


5-2. インタビュー対象者紹介と調査概要

自動車軸受の技術の変遷 うえのまさひろ 上野正弘氏

インタビュー：鈴木俊夫氏（日本精工㈱ 常務取締役）
時：1998年4月17日（金） 於：日本精工㈱ 藤沢工場本館

プロフィール

大正14年（1925年）12月12日	生まれる	
昭和22年9月	東京大学 第二工学部機械工学科卒業	
昭和22年10月	日本精工㈱に入社 藤沢工場に勤務	
昭和35年6月	同社 技術部設計課長	
昭和40年4月	同社 貿易部長	
昭和42年1月	同社 軸受技術部長	
昭和44年9月	同社 総合技術室軸受技術部長兼技術研究所長	
昭和47年7月	同社 品質保証部長	
昭和48年6月	同社 取締役、品質保証部長	
昭和53年7月	同社 常務取締役、製品技術研究所担当、 第一技術本部長、自動車技術部長	
昭和55年7月	同社専務取締役、製品技術研究所、品質保証部、特許管理部、第二技術本部担 当、第一技術本部長	
昭和61年7月	日本精工㈱顧問、エヌエスケー・トリントン㈱取締役社長	
平成2年6月	日本精工㈱顧問、エヌエスケー・トリントン㈱相談役	
平成6年6月	日本精工㈱顧問、エヌエスケー・トリントン㈱顧問、現在に至る	

自動車用軸受に関する主な業績

昭和30年	水ポンプ用複列玉軸受の開発
昭和32年	キングピン・スラスト円筒ころ軸受の開発
昭和32年	半浮動軸用深みぞ玉軸受の開発
昭和33年	自動車用クラッチリリーススラスト玉軸受のJIS制定
昭和35年	差動歯車装置ピニオン軸用高剛性円すいころ軸受の開発とシリーズ化
昭和35年	密封玉軸受用シール及びシールみぞ形状の統一化
昭和37年	トラック前後輪用密封円すいころ軸受の開発
昭和38年	鋼板製シールド板の加締め技術の確立
昭和43年	心金入り密封形キングピン・スラスト軸受の開発
昭和44年	軸受用接触及び非接触ゴムシールの開発

▶上野正弘氏インタビュー調査概要◀

戦後の昭和22年入社以来、日本の工業が復興から成長へ向かう過程において、転がり軸受の技術開発を中心に業務を遂行してきた。

ここでは、日本の自動車を陰ながら支え、ともに発展してきた転がり軸受について、自動車とのかかわり合いを中心に話を進めた。

自動車用軸受の技術開発は、戦後ただちに始まったトラックの生産、米軍車両の修理、欧米の自動車メーカーとの技術提携による乗用車の生産に基づく外国製軸受の詳細な見取り調査から始まった。

更にこれに続いて、転がり軸受の動的な性能を向上させるために、軸受の低騒音化、低振動化への本格的な取り組みが比較的初期の頃から行われたことは、転がり軸受の生産全般に好結果をもたらした。

音響問題は転がり軸受の技術開発の原点であったと言える。

また、転がり軸受は規格化や互換性が進んでいるが、これらは加工方法や加工機器の他に計測機器や解析機器の進歩に負う所が大きかった。

1958年、転がり軸受の精密技術を応用してボールスクリュー式ステアリングを商品化し、重要保安部品として、設計、製造、試験研究面で転がり軸受と異なった技術の試練を味わったが、これによってその後のステアリングの展開の基礎が蓄積された。

自動車の発展とともに自動車メーカーからの要求も厳しくなり、その要求とともに転がり軸受の性能も向上していった。

代表的な用途での転がり軸受の発展を列挙すると、

半浮動後輪用深みぞ玉軸受

C形円すいころ軸受

クラッチレリーズ軸受

などがあった。

また、長寿命化技術としての材料開発では1965年真空脱ガス鋼を用いた転がり軸受が生産され始め、これに続き、極低酸素量の軸受用鋼が開発された。これにより転がり軸受の疲れ寿命は著しく向上した。

転がり軸受の技術開発において、性能向上のための研究開発は工学的見地から大変重要なことであるが、各々の用途に合った軸受を開発するという用途技術も更に重要な技術であった。

用途技術として軸受の潤滑、グリースの最適化や、個々の用途にあった専用軸受が種々開発された。オルタネータや電磁クラッチに始まりトランスミッション用軸受まで用途に合わせた機能開発についての考え方についても触れた。

6. インタビュー調査本文

6-1. 自動車軸受の技術の変遷

上野正弘氏

鈴木 それでは始めさせていただきます。

本日は、自動車技術会の自動車技術史委員会のご依頼によりまして、長年にわたり転がり軸受の技術開発の草創期、成長期を歩まれました日本精工株式会社、元専務取締役上野正弘さんに、自動車を中心とした転がり軸受について、過去にご苦労された話、技術開発の経緯、世の中の状況などのお話を伺いまして、貴重な記録とさせていただきます。

本日は、1998年4月17日でありまして、場所は神奈川県藤沢市の日本精工株式会社藤沢工場の応接室でございます。

このインタビューは、自動車技術史委員会・故実蒐集分科会委員の東京ラヂエータ製造株式会社取締役開発本部長の新田さん、いすゞ自動車株式会社技術情報管理部次長の角野さんのお骨折りにより、実現の運びになったものであります。

本日は、お二方にご同席いただいております。まことにありがとうございます。

私は、本日お話を伺う、聞き手の鈴木でございます。現在、日本精工株式会社常務取締役、自動車技術センター所長を担当しているものであります。

お話をお伺いする前に、上野さんの略歴をご紹介させていただきます。詳細は別紙のプロフィールと業績をご参照ください。

上野正弘さんは、大正14年（1925年）12月12日にお生まれになりました。昭和22年9月、東京大学第二工学部機械工学科を卒業され、昭和22年10月、日本精工株式会社に入社されました。入社後は主として製品技術分野で幅広く活躍されまして、昭和48年6月、同社の取締役、昭和53年7月、同社の常務取締役、昭和55年7月、同社の専務取締役を歴任されました。昭和61年7月、同社の顧問、エヌエスケー・トリントン株式会社取締役社長に就任され、平成6年6月、日本精工株式会社及びエヌエスケー・トリントン株式会社の顧問として現在も活躍されております。

それでは、これからお話を伺いたいと思います。

最初に、自動車と転がり軸受のかかわり合いについて、転がり軸受が自動車に使われている重要な部品として、自動車の発展を陰ながら支えてきたと思いますが、まずそのあたりからお伺いしたいと思います。

上野 ただいまご紹介いただきました上野でございます。それではこれからお話を進めさせていただきます。

転がり軸受と自動車の関係は、その当初からその結びつきは非常に強く、今日もなお、転がり軸受は自動車にたくさん使われていまして、転がり軸受に占める自動車の割合は、非常に高いものがあります。

自動車の電装機器に使われている軸受も含めて考えますと、転がり軸受の多くは、自動車に使われているということになります。

電機や家電製品に使われている軸受も、転がり軸受全体に占める比率は、それなりに高く、技術的な事柄も、自動車や電装機器の軸受と、相互に関連し合って進んでいったと思います。

自動車に使われてきました軸受の技術的な変遷は、それはすなわち、転がり軸受全体の技術的な変遷とも言える、と思います。転がり軸受そのものの技術的な進展は、ほぼ、自動車に使われる軸受の技術的な展開のベースになっていると思います。

また、自動車から発して自動車用の軸受に加えられたことや、他の用途から発して、自動車用の軸

受に加えられたことも、徐々に一般化していった、軸受全体のレベルを上げていっています。

自動車も、転がり軸受も、その最初は欧米に端を発していますが、日本においても、自動車が発展するにつれて、転がり軸受の技術も伸展してきた、という展開であると言えます。

まず最初に、軸受の技術の変遷の概略を見たいと思います。

転がり軸受は、外観について見ても、昔から大して変わっていないように見えます。しかし、転がり軸受の内側から見てみますと、軸受の材料や設計・製造あるいは性能や計測についての技術の研究・開発の結果が、その都度、加えられていって変わっていないどころか、停滞することなく生まれ変わっている、とも言えるのではないかと思います。

また、転がり軸受を使う機械の進歩も著しく、中でも自動車は、その代表的なものでしょうが、その著しい伸展の結果として、その軸受に要求される性能は、年々高度になり、厳しくなってきました。それは、今日も続いていますし、明日も続いていくものであろうと思っています。転がり軸受の進展は、それらに応える形で進んだものとも言えます。

転がり軸受は、当初は、寸法的に精密に、幾何学的に正確に作ることを最も肝心なこととしてきた、と思います。そしてそれから、性能や機能の問題に観点が移って行った、と言えます。

メーカーとしては、いい製品、すなわち「いい軸受」を作ることがねらいではありますが、「いい軸受」とは、どんな軸受のことを言うのか、どんな軸受であれば「いい軸受」と言えるのかということ、いつも念頭にあったことであります。

ある時期までは「いい軸受」とは、寸法的に正確なものであった、と思います。

それが、性能・機能の問題に観点が移っていったのが、その次の時期であった、と思います。

転がり軸受を使用する自動車をはじめ、電機・電装機器やいろいろな用途からの厳しい要求に応えるため、軸受の性能・機能の研究、開発とか、それを実現させるための工作法・生産技術の開発とか、求められてきました。

軸受の個々の性能・機能の研究・開発、例えば音響・振動とか、摩擦とか、寿命とかであります。また、研究・開発を行っていくため、計測や解析の技術開発や、それら計測・解析用の機器の開発・設置も併せて行われました。

さらに、それらの「いい軸受」を実現させるため、加工工作法、工作機械、組立法など、生産技術面からの開発があり、また、軸受材料、熱処理のほうからの追求も行われ、全体的な技術レベルの進展に伴って、軸受への要求や軸受の問題も、逐次、解決され進んでいきました。

鈴木 自動車と転がり軸受との長い関わりの中で、いろいろなことが経験され、その経験の積み重ねが現在の転がり軸受に生かされ、発展してきていると思いますが、この辺、いかがでしょうか。

上野 そうですね、少し観点を変えて見ますと、物事の進展の、やや裏返しのこともありますが、故障といえますか、不具合といえますか、本当にいろいろなクレームやトラブルに遭遇し、経験をさせられてきました。第三者的な言い方をすれば、一つ一つの、あってほしくない出来事を通して、また、それぞれが一つの契機となって、少しずつ、風雪に耐える軸受ができていったと言えるのかもしれない。

このような、クレームあるいは品質問題は、本当はあってほしくないし、できることならば、経験しなくてすめばよいのですが、現実にはいろいろと経験させられ、また、教えられたことも多くありました。また、これに関連して故障解析の技術や方法も、必要なこととして進んでいきましたが、これらは極めて重要なことであります。

軸受は、破損しないこと、焼付を起こさないことが基本的に大切なことであります。回転をしなかったら、軸受の存在はないということになるわけですし、それだけに何としても、破損とか焼付とかの致命的なことは、避けなければならないことであります。しかし、実際には、破損や焼付だけでなく、軌道面にフレーキングが起こったり、音響的に異音が出たり、保持器が摩耗・破損したり、潤滑上の問題が起こったり、いろいろと好ましくない現象が起こりました。

故障や不具合などのクレームは、いわば裏側の失敗の歴史とも言えるべきものでしょうが、今までの用途であれ、新しい用途であれ、その用途に対して技術的に未経験なこととか、技術的に十分に解明

されていなかったこととかが、表面にあらわれ出たものと思います。

クレームの原因や対策も、その事柄や内容が、よくわかってから後になって考えてみますと、その時点ではわからない、難しいと思っていたことが、意外にも簡単なことであったりしたこともありましたが、その多くは、いろいろと教えられ、また思い知らされたことであった、と思っています。

経験例をいろいろと持つことは、似たような経験例において、故障やクレームを繰り返し起こさせないために、非常に有効であったと思います。また、それと同時に、新しい用途例をこれから持つ、という場合にも、非常に役に立つものであったと思っています。

軸受は、もともと非常に経験工学的な要素の多いものだと思います。一般の機械や自動車部品の中にも、同じように経験的要素の多いものもあるかもしれませんが、転がり軸受の場合、軸受の使用結果が悪い場合には、故障ということになります。その使用結果には、軸受自身の条件に加えて、使用される機械側の条件が相互に影響し合うので、どうしても経験してみても初めてわかるということが、多くあったのだと思います。

軸受が機能部品であることに加えて、相手機械の条件の影響を大きく受けるから、ということであろうと思います。

しかし、軸受に経験的要素が多いからと言って、経験だけを頼りにするわけにはいきません。

用途が新しいものであれば、なおそうであります。新しい用途であっても、軸受としては、十分に機能できるものを作らなければなりません。

故障とか不具合などのクレームといった、このような品質問題が起こったりしますと、お客さんにいろいろと迷惑をかけることになりまして、また、われわれにとってもなかなか難儀で、大変なことであります。

したがって、できれば事前に、実験的にでも経験し、あらかじめ故障・不具合を起こさせ、可能な対策・処置を講じておくことが欲しいわけでありまして。

鈴木 お話のように、過去に経験した故障や不具合といったクレームや技術的未経験の分野、用途への挑戦がまた新しい転がり軸受を育ててきたということですね。

上野 そうですね、このように考えてきますと、軸受は機能部品ですから、個々の用途・目的に合うような機能を開発して、積極的に、そのニーズに応える軸受を開発することが肝要である、と考えるようになりました。その方向に進んでいくことを主眼とするようになっていきました。

こういうことを志向するようになってきたのも、それまでのいろいろな技術のレベルが、このような機能開発を可能にするような技術のレベルにまで、発展してきていた、ということもありましょう。さらに、このような機能開発をより容易に可能にするような技術も開発していくことを主眼としなければならないということでもあります。

軸受の「良さ」を追求しての軸受の個々の性能・機能の研究・開発が行われ、一方では、悪さが表面に現れた故障・不具合を解析し、対応・対策が行われました。また、計測技術・解析技術・材料面の進展と合わせて、軸受にまつわる技術が進んでいきました。

したがって、用途・使用目的に適合させ得る機能の開発を行い、軸受をその狙ったレベル・質で製造し保証する技術の開発へと進んで行った、と言えると思います。

開発実験を充実させて、故障・不具合の先取りをするという、いわばマイナスを起こさせることへの対応ということだけでなく、さらに進んで、その個々の用途に合わせて、積極的にプラスを与える機能を開発するということです。

用途・ニーズが幾通りかあれば、その数だけ軸受の機能や種類があるという考え方です。しかし、一方では、軸受メーカーとしての作る立場からは、種類は少ない方がいいわけですから、これらそれぞれが必要とする機能を与える要素・要因がよくわかった上で、種類を統合していく技術もメーカーにとっては同じように大切な技術となるわけでありまして。

機能の開発を志向したから、と言っても、全てが全て思ったように事が運んだわけでもありませんし、うまくいったわけでもありません。試行錯誤は依然としてあったわけですが、そのような考え方だけは、はっきりと持って事を運んでいた、ということは言えると思います。

言い換えれば「自動車の言葉、自動車語」を「軸受の言葉、軸受語」に翻訳するということ、翻訳が上手にできるようにしていく、ということであろうと思います。

仮に、お客さんの意図・意味が十分に表明されていたとしても、その自動車としての条件・意図を、軸受としての条件・狙いに把握し直し、解釈し直すことができ、軸受に対する技術的・条件的な置き換えができて、初めてその自動車の用途・使用目的が軸受の条件の中に移されたということになります。そして次に、軸受自身において必要とする機能とは何か、その機能を与えるためにどの箇所をどのようにすればよいか、ということをはっきりとすることができて、ようやく翻訳ができたということでしょうか。

このような形で開発され、製作された軸受が、その用途・目的に対して機能部品としての生命が与えられた、ということになると思います。

結局、「いい軸受」とは、用途・目的に合った軸受のことだ、と思います。したがって、用途・目的に合わせる技術、用途・目的に合うような機能を作り出す技術、そのような機能を持った軸受を作り出す技術が、軸受にとって大事な技術であるということができると思います。

そしてこのことは、転がり軸受の新しい用途を開発していくことにも、つながっていると思います。

転がり軸受の技術の展開、あるいは進展といっても、用途があつてのことですし、使用されてこそ、意味があるわけですから、自動車との関連は非常に大きいものであります。

自動車の進展に伴って、転がり軸受に対する要求、性能面やコスト面からの要求も厳しくなり、転がり軸受の技術も、それに対応して進んでいったということになると思います。

鈴木 それではこれから本論に入らせていただくことにしますが、転がり軸受の草創期のお話から伺いたいと思います。

上野 ではここで、転がり軸受の初期のころを見てみます。

転がり軸受は、その工業的生産の最初から、自動車用として生産され、使用されています。

自動車の歴史を見ますと、1885年にガソリン機関を搭載した自動車が製作され、1892年に現在の自動車に近い形のものを作られています。軸受は、今日的な形式の軸受が発明される以前であったため、転動体を適当に用いた形であったようです。

1908年にフォード社から大量生産方式のT型車が発表されています。このときは、これより先に設立されていたティムケン社(1898年)やハイアット社(1892年)などの軸受が使用されています。

ある時期までは、軸受はそれぞれの機械メーカーで部品の一つとして、個別に作られていたのですが、軸受の専門メーカーの出現によって、軸受だけの専門工場で生産されるようになっていきます。

転がり軸受の専門メーカーの設立は、その多くが1890年~1920年のころで、アメリカで先の2社の他に、ニューデパーチャ社(1889年)、イギリスのホフマン社(1898年)、スウェーデンのSKF社(1907年)、ドイツのFAG社(1909年)がそれぞれ設立されています。

日本では、1916年(大正5年)に、日本精工(NSK)が設立されており、その後1928年(昭和3年)までの間に、光洋精工、NTN、不二越の各社が設立されています。

転がり軸受の形式としては、マグネト形玉軸受、深みぞ形玉軸受、アンギュラ形玉軸受が、さらには自動調心ころ軸受などが、1902年から1906年の間に発明されています。

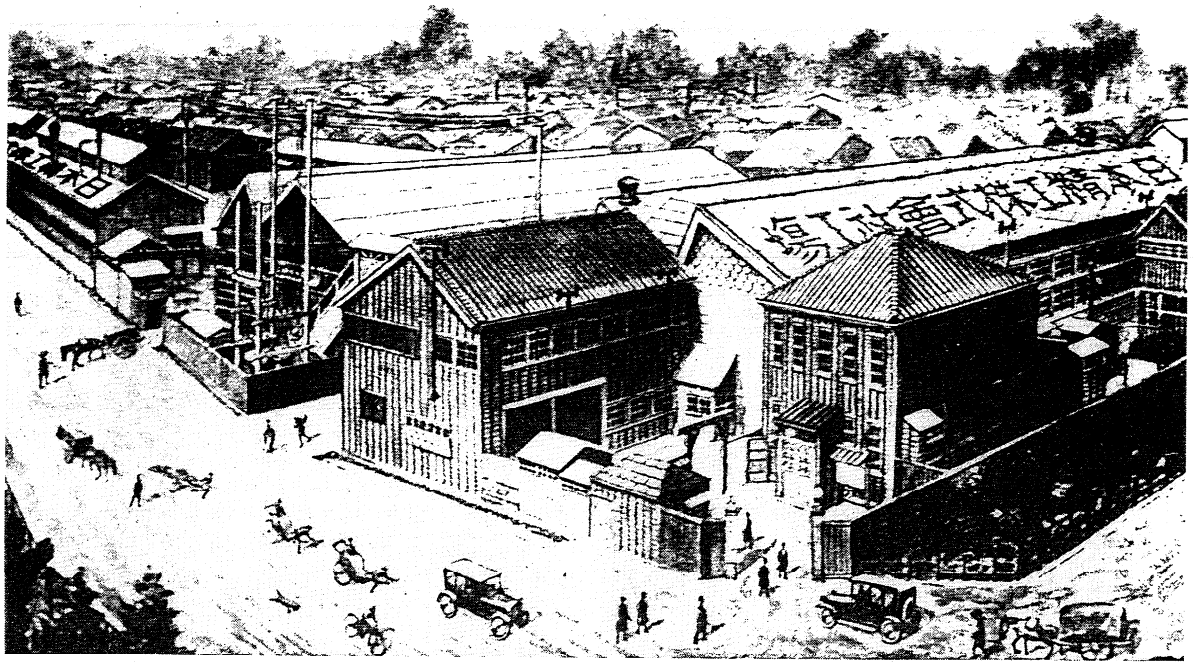
こうして見ますと、自動車と転がり軸受の時期とが、よく揃っていることがわかります。

日本について見ますと、昭和の初め、自動車の試作・製作が始められていますが、NSKはこれらの自動車に円すいころ軸受や深みぞ形玉軸受をはじめ、自動車用としてのキングピン・スラスト軸受や、クラッチ・レリーズ玉軸受などを製作し、納入しています。

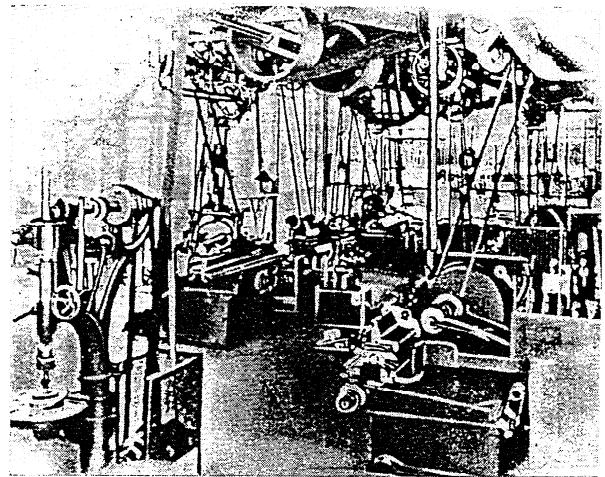
鈴木 転がり軸受は国際的に規格化された代表的な機械要素部品と言われていますが、どのような経緯で規格化が進展してきたのでしょうか。

上野 転がり軸受は、大衆乗用車T型フォードに代表されるように、その需要が多くなれば、専門メーカーが欲しくなりました。また、軸受には、互換性をもたせる必要がありましたし、規格化も必要でありました。

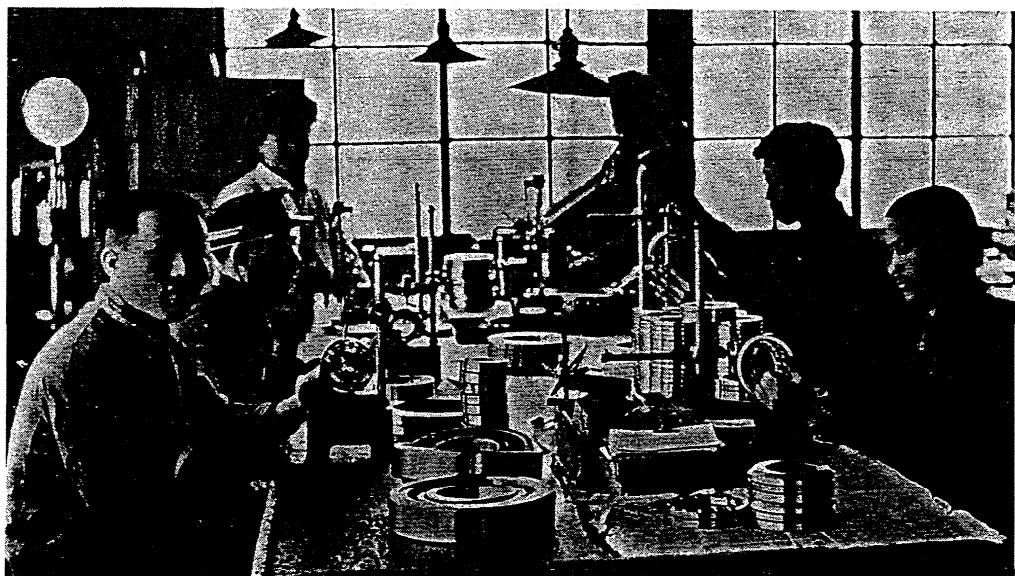
転がり軸受は、よく、国際的に規格化され、互換性があり、穴と軸の加工だけで取付・取扱いが容



合資会社設立当時の工場全景

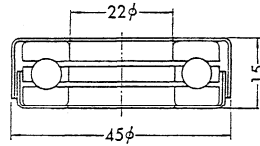


大正10年ころの研磨工場



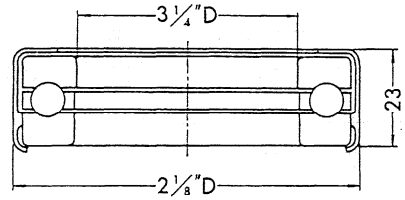
大正10年当時の検査場

(昭和8年)
 図番 B6355
 納入先 日本車阿
 使用軸受 TAA-22 (現在の 2904 $\frac{1}{2}$)



初期のキングピンスラスト玉軸受

(昭和8年)
 図番 B6354
 納入先 日本車阿
 使用軸受 TM 2 $\frac{1}{8}$



初期のクラッチリリース玉軸受

易であり、大量生産されて経済性があると言われてきました。

互換性をもって部品を作るという考え方は、相当以前からあったようですが、1896年にブロックゲージが開発され、正確な寸法基準の保有が可能になるとともに、会社間相互での互換性を可能にしました。これによって、部品工業の生産の基礎が確立されたと言われています。

1900年ごろに、ドイツで玉軸受が発売されたときに、カタログに主要寸法系列が軸受シリーズとして発表されました。これが現在のメートル系軸受の主要寸法の基礎を作っています。寸法シリーズがあるということは、規格化に非常に役に立つものであり、これの意味するところは大きかったと思っています。

このように、同じ機能を果たす軸受の寸法や負荷容量の規格化が進み、その互換性や取り扱いの容易性、経済性などを含めて、自動車や電機などの大量生産される機械に、転がり軸受の使用される分野が広がっていきました。

鈴木 先ほど日本の転がり軸受メーカーの創立は1916年から1928年とのことですが、戦後の軸受の新しい始まりはやはり自動車であったのでしょうか。

上野 では戦後の軸受の新しい始まりについて見てみます。

自動車について見ますと、戦後すぐ、トラックや乗用車の生産が始まりました。そして転がり軸受が自動車をはじめ民需用の機械・機器のいろいろな用途に使用されるにつれて、転がり軸受の種類も増えてきました。自動車用としては新しい軸受形式として、1947年(昭和22年)に、ウオームセクター玉軸受が開発されています。1tトラックや中型乗用車に用いられ、軽いハンドル操作の特徴が認められました。1949年(昭和24年)には、総ころ形のウオームセクター円すいころ軸受も製作されるようになりました。

1950年(昭和25年)の前後には、米軍の自動車車両の修理のために軸受の注文を大量に受けています。軸受は、ティムケン社の円すいころ軸受をはじめ、パウワー社、ハイアット社の円筒ころ軸受、また、ニューデパーチャ社の玉軸受などでありました。この注文に当たって、使用されたアメリカの軸受を大量に入手しています。

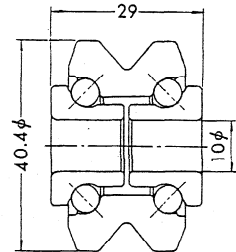
このような戦後すぐの早い時期に、アメリカの転がり軸受に、大量に接することができたということは、考えてみれば一つのいい機会であったと言えます。

例えば、この受注によって、自動車用の浸炭軸受を量産し、わが国で初めてガス浸炭という新しい技術と生産方式とを開発する端緒をつかんだのであります。

衝撃荷重を受ける用途において、浸炭軸受は自動車用として非常に大きな関わりを持っている軸受であります。したがって、浸炭技術は、他の熱処理技術もそうですが、軸受にとっては重要な技術として研鑽され、改良開発されて、でき上がっていきました。

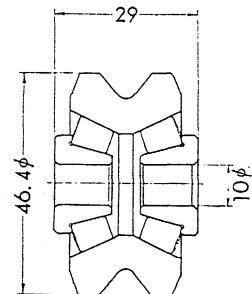
また、この受注に当たって入手した軸受を見取りして、軸受の内部寸法や仕様が決定されました。

呼び番号 DSI-10



ウオームセクター玉軸受(昭和22年)

(昭和24年)
 呼び番号 2R10



ウオームセクター円すいころ軸受

これらの見取りも、丁寧に丹念に行われましたが、これも特徴的な出来事であった、と思っています。

ウォームセクター軸受は、その用途から衝撃荷重を受ける部位であるため、浸炭軸受でありました。当時、浸炭の技術は、必ずしも確立されていたわけではありませんでした。したがって、その出来ばえをいろいろと確認し、その技術を確立するために、衝撃試験が繰返し行われていたことを、よく覚えています。

浸炭の技術もそうですが、一般に技術というか、あるいはそのノウハウを構成する要素というものは、それがわかって、体制が整ってしまえば、それが難しいことではなかなか思われません。しかし、それが出来上がるまではなかなか難しいことであって、本当に、それまでは試行錯誤の連続であります。この浸炭軸受の場合も、その一つの例であったと思います。

軸受の場合、このようなケースが比較的多くあるように思うのですが、試行錯誤の連続、あるいは技術の積み重ねが、そのベールを少しずつ剥がしてくれていったと思います。

大した苦勞もなく、すんなりわかることもあります。軸受の技術は、他の技術も多分そういう面を持っているでしょうが、経験や技術の積み重ねが、いかに大切であるかをうかがわせてくれるものであったと思います。

鈴木 先ほどアメリカ製のいろいろな転がり軸受の見取り調査を行ったとお話してましたが、どのようなところに着目して実施したのですか。

上野 そうですね、米軍の自動車車両の修理のための転がり軸受の受注に当たって、使用された軸受が大量に入手され、そして円すいころ軸受をはじめ、それら軸受の膨大な見取り計測が行われたことは、先に述べたとおりであります。

見取り計測は、全く丹念に丁寧に行われており、その計測データは、その後もいろいろと有効に活用されました。

転がり軸受は、精密な寸法仕上を当然とするとも言えますが、この膨大で丹念な見取り計測は、寸法というものを最も大事なものとして扱う、ということを示しており、「寸法を正確に」を最優先のこととして軸受を作る、という当時の軸受メーカーとしての姿勢をうかがわせるものであった、と思います。

当時のレベルにおいてではあっても、寸法精度については、計測を含めて、最重要視されて行われていたわけであって、寸法精度は本当に軸受製造の基本であったと思っています。

軸受に、音響の問題などが喧しくなる以前の当時は、寸法的な正確さを期して作られていましたし、後に導入される超仕上は、もちろん行ってはいませんでしたが、軌道みぞは、ポリシング仕上がされていきました。

もともと、転がり軸受の転動体として、玉は最も望ましい形のものであり、したがって、それなりの動的性能は示していた、と言えると思います。ころについても、幾何学的に、寸法も含めて、正確に作られていれば一応の性能はあった、ということだと思えます。

しかし、いうならば、寸法を大事なものとして作る、ということは、互換性は意図されていた、とは言ってもよいと思いますが、動的な性能が意図されていたとは言えません。しかし、それなりにというか、当時の要求される性能への期待には応えていた、ということであったと思います。

そうは言っても、その時点、その時点において、最も注目され、最も大事なこととされた事柄、この当時の場合は、寸法、ミクロン単位の寸法ということですが、その大事なものをどこにも負けないものとして作る、という意気込みや姿勢は、非常に貴重なものであったと思っています。

このように、大事なことをゆるがせにすることなく作るという姿勢があつてこそ、その後の音響に厳しくなっていくときに、それぞれの項目をきっちりと大事にして、軸受を作っていくというやり方に引き継がれていったのだと思っています。

その意味では、寸法を大事にということは、軸受製造の基本であったわけですし、軸受の音響などの性能が喧しくなってきたとき、その基本があり、またその姿勢があつて、その上に積み重ねられていったものだと言えると思います。

このころから、いくらか経たないうちに、軸受の音響の問題などが出てくることになりましたが、当時は軸受は円滑に回転すればよいということでありました。

軸受を回転させて評価する音響などの性能を動的な性能というならば、当時は、静的な寸法精度の評価が主であり、また、音響などの動的な性能の要求は、まだ、それほどはなかった時期であったわけです。

精度においては、当時のレベルにおいてではあれ、寸法・公差を正確に計測し、あるいは作り込んでいくことが、転がり軸受の基本であり、軸受製造のベースである、というならば、そのベースの上に立って、音響などの研究・開発、あるいはその作り込みができていったのだ、と思っています。

話はちょっと脇道にそれますが、軸受は互換性があるという意味では、世界に通用するものだというので、円はドルに替えないと外国には通用しないが、玉軸受の6203は、世界中に6203として通用するのだ、という話を聞かされて、なるほどそういうものか、と思ったり、本当に世界に通用するのはいつだろうか、と思ったりもしました。

また、当時アメリカのリーダーズ・ダイジェスト誌（日本語版）に、なぞなぞの問題として、子供がボールベアリングをおもちゃにして遊んでいる話が載っていて、アメリカでは自動車などにいろいろ使われているからなのか、子供がおもちゃにするぐらい、ボールベアリングは日常的なものになっているのか、と驚かされたことを覚えています。

寸法的に正確に軸受を作っていたころのことです。

先にも述べましたように、そのころ、寸法を正確に軸受を作っても、動的な性能、例えば音響とか、摩擦トルクとか、あるいは耐久性などといった動的なことは、あまり直接の問題にはなっていませんでした。しかし、音響品質のよさ、低騒音を狙って、超仕上げが導入されてきたときには、軸受に新しい時代が来たのだ、という思いがして、軽い興奮を覚えたことを思い出します。

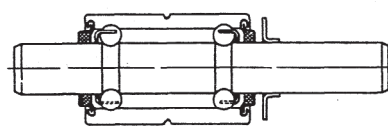
鈴木 戦後、日本の自動車メーカーと欧米の自動車メーカーとの技術提携が相次ぎ行われたと思いますが。

上野 1952年～1953年（昭和27～28年）のころ、乗用車について、日本の自動車メーカーと、欧米の自動車メーカーとの技術提携がそれぞれに行われています。

そして、組立ての開始と同時に、部品の国産化が行われ、軸受もその一環として逐次、国産化が進められていきました。

このことも、外国のベアリングをいろいろと勉強することができた時期であり、その後の転がり軸受の技術の進展に役立つものでありました。

この間、現在も使用されている水ポンプ用玉軸受が新しい軸受形式のものとして、自動車用軸受に加わっています。



水ポンプ用軸受

鈴木 乗用車の技術提携は日本のモータリゼーションのはしりと思うのですが、転がり軸受にとっても新しい技術課題などいろいろな問題が発生し、それに対処しながら転がり軸受技術も進展して行ったのではないかと思います、いかがでしょうか。

上野 そうですね、転がり軸受の新しい技術の問題が、いろいろ始まってきています。

乗用車の技術提携が行われていたころ、あるいはそのころ以降は、それぞれの自動車用の機器についても、いろいろと新しい開発が進められていて、軸受にとっても、解決を迫られる問題が出てまいりました。

例えば、ディーゼル・エンジン用の燃料噴射ポンプにおいて、高圧・高速の新しい噴射ポンプに用いられる玉軸受に、フレーキング（剝離）の問題が起きました。



玉軸受のフレーキングの例

この問題を解決するに当たって、軸受の内部設計や仕様をいろいろと検討しながら変更し、幾つかの試験を経て、試行錯誤をやりながら、ようやくこの問題をクリアする軸受が製作されました。新しい噴射ポンプの開発に際して、軸受がブレーキにならずに済んだということでもあります。

軸受の内部設計や仕様について、いろいろと検討し、試験や実験を行いながら、新しい条件に適合する軸受を開発し、製作したという、このような例は、当時、日常的に行われていたこととは言えませんが、このことは、その後の軸受のあり方を示唆するものであった、と思っています。

このころは、一連の乗用車の技術提携の時期と前後して、自動車やその関連の機器においても、新しい開発や試みが、それぞれにおいて大きく動き出した時期であったと思います。

軸受も、その一環としていろいろな技術的問題・技術的障害に直面し、新しい形式の軸受をその戦列に加えながら、それぞれの問題解決に取り組み始めた時期でもあった、と言えると思います。

鈴木 一般的に転がり軸受といいますと、深みぞ形玉軸受を連想しますが、自動車には多数の円すいころ軸受も使われています。円すいころ軸受での技術課題としてはそのころどのようなものがあったのでしょうか。

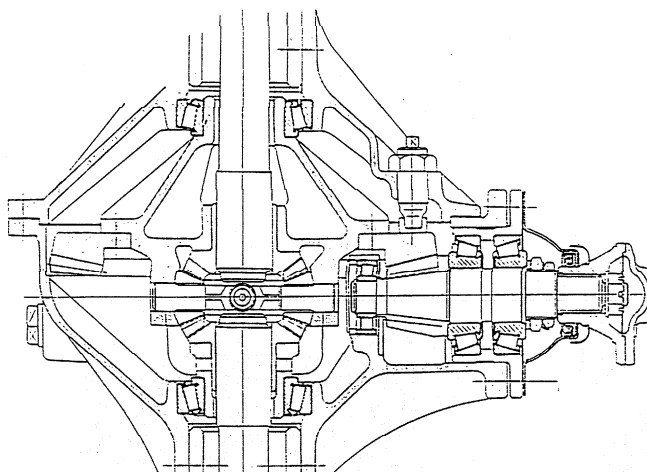
上野 そうですね、自動車の前輪やデフピニオン軸には、円すいころ軸受が多く使用されていましたが、円すいころ軸受は、その形式上、もともと2個の軸受を相対して取付ける必要があります。その際、相対した2個を含めた軸受系の剛性や、ころの負荷分布を考えたとき、あるいは歯車の当たりを考慮したとき、相対した2個の円すいころ軸受は、予圧を与えて取付けることが望ましいこととなります。そのため、この予圧取付法が問題になりました。一方、予圧を与えて取付けると、軸受の温度上昇や焼付が問題になります。

このため、予圧を与えて、しかも温度上昇を起こさないように、軸受を設計・製作することが必要になってきました。これら一連の問題を解決し、クリアさせ、摩擦トルクを計測しながら行う予圧取付法が確立されたのも、このころのことです。

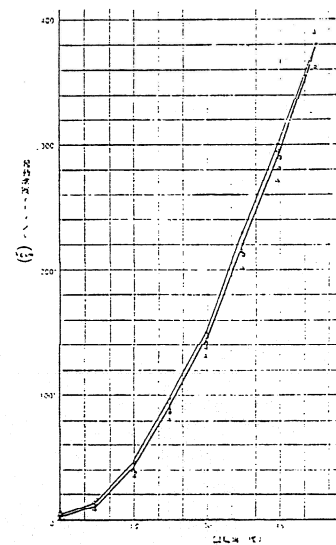
軸受が車両に取付けられた後の、軸受の使用中的問題ではないのですが、この摩擦トルクを計測しながら行う予圧取付法に関連して、予圧しながらの取付・組立中に、摩擦トルクにバラツキがあると、組立作業上、困るということで、そのバラツキの範囲を一定の範囲の中に入れるよう要請されたりして、軸受の品質レベルは、その後も一層よく管理され、非常に向上していきました。

また、こんなこともありました。前輪の円すいころ軸受において、相手の車軸の軸強度を上げるために、軸段部の隅のアルを大きくすべく、インナー側の軸受の内輪背面の面取り寸法を大きくする様に設計を変えたこともありました。軸受の動的な性能と直接かかわることではありませんが、相手の部位との適合が図られた例であります。

さらに、デフピニオン軸に用いられる円すいころ軸受には、音響の問題や剛性の問題などがあり、いろいろと解決すべき問題が続いていきます。



差動歯車装置



ナットの回転角と起動摩擦モーメント

鈴木 転がり軸受の低騒音化、低振動化は、大変に重要な課題ですが、歴史的な経緯について、少し触れていただきたいと思います。

上野 はい。転がり軸受にとって、音響の問題はもともとからつきまとっている問題でありました。転がり軸受と、滑り軸受とを比較してみたとき、工業製品としては、転がり軸受はいろいろとよさがあります。例えば、製品として規格化され、互換性がある、使用する側から見れば穴と軸とを加工すればよく、取付け取扱いが容易であります。しかも、軸受としての、ある程度の機能は保証されているとか、経済性があるとかの点において、有利とされます。

とは言っても音響については、滑り軸受に比べて、転動体や保持器があるなど、不利な事柄が多くあります。したがって、音響の問題は、用途が拡大され、要求される性能が厳しくなればなるほど必ず出くわす問題でありました。

転がり軸受が回転して振動すると、軸受の取付けられている機械にその軸受の振動が伝達され、その空気との境界面で空気の振動、すなわち音波が発生します。

このように、軸受の振動は現象としては音響に変換されます。音響は、感覚として誰にでも簡単に判定ができますので、温度とともに軸受の良否の判断、運転の異常の検出によく利用される手段になっています。

また、低騒音、低振動は、特に機能上静粛な運転を必要とする自動車や電機、あるいは振動を嫌う精密機器など、広い用途に要求されている軸受の性能でもあります。

現実には、デフピニオンの円すいころ軸受や、あるいはミッションや電動機に使用される深みぞ形玉軸受については、この音響問題が早急に克服すべき問題となってきました。転がり軸受の音響問題は、その発生機構的には振動問題であり、転がり軸受の音響振動の問題は、軸受の性能の問題としては非常に重要な問題でありました。

転がり軸受の騒音が問題にされたのは、記録的には玉軸受が電動機に使用されるようになったところで、1933年（昭和8年）に、そのような記録があります。欧米では、電動機の軸受は、滑り軸受から転がり軸受に変わりつつあったようです。

わが国では、戦後になって汎用電動機の軸受が転がり軸受に変換され、電動機用玉軸受は、グリースの問題とともに、音響の問題が非常に大きな問題となってきたわけです。

また、1950年（昭和25年）ごろから自動車用のデフピニオン軸の円すいころ軸受や鉄道車両用の主電動機の円筒ころ軸受の音響低減の問題が加わってきました。

1950年～53年（昭和25～28年）にかけて、玉軸受とともに、円すいころ軸受についても、音響振動の発生機構を明らかにし、さらに音響低減を図るべく、本格的な研究開発が行われ始めています。

そこで、いろいろな解析用の計測機器・分析機器が開発導入され、その研究・解析の成果は、品質保証用の計測機器の開発、最終加工工程としての超仕上げの導入と相まって実施に移されていきました。

これによって、玉軸受の低騒音化、円すいころ軸受の音響低減など、転がり軸受の音響品質は著しく向上しました。

鈴木 低騒音を達成させるためには、加工法や計測機器などの進歩が重要だったとのことですが、具体的にどのような方策がとられたのでしょうか。

上野 そうですね、音響の問題に対する対策として、超仕上げの導入などが始まりましたが、この音響の問題は、大きい波として自動車や電機から寄せられています。

音響の問題、すなわち低騒音にするためには、いろいろなことが対策として行われていますが、比較的早い時期に、軸受の内部スキマが小さい方がよいことが経験的に知られるようになり、狭い範囲の内部スキマの規格が作られました。軸受を製造する側には、また一つクリアすべき問題が出てきたわけです。

これを早期にクリアしていくことは、メーカーとしての力であったわけです。

内部スキマの規格として、当時、一般的にあった規格は、かなり広い公差でありました。低騒音の

ための内部スキマは、これらよりかなり狭い範囲のスキマ規格であります。

小径の軸受についても、当時としては珍しくオーバーラップさせた規格ながら、狭い範囲のスキマ規格が採用されました。いろいろ苦心はありましたが、中央値をキープしながら、その狭い範囲のスキマ規格が作り出されるようになりました。

この狭い範囲の小さいスキマは、それを可能にした技術とその実績とが、その後の軸受の全体のレベルを作っていくことに、非常に役に立ったと思っています。

例えば、小さい範囲のスキマを維持するために、玉の相互差を小さくしたり、内外輪の軌道の楕円を小さくするなどのことが必要になり、これらの公差が干渉しあってスキマの範囲が維持できない、などのことがないようにしなければならぬからです。

これらのことは、組立の自動化の精度維持と、密接につながっています。

また、シールド軸受や密封軸受に封入するグリースの量を一定のレベルに維持するため、いかにきっちり計量して封入するか、などもいろいろ工夫され、実施されました。

音響が問題になるとき、ゴミ・異物は真っ先に排除されるべきことです。軸受も、洗浄については、大変に意を用い、また、取扱いも慎重に行われるようになっていきます。

これらの事柄、いろいろが加わって、低騒音という品質が出来上がっていると言える、と思います。

ここに、玉軸受の音響品質について、興味深い話があります。

1958年（昭和33年）、アメリカに輸出されたNSKの玉軸受が原子力潜水艦に採用され、その静粛さが好評を博するということがありました。アメリカでは、この年から転がり軸受の振動と騒音の研究が系統的に開始されたとの記録があります。

これらのことは、当時からわれわれの軸受の音響品質が、世界の水準以上であったことを物語るものであると言えます。

日本の軸受が、今日、国際的に通用するようになってきている理由の一つは、この音響品質の良さにもあると思います。

このように、音響や振動の発生機構を明らかにして、軸受の音響の低減を図るべく行われてきた研究や開発の成果は、デフピニオン軸用の円すいころ軸受や、ミッション用玉軸受、あるいは電動機用玉軸受などの低騒音品へとつながっています。

デフピニオン軸用としてのウナリ音も、その発生原因を追求し、対策して、車両の加速時に聞こえた不愉快なウナリ音を解消することもできました。

低騒音・低振動レベルの玉軸受、ころ軸受は徐々に一般化されていき、転動体や軌道面の粗さ、ウェビネス、あるいは転動体や転がり軌道の形状そのものの計測方法、それに加えて精密加工法が逐次、進んでいきました。

軸受の音響振動の問題については、客先用途からの要求もあり、それに応えて比較的早くからの本格的な取り組みが行われ、解決していったのですが、このことは後から振り返ってみますと、軸受の性能全般にわたって、いろいろと結果的によい効果をもたらして行った、と言えると思います。

すなわち音響振動の問題に取り組んだことは、転動体や転がり軌道をきっちり計測し、きっちり製作するという、いわば基本的な事柄を忠実に行うことが必要でありました。また、保持器やグリースやゴミ・異物を丹念に管理・製作して取扱うことも必要なことでありました。

新しい加工法・工作機械が重要であることは当然のことながら、計測機器の進展も、非常に貴重であったと思っています。

これらのことは、その後の軸受の機能開発に大いにプラスになったと言えます。音響振動の問題は、生産的にも性能的にも、軸受の技術の原点であった、と言ってもよいと思います。音響問題は、軸受の技術の原点というわけです。この原点が、寸法を基本としたベースの上に立っている、という流れであります。

鈴木 先ほど、転がり軸受と滑り軸受との比較で、転がり軸受は規格化され互換性がある、という良さがあるとのことでしたが、この辺はいかがですか。

上野 そうですね、転がり軸受の重要な特徴の一つは、互換性ということであります。例えば、何

かの理由で軸受を交換する必要が生じたとき、いついかなる場所でも、どのメーカーの軸受を購入しても、何ら手を加えることなく、使用ができ、しかも、それなりの性能を発揮できることが必要であります。

そのためには、軸受の外部の輪郭を現わす主要寸法はもちろん、ハメアイに必要な内外径の寸法許容差、内外径のハメアイの影響を受ける内部スキマ、および軸受を取付ける機械を運転するのに必要な回転精度などを規格化し、全てのメーカーがこれを守る必要があります。

大量生産は、各部品の規格化を土台として行われることは言うまでもないことでありますが、軸受のように軸あるいはハウジングに取付ける場合、内外径の寸法は極めて厳密に押さえる必要が生じます。したがって、一般的な部品と異なり、ミクロンを単位とする精密さが要求されることにあります。

軸受工業が、ミクロン単位の品質を保証しながらなお、大量生産を行うことの必要さは、ここにあるわけです。自動車工業のように、大量の車が各メーカーで生産され、多くの部品メーカーがそれぞれ生産を担当することになると、ここで標準化が必要になります。

軸受の規格が公式に制定されたのは、フォードの最初の大量生産車T型が発表された後の1911年で、その背景には、膨張する自動車工業があったわけです。

現在、転がり軸受の規格は、国際的にはISOに準拠して、JISに規定されているわけですが、自動車用の特定軸受として、クラッチ・リリース軸受なども、制定されています。

転がり軸受の精度区分は、以前は並級、上級、精密級と区分され、内外径の寸法許容差の中央値が同じ値であったことから、並級の中から寸法精度のよいものを選別すればよかった、ということも考えられます。もっとも、実際の生産では、品質を保証するため、全く別々に製造されていました。寸法許容差の中央値が、同じ値であるということはその後、改訂され、寸法差の上(下)限を0とするように改められました。軸やハウ

ジングなどとのハメアイを考えますと、この方が妥当であったと思うのですが、また一方では、狙って作る、というように考え方が変わり、そのような考え方が表面に出されたのか、とも思いました。

狙って作る、ということのためには、製造方法が十分に高いレベルでなければなりません。転がり軸受の低騒音化、音響品質を中心とする品質要求が一方であり、それに対して、新しい工作方式の開発、導入が1955年(昭和30年)の前後から行われています。

シュータイプ方式は、中でも内径、ミゾの研削加工精度を画期的に向上させました。また、プランジカット方式も、同じように形状・精度ともに画期的に向上し、自動機も生産性の向上に著しい効果をもたらしました。

また、音響品質に直接関係する軌道面の超仕上げも、この前後、実施に向けて開発が進められています。砥石の種類・振動方法、工作物の回転など、加工条件は、その後もいろいろ改善されていきました。

内径や軌道面のセンタレス研削と、軌道面の超仕上げは、戦後の軸受製造技術の特徴づける大きな手柄であり、軸受の性能・品質の向上が着実に進んでいった基礎ともなりました。

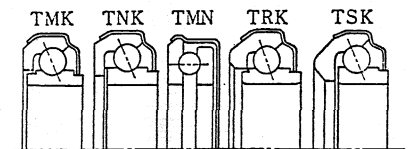
研削工程だけでなく、他の工程についても同様ですが、研削についてもさらに研削力制御研削とか、高周速研削とか、あるいは砥石の砥粒・結合剤について、また研削液などについて基礎的な研究・開発は不断に行われ、加工精度や効率は、その後も着実に向上していっています。

鈴木 規格化や互換性の発展は、加工方法や加工機器の向上だけでなく、計測機器や解析機器の進歩に負うところも大きいと思いますが。

上野 そのとおりだと思います。転がり軸受の性能・品質が進んでいくとき、また開発を行っていくとき、新しい解析機器は極めて有効であります。それと同時に、従来なかったレベルでの計測、あるいは新しい方法による計測を行う計測機器の存在も非常に貴重なものだと思います。

「何を作るか」を性能・機能の開発・設計とすれば、「如何に作るか」は生産・加工方式の開発であ

1958年に JIS D7307-1958自動車用クラッチスリーブラスト玉軸受(輸出用)が制定されているが、これは、輸出用を主対象としたものであった。



JIS D7307-1958 で規定された形式 JIS D2801-1969 で追加された形式

JIS D2801-1969自動車用クラッチ・リリース軸受

り、新しい計測機器は両方にとって有効で、両方を結びつけていく一つのものであるといえると思います。

軸受の振動測定用のアンデロメーターや、軌道輪単体のビビリ測定用として独自に製作されたウェビネスメーターは、工程の管理や製品の管理に非常に役に立ちました。

このウェビネスメーターは、音響の研究成果を取り入れ、軌道輪単体の測定結果と完成軸受との性能とがよく結びつくような特性を持ったものであります。

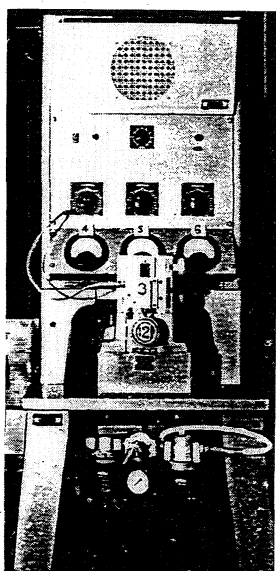
真円度を明確な形で示すタリロンド真円度測定機とか、粗さの測定のためのタリサーフ測定機なども導入され、工程管理にも使用され、効果を上げました。空気マイクロメーターも実用化され、小形軸受の内径測定は、すべて空気マイクロに切り換えられ、能率、精度とも著しく向上しました。

研削などの機械加工工程がライン化された後、ランダム組合せ測定装置などが導入され、逐次、おのおの組み立て工程が自動化され、1966年（昭和41年）に、自動音響検査装置を含む玉軸受の全自動組立てラインが完成することになります。円すいころ軸受についても、1970年（昭和45年）に自動組立てラインが完成し、続いて全ラインの自動化ができています。

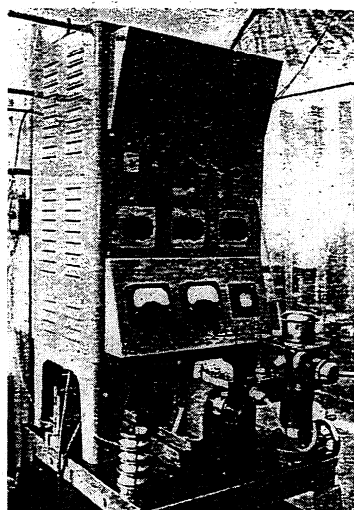
このような自動化は、当然ながら、品質が高度に安定して、高いレベルにあることが基本的な条件であります。それを十分に可能にする加工・工作方式や品質保証方式ができていたからでもあります。また、換言すれば、全自動化ラインが完成したことによって、高い品質レベルのものを安定的に生産できるようになったことを意味しています。

音響品質を維持し、安定して製作する自動化ラインを見ると、先にも述べましたように、音響の問題に早くから取り組んできたことが非常に役に立ち、音響の問題は性能問題の原点であったと思います。さらに、そのベースになっているのが、その当時のレベルとしてではあれ、寸法的に正確にきっちり作るという基本と、その基本を忠実に実行する体制ができていた、ということであると思います。

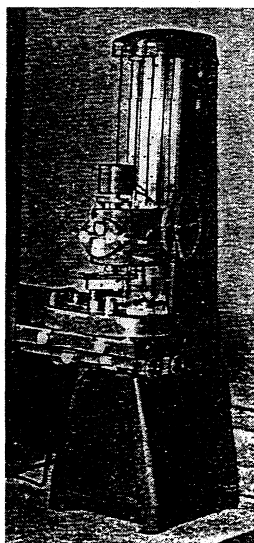
音響品質を維持するため、アンデロメーターやウェビネスメーターをはじめ、いろいろな計測・評価の機器が開発され、導入され、実に有効に働いたと思いますが、ここでおもしろいと思うのは、新しい計測・評価の方法や機器が導入されると、それに強い製品が作られるようになる、という言い方もできるのではないか、と思うのです。



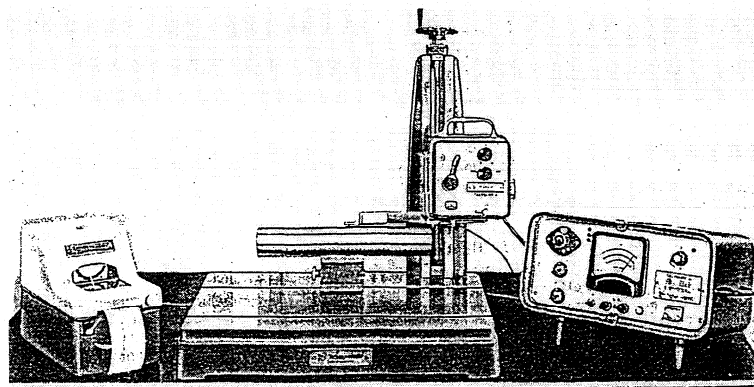
アンデロメーター



ウェビネスメーター



タリロンド真円度測定機



RECORDER

GEARBOX AND STAND

ELECTRONIC UNIT

タリサーフ測定機

新しい計測・評価の方法や機器が導入され、設置されていきますと、それぞれの部品の段階で、また組み立てられた軸受の段階で、常にチェックされ、計測評価されることになります。そして、はねられるものがなくなるように、換言すれば、その機器に対して強くなる品物ができるように、新しい加工工作法を見つけ出そうとする力が働くというのでしょうか、おのずからそれに合うようにする開発・工夫が行わるよう力が向けられていくということ、しばしば経験させられました。

言い換えれば、その狙い・目的とする事柄に対して、妥当な計測・評価の方法・機器を開発・導入することは、それに強い品物を生み出す推進役になることが多いと第三者的な表現ながら、言えるように思います。狙いとする品質と、加工・工作法とを結びつけて、新しい加工法の開発を促進するからであろうと、当時、社内で話し合ったりもしました。

適切な計測・評価の方法・機器は、製品の質を維持し、安定させるのに極めて大事な、重要なものであったと思います。「新しい酒は新しい革袋に」という言葉がありますが、その意味として、新しい品質項目、新しい要求事項に対して、新しい評価・計測の方法が必要なのだという解釈もできると思ったりもしました。

鈴木 “音響問題は、転がり軸受の技術の原点” とのお話しでしたが、音響問題は感覚的な要素も絡み、非常に複雑ですね。

上野 そうですね、音響品質には、軸受の構成部品すべてが絡んでくるわけで、玉やころの転動体はもちろんのこと、保持器やグリースやシールなどもその対象であります。最終的には軸受の騒音という一つのことに集約されてしまうわけですが、メーカーとしては、そこに至るまでに、音響はたくさんに分類されていて、ボール音、ころ音、レース音とか、あるいは保持器音とかグリース音とか、また別の観点から見てゴミ音とか、スキュー音とかいろいろに分けられて、それぞれの現象に対してその原因を追及し、対策を講じていくことが行われていきました。

軸受の音響品質に関係するすべての構成部品が必要なレベルに管理され、維持されて、一個の軸受の音響が一定のレベル以下に維持されることになるわけですが、その追及・管理のため、音がいろいろに分類されていたことは、ちょっと興味のあることでした。

最初はあまりよくわからないために、ただ現象としての音で分類され、それが構成部品や原因対策と結びつくことによって、部品名・原因対策名を含めた音分類となり、異物・グリース中の固形物などについては、だんだん細かい分類になっていくなど、多くの分類というか、音の種類ができました。音との接触の仕方、対策がそれだけ密接・複雑になったということで、これは未分化の状態から、物事がだんだんに進んでいくときの過程を現わすのかと思ったりもしています。

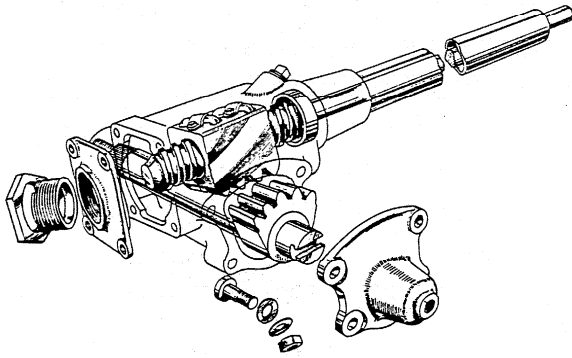
日本では、魚の名前や部位での名前はたくさんあるのに、欧米ではそれほどでもない。逆に肉については、欧米では豊富に名前があるのに、日本では非常に少ない。このことは、その名前・分類に対して、取扱いの方法とか、料理の仕方とかがいろいろ違うなど、その名前・分類の数に応じて、接触・対応の仕方があるということであろうと思います。その必要があるから分類されるということで、細かく接触していくやり方があって、音の数多い分類があったということであろうと思っています。音響問題がだんだんに対策され、解決されていった過程を示すものとして、おもしろいことだと思っています。

鈴木 ここでちょっと小休止いたしましょう。

(休憩)

鈴木 これまで転がり軸受のお話を伺いましたが、このころ、転がり軸受の精密技術を応用してボールスクリー式ステアリングが開発されていますね。当時としては大変な課題だったと思いますが、いかがでしょうか。

上野 ボールスクリー式ステアリングは、その構造が「転がり」機構であるので、摩擦損失が少なく、機械効率が高く、したがって、ハンドル操作が軽いというすぐれた特徴があります。そのほか、摩耗寿命が長い、対衝撃性にすぐれている、調整が容易であるなどの利点・特徴があり、また、路面からのショックに対しては敏感でなく、ハンドルに伝わりにくいという性質も持っています。



ボールスクリー式ステアリング (サギノウ形)

ボールスクリー式ステアリングは、1936年(昭和11年)ごろ、アメリカのGM社で考案開発され、同社の子会社のサギノウ・ディビジョンで量産化されました。当初は、高級車や軍用トラックに使用されましたが、その後、中級車、大衆車にも徐々に採用され、広く使われるようになったものであります。

この形式のボールスクリー式ステアリングは、ボールナットの直線運動をラックによってセクターシャフトの回転運動に変換する方式のものです。

この方式の特徴と、世界的な普及の傾向に着目し、また、「転がり化」した機構でボールねじ部やウォーム両端の軸受部など、転がり軸受の精密工作の特徴を活用し得る部分が多いことを考慮して、NSKは新製品として、1958年(昭和33年)、その試作・開発を行い、幸い良好な試験結果を得て、その後、量産に移っていきました。

ボールスクリー式ステアリングは、その「転がり化」された構造であることから、従来の軸受の設計・製造の技術を多分に活用することができたとはいえ、製品としては、軸受とは全く異なった独立の自動車部品であり、軸受より単位の大きい製品であって、部品点数も多く、材料、工作法、設計基準も多岐にわたっています。

ステアリングは軸受のような機械要素ではなく、ユニットであり、またステアリングは自動車の重要保安部品として、軸受とは全く異なった意味での信頼性が、性能や強度について要求されます。したがって、このような性格を持つステアリングの設計・製作には多くの新しい分野の技術が必要でした。

当初の設計のとき、大きく苦心が払われた点は、例えば円滑で耐久性のあるボールスクリー部の設計とか、バックラッシュ調整のためのセクターシャフトのテーパギヤ部及びこれと噛み合うラック部の設計などで、安全性の保証も大切な要素でした。

また、製造面や試験研究面で払われた苦心の主な点を挙げますと、製造面では、初期の試作や、あるいは大量生産の段階では、既存の汎用機械を改造して利用していたものの、生産量の増加に伴って、専用機械を開発しなければなりませんでした。

また、試験研究面では、最重要保守部品としての基準に合格するために、部品及び組立品は、採用に先立って、厳重な疲労試験、破壊試験、衝撃試験が繰り返し行われました。これらの試験条件を、自動車が走行時に実際に受ける複雑な条件にできるだけ近づけるため、多くの特殊な試験機が新たに設計・製作されました。そして、試験は常用から最苛酷まで、広い条件範囲に対して、多くの手間と時間を費やして行われました。

例えばその一つに、疲労試験機があります。これはテストピースだけを扱う通常の材料の疲れ試験とは異なって、ステアリングに実際にかかる荷重と作動範囲を実車に近い状態で台上試験を行うための装置であります。ピットマン・アーム先端に加わる荷重を、高周波と低周波の合成荷重で与えたり、またはそれぞれ単独に与えるようにしたものです。このうち、高周波荷重は、路面の凹凸に対応し、低周波荷重は、大きな凹凸や操舵状況に対応しています。疲労試験機は、小型車から大型トラックのステアリングを試験できるよう、数種類が作られました。

また、ステアリングの衝撃試験も、従来の材料の衝撃試験と異なり、組立ての終わったステアリングにピットマン・アームを取付け、アームの先端に衝撃荷重を加えてステアリング全体としての衝撃強さを試験するためのものであります。

このような試験装置は、すべて新たに設計・製作されるものであります。

この形式のステアリングは、小型車から大型車まで多くの車両に採用されました。ステアリングは、その開発の当初から設計・製作と並行させてその評価法として試験装置・試験方法・計測方法などを

いろいろと検討し、開発が行われていきました。

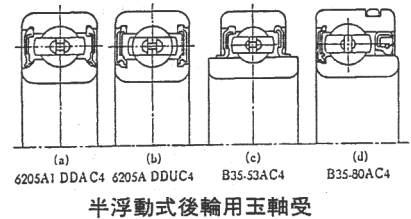
開発の初期に、このような基本的な試験・研究がなされたことは、製品の品質に多大の効果を与え、また、その後のステアリングの展開の基礎となっています。

このステアリングの生産累計は、1972年（昭和47年）に1,000万本を超えております。

鈴木 さて、また転がり軸受のお話に戻らせていただきますが、自動車の発展とともに自動車メーカーからの要求も厳しくなり、その要求とともに転がり軸受の性能も発展していくわけですが、代表的な用途での転がり軸受の歩みなどをお話し願えませんか。

上野 ではその当時の転がり軸受の技術問題の展開として、一、二の例をご紹介します。

まず、半浮動式の後車軸についてですが、半浮動式の後車軸は、軸のたわみがあるため、後輪に普通の深みぞ形玉軸受を使用しますと、この軸のたわみのために、早期にフレーキング（剥離）が生じます。これに対して、軸受の内外輪の相対的な傾き、転動体の負荷分布などを解析し、内部設計を検討し、軸のたわみを吸収するように設計・製作された後輪用の深みぞ形玉軸受の開発が1957年（昭和32年）に行われています。



その後、この後輪用深みぞ形玉軸受の寿命について、さらに検討を進め、軸の剛性と軸受の内部設計との関係を明確にし、自動車の設計に対して、それぞれ適正な内部設計をもった軸受を供給することができるようになりました。

例えば、その後、車体の軽量化が進み、駆動軸が細くなった結果、玉がみぞの肩に乗り上げる現象が再び現れるようになったため、1965年（昭和40年）には再び、内部設計が変更されています。

また、密封形式についても、密封性と防塵性を考慮して、いろいろ検討され、それぞれの形式に絞られていっています。

次に、デフピニオン軸用の円すいころ軸受についてですが、デフピニオン軸用の円すいころ軸受は、音響問題や予圧の問題の他に、剛性の問題もありました。

デフピニオン軸用の円すいころ軸受は、既に音響低減の対策はとられており、また、予圧取付法も既に実施されていました。1963年（昭和38年）に差動歯車装置ピニオン軸用として、最も妥当な剛性をもった内部設計のC形円すいころ軸受が開発され、広く用いられました。

剛性の問題は、軸受の剛性だけでなく、軸受まわりの軸やハウジングの剛性の効果も含めて、軽量化の時代の要請など、いろいろに発展しています。

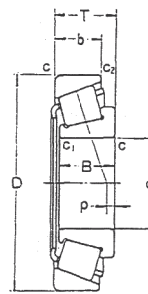
鈴木 先に転がり軸受の音響・振動問題を解決していったことが転がり軸受の性能全般に大きな波及効果をもたらしたとのお話がありましたが、耐久性の向上や寿命の向上ということも、同じように転がり軸受にとって基本的で重要な問題ですね。

上野 ええ、そのとおりです。

軸受の寿命ということについてみますと、転がり軸受が、い

中コウ配形

— ミリ系列 —



$$f_n = \frac{f_w \cdot C}{f_w \cdot P_r}$$

$$P_r = X F_r + Y F_a$$

$$P_{rs} = 0.5 F_{rs} + Y_1 F_{as}$$

$F_a/F_r \leq e$	$F_a/F_r > e$
X	Y
1	0
0	0.4
Y ₁	Y ₁

e, Y₁ および Y₂ の値は下の表の数値を使用する。

成膜軸受の d, D および T の寸法差 単位 /

d または D (mm)	d の寸法差		D の寸法差		T の寸法差	
	上	下	上	下	上	下
こえ	以下	上	上	下	上	下
18	18 30	0 -10	0 0	-8 -9	250 250	-9 -9
30	50 80	0 -15	0 0	-12 -13	250 250	-11 -13
80	120 150	0 -25	0 0	-20 -18	500 750	-15 -18
150	180 250	0 -30	0 0	-25 -30	750 1000	-25 -30

(注) d および T の寸法差は d の寸法に対して求め、D の寸法に対して求める。

主要寸法 (mm)					呼び番号	基本定格荷重 (kg)	静定格荷重 (kg)	定数	スラスト係数	作印
d	D	T	B	b						
20	47	15.25	14	12	30204 C	1600	1160	0.51	0	
20	47	19.25	18	16	32204 C	2080	2010	0.55		
20	52	16.25	15	13	30304 C	2070	1500	0		
20	52	22.25	21	18	32304 C	3000	2660	0		
22	50	15.25	14	12	302/22 C	1690				
22	50	19.25	18	16	322/22 C	2290				
22	56	17.25	16	14	303/22 C	2510				
22	56	22.25	21	18	323/22 C	3700				
25	52	16.25	15	12	30205 C				1"	
25	52	19.25	18	16	32205 C					
25	62	18.25	17	14	31305 C					
25	62	25.25	24	20	32305 C					
28	58	17.25	16	14					1"	
28	58	20.25	19	16						
28	68	19.75	18	14						
28	68	25.75	24	20						

C形円すいころ軸受

つまで使えるかという問題は、その軸受を使用している機械にとって、その用途・部位にとって、極めて重要な問題であります。実際、軸受がその機械に使用されてから、最終的に使えなくなるまでの実用的な意味での耐久寿命は大きい関心事の一つであります。

自動車の転がり軸受に対する要求はいろいろありますが、ある相当の長期間使えるということ、耐用寿命が相当期間長いということは、基本的なことでもあります。耐用寿命は多くの場合、疲れ寿命によるものであります。もっとも他の機械についても、耐久寿命は同じように重要な項目であります。

一方、軸受には「寿命」が定義されています。

転がり軸受の使用に当たっての設計の基本となる負荷容量、基本定格荷重に関連する「軸受の疲れ寿命」というものは、軸受が回転し、繰返し荷重を受けて生ずる材料の転がり疲れによるフレーキングが起こるまでの総時間数、総走行距離、総回転数として定義されています。

しかし、転がり軸受の疲れ寿命は、ばらつきが大きく、確率的な現象であるため、個別の軸受に対してではなくて、同一ロットの軸受群に対する寿命値として、その一群の90%の軸受が転がり疲れによるフレーキングを起こさずに回転できる総回転数を定格寿命と定義し、これをベースに基本定格荷重や寿命計算法が規格化されています。

転がり軸受の寿命は、繰返し荷重を受けて軌道の上を転がる転動体によって材料に疲れが生じ、この疲れに起因するフレーキングで決まると定義されていることは前にも述べました。

この寿命が実験的に

$$L = (C/P)^p$$

の形で表わされることが明らかにされたのは1928年ですが、今日の90%定格寿命の形で表わされることが明らかになったのは、1947年（昭和22年）であります。

上の式で、L：軸受の寿命時間、C：軸受によって定まる基本動定格荷重、P：軸受荷重、p：指数、玉軸受では3、ころ軸受では10/3であります。

現在、このように明確な形で寿命を計算できる機械部品はあまりなく、このことは転がり軸受を大きく特徴づけるものであります。

そうではあっても、故障なく使えるまでの使用期間（時間）、すなわち実用的な意味での一個一個の軸受についての耐久寿命は、軸受を使用する側から見ると、依然として重要であります。

軸受が実際に使えなくなった状態、そのときの現象を見てもみますと、例えば、早期フレーキング、破損、焼付、異常音などなど、故障として扱われるような現象と、起こるべくして起こったと思われるような材料の疲れによるフレーキングとがあると考えられます。

軸受の故障は、故障として対策されなければなりません。しかし、材料の疲れによるフレーキングだから起こってもいいというわけにもいきません。使えなくなるという意味においては同じであります。

一個一個のそれぞれの寿命が問題であるからです。

軸受の故障と考えられる現象は、非常に複雑で雑多であり、その原因も必ずしも単純ではありません。なぜ起こったのか、いかにしたら防止できるのか、とにかく故障は起こらないようにしなければなりません。そのために、故障解析、不具合追跡は、軸受のレベルを上げるためにも、実用的にも非常に意味のあることであります。

故障の現象の中には、軸受系の中の他の箇所の想定外の不具合なことから発生する場合もあり得るので、故障の追跡も難しくなる場合があります。

しかし、仮に故障がなくなったとしても、軸受の疲れ寿命によって使えなくなれば、使えなくなったという意味では、故障で使えなくなった場合と同じことでもあります。

したがって、故障が起こらないように、故障を起こさないようにすることも重要な技術ではありますが、また一方では、フレーキングが発生するまでの疲れ寿命の寿命時間を長くしていくという長寿命技術も、もう一つの重要な技術の方向でありました。

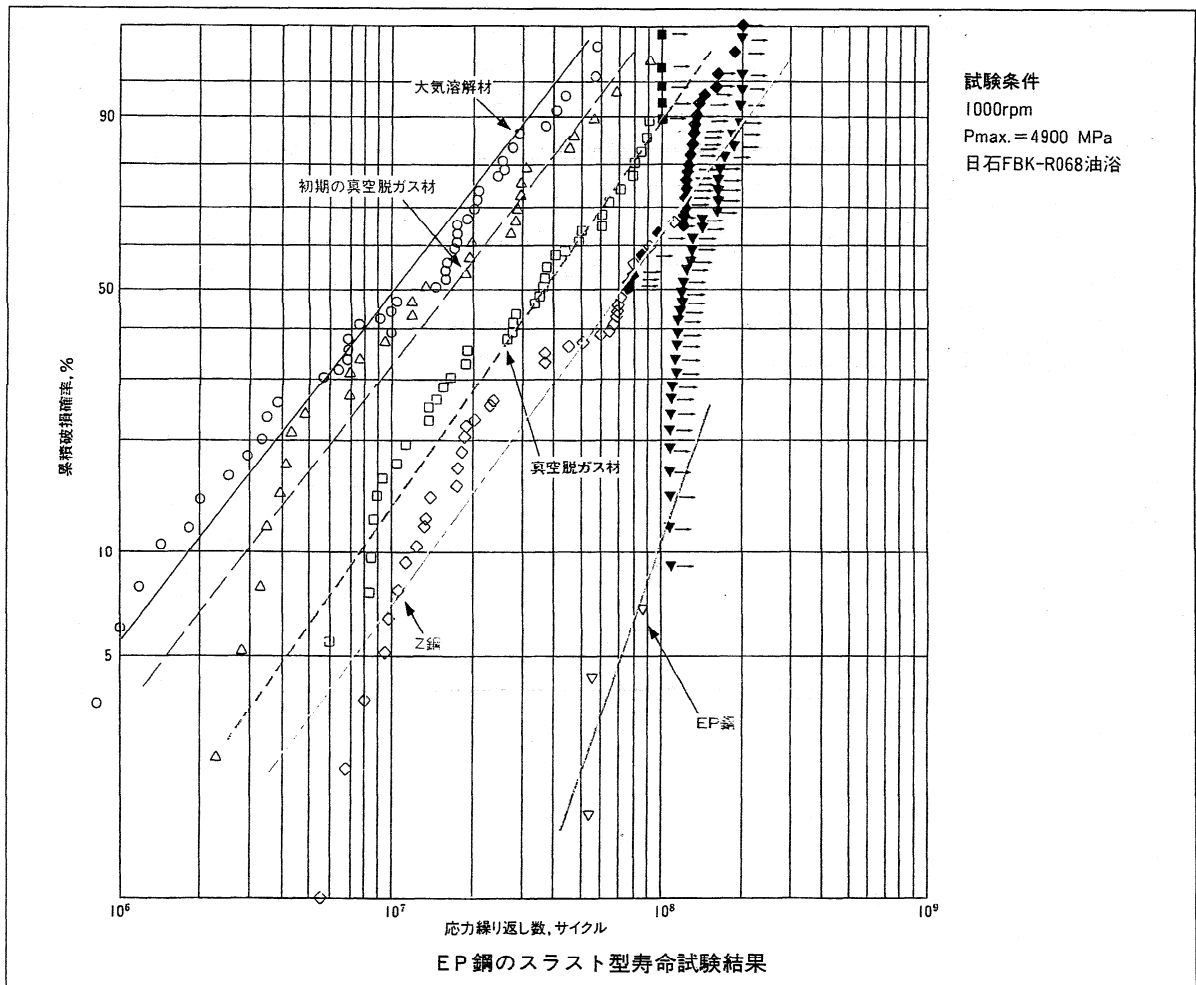
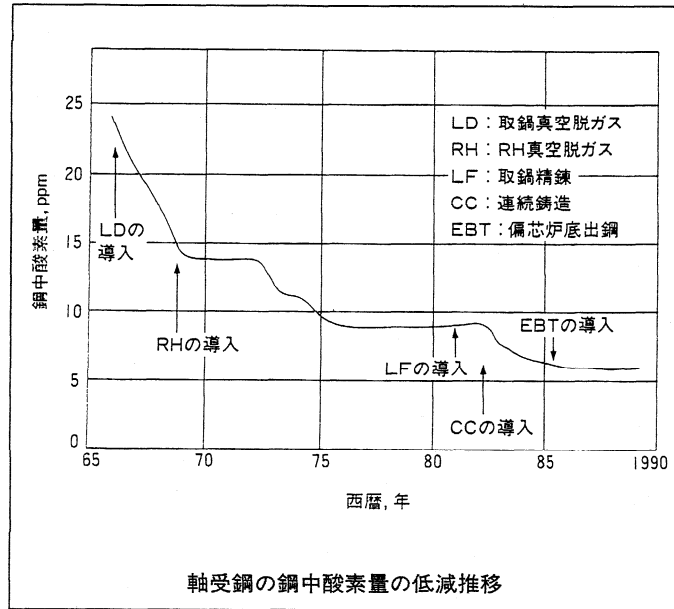
鈴木 転がり軸受の長寿命化技術としての材料開発は、どのように発展していったのでしょうか。

上野 はい。軸受の疲れ寿命の飛躍的な伸長を図って、1965年（昭和40年）ごろから、真空脱ガス

鋼を用いた軸受が生産され始めました。世界的にも早い方であったと思います。

この真空脱ガス鋼の長寿命性は、寿命試験においても確認され、今日では常識になっています。その後、真空度の向上、関連技術の改善などで極低酸素量の軸受用鋼が得られており、軸受の疲れ寿命は著しく向上しました。

回転試験をしていて、たまたま一個にフレーキングが生じたとします。そのフレーキングが軸受の寿命としてのフレーキングであるのか、何か異常があつてのフレーキングなのか、判断に困ることが



あります。

このようなことに対する一つの対応策として、全体の寿命を長い方へもっていき、全体として長寿命にしておくことが必要であると考えられました。

材料を極低酸素量にして、介在物を減らし、長寿命を図るという方向で軸受の寿命は大いに長くなりました。しかも、一方では、軸受の機能・性能を追究しての結果として、軸受各部がそれぞれの仕上精度、粗さ、形状精度などをよくする必要があつて、非常に良く作られるようになっており、この面からも、軸受の寿命はさらに長くなっていきました。

戦後しばらくの間、国産の軸受は外国の軸受に比べて品質・性能はどうか、というような質問をよく受けました。

寸法精度的には十分に同等ですとか、音響品質では優れていますとか、ある残念さをもって応えていたことを覚えています。

そのころ、例えばスエーデン鋼を使っていたSKFの製品は寿命が非常に長い、すなわち、スエーデン鋼は介在物などが少なく、いわゆる「生まれ」がよいので、SKFの軸受は寿命が長いと言われていました。

先ほどの質問もそのことを念頭に置いての質問であつたわけです。

しかし、この真空脱ガス鋼が開発され、その品質が圧倒的な良さで使用できるようになってからは、軸受の疲れ寿命のレベルも飛躍的によくなりました。

われわれの作る軸受が、国産の材料であっても、真空脱ガス鋼を使用することによって、それ以前からあつた材料寿命面からの束縛、疲れ寿命の不利さから解放されてホッとした思いでありました。

ということは、「生まれ」を云々されることなく、われわれの軸受が技術製品・工業製品としての軸受になることができる、することができる、ということであり、本当にうれしく思つたものでした。

お客さんの中には、SKFの軸受の、特に疲れ寿命の長いことに絶対的な信頼を置き、自分のところではSKF以外は使わないと言われていた方がおられました。

スエーデン鋼の良さの内容は、ほぼ解明されていて、国産の軸受鋼のレベルも、既にその水準に達していましたが、真空脱ガス鋼は、そのレベルをさらに大きく引き上げました。

この、絶対SKFと言われていたお客さんも、最初はしぶしぶであつたのかもしれませんが、後からは国産の軸受も認めていただけるようになりました。

疲れ寿命は、寸法・形状・表面仕上の程度、潤滑や負荷分布、取付精度などいろいろな要素が絡んできますが、材料から決まってくる要素が著しく進展したことは大きな意味を持っています。

材料面の技術開発、材料品質の進歩は、機械や製品の品質を大きく押し上げますが、上記のような品質の優れた軸受用鋼が入手できるようになったことは、軸受にとっても大いにプラスでありました。

材料の寿命の延長のための技術開発は、熱処理技術の開発も含めて、その後も続けられています。

鈴木 このころ、EHL理論や疲労解析技術、高負荷容量化技術も生まれましたね。

上野 そうですね、この寿命に関連して、弾性流体潤滑 (EHL) の理論が確立されたのが、このころ (1966年) であります。弾性流体潤滑の理論を、転がり軸受に適用する場合、従来、剛体として取扱われてきた軌道と転動体を弾性体として取り扱い、潤滑油の高圧粘度特性を考慮しますと、転がり軸受のように高い面圧の転がり接触面にも、潤滑油膜の成立が可能であることが明らかにされました。EHL油膜が成立すれば、転動面の潤滑不良による損傷防止に有利であるとか、軌道を転がる転動体を駆動するための接線力が小さくなるので、疲れ寿命の延長に有効であるということになります。

したがって、EHL油膜のために、軸受の軌道や転動面の粗さ・形状精度をよくすることは、意味のあることですが、軌道面や転動面の粗さ・形状は低騒音・低振動を意図して、よく管理されており、音響・振動などのために実施していたことは、EHLのためにもよい効果をもたらしていた、ということになります。

この疲れ寿命に関連してのことですが、その後、軌道面の疲労解析の方法が開発され、実用的に行

なえるようになって、軸受の寿命解析が非常に進展し、軸受の用途開発に著しく貢献しました。

実際の機械で試験をしたり、あるいは使用したりした軸受について、軌道面にフレーキングが起これないとしても、それぞれの軸受についての疲労の程度を解析し推定できるので、非常に有効な方法でした。

回転試験などは、一般には個数を多く行った方がよいことですが、経済的あるいは時間的な理由で、台数多くの回転試験ができるとは限りません。

また、1回に行う回転試験の時間も、いつまでも行ってよいわけではなく、仮に短くて済めば、その分だけ試験個数を多くすることができます。

いずれにしても、このようなことに対して、これらの疲労解析の方法は有効でありました。

自動車のミッションの玉軸受は時々、フレーキング対策として軸受の寸法は変更しないで、玉のサイズを一段大きくしたものを使用することが行われました。

このミッションの玉軸受については、その後、密封クリーン軸受などに発展・展開していくこととなります。

また、軸受の内部設計を高負荷容量化することが追究され、HRシリーズのころ軸受が製品化されたのもこのころのことです。円すいころ軸受にも採用されました。

鈴木 転がり軸受にとって性能向上のための研究開発は、工学的見地から大変重要なことですが、使用機械に適した転がり軸受の開発、すなわち用途開発も転がり軸受の技術の発展の一翼を担っていると思います。いかがでしょうか。

上野 そのとおりです。転がり軸受にとって、摩擦・摩耗・潤滑などの問題は、最も基本的なものとして研究され、また、音響や振動の問題に続いて、転動体や保持器の運動など、逐次計測され、解明され、新しい弾性流体潤滑理論と相まって、転がり軸受の性能に関する技術は大いに進んでいきました。

一方、転がり軸受を別の観点から見ますと、軸受の焼付とか早期フレーキング、あるいは異常音など、転がり軸受の損傷に対しての故障原因を解析し対策をたてる故障解析技術も、軸受のレベルを上げる重要な技術として力が注がれました。

軸受性能の理論的解析、計測方法の進歩などと相まって、故障解析技術も同じように進んでいきました。

しかし、それでも軸受には経験的要素を考慮せざるを得ないことが多々ありました。また、使用条件との関連において、使用条件の中身、あるいは軸受にとって考慮すべき事柄がどれだけわかっていたのかというような経験例も少なくありませんでした。

現実には、いろいろな故障・不具合が発生し、故障解析は実際に技術を進める場ではありましたが、経験例をたくさん持つことは非常に意味のあることですが、経験しなければわからないということだけでは、事が済みません。

事が起こる前に、実験室的な場ででも、事前に不具合を経験し、これを技術を進める場とすることができれば、当然そうあることが望ましいこととなります。

自動車は、生産台数が多く、そのため品質問題が起こると、実に多大な影響があります。経済的にも大変ですが、技術的にもその解決には多大の時間と労力をかけなければなりません。

以前から、転がり軸受は、一般には標準化されたものであり、標準化されたものをカタログなどから選んで使う、あるいはよく使われているものを標準化して、それを使用するのだ、という考え方があります。

しかし、現実に品質問題が起こってみると、軸受が寸法的に規格に合格していなかったから品質問題が起こった、ということも中にはあったでしょうが、その多くはその用途・使用条件に対して軸受としての機能が十分でなかった、ということが問題でありました。それまでの経験例が、そのまま生きればよいのですが、自動車をはじめ、自動車機器・電装機器など新しい開発が進められていくなか、軸受にとっては新しい経験でもありました。軸受にとって、その用途に必要なとする機能を、どう付与していくかが問題です。

事が起こってから処置するというのではなく、起こる可能性のある問題を可能な限り、事前に処置対策をしておく、軸受に必要な機能を付与しておく、ということができなければならない、と認識されてきたわけです。

技術が蓄積されてきたから、こういう認識が生まれてくる段階になってきた、ということ、また、そのような技術を蓄積すべきだという認識になったきた、ということでもあります。

起こった問題に対して対策をとることは、当然のことではありますが、このようなことから、品質問題を機能的に解析し、あるいは故障・不具合の現象を再現させ、それに至る過程・条件を探るなど、問題を起こさないというだけでなく、より積極的に用途や目的に合わせた機能を中心とした軸受の追究・開発が、より重要なこととして認識されてきたわけであります。

自動車の要求性能が高まるにつれて、このような開発設計活動は、意味のある活動となってきたと思っております。

耐久寿命を含めて、実機またはそれに準ずる試験装置を積極的に開発・設置し、個々の用途・目的に合わせた機能を持つ軸受を開発する、そしてその機能を発揮すべく、軸受の各 부품の寸法・形状あるいは表面の状態を含めて、明確に仕様化する。次にそれを安定して加工し、保証する工作法、計測評価法ができて、初めて目的に合う軸受が供給されることとなります。

話が少し脇道にそれるかもしれませんが、クレームというか、不具合を経験していると、工場によって、あるいは会社によって無意識ながらある事柄が強いということを知らされることがあります。

その強い事柄を、無意識のままやっていると、逆になぜ自分の製品がよいのかわからない、ということがあります。

その事柄が強いということは、実力であるわけですが、何かの理由でその事柄が意識され直すと、意識してそれを管理し、維持してやるということになります。

競争関係にあるとき、このようなことをよく感じましたが、意識して強くすることが余裕をもった品質・機能を作ることにもつながっている、とも思いました。

用途・目的に合わせた軸受を考え、必要な機能を開発してそれを軸受に付与することを考えた場合、軸受を構成するすべての部位、部品を、その用途、目的、あるいは必要とする機能に向けなければなりません。

その意味においては、材料も、グリースも、シールも、いずれも機能設計の対象とすべきものです。保持器はもちろん、転動体や軌道輪は当然、その対象であります。

材料とか、グリースとかに「設計する」という言葉を使うと、あまりすぐわかない感じですが、用途・意図を絞って、それに合うものを作る、という意味においては、機械的な部品であってもなくても、同じであると思うからです。

材料なんかは、余り小回りのきくものではありませんし、検討した結果は、現在のもので可、という場合が多いかもしれません。しかし、その軸受の狙いとする事柄に対して、その材料の機能はどうであるのかをはっきり把握しておく必要があるわけです。

グリースやシールについても、軸受の狙いとする機能に対して、新しいグリースやシールが生まれました。

個々の用途に合わせる軸受を設計するという考え方は、現在あるものを使うのではなく、必要なものを作って使う、という考え方であります。その必要なものが、たまたまカタログにあったから、それを使うということもあれば、現実にはいろいろな制約条件があつて、他の選択肢を用いる場合もあります。

ただ、はっきりしておくべきは、その狙いとする事柄に対して、どうであるのか、ということ、いつも念頭に置いておくことが大切である、と思っております。

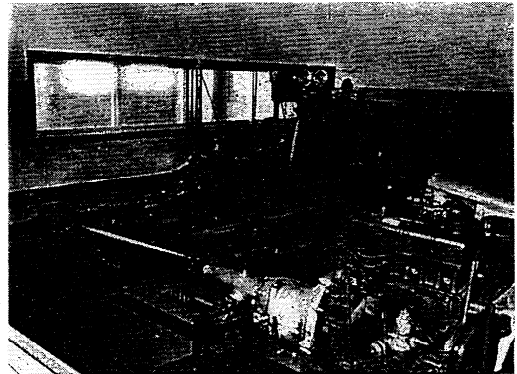
用途に対して、軸受の機能を云々する場合、あるいは軸受の機能を用いて用途への適用を考える場合、軸受の機能を言うとき、その機能には、まず最初には軸受の形式から話は始まることとなります。

どの形式の軸受にするか、ということから、その用途に対する軸受の機能設計が始まる、と思うからです。

日本や欧州の軸受メーカーは、いろいろな形式の軸受を作っているところが多く見受けられますが、一方では一つの形式の軸受だけを作っているというメーカーもあります。これは、それぞれのメーカーの形態ですから、そのことについては何も言うことはありませんが、用途開発や機能開発を考えるときは、いろいろな形式の軸受を作っている方が有利と言えるのではなかろうかと思える場合があります。

時代区分として、1965年（昭和40年）ごろから、モータリゼーションが始まったとされており、自動車が急速に発展し普及していったわけですが、軸受についても、自ら開発して評価すべく、回転試験装置や耐久評価装置などが、積極的に設置されていきました。

考えてみますと、性能・機能を試験し、評価することは決して簡単だとは言えませんが、耐久評価はもう一つ難しいことであります。その評価条件やその試験機の台数あるいは評価数も、重要な項目であり、積み重ねがあって初めてできることであると思っています。



自動車用軸受実験装置

これらの試験は、良さを確認し、悪さを見つける試験であって、これらを援用して機能開発を行い、さらに用途や目的に合わせた軸受を開発することができることとなります。あるいは、これらの機能開発ができて、新しい用途も開発できる、ということにもなっていきます。

また、いろいろな評価試験を行うため、実際に軸受が使用されている条件、例えば負荷やその変動、回転数や振動などの条件、温度その他の条件などを計測したり、ころや保持器にかかる負荷や運動を直接計測したりも、当時、盛んに行ったことの一つです。

いずれにしても、評価条件を、役に立つ形で持つことは非常に重要なことである、と思います。

鈴木 さて、転がり軸受の機能の高度化にとって、グリース、シールの役割は大変に重要ですが、その開発の経緯について、触れていただきたいと思います。

上野 転がり軸受は、油潤滑で使用されている用途例もたくさんありますが、グリース潤滑で使用される例も非常に多く、転がり軸受を使いやすくしている理由の一つは、油だけでなく、グリースを使用することができた、ということにもあると思います。

汎用電動機に使用される玉軸受のほとんどは、グリース封入の密封玉軸受であって、それだけに使い易さ、メンテナンスフリー的な要素が大切になります。

したがって、軸受に封入されるグリースは、軸受そのものの耐久寿命を決めることとなります。一般に電動機に用いられている玉軸受について見ますと、電動機の軸径は、電動機側の理由によって決められているわけですが、疲れ寿命の観点から見ますと、軸受はフレーキングによる疲れ寿命に至るまで使われることは少なく、したがって、多くは封入された潤滑グリースの劣化が軸受の耐用寿命を決めることとなります。

したがって、封入されるグリースは、低温から高温にわたって性能がよく、寿命が長く、騒音の小さいことが望まれます。そういう意味においては、封入グリースは軸受の品質性能の一部であって、それだけにグリースの性能向上、新しいグリースの開発は、軸受自身の問題として認識され、採り上げられていました。

中小形の電動機をはじめ、自動車の電装機器や精密機器などの軸受に使われるグリースに要求される性能は、例えば、高温耐久性、高速性、低温起動性、低騒音性、防錆性などが優れていることであります。

これらの優れた性能を求めて、新しい銘柄のグリースは、いろいろと性能評価が行われましたが、研究開発が進んでいきますと、少しずつ要素・要因と、その性能・効果との関係がわかってきたりして、いろいろと狙いを絞ることができるようになってきました。

したがって、新しい銘柄を積極的に求めて、グリース・メーカーさんと共同して開発することも盛

んになってきました。

グリースも、機能を求めて「設計」すべきである、というような言い方を使ったりもしました。

並径・小径の玉軸受は、かなり多くの軸受が自動車の電装機器や電動機・家電品に用いられていますが、その多くは、密封軸受であり、密封シール、シールド形式もいろいろ変遷があります。

密封材としては、シールド板としての鉄板の他に、シール材のゴムが、シール形式とともに、検討の対象になります。

この密封・シール形式は、軸受として標準化されてもいますが、用途によっては新しく開発対象としてあれこれ考慮する必要が生じてくることになるわけです。

密封シールは軸受の性能・機能を構成する主要な部分であるわけですし、それだけに工夫もされていますが、密封・シールを言う時には、必ずグリースがあるわけです。その意味では、グリースは軸受の主要な構成部品ということになります。

グリースは、ある時期までは、購入するものであり、与えられた選択できるグリースの銘柄の中から選ぶものであったわけですが、だんだんに特別な用途向けについて、あるいは低騒音とか、長寿命とかを意図し、それらを狙って新しいグリースが開発され、作られるようになっていきました。

軸受を、用途・目的に合うように機能を開発していこうという時に、グリースは重要な構成部品として機能を考えざるを得ないわけです。

新しいグリースを考えると、その要素・要因が明らかになっていくにつれ、狙いをもって「グリースを設計する」ということになってきたわけです。

例えば、酸化安定性・熱安定性に優れた、潤滑性のよい合成油を基油として、潤滑性と機械的安定性の優れた増調剤を用いたグリースは、広い温度範囲で使用できるようになりました。

これは、例えば、グリース寿命が長く、機器の保守点検期間を延長できることになります。また、すべての条件に適用できる万能グリースというわけにはなかなかいきませんが、低温時の起動トルクが小さい低温起動性が優れていたり、あるいは機械的安定性が優れているため、高速回転が可能になるなどあります。

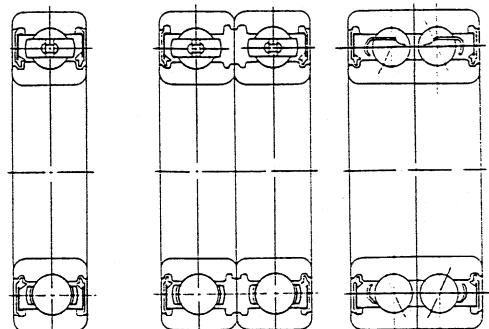
低騒音のため、封入グリースのグリース音には、特に留意してきています。特に、グリースの中のゴミ、固形物などの含有量のレベルを評価することのできる機器が開発されて、実用的には、大いに貢献するものがあつたと思っています。

鈴木 その具体的な例としては、どのようなものがあつたのでしょうか。

上野 そうですね、軸受の使用条件として、高温・高速という条件は、軸受の苛酷化する条件の一つの例ですが、この条件はグリースにとっても、同じく苛酷であります。

自動車用オルタネータに使用される軸受は、外部環境が厳しい中での、高温・高速であるため、非常にきつい条件であります。

軸受としては、グリース封入の密封玉軸受が使用されていますが、使用条件が厳しいだけに、新しいグリースがいろいろの試験を経て、決められました。また、外部環境が厳しいため、シール形式やゴム材も検討されました。保持器も、耐熱プラスチック保持器がいろいろ試験され、高速性やグリースによいことが確認され、使用されていきました。



密封単列深みぞ玉軸受

密封単列深みぞ玉軸受の組合わせ軸受

密封複列アンギュラ玉軸受

電磁クラッチ軸受の形式

カークローに用いられるコンプレッサの電磁クラッチも、高温・高速という苛酷条件であります。軸受としてはグリース封入の密封形式の複列玉軸受が使用されています。高温・高速の条件下で封入グリースとして専用グリースが開発されていきました。

このような厳しい環境下での高温・高速の用途例では、グリースと一緒に、密封形式も検討・開発されていくことになります。保持器も、複列になってプラスチック化されました。電磁クラッチ用軸受も、いろいろと試験を繰り返

しながら開発されていった一例であります。

オルタネーターにしろ、電磁クラッチにしろ、自動車からの要求は常に厳しい電装機器であり、したがって、これらに使用される軸受も、常に厳しい条件をクリアすべく、いつも開発試験や実験を繰り返して、より適合するものを求めて、常に動き回っているという感じでありました。

もっともそのような動きは、何もこれらの軸受だけではありません。自動車に使われる軸受は、すべて今でもそうですが、当時もそうでありました。

鈴木 専用軸受についても機能向上を図るためのいろいろの方策がとられたと思いますが、いかがでしょうか。

上野 はい。前輪の懸架装置に用いられるキングピン・スラスト軸受は、以前からケース付のスラスト玉軸受が用いられていました。このキングピン軸受は、フォールス・プリネリングを生ずる軸受でした。玉が揺動するに従って、滑りを起こして負荷位置を変え、フォールス・プリネリングを防止しようとする試作がいろいろ行われましたが、なかなかうまくいきませんでした。

1957年（昭和32年）に、転動体を円筒ころにしたキングピン・スラスト円筒ころ軸受が開発され、有効に使用されていましたが、多くの車種には依然として玉軸受が採用されていました。

これらの対策として、密封形式にして潤滑条件を良好に維持することが重要と考えて、密封型キングピン・スラスト軸受の開発に取り組みました。1966年（昭和41年）の心金のないオイルシール付きに始まり、1968年（昭和43年）には、心金入りのオイルシール付きになりました。

密封型は、それまでのケースだけのラビリンス型に比べて、防水性が優れていたため、広く採用されました。

また、クラッチ・リリース軸受も、自動車専用軸受としては、代表的なものの一つです。当初は、スラスト形でありましたが、アンギュラ形が本格的に採用され始めたのは戦後のことでもあります。

トラックでは、グリースの補給ができるスラスト形が使用されていましたが、グリースの性能が向上し、アンギュラ形に変わっていききました。

乗用車では、エンジンが高速化したため採用されたダイヤフラムばねに対応する形式に変わり、また、偏心音対策として、含油合金側板付などが採用されました。

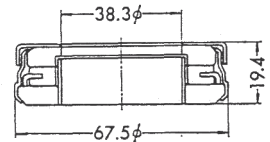
次の例として、エアポンプ用軸受についてですが、車の排ガス規制に対応して、排気ガスを今一度燃焼させるため、必要な空気を送るポンプとして、エアポンプが開発され、広く使用されていたときがあります。

現在は、主として触媒法による排ガス対策が取られて、エアポンプの使用は一部だけになっています。

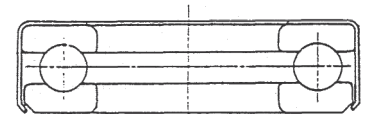
このポンプは、アメリカのサギノウ社で開発されたものですが、これには数個のニードル軸受と、深みぞ形玉軸受とが使われています。

ニードル軸受の多いことが、このポンプの特徴ですが、このロータ用軸受には、プレス

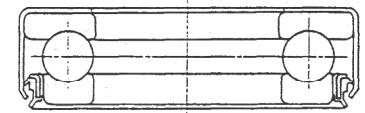
(昭和32年)
呼び番号 Y38Z-2



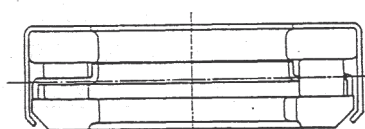
キングピンスラスト円筒ころ軸受



(1) キングピンスラスト玉軸受



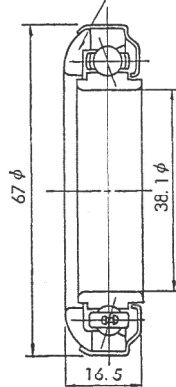
(2) シール付きキングピンスラスト玉軸受



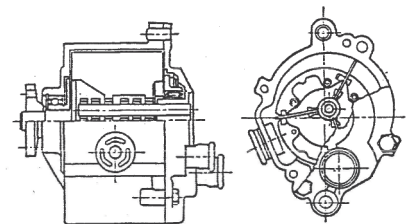
(3) キングピンスラスト円筒ころ軸受

キングピンスラスト軸受

呼び番号 TK38Z6
焼結含油合金



側板付きクラッチ・リリース軸受



回転玉軸受 深みぞ玉軸受 6203VV
シェル形 保持器付き 針状ころ軸受 DB36227
内輪 KA36328
翼支持軸受 シェル形 総ころ針状ころ軸受 J 65

エアー・ポンプの構造

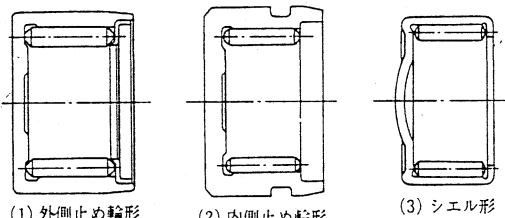
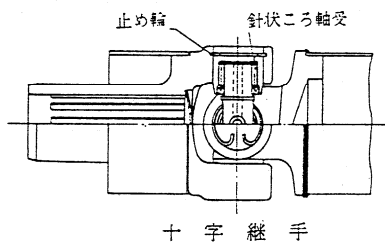
製のシェル内輪が用いられています。オリジナルは、アメリカ・トリントン社の設計ですが、いかにも塑性加工の得意な同社らしいもので、斬新な印象でありました。

日本で製作するに当たっては、基本的には変更は行われていませんが、軸受精度やラジアル・スキマなど、部分的な変更が行われ、レベルアップが図られました。

普通のニードル軸受はともかく、シェル内輪は製作に当たってなかなかデリケートなものでしたが、十分にクリアさせることができました。

この技術は、その後のカークーラ・コンプレッサーなどの軸受などに生かされました。このようなことは、例えば玉軸受において、音響や高温・高速などの用途例を経過していくことによって、次の開発に生かされていったことと同じようなことである、と思っています。

用例を経験することは、軸受にとって、強くなる機会でもある、と思います。



また、別の例として、プロペラ軸のユニバーサル・ジョイントの十字軸には、底のあるニードル軸受が使用されていますが、このニードル軸受の底面は、十字軸の端面と接触しています。

このニードル軸受の底面に凹凸のディンプルを形成することによって、端面の耐焼付性が著しく向上しました。

このような発想は、加工法ができて、初めて実現できることですし、塑性加工での成形は、特に機能と加工法との関係がはっきりします。生産的な加工法がないために、着想のまま終わるものも、中にはありますが、これらうまく実現できた例であります。

これら、精巧な事柄の集積が、機能の優れた軸受の開発を可能にする、と思っています。

精巧な加工が、機能の差を決定的なものにするレベルがあることがあります。そのレベルを、十分にコントロールして作り出す加工能力が、製品の質を形成するものと思っています。

機能は、加工から作り出すという言い方が言えるわけですが、塑性加工では、特にそうです。このことは、同じ形状・寸法のプレス型を、精密・正確なレベルにおいて、繰り返し製作することのできる技術が、高い機能の製品を作り出すことができる、ということでもあります。このあたりのことも、技術や製品の實力の違いを構成する肝要な部分であろうと思っています。

鈴木 転がり軸受の機能向上を目的に耐久性の向上が要求されますが、二、三の具体例をご紹介しますか。

上野 はい、わかりました。

ころ軸受にとって、クラウニングの問題は、実用的な意味において、興味ある事柄を持っています。

ころ軸受では、傾きや取付誤差・製作誤差などによって、ころや軌道面に端荷重(エッジ・ロード)がかかり、そのためフレーキングが発生して、実用的な意味での耐久寿命に影響が出てくる場合があります。

これを避けるため、ころや軌道面にクラウニングを施して、実質的な耐久性を延長させていますが、どのような形状で、どの程度のクラウニングにするかがポイントになります。このため、応力解析を行ったり、加工法を開発したり、そしていろいろと試験を行いながら、次第に、ころ軸受のクラウニングは確立されていきました。ころ軸受の質を構成する一つの重要な項目であると思っています。

回転試験、寿命試験を行いながら、一つ一つ確認しながら、実施されました。

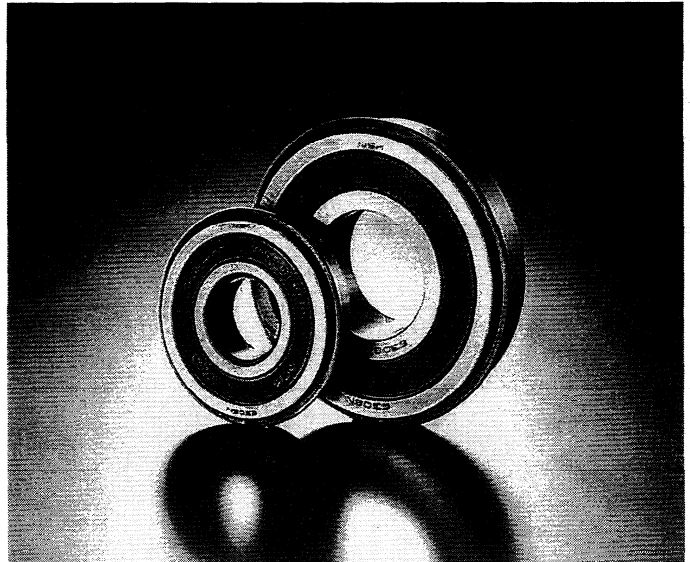
また、小型トラックの半浮動式後輪に使用されていた円すいころ軸受において、クラウニングをある量だけ、ずらして実施するようにしたものがありません。

トラックですから、積載量がいろいろと変動し、したがって後車軸のたわみも変化し、それはころ軸受の内外輪の傾きの変動となります。これらの負荷条件を勘案して、最も妥当な範囲で負荷するよ

うに、ある適当な量だけクラウニングを
ずらして実施するようにしたものです。
細部にわたって解析した結果ではありま
すが、大変おもしろい観点であったと思
っています。

別の例をいえば、密封クリーン玉軸受
があります。

ミッションに使用される玉軸受におい
て、歯車などの摩耗粉が軸受の転がり面
に入り込み、微細な圧痕を生じ、それが
もとで、微小クラック、フレーキングへ
と発展します。摩耗粉による圧痕がない
場合に比べて、その分、疲れ寿命が短く
なります。したがって、摩耗粉による圧
痕を生じさせないように摩耗粉を排除し、
フレーキングを発生するまでの寿命期間
を著しく伸ばさせるものとして、「密封クリーン玉軸受」が開発されました。



Long-Life Sealed-Clean Ball Bearings
高耐久密封クリーン軸受

この密封クリーン玉軸受などは、実にユニークな視点を与えるものでありました。非常にいい着想
の開発製品であったと思っています。

油潤滑の中の玉軸受に、密封軸受を使うということは、全く特異なことと思われませんが、技術的な
根拠があつてのことであれば、納得できることであります。

玉軸受を試験していて、歯車などの摩耗粉のある油の中で潤滑した軸受のフレーキングを見たとき、
軌道面に微細な圧痕が多く見られるのに対して、試験軸を支持しているグリース潤滑の密封軸受は、
軌道面がきれいで圧痕などはなく、経験的に、フレーキングが起こるまでの寿命も長い、という
現象が密封クリーン軸受の着想の発端になっています。

微細な圧痕がもとで微小クラック、フレーキングへと発展することを明確にし、それならば、油潤
滑の場合でも、摩耗粉を排除するように密封軸受を使えばよいのではないか、という考え方です。

転がり疲労には、従来から言われている内部起点のフレーキングと、表面の微小クラックから起
こる表面起点のフレーキングとがあることがはっきりし、表面起点のフレーキングは、内部起点のフ
レーキングより短いということもわかったわけです。この表面起点のフレーキングを起こさせないよ
うに、圧痕のもととなる摩耗粉を排除する狙いで、密封軸受を使用することは、本当に独自の考え方
であった、と言えます。

また、ミッションには、ニードル軸受がよく使われていますが、ある条件のときに歯車と同時回転
する用途の軸受部では、フレットイングが起こって、しばしば困らされることがありました。

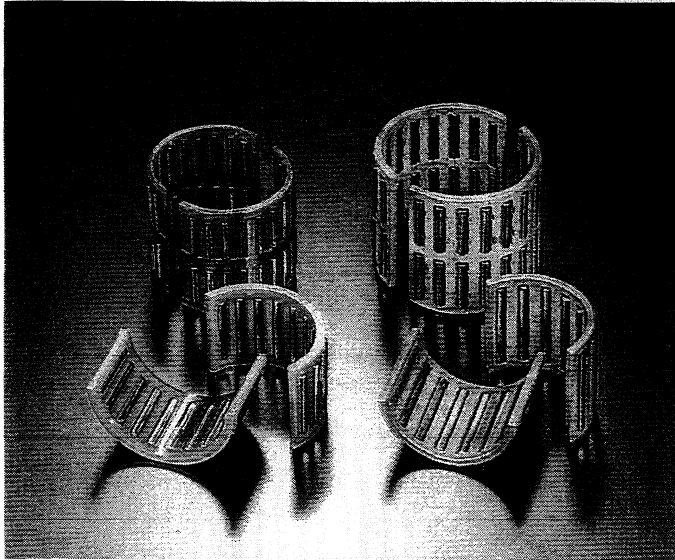
軸受部の内外軌道面とニードルとの相対的な位相が変えられないので、このようなフレットイング
が起こるのですが、このニードル軸受の保持器を二つ割れにすることによって、軸や歯車内径とニ
ードルローラーとの相対的な位相が、わずかずずれ、それによって、フレットイングを防止できるこ
とがわかりました。

このフレットイング防止の保持器二つ割れニードル軸受も、おもしろい開発として非常に評価さ
れ、多く採用されました。

このフレットイング防止の保持器二つ割れニードル軸受も、相対的に何とか位相をずらすことが
できないか、という鋭角的な発想が生み出したものです。

二つ割れ保持器のおおの半保持器の間の相対的な隙間は、ころのピッチ以下のわずかな量で
すが、そのわずかな量の隙間が十分に位相をずらすことに役立っているわけで、コロンブスの卵のよ
うなものだと思います。

技術的な発想・着想には、簡単なようではあっても、その発想・着想の前と後では、確かに大きな



Fretting-Proof Double-Split Needle Roller & Cage Radial Assemblies
耐フレッチング二つ割リケージ&ローラ

違いがあると思います。

これらの開発でもそうですが、常日ごろ、見かけているはずの試験結果、現象が見逃されることなく、ある時、ある着想のもとになるということは、いろいろ開発関連の本にも書かれていることではありますが、やはり問題意識というか、問題解決の意欲というか、問題に対する考え方を常時シャープにし、鋭角的に考えておくことと、非常に関連があるのだろうと思っています。

電装機器の玉軸受についても、オルタネーターや電磁クラッチなどの軸受のように、用途や条件を考慮しながら、グリースやシール、保持器を含めて、用途・要求に合う軸受を求めて、開発がいろいろ

と進んでいったことも、こうしたことであつたと思います。

オートマチックのATの開発に伴い、ニードル軸受の用途にも、新しい分野が広がり、こうした意味での開発が大いに進んだ、と言えらると思います。

鈴木 本日は本当に有益なお話を広く深くしていただき、ありがとうございます。過去に行ってきたことが、現在も十分に活かされることを深く思いました。

それでは最後に、これまでのまとめと、後輩技術者に何かアドバイスをいただければ幸いです。

上野 それでは本日の話をまとめます。

転がり軸受は、標準化が進んだものと一般には言われていますが、考えてみますと、標準化されているのは、外部寸法や寸法精度でありまして、個々の性能について、云々されていたわけではありません。もちろん、明確な形で示されていたわけではありませんが、ある程度の性能・機能は期待されていたということは、言えるでしょう。別の言い方をすれば、明確な形で示されていないけれども、初期の段階では、それで済ますことができたということだと思えます。

軸受のそれぞれの用途に対して、それぞれに必要な軸受の機能がある。あるいはその機能を持った軸受が必要である、という考え方に立ってみますと、内部設計については、何も触れられてはいません。

それぞれの軸受については、用途・目的への適合を考えると、転動体や軌道、あるいは熱処理を含めた材料、さらには保持器やグリースやシールなど、軸受を構成するすべての要素に対して、したがって、総合された一つの軸受に対して、それぞれの用途・条件に適合した機能が与えられている必要がある、ということでもあります。

転がり軸受の用途や使用条件、あるいは要求される性能は、時代とともに高度になり、多岐にわたります。また、経験的な要素もいろいろあります。

それだけに、軸受を個々の用途・目的に合わせるということは、軸受にかかる条件をよく知り、計測し、解析し、その条件下において必要な機能を付与することでもあります。

そのために、軸受の何を、どこを、どうするか、ということになります。

このことは事前に、どれだけの経験を持つか、すなわち適切に十分な試験・実験を行う必要がある、ということです。軸受の用途の各条件をよく読み取り、よく知った上で、軸受のどこを、どう処理すればよいかかわかること、言い換えれば「相手の自動車の言葉を軸受の言葉に翻訳する」ことができるかどうか肝要だということになると思います。

軸受の機能そのものが解明されたからといって、その機能を持った軸受ができるとは限りません。

用途に合った機能を見つけること、その機能を持たせるために、軸受の各部の寸法・形状などを綿密に決めて仕様化し、それを実際に加工し実現させることができなければなりません。グリースやシールについても、同じようなことが言えます。

今まで、計測しなかった事柄を計測し、区分して、「違いがわかって」、軸受全体や軸受の各部を作ること、意味がわかって、その必要を承知した上で、「違い」を区分することの大切さを、知らされました。

計測機器の進展は、いろいろな意味で軸受に貴重なプラスを与えてくれた、と思っています。与えるべき機能と、その機能を実現させる加工・工作とを結びつける仲介役と言ってよいと思います。

試験・実験が充実してきて、発想・着想がいろいろ出てきました。うまく実現できたものもありますが、逆に実現できなかったものもあります。

しかし、そのとき実らなくても、その工夫・努力は別の機会で生きた、と思っています。

転がり軸受の技術の進展を振り返ってみますと、まず最初は寸法精度をゆるがせにすることなく、きっちり作ることを最も重要なこととし、また、そのように作ってきたということである、と思います。

次に、自動車や電機からの要求が高度になり、厳しくなり、音響・振動の問題から始まって、軸受の性能・機能もいろいろ要求されました。軸受そのものの性能・機能の研究・解析が進んでいき、生産技術、保証技術も相対応しながら、その時点・その時点での問題を解決していったということだろうと思います。

しかし、自動車からの要求レベルが高くなるにつれて、こうして起こった問題を解決するだけでは飽き足らなくなりました。

問題が起こってからの処置・対策は、当然のことながら、それらの問題を先取りする形で、積極的に個々の使用目的、用途・条件にあわせるべく、機能を中心とした軸受の開発へと進んでいったことが、第三の段階である、ということになります。

そのために、実機テスト、あるいはそれに準ずる試験・実験が行われました。性能研究の成果を援用し、また解析・計測の機器・方法の開発も必要でありました。

用途・目的に合わせ、機能を中心とした軸受を開発することが、最も重要なこととして、認識されていきました。

このようなことは、自動車をはじめ、一般に行われていたことではありまじょうが、機能部品としての軸受の技術の推移を見てきますと、このことは一つの重要な変遷であった、と言えると思います。

軸受の技術は、要素的な事柄が多く、それらが集積してある一つの機能を形成し、軸受としての機能開発を可能にしていくものだ、と思っています。

用途の数だけ、それに合う機能を持った軸受があるという考え方でありますが、しかし、そういう考えながらも、軸受を作る立場からは種類が少ない方がよいわけです。

したがって、それぞれの機能を十分に掌握した上で、統合化・標準化することも、非常に大切なこととあります。また、このことも、軸受メーカーの技術レベルとして重要なことだと思っています。

軸受は、それぞれの用途で使われてこそ、意味があり、その、それぞれの用途・使用目的に適合した機能を持っていて、初めて「いい軸受」と言えるのだ、と思います。

用途が新しくなったり、使用条件が変わったりしていきますと「いい軸受」の中身も変わってきます。

人が健康であるときは、たとえば胃腸の存在を意識しなくて済みますが、それと同じように、軸受の存在が意識されないで使用されているとき、その軸受は、その用途において最も良く機能しているときである、と言えるのだろうと思っています。

自動車の進展に伴って、軸受の技術も進んできましたが、自動車に使われる軸受は、やはり自動車にとっての「いい軸受」でなければいけない、と思います。自動車のそれぞれの部位、それぞれの用途において「いい軸受」であってこそ、軸受も存在の意味がある、ということだと思っています。

振り返ってみますと、お客さんからは本当にいろいろなことをたくさん教えていただいた、と思っ

ています。

これからも、技術の中身は変わっても、自動車の進展に伴って、軸受も進んでいき、自動車にとっての「いい軸受」であることを、念願しています。

鈴木 本日は、お忙しいところ長時間にわたりありがとうございました。

本日お伺いした貴重なお話は、われわれの明日への技術開発活動の糧として肝に銘じ、大切にしていきたいと思えます。

まことにありがとうございました。

— 了 —