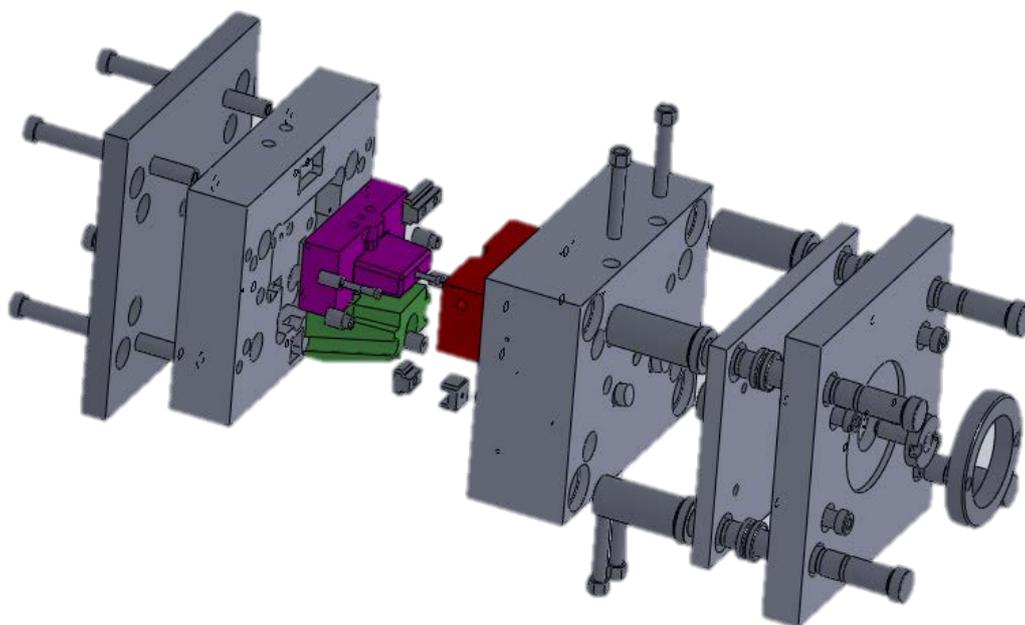


Fig.3 金型の拡散分解図 (Exploded view of plastic injection mold)

(7) 作業工程 (Working flow)

本課題に対する作業工程を Fig.4 に示す。課題の成形品の2次元図面を3次元モデル化し、成形品の流動解析と同時に、金型の設計を3次元CADで実施した。設計した金型の部品の3次元モデルおよび2次元図面を用いて、金型部品の加工を行った。その際、加工した主要な電極や金型部品をデジタル画像計測ロボットにより形状測定を行い、CAD通りに加工できているか形状・寸法を評価した。次に、金型部品を組み立てて、同様に組み立て金型をデジタル画像計測ロボットにより形状測定を行い、CADと比較する。金型部品および組立時の形状・寸法の誤差を改善し得られた金型を用いて射出成形を行い、射出条件を種々変化させて成形品を得る。この成形品を上記と同様のデジタル画像計測ロボットにより形状測定を行い、成形品のCADと比較し、射出成形条件の適正化または金型の修正を繰り返し、課題の成形品の2次元図面に指定された形状・寸法の成形品を量産できるようにした。

このように、金型部品の加工または組立の精度の影響と、射出成形条件の選定の影響を分けて、問題点の把握およびその改善を図るという作業指針をデジタル計測の一元化により実現することを目指した。

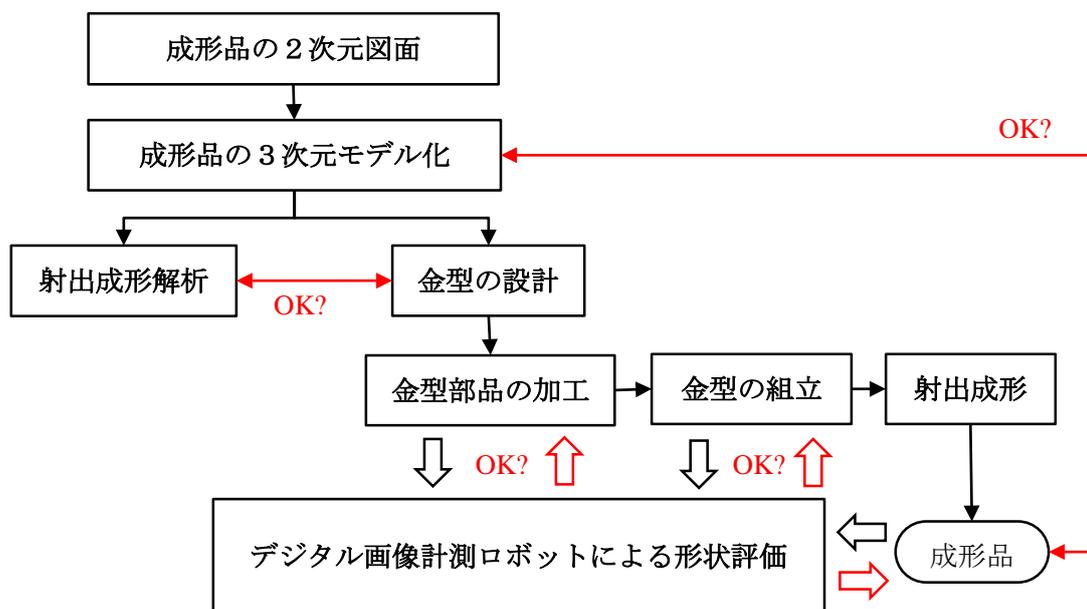


Fig.4 作業工程 (Working flow)

(8) 射出成形解析 (Injection molding analysis)

金型設計では、現場の技術者の実践経験と最新のコンピュータシミュレーション技術とを駆使して最適な条件を見出し、確固たる設計指針を定める必要がある。本学においても、熟練の金型技術者の助言の下、射出成形解析により得られた計算結

果を十分に検討して金型を設計した。射出成形金型の設計において、キャビティ内に流動する熔融樹脂の流動挙動を把握することは極めて重要であるが、オンラインで樹脂流動挙動を把握することは多大な労力や費用が必要である。そのため、金型設計を行うにあたり、市販の射出成形 CAE ソフト（サイバネットシステム(株)製, PLANETS) を用いて、金型キャビティ内の流動解析を行った。Fig.5 に示すような解析モデルを作成し、樹脂流動解析、金型冷却解析および反り解析を実施した。

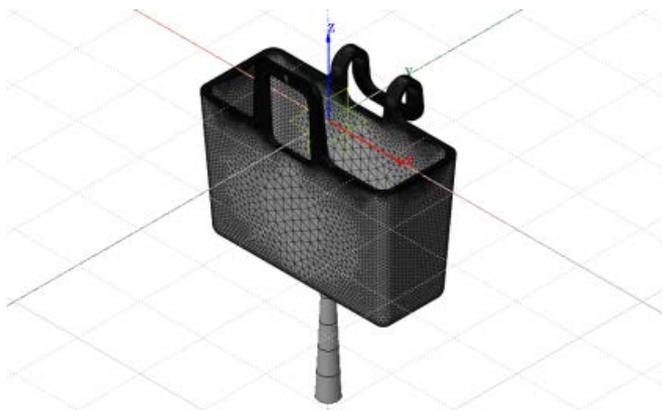


Fig.5 解析モデル

① 樹脂流動解析

ゲートは1点ピンゲートとし、ゲート位置を製品の底面部またはフック部に設けた2つの場合について、Table 1 に示すような解析条件で樹脂流動解析を行い、樹脂の充填性を検討した。解析結果より得られたゲート位置の違いによる最大射出圧力と最大型締力の比較を Table 2 に示す。充填時の最大射出圧は、底面部のゲート位置の場合ではフック部に配置した場合と比べて46%小さくなることが分かった。ゲート位置を底面部に設置した場合の樹脂流動の時間変化を Fig.6 に示す。ガス溜まりが製品側面部の2か所と、取手部およびフック部の合計4か所に生じることが確認できる。

Table 1 解析条件

| | |
|-------------|-----------------------|
| 樹脂温度, T_R | 220 °C |
| 金型温度, T_m | 50 °C |
| 射出流量, Q | 40 cm ³ /s |

Table 2 ゲート位置の違いによる最大射出圧力と最大型締力の比較

| ゲート位置 | 最大射出圧力 [MPa] | 最大型締力 [t] |
|-------|--------------|-----------|
| 底面部 | 31.5 | 3.2 |
| フック部 | 58.6 | 3.3 |

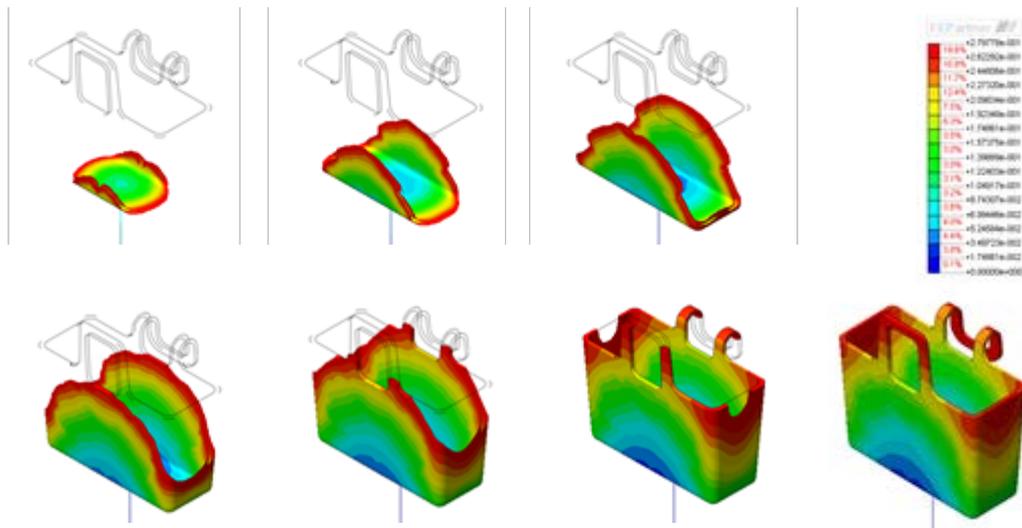


Fig.6 メルトフロントの時間変化

② 金型冷却解析

成形品を適正に冷却するために、冷却管の配置位置および冷却管径について検討した。離型時において成形品の外面と内面で温度差が小さくなるように、冷却管を設置した。金型冷却解析で得られた成形品の温度分布を Fig.7 に示す。製品内での温度差は最大で約 20°C で、均一な成形品の表面温度が得られていることが分かった。

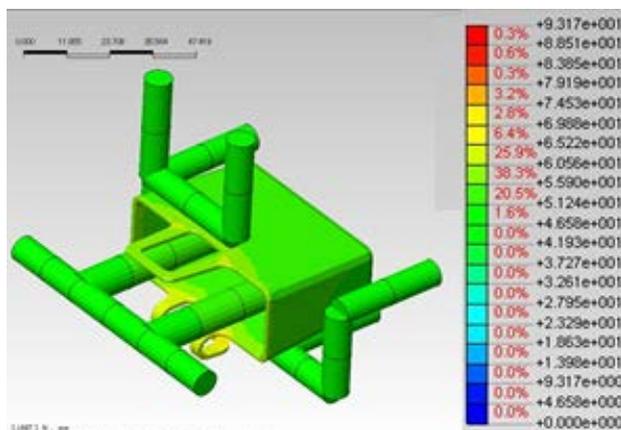


Fig.7 冷却管と成形品の温度分布

③ そり解析

流動解析の場合において検討した 2 種類のゲート位置に対してそり変形量を評価した。ゲート位置の違いによる成形品の収縮量の比較および収縮方向をそれぞれ Fig.8 に示す。収縮量はゲート位置が底面部にある方がフック部に比べて、90%程度小さくなっている。また、収縮方向はゲート位置が底面部の場合、Fig.8 より成形品がコア側に抱きつくように生じていることが確認できる。

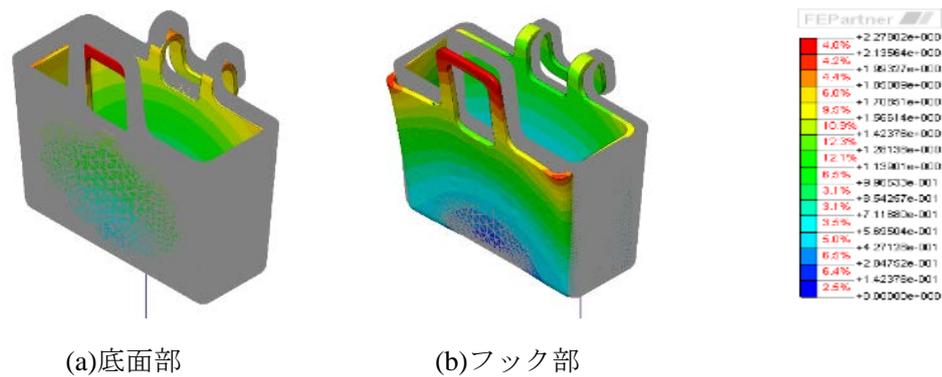


Fig.8 ゲート位置の違いによる収縮量の比較

(9) 金型設計 (Mold design)

金型の設計を行う際、前節で示した樹脂流動解析結果を考慮しながら、金型の冷却管、エアーベントの位置等を決定した。その理由は、本課題は製品厚さが小さいため、連続した成形時に突き出し不良が生じることが予想されたためである。また、成形品に残るパーティングラインを目立たないようにすることに配慮した。その結果、金型加工が困難になるが、Fig.9に示すような部位を割り型の位置にした。

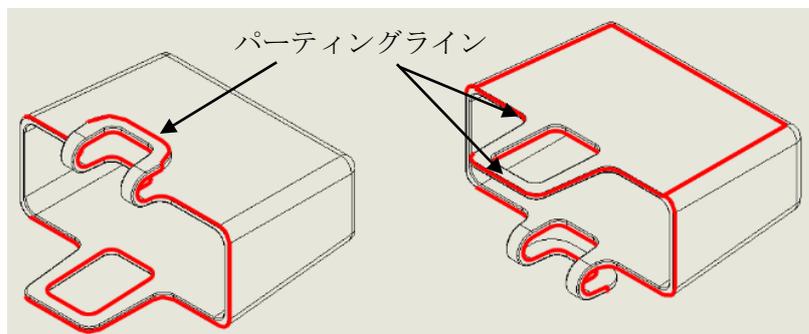


Fig.9 パーティングラインの発生箇所

金型の小型化に着目し、金型の設計を行った。本課題の形状からアンダーカット部分は2ヶ所ある。1つのスライドでアンダーカット処理を行う機構を選択した。しかし、一般的なスライド機構は必要な部品点数が多く、アンダーカット処理にスライド機構を用いるとFig.10に示すように金型のサイズや重量は大きくなる。そのため、スライド機構を小さくすることにより、金型全体の小型化と軽量化を図ることにした。その結果、Table 3に示すように一般的なスライド機構と比較して部品点数を4点減らし、またTable 4に示すように一般的なスライド機構と小型スライド機構の3次元モデルから算出した体積比較から分かるように、小型のスライド機構が設計できた。

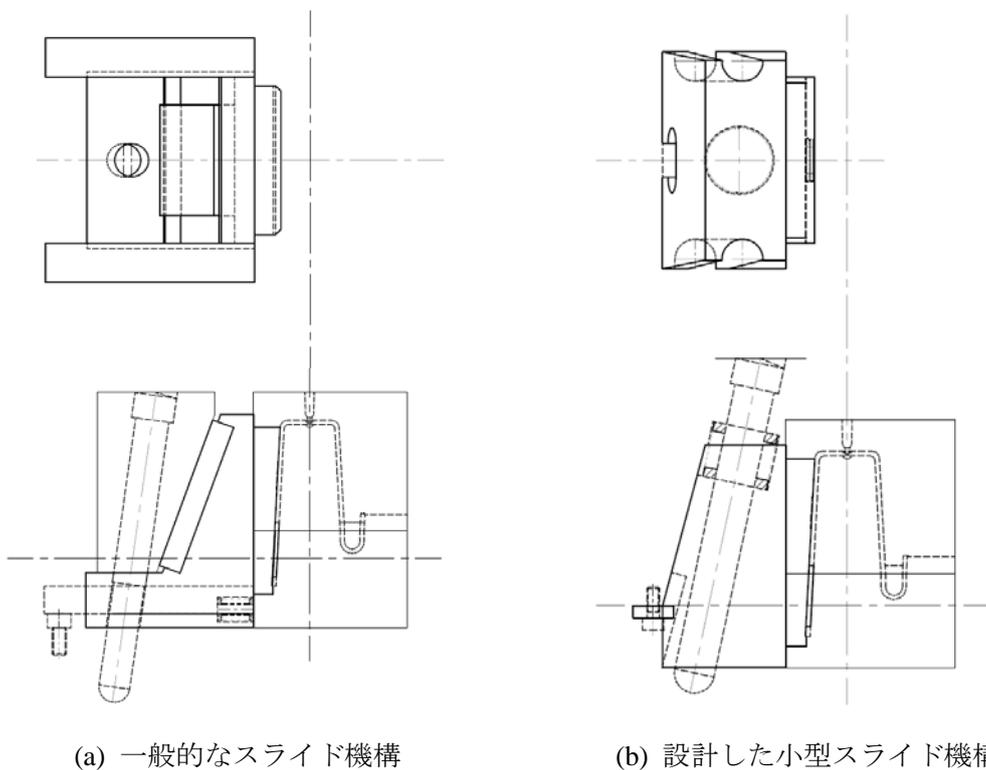


Fig.10 スライド機構の比較

Table 3 スライドに使用する部品点数の比較

| | 一般的なスライド機構 | 小型スライド機構 |
|-----------|------------|----------|
| アンギュラピン | 1 | 2 |
| スライド押え板 | 2 | 0 |
| ロッキングブロック | 1 | 0 |
| ライナー板 | 1 | 0 |
| スライドストッパ | 1 | 1 |
| 引張りピン | 0 | 1 |
| 引張りピン固定板 | 0 | 1 |
| ボルト | 7 | 4 |
| 合計部品点数 | 13 | 9 |

Table 4 一般的なスライド機構と小型スライド機構の体積比較

| | 一般的なスライド機構 | 小型スライド機 | 体積割合(%) |
|------------------------------|------------|---------|---------|
| 部品体積 V_p (m ²) | 0.257 | 0.188 | - 26.8 |
| 加工体積 V_m (m ²) | 0.426 | 0.198 | - 53.5 |

本課題の使用材料のポリプロピレンは硬度が低いため、薄肉形状ではエジェクタピンで押すと破損の恐れがある。そのため、エア式のエジェクタを採用した。また、成形品の形状よりピンゲートとし、ダイセットは3プレートタイプを選定した。

(10) 金型の動作

小型スライド機構の動作順序を Fig.11 に示す。小型スライド機構は、アンギュラピンに沿って動作する。小型スライド機構は、コアプレートに取り付けられた鉤状の部品が型開きによりスライド内部のピンと、小型スライドのキャビティプレート間に設置スプリングにより動作する。

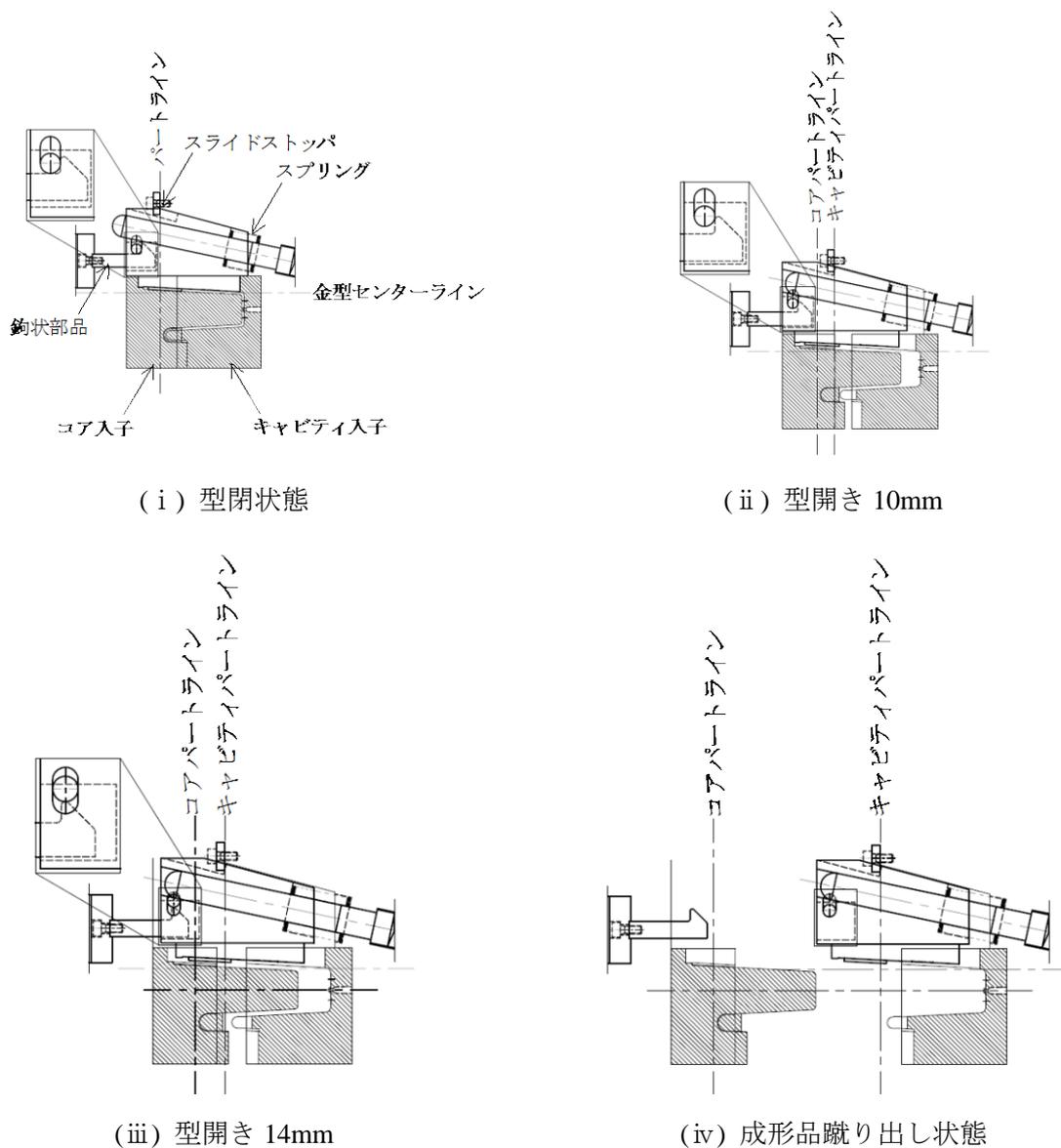


Fig.11 小型スライド機構の動作順序

成形時の金型の動作順序を Fig.12 に示す. 3 プレート金型の動作順序の調整は, パーティングブロックおよびプラーボルトを用いた.

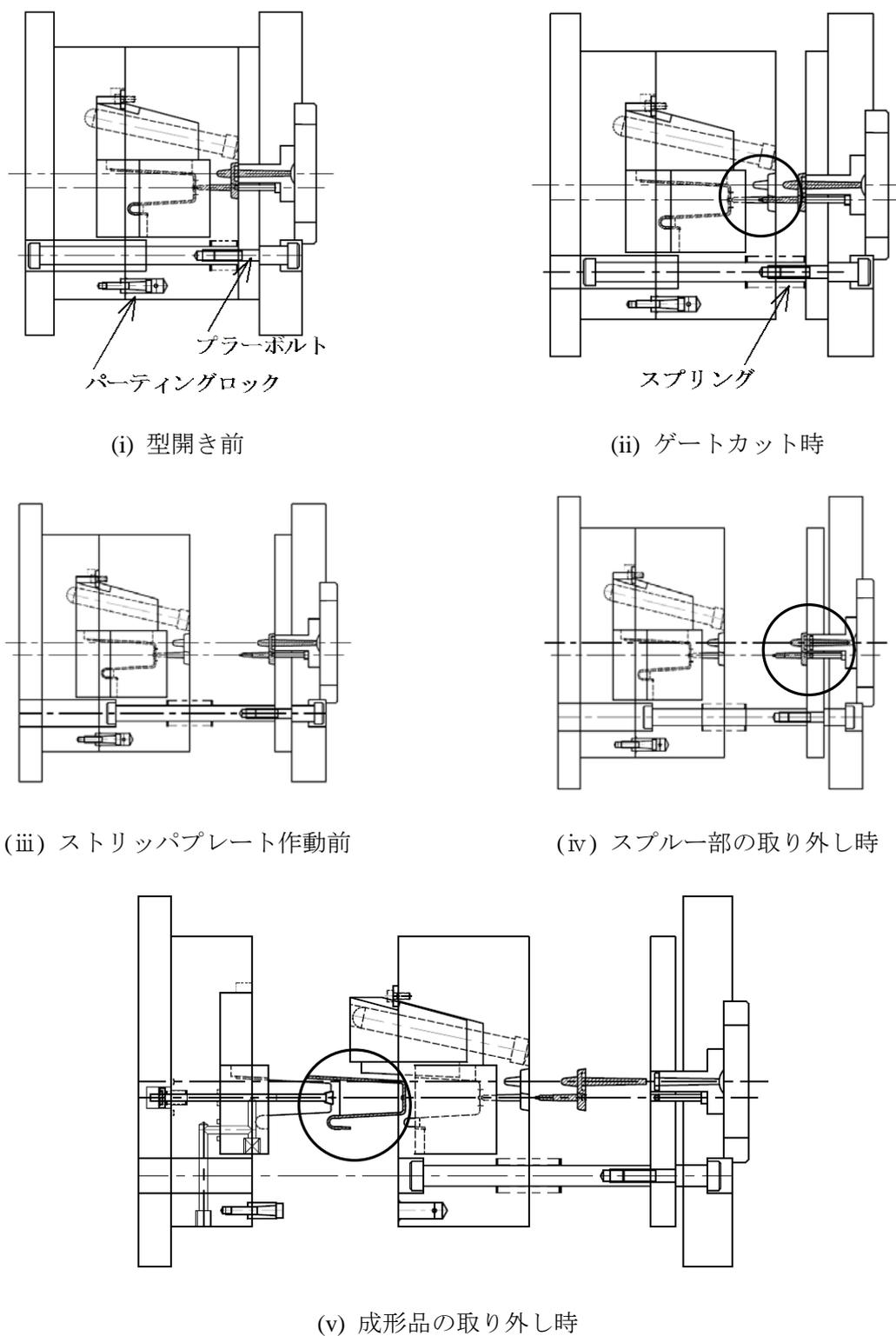


Fig.12 3プレート金型の動作順序

(11) 金型加工 (Mold machining)

金型の小型化やパーティングラインを目立たない箇所につけるよう設計したため、加工難易度が高くなった。そのため、マシニングセンタによる切削後に放電加工を行った。放電加工は主に角部が円弧を付けたくない箇所や切削困難な深溝部に用いた。その理由は、マシニングセンタで切削加工を行った場合、刃先にノーズ半径があるため角部に円弧が生じ、また深い溝部の切削を行うと逃げが生じてしまう可能性が考えられ、切削加工後に手仕上げ加工が必要であるためである。今回行った放電加工の一例を Fig.13 に示す。

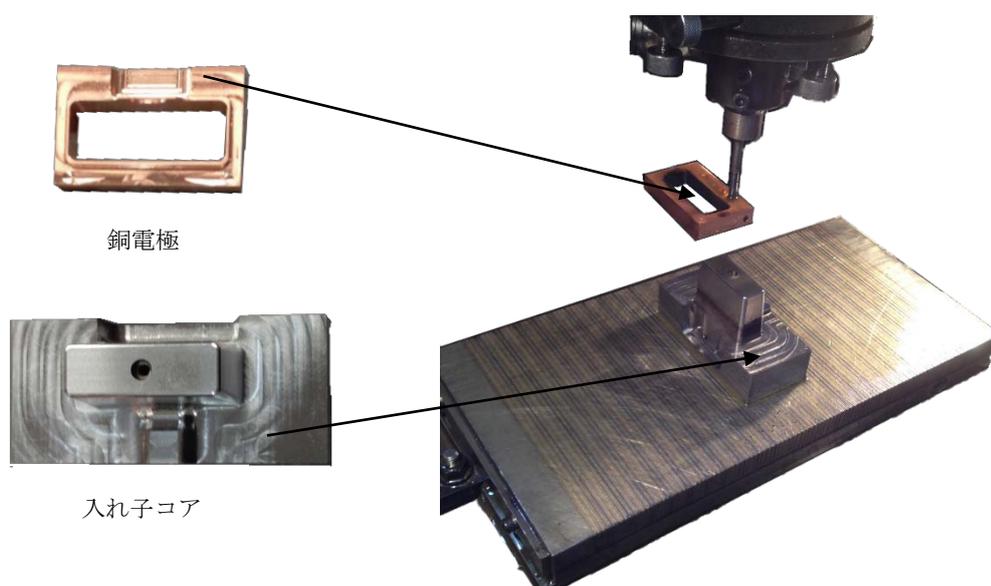


Fig.13 銅電極と放電加工を行った入れ子コア

(12) デジタル画像計測ロボットによる金型の形状測定 (Shape measurement of the mold)

デジタル画像計測ロボット (GOM 社製, ATOS™ SCANBOX) を用いて、製作した金型の部品および組立後の金型の形状・寸法を測定した。本計測装置は、複雑な形状を持つ測定物の 3 次元形状を非接触で、高精度かつ短時間で、かつ自動で行うことができる。この計測結果を用いて、製造した金型が図面通りに加工・組立されているかを定量的に確認し、また製造した金型を用いて製作した成形品が課題図面通りの形状となっているかを検証した。

デジタル画像計測ロボットおよび計測状態の外観図を Fig.14 に、金型のキャビティ入れ子と CAD 寸法の計測結果の比較を Fig.15 に示す。幅、深さおよび角度とも加工誤差は 1% 以下であり、高い加工精度が得られていることが分かった。

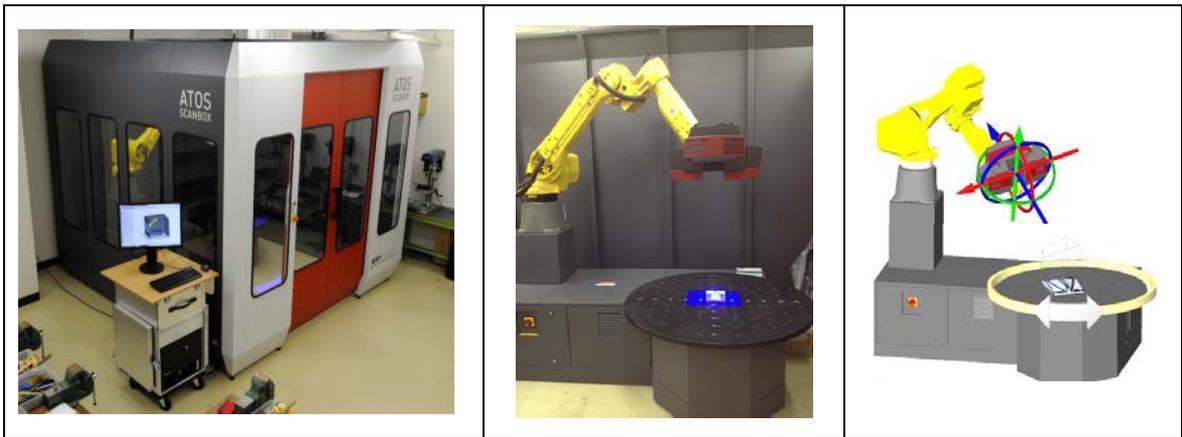


Fig.14 デジタル画像計測ロボットおよび計測状態の外観図

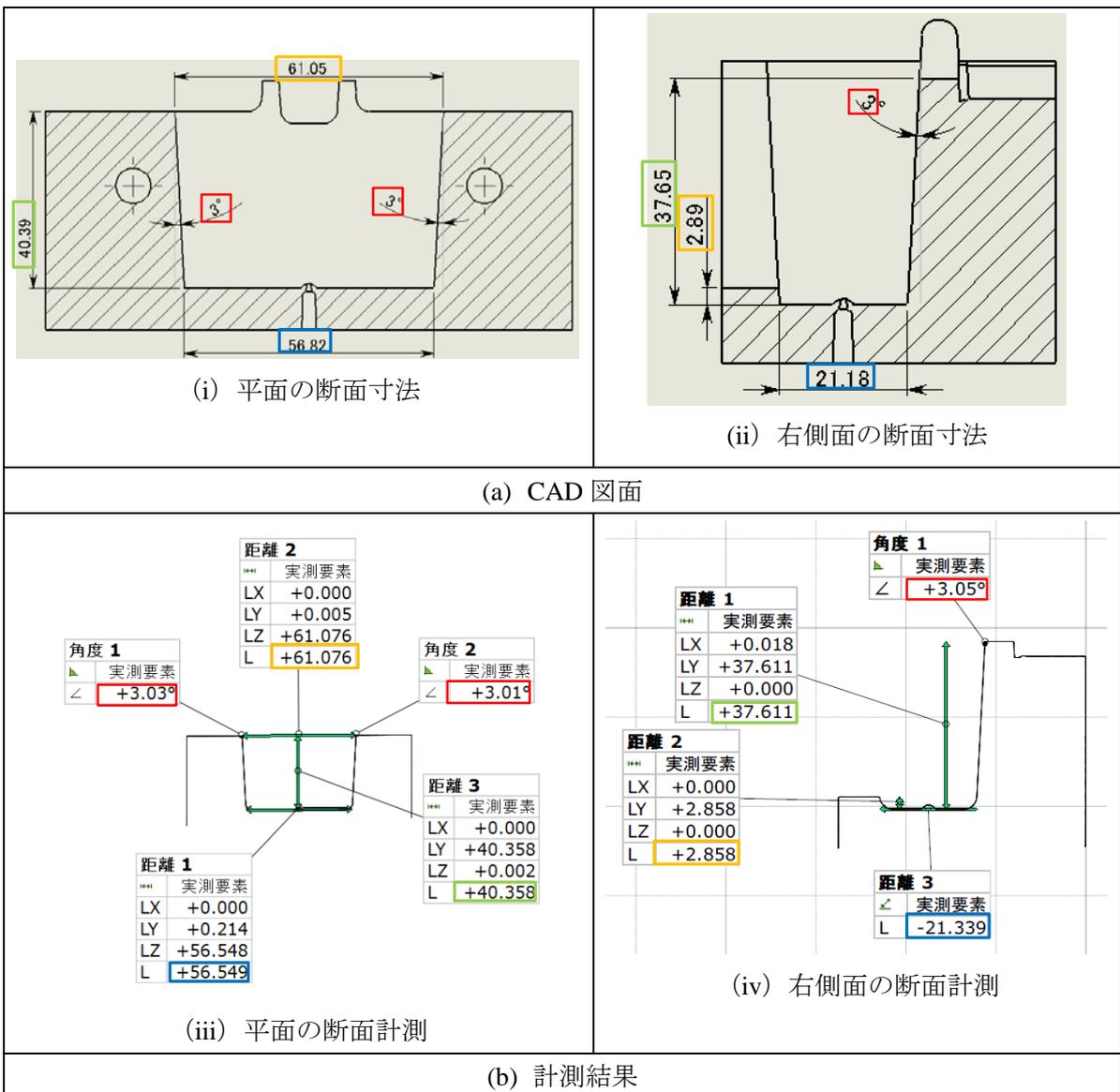


Fig.15 キャビ入れ子の CAD 寸法と計測結果の比較

(13) 金型の設計・製作に関するコメント (Comments about mold design and production)

① 金型設計について

金型の設計を行うにあたり、射出成形解析による金型内での樹脂充填挙動および型内の冷却および成形品の反り変形を調査した結果、金型設計における3次元CADによるモデル作成およびCAEの有用性について理解した。一方、3次元CAD上で、成形品の形状を把握し、アンダーカットおよびパーティングラインの処理方法を検討したが、2次元での断面での検討および議論の重要性を再認識した。

金型構造を理解し、金型に対する知識が乏しい我々にとって、金型および金型設計の多様性に対する知識を得る貴重な機会であった。

② 金型の加工・組立について

これまで座学や実習でしか経験していなかった我々が、金型職人や技師の方々の指導の下で、“金型寺子屋”の実習工場で、タップ作業や放電加工などを用いた加工作業を行うことにより、金型の製造に対する技能や知識を学ぶことができた。加工作業中に様々な失敗や問題に直面する事が多々あったが、その都度、原因の究明や改善に当たった事により、金型製造に対するさらなる技能や知識、対応力を身に付ける貴重な機会であった。

③ デジタル画像計測ロボットによる形状測定について

デジタル画像計測ロボットで金型を計測し、CADデータと比較することにより、短時間かつ容易に設計通りに加工できているのか否かを確認できた。

④ 総括

今回、学生金型グランプリへ出場し、ものづくりの一連の流れを学び、作業を行う中で、座学や実験では得ることの出来ない貴重な経験を積むことができた。その過程で多くの問題に直面したが、指導者の方に助言をいただき、仲間と協力することにより問題解決ができることを知った。学生金型グランプリを通して得られた知識や経験は、今後企業等で働く技術者となった時に貴重な財産になると思う。

(14) 謝辞 (Acknowledgement)

本学生金型グランプリへの出場は、「文部科学省 私立大学戦略的研究基盤形成支援事業（平成24年～平成26年）大阪東部地域連携による先進的な金型技術の高度化研究」の助成を受けたものであることを記し、研究支援者としてご協力・ご指導いただきました。平尾幸雄氏、蒲生眞敏氏ならびに、本学の機械実習工場の中井庸一先生に心より感謝申し上げます。