

## 論 文

## 繰り返し摩耗におけるなじみ機構について

菊池賢靖,\* 神谷修,\*\*  
齋藤省律,\* 熊谷一男\*\*\*

## Running-in Behavior of Repeated Dry Wear on Metals

by

Kenya KIKUCHI†, Osamu KAMIYA††, Yoshinori SAITO† and Kazuo KUMAGAI†††

## Abstract

Beginning of the repeatedly wear, severe wear condition of high wear rate becomes predominate. The wear rate decreases with time and the wear condition changes to a mild wear. After that, a wear becomes hardly advance and becomes stable condition. An oxide film forms at a worn surface and the surface geometry becomes smooth. That condition is called "running-in". The transition mechanism from severe to "running-in" is important for constant operation of the machine that has a mobile components contacting among metals. A drying repeated wear test of a pin on disk was studied under unlubrication condition in this report. Also, a change of a running-in process in magnetic field has been studied. The results are reported as follows.

**Key Words** : Severe Wear, Mild Wear, Running-in, Adhesive Wear, Abrasive Wear

## 1. 緒言

相対すべり運動をする金属同士は必ず摩耗を生じる。一般に機械の相対すべり運動をする摩擦面では、初期

平成10年8月21日受付

\* 秋田大学大学院鉱山学研究所博士前期課程機械工学専攻  
〒010 秋田市手形学園町1-1

\*\* 秋田大学工学資源学部機械工学科  
〒010 秋田市手形学園町1-1

\*\*\* 秋田県工業技術センター  
〒010 秋田市新屋町砂奴寄4-1

† Graduate student, Graduate school of Mechanical and Engineering, Mining College, Akita University, 1-1 Tegata Gakuencho, Akita 010, Japan.

†† Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Resource Science Akita University, 1-1 Tegata Gakuencho, Akita 010, Japan.

††† Akita Prefectural Industrial Technology Center, 4-11 Arayamachi aza sanuki, Akita 010, Japan.

の運転期間中に接触の状態が改善され、以後の運転では摩擦も低くなって作動が滑らかになるなど潤滑性能が向上する<sup>①</sup>。

繰り返し摩耗では、最初は摩耗の進み方が早く、時間とともに次第に遅くなっていく。摩耗の初期において高い突起は、優先的にその先端部から除去されると同時に、相手面の突起によって押しつぶされて塑性変形する。その結果、高い突起付近の谷の部分は、逆に塑性変形によりかなり隆起して持ち上げられる。この状態を初期摩耗とよび激しく摩耗が進行するのでシビア摩耗とも呼ばれる。

次に、塑性変形による隆起が摩耗により次第に減ってきて、摩耗の進行が遅くなった状態を定常摩耗あるいはマイルド摩耗と呼ぶ。このように摩耗形態が変わる理由は、摩擦によって表面に酸化膜が形成され、そ

れが表面を保護するためである。定常状態になり、酸化膜が形成されたとき表面はなめらかになり、この状態は“なじみ”と呼ばれている。この“なじみ”は、接触する可動部を持つ機械の運転で重要な過程である。なじみ過程における表面粗さ、酸化膜形成、表面硬度などが、焼き付き性や摩耗に影響を及ぼすことが知られている<sup>(2)~(3)</sup>。摩耗におけるなじみに関していくつか報告されているが<sup>(4)~(7)</sup>、どのようなメカニズムでなじみ過程になるかはまだ十分には報告されていない。

川根らは<sup>(8)</sup>、磁場の存在によって、摩耗粉がきわめて微細な黑色酸化摩耗粉に変化し、これらが摩擦面に吸着介在することによって、摩擦のごく初期においてシビア摩耗からマイルド摩耗に移移し、結果的に摩耗量が減少したと説明している。このことを利用して、短い摩擦距離でなじみ過程に移移させることができれば、金属同士の摩耗において、摩耗量の低減につながると考えられる。

そこで本研究では、無潤滑条件下でピン対ディスクの乾燥繰り返し摩耗実験を行い、任意の時点において走査型電子顕微鏡（以下SEMと略す）と三次元表面測定装置を用いて、なじみ過程を解明することを目的とした。また、磁場をかけたときのなじみ過程についても検討した。

## 摩耗機構の種類

摩耗機構には多くの種類があるが、ここで代表的な例をあげ簡単に説明をする。

### (1) 凝着摩耗 (adhesive wear)

真実接触面で凝着が生じたとき、表面間の接線方向への相対移動があると凝着部分の付近で破断が発生して相手面に移着する。これが繰り返されると移着物は成長する。そして、最後には接触面から排出され摩耗粉となる。このような摩耗をいう。

### (2) アブレシブ摩耗 (abrasive wear)

これは、摩擦面の一方が硬くて凹凸の激しい場合に生ずる摩耗や、二面間に硬い固体粒子が入ったときに生ずる摩耗である。

### (3) 腐食摩耗 (corrosive wear)

雰囲気中に水分、酸などの腐食性物質が存在すると、固形異物が無くても著しい摩耗が生ずる。これを腐食摩耗という。

本研究に関連する摩耗機構としては、主に(1)凝着摩

耗と(2)アブレシブ摩耗である。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験装置

Fig.1は、ピン・ディスク型摩耗試験装置の概略である。回転するディスクにピンを所定の荷重で押し付けることにより摩耗させる。

ピンは磁化コイルの中央に挿入されており、コイルに種々の強さの電流を流すことにより磁化することが可能である。

ディスクとピンの摩耗量は、摩耗前後の質量を精度が0.1mgの精密自動天秤により計測し、質量の減量から計算した。

実験は、ピンに与える荷重を  $P=1\text{N}$  とし、摩擦速度は  $V=500\text{mm/s}$ 、摩擦距離は  $L=3000\text{m}$ 、磁束密度は  $B=20\text{mT}$  とした。

### 2.2 試験片

実験は、NiピンとS45Cディスク、およびS45CピンとS45Cディスク、NiピンとNiディスクの組み合わせである。(以後、それぞれのピンとディスクの組み合わせは、Ni/S45C, S45C/S45C, Ni/Niと表記することにする。)

加工ひずみを除去し、磁気特性を改善するために  $1173\text{K} \times 1200\text{s}$  の真空焼きなましを行った、直径2mm、長さ約30mmのNiとS45Cのピンを使用した。ディスクは、S45C (99.55% Fe, 0.45% C) の丸棒を素材として外形約45mm、厚さ約6mmに削り出したもので、熱処理は施していない。Niディスクは市販されているニラコ社製  $\phi 50 \times 5\text{mm}$  (99.7%) を使用した。

ディスクの摩擦面の仕上げは、研磨紙 (丸本工業研

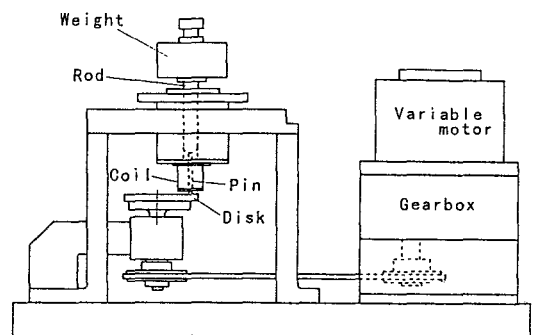


Fig.1 Pin on disk type wear test apparatus

摩紙 #80, #180, #320, #400) を使い, 手で磨き上げた。また, ピンの摩擦面の仕上げは研磨紙 #400 を使用した。

本実験では, ディスクの初期の表面状態 (#80, #400仕上げ) を変化させて摩耗実験を行った。

各試験片は, 超音波洗浄機を用いてアセトン洗浄し, さらに加工による磁化の可能性があるため, その影響を除去する目的で大型コイルに挿入することにより, 磁気モーメントが小さくなるように交流消磁して使用した。

### 3. 実験結果

#### 3.1 Ni/S45C の組み合わせにおける摩耗挙動

Fig. 2 に  $P=1\text{N}$ , 初期  $Ra=0.4\ \mu\text{m}$  の摩擦距離と摩耗量, および  $Ra$  の関係を示す。 $B=0\text{mT}$  の場合は, 摩耗量は摩擦距離とともに増加して, 1000m 付近から一定となっている。 $Ra$  は摩擦距離の増加とともに増加し,  $L=50\text{m}$  付近で最大となり, その後は低下している。そして,  $L=1000\text{m}$  付近から一定となっている。このころから, なじみ状態になったと考えられる。摩擦表面には摩耗粉が付着して黒くなっているのが観察された。

$B=20\text{mT}$  とした場合は, 摩耗量は  $B=0\text{mT}$  のときに見られる急激に摩耗する部分が存在していないことがわかる。 $Ra$  の変化においても, シビア摩耗により粗さの上昇する部分が存在していないことがわかり, ゆるやかに増加していることが見て取れる。

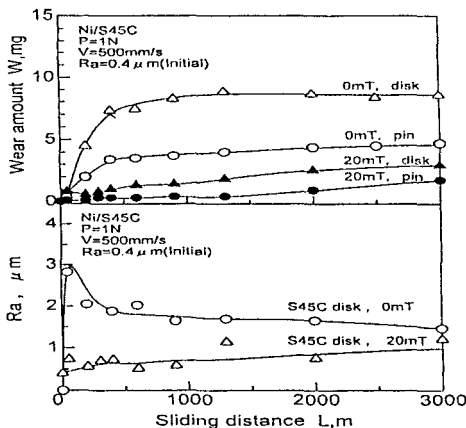


Fig. 2 Relationship between wear amount, Re and sliding distance of Ni/S45C

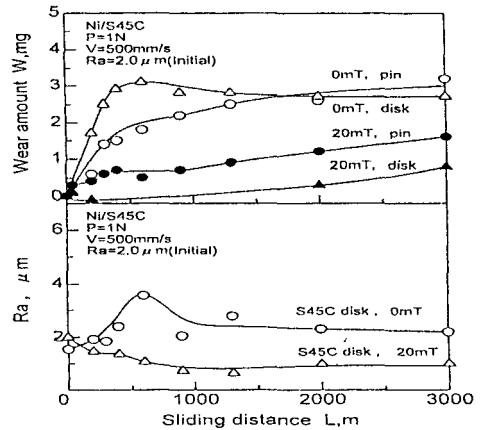


Fig. 3 Relationship between wear amount, Re and sliding distance of Ni/S45C

Fig. 3 に, 同じ条件で初期の表面粗さ ( $Ra$ ) を大きくした場合の結果を示す。摩耗量は, 初期  $Ra$  が小さいときよりも少ないことがわかる。これは, 摩耗粉が初期表面の凹凸間に堆積したためと考えられる。また,  $Ra$  が安定するのに時間がかかっているのも見受けられる。

#### 3.2 S45C/S45C の組み合わせにおける摩耗挙動

Fig. 4 に  $P=1\text{N}$ ,  $B=0\text{mT}$  の摩擦距離と摩耗量,  $Ra$  の関係を示す。摩耗量は直線的に増加し非常に大きくなっていることがわかる。初期  $Ra$  が大きい場合は, 約 500m まで摩耗量が少なく,  $Ra$  の変化も安定していることがわかる。これは, 摩耗の初期には接触

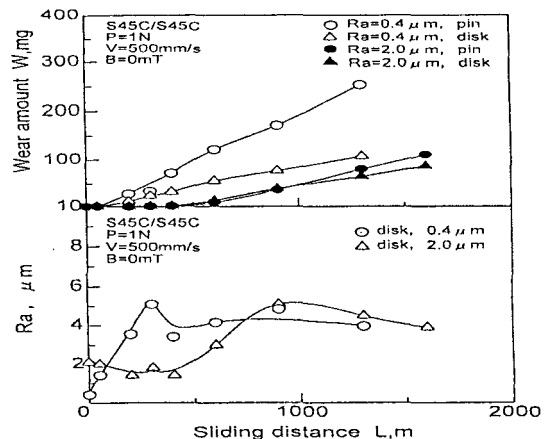


Fig. 4 Relationship between wear amount, Re and sliding distance of S45C/S45C

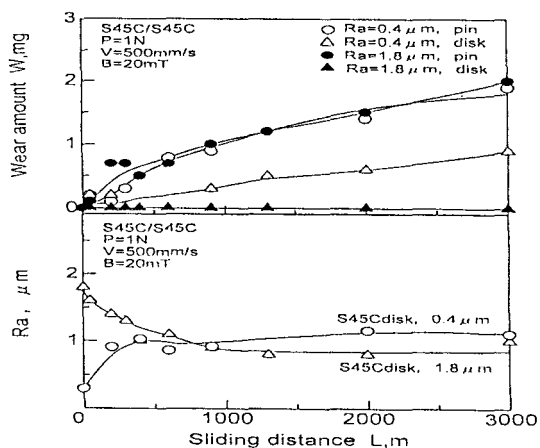


Fig. 5 Relationship between wear amount, Re and sliding distance of S45C/S45C

面積が小さく、凝着摩耗とそれともなう掘り起こしが起こりにくいためにこのようになると推測される。

Fig. 5に  $P=1\text{N}$ ,  $B=20\text{mT}$  の摩擦距離と摩耗量,  $R_a$  の関係を示す。摩耗量は磁場なしのときの  $1/100$  程度になっていることがわかる。また、初期  $R_a$  が大きい場合はディスクの摩耗量が微量であることがわかる。磁場の存在に関わらず、初期  $R_a$  が大きいときは摩耗量が少ない。

これらのことより磁場をかけることにより、同材質の場合でも摩耗量が少なくなることがわかる。

### 3.3 Ni/Niの組み合わせにおける摩耗挙動

摩擦距離と摩耗量,  $R_a$  の関係は、同じ材質の組み合わせということから、S45C/S45C のときと同様に、摩耗量は直線的に増加して非常に大きくなった。ここではグラフは省略する。

$B=20\text{mT}$  とした場合も先に述べたように、S45C/S45C と同様に直線的に変化したのでここではグラフは省略する。

### 3.4 摩擦表面形態の変化

#### 3.4.1 Ni/S45Cの組み合わせにおける摩擦表面

今回の実験で得られた結果のうち、なじみ評価について有用であると考えられる代表的なものを紹介する。

Fig. 6に Ni/S45C,  $P=1\text{N}$ ,  $B=0\text{mT}$ , 初期  $R_a=0.4\mu\text{m}$  のディスクの三次元摩擦表面を示す。50mのときは表面が粗く、摩擦距離の増加にともなって表面形態は変化し、3000mのときはなだらかになっている

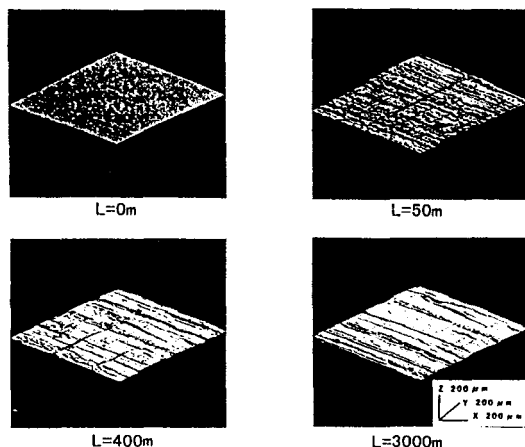


Fig. 6 Shape of 3-dimensional surface of S45C disk (Ni/S45C,  $P=1\text{N}$ ,  $B=0\text{mT}$ )

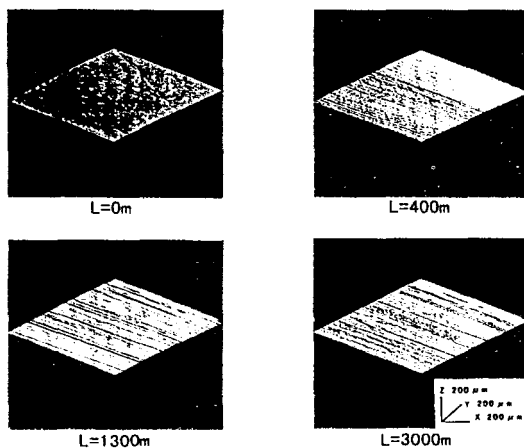


Fig. 7 Shape of 3-dimensional surface of S45C disk (Ni/S45C,  $P=1\text{N}$ ,  $B=20\text{mT}$ )

ことがわかる。このときは既になじみ状態になっていると推測される。

$B=20\text{mT}$ ,  $P=1\text{N}$ , 初期  $R_a=0.4\mu\text{m}$  のディスクの三次元摩擦表面を Fig. 7 に示す。磁場をかけた場合は、摩擦表面に摩耗痕はみられるものの、磁場なしのときのように激しい凝着は起こっていないものと推測される。

#### 3.4.2 S45C/S45C 組み合わせにおける摩擦表面

Fig. 8に  $P=1\text{N}$ ,  $B=0\text{mT}$ , 初期  $R_a=0.4\mu\text{m}$  の摩擦表面を示す。同材質ということから、摩耗の進行は

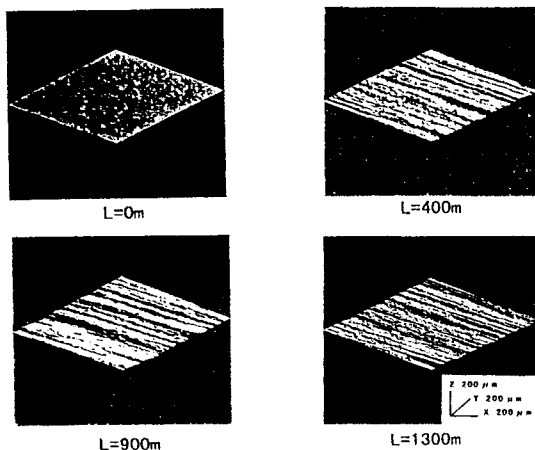


Fig. 8 Shape of 3-dimensional surface of S45C disk (S45C/S45C, P=1N, B=0mT)

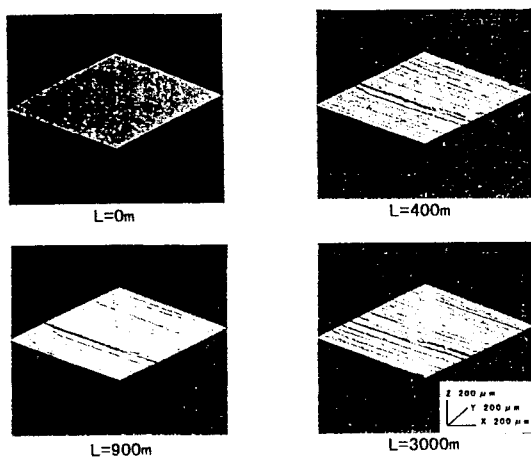


Fig. 9 Shape of 3-dimensional surface of S45C disk (S45C/S45C, P=1N, B=20mT)

速く、表面は凝着にともなう激しい掘り起こしにより、凹凸が大きくなっている。摩擦距離が増加しても、摩擦表面の状態はNi/S45Cのときのように安定はしないと考えられる。

Fig. 9にP=1N, B=20mT, 初期Ra=0.4 $\mu$ mの摩擦表面を示す。初期Raが小さい場合は、Ni/S45Cと同様に凝着にともなう掘り起こしの後は特にはみられない。そのため、摩擦距離が増加しても表面はなだらかになっていることがわかる。

なお、Ni/Niの組み合わせも摩擦表面はS45C/

S45Cの結果と類似した形態で変化した。

### 3. 5 摩擦表面の EDS X線分析

摩擦表面がどのように変化してなじみになるのかを検討するために、摩擦表面に付着している摩耗粉の質量含有率を調べるため、EDS X線分析を行った。以下にその結果を示す。

Fig. 10に摩擦距離と付着摩耗粉中の質量含有率との関係を示す。ディスク摩擦表面上におけるFeの質量含有率は、初期摩耗領域から遷移領域に移るに従い、急激に質量含有率が減少しているのに対し、ピン摩擦表面上におけるNiはそれほど大きな変化はみられない。また、定常摩耗領域に遷移するとディスクでは、ディスクの材質であるFeが、ピンではピンの材質であるNiが、40%前後に落ち着いていることがわかる。

ピンにおけるNi質量含有率は、定常摩耗領域に遷移する際の減少の割合がディスクのそれに比べ急激である。これは、Feに比べNiの方が軟らかいため破碎した摩耗粉のかどがとれやすく、ほかの物質と混合しやすいためだと考えられる。また、ディスク摩擦表面上においてNiは徐々に遷移領域まで増加し、定常摩耗領域にいたるまで数値は安定している。

これに対し酸素質量含有率は初期摩耗領域ではほとんど存在しないが、遷移領域に達するとともに急激に増加し、定常摩耗領域まで少しずつ増加していることがわかる。

ピン摩擦表面上におけるFe質量含有率は、初期摩

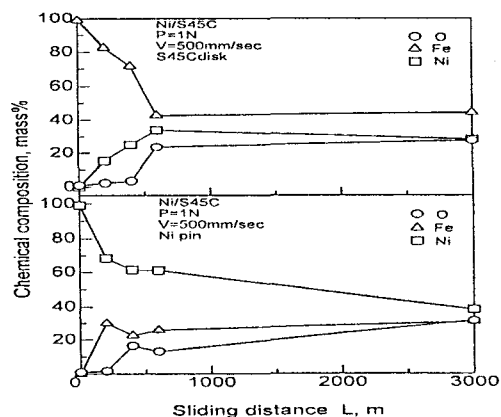


Fig. 10 Relationship between mass composition in adhesion wear particles and sliding distance

耗領域において多少減少し、遷移領域以降は増加はしているものの30%付近で安定している。酸素質量含有率は摩擦距離の増加とともに増し、定常摩耗領域には30%程度に増加している。また、定常摩耗領域においてディスクではNiと酸素がほぼ同じ質量を占めており、ピンではFeが酸素とほぼ同じ質量を占めていることがわかる。

## 4. 考察

### 4.1 異種金属同志の組み合わせにおける摩耗挙動

前述の結果から、異種金属組み合わせでは、摩擦距離の増加にともない摩擦表面には摩耗粉が付着し、酸化するということがわかった。

また、磁場により摩耗粉が摩耗の初期に微細化し、表面同士の凝着が起りにくくなり摩耗量が減少し表面も安定に保つことができる。磁場をかけた場合は、表面同士の凝着があまり起こらずに摩耗するということがいえる。

初期表面粗さを大きくした場合は、発生した摩耗粉が、摩擦表面の初期表面の凹凸の間に入り込んで堆積し、トラックから排出される摩耗粉が少ないため摩耗量が減少しているように見えると考えられる。また、なじみになるのに時間がかかっているように見えるのは、摩耗の初期に接触面積が小さいために、ある程度の大きさの接触面積になるまでに時間がかかり、シビア摩耗になるのが遅れ、その後マイルド摩耗に遷移するためにこのようになると考えられる。

### 4.2 同材質の組み合わせにおける摩耗挙動

S45C/S45C, Ni/Niの結果から、同種金属同志の組み合わせでは、摩耗量およびRaは摩擦距離の増加とともに増加することがわかった。このような摩耗形態になるのは、同材質の組み合わせでは凝着が起りやすく、それに伴う掘り起こしが大きくなるためと考えられる。摩擦表面は酸化するが、すぐに凝着による掘り起こしのために、酸化皮膜は摩耗して排除されるため、なじみにはならないと考えられる。

S45C/S45Cの場合は、初期Raを大きくすることで摩耗量は減少しているように見えるが、これは摩擦表面が全面一様接触になるまで摩耗量が少ないだけであって、一様に接触するようになるとき、つまり500m付近からは激しい凝着摩耗が起っていることがわかる。したがって初期Raを大きくした場合は、凝

着摩耗による激しい掘り起こしを遅くする作用があると考えられる。

また、同材質の組み合わせにおいても、磁場による酸化促進作用により摩耗粉が微細化し、それが摩擦面に介在することにより表面同士の凝着を防いでいるためと考えられる。

### 4.3 摩擦表面の酸化

摩擦表面の摩耗粉は、初期摩耗領域において破碎直後に「かど」があり、遷移領域に移るに従い「かど」がとれ、そのかけらが $1\mu\text{m}$ にもみたくない細かい摩耗粉となりその摩耗粉が酸化され、丸みを帯びて、大きな摩耗粉に付着することによって、酸素質量含有率が増加すると考えられる。

S45C ディスクに付着したNiとFeの摩耗粉でNiが酸化していると述べたが、これについて考えてみる。なお、S45C摩耗粉をFe摩耗粉と呼ぶことにする。先に述べたS45C/S45Cなどの同種金属の組み合わせの場合は、親和力が大きく、凝着が起りやすいために摩耗量が増大する。Ni/S45Cの組み合わせで考えると、摩耗の初期にはシビア摩耗となり、摩耗量は増大している。このときの表面の摩耗粉は、NiとFeが凝着しているものであると予想がつく。それが摩擦距離の増加にともなって、摩擦表面に付着または摺込まれていく。また、シビア摩耗のときは、摩擦距離の増加にともなって摩擦表面の温度は上がり、その後、摩擦表面は酸化する。FeがFeにこすられると、凝着しやすくなり温度の上昇も大きいはずである。このことから、ディスクに付着したNi摩耗粉はNiピンにこすられ、それによりFeの部分よりも温度上昇が高かったために酸化したのではないかと考えられる。Niピンに付着したFe摩耗粉もこれと同じように考えて、S45Cディスクと摩擦することにより酸化したのではないかと考える。

## 5. 同材質の組み合わせでの摩耗の改善

乾燥繰り返し摩耗中では、同材質の組み合わせの場合には摩耗量が非常に大きくなるということが、S45C/S45CおよびNi/Niの結果から得られた。これを何らかの方法で、なじみ状態にすることができないかと検討した。Ni/S45Cでは、摩擦表面に酸化摩耗粉が付着することでなじみに遷移することがわかった。摩耗の初期にある種の粉末を添加するとなじ

みになるのではないかと考えた。粉末の種類によっては摩耗に大きな影響を及ぼすことがわかったので以下にその結果を報告する。

### 5. 1 S45C/S45C の組み合わせでの摩耗の改善

摩擦表面間に金属粉を介在させることにより、摩擦表面同士の凝着を防ぐ金属粉があるのではないかと考えた。そこで、S45C/S45C の組み合わせで 50m 摩耗させた後に、摩擦表面に以下に示す金属粉および酸化金属粉を添加して摩耗した。摩耗にほとんど影響を及ぼさない粉体は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  (約  $25\mu\text{m}$ )、酸化鉄 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (約  $1\mu\text{m}$ )、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (約  $1\mu\text{m}$ ))、純 Ni (約  $10\mu\text{m}$ )、NiO (約  $5\mu\text{m}$ ) であり、これらを添加したときは、粉体を添加しないときの 50m までの摩耗形態と変わらず、掘り起こしの激しいシビア摩耗のままであった。しかし、純 Fe 粉 (約  $25\mu\text{m}$ ) を添加したときだけが、瞬時にしてシビア摩耗の激しい掘り起こしの音が消え、マイルド摩耗時のような摩擦音に変化した。マイルド摩耗状態は、Fe 粉 1 回の添加でおよそ 250~350m 続いた。1 回の添加量は 50mg である。

Fig. 11 に 50m 摩耗してから純 Fe 粉を添加して、その後 3.3m 摩耗したときのディスクおよびピンの SEM 写真を示す。摩擦距離が 50m ときのディスク表面は、凝着による掘り起こしのために凹凸の激しいことがわかる。摩擦距離が 53.3m の摩擦面は、50m のときと変わりないように見えるが、50m 摩耗してできた摩耗粉に Fe 粉が付着していることがわかる。ピン表面にはディスクよりも小さな Fe 粉が付着している。

Fig. 12 に S45C/S45C,  $P=1\text{N}$ ,  $L=3000\text{m}$  (50m 摩耗後、約 200m 間隔で純 Fe 粉を添加する) の摩擦距離と摩耗量,  $R_a$  の関係を示す。ピンの摩耗量は 50m のときからほぼ変化はなく、微量づつ摩耗している。ディスクには、添加した純 Fe 粉が付着していると考えられ、摩耗量は減少していることがわかる。1000m 付近からディスクの摩耗量の変化はほぼ一定となっており、また  $R_a$  の変化も一定になっていることから、このころからなじみになったと考えられる。

以上のことから、純 Fe 粉添加により瞬時にマイルド摩耗状態になり、摩擦表面はなだらかになるということがわかる。また、純 Fe 粉を摩擦面に添加したときは、磁場をかけたときと同様に摩耗量軽減の効果があると考えることができる。

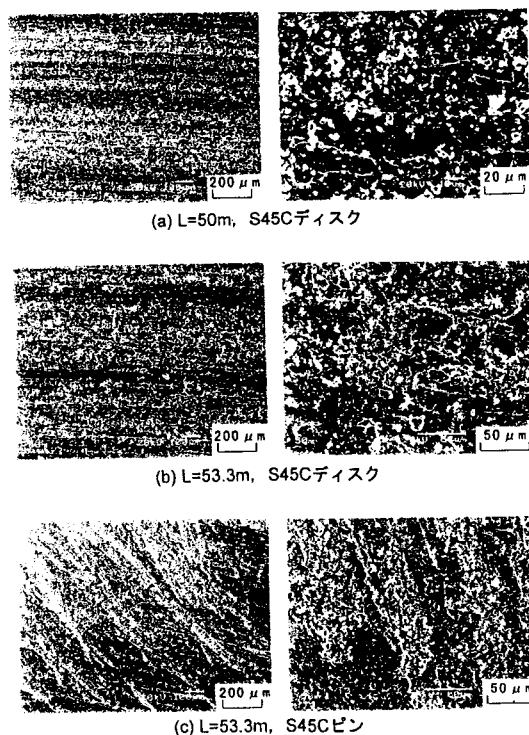


Fig. 11 Scanning electron micrograph showing worn surface of S45C disk (S45C/S45C,  $P=1\text{N}$ , Fe powder is added after 50m wear)

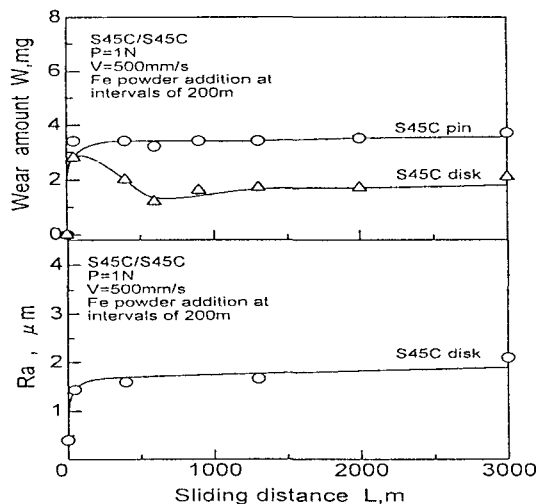


Fig. 12 Relationship between wear amount,  $R_a$  and sliding distance of S45C/S45C (Fe powder is added in about 200m intervals after 50m wear)

5. 2 Ni/Ni の組み合わせでの摩耗の改善

S45C/S45C のときと同様に、50m 摩耗した後、摩擦表面に金属粉を添加したところ、この場合も純 Fe 粉を添加したときだけが、瞬時にマイルド摩耗に変化した。マイルド摩耗状態は、純 Fe 粉を 1 回の添加でおよそ 220~300m 続いた。

50m 摩耗してから純 Fe 粉を添加して、その後 100 m 摩耗したときの SEM 写真を Fig. 13 に示す。50m 摩耗したときの写真より、ディスク表面はピンとの凝着による激しい掘り起こしの様子がわかり、表面は荒々しくなっている。150m のディスクには、表面の凸部付近に純 Fe 粉が付着しているのがわかる。ディスクにはおよそ 20 $\mu$ m の大きさの純 Fe 粉が付着しており、ピンにはディスクよりも細かいおよそ 5 $\mu$ m の純 Fe 粉が付着している。

以上のことより、Ni/Ni の場合も純 Fe 粉を添加することでピンとディスクの凝着を防ぐことで、瞬時にマイルド摩耗に遷移すると考えられる。

Fig. 14 に Ni/Ni, P=1N, L=3000m (50m 摩耗後、約 200m 間隔で純 Fe 粉を添加する) の摩擦距離と摩耗量, Ra の関係を示す。摩擦表面は摩擦距離の増加にともなって小さな凹凸がとれていることが分かる。S45C/S45C の組み合わせと同様に、摩擦距離の増加とともにディスクには純 Fe 粉が付着していると考えられ、摩耗量は減少している部分が見られる。ディスクが 1500m 付近から摩耗量が少し増加しているが、Ra に変化がみられないところから、これは表面に付着している Fe 粉が摩耗したものではないかと考えられる。

なぜ摩擦表面に純 Fe 粉を添加すると摩耗量が減少するのかを考えてみる。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, NiO などの酸化物は表面には移着し難く、かえって表面にくいこみ、砥粒の役目をしてアブレシブ粒子となっていると考えられる。そのため、摩耗することでアブレシブ摩耗が起これ、それまでの摩耗形態と変わらず、掘り起こしの激しい摩耗が起きていたのではないかと考える。純 Ni は表面への移着力が弱いために、潤滑剤の役目はできなかったのではないかと考える。純 Fe はある程度表面に移着しやすく、また、とれやすいということが摩耗を減少させる原因となったのではないかと考える。また、大気中の摩耗なので酸素と接する面積が大きいため酸化しやすく、摩耗している間

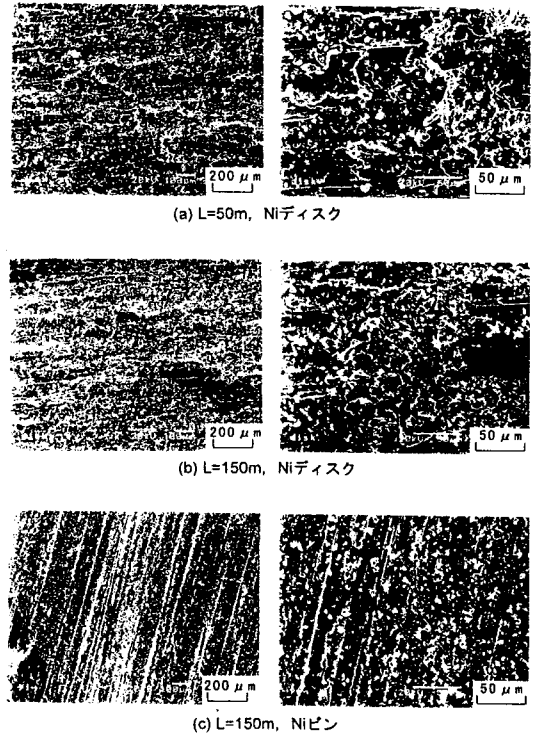


Fig. 13 Scanning electron micrograph showing worn surface of Ni disk (Ni/Ni, P=1N, Fe powder is added after 50m wear)

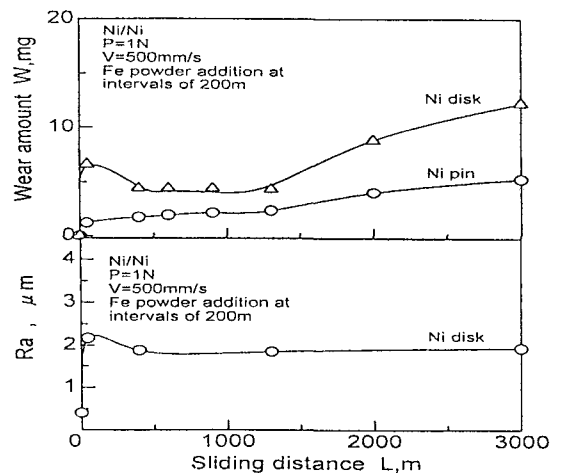


Fig. 14 Relationship between wear amount, Ra and sliding distance of Ni/Ni (Fe powder is added in about 200m intervals after 50m wear)



に微細化して表面間に介在し、凝着を防ぐのではないかとも考えられる。

固体潤滑剤の代表的なものは、二硫化モリブデン、二硫化タングステンなどがある。これらが固体潤滑剤としてつかわれる条件としては、表面に移着しやすく、容易にせん断されるといことである<sup>(9)</sup>。この条件を純 Fe 粉が満足しているために、摩擦表面に添加することで瞬時にマイルド摩擦に変化するのではないかと考える。

以上のことより、同材質の組み合わせに純 Fe 粉を添加することで、瞬時にマイルド摩擦に変化させ、摩擦面同士の凝着を防ぎ、摩擦量を軽減できるということがわかった。

## 6. 結 言

無潤滑下でピン対ディスクの乾燥繰り返し摩擦実験を行い、シビア摩擦からマイルド摩擦に遷移し、なじみ機構になるまでを検討した結果、以下のようなことが明らかになった。

- (1) 乾燥繰り返し摩擦では、異種金属同士の組み合わせだけがなじみになる。
- (2) ディスク表面にはピンから発生した摩擦粉が付着して、また、ピン表面にはディスクから発生した摩擦粉が付着して、それが摩擦距離の増加に伴って酸化して、なじみになると考えられる。
- (3) 磁場をかけることにより、ディスクの初期の摩擦面が維持され摩擦する。
- (4) 同種金属同士の組み合わせでは、純 Fe 粉を摩擦表面に添加することで瞬時にマイルド摩擦に遷移した。これにより、摩擦距離を増加したときでも、磁場をかけたときと同じような効果が得られ、摩擦量が軽減できた。

## 参 考 文 献

- (1) 佐藤博紀・京極啓史・中原網光：潤滑，31，2 (1986)，102.
- (2) 山本雄二・橋本正明：潤滑，27，(1981)，697.
- (3) 久門輝正・築添正：潤滑，21，4 (1975)，228.
- (4) 杉村丈一・木村好次・網野一夫：潤滑，31，11 (1986)，813.
- (5) 鏡重次郎・畑沢鉄三・川口尊久・山田国男：潤滑，33，12 (1988) 900.
- (6) 久門輝正・須田博：トライボロジスト，42，2 (1997)，135.
- (7) 黄志強・相原了・梅澤栄記・松本堯之：トライボロジスト，42，3 (1997)，233.
- (8) 川根秀明：真空中の摩擦における磁気効果，秋田大学大学院鉱山学研究所 機械工学専攻修士論文，(1990).
- (9) 日本機械学会編，新材料のトライボロジー，養賢堂，(1991).