

本資料は 年 月 日付けで登録区分、  
変更する。 2001. 6. 6

[技術情報室]

# グラファイトコーティングしたジルカロイ-2被覆管材と UO<sub>2</sub>ペレットとの間の摩擦係数の測定(II)

Coefficient of Friction Between UO<sub>2</sub> and Graphite coated Zry-2

1978年5月

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)  
2001

グラファイトコーティングしたジルカロイ-2被覆管材と  
 UO<sub>2</sub>ペレットとの間の摩擦係数の測定(II)<sup>\*</sup>



Coefficient of Friction Between UO<sub>2</sub> and Graphiite  
 coated Zry-2

実施責任者 本 田 裕 (ブル燃部 開発課)  
 報告者 立 花 利 道 ( " " )  
 成 田 大 祐 ( " " )  
 金 子 洋 光 ( " " )

期 間 1977年12月~1978年3月

目 的 グラファイトをコーティングしたジルカロイ-2被覆管材(試料形状は矩形)とUO<sub>2</sub>ペレットとの間の摩擦係数を実測し, 新型転換炉の燃料棒開発の一助とする。[今回は, グラファイトコーティング層の厚みをパラメータとし, 摩擦係数を測定する。……燃料品質保証連絡(ATR)-84(ATR本部核燃料グループ, 昭和52年8月1日発信)にもとづく]。

要 旨 グラファイトをコーティングしたジルカロイ-2(コーティング層の厚みは10, 20, 30μmの三種類)とUO<sub>2</sub>ペレットとの間の静摩擦係数(μ<sub>s</sub>)と動摩擦係数(μ<sub>D</sub>)を300℃, ヘリウムガス中で測定した結果, 三種類の試料すべて, グラファイトコーティングの効果がみられ, μ<sub>s</sub>およびμ<sub>D</sub>はコーティングなしの場合にくらべて低い値を示した。

\* SN841-77-38(技術レポート)を(I)とする。

## 目 次

1. 序 言 .....	1
2. 試験試料および測定方法 .....	1
3. 測定結果および考察 .....	4
4. 要 約 .....	5
謝 辞 .....	6

## 1. 序 言

1965年頃、ノルウェイのハルデン炉(HBWR)で照射によって燃料と被覆管とが力学的な相互作用(以下FCMIと略す)により、燃料棒が破損する例が報告された。

このため、炉内での燃料棒の照射寿命の増大のための一つとしてFCMIを軽減せしめることが重要となった。照射中にFCMIによる燃料被覆管の損傷を少なくする方法の一つとして燃料/被覆管の摩擦係数( $\mu$ 値)をあらかじめ小さくしておけば良いことが何人かの研究者達により理論的に明確になった。<sup>(1)</sup>

現在、軽水炉および新型転換炉の燃料被覆管材としてジルカロイが一般的に使用されている。新型転換炉用燃料棒のFCMIを軽減せしめるため、摩擦係数を少くできると期待されるグラファイトをジルカロイ-2被覆管内面にあらかじめコーティングすることが検討されてきた。この一環として、先回はATR本部の依頼[業連51(ATR)132]によりグラファイトをコーティングしたZry-2とUO<sub>2</sub>との間の摩擦係数を測定し、グラファイトをコーティングすることにより $\mu$ の低減効果が炉外で確認された。(報告書SN841-77-38参照)。このため、次の試みとして、グラファイトコーティング層の厚みを種々に変えたZry-2とUO<sub>2</sub>ペレットとの間の摩擦係数の測定が必要となった。

このため、コーティング層の厚みの差異による $\mu$ の変化がどの程度かを明確にするため、実験したので報告する。

## 2. 試験試料および測定方法

### 2-1 試験試料

#### 2-1.2 燃料試料

燃料試料は減損ウラン酸化物ペレットであり、直径は $5.44 \pm 0.03$ mm、高さは $8 \pm 1$ mmである。このペレットは原子燃料工業株式会社で製作されたものである。UO<sub>2</sub>粉末をプレス成型し予備焼結を行い、その後1700℃で焼結したものである。このペレットのO/Uは $2.01 \pm 0.01$ であり、密度は $94 \pm 1\%$  T.D.である。ペレット表面は無研削であり、表面粗さは2~3Sである。このUO<sub>2</sub>ペレットの化学成分分析結果を表Iに示す。

表 I D. UO<sub>2</sub> ペレットの化学成分分析値 (ppm)

Al	< 20
B	< 0.2
C	< 20
Ca	< 20
Cd	< 0.3
Cl	< 10
Cr	< 10
F	< 20
Mg	< 2
N	< 25
Ni	< 20
V	< 5

## 2-1.2 被覆管材試料

Zry-2を矩型に加工した表面にグラファイトをコーティングしたものを被覆管材試料とした。グラファイトコーティング膜の厚みは10, 20, 30 μの三種類であり、試料数は6個である。なおこの試料は(株)日立製作所が準備したものである。

なお試験試料の詳細は表II参照。

表 II 試験試料

D. UO <sub>2</sub> ペレット		グラファイトコーティングしたZry-2	
		試料番号	コーティング層厚み
直径(mm)	5.4	GZ-1	33 μ
高さ(mm)	8.0	GZ-2	30 "
密度(% T.D.)	94 ± 1	GZ-3	22 "
表面粗さ	2 ~ 3 μ	GZ-4	18 "
		GZ-5	10 "
		GZ-6	10 "

## 2-2 測定方法

グラファイトコーティングしたZry-2とUO<sub>2</sub>ペレットとの間の静摩擦係数( $\mu_s$ )と動摩擦係数( $\mu_D$ )は図1に示す方法によって得た。測定は、移動しないように固定したUO<sub>2</sub>ペレットとZry-2試料とを一定の荷重( $F_N$ )で接触させておき、Zry-2試料の一端を押してZry-2試料をUO<sub>2</sub>ペレット表面上ですべらせ、このときすべらせるに必要な力( $F_s$ )を検出記録し行った。 $\mu$ は摩擦係数の定義 $\mu = F_s / F_N$ よりえた。<sup>\*\*</sup>測定ふん囲気は、試料を装置にセットしたのち $10^{-3}$  torrまで真空引きを行い、ヘリウムガスにて2~3回のフラッシングを行いその後ヘリウムガスが大気圧に保たれるように流量を調整し昇温中および試験中も常に大気圧(ヘリウムガス)であった。

また使用したガス(ふん囲気用)は高純度ヘリウムガスであり不純物酸素は1 ppm以下のものである。

主な測定条件を要約すると以下の通りである。

- (1) 測定ふん囲気 ; 高純度ヘリウムガス(ガス流量 $\sim 0.5$  l/min)
- (2) 測定時温度 ;  $300 \pm 5$  °C (CA熱電対による直接測定)
- (3) すべり速度 ;  $0.1$  mm/sec (速度制御の設定値)
- (4) 接触力( $F_N$ ) ;  $\sim 20$  Kg<sup>\*\*\*</sup>

---

\*\* 測定装置および測定方法の詳細は前報(SN841-77-38)参照。

\*\*\* Zry-2/UO<sub>2</sub>の接触面積は摩擦試験後、グラファイトコーティングした層の摩擦痕跡(写真1, 2参照)から接触巾 $\approx 0.5$  mm, 接触長さ $5.0$  mmより接触面積 $S = 0.5 \times 5.0 = 2.5$  (mm<sup>2</sup>)を求め接触荷重は $F_N \approx 20$  Kgであるから、接触圧力は $P = 20 / 2.5 = 8.0$  (Kg/mm<sup>2</sup>)となる。

### 3. 測定結果および考察

グラファイトコーティングしたZry-2試料6個全てを300℃でF<sub>s</sub>を測定した結果を図2～4に示す。(F<sub>N</sub>はいづれも～20Kg)

F<sub>s</sub>とF<sub>N</sub>との比からμを求めると、初期まさつ係数は、表Ⅲに示されるように

GZ-1, GZ-2(コーティング膜厚30μ)は $\mu_s (\equiv \mu_D) = 0.14 \pm 0.03$ ,

GZ-3, GZ-4( " 20μ)は $\mu_s (\equiv \mu_D) = 0.14 \pm 0.05$ ,

GZ-5, GZ-6( " 10μ)は $\mu_s (\equiv \mu_D) = 0.13 \pm 0.02$

であった。コーティング層の膜厚が10μから30μと変化してもμの有意差は見いだされなかった。

また、追加測定として20μ試料(ZG-3)と10μ試料(ZG-6)については初期(第一回目)のすべり後さらにつづけて、同一接触面上を数回くりかえしてすべらせF<sub>s</sub>の変化を測定した。この結果を図5, 6に示す。図5, 6のF<sub>s</sub>からμを求めると、20μ試料では8回つづけてすべらせても $\mu_s = 0.205$ であったが、10μ試料では5回目で $\mu_s = 0.357$ , 6回目で $\mu_s = 0.227$ を示した。グラファイトコーティングなしのZry-2/UO<sub>2</sub>のμは300℃において $\mu_s = 0.4 \sim 0.5$ (前報SN841-77-38, P.18)であることから、10μ試料の場合、同一接触面上をくりかえして数回すべらせるとグラファイトコーティングの効果はうすくなっているように見えるが、くりかえし測定した試料数が各1個しかないことと、前報(SN841-77-38)の測定結果により10μ程度のグラファイトコーティングした試料は10数回くりかえして測定してもそのμは0.2程度までしか高くないため、今回の10μ試料のμのくりかえしによる上昇は必ずしも10μ試料のμを代表することは断定できない。



## 4. 要 約

グラファイトをコーティングしたジルカロイ-2 矩形材（コーティング層の厚みは10, 20, 30  $\mu\text{m}$ の三種類）と $\text{UO}_2$  ペレットとの間の静摩擦係数（ $\mu_s$ ）と動摩擦係数（ $\mu_D$ ）を300 $^\circ\text{C}$ 、ヘリウムガス中で測定した結果、以下の様に要約できる。

- (1) コーティング層の厚みが10, 20, 30  $\mu$  試料いづれもグラファイトコーティングすることによる摩擦係数の低減効果を示された。
- (2)  $\mu_s$  と  $\mu_D$  とはいづれの試料についてもほぼ同じ値がえられた。  
（約1割程度  $\mu_D$  の値が  $\mu_s$  の値にくらべて低い）。
- (3) 20  $\mu\text{m}$  試料の  $\mu_s$  は、同一接触面上を8回くりかえしてすべらせた結果、最大値は0.216であったのに対し、10  $\mu$  試料の場合は6回くりかえしてすべらせた結果、最大値が0.357という値を示した。しかし実際に測定した試料数が少なかったため、くりかえし摩擦により10  $\mu$  試料の摩擦係数が増大すると結論するには至らなかった。また、10  $\mu$ , 20  $\mu$ , 30  $\mu$  試料の初期摩擦係数（くりかえし数は0）の測定結果は表Ⅲに要約した。

## 謝 辞

本実験を行うにあたり、グラファイトコーティングを施したジルカロイ-2 試料を提供された島田祥雄氏（株式会社日立製作所日立研究所）に謝意を表します。

また、本実験の初期段階において実施の補助をされた根本房良氏（茨城総合高等職業訓練校原子力科学生）に感謝いたします。

表Ⅲ Zry-2/UO<sub>2</sub> 摩擦係数測定実験結果

第2次試験 グラファイトコーティングしたZry-2/UO<sub>2</sub>の摩擦係数の測定  
 項目：グラファイトコーティング膜厚の差による摩擦係数の変化

グラファイト膜厚	静摩擦係数 ( $\mu_s$ )	備 考
10 $\mu$	0.13 $\pm$ 0.02	測定時温度 ; 300℃ 試験雰囲気 ; ヘリウムガス 接 触 圧 ; $\sim 13 \text{ Kg/m}^2$ (参) コーティングなしのZry-2/UO <sub>2</sub> の $\mu_s = 0.40 \sim 0.50$
20 $\mu$	0.14 $\pm$ 0.05	
30 $\mu$	0.14 $\pm$ 0.03	

No.3 20  $\mu$  試料 ..... 0.205 (8回)  
 10  $\mu$  試料 ..... 0.357 (5回目)      0.227 (6回目)

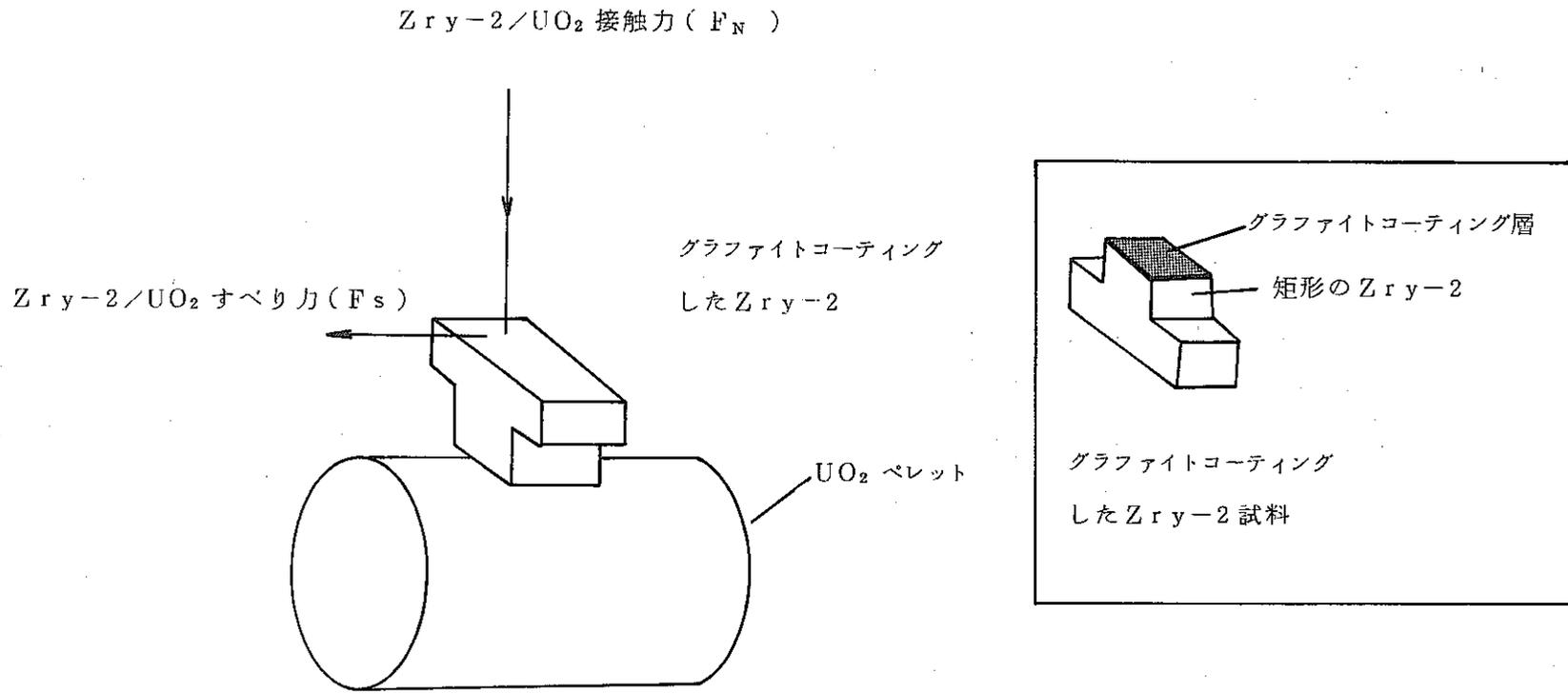


図1 ZrY-2/UO<sub>2</sub> 摩擦係数測定方法

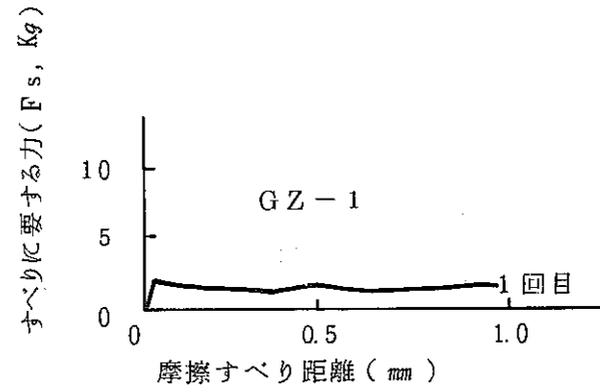
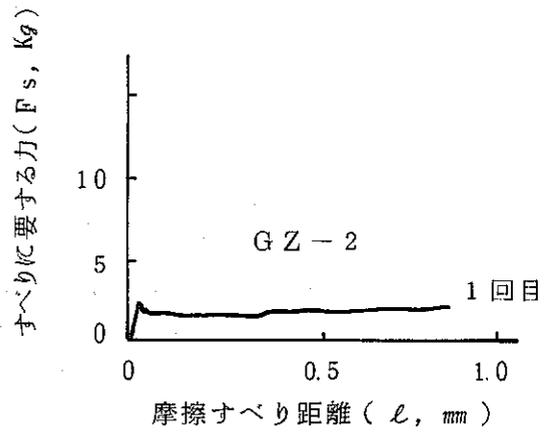


図2 30 $\mu$ 試料の摩擦すべり時の  $F_s$  の変化

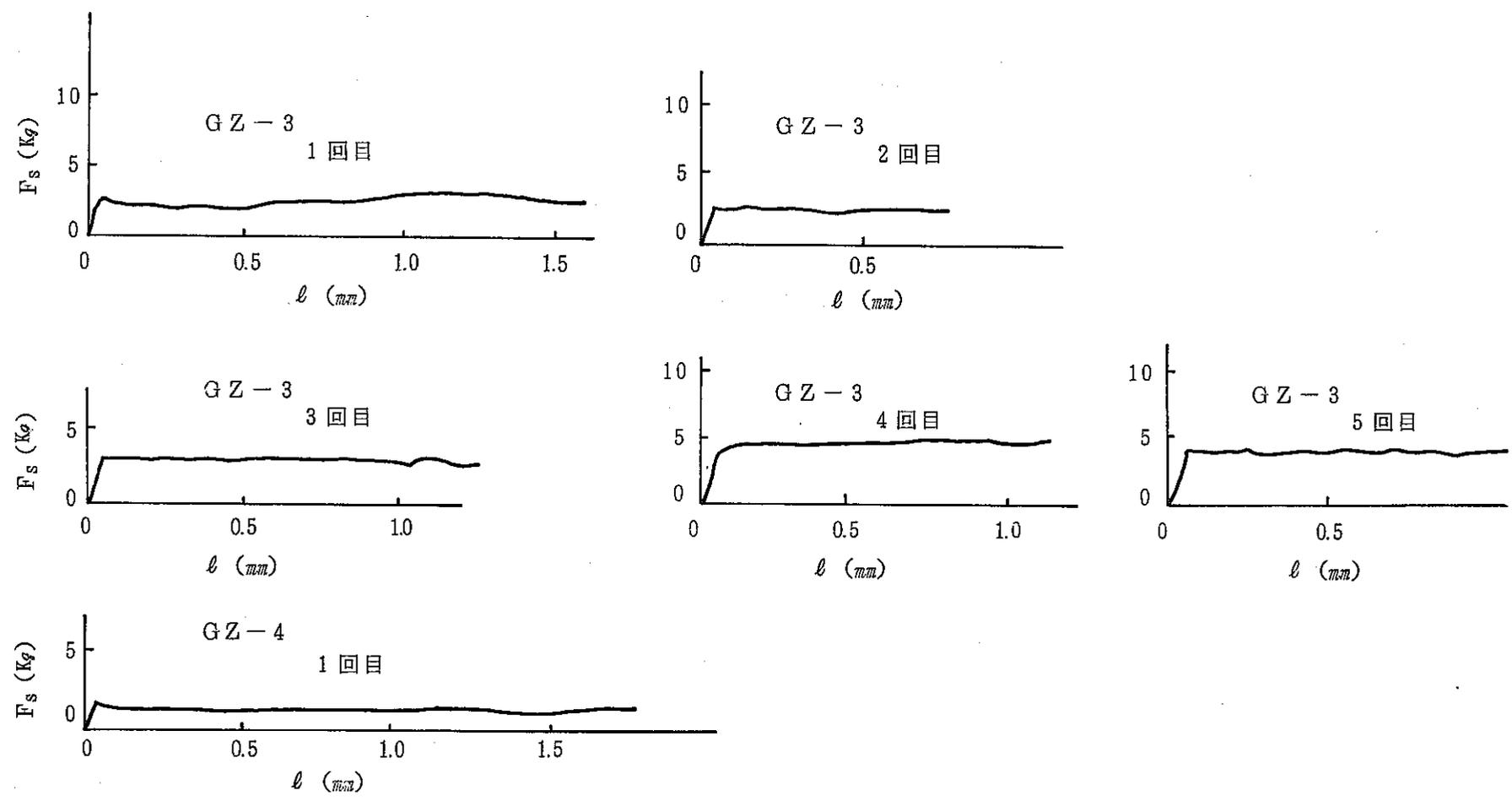


図3 20 $\mu$ 試料の摩擦すべり時の $F_s$ の変化

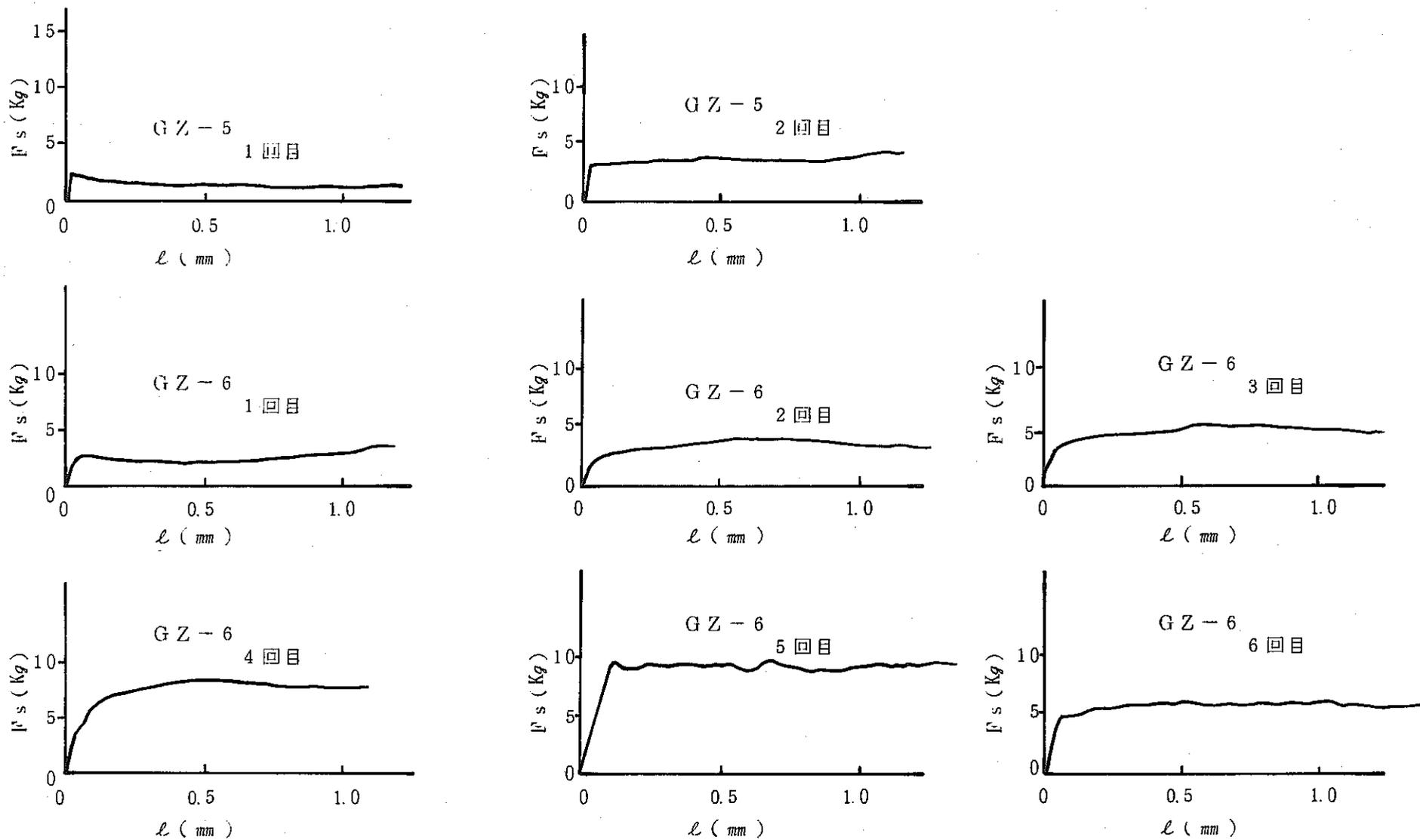


図4 10  $\mu$  試料の摩擦すべり時の  $F_s$  の変化

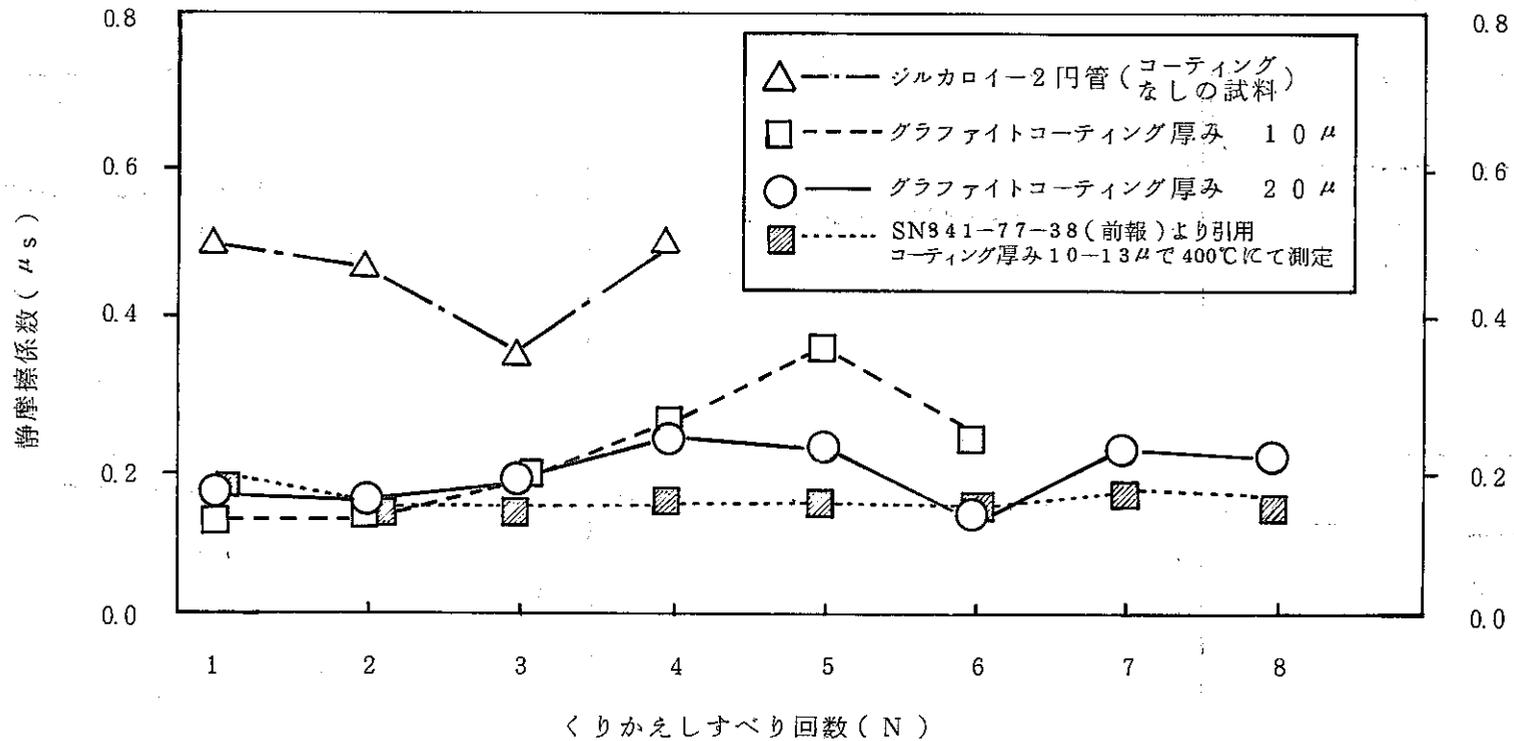
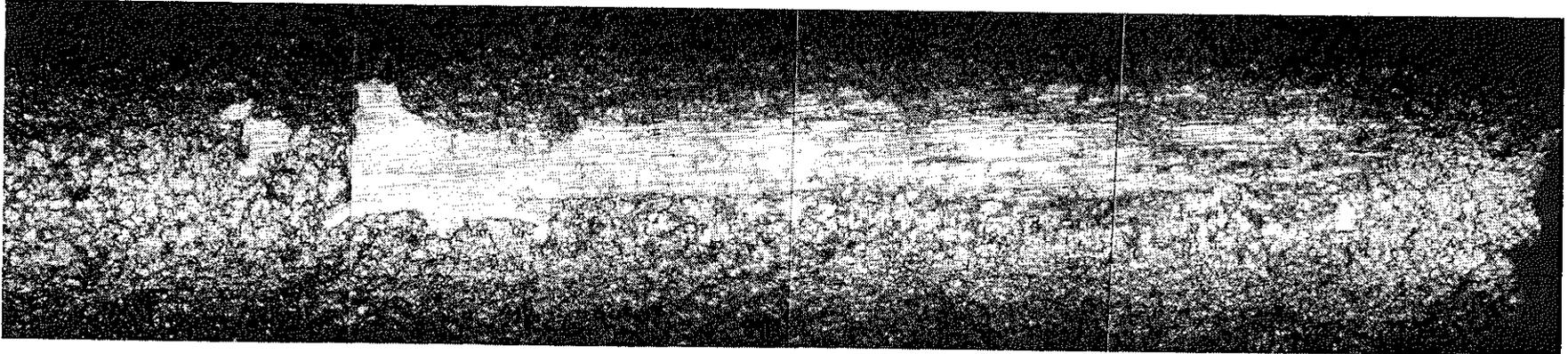


図5 グラファイトコーティングしたZr-2/UO<sub>2</sub>ペレットの

静摩擦係数のくりかえしすべり回数による変化(試験温度300℃)

参考値としてSN841-77-38より400℃での測定結果(コーティング厚み10~13μ)とジルカローイ-2円管試料での測定結果も示してある。

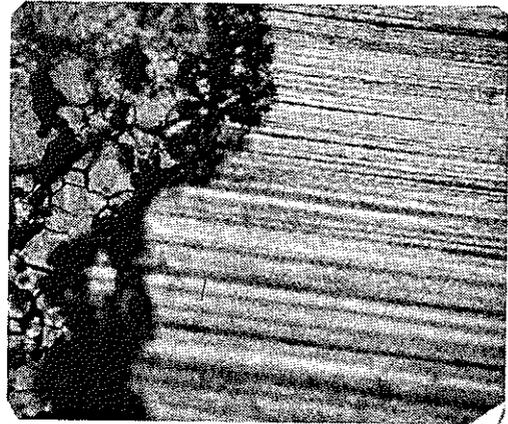




200 $\mu$

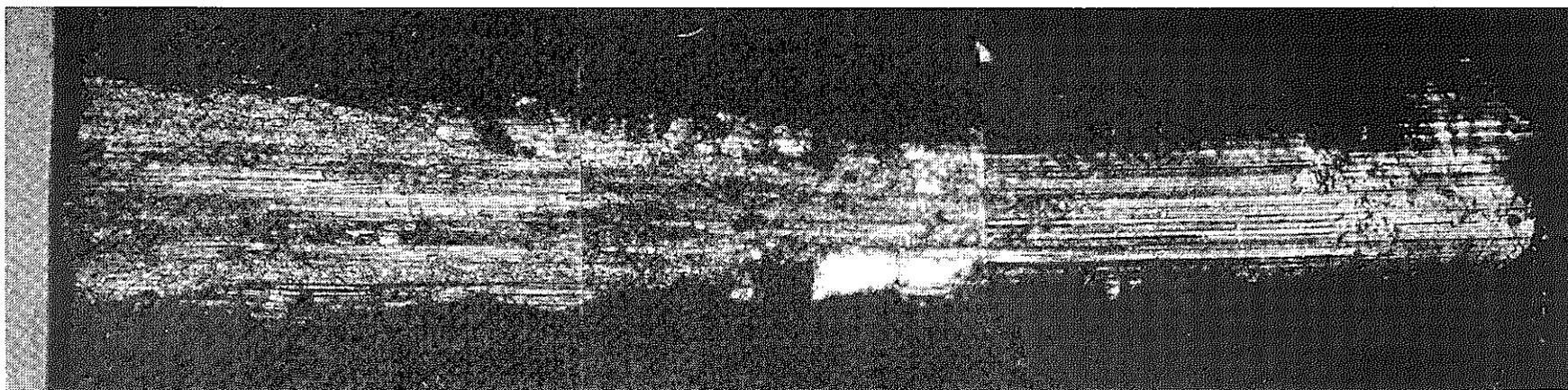


200 $\mu$



50 $\mu$

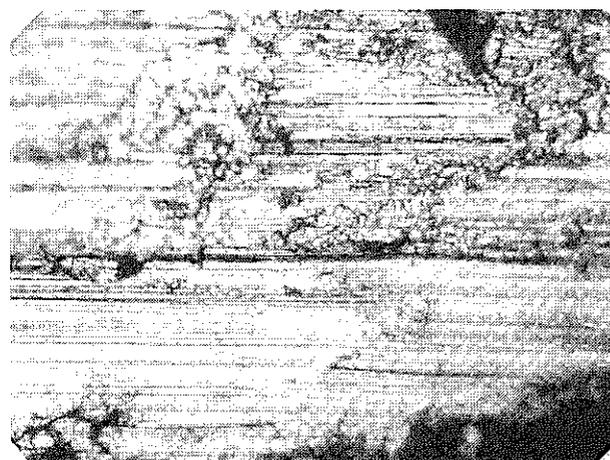
写真1 摩擦試験後のペレット表面 (GZ-3/UO<sub>2</sub>)



200 $\mu$

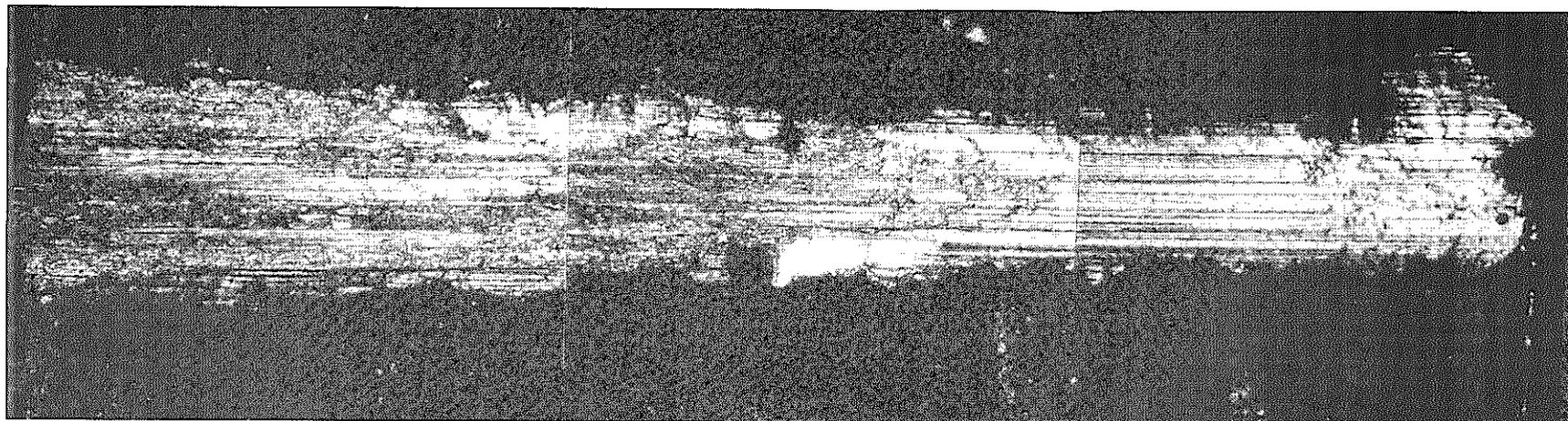


100 $\mu$

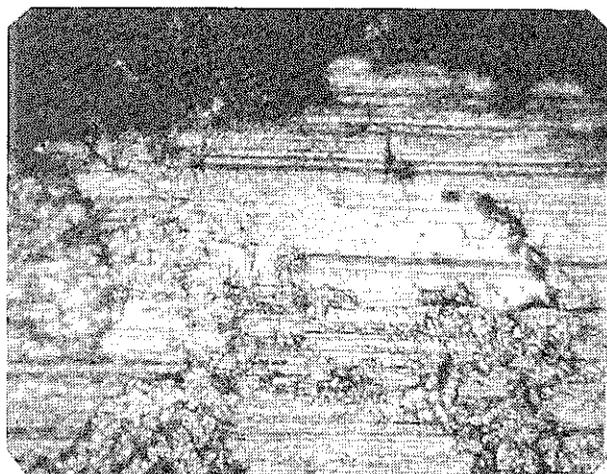


100 $\mu$

写真2 摩擦試験後のグラファイトコーティングしたZry-2の表面〔GZ-1(30 $\mu$ )〕

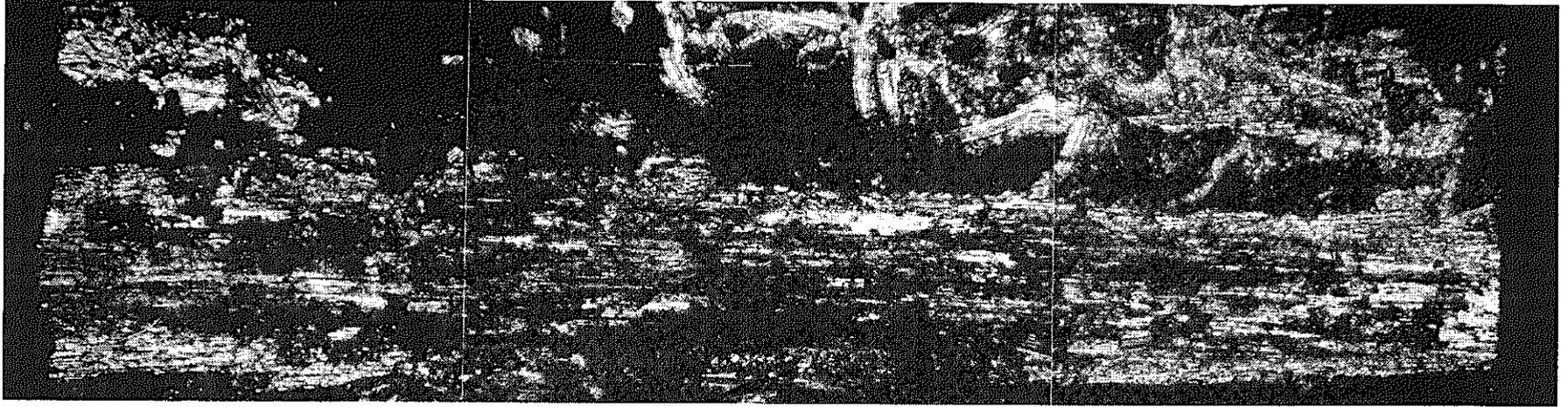


200  $\mu$

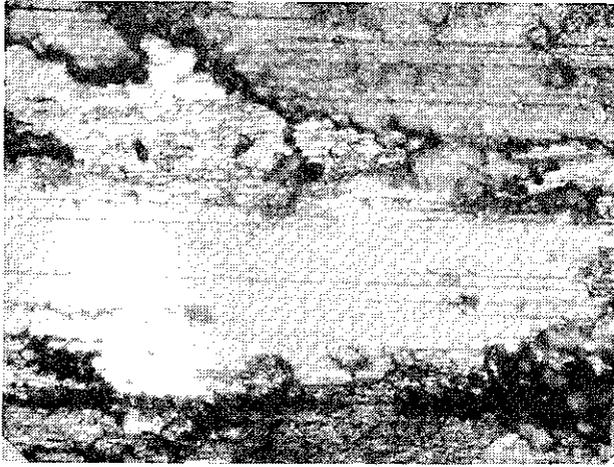


100  $\mu$

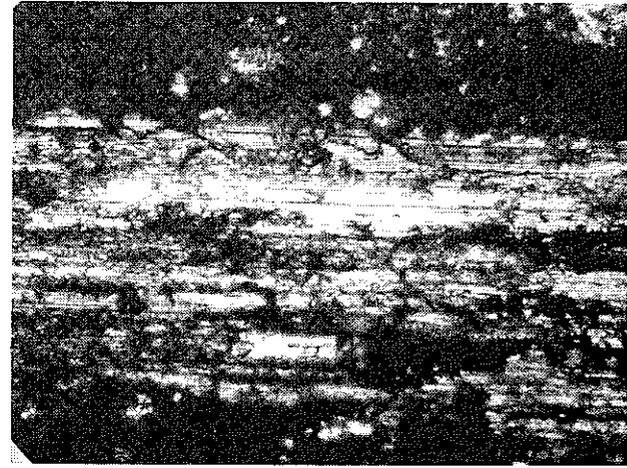
写真3 摩擦試験後のグラファイトコーティングしたZr<sub>7</sub>Y<sub>2</sub>の表面 [GZ-5 (10  $\mu$ )]



200  $\mu$



50  $\mu$



200  $\mu$

写真4 摩擦試験後のグラファイトコーティングしたZry-2の表面 [GZ-6 (10  $\mu$ )]