

## 転がり軸受関連の生産技術開発の展望

### Trends of Production Engineering for Bearings and Unit Products



森田圭二\*  
K. MORITA

Rolling bearings have contributed to the improvement in almost all industries as key machine elements of rotation mechanisms. Recently high accuracy, high performance and multi-functional products with lower prices are more and more needed.

In production engineering, various new technologies have been developed to cope with these needs.

Examples of those are reviewed and some future trends and views are added including environmentally friendly technology, shortage of development period etc.

**Key Words:** rolling bearing, product engineering, manufacturing products, trend, hubunit, high precision, module

#### 1. はじめに

当社の軸受および関連のユニット商品はあらゆる産業分野に必須の機械要素部品として広く使用され、またその要求される性能・機能は多岐にわたっており、設計面、精度面でも各用途や種類により要求内容が大きく異なっている。このような状況の中でいかに安くこれらを満足させる製品に仕上げるかが生産技術の開発分野に課せられた課題である。

さらに近年は地球環境保全を背景に当社はISO14001の認証も取得しているが、省エネルギー・省資源やリサイクルに代表されるゼロエミッションなどが強く要求されており、ライフサイクルアセスメントについても検討が急務となってきている。これらは商品のみならず、生産技術開発の分野についても重要アイテムとして位置付けられている。

また、製品開発期間の短縮もますます重要となっており、このためには今後さらに製品開発、生産技術および製造技術を総合的に考え、この21世紀を進めていかねばならない。

このような状況に対する当社の軸受、および軸受関連商品の生産技術開発の具体的事例と今後の方向性について述べる。

#### 2. 最近の生産技術開発動向

##### 2.1 高精度化 - HDD用軸受における例

軸受の回転精度や音響値さらに高速化、長寿命化などの基本的な性能の向上はニーズの高度化に対応して飛躍的に進歩してきた。これらは主として材料技術・潤滑技術とともに加工設備・加工技術や測定技術と、品質管理技術面での開発によるところが大きいといえる。

高精度化事例として最も代表的なものは、パソコンに使用されるHDD(Hard disk drive)用軸受であり、加工精度と軸受性能は飛躍的に向上してきた。この原動力はパソコンの高性能化であり、HDDの記憶容量の要求レベルは図1に示すように指数関数的に高くなってきた。

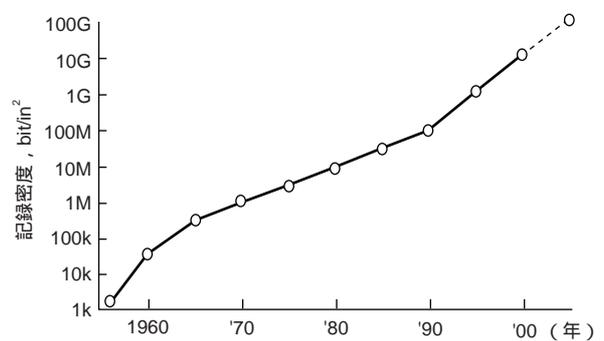


図1 HDD記録密度の推移  
Areal density of HDD

\*常務取締役 軸受事業本部 副事業本部長

またそれに伴い軸受性能の一つであるNRRO (Non Repeatable Run Out - 非同期回転振れ)についても、図2に示すように10年前に比べ、1/20以下(ナノレベル)の高精度が要求されている。

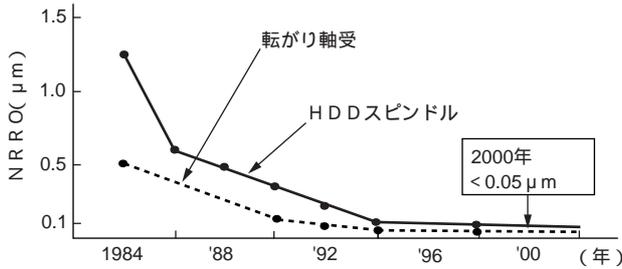
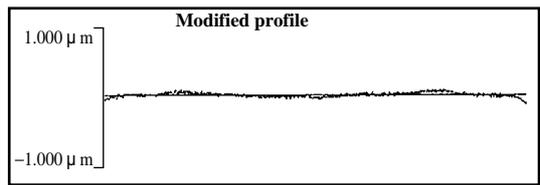


図2 NRRO要求レベルの推移  
Change of NRRO requirement

これらの要求に対し、ミニチュア玉軸受の加工・組立技術開発に取り組んできた結果、世界最高レベルの精度を達成し、情報産業の進歩に貢献している。

その軸受の軌道加工精度の例を図3に示す。軸受の中で最高レベルの精度が得られNRRO 0.05 μmを達成した。

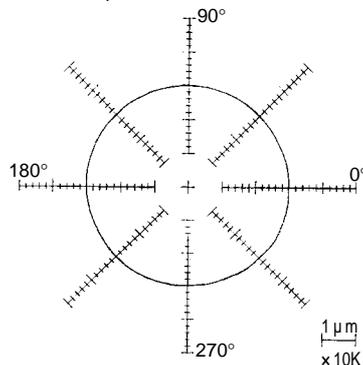
HDD用軸受用に開発した高精度加工技術は他の軸受精度にも展開されている。



PRa 0.0229 μm  
PRt 0.1944 μm

(a) 曲率誤差精度の例

P-P: 0.10 μm



(b) 真円度の例

図3 ミニチュア軸受溝加工精度の例  
Groove precision of a miniature bearing

2.2 ユニット化( )- ハブユニットの例 -

もう一つの事例として自動車用軸受のユニット化を取り上げる。

ユニット化は客先での自動車への組み込み効率の向上とコスト改善のみでなく機能の統合を狙ったものであるが、各コンポーネント用に拡大しつつある。

ここでは自動車のホイールに使用されるハブユニットの加工技術の展開について述べる。

2.2.1 第1世代ホイール軸受

まず始めに複列アンギュラコンタクト玉軸受の例を図4に示す。この軸受は外輪1個に対し内輪2個で構成されており、組み込み時の軸受予圧保証のため、軌道ピッチ精度が要求されている。

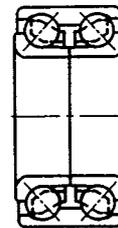


図4 複列アンギュラコンタクト玉軸受  
Double row angular contact ball bearing

1) 外輪の両軌道同時研削加工技術

外輪には2つの軌道があるが、そのピッチの加工ばらつき精度を向上させるため、図5に示すように高精度に成形された総型ロータリドレッサにより砥石を成形し、外輪の加工を両軌道同時に行う技術により目的の高精度加工を達成した。

総型ロータリドレッサによる  
2列の軌道の同時加工

- ・ 軌道間ピッチ
- ・ 軌道径差
- ・ 軌道曲率

精度の安定

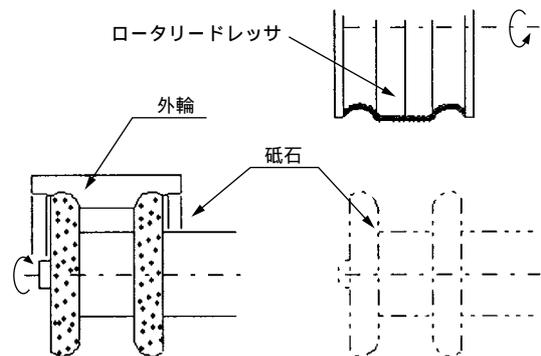


図5 外輪両軌道同時研削加工  
Simultaneous grinding of two raceways

2) 内輪の軌道・小端面・外径同時研削加工技術

内輪は端面からの軌道位置精度が必要であり、その精度を向上させるため、図6に示すように、外輪と同様、総型ロータリドレッサを使用し、アンギュラ研削加工することにより高精度加工を達成した。

総型ロータリードレッサによる  
軌道、外径(シール面)、小端面の同時加工

- ・小端面からの軌道間ピッチ
  - ・軌道曲率
  - ・軌道とシール面の同芯度向上
- 精度の安定

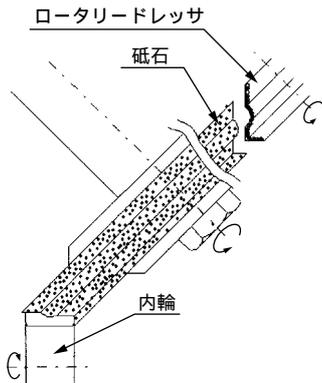


図6 内輪軌道・小端面・外径同時研削加工

Simultaneous grinding of inner ring race, small end face and outer side diameter

### 2.2.2 第2世代ハブユニット

次に開発されたのが、ブレーキドラムなどを取り付けるハブと一体となった外輪形状をした、いわゆるハブユニットであり図7に示す。この軸受の、生産技術面での開発ポイントは、工程内での品質保証とリードタイムのミニマム化であり、たて流しの一貫ラインを採用した。

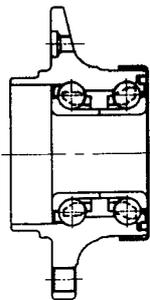


図7 「第2世代」ハブユニット

Generation 2 hub unit

#### 1) 焼入れ～焼戻しのインライン化(高周波)

「第1世代」では、焼入れ工程はバッチ処理を行っているが、ハブユニットでは一貫ラインの中に高周波加熱を採用した焼入れ工程を導入している。当初は焼戻し工程は電気ヒーター加熱を使用していたが、焼戻し工程での滞留個数が多く、時間もかかり、またスペースも必要であったため、図8に示すように焼戻し工程にも誘導加熱方式を採用し、スペースの削減、リードタイムの短縮を達成した。

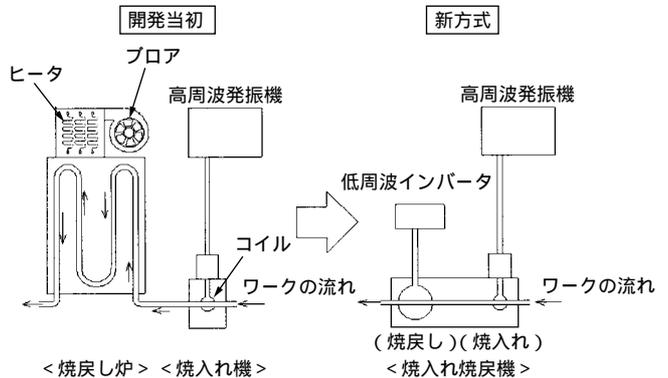


図8 焼入れ焼戻し工程

Hardening and tempering process

#### 2) 焼入れ後旋削加工

熱処理歪による研削加工時間の延長を防ぐため、熱処理後にワンチャックでの両軌道旋削工程を導入し、研削取代を小さくした。図9にその方式のバイトと、各バイトの動きを示す。

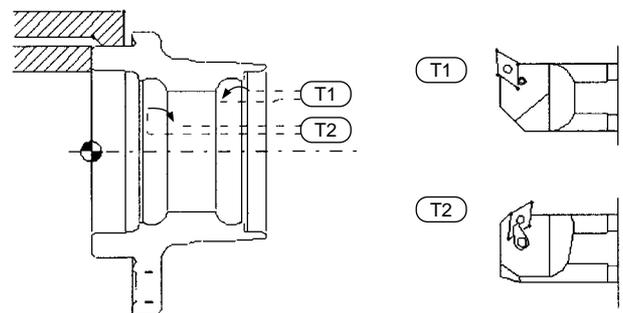


図9 焼入れ後旋削加工の採用

Turning after heat treatment

#### 3) 負すきま設計への対応

自動車の足まわりに要求されているホイールの剛性の向上を図り、かつ軸受の長寿命化と両立させる最適予圧(負すきま)を得るための技術を開発した。すきま量と軸受剛性、寿命の関係は、図10に示すようにすきま量の大小に対し剛性と寿命は相反しており、両者を満足させる最適すきまの加工技術を開発した。

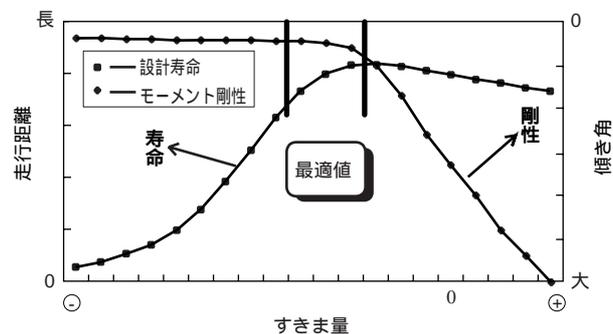


図10 負すきまと剛性・寿命

Negative clearance and rigidity/life

2.2.3 第3世代ハブユニット

さらにユニットの軽量化・コストダウンのため内輪・軸の一体化、軸・ナットの一体化を進めた。図11に初期の「第3世代」ハブユニットの例を示す。

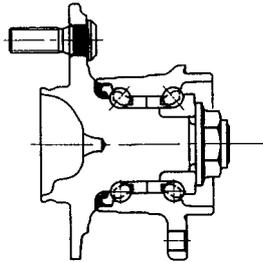


図11 「第3世代」ハブユニット  
Generation 3 hub unit

1) 内軸一体加工技術(研削~超仕上げ)

内軸は「第2世代」の1個の内輪と、「第2世代」に挿入される軸とを一体化した部品であり、図12に示すように総型ロータリドレッサの採用により、内軸の軌道、シール面、内輪圧入部の外径・端面の4面同時研削加工技術を確立した。

総型ロータリドレッサによる軌道，外径，シール面，内輪挿入部面の同時加工

- ・内輪当り面からの軌道ピッチ
  - ・軌道曲率
  - ・軌道と内輪挿入部の同芯度向上
- } 精度の安定

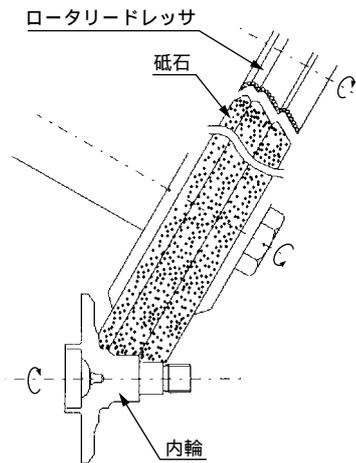


図12 内軸軌道・シール面・内輪圧入部外径・端面同時研削加工

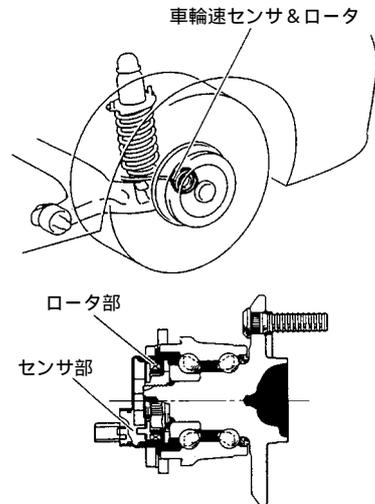
Simultaneous grinding of inner ring race, seal face etc.

2) 組立(マッチング)技術

「第1世代」は外輪1個，内輪2個の2種類の組立を行っていたが，「第3世代」は3種類の部品の組合せとなり，さらに内軸軌道の寸法測定が，内輪圧入部端面を基準として行われる必要があるため，新たに寸法測定技術を開発した。

3) A B S センサ出力検出機構付与

自動車運転中の急制動時の車輪のロック現象を防ぎ，操舵の安全性確保のためのA B S センサは，従来自動車メーカーで装着されている。A B S センサは図13に示すように，ロータ部とセンサ部からなっているが，ともにハブユニットに装着されるものであり，自動車メーカーでの組込み性向上のために，あらかじめ車輪速センサを軸受に装着したユニットとし，センサの出力が保証できる検出機構を開発した。



車輪速センサ&ロータ断面図(2WD車)

図13 A B S センサ  
ABS sensor

4) 軸端かしめ技術

従来，内軸への内輪の取付けは，ナットの締付けにより行っていたが，軸受の剛性アップ，軽量化，およびコストダウンを狙い，組立後の軸力が保証できる内軸のかしめ技術を確立した。図14にかしめ加工を示すが，ある程度傾斜したパンチを揺動させながら加圧し，内輪，ボール，外輪などの他の部品を変形させずに適正軸力を得ることのできる技術である。

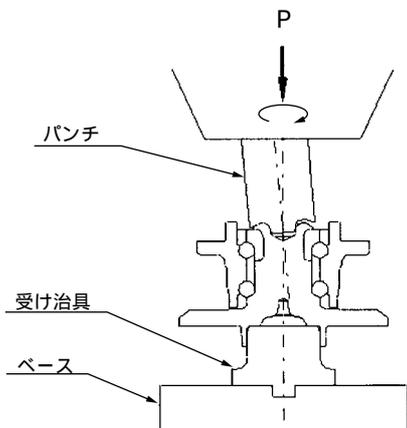


図14 軸端かしめ加工  
Shaft clinching process

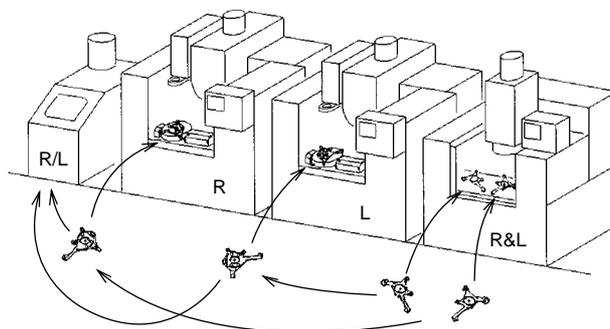


図16 アクスルの加工工程  
Production process of axle unit

2.3 ユニット化( )- アクスルユニットの例 -

今まで述べてきたように、ハブユニットは十数年の間で、「第1世代」から「第3世代」へ進展してきた。しかしながら近年のモジュール化の流れの中で、さらに周辺部品を取り込んだユニット化が進みつつある。

ここではアクスルユニットの例をあげ、ユニットとしての精度向上のための取組みについて述べる。

開発の狙いはハブユニットに周辺部品を取込んでアクスルユニットとして、品質レベル向上、コストダウンを目指し、ブレーキディスクの振れ精度向上を狙うものである。

1)アクスルの左右セット加工

図15にアクスル部品を示すが、この部品はフロント、リア、各々左用右用の4部品で1台分を構成している。

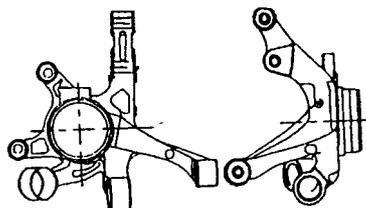


図15 アクスル  
Axle

図16に加工ライン編成と製品の流れを示すが、第1, 3工程では左右セット取り加工, 第2工程ではワンチャック加工による工程集約で, 図15に示すような複雑な形状品の穴の位置精度を確保している。

2)ブレーキディスクの振れ精度保証

従来、自動車メーカーでブレーキディスクの組込みを行っていたが、アクスルユニットとしてブレーキディスクを組込み、振れ精度の保証を行っている。

図17にアクスルユニットの例を示す。

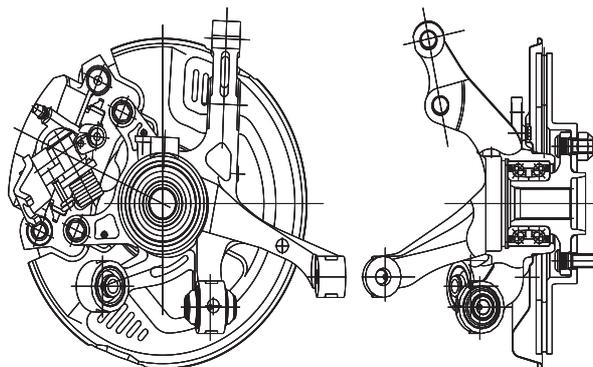
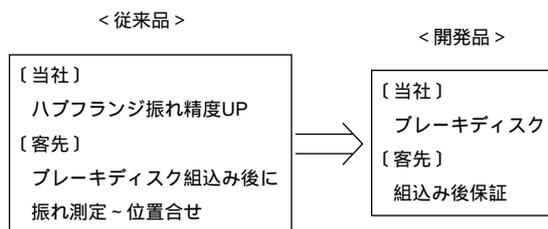


図17 アクスルユニット  
Axle unit

2.4 ユニット化の展開

当社のハブユニットは世界中のほとんどの自動車メーカーに納入されているが、今後この有利性を生かしながら、ユニット化が進んでいくものと思われる。

3. 今後の開発の方向性

先にも述べたように、軸受そのものは設計面の改良や性能は大幅に向上進展してきたものの、基本構成はあまり変化していないように思われる。

しかしながら、近年の例のように、ユニット化、モジュール化の流れの中で、軸受の位置付けが大きく変わろうとしている。今までは、従来の技術やその延長線上で対応が可能であったが、これからは経験したことのない、あるいは世の中になく技術を開発・確立することが重要になってきている。特に地球規模での資源の有効活用や、環境対応は必須条件であり、それらに向けての革新的生産技術の開発が必要になってきている。

さらに人的、時間的資源の有効活用も重要であり、特に電子情報を駆使した生産準備など、生産技術者の業務も大きく変化していかざるを得ない状況になってくると思われる。

### 3.1 革新的生産技術

今後開発が進んでいくと思われる革新的生産技術アイテムについてその例を述べる。

#### 1) ゼロエミッション

従来、製品設計は性能、精度を主体とした考えで実施されていたが、今後は加工技術を含めた全体を考慮した考え方で取り組む必要がある。加工技術面においては画期的な高精度塑性加工方式の開発が必要となり、後工程に取代を残さないネットシェイプ化や、鍛造・プレス成形・ロール成形・溶接の組合せ、ドッキングによる加工成形工法の開発が必要である。

#### 2) 革新的安価化

安価化については軸受の研削加工工程から組立工程はある程度熟成域に達しており、これをさらに無人化に向けレベルアップを進めていくことになる。材料の分野では、今後安価材料を高級材並みに改質させる技術(特殊熱処理・表面処理)や、材料・コーティング・熱処理の統合化による革新的安価化技術が期待できる。

#### 3) 地球環境対応

加工工程で消費するエネルギーの中で、今後画期的に省エネルギー対応が可能な工程として熱処理工程があげられ、高速度浸炭技術開発やリジェネバーナによる省エネルギー化などが拡大されていくと思われる。さらに、研磨粉などの廃棄物のリサイクル化が進み、究極としては製品のリサイクル化までが重要アイテムになると思われる。

### 3.2 製品開発期間の短縮

開発期間の大幅な短縮は顧客対応とともに人的、時間的資源の有効活用のために、今後精力的に取り組むべき大きな重要課題である。これは設計～生産準備までの領域で、複雑に関係する設計

部門、生産技術部門などが個々の情報で進めるのではなく、共通の情報枠の中で同時に進めることにより達せられる。具体的には3次元CADの採用により、設計～生産準備の同時進行を行い、トータル開発期間の大幅な短縮をめざしている。

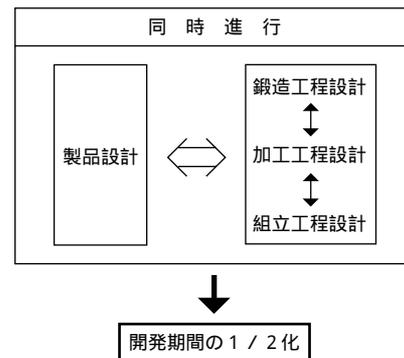


図18 開発期間の短縮

Shortage of development period

## 4. おわりに

従来生産技術開発の主力は一般に設計図面を基に、いかに作る側でより良いものをより安く作るかに注がれてきた。しかし今後は「生産革新」から「製品革新」を牽引する生産技術開発へ、大きく転進しなければならないと考える。

そのためには、製品の構想・設計段階で、もの作りの側からの製品形状の最適化を提供するとか、製品の機能を満たすに最適な材料、工法を提供できるなどの生産技術でなければならない。

昨今、IT革命が企業成長のすべてのようにいわれているが、ITは手段であり、目的ではない。

すなわち、ITによって、我々のもの作りの現場で育ててきた生産技術技能をデジタル化し、それを製品開発～工法開発のデータベースとして各部門で共有し活用することで、製品開発～生産技術開発～安定量産化を同時進行できる一本の流れにすることが必要と思われる。

そして、この「同時進行できる一本の流れにする製品技術・生産技術開発のマネジメント」こそ、今、最も大切な課題といえよう。