

ハードディスクドライブ(HDD)用転がり軸受

向笠正弘

Ball Bearings for Hard Disk Drives

M. MUKASA

Performance of hard disk drive(HDD) has been remarkably improved in recent three or four years. Memory capacity of HDD has increased from former 1GB to 20 ~ 30GB. Rotational speed has also increased and HDDs of 15 000 r/min speed are easily available now. The more HDD has improved, the higher the requirement for miniature/small size bearings for HDD are changed. Here, recent development in these HDD spindle motor bearings are introduced.

Key Words: miniature ball bearing, hard disk drive, spindle motor

1. はじめに

景気回復が低迷する中、各企業はIT(情報技術)革新による生産性を落とさない構造改革の推進に余念がない。ITに関係する情報機器分野では、従来の情報機器機能を確保し、コンパクト化、低価格化を可能とする電子部品の半導体化が急激に進んでいる。この業界における技術変動と進歩は極端に早く、製品サイクルも短い。こうしたIT革新の波の中、情報を保存する機器としてはハードディスクドライブ(以下HDDと称す)が主流で、回転を支える軸受はミニチュア・小径玉軸受(以下玉軸受と称す)が使用されていて、要求されるニーズは高速性、高精度、低騒音、低トルクなどである。

ここでは、情報機器に使用されているHDD用軸受の技術課題とその対応について紹介する。

2. 情報機器の拡大予想

デジタル化はさまざまな分野で進んでいて、AV機器、情報関連、家電・住設機器、事務機器などに広がっている。2000年12月からBSデジタルTV放送が開始され、今後さまざまな情報がデジタルTVを通して利用可能になることが推定されている。このデジタルTVを通じて利用する形態は色々提案されているが、図1に示すようなネットワーク¹⁾が考えられていて、この情報保存にはHDDの使用が提案されている。HDDは、記憶容量が飛躍的に増大してきているため、記憶単価

が非常に安く、膨大な情報量の記録に最適と考えられている。

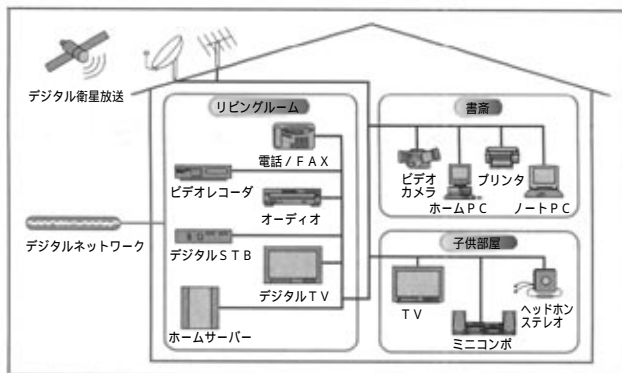


図1 デジタル家電ネットワーク構想

Conception of digital electric household appliance network
日経メカニカル提供¹⁾

3. HDD用軸受への技術対応

3.1 技術動向

HDDの生産台数推移を図2²⁾に、HDDの記憶密度推移を図3に、HDD装置概略を図4に、さらに、図5にスピンドルモータ構造を示す。

HDDの生産数は世界で1億8千万台を越え、これからも年10数%の伸びが見込まれている。また、数量的には3.5インチが主体と推定されている。

記憶密度は1996年までは、約2倍程度の増加であったが、ここへ来てさらに加速し、2002年には2000年の5倍の見込みとなっている。これにはGMR(Giant Magneto Resistive)ヘッドの本格採用

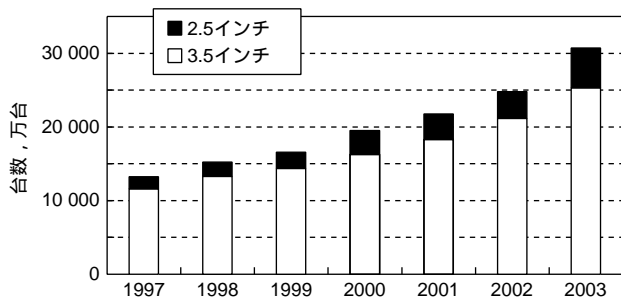


図2 HDD市場規模推移
Market change of HDD production
(社)電子情報技術産業協会出典

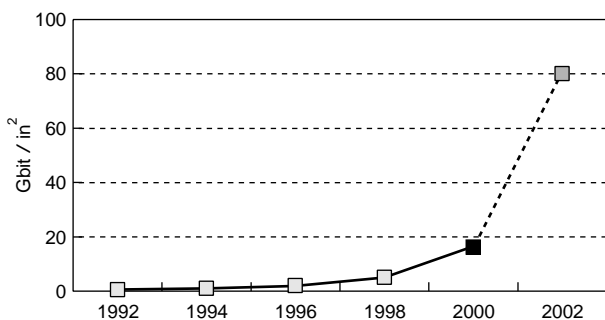


図3 HDD記憶密度推移
Changes in HDD storage capacity

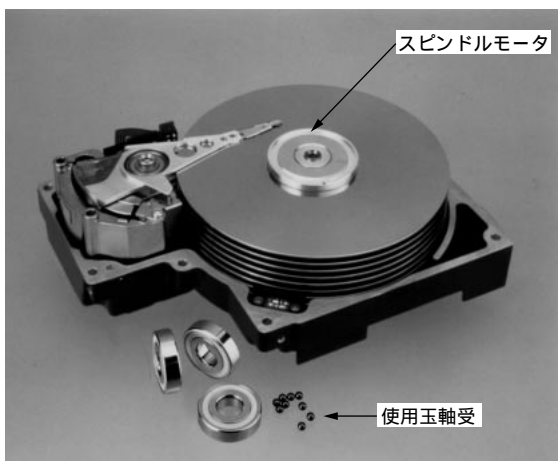


図4 HDDの外観と軸受
HDD & ball bearings

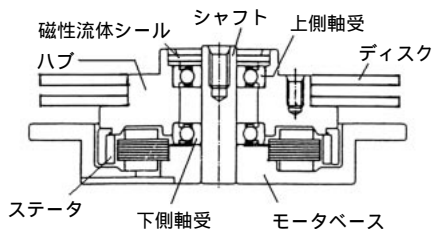


図5 HDDスピンドルモータ構造
Structure of HDD spindle motor

や次世代ヘッド(TMR: Tunnel Magneto Resistive)が寄与して、最近の量産品では20 Gビット/(インチ)², 将来レベルで100 G/(インチ)²となっている。高面密度化するには、トラック密度または線記録密度を上げる必要があるが、軸受の性能の影響を受けるのはトラック密度の向上で、トラック幅は、最近では0.4 μmになり、2002年には0.08 μmが予想されている³⁾。トラック幅狭により軸受には、NRRO(Non Repeatable Runout)の低減が要求されている。

スピンドルモータの主要構成部品は軸、ハブ、フランジ、磁性流体シールと2ヶの玉軸受およびモータ部品で、一部玉軸受の代わりに動圧軸受(FDB: Fluid Dynamic Bearing)の採用例がある。なお、FDBについての性能は別の機会に報告することとし、ここでは、玉軸受の技術対応について紹介する。

3.2 HDDの用途と軸受サイズ

表1にHDDの用途と使用条件を、表2にHDDに使用される軸受寸法を、図6に軸受代表例を示す。

表1 用途と使用条件
Application and operating conditions

ディスクサイズ	3.5	2.5	1.0
主な用途	デスクトップ PC, デジタル家電, サーバ	ノートPC	携帯機器
軸受内径, mm	5 ~ 6	4	1.5 ~ 2
回転速度, min ⁻¹	5400 ~ 15000	4500 ~ 5400	3600 ~ 5400
使用温度,	0 ~ 70	0 ~ 70	0 ~ 70
軸受予圧, N	10 ~ 20	5 ~ 10	2 ~ 4

表2 HDD用玉軸受寸法
Dimensions of ball bearings for HDD

ディスク	3.5インチ				2.5インチ			1インチ
内径, mm	5				4			1.5
外径, mm	13		15	8	9	10	4	
幅, mm	3	4	3	4	4	2	2.6	1.5
玉径	2.0	1 / 16	2.0	1.0	1.2	1 / 16	0.6	
玉数	7	8	10	10	7	7	7	

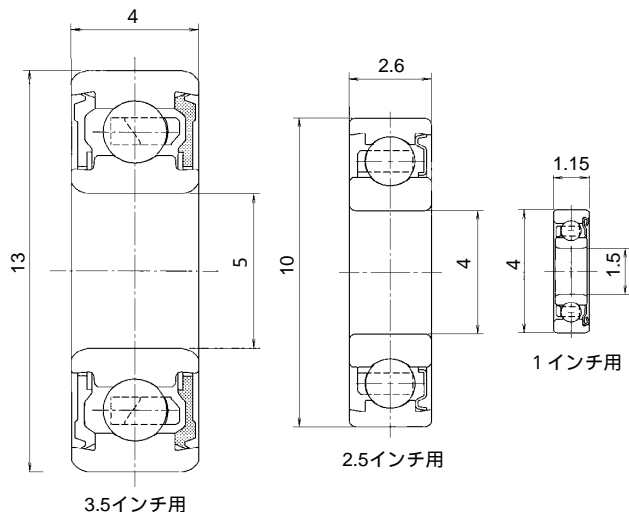


図6 HDD用玉軸受の構造図

Cross section of ball bearings for HDD

HDDは3.5 , 2.5 , 1.0 に分類され、3.5 がデスクトップPC , デジタル家電 , サーバ用に、2.5 はノートPC用、1.0 は今後、情報機器などに搭載が考えられている。使用軸受サイズは3.5 が内径 5 ~ 6 mm、2.5 が 4 mm、1.0 は 1.5 ~ 2 mmが使われている。使用条件ではHDDサイズで多少異なり、3.5 は回転速度が高速化の傾向にある。

また、HDDのコンパクト化、薄型化に対して玉軸受の幅狭化、多バリエーション化の要求が強い。玉軸受は特定の転がり振動を持っているため、回転時HDDモータとの共振が発生し、NRROが悪化する場合がある。

これを回避するため同じ主寸法でも玉構成を変更した軸受を用意し、この問題を解決している。

3.3 軸受に要求される機能

表3にHDDに要求される性能と各軸受の性能比較を示す。

表3 HDD用軸受の性能比較

Comparison of bearings for HDD

HDD 要求項目	軸受要求性能	スチール玉	セラミック玉 (窒化けい素)	動圧軸受 (FDB)
高容量	NRRO			
静粛性	音響			
低消費電流	トルク			
高速性	高速性			
耐衝撃性	耐衝撃性			
耐久性	信頼性			
低価格	コスト			

HDDの高容量化、高速化、低騒音化、低消費電流、耐衝撃性、耐久性要求に対し、軸受は低NRRO、高速回転、音響、トルク、耐衝撃性、信頼性が必要となる。

使用軸受は比較的成本が安価であるスチール玉が主体であるが、玉をセラミックスにした玉軸受は高速性、信頼性でスチール玉軸受に比べ優れていることから、サーバ主体に使用されている。また、FDBは静粛性、低NRRO、耐衝撃性が玉軸受より優れており、一部(2.5インチ主体)で採用されつつある。しかしコスト面、信頼性面、トルク面での課題があり、これらの課題対応への取組みが今後必要である。

以下に、NRROの改善、高速性、音響、耐衝撃性について紹介する。

3.4 NRROの改善

図7に玉軸受に対するNRRO要求値推移を、図8に玉軸受単体のNRRO測定方法を、図9に3.5 HDDに使用されている代表型番である内径 5 × 外径 13 × 幅 3 mm(695の幅狭タイプ)でのNRRO低減推移を、図10に玉数を変化させた時のNRRO低減効果を示す。

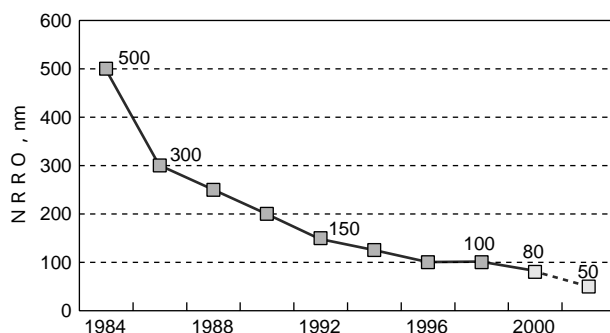


図7 NRRO要求値推移

Change of NRRO requirement

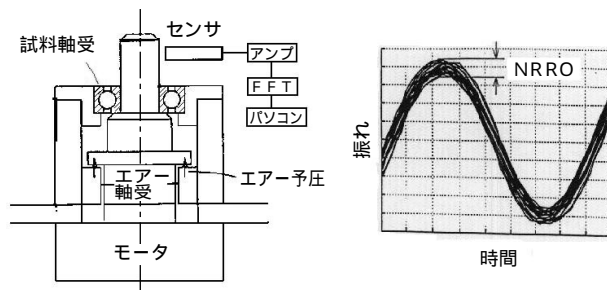


図8 NRRO測定器と測定例

NRRO measurement system and examples of NRRO

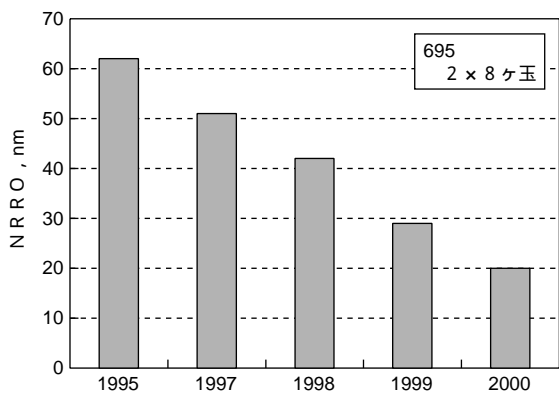


図9 NRROの推移
Change of NRRO

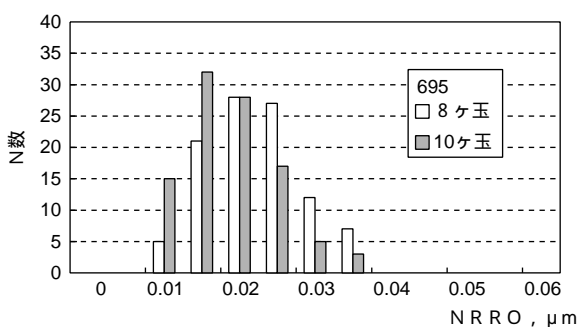


図10 NRROへの玉数の影響
NRRO of bearings with various ball number

玉軸受への要求NRROは年々低下傾向で、現在では、50nm以下になっている。

NRROの主な要因には

- 内輪および外輪軌道面の精度
- 玉の精度
- 保持器の精度
- 軸受の組み付け状態

などが挙げられる。

NRRO低減の取組みとして、上記の改善を実施した結果、最近では、NRRO平均値は8ヶ玉で20nmまで低下してきている。

さらにNRRO低減には玉数を10ヶ玉を増やすことで、15nmと8ヶ玉の約25%低減し、玉数が多い方が有利になっていて、最近では10ヶ玉品が主流になりつつある。

3.5 高速性

図11, 12にHDD回転速度の推移を示す⁴⁾。

回転速度はデスクトップPCとサーバ用で異なっている。デスクトップPC用は5400min⁻¹が主体であるが、徐々に7200min⁻¹に移行の傾向にある。サーバ用は10000min⁻¹が主流になり、最近では15000min⁻¹が発表されており、さらに高速化が計画されている。

高速化に伴って転動体をセラミックスにした軸受が採用されている。

セラミックスは軸受鋼に比べ、軽量、高剛性などに優れた特性を持っており、転動体にセラミックスを使用した場合、軸受昇温低下、剛性の向上、焼付き寿命、グリース寿命の向上などに有効である。

表4に材料の特長を示す⁵⁾。

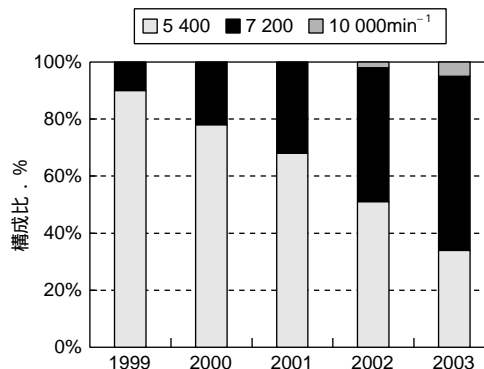


図11 PC回転速度推移
Rotational speed change of PC

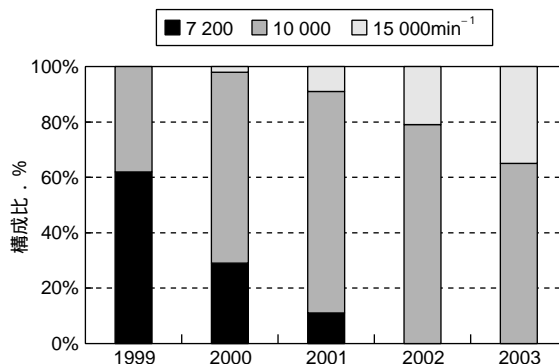


図12 サーバ回転速度推移
Rotational speed change of server

表4 セラミックスと軸受鋼との特性比較

Characteristics of silicon nitride and high carbon chromium bearing steel

項目	セラミックス 単位 (Si ₃ N ₄)	軸受鋼 (SUJ2)	セラミックスの適用による 長所および特性
耐熱性	800	180	高温下で高負荷能力を維持
密度	3.2 g/ml	7.8	転動体の遠心力を軽減
線膨張係数, K ⁻¹	3.2 × 10 ⁻⁶	12.5 × 10 ⁻⁶	昇温による内部すきまの変化が小
ピッカース硬さ, Hv	1400~1700	700~800	
縦弾性係数, GPa	314	206	転がり接触部の変形が小
ポアソン比	0.26	0.3	
耐食性	良	不良	酸・アルカリ溶液中などの特殊環境での使用可
磁性	非磁性体	強磁性体	強磁場内での着磁による回転変動が小
導電性	絶縁体	導電体	電食の防止(モータなど)
素材の結合形態	共有結合	金属結合	油膜切れによる転がり接触部の凝着(移着)が小

セラミックには、

- 1 耐熱性が高い
- 2 密度が小さい
- 3 線膨張係数が小さい
- 4 硬い

などの長所があることがわかる。

図13, 14に玉にセラミックスを使用した場合の評価結果を示す。微量のオイル潤滑でセラミック玉軸受はスチール製玉軸受の約3倍以上の耐久性がある。

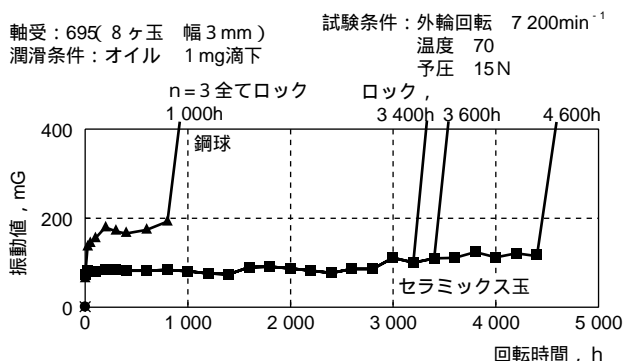


図13 微量オイル潤滑耐久試験
Least lubrication endurance test

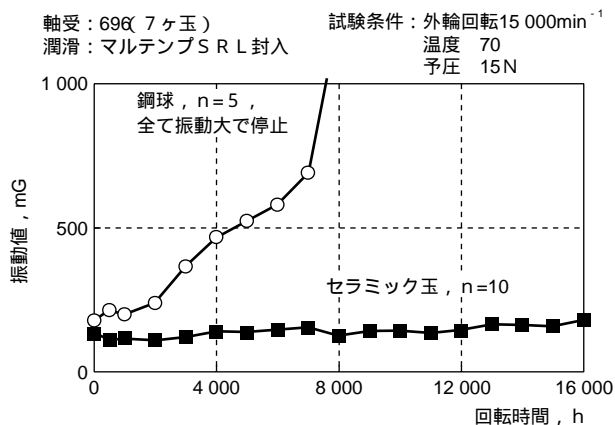


図14 グリース潤滑耐久試験
Grease lubrication endurance test

また、グリース潤滑では、8000hでスチール製は初期値に比べ大幅に増大したが、セラミックスは16000hでも初期とほとんど変化なく長期運転による潤滑状態の劣化のないことが確認された。

セラミック玉軸受の潤滑寿命が優れている理由として、異種材料(金属と非金属)の接触のための凝着摩耗、焼付き、面あれなどの不具合発生を押しさえることができるためと考えられる。

さらにセラミック玉軸受を拡大していくには低コスト化も課題である。

3.6 音響

図15に軸受振動の推移を示す。

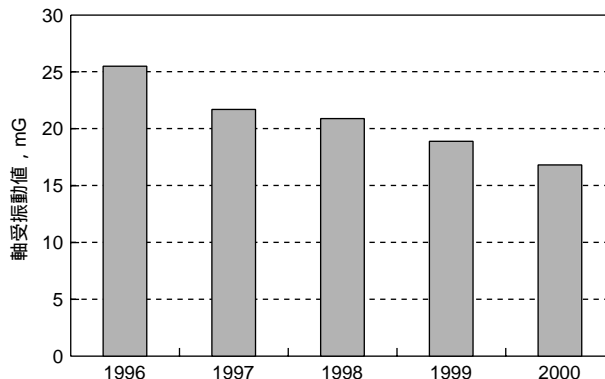


図15 軸受振動値推移

Requirement of ball bearing vibration

HDDの回転速度が増加するに従い低騒音化の要求もますます厳しくなっている。この要求に対し、軸受軌道面精度、玉表面精度の改善で対応し、軸受振動は1996年に比べ、40%以上低減している。

3.7 耐衝撃性

図16に軸受耐荷重性の性能を示す。

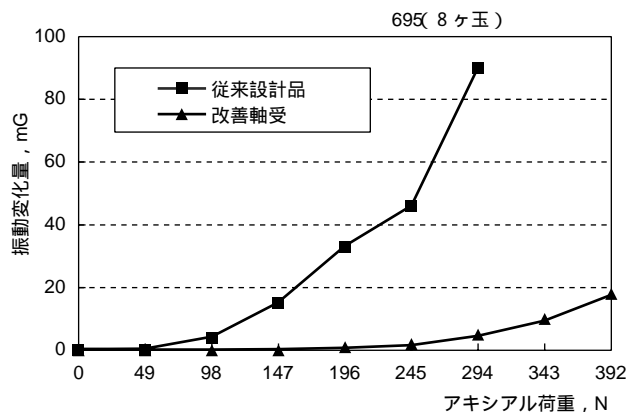


図16 耐荷重性評価

Shock resistance test results

HDDに対する耐衝撃性の要求は2.5と3.5で異なり、2.5用はノートPCに搭載され、600~700Gの大きな衝撃を受ける。3.5用はデスクトップPCまたはサーバ用のため150~200G程度の衝撃である。

軸受には、ディスクとモータ部品の総重量に加速度G値を乗じた数値の耐荷重性が要求され、3.5で総重量を仮に1.2Nとすると200Gで軸受の負荷は約25N以上になる。

軸受の耐荷重性を向上させるには、負荷容量を上げる必要があり、軸受設計や熱処理の工夫で対応している。

4. おわりに

HDD用玉軸受について性能改善内容をまとめると表5に示すように、多岐に渡っている。今後HDDは情報家電用に拡大が見込まれており、低NRRO、低振動などのさらなる改善を進め、転がり軸受全体の高精度化を計っていきたい。

表5 HDD要求項目と玉軸受の改善

Requirements of HDD and improvement of ball bearings

HDD要求項目	スピンドルモータ要求項目	玉軸受の改善
高容量化	低NRRO	軸受(内外輪)の加工精度, 部品(玉, 保持器)精度, NRRO測定精度向上
静粛性	低騒音	軸受軌道輪, 玉表面精度向上
	共振回避	軸受サイズ, 玉構成の多様化
低消費電流	低回転トルク	グリース, 保持器設計, 軸受サイズの適正化
高速化	高速回転	セラミック玉の採用
高信頼性	長寿命	セラミック玉の採用 長寿命グリースの開発
	耐衝撃性	内部設計, 熱処理の適正化,
コンパクト化	薄型極小モータ	軸受サイズの多様化, 薄型極小軸受加工

参考文献

- 1) “5兆円市場、情報家電に賭けるHDD”, 日経メカニカル, no. 553(2000.10)44.
- 2) (社)電子情報技術産業協会: 1999年, 2000年情報端末関連機器の世界市場, 国内市場実績および需要予測.
- 3) Mark E・RE: “垂直記録と長手記録の2方式で60Gビット/(インチ)²を実証”, 日経エレクトロニクス, no. 786(2001年1月1日号)149-157.
- 4) “100Gバイト時代を目前に岐路に立つHDD”, 日経エレクトロニクス, no. 788(2001年1月29日号)61-70.
- 5) 光洋精工(株): EXSEVベアリング, CAT. no. 293.

(「月刊トライボロジ」2001年4月号より転載)

筆者



向笠正弘*
M. MUKASA

* 軸受事業本部 軸受技術センター
電機技術部