¹⁹⁸Au による摩耗進行過程の追跡*

水 野 万 亀 雄**

Tracing of Wearing Process by ¹⁹⁸Au Radioactive Pin

Makio MIZUNO

In this paper, characteristics of wear curves are analyzed by tracing of ¹⁹⁸Au radioactive wear particles.

The quantity and the location of wear particles are detected by this method, and also it becomes clear whether the wear particles are transferred on the mating surface, or back transferred to an original test pin, or removed from the rubbed surfaces. The conclusions obtained from the experiments are summarized as follows.

1) The quantity of wear of a pin is determined as the arithmetic sum of the quantities of transfer and removal of wear particles. Namely, the difference between the rates of transfer, removal and back transfer governs the virtual rate of pin.

2) Generally, the transferred particles adhere strongly to the mating surface, consequently are not readily removed off. Moreover, the most of removal are born directly from the rubbed surface of a pin.

3) In the special conditions, a little quantity of removal of the transferred particles occurs, and it causes the marked increase in the wear loss of a pin. However, when the back transfer is predominant, it will be negative wear loss.

4) The avalanche phenomena of transferred particles occur when the quantity of transferred particles becomes over the certain limited quantity. This means the sudden decrease of the transferred wear particles.

1. ま え が き

RI による金属摩耗の基礎研究は Kerridge^{1),2)}, Archard-Hirst³⁾, Rabinowicz⁴⁾, Flom⁵⁾, 佐田⁶⁾, その他^{7),8),9)} によってなされてきたが, 摩耗粉の挙動, すなわち転移 (transfer), 再転移 (back transfer), 脱落に本格的に取り組んでないように見える。

この実験は RI の Au を適宜使用することによって, 摩耗粉の所在位置を追跡し, 前報¹⁰⁾で筆者が論じた摩耗進行曲線の性格を実験的に明確にし, また, その際導入の仮定の成立を実証しようとした。

2. 実験方法

既報¹¹⁾で述べた pin-disk 装置を用い, ピン試料の摩耗減量を従来どおり秤量する一方, 放射性ピンによる回転円板への転移量はトラック直上 2mm の高さに GM 管を置き, トラック内のルーズな摩耗粉を掃いて除き, その放射能を計数した。また, ピン試料への再転移量は,

表 1 標準の実験条件

ピン試験片:	Au, 4.5 mm φ, 旋削後 #03 エメリ紙仕上
回転円板:	摩き厚板ソーダガラス, 220mmφ×10mm ^t , #280 ラップ仕上
トラック円周:	659 mm
摩 擦 速 度:	10 mm/s
荷 重:	3.2 kg
接 触 圧 力:	20 kg/cm ²
ふ ん い 気:	非潤滑あるいは蒸留水潤滑

途中交換した非放射性のピン試料に戻った放射能の強さを別の GM 管で計数した。これらの計数値は時間補正して標準化し, あるいは摩耗体積に換算して, データ相互の比較が行なえるようにした。実験条件は, 前報までの実験との関連をみて, 特に断わりのない場合を除き, 従来の表 1 の条件を採用した。実験の関係でトラック一周の長さ L_0 が異なる場合があるが, 既報¹¹⁾で述べたように大差がなければその影響を無視できる。

摩耗実験は 3 段階からなっている。第 1 段階は放射性ピンによる実験で転移と脱落が, 第 2 段階は非放射性ピンに代えての実験で再転移が, 検討できる。第 3 段階は再びもとの放射性ピンに交換しての実験で, 転移, 再転移, 脱落の挙動を総合的に考察するためのものである。

*原稿受付 昭和47年1月7日, 昭和41年度精機学会春季大会学術講演会(昭和41年4月7日), 昭和42年度精機学会秋季大会学術講演会(昭和42年11月8日)にて発表。

**正 会 員 理化学研究所(和光市広沢 2-1)

図1 放射化ピンによる摩擦・摩耗の実験結果
実験は表1の標準の条件により行われた

これら摩耗量の定量測定によって、摩耗進行曲線が各成分に分解でき、前報¹⁰⁾で述べた摩耗因子 W_s , k_1 , k_2 , k_3 , k_4 の値は、いろいろな実験条件に対して具体的に求められる。

3. 実験結果

3.1 転移, 再転移, 脱落の挙動

図1は Au/ガラス, 非潤滑における摩耗の結果で、相手円板上の転移量とピン試料の摩耗量を求めている。放射性ピンによる第1段階での転移量の曲線は、図に見られるように飽和曲線をたどった。一方、摩耗量の曲線は、繰返し数のごく少ないときのみ摩耗粉は相手面に転移し、摩耗量=転移量となるが、繰返し数が大きくなるに従い、両者の差すなわち脱落が多くなる。非放射性ピンに交換しての第2段階では、転移量に約10%の脱落減少が見られたが、それはピン交換の際の状態変化(たとえば硬度、表面あらし、再転移の有無)およびわずかの片あたりが原因したものと思われる。しかし、この程度の減少でも、摩耗量には大きく影響し、急増として現われている。

この挙動に対する説明は、この項の主眼でないが、現象として興味があり、また後の結果のなかでしばしば現われるので、いま説明を加えておく。図1の摩擦挙動および後の結果を含めて総合判断すると、転移量の曲線はピン交換によって現象的に第1段階の同じ転移量Aの

ところまで戻され、したがって摩耗量の曲線もまた過渡初期A'に引戻される。同様のことが再び放射性ピンを用いた第3段階の初期にも起こり、転移量の約5%の減少はすぐに回復したが、摩耗量の曲線にはかなりの影響を与えたように見える。ピン交換時の状態変化は、また図1の摩擦係数の記録にも、はっきりと急増の形で現われている。この摩擦係数の増加は、繰返しのための摩擦係数の変化から見ると、相手面との直接接触の増加、すなわち転移量の減少を表現している。それは、すぐあとの摩耗量の増加の原因となる。

図1の転移量が飽和後はほとんど変化しないにもかかわらず全摩耗量は増加していることから、脱落摩耗粉はピン試料から直接生ずるのであって、一度転移したものは容易に脱落しないことがわかる。もし転移した*Auが脱落すれば、GM計数値は低くなるはずである。

第2段階の非放射性ピンに交換した実験の目的は、再転移量の定量測定にある。図2はその結果で、参考にプロットした第1段階の転移量と同じように、ピン試料の摩擦面に戻ってくる放射能の強さは摩擦距離に対して飽和曲線をたどる。その飽和値は、当然のことながら、そのときトラックに転移している放射能の強さと同じになる。ただしそれは、ピンの接触面積が小さいため量的には微量である。

3.2 摩耗, 転移, 再転移, 脱落の各曲線の性質

前節で述べたように、転移, 再転移, 脱落などを測定した上で摩耗進行曲線の性質をあきらかにさせる。前報¹⁰⁾で述べたように、全摩耗量 W はトラックに蓄積の全転移量 W_t と全脱落量 W_{r1} (トラック面から), W_{r2} (直接試料面から) の和から成り立つので、

$$W = W_t + W_{r1} + W_{r2} \quad (1)$$

また1回転当たり、

$$\frac{\Delta W_t}{\Delta N} = w_t - w_b - \frac{\Delta W_{r1}}{\Delta N} \quad (2)$$

図2 放射化ピンによる転移, 再転移の挙動比較
実験は表1の標準の条件により行われた

ただし N : 繰返し数

w_t : 1 回転当りの転移量

w_b : 1 回転当りの再転移量

が鈎合条件から常に成り立つ。ここで、それぞれの挙動に対し、つぎの仮定をおく。

〔仮定〕

$$w_t = w_1 - k_1 W_t \quad \text{〔転移に関して〕} \quad (3)$$

$$w_b = k_2 W_t \quad \text{〔再転移に関して〕} \quad (4)$$

$$\frac{\Delta W_{r1}}{\Delta N} = k_3 W_t \quad \text{〔トラック面からの脱落〕} \quad (5)$$

$$\frac{\Delta W_{r2}}{\Delta N} = k_4 W_t \quad \text{〔試料面からの脱落〕} \quad (6)$$

ここで w_1 は繰返しのない、すなわち $N=1$ のときの転移量であり、 $k_1 \sim k_4$ は比例常数で、単位長さのピン試料について考えている。

この解は、酸化を伴わない場合の摩耗進行方程式で、次式で表わすことができた。

$$W = \frac{w_1}{k_1 + k_2 + k_3} \left(1 - \frac{k_3 + k_4}{k_1 + k_2 + k_3} \right) \{ 1 - \exp(-k_1 - k_2 - k_3)N \} + \frac{(k_3 + k_4)w_1}{k_1 + k_2 + k_3} N \quad (7)$$

および

$$W_t = \frac{w_1}{k_1 + k_2 + k_3} \left\{ 1 - \exp(-k_1 - k_2 - k_3)N \right\} \quad (8)$$

繰返しのない場合の摩耗量 w_1 は、既報¹²⁾において次式のように、試料の接触面積 A 、接触圧力 p 、摩擦距離 L_0 (繰返しの場合には 1 回転の摩擦距離となる) に比例することを述べた。

$$w_1 = W_s A p L_0 \quad (9)$$

それゆえ、試験条件以外に摩耗を支配する因子は $k_1 \sim k_4$ および W_s であることがわかる。

図3 常数 $(k_1 + k_2 + k_3)$, k_2 の算出
測定値は図1および図2から求めた。

常数 $(k_1 + k_2 + k_3)$ を求めるには、式(8)を変形して、

$$\ln \left\{ 1 - \frac{W_t}{(W_t)_{\text{sat}}} \right\} = -(k_1 + k_2 + k_3)N \quad (10)$$

ただし

$$(W_t)_{\text{sat}} = \frac{w_1}{k_1 + k_2 + k_3} \quad \text{〔式(8)の飽和値〕} \quad (11)$$

とおき、実験値を片対数に、図3のようにプロットすれば、そのこう配から得られる*。

同様の方法により、図2の再転移の曲線から、常数 k_2 が求められる〔図3〕。

また常数 $(k_3 + k_4)$ はつぎのようにして求められる。

式(7), (8)から脱落量 W_r は、

$$\begin{aligned} W_r &= W_{r1} + W_{r2} = W - W_t \\ &= \frac{(k_3 + k_4)w_1}{k_1 + k_2 + k_3} \left[N - \frac{1}{k_1 + k_2 + k_3} \cdot \{ 1 - \exp(-k_1 - k_2 - k_3)N \} \right] \end{aligned} \quad (12)$$

であるが、繰返し数 N が大きいとき、カッコのなかの第2項が無視できるので、

$$\begin{aligned} W_r &= \frac{(k_3 + k_4)w_1}{k_1 + k_2 + k_3} N \\ &= (k_3 + k_4)(W_t)_{\text{sat}} N \end{aligned} \quad (13)$$

すなわち、常数 $(k_3 + k_4)$ の近似値は $W_r - N$ 曲線のこう配から求めることができる〔図4〕。ただし、図1の実験では、トラックからの脱落がほとんどなかったから、 k_3 はゼロとおいてよい。

一方、繰返しのない場合の比摩耗量 W_s は式(9)を用

図4 脱落量-摩擦距離曲線
脱落量 W_r は図1の実験値 W , W_t の差として求められる。

* k は単位長さ (1 mm) の試料のときの値である。文献 11) からわかるように、試料の長さ a は繰返し数 N と等価であって、ここでは $a=4$ mm (ピン円と同面積の正方形の一边) とした。

図5 摩耗のなだれ現象

実験条件: 表面あらさ $R_{\max} 8 \mu$, その他は表1の条件

い, 図1の摩耗進行曲線の立上りこう配から直接求めることもできるが, さきに得た常数 ($k_1 + k_2 + k_3$) の値を式(1)に入れ, 式(9)から求めることもできる。

結局, 図1の実験に対しては,

$$\left. \begin{aligned} W_s &= 2.7 \times 10^{-5} \text{ [mm}^3/\text{mm} \cdot \text{kg]} \\ k_1 &= 4.0 \times 10^{-3} \text{ [1/mm]} \\ k_2 &= 2.5 \times 10^{-3} \text{ [1/mm]} \\ k_3 &\approx 0 \text{ [1/mm]} \\ k_4 &= 4.1 \times 10^{-4} \text{ [1/mm]} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

3.3 摩耗におけるなだれ現象

表面あらさ以外は図1と同じ条件で *Au をガラス面 ($8.0 \mu R_{\max}$) にすべらせたとき, 図5の非常に興味をそそる結果が得られた。結論を先に述べると, これは摩耗におけるなだれ現象といってよい。第1段階において, 転移量曲線は飽和を維持できなく, すでに減少を始めている。このことは, 相手面に蓄積の摩耗粉が摩擦面に耐えきれず, 徐々にすべり始め, 本格的ななだれを起こす前兆にあることを示している。直接には, その後のピン交換が契機となり, 相手面に蓄積の転移摩耗粉を一掃し, いわゆるなだれを起こした。その結果, 図1で説明したように, その後の摩耗量を急増させ, 図形的にもなだれの形が現われたが, その本質は上に述べた転移摩耗粉の急減である。

図6 摩耗のなだれ現象

実験条件: 表面あらさ $R_{\max} 2 \mu$, 1回転の摩擦距離 $L_0 3130 \text{ mm}$, その他は表1の条件

続いての第2段階で, *Auの転移量は減少の方向にあるが, それはGM管で計測された結果であって, 本当の転移量を示していない。なんとならば, この段階では非放射性ピンを使っているの, その分の転移に対しては計数の加算がない。本当の転移量は, それゆえ明白でないが, つぎの第3段階の転移量の挙動, および各段階の摩擦係数の挙動から推定するしかない。すなわち, 第3段階の *Au ピンに再交換しての実験では, 転移量および全摩耗量は第1段階と類似の挙動を示した。また各段階の摩擦係数は, いずれもその初期に高く, そのあと安定するまで指数的に減少した。これらの結果から, 第2段階の本当の転移量は図の破線のように進行するものと思われる。

なだれ現象はガラス円板を #800 砥粒でラップし, $2.0 \mu R_{\max}$ に仕上げたときにも発生した。ピンの摩耗量を図6に示す。ここではトラックをレコード盤のように渦巻状にしたが, それは摩擦距離 L_0 を長くし (3130 mm) 摩耗量を稼いだのであって他意はない。この実験はRIを使用せず, 1本のピン試料でピン交換のない実験にもかかわらず, 2回とも同じようななだれ現象を示した。また摩擦係数も $0.3 \sim 0.1$ と範囲が全体的に下がっただけで, なだれの特徴は図5とまったく同じである。

3.4 試験条件と摩耗進行曲線の形

図7に Ni 円板に対する Au の摩耗結果を示す。その他の試験条件は図1とほとんど同じである (円板は前回同様 #280 でラップしたが, 材質差のため $4.0 \mu R_{\max}$ になった)。この図のなかには, 第3段階の, すなわち *Au に再交換しての結果を挿入してないが, そこでは転移量は依然として一定で, 摩耗量は直線的に微増した。

図 7 Ni に対する Au の摩擦・摩耗
実験条件: 相手円板 Ni, その他は表 1 の条件

図 8 表面あらしの影響
実験条件: 相手円板 Ni, 表面あらし $R_{max} 1 \mu$,
その他は表 1 の条件

転移量の曲線は, さきの図 1 と同じように飽和し, その値は 0.31 mm^3 となった. この値, および立上りの摩耗率, 摩擦係数の値が図 1 の結果に比べて大きいことは, Au-Ni の凝着がより強いことを示唆する. この示唆は Ni 円板に転移した摩耗粉が容易に脱落しないことをも示すので, 転移の飽和値が第 1, 第 2, 第 3 の各段階で変わらないことの説明として使える. そこでは, Au 同志の“ともがね”に似た状態にあり, 脱落はピン試料面から直接生じていることがわかる.

図 8 に表面あらしの影響を調べた一例を示す. 実験は #03 エメリ紙で仕上げた Ni 面で行ない, 他の条件はいままでと同じである. にもかかわらず, 結果はいままでと非常に異なった. すなわち, 1) 転移量は直線的に増加し, 実験範囲内では飽和の気配が見られなかった. 2) 摩耗量は凹の曲線になり, 初期摩耗率は低く, 定常摩耗率が高くなった. 3) 摩擦係数の挙動もいままでと異なり, 初期に低く定常期に高い.

いままでと違ったこのような挙動は, 図 9 に示した実験後の表面あらしから説明できる (実験後の表面あらしは, この実験を除けば, あまり変化がなく, 表面突起がわずかに摩滅した程度である). 実験初期は摩擦面

図 9 摩耗実験後の表面あらし
実験条件: 試験機の種類: pin-disk 式, 試料: *Au 4.5φ, 相手: Ni エメリ #03 仕上, 摩擦速度: 10 mm/s 荷重: 3.2 kg, 接触圧力: 20 kg/cm², 非潤滑: 繰返し数: 50 rev, あらし倍率: 2000×25

図 10 水潤滑の影響

水潤滑以外は表1の条件、ところどころに負の摩耗量が見られる

($1.0 \mu R_{\max}$) がなめらかであり、転移した摩耗粉の大きさは真実接触面積、いわゆるミクロン・オーダと思われる。繰返し摩擦によって、この凝着摩耗粉は次第に成長し、Ni 素地面の損傷と相まってあらい表面を形づくる。あらい表面突起の嚙合は機械的な破壊摩耗へ導びき、ピン試料からの激しい直接脱落を起こす。摩擦係数の増加は、新しい表面突起の破壊に必要なエネルギー増加と解釈できる。

図 10 は蒸溜水潤滑したときの結果で、ほかの試験条件は図 1 と同じである。ここでは、負の摩耗量に議論をしぼる。この負の摩耗量は瞬間的な再転移量の増加を意味し、それは相手面の転移摩耗粉およびトラック面上のルーズな摩耗粉の試料への再転移の結果である。具体的

図 11 水潤滑における転移、再転移の挙動比較

に、摩擦距離 7×10^4 mm に見られる負の摩耗量に関して調べると、そのときの転移量の減少は負の摩耗量をほとんど補ってないから、大部分はルーズな摩耗粉からの再転移と思われる。そのようなルーズな摩耗粉の存在は図 11 の再転移の挙動からわかる。その放射能の強さが相手面のそれより約 4 倍高いことは、水潤滑のために異質のガラス面との凝着を弱くし、ルーズな形でトラック内に留まっていたことから起きた。また、その後の摩耗量に比例増加がないことは、ルーズな摩耗粉がトラック外へほとんど脱落せず、同質の Au 試料側へ再転移していることを間接的に示している。

この負の摩耗量変化は、摩擦係数にも小さなピークとして記録された。結局これも小さななだれであり、いまの場合、ルーズな摩耗粉を巻き添えにして、再転移が急に進行した結果と考えられる。

以上述べた、いろいろな条件での実験結果を解析し、曲線の性質を摩耗因子の値になおして表 2 にまとめた。表からつぎのことがいえる。

- 1) あらい表面は比摩耗量 W_s を大きくさせるばかりでなく、脱落の常数 k_4 をも大きくさせる [実験

表 2 いろいろな試験条件における摩擦係数、摩耗因子の値

実験 No.	材質	表面あらさ $R_{\max}$ (μ)	ふんい気	W_s (mm³/mm·kg) $\times 10^{-5}$	k_1 $\times 10^{-2}$	k_2 $\times 10^{-2}$	k_3 $\times 10^{-2}$	k_4 $\times 10^{-4}$	$(W_s)_{\text{sat}}$ (mm³)	摩擦係数	備 考
1	Au/ガラス	6	非潤滑	2.7	4.0	2.5	≈ 0	4.1	0.22	0.5~0.2	
2	Au/ガラス	8	非潤滑	3.2		6.8		—	0.23	0.5~0.2	なだれ再転移の実験なし
3	Au/ガラス	2	非潤滑	0.3		2.7		—	0.20	0.3~0.1	なだれ RI 使用せず
4	Au/Ni	4	非潤滑	6.0	7.2	2.9	≈ 0	1.9	0.31	0.8~0.3	
5	Au/Ni	1	非潤滑	0.1	—	—	—	—	—	0.3~0.6	定常期の W_s : 0.91×10^{-6} (mm³/mm·kg)
6	Au/ガラス	6	水潤滑	1.1	≈ 0	2.2	3.0	≈ 0	0.03	0.5~0.1 _s	摩耗粉はトラック面にルーズにある。

- 1, 2, 3, 実験 5, 6].
- 2) 水潤滑は荷重を分担し, 比摩耗量 W_s を小さくする. また凝着力を弱くしルーズな摩耗粉を作るから, トラックからの脱落常数 k_3 を大きくする [実験 1, 6].
- 3) 材質組合せによる凝着が強いほど比摩耗量 W_s は大きい. 強い凝着は転移量 $(W_t)_{\text{sat}}$ を増加させるほか, 常数 k_1 を大きくし, 脱落の常数 k_4 を小さくする [実験 1, 4]. 反面, 表面をあらす場合がある [実験 5].
- 4) 再転移の常数 k_2 は試験条件によらず, ほぼ同じ値である [実験 1, 4, 6].
- 5) 常数 k_3, k_4 は, 一般に k_1, k_2 より 2 けたほど小さい.
- 6) 摩擦係数に比べ, 摩耗因子は試験条件に敏感である.

4. 検 討

Kerridge¹⁾ は工具鋼を焼なましピン・焼入リングの組合せで RI 実験を行なっている. リング面に転移の放射能は非放射性ピンへの交換によって指数的に減少し, 代りに非放射性の膜が生成したことを確認した. その他の実験考察の結果, 脱落摩耗粉は再転移することなく, リング面の転移膜からの脱落であるとの説明が彼の結論であった. この結論は本報の図 1, 2, 7 などの結果, すなわち Au の転移摩耗粉はそれが飽和した後では容易に脱落しないこと, および元のピンへ再転移があること, と現象的に矛盾するように見える. ここに摩耗の複雑性の一端が現われたが, 両者の試験内容を比較検討するとき, その謎が解ける. 彼の実験条件 (摩擦速度 1.8 m/s, 荷重 1 kg, 非潤滑) では, 定常摩耗期に転移膜が酸化し $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ によって覆われていることが確認されている. 加えてピンの比摩耗量が約 $1 \times 10^{-7} \text{ mm}^3/\text{kg}$ のことから, ルーズな酸化摩耗粉の働きが強く影響していることがわかる. このようなアプレシブ摩耗のときのピン交換においては, 当然, 転移摩耗粉は再転移能力がなく, また脱落速度も早い.

これに対し本報の酸化の伴わない実験では転移と再転移の存在が確認され, $^*\text{Au}$ の使用によって, それらが定量的に調べられた. 転移と再転移の性質の類似性および脱落の遅さは, Au の延展性と深い関係があると思われる. 繰返し摩擦のために, 相手面に転移の個々の摩耗粉は弱い凝着部からつぎつぎこわれ, 1 部は過渡的にトラック面でルーズのままもあるが, もう一度相手面に転移するか, あるいはピン試料に再転移するか, あるいは

またトラック外に脱落するか, いずれかに進むであろう. 繰返し数が大きいとき, すなわち十分長くすべらせた後では, 強い凝着部のみが残り, それは容易に脱落しない. ことに Au-Ni の強い凝着は, 表 2 の対ガラスの場合の結果と比較することによって確認できる. すなわち, 初期の大きな比摩耗量の値 (摩耗進行曲線の立上りこう配に相当) は Au-Ni の強い凝着そのものを示す. 繰返し数の増加とともに摩擦面は Au-Au の傾向に移るが, ピン試料からの直接脱落に関する常数 k_4 の低い値は依然として Au-Ni の強い凝着の影響が残っていることをまた示す. 加えて, 転移摩耗量の飽和値が高いのは脱落が少ないことを意味しているから, 逆にいえば, Au-Ni の凝着が強いことを, やはり示している. このような Au-Ni の強い凝着は, ピン交換の際, 摩擦面の状態変化にもかかわらず, その影響を受けず, 相手面がガラスのときに見られた摩耗の不連続をなくした.

5. む す び

この報告は ^{198}Au を使って摩耗粉の所在を RI 追跡しその挙動すなわち, 転移, 再転移, 脱落を定量的に調べることによって, 摩耗進行曲線の性質を分析した. 得られた結論について列記する.

- 1) 摩耗量は現象的にみると転移量, 再転移量, 脱落量に先立って求められない. 転移, 再転移の平衡によって相手面への転移量がまず決定し, それに伴って脱落量が決った後の結果を表わしているに過ぎない.
- 2) 一般に, 転移した摩耗粉は容易に脱落しない. 脱落は主として試料自身から直接起きている.
- 3) わずかの転移摩耗粉の脱落は, 一般に摩耗量を増加させるが, まれには負となって現われることがある.
- 4) 摩耗のなだれ現象は, 急激な転移摩耗粉の脱落を指す. それは, その後の摩耗量を急増させるから, 図形的にもなだれの形が現われる.
- 5) あらい表面は比摩耗量 W_s を大きくさせるばかりでなく, 脱落の常数 k_4 をも大きくさせる.
- 6) 材質組合せによる凝着が強いほど比摩耗量 W_s は大きい. 強い凝着は転移量 $(W_t)_{\text{sat}}$ を増加させるほか, 常数 k_1 を大きく, 脱落の常数 k_4 を小さくする.
- 7) 常数 k_3, k_4 は一般に k_1, k_2 より 2 けたほど小さい.

終りに, この研究の遂行に当り, 終始ご指導を頂いた当精密工学研究室主任, 谷口紀男博士に深く感謝すると

ともに、実験に協力した白田武司君に厚くお礼をのべます。

文 献

- 1) M. Kerridge: Metal Transfer and the Wear Process, Proc. Phys. Soc. B, **68**, (1955) 400.
- 2) M. Kerridge: The Stages in a Process of Severe Metallic Wear, Proc. Roy. Soc. A, **236**, (1956) 250.
- 3) J.F. Archard & W. Hirst: An Examination of a Mild Wear Process, Proc. Roy. Soc. A, **238** (1957) 515.
- 4) E. Rabinowicz & D. Tabor: Metallic Transfer between Sliding Metals-An Autoradiographic Study, Proc. Roy. Soc. A, **208**, (1951) 455.
- 5) G. Flom: Metal Transfer in Sliding Contacts, J. Appl. Phys. **28** (1957) 850.
- 6) 佐田登志夫: ラジオアイソトープ利用による金属の摩耗機構の研究, 精密機械, **25** (1959) 275.
- 7) B.G. Brothers & J. Halling: The Use of radioactive Tracers in the Study of Wear arising from Microslip between Rolling Bodies, Brit. J. Appl. Phys. **15** (1964) 1415.
- 8) W. Rowe: Friction and Metal-Transfer of Heavily-Deformed Sliders, Wear, **7** (1964) 204.
- 9) J.K. Lancaster, The Formation of Surface Films at the Transition between Mild and Severe Metallic Wear, Proc. Roy. Soc. A, **273** (1963) 466.
- 10) 水野万亀雄: 摩耗進行曲線の一般化方程式, 精密機械, **37** (1971) 874.
- 11) 水野万亀雄: 初期摩耗進行曲線の解析, 精密機械, **30** (1964) 450.
- 12) 大越 諒, 佐田登志夫, 水野万亀雄: じん速摩耗試験機の考案とそれによる摩耗機構の検討, 機械学会論文集, **21** (1955) 555.

情 報

(27 頁より)

つにわけられている。

ロボット応用の現状調査＝自動車産業では溶接工程に利用しているが、今年中には連続的に動く組立工程で従来の静止したロボットに代る六自由度をもったロボットが車体の溶接に使われる。

ロボットの実用化は塗装工程であろう。

電子工業、事務機関係では IBM が IC を製造する際のウエハ（基板）へのロボットの応用がある。

プレス工業では労働者の安全のため、ロボット市場は大きい。1976 年ごろまでに 2, 3, 4 の自由度をもつロボットの大量需要が見込まれている。

技術開発の現状＝視覚システムについてはテレビカメラでとらえた画面をコンピュータで処理していく知能ロボットの研究が進められている。

触覚センサは遠隔操作と医学面への利用研究はあるが、工業面への汎用触覚システムの研究は行なわれてい

ない。

移動システムではある大手自動車メーカーが既数のレールや天井走行レールに拘束されないで、車輪またはプラットフォームを用いて工場を動き回るロボットに関心を示している。

コンピュータコントロールシステムは化学、電力工業で使用されている。

学習するコンピュータは研究室の実験はあるが、工業利用されたものはない。NASA の契約会社であり MB 社は 20 ボンドの物をもって動作でき、触覚フィードバックと結合した 9 関節のウデをもつ遠隔操作機を開発した。

GE ではマンメイド（人力増幅装置）を計算機制御に適応させている。

またホーカンドル－ダイナミックス社は三次元空間で電気溶接のできる移動ロボットを開発した。

(服部 敏夫)