

平成26年度
ものづくり中小企業・小規模事業者等連携事業創造促進事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「自動車ヘッドランプ等大型薄肉プラスチック
成形品製造を可能とする射出成形技術の開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成27年 3月

委託者 中部経済産業局
委託先 公益財団法人中部科学技術センター

目 次

第1章 研究開発の概要

1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	.....	P1 ~ 5
1-2	研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	.....	P6 ~ 9
1-3	成果概要	.....	P10 ~ 12
1-4	当該研究開発の連絡窓口	.....	P12

第2章 本論

【1】	新技術A. ゼロ点ゲート金型の開発	.....	P13
【2】	新技術B. 高流動機能金型の開発	.....	P14
【3】	新技術C. 大型アルミ金型の量産型適用	.....	P15 ~ 17
【4】	実用化確認試験	.....	P18 ~ 38

第3章	最終総括	P39 ~ 40
-----	------	-------	----------

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究開発の分野

以下に本サポイン事業の研究開発分野を示す

(五) プラスチック成形加工に係る技術に関する事項

1. プラスチック成形加工に係る技術において達成すべき高度化目標

(3) 川下分野横断的な共通の事項

①川下製造業者等の共通の課題及びニーズ ア. 低コスト化

(4) 川下分野特有の事項

2) 自動車に関する事項

①川下製造業者等の抱える課題及びニーズ ア.軽量化

1-1-2 研究開発の背景・研究目的及び目標

(開発前の状況)

研究実施機関である(株)名古屋精密金型は大型射出成形用金型メーカーであり、自動車ヘッドランプ用プラスチックレンズ金型を川下自動車ヘッドランプ部品メーカーに販売している。この金型は鋼材で造られており、意匠面は鏡面仕上げであり最終仕上げは#8000番のダイヤモンドペーストで行なわれている。レンズの肉厚を2.5～3.5mm内で偏肉させて配光性能を持たせている。ヘッドランプ用レンズ専用のポリカーボネート樹脂は、その必要物性値を満たすために流動性が非常に悪い。このような条件からもレンズの平均肉厚は2.3mm～3.0mmが一般的となっていた。

(状況変化)

ところが平成20年以降に、自動車ヘッドランプ全体の機能は、製品の透明カバー（外側）ではなく内部のリフレクターが配光性能を出すことで美しさを表現する傾向となった。そしてヘッドランプ用レンズは役割が「透明レンズ」から「透明カバー」に変わり、肉厚が均一で一定透過率を持つことが要求されるようになった。

これに伴い川下自動車ヘッドランプ部品メーカーは、金型メーカーに対して大型薄肉プラスチックレンズの射出成形が可能となる金型を求めてきた。

(研究開発の必要性)

(株)名古屋精密金型では従来のレンズ金型をスケールアップ・薄肉にした「薄肉大型レンズ金型」を製造、川下自動車ヘッドランプ部品メーカーに納品したが、成形時にバリカミ・金型不良が1年間以上にわたって発生し、不安定な状況が続いた。

自動車ヘッドランプ部品メーカーとしては、材料のポリカーボネート樹脂の流動性を上げることにも検討したが、新開発材料は、自動車メーカーから要求される促進耐候性試験・強度試験・耐衝撃試験・アリゾナ曝露試験などのすべてのスペックに合格させる必要があった。

また、実際に材料の流動性を上げることは、高分子材料の平均分子量を小さくすることであり、このことは即ち材料物性を弱くする方向にある。これより現行のポリカーボネートを使って、「薄肉大型レンズ成形」を行なう射出成形金型を金型メーカーに提供させる必要があった。現在川下自動車ヘッドランプ部品メーカーでは流動長を伸ばすために現行品ポリカーボネート樹脂に対して「高温高圧射出成形」を行なうことで、薄肉大型レンズを製造している。しかしながら非常に狭い成形条件下での製造であり、射出成形の際ポリカーボネートよりガスが発生するので、これを逃がすためにガス抜き設定が必須となっている。また焼けによる異物も発生している。

このような状況より自動車ヘッドランプレンズ用金型の製造実績が十分ある(株)名古屋精密金型に、新発想による射出成形方法及び「薄肉大型レンズ金型」に関する技術を研究させることが急務であると確信し、ゼロ点ゲートの適用、金型内で流動長を伸ばす方策を提案するに至った。

(研究目的)

1.川下分野横断的な共通の事項

ア. 低コスト化のための技術の向上

(4)川下分野特有の事項

2)自動車に関する事項

②高度化目標

ア. 薄肉化、中空成形、発泡成形技術の向上

(研究目標)

本研究で目標とする成形品仕様を掲げる。

自動車ヘッドランプ用大型薄肉プラ

スティック成形品目標値

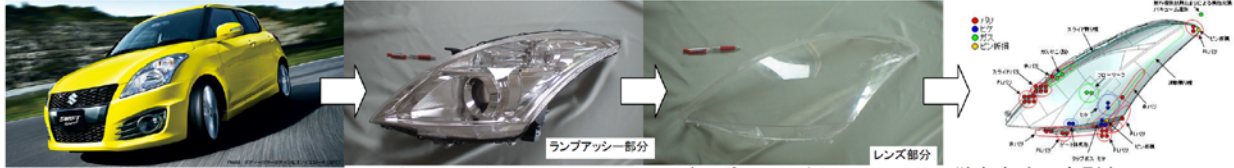
	現状	目標
肉厚	2.5mm	1.5mm
投影面積	450cm ²	600cm ²
高さ	120mm	150mm

この成形品を安定生産できる金型を造るために、新技術A・B・Cを個別にそれぞれ精査する。得られた結果に基づいて最終目標とする「自動車ヘッドランプ等大型薄肉プラスチック成形品用金型」を川下自動車ヘッドランプ部品メーカーに提供する。この金型自体の技術的目標値は次のとおりである。

- ・10万ショットの稼動に耐えうる金型構造であること。
- ・同レベルの成形品を得るためのLCA上必要エネルギーが、従来方法の80%以下であること。

1-1-3 研究開発の背景・研究目的及び目標図示

1.開発に至った経緯



ヘッドランプは自動車の顔である。

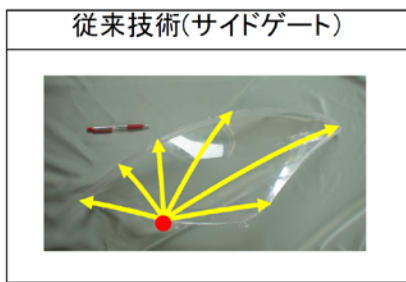
ランプアッシー部分形状は複雑大型に変化してきている。

レンズはポリカーボネートの1点ゲート射出成形で生産されている。顧客要求より薄肉大型化を実施した。

従来方法の金型をスケールアップ・薄肉化しただけでは、川下企業では成形不良・金型故障が相次いだ。

2.新技術適用へ

【1】新技術A ゼロ点ゲート金型の開発



(問題点)
 サイドゲート⇒高圧高温で無理やり流す⇒不良発生
 高射出圧⇒型開き⇒バリカミ⇒金型損傷・バリ発生
 高射出圧⇒バルブゲート損傷
 高射出圧⇒型のためみ⇒型重量増加要
 高射出圧⇒成形機締め力増加要⇒コストアップ
 高温樹脂⇒ガス発生⇒やけ発生
 高温樹脂⇒樹脂熱分解⇒炭化異物生成
 高温樹脂⇒冷却サイクル長い⇒コストダウン
 高温樹脂⇒成形幅狭い⇒調整困難

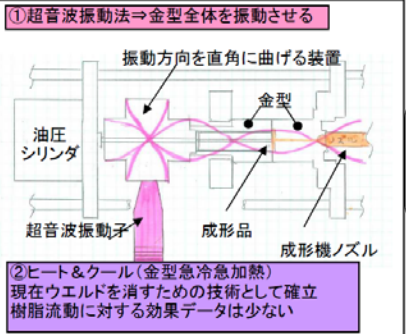


ゲート跡が残らなければ成形品中央より射出可能。
ゼロ点ゲート適用
 (特許第4213422号)

(新技術)
 中央ゲート⇒高精度ゼロ点ゲートでバランスよく流す
 (従来成形と比べて)
 流動長が短くても流れる⇒樹脂温度通常
 通常成形⇒型締め力減少⇒コストダウン/省エネ
 通常成形⇒型厚減少金型減量⇒使用エネルギー減少
 流動末端が成形品全外周⇒ガスやけなし
 従来材料従来条件で使用可⇒材料テスト不要

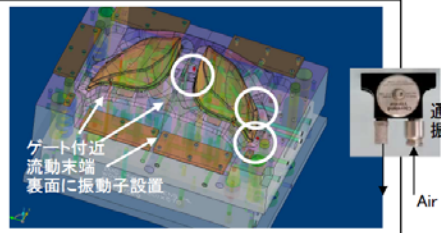
【2】新技術B 高流動機能金型の開発

従来技術(金型全体を振動など)

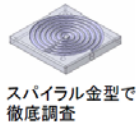


(問題点)
 超音波振動利用射出成形方法は流動促進効果が確認されている。しかし…
 ・特殊成形機⇒成形機導入コスト要
 ・大きい超音波振動子が必要⇒コストアップ
 従来の金型⇒適応不可。特殊形状。
 他にも、成形機ノズルを振動させる、スクリー全体に値超音波をかけるなど、装置改良の提案が数多く見られる。

新技術B(振動子金型内臓)



* 成形機仕様を変えず、金型に振動子を仕込む。
 * ヒート&クールを流動長延長のみに着目検討。

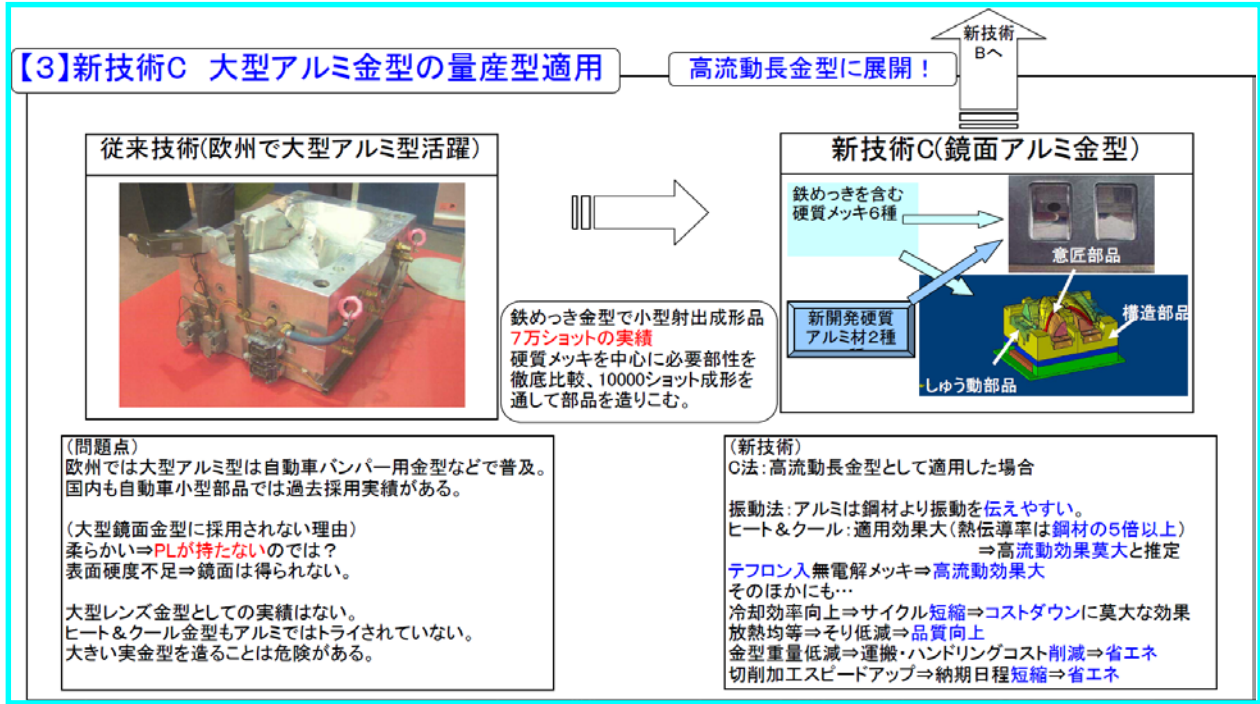


スパイラル金型で徹底調査

＋流動長を伸ばすためのヒート&クール

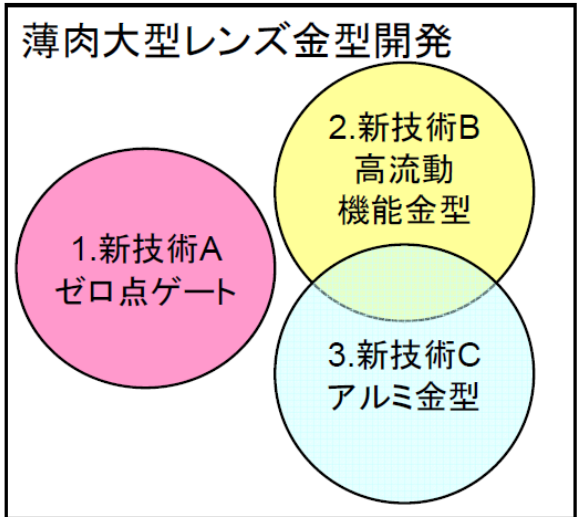
(新技術)
 (従来成形と比べて)
 流動長が短くても流れる⇒樹脂温度通常
 通常成形⇒型締め力減少⇒コストダウン/省エネ
 通常成形⇒型厚減少金型減量⇒省エネ
 流動末端が成形品全外周⇒ガスやけなし
 従来材料従来条件で使用可⇒材料テスト不要





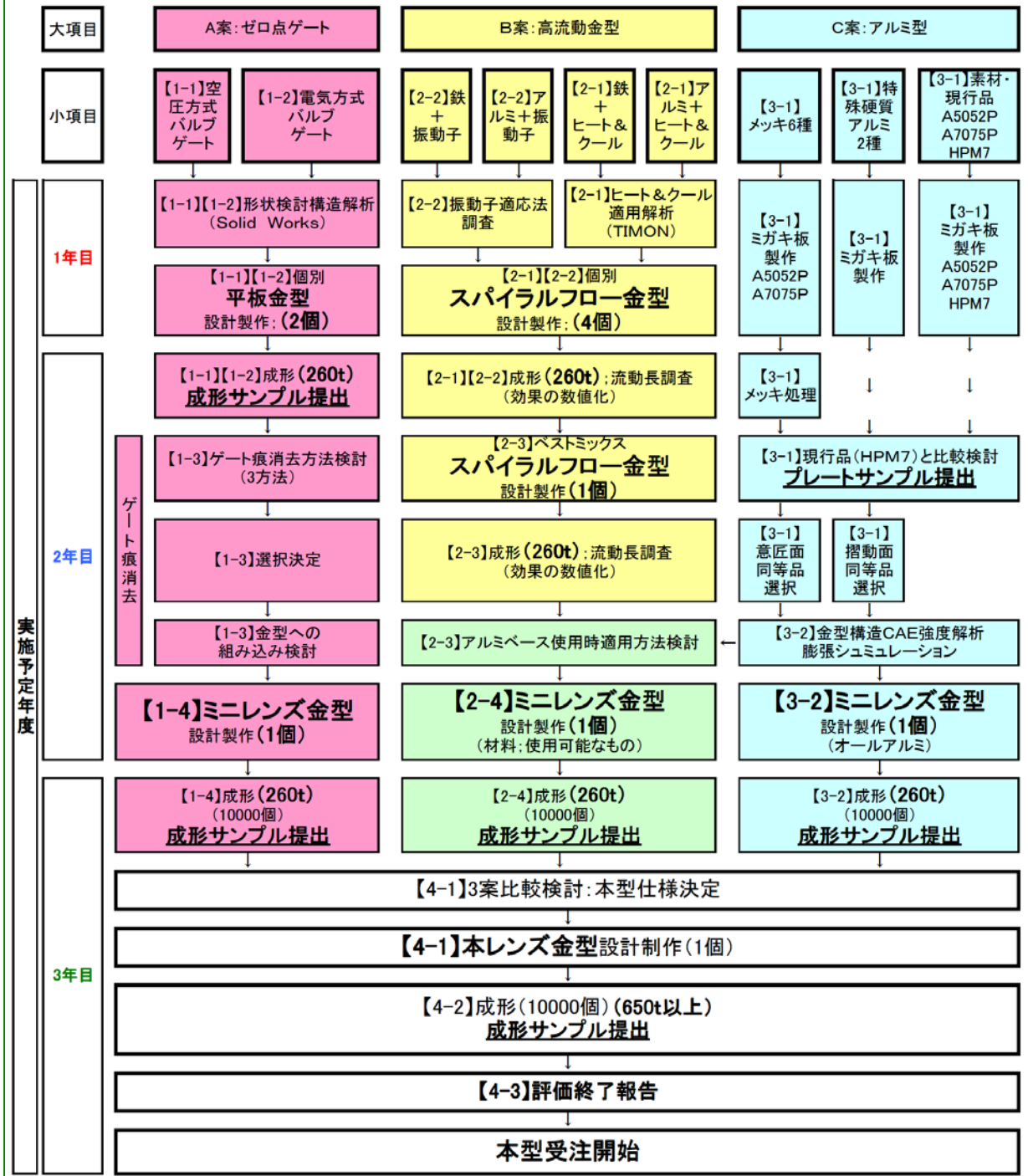
1-3-4 研究手段相互関係

1. 新技術A: **ゼロ点ゲート**
意匠面ゲート自由設定を可能にし、
薄肉大型成形を実現
2. 新技術B: **高流動機能金型**
振動法・ヒート&クールで
樹脂流動長を伸ばす機構を確立
3. 新技術C: **アルミ金型**
アルミは熱伝導性、超音波振動
特性に優れる。高流動機能の
ハイレベル化。



**目標寸法の研究金型で1万ショットの試作を行い
大型薄肉成形技術を確立する。**

* 全体の流れ



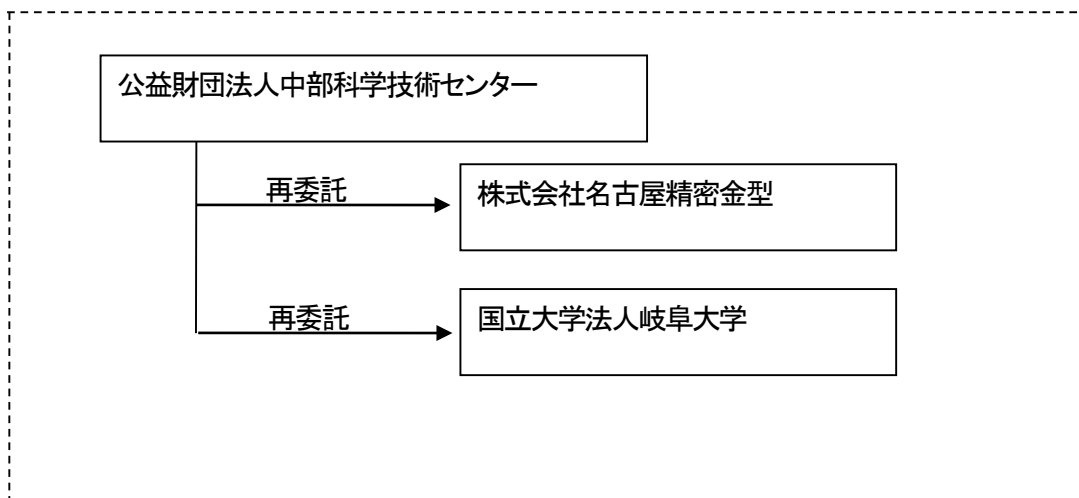
ポイント①
フローチャートで
ベストミックスを目指す

ポイント②
10000個連続成形実施、
量産時問題点解決し、
金型完成度を高め、
受注に直結する技術を目指す

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）



総括研究代表者(PL)

所属：株式会社名古屋精密金型
経営戦略室・研究開発室
役職：室長
氏名：近藤 浩子

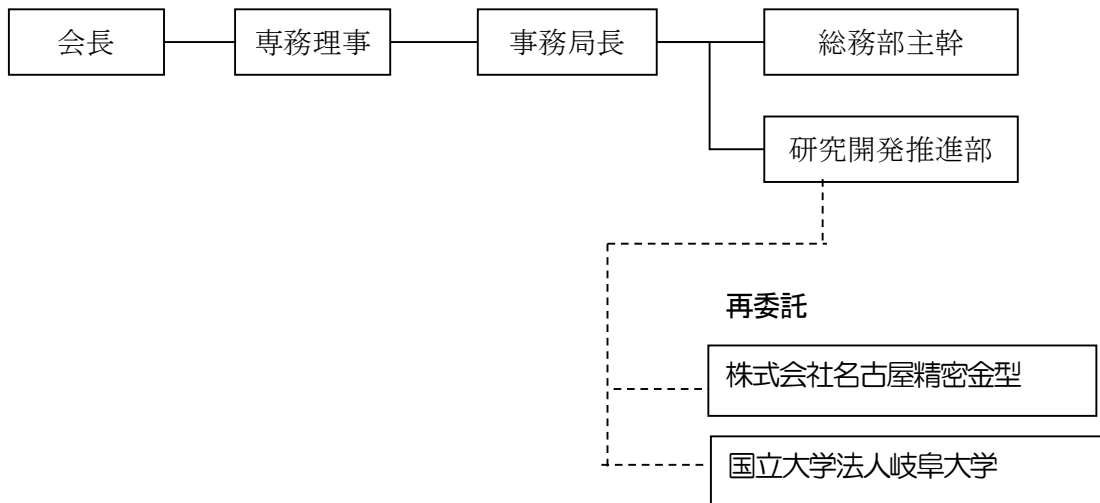
副総括研究代表者(SL)

所属：国立大学法人岐阜大学
役職：教授
氏名：山縣 裕

2) 管理体制

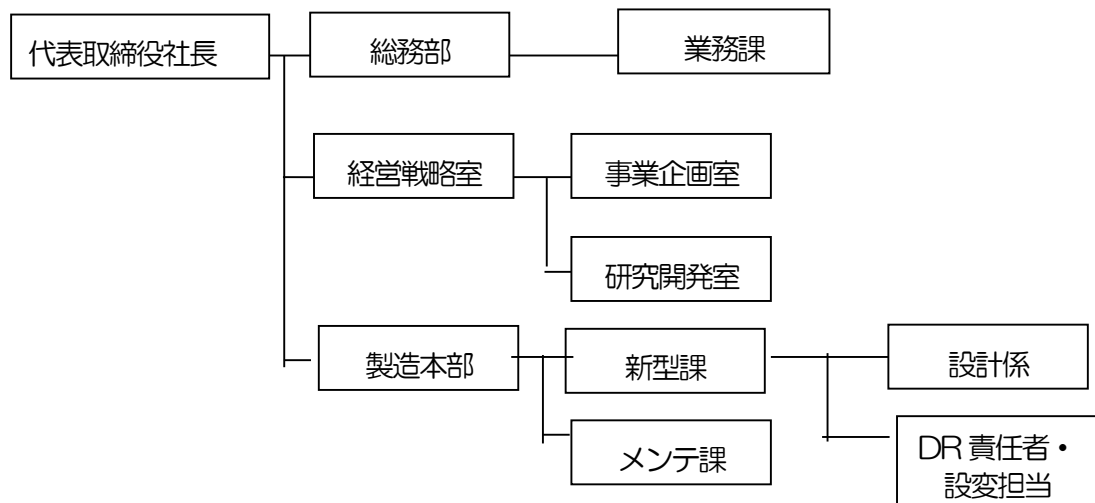
① 事業管理機関

公益財団法人中部科学技術センター

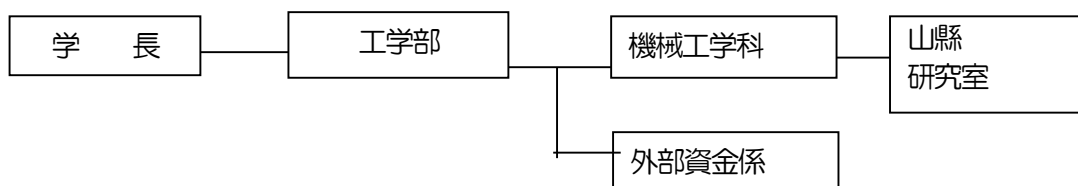


② 再委託先

株式会社名古屋精密金型



国立大学法人岐阜大学



3) 研究者氏名、協力者

【事業管理機関】公益財団法人中部科学技術センター

管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
廣瀬 亘	研究開発推進部長	【5】
福嶋 昭	研究開発推進部 担当部長	【5】
宮島 和恵	研究開発推進部 主任	【5】
高須 容功	研究開発推進部 主任	【5】

【再委託先】

研究員

株式会社名古屋精密金型

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
近藤 浩子	経営戦略室 研究開発室 室長	【1】【2】【3】【4】
南谷 広章	取締役副社長 経営戦略室責任取締役	【1】【2】【3】【4】
長田 敬道	経営戦略室 事業企画室 室長	【1】【2】【3】【4】
横井 博人	製造本部 本社工場 メンテ課	【1】【2】【3】【4】
棚橋 龍	製造本部 本社工場 新型課 設計係 係長	【1】【2】【3】【4】
西村 久史	製造本部 本社工場 新型課DR責任者	【1】【2】【3】【4】
古橋 正	設変担当係長 経営戦略室・研究開発室	【1】【2】【3】【4】

国立大学法人岐阜大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
山縣 裕	工学部 機械工学科 教授	【3】【4】
新川 真人	工学部 機械工学科 助教	【3】【4】

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

公益財団法人中部科学技術センター

(経理担当者) 総務部 主幹 山本 清

(業務管理者) 研究開発推進部長 廣瀬 巨

(再委託先)

株式会社名古屋精密金型

(経理担当者) 総務部 業務課長 柴田 英明

(業務管理者) 経営戦略室 研究開発室長 近藤 浩子

国立大学法人岐阜大学

(経理担当者) 工学部外部資金係 長屋 好美

(業務管理者) 工学部長 六郷 恵哲

1-3 成果概要

【1】新技術A. ゼロ点ゲート金型の開発

【1-1】特許第4213422号法ゼロ点ゲート適用

特許に基づくゼロ点ゲートバルブ及びこれを搭載した金型は、発明者S氏の協力の下、設計製作に成功した。しかしながら設計思想・作動方法に問題点があり、エア漏れ発生・リング破損・センターピン動作不良が発生し、ゲート痕が無い成形品は得られなかった。構造問題点を再検討し、構想設計からスタートするべきである。

【1-2】電動バルブゲート適用

電動モータを利用したS社の電動ホットランナーゲートを応用して電動バルブ搭載ゼロ点ゲート金型を設計製作、PCで成形した結果、目標の $\pm 5\mu$ のゲート痕を持つポリカーボネート製成形品を得る事が出来た。

【1-3】ゲート痕消去法検討

超音波振動法、トップコート塗布法、摩擦方法、熱的方法などでゲート痕消去を試みたが、完全にゲート痕を消去する方法は現在確認されていない。

【1-4】量産実験

単独では、中止とした。

【2】新技術B. 高流動機能金型の開発

【2-1】振動子法

超音波振動について、鋼材とアルミ材に関して最も振幅量の大きくなる距離を研究した。その上で超音波スパイラルフロー金型の設計製作を行い、成功した。この金型を用いて超音波に高流動機能があるか否かを字際の成形を行ないながら検証を繰り返した。

この結果、超音波には流動長を促すような動きは望めないことが判明した。一方、安価な低周波振動子を用いて同金型にて高流動促進機能を確認したが難しいことが判明した。

【2-2】ヒート&クール法

鋼材及びアルミ金属材料を用いヒート&クールスパイラル金型の設計製作を行い成功した。これを用いてヒート&クール設定可能な成形機で、一定量の樹脂を射出した場合の高流動機能の有無を確認した。

その結果、鋼材金型・アルミ金型ともヒート&クールを適用することにより流動長延長効果を確認できた。

【2-3】併用相乗効果検討

超音波振動子は試験研究中、金属破壊にて破損したため、量産射出成形金型装置としては適用困難であることが判明した。よって併用相乗効果検討は中止とした。

【2-4】量産実験

単独では、中止とした。

【3】新技術C. 大型アルミ金型の量産型適用

【3-1】アルミ材全般検討

5000系・7000系とも磨き・アルマイト処理・硬質鉄めっきなどの表面処理は可能なことが確認できた。しかしながら、レンズ金型鏡面レベルの鏡面は得られなかった。

また摺動面は必要な場合は鋼板を表面に適用することで川下企業の合意を得た。溶接は、検討の結果5000系アルミが有利でとの結論に達した。

【3-2】アルミ鏡面製作方法検討

アルミ金型として鋼材レベルの鏡面を得るにはアルミ表面を鏡面にする必要があることが判明した。化学研磨・物理研磨・電解研磨など5種を検討の結果、通常アルミ材(A5052)にて鏡面(Ra0.02以下)が得られる方法を開発した。

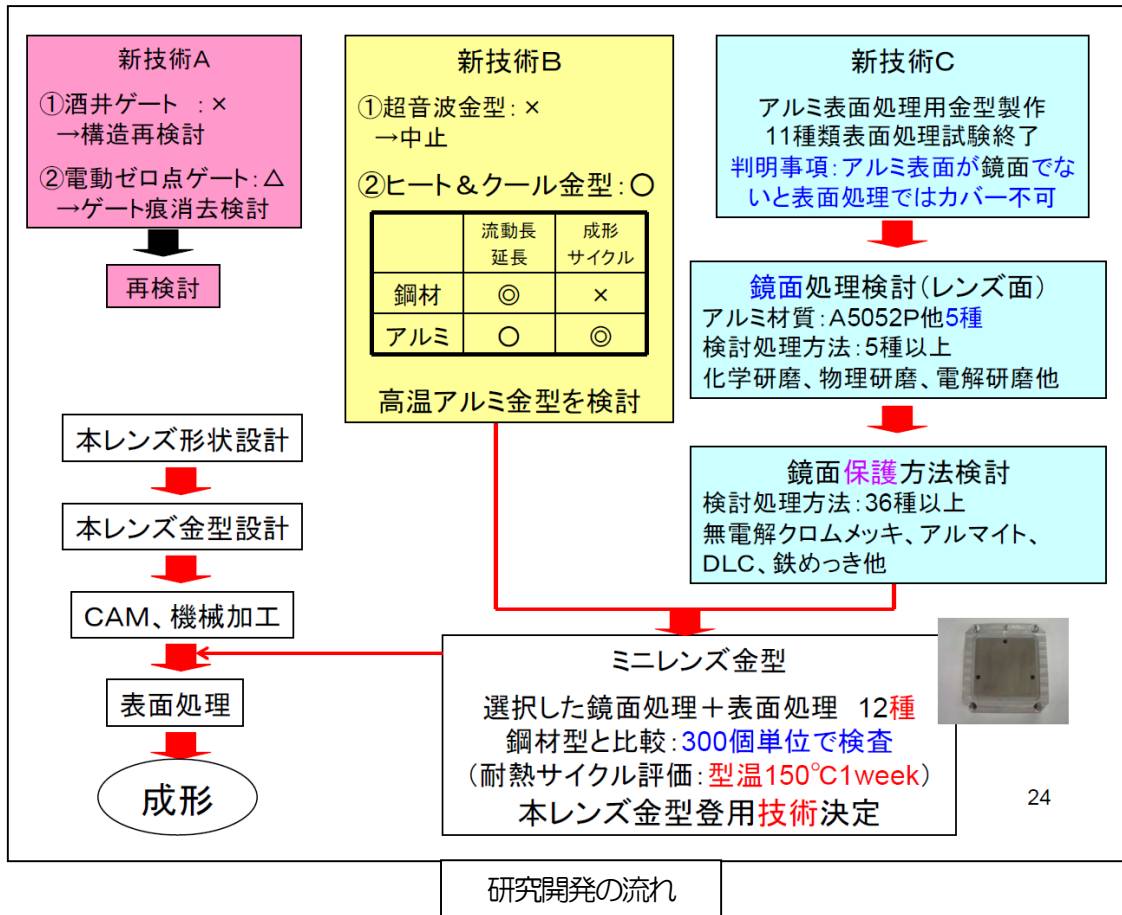
【3-3】アルミ表面コート方法検討

50種類以上のアルミ表面処理方法検討、その中で36種類を選択した。実際に鏡面アルミピースを60個製作し、コートを行い処理後の鏡面度を測定した。更にその中で良好なものを用いてミニレンズ金型を製作、量山用ポリカーボネートで300ショット成形を行い、最も鏡面状態が良好なものを選択した。

以上の結果、A5052材にてRa0.02の面荒さ、HV700の鏡面を作り上げる方法を確立できた。

【4】実用化確認試験

現在、サポイン目標値を得られるアルミ金型を製作終了し、量産用ポリカーボネートにて成形結果、投影面積600mm、高さ150mm、平均肉厚1.7mmの成形品を得ることが出来た。



1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社名古屋精密金型 経営戦略室・研究開発室室長 近藤 浩子

TEL 0562-84-7600

FAX 0562-84-7644

E-mail : hiroko-kondo@nagoya-sk.co.jp

第2章 本論

【1】新技術A. ゼロ点ゲート金型の開発

【1-1】特許第 4213422 号法ゼロ点ゲート適用

ゼロ点ゲートは、現在開発中のゲート痕のないホットランナーシステムである。ポリカーボネート製自動車用ヘッドランプレンズにおいて成形品中央にゲートを設けることにより、材料を変えずに肉大型成形を可能とする。

「熱膨張の影響を受けにくいホットランナー」を参考に開発を進める予定であった。しかしながら構造複雑なため独自で「シンプルゼロ点ゲート」のを平行開発することとした。すなわち市販品のホットランナーを用いて熱膨張率の極力小さい材料でセンターピンを製作した。一方電動式ゼロ点ゲートは、ホットランナーセンターピンの駆動方法としてステッピングモーターを用いたものである。開発品を導入、検討することとした。

特許に基づくゼロ点ゲートバルブ及びこれを搭載した金型は、発明者の協力の下、設計製作に成功した。しかしながら設計思想・作動方法に問題点があり、エアー漏れ発生・リング破損・センターピン動作不良が発生し、ゲート痕が無い成形品は得られなかった。構造問題点を再検討し、構想設計からスタートするべきであると判断した。

【1-2】電動バルブゲート適用

電動モータを利用した他社の電動ホットランナーゲートを応用して電動バルブ搭載ゼロ点ゲート金型を設計製作、PC で成形した結果、目標の $\pm 5\mu$ のゲート痕を持つポリカーボネート製成形品を得る事が出来た。

【1-3】ゲート痕消去法検討

超音波振動法、トップコート塗布法、摩擦方法、熱的方法などでゲート痕消去を試みたが、完全にゲート痕を消去する方法は現在確認されていない。

【1-4】量産実験

単独では、中止とした。

【2】新技術B. 高流動機能金型の開発

【2-1】振動子法

超音波振動について、鋼材とアルミ材に関して最も振幅量の大きくなる距離を研究した。その上で超音波スパイラルフロー金型の設計製作を行い、成功した。この金型を用いて超音波に高流動機能があるか否かを字際の成形を行ないながら検証を繰り返した。

この結果、超音波には流動長を促すような働きは望めないことが判明した。一方、安価な低周波振動子を用いて同金型にて高流動促進機能を確認したが難しいことが判明した。

【2-2】ヒート&クール法

鋼材及びアルミ金属材料を用いヒート&クールスパイラル金型の設計製作を行い成功した。これを用いてヒート&クール設定可能な成形機で、一定量の樹脂を射出した場合の高流動機能の有無を確認した。

その結果、鋼材金型・アルミ金型ともヒート&クールを適用することにより流動長延長効果を確認できた。

【2-3】併用相乗効果検討

超音波振動子は試験研究中、金属破壊にて破損したため、量産射出成形金型装置としては適用困難であることが判明した。よって併用相乗効果検討は中止とした。

【2-4】量産実験

単独では、中止とした。

【3】新技術C. 大型アルミ金型の量産型適用

【3-1】アルミ材全般検討

(1) アルミ材料についての見解

アルミ材料には大きく分けて5000系（通常アルミ）と7000系（ジュラルミン）の2種類がある。金型材料としてみた場合、それぞれの特徴は次のとおりである。①5000系（通常アルミ）:A5052P・A5083Pなど。強度はS45Cの1/2、表面硬度は小さく傷つきやすい。しかしながら、溶接が可能である。②7000系（ジュラルミン系）:強度は鋼材（S50C）並みの強度であるが、溶接が出来ない。以上の2系統の特徴を把握した上で金型への登用検討を行う。現在検討予定の項目は、メッキを用いての表面処理である。A7075P、A5083Pを用いての金型適用を検討した（図3-1）。

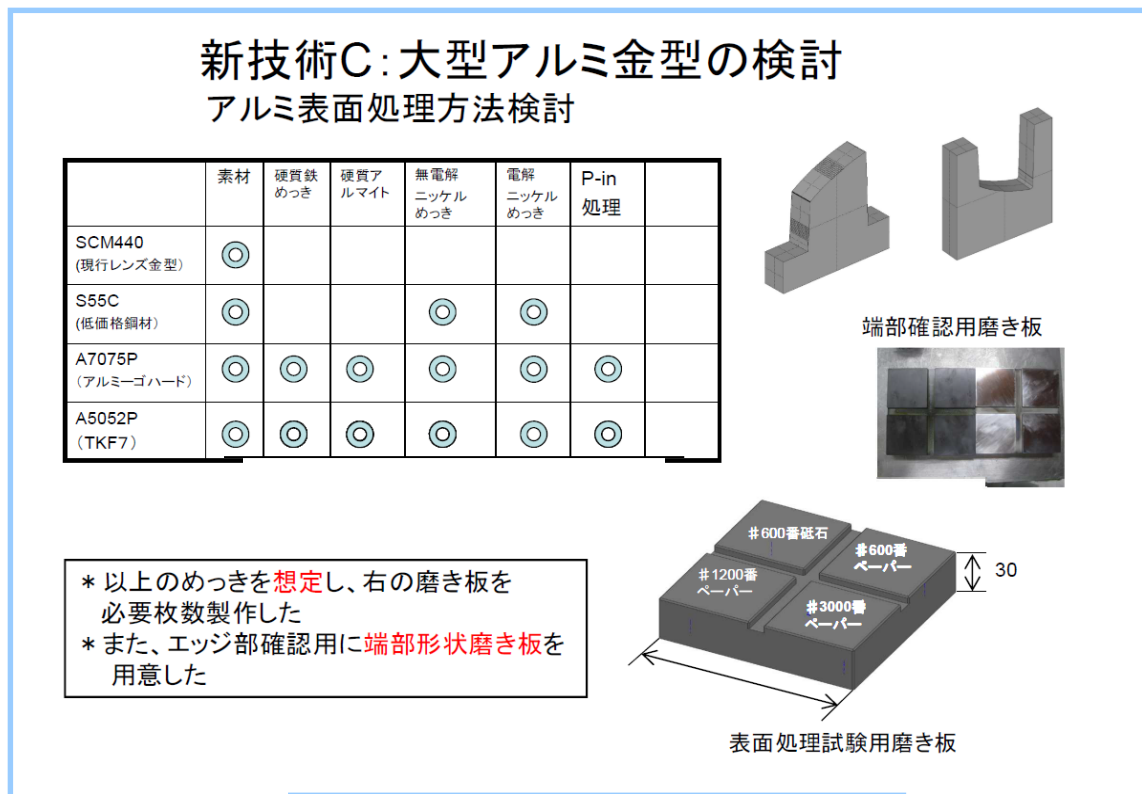


図3-1 アルミ表面処理

(2) メッキ処理調査及びメッキテスト

に実施事項を示す。

【3-2】アルミ鏡面製作方法検討

アルミ材に対してめっきテストを行なった結果、アルミベース自体に鏡面を与える必要性を見出した。各種アルミ鏡面製作方法検討を検討した。

検討したアルミ鏡面研磨法：化学研磨法、複合化学研磨法、フライス研磨方法プラスト研磨法（3方法）、手研磨法（2方法）以上の方法を検討した結果、表面粗さ $Ra0.02\mu$ を得る方法を見出した。同方法はA5052Pにて確立した（図3-2）。

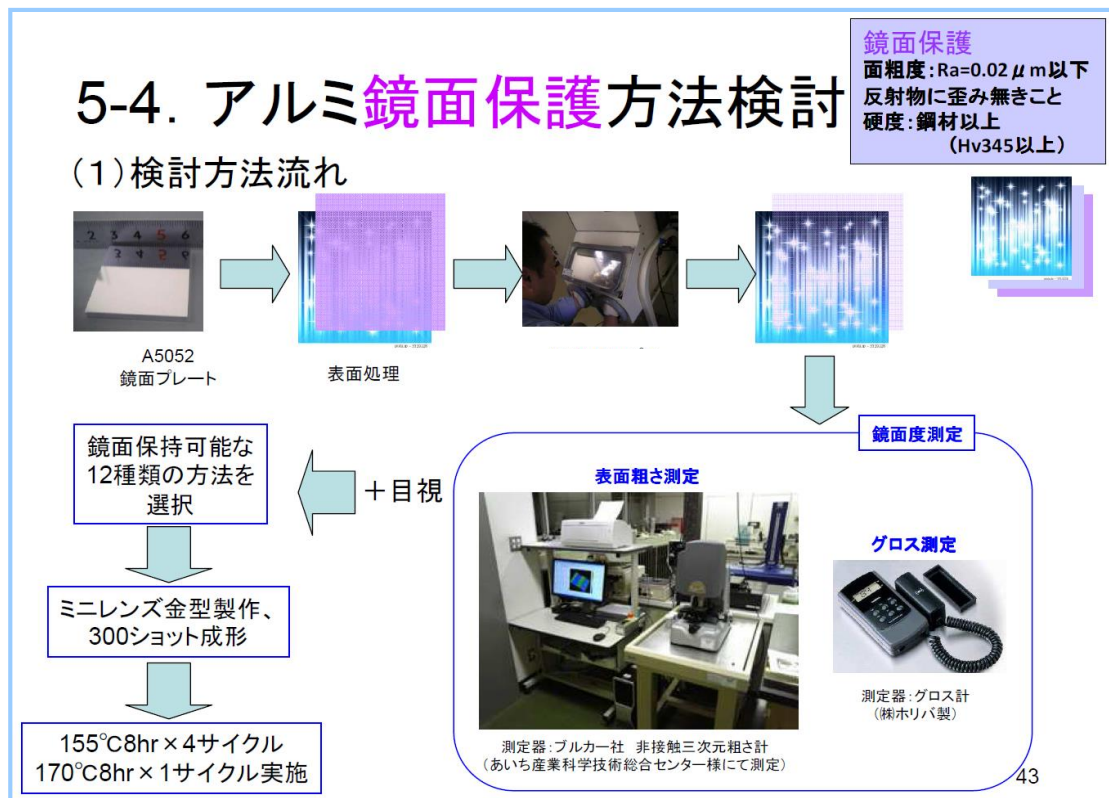
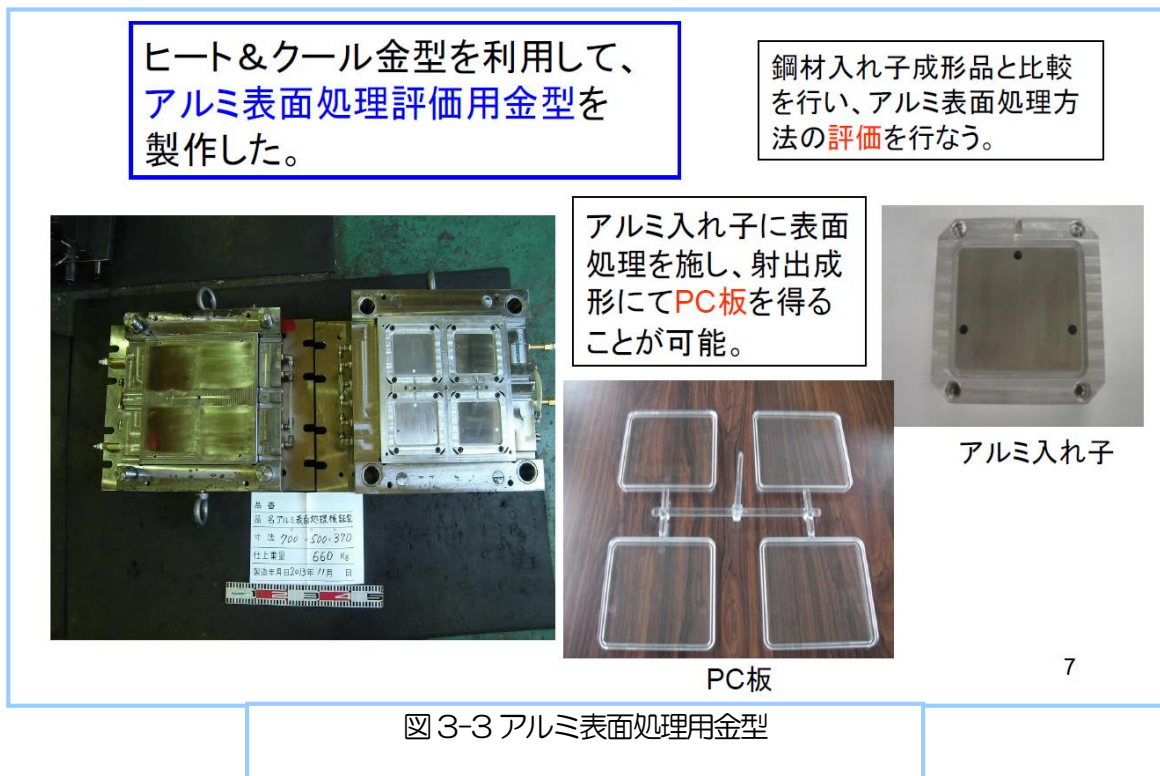


図3-2 アルミ鏡面保護検討

【3-3】アルミ表面コート方法検討

得られたアルミ鏡面を、金型として使用するために図 3-2 に様な手順を踏んだ。アルミ鏡面金型に適する表面処理を振り分けるに当って次のように検討を進めた。なお、鏡面の定義は「Ra=0.02 μ 以下」である。Ra は面疎度の単位であるが①A5052 にて鏡面プレートを作る②上記鏡面アルミプレートに対して表面処理を施す。③この表面処理を磨き上げる。研磨粒径・吹き付け時間・アルミ板までの距離などの検討は、平行して行なった。④非接触三次元鏡面粗さ計を用いてサンプルのRaを測定した。その結果、鏡面が得られている表面処理方法を見極めた。同時にクロス計を用いて鏡面度を測定した。その結果、アルミ (A5052) 鏡面保持が可能と推測される 12 種類を選択した。⑥表面硬度はプリハードン鋼 (ヘッドランプレンズ金型用材料鋼材の硬さ) と同等以上の硬度を有する表面処理であることを確認した。すなわちビッカース HV345 以上である。⑤この表面処理方法を用いて図 3-3 の入れ子に 12 種類のミニレンズを製作し、300 ショットの成形を行なった。その後金型の耐久性を確認するため、155°C8hr×4 サイクル、170°C8hr×1 サイクルの加熱を行い、アルミ表面処理上のクラックなどを調査した。その結果、アルミ鏡面保護に適した表面コート方法を確立した。(面疎度 Ra=0.02 以下、HV345 以上)



【4】 実用化確認試験

【4-1】 スタート時からの流れ

高流動機能金型を得るために、フローチャートをベースに開発を行ってきた。2年目までの成果結果をまとめると次の表のようになる。すなわち消去法ではあるが新技術Bの部分より、アルミによる「ヒート&ヒート金型を製作し、研究期間内に目的の「高流動機能金型」を得ることを主眼とした。この高流動機能金型に至るまでの経過を次に示す。

【4-2】 ヒート&ヒート金型に至るまでの検討

(1) 新技術B ヒート&クールでのアルミスパイラル金型挙動

新技術Bのヒート&クールでは、鋼材とアルミの2種で全く同形状の入れ子を製作、温度上昇・サイクルを比較した。温度上昇を電気カートリッジヒーターで、冷却を水冷で行なう構造である。鋼材を用いたスパイラル入れ子の温度上昇は、冷媒を一定量で流しておいて、電気カートリッジヒーターON・OFFを行なうことで実行できた。ところが同条件でアルミ入れ子を試験した際には、アルミ自体の放熱能力が大きすぎ、所定のカートリッジヒーターでは成形温度まで上昇させることは出来なかった。そこで、返媒バルブ（冷却水の戻りの流量）開度を1/4で再試験した結果、鋼材型と同レベルの温度上昇を得ることが出来た。検討の結果、鋼材との比較では高温時金型温度180℃で流動長の伸びは鋼材より少なかったが、成形サイクルは鋼材の半分以下の温度であった。一般的にヒート&クールでは、温度上昇・金型冷却に時間が掛かるだけでなく金型も特殊になりその分成形品単価に跳ね返ってくるという弱点がある。そこで、アルミの大きな放熱能力を利用し、表面硬度の高いアルミ金型を製作、一定温度にて成形することにより、高流動機能金型が成り立つか、確認を行なうこととした。

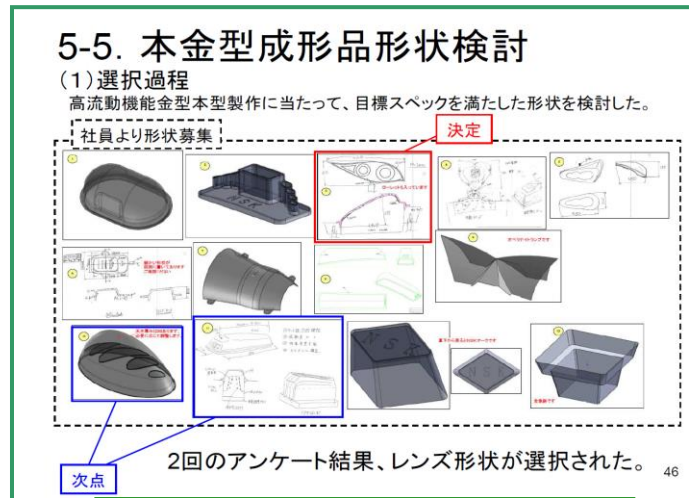
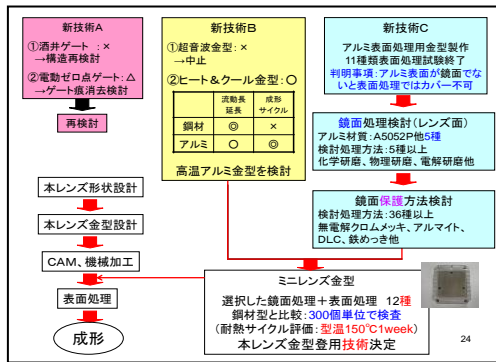
(2) 流動解析による推定

「自動車ヘッドランプ等大型薄肉プラスチック成形品製造を可能とする射出成形技術の開発」を提案するきっかけとなった、成形品名Xの流動解析を行ない、これを確認した。

【4-3】設計・製作

(1) 本レンズ金型の形状検討

本研究の目標成形品形状を決めるに当たって、全社にてアンケートを行なった。その結果図4-1に示すレンズ形状をデザインすることに決定した(赤枠で囲んだもの)。次点は青枠で囲んだ形状である。結果的に、自動車ヘッドランプレンズのデザインを利用し、金型検討装置にて曲面・肉厚・投影面積を整え、成形品をモデリングした。抜き勾配は15度程度とし、離型に問題の発生しないよう配慮した。本物のヘッドランプレンズをイメージできるように、サイド部分には全面ローレットを施し、且つ、10mmのフランジを全周に配置した。そのデザイン画を図4-2に示す。



5-5. 本金型成形品形状検討

(1) 選択過程

高流動機能金型本型製作に当たって、目標スペックを満たした形状を検討した。

社員より形状募集

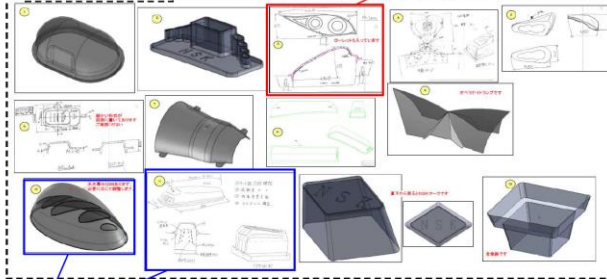


図4-1 本レンズ選択過程アイデア

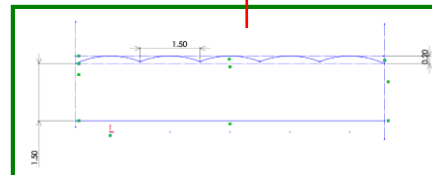
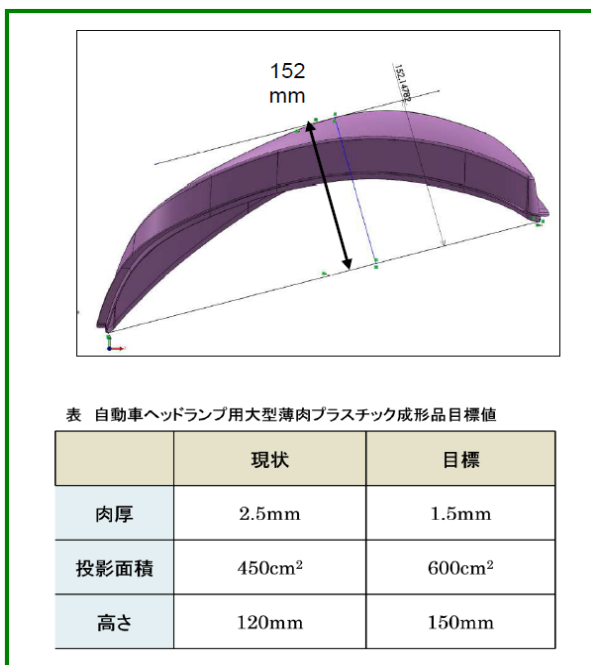
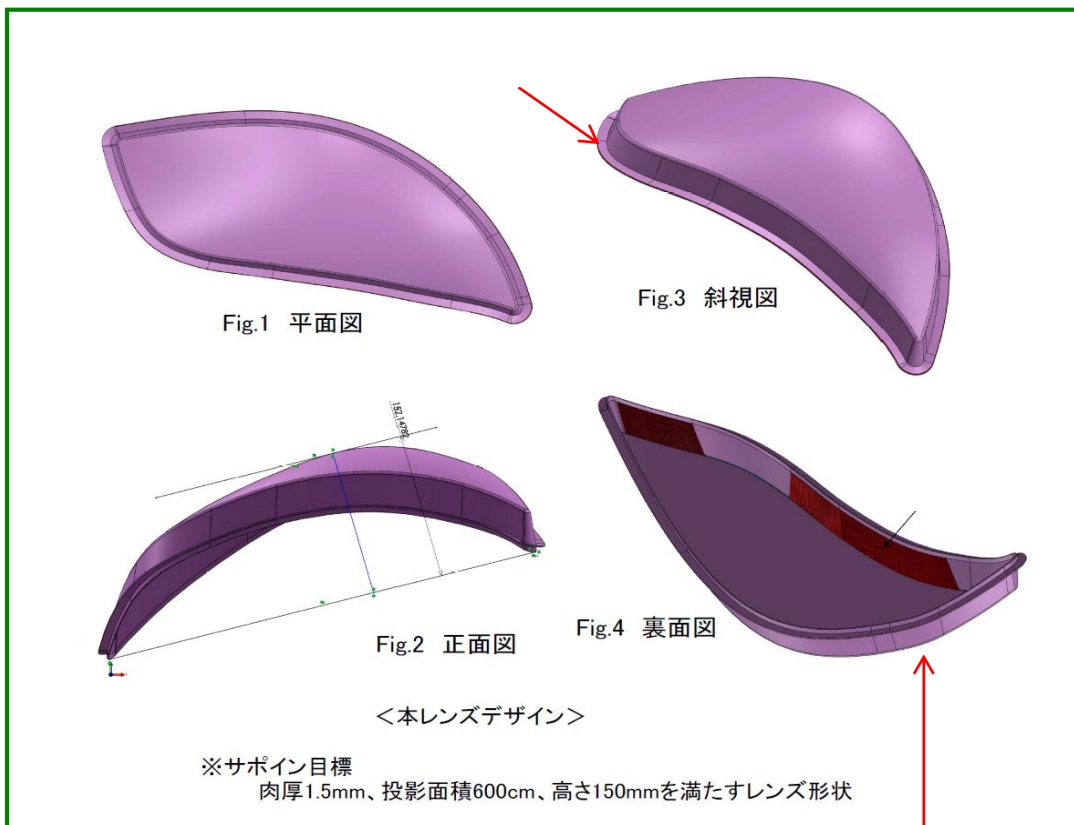


図4-2 本レンズ
デザイン形状

金型設計前に、デザインした本レンズ金型で流動解析を行ない、問題なくフルパックすることを確認した。次に手順を示す。

- ①鋼材金型において、樹脂から見て安定成形すると推定される条件、即ち型温90℃、樹脂温度280℃、射出圧力170MPaにて解析を行なったがフルパックしなかった。
 - ②同条件で樹脂温度を300℃に上昇させたが充填不可であった。
 - ③鋼材①条件と同様の成形条件で150℃のアルミ金型を用いて成形を行なったところフルパックした。
 - ④アルミ金型温度を10℃下げて140℃で行なったところフルパックした。
 - ⑤更に金型温度を10℃下げて130℃で解析した場合もフルパックした。
- 以上より、②の鋼材金型で充填できない成形品が充填可能であるとの結論に達した。

(2) 金型大きさ概略検討

成形品形状が決定した後上記のように金型構造を検討した。
懸念事項は次の通りである。次に各項目についての検討内容を挙げる。

①アルミベース材種類

アルミベース材として、A5083、A5052、A6061、A6063、純アルミなどを検討した。その表を示す。

	価格	ブリネル硬さ	表面処理性	溶接性	最大厚み (mm)	結論	鏡面性 (手研磨)
A1000	高い	20	○	A	?	強度が弱く金型としては不可	?
A5083	安価	70	△	A	320	化学的安定性と単価がA5052より若干厳しい	○
A5052	安価	68	○	A	320	溶接も出来、安価。バランスOK	◎
A6061	?	95	○	△	100	金型材として厚みがない	?
A6063	?	60	○	△	100	金型材として厚みがない	?
A7075	高い	150	×	×	100	高い。溶接できない。	?

表 4-1 アルミ材の選択

アルミ材については、A5083より検討を始めた。鏡面を化学的に出すのにはマグネシウム・マンガンなど不純物が少ないほうが優れている。特に化学では研磨鏡面は得られそうではあるが、液管理が難しく、工程として不安定である。複合化学研磨でも鏡面が得られたが、曲面や大きいものは加工できず・且つ・ブラックボックスであるので量産用鏡面を得るのは困難である。

一方、量産金型としては溶接性も重要である。焼入れ工程が入っているA7075やA6000系は、溶接によって硬度がなまり不均一となる。特に、A7075は熱を加えられたところのみ、A5052レベルの硬度になまるといわれている。

一方金型に必要な厚みは最低300mmである。A6000系は、鏡面を得るのに有利であり、強度

もA5000系より若干良好であるが金型として必要な厚みが取れない。

最終的にバランスの取れた「A5000系材料」が残った。この中では、A5058及びA5052の2種が入手しやすいが、手研磨により鏡面が作り出されている「A5052」がより適していると判断した。

「A5052」は、最もありふれたアルミ材であり、入手もしやすい。以上より、今回のアルミ金型材料としてA5052を登用することとした。

③金型厚み：今回使用する成形機は、昨年導入したJ社電動射出成形機：J350AD-890Hである。この射出成形機のタイバー間隔は700mmであるので、金型取り付け板寸法も含めて金型寸法はこれ以下にする必要がある。(図4-3、4)

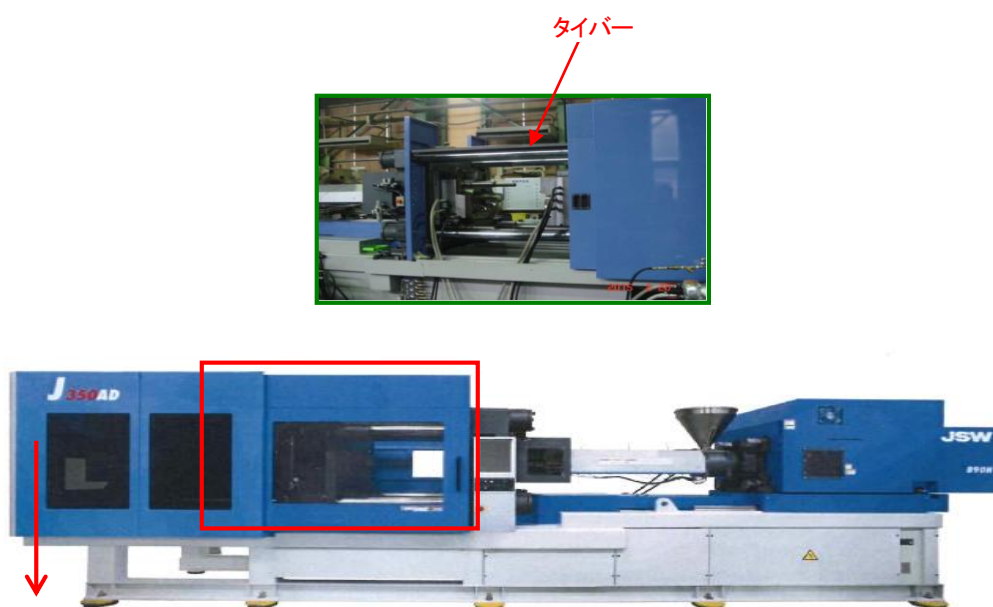


図4-3
J350AD-890H

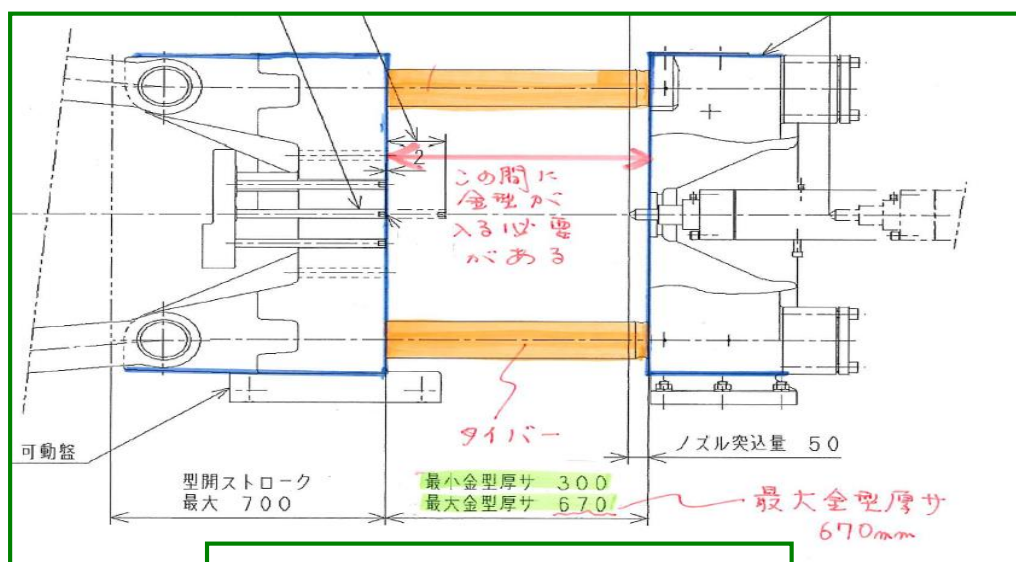


図4-4 金型搭載部側

【4-4】金型設計

(1) 応力解析

アルミ材料をキャビティに用いると想定した場合、目標とするレンズ成形品の金型を造る為に、鋼材おも型にアルミ入れ子を入れる想定で設計を行なう必要があった。この際に想定される入れ子とおも型間に発生する歪・変形について金型検討装置を用いて解析を行なった。仮定として、常温(20℃)で加工した金型において、おも型(鋼材)が130℃、アルミ製入れ子が150℃に加熱されるとする。また、成形時にかかる応力としてキャビティ面には500kgf/cm²、PL面には76kgf/cm²、の垂直応力が掛かるとする。この条件で、強度解析・熱膨張解析を行なった。その結果、同材で出来ている金型(鋼材おも型-鋼材入れ子)(アルミおも型-アルミ入れ子)では、おも型と入れ子の間に応力の発生は見られない。最大応力は取り付け板の付近に現れた。しかしながら、鋼材おも型-アルミ入れ子の場合、入れ子境界面に歪が見られた。入れ子が150℃において使用の場合に、隙間が無くなる様入れ子の寸法を確認したところ、同材料金型と同じ状況が得られた。即ち使用温度において計算を行い、入れ子の位置決め制御はノックピンなどを用いて、別途検討することとした。また同様に同条件下での変位を解析した。

その結果、最大変位は鋼材単体の場合に比較して大きくなる。しかしながら、アルミ単体金型よりは小さい。問題は入れ子部分とおも型部分の変位が一致しない点である。シム板を想定するなどの対応が必要である。

(2) 金型の加熱方法

今回の金型を設定するに当たって、加熱方法を検討した。第2年度にヒート&クールにて用いた電気加熱方法はサーモグラフィー測定の結果、平面金型であっても表面温度のばらつきが大きかった(50℃程度)。今回は一定温度を保って成形するため、温度調整が安定している高温温度調整器を用いることとした。加熱配管配置に関しては、通常のコ型設計を元に、金型設計者の経験で設計を行った。経緯は断熱板解析の後に再掲する。

*熱解析：今回の金型の特徴は、高温状態下の成形にある。作業環境・射出成形機に伝わる伝熱を減らすために、金型とアルミ入れ子のおも型と入れ子の間に断熱板を設定することを検討した。金型検討装置を用いて金型との間に必要な断熱板の厚み解析を行なった。

(3) おも型とアルミ入れ子間の断熱板

おも型が高温であるということは、量産金型としては危険であると設計時は考えた。特に今回はアルミ入れ子は150℃に設定予定であるので、作業者に近い鋼材おも型は極力低い温度で推移させる方法を検討した。この解析結果を元に断熱板厚みを想定したのであるが、断熱板のたわみ・歪などを考慮すると、極力薄いほうが有利である。よって、断熱板厚みは5mmに設定することとした。

(4) おも型と入れ子の隙間の考え方

成形熱膨張時にアルミ入れ子とおも型が若干オーバーラップするように設定を行なった。

(5) キャビティ面加工治具の検討

アルミ型キャビティ面は、3次元CADにて設計、CAMにてデータ加工を施した後、〇社にて手ミガキにて鏡面を施すこととした。この際肝要なことは、削りピッチの選択である。今回は初めての試みであるので、実物大金型サンプルを削りだし、〇社に送付、どの面が最も加工しやすいか確認いただいた。その結果、0.1mmピッチが最も適しているとの結論を得た。また、ローレット面に関しても、最適加工面の検討を行なった。

(6) ローレット部分の加工テスト

今回の成形品には全周ローレット加工を施すこととした。めっきとの兼ね合いでテスト加工を行ない、めっきを施した。

【4-5】金型トライ及び改造経過

(1) 第1回トライ

<トライ状況>

* ショートから始めて射出圧力 170MPa まで射出を行ったがフル充填せず。

* 樹脂表面にまんだら模様発生 * 成形品は取り出し時に変形が見られた。

<検討内容>：成形機上にて次の調整を行なった。

* 手動加工でゲートを広げる。 * ゲート冷却温度の条件だし

* PL プレート 0.1mm 研磨あたりを強める。

* 流動解析との相違点を確認 * スプルー径広げる。

* 金型温度変更：140℃→150℃ おも型の開きを確認。

<原因検討>

* PL があたっていない。樹脂温度が低すぎる（樹脂が回る前に固化）

* スプルーバランスが悪い。

* ゲート部分がアルミ材では持たない。

<まとめ及び考察>

・どこが決定的に原因か絞り込めないほどよくない結果である。

・金型温度 140℃～150℃NG。

・PL があたっていない。特にゲート部分。

<対策>

3名の射出成形専門家に相談した。意見を受けて短波長赤外線ヒータを用いてヒート&クールが可能か試験を行なった。

<方法>

短波長赤外線ヒータは、温度安定時間が数秒であり、金型表面のみを高温にすることが出来る。上記の短波長赤外線ヒータを借り、図のように、平板のミニレンズ金型を成形機にセットし、成形機下部に同ヒータをセットして温度上昇を確認した。その結果、金型表面は必要な温度（160℃）にはならなかった。また、下図のように成形機外で金型面に水平に近赤外線ヒータを配置し加熱昇温テストを行なった。50mmの距離まで縮めた状態で、金型鏡面部分は150℃に達した。しかしながら鏡面金型による反射光線により近赤外線ヒータ自身の熱が反射され、配線関連が危険にさらされたため試験は中止せざるを得なかった。（図4-5-1, 2）

<結論>

近赤外線ヒータを用いてヒート&クールを行ない流動長を伸ばせる可能性はあるが、ヒータ配置距離が50mmと近く、且つ、特殊形状のヒータが必要となるため本研究では適用を断念した。

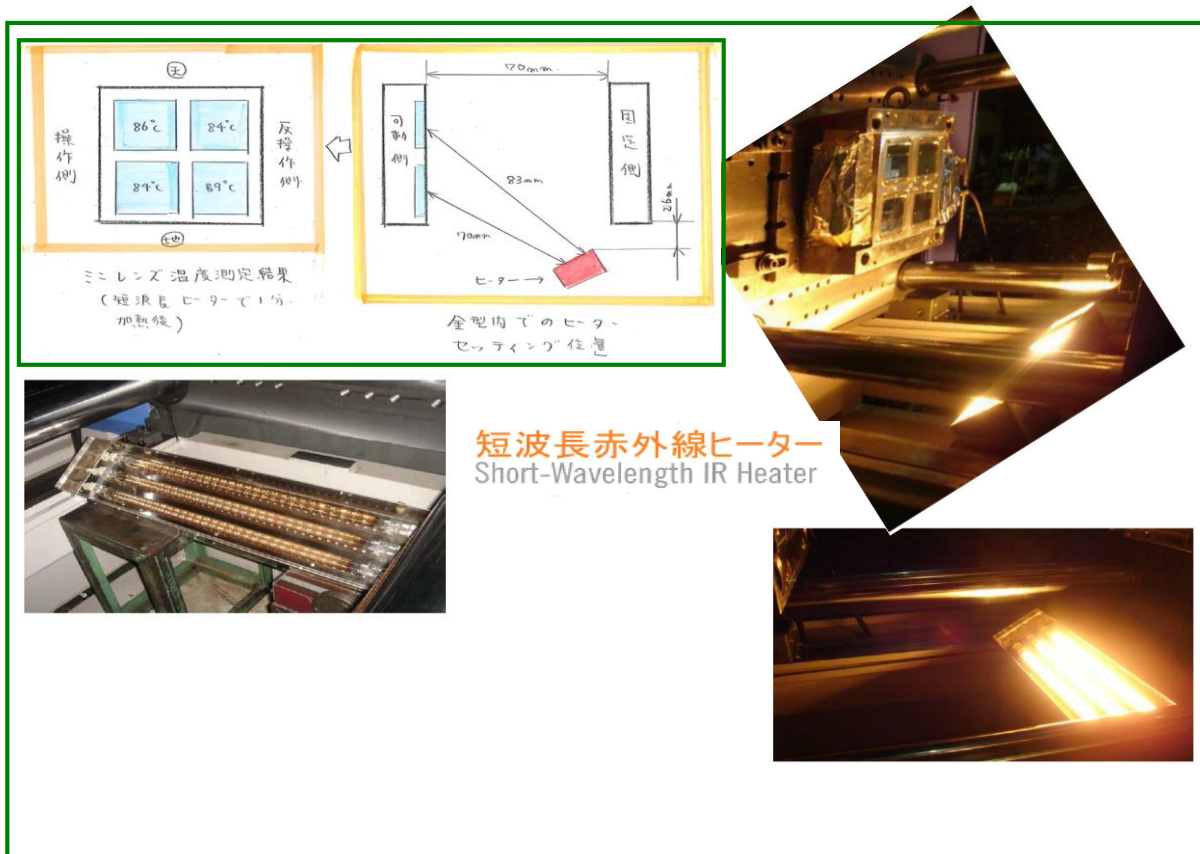


図 4-5-1 短波長加熱ヒータ



(2) 第2回トライ

前回トライを踏まえて改造した項目は以下のとおりである。

(1) ゲート付近形状

設計変更意図を次に挙げる。

①初期設計

②射出成形機ノズル先端がノズルタッチ時に干渉するため、ロケートリングの形状変更を行なった。初期は切り描きを入れたが、最終的にはのようにスプルーブッシュの上部に空間を設けた。

③上記のアルミ入れ子を開く力を押さえ込むために、アルミ金型上に補強ブロックを配置した。また、ゲート周りの空間を極力無くすために、スプル部入れ子をソリッド化して変形を抑えた。

④ゲート部分はアルミ材では変形・樹脂もれが大きく、且つ1度目のトライで型締め時に密着していなかったため、鋼材部品を入れ込むこととした。また、入れ子が射出時に動かないようにライザーパットを入れ子底面に挿入した。最終金型形状図を次に示す。

(図 4-5-3、4)

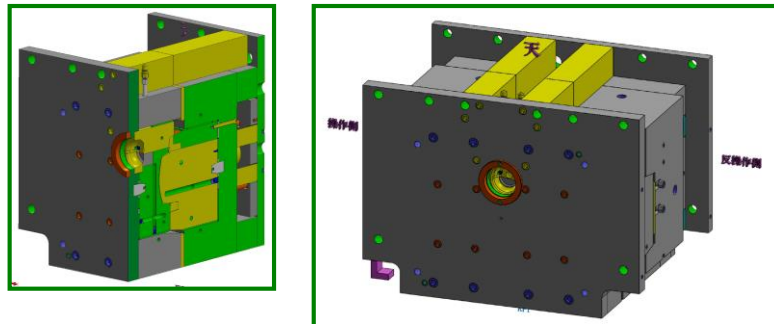


図 4-5-3 金型外観

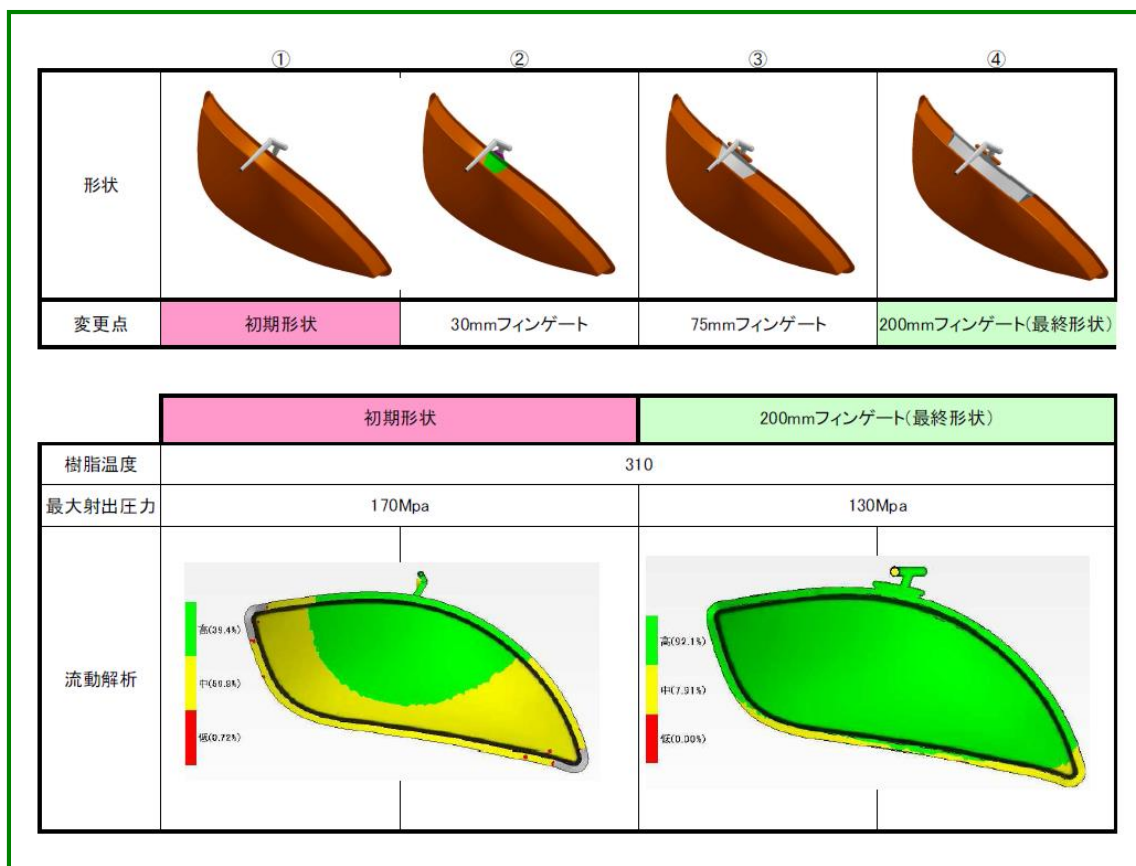


図 4-5-4 形状検討結果

(2) ゲート形状変更、湯道追加

本来アルミ金型温度は 150℃設定であったが、実際に成形を行なったところ、成形品変形が大きく金型温度を変更する必要に迫られた。金型温度を検討の結果、130℃であれば、サイクル内に確実に固化、量産金型として成り立つと判断した。これを受け、金型検討装置にてゲート大きさ・湯道設定の検討を行った。(ゲート部分キャビティに流入する部分の肉厚を除変更)

その検討項目を以下に挙げる。

<検討項目>

①ゲート形状：通常ゲート形状をフィン形状とした。

②スプルー・ランナー：入り口 4mm→出口 8mm を改め
入り口 6mm→出口 10mm に形状変更

流動解析検討は、図 4-5-5 に示す。

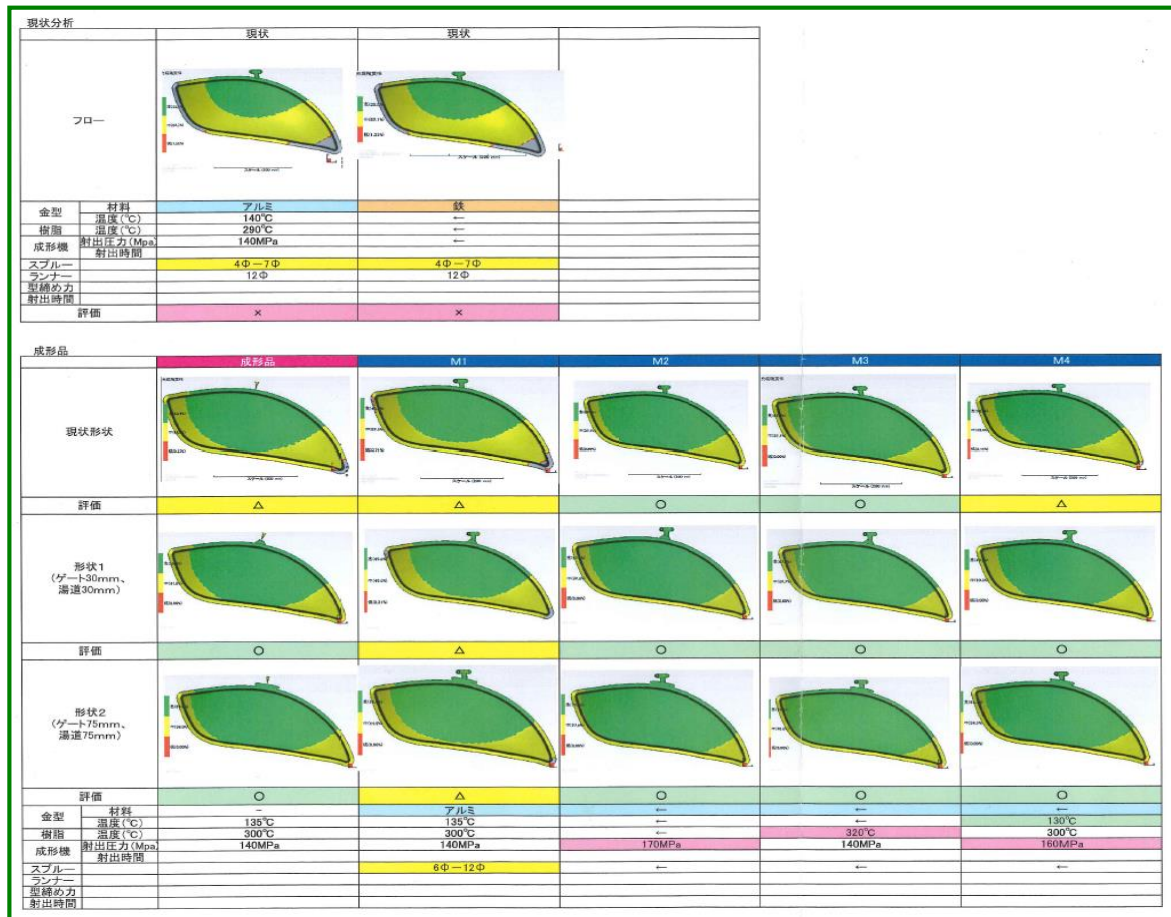


図 4-5-5 型温 130°C流動解析検討

③湯道：成形品入り口から、立て壁を厚くした。

④成形機ノズル先端径変更：4Φ→6Φ

金型検討装置及び流動解析の結果、上記のようにアルミ金型温度 130°Cにおいてもフル充填が可能な形状を設計できた。

(3) アルミ金型加工後の表面処理

今回はアルミ金型を追加したため、めっき面を削らなくてはならなくなった。その部分はアルミ表面が露出してしまっている。検討の結果、アルミ面が露出した部分を再度磨いて鏡面とし、コート剤を塗布することとした。コート剤は、自動車アルミホイールコートを検討した。以上 6 種類のアルミホイールコートを検討した結果、②愛車ごころ及び③DPRO を使用することとした。両者とも、アルミホイールコートとして市販されているものである。現時点で、成形金型面に樹脂きずなどは見られない。問題点は、アルミ鏡面加工を作り出すのに職人的手法に頼っている部分であり、完全に修復するには熟練が必要な点である。

(4) トライ結果

以上の3点を主に改造し、トライを行なった。

金型温度：130℃

射出条件：射出圧力天井値 170Ma

射出スピード 80mm～120mm、 保圧 40Mpa

樹脂温度 310℃

その結果、フルパック品は得られたが肉厚は 1.8～2mm であった。

また、成形品左上を中心としたバリが見られた。

TOに出現した、まんだら模様は、保圧をかけることにより消失した。これよりこの模様は、「ヒケ」であったと思われる。なお、外部への分析依頼により、アドバイス頂いた結果、同様のご見解であった。特に、アルミ金型の場合、放熱能力が大きいため、このような現象が見られたようである。固定側金型温度が高いため、ヒケは成形品表側に集中していた。(図4-5-6、7、8)



図 4-5-6 可動アルミ入れ子修正

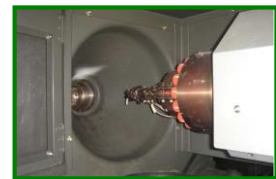
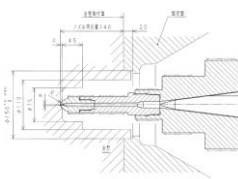


図 4-5-7 成形機ノズル



保圧なし



保圧あり

図 4-5-8 成形品

【4-5-3】第3回トライ

前回トライ結果を踏まえて、現象・考えられる原因・対策をまとめた。

(1) 問題点及び対策

①入れ子が動いている。

現象：型締め成形時に 0.1 程度動いている。

原因：金型温度変更によるおも型と入れ子の隙間の変化

対策：動きを止める(シム挿入など)

②ゲートが当たっていない

現象：ゲート部分のあたりが無い（光明丹にて確認）

原因：高さがあってない。

対策：ゲート部分は鋼材入れ子同士としたにも拘らずあたりが無い。

熱膨張係数見直し。シムを入れ子にいれる。PL プレート研磨

③成形品にバリが出ている（アルミ部分 PL がつぶれている）。

現象：成形品左上 PL にバリが発生。図 4-5-9。

原因：同位置にバリが発生し凹みになっている。アルミ入れ子の動きも関連していると考えられる。

対策:バリ切り。ゲート部入れ子金属部品底上げ



図 4-5-9 成形品バリ発生部分

④成形品肉厚が一定でない。

現象：ゲート付近が他の部分より 0.5mm 若干肉厚が大きい。

原因：入れ子が成形時に樹脂によってこじ開けられている。

対策:PL 当たり確認後に、肉厚アップを検討。

⑤樹脂がアルミ入れ子上面に流れ出す（射出量を大きくすると）

現象：射出された樹脂が、入れ子外に流れ出す。図 4-5-9

原因：アルミ PL の凹み。入れ子形状。

対策：樹脂漏れ部品形状変更。PL あわせ。



図 4-5-9 肉厚測定結果及び樹脂が流れ出す部分

⑥おも型いんろうずれ

現象：常温型開閉時に、いんろう衝突音発生。いんろう部分に傷が確認される。

原因：おも型の熱膨張による寸法変化。

対策：おも型冷却、側面いんろうプレート設置、PL プレートの再調整。

⑦アルミ入れ子油漏れ

現象：入れ子より温度調節器の循環油が漏れ発生。

原因：アルミ入れ子めくら蓋タップ部分熱膨張

対策：入れ子昇温後まし締めし、その後おも型にセットする。

⑧変位センサーの使用不可（樹脂が入るため）

原因：設定位置不適 対策：位置を変える

（2）測定事項

①表面温度測定

a.接触測定

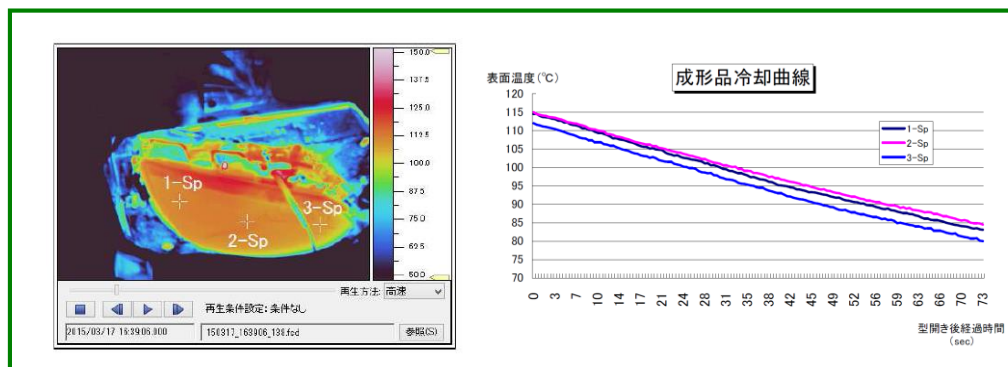
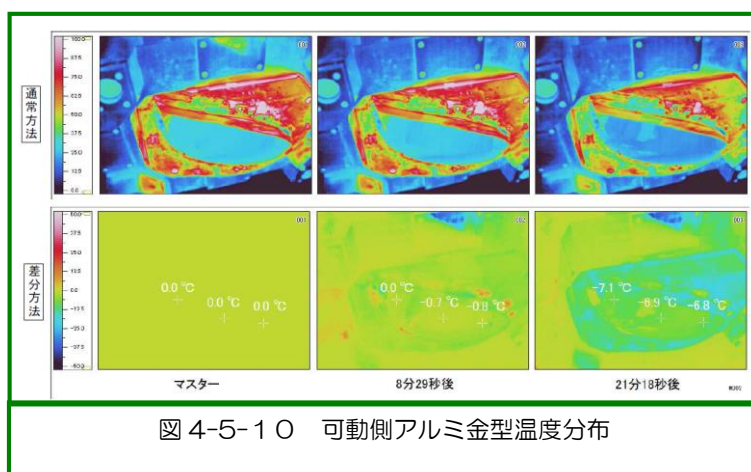
金型温度調節器の設定を 150℃とし、安定させることにより概略 130℃程度のアルミ入れ子表面を確認することが出来た。但し、キャビテイ部分は直接接触式温度計で温度を測定することが出来ないため推定である。

この際に、取付け板温度は最大で 70℃程度であり、成形機に与える悪影響は少ない。構造的には、固定側は底面が抜けているため、おも型の温度は可動側より高い。

b.サーモグラフィー

・差分測定：図 4-5-10 上部グラフは通常のサーモグラフィーである。通常方法であると、鏡面部分は赤外線を反射して正確な温度が測定できない。赤外線反射率が高い物体の温度分布確認は、差分方法で行なう必要がある。

下段は差分法で撮影したサーモグラフィーである。成形直後の金型温度変化は、温度調節器が ON の状態では、差が小さすぎてデータは得られなかった。そこで、150℃設定のマスターを基準に温度調節器を OFF にした後のアルミ金型温度変化を確認した。これよりキャビティ部分は概略均等に温度が下降していることが理解できる。（図 4-5-10、11）



成形品温度測定：次の図は成形後に成形品の温度下降状態を通常サーモグラフィーで撮影したものである。これより成形直後は 115℃、1 分足らずで 100℃以下となる。

②キャビティ隙間測定

キャビティが正確に出来ているか、成形時使用温度下(温度調節器設定 150℃)に金型を設定し、ダイスポッティングを用いて肉厚測定を行なった。

可動側金型を下側にセットし、紙粘土をアルミ入れ子上に適宜のせ、ダイスポッティングを閉じて成形条件と同様の環境下とした。10 分間放置後乾燥した紙粘土を取り出し、厚み測

定を行なった。

その結果、キャビティの隙間は図の様であり、平均 1.6mm であった。

③バリ部分隙間測定

成形品左上のバリ部分の厚み測定を行なった。バリ部分は 0.59mm (n=14) であった。突き出しブロック上など位置はまちまちであるが、この程度の隙間が発生しているということである。

(3) 修正

以上の現象及び、測定結果を踏まえて次の対策を実施した。

①計算による隙間計算とシム挿入

以上のデータを元に、熱膨張計算を行なった。その結果、アルミ金型温度を 130℃設定とした場合には、表に示す隙間の存在が推定された。

上記隙間を埋めるために、上表右端の挿入量のステンレス板を断熱板形状に切り取り断熱板とアルミ入れ子の間に挿入した。下図は、固定側アルミ入れ子にステンレスシム板を挿入した図である。断熱板と同等以上の面積が得られるようステンレス板を加工し、アルミ入れ子と断熱板の間に挿入した。

②アルミ入れ子油漏れ対策

下図のようにアルミ入れ子のみを使用温度(130℃)に温度調整し、止め栓のまし締めを行なった。結果的には第3回のトライでは油漏れは見られなかった。

③決壊部分溶接

下図のPL決壊部分をアルミでスポット溶接した。

なお、ショートではバリは切れていたため鋼材入れ子同士の間には隙間は無かった。

(4) トライ結果

以上を修理後、第3回トライを行った。

日時：平成27年1月13日

金型温度：130℃

射出条件：射出圧力天井値 170Ma 実測最大射出圧力 90MPa

射出スピード 80mm~120mm、 保圧 40Mpa

樹脂温度 330℃

その結果、肉厚は平均 1.76mm まで押さえられた。最小肉厚は 1.62mm まで押さえる事が出来た。また、最大射出圧力は 90MPa であった。

しかしながら、次の方法でアルミ入れ子の動きを確認した結果、第2回トライでの動きの 1/10 ではあるが、樹脂射出時に金型が息をしていることが判明した。

可動側金型は、型締め時・射出時とも動きは確認されなかったが、固定用金型では、第2回トライ時の 1/10 の量ではあるが、動きは確認された(5μ)

【4-5-4】第4回トライ

前回トライ結果を踏まえて、現象・考えられる原因・対策をまとめた。

(1) 問題点及び対策

①断熱板の圧縮歪試験

アルミ入れ子とおも型の間には断熱板として5mmのエポキシガラス板を用いている。今回ステンレスシムを入れたにも拘らず、射出の瞬間に固定側アルミ入れ子が息をしていることが判明したため、エポキシガラス用断熱板の圧縮強度を測定することとした。

②おも型の冷却加工

①の結果如何によっては、エポキシガラス断熱板をステンレス板に変えざるを得ない状況も考えられるため、おも型に冷却回路を設けることとした。冷却水は、ゲート部分冷却部分も通過する。

③おも型とアルミ入れ子間隙間測定方法確立とステンレス製断熱板

おも型と、アルミ入れ子の隙間測定方法を確立した。

主に以上の改良を加え、調整を行なった。結果及び詳細を以下に記す。

・断熱板圧縮歪試験

射出成形時に断熱板が圧縮している可能性を確認した。報告概要を示す。

試験依頼機関：E社

結論としては、130℃雰囲気下にて最大荷重 350kgf が与えられた場合、エポキシガラス製断熱板は熱膨張で常温時より厚みが増している。また、常温に戻った場合に元の厚みに縮む。以上より、エポキシガラスは加熱により熱変形距離が大きいので、ステンレス製断熱板を製作し、適用を試みることにした。但し、断熱板変形と金型が息をしている関連は、側面部分の確認が必要であるので、一概にエポキシガラス製断熱板が原因と決めることは出来ない。(図 4-5-12、13 断熱板圧縮試験条件)

1. 件名

・エポキシ断熱板圧縮試験

2. 目的・概要

・樹脂の変形量を確認をする

3. 試料情報

エポキシ板

・40×40×5

4. 試験期間・環境

調査実期間 : 2015年1月15日

室温 : 23℃

5. 使用設備・装置

試験機 : 島津製作所製

オートグラフ AG-X (100kN)

6. 試験方法・条件

6-1. 試験方法

圧縮専用治具を用いて試験を行う

試験前にサンプルの5ヶ所の厚みを測定

試験終了直後サンプルの5ヶ所の厚みを測定

試験終了後サンプルが常温に戻ったときの5ヶ所の厚みを測定した

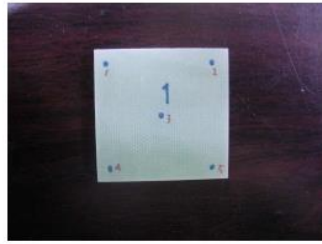
6-2. 試験条件

圧縮速度 : 1mm/min

試験温度 : 130℃ (130℃に達し、5分の温度安定を確認し試験を行った)

ロードセル : 100kN

試験風景



計 3枚



試験風景 全体



試験風景 拡大

治具に熱電対を貼り付け、130℃の温度を確認した

図 4-5-12 断熱板圧縮試験条件

・おも型とアルミ入れ子間隙測定方法確立とステンレス製断熱板

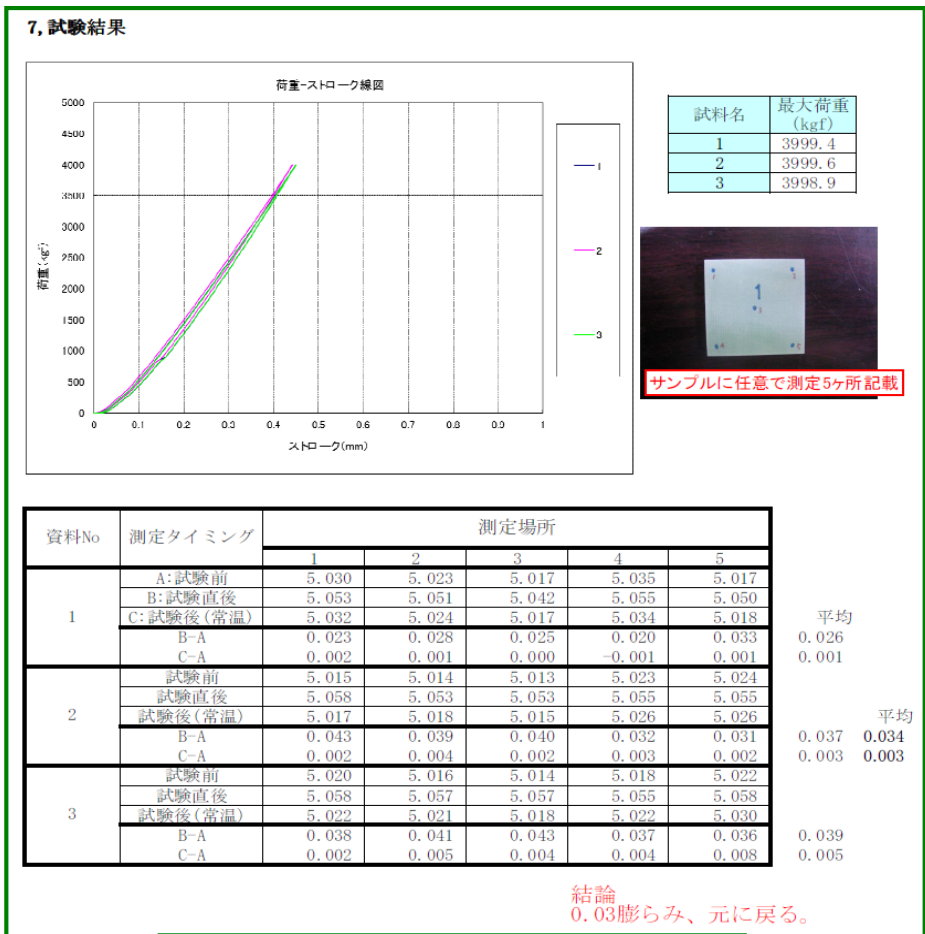


図 4-5-13 断熱板試験結果

図 4-5-14 のように、断熱板とステンレス板に切りかきを作り、5mm のステンレス測定具を製作し、これに 0.1mm のシム板を重ね合わせることによって隙間を測定した。即ち隙間に測定具が入れば○、入らなければ×とした。



図 4-5-14 隙間測定

これをおも型に冷却を入れた状態でガラスエポキシ板・ステンレス板をそれぞれ断熱板として使用した場合に測定を行なった。その結果を記す。ステンレス板は同じものを使用した。また、おも型温度は冷却温度を調整し、ほぼ同等とした。

結論は、ステンレス板に変更した場合に隙間が狭くなるとは限らない結果が得られた。断熱板はガラスエポキシ板に戻して最終トライに臨んだ。

金型温度：130℃

射出条件：射出圧力天井値 170Ma 実測最大射出圧力 90MPa

射出スピード 80mm～120mm、 保圧 40Mpa 樹脂温度：315℃

その結果、1.6～1.8mm の肉厚成形品が得られた

第3章 最終総括

3年間の研究開発の結果、フローチャートに従って高流動機能金型に必要な技術を確認し、絞りこんでいくことが出来た。

効果の確認はこの検討項目より選択した手法を用い、金型を製作、成形を量産用ポリカーボネート樹脂を適用して実施した。肉厚は目標値を達成しなかったが、これ以外の高さ、投影面積に関しては、当初の目標を満足させることが出来た。次に、目標値及び現状到達した内容に関して列挙する。

<到達点>

- ①肉厚 現状 2.5mm →目標 1.5mm→到達点 1.7mm △
- ②投影面積 現状 450cm²→目標 600cm²→到達点 600cm² ○
- ③高さ 現状 120mm →目標 150mm→到達点 150mm ○

<効果>

- ①成形樹脂温度 現状 330℃→310℃（ガスやけ・樹脂熱分解削減）
- ②表面硬度 HV350 →HV700
- ③金型防錆 必要 →不要
- ④本体価格 16%コストダウン（試算）
- ⑤鏡面処理 30%コストダウン（磨き+表面コート：研究実績）



研究金型で成形した
ポリカーボネート製
自動車ヘッドランプレンズ

しかしながら現在、金型が不安定であり、1万個量産までたどり着けなかった。金型構造検討の項目比重を大きくするべきであったと反省している。金型メンテナンスを続けて行ない、安定させてから量産確認を行いたいと考えている。

ゼロ点ゲートに関して構造解析をも再度行ないポイントを絞り込み構想設計から再チャレンジできればと考えている。

3年間の歩みの中で実用化につながる最も大きな成果としては、鋼材レベルの鏡面を持つアルミ金型表面処理を開発できたところである。あらゆる表面処理を検討してきたので、この部分は自信を持って意見を述べる事が出来る。今後は設計変更に確実に対応できる方法を検討していき、量産用ヘッドランプレンズをアルミ材で製作できる確かな技術に仕上げて行きたいと考えている。

最後にご指導いただいた、岐阜大学山縣先生、新川先生、アドバイザーの皆様には深くお礼申し上げます。