耐摩耗性ステンレス鋼の摩擦・摩耗*

藤井正浩^{*1}, 吉田 彰^{*1}, 三浦健藏^{*2}

Friction and Wear of Wear Resisting Stainless Steel

Masahiro FUJII^{*3}, Akira YOSHIDA and Kenzo MIURA^{*3} Department of Mechanical Engineering, Okayama University,
3-1-1 Tushima-naka, Okayama shi, Okayama, 700 8530 Japan

The friction and wear characteristics of newly developed wear resisting stainless steel, which was designed for improving friction and wear characteristics, were investigated with ring on disk test apparatuses under oil lubricating condition and non-lubricating condition in air and in vacuum. The friction and wear behaviors were compared with those of JIS SUS420J2 stainless steel. In case under non-lubricating condition in air and in vacuum, both friction coefficient at room temperature and wear amount of the wear resisting stainless steel were smaller than those of SUS420J2. The extent of transference of wear debris was comparatively small in case of the wear resisting stainless steel. In case under oil lubricating condition, the scuffing of the wear resisting stainless steel was hard to progress and the wear amount was also small even after scuffing occurrence. The wear resisting stainless steel had the superior anti-scuffing characteristics.

Key Words: Tribology, Friction, Friction, Wear Resistance, Stainless Steel, Vacuum, Oil Lubrication, Non-Lubrication

1. 結 言

ステンレス鋼は無潤滑下などでは凝着性が強く摩擦が大きいため、摺動材料として必ずしも適したものとは考えられていない。しかし、耐食性に優れているため、腐食環境、水中、真空中および無潤滑などの下で使用される機械要素の多くにはステンレス鋼が用いられる。また、高温、高速、高荷重、衝撃荷重など苛酷な運転条件と環境の下で用いられるエンジンのピストンリングでは耐摩耗・耐腐食等の観点からステンレス鋼の使用が増加している。多くの場合、ステンレス鋼製ピストンリングの耐摩耗性の向上は窒化や複合めっきなどで図られている^{①②}が、数 mm オーダーの摩耗を許容される船用ディーゼルエンジンのピストンリングなどではとくにステンレス鋼自体の耐摩耗性の向上も重要である。本研究で用いる耐摩耗性ステンレス鋼は、マルテンサイト系ステンレス鋼 SUS420J2 をベースに Mo および S 等を微量添加し潤滑性を期待できる析出物を微細分散させることにより摩擦・摩耗特性の向上を計ったものである。著者らは低合金鋼に

Mo や S などの微量元素を複合添加した耐摩耗性鋼のスカuffing 特性を調べ、開発された耐摩耗性鋼は優れた耐スカuffing 性能を有することを明らかにした^{③④}。本研究で用いる耐摩耗性ステンレス鋼はこの耐摩耗性鋼と同様の考え方で開発されたものである。

本研究ではステンレス鋼の摩擦・摩耗に及ぼす分散析出物の影響を広範な環境の下で明らかにすることを目的とし、油潤滑下のみならず大気中および真空中の無潤滑下での摩擦・摩耗特性を調べた。

2. 試験片および試験方法

開発された耐摩耗性ステンレス鋼は SUS420J2 をベースに Mo および S を微量添加し摺動特性の向上を図ったものである^⑤。表 1 は、耐摩耗性ステンレス鋼の化学成分を示す。本試験では熱処理条件を変えた 2 種類の硬度の試験片を用いた。表 2 は各試験片の熱処理条件と熱処理後の試験片表面のビッカース硬さを示

Table 1 Chemical composition of wear resisting stainless steel

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Te
0.43	0.95	1.50	≤0.03	0.48	16.0	0.10	≤0.10

* 原稿受付 2004 年 3 月 22 日。

^{*1} 正員, 岡山大学工学部 (☎ 700-8530 岡山市津島中 3-1-1)。^{*2} 正員, (株)三造試験センター (☎ 706-8651 玉野市玉 3-1-1)。

E-mail: fujii@mech.okayama-u.ac.jp

Table 2 Heat treatment and Vickers hardness

Specimen	Heat treatment	Hardness
SUS	1213K×120min OQ	HV296
WR	883K×180min AC	HV303
SUSQ	1293K×80min OQ	HV568
WRQ	453K×120min AC	HV573

OQ: Oil quenching, AC: Air cooling

Fig.1 Microphotograph of wear resisting stainless steel (Non-etched)

す。広範な機械要素部品の硬度を想定して、摺動特性を重視した比較的低硬度の約 HV300 のものと、耐摩耗性を重視した比較的高硬度の約 HV570 のものを用意した。以下、耐摩耗性ステンレス鋼を WR、従来鋼 SUS420J2 を SUS と称し、各材料で高硬度のものには Q を付し、WRQ および SUSQ と表記する。

図 1 は、耐摩耗性ステンレス鋼の金属顕微鏡観察を示す。比較的均一に分散した析出物が観察される。後述するように析出物は Mn の硫化物であり、この析出物により摺動特性の改善が図られている。

本試験では、大気中無潤滑下、真空中無潤滑下および油潤滑下においてリングオンディスク試験を行った。リング試験片は内径 20mm、外径 25.6mm である。リング、ディスク試験片とも研削仕上げし、表面粗さは約 0.35μmRa であった。なお、すべての試験を同一材料同士の組み合わせで行った。

大気中無潤滑下では、平均面圧 p_m は 0.5MPa および 2MPa、すべり速度 V_s は 0.02m/s、雰囲気温度 T は室温 (R.T.) および 473K で試験した。目標すべり距離を 200m とし、10m、20m、50m および 100m の各すべり距離 L で試験を停止し、表面観察、摩耗量の測定などを行った。リング試験片取付部品がディスクに接触することを避けるためディスクの摩耗深さが約 2mm を越えた時点で試験を打切った。なお、

$T=473K$ での試験後に各試験片のビッカース硬度を測定したが、試験前の硬度とほとんど変化なかった。

真空中無潤滑下では、 $10^{-4}Pa$ オーダーの真空中で、平均面圧 p_m は 0.5MPa、すべり速度 V_s は 0.02m/s、雰囲気温度 T は室温 (R.T.) で試験した。大気中無潤滑試験と同様に目標すべり距離を 200m とし、10m、20m、50m および 100m の各すべり距離 L で試験を停止し、各種測定を行った。

油潤滑下では、平均面圧 p_m は 1MPa、すべり速度 V_s は 0.2m/s および 0.5m/s で試験し、すべり距離 $L=250m$ ごとに試験を停止し、各種測定を行った。なお、油潤滑試験では摩擦係数が急上昇した時点で焼付き発生とみなし試験を終了した。潤滑油は #68 タービン油を用い、潤滑方法は試験片接触面が完全に潤滑油に浸る油浴潤滑とした。なお、浴槽内の潤滑油温度を 313K に制御するため潤滑油を毎分 500ml で循環させた。

3. 試験結果および考察

3. 1 大気中無潤滑 図 2 は大気中無潤滑下での試験におけるすべり距離 L と摩擦係数 μ の関係を、図 3 はすべり距離 L と摩耗量 A_w の関係を示す。摩耗量 A_w はリングとディスクの摩耗量の和である。SUS および SUSQ の室温での $p_m=2MPa$ の試験では、摩耗深さが 2mm を越えたためすべり距離 $L=100m$ で試験を打切った。

図 2(a) の SUS の場合、初期摩擦係数は 0.8~0.9 であるが、すべり距離の増大にともない漸減する傾向にある。一方、図 2(c) の WR では初期摩擦係数は 0.5~0.7 で SUS に比べて小さく、また、運転にともなう摩擦係数の変化もほとんどない。なお、WR では摩耗の比較的大きい $T=473K$ の $p_m=2MPa$ の場合にのみ、 $L=80m$ 付近と $L=160m$ 付近に見られるように摩擦係数が低下する場合があったが、このとき摺動面には他の試験では見られなかった多量の摩耗粉が堆積しており、摩耗粉の上をリングが摺動する状態であった。摩耗粉は刷毛で簡単に除去でき摺動面への移着はほとんどなかった。摩耗粉を除去した後、試験を継続したところ、摩擦係数は低下前と同程度の値にまで上昇した。

硬度の高い SUSQ および WRQ では、SUS および WR に比べて摩擦係数の変動が大きい。全すべり距離を通しての平均的な摩擦係数を比較すると、SUS および SUSQ では $T=473K$ での摩擦係数は 0.58~0.73 で、室温の場合の摩擦係数 0.73~0.84 より小さいが、WR および WRQ では $T=473K$ での摩擦係数は 0.67~

Fig.2 Friction coefficient μ under non-lubricating condition in air Fig.3 Wear amount A_w under non-lubricating condition in air

0.71 で、室温の摩擦係数 0.57~0.65 より大きい。すなわち、WR および WRQ では室温での摩擦係数が SUS および SUSQ に比べて小さいが、 $T=473\text{K}$ での摩擦係数は耐摩耗性ステンレス鋼と SUS420J2 とでほとんど差がない。耐摩耗性ステンレス鋼は、大気中無潤滑下では室温で従来鋼に比べて低摩擦であった。

つぎに摩耗量についてみると、図 3(a)の室温の場合いずれの材料でも高い平均面圧 p_m の場合ほど摩耗量が多い。図 3(b)の $T=473\text{K}$ の場合、WR の $p_m=2\text{MPa}$ の場合を除いて、200m 摺動後の摩耗量は 0.25g 未満であり、全般に摩耗量は小さい。また、材料の硬度と摩耗量の関係を見ると、室温の $p_m=2\text{MPa}$ での SUS および SUSQ の場合を除いて、SUS より SUSQ、WR より WRQ の摩耗量が小さく、硬度が高いほど摩耗量は小さい。耐摩耗性ステンレス鋼の WR および WRQ に限れば、室温および $T=473\text{K}$ の全ての条件で高硬度の WRQ の摩耗量が小さく、このことはとくに $p_m=2\text{MPa}$ の場合に顕著である。耐摩耗性ステンレス鋼は硬度を高くすることで耐摩耗性は向上した。

なお、室温の $p_m=2\text{MPa}$ の条件では、SUS および SUSQ のいずれの場合も摩耗が大きく、また SUS よりも高硬度の SUSQ で摩耗が大きかった。後述するように SUS および SUSQ では接触面に酸化摩耗粉が移着した場合に摩耗が小さくなったが、室温の $p_m=2\text{MPa}$ の条件では試験打ち切り時点の $L=100\text{m}$ においても接触面の酸化摩耗粉の移着は観察できなかった。接触面への酸化摩耗粉の移着より接触面からの脱落が大きかったものと推察でき、また脱落した摩耗粉硬度が比較的高い SUSQ で摩耗が大きかったものと考えられる。

室温と $T=473\text{K}$ の場合で摩耗量を比較すると、WR の $p_m=2\text{MPa}$ の場合を除いて $T=473\text{K}$ で摩耗量が小さい。 $T=473\text{K}$ では接触面の酸化ならびに酸化摩耗粉の移着が室温の場合よりも促進されることで、SUS および SUSQ では $T=473\text{K}$ での摩耗量は室温の場合に比べて著しく小さいと考えられる。なお、 $T=473\text{K}$ では $p_m=2\text{MPa}$ の WR の摩耗量が大きかった。高温では材料自体の強度が室温の場合より低いことに加えて、WR の場合酸化摩耗粉の移着が生じにくいため $T=473\text{K}$ で摩耗が大きかったと考えられる。

図 2 に示したように SUS の場合、室温の $p_m=0.5\text{MPa}$ および $T=473\text{K}$ の $p_m=0.5\text{MPa}$ の条件で $L=50\text{m}$ 付近から摩擦係数が若干上昇しており、摩擦係数の上昇後のすべり距離では摩耗の進行が停止した。この挙動は $p_m=0.5\text{MPa}$ 、 $T=\text{R.T.}$ の場合に顕著である。摩耗の進行が停止した後ではすべり距離が増大しても

Fig.4 Photographs of SUS specimens tested under non-lubricating condition in air

SUS, $p_m=0.5\text{MPa}$, $T=473\text{K}$, $L=200\text{m}$

Fig.5 EDS analysis of SUS disk tested under non-lubricating condition in air

断面曲線の変化もほとんどなかった。また、SUSQ では室温の $p_m=0.5\text{MPa}$ の場合 $L=50\text{m}$ から、 $T=473\text{K}$ の $p_m=0.5\text{MPa}$ および 2MPa の場合 $L=10\text{m}$ から摩耗の進行が停止した。図 4 は、SUS の $T=473\text{K}$ の $p_m=0.5\text{MPa}$ の条件で $L=200\text{m}$ 摺動後の表面観察写真を示す。図 4 でリング、ディスクの両接触面に黒く示された部分には茶褐色の摩耗粉の移着が観察された。同様の移着摩耗粉は SUS および SUSQ のリング、ディスク両方の接触面に、摩耗の進行が停止した時点で明瞭に観察された。図 5 は接触面の EDS 分析結果を示す。茶褐色の部分で O が強く検出されており、接触面には酸化摩耗粉が移着していたと考えられる。すなわち、一般に硬度が高いとされる酸化摩耗粉がリングおよびディスクの両接触面に移着したことにより移着した酸化摩耗粉同士の接触が生じており、摩耗がほとんど生じない状態となったといえる⁽⁶⁾。なお、WR および WRQ では、酸化摩耗粉の移着は WRQ の室温の $p_m=0.5\text{MPa}$ の条件でのみ $L=100\text{m}$ の時点で観察された。耐摩耗性ステンレス鋼では従来鋼に比べて酸化摩耗粉の移着は生じにくかった。

(a) WR, SUS

(b) WRQ, SUSQ

L_t : Sliding distance just before formation of oxide film on SUS and SUSQ

Fig.6 Comparison of wear amount A_w under non-lubricating condition in air

本試験では 10, 20, 50 および 100m の各すべり距離で運転を停止し摩耗量を測定した。図 6 は、SUS および SUSQ において摩耗の進行が停止する前のすべり距離 L_t における摩耗量を示す。酸化摩耗粉の移着が観察されなかった WR および WRQ の摩耗量も SUS および SUSQ の L_t に対応するすべり距離での摩耗量を示している。室温の $p_m=2\text{MPa}$ では、SUS および SUSQ の場合でも接触面に酸化摩耗粉の移着が観察されなかったため、図 6 (a), (b) の室温の $p_m=2\text{MPa}$ の場合の摩耗量は試験打ち切り時のすべり距離 $L=100\text{m}$ の値を示している。 $T=473\text{K}$ では室温の場合より酸化が生じやすいため、短いすべり距離で酸化摩耗粉の移着が生じた。とくに $T=473\text{K}$, $p_m=2\text{MPa}$ の条件の SUS では、はじめの停止距離 $L=10\text{m}$ の時点で酸化摩耗粉の移着が観察でき、運転の初期段階から摩耗粉の

Fig.7 Friction coefficient μ in vacuum

Fig.8 Wear amount A_w in vacuum

移着により摩耗が小さかったといえる。このため、 $L=10\text{m}$ での摩耗量は同条件の WR のほうが大きい。しかし、これ以外の条件では SUS および SUSQ に比べ WR および WRQ の摩耗量が小さい。低硬度の WR では SUS の 2/5~3/5 の摩耗量であり、高硬度の WRQ では SUSQ の 1/20~1/5 の摩耗量である。

大気中無潤滑下では、耐摩耗性ステンレス鋼は従来鋼 SUS420J2 に比べて摺動性能に優れているため酸化摩耗粉の移着が生じにくく、移着が生じた場合でも軽微なものであった。従来鋼 SUS420J2 では酸化摩耗粉の移着が生じた時点で摩耗の進行が停止したが、酸化摩耗粉が移着する前では耐摩耗性ステンレス鋼の摩耗の方が小さく、耐摩耗性ステンレス鋼は耐摩耗性にも優れていた。また、耐摩耗性ステンレス鋼では高硬度のもので摩耗量が小さかった。

3. 2 真空中無潤滑 図 7 は、真空中無潤滑下でのすべり距離 L と摩擦係数 μ の関係を、図 8 は、すべり距離 L と摩耗量 A_w の関係を示す。*印を付した WR の結果は $L=200\text{m}$ まで途中停止することなく運転

$L=200\text{m}$

Fig.9 Photographs and profile curves of disk specimens tested in vacuum

$p_m=0.5\text{MPa}$, $T=R.T.$

Fig.10 Comparison of wear rate

した結果である。真空中無潤滑下では全ての材料で試験中の摩擦係数は大気中無潤滑下と比べて大きく変動した。図7には摩擦係数の平均値を示している。なお、試験中のWRおよびWRQの摩擦係数の変動幅はSUSおよびSUSQに比べて1/2~2/3程度であった。図7に示したように平均的な摩擦係数は $L<50\text{m}$ ではSUSおよびSUSQの約0.5に対してWRおよびWRQでは約0.2で小さい。WRでは $L>50\text{m}$ では摩耗にともない摩

擦係数は上昇し、SUSと大差ない約0.5となったが、WRQでは $L=200\text{m}$ まで摩耗もほとんどなく摩擦係数も終始0.2程度で低かった。

図9は、真空中無潤滑下の試験後 $L=200\text{m}$ でのディスク表面写真および断面曲線を示す。SUSおよびSUSQでは摺動面全体に凝着摩耗痕が観察される。 $L=200\text{m}$ においても摩耗がほとんど生じなかったWRQでは摺動面にも初期研削痕が明瞭に認められ、凝着摩耗痕もほとんどない。なお、WRの場合も、摩耗がほとんど認められなかった $L<50\text{m}$ 時点では摺動面には初期研削痕が観察された。WRでもSUSと同程度摩耗した $L=200\text{m}$ では摺動面に凝着摩耗痕が認められるものの、断面曲線から判断されるようにSUSやSUSQでは顕著な移着摩耗粉が認められるのに対してWRでは摩耗粉の移着は比較的小さい。

図10は、真空中と大気中の摩耗率の比較を示す。図中の L は摩耗率の計算に用いたすべり距離であり、SUSとSUSQでは大気中の試験で酸化摩耗粉の移着が観察される以前のすべり距離である。いずれの材料でも真空中での摩耗率は大気中の摩耗率の60%以下である。真空中では大気中に比べ摩耗粉の移着の程度が大きく摩耗粉が脱落し難いためと考えられる。一方、図9に示したようにWRでは摩耗が生じた後もSUSに比べて摺動面の摩耗粉の移着も少なかった。このため、図8に示したように $L>50\text{m}$ で摩耗が生じ始めると摩耗粉が脱落しやすいことにより比較的短い距離で摩耗が進行したと考えられる。

耐摩耗性ステンレス鋼は大気中無潤滑下のみならず真空中無潤滑下においても従来鋼SUS420J2に比べて低摩擦であり凝着の度合いも小さく優れた摩擦・摩耗特性を示した。

3. 3 油潤滑 図11は、油潤滑下でのすべり距離 L と摩擦係数 μ の関係を示す。図11(a)に示すようにSUSの摩擦係数は0.1程度の定常状態から急上昇し焼付きに至り、接触面には大きな損傷が生じた。WRの場合も摩擦係数は0.1程度の定常状態から上昇し焼付きが生じているものの、WRの摩擦係数の上昇速度はSUSの場合より緩やかであり、またSUSの場合ほど高い摩擦係数に達することもなかった。このため、SUSの場合には摩擦係数の急上昇の時点で試験を打ち切ったが、WRでは摩擦係数上昇後も運転可能であった。

図11(b)に示すSUSQおよびWRQでは、SUSQの0.2m/sの場合に $L=2000\text{m}$ で運転停止および表面観察などの後に再び運転を開始した直後、増速中の不安定が原因と考えられる焼付きが発生した。しかし、その

Fig.11 Friction coefficient μ under oil lubricating condition

他の場合には、すべり距離 $L=5000\text{m}$ まで焼付くことなく運転可能であった。高硬度の SUSQ および WRQ では摩耗も小さく、両者の摩擦・摩耗挙動に差はほとんど見られなかった。

図 12 に WR および WRQ のディスクの表面写真を示す。WR は $L=500\text{m}$ 時点の焼付きが生じる前の表面である。運転中の接触面には一部摺動痕も観察されるが初期研削痕は残っており、硬度の高い WRQ では、 $L=5000\text{m}$ 運転後の表面でも初期研削の痕は WR の場合より明瞭である。潤滑状態は、一部の突起同士が接触する混合潤滑状態であったと考えられる。いずれの試験片でも摩擦係数がおよそ 0.1 程度の定常状態では摩耗は極めて軽微であり、質量減少量としてはほとんど測定できなかった。

図 13 は、焼付き発生後の SUS および WR の摩耗率を示す。本試験の場合、焼付き発生後に運転を停止するまでのすべり距離が試験条件および試験材料により異なった。したがって、摩耗が生じたのは摩擦係数

Fig.12 Photographs of disk specimens tested under oil lubricating condition

ΔL : Sliding distance operated under a friction coefficient of $\mu > 0.15$

Fig.13 Wear rate under oil lubricating condition

が定常状態より上昇した後であったことを考慮して、摩擦係数が上昇後に運転したすべり距離 ΔL で摩耗量を除して摩耗率を求めた。なお、図 13 に示した摩耗率は図 11(a) で * 印を付したプロット点に相当する。 $V_s=0.2\text{m/s}$ で試験した WR では摩擦係数が約 0.3 まで上昇した後 200m 以上運転したが、摩耗率は SUS の場合の 1/10 以下であり、また $V_s=0.5\text{m/s}$ では WR の摩耗はほとんどなかった。いずれの条件でも WR では SUS の場合より長いすべり距離を摩擦係数が高い状態で運転したにもかかわらず、WR の摩耗率は SUS の場合より著しく小さかった。SUS420J2 では初期焼付きが生じるとすぐに破壊的焼付きに至り大きな摩耗が生じるのに対して、耐摩耗性ステンレス鋼では初期焼付きが生じても摩擦係数は急上昇せず、大規模な破壊的焼付きに至りにくく耐焼付き性に優れていた。また、焼付き発生後の摩耗も小さかった。

3. 4 耐摩耗性ステンレス鋼の析出物 表 1 に示したように本実験に用いた耐摩耗性ステンレス鋼は SUS420J2 をベースに Mo, S, Te 等を微量添加したもので、分散析出物により摩擦・摩耗特性の向上を図つ

Fig. 14 EDS analysis of precipitations

たものである。Mo は材料強度の向上を，Te は析出物の微細分散を目的に添加された。また，Te は S と同属であり S と同様な特性も期待された。図 14 は，析出物の EDS 分析結果を示す。左上の SEM 像で黒く示された析出物は Mn の硫化物である。Mn の硫化物は α ， β ， γ 型があり，現時点で耐摩耗性ステンレス鋼の析出物の構造は明らかにできていない。MnS の一般的な特性として低硬度で比較的塑性変形しやすいことがあげられるが，この特性は熱的に安定でない。この MnS の特性が，大気中ならびに真空中の室温での摩擦係数低減に寄与する一方，大気中の 473K の場合に摩擦低減効果が認められなかった原因と考えられる。ところで，最近開発されている Pb フリーの快削鋼では硫化物系介在物により被削性の向上が図られており⁷⁾，本試験に用いた耐摩耗性ステンレス鋼でもマトリックス中に存在する析出物での応力集中等が摩擦に悪影響を及ぼすことが懸念される。しかし，実験結果に示したように本試験で用いた耐摩耗性ステンレス鋼では従来鋼に比べて優れた耐摩耗性と低摩擦性を示しており，摩擦・摩耗特性に関して分散析出物の形状や量などが最適になるように成分調整できているといえる。

以上，耐摩耗性ステンレス鋼は，大気中無潤滑および真空中無潤滑の室温ならびに油潤滑において摩擦を低減し，良好な耐焼付き性および耐摩耗性を示し，凝着の度合いも小さかった。したがって，耐摩耗性ステンレス鋼を高温条件あるいは減圧環境下で使用されるシリンダ摺動部材，ジョイント部材，歯車などの各種機械要素へ適用することで，機械要素の耐摩耗性および低摩擦性の向上が可能であり，ひいては適用製品の機械効率の向上ならびに高機能化が期待できる。

4. 結 言

分散析出物によりステンレス鋼の摩擦・摩耗特性を改善することを目的に開発された耐摩耗性ステンレス鋼の摩擦・摩耗特性を大気中無潤滑下，真空中無潤滑下および油潤滑下でステンレス鋼 SUS420J2 と比較した。得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 大気中無潤滑下において，SUS420J2 では酸化摩耗粉の移着が顕著に生じたが，耐摩耗性ステンレス鋼ではほとんどなかった。室温での耐摩耗性ステンレス鋼の平均摩擦係数は SUS420J2 の場合の 10～30%低かった。また，酸化摩耗粉移着以前の SUS420J2 の摩耗量と比べて，耐摩耗性ステンレス鋼の摩耗量は高硬度のもので 1/20～1/5 であった。
- (2) 真空中無潤滑下の場合，耐摩耗性ステンレス鋼では摩擦係数は約 0.2 で SUS420J2 に比べて小さく，また，凝着の度合いも小さかった。
- (3) 油潤滑下では，耐摩耗性ステンレス鋼では初期焼付きが破壊的焼付きに進展しにくく，優れた耐焼付き性を示した。また，焼付き発生後の摩耗も小さかった。
- (4) 大気中無潤滑下，真空中無潤滑下および油潤滑下のいずれの条件でも，耐摩耗性ステンレス鋼の摩耗は高硬度のもので小さかった。

本研究を進めるにあたって，試験片の提供を頂いた三井造船株式会社 藤田哲夫氏，実験に協力頂いた岡山大学技官の萩原和彦氏，岡山大学大学院生（当時）の小林寛君ならびに織田英哲君に謝意を表する。

参考文献

- (1) Eds. Peterson, M.B. and Winter, W.O., *Wear Control Handbook* (1980), 673, ASME.
- (2) 野呂瀬進監修，*摩耗機構の解析と対策*(1992)，383，テクノシステム。
- (3) 吉田彰・藤井正浩・原野智也・木村哲也・三浦健蔵，*機論*，**64**-619, C (1998)，1041-1048.
- (4) 三浦健蔵・藤田哲男・桑田隆司・吉田彰・藤井正浩，*日本マリンエンジニアリング学会誌*，**36**-4 (2001)，225-231.
- (5) 三浦健蔵・田中孝雄・田中正紀・岡本一・小野宏，*特許公報第 2970387 号* (1999).
- (6) Smith, A.F., *Wear*, **110** (1986)，151-168.
- (7) Poulachon, G., Dessoly, et al., *Wear*, **253** (2002)，339-356.