

ハブユニット軸受の最新技術動向

Latest Technical Trend of Hub Unit Bearing

沼田 哲明 T. NUMATA

Facing the increasing pressing needs for compact, light-weight and high performing automotive parts, and the trend toward modularization, the automotive wheel bearings have evolved into hub unit bearings. More recently, the Generation III hub unit bearings have been in high volume production.

In this paper, various problems and technology to cope with them concerning Generation III hub unit bearings are introduced.

Key Words: hub unit bearing, automotive wheel bearing, moment rigidity, FEM analysis, high-precision hub flange runout

1. はじめに

近年の小型・軽量・高信頼性ニーズの高まりとモジュール化推進の流れの中、自動車用ホイール軸受はナックルやハブシャフトなどの周辺部品を一部取り込むことでユニット化が進んできている。以下、これらをハブユニット軸受と称す。

さらに最近では、環境保全や安全性向上への取り組みが足回り部品にも要求されてきたため、自動車用ホイール軸受も性能向上や高機能化へ、技術進化のニーズが高まってきている。

著者は、前報¹⁾にてハブユニット軸受の技術動向についてデザイン面を中心に述べたが、本稿では最近の製品技術の取り組み事例を中心に紹介する。

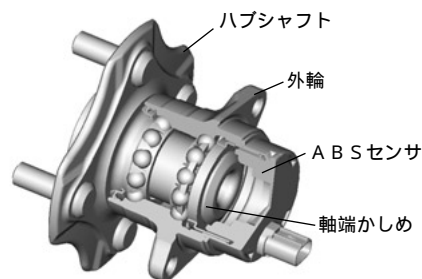


図1 第3世代ハブユニット軸受形状例
3rd generation hub unit bearing

表1 ハブユニット軸受の世代優劣

Advantages and disadvantages of 3rd generation hub unit bearing

項目	従動輪		駆動輪	
	第1世代	第3世代	第1世代	第3世代
略図				
コスト				
軽量化	x		x	
性能	寿命			
	剛性	x		x
	回転トルク			
	フランジ振れ			
センサ配置性				
コンパクト	x		x	
総合評価	x		x	

優劣の順位 > > x

2. ハブユニット軸受の技術課題と対応

ハブユニット軸受は、そのユニット化の形式から世代別に分類され、第1世代、第2世代、第3世代が既に量産されている。

図1には乗用車の従動輪用として最近主流になっている第3世代ハブユニット軸受の形状を示す。第3世代ハブユニット軸受とは、第1世代の外輪にナックルに取り付けるためのフランジを一体化し、さらにアウト側内輪とハブシャフトを一体化したものである。

乗用車では主として玉軸受タイプのハブユニット軸受が搭載されているが、その世代進化の状況は従動輪と駆動輪で異なっている。

表1には車両から見たハブユニット軸受の世代優劣を第1世代と第3世代で相対比較して示す。

従動輪では第1世代と比較して第3世代のメリットは顕著であり、既に第3世代が主流となっている。駆動輪では駆動軸とハブユニット軸受との接続部における寸法制約から、第3世代への変更によるコンパクト化・軽量化のメリットが従動輪のように顕著に現れず、第3世代への進化が従動輪のように進んでいない。

しかし、今後のユニット化による組付け性向上のメリットも含めて考えると、駆動輪も第3世代ハブユニット軸受へ進化するものと予想される。したがって、今後の技術開発も第3世代ハブユニット軸受関連を中心に展開されていくと思われる。

図2には、第3世代ハブユニット軸受に関する現状のニーズと対応技術の一例を示す。

本稿ではこれらの課題と対応技術について紹介する。

車のニーズ	ハブユニット軸受への要求	織込み技術
開発期間短縮	フロントローディング	解析シミュレーション技術の進化
機能・性能向上	高剛性	高横荷重下の軸受解析 第3世代化(駆動輪)
・操安性向上	高横荷重性能確保	ローター体加工 フランジ振れ高精度化
	一体化設計	異音発生解析技術
・ブレーキジャダー対策	ブレーキロータ振れ低減	低トルクシール
・異音発生対策	スティックスリップ音低減	軽量化解析
安全・環境対応		高分解能・正逆検知センサ(レゾルバ)
・低燃費	回転トルク低減	鍛造の高精度化
・軽量化	剛性を確保した軽量化	モノづくり革新
・車両制御の高度化	高機能センサの内蔵化	
コスト低減	製造コストの低減	

図2 現状のニーズと対応技術

Needs from vehicle and solutions in hub unit bearings

3. 解析シミュレーション技術の進化 (開発期間短縮の取り組み)

これまで、ハブユニット軸受の開発評価は実験に依存することが多かったため、試作品による評価で問題が発生した場合には、再度、設計～試作～実験評価を繰り返す必要が生じ、開発期間の長期化を招いていた。

しかし、最近のコンピュータの処理能力向上、数値解析技術の進歩により、これまで行えなかった領域にまで机上検討で踏み込めるようになってきた。

当社では、開発期間短縮や試作コスト削減を実現するため、CAEを活用した開発のフロントローディングを推進し、最終目標を設計者自身がCAEで評価できることとした取り組みを行っている。

ハブユニット軸受における具体的取り組みは、異音解析技術、強度・剛性解析のように実験評価の回数削減を目的とした取り組みの他、軸端かしめのように加工途上や完了後の応力状態などのメカニズムを把握し、普遍解を得ることを目的とした解析もある。

ここではその代表例として、強度・剛性解析と軸端かしめ解析の取り組みを紹介する。

3.1 強度・剛性解析

強度解析・変形解析はFEMの基本解析として古くから使用されてきたが、最近では実験値と解析値の整合性に取り組み、解析精度の信頼性が大幅に向上してきた。

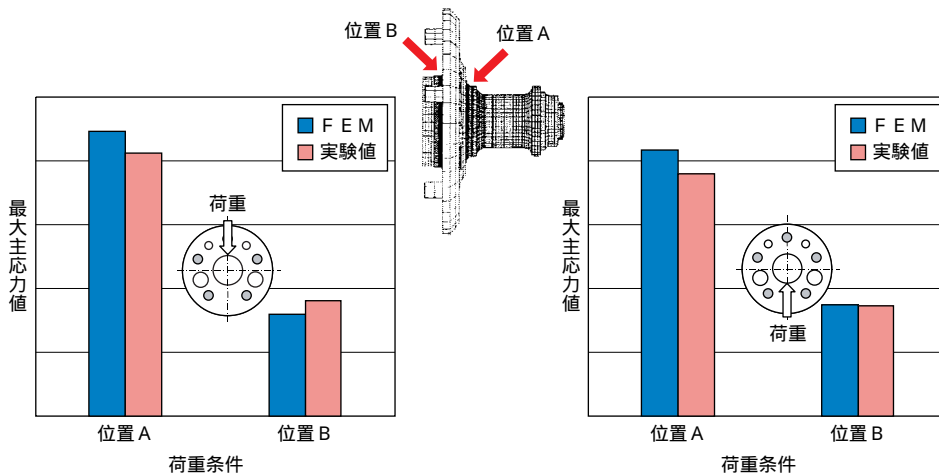


図3 応力の解析結果と実測結果の比較

Comparison between actual measurement result and analysis for stress

当社では、ハブユニット軸受の強度・剛性に関して、FEM解析と実験による実測データとの整合に取り組み、解析誤差を10%以内にする技術を確立した²⁾。

図3はハブシャフトの応力整合性をFEM解析結果と実験結果で比較し確認した結果を示す。荷重条件を変更しても解析結果は高い整合性を得ていることがわかる。

また、図4にモーメント剛性について、解析結果と実験結果を比較した結果を示す。ここで実施した手法は、ナックル(外輪含む)・ハブシャフトの剛性はFEMで解析、軸受剛性は自社開発プログラムで計算し、全体のモーメント剛性は各部品別々に計算した数値を加算する手法を用いたもので、実験結果と高い整合性を得ていることがわかる。

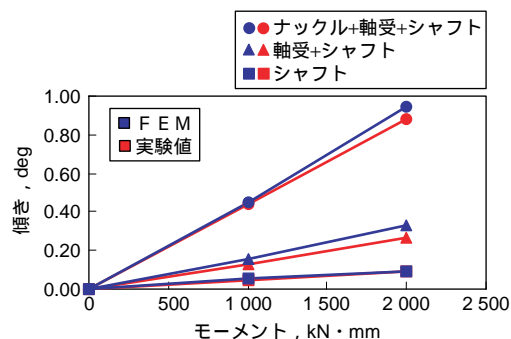


図4 剛性の解析結果と実測結果の比較

Comparison between actual measurement result and analysis for moment rigidity

3.2 軸端かしめ解析

軸端かしめとは、インナー側内輪を圧入したハブシャフトの端部を揺動鍛造により変形させ、その変形によりインナー側内輪の保持と適正な軸力を与える技術である。

この軸端かしめの採用により、車両組立工程における軸受予圧の管理が不要となるだけでなく、従来のナット締結構造ではできなかった緩み対策による信頼性向上も図れるため、最近では急激に採用増加傾向にある。

反面、揺動かしめという特殊な塑性加工による締結構造ゆえ、そのメカニズムを実験的に可視化することは困難であり、メカニズム解明にはCAEによる解析が不可欠となる。

図5は、軸端かしめ工程をシミュレーション解析した結果を時系列で示す²⁾。この解析技術の進化により、これまで把握することが困難であったかしめ工程途中の応力状態を把握し、最適化設計を図ることが可能になった。

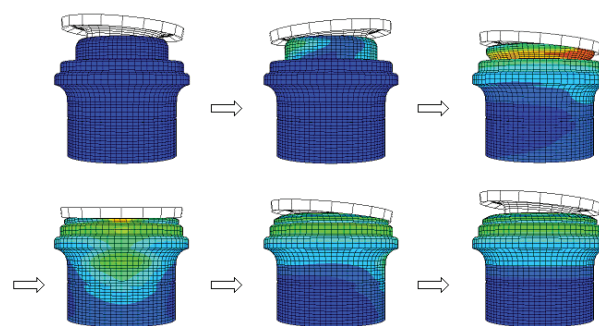


図5 軸端かしめシミュレーションの解析例

Simulation of shaft clinching

4. 機能・性能向上への対応

ハブユニット軸受の第1世代から第3世代への進化に伴い、軸受メーカーもユニットメーカーとして、車両の視点からの課題解決を要求されるようになってきた。

ここでは、第3世代ハブユニット軸受で車両の機能・性能向上に貢献する技術開発に取り組んできた事例を紹介する。

4.1 高剛性・高横荷重への対応

近年の車両運動制御の進化はめざましく、アンチロックブレーキシステム(以下ABSと称す)の標準装着など、安全性・快適性向上のため、さまざまなシステム制御技術が導入されている。

一方、足回り部品に負荷される荷重は車両制御の高度化に伴って増大する傾向にあるため、最近のハブユニット軸受では特に横荷重の増大に対する強度向上が求められる。さらに操舵性向上からも高剛性のハブユニット軸受が必要となる。

実際の設計では、これらの要求性能に軽量化・コンパクト化を加味した設計を、3項で紹介した解析技術などを駆使して、行うことになる。

当社では、高横荷重下特有の軸受解析に取り組んでおり、シミュレーションを駆使した最適設計をカーメカに提案している。

図6は、高横荷重を負荷された時の外輪変形状態を解析した結果の一例である。3.1項で述べたように、ハブユニット軸受のモーメント剛性は軸受剛性と部品の弾性変形による剛性との加算値で評価できるため、外輪変形が大きいと全体剛性が低下してしまう。ここでは、高横荷重下での剛性確保のため、外輪フランジ部形状を工夫し、高剛性を確保する設計を成立させた。

図7は、図6の外輪と組合せることができるハブシャフトの応力を解析した結果を示す。

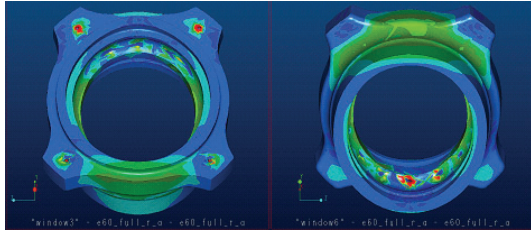


図6 高横荷重条件下での外輪変形解析結果
FEM analysis for outer ring deformation

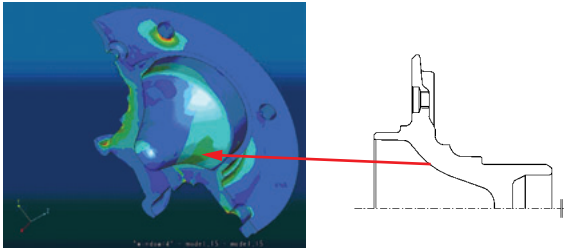


図7 ハブシャフト応力解析結果
FEM analysis for shaft stress

軸受を高剛性に設計する場合、一般にボールピッチ円径を大きくした設計をすることになる。しかし、このような設計をすると体格が大きくなり質量も増加する。そこで、軽量化を図るためにハブシャフト内径側を中空化設計することになるが、高負荷を受けると、この中空内径側が最大応力発生点となり、軸折れの原因になってしまう。ここでは、3.1項にて整合性を検証した手法で応力解析を行ない、ハブシャフトが必要強度を確保しつつ軽量化となる中空形状を設計し、量産化に至っている。

4.2 フランジ振れ高精度化

車両でのブレーキジャダー・ブレーキ鳴き対策として、ディスクロータの振れ低減のため、ハブフランジの振れを高精度化する技術に取り組んでいる。

図8は、アクスル組立品におけるロータ振れ精度の進化を示す。

これまで、ハブユニット軸受およびロータについて、構成部品単品の設計改善や加工改善などで振れ精度向上に取り組んできた。また、部品単品精度で組立品の要求精度を満足できない場合には、ハブシャフトのフランジ振れとロータ振れをそれぞれ測定した上で、組立時に位相合わせを実施し、アクスル組立品のロータ振れの高精度化に対応してきた。(Phase I, II)

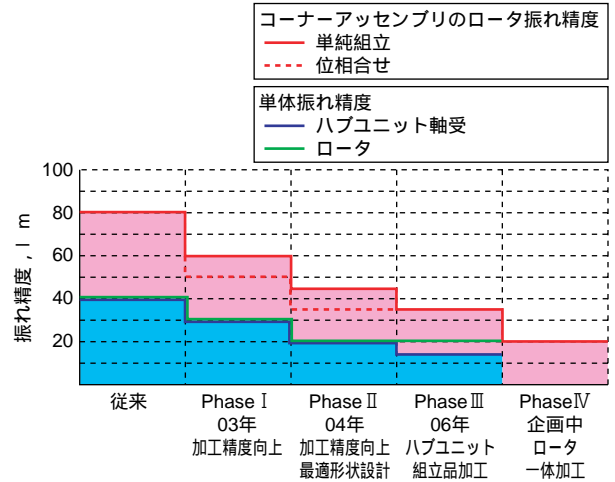


図8 フランジ振れ高精度化の取り組み

Development for high-precision hub flange runout

しかし、ブレーキジャダー・鳴き発生防止に対するロータ振れ精度の寄与率がクローズアップされる中で、最近では個別部品の改善で対応しきれない精度にまで改善要求されるようになってきた。

そこで、最近のハブユニット軸受では、ハブユニット軸受の組立品状態でフランジ面を加工する技術を開発し、単体部品の組立で得られなかった精度にまで対応できるようになってきた。(Phase III)

今後さらに精度向上させようとする場合には、ハブユニット軸受とロータを組付けたアクスル組立品状態でロータ面を加工する方法も考えられる(Phase IV)。ただし、背反としての課題も多いため、現状で採用されているケースは少ない。

4.3 異音発生解析技術の向上

足回りの異音発生問題は、これまでカーメーカーが主として解決に当たってきた問題であったが、第3世代ハブユニット軸受の採用拡大に伴ない軸受メーカーで対応する場面が増加している。

ハブユニット軸受に関わる異音問題は、軸受本体から発生した音が問題視されることはほとんどなく、主としてロータ・ドライブシャフトとの接合部で発生する異音が問題となる。

図9はハブフランジ、ロータ、ホイールの接合面にて発生するスティックスリップ音を防止するため、フレッチングのFEM解析を行なった例である³⁾。フレッチングは、接合部品の部分的剛性差により接合部に微小相対すべりが繰り返され接合面が摩耗する現象で、この摩耗粉が接合面の摩擦係数に影響し、スティックスリップ音を発生させている。したがって、運転中に接合面が接触したり離れたりする領域の接触面圧分布を解析し、

微小すべりの仕事を算出することでフレッチング防止設計を検討することが可能となる。この面圧解析結果は、並行して行なった実験評価結果とも一致するため、設計検討段階にてフレッチングを防止する検討の有効な手段となった。

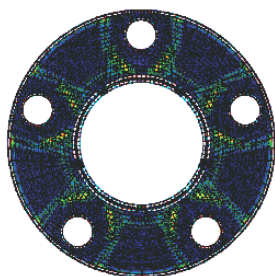


図9 FEMによるフレッチング解析結果
FEM analysis result for fretting status

5. 安全・環境対応技術

最近の自動車業界では、燃費低減と快適性・安全性向上を図る車両制御技術の高度化について、重点的に技術開発が行なわれている。

足回り関連でも、燃費低減を目的とした低トルク化ならびに車両制御の高度化に貢献するセンサを内蔵したハブユニット軸受の開発に取り組んでいる。

ここでは、これらの進化技術について紹介する。

5.1 低トルクシールの開発

近年、京都議定書に基づく炭酸ガス排出量の削減や、エネルギー枯渇を近未来に据えた社会倫理上の課題として、自動車の燃費低減は重要なテーマとしてクローズアップされてきた。当社では、自動車の燃費低減ニーズに応えるため、ハブユニット軸受のトルク低減に取り組んでいる。当社では、トルク寄与度の高いシールの低トルク化に取り組む、量産化した。

一般的なハブユニット軸受用シールの形状とシールトルクに占める各シールリップのトルク割合を表2に示す。回転トルクに対する割合の高いラジアル主リップとラジアル補助リップのしめしる減少によりトルクを低減し、背反として考えられる耐泥水性低下に対しては、トルク寄与度の低いアキシャルリップのシール性を向上させることで、市場へ投入できる低トルクシールが設計できた。

表2 ハブユニット軸受用シール形状と各リップにおけるシールトルク割合

Seal design of hub unit bearing and contribution of each lip to seal torque

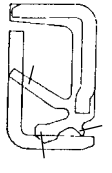
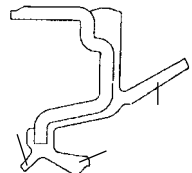
	バックシール	軸シール
シール形状		
ラジアル主リップ	40～50%	
ラジアル補助リップ	30～40%	
アキシャルリップ	10～30%	

図10は従来のシールと低トルクシールの回転トルクを比較測定した結果を示す。バックシール・軸シールとも、40%のトルク低減が確認できた。また、泥水耐久試験においても、低トルクシールが従来シールと同等の耐久性を有することが確認できた。

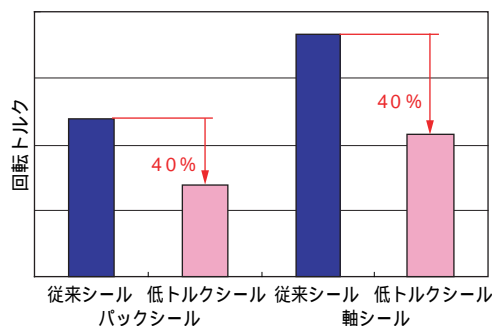


図10 シールの回転トルク測定結果
Torque measurement result

この低トルクシールの開発により、ハブユニット軸受は従来比で約20%のトルク低減を達成した。

5.2 軽量最適化解析

ばね下重量の低減は、操舵性の向上・燃費低減ニーズに対し多大な効果を及ぼす。ハブユニット軸受の小型・軽量化は、これらのニーズに応えるだけでなく、周辺部品の設計自由度を拡大する効果も伴うため、第3世代ハブユニット軸受での重要検討項目になっている。

しかし、過度の軽量化は剛性の低下に伴う操舵感低下を招くだけでなく、部品破損という足回り部品として最悪モードの故障を起こすことにも

なる。

当社では、3.1項にて紹介した強度・剛性解析技術をベースに、第3世代ハブユニット軸受の軽量化を推進している。

図11はその解析例で、従来比30%以上の軽量化を実現した一例である。このモデルは、強度・剛性を維持しつつ大幅軽量化した例であり、従来では設計者の勘に頼っていた軽量化アプローチが、確立された解析手法によるアプローチに進化した姿とも言える。

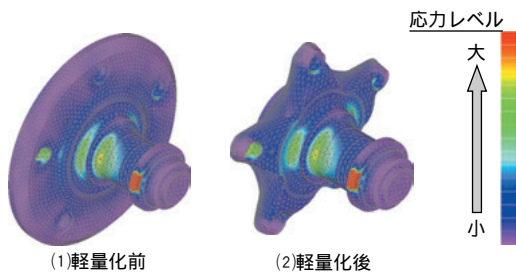


図11 ハブシャフトの最適軽量化実施例
Example of light weight hub shaft

5.3 高分解能・正逆検知センサの内蔵化

最近、ABSセンサがハブユニット軸受に内蔵化されるケースは増加傾向にあるが、車両制御の高度化に伴い、ABSセンサの出力信号をABS以外の制御にも利用するケースが増加してきた。したがって、ハブユニット軸受に内蔵するセンサにも、ABSセンサ以上のインテリジェント機能(高分解能・正逆検知・絶対角度検知など)を保有させる技術が将来必要になってくる。そこで、当社では次世代高機能センサの一つとして、VR形レゾルバをハブユニット軸受に内蔵化する開発に取り組んでいる。

図12は開発品の構造を示す。センサはステータとロータから成り、ロータは鉄芯ゆえ軸受内輪と一体化が可能である。

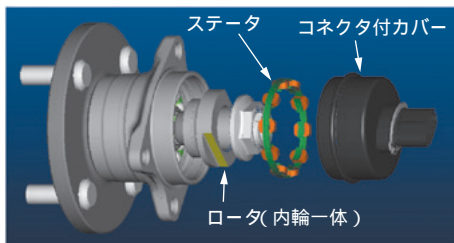


図12 高分解能・正逆検知センサ内蔵ハブユニット軸受の構造
Structure of hub unit with bearing built-in resolver

レゾルバは、従来のABSセンサに比べて分解能が圧倒的に細かいため、自動車の登坂路での後退防止など位置制御を中心とした低速制御に有効である。

図13には従来のABSセンサとレゾルバの分解能違いによる位置制御応答性の違いを示す。従来のABS用パルサでは分解能不足で過渡応答してしまう領域でも、レゾルバの高分解能により正確な制御が可能となる。

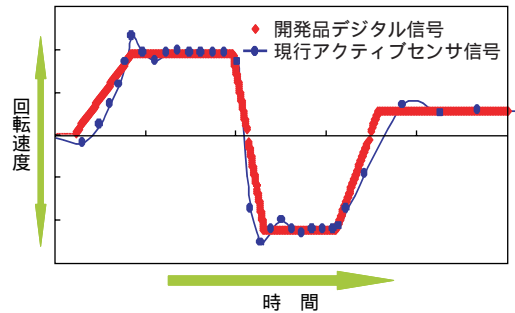


図13 従来のABSセンサとレゾルバの分解能比較
Resolution comparison between ABS sensor and resolver

6. コスト低減技術

最近の自動車部品は低コスト化の要求が強く、従来の製造工程を大きく変革する技術が強く求められている。

ハブユニット軸受においても、低コスト技術の取り組みが行なわれているので、その一例を紹介する。

6.1 鍛造の高精度化

鍛造技術は、最近になって金型技術の進歩により、ニアネットシェイプと称する高精度化が進んできた。図14には鍛造の高精度化により旋削取り代を削減した一例を示す。ハブユニット軸受では、鍛造・旋削という前工程がコストに占める割合が大きいため、鍛造の高精度化はコスト低減に有効な手段となる。

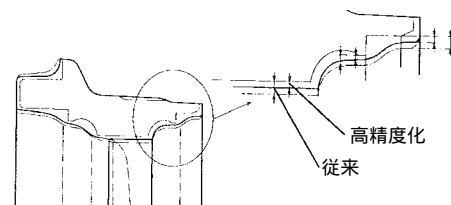


図14 鍛造技術の高精度化
Precision forging

6.2 モノづくり革新

当社では、現在PPIと称する「モノづくり革新」運動を押し進めている⁴⁾。キーワードは「工程を変える」「設備を変える」「製品を変える」であり、「原点に返ってモノづくりを一新すること」である。

この考えを基本として、

選択はめあい(ボールと軌道輪の寸法合わせをすることで軸受の内部すきまを調整する)の廃止

設備間を3次元的に連結していた搬送装置の2次元化(平面化)

など従来であれば当たり前であった工程を革新する取り組みを始めている。

これらの取り組みから、モノづくりにおける低コスト化・設備スペース削減による低コスト化・可動率向上による低コスト化が実現しつつあるだけでなく、これらの取り組みを全員参加で行うことによる意識改革が今後のコスト改革の源泉にもなる。

7. おわりに

車両制御の高度化・自動車の燃費向上といった急激な環境変化の中で、大幅な採用増加の傾向にあるハブユニット軸受の最新技術動向について、その概要を述べた。

今後も、カーメーカのニーズを先取りし、部品メーカーから魅力ある技術を提案するビジネス形態へ変革できるよう、開発を推進していきたい。

参考文献

- 1) 沼田哲明：Koyo Engineering Journal, no. 162 (2002) 33.
- 2) 梶原一寿：Koyo Engineering Journal, no. 167 (2005) 37.
- 3) 山川耕志郎，梶原一寿：Koyo Engineering Journal, no. 165 (2004) 42.
- 4) 井坂雅一：Koyo Engineering Journal, no. 167 (2005) 11.

筆 者



沼田哲明*
T. NUMATA

* 理事 軸受事業本部 ユニット技術部