

TECHNICAL REVIEW

No. **68**

環境 特集号

MAY 2000

ECO series

Constant Velocity Joint EDJ

Constant Velocity Joint EBJ

ECO-Top Tapered Roller Bearing

*Self-Aligning Spherical Roller Bearing
LH series*

目次

[巻頭言]	21世紀の地球環境との共生をめざして	代表取締役専務 坂野 公明	1
[環境座談会]	「企業は環境問題にいかに関与すべきか？」	技術・システム・企業モラルの視点から	2
[NTNの環境問題への取組]	NTNの環境保全活動	第1ステップから第2ステップへ	11
		環境管理部 高橋 謙司	
[環境対応生産技術の紹介]	脱塩素系有機溶剤での洗浄システムの構築		15
	生産技術研究所 田口 博明 / 小川 二美夫 / 沢津橋 寿久	長野製作所 東 浩昭	
	熱処理炉の燃料転換		21
		宝塚製作所 製造部 佐藤 清	
		宝塚製作所 製造部 大倉 俊一	
	発泡スチロール全廃に向けて		25
		宝塚製作所 管理部 光元 義和	
	省エネ・省資源対策の具体的活動	桑名製作所の事例紹介	29
		桑名製作所 製造技術部 軒 清文	
[環境対応製品の紹介]	ECO シリーズ ECO-Top円すいころ軸受		34
		軸受技術部 岡本 裕二 / 辻本 崇	
	ECO シリーズ プロペラシャフト専用EBJ・EDJ		39
		自動車製品研究所 長谷 陽夫 / 葉山 佳彦 / 井本 正之	
	鉛化合物を含有しない等速ジョイント用グリースの開発		44
		等速ジョイント技術部 高部 真一	
[論文]	新しい高温長寿命軸受鋼(STJ2)の開発		51
		軸受技術研究所 田中 広政 / 藤井 幸生 / 前田 喜久男	
	非金属介在物の定量化による転動疲労寿命の推定		58
		軸受技術研究所 村上 裕志	
	円筒ころ軸受の保持器に作用する力		63
		軸受技術研究所 藤原 宏樹 / 藤井 健次 / 中関 嗣人	
[解説]	スクロールコンプレッサ用EMカップリングについて		67
		軸受技術部 片桐 力 / 鶴谷 金告	
	音響長寿命グリース『EE-1』の開発		71
		軸受技術研究所 三上 英信 / 平田 正和	
	磁気浮上型遠心血液ポンプの開発		76
		メカトロニクス研究所 鈴木 稔 / 鈴木 健一 / 尾崎 孝美	
	液晶パネルにおける透明薄膜欠陥の検出及び修正技術		81
		メカトロニクス研究所 清水 茂夫 / 大庭 博明	
	高圧エアスピンドルの開発		86
		メカトロニクス研究所 伊藤 高順	
	NBR系すべるゴム『ベアラーER3201』の性能と用途例		90
		軸受技術研究所 伊藤 健二 / 平田 正和	
		NTN精密樹脂(株)技術部 沖 芳郎	
[新商品紹介]	① ECO シリーズ 自動調心ころ軸受 LHシリーズ		96
	② 4世代ハブジョイント		97
	③ ECO シリーズ EUJ(50対応コンパクト新型等速ジョイント)		98
	④ PTJ(超低振動新型等速ジョイント)		99
	⑤ CSJ(ステアリング用等速ジョイント)		100
	⑥ ハーフシャフト用一体型中空シャフト		101
	⑦ SMDフィーダ		102
	⑧ ノンスリップ複合フィーダ		103
	⑨ 動圧ベアファイトアッシー		104
	⑩ ECO シリーズ MLEベアリング		105

21世紀の地球環境との共生をめざして

NTN株式会社 代表取締役専務 坂野 公明

18世紀に始まった産業革命は、科学、医学、農・鉱・工業の技術を急速に進展させるとともに、これに伴う人口増加もあって、最近に至るまで地球資源の大量消費を続けてきました。

その結果、1990年代に入ると砂漠化、海洋汚染、酸性雨、オゾン層の破壊、地球温暖化、熱帯雨林の減少等々いろいろな地球環境問題が顕在化してきています。

これらへの対応のため、1992年6月には世界規模ではじめての地球サミット(ブラジル：リオデジャネイロ)が開かれ、環境に係るリオ宣言が採択されました。その後、1993年にEC規則、1996年にISO 14001などの環境マネジメントシステムに関する世界規格が制定されました。

また、1997年に京都で開催された第3回気候変動枠組条約締約国会議(COP3)では、2008年から2012年における、各国の炭素排出量の削減目標を決定したことが特に重要で(1990年を基準：日本は6%)。

この京都会議を契機にして、日本の行政・企業の環境に対する取組が急速に活発化し、経団連は各工業会に対し「環境自主行動計画」の策定を要請しました。ベアリング工業会では、1998年4月に「オゾン層保護対策委員会」を「地球環境対策委員会」と改め、それと共に活動内容を拡大し、1998年10月には「ベアリング工業会の環境自主行動計画」を策定し、さらなる活動に取り組んでおります。

当社における本格的な環境問題への取り組みは、1993年通産省からのボランタリープラン策定要請を受け、本社に「環境保全委員会」を設立したことに始まります。そしてこのもとに「公害防止部会」「省エネ・省資源部会」「特定フロン等全廃部会」を設置し、分野ごとの環境改善活動を開始しました。

その後環境問題が益々重要度を増して来た1998年6月には、さらに活動を充実させるため本社に「環境管理部」、5製作所に「環境管理課」という実務活動のできるライン組織を構築いたしました。そしてこの活動を具体的に展開するために、「NTN環境基本方針」及びNTNグループ統一の「環境目標」を策定し、各事業場はこれを事業場目標にブレイクダウンして推進を図っております。

当社の主力商品であるベアリング及び等速ジョイント等は、省エネルギー・省資源の観点から見ますと、主原料である鋼材はほとんどスクラップからの再生品であり、また、寿命後の廃棄の段階においても資源化(リサイクル化)の容易な環境負荷の少ない商品であります。さらにベアリングは転がり摩擦で使用されるため、すべり摩擦に比べて極端に摩擦係数が小さく、製品自体が省エネルギータイプの製品であります。加えて小型・軽量化、低トルク化などの技術の向上によって、さらに環境負荷を低減するという点で他産業ひいては地球環境に大いに貢献していると考えています。

当社では環境に優しい新商品の研究・開発にも積極的に取り組み、好評を博しております。今回商品紹介しておりますエコ商品として、ベアリングではECO-Top(長寿命テーパローラベアリング)及びLHスフェリカル(高温長寿命球面ころベアリング)、等速ジョイントではEシリーズCVJ(高性能コンパクト等速ジョイントEBJ,EDJ,EUJ)をすでに発売しており、今後も本シリーズを継続的に開発し、発表していく予定です。

また、製造環境面では環境保全活動をより充実させるために、環境マネジメントシステム規格であるISO14001の認証取得がその基盤になると認識しております。1998年10月の磐田地区(製作所、4技術部、3研究所)認証取得を皮切りに、1999年11月には国内全生産事業場(11事業場)をマルチサイト方式で一括認証取得いたしました。海外においても1999年6月ドイツ工場、同7月カナダ工場、同12月NTNドライブシャフト社(米国)にて認証取得し、本年9月までに残る北米6工場で認証取得する予定です。

21世紀は「環境の世紀」といわれております。大量生産、大量消費の時代は終り、すべてのものを地球生態系の中で循環使用する「循環社会」に変えるべく、企業は最大限の努力をしていく必要があります。NTNグループは一体となって企業間・地域・地球との共生をめざし、次世代に誇れるような地球環境を創りだすことに努力をしまいたします。

「企業は環境問題にいかに関わりすべきか？」

技術・システム・企業モラルの視点から



出席者の方々（発言順・敬称略）



中西金属工業株式会社
軸受事業部 環境管理部
部長 中山 隆司



川崎製鉄株式会社
技術総括部
主査(部長) 白石 典久



NTN株式会社
環境管理部 推進課
課長 岩永 光雄



大同化学工業株式会社
取締役 研究所長
瀬本 正三



オークマ株式会社
人事総務部 総務課
課長 柴山 久行



中外炉工業株式会社
品質保証部
部長 藤原 勇次



日本グリース株式会社
理事 品質管理統轄責任者
山本 隆一



NTN株式会社
環境管理部
部長 高橋 謙司

高橋 わが国では、第3回気候変動枠組条約の締約国会議である平成9年の京都会議（COP3）以降、環境問題に対する関心が急速に高まってきました。今日は、NTNに関係するメーカー各社の皆さまに集まいただきましたが、企業は環境問題にどう取り組むべきかを、あくまで企業の立場にたって討論していきたいと思えます。各社の現状や問題点なども報告いただき、それらの内容をそれぞれ自社に持ちかえり、今後の取り組みの参考にさせていただけたらと考えました。

ISO14001への取り組みと環境保全体制

高橋（司会）まず、ISO14001の認証取得および環境保全体制に関して、ご意見をいただきます。現在、例えば米国自動車メーカーのGM、フォード、日本ではトヨタさんなどが関係各社にISO14001の認証を2002年末までには取ってほしいという要望を出していますが…。トップとして、中西金属さんからうかがいます。

中山（中西金属工業）ISO14001に関しては、当社



は準備中という段階です。大阪府工業協会が主催する環境マネジメントシステム(EMS)構築コースを3名が修了し、内部監査員研修を1名が修了

しています。これから認証取得へ向かって準備を整えようという状況です。ただ、今のところ、いつまでという目標は立てていません。というのも本社の準備はできたけれど、各事業所での準備がまだだからです。しかし、このテーマでの世の中の動きが急ですから、対応のピッチを上げていかねばと認識しています。

環境保全体制に関してですが、当社では、昨年8月に環境管理部を設立、それを受けて4事業部3事業所すべてに環境管理組織をつくりました。最高責任者は社長。キックオフミーティング、第1回環境管理委員会を終えて、この1月19日から毎週水曜日に各工場に出向いて初期環境調査を実施すること、また各事業所からは省エネ、産業廃棄物対策で行動計画が出ておりますのでそれを四半期ごとにフォローしていくことを決めました。ただ、雰囲気づくりが弱いかなとも感じ、現在、全従業員に配布する啓蒙用パンフレットをつくることを計画しています。

高橋（司会）ISO14001の認証をすでに取得している川崎製鉄さん、どうでしょうか？

白石（川崎製鉄）当社の場合、主な事業所は水島製鉄所、千葉製鉄所、知多製造所、LSI宇都宮工場ですが、これらはすべてで認証取得を終えています。営業所や本社はまだ取得しておりません。当社は工場単位で取得してきました。NTNさんは一括で取得なさったとうかがっております。今から考えると、当社も全社一括で取得すべきだったかなと感じております。

ISO14001認証取得で苦労したのは、やはり工場の第一線で働く従業員にその目的、意義を理解してもらうのに時間がかかったということです。1年ぐらいはかかりました。その後は順調にシステムづくりができました。ISO14001の意義という点では、目標設定から見直しまでPDCA（デミングサイクル）が明確になり、トップの考え方が工場の第一線まで届くということ

でしょうか。定期的に計画を策定して回していくわけですから、その過程で目標の達成度がビジュアルになります。その結果に基づいてまた計画を立て直し、いろいろ改善活動をしていくことができるわけです。短所があるとするなら、それはすべて文書化していく煩わしさでしょうか。

高橋（司会）岩永さん、マルチサイトでの認証取得について少し説明していただけませんか？

岩永（NTN）マルチサイトの第1のメリットとしては、コスト的なメリット、認証費用が削減されるということですね。だいたい通常の認証に関わる費用の約3分の1ですみ、それは非常な利点だと思います。またある事業場でなされた内容が他の事業場でも参考になる。つまり横展開ができるという点も大きい。一方その裏返しとして、ひとつの環境マネジメントシステム（EMS）でなければならぬわけですから、マルチサイトに含まれる事業場がハーモナイズされねばならないということがあります。当社の場合、各事業場と本社の意見がうまくかみ合わないという問題もありましたが、それでも何とか取得にこぎつけました。各事業場間、本社と事業場間の意志疎通がけっこうむずかしい。統括部門の役割が個別で取得するより大きくなるということでしょうか。

高橋（司会）ISO、環境問題の意義を従業員に徹底させる方法としては？

岩永（NTN）各事業場でなされている内容としては、まず、「環境方針カード」というものを発行し、それを従業員全員が携帯しました。また、朝のミーティングでISOで要求されている環境マネジメントプログラムの進捗状況とか、ISOの動きなどを話し合い、認識を深めていく活動ですね。さらに各事業場で「環境マネジメントシステム・ニュース」という、一種の瓦版を発行しました。大きくはこの3点でしょうか。

高橋（司会）これから認証をと考えていらっしゃる企業の方、何かご意見は？

瀬本（大同化学）私どもは金属加工油剤のメーカーで環境負荷の大きい油剤をユーザーさんに提供しているわけですから、関心は深いのですが、まだ取得はしておりません。しかしISO14001の認証を受けようという強い意識はあります。実は現在、ISO9001に着手していて年内には申請の予定

で、ISO14001は次の段階かと考えています。それで今のところ、いろんな講習会に出ていたり、関係部署にご指導をいただいたり、調査段階というところ。それにしても今、お話をうかがって、勇気が沸いてきたという印象を抱いております。

CO₂削減と省エネ対策

高橋（司会）京都会議では、日本の温暖化ガス排出量削減の目標値が6%（2008年から2012年において1990年比）とされました。これを契機にして、政府・関係省庁・企業の動きも活発化し、最近では新聞で環境問題関係の記事が載ってない日はないほどです。一方、昨年には省エネ法の改正もありました。機械メーカーであるオークマさん、CO₂対策、省エネ対策についてどうでしょうか？

柴山（オークマ）ええ、日本の産業界は、京都議定書で合意した温暖化ガス削減目標6%の達成や省エネ法の改正への対応など、厳しい省エネ努力を迫られています。当社におい



では、本社工場（愛知県丹羽郡大口町）は第一種電気エネルギー指定工場、また今回、新たに第二種熱エネルギー指定工場にも該当することになり、可児工場（岐阜県可児市）も新たに第一種電気エネルギー指定工場に指定されることになりました。第一種電気エネルギー指定工場はエネルギー消費の年間1%削減が課せられるので、当社としては、主に消費電力の削減による省エネ化に取り組んでいるところです。

高橋（司会）具体的にはどういった？

柴山（オークマ）はい、ひとつは、平成元年に竣工した当社テクノロジーセンターの空調設備の省エネ化ですね。24時間空調の恒温室用熱源2次ポンプのインバーター化や一般空調機のCO₂制御のインバーター化などです。それと50サイクル発電機の省エネ化も進める予定です。省エネ型のサイクルチェンジャー（静止型）に置き換えて、年間50万kWhの省エネを図ろうとするものです。もうひとつは、工場関係の空調ポンプ類の省エネ化、空調の冷温水ポンプ類のインバーター化を順次進

めていく予定です。

藤原（中外炉）中外炉です。私たち自身の会社を考えると、工場は組み立てが主ですので、排ガスや排水、廃棄物がほとんど出ない。ですからISO14001などの構築にも入りにくいというか、検討が遅れてきたのが現状です。しかし当社は、熱技術を前面に出して、NTNさんとか川鉄さんに設備を納入させていただいている機械設備メーカーで、その設備が大量のエネルギーを消費するとなると問題だ。そんな問題意識から、省エネ設備、生産性のより高い設備の開発が地球環境問題にも寄与するものと考えてきました。

ただ中外炉単独では限界もあるので、業界として、日本工業炉協会として、ひとつ取り組んできたことがあります。ちょっとPRになるのですが、NEDOの支援で「高性能工業炉の開発と実用化」というプロジェクトに取り組み、昨年度の日経地球環境技術賞で大賞をいただきました。もちろん当社だけでなく、業界で実施したものです。

高橋（司会）「リジェネ・バーナー」のことですね。もう少しご紹介いただけますか？

藤原（中外炉）ええ。簡単にいうと、燃焼排ガスの熱を蓄熱体に蓄えまして、その熱を利用して高温の燃焼空気を作り出すという原理です。酸素の少ない高温の空気を高速で燃料とぶつけ合い、じわじわと燃焼させる。少ない酸素を有効に使い、NO_xも少ない。エネルギー消費は約30%削減でき、国内の工業炉をすべてこの省エネ工業炉に代替すると、年間で原油輸入量の約6%に相当する150万kℓの石油を節約できる...と。白石さんのお得意の分野ですよ。

白石（川崎製鉄）製鉄プロセスにおける加熱炉の省エネルギー対策として蓄熱バーナーがありますが、これが「リジェネバーナー」のことです。当社の場合、熱延の加熱炉で最初に導入しました。燃焼排ガスをアルミナボール（蓄熱体）に通す。すると、1分かそこらで蓄熱体が熱をどんどん回収する。蓄熱体を通過した燃焼排ガスは200以下になります。蓄熱体の温度が上がった段階で燃焼用の空気（冷風）を通すと、1000近辺の高温の空気を回収できるのです。省エネルギーを飛躍的に向上させることができるシステムだと思えます。

コージェネと消費電力の削減

高橋（司会）日本グリースさん、CO₂対策、省エネ法改正に関連して何かございますか。

山本（日本グリース）当社でも工場をいろいろ点検してみました。どの程度CO₂を出しているのか、と。しかし、消費電力にしても、燃料にしてもあまり大量に使ってはおりませんが、ボイラーの燃料は重油からガスに切り替えました。で、実際に排ガスを測定してみて、CO₂排出が削減できていることは確認しました。あとは、工場で使っているフォークリフトをハイブリッドカーに替えることなどの検討をしています。

高橋（司会）川鉄さん、先ほどすでに「蓄熱バーナー」の紹介がありましたが、日本をリードしていく鉄鋼メーカーとしては、他にはどのような？

白石（川崎製鉄）全体的な話では、COP3を受けて、1990年基準で10%の省エネルギー、それから廃プラスチックを高炉、コークス炉で使用することでプラス1.5%、合計11.5%の省エネルギーを実現しようというのが、鉄鋼業の自主行動計画です。鉄鋼業の場合、オイルショック以降、省エネルギー対策を積極的に実施してきました。本当のところ、省エネルギーアイテムが少なくなっており、この自主行動計画は技術的にも経済的にも非常に高いハードルというのが実情です。

当社においては、1999年～2001年の3年間で1998年基準3%の省エネ実現を目標に掲げて、対策をとっています。この中で一番大きいのは、水島製鉄所でのコージェネ設備導入計画です。現在建設しているところで、今年中に完成の予定です。今回のコージェネ設備は、ガスタービンで電気をつくり、その燃焼排ガスを排熱ボイラーで蒸気回収し、その蒸気を高炉送風機（蒸気タービン駆動）の駆動に使うというものです。千葉製鉄所ではガスタービン発電機が稼働しておりますが、この場合は、ガスタービンコンバインド方式で、排熱ボイラーで回収した蒸気を同軸にある蒸気タービンにいれて電気をつくっています。

高橋（司会）エネルギー変換効率は何%ぐらいなのですか？

白石（川崎製鉄）水島製鉄所のコージェネの場合、使用燃料ガスは、約800kcalという低カロリーガ

スなのですが、総合効率は45～46%ぐらいです。高橋（司会）川鉄さんにお聞きしたいことがあります。

ひとつは、今でも石炭を使っているということについて。もうひとつ、資料では買電の比率が13%ということですが、これはほとんど社内で発電していると考えていいのですか？

白石（川崎製鉄）なぜ石炭なのかということですが、



鉄鉱石から鉄を作る場合、鉄鉱石（酸化鉄）を還元する必要があります。石炭は燃料としてでなく、還元剤として必要なわけです。この石炭を扱う過程でコークス炉ガス、高

炉で鉄鉱石を還元する過程で高炉ガスが副生ガスとして発生します。もうひとつが転炉ガス。高炉で還元しすぎるため転炉で酸素を付加し、溶銑中に余分に入ったカーボンを取ってやるのが転炉なのですが、そこでCOを含んだ転炉ガスが発生します。高炉ガス、コークス炉ガス、転炉ガスの3つの副生ガスを発電設備を含めてもろもろの熱設備の燃料として使っているのです。この石炭からの副生ガスによって、製鉄所で必要な燃料およびエネルギーのほとんどをまかなえるようになっているわけです。また買電比率は全社で約13%となっております。従って大部分は自家発電でまかなっており、発電設備はガスタービン及び蒸気タービンから成るコンバインド発電及び排熱回収設備としてのTRT（炉頂圧発電設備）などから構成されています。

高橋（司会）他の企業の方々、CO₂対策、省エネ対策という視点から各社の取り組みについてお聞かせください。

中山（中西金属工業）私たちのところでのCO₂排出量は98年度で3,357tです。そのうち約9割が買電によるもの。やはり消費電力を下げねばということで、取り組みを始めたのですが、各工場の不要照明対策はかなり進んでいて、安全委員会からは逆に暗すぎると指摘が出てきました。こうなると、あとはコンプレッサーのエアリーク対策、省エネタイプの各種設備機器の導入、暖房温度の20以下徹底、自動販売機の見直しとか地道な対策ですね。生産計画上の問題として焼鈍工程の効率化にも取り組んでいます。今はそういう小

さなことをやっているのですが、これだけでは限界があるので、そろそろ自家発電を真剣に考えようかという段階にきています。当社の2つの事業所は第二種電気エネルギー管理指定工場になっているので、自家発電すればこの指定も免除されるのではないかと。

柴山（オークマ）省エネ対策にからめて、ちょっと宣伝をさせていただきます。私たちはNC工作機械メーカーですが、製品に対する環境対応技術に力を入れてまして…。工作機械の刃物台主軸駆動モーターを従来のインダクションモーター（効率82%）からPREXモーター（92%）に変更することで効率を10%上げ、省エネを実現しました。それから複合タップ（工具）の開発で、省ツール・省ATCにより加工時間を半減させるという形で省エネを実現しました。

瀬本（大同化学）私たちも日本グリーンズさんと同じく、社内で使うエネルギーは意外と小さい。主要工場である奈良生産技術事業所で消費電気が50万kWh。モーター関係、空調関係が多い。空調関係は夏場電気を消費するので、経費節減もかねて、温度を調整していこうという動きです。あとは工場で作った後、タンクを洗浄するのですが、その廃液処理にエネルギーがかかる。廃液を1ヵ所に集めて減圧蒸留し、濃縮したものを燃焼させるシステムを採用しています。そこで工夫したのは、洗浄水を最小限にすること。超高压ノズルを使うことによって、廃液を従来の半分にすることができました。もうひとつは熱源（ボイラー）対策。製品の低融点化とも関係するのですが、ユーザーさんにあまりエネルギーを使わず利用していただくということで低融点化を進めているのですが、そうすると原料も低融点になるので、製造過程での熱源も低くてすむわけです。ボイラーの減圧、稼働時間の短縮を図ってきました。これが、結果として、昨年8ヵ月間で100万m³の排ガス抑制、110万円ほどの経費節減につながったと評価しています。



きめ細かな省エネ努力の積み重ね

高橋（司会）では、NTNのCO₂対策、省エネ対策についてご紹介します。

岩永（NTN）データの的には、NTNの12事業場で90年炭素排出量が約58,000t（推定）、98年度で約57,000t（実績）と若干下がっています。生産の落ち込みもあるので必ずしも自助努力というわけでもないのですが。全社の環境長期目標としては、2010年度で1990年度比20%削減を掲げています。99年度の目標としては、前年度比1%削減という数字を立てました。これに対して、99年度の上期で、前年同期比基準生産高あたりの電力使用量という原単位をとると5.2%削減、炭素排出量原単位をとると約5%減という結果です。

対策内容ですが、一番大きなものは契約電力の「ピークカット」ですね。ピークカットを主目的で岡山のほうで自家発電装置を4年前導入し、現在稼働中です。NTN特殊合金のほうでも、昨年の秋から発電装置のリースでピークカットを図っています。同じようにピークカットを目的として、エンジンコンプレッサーを入れて、電気を使わないという対策もとっています。

中山（中西金属工業）それは、やはりリースですか？
岩永（NTN）ええ、夏場だけ借りる。これは磐田で21台、桑名で5台、長野で2台、宝塚で1台。燃料は重油です。CO₂対策として効果がないかもしれないけど、契約電力量を下げるという効果があります。自家発電については、排熱をうまく利用できれば炭素排出量は減ると思うのですが、なかなか利用できる対象が見つからない…。

それから中西金属さんからもお話がありました。コンプレッサーのエアリーク対策ですね。昨年環境月間を設定して、各事業場で環境パトロールを行った。その中でエアリーク対策を実施したわけです。事業場によっては1,000ヵ所もあったとのこと。加えて、コンプレッサーの元圧を下げて電力消費量を削減するという工夫もしています。

山本（日本グリーンズ）どれくらい下げたのですか？

岩永（NTN）かつては6気圧でしたが、桑名では4.6気圧まで下げました。もちろん現場では必要な場

合昇圧装置をつけて使うわけです。なお、トヨタさんでは3気圧まで落としていると聞いています。コンプレッサー関連では、さらに製品へのエアブローを常時ではなく間欠的にする、エアノズルを省エネタイプにする、なども実施しています。このほか、やはり不要照明の廃止、自販機内の照明の間引き、蛍光灯のインバーター化を当社でも進めてきました。

逆有償品の有償化へ

高橋（司会）次に廃棄物削減対策に移ります。川鉄さん、御社の「環境報告書」によると、すでにほとんど捨てるものがないほどに廃棄物を再利用していらっしゃるようですが。

白石（川崎製鉄）われわれは廃棄物といわず副産物といっています。副産物としては、スラグが85%、ダストが13%、スラッジが2%ぐらいです。一番多いスラグというのは鉄鋼石中の岩石分だと考えてください。これの有効活用が一番大きい。従来、用途開発が不十分で埋め立てにまわっていた部分もあったのですが、95年からはゼロ、全量資源化できるようになりました。スラグを路盤材等の土木資材や高炉セメントに使うなどの用途拡大を進めました。石灰石等を焼成してセメントを作るプロセスに比べると、高炉セメントはエネルギー消費量が半分以下となり社会全体の省エネルギーにもつながっております。

当社の副産物対策は大きくって2つあります。ひとつは、自社で発生する副産物をゼロにすることです。これについては、これまでいろいろやってきて、現在99.5%を再資源化しています。もうひとつは、地域社会や他産業で発生する廃棄物を、鉄鋼プロセスを使ってリサイクルするというものです。

後者の取り組みとして現在、当社が進めているのがガス化溶融設備（川鉄サーモセレクト方式）です。千葉製鉄所に処理能力300t/日の設備を建設し、現在、実証運転をやっています。この特長はダイオキシン発生が非常に微量で0.001ng-TEQ/Nm³、厚生省基準の100分の1というものです。その他の特長としてごみは燃料ガス、スラグ、メタルなどに完全に再資源化されます。さら

にもうひとつ、当社が進めているのが先進ダスト製錬炉です。現在、水島製鉄所で建設中なのですが、この設備は亜鉛を含む電炉ダストから亜鉛と鉄を完全分離、回収し、資源として再利用することができ自動車、家電製品を粉碎したシュレッターダストの資源化（エネルギーの創生）も可能です。

高橋（司会）廃棄物削減というテーマで、ほかにご意見は？

柴山（オークマ）なにぶん鉄鋼メーカーさんとは規模が違うので…。今、悩んでいるのは自社における可燃性廃棄物の処理の問題です。2つの工場それぞれ処理能力500kg/h、270kg/hの焼却炉を設置しているのですが、平成14年12月から構造基準による規制で現在の800 という燃焼ガス温度を200 に冷却しなければならない。現状の設備に冷却設備を付加して維持していくのは困難ではないか、かといって新たに焼却炉を設けるのはそれはそれで…。それで私は今、とにかくにも可燃性廃棄物については減量化を図る、分別してリサイクルに回す取組みが最優先課題と考えている次第です。

山本（日本グリース）当社では、廃グリースとか廃油（パイプラインの洗浄油なのですが）は自社で処理せず、廃油処理業者に引き取ってもらっているのですが、これを再利用で



きる形にできないか、今、検討しています。それとISO9001に関係するのですが、不適合品があると廃棄しなければならないので、それを減らしていく活動です。一昨年、ISO9001の更新審査を受けたのですが、前年に比べ3割ぐらい不適合品が減っていました。当社は製品がドラム缶の場合、ドラム缶の回収はしていません。また、原料はドラム缶とかペール缶で買ってますが、ドラム缶は容器屋さんをお願いして、洗浄してリサイクルに回しています。

それから、通産省の関係で「潤滑油協会」内に学識経験者とか我々業界関係者が集まり、潤滑油類の環境の適合性に関する調査研究事業を行っています。この中で例えば、ユーザーさんが潤滑油の廃棄をどうしているか、処理屋さんはいかなる

処理をしているか、我々メーカーは塩素系をどれくらい作っているか、などを調査しています。また資源エネルギー庁の支援で環境保全と潤滑油のリサイクルを推進するという活動もあります。「潤滑油協会」、「全国再生鉱油連合会」が協力して、使用済みの潤滑油の再利用のために、特に塩素系の潤滑油の分別を呼びかけるリーフレットを作っています。我々油剤メーカーとしては塩素系の油剤をできるだけ減らし、広く環境負荷物質を配合原料から除いていっております。これはやはりリサイクルシステムの整備が必要という位置付けからの活動です。

中山（中西金属工業）当社の廃棄物の量は98年度で18,000 tほど。このうち鉄のスクラップが約9割ですが、すべて有償物として処理しています。あと廃プラスチックの中に廃ゴムが含まれ、その量は約500 t。今まで埋め立てでしたが、昨年3月から燃料化の提案を受けて、これを行っています。むろんお金を払ってなのですが...

あとNTNさんに製品を納めているダンボール箱とポリ箱、月約20,000箱ですが、これを通い箱に切り替えていっているところですね。99年上期でリターナブル率は60%。2001年3月には90%、18,000箱までにもっていこうとしています。

岩永（NTN）NTNでは、廃棄物は12事業場でだいた



い98年度で年間47,000 t発生しています。その半分ぐらいがリサイクル処理されています。主な廃棄物は、金属くず、研磨かす、廃油、廃アルカリ、汚泥など。金属くずはリサイクルされていますが、このテーマではNTNはベアリング工業会の中でも遅れてまして、今、対策を急いでいるところです。研磨かすについては、ブリケット化といいまして圧縮して円筒状に成形し、製鋼材料に使えないか検討しています。製鋼メーカーさんに実際にテストしてもらっています。廃アルカリに関しても濃縮装置を導入して、廃棄量の削減化を検討しているところです。

最近、ある雑誌で「GoodsとBadsの経済効果」という記事を読みました。Goodsというのは商品、Badsというのは逆有償品、つまりはお金を

払って処理してもらうもの。いままで逆有償していたものを有償化していこうという動きに関する記事です。この中で分別を徹底させることの意義が指摘されていきました。例えば紙、あるいは鋼でできた金属くずにしても、分別を徹底し、品質を一定にすれば、あるメーカーさんへの有償品となる。あるいはいろんな関係の企業を回り、使えるか使えないかを聞く、逆に自分のところで使えるものがないか探す。そういうトライ＆エラーの活動、努力をしないと、廃棄物は減っていかないと 생각합니다。

地域社会との共生をめぐる

高橋（司会）では最後に、地域社会との共生について...

白石（川崎製鉄）地域社会との共生については、生産活動を行っていく上で環境保全をきっちりやるということをベースと考えています。2つ目として、環境対策技術を地域社会に生かして循環型社会づくりに貢献していきます。それから、自社だけでなく、コンビナート全体のゼロエミッションに向けての活動を行っております。水島製鉄所の場合、水島コンビナートの中にあるわけですが、多くの産業が立地していますから、企業間での副産物、廃棄物を相互に再利用する研究をしているところです。

それからボランティア活動も行っております。「川鉄21世紀財団」を設立し、鉄鋼産業に関連する地域の発展や国際交流に貢献する事業を行っております。それと「セントポーリア賞」という制度があります。社員が個人または団体で行っている地域ボランティアなどのコミュニティ活動を奨励するため、模範的なケースについて表彰するとともに、所属する団体に対し寄付または助成を行う制度です。

柴山（オークマ）地域社会との共生というテーマでは、地域の小中学校の生徒の工場見学の受け入れを行っています。それと交通事故ゼロの日に、全従業員が交代で工場周辺の交差点に立って、シートベルトの着用と安全運転の呼びかけを行っています。近隣住民の方に工場内の体育館、グラウンドの無料貸し出しも行っていきます。ボランティア活動

では、入社20年以上の人たちの会で「天山会」というのがありますが、大口市主催のクリーンキャンペーンに協賛し、毎春、桜の名勝・五条川の清掃活動.というところでしょうか。

中山（中西金属工業）特別の活動はしていないのですが、所在地行政が実施する環境保全活動には今後、積極的に出て行こう、ということを考えています。ボランティア制度については未整備で、今後の検討課題です。

藤原（中外炉）地域社会との共生というテーマには該



当しないかもしれませんが、インターネット上で「地・救・人フォーラム」というホームページを開設しています。CO₂問題、ダイオキシン問題、廃棄物問題などの環境用語を

解説したりして、地球環境に役立つエネルギー利用技術が一般の人にも分かりやすい内容にしています。堺工場のほうでは緑化運動に力を入れており、昨年度は大阪商工会議所から表彰していただきました。

瀬本（大同化学）事業所が大和郡山市の昭和工業団地ですので、団地として地域社会とうまく交流していくことを心がけています。やはり周辺に小学校があって、交通安全週間の時には各企業の代表が順番に交差点に出て、「交通安全」のたすきを掛けて、通行車輛の運転手さんに交通安全に対するご協力を呼びかけております。それと車輛の違法

駐車の防止のためのパトロールなど、地域の行政ならびに警察関係と協力し活動しております。それから、地域の産官学というか、奈良高専の先生方や奈良工業技術センター、企業のメンバーが交流する場を設け、そこで環境問題なども討議しています。


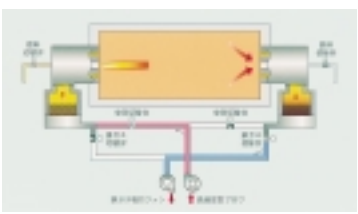

岩永（NTN）宝塚、長野の2事業場でクリーン活動に参加しています。近くに武庫川、天竜川が流れていて、その河川敷の清掃活動です。ボランティア制度については、設けてはあるのですが、趣旨がNGOへの参加に特定されているので、現状では環境ボランティア活動が認められるか、ちょっとクエスション。見直す必要がありそうです。それと当社でも昨年春から環境問題をホームページに入れています。内容的には「環境行動レポート」を載せているのですが、今後もっと充実させていく予定です。

高橋（司会）どうもありがとうございました。今日、話題になった内容が各社の今後の取り組みに少しでもお役に立つなら、これにまさる幸せはありません。企業レベルであれ個人レベルであれ、小さな努力の積み重ねが地球環境問題への大きな方向付けをも生むと信じて、今後も粘り強く活動していきたいと思います。

敬称略

（2000年1月12日）

●●●●● 環境関連製品紹介 ●●●●●

メーカー名	環境対応製品	特 徴	用 途 等
川崎製鉄(株)	ガス化溶融設備 (川鉄サーモセレクト方式)	<ul style="list-style-type: none"> ●次世代型のごみ処理技術での次の特徴を有しています。 <ol style="list-style-type: none"> ①環境への影響を極限まで削減します。 ②廃棄物は完全に再資源化され、生かされます。 ③あらゆる廃棄物の処理が可能です。 ④省スペース&コストミニマムを実現します。 	<ul style="list-style-type: none"> ●ダイオキシンの排出濃度は0.001ng-TEG/Nm³ (厚生省基準の1/100) ●廃棄物は、燃料ガス、スラグ、メタルなどに再資源化 ●通常の一般廃棄物はもちろんシュレッダダスト、医療廃棄物、下水汚泥などの産業廃棄物処理が可能 ●建設スペース又ランニングコスト面でも従来設備に比べ大幅削減
オークマ(株)	<環境対応CNC旋盤> SPACE TURN LB300	<ul style="list-style-type: none"> ●油圧を廃止した高精度、省エネ、環境対応旋盤 <ol style="list-style-type: none"> ①油圧ユニット(熱源)追放による加工精度・省エネ効果 <ul style="list-style-type: none"> ・電動チャックシリンダ、油圧レス刃物台、油圧レス心押台 ②高精度タッチセツタ <ul style="list-style-type: none"> ・チップ交換時の工具オフセットを高精度自動補正 ③心押テーパ微調整機能 <ul style="list-style-type: none"> ・軸物加工のテーパを容易に微調整可能(マニュアル) 	
大同化学工業(株)	<研削用クーラント> シミロンGC-3	<ul style="list-style-type: none"> ●塩素フリーの研削油クーラントで従来油剤では不溶性油剤が混入すると抗乳化性が劣り腐敗劣化が早かった。当該油剤は混入油を乳化させず、タンク外に排除し易く常に液に透明感があり、劣化しない。液寿命が大幅に延長出来ており更にどこまで延長出来るかデータ集積中。 	ベアリングの軌道面の研削
	<冷間鍛造潤滑剤> アクアルプW-69A	<ul style="list-style-type: none"> ●従来のボンデライト・ボンデリユーベの化成処理潤滑油皮膜の省略ができる。又廃液が殆ど発生しないなど、作業環境・コスト削減が可能である。 	ボンデライト、ボンデリユーベの置換え全般
中外炉工業(株)	リジェネレーティブバーナ	<ul style="list-style-type: none"> ●バーナと蓄熱器が一体となったユニット2台をベアラーとしている。一方が燃焼中、他方のバーナから燃焼排ガスを吸引し、蓄熱器を通過させて蓄熱する。所定時間がたつと燃焼と排気を切替え蓄熱器に空気を通過させることで高温空気にして、バーナに供給する。この動作を繰り返すことで、発熱を高温予熱空気に回収するシステムです。 <ol style="list-style-type: none"> ①AH (Available Heat) 85%以上 ②温度回収率90%以上 ③各種燃料に対応...都市ガス、LPG、LNG、灯油、重油 	
	次世代真空浸炭炉	<ul style="list-style-type: none"> ●熱処理歪みの低減、ランニングコスト、処理時間の短縮、処理品の高強度化、フレキシブル生産対応、環境保全、安全性の向上などさまざまな課題をクリアする次世代型の真空浸炭炉です。 <ol style="list-style-type: none"> ①浸炭時間は従来ガス浸炭の50~60%(同一炉温) ②一槽3段焼入方式採用による焼入歪みの低減が図れる。 ③フレームレスのため作業環境が良く安全性が高い。 	<仕様例> 有効寸法: 760W x 1220L x 660H mm 装入量: 780kgグロス 炉温: MAX, 1505 加熱源: ガス焚 リジューネバーナ方式 (58kW x 4対) 致達真空度: 0.01kPa
日本グリース(株)	<グリース> ニブタイトLE	<ul style="list-style-type: none"> ●鉛フリーで下記のような特徴を有す。 <ol style="list-style-type: none"> ①極圧性が優れております。 ②耐熱性及び機械安全性が優れています。 ③附着性及び耐水性が優れています。 	<ol style="list-style-type: none"> ①一般各種産業機械の軸受 ②パンパリーミキサー、セメントキルン、粉砕機、プレス機械(振動衝撃・高荷重撓動部) ③その他 防錆性 耐水性を必要とする高荷重撓動部
	<グリース> ニグエースBV	<ul style="list-style-type: none"> ●生分解性が非常に高く、環境に優しいグリースです。(生分解率99.4%) <ol style="list-style-type: none"> ①機械的安全性及び極圧性が優れています。 ②耐ゴム、耐樹脂性が優れています。 ③防錆性が優れています。 	<ol style="list-style-type: none"> ①河川・湖沼等水系近辺で使用される建設機械 ②土壌を汚染させる恐れのある農業機械・器具 ③シールドマシン ④トラックのシャーシー ⑤船舶用機器類 ⑥その他環境中に漏洩する恐れのある箇所の潤滑や一般的環境での極圧性の必要な箇所
中西金属工業(株)	<樹脂製通い箱のリフォーマー> 再生王	<ul style="list-style-type: none"> ●プラスチック箱のふくらんだ底を修理するユニークな成形機“再生王”。経費節減、環境保全に貢献する時代のニーズに応えた優れたものです。 ●変形合成樹脂容器の再利用法及び矯正装置で3件の特許を取得。 ●平成9年6月、日刊工業新聞社殿より「環境改善優秀賞」を受賞。 	いままで廃却していたポリコンテナを2分で再生 

NTNの環境保全活動 第1ステップから第2ステップへ

高橋 謙 司*

NTN's Activity Against Environmental Problem

by Kenji TAKAHASHI

Environmental preservation activities have been promoted by our “Environmental preservation committee” which initially consist of “A public protection sub-committee”, “An energy and natural resource saving sub-committee” and “A commodity management sub-committee”. However, the new environmental structure like the Environmental administration department in the head office and “Environmental administration sections” at each works was formed to tackle environmental matters more positively in June 1998. Approximately a year after setting up this structure, the first edition of “Environmental action report” was issued to show our versatile environmental preservation activities to the public. This report introduces our environmental management system and environmental preservation activities.

1. はじめに

NTNの環境に関する組織は従来「環境保全委員会」のもとに「公害防止部会」「省エネ・省資源部会」「特定フロン等全廃部会」の3部会よりなりこの部会活動を中心に環境保全活動を進めてきたが、その対応をより強力に推進するために実務組織である「環境管理部」

を創設するとともに各製作所に「環境管理課」を設置し、'98年6月より活動をしてきた。

新体制発足後1年間の集大成として、環境行動レポート（第1号）にまとめたが、その後の活動を含め国内全生産拠点に展開している、NTN環境保全活動について紹介する。

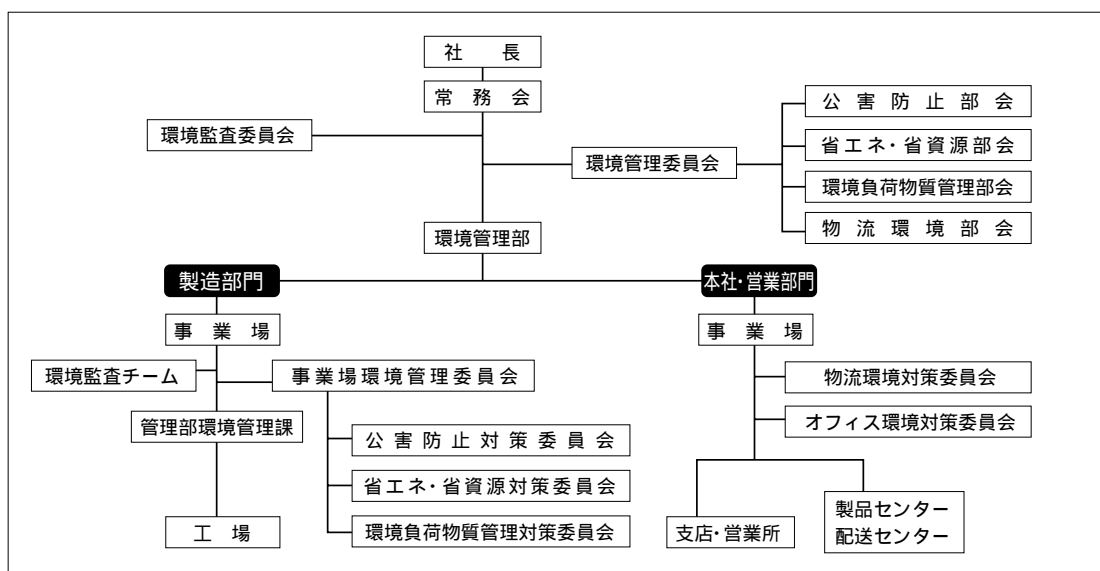


図1 環境保全推進体制
Organizational structure for environmental protection

*環境管理部

2. 環境保全推進体制

NTNは「環境基本方針」のなかで、当社の活動・製品・サービスが及ぼす環境への負荷を継続的に低減し、環境保全活動を推進していくことを謳っている。

本社・各事業場で共通の管理体制をとり、環境保全を推進していくため、事業場では環境管理課を設置し、環境管理委員会のもと3対策委員会（公害防止対策委員会、省エネ・省資源対策委員会、環境負荷物質対策委員会）を設けて期毎の目標管理計画を策定し、PDCA活動（デミングサイクル）を通じ環境保全活動を推進している。

また、環境マネジメントシステム（EMS）の評価

手段として、事業場内の「内部監査」と並行して全社的な「環境監査委員会による監査」を実施し、かつ「外部審査」を加えて三重監査方式を採っている。

3. NTN環境目標と推進状況

NTN環境目標として6項目をかかげており、2010年度目標にむけての各年度目標を設定して環境活動を推進し実績フォローしている。

'99年度実績は表1右欄にかかげたようにほぼ'99年度目標を達成している。

2000年度目標として①廃棄物削減の推進では、総発生量原単位、総排出量原単位、社外委託処分量（埋

表1 NTN環境目標と推進状況
NTN Environmental targets & results

目的	2010年度目標	1999年度目標	1999年度実績	1998年度実績
① 廃棄物削減の推進	●社外委託処分量(埋立て) 1997年度比70%削減	1998年度比5%削減 (1997年度比25%削減)	523 t / 月 (29%)	736 t / 月
② 回収・リサイクル化の推進	●紙類のリサイクル率を90%に向上	●紙類のリサイクル率を70%に向上	121%	23%
③ 包装・梱包資材の削減	●包装用発泡スチロール全廃 ●海外向け包装発泡スチロールを2000年中に全廃(紙化)	●包装用発泡スチロールを20%紙化	4.1 t / 月 (31%)	5.9 t / 月
	●段ボール箱の20%削減	●段ボール箱の2%削減	154 t / 月 (+1.2%)	157 t / 月
	●買入部品の通い箱化率90%	●買入部品の通い箱化率80%	79% (+1%)	78%
④ 地球温暖化防止の推進	●1990年度比エネルギー消費量原単位20%削減	●1998年度比エネルギー消費量原単位1%削減 (1990年度比エネルギー消費量原単位13%削減)	炭素排出量原単位 0.324 t - C / 億円 (5%)	炭素排出量原単位 0.339 t - C / 億円
⑤ 大気汚染・水質汚濁防止の推進	●塩素系有機溶剤 2000年全廃	●塩素系有機溶剤 1998年度比50%削減	4,890kg / 月 (47%)	9,310kg / 月
	●ハロン消火器全廃	●ハロンからCO ₂ 消火器への切替え率10%向上	200台 114%	切替え台数175台
⑥ 環境マネジメントシステムの確立	地球温暖化防止の推進	●国内11事業場 1999年中に認証取得	国内11事業場 '99年11月認証取得	'98年10月磐田地区 認証取得

NTNへの納入業者の紙類をリサイクルするため100%以上になる。
2000年度より購入量とリサイクル率 両項目で管理

() '98年度比削減パーセント

立て)の3項目に区分して管理,また②回収リサイクルの推進では紙のリサイクル率が購入重量よりリサイクル重量が多くなるため(納入業者の紙をNTNでリサイクルするため)購入量とリサイクルの両項目で管理,また③地球温暖化防止の推進では従来電気エネルギーのみの原単位で管理してきたが,ベア工「環境自主行動計画」に合わせてすべての燃料を炭素に換算する炭素排出量原単位管理に改め,2000年4月よりの環境目標を設定して,事業場別具体的な展開計画を立て推進している。図2,3に99年度までの社外委託処分量,炭素排出量原単位の推移を示す。

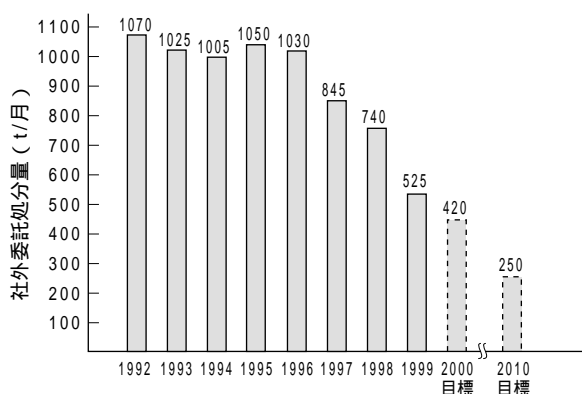


図2 社外委託処分量の推移
Shift in amount of waste disposed of offsite

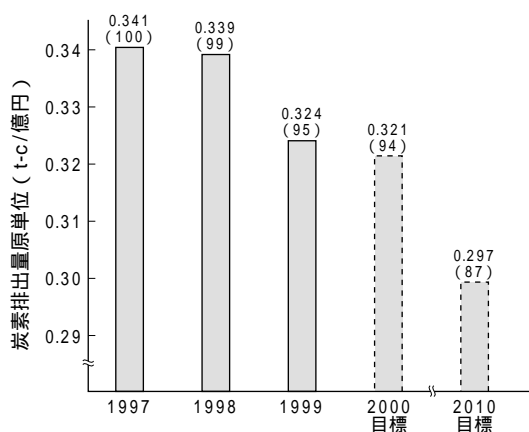


図3 炭素排出量原単位の推移
Shift in carbon emission rate

4. ISO 14001の認証活動

1998年10月磐田地区のISO14001の認証取得に引続いて,グローバルなISO14001の認証活動を推進中で,2000年3月現在でのNTNの認証取得状況は下記のとおりである。

〔認証取得済〕

1998年10月30日

磐田地区(磐田製作所,4技術部,3研究所,工機製作所)

1999年6月2日

ドイツ製造会社

1999年7月19日

カナダ製造会社

1999年11月25日

本社及び磐田地区を除く国内全生産事業場(11)のマルチサイト方式による認証取得

1999年12月16日

●NTN DRIVE SHAFT

〔認証活動推進中〕2000年9月までに取得予定

●NTN - BOWER

●アメリカ製造会社(ANBM)

●NTN - BCA

5. 環境投資(環境会計)

表2に'98年度'99年度の環境投資金額を示す。大気汚染物質対策(塩素系有機溶剤の全廃)に対し多額の投資を行い,2000年度中にはすべて他の洗浄方法に置き替える。

NTN環境行動レポート(1999年1月発行)に掲載した内容は環境投資であったが,環境庁による投資及

表2 環境投資
Investment for the environment

投資内訳	'98年度	'99年度
●大気汚染物質対策	320百万円	330百万円
●空調対策	230百万円	120百万円
●排水処理対策	190百万円	90百万円
●環境ISO14001関連	10百万円	10百万円
●その他	360百万円	60百万円
総 額	1,110百万円	610百万円

び効果を示す環境会計のガイドラインも近々公表されることから、2000年6月発行の環境行動レポート(第2号)に当っては、投資、経費、効果を含めた環境会計を発表する予定である。

- Ⅲ) 環境提案公募.....
- Ⅳ) 環境アンケート実施
- Ⅴ) 他社見学
- Ⅵ) 地域の環境行事への参画

6. 環境教育

NTNは従来より国家資格の取得を教育実施計画の一環として奨励している。環境マネジメントシステムの充実をめざし、環境マネジメントシステム審査員補資格者の拡充をはじめ教育の充実を図っていく。

7. 環境月間行事

毎年6月に環境月間が行われるが、NTNでは昨年('99年)はじめてNTN全事業場で環境月間として行事を実施した。今後毎年内容を充実していきたいと考えている。

NTN統一テーマ

- ①ポスター掲示(環境ポスター)
- ②立て看板
- ③環境パトロール

各事業場が実施したおもな内容

- I) ノーカーデーの設定
- II) 環境ニュースの発行

8. 地域社会との共生

当社はいままで地域社会が定期的に行っている地域の清掃ゴミ拾いなどのクリーン活動に参画するとともに自治体が企画した活動へも積極的に参加協力してきた。しかし協力参画だけにとどまらず、自主的にNTN独自のクリーン活動を推進していくことや地域への廃棄物量を削減するなど、積極的に循環型社会構築のための活動を推進していきたいと考えている。

9. 最後に

NTN環境管理部創設後ほぼ2年が経過した。環境マネジメントシステム規格であるISO 14001の認証取得を当初第一ステップとしているものの活動を推進してきたが、国内全事業場の認証取得を完了した現在、第2ステップとしてNTN独自のアイデアを出した環境活動を社内はもとより関連する企業にも展開し、地域社会ひいては地球環境にやさしい環境保全活動を推進していきたいと考えている。皆様の御協力をよろしくお願いいたします。

脱塩素系有機溶剤での洗浄システムの構築

田口 博明* 小川 二美夫* 沢津橋 寿久*
東 浩昭**

The Construction of A Washing System Using No Chlorine Organic Solvent

By Hiroaki TAGUCHI, Fumio OGAWA, Toshihisa SAWATUBASI, Hiroaki AZUMA

A part washing system was constructed that is environmentally friendly and effective. Non-chlorinated solvents, including the solvent used in this system, were developed several years ago. Past performance of non-chlorinated solvent has not been as good as chlorinated solvents. However, good washing efficiency was accomplished with the appropriate non-chlorinated solvent together with other components, which are presented. The important components of the system included deaeration and high power ultrasonics. The appropriate solvent was chosen by considering washing efficiency, volatility, recyclability and safety. Testing showed the new washer performs as good or better than systems with chlorinated solvents. One example, using the new washer, is reported.

1. まえがき

環境管理の国際的な規格ISO14001の認証取得などを契機として、地球規模の環境問題に対して、積極的な取り組みが求められており、洗浄分野でも塩素系有機溶剤から代替洗浄剤に転換する動きが活発になって久しい。

ほとんどの製造工程で、万能的な洗浄剤として使用されてきた特定フロンや1.1.1-トリクロロエタンが、オゾン層破壊物質という特性により短期間でその役割が終わり、その対策として開発されたフッ素系代替洗浄剤（たとえばHCFC）などが、今度は地球温暖化の原因になるなどして使用の抑制を受けている。一方、人の健康を損なう有害物質への対応として「大気汚染防止法」が改正され、トリクロロエチレン・テトラクロロエチレン（パークロロエチレン）等は排出基準がより強化され、塩化メチレン（ジクロロメタン）は、その毒性から削減へ優先的に取り組む必要がある中で、国内の多くの産業界が、塩素系有機溶剤の自主的な削減方針を出している。このように、環境や生態系への影響、あるいは、人体に対する毒性などが明らか

になるにつれて、洗浄分野でも、新たな洗浄剤への転換、及びその転換技術の開発が進められてきた。

本稿では、脱塩素系有機溶剤として、炭化水素系溶剤に転換した高性能洗浄システムでの洗浄性能の一例を紹介する。

2. 軸受に要求される機能および特性

軸受、特に転がり軸受の音響、振動、寿命などに直接影響をおよぼす要因として、加工精度や軌道面の表面粗さなどと共に軸受の清浄度がある。高潔浄度を確保するために洗浄は非常に重要であり、軸受の製造工程では、主に部品段階での洗浄と組み立て後の洗浄とがある。特に高品質化が要求されるミニアチュア軸受、小径軸受では、汚れ物質の影響が大きいので、これらを除去するコンタミネーションコントロールが非常に重要な問題で、高性能な洗浄システムが要求されている。また、洗浄剤が残留して、その後封入するグリースやオイルなどに悪影響を与えないように、特に組み立て後の最終洗浄においては、液切り後さらに完全乾燥が要求される場合もある。

このように、洗浄剤の選定においては、洗浄力が高く、被洗浄物に錆や変形・変質などを生じさせない、

*生産技術研究所
**長野製作所

乾燥性がよい、などの機能的な特性と、人や作業環境、安全上の問題などを含めて、総合的に検討する必要がある。

これまで、特定フロンや1.1.1-トリクロロエタンは、洗浄性、乾燥性、安全性（不燃性）などに優れていたため、軸受の洗浄・乾燥にも多量に用いられていたが、環境問題で全廃となった。代替洗浄剤として、代替フロン、塩素系溶剤、水系洗浄剤、炭化水素系洗浄剤などが開発されているが、特定フロンや1.1.1-トリクロロエタンのように、誰でもそこそこに洗浄・乾燥できる万能的な手法は見つからず、代替洗浄剤、洗浄方法、乾燥方法などの組み合わせによる多くの選択肢の中から、軸受の種類、製造工程、品質レベルに応じて、使い分けながら、最適な洗浄システムを構築していく必要がある。

3. 各種洗浄剤の特性と総合評価

洗浄剤に求める特性としては、洗浄力があること、人や作業環境・安全上問題がないこと、錆・しみを生じにくいこと、廃液処理上問題ないこと、乾燥性が良いこと、経済的で安定して入手できること、などである。

これらをまとめると、表1のようになる。塩素系有機溶剤は、洗浄性や乾燥性に対して優れ、設備化も容易であるが、これからの地球環境や人体に対する毒性や作業環境等を考慮すると使用すべきでない。NTNは環境目標に塩素系有機溶剤の全廃をかけたっており、2000年度全廃に向けて切り替え中である。水溶性洗浄剤は錆・しみや廃液処理などの問題があり使い難い。したがって炭化水素系洗浄剤でいかに被洗浄物の洗浄・乾燥機能を満足させる技術開発を被洗浄物の品質要求レベルに応じて推進していくかが重要である。

4. 炭化水素系溶剤での洗浄性能

基本的な洗浄方法としては、シャワー、スプレー、揺動など物理力を併用して、表面に付着している汚れを洗浄液と共に洗い流して除去する方法がある。より精密な洗浄が求められる分野（ミニチュア軸受や小径軸受など）では、微細な汚れまで除去する有効な手段として超音波洗浄が幅広く利用されている。従来の炭化水素系溶剤による超音波洗浄では、汚れを引き剥がす物理力となる超音波キャビテーション力が弱いため、超音波出力を大きくし（例えば、600Wを1200Wに）、低周波を採用する（例えば、40kHzを20kHzに）など、強力な物理力で汚れを除去する試みを筆者らも行ってきたが、塩素系有機溶剤と同等レベルの洗浄効果は得られなかった。

炭化水素系溶剤は、酸素・窒素など気体を大量に溶解しやすい性質があり、通常はこれらの気体によって飽和状態にあるため、単に超音波を加えるだけでは、大粒の気泡を盛んに発生はするものの、超音波に期待されるキャビテーション力（物理的洗浄力）が弱められることが分かってきた。つまり、液中に溶存している多量の気体（酸素・窒素等）の除去、すなわち脱気を行えば、キャビテーション力が大幅に向上することが明らかになった。^{1)~4)}このように、炭化水素系溶剤での超音波洗浄では、洗浄液の脱気が大きく影響している。

図1に、脱気をおこなうことにより大幅に洗浄性能を改善した一例を示す。つまり、従来の脱気なしで一般的な超音波発振器の出力600Wでの洗浄性能（洗浄後に洗い出される5μm以上の被洗浄物の残留ごみ量）を100%とすると、脱気をするだけで約25%まで大幅に改善され、脱気+強力超音波（1200W）にすれば20%以下に改善できた。

表1 各種洗浄剤の特性と総合評価
Characteristics and evaluation of cleaning solvents

比較項目	塩素系有機溶剤	炭化水素系溶剤	水溶性洗浄剤
毒性・作業環境	×		
洗浄性能			
乾燥性能			×
不燃性		×	
錆・しみ			×
廃液処理			×
経済性・コスト			×
法規制（公害）	×		

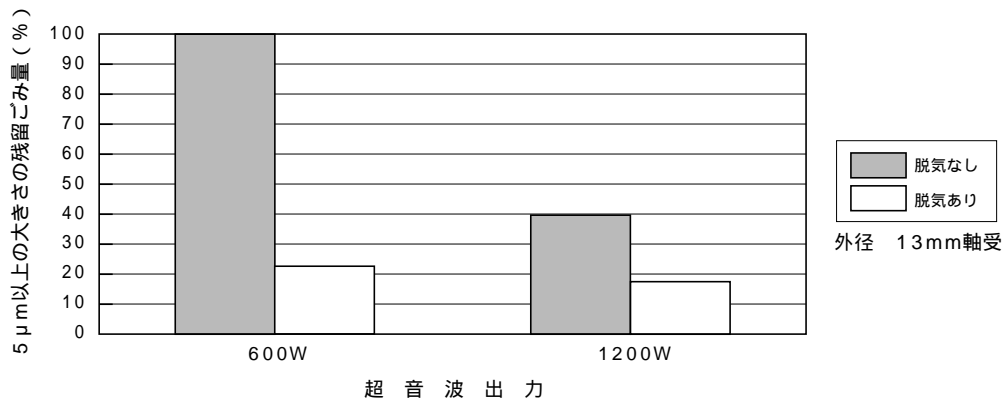


図1 脱気，超音波による洗浄性能
Washing efficiency of deaeration and ultrasonic wave power

一般に炭化水素系洗浄剤は，他の洗浄液，たとえば水と比較して約10倍以上の多量の空気（溶存酸素）を溶存している。この溶存酸素は洗浄中に超音波のキャピテーション作用によって放出され，洗浄槽内に充満し，振動の伝播が妨げられ，洗浄性を悪くしている。現在実用化されている炭化水素系溶剤の脱気方法は，密閉容器内で減圧することによって溶存気体を放出させて除く方法が一般的である。

強力超音波（1200W）洗浄時の脱気時間と洗浄性能（残留ごみ量）・溶存酸素量の関係の一例を，図2に示す。つまり，溶存酸素量が飽和酸素量の約30%程度まで下がれば，残留ごみ量も安定して減少している。尚，現設備では30分程度の脱気時間で溶存酸素量がほぼ一定となっているが，この脱気時間は脱気装置の能力で決まるもので，ここでは洗浄タンク液量のほぼ2倍程度の脱気処理量に相当する。

脱気装置停止後の溶存酸素量の推移の一例を図3に示す。このように被洗浄物の出し入れがなくても液表面から空気が溶け込むので，脱気装置は連続して運転する必要がある。

このように，炭化水素系溶剤では，「脱気+強力超音波」のシステムを組み込み，被洗浄物の洗浄ムラを生じないように揺動回転機構を設ける等の工夫をすることによって，図4の例のように，塩素系溶剤と同等以上の高い洗浄性能を得ることができた。つまり，炭化水素系溶剤の洗浄では，単なる超音波洗浄だけでは，塩素系有機溶剤での洗浄に対して大幅に劣るが，「脱気+強力超音波」により，大幅に改善され，良好な洗浄結果が得られることを確認した。

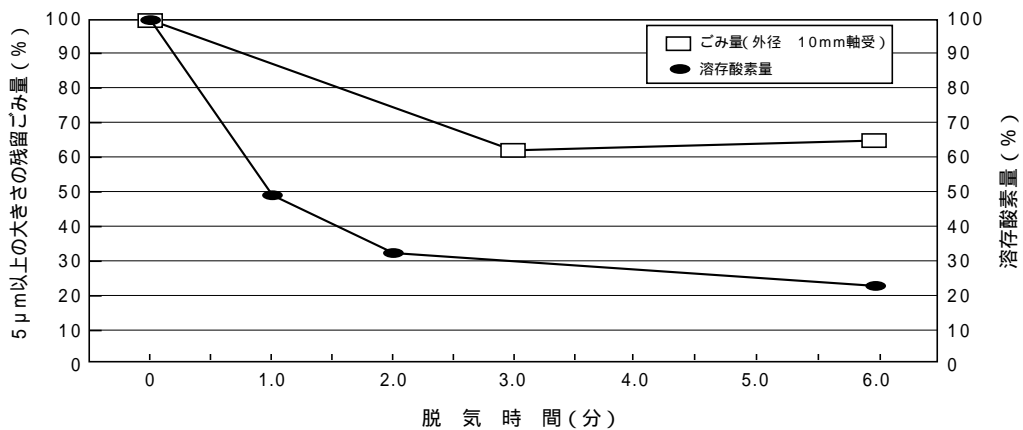


図2 脱気処理時間に対する脱気レベルと洗浄性能
Amount of deaeration and washing efficiency as a function of length of deaerator time

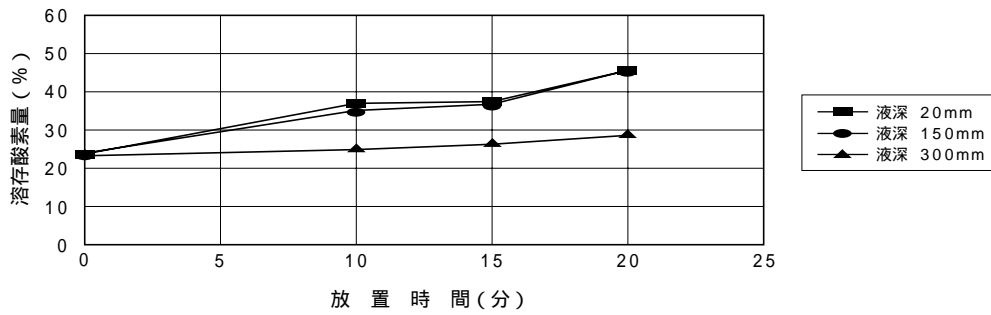


図3 脱気装置停止後の溶存酸素量の推移
Re-aeration after deaeration device is stopped

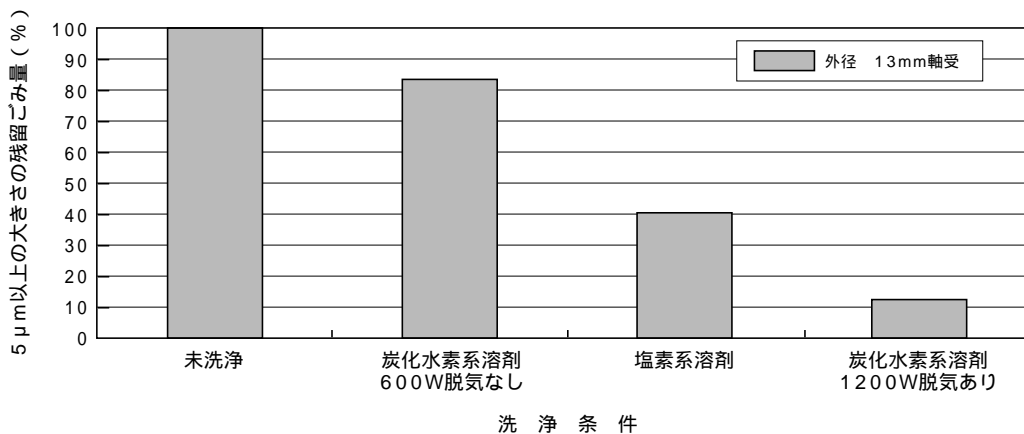


図4 各種溶剤での洗浄性能
Washing capacity of various solvents

5. 炭化水素系溶剤での乾燥性能

炭化水素系溶剤の乾燥性は、蒸留性状（沸点範囲）に大きく左右され、塩素系有機溶剤に比べてかなり劣る。一般の炭化水素系洗浄剤は、炭素数や構造の異なる多数の成分からなり、沸点がそれぞれ異なる物質の混合物であるため、沸点範囲が広がる。今回テストした洗浄剤は第4類第三石油類でありながら、炭素数ごとに分離、精製された非常に狭い沸点範囲を有しており、引火しやすい軽質分を含まないので、引火点が高く、安全性が高い。一方、乾燥し難い重質分も含まないため乾燥性が良い。例えば、塩化メチレンの沸点は約40 に対し、第三石油類では約200 ~ 300 で、今回テストした洗浄剤の沸点は約200 である。図5に、液切り乾燥工程での付着液の残存量の推移の一例を示す。被洗浄物を完全乾燥する狙いと同時に、

液を気化（蒸発）させずに、液体の状態での回収し再利用を図る狙いがある。液中から引き上げて製品の姿勢を傾けて自然液切りし、エアブローするだけでは不十分であり、付着液をバキュームで吸い込み、徹底して付着液の大部分を液体の状態での回収する方法を採用した。しかし、小さな隙間等に極微量残ったものは、除去困難なので、熱風、真空乾燥方式で蒸発乾燥させることで対応した。

6. 炭化水素系溶剤でのリサイクル性

精密洗浄を行うには、液を高純度に維持することが重要である。異物などの粒子状の汚れは、高性能な濾過フィルターで除去できるが、加工油（汚れ物質）や防錆油の混入による液の汚れは、塩素系有機溶剤のように容易にインラインで低温での蒸留再生を行うこ

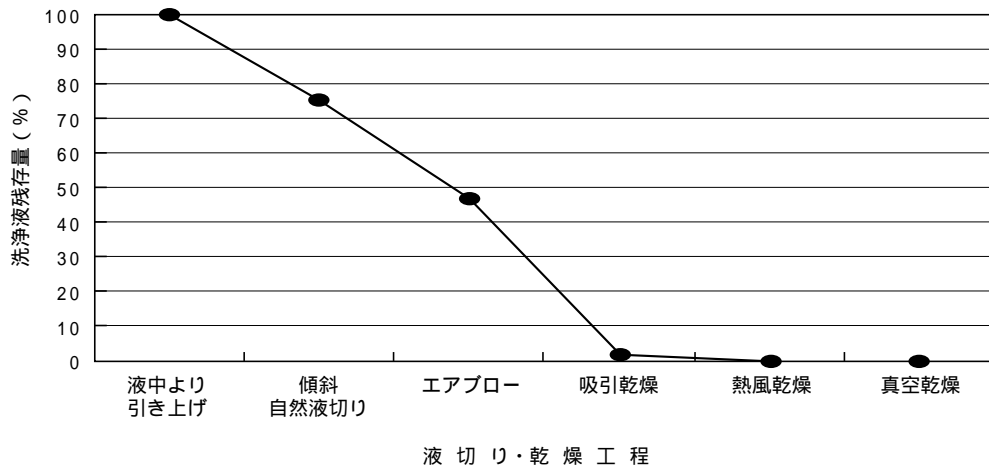


図5 洗浄液の残存量の推移
Amount of solvent removed during process

とは困難なので、これまでは、液の全量交換を頻繁に行う以外に方法はなかった。一般的に炭化水素系溶剤では沸点が高く、引火性液体なので、高温にすると火災の危険が伴い、塩素系有機溶剤のように大気圧下で低温で、容易に蒸留再生を行うことができなかった。今回使用した洗浄液は、液の沸点範囲が狭く、高沸点成分を含まないものを採用したので、真空蒸留機を用

いて沸点を大幅に下げることにより、インラインで蒸留再生を行うことができた。これにより、液の全量交換を頻繁に行う必要がなくなり、常時、液のリサイクルが可能となった。図6に炭化水素系溶剤の蒸気圧と温度との関係を示す。

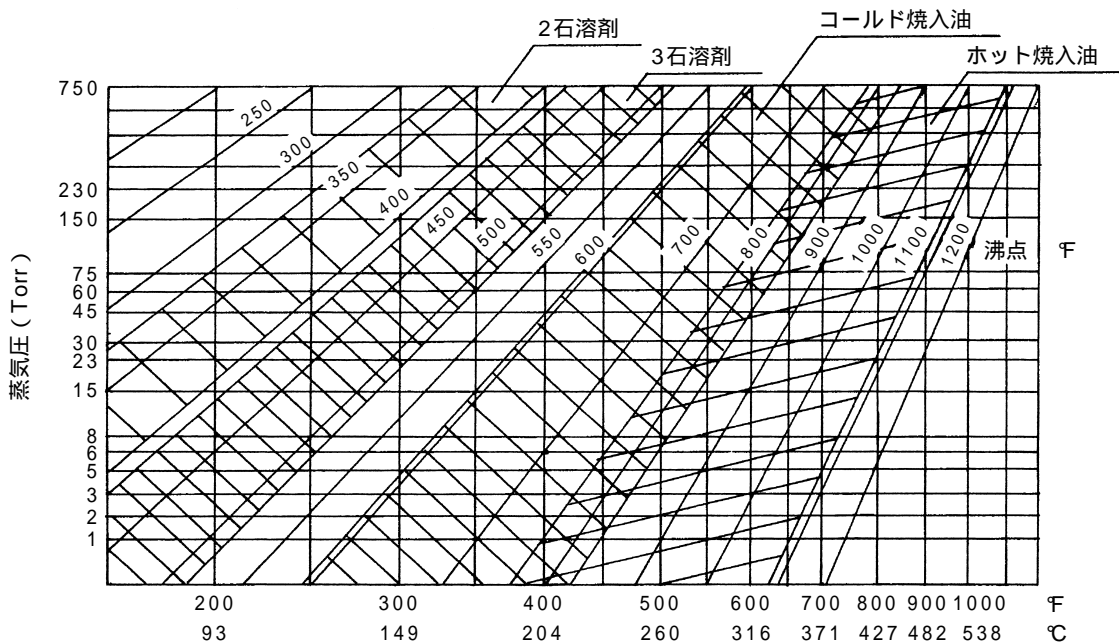


図6 炭化水素溶剤の蒸気圧と温度の関係⁵⁾
Relationship between steam pressure and temperature for the hydrocarbon solvent

7. まとめ

- (1) 炭化水素系溶剤でも洗浄性・乾燥性・リサイクル性・安全性等を考慮した洗浄液を適切に選び、かつ、物理的洗浄力を強化する方法(脱気+強力超音波洗浄)を適用し、かつ被洗浄物がムラの生じないような揺動回転機構を設けるなどの工夫をすることにより、塩素系有機溶剤と同等以上の洗浄性能を得ることができた。
- (2) 乾燥工程においても、被洗浄物に対応した液切り方法を実施し、徹底して液体の状態を回収し再利用を図る工夫を行い、良好な乾燥性能を得ることができた。
- (3) 今後の洗浄および乾燥方法の構築においては、被洗浄物の要求品質レベルに応じて、よりきめ細かな技術開発を推進していくことが重要である。

参考文献

- 1) 白井健至:「超音波洗浄を活性化する」超音波 TECHNO '97. 4
- 2) 白井健至:「脱気システムを組み込んだ炭化水素系超音波洗浄機」月刊地球環境1997年9月号
- 3) 丸山吉春:「超音波洗浄をより効果的に行うために」洗浄設計 '94 Winter
- 4) 波多野孝:「脱気システムを装備した炭化水素系洗浄剤用超音波洗浄機」洗浄設計 '96 Spring
- 5) 武田豊:「炭化水素系溶剤洗浄装置の実際」洗浄設計 '95 Spring

熱処理炉の燃料転換

佐藤 清* 大倉 俊一*

Heat Treatment Facility – Fuel Change

By Kiyoshi SATO, Toshikazu OHKURA

The 3rd session of the conference of the parties to the United Nation's framework convention on climate change (COP3) was held in December 1997. At that time, an international agreement was made at the minister level, regarding the goal to reduce the quantity of green house discharge gases, such as carbon dioxide.

The Ministry of International Trade and Industry said the strategy should be changed or strengthened by measuring the supply and demand. About 90 percent of the carbon monoxide, which accounts for a large part of the green house gases discharged in Japan, is an energy source.

The Ministry of International Trade and Industry revised the "law justifying the use of energy" and tried to strengthen the future action to match the justification of the use of energy at energy consuming factories.

However, Japanese industries did a thorough effort to save energy during the last 2 oil crises and are now considered the standard for best industrial energy efficiency. Lately though, the economic condition of Japan is not very good. Therefore, substantial facility investment is needed to evaluate fundamental ideas, such as co-generation.

1. まえがき

1997年12月に開催された地球温暖化防止京都会議（COP3）において、数値目標の枠組みと数値について包括的な議論が行われ、二酸化炭素等温室効果ガス排出量の削減目標につき国際合意が成立した。

通産省としては、我が国において排出する温室効果ガスの大勢を占める二酸化炭素の発生源の約9割はエネルギーであることから、エネルギー需給両面にわたる対策を中心に、総合的な対策を抜本的に強化する必要があるとしている。

そして「エネルギーの使用の合理化に関する法律」を改正し、エネルギー多消費工場における計画的なエネルギー使用の合理化の取り組みを促すための措置の強化を図っている。

しかし、我が国の産業は、2度の石油危機を乗り切る中で徹底的な省エネ努力を行った結果、産業のエネルギー効率は既に世界最高水準にある。さらに、昨今の我が国を取り巻く経済状態は先行きが見えない状態であり、大幅な設備投資が求められるコージェネレーション等の抜本的な対策には十分な検討が必要であろう。本レポートは、炭素排出量削減、原価低減並びに臭気対策を同時に改善した事例を紹介する。

2. 宝塚製作所を取り巻く状況と燃料転換

2.1 電気から都市ガスへの燃料転換

宝塚製作所は、環境目的のひとつとして「地球温暖化の防止」を挙げており、「電力消費原単位を2010年までに1997年比13%削減する」環境目標を設定している。

現在、宝塚製作所全体で、約24,000千kwh/年の電力を消費しており、このうち、約30%は熱処理設

*宝塚製作所 製造部

備が占めている。そこで、最近3年間で7基の炉について、電気から都市ガスへ燃料転換を図ってきた。これは、電気よりも都市ガスを燃料とした方が、二酸化炭素排出量を削減することができ、同時に燃料費を削減することが可能であるためである。燃料転換投資に当たっては投資回収効果を十分に試算した上で、効果の大きい設備から優先的に実施し、環境対応と原価低減の同時達成を実践してきた。

2.2 灯油から都市ガスへの燃料転換

また、宝塚製作所は、60年の歴史の節目を迎えているが、この間に第一種工業地域でありながら周辺を住宅地に囲まれ、典型的な都市型工場であるといえる。

このような環境の中、大気・水質汚濁等の法定基準を遵守するだけでなく、軽微な景観の悪化・臭気発生などにも注意を払う必要がある。具体的な例を挙げると、熱処理炉の燃料が灯油の場合、灯油噴霧化状態の変動・空気比の変動他に起因する不完全燃焼により、一時的に臭気問題を発生させることがある。都市ガスの場合は、上記のような変動が小さく燃焼管理が容易

なため、環境改善を目的に99年1月熱処理炉1基を灯油から都市ガスへ燃料転換を図った。

2.3 エネルギー構成

宝塚製作所の消費エネルギーをジュール換算し、その構成の推移を燃料転換前(1996年)と転換後(1999年)で図1に示す。熱処理設備の燃料を電力灯油から都市ガスへと転換していることにより、都市ガスの構成比率が多くなっている。

3. 燃料転換による炭素排出量削減

先に述べたように、宝塚製作所は熱処理設備燃料転換による二酸化炭素消費減に取り組んできた。1996年以降のエネルギー消費を二酸化炭素排出量に換算し、電力・都市ガス・灯油消費量推移を図2に示す。この様に宝塚製作所では、3年間に炭素排出量を約20%削減している。

また、表1に過去の燃料転換による炭素排出量削減効果を示す。

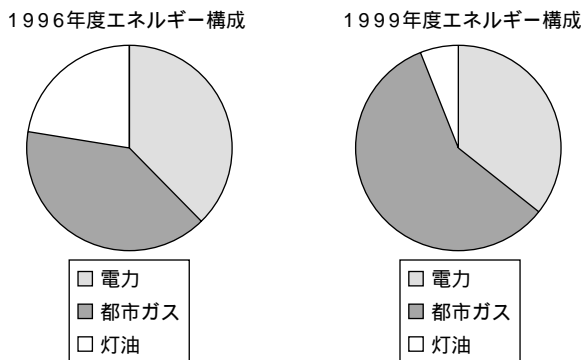


図1

Energy analysis 1996 & 1999 electric/gas/kerosene

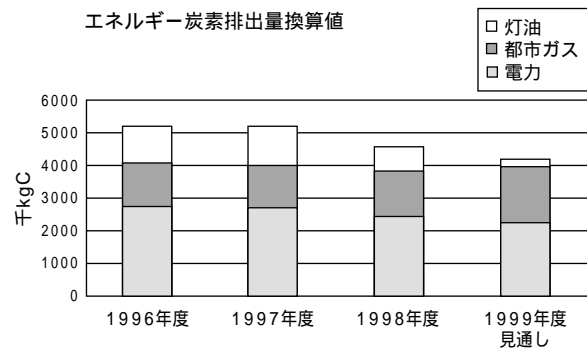


図2

Energy consumption (converted to carbon dioxide exhaust) kerosene/gas/electric

表1 燃料転換による二酸化炭素消費減効果
Carbon dioxide reduction effect by exchange fuel

設備名	電力消費		都市ガス消費		削減効果 炭素換算 (kg-C)
	(kwh/月)	炭素換算 (kg-C)	(m ³ /月)	炭素換算 (kg-C)	
焼入炉A	27,090	2,817	1,595	931	1,886
焼入炉B	49,000	5,096	3,000	1,752	3,344
焼入炉C	72,000	7,488	6,800	3,971	3,517
合計	148,090	15,401	11,395	6,654	8,747

換算係数：電力1kwh = 0.104kgC，都市ガス1m³ = 0.584kgC

4. 燃料転換の原価低減効果

宝塚製作所が過去3年間に燃料転換を図った熱処理設備について、投資状況を表2に示す。

原価低減効果については、最大契約電力削減による基本電気料金と使用量削減による電気料金の効果から都市ガス使用料金の差額で算出している。また、都市ガス費用については、消費量の増加に伴い1999年1月から「時間帯別C契約」から「大口客先契約」に変更することにより、原価の削減を図っている。

[効果算出例]・・・焼入炉C

①電力費用

(1) 最大契約電力低減による効果(200kw減/月)
 $200\text{kw} \times 1,740\text{円/kw} \times 0.9(\text{力率}) = 313\text{千円/月}$

(2) 電力使用量削減による効果
 $72,000\text{kw/月} \times 9\text{円/kw} = 648\text{千円/月}$

②都市ガス費用

(1) 大口契約による効果
 (大口契約は年間使用量200万 m^3 以上)
 $36.36\text{円}/\text{m}^3(\text{時間帯C}) - 31.51\text{円}/\text{m}^3(\text{大口契約}) = 4.85\text{円}/\text{m}^3$

(2) 都市ガス費用
 $6,826\text{m}^3/\text{月} \times 31.51\text{円}/\text{m}^3 = 215\text{千円/月}$

③トータル原価低減額

①(1)+①(2)-②(2)=746千円/月
 $746\text{千円/月} \times 12 = 8,916\text{千円/年}$

5. 灯油から都市ガスへの燃料転換による臭気対策

灯油を燃料とする熱処理炉は、不完全燃焼時独特の臭気・白煙が発生し、過去に一度近隣住民から苦情があった。このため、1999年1月に連続浸炭炉の燃料を灯油から都市ガスへ燃料転換することにより臭気対策を実施した。表3に対策前後の臭気測定結果を示す。

6. まとめ

宝塚製作所の環境保全活動は、熱処理炉の燃料転換による二酸化炭素の削減を中心に効果を上げてきており、環境改善と同時に原価低減を達成している事で、積極的な取り組みに繋がってきている。

熱処理関連施設に対する環境改善は、燃料転換だけではない。近隣住民から臭気と排煙に対する苦情があった1998年には、住民代表者の要望に応え、6月に工場見学に招いた。その後の連続浸炭炉の灯油から都市ガスへの燃料転換による対策のほかに、焼入油槽から発生する油煙による臭気対策として、クエンチコンベア上部へ油分を分離・回収するミストコレクターを計7台設置し、また、焼もどし炉から発生する白煙対策として、排煙の完全燃焼化を図る再燃焼配管装置を計3台設置する等の設備対策を実施してきた。これらの対策と効果を1999年5月に宝塚市役所へ報告した

表2 過去3年間に燃料転換を図った熱処理設備
 Changing fuel for heat treatment facilities last 3 years

設備名	工事実施月	投資費用(千円)	原低額(千円/年)	回収(年)
焼入炉A	1997/5	12,500	5,208	2.40
焼入炉B	1997/8	15,800	6,480	2.44
焼炭炉A	1997/8	1,550	1,116	1.39
焼入炉C	1999/5	31,480	8,916	3.53
焼炭炉B	1999/5	3,570	1,300	2.75
合計		64,900	22,840	2.84

表3 臭気測定結果
 Result of odor measure

測定内容	対策前				対策後	
	1998/6/8		1998/6/12		1999/5/14	
測定場所	臭気濃度	臭気指数	臭気濃度	臭気指数	臭気濃度	臭気指数
連続浸炭炉	1,300	31	170	22	23	14

測定方法：平成8年度環境庁告示第7号（三点比較式臭袋法）に基づく

結果，宝塚製作所の環境保全活動への取り組みに対して大きな評価を得ている。

今後も近隣地域が住宅地である都市型工場として，残された電力加熱炉1基及び戻し炉3基の計4基についても都市ガスへの燃料転換を検討するとともに，定期的な燃焼調整の実施と低負荷炉の計画停止時における降温対策により燃料及び雰囲気ガスの消費を削減する等，積極的に環境保全活動に取り組んでいく。また，近隣住民への工場見学等により，情報を公開することで地域社会との共生を図り，官民と共存共栄を図りつつ，環境に優しい製作所を目指していく。

発泡スチロール全廃に向けて

光元 義和*

Toward the Elimination of Expanded Polystyrene

By Yoshikazu MITSUMOTO

Expanded Polystyrene is often used as a packing material for products—primarily bearings—because of its low price, light weight, ease of handling, and effectiveness as a shock absorber. However, after use, it turns to waste and causes environmental problems because it does not break down into its elements without the aid of outside agent, and because it emits high heat, black smoke, and hazardous fumes such as carbon monoxide, when it is incinerated. Moreover, it is bulky, leaving it difficult to manage.

As a part of our Environmental Targets, NTN has started a program towards completely eliminating Expanded Polystyrene as a packing material and has, as of December in 1999, succeeded in reducing by 50% our usage of Expanded Polystyrene. The figure includes a thorough replacement from Expanded Polystyrene to cardboards at our Takarazuka Works.

This paper introduces the methods taken in making our Takarazuka Works an Expanded Polystyrene-free environment.

1. まえがき

発泡スチロールは、経済的である上、軽くて作業性がよく、緩衝性も優れていることから、これまでベアリング等の製品の梱包補助材として大量に使用されてきた。しかし、自然に分解しない、量がかさばる、自社の焼却炉で焼却しようとする時、高熱を発生したり黒煙や一酸化炭素等の有毒ガスを発生するなど廃棄処理上の問題がある。

NTNでは、包装用発泡スチロールの全廃を環境目標に掲げ、リサイクルしやすい紙系の包装材などに変更する活動を進めている。

本稿では、いち早く発泡スチロールを全廃した宝塚製作所での取り組み事例を中心に紹介する。

2. なぜ発泡スチロールを廃止するのか

発泡スチロールを廃止した理由を述べる前に、まず発泡スチロールについて知っておく必要がある。発泡スチロールは「ポリスチレン」というプラスチックを発泡剤の力で50倍くらいに膨らませたもので、化学用語では「ポリスチレン」が正式の名称である。発泡ポリスチレンは1950年、ドイツBASF社のスタストニー (Dr. Stastny)とゲート(Dr. Gaeth)両氏によって発明された。1954年には日本への輸入が始まり、1962年には国内での生産が始められた。1989年以降の国内年間需要は20万トンを超え、全世界の生産量は、およそ150万トン程度と推定される。発泡スチロールとは、原料(スチレン)に対するドイツ語の呼び方(Styrol)から来たものである。

発泡スチロールは、その成形加工法のちがいによって、次の3つの種類に分けられる。

*宝塚製作所 管理部

EPS (Expanded Polystyrene)

「ビーズ法発泡スチロール」ともいい、主として包装材料、魚箱、青果物容器などに使われる。

PSP (Polystyrene Paper)

主として食品トレーとして使われる。

押出發泡ポリスチレン

「押しボード」ともいい、主として断熱用建材として使われる。

これらの発泡スチロールは各々廃棄物としての特性は異なるが、NTNがこれまで包装材料として使用してきたのは、大半がEPSである。

EPSは、断面写真(写真1)のように小さな泡がハチの巣状に並び、これが緩衝性と断熱性を生み出している。つまり大半が空気できていて、原料となる石油の消費量も少なくすむという面では環境にとって優等生である。したがって、確実にリサイクルされれば非常に環境にやさしい素材であるといえるのだが、残念ながら現在リサイクルされているのは、国内発泡スチロール全生産量の26.7%にすぎない。(1998年実績、発泡スチロール再資源化協会調べ)

つまり大半の発泡スチロールは埋立や焼却処分されており、埋立では自然に分解されないばかりか、一般の焼却炉では不完全燃焼を起こし、多量のスス(炭素)や黒煙を発生する。また、焼却時に非常に高温になることから焼却炉を傷めることがあり、発泡スチロールの焼却を拒む処理施設も多い。さらに発泡スチロールは、その製造過程において大量のフロンが使用されてきたことも事実である。

当社のように世界各地へ製品を出荷しているメーカーでは、製品がどの地域で使用されようとも、出荷し

た製品の包装材料の材質が、全てのユーザーにとって識別容易で分別しやすく、かつ何処でも容易にリサイクルでき、かつ問題なく廃棄できる素材を使用する必要がある。したがって、現時点では発泡スチロールを廃止して、より環境に優しい素材への転換をはかることとした。

3. 発泡スチロール代替緩衝材の模索

輸出比率の高い製品を多く取り扱っている宝塚製作所では、発泡スチロール廃止に対する関心が特に高く、これまでにさまざまな代替緩衝材について検討してきた。

この代替緩衝材の条件としては、

- (1) リサイクルが容易で、廃棄時は無害であること
- (2) 経済的であること
- (3) 緩衝性があること
- (4) 作業性がよいことなど

が挙げられる。(2)～(4)では、発泡スチロールが断然有利であるが、環境への関心の高まりは(1)の重要性を大きく押し上げた。これらを満足する代替緩衝材を求めて、宝塚製作所では多くの素材について試みてきた(写真2)。例を挙げると、発泡ポリプロピレン、発泡ポリエチレン、パルプモールド、おから成型パック、成型段ボール、シュレッダーピロー、古紙パッキン、巻き段ボールなどである。

いずれも焼却されても問題の無いものばかりであるが、ユーザーでの確実な識別が可能であり、リサイクル率が高く、かつ経済性も高いという全ての条件を満たしてくれる代替材は見当たらない。そこで、「ユーザーで分別しやすくリサイクルが容易なこと」を最優

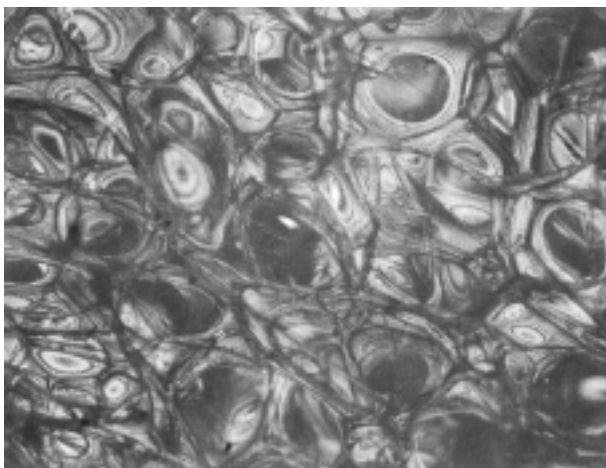


写真1 発泡スチロールの断面写真(125倍)
Cross section of polystyrene (x125)



写真2 宝塚製作所で検討した代替緩衝材
Alternative material tested for shock absorption

先条件として選択した結果、段ボール系の緩衝材の導入に向けて取り組むこととなった。紙類のリサイクル率は非常に高く世界中で広く普及しており、ユーザーが確実にリサイクルでき、かつ焼却しても有害物質の発生はない。

4. 段ボール緩衝材導入への取り組み

段ボール系緩衝材の導入にあたっては、価格、緩衝性、作業性をいかに発泡スチロール並みにすることができるかに成功の鍵がある。

4.1 購入費用の低減

発泡スチロールと同じ容積を段ボールで充填すると、2～3倍のコストアップになる。そこで、まず経済的に材料を手に入れることを考え、現在購入している外装用段ボール箱の製造の際に発生する切り落とし部分（図1）に着目した。これらの端材は段ボール箱の製造時に切り離され、リサイクル原料となっていたものであるが、この端材を緩衝材として活用することでコストの抑制が可能となった。

さらに製品の包装形態を見直して緩衝材を削減しようという活動が、現場の包装職場で始まった。これまで見過ごされがちであった入り個数や該当外装箱の見直しが現場作業者たちの目で行われ、より空間の少ない包装形態を個々の製品について提案することで、緩衝材の削減に大きな成果があった。

これらの活動により、最終的に発泡スチロール購入コストとほぼ同レベルのコストでの段ボール材の調達を実現した。

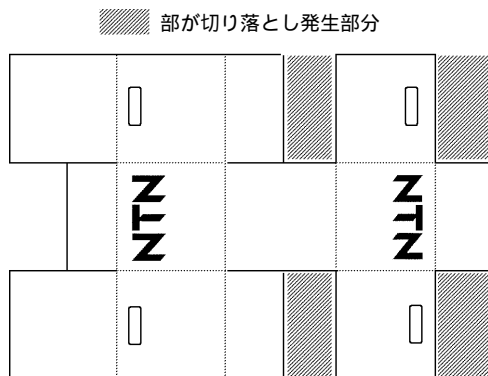


図1 外装箱における切り落とし端材の活用
Portions of the cardboard box removed and used for shock absorption

4.2 緩衝性の確保

段ボールは発泡スチロールより応力変形の影響を受けやすく、緩衝性が劣ると言われている。この点について、特に重量が重いベアリングユニットの生産を行う（株）NTN金剛製作所では、段ボール材と発泡スチロールの耐荷重強度を調査した結果、通常の状態では、発泡スチロールとの性能の違いはあまり差が見られないことがわかった。さらに、重量物対策として、強化中芯を採用した段ボール緩衝材をテストしたところ、発泡スチロール以上の強度が得られることも判明した（図2）。

これらの調査結果により、包装する製品に応じて最適な段ボール材を選定することによって、発泡スチロールに劣らない緩衝性を確保することが可能となった。

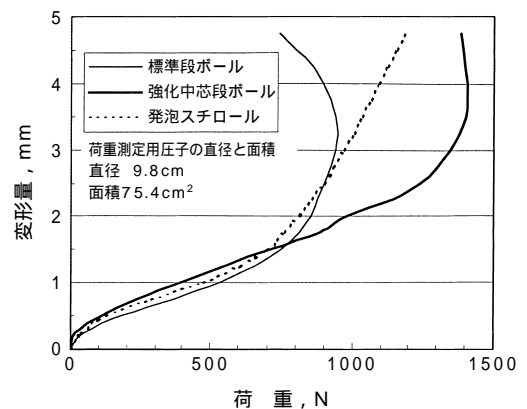


図2 各緩衝材の変形量と荷重線図
Compression rates of polystyrene and cardboard

4.3 作業性の向上

発泡スチロールが非常に軽く、容易に割れることなどから女性の作業者にも扱いやすく、複雑な形状の空間も柔軟に充填することができた。これに近い作業性を得るため、段ボールをほぼ発泡スチロールと同一のサイズにし、さらに折り目を加えるなどの工夫をして作業性を追求した。また、包装形態見直しを進めることにより、使用量全体を削減することで重量の増加や作業性の低下も最小限にとどめることができた。

以上の取り組みを進めることにより、宝塚製作所は1999年1月に発泡スチロールの全廃を達成し、その後各事業所が追隨して脱発泡スチロール化を果たしつつある。

5. あとがき

我々は、現時点で環境によりやさしい方法を選択し、生産現場で知恵を出し合うことでこれを実現することができた。しかし、技術の進歩により、さらにより方法も普及してくるであろう。我々が全廃しつつある発泡スチロールも例外ではない。容器包装リサイクル法の本格施行（2000年4月）により、今後さらにそのリサイクル化が加速されるのは確実である。大切なのは、現在自分たちが環境に与えている負荷をよく自覚し、少しでも環境負荷が少なく現実的な方法があれば、柔軟にシフトしていく姿勢である。すなわちこの姿こそがISO14001の目指す継続的改善にほかならない。

さらに次のステップとして、宝塚製作所では特定ユーザー向けの緩衝材について、繰り返し利用が可能な材料を選定し、回収、再利用ルートを確立することで廃棄物を一切出さない包装形態への取り組みをはじめている。むろんユーザー、物流関係者の協力があってこそ実現できることであるが、環境への関心が高まる今、顧客と一体になって取り組むべき課題であるといえよう。

省エネ・省資源対策の具体的活動 桑名製作所の事例紹介

軒 清文*

The Energy and Natural Resource Saving Activities Tackled at KUWANA WORKS

By Kiyofumi NOKI

While environmental problems like global warming, natural resource depletion and waste increase, etc. are discussed in the world, energy and natural resource saving technologies in Japan are expected to reach the highest level in the world due to the continuous efforts after two oil crises.

However, further energy and natural resource saving activity is still required to obtain greater improvements.

Twelve sites of NTN groups including Kuwana works have obtained ISO 14001 certification in the form of multi-site system in November 1999.

This report introduces the energy and natural resource saving activities tackled at Kuwana works.

1. まえがき

地球温暖化，資源の枯渇，廃棄物の増大等，地球規模の環境汚染が懸念される中，また二度のオイルショックへの対応により我国の省エネ・省資源対策は世界的レベルに達しているが，逼迫しつつある地球環境を考慮すれば，引続き活動を推進していく必要がある。

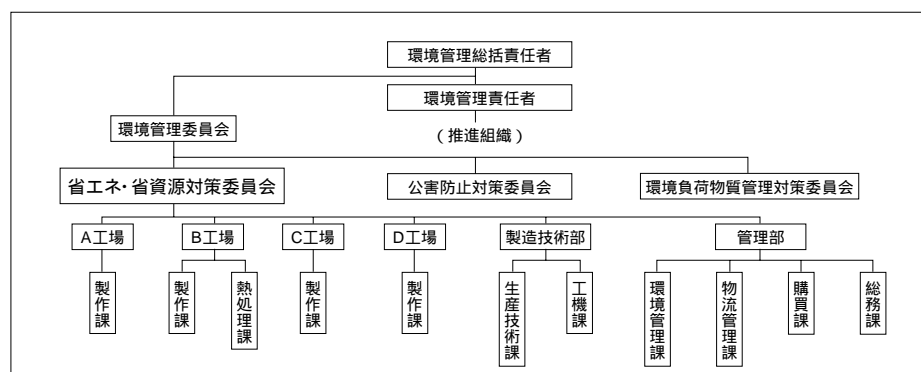
NTNは環境ISO14001を99年11月までに国内全生産拠点(12事業場)で認証を取得した。本レポートでは環境マネジメントシステムにより，今まで以上，組織的に省エネ・省資源対策活動を実施した桑名製作所の具体的活動内容について紹介する。

2. 活動組織と推進方法

2.1 活動組織

環境マネジメントシステムの実行に際して，省エネ・省資源対策は，省エネ・省資源対策委員会で立案・推進する。この委員会は表1のように，環境管理委員会の下，三つの諮問委員会の一つであり，製造技術部長が対策委員長を務め，委員は省エネ・省資源対策を具体的に推進するために，各工場の製作課・熱処理課，製造技術部の生産技術課・工機課，管理部の環境管理課・物流管理課・購買課・総務課のメンバーにより構成されている。

表1 環境管理組織図
Organizational structure for environmental protection



*桑名製作所 製造技術部

2.2 推進方法

省エネ・省資源対策の具体的な推進方法は、年度ごとに、表2のような「省エネ・省資源対策目標」を作成している。省エネについては、エネルギー消費量原単位を1%/年削減を目標にしてテーマ毎に具体的対策項目を掘り下げ、目標値・目標期間・推進課を明確にして活動を行う。

進捗については、月々の目標値に対する達成度合が分かるようにするとともに、毎月1回省エネ・省資源対策委員会を開催し、推進状況や推進上のネックとなっているところ、及び、新規テーマの発掘等を検討し合い、目標達成に向け積極的に活動を行っている。

3. 省エネ対策

「ベアリング工業会の環境自主行動計画」の目標値である2010年の炭素排出量原単位を1997年度比13%削減、並びに省エネ法の1%/年のエネルギーの消費量原単位削減を受けて、「2010年のエネルギー消費量原単位1990年度比20%削減」をNTNの環

境目標に掲げており、桑名製作所もその目標に向け、電力使用量を削減する必要がある。

熱処理(28%)、空圧(14%)、空調、照明等の電力使用量の削減対策、及び、省エネルギー設備の導入等を行うため、次のような具体的活動に取り組んでいる。

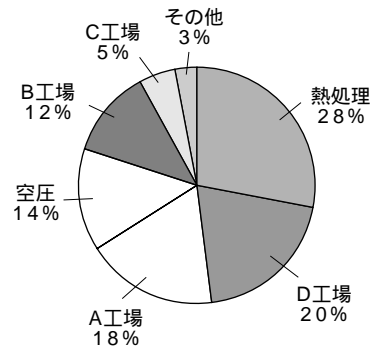


図1 桑名製作所電力使用割合 (使用量 7,000MWH/月)
Electricity usage volume rate at each plant of Kuwana works
(Electricity usage volume :7,000Mwh per month)

表2 99年度省エネ・省資源対策目標
Energy and natural resource saving activity targets in 1999

管理項目		削減目標値	対策項目	期 間	推進課
科 目	内 容				
電力	エアコンプレッサ	40,000kwh/月	エア漏れ, エアブロー対策	4月~	製作課
	照明	9,000kwh/月	蛍光灯の間引, 休憩時の消灯	6月~	全課
	空調	2,000kwh/月	室温28 徹底, タイマ制御	6月~9月	全課
	自動販売機	6,000kwh/月	照明の消灯, 台数削減	5月~	全課
	契約電力	210kwh	節電対策	10月~	工機課
	熱処理対策	68,000kwh/月	電気炉のガス化	1月~	生産技術課
水 道 水		3,000m³/月	節水コマ取付	4月~	総務課
油	作動油	4,000L/月	油漏れ対策	4月~	製作課
	潤滑油	300 L/月	クーラント浸入防止	4月~	製作課
	スピンドル油	200 L/月	低ミストスピンドル油へ切替	4月~	製作課
クーラント	油性クーラント	1,000 L/月	クーラント漏れ防止	4月~	製作課
	水溶性クーラント	1,500 L/月	クーラント長寿命化	4月~	製作課
	スーパー油	3,000 L/月	クーラント漏れ防止	4月~	製作課
廃棄物	研磨かす	10ton/月	水分油分の削減	4月~	製作課
	水溶性クーラント	50ton/月	クーラント長寿命化	4月~	製作課
紙, 包装材	コピー用紙	40,000枚/月	裏面コピー, 両面コピー	4月~	全課
	外装箱等	200kg/月	通い箱化	4月~	物流管理課

3.1 熱処理炉の省エネ対策

桑名製作所内で最大の電力（全体の28%）を消費する熱処理炉設備については、下表のように、以前から、種々の省エネ対策を実施している。

1. 高温浸炭の実施による浸炭時間の短縮
2. パーンオフ炉の設置
3. レキュペレータの設置
4. 廃熱の利用
5. 炉内内蔵型発生炉の設置
6. N₂ガス発生装置の採用
7. セラミックファイバの採用
8. 高周波加熱炉の設置

最近改善した装置として、下記がある。

- 炉の加熱源を電力からブタンガスに転換

効果 68,000kwh/月削減

現状設備の63%（27炉中17炉）が電気炉であり、今後も継続して、電気炉から都市ガス炉への燃料転換を進めたいと考えている。

3.2 空圧電力使用量の削減

効果 45,000kwh/月削減

空圧のための電力使用量は全体の14%を占めており、まず、(財)省エネルギーセンターによる省エネ診断を実施した。その診断結果に基づき改善に取り組むとともに、本テーマは投資金額が少額で効果が大きいいため、積極的に取り組んだ。以下に、その具体的対策事例を紹介する。

3.2.1 エア漏れ対策

99年度に、省エネパトロールを実施したところ、エア漏れの多さが指摘され、これに焦点を合わせて二度のエア漏れパトロールを行った。

第1回 701件（99年4月）

第2回 172件（99年8月）

エア漏れが指摘された箇所には「赤エフ」を添付し、漏れの内容毎に適切な対策を実施した。

漏れ箇所は、表3に示す。

表3 エア漏れパトロール結果
The number of locations with compressed air leaks during two internal audit at Kuwana works

漏れ箇所	第1次	第2次	計
継手	128	36	164
エアブロー	135	15	150
FRLコンビネーション	107	41	148
ホース	121	9	130
シリンダ	58	26	84
ソレノイドバルブ	52	17	69
その他	100	28	128
計	701	172	873

3.2.2 コンプレッサの元圧低減

オイルショック当時までは、コンプレッサの元圧は6.0kg/cm²が常識とされていたが、省エネルギー活動により試行錯誤の末、5.2kg/cm²まで下げること成功した。今回は、さらに、低減することを目標に推進スタッフと連携をとり、0.1kg/cm²ずつ下げていくこととし、コンプレッサの元圧を下げる時は、場内アナウンスを行い、エア圧力の低減による異常時は、直ちに復元できるようにして進めた。

その結果、5.1kg/cm²～4.9kg/cm²までは問題なく低減することができたが、4.8kg/cm²～4.6kg/cm²になると、一部機械でトラブルが発生した。その対策として、トラブル発生機に増圧装置を取り付けることにより、現在、4.6kg/cm²が可能となっている。

桑名製作所は敷地が広いため、圧力損失を含めて末端では4.0kg/cm²程度になるので、現状のままではこれ以上、元圧低減はできない。しかし、コンプレッサの分割や配管径を太くし曲がり箇所を少なくする等の圧力損失対策を実施すれば、さらに、元圧低減が可能である。

3.2.3 その他具体的対策

- 1) コンプレッサの稼働台数の制御
- 2) 省エネノズル活用によるエアブロー圧の低減と間欠化
- 3) エアホースの材質変更によるエア漏れ対策（ポリウレタンホースと専用継手の採用）
- 4) 夏季のピークカット対策の為にエンジンコンプレッサの導入

3.3 空調電力使用量の削減

効果 2,200kwh/月削減

- 1) 夏季28 冬季18 を徹底するため各事務所に大型の温度計を設置
- 2) 使用時間が限定される所(ロッカー室, 休憩室等)はタイムスケジュール制御の取付け
- 3) 空調設備のガス化推進

3.4 照明電力使用量の削減

効果 9,600kwh/月削減

1灯当りの省エネ効果は小さいが全従業員の環境・省エネルギーへの意識向上の観点から大きな意味があり, 下記のような項目を全製作所を挙げて取組んだ。

- 1) 休憩時間の消灯の励行
- 2) 食堂照明の消灯管理(天窓があるため 昼食時)
- 3) 通路や不要箇所の照明間引き
- 4) 蛍光灯にキャノピースイッチ取付け
- 5) ロッカー室・休憩室の照明設備にタイムスケジュール制御の取付
- 6) 自動販売機商品照明の全機消灯

3.5 省エネ設備の導入の推進

電力使用量の多くを占めている加工設備の省エネ化への取組みは今後の大きな課題であり, 引続き, 種々の対策を継続実施する。

3.5.1 研削クーラントポンプのインバータ化

クーラントポンプの出口に圧力センサを設置し吐出圧力が一定になるように, インバータでポンプモータの回転数を制御する方法を検討している。また, 圧力を検知せずインバータで回転数を低下しても問題のない箇所もあり, 油圧ポンプや空調機等のインバータ化も含めて検討中である。

3.5.2 省エネ設備の導入

設備の導入に当っては, 省エネ化を図るため, 設備導入時や更新時の設備仕様に下記を取り入れて実施中である。

- 1) 高効率モータの使用
- 2) 省エネタイプのソレノイドバルブ, 制御リレーの使用
- 3) 大径シリンダの電動化(頻繁な使用時)
- 4) シュート内での製品の流れ改善のためのエアブロー禁止

4. 省資源対策

省資源対策としては, 素形材関連についていろいろな改善・工程変更等を行っているが, ここでの省資源対策は産業廃棄物の「廃棄物低減」「分別回収・リサイクル促進」等に関する活動内容を報告する。

4.1 廃棄物低減への取組み

桑名製作所の産業廃棄物は, 表4のように, 研磨かすと水溶性クーラント廃液で全産業廃棄物の83%を占めている状況であり, これらの削減対策として次のように取り組んでいる。

表4 産業廃棄物処理実績 98年度
Individual industrial waste volume in 1998

分類	処理重量 ton/月	%
研磨かす(金属屑)	218	46
水溶性クーラント廃液(廃アルカリ)	178	37
廃油	38	8
汚泥	17	4
廃プラスチック	15	3
砥石屑(ガラス陶磁器屑)	10	2
計	476	100

4.1.1 研磨かすの削減リサイクル化

NTN全体では, 研磨かす固化装置を利用してブリケット化し, 製鋼メーカーに有価物として売却, 鋼材原料としてリサイクル化のテストをしている。

一方, 桑名製作所では, 今まで, 埋め立てゴミとして処理していたものを, 下記改善方法を模索してきた。

- 処理量を削減する方法
- 逆有償であるが, 製鋼メーカーに鋼材原料としてリサイクルする方法

1) 研磨かす圧縮機の導入

研磨かすの従来の脱油(脱水)方法では, 全重量の約40~50%のクーラント液を含んでいた。これを, 専用の研磨かす圧縮装置を導入することにより, 約80%のクーラント液を回収することが可能となったため, 廃棄する研磨かす重量を削減することができた。

2) 製鋼メーカーで製鋼材料としてリサイクル

従来, 埋め立てゴミとしていたものを, 電気炉製鋼メーカーで製鋼材料としてリサイクルができないか検討し, テストの結果, 利用できることが分かったので, 一部をリサイクル化している。

4. 1. 2 水溶性クーラントの長寿命化

水溶性クーラントの廃液については、NTN全体では、廃水濃縮処理装置の導入により水分を蒸発させ約1/10～1/15倍に濃縮し廃液量を削減する方法を検討中であるが、桑名製作所が取り組んできた内容は、下記のようにクーラントの長寿命化対策である。

- クーラント原液の変更による長寿命化（長寿命化クーラントへの切替え）
- 管理の徹底による交換周期の延長（毎週1回の分析管理）

廃液のリサイクル化については、油脂メーカーで中和し、乳化剤とブレンド調整を実施することにより、エマルジョン燃料としてリサイクル中である。

4. 2 分別回収・リサイクル化の促進

4. 2. 1 紙類の分別回収の徹底

紙類は無分別で回収業者経由焼却処分していたものをリサイクルが可能な紙類を分別回収しリサイクル化を徹底した。

- リサイクル可：コピー用紙，雑誌，本，カタログ，新聞紙，封筒
- リサイクル不可：トレーシングペーパー，カーボン紙，感熱紙，シュレッダーくず

4. 2. 2 廃却砥石（砥石屑）のリサイクル化

廃却砥石は埋め立てゴミとしていたが、業者との話し合いにより、砥石の再利用が可能となり、有価物化に成功した。

4. 2. 2 廃プラスチックの活用

廃プラスチックも埋め立てゴミとしていたが、一部を高炉の固形燃料として活用している。

5. 今後の進め方

省エネ・省資源対策活動として、環境マネジメントシステム要求事項の実践と共にエネルギー消費削減及び産業廃棄物削減等の活動展開として、「エネルギー・資源消費のムダをなくす」ことを基本に、小さな改善を積み重ねながら、省エネ・省資源対策に取り組んで行く。

ECO シリーズ ECO-Top円すいころ軸受

岡本 裕二* 辻本 崇*

ECO-Top Tapered Roller Bearings

By Yuuji OKAMOTO and Takashi TSUJIMOTO

Tapered roller bearings have greater capacity for carrying not only radial and axial loads but also combined loads, and feature greater bearing rigidity. Therefore, they are found in numerous applications in various industries such as the automotive industry. Recently, the automotive industry has expressed an increased need for lower fuel consumption, higher speed, greater horsepower, longer life and easier assembling procedures. In order to address these needs, NTN has further perfected the standard 4Top Tapered Roller Bearings, incorporating advanced specifications.

With a goal of preserving the global environment and ecology in the 21st century, we have successfully developed NTN standard tapered roller bearings by incorporating improved specifications for longer life, lower torque and better anti-seizure properties. These features have proven effective in many demanding applications.

1. まえがき

円すいころ軸受は、負荷容量が大きく、ラジアル荷重とアキシャル荷重及びその合成荷重を負荷することができ、軸受剛性も高いことから自動車をはじめあらゆる分野で使用されている。近年、特に自動車を中心に省燃費化、高出力化、長寿命化、高速化及び組立作業の効率化等の要求が高まっており、このような要求に対しては、NTN標準軸受である4Top円すいころ軸受（4Top軸受）をベースに、ニーズに応じた特殊仕様を盛り込んで対応してきた。21世紀に向け、地球にやさしく、エコロジーに寄与することを目的に、これまでの特殊仕様に改良を加えた長寿命、低トルク、耐焼付性及び組立作業性向上仕様を採用した次世代のNTN標準円すいころ軸受である「ECO-Top円すいころ軸受」（写真1）を開発した。

本稿では、その特徴、設計思想及び評価試験の結果を紹介する。



写真1 ECO-Top円すいころ軸受
ECO-Top Tapered Roller Bearings

*軸受技術部

2. 長寿命化

2.1 改良ポイント

ECO-Top円すいころ軸受では下記の改良により軸受寿命の向上を図った。

- (1) 異物かみ込み等による表面起点型損傷に対して効果の高い特殊熱処理を施した長寿命浸炭鋼を採用。(ETA円すいころ軸受¹⁾で商品化済)

通常、軌道面は、転動による発熱やせん断応力の作用を受けるため、材質(残留応力、硬さ、ミクロ組織)が変化したり、疲労き裂が発生しやすい。さらに軸受使用中に異物混入があるような条件下では、異物かみ込みによる圧こんを起点とする表面損傷が多く見られる。このような現象に対して、温度上昇においても材質変化が発生しにくい特性(焼戻軟化抵抗性)や、き裂が発生しにくく進展しにくい性質(靱性)が有効である。

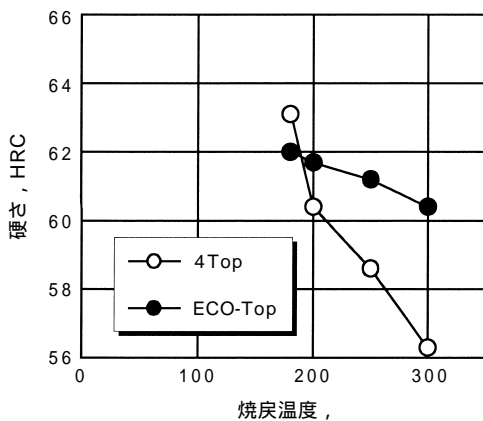


図1 焼戻温度と硬さの関係
Correlation between tempering temperature and hardness

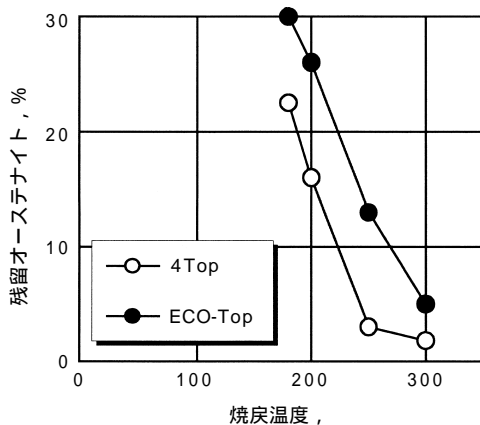


図2 焼戻温度と残留オーステナイトの関係
Correlation between tempering temperature and retained austenite

ECO-Top円すいころ軸受では、特殊浸炭処理を施して焼戻軟化抵抗性を高めるとともに、応力集中の緩和作用のある残留オーステナイトを増加させ、かつ、熱的に安定化させた。図1、2は4Top軸受とECO-Top円すいころ軸受の温度上昇に対する材質の安定性を比較したものである。使用中に温度上昇があったときの材質変化を確認するため、焼戻温度を変化させて硬さ及び残留オーステナイトの変化を調査した。温度上昇による硬さの低下が少なく、残留オーステナイト量が安定であることから、転動によるミクロ的発熱や高温条件下での使用による材質の変化が4Top軸受よりも少なく、長寿命化が実現できることがわかる。

- (2) 重荷重条件下でも使用可能な、特殊クラウニングを標準的に採用。

特に破損率の高い内輪には複合クラウニングを施すことにより、軽荷重から重荷重条件下まで最適な面圧分布が得られるように設計されている。

図3、4は4Top軸受とECO-Top円すいころ軸受の内輪ところの軸方向面圧分布の比較を示したものである。軽荷重条件下では同等であるが、重荷重下でミスアライメントのある厳しい条件では差が認められ、ECO-Top円すいころ軸受が幅広い使用条件に対応できることがわかる。

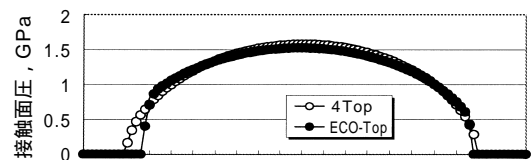


図3 $P_r/C_r = 0.1$ (ミスアライメント 0)の内輪/ころの軸方向面圧分布 (軸受: 30206)
Axial direction surface pressure distribution at inner ring/roller, $P_r/C_r=0.1$ (misalignment 0), (bearing:30206)

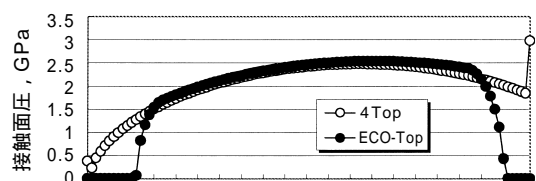


図4 $P_r/C_r = 0.35$ (ミスアライメント 1/600)の内輪/ころの軸方向面圧分布 (軸受: 30206)
Axial direction surface pressure distribution at inner ring/roller, $P_r/C_r=0.35$ (misalignment 1/600), (bearing:30206)

2.2 試験データ

異物混入潤滑条件下及び清浄油潤滑条件下での寿命試験結果を図5, 6に示す。ECO-Top円すいころ軸受は、累積破損確率10%において異物混入潤滑条件下で4Top軸受の10倍、清浄油潤滑条件下で2倍の長寿命が得られた。

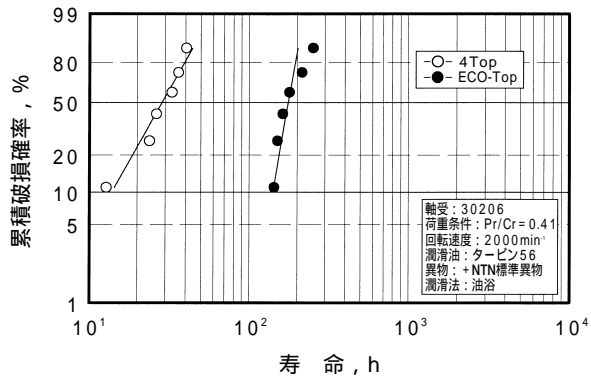


図5 異物混入潤滑下での寿命試験結果
Life test result under contaminated lubricant

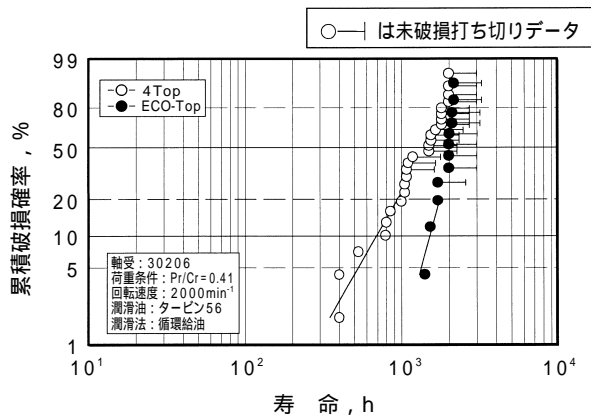


図6 清浄油潤滑下での寿命試験結果
Life test result under clean lubricant

3. 低トルク化

ECO-Top円すいころ軸受では、実用回転域である中高速回転での低トルク化に主眼を置いて開発した。

3.1 改良ポイント

ころ大端面半径の見直し、内輪大つば面の形状の見直し、ころと内輪大つば面との接点位置(e点)の見直し、各部の精度向上等により、実用回転域での油膜形成能力の向上を図った。

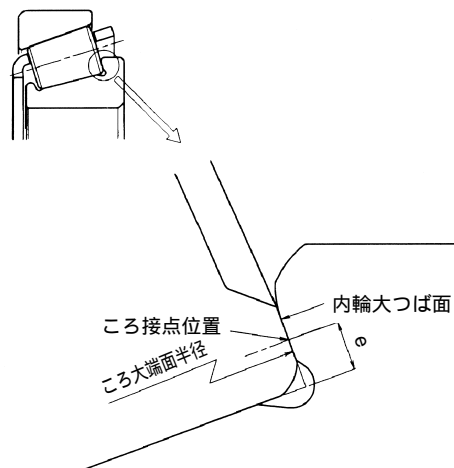


図7 内輪大つば面ところ大端面の概念図
Location of contact point between inner ring large end rib face and roller large end face

3.2 試験データ

回転トルク測定結果を図8に示す。

ECO-Top円すいころ軸受は、低速回転での回転トルクは4Top軸受と同等、1000rpm以上の実用回転域である中高速回転では4Top軸受に比べ10%以上の低トルク化を達成した。

試験条件

軸受: 30206
アキシャル荷重: 4kN
潤滑油: ギヤオイル 70W90 (GL-4)

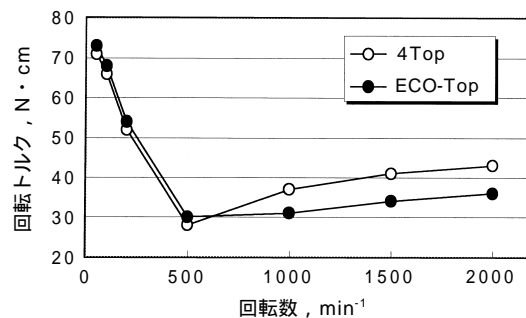


図8 回転トルク測定結果
Running torque measurements

4. 耐焼付き性向上

円すいころ軸受の耐焼付き性を向上させるためには、内輪大つば面と外輪大端面との油膜を安定して形成することが重要である。

ECO-Top円すいころ軸受では、内輪の複合クラウニング、内輪大つば面の形状見直し及び外輪大端面半径の変更により、ころのスキューの抑制及びスキュー発生時のつばかじりの防止、油膜形成能力の向上を図っており、特に高速回転での耐焼付き性向上を目的に開発されている。

(試験データ)

耐焼付き性確認試験結果を図9に示す。

ECO-Top円すいころ軸受は、4Top軸受に比べ高速回転でも使用可能であり、耐焼付き性が約25%向上している。

試験条件

軸受：30206
 荷重： $P_r/C_r = 0.45$
 潤滑油：タービンオイル56
 給油量：40ml/min
 給油温度：40 ± 3

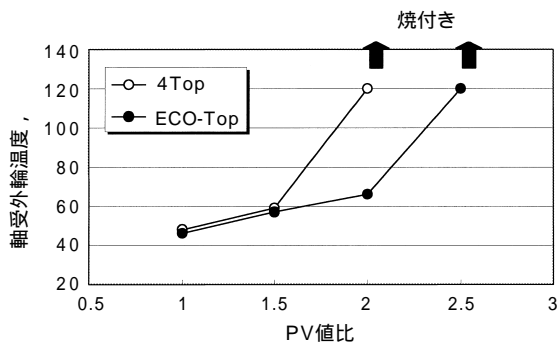


図9 耐焼付き性確認試験結果
 Anti-seizure property verification test result

注) PV値：ころ端面と内輪大つば面との接触面圧と相対滑り速度との積

5. 耐予圧抜け性向上

トランスミッション、デファレンシャルギヤ等に使用される軸受では予圧荷重の減少（予圧抜け）が発生すると、軸受にすきまが発生し、歯車のかみ合いに影響を及ぼすので、予圧抜けの少ない軸受が要求される。

ECO-Top円すいころ軸受では、内輪大つば面及び外輪大端面の面粗さの向上、外輪大端面半径の変更、

耐スキュー対策等により予圧抜けに対して優れた機能を発揮する。

(試験データ)

耐予圧抜け試験結果を図10に示す。

ECO-Top円すいころ軸受は、4Top軸受に比べ予圧抜け量が約1/2に低減し、耐予圧抜け性が向上している。

試験条件

軸受：30206 回転速度：3 000min⁻¹
 予圧荷重：4900N
 潤滑油：タービンオイル56
 給油量：60ml/min
 給油温度：40 ± 3

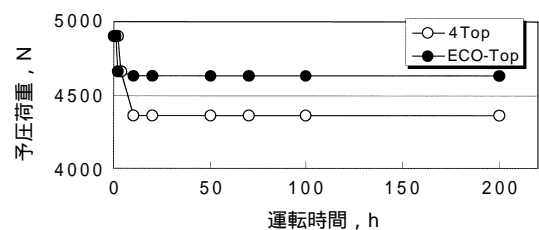


図10 耐予圧抜け試験結果
 Resistance to loss in preload test result

6. 組立作業性向上

自動車のトランスミッション、デファレンシャルギヤ等に使用される円すいころ軸受は、歯車のかみ合い精度を確保するため、予圧をかけて使用される。

この予圧設定の際には、軸受に十分ななじみ回転を与え、ころ端面と内輪つば面が正しく接触した状態にする必要がある。(図11)

このa) からb)へ移動するまでのなじみ回転数が少ないほど確実に予圧設定ができ、組立作業のスピードアップが図れる。

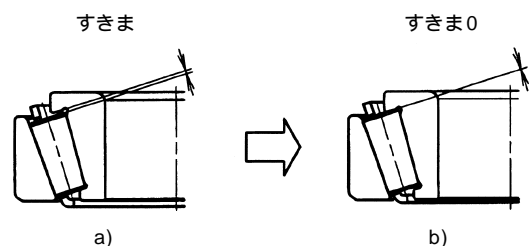


図11 円すいころ軸受の予圧設定状態
 Preloaded state of tapered roller bearing

6.1 改良ポイント

ECO-Top円すいころ軸受では、下記ポイントの改良により、組立幅の早期安定化を図った。

- (1) 内輪小つば面と小端面のすきま (ℓ) をこれまでの標準仕様 (4Top軸受) よりも小さく、且つ許容差を狭く管理した。(図12)
- (2) クラウニングの頂点位置、軌道勾配管理によることと軌道面の当り位置の最適化を行った。

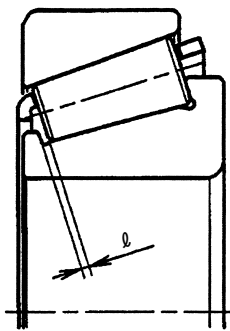


図12 つば面と小端面のすきま
Clearance between rib face and roller end face

6.2 試験データ

組立幅落ち着き回転数測定方法及び測定結果を図13, 14に示す。

ECO-Top円すいころ軸受は、4Top軸受に比べ落ち着き回転数が半減している。

試験方法：軸受を図のような姿勢にして置き、アキシアル荷重 (重りA) を作用させて内輪を回転させ、1回転毎の内輪下がり量を測定し、落ち着くまでの回転数を求める。

軸受：30206
アキシアル荷重：29.4 N

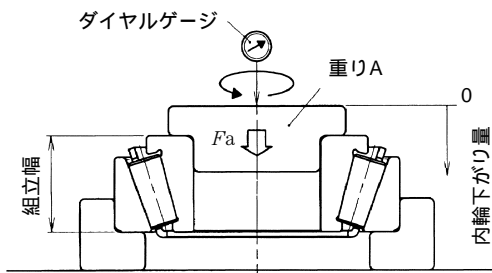


図13 組立幅落ち着き回転数測定方法
Method for measuring the number of turns to obtain stable assembled stand height

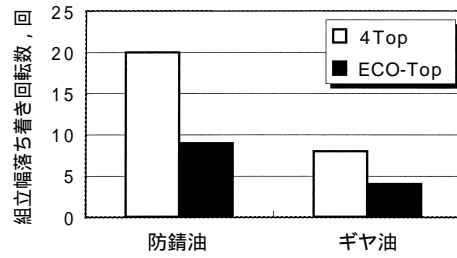


図14 組立幅落ち着き回転数測定結果
Measurements of number of turns to obtain stable assembled stand height

7. まとめ

ECO-Top円すいころ軸受は従来の4Top軸受と比較して、昨今の自動車用軸受のニーズである長寿命化、低トルク化、耐焼付き性向上及び組立性向上に対して優れた性能を有している。

特に近年は、環境問題から低燃費化競争が激しいため、省燃費化、軽量化のニーズが非常に高く、また、組立作業効率向上を求められることも多くなっている。

ECO-Top円すいころ軸受はまさにこのような時代の変化に対応できる軸受と考える。

参考文献

- 1) 前田, 中島, 柏村, NTN TECHNICAL REVIEW, No.65 (1996), p17



プロペラシャフト専用EBJ・EDJ

長谷 陽夫* 葉山 佳彦* 井本 正之*

ECO Series Constant Velocity Joints (EBJ & EDJ) for Propeller Shafts

By Haruo NAGATANI, Yoshihiko HAYAMA and Masayuki IMOTO

Constant velocity joint (CVJ) production has increased greatly along with the trend towards front wheel drive vehicles. In addition, CVJ's can also be used for propeller shafts, resulting in improved NVH characteristics.

Performance improvements that can be achieved through the use of CVJ's for propeller shafts are already documented¹⁾²⁾. In keeping with today's "Ecology" theme for automotive development, NTN has developed the EBJ and EDJ halfshafts for weight reduction, compact packaging, and high efficiency, providing lower emissions and using less resources. This paper describes the development of the EBJ and EDJ CVJ's into NTN "ECO" series for propeller shaft applications.

1. まえがき

等速ジョイントは、主にドライブシャフト用として、前輪駆動車の増加とともにその生産量を増加させてきたが、車両のNVH(Noise, Vibration, Harshness) 特性の更なる向上のため、プロペラシャフト用としても等速ジョイントを用いる傾向が加速しており、その販売量は増加してきている。筆者の一人はプロペラシャフトに各種等速ジョイントを用いることによって、NVH特性に及ぼす影響を調査し、その効果を報告している¹⁾²⁾。車は、「環境にやさしい」をキーワードに、低エミッション化、省資源化への取組を継続しており、等速ジョイントに対しても、低燃費化のための、軽量、コンパクト、高効率化の要求がある。この流れに対応して、NTNではECOシリーズとして、ドライブシャフト用のEBJ, EDJを開発してきた。今回、プロペラシャフト用CVJの販売量増加に対応し、新たにECOシリーズのプロペラシャフト用EBJ, EDJを開発したので、その概要を紹介する。

2. 開発コンセプトと構造

2.1 プロペラシャフト用等速ジョイントについて
ドライブシャフト及びプロペラシャフトが車両から要求される性能について比較してみる。図1にFR車の概略図を示す。

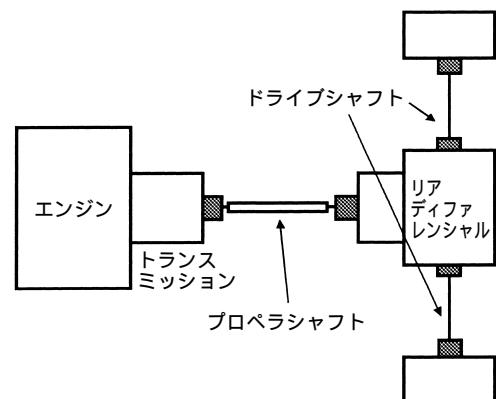


図1 FR車の概略図
Schematic representation of FR vehicle

*自動車製品研究所

車両の条件を以下のように定義すると、プロペラシャフト及びドライブシャフトに負荷されるトルクは次のようになる。

- エンジンの発生トルク : T
- エンジンの回転数 : N
- トランスミッションのギア比 : A
- 最終減速比 : B

	トルク	回転数
プロペラシャフト①	$T \cdot A$	$\frac{N}{A}$
ドライブシャフト②	$T \cdot A \cdot \frac{B}{2}$	$\frac{N}{A \cdot B}$
①/②	$\frac{2}{B}$	B

一般的な車両における最終減速比 B は約 4.0 (3.5 ~ 5.5) であるため、ドライブシャフトに対してプロペラシャフトに要求される性能 (①/②) は、次のようになる。

- トルク容量 = $\frac{2}{B}$ 50%
- 回転数 = B 4倍

最近の4WD系車両ではプロペラシャフト用ジョイントに対して、最大作動角でおよそ30°程度必要となる場合があるが、それでもドライブシャフト用のCVJ (最大46.5°: 表1) と比べると随分小さい。

2.2 開発コンセプト

現在プロペラシャフトに適用している等速ジョイン

トは、ドライブシャフト用として設計されたものを流用しており、プロペラシャフトの用途としては必ずしも最適ではない。前述の通り、プロペラシャフトはドライブシャフトに比べ、回転数は4倍と高いが、伝達トルクは約1/2で、作動角も小さい状態(30°以下)で使用される。そのため専用設計することによりコンパクト化の可能性がある。ドライブシャフト用として開発したEBJ及びEDJ³⁾⁴⁾は、コンパクト且つ高効率であることから、この思想を取り入れ専用設計を行った。以下に開発コンセプトをまとめる。

現行ドライブシャフト用CVJに対して

1. 外径10%以上(弊社サイズ比2サイズダウン以上)小型化
2. プロペラシャフトでの使用条件(最大作動角30°)にて強度は中間軸強度以上、寿命はドライブシャフト用と同等
3. 高効率化(ドライブシャフト用より高効率化を図る)
4. 最大作動角 固定式:30°;しゅう動式:15°(現行ドライブシャフト用固定式:46.5°;しゅう動式:23°)
5. 価格は同等以下

2.3 開発品の構造

開発に当たり、外径はもとより、軸方向長さについても無駄な箇所を削減してできる限りの軽量化を図った。表1及び図2は、今回開発した87サイズのEBJ、EDJの諸元及び、形状である。現行のプロペラシャフトに用いているものに対し、開発したジョイントは、外径比で固定式、しゅう動式とも約13%(弊社サイズ比3サイズダウン)小型化した。また、重量については、固定式で約25%、しゅう動式で約20%軽量化した。

表1 諸元比較一覧(87サイズ)
Comparison of specifications (87 size)

項目	BJタイプ			DOJタイプ		
	BJ87	D/S EBJ87	P/S EBJ87	DOJ87	D/S EDJ87	P/S EDJ87
外径	79.9	72.6(BJ79)	68.9(BJ75)	79.0	75.7(DOJ79)	69.0(DOJ75)
重量比	100		75	100		80
内輪軸径	同					
最大作動角	46.5°	46.5°	30°	23°	23°	15°

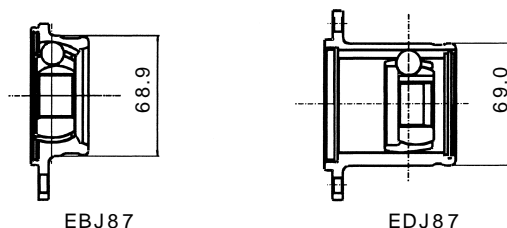


図2 プロペラシャフト用EBJ87, EDJ87
EBJ & EDJ for propeller shaft applications

3. 特性評価

3.1 強度

プロペラシャフト用として成立させるため、各部品とも思い切ったコンパクト化を図った。開発においては、接続するシャフト強度以上になるように各部品を設計した。表2は静捻り試験結果を、図3は片振り捻り疲労試験結果を示す。使用範囲内では十分な強度が確保できている。

表2 静捻り試験結果
Static torsional strength

ジョイントの種類	作動角	破壊状況(シャフト強度基準) 以上... 同等...
EBJ87	0°	
	15°	
	30°	
EDJ87	0°	
	15°	

3.2 耐久性

表3に台上試験機で実施した耐久試験結果を示す。試験結果を見ると、現行品と同等の耐久性が確保されていることが分かる。また、表4に高速焼付き性試験結果を示す。10000rpmでも焼付くことなく運転可能であった。

表3 低負荷高回転耐久試験条件と結果
Low torque & high speed endurance test

試験条件:	慣らし	本試験
作動角 (°)	7.9	
回転数 (rpm)	1 000	6 000
負荷トルク (Nm)	49.1	83.3
運転時間 (hour)	5	330

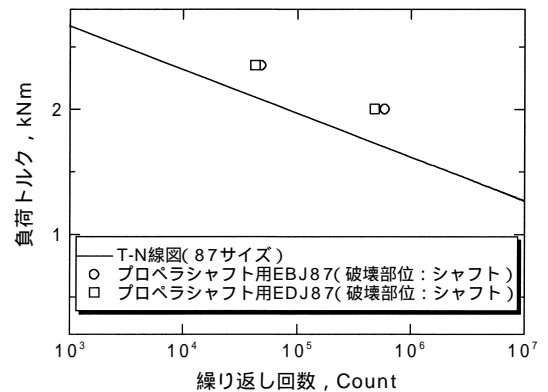


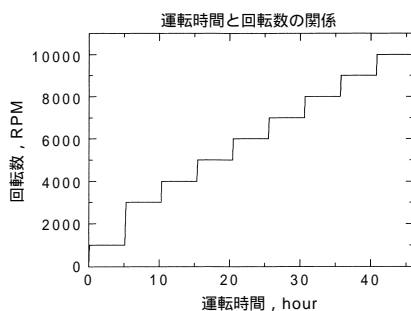
図3 片振り捻り疲労試験結果
Uni-Directional, torsional fatigue strength

ジョイントの種類	TP No.	運転時間 (h)						損傷状況			
		0	30	60	100	200	330	外輪	内輪	ケージ	ボール
EBJ	1	-----	-----	-----	-----	-----	-----	OK	OK	OK	OK
	2	-----	-----	-----	-----	-----	-----	OK	OK	OK	OK
BJ	3	-----	-----	-----	-----	-----	-----	OK	OK	OK	OK
	4	-----	-----	-----	-----	-----	-----	OK	OK	OK	OK
EDJ	1	-----	-----	-----	-----	-----	-----	OK	OK	OK	OK
	2	-----	-----	-----	-----	-----	-----	OK	OK	OK	OK
DOJ	3	-----	-----	-----	-----	-----	-----	OK	OK	OK	OK
	4	-----	-----	-----	-----	-----	-----	OK	OK	OK	OK

(図中の は、分解点検において問題となる損傷のなかったことを示す。)

表4 高速試験条件と結果
High speed testing

試験条件:	本試験
作動角 (°)	5
回転数 (rpm)	1 000, 3 000, 5 000, 6 000, 7 000, 8 000, 9 000, 10 000
負荷トルク (Nm)	98.1
運転時間 (hour)	(各回転数毎に) 5



ジョイントの種類	TP No.	10 000rpm運転終了後の損傷状況			
		外輪	内輪	ケージ	ボール
EBJ	1	OK	OK	OK	OK
	2	OK	OK	OK	OK
BJ	3	OK	OK	OK	OK
	4	OK	OK	OK	OK
EDJ	1	OK	OK	OK	OK
	2	OK	OK	OK	OK
DOJ	3	OK	OK	OK	OK
	4	OK	OK	OK	OK

(表中のOKは、分解点検で問題となる損傷のなかったことを示す。)

3.3 理論解析

高速回転時における特性評価として、内部力及び伝達効率について数値計算にて理論解析した。計算方法は、静的なジョイントの内部の力とモーメントの釣り合い式⁵⁾に、摩擦力を加え、さらに加速度項(慣性力)を考慮して、運動方程式化することによって求めた。この式は、多次元連立2階常微分方程式となるが、数値的に解くため1階常微分方程式に変形し解いている。摩擦力の方向と大きさは、接触領域をセルに分割し、各セルでの接触2物体間の相対速度を求めること

により、方向を決め、ベクトル合成し摩擦力とした。

図4は内部力の計算結果である。この結果を見ると、現行品に比べトラックとボール間に働くピーク荷重は小さくなっている。図5はトルク損失率の計算結果である。伝達効率については、低回転時は現行品とほとんど変わりはないが、高回転になるにつれて、効率が向上することが分かる。以上より今回開発した等速ジョイントはプロペラシャフト用として総合的に高速特性が向上していると考えられる。

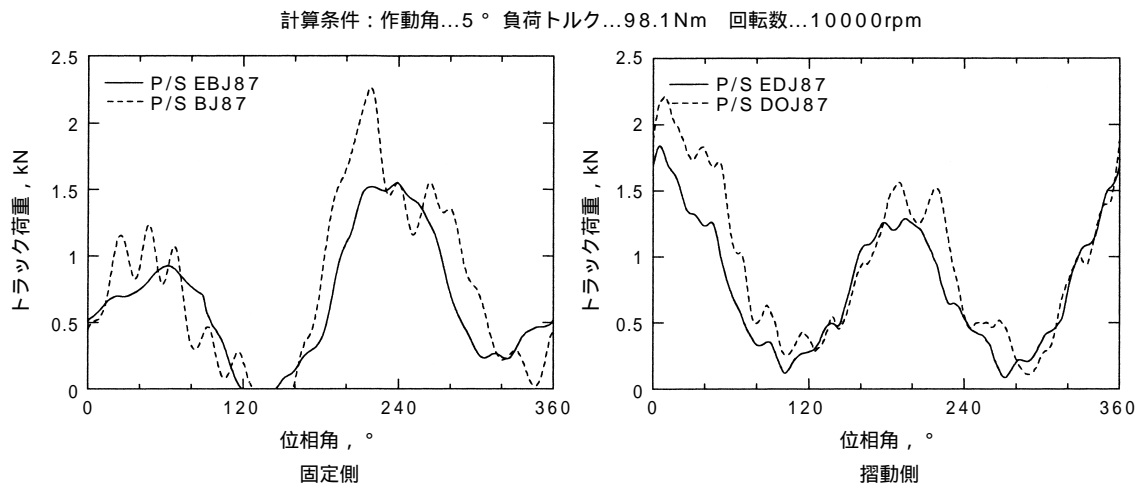


図4 負荷側トラックとボール間に働く荷重の計算結果
Calculated results of track load (between ball & ball track)

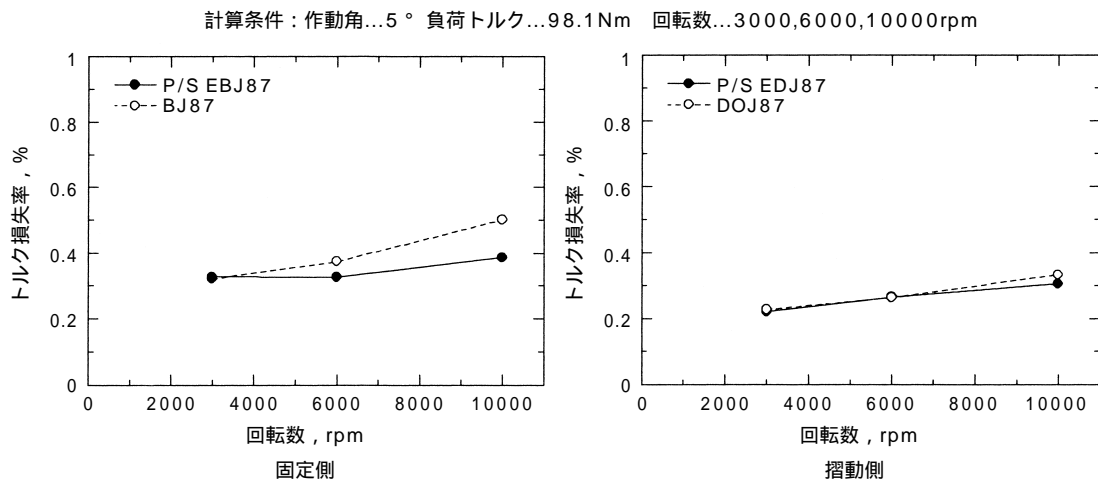


図5 トルク損失率の計算結果
Calculated results of torque loss

4. あとがき

車両の静粛性や振動特性向上の要求が増えるにつれ、今後プロペラシャフトに等速ジョイントを搭載する傾向は、ますます増加していくことが予想される。今回のプロペラシャフト専用CVJの開発により、プロペラシャフト用CVJの小型・軽量化及び高速特性の改善ができた。今後、本開発品がプロペラシャフト用CVJ化の更なる進展に寄与できれば幸甚である。

参考文献

- 1) 坂口, 潮田, 他: プロペラシャフト用各種等速ジョイント, **NTN TECHNICAL REVIEW** No.66 p37 (1997)
- 2) Y.Hayama & M.Miyata :Constant Velocity Universal Joint (CVJ) for Propeller Shafts, SAE Technical Paper #1999-01-0738 (1999)
- 3) 曾根, 穂積: 高性能コンパクト固定式等速ジョイント (EBJ), **NTN TECHNICAL REVIEW** No.66 p28 (1997)
- 4) 穂積, 曾根, 他: 高性能コンパクトCVJシリーズ「EBJ,EDJ」, **NTN TECHNICAL REVIEW** No.67 p26 (1998)
- 5) 木全: ボール型等速自在継手の静力学的解析, 機論 58-545, C (1992), 263

鉛化合物を含有しない等速ジョイント用グリースの開発

高部 真一*

Development of Non Leaded Grease for Constant Velocity Joints

By Shinichi TAKABE

Constant velocity joint (CVJ) greases influence the CVJ's durability performance and NVH characteristics. NTN has improved the CVJ from not only the mechanical point of view but also from the chemical point of view. A current concern of CVJ greases, is how to reduce environmental pollution. NTN has addressed this concern by eliminating lead from CVJ grease. The development of new non-leaded greases is described in this paper.

1. まえがき

等速ジョイント(Constant Velocity Joints ; 以下CVJと略す)において、グリースはさまざまな性能を左右する。NTNはCVJを手掛けて以来、CVJの構造改良と併せてグリースの改良も行ってきた。

グリースにおける昨今の課題は、性能向上もさることながら、環境負荷を軽減することにある。その第一歩として、NTNはCVJグリースに含有していた鉛系化合物を全廃することに取り組んだ。

本稿では、その成果として得られた開発グリースについて説明する。

2. グリース開発における留意点

2.1 鉛系化合物のCVJグリースにおける役割

鉛系化合物は、極圧剤として使用され、金属表面に馴染みを与えることから主に耐フレーキング性の向上に役立っている。鉛系化合物は潤滑効果が大きい上に経済性にも優れるため、技術面・産業面からは有効な物質であるが、環境面での代償は大きい。

そこで、鉛系化合物を含有しているグリースについ

て、代替品の開発を手掛けた。開発グリースは、鉛系化合物を除くことにより不足した性能を他の添加剤(有機モリブデン、二硫化モリブデン、その他)で補う処方や、添加剤の組合せの変更で相乗効果を高める処方を施しており、その結果、現行グリースと同等以上の性能を得ている。

2.2 CVJの適用形態

自動車用CVJは、使用個所で大別するとドライブシャフト(以下D/Sと略す)用とプロペラシャフト(以下P/Sと略す)用に分類される。さらに、D/S用CVJは、BJ系・DOJ系及びTJ系に区分できる。BJ系は主にアウトボード(ホイール側)に使われる固定式ジョイントであり、DOJ系・TJ系は主にインボード(ディファレンシャル側)に使われるしゅう動式ジョイントである。また、構造的にみると、BJ系・DOJ系は転動体がボールであるのに対して、TJ系は針状ころである。

一方、P/S用CVJはBJ系・DOJ系・TJ系の全てが適用できる他、LJ系が適用され、D/S用に比べて高速回転性能が要求される。

*等速ジョイント技術部

2.3 グリースに要求される性能

グリースがCVJに影響を及ぼす主な性能要因としては、

- ① CVJの振動特性
- ② CVJの耐久性
- ③ CVJブーツとの相性

等が挙げられる。

しかし、2.2に記したように、同じ自動車用CVJでもジョイント構造が異なったり、使用個所によって違った性能が要求されることから、全てのCVJに同一グリースを適用することは難しい。したがって、ジョイント構造またはCVJの使用箇所に合わせて専用グリースを開発する方向で検討を進めた。

3. 開発グリース

3.1 D/S・BJ系用長寿命グリース

D/S・BJ系CVJは、主にアウトボード側に使用され、固定式で高角度が取れる構造になっている。また、転動体にはボールが使われており、NTNでは、BJ、UJ、EBJ、EUJがこれに該当する。

BJ系用グリースを開発する上で、次の点が特に重要である。

- ① 耐フレーキング性
- ② 耐摩耗性
- ③ 摩擦特性

- ①はCVJの寿命にとって重要なファクターである。
- ②は特に高負荷時、あるいは高角時のトラック乗り上げに対して影響を及ぼす。そして、③は高角時のスティックスリップ性を左右する。

1) グリース処方

開発グリースAの特徴を従来グリース1との比較で表1に記す。

従来グリース1に用いている鉛系化合物は、微量の摩耗を伴うことで金属表面の馴染み効果を得ている。鉛系化合物を除外すると、馴染み効果が薄れると同時に摩擦摩耗特性の向上を狙ったA1～A3の効果が過剰に発揮され、かえって耐フレーキング性を阻害してしまう。そこで、開発グリースAでは、適度な摩耗を与えるため、従来グリース1に含まれていたA2、A3を除いた。さらにA4、A5をA6～A8に置き換えることで、滑り速度に対する極圧性の効果領域をシフトし、耐フレーキング性を向上した。

その結果、BJ系用長寿命グリースとして使用してきた従来グリース1と同等性能を持つ開発グリースAを得ることができた。

2) 耐久性

開発グリースAの高負荷耐久試験結果を表2に、低負荷耐久試験結果を表3に記す。鉛系化合物を除外しているが、両条件共に目標時間を満足している。

表1 グリース処方
Grease contents

グリース種類	増ちょう剤	ちょう度	代表添加剤									
			鉛系	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	
開発グリースA	ウレア系	1号										
従来グリース1	ウレア系	1号										

表2 高負荷耐久試験
The results of high load durability tests

グリース種類	T.P.	運転時間[h]		
		125	175	275
開発グリースA	No.1			
	No.2			
従来グリース1	No.1			
	No.2			

目標時間

(: 不具合なし : 不具合小 x : 不具合大)

表3 低負荷耐久試験
The results of low load durability tests

グリース種類	T.P.	運転時間[h]		
		150	300	450
開発グリースA	No.1			
	No.2			
従来グリース1	No.1			
	No.2			

目標時間

3.2 D/S・DOJ系用低振動グリース

D/S・DOJ系CVJは、スライド可能なしゅう動式ジョイントであり、主にインボード側に使用される。構造的にはBJ系と同じく、転動体にボールを使用している。

DOJ系用グリースを開発する上で、次の点が特に重要である。

- ① 耐フレーキング性
- ② 耐摩耗性
- ③ 振動特性

①はCVJの寿命にとって重要なファクターである。②はトラック乗り上げに対して影響を及ぼす。そして、③はこもり音やビート音に影響すると考えられる誘起スラスト6次成分やアイドリング振動に影響すると考えられるスライド抵抗の特性を指す。

1) グリース処方

開発グリースB及びCの特徴を従来グリース2との比較で表4に記す。

従来グリース2の鉛系化合物除外により金属表面の馴染み効果が薄れ、耐フレーキング性が低下する。そこで、開発グリースBでは、耐フレーキング性を向上させるB6を添加した。このB6は耐ゴム性や耐摩耗性には不利なため、耐ゴム性を阻害しない範囲での添加量に留めている。また、耐摩耗性の低下を補うため、B1との併用により摩擦摩耗特性を向上させるB5を添加した。この効果で、B3の除外が可能となった。さらに、環境面への配慮から鉛と同様に使用すべきでないB4をB7に入れ換えた。

一方、開発グリースCは、B8,B9の添加により耐フレーキング性の向上を図った。B9には摩擦摩耗特性の向上も認められる。さらに、B10,B11の添加に

より潤滑性の改善を図り、摩擦摩耗特性と耐フレーキング性のバランスを適正にしている。このB8～B11の添加によりB2～B4の除外を可能とした。

その結果、DOJ系用低振動グリースとして使用してきた従来グリース2と同等性能を持つ開発グリースB及びCを得ることができた。

2) 振動特性(誘起スラスト6次成分)

開発グリースB,Cの誘起スラスト6次成分測定結果を図1に記す。鉛系化合物を除外しているが、従来グリース2と同等の振動特性を有する。

3) 耐久性

開発グリースB,Cの高負荷耐久試験結果を表5に、低負荷耐久試験結果を表6に記す。鉛系化合物を除外しているが、両条件共に目標時間を満足している。

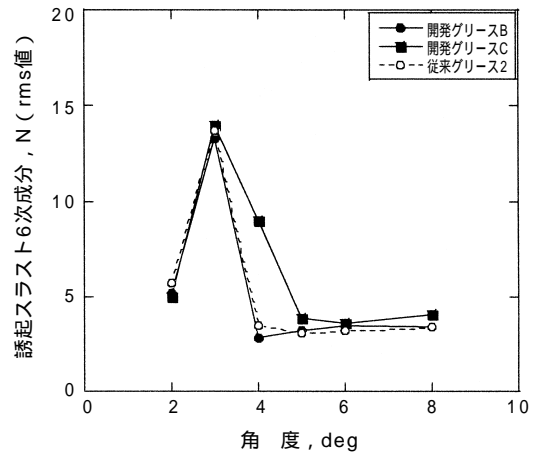


図1 DOJの誘起スラスト6次成分測定
6th order component of induced cyclic axial load of DOJ

表4 グリース処方
Grease contents

グリース種類	増ちょう剤	ちょう度	代表添加剤												
			鉛系	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	
開発グリースB	ウレア系	1号													
開発グリースC	ウレア系	1号													
従来グリース2	ウレア系	1号													

表5 高負荷耐久試験
The results of high load durability tests

グリース種類	T.P.	運転時間[h]	
		125	175
開発グリースB	No.1		
	No.2		
開発グリースC	No.1		
	No.2		
従来グリース2	No.1		
	No.2		

目標時間

(: 不具合なし : 不具合小 x : 不具合大)

表6 低負荷耐久試験
The results of low load durability tests

グリース種類	T.P.	運転時間[h]			
		150	300	450	600
開発グリースB	No.1				
	No.2			x	
開発グリースC	No.1			x	
	No.2				x
従来グリース2	No.1		x		
	No.2		x		

目標時間

3.3 D/S・TJ系用低振動グリース

D/S・TJ系CVJは、スライド可能なしゅう動式ジョイントであり、主にインボード側に使用される。DOJ系と大きく異なるのは、転動体に針状ころを採用している点であり、NTNでは、AC-TJ、SFJ、PTJがこれに該当する。

TJ系用グリースを開発する上で、次の点が特に重要である。

- ① 振動特性
- ② 耐フレーキング性
- ③ 耐摩耗性

①は車両発進時の横揺れに影響すると考えられる誘起スラスト3次成分やアイドリング振動に影響すると考えられるスライド抵抗の特性を指す。②はCVJの寿命にとって重要なファクターである。そして、③はフレッシングの出易い使用条件等での異常摩耗に関する特性を指す。

1) グリース処方

開発グリースD及びEの特徴を従来グリース3との比較で表7に記す。

表7 グリース処方
Grease contents

グリース種類	増ちょう剤	ちょう度	代表添加剤							
			鉛系	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
開発グリースD	ウレア系B	1号								
開発グリースE	ウレア系C	1号								
従来グリース3	ウレア系A	1号								

TJ系用グリースでは、振動特性を左右する摩擦摩耗特性が特に重要である。鉛系化合物を除外することで耐フレーキング性は低下するが、グリースが潤滑面に存在するための介入性が十分であれば、実用上、大きな影響を持たない。むしろ、摩擦摩耗特性が向上し、振動面では有利に働くとみられる。

開発グリースDは、増ちょう剤をウレア系Aからウレア系Bへ変更することでグリース介入性を向上させた。また、この介入性向上によりさらに振動特性を向上させたので、D1～D3の添加量見直しやD4の削除を可能とした。

開発グリースEは、増ちょう剤をウレア系Cへ変更することで介入性の向上を図った。また、D5の添加により耐フレーキング性を向上した。さらにD6、D7の添加で摩擦摩耗特性の向上を図り、D2、D4の除去を可能とし、より適正な性能バランスを得ることに成功した。

その結果、TJ系用低振動グリースとして使用してきた従来グリース3と同等性能を持つ開発グリースD及びEを得ることができた。

2) 振動特性 (誘起スラスト3次成分)

開発グリースD, Eの誘起スラスト3次成分測定結果のうち、角度変化特性を図2に、トルク変化特性を図3に記す。鉛系化合物を除外しているが、従来グリース3と同等以上の振動特性を有する。

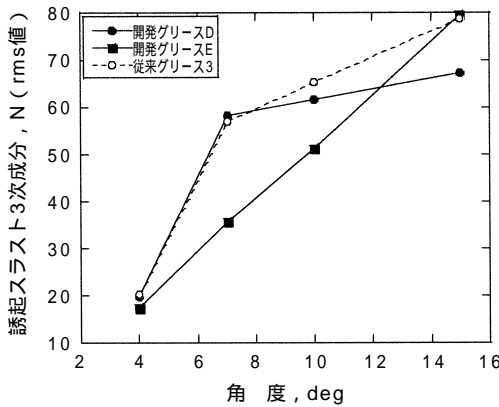


図2 TJの誘起スラスト3次成分測定 (角度変化)
3th order component of induced cyclic axial load of TJ (Angle change)

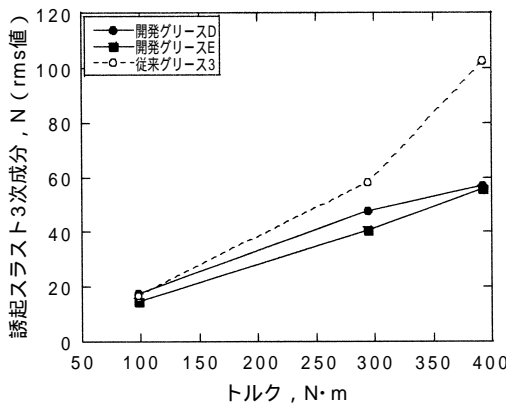


図3 TJの誘起スラスト3次成分測定 (トルク変化)
3th order component of induced cyclic axial load of TJ (Torque change)

3) 耐久性

開発グリースD, Eの高負荷耐久試験結果を表8に、低負荷耐久試験結果を表9に記す。鉛系化合物を除外しているが、両条件共に目標時間を満足している。

3.4 P/S用グリース

P/Sには、BJ, DOJ, TJ, LJ等、種々のCVJが適用される。D/S用グリースはジョイント構造毎に開発したが、P/S用グリースの場合、ジョイントの構造よりも高速回転性能が重要となることから、P/S専用グリースの開発を行った。

P/S用グリースを開発する上で、次の点が特に重要である。

- ① 耐フレーキング性
- ② 耐摩耗性
- ③ 高速耐久性

①はCVJの寿命にとって重要なファクターである。②はジョイント振れ回りなどに影響するラジアルがたを左右する。そして、③は耐焼付性や温度上昇特性を指す。

1) グリース処方

開発グリースFの特徴を従来グリース4との比較で表10に記す。

従来グリース4から鉛系化合物を除外すると、耐フレーキング性や耐焼付性が低下する。そこで、F4~F6の添加により耐フレーキング性向上を、F7の添加により耐焼付性向上を図った。さらに、F2に代えてF3を添加することで摩擦摩耗特性を向上させた。

その結果、P/S用グリースとして使用してきた従来グリース4と同等性能を持つ開発グリースFを得ることができた。

表8 高負荷耐久試験

The results of high load durability tests

グリース種類	T.P.	運転時間[h]		
		90	125	300
開発グリースD	No.1			
	No.2			
開発グリースE	No.1			
	No.2			
従来グリース3	No.1			×
	No.2			

目標時間

(: 不具合なし : 不具合小 × : 不具合大)

表9 低負荷耐久試験

The results of low load durability tests

グリース種類	T.P.	運転時間[h]		
		150	300	450
開発グリースD	No.1			
	No.2			
開発グリースE	No.1			
	No.2			
従来グリース3	No.1			
	No.2			

目標時間

表10 グリース処方
Grease contents

グリース種類	増ちょう剤	ちょう度	代表添加剤							
			鉛系	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
開発グリースF	ウレア系	1号								
従来グリース4	ウレア系	1号								

2) 耐久性

開発グリースFの高負荷耐久試験結果を表11に、高速耐久試験結果を表12に記す。また、温度上昇試

験の結果を図4, 5, 6に示す。鉛系化合物を除外しているが、各条件共に従来グリース4と同等の性能を有す。

表11 高負荷耐久試験
The results of high load durability tests

区分	グリース種類	T.P.	運転時間[h]	
			20	40
BJ	開発グリースF	No.1		
		No.2		
	従来グリース4	No.1		
		No.2		
DOJ	開発グリースF	No.1		
		No.2		
	従来グリース4	No.1		
		No.2		
LJ	開発グリースF	No.1		
		No.2		
	従来グリース4	No.1		
		No.2		

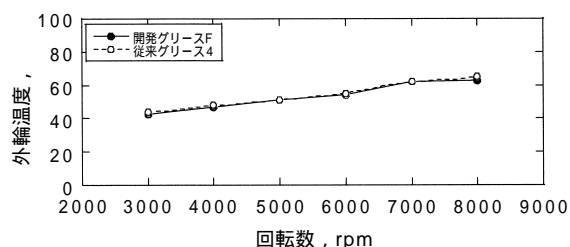
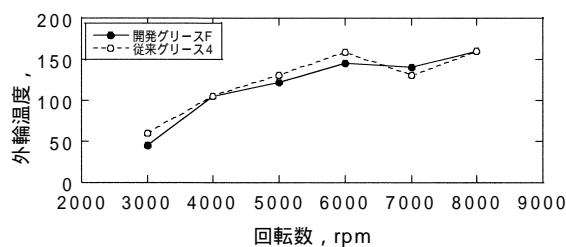
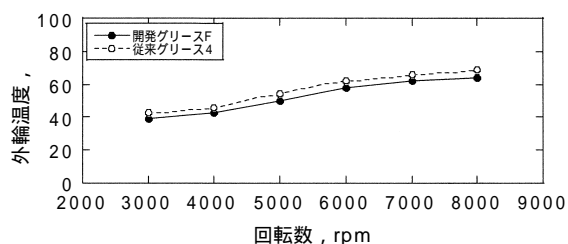
目標時間

(: 不具合なし : 不具合小 x : 不具合大)

表12 高速耐久試験
The results of high speed rotation durability tests

区分	グリース種類	T.P.	運転時間[h]	
			20	
BJ	開発グリースF	No.1		
		No.2		
	従来グリース4	No.1		
		No.2		
DOJ	開発グリースF	No.1		
		No.2		
	従来グリース4	No.1		
		No.2		
LJ	開発グリースF	No.1		
		No.2		
	従来グリース4	No.1		
		No.2		

目標時間

図4 温度上昇試験 (BJ)
The results of temperature rising tests (BJ)図6 温度上昇試験 (LJ)
The results of temperature rising tests (LJ)図5 温度上昇試験 (DOJ)
The results of temperature rising tests (DOJ)

3.5 D/S汎用グリース (BJ, DOJ系)

3.1と3.2でD/S・BJ系とDOJ系グリースを紹介したが、コストパフォーマンスに優れた汎用グリースも開発したのでここに紹介する。これまでに紹介したグリースとは増ちょう剤が異なっている点が大きな違いである。

本グリースを開発する上での重要な点は、3.1や3.2と同様であるが、それに加えてコストを抑えることを最重要課題として取り組んだ。

1) グリース処方

開発グリースGの特徴を従来グリース5との比較で表13に記す。

従来グリース5は摩耗を継続的に発生させて、表層部を新生面にする事で耐フレーキング性を向上させている。それに対し、開発グリースGは鉛系化合物の除外と他の添加剤を加えることで、適度な摩耗に抑え、馴染み効果で耐フレーキング性を向上させる狙いに変更した。具体的には、G2に代えてG3~G5を添加す

ることで摩擦摩耗特性の向上を図った。

その結果、D/S汎用グリースとして使用してきた従来グリース5と同等性能を持つ開発グリースGを得ることができた。

2) 耐久性

開発グリースGの高負荷耐久試験結果を表14に、低負荷耐久試験結果を表15に記す。鉛系化合物を除外しているが、両条件共に目標時間を満足している。

4. あとがき

今回開発したグリースは、NTN標準グリースとして現行グリースから順次置換えを図っているところである。

環境への配慮、あるいは振動や耐久性などの性能向上は常に目指さなければならない。今回の開発グリースの完成に甘んじることなく、これからも新たなグリース開発を手掛けていきたい。

表13 グリース処方
Grease contents

グリース種類	増ちょう剤	ちょう度	代表添加剤					
			鉛系	G1	G2	G3	G4	G5
開発グリースG	リチウム系	2号						
従来グリース5	リチウム系	2号						

表14 高負荷耐久試験
The results of high load durability tests

区分	グリース種類	T.P.	運転時間[h]		
			125	175	275
BJ	開発グリースG	No.1			
		No.2			
	従来グリース5	No.1			
		No.2			
DOJ	開発グリースG	No.1			
		No.2			
	従来グリース5	No.1			
		No.2			x

目標時間

表15 低負荷耐久試験
The results of low load rotation durability tests

区分	グリース種類	T.P.	運転時間[h]			
			150	300	450	600
BJ	開発グリースG	No.1				x
		No.2				
	従来グリース5	No.1			x	
		No.2				
DOJ	開発グリースG	No.1			x	
		No.2				x
	従来グリース5	No.1				
		No.2				x

目標時間

(: 不具合なし : 不具合小 x : 不具合大)

新しい高温長寿命軸受鋼(STJ2)の開発

田中 広政* 藤井 幸生* 前田 喜久男*

Development of High Temperature, Long Life Bearing Steel (STJ2)

By Hiromasa TANAKA, Yukio FUJII, Kikuo MAEDA

The development of long life rolling bearings under severe conditions is a fundamental and important technology to save industrial energy. Approximately 10 years ago, NTN developed a long life bearing steel (NTJ2) which can be used up to 150°C. The high heat resistance and long life of this steel were due to the purity of the steel and silicon (Si) alloying. More improvement, however, is still required to increase operation temperatures, considering future demand. The mechanical properties of the rolling element, especially rolling contact fatigue life, were further improved by optimizing the alloying elements of the Si alloyed bearing steel. The optimum chemical composition was determined by considering both mechanical properties and manufacturing properties. This new steel, named STJ2, is the standard material for LH (Long life for High temperature use) bearings. LH bearings have long life and dimensional stability up to 250°C. They also have a high resistance to surface damage under starved lubrication. These excellent mechanical properties are based on STJ2's metallurgical characteristics, such as high temperature hardness and microstructural stability against the high cyclic stresses due to rolling contact.

1. はじめに

近年、実用軸受の使用条件はますます多様化、過酷化しており、特に自動車や産業機械関係では軽量、低燃費、高効率といった点から、軸受はより高温、高速、高荷重、低粘度油潤滑で使用されるようになってきた。このような厳しい使用環境では、従来の高炭素クロム鋼製の軸受が高温雰囲気中に保持されることになり、常温で示していた硬さや強度は低下する。また、高温保持による軸受の寸法変化を避けるために、通常は焼戻温度を高めた軸受を用いるが、焼戻温度が高い分、軸受の硬さや強度は低下する。このように高温用途のような厳しい使用条件では、鋼の清浄度を高めて非金属介在物を減らすだけでは軸受の長寿命化が期待できず、鋼自体の耐熱性を高めることが必要になる。これまでの高温用軸受材料としてはM50やT1などに代表されるように、Cr、Mo、WおよびVを添加したMo系あるいはW系の高速度鋼が使用されてきた。しかしな

がら、これらの材料は高合金鋼のため価格が高く、特殊用途に限られて用いられている。また、初析の炭化物が大きいことより、常温では必ずしも長寿命を示さない。

NTNではおよそ10年前に、高清浄度鋼に1%程度のSiを添加し、焼戻軟化抵抗を高めた準高温用長寿命軸受材料NTJ2を開発した^{1), 2)}。NTJ2製軸受は常温から150℃までの準高温用軸受であり、軸受使用条件の苛酷化に対応するためには、さらに使用可能温度を高めることが望まれる。このような背景の下、常温から250℃までの広い温度範囲で長寿命を示すSTJ2を新たに開発した。STJ2は高い耐熱性を有する鋼であるが、従来的高温用軸受用鋼のような高合金鋼ではなく、特殊用途に限らず、幅広い産業分野で汎用的に用いられる新しい軸受用鋼であると考えられる。本稿ではこの高温長寿命軸受鋼STJ2の諸特性について述べる。

*軸受技術研究所

2. STJ2の化学成分

鋼の転動疲労寿命に影響を及ぼす合金元素として、Mn, Si, Cr, Ni, Mo, V等があるが、この中でもSiの添加は転動寿命を向上させる³⁾ことが以前から知られていた。Si添加によって、鋼の焼戻軟化抵抗性が高まり、高温硬度が高くなることで寿命に対して好影響を及ぼしているからである。高Si軸受鋼の特性については、準高温用長寿命材NTJ2の開発時に紹介している²⁾が、STJ2材ではNTJ2をベースに、さらに合金成分の最適化を図った。

高Si軸受用鋼の高温での転動疲労寿命に及ぼす合金

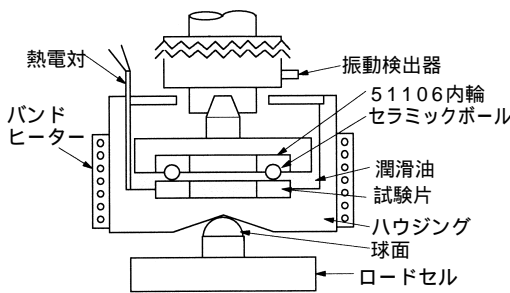


図1 スラスト型高温寿命試験機
Thrust type rolling contact fatigue test rig for high temperature condition

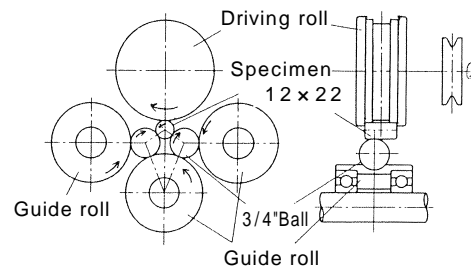


図3 点接触型転動疲労寿命試験機
12 point contact type rolling contact fatigue test rig

表1 200 高温寿命試験の試験条件
Test condition of rolling contact fatigue life at 200°C

試験機	NTNスラスト型高温寿命試験機
試験片	47 x 29 x t7 平板
相手ボール	6.35 セラミックボール
油温	200
接触応力	$P_{max} = 5.5 \text{ GPa}$
潤滑油	エーテル系合成油
油膜パラメータ	0.85

表2 点接触型転動疲労寿命試験の条件
Test condition of point contact fatigue

試験機	NTN点接触型寿命試験機
試験片	12 x l 22 円筒
相手ボール	3/4" 鋼球 2個
接触応力	$P_{max} = 5.88 \text{ GPa}$
負荷速度	46240 cpm
潤滑	タービン油 VG68

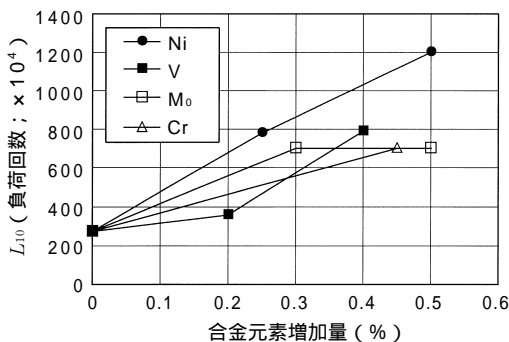


図2 高Si軸受用鋼に及ぼす合金元素の影響
(200 高温寿命)
Influence of alloying element on rolling contact fatigue life of Si alloyed steel (at 200°C)

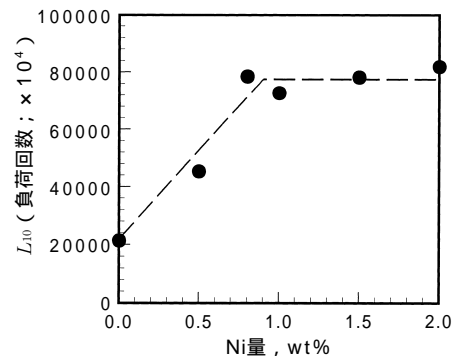


図4 高Si鋼のNi量と転動疲労寿命
Relation between Ni alloying content and rolling contact fatigue life of Si alloyed steel

SiおよびNiはおもにマトリックス(地金)に固溶し、これを強化する合金元素であるが、鋼の中に点在する炭化物も強化に寄与するものである。高速度鋼のような高合金鋼に含まれる大きな炭化物は転動疲労によるきれつ発生源となるが、適度な大きさの炭化物を鋼の中に適量含ませれば、粒子分散強化が図れると考えられる。したがって炭化物を積極的に析出させるために鋼の中のC量を高め、図5に示すミクロ組織とした。

以上述べた転動疲労寿命に及ぼす合金元素の調査結果に加え、冷間加工性、焼入硬度特性などの製造性、および素材コストを鑑み、STJ2の最適な化学成分を決定した。

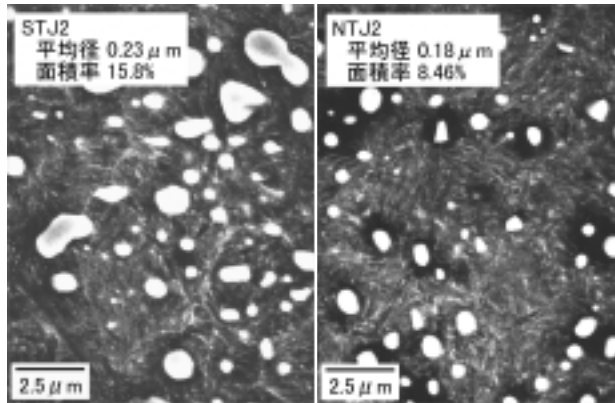


図5 ミクロ組織 (STJ2とNTJ2の未溶解炭化物の析出状況)
Microstructures of developed bearing steel (comparison of particle size and amount of undissolved carbides)

3. STJ2の諸特性

以下にSTJ2を250 までの高温で使用できるように高温焼戻を施した試験片,軸受での試験結果を示す。

3.1 転動疲労寿命

3.1.1 常温での転動疲労寿命

試験片の転動疲労寿命は、図3に示す点接触型寿命試験機を用いて、表2に示す条件により評価した。試験時の油温は約90 である。試験片にはく離が生じるまでの総負荷回数を寿命とし、個々のデータをワイブル分布にして L_{10} を算出した。得られた結果を図6に示すが、STJ2の寿命は軸受鋼SUJ2(標準焼戻)の10倍以上、1%Si鋼の約4倍と非常に優れている。

軸受での寿命評価は、図7の試験機を用い、表3に示す条件で行なった。試験軸受は自動調心ころ軸受22208である。軸受の軌道輪もしくはころにはく離が生じるまでの運転時間を寿命とし、データのワイブル分布から L_{10} を算出した。得られた結果を図8に示

すが、軌道輪および転動体の材質がSTJ2である軸受の寿命は、現行の標準軸受(材質:SUJ2)標準焼戻品との比較で3.5倍の長寿命であった。

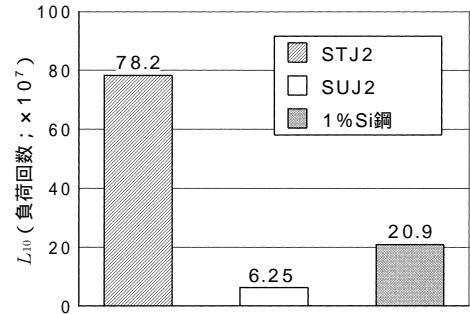


図6 試験片の寿命試験結果
Life test results of 12 point contact type specimen

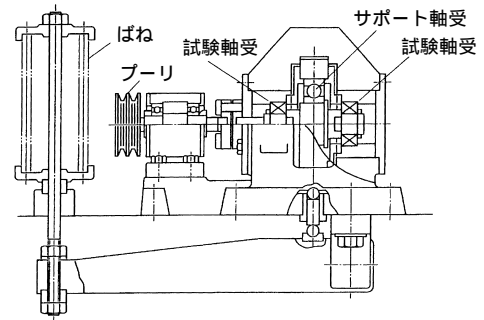


図7 NTN軸受寿命試験機
NTN rolling contact fatigue test rig

表3 軸受寿命試験の条件
Test condition of spherical roller bearing

試験機	NTN軸受寿命試験機
試験軸受	22208
試験荷重	$P/C=0.5$
回転速度	2000rpm
潤滑	タービン油 VG56
計算寿命	84h

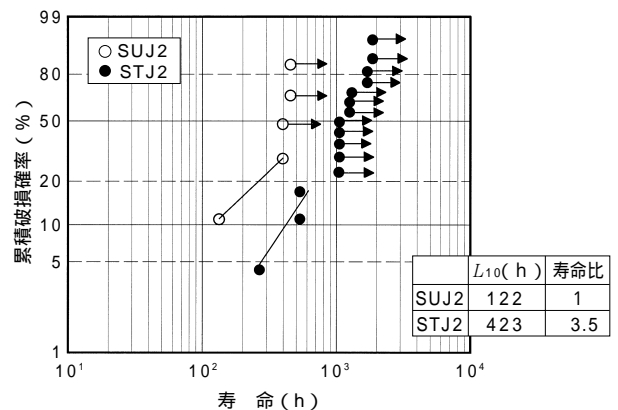


図8 自動調心ころ軸受の寿命試験結果
Rolling contact fatigue life test results of spherical roller bearings

3.1.2 高温での転動疲労寿命

図1に示すスラスト型高温寿命試験機を用い、表1に示す条件にて各種軸受用鋼の転動疲労寿命を調べた。寿命は平板試験片にはく離が生じるまでの運転時間で評価した。図9に示すように、STJ2の200 高温寿命は、SUJ2 (200 で使用できる焼戻仕様品)と比較して、30倍以上の寿命であり、従来から高温用途に用いられているM50材の4.7倍、さらには1% Si鋼の約11倍と、常温での寿命と同様に、高温においても格段に長寿命であった。なお、1% Si鋼にCrお

よびMoを添加した鋼はM50と同等以上の寿命を示したが、STJ2の1/4以下の寿命であり、Si - Cr - Mo系の合金成分よりもSi - Cr - Ni系の合金成分の方が優れている。

玉軸受6206を用い、200 での高温寿命を評価した。高温寿命試験は図10に示した試験機の主要部分を恒温槽の中に入れたものである。試験結果を図11に示すが、STJ2製玉軸受の高温寿命は、SUJ2製軸受の約15倍、1% Si鋼の約5倍であり、STJ2は高温で格段の長寿命を示した。

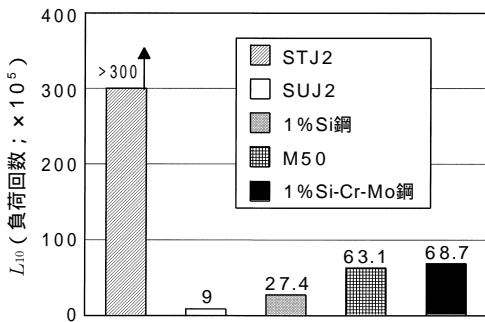


図9 各種軸受用鋼の200 高温寿命試験結果
Rolling contact fatigue life test results under 200°C test condition

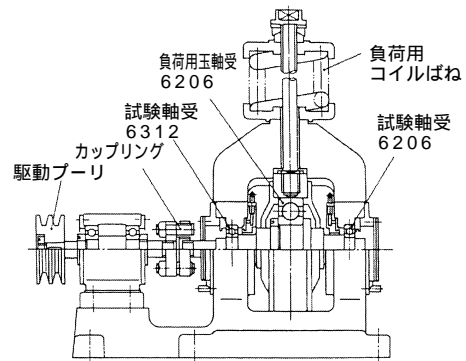
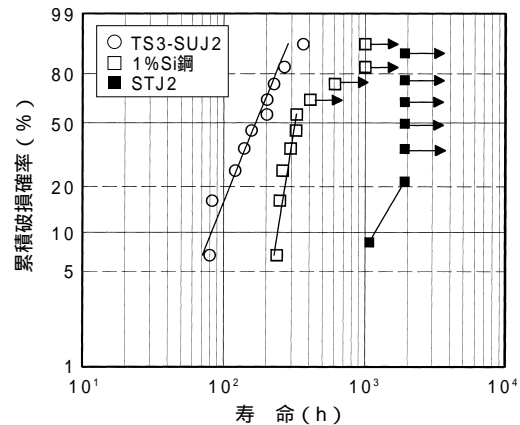


図10 NTN軸受寿命試験機
NTN rolling contact fatigue test rig

表4 軸受高温寿命試験条件
Test condition of rolling bearing under high temperature

試験機	NTN高温軸受寿命試験機
試験軸受	6206
試験荷重	6.9kN (ラジアル方向)
回転速度	2000rpm
潤滑	VG100 エーテル油
雰囲気温度	200
計算寿命*	191h

*注：材料、使用条件等の寿命補正係数は考慮せず



	L ₁₀ (h)	寿命比
TS3-SUJ2**	81	1.0
1% Si鋼	246	3.0
STJ2	1206	14.9

**注：200 までの使用に適した寸法安定化処理を施した軸受

図11 200 での寿命試験結果 (玉軸受6206)
Rolling contact fatigue test results of ball bearings (6206) at 200°C

3.2 耐表面損傷性(ピーリング特性, スミアリング特性)

低粘度油を使用する場合や, 潤滑油の油温が高まり, 粘度が低下する場合, 軸受軌道面に油膜が形成されにくくなり, 金属接触が生じやすくなる。このような使用条件ではピーリングと呼ばれる表面損傷(微小なはく離と表面きれつが密集した損傷)が生じることがある。また, 接触面の相対すべり率が高いときなど, 金属接触による発熱で局部的に凝着が発生し, スミアリングと呼ばれる損傷が発生することもある。これらの表面損傷に関して, 図12に示す2円筒試験機を用いて評価を行なった。

耐ピーリング特性を, 表5に示す条件で評価した。駆動側の円筒試験片は研磨仕上げ加工を, 従動側の円筒試験片は超仕上げ加工を施して, 試験に供した。耐ピーリング特性は従動側円筒試験片に発生したピーリングの面積率で評価を行なった。図13に示すように,

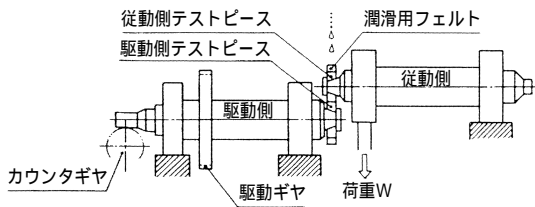


図12 2円筒試験機
Ring-to-ring type test rig

表5 ピーリング試験の条件
Peeling test condition

試験機	NTN2円筒試験機
接触応力	$P_{max} = 2.3 \text{ GPa}$
回転速度	2000rpm
潤滑	タービン油 VG46
評価基準	ピーリング発生面積率

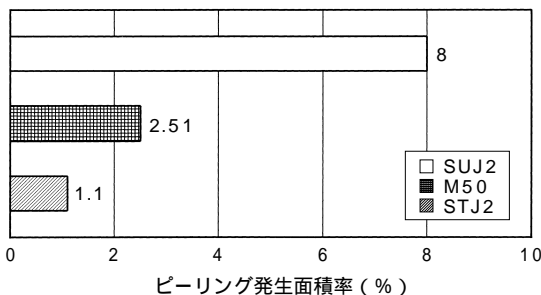


図13 ピーリング試験結果
Peeling grade of tested specimen

STJ2のピーリング発生率はSUJ2の約1/7であり, 表面損傷に対しても優れた特性を有している。

耐スミアリング特性は, 接触する2円筒の転がり接触部に相対すべりを与えるため, 片側の円筒の回転速度を増して, スミアリング発生までの相対回転速度で評価した。試験条件を表6に, 結果を図14に示す。STJ2はスミアリング発生までの相対回転速度(すべり速度)が, SUJ2のそれよりも1.4倍大きく, スミアリング特性も優れていた。

表6 スミアリング試験の条件
Smearing test condition

試験機	NTN2円筒試験機
接触応力	$P_{max} = 2.1 \text{ GPa}$
回転速度	固定側 200rpm 従動側 200rpmから100rpmづつ増速
潤滑	タービン油 VG46
評価基準	スミアリング発生時の相対回転速度

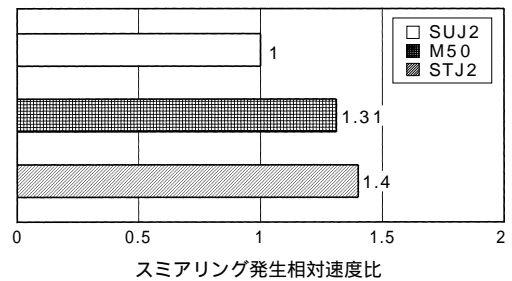


図14 スミアリング試験結果
Relative speed at smearing initiation

3.3 STJ2製軸受の寸法安定性

転がり軸受の軌道輪や転動体は, 高い圧縮荷重に耐えることや摩耗が少ないことが求められているが, 転がり軸受は精密な機械要素であり, 高い寸法安定性も求められている。ここで云う寸法変化は, 熱膨張による寸法変化ではなく, 軸受を高温の雰囲気中に長時間保持したときに生じる永久変形のことであり, 鋼の焼入れ時に生成した残留オーステナイトの高温保持による組織変化に起因する寸法の変化である。

図15に250 の高温保持による寸法変化の調査結果を示すが, STJ2の寸法変化率はSUJ2の高温焼戻品とほぼ同じであり, 軸受機能に影響しないレベルである。

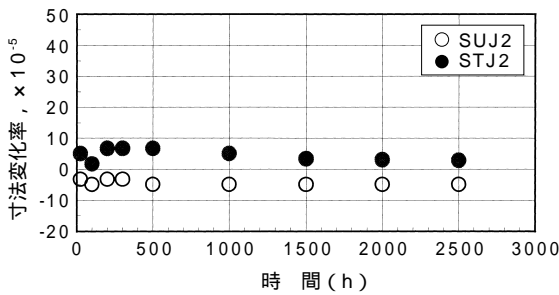


図15 250 高温保持したときの経年寸法変化
Dimensional change due to holding at 250°C

3.4 STJ2の強度

外径60×内径45×幅15のリング試験片を作製し、リングの圧壊強度を調べた。また、JIS3号シャルピー衝撃試験片（Uノッチ）による衝撃強度および破壊靱性（ K_{Ic} ）値を調べた。表7に示すように、どの特性値もSUJ2の値とほぼ同等であり、割れ強度に関して実用上の問題はないことを確かめた。

表7 各種強度試験結果
Fracture strength of developed steel

鋼種区分	リング静的圧壊強度 (kN)	シャルピー衝撃値 J/cm ²	破壊靱性値 MPa m
STJ2	45.0	7.83	15.2
SUJ2	45.0	5.54	15.0

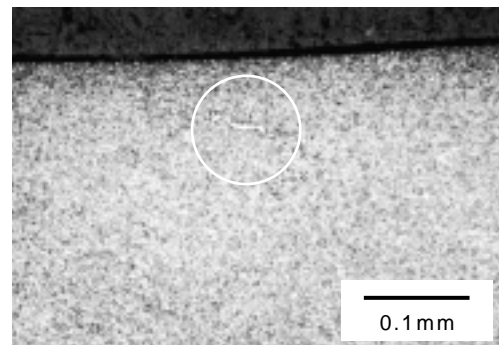
4. 考察

高圧下で使用された転がり軸受は、大きなせん断応力の繰り返しにより接触部表層にミクロ組織変化を生じる⁴⁾ことがよく知られている。図16に200 の高温寿命試験を行なった後のミクロ組織変化の状況を示す。観察は玉の転がり方向に対する直角断面で行なった。SUJ2の場合、接触応力 $P_{max} = 5.5\text{GPa}$ の条件で 5×10^6 回の負荷を受けると、図16 (b)のように明瞭な白色の組織変化が発生した。この組織変化部は微小なきれつを伴っており、やがてはく離に至るものである。長寿命化のためにはこの組織変化の発生を遅らせる必要がある。一方、STJ2では図16 (a)に示すように、 10×10^6 回の負荷を受けた後も組織変化は非常に軽微であり、Si, Niの合金元素添加によるミクロ組織の安定性が示されている。

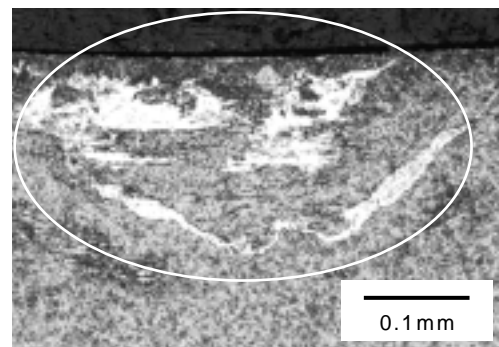
また、各種軸受用鋼の転動による負荷回数と組織変化との関係を調べた結果を図17に示す。転動疲労試験は接触応力 $P_{max} = 5.88\text{GPa}$ 、油温約90 の条件

で行なった。Siを添加した1%Si - Cr - Mo鋼、1%Si鋼およびSTJ2は、いずれも白色組織変化の発生がSUJ2に比べて遅いことがわかる。組織変化後のきれつ発生に関しては、1%Si鋼にCr - Moを添加した鋼よりも、Ni添加のSTJ2の方が優れていることがわかる。このようにSTJ2が長寿命である要因としては、転動疲労による組織変化が生じにくく、組織変化後もきれつが発生しにくいことが挙げられる。

軸受周囲の雰囲気が高温である場合以外でも、転がり軸受が大きな荷重を受けながら高速で回転するときには、軸受自体の発熱が大きい。このため軸受の長寿命化には高温でも硬さが低下しない特性が要求される。



(a) STJ2 (負荷回数 10×10^6 回)



(b) SUJ2 (負荷回数 5×10^6 回)

図16 高温転動疲労寿命試験後のミクロ組織変化
Microstructural alterations due to rolling contact under high temperature

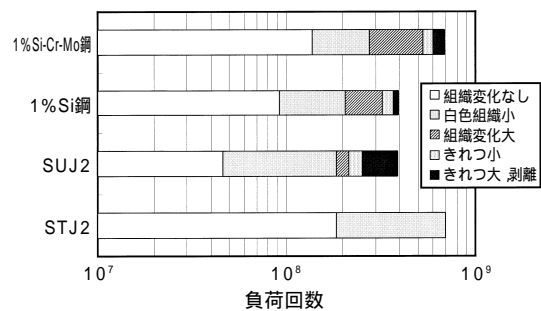


図17 転動による負荷回数とミクロ組織変化の関係
Relation between number of loading cycles and microstructural alterations

図18に300℃におけるSTJ2の高温硬度を示す。SUJ2のそれよりもピッカース硬度で80程度高く、1%Si鋼よりも40程度高い。STJ2はSUJ2や1%Si鋼よりもCを多く含み、炭化物の析出量が多く、さらにはNiが添加されている。このようなミクロ組織や化学成分の違いが高温硬度の違いとなっており、高面圧下での寿命や高温寿命を著しく向上させていると考えられる。

図19にSTJ2と1%Si鋼の変形抵抗のFEM解析結果を示す。図5でも示したように炭化物が大きく、また数も多いSTJ2の方が1%Si鋼より圧痕深さが浅くなる結果が得られた。これは炭化物による変形抵抗の向上(粒子分散強化)によるものと理解されるが、この炭化物による強化は、鋼の素地の降伏強度が小さくなるほど効果が表れやすいことも示されている。

なお、従来の高温軸受用鋼であるM50やT1では、大きくて硬い炭化物が局部的に析出しており、高面圧条件では逆に巨大炭化物が応力集中源となって短寿命になる。一方STJ2の場合には、炭化物は微細に分散しているため、上述したように鋼の変形抵抗が高まる

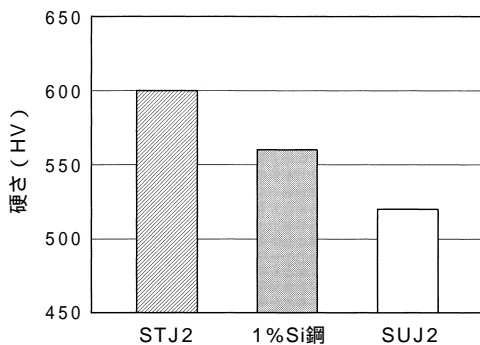


図18 300℃高温硬度の比較
Micro hardness of developed steel at 300°C

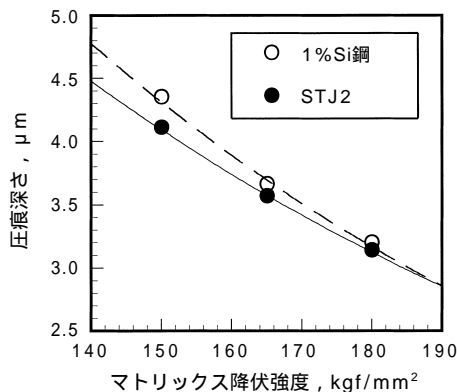


図19 変形抵抗のFEM解析結果
Analysis of deformation property by finite element method

ことに寄与するものの、転動疲労によるき裂発生源にはなっていない。

以上、STJ2の転動疲労寿命が長いことを裏付ける要因について述べたが、これらの要因は、ピーリングやスミアリングといった表面損傷に対する抵抗性が高まることによる理由でもある。ピーリングは表面突起同志の転動疲労現象であり、ピーリングからはく離に至ることもある。軸受鋼や浸炭鋼に浸炭窒化処理を施して表層部の焼戻軟化抵抗性を向上させ、耐ピーリング特性⁵⁾やピーリングからはく離に至るときの寿命を向上させた⁶⁾報告例があるが、STJ2のように高温に保持されても鋼の硬さが低下しにくいということは、ピーリングに対する抵抗性が高いことを意味する。また、スミアリングは金属接触による発熱で、部分的な凝着を伴うものであるが、耐スミアリング性に対しても高い耐熱性を有する鋼が有利である。

5. まとめ

軸受性能に及ぼす化学成分の最適化を図ることにより、従来から用いられてきた軸受鋼の合金元素量を大幅に変えることなく、高い耐熱性を有する高温長寿命軸受鋼STJ2を開発することができた。NTNでは、この新軸受用鋼STJ2材を、高温環境下での長寿命化要求が強い自動調心ころ軸受の材料として標準採用した。常温から250℃の高温域まで幅広い条件で長寿命を示す本材料製軸受はLH (Long life for High temperature use) シリーズ軸受と命名され、鉄鋼設備や製紙機械用に使われ始めた。今後は、自動車関連用軸受や工作機械用軸受など、さらなる用途拡大が予想される。この転がり軸受の長寿命化技術が、あらゆる機械の小型化、メンテナンスフリー化に役立ち、省エネルギー化および環境保護に繋がるものとする。

参考文献

- 1) 中島碩一, 前田喜久男: NTN TECHNICAL REVIEW, 59 (1991)19
- 2) 前田喜久男, 中島碩一: NTN TECHNICAL REVIEW, 63 (1996)83
- 3) 山本俊郎, 脇門恵洋: 鉄と鋼, 57 (1971)1514
- 4) 室 博, 対馬全之: ペアリングエンジニア, 18 (1969)2321
- 5) 中島碩一, 前田喜久男, 柏村博: NTN TECHNICAL REVIEW, 63 (1996)13
- 6) 田中広政, 伊藤冬木, 赤松良信, 前田喜久男, 中島碩一: トライボロジー会議予稿集 (東京 1999-5) 2091

非金属介在物の定量化による転動疲労寿命の推定

村上 裕志*

Estimation of Rolling Contact Fatigue Life due to Determination of Non-Metallic Inclusions

By Hiroshi MURAKAMI

The cleanliness of steels strongly affects the rolling contact fatigue life of bearings. Recently, the rolling contact fatigue life of bearings has improved as a result of cleaner steels and a reduction in non-metallic inclusions. However, conventional methods are not able to discriminate the cleanliness of recent purified steels. In response to this, various evaluation methods were developed, but these methods could not estimate rolling contact fatigue life. NTN has developed a new evaluation method which can estimate rolling contact fatigue life by the use of a weight function with respect to the non-metallic inclusion sizes.

1. まえがき

軸受に発生する損傷の代表的なものは剥離である。剥離は、大別すると表面起点型剥離と内部起点型剥離に分けることができる。表面起点型剥離は、転走表面を起点として発生するもので、異物混入潤滑条件や油膜が適切に形成されない場合などに発生するため、軸受を構成する材料因子よりも潤滑などの外部因子の影響が大きい。これに対し、内部起点型剥離は、転走表面下に存在する応力集中部(主として非金属介在物)からき裂が発生し、表面に達するものであり、材料因子により決定される。

最近では材料の清浄度が向上し、非金属介在物量が減少しているため、この形態での剥離は少なくなりつつある。しかし、清浄な潤滑条件では、依然としてこの形態での剥離が支配的である。したがって、内部起点型剥離寿命と介在物の存在状態の相関を精度良く求めることができれば、介在物分布からの寿命推定が可能となり、更なる長寿命軸受の開発につなげることができることになる。

非金属介在物の評価法としては、従来からJIS法やASTM法などがあるが、転動疲労寿命や疲労強度との

相関が良くない。更に、清浄度が向上した最近の材料に対し、従来の介在物評価方法では、清浄度そのものの識別が困難となっている。このため最近では、破面観察法¹⁾、極値統計法²⁾、電子ビーム溶解法³⁾及び超音波法による介在物の検出⁴⁾などの非金属介在物評価の手法が提案されているが、いずれも転動疲労寿命の推定には至っていない。

本報では、非金属介在物の定量化による転動疲労寿命の推定法について、これまで得られた結果を報告する。

2. 寿命の推移

まえがきで述べたように、内部起点型剥離は鋼中の非金属介在物を起点として発生する。そのため、軸受鋼の歴史は転動疲労寿命の向上を目指した、非金属介在物の低減の歴史といっても過言ではない。特に、酸化系介在物が寿命に悪影響を及ぼすことは以前から知られており、酸素含有量の低減に力が注がれてきた。図1に1969～1999年にNTNで点接触型転動寿命試験を行った高炭素クロム軸受鋼SUJ2材の製造年と酸素含有量の関係を示す。製鋼技術の進歩により、製造年が新しくなるにつれて酸素含有量が減少している。

*軸受技術研究所

図2は、図1と同じロット(溶解チャージ及び試験片採取位置)の酸素含有量と転動疲労寿命(10%寿命)の関係を示したものである。本報での転動疲労寿命はすべて図3に示す12点接触型の寿命試験機を用い、表1の条件で試験を行ったものである。図2に示すように、酸素含有量の低減につれて10%寿命は向上しているが、同じ酸素含有量でもロットの違いにより10倍以上の寿命のばらつきがある。このことから、酸素含有量のみで寿命を精度良く推定することは困難であることが分かる。

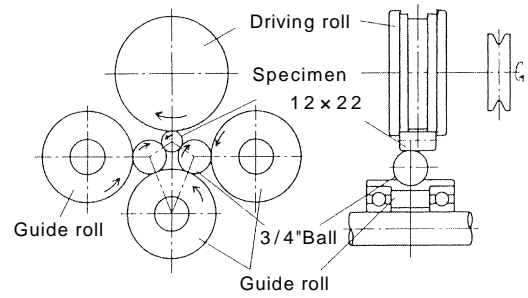


図3 点接触型転動疲労試験機
Schematic construction of point contact type rolling contact fatigue test rig

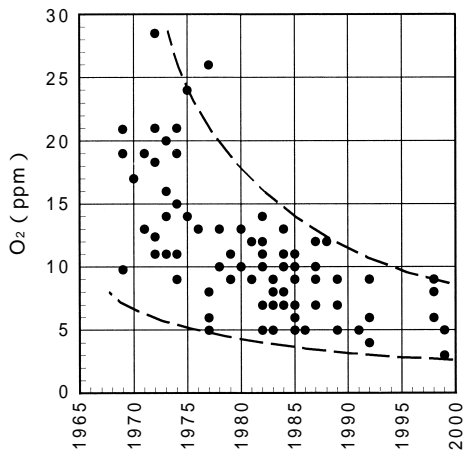


図1 材料の製造年と酸素含有量の相関
Relationship between year of manufacture and oxygen content

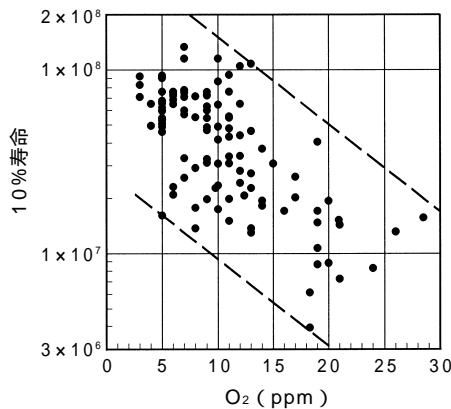


図2 酸素含有量と10%寿命の相関
Influence of oxygen content on rolling contact fatigue life

表1 点接触型転動寿命試験条件
Test conditions of point contact type rolling contact fatigue test

試験機	NTN点接触型転動疲労試験機
試験片形状	12 x L12
相手鋼球	19.05 (3/4")
接触応力	5.88 GPa
負荷速度	46 240 cpm
潤滑	ターピン油 VG68飛沫給油

3. 非金属介在物の定量化

3.1 試料

前述のように、酸素含有量からのみでの寿命推定は精度が悪い。これは酸化物系以外の介在物も寿命に影響しており、また、介在物の大きさ分布が寿命に影響しているためと考えられる。そこで、介在物の種類、大きさ分布に着目し、寿命との相関をとることを試みた。調査鋼種は高炭素クロム軸受鋼SUJ2を対象とした。試料は実際に過去に転動寿命試験を行った前述の12 x L22円筒試験片を用い、ここでの新たな寿命試験は行っていない。試料の被検面は圧延方向と平行に切り出し、自動ポリッシング機により鏡面仕上げを行った。

3.2 介在物の分類及び度数分布

非金属介在物の分類を表2に示す。Type I及びType IIの2種類に分類した。

表2 介在物の分類
Classification of non-metallic inclusions

分類	例	名称
硫化物系	MnS	Type I
Ti系	TiN	
酸化物系	Al ₂ O ₃	Type II

介在物測定には画像処理装置を用い各試料の1000mm²を検査した。画像処理では繋がった像を1つの介在物と見做し、この繋がったピクセルの和で介在物の大きさを表すため、各介在物は面積として計測される。介在物の形状が正方形と仮定すると、計測された面積の平方根は各介在物の大きさを表すことになる。計測された介在物の数を大きさ1 μm刻みで種類別に度数分布として表すと図4のようになる。また図

4に示すように、介在物の個数に対数目盛りを用いると度数分布が直線を示すことから、介在物の大きさと個数の関係は指数関数で近似できることが分かり、1mm²あたりに存在する介在物数を大きさ毎に示す分布関数は(1)式のように表される。

$$f(x) = \frac{e^{-x}}{S} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 x は介在物の大きさ(μm)
 $f(x)$ は1mm²あたりの介在物個数
 及び S は定数
 S は被検面積(mm²)である。

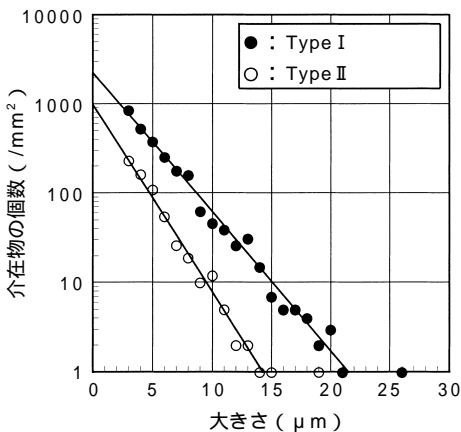


図4 介在物分布図(被検面積:1000mm²)
 Size distribution of non-metallic inclusions
 (measurement area:1000mm²)

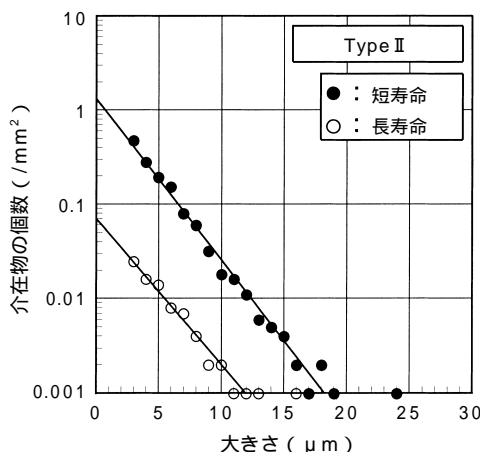
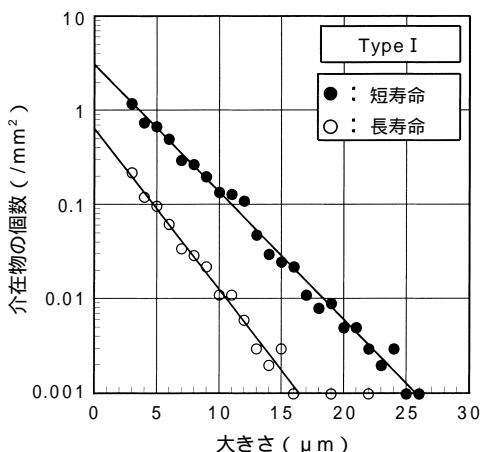


図5 介在物分布図(被検面積:1000mm²)
 Size distribution of non-metallic inclusions (measurement area:1000mm²)

4. 転動疲労寿命と非金属介在物との相関

図5は短寿命ロットと長寿命ロットの介在物分布である。短寿命ロットは介在物の大きさに関わらず総数も多いことが分かる。これは予測された結果であるが、極値統計法による寿命推定⁵⁾においては介在物の大きさが重要視されるように、介在物は大きさによって寿命に与える影響が異なることを考慮する必要がある。

図6は転動疲労寿命がほぼ同じ2ロット(A:[10%寿命]=1.00×10⁷, B:[10%寿命]=1.11×10⁷)の介在物分布を比較したものである。介在物の総数はロットAの方が少ないが、大きな介在物数はロットAの方が多いたことが分かる。このように介在物分布が異なる2ロットの転動疲労寿命がほぼ等しいのは、前述したように介在物は大きさに応じて寿命に与える影響が異なることを示している。

いま、転動疲労寿命に及ぼす介在物の影響度は介在物の大きさの累乗に比例し、その指数は介在物の種類によって異なると仮定し、被検面積当たりに観察される全介在物の寿命へ影響を表す影響指数を導入した。この影響指数はType I 及びType II について(2)式、(3)式で表される。ここで $f(x)$ は画像処理装置で得られたデータを基に(1)式で近似された介在物の分布関数である。

$$E_I = \int_0^{\infty} x \cdot f_I(x) dx \dots\dots\dots (2)$$

$$E_{II} = \int_0^{\infty} x \cdot f_{II}(x) dx \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 E_I はType I の影響指数

E_{II} はType II の影響指数

$f_I(x)$ 及び $f_{II}(x)$ は各Typeの介在物分布関数

及び S は定数。

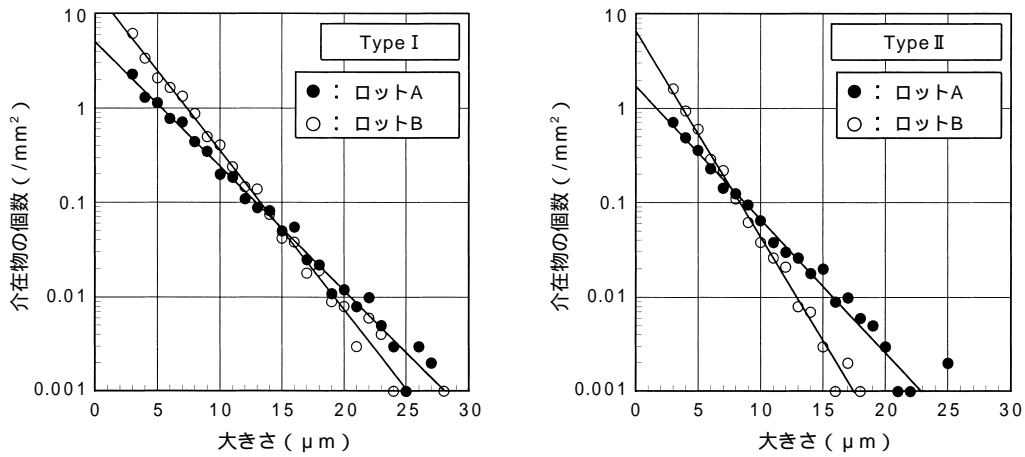


図6 介在物分布図 (被検面積: 1000mm²)
Size distribution of non-metallic inclusions (measurement area: 1000mm²)

式(2)(3)で求まる両介在物の影響指数を説明変量, 実際の転動疲労寿命(10%寿命)を目的変量として重回帰分析を行った。 E_I, E_{II} 2つの影響指数を用いて寿命推定を行うに当たり(4)~(6)式で示す3つの関係式を検討した。

$$[\text{推定10\%寿命}] = aE_I + bE_{II} + c \dots\dots\dots (4)$$

$$[\text{推定10\%寿命}] = c \cdot \exp(aE_I + bE_{II}) \dots\dots\dots (5)$$

$$[\text{推定10\%寿命}] = c \cdot E_I^a \cdot E_{II}^b \dots\dots\dots (6)$$

ここで, a, b, cは定数である。

これらの関係式(4)(5)及び(6)について(2), (3)式の 及び を種々に変えて重回帰分析を行い, 寿命推定式として最適な値を求めた。式及び定数選択の基準としては, 自由度二重調整寄与率(R^{**2})を用いた。その結果, 推定式として最適な関係は(5)式となり, 介在物の大きさの影響を示す重み指数としては, $\alpha=1, \beta=2$ が最適値となった。以上の結果をもとに, 寿命推定式を記述すると(7)式のようなになる。(7)式は(8)式, (9)式のように書き換えることができ, 定数に各Typeの介在物による寿命減少の割合(D_I 及び D_{II})を乗じた式となる。ここで, D_I 及び D_{II} を各Typeの清浄度係数, D_I と D_{II} を乗じた D を材料全体の清浄度係数とする。

[推定10%寿命]

$$= 1.06 \times 10^8 \cdot \exp(-6.93 \times 10^{-3} \cdot E_I - 1.57 \times 10^{-2} \cdot E_{II}) \dots\dots\dots (7)$$

$$= 1.06 \times 10^8 \cdot D_I \cdot D_{II} \dots\dots\dots (8)$$

$$= 1.06 \times 10^8 \cdot D \dots\dots\dots (9)$$

ここで, D_I はType Iの清浄度係数

D_{II} はType IIの清浄度係数

D は材料全体の清浄度係数である。

式(7)から求めた推定寿命と実寿命の相関を図7に示す。多少のばらつきがあるが, 図2の酸素含有量からの推定に比べれば, はるかに精度良い推定ができている。また(7)式において影響指数 $E_I=0, E_{II}=0$ ($D_I=1, D_{II}=1$)とすると, 介在物が全くない場合の10%寿命を求めることができ, 1.06×10^8 が得られる。図7の結果からもほぼ実寿命はこの値に達しており, 介在物の低減による寿命向上はほぼ上限に近づいていることが伺える。

既存の介在物評価法として, 介在物の大きさ分布を調査する方法(ex.光散乱法⁶⁾)があるが, 寿命との相

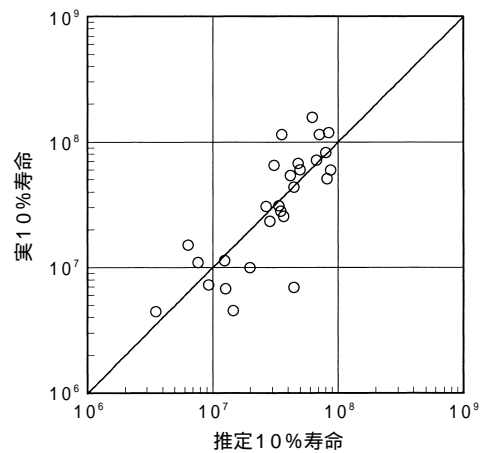


図7 実10%寿命と推定10%寿命の相関
Relationship between actual rolling contact fatigue life and estimated rolling contact fatigue life

関は議論されていない。また、チャート図との比較により介在物の大きさに応じた重み付けを行う方法 (ex.SAM法) では、チャート図の評点自体が物理的意味を持っていない。それに対し本方法では、介在物の分布と寿命の相関が確立され、また、介在物の大きさに応じた重み付けが行われており、従来の方法の問題点を解消しているといえる。

5. 考察

4.において、全ての介在物が寿命に影響するとして寿命推定式を作成したが、SUJ2には基地より硬い炭化物(Fe₃C)が存在する。炭化物は分散強化の役割を果たすが、応力集中源にもなりうる。炭化物は基地中に無数に存在しているため、炭化物と同程度以下の大きさの介在物は、寿命に影響しないことが考えられる。そこで、式(5)の形式で、式(2)(3)の積分範囲の下限値に1,2,3,4を与えた場合の寿命推定式を作成し、実寿命との相関を調査した。この結果、積分範囲の下限を2としたものが最も相関が高かった。(以下、影響指数の積分範囲の下限は2とする。)式(10)(11)にこの場合の寿命推定式を示す。これにより、本試験条件でSUJ2材の転動寿命試験を行った場合、2μm未満の介在物は転動寿命に影響を与えないことが推察できる。この値は、SUJ2の基地に存在する炭化物の存在状態(大きさ、数)に起因しており、炭化物が同様の存在状態であれば、他鋼種でもこのことが成り立つと考えられる。

[推定10%寿命]

$$=1.07 \times 10^8 \cdot \exp(-1.02 \times 10^{-2} \cdot E_I - 1.69 \times 10^{-2} \cdot E_{II}) \dots (10)$$

$$=1.07 \times 10^8 \cdot D_I \cdot D_{II} \dots (11)$$

$$D_I = \exp(-1.02 \times 10^{-2} E_I) = \exp\left[-1.02 \times 10^{-2} \int_2^x f_I(x) dx\right] \dots (12)$$

$$D_{II} = \exp(-1.69 \times 10^{-2} E_{II}) = \exp\left[-1.69 \times 10^{-2} \int_2^x f_{II}(x) dx\right] \dots (13)$$

6. まとめ

高炭素クロム軸受鋼SUJ2について、非金属介在物が転動疲労寿命に与える影響を種類及び大きさによって分類し、それぞれに応じた重み付けを行うことにより、非金属介在物の度数分布から転動疲労寿命を推定することを試み、寿命推定式を導いた。

本方法は、高精度で転動疲労寿命の推定が可能であり、従来の介在物評価法の問題点を解消した方法である。

参考文献

- 1)前田喜久男,中島碩一:NTN TECHNICAL REVIEW, No.63(1994), p83.
- 2)村上敬宜:金属疲労 微小欠陥と介在物の影響,1993, 養賢堂
- 3)塗嘉夫,梅沢一誠:鉄と鋼, No.75(1989), p1897.
- 4)西川,藤田,永山,野口,杉本,浅井:CAMP-ISIJ, Vol.11(1998), p1324.
- 5)村上裕志,前田喜久男:トライボロジー会議予稿集 (1999-10), p405.
- 6)千野,石橋,郡司,岩田:CAMP-ISIJ, Vol.4(1991), p387.

円筒ころ軸受の保持器に作用する力

藤原 宏樹* 藤井 健次* 中関 嗣人*

Retainer Forces in Cylindrical Roller Bearings

By Hiroki FUJIWARA, Kenji FUJII, Tugito NAKAZEKI

The stress in a Cylindrical Roller Bearing Retainer is important with regard to retainer durability. However, it is not easy to measure the stress on a rotating retainer.

A new method for measuring retainer stress has been developed. A slip ring is used to transmit strain gauge signals to amplifiers on this new measuring system. This slip ring is driven by a servomotor so that its speed is synchronized with that of the retainer. This system makes it possible to measure the stress on a bearing retainer under real operating conditions.

1. はじめに

転がり軸受運転中の保持器に作用する力は、軸受の発熱や保持器の破損などの問題を考える際の重要な情報となる。これを計測するためにこれまでに試みられた代表例を以下に示す。

一つの方法として、保持器でドライブされるスリップリングからひずみ信号を取り出す方法¹⁾がある。外輪固定で、内輪を回転させた状態での測定である。保持器に連結されたスリップリングは保持器と共回りするので、保持器とスリップリングは同期回転する。したがって、保持器にひずみゲージを貼り付け、そのリード線をスリップリングに接続してもリード線は破断せず、ひずみ信号をスリップリングの静止部から取り出すことが可能である。しかし、スリップリングの駆動力を保持器から得ているために、スリップリングの慣性モーメントや回転トルクによる計測誤差が生じる。

次に、スリップリングを使用せず、軸受の内輪と外輪を逆転して保持器を静止させた状態での計測法²⁾が報告されている。内輪と外輪を逆転させ、内輪と外輪の軌道面の周速を一致させると保持器は静止する。保持器の静止状態を維持すれば、保持器に貼り付けたひ

ずみゲージからリード線を取り出し、応力測定を容易に行うことができる。しかし、通常は内輪または外輪のどちらか一方のみが回転する場合がほとんどであり、保持器が静止することはなく、通常の使用条件下における保持器応力を把握することはできない。

今回、これらの問題を解決し、実際の運転状態で、高精度の保持器応力の計測を可能とする技術を確認し、保持器に作用する力に及ぼすころ径相互差、潤滑剤のトラクション係数、ラジアル内部すきまの影響について調査した³⁾。

2. 計測の原理と装置の構造

2.1 計測装置概要

従来の計測法の問題点を回避し、正確な計測を期すためには、次の二点が肝要となる。

- 保持器を回転させた状態で計測できること。
- 保持器のひずみ信号を伝達するための器具と保持器の間に力の干渉がないこと。

ひずみゲージは保持器に貼り付けられるので保持器と共に回転する。一方、ひずみゲージからの信号を増幅するストレインアンプは、静止場に設置されるので、ひずみ信号を回転場から静止場に伝達させるためのコ

*軸受技術研究所

ネクタが必要となる。このネクタの役割を果たす器具として本装置では電気抵抗の小さい水銀スリップリングを使用した。

計測装置の概念図を図1に示す。ひずみゲージのリード線はスリップリング回転部のターミナルに接続するが、リード線の断線を避けるため、サーボモータでスリップリングを保持器と同期回転させる。

引張り試験によって保持器に作用する力とひずみの関係を求め、ひずみ信号を力に変換した。

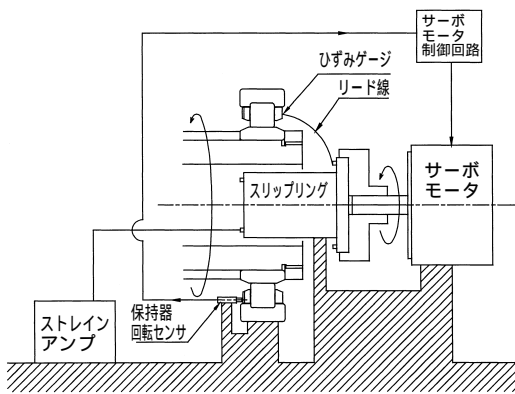


図1 保持器応力計測装置概念図
System for measuring retainer stress

2.2 サervoモータの制御方法

2.2.1 保持器回転数の検出

保持器には、図2のように半径方向に深さ1mm、幅3mmの溝を円周上50箇所等配に加工した。図1に示した保持器回転センサは渦電流式非接触変位計であり、この溝が通過すると電圧パルスが発生する。これを保持器回転パルスとしてサーボモータの制御回路に入力する。

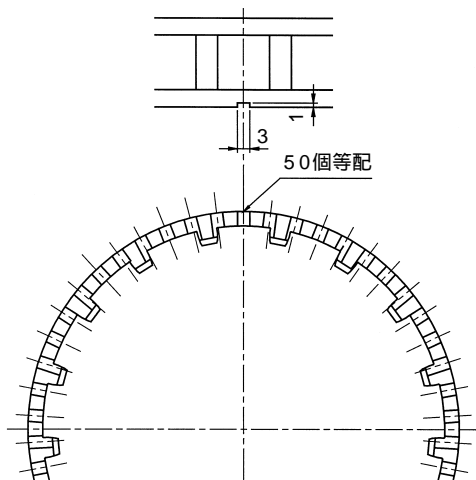


図2 保持器回転数検出のための保持器改造
Alteration of retainer to detect retainer rotating speed

2.2.2 制御回路の構成

保持器とスリップリング間を接続するリード線が破断しないためには、モータの回転速度を保持器と一致させるのみでは不十分であり、リード線が伸縮する範囲内で位相が一致している必要がある。これを実現するための同期制御ブロック線図を図3に示す。モータの回転パルスと保持器の回転パルスをUP/DNカウンタに入力し、位相角を検出する。ここから出力される8ビットのデジタル信号をD/Aコンバータにより、アナログ電圧に変換し、基準値と比較後、PI補償器に入力する。この制御系は速度制御であり、安定化のための微分器は必要としないが、定常偏差をゼロにする必要性から、積分器を組み込んでいる。PI補償器の出力をVCOでパルス列に変換し、モータドライバに入力する。

この閉ループ制御システムは、低速域の動作が不安定であり、低速域では開ループ制御を採用した。この制御方式では保持器回転パルスを8倍し、モータドライバに入力することにより、モータの同期運転が可能である。しかし、速度の上昇に伴い位相遅れが生じるため、高速域で使用できない。このため、スイッチにより保持器回転数が200rpm以下の場合、開ループ制御とし、それ以上の回転数では閉ループ制御に切り替える。

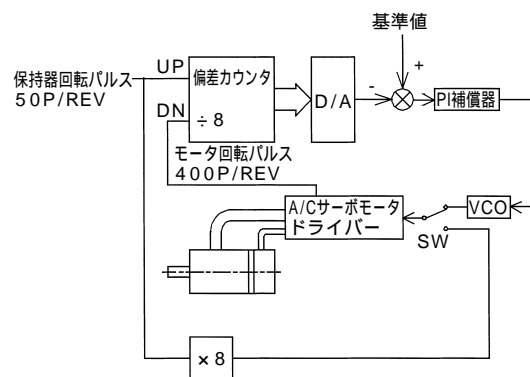


図3 同期制御回路
Servomotor control circuit

3. 保持器作用力測定試験

3.1 供試軸受

試験には、円筒ころ軸受NU214G1を使用した。表1に供試軸受のころ径相互差と組込み後のラジアル内部すきまを示す。ころの総数は17個であり、このうち1つのころ径を他の16個のころ径（ $13-0.0011$ ）より大とし、その直径差をころ径相互差とした。組込み後のラジアル内部すきまは寸法差 $-1.1\mu\text{m}$ のころに対して $-10\mu\text{m}$ 、 $-5\mu\text{m}$ とした。径の大きいころを保持する保持器ポケットをNo.1とし、以下、保持器の回転と逆の方向にNo.2, 3, ..., 17とする。

表1 ころ径相互差とラジアル内部すきま
Roller diameter and radial clearance variation

ころ径相互差 μm	No.1のころ径の 基準寸法(13) との差 μm	その他のころ径の 基準寸法(13) との差 μm	組込み後の ラジアル内部 すきま μm
0.0	-1.1	-1.1	-10
1.0	-0.1	-1.1	-10
2.0	+0.9	-1.1	-10
3.0	+1.9	-1.1	-10,-5

3.2 試験条件

ころ径相互差、ラジアル内部すきま、潤滑剤のみの影響を調査するため、無負荷（ラジアル荷重0）で、 $1 \times 10^3 \text{rpm}$ の低速運転を行った。

潤滑剤のトラクション係数の大きさが保持器に作用する力に及ぼす影響を調査する試験では、表2のように動粘度は同じであるがトラクション係数の異なる潤滑剤を使用した。

表2 潤滑剤
Lubrication

	トラクション係数	動粘度 @40 (mm^2/s)
トラクション油	0.1	30.5
ポリ オレフィン	0.02	30.5

上記トラクション係数を示す条件⁴⁾

$u=4.1\text{m/s}$, $P_{\text{max}}=1.1\text{Gpa}$, $s=5\%$, $T=40$

3.3 試験結果

3.3.1 保持器に作用する力の分布

図4で力の分布を見ると、径を大としたころを保持するポケット（No.1）の力が最大となり、保持器の回転方向に対し逆の向きに減少する傾向にある。また、すべての測定点で応力は正となっており、引張り応力が生じている。

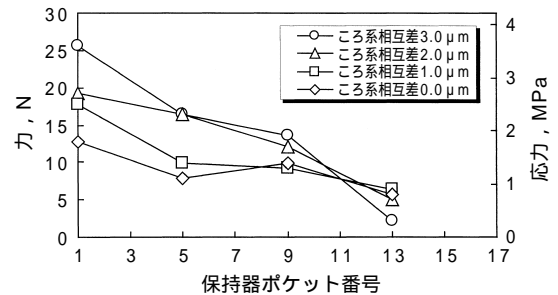


図4 保持器に作用する力と応力の分布
潤滑油：トラクション油
ラジアル内部すきま： $-10\mu\text{m}$
Distribution of force and stress on retainer

3.3.2 ころ径相互差の影響

ラジアル内部すきまが $-10\mu\text{m}$ の時のポケット1における力を図5に示す。ころ径相互差を増加させると保持器に作用する力は増加する傾向にあり、相互差 $0.0\mu\text{m}$ で 12.8N であったが、相互差 $3.0\mu\text{m}$ では 25.6N となった。その他のポケットにおいても同様の傾向が見られる。

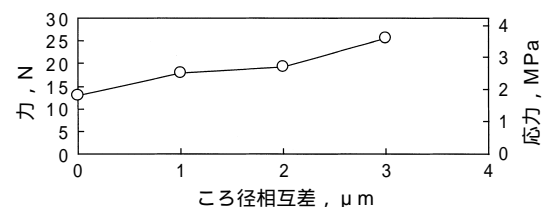


図5 保持器に作用する力と応力に及ぼすころ径相互差の影響
ポケット：No.1
潤滑剤：トラクション油
ラジアル内部すきま： $-10\mu\text{m}$
Effect of roller size variations on retainer force and stress

3.3.3 トラクション係数の影響

図6は、最大トラクション係数の大きいトラクション油を使用した時の保持器に作用する力は、ポリオレフィンで潤滑した場合より大きいことを示している。本試験の運転条件におけるトラクション係数は不明であるが、表2の大小関係が保持され、ポリオレフィンよりトラクション油のトラクション係数のほうが高いと考えられる。

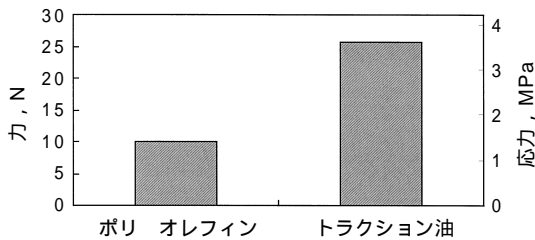


図6 保持器に作用する力と応力に及ぼす潤滑剤のトラクション係数の影響
 ポケット: No.1
 ころ径相互差: 3.0 μm
 ラジアル内部すきま: -10 μm
 Effect of traction coefficient of lubricant on retainer force and stress

3.3.4 ラジアル内部すきまの影響

図7にラジアル内部すきまの影響について示す。ラジアル内部すきまを大きく(-10 μm - 5 μm)すると、保持器に作用する力は小さくなり、ポケット1において25.6Nから10.0Nに減少した。

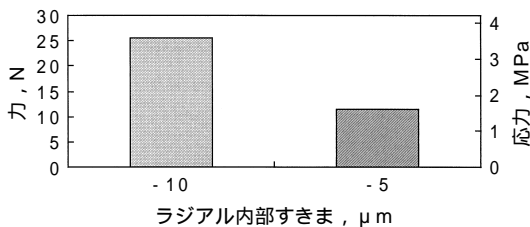


図7 保持器に作用する力と応力に及ぼすラジアル内部すきまの影響
 ポケット: No.1
 ころ径相互差: 3.0 μm
 潤滑剤: トラクション油
 Effect of radial clearance on retainer force and stress

4. まとめ

円筒ころ軸受の保持器に作用する力を測定できる装置を開発した。本装置は下記の特長を有する。

- 内輪回転，外輪静止の状態では保持器に作用する力の測定ができる。
- スリップリングが保持器の運動に干渉しない。

本装置を用いて，ころ径相互差，潤滑剤のトラクション係数，ラジアル内部すきまが保持器に作用する力に及ぼす影響について実験的に調査した。

1. 径の大きいころを保持するポケット部の応力が最大となり，保持器の回転方向に対し逆の向きに減少する。
2. 保持器柱間には張力が働く。
3. ころ径相互差を0にしても保持器に作用する力は0にならない。

文献

- 1) 角田和雄・他：不釣り合いのある回転軸を支える玉軸受の保持器に作用する力の発生機構，日本機械学会論文集，62 - 600, C (1996) 3210 - 3215 .
- 2) 下間頼一・他：玉軸受保持器に関する研究（第一報）- 内外輪逆転式試験法 -，潤滑，16 - 3 (1971) 185 - 195 .
- 3) 藤原宏樹・他：円筒ころ軸受保持器に作用する応力，トライボロジー会議 '99秋高松予稿集
- 4) 畑一志：トラクションオイルの分子構造とトラクション特性，精密工学会誌，56 - 9 (1990), 19 - 22

スクロールコンプレッサ用EMカップリングについて

片 桐 力* 鶴 谷 金 告*

EM Coupling for Scroll Compressors

By Chikara KATAGIRI and Kanetsugu TSURUTANI

Currently, most scroll compressors use a ball coupling as an anti-rotation mechanism and thrust bearing for the orbiting scroll. These will soon be replaced by NTN's new Eccentric Motion (EM) coupling. In this new design, the ring and race of the ball coupling are combined into a "unified race" which also supports the balls with its integral curved surface. The design has resulted in lower stress levels at the race-ball interface and has made it feasible to reduce ball diameter. Component fabrication and assembly are facilitated and the parts count is reduced for the new EM coupling.

1. まえがき

スクロールコンプレッサは、一對の渦巻き部品である可動スクロールと固定スクロールから成り、スクロール間にできる空間が、外側から中心へ移動しながら容積を小さくし、冷媒を圧縮する構造になっている(図1参照)。スクロールコンプレッサには、可動スクロールの自転を阻止しつつ旋回運動させる自転阻止機

構が必要であり、自転阻止機構にはオルダムカップリング、ピン&リングカップリング及びボールカップリングなどがある。サンデン(株)殿と共同で、現行ボールカップリングの小型化と静粛性及び生産性を改良したEMカップリングを開発した。

EMカップリングの特徴と性能及び寿命評価結果について紹介する。

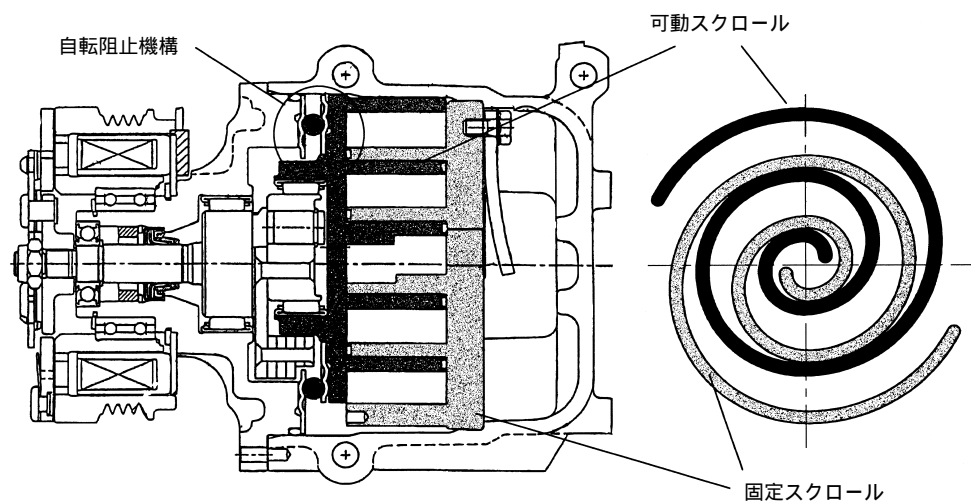


図1 スクロールコンプレッサの構造
Scroll compressor

*軸受技術部

2. EMカップリングの特徴と性能

2.1 EMカップリングの構造

従来のボールカップリングは、図2に示すように可動スクロールの背面に可動リング、フロントハウジング端面に固定リングを設け、各リングの複数のポケットに鋼球を入れて可動・固定レースで挟んだ構造になっている。鋼球が、リングのポケット内周に沿って移動し可動スクロールの自転を阻止し、可動スクロールを旋回運動させる。尚、ボールカップリングは、圧縮室中の圧力を可動・固定レースによって受けるこがり軸受で支持し、機械効率の改善を図っている。しかし、平坦な可動・固定レースと鋼球が接触するため面圧は高い傾向にある。また、リングと鋼球のバックラ

ッシュ（遊び）によって騒音が発生し易い。

これに対し、EMカップリングは、図3に示すようにレースとリングを一体プレス成形した2枚のプレートと鋼球から構成され、部品点数の削減を図っている。また、接触面圧を低減するためプレートのアキシャル荷重を負荷する部分（レース）の形状を曲面にすることで、従来と比較して小さな鋼球で同等の負荷容量が得られ、小型化に大きく貢献できた。尚、レース中央を凸曲面形状とすることによって、鋼球のバックラッシュを防止し低騒音化も達成した。

表1にサンデン(株)製同一容量コンプレッサでボールカップリングからEMカップリングに変更したときの接触面圧、質量及び高さの比較を示す。

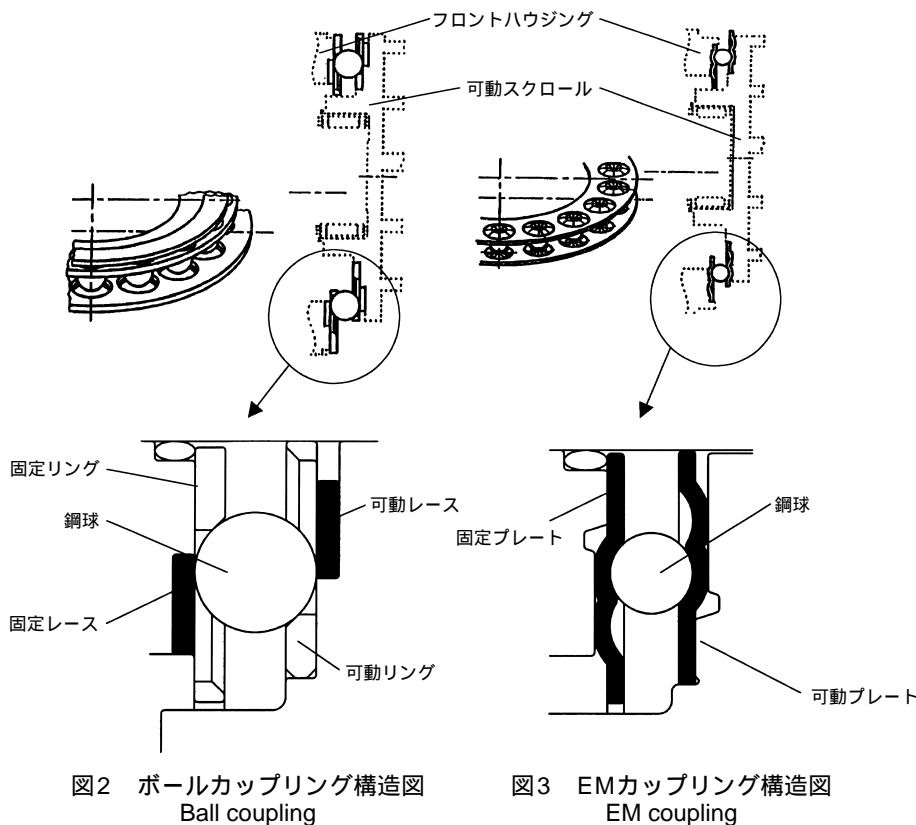


図2 ボールカップリング構造図
Ball coupling

図3 EMカップリング構造図
EM coupling

表1 内部諸元と効果比較
Internal design and comparison of specifications

項目	ボールカップリング	EMカップリング	効果
鋼球径(インチ)	13 / 32	9 / 32	31%減
鋼球数	16	18	
アキシャル荷重(kN)	11.8 *		
最大接触面圧 (MPa)	4100	3300	20%減
質量 (g)	276	150	45%減
高さ (mm)	14.2	9.8	30%減

* : ある条件下でのアキシャル荷重

2.2 静粛性の向上

レース形状を平坦から曲面に変更することにより、鋼球のバックラッシュが小さくなりボールカップリングで発生していたリングと鋼球間の騒音が低減した。コンプレッサ実機での騒音レベルは、ほぼ回転数全領域でボールカップリングに対し2～3dBA下がっている(図4)。

表2 試験条件
Test conditions

吐出圧力	1.72MPa
吸入圧力	0.22MPa (1,400 min ⁻¹)
過熱度	10K
過冷度	5K
マイク距離	0.15m

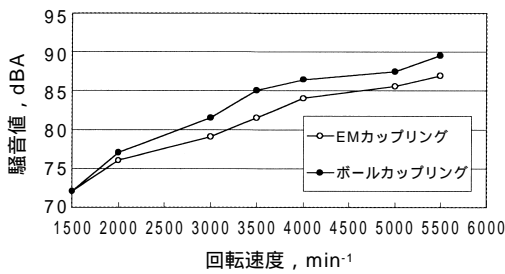


図4 サンデン社製90cc用コンプレッサ実機での騒音比較
Noise level comparison using Sanden's 90cc compressor

3. EMカップリングの寿命計算式と寿命評価

3.1 寿命計算式

EMカップリングは、鋼球1個のスラスト玉軸受が複数個組み合わさった軸受と考えることができる。基本定格寿命(一群の同じEMカップリングを同一条件で個々に回転させた時、その90%が転がり疲れによるフレーキングを生じることなく回転できる総回転数)は、スラスト玉軸受の寿命計算式を適用して検討を行った。

まず鋼球1個からなるスラスト玉軸受の基本定格寿命は、回転時間で表すと式(3.1)によって求められる。

$$L_1 = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C_a}{P_a} \right)^3 \dots\dots\dots (3.1)$$

ここで、

- L_1 : 鋼球1個からなる1溝の基本定格寿命 h
- C_a : 鋼球1個からなる1溝の基本動アキシャル定格荷重 N
- P_a : 鋼球1個からなる1溝のアキシャル荷重 N
- n : 回転速度 min⁻¹

次に、複数の溝からなるEMカップリングの基本定格寿命は、回転時間で表すと式(3.2)によって求められる。

$$L_{10} = \frac{L_1}{Z^{10}} \dots\dots\dots (3.2)$$

ここで、

- L_{10} : EMカップリングの基本定格寿命 h
- Z : 鋼球数

3.2 寿命評価結果

NTN横形EMカップリング寿命試験機(図5)にて、サンデン(株)殿向け量産品: EM006PX1の寿命評価を行った。

表3 試験条件
Test conditions

供試EMカップリング	EM006PX1
アキシャル荷重 (最大接触面圧)	6.7 kN (3,900MPa)
回転速度	1700min ⁻¹
潤滑油	モービルベロシティ No.6 (10 × 10 ⁻⁶ m ² /s)
給油量	7 l / min 循環給油, 温度30

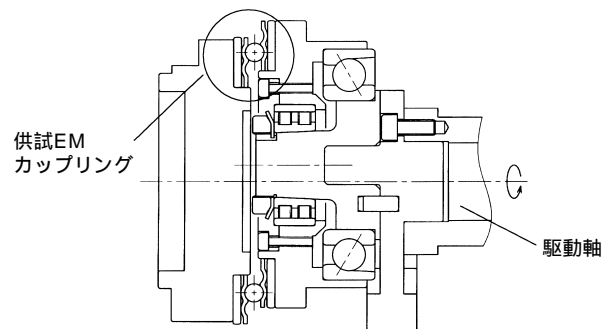


図5 EMカップリング寿命試験機
Durability test equipment for EM coupling

図6に示す試験結果から L_{10} 寿命は、164 hとなった。式(3.2)で算出した計算寿命は155 hとなり、試験結果と計算寿命はよく一致した。

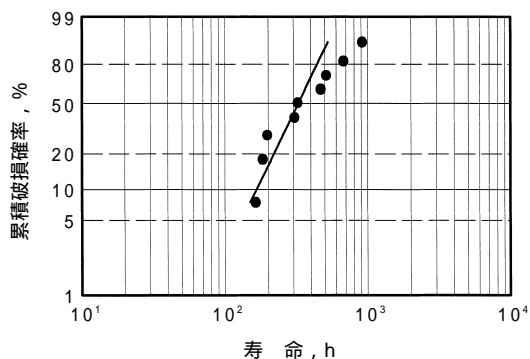


図6 寿命試験結果
Durability test results

4. あとがき

スクロールコンプレッサの自転阻止機構であるボールカップリングに対し、プレートとリングを一体化した曲面ポケットをもつプレス成形のEMカップリングを開発した。EMカップリングの採用により、コンプレッサは小型化が可能となり、静粛性も改善されることから、今後の使用拡大が期待される。

参考文献

- 1) J.Iizuka, N.Kitano, S.Ito, S.Otake Improvement of Scroll Compressor for Vehicle Air Conditioning Systems (SAE TECHNICAL PAPER SERIES :970113)
- 2) S.Otake, Y.Yoshii, K.Tsurutani New Design Approach For a Scroll Compressor Anti-Rotation Mechanism (Compressor Conference at Purdue Univ. 1998)

音響長寿命グリース『EE-1』の開発

三上 英信* 平田 正和*

Development of Low Sound, Long Life Grease “EE-1”

by Hidenobu MIKAMI and Masakazu HIRATA

The bearings used in motors for data processing equipment require low torque, low sound levels and high rotational precision for the life of the motor. This report evaluated the effect of the grease thickener, thickener quantity and the base oil type on the bearing sound level over time. This report also introduced a new grease developed for small motor bearings (EE-1), having low sound for the life of the unit. The conclusions were as follows:

- 1) Increasing the thickener resulted in low sound for the life of the bearing. Greases with increased amounts of thickener have excellent shear stability and form strong oil films.
- 2) The base oil type and viscosity influenced the grease's ability to maintain a low bearing sound level over time.

In particular, the affinity of the thickener to the base oil is important. The EE-1 grease was developed considering these points. Compared with conventional lithium-ester grease, EE-1 grease maintains a low sound level over a long period of time, over three times the performance under 120°C.

1. はじめに

HDDに代表される情報機器用モータに使われる軸受には、この高密度化に伴う高い回転精度以外に、省電力化、低騒音化のため低トルクで音響長寿命が要求される。軸受の初期音響には、軌道輪やボールの精度及びグリースの種類が大きく影響することが分かっている。一方、使用中の音響劣化を避けるためには、潤滑性能の向上が必要であるが、低トルク化のためのグリース封入量の減少がこの課題解決を困難にしている。一般に低トルクで音響特性を重視する用途には、Li石けん - エステル油グリースが使用されている。このグリースを封入した場合と、その基油のみで潤滑した場合の音響寿命がすでに比較されており^{1)~2)}、グリースで潤滑した軸受は、基油で潤滑した軸受よりも音

響長寿命であると報告されている。この結果はグリース中の増ちょう剤が、音響寿命に好影響を及ぼしていることを示している。

以上の結果を参考に、Li石けん - エステル油グリースの増ちょう剤量や基油の種類を変え、グリースの性状が玉軸受の音響寿命に及ぼす影響について実験を行った。本稿ではその結果を示すとともに、その際に得られた知見を利用して開発した音響長寿命グリース「EE - 1」について紹介する。

*軸受技術研究所

2. グリース増ちょう剤量と音響寿命

2.1 試料グリース

一般的に使用されているLi石けん - エステル油グリースについて、増ちょう剤量を変えてA-1～A-4のグリースを製造した。表1に試料グリース性状を示す。A-1～A-4は、増ちょう剤が多いほど混和ちょう度が小さい(かたい)グリースである。

表1 試料グリース性状
Properties of test Greases

試料グリース	A-1	A-2	A-3	A-4
増ちょう剤量, wt%	8	11	12	14
増ちょう剤	リチウム石けん			
基油	エステル			
基油粘度 mm ² /s	40	26.0		
	100	5.1		
混和ちょう度	280	245	235	205

2.2 音響寿命試験

684軸受を使用してグリースの音響寿命を評価した。軸受をn-ヘキサンで洗浄した後、内輪転走面を狙って表1のグリースを5mg(空間容積の10%)封入した。グリース潤滑と油潤滑を比較するため、基油のみの場合についても音響寿命を評価したが、この場合、軸受への注入量は10mgとした。音響寿命試験は、2個の軸受をアキシアル予圧8.8Nで組み込んだスピンドル(図1)を温度制御できる試験機(図2)にセットして行った。試験は、モータ停止状態で昇温し、100に到達後20000rpmで運転を開始した。グリースの基油粘度から算出した内輪と鋼球の接触部における弾性流体潤滑膜厚さは、0.036μmである。

軸受の音響劣化は、20時間ごとにスピンドルの回転を停止し、スピンドルの騒音値を精密騒音計で測定して行った。音響寿命は、スピンドルの騒音値が42dBAを超えるまでの時間とした。尚、試験前のスピンドル騒音値はグリースによらず33～37dBAであった。

各グリースの音響寿命試験結果を図3に示す。音響寿命はグリースの混和ちょう度に影響され、混和ちょう度の小さい(かたい)グリース(A-4)ほど音響長寿命である。また、音響寿命は、基油のみで潤滑した場合が最も短寿命であった。

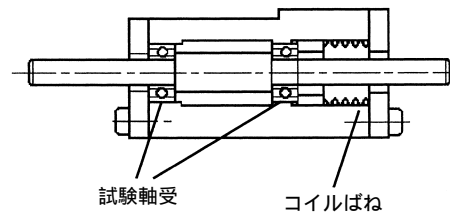


図1 試験スピンドル
Test spindle

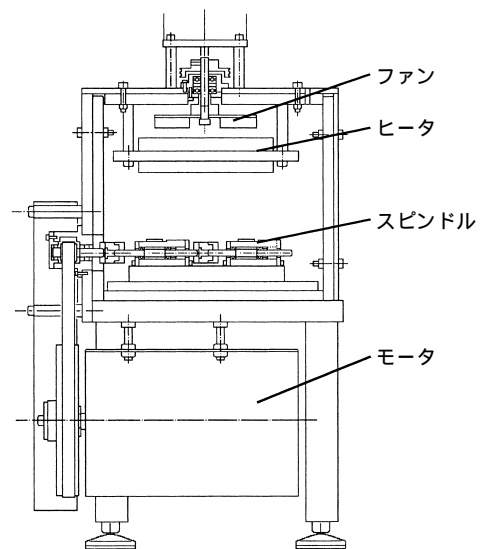
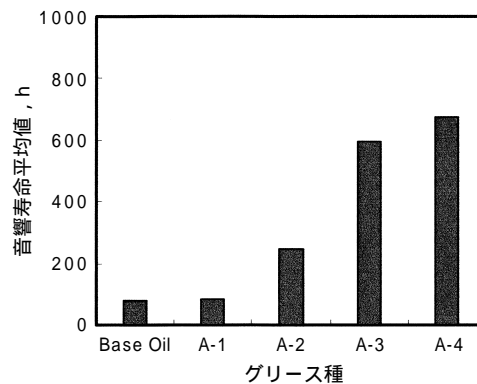


図2 音響寿命試験機
Sound life test rig



試験条件	
試験軸受	: ゴムシール付684
回転数	: 内輪回転 20 000rpm
温度	: 100
アキシアル荷重	: 8.8N
グリース封入量	: 5mg

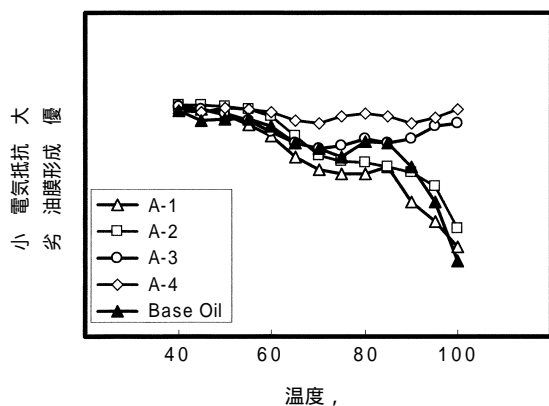
図3 音響寿命試験結果
Sound life of greases

3. 増ちょう剤量とグリース性能

3.1 油膜形成性

玉軸受の回転音が増大する原因は、ころがり面に形成される潤滑油膜の破断と考えられるため、表1に示した試料の潤滑性の違いについて調査した。潤滑油膜の形成状態は、回転中の軸受内外輪間の電気抵抗を測定することによって推定できる。そこで、51106スラスト軸受にグリースを1mg塗布し、ならし運転後(196N, 1000rpm, 20min), 荷重1450N, 回転数2600rpmで40~100まで軸受の温度を変えながら、内外輪間の電気抵抗を測定した(図4)。

40では、各グリース間の油膜形成状態にほとんど差は見られないが、混和ちょう度が大きい(やわらかい)グリース(A-1)は、温度が上昇するに従い、油膜形成状態が悪化し、油膜が破断しやすくなった。基油の油膜形成状態は、A-1グリースとほぼ同様の傾向を示し、高温条件で油膜が破断しやすくなった。一方、混和ちょう度が小さい(かたい)グリース(A-4)は、40~100まで油膜形成状態の変化が見られず、油膜が切れにくく、潤滑性が良好であった。より多くの増ちょう剤が、ころがり面に介入しやすくなり、増ちょう剤の潤滑作用により、油膜破断が防がれたものと考えられる。



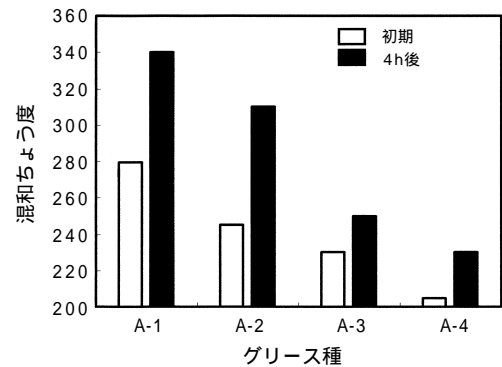
試験条件
 試験軸受 : 51106
 回転数 : 2600rpm
 温度 : 40~100
 荷重 : 1450N
 グリース封入量 : 1mg

図4 グリースの油膜形成性
Formation of grease film

3.2 剪断特性

グリース封入軸受において、軸受の回転時の剪断によりグリースは軟化する。グリースが軟化すると、流動性が高くなり、転走面近傍からグリースが流出してしまうため、潤滑に寄与しない。音響長寿命のためには、グリースの軟化を最小にすることが重要である。表1に示したグリースを封入した6204玉軸受を、10000rpmで4時間回転させて、回転前後のちょう度を測定した結果、いずれのグリースも軟化する傾向が見られるが、初期のちょう度が小さい(かたい)グリースほど軟化が少ないことが判った(図5)。

したがって、初期のちょう度が小さい(かたい)グリースは、油膜が破断しにくい上、軟化も少ないため、潤滑に必要なグリースが転走面近傍に確保できるので、長期間にわたって油膜を維持しやすいと考えられる。このような理由から、ちょう度が小さい(かたい)グリースほど音響長寿命になったと思われる。



試験条件
 試験軸受 : ゴムシール付6204
 回転数 : 10000rpm
 温度 : 室温
 荷重 : 39.2N
 試験時間 : 4h

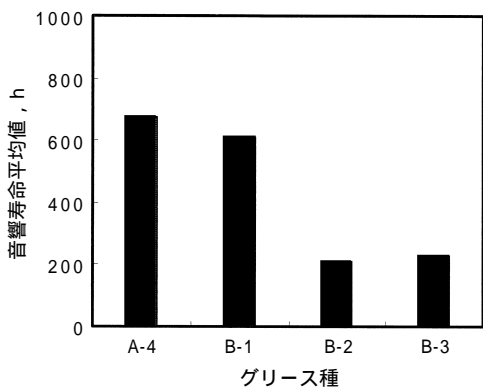
図5 剪断によるグリースちょう度の変化
Change of grease penetration

4. グリース基油と音響寿命

グリースの音響寿命は、混和ちょう度以外に基油の種類にも影響を受けると考えられる。表2に示すような、基油粘度の異なるエステル油を使用したグリース (B-1, B-2), PAO油を使用したグリース (B-3) をほぼ同程度の混和ちょう度となるように製造し、音響寿命を比較した。試験結果を図6に示す。エステル油を基油としたグリースでもエステル油の種類、基油粘度が異なると音響寿命に差がみられ、高粘度エステル油を基油とするグリース (B-2) は短寿命であった。したがって、単に高粘度油を使用すれば音響長寿命になるわけではないことがわかる。PAO油を基油とするグリース (B-3) も短寿命であった。高粘度エステル油やPAO油を使用したグリースは、増ちょう剤 (リチウム石けん) との親和性が悪いため、剪断により軟化しやすく (図7)、転走面近傍から流出し易いため短寿命になったと考えられる。

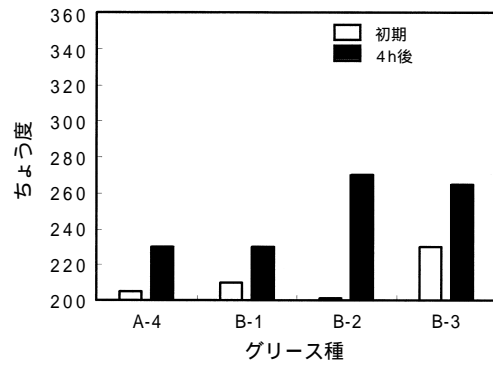
表2 試料グリース性状
Properties of test Greases

試料グリース	A-4	B-1	B-2	B-3
増ちょう剤	リチウム石けん			
基油	エステル	エステル	エステル	PAO
基油粘度 mm ² /s	40	26.0	53.0	64.0
	100	5.1	7.5	12.0
混和ちょう度	205	210	200	230



試験条件	
試験軸受	: ゴムシール付684
回転数	: 内輪回転 20 000rpm
温度	: 100
アキシャル荷重	: 8.8N
グリース封入量	: 5mg

図6 音響寿命試験結果
Sound life of greases



試験条件	
試験軸受	: ゴムシール付6204
回転数	: 10 000rpm
温度	: 室温
荷重	: 39.2N
試験時間	: 4h

図7 剪断によるグリースちょう度の変化
Change of grease penetration

5. 音響長寿命グリース

これまで述べたように、音響寿命は、グリースの混和ちょう度、剪断特性 (軟化しにくさ)、基油種類、基油粘度などの影響を受ける。これらの項目を主眼において、グリースの改良を行った結果、音響長寿命グリース『EE-1』の開発に至った (表3)。

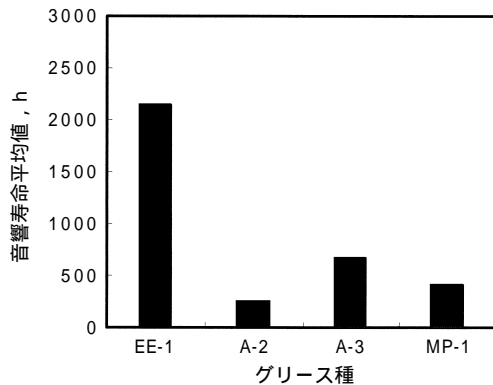
『EE-1』グリースは、従来から使用しているLi石けん-エステル油系のグリース (A-2, A-3) と比較して、音響寿命が3倍以上である (図8)。高温寿命については、従来グリースと同等であるが、剪断特性の改良などにより、実用的な使用温度 (100以下) で音響長寿命となったと考えられる。トルク特性は従来グリースと同等かそれ以下であり、従来グリースの優れたトルク特性を損なうことはないと考えられる。一方、ウレア系のモータ用耐熱グリース『MP-1』と比較すると、高温寿命は劣るものの、音響寿命は数倍と長寿命である。

表3 EE-1グリース性状
Properties of EE-1 Grease

試料グリース	EE-1	A-2	A-3	MP-1
増ちょう剤	リチウム石けん			ウレア
基油	エステル			PAO+エステル
基油粘度 mm ² /s	40	33.5	26.0	26.0
	100	5.9	5.1	5.1
混和ちょう度	210	245	235	250
高温寿命 ^{*1} , h	330	270		730
回転トルク ^{*2} , N·cm	1.6	2.3	2.4	4.0

*1 : 6204軸受, 10 000rpm, 150 , $F_a=F_r=67N$,
0.7g封入 (15%封入)

*2 : 608軸受, 8 000rpm, 室温, $F_a=39.2N$,
0.1g封入 (18%封入)



試験条件

試験軸受 : ゴムシール付684
 回転数 : 内輪回転 20 000rpm
 温度 : 100
 アキシャル荷重 : 8.8N
 グリース封入量 : 5mg

図8 EE-1グリースの音響寿命
Sound life of EE-1 grease

6. まとめ

近年, 要求が厳しくなっている軸受の回転音響及び音響寿命について, グリース性状の影響を検討し, 『EE-1』グリースを開発した。グリースの音響寿命は, グリースの著しい劣化を伴う前に寿命となるため, 長寿命化のために求められる特性も, 従来からの焼付き寿命とは異なっている。

『EE-1』グリースは, 基油, 増ちょう剤, 添加剤について, これまでと全く別の角度から選定しており, 120 以下の温度において, 汎用的に使用できるとともに, 音響特性が大きく向上している。また, 近年, 環境保全が話題になる中で, 土中で分解する生分解性グリースが注目されているが, EE-1グリースは, 通常のグリースより生分解性が高く, 環境への負荷が少ないグリースである。

参考文献

- 1) 中村篤正・赤松良信: トライボロジー会議予稿集 (東京 1998-5) 16
- 2) 中村篤正・赤松良信: トライボロジー会議予稿集 (名古屋1998-11) 498

磁気浮上型遠心血液ポンプの開発

鈴木 稔* 鈴木 健一* 尾崎 孝美*

Development of Magnetically Suspended Centrifugal Blood Pump

By Minoru Suzuki, Kenichi Suzuki, and Takayoshi Ozaki

Continuous flow pumps have numerous advantages over pulsating pumps for medical applications. However, clotting (thrombosis) and damage to blood cells (hemolysis) can occur in the contact bearing in continuous flow pumps. Magnetic bearing suspension would eliminate these problems and provide a large bearing gap with no friction. A research group formed by NTN, Terumo and Setsunan University has been developing an implantable left ventricular assist system (ILVAS) featuring a magnetically-suspended centrifugal blood pump system (MSCP). In continuing animal experiments, a sheep with a left ventricular assist survived a world record 864 days without thrombosis or hemolysis, proving the MSCP is sufficiently stable and practical for long-term use.

In this report, the structure of the magnetic suspension in the MSCP and the artificial heart system are introduced.

1. はじめに

NTNでは、長年、電磁力によって非接触で軸受支持を可能とする磁気軸受の研究開発を行ってきた。現在、この技術は真空の質（油等汚染物質のないクリーンな真空）が要求される、半導体製造設備用のターボ分子ポンプに不可欠な技術となっている。

1991年、この流体媒体を全く使用しない非接触支持方式が医療分野に結びついた。当時京都大学赤松教授（現摂南大学教授）と共同で、それまで接触式軸受であるが故に耐久性・血液との適合性等課題の多かった人工心臓用血液ポンプへ磁気軸受の適用を検討し、「磁気浮上型遠心血液ポンプ（MSCP）」の開発に成功した。その後、NTN、摂南大学、およびテルモ（株）殿との連携のもと、恒久使用を目的とした埋込み型人工心臓の検討を行ってきた。その結果、体内埋込み型ポンプとしては従来の拍動流ポンプの1/2以下のサイズで、小柄な患者にも埋込み可能な人工心臓を完成させた。羊にこのポンプを体外装着した動物実験では2年以上、体内埋込みによる実験でも1年以上と、いず

れも連続流ポンプ世界最長記録を樹立している。

現在、本ポンプはテルモ（株）殿で左心補助人工心臓用血液ポンプとして製品化の検討が進み、世界でも臨床応用に近いポンプとして注目されている。

本稿では、最近の血液ポンプ開発の動向、磁気浮上型血液ポンプの構成を中心に、これまでのNTNの開発状況を紹介する。

2. 人工心臓開発の流れ

人工心臓用血液ポンプの開発は、自然心を模倣した拍動流ポンプから定常流ポンプへと移行してきている。定常流ポンプは、インペラ（回転翼）の回転によって流体に運動エネルギーを与えるターボ型ポンプで代表され、主に遠心式と軸流式が利用されている。定常流ポンプは拍動流ポンプと比較し、部品点数が少なく、また非容積型ポンプであるため小型化が可能で¹⁾²⁾、患者のQOL（Quality of Life）と信頼性の面で有利となる。これらの理由で、定常流ポンプは人工心臓用ポンプ開発の主流となった。

*メカトロニクス研究所

しかし、定常流ポンプにも課題があった。これまで定常流ポンプのインペラ回転支持にはピボット軸受等接触式軸受が使用されてきたが、この軸受部での血液のよどみ・摩擦による溶血・血栓など血液固有の問題が残されていた³⁾。

そして、インペラを完全に非接触で支持できる磁気軸受技術が、この定常流ポンプの諸問題を一挙に解決した。この「磁気浮上型遠心血液ポンプ」は第3世代の血液ポンプとして注目されている。

図1に血液ポンプを左心補助人工心臓に用いた場合の体内循環系模式図を示す。近年、このような自然心臓を残したまま左心室にバイパスを作り、血液ポンプで拍出機能を助ける左心補助タイプが、臨床応用の主流になってきている。人工心臓の開発初期のターゲットであった、自然心臓を切除し血液ポンプを埋込む完全置換型人工心臓とは区別される。図2に、人体に血液ポンプ(MSCP)を埋込み装着した場合の人工心臓システム構成を示す⁴⁾。システムは、ポンプ本体と共にポンプ制御用のコントローラおよび補助バッテリーが体内に埋込まれ、ポンプ駆動に必要な主電力を体外バッテリーから経皮電送装置(TETS)で非接触供給する構成である。

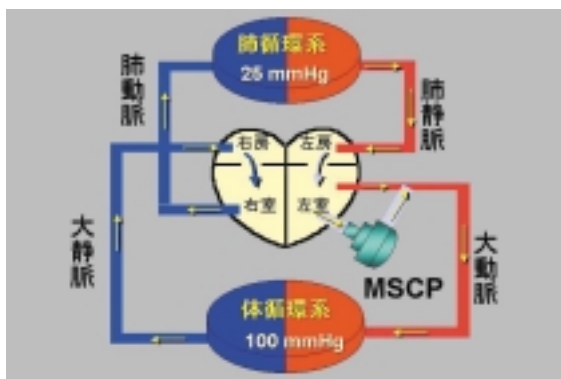


図1 体内循環系模式図
Schematic illustration of blood flow in the body

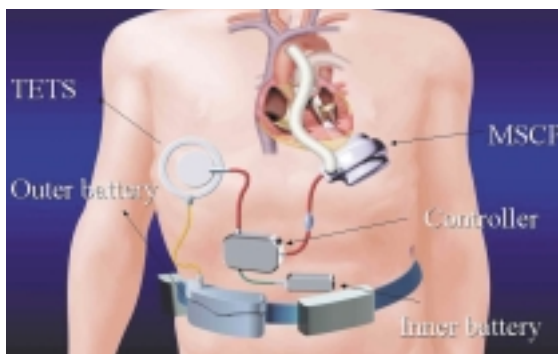


図2 埋込み型左心補助人工心臓システムの構成
Schematic illustration of implantable left ventricular assist system

3. 磁気浮上型遠心血液ポンプの構造

図3に血液ポンプで採用した磁気軸受の基本構造を、図4にポンプの断面図を示す^{1) 5)}。

ポンプは磁気軸受部、ポンプ部、およびモータ部から構成され、各部分は隔壁によって完全に隔離された構造である。インペラは軸方向両側に円盤状の側板をもち、それぞれ磁気軸受側は強磁性材料、モータ側は非磁性材料で構成される。モータ側の非磁性材料内に円筒形の永久磁石を円周方向へ等ピッチで配置させ、それと対向したモータの軸端部に同数の永久磁石を配する事で、磁気カップリングを構成した。この磁気カップリングはモータ部からの回転トルクをインペラに伝達するだけでなく、インペラ半径方向を支持する受動型磁気軸受としても作用する。これによって、能動型磁気軸受の制御軸数を減らし、コンパクト化を図った⁷⁾。

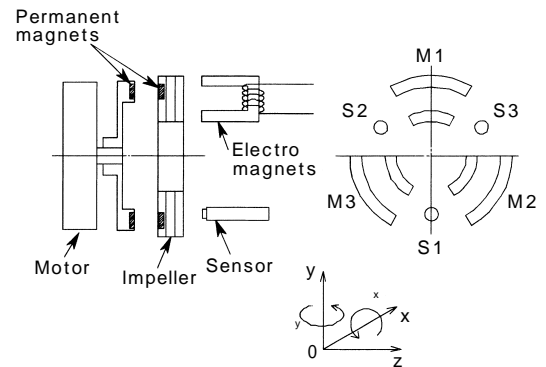


図3 血液ポンプ用磁気軸受の構造
Structure of magnetic suspension for blood pump

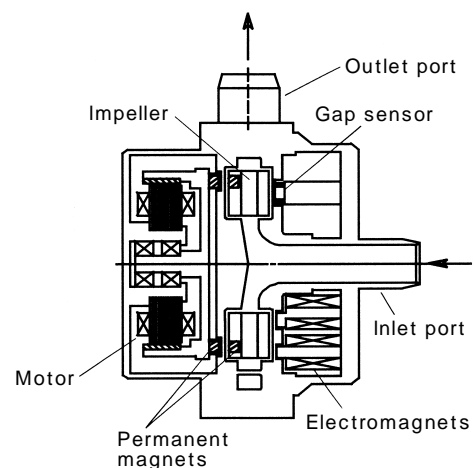


図4 血液ポンプの断面図
Schematic cross section of the blood pump

磁気カップリングの軸方向吸引力は、磁気軸受制御に対しバイアス力としても作用する。インペラの位置制御は、基本的に磁気カップリングの吸引力と磁気軸受部の電磁石による電磁吸引力との釣合いで達成される。各電磁吸引力の調整は、磁気軸受部に配した3つの位置センサ（図中S1,S2,S3）出力を基に得られるPID制御器出力によって、各電磁石（図中M1,M2,M3）のコイル電流をコントロールすることで行う。このように、血液ポンプで採用した磁気軸受は、電磁石の吸引力調整によって、インペラの軸方向（Z）、ピッチング方向（x）、およびヨーイング方向（y）の運動を能動的に制御する3軸制御型である。

モータにはセンサレスDCブラシレスモータを採用した。ホールセンサなどの位置検出素子をなくし、モータ部の信頼性向上を図っているのが特長である。

血液はインレットからポンプ室内に流入し、インペラの回転によって圧力エネルギーと速度エネルギーが与えられる。血液はその後うず形室を経てアウトレットより吐出されるが、このうず形室内での減速によって、さらに速度エネルギーから圧力エネルギーへの変換が行われる。このうず形室内の圧力は、アウトレット位置によって円周方向に分布を持ち、これがインペラへの半径方向外乱となる。血液ポンプでは、この半径方向外乱を低減し安定したインペラの回転を得るため、図5に示したようにうず形室をダブルボリュート形状として圧力バランスをとっている。

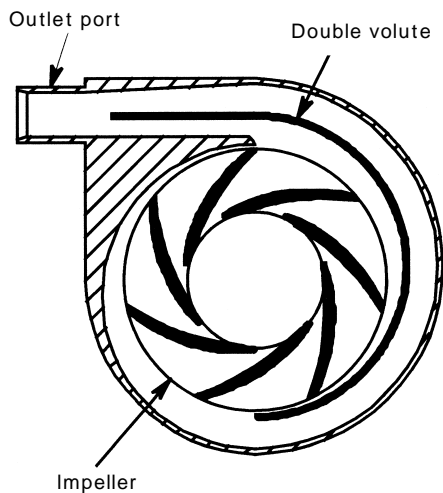


図5 ポンプケーシングの形状
Profile of pump casing

5. ポンプの性能

表1に、左心補助人工心臓用血液ポンプに要求される仕様を示す。

表1 ポンプの動作仕様
MSCP requirements for left ventricular assist system

	標準動作点	最大動作点
流量 (L/min.)	5	10
圧力 (mmHg)	100	150

図6に、開発した遠心ポンプの圧力 流量 回転数 線図（PQN線図）を示す。50mmのインペラ外径で、最大動作点でのポンプ回転数は3000rpm以下である。一方、軸流式ポンプでこのポンプ仕様を満足するには、10000rpm以上の回転が必要となる。遠心式ポンプであるが故に、低速回転で高圧・高流量性能が可能となった。

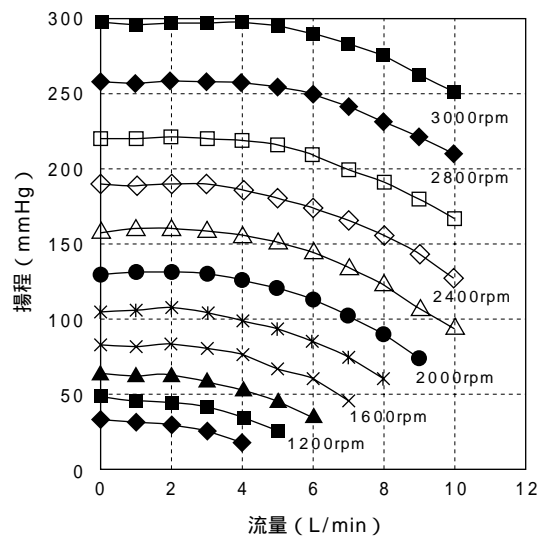


図6 ポンプのPQN線図
PQN diagram of MSCP

6. 埋込みポンプシステム

図7に体内埋込みポンプ本体を、図8にポンプ全体システムの写真を示す⁴⁾。ポンプ本体サイズは82mm×t50mmで、容積は196mlである。ポンプシステムは、ポンプ本体以外に、磁気軸受およびモータの制御・駆動回路を内蔵するコントローラ、電源・外部との通信機能を有する外部ユニット(Ex.Unut)、およびポンプ動作の遠隔操作とモニタ用に使用するパーソナルコンピュータ(PC)からなる。この内、コントローラは体内埋込みが可能で、そのサイズは直径100mm、厚さ39mmである。またモータの制御には、一定回転数を保持する回転モード、ポンプ負荷を一定に保つモータ電流一定モード、およびモータ回転数を所望の周期で可変できる拍動モードを用意し、外部の指令によってモード変更も可能である。

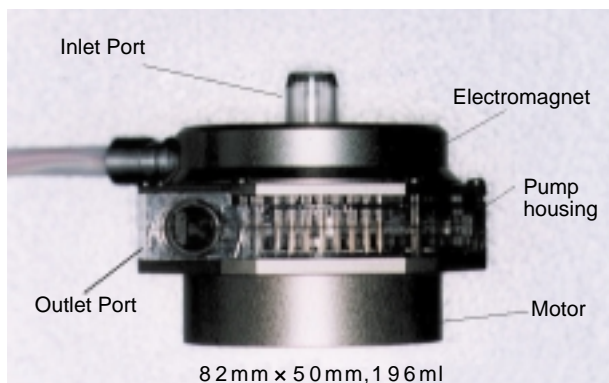


図7 ポンプの概観
View of MSCP

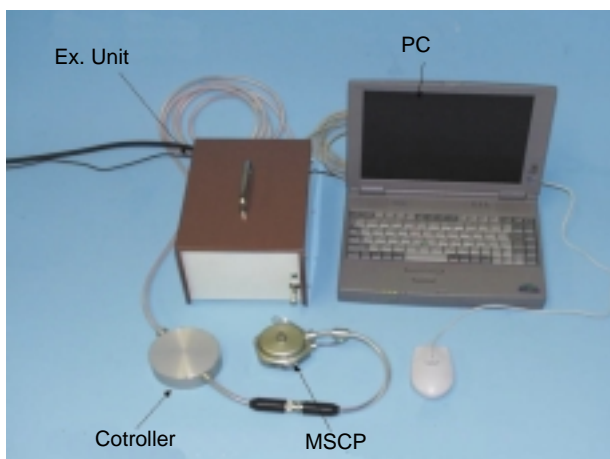


図8 血液ポンプシステム
MSCP system

7. 動物実験

図9に動物実験状況を示す。図中右側の羊はポンプ本体を体外設置させた例で、左側の羊は胸腔内に埋込んだ例である。

この動物実験において、体外設置された左心補助遠心ポンプで864日、埋め込み左心補助で482日⁸⁾の連続流ポンプとしては連続運転世界最長記録を達成している。

これら動物実験において、体内埋込みに対し本ポンプが良好な解剖学的適合性、生体適合性を有していることが検証された⁹⁾。同時に、従来の連続流ポンプで問題となってきた溶血や血栓、およびその他血液・生化学検査にも異常が認められないことも明らかになっている。

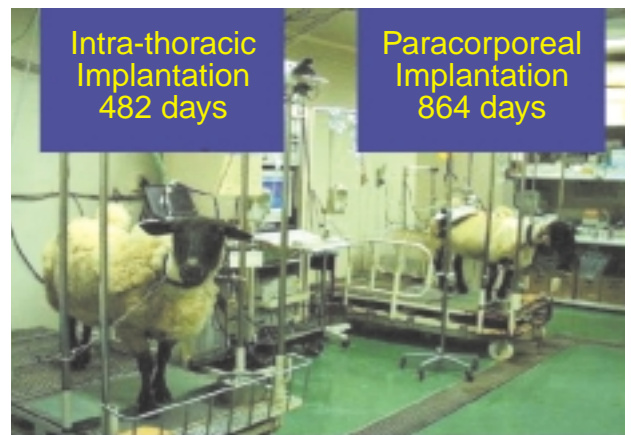


図9 動物実験
View of Animal experiments

8. おわりに

磁気軸受技術の応用は、これまで宇宙機器用としてスタートし、その後真空ポンプなど産業機器への適用が進んだ。

本稿で紹介した医療分野への応用を機に、磁気軸受技術が広く世の中に貢献できることを期待したい。

最後に、本稿を執筆するにあたり貴重な情報の提供をいただいたテルモ(株)研究開発センターTILVASプロジェクトの皆様方、日頃ご指導を頂いている摂南大学工学部赤松映明先生ならびに京都大学医学部西村和修先生に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 赤松映明：ターボ型ポンプ，BME Vol.10, No.10
1996
- 2) 井野隆史，安達秀雄，編：最新体外循環。金原出版，
1997，p.40
- 3) 大原康壽：長期補助を目的とした定常流ポンプの現
状と展望，人工臓器：26(5)，1997
- 4) Nojiri C, et al.: Development of Terumo
implantable left ventricular assist system(T-
ILVAS) with a magnetically suspended
centrifugal pump, J Artif Organs:vol2., No.1，
1999
- 5) 中関嗣人：磁気浮上型遠心血液ポンプ，NTN
TECHNICAL REVIEW No. 64 (1995)
- 6) 西村和修ほか：磁気浮上型血液ポンプの慢性実験成
績，人工臓器27(2)，1998
- 7) 尾崎孝美：磁気軸受技術と真空への応用，真空，42，
(1999) 816
- 8) Nojiri C, et al.: Development of Terumo
implantable left ventricular assist system,
Abstracts of ISRP, 1999, p23
- 9) 野尻知里ほか：磁気浮上型遠心ポンプを用いた完全
埋込み型補助人工心臓の開発，人工臓器
27(4)1998

液晶パネルにおける透明薄膜欠陥の検出及び修正技術

清水 茂夫* 大庭 博明*

Technology for the Detection and Repair of Micro-Defects Occuring in Transparent Thin-Film on LCD Panels

By Shigeo SHIMIZU and Hiroaki OHBA

In NTN'S LCD (Liquid Crystal Display) repair system, technology for the detection and repair of micro-defects occurring in transparent thin-film on LCD panels has been developed. A differential interference optical unit has been implemented in conjunction with the standard optical unit so that visualization of defective parts and automatic detection by image processing is now possible. A multi-wavelength laser is used so that small areas can be cut in micron-wide lines, affecting only the upper layer on the LCD panel multi-layer structure.

1. まえがき

NTNは、液晶リペア装置を1990年に上市して以来、液晶パネルメーカーの要望に応えながら、装置の機能や性能を高めて販売実績を重ねると共に多くの経験を積んできている。

この間、液晶パネルのパターンは高精細化が進み、目視では検出しにくい欠陥を自動検出し、自動修正する、いわゆるオートリペアの要求が、省人化や修正タクト短縮の観点から高まりつつある。

その一方で、液晶リペア装置に搭載されるYAG (Yttrium Aluminum Garnet) レーザの性能は向上し、数ミクロンの線幅カットや多層膜の上層のみを選択的に除去することも可能になりつつある。本稿では、オートリペアの第一段階として、液晶基板に発生する透明薄膜欠陥の自動検出とその修正技術を開発したのでこれらについて述べる。

2. 液晶リペア装置の構成

装置の外観を図1に、装置構成図を図2に示し、以下に各部品の機能や仕様について簡単に述べる。

本装置は大別すると、XYステージ、光学系、制御部で構成されている。

XYステージの形式としては、従来のX軸とY軸を重ねた構造（ワークが移動）の他にX軸とY軸を独立して配置する分離タイプ（光学ヘッドをX軸に搭載し、ワークをY軸で移動）やガントリータイプ（光学ヘッドがXY方向に移動）がある。液晶パネルの大型化に伴い分離タイプが採用されているが、設置スペースの観点からガントリータイプが要求される傾向にある。



図1 液晶リペア装置外観
External view of repair system

*メカトロニクス研究所

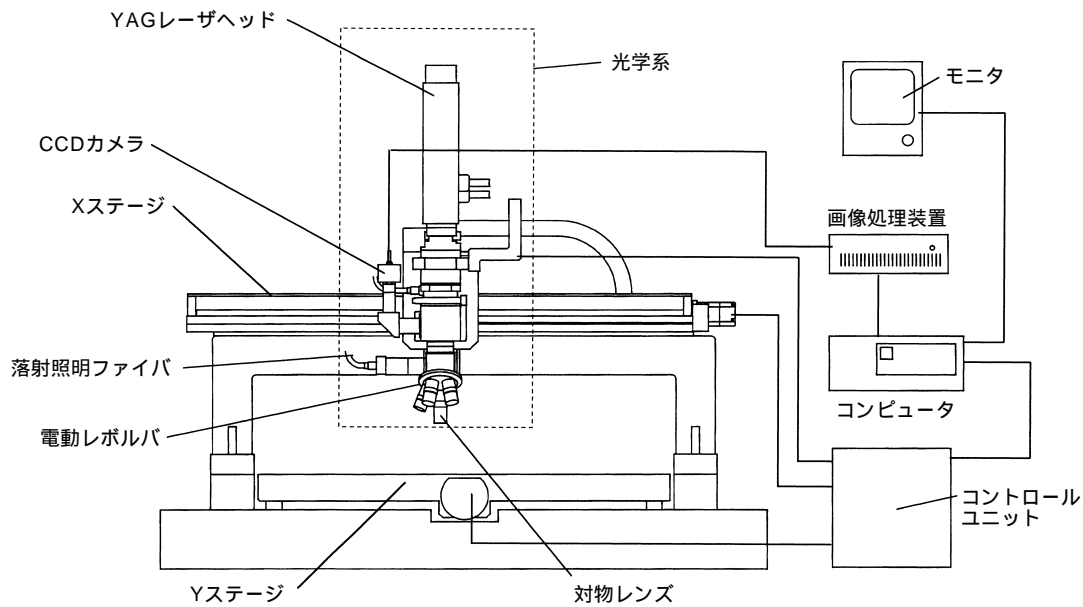


図2 装置構成図
Schematic view of repair system

また、液晶ディスプレイの高精細化に伴いサブミクロンの位置精度を達成するため、ガラススケールによるクローズドループ制御や高分解能化を行なっている。レーザを含む光学系は、液晶ディスプレイのリペアにおいて加工品位を左右する重要な地位を占めており、質の良い加工を行なうには、レーザを加工対象物に最適な発振波長やパルス幅で選択すること、さらにレーザのピーク出力や出力エネルギーの安定性、ビーム断面の強度分布なども重要である。

制御部は、XYテーブル、レーザ光学系や画像処理等の修正プロセス全体を統括するものであり、その内容は以下の通りである。

- 1) サーバあるいは検査装置からパネル情報と欠陥データを取得し、パネルのアライメント後、欠陥位置に光学ヘッドを移動する。
- 2) 画像処理装置により、オートフォーカスと欠陥位置の座標を算出する。
- 3) レーザ照射位置に移動し、欠陥の形状や材質によりレンズ倍率、スリットや出力をカット条件に調整後レーザカットを行なう。

作業者はモニタ画面上の欠陥の認定とレーザ照射の判断を行なうことで、欠陥の修正が可能である。

3. 欠陥検出

3.1 微分干渉光学系

透明薄膜電極の欠陥は従来の明視野光学系では目視でも検出が困難であり、自動検出を行うために必要な明暗コントラストが得られなかった。そこで、微分干渉光学系を用いることにより検出を可能とした。その概念図を図3に示す。白色光源から出た照明光は、ポラライザにより偏光方向の揃った光に変換され、ハーフミラーによりウォラストンプリズムの方向に反射される。ウォラストンプリズムに入射した照明光は、互いに偏光方向が直交した2光線AとBに分離され、対象物に照射される。このとき、光線AとBの距離は対物レンズの分解能以下である。

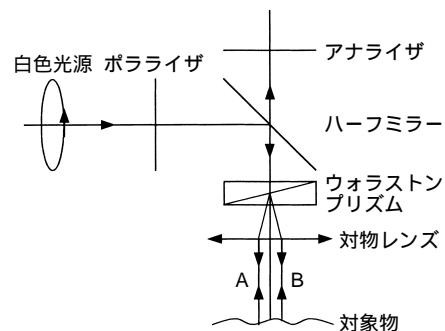


図3 反射型微分干渉光学系の概念図
Schematic view of differential interference optical unit

また、対象物により反射された2光線は、ウォラストンプリズムにより再び1つの光に合成され、ハーフミラーを通過後、アナライザにより偏光方向が揃えられる。2つの光線AとBが段差部分で反射すると、それらの間には光路差が生じ、アナライザを通過するとき干渉して可視化される。

光路差が光線A、Bの波長の1/2のとき、干渉して最も強め合い明るくなる。可視波長域で検出可能な段差は $0.1\ \mu\text{m} \sim 0.2\ \mu\text{m}$ である。画像比較のため、明視野光学系の観察像を図4に、微分干渉光学系の観察像を図5に示す。

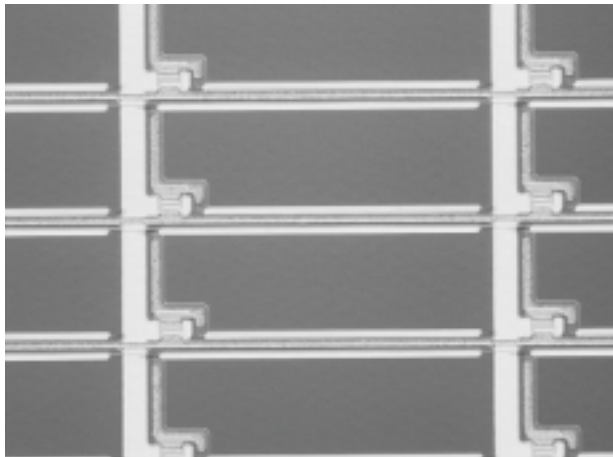


図4 明視野光学系の観察画像
Image of bright-field optical unit

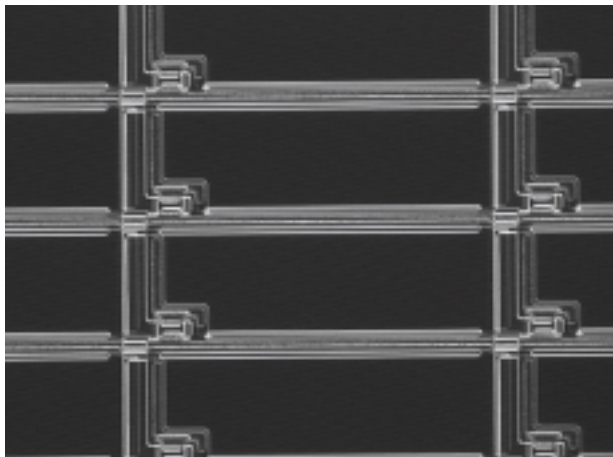


図5 微分干渉光学系の観察画像
Image of differential interference optical unit

3.2 検出アルゴリズム

液晶パネルにおける欠陥画素位置は、前段検査装置からのデータで既に明らかであり、欠陥画素は画面内におおよそセンタリングされていることを前提として、以下に検出アルゴリズムを図6を用いて説明する。

①検査画素の基準位置の決定

あらかじめ電極Sと電極Gの交差部分を登録しておき、パターンマッチングにより画面中心に対して左下の交差部分を見つける。

②比較検査

左下の交差部分において、電極Sと電極Gの中心線の交点を原点とする検査エリアを設定し、上下あるいは左右の画素の対応するエリアとの輝度を比較してその不一致部分を検出する。

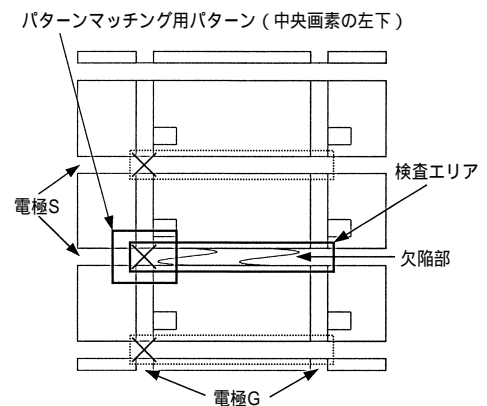


図6 パターンマッチングと検査エリアの設定
Setting for pattern matching and inspection area

3.3 検出結果

微分干渉光学系による検出結果を図8に示す。この例では、図中の矩形内部に表示された2つのx点の内側を欠陥として検出した。この欠陥は、上下の画素の透明薄膜部が図7の箇所ショートしている。なお、透明薄膜部の膜厚は $0.2\ \mu\text{m}$ 、使用カメラは130万画素のモノクロCCDカメラで画素分解能は $0.3\ \mu\text{m}$ である。

透明薄膜部分は光の透過率が高いため、照明光はこの部分を通して下層の金属膜にて反射される。欠陥の境界部分では、欠陥側を通過する光線と欠陥のない部分を通過する光線とが、段差によって往復する間に光路差を生じるので、アナライザを通過するとき干渉して明るくなる。

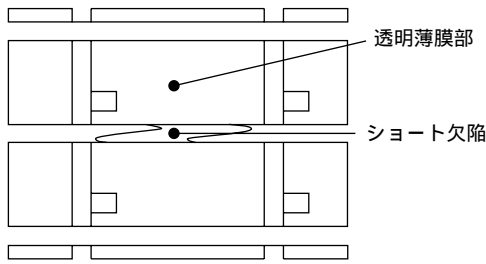


図7 透明薄膜電極のショート欠陥
Connected defect of transparent thin film part

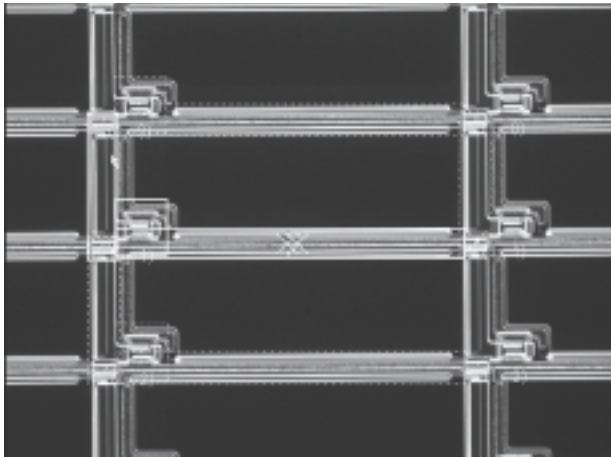


図8 検出結果
Result of defect detection

4. 修正技術

リペア装置の加工性能は、YAGレーザー本体並びにレーザー光学系の特性によりほぼ決まる。ここでは、レーザービームの極小化とTFT基板の透明薄膜欠陥の修正（多層膜の除去）について述べる。

4.1 レーザビームの極小化

理想的なレーザー光学系におけるレーザービーム径 d は、次式で求めることができる。

$$d = K / NA.$$

ここで、 K ；レンズの収差と回折の影響を考慮した係数（ $= 0.82$ ）

；レーザー波長

NA ；対物レンズの開口数

この式からビーム径を小さくするためには、高調波YAGレーザーや高倍率の対物レンズ（高 NA ）が有効であると言える。たとえば第2高調波と50倍の対物レンズを使う場合、そのビーム径は $1\mu\text{m}$ 弱となる。

YAGの発振波長は 1064nm （基本波）であり、この光がKTP結晶を通過すると波長 532nm の第2高調波となる。

さらにBBO結晶を通過させると、 266nm の第4高調波を得ることができる。

図9に示すように、基本波は赤外光、第2高調波は可視光、第4高調波は紫外光の領域に属する。赤外光による加工は熱による溶断であるのに対して、紫外光による加工は分子間結合を切断させたり、あるいは原子を遊離させたりする非熱的な加工である。可視光は両方の特性を持っている。このため基本波はCr、Alなどの金属加工に、第4高調波は樹脂系材料の加工に適しているとされている。

今までは、理想的なレーザービームを前提としたが、実際には、レーザービームに拡がりあったり、高次の横断面モードが基本横モードに含まれていると、計算通りのスポット径が得られないことになる。

したがって、微細な加工を行う場合は、レーザー選定においてビーム品質も重要なファクタである。

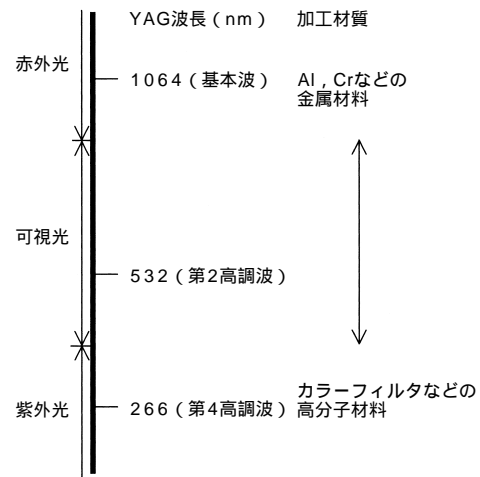


図9 YAGレーザー発振波長と加工材質
Relation of wavelength to cutting material

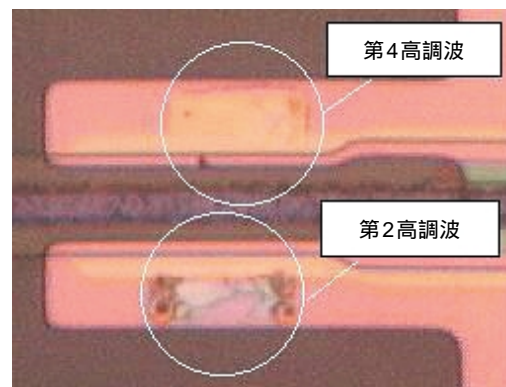


図10 発振波長による加工形状の差
Comparison of cutting form between two wavelengths

4.2 多層膜の修正

多層膜の欠陥例としては、図11に示す電極線やITO膜（透明電極）のショートが考えられる。

電極線ショートのカットに適したレーザーは、基本波あるいは第2高調波YAGレーザーである。どちらも熱的な加工で金属を溶断可能であるが、高精細パターンであることを考えると、よりビーム径が小さく熱の影響が少ない第2高調波が適している。

ITO膜のカットは、基本波や第2高調波レーザーでも可能であるが、多層膜の上層のみを除去することには適さない。

切断するITO膜の下層に金属膜等がある場合、ITO膜は赤外光や可視光をほとんど吸収せず透過するた

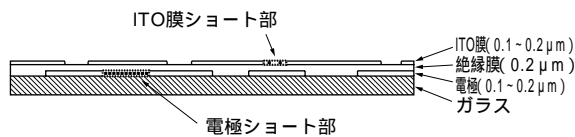


図11 多層膜の概略断面図（カッコ内寸法は膜厚）
Schematic view of multi-layer structure

表1 2波長レーザー仕様例
Specifications of multi-wavelength laser

発振波長	532nm	266nm
レーザー出力	25 mJ	5 mJ
パルス幅	5-7 nsec	4-6 nsec
繰り返し	20Hz	
ビーム径	2.5mm	2.25mm
広がり角	3mrad	2mrad
出力安定性	± 4%	± 6%
Qスイッチ	E.O	

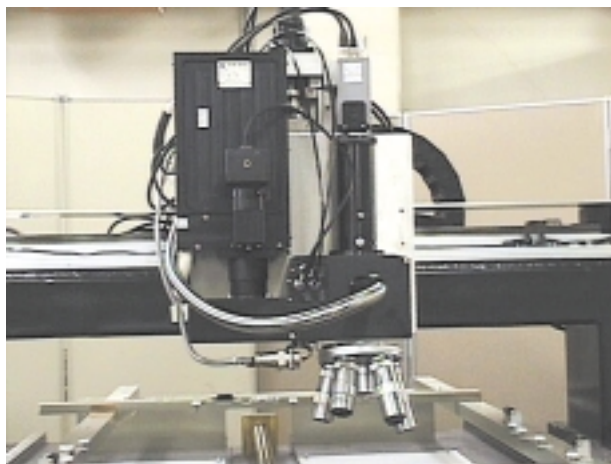


図12 2波長レーザー外観
External view of multi-wavelength laser

め、下層の金属膜がレーザーを吸収し溶断されるからである。第4高調波レーザーを使用した場合は、ITO膜もしくは絶縁膜でエネルギーが吸収されるため下層に影響を与えることなく上層のみのカットが可能である。図10に、第2と第4高調波で加工したときの写真を示す。

以上のように多層膜を加工する場合、1種類の発振波長ではなく、数種類の波長が照射可能な多波長レーザーと光の収差補正された光学系が必要となる。

表1に搭載可能なレーザーの例として第2，第4高調波切り替えレーザーの仕様、図12に2波長レーザー外観を示す。

5. あとがき

リペア装置における液晶基板の欠陥検出方法と修正技術について説明した。新たに微分干渉光学系と多波長レーザーを採用したことにより、これまで目視でも検出が困難であった透明薄膜電極の欠陥検出と修正が可能となった。液晶パネルの大型化・高精細化傾向の中で、これらの機能を搭載したリペア装置が、液晶製造工程の歩留まり向上に寄与するものと思われる。

高圧エアスピンドルの開発

伊藤 高順*

High Pressure Air Bearing Spindle

By Takayuki ITOH

Using a high pressure air supply which is not applicable to conventional aerostatic bearings, a new type of air bearing spindle with high stiffness and excellent damping characteristics was developed. For conventional aerostatic bearings, there are two problems associated with a high pressure air supply.

1. How to design a high stiffness bearing without air hammer especially in a thrust bearing?
2. How do you make the housing of the spindle stiff enough to support a bearing with high stiffness?

To solve the first problem, we constructed a new type of thrust bearing. To solve the second problem, we designed the housing using FEM analysis and experimented until the stiffness was sufficient and the weight was kept to a minimum.

A prototype of the new style of air bearing spindle was made and tested with an air supply of 1.5 MPa. Its axial stiffness was 1800 N/ μ m, which is three times higher than our conventional air bearing spindle of the same size.

1. まえがき

近年、機械加工の高精度化が進むにつれ、エアスピンドルに対する高剛性化の要求が強くなっている。

静圧空気軸受を高剛性化する方法としては、軸受給気圧力を大きくすることが考えられる。しかし、静圧空気軸受では、軸受給気圧力を上げると減衰性能が低下する問題がある。特に高い軸受剛性を得るために用いられる給気孔と浅い溝を組み合わせた複合絞り軸受では、エアハンマと呼ばれる自励振動が発生して使用できなくなる場合もある。また、スピンドルの剛性を高めるためには軸受剛性を大きくするだけでなく、軸受剛性に見合ったハウジング剛性を確保する必要がある。

そこで、高圧給気に適した軸受の構成と部材の最適肉厚決定により高圧給気に最適な「高圧エアスピンドル」を開発したので報告する。この技術により、同等のサイズで高剛性化または同等の剛性でコンパクト化が可能となる。

なお、本報告で用いる「高圧」とは、これまで当社のエアスピンドルに使用している圧縮空気の圧力(0.4MPa～0.5MPa)よりも高圧であるという意味であり、1.0～1.5MPaの圧力をいう。

2. 高圧エアスピンドルの構造

試作した高圧エアスピンドルの外観を図1に、寸法を図2に示す。また、高圧エアスピンドルの仕様を表1に示す。

この高圧エアスピンドルの特徴は、高圧給気をした場合でも減衰性に優れる静圧空気軸受を採用している点と、部材の肉厚最適化を行っている点であり、この2点について詳述する。

*メカトロニクス研究所

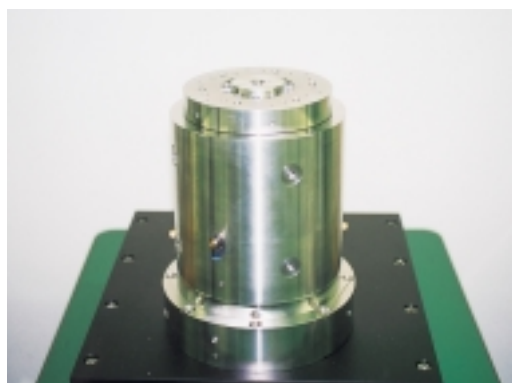


図1 高圧エアスピンドルの外観
New air bearing spindle

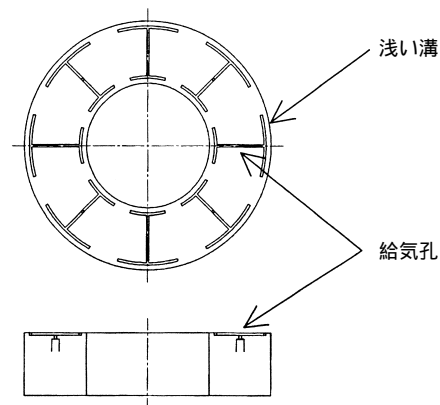


図3 複合絞り静圧空気スラスト軸受の構造
Structure of aerostatic thrust bearing

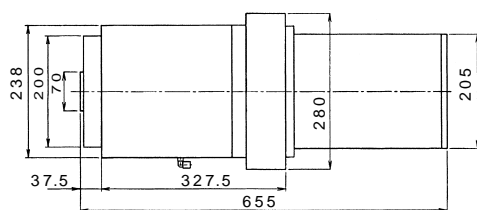


図2 高圧エアスピンドルの寸法
Dimensions of new air bearing spindle

表1 高圧エアスピンドルの仕様
Specifications of new air bearing spindle

スラスト軸受径	200mm
軸受部全長	365mm
アキシャル剛性	1800N/ μ m
ラジアル剛性	150N/ μ m
軸受給気圧	1.5MPa
軸受流量	120L/min (A.N.R)
最高回転速度	4000 r/min
スピンドル質量	180kg

2.1 高圧給気用軸受

本スピンドルは高剛性を実現するために複合絞り静圧空気スラスト軸受を採用している。複合絞り静圧空気スラスト軸受に高圧空気を供給する場合には、自励振動の発生を防止するために減衰性に配慮する必要がある。ここで、複合絞り静圧空気スラスト軸受の構造を図3に示す。

複合絞り静圧空気軸受は図3に示すように給気孔につながるごく浅い溝が軸受面に形成されており、絞りを通じた後の空気圧力を広い範囲に分布させることで高剛性を達成している。しかし、この軸受では、給

気圧を高くすると空気の圧縮性に起因する自励振動が発生してしまう。

ここで、一例として軸受外径 100の複合絞り静圧空気スラスト軸受の剛性と減衰係数の計算値を図4に示す。

図4から給気圧を上げると、剛性は大きくなるが、減衰係数は小さくなっていくことが分かる。そして、1.5MPa給気時には軸受隙間が小さい範囲を除いては減衰係数が負になり、自励振動が発生してしまう。軸受隙間を小さくすれば、剛性と減衰性を同時に改善することができるが、発熱による寸法変化等のため一定の限界がある。また、軸受隙間を小さくすると、それ

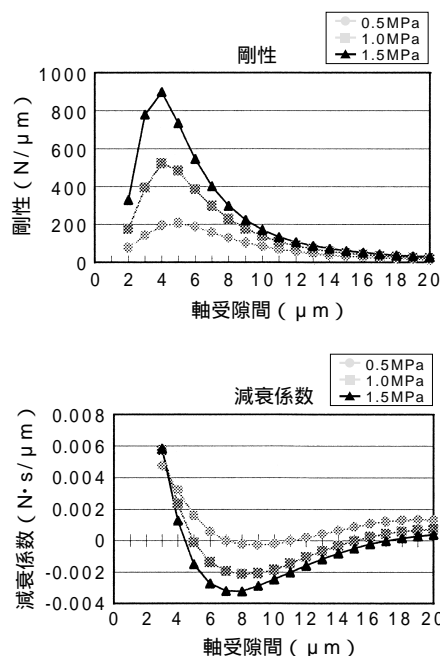


図4 複合絞りスラスト軸受の剛性と減衰係数
Characteristic of conventional thrust bearing

に応じて部品の精度を厳しく管理する必要があり、コスト面からも好ましくはない。

そこで、高圧エアスピンドルには、図5に示す軸受面圧力分布となる両面对向型スラスト軸受を採用した。このスラスト軸受は上側スラスト軸受の内径側圧力を高くして、上側の軸受隙間が大きく、下側の軸受隙間が小さい状態で上下の軸受反力が釣り合うように設計した。これにより、下側のスラスト軸受は高剛性が得られる一方、上側のスラスト軸受は内径側の圧力が高いため、軸受隙間内の平均圧力が高く減衰性に優れる。そして、両方のスラスト軸受隙間の合計はあまり小さくならず済むため、部品精度を著しく厳しくする必要もない。また、熱変形が生じた場合でも、軸受隙間の変化は剛性が小さい上側スラスト軸受の軸受隙間でほとんど吸収されるので、下側のスラスト軸受は安定して微小隙間を維持でき、高剛性を保つことができる。この軸受の性能計算値を図6に示す。

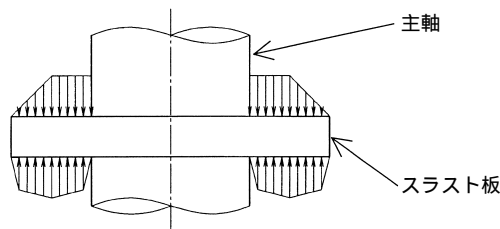


図5 スラスト軸受圧力分布
Pressure distribution of thrust bearing

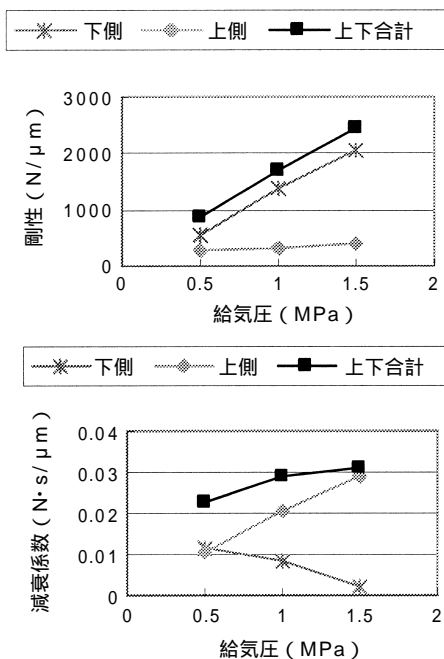


図6 高圧エアスピンドルのスラスト軸受剛性と減衰係数の計算値
Characteristic of new thrust bearing

図6から下側軸受は給気圧が大きくなるにつれ剛性が大きくなっているが、減衰係数は小さくなっている。ただし、下側軸受は軸受隙間を小さくしているため減衰係数が負となることはない。一方、上側軸受は給気圧を上げて剛性は大きく変化しないが、減衰係数が大きくなる。これにより、上下合計では高圧給気時における高剛性・高減衰性を実現している。

2.2 部材の肉厚最適化

エアスピンドルに高圧給気を行う場合には、軸受面圧力による軸受隙間の変化を抑えることと、軸受剛性に見合ったハウジングの剛性を確保することが重要である。これはスピンドルのサイズが大きい場合には荷重に対する変形量も大きくなることから特に注意を要する。ただし、必要以上に部品の肉厚を大きくするとスピンドルの重量が大きくなってしまいう問題がある。そこで、高圧エアスピンドルでは軸受面圧力による軸受隙間の変化を小さくする構造とし、FEMを利用して重量を抑えながらも十分なハウジング剛性が得られる肉厚を決定した。

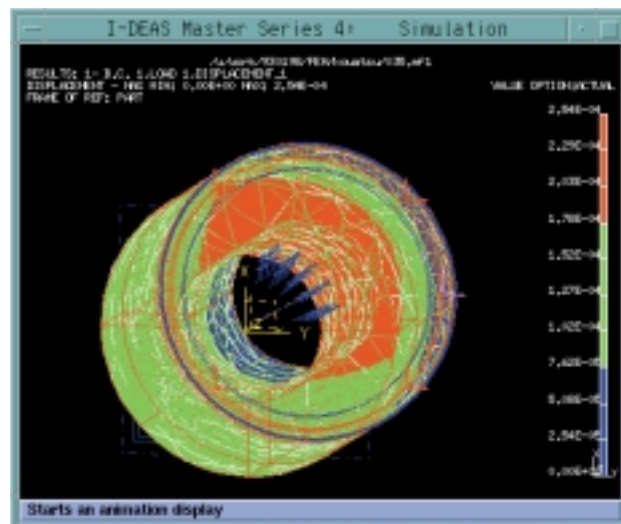


図7 FEM解析例
Result of FEM analysis

3. 高圧エアスピンドルの性能

高圧エアスピンドルのアキシャル静剛性について、計算値と測定値を比較したものを図8に示す。なお、ここでの剛性計算値は軸受剛性の他に荷重による主軸弾性変形も考慮したスピンドルとしての剛性である。この結果、スラスト軸受径200mmのエアスピンドルに高圧給気した場合でも、スピンドル性能は計算値から予測可能であることが確認された。また、1.5MPa給気時において自励振動は発生せず、剛性は1800N/ μm であった。これは、当社従来品の同サイズのエアスピンドルに比べて約3倍の剛性である。

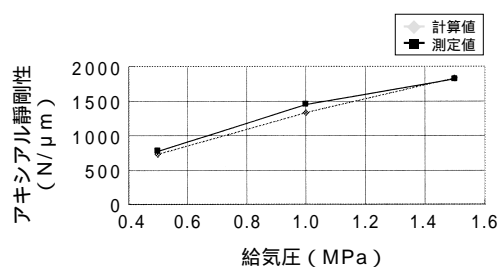


図8 高圧エアスピンドルのアキシャル静剛性
Axial stiffness of new air bearing spindle

4. あとがき

高圧給気に適した高圧エアスピンドルを開発し、当社従来品の同サイズのスピンドルに比べて約3倍の剛性を得た。また、その性能も計算から予測可能であることを確認した。この結果、高圧給気を利用することで、スピンドル剛性を高めることが可能である一方、従来スピンドルと同等の剛性を得るのに必要なスピンドル体積を小さくできる。スピンドルの高剛性化とコンパクト化の要求は、今後もますます強まるであろうが、高圧エアスピンドルが、それに対する一つの回答となるものとする。また、近年、1MPa以上の空圧機器が充実してきていること、工場で通常使用している空気圧でも増圧弁を使えば高圧給気が手軽に利用できることから今後は高圧給気の利用が広がるものとする。

NBR系すべるゴム『ベアリー-ER3201』の性能と用途例

伊藤 健二* 沖 芳郎** 平田 正和*

Performance of a New NBR Rubber for Sliding Wear Applications

By Kenji ITO , Yoshio OKI , Masakazu HIRATA

NTN has developed a new NBR rubber, BEAREE ER3201, that has low friction and high wear resistance, while maintaining the basic properties of general purpose NBR rubber. In many applications, it is possible to eliminate the application of grease because of the inherent low friction properties of the new rubber. Further, it is well suited for applications where it is not possible to apply grease. Finally, it is environmentally friendly by reducing environmental contamination (elimination of grease) and saving energy (reduced friction).

1. はじめに

ゴム製品は主に、タイヤ、ベルト、パッキンなどに使用されており、いずれもゴム材料特有の弾性特性、高伸張特性、振動吸収特性等を生かしたものである。ゴム材料は主にこれらの特性について改良されてきた。摩擦特性については低摩擦というよりむしろ高摩擦の特性が利用されており、低摩擦が要求される用途に対しては、グリース塗布などで対応してきた。しかし、最近では、性能の長期安定化、低コスト化、雰囲気汚染防止等のため、ゴム特有の材料特性としゅう動性を兼ね備えた、いわゆる“すべるゴム”を要求され

る機会が増えている。

ゴムの種類は多く、耐熱性、耐油性、コストなどをもとに用途ごとに選択して使用されている。図1に代表的なゴム材料の価格と耐熱性の関係を示した。耐熱性が最も高いフッ素ゴムについては、すべるゴム“ベアリー-ER3000”として既に上市し、好評を得ている。

NBR（ニトリルゴム）は、耐熱性と価格のバランスが良く、耐油性に優れているため、自動車、事務機器および一般産業機械などで多用されている。

本報では、一般用途向けに開発したNBR系すべるゴム“ベアリー-ER3201”の性能と用途例を紹介する。

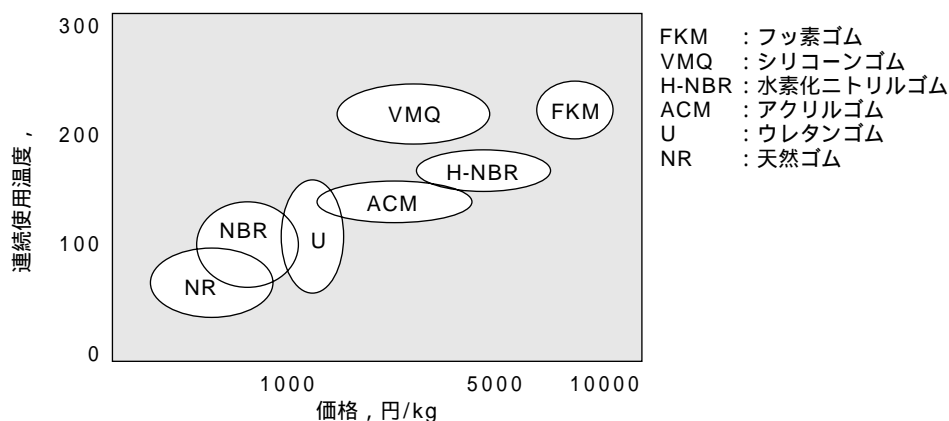


図1 ゴム材料の価格と耐熱性の関係
Relationship between cost and heat-resisting properties of rubber materials

*軸受技術研究所

**NTN精密樹脂(株)技術部

2. ベアリーER3201

ゴム製品をしゅう動部に用いる場合、グリースなどの潤滑剤を塗布する事が多いが、恒久的な対策にはならず、使用中にグリースが排出されて高摩擦化していく。グリースが枯渇した条件、あるいは乾燥摩擦条件では、Ludemaらの報告¹⁾(図2)のとおり、摩擦力がある速度で極大値をとるため、動作の正確な制御が困難とされる。

ゴムを低摩擦化させる手法²⁾は、図3のような方法があり、いずれも長所短所があるが、市場では用途ごとに使われているのが実状である。ER3201は、図中の固体潤滑剤配合系に分類される。

汎用NBRは、摩擦試験を行うと、消しゴムにみられるようなロール状摩耗粉³⁾を生成し、成長、排出を繰り返して、摩擦係数、摩耗量ともに大きな値を示す。当社では、これまでに特定の固体潤滑剤を適量配合することで、ゴム材料に低摩擦特性を付与できること⁴⁾、また、ゴム補強剤として配合されるカーボンブラックの種類と配合量がゴムの摩擦特性に影響⁵⁾することを

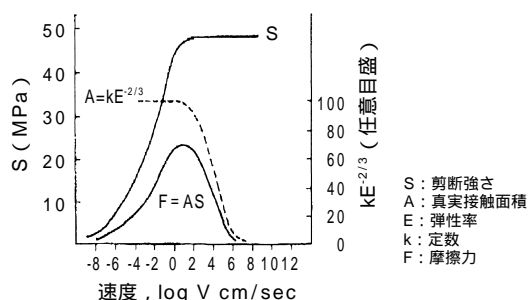


図2 ゴムの摩擦力と速度の関係
Relationship between velocity and friction force of rubber

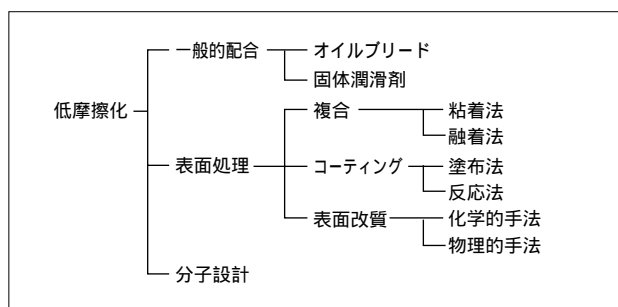


図3 ゴムを低摩擦化する方法
Methods to reduce friction force of rubber

明らかにした。これらの知見を生かして開発した“ベアリーER3201”は、汎用NBRの特性を保持したまま、低摩擦低摩耗特性を付与したゴム材料であり、図4のレーダーチャートにあるような工業部品としての必要特性が高水準でバランスの取れた材料となっている。

2.1 摩擦特性

ここでは、リングオンディスク型スラスト試験機(図5)による摩擦特性を紹介する。厚み1.0mmの成形シートを打ち抜き加工し、金属製リングに接着したものを試験片とした。また、相手材は軸受鋼(SUJ2, HRC48~52)の平面研磨仕上げ品(1μmRy)を用いた。カーボンブラックを40部配合して、ER3201と同じJIS硬度A70°に調整した汎用NBRを比較材料とした。

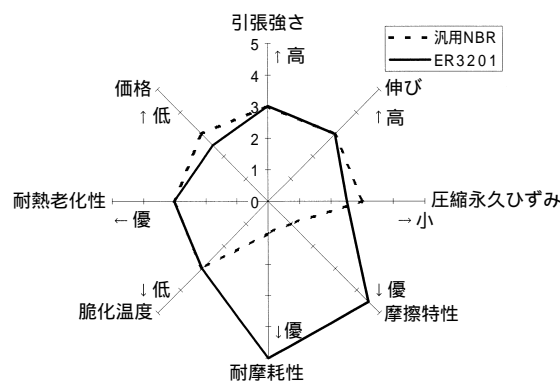


図4 ER3201の特性レーダーチャート
Radar chart of characteristics of ER3201

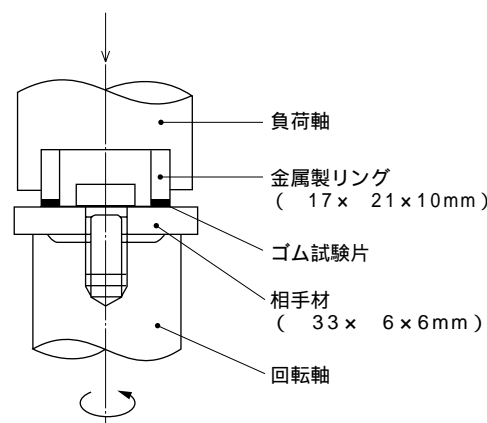


図5 リングオンディスク型スラスト試験機
Schematic representation of ring-on-disk type test rig

図6に示すように、汎用NBRは試験開始直後に摩擦係数が2.0を超えるほど大きく、スティックスリップしながら少しずつ小さな値となっていく。試験の間、異音が続いた。一方、ER3201は、試験開始直後の摩擦係数が約0.8から始まり、スティックスリップや異音を発生させることなく、徐々に低摩擦化し、0.6ほどで安定する。

両者の試験後のしゅう動面を観察すると、汎用NBRはロール状摩耗粉が多く見られるが(写真1)、ER3201ではほとんど確認できず、固体潤滑剤が表面に現れている(写真2)。これが低摩擦のポイントと考えている。

次に、ER3201の動摩擦係数の速度依存性を図7、荷重依存性を図8に示す。

図7に示すように、速度が速くなるにつれ低摩擦化する傾向が見られる。速度128m/minでは、動摩擦係数が0.4未満とゴム材料としては非常に低摩擦であ

る。荷重に対しては高分子材料の一般的な傾向⁶⁾を示し、高面圧になるほど低摩擦化する(図8)。

2.2 摩耗特性

摩擦特性と同様の試験で、70時間の耐久試験を実施した。汎用NBRは、図9に示すように、摩耗は大きいので、試験は低PV条件のみとした。一方、ER3201は、比摩耗量が $100 \times 10^{-8} \text{mm}^3 / (\text{N} \cdot \text{m})$ 未満である(図10)。樹脂系のしゅう動材に匹敵する程の低摩擦であり、汎用NBRとの差は歴然としている。

相手材種は摩擦摩耗特性に影響を与える場合もあり、図11に示すように、SUJ2、SUS304を相手材とした時に比べ、ADC12を相手材とした時の比摩耗量は若干小さくなる。動摩擦係数は、ADC12を相手材とした時のみ若干高い値を示す。

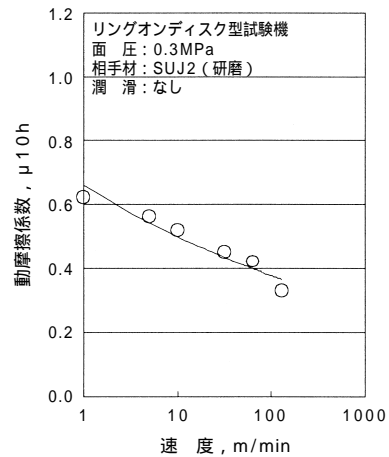
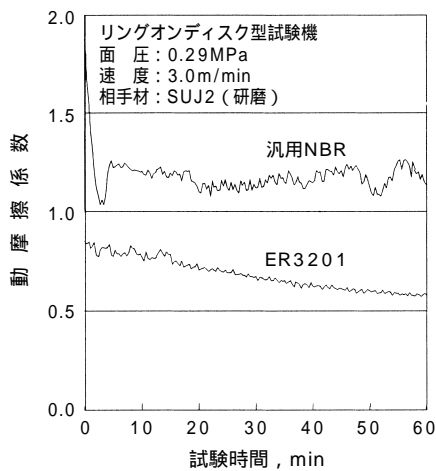


図7 ER3201の動摩擦係数の速度依存性
Velocity dependence of coefficient of friction

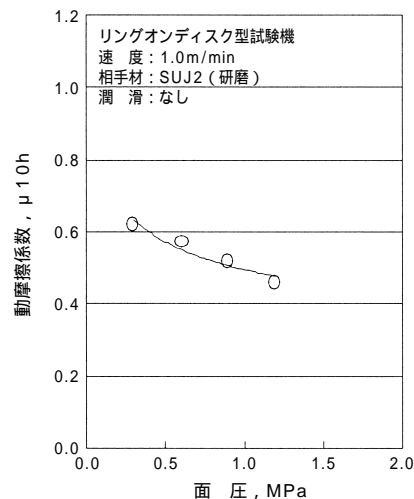


図8 ER3201の動摩擦係数の荷重依存性
Load dependence of coefficient of friction

図6 ER3201と汎用NBRの試験開始1時間の動摩擦係数
Coefficient of friction of ER3201 and general-purpose NBR rubber

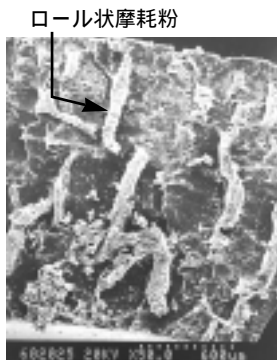


写真1
汎用NBRのしゅう動面
Sliding surface of general-purpose NBR rubber

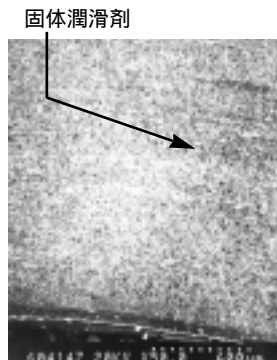


写真2
ER3201のしゅう動面
Sliding surface of ER3201

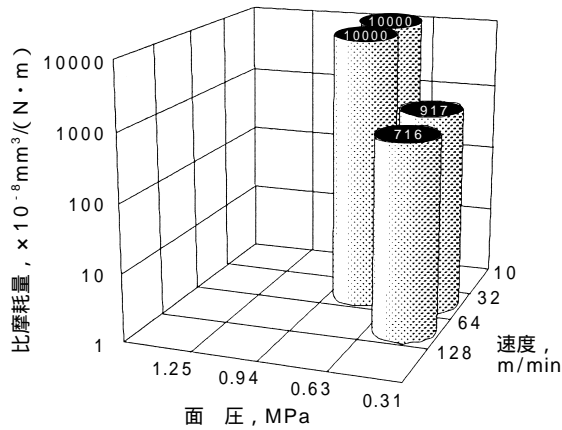


図9 汎用NBRの比摩耗量
Specific wear rates of general-purpose NBR rubber

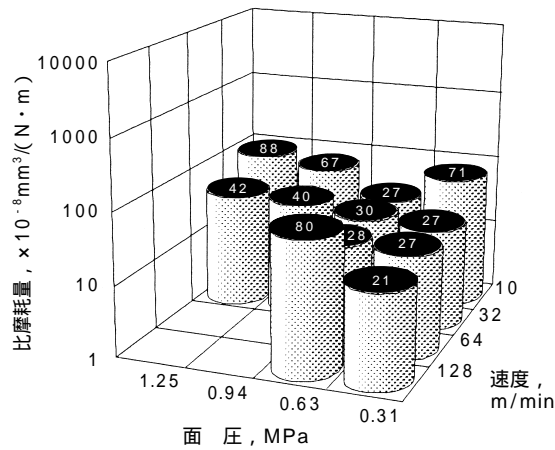


図10 ER3201の比摩耗量
Specific wear rates of ER3201

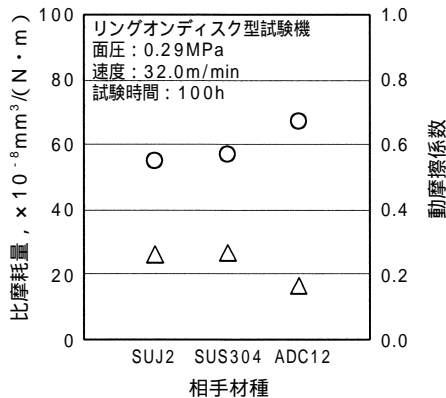


図11 ER3201の相手材種と摩擦摩耗特性
Relationship between mating materials and sliding properties for ER3201

2.3 一般物性

表1にER3201の一般物性を示した。汎用NBRと比べると、永久歪みが僅かに劣るが、ゴム材料として十分な特性を有している。

表1 ER3201の一般物性
Characteristic properties of ER3201

特 性	単位	ER3201
硬 さ	JIS-A	71
比 重		1.3
引張強さ	MPa	15.2
伸 び	%	590
引裂強さ	N/mm	37.2
圧縮永久ひずみ(100 × 22h)	%	11
引張永久ひずみ(100%, 23)	%	15
反発弾性	%	29
耐熱老化性(70 × 1000h)		
・硬さ変化	JIS-A	+5
・引張強さ変化率	%	-9.9
・伸び変化率	%	-16.9
耐オゾン性(40 ,50pphm × 1000h)	クラックの発生なし	

*各物性値は、JIS K 6250 加硫ゴムの物理試験方法に基づく。

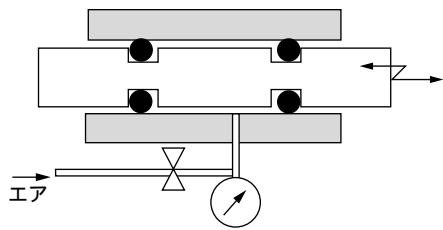
3. ベアリーLEP

ER3201製OリングをベアリーLEPシリーズとして上市しており、P3からP40 (JIS B2401)までの40形状を用意している。以下に、Oリングでの摩擦摩耗特性について紹介する。

図12に示すようなOリング試験機を用いて摩擦摩耗特性を評価した。

図13に示すようにER3201は汎用NBRに比較していずれの圧力でも約30%の低摩擦化ができる。シャフトに装着したOリングを、ハウジングに挿入する際の挿入性も向上している。

100時間後の摩耗状況を表2に示す。汎用NBRはいずれも試験中にエア漏れが発生し、試験後の表面には亀裂が発生したり、破断したのもあったが、ER3201は、試験中にエア漏れすることもなく、試験後の表面に亀裂の発生は認められなかった。



試験条件	
Oリング形状	: P10
ストローク	: ±2mm
エア圧	: 0, 0.2, 0.45MPa
周波数	: 5Hz
グリースの塗布	: なし
ハウジング材種	: SUS304

図12 Oリング試験機
Schematic representation of O-ring test rig

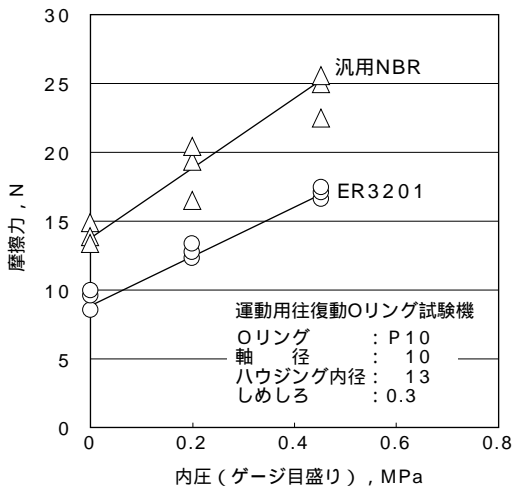


図13 運動用Oリングでの内圧と摩擦力の関係
Relationship between inner pressure and friction force of O-ring

4. 用途例

表3に市場より好評いただいている用途の一例を示す。エアレギュレータ(図14), エアシリンダのシールなど従来は汎用ゴムにグリースを塗布して使用していた用途でのグリースレス化に対応できた。また, 釣り具リールでも, グリースを塗布していたゴムシールとの置き換えが可能となった。さらに, 複写機・プリンタにある感光部のブレード, 現像部のトナーシール(図15)など, グリースを塗布できなかった用途での低トルク化に効果を発揮している。

表3 ER3201の用途例
ER3201 applications

分野	用途
自動車	サーモスタットシール ショックアブソーバシール ワイパーブレード ガラスラン
事務機器 (複写機, プリンタ)	トナーブレード トナーシール マグネットローラシール
一般産業	エアレギュレータ エアシリンダ 電動歯ブラシ ひげ剃り器 ガスポンペ 釣り具 リール ハンマードリル

表2 Oリングの摩耗試験結果
Results of O-ring wear test

試験片	試験条件	試験後の評価		
	エア圧力	シール特性	亀裂の有無	観察写真
ER3201	0.0MPa		なし	
	0.2MPa	エア漏れなし	なし	
	0.45MPa	エア漏れなし	なし	
汎用NBR	0.0MPa		あり	
	0.2MPa	エア漏れあり	あり	
	0.45MPa	エア漏れあり	あり	

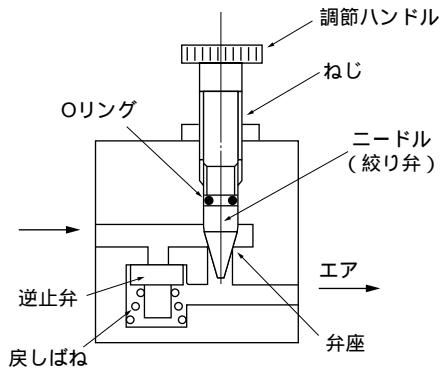


図14 エアレギュレータ
Air regulator

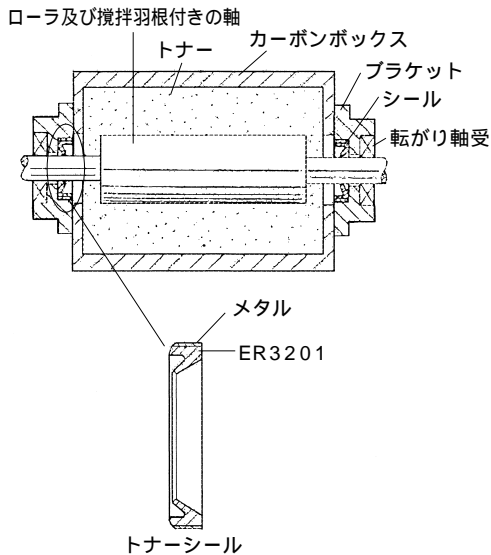


図15 トナーシール
Toner seal

5. あとがき

NBRのゴム材料特性を生かしたまま低摩擦低摩耗特性を付与した“ベアリーER3201”を紹介した。これまでグリースを塗布することで低摩擦化させていたゴム製品のグリースレス化が可能となった。また、グリースを塗布できなかったゴム製品では、駆動力低減による省エネルギー化、低コスト化が期待できる。本報では、用途例の一部を示したが、環境保全・省エネルギー化が強く求められている現在、更に多くのニーズに応えられる材料と考える。

参考文献

- 1) K.C.Ludema, D.Tabor: Wear, 9, 5(1966)329.
- 2) 里路, 沖: トライボロジスト, 37, 6(1992)37.
- 3) 内山吉隆: アブレーションパターンの生成によるゴムの摩耗, 自動車研究, 10, 12(1983)466.
- 4) 沖芳郎他: トライボロジー会議予稿集(1996-10)
- 5) 伊藤健二他: トライボロジー会議予稿集(1998-10)
- 6) 例えば, 田中: 高分子材料のトライボロジー, 22, 11(1986)597-606など

ECO シリーズ

自動調心ころ軸受 LHシリーズ

地球環境を考えた新開発の高温長寿命軸受鋼(STJ2)を、
自動調心ころ軸受の標準シリーズに採用



特長

- 1) 常温から高温まで長寿命
常温での寿命がSUJ2に対し3.5倍
高温(200)での寿命がSUJ2に対し30倍
- 2) 表面損傷に強い
耐ピーリング強度はSUJ2に対し7倍
耐スミアリング強度はSUJ2に対し1.4倍
耐摩耗強度はSUJ2に対し2.5倍
- 3) 高温時の寸法安定性
250℃保持で寸法変化はほとんどありません。
- 4) 割れ疲労強度アップ
高温・高はめ合い応力下での割れ疲労寿命はSUJ2に対し2倍
転動割れ疲労強度はSUJ2に対し2倍
- 5) 補修在庫管理の簡素化
常温用途から高温用途(250)まで標準軸受一
種類で対応可能

LHシリーズとは

LHシリーズとは、高温長寿命 (Long life for High Temperature Use)を実現するためにSTJ2材を採用した自動調心ころ軸受の新シリーズです。

長寿命を達成した技術及び各種の強度特性

詳細は本号P51～57をご参照ください。

対応軸受サイズ

当方は軸受外径 420以下を対象としますが、最終的には全ての自動調心ころ軸受に適用します。詳細はNTNにご照会ください。

詳細は、本号P51～57及び専用カタログ
CAT. No. 3027/Jをご参照ください。

4世代ハブジョイント

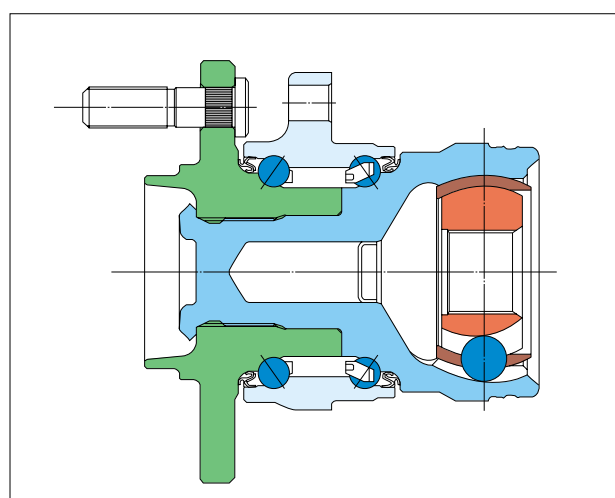
3世代ハブベアリングを新型等速ジョイントEシリーズと一体化し、
コンパクト・軽量を達成



特長

- 高効率・低発熱
新型等速ジョイントEシリーズの採用により、動力伝達時のトルク損失が30%向上。発熱も従来タイプに比べ20%低減。
- 軸方向にコンパクト
新型等速ジョイントと軸受の一体化により、軸方向寸法を20%以上コンパクト化
- 軽量
CVJと軸受の一体化、ジョイント軸の中空化、CVJと軸受の新加締法により10%以上の軽量化

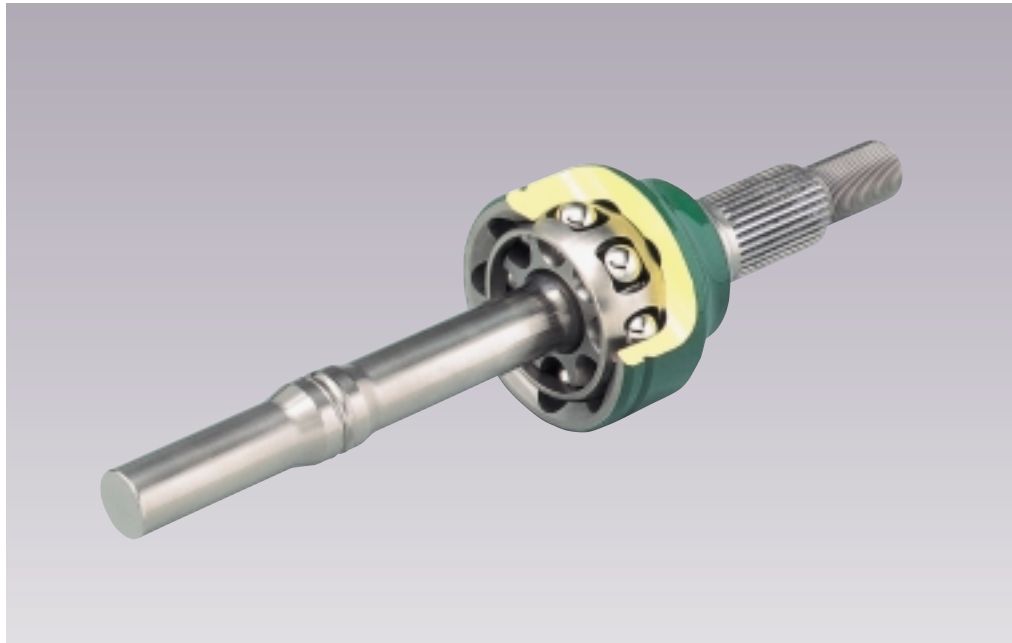
4世代ハブジョイントの構造



ECO シリーズ

EUJ(50°対応コンパクト新型等速ジョイント)

高性能，コンパクトで高角度が採れる固定式等速ジョイント

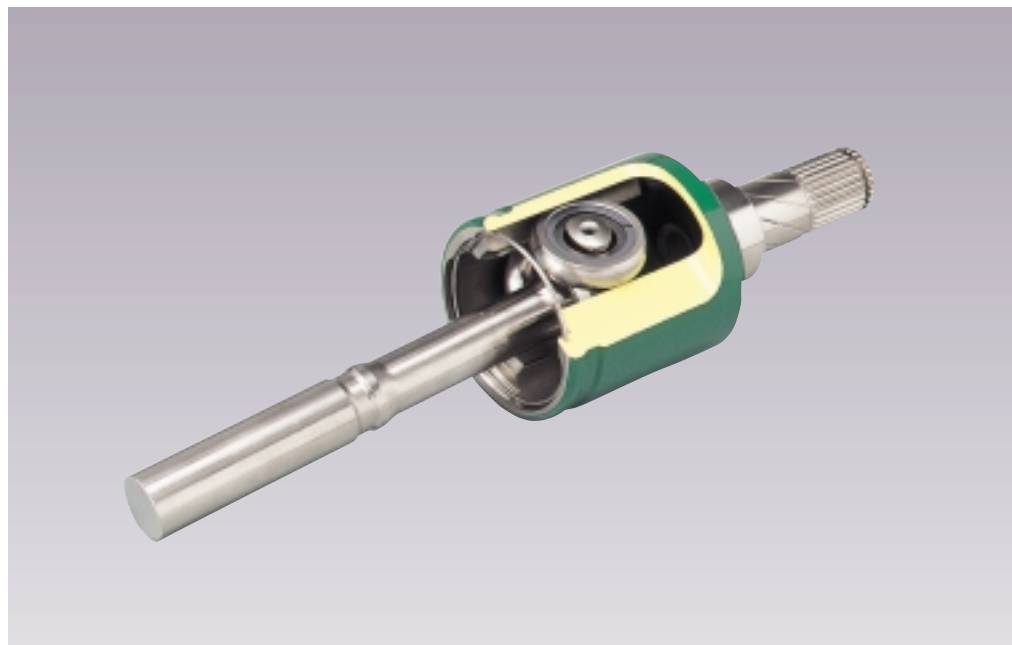


特 長

- 高効率・低発熱
動力伝達時のトルク損失がBJに比べ約30%向上
運転時の発熱はBJに比べ約20%低減
- 軽量・コンパクト
高許容角対応の固定式等速ジョイント(UJ)の強度・耐久性を維持したままで、約15%の軽量化、
外径寸法も7%コンパクト化
- 最大作動角50°に対応(自動車の旋回半径を小さくできます)

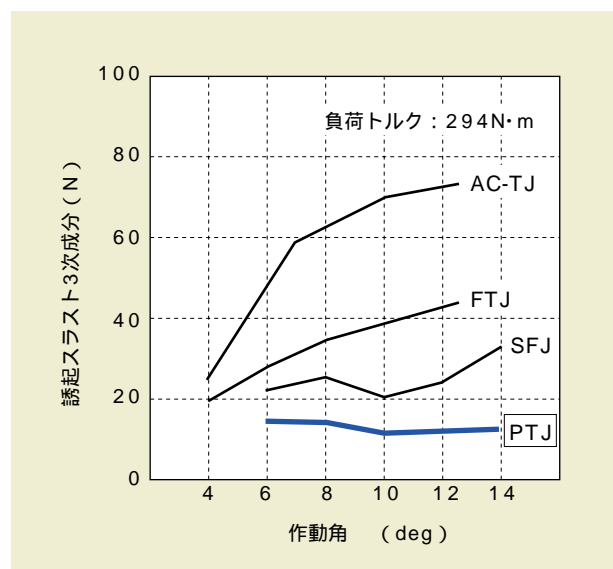
PTJ(超低振動新型等速ジョイント)

低く安定した振動特性を持つ新型しゅう動式等速ジョイント



特長

- 駆動軸用の超低振動新型しゅう動式等速ジョイント
- 誘起スラストは、作動角の影響を受けずほぼ一定
- 誘起スラストは、SFJの約50%
- 外径は、SFJと同等



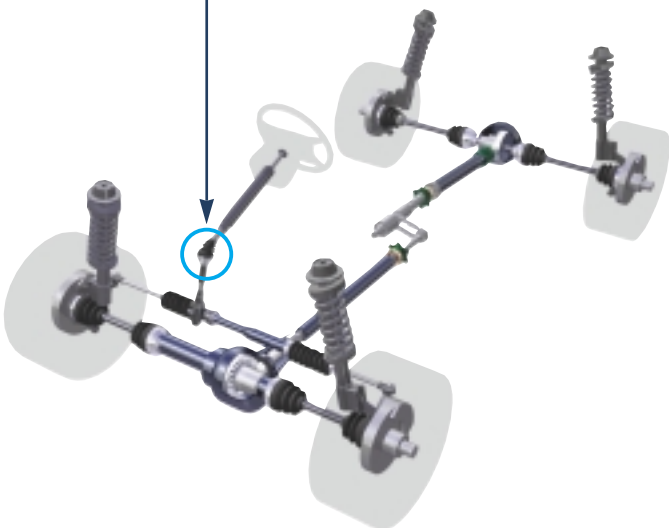
CSJ(ステアリング用等速ジョイント)

ステアリング用に特化して設計した固定式等速ジョイント



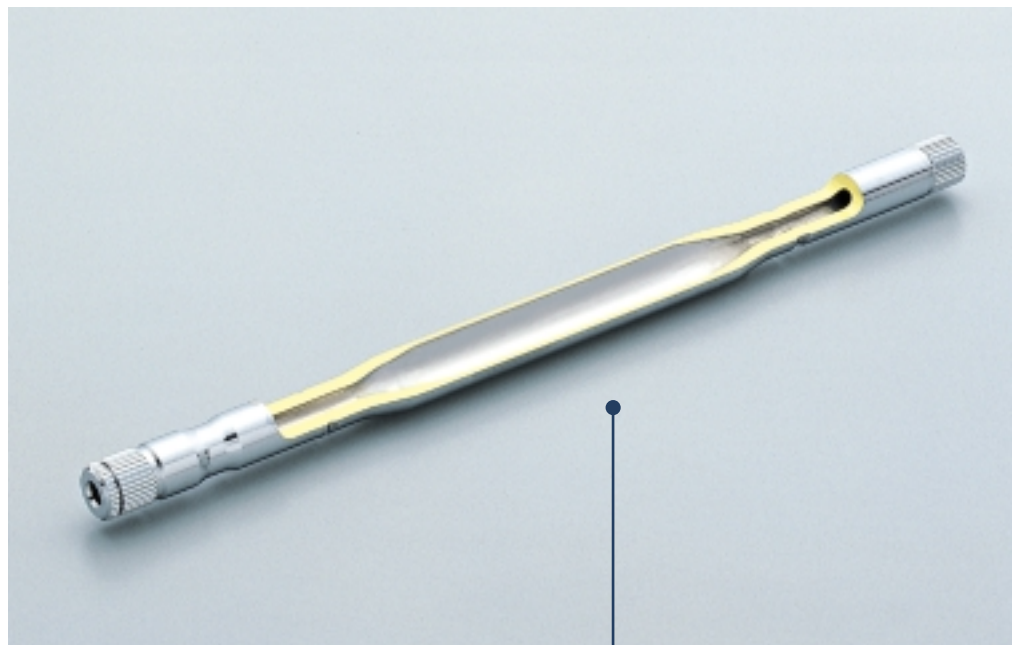
特長

- ステアリングシャフトのレイアウトの自由度が大幅に向上
- 高角度でも(最大許容角 40°),1個のCSJで常に円滑な操舵性を実現(回転抵抗 0.2Nm 以下: $\approx 35^\circ$)
- 独自の予圧付与構造により,回転時のガタ(バックラッシュ)を抑制($10'$ 以下: $\approx 0^\circ, \pm 1\text{Nm}$ 負荷時)
- コンパクトでシンプルな構造(シャフト一体型内輪,独自の内部構造等)
- 継手部がゴム製ブーツで保護されているため,水,ダストの浸入防止向上



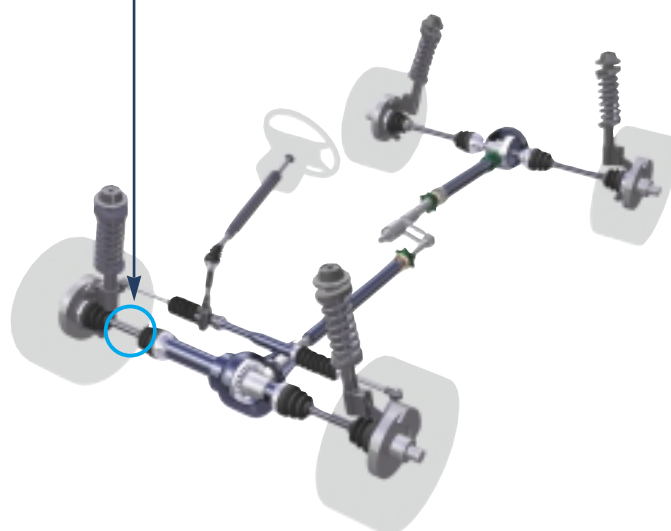
ハーフシャフト用一体型中空シャフト

中空シャフトを使用することで
等速ジョイントの軽量・コンパクト，低振動，高剛性を実現



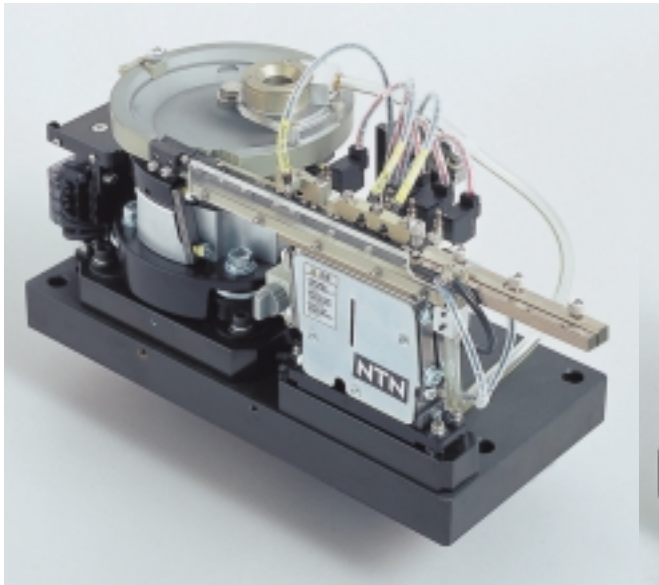
特長

- シャフトは一本のパイプ材から成形し，中空部の外径寸法や厚さの設計自由度アップ
- 重量を増大することなく固有振動数を変更でき，共振を避ける設計が可能
- シャフトの剛性値を自由に狙った設計が可能
- EBJ，EDJ（高性能コンパクト等速ジョイント），EUJ（50°対応コンパクト新型等速ジョイント），PTJ（超低振動新型等速ジョイント）との組み合わせにより，軽量・コンパクト，低振動，高性能，高作動角を実現

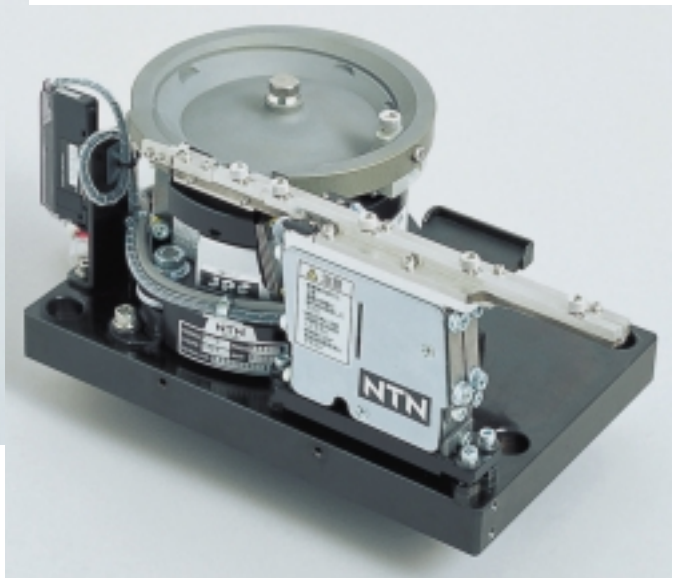


SMDフィーダ

R 0603(0.6 × 0.3mm)の表裏を整列し ,最大毎分2000個供給
C 0603(0.6 × 0.3mm)を ,最大毎分3000個供給



R 0603用

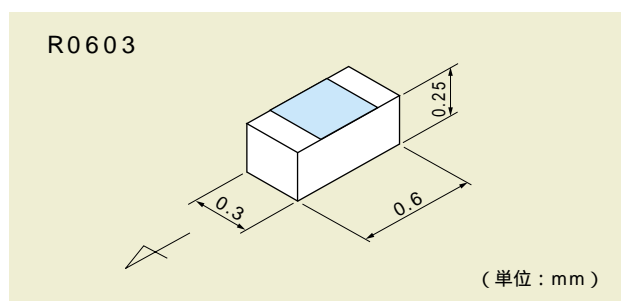


C 0603用

特 長

- 従来のポウルフィーダ部整列方式を直進フィーダシユート部整列方式にすることにより,搬送過程での部品詰まりを大幅に低減,高速安定供給
チップ抵抗器(R0603)で2000個/分供給
チップコンデンサ(C0603)で3000個/分供給
- シンプルな構造の採用により,低コスト,コンパクト,高耐久性
- 光センサによる表裏選別で排除されたチップは,エア搬送で回転させながらポウル部へ戻されるため,部品へのダメージが少ない(R0603)
- 1005サイズにも適用可

ワーク例



ノンスリップ複合フィーダ

振動式ボウルフィーダに回転円盤を内蔵
振動式の整列性能を維持したまま、油付着ワークでも安定供給でき、さらに低騒音も実現



特長

ボウル中央部に回転円板を傾斜して配置するとともに、外周部に従来の振動式搬送部を組み合わせることにより、

- 従来困難であった油の付着したワークも安定して確実に供給
- 整列部は振動式としているため、複雑な形状のワークにも対応可能
- 振動部分がワークを整列するボウル外周部だけであるため、運転時の騒音を大幅に低減
- 振動部分では、水平に近い振動角度のため、ワークの無駄な踊りがなく高速整列が可能

動圧ベアファイトアッシー

動圧ベアファイトを組み込んだ高精度，長寿命の軸受アッシー



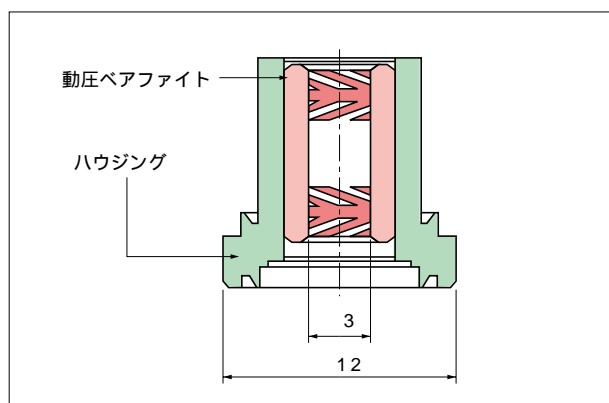
特長

- 焼結含油軸受の内径等にヘリングボーン溝を高精度に加工することにより，スピンドル軸の完全非接触を実現，高回転精度と長寿命を達成
- 従来の流体動圧軸受より低コスト化が可能
- 転がり軸受に比べ，NRRO特性に優れ，またコンパクトで静粛

応用例

- 内径寸法： 1.5 ~ 4
- 適応機種：ポリゴンスキャナモータ，CD-ROM，CD-R/RW，DVD-ROM/RAM，HDD，軸流ファンなど

動圧ベアファイトアッシーの構造



ECO シリーズ

MLEベアリング

鉛化合物を樹脂層に含まない鉛フリーの複合すべり軸受“MLEベアリング”
寸法は現行の複合軸受MLCベアリングに準拠



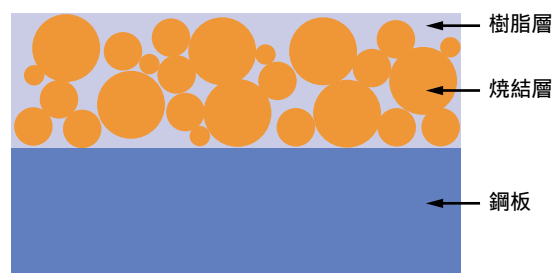
特長

- 環境への負荷を低減するエコロジー製品
- 高荷重で使用できる無給油すべり軸受
- 板厚が薄いため（1.0～2.5mm）コンパクトな設計ができる
- 摩擦係数が小さい（0.04～0.20）
- 耐摩耗特性に優れ長時間の運転が可能

MLEベアリングの構造

バックメタルの鋼板に青銅粉末を焼結した多硬質焼結層に特殊充填剤入りの4フッ化エチレン樹脂を含浸させた3層構造のため耐荷重性が高く、放熱性に優れ、無給油で使用できます。

また、バックメタルの鋼板には、すずメッキを施し、耐食性を向上させています。



NTN TECHNICAL REVIEW No.68

印刷 発行 2000年 5月25日

編集人 坂野 公明
発行人 近藤 登

【 禁 無 断 転 載 】

発行所 大阪市西区京町堀1丁目3番17号
NTN株式会社

印刷所 京都市中京区壬生花井町3
日本写真印刷株式会社