

貴金属とセラミックスの摩擦におよぼす材料の組み合わせの影響  
Influence of Material Combinations on the Friction between Noble Metals and Ceramics

千葉工大・工（学）\*田中 就志朗      千葉工大・工（正）平塚 健一

Jushiro Tanaka\*, Ken'ichi Hiratsuka\*

\*Chiba Institute of Technology

1. 結論

金属とアルミナとの間の真空中の摩擦係数は金属の酸化物生成エンタルピーが小さいほど低くなる<sup>1)</sup>。さらには Pt や Ag などの貴金属では移着もほとんど生じず摩擦も低く抑えられる。これらの現象は金属とアルミナの間の反応性の低さに起因すると推定されるが詳細は明らかではない。また酸化物以外のセラミックスとの間のトライボロジー特性についても興味の持たれるところである。そこで本研究では、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$  などの酸化物さらには SiC,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  などの非酸化物セラミックスに対して Au, Pt, Pd, Ir, Rh の 5 種類の貴金属を真空中で摩擦させ、その摩擦・摩擦特性を整理することを目的とした。

2. 実験方法

摩擦試験は回転するセラミックスディスクに貴金属を押し当てるピン・オン・ディスク型摩擦試験機を真空装置内に設置することで行った。ピン先端は鞍型に加工してあり、直径 0.5 mm (Ir, Rh), 0.6 mm (Pt), 0.8 mm (Pd), 1 mm (Au) の貴金属ワイヤを半径 4 mm に曲げ、固定することでスムーズな摩擦を実現した。試料にはワイヤ、ディスク共に鏡面研磨を施した。本研究ではターボ分子ポンプと油を使わない粗引きポンプを使うことで  $10^{-3}$  Pa の真空を得た。荷重、摩擦速度はそれぞれ、4.9 N, 20 mm/s に統一した。摩擦係数は摩擦開始後の値から高くあるいは低く推移し次第に安定した。そこで、摩擦係数が安定した値をその組み合わせの摩擦係数とした。セラミックスは、Si を含む SiC と  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、酸化物である  $\text{Al}_2\text{O}_3$  と  $\text{ZrO}_2$ 、Si と O を含む  $\text{SiO}_2$  を選んだ。

Table 1 に各試料のビッカース硬さを示す。Table 2 にセラミックスを構成する元素の電気陰性度の差の絶対値（以下  $|\Delta\chi|$ ）をまとめた。 $|\Delta\chi|$  は物質の結合状態の指標となる。

Table 1 Vickers hardness of samples

Metal	H <sub>v</sub>	Ceramics	H <sub>v</sub>
Rh	100~102	SiC	3980
Pd	40~42	$\text{Si}_3\text{N}_4$	1540
Ir	200~240	$\text{SiO}_2$	1180
Pt	40~42	$\text{Al}_2\text{O}_3$	1980
Au	20~60	$\text{ZrO}_2$	1560

Table 2 Differences in electronegativity of elements composing ceramics ( $|\Delta\chi|$ )













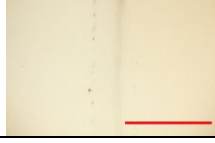


Ceramics	$ \Delta\chi $
SiC	0.65
$\text{Si}_3\text{N}_4$	1.14
$\text{SiO}_2$	1.54
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1.83
$\text{ZrO}_2$	2.11

3. 実験結果

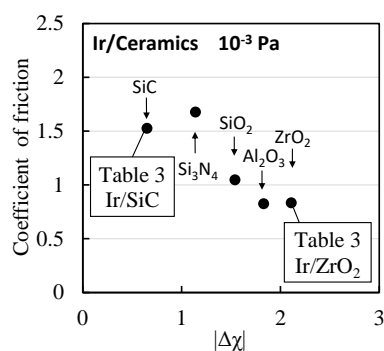
Table 3 は、各組み合わせにおける SiC,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{ZrO}_2$  ディスクの摩擦後の表面の光学顕微鏡像である。SiC,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  においては Au/ $\text{Si}_3\text{N}_4$  を除き、黒色の摩擦痕や摩擦粉を確認できたが、 $\text{ZrO}_2$  では変色を伴う摩擦痕の発生は Ir, Pd の 2 種の組み合わせに留まった。

Figure 1 に金属とセラミックスの摩擦係数に及ぼす  $|\Delta\chi|$  の影響について、(a) Ir, (b) Au の場合を示す。5 種類のセラ

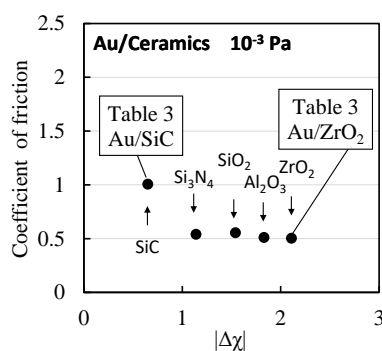
Table 3 Ceramics surface after friction test

		Noble metals				
		Ir	Rh	Pt	Pd	Au
Ceramics	SiC					
	$\text{Si}_3\text{N}_4$					
	$\text{ZrO}_2$					

(scale : 0.5 mm)



(a) Ir  
Fig. 1 Coefficient of friction between metal and each ceramics



(b) Au

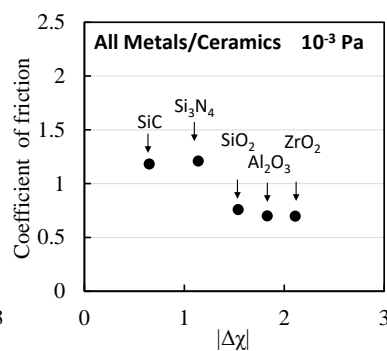


Fig. 2 Average coefficient of friction of all metals rubbed against ceramics

ミックスとの摩擦を平均したところ、前者は最も高く、後者は最も低い特性を示した。 $|\Delta\chi|$ が大きくなるに従って摩擦係数は低くなる傾向が共通している。図の中の Fig. 番号は Table 3 の表面像に対応している。

全金属の平均摩擦係数に及ぼす  $|\Delta\chi|$  の影響を Fig. 2 に示す。SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub> の摩擦係数はいずれも約 0.7 であったが、SiC, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> では 1.2 以上の高い摩擦係数が確認された。このことから、セラミックスの種類が摩擦におよぼす影響は酸化物と非酸化物に大別できることがわかった。

各金属に対するセラミックスの摩擦係数を金属ごとに平均し、その値に及ぼす金属のビッカース硬さの影響を Fig. 3 に示す。金属の硬度が高いほど摩擦係数が高くなること が示された。同程度の摩擦係数を示した Ir および Rh はともに第 9 族元素であり、Pt および Pd は第 10 族元素に属する。

このように 5 種類の金属では、族番号が小さいほど摩擦係数が高くなる傾向が見られた。

全ての酸化物セラミックスに対した場合の摩擦係数を平均し、その値に及ぼす金属の酸化物生成エンタルピーの影響を Fig. 4 に示す。金属の酸化物生成エンタルピーの絶対値が大きいほど、摩擦係数が高くなる傾向にあった。これは既報の結果と同じである。

摩擦試験後の Au 摩擦部表面の SEM, EDS 像を Table 4 に示す。ディスク側の摩耗痕が明らかでなかった Au/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> の表面は滑らかで、Au と C のみが検出された。しかし、摩擦係数が高く摩耗痕が顕著であった Au/SiC は表面が粗く、加えて O, Si が検出された。

#### 4. 考察

Table 4 において同じ Si 系でも SiC, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> では Au の表面の元素組成が異なることが示された。これは Au に対する C と N の反応性の違いによると推定されるが、詳細は更なる検討が必要である。SiC との摩擦において Au 表面で Si と O のマッピングが同じになったのは、Si-C の結合が切れた時に生じた Si のダングリングボンドが残留の水分子と反応し、O が結合した結果と解釈される。

#### 5. 結論

真空中で Au, Pt, Pd, Ir, Rh の 5 種類の貴金属を SiC, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub> と摩擦させ以下の結論を得た。

- 1) SiC, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> などの非酸化物セラミックスとの摩擦では、比較的高い摩擦係数（平均 1.2 以上）と摩耗痕の形成、ならびに貴金属の激しい摩耗を生じた。
- 2) 酸化物セラミックスとの摩擦では、低摩耗と低い摩擦係数（平均 0.8 以下）を示した。

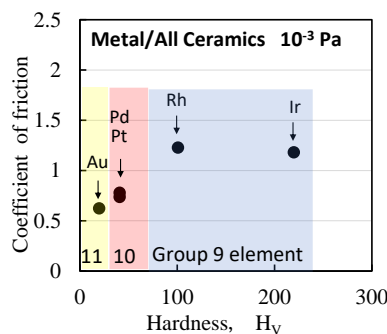


Fig. 3 Coefficient of friction versus Vickers hardness of metals

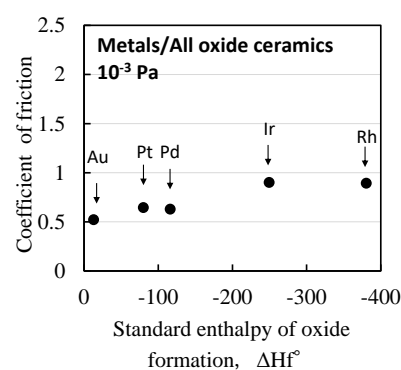


Fig. 4 Coefficient of friction versus enthalpy of oxide formation of metals

Table 4 SEM and EDS image of Au surface after experiment (— : Undetected)

	SEM image	Element				
		Au	Si	C	N	O
Combination	Au/SiC				—	
	Au/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>		—		—	—

(scale : 20 μm)

- 3) 貴金属と酸化物セラミックスの組み合わせでは、摩擦係数と貴金属の酸化物生成エンタルピーの絶対値に正の相関がみられた。

#### 文献

- 1) 榎本・平塚・笹田：アルミナ対金属の摩擦・摩耗に対する金属の酸化活性の影響と雰囲気酸素の効果，トライボロジスト，36，1（1991）51.