

伝熱学から見たプラスチック射出成形における計測制御技術

第2報 光ファイバセンサ式金型内フローフロント挙動の撮影テーブルの構築法

岩田 正孝

東京工業大学大学院理工学研究科機械制御システム専攻

1 はじめに

現代社会はすべからく豊かで快適な環境を求め続けている。当然、それを支えているモノに工業製品も含まれる。これらは金属やプラスチック、紙等の原材料に対し機械加工やダイキャスト、射出成形、印刷等の各種の高生産性のある量産加工技術の結実であり、これらによって生み出される高水準の製品は国際競争力を持ちつつも安価・精微な利便性を醸成し、その生産技術も更に成長を続ける背景もある。

本報では射出成形に着目する。今だ技術的な問題として成型品での不良性の発現因子を扱っている研究者より、成形金型内でのプラスチック(樹脂)の充填挙動時の樹脂先端部分(フローフロント)の把握を可視化手法で明らかにしたいので協力して欲しいとの要請があった。

この背景には動態であり“被写体深度が浅い”事がある。諸条件を協議し技術支援として、この研究の為に初めて用いた製品で構築した“撮影テーブル”の概説とこの製品の紹介である。

尚、この挙動観察の目的は成型品位に影響を与えるフローマーク発現因子の解明の一環であり、マークを意図的に作るのは意外と難しい。

【射出成形とは】

簡単に言うとデッカイ注射器の筒にヒーターを付けてプラスチック材を溶かしながら、型の中に注入して成型する方法。

【フローマークとは】

金型内に流入した溶融樹脂の冷却が速すぎるとその次に流動してきた樹脂との間に境界ができるか若しくは金型内において何かの原因で溶融樹脂の流動端が振動する事により発現すると推測されている。尚、フローマークを有する成型品に負荷が加わった場合、この部分に応力が集中して破壊に至る可能性の指摘もある。

本報は、成形金型内でのフローフロントを可視化手法で明らかにする為の撮影装置である。さて、どの様な方法でこの挙動を求めるかであるがここでは難易度はあるが基本的には流動方向から幅の狭い矩形断面内(幅1.3mm×高30mm)のフロント部分を光学系で約50倍位に拡大し、正面からのビデオ撮影としたが被写体深度が1~2mm位と浅い為にピントの確保は難しく移動するフロントを非接触で検知し、撮影装置搭載台を射出成形速度33mm/secで後方に50mm程度を同期移動する1軸テーブルが必要となった。この金型によるポリプロピレン(PP)で発現したフローマークの例を示す。この発現の推測を図2.に示すが壁面に生じた固化層の影響によって、図3.の様なフローフロントの挙動となるかを映像的に解析する。



写真1. フローマーク像

射出成型品での問題点:

- ヒケ: 固化時の体積収縮
- 歪み: 熱残留応力による
- 複屈折: 材料内の屈折率の差異
- ウエルドライン: 破壊の起点に成りやすい
- フローマーク: 固化表面の地汚れ

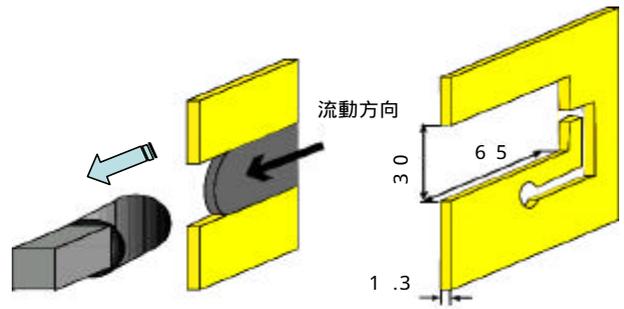


図1. 金型と樹脂の充填経路図

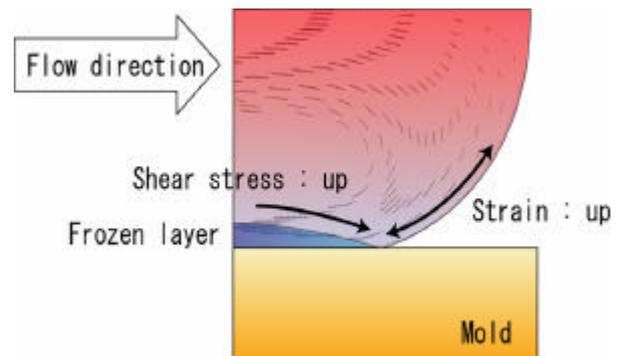


図2. フローフロントの発現想定(1)

【伝熱学とは】

温度差や濃度差の結果として起きるエネルギー移動を
探求する学際的な学問。

想定されるフローフロントの動きを上面から見た場合で示す。

2 開発の経緯

当初、このテーブルの扱いは以前に発展途上国向けの工作機械に組込む搬送テーブル⁽²⁾の開発に従事した経験から比較的高価との思いこみがあった。この為、ラックとピニオンを用いた簡略型に樹脂先端部検出位置センサ回路を組込む構成で自作の方向で検討した。その後、人伝に最近の安価な製品⁽³⁾を紹介され、検討の末、テーブル自体を作る事のメリットが薄れ購入する事となった。参考までに構想案を示す。

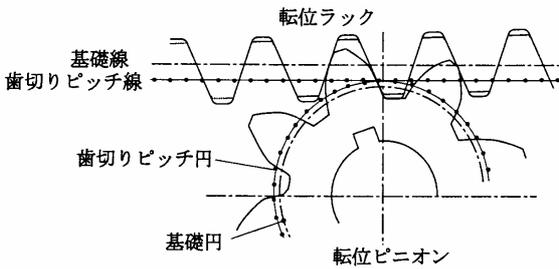


図4 . 自作の搬送テーブルの原理図

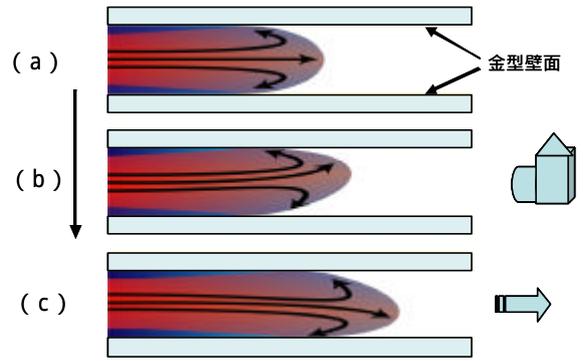


図3 . 想定されるフローフロント挙動

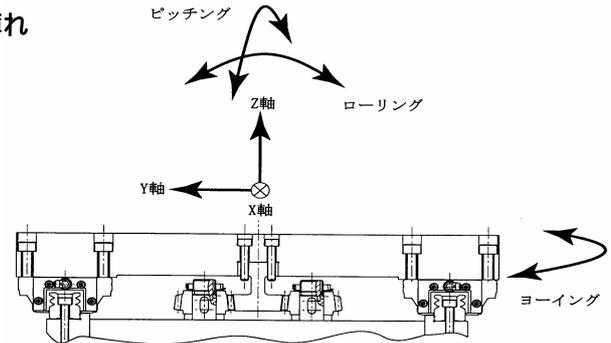


図5 . 搬送テーブルの動き図

検討事項として、走行テーブルの直進性の偏差では次図の三方向とそれらが合わさった変動が考えられるが、撮影(30コマ/秒)時にブレの影響がコマに顕著にでなければ良く、多少で有れば画面内にマーカーを挿入し、これを基準に画像編集をすれば問題が無いと考える。次に、自作の概念図を示すが荷重を受けるテーブルはリニアスライダに載せる構造である。

構成的には、対称駆動系にする事により走行安定性を得られる様な構造となっている。

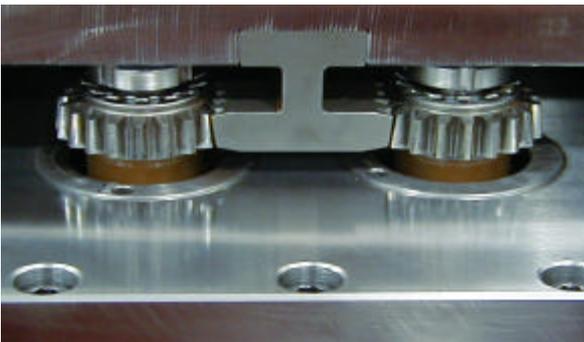


写真2 . 搬送テーブルの様子

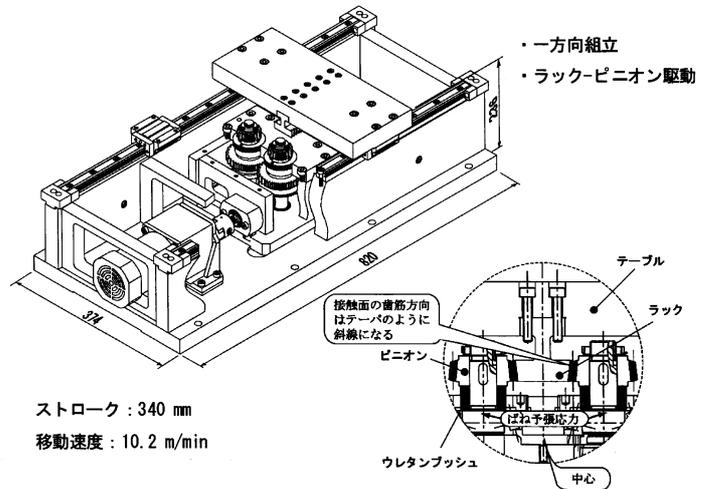


図6 . 簡易搬送テーブル構成図⁽²⁾

3 選定した1軸テーブルの概要

始めに、今回使用した選定品は競合品を十分に吟味する間もなくでの構築の為、経験を基に自作時での概算と比較したのみでモノを問わずに価格から選んだ。ここでは多少なりとも宣伝臭くなるがHPを基に簡単に紹介する。

<http://www.yamaha-motor.co.jp/im/robot>

製造元はヤマハ発動機株式会社の社内カンパニーの「I Mカンパニー」(所在地: 静岡県浜松市)で、コンパクトな単軸ロボット・Picoシリーズ「T4P」、「T5P」の2機種を2003年2月に発売。高剛性かつ防塵性に優れたボディーと高性能なサーボモーターを採用し、ゾーン信号(領域判定出力信号)、押し付け力制御(圧入、クランプ)等の機能を加え、価格面でもエアー機器並の価格で多様化するニーズに対応できる小型ロボットとして、今後のロボット市場を拡大していく事が期待される製品とある。

<主な特長> (1)低価格 (2)コンパクト (3)高機能 (4)容易なメンテナンス

<主な用途> 電気・電子部品、機械部品の組立、挿入、取出、搬送から、各種先端ツールを取り付ける事により、ネジ締め、接着剤塗布、圧入、ハンダ付け等の作業と幅広い用途に使用。

次に型番指定例を示す。

T5P - 12 - L - BK - 600 - 3L - PRC2

ロボット本体 -
 リード指定 -
 モータ種別 -
 ブレーキ -
 ストローク -
 ケーブル長 -
 適用コントローラ

本対応では、緒元を検討した結果、撮影光路長が900mmの為にこれを載せる為に最大長として型式「T5P」でストローク600mm、推定荷重から大きめだがリード6mmを用いた。このタイプでは固定受台が1ヶ所の為に長尺の場合、両端が暴れ易いので補助スライダを装着してブレ防止を図った。またT5Pは幅広ガイドの採用から許容負荷モーメントが大きく、偏荷重の掛かる作業にも対応し、ブレーキ付モーターの採用で垂直使用とエアシリンダの様に押し付けた状態での保持(押し付け動作)も可能。繰返し位置決め精度は±0.02mm。

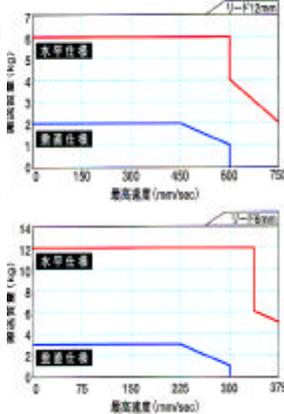
今回の様な研究支援の立場からは、こうした安価で高性能なシステムに他の要素を加味すれば、センサ計測、機械加工での工具保持具としても有効なツールとしての応用が期待できる。

■基本仕様

| | | |
|-----------------------------|----------------|---------|
| 型式 | T5P | |
| 繰返し位置決め精度(mm) ^{※1} | ±0.02 | |
| 減速機構 | ボールネジ | |
| ボールネジリード(mm) | 12 | 6 |
| 最高速度(mm/sec) ^{※2} | 水平使用時 | 750 375 |
| | 垂直使用時 | 600 300 |
| 最大可搬質量(kg) | 水平使用時 | 6 12 |
| | 垂直使用時 | 1.5 3 |
| ストローク(mm) | 50~600(50ピッチ毎) | |
| ケーブル長(m) | 3.5(標準), 5, 10 | |
| コントローラ | PRC 2 | |

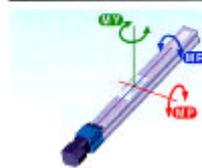
※1 片側170の繰返し位置決め精度。
 ※2 速度と可搬質量の相関図をご参照ください。

■速度と可搬質量の相関図



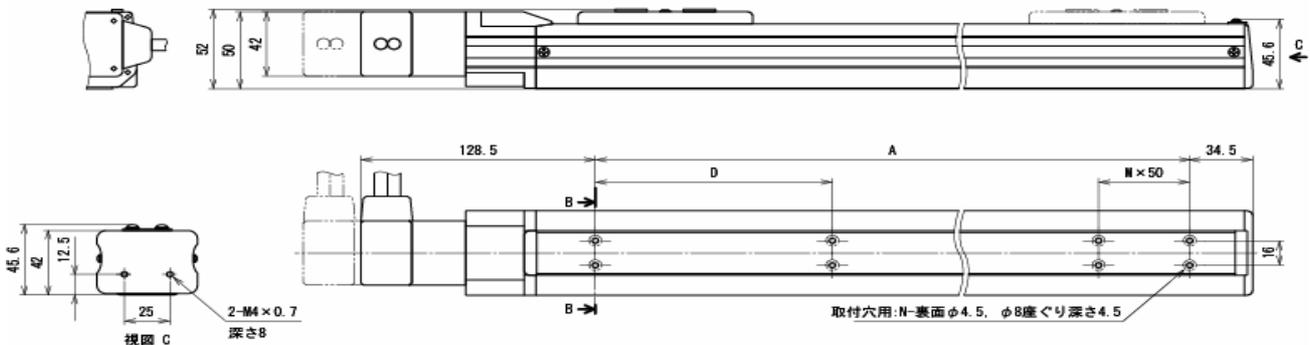
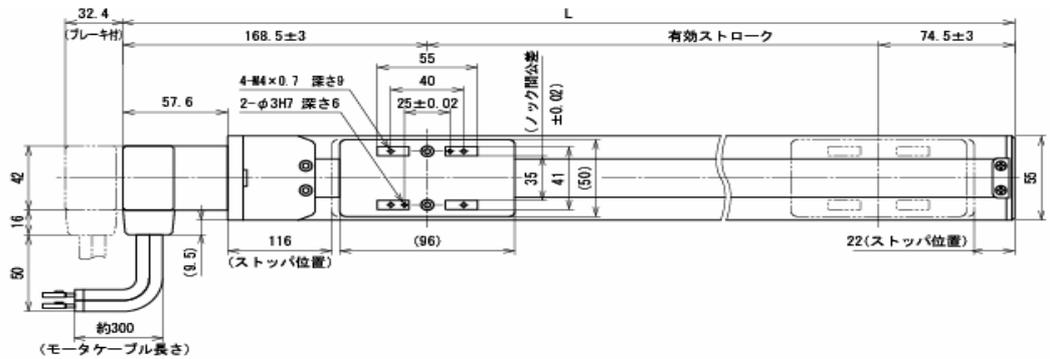
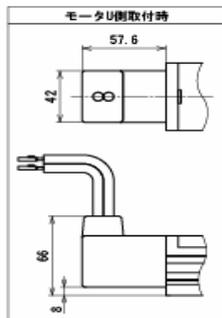
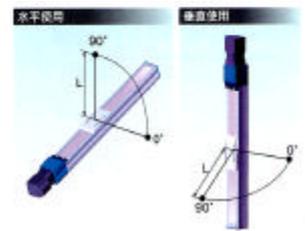
■静的許容負荷モーメント (N・m)

| MY | MP | MR |
|------|------|------|
| 10.9 | 10.0 | 29.4 |

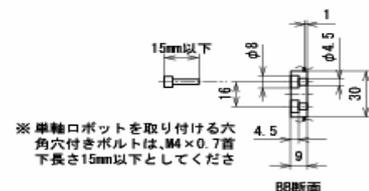


■動的許容負荷モーメント (mm)

| 使用時 | リード | 質量 | 角度 | |
|-------|-------|-------|-----|-----|
| | | | 0° | 90° |
| 水平使用時 | リード12 | 3kg | 270 | 521 |
| | | 6kg | 151 | 363 |
| | リード6 | 6kg | 211 | 846 |
| 垂直使用時 | リード12 | 1.5kg | 209 | 249 |
| | リード6 | 3kg | 125 | 150 |



| 有効ストローク | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| L | 293 | 343 | 393 | 443 | 493 | 543 | 593 | 643 | 693 | 743 | 793 | 843 |
| A | 130 | 180 | 230 | 280 | 330 | 380 | 430 | 480 | 530 | 580 | 630 | 680 |
| D | - | - | - | - | - | - | 230 | 230 | 230 | 230 | 230 | 230 |
| M | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| N | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 |
| 質量(kg) | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 2.7 | 2.8 | 2.9 | 3.0 | 3.1 | 3.2 | 3.3 |



※単軸ロボットを取り付ける六角穴付きボルトは、M4×0.7 下長さ15mm以下としてください

図7. Picoシリーズ(T5P)のカタログ⁽³⁾

4 構築した撮影テーブルの概要

本システムでは、リード指定 6 mmとしたので最大可搬重量は水平12Kgで最高速度375mm / secと十分な高駆動力をカタログスペックで得る。このT5Pユニットに金型内の1/2の高さを通過するフローフロントを従前の使用経験⁽⁴⁾がある反射型光ファイバセンサ(キーエンス製：光ファイバFU-35FZ + アンプFS-V21)で光学検知し、これをトリガ信号とする小型シーケンサ(キーエンス製：(例) 6 in 4 out・KV-10DT)で予め走行遅延時間及び駆動時間を設定する。このセンサ部の構成を写真3 . に示す。これから出力した走行起動信号を専用コントローラ(PCR2)に送り、設定走行速度33mm / secで撮影装置全体を後進させる光ファイバ式金型内フローフロント挙動撮影テーブルを構築した。その全体構成を写真4 . に示す。

5 まとめとして

今回は主に撮影駆動装置構築のみ概説した。これは、研究そのものが端緒に就いた処でしかも当方は使用説明のみとし具体的な内容には立ち入らなかったのが研究成果を把握していない為である。とは言っても参考までに本装置による撮影例としてフローフロントの挙動把握用トレーサにガラス球(30 μ m)を添加し、明瞭度を上げた場合の動きをパソコン上で1/30コマ秒毎にマーキングして見た処、赤丸から緑丸へと移動する方向が分かり連続的に撮影ができた事が分かった。

さて、従前よりこの様なステージを自作する場合、性能試験等まで考えると意外と面倒であり躊躇もあったが、利用してみるとシーケンサの経験が活き計測位置の厳しい測定にも容易に対応ができるなどかなり利便性を感じたので本件では積極的に改善や改良など行いつつ研究支援としてのバリエーションを広げたいと考えている。尚、本システムの総経費概算では25万円位で時間設定に必要なWi版シーケンサソフト(キーエンス製：KV-H1W Ver.4.0)関係は含んでいない。

実際の運転では、光学系の光軸調整や照明の扱いを除けば光ファイバアンプの感度調整、シーケンサの遅延時間プログラム、PCR2の速度設定が細かな調整としてある。また、他社製品でも概ね同じ様な性能・機構である。

参考文献

- (1) 保永研彦, “プラスチック射出成形品におけるフローマークの発現機構に関する基礎的研究”, 東京工業大学理工学研究科機械制御システム専攻, 平成14年度修士論文
- (2) 岩田正孝, “簡易組立に見る搬送テーブルシステムの可動精度に関する計測制御技術”, 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所, 技術研究会No.16, p117 - p120
- (3) YAMAHA, Picoシリーズヤマハ単軸ロボットT4P / T5Pカタログ, 産業用ロボット2003.9
- (4) 岩田正孝, “伝熱学から見たプラスチック射出成形における計測制御技術”
第1報 ガスアシスト成形における光ファイバ式シーケンサ制御,
東北大学金属材料研究所, 平成11年度機器・分析技術研究会, p59 - p64



写真3 . センサ部構成

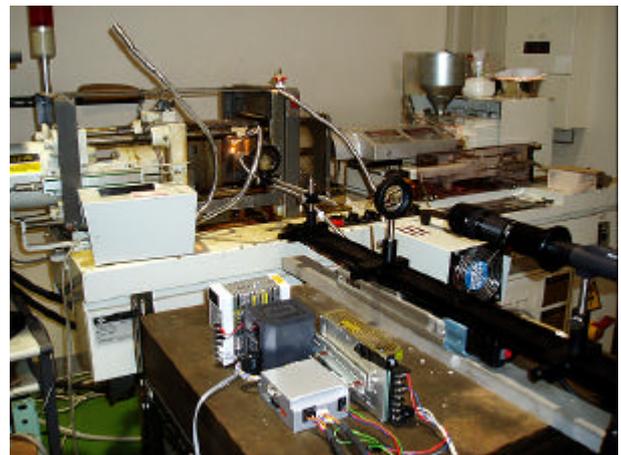
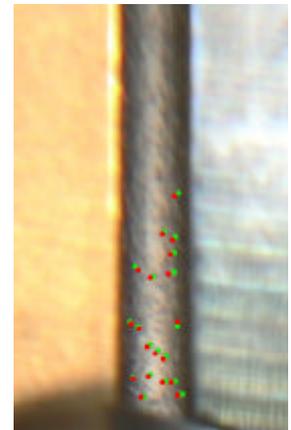


写真4 . フローフロント撮影システム
(仮調整中風景・光ファイバ照明)



(a) 金型照明 (b) 拡大撮影の解析
写真5 . 計測部拡大