ラックパラレルタイプ電動パワーステアリング（RP-EPS）用ボールねじの量産転造装置の開発

Development of Mass-Production Thread Rolling Machine for Ball Screws in Rack-Parallel Type Electric Power Steering (RP-EPS)

1．はじめに

当社では大型車両に搭載可能なラックパラレルタイプの電動パワーステアリング（以下，RP-EPS）を量産している．RP-EPSの外観および構成部品であるラックバーを**図1**に示す．ラックバーのボールねじ部は**図2**に示すとおり，従来は旋削工程，ねじ研削工程，超仕上げ工程の3工程で加工していた．これに対し，生産性および歩留まりの向上を目的として，除去加工よりも加工速度が速い転造加工による工程集約の開発に取り組んだ．工程集約は加工時間の短縮，工程間の段取り時間の削減により，人件費や設備保守費用などのコスト低減にも寄与する．

開発工程では，ボールねじ部の加工法として，長尺工物に適したスルーフィード転造加工法を採用した．本加工法では，回転させた丸ダイスを円柱状の工作物に押し付けてねじ部を成形する．転造加工は金属の繊維流れが切断されないため，疲労強度や引っ張り強さを向上できる．さらに，金属表面の平滑化により摩擦係数が低下し，耐摩耗性の向上も期待される．

一方，転造加工は材料が塑性変形しやすい状態が望ましいため，熱処理工程はねじ転造工程後に実施され，製品が熱歪みの影響を受ける．また，転造加工後の工作物には弾性回復が生じ，寸法精度や形状精度の誤差要因となる．

本開発では，これら課題解決のため，ボールねじ用転造機を新規に設計し，設備コストの削減と転造精度の向上を両立させ，量産ラインへ適用した．本報では開発した転造機の特長および転造加工結果を紹介する．

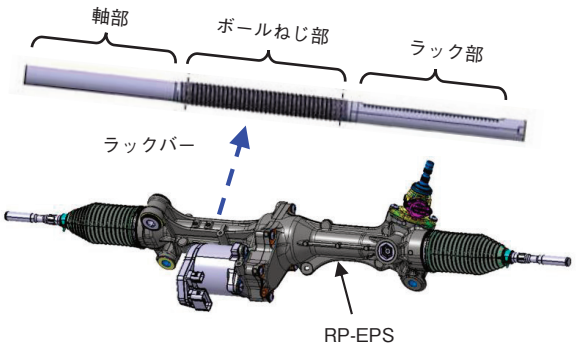


図1　RP-EPSとラックバーの外観
RP-EPS and rack bar

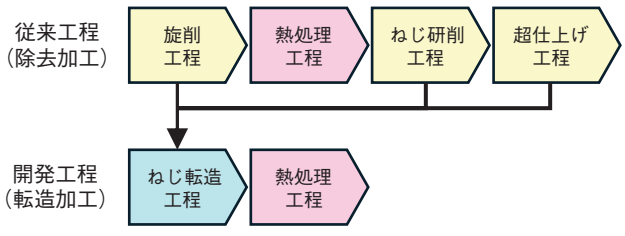


図2　ラックバーねじ部の製造工程
Manufacturing process for rack bar screws

2．開発転造機の特長

2.1　工作物との接近性の向上

開発した転造機の外観を**図3**に示す．本機は二つのダイスの回転機構および加圧機構を搭載したスライドテーブルを傾斜構造とし，工作物との接近性を向上させた．水平配置の従来設備では，加工中の工作物と作業者との距離が約1 mあり，加工点での挙動の確認が困難であった．本機では水平方向の距離が約0.4 mに短縮され，加工点の挙動を容易に把握できる．また，後述するダイ

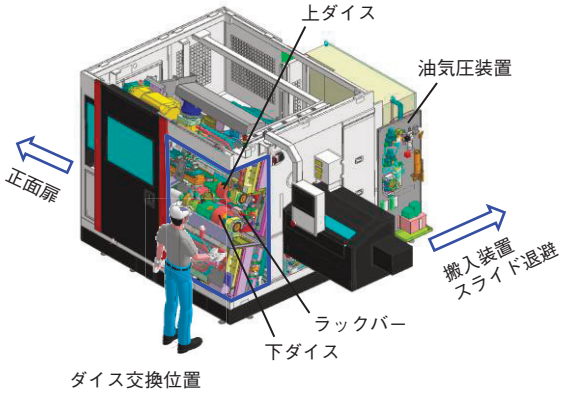


図3　開発転造機の外観
Rolling machine overview

スの交換や保守作業も容易となる．さらに，装置奥行寸法の短縮は，他工程の設備との寸法の整合性も確保されるため，円滑な工作物の搬送経路を設計でき，長尺工作物に適した製造ラインの構築が可能となった．

2.2　開発転造機の軸構成

開発転造機の軸構成を**図4**，転造加工の模式図を**図5**に示す．工作物はダイス間の中心線に対してオフセットされた位置で挟み込まれる．このオフセット量は，支持ローラー位置の変更で調整可能である．また，ダイスは工作物に対して傾斜させており，上下のダイスの傾き方向を逆にすることで工作物はダイスの回転により軸方向へ移動しながら転造される（歩み転造）．本機には，ダイス傾斜角の調整機構を設けている．

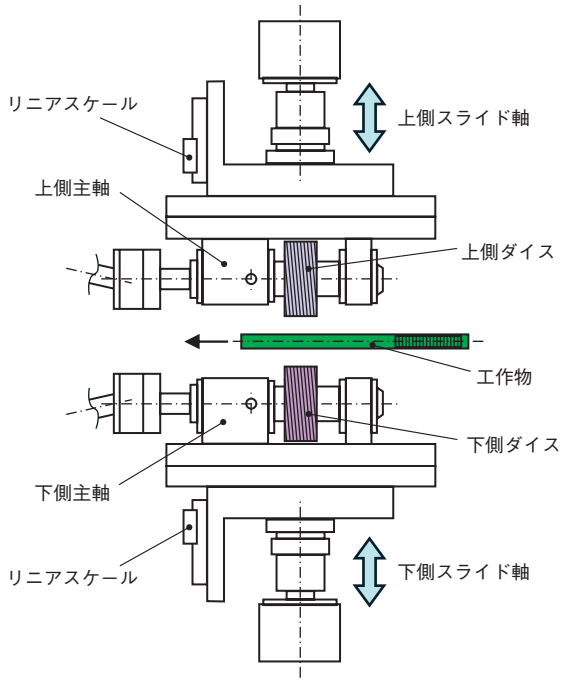


図4　開発転造機の軸構成
Shaft configuration of developed rolling machine

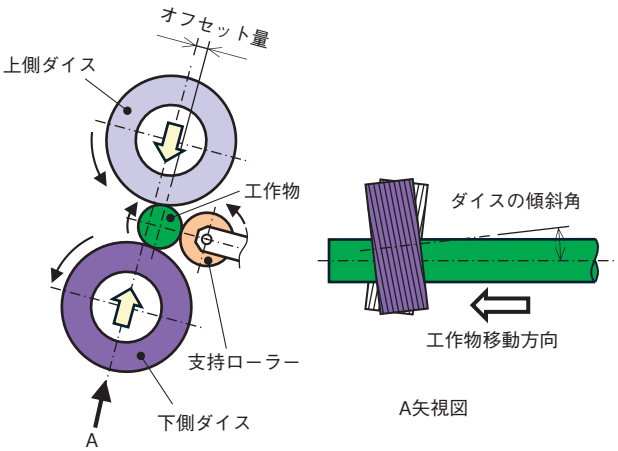


図5　転造加工の模式図
Rolling process schematic diagram

本機の仕様を**表1**に示す．スライド軸はNC制御によってμm単位の位置決めが可能であり，リニアスケールの位置情報を用いてフィードバック制御される．

表1　開発転造機の仕様
Specifications of developed rolling machine

項目		仕様
スライド軸	ストローク	60 mm
	最大速度	2 m/min
	最大加圧力	300 kN
主軸	最高回転速度	136 min^{-1}
	最高接線方向速度	80 m/min
	最大トルク	3 530 N·m

2.3　周辺装置の一体化

通常の転造機では，工作物の搬入装置および搬出装置が別置のため，装置全体の幅寸法が大きくなる．本機では搬入出装置と機械本体を一体化し，機械幅を短縮した．

さらに，RP-EPSのボールねじ転造加工に必要なクーラント量を事前に評価し，クーラントタンク容量および冷却装置のサイズを適正化した．また，小型制御機器の選定により，制御盤の小型化と機電一体化を実現した．

2.4　保守性の向上

摩耗したダイスの交換作業時には，**図3**に示すように工作物搬入装置を作業者の後方へ移動させ，広い作業スペースを確保できる．さらに，機械上部に備えた旋回可能な小型クレーンを用いることで作業者の負担を軽減できる．これにより，ダイス交換などの段取り替え作業時間が16.9分から9.8分へと42%短縮された．

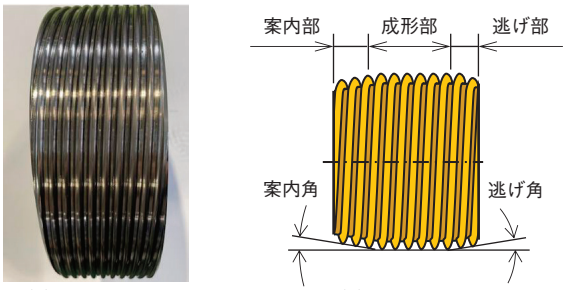
3．転造加工精度の向上

3.1　ダイス形状の最適化

ボールねじ転造用の丸ダイスを**図6**に示す．成形部の前側に設けた案内部（リードイン部）により，工作物の急激な変形を回避し，滑らかに成形部へ移行させられる．その結果，ねじのピッチや形状のばらつきの抑制にくわえ，成形部への衝撃が低減され，ダイス摩耗も抑えられる．

ラックバーのボールねじ部は，**図1**に示すとおりラック部と隣接しており，不完全部を短くする必要がある．

しかし，ダイスの案内部を短くすると案内角が増加し，ダイス一回転あたりのねじ径の減少量（縮径量）が増えるため，加工抵抗が増加し，ねじ精度の低下やダイス寿命短縮の要因となる．そのため，案内角と縮径量の関係を定量化し，最適なダイス形状を設計した（**表2**）．最適化により，転造後のねじの不完全部の長さは 55 mm から 28 mm へと 27 mm 短縮された．



(a) ダイスの外観　(b) ダイスの構造

図6　ボールねじ転造用丸ダイス
Round dies for rolling ball screws

表2　ダイスの仕様
Round die specifications

項目	仕様
材質	SKD11
外径	ϕ225 mm
幅	70 mm
リードピッチ	6.911 ± 5 μm
円弧半径	2.57 ± 0.03 mm
歯底半径	0.5 ± 0.2 mm
成形部条数	6 条
硬度	HRC60 ～ 62

3.2 プロファイル精度の向上

ボールねじは複数のボールで荷重を支持する構造である．しかし，ステアリングが左右の操舵(だ)端（ハンドル全切り位置）に達した際にナットとのミスアライメントにより，ねじ両端部においてボールの異常摩耗や剥離などの損傷が生じることがある．これを防ぐには，ナット移動端部の両側で隙間を設けるためにボールねじ径をマイクロメートルオーダーで細くする．すなわち，クラウニング形状の付与が有効な対策である．

開発転造機は NC 制御により，ダイスの押し込み位置を高精度かつ再現性よく制御可能である．さらに，ダイス幅の短縮によって狭い範囲を加圧できるため，任意のクラウニング形状の付与が可能である．ただし，転造後の工作物は，ダイスから離れると加工中の弾性ひずみが回復する．また，加工中は転造機も変形する．これらは形状誤差の要因となるため，所望のクラウニング形状が得られるようにダイスの押し込み量を補正している．

さらに，弾性回復以外にも転造工程後の熱処理によって形状が変化する．そのため，熱処理工程前後のボールねじ形状の変化を定量化し，それに基づいたダイス形状およびねじ諸元の補正により，プロファイル形状精度を向上させた．

3.3　リードピッチ精度の向上

歩み転造においては，**図5**に示すように両ダイスの傾斜角がボールねじのリード誤差の要因となる．そのため，開発転造機にはサーボモーターを搭載した電動シリンダーを用い，ダイスの傾斜角を高精度に調整可能な機構を設けた．転造後のボールねじの測定結果に基づき，ダイスの傾斜角を最適に調整することにより，目標値以内のリードピッチ精度を実現している．

4. 転造加工結果

4.1　転造ボールねじの評価指標

ラックバー用ボールねじでは，ピッチ円直径（Pitch Circle Diameter：PCD）の変動，リードの変動，プロファイル精度などが滑らかな操作感，異音の発生に影響する．転造後のボールねじの主な指標を**図7**に示す．図中の青線は各リード位置における PCD を示しており，その振幅を本報では「PCD 変動」とよぶ．橙色の線は PCD の平均線であり，**図7**の例では中央部に対して両端が細いクラウニング形状を示している．また，PCD と平均線の差について本報では，PCD が大きい方向の最大値を「PCD 変動最大値」，小さい方向の最大値を「PCD 変動最小値」とよぶ．PCD 変動最大値はボールねじのボール詰まりの要因となり，PCD 変動最小値は異音発生の要因となるため，重要な管理指標である．

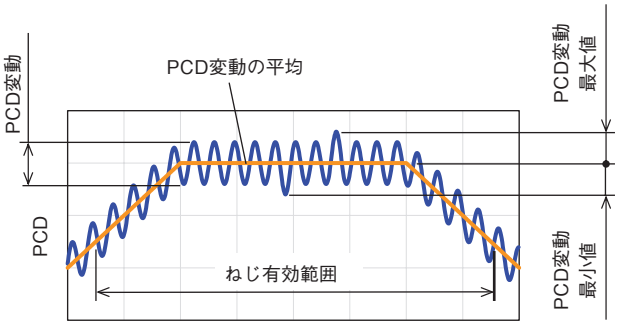


図7　ボールねじの評価指標
Evaluation metrics for ball screws

4.2　転造ボールねじの精度測定結果

前節の各変動を低減するには，上下の転造ダイス間の位置度，位相および転造時の工作物の姿勢などのアライメントを高精度に調整する必要がある．開発転造機では，アライメント精度の確認および調整用の専用ジグを設計・製作し，変動低減を実施した．

転造加工後のボールねじを三次元測定機を用いて位相1°ごとに形状を測定した．ねじ有効範囲における測定結果を**図8**に示す．PCD 変動最大値，PCD 変動最小値はともに規格値以下であり，ラックバーの性能要件を満たす結果が得られた．また，ボールねじの両端部で意図したクラウニング形状が付与されている．

さらに，工程能力の確認としてラックバーを転造した結果，PCD 変動最大値，PCD 変動最小値ともに工程能力を満足する良好な結果が得られた（**図9**）．

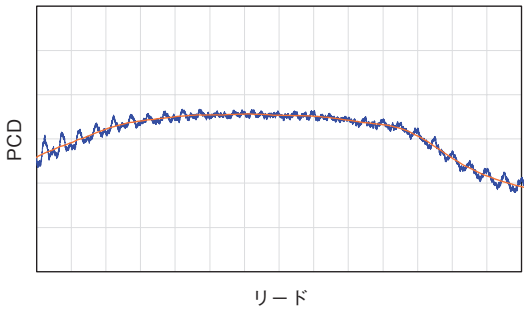


図8　転造加工結果
Rolling process results

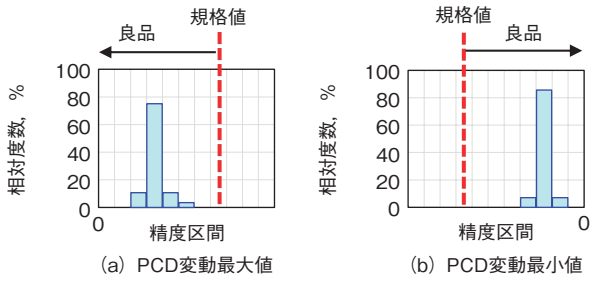


図9　工程能力の確認結果
Process capability verification results

5. 量産ラインへの適用

開発転造機によるボールねじ転造の内製化技術を確立し，大型車両向け電動パワーステアリングである RP-EPS の量産ラインに適用した．2025 年 7 月から量産を開始し，品質管理項目の規格値以内で製造されている．

図10(a) にラックバー製造の歩留まり，すなわち，投入した材料に対する良品の割合を示す．開発工程では切りくずを排出しない転造工程が寄与し，歩留まりが従来の 80% から 89% へと 9% 向上した．さらに，**図2**に示した旋削工程，ねじ研削工程，超仕上げ工程の 3 工程に必要な電力量 416 kWh が転造工程の 92 kWh へ 78% 削減され，省エネルギー化にも貢献している（**図10**(b)）．

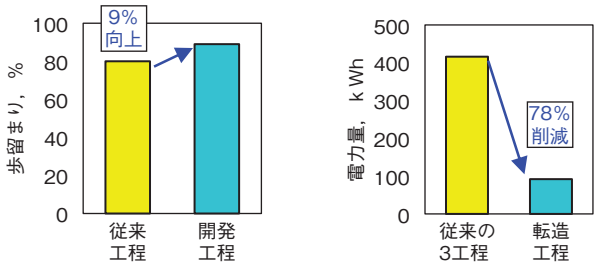


図10　製造工程変更の効果
Effects of changes in manufacturing process

6. おわりに

転造工法は強い圧力による塑性加工であり，表面品質および耐久性の向上が可能である，また，切削加工や研削加工と比較し，短時間で加工が可能である．開発工程では転造の加工特性を活かし，RP-EPS のラックバー製造の工程集約を目的として新たな転造機の設計・開発に取り組んだ．その結果，加工精度の向上にくわえ，作業性の向上および設備コストの削減を実現した．なお，本機の開発には加工技術・加工設備・生産技術部門のメンバーで部門横断型のチームを構成した．円滑な情報共有，迅速な課題解決によって開発が効率化された．

今後は，本開発工程のグローバル展開により，加工時間，段取り時間を短縮し，人件費および設備保守費用の削減を図る．さらに，切りくずの排出がなく，加工液の使用量も少ない転造加工によって環境負荷を低減し，カーボンニュートラルへの貢献も目指す．

＊ RP-EPS は，株式会社ジェイテクトの登録商標です．

（生産技術本部　素形材革新部）
（工作機械・システム事業部　工作機械技術部）