

# Study on Friction Characteristics and Durability of Magnetic Recording Disks

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Tanaka, Kyuichiro メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24517/00034919">https://doi.org/10.24517/00034919</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



---

磁気ディスクの摩擦特性と  
耐久性に関する研究

---

(研究課題番号 62550109)

昭和63年度科学研究費補助金(一般研究(C))研究成果報告書

平成元年3月

研究代表者 田中 久一郎

(金沢大学工学部 教授)

---

磁気ディスクの摩擦特性と  
耐久性に関する研究

---

(研究課題番号 62550109)

昭和63年度科学研究費補助金(一般研究(C))研究成果報告書

平成元年3月

研究代表者 田中 久一郎

(金沢大学工学部 教授)

はじめに

磁気ディスクの磁性膜は0.1  $\mu\text{m}$ 以下にまで薄膜化され、ヘッド浮上量も0.3  $\mu\text{m}$ 以下にまで小さくなつてきて、その表面あらさはきわめて小さい。ディスク表面には潤滑液体膜が付与されているのが普通であつて、めっきやスパッタリングによって形成された磁性膜にはカーボンなどの保護膜がつけられている。このように磁気ディスクの構造は特異なものであるが、その摩擦特性はきわめて重要である。

本研究は、このような磁気ディスクの基礎的な摩擦特性と、耐久性に重要な摩擦損傷を調べ、磁気ディスクの性能向上をはかることを目的として行ったものである。以下に、本研究で得られた成果を4部に分けて報告する。

#### 研 究 組 織

研究代表者 : 田 中 久 一 郎 (金沢大学・工学部・教授)

研究分担者 : 山 田 良 穂 (金沢大学・工学部・講師)

#### 研 究 経 費

昭和62年度	1500千円
昭和63年度	400千円
計	1900千円

#### 研 究 発 表

##### ア. 口頭発表

1. 田中久一郎、上田誠一、西井唯夫 : 低速域における磁気ディスクの摩擦特性、日本潤滑学会第31期春期研究発表会 昭和62年5月15日
2. 田中久一郎、上田誠一 : 磁気ディスクの摩擦と損傷(1)、日本潤滑学会第32期春期研究発表会、昭和63年5月15日

## 目 次

I.	磁気ディスクの摩擦の基礎的特性	1
1.	緒 言	2
2.	試料及び実験方法	3
3.	実験結果及び考察	5
3.1	鋼球のすべり	5
3.2	磁気ヘッドのすべり	7
3.3	繰り返しすべりにおける摩擦の変化	8
4.	結 論	12
II.	硬い球面のすべりにおける接触変形、摩擦及び耐久性	13
1.	緒 言	14
2.	試料及び実験方法	14
3.	実験結果及び考察	14
3.1	ビッカース硬さ、Hv	14
3.2	球面スライダとの接触変形	15
3.3	摩擦特性	18
3.4	摩擦損傷	21
4.	結 論	23
III.	フェライトヘッドの低速繰り返しすべり及びCSS繰り返し における摩擦と損傷	24
1.	緒 言	25
2.	試料及び実験方法	25
3.	実験結果及び考察	25
3.1	低速繰り返しすべりにおける摩擦係数 $\mu$ の変化	25
3.2	CSS繰り返しにおける低速域の摩擦係数 $\mu_{CE}$ の変化	28
3.3	摩擦トラック中に局所的高摩擦が発生するまでの摩擦回数	29
3.4	ディスクの摩擦損傷	29

3. 田中久一郎、上田誠一、西井唯夫：磁気ディスクの摩擦と損傷(2)、

日本潤滑学会第33期全国大会（岡山）、昭和63年10月15日

4. 水木文夫、上田誠一、田中久一郎、：磁気ディスクの摩擦と損傷(3)、

日本潤滑学会第33期全国大会（岡山）、昭和63年10月15日

#### イ. 出版物

1. kyuichiro Tanaka, Friction and Damage of Rigid Thin-Film

Magnetic Recording Disks, K,C,Ludema 編, ASME 刊, April, 1989.

(アメリカ機械学会主催; 材料摩耗国際会議議事録)

4. 結 論	35
--------	----

IV. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ 薄膜ヘッドの定速繰り返しすべりにおける 摩擦と損傷	36
1. 緒 言	37
2. 試料及び実験方法	37
3. 実験結果及び考察	38
3.1 定速繰り返しすべりにおける摩擦係数 $\mu$ の変化	38
3.2 ディスクの摩擦トラックの顕微鏡観察	42
3.3 磁気ヘッドの摩擦面	44
4. 結 論	

# I 磁気ディスクの摩擦の 基礎的特性



## 1. 緒言

磁気ディスク装置では、Contact Start Stop(CSS)方式がとられているので、ヘッドが浮上しないときにおける、ディスクとの摩擦や摩擦損傷は重要である。最近では、従来から使用されている塗布ディスクのほか、めっきやスパッタによって作成されたディスクが使用されるようになったが、これらのディスクでは、摩擦や損傷の問題の解決は困難な点が多い。それは、これらが、きわめて薄い金属や非金属の積層がAl基板上に構成されていることによる。一方、磁気ディスクは、その構成、材料、極微小表面あらさなどの点から、従来の機械要素ときわめて異なっており、トライボロジーの対象として興味あるものである。そこで、ディスクの摩擦に関して基礎的な実験を行った。

## 2. 試料及び実験方法

ディスクに摩擦するスライダとして、図1.1に示すフェライト製の3350ヘッドと曲率半径2.38mmの鋼球を使用した。ディスク試料として、市販されている、塗布ディスク(C-1)、めっきディスク(P-1)、およびスパッタディスクとして試作されたもので、表面に液体潤滑剤が付与されていないS-1、S-2のディスクを用いた。めっきやスパッタのディスクは、Textureと呼ばれる凸凹パターンが表面にあるが、S-1はTextureをつけていない。P-1やS-1、S-2ディスクの下地層はNi-Pである。表1.1に、組成、厚みなどをまとめている。

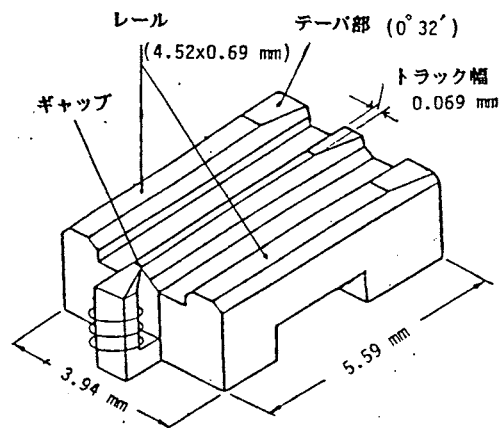


図1.1 試料ヘッド(3350、フェライトモリッド)

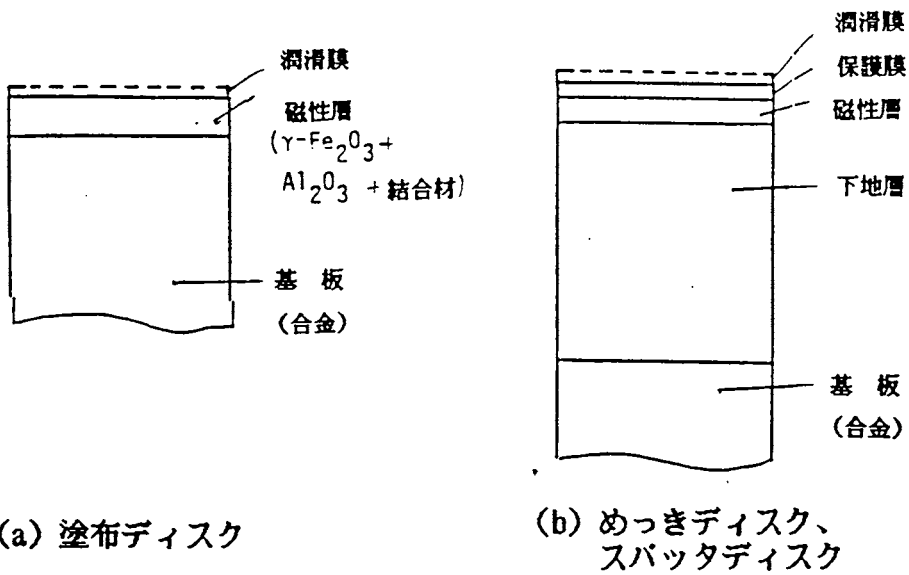


図1.2 試料ディスクの構成

表 1.1 磁気ディスク試料

試料	潤滑剤 塗布	テフロン	Ni-P 下地層	カーボン 保護膜	磁性層	備考
C-1	有				$\gamma$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Ca.0.6 $\mu$ m	塗布 ディスク
P-1	有	有	Ca.20 $\mu$ m	0.025 - 0.05 $\mu$ m	Co-P 0.05-0.075 $\mu$ m	めっき ディスク
S-1	無	無	Ca.20 $\mu$ m	Ca.0.05 $\mu$ m	Co-Ni Ca.0.06 $\mu$ m	スパッタ ディスク
S-2	無	有				

図1.3に、C-1とP-1の表面の電顕写真を示したが、C-1には磁性粉のほかアルミナ粒が存在しており、P-1においてはtextureが明瞭である。S-1ではかかるパターンはなく、さらに平滑な表面となっている。図1.4に、荷重をかえて測定した、ビッカースかたさHvと荷重Wの関係を、S-1ディスクについて示した。P-1のHvは、低荷重域では、S-1より少し小さかった。Hv(10gf)はNi-P下地層のHvに近い値である。実験装置はピン-円板形式であり、ヘッドと鋼球とのすべりに対する2種類を使用した。ヘッドの接触荷重Wは0.087Nとした。

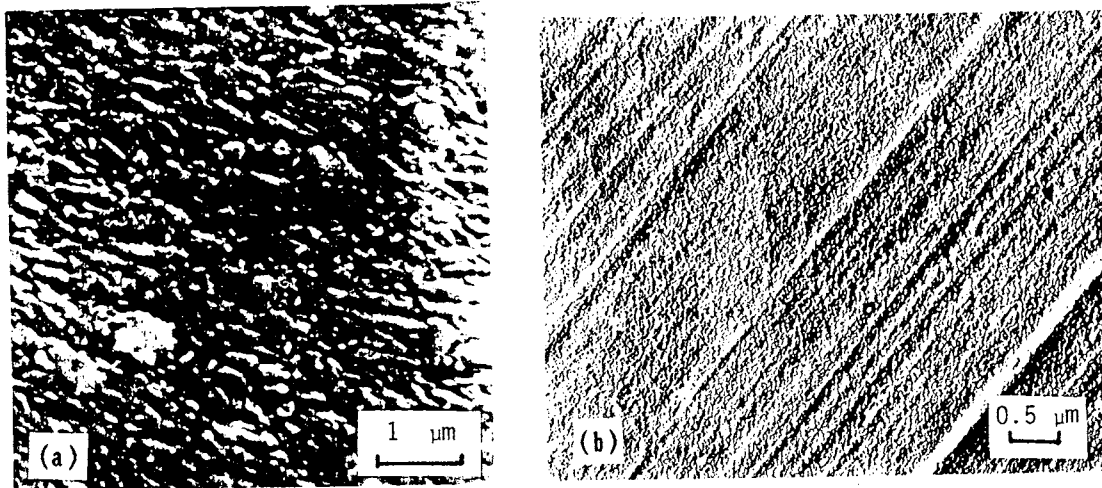


図1.3 ディスク表面の電顕写真 (a)C-1、SEM (b)P-1、TEM

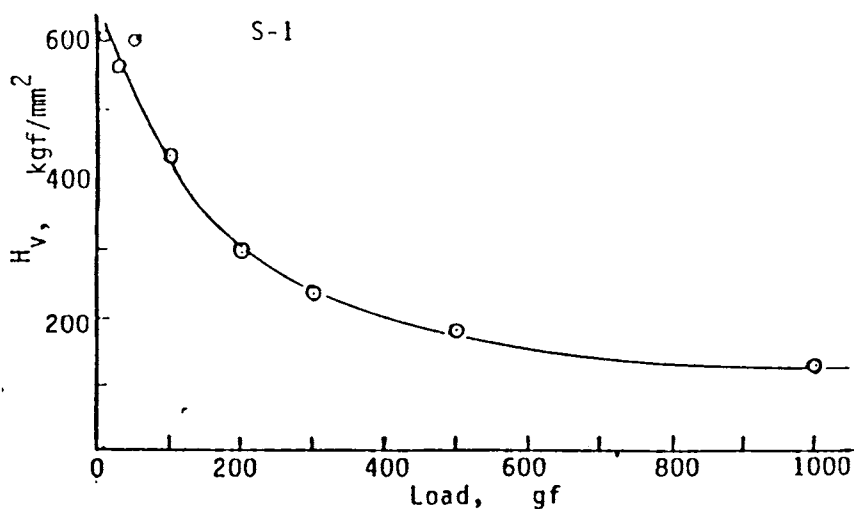


図1.4 S-1ディスク面のビッカースかたさHv

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 鋼球のすべり

図1.5に、摩擦係数 $\mu$ と荷重 $W$ の関係を、P-1とS-1ディスクの場合について示した。一般に、1N荷重までにおいて、 $\mu$ は $W$ に依存しないとみてよかったが、S-1では、小荷重で、 $\mu$ は少しく増加した。鋼球の接触は塑性接触とみなしてよいであろう。P-1は潤滑剤が付与されているが、S-1と余り変わらない $\mu$ を示している。S-1における鋼球すべりのトラック幅に基づいて、すべりにおけるせん断強さ $\tau$ を求めたところ、18Kgf/mm<sup>2</sup>程度であった。これはカーボン保護膜の $\tau$ とみてよいかもしれない。図1.6に、荷重を1Nとして求めた $\mu$ の速度 $v$ による変化を示した。S-2の $\mu-v$ 曲線はS-1のそれと似たものであった。ここで、 $\mu$ が、一般に、速度によって増加することが注目される。なお、図1.6には、各速度の実験で求めた静摩擦係数 $\mu_s$ もプロットしてあるが、一般に、 $\mu_s$ は $\mu_k$ と、余り差違はなかった。C-1、P-1には液体潤滑剤が付与されているが、S-1、S-2には付与されていないことから、ここに見られる $\mu$ の正の速度特性は、ディスクの構造に起因するのかも知れない。

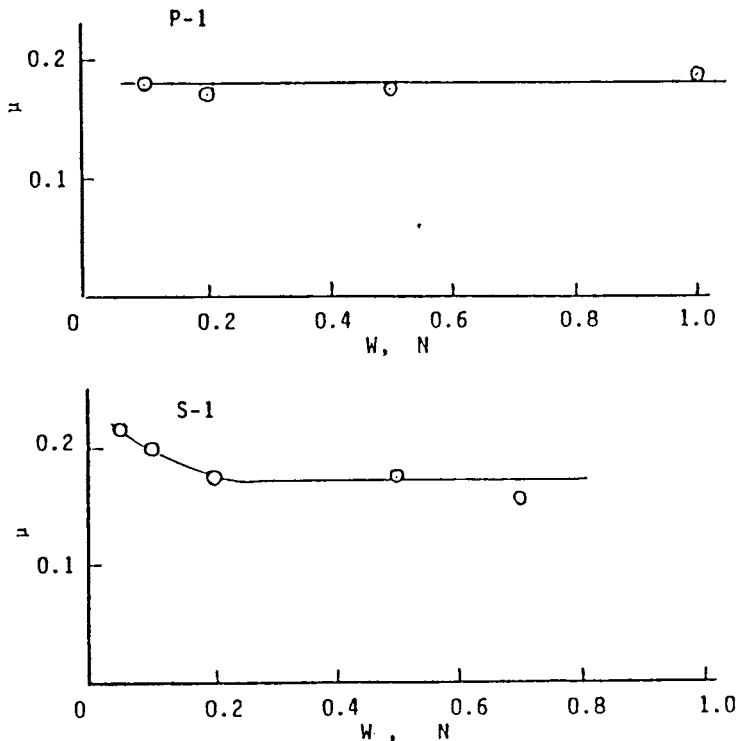


図1.5 鋼球すべりにおける $\mu$ と $W$ との関係( $v=12\text{mm/S}$ )

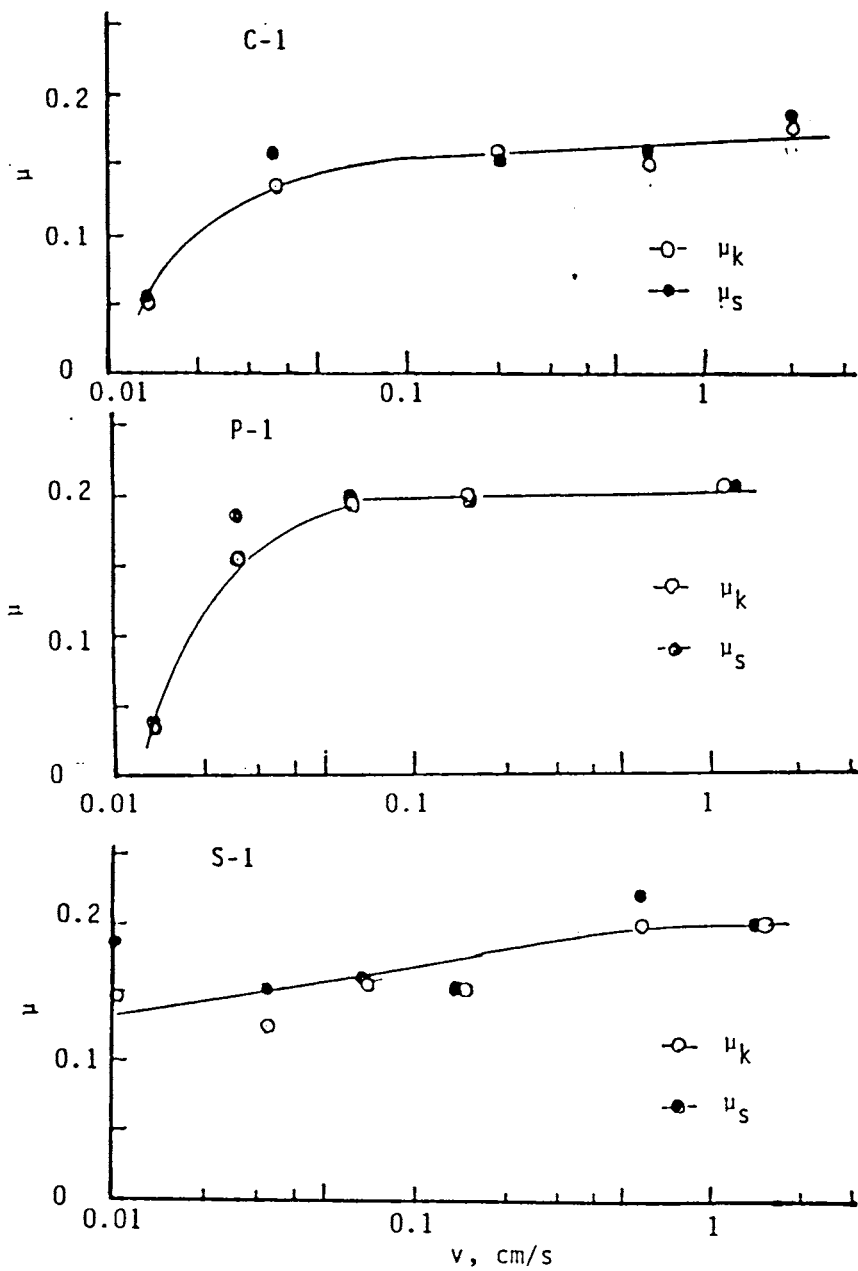


図1.6 鋼球すべりにおける $\mu$ と $v$ との関係( $W=0.1N$ )

### 3.2 磁気ヘッドのすべり

図1.7に、各ディスク試料に3350ヘッドがすべるときの、 $\mu$ と $v$ の関係を示した。C-1、P-1および潤滑剤のないS-2ディスクが似た正の速度特性、似た大きさの $\mu$ を示すことがわかる。なお、図から、Textureは $\mu$ を減少することがわかるが、これは、また、ヘッドとディスクの接触が完全に塑性的でなく、かなり弾性的なことを示しているかもしれない。なお、P-1ディスクの潤滑剤を除去する目的でエチルアルコール洗浄したディスクについての結果も示してあるが、未洗浄の場合より0.04程度、 $\mu$ が高い。S-1に鋼球を0.1cm/sですべらせて推定さ

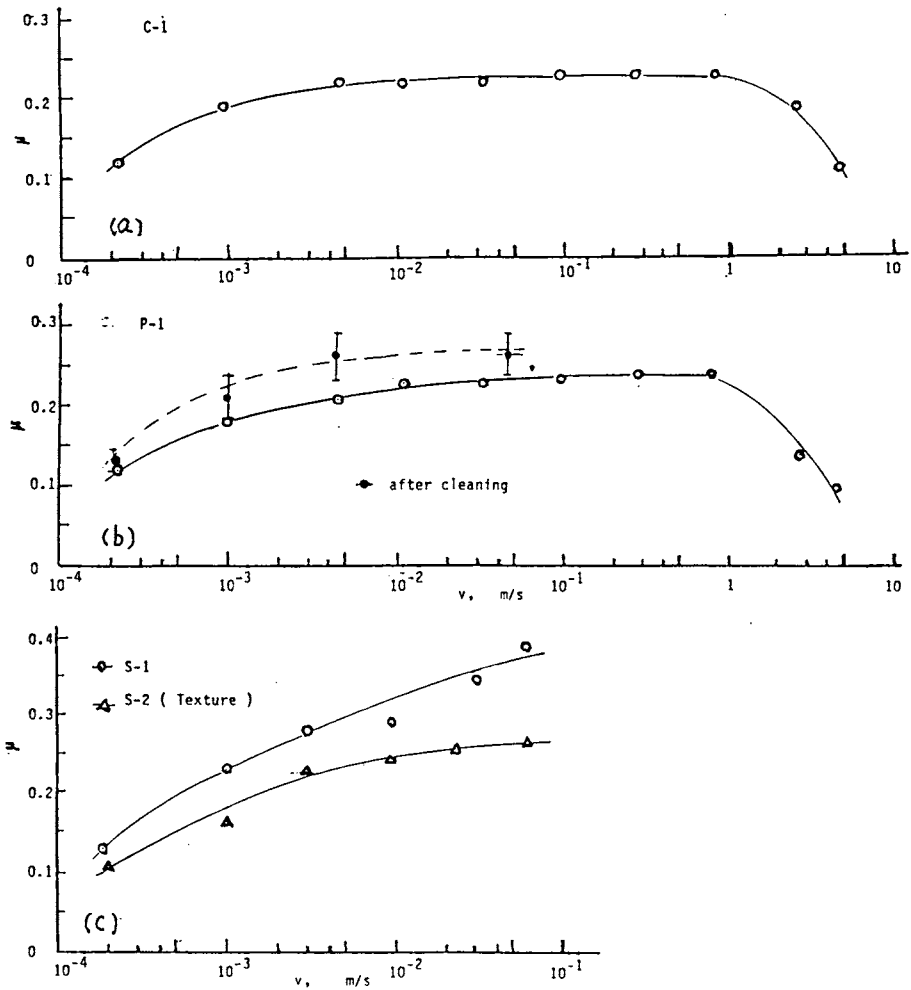


図1.7 摩擦係数  $\mu$  と速度  $v$  との関係(3350ヘッド)

れたカーボン膜のせん断強さ  $\tau$  は約18Kgf/mm<sup>2</sup>であったが、S-1にヘッドが0.1 cm/s ですべるときの  $\mu$  は0.22である。これらの値に基づき、また、 $\mu = \tau / P_m$  として求まる  $P_m$  は82Kgf/mm<sup>2</sup>である。しかし、この値は低荷重で求めたディスクのHvよりきわめて小さいので、ヘッドとディスクとの真実接触部が塑性的に変形していない、と考えてよいであろう。

### 3.3 くり返しすべりにおける摩擦の変化

ヘッドの摩擦によるディスクの損傷について調べるため、ディスクの同一トラック上を、0.087N荷重で、ヘッドをくり返し、約4cm/sの速度ですべらせるときの  $\mu$  の、すべり回数  $N$  による変化を測定し、ヘッドレール面やトラック面の観察も行なった。図1.8に、C-1ディスクにおける  $\mu - N$  曲線を示した。  $N$  が4000回程度までは、 $\mu$  が次第に増加して後に、ほぼ一定になる。くり返し摩擦による  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>テープの  $\mu$  の変化は、C-1のそれと似ているが、我々は、この  $\mu$  増加は、磁性層の結合剤が塑性流動して磁性粉を覆うために、真実接触面積が増加するためと考えている。C-1ディスクでは、くり返しすべりによって潤滑剤がトラックから除去されていくために  $\mu$  が増加することも考えられるが、 $\gamma$ テープの場合と同様の原因も  $\mu$  増加に関係していると思われる。

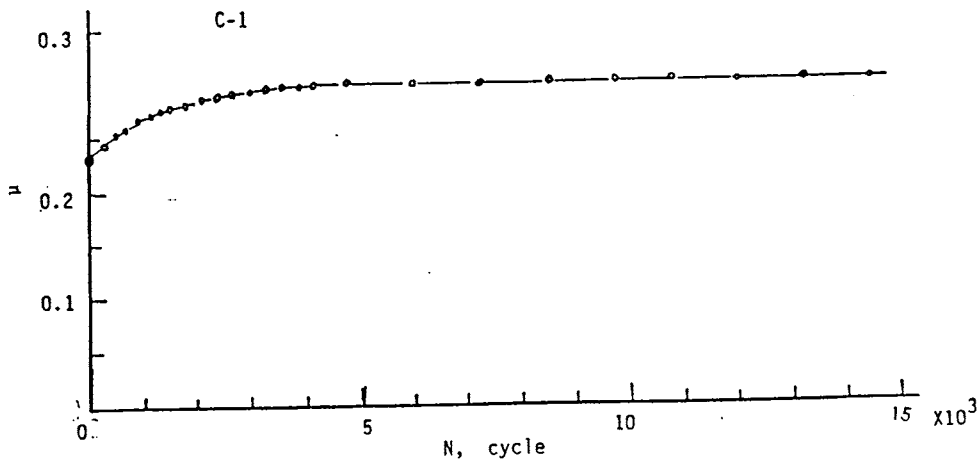


図1.8 塗布ディスクの  $\mu - N$  曲線

図1.9と図1.10にP-1とS-1、S-2ディスクの $\mu$ -N曲線を示した。これらのディスクでは、トラック一周中の $\mu$ の変動が著しいので、図には、一周中の $\mu$ の平均値 $\mu$ の概略値をプロットし、一周中の変動を棒線で示してある。 $\mu$ はS-1のように、単調に増加する場合や、P-1においてNの大きいとき、S-2の場合のように、増減をくり返しながら次第に全体的に増加することがある。図1.11に、トラック一周に対する摩擦記録のNによる変化の例を示したが、S-2ディスクの場合に見られるように、トラック上の、ある位置についての $\mu$ の変化は複雑である。ここで、くり返しすべりによって、1.0以上の高い $\mu$ が現れることが注目されるが、磁性膜の金属とヘッドとの強い凝着を示している。また、カーボン保護膜の摩耗粉や、ヘッドに移着したフィルムに含まれるカーボンが、強い凝着による高摩擦を制御することも考えられる。なお、ヘッドへの移着はかなり少ない(図1.12)

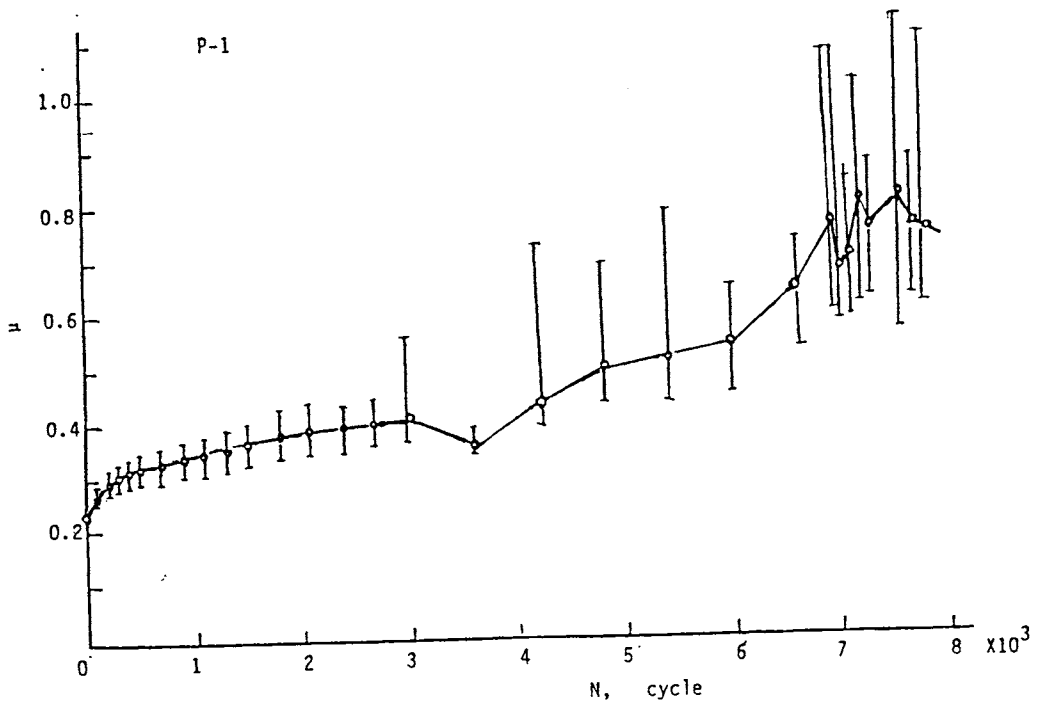


図1.9 めっきディスクの $\mu$ -N曲線



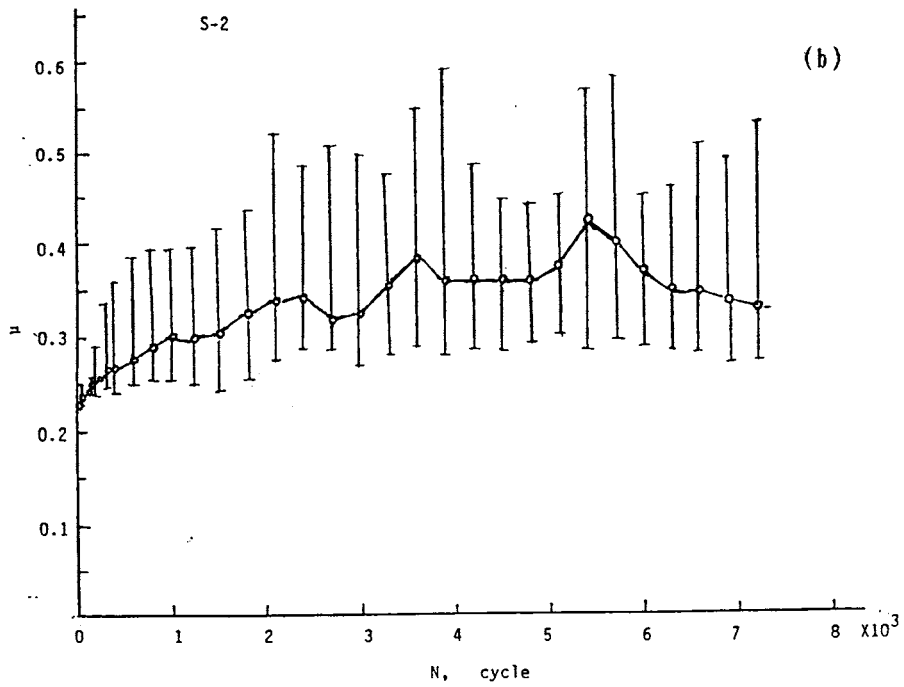
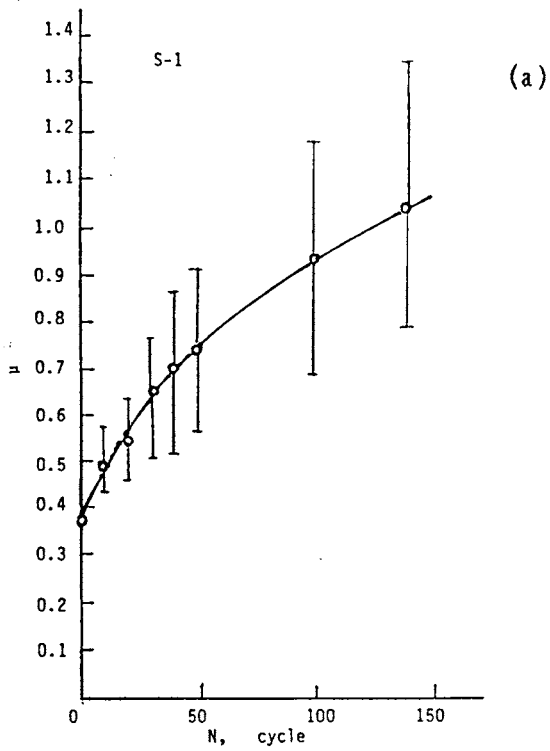


図1.10 スパッタ・ディスク試料（無潤滑）の $\mu \rightarrow N$ 曲線、(a)S-1ディスク、  
(b)S-2ディスク

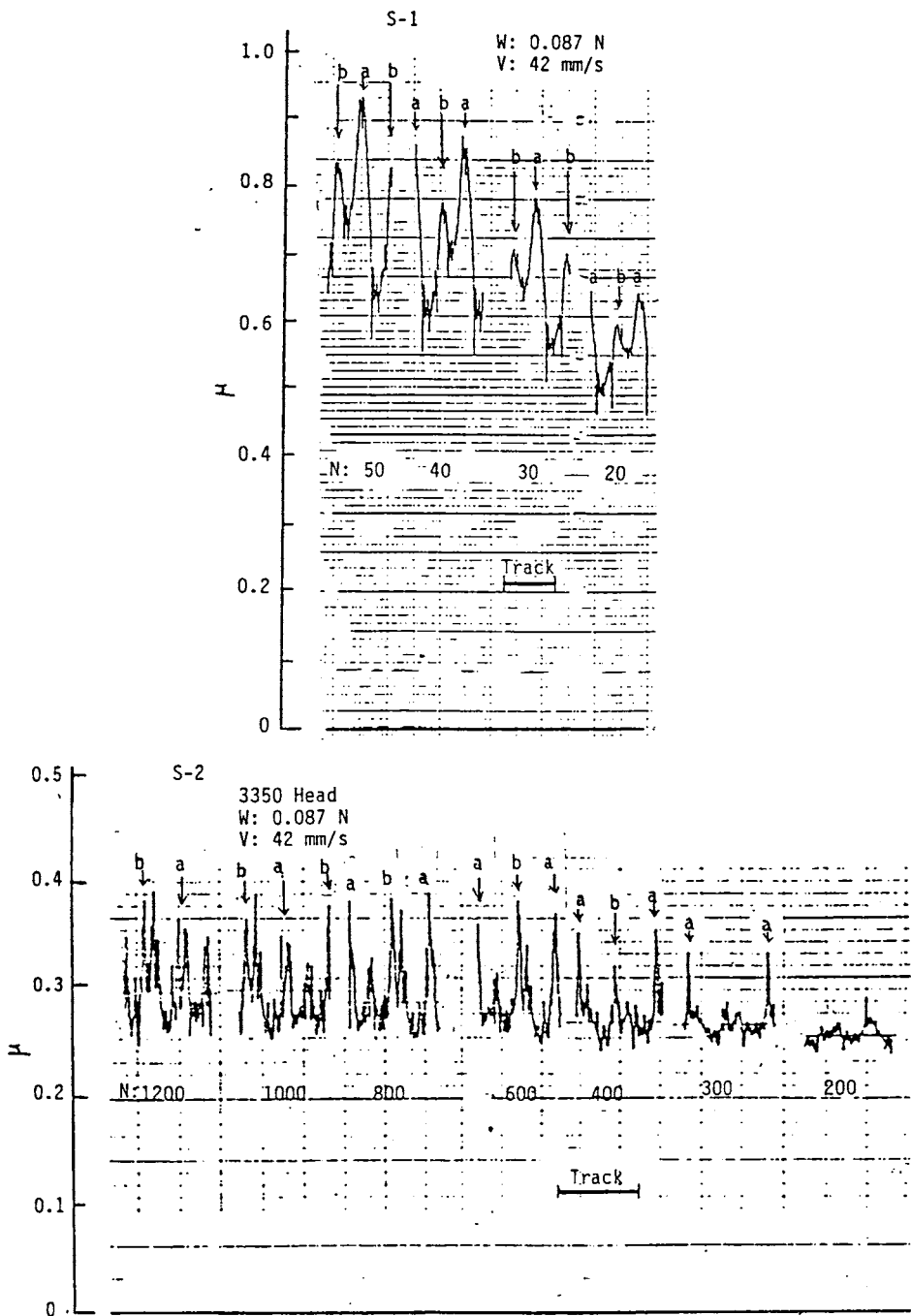


図1.11 S-1、S-2ディスクのトラッカー周摩擦記録の  
 くり返しすべり回数  $N$  による変化

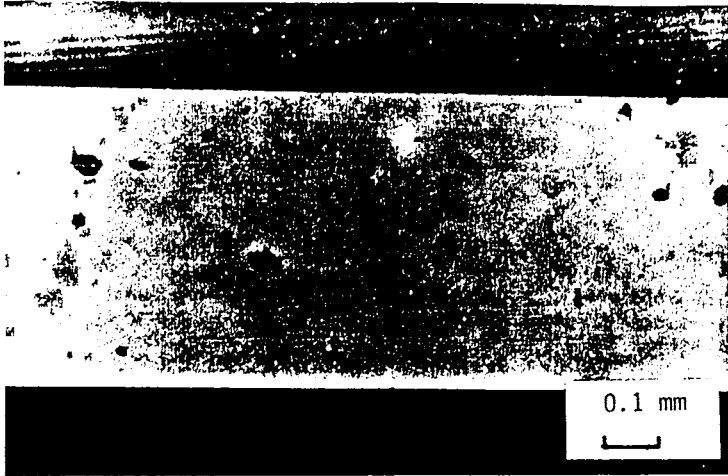


図1.12 ヘッドのレール面への移着(S-1、N = 140)

#### 4. 結論

- 1) 一般に、0.1cm/s以下の速度域では $\mu$ の正の速度特性が明瞭に現われる。
- 2) Textureは、ヘッドとの摩擦を減少する。
- 3) ヘッドとディスクとの真実接触部の変形は塑性的ではない。
- 4) 金属磁性膜とヘッドとの直接の接触が生ずるときの $\mu$ は1.0以上に達する。

## II 硬い球面のすべりにおける 接触変形、摩擦及び耐久性

## 1. 緒言

第1編では、鋼球面とヘッドが磁気ディスクに低速ですべるときの摩擦について報告したが、ディスクが軟質のAl合金板上に硬い下地層や磁性層、保護層が積層されている構造であることから、球面スライダによる摩擦と接触変形について、さらに調べることは有益と考えて実験を行った。また、球面スライダによるディスクの耐久性も調べた。

## 2. 試料及び実験方法

表2.1にディスク試料をまとめてある。これらの磁性層は、めっきまたはスパッタによって作成されているが、いずれも、Al合金板にめっきされた10-20  $\mu\text{m}$ 程度のNi-P下地層の上に $10^{-2}$   $\mu\text{m}$ オーダの厚みの磁性層、カーボン保護層が作成されている。また、一部の試料では、磁性層の上または下に薄い中間層も存在している。試料SB-1CはNi-P層/Al合金の一層のみのものでS-2C、3Cディスク用の基板である。スライダ試料としては、曲率半径Rがそれぞれ約0.12mm及び0.14mmと小さいサファイヤ及びフェライトの球面並びに半径0.79及び2.38mmの鋼球面を使用した。これら球面スライダによる実験は一般に種々の荷重下で、すべり速度を0.05mm/sとして行った。実験の一部では、0.79mm鋼球面を低速回転するディスクに荷重を増加しながら摩擦したときの荷重、摩擦力、接触電気抵抗を記録して、損傷発生について調べた。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 ビッカース硬さ、Hv

図2.1(a)、(b)に、ディスクのHvの荷重変化を示した。Ni-PめっきのHvは約 $5.5(10^3\text{MPa})$ とされているが、Hv(10gf)は、いずれのディスクも、この程度の値をとる。研磨してAl合金面を露出させて求めたHvも図2.1に示したが $6.6-7.0(10^2\text{MPa})$ であった。

表 2.1 磁気ディスク試料

試料	潤滑剤塗布	ディスク	Ni-P 下地層	カーボン 保護膜	磁性層	備考
P-1a	無	有	Ca.20 $\mu$ m	Ca.0.03 $\mu$ m	Co-P 0.05-0.06 $\mu$ m	めっき ディスク
S-1b	無	有	Ca.20 $\mu$ m	Ca.0.03 $\mu$ m	Co-Ni Ca.0.06 $\mu$ m	スパッタ ディスク
S-2c	無	無	Ca.10 $\mu$ m	Ca.0.035 $\mu$ m	Co-Ni-Cr Ca.0.04 $\mu$ m	スパッタ ディスク
S-3c	無	有				
SB-1c	無	無	Ca.10 $\mu$ m			S-2c,3c 用 基板

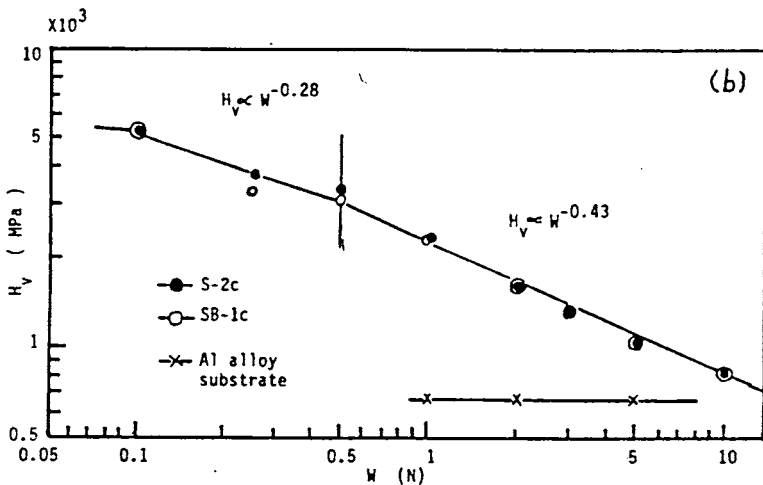
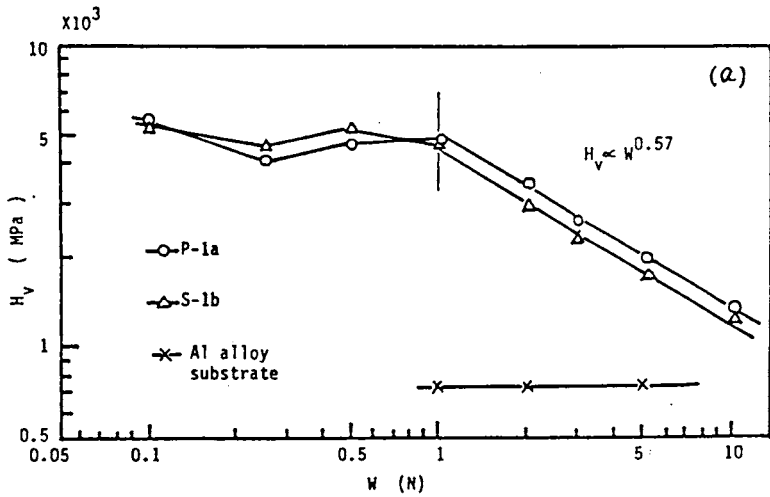


図2.1 試料ディスクのビッカース硬さ $H_V$ と荷重 $W$ の関係

ディスクのHvは、高荷重域では、 $W^{-n}$ に比例するが、Ni-P層が約 $20\mu\text{m}$ のときは低荷重域でHvは荷重にあまり依存しない。なお、P-1aはS-1bより少しく厚いNi-P層を有していることがわかる。また、図2.1(b)から、磁性層と保護層はHvに影響しないこともわかる。圧こん形状は、軟かいAl合金上に硬い層があるために、図2.2(b)のように糸巻型になる。これは圧子の側面方向ではNi-P層が部分的に弾性回復するためかもしれない。P-1aとS-1bとに、低荷重のときに磁性層はく離が観られた(図2.2(a))。この試料は球面スライダの摩擦において損傷を生じやすいものであったので、ピッカーズ圧こんもディスクの摩擦損傷性の評価に利用できるかもしれない。

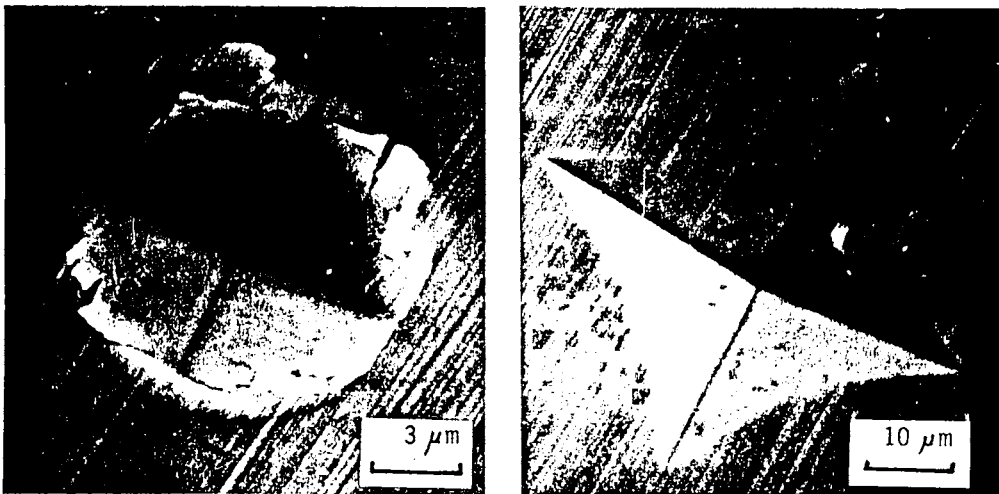


図2.2 ピッカーズ圧こんのSEM写真(S-1b) (a)25gf、(b)300gf

### 3.2 球面スライダとの接触変形

ディスクの摩擦トラックの幅 $d$ と荷重 $W$ との関係を求めた。サファイヤと鋼の球面についての結果を図2.3及び図2.4に示した。フェライトの硬さは $6(10^3\text{MPa})$ 程度であるので、Ni-P層の存在によって無視できない程度の変形が起こるかもしれないが、結果はサファイヤの場合と似ていた。なお、半径が小さいサファイヤなどでは、低荷重における $d$ の正確な測定は、ディスクに金蒸着しても困難な場合があった。 $d \propto W^m$ の関係があるが、図2.3から、半径 $0.1\text{mm}$ 程度では、高荷重域で $m$ が $0.5$ よりかなり大きく、また、低荷重域では $m = 0.5$ と近似してよいことがわかる。 $2.38\text{mm}$ 半径鋼球面では、 $m$ は $0.5$ であるが、 $0.79\text{mm}$ 半径球面では、 $0.5$ より少しく大きくなっている。

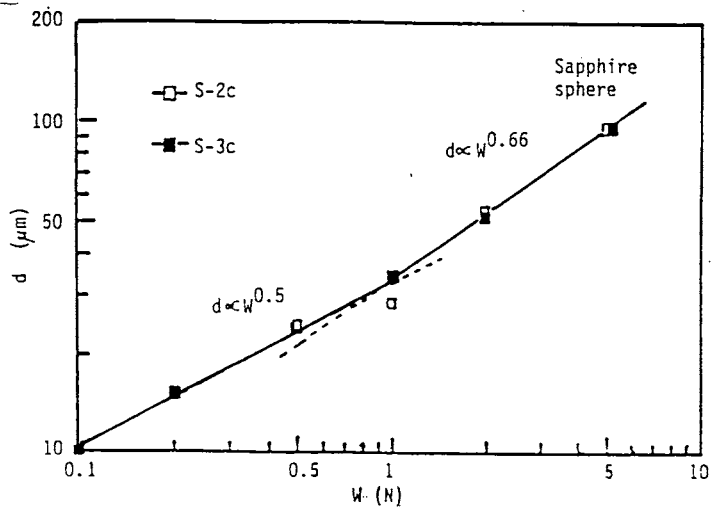
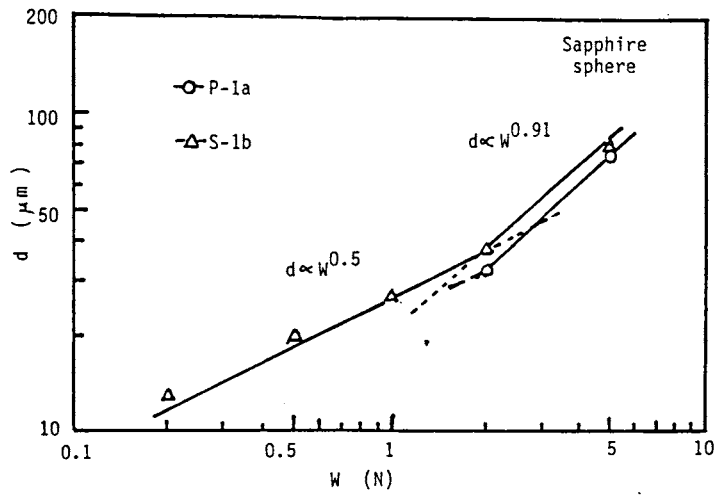


図2.3 トラック幅  $d$  と荷重  $W$  の関係 (サファイヤ球面、 $R \approx 0.12 \mu\text{m}$ )

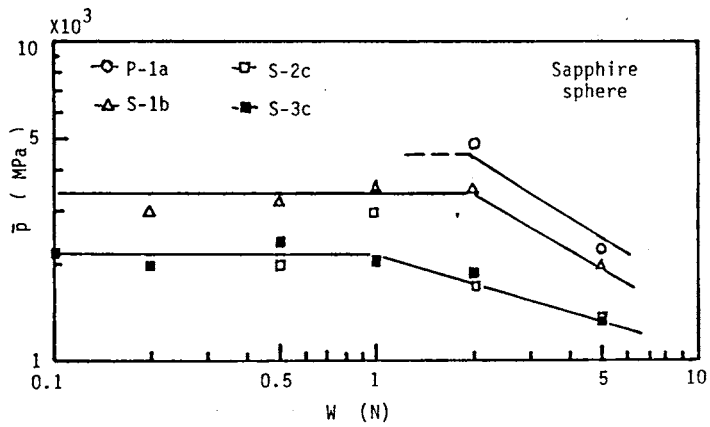


図2.4 平均接触圧力  $\bar{p}$  と荷重  $W$  の関係(サファイヤ球)



通常の固体平面と硬い球面との塑性接触では、 $m = 0.5$ 、また、弾性接触では、 $m = 0.33$ であるから、 $m > 0.5$ となるのは、Ni-P/Al合金の積層を有する磁気ディスクの特徴的接触特性といえる。すべりにおける接触面積を $\pi d^2/8$ で近似してよいであろう。この場合の接触圧力 $p$ は、サファイヤの場合、図2.4のようであり、低荷重域では、Ni-P層の厚みで定まる一定値をとるとみなしてよい。もちろん、きわめて低い荷重での塑性接触では $p$ はNi-P層の $H_v$ をとるであろう。S-3Cディスクにおいて、2.38mmと0.79mm半径の鋼球面での $p$ は、それぞれ、Al合金板の $H_v$ と同程度の $6.6(10^2 \text{MPa})$ 及び約 $8.5(10^2 \text{MPa})$ であるが、0.12mm半径サファイヤ球面では、 $220(10^2 \text{MPa})$ である。このように、磁気ディスクと球面の接触では、接触面積が荷重に比例して、単一固体の塑性接触と同様であっても、接触圧力が球面半径が小さいほど大となること、また、高荷重で接触圧力が減少するようになることが注目される。2.38mm鋼球面のときの $p$ がAl合金板の $H_v$ 値とほぼ同じであることは、Ni-P層が単に弾性的に変形していることを示しているように思われる。

### 3.3 摩擦特性

実験の荷重域では、サファイヤ及び鋼の球面のすべりにおける摩擦は、一般に変動が小さいものであったが、P-1aとS-1bディスクにフェライト球面を2N以上ですべらしたときには、図2.5のような著しい変動がしばしば現われた。これは摩擦損傷に対応するものであったので、損傷発生をモニターすることによって知ることが可能であることを示している。図2.6及び図2.7に、サファイヤ及び鋼の球面の場合における $\mu$ と $W$ との関係を示した。半径が小さいサファイヤ球面での $\mu$ は、1N以上の荷重では $W^\alpha$ に比例し、 $\alpha$ は0.45程度であるが、低荷重域では荷重にあまり依存しない。また、半径が大きい鋼球面では、 $\mu$ は $W$ に依存しないが、これは、 $\mu$ が凝着成分 $\mu_0$ で定まり、それが $d^2/W$ に比例することによるものである。この場合の結果(図2.7(b))から、接触面積を $\pi d^2/8$ と仮定して求めた凝着部のせん断強さ $\tau$ は140MPaであった。これはカーボン保護膜のせん断強さと考えてよいかもしれない。 $d \propto W^m$ のとき、 $\mu_0 \propto W^{(2m-1)}$ と考えるとよく、例えばS-2Cにサファイヤ球面がすべりときには、高荷重域では $\mu_0 \propto W^{0.32}$ と考えられるが、測定結果では $\mu \propto W^{0.48}$ となっている。この違い

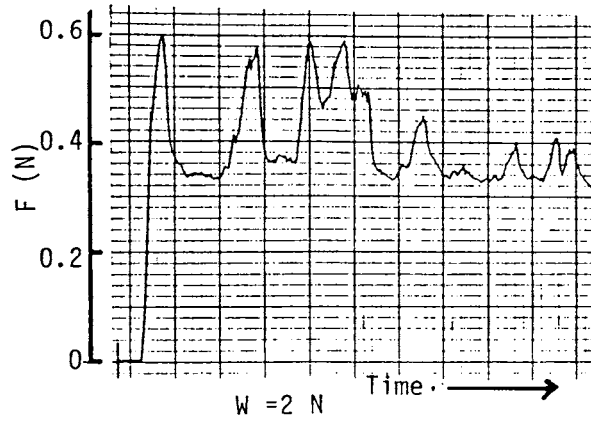


図2.5 摩擦損傷が生ずるときの摩擦変動(フェライト球面)

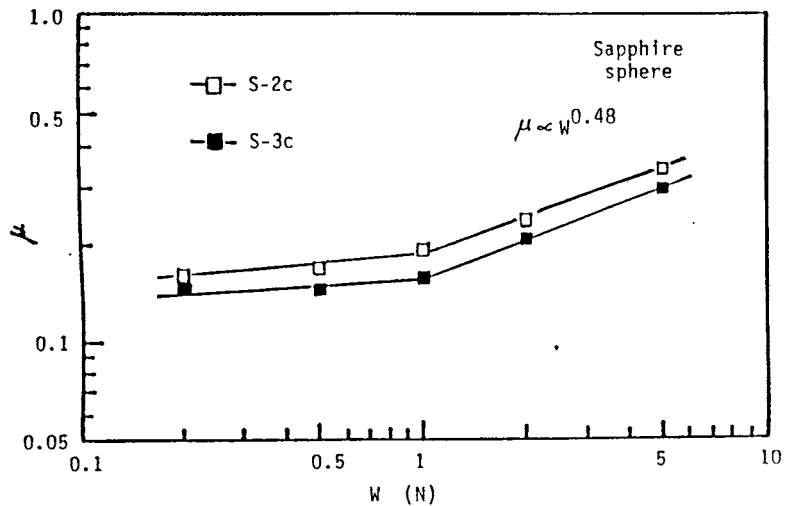
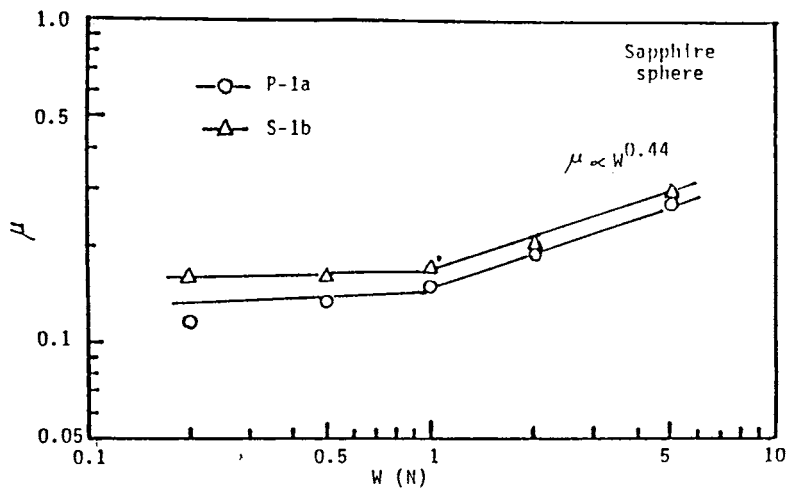


図2.6 摩擦係数  $\mu$  と荷重  $W$  の関係(サファイヤ球面)

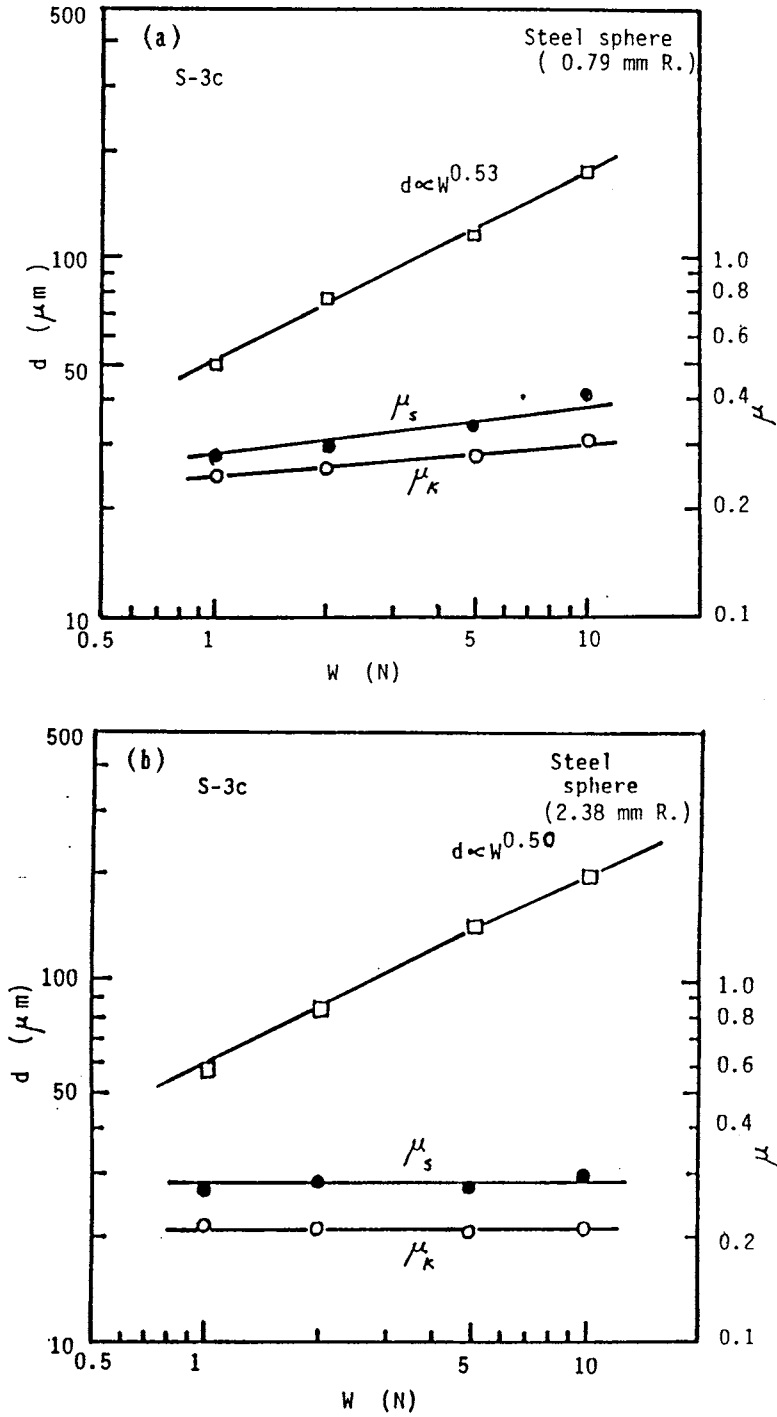


図2.7 摩擦係数 $\mu$ 及びトラック幅 $d$ と荷重 $W$ の関係  
 鋼球面、(a)  $R = 0.79\text{mm}$ 、(b)  $R = 2.38\text{mm}$ ； S-3C

は、摩擦係数 $\mu$ の掘り起こし成分 $\mu_0$ によると考えてよい。しかし、 $\mu_0$ の評価は磁気ディスクの場合には簡単でないように思われる。フェライト球面の場合における $\mu$ の荷重変化はサファイヤ球面の場合と似たものであった。しかし、低荷重域の $\mu$ は0.03程度大きく現われた。摩擦係数の凝着成分が荷重によって増加することは特異な現象であるが、磁気ディスクでは、接触面積が $W^{2m}$  ( $m>0.5$ )に比例することが起こり、この現象が現われることはディスクの摩擦特性として注目される。

### 3.4 摩擦損傷

P-1aとS-1bのディスクにフェライト球面が2N以上の荷重ですべるときにしばしば損傷が生じた。損傷は、図2.8(a)に示すように光学顕微鏡写真では白くみえるが、摩擦トラックの一部で生じる。なお、すべり開始時に発生しやすい。図2.8(b)は、損傷のSEM写真の例であるが、磁性層のはく離的破壊が起こっていることがわかる。破壊はぜい性的であるようにみえる。図2.9は、高荷重下のサファイヤ球面すべりで生じたP-1aディスクの摩擦こんのSEM写真であり、はく離は生じていないが、スライダ後端部での引張応力でNi-P層にクラックが生じたと思われる。また、Textureの条こんが球面すべり方向に変位している。

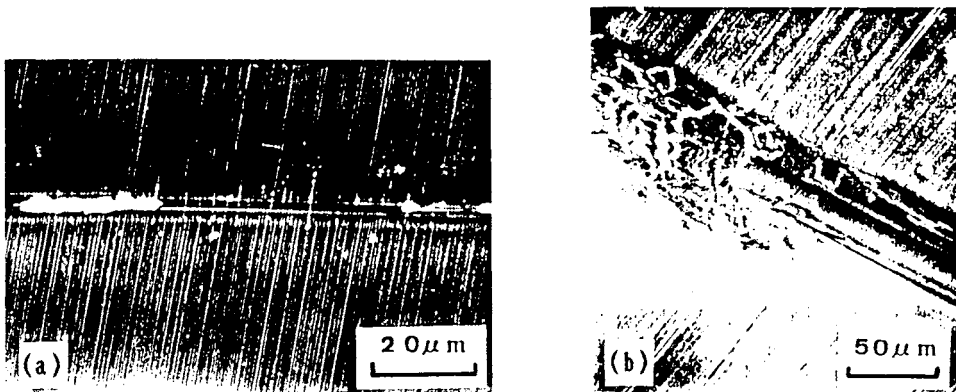


図2.8 摩擦損傷の例 (S-1bディスク-フェライト球面、 $W=2N$ )

(a)OM、(b)SEM

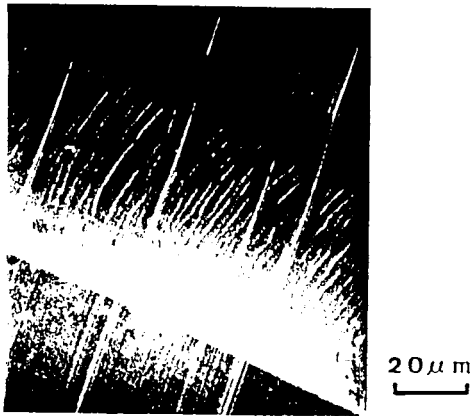


図2.9 トラック内のクラック(P-1a サファイヤ球面、5N)

0.79mm半径の鋼球面を低速回転するディスクに連続的に荷重を増加しながら押しつけて摩擦したときの荷重、摩擦力及び接触電気抵抗を記録して損傷発生を調べた。回転は1回転以内である。この場合に、摩擦が突然に急増し、同時に抵抗が零にまで低下した例を図2.10(a)に示した。(b)図は(a)の記録の場合に損傷の開始部付近の顕微鏡写真であるが、損傷発生前では単なる塑性くぼみであり、突発的に損傷が発生して拡がるのが注目される。図2.11は、図2.10と別の同様の実験で生じた損傷のSEM写真であるが、磁性層のはく離やぜい性的破壊をする性質が明瞭にみられる。

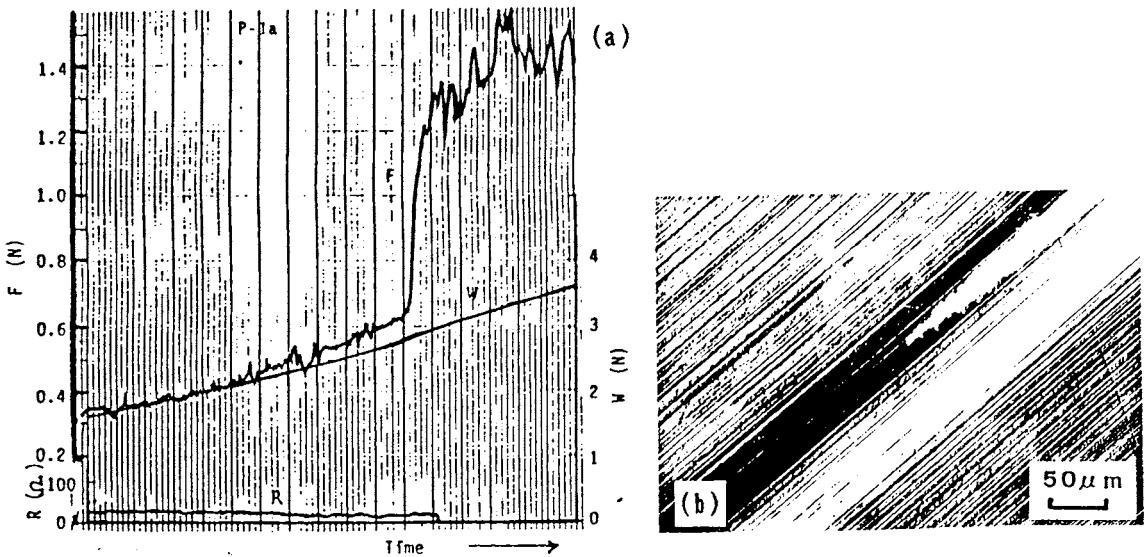


図2.10 連続荷重増加における記録(a)と損傷(b)、P-1a

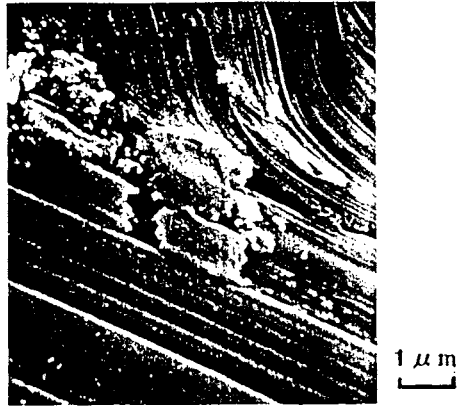


図2.11 連続荷重増加における損傷例(S-1b)

#### 4. 結論

(1)磁気ディスクは軟質のAl合金基板の上に硬い下地層を有するために、特異な接触特性を示し、それが摩擦特性に反映される。

(2)磁性層の損傷は摩擦増加として検出できる。

(3)磁性層は、摩擦によってはく離し、ぜい性的な破壊を示す。

### III フェライトヘッドの低速

繰り返しすべり及びCS/S

繰り返しにおける摩擦と損傷

## 1. 緒言

薄膜ディスクに球面スライダがすべる場合、高荷重では、磁性層が下地層からずれて破壊するようなシビヤな損傷が生じ、摩擦も高くなる。一方、我々の以前の実験では、ヘッドがディスクに繰り返しすべるときに摩擦が著しく増加してもディスクの損傷は容易に観察できなかつた。また、Textureや、数nmの厚みの薄い塗布潤滑膜と、ディスクの摩擦や損傷の関係も明らかでない。そこで、ヘッドの低速繰り返しすべりやC S Sサイクルテストにおける摩擦と損傷を調べた。

## 2. 試料及び実験方法

表3.1にディスク試料の概略をまとめて示した。保護膜はすべてカーボンスパッタ膜であり、Textureや潤滑剤の点で、実用されない表面状態のディスクも試料として用いた。なお、スパッタ・ディスクは試作品である。実験装置としては、パティーテック社のディスク試験機を使用し、ディスク回転10rpm（速度3~6cm/s）で低速繰り返しすべりを、また、1回約20SのC S Sの繰り返しを行ない、摩擦係数 $\mu$ と繰り返し回数Nの関係を求めた。使用ヘッドはフェライトヘッドであり、荷重は9.5gfとした。実験は主として25±5℃、40±10%R.H.で行なわれた。損傷観察にはノマルスキー型顕微鏡を使用した。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 低速繰り返しすべりににおける摩擦係数 $\mu$ の変化

図3.1と図3.2に、めっき及びスパッタディスク試料の $\mu$ -N曲線を示した。摩擦トラック一周中の摩擦変動はNが増加すると大きくなる傾向があるが、これらの図では、一周中の $\mu$ の概略平均値 $\mu$ をプロットし、 $\mu$ の範囲を棒線で示してある。図3.1では、潤滑剤があるP-1Aで、1.0以上の高い $\mu$ が現われていることが注目される。



表 3.1 磁気ディスク試料

試料	潤滑剤塗布	テクスチャ	下地層	カーボン保護膜	磁性層	備考
P-1A	有 Ca.2.8nm	有	Ni-P Ca. 20 $\mu$ m	Ca. 40nm	Co-P Ca. 55nm	めっき ディスク
P-1B	無	有				
S-2A	有	有	Ni-P Ca. 15 $\mu$ m	Ca. 30nm	Co-Ni Ca. 60nm	スパッタ ディスク (試作品)
S-2B	無	有				
S-2C	有	無	Alumite			
S-2D	無	無	Ni-P Ca. 15 $\mu$ m			

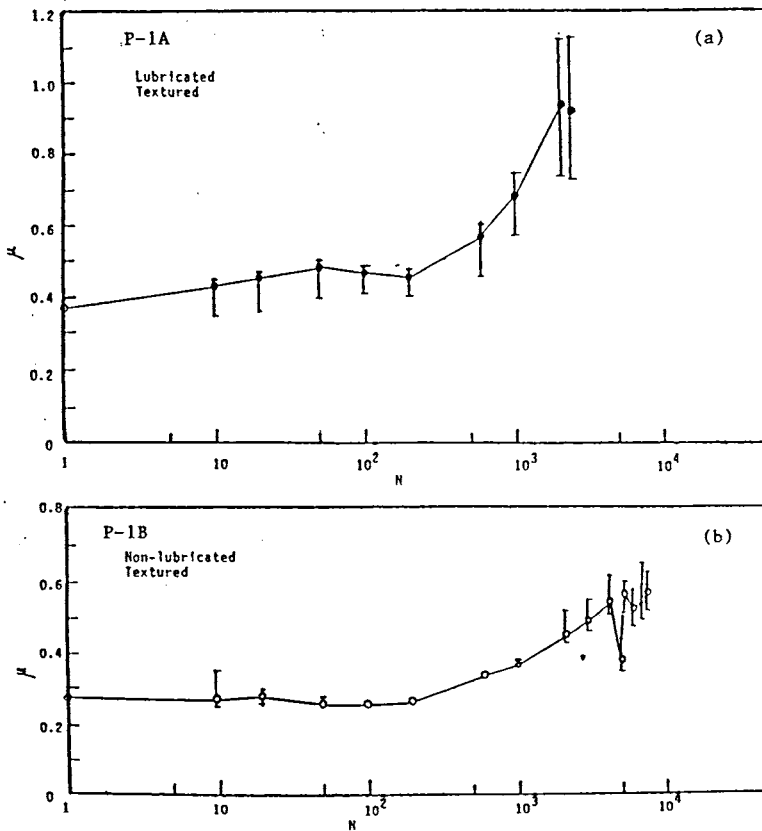


図3.1 フェライトモノシリックヘッドの繰り返しすべりにおける  
摩擦係数 $\mu$ と繰り返し回数 $N$ との関係(めっきディスク)

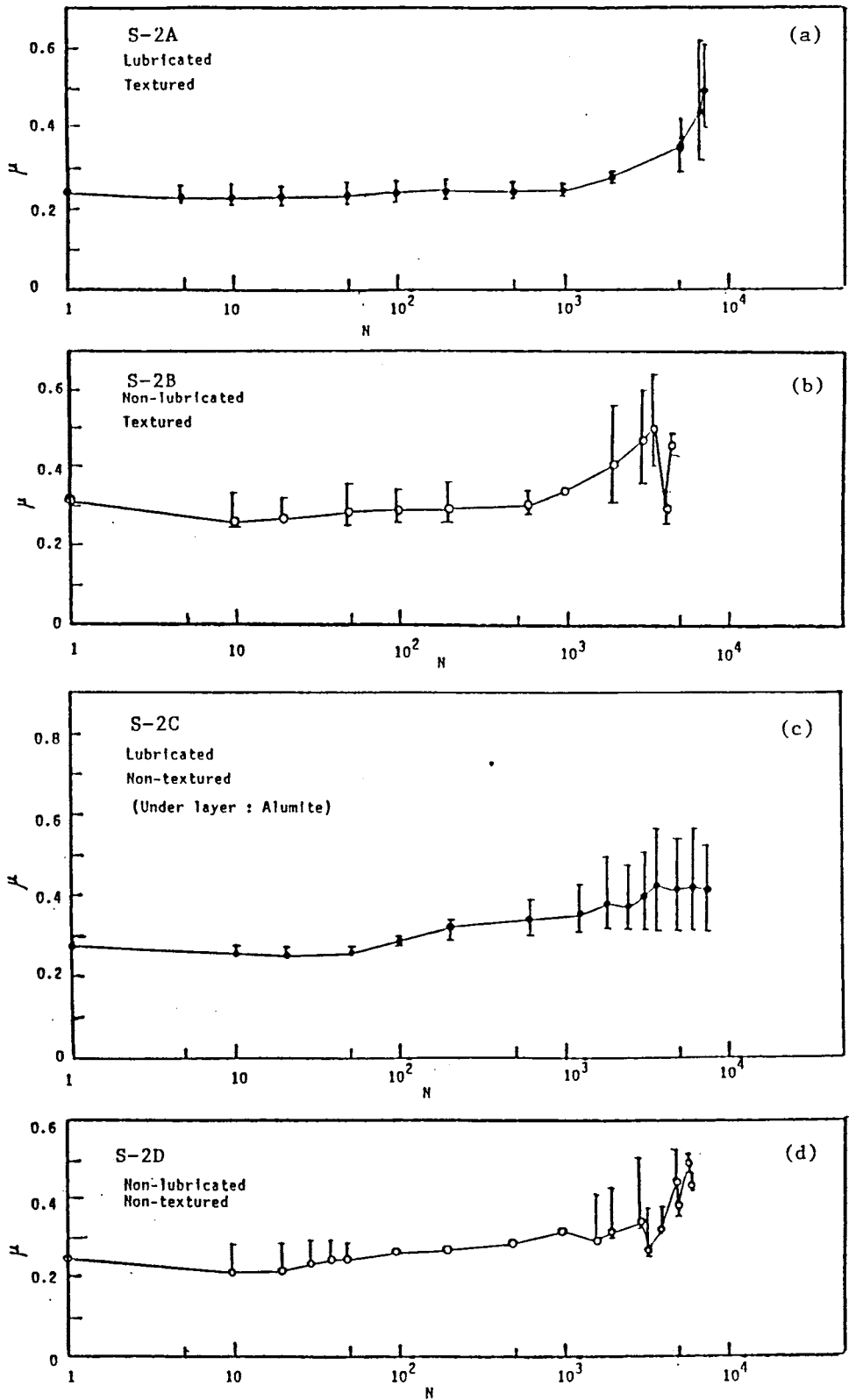


図3.2 フェライトミニモノシリックヘッドの繰り返しすべりにおける  
摩擦係数 $\mu$ と繰り返し回数 $N$ との関係(スパッターディスク)

この試料では、実験後ヘッドを引離す時に著しい付着力(Stiction)を認めた。そこで、P-1Aでは、潤滑剤による接触荷重増加作用が高摩擦の主原因と考えられる。実際、この場合は損傷は観られなかった。図3.2の(a)と(b)、(c)と(d)を比較してみると、 $\mu$ 増加は潤滑剤によって抑制されるといえる。このことは、潤滑剤が、N増加における固体-固体接触を抑制することを示していよう。一方、図3.2の(a)と(c)、(b)と(d)の比較からTextureは $\mu$ の増加を生じ易くすることがわかる。なお、図3.2(c)から、スパッタディスク試料の塗布潤滑剤のN増加における付着力増加があるとしても、それはめっきディスクのそれよりはるかに小さいといえる。これは、両者のディスクでの潤滑剤の違いによるであろう。

### 3.2 CSS繰り返しにおける低速域の摩擦係数 $\mu_{CE}$ の変化

CSSでは、停止域での低速での摩擦記録から平均的な摩擦係数 $\mu_{CE}$ を求めた。図3.3と図3.4に、めっき及びスパッタディスクにおける $\mu_{CE} - N$ 曲線を示す。P-1A試料ではNが大きいき1.0程度の高い $\mu_{CE}$ が現われたが、この場合もヘッドの強い付着が認められた。しかし、損傷は観察されなかった。図3.4の(a)と(b)の比較からも、Textureが摩擦増加を生じ易くすることがわかる。

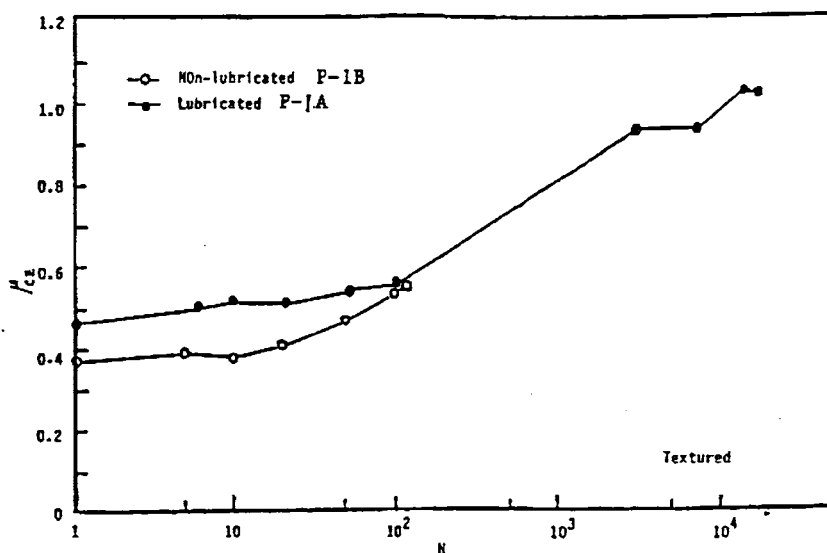


図3.3 めっきディスクのCSS繰り返しにおける摩擦係数 $\mu$ の変化

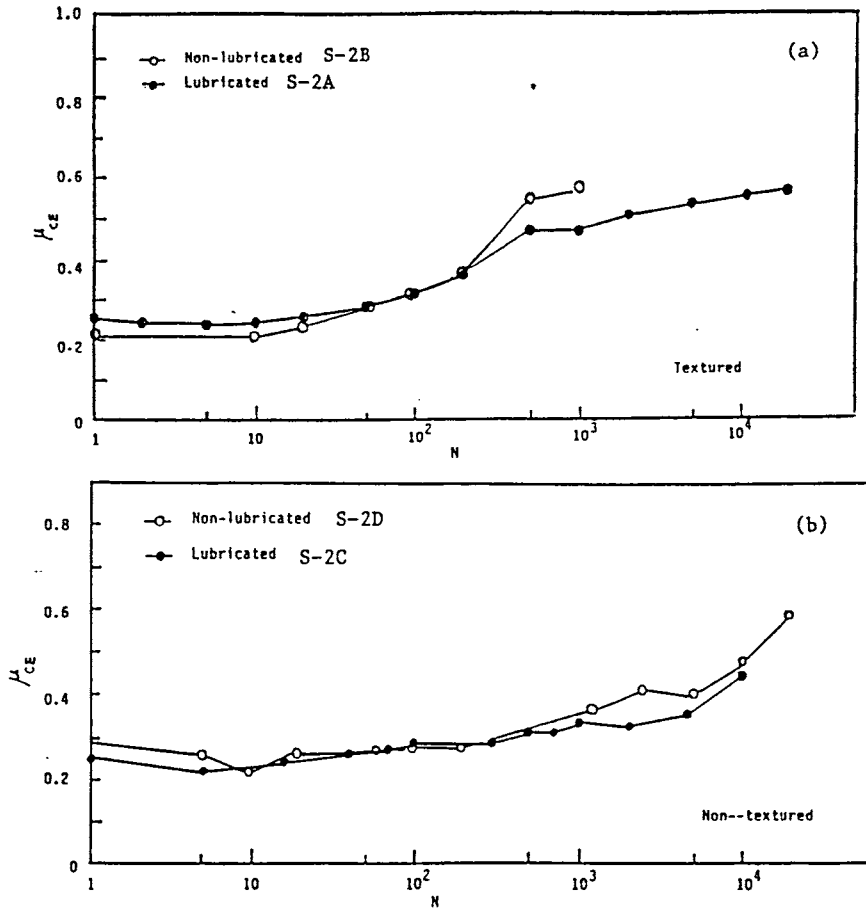


図3.4 スパッターディスクのCSS繰り返しにおける摩擦係数 $\mu$ の変化

### 3.3 摩擦トラック中に局所的高摩擦が発生するまでの摩擦回数

$N$ が増加すると、図3.5に例示したように局所的高摩擦が生ずることが多いので、低速繰り返しすべりとCSSとにおいて、これを認めた時の概略の $N$ 値を求めて比較してみると図3.6の結果が得られた。当然ともいえるが、両試験における損傷発生回数に密接な関係があるといえる。

### 3.4 ディスクの摩擦損傷

$N$ 増加による $\mu$ 増加はディスクにおける何らかの損傷を意味する。両試験で、損傷を認め得なかったのは、P-1AとS-2Cディスクであるが、P-1Aでは $N$ 増加により局所的に潤滑剤の厚い所が生じて、その付着力のために高摩擦が現われる

と、思われる。一方、繰り返し摩擦によってTexture面の高い突起が摩耗することがTEM観察(図3.7)から示されるので、これも潤滑剤がある時の高摩擦が出現する原因であろう。

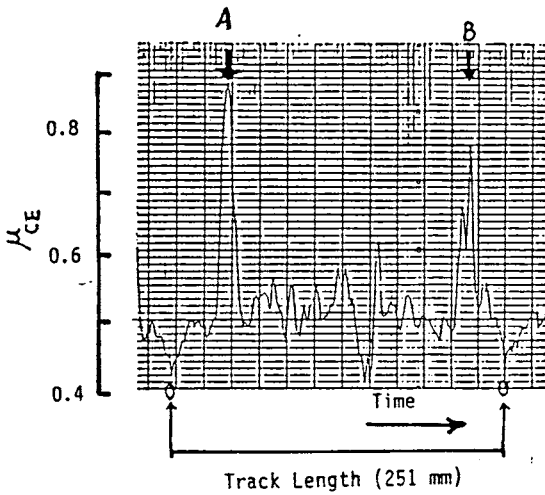


図3.5 摩擦トラックにおける局所的高摩擦の例

CSS、S-1B試料ディスク N=1000

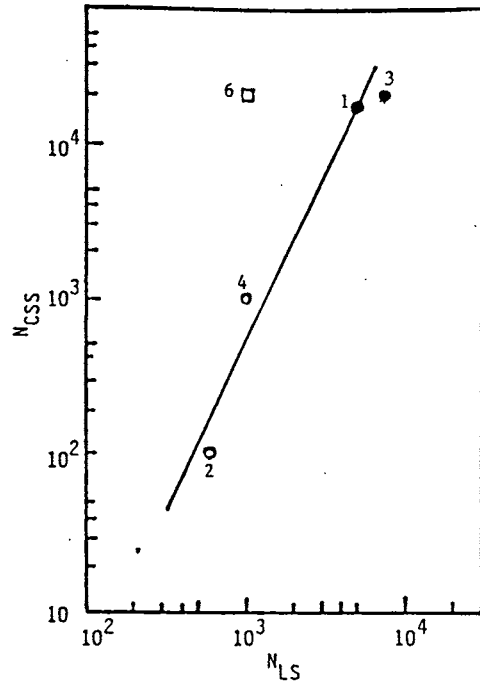


図3.6 低速繰り返しすべりとCSSにおける

高摩擦発生回数の関係(数字は試料番号)

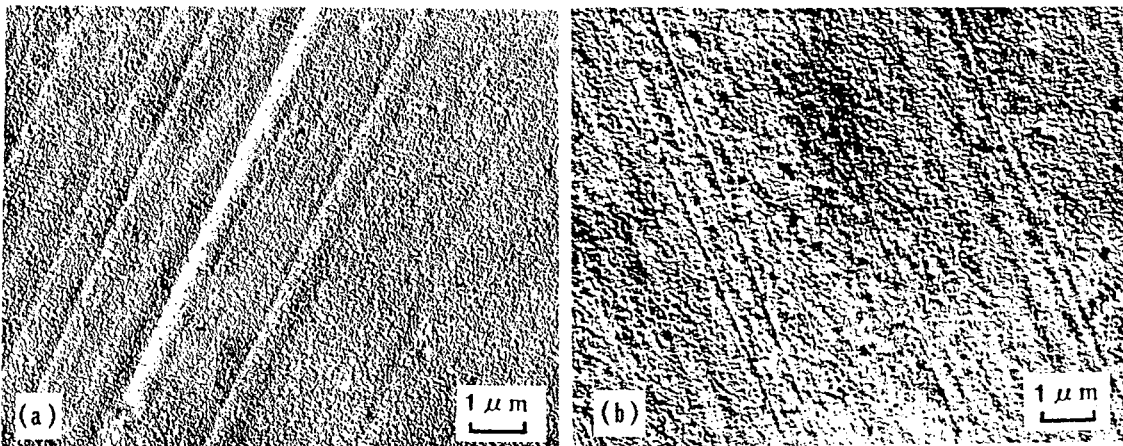


図3.7 繰り返し摩擦によるTexture面の摩耗(a)P-1B処女面

(b)CSS、N=120 (TEM)

なお、潤滑剤が無い時の高摩擦には吸着水分膜による付着力が関与するかも知れない。しかし、潤滑剤が無い方が、 $\mu$ はより大きいので $\mu$ 増加に、 $N$ 増加で固体-固体の凝着が強くなり起こるといふ機構も重要な役割をしているに違いない。ところが、観察によって検出される損傷は一般にきわめて軽微といえるもので、ヘッドの摩擦面とくらべて損傷の大きさはきわめて小さく、また、その個数も大変少ない。しかも、磁性層破壊は一般に起こらないのでヘッドはカーボンとのみ接触しているとみてよい。したがって、 $N$ 増加における $\mu$ 増加や高摩擦の発生には、繰り返し摩擦で生ずるカーボンの新生面の吸着性が強くて、水蒸気を吸着して変質層を形成するなどの機構を考えるべきかもしれない。

図3.8(a)と図3.10(a)は最も一般的な損傷形態で摩擦方向の長さが2~3mm以下で、幅が50 $\mu$ m以下の細長いものであり、黒く観察される。図3.8(b)と図3.10(b)は、(a)図の拡大であるが、Texture上にさらにカーボンが移着して生じたようにみえる。図3.9の白い損傷(A)にはTextureが見られず、高荷重下の球面すべりと同様の、磁性層破断を生じたものと思われるが、このような損傷は他では観察されなかったもので、一般には起こり得ないものである。図3.9には薄黒くみえる部分もあるが、これも損傷といえる。また、(B)はヘッドレールのエッジの摩擦部で、ここにはカーボンの摩耗粉が集積しているようである。図3.11(a)は、摩擦方向に黒いスポット(A)と、これに続いて白いスポット(B)の損傷が生じていることを示している。図の(b)、(c)は夫々の拡大であるが、黒いスポットはカーボンの移着により、また白いスポットは磁性層破断によるものであろう。黒い損傷はヘッドに移着したカーボンの再移着によって形成されるのかもしれない。図3.12は、繰り返し摩擦によって生じる摩耗粉によるヘッドのスクラッチと移着の例を示している。

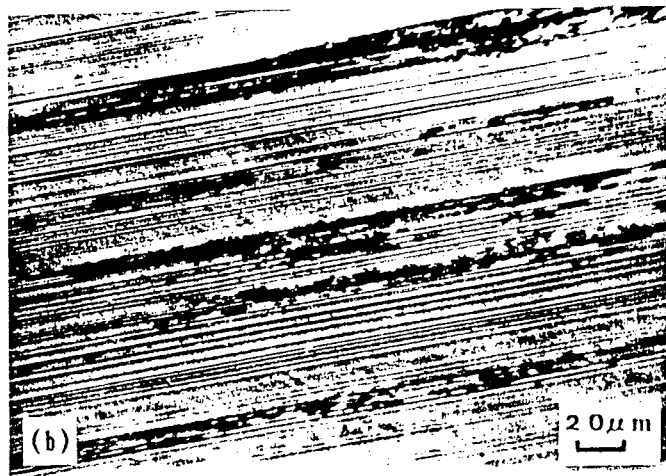
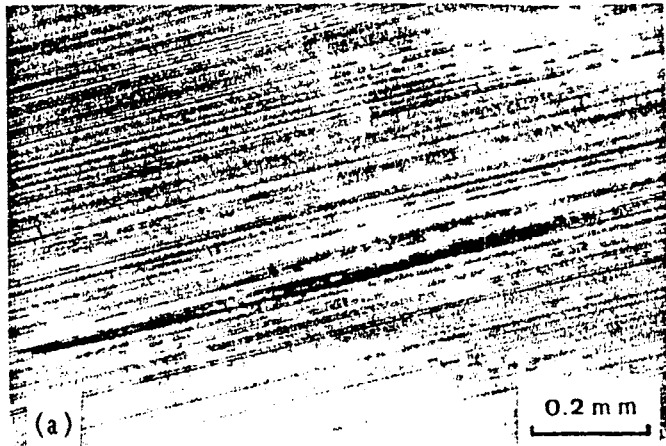


図3.8 ディスクの摩擦損傷の例、(b)は(a)の一部拡大  
 (低速繰り返しすべり、 $N = 7500$ ; P-1bディスク)

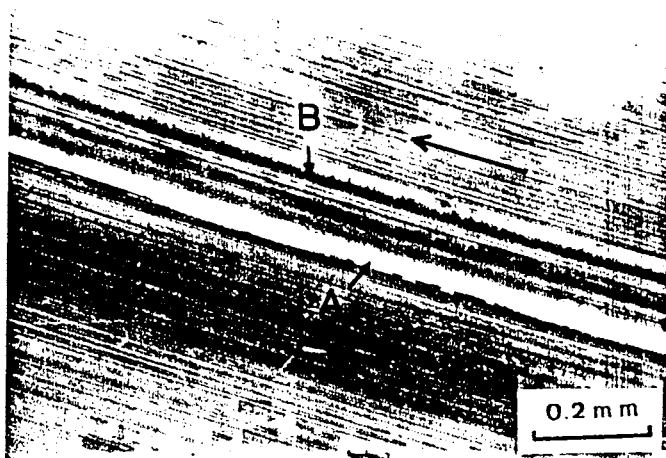


図3.9 ディスクの摩擦損傷の例(低速繰り返し、 $N = 4500$ ; S-2B)  
 (矢印はヘッドのすべり方向を示す)

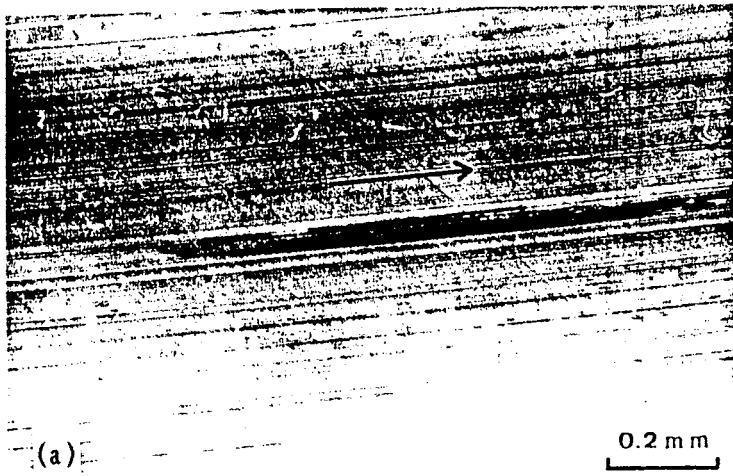


図3.10 C S Sで生じた摩擦損傷の例(P-1B、N = 120)  
(b)は(a)の一部拡大



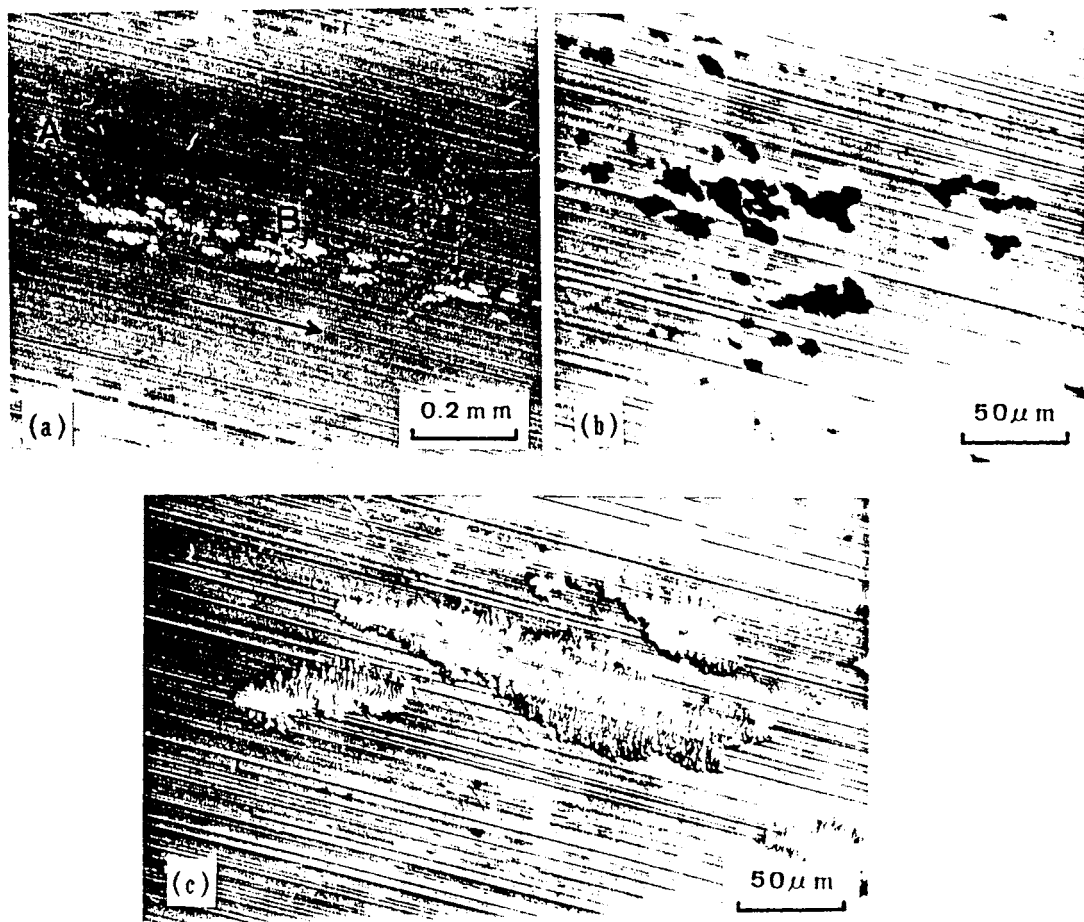


図3.11 C S Sで生じた摩擦損傷の例(S-2B、N = 1000)

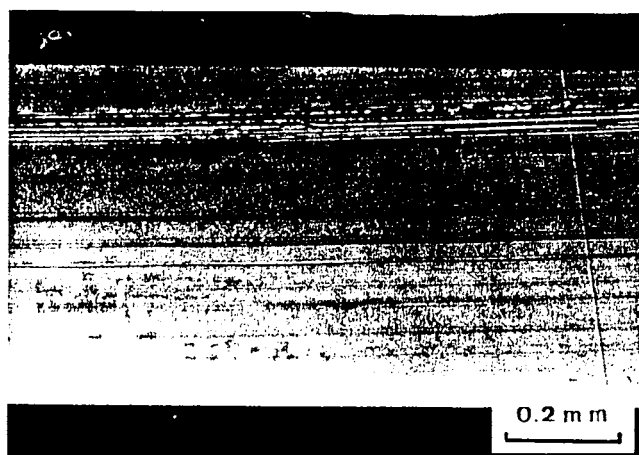


図3.12 低速繰り返しすべりで生じたヘッドのスクラッチと移着の例  
(S-2B相手、N = 4500)

#### 4. 結論

(1)ディスクにヘッドが繰り返し摩擦するときに生じる損傷は、一般的にはカーボン膜に限られ、細長いかなり小さいもので黒く観察される。繰り返し摩擦で生ずる $\mu$ 増加や高摩擦に直接対応するような損傷は観られなかったが、それらはカーボン膜における何らかの変質によると考えられる。

(2)Textureは、繰り返し摩擦による $\mu$ 増加を生じやすくするが、潤滑剤はこれを抑制する。

(3)繰り返し摩擦によって、潤滑剤による付着力が著しく摩擦を高くすることがある。

IV  $\text{Al}_2\text{O}_3$  / TiC 薄膜ヘッドの  
定速繰り返しすべりにおける  
摩擦と損傷

## 1. 緒言

第Ⅲ編の実験では、フェライトヘッドをカーボン保護膜を有する薄膜ディスクに、定速すべり及びCSSの両方式で繰り返し摩擦し、ヘッド面およびディスク面を観察したが、しばしば、ヘッド面にスクラッチが生じた。このような損傷を調べるという点では、硬い $Al_2O_3TiC$ の薄膜ヘッドが実験的に都合がよい。また、薄膜ヘッドとフェライトヘッドでは、ディスクの耐久性に差異があると言われている。一方、前編の実験におけるスパッタディスク試料は試作品であったが、本編では実用化されているスパッタディスクと同系で、表面状態が種々異なるディスク試料を入手できた。そこで、これらの試料と、前編でも使用しためっきディスク試料に薄膜ヘッドを定速で繰り返しすべらせるときの摩擦と損傷を調べた。

## 2. 試料及び実験方法

本実験に使用した試料ディスクの概略を表4.1に示した。ディスクはすべてカーボンスパッタ膜の保護膜を有し、潤滑剤やTextureの点で表面状態が種々異なっている。

表1 磁気ディスク試料

試料	潤滑剤	テクスチャ	下地層	保護膜	磁性層
1. S-1A	有	有	Ni-P ca.10 $\mu$ m	カーボン ca.37nm	Co-Ni-P ca.40nm
2. S-1B	なし	有			
3. S-1C	有	なし			
4. S-1D	なし	なし	Ni-P ca.20 $\mu$ m	カーボン ca.40nm	Co-P ca.55nm
5. P-1A	有	有			
6. P-1B	なし	有			

(S スパッタディスク, P めっきディスク)

試料ヘッドはIBM 3370型の薄膜ヘッドを使用し、 $Al_2O_3 / TiC$ 製の2本のレールを有している。実験装置は、パティテック社のディスク試験機を使用した。ヘッド押し付け荷重を9.5gfとし、ディスク回転10rpm(速度 3~6cm/s)及び50rpm(速度13~31cm/s)で定速繰り返しすべりを行い、摩擦係数 $\mu$ と摩擦回数 $N$ の関係を求めた。実験は主として $25 \pm 5$  °C、 $40 \pm 10\%$  RHで行われた。摩擦損傷の観察にはノマルスキー型顕微鏡及びSEMを、また、表面分析にはAESを使用した。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 定速繰り返しすべりにおける摩擦係数 $\mu$ の変化

図4.1にS-1C試料の摩擦回数670回における摩擦の記録を示す。トラック一周中の数か所で摩擦の高い部分が存在するのがわかる。

一般に、ディスク一周中の摩擦の変化は摩擦回数が多くなるにつれて大きくなった。ある部分で高い摩擦が現れると、その部分での摩擦は摩擦回数が増加するにつれ、さらに大きくなる傾向があった。摩擦回数による摩擦係数の変化を簡単に表すために、図4.2~4.5では、一周中の摩擦の概略平均値をプロットし、摩擦の範囲を棒線で表した。図4.2はスパッタディスク試料の10rpmでの $\mu-N$ 曲線である。摩擦回数の増加とともに摩擦の平均値はしだいに増加し、またS-1B, S-1D

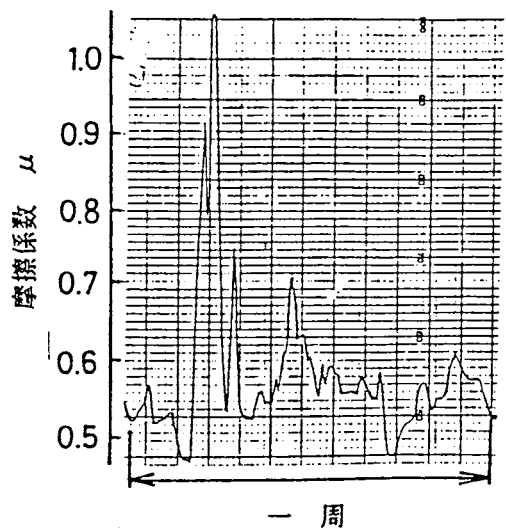


図4.1 ディスク一周中における摩擦の変化  
S1-B試料 10rpm N=670

試料はある摩擦回数以後トラックに局所的な高い摩擦が現れているのがわかる。一方、S-1C試料は広範囲の摩擦回数にわたって摩擦は安定していた。図4.2の(a)と(b), (c)と(d)を比較すると、潤滑剤は摩擦の増加を抑制するのに効果的であることがわかる。一方、図4.2の(a)と(c), (b)と(d)を比較すると

Textureは摩擦の増加を容易にしていることがわかる。図4.3はスパッタデ

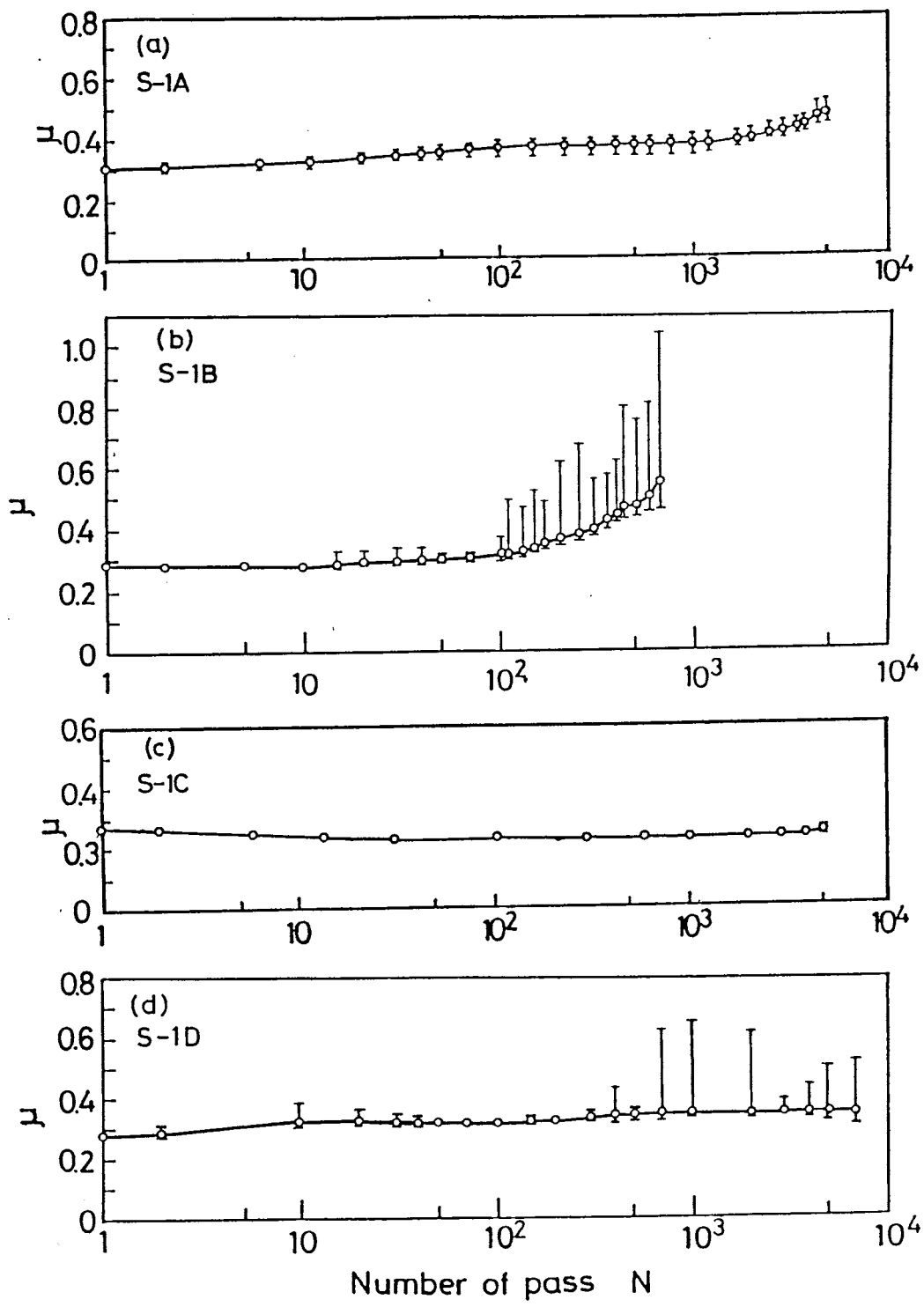


図4.2 スパッタディスク試料の 10rpmにおける摩擦係数 $\mu$ と摩擦回数 $N$ の関係

ディスク試料の50rpmにおける $\mu - N$ 曲線である。図4.3からも、潤滑剤は摩擦の増加を抑制するのに効果的であり、Textureは摩擦の増加を容易にしていることがわかる。

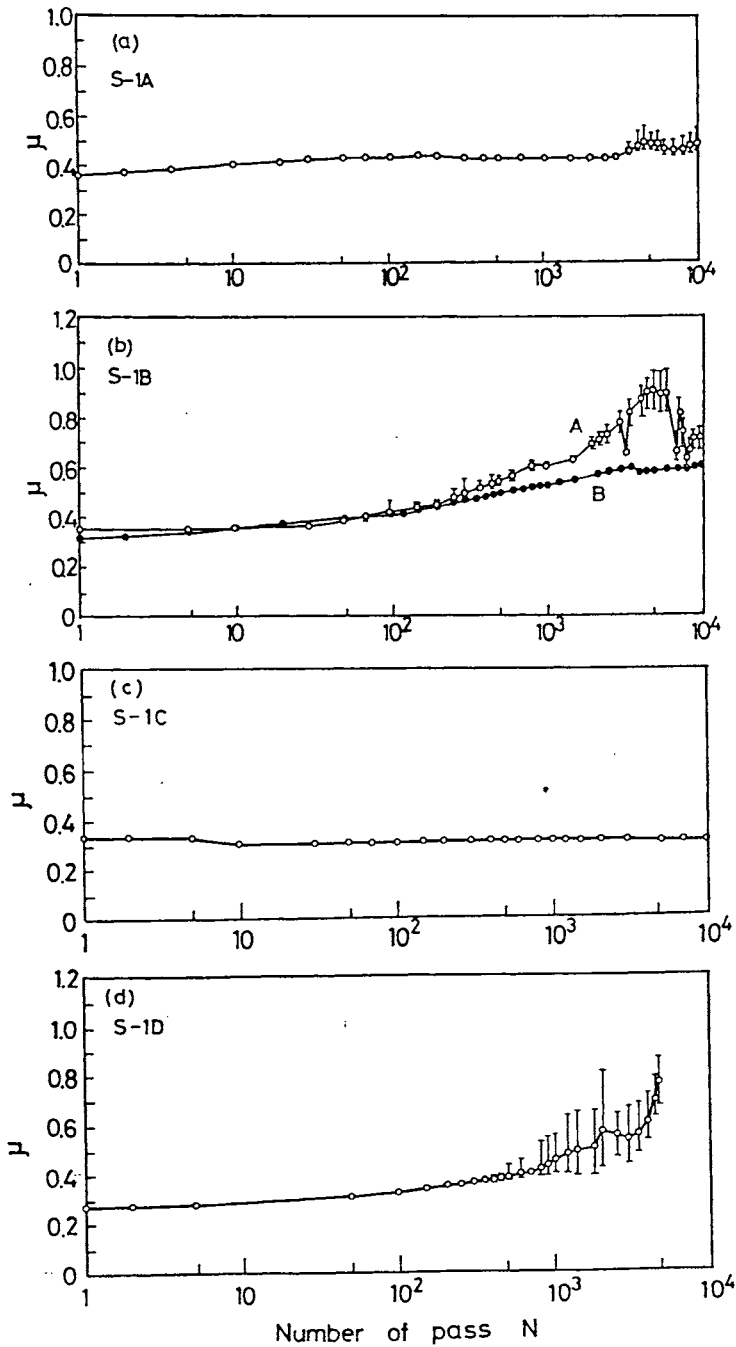


図4.3 スパッタディスク試料の 50rpmにおける摩擦係数 $\mu$ と摩擦回数 $N$ の関係

ディスクにTextureがある場合、真実接触部での接触圧力はTextureなしのディスクより高いかもしれない。そこで、Textureのあるディスクは摩耗粉を容易に形成し、摩擦の増加が容易に生じると考えられる。図4.2,4.3より、スパッタディスク試料の初期の摩擦は、ディスクの表面状態に関係なく約0.3であることがわかる。このことは、潤滑剤は繰り返し摩擦において摩擦の増加を抑制するのに有効であっても、膜厚が非常に薄い(約16Å)ため、初期の摩擦を減少することができないことがわかる。 $\mu$ が0.3のとき摩擦力は27.9mNである。

一方、我々の以前の球面すべりの研究よりカーボンスパッタ膜のせん断強さは140MPaという値を得ている。かくしてヘッド-ディスクの真実接触面積は、摩擦の凝着説より、 $2 \times 10 \text{ mm}$ と求まり、したがって、真実接触部での平均圧力は465MPaとなる。この接触圧力の値は、ディスクのどの材料の硬さよりも小さいので、ヘッドの接触は完全に弾性的であると考えられる。図4.4と図4.5は、めっきディスク試料の10rpm及び50rpmの $\mu-N$ 曲線である。これらのディスクでは、スパッタディスクより少ない回数で局所的に高い摩擦が現れている。しかし、P-1AとP-1B試料の $\mu-N$ 曲線を比較すると、繰り返し摩擦における摩擦に及ぼす潤滑剤の影響は、スパッタディスク試料のそれと同様である。

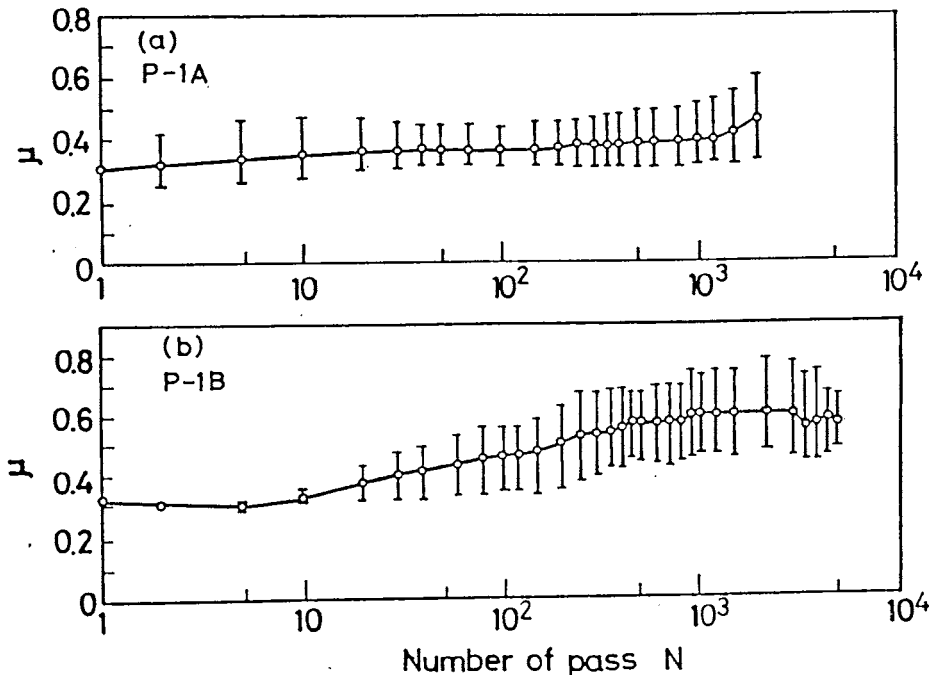


図4.4 めっきディスク試料の10rpmにおける摩擦係数 $\mu$ と摩擦回数Nの関係



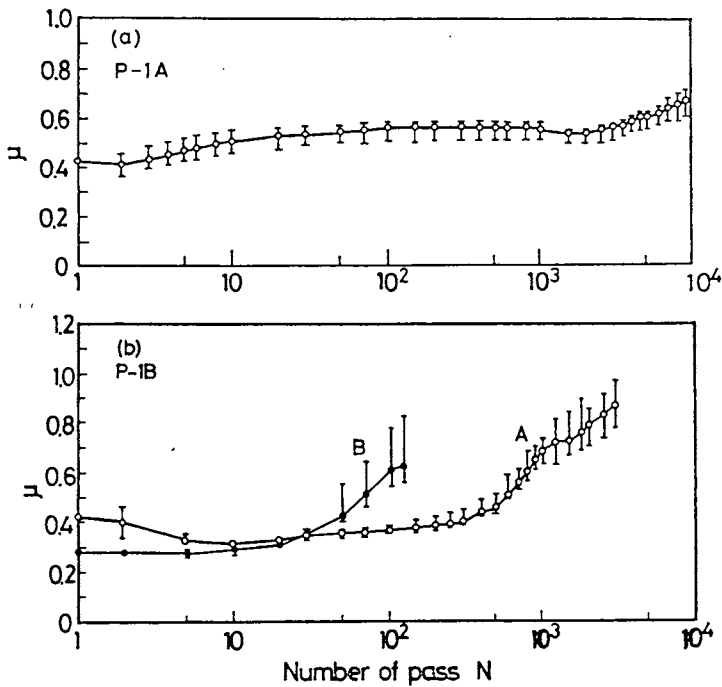
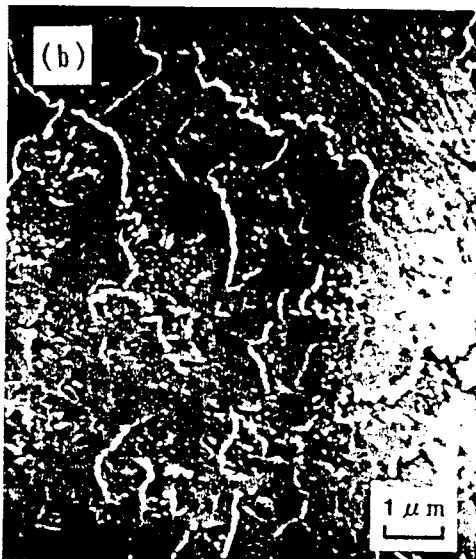
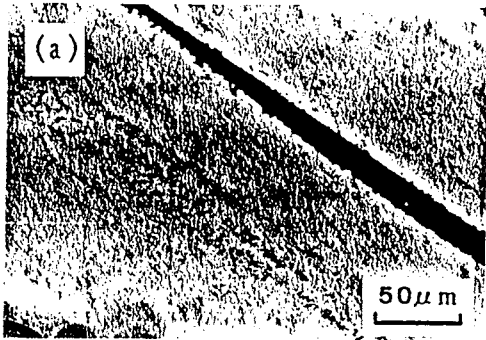


図4.5 めっきディスク試料の 50rpmにおける摩擦係数 $\mu$ と摩擦回数 $N$ の関係

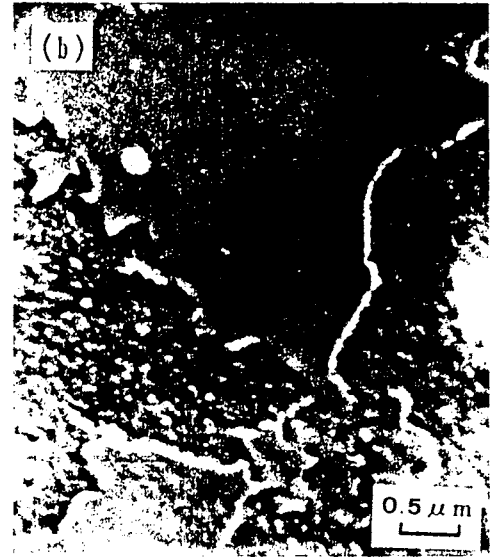
### 3.2 ディスクの摩擦トラックの顕微鏡観察

一般に、ディスクの損傷は光学顕微鏡では黒い細長い部分 (図4.6 (a)) や黒いスポット (図4.7 (a)) として観察された。黒く細長い部分は幅  $50\mu\text{m}$  以下、摩擦方向に  $3\text{mm}$  以下程度の大きさであり、損傷は極めて軽微と言えるものであった。また、局所的に高い摩擦が現れた試料でも損傷が検出できなかったり、逆に、S-3C試料は低く安定した摩擦であったが損傷が観察された。この点から黒い損傷は必ずしも繰り返し摩擦における高い摩擦とは直接には関係していないと思われる。図4.6 (b), 図4.7 (b) はそれぞれの損傷のSEM写真である。黒いスポットの損傷は薄片がばらついて存在し、黒く細長い損傷は多くの薄片が高密度に集まっているのがわかる。SEMによると、両方とも損傷形態は類似しており、スポットの損傷は細長い損傷の前段階と予想される。薄片は繰り返し摩擦中にカーボンの摩耗粉により生成されるのかもしれない。また、その生成過程には吸着水分等が関係しているのかもしれない。



ヘッドすべり方向

図4.6 ディスクの摩擦損傷の例  
 (a)OM,(b)SEM S-1D試料  
 50rpm N=3000



ヘッドすべり方向

図4.7 ディスクの摩擦損傷の例  
 (a)OM,(b)SEM S-1D試料  
 50rpm N=3000

### 3.3 磁気ヘッドの摩擦面

磁気ヘッドの摩擦面に、しばしばすべり方向に沿った薄い黒いすじ状の付着物が観察された(図4.8)。また、ヘッドランプ部において、小さなロール状の摩耗粉がSEMで観察された(図4.9)。摩耗粉は図4.6(b),図4.7(b)示した薄片がヘッドレールのフロントエッジで引きはがされ、ロールとなってランプ部に集められたものと考えられる。

図4.10(a)は繰り返し摩擦実験を行ったヘッドのレール面、また、図4.10(B)はアルゴンイオンエッチングで清浄にした $Al_2O_3TiC$ ヘッド面のAESスペクトルである。カーボンとチタンの強度比 $IC/I_{Ti}$ は清浄な面に比べ摩擦面が大きい。

したがって、ヘッドの黒い付着物はディスクから移着したカーボンによって生成されたものと考えられる

← ヘッドすべり方向

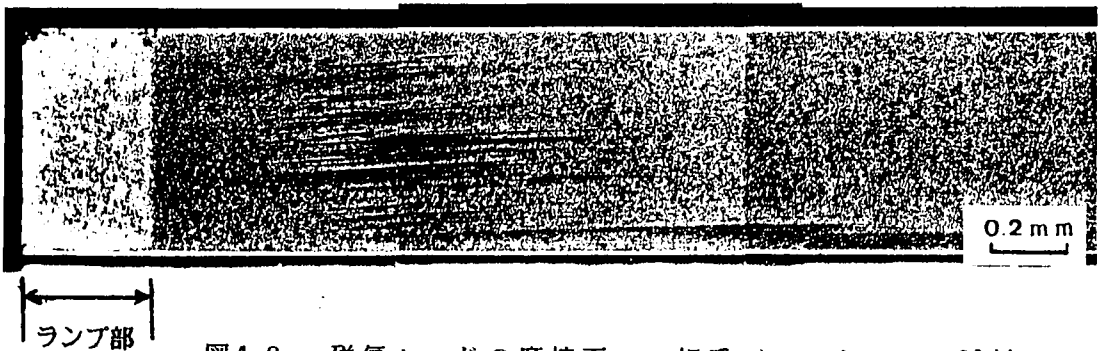


図4.8 磁気ヘッドの摩擦面 相手ディスク S-1B 試料

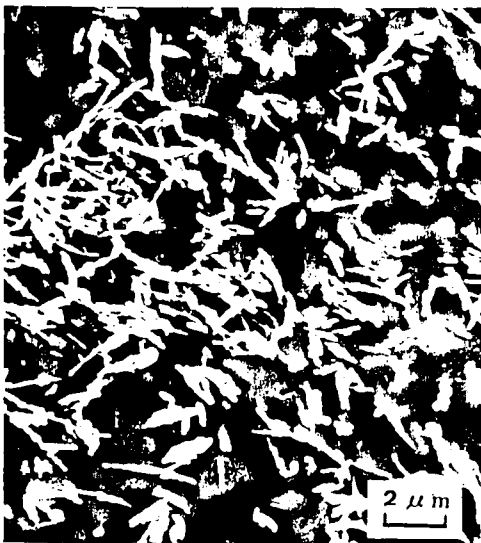


図4.9 ランプ部の摩耗粉のSEM写真  
相手ディスク P-1B 試料

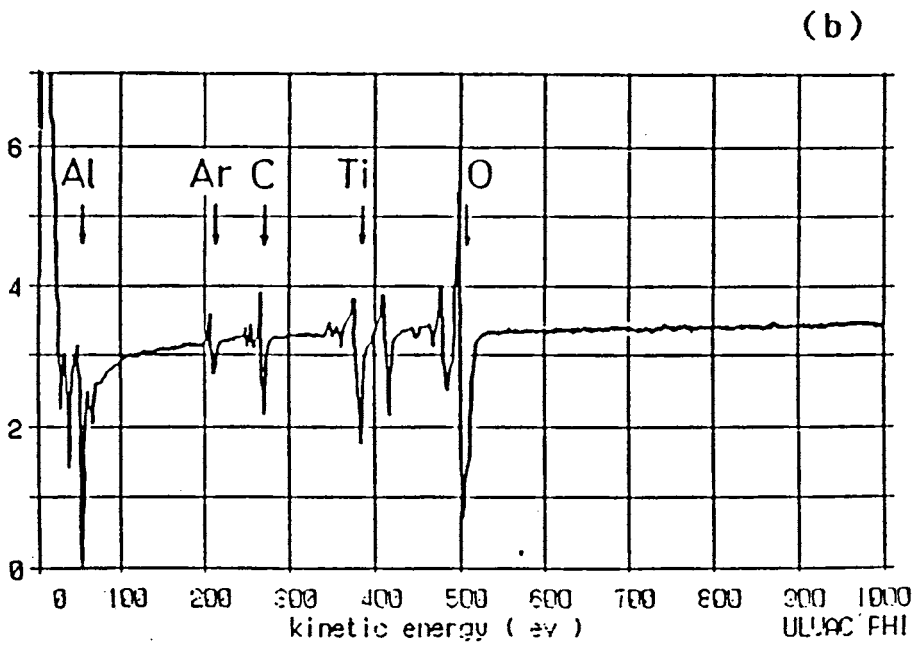
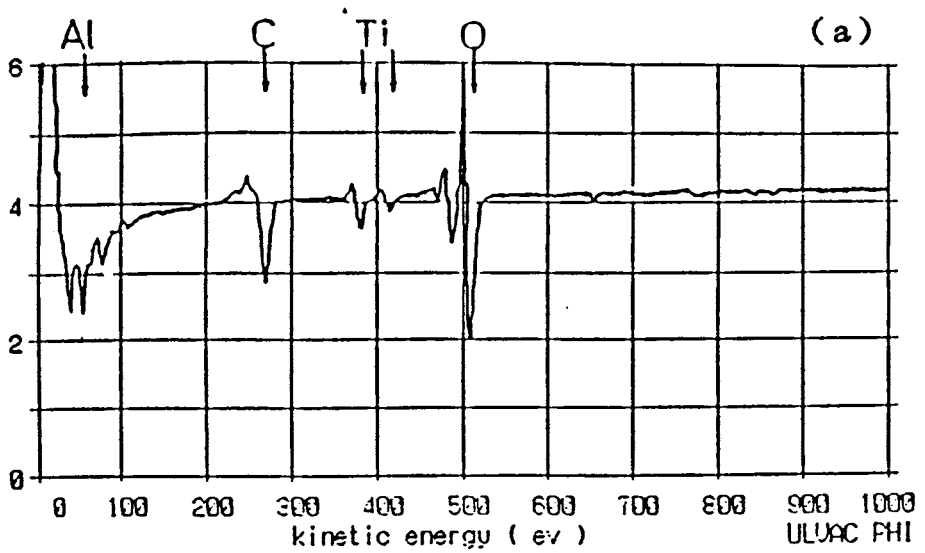


図4.10 磁気ヘッド面のAESスペクトル

(a) 摩擦面, (b) 清浄面 相手ディスク P-1B 試料

#### 4. 結論

- (1) 薄膜ヘッドによるディスクの摩擦や損傷は、フェライトヘッドの場合と本質的には違わない。
- (2) ディスクとヘッドの繰り返し摩擦において、潤滑剤は摩擦の増加を抑制しテクスチャは摩擦の増加を容易にする傾向がある。
- (3) 繰り返し摩擦における損傷は光学的に黒く観察される軽微なものであり、それらは繰り返し摩擦における摩擦の増加や高摩擦とは必ずしも直接対応するとは考えられない。しかし、摩擦増加はカーボンスパッタ膜の何らかの摩擦変質によるであろう。
- (4) 観察された黒い損傷は、カーボンの小さい薄片の付着によるものであった