

溶射皮膜と硬質クロムめっきの耐摩耗性の比較と評価

(潤滑状態での比較と評価)

1. 緒言

高硬度で耐摩耗性に優れている硬質クロムめっきは、従来、多くの機械部品などに適用されているが、電気めっき法ではシアン化物、カドミウムや6価クロムなど、排出量が規制されている化学薬品を使用するため、廃水処理に莫大な投資が必要とされる。そのため電気めっきは国内の企業では取り扱わない傾向にある。そこで化学薬品を一切使わない溶射で、めっきにとって変わる皮膜の開発が進められてきた。

前回報告レポート(「ボール・オン・プレート往復摩耗試験機による耐摩耗性皮膜の比較と評価」:本ホームページの2.項)は無潤滑下で摩耗試験を行ったが、硬質クロムめっきは、例えば内燃機関のシリンダーなど潤滑状態でも多く使用されるため、今回は潤滑下で鋼球を相手材として摩耗試験を行い、硬質クロムめっきと WC/CoCr、WC/Cr₃C₂/Ni、クロミア、グレーアルミナ、ハステロイ C276 の摩耗特性の比較と評価を行った。

2. 実験方法

本研究では、図1のボール・オン・プレート往復摩耗試験機を使用した。試験片のうち、WC/CoCr、WC/Cr₃C₂/Ni、ハステロイ C276 は高速フレイム溶射法(HVOF)で成膜し、グレーアルミナ、クロミアは大気プラズマ溶射法(APS)で、クロムめっきは電気めっき法(サージェント浴)により形成した。

ボール・オン・プレート往復式摩耗試験機は、相手材に 9.525mmの鋼球を用いて摺動速度 0.042m/s (2,500mm/min)、荷重を 10N に設定し、摩耗距離は 10,000mとした。試験前と 2,000mごとに試験片と鋼球の重量を測定し、試験開始時に摩擦係数も測定した。拡大鏡による表面観察も試験前と試験後に行った。

潤滑装置は、潤滑油を滴下する方式で、図1のように製作した。潤滑油はベースオイル(基油)であるシェルビトリアオイルの動粘度 68mm²/s のものを用いた。滴下量は1往復につき、約1滴とした。したがって、試験片と相手材の接触面には常に新しい潤滑油が供給された。

潤滑下で溶射皮膜の摩耗量を測定するときの問題点は、試験中に潤滑油が皮膜の気孔中に浸透し、重量が増加してしまつて摩耗量を正確に測定できない恐れがあることである。予備実験の結果、本実験で使用した潤滑油の場合、潤滑油中に48時間浸漬すると、潤滑油の気孔への浸透は飽和状態となることが分かつたため、摩耗試験では、同じ時間、試験片を油中に浸漬した後、試験を開始した。また、摩耗試験後の重量測定では、アセトンで試験片を十分洗浄してから行った。その手順はすべての試験片で同一とした。

3. 摩耗試験機

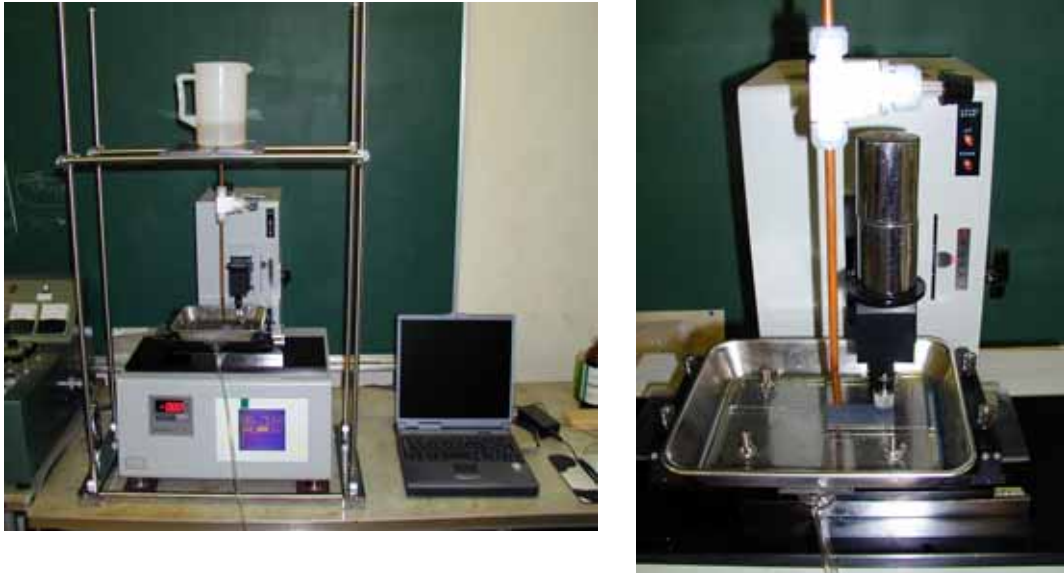


図1 実験装置写真

試験機：HEIDON トライボステーション Type32 (図1)

相手材：鋼球 9.525mm

摺動速度：2,500mm/min

摺動距離：40mm(1往復 80mm)

荷重：10N

* 試験中は室温 23 で一定にし、また摺動側は試験片とする。

4. 参考資料

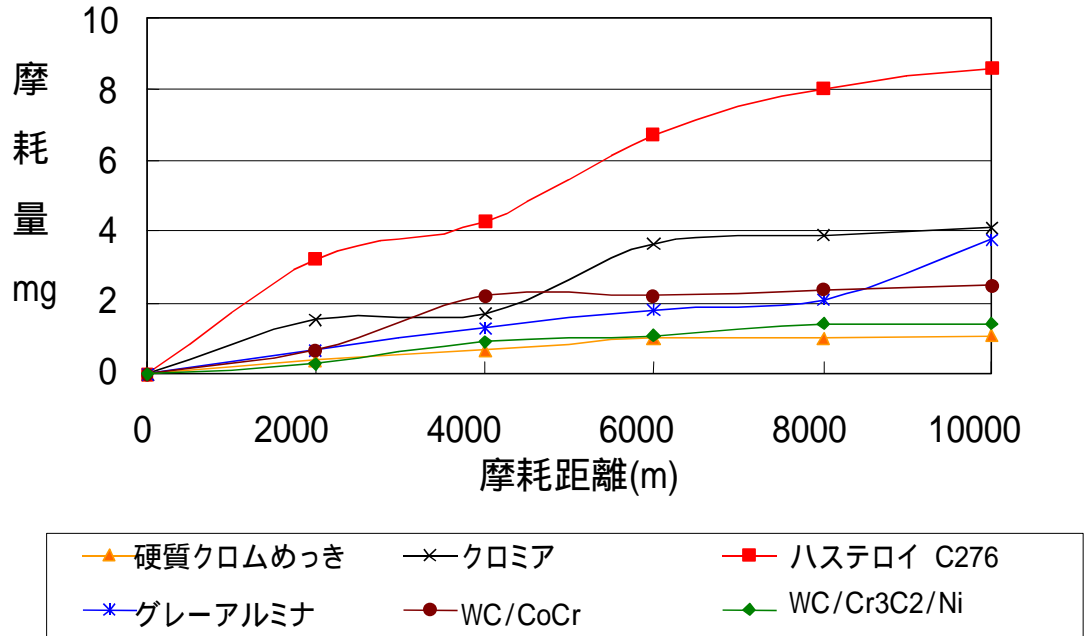
参考資料として前回は行った各試験片と鋼球のビッカース硬さ試験結果を表1に示した。

表1 ビッカース硬さ試験結果

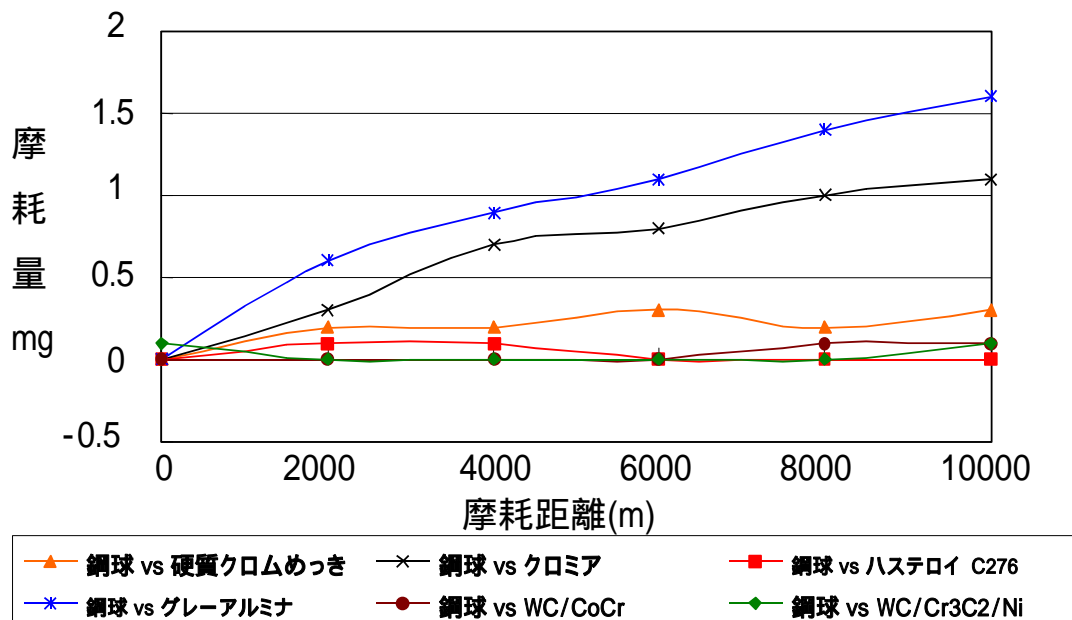
皮 膜	ビッカース硬さ (Hv 0.1)
[1] WC/CoCr	1322
[2] WC/Cr3C2/Ni	1095
[3] グレーアルミナ	560
[4] クロミア	1155
[5] ハステロイ C276	471
[6] 硬質クロムめっき	839
鋼球	808

5. 実験結果

5.1 試験片および相手材の摩耗量



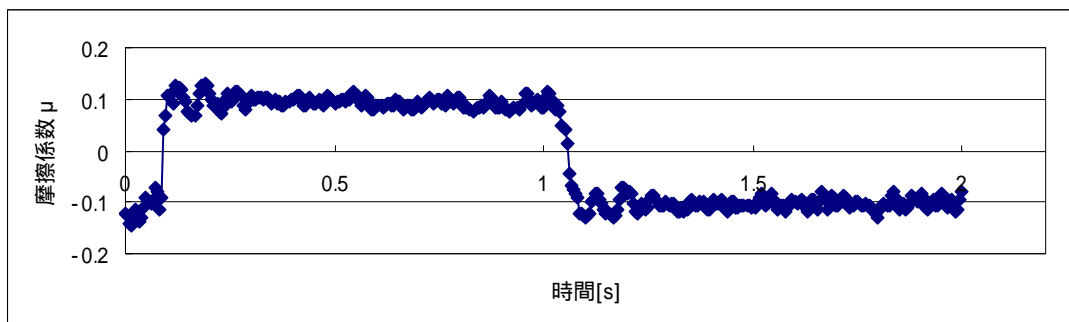
a) 試験片摩耗量測定結果



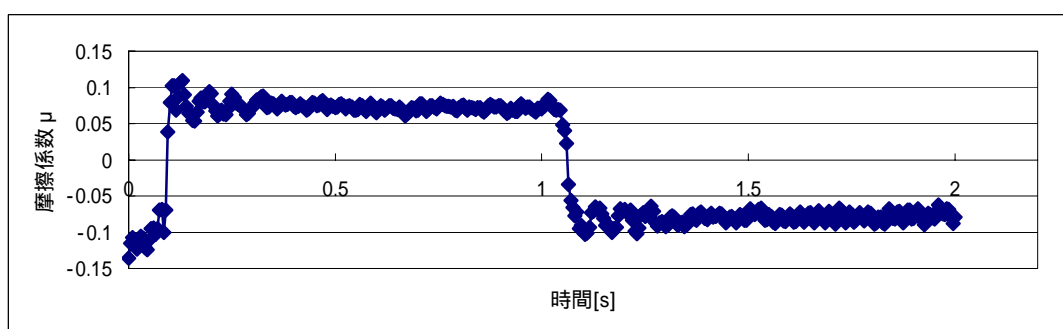
b) 相手材 (鋼球) 摩耗量測定結果

図2 摩耗量測定結果

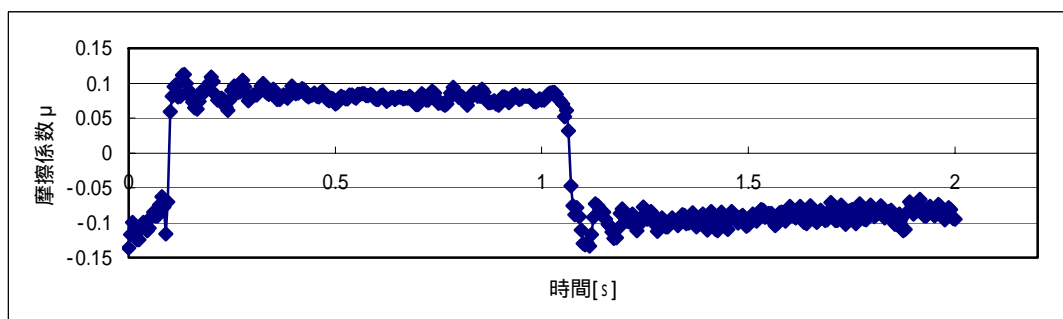
5.2 摩擦係数の測定結果



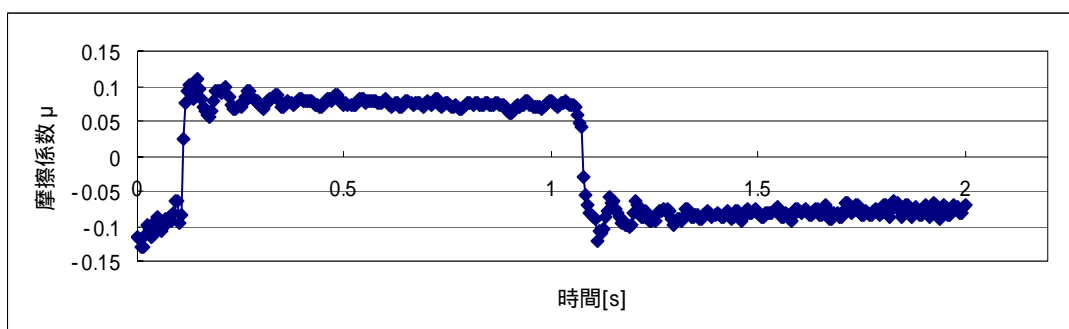
[1]-a) WC/CoCr(0m)



[1]-b) WC/CoCr(8,000m)

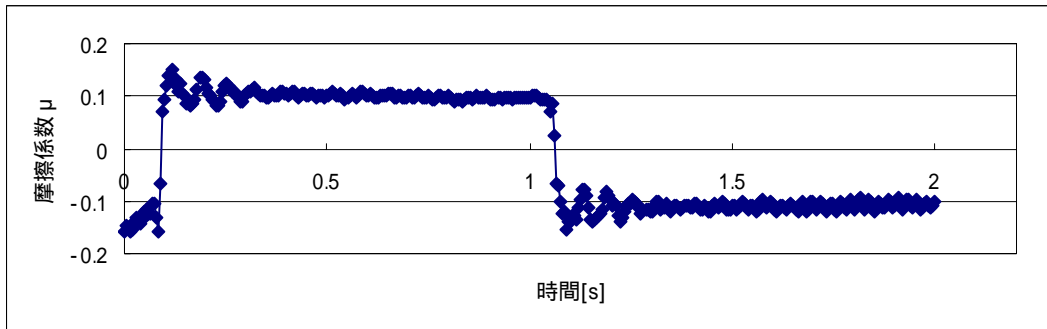


[2]-a) WC/Cr3C2/Ni(0m)

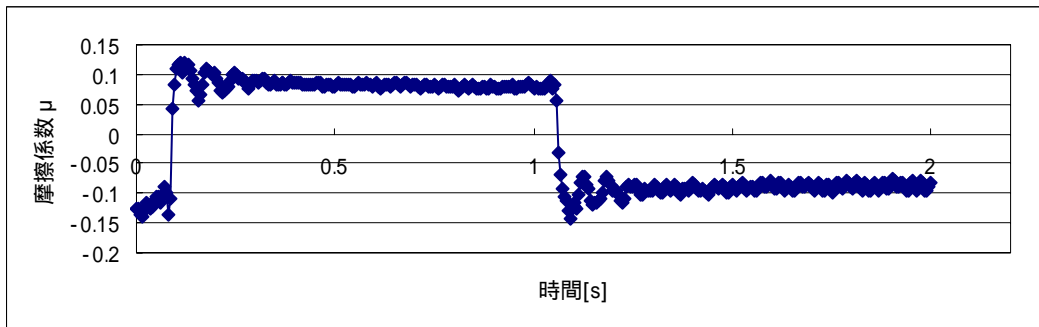


[2]-b) WC/Cr3C2/Ni(8,000m)

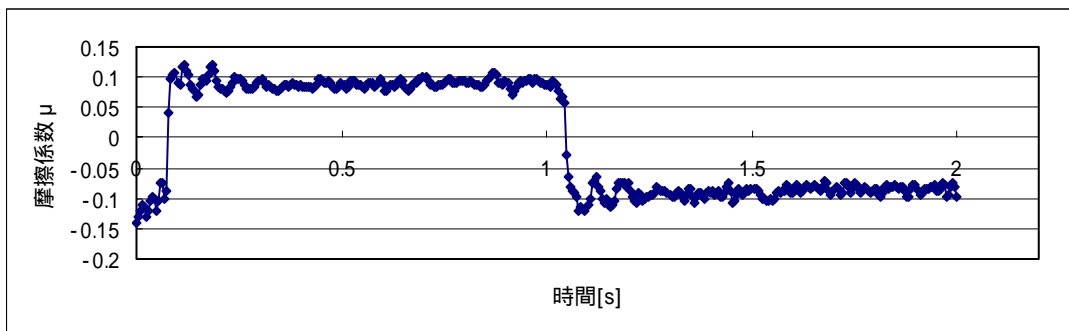
図3 摩擦係数測定結果（鋼球）



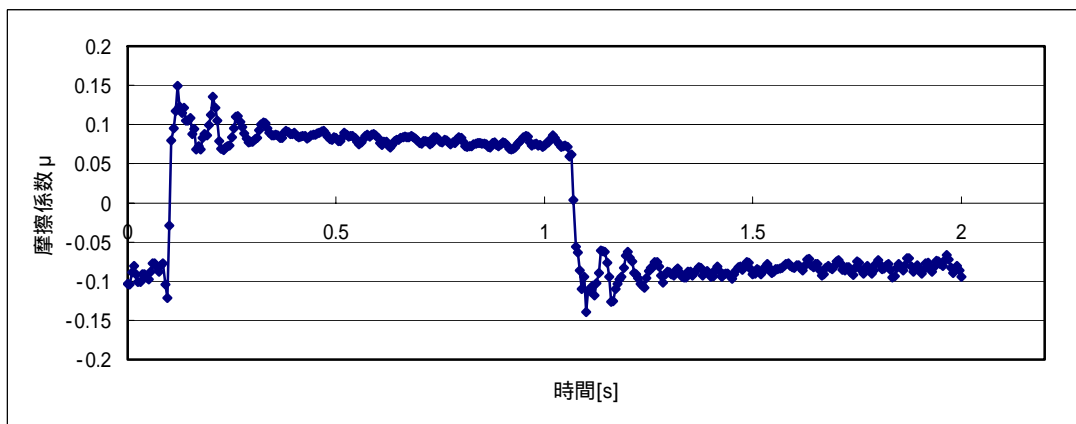
[3-a) グレーアルミナ(0m)



[3-b) グレーアルミナ(8,000m)

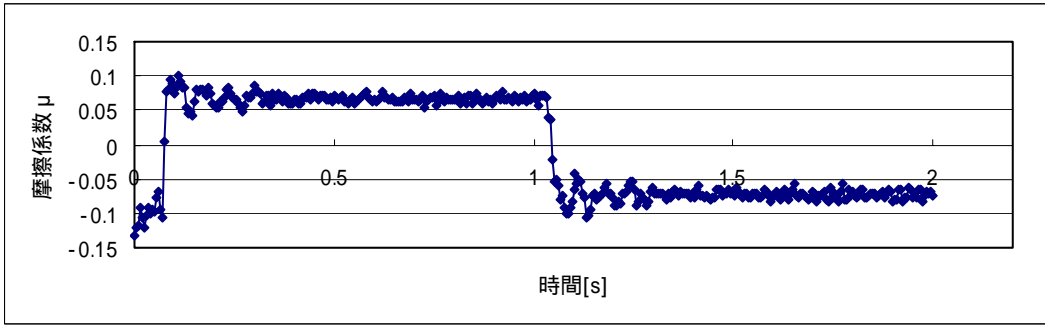


[4-a) クロミア(0m)

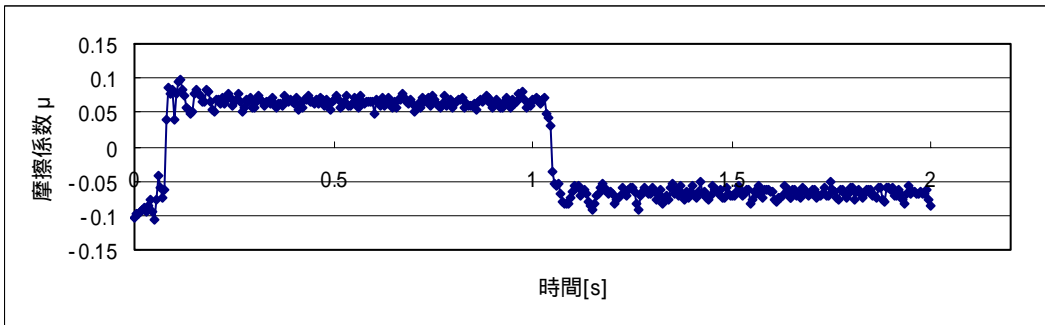


[4-b) クロミア(8,000m)

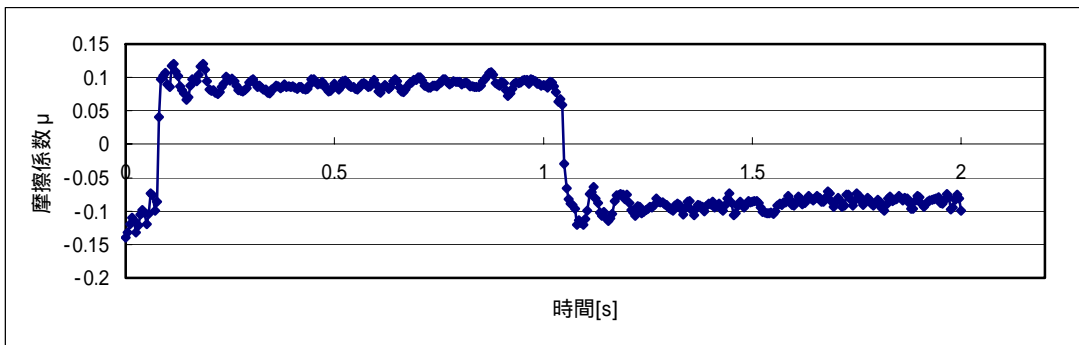
図3 摩擦係数測定結果(鋼球)



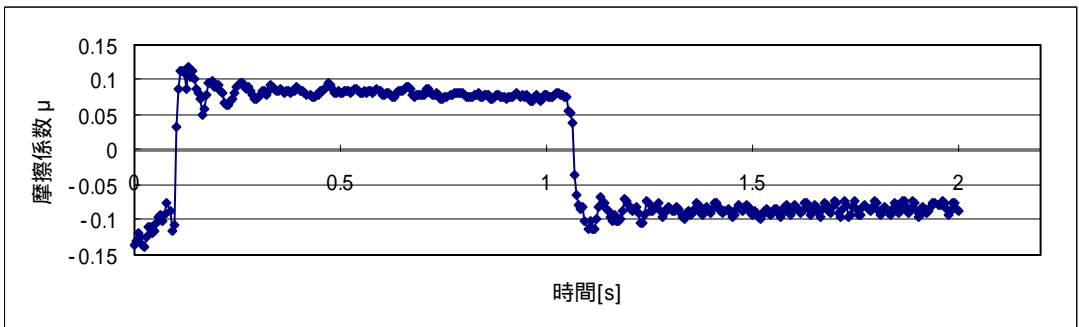
[5]-a) ハステロイ C276(0m)



[5]-b) ハステロイ C276(8,000m)



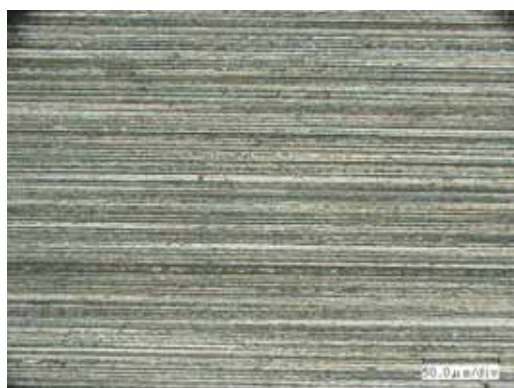
[6]-a) 硬質クロムめっき(0m)



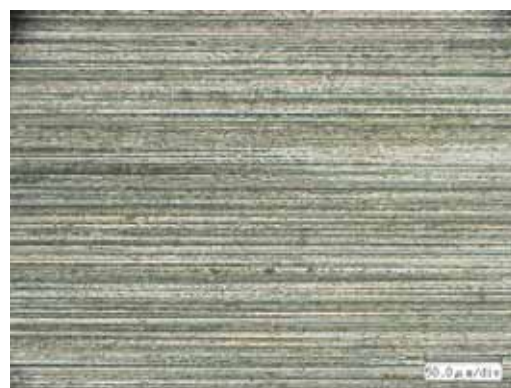
[6]-b) 硬質クロムめっき(8,000m)

図3 摩擦係数測定結果(鋼球)

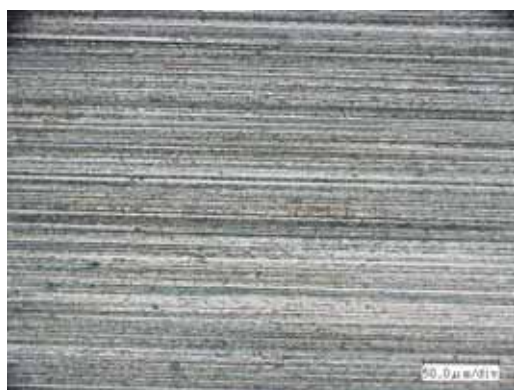
5.3 拡大鏡による接触面の観察結果



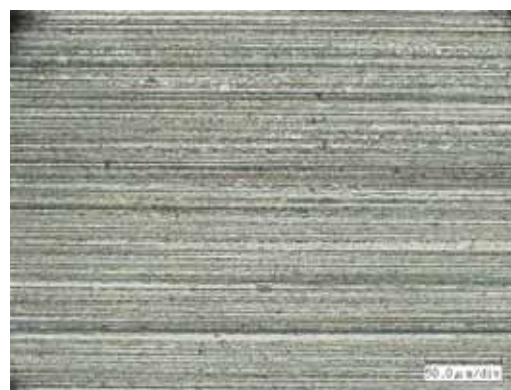
[1]-a) WC/CoCr 試験前表面 (× 450)



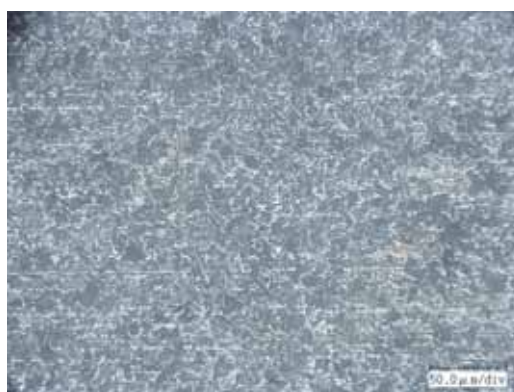
[2]-b) WC/CoCr 試験後表面(× 450)



[2]-a) WC/Cr3C2/Ni 試験前表面 (× 450)



[2]-b) WC/Cr3C2/Ni 試験後表面 (× 450)

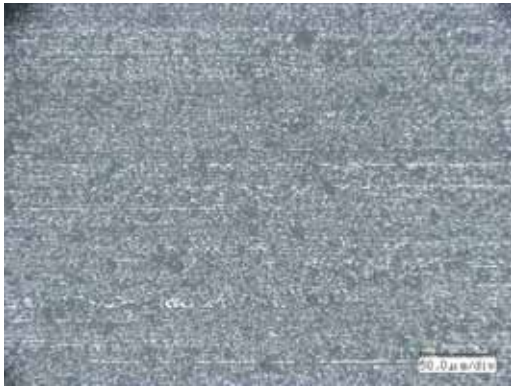


[3]-a) グレーアルミナ試験前表面 (× 450)

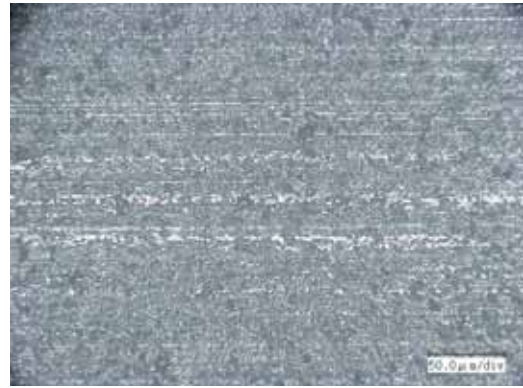


[3]-b) グレーアルミナ試験後表面 (× 450)

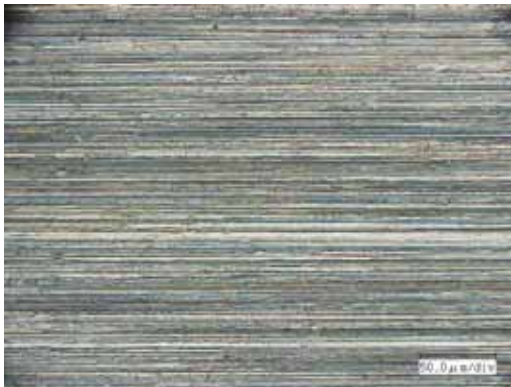
図 4 皮膜の表面拡大写真 (対鋼球) 倍率 450



[4]-a) クロミア試験前表面 (× 450)



[4]-b) クロミア試験後表面 (× 450)



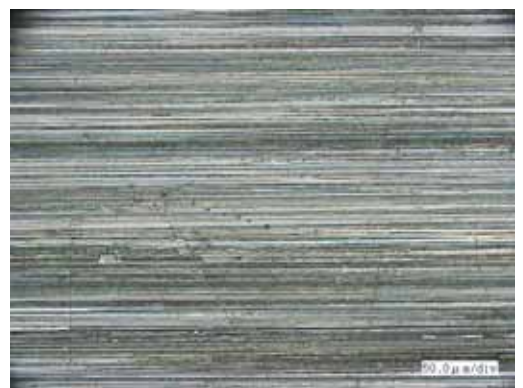
[5]-a) ハステロイ C276 試験前表面 (× 450)



[5]-b) ハステロイ C276 試験後表面 (× 450)



[6]-a) 硬質クロムめっき試験前表面 (× 450)

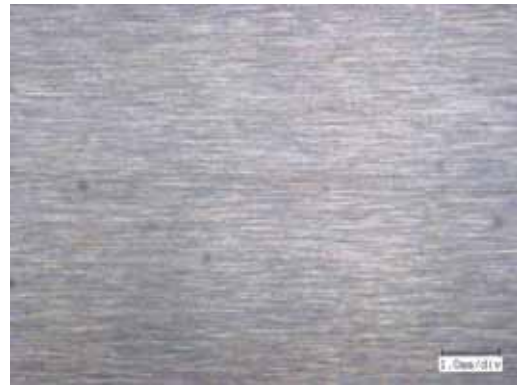


[6]-b) 硬質クロムめっき試験後表面 (× 450)

図 4 皮膜の表面拡大写真 (対鋼球) 倍率 450



[1]-b) WC/CoCr 試験後表面 (× 35)



[2]-b) WC/Cr3C2/Ni 試験後表面 (× 35)



[3]-b) グレーアルミナ試験後表面 (× 35)



[4]-b) クロミア試験後表面 (× 35)



[5]-b) ハステロイ C276 試験後表面 (× 35)



[6]-b) 硬質クロムめっき試験後表面 (× 35)

図 5 皮膜の表面拡大写真 (対鋼球) 倍率 35

6. 実験結果の考察

ボール・オン・プレート往復式摩耗試験機で測定した各皮膜の摩耗距離と摩耗量の関係を図2に示した。同図からもわかるように各皮膜の中で、耐摩耗性が最も優れているのはWC/Cr3C2/Niと硬質クロムめっきで10,000mの試験後の試験片の摩耗量は最も少なく、差もほとんど認められない。測定値にややばらつきはあるものの、WC/CoCrとグレーアルミナが続き、クロミアの摩耗量はやや多い。クロミアは6,000mから、グレーアルミナは10,000mで摩耗量が急激に多くなっているが、これは摩擦面の変化によるのではと考えられる。耐摩耗材料ではないハステロイC276では、摩耗量が最も多くなっている。これは無潤滑下で行った結果と同じである。

一方、相手材の鋼球の摩耗量はWC系の2種類の溶射皮膜と硬質クロムめっきは異なり、WC系溶射皮膜とハステロイC276皮膜は相手材である鋼球をほとんど摩耗させない。硬質クロムめっき皮膜は相手材をやや摩耗させ、アルミナとクロミアの2種類の酸化物皮膜は相手材をかなり摩耗させる。これらの原因については、摩耗面の拡大鏡による観察結果から後に考察する。

摩擦係数の測定結果を図3に示した。一般に、潤滑下での金属同士の摩擦係数は約0.1と言われているが、そのとおりとなっている。摩擦係数は、試験開始直後の図と、8,000mの試験後の図を示しているが、いずれの皮膜でも8,000m試験後のほうが摩擦係数はやや低い。皮膜の種類によって摩擦係数のわずかな差は認められる。最も摩擦係数が低いのはハステロイC276皮膜で、拡大鏡下では表面がかなり荒れているにもかかわらず、摩擦係数は低い。その次に低いのは2種類のWC系で、その次が硬質クロムめっき、2種類の酸化物セラミックスの摩擦係数は最も高い。

摩耗試験前後の試験片表面の拡大鏡写真を図4、図5に示した。図4は450倍、図5は35倍である。図4 [6]-a)、b)は硬質クロムめっき皮膜である。試験前でも、研削方向と直角なき裂が認められる。試験後の表面は450倍で観察する限りやや黒ずんでいるほかは大きな変化は認められないが、き裂密度が増加しているように見受けられる。図5 [6]-b)は低倍率で観察した写真であるが、摩擦面が黒ずんでいるのは明瞭に分かる。硬質クロムめっき皮膜は相手材の鋼球をやや摩耗させたが、き裂が原因の可能性もある。図4 [4]-a)、b)は450倍で撮影したクロミアである。試験前後で著しい差は認められないが、試験後では白い部分が増えている。これは図5 [4]-b)からも分かるとおり、相手材の鋼球によって研磨され、光沢を持った部分と考えられる。図4 [5]-a)、b)はハステロイC276である。試験前後で大きな変化が認められる。試験後は皮膜の部分的な脱落、深い摩耗痕が認められ、図2で示した摩耗量の多さと符合する。グレーアルミナも高倍率で観察する限り(図4 [3]-a)、b)) 試験後にも試験による影響は認められないが、低倍率で観察すると、硬質クロムめっきのようにやや摩擦面が黒ずんでいる。これはクロミアとの相違点である。高倍率、低倍率の両方で観察しても、試験前後で表面の状態が全く変わらなかったのは2種類のWCで、試験後も研削加工痕が変化なく残っている。耐摩耗性の高さが、拡大鏡写真からも実証で

きる。

7 結論

潤滑下では、2種類の WC 皮膜である WC/Cr₃C₂/Ni、WC/CoCr は硬質クロムめっき皮膜と同等の優れた耐摩耗性を示した。相手材の摩耗を考えると、WC/Cr₃C₂/Ni、WC/CoCr 溶射皮膜のほうが硬質クロムめっきより期待できる皮膜であると考えられる。

(2004年11月 足利工業大学 機械工学科 戸部省吾)