

超音波イメージスキャナによる離型プロセスの計測

Measurement of Separating Process between Molded Sample Surface and Cavity Surface
by Ultrasonic Image Scanner

横井 秀俊*・西内 進*

Hidetoshi YOKOI and Susumu NISHIUCHI

1. 緒 言

射出成形では、繊維配向と共に成形品の不良現象であるひけ・そのり予測技術の確立が、最大の課題とされる。冷却過程において、樹脂の体積収縮により成形品と型壁面に剝離現象が生じた瞬間から、その間隙は断熱層として作用し、成形品の型内不均一冷却が開始される。その結果、ひけ・そのりが引き起こされることとなる。これよりひけ・そのり生成現象の解明は、その前段階の剝離現象を把握することが有効であると予想される。ひけ現象の研究では、ひけ量と成形品形状、物性、成形条件の相関について主に実験・数値解析によって検討が行われてきた^{1)~4)}。しかし剝離現象の解明を主題とした研究は、超音波センサによるスポット計測⁵⁾、可視化金型による観察例⁶⁾があるものの、これまでほとんど見あたらないのが実状である。これは、保圧・冷却過程における剝離現象を経時的・定量的に計測できる手法が、これまで確立されていなかったためと考えられる。

そこで本研究では、保圧・冷却過程における剝離現象の計測手法として医療用超音波イメージスキャナによる計測法を提案し、その有効性について実証的に検討を行った。以下にその概要について報告する。

2. 計測原理

超音波振動子から短いパルスを送信し、ある時間経過後反射してくるパルスを受信する。この時間遅れを測定することによって、深さ方向のどこに大きな反射があるかという情報を得ることができる。離型は型面と樹脂の剝離現象であり、そこには間隙が生成する。音波は金属と樹脂が密着している場所ではある程度透過するが、剝離して間隙ができた場所ではほぼ完全反射する。そこで、キャビティ壁

*東京大学生産技術研究所 第2部

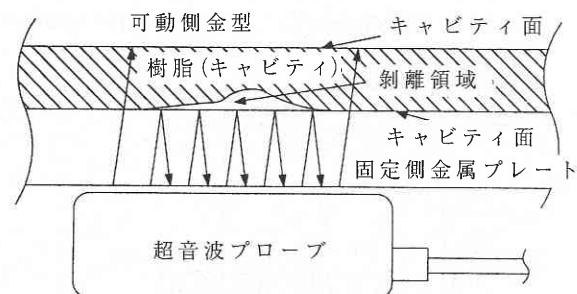


図1 超音波プローブによる離型現象計測原理

面の存在する深さの完全反射領域は剝離領域とみなすことができる。図1はこうした考えに基づくリニアプローブによる離型観察の原理図である。

なお、リニアプローブタイプの超音波として、ここでは高度に技術的に完成された医療用超音波診断装置の可能性に着目し、金型内での離型現象の計測を試みることにする。しかしながら、一般に人体用に設計されている超音波プローブでは、そのままでは金属を介して剝離域の生成を観察することは困難である。そこで金属表面に音響整合層を形成することで、密着時の樹脂と型壁面との反射率をいかに低減させるかが、上記計測原理を有効に作用させる上で重要な検討課題となる。

3. 離型プロセス計測金型

3.1 金型基本構造

図2に超音波プローブ内蔵金型の基本構造を示す。プローブ固定部をスライダ構造にすることで、成形品の任意の位置を観察可能にしている。図2中の斜線部分がスライダで、スライダ穴部Aに装填されたプローブは位置可変となる。また、スライダはB、Cの2方向から装填可能とし、プローブの装填方向を変えることができる構造とした。また、穴部A内では超音波プローブと金型プレートD間

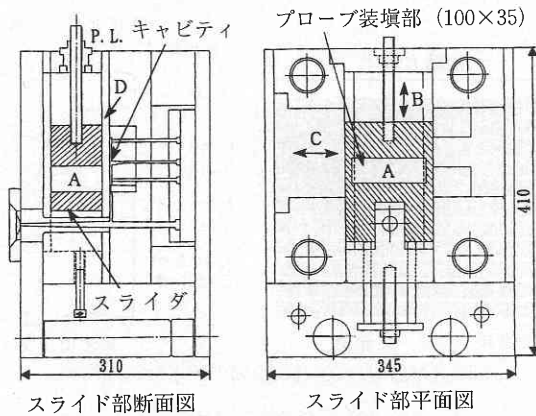
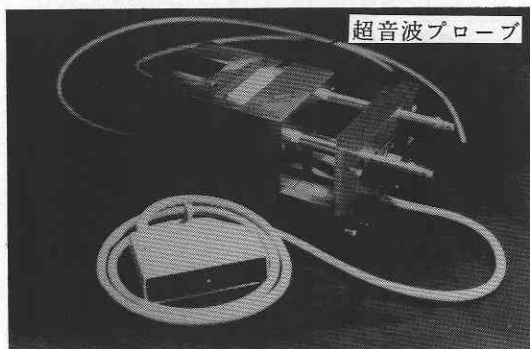
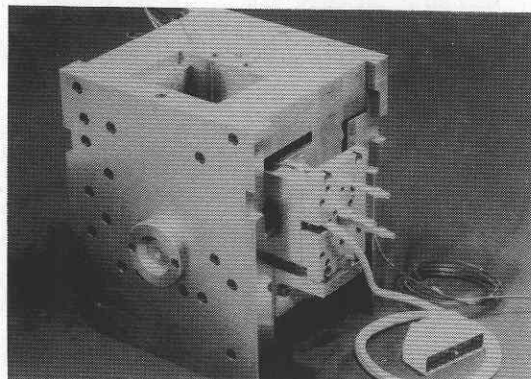


図2 超音波プローブ内蔵金型構造 (単位; mm)



(1) スライダ



(2) スライダ装填状態

図3 試作金型の外観

にポリウレタンゲルを挟み、さらに穴底部の空気シリンダにより観察面に対して垂直にプローブとゲルを押しつけることで密着性を保持できる構造となっている。図3に試作金型の外観写真を示す。

3.2 音響整合層プレート

医療用超音波診断装置は、人体用に設計された装置であるため、そのままでは金属と樹脂間の剥離現象を観察する

ことはできない。これは、物質 A から別の物質 B に音波が伝わる時に、その界面における音の強さの透過率 T_i が物質 A, B の音響インピーダンスによって決定されるためである。樹脂と人体では、音響インピーダンスが大きく相違する。その結果、金属と樹脂が密着している界面での反射率が大きくなり、剥離領域との区別が困難となることによる。このように音響インピーダンスの差が大きい物質間では、一般に音響整合層を形成することで音波を効率よく伝達させる方法が知られており、ここでは以下のように両者の音響インピーダンス格差を整合させることを試みた。

すなわち、音響整合層は金属プレートに形成することとし、以下に示すインピーダンス特性、熱伝導率に留意して、音響整合層とする材質を検討した。

(1) インピーダンス特性

整合層となる物質のインピーダンスは整合する2物質のインピーダンス間になければならない。1層の整合層を形成する場合、物質のインピーダンスは整合させたい2物質のインピーダンスの幾何平均値をとったものにする。銅とプラスチックの整合をとる場合、 $10.7 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$ 程度のインピーダンスをもつことが要求される。

(2) 熱伝導率

整合層をキャビティ表面に形成することになるため、整合層が樹脂挙動に影響を与えないことが重要である。キャビティを鋼以外の材料にした場合は熱伝導率の相違が大きな影響を及ぼすものと予想される。

こうした(1)(2)の2つの条件をほぼ満たす材料としてここでは Sn (すず) を選択した。Sn の熱伝導率は Fe の約1.3倍である。また Sn を整合層にしたときの透過率は0.302、整合層がない場合は0.193と計算され、整合層有りでは透過率が約1.5倍に大きくなっている。このとき Sn の音響整合層厚さは、Sn 中における音の波長の1/4が理論上望ましいとされ、これにより整合層厚さは $110 \mu\text{m}$ と設計された。

4. 実験方法

使用した医療用超音波診断装置は SSA-240A (東芝メディカル (株))、超音波プローブは PLE-70S (同) とした。表1にその仕様を掲げる。射出成形機は AUTO-SHOT MODEL75E (ファナック (株))、樹脂は PP (ハイポール J700; 三井石油化学工業 (株)) を使用した。成形条件を表2に、リップ付キャビティ形状を図3にそれぞれ示す。なお、表2中の保圧時間 6s, 15s は、ゲートシール未了、完了の条件にそれぞれ対応したものである。

観察方向は成形品に対して x, y 2方向が可能であるが、本実験では樹脂の流動過程も同時に観察できるように、x

研究速報

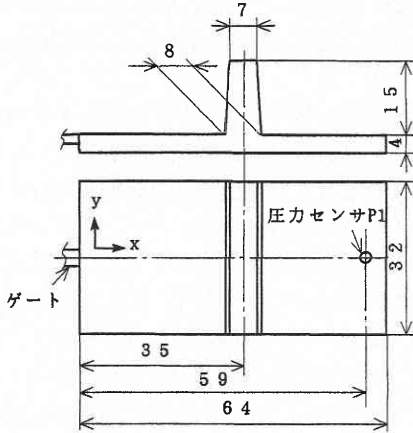


図4 キャビティ形状

方向（成形品長方向）を観察方向とした。観察範囲は主にリブ裏面部を中心としたゲートから50mmの位置までである。

実験金型で観察された原画像は一旦ビデオレコーダによって記録された後、画像処理装置（ID-8000；（株）ナック）によって後述する離型過程経時変化データへと編集処理した。

5. 結果と考察

本システムにより型内成形過程が次のように観察された。まず充填前は金型プレートの反射AがA1, A2, A3のように何回も繰り返され、これらは横縞状に画像上に表示される。樹脂が充填されると、プローブと反対側のキャビティ表面での反射Bが新たにあらわれる（図5参照）。反射Bは反射Aよりもキャビティ内の往復分だけ遅れてプローブに受信されるが、一般に金型プレート内では音波があまり減衰しないため、この場合にもA系列の反射が最も強く測定される。しかしながら、プローブ側のキャビティ表面には金属・樹脂間の整合層が形成されており、充填後には界面を越えてある程度の音波が樹脂に透過する。このため、反射Aは輝度が小さくなる。続く冷却過程の途中で離型が始まると、離型した位置では反射Bは消え、反射Aは輝度が充填前の状態に戻る。

ここでは、多重反射している反射A系列の一つ（例えばA2, A3など）に注目し、この横線上での明るい領域と暗い領域の境界、すなわち離型している領域の境界を抽出した。この位置の時間変化をグラフ化したものを図6, 7に示す。縦軸は射出開始からの経過時間を、横軸はゲートからの距離を意味しており、これより図中黒い領域は離型していないことを意味している。なお、図6, 7における縦軸方向2本の破線はリブ部の幅を、横軸方向の線は図4の

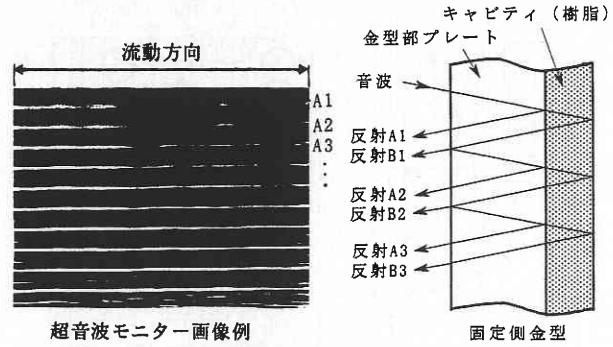


図5 金型内での超音波反射形態と計測画像例

表1 超音波装置仕様

視野深度	最大24cm（人体中）
フレーム数	最大607V-A/s
観察視野幅	57mm
周波数	7.5MHz
超音波素子	128個

表2 成形条件

金型温度	30℃
樹脂温度	200℃
射出速度	10.3cm ³ /s
保圧	20, 30, 40, 50MPa
保圧時間	6, 15s
冷却時間	30s

P1における圧力がゼロとなった時間をそれぞれ示している。

- これらの結果より次のことが確認された。
- (1) キャビティ内の圧力がゼロになるとほぼ同時に離型が開始する。
 - (2) 離型はまずゲート側から開始した後、すぐに反ゲート側の離型が追従し、リブ近傍が最後となる。
 - (3) 保圧が高くなるにともなって離型にかかる時間も長い。
 - (4) ゲートシール未了（保圧時間6s）と完了（同15s）の比較では、離型パターンに大きな差異は生じず、いずれも保圧30MPa以上ではリブ対向近傍での離型遅れが顕著となる。
 - (5) ゲートシール未了では、離型時間開始から終了までの時間が13.5s~16sの短時間に分布しているのに対し、シール完了では21s~31sと明らかに長時間になり、また保圧レベルによる差が顕著となっている。

以上より、リブ離型面での離型過程が具体的に明らかとなった。すなわち、離型は、初期に冷却が進行し、内圧がゼロとなり易いゲート側および反ゲート側から導入され、

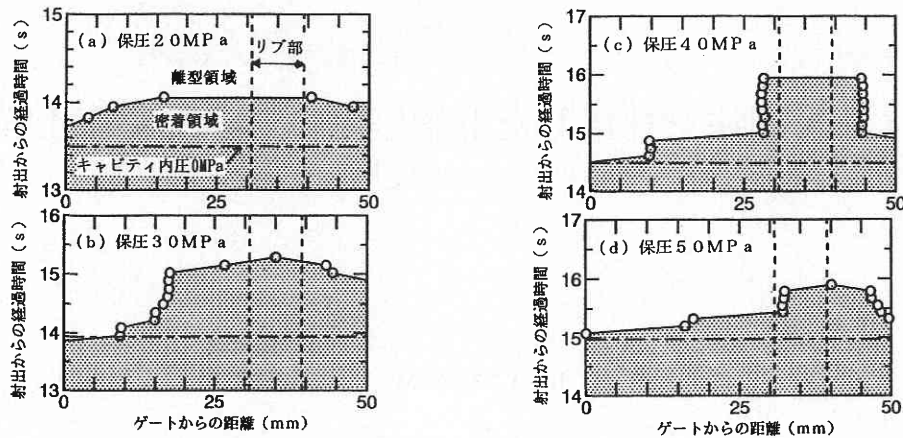


図6 超音波による測定結果 (保圧時間 6s)

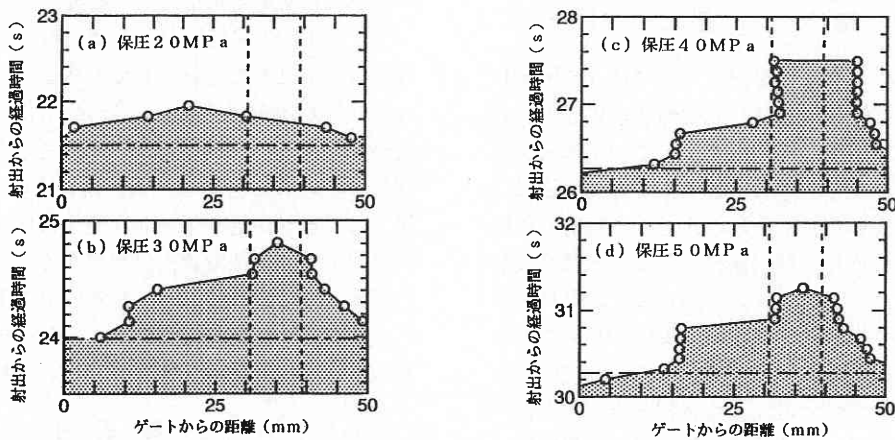


図7 超音波による測定結果 (保圧時間15s)

ほぼ 1s 以内の短時間内でリブ等の不均一肉厚部を残してほぼ全面に伝搬する。この際、ゲートシール完了など保圧が高く保持され易い条件ほど、必然的に離型開始時間が遅延されるものと考察される。ただし、リブ対向近傍において最終段階まで離型が抑制される現象については、成形品のリブ部に凹み状のひけ生成を伴い易いという一般認識と相違した現象であり、その原因については今後さらに詳細な検討を必要としている。

6. 結 言

離型プロセスを医療用超音波装置によって直接計測する手法を提案し、PPを用いた計測実験を通してその有効性を実証的に明らかにした。また、リブを有する成形品において、各種保圧条件におけるリブ対向面の離型過程を観察し、離型の進行状況を具体的に明らかにした。

謝 辞

超音波プローブの改造にご助力を賜った東芝メディカル

(株) 島野俊明氏に、また金型製作に御協力下さった東北ムネカタ (株)、ポリウレタンゲルをご提供下さった (株) タキロン の両社に深謝致します。本研究の一部は財団法人金型技術振興財団平成5年度研究開発助成金により実施されたことを記し、ここに謝意を表します。

(1995年12月18日受理)

参 考 文 献

- 1) 丸山, 日部: 高分子論文集, 38, 4, 275 (昭56).
- 2) 一柳, 中, 剣持: 日本機械学会論文集 (A編), 53, 485, 148 (昭62-1).
- 3) 中, 一柳, 剣持: 日本機械学会論文集 (A編), 53, 485, 153 (昭62-1).
- 4) M.J. Liou, D.M. Ramachandra, and K. Ishii: ANTEC '90, 288 (1990).
- 5) 西脇, 今野, 堀: 成形加工, 5, 871 (1993).
- 6) 黒崎, 佐藤, 斉藤: 成形加工 '93, 213 (1993).