

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「高精度金型製造技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人岐阜県産業経済振興センター

目 次

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	5
1-3 成果概要	8
1-4 当該研究開発の連絡窓口	8
第2章 高精度微細成形金型技術の開発	9
第3章 ハイサイクル成形金型技術の開発	15
第4章 全体総括	28

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

本研究開発の目的は、プラスチック成形金型に対して、川下である自動車部品製造者等から複雑形状への対応やコスト低減のために求められている「仕上げ加工の削減」「金型の長寿命化」「ハイサイクル化」の課題に対応するために、①金型の精度向上（高精度・微細成形金型技術）及び②成形プロセスの短縮（ハイサイクル成形金型技術）方法の確立を目指した。

高精度・微細成形金型技術に係る課題と目標

実際のプラスチック成形金型は 100 点以上の部品で構成されており、成形に際して分割ラインの段差が 0.02mm を越えるとバリ等の不良が生じるとともに、部品組み合わせ後に精度確保のためサンダー等での補正を行うと部品交換による修繕が行えないという課題が生じている。

その解決のために個々の金型部品段階での精度を高めることで、金型の組み合わせ後の補正を不要とするとともに、修理の際にも一部部品の交換で当初の製品精度を確保できるようにすることが必要であり、金型加工作業の精度向上だけでなく、金型材料そのものの「直角度」「平面度」の向上を目標としその目標値を次のとおりとした。

区分	現状	目標値
直角度	100 mmで 3/100	100 mmで 5/1000 以下
分割ライン段差	0.02 mm	0.01 mm以下
金型調整	10 万ショットで 1 回補正	60 万ショットで金型調整なし

ハイサイクル成形金型技術に係る課題と目標

川下の自動車部品製造業者等から「複雑形状や樹脂材料の高度化」への対応を図ることと同時にハイサイクル化への製品金型における対応が求められている。

そのために、「金型内の脱気」「金型の温度調整」「成形サイクルの時間短縮」の研究を行い、同研究成果に基づく高精度の金型を開発することを目標とし、その目標値を次のとおりとした。

区分	目標値
金型内の空気圧力	脱気構造を用いることで、95%削減
金型温度変化 昇温（120℃→240℃）工程 冷却（240℃→120℃）工程	20 秒以内 20 秒以内
成形サイクル	現行 120 秒程度を 60 秒に半減

高精度・微細成形金型技術に係る研究開発の実施結果

高精度・微細成形金型技術に係る研究開発の実施結果を以下に示す。

区分	目標値	実施結果
直角度	100 mmで 5/1000 以下	100 mmで 5/1000 以下達成
分割ライン段差	0.01 mm以下	0.01 mm以下達成
金型調整	60 万ショットで金型調整なし	1 万ショットで金型変化なし

金型部品を高精度に製作するために必要な金型材料の直角度に関して、後述の第 2 章で紹介する金型治具を開発した。治具の大きさにて対応できる金型材料に制約はあるものの口 100（立方体）まで高直角度に加工出来ることを確認できた。

続けて高直角に加工された金型材料だけを用いて試作開発型を製作し、射出成形テストを行い、射出成形加工では製品を取り出すために必ず発生する分割ラインの段差（※ 1）を計測し金型の精度を評価した。金型部品を製作後、摺り合せや勘合調整を行う一般的な金型製造法では、0.02 以上の分割ライン段差が生じるが、本研究の一環で高直角な材料のみを用いて製作した試作開発型では 0.01mm未満が達成できた。

※ 1. 最低 2 部品で構成される金型にて、その部品が組合った状態で生じるズレが原因で成形品表面に発生する線及び段差のこと。PL 段差（パーティングラインだんさ）とも呼ばれる。

金型摩耗及び破損の原因の一つとして、金型の精度の悪さが原因として考えられている。射出成形金型は何万回も開閉を繰り返しながら使用されるが、金型の勘合精度が悪いと開閉の度に弾性限界内で変形または摩耗を起し、金型かじりや破損の原因となっている。当初、本研究では高精度な金型を製作し耐久度がどのくらい向上するのかを実証する予定であり、その目標値として 60 万ショット（60 万回開閉）で金型の再調整が必要ないことを確認する予定であった。60 万ショットとした理由は、おおよそ 60 万ショット程度で破損まで至らないものの金型に何らかの不具合を生じ再調整することが多かったからである。実際に研究を進め試作開発型が完成した段階では残された時間が 18 ヶ月程度あり、一ヶ月で 1 万ショットの成形を行っても、18 万ショットにしか到達せず、限られた期間で評価を行わなければならない中で、見通しの悪い目標値を設定してしまったと反省している。現実的な評価として、1 万ショットの成形を行い、金型の破損状況を確認する方法に切り替えた。1 万ショットの成形時では金型に全く摩耗、破損の痕がない

ことが確認でき、金型の高寿命化が期待できる結果となった。

ハイサイクル成形金型技術に係る研究開発の実施結果

ハイサイクル成形金型技術に係る研究開発の実施結果を以下に示す。

区分	目標値	実施結果
金型内の空気圧力	脱気構造を用いることで、95%削減	脱気量は計測できず、ガスによる腐食は軽減した
金型温度変化 昇温工程 120℃→240℃	20秒以内	20秒以内達成
冷却工程 240℃→120℃	20秒以内	20秒以内達成
成形サイクル	現行120秒程度を60秒に半減	200秒程度を115秒に低減

成形サイクルのハイサイクル化を考えると、以下の点を検討する必要がある。

- ・ 金型の精度
- ・ 金型への樹脂充填速度（充填プロセス）
- ・ 金型の温度コントロール（固化プロセス）

<金型の精度>

ハイサイクルで成形するため高速に金型を開閉した場合、金型の精度が悪いと金型勘合時に大きな力が発生し金型を破損させる。破損させないためには、金型の構造をシンプルにするか金型自体を高精度で製作する方法しかない。樹脂成形品は複雑形状を求められることが多くシンプルな金型構造だけでは対応することが困難であるため、本研究開発では実際に自動車に使用されているドアノブの部品の形状を採用し、試作開発型を製作した。

試作開発型を高精度で製作する方案は、高精度・微細成形金型技術に係る研究開発にて探求した。

<金型への樹脂充填速度>

金型への樹脂充填速度を上げるためには、成形機の射出圧力や型締め力の増強が考えられるが、現状、これら成形機に関係する部分は十分に対応できる状態にあり、課題となっているのは金型の製品部に残留している空気の対処方法である。樹脂が密閉された金型内に充填されるとき、残留している空気が充填される樹脂により圧縮され高温になる。これが原因で充填される樹脂を焼き焦がし、「樹脂焼け」という問題を発生させて

しまう。また充填する樹脂自体からもガスが発生し金型を腐食してしまうため、密閉された金型の製品部からどのように空気及び腐食性のガスを脱気するのかは、射出成形業界にとって大きな課題となっている。

<金型の温度コントロール>

金型内に樹脂を充填するためには、金型温度や樹脂温度を高くして流動性を高める必要がある。一方で、固化させて金型から取り出す必要があるため金型温度や樹脂温度を低くして成形したい。相反するこれら2つの関係より金型温度、樹脂温度が決定され、成形サイクルに影響している。

そもそも相反する内容を一つの金型温度、樹脂温度で行うこと自体に疑問があったため本研究では、金型の温度コントロールをして充填時は金型温度を高く、固化時には金型を低くして、成形サイクルを早くすることを試みた。

金型内の空気圧力に関しては、新提案の脱気構造を追加し、圧力の削減目標を95%とした。目標値を95%とした理由は、経験的に金型内に樹脂が95%程度充填されたあたりから樹脂焼けが発生するため、金型内の空気が金型外に95%程度排出されれば樹脂やけが発生しないと考えたからである。後述の第3章にて詳細説明を行うが、金型から飛散してしまう脱気量をうまく計測することが出来ず、目標値を確認することが出来なかった。金型からの脱気目的で追加した新提案の構造の効果としては、金型の腐食が殆んどみられないことから、一定の効果があると考えている。

金型の温度コントロールする温度領域に関しては、精密成形を可能とするため金型温度を成形機のシリンダー温度程度である300℃程度を設定した。300℃程度で金型を温度コントロールするには加熱に電熱線や誘導加熱を利用し、冷却に水を使用する方法が考えられるが、冷却水が金型を激しく腐食したり、残留した冷却水が熱で気化し高圧になり危険であるため採用せず、有機溶媒を熱媒にして金型を加熱、冷却する方法を選択した。

熱交換面積を大きくするため金型部品内に螺旋状の温調回路を埋没させ、これに300℃まで昇温した溶媒と20℃に冷却した溶媒を交互に流すことで、金型の温度コントロールを行った。結果としては金型重量80kg程度のものが目標値である20秒で120℃から240℃まで昇温、240℃から120℃までの冷却を達成できた。

一連の研究成果を用いて成形のハイサイクル化にも取り組んだ。

当初の目標値は成形サイクルを120秒から60秒へと半減であったが、実際に試作開発型を製作し量産できる品質で成形を行うと外観の問題から成形サイクルが200秒となってしまう、目標を200秒から100秒へ半減と変更しなければならなくなった。

結果としては、成形サイクル200秒から115秒と半減には至らなかった。

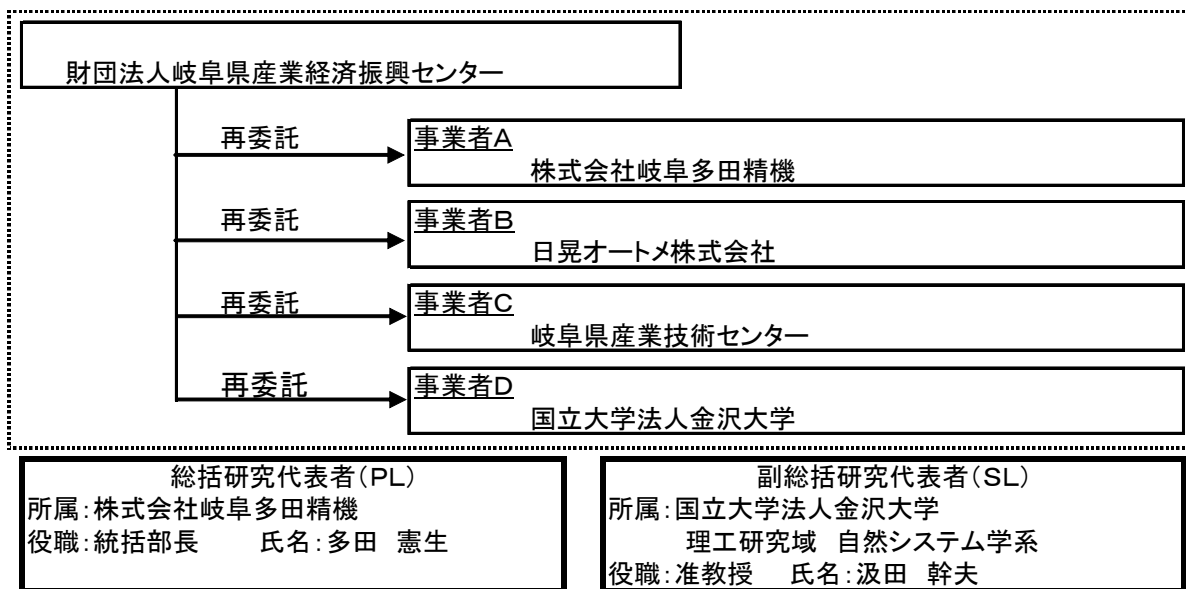
テストに使用した材料はポリマーアロイ樹脂であるPC+PBTで金型温度は100℃で行った。金型温度が100℃程度だと冷媒温度20℃との温度勾配があまりなく計画したような結果は得られなかった。

自動車部品の軽量化をするため、金属部品の樹脂化が検討されているがそのときの樹脂材料はスーパーエンブラであるPEEKで、PEEKを成形する金型温度は200℃程度と高温のため、本研究の成果を補完研究にてPEEKを成形し確認したい。

1-2 研究体制

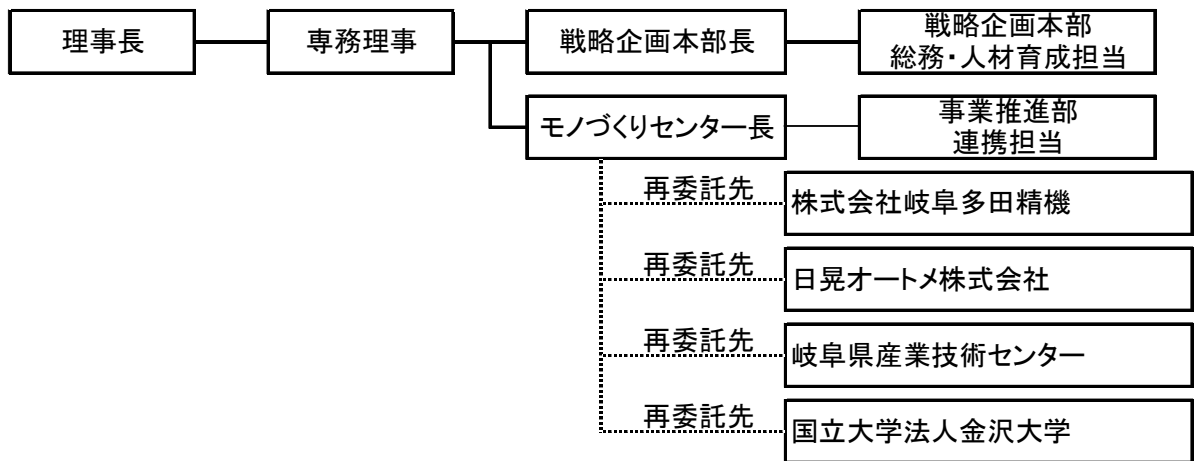
研究組織及び管理体制

(1) 研究組織 (全体)



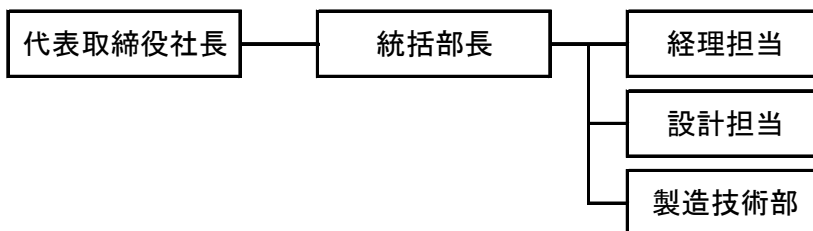
(2) 管理体制

- 1) 事業管理者 財団法人岐阜県産業経済振興センター

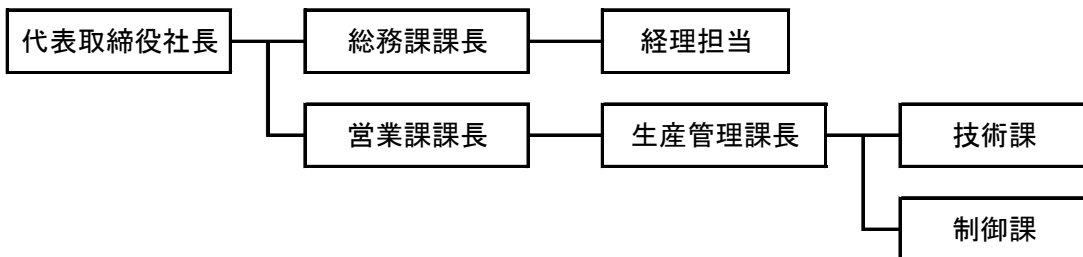


2) 再委託先

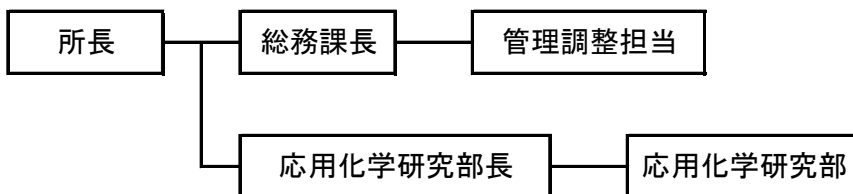
①株式会社岐阜多田精機



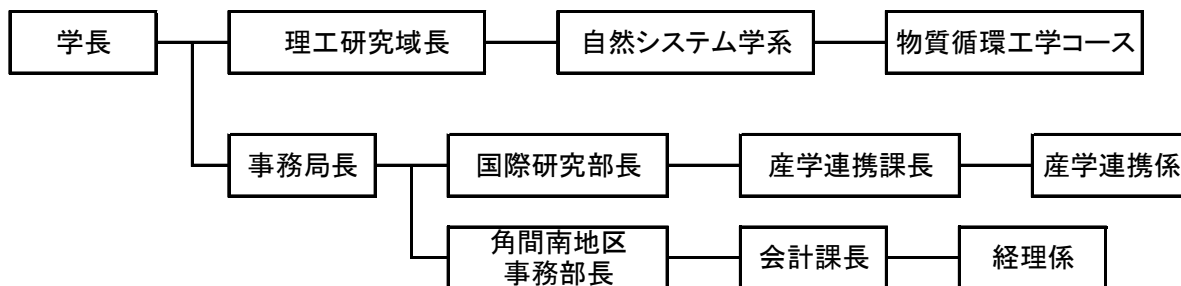
②日晃オートメ株式会社



③岐阜県産業技術センター



④国立大学法人金沢大学



(3) 研究分担

1) 事業管理者

財団法人岐阜県産業経済振興センター

氏名	所属・役職	実施内容
砂田 博	理事兼モノづくりセンター長	プロジェクトの管理運営
服部 清	事業推進部長	
繁田 栄司	事業推進部参事	
野村 貴徳	事業推進部主査	
小川 誠	事業推進部主査	

2) 再委託先

①株式会社岐阜多田精機

氏名	所属・役職	実施内容
多田 憲生	統括部長	<ul style="list-style-type: none"> ・金型治具の開発 ・金型部品の変形研究開発 ・金型構造の研究（実験用） ・金型構造の研究（試作用） ・冷却回路の研究開発 ・金型内の脱気に関する研究開発 ・金型内の調整に関する研究開発 ・成形プロセス、固化プロセスの研究開発
堀 正明	金型設計部長	
佐伯 喜代和	営業技術部グループリーダー	

②日晃オートメ株式会社

氏名	所属・役職	実施内容
浅野 孝宏	営業課課長	・金型治具の開発

③岐阜県産業技術センター

氏名	所属・役職	実施内容
原田 敏明	応用化学研究部長	・金型構造の研究（実験用）
道家 康雄	応用化学研究部専門研究員	

丹羽 厚至 長屋 喜八	応用化学研究部研究員 産業技術指導員	・成形プロセス、固化プロセスの研究開発
----------------	-----------------------	---------------------

④国立大学法人金沢大学

氏名	所属・役職	実施内容
汲田 幹夫	理工研究域 自然システム学系准教授	・金型内の調整に関する研究開発 ・成形プロセス、固化プロセスの研究開発

1-3 成果概要

研究開発の成果としては以下が挙げられる。

- ・高精度（高直角度、高平面度）の金型材料を製作できる治具の確立
(特開 2007-111781)
- ・280℃程度まで熱変形が小さい金型材料の選定及び熱処理方法の確立
- ・金型温度280℃程度でも高精度を保つ金型の製造方法の確立
- ・金型温度280℃程度で使用しても高寿命な金型の製造方法の確立
- ・金型の温度コントロールを高速で行う温調方法及び温調回路の確立
- ・金型の製品部分から脱気するための構造の確立
(特願 2009-047519)
- ・金型の温度コントロールし、成形サイクルを短縮する成形法の確立
(特願 2010-047570)

また本研究開発で未達の部分を以下に示す。

- ・金型治具と工作機械の連動による無人化
- ・本研究成果によって成形した成形品自体の機能評価
- ・熱交換性の高い熱媒の開発
- ・射出圧縮機構を用いた成形品の高精度化
- ・射出圧縮機構を用いた成形サイクルの短縮

1-4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人岐阜県産業経済振興センター事業推進部 小川 誠

所在地：岐阜県岐阜市藪田南5丁目14番53号

電話：058-277-1093 FAX：058-273-5961

第2章 高精度・微細成形金型技術の開発

実際のプラスチック成形金型は 100 点以上の部品で構成されており、成形に際して分割ラインの段差が 0.02mm を越えるとバリ等の不良が生じるとともに、部品組み合わせ後に精度確保のためサンダー等での補正を行うと部品交換による修繕が行えないという課題が生じている。

その解決のために個々の金型部品段階での精度を高めることで、金型の組み合わせ後の補正を不要とするとともに、修理の際にも一部部品の交換で当初の製品精度を確保できるようにすることが必要であり、金型加工作業の精度向上だけでなく、金型材料そのものの「直角度」「平面度」の向上を目指した。

2-1 金型治具の開発

金型材料の加工精度を保持するための装置とその加工法（特開 2007-111781）に係る手法を活用して、金型材料の直角度を保持するための治具を開発した。

2-1-1 研究内容

金型部品点数が 100 点以上ある中で、部品の累積誤差をなくすためには、金型材料の直角度を維持する必要があることから、これに係る加工治具を製作して、加工条件、治具精度を検討しながら、不具合点の改修を行った。

開発した加工治具の写真を図 2-1 に示す。

治具の基本原理は写真にある回転板 A が 120° 回転し、現状写真で加工を施している面から 90° 回転した隣の面に加工面を変更することで直角に交わる面を順次加工するというものである。

回転板の位置決め精度が高ければ、直角三面の直角度も高く加工することができるため、回転に用いたモーターはトルクよりも分解能と位置決め精度に重点を置き選定した。

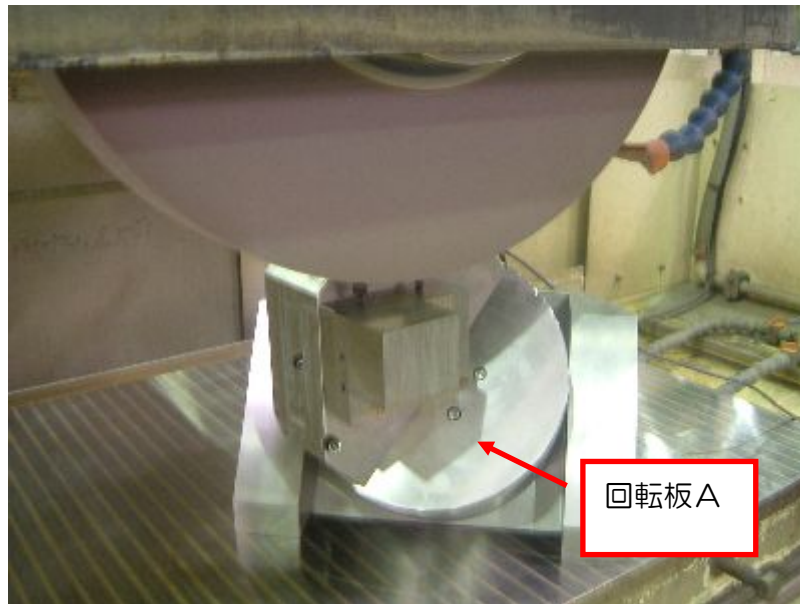


図 2-1 金型治具

2-1-2 研究成果

直交する 3 面の直角度は 3D 測定機を用いて測定し、各測定点から平面度も算出した。結果としてワークサイズが□100 のもので、2 面の直角度は 0.005/100 未満 ($89.9971^\circ \sim 90.0028^\circ$)、平面度は 0.005 未満を達成することが出来た。

現在、金型部品の直角度出すために直角バイスを用いて加工する方法では時間が掛かりすぎるため、金型部品の直角加工を行うことは困難であったが、本研究開発で検討した治具を用いれば簡便に直角三面加工を行うことが出来る。また本治具は研磨加工以外、例えば画像測定やレーザー加工などにも使用することができるため、別工法への展開も考えたい。

本研究開発では□50～□100 のサイズでテストを行ったが、基本原理どおりに機能することが確認できたので、治具のサイズを変更すれば小さなサイズから大きなサイズまで対応できると考えている。

2-2 金型構造の研究（実験用）

量産で使用できる試作型を製作する前に、温調方式、温調回路構造、脱気構造などの検討を行うため、試作型よりも小さな実験用金型を高精度で熱変形、経時変化の耐性が良い材料を用いて製作し、成形テストを行いながら、金型構造の研究開発を行った。また成形品自体の評価方法の検討も行った。

2-2-1 研究内容

製作した実験型の写真を図 2-2 に示す。

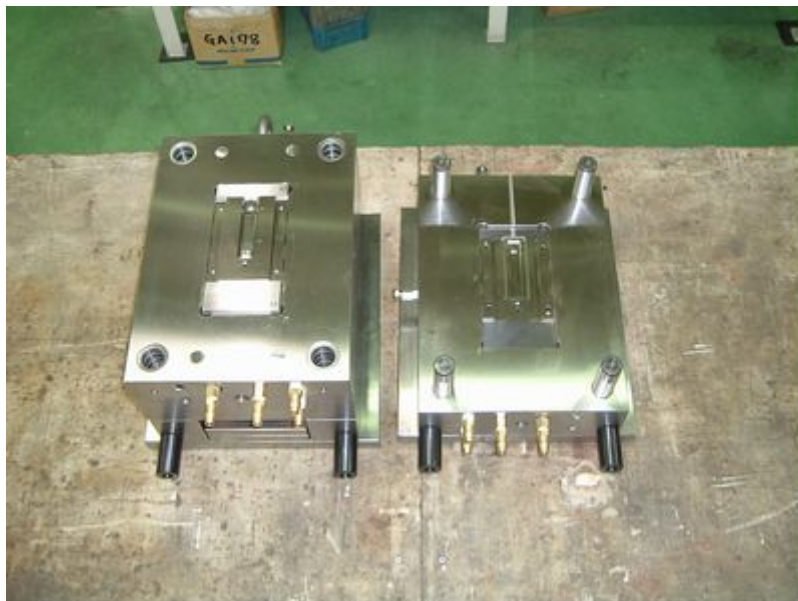


図 2-2 実験型

製品部の形状はヒケやソリ、ウェルドなど成形不具合が評価しやすい形状を選定した。この実験型にも試作型に織り込む予定と同等の構造を組み込んであり、それを使って温調回路構造、脱気構造の検討を行った。

温調回路構造の検討の一部を図 2-3、図 2-4 に示す。

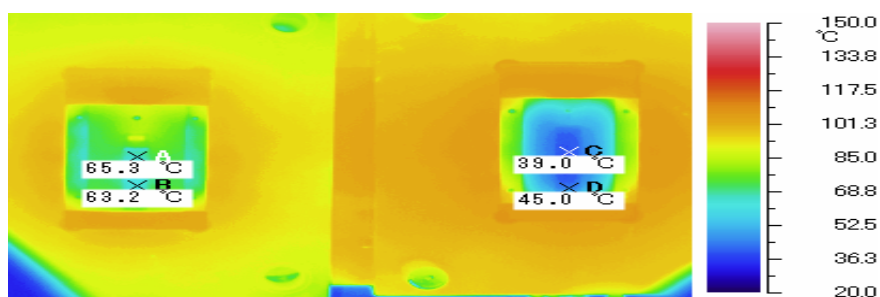


図 2-3 冷却状況の確認 (冷却 10°C水 20 秒後)

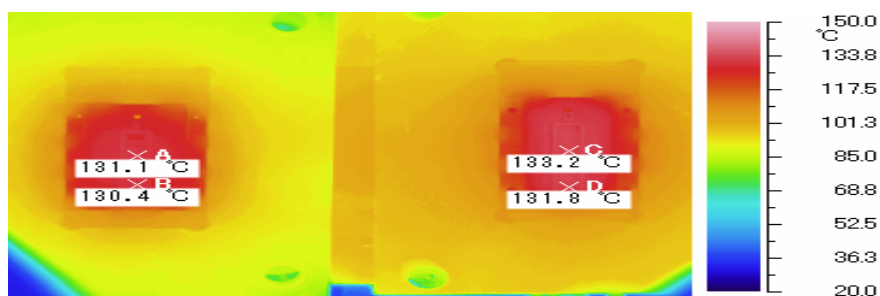


図 2-4 加熱状況の確認 (加熱 140°C水 185 秒後)

写真を見ると金型の製品部（入駒部）が均一に温調されていることが分かる、実験型では熱媒に水を使用しているため上限 140℃での試験になった。迷路状に配置した温調回路が金型の温度を均一に行えることが伺える。

このように金型温度を均熱化できる実験型で成形テストを行った。その時行った内部歪みの観測結果の一部を図 2-5、図 2-6 に示す。

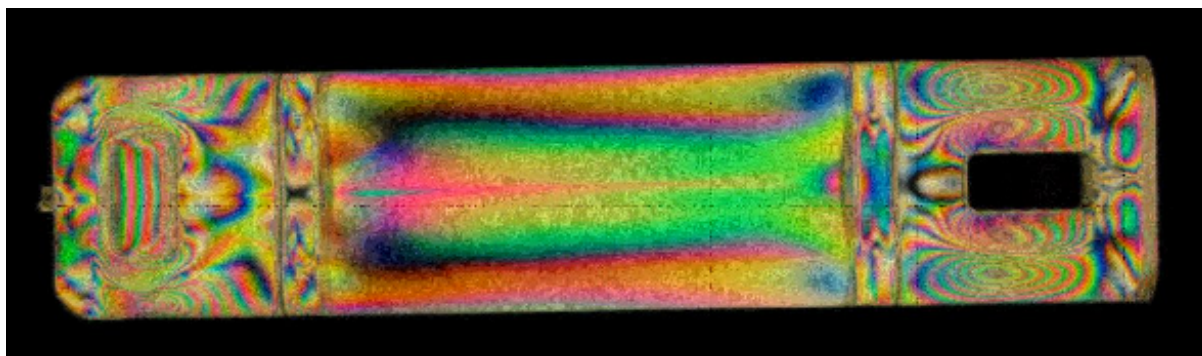


図 2-5 PS 歪み観察（ノズル 190℃、金型 30℃）

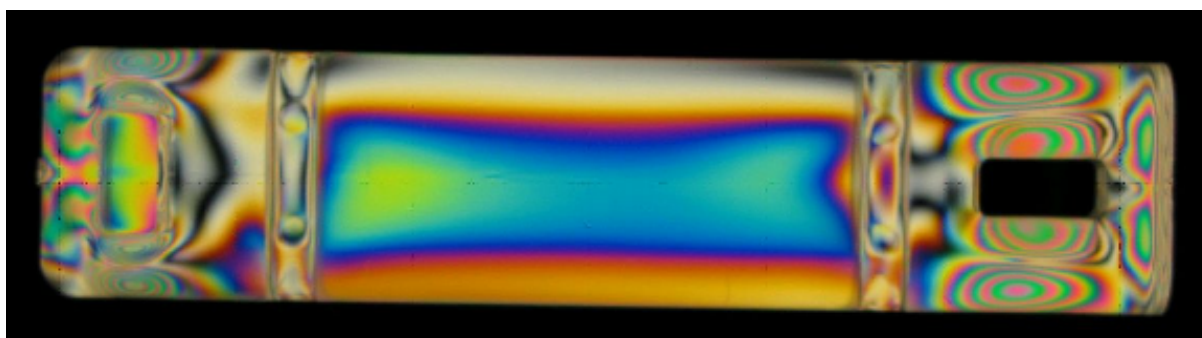


図 2-6 PS 歪み観察（ノズル 240℃、金型 70℃）

金型温度と樹脂温度が高いほど成形品内部に残留する応力歪みが少ないことが観察により確認できた。成形品の内部歪みは成形品の後変形や強度低下の原因になるため、金属部品の樹脂化を考えた場合、重要な要素となる。

2-2-2 研究成果

実験型に迷路状の温調回路、脱気構造を組み込み、加熱冷却サイクルにて成形テストを行った結果として以下のことが分かった。

- ・金型を均一に温度コントロールための本研究開発で採用する温調回路の有効性
- ・樹脂温度が高い方が成形品の内部歪みが少なくなること
- ・金型温度が高い方が成形品の内部歪みが少なくなること

また成形品の成形状態を確認する方法が確立していない現状で、歪み測定機による成形品の歪

み測定が有効であることが確認できた。

2-3 金型構造の研究（試作用）

実験用金型にて事前に研究した内容とこれまでの研究開発にて得た知見をもとに、実際に自動車部品として使用されている製品と同等の成形品が成形できる試作型を製作して、金型内の温調回路や脱気回路の効果などを研究しながら、高精度金型の実証や射出成形のハイサイクル化の研究開発を行った。

2-3-1 研究内容

これまで得られた知見の評価と本研究のメインテーマを実現する手段として、実際の製品と同等品を成形する試作型を製作した。（図 2-7）

新しく織り込んだ技術としては以下の通りである。

- ・高直角度の金型素材
- ・熱による変寸の少ない金型材料
- ・新規提案の脱気回路（簡易真空引き回路）
- ・新規提案の温調回路（高低温 2 液切り替え式温調回路）
- ・射出圧縮回路

温調回路は事前に C A E 解析を行い、金型温度が $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 程度の温度範囲にムラ無く均質になることを確認した。

上記の技術を織り込んだ試作型が製作し、成形確認のテストを行った。（図 2-8）



図 2-7 試作型

成形条件は以下の通り

- ・成形材料：PC+PBT
- ・金型温度：モールドベース（100℃）、製品部（180℃）

金型温度を 180℃と高温に設定した効果で成形品の金型への転写性が高まり、成形品の外観に光沢があることが確認できる。また 180℃という高温で金型を使用した場合、金型の熱歪みや膨張で複雑な作動を金型にさせることが出来なかったが、試作型では成形品のアンダーカット部分の処理を 2 段スライド構造で実現している。また PL 段差も殆んど見えない程度まで軽減できていることが図 2-9 の拡大写真より確認できた。



図 2-8 成形品外観（試作型）



図 2-9 成形品拡大写真

第 3 章 ハイサイクル成形用金型技術の開発

「複雑形状や樹脂材料の高度化」への対応と同時にハイサイクル化への製品金型における対応が求められている。

そのために、「金型内の脱気」「金型の温度調整」「成形サイクルの時間短縮」の研究を行い、同研究成果に基づく高精度の金型を開発することを目指した。

3-1 温調回路の研究開発

金型の温度コントロールを熱媒を用いて行う場合、熱媒の温度と熱媒と金型が熱交換できる面積が重要となる。熱媒の温度に関しては金型温調回路内で圧力変化を起こさないことが安全面から非常に重要である。本研究ではスーパーエンブラの射出成形で使用される金型温度を視野に入れているため、目的の金型温度は樹脂を成形するときの成形機のシリンダー温度を想定しており、300℃程度に昇温できる必要があった。

また人体や金型に対して有害なものでは、事業展開を考えた場合に大きな障害となるため、熱媒には暫定的にジベンジルトルエンを選択し、より熱交換性の高い溶媒を模索する計画であった。

3-1-1 研究内容

試作型に組み込んだ温調回路の概要を図 3-1 に示す。白い部分が金型表面で赤から青で表現

されている部分が温調回路となる。この迷路状に配置された温調回路に高温側 300℃、低温側 20℃の溶媒を流し込み金型の温度コントロールを行う。金型の変形を抑止するためにも金型温度の均一化が必要でCAEを用いて、温度コントロールを行った場合の熱分布を事前にシミュレーションした。(図 3-2)

溶媒温度を60℃に設定し繰り返し射出成形を行い定常状態になったときの金型温度の分布は赤62℃から青58℃の範囲に収まり、この温調回路が金型の均熱化に有効であることが確認できた。実際に試作にて温度測定を行った結果も±2℃程度の温度範囲に収まる結果となった。解析で有効性が確認できた温調回路を実際に金型部品に組み込み、加熱試験、冷却試験を行った。

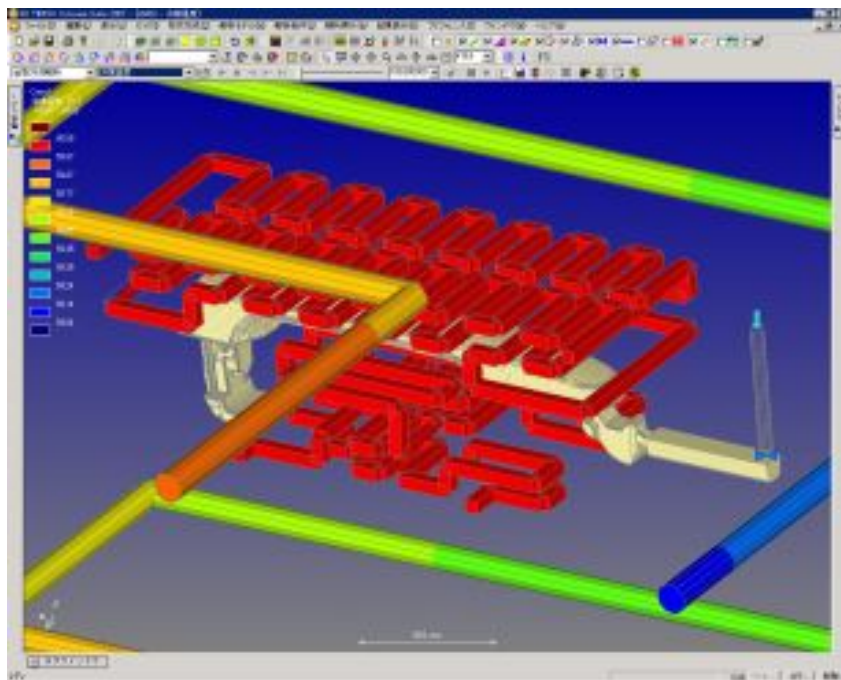


図 3-1 温調回路

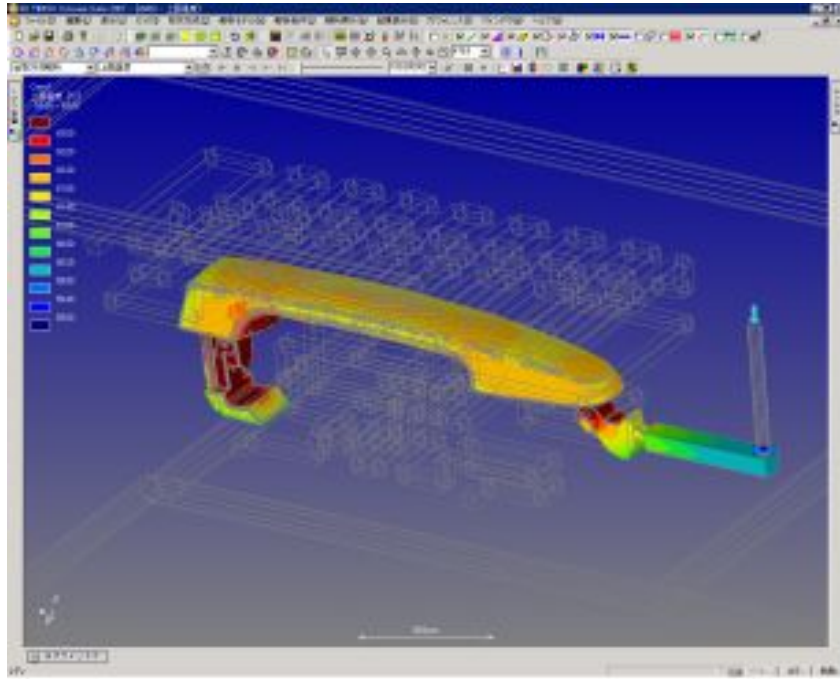


図 3-2 解析結果

3-1-2 研究成果

実際に迷路状の温調回路を配置した金型部品を製作し、加熱試験、冷却試験を行った。その結果を表 3-1、表 3-2 に示す。

加熱冷却対象にしている部品の回りの温度（ベース温度）は実際の成形に近い状態を考え 100℃に設定した。熱媒の温度は 280℃で加熱試験を行った。加熱した金属部品の大きさは 250mm×180mm×155mm、重さは 54.4kg、材質は SKD61 である。

	加熱試験①	加熱試験②	加熱試験③	加熱試験④
ベース温度	100℃	100℃	100℃	100℃
溶媒温度設定(高温)	280℃	280℃	280℃	280℃
昇温後溶媒温度	276℃	278℃	278℃	277℃
120℃→240℃	19.5 秒	18.8 秒	19.2 秒	18.8 秒

表 3-1 ベース温度 100℃での加熱試験

加熱方法は、280℃の熱媒を金型部品に流入させ温度を上昇させる、金型温度が 120℃になったタイミングで測定を開始し、240℃に上がるまでの時間を測定した。

120℃→240℃の昇温時間は平均 19.075 秒となり、目標値 20 秒はクリアすることが出来た。

冷却試験も同じ部品を使用して行った。

	冷却試験①	冷却試験②	冷却試験③	冷却試験④
ベース温度	100℃	100℃	100℃	100℃
溶媒温度設定(低温)	20℃	20℃	20℃	20℃
冷却後溶媒温度	24℃	26℃	24℃	25℃
240℃→120℃	16.6 秒	17.5 秒	16.8 秒	17.2 秒

表 3-2 ベース温度 100℃での冷却試験

冷却方法は 240℃に保った金型部品に 20℃の溶媒を流入させ金型部品表面温度が下がり始めたタイミングで測定を開始し、120℃に下がるまでの時間を測定した。

240℃→120℃の冷却時間は平均 17.075 秒となり、目標値 20 秒はクリアすることが出来た。

従来、金型の温度コントロールは、目的の温度に設定された水または油を金型内に循環させ、金型の温度を目的の温度に到達させるやり方が一般的だが、循環させる熱媒と目的の温度が同一であるため、金型温度が目的温度に到達するのに時間が掛かっていた。

本研究開発にて、金型内に金型が均熱化するような温調回路と温度センサーを設置し、積極的に温度コントロールを行うことで、金型の温度コントロールが早く行えることが確認できた。

3-2 金型内の脱気に関する研究開発

金型内への樹脂の充填速度を上昇させる手段として、金型の製品部に残存する空気の脱気させる方法の開発が求められている。本研究開発では、新しく考案した金型の製品部分から脱気するための構造（特願 2009-047519）を実際に金型に設置し研究開発を行った。

3-2-1 研究内容

脱気回路の概略図を図 3-3 に示す。

脱気溝を開閉する部分を樹脂が流入される圧力を用いて閉じ、成形品を金型から取り外す力を利用して開ける構造である。

この方法だと従来の成形品にバリが出ない程度である 0.01~0.03 しか設置できなかったガスベントのサイズを 1mm 程度にしても設置できるため金型内からの脱気に関して大きな効果が見込まれる。本研究では、この脱気機構を有する金型で射出成形を行い脱気性能を評価した。

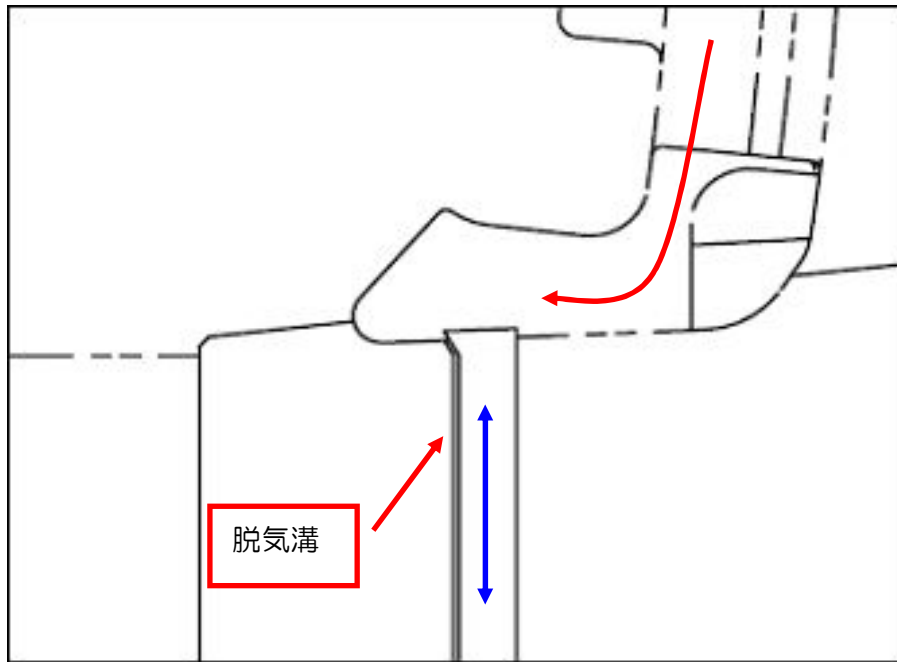


図 3-3 脱気回路

3-2-2 研究成果

脱気機構の評価を行うためには、実際の脱気量を測定する方法が考えられるが、金型からの脱気量を測定する方法が見つからず、定量的な評価は行えなかった。

定性的に評価が出来た項目として、ガスによる金型の腐食の状況を図 3-6 に示す。併せて新規製作時の金型の状態を図 3-4、比較参照のために 20 万ショット成形した状態の金型表面を図 3-5 に示す。

20 万ショット成形したのを見ると、赤丸で囲まれた部分の様に、クレーター形状で腐食している部分が見て確認できる。

一方で 1 万ショット成形した状態のものを観察すると新規に制作した時の状態と比較して殆んど腐食した形跡が見られず、腐食ガスの金型外への排出に効果があると推察できる。

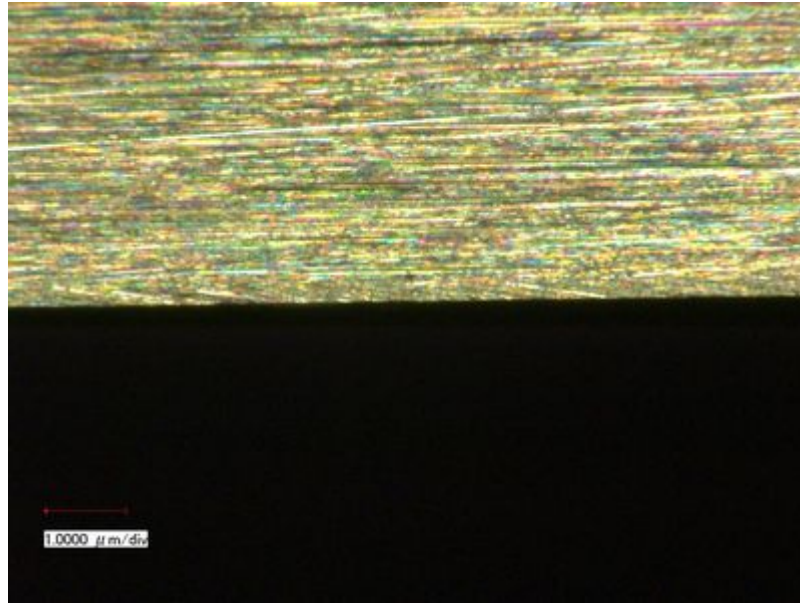


図 3-4 新作時の金型表面の状態



図 3-5 20万ショット時の金型表面の状態 (比較参考)

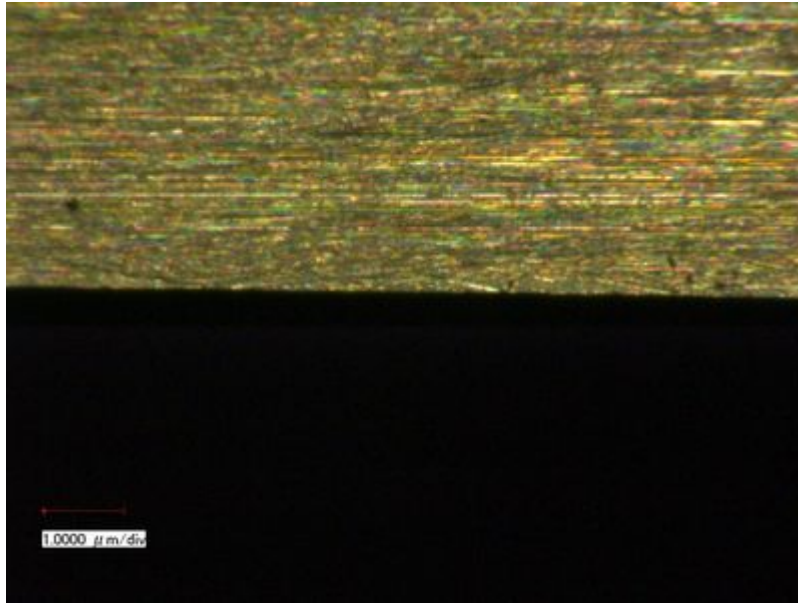


図 3-6 1 万ショット時の金型表面の状態（試作型）

3-3 金型内の調整に関する研究開発

金型は量産に使用される道具であるため、その性能が劣化してくると金型を本来の性能に戻すため再度調整することが必要になる。

特に樹脂の射出成形金型は、完全なネットシェイプを目指し製作されていることが殆んどで金型にも複雑な勘合構造が多く用いられている。金型の製作時には勘合の精度を調整しながら組み上げる（所謂金型仕上げ）のであるが、金型を開閉しながらの作業であるため金属の弾性限界を超えない寸法内の調整や、経時変化で生じる寸法変化の調整は行えない。また加熱して使用される金型には熱歪みがつきまとう。金型にこういった寸法誤差があると何万回と開閉を繰り返す間に、金型が摩耗し本来の性能が発揮できなくなる。これがひどい場合だと、腐食や摩耗、歪みの量によっては、金型が破損してしまう場合もある。

本研究開発では川下ユーザーのニーズである「金型の高寿命化」に応えるために、前章で取り組んだ研究開発の知見を用い、高精度で歪みの少ない材料にて金型を製作し、耐久度を調査した。

3-3-1 研究内容

金型が摩耗する原因としては、経時変化を含めた金型の精度の問題がある。また精度が良くても成形される樹脂から発生する腐食性のガスが原因で腐食摩耗の問題もある。加熱して使用される金型には熱歪みによる変寸も発生する。

これらの要因を解決するため、本研究では前章にて、高精度材料の製造方法、熱歪みの少ない材料、脱気機構を開発してきた。本章ではこれらの知見を組み入れた金型がどのような耐久性を示すのかを評価した。

本来の目標値は60万ショット時点での評価だったが、研究開発期間内で60万ショットの成形が行えないことが分かったため、1万ショット時の金型破損状態を観察することとした。

3-3-2 研究成果

新規製作時の写真（図 3-7）、20万ショット時の参考写真（図 3-8）、1万ショット時の写真（図 3-9）を示す。

比較対象のために用意した20万ショット時の写真を見ると赤矢印の部分にあるように金型部品の一部が欠損していることが分かる。

金型には製品形状を作るためエッジ部分がたくさん存在するが、このエッジ部分が破損すると成形品の外観上に線やキズとなって現れ、バリの原因となり金型の破損の原因となる。

1万ショット成形時の金型を見ると新規製作時と比較しても殆んど破損のような痕が見られず、また成形品を確認しても外観に全く変化は見られない。（図 3-10）

金型を高精度かつ熱変形や熱歪み、腐食磨耗の対策を施して製作すれば、高寿命化が図れることは想像できたが、本研究での基礎的知見を組み入れた金型は、予測の通りに高耐久性が期待できる結果となった。

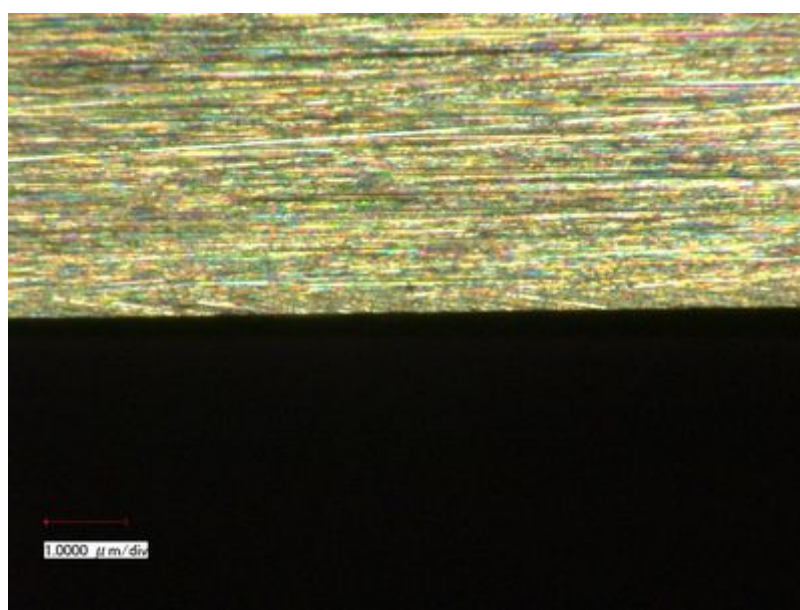


図 3-7 新作時の金型表面の状態

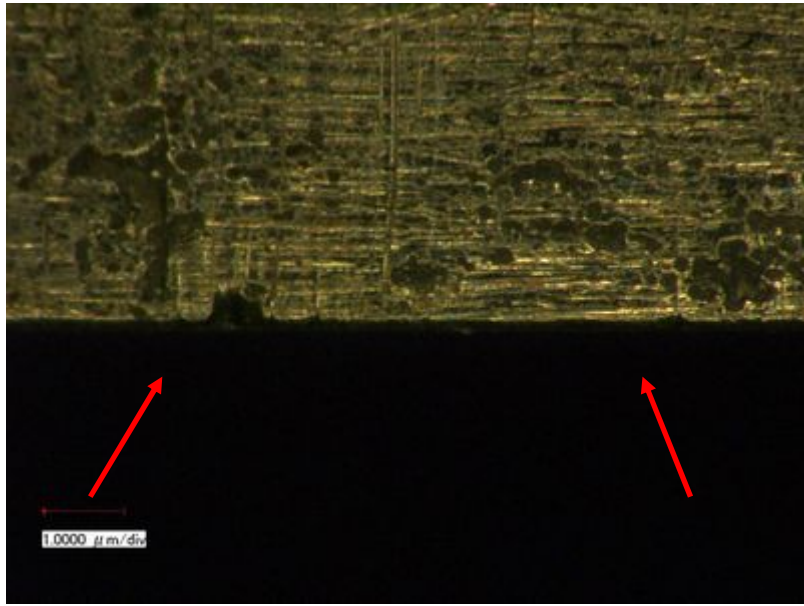


図 3-8 20 万ショット時の金型表面の状態 (比較参考)

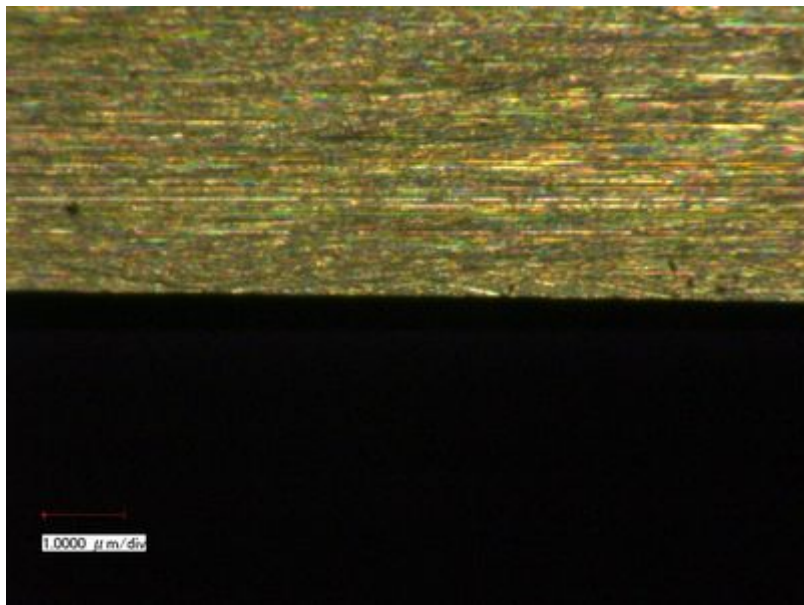


図 3-9 1 万ショット時の金型表面の状態 (試作型)



図 3-10 1 万ショット時の成形品外観

3-4 成形プロセス、固化プロセスの短縮

成形コストを下げるために川下ユーザーからは射出成形のハイサイクル化が求められている。現在、水蒸気を用いたヒート&クール成形があるが、ボイラー設備が必要であり導入コストが高いこと、加熱水蒸気による金型の腐食が激しく金型の寿命が短いことから、限定したニーズ、例えばピアノブラック成形などでしか採用されていない。

また加熱水蒸気の場合、金型の温度は 160℃程度にしか上げられないため、成形できる樹脂の種類も限られる。

金型としては熱歪みの問題があり、160℃程度に金型温度を上昇させると金型が熱により変形して、金型勘合状態が悪くなり成形品の外観不良やバリなどの問題や金型カジリなどの作動不良の問題が発生している。

また高温域で金型を使うと樹脂の固化プロセスの時間が長くなり、成形単価が高コストになっている。実際にスーパーエンブラ、例えば PEEK 材で成形している現状では、成形コスト低減の為に品質、精度が伴わなくても樹脂が固化する前に金型から取り出すため、スーパーエンブラでの精密成形を難しくしている。

本研究では、高温域で高精度に使用できる金型を製作する工法を開発し、試作型を製作している。本章ではその試作型を使用して成形テストを行い、高温で高精度に使用できることを実証し、高温域で使用される金型に対して、加熱冷却サイクルを用いてハイサイクル化を研究し

た。

3-4-1 研究内容

各章の研究で得られた知見を組み込んだ試作型を用いて成形テストを行った。

最初に基準となる成形条件を確定させるため製作した試作型にて量産に使用されている樹脂材料を用いて、外観や精度が量産部品として満足させられる成形条件を模索した。

成形プロセスは、大別して射出プロセス、固化プロセス、金型開閉および成形品の取り出しに分別できる。本研究では成形プロセスの中でも一番時間の長い固化プロセスの短縮を検討した。

射出プロセスでの射出条件は、成形品の外観が模様など出ないように多段（6 段）で行い、保圧も含めた全体の射出時間として 25 秒の設定とした。

固化プロセスでは、成形品が固化し金型から取り出せる状態になる最短の時間をそれぞれ求めた。

また金型開閉および成形品の取出しに関しては、金型の構造と成形機の特性で決定されるため、その他時間として処理をした。）

3-4-2 研究成果

PC+PBTを成形する場合の金型温度は、一般的に 80℃～100℃であるため、金型温度 80℃から成形テストを実施した。

80℃では成形品の良い外観が得られず、実際に量産の条件でも使用されている、金型温度を 100℃とした。（図 9-1：PC+PBT②）

このときの射出時間は 25 秒、冷却時間は 165 秒、トータルの成形時間としては 200 秒となった。この時間をハイサイクル化を行う前の基本時間とした。

ハイサイクル化を行うため、成形品の外観や金型の作動に問題が出ない程度に金型全体温度の徐々に下げていった結果、金型全体（金型ベース）温度 20℃でも問題なく成形が行えた。（図 9-2：PC+PBT⑦）

このときの射出時間は 25 秒、冷却時間は 80 秒、トータルの成形時間としては 115 秒となった。基本時間 200 秒比較すると 85 秒短縮の成形サイクル 43%減となった。

また通常この試作型と同じ大きさ、成形機サイズ 450 t クラスの金型を 100℃程度に昇温するには 2 時間程度の時間を有するため、金型ベース温度が 20℃で成形できる本成形法は金型交換に伴う段取り時間を大幅にできるといえる。

本研究で製作した試作型は高温で高精度に使用できるように設計してあるため、より高温での成形テストも行った。

金型温度 160°Cでの成形サンプルの外観を図 9-3 に示す。(PC+PBT⑩)

サンプルを見ると成形品表面に光沢があることが分かる。これは金型温度を上げることで樹脂の金型に対する転写性が向上した結果である。また 160°Cに金型温度を上昇させても問題なく作動し、金型の熱変形による成形品への負荷も見られない。

近年、家電業界などで見た目上塗装の変わりに出来るピアノブラック成形と呼ばれる成形が、テレビの枠や携帯電話などで広く行われている。そのときの金型温度は加熱水蒸気を用いて行っている関係で 160°C程度にしか昇温できないが、本工法では 280°C程度の昇温が可能であるため、より多様な樹脂材料を使用することが可能になるため用途範囲が広がる可能性がある。



図 9-1 成形テスト② (金型温度 100°C)



図 9-2 成形テスト⑦ (金型温度 100°C⇔80°C)



図 9-2 成形テスト⑩ (金型温度 160°C⇔80°C)

第4章 全体総括

本研究開発の目的は、プラスチック成形金型に対して、川下である自動車部品製造者等から複雑形状への対応やコスト低減のために求められている「仕上げ加工の削減」「金型の長寿命化」「ハイサイクル化」の課題であり、それを解決する手段として金型の高精度化に挑戦した。金型を高精度に作れば成形品の仕上げ加工の削減、金型の長寿命化が達成でき、また高温域でも高精度に作動する金型が開発できれば、スーパーエンブラで精密成形にも対応できるようになる。現状、スーパーエンブラなどの耐熱性樹脂では金型温度が高いため、成形サイクルの長大化の問題があり、金属部品の樹脂化などうまく対応できない状態にある。

本研究では高温域でも高精度な金型を製造する方法を、細かく分けて以下の内容で技術開発を行ってきた。

- ・高精度金型材料（高直角度、高平面度）
- ・熱変形の少ない金型材料
- ・温調回路の開発
- ・脱気回路の開発
- ・加熱冷却成形法

これらの個別の技術を一つの金型に集約し、川下ユーザーのニーズである「仕上げ加工の削減」「金型の長寿命化」「ハイサイクル化」に取り組んだ。

結果として、金型温度 $240^{\circ}\text{C} \leftrightarrow 120^{\circ}\text{C}$ の加熱冷却方式や高温域でも複雑な成形品を製造できる金型の製造技術の開発が行うことが出来た。

研究開発後の課題としては、本研究開発が金型の製造法に取り組んだため、応用範囲は広く、研究で得た基礎的知見は我々金型業界にとって技術を底上げするものであるが、事業化に向けては再度成形品別に研究開発をしなければならない点であると考えている。

研究開発の期間中からの展示会等での報告にて、個別での成形品の開発依頼を頂いているが、事業化に向けてはそれらに一つずつ取り組んで展開を図りたい。