

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
2001. 6. 6
変更する。

[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被覆管と
UO₂ペレットとの間の摩擦係数の測定(Ⅲ)

1979年2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

配 布 限 定

SN841-79-07

1979年 2月



グラファイトコーティングしたジルカロイ-2被覆管と UO₂ペレットとの間の摩擦係数の測定(III)

実施責任者 本田 裕 (プル燃部開発課)

報 告 者 立花利道 (" ")

成田大祐 (" ")

金子洋光 (" ")

期 間 1978年11 ~ 1979年2月

目 的 グラファイトをコーティングしたジルカロイ-2被覆管とUO₂ペレットおよびAl₂O₃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を施した実機のジルカロイ-2被覆管を試料として摩擦係数を測定する。……53(核連)185(53年10月21日核燃部発信)および53(ATR)578(53年10月11日ATR本部発信)により実施した。〕

要 旨 ジルカロイ-2被覆管/UO₂の静摩擦係数 μ_s は試験温度と共に増加する傾向にあり $\mu_s = 2.4 \times 10^{-4} (T-25) + 0.36$ (Tは℃で室温から400℃の範囲であり、精度は±30%)であった。(前報SN841-77-38)。今回、グラファイトをコーティングしたジルカロイ-2被覆管/UO₂の場合は室温から400℃の範囲で $\mu_s = 0.30 \pm 0.13$ (精度±43%)となり温度依存性は示されない結果がえられた。

ジルカロイ-2被覆管/Al₂O₃の場合も $\mu_s = 6.93 \times 10^{-4} (T-25) + 0.64$ (室温から400℃の温度範囲で精度は±25%)であり、温度と共に μ_s は増加したが、グラファイトをコーティングしたジルカロイ-2被覆管/Al₂O₃の μ_s は室温から400℃の温度範囲で $\mu_s = 0.54 \pm 0.16$ (精度±30%)であり、温度依存性は見いだされなかった。

目 次

1. 序 言	1
2. 試験試料および測定方法	2
3. 測定結果および考察	4
4. 要 約	6
謝 辞	7
参考文献	8

1. 序 言

新型転換炉での照射下における燃料ペレットとジルカロイ被覆管との機械的相互作用を軽減する方法の一つとしてジルカロイ被覆管内面にあらかじめグラファイトをコーティングしておくことが考えられている。これは燃料ペレットとジルカロイ被覆管内面とがすべりやすい状態にし、照射下で燃料ペレットがジルカロイ被覆管に作用することによる局所的な力の発生を、緩和せしめることを目的としている。

つまりこの緩和の効果は燃料ペレットとジルカロイ被覆管との間の摩擦を小さくすることにより得られることが理論的に示されている。⁽¹⁾

本報は、ジルカロイ-2被覆管材と UO_2 との間の摩擦係数の測定シリーズとして行なった。

第一報⁽²⁾ (SN841-77-38) では μ_s (静摩擦係数) は室温から400℃の温度範囲で温度と共に高くなることを示し、またグラファイトをコーティングしたジルカロイ-2 (矩形材) / UO_2 はコーティングなしに比較して μ_s は低くまた試験温度の上昇による μ_s の上昇効果がなくなることを示した。

第二報⁽³⁾ (SN841-78-38) ではグラファイトコーティング層の厚みが異なる (10, 20, 30 μm) ジルカロイ-2 (矩形材) と UO_2 との間の摩擦係数を300℃で測定した結果コーティング層の厚みの差異による μ_s の変化は示されないことを報告した。本報は第三報として実機のジルカロイ-2被覆管内面に20 μm のグラファイトをコーティングした試料を使用して室温350℃および400℃で μ_s を測定した結果を示すものである。

2. 試験試料および測定方法

2.1 試験試料

2.1.1 ペレット試料

試験に使用したペレットは減損ウラン酸化物ペレットとふげん用アルミナ断熱ペレットの二種類である。

減損ウランペレットは原子燃料工業株式会社で製造されたものである。

製造方法は UO_2 粉末をプレス成型し予備焼結を行いその後 $1700^\circ C$ で焼結を行った。このペレットの O/U は 2.01 ± 0.01 で密度は $94 \pm 1\% T.D$ である。ペレットの寸法は直径 $5.44 \pm 0.03 mm$ で高さは $8 \pm 1 mm$ である。表面は無研削であり、表面粗さは $2 \sim 3 S$ である。この UO_2 ペレットの化学分析結果は前報⁽³⁾に示されている。アルミナペレットは日本化学陶業株式会社で製造したもので直径 $14.4 \pm 0.03 mm$ 、高さ $10 \pm 1 mm$ である。

2.2.1 被覆管試料

被覆管試料材としてふげん用ジルカロイ-2被覆管とこの被覆管内面にグラファイトを $20 \mu m$ の厚さでコーティングしたものの二種類である。ジルカロイ-2被覆管は住友金属中央技術研究所で製作されたもので外径 $16.46_{-0.08}^{+0.00}$ 、内径 $14.70 \pm 0.05 mm$ (内厚 $\geq 0.80 mm$)である。この検査成績表を表-1,2に示す。また、このジルカロイ-2被覆管内面へのグラファイトコーティングは株式会社日立製作所が施行したもので、コーティング膜厚は $20 \mu m$ である。これらの被覆管を半割りに切断後巾 $6.0 mm$ に切削加工したものを被覆管試料とした。なお、グラファイトコーティングしてある被覆管の切断、切削の際は水および油等は一切使用しなかった。

2.2 測定方法

摩擦係数 (μ_s : 静摩擦係数, μ_D : 動摩擦係数) の測定原理および方法の詳細は前報⁽²⁾⁽³⁾に示されているので省略する。

摩擦係数測定試料の組合せおよび試験温度等を下記に示す。

イ 摩擦係数測定試料組合せ (図1参照)

- ① ジルカロイ-2被覆管/ Al_2O_3 ペレット
- ② グラファイトコーティングしたジルカロイ-2被覆管/ Al_2O_3 ペレット
- ③ " / UO_2 ペレット

SN841-79-07

- ロ 摩擦測定試験温度 : 室温 (25℃), 300℃, 400℃
- ハ 測定ふん囲気 : 高純度ヘリウムガス (ガス流量~0.5ℓ/min)
- ニ すべり速度 : 0.1mm/sec
- ホ 接触力 (FN) : 約 20 kg (設定値)

3. 測定結果および考察

被覆管試料とペレットとを一定の荷重 ($F_N=20\text{kg}$) で接触させた状態を保ちながら被覆管試料を約 2mm すべりずらせた。この際すべりずらせるに必要な力 (F_s) とすべり変位を図 2 から図 4 に示す。この結果、いずれの試料の場合も、典型的な摩擦すべり曲線がえられた。この曲線をもとに図 5 に示す方法により静摩擦係数 (μ_s) および動摩擦係 (μ_D) をえた。この結果をそれぞれ図 6, 7 に示す。図 6 および図 7 から、ジルカロイ-2 被覆管/ Al_2O_3 およびジルカロイ-2 被覆管/ UO_2 の μ_s および μ_D は測定温度 ($25\text{℃}\sim 400\text{℃}$) と共に増加する傾向が認められた。一方、グラファイトをコーティングしたジルカロイ-2 被覆管と Al_2O_3 および UO_2 の場合の μ_s および μ_D は 25℃ から 400℃ の温度範囲で測定温度に伴う変化は認められなかった。図 6 および図 7 で示されている μ_s , μ_D の測定値のバラツキを考慮して表 2 に示す実験式がえられる。

各試料の各温度での摩擦係数試験後の被覆管内面の光学観察結果を写真 1~9 に示す。またグラファイトコーティングしたジルカロイ-2/ Al_2O_3 を室温で摩擦試験した後の観察写真を写真 10 に示す。これらの写真から摩擦すべりについて次の事がいえる。ジルカロイ-2 被覆管/ペレット (Al_2O_3 , UO_2) のすべりは、被覆内表面がペレットによって削りとられながら進行したと考えられる。(写真 1, 2, 3 参照)

グラファイトコーティングしたジルカロイ-2/ Al_2O_3 のすべりはコーティング層を Al_2O_3 が潰しながら進行する場合〔写真 10(b)〕とすべる際グラファイト膜が被覆管内面から剥離して Al_2O_3 ペレット表面に付着して、グラファイト膜と被覆管内面とが互にずれ動くことによりすべりが進行する場合〔写真 4, 10(a), 11〕とが観察された。一方グラファイトコーティングしたジルカロイ-2/ UO_2 のすべりは、グラファイト層を UO_2 が潰しながら進行すると考えられるのが大部分であった。(写真 7, 8, 9 参照)

摩擦係数の温度による変化は次の様に解釈できる。グラファイトをコーティングした被覆管を試料として使用した場合での μ_s , μ_D の温度による変化は観測されなかった。〔図 6(b)(d), 図 7(b)(c)〕しかしグラファイトをコーティングしてない被覆管(ジルカロイ白管)を試料として使用した場合は μ_s , μ_D いずれも試験温度と共に増加していた。〔図 6(a)(c), 図 7(a)〕写真 1, 2, 3 でみられるようにジルカロイ白管/ペレット (Al_2O_3 , UO_2) の摩擦すべりはペレットが被覆内面を削りとりながら進行している。ペレット (Al_2O_3 , UO_2) の方がジルカロイ-2 よりもはるかに硬さは高いため、接触力 (F_N) により被覆内面にペレットが押し込まれる。〔図 8 参照〕 温度が高くなると共にジルカロイ-2 の硬さの減少の程度はペレット (Al_2O_3 , UO_2) の硬さの減少程度に比較して大きいため摩擦試験温度が高いほど被覆管がペレットによ

る押し込まれる深さが深くなると考えられる。押し込み深さが深くなるほど、摩擦すべりの際、ペレットが被覆管内面を削り取っていく量が多くなるため F_s が試験温度と共に増加しこの結果として μ_s が大きくなると考えられる。

グラファイトがコーティングしてある場合も、被覆管内面はペレットによって押し込まれるが、グラファイト層があるためペレットの押し込み深さは被覆管内面の素地まで十分に達しえない。従って F_s は試験温度の上昇に伴って増加しないため摩擦係数は試験温度の変化によらず一定な値を示されたと考えられる。

4. 要 約

ジルカロイ-2白管とグラファイトコーティングしたジルカロイ-2管を被覆管試料とし、 UO_2 と Al_2O_3 とをペレット試料とし、被覆管/ペレットの静摩擦係数(μ_s)および動摩擦係数(μ_D)を室温(25℃)、350℃、400℃で測定した結果

- (1) ジルカロイ-2白管/ペレット(Al_2O_3 , UO_2)の μ_s , μ_D は測定温度の上昇に伴って増加する。
- (2) グラファイトコーティングしたジルカロイ-2管/ペレット(Al_2O_3 , UO_2)は測定温度によらず一定と考えられる。
- (3) 上記の(1)(2)についてはペレットが被覆管内面を削りとりながら(掘り起しながら)すべりが進行するという考えによって説明がなされた。

謝 辞

本試験を行うにあたり、試料を供給された東晶夫氏（ATR 本部原子炉課長）、中野泰行氏（ATR 本部原子炉課）および三浦 信氏（東海事業所技術部検査業務課長）、松井洋正氏（東海事業所技術部検査業務課第一係長）に謝意を表します。また、本実験について実施の補助をなされた井坂 登氏（常陽産業株式会社）に感謝致します。

参 考 文 献

- (1) GITTUS, J. H. ; TRG Report 1547(S) (1967)
- (2) 立花利道ほか ; SN841-77-38 (1977)
- (3) 立花利道ほか ; SN841-78-38 (1978)

表 1 - 1 検 査 成 績 表

注 文 先 動力炉・核燃料開発事業団 (A-33)
 種 別 ジルカロイ-2 燃料被覆管
 公称寸法 16.46^{OD}×14.70^{ID}×>0.80^T×4150^L
 製作番号 CW341 ロット番号 5365
 製品番号 S3801-S3912 計112本
 備 考 _____

抜取検査結果 (抜取率 : 特記なき限り1ロットにつき2本)

項 目		試験条件	規 格 値	成 績		備 考
引 張 試 験	抗 張 力(kg/mm ²)	常温	>49	68.8	67.1	仕上げ加工度 5.41% 歪取り焼鈍温度 480℃×4H
	耐 力(kg/mm ²)		>42	55.1	52.9	
	伸 び(%)		>20	26.1	25.0	
	抗 張 力(kg/mm ²)	343	>29	44.4	44.2	
	耐 力(kg/mm ²)		>23	36.5	35.9	
	伸 び(%)		>20	26.6	26.4	
内 圧 破 裂 試 験	破裂圧力(kg/mm ²)	Open	>510	790	790	
	周 伸 び(%)		>20	47.2	35.2	
	破裂圧力(kg/mm ²)	Close	>510	1090	1080	
	周 伸 び(%)		>5	18.3	8.6	
押 拡 げ 試 験	常温	>15%	規格に適合	規格に適合		
扁 平 試 験	常温		-	-		
硬 さ 試 験	常温		-	-		
金 相 試 験	組織および介在物		有害な介在物なきこと	正 常	正 常	
	結 晶 粒 度	横 断 面	ASTMNo.9より細粒	No.12.5	No.12.5	
		長手断面	ASTMNo.9より細粒	No.12.0	No.12.0	
	水素化物 方 位		Fn(40°)<0.35	外) 0.06 中) 0.05 内) 0	外) 0 中) 0.05 内) 0.06	
腐 食 試 験	腐食増量(kg/dm ²)	<22	16.5	17.0		
	表 面 状 況	黒色光沢	良 好	良 好		
製 品 分 析	O (ppm)	900-1500	1170	1140		
	H (ppm)	<25	15	11		
	N (ppm)	<80	22	20		
使 用 管 番 号			CV121A	CV233C		

表 1 - 2 製 品 全 数 検 査 結 果

項 目		規 格	成 績	備 考
寸 法	外径 mm	16.46 (+0, -0.08)	規格に適合	
	内径 mm	14.70 (±0.05)		
	肉厚 mm	>0.80		
	長さ mm	4150 (+5, -0)		
超 音 波 探 傷		深さ80 μ , 長さ0.86mm, 巾50 μ の標準試験片からの欠陥信号をこえる欠陥信号のないこと。	規格に適合	
真 直 度		1/1200以下局部 れのないこと	規格に適合	
表 面	外 観	詳細仕様書参照	規格に適合	
	粗 さ	J I S 3S 以下	規格に適合	
真 円 度		< 0.10 mm	規格に適合	

化学成分分析値 (使用鑄塊の頭部(T)中央部(M)底部(B)についての分析値)

項 目	規 格 値	成 績			備 考	
		T	M	B		
合 金 元 素	Sn	1.20-1.70	1.49	1.43	1.41	鑄塊番号 1219 (CV)
	Fe	0.07-0.20	0.15	0.14	0.14	
	Cr	0.05-0.15	0.10	0.10	0.09	
	Ni	0.03-0.08	0.07	0.06	0.06	
	⑧ Fe+Cr+Ni	0.18-0.38	0.32	0.30	0.29	
不 純 物 元 素 (ppm)	Al	< 75	49	50	45	
	B	< 0.5	0.2	0.2	0.2	
	Cd	< 0.5	<0.2	<0.2	<0.2	
	C	<270	60	70	60	
	Co	< 20	<5	<5	<5	
	Cu	< 50	10	10	10	
	Hf	<100	69	72	73	
	Mn	< 50	<10	<10	<10	
	Si	<120	30	30	30	
	Ti	< 50	10	10	10	
	W	<100	<10	<10	<10	
	U	< 3.5	<1	<1	<1	
	Pb	<130	5	5	5	
	Cl	< 20	<10	<10	<10	
Ca	< 30	<10	<10	<10		
Mg	< 20	<1	<1	<1		

表 2 静および動摩擦係数の実験式

試料 項目	Zry-2/Al ₂ O ₃	グラファイトコーティング したZry-2/Al ₂ O ₃	Zry-2/UO ₂	グラファイトコーティング したZry-2/UO ₂
μ_s, μ_D の 温度変化	あり	なし	あり	なし
μ_s の実験式 T=25~400℃	$\mu_s = 6.93 \times 10^{-4}(T-25) + 0.64$	$\mu_s = 0.54 \pm 0.16$	$\mu_s = 2.4 \times 10^{-4}(T-25) + 0.36$	$\mu_s = 0.30 \pm 0.13$
実験式の精度	±25%	±30%	±30%	±43%
μ_D の実験式 T=25~400℃	$\mu_D = 4.80 \times 10^{-4}(T-25) + 0.63$	$\mu_D = 0.49 \pm 0.19$	-	$\mu_D = 0.26 \pm 0.17$
実験式の精度	±25%	±39%	-	±65%

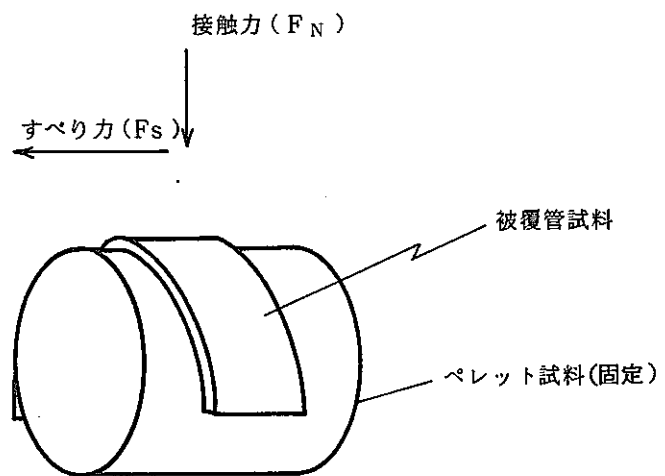


図 1. 摩擦測定試料組合せ

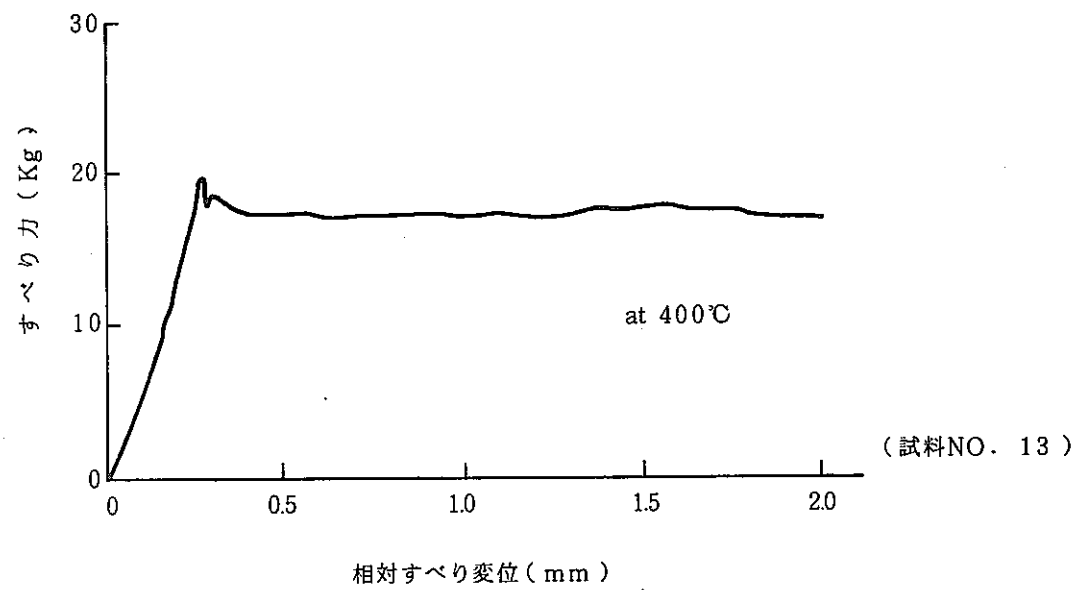
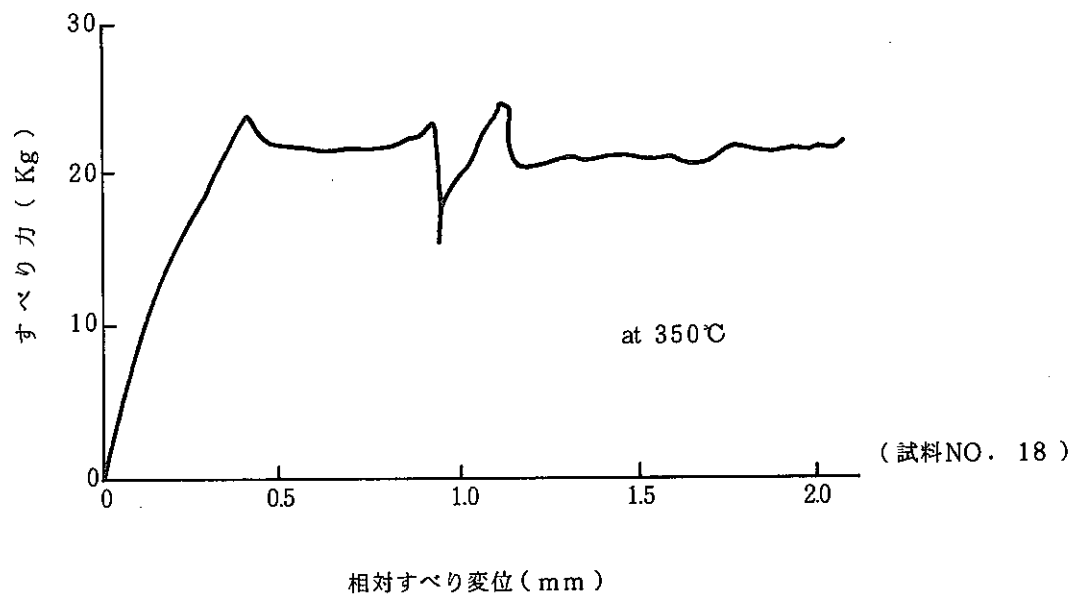
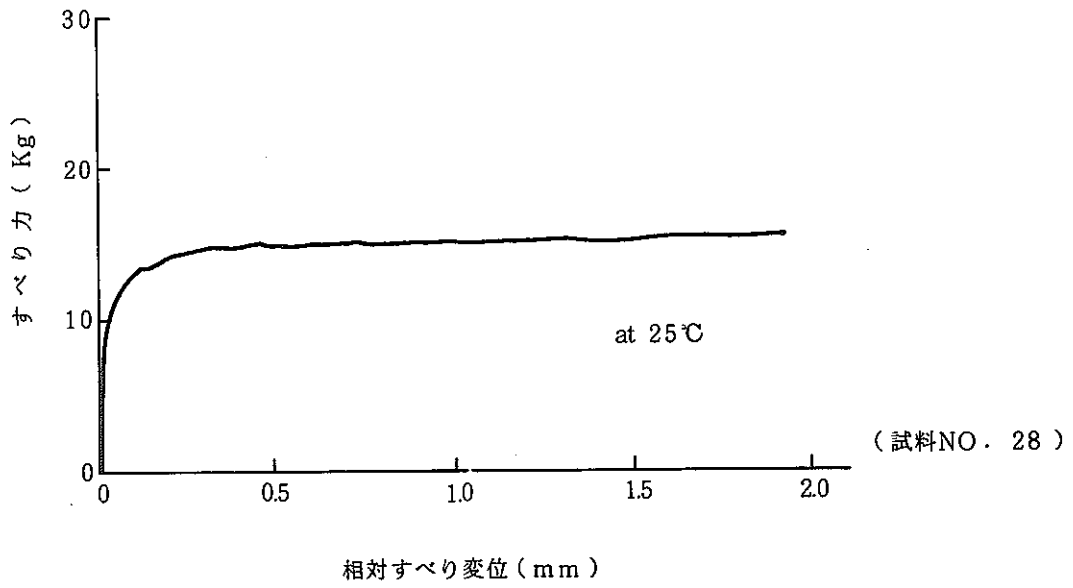


図2. ジルカロイ-2被覆管/Al₂O₃ペレットのすべりに伴うすべり力(Fs)の変化

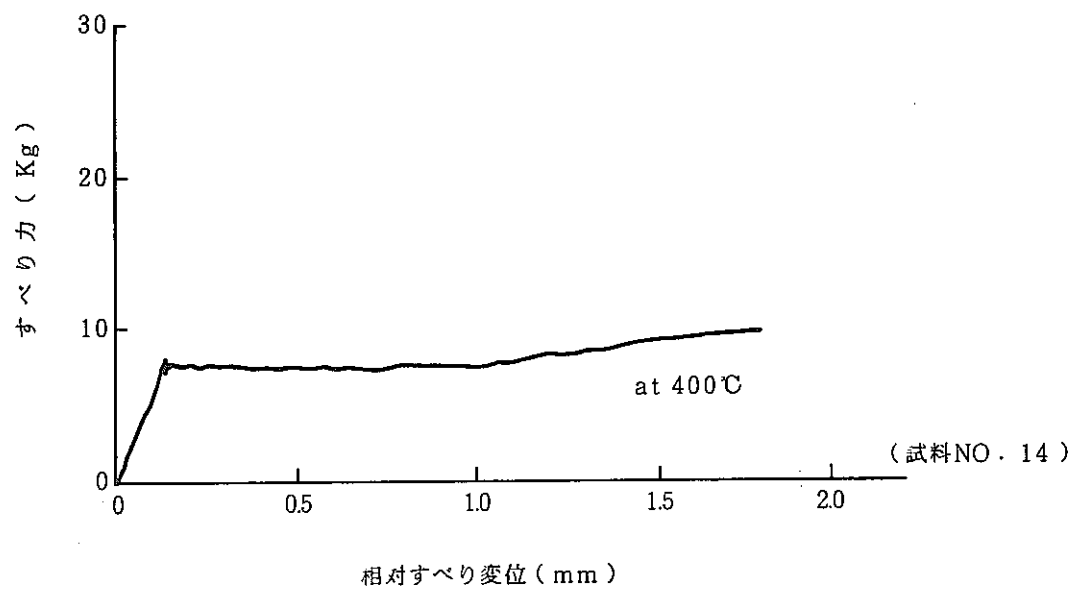
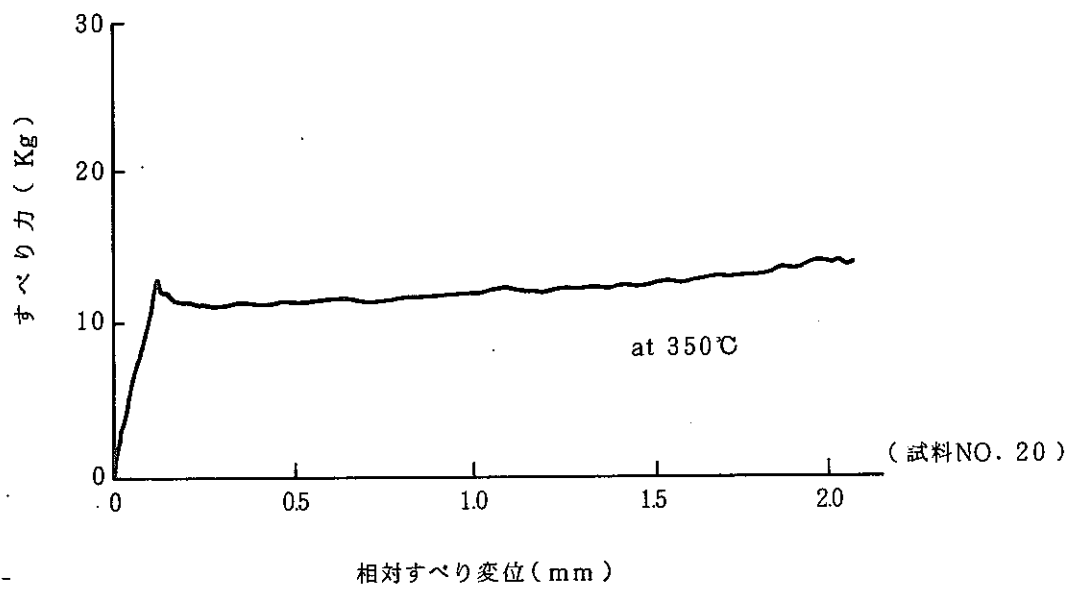
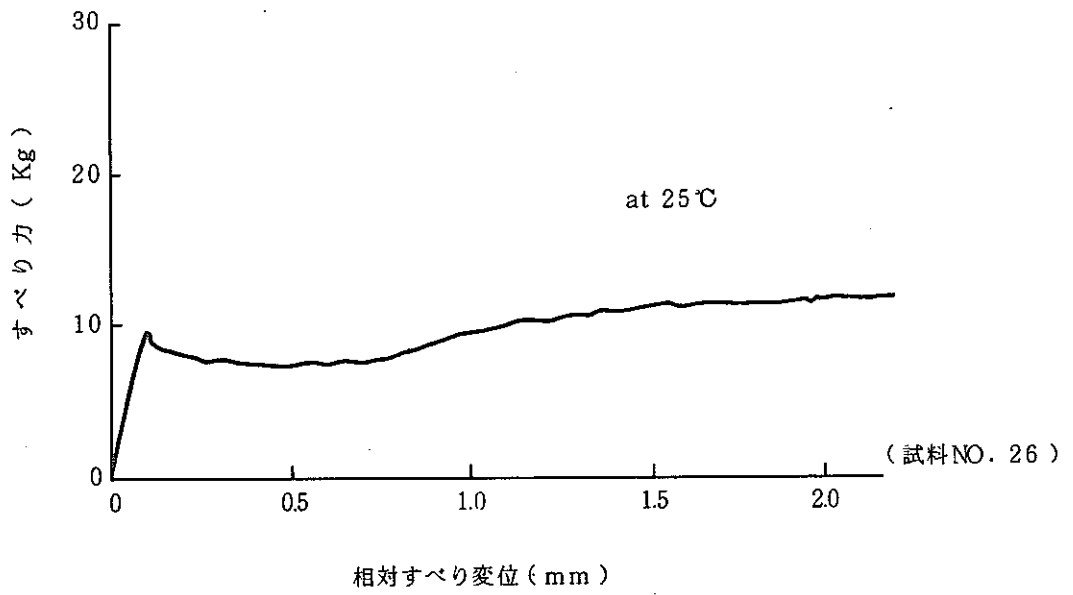


図3 グラファイトコーティングしたジルカロイ-2被覆管/Al₂O₃ペレットのすべりに伴うすべり力 (Fs) の変化

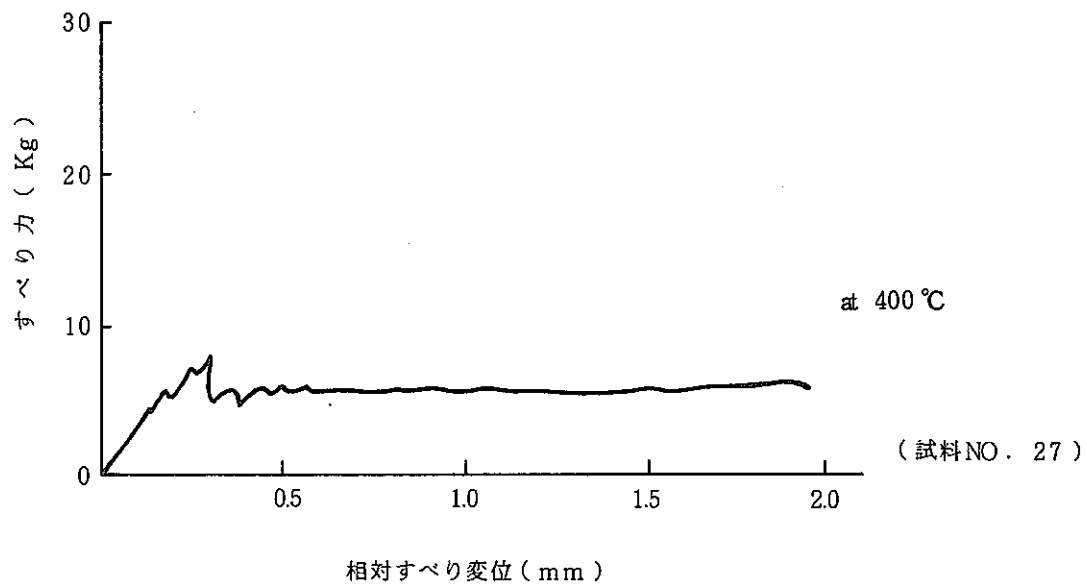
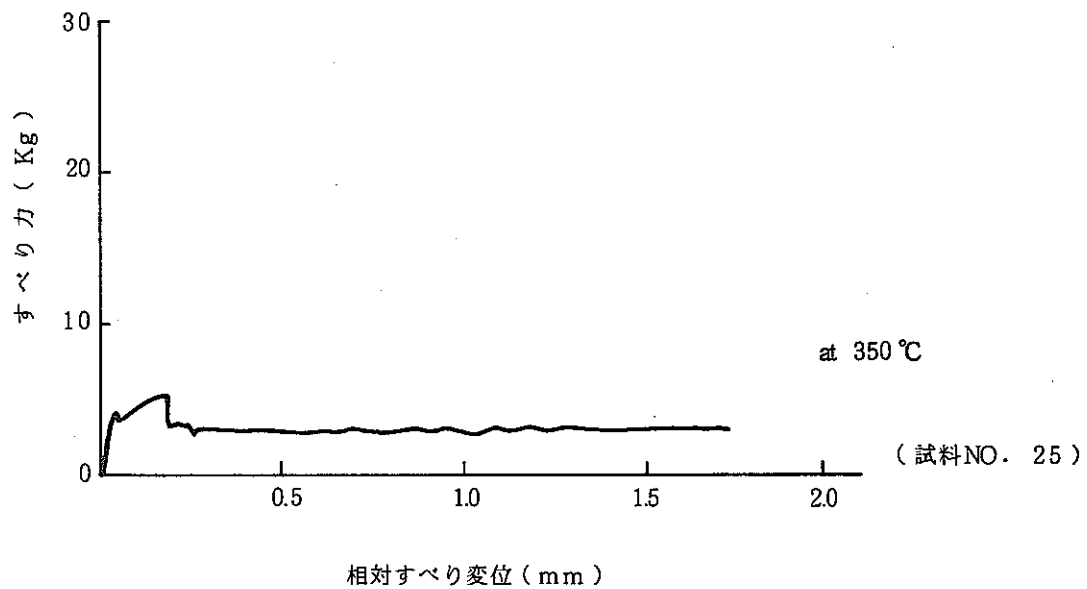
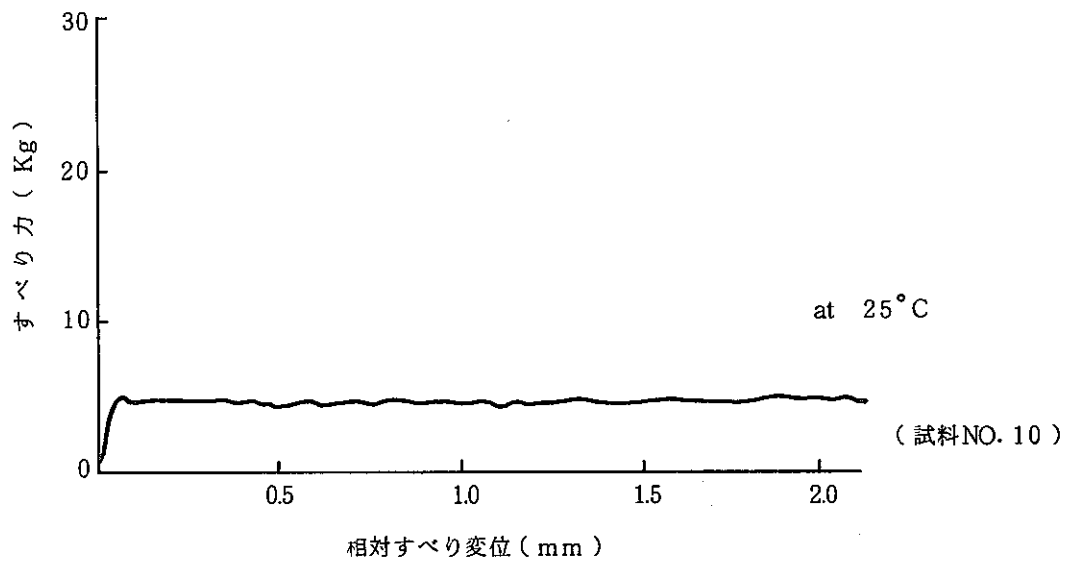


図4 グラファイトコーティングしたジルカロイ-2被覆管/UO₂ペレットのすべりに伴うすべり力 (Fs) の変化

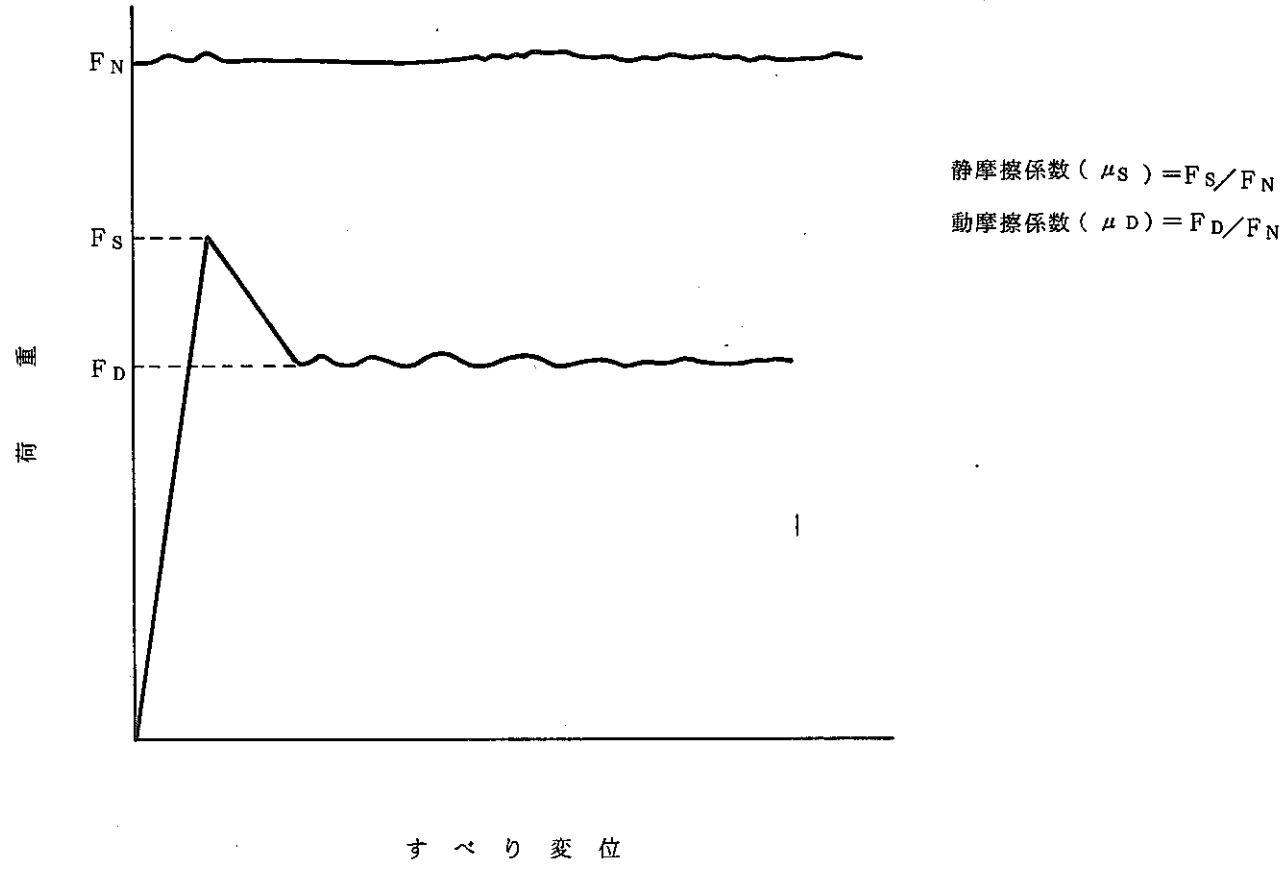


図5 静および動摩擦係数の評価方法

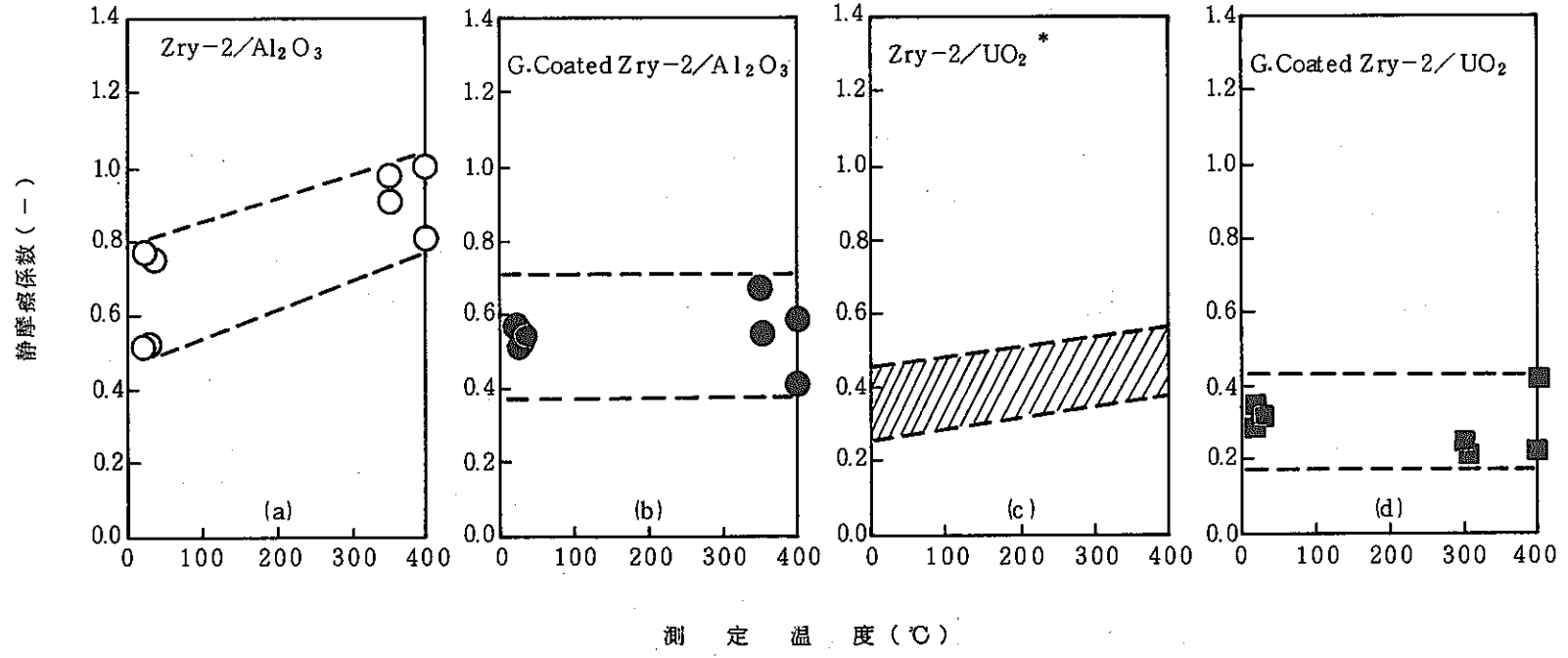


図6 各試料の静摩擦係数の測定温度による変化 [*参考文献(2)より引用]

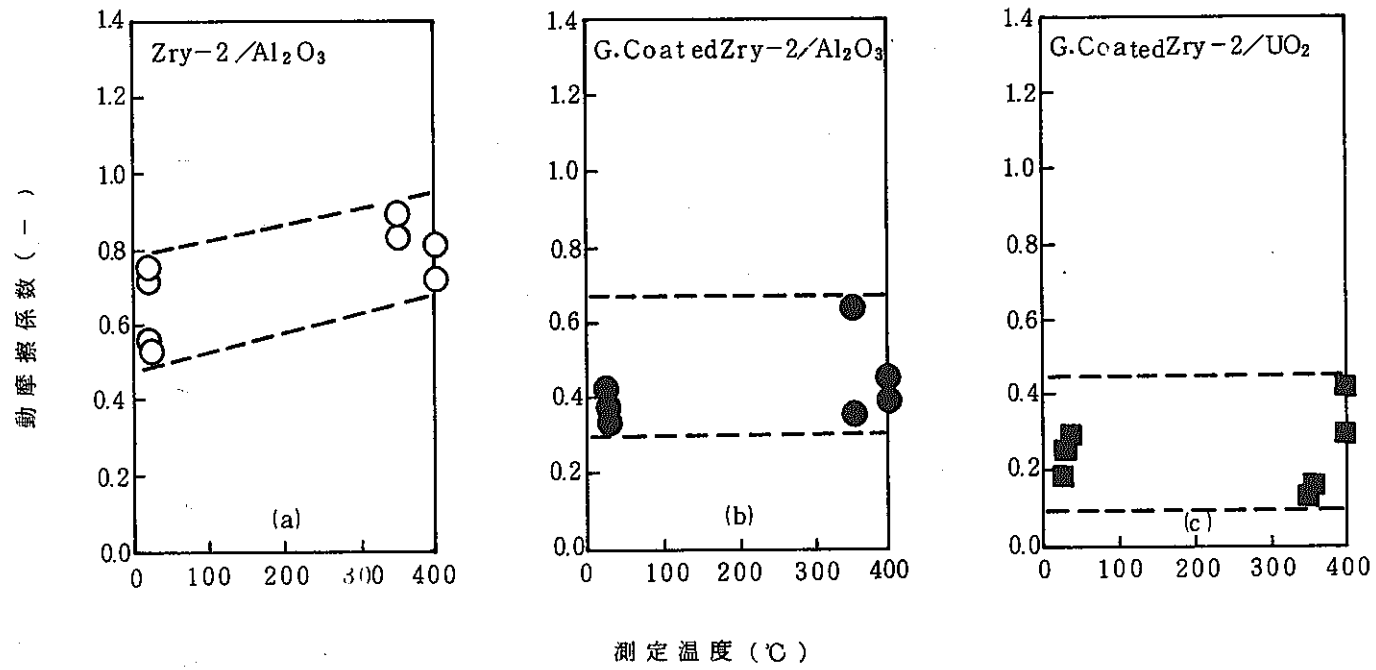


図7 各試料の動摩擦係数の測定温度による変化

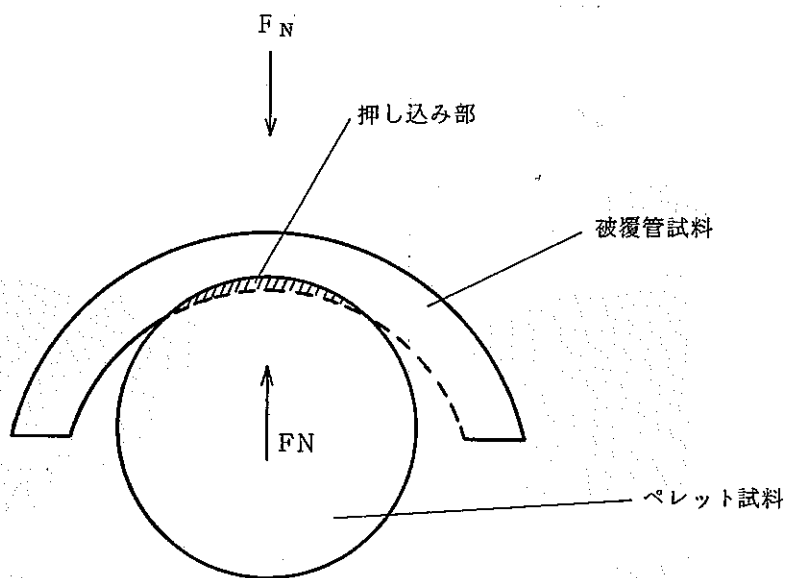
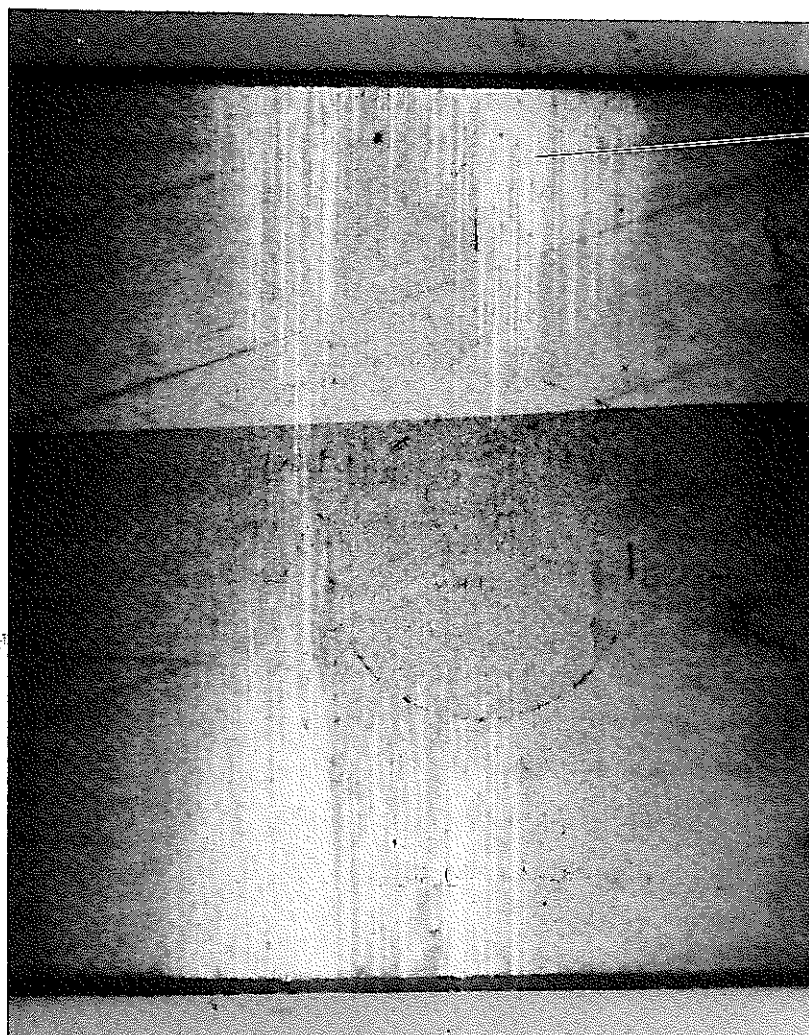


図 8 摩擦すべり模型図



すべり痕跡

× 20

写真1 Zry-2/Al₂O₃を室温で摩擦試験した後の被覆管内面

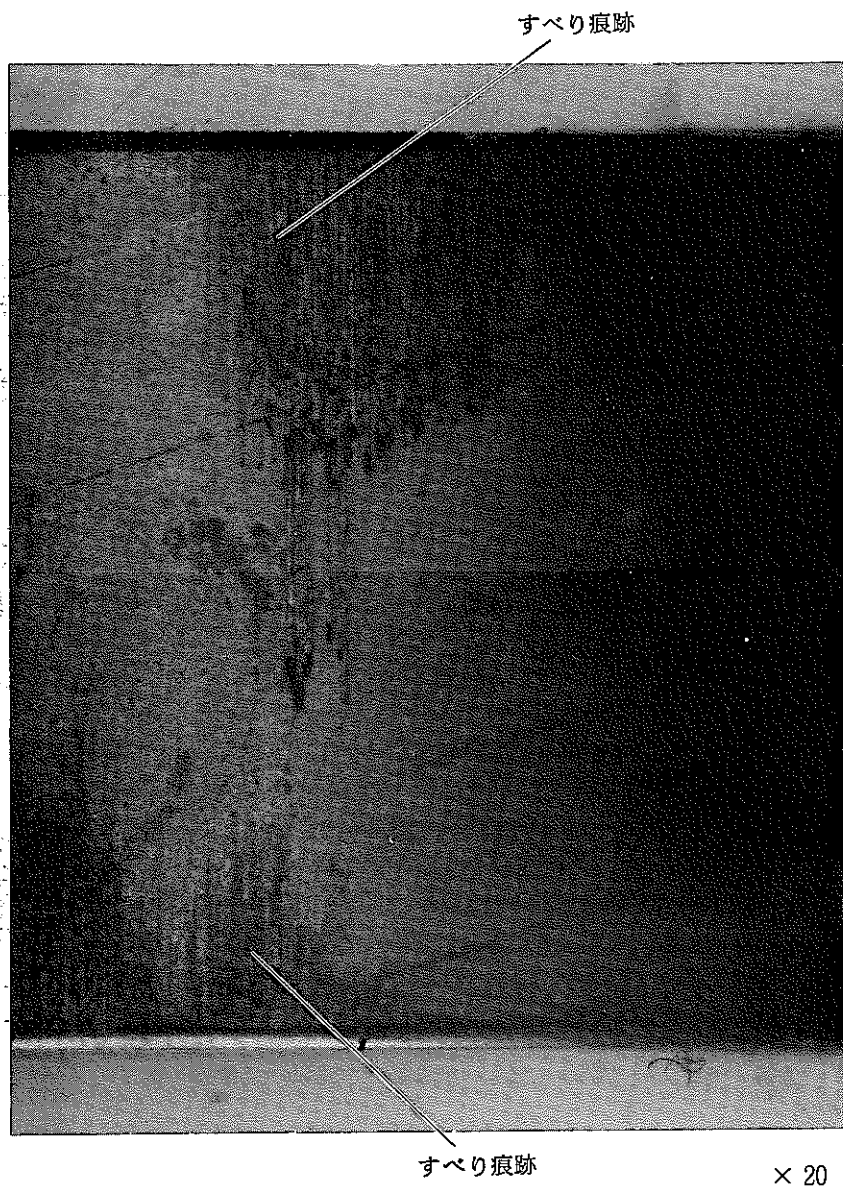


写真2 Zry-2/Al₂O₃を350℃で摩擦試験した後の被覆管内面

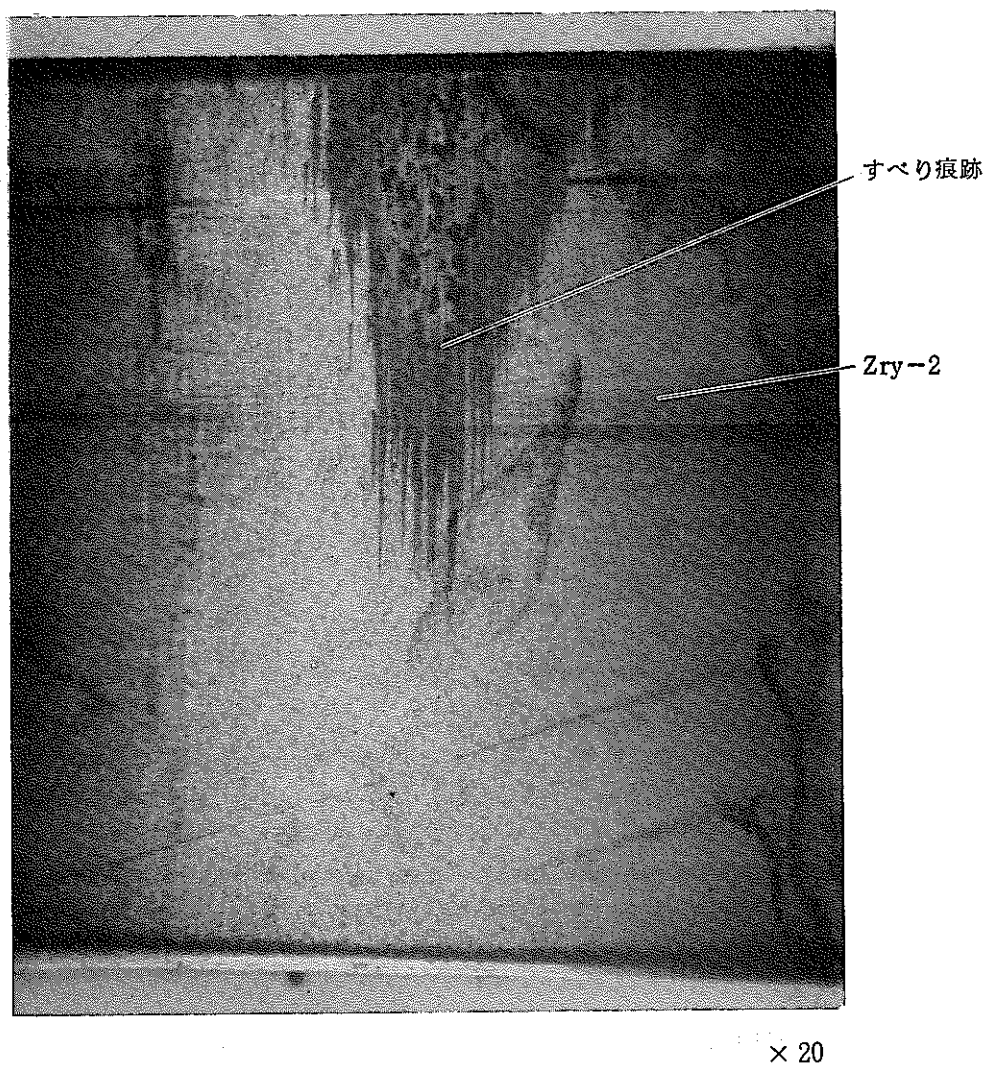


写真3 Zry-2/Al₂O₃を400°Cで摩擦試験した後の被覆管内面

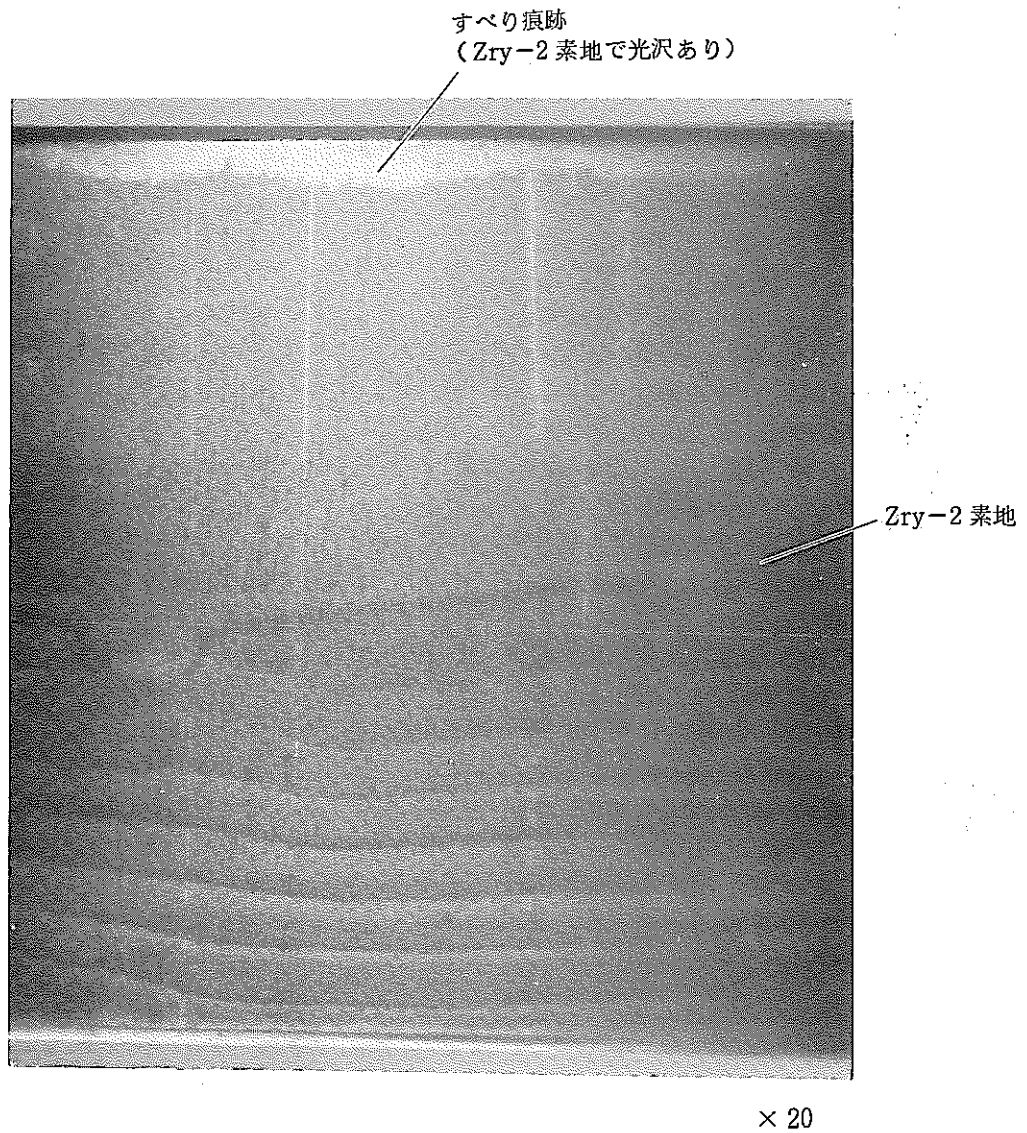


写真4 グラファイトコーティングしたZry-2/Al₂O₃を
室温で摩擦試験した後の被覆管内面

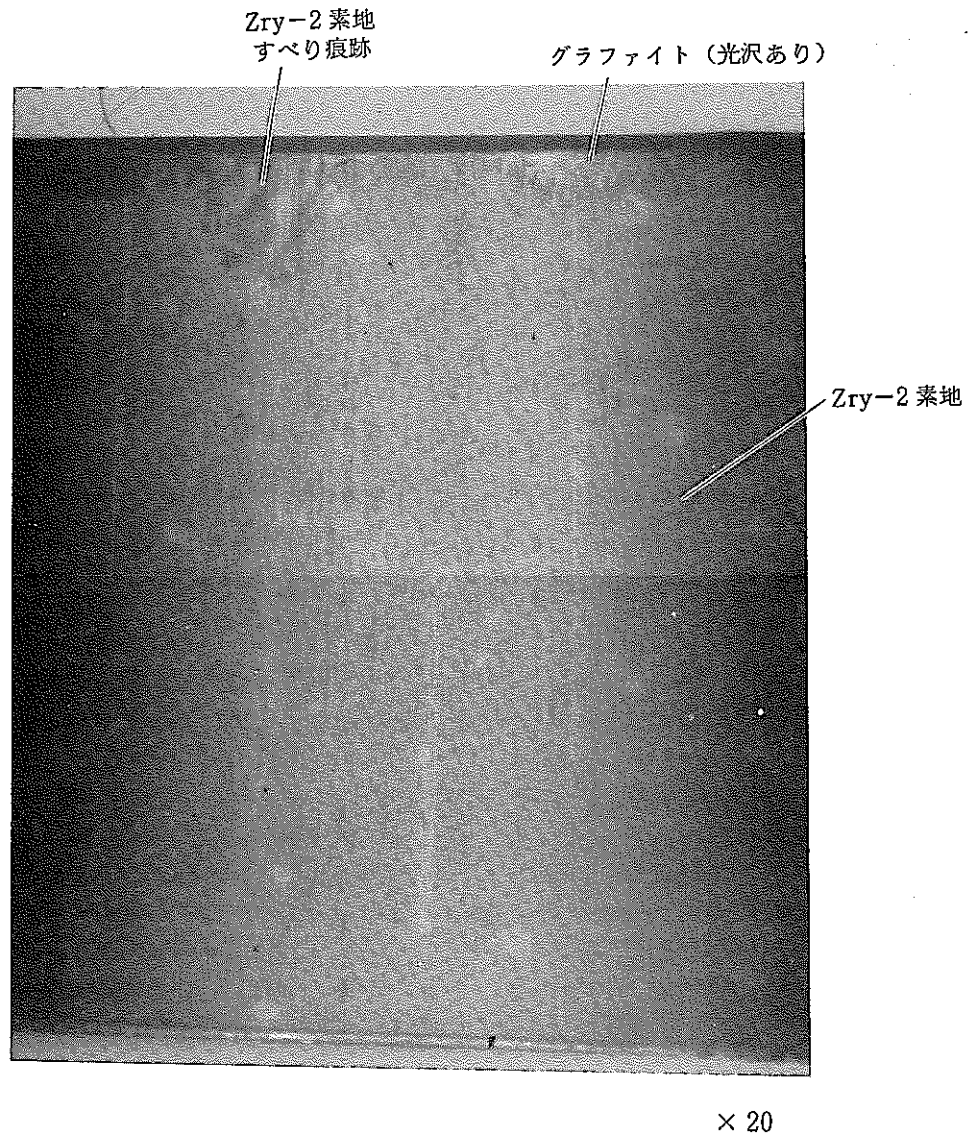


写真5 グラファイトコーティングしたZry-2/Al₂O₃を
350℃で摩擦試験した後の被覆管内面

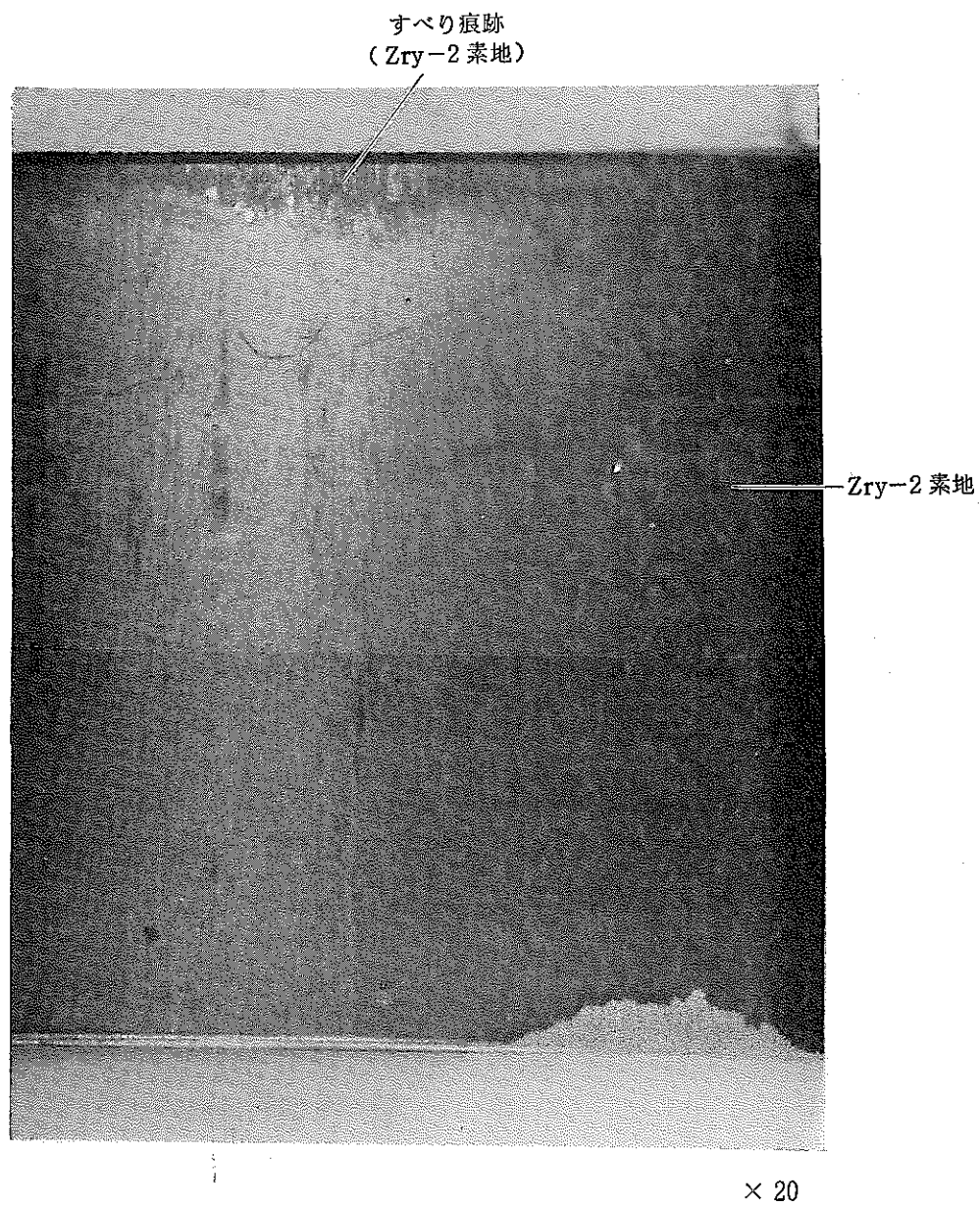
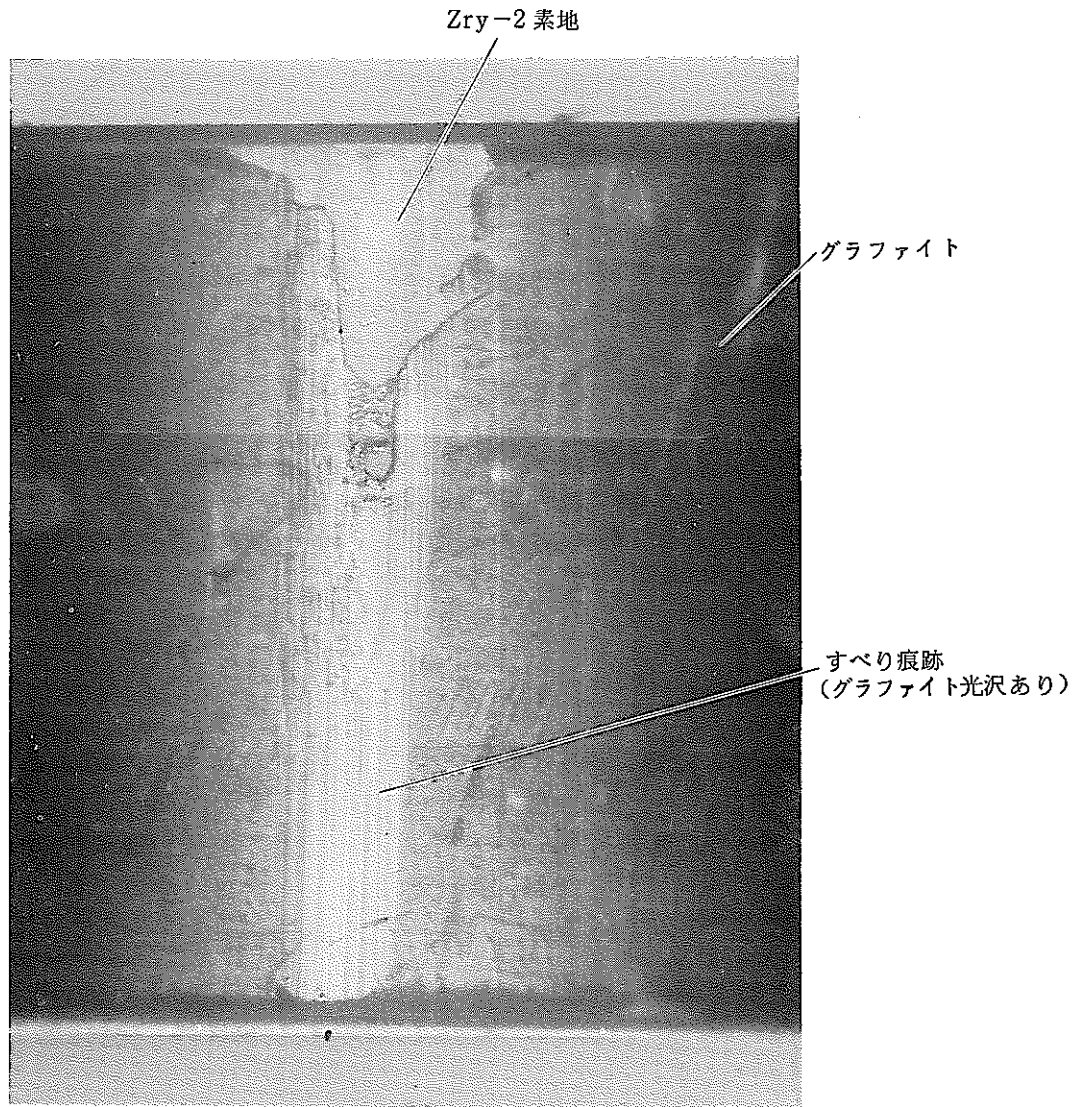


写真6 グラファイトコーティングしたZry-2/Al₂O₃を
400℃で摩擦試験した後の被覆管内面



× 20

写真7 グラファイトコーティングしたZry-2/UO₂を室温で摩擦試験した後の被覆管内面

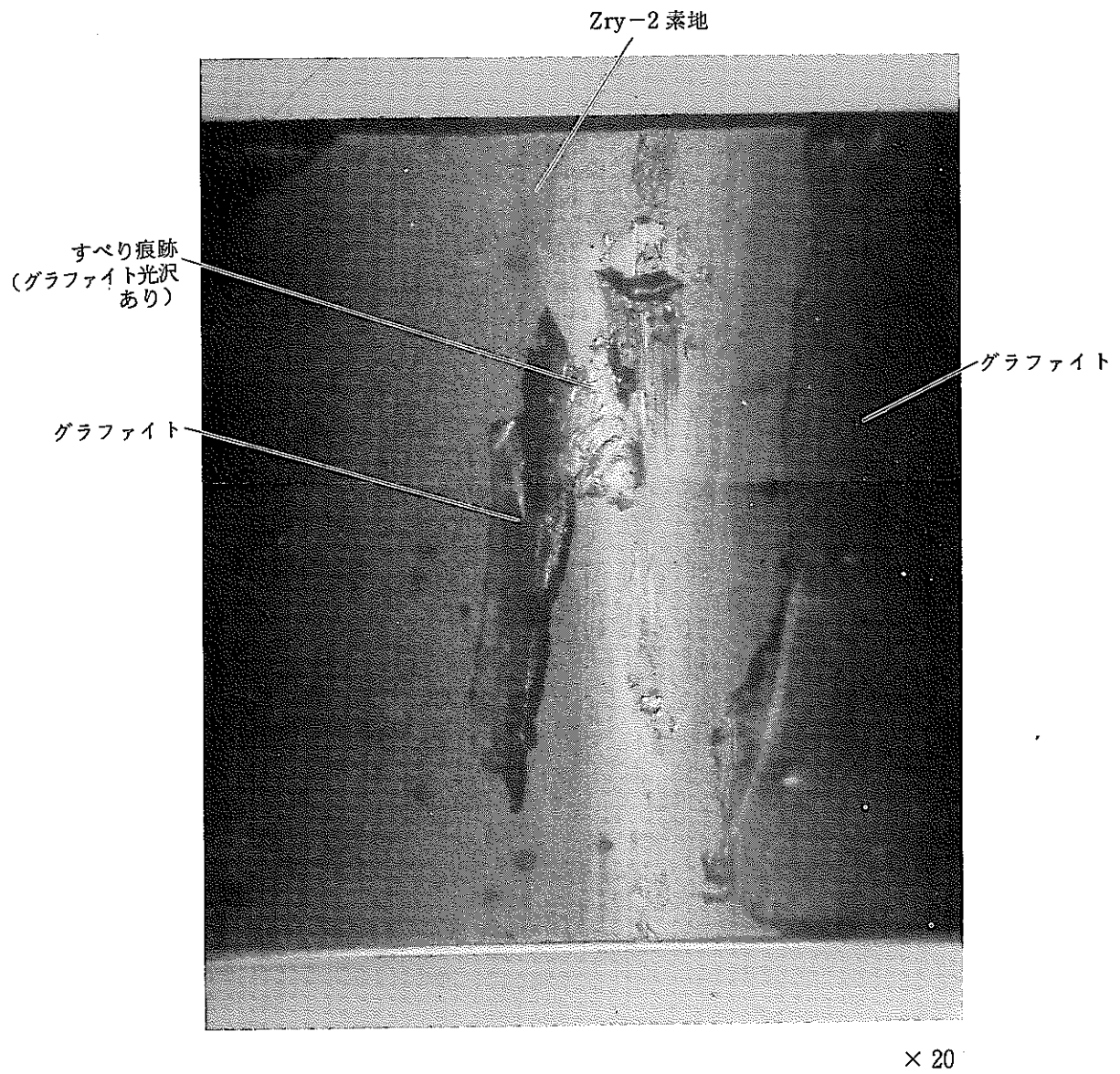


写真8 グラファイトコーティングしたZry-2/UF₄を350℃で摩擦試験した後の被覆管内面

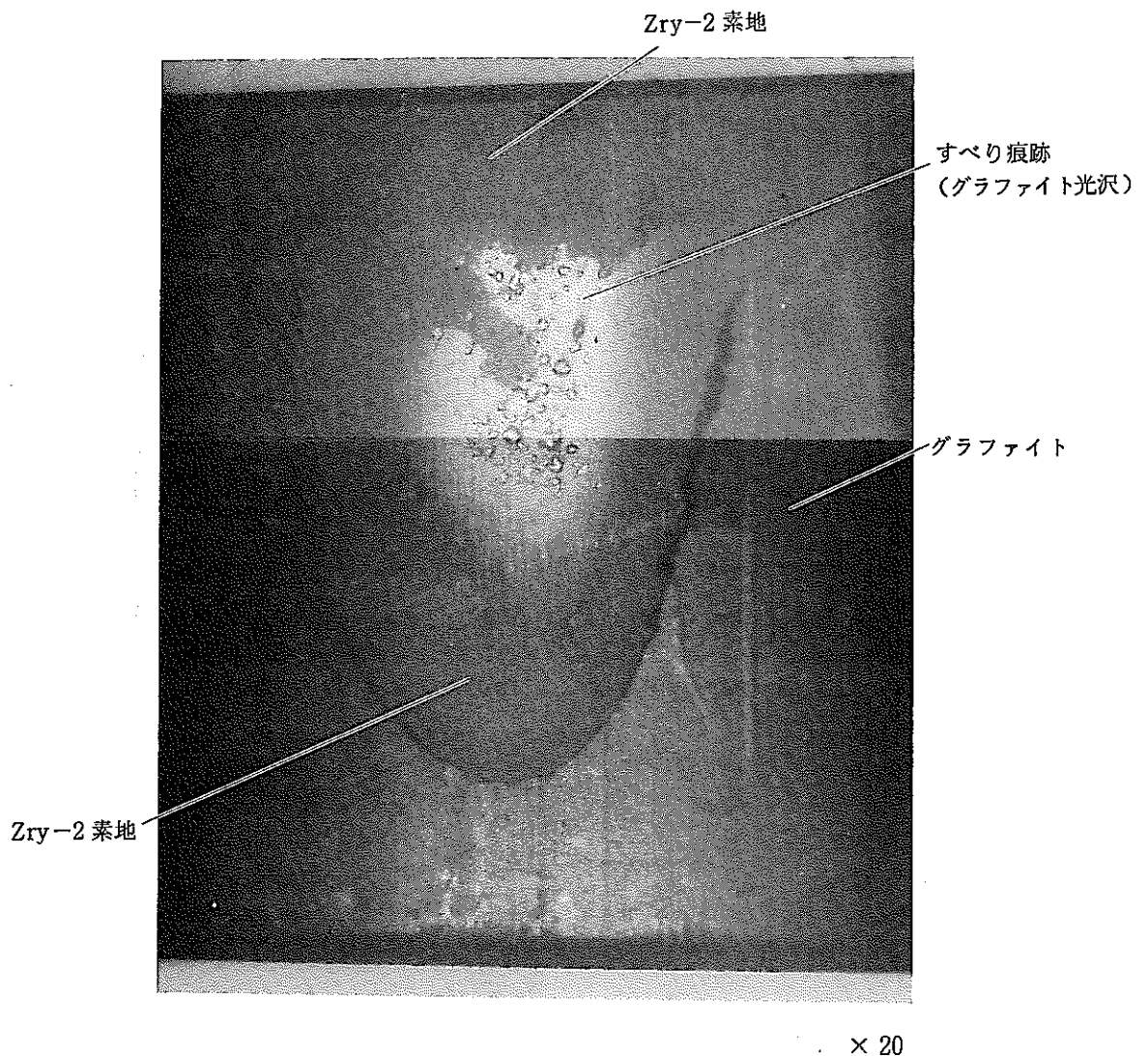
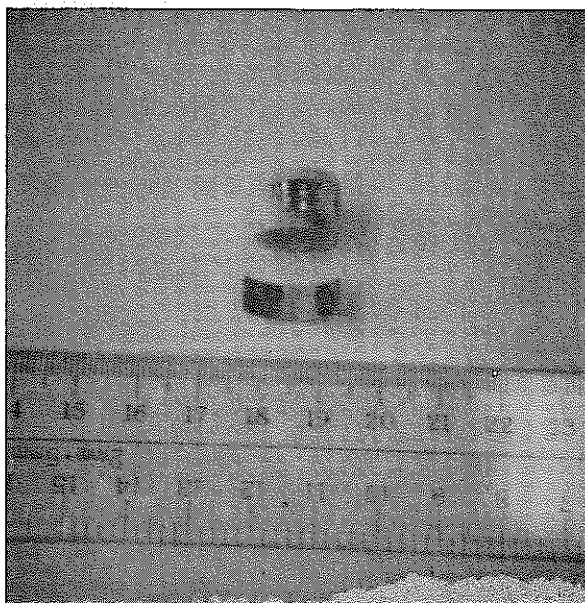
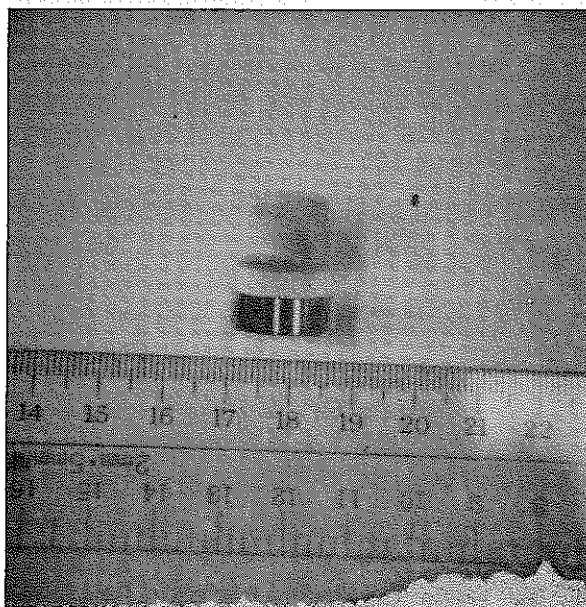


写真9 グラファイトコーティングしたZry-2/UO₂を400°Cで摩擦試験した後の被覆管内面

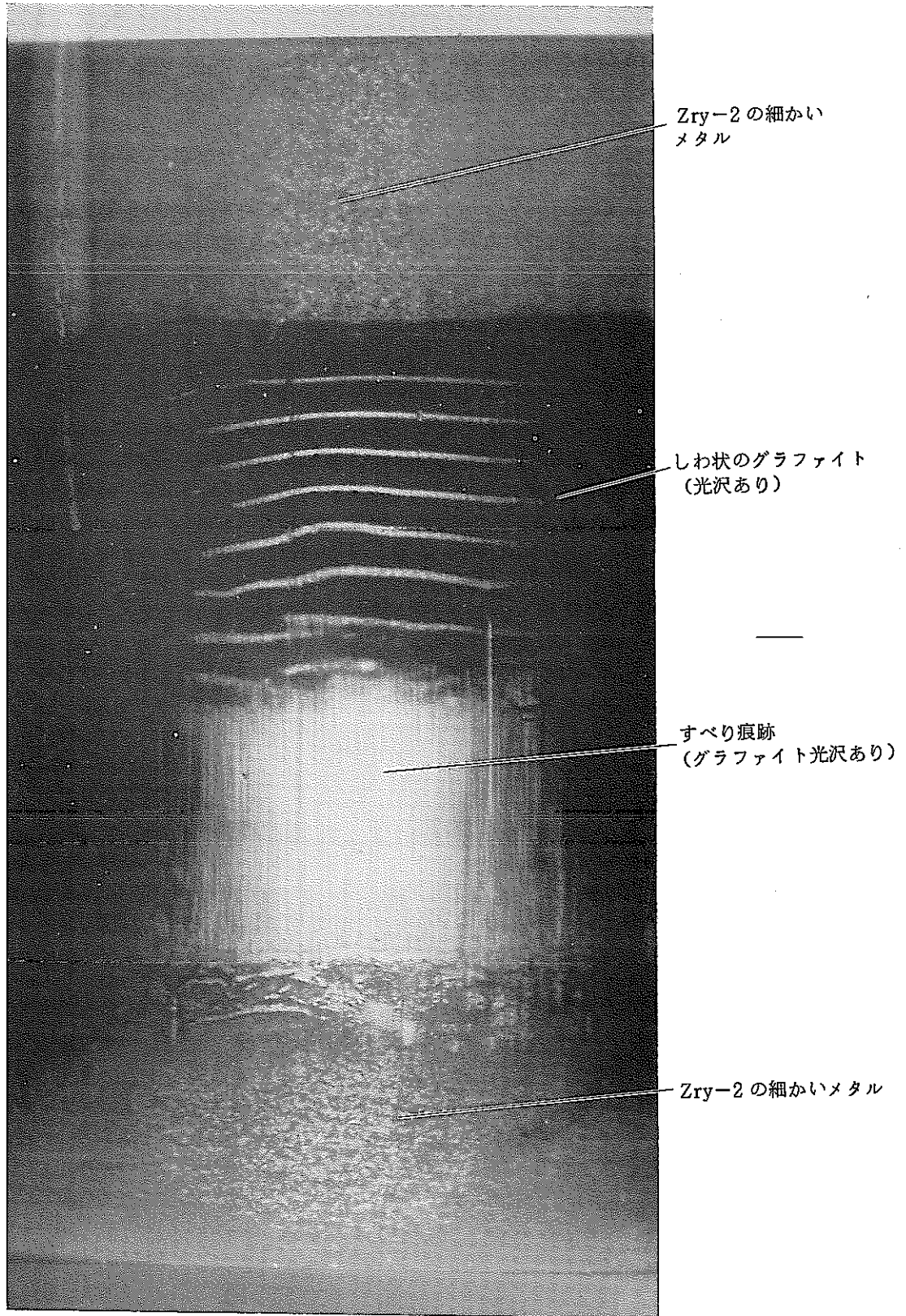


(a)



(b)

写真10 グラファイトコーティングしたZry-2/ Al_2O_3 を室温で摩擦試験した後のすべり痕跡



× 20

写真11 グラファイトコーティングしたZry-2/Al₂O₃を室温で摩擦試験した後のAl₂O₃ペレット表面