

射出成形離型直後からのプラスチック製品の寸法変動の観察*

和合 健**、千田征樹***

三角測量法によるレーザ変位計を測定子とする測定器を試作して、射出成形機の隣に設置し射出成形離型直後からのプラスチック製品の寸法変動を測定した。その結果、当初予想した金型内圧力の開放による寸法膨張は測定できなかった。その後、10時間程度寸法変動を継続して測定したところ、プラスチック製品の寸法変動は室内の温度変動に追従していることがわかった。以上から通例では1日経過してから行うプラスチック製品の寸法測定は15mm程度の厚さの場合は射出成形直後でも行って良いと考えられる。

キーワード：プラスチック、寸法変動、温度、レーザ変位計

Observation of Size Change of Plastic Parts Pushed Out from Injection Molding Mold

WAGO Takeshi, CHIDA Seiki

Size change of plastic parts after injection molding had been measured continuously by use of the original measurement equipment which had laser displacement meter based on triangulation method. The equipment was set near injection molding machine. As a result, against our expectation, size expansion of the plastic parts by releasing pressure from mold was not able to be confirmed immediately after injection molding. Then, when size change had been measured continuously for about 10 hours, it was found that the size change of the plastic parts had been affected by room temperature. These results show that in case thickness of plastic parts is smaller than about 15 mm, size measurement is permitted immediately after injection molding.

key words : plastic, size moving, temperature, laser displacement probing sensor

1 はじめに

射出成形後のプラスチック製品寸法は通例として1日経過後に測定する。金型内の急激な形態変化を経たプラスチックは離型後に残留応力の作用による経時的な寸法変化の発生が予想される。通例では1日経過後であれば経時寸法変化は安定すると考えられているが、予めプラスチック材料及び成形条件や製品寸法に基づく経時寸法変化を取得することが出来れば、金型寸法や成形条件の補正により最終製品寸法を予測することができると考えられる。ここでは、射出成形直後から製品寸法を継続して測定し経時に従った寸法変化を求めた。

2 実験装置及び方法

2-1 測定器の仕様

本事業では精密プラスチック製品を対象としている。製品例は歯車、軸受け、アーム、ヒンジ、コネクタなどが該当しいずれも微小寸法となる。微小寸法製品の経時

寸法変化を求めるための測定分解能は以下により決定した。ABS樹脂の場合に線膨張係数は $95 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}^{1)}$ となり温度変化 5°C で寸法3mmの寸法変化は $2.85 \mu\text{m}$ となる。また寸法3mmで射出成形後の収縮率を0.1%とした場合の寸法変動は $3 \mu\text{m}$ となる。ここでの測定では $1 \mu\text{m}$ の測定精度 (measurement precision) が要求されるので $0.1 \mu\text{m}$ の測定分解能が必要になる。また、プラスチック材は測定力により変形を生じる。例えばABS樹脂ではチップ径 $\phi 2\text{mm}$ で測定力が1Nの場合に押し込み量は $4.1 \mu\text{m}$ 、測定力が0.1Nの場合に押し込み量は $0.4 \mu\text{m}$ となる²⁾。 $1 \mu\text{m}$ 以下の測定精度を達成するには測定力が0.1N以下である必要がある。また、射出成形直後からの寸法変化を求めるには射出成形機の隣に測定器を配置する必要がある。そのためには測定器は移設可能で射出成形作業効率を阻害しないコンパクトさが要求される。以上の測定器仕様要求を考慮した結果、非接触式で測定分解能 $0.1 \mu\text{m}$ の三角測距式レーザ変位計をプローブとしてパソコ

* 地域新生コンソーシアム研究開発事業「次世代情報家電・自動車用高度部材の生産技術の開発」

** 電子機械技術部

*** (株)北上エレメック

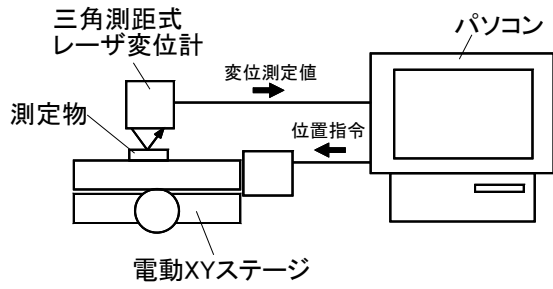


図1 測定器の構成

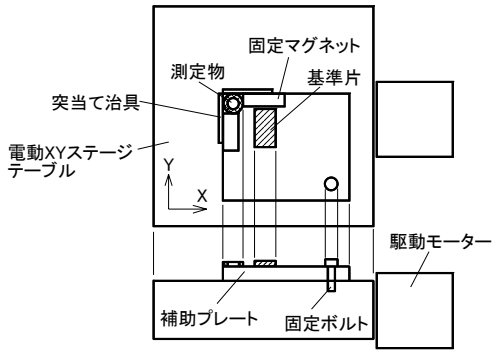


図2 測定物の設置固定方法

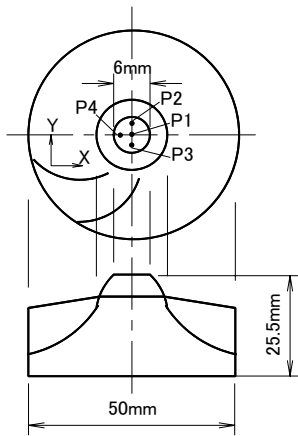


図3 スクリュー

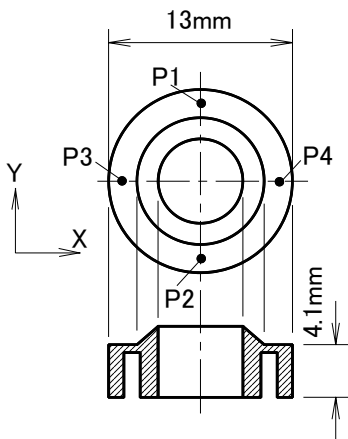


図4 リング

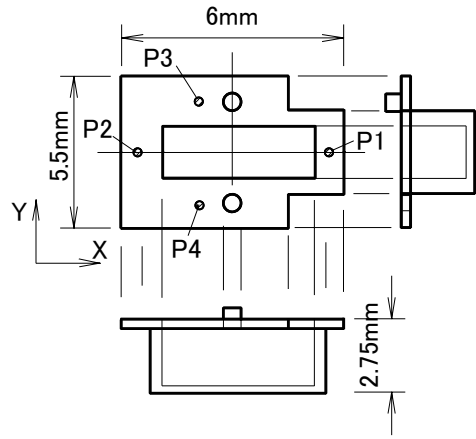
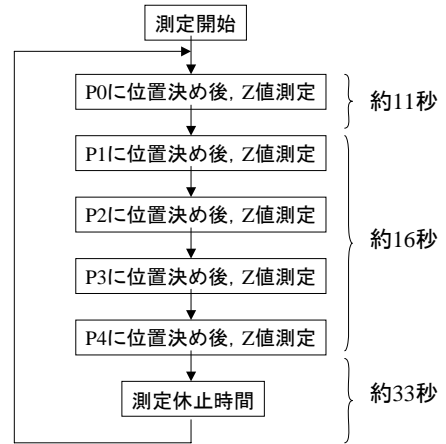


図5 ボックス



測定時間: 約60分/回

図6 測定ルーチン



図7 測定器の配置

ンで制御する測定器を独自に製作することとした。

2-2 測定器の構成

レーザ変位計と電動XYステージ及びパソコンにより構成した測定器を図1に示す。三角測距式レーザ変位計(キーエンス製LK-010)によりZ位置を500回測定しパソコンに取り込みその平均値によりZ位置を求める。レーザ変位計の分解能は $0.1\mu\text{m}$ 、測定範囲は $\pm 1\mu\text{m}$ である。パソコンからの位置指令により電動XYステージ

(日本トムソン製 CT220/220AE355) の位置決め制御を行う。電動 XY ステージの繰り返し位置決め精度は $\pm 3 \mu\text{m}$ である。パソコンによるレーザ変位計と電動 XY ステージの制御を行うプログラミング言語は Microsoft 社の Visual Basic6.0 を使用した。

2-3 測定物

測定物の固定方法を図2に示す。電動 XY ステージで測定物位置を移動する時に測定物と基準片の位置ずれが発生することが予備実験で判明した。位置ずれの防止のために測定物を L 型突き当て治具にシートマグネット 2 個により押しつけて固定した。基準片は補助プレートに直接接着剤で貼り付けた。測定物は図3、図4、図5に示す3種類の形状とし、材種はすべてナイロンである。図3はスクリューで表面色はクリーム色、ゲート位置は側面から 120 度分割で3カ所に配置されている。図4はリングで表面色は白色、ゲート位置は側面にサブマリングゲートとして1カ所を配置している。図5はボックスで表面色は濃灰色、ゲート位置は内側底面にポイントゲートとして1カ所配置されている。測定物は図に示す正面図を上面として電動 XY ステージ上に置き P1~P4 位置の Z 値を測定した。

2-4 測定器の校正

ワイヤ放電加工により基準片を作成した。基準片寸法は段差として目量 $0.01 \mu\text{m}$ のマイクロメータで測定した結果、 $0.2\text{mm} \pm 2 \mu\text{m}$ の測定値を得た。基準片の表面粗さはワイヤ放電加工での 4th カットで仕上げた結果、 $Ra0.25 \mu\text{m}$ 、 $Rz1.67 \mu\text{m}$ であった。図6に示す測定ルーチンにより基準片上面の任意位置5カ所について高さ位置を77分間測定し77ルーチン(測定値数5個/ルーチン)の測定値を得た。測定開始10分後から繰り返し10回の測定値により段差の平均値と標準偏差を求めたところ、位置 P2 では平均値が 0.2057mm 、標準偏差は $0.00073\text{mm}(\sigma)$ 、位置 P3 では平均値が 0.2064mm 、標準偏差は $0.00017\text{mm}(\sigma)$ が得られサブミクロンでのばらつきで測定が行われていた。次に77分間測定した全測定値を図8と図9に示す。時間軸に従い高さ位置の変動が見られ、位置の変動幅は位置 P0 で $8.6 \mu\text{m}$ 、位置 P1 で $6.3 \mu\text{m}$ 、位置 P2 で $6.8 \mu\text{m}$ 、位置 P3 で $8.7 \mu\text{m}$ となった。原因はレーザ出力の不安定化によるものと推測され、これらのレーザ不安定化による時間軸の変動誤差は基準片とプラスチック測定物の表面を交互に測定することで除くことができると考えられる。

2-5 実験方法

図7のとおり射出成形機の隣に測定器を配置した。射出成形機は Fanuc 製 Autoshot-model75B で型締め力が 75ton である。射出成形直後の金型外に排出され回収箱に落ちたプラスチック製品を作業者が手で取り上げる。測定器の補助プレート上の L 型突き当て治具に押し当ててシートマグネット 2 個で横方法にずれないように固定する。射出成形後から測定開始までに測定物設置のため

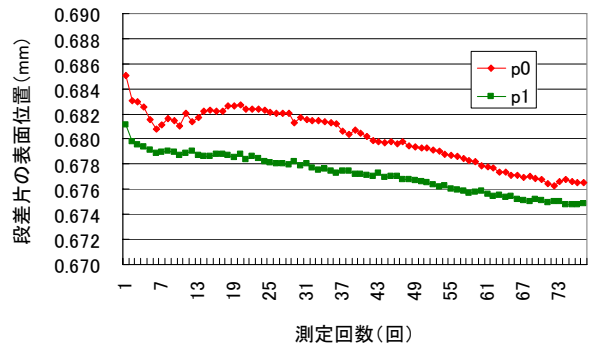


図8 位置 P0 と P1 における基準片高さの変動

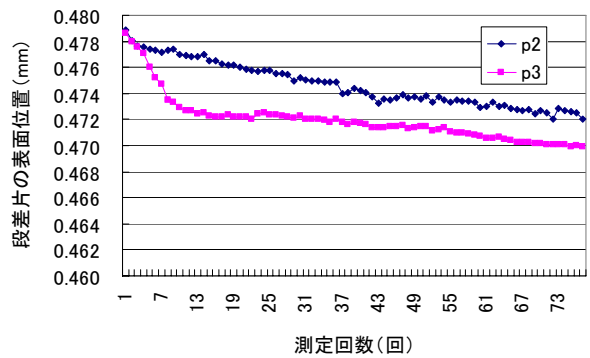


図9 位置 P2 と P3 における基準片高さの変動

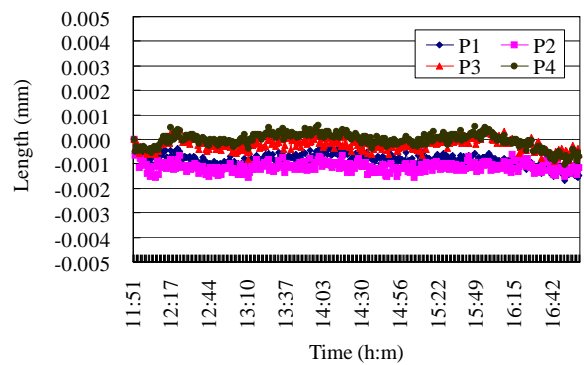


図10 鋼製ブロックの寸法変動

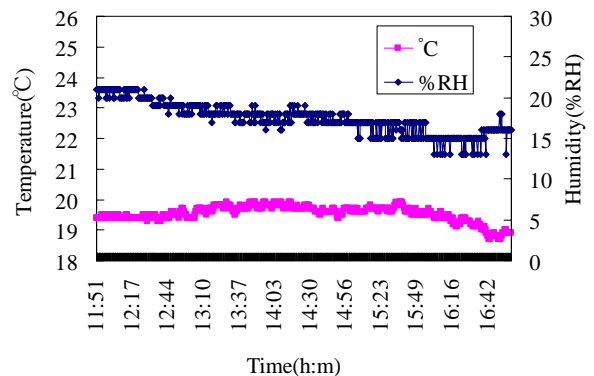


図11 鋼製ブロック測定時の温度変動

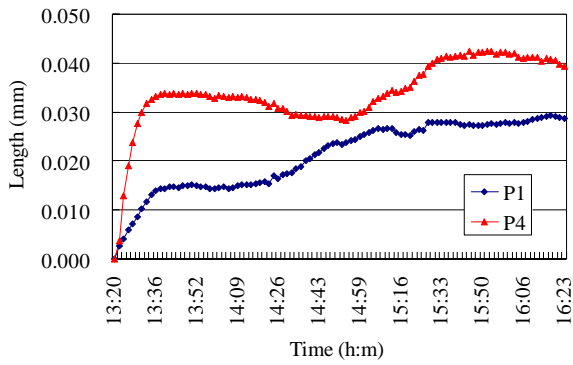


図12 スクリューの寸法変動

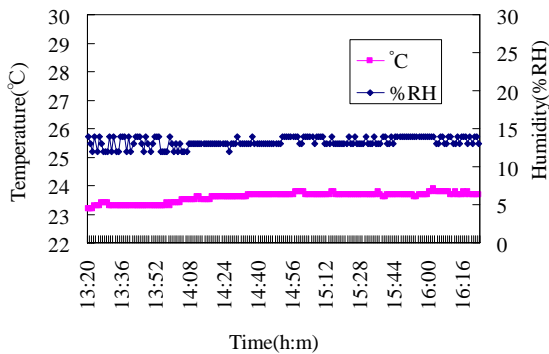


図13 スクリュー測定時の温度変動

に約10秒の不要時間を要した。図6示した測定ルーチンに従い基準片上面をP0、測定物上面をP1~P4の4カ所の順でZ値を自動で繰り返し測定した。1ルーチンの測定にかかる時間は約60秒とした。

3 実験結果及び考察

3-1 鋼製ブロックの場合

測定器の測定値の正確さを検証するために寸法変動が無い鋼製ブロックをプラスチック製測定物と同様の実験方法で測定した。測定物の寸法は厚さ4.4mm、長さ×幅は35mm×7mm、測定物の表面性状は放電加工面で測定時間は5時間とした。図7に示した寸法変動より平均値は $-0.55\mu\text{m}$ 、分布幅は $2.25\mu\text{m}$ 、標準偏差は $1.02\mu\text{m}$ (2σ)となった。この結果から当初懸念されたレーザー出力の不安定化による誤差は除かれ5時間の測定時間では測定誤差 $\pm 1.02\mu\text{m}$ (2σ)で測定できることを確認した。図11より、測定中の温度変動幅が 1.2°C であり鋼の線膨張係数を $11.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ とした場合、厚さ4.4mmの鋼の温度膨張は $0.06\mu\text{m}$ であり影響が非常に小さい。

3-2 スクリューの場合

図3に示したスクリューを測定した。測定位置は基準片上のP0を測定後、軸の最上部となるP1~P4を測定した。表面色が白クリーム色であるためレーザー感度調節に苦慮した。測定範囲が非常に狭く信号取得が難しいためレーザーヘッドを 45° に傾けて散乱光が広く受光できるように調節した。射出成形後13分はレーザー信号が取得

できないため測定不可であった。13分後にレーザー信号を取得できたので測定を再開した。P0から再度P0までの経過時間は1分51秒である。P1とP4でレーザーアライメントが正常に測定が行えた。図12に示した寸法変動のうち寸法変動幅が大きいP4に注目した。P4は射出成形後30分で $33\mu\text{m}$ まで膨張した。その後寸法は安定したが1時間37分後に再び膨張し2時間30分後に $42\mu\text{m}$ の最大値まで膨張した。図13に示した温度環境より測定時間3時間3分の温度変動幅は 0.7°C であった。ナイロンの線膨張係数 $80 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 、測定長さ25.5mmでは $\Delta 0.7^\circ\text{C}$ の温度膨張は $1.42\mu\text{m}$ であり温度膨張は無視できる。

3-3 リングの場合

図4に示したリングを測定した。測定位置は基準片上のP0を測定後、図に示した円周上面のP1~P4の4カ所を測定した。表面色は白色であるがスクリューの場合よりはレーザー感度調整が容易でありレーザーヘッドを 45° 傾ける必要はなかった。P0から再度P0までの経過時間は1分33秒である。図14に示した15時間測定ではP2で寸法変動幅が $4.9\mu\text{m}$ でP1~P4のうちで最大値を示した。P1~P4の寸法変動の傾向はP1とP2が同じ傾向を示し収縮している。15時間測定した場合の温度環境を図15に示し温度変動幅が 3.2°C であった。ナイロンの線膨張係数 $80 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 、測定長さ4.1mmでは $\Delta 3.2^\circ\text{C}$ の温度

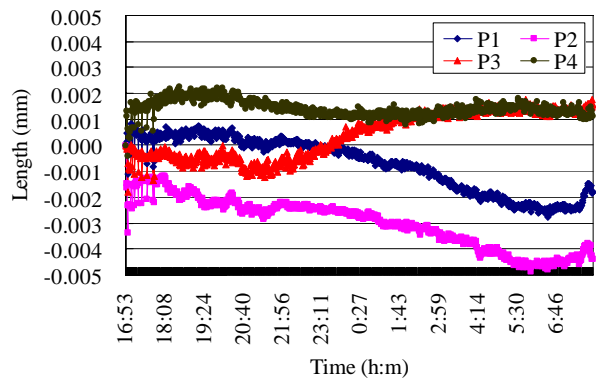


図14 リングの寸法変動

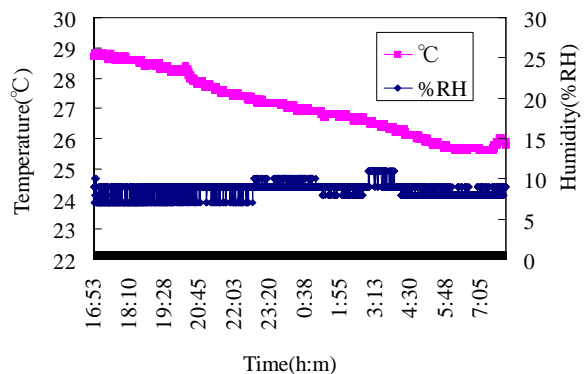


図15 リング測定時の温度変動

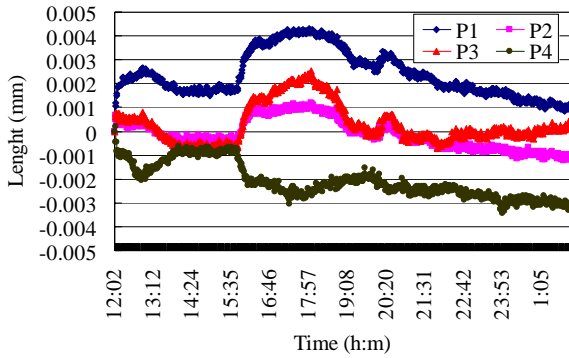


図 16 ボックスでの寸法変動

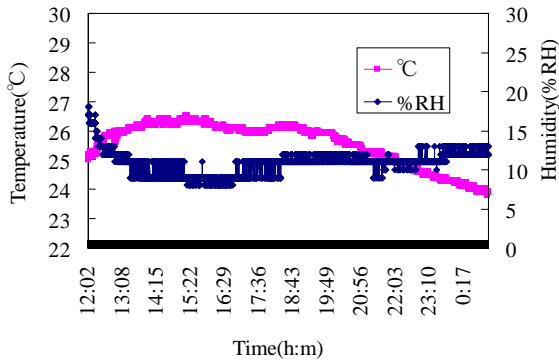


図 17 ボックス測定時の温度変動

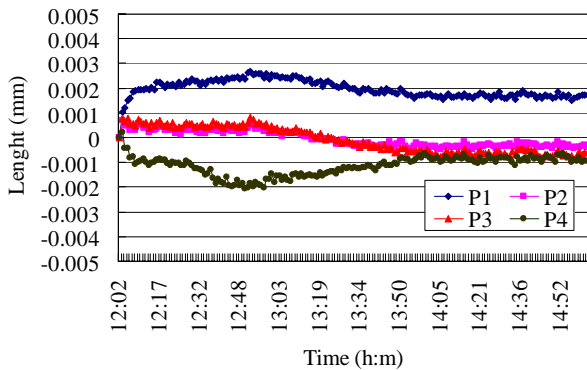


図 18 ボックスでの最初の 3 時間の寸法変動

膨張は $1.05 \mu\text{m}$ である。図 1 4 の寸法変動と図 1 5 の温度変動とを比較すると温度の低下に伴い P1 と P2 が同様の下降曲線を描き時刻 7:49 付近のグラフ形状が類似している。温度膨張 $1.05 \mu\text{m}$ を P2 の寸法変動誤差 $4.9 \mu\text{m}$ から除くと $3.9 \mu\text{m}$ となりプラスチック収縮による寸法変動は非常に小さい。射出成形後から 3 時間までのプラスチック製品の寸法変動は P4 の最大値で $2.7 \mu\text{m}$ であった。3 時間での温度変動幅は 0.6°C であり温度膨張の影響を除くとプラスチック収縮による寸法変動は $2.1 \mu\text{m}$ となった。

3-4 ボックスの場合

図 5 に示したボックスを測定した。測定位置は基準片

上の P0 を測定後、図に示したボックス外側上面の P1~P4 の 4 カ所を測定した。表面色は濃灰色であるため 3 種類の測定物の中で最もレーザ感度調整が行い易くレーザヘッド傾斜は 0° の状態とした。P0 から再度 P0 までの経過時間は 1 分 2 秒である。図 1 6 に示した 14 時間測定でのプラスチック製品の寸法変動は P1 が寸法変動幅の最大値 $4.3 \mu\text{m}$ を示した。14 時間測定した場合の温度環境は図 1 7 より温度変動幅が 2.9°C であった。ナイロンの線膨張係数 $80 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 、測定長さ 2.75mm では $\Delta 2.9^\circ\text{C}$ の温度膨張は $0.64 \mu\text{m}$ である。図 1 6 の寸法変動から温度膨張の影響を除いた寸法変動幅は $3.7 \mu\text{m}$ となった。射出成形後は収縮する形状変化を示すと言われるが図 1 6 は P1 が膨張、P2 と P3 が寸法変動無し、P4 が収縮となり不規則な形状変化を示した。図 1 8 には図 1 6 の最初の 3 時間を抜き取った図を示した。図 1 8 の寸法変動幅の最大値は P1 の $2.7 \mu\text{m}$ となり、3 時間での温度変動幅 1.4°C による温度膨張の影響を除くと寸法変動幅は $2.2 \mu\text{m}$ となった。

3-5 考察のまとめ

スクリーウの場合は測定物の厚さが 25.5mm であり他の測定物に比較して十分大きいために射出成形後から 3 時間の寸法変動の最大値が $42 \mu\text{m}$ と大きな値を示した。形状変化の傾向は膨張となった。これはゲート位置が側面であるため樹脂流れの方向はスクリーウの水平方向になり、樹脂流れの方向へ収縮と言われる一般論から説明できる。しかし、不安定なレーザ受光状態による測定誤差の影響も考えられることから、最終的な結論はゲート位置を因子とする割り付け実験により確かめることが必要と考える。リング、ボックスの場合は測定物の厚さがリングで 4.1mm 、ボックスで 2.75mm とスクリーウと比較して十分小さいため異なる結果となった。リングでは 15 時間測定で温度膨張を除いた寸法変動幅は $3.9 \mu\text{m}$ 、ボックスでは 14 時間測定で温度膨張を除いた寸法変動幅は $3.7 \mu\text{m}$ となり射出成形後の寸法変動は非常に小さいことがわかった。形状変化の傾向はリング、ボックスととも位置の違いにより収縮や膨張の不規則な傾向を示した。当初の仮定ではプラスチック製品は射出成形後、一旦膨張しその後収縮すると予想したが、ここでの実験では再現しなかった。

4 まとめ

最終的なプラスチック製品寸法を予測するために射出成形後のプラスチック製品の寸法変動の大きさ及び傾向を実験により求めた結果、以下の事項が明らかとなった。

- (1) 射出成形機の隣に配置するために高精度及びコンパクト化を実現する測定器を製作し 5 時間の鋼製ブロック測定を行った結果、測定値の変動が標準偏差 $1.02 \mu\text{m}(2\sigma)$ となり、試作測定器の精度を確認した。
- (2) スクリーウ形状で厚さ 25.5mm の場合は射出成形後から 3 時間の温度膨張を除いた寸法変動幅は $42 \mu\text{m}$

となった。寸法変動は鉛直方向への膨張として表れており、これはゲート位置の影響が大きいと予想される。膨張収縮の傾向はゲート位置を因子とした割り付け実験により確かめる必要がある。

- (3) リングで厚さ 4.1mm の射出成形後の寸法変動を調べた結果、15 時間測定での温度膨張を除いた寸法変動幅は最大値で $3.9 \mu\text{m}$ となり寸法変動は小さい。
- (4) ボックスで厚さ 2.75mm の射出成形後の寸法変動を調べた結果、14 時間測定での温度膨張を除いた寸法変動幅は最大値で $3.7 \mu\text{mm}$ となり寸法変動は小さい。
- (5) リング及びボックスで経時による形状変化の統一的な傾向は見られなかった。

以上から射出成形直後の金型内の高圧力開放によるプラスチック製品の寸法膨張の傾向は明確に確認できなかった。その後、寸法測定を 10 時間程度継続して行った結果、

プラスチック製品の寸法は加工室内の温度変動に追従して寸法変動が行われていた。このことからプラスチック製品の寸法計測は通例では 1 日経過後に測定する考え方はここでの実験では再現されなかった。製品の大きさや材質にもよるが、ここでの対象とした材質がナイロンで寸法が 15mm 程度のプラスチック製品の場合は射出成形直後からの寸法変動が小さいので、すぐに寸法計測を行っても良いと考えられる。

文 献

- 1) 山口章三郎他：プラスチック材料選択のポイント，日本規格協会(2003)438.
- 2) 和合健，熊谷和彦，小野寺学：平成 17 年度地域新生コンソーシアム研究開発事業「マイクロ成形機の開発とそれを活用した生産革新技術の研究」成果報告書，岩手大学(2006)68.