JTEKT

EXSEV エクゼブ®

特殊環境用軸受シリーズ

セラミック軸受

日本品質

CAT.NO.BA020JA-1CH

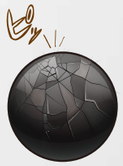
世界で初めて、セラミックベアリングの実用化に成功。

海水中でも使えるベアリングってありませんか？

…という **お客様からのひと言がきっかけ** で

セラミックベアリングの開発がスタート。

当初はアルミナを原料にしていたが **すぐ割れたりひびが入ったり…**



結局5年ほどで研究は立ち消えになった。

再び研究が動き出したのは1978年のこと…今度は5人で開発グループを結成。

さらに **セラミック研究に強い素材メーカーに共同開発** を呼びかけた。

窒化けい素を原料に焼結助剤で強度を補強、さらにひび割れを防止する

ホットプレスの採用により、**1984年世界初セラミックベアリングを商品化！**

はじめはお客様から、セラミックってクラックが入ったら真っ二つに割れるんでしょ

…と強度に疑問の声もあったが…

そんなときは **お客様にハンマーで叩いてもらい強さを実感** してもらった。

すると **コンクリートの方が割れてしまった！**

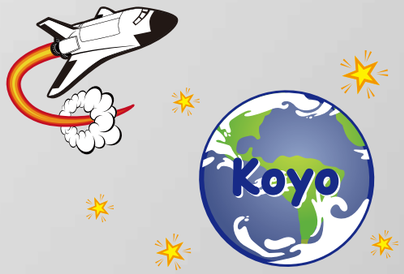
当初は用途開発に苦労したがやがて **強度と高速性が認められ、**

まず工作機械の主軸用に採用された。

次に **油を使わない、ゴミが出ないという特性** から **半導体メーカーにも注目される。**

スペースシャトル「コロンビア」の

実験装置の一部 にも使われ用途も拡大していった。



生産性も向上し、自動車エンジン用やコンピュータのHDD用にも量産納入。

優れた性能が評価され、日本ファインセラミック賞をはじめ数々の賞を受賞。

そして今では…

“セラミックベアリングといえば JTEKT”

使用事例紹介

1 工作機械 …… 3
2 フィルム製造装置 …… 3,4
3 発電設備 …… 4
4 工業炉 …… 5
5 生産設備 …… 6,7
6 半導体製造装置 …… 8,9,10
7 モーター・産業機器 …… 11
8 医療機器 …… 12
9 家庭用電気機器 …… 12,13
10 宇宙・レジャー …… 13
11 自動車／二輪車 …… 14,15

特長紹介

セラミックスの特性

1 材料特性 …… 17
2 セラミックスの転がり疲れ …… 18
3 軸受に適したセラミックス …… 19
4 セラミック軸受の構成 …… 19

製造工程

セラミックスの製造工程

1 製造工程 …… 20

製品詳細

セラミック軸受の製品詳細

1 セラミック軸受の転がり疲れ寿命 …… 21
2 セラミック軸受の静定格荷重 …… 22
3 セラミック軸受の衝撃強さ …… 23
4 セラミック軸受のはめあい …… 24

各種性能

セラミック軸受の各種性能

1 耐食性能 …… 25,26
2 非磁性 …… 26
3 絶縁 …… 27
4 高速性能 …… 28

製品紹介

1 セラミックボール …… 29

1 工作機械

CERAMIC BEARINGS

1 主軸(アンギュラ玉軸受)

製品名:組合せセラミック軸受

工作機械の主軸には超高速回転、急加減速、高剛性、低温度上昇などの性能が求められます。
これらの要求に対応できる組合せセラミック軸受が広く採用されています。

真空 クリーン 高温 耐食 絶縁 非磁性 **高速** 耐摩耗 低トルク

- 温度上昇20～30%低減
- 高速限界1.2～1.5倍(当社比)

使用条件
回 転 速 度:25 000 min⁻¹
($d_m n = 2.75 \times 10^6$)
潤　　滑:オイルまたはグリース
スピンドル出力:75 kW

2 主軸(円筒ころ軸受)

製品名:組合せセラミック軸受

立方マシニングセンターにおいて、ミスアライメントによる偏荷重条件下での耐焼き付き性能が向上します。

真空 クリーン 高温 耐食 絶縁 非磁性 **高速** 耐摩耗 低トルク

- 温度上昇20～30%低減
- 高速限界1.2～1.5倍(当社比)

使用条件
回 転 速 度:12 000 min⁻¹
潤　　滑:グリース

2 フィルム製造装置

CERAMIC BEARINGS

1 高機能フィルム製造

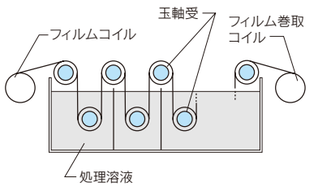
製品名:コロガードプロベアリング®-ZO
コロガードプロベアリング®-MD

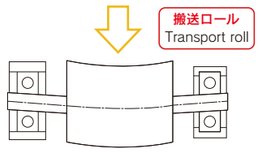
高機能フィルム製造ラインでは酸・アルカリ・染料・純水といった各種溶液が使用されます。
このような腐食環境下には、コロガードプロベアリング®-ZO、コロガードプロベアリング®-MDが採用されています。

真空 クリーン 高温 **耐食** 絶縁 非磁性 高速 **耐摩耗** 低トルク

- 酸、アルカリ、染料、純水の各種溶液に対する耐食性

使用条件
回 転 速 度:数10～100 min⁻¹
温　　度:室温～80 ℃
潤　　滑:処理溶液





2 写真フィルム製造

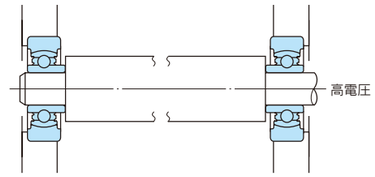
製品名:組合せセラミック軸受(特殊仕様)

写真フィルム製造ラインでは、高電圧をかけてフィルムの表面処理をおこないます。
このような環境下では、絶縁用として内輪と玉にセラミックスを用いた組合せセラミック軸受が採用されています。

真空 クリーン 高温 耐食 **絶縁** 非磁性 高速 耐摩耗 低トルク

- 高電圧環境下での絶縁効果

使用条件
回 転 速 度:200 min⁻¹
温　　度:室温
潤　　滑:グリース



3 発電設備

CERAMIC BEARINGS

1 風力発電機

製品名:組合せセラミック軸受

風力発電機はメンテナンスフリーが強く求められています。ジェネレータに用いる軸受は電食による損傷が発生し易く故障の原因の一つになっています。
そのため軸受の耐久信頼性に優れた組合せセラミック軸受が採用されています。

真空 クリーン 高温 耐食 **絶縁** 非磁性 高速 耐摩耗 低トルク

- 電食防止
- グリース寿命延長
  (当社一般軸受比 約3倍)

使用条件
回 転 速 度:2700 min⁻¹
温　　度:氷点下～約60 ℃
潤　　滑:グリース

2 マイクロガスタービン発電機

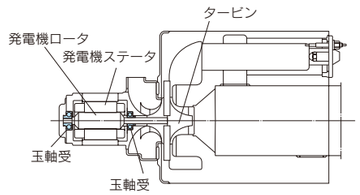
製品名:組合せセラミック軸受

クリーンな排気で環境に優しく、世界最小のガスタービン発電機には低振動・低騒音で高速性に優れた組合せセラミック軸受が採用されています。

真空 クリーン 高温 耐食 絶縁 非磁性 **高速** 耐摩耗 低トルク

- 高速信頼性向上

使用条件
回 転 速 度:100 000 min⁻¹
($d_m n = 2.22 \times 10^6$)
温　　度:200 ℃
潤　　滑:オイル



4 工業炉

CERAMIC BEARINGS

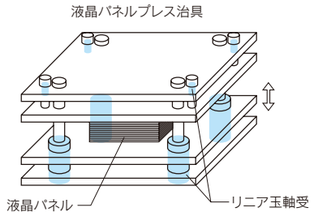
1 液晶パネル封着炉

製品名:組合せセラミックリニア玉軸受

炉内基板貼合わせプレス治具装置では、高温下での低発じん・長寿命が要求されます。
このような装置に、Newクリーンプロ®-PR仕様の
組合せセラミックリニア玉軸受が採用されています。

真空 | クリーン | 高温 | 耐食 | 絶縁 | 非磁性 | 高速 | 耐摩耗 | 低トルク

● 低発じんでクリーン環境に対応



使用条件
ストローク速度:5 mm/s
温　　度:200 ℃
雰囲気圧力:大気圧
潤　　滑:Newクリーンプロ®-PR
コーティング

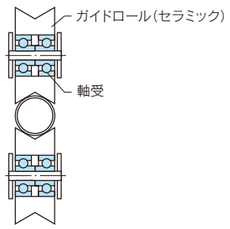
2 チューブ焼鈍炉

製品名:組合せセラミック軸受

チューブ焼鈍炉内のガイドロール用軸受は、高温環境・無潤滑で使用されます。
このような用途に組合せセラミック軸受が採用されています。

真空 | クリーン | 高温 | 耐食 | 絶縁 | 非磁性 | 高速 | 耐摩耗 | 低トルク

● 高温環境に対応



使用条件
回 転 速 度:300 min^{-1}
温　　度:300 ℃

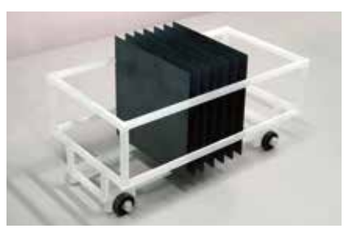
3 拡散炉台車

製品名:総玉形セラミック軸受

拡散炉は高温条件のみでなく、腐食ガスも存在する過酷な条件です。
炉内の搬送台車に転がり機構の採用により、スムーズな搬送が得られ、
製品の品質向上、生産性向上につながります。

真空 | クリーン | 高温 | 耐食 | 絶縁 | 非磁性 | 高速 | 耐摩耗 | 低トルク

● 高温環境に対応
● 腐食ガスに対する耐食性
● 生産性向上に貢献



使用条件
温　　度:800 ℃以上
雰　囲　気:腐食ガス雰囲気
荷　　重:5N

5 生産設備

CERAMIC BEARINGS

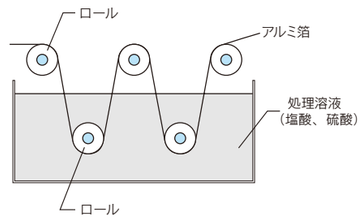
1 アルミ箔電解コンデンサ製造

製品名:
コロガードプロベアリング®-SC

アルミ箔電解コンデンサ製造装置では、アルミ箔の化学処理に強酸性溶液が使用されます。
このような高腐食環境下には、コロガードプロベアリング®-SCが採用されています。

真空 | クリーン | 高温 | 耐食 | 絶縁 | 非磁性 | 高速 | 耐摩耗 | 低トルク

● 強酸溶液に対する耐食性



使用条件
回 転 速 度:50 min^{-1}
温　　度:90 ℃
潤　　滑:処理溶液(塩酸・硫酸)

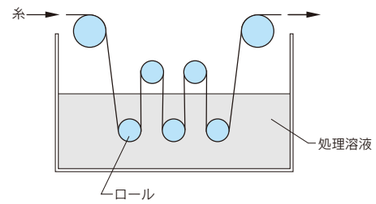
2 合成繊維製造

製品名:コロガードプロベアリング®-MD

合成繊維の強化処理工程では、酸・アルカリ・水といった各種の液が使用されます。
このような腐食環境下には、耐食性に優れたコロガードプロベアリング®-MDが採用されています。

真空 | クリーン | 高温 | 耐食 | 絶縁 | 非磁性 | 高速 | 耐摩耗 | 低トルク

● 酸、アルカリ、水の各種溶液に対する耐食性



使用条件
回 転 速 度:20~100 min^{-1}
温　　度:室温~90 ℃
潤　　滑:処理溶液

3 DVDスパッタリング

製品名:組合せセラミック軸受

より信頼性を向上させるために、組合せセラミック軸受が採用されています。

真空 | クリーン | 高温 | 耐食 | 絶縁 | 非磁性 | 高速 | 耐摩耗 | 低トルク

● 絶縁効果

使用条件
回 転 速 度:300 min^{-1}
温　　度:室温
潤　　滑:グリース

5 生産設備

CERAMIC BEARINGS

4 スチールコード撚線機

製品名:組合せセラミック軸受

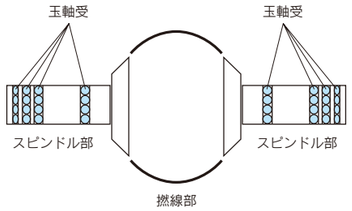
ラジアルタイヤ用のスチールコードは強度が要求されるため、撚線機で撚り合わせて製造されます。スチールコード撚線機では、回転速度が高いため、軸受の寿命向上と寿命安定のために組合せセラミック軸受が採用されています。

真空 クリーン 高温 耐食 絶縁 非磁性 **高速** 耐摩耗 低トルク

- 温度上昇低減
- 耐久信頼性向上

使用条件

回 転 速 度:6 000 min^{-1}以上
潤　　滑:グリース



5 ジェット静電塗装機

製品名:組合せセラミック軸受

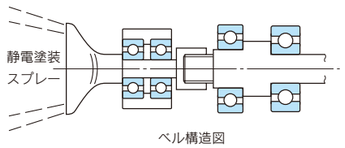
静電塗装機の吹付け部ではエアモーターによるグリース流出によって、塗料に悪影響を及ぼします。その対策のため、グリースを用いない組合せセラミック軸受が採用されています。

真空 クリーン 高温 耐食 絶縁 非磁性 **高速** 耐摩耗 低トルク

- グリース飛散防止
- 塗料汚染防止

使用条件

回 転 速 度:20 000 min^{-1}
潤　　滑:ふっ素系高分子



ベル構造図

6 半導体製造装置

CERAMIC BEARINGS

1 搬送ロボット

製品名:Kシリーズ総玉形組合せセラミック軸受

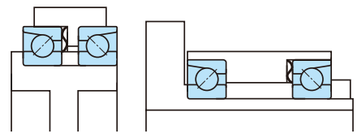
半導体・液晶製造装置に使用される搬送ロボットでは、低発じんで長寿命な軸受が要求されます。同時に、組立性・メンテナンス性の向上のために、アーム部を含めたユニット品で対応しているものもあります。

真空 **クリーン** **高温** **耐食** 絶縁 非磁性 高速 耐摩耗 **低トルク**

- 真空、クリーン環境に対応
- 小型化に最適

使用条件

温　　度:室温～200 ℃
雰囲気圧力:10^{-3} Pa
潤　　滑:グリースまたは
Newクリーンプロ®-PR
コーティング



搬送ロボット用軸受ユニット

2 EB露光装置

製品名:非磁性組合せセラミック軸受

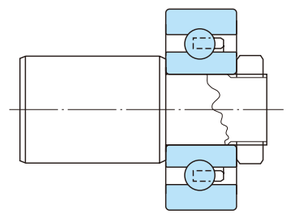
半導体製造のEB露光装置用軸受は、強磁場の環境下で使用されます。
磁場に影響されない非磁性組合せセラミック軸受が採用されています。

真空 クリーン 高温 耐食 絶縁 **非磁性** 高速 耐摩耗 低トルク

- 真空、強磁場環境に対応

使用条件

回 転 速 度:100 min^{-1}
温　　度:室温
雰囲気圧力:10^{-5} Pa
潤　　滑:グリース



3 CVD装置 扉開閉機構

製品名:組合せセラミック軸受
Newクリーンプロ®-PR(リニア玉軸受)

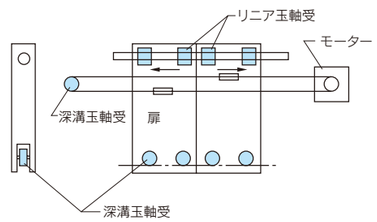
CVD装置の扉部には、組合せセラミック軸受と
Newクリーンプロ®-PR(リニア玉軸受)が採用されています。

真空 **クリーン** **高温** 耐食 絶縁 非磁性 高速 耐摩耗 低トルク

- 高温、真空、クリーン環境に対応

使用条件

回 転 速 度:10～200 min^{-1}
温　　度:200 ℃
雰囲気圧力:大気圧～10^{-4} Pa
潤　　滑:Newクリーンプロ®-PR
コーティング



6 半導体製造装置

CERAMIC BEARINGS

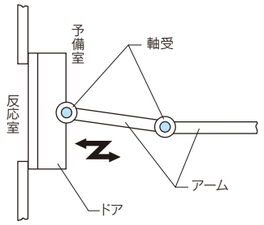
4 エッチング装置

製品名:組合せセラミック軸受(特殊仕様)

エッチング装置ではハロゲン、ふっ化水素など腐食ガス雰囲気下で使用できる低発じん軸受が要求されます。この装置には、耐食・低発じん軸受としてPTFEコーティングした組合せセラミック軸受が採用されています。

真空 クリーン 高温 耐食 絶縁 非磁性 高速 耐摩耗 低トルク

- ハロゲン、ふっ化水素などの腐食ガス雰囲気下における耐食性
- 低発じんでクリーン環境に対応



使用条件

温　　度:室温～60 ℃
雰囲気圧力:大気圧～10^{-2} Pa
荷　　重:ラジアル10N
潤　　滑:PTFEコーティング

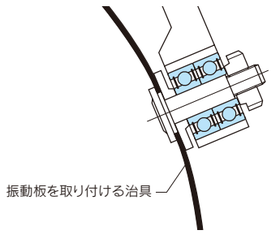
5 真空蒸着装置

製品名:高温組合せセラミック軸受(特殊仕様)

真空蒸着装置のプラネタリ部に使用される軸受は、高温・高荷重(モーメント)での耐久性が要求されます。高温環境下での寿命向上のため、特殊仕様の高温組合せセラミック軸受が採用されています。

真空 クリーン 高温 耐食 絶縁 非磁性 高速 耐摩耗 低トルク

- 真空、高温環境での信頼性向上



使用条件

回 転 速 度:1～30 min^{-1}
温　　度:200～400 ℃
雰囲気圧力:10^{-6}～10^{-8} Pa
潤　　滑:二硫化モリブデンまたは銀

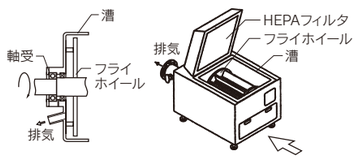
6 ウェーハ洗浄装置スピンドライヤ

製品名:
コロガードプロベアリング®-MD

半導体ウェーハの洗浄工程では、洗浄用の薬液、リンス、純水などで洗浄し、乾燥がおこなわれます。このような洗浄装置に、耐食性に優れたコロガードプロベアリング®-MDが採用されています。

真空 クリーン 高温 耐食 絶縁 非磁性 高速 耐摩耗 低トルク

- 洗浄用の薬液、リンス、純水などに対する耐食性



使用条件

回 転 速 度:2 000～3 000 min^{-1}
温　　度:室温
潤　　滑:グリース

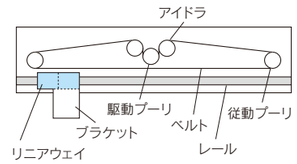
7 ウェーハ搬送装置

製品名:組合せセラミックリニアウェイ(特殊仕様)

ウェーハ搬送装置では低発じん性能が要求されます。
このような用途に、Newクリーンプロ®-PR仕様の組合せセラミックリニアウェイが採用されています。

真空 クリーン 高温 耐食 絶縁 非磁性 高速 耐摩耗 低トルク

- 低発じんでクリーン環境に対応
- 洗浄水飛沫に対する耐食性



使用条件

ストローク速度:350 mm/s
温　　度:室温
雰囲気圧力:大気圧
潤　　滑:Newクリーンプロ®-PR
コーティング

8 CMP装置

製品名:コロガードプロベアリング®-SC

半導体の多層膜製作工程では、ウェーハ表面の平坦化加工が必要です。この加工にCMP装置が使用され、これに付属する洗浄機にコロガードプロベアリング®-SCが採用されています。

真空 クリーン 高温 耐食 絶縁 非磁性 高速 耐摩耗 低トルク

- 腐食性溶液に対する耐食性

使用条件

回 転 速 度:100 min^{-1}
温　　度:室温
潤　　滑:ふっ素系高分子

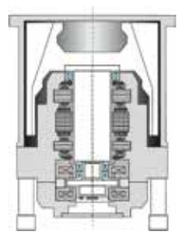
9 ターボ分子ポンプ

製品名:総玉形組合せセラミック軸受(特殊仕様)

超高速で使用されるターボ分子ポンプには、磁気軸受が用いられます。万一電源が切れたり、磁気装置が故障したときブレードが破損しないように、保護用としてタッチダウン軸受が使用されます。過酷な環境下でのタッチダウン軸受の寿命向上のために総玉形組合せセラミック軸受が採用されています。

真空 クリーン 高温 耐食 絶縁 非磁性 高速 耐摩耗 低トルク

- 真空環境での信頼性向上



使用条件

回 転 速 度:20 000～60 000 min^{-1}
雰囲気圧力:10^{-7} Pa
潤　　滑:二硫化モリブデンまたは銀

7 モーター・産業機器

CERAMIC BEARINGS

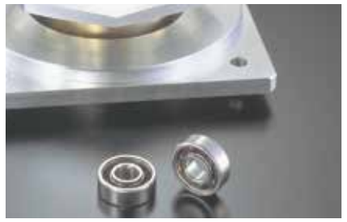
1 ポリゴンスキャナモーター

製品名:組合せセラミック軸受

高速ポリゴンスキャナモーターには、高速性に優れた組合せセラミック軸受が採用されています。

真空 クリーン 高温 耐食 絶縁 非磁性 **高速** 耐摩耗 低トルク

● 高速信頼性



使用条件

回 転 速 度:26 000 min^{-1}以上
潤　　滑:グリース

2 超音波モーター

製品名:セラミック軸受

磁気共鳴診断装置(MRI)に使用されるモーターには、磁気に影響されないセラミック軸受が採用されています。

真空 クリーン 高温 耐食 絶縁 **非磁性** 高速 耐摩耗 低トルク

● 強磁場環境に対応

使用条件

回 転 速 度:500 min^{-1}
温　　度:室温
潤　　滑:グリース

3 SRモーター

製品名:組合せセラミック軸受

巻き線、永久磁石を使用しない高速・高効率なSR(Switched Reluctance)モーターには、組合せセラミック軸受が採用されています。

真空 クリーン 高温 耐食 絶縁 非磁性 **高速** 耐摩耗 低トルク

● 高速信頼性

使用条件

回 転 速 度:30 000 min^{-1}
潤　　滑:グリース

8 医療機器

CERAMIC BEARINGS

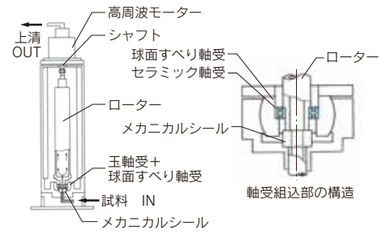
1 血液製造遠心分離機

製品名:組合せセラミック軸受(特殊耐食被膜)

血液製造遠心分離機は生理食塩水がかかるため、軸受に耐食性が要求されます。
このような腐食環境下では、軌道輪に耐食被膜を施した組合せセラミック軸受が採用されています。

真空 クリーン 高温 **耐食** 絶縁 非磁性 **高速** 耐摩耗 低トルク

● 生理食塩水に対する耐食性



使用条件

回 転 速 度:20 000 min^{-1}
温　　度:−10〜10 ℃
潤　　滑:グリース

2 磁気共鳴診断装置

製品名:セラミック軸受

磁気共鳴診断装置(MRI)に使用されるモーターには、磁気に影響されないセラミック軸受が採用されています。

真空 クリーン 高温 耐食 絶縁 **非磁性** 高速 耐摩耗 低トルク

● 強磁場環境に対応

使用条件

回 転 速 度:500 min^{-1}
温　　度:室温
潤　　滑:グリース

9 家庭用電気機器

CERAMIC BEARINGS

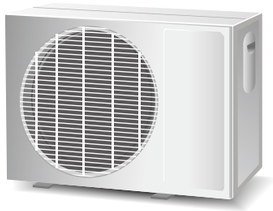
1 エアコン用モーター

製品名:組合せセラミック軸受

エアコン用モーターなどインバータ制御でモーターを使用する場合、モーター用軸受に電食の不具合が発生する可能性があります。
軸受の転動体に絶縁物であるセラミックを使用して電食を完全に防止できます。

真空 クリーン 高温 耐食 **絶縁** 非磁性 高速 耐摩耗 低トルク

● 絶縁性能にて電食防止



使用条件

回 転 速 度:3000 min^{-1}
荷重(予圧):1.5% C
潤　　滑:グリース

9 家庭用電気機器

CERAMIC BEARINGS

2 ファンモーター

製品名:組合せセラミック軸受

各種のモーターでは、電食による軸受故障が発生しています。
電食対策として組合せセラミック軸受が採用されています。

真空 クリーン 高温 耐食 **絶縁** 非磁性 高速 耐摩耗 低トルク

● 電食防止

使用条件
回転速度:5 000 min⁻¹
温度:−10〜120 ℃
潤滑:グリース

10 宇宙・レジャー

CERAMIC BEARINGS

1 宇宙実験装置

製品名:セラミック軸受

スペースシャトルでの実験装置に採用。
淡水での潤滑であり、ステンレス軸受では摩耗の問題で要求寿命に達しなかったものが
総セラミック軸受を使用することで要求寿命を達成。

真空 クリーン 高温 **耐食** 絶縁 非磁性 高速 **耐摩耗** 低トルク

●淡水潤滑条件下で長寿命

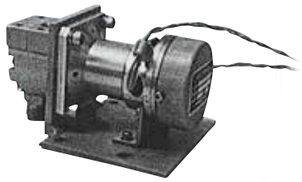


写真:第8回宇宙ステーション講演会発表資料より

使用条件
回転速度:10 000 min⁻¹
温度:30℃
荷重:ラジアル5N、アキシアル10N
潤滑:淡水

2 スケートボード

製品名:組合せセラミック軸受

高精度セラミック玉の採用と内部設計の最適化などによって軸受の低トルク化に成功しました。

真空 クリーン 高温 耐食 絶縁 非磁性 **高速** 耐摩耗 **低トルク**

● 低トルク、耐久性向上

使用条件
回転速度:10 000 min⁻¹
潤滑:オイルまたはグリース

11 自動車／二輪車

CERAMIC BEARINGS

1 ターボチャージャー

製品名:組合せセラミック軸受

ターボチャージャーの主軸を支える軸受は低粘度・汚れ油中で加速応答性と耐久性が求められます。
これらの信頼性に優れた組合せセラミック軸受が採用されています。

真空 クリーン **高温** 耐食 絶縁 非磁性 **高速** 耐摩耗 低トルク

● 一般軸受比3倍以上の長寿命
● 加速応答性20%向上
● 給油量80%削減

使用条件
回転速度:180 000 〜210 000 min⁻¹
温度:350 ℃
潤滑:オイル

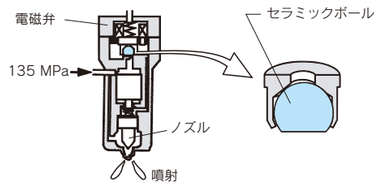
2 燃料噴射システム

製品名:セラミックボール

ディーゼルエンジンの高出力・低燃費・低公害を実現するコモンレールシステム(燃料噴射装置)
の制御バルブにセラミックボールが採用されています。

真空 クリーン 高温 耐食 絶縁 非磁性 高速 **耐摩耗** 低トルク

● 耐摩耗性、耐焼付き性の向上により
高圧燃料噴射に対応



使用条件
最大噴射圧力:135 MPa

3 ラリー車用ハブユニット

製品名:組合せセラミック軸受

過酷な使用環境下でも耐摩耗性が優れているので、耐久性、信頼性が向上します。

真空 クリーン 高温 耐食 絶縁 非磁性 高速 **耐摩耗** 低トルク

● 1997年、98年
パリ・ダカール・ラリー参戦車に使用
● 剛性向上
● ばね下荷重低減

写真提供:三菱自動車工業株式会社

11 自動車／二輪車

CERAMIC BEARINGS

4 二輪車用スーパーチャージャー 製品名:組合せセラミック軸受

大型二輪車用新型スーパーチャージャーでは、高速回転に対応するため、軽量・高強度のセラミックボールを使用した軸受が採用されています。セラミックボールの採用により、高速性能、耐熱性、耐摩耗性に優れた軸受を実現しています。更に過酷な条件となるレース仕様車でも、組合せセラミック軸受にて高出力を実現しています。

真空 クリーン **高温** 耐食 絶縁 非磁性 **高速** **耐摩耗** **低トルク**

- 高速性能、耐熱性、耐摩耗性向上
- レース仕様にも対応し高出力化に寄与

写真提供:川崎重工業株式会社

5 ロードバイク 製品名:鬼ベアリング

既存のロードバイク用軸受と比べ圧倒的な低トルクを誇り、漕ぎ出しの軽さとホイール速度維持を実現しました。これらの性能により、ロードバイクユーザーの、より速くより快適な走りの実現に貢献します。

真空 クリーン 高温 耐食 絶縁 非磁性 **高速** 耐摩耗 **低トルク**

- 2024年からツール・ド・フランス参戦チームへベアリング供給

使用条件

回転速度:100～600 min^{-1}
潤　　滑:グリース

セラミックスの特性

CERAMIC BEARINGS

1 材料特性

軸受材料に用いるおもなセラミックスの機械的性質と物性を表1に、また窒化けい素と高炭素クロム軸受鋼の比較を表2に示します。

表1 軸受材料に用いるセラミックスの機械的性質と物性

項目 ＼ セラミック材料	単位	窒化けい素 Si_3N_4	ジルコニア ZrO_2	炭化けい素 SiC
密度	g/cm³	3.2	6.0	3.1
線膨張係数	K^{-1}	3.2×10^{-6}	10.5×10^{-6}	3.9×10^{-6}
ビッカース硬さ	HV	1 500	1 200	2 200
縦弾性係数	GPa	320	220	380
ポアソン比		0.29	0.31	0.16
3点曲げ強さ	MPa	1 100	1 400	500
破壊じん性	$MPa\cdot m^{1/2}$	6	5	4
耐熱性(大気中)	℃	800	200	1 000以上
耐熱衝撃性	℃	750以上	350	350
熱伝導率	W/(m·K)	20	3	70
比熱	J/(kg·K)	680	460	670

表2 窒化けい素と高炭素クロム軸受鋼の特性比較

項目	単位	窒化けい素 Si_3N_4	高炭素クロム軸受鋼 SUJ2	セラミック軸受の特長
密度	g/cm³	3.2	7.8	転動体(玉または、ころ)の遠心力を低減 →寿命向上、軸受温度上昇低減
線膨張係数	K^{-1}	3.2×10^{-6}	12.5×10^{-6}	軸受温度上昇による内部すきまの変化が小 →振動低減、予圧量の変化が小
ビッカース硬さ	HV	1 500	750	転がり接触部の変形が小→高剛性
縦弾性係数	GPa	320	208	
ポアソン比		0.29	0.3	
耐熱性	℃	800	200	高温下で高負荷能力を維持
耐食性		良	不良	酸・アルカリ溶液中などで使用が可能
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		無(絶縁体)	有(導電体)	電食を防止(モーター用など)
素材の結合状態		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

2 セラミックスの転がり疲れ

各種セラミックスについて軸受材料としての適性を評価するため、油潤滑と水潤滑で転がり疲れ試験をおこなった結果を図1と図2に示します。
セラミックスはそれぞれの材料ごとにほぼ一定の転がり疲れ強さを有していること、また試験した材料のなかでは窒化けい素がもっとも優れていることが確認できます。

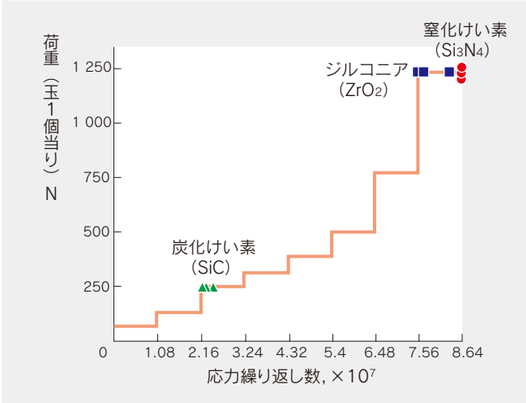


図1 油潤滑における転がり疲れ寿命比較

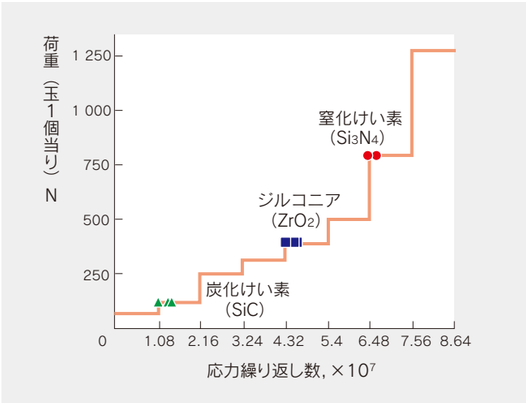
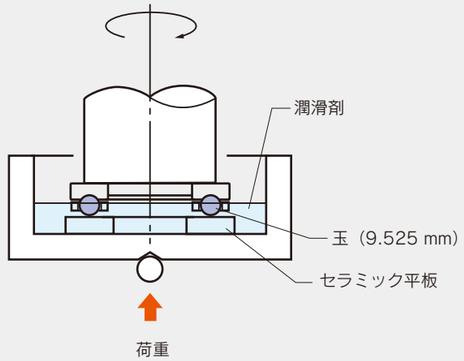


図2 水潤滑における転がり疲れ寿命比較

試験条件

	油潤滑	水潤滑
潤滑剤	スピンドル油	水道水
玉	高炭素クロム軸受鋼	セラミックス
試料	セラミック平板	
荷重	応力繰り返し数1.08×10^7回毎にステップアップ	
回転速度	1 200 min^{-1}	

試験装置



試験装置の外観

図3 転がり疲れ寿命試験の条件と装置

3 軸受に適したセラミックス

各種セラミックスの特性と転がり疲れ試験結果を考慮した軸受用材料としての評価を表3に示します。評価したセラミック材料のなかでは、窒化けい素がもっとも優れた転がり軸受用材料といえます。
JTEKTではセラミック軸受にHIP（熱間静水圧加圧焼結）法によって製造した窒化けい素を標準材料としています。

表3 転がり軸受用材料としての各種セラミックスの評価

	転がり軸受への応用		
	判定	性能・用途	特性
窒化けい素 Si_3N_4	◎	・高炭素クロム軸受鋼と同等以上の耐荷重性、寿命を有する ・高性能が要求される用途に適用可能	・高速回転　・高真空　・耐食性 ・耐熱性　・非磁性　・高剛性
ジルコニア ZrO_2	○	・使用できる荷重が制限される ・腐食性の強い薬液中などで適用可能	・高耐食性
炭化けい素 SiC	○	・使用できる荷重が制限される ・腐食性の強い薬液中などで適用可能	・高耐食性　・高耐熱性

4 セラミック軸受の構成

セラミック軸受の基本的な構成は、総セラミック軸受（外輪・内輪・転動体のすべてがセラミックス）と組合せセラミック軸受（転動体がセラミックス）に大別されます。組合せセラミック軸受の場合、外輪と内輪は高炭素クロム軸受鋼を含めた特殊鋼を使用します。保持器の材料は軸受の使用条件によって、金属材料、樹脂材料あるいは複合材料を使用します。

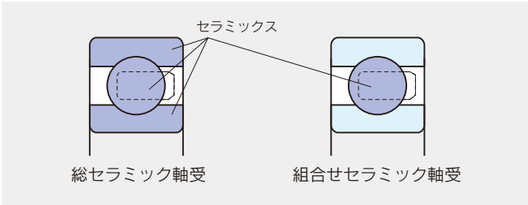


図4 セラミック軸受の構成

セラミックスの製造工程

CERAMIC BEARINGS

1 製造工程

窒化けい素は、製造方法や製造条件が異なれば、密度や強度などの特性が大幅に異なってきます。
そこで、転がり軸受用窒化けい素の製造は、成形、焼結、加工などの工程を厳密に管理して行っています。
一般的な製造工程を図5に示します。

原料　原料に窒化けい素（Si_3N_4）微粉末と、焼結助剤を使用しています。

調合　溶剤を使用して、原料粉末を湿式混合します。この工程ではスラリーの状態で窒化けい素粉末と焼結助剤を均一に混合します。

乾燥造粒　混合されたスラリーにバインダーを入れ、スプレードライヤー装置を使用し、スラリー状のものから一定粒径の球状粒子を製造します。

成形　造粒粉末を金型に充填した後、圧縮して成形体を製造します。

機械加工　成形体の焼結による収縮と変質層を考慮して、最終形状に近い状態まで機械加工します。（成形体の形状、精度等により、省略される場合もあります。）

脱脂　脱脂炉内で成形体を加熱し、バインダーなどの有機物を除去します。

焼結　次工程のHIP（Hot Isostatic Pressing）工程で、ガス圧が成形体に十分作用するように開孔のない焼結体を製造します。

HIP　高温、高圧ガス雰囲気で緻密な焼結体を得ます。

研削加工　HIP処理により得られた焼結体を、最終製品の寸法、表面状態に加工します。

検査　加工後の表面にクラックやピンホールがないことを、確認します。

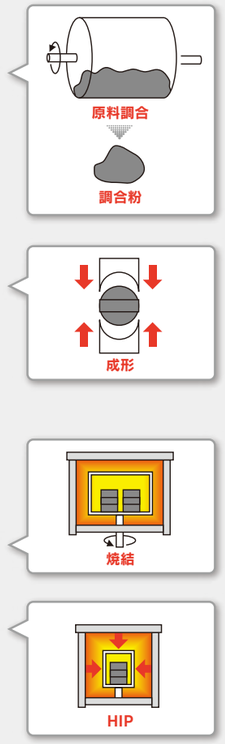


図5 転がり軸受用窒化けい素の製造工程

セラミック軸受の製品詳細

CERAMIC BEARINGS

セラミックス（窒化けい素）は高炭素クロム軸受鋼に比べ剛性が高い材料なので、転がり軸受の材料に用いた場合軌道輪と転動体の接触面に生じる接触応力が高くなります。そのため転がり軸受理論を応用できるかどうかが重要な要件になります。

基本動定格荷重

JISによれば一般軸受の転がり疲れに対する強さ、すなわち負荷能力を表わす基本動定格荷重とは、内輪を回転させ外輪を静止させた（または、内輪を静止させ外輪を回転させた）条件で、100万回転の基本定格寿命が得られるような、大きさと方向が一定の純ラジアル荷重（ラジアル軸受の場合）をいいます。

基本静定格荷重

軸受に許容される静荷重は基本静定格荷重として次のように定められています。
基本静定格荷重とは、最大荷重を受けている転動体と軌道との接触部中央において、次に示す計算接触応力に対応する静荷重をいいます。

自動調心玉軸受：4 600 MPa
その他の玉軸受：4 200 MPa
こ　ろ　軸　受：4 000 MPa

JTEKTではセラミック軸受の寿命試験、静荷重をかけたときのセラミック材料の荷重限度、高炭素クロム軸受鋼の弾性変形量の評価などから、セラミック軸受の動定格荷重と静定格荷重を表4のように定めています。

表4 セラミック軸受の定格荷重

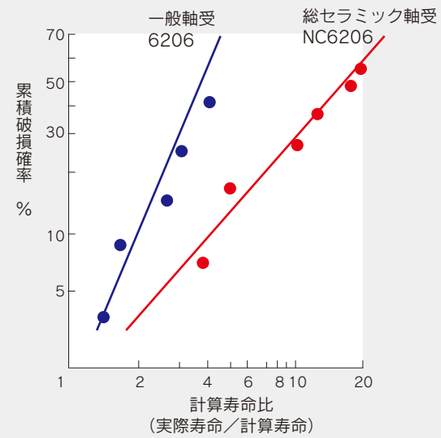
	総セラミック軸受	組合せ セラミック軸受
動定格荷重 C_r	一般軸受と同じ	一般軸受と同じ
静定格荷重 C_{0r}	一般軸受と同じ	一般軸受の85%

注）一般軸受とは、軌道輪と転動体の材料に高炭素クロム軸受鋼を用いた軸受をいいます。

1 セラミック軸受の転がり疲れ寿命

セラミック軸受と一般軸受の転がり疲れ寿命試験の一例を図7に示します。
セラミック軸受は一般軸受と同等以上の寿命があり、計算値以上の寿命が確認できます。
また寿命に至ったセラミック軸受には、いずれも剥離（フレーキング）現象が見られました（図6）。これは、一般軸受にみられる転がり疲れ寿命と同じ形態です。
これらのことから、セラミック軸受の動定格荷重は同一寸法の一般軸受の基本動定格荷重を採用してよいといえます。

図6 セラミックスに生じたフレーキング



転がり疲れ試験条件

呼び番号	材料（外輪・内輪・玉）	寸法，mm
NC6206	窒化けい素（Si_3N_4）	30×62×16（内径×外径×幅）
6206	高炭素クロム軸受鋼（JIS SUJ2）	

項　目	条　件
荷　重	5 800 N
回転速度	8 000 min^{-1}
潤 滑 油	エアロシェルタービンオイル 500
温　度	70±2 ℃

図7 総セラミック軸受と一般軸受の転がり疲れ寿命

2 セラミック軸受の静定格荷重

一般軸受の基本静定格荷重は、転動体と軌道との接触部に局部的な永久変形を生じ、円滑な回転を妨げるようになる荷重を示します。
これに対して、セラミックスは剛性が高いため永久変形をほとんど生じないので、セラミック軸受に基本静定格荷重の考えをそのまま採用することには問題があります。

総セラミック軸受の静定格荷重

セラミックスは、過大な荷重に対して最終的には破壊しますが破壊の前にクラックが発生します。
セラミック玉を用いてクラックが発生する荷重を測定し一般軸受の基本静定格荷重と比較した結果を図8に、測定装置を図9に示します。
この結果、総セラミック軸受のクラック発生荷重は基本静定格荷重に比べて十分に大きいので、総セラミック軸受に許容される静荷重としてJISに基づく基本静定格荷重を採用してよいといえます。

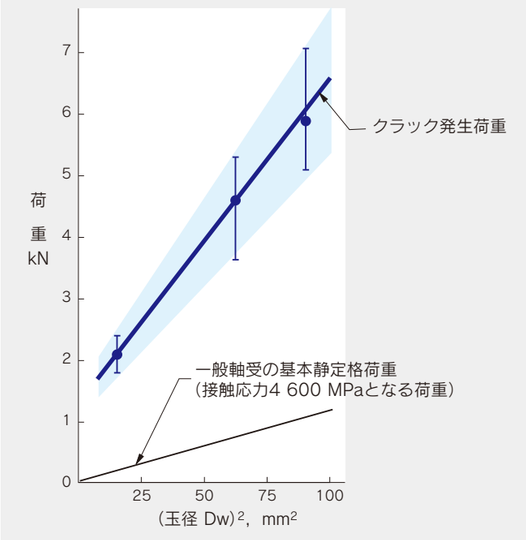


図8 総セラミック軸受のクラック発生荷重

組合せセラミック軸受の静定格荷重

組合せセラミック軸受は鋼製の外輪と内輪が永久変形するので、一般軸受の基本静定格荷重の考え方を採用することができます。
高炭素クロム軸受鋼の玉とセラミック玉をそれぞれ高炭素クロム軸受鋼の平板に押し付けて平板の永久変形量（圧痕深さ）を測定した結果を表5に示します。

表5 玉の押付けによる鋼製平板の永久変形量測定結果

荷重 kN		永久変形量（平均），mm		永久変形量（総和平均），mm
		平板（軸受鋼）	玉	
セラミック玉	0.65	0.5	—	0.5
	1.3	1.9	—	1.9
	2.6	5.2	—	5.2
	3.9	9.3	—	9.3
鋼球	0.65	0.4	—	0.4
	1.3	1.3	0.11	1.41
	2.6	4.0	0.41	4.41
	3.9	6.8	1.18	7.98

この結果においてセラミック玉には永久変形がみられないこと、またセラミック玉を使用したときに鋼製平板に発生する永久変形量は、鋼球を使用したときに玉および平板に発生する永久変形量の総和の約1.2倍になることが確認できます。
よって、組合せセラミック軸受の静定格荷重は高炭素クロム軸受鋼製軌道輪の永久変形量によって定めることができ、その値は一般軸受の基本静定格荷重の0.85倍としています。

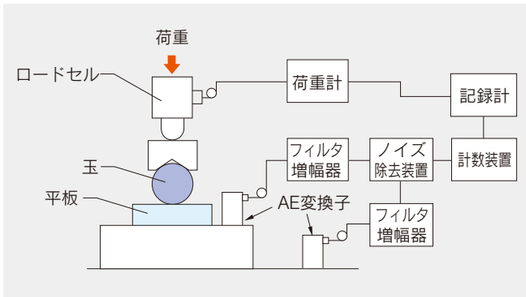


図9 クラック発生荷重測定装置

3 セラミック軸受の衝撃強さ

セラミック軸受の衝撃荷重に対する強さを確認するためセラミック玉を静的な荷重で圧砕した場合と衝撃荷重によって圧砕した場合の試験結果を図10に、各試験方法を図11に示します。
セラミック軸受の衝撃荷重に対する強さは静荷重に対する強さとほとんど同一で、十分な耐衝撃強さがあることが確認できます。

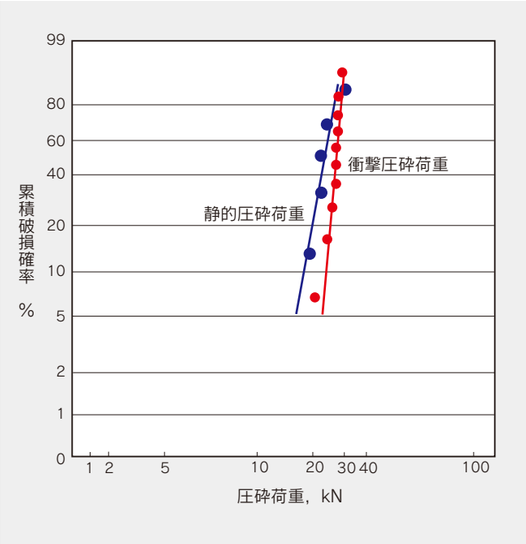


図10 セラミック玉の静的圧砕荷重と衝撃圧砕荷重の比較

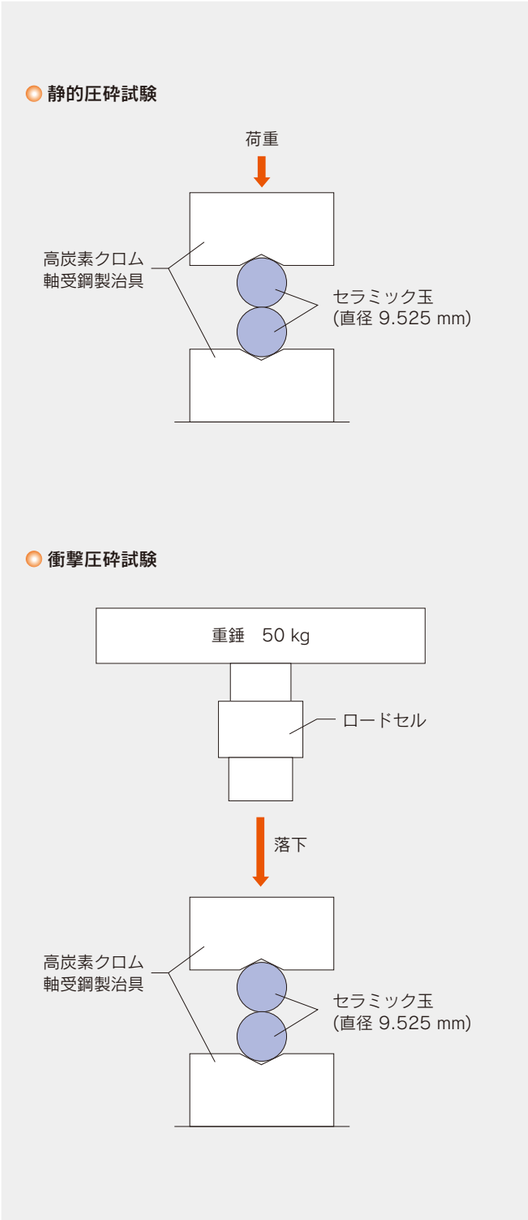


図11 セラミック玉の圧砕試験方法

4 セラミック軸受のはめあい

セラミック軸受を用いる場合、鉄系材料と線膨張係数が大きく異なりますので、はめあい応力や温度上昇に注意する必要があります。
以下にセラミック軸受とステンレス鋼製軸をはめあわせた場合の評価結果を示します。

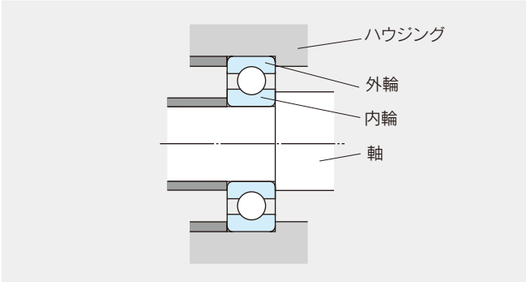


図12 軸受のはめあい

はめあいによって生じる最大応力

セラミック製リングとステンレス鋼製軸をはめあわせて静的強度試験を実施した結果を表6に、動的強度試験（回転試験）をおこなった結果を表7に示します。
これらの結果からセラミック内輪を鋼製の軸にはめあわせる場合、しめしろによって生じる最大応力は150MPa以下にすることを標準としています。
かたいはめあいが必要な場合はJTEKTにご相談ください。

表6 軸とのはめあいによる静的強度試験の例

	しめしろ, L_{10} μm	リングの破損応力 MPa
中実軸	50	399
中空軸	68	332

表7 軸とのはめあいによる動的強度試験の例

	使用限界しめしろ μm	リングの使用限界応力 MPa
中実軸	31	243
中空軸	43	204

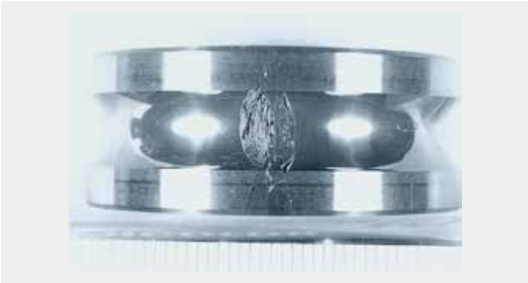


図13 動的強度試験により破損したセラミック内輪

温度の影響

一般に運転中の軸受は周囲温度よりも高くなります。セラミック軸受をステンレス鋼製の軸やハウジングにはめあわせて用いた場合、線膨張係数の差によって内輪と軸のしめしろは増加し、外輪とハウジングのしめしろは減少します（外輪がすきまばめの場合すきまが増大します）。
したがってセラミック軸受のはめあいを選定する場合は、運転中の温度上昇についてとくに注意を払う必要があります。

■ 内輪と軸のしめしろにより内輪に生じる最大応力は次の式で求められます。

$$\sigma = P_m \cdot \frac{D_i^2 + d^2}{D_i^2 - d^2}$$

$$P_m = \Delta_{deff} \left[\frac{d}{E_B}\left(\frac{D_i^2 + d^2}{D_i^2 - d^2} + \nu_B\right) + \frac{d}{E_S}\left(\frac{d^2 + d_0^2}{d^2 - d_0^2} - \nu_S\right) \right]^{-1}$$

σ	：はめあいによる最大円周応力	(MPa)
P_m	：はめあい面の接触面圧	(MPa)
d , D_i	：内輪内径、内輪外径	(mm)
Δ_{deff}	：内輪の有効しめしろ	(mm)
d_0	：中空軸内径	(mm)
E_B , ν_B	：軸受のヤング率, ポアソン比	(MPa)
E_S , ν_S	：軸のヤング率, ポアソン比	(MPa)

セラミック軸受の各種性能

CERAMIC BEARINGS

1 耐食性能

表8にセラミックスの耐食性を示します。セラミック軸受の標準材料に用いる窒化けい素は耐食性に優れた材料ですが、薬液の種類、温度など強い腐食条件下では腐食することがあります。

表8 各種セラミックスの耐食性

◎：侵されない　○：ほとんど侵されない
△：わずかに侵される可能性がある　×：侵される可能性がある

セラミックス／腐食性薬液	窒化けい素（標準仕様）Si_3N_4	耐食窒化けい素 Si_3N_4	ジルコニア ZrO_2	炭化けい素 SiC
塩　酸	△	○	○	◎
硝　酸	△	○	○	◎
硫　酸	△	○	○	◎
りん酸	○	○	○	◎
ふっ酸	△	△	×	◎
水酸化ナトリウム	△	△	○	△
水酸化カリウム	△	△	△	△
炭酸ナトリウム	△	△	△	△
硝酸ナトリウム	△	△	△	△
水・塩水	◎	◎	◎	◎

注）薬液の腐食性は、濃度、温度などの条件で大きく異なります。また薬液が混合されて使用するとき非常に強い腐食性を持つ場合があります。

セラミックスの腐食には二つの形態があり、ひとつはセラミックスを焼成するときに用いるアルミナ-イットリア系焼結助剤（Al_2O_3-Y_2O_3）が腐食される場合で、この場合はスピネル系焼結助剤（$MgAl_2O_4$）を用いた耐食窒化けい素を用います。図14に耐食窒化けい素を酸またはアルカリ溶液に一定時間浸漬したのちの質量減少率と曲げ強さ減少率を示します。
もうひとつの腐食形態は窒化けい素そのものが腐食される場合で、このような薬液中で用いる場合は、窒化けい素よりも耐食性に優れたジルコニア（ZrO_2）や炭化けい素（SiC）が有効な場合があります。
強い腐食環境でセラミック軸受を選定する場合は、それぞれの環境条件に対して耐食性を検討する必要があります。

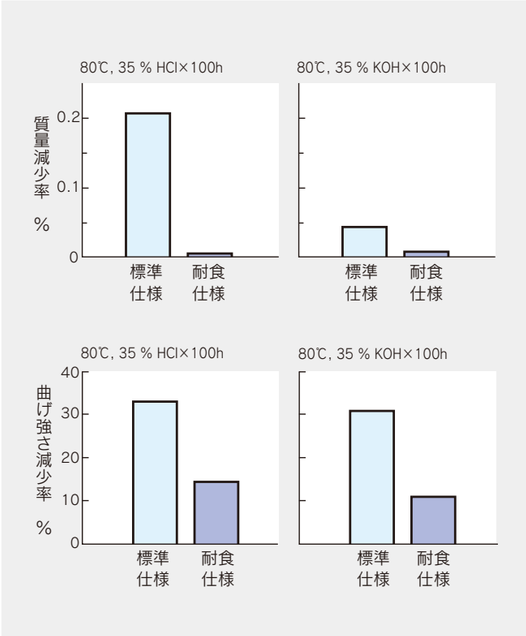


図14 耐食窒化けい素の耐食性能

耐食用途に用いる軸受の寿命

耐食用途に用いる軸受とそのおもな用途を表9に示します。

表9 代表的な耐食用セラミック軸受

	おもな用途	軸受の材料構成	
		軌道輪	転動体
コロガードプロベアリング®-MD	水、アルカリ、反応性ガス	SUS630	窒化けい素
セラミック軸受	弱酸、アルカリ、反応性ガス	窒化けい素	窒化けい素
コロガードプロベアリング®-SN	強酸、強アルカリ、反応性ガス	耐食窒化けい素	耐食窒化けい素
コロガードプロベアリング®-SC	強酸、強アルカリ、腐食性ガス	炭化けい素	炭化けい素

セラミック軸受を溶液中で運転する場合、溶液そのものが軸受の潤滑剤となるため軸受の寿命に大きく影響します。図15に3種のセラミック軸受を水中で寿命評価した結果を示します。
セラミック軸受は、軌道輪・玉の剥離で寿命に至りますが、組合せセラミック軸受はセラミック玉に剥離や摩耗は発生せず、ステンレス鋼製軌道輪の微少な腐食に起因するとみられる摩耗で寿命に至っています。
水のように潤滑性が低い溶液中で軸受を運転する場合は、溶液中における腐食の度合いや軸受荷重と摩耗の関係などを把握しておくことが重要になります。

また、SUS440CはSUS630よりも長寿命ですが、さびが流出して水を汚染する度合いが高く、水中での使用に適しているとはいえません。
セラミック軸受は溶液の種類、温度、荷重など使用条件によって早期に摩耗現象を生じることがあります。各種溶液中でセラミック軸受の使用を検討される場合はJTEKTにご相談ください。

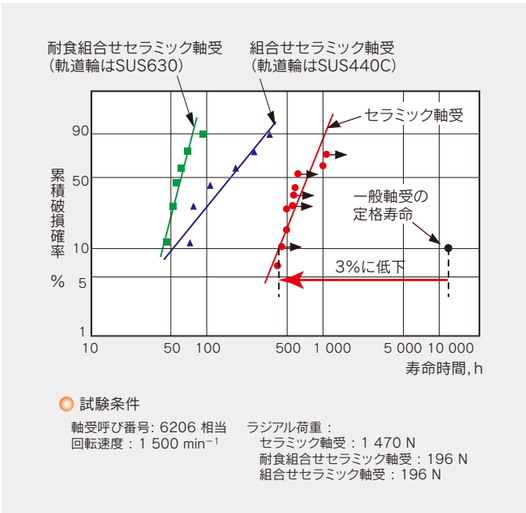


図15 各種セラミック軸受の水中寿命比較

2 非磁性

超電導関連、半導体製造装置あるいは医療用検査装置などに用いる軸受の中には、磁場内で使用されるものがあります。一般軸受をこのような環境で使用すると磁場を乱したり、軸受の回転トルクが大きく変動することがあるので、非磁性の軸受が要求されます。非磁性材料としては、ベリリウム銅が多用されてきましたが、環境負荷物質であるベリリウムを含んでいるため使用を控える傾向があります。
JTEKTでは非磁性ステンレス鋼を軌道輪に、セラミックスを転動体に用いた組合せセラミック軸受あるいは総セラミック軸受をご提供しています。

表10 非磁性軸受と比透磁率

	比透磁率
非磁性組合せセラミック軸受	1.01以下
セラミック軸受	1.001以下
（参考）ベリリウム銅	1.001以下

非磁性材料について転がり疲れ強さを評価した結果を図16に示します。非磁性ステンレス鋼はベリリウム銅よりも優れた転がり疲れ強さを有しています。

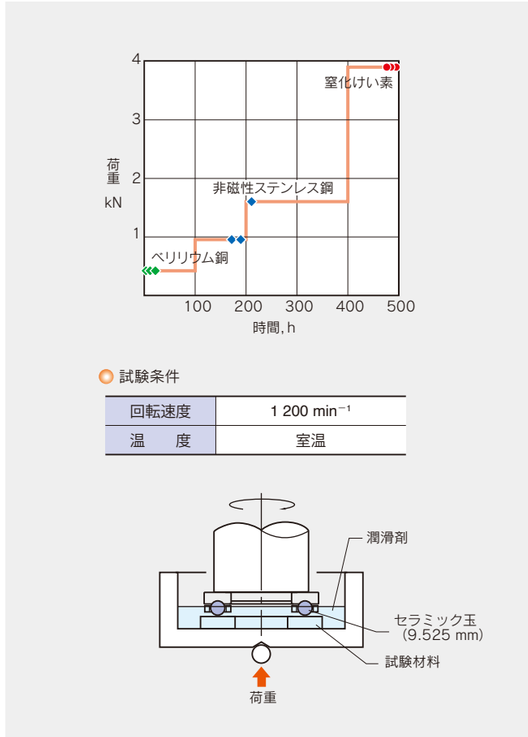


図16 非磁性材料の転がり疲れ強さ比較

3 絶縁

電動機や発電機などに使用される軸受の損傷の一つに、電食という現象があります。電食とは、回転中の軸受内部を電流が通過したとき、転がり接触部分の非常に薄い油膜を通してスパークが発生し、接触部の表面が局部的に溶融する損傷をいいます。
電食には、一見するとピッチング状（ピット）になるものと転がり接触部分が洗濯板状（リッジマーク）になるものとがあり、それぞれ図17と図18に示します。
軸受に電食が発生するメカニズムの推定を図19に示します。

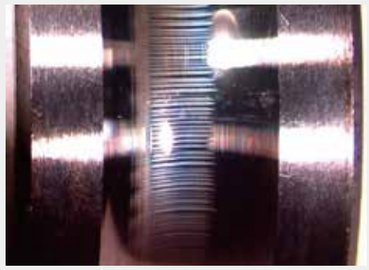
図17
一般軸受に生じた電食
（ピット）

図18
一般軸受に生じた電食
（リッジマーク）

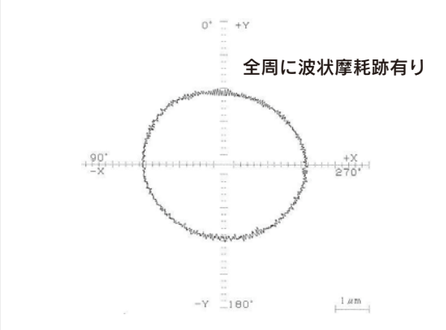
この対策として、軸受に電流を通過させないようなバイパスを設けるかまたは、軸受自体が電流を流さない絶縁軸受を用いる方法とがあります。
セラミックスは優れた絶縁性能を持つことから、転動体にセラミックスを用いた組合せセラミック軸受によって絶縁軸受とすることができます。
組合せセラミック軸受は電食防止に加えて回転中の軸受温度上昇の低減、またグリース寿命向上の効果も期待できるので、長期メンテナンスフリー、装置の高速化にも最適な軸受といえます。

微弱な電流の連続スパーク

内輪軌道面の電食例



波状摩耗



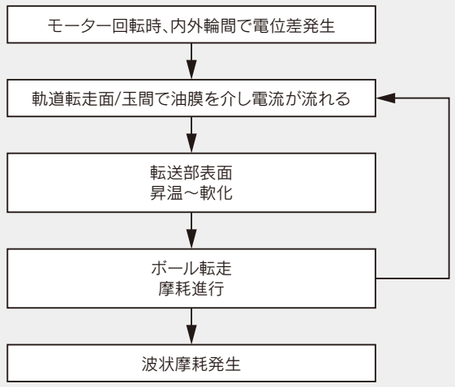


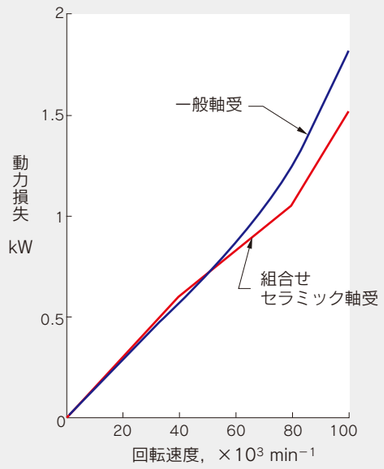
図19 電食（波状摩耗）発生メカニズムの推定

4 高速性能

軸受鋼に比べ低密度のセラミックスを転動体に用いた組合せセラミック軸受は、高速回転用途の軸受として最適です。これは転動体の質量が軽くなることによって、軸受回転時の転動体に生じる遠心力やジャイロモーメントによる滑り現象が低減できるためです。
優れた高速回転性能を持つ組合せセラミック軸受は、ターボチャージャー、工作機械の主軸用などに採用されています。

高速回転時の動力損失

組合せセラミック軸受と一般軸受の動力損失を比較した結果を図20に示します。
組合せセラミック軸受は、高速回転時に軸受の動力損失を大幅に低減します。その効果は、高速回転になればなるほど大きくなります。また、組合せセラミック軸受は耐焼付き性に優れるため、供給する潤滑油量を少なくすることができるので、結果として軸受の回転抵抗（動力損失）をさらに低減することができます。



		組合せセラミック軸受	一般軸受
軌道輪		高速度工具鋼（M50）	
玉	材　料	セラミックス（Si_3N_4）	高速度工具鋼（M50）
	直　径	6.35 mm	
	個　数	9	
保持器		ポリイミド樹脂	

項　目	条　件
アキシアル荷重	200 N
回転速度（最大）	100 000 min^{-1}
潤　滑　油	エアロシェルタービンオイル 500
雰囲気温度	室温

図20 組合せセラミック軸受と一般軸受の動力損失の比較

高速回転時の焼付き限界

潤滑油量を減少させていったときの組合せセラミック軸受と一般軸受の焼付き限界の比較を図21に示します。
組合せセラミック軸受は一般軸受に比較して、同じ回転速度なら少ない潤滑油量で、同じ潤滑油量なら高い回転速度で運転することが可能です。

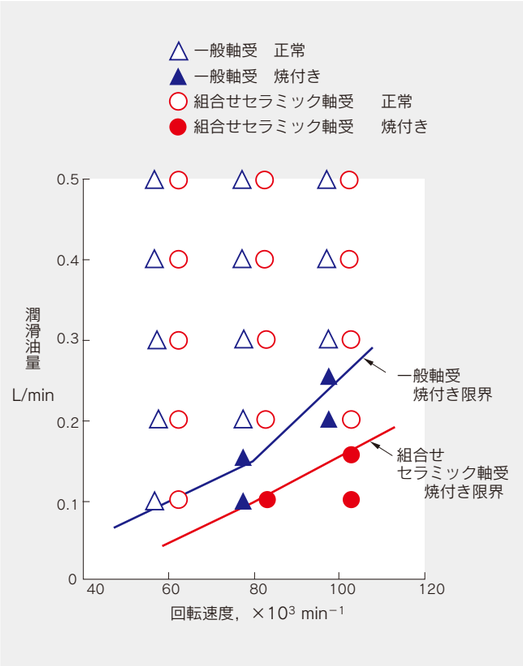


図21 組合せセラミック軸受と一般軸受の焼付き限界の比較

1 セラミックボール

CERAMIC BEARINGS

耐摩耗性・耐焼付き性に優れ、高耐食、超高真空下でも使用可能、高耐熱性（800℃）、高剛性、軽量（軸受鋼の40%）、非磁性、絶縁体などの特長をもつ、セラミック（窒化けい素）ボールの品揃えも整っています。
治具、工具、ゲージ、電磁弁、チェック弁、各種バルブ、高級自転車部品、自動車部品、機械部品などに幅広くご使用ください。

寸法・質量表

呼び mm	呼び inch	呼び直径 mm	等級[1]	質量[2]（1個あたり）
0.8		0.800 00		0.866 mg
1.0		1.000 00		1.691 mg
1.2		1.200 00		2.922 mg
	1/16	1.587 50		6.766 mg
2.0		2.000 00		13.530 mg
	3/32	2.381 25		22.836 mg
	7/64	2.778 12	**3と5**	36.262 mg
	1/8	3.175 00		54.129 mg
3.5		3.500 00		72.511 mg
	5/32	3.968 75		0.105 7 g
	3/16	4.762 50		0.182 7 g
	7/32	5.556 25		0.290 1 g
	15/64	5.953 12		0.356 8 g
	1/4	6.350 00		0.433 0 g
	17/64	6.746 88		0.519 4 g
	9/32	7.143 75		0.616 6 g
	5/16	7.937 50		0.845 8 g
	11/32	8.731 25	**5**	1.125 7 g
	3/8	9.525 00		1.461 5 g
	13/32	10.318 75		1.858 2 g

呼び mm	呼び inch	呼び直径 mm	等級[1]	質量[2]（1個あたり）
	7/16	11.112 75		2.320 8 g
	15/32	11.906 25	**5と10**	2.854 5 g
	1/2	12.700 00		3.46 g
	17/32	13.493 75		4.2 g
	9/16	14.287 50		4.9 g
	19/32	15.081 25		5.8 g
	5/8	15.875 00		6.8 g
	3/4	19.050 00		11.7 g
	13/16	20.637 50	**40**	14.9 g
	7/8	22.225 00		18.6 g
	15/16	23.812 50		22.8 g
	1	25.400 00		27.7 g
	1 1/8	28.575 00		39.5 g
	1 3/16	30.162 50		46.4 g
	1 1/4	31.750 00		54.1 g
	1 5/16	33.337 50	**60**	62.7 g
	1 1/2	38.100 00		93.5 g

注1）等級はJIS B 1501を適用します。
2）質量は、密度3.23g/cm³で算出。

呼び番号の表し方

5/32 G5 NCR

- NCR：材料記号：窒化けい素セラミックス
- G5：等級記号
- 5/32：呼び

ジェイテクト国内拠点

https://www.jtekt.co.jp/company/japan.html

JTEKTベアリングWEBサイト

https://koyo.jtekt.co.jp/

販売代理店ネットワーク

https://koyo.jtekt.co.jp/network/

ジェイテクト海外拠点

https://www.jtekt.co.jp/company/global.html

JTEKT | 株式会社 ジェイテクト

www.jtekt.co.jp

☆本カタログの記載内容は、改良等のため予告なしに変更する場合があります。なお、内容の正確さには万全の注意を払っておりますが、万が一誤記・脱漏・製本上の落丁等による損害は責任を負いかねます。

無断転載を禁ずる

※軸受製品の免責事項は、下記URLよりご確認ください。

免責事項

https://www.jtekt.co.jp/company/disclaimer.html

株式会社ジェイテクトは、わが国の外国為替および外国貿易法、その他の輸出関連法令によって規制されている製品および技術に関し、法令に違反して輸出しないことを基本方針としています。
したがって、このカタログに記載されている製品を輸出する場合には、最寄りの支社・営業所までお問い合わせくださいますようお願いいたします。

CAT.NO.BA020JA-1CH

'25.09 ('15.12)