

窒化ほう素添加潤滑剤の潤滑特性

Effect of BN on Lubricating Oil and Grease

郭 奇亮*・岡田和三*・木村好次*

QiLiang GUO, Kazumi OKADA and Yoshitsugu KIMURA

1. はじめに

固体潤滑剤は、通常の潤滑油の使用が困難な特殊環境、たとえば超高真空、超低温、腐食雰囲気中などにおいて重要な役割を果たしてきた¹⁾が、最近では省エネルギーやメンテナンスフリーの立場から、通常環境における使用も拡大している。その使用方法は²⁾いくつかあるが、ここでは潤滑油・グリース中に固体潤滑剤の粉末を分散させる方法を取り上げた。

窒化ほう素 (BN) は、黒鉛や二硫化モリブデンと同様の、層状の結晶構造を持つ固体潤滑剤で、純白色をしていて無毒であり、耐熱性に優れている。従来、このBNの潤滑剤中への添加効果は小さいといわれていたこともあって、通常環境における使用例は少なく、その使用は他の固体潤滑剤が使用できない高温環境に限られていた³⁾。しかし最近、白色・無毒であるという特長が見直され、汚染の気になる箇所での使用に期待が寄せられている⁴⁾。

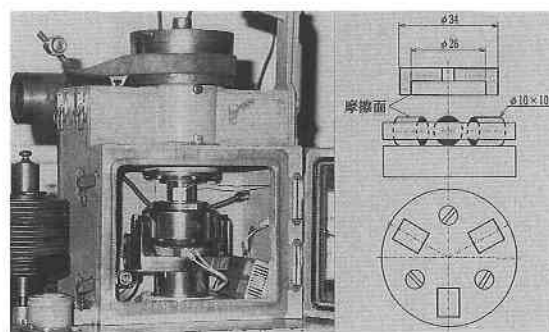
そこで本報では、BNの粉末を潤滑油およびグリース中に分散させて通常のすべり摩擦面に適用し、その添加効果を調べた。

2. 実験装置・試験片

使用した試験機は3ローラ/リング形式のもので、その外観と試験片を図1に示す。上側のリング試験片は回転軸の下端に固定する。下側の3つのローラ試験片は、円盤上に等間隔に配置して窓付きの押さえ板で固定し、2自由度のジンバル機構で支持された油槽中に取り付ける。荷重は上下運動と回転が自由に行える下方の油圧ピストンによって加え、摩擦力はピストンの回転をロードセルで拘束して測定する。

リング試験片の材料はSUJ2で、硬さは約HV750であ

*東京大学生産技術研究所 第2部



外観

試験片

図1 実験装置

り、その摩擦面はラッピング仕上げをして表面あらさをRa0.04 μ mにしてある。一方ローラ試験片には2種類の材料を用いた。一つはリングと同じSUJ2で、あらさがRa0.09 μ mの円筒ころ軸受用のころをそのまま用いた。もう一つは銅系ソリッド軸受材料のりん青銅 (PBC2) で、その硬さは約HV240、あらさはRa0.56 μ mである。摩擦量はこれらのローラ試験片について測定した。

3. BNの添加効果

3.1 潤滑剤・実験条件

潤滑剤は、パラフィン系鉱油 (VG15) およびリチウム系グリース (ちょう度278@25 $^{\circ}$ C) に、市販のBNを4 wt%添加したものである。BN添加鉱油は白濁しているが、一部のBNは沈殿した。またグリースへのBNの分散は、グリースの色がむらのない黄白色になるまで、手で攪拌して行った。用いたBNの純度は99%で、平均粒径は約10 μ mである。

荷重は784N、速度は157mm/s一定とし、一回の実験として4時間のすべりを行った。その間、同一試験片についてすべり距離にともなう摩擦の変化を調べるために、1時

間後と2時間後に運転を一旦停止して測定を行った。鉱油は摩擦面が常に油面下にあるように油槽に満たし、またグリースはローラ試験片の回りに十分塗布することによって、摩擦面に供給した。油の初期温度は80°Cにしたが、グリースの場合は室温(17~23°C)である。

3.2 摩耗

3.2.1 鉱油潤滑の場合

すべり距離にともなう摩耗量の変化を、図2に示す。BN添加油の摩耗は、SUJ2、PBC2とも無添加油に比べて著しく少なくなっており、BNの添加効果が認められる。その効果は、SUJ2の場合はすべり距離の全域にわたってみられるが、PBC2では初期の段階のみに強く現れている。

本実験における摩擦面は、すべり初めは線接触であるが摩耗の進行にともなって面接触状態になり、面圧が低下する。PBC2の摩耗量はSUJ2より多いので、その面圧の低下は比較的短いすべり距離で生ずる。この結果から判断すると、BNの添加効果は面圧の高い状態でのみに現れるようである。

3.2.2 グリース潤滑の場合

図3に結果を示す。鉱油潤滑の場合と同様に、BNの添加効果がいずれの試験片についても認められた。ただしPBC2の結果にみられるように、ばらつきが大きい。これは、摩擦面へのグリースの供給が本実験装置の構成上不確実であり、その影響が現れたものと思われる。また、BN添加グリース中のBNの分散が不均一であった可能性もある⁵⁾。

3.2.3 他の固体潤滑剤との比較

潤滑剤中に単純に分散させたBNに、予想以上の摩耗低

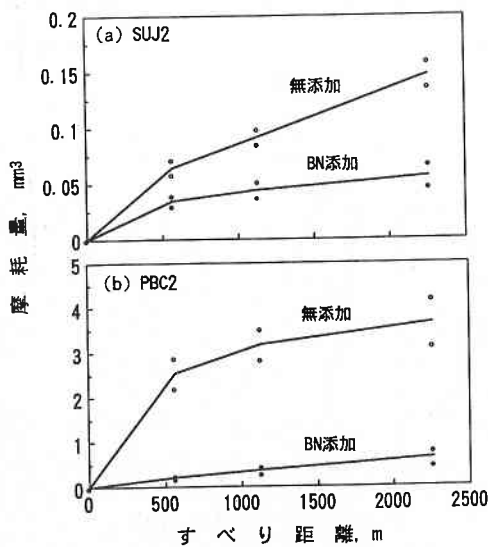


図2 鉱油潤滑における摩耗

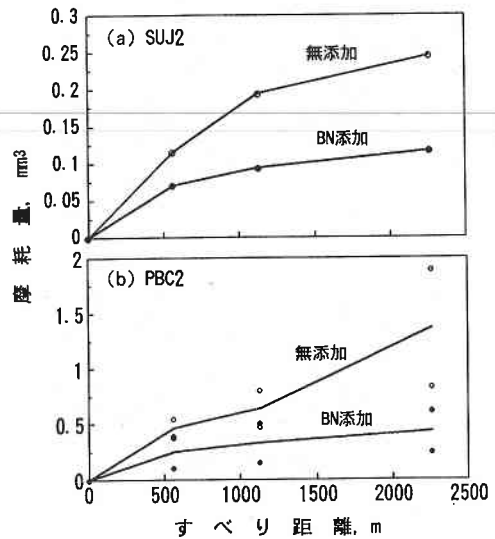


図3 グリース潤滑における摩耗

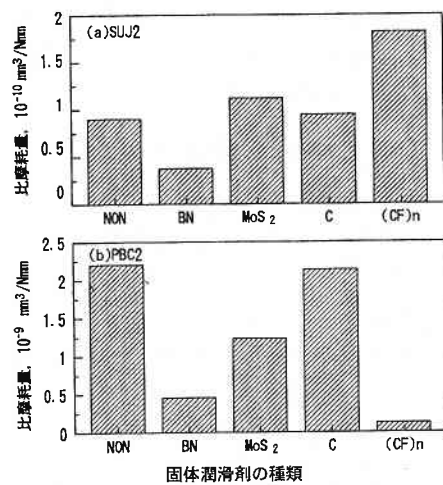


図4 鉱油潤滑における比摩耗量

減効果のあることがわかった。そこでその効果について、現在広く実用化されている他の固体潤滑剤と比較してみた。比較に用いた固体潤滑剤は、層状の結晶構造をもつ二硫化モリブデン(MoS₂)、黒鉛(C)、ふっ化黒鉛((CF)n)の3種類で、平均粒径約5μmのものを用いた。用いた鉱油・グリース、添加量および実験条件はBNの場合と同じである。

図4に鉱油中に、また図5にグリース中に分散させた場合の結果を示す。BNの場合にはすべての条件において摩耗低減効果が認められるが、比較した3種類の固体潤滑剤の添加効果は、図4(b)の(CF)nの結果を除いてBNより小さく、この条件ではいずれの場合にもあまり認められなかった。

研究速報

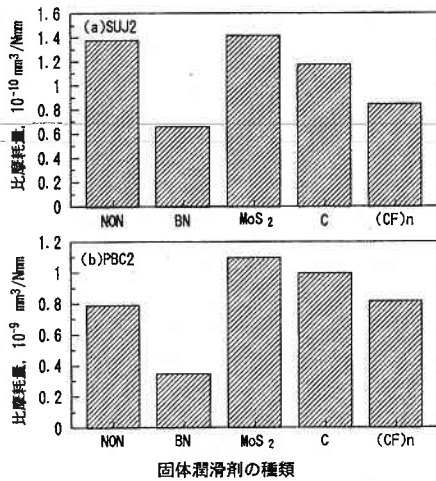


図5 グリース潤滑における比摩耗量

固体潤滑剤の性能は、同一のものであっても、その適用法によって大きく異なることが知られており⁶⁾、この結果から相対的な優劣を論ずるつもりはないが、BNがこれら比較の対象とした固体潤滑剤と同等以上の潤滑効果を示す可能性はあるものと結論される。

4. BNの添加効果の発生条件

前章の結果から、BN添加潤滑剤に摩耗低減効果のあることがわかったが、そのような結果の得られる条件は明らかでない。そこでBNの濃度、結晶性および分散剤の種類等を変えて実験を行い、BNの添加効果が現れる条件を調べた。分散剤は、潤滑油中の固体潤滑剤の粒子の分散安定性を高めるために一般に用いられているが、それによって固体潤滑剤の添加効果が影響されるといわれている⁵⁾。

4.1 潤滑剤・実験条件

BNは前述のパラフィン系鉱油に添加して使用した。用いたBNは表1に示す2種類で、GPは純度が高く、結晶化度100%のものであり、SPは、粒径は小さいが、純度・結晶化度もGPより低い。表2に使用した分散剤とそれを加えたときのBNの分散性を示す。分散剤の種類によって分散安定性は異なるが、いずれの分散剤を用いても20時間後にはほとんどのBNが沈殿した。なお分散剤を用いない場合には、表2の注記に示す安定性は2時間後にすでに1%以下で、20時間後にはほぼ完全に沈殿した。

実験条件等は前章とほぼ同じであるが、ローラ試験片にはSUJ2のみを用い、油温は40°Cにした。なお本章の実験は、BNの沈殿の影響を避けるために、回転軸に羽根を取り付け、潤滑油を常に攪拌した状態で行った。

表1 BNの物性

BNの種類	BN純度 (%)	B ₂ O ₃ 量 (%)	平均粒径 ^{*1} (μm)	結晶性	
				半価幅 ^{*2}	黒鉛化指数 ^{*3}
GP	99.1	0.1以下	2.7	0.2	1.0
SP	95.8	0.4	1.1	0.7	—

*1: ミクロンフォトサイザーによる値
 *2: CuKαによる(002)面の回折線(2θ=26.6)の値
 *3: 高角度回折線の積分強度より算出; SPは強度微弱のため算出不能

表2 用いた分散剤とBNの分散性

分散剤の種類		GPの分散安定性(%) ^{**}	
記号	名称	2時間後	20時間後
A	メタクリレートコポリマー	74	7.4
B	ソルビタンモノオレエート	85	0.5
C	ジオクチルスルホコハク酸ナトリウム	21	5.1

*: メスリンダー中に所定時間静置後、上半分の油中に残存したBNの割合(分散剤の濃度3wt%)

4.2 摩耗

4.2.1 BNの濃度および種類の影響

分散剤を使用しないでBNの添加濃度のみを変えた場合の、全すべり距離にもとづく比摩耗量をBNの濃度に対してプロットしたのが図6である。比摩耗量は、GP、SPとも比較的低い濃度において、無添加鉱油の場合に比べ一桁以上も減少することがわかる。このような効果の現れる濃度はBNの種類によって異なり、GPの場合には濃度1wt%あたり、SPではそれより高濃度になるように見える。

この違いの理由は明らかでないが、表1に示すように結晶性に差があるため、結晶のBNのみに摩耗防止作用があるとすれば、結晶性の低いSPではその添加効果がより高濃度において現れるものと考えられる。

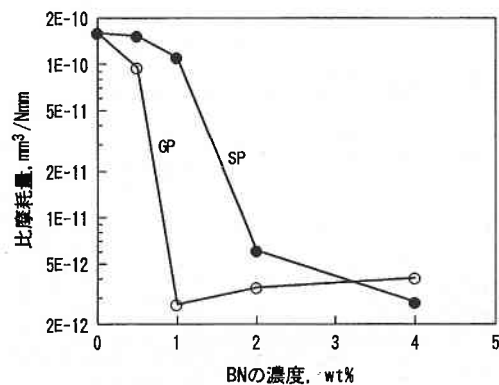


図6 BN濃度と比摩耗量

4.2.2 分散剤の影響

分散剤を 3 wt% 加えた鈹油に窒化ほう素 GP を分散させて前項と同様の実験を行い、分散剤の影響を調べた。その結果を図 7 に示す。BN 濃度 0 % の比摩耗量は分散剤のみを添加した場合であり、その値は分散剤の種類によって異なるが、いずれの分散剤を用いた場合にも比摩耗量は BN 濃度の増加にともなって減少していき、BN の添加効果が認められる。しかしその効果は、分散剤を使用しない場合に比べてはるかに小さく、かつ分散剤の種類によって大きく異なっている。

前述したように、本章の実験は攪拌しながら摩擦を行っているため、上記分散剤の影響には本来の目的である分散安定性の向上効果はほとんど見られず、摩擦面における作用が大きく現れたものと考えられる。その働きについては後述する。

4.3 摩擦面の観察

窒化ほう素 GP を 2 wt% 添加した場合の摩擦面の光学顕微鏡写真を、図 8 に示す。写真 (a) は分散剤を使用しない場合の摩擦面であり、金属光沢部より幾分盛り上がっている青味がかかった付着物（写真の黒い部分）が観察された。この付着物は、EPMA で分析したところほう素の酸化物であることがわかった。付着した BN が酸化したものであると思われる。そして付着物は、分散剤 A を使用した場合

(写真 (b)) には摩擦面の前方部だけに主としてみられ、分散剤 C (写真 (c)) ではまったく観察されなかった。

比摩耗量は、写真からも明らかなように、(a) (b) (c) の順に多くなっていき、付着物の存在が摩耗防止に大きな役割を持っていたことが推察される。そして分散剤は BN の摩擦面への付着を防ぎ、その程度が分散剤の種類によって異なるために、図 7 のような摩耗特性を示したものと解釈できる。

5. ま と め

窒化ほう素 (BN) の粉末を潤滑剤中に分散させて鋼のすべり摩擦面に適用し、その添加効果を調べた結果、以下のことがわかった。

- (1) BN は、現在広く実用化されている他の固体潤滑剤と同等以上の摩耗低減効果を示す可能性がある。
- (2) その効果は、BN を 1 ~ 2 wt% 以上の高濃度で添加し、攪拌を十分に行うと現れる。
- (3) 摩耗低減効果の BN の濃度による変化は、BN の種類に依存し、特にその結晶性の影響が大きい。
- (4) 上記条件における摩耗低減効果は、分散剤の添加によって削減される。これは BN の摩擦面への付着が妨げられることによるものと解釈される。

おわりに、窒化ほう素の粉末は電気化学工業㈱に、また分散剤は小桜商会に提供して頂いたことを申し添え、お礼を申し上げます。
(1993年12月2日受理)

参 考 文 献

- 1) 例えば、潤滑, 19, 11 (1974)
- 2) 笠原又一：月刊トライボロジ, 6, 12, 通刊 No64 (1992) 8.
- 3) 石井正司・吉川豊祐：潤滑, 19, 10 (1974) 702.
- 4) 西川 洋：潤滑経済, 312, 6 (1992) 54.
- 5) 淵上 武：潤滑経済, 312, 6 (1992) 29.
- 6) 津谷裕子：潤滑, 28, 5 (1983) 315.

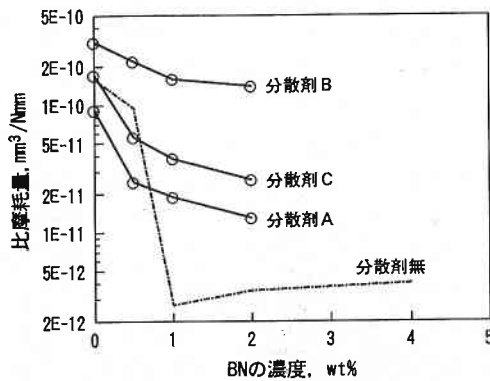


図 7 摩耗に及ぼす分散剤の影響

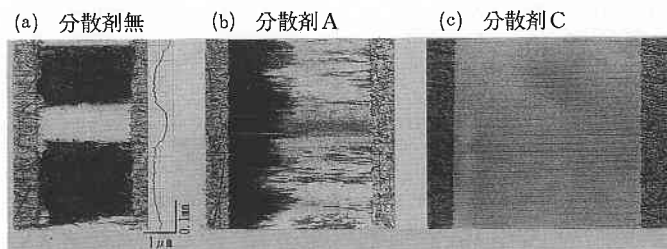


図 8 摩擦面の顕微鏡写真 (GP 2wt%) 摩擦方向は左から右