

新非磁性軸受の耐荷重性と磁場特性

服部智哉 北村和久 林田一徳

Load Capability and Magnetic Field Performance of New Nonmagnetic Bearings

T. HATTORI K. KITAMURA K. HAYASHIDA

Recently the use of semiconductor-manufacturing equipment, medical apparatuses and other equipment utilizing magnetic fields has been increasing, and the bearings made of nonmagnetic materials are being sought for use in such equipment. Traditionally, beryllium-copper alloy or silicon nitride ceramic has been used for these applications. However, the beryllium and beryllium oxide are toxic and place a burden on the environment. Also, silicon nitride excels in both load capability and permeability, the cost of silicon nitride prevents its application in many cases. In view of this situation, we have developed new nonmagnetic bearings. We show the load capability of new nonmagnetic bearings and the influence of the bearing rotation on magnetic field.

1. はじめに
2. 新非磁性軸受用材料
3. 性能
 - 3.1 転がり接触での耐荷重性能
 - 3.2 軸受の回転が磁場に与える影響
4. 非磁性軸受の構成
5. おわりに

1. はじめに

近年、半導体製造装置、例えば電子ビームを用いた描画装置や検査装置、医療用磁気共鳴診断装置(MRI)など、磁場を利用した装置が増加している^{1)~3)}。これらの装置を構成する機械要素は、磁場を乱さないために非磁性であることが求められており、転がり軸受も例外ではない。従来これらの用途ではベリリウム銅や窒化けい素セラミックスが転がり軸受用材料として使用されてきた^{4)~6)}。

しかし、ベリリウム銅は、安全・環境衛生上の見地すなわち労働安全衛生法、特定化学物質等障害予防規則、大気汚染予防法、水質汚濁防止法などから、これに含まれるベリリウムやその化合物の一部が環境負荷物質として認識され制約を受けることがある。また、電子ビームを用いた描画装置や検査装置では、静電気を逃がす必要があるために軸受に非磁性と同時に導電性が要求される場合がある。しかし、窒化けい素は絶縁体であるため、このような用途には適用できない。さらに、窒化けい素は一般の金属材料と比較するとコスト

が高く、この観点からもすべての用途に対応することは困難である。

そこで我々は、これら従来材料に代わる新しい非磁性材料を転がり軸受に適用し、その耐荷重性と磁場に与える影響について評価を行ったので結果を以下に紹介する。

2. 新非磁性軸受用材料

磁性(比透磁率)、強度、導電性さらには環境安全性などの観点から、今回新非磁性軸受用材料として非磁性超硬合金と非磁性ステンレス鋼の2種の材料を開発・選定した。新非磁性軸受用材料と従来材料であるベリリウム銅および窒化けい素の主な特性を表1に示す。

非磁性超硬合金は、一般の超硬合金が炭化タングステン(WC)をコバルト(Co)で結合しているのに対して、炭化タングステン(WC)をニッケル(Ni)で結合することにより、比透磁率が1.001以下と極めて1に近い低透磁率の非磁性材料としたものである。さらに窒化けい素に近い硬さと窒化けい素以上の韌性を持ち、高い剛性も有する。

表1 材料の特性
Material characteristics

	新非磁性軸受用材料		従来材料	
	非磁性超硬合金	非磁性ステンレス鋼	ベリリウム銅	窒化けい素
比透磁率	1.001以下	1.01以下	1.001以下	1.001以下
硬さ, HV	1 250 ~ 1 350	410 ~ 450	330 ~ 410	1 400 ~ 1 600
ヤング率, GPa	500	200	130	314
ポアソン比	0.20	0.30	-	0.29
線膨張係数, 1/	5.1×10^{-6}	18×10^{-6}	18×10^{-6}	3.2×10^{-6}
導電性	導体	導体	導体	絶縁体

また、比重(約14.4)が大きく、導体であることも特徴の1つである。

非磁性ステンレス鋼は、オーステナイト系の高マンガンステンレス鋼であり、比透磁率が1.01以下の非磁性材料である。時効硬化処理を施すことによりHV410~450程度の硬さが得られ、ベリリウム銅(硬さ: HV330~410)より硬い材料である。なお、非磁性超硬合金、非磁性ステンレス鋼いずれも環境負荷物質を含まない材料である。

3. 性能

3.1 転がり接触での耐荷重性能

新非磁性軸受に使用される材料の耐荷重性能を把握するため、図1に示すスラスト型転がり試験機による評価を行った。試験条件を表2に示す。試験は、一定時間毎に荷重を段階的に増加させていく方法で、それぞれの材料の転がり接触における耐荷重性を評価した。

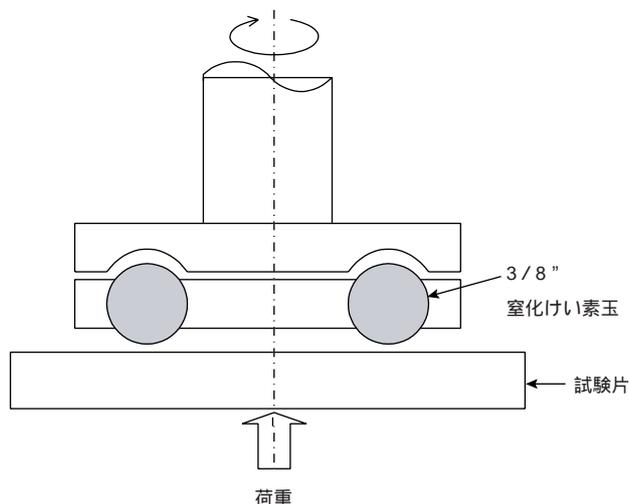


図1 転がり試験機概略図
Test equipment

試験は新非磁性軸受の材料2種と、比較のため従来材料であるベリリウム銅および窒化けい素についても実施した。試験数は、各材料n=3とした。

表2 試験条件
Test conditions

項目	条件
回転数	1 200min ⁻¹
荷重	ステップアップ
温度	室温
潤滑	油浴(スピンドル油)
相手材(玉)	3 / 8 (9.525mm) 窒化けい素玉 3個
保持器材質	黄銅

試験結果を図2に示す。ベリリウム銅は最小荷重である392Nと短時間ですべて損傷を発生した。非磁性ステンレス鋼の損傷発生荷重は980N~1 570N、非磁性超硬合金の損傷発生荷重は2 450Nであった。一方窒化けい素は、すべて3 920Nでも破損は認められなかった。すなわち、耐荷重性としてはベリリウム銅 < 非磁性ステンレス鋼 < 非磁性超硬合金 < 窒化けい素の傾向を示し、新非磁性軸受の材料は2種いずれもベリリウム銅より耐荷重性能が優れていることがわかる。

非磁性ステンレス鋼および非磁性超硬合金の試験後の破損状態を図3に示す。損傷形態はいずれも軸受鋼や窒化けい素と類似のはく離であり、転動疲労によるものであった^{7),8)}。

なお、非磁性超硬合金および非磁性ステンレス鋼については、損傷を発生しなかった最大荷重(非磁性超硬合金: 1 570N、非磁性ステンレス鋼: 392N)にてn=5の寿命確認試験を行った。各材料n=5すべて400時間(応力繰り返し数 1.44×10^7 回)以上まで破損は認められず、非磁性超硬合金は1 570N、非磁性ステンレス鋼は392Nまでの使用が実質上問題無いことが明らかとなった。

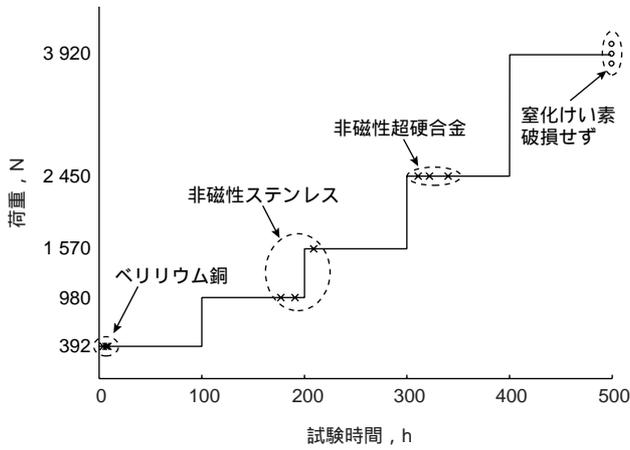
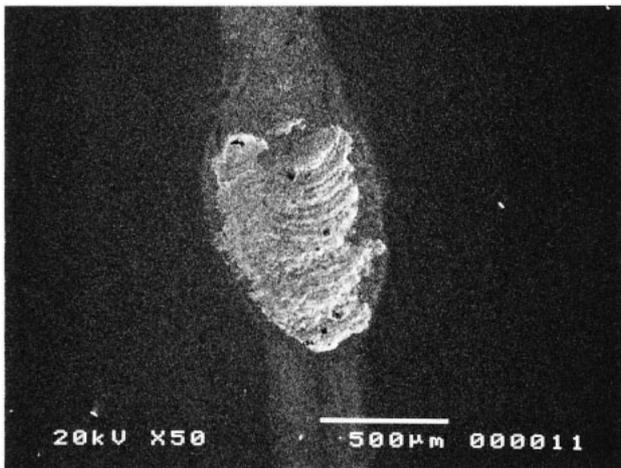
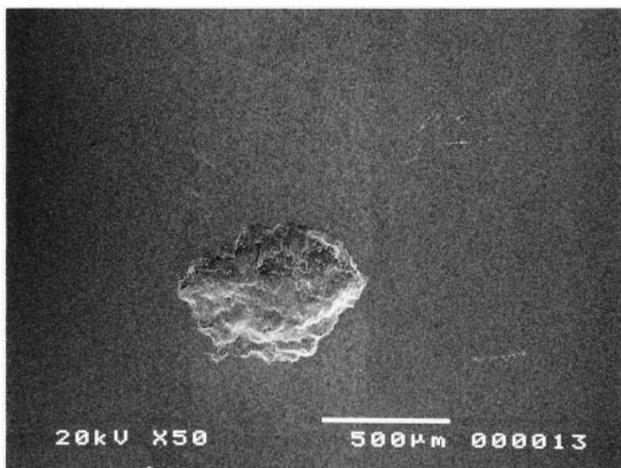


図2 試験結果
Test results



非磁性超合金



非磁性ステンレス鋼

図3 損傷形態
Damage form

3.2 軸受の回転が磁場に与える影響

非磁性軸受には、転がり軸受としての耐荷重性能や寿命だけでなく、その回転によって周辺磁場に影響を与えないことが要求される。そこで、軸受の回転が磁場に与える影響について評価を行った。

図4に試験方法を、表3に試験軸受の構成を示す。試験は、永久磁石により与えられた静磁場の中に試験軸受を取り付け、この軸受の外輪を回転させたときの磁束密度の変化をテスラメータにより測定することにより行った。試験軸受は608相当のオープンタイプ深みぞ玉軸受(内径8mm、外径22mm、幅7mm)である。なお、試験軸受の構成としては、新非磁性軸受と従来軸受それに比較用としてマルテンサイト系ステンレス鋼(SUS440C)製軸受とし、すべての軸受の保持器は、磁場に影響を与えない樹脂材料とした。

試験結果を図5に示す。非磁性ステンレス鋼および非磁性超合金を用いた軸受(①, ②)は、いずれも従来軸受(③, ④)と同様に外輪回転中の磁束密度の変動は極めて少なく、磁場に対しほとんど影響を与えていないことがわかる。これに対し、軌道輪に通常のマartenサイト系ステンレス鋼(SUS440C)を用いた軸受(⑤, ⑥)では、転動体の材質が窒化けい素であっても、外輪回転に伴い磁束密度が大きく変動しており、周辺の磁場が軸受の回転によって乱されていることがわかる。

以上より軌道輪・転動体材料として非磁性ステンレス鋼、非磁性超合金それに窒化けい素を用いた軸受は、従来軸受(ベリリウム銅、窒化けい素で構成)と同等の磁場特性を示しており、新非磁性軸受(非磁性ステンレス鋼、非磁性超合金、窒化けい素で構成)が磁場中で十分使用可能であることが確認できた。

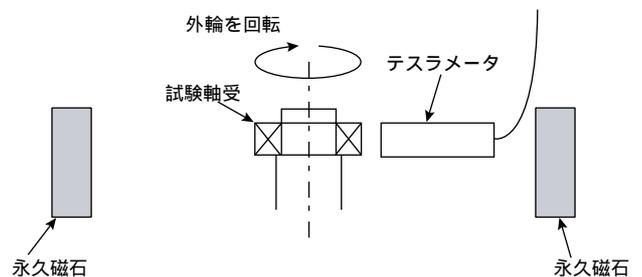
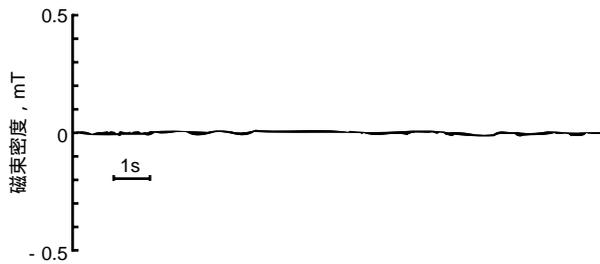


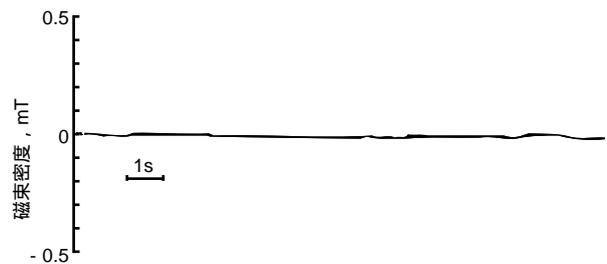
図4 試験方法
Test method

表3 試験軸受の構成
Materials of test bearings

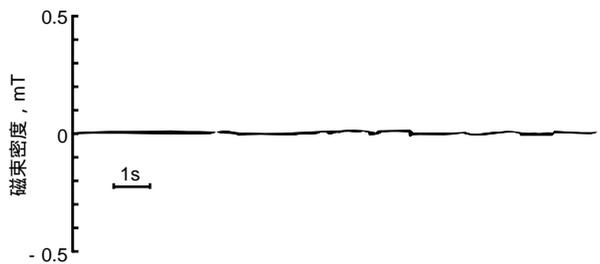
	新非磁性軸受		従来軸受		比較軸受	
軌道輪	非磁性 ステンレス鋼	非磁性 超硬合金	ベリリウム銅	窒化けい素	ステンレス鋼 (SUS440C)	ステンレス鋼 (SUS440C)
転動体	窒化けい素	非磁性 超硬合金	窒化けい素	窒化けい素	ステンレス鋼 (SUS440C)	窒化けい素
保持器	樹脂	樹脂	樹脂	樹脂	樹脂	樹脂



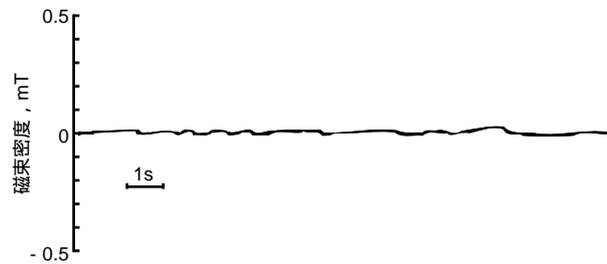
軌道輪：非磁性ステンレス鋼
玉：窒化けい素



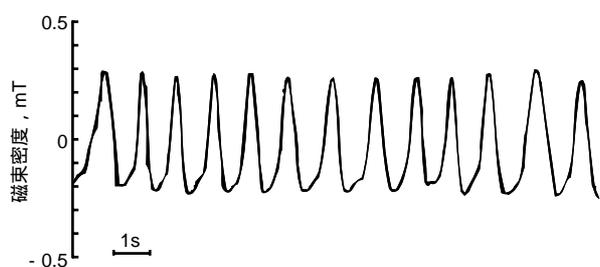
軌道輪：非磁性超硬合金
玉：非磁性超硬合金



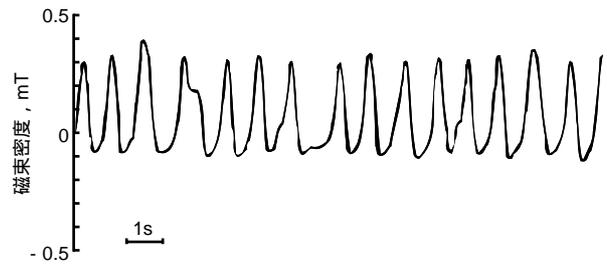
軌道輪：ベリリウム銅
玉：窒化けい素



軌道輪：窒化けい素
玉：窒化けい素



軌道輪：SUS440C
玉：SUS440C



軌道輪：SUS440C
玉：窒化けい素

図5 試験結果
Test results

4. 非磁性軸受の構成

表4に当社が推奨する非磁性軸受の基本構成を示す。新非磁性材料である非磁性ステンレス鋼、非磁性超硬合金、および従来材料の窒化けい素を組み合わせることで、各種要求に応えることができる。

通常軸受に非磁性が要求される場合には、①の標準タイプで十分な性能を発揮する。標準タイプは、軌道輪が非磁性ステンレス鋼、転動体が窒化けい素からなる。軸受に非磁性と導電性が同時に要求される場合には、②の導電タイプで対応できる。これは軌道輪が非磁性ステンレス鋼、転動体

表4 非磁性軸受の構成
Materials of nonmagnetic bearings

	①標準タイプ	②導電タイプ	③導電・低透磁率タイプ	④高荷重・低透磁率タイプ
軌道輪	非磁性ステンレス鋼	非磁性ステンレス鋼	非磁性超硬合金	窒化けい素
転動体	窒化けい素	非磁性超硬合金	非磁性超硬合金	窒化けい素
保持器	樹脂, SUS304他	樹脂, SUS304他	樹脂, SUS304他	樹脂, SUS304他
備考			①②より耐荷重性大	耐熱性・耐食性も良

が導電性を有する非磁性超硬合金にした構成である。さらに、軸受に、導電性と極めて1に近い比透磁率が要求される場合には、③の導電・低透磁率タイプを用いればよい。このタイプは軌道輪、転動体ともに非磁性超硬合金から構成されており、①や②のタイプに比べ耐荷重性も大きい。また、導電性は必要ないが、極めて1に近い比透磁率と高い耐荷重性能が要求される場合には、④の高荷重・低透磁率タイプが最適である。これは軌道輪、転動体ともに窒化けい素からなる従来からの総セラミック軸受である。

なおいずれのタイプも、保持器は樹脂を基本としており、必要に応じオーステナイト系ステンレス鋼(SUS304)の使用が可能である。潤滑は、一般の軸受と同様にグリースやクリーンブロー(特殊ふっ素高分子薄膜)などの固体潤滑剤が適用可能^{9),10)}で、クリーンや真空など使用環境に応じて選定することができる。

5. おわりに

従来から非磁性用途の転がり軸受に使用されてきたベリリウム銅に代わり、環境面で安全な非磁性材料である非磁性ステンレス鋼および非磁性超硬合金を用いた新非磁性軸受を開発した。開発品の性能はまとめると以下の通りである。

- 1) 非磁性ステンレス鋼および非磁性超硬合金の耐荷重性能はベリリウム銅より優れており、非磁性ステンレス鋼の場合392N、非磁性超硬合金の場合1570Nまでの使用が可能である。
- 2) 非磁性ステンレス鋼および非磁性超硬合金を用いた軸受は、従来材料(軸受)と同様に軸受回転中周辺磁場をほとんど乱さず、磁場中での使用が可能である。
- 3) 非磁性ステンレス鋼および非磁性超硬合金は、いずれも導電性を有し、特に転動体を非磁性超硬合金にすることで非磁性かつ導電性を有する軸受となる。

なお新非磁性軸受は、既に半導体関係の検査装置や医療関係の診断装置に多数使用されており好評を頂いている。さらにこれらの非磁性材料は、リニアウエイ、ボールねじなどの直動案内要素への適用も可能であり、今後の展開が期待できる。

参考文献

- 1) 長広恭明, 木村雅秀: 日経マイクロデバイス, 3月1日号(1999)86.
- 2) 鎮西清行: BME, vol. 11, no. 8(1997)72.
- 3) 林田一徳: 精密工学会誌, vol. 63, no. 7(1997)933.
- 4) 藤田良樹: Koyo Engineering Journal, no. 139(1991)41.
- 5) Koyo Engineering Journal, no. 145(1994)24.
- 6) Koyo Engineering Journal, no. 145(1994)34.
- 7) H. Takebayashi: SAE Technical Paper Series 901629(1990).
- 8) 服部智哉, 北村和久, 竹林博明: トライボロジー会議予稿集, (1998-5)124.
- 9) 藤原有宏, 豊田泰, 林田一徳: トライボロジー会議予稿集, (1988-5)16.
- 10) 豊田泰, 気田健久: トライボロジー予稿集, (1999-5)75.

筆者



服部智哉*
T. HATTORI



北村和久*
K. KITAMURA



林田一徳*
K. HAYASHIDA

* 総合技術研究所 基礎技術研究所
軸受技術開発部