

技術内容説明書

技術の名称	原料削減が可能な「発泡樹脂ビーズ用金型」
申請者	有限会社 三宝金型製作所
連絡先	住所：大阪府堺市西区山田3丁目890-3 電話：072-271-9289

1 技術・製品について

1-1 技術・製品の概要

発泡スチロール等の発泡合成樹脂成形品（以下、「成形品」と言う。）は、樹脂の中に気泡が多数分散しており、その構造から緩衝性・断熱性・軽量性、かつ成形性にも優れていることからその用途は、家電・漁業・農業・食品・建材・土木・各種構造部材（自動車関連）等、多岐にわたる。

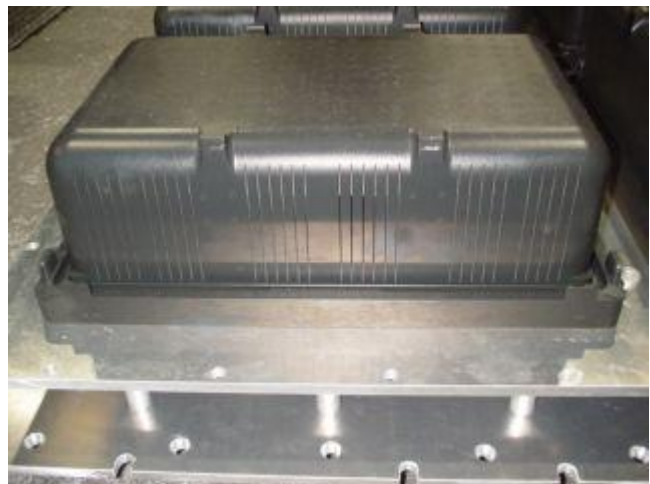


図1 発泡ビーズ成形用特殊金型

発泡成形品の成形法のうちビーズ発泡法では、金型の開口部が小さいことにより、原料となる粒体を充填する際の圧縮空気の排出が十分でなく充填が不均一となったり、成型室内に充填された原料を蒸気により発泡させる際の蒸気の導入が不均一となったりすることにより、成形品質のばらつきが生じることがある。また、成形品では発泡倍率が最も高い（軽い）部位が強度保証の対象となるため、成形で必要以上の原料が消費されている。

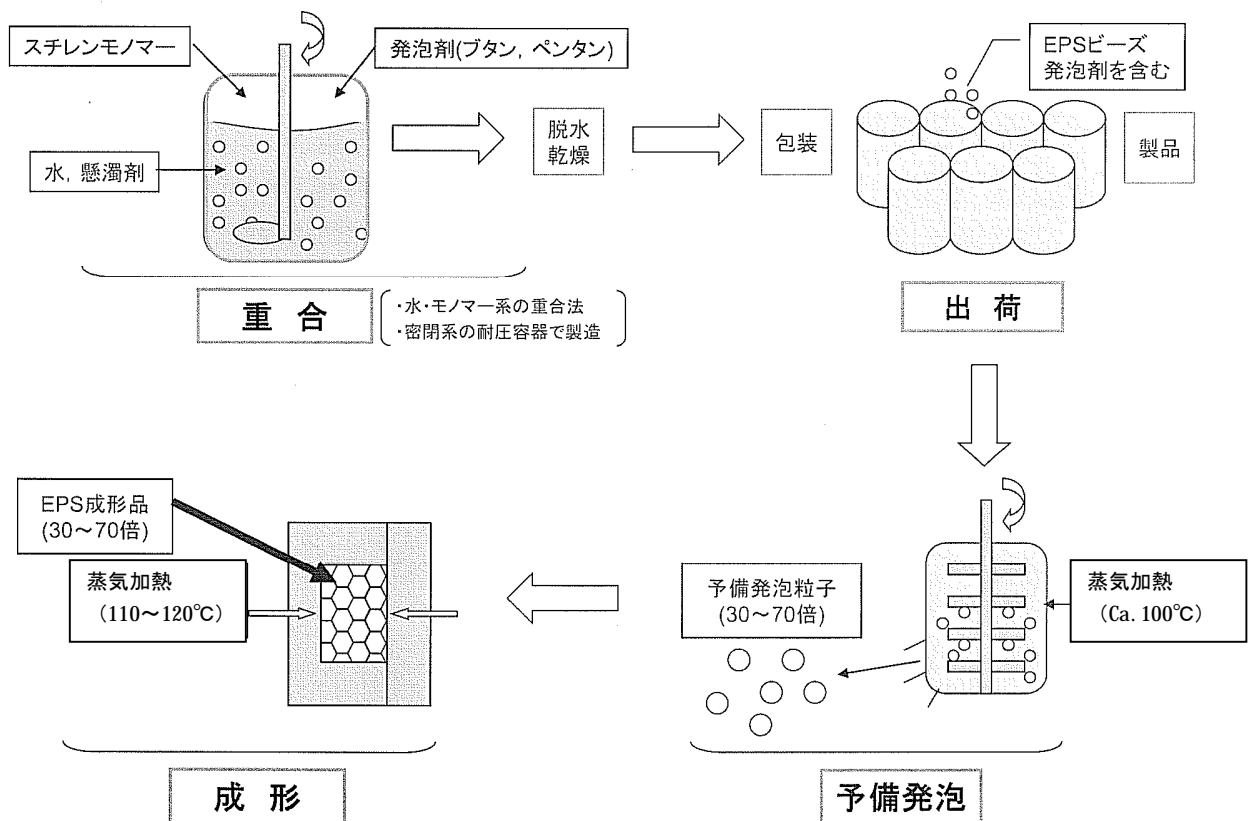
本特殊金型は、成形室側（型表）と蒸気室側（型裏）に連通する幅の広いスリットを配置することにより開口率を大きくし、原料充填時の圧縮空気排出促進及び加熱蒸気の高速導入を図り、原料の発泡倍率均一化によるロス削減及び成形時間の短縮による製造効率の向上並びにエネルギー利用率の向上を可能とするものである。

1-2 原理

(1) 発泡成形品の製造プロセス

図2は、成形品の製造プロセスを示す。製造プロセスにおいて『重合』『出荷』は原料会社が行い、『予備発泡』『成形』は成形会社で行われている。一般に、『出荷』時の原料は半透明で比重1 g/c c、直径約1 mmの粒体であり、成形会社が『予備発泡』（蒸気加熱）を行い、直径約2～5 mmの白い粒体（ビーズ・球体）に膨らませた上で『成形』に用いる。（以下、成形で用いる蒸気・圧縮空気・水を「用役」と言う。）

図3は、金型断面図、図4に取り数1の金型写真を示す。金型は通称、凹型・凸型の2つで構成され、蒸気加熱・冷却を繰り返す成形に使用されるため、アルミ製の薄肉器状（肉厚10mm前後）で製作され、アルミ製規格寸法の平板に固定される。量産時の金型はほとんどが多数個取りである。金型は、成形用規格フレーム（凹型用・凸型用）の各々に組み込まれ、その一対に組み合わせられたフレーム内部には、原料を送粒（注入）する金型成形品空間（凹・凸型合わせ空間）と凹凸各々の金型裏面には用役空間が形成されている。各々フレームには、用役の導入用連結穴と冷却水を散水する配管が備えられ、成形機械側からの用役配管と連結されている。



出典：発泡スチロール協会ホームページ

図2 発泡成形品の製造プロセス

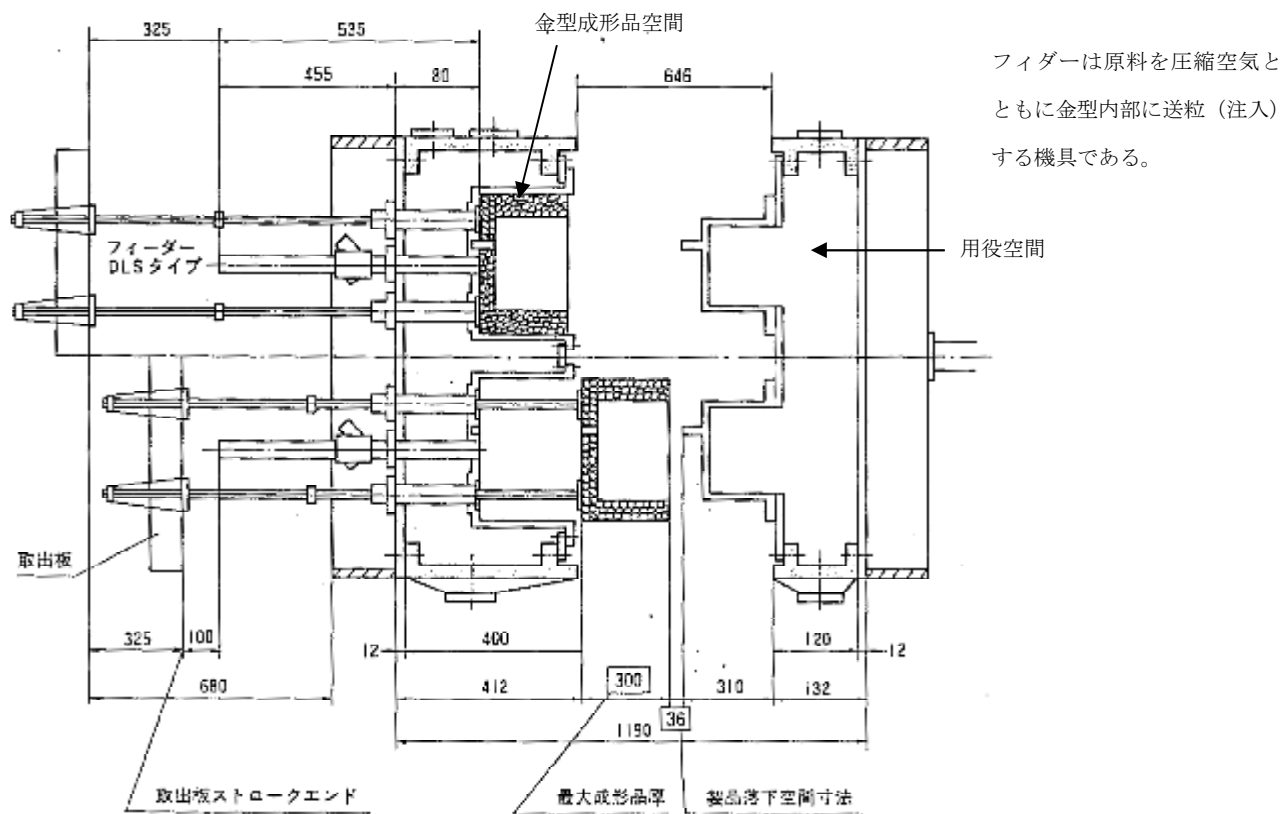


図3 金型断面図

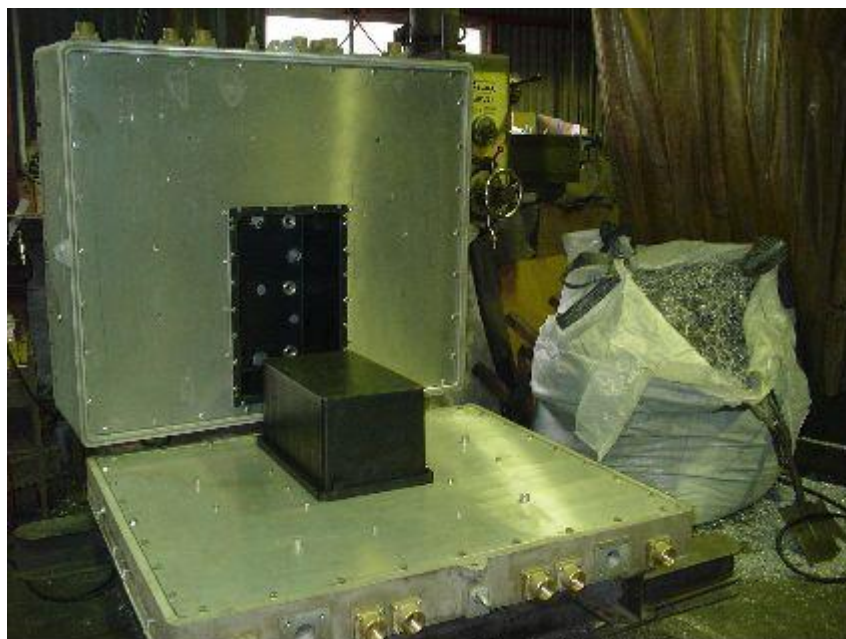
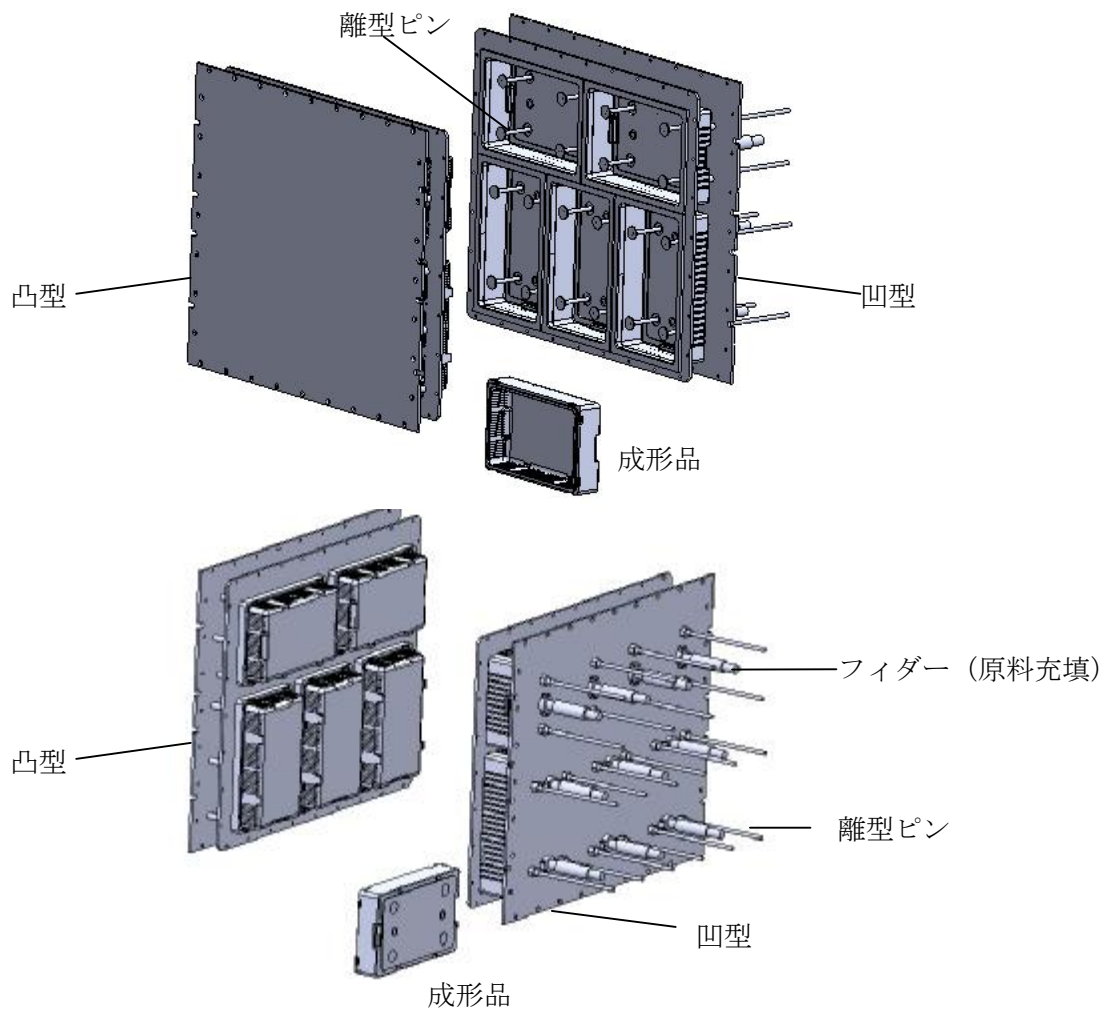
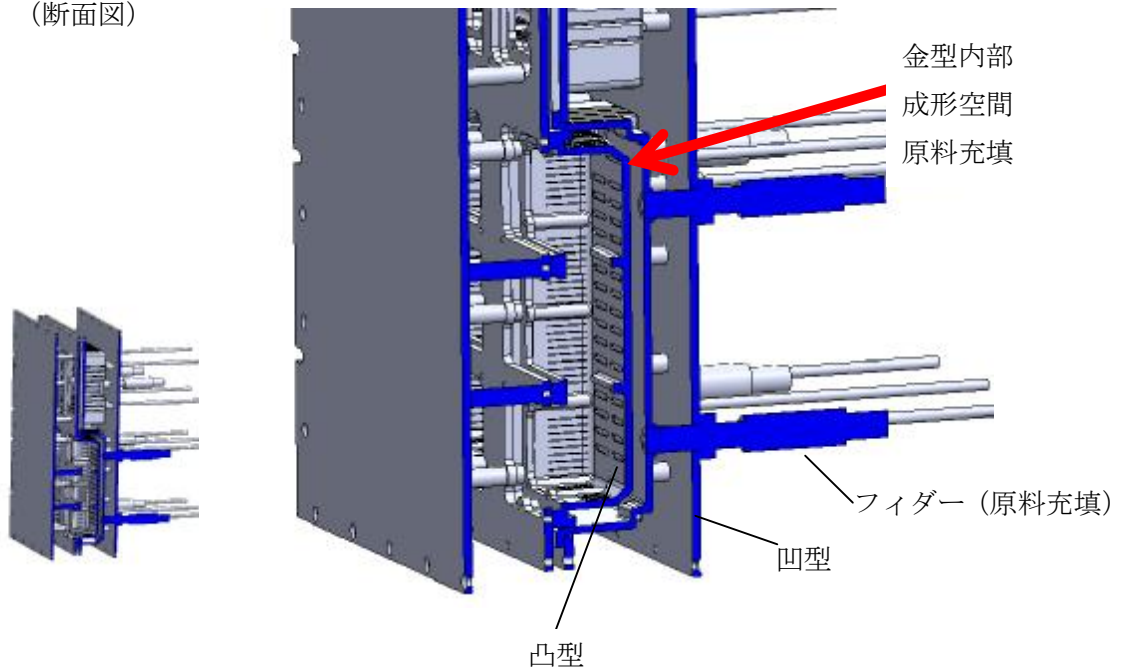


図4 試作時取り数1の金型写真



(断面図)



上図は成形用フレームを省略している。

図5 金型の構成

原料充填を行う際には、必ず、成形機械では『クラッキング』と呼ばれる金型の差し込み部を **3～10mm** 余剰に開き、それによる隙間より圧縮空気を排出することで、金型内部空間に原料を満たす作動が行われている。今日に至るまで、成形機械・成形設備において、原料充填時に高压の圧縮空気で充填する「強制充填法」や、真空を併用しながら充填する「真空充填法」など、主な開発・対策がなされたが、未だクラッキング作動が行われるのが実情である。

原料充填後、蒸気加熱され、原料は膨らみ融着（固体化）する。一般に、蒸気加熱に対応した薄肉金型の製品面には「コアベント」と呼ばれる外径 **10mm** のアルミ製器状の蒸気導入部品が穿設されており、成形品表面にはその痕跡が転写される。金型においては型肉厚との強度関係で主に最少ピッチ **25mm** くらいで穿設され、その開口率は最大約 **3%** である。その加工法は、金型に貫通穴を加工し、その成形面に「コアベント」を打ち込む。現状、外径 **10mm** 「コアベント」の開口溝は **0.4mm** が最大で6本を有する。

原料充填完了後の工程は、蒸気加熱工程・水冷却・真空冷却・脱型（離型）が成形サイクルとなり、これが連続し運転される。

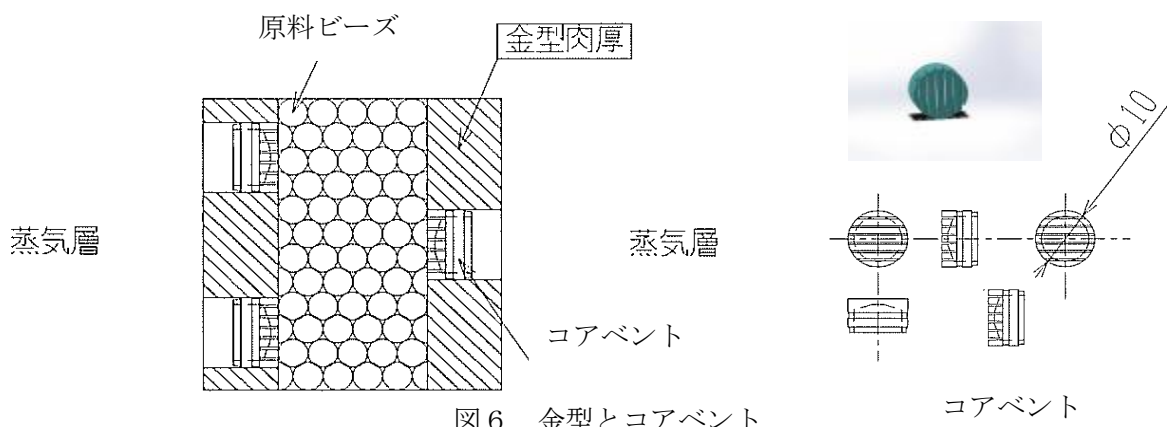


図6 金型とコアベント

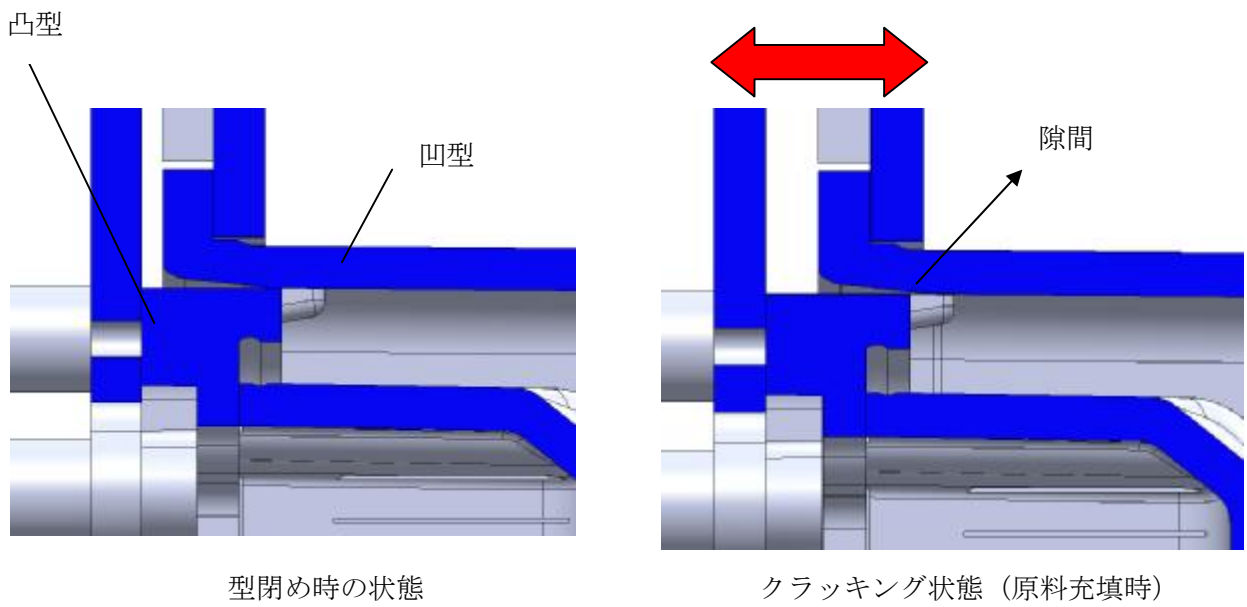


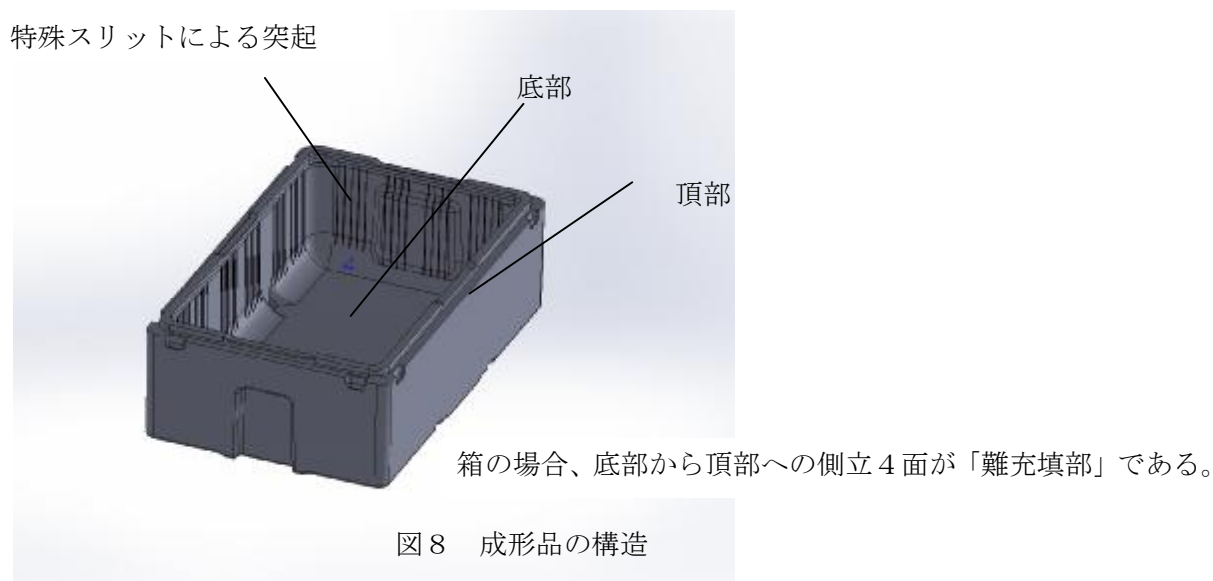
図7 型閉め時及びクラッキング状態の金型比較

(2) クラッキングの弊害について

成形会社では、クラッキング成形で生じる余剰な原料ロスを見込み、成形品の基準発泡倍率を 60 倍とする場合は、「予備発泡」で予め約 65 倍に大きく膨らませた原料を成形に用い、クラッキング成形で全体管理重量に合わせる成形管理が行われている。そのため、成形品は原料密度がばらついたものとなる。クラッキング成形で生じる充填過多の部を「過充填部」、充填不足部を「難充填部」という。なお、成形会社での重量管理公差は 0 以上+10%以下である。

成形管理では、軟らかとなる難充填部が強度保証の対象となり、強度を確保するため必要以上の原料が成形で消費されることとなる。図 8 のように、難充填部である「側立 4 面」の発泡倍率は予備発泡 65 倍程度でしかなく、重量合わせしたクラッキング分の原料は主に「底部」を過充填部とした成形品となる。段積み箱の強度保証の対象は側立 4 面であり、65 倍の原料で均一充填成形できれば、原料ロス及びコストの削減が見込める。

金型では「底部」の裏面にフィダー（原料充填口）を設け、「頂部」に向け原料が圧縮空気とともに流れ満たされるが、圧縮空気の排出が悪いと圧縮空気が乱流し、不均一な原料充填となる。それを防止するため、実成形で決定されるクラッキング寸法は大きく設定されるが、成型空間が増加するため原料が過充填される場合が多い。さらに、過充填部ではクラッキング分の原料が押し潰された状態となり、コアベント開口溝からの加熱蒸気の導入がしづらくなるため、成形条件では加熱蒸気圧力を大きく設定されることとなり、蒸気使用量増加・型温度上昇・冷却時間延長に至り、1 ショット成形時間が延長するという弊害がある。

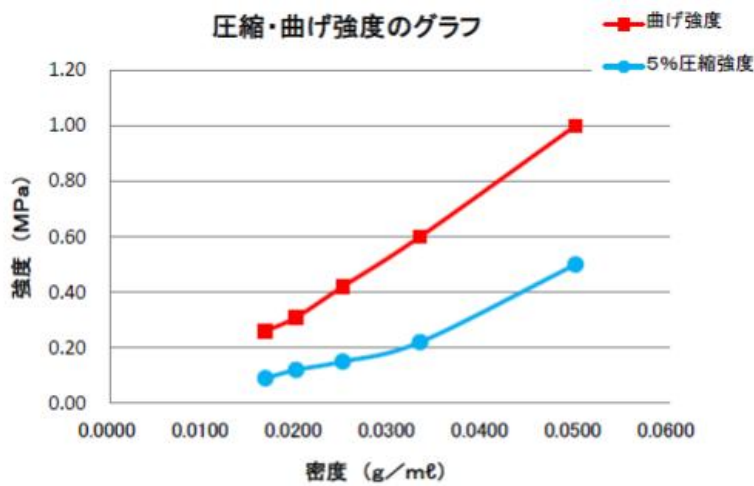


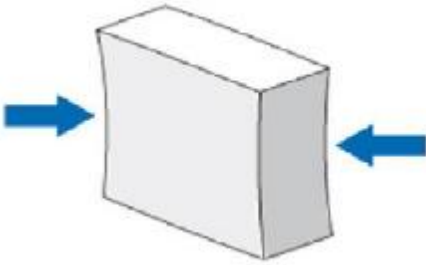
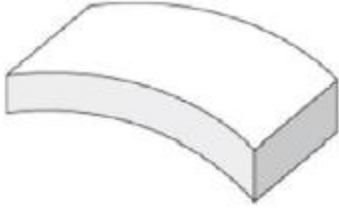
発泡ポリスチレン成形体の物性データを記す。

一般的な発泡スチロールの圧縮・曲げ強度データ

倍数	密度 (g/ml)	5%圧縮強度 (MPa)	曲げ強度 (MPa)
20	0.0500	0.50	1.00
30	0.0333	0.22	0.60
40	0.0250	0.15	0.42
50	0.0200	0.12	0.31
60	0.0167	0.09	0.26

(JIS A9511 に準拠)



圧縮強さ	曲げ強さ
<p>EPS の圧縮強さは、JIS では 10%圧縮ひずみ時の圧縮応力で規定しています。また、圧縮強さは密度に比例します。</p> 	<p>ビーズ法ポリスチレンフォーム断熱材は、他の断熱材よりも、より大きな曲げ強さを持っています。</p> 

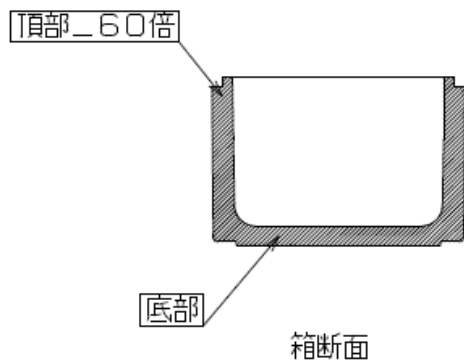
出典：株式会社積水化成成品滋賀 CS 品質管理グループ作成資料

発泡倍数（率）が大きくなるに従い、密度は小さくなり その圧縮・曲げ強度は低減する。
また、これらの強度データは成形での融着度に大きく左右される。
発泡成形箱の品質は主に、以下の3要素である。

<品質要素>

- ①目標発泡倍率（数）
- ②目標重量<箱体積(cm³)×発泡倍数 60 倍原料の密度(g/cm³)=発泡 60 倍箱の重量(g)>
- ③強度

今日に至るまで本種の金型は、箱の底部から頂部に向けての側立4面で必要となる目標発泡倍数 60 倍強度を確保する場合、前記で述べたとおり、その部位は均一な充填ができず高倍率化となることから、予備発泡倍数を約 55 倍（60 倍より低い倍数）の原料を使用することとなり、底部ではクラッキング成形寸法分の原料容積が過充填（原料使用ロス）となる。成形箱は目標重量をかなりオーバーしたものとなる。



発泡倍数 60 倍箱__断面図

その結果、成形会社は市場コストを優先するため、品質要素②目標重量<箱体積(cm³)×発泡倍数 60 倍原料の密度(g/cm³)=発泡 60 倍箱の目標重量(g)>が中心となり、余剰にふくらませた約 65 倍発泡原料を用い、クラッキング成形で重量合わせした管理が常態化されている。
以上により、品質要素①③を主とした「ものづくり」は不可能である。

本開発金型はクラッキング成形寸法をニアリーゼロとし均一充填・均一加熱ができるため、予備発泡工程での倍数調整が不要となり、目標発泡倍数の原料で成形が行なえる。また、均一加熱が行なえることで融着度が向上し、成形体の強度も安定的に確保できる。品質要素①②③のすべてを主とした「ものづくり」が可能である。

省資源から着眼すれば、本開発金型で約 65 倍発泡原料を用い成形した品質をもつ成形箱を市場に投入できれば、その効果はさらに大きい。

<改善点>

予備発泡の原料を目標発泡倍率にて充填が行なえる金型によりエネルギー使用量を抑制し、生産性を向上させるとともに、管理重量公差範囲の減少分にあたる原料使用ロスを削減する。

1-3 特徴・長所

(1) 本特殊金型の構造

一般に5キロ箱と呼ばれる成形体（外寸法：W348mm×D548mm×H175mm、底厚み 21mm。内寸法：W300×D500×H 154mm。凸型、取り数5 / 1面）を成形するための本特殊金型の写真を図9に示す。難充填部位に則する凸型側立4面に1mmと目幅を大きくしたスリットを12mmピッチで、成形品が離型する（また、原料が充填される頂部の）方向に沿うように配置し、開口率を約8%と大きく設定した。なお、同金型の凹型は外径10mmコアベント（蒸気導入部品）をピッチ25mmで穿設した従来の構造とした。なお、外径10mmコアベントの開口溝は0.4mmで6本を有する。

特殊金型の原料充填は、開口率を大きくすることで、クラッキング寸法が約1mmで成形が行なえた。

金型内難充填部に設けた長く連通した特殊スリットの採用で開口率の増大化を図ることができ、その内部に設けた連結部によって型強度が確保できる。また、良好に金型内部の原料充填圧縮空気を収集し金型外部へ整流排出ができる（充填性能向上）とともに、それとは逆流となる、高速に金型外部からの加熱蒸気を金型内部へ拡散（加熱性能向上）することができる。その結果、クラッキング寸法を減少した成形が行なえることとなる。

特殊スリット目幅は0.5~1.5mmより選定でき、配列ピッチにより開口率が決まる。

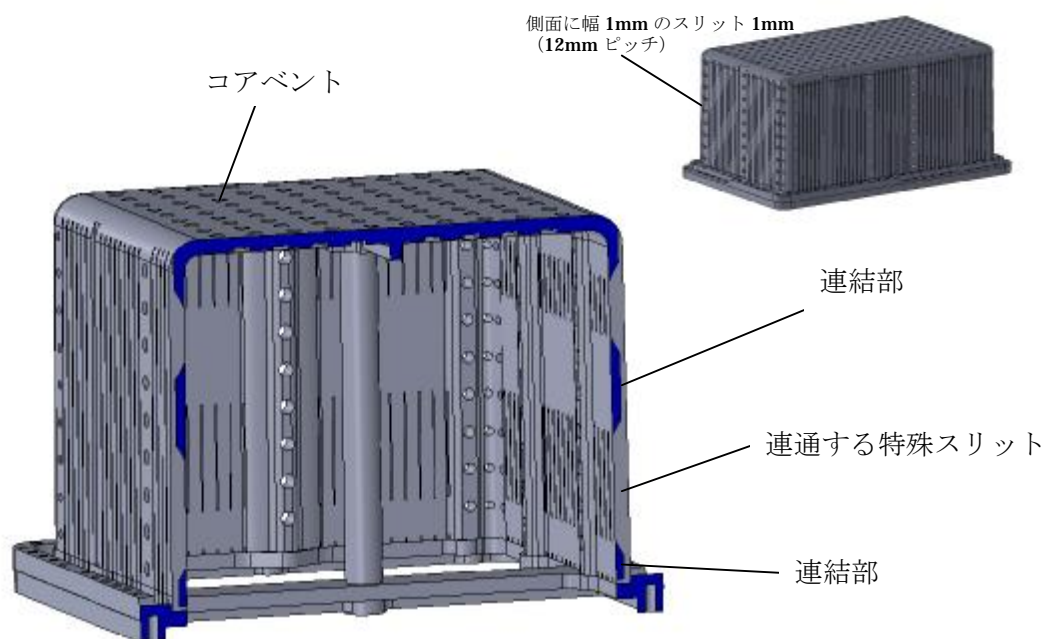


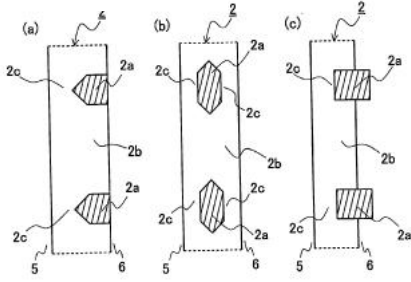
図9 特殊スリット部の断面図

本特殊スリットは、凸型に限定されず、凹型にも採用できる。また、箱以外に種の異なる成形体においても応用ができる。

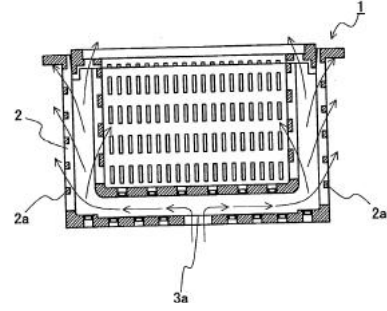
特殊スリットは図10Dのように断続した形態もできるが、連通した形態の図10Bがより成形効率が向上した。

また、図10Aは特殊スリット内部の連結部の形態であり、図10Cにおいては原料（白丸の配列部で表現）に向け用役の収集・拡散を矢線で示した図である。

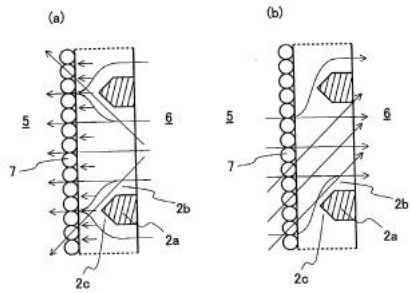
図A__連結部の断面



図B__金型断面__前頁記載図例



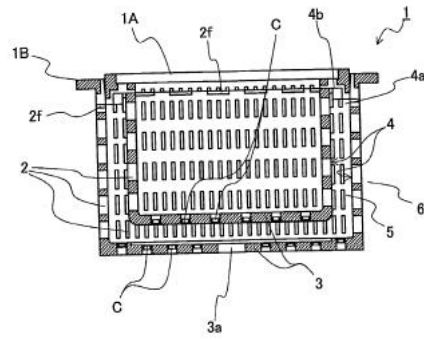
図C__用役の収集・拡散



蒸気

圧縮空気

図D__金型断面__断続スリット



特許番号 第 6052463 号 (特願 2016-504986) 発泡成形体用金型より抜粋

図 10 特殊スリット内部の断面図

凹型



凸型



深箱本体

図 11 側立 4 面内外に特殊スリットを配置した金型とその成形品 (深箱本体)

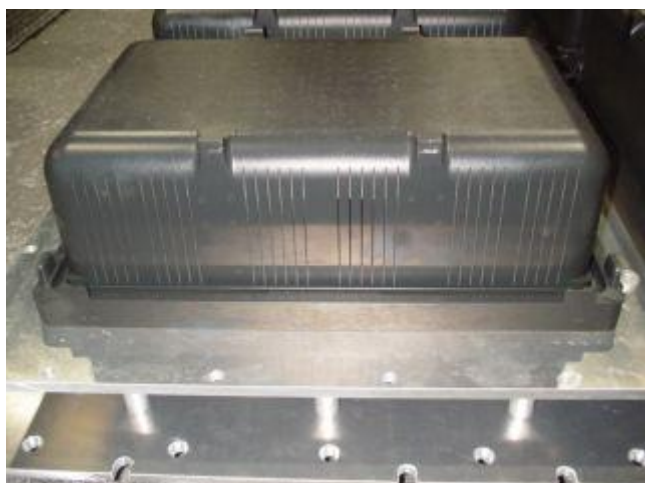


図 12 金型（凸部）の写真

（２）本特殊金型の効果

本金型の導入により、下表の効果が期待できる。

項目	効果
クラッキング寸法の減少	重量管理公差範囲を減少させた分の原料使用量が削減可能
原料充填性能の向上	発泡倍率に近い均一な成形品が得られ、成形品強度が向上
蒸気導入性能の向上	融着速度が増大し、加熱成形工程の時間短縮及び蒸気使用量の削減

（３）開発金型に関する特許（平成 29 年 1 月 12 日時点）

- ①特許番号第 6052463 号（特願 2016-504986 ）発泡成形体用金型
- ②特開 2015-160400（特願 2014-37815）発泡樹脂成形金型
- ③特願 2015-150300（申請中）発泡樹脂成形体用金型

2 環境性能に関する事項

2-1 環境保全・改善効果

（１）クラッキング成形の比較試験

発泡成形技術は、成形品ごとに（通常 1 分～2 分／成形 1 ショット）に「充填、加熱、冷却、真空放冷（冷却待機）、離型」を代表とした工程で構成される。原料充填及び蒸気加熱時間を定量化する

ために表1～2に示す条件にて【クラッキング1mm】と【クラッキング4mm（一般成形での代表値）】の2種の比較実験（5キロ箱の成形）を行い、表3に示すタイムチャートを得た。尚、成形テストに用いた金型は本特殊金型であり、ノンクラッキング成形ができるのだが、使用原料が61倍であった為、成形品重量の重視により【クラッキング1mm】と【クラッキング4mm】との成形を対比した。

表1 金型毎の条件

	クラッキング 1mm	クラッキング 4mm
離形方式	ノンキャッチ	ノンキャッチ
充填方式	ノーマル	ノーマル
加熱方向	凹→凸	凹→凸
スチーム圧（固定）	0.060MPa	0.060MPa
（移動）	0.070MPa	0.070MPa
クラッキング	約1mm	約4mm
成形回数	約40回/時間	約30回/時間

表2 成形品の内容

大きさ（外寸法）	W348mm×D548mm×H175mm、底厚み21mm
（内寸法）	W300mm×D500mm×凹154mm
容積	10,200cc
理論重量	170g（発泡倍率60倍品。1/60=0.0166g/cc）
生産管理重量	170g（0%以上+10%以下）
使用原料	170.4g（発泡倍率61倍品。1/61=0.0164g/cc）、 10,200cc×0.164+クラッキング寸法1mm重量(3.1g)
クラッキング差分の原料	約9.4g (34.8cm×54.8cm×0.3cm×0.0164g/cc)
成形機械	ダイセン工業製 VS1300
金型	凸型、取り数5/1面

表3 金型毎のタイムチャート

工程	クラッキング 1mm	クラッキング 4mm
充填1	4	5
ブローバック1	1	1
ブローバック2	0	0
排気1	2	3
タイムラグ1	5	5
タイムラグ2	1	4
本加熱	5	8
保熱	8	6
水冷	2	3
空冷	2	2
V S放冷	30	55
ドレン弁開	0	1
離形クラック	0	1
型締	0	1
加圧	0	1
型開	3	3
離形1	1	1
待機	1	2
サイクルタイム	80	117

※表中のサイクルタイムは個々の工程時間の集計と合致しません。

(2) 改善効果

ア) エネルギー使用量の削減

成形会社立会のもと、5キロ箱における1ショット成形毎の蒸気使用量を測定したところ、クラッキング 4mm で約 6.5kg、クラッキング 1mm で約 5kg であり、1ショットあたり約 1.5kg (約 23%) の蒸気使用量が削減されていた。

一般にボイラーの蒸発倍数では 重油 1kg で 10~12 リットルの水を蒸気させることから、蒸気 12 リットル ÷ 蒸気 1.5 リットル/ショット = 8ショットとなり、8ショットあたり重油 1kg が削減できる予測となる。

イ) 原料使用量の削減

(A) 重量管理公差範囲の減少 (クラッキング寸法減少) による削減

クラッキング 4mm、1mm における 5 キロ箱成形品の重量を表 4 に示す。クラッキング寸法を 3mm (4mm-1mm) に減少させることにより、原料使用量が削減できることが確認できた。また、クラッキング寸法減少から原料充填後の型閉め工程でコアベント開口部の閉止となる原料圧縮が減少し、抵抗なく高速に加熱蒸気を金型内部に導入でき本加熱タイマーが 3 秒減少した。その結果、成形時の品質のバラツキ・不良率の発生・ユーザークレーム発生にたいする抑制効果も確認できた。

特に、本種の金型は、多数個取り/1ショットの金型であり、フレーム内での配置 (位置) と蒸気導入穴との距離の差による加熱バラツキによる不良率が発生しやすく、これを抑制できることは、大きく活躍できるものと考ええる。

表 4 成形品の重量

	クラッキング寸法 1mm	クラッキング寸法 4mm
型番 1	170.3g	179.8g
型番 2	170.5g	180.5g
型番 3	170.2g	179.8g
型番 4	170.5g	180.5g
型番 5	170.3g	183.2g
平均	170.36g	180.76g

(B) 箱の均一原料充填成形による高倍率化 (薄肉化) への期待

65 倍原料使用の不均一充填 60 倍重量品 : 170 g ($10200 \times 1/60 = 170$ g)

⇒ 65 倍原料使用の均一充填 65 倍重量品 : 157 g ($10200 \times 1/65 = 157$ g)

高倍率化は、13 g/1 箱の省資源となり、効果は大きい。

ウ) 生産性の向上

1時間あたりのショット回数では(40-30)/30=33%増の結果となった。

特に、本種の金型は、多数個取り/1ショットの金型であり、フレーム内での配置(位置)と蒸気導入穴との距離の差による加熱バラツキによる不良率が発生しやすく、これを抑制できることは、大きく活躍できるものと考ええる。

以下に本技術で『ノンクラッキング充填成形』した活用例を記す。

<活用事例1> 浮力 250k フロート (#300)

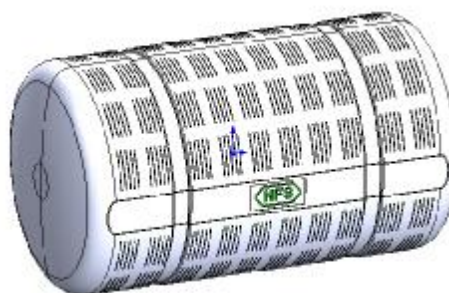
外径 600mm×長さ 1040mm

容積 265200cm³

平面積 6161cm²

原料発泡倍率 68 倍を使用

重量 3900g



通常金型 4mmクラッキングで成形されていた。

原料ロス分=6161(cm²)×0.4(cm)×1.0/68(g/cm³)
=36g/1ケ

成形機械 ACE40 大型機

金型外寸法 1460*1630*840H

金型取り数 2ケ/1ショット

- ・1時間あたりの成形ショット回数：通常金型 6~7 → 本開発金型 10~11
- ・本開発金型の蒸気使用量の削減：約 3kg/1ショット(加熱時間 6秒短縮_推測値)
- ・本開発金型の採用で、フロートは原料均一充填ができており、原料物性データに則した耐水圧強度をもつ。さらに成形において金型内部へ加熱蒸気が高速導入することから、フロートの表皮は海水が含水されにくい樹脂融着層となった。

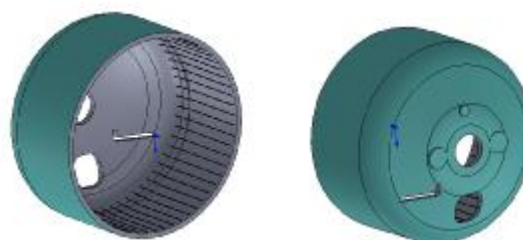
<活用事例2> 薄肉厚タンク断熱材

外径 282mm 内径 268mm_頂部肉厚 7mm

原料ビーズ径 2~3mm使用。

原料充填性能の向上

- ・薄肉 7mm厚のため発泡シート成形品が検討されていたが、発泡ビーズ成形で商品化を実現。



＜活用事例 3＞ 容器フタ

本体と嵌合する最外周（難充填部）に特殊スリットを配設し成形効率を向上させた。

1時間あたりの通常ショット回数 約 32 → 約 45（成形立会） ー 約 40%向上できた。

$(45 - 32) / 32 \times 100 = 40\%$



エ) 品質の確認

クラッキング 1 mm の成形品を成形会社（立会）のもとで、①重量測定②融着度合（破断面の確認）③外観（目視）④フタとの嵌合確認⑤各部の比重測定 を行った。

2-2 副次的な環境影響

特になし。

3 経済性

3-1 初期経費と運転・維持管理費

本特殊金型コストは構造によっても変動するが、従来の約 30~40%増の算出となっている。5キロ箱では、従来金型コストが 100 万円に対し、本特殊金型コストは 130~140 万円となる。

一般に本業界では、金型寿命は 10 万ショット、対応年数では「約 5 年」とされている。

年間のショット数は、上記から 1 年間に約 2 万ショットとなるが、成形会社からのヒアリングの結果「年 1.5 万ショットで耐用年数 5 年」を金型寿命とする。

運転・維持管理費について、従来金型は原料充填時のクラッキング寸法を大きく設定し、充填後の型締め工程で原料を圧縮し加熱成形が行なわれているため、次の観点から維持管理費の軽減も期待できる。

- ① 従来金型は、コアベントの目詰まりが起り易く、約 1 万ショット毎に修理コスト約 10~15 万円を要するが、本特殊金型においては目詰まりが起りづらくなるため、コスト削減が期待できる。
2015 年度に年間 1 万ショットの金型に採用をされたが、1 年経過後も問題なく使用できていることを確認している。
- ② クラッキング圧縮の負荷圧力による型歪み・型寸法ズレ等の修理減少も予想され、金型寿命が延びることが期待できる。

3-2 従来技術との経済性比較

本特殊金型コストは、従来金型コストにたいし初期費用が従来の約 **30~40%**増額するが、エネルギー使用量と原料の減量が期待できる。ここでは前述の5キロ箱金型を使用した際の経済比較を行う。前記(3-1)の金型寿命「年 **1.5** 万ショット・耐用年数 **5** 年」をもとに、算出する。

(1) 省エネルギー効果

『1年間の省エネルギー量は、A重油約 **1,600** リットルであり、その費用は約 **7.6** 万円となる。』

重油削減量 : $15,000 \text{ ショット} \div 8 \text{ (ショット/重油 1kg)} = \text{重油 } 1,875\text{kg} \doteq \text{重油 } 1,612.5\text{L}$

原油削減コスト : $1,612.5\text{L} \times 47.3 \text{ (円/L)} \doteq 7.6 \text{ 万円}$

※A重油の比重を **0.86kg/L**、価格を **47.3** 円/L (近畿経済産業局管内の **H28** 年の平均価格) とした

(2) 省資源効果

『1年間の省資源効果は、ポリスチレン **712.5kg** であり、その費用は約 **21** 万円となる。』

成形重量管理公差 **0%**以上+**10%**以下の1箱の管理重量は **170g~187g** (**17g** 差) となる。

1箱あたり原料ロス (表3参照) **9.4g** が削減できるとして算出した。

省資源量 : $15,000 \text{ ショット} \times (\text{金型取り数 } 5 \times 1 \text{ 箱 } 9.4\text{g/ショット}) = 705000\text{g} = 705\text{kg}$

省資源コスト : $(705\text{kg}) \times (300 \text{ 円/kg}) \doteq 21.15 \text{ 万円}$

※原料単価は 顧客情報5件分の平均値を採用した。

(3) 経済効果比較

上記より、本金型の償却年数を **5** 年とした場合、経済効果は、**(1)38** 万円・**(2)105** 万円と推定される。5キロ箱従来金型コストが約 **100** 万円に対して、本特殊金型とする初期費用として **40** 万円増額 (約 **40%**増) となるが、約 **1.4** 年で投資回収ができる試算となる。

なお、この中には、成形時間短縮に伴う人件費の削減は含んでいない。

4 その他

4-1 技術・製品に対する法規制及び関係法令

特になし

4-2 品質管理体制等

ユーザー成形品規格に準じた金型完成品の出荷検査及びユーザー受け入れ時の実成形による成形品の品質管理。

4-3 販売実績

2015年__試験販売開始

・水産深箱本体金型1面、水産浅箱本体フタセット金型1面、タンク断熱材金型1面

2016年__試験販売と宣伝中__ユーザーの評価中

・水産箱金型3面、水産フタ金型4面、フロート金型3面、輸出用リンゴ箱1面