

研究室責任者	報告書作成者
堀切川 一男	山口 健

プレファクト株式会社 御中

# 大気中無潤滑下及びグリス潤滑下における ガイド材料の摩擦試験結果の報告

東北大学大学院工学研究科  
機械システムデザイン工学専攻  
堀切川・柴田研究室／山口（健）研究室

梶原 慎悟  
柴田 圭  
山口 健  
堀切川 一男



平成27年1月

## 1. 目的

大気中無潤滑下及びグリス潤滑下において、軸受鋼球に対するガイド材料の摩擦試験を行い、その摩擦・摩耗特性を明らかにする。

## 2. 実験方法

### 2.1 試験片

プレート試験片として、マルテンサイト系ステンレス鋼 SUS440C, マルテンサイト系ステンレス鋼 SUS420J2, 高炭素クロム軸受鋼 SUJ2, 合金工具鋼 SKS93, 合金工具鋼 SKD11, 高周波焼入れ炭素鋼 S50C, 弱浸炭炭素鋼 S50C (S50C-I), 低温空冷鋼 GO4, プレス型プリハードン鋼 GO4GF, クロムモリブデン鋼 SCM415 の, 10 種類を用いた。これらのビッカース硬さを, 図 1 に示す。GO4GF と S50C-I のビッカース硬さは 4 GPa 程度, それ以外の材料では 6-7 GPa 程度の値を示す。また, プレート試験片の表面粗さを, 図 2 に示す。表面粗さは, すべり方向と平行 (研磨線条痕と垂直) 方向に測定した。

ボール試験片として, 直径 4 mm の高炭素クロム軸受鋼球 SUJ2 を用いた。ビッカース硬さは 8.33 GPa, ヤング率は 207 GPa, ポアソン比は 0.30 である。

プレート, ボール試験片には, 摩擦試験前にアセトン中にて超音波洗浄を施した。

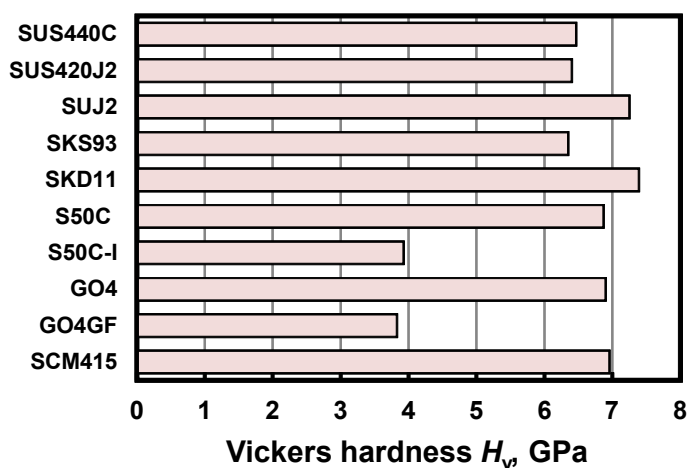


図 1 ビッカース硬さ

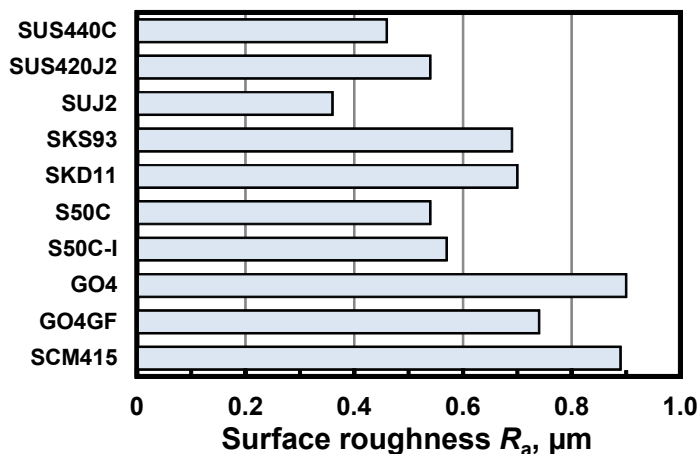


図 2 表面粗さ

## 2.2 実験装置

摩擦試験には、直線運動型摩擦試験装置（新東科学製，TYPE:22）を用いた。試験機の概略図を図3に示す。プレート試験片をステージに固定し、ボールホルダーに固定されたボール試験片におもりにより荷重を加え、ステージを一定速度で往復させる。その際に、ボール試験片とプレート試験片間に生じる摩擦力をひずみゲージにより計測し、電圧値としてアンプを介してデータロガーに記録する。摩擦力を式(1)のように垂直荷重で除すことで、摩擦係数を算出する。また、試験後の摩耗痕断面積を形状測定器（キーエンス製，KS-1100）にて測定し、摩耗体積を算出した後、式(2)のように垂直荷重とすべり距離で除すことにより、比摩耗量を算出する。

$$\mu = \frac{F}{W} \quad (1)$$

$$ws = \frac{V}{L \cdot W} \quad (2)$$

ここで、 $\mu$ は摩擦係数、 $F$ は摩擦力[N]、 $W$ は垂直荷重[N]、 $ws$ は比摩耗量[mm<sup>2</sup>/N]、 $V$ は摩耗体積[mm<sup>3</sup>]、 $L$ はすべり距離[mm]である。

## 2.3 実験条件

実験は、垂直荷重 9.8 N，すべり速度 10 mm/s，摩擦繰返し数 3000 回の条件下において行った。また、潤滑条件としては、大気中無潤滑下とグリス潤滑下（THK 製，AFB-LF）の 2 種類とした。プレート試験片のヤング率を 200-210 GPa とすると、ヘルツ最大接触圧力は、約 1.8 GPa となる。

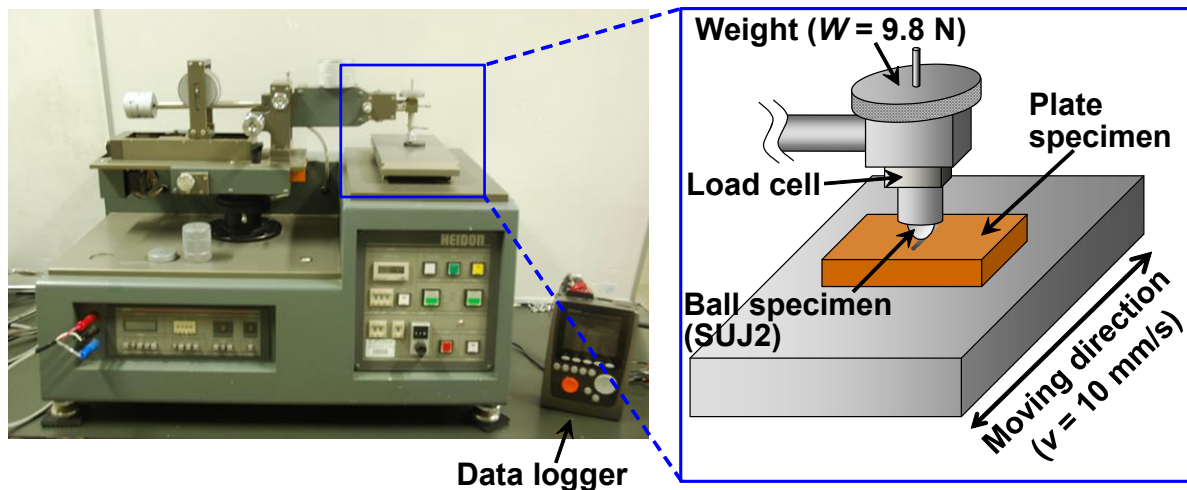


図3 直線運動型摩擦試験装置（新東科学製，TYPE:22）

### 3. 実験結果

#### 3.1 大気中無潤滑下における摩擦・摩耗特性

図4に、大気中無潤滑下における摩擦係数と摩擦繰返し数の関係を示す。同図より、いずれの材料においても、ある摩擦繰返し数まで急激に摩擦係数が増加し、その後緩やかに増加する傾向にあることが分かる。急激に摩擦係数が増加する範囲は、SUS440Cでは900回まで、SUS420J2では600回まで、他の8種類の材料では200回までと、異なる傾向を示す。

図5に、摩擦試験終了直前の摩擦係数を示す。同図より、いずれの材料においても、摩擦係数は、0.6以上の高い値を示すことが分かる。その中でも、摩擦係数の順列は、小さい方から、S50C, GO4GF, S50C-I, SCM415, GO4, SKD11, SKS93, SUJ2, SUS440C, SUS420J2となっている。

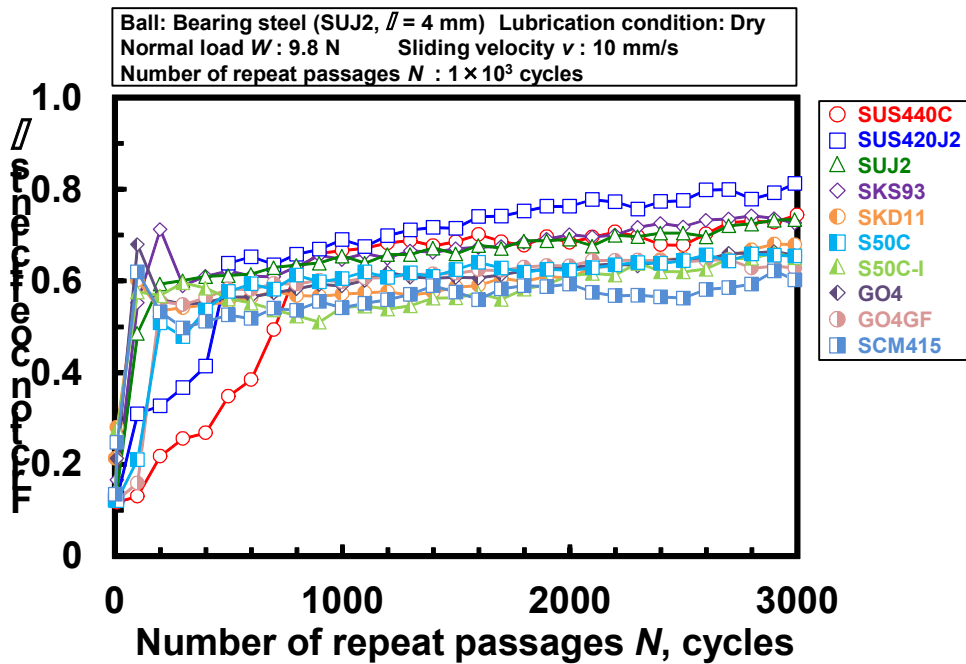


図4 摩擦係数と摩擦繰返し数の関係（大気中無潤滑下）

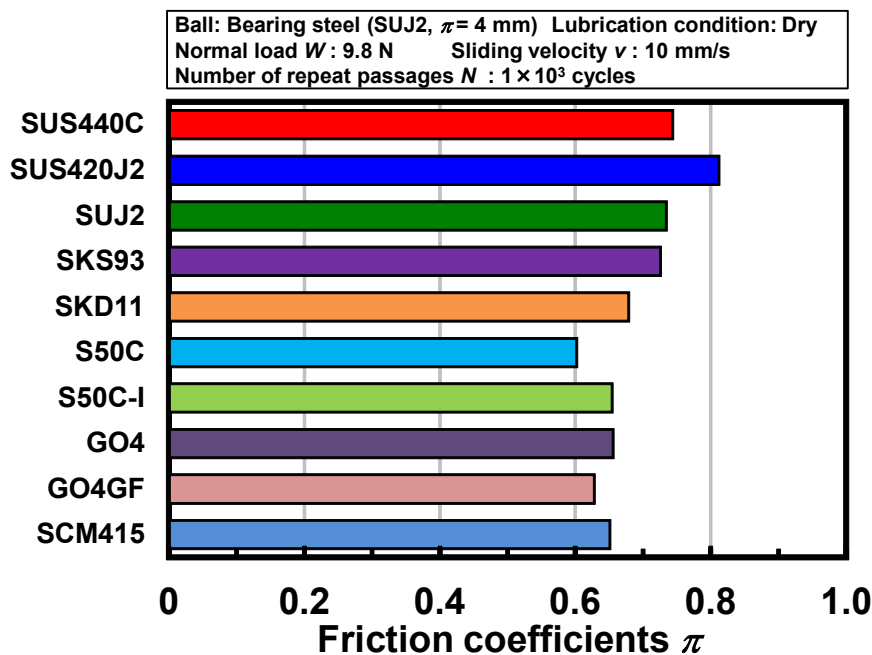


図5 試験終了直前の摩擦係数（大気中無潤滑下）

図6に、大気中無潤滑下におけるプレート試験片の比摩耗量を示す。摩擦試験後に摩耗痕断面を形状測定器にて測定した際に、摩耗痕が表面粗さに埋もれ摩耗痕と判別が不可能であった場合に、検出限界 (Detection limit) とした。図6より、GO4GFを除いた全ての材料において、 $10^{-8} \text{ mm}^2/\text{N}$  付近あるいはそれ以下の、大気中無潤滑下としては低い比摩耗量を示すことが分かる。GO4GFが最も高い比摩耗量を示したのは、最も硬さが低いためと考えられる。

図7に、大気中無潤滑下における相手しゅう動材料であるボール試験片の比摩耗量を示す。ボール試験片の摩耗体積は、摩耗痕幅より算出した。図7より、ボール試験片の比摩耗量は、いずれの材料を相手とした場合においても  $3\text{--}5 \times 10^{-8} \text{ mm}^2/\text{N}$  付近の値であることが分かる。

図8、図9に、各試験片の摩耗痕の光学顕微鏡像を示す。

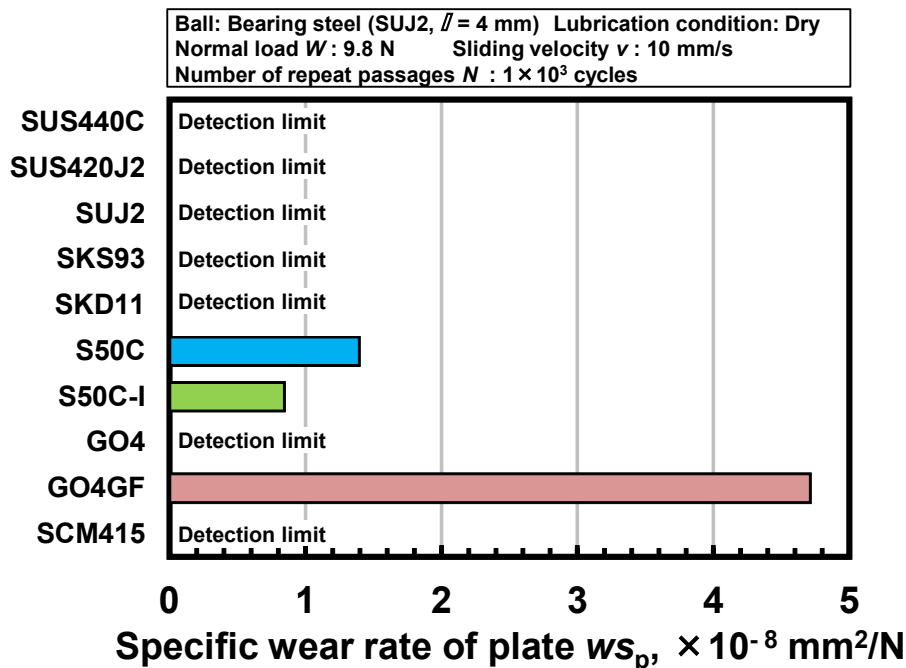


図6 プレート試験片の比摩耗量 (大気中無潤滑下)

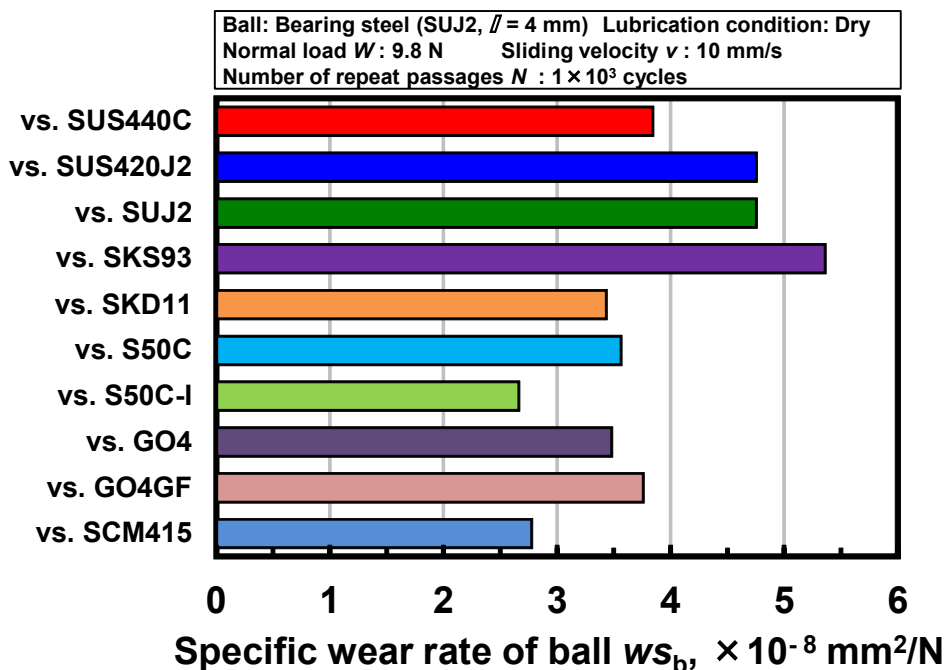


図7 ボール試験片の比摩耗量 (大気中無潤滑下)



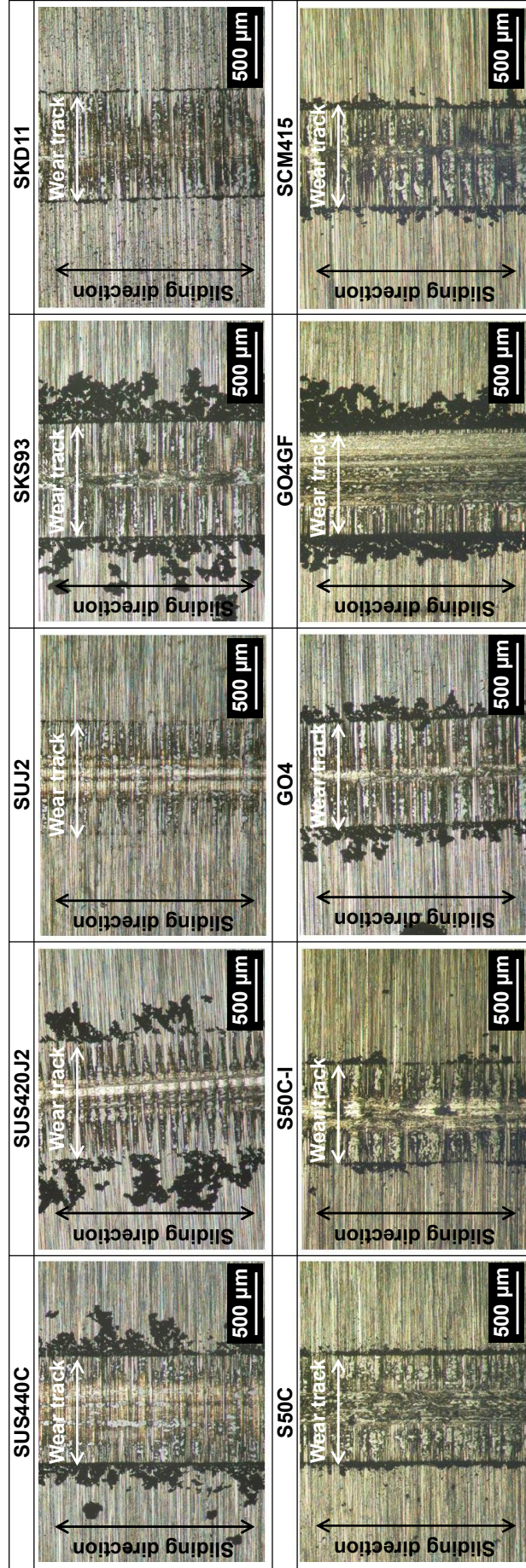


図8 プレート試験片の摩耗痕の光学顕微鏡像（大気中無潤滑下）

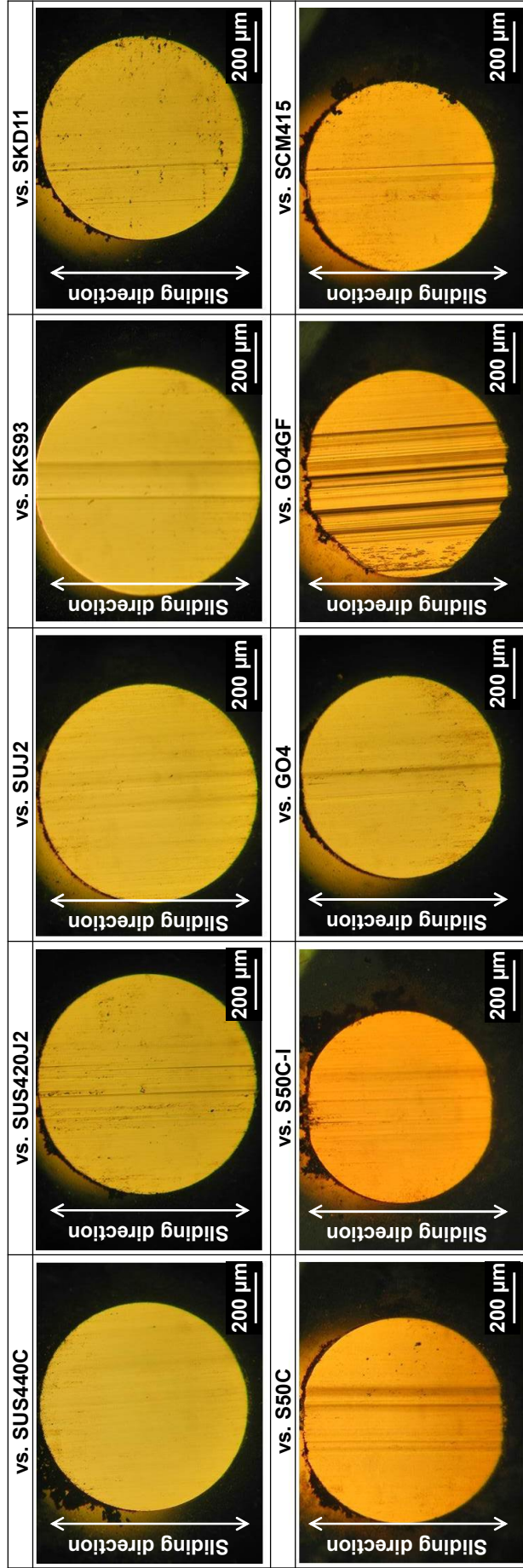


図9 ボール試験片の摩耗痕の光学顕微鏡像（大気中無潤滑下）

### 3.2 グリス潤滑下における摩擦・摩耗特性

図 10 に、グリス潤滑下における摩擦係数と摩擦繰返し数の関係を示す。同図より、いずれの材料においても、摩擦係数は、摩擦初期にわずかに減少し、その後一定の低い値を示すことが分かる。このことから、摩擦繰返し数 3000 回においても、グリスは摩擦面に十分に存在するものと考えられる。

図 11 に、摩擦試験終了直前の摩擦係数を示す。同図より、いずれの材料においても、摩擦係数は、大気中無潤滑下と比較して極めて低く、0.11–0.12 付近の値を示すことが分かる。

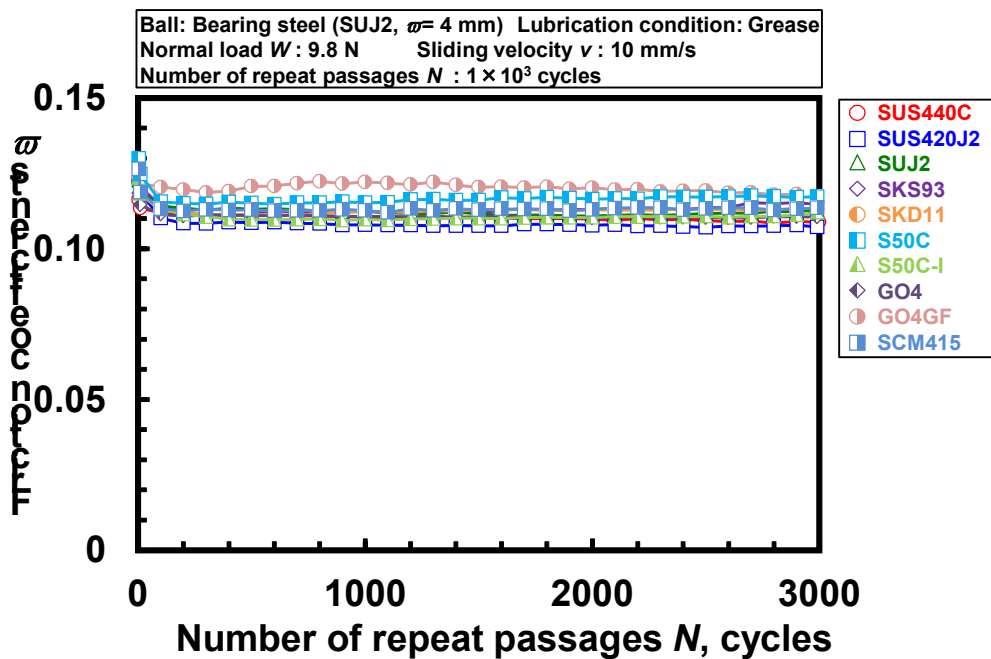


図 10 摩擦係数と摩擦繰返し数の関係（グリス無潤滑下）

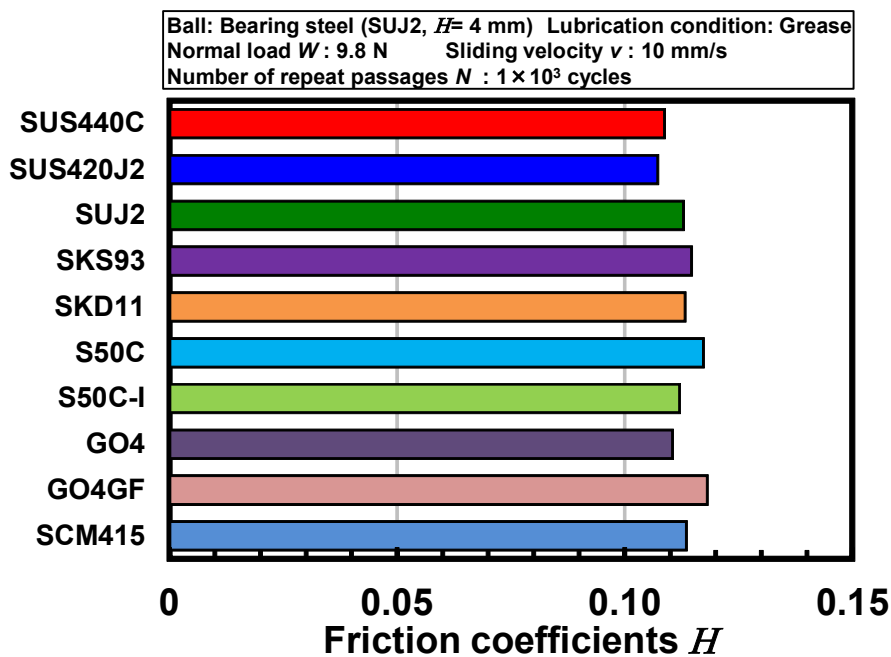


図 11 試験終了直前の摩擦係数（グリス無潤滑下）



図 12 に、グリス潤滑下におけるボール試験片の比摩耗量を示す。なお、グリス潤滑下におけるプレート試験片の比摩耗量は、全て検出限界であった。図 12 より、ボール試験片の比摩耗量は、いずれも大気中無潤滑下と比較して極めて小さい値となる事が分かる。その中でも SKD11 に対するボール試験片の比摩耗量が、相対的に高い値 ( $5.6 \times 10^{-10} \text{ mm}^2/\text{N}$ ) を示す。

図 13, 図 14 に、各試験片の摩耗痕の光学顕微鏡像を示す。

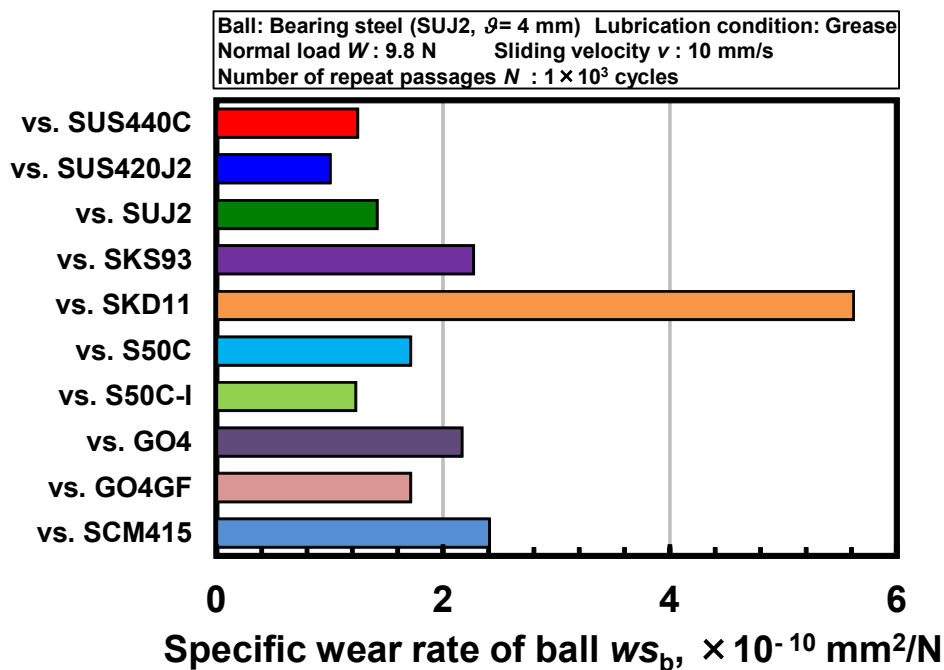


図 12 ボール試験片の比摩耗量 (グリス無潤滑下)

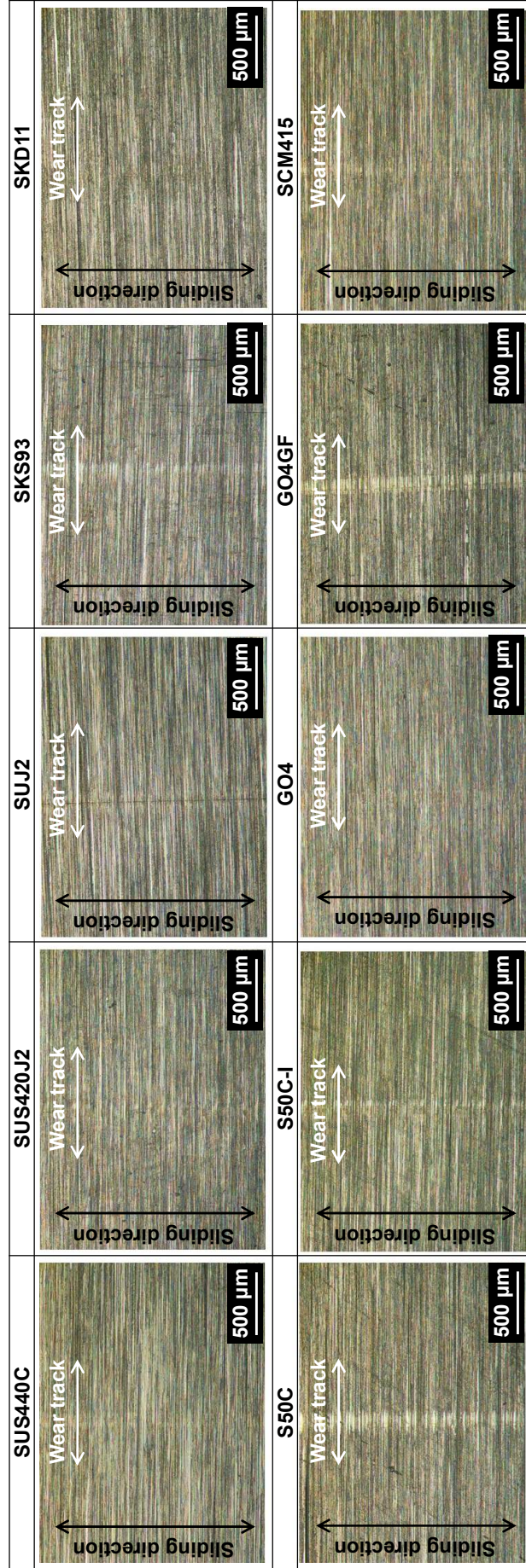


図13 プレート試験片の摩耗痕の光学顕微鏡像（グリス潤滑下）

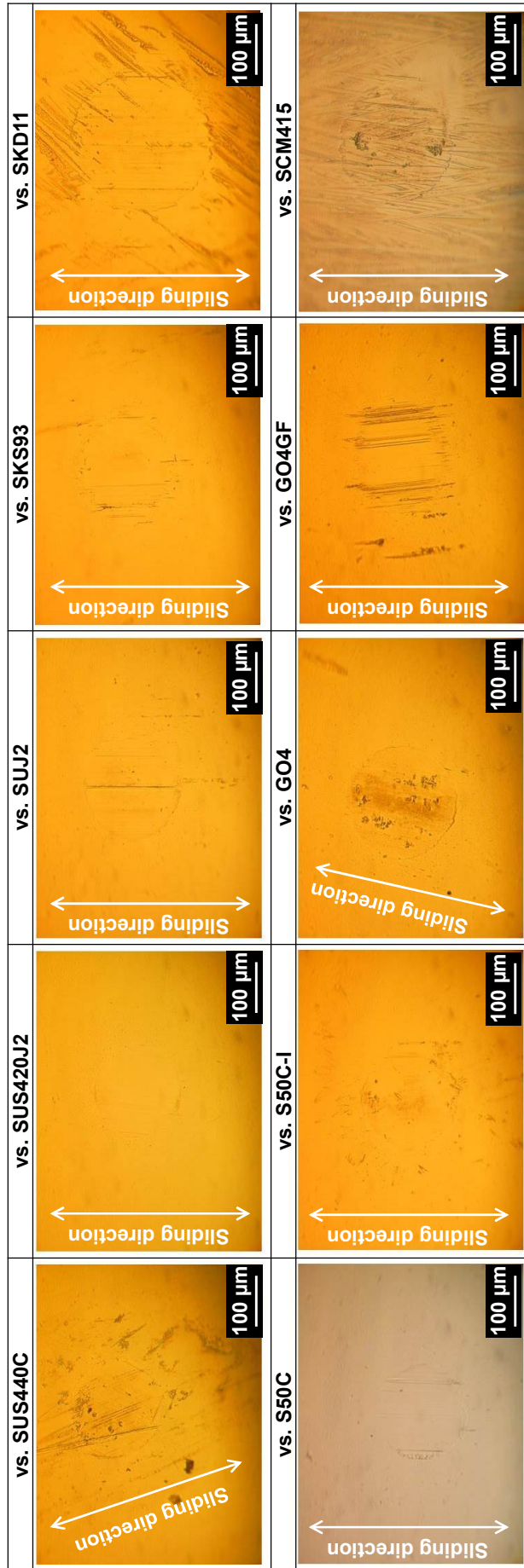


図14 ボール試験片の摩耗痕の光学顕微鏡像（グリス潤滑下）

図 15 に、大気中無潤滑下とグリス潤滑下をまとめた、各材料のすべり摩擦における動的接触形態の分布図を示す。同図より、大気中無潤滑下では、弾性接触あるいは弾塑性接触状態であることが分かる。相対的に高い比摩耗量を示した S50C-I と GO4GF は、弾塑性接触領域では、中程度の接触の過酷さを示すといえる。グリス潤滑下においては、動的接触形態は全て弾性接触となった。このため、プレート試験片の比摩耗量は、全て検出限界の値を示したものと考えられる。

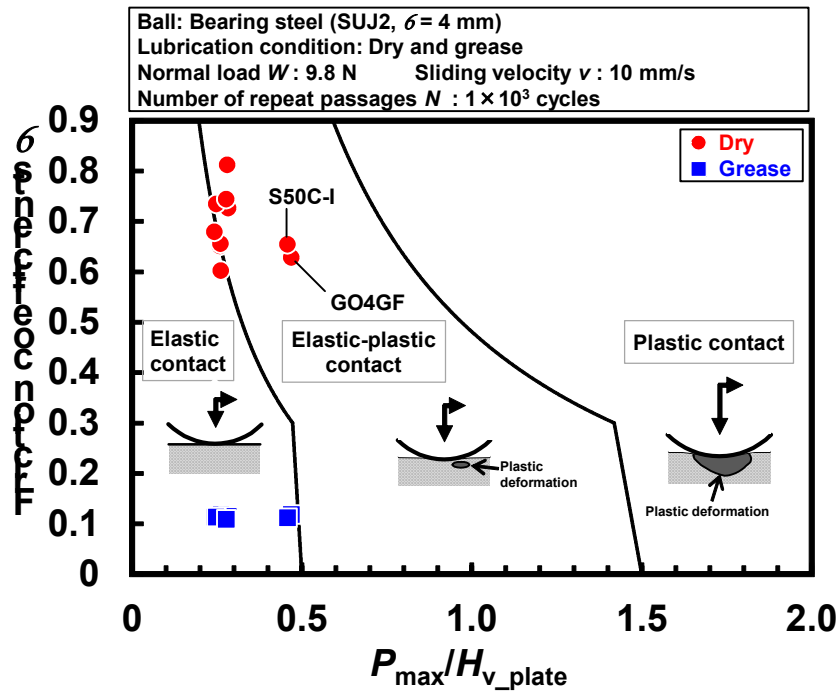


図 15 すべり摩擦における動的接触形態の分布図

#### 4. まとめ

大気中無潤滑下及びグリス潤滑下における、軸受鋼球に対するガイド材料の摩擦試験により、以下のことが分かった。

- (1) 大気中無潤滑下では、いずれの材料においても、摩擦係数は、0.6 以上の高い値を示す。摩擦係数の順列は、小さい方から、S50C, GO4GF, S50C-I, SCM415, GO4, SKD11, SKS93, SUJ2, SUS440C, SUS420J2 となった。
- (2) 大気中無潤滑下では、GO4GF を除いた全ての材料において、プレート試験片の比摩耗量は、 $10^{-8} \text{ mm}^2/\text{N}$  付近あるいはそれ以下の低い値を示す。
- (3) 大気中無潤滑下では、相手しゅう動材料であるボール試験片の比摩耗量は、いずれの材料を相手とした場合においても  $3\text{--}5 \times 10^{-8} \text{ mm}^2/\text{N}$  付近の値を示す。
- (4) グリス潤滑下では、いずれの材料においても、摩擦係数は、大気中無潤滑下と比較して極めて低く、0.11–0.12 付近の値を示す。
- (5) グリス潤滑下では、プレート試験片の比摩耗量は、全て検出限界となる極めて低い値である。
- (6) グリス潤滑下では、ボール試験片の比摩耗量は、いずれも大気中無潤滑下と比較して極めて小さい値 ( $10^{-9} \text{ mm}^2/\text{N}$  以下) を示す。その中でも、SKD11 に対するボール試験片の比摩耗量が、相対的に高い値 ( $5.6 \times 10^{-10} \text{ mm}^2/\text{N}$ ) を示す。