

圧延設備用大型駆動軸の技術動向

Technical Trends of Large-Size Drive Shaft for Rolling Mills

永山彰英 A. NAGAYAMA

Large-size drive shafts for rolling mills are required of more strength and longer service life within limited space. Koyo succeeded in developing universal joints that meet the demand thanks to its advanced manufacturing process and analysis engineering.

Together with product under development to be applied for the drive shafts in the future, the developed universal joints will contribute to improvement of reliability of the drive shafts.

Key Words: drive shafts, rolling mill, high-strength, longer service life, universal joint

1. はじめに

十字軸形ユニバーサルジョイント(以下UJと称す)は、高速、高角度および高負荷の使用に耐えるので、自動車用をはじめ建設機械、鉄道車両、船舶、農業機械、製鉄設備、その他一般産業機械の軸継手として用途は広い。その中で製鉄設備(圧延機)用は、設置スペースが限られるため、特に高負荷容量が求められる。Koyoはそれに耐えるユニバーサルジョイントスピンドル(以下駆動

軸と称す)の開発を行なっており、使用実績として、回転径が350mmから最大1250mmのものまでの大型駆動軸が数多くある。図1に製鉄圧延機のワークロール用駆動軸の顧客の最終目標に対するKoyoの対応と開発マップを示す。また近年では圧延効率向上を目的としたロール小径化が進んでおり、それに伴った駆動軸の小径化および高強度化の要求が強くなっていくことは間違いな

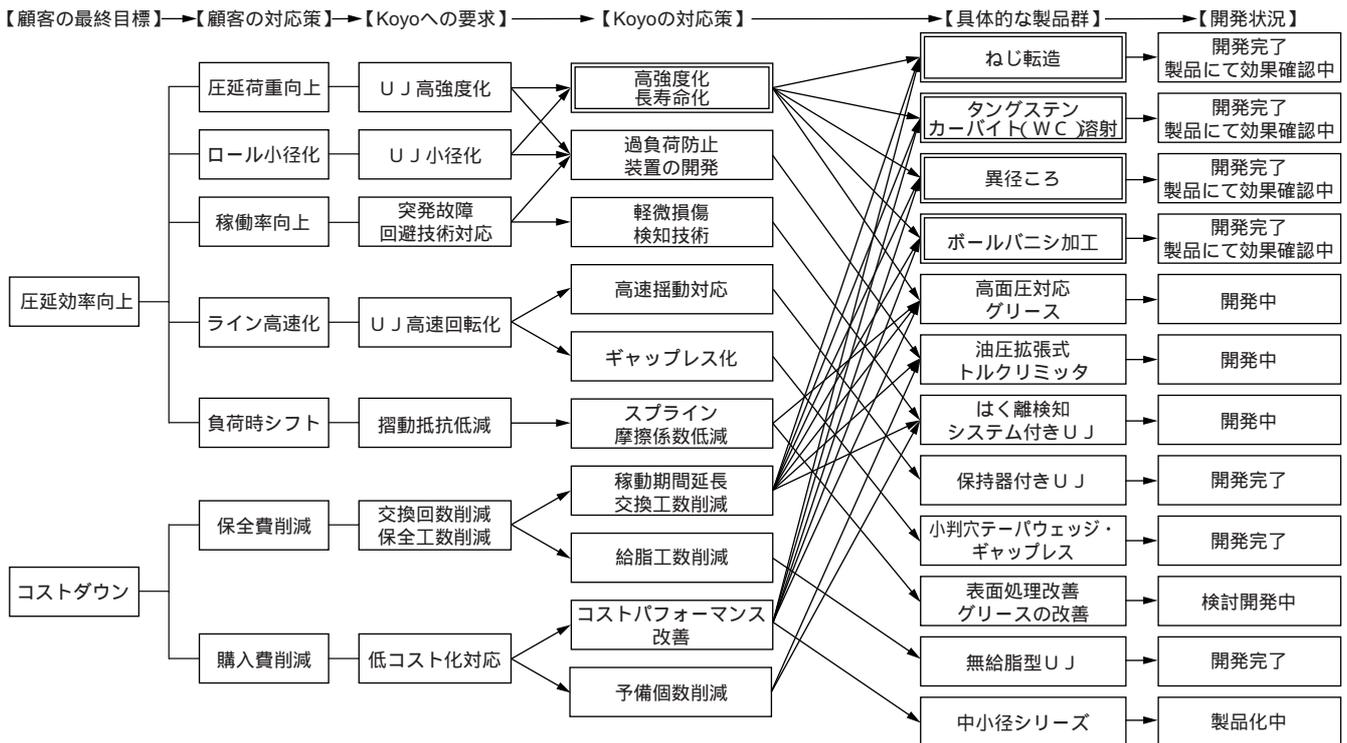


図1 大型駆動軸の市場動向とKoyoの開発状況

Market trend of large-size drive shaft and development situation of Koyo

ここでは、高負荷用に対するKoyoが取り組んできた高強度化・長寿命化についての技術の成果を紹介する。

2. 大型駆動軸の構造

大型駆動軸はブロックタイプというユニバーサルジョイントを採用している。図2に駆動軸，図3にUJの構造を示す。

UJの構造は、クロス、ベアリングカップ、ボルトおよびヨークの4部品からなり、強度バランスを保つように設計している。しかしボルトは組み込みスペース上の問題より最弱部になっており、また外的要因により強度影響を受ける。そこでボルトの強度向上とはく離寿命向上を行なえば、全体の寿命強度向上につながる。

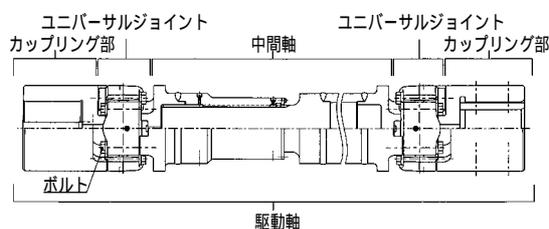


図2 駆動軸の構造
Structure of drive shaft

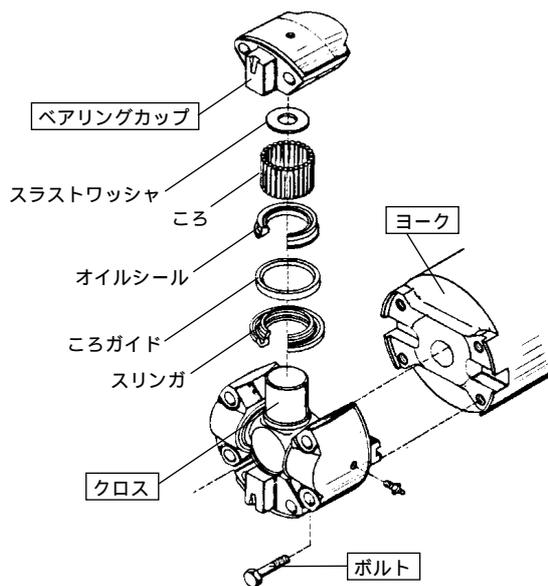


図3 ユニバーサルジョイントの構造
Structure of universal joint

3. 強度向上

3.1 ボルトのねじ部熱処理後転造加工による強度向上

従来、ねじ部は熱処理後切削加工を行なっていたが、熱処理後に転造盤でねじ成形加工を行なうことにより、ねじ底R部の疲労許容応力が飛躍的に向上する。(従来は転造盤の能力上、大径ねじでは熱処理後の成形加工ができなかったが、転造盤の性能向上に伴い、転造が可能になった。)

転造加工は切削加工に比べ、下記の点が異なっている。

ファイバーの流れがねじ形状に沿って形成される。(図4)

ねじ底R表面直下の残留圧縮応力が増加する。(図5)

切削加工に対し、転造加工の性能向上を確認する為に、疲労強度試験を実施した。試験内容および結果を次に示す。



図4 転造ねじのファイバーの流れ
Fiber flow of rolled thread

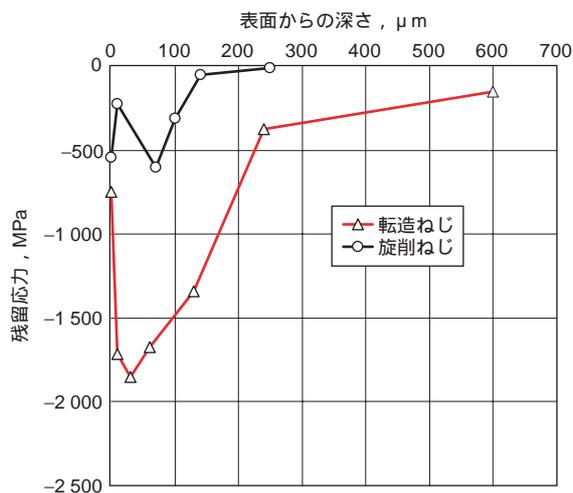


図5 転造ねじの残留圧縮応力分布
Residual compressive stress distribution of rolled thread

3.1.1 試験内容

表1に試料ボルト諸元を示す。
図6に試験機概略図を示す。

表1 試料ボルト
Bolt specifications for the test

ボルトNo.	A	B	C
種類	切削ボルト	熱処理後 転造ボルト	転造後 熱処理ボルト
試料数, 本	40	40	40
サイズ	M14, P1.5		
強度区分	12.9 (SCM435)		
胴径	11.5		
首下長さ, mm	137		

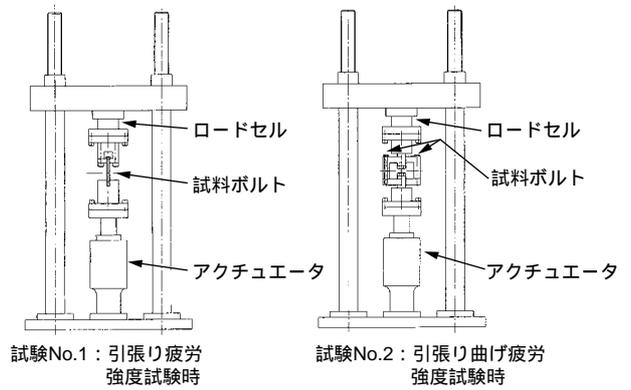


図6 試験機概略図

Schematic diagram of test machine

3.1.2 試験結果

図7に試験結果のS N線図を示す。

試験は、ねじに引張り応力と曲げ応力の比率を変えて同時に負荷し、疲労限を求めた。その結果、曲げ応力の30% (1 / 3.3) が引張り応力に等価であり、その等価応力で評価した場合、切削加工の許容応力振幅が60MPaであるのに対し、熱処理後転造加工の場合は112MPa、転造後熱処理の場合は72MPaであることが判った。これにより、熱処理後転造加工の疲労限の向上率 (ファイバー + 残留圧縮応力の効果) は約1.9倍 (= 112 / 60) であることが確認できた。またファイバーの流れによる効果が1.2倍 (= 72 / 60) であることも確認できた。

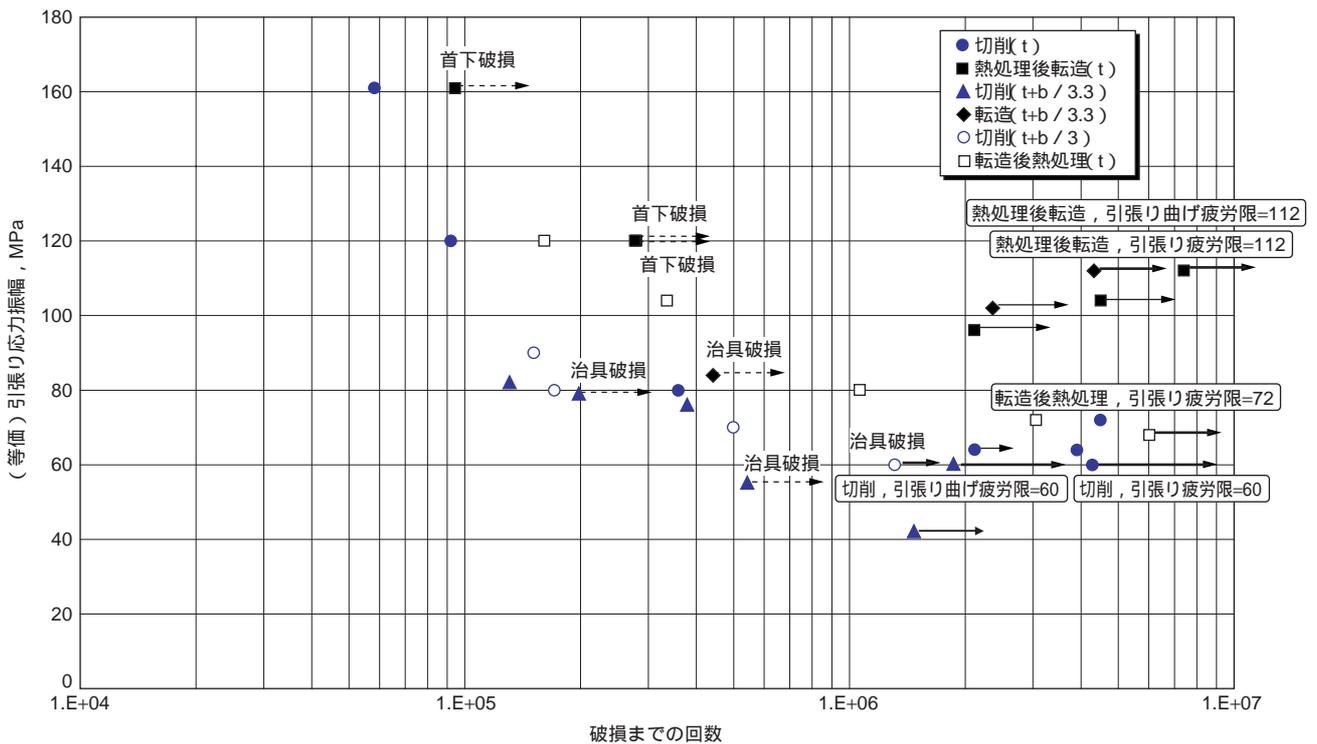


図7 ボルト引張り、曲げ疲労試験結果

Result of tensile and bending tests on bolt

3.2 ベアリングカップキー部タングステンカーバイド(WC)溶射による強度向上

熱延関係の駆動軸において、キー周辺部の標準的な防錆仕様としては、ベアリングカップは浸炭鋼、ヨークキー溝はステンレス(以下SUSと称す)肉盛り溶接を採用している(図8)。しかし、周囲の雰囲気によっては、長期間の使用により、ベアリングカップキー(浸炭)側面が腐食して、キーにすきまが発生することがある。このすきま発生がボルトの曲げ応力増大に繋がり、ボルト強度に影響する。

この現象を改善するためには、浸炭鋼に比べて耐食性が優れ、相手キー溝SUS肉盛り層との電位差が小さい(電気化学腐食が起こりにくい)タングステンカーバイド(以下WCと称す)溶射を採用する方法がある。

溶射は、キー負荷面へ施工するので、次の評価試験を実施し、問題無いことを確認した。

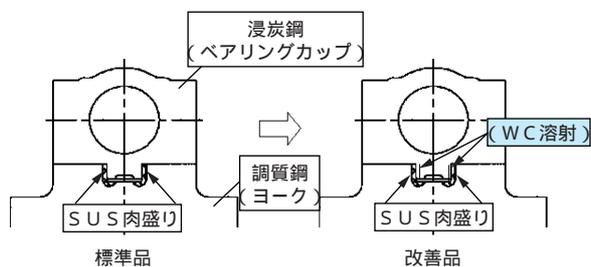


図8 キー部周辺の防錆仕様

Rust prevention specification around key section

3.2.1 塩水噴霧試験

表2に試験条件を示す。

トータル200時間実施した結果、さびの発生は認められず、防錆効果が確認できた。

表2 試験条件
Test conditions

試験機内湿度, %	98
試験機内温度, °C	35
塩水濃度, %	5
試料面の角度, °	水平面に対し45
試験時間, h	200 (但し, 0, 1, 20, 50, 100時間ごとに観察)
塩水噴霧試験機形式	ISO - 3 - CY・R型

3.2.2 静的面圧負荷試験

塩水噴霧試験を終了したWC溶射テストピースに静的面圧50~392MPaを負荷し、割れの発生有無を確認した。図9にアムスラー試験機の概略を示す。

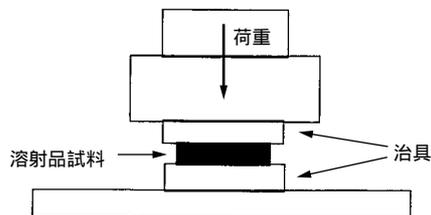


図9 アムスラー試験機
Amsler tester

試験結果は、392MPaまで割れ発生がなかった。図10に試験後のWC溶射断面組織写真を示す。

実機においても図11, 12に示すように防錆効果が確認できている。これは結果的にボルトの強度ダウンに有効である。

腐食によるキー部のすきま発生を抑えることは、ボルトの強度以外に、クロス軌道先端への荷重移動の抑制に効果があり、結果的にはく離寿命の向上も期待できる。



図10 試験後のWC溶射断面組織
WC sprayed sectional microstructure after test

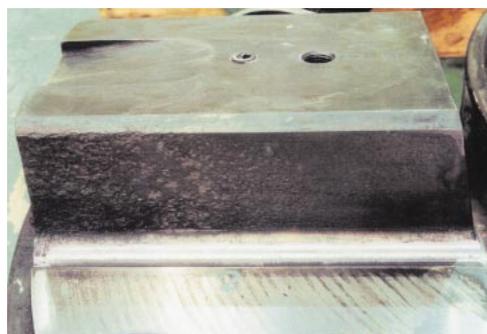


図11 溶射なし
(13ヶ月使用でキー幅1.52mmの腐食摩耗発生)
Without WC spraying

(1.52mm wide corrosion wear generated after 13 month use)



図12 WC溶射品
(20ヶ月使用でキー幅の寸法変化なし)
WC sprayed product
(no dimensional change in key width after 20 month use)

4. UJのベアリングはく離寿命向上

4.1 FEM解析による異径ころ採用

クロスは片持ち梁の弾性体であり、ラジアルすきまも存在するので、一般的にクロスの荷重は先端ほど大きくなる。これは、現実のはく離形態とも一致する。

これらの現象を改善するため、クロス先端部のころを(微)小径化することにより、ころ荷重が均一化され、はく離寿命を向上させることができる。従来の検討方式は、解析技術の都合上、図13に示すようなクロス、ころのみを弾性体とした3次元簡易有限要素法(FEM)解析を行なってきた。しかし現在はFEMの解析技術の進歩により、上記2部品にベアリングカップ、ヨーク、ベアリング固定ボルトを加えた5部品をすべて弾性体結合モデルとし、より実機に近い状態で3次元FEM解析が行なえるようになった。

図14に示す5部品の3次元モデルをつくり、解析を行った。その結果、従来の解析によるころ径差では均一化が不十分であることが判明した。これによりカップの弾性変形の影響が大であることが判り、さらにころ径差をつけて均一化することができた。実機においても従来の異径差ではまだ先端当りになっていたのが、今回の5部品弾性体の解析結果を採用し、現在効果を確認中である。

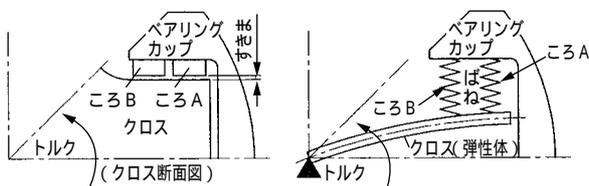


図13 従来の解析モデルの例
Conventional conditions of analysis model

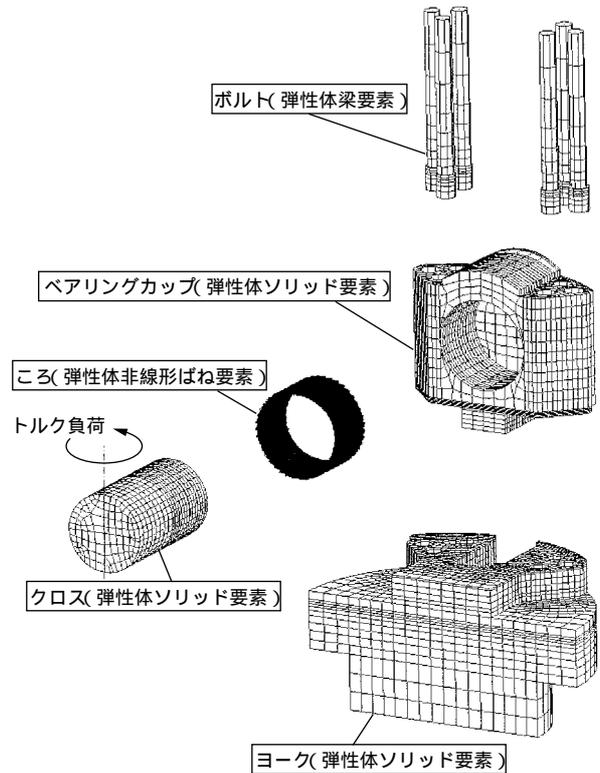


図14 改善のFEM解析モデル(要素分割図)
Improved FEM analysis model (mesh distributions)

4.2 クロス軸部ボールバニシ加工

軌道部のはく離寿命を材料面から向上させる手段として、次の2点が考えられる。

- ・軌道部表面の硬度を上げる。
- ・軌道部表面直下の残留圧縮を増大させる。

これを実現させるため、従来ショットピーニングという施工があったが、Koyoでは次に示すの特長より、クロス軌道部のボールバニシ加工を考える。図15に加工方法を示す。

液圧で保持された高硬度のセラミックボールを金属表面に転がり接触させ、耐久性に優れた表面状態に仕上げ上げる塑性加工法である。表面の硬度と表面直下の残留圧縮応力が、塑性加工により増大し、はく離寿命が向上する。(基本原理は、ショットピーニングと類似であるが、影響深さはショットピーニングよりも深い。)

加工表面の突起部がなくなるので、表面粗さが向上する。また、ボールバニシ加工後の仕上げ加工が不要である。(ショットピーニング加工の場合は仕上げ加工が必要である。) 旋盤などに取り付けて簡単に使用できるので、事実上加工質量などの制限がない。(ショットピーニングの場合は、600kgが限界である。)

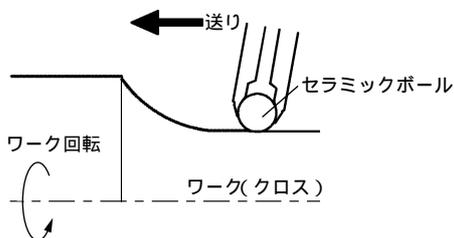


図15 ボールバニシ方法
Ball burnishing process method

テストピースによる評価確認を行なったので、試験結果を次に示す。

1) 残留圧縮応力測定結果

ボールバニシ加工とショットピーニング加工による残留圧縮応力の測定結果を図16に示す。ボールバニシ加工による増加範囲は、ショットピーニング加工の2倍以上となっている。はく離の起点深さを見た場合、熱延の例 0.15mm~0.30mmであり、圧縮応力の増加範囲が深い方がはく離に対し、有利である。

- ・ショットピーニングの残留圧縮応力
最大約1320MPa(深さ0.06mm)×
増加範囲約0.20mm
- ・ボールバニシの残留圧縮応力
最大約1080MPa(深さ0.12mm)×
増加範囲約0.45mm

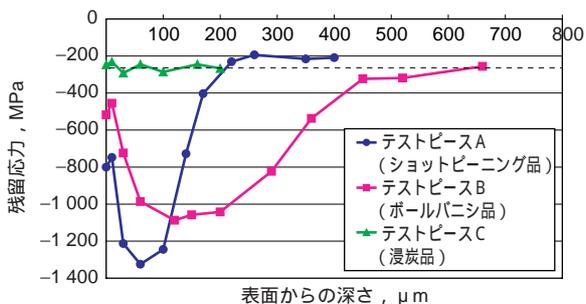


図16 残留圧縮応力測定結果
Measurement result of residual compressive stress

2) 硬度分布測定結果

図17に硬度測定結果の分布を示す。ボールバニシ加工の硬化域は、ショットピーニング加工の2倍となっている。

- ・ショットピーニングの硬化域 約0.2mm
- ・ボールバニシの硬化域 約0.4mm

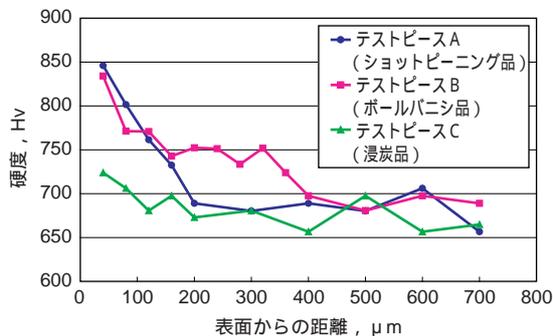


図17 硬度測定結果
Measurement result of hardness

以上よりボールバニシ加工は、ショットピーニングと比較して、残留圧縮応力の発生深さが深いという点において内部起点はく離に効果があり、表面硬度が上がるという点で表層はく離に効果があるものと考えられる。

5. おわりに

大型駆動軸のユニバーサルジョイント部の寿命強度向上は、顧客要求のメンテナンス期間延長に有効である。これからの大型駆動軸は、次の商品開発を念頭に進めていく。

- 1) 突発故障の回避に貢献できる商品
- 2) 保守点検コストの低減に貢献できる商品

以上ユニバーサルジョイント部だけでなく、中間軸、カップリング部の商品開発も含めて市場動向に適合した駆動軸の開発・提供に努めたい。

参考文献

- 1) 鮫島喜栄智：Koyo Engineering Journal, no. 163(2003)16.

筆者



永山彰英*
A. NAGAYAMA

* 軸受事業本部 産業機器技術部