

図3-5から、洗浄過程を経る場合は、溶液No. 1からNo. 2へ界面活性剤の濃度を増加させると吸着量が比例して増加するが、溶液No. 3にまで濃度を増加させても吸着量はNo. 2とほとんど変わらず、IPA100ccに界面活性剤1gの比率の添加量で吸着量がほぼ飽和することがわかる。洗浄過程を経ない場合は、界面活性剤添加量を増すほど吸着量が増大し、しかも洗浄過程を経るよりも当然の事ながら吸着量が多い。

洗浄過程を経ない場合には、界面活性剤は二硫化モリブデンに直接吸着する(この吸着量は二硫化モリブデンの表面積によって決まる)だけでなく、さらにその上にファンデルワールス力などによって何重にも間接的に吸着し、全体として吸着量が増えるものと考えられる。

一方、洗浄過程を経ると、このような間接吸着した界面活性剤の吸着力は弱いので洗い落とされ、表面に直接強く吸着した界面活性剤のみが残ると考えられる。

(3) 界面活性剤吸着条件の選定

(2)の結果から、適正な範囲で界面活性剤の吸着量ができるだけ多くなる吸着条件の候補として、次の2種を選定した。ひとつはNo. 2の溶液を使用して洗浄過程を経るもの、もう一つは同じくNo. 2の溶液を使用するが洗浄過程を経ないもの、である。前者は、二硫化モリブデン表面全体が直接吸着する界面活性剤で覆われるが、間接吸着がなく、しかも界面活性剤の使用量が溶液No. 3よりも少なくて済む条件である。もうひとつは、直接吸着だけでなく間接吸着の界面活性剤が過剰に二硫化モリブデン表面を覆う条件である。これら二つの吸着条件で作製した試料、および界面活性剤を一切吸着させない二硫化モリブデンの計3種類について、SUS304を下地基盤とし、二硫化モリブデンの体積含有率を30~35%、バインダはフェノール樹脂として、スプレーコーティングで厚さ約10 μ mに成膜後、150 $^{\circ}$ Cで1時間焼成して被膜を作製した。これらの焼成被膜に対して鋼球を手で押し当てて摩擦し、被膜のひび割れやはく離に注目して、被膜強度や下地への付着性を確認した。

この結果、洗浄過程を経ず、界面活性剤を間接吸着させた試料の焼成被膜は、鋼球を軽く押し当てて摩擦するだけで被膜にひびが入り、はく離した。これは被膜原料液中の溶剤に間接吸着界面活性剤が溶けだし、バインダ用樹脂成分の正常な結合を防げて、被膜の強度や下地への付着性を低下させたためと考えられる。しかし、他の二つの焼成被膜ではこのような現象は見られなかった。

溶液No. 2の混合比率と洗浄過程の採用を含む標準吸着法は、以上の予備実験より決定

された。

3.3 摩擦摩耗特性の評価

3.3.1 実験方法

試験機は図3-6に示すピンオンディスク試験機で、全体が真空チャンバ内に収められる。被膜はディスク(SUS304)側にのみ付けた。ピンは3/8インチ(直径約9.5mm)軸受鋼球SUJ2を用いた。鋼球の表面粗さはRmax0.2 μ mである。試験条件を表3-3に示す。表3-3中の試験雰囲気で vac \rightarrow air は、真空中での試験を行なった後、一旦ディスクの回転を停止し、チャンバを開放して実験室大気を導入した後、すぐに試験を再開したものである。なお、真空排気はロータリポンプとターボ分子ポンプによって行った。

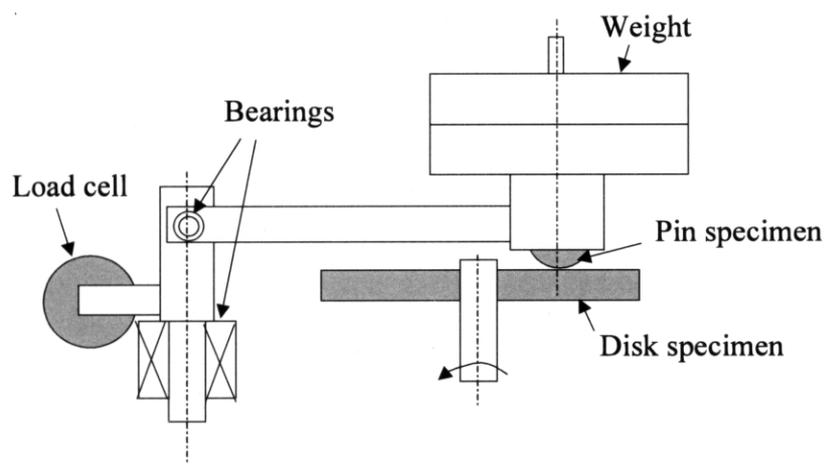


図3-6 ピンオンディスク試験機構造

表3-3 ピンオンディスク試験条件

| No. | MoS ₂ | Load N | Atmosphere | Wear track diameter Mm | Rotational speed rpm | Test duration min. |
|-----|------------------------|-----------------------|------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| 1 | Pure | 2.9 | air | 45 | 270 | 70 |
| 2 | | 9.8 | | 35 | | 30 |
| 3 | | | | 40 | | 70 |
| 4 | | vac \rightarrow air | 40 | 60 \rightarrow 30 | | |
| 5 | Surfactant adsorbed | 2.9 | air | 45 | 270 | 70 |
| 6 | | 9.8 | | 35 | | 30 |
| 7 | | | | 40 | | 70 |
| 8 | | vac \rightarrow air | 40 | 60 \rightarrow 30 | | |

vac: 10⁻³Pa level, 25~27°C

air: laboratory air, 25~27°C, RH 60~70%

3. 3. 2 実験結果

図3-7に摩擦係数の推移を示す。図3-7(a), (b)は大気中の試験結果を示す。界面活性剤を吸着させた場合とさせない場合の二硫化モリブデン焼成被膜(以下それぞれ吸着型被膜, 未吸着型被膜という)の摩擦係数を比較すると, 吸着型被膜の方が未吸着型被膜より10%~20%程度小さい。

一方, 図3-7(c)より, 吸着型被膜, 未吸着型被膜の摩擦係数は真空中ではほぼ等しいが, 大気環境にして引き続き試験すると, 吸着型被膜の摩擦係数が20%程度小さく, 図3-7(a), (b)に示した大気中のみの試験と同様である。

図3-8(a)~(c)に異なる試験条件での被膜の摩耗痕断面形状を示す。摩耗痕断面積から求めた被膜の摩耗量は, 吸着型被膜の方が未吸着型被膜より小さい。

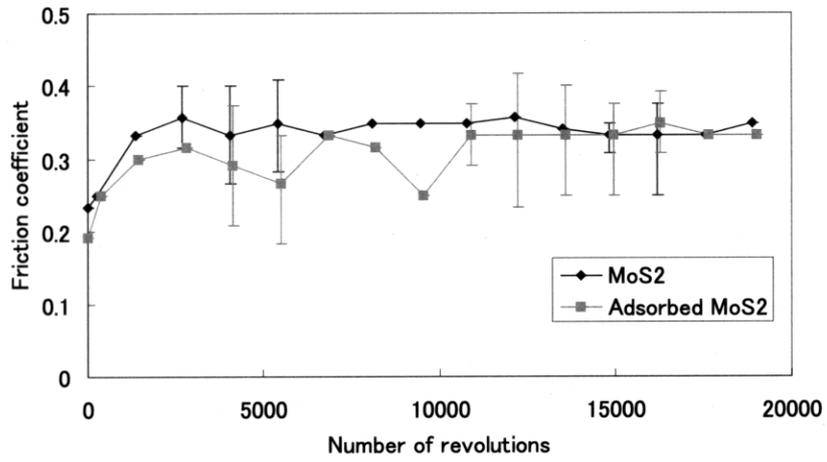
図3-9に摩耗痕直径から求めたピンの摩耗量(摩耗体積)を示す。吸着型被膜の場合のピンの摩耗が未吸着型被膜よりもかなり少ない。荷重9.8N, 70分の試験を除き, 吸着型被膜は未吸着型被膜の半分程度である。荷重9.8N, 70分の試験では特に差が大きい。

3. 3. 3 考察

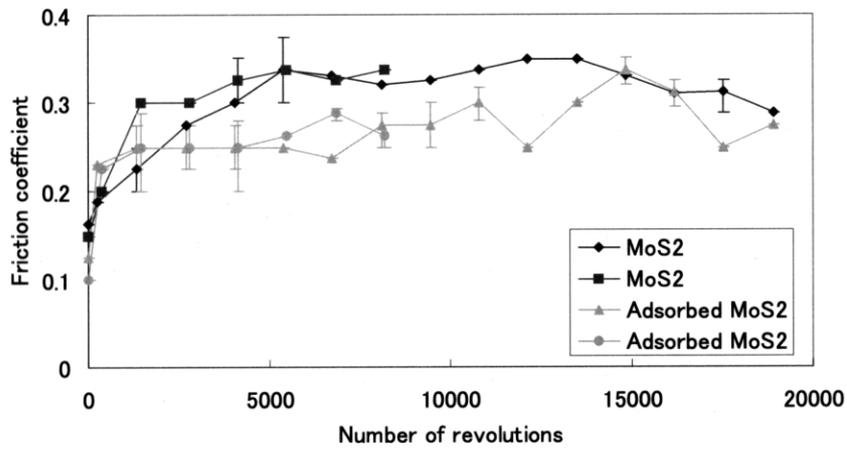
以上のように二硫化モリブデンに界面活性剤を吸着することで大気中の摩擦係数, 被膜摩耗, ピン摩耗が減少し, トライボロジー特性が改善されることが実証された。以下, 摩擦係数, 被膜摩耗, ピン摩耗それぞれについて検討する。

まず摩擦係数について検討する。吸着型被膜の未吸着型被膜に対する大気中摩擦係数の減少率は20%程度であった。界面活性剤が二硫化モリブデンへの水分吸着を防止することにより, 吸着型被膜の大気中摩擦係数は, 理想的には真空中での値と同じ程度(大気中の $1/6 \sim 1/4$)になることが期待されたことから考えると, この減少率は小さい。真空中では吸着型被膜と未吸着型被膜で摩擦係数が変わらなかったことから, 界面活性剤自体の摩擦係数は真空中の二硫化モリブデン焼成被膜の摩擦係数と同等と考えられ, 界面活性剤の摩擦はこの原因ではないと思われる。

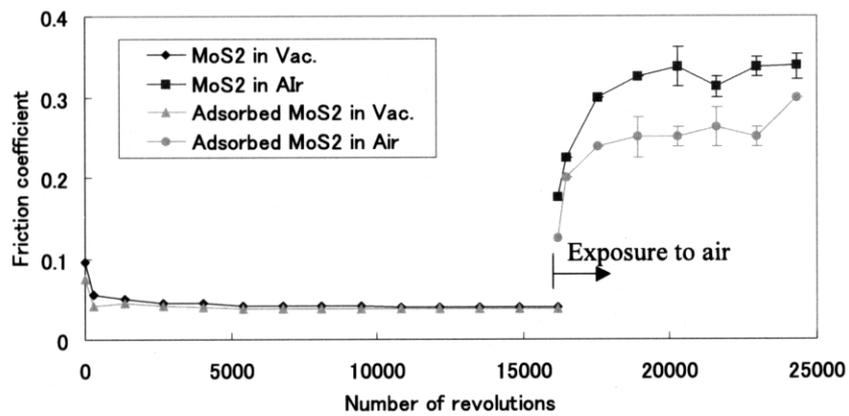
吸着型被膜の摩擦係数が期待より大きかった原因としては, 界面活性剤による二硫化モリブデン表面の被覆が完全でなく, 水分子の吸着が完全には防止されなかったことが考えられる。これは二硫化モリブデン表面の界面活性剤吸着サイトの一部が未吸着であったことによるか, あるいは, 水分子に比較すると界面活性剤分子がかなり大きいために, 界面活性剤の隙間を縫って水分子が吸着したことによるものと考えられる。また, 他の原因として, 摩擦により粒



(a)



(b)



(c)

図3-7 摩擦係数の推移

(a) 荷重2.9N大気中 (b) 荷重9.8N大気中 (c) 荷重9.8N真空中→大気中

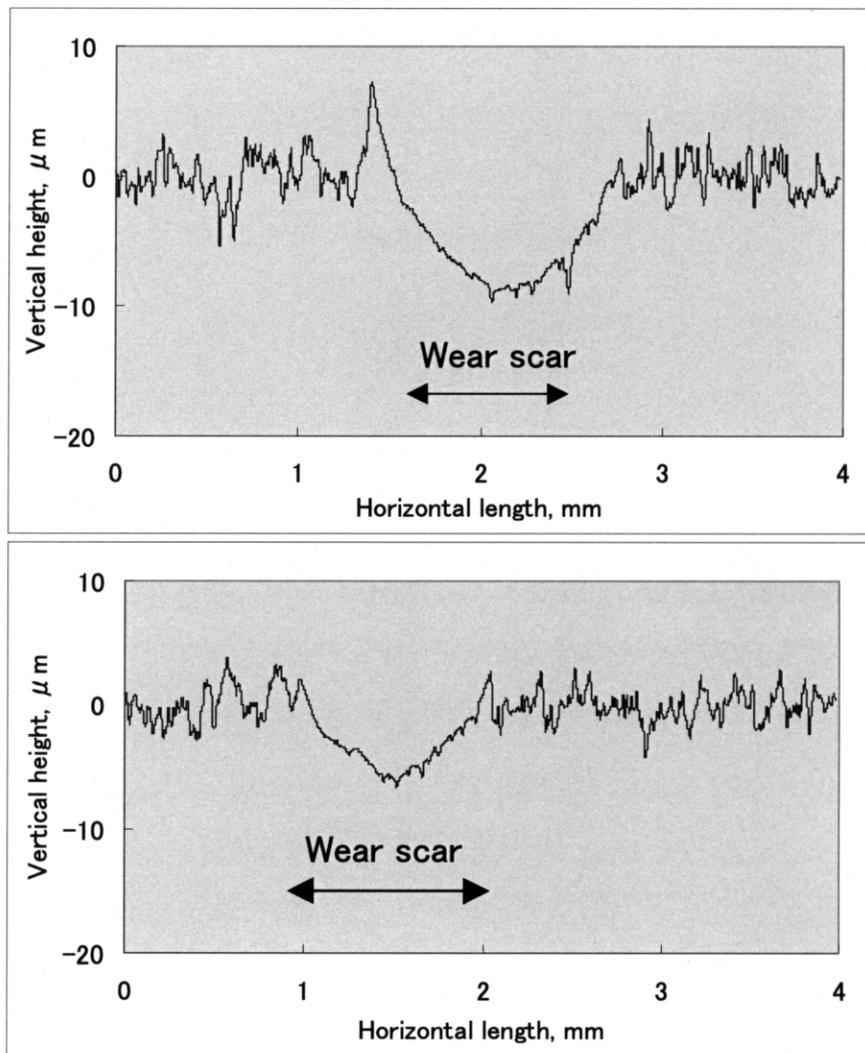


图3-8(a) 被膜磨损痕横断面形状 荷重2.9N70分

上:活性剂未吸着 下:活性剂吸着

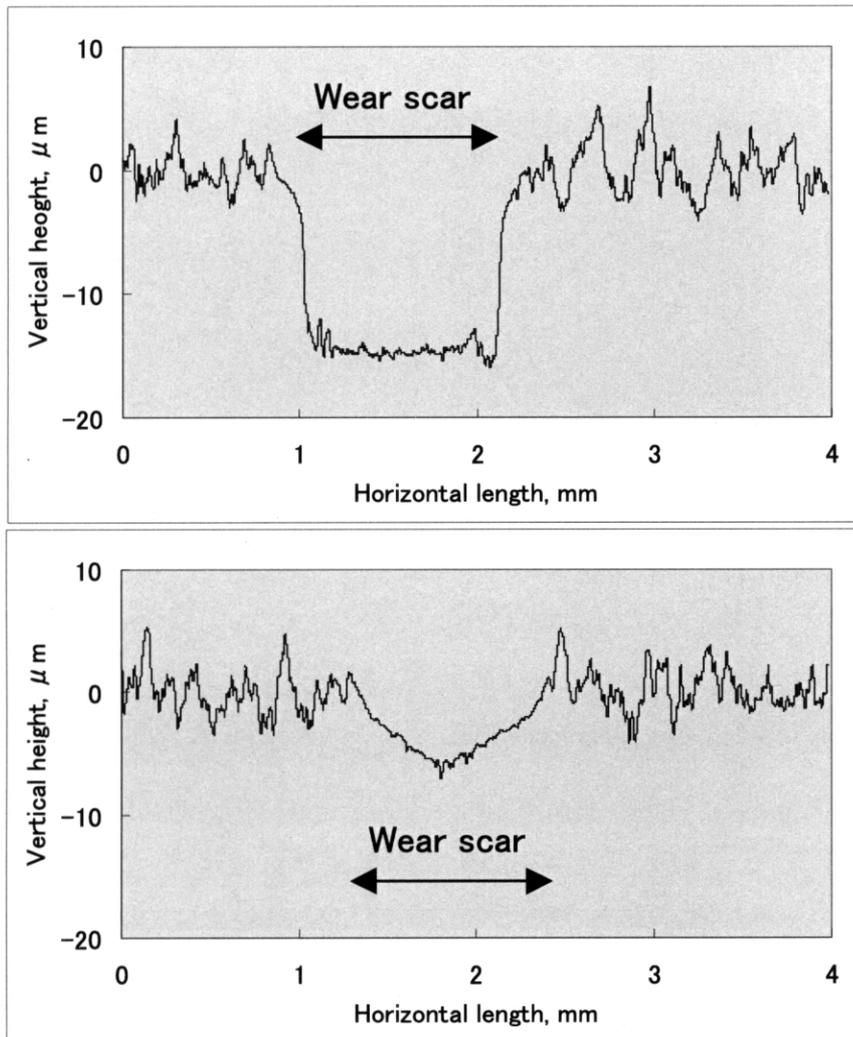


图3-8(b) 被膜摩耗痕横断面形状 荷重9.8N30分

上:活性剂未吸着 下:活性剂吸着

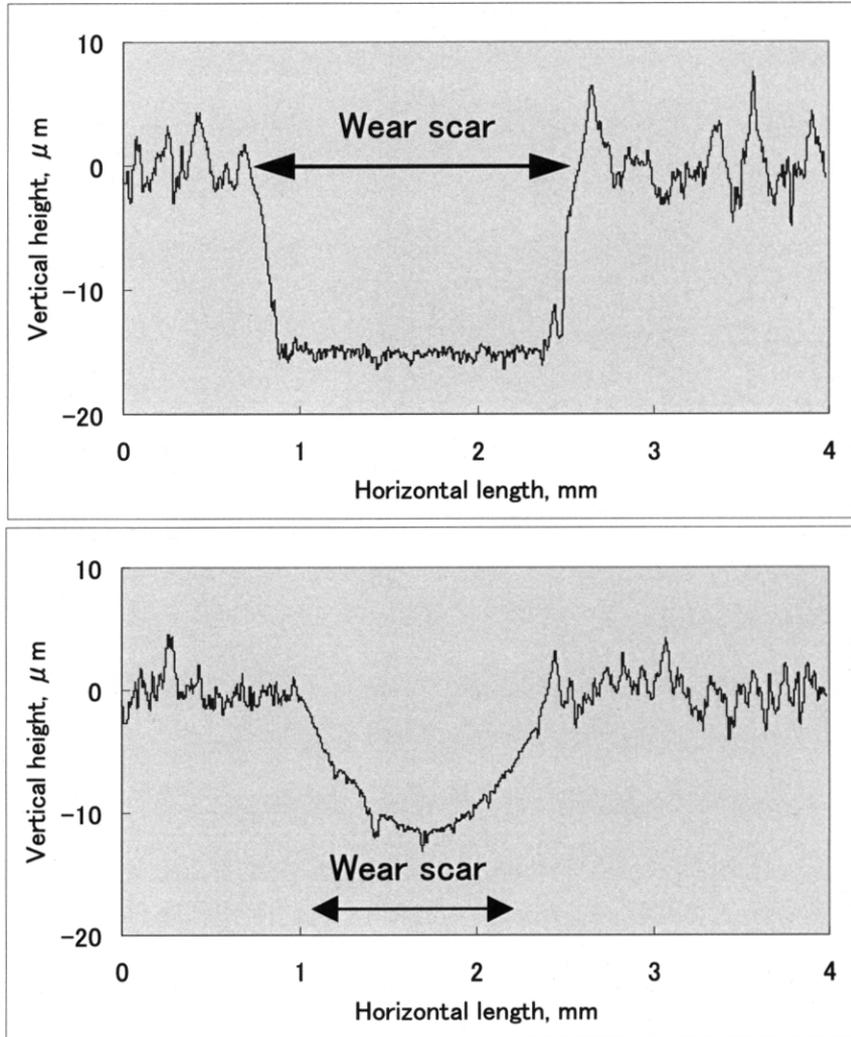


图3-8(c) 被膜磨损痕横断面形状 荷重9.8N70分

上:活性剂未吸着 下:活性剂吸着

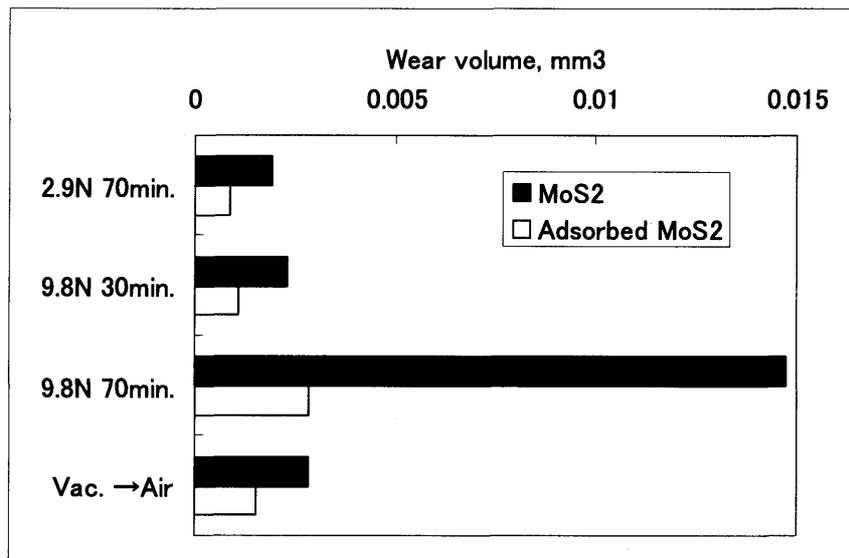


図3-9 ピン摩耗量

子内の結晶粒界ですべりが生じて新たにすべり面が発生し、このすべり面には界面活性剤の吸着はないために摩擦係数が大きくなったことが考えられる。

次に被膜の摩耗について検討する。摩耗痕の光学顕微鏡観察によると、すべての試験の摩耗痕は下地に達しており、試験中に被膜はく離が起こったことを示している。被膜はく離までの時間は摩耗痕からは推定することはできない。しかし、図3-8に示したように、未吸着型被膜の摩耗痕形状は逆台形であり、これはピンと下地の接触によりピン先端が大きく平坦に摩耗したことを示すものであるのに対し、吸着型被膜の摩耗痕形状は最下部に短い平坦部の見られる半円形で、これは下地との接触によるピン先端の摩耗が小さいことを示すものであるから、未吸着型被膜が吸着型被膜に対してかなり早い時点で被膜はく離を起こしたのは明らかである。

この被膜はく離時期の違いは、図3-9のピンの摩耗量の違いにより顕著に現れている。同じ9.8 Nの荷重で試験時間が30分と70分のデータを比較すると、吸着型被膜ではピン摩耗量も摩擦時間の比と同程度の1:2強を示すのに対し、未吸着型被膜ではピン摩耗量は1:6程度になる。これは吸着型被膜では被膜はく離が遅く、半円形の摩耗痕が示唆するように、はく離後の摩擦中もピンは主として被膜と接触していたために、ピンの摩耗量は主に被膜との摩擦による比摩耗量によって決まり、したがって時間にほぼ比例したものと考えられる。一方、未吸着被膜では早期に被膜がはく離したために、ピンの摩耗量は被膜との摩擦によるものと、それに比べると比摩耗量がかなり大きい下地との摩擦によるものの和になり、特に70分の試験

においては30分の試験に対し、下地との摩擦時間が相対的に長いために、特に大きな摩耗量を示したものと考えられる。

3.4 界面活性剤の吸着形態

以下では二硫化モリブデンへの界面活性剤の吸着形態を、いくつかの方法を用いて明らかにする。

(1) 走査型電子顕微鏡による観察

未吸着の二硫化モリブデン粉末、洗浄過程を経ない界面活性剤過剰吸着粉末、上澄み液とともにオープンで乾燥させた界面活性剤「超過剰吸着」粉末の三つについて、電界効果型走査型電子顕微鏡(FE-SEM)で得た像を図3-10(a)~(c)に示す。2種の吸着粉末は未吸着粉末と顕著な違いは見られない。これは過剰な界面活性剤が孤立していくつも凝集するのではなく、連続した一様な膜となって吸着しているために、FE-SEMではとらえられないためと思われる。

(2) 格子定数測定によるインタカレーションの有無

層状結晶構造を持つ物質において、層間が弱いファンデルワールスギャップである場合、ここに物質を挟み込むことができる場合がある。この物質を挟み込む現象、あるいは挟み込むための操作はインタカレーションと呼ばれる(たとえば文献[18])。Somoanoら[19]によれば、二硫化モリブデンもインタカレーションを起こしやすい。したがって界面活性剤も単に粒子表面に吸着するだけではなく、層間にインタカレートする可能性があり、そうなれば界面活性剤が二硫化モリブデンの表面にだけ吸着する場合に比べてトライボロジー性能が大幅に改善されるものと考えられる。そこで、二硫化モリブデン結晶層間への界面活性剤のインタカレーションの有無について調べる。

インタカレーションを起こしていれば、層間の距離が広がっているはずである。そこで、X線回折により、界面活性剤を吸着させるが未洗浄の二硫化モリブデン粉末、吸着洗浄粉末、および未吸着粉末の格子定数を調べた結果を表3-4に示す。これより、3種類の粉末間に格子定数の有意な違いは見られないことは明らかである。なお、吸着未洗浄粉末では他の粉末とわずかに異なる値を得たが、おそらく過剰な界面活性剤が測定に影響したものと思われ、測定誤差としてよい。したがって二硫化モリブデンの層間への界面活性剤のインタカレーションはおこっていないと考えられる。界面活性剤の分子は炭素原子が十個以上つながったもので、二硫化モリブデン分子層間隔に対しおそらく一桁程度大きいために、層間に界面活性剤分

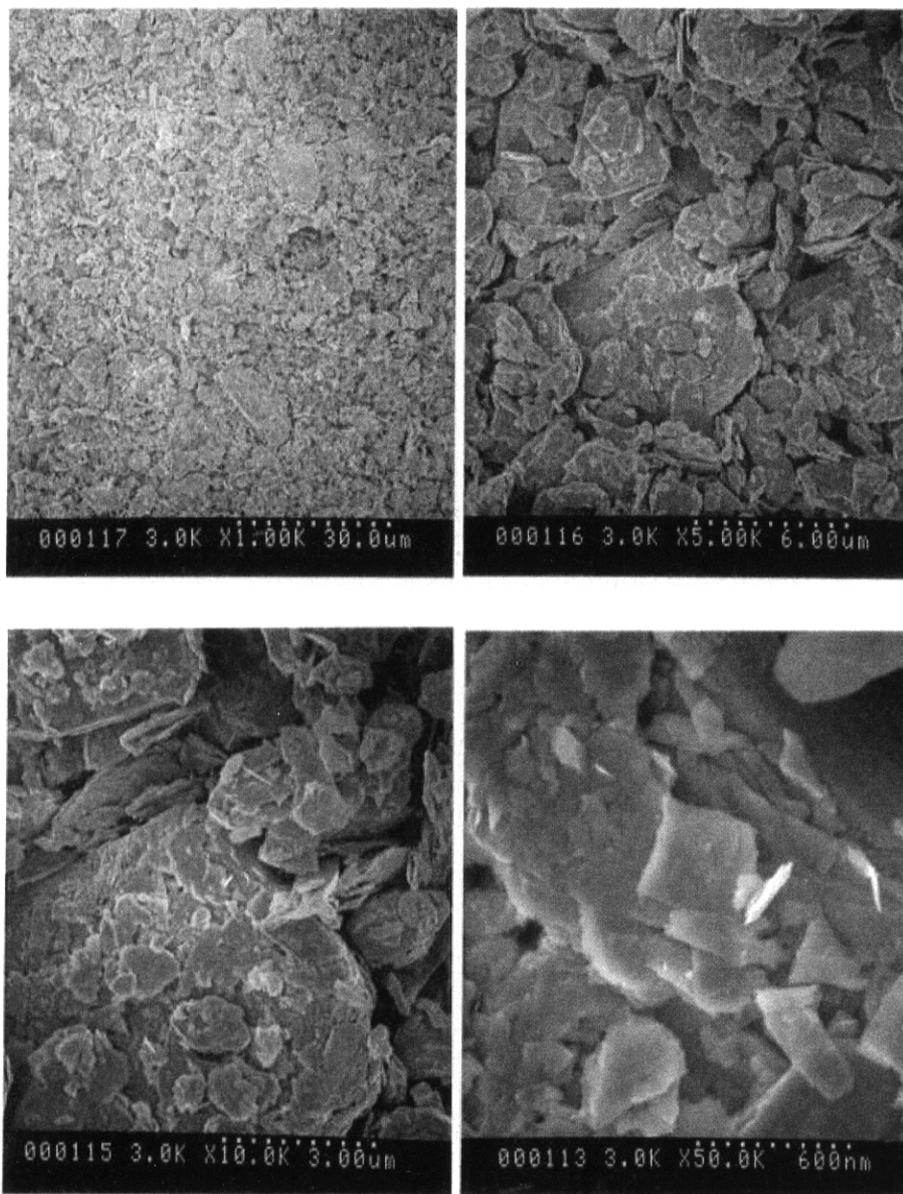


図3-10(a) 二硫化モリブデン粉末SEM像：活性剤未吸着粉末

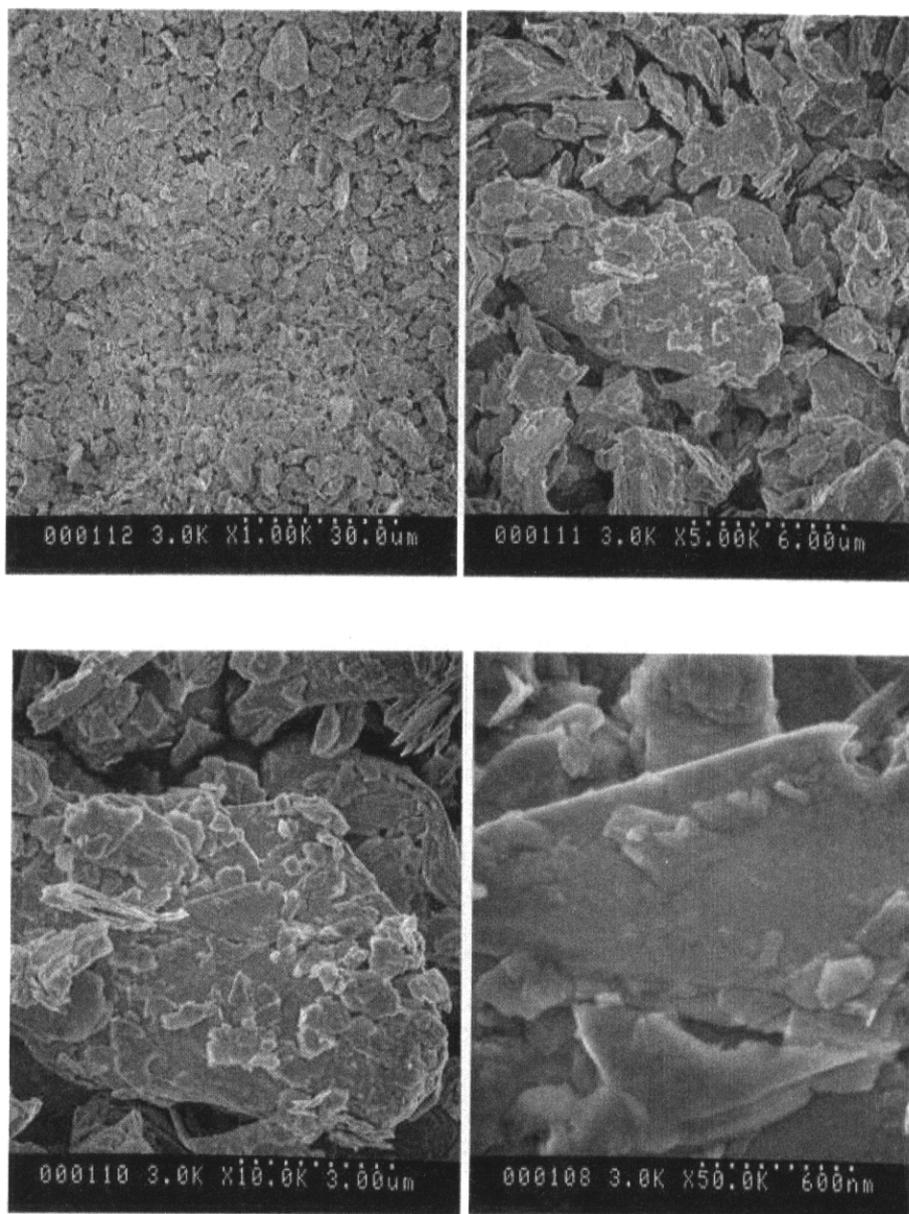


図3-10(b) 二硫化モリブデン粉末SEM像： 活性剤吸着粉末, 洗浄過程省略

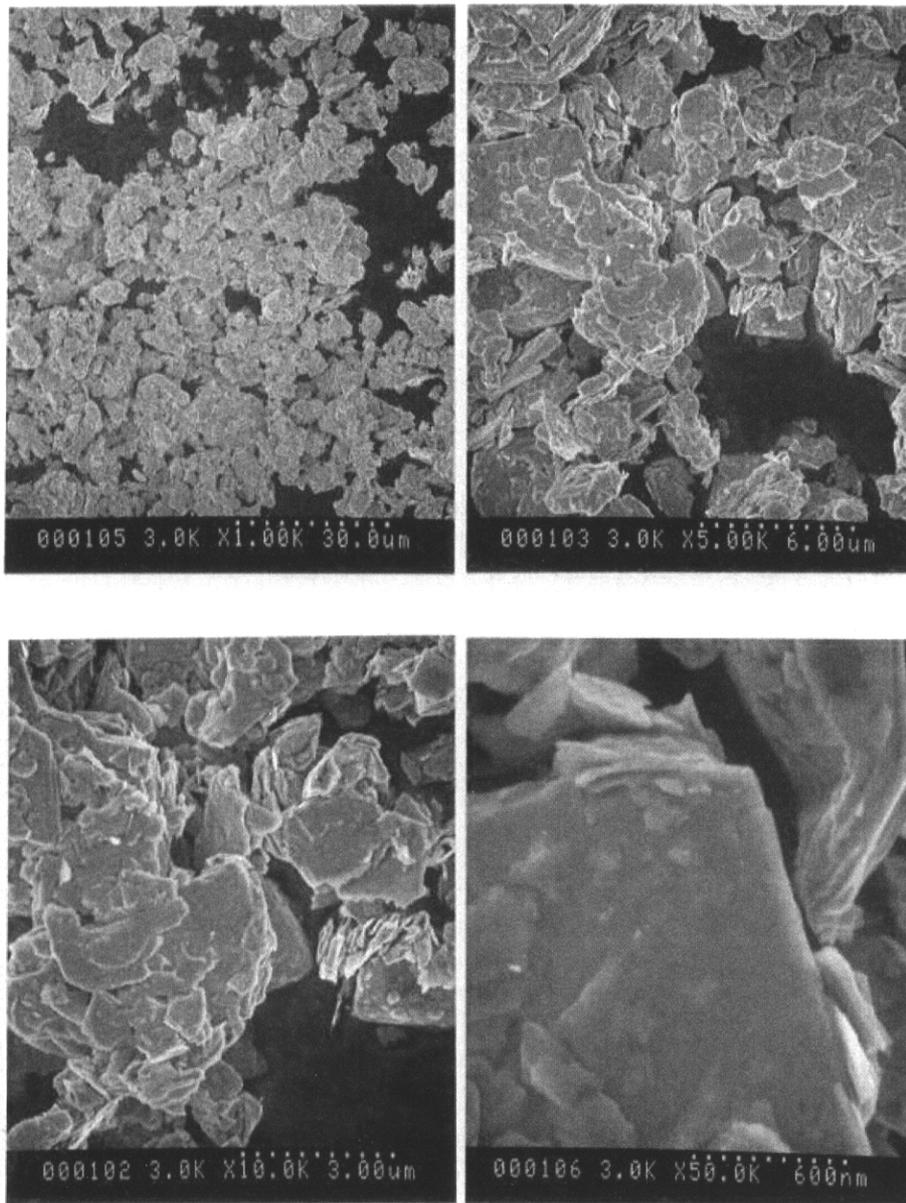


図3-10(c) 二硫化モリブデン粉末SEM像： 活性剤吸着粉末，上澄み液強制乾燥

表3-4 格子定数測定結果

| Sample MoS ₂ | (001) c: Å | (h00) d: Å | a: Å |
|-------------------------|------------|------------|-------|
| Excessively adsorbed | 12.337 | 2.732 | 3.154 |
| Adsorbed and washed | 12.346 | 2.736 | 3.159 |
| Pure | 12.346 | 2.736 | 3.159 |

子が侵入することができなかつたものと思われる。

(3) 結晶面による吸着量の違い

(1)と(2)の測定から、界面活性剤は二硫化モリブデン粉末粒子の表面にのみ非常に薄い、一様な膜として吸着していると考えられることがわかった。次に二硫化モリブデン結晶の層表面とエッジ面の間に吸着量の違いがあるかどうかを調べる。

そこで、二硫化モリブデン単結晶から1mm角程度の大きさの試料をカッターで切出し、界面活性剤の吸着処理を施してX線光電子分光法(XPS)により酸素原子Oと炭素原子Cおよび窒素原子Nについて測定し、層表面とエッジ面への吸着量の違いを推定した。吸着は標準吸着法で用いたのと同じIPA/界面活性剤溶液100ccに試料を2個、30分間浸漬し、内1個は引き上げ後すぐにIPA100ccに浸漬、攪拌して洗浄し、取り出して常温で自然乾燥させた(以後これを洗浄品と呼ぶ)。残りの1個は界面活性剤溶液に同様に浸漬後、取り出して洗浄せず、常温で自然乾燥させて(以後これを未洗浄品と呼ぶ)。さらに、残りの試料は吸着処理しないで使用した(同じく未吸着品と呼ぶ)。

図3-11(a-1)~(f-2)は、上記3種の試料のO1sとC1sの測定強度を示す。Oは界面活性剤の陰イオン部分であるカルボキシル基および結晶表面に付着したコンタミネーションに由来し、Cは界面活性剤のカルボキシル基と陽イオン部分を構成するアルキル基、およびコンタミネーションに由来すると考えられる。各試料において、O、Cがこれらのどれに主に由来するものかを次に調べる。図3-11の(b-1)および(e-1)にそれぞれ示す吸着未洗浄品のエッジ面でのO、Cのピークの結合エネルギーの値が、他の試料とずれ、Oでは536eV、Cでは288eV付近にある。文献[20]によれば、このO、CのピークはCOO結合由来のものであり、これがカルボキシル基であることを示している。また、他の試料のOはCO、CはCCあるいはCH結合に由来することを示している。これより、カルボキシル基は界面活性剤の陰イオン部分で

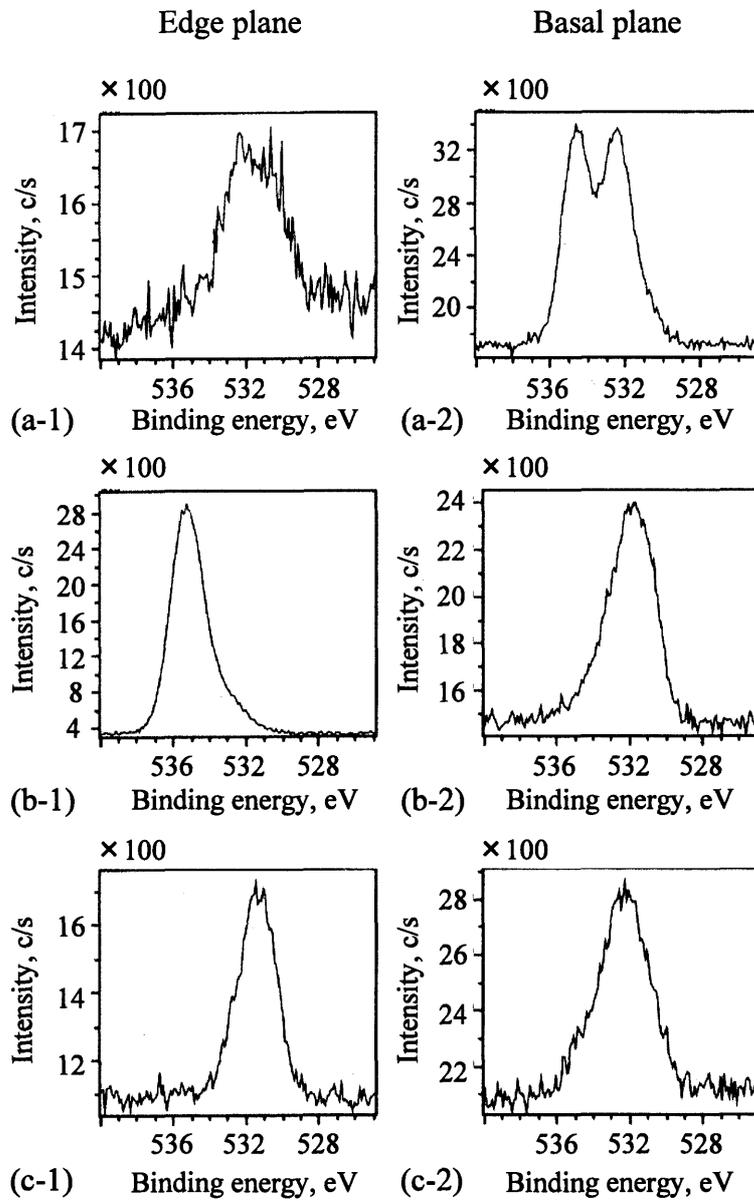


図3—11 界面活性剤吸着二硫化モリブデン結晶におけるXPS測定値:O1s
 (a-1), (b-1), (c-1):各未吸着, 吸着未洗浄, 吸着洗浄結晶のエッジ面
 (a-2), (b-2), (c-2):各未吸着, 吸着未洗浄, 吸着洗浄結晶の層表面

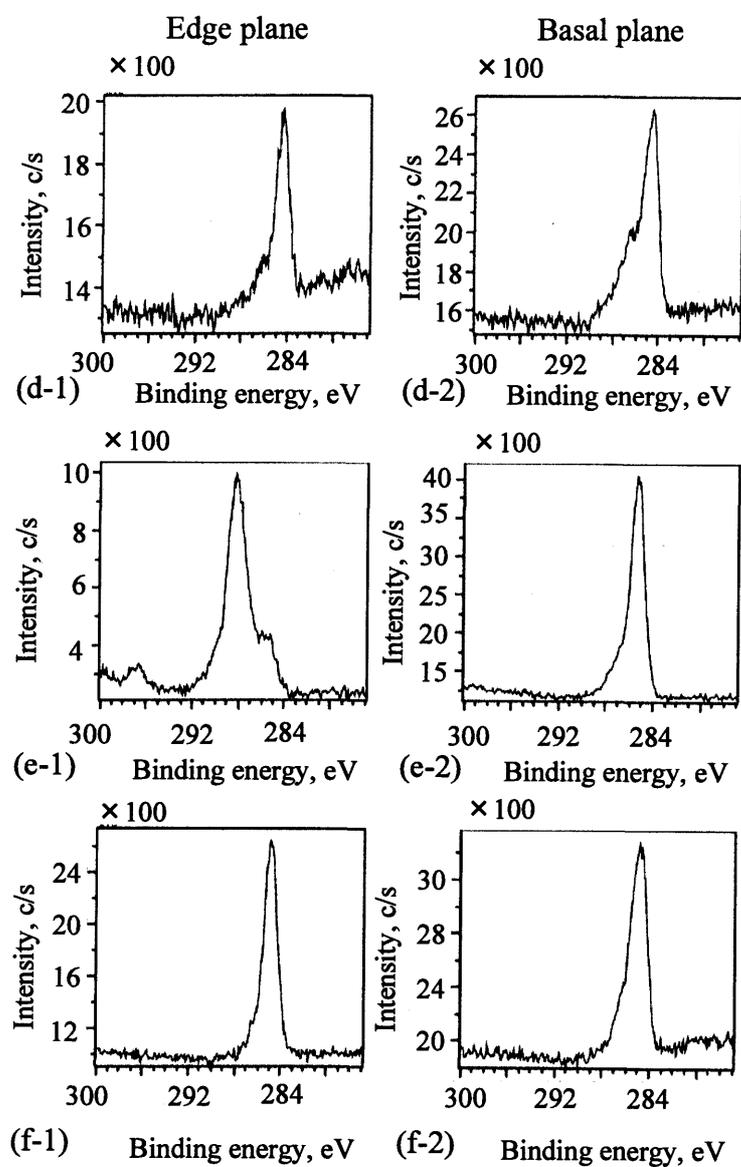


図3-11(続き) 界面活性剤吸着二硫化モリブデン結晶におけるXPS測定値:C1s

(d-1), (e-1), (f-1):各未吸着, 吸着未洗浄, 吸着洗浄結晶のエッジ面

(d-2), (e-2), (f-2):各未吸着, 吸着未洗浄, 吸着洗浄結晶の層表面

あるので、界面活性剤の陰イオン部分は吸着未洗浄品のエッジ面にのみ多く存在し、吸着未洗浄品でも層表面、および他の試料のエッジ面と層表面にはほとんど存在しないと考えられる。

図3-12(a)～(c)は、各試料のエッジ面のN1sピーク周辺の測定値を拡大して示す。吸着未洗浄品の(b)と吸着洗浄品の(c)において見られる、他よりもやや低いブロードな400eV付近のピークに着目すると、これは文献[20]よりアミン結合($[\text{RNH}_3]^+$)のピークと推定され、層表面における測定においても吸着未洗浄品と吸着洗浄品については同様のピークが見られた。界面活性剤の陽イオンとなるのはアミン結合部分であることから、吸着洗浄品と吸着未洗浄品のエッジ面および層表面ともに界面活性剤の陽イオン部分が存在していると考えられる。

以上より、吸着未洗浄品のエッジ面には界面活性剤の陽、陰両イオン部分が存在することから、この面にはイオン化していない界面活性剤が吸着していることがわかる。また、吸着未洗浄品の層表面および吸着洗浄品のエッジ面と層表面には界面活性剤の陽イオン部分のみ存在していることから、これらの面にはイオン化した界面活性剤が吸着していることがわかる。すなわち、間接吸着は主としてエッジ面に起こり、これは洗浄することでほぼ全量洗い落とされる。

次にこれらの吸着物質の量的な関係を検討する。このために図3-11をもとに、Mo強度を規準としてCの強度から求めた原子数比を図3-13に示す。未吸着品の原子数比はコンタミネーションの付着量を表すため、コンタミネーションの量は各資料であまり変わらないとすると、未洗浄品、洗浄品についてはそれらの原子数比から未吸着品の原子数比を差し引いたものは界面活性剤の吸着量を表していると考えられる。したがって、未洗浄品には洗浄品に比較して大量の界面活性剤が吸着しており、特にエッジ面に多いこと、洗浄によって吸着量は大きく低下すること、洗浄品においてもエッジ面の方の吸着量がやや多いことがわかる。洗浄すると特にエッジ面の吸着量が大きく減るが、これは上述のようにイオン化せずに間接吸着していた界面活性剤がほぼすべて洗い落とされるためである。しかし一方、層表面の吸着量も減ることから、イオン化して直接吸着していた界面活性剤も洗浄によってある程度洗い落とされてしまうことがわかる。

(4) ζ 電位

次に界面活性剤の吸着による二硫化モリブデン表面の電気的特性の変化を見るために、蒸留水中の二硫化モリブデン塗布表面のζ電位測定を行った。測定にはガラスプレートの表

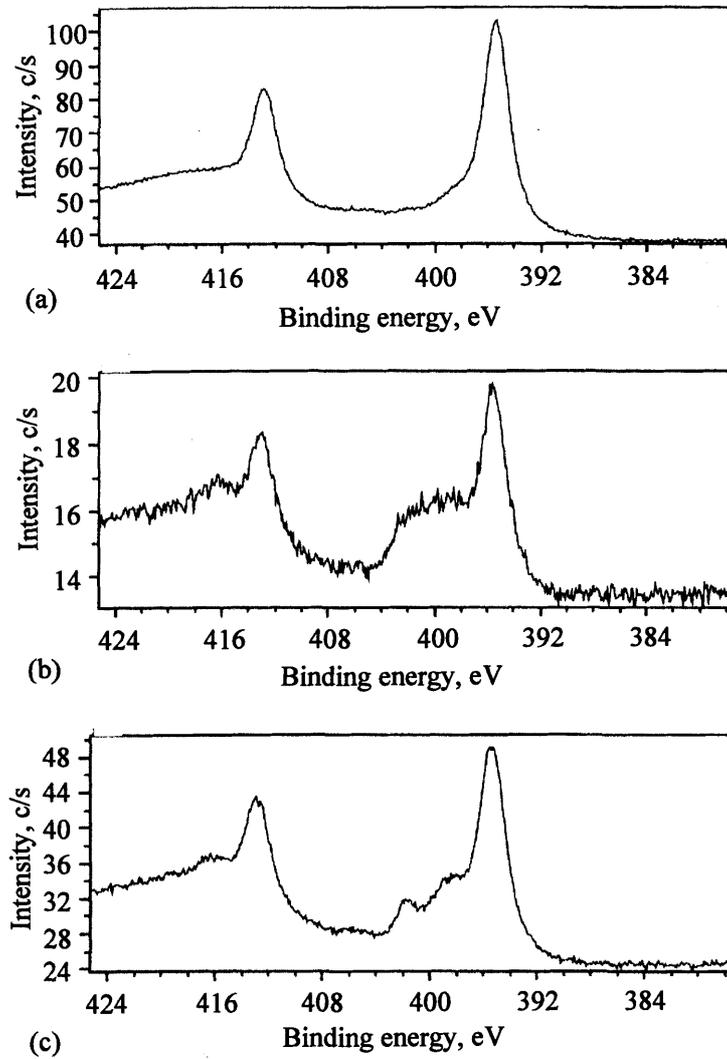


図3-12 二硫化モリブデンエッジ面Mo3pピーク周辺XPS測定強度

(a): 未吸着 (b): 吸着未洗浄 (c): 吸着洗浄

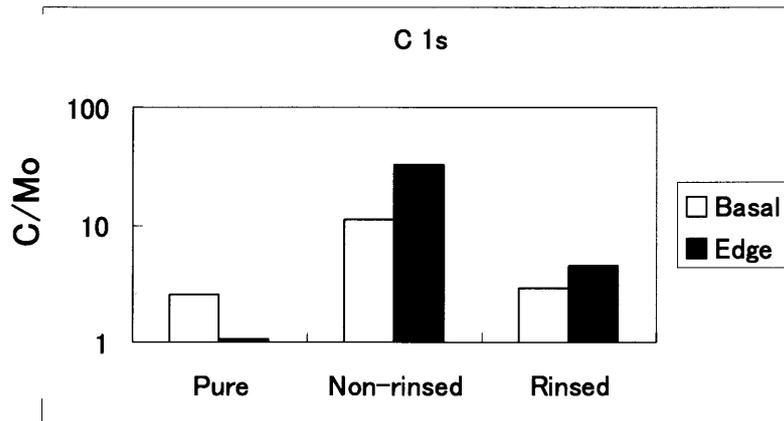


図3—13 界面活性剤吸着二硫化モリブデン結晶におけるC/Mo原子数比

面をサンドペーパーで適当に粗くした後、不織布を用いて未処理あるいは吸着洗浄の二硫化モリブデン粉末をそれぞれ塗り付けて試料とした。塗り付けた厚みについては測定できなかったが、吸着洗浄したものは未処理のものに比べて非常に付着しにくく、肉眼では基板ガラスの色にやや変化が見られる程度で、付着の確認が難しかった。塗り付けた二硫化モリブデンの表面は、機械的配向によって主に結晶層表面が露出していると考えられる。

測定は、石英平板に対抗させて置いた試料との間に溶液(この場合は水)を流し、電場をかけて求めた流速分布から電位を求める非対称電気泳動法によった。図3—14は、流速から換算した電位の測定例を示す。各3回の測定の平均値として、未吸着品で -75.4mV 、吸着品で -19.2mV であった。この測定値から、3.2節で推定したように水中の二硫化モリブデン塗布面は電氣的に陰性を帯びていること、陽イオン性界面活性剤の吸着により負電位の大きさがかなり低下することがわかる。この測定結果から、陽イオン性界面活性剤は二硫化モリブデン層表面の電氣的偏りを吸着により和らげる働きがあり、電氣的に水分子を引き付ける力が小さくなることが示された。

(5) 水の接触角

二硫化モリブデンに界面活性剤を吸着させることによって、疎水性を高めるという本来の目的がどれほど達成されたかを確認するため、吸着処理済みおよび未処理の二硫化モリブデンに対する蒸留水の接触角を測定し、比較した。さらに、焼成被膜にした場合にも接触角の測定を行って比較した。

表3—5に測定対象試料の詳細を示す。未処理および界面活性剤吸着処理(洗浄あり)し

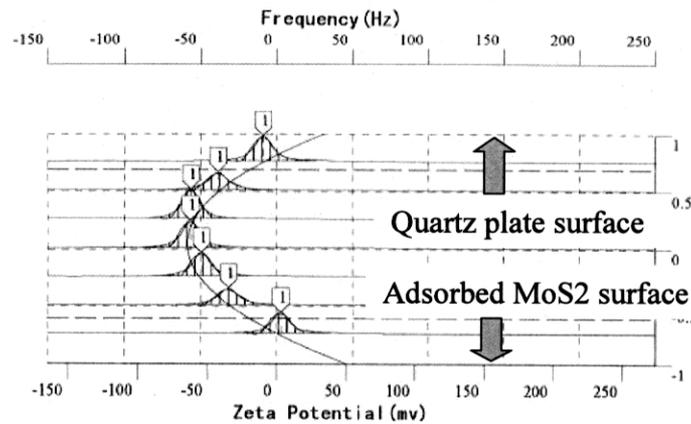


図3-14 流速測定例

た二硫化モリブデンの粉末をステンレス製さじの裏面(凸曲面)を用いてS45C基板に塗り付けた塗布膜, および, それらの二硫化モリブデンを用いて焼成した焼成被膜を試料とした. さらにそれら試料を作製したままの状態のものと, 接触角測定直前にステンレス製さじの裏面を用いて表面を軽く摩擦したものの二通りについて測定を行った. 2番と3番, 7番と8番はそれぞれ同一の吸着処理を行った材料であり, 界面活性剤の吸着の度合いを必ずしも厳密に制御できないため, 吸着の程度のばらつきの影響を調べるため2つずつ用意した. なお, 焼成被膜は3. 2節に示した方法で作製した.

表3-5 接触角測定試料内容

| No. | Film | MoS ₂ | Status |
|-----|----------------|-------------------------|--------------|
| 1 | Bonded film | Pure | As deposited |
| 2 | | Surfactant adsorbed (1) | |
| 3 | | Surfactant adsorbed (2) | |
| 4 | Burnished film | Pure | |
| 5 | | Surfactant adsorbed | |
| 6 | Bonded film | Pure | Rubbed |
| 7 | | Surfactant adsorbed (1) | |
| 8 | | Surfactant adsorbed (2) | |
| 9 | Burnished film | Pure | |
| 10 | | Surfactant adsorbed | |

図3-15は各資料についてそれぞれ3箇所測定した接触角を示す. まず作製したままで摩擦していない試料(1~5番)の接触角は, 試料番号1, 2, 3の焼成被膜の方が, 全体として

試料番号4, 5の塗布膜よりも大きい. この中で接触角が 40° ~ 50° と最も小さいのは, 界面活性剤を吸着させていない塗布膜(試料番号4)で, この値は親水性高分子材料に分類されるポリビニルアルコールと同程度(たとえば文献[21])であることから, 二硫化モリブデン単体は水にぬれやすいことがわかる. これに対して, 界面活性剤を吸着すると接触角は約 70° まで上昇する(試料番号5). 一方, 焼成被膜は, 塗布膜には含まれていないフェノール樹脂バインダが表面に露出していて, これが塗布膜よりも全体として接触角を増大させる要因になっている. 焼成被膜においても, 界面活性剤を吸着させた二硫化モリブデンを使用した方の接触角が大きいことがわかる.

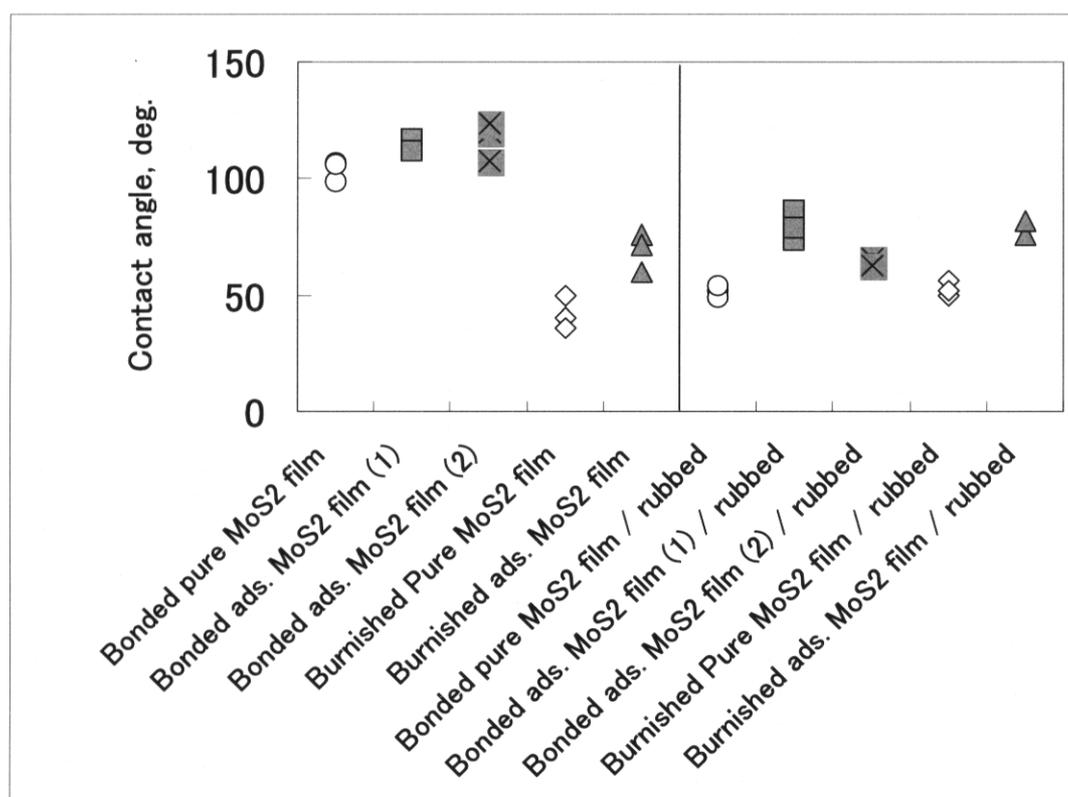


図3-15 接触角測定値

次に, 測定直前にステンレスさじで膜表面を摩擦した試料(試料番号6~10)について比較する. 焼成被膜では, 第1章で述べたように層状構造をしている二硫化モリブデンが容易にすべてバインダを覆ってしまうために, 二硫化モリブデン自体の接触角が測定されるようになる. このため, 焼成被膜であっても二硫化モリブデンそのものだけの塗布膜と同じ程度の接触角

になり、界面活性剤吸着と未吸着の違いだけが現れるようになる。未吸着の二硫化モリブデンでは、焼成被膜、塗布膜とも接触角は 50° 程度の親水性であるが、吸着すると焼成被膜、塗布膜とも接触角が増大して疎水性を示し、しかし値そのものは試料により、また測定箇所により約 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ の範囲でばらつく。なお、 80° の接触角は、疎水性高分子材料に分類されるポリエチレンと同等である。

界面活性剤が吸着した二硫化モリブデン表面のこれらの接触角と、界面活性剤が単独で示す接触角を比較すれば、界面活性剤が本来有する疎水能力を二硫化モリブデン表面においてどの程度発揮できているのかが判明する。そこで、ガラス表面は中性溶液中では大部分が Si-O^- となっているといわれていて、陽イオン性界面活性剤が強固に吸着してガラス表面全体を覆いやすいため、界面活性剤が吸着したガラス表面には界面活性剤の疎水性の最大能力が現れるものと考えられることから、界面活性剤を吸着させたガラスプレートの接触角を測定することにより、界面活性剤自身の疎水性能力を推定することとした。

ガラスプレートを二硫化モリブデンで使用したのと同じ濃度の界面活性剤溶液に浸漬し、30分後に引き上げてIPAで洗浄し、自然乾燥して試料を作製した。その試料を用いて測定した水との接触角は 80° 程度であった。これから、今回使用した界面活性剤自身が示す疎水性の最大能力は接触角で約 80° に相当すると推定される。このことから、接触角約 80° では界面活性剤が被膜表面のほぼ全体を覆った状態に対応しているが、 80° という値では疎水性が十分に高いとはいえず、全面被覆といえども水の吸着がある程度は存在するものと考えねばならない。さらに、 80° 以下の接触角では部分的にしか覆っていないと考えられ、水の吸着の程度はもっと大きいと考えられる。接触角が測定箇所によって異なるのは、被覆状態が場所によって十分でないことを意味しており、これは、界面活性剤が二硫化モリブデン表面の吸着サイトすべてを完全に覆っているのではないこと、(3)で示したように直接吸着した界面活性剤の一部が洗浄過程で洗い落とされてしまうこと、また摩擦によって界面活性剤が吸着していない表面(おそらく粒子内結晶粒界)が部分的に露出すること、などが原因と考えられる。

このように疎水性が不十分であるということから、3.3.3で述べたように、界面活性剤を吸着させても摩擦係数が期待したほど低下しなかったことが説明できる。

3.5 疎水性向上方法に関する考察

前節の結果をもとに、界面活性剤を吸着させた時の疎水性の改善方法について検討する。