

平成 21 年 6 月 1 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19560109

研究課題名（和文）アレー型超音波センサーによる射出成形金型内樹脂温度分布の測定

研究課題名（英文）Measurement of the temperature distribution of the resin in the mold cavity using the phased array ultrasonic transducer

研究代表者

西脇 信彦（NISHIWAKI NOBUHIKO）

東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・教授

研究者番号：90016626

研究成果の概要：プラスチック射出成形加工では、高品質・高精度が求められている。そこで、CAE による解析が多く行われているが、解析結果を検証することが難しい。本研究では、アレー型超音波センサーとトレーサを利用した樹脂内部の温度分布測定方法について検討した。具体的には、樹脂内部に混入されているガラス繊維などのトレーサ間の音速をその距離と時間間隔から算出し、温度・音速の関係から、温度分布を求める方法について検討した。その結果、アレー型超音波センサーを使って金型内樹脂の温度分布を測定できることを明らかとした。また、温度分布や固化層の発達挙動（冷却挙動）に、金型表面と流動する樹脂間で発生するせん断発熱が影響することを示した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：成形加工，樹脂，アレー型超音波センサー，温度分布，トレーサ

## 1. 研究開始当初の背景

プラスチック射出成形加工では、高品質・高精度が求められている。そこで、CAE による解析が多く行われているが、解析結果を検証することが難しい。

この分野では、アメリカのトーマス教授が10年ほど前にフィルム成形時のダイ内の樹脂音速を測定して、フィルムの厚さむらについて検討しており、カナダのチェン教授は、アルミダイキャストの凝固挙動を超音波で測定し、その結果を約8年前に発表している。また最近では、イギリスのコーツ教授が申請代表者と同様な金型内樹脂の音速変化挙動の研究を4年前に発表

している。

一方、申請代表者は世界に先駆けて十数年前より、超音波を用いた金型内の樹脂の固化状態について研究しており、金型内の固化層の発達挙動の観察では、プラスチック成形加工学会賞を受賞している。なお、従来の超音波測定では金型内樹脂の平均温度しか求められなかったが、本申請研究では、射出成形品の厚さ方向断面内の温度分布を測定しようとするところが従来になく全く新しい方法である。

なお、従来の温度測定方法は全て金型内表面を傷付けなければならなかったのに対し、超音波による方法は、金型内表面を傷付ける

ことなく測定できる。

## 2. 研究の目的

金型を用いた樹脂の射出成形加工は、携帯電話機をはじめ、工業製品を作るときに広く使われている。高い品質や高い寸法精度を持つ成形品を得るためには、金型内樹脂の冷却挙動を明らかにして高精度な金型を設計する必要がある。そこで、最近では金型内の樹脂冷却挙動を数値シミュレーション(CAE)で求め、効率よく金型を設計することが行われている。しかし、高精度な金型を設計するためにはCAEの結果が本当に正しいかどうかを確認する必要がある。実験的に確認しようとしても、金型内の樹脂圧力は高く、その粘度も高いため、金型内の樹脂の温度分布を直接測定することが出来ない。そのため、CAEの解析結果が正しいかどうかの検証が十分でないのが現状である。

そこで本研究では、アレー型超音波センサーを利用して金型の外から金型内樹脂の温度分布を測定する方法について検討した。

## 3. 研究の方法

(1)実験装置：本実験では高密度ポリエチレン(HDPE)（融点：約 130℃）を使用した。トレーサとして直径 0.01mm のガラスビーズを混入させた。

図 1 に実験装置概略を示す。金型外側にアレー型超音波センサーを取り付け、金型キャビティ内樹脂の様子を超音波診断装置の CRT に表示し、パーソナルコンピュータに記録した。金型キャビティ寸法は、長さ 150mm、幅 20mm、高さ 20～約 25mm である。金型は、センサー保護膜の音響インピーダンスの関係でアクリル製とした。また、センサー取り付け側のキャビティ内壁は超音波の多重反射を防ぐために約 14 度の傾きを付けた。その結果、キャビティ高さは 20～約 25mm となった。

(2)測定原理：超音波が金型キャビティ内樹

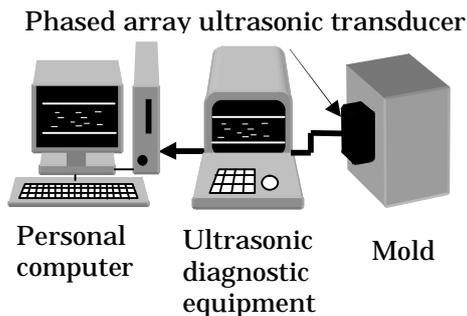


図 1 実験装置概略

脂に伝播すると、図 2 に示されるように樹脂内にあるトレーサで超音波は反射し、反射波 F1 と F2 を観測することができる。さらに、キャビティ上面と底面からの反射波 S と B を観察できる。ここで、2つのトレーサ間の厚さ方向の距離 L と、トレーサからの反射波 F1 と F2 の時間間隔  $t$  が測定できれば、式(1)からトレーサ間の樹脂の音速 C を求めることができる。

$$2L / C = t \quad (1)$$

他方、高密度ポリエチレンの音速 C、密度  $\rho$ 、と温度 T と圧力 P の間には図 3 に示すような関係がある。この関係より、圧力 P と音速 C が明らかであれば、温度 T を求めることができる。金型キャビティ内の圧力 P は圧力センサーを使って容易に測定することができる。従って、アレー型超音波センサーでトレーサ間の音速 C を測定すれば、トレーサ間の温度 T を得ることができる。

図 4 に示すように超音波診断装置の場合、時間間隔  $t$  は CRT に表示されたトレーサの映像の距離  $r$  として表される。成形後、トレーサ間の距離 L は室温下で超音波を使って測定することができる。なお、室温における音速  $C_r$  は図 3 の関係から求められる。

そこで、キャビティ内で冷却中の樹脂の音速  $C_c$  は、CRT に表示されたトレーサ間の距離の比  $r / c$  を使って、式(2)から求めることができる。

$$C_c = C_r (r / c) \quad (2)$$

ここで、 $c$  はキャビティ内で冷却中に CRT に表示された 2 個のトレーサ間の距離である。この音速  $C_c$  と図 3 に示した関係からトレーサ間の温度を求めることができる。

(3)本方法の測定精度：本研究では、距離  $r$  は、水浸法で測定した。測定時の水の温度は

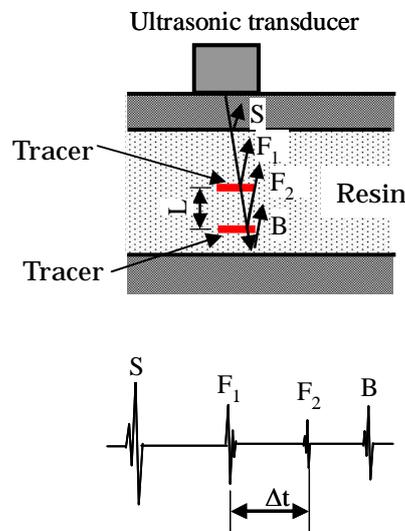


図 2 超音波反射挙動

313Kである。樹脂は温度が低くなると収縮する。例えば、373Kにおける密度は313Kのものよりおよそ3%小さい。従って、収縮が一樣に起こると仮定すると、厚さ指示の収縮はおよそ1%程度と考えられる。つまり、水浸法で測定した2つのトレーサ間の距離は金型内にある場合よりも約1%短いと考えられる。このため、算出された音速  $C_c$  も約1%遅いと考えられる。373Kにおける音速は約1900m/sであるが、求められた音速  $C_c$  は約1881m/sになる。このため、本方法で求められた温度は約369.4Kになる。つまり、成形品の収縮による誤差は、本研究では約3.6Kとなる。なお、この誤差は樹脂温度の低下に従って、減少する。

他方、超音波の屈折による誤差も考えられる。距離  $r$  を測定するとき、超音波は水と高密度ポリエチレンの境界で屈折する。また、距離  $c$  を測定するとき、超音波はアクリル樹脂と高密度ポリエチレンの境界で屈折する。さらに、キャビティ上面は14度傾いている。これらから、屈折による距離測定誤差を概算すると約1%となった。

以上の結果より、本方法による温度測定誤差は、樹脂温度が373Kの場合において、

約7.2Kとなる。

#### 4. 研究成果

図5に金型キャビティに樹脂が充填後10秒での音速分布を示す。充填後10秒ではトレーサは流動方向には殆ど動かない。図の横軸は音速  $C$ 、縦軸はキャビティ底面からの距離  $Z$  である。同図(a)は熔融樹脂の平均流動速度  $V_m$  が26mm/sの場合、(b)は  $V_m=63$ mm/sの場合である。これらの図に示されるように、樹脂の音速は厚さ方向中央で最小となっている。温度と音速の関係から温度分布を求めた結果を図6に示す。横軸は温度  $T$ 、縦軸は距離  $Z$  である。これらの図に示されるように温度にばらつきが見られる。この原因としては、使用したアレー型超音波センサーの幅が約7mmであるために、幅方向の温度分布の影響があるためである。つまり、幅方向壁面近傍の樹脂は早く冷却されるため低いが、幅方向中央の樹脂は冷却が遅いため温度が高く保たれる。このため、同じ  $Z$  の位置でも温度が異なる。しかし、測定された最高温度は幅方向中央の温度と考えることができる。さら

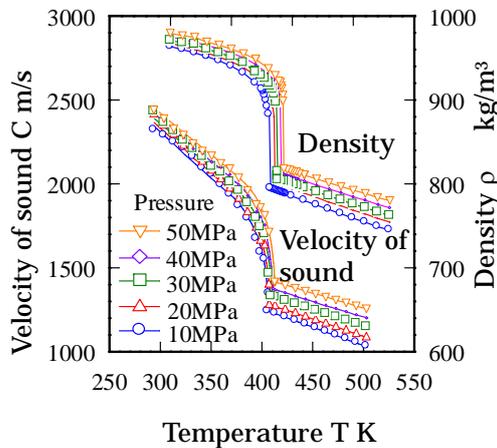


図3 温度と音速，密度の関係

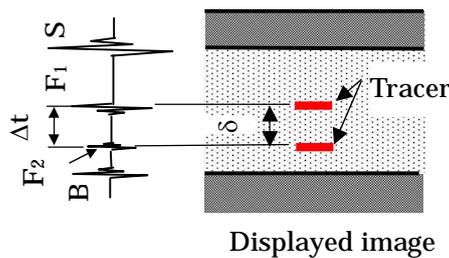
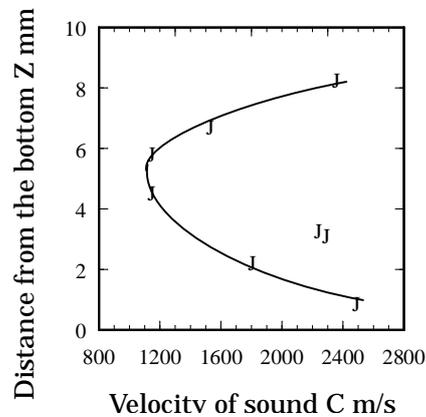
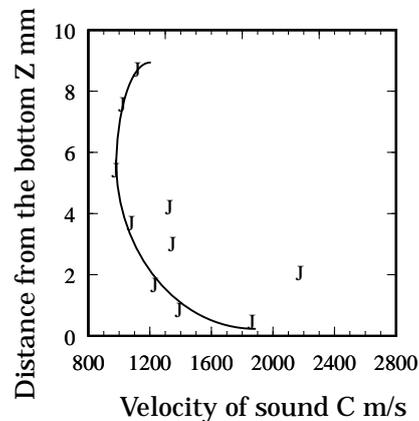


図4 表示画像概略



(a) In the case of  $V_m=26$ mm/s

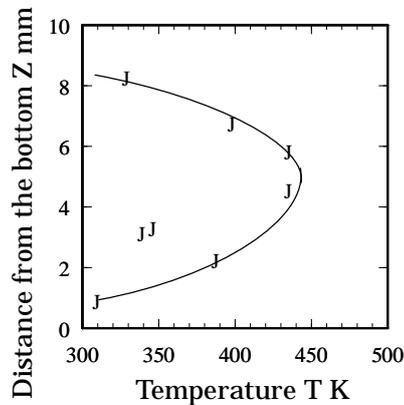


(b) In the case of  $V_m=63$ mm/s

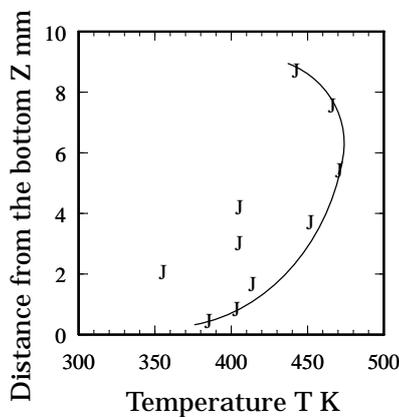
図5 音速分布

に、溶融樹脂の平均流動速度が 26mm/s の場合には 63mm/s の場合に比べて温度が低い結果が得られた。これは、流動速度が遅いと樹脂が冷却されやすいことと金型表面との間のせん断発熱が少ないことが原因として考えられる。

図7に固化層発達挙動を測定した結果を示す。同図に示されるように、溶融樹脂の流動速度が遅いと固化層発達が遅くなること



(a) In the case of  $V_m=26\text{mm/s}$



(b) In the case of  $V_m=63\text{mm/s}$

図6 温度分布

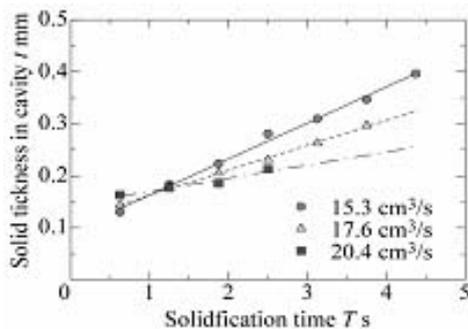


図7 固化層発達挙動

分かった。これは、せん断発熱の影響によるものと考えられる。

以上のように、アレイ型超音波センサーで金型内樹脂の温度分布を測定できることが分かった。また、固化層発達挙動測定結果と温度分布測定結果より、流動速度が速いとせん断発熱の影響があると考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

Nobuhiko NISHIWAKI, Sankei HORI\*, Masanori SANO, Naruki KOSHIMIZU, Visualization of Melted Resin Flow and Its Temperature Distribution in Mold Cavity Using Ultrasonic Technique, Proceedings of PSFVIP-6(6th Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing), ID of Papers: A3-2(6pages), 2007, 査読有

〔学会発表〕(計2件)

西脇信彦, 森谷知寛, 堀三計, 超音波による金型内樹脂冷却挙動に関する研究, プラスチック成形加工学会, 2008年10月, 福井大学

西脇信彦, 佐野政徳, 越水成樹, 森谷知寛, 堀三計, アレイ型超音波センサーによる金型内樹脂状態の可視化に関する研究, プラスチック成形加工学会, 2007年6月, 東京

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

西脇 信彦 (NISHIWAKI NOBUHIKO)

東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・教授

研究者番号: 90016626

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし