

NACHI  
**TECHNICAL**  
**REPORT**  
Components

Vol. **17** B4  
October/2008



■ 新商品・適用事例紹介

電動式射出成形機向け高負荷ボールねじ支持用  
「高負荷容量スラストアンギュラ玉軸受」  
"High Capacity Angular Contact Thrust Ball Bearing"  
for Ball Screw Support  
of Electric Injection Molding Machine

〈キーワード〉 ボールねじサポート用軸受・高負荷容量・長寿命  
コンパクト化・射出成形

部品事業部／技術一部

安藤 真敏

Masatoshi Ando

## 要 旨

昨今の省エネルギー・環境負荷低減のニーズを背景に、プレス機械や射出成形機などにおいてサーボモーターを駆動源とする電動化の動きが高まっている。これら機械の電動化を支えるのが、ボールねじ※1を使ったリニアアクチュエーターである。

自動車のステアリング用途として製品化されたボールねじは、NC工作機械のワークテーブルなどの送り装置用として高速・高精度・高剛性を目標に発展してきた。しかし、射出成形機などに使用されるボールねじは、高速性もさることながら、高荷重に耐える必要があり、必然的にそのボールねじを支持する軸受にも高負荷容量化が求められている。

今般、高アキシャル負荷容量タイプのスラストアンギュラ玉軸受※2（以下、ボールねじサポート軸受とする）を開発、シリーズ化した。

## Abstract

There has been an increasing tendency toward use of servo motors in press machines and injection molding machines because of the recent demands for energy conservation and reduction of burden to the environment. Linear actuators with ball screws have been used for servo motors.

Originally a ball screw was developed and marketed for steering function in an automobile and further developed for feeders including a work table in NC machine tools. It has been improved over time for high speed, high precision and high rigidity. A ball screw used in an injection molding machine needs to withstand a high load as well as high speed. Inevitably a bearing that supports such ball screw requires the high load capability.

To satisfy this need, NACHI has developed Angular Contact Ball Thrust Bearing that withstands a high axial load (hereinafter called Ball Screw Support Bearing) and made it into a series.

## 1. 電動サーボ式 射出成形機

製品の小型軽量化志向や樹脂材料の高機能化により、これまで金属材料でつくられていた部品を樹脂に置き換える動きがある。中でも光学機器のレンズ、携帯電話やノートPCなどのIT機器部品など、高精度が求められる部品を実現する射出成形機には、より高い制御性が必要とされる<sup>1)</sup>。すなわち、従来の駆動アクチュエータを油圧ポンプ＋シリンダーとした油圧式のデメリットである作動油粘度の温度依存性、制御弁の動作特性に起因する安定性や制御性の限界などを克服する必要がある。このような背景のもと、とくに国内市場においては、油圧式射出成形機に替わり電動サーボモーター＋ボールねじを使った電動サーボ式射出成形機の台頭が著しく、80%以上が電動サーボ式となっている。

また、省エネルギーの面でも、油圧式に見られる制御弁などの流量抵抗による損失のない電動サーボ式が一般的に有利となる。

電動サーボ式では実現の難しい超大形の成形機には依然、油圧式の持つ大出力が有効であろうが、今後も電動サーボ式成形機の発展はすすむものと思われる。

典型的な射出成形機の外観を、図1に示す。

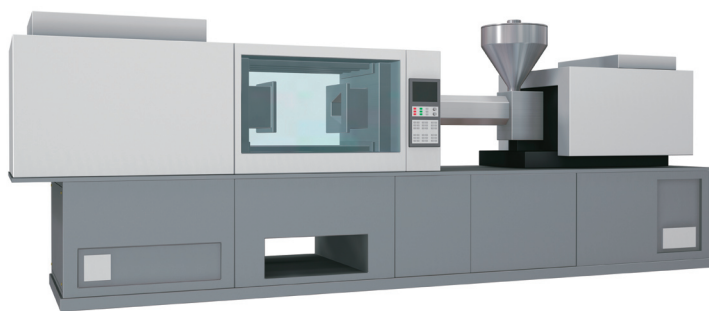


図1 射出成形機外観

## 2. キーデバイスとしてのボールねじ

電動サーボ式射出成形機において、キーデバイスとなるのがボールねじである。今日の電動サーボ式射出成形機の発展は、成形機用ボールねじの製造技術、使用する上でのノウハウの蓄積に支えられてきたものと考えられる。

NC工作機械のテーブル駆動に使用されるような精密ボールねじには高速・高精度・高剛性が要求されるのに対し、射出成形機用ボールねじは、高負荷、短ストローク運動への耐性が要求される。ボールねじメーカー各社からは、射出成形機用途の高負荷容量のボールねじが製品化されている。

ボールねじの推力を支え、ボールねじをフレームに固定するのがボールねじサポート用軸受である(図2)。NACHIではこれまで、精密ボールねじの支持用としてTABシリーズ、小型リニアアクチュエータ用小径ボールねじ支持用としてシール付きアンギュラ玉軸受を商品化してきた<sup>2)</sup>。



図2 ボールねじとボールねじサポート用軸受

### 3. 電動サーボ式射出成形機内のボールねじ使用部位

一般的な射出成形の工程は、①型締め工程、②ノズルタッチ工程、③射出工程、④冷却工程、⑤材料の計量と熔融、混練の工程、⑥型開き工程、⑦成形品突出し工程からなる<sup>3)</sup>。これら工程の内、電動サーボ式射出成形機においてボールねじで駆動される工程は、型締め、ノズルタッチ、射出および成形品突出し工程である(図3)。

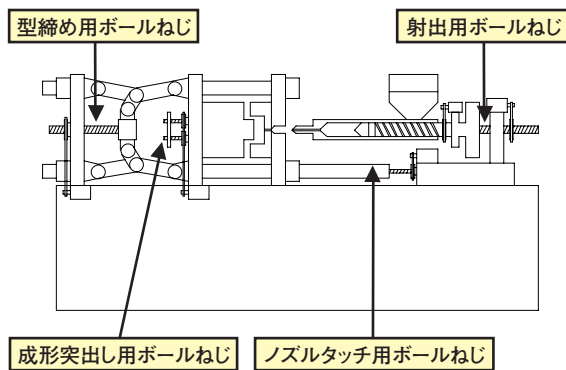


図3 電動サーボ式射出成形機におけるボールねじの使用箇所例

#### (型締め)

金型のオス側(移動)とメス側(固定)を密着させ、樹脂を射出される空間を作る工程である。熔融した樹脂が非常に高い圧力で型内に射出されるので、オス型とメス型を締め付けるにも強い力が必要となる。その型締め力は、成形品の大きさ、求められる精度によって異なり、50kN程度から、15,000kNを超える電動式射出成形機も製品化されている。また、型の移動をボールねじで行ない、型締め力保持を油圧で行なうハイブリッドタイプもある。

#### (ノズルタッチ)

連続成形開始時のみの工程であり、射出ユニットを前進させ、射出シリンダ先端部分を金型の樹脂注入部に接触させる工程である。他の工程に比べ低速であり、アクチュエーターとしては大きな動力を必要としない。

#### (射出工程)

加熱シリンダ内で熔融させた樹脂をスクリーウの前進により金型内に注入する工程である(図4)。また、射出後、熔融樹脂が金型内で一定の硬さになるまで圧力をかけたまま保持する(保圧という)。射出工程のボールねじには、高速性と耐スラスト荷重が要求される。

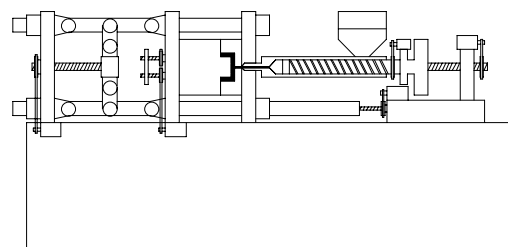


図4 型締め→ノズルタッチ→射出した状態

#### (成形品の突出し工程)

射出、型開き後に、金型から製品を分離させる工程。射出後の収縮により金型内に密着した成形品を金型内部の突き出し機構によって、外部に排出させる。当然ながら、型締め、射出工程ほどの力は必要としない。

## 4. 射出成形機用ボールねじサポート軸受に求められる性能

前項で述べたように、射出シリンダー、型締め部のボールねじは、高負荷かつ短ストロークという過酷な条件の元で使用される。したがって、そのボールねじを有効に機能させるにはそれを支持する軸受にも相応の性能が要求される。求められる性能のポイントとしては、

- ・長寿命
- ・高アキシャル限界荷重
- ・耐高速回転
- ・低トルク
- ・高精度

などが挙げられる。これら要求性能は、標準アンギュラ玉軸受73Bシリーズ、精密ボールねじサポート用のTABシリーズでも、ある程度満たすことはできる。しかし、NACHIは今後の電動サーボ化への進展を見据え、高負荷ボールねじサポートに特化したTAFシリーズを開発・シリーズ化した。

TAFシリーズの外観を、図5に示す。

以後、TAFシリーズの特徴について述べる。

### 1) 高負荷容量

基本的に、サポート用軸受にはボールねじ以上の寿命が求められる。軸受の転がり疲れ寿命を向上させる手段としては、基本動アキシャル定格荷重 $C_a$ を増大させることが考えられる。ボール径25.4mm以下を持つスラスト玉軸受の基本動アキシャル定格荷重は、式(1)で示される計算式で求めることができる。

$$C_a = f(\cos \alpha)^{0.7} \cdot Z^{2/3} \cdot Dw^{1.8} \cdot \tan \alpha \quad \text{---式(1)}$$

ここで、

- $C_a$ ：基本動アキシャル定格荷重 [N]
- $f$ ：形式・内部設計により決まる係数
- $\alpha$ ：呼び接触角
- $Z$ ：玉数
- $Dw$ ：玉の直径 [mm]

式(1)から、玉の直径を大きくすることがアキシャル定格荷重を増大させるには最も効果があることが分かる。TAFシリーズでは、限られた主要寸法内でボール直径を極力大きくするよう設定することによって大きい動アキシャル定格荷重を実現した。

単位軸受あたりの動定格荷重を増加させることにより、標準形(TABシリーズ、73Bシリーズ)を多列組みあわせして使用した場合に比べ、組みあわせとしての定格荷重を維持したまま列数を少なくし、幅寸法の削減が可能となる(図6)。



図5 TAFシリーズ外観

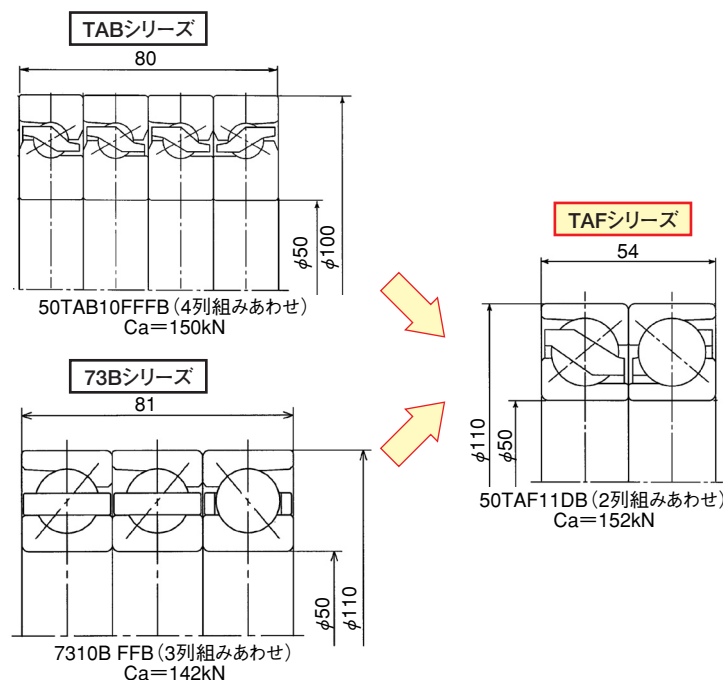


図6 組みあわせ幅寸法比較

TABシリーズ、73Bシリーズ、TAFシリーズについて、軸受内径寸法ごとの基本動アキシャル定格荷重の比較を、図7に示す。

また、TABシリーズとの計算寿命の比較を、図8に示す。

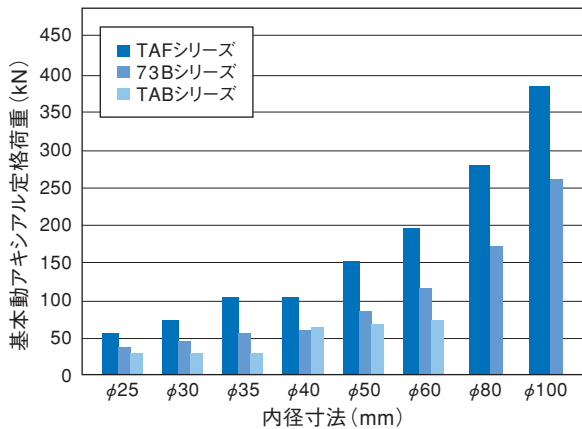


図7 基本動アキシャル定格荷重比較

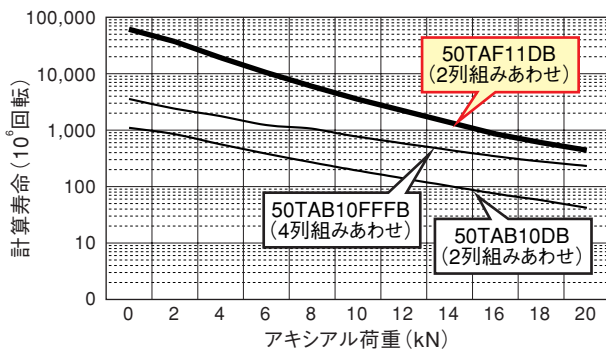


図8 標準形との寿命比較 (計算値)

## 2) 耐高速回転

高速の正逆繰り返し運転の加速度に耐えるよう、保持器を両柱タイプの一体成形樹脂保持器とすることにより、高精度・高強度を確保した。

## 3) アキシャル限界荷重

型締め完了時や射出後の保圧時には、軸受に大きな静的アキシャル荷重が負荷される。

アンギュラ玉軸受にアキシャル荷重を徐々に負荷していった場合、ある荷重を超えるとボールと軌道面との接触部が軌道面よりはみ出してしまふ。このときのアキシャル荷重をアキシャル限界荷重と定義する(図9)。アキシャル限界荷重以上の荷重を負荷すると、軌道の肩部に永久変形(圧痕)を生じ、音品質の低下や振動、早期はくりの原因となる。

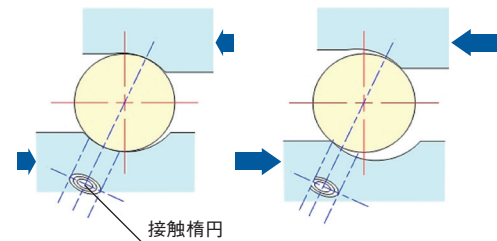


図9 軌道肩乗り上げ

TAFシリーズでは、内輪外径寸法、軌道曲率および接触角を最適設定することにより、許容アキシャル荷重の向上を図った。図10に内径寸法毎の73B系列およびTABシリーズとのアキシャル限界荷重の比較を示す。

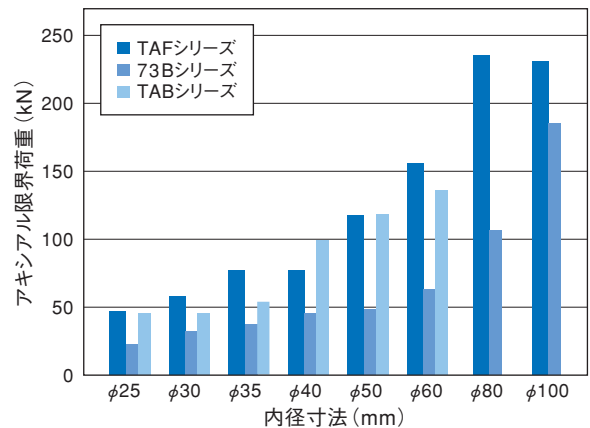


図10 アキシャル限界荷重比較

## 4) 低トルク

油圧式射出成形機の場合、射出部は油圧アクチュエータ+スラストころ軸受の組みあわせがよく使用される。ころ軸受はその構造上、ころと軌道輪とがすべり接触している部分があり、玉軸受に比べ回転抵抗が大きい。しかし、油圧アクチュエーターの出力が大きいいためそのデメリットは顕在化しなかった。電動サーボ式の場合、軸受の回転抵抗が大きいとサーボモーターも大形となり電動式のメリットが損なわれる。

TAFシリーズにおいては、ボールと軌道面との接触状態を最適化することにより、TABシリーズに対し同等、73Bシリーズに対しては大幅な起動トルク低減を実現した(図11)。

## 5) 高精度

射出成形機用ボールねじに使用される軸受は、工作機械に使用される精密ボールねじ用軸受との比較においては、それほどまでの寸法精度・回転精度を必要としない。しかし、多列組みあわせで使用

した場合、各軸受間の外内径寸法相互差が大きいと軸・ハウジングとのはめあい時に、各軸受列間に荷重分布のアンバランスを起こし、発熱につながる恐れがある。

このため、TAFシリーズの精度はJIS 5級相当が必要であり、精密級軸受と同工程で製作されている。TAFシリーズの仕様を表1に示す。

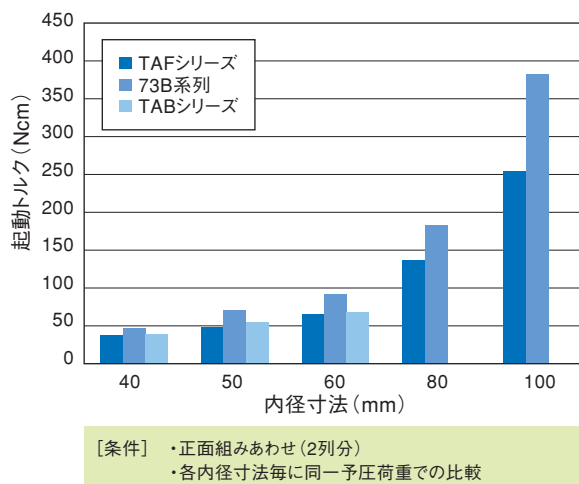
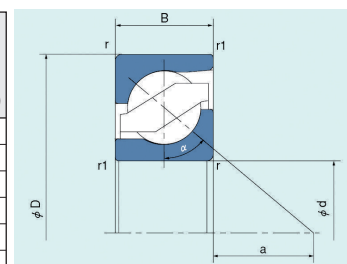


図11 起動トルク比較

表1 TAFシリーズ仕様

呼び番号	主要寸法 (mm)					作用点 (mm)	接触角 (°)	基本動定格荷重 (kN)	アキシャル限界荷重 (kN)	許容回転速度 (min <sup>-1</sup> ) (グリース潤滑)
	内径	外径	幅	面取(最小)						
	d	D	B	r	r1	a	α	Ca		
25TAF06	25	62	17	1.1	0.6	17	50	56	47.5	4,500
30TAF07	30	72	19	1.1	0.6	21	50	74	58	3,800
35TAF09	35	90	23	1.5	1.0	27	50	103	77	3,000
40TAF09	40	90	23	1.5	1.0	27	50	103	77	3,000
40TAF11	40	110	27	2.0	1.0	34	50	152	118	2,500
45TAF11	45	110	27	2.0	1.0	34	50	152	118	2,500
50TAF11	50	110	27	2.0	1.0	34	50	152	118	2,500
60TAF13	60	130	31	2.1	1.1	41	50	196	157	2,100
60TAF17	60	170	39	2.1	1.1	55	50	279	238	1,500
80TAF17	80	170	39	2.1	1.1	55	50	279	238	1,500
100TAF21	100	215	47	3.0	1.1	89	55	385	234	1,200
120TAF03	120	260	55	3.0	1.1	108	55	445	380	1,000



TAFシリーズ寸法図

## 5. 射出成形機の電動化を支える 高性能ベアリング

ボールねじサポート軸受のレパートリーとして新しくシリーズ化した、電動サーボ式射出成形機用の高負荷容量ボールねじサポート用軸受TAFシリーズについて紹介した。TAFシリーズは、長年培ってきたボールねじサポート用軸受のノウハウを盛り込んで開発された。

今後もスクリーン素材、金型用素材、搬送用ロボットなど、射出成形機および周辺装置の分野に幅広い高品質なソリューションを提供していく。

### 用語解説

#### ※1 アクチュエーター

入力されたエネルギーを物理運動へ変換する機構のこと。電動モーターとボールねじの組みあわせは、電気エネルギーを直線運動に変換するアクチュエーターであり、油圧のエネルギーを直線運動に変換するのが、油圧シリンダーである。

#### ※2 アンギュラ玉軸受

転動体であるボールが内輪・外輪軌道面とある角度をもって接触している軸受。通常、単体で使用することはできず、2個対向させて使用するが、2個以上を組みあわせて使用する。

#### ※3 基本動アキシャル定格荷重

スライト軸受において、一群の同じ軸受を運動させたとき、そのうちの90%の軸受が転がり疲れによる損傷を起こさずに100万回転できるようなアキシャル荷重のこと。

### 参考文献

- 1) 稲葉 善治：電動サーボ式射出成形機  
精密工学会誌 Vol.66 No.10、(2000) pp.1528-1532
- 2) 穴田 幸平：長寿命、メンテナンスフリー、大アキシャル荷重  
「ボールねじサポート用軸受」  
NACHI-BUSINESS news、Vol.3 B1、May (2004)
- 3) 日精樹脂インジェクション研究会：知りたい射出成形

### 関連記事

- 1) 八島 秀樹：高負荷ボールねじサポート用軸受 (TAFタイプ)  
不二越技報 Vol.56 No.2、(2000)