

# 高速炉材料のナトリウム中摩耗試験(V)

コルモノイとステライトの比較

1976年7月

動力炉・核燃料開発事業団

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

システム開発推進部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor  
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002, Narita O-arai-machi Higashi-  
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development  
Corporation)

1976年7月

## 高速炉材料のナトリウム中摩耗試験(V)

### コルモノイとステライトの比較

報告者 加納茂機\* 小坪享\*  
 溝渕庄太郎\*\* 滑川優\*  
 中山絢一\* 中筋孝\*  
 長谷川成生\* 厚母栄夫\*

期 間 1973年8月 日～1976年6月30日

目 的 原子炉機器摺動部用耐摩耗材の選定

#### 要 旨

ナトリウム冷却高速炉の機器摺動部に使用される耐摩擦・摩耗材の開発研究として一連のナトリウム中試験を行なっている。<sup>(1)～(11)</sup> 本研究ではニッケル基のコルモノイ合金とコバルト基のステライト合金の摩擦・摩耗特性を温度、荷重、摺速、摺動モードおよびナトリウムフラッシングに関して比較した。またアルゴン中および大気中でも試験しナトリウム中挙動と比較した。その結果次のことが明かとなった。

- (1) ナトリウム温度が上昇するとステライトの $\mu_k$ は大きくなるが、コルモノイは同じく低下する。また540°Cナトリウムフラッシングによりコルモノイの $\mu_k$ は低下する。
- (2) コルモノイとステライトの $\mu_s$ および $\mu_k$ を比較するとナトリウム中ではコルモノイの方が小さい。
- (3)  $\mu_s$ および $\mu_k$ の荷重依存性はナトリウム中では小さいが、アルゴン中では荷重に対し $\mu_k$ は著しく変動する。
- (4) 摺動モードが異なると摩擦挙動が異なる。連続一方向摺動より反復摺動の方が $\mu_k$ が大きく、また摺動面が粗れやすい。
- (5) 本試験条件では低速域を除けばナトリウム中 $\mu_k$ の摺速依存性は小さい。
- (6) ナトリウム中とアルゴン中を比較すると $\mu_k$ はナトリウム中の方が小さくなる傾向がある。また摩耗量はアルゴン中の方が著しく多い。

\* 大洗工学センター、ナトリウム技術部、ナトリウム技術開発室

\*\* 現在 荘原製作所中央研究所

July, 1976

Wear Tests of Materials for FBR in Sodium Environment (V)  
Differences between Colmonoy and Stellite Alloys

Shigeki KANOH\*, Shotaro MIZOBUCHI\*\*, Koichi NAKAYAMA\*,  
Naruo HASEGAWA\*, Toru KOAKUTSU\*, Masaru NAMEKAWA\*,  
Takashi NAKASUJI\* and Hideo ATSUMO\*

Abstract

A series of experiments in sodium environment have been carried out to develop and screen the friction and wear resistant materials used for sliding components of the sodium cooled reactor.

The present study relates to the friction and wear characteristics of nickel-base alloy "Colmonoy" and cobalt-base alloy "Stellite" with respect to temperature, load, sliding velocity, sliding mode and sodium flushing. Also several experiments were carried out in argon and atmospheric environments, and they were compared with those in sodium.

The results obtained were as follows :

- (1) As the sodium temperature is raised, the kinetic friction coefficient ( $\mu_k$ ) of Stellite alloy becomes higher, but that of Colmonoy alloy remains constant or is rather lower. The  $\mu_k$  of Colmonoy alloy becomes lower by 540°C sodium flushing.
- (2) Both static friction coefficient ( $\mu_s$ ) and  $\mu_k$  of Colmonoy alloy are lower than those of Stellite alloy in sodium environment.
- (3) The dependence of  $\mu_s$  and  $\mu_k$  upon the load is low in sodium environment. In argon the dependence of  $\mu_s$  upon the load is not found, while  $\mu_k$  varies according to the load.

---

\* Sodium Technology Section,  
Sodium Engineering Division  
O-arai Engineering Center, PNC.

\*\* Now Ebara Manufacturing Company, Ltd.

- (4) The friction behavior is influenced by sliding mode. The  $\mu_k$  in oscillating sliding is higher than that in one-directional continuous sliding. Also the sliding surface in oscillating sliding is more roughened.
- (5) The dependence of  $\mu_k$  upon the sliding velocity is not found in sodium environment except for that in low velocity area.
- (6) The kinetic friction coefficient is apt to be higher in argon than in sodium. Also the wear rate is much higher in argon.

## 目 次

1. まえがき.....	1
2. 試験方法.....	2
3. 結果および考察.....	5
3.1 連続一方向摺動 (SW-1) .....	5
(1) 温度の影響.....	5
(2) 荷重の影響.....	5
(3) 時間およびフラッシングの影響.....	7
(4) 雰囲気の影響.....	8
(5) $\mu_s$ と $\mu_k$ の比較 .....	8
(6) 摺速の影響.....	9
(7) 摣耗量.....	10
3.2 反復摺動 (SW-2) .....	12
(1) 回転角度および摺動サイクルの影響.....	12
(2) フラッシングの影響.....	12
(3) 荷重および雰囲気の影響.....	13
3.3 摺動モードの影響.....	14
3.4 コルモノイとステライトの比較.....	15
3.5 ナトリウム中とアルゴン中の比較.....	16
4. 結論.....	18
5. 文献.....	19

## 1. まえがき

高速炉用冷却材である液体ナトリウムは一般の潤滑剤より粘性が低いため潤滑膜厚が薄く、また高温で使用されることおよび化学的に活性であるため金属表面の反応膜を破壊あるいは薄くし金属面の直接接触をひき起こす。これによって生ずる機器の性能劣化および寿命短縮を防止するために高速炉機器摺動部には耐摩擦・摩耗材を使用する必要があり、これら機器の設計資料を得るためにナトリウム中摩擦・摩耗試験を行なっている。<sup>(1)～(11)</sup>本報は耐摩擦・摩耗材として使用実績と一般的評価のあるコルモノイとステライトについて、ナトリウム温度、荷重（面圧）、摺動モード、摺速、時間およびナトリウムフラッシングに関して摩擦係数および摩耗量をしらべた。また高速炉ではカバーガスのアルゴン中で摺動する機器を考えられるのでアルゴン中でも試験し雰囲気の影響をしらべた。

## 2. 試 験 方 法

**Fig.1** に使用したType 316 SS 製自己融着・摩耗試験ループを示す。試験中はコールドトラップで純度管理されたナトリウムが一定量試験部に供給された。**Fig. 2** に2基の試験部 (SW-1 およびSW-2) の概略を示す。SW-1には3式の連続一方向摺動装置が、SW-2には2式の120度反復摺動装置が設けられている。各装置には**Fig. 3** に示すリング状とディスク状の1対の試験片が取付けられ、摺動面の形状は $33 \phi$  ID ×  $37 \phi$  ODである。

SW-1では摩擦試験と摩耗試験を行なった。摩擦試験では段階的に鍾を増加しながら手動で回転側試験片をねじり、トルクメータから求まる初トルクより各荷重における静摩擦係数 $\mu_s$ を計算した。摩耗試験では駆動モータにより回転側試験片を連続一方向回転させながら15分おきに段階的に荷重を増加し、15分間の平均摺動トルクより各荷重の動摩擦係数 $\mu_k$ を計算した。同時にこの間の摩耗深さ $W_D$ を差動トランスで求めた。一部材料組合せでは荷重220 kg (面圧1 kg/mm<sup>2</sup>)、摺速3.6 cm/secで10時間摺動した。

一方SW-2では油圧により段階的に荷重を増加しながら、ロータリーアクチュエータにより回転側試験片を120度反復摺動させ、回転角60度の位置の摺動トルクより $\mu_k$ を計算した。

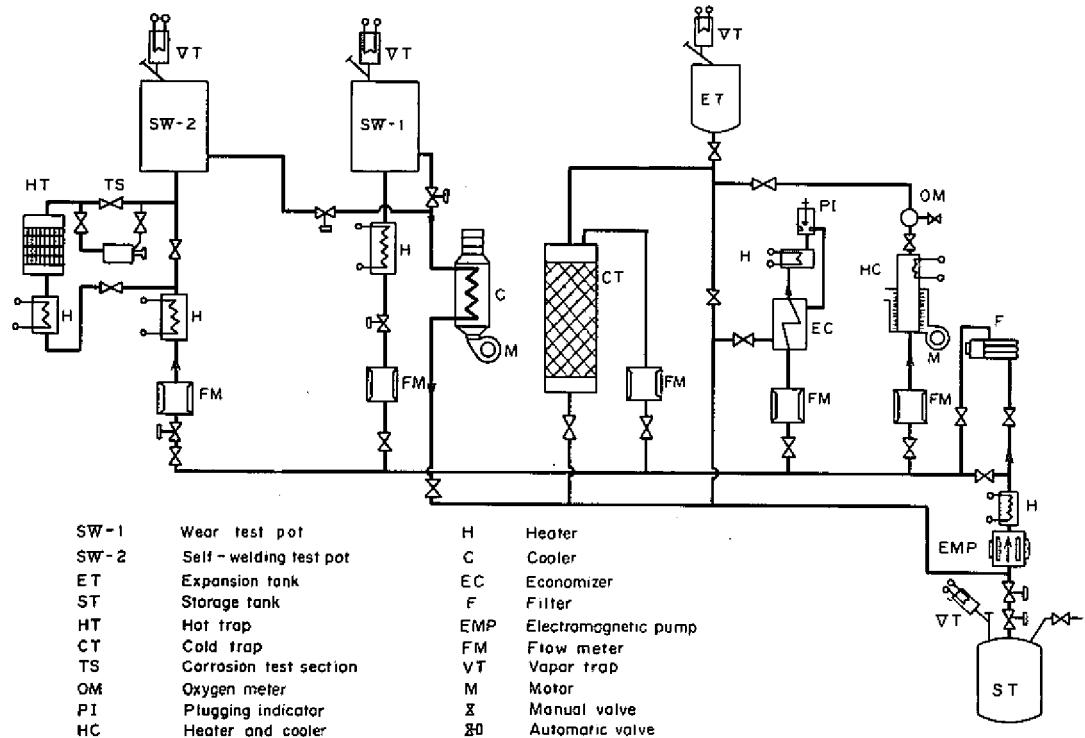


Fig.1 Flow sheet of Self-Welding and Wearing Test Loop

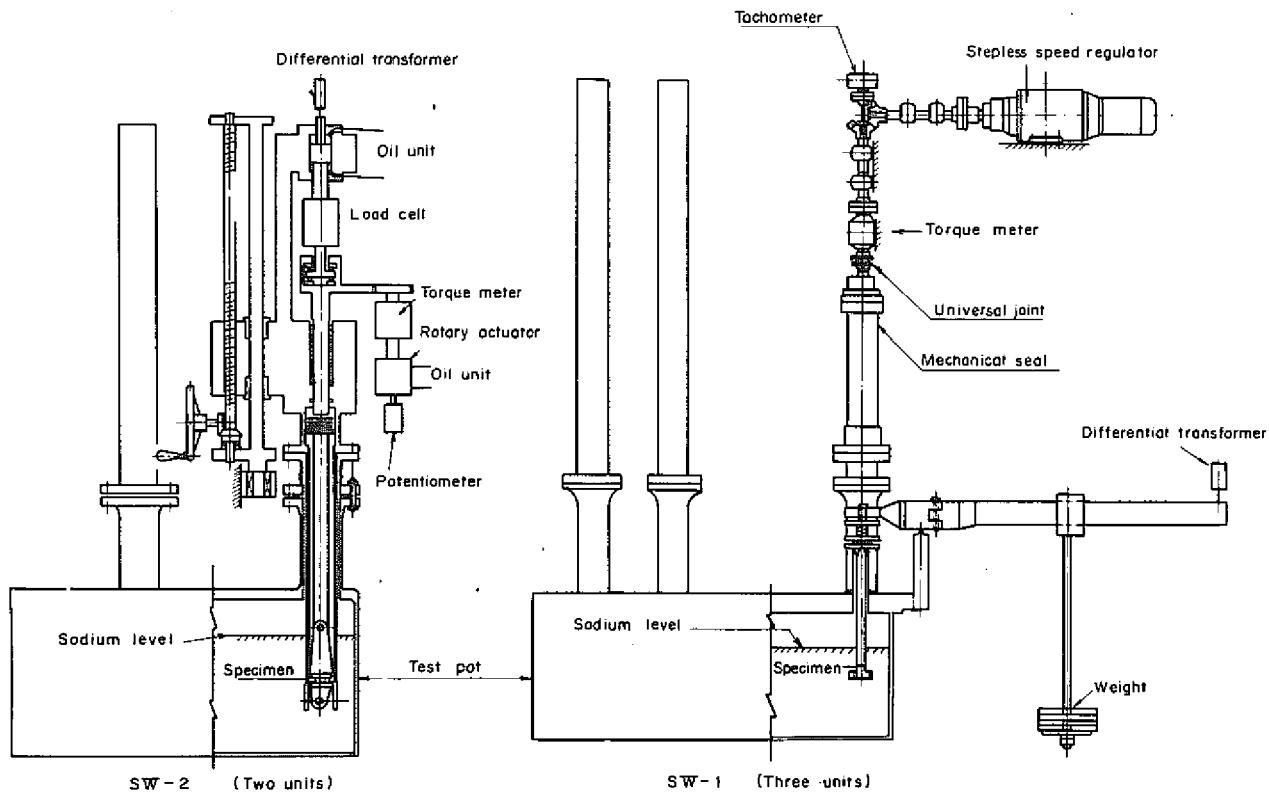


Fig.2 Test section

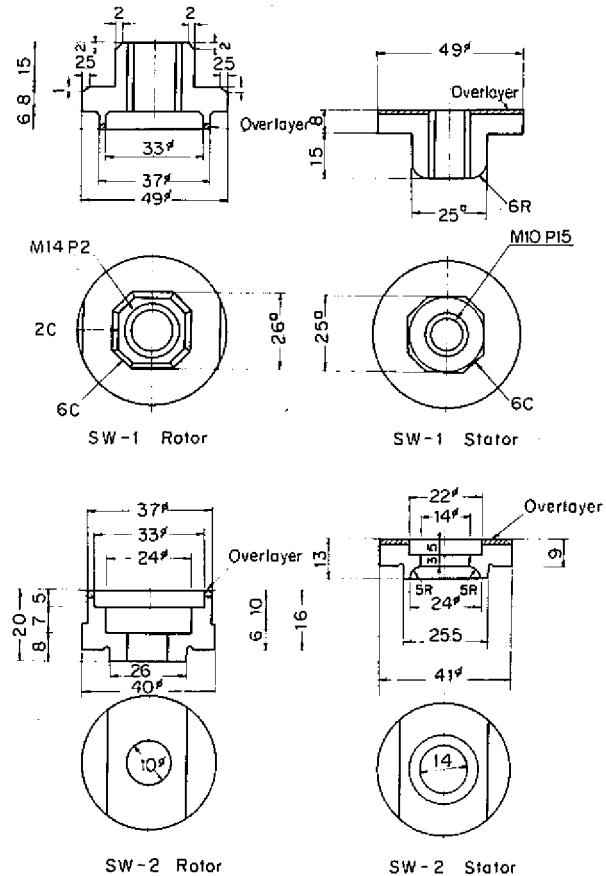


Fig.3 Size of Test Piece

**Table. 1** に各々の試験条件を示す。

**Table. 2** に試験した材料の化学成分を示す。コルモノイおよびステライトはすべて約5φの溶接棒により Type 304 SS あるいは Type 316 SS 上に酸素-アセチレンガス溶着し、機械加工により最終肉盛厚さを 2 mm、また表面あらさを 0.4 ~ 1 μm とした。なお後述の図には **Table. 2** のシンボルの覧にある材料表示法により材料名を示した。

Table 1 Test Conditions

Environment	Test Factor	SW-1	SW-2
Sodium	Sodium Temperature, (°C)	280, 450, 540	280, 540
	Cold Trap Temp. (°C)	200	200
	Sodium Flow Rate (l/min)	4	4
	Load (kg)	max. 440 (Dead Weight)	max. 500 (Oil Pressure)
	Sliding Velocity(cm/sec)	max. 7.2	0.25
	Apparent Contact Area of Test Piece (cm <sup>2</sup> )	2.2	2.2
Argon	Sliding Velocity(cm/sec)	24~72	24
	Argon Temperature (°C)	Room Temperature	280, 540
	Argon Flow Rate (l/min)	0	0.5
	Argon Purity (%)	>99.995	>99.999
	Load (kg)	max. 440 (Dead Weight)	max. 500 (Oil Pressure)
	Apparent Contact Area of Test Piece (cm <sup>2</sup> )	3.6	0.25

Table 2 Chemical Composition

Material	Symbol	Chemical Composition (w/o)									
		C	Si	B	Fe	Cr	Ni	Co	W	Mo	Mn
Type 304 SS	304	0.06	0.59		Bal	18.64	8.63				1.54
Type 316 SS	316	0.06	0.47		Bal	16.58	10.76			2.15	1.00
Colmonoy No.2	C2	0.20	3.00	1.00	3.20	5.00	Bal				
Colmonoy No.4	C4	0.40	3.00	2.00	3.20	10.00	Bal				
Colmonoy No.5	C5	0.54	3.47	2.05	3.47	11.50	Bal				
Colmonoy No.6	C6	0.75	4.25	3.00	4.75	13.50	Bal				
Stellite No.1	S1	2.58	1.16		0.28	31.33		Bal	12.49		
Stellite No.6	S6	1.04	1.17		0.27	28.65		Bal	4.20		
Stellite No.12	S12	1.30	1.20		2.50	29.00		Bal	8.00		

### 3. 結果および考察

#### 3.1 連続一方向摺動 (SW-1)

##### (1) 温度の影響

**Fig. 4** に SW-1 で求めた  $\mu_s$  とナトリウム温度の関係を示す。ステライト合金は温度が高いほど  $\mu_s$  が大きくなるが、コルモノイ合金は温度が高いほど  $\mu_s$  が小さくなる。またコルモノイは相手材が Type 304 SS になると温度上昇に対し  $\mu_s$  は一定かあるいは大きくなっている。これらのこととは温度により摺動面の状態が異なることを示す。図中のアスタリスクは  $\mu_k$  の測定を行なったのち求めた  $\mu_s$  であるが連続摺動により材料表面が粗くなつたため  $\mu_k$  の測定前に求めた値より高くなっている。

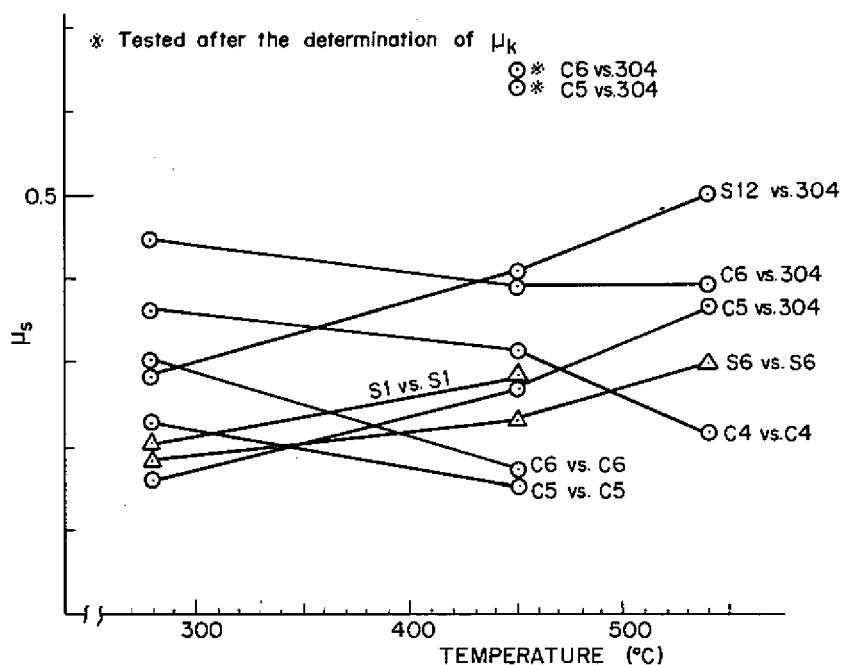


Fig.4 Relation between  $\mu_s$  and sodium temperature under the load of 220 kg (SW-1)

##### (2) 荷重の影響

**Fig. 5** に SW-1 で求めた  $\mu_s$  と荷重の関係を示す。 $\mu_s$  はナトリウム中およびアルゴン中とも荷重依存性がなく 0.3 以下の低い値を示している。どの雰囲気もコルモノイ No. 5 同志の  $\mu_s$  が最も低い。

**Fig. 6** に SW-1 で試験した  $\mu_k$  と荷重の関係を示す。450 °Cにおける 100 ~ 400 kg の荷重では  $\mu_k$  はいずれも 0.5 以下であり、ほぼ一定の値を示している。一方、室温アルゴン中の  $\mu_k$  は荷重に対し著しく変動しナトリウム中の値より高くなっている。

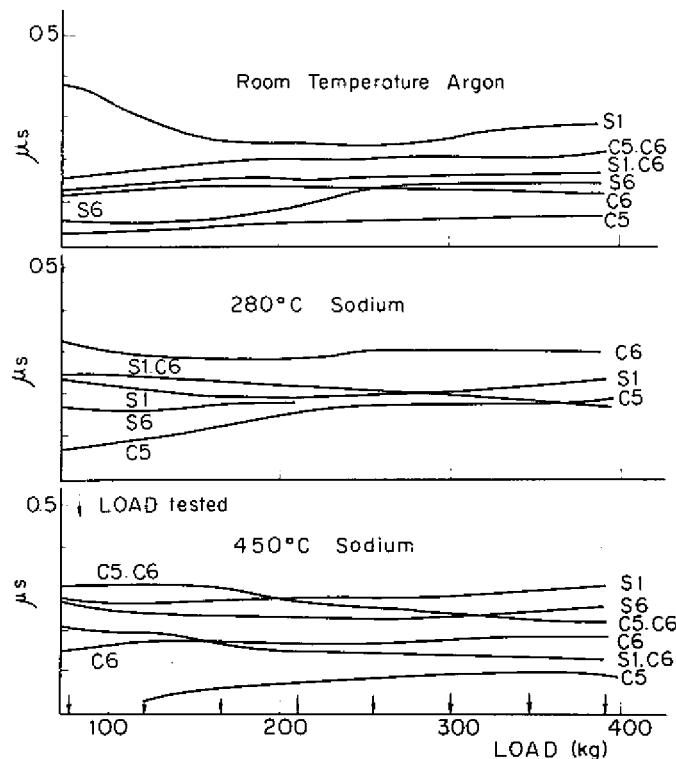


Fig.5 Relation between  $\mu_s$  and load at the sliding velocity of 3.6 cm/sec in different environments (SW-1)

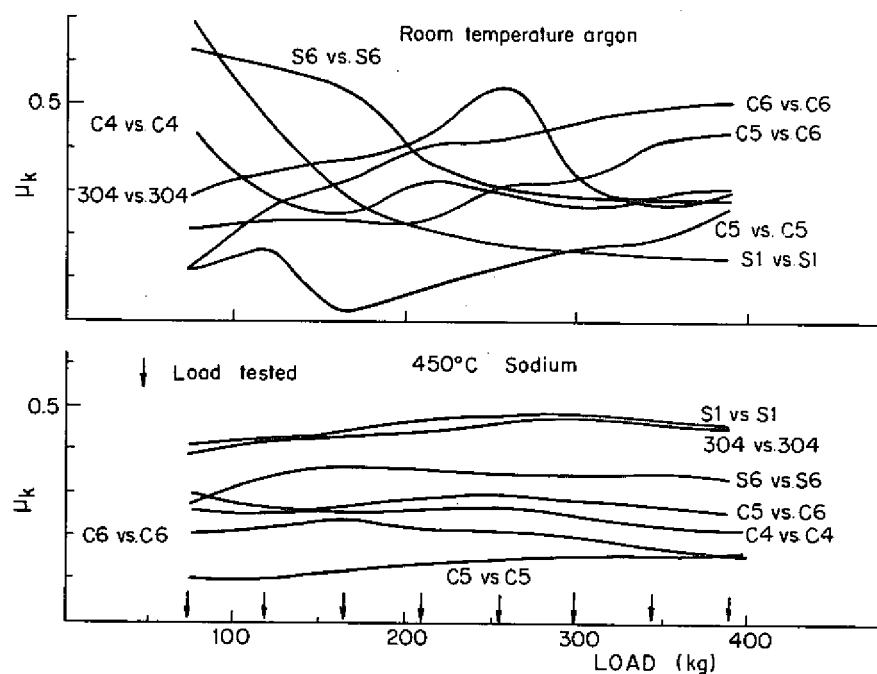


Fig.6 Relation between  $\mu_k$  and load at the sliding velocity of 3.6 cm/sec in different environments. (SW-1)

$\mu_k$  測定後の摺動面の表面あらさは 450 °C ナトリウム中では 1 ~ 2  $\mu\text{m}$  であったが、室温アルゴン中では著しく粗れ 10 ~ 20  $\mu\text{m}$  となった。

また摺動部断面組織をみると、450 °C ナトリウム中試験後は殆んど塑性変形した部分がなかったが、室温アルゴン中では 30 ~ 40  $\mu\text{m}$  の深さまで塑性変形した層が観察された。

### (3) 時間およびフラッシングの影響

荷重 220 kg (面圧 1 kg/mm<sup>2</sup>)、摺速 3.6 cm/sec で 450 °C および 540 °C ナトリウム中で 10 時間の連続摺動試験を行なった。 $\mu_k$  は時間に対し著しい変動は示さなかつたが、コルモノイ同志は 540 °C で経時変化があった。また連続摺動の途中、540 °C ナトリウムでフラッシングするとコルモノイ合金の  $\mu_k$  は低下し、時間とともに上昇した。ステライト合金および Type 304 SS ではこの効果は明白にはなかつた。**Fig. 7** はコルモノイ合金の  $\mu_k$  が時間とともに増大し、一定値に達する様子および 540 °C ナトリウムフラッシングにより  $\mu_k$  が低下する様子を示す。フラッシングにより低下した  $\mu_k$  はフラッシング前の  $\mu_k$  の経時増加と同じ割合で増加している。

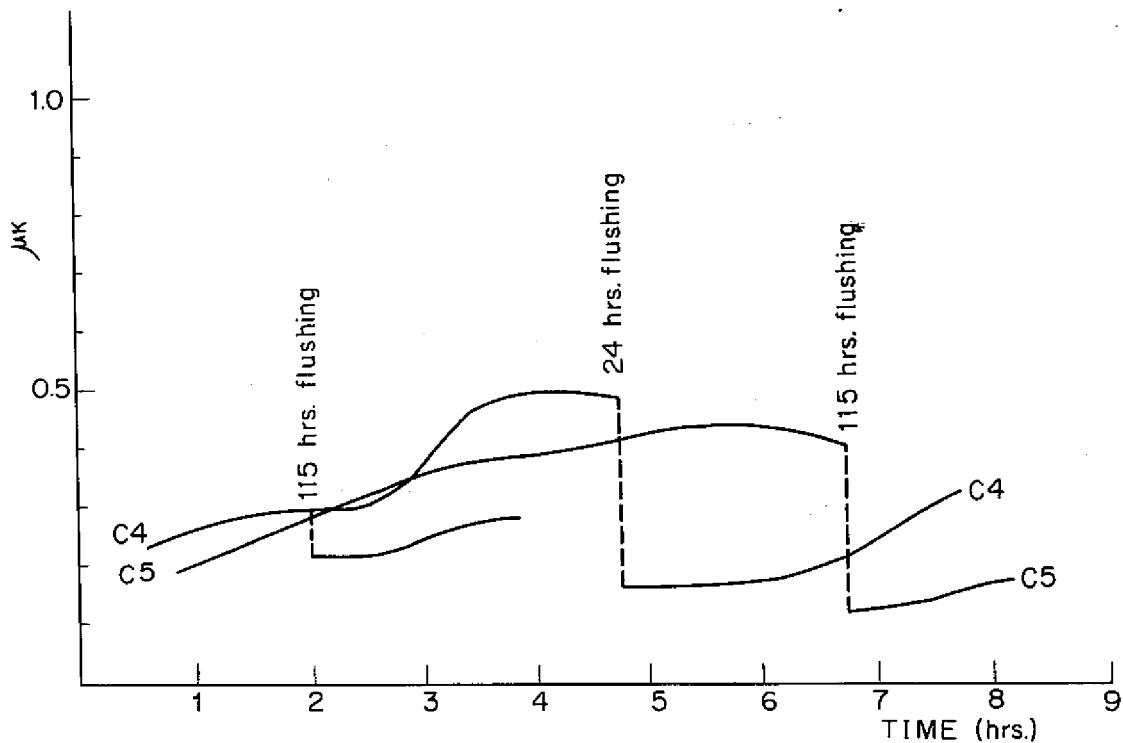


Fig. 7 Relation between  $\mu_k$  and time, and  $\mu_k$  and sodium flushing.

## (4) 露囲気の影響

**Fig. 8** に SW-1 で求めた各種材料組合せの室温アルゴン中および 450°C ナトリウム中における  $\mu_s$  および  $\mu_k$  を示す。 $\mu_s$  はナトリウム中の方がアルゴン中より高くなっているが、これはナトリウムが高温であることおよび大気中で生成した酸化膜がナトリウム中で破壊されるためである。一方、 $\mu_k$  はアルゴン中の方がナトリウム中より高くなる傾向がある。アルゴンはナトリウムより熱伝導率が著しく低いため摩擦熱の除去量が少なく摺動面温度が上昇すること、それによって大気中で生成した酸化膜が破壊されることおよびナトリウムがアルゴンよりすぐれた潤滑効果を有する可能性があることなどがこの理由として考えられる。

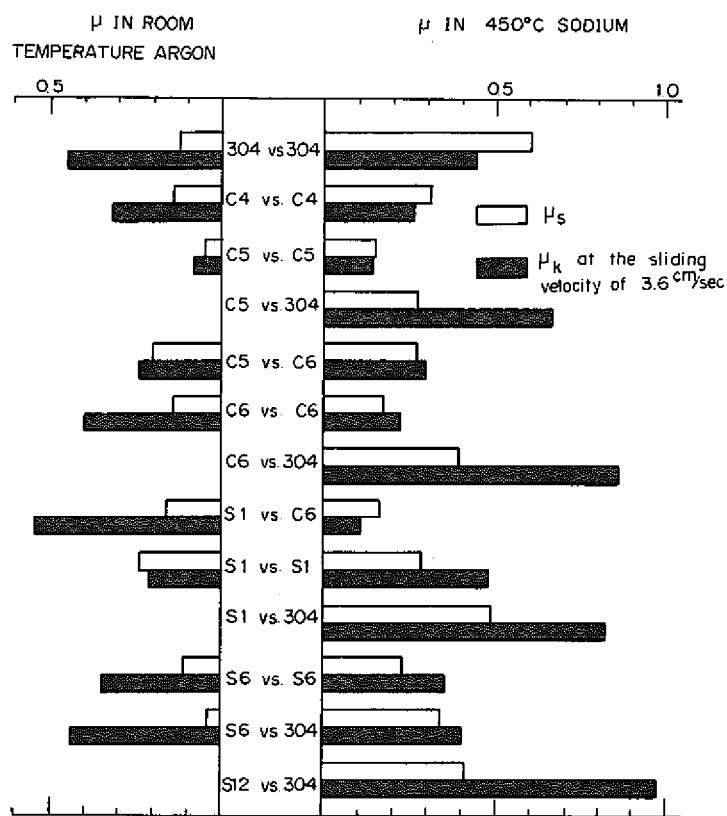


Fig.8  $\mu_s$  and  $\mu_k$  under the load of 220 kg ...  
in different environments. (SW-1)

(5)  $\mu_s$  と  $\mu_k$  の比較

本試験では  $\mu_s$  測定後  $\mu_k$  測定を行なったが、 $\mu_s$  と  $\mu_k$  を比較すると  $\mu_k$  の方が大きい傾向がある。特に相手材が Type 304SS の場合  $\mu_k$  が一層大きくなっている。これは  $\mu_k$  測定における連続摺動により摺動面が粗れるためと考えられる。コルモノイ合金およびステライト合金より高温強度の低い Type 304 SS では特にこの効果が著しい。連続摺動後に求めた  $\mu_s$  は  $\mu_k$

より大きくなると考えられる。

SW-1で試験した材料組合せのうちコルモノイNo.5の摩擦係数がアルゴン中およびナトリウム中とも最も低い値を示した。

#### (6) 摺速の影響

Fig. 9 は  $\mu_k$  に対する摺速の影響を見るため、摺速 0.18 ~ 72 cm/sec, 負荷 220 kg で 450°C および 540°C ナトリウム中試験を行なった結果である。540°C ナトリウム中では摺速の影響はみられない。450°C ナトリウム中では 0.5 cm/sec 以下の摺速で  $\mu_k$  は摺速依存性があるが 0.5 ~ 7.2 cm/sec では  $\mu_k$  はほぼ一定の値を示した。摺速がさらに高くなると摺動面が粗れるため  $\mu_k$  の変動が大きくなり、ついには焼付きにいたると考えられる。

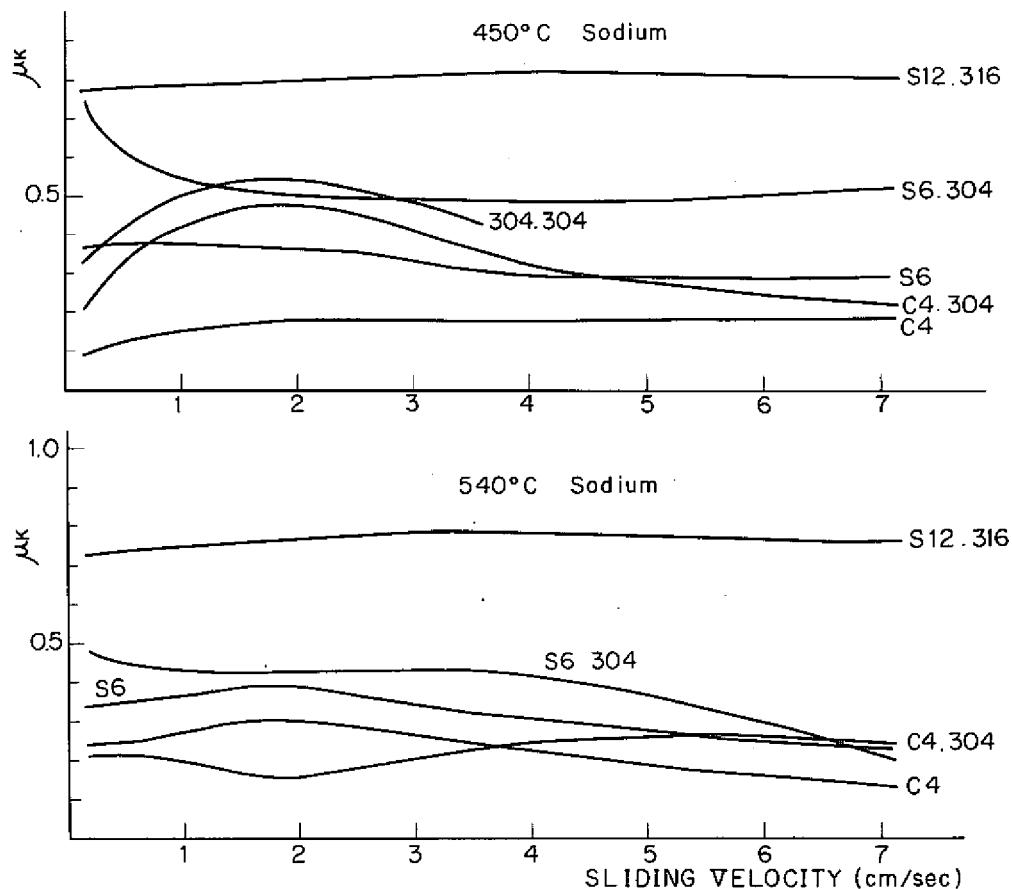


Fig.9 Relation between  $\mu_k$  and sliding velocity under the load of 220 kg (SW-1)

## (7) 摩耗量

**Fig. 10** に荷重と摩耗量との関係を示す。縦軸は各荷重で 15 分間ずつ 3.6 cm/sec で摺動して得られた摩耗深さの積分値を示す。アルゴン中では硬質合金同志の組合せでも著しい摩耗を呈している。540 °C ナトリウム中ではアルゴン中より摩耗量が少なかった。コルモノイ No. 5 は摩耗深さを全く検出できなかった。450 °C ナトリウム中ではさらに摩耗が少なく、コルモノイ No. 6 を除く硬質合金は全く摩耗しなかった。相手材が Type 304 SS の場合は硬質合金同志の組合せより摩耗量が多くなっている。

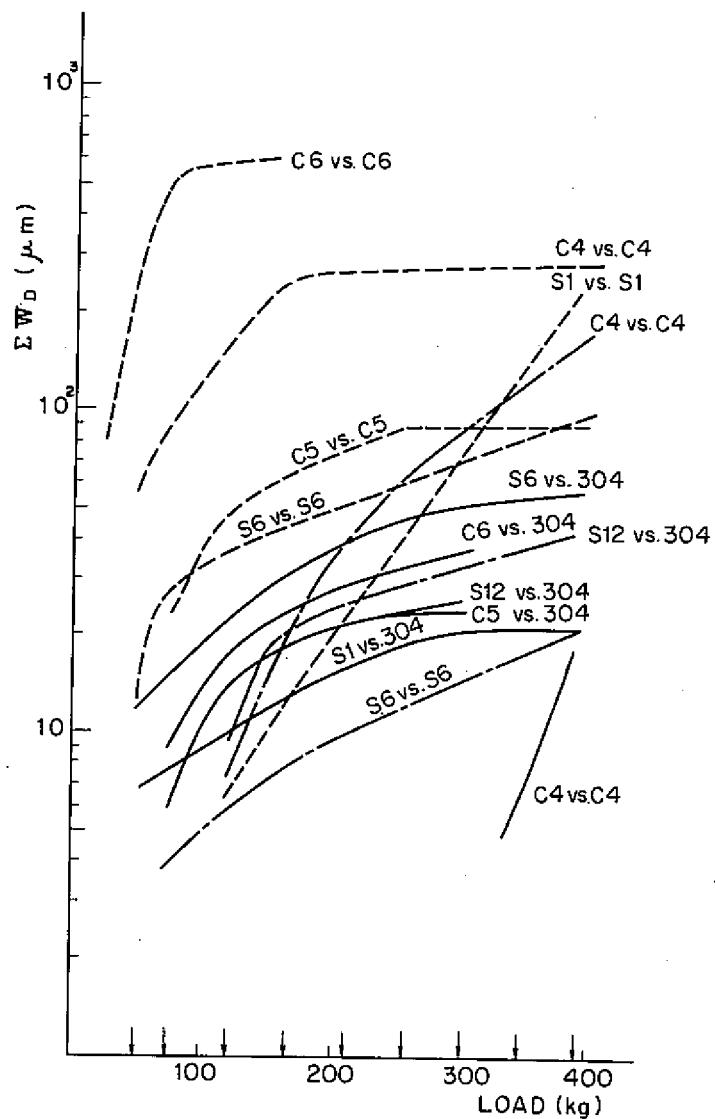


Fig.10 Relation between  $\Sigma W_D$  and load at the sliding velocity of 3.6 cm/sec (SW-1)

↓ Load tested	C5 vs. C5
— Room temperature argon	C5 vs. C6
— 450°C sodium	C6 vs. C6
— 540°C sodium	C6 vs. S1 S1 vs. S1 S6 vs. S6 C5 vs. C5

$W_D = 0$  in 450°C sodium  
 $W_D = 0$  in 540°C sodium

**Fig. 11** は時間と摩耗量の関係である。時間とともに摩耗量は一定値に近づくがナトリウムフラッシングにより摩耗速度は上昇する。高温ほど摩耗量は多くまたステンレス鋼との組合せの方が硬質合金同志より摩耗量が多い。コルモノイ No 5 同志は 540°C ナトリウム中で面圧 2 kg/mm<sup>2</sup> での 8 時間の連続摺動でさえ摩耗深さが検出感度以下であった。

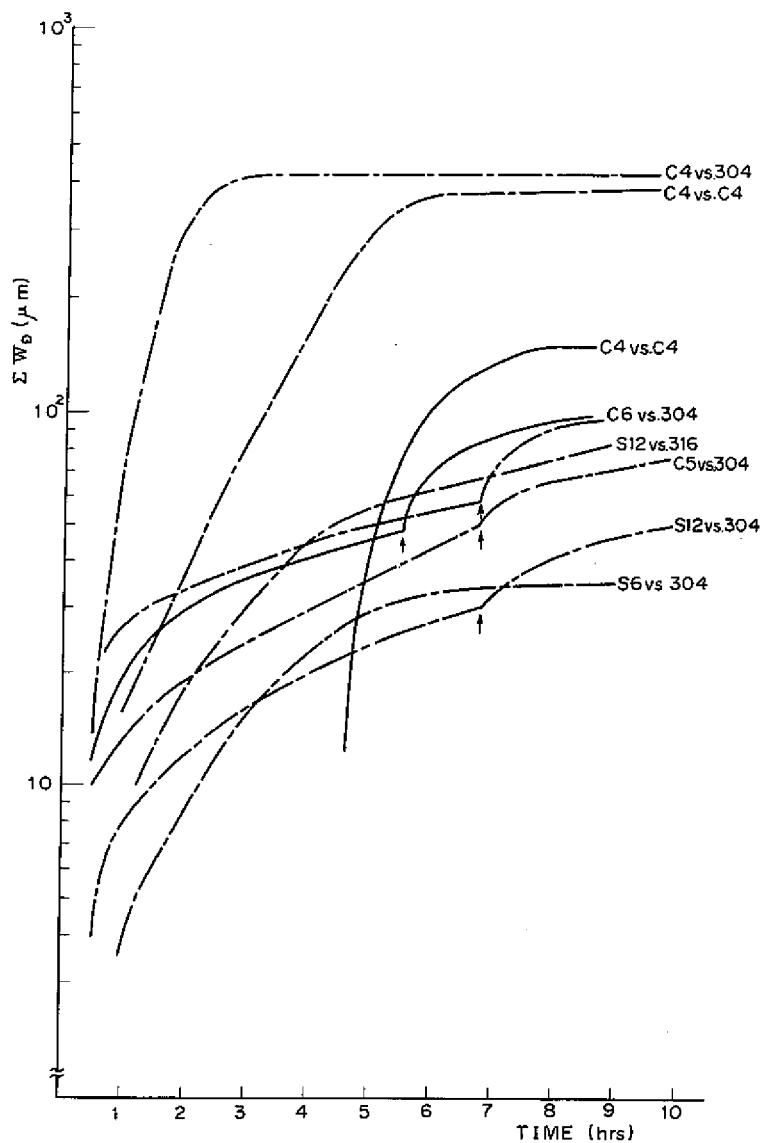


Fig.11 Relation between  $\Sigma W_0$  and time at the sliding velocity of 3.6 cm/sec under the load of 220 kg (SW-1)

↓ flushed with sodium	$S6 \text{ vs. } S6, W_0=0 \text{ in } 540^\circ\text{C sodium}$
— 450°C sodium	$C5 \text{ vs. } C5, W_0=0 \text{ in } 540^\circ\text{C sodium}$
— 540°C sodium	even under the contact pressure of 2 kg/mm <sup>2</sup>

### 3.2 反復摩擦 (SW-2)

#### (1) 回転角度および摺動サイクルの影響

**Fig. 12** および **Fig. 13** は各々ステライト No.6 およびコルモノイ No.6 の SW-2 で求めた摩擦トルクと回転角度の関係である。10 度から 110 度までは一定摺速 0.25 cm/sec となっている。試験片の反復によりトルクは正負反対になり、図には 3 往復させた状態を示す。反復とともにまた回転角度が大きくなるほどトルクが漸増しているのは摺動面が粗れるためである。各種雰囲気のなかで室温大気中のトルクが回転角度に対し最も安定している。

#### (2) フラッシングの影響

**Fig. 12** および **Fig. 13** より明かにコルモノイ合金は 540°C ナトリウム中で 24 時間フラッシングすると  $\mu_k$  が低下するが、ステライト合金は逆に高くなる。

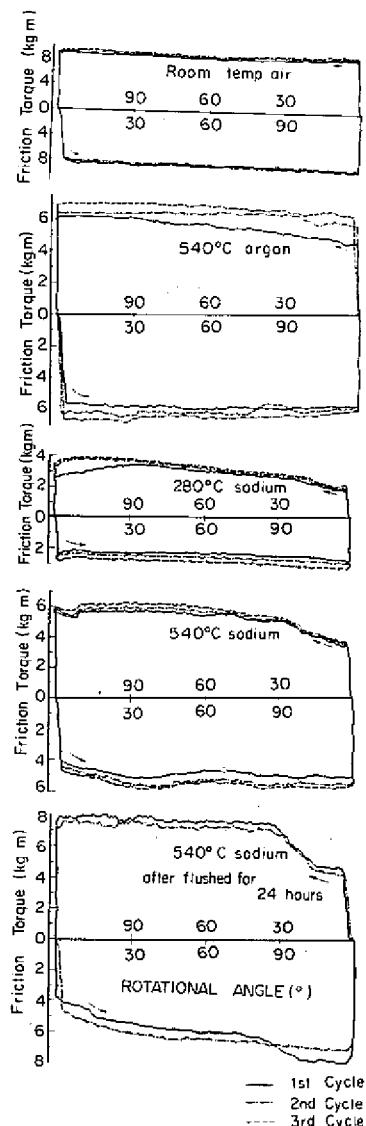


Fig.12 Result of oscillating friction test on Stellite No.6 under the load of 500 kg (SW-2)

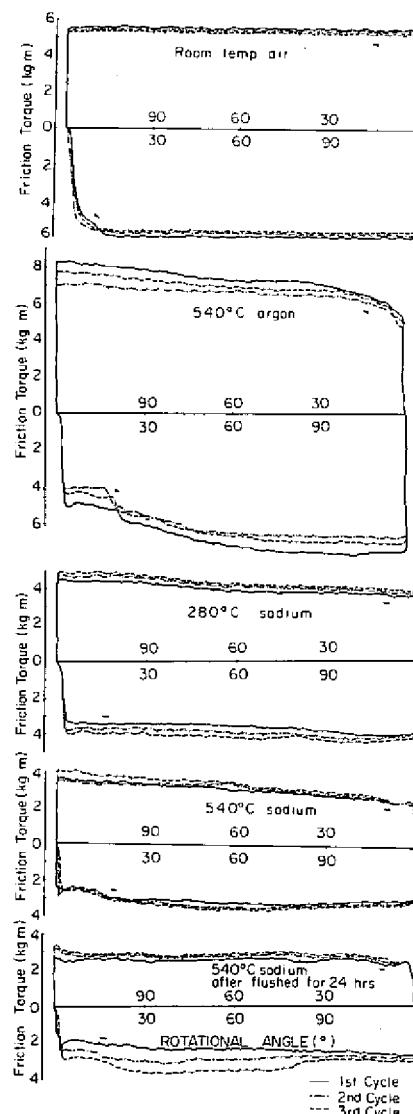


Fig.13 Result of oscillating friction test on Colmonoy No.6 under the load of 500 kg (SW-2)

## (3) 荷重および雰囲気の影響

**Fig. 14** に SW-2 で求めた各種雰囲気でのコルモノイ合金およびステライト合金の  $\mu_k$  と荷重の関係を示す。コルモノイ合金とステライト合金の摩擦挙動に著しい差がある。コルモノイ合金のナトリウム中  $\mu_k$  はアルゴン中および大気中の  $\mu_k$  より低い。また 280 °C ナトリウム中では  $\mu_k$  にあまり差がなく、荷重に対し一定である。一方、ステライト合金のナトリウム中  $\mu_k$  は温度により著しく異なる。540 °C ナトリウム中の  $\mu_k$  はアルゴン中および大気中より大きく ( $\approx 1.0$ ) また荷重とともに変動している。アルゴン中の  $\mu_k$  はステライト合金の方がコルモノイ合金より低くなる傾向がある。

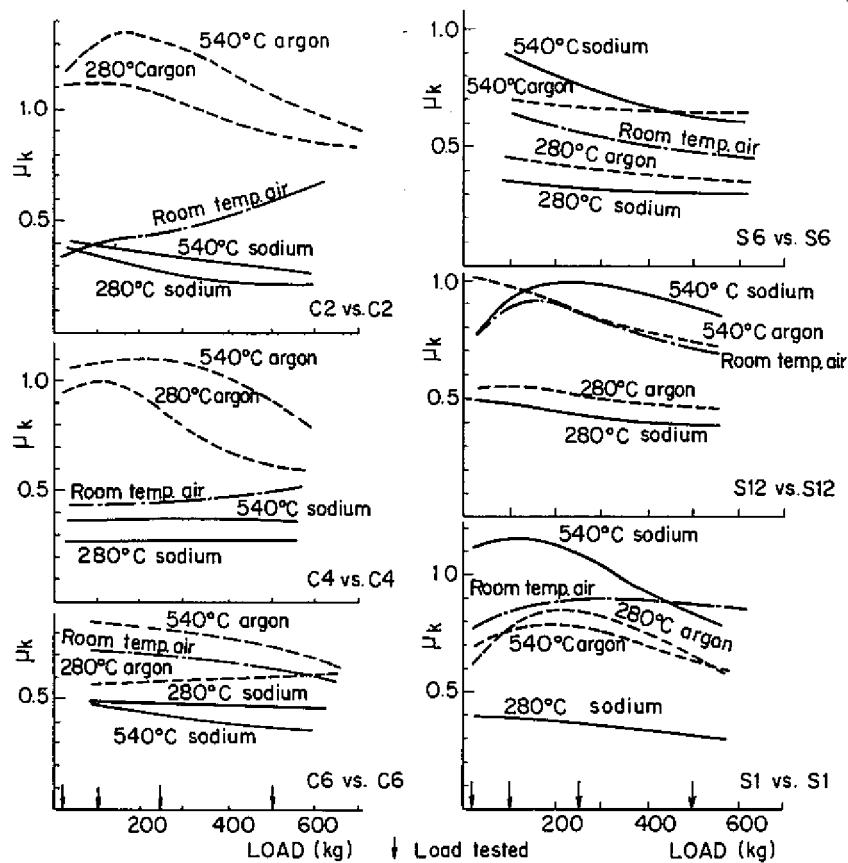


Fig.14 Relation between  $\mu_k$  and load in different environments (SW-2)

**Fig. 15** はコルモノイ No.6 およびステライト No.6 の各種雰囲気中における  $\mu_k$  を荷重ごとにまとめたものである。アルゴン中ではいずれの材料も高温ほど  $\mu_k$  が高い。ナトリウム中ではステライト No.6 は高温ほど  $\mu_k$  が高いが、コルモノイ No.6 は 250 kg および 500 kg の荷重で高温ほど  $\mu_k$  が低くなる。室温大気中とナトリウム中のデータを比較するとコルモノイ No.6 の  $\mu_k$  はナトリウム中の方が低いが、ステライト No.6 の 540 °C ナトリウム中の  $\mu_k$  は大気中より高くなっている。

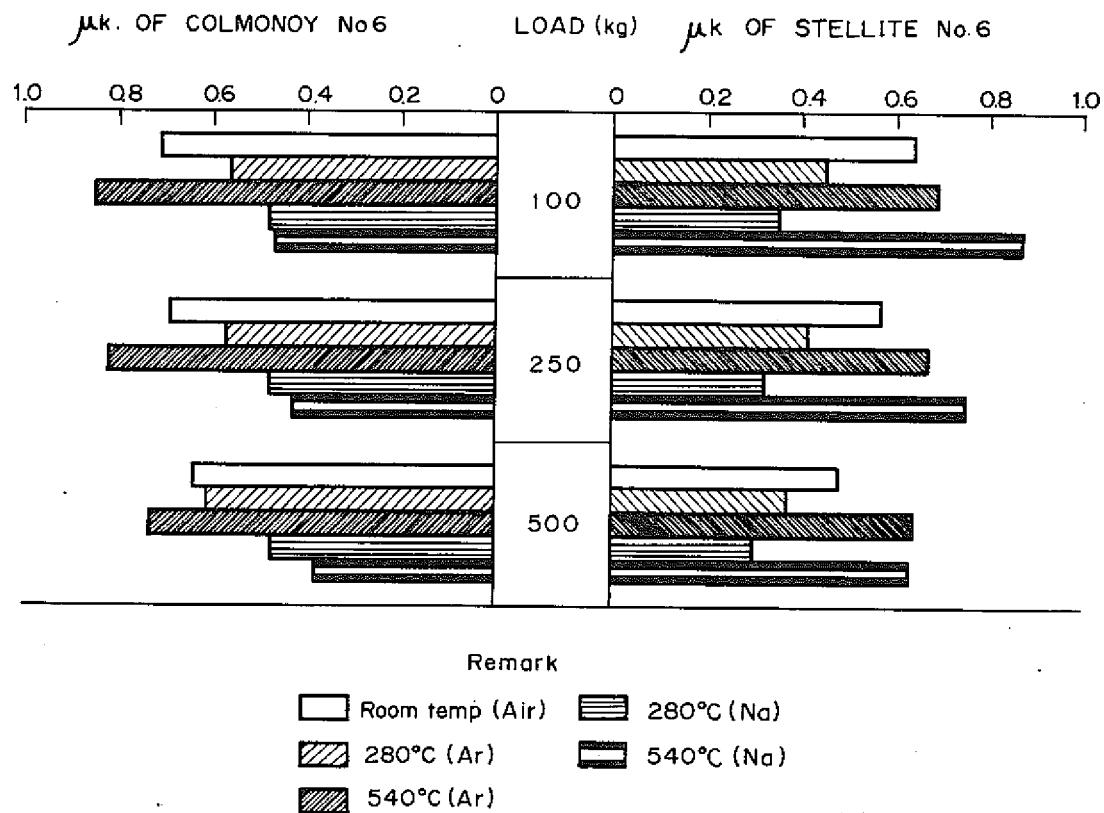


Fig.15  $\mu_k$  on Colmonoy No.6 and Stellite No.6 under different loads in different environments

### 3.3 摺動モードの影響

摺動モードの異なる SW-1 と SW-2 の結果を比較する。**Fig. 6** および **Fig. 14** の荷重 220 kg (面圧 1 kg/mm<sup>2</sup>) における  $\mu_k$  はナトリウム中およびアルゴン中とも SW-2 の方が高い傾向がある。この原因として摺動方法および摺速の違いが考えられる。材料表面は摺動方向に塑性流動するため摺動面の凹凸は方向性をもっており、摺動方向が逆になるとこの凹凸のインターロック効果により摩擦抵抗が大きくなる。このため反復摺動の SW-2 で得られた  $\mu_k$  の方が連続一向方向摺動の SW-1 の  $\mu_k$  より高くなると考えられる。また SW-2 の方が

摺速が低いにもかかわらず摺動面が粗れやすかった。Fig. 9 に示したように SW-1 が 0.5 cm/sec 以下の摺速で安定した摩擦係数が得られなかつたので SW-1 および SW-2 の  $\mu_k$  の違いに対する摺速の影響については明かでない。

### 3.4 コルモノイとステライトの比較

コルモノイ合金とステライト合金のナトリウム中摩擦挙動の違いについて述べる。Fig. 4 および Fig. 14 に示したように温度が上昇するとコルモノイ合金の摩擦係数は一定かあるいは低下し、ステライト合金の摩擦係数は高くなる。また Fig. 7, Fig. 12 および Fig. 13 に示したように 540 °C ナトリウムフラッシングによる  $\mu_k$  の低下はコルモノイ合金の方がステライト合金より著しい。金属材料はナトリウム中に浸漬されるとナトリウムにより腐食されるが、その効果はナトリウム温度が高いほど強い。したがって、ナトリウム腐食により生成するコルモノイ合金表面上の腐食生成物の潤滑効果はステライト合金の腐食生成物より強いと考えられる。

Fig. 16 に摩擦・摩耗試験に用いたと同じ試験片の高温かたさを示す。低温域ではコルモノイよりステライトの方がかたい。高温になるとステライトのかたさが漸減するが、コルモノイは 500 °C 位まではほぼ一定のかたさを示している。本報で試験した 450 °C および 540 °C では原子力機器に最も多く使用されるステライト No. 6 よりコルモノイ No. 4, 5 および 6 の方がかたい。

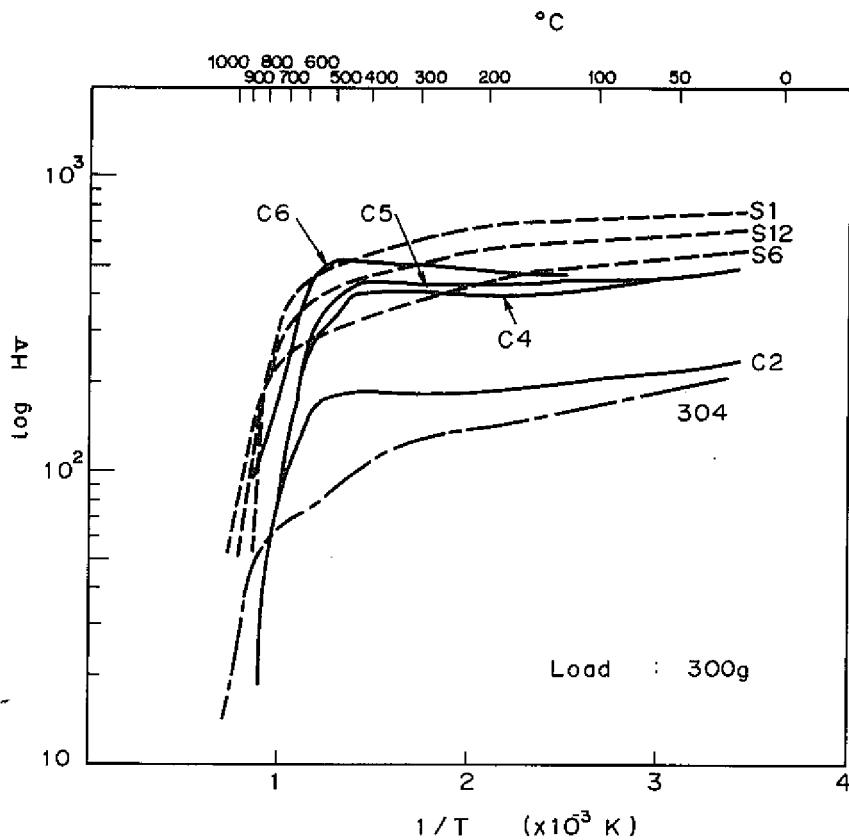


Fig. 16 Relation between hardness and temperature

**Fig. 6** に示した 450 °C の  $\mu_k$  および **Fig. 14** に示した 540 °C の  $\mu_k$  をみると、ステライトよりコルモノイの方が低くなっている。また **Fig. 10** によるとコルモノイおよびステライトのうちかたさの低いコルモノイ No. 4 とステライト No. 6 の摩耗量が 450 °C および 540 °C ナトリウム中で多くなっている。かたさが一段と低い Type 304 SS の組合せでは摩耗が著しくなっている。

ナトリウム中ではコルモノイおよびステライトとも塑性変形をうけにくいが、アルゴン中では塑性変形をうけることが筆者らの研究<sup>[12]</sup>によりわかっている。

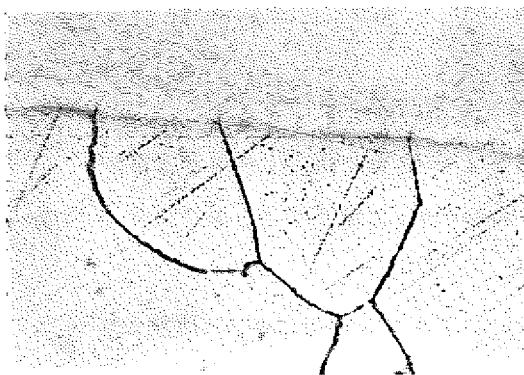
**Photo. 1** にコルモノイおよびステライトを Type 304 SS に肉盛した境界の断面組織を示す。ステライトと合金の Type 304 SS との間には異常組織がみられず密着性がよいが、コルモノイの場合はカーバイトが多量に析出している。このカーバイト析出を抑えるためコルモノイの肉盛法を検討する必要がある。

原子炉は運転中に出力変動があり、また極端な場合スクラムされ機器材料には熱サイクルが生ずる。特に異種材を肉盛される機器摺動部では熱膨張差による剥離の危険があるので、摩擦・摩耗試験を行なったと同じコルモノイおよびステライト試験片について  $\Delta T = 300$  °C (550 °C および 250 °C) を 10 分間隔で 2000 サイクル与える熱サイクル試験を行なったところ、肉盛界面に割れなどの塑性変形はみられなかった。

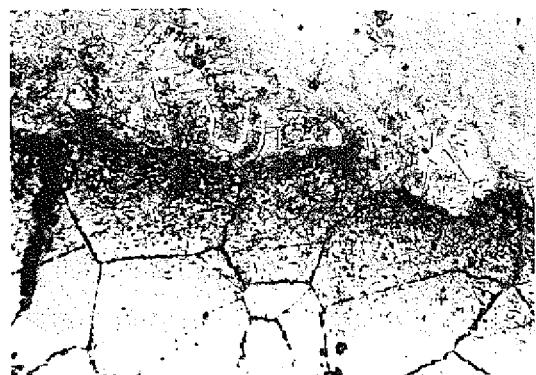
### 3.5 ナトリウム中とアルゴン中の比較

**Fig. 8** より明かにアルゴン中では低温であるためと大気中で材料表面上に生成した酸化皮膜が残留するため  $\mu_s$  はナトリウム中より低くなる。しかし、連続的に摺動すると摩擦熱が発生するが、アルゴンの熱伝導率がナトリウムより 3 衝低いためアルゴン中での摺動界面の温度が上昇し、また表面酸化物が破壊されるためアルゴン中の  $\mu_k$  はナトリウム中より高くなる傾向がある。これは **Fig. 8** および **Fig. 14** より明かである。ただしステライトの  $\mu_k$  は高温になるとナトリウム中の方がアルゴン中より高くなっている。

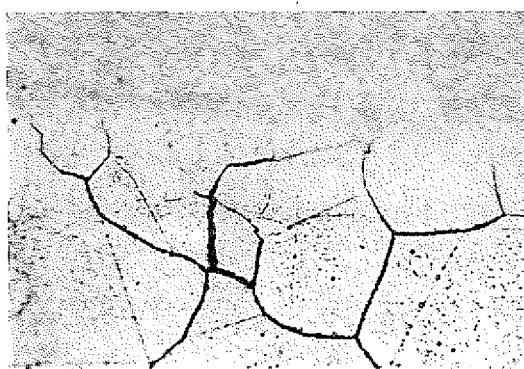
このように  $\mu_s$  および  $\mu_k$  は雰囲気に依存して値がかわるのがわかる。また  $\mu_s$  および  $\mu_k$  は材質にも依存し、アルゴン中データよりナトリウム中データを推定することはできない。**Fig. 14** をみると大気中データよりナトリウム中データを推定することもできない。



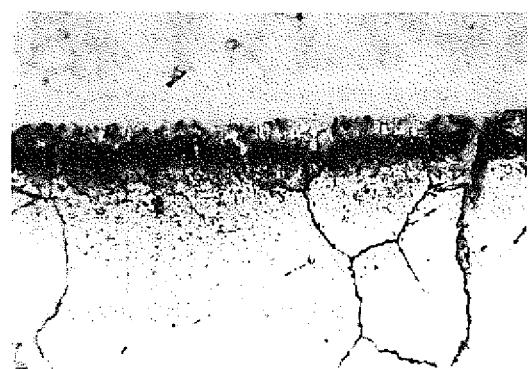
Stellite No. 1



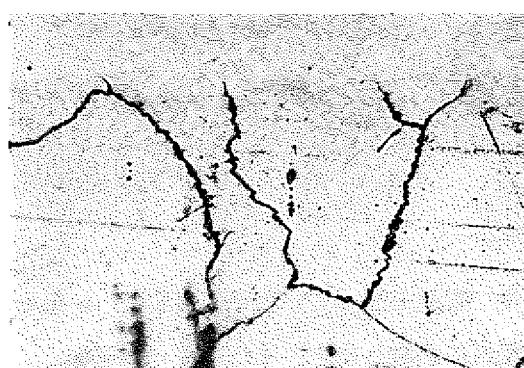
Colmonoy No. 2



Stellite No. 6



Colmonoy No. 4



Stellite No. 12



Colmonoy No. 5

as received sample  
Etched by aqua regia  
Substratum : Type 304 SS 50 μm

Photo.1 Cross-sectional  
microstructure  
between welded  
material and sub-  
stratum



Colmonoy No. 6

## 4. 結 論

- (1) ナトリウム温度が上昇するとステライト合金の  $\mu_k$  は高くなるが、コルモノイ合金では同じかむしろ低下する。アルゴン中では温度が上昇すると両合金とも  $\mu_k$  が高くなる。
- (2) 540°C ナトリウムのフラッシングによりコルモノイ合金の  $\mu_k$  は低下する。ステライト合金の  $\mu_k$  は同じかむしろ高くなる。
- (3) ナトリウム中では  $\mu_s$  および  $\mu_k$  の荷重依存性は小さい。アルゴン中では  $\mu_s$  の荷重依存性はないが、 $\mu_k$  は荷重に対し著しく変動する。
- (4) ナトリウム中の  $\mu_k$  は低速域を除けば摺速依存性は小さい。
- (5) 摺動モードが異なると摩擦挙動が異なる。連続一方向摺動より反復摺動の方が  $\mu_k$  が大きく、また摺動面が粗れやすく  $\mu_k$  の荷重依存性は強い。
- (6) ナトリウム中の  $\mu_s$  および  $\mu_k$  はコルモノイ合金の方がステライト合金より低くなる傾向がある。またコルモノイ合金およびステライト合金は相手材が Type 304 SS の時  $\mu_s$  および  $\mu_k$  が著しく上昇する。
- (7) ナトリウム中とアルゴン中を比較すると  $\mu_s$  はアルゴン中の方が低く、 $\mu_k$  はナトリウム中の方が低くなる傾向がある。しかしほり合てでは 540°C ナトリウム中の  $\mu_k$  がアルゴン中より高くなる。またアルゴン中の方が材料表面の塑性変形が著しい。
- (8) 摩耗量はナトリウム中よりアルゴン中の方が著しく多い。またステライトおよびコルモノイの相手材が Type 304 SS の組合せは硬質合金同志の組合せより摩耗量が多い。  
今後は最適肉盛法の検討、長時間の摩擦・摩耗挙動、照射による影響、ナトリウムによる腐食の影響をしらべる必要がある。

終りに臨み、御指導賜った齊藤良平ナトリウム技術部長、推進を図っていただいたFBR 本部  
望月恵一ナトリウムグループリーダおよび山本研主任研究員に感謝します。また、ループ運転、  
試験解析に協力された室員の方々にも併せて感謝します。

## 5. 文 献

- (1) S. Kanoh, et al., "Wear Tests of Materials for FBR in Sodium Environment, (I) Wear of Hard Metals," PNC Report, SN941 73-17, June (1973)
- (2) S. Kanoh, et al., "ibid., (II) Friction and Wear of Hard Metals and Carbides," PNC Report, SN941 74-12, Mar. (1974)
- (3) S. Kanoh, et al., "ibid., (III) Metallographic Tests of Hard Metals and Carbides," PNC Report, SN941 74-80, Oct. (1974)
- (4) S. Kanoh, et al., "ibid., (IV) Friction and Wear of Stellite No.1, Colmonoy No.6, Inconel 718, Hastelloy C and  $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo Steel," PNC Report, SN941 75-73, July (1975)
- (5) S. Mizobuchi, et al., "Self-Welding Behavior of Various Materials in a Sodium Environment, (I) Self-Welding of AISI Type 316SS and Hard Chrome Plating," PNC Report, SN941 73-32, Aug. (1973)
- (6) S. Mizobuchi, et al., "ibid., (II) Weldability of Hard Alloy and Carbide," PNC Report, SN941 74-18, Mar. (1974)
- (7) S. Mizobuchi, et al., "ibid., (III) Effect of Temperature on Self-Weldability," PNC Report, SN941 75-12, Jan. (1975)
- (8) S. Mizobuchi, et al., "ibid., (IV) Development of Self-Welding Equipment and Its Preliminary Test," PNC Report, SN941 75-13, Dec. (1974)
- (9) S. Mizobuchi, et al., "ibid., (V) Frictional Behavior of the Candidate Materials for Duct Pad in the Various Environment," PNC Report, SN941 75-49, May (1975)
- (10) S. Mizobuchi, et al., "ibid., (VI) Friction and Self-Weldability of the Various Colmonoy and Stellite Alloys," PNC Report, SN941 76-32, Feb. (1976)
- (11) S. Mizobuchi, et al., "Screening Test for Duct Pad Materials of Fuel Assembly, (I) Frictional Coefficient in a Sodium Environment," PNC Report, SN941 75-55, July (1975)
- (12) S. Kanoh, et al., "Wear Tests of Materials for FBR in Sodium Environment, (VI) In-Argon Test and Its Comparison with In-Sodium Test" PNC Report to be printed in 1976.