

## 学生金型グランプリ出場を通じた金型人材育成事例

メカニクス系工学専攻 准教授	西藪 和明
メカニクス系工学専攻 准教授	浅野 和典
メカニクス系工学専攻 講師	橋本 知久
研究支援者	平尾 幸雄
研究支援者	蒲生 眞敏

### 1. はじめに

近畿大学の本部キャンパスがある東大阪市を含めた大阪東部地域は元来、射出成形やプレス成形等に用いられる金型の製造に特化した中小企業が多数存在した。しかし、これらの中小企業は度重なる不況や人件費の安いアジアを中心とした発展途上国への仕事の流出によって廃業を余儀なくされてきた会社も時代の流れと共に増えてきているというのが現状である。この現状を打開すべく、「元気のある近畿大学で何かできることはないか」という考えから生まれたのが“近大発金型プロジェクト”である。近畿大学の「金型プロジェクト」は、大阪東部地域の金属プレス・射出成形・鋳造の金型製造業や川下企業の要請に応じて各企業が持つ金型技術をデジタル化し、これらを地域の財産として継承するために、材料・設計・製造の先進的な研究と教育により地域で活躍できる金型人材を育て、今後も大阪東部地域が金型産業の拠点として維持できるよう、地域と大学がともに発展する環境を提供するというプロジェクトである。金型プロジェクトの内容は、本学理工学部の機械工学科の教員が3つの研究グループ(材料関連、解析・設計関連、計測・ロボット関連)に分かれて大阪東部地域と連携し、金型の高度化研究を行うというものである。

一方、学生金型グランプリは社団法人日本金型工業会が主催するインターモールド(金型加工技術展)で行われる“学生による金型製造技術の披露”を目的とした金型の展示会である。この学生金型グランプリは、日本・中国・韓国の大学で「金型」を学ぶ学生が、同じテーマ(課題)の金型製作を行い、その成果である金型と成形品を展示し、また学生金型グランプリ・プレゼンテーションセミナーとして学生が金型製作の設計から金型加工、成形に至る実施内容を説明するイベントである。これにより、実際の現場において生じた問題点やその解決方法、今後の改善点など専門教育を受ける学生ならではの視点で解説し、モノづくりの現場で課題となる『人材確保』『技術継承』などの人づくりに有効であると認知されている。

本学は、2014年度の第6回学生金型グランプリに関西圏からの初出場を目指し、2013年度よりその出場に向けた準備を進めてきた。具体的な内容としては、金型製造に特化した工作機械(マシニングセンター、型彫放電加工機やワイヤーカット)や射出成形機などを本学の実習工場に導入し、金型製造および射出成形の環境整備を行い、それらの設備を使用して金型製造および射出成形に取り組んだ。学生金型グランプリの出場に向けて、研究支援者として金型製造に50年以上の熟練者である職人と金型部品の精密放電加工の専門技術者を招聘し、金型の設計および製造に関する実地指導を受け、金型の設計および製造の基礎技術の理解を深めてきた。その結果、2014年度の第6回学生金型グランプリ課題の“連結式三角スケール”のプラスチック成形金型を設計・製造し、その金型を用いた射出成形品を作製し、初出場を果たした。また、2015年度の第7回学生金型グランプリ課題の“ティーカッププレスト”のプラスチック成形金型を設計・製造し、2回目の出場を果たした。

本稿では、金型プロジェクトの研究成果を学生教育にすぐに反映することにより、地域の金型関連の製造業への貢献を目的に、学生金型グランプリへの出場を通じた金型人材育成の事例を紹介する。

## 2. 2013 年度第 5 回学生金型グランプリ課題作製による出場準備

2014 年度の第 6 回学生金型グランプリ出場を目指して、学部 3 年の成松一馬君が卒業研究セミナーで、研究支援者の金型職人 2 名の指導の下、金型の設計・製造の基礎を理解することから開始した。作製対象は、図 1 に示すような 2013 年度第 5 回学生金型グランプリの課題 “手をつなぐ動物” とした。機械工作実習工場ですでに所有していた CAD/CAM ソフトと立形マシニングセンタに加え、金型プロジェクトの初年度に導入した 5 軸マシニングセンタや型彫放電加工機を用いて金型を製造し、デジタル画像計測装置を用いて金型部品の加工精度を検証した。さらに、これら大型の研究設備に加え、定盤、エジェクタピンの長さ調整に用いるピンカッターや手動研磨のためのルーターなど、金型の製造・組立に必要な様々な機器を新規導入して使用した。しかし、研削盤、溶接機や熱処理炉などは所有していないため外注する必要がある。このように、金型の製造には多くの加工機や工具が必要であり、これらの取り扱い技術を習得する必要がある。このような習得を経て金型の製造が可能になったが、2013 年度第 5 回学生金型グランプリへの出場を見送った。その理由は射出成形機を所有していなかったため、作製した金型を用いてプラスチック成形品を作製できず、金型の評価ができないためであった。

図 1 は、社団法人日本金型工業会から提供された 2013 年度第 5 回学生金型グランプリの課題の二次元図面である。この課題は“手をつなぐ動物”で、クマのような動物の形状を模した成形品が複数個にわたり連結できるというものである。図面には寸法公差の指定はなく、顔面の形状もそれぞれの出場校で特色を出すことができる設定である。成形品の形状を把握するために、図 2 に示すような三次元モデルを作成し、金型の設計および製造のために二次元 CAD データを作成した。

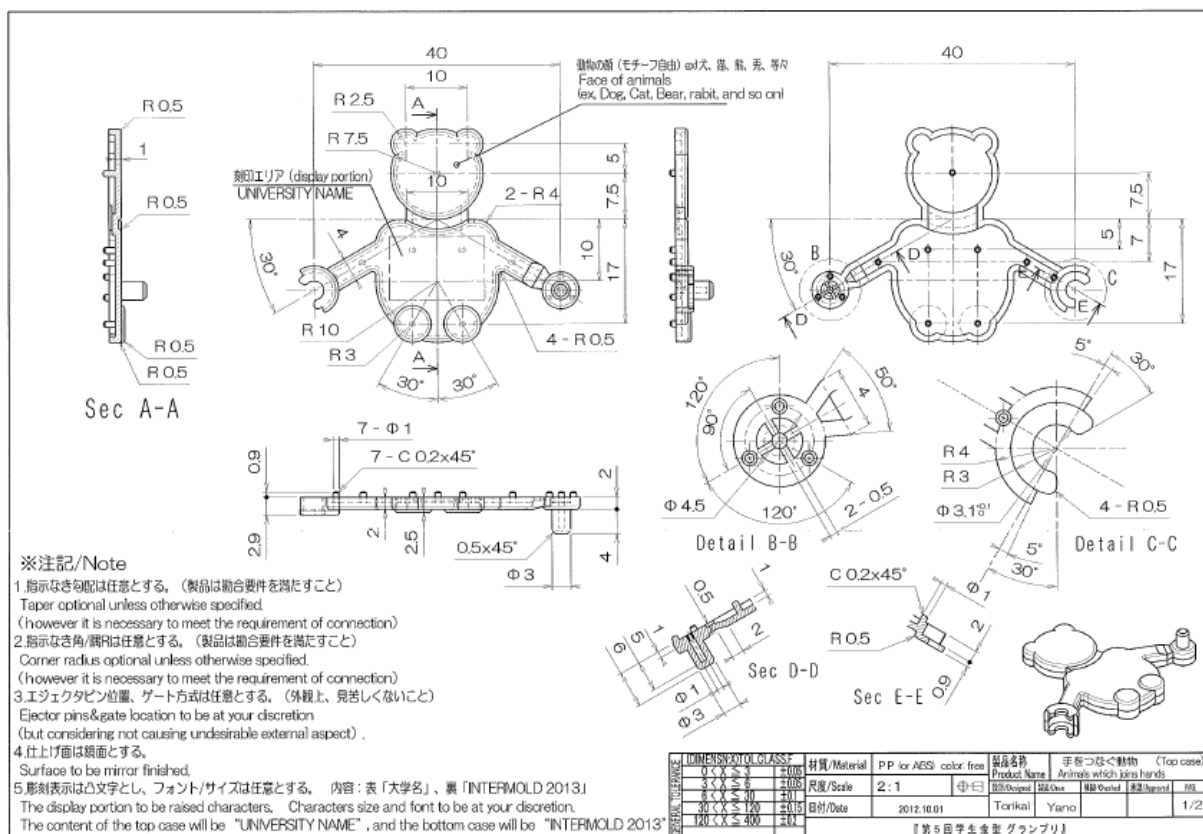
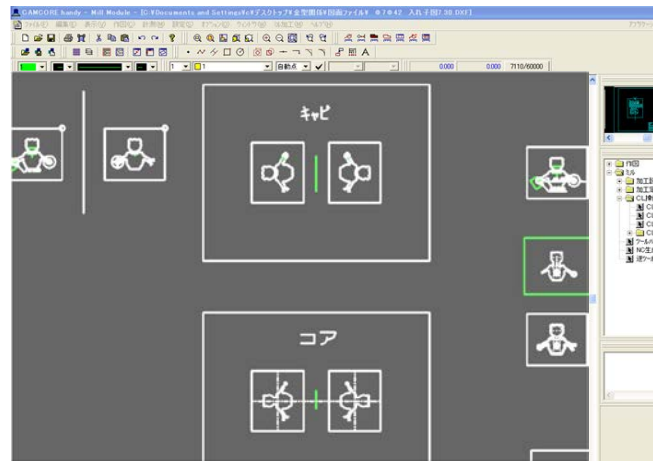


図 1 第 5 回学生金型グランプリの課題 (手をつなぐ動物) の二次元図面



(a) 三次元モデル



(b) 二次元 CAD

図2 第5回学生金型グラプリの課題（手をつなぐ動物）成形品の形状

図3に示すような成形品の形状やサイズから推定して、ダイセット（双葉電子工業㈱, Sシリーズ2025）を選定し、溶融した樹脂を射出成形するための入れ子、および入れ子を固定するダイセットの形状を設計した。図4は、ダイセットおよび入れ子の構造を示す。

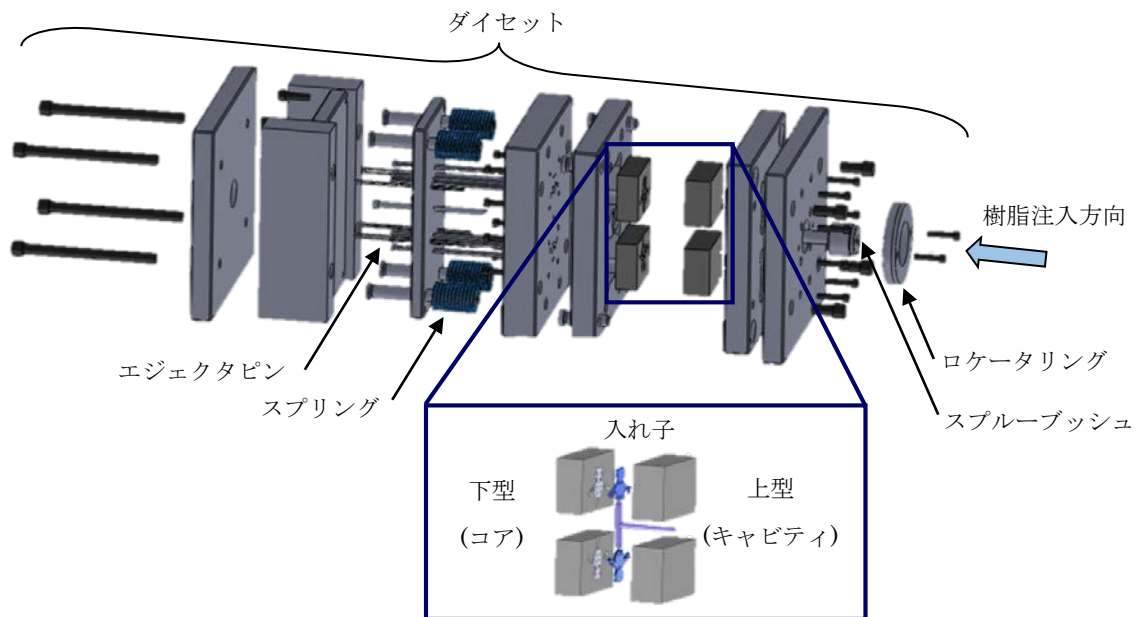


図3 ダイセットおよび入れ子の構造

ダイセットの加工は、エジェクタピンが通る穴や入れ子を取るポケット、スプルーやランナーの穴、入れ子を保持するためのボルトを通す穴やネジ切りなどである。設計製図および加工データの作成には、二次元の簡易 CAD/CAM ソフト（アンドール㈱, CAMCORE handy）を使用した。ダイセット全体を描画せず、穴加工やポケット加工など工程ごとに図面を細分化して行った。これはマシニングセンタを用いて切削加工する場合、工程によってそれぞれ工具が異なり、全体を一度に切削すると加工時間が膨大に掛かるためや、一度に全体を切削して大きなミスが生じるとその損害の規模が大きくなり修正が難しくなるという金型職人の助言に依り判断した。また、マシニングセンタで切削しながら、その傍らで CAD/CAM ソフトを用いて設計製図および加工データを作成して、作業時間の短縮は図った。

図2に示す成形品の二次元図面を、三次元CADソフト（SolidWorks2010）を用いて図3(a)に示すような三次元モデル化し、樹脂を流し込むゲートの位置、スプルーとランナーの種類、金型内で発生するガスの抜き方、エジェクタピンによる成形品の取り出し方法など、入れ子の形状を検討した。図3(b)に示すような2次元CADソフト上で、ダイセットと同様に一度に入れ子全体を作図することはせず、手をつなぐ動物の頭、胴体、腕および手など各部分に分割した図面の作成は、マシニングセンタによる切削加工と同時進行で行った。入れ子には、立形マシニングセンタ（日立精機㈱、VM40II）の刃物径では加工困難な微細な形状が見られたため、型彫放電加工機（㈱ソディック、AD25L）を用いた。型彫放電加工で用いる銅電極はマシニングセンタで加工した。切削加工時で重要な段取り作業として、ワークの位置出しや工具の取り付けなどは手動で行う必要がある。ワークの位置出しはダイヤルゲージで水平、垂直および平行の各方向の傾きを確認した。その際、銅製またはプラスチック製ハンマーや棒で軽く叩くことで微調整を行った。この傾きの許容範囲は荒加工の場合は50 $\mu$ m以下10 $\mu$ m程度、仕上げ加工の場合は10 $\mu$ m以下である。入れ子の材質は析出硬化硬系プリハードン鋼（大同特殊鋼㈱、NAK80）で、硬さがHRC40と非常に硬いため、角部や微細な形状など切削加工が困難な箇所を型彫放電加工した。

図4に示すように、切削加工や型彫放電加工後の表面を手磨きによる仕上げ加工を行った。粗い加工面では、射出成形時の流動抵抗が大きく、また成形品の表面粗さや性状が悪化するためである。目の細かい研磨紙をへら状の棒の先端に巻きつけて手研磨した。図5は、ダイセットの組立の様子を示す。プラスチックハンマーを用いて、入れ子をダイセットに叩き込み、ルーターを用いてバリの切除を行った。製造した金型の入れ子を図6に示す。マシニングセンタによる切削加工のミス（NCプログラムミス）や型彫り放電加工時のミスがあり、ブッシングやTIG溶接による肉盛りの痕跡が残っている。



図4 手磨きによる仕上げ加工



図5 手作業による組立



図6 完成した入れ子



作製した金型を用いて射出成形した成形品を図7に示す。この中には、完全に樹脂が充填していないショートショットの成形品が見られたが、バリは見られなかった。成形圧力や材料温度などを種々変化させることにより、適正な成形品を得るように調整した。

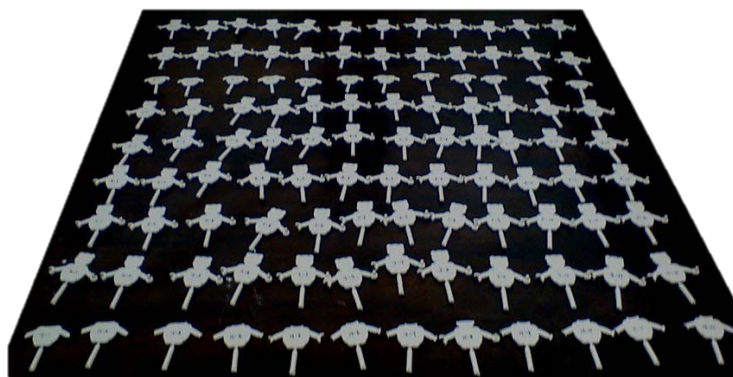
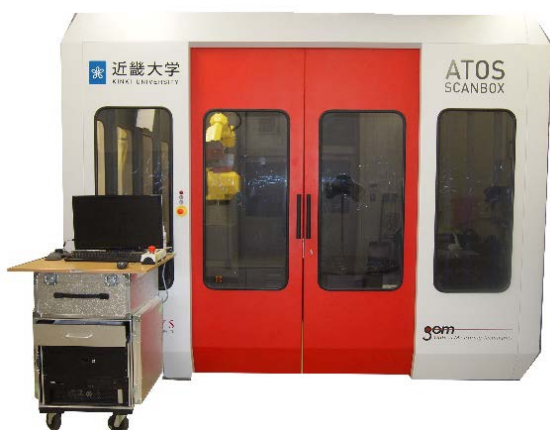
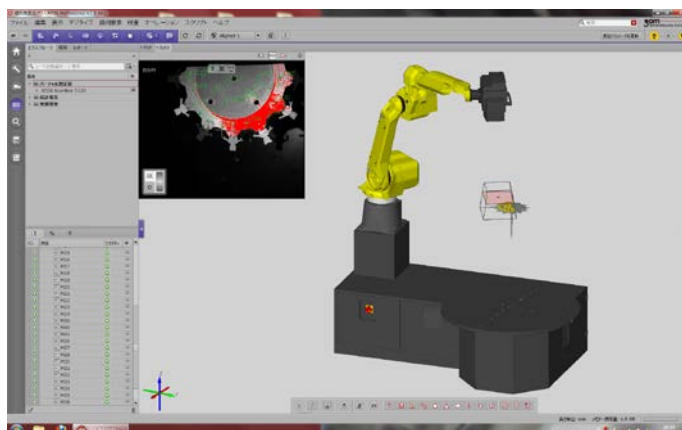


図7 射出成形した成形品例

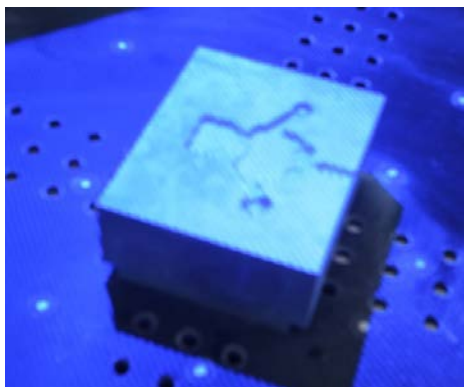
図8に示すようなデジタル画像計測ロボットシステム（GOM社、ATOS™ SCANBOX）を用いて、製造した金型（入れ子）および成形品の形状測定を行った。この測定原理は、三角測定の測定原理に基づき、測定対象物に投影されたフリンジパターンを2台のCCDカメラで計測し、各カメラのピクセル上の3種類の光学測定アルゴリズムを用いて、三次元座標を高精度に計算し、オブジェクト表面のポリゴンメッシュを生成するものである。



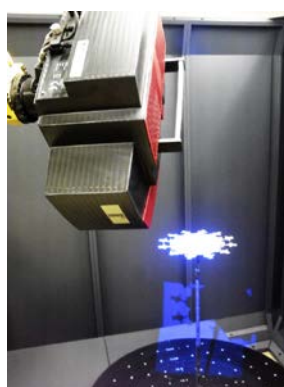
(a) 外観写真



(b) プログラミング作業画面



(c) 金型の撮像



(d) 成形品の撮像

図8 デジタル画像計測ロボットによる撮像状況

三次元 CAD モデルの設計値と実測値の比較を行い、製造した金型および成形品の寸法精度を評価した。図 8(c)に示すように金型は測定テーブル上に直接設置すれば測定可能であったが、成形品は数量が多いため図 9 に示すような測定用治具を用いて一度に 12 個の成形品の測定を可能にした。成形品はスプルーとランナーの境界で切断し、図 8(b)に示すように測定用治具に取り付けて撮像した。

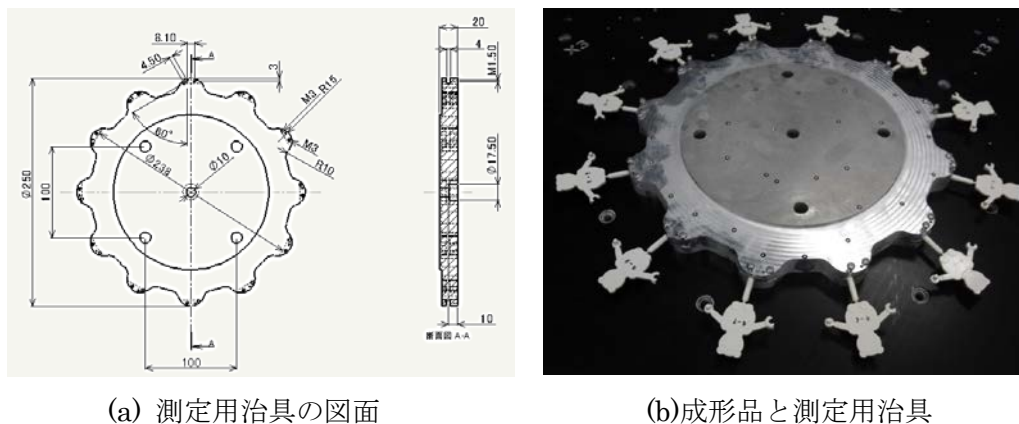


図 9 成形品の測定用治具

その際、デジタル画像計測は図 10 に示すような 2 つの方法で行った。これらを比較し、短時間で測定できるプログラムを作成し、正確かつ効率の高い測定方法を見出すことを目的とした。

(a)個別測定法

1 つの測定対象物ごとに計測し、テーブルを回転させて円盤状に配置した個数の測定を繰り返す。カメラの移動量を減らし、テーブルの回転を重視する測定方法である。

(b)一括測定法

多数の成形品と円盤治具を一体で計測し、測定した円盤治具を評価時に取り除き、個々の成形品を評価する。個別測定法よりもテーブルの回転を抑え、カメラの移動量を多くする測定方法である。

2 つのデジタル画像計測法の測定時間を表 1 に示す。一括測定法が個別測定法に比べて圧倒的にプログラミング時間と測定時間が短いことが分かった。一方、測定精度には差がみられなかった。個別測定法の場合はテーブルと撮像装置を同程度の運動で操作するため、一回の測定物の撮影時間が長くなる。そのため、一括測定法の方が効率の高いと判断し、一括測定法で評価することにした。



図 10 2 つのデジタル画像計測法

表 1 測定法の違いによる測定時間の比較

	プログラミング時間	撮像時間
(a) 個別測定法	40min 23s	18min 45s
(b) 一括測定法	27min 26s	3min 14s

図 11 にデジタル画像計測の手順を示す。反射防止のため、測定対象物の表面に探傷剤（㈱タイホーコーザイ、マイクロチェック現象液）などの粉末状の白いスプレーを使用した。専用ソフト（GOM 社、ATOS™ Professional V7.5）に測定対象の三次元 CAD モデルをインポートし、カメラや測定対象物、および回転テーブルを画面上で選択することによりロボットティーチングを行う。同ソフトを測定結果の評価にも用い、撮像終了後に測定対象の寸法計測を行う。

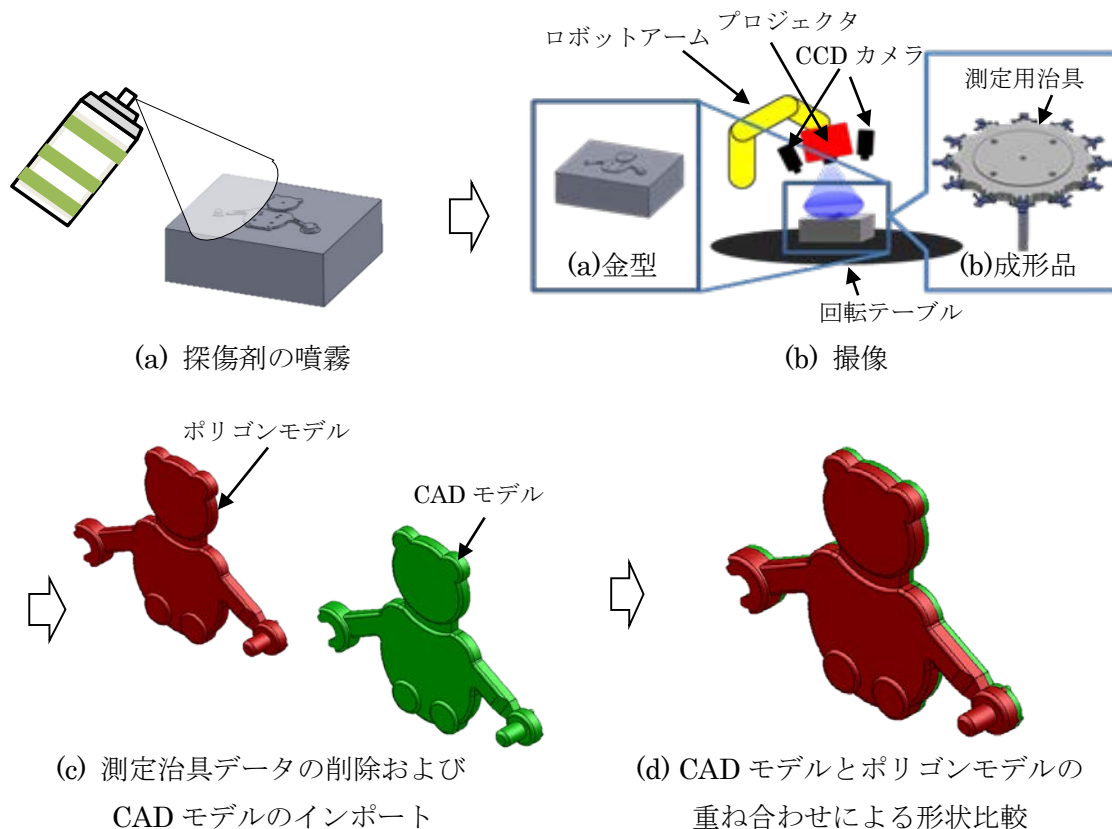


図 11 デジタル画像計測の手順

金型（入れ子）のキャビティとコアの寸法測定箇所を図 12 に示す。また、成形品の寸法測定箇所を図 13 に示す。第 5 回学生金型グランプリに出場した他大学の成形品と、本学の成形品を比較し、本学の金型および成形品の加工精度を評価することにした。それぞれの寸法測定箇所の設計値を表 1 に示す。

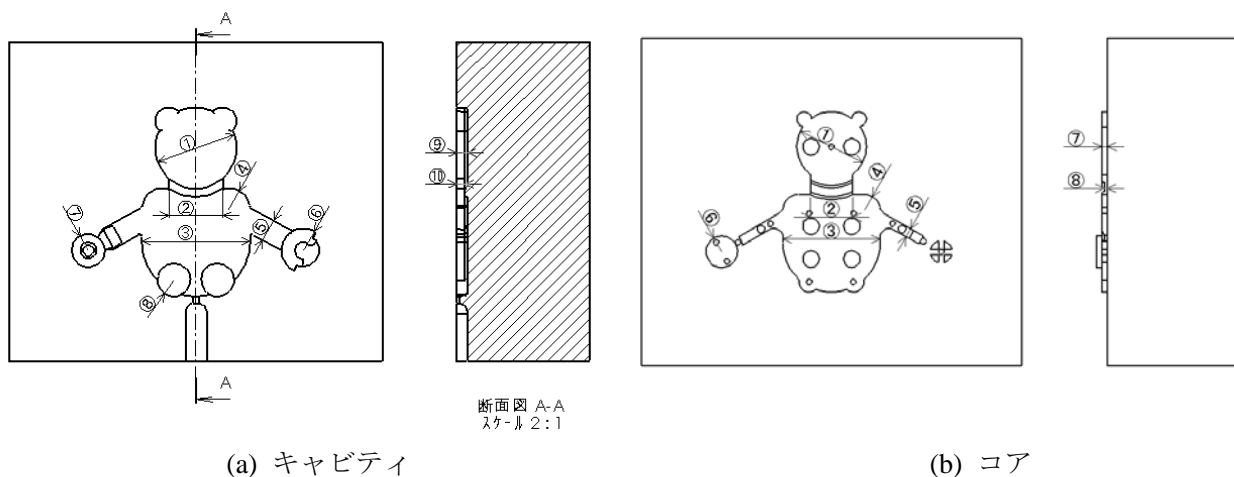


図 12 金型（入れ子）の寸法測定箇所

表 1 成形品の設計値

測定箇所	①	②	③	④	⑤
設計値 [mm]	1 $\Phi$ 5	10	20	R4	4
測定箇所	⑥	⑦	⑧	⑨	
設計値 [mm]	R4	$\Phi$ 6	2	1.5	

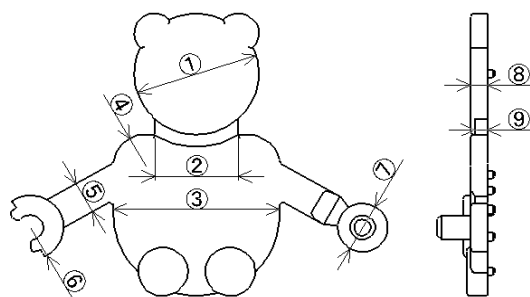
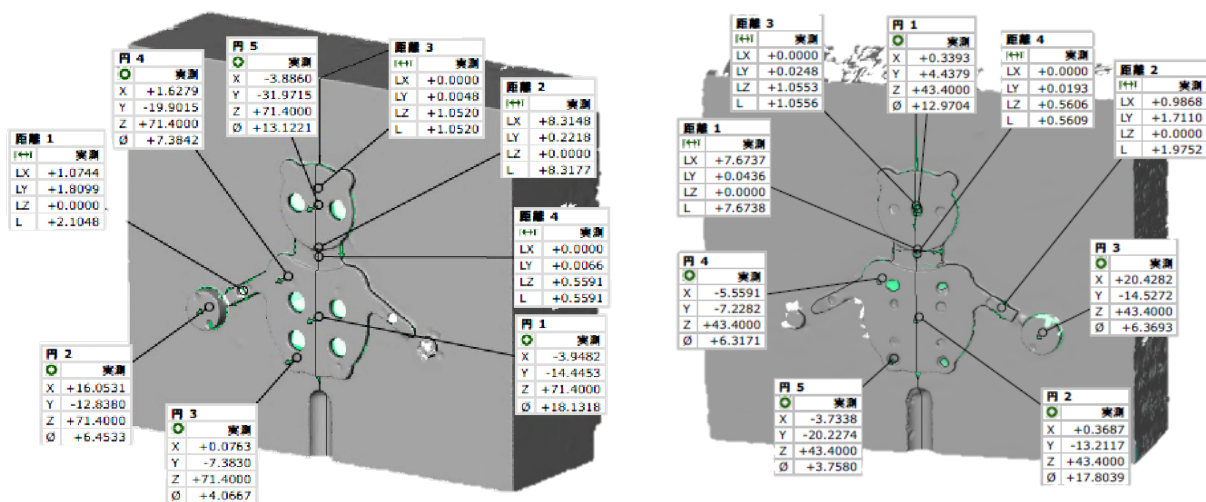


図 13 成形品の寸法測定箇所

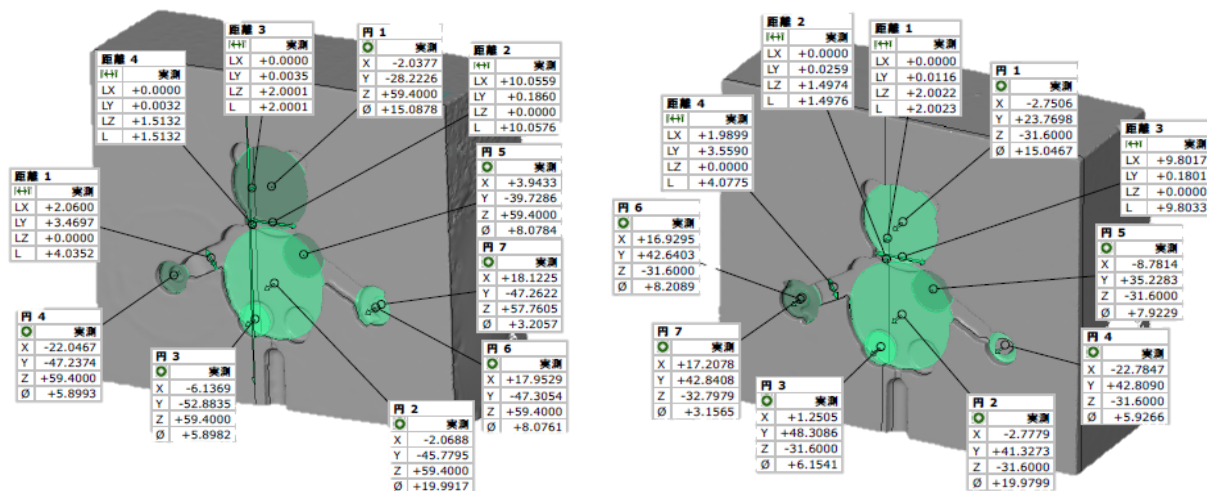
図 14 および図 15 に、金型のコアおよびキャビティの形状測定結果を示す。指定した個所の座標値や長さ、直径などの寸法がミクロナスケールで自動的に表示される。このような測定値を用いて、図 12 で指定した各測定箇所の寸法を算出した。



(a) 前面型

(b) 背面型

図 14 金型（コア）の形状測定結果



(a) 前面型

(b) 背面型

図 15 金型（キャビティ）の形状測定結果



各設計寸法に対する測定値との差を設計値で除した割合を寸法差率とし、キャビティとコアの設計寸法に対する関係を図 16 に示す。コアがキャビティに比べて加工精度が非常に低いことが分かった。コアは凸型であるためその形状を浮き出させる輪郭加工を行ったが、キャビティは凹型であるため工作物を彫り込むポケット加工を行った。ポケット加工に比べて輪郭加工は加工精度が低いことが分かった。

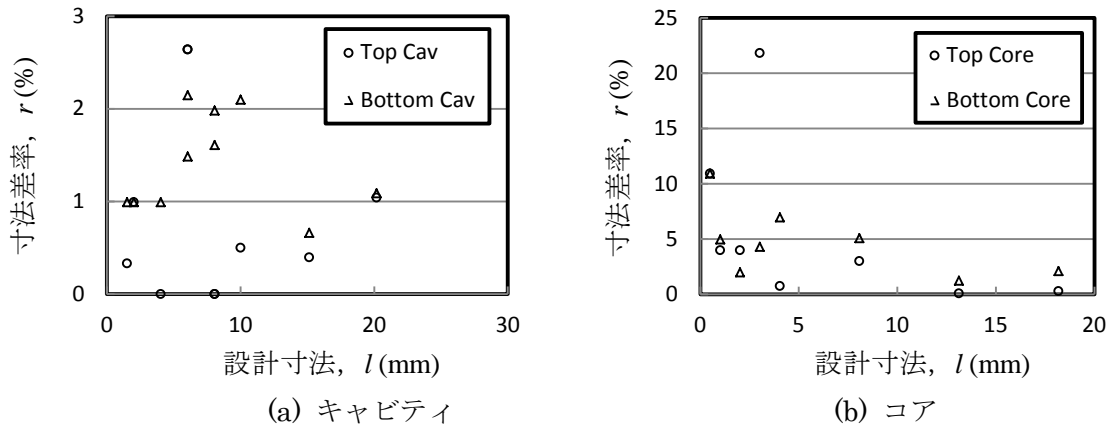


図 16 金型（入れ子）の形状評価結果

図 17 は成形品の形状測定結果例を示す。また、図 18 は第 5 回学生金型グランプリに参加した他大学（日本 A 校、韓国 B 校、中国 C 校）と本学の成形品の寸法差率の比較を示す。中国の C 校が最も寸法差率の変動が小さく、最も大きな寸法差率は B 校の測定箇所位置④(4mm)で 18.25%であった。本学の成形品は他校と比べて比較的良好に成形できている。ただし、成形品の形状のばらつきは大きく、設計値が小さい箇所ほど寸法差率の変動は大きいことが分かった。

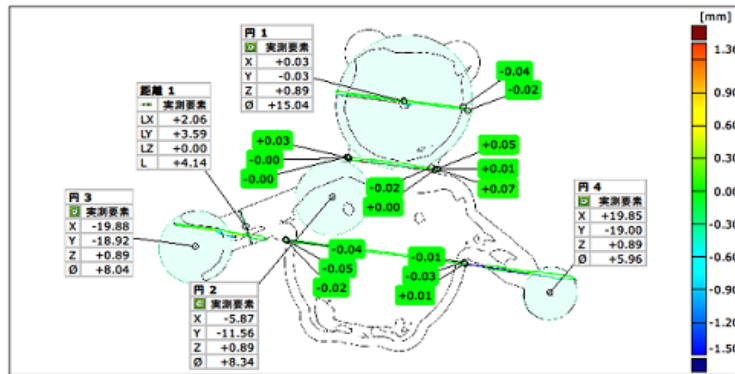


図 17 成形品の形状測定結果例

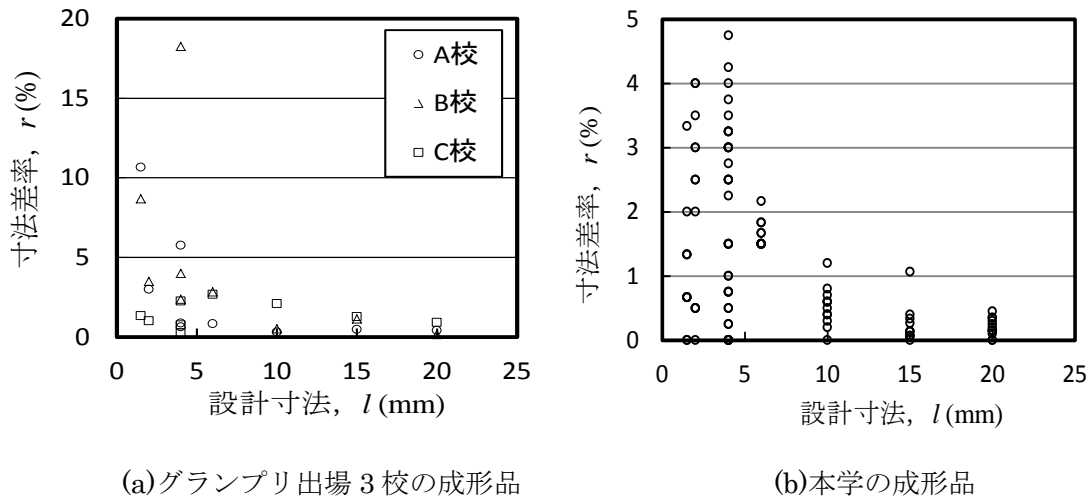


図 18 成形品の寸法差率の比較

### 3. 2014 年度第 6 回学生金型グランプリへの出場

2014 年度第 6 回学生金型グランプリの課題が 9 月初旬に社団法人日本金型工業会から図 19 に示すような課題（プラスチック課題）図面が提供された。別に金属プレス成形の課題図面も提供されたが、本学では金属プレス成形機を導入していないため、プラスチック射出成形の課題で出場することを決定した。複数名の教員で役割分担を行い、その教員の研究室に所属する学生に参加を呼びかけたところ、すでに出場に向けて昨年度の卒研ゼミナールで金型製作を行い出場に向けた準備を行っていた学部 4 年の成松一馬君に加え、学部 3 年の倉留京介君、神原 友君、山崎陽平君、金久正治君、穂満和馬君が参加することになった。本グランプリは大阪開催で初出場ということから、地域の金型関連企業の方々が多数参加され、また新聞でも近畿大学が関西圏から初出場することを事前に広報されていたため、指導者も参加学生も不安と期待が入り混じる状態で取り組んだ。

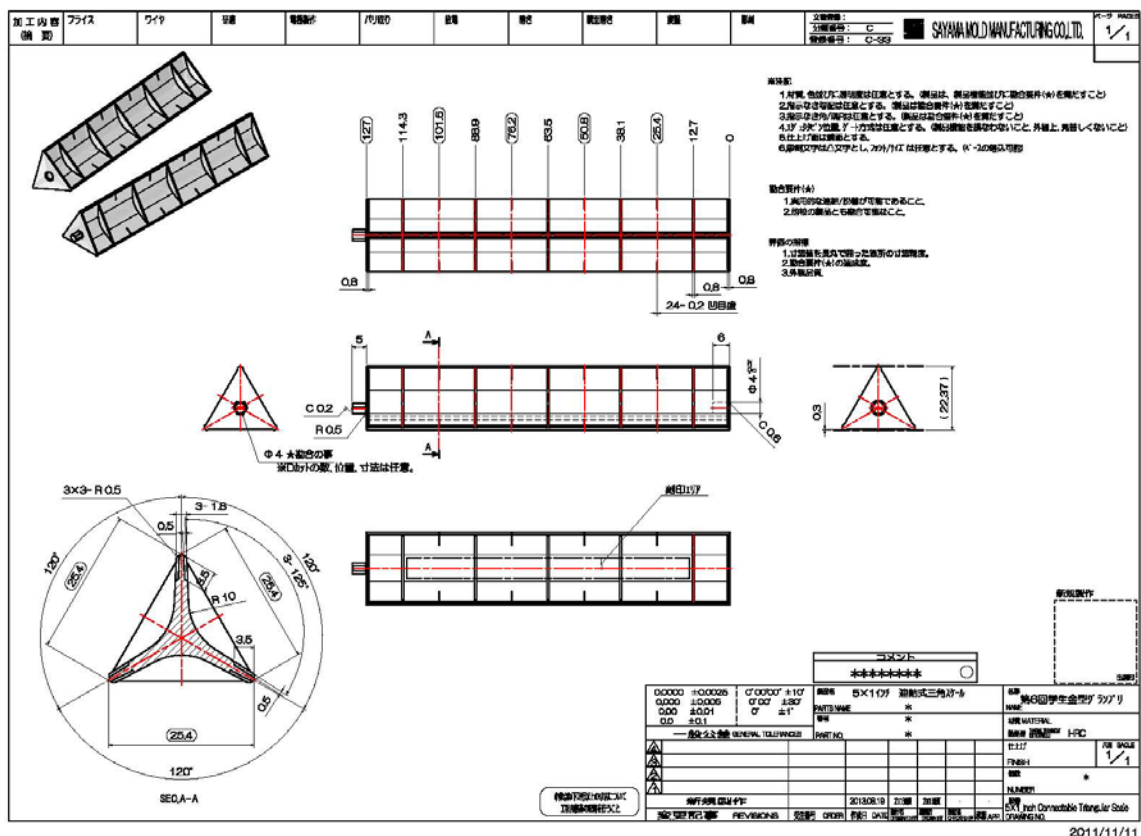


図 19 2014 年度第 6 回学生金型グランプリ課題（プラスチック課題）の二次元図面

プラスチック射出成形品の二次元図面から三次元 CAD モデルを作成し、三次元プリンタを用いて課題の試作品を作製した。これにより、課題の形状の特徴を理解し、金型の設計に活用した。



(a) 単体の場合



(2) 連結した場合

図 20 三次元プリンタにより作製したモデル

プラスチック射出成形品の流動解析を行い、キャビティ部の充填状態、キャビティ部および冷却管の温度分布、プラスチック射出成形品の収縮量を予測した（詳細な説明は他の報告に譲り、割愛する）。

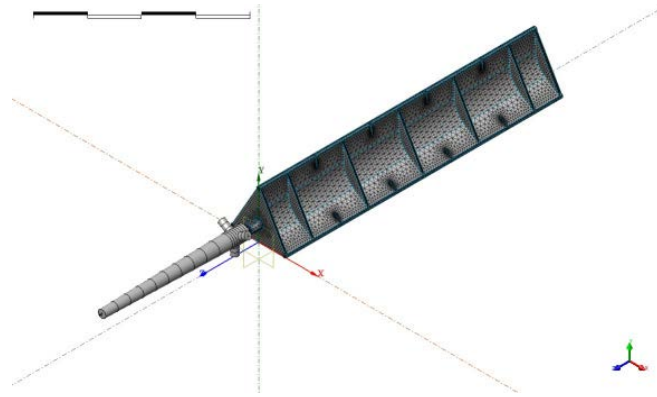


図 21 三次元有限要素解析モデル.

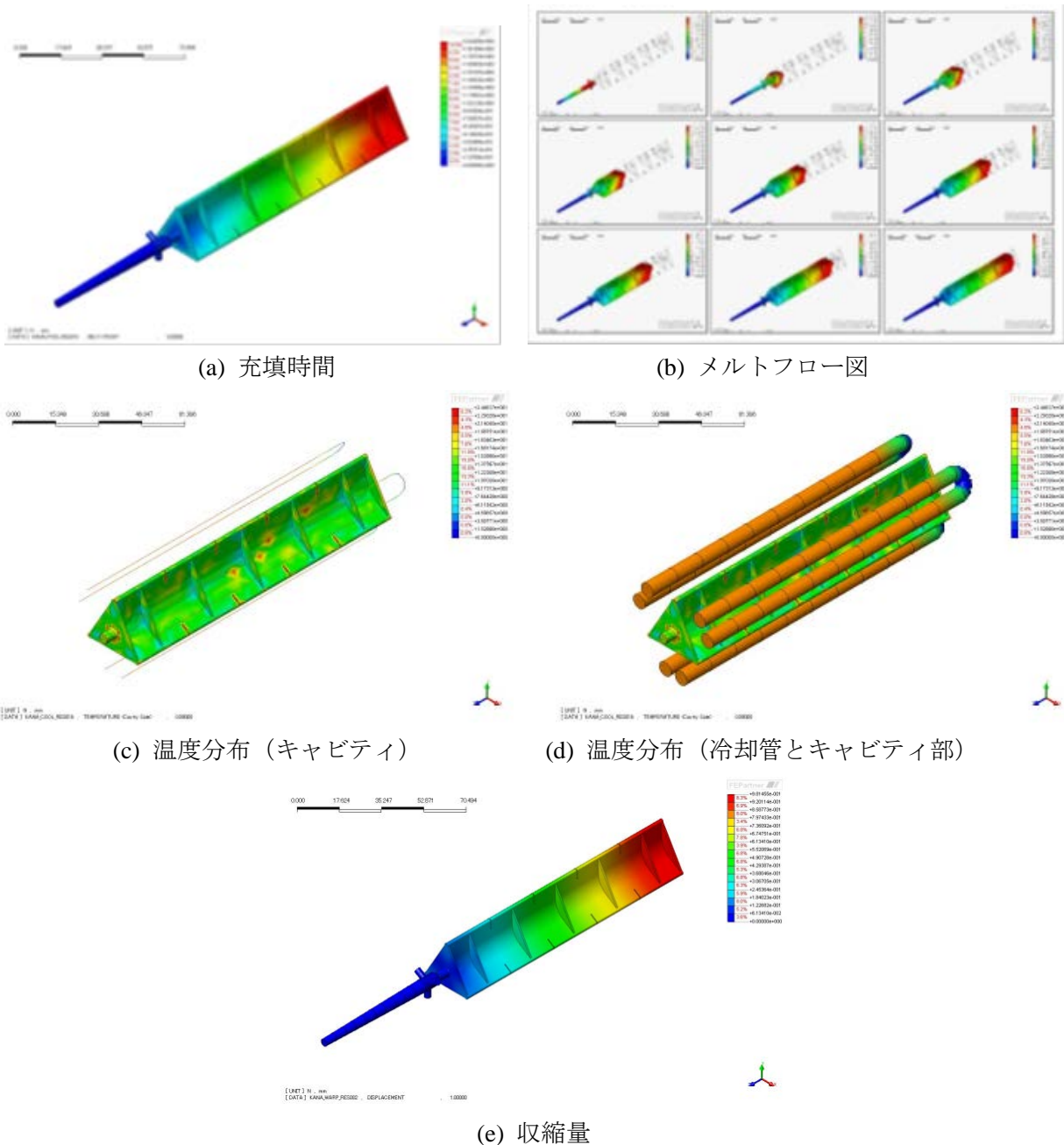
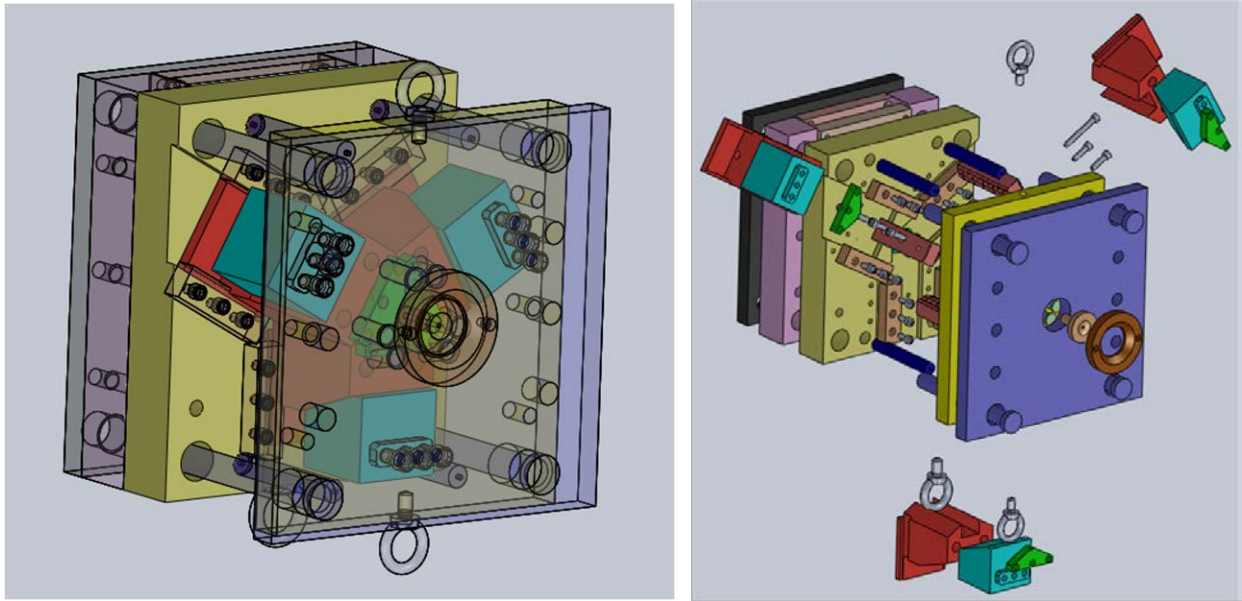


図 22 流動解析の結果.

設計した金型の組立図および拡散分解図を図 23 に、また主な金型の部品図を図 24 に示す。成形品の断面は三角形であるため、三方向にスライドさせて離型する単純な金型構造とした。金型サイズは大型になるが、外側から見てスライドの動作が分かりやすいのが特徴である。3つの入れ子の加工精度が最も重要であり、厚板鋼材をワイヤーカット放電加工機で外形を切断した後、型彫り放電加工機で微細な加工を行った。



(a) 組立図

(b) 拡散分解図

図 23 設計した金型の外観図

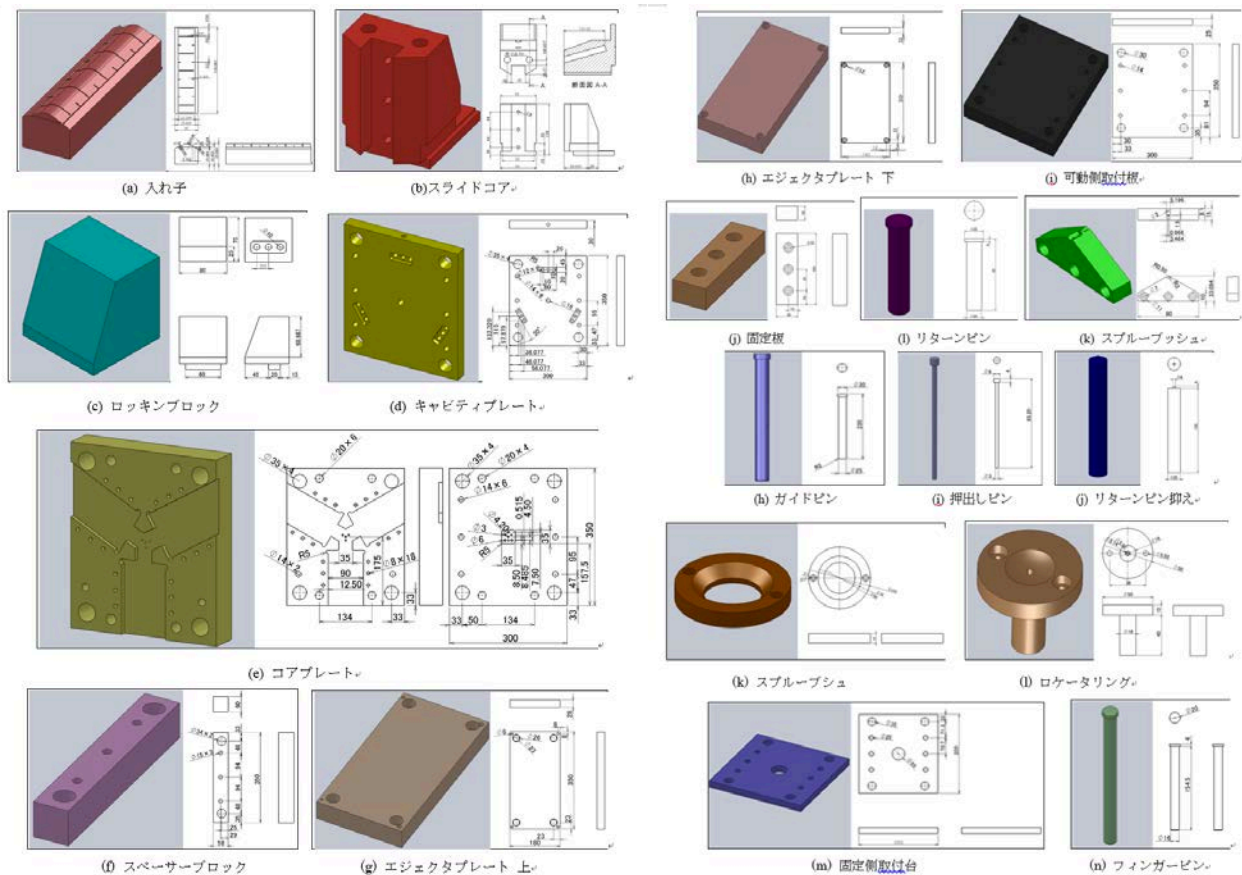


図 24 金型の部品図



組み立てて射出成形機に固定した金型の外観写真を図 25 に示す。また、この金型を用いて射出成形した試作品の外観写真を図 26 に示す。射出成形には、ABS 樹脂（白色と青色）に加え、短い炭素繊維で強化した熱可塑性樹脂（CF/PA66）を用いて成形品を作製した。汎用樹脂である ABS は熱膨張が大きく、耐摩耗性が乏しいため、課題であるスケールには不向きな材料であると考え、比強度および比弾性率が高く、熱膨張が低く、耐摩耗性に優れる CF/PA66 を用いることにした。



図 25 金型の外観写真

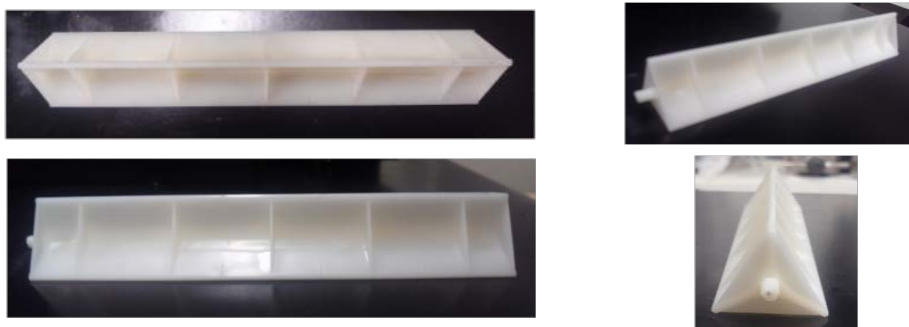


図 26 射出成形品の外観写真

製造した金型が図面通りに加工・組立されているかを確認するため、また製造した金型を用いて作製した成形品の形状が図面通りに検証するため、デジタル計測ロボットを用いて金型および成形品の形状測定を行った。金型の入れ子(a)および射出成形品の計測結果例を図 27 に示す。各寸法に加え、CAD データに対する表面の凹凸の状態が可視化できるため、磨き仕上げを行うのに有効である。

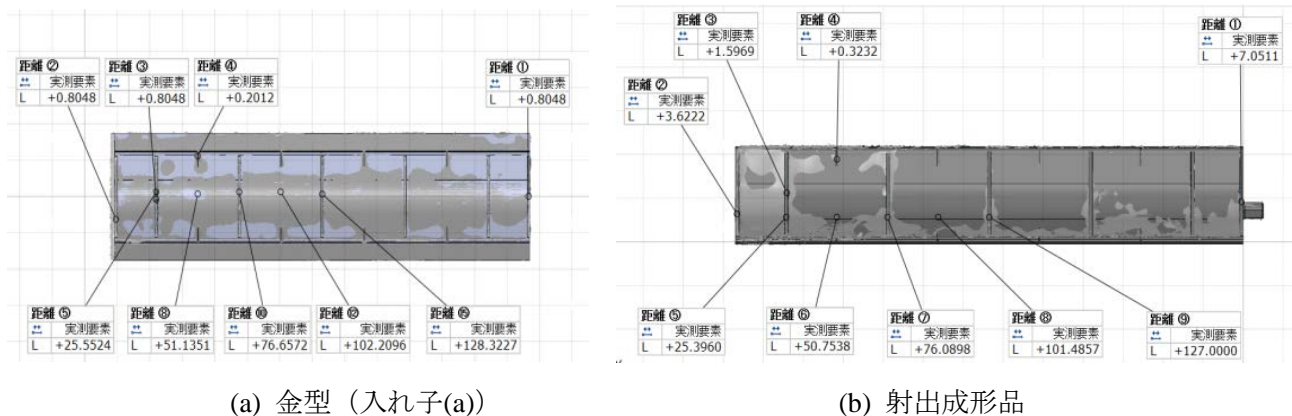
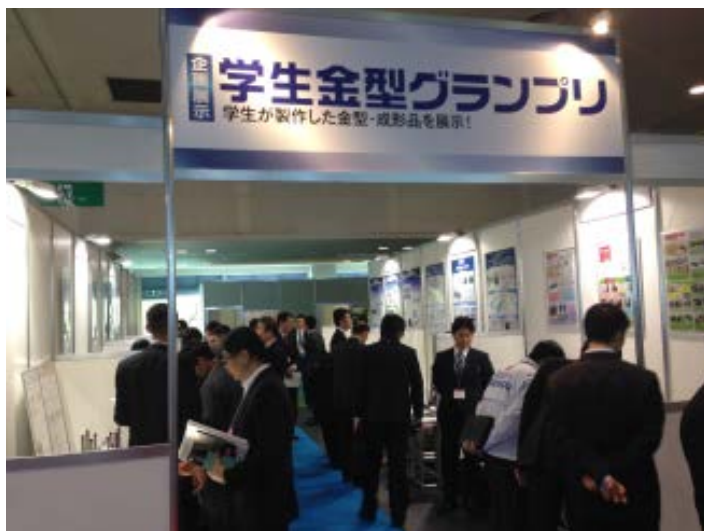


図 27 形状測定の結果例

2014年4月16～19日の4日間、インテックス大阪6号館AでINTERMOLD 2014/金型展2014/金属プレス加工技術展2014が開催され、同会場にて2014年度第6回学生金型グランプリの展示および、4月17日にオープンセミナー第2会場にてプレゼンテーションが開催された。その展示および発表風景を図28に示す。出場校は、プレス型部門に岩手大学・岐阜大学・大連工業大学の3校、プラスチック型部門に岩手大学・岐阜大学・近畿大学・大分県立工科短期大学校・九州工業大学・大連工業大学の6校であった。どのブースにも多数の金型関連企業の方々に参加され、技術的にも厳しい質問が行われ、また採用担当者も積極的に質問され、どの出場校の学生も懸命な姿勢で応えていた。今回は日本金型工業会ブースより出展された50社の会員企業の方々審査員として、プロの目線で厳正なる審査が行われた。本学は受賞に漏れたが初出場の目標は果たせ、次回への課題も明らかになった。



(a) 展示会場



(b) 修了証書



(c) 展示物 (金型, 成形品等)



(c) 展示物 (金型入れ子, 成形品)



(e) プレゼンテーション会場

図28 2014年度第6回学生金型グランプリの展示・発表風景

#### 4. 2015 年度第 7 回学生金型グランプリへの出場

2015 年度第 7 回学生金型グランプリの課題が 9 月初旬に社団法人日本金型工業会から図 29 に示すような課題（プラスチック課題：ティーパックレスト（図 30））図面が提供された。別に金属プレス成形の課題図面も提供されたが、昨年度と同様、本学では金属プレス成形機を導入していないため、プラスチック射出成形の課題で出場することにした。昨年度に出場経験のある学部 4 年の倉留京介君に加え、学部 3 年の岡本直樹君、西向孝史君、嶋田翔太君が卒研ゼミナールとして参加希望し、さらに大学院東大阪モノづくり専攻の修士 2 年の長井孝太郎君および修士 1 年の山本恵司君が加わった。東大阪モノづくり専攻生の両名は、近隣の金型製造業またはプラスチック射出成形企業に勤務しながら修士研究を企業で行い、週末に大学で講義を受けるという社会人と学生の両面の生活を過ごしており、金型の設計・製造およびプラスチック射出成形の現場で働き学ぶ学生が本グランプリへの出場に参加することは、「実学教育」を教育方針とする本学にとって望ましい体制が整った。今回は研究支援者の金型職人が主導で金型の設計・製造から射出成形まで行ってきたという反省を踏まえ、今回は東大阪モノづくり専攻生に金型の基本設計を自らが担当し、他の学部生を指導する基本方針とした。

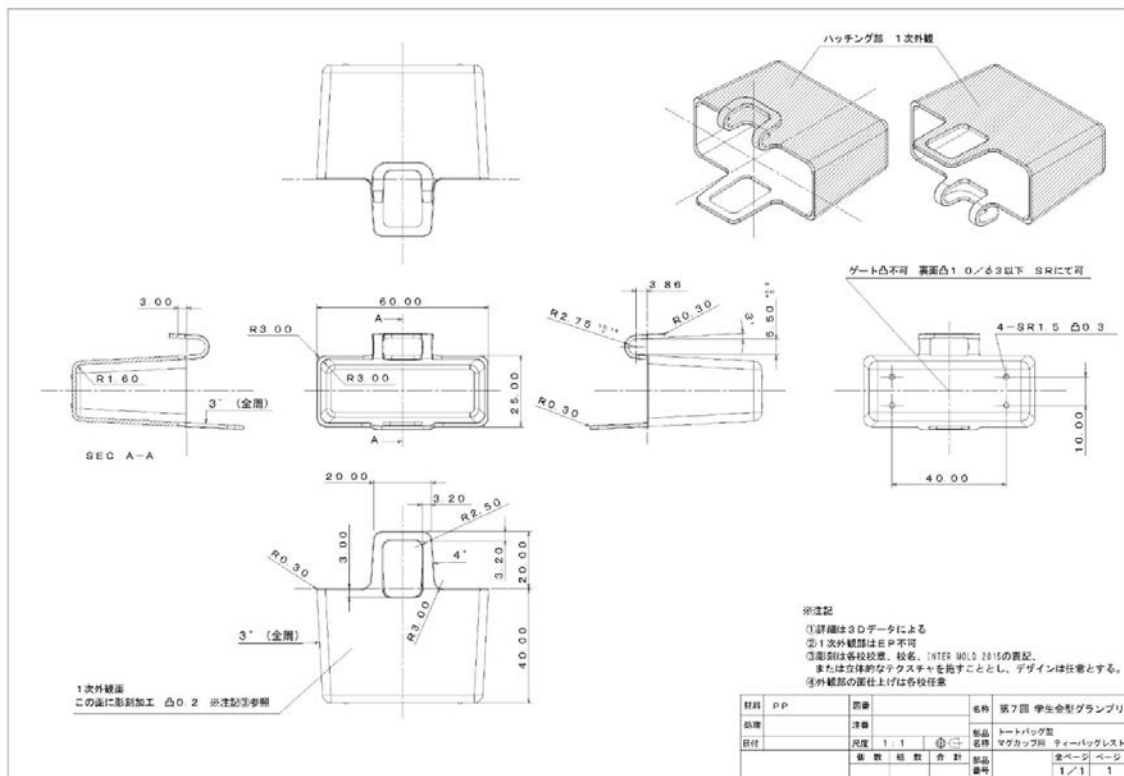


図 29 2015 年度第 7 回学生金型グランプリ課題（プラスチック課題）の二次元図面



図 30 成形品の 3 次元 CAD モデル，および成形品の利用例（原田孝教授撮影）



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。図 31 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。

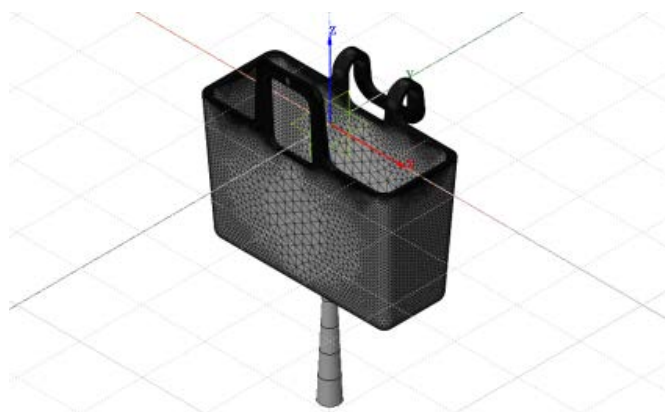


図 31 三次元有限要素解析モデル

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、表 2 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表 3 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図 32 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。

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図 33 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。

表 2 射出成形解析条件

樹脂温度, $T_R$	220 °C
金型温度, $T_m$	50 °C
射出流量, $Q$	40 cm <sup>3</sup> /s

表 3 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



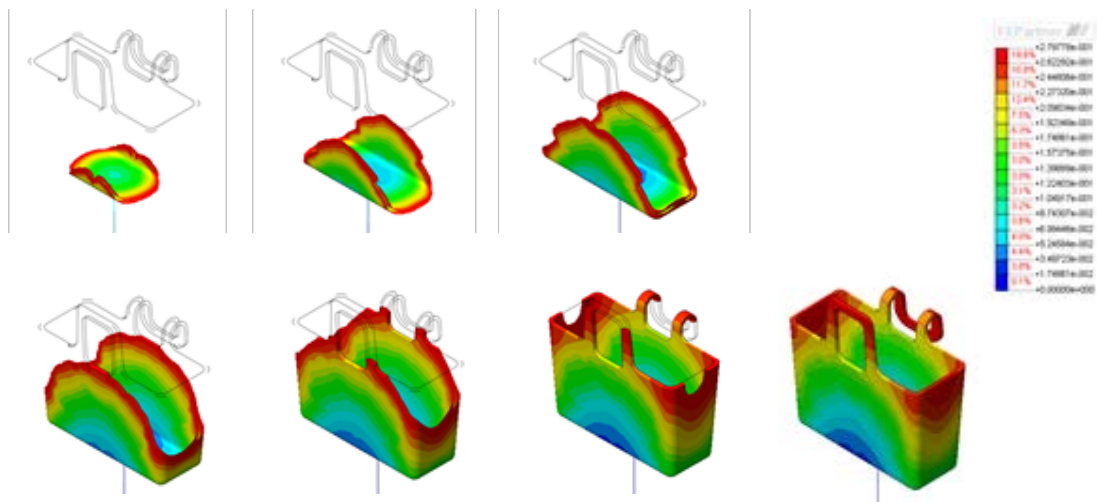


図 32 メルトフロントの時間変化

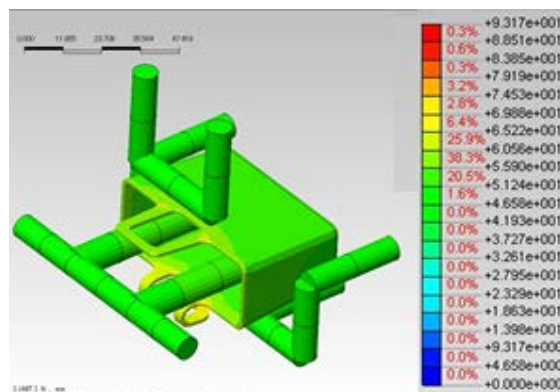
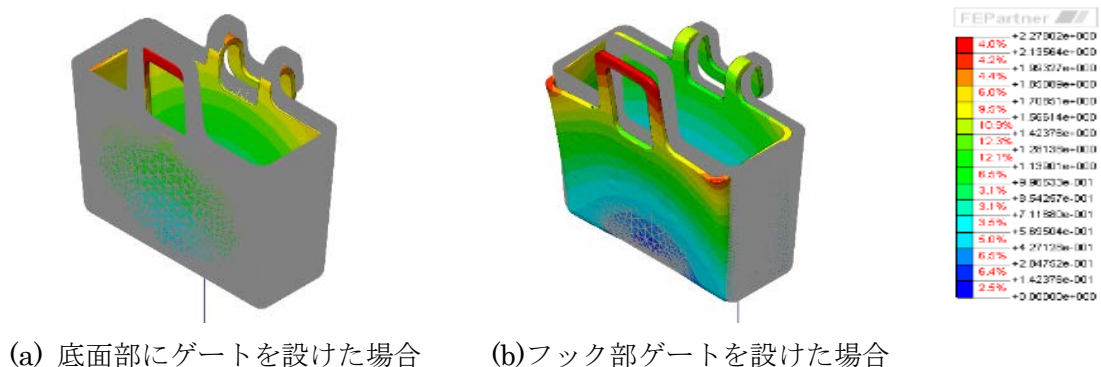


図 33 冷却管と成形品の温度分布

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図 34 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、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。



(a) 底面部にゲートを設けた場合 (b)フック部ゲートを設けた場合

図 34 ゲート位置の違いによる収縮量の比較

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、図 35 に示すような部位を割り型の位置にした。

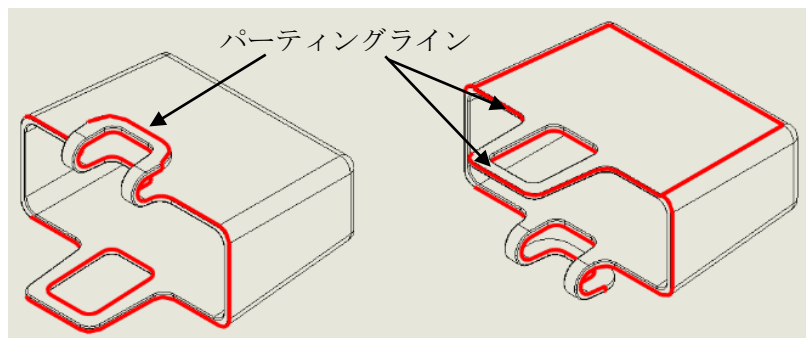


図 35 パーティングラインの発生箇所

設計した射出成形金型の組立図およびその拡散分解図を図 36 および図 37 に示す. 金型のサイズを小型化するとともに, 金型部品数を最小限に留め, 所望の成形品を安定して成形できる構造とした.

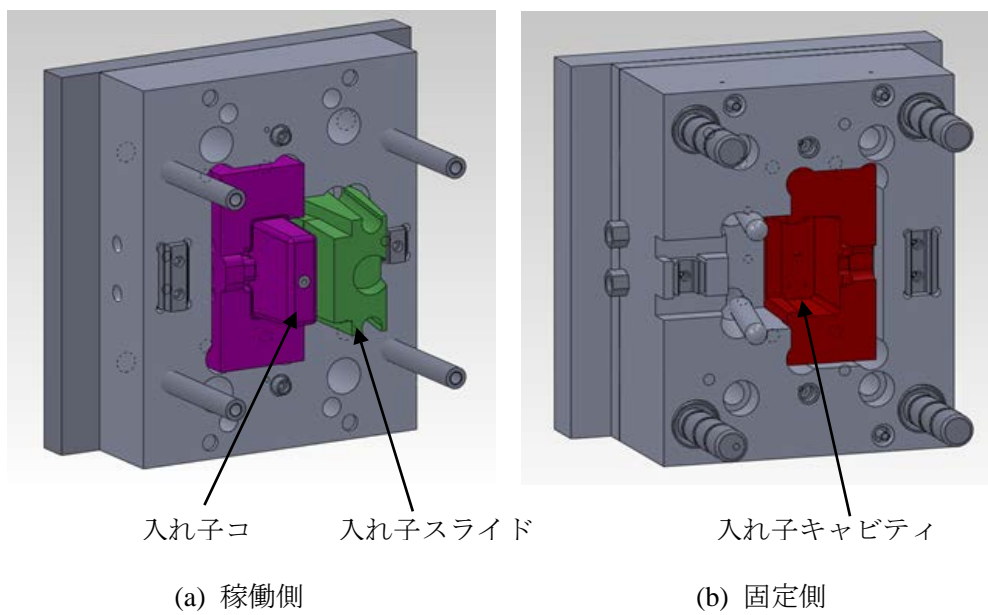


図 36 射出成形金型の組立図

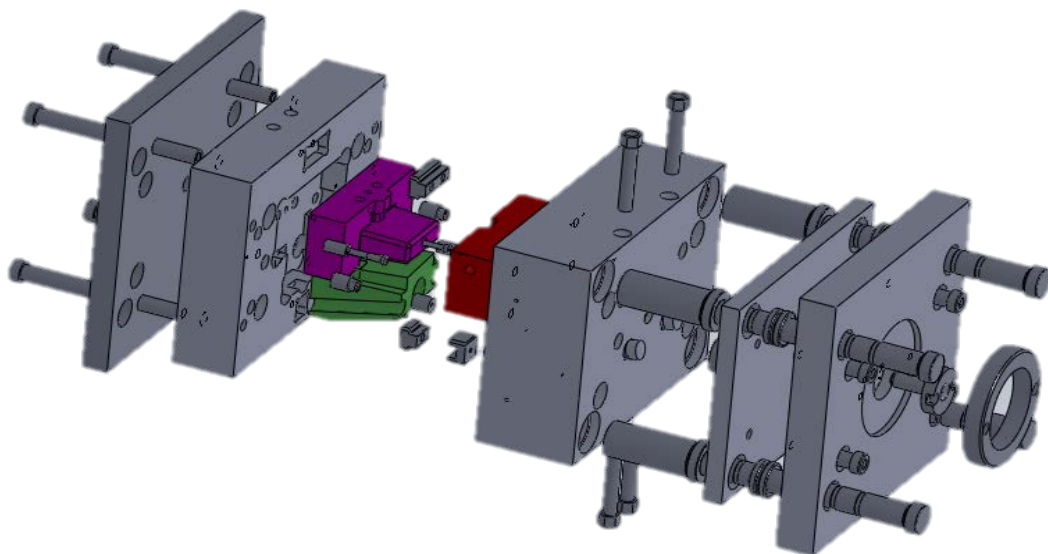


図 37 金型の拡散分解図

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図 38 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、表 4 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、また表 5 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。

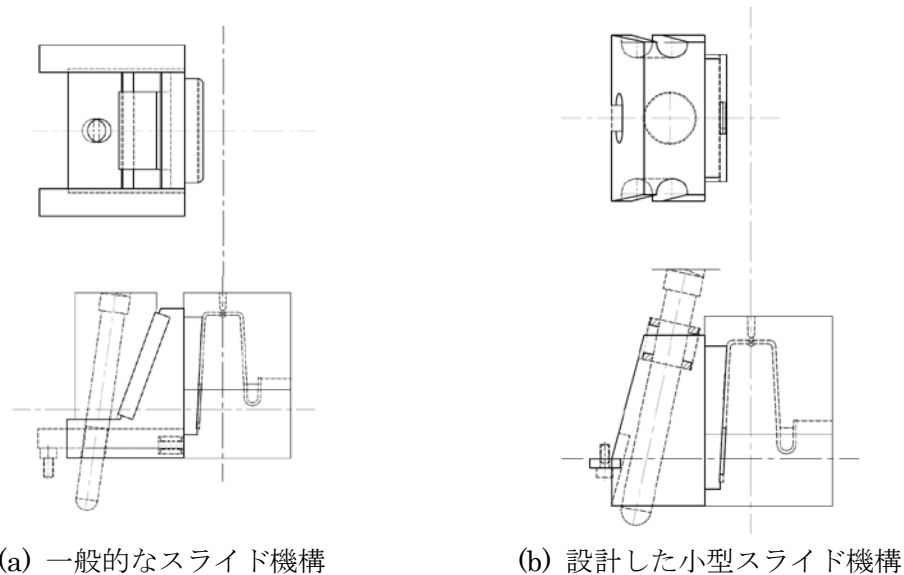


図 38 スライド機構の比較

表 4 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

表 5 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 <sup>2</sup> )	0.257	0.188	- 26.8
加工体積 $V_m$ (m <sup>2</sup> )	0.426	0.198	- 53.5

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、エア式のエジェクトを採用した。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。小型スライド機構の動作順序を図39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し、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されたスプリングにより動作する構造とした。しかし、スプリング方式は射出成形を多数行うにつれて、その弾性回復が安定しないため、確実に動作しないという問題も生じた。さらに、鉤状の部品が損耗し、スライドが動作しないという問題も生じた。金型の機構が複雑になれば使用頻度に応じてトラブルが多発することが理解できた。今回は、改修することせず、グリースによる潤滑や手磨きなどによる調整で動作できるように対処した。

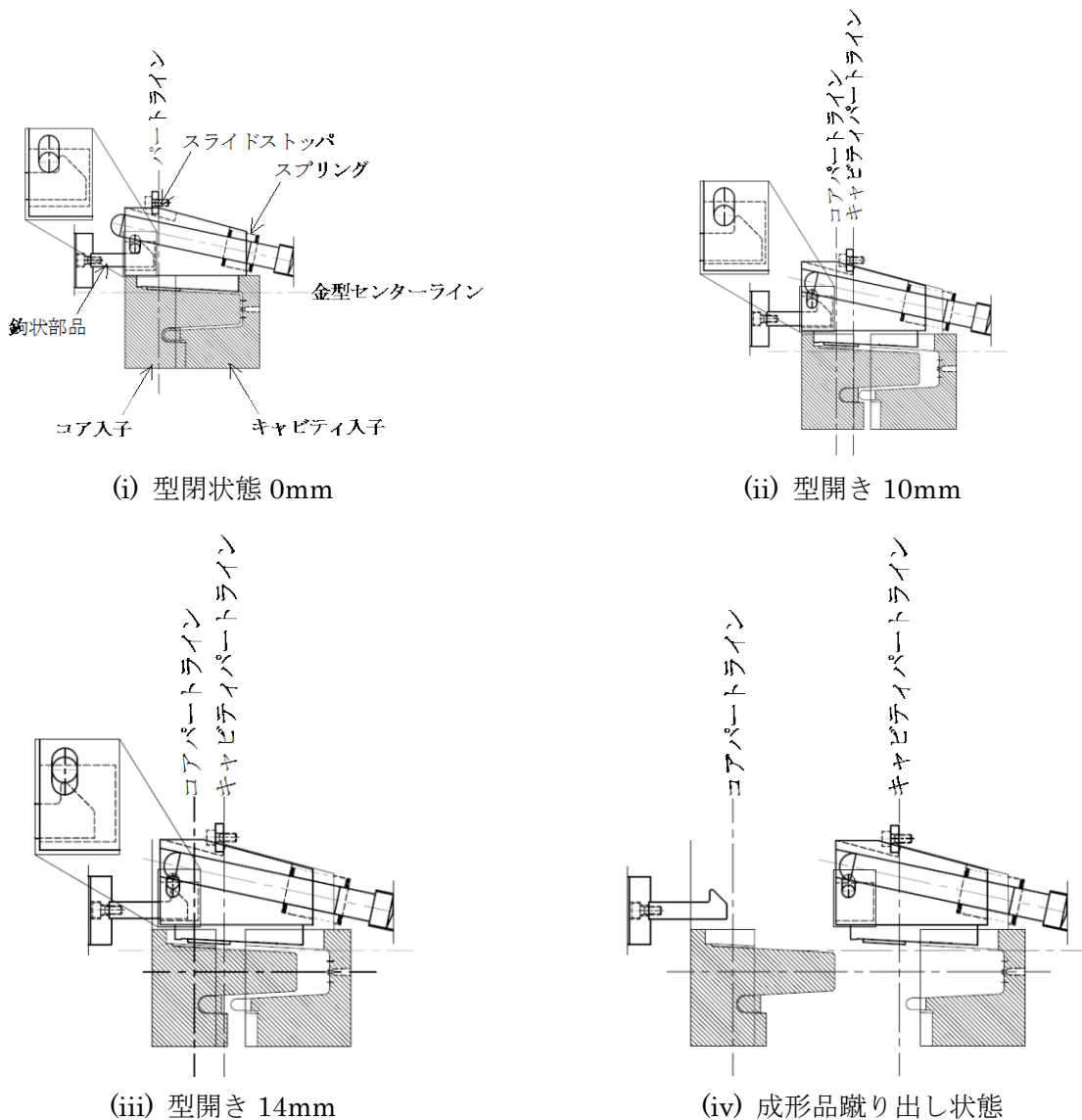


図 39 小型スライド機構の動作順序

成形時の金型の動作順序を図40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。



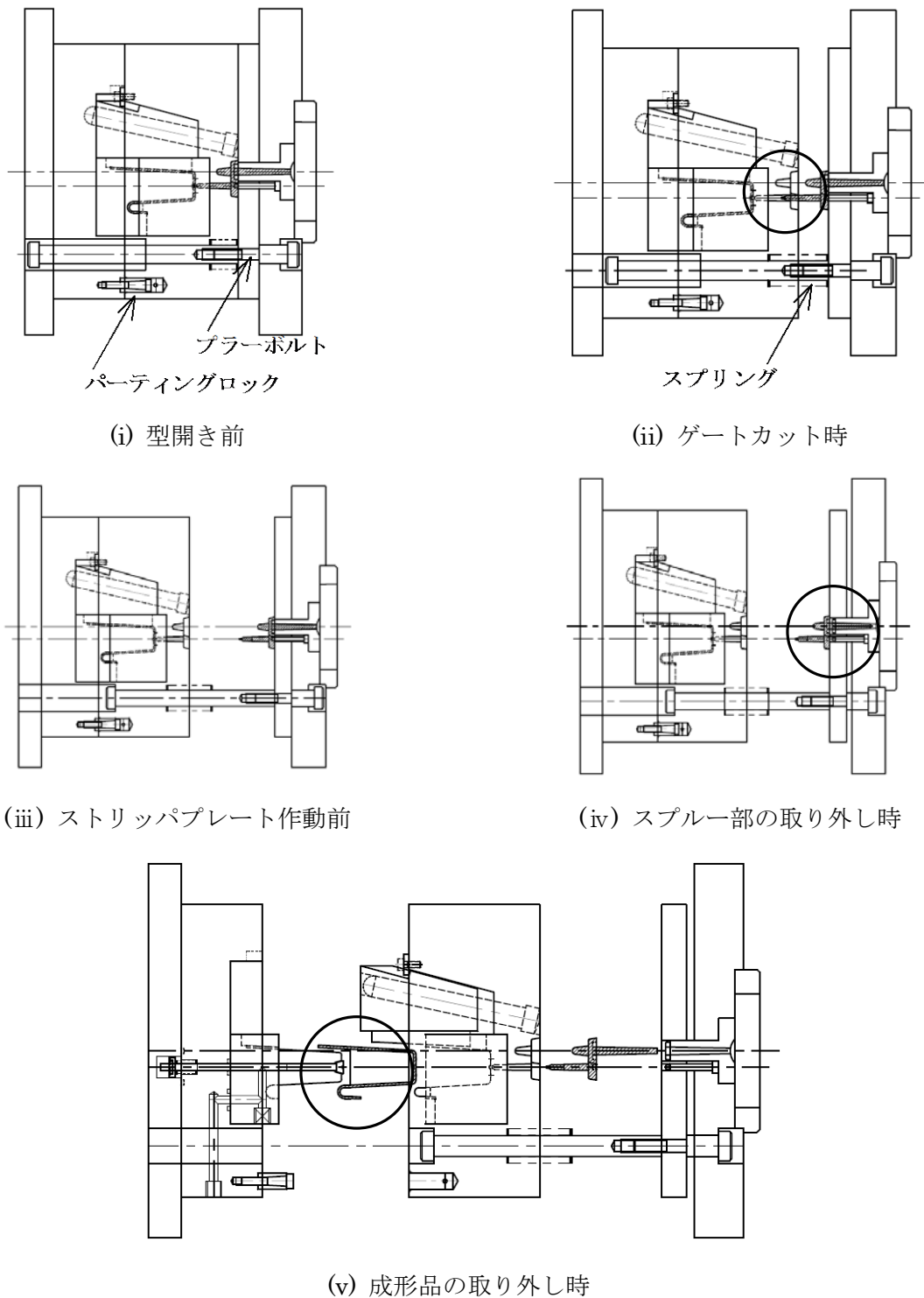


図 40 3 プレート金型の動作順序

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。製作した射出成形金型の外観写真を図 41 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た。

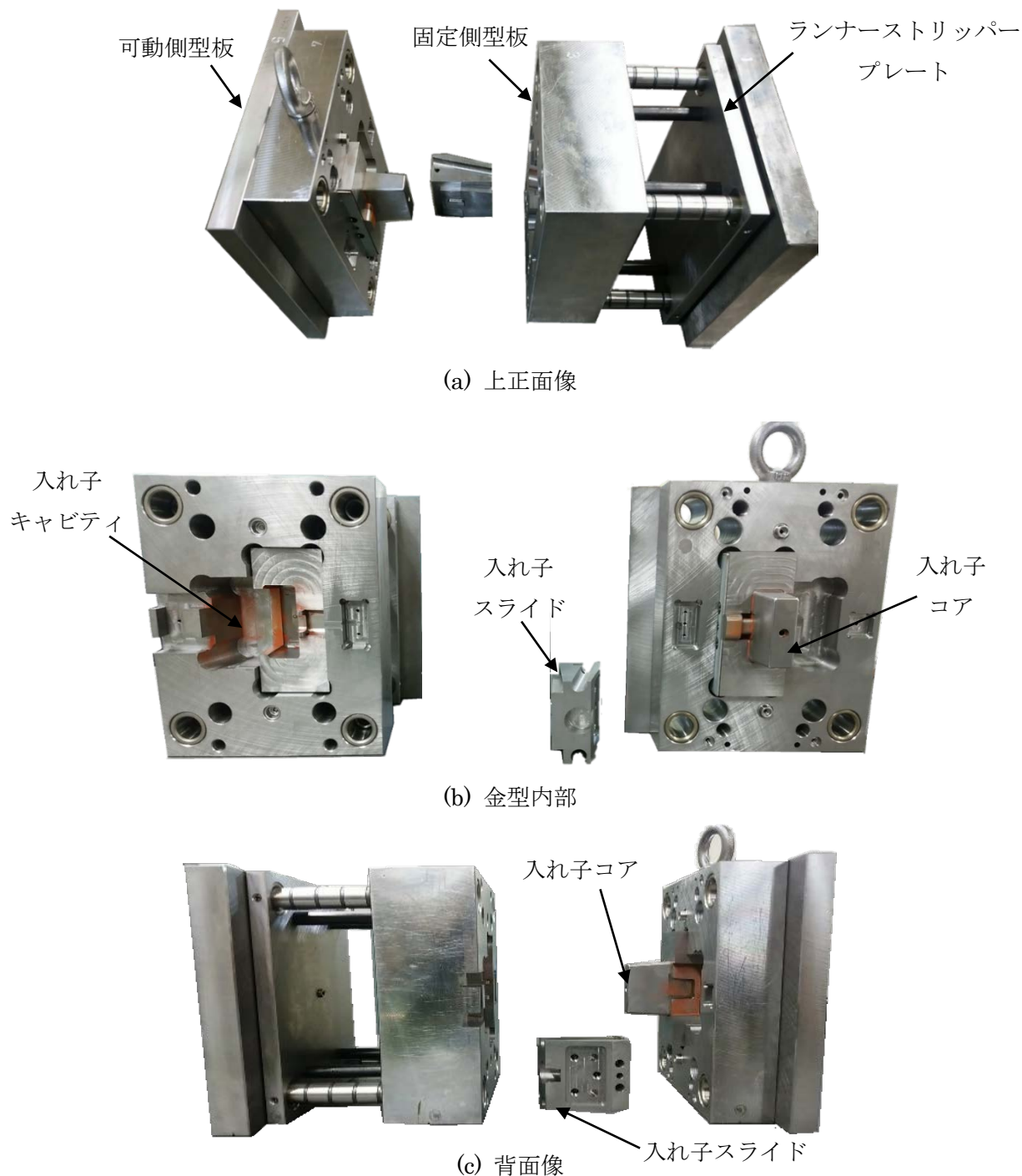


図 41 製作した射出成形金型の外観写真

本課題に対する作業工程を図 42 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 と比較した。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た。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す、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。

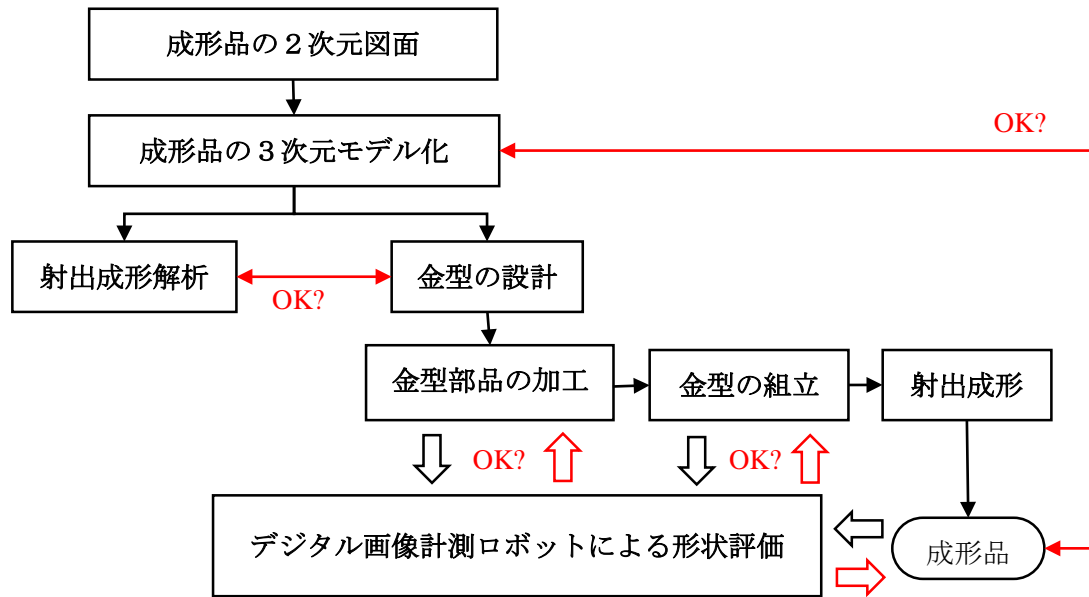


図 42 作業工程（計測の一元化）

金型のキャビティ入れ子と CAD 寸法の計測結果の比較を図 43 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。

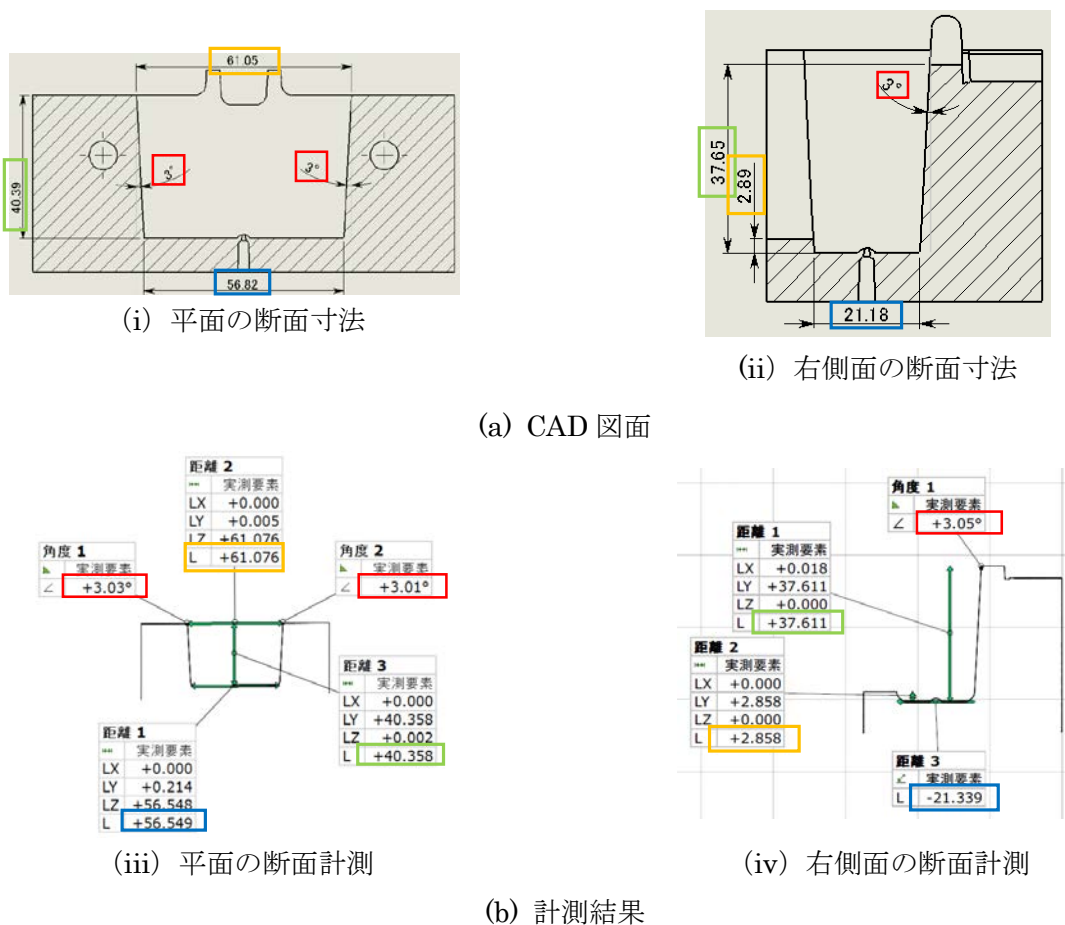
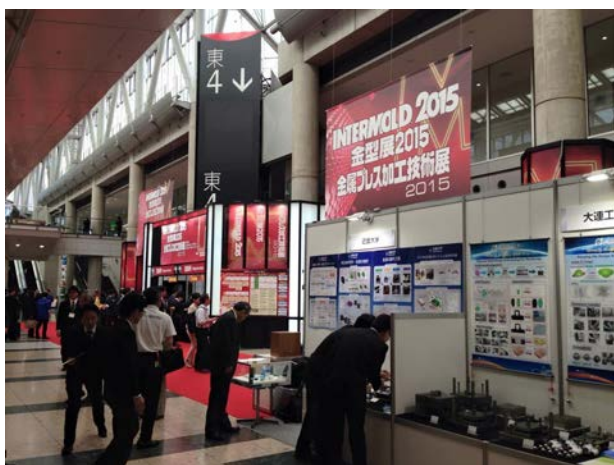


図 43 キャビティ入れ子の CAD 寸法と計測結果の比較

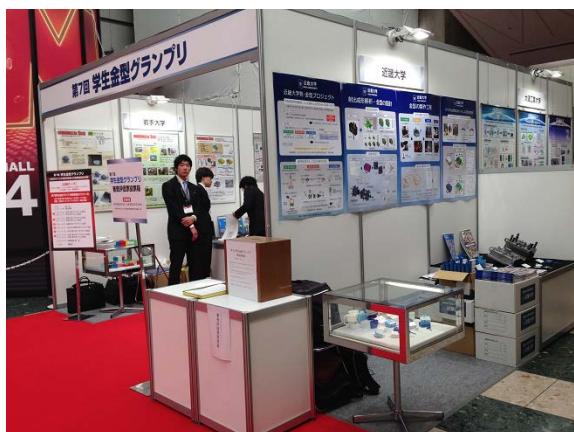
2015年4月15～19日の4日間、東京ビッグサイト東4ホールでINTERMOLD 2015／金型展 2015／金属プレス加工技術展 2015 が開催され、東4ホール入口にて2015年度第7回学生金型グランプリの展示および、4月16日にオープンセミナー第2会場にてプレゼンテーションが開催された。その展示および発表風景を図44に示す。出場校は、プレス型部門に岩手大学・岐阜大学・大連工業大学の3校、プラスチック型部門に岩手大学・岐阜大学・近畿大学・大分県立工科短期大学校・九州工業大学・大連工業大学の6校であった。今回は出展企業が非常に多く、学生金型グランプリの展示ブースは会場内ではなく、一般来場者が往来する東4ホール入口に設けられたこともあり、他の展示会の来場者が多く、金型や射出成形などをご存知のない技術系以外の一般の方々も非常に多く、基礎的な質問と、金型関連企業やメーカーの方々からの技術的な厳しい質問も混じり、学生は開門前の時刻から閉門を過ぎた時刻まで長時間にわたりその対応に追われていた。近畿大学の卒業生の方々も多く、本学が金型展示会に出展していることを驚かされている面や、母校を懐かしく話す方々が多かった。



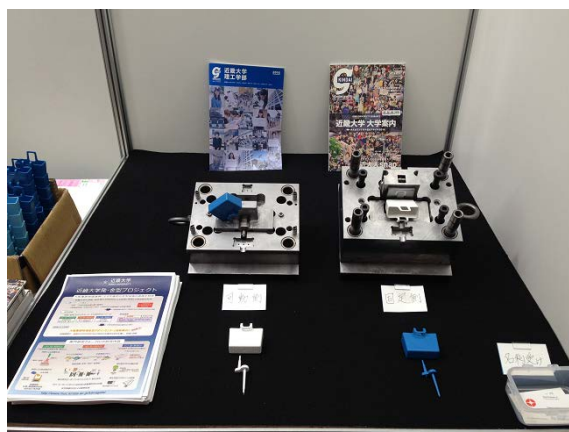
(a) 展示会場



(b) 修了証書



(c) 展示ブース (審査投票箱あり)



(c) 展示物 (金型, 成形品等)

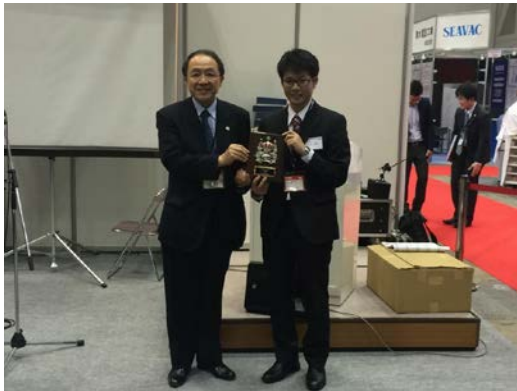


(e) プレゼンテーション会場

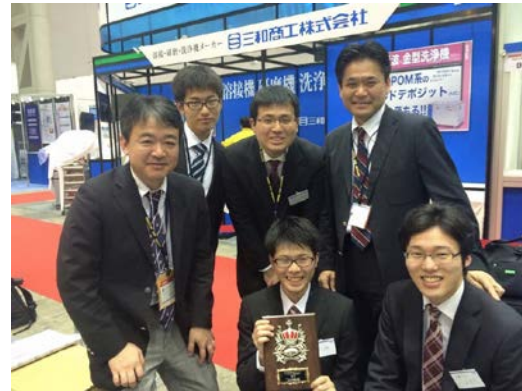
図44 2015年度第7回学生金型グランプリの展示・発表風景



今回は一般来場者の投票形式の審査も加わり、激戦であった。本学は金賞を逃したが、図 45 に示すように銀賞を頂いた。本受賞よりも 2 回目の出場を果たせ、首都東京での本学の活動を紹介できたことが指導者および学生の一番の成果であったと満足している。



(a) 銀賞受賞



(b) グランプリ表彰式参加者

図 45 2015 年度第 7 回学生金型グランプリ表彰式

## 5. まとめ

金型プロジェクトを通じて、学生金型グランプリへの出場を目標に取り組んできた結果、学生金型グランプリ出場に求められる要件は下記の通りであることが分かった。本学が本グランプリに 2 年連続して出場できた実績から、これらの要件が備わっていることを大学内外に周知できた。

1. 金型の設計・製造・成形の 技術・安全指導力
2. 金型および成形品の製造できる 設備・予算
3. 自主的・積極的な 学生の取り組み
4. 工業会主催の展示会での学生の 発表能力

①予稿作成、②実物（金型・成形品）展示、③ポスター展示、④口頭発表、⑤来場者への対応

また、学生金型グランプリに出場した学生から、下記のような感想と要望があった。

1. 金型の製造は学生自身で行うことは非常に珍しく、座学や実験では得ることのできない二つの貴重な経験（“失敗の経験”と“問題と向き合う経験”）を同時に積めたことは、今後企業等で働く技術者となった際に貴重な財産になると思う。
2. 作業の過程で多くの問題に直面したが、研究支援者の金型職人の方に丁寧に指導・助言頂き、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。
3. 現在の設備以外に研削盤や研磨機、大型の部材を加工できるマシニングセンタ、金属プレス成形機、さらに金型専用の設備をもつ工場を新設し、我々のようなモノづくり学生が活躍できる場が欲しい。
4. 本出場の経験から、金型の設計・製造がいかに難しいかということが改めて分かった。しかし、先進的な工作機械や CAD/CAM ソフトの活用、さらにデジタル画像計測ロボットなどの可視化装置の利用により、金型職人のような熟練者の技術を埋めるのに役立つことを実感した。
5. 金型職人は二次元 CAD のみで金型製造の実務を行われており、本課題も二次元 CAD で行うべきと思われたが、学生は授業で三次元 CAD を習得し三次元 CAD 上で金型設計が可能であった。しかし、実際は金型の製造が複雑でコストと時間が掛かりすぎ、組立て調整が困難で、射出成形が不安定などの欠点も多く、単に動く金型を設計・製造すればよいわけではなく、金型の奥深さを知った。