

半導体・液晶基板製造装置用クリーンプロ軸受について

豊田 泰

“CLEANPro³ BEARING” for Semiconductor and Liquid Crystal Display Manufacturing Equipment

H. TOYOTA

We have studied on particle generation and lubrication life with tetrafluoroethylene (PTFE) as solid lubricants. Based on the result, we have developed original solid lubricants (special fluorocarbon polymer film). This paper presents the introduction of the new clean bearings (**CLEANPro³ BEARING**) coated with special fluorocarbon polymer film.

- 1. はじめに
- 2. 試験軸受
- 3. 性能
 - 3.1 発塵性能
 - 3.2 アウトガス性能
 - 3.3 トルク性能
- 4. おわりに

1. はじめに

当社では、他社に先駆け半導体製造装置用クリーン軸受をはじめとする各種の特殊環境用玉軸受を開発提供してきた。なかでもクリーン軸受については、四ふっ化エチレン(PTFE)に着目し、発塵および潤滑寿命に関する研究を長年行ってきた。今回、その結果を基に、当社独自の固体潤滑膜(特殊ふっ素高分子薄膜)を開発した。ここでは、この固体潤滑膜を適用したクリーンプロ軸受(**CLEANPro³ BEARING**:登録商標)の発塵性能、アウトガス性能、トルク性能について紹介する。

2. 試験軸受

表1に試験軸受の仕様を示す。試験軸受はすべてシール無しステンレス製深溝玉軸受(#608)とした。仕様は、クリーンプロ軸受および比較用として保持器にのみPTFEコーティングを行った軸受(以下保持器PTFE軸受と記す)の2仕様品を用いた。

表1 試験軸受の仕様
Specification of bearings

名称	構成				区分
	内輪	外輪	玉	保持器	
クリーンプロ軸受	SUS440C +特殊ふっ素 高分子薄膜	SUS440C +特殊ふっ素 高分子薄膜	SUS440C +特殊ふっ素 高分子薄膜	SUS304 +特殊ふっ素 高分子薄膜	開発
保持器PTFE軸受	SUS440C	SUS440C	SUS440C	SUS304 +PTFEコーティング	比較用

3. 性能

3.1 発塵性能

3.1.1 試験方法

発塵性能試験を、図1に示す試験機を用いて表2に示す試験条件で行った。試験は軸受2個を1セットとし、クリーンルーム内(クラス10)で行った。発塵量の測定は、レーザー光線走査式パーティクルカウンタを用いて行い、粒子径0.3 μm以上の発塵粒子について0.1cf当たりの発塵量を経時的に測定した。なお、発塵寿命は試験開始から0.1cf当たりの発塵粒子数が1000個を超えるまでの時間とした。

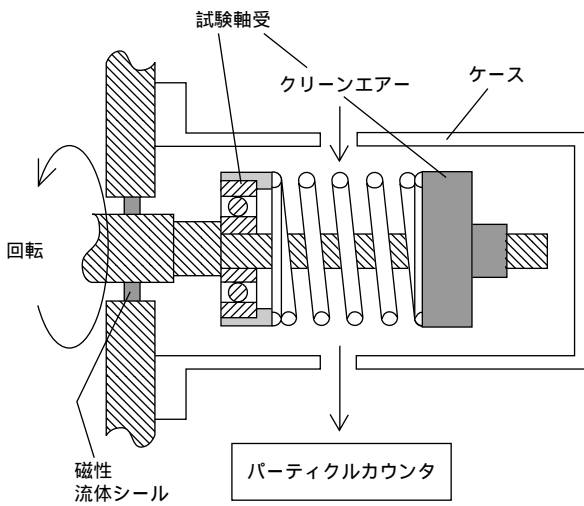


図1 発塵試験機

Particle generation tester

表2 発塵試験条件

Condition of particle generation test

項目	内容
雰囲気	クリーンルーム内 (クラス10)
温度	室温
回転速度	200min ⁻¹
荷重	アキシャル 20, 50, 100N
測定	粒子径0.3 μm以上の発塵量

3.1.2 試験結果

図2にアキシャル荷重に対する発塵寿命比を示す。また、図3に発塵量の経時変化の代表例を示す。

図2から、アキシャル荷重20N(面圧0.97GPa)での保持器PTFE軸受の寿命を1とした場合、クリーンプロ軸受の発塵寿命はアキシャル荷重20Nでおよそ20倍、50N(面圧1.25GPa)でおよそ15倍、100N(面圧1.6GPa)でおよそ3.5倍になることがわかる。図3から、クリーンプロ軸受の発塵量は0.1cf当たり10個以下の値で試験打切り時まで安定していることがわかる。

以上のようにクリーンプロ軸受は、耐久性、耐荷重性に優れ、また、発塵量および発塵量の経時的な変化も少なく安定していることがわかる。

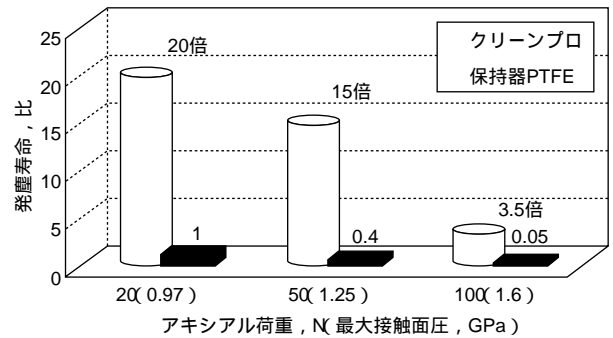


図2 アキシャル荷重に対する発塵寿命
(アキシャル荷重20Nでの保持器PTFE軸受の寿命を1とした場合)

Particle life under axial load

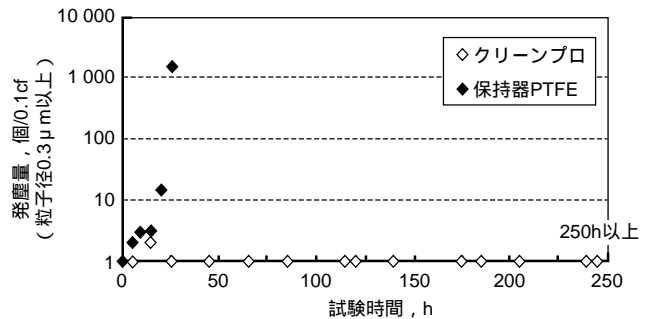


図3 発塵量の経時変化 (アキシャル荷重20N)

Variation of particle generation during test

3.2 アウトガス性能

3.2.1 試験方法

アウトガス性能試験を、図4に示す試験装置を用いて表3に示す試験条件で行った。試験では軸受1個を試験装置内の加熱部に静止させ、真空槽を1 × 10⁻⁵ Paまで排気し、真空槽のベーキングをおよそ50時間行った後、外部よりヒーターで試験軸受を加熱しながら軸受温度に対する真空槽内の雰囲気圧力の変化を測定した。

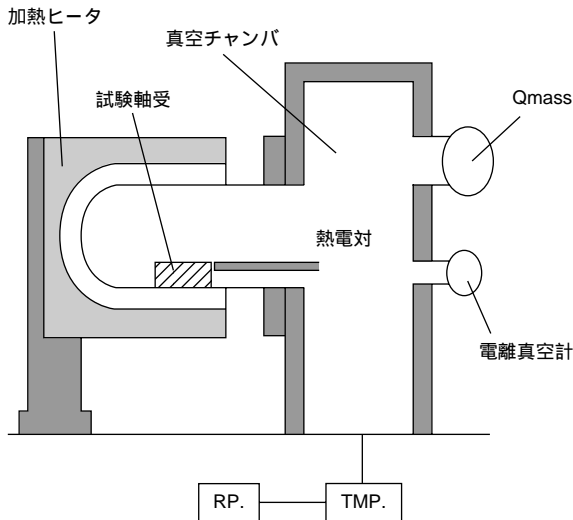


図4 アウトガス試験装置
Degassing tester

表3 アウトガス試験条件
Condition of degassing test

項目	内容
雰囲気	真空 $1 \times 10^{-5} \text{ Pa}$
チャンバ容量	20.3ℓ
排気速度	280ℓ/sec
温度	室温～300
測定	雰囲気圧力

3.2.2 試験結果

図5に軸受温度に対する真空槽内の雰囲気圧力の変化を示す。

この結果から、クリーンプロ軸受は室温から200 までの範囲では雰囲気圧力にほとんど変化はなく、200 を超えたあたりから真空槽内の雰囲気圧力に変化が認められることがわかる。以上のように、クリーンプロ軸受は、高真空 10^{-5} Pa 台) 雰囲気において200 までアウトガスの発生がほとんど認められないことがわかる。

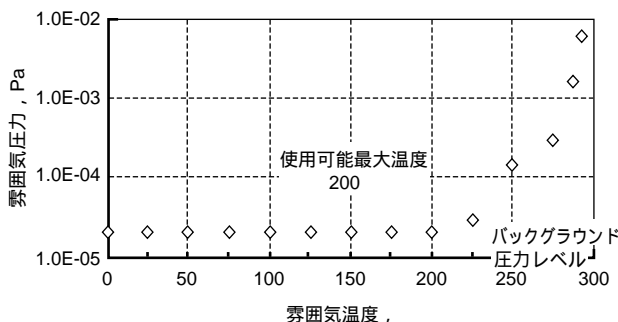


図5 軸受温度に対する真空槽内の雰囲気圧力の変化

Variation of atmospheric pressure with temperature in chamber

3.3 トルク性能

3.3.1 試験方法

トルク性能試験を、図6に示す試験機を用いて表4に示す試験条件で行った。試験は、軸受2個を1セットとし、雰囲気圧力(大気～ $1 \times 10^{-5} \text{ Pa}$)、回転速度(100, 200, 400, 800 min^{-1})、軸受温度(室温, 200)を変化させて行い、トルクの経時変化を測定した。

なお、トルク寿命は、トルク値が初期トルクの約3倍を超えるまでの時間とした。

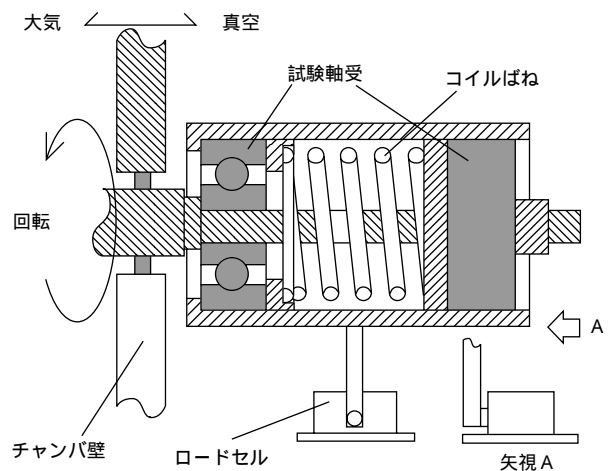


図6 トルク試験機
Torque tester

表4 トルク試験条件
Condition of torque test

項目	内容
雰囲気	大気 真空 ($1 \times 10^{-5} \text{ Pa}$)
温度	室温, 200
回転速度	100, 200, 400, 800 min^{-1}
荷重	アキシアル 20, 50, 100N
測定	トルクの経時変化

3.3.2 試験結果

図7に雰囲気条件の違いによるトルク寿命比を示す。また、図8に各雰囲気条件での回転時間に対するトルクの経時変化の代表例を、図9に大気、室温での荷重および回転速度に対するクリーンプロ軸受のトルク寿命を示す。

図7, 8 から、クリーンプロ軸受について以下のことがわかる。

- ① 大気雰囲気より真空雰囲気での耐久性に優れている。
- ② 雰囲気圧力および雰囲気温度の違いによりトルク値はほとんど変化しない。
- ③ 大気、真空雰囲気ともに高温では室温に比べ短寿命になる。

また図 9 から、寿命について以下のことがわかる。

- ④ トルク寿命は回転速度のおよそ 1 / 2 乗に比例する。
- ⑤ トルク寿命は荷重のおよそ 2.8 乗に比例する。
- ⑥ ④、⑤から次式に示す寿命計算式が推奨される。

$$L = 10 \cdot (n)^{0.5} \cdot (Ce/P)^{2.8}$$

L : トルク寿命, rev.

n : 回転速度, min^{-1}
 $< 100 \quad n \quad 800 \text{min}^{-1} >$

Ce : 動定格荷重, N
 $< \text{ステンレス材の場合, 動定格荷重 (カタログ値)の85\%} >$

P : 動等価ラジアル荷重, N
 $< 40 \quad P \quad 160 N >$

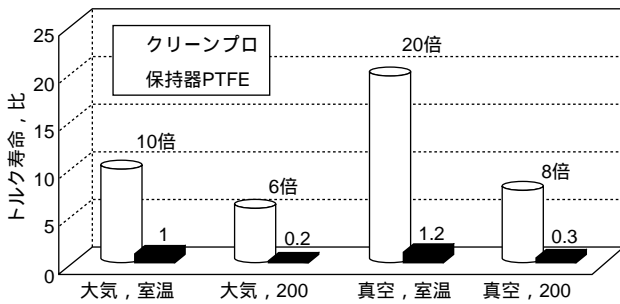


図 7 雰囲気条件の違いによるトルク寿命 (アキシアル荷重50N, 200 min^{-1})

$< \text{大気, 室温雰囲気での保持器PTFE軸受の寿命を1とした場合} >$
 Torque life comparison with atmospheric condition

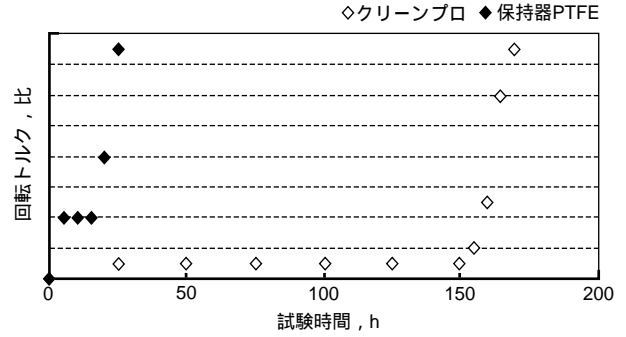


図 8 - 1 大気, 室温雰囲気での回転トルクの経時変化 (アキシアル荷重50N, 200 min^{-1})

Torque variation during test at room temperature in air

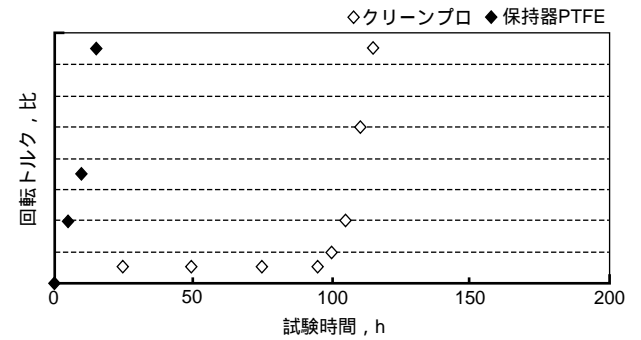


図 8 - 2 大気, 200 雰囲気での回転トルクの経時変化 (アキシアル荷重50N, 200 min^{-1})

Torque variation during test at 200 in air

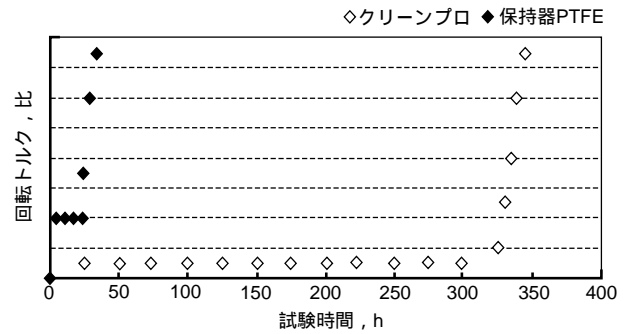


図 8 - 3 真空, 室温雰囲気での回転トルクの経時変化 (アキシアル荷重50N, 200 min^{-1})

Torque variation at room temperature in vacuum

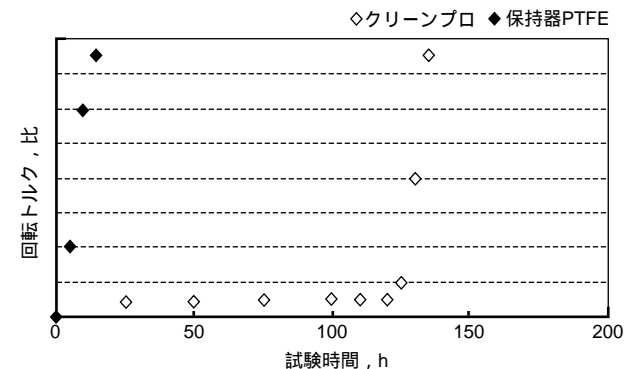


図 8 - 4 真空, 200 雰囲気での回転トルクの経時変化 (アキシアル荷重50N, 200 min^{-1})

Torque variation at 200 in vacuum

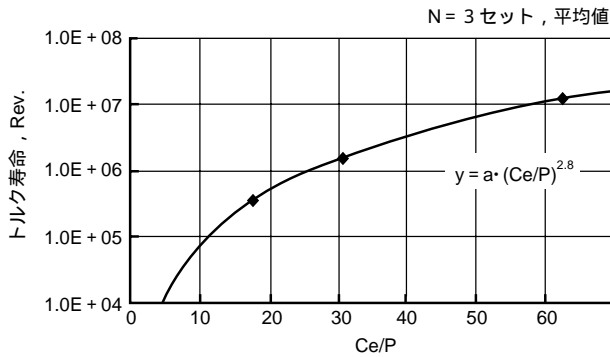


図9 - 1 クリーンプロ軸受の荷重に対するトルク寿命(200min⁻¹)

Torque life comparison with load

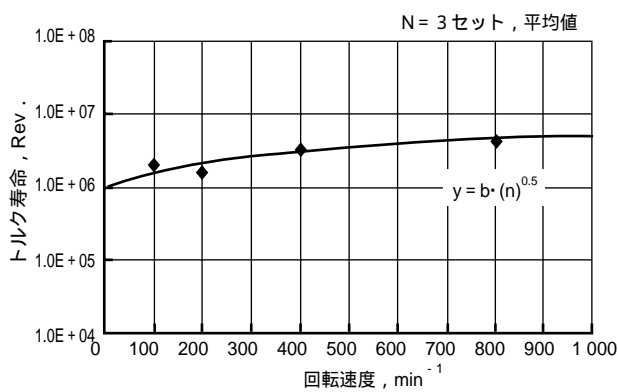


図9 - 2 クリーンプロ軸受の回転速度に対するトルク寿命(アキシャル荷重 50N)

Torque life comparison with rotation speed

4. おわりに

以上、当社が開発したクリーンプロ軸受の基本性能について紹介したが、その特徴を以下にまとめる。

- 1) 発塵性能：耐久性，耐荷重性に優れ，発塵量が少なく経時的に安定している。
- 2) アウトガス性能：高真空（10⁻⁵ Pa 台）雰囲気において，200 までアウトガスの発生が認められない。
- 3) トルク性能：大気雰囲気より真空雰囲気ですべての性能が優れ，回転トルク値は雰囲気圧力および雰囲気温度の違いによりほとんど変化しない。なお，大気，真空雰囲気ともに高温では室温に比べ短寿命となる。
- 4) 寿命計算式として次式が推奨される。

$$L = 10 \cdot (R)^{0.5} \cdot (Ce/P)^{2.8} \text{ [rev]}$$

このように，高真空・室温～200 という条件下において実用性能に優れ，保持器 P T F E 軸受(PTFEコーティング保持器付軸受)より優れたクリーン軸受を開発することができた。

今後は，さらに高温，高荷重条件下での使用が可能なクリーン軸受の開発が課題である。

参考文献

- 1) 光洋精工(株)：EXSEVベアリング Clean Pro³ ベアリング CAT.NO.107.

筆 者



豊田 泰*
H. TOYOTA

* 総合技術研究所 基礎技術センター
軸受研究開発部