

大型電動射出成形機用ボールねじ

Ball Screws for Large Size Electric Injection Molding Machine



松 尾 識 小 川 博 史 吉 田 孝 文
河 野 和 清 石 和 田 健

電動射出成形機に用いる高負荷ボールねじにおいて、ボールねじ単体の運動及び玉荷重特性とボールねじ支持構造体の変形特性を連成解析手法を用いることにより、当社独自のボールねじ荷重等配支持機構を開発し、各ボールねじナットに射出荷重を均等配分することにより長寿命を確保した。その実機サイズの要素試験機を製作して、実使用サイズのφ100～140ボールねじの耐久性を評価し、実機目標寿命を満足できることを検証し、大型電動射出成形機850emを製品化した。

1. は じ め に

射出成形機は従来油圧式が主流であったが、クリーンな成形機として小型精密業界を中心に電動式が伸びてきた。最近ではその省エネルギー性も着目され、環境対応だけでなく生産コスト低減として大型機の電動化が要望されている。このようなニーズにこたえるべく、型締め力850 tクラスの省スペース2プラテン型大型電動射出成形機emシリーズを開発した。

電動射出成形機では、ボールねじが高負荷を受けながら往復運動するため、ボールねじの耐久寿命が製品の信頼性を左右する重要な機械要素となっている。このボールねじの耐久性向上のため、玉荷重分布解析手法の開発、ボールねじ支持構造体の影響を考慮した玉荷重分布連成解析、実機モデル試験機による耐久性評価を実施した。

2. 電動射出成形機の構成

図1に電動射出成形機の構成を示す。電動射出成形機では、射出部、型開閉部、エジェクタ部、ノズルタッチ部などの主要部に多くのボールねじを使用している。ボールねじは図2に概略構造を示すように、サーボモータの回転運動を直線運動に変換する機械要素として働いている。

これらのボールねじの中でも射出ボールねじは、可塑性ス

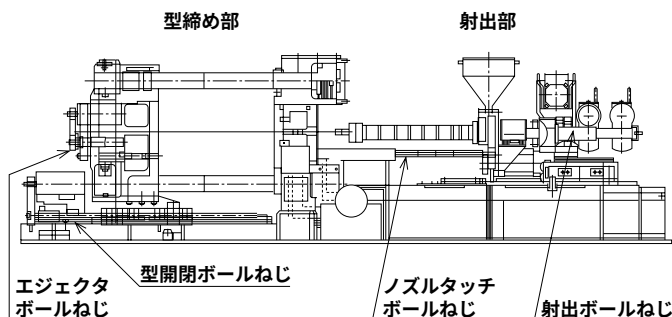


図1 電動射出成形機構成 ボールねじの使用箇所を示す。

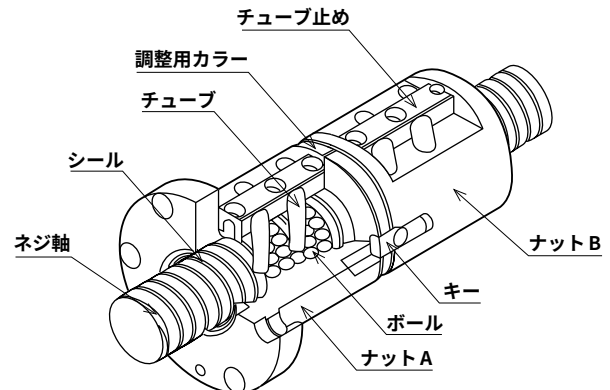


図2 ボールねじの概略構造 ボールねじの外形及び内部構造を示す。

クリュー軸を駆動するベアリングハウジング(以下ベアハウ)の両側に固定され、ボールねじ軸回転によりベアハウを前後動させて、射出動作を行う。可塑性スクリュー軸先端部の熔融高粘度のプラスチックを、ボールねじの駆動によって高圧で金型に射出・保圧する。このため、射出ボールねじは約100 t前後の高荷重を受けながら往復運動を繰り返し、非常に過酷な使用条件となっている。

850em機では射出ボールねじを、射出ユニットの左右に2本配置し、さらにボールねじ1軸あたりナットを2個取り付けたダブルナット方式として高い射出荷重に耐えうる構造としている。この射出ボールねじへの負荷は、支持構造体の変形等にも影響されるため、支持構造体も含めて構造解析と検証を行い、十分な耐久寿命を確保しておく必要がある。

3. ボールねじ玉荷重分布解析手法の開発

ボールねじに軸方向荷重が負荷されたとき、玉一個当たりが発生する玉荷重は、ねじ軸の弾性変形等により負荷玉数全体の平均値ではなく、個々の玉位置で玉荷重が変化する負荷分布をとる。さらに取付誤差や曲げモーメントが負荷されると、この負荷分布はより不均一となって最大面圧が高くなり、

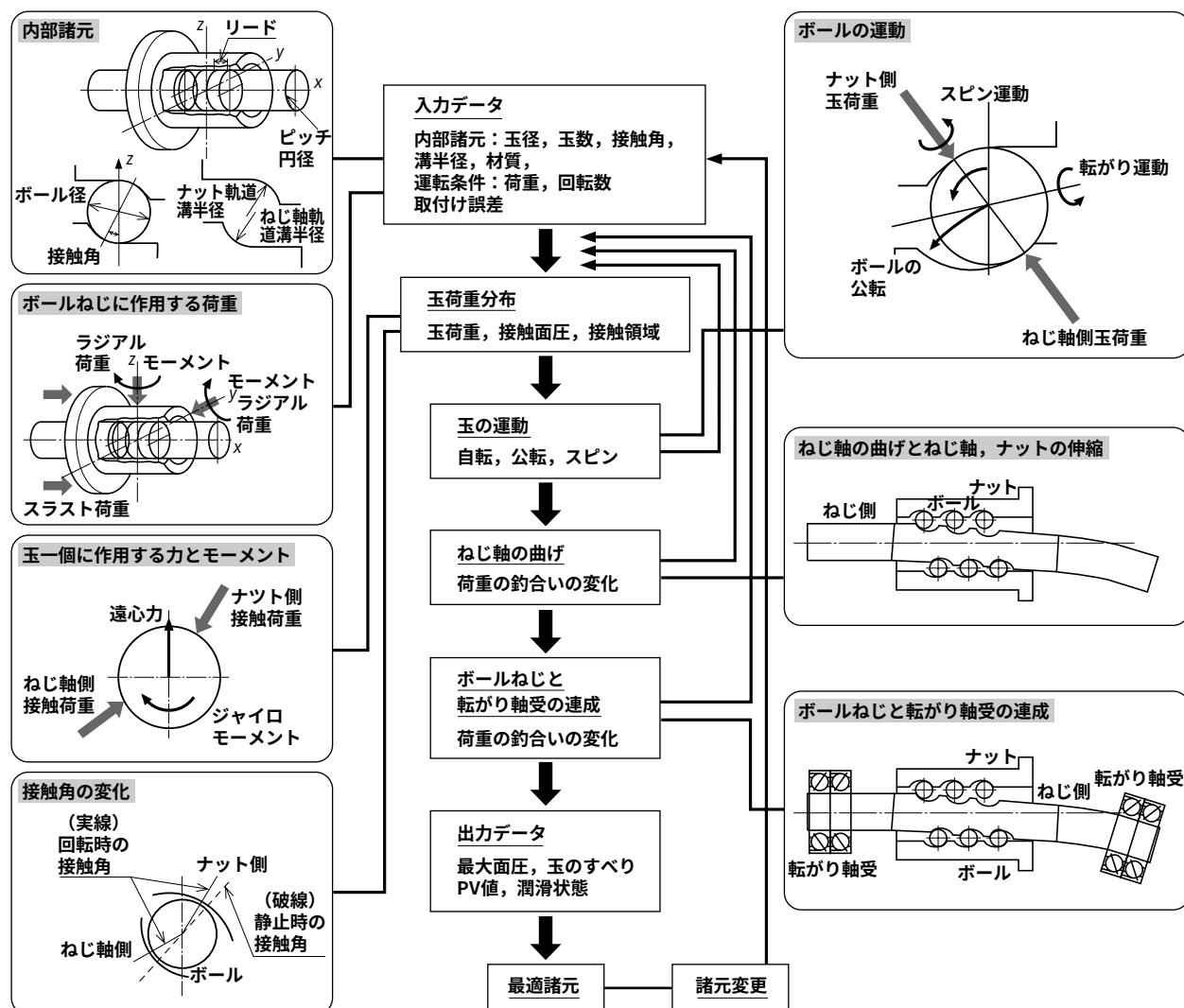


図3 玉荷重分布解析のフロー
求める解析フローを示す。

ボールねじの玉とねじ溝間の弾性変形を考慮した玉の運動と、その運動を考慮して負荷分布を

耐久寿命に大きく影響を与えるようになる。

玉荷重分布の解析は、従来より静的な負荷分布解析手法が知られているが、負荷分布に影響を与える玉の運動が考慮されていない。そこで今回、より正確な解析を行うため、玉とねじ溝間の弾性変形を考慮した玉の運動と、その運動を考慮して負荷分布を求める手法を開発した⁽¹⁾。

今回の解析における主要な因子は、次に示すとおりである。

- ① 玉中心とねじ溝曲率中心の幾何学的な位置関係
- ② 玉1個に作用する力の釣り合い
- ③ 外力との力の釣り合い
- ④ ねじ軸とナットの軸方向剛性
- ⑤ 玉の運動（玉軸受けの玉の運動を評価する際に用いられるコントロールの概念を適用）

解析のフローを図3に示す。

この解析手法を用いてナット傾きの影響を計算した例を図4に示す。ナット傾きが大きくなるに従って玉荷重分布はより不均一になるとともに最大面圧が増加し、傾き 1×10^{-3} rad では 1×10^{-4} rad の面圧の約2倍にも増加することを示して

いる。これより、ボールねじの耐久性を確保するにはナットの傾きを極力小さくする支持構造体が必要であることが明らかとなった。

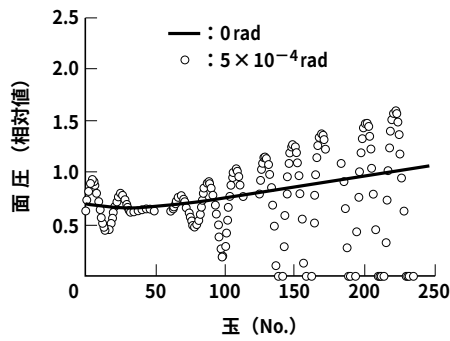
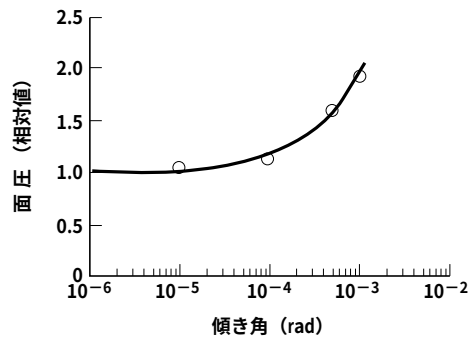
4. ボールねじ支持構造

ボールねじへの負荷は、スクリー軸の射出荷重がベアハウ左右に固定されたナットから伝わるため、ベアハウの弾性変形、取付誤差、走行精度によりボールねじ負荷にアンバランスが生じ、ボールねじ寿命を大幅に低下させる恐れがある。

このため構成部品の応力・変形解析のみならず、これによって生ずるボールねじ玉荷重分布も構造解析と連成させて解析した。支持構造体解析モデルを図5に示す。

市販の高負荷用タンデムナット（ナットをフランジ面で2個連結させた構造）では、ナットが長いこと曲げ応力や取付面の傾きの影響を受け、玉荷重分布が均等でなく最大面圧が許容値を満足できなかった。

そこで850emではボールねじ1軸あたり高負荷用ボールナットを2個個別に取り付けるダブルナット方式とし、ナッ

(a) ナット傾き 0 rad と 5×10^{-4} rad の玉面圧分布

(b) 玉最大面圧に及ぼすナット傾きの影響

図4 玉荷重分布解析結果 ナット傾きが大きくなるに従って玉荷重分布はより不均一になるとともに最大面圧が増加することを示す。

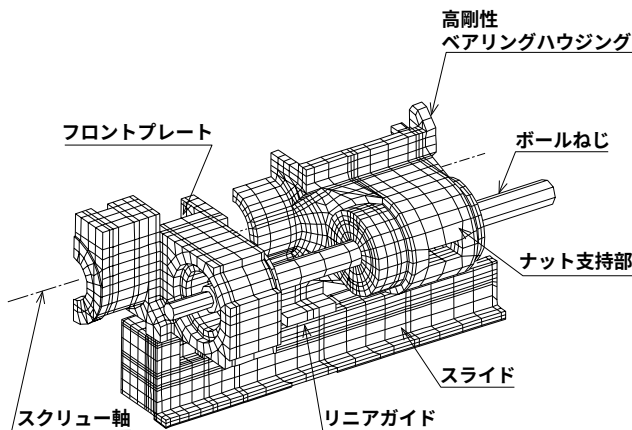


図5 支持構造体解析モデル ボールねじ玉荷重分布を支持構造体と連成させて解析した。

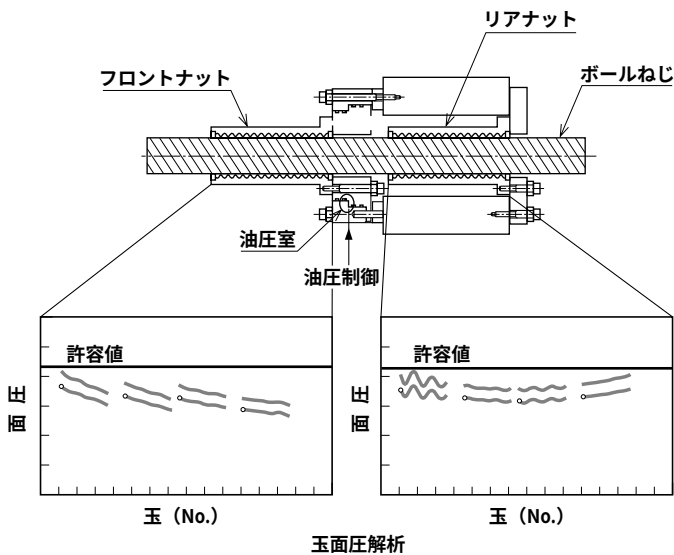


図6 850emのナット支持構造と玉荷重分布 荷重等配支持機構により最大面圧を許容値内に収めた。

トを油圧支持にてフレキシブルにサポートすることによりナット傾きの影響を抑えるとともに、その油圧を制御することにより前後のナットの荷重分担を均等にすることを可能とした。

850em 支持構造の解析結果を図6に示す。玉荷重分布はこの荷重等配支持機構を用いることにより最大面圧が許容値内



図7 ボールねじ耐久要素試験機 実機サイズのベアハウの両側に市販最大径サイズ直径φ140 mm ボールねじを配置した要素試験機で、ボールねじ耐久性を評価した。

に収まり、ボールねじの耐久寿命を確保できる見通しを得た。

5. 実機モデルによる耐久試験

5.1 要素試験機

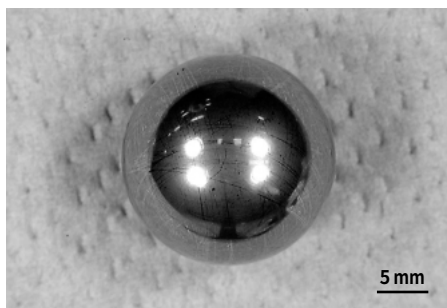
玉荷重解析に基づき設計した射出部が予想通りの耐久性を有しているかを、実機サイズの要素試験機を製作し検証試験を行った。

実機サイズのベアハウの両側に市販最大径サイズ直径φ140 mm ボールねじを配置した要素試験機を図7に示す。ベアハウに油圧シリンダで荷重をかけることによりボールねじに負荷を与え、サーボモータでボールねじを回転させてベアハウを往復動させる試験機である。またこの外に、油圧支持シリンダを組み込んだφ120 mm ボールねじ要素試験機、中型電動射出成型機を改造したφ100 mm ボールねじ要素試験機も製作し、実機モデル評価に供した。

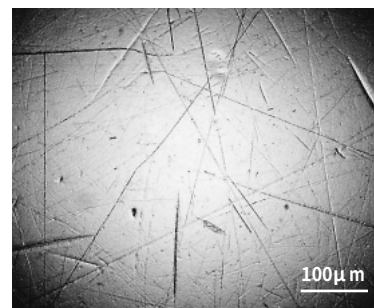
また、ナット油圧支持部の油圧シリンダは負荷がかかる毎に数mm微動するため、シール部の耐久性も確認しておく必要があり、その耐久試験機も製作し寿命評価を行った。



(a) ねじ溝転走面写真



(b) 玉表面写真



(c) 玉表面顕微鏡写真

図8 ボールねじ耐久試験後の転走面状況

いずれの転走面にもピッチング、フレーキング等の転動疲労損傷は発生していない。

5.2 耐久試験

試験は、まずボールねじへの負荷及び歪み、ナット支持部の応力及び変形を計測し、初期動作の検証を行った後、続いて耐久試験を実施した。耐久試験条件は、実機設計最大負荷時の最大玉面圧の1.1倍（荷重で1.3倍）、1.2倍（荷重で1.6倍）、1.3倍（荷重で2.0倍）、と荷重加速して寿命評価を行った。

耐久試験後のねじ溝及び玉の転走面状況を図8に示す。いずれの転走面にもゴミ噛みと思われる細かい条痕傷は認められるもののピッチングやフレーキングといった転動疲労損傷は発生していない。寿命評価は、ボールねじの転動疲労寿命評価法がまだ十分に確立されてないため、既存のニードル及びローラの線接触転動疲労寿命式⁽⁹⁾をベースに寿命予測を行った。その結果、850em実機最大荷重で目標寿命300万ショットを満足できることを確認した。

また、ナット油圧支持シリンダについても、耐久性が実機目標寿命を満足できることを確認した。

6. ま と め

電動射出成形機に用いる高負荷ボールねじにおいて、ボールねじ単体運動及び玉荷重特性とボールねじ支持構造体の変形特性を連成させた解析手法を用いることにより、ナット取付部の精度がボールねじ寿命に与える影響を検討した。

その解析に基づき、射出ボールねじ部を1軸当たりナット2個個別に取り付けるダブルナット方式とし、そのナットを油圧にてフレキシブルに支持するとともに、その油圧制御により前後のナット荷重均等化する構造を考案し、高負荷に耐えうるようにした。

さらに、実機サイズの要素試験機を製作して、実使用サイズのφ100～140ボールねじの耐久性を評価し、実機目標寿命を満足できることを検証した。大型電動射出成形機850emの製品化に反映した。

参考文献

- (1) 吉田孝文，ボールねじのボールの運動と負荷分布について，日本トライボロジ学会，トライボロジ会議予稿集（2001-11）
- (2) 東崎康嘉ほか，片当たりするニードル軸受けの転がり疲れ強さの研究，トライボロジスト，Vol.45 No.9（2000）p.703～708



松尾 識

技術本部
名古屋研究所
材料強度研究室主席



小川 博史

技術本部
名古屋研究所
材料強度研究室



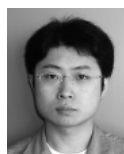
吉田 孝文

技術本部
長崎研究所
トライボロジ研究室
工博



河野 和清

技術本部
広島研究所
機械研究室主席 工博



石和田 健

産業機器事業部
産器技術部
射出成形機設計課