

# 課題情報シート

テーマ名 :	真空成形機的设计・製作				
担当指導員名 :	川畑 雅司	実施年度 :	24 年度		
施設名 :	北海道職業能力開発大学校				
課程名 :	専門課程	訓練科名 :	生産技術科		
課題の区分 :	総合制作実習課題	学生数 :	3	時間 :	12 単位 (216h)

## 課題制作・開発のポイント

### 【開発（制作）のポイント】

目的とする成形品の形状やシートの厚さなどによりいろいろな成形機がありますが、真空成形機の主な装置構成は以下 4 点となります。

(主な装置構成)

- ①成形シートを保持し、脱落しないように支える役目をするシートクランプ装置
- ②シートを軟化させるための加熱装置
- ③型を取り付けるテーブル部
- ④型内の空気を排除するための真空装置

本制作で設計・製作する成形機は、上記の装置構成を具備することとし、所定寸法にカットされたシートを成形する単発型成形機を設計・製作することとします。

### 【訓練（指導）のポイント】

上記装置（ユニット）ごとに担当者を決定し、設計・製作に取り組みます。

本年度は主に試作用加熱装置の設計・製作に取り組みました。設計に関しては、特に熱工学（伝熱工学）の知識が必要です。

## 課題に関する問い合わせ先

施設名 : 北海道職業能力開発大学校  
住所 : 〒047-0292 北海道小樽市銭函 3 丁目 190 番地  
電話番号 : 0134-62-3553 (代表)  
施設 Web アドレス : <http://www3.jeed.or.jp/hokkaido/college/>

## 課題制作・開発の「予稿」および「テーマ設定シート」

次のページ以降に、本課題の「予稿」および「テーマ設定シート」を掲載しています。

# 真空成形機的设计・製作 —ヒーターボックスの試作—

北海道職業能力開発大学校 生産技術科

## 1. はじめに

本制作は、昨年度の総合制作における真空成形機的设计・製作を引き継ぐ。昨年度の簡易真空成形では電気コンロを使用しシートを手持ちで加熱した。しかしヒーターの温度コントロールができないことや加熱作業が安定しないことから適当な加熱が困難であり、成形作業においても成形温度と時間の関係が明らかではなかった。そこでヒーターエレメント1枚用のヒーターボックスを試作し、ヒーターエレメントと同程度のサイズのシートを加熱して試作成形を行うことにした。

$$\dot{Q} = \bar{h} A (T_w - T_e) \quad (3)$$

$$\dot{Q} = A \varepsilon \sigma (T_w^4 - T_e^4) F_{12} \quad (4)$$

表 1 仮定条件

$T_w$	ヒーター表面温度	573 [K]
$T_e$	空気の温度	293 [K]
$A$	ヒーターの表面積	0.015 [m <sup>2</sup> ]
$L$	代表長さ (ヒーター面積 / 周長)	0.0305 [m]
$\varepsilon$	ヒーターの放射率	0.9
$\sigma$	ステファン・ボルツマン定数	$5.67 \times 10^{-8}$ [W/m <sup>2</sup> · K <sup>4</sup> ]
$F_{12}$	形態係数	1

## 2. ヒーターボックスの試作

### 2.1 ヒーターエレメントの放熱量の推測

図1のように22mmの正方形のセラミックヒーター(厚さ7mm, 放射率0.9)が一樣に温度300°Cに保たれ、温度20°Cの静止空气中に水平に取り付けられていると仮定したとき、自然対流による上面の熱伝達率( $\bar{h}_1$ )と下面の熱伝達率( $\bar{h}_2$ )は無次元数  $Ra$  数の相関式である式(1), (2)より求めることができる。なお、空気の物性値は膜温度160°Cにおける値を用いた。

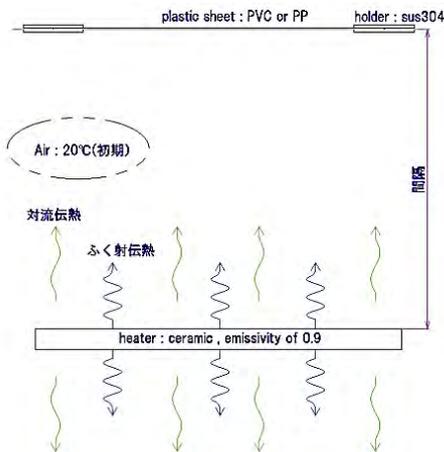


図 1 シートとヒーターの伝熱モデル

$$\bar{h}_1 = 0.54 R a^{1/4} \frac{k}{L} \quad (1)$$

$$\bar{h}_2 = 0.27 R a^{1/4} \frac{k}{L} \quad (2)$$

また、上面と下面からの自然対流による放熱量をそれぞれ( $\dot{Q}_1$ ), ( $\dot{Q}_2$ )とし式(3)より、ふく射による放熱量( $\dot{Q}_3$ )を式(4)より求めた。したがって全放熱量はそれらの合計となる。表1に仮定条件、表2に算出結果を示す。

表 2 算出結果

$\bar{h}_1$	上面の熱伝達率	13.4 [W/m <sup>2</sup> · K]
$\bar{h}_2$	下面の熱伝達率	6.70 [W/m <sup>2</sup> · K]
$\dot{Q}$	全放熱量	237 [W]

### 2.2 シートに伝わる伝熱量の推測

シート加熱面の寸法を100×100×0.5mmとしヒーター上面から100mmの平行平面状に設置したと仮定したとき、ふく射により伝わる伝熱量及び対流により伝わる伝熱量はそれぞれ式(3), (4)より求められ、その合計の伝熱量は32.1Wと求められる。なお、空気の物性値は膜温度90°Cにおける値を用い、形態係数は0.2とした。またこのときの熱伝達率は式(1)より12.0 W/m<sup>2</sup> · Kと求められる。

### 2.3 シートの軟化に必要な伝熱量

PVC及びPPのシートの熱変形温度はおよそ70°Cである。成形温度はより高温であると考えられるので、成形可能温度を100°Cと仮定し、30秒( $h$ )で20°C( $T_1$ )から100°C( $T_2$ )にするには式(5)より算出でき、PVC及びPPはそれぞれ19.1W及び22.8Wの伝熱量が必要である。ここで、 $\rho$ と $C$ はシートの密度と比熱であり、 $V$ はシートの体積である。

$$\dot{Q} = \frac{\rho V C (T_2 - T_1)}{h} \quad (5)$$

したがって、使用する100V, 300Wのヒーターはこれらの仮定条件を満たすことができると想定され、成形に必要な熱量を数十秒の時間で伝えることができると考えられる。

### 2.4 構造

ヒーターボックスはヒーター、ヒーター取り付け板、固定板、側面の囲い板、端子台、端子台を固定する板で構成し

た。試作品では L 字の留め具を使用せずに平板を曲げて固定する方法にした。ヒーターの取り付け部は高温になるため取り付け板を用いて固定し、固定板下部に伝わる熱流束を減少させるようにした。また端子台の部分が高温になることを避けるため、空気穴を設けた。配線が容易になるように端子台を底に設置し、裏側から配線できるようにした。

## 2.5 製作後の改善点

試作成形を行った結果、シートを十分に軟化させることができなかった。これは図2のようにヒーターからの熱やシートに蓄積した熱が周囲に放射されていることや、赤外線がシートを透過しているためと考えられる。この点を解決するために図3のようにヒーターとシートとの空間を囲い、周囲空間との接触を抑え、シート上部には簡易的な蓋をして熱や赤外線がシートに吸収されやすいようにした。その結果、シートを十分に軟化させることに成功した。その後の実験でヒーターとシートの距離は50mmが適当であるという結果が得られた。そのためヒーター上面から45mmまでを囲い板で囲えるように設計変更した。このとき、ヒーターボックスの高さは従来のままヒーターの位置を下部に移動することとしたため、ヒーターと端子台の距離が縮まり、端子台の温度が上昇しやすくなった。そのため空気穴の数を増やして熱が端子台に伝わりにくくなるようにした。また電線から発生する熱などを考慮して端子台を熱電対用とヒーター用に分けた。

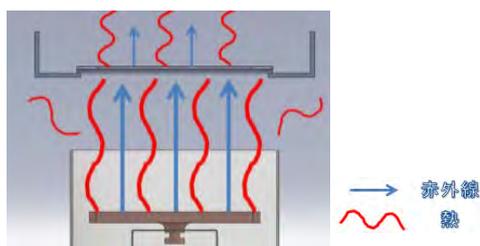


図 2 改善前の加熱の様子

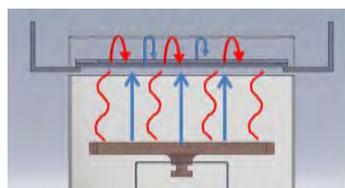
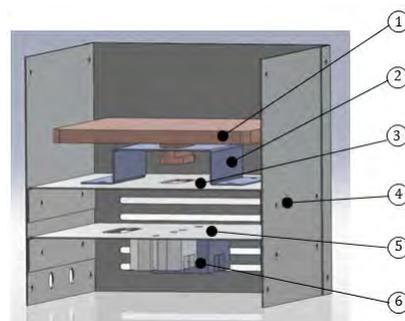


図 3 改善後の加熱の様子

ヒーターボックス内部のモデル構造図を図4、実際に試作されたものを図5に示す。



- ①ヒーター
- ②ヒーター取り付け板
- ③固定板
- ④側面板
- ⑤端子台を固定する板
- ⑥端子台

図 4 ヒーターボックスの内部 (モデル図)

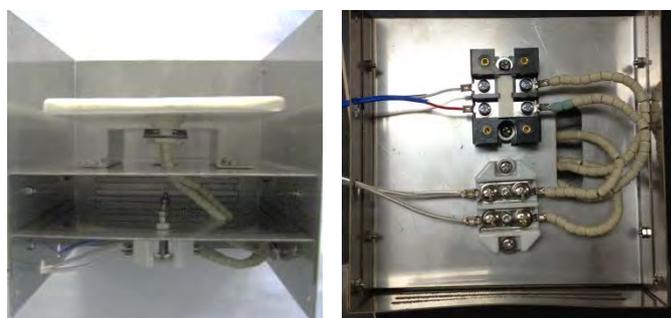


図 5 ヒーターボックスの内部(左：正面, 右：下面)

## 2.6 今後の課題

成形機の加熱装置として活用するには、成形寸法の適用範囲を広げる必要がある。主に以下の課題がある。

- ヒーターボックスの素材は薄板であり、レーザー加工機により製作したため、熱による影響を受けてそりが生じた。またドロスの除去に時間がかかった。したがってその他の加工方法を検討すること。
- 複数のヒーターエレメントを制御するための温度コントローラーを製作すること。
- 熱がシートなどに及ぼす影響についてより詳細な解析と解析方法を検討すること。

## 3. おわりに

本制作ではヒーターエレメント 1 枚用のヒーターボックスを製作し温度コントローラーを用いて正常に作動させることができた。それにより試作成形を行うことができたので、今後の活用に繋がるものと思われる。

## 参考文献

- 1) 伝熱工学, 日本機械学会, 丸善, 2011年

# 真空成形機的设计・製作 —成形温度と加熱時間について—

北海道職業能力開発大学校 生産技術科

## 1. はじめに

本制作は、昨年度の総合制作における真空成形機的设计・製作を引き継ぐ。

昨年度は電気コンロを使用しシートを手持ちで加熱した。そのことによりシートが不均一に加熱され加熱し過ぎによるしわなどの問題が発生した。本制作では適当な成形のタイミングを計るため、シートクランプやシート設置フレームを製作し、成形条件を確かめるため試作成形を行うことにした。

## 2. PVC と PP の成形条件の確認

### 2.1 目的

PVC と PP の厚さ 0.5mm のシートを成形するために、成形状態の良好なヒーターの温度、シートとヒーター間の距離、加熱時間を確かめる。

### 2.2 方法

アングル材を用いて簡易的なフレームを組立てて、シートを設置する。ヒーターを所定温度に設定し、シートをヒーター上面から所定距離の平行平面状に設置し加熱する。シートが軟化し、垂れ下がってきた状態を目視にて確認する。加熱面が十分軟化し、成形可能であると目視にて判断する。そのときの時間を計ることにした。その後シートを型に押し付けて真空ポンプで吸引して成形し、成形品の状態を確認し、適当かどうかを確認する。

### 2.3 確認

成形品の面の肌の状態や形状を目視にて確認する。一例として PP のシートで良好に成形できたものを図 1 に、不良となったものを図 2 に示す。図 1 のように型の形状が綺麗に転写され、しわの発生がない場合の条件を確認した。



図 1 良好な成形品

図 2 不良な成形品

### 2.4 結果

成形を行う前にヒーター温度 300℃、ヒーター間距離 100mm でシートを加熱したところ、シートを成形可能な状

態まで軟化させることができないことが確認された。これは周囲へ熱が逃げたことが原因であると考えられる。そのためシートとヒーター間の距離を近づけ、さらにシートに蓋を覆いかぶせ、ヒーターボックスにも囲い板を取り付けることで熱を逃げにくくすることにした。

まず、試作成形を行ったところ PVC ではヒーター温度が 300℃であると加熱しすぎが原因であると考えられるしわが発生したので、しわの発生しないヒーター温度を確認していった。しわの発生しなかった 275℃まで下げて加熱時間を変更していくと 50 秒で良好な成形が可能となった。PP はシートの軟化の状態を確認しながら加熱時間を変更していくと 90 秒で良好な成形が可能となった。表 1 に PVC の実験結果、表 2 に PP の実験結果、表 3 に良好な成形条件を示す。

表 1 PVC (距離 50mm)

	ヒーター温度[°C]	距離[mm]	時間[s]	状態
PVC	300	40	30	しわより
	250	40	50	軟化不足
	250	40	60	軟化不足
	230	40	60	軟化不足
	230	40	90	軟化不足
	260	50	55	軟化不足
	275	50	120	成形不良
	275	50	50	良好

表 2 PP (距離 50mm)

	ヒーター温度[°C]	距離[mm]	時間[s]	状態
PP	300	40	70	軟化不足
	300	40	90	成形可能
	300	50	90	良好

表 3 良好な成形条件

	ヒーター温度[°C]	距離[mm]	時間[s]
PVC	275	50	50
PP	300	50	90

次に、シートとヒーター間距離を 100mm とし、蓋と囲い板をした状態で試作成形を行った。成形条件や成形品の状態が、50mm のときとどの程度差異があるか確認するためであ

る。結果を比較すると PVC, PP のどちらもシートが軟化するまでの時間は遅くなった。成形品の状態は PVC では変化はなく, PP では中央部が軟化するという成形不良が発生した。中央部の軟化を解消しようと加熱時間を短くしたが問題は解消されなかった。これはシート全体が軟化させるまでに時間がかかり, 全体が軟化する前に中央部の温度が上がりすぎるのが原因であると考えられる。そのため型に押し付ける際に中央部だけが伸びたため薄くなったと考えられる。距離を 50mm より離していくと加熱時間が延び, 成形不良も発生したことから距離は 50mm が適当であると考えられる。表 4 に PVC, 表 5 に PP の実験結果を示す。

表 4 PVC (距離 100mm)

	ヒーター温度[°C]	距離[mm]	時間[s]	状態
PVC	275	100	120	軟化不足
	285		120	成形可能

表 5 PP (距離 100mm)

	ヒーター温度[°C]	距離[mm]	時間[s]	状態
PP	300	100	150	成形不良
	300		140	成形不良
	300		130	成形不良

### 3. 試作成形用フレーム製作

実験より, 条件に合わせたフレームを製作した。図 3 に製作した試作成形用フレームを示す。

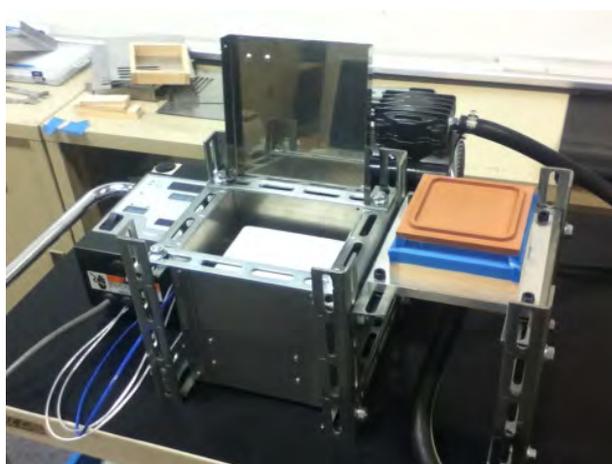


図 3 試作成形用フレーム

表 3 の成形条件が変化するか確認するため再度試作成形を行った。その結果, PVC は肌荒れの発生, PP は軟化しすぎた状態となり加熱しすぎることとなった。これはヒーターボックスの設計変更を行い, 囲い板とフレームの間隙がよ

り小さくなったことが原因であると考えられる。したがって, 加熱時間を減少させることで問題を解消できると考え, 加熱時間を短くしたところ, PVC では 40 秒, PP では 70 秒で良好に成形できることが確認できた。実験より, 図 4 に示す範囲がそれぞれの良好な成形条件と考えられる。その中でも加熱時間が早く, 良好に成形できた条件を今回の試作成形における最終の成形条件とした。表 6 に最終の成形条件を示す。

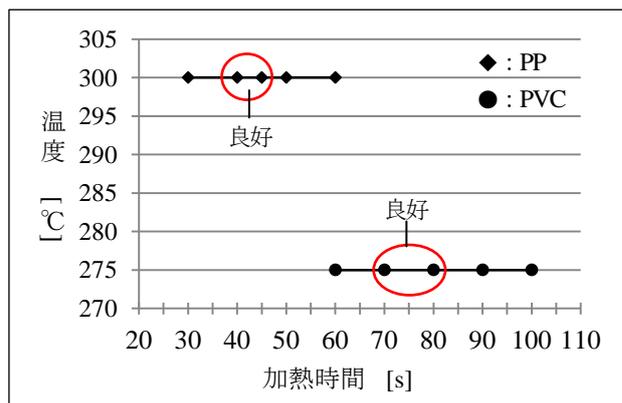


図 4 成形温度範囲

表 6 最終の成形条件

	ヒーター温度[°C]	距離[mm]	時間[s]
PVC	275	50	40
PP	300	50	70

### 4. 今後の課題

本制作での成形作業において, シートを型に押し付ける作業を手持ちで行うため, シートの位置決めや押し付ける力のばらつきがあった。適当でない場合, 成形品の角部が綺麗に成形されないなどの問題が生じた。よって, 適正な位置へのシートの位置決め方法や型の押し付け方法を今後検討していく必要がある。またシートの軟化状態を目視にて判断した事などにより, 成形のタイミングのずれが発生した。したがって適切なタイミングで成形できる自動化が必要である。

### 5. おわりに

本制作では, 試作成形用のフレームやシートクランプを製作した。PVC と PP の汎用プラスチックの成形条件の確認を行い, 今後の成形の目安となる条件を得ることができた。

### 参考文献

- 1) 機械実用便覧, 日本機械学会, 丸善, 2011 年

# 真空成形機的设计・製作

## —型の製作と試作成形—

北海道職業能力開発大学校 生産技術科

### 1. はじめに

本制作は、昨年の真空成形機的设计・製作から引き続き、型の製作に取り組む。真空成形は成形加工なので成形用の型が必要となる。型にはおす型（凸形状）のものとおす型（凹形状）のものがある。他の熱可塑性樹脂の成形加工ではおす型およびおす型の型が必要であるが、真空成形ではどちらか一方のみを使用することで成形加工ができるため、単純な凸形状の型の製作及び試作成形と、容器形状の型の製作と試作成形を行った。

### 2. 凸形状の型の製作と試作成形

#### 2.1 型の形状と寸法

型の素材は強度をあまり必要としないことと、試作であるためケミカルウッドを用いることにした。また型には真空穴を設けなければならない。真空穴は成形の際にシートが最後に型に接触する位置に設ける必要がある。凹型の場合は底面のコーナー部に真空穴を設け、凸型では型の裾である。穴の直径は成形するシートの肉厚により異なる。一般にφ0.8mmまでの穴が使用されている。本制作は、ポリプロピレン（PP）と塩化ビニル（PVC）の厚さ0.5mmのシートを使用するため、真空穴はφ0.5mmとすることにした。また真空穴は十分な排気能力が必要となる。そのため真空穴の型の裏面側はφ3~5mmで型の表面より深さ1~3mm程度の穴、いわゆるバックドリル加工を行い、排気速度を上げる工夫が必要である。真空穴の数についてはできるだけ多いほうが良いようであるが、一般的な目安として20mm~25mm間隔ごとに穴をあける必要がある。

型寸法は試作するヒーターボックスとの関係から100×100×20mmとした。図1と表1より成形品のシート寸法Sは式(1)により算定することができる。

$$S = P(1 + \alpha) + 2(t + g + c) \quad (1)$$

またシート寸法は120×120mmとした。これに合わせて成形品寸法を決定した。成形品の高さについては伸び率を考慮し求めた。式(1)より成形品寸法は89.3mmと求められる。よって成形品寸法は89mmとした。型形状の高さについてはPVCを基準として考える。PVCの伸び率を40%と仮

定すると、高さ方向に14mm伸びることになるため高さを14mmとした。また型の側壁は離型を容易にするため約3°の勾配をつけることにした。真空穴の位置は20~25mmの間隔で穴をあけ合計で28ヶ所設けることにした。

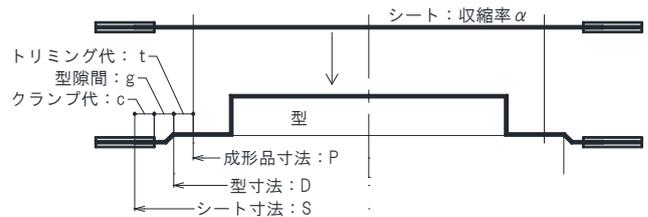


図1 寸法算定

表1 収縮率と伸び率

	PP	PVC
収縮率	10/1000~40/1000	3/1000~8/1000
伸び率	200~700%	40~80%

#### 2.2 型の製作と試作成形

図2に試作した凸形状の型を示す。



図2 試作した型

加工はCAD/CAMを用いてマシニングセンタ加工を行った。製作した型を用いPPとPVCのシートで試作成形を行った。試作成形を行った結果、PVCでは角の部分の吸引が不十分であったため、図3に示すように角部が盛り上がった形状になった。真空穴が不足していたものと考えられる。そのため図4に示すように、角の部分に新たに真空穴を2ヶ所ずつ計8ヶ所追加し、再度成形を行った結果、改善された。



図3 真空穴追加前のモデルと成形品



図4 真空穴追加後のモデルと成形品

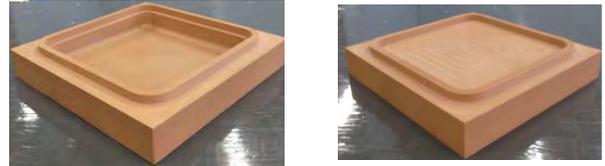


図5 容器(左)と蓋(右)の型

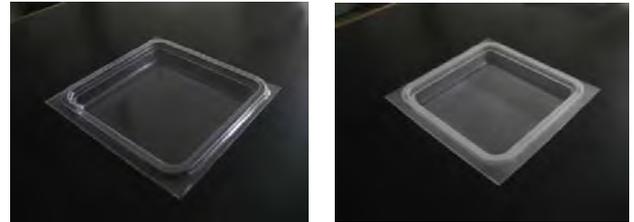


図6 容器の試作成形(左:PVC, 右:PP)

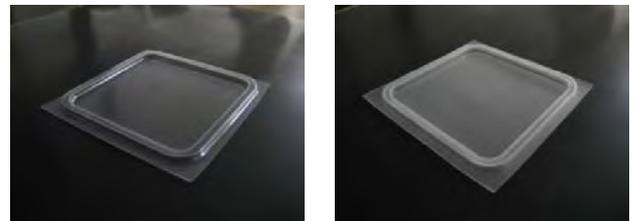


図7 蓋の試作成形(左:PVC, 右:PP)

### 3. 容器形状の型の製作と試作成形

#### 3.1 型の形状と寸法

凸形状の型寸法と同様とし、凹形状の型を製作し、日常で使用されている食品容器を参考に、より簡単な角形の容器形状の型を製作した。成形品の概略を表2に示す。

成形した容器を蓋で閉じるため、合わせる部分はシートの厚さ 0.5mm を考慮し寸法を決定した。また形状の角の部分など真空穴の間隔が狭くなる部分では、バックドリルの穴径を凸形状のものよりも大きくし、複数の真空穴を一つのバックドリル穴で対応させることにした。

表2 成形品の概略

	容器	蓋
成形品寸法 (mm)	90×90×14	90×90×4
型寸法 (mm)	100×100×20	100×100×20
真空穴径 (mm)	φ0.5	φ0.5
及び穴数 (個)	72	52
バックドリル穴数(個)	44	28

#### 3.2 型の製作と試作成形

図5に製作した型を示す。また図6及び図7にはPVCとPPをそれぞれ成形したものを示す。さらに図8には容器を蓋で閉じたものを示す。



図8 閉じた状態の成形品(左:PVC, 右:PP)

### 4. 今後の課題

- ・成形品の実寸法と設計寸法より、型のデザインを見直す。
- ・成形品の不要部分を切るため、抜型を検討する。
- ・PP及びPVCとも表面仕上がりが状態のできばえを改善する。

### 5. おわりに

本制作では単純な凸形状の型と容器形状の型を製作した。製作した型を用いてPVC及びPPシートで成形を行うことができ、今後の真空成形に役立つものと思われる。

### 参考文献

- 1) 日本塑性加工学会, プラスチックの溶融・固相加工, コロナ社, 1991年

# 課題実習「テーマ設定シート」

作成日：11月21日

科名：生産技術科

教科の科目		実習テーマ名	
総合制作実習		真空成形機的设计・製作	
担当教員		担当学生	
生産技術科 川畑雅司			
課題実習の技能・技術習得目標			
真空成形機的设计・製作を通して、工学的知識を设计・製作に応用する力を身につける。			
実習テーマの設定背景・取組目標			
実習テーマの設定背景			
<p>今日では、家電製品や簡易容器などのプラスチック加工製品が多く利用されている。その多くは各種成形加工によるものである。本校では樹脂成形加工の設備はないが成形加工ができればその応用範囲も広いと考えられるので、本制作実習では真空成形加工に着目した。各種の成形加工法の中でも比較的容易な加工手法の一つである。一般的に真空成形の主な用途として、食品品の容器関係、看板などの宣伝広告関係や玩具類などの分野で活用されている。そこで本制作実習では真空成形機的设计・製作に取り組むことにした。</p>			
実習テーマの特徴・概要			
<p>真空成形機は、主に4つの装置で構成される。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 成形シートを保持し、脱落しないように支える役目をするシートクランプ装置</li> <li>② シートを軟化させるための加熱装置</li> <li>③ 型を取り付けるテーブル部</li> <li>④ 型内の空気を排除するための真空装置</li> </ul> <p>上記4つの装置的设计・製作を分担し、グループリーダーを中心に取り組み体制を構築し、協力しながら取り組むこととする。</p>			
No	取組目標		
①	真空成形機的设计を完成させる。		
②	各自が与えられた役割に対し目標を定め、目標達成に向かって創意工夫して取り組むこと。		
③	課題に取り組むために必要な情報を収集し、分析・評価して効果的な方法を提案すること。		
④	課題を通して、设计・製作技術の向上を目指すこと。		
⑤	グループメンバーの意思疎通を図り、協力体制を構築維持すること。		
⑥	報告・連絡・相談を怠らず、作業に遅延を発生させないよう気を付けること。		
⑦	5S（整理、整頓、清掃、清潔、躰）の実現に努め、安全衛生活動を行うこと。		
⑧	報告書の作成、発表会を実施すること。		
⑨			
⑩			