

## 二硫化モリブデン潤滑による4号電話機 ダイヤルの摩擦トルクの軽減

The Reduction of Friction Torque of the No.4 Telephone Dial  
by Using Molybdenum Disulfide Powder as Lubricant

北 条 徳\*  
Toku Hōjō

### 内 容 梗 概

4号電話機ダイヤルのフィンガプレート軸からガバナまでの増速歯車系の摩擦による制動トルクを自記トルクレコーダで実験的に解析し、現用の石油系合成油潤滑では摩擦トルクとその変動が大きく寿命が短い。これに極微粒子の二硫化モリブデンを添加すると減摩性が格段に改善され摩擦トルクは100万回以上の動作を続けてもまったく補油を要しないほど低く安定に維持され、ダイヤルの寿命を数倍に延長できることを明らかにした。

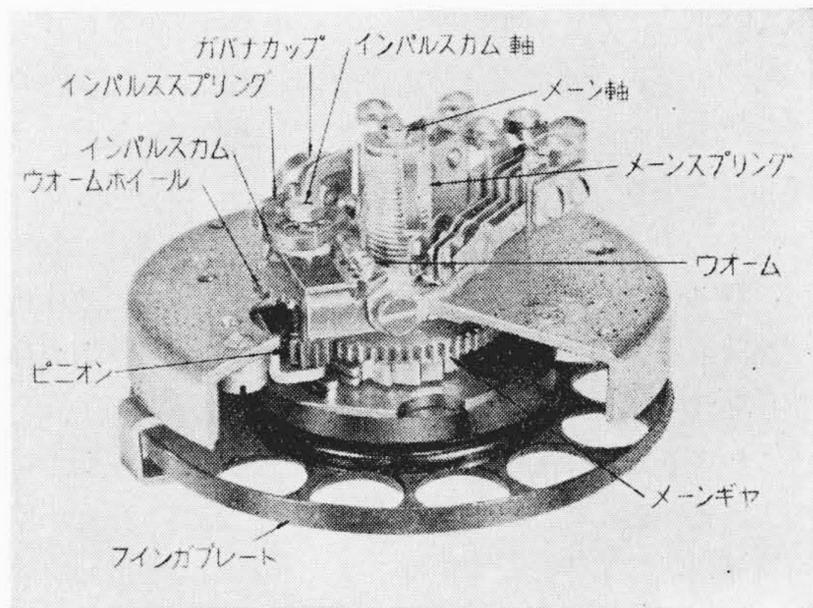
### 1. 緒 言

4号電話機ダイヤルは自動交換機を確実に動作させるためにそのインパルス速度を毎秒 $10 \pm 1$ インパルスに規整する必要があり、その起動時の立ち上りと调速特性を良くするために慣性モーメントの小さい高速回転の遠心摩擦力ガバナを採用している。このガバナ軸に毎分5,400回転の高速を与えるため第1図に示すようにメインギヤ、ピニオン、ウォームホイールおよびウォームからなる一連の増速歯車系が組み込まれていてフィンガプレート軸の回転を126倍に増速している。この増速機構はわずかに2段階で126倍の増速ができ使用部品数が少ない特長をもっているがその反面ギヤ、ピニオン間およびウォームホイール、ウォーム間のかみ合い面に必然的に大きなすべり接触を伴うので、長期間にわたって安定な動作をさせるためには構成部品の材質組合せ、工作仕上の精度、潤滑材の選定に慎重な考慮を払わなければならない。これらについてはすでにその一部を報告<sup>(1)</sup>したが、その後新たに作った摩擦力自記レコーダで研究を進めた結果、日立製作所中央研究所で完成された粒度 $1 \mu$ 以下の極微粒子の二硫化モリブデンを現用の合成潤滑油“ラウナ40”に添加することによってその減摩性能を格段に改善し、4号ダイヤルの潤滑にこれを適用することによってその摩擦トルクは100万回以上の動作を続けてもまったく補油を要しないほど低く安定に維持され、回転歯車系の寿命を数倍に延長できることが明らかとなったので、その結果を報告し大方の参考に資することとした。

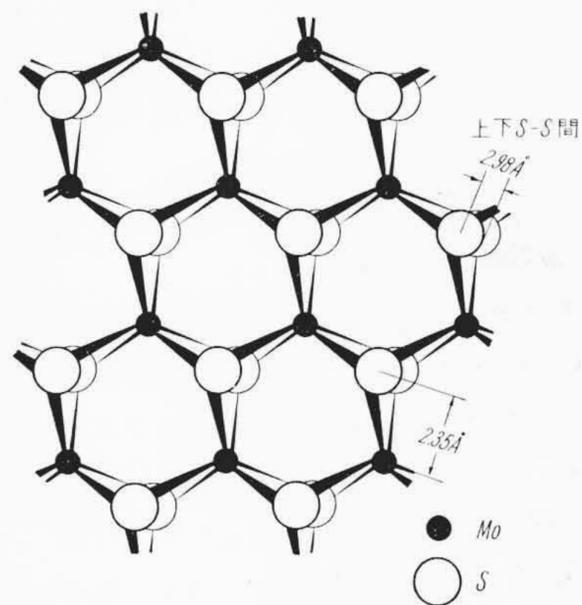
### 2. 二硫化モリブデン

二硫化モリブデン ( $\text{MoS}_2$ ) は輝水鉛鉱として天然に産出し潤滑性をもっていることはすでに1750年ころから知

\* 日立製作所戸塚工場



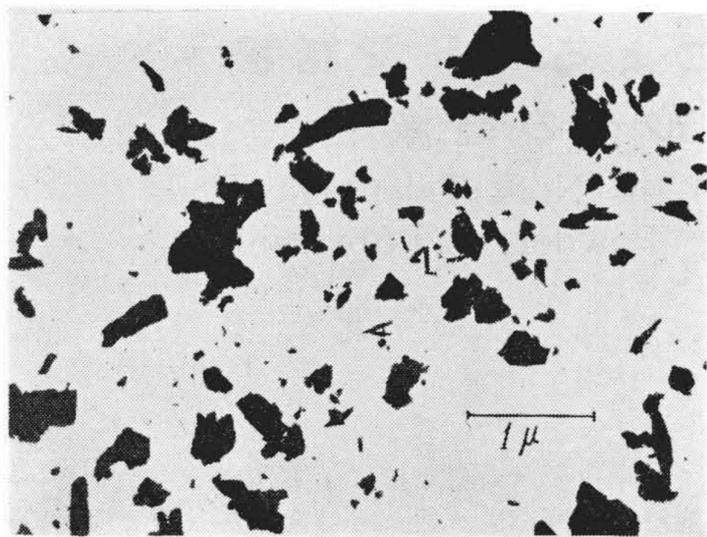
(ケースの一部切除)  
第1図 4-Fダイヤルの増速ギヤ系



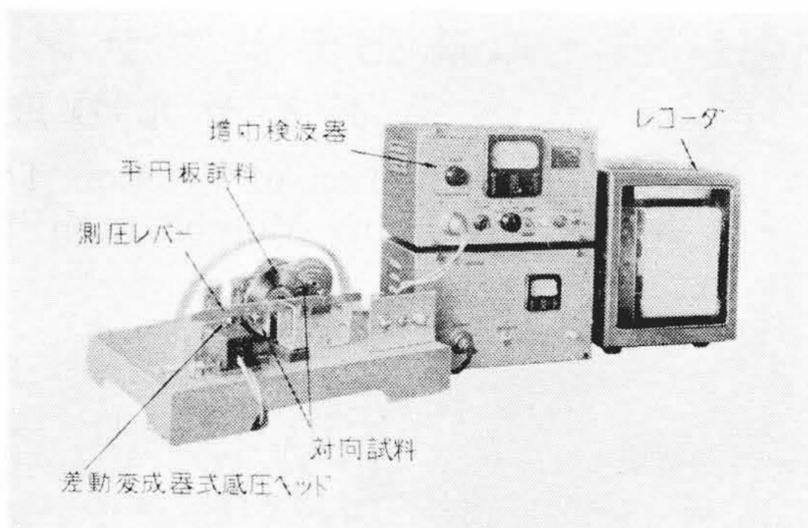
(層内 S-S=2.98Å, Mo-S=2.35Å)  
隣接層間 S-S=3.66Å  
第2図  $\text{MoS}_2$  結晶の層内原子配列投影

られていたが、実用潤滑材に適する程度まで精製処理ができるようになったのはきわめて最近のことである。

この  $\text{MoS}_2$  は六方晶形に属する六角板状あるいは短柱状の結晶でその分子構造は硫黄とモリブデンが第2図のように結合したいわゆる層格子であって、モリブデン原



第3図 二硫化モリブデン粉末の電子顕微鏡写真



第4図 摩擦力自記記録装置

子層を硫黄原子層が両側からはさんだサンドウィッチ形を積み重ねた格好をしており<sup>(2)~(4)</sup>、この独特の分子構造が  $\text{MoS}_2$  のすぐれた潤滑性をもたらすものと考えられている。すなわち硫黄層は金属表面への親和力が大きいのでよく金属面に固着するが隣り合った硫黄層同志の間の親和力は小さいので簡単にスリップし、この層間スリップによって  $\text{MoS}_2$  は潤滑を助長するわけである。 $\text{MoS}_2$  の一分子の厚さは約  $6.2 \text{ \AA}$  であるからいまかりに  $20 \text{ m}\mu$  の潤滑膜を作ったとすればこの中に約30のすべり層が存在し非常にすべりやすいことがわかる。

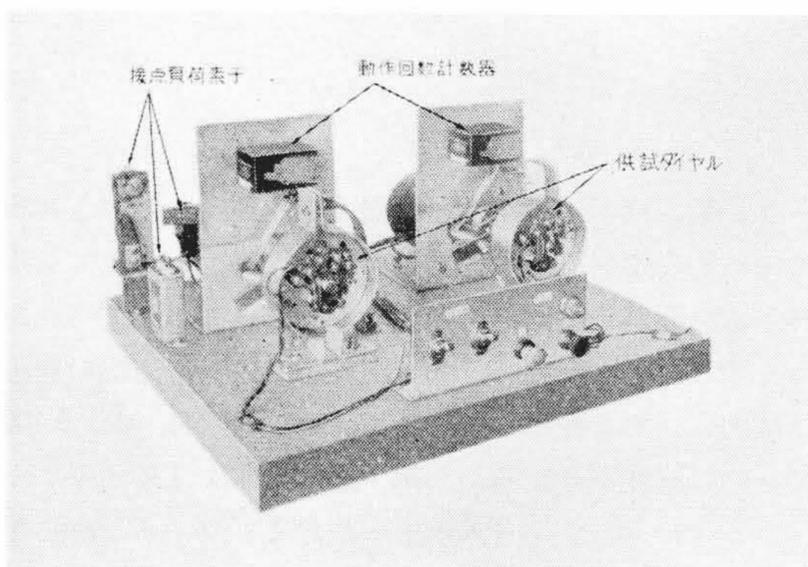
このようなわけでこの数年来欧米各国で  $\text{MoS}_2$  潤滑材の実用化が盛んになってきた<sup>(5)(6)</sup>がその純度と粒度が精密機械用として十分なものは、まだまれのようである。

この観点から日立製作所中央研究所でもその研究を進めていたが最近第3図に示すような高純度極微粒子の  $\text{MoS}_2$  ができるようになったので、これをダイヤルの潤滑に使えるかどうかを検討することとした。

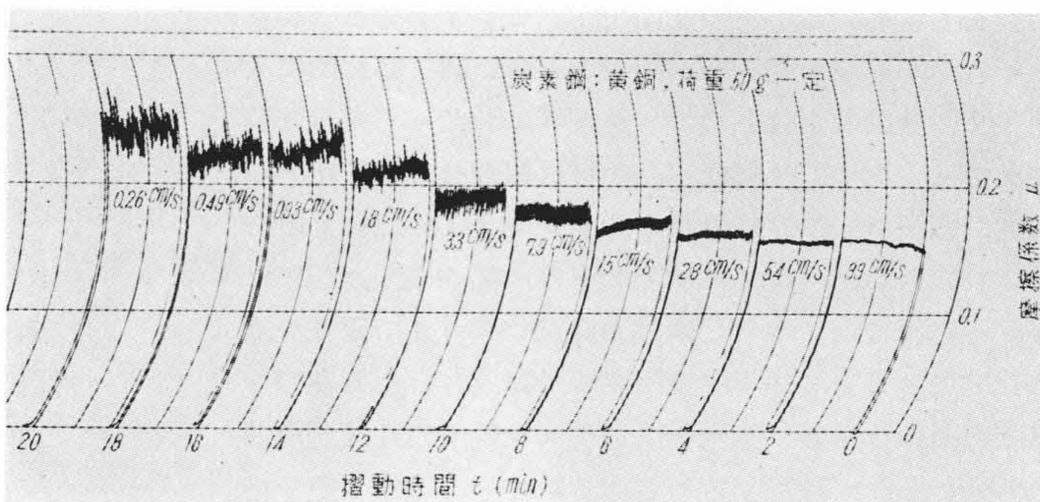
### 3. 実験方法

#### 3.1 摩擦係数の測定

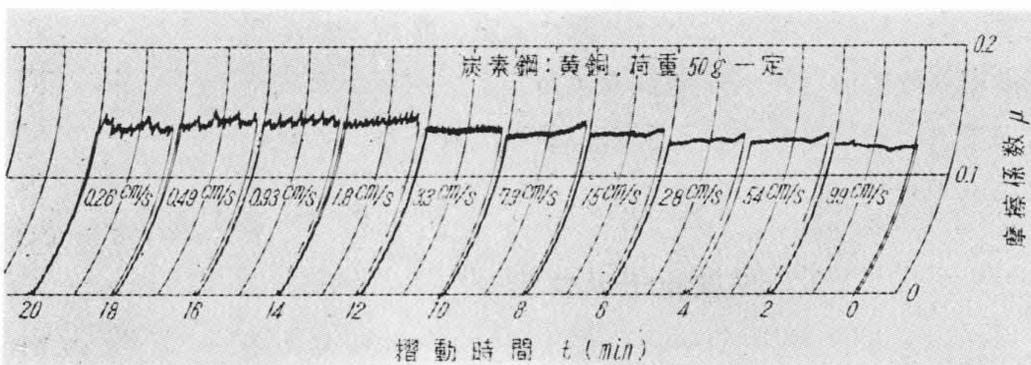
前報では供試材料の一方を回転円筒面とし他方の小試片を重錘荷重でこれに押しつけ小試片に作用する切線力をスプリングで平衡させスプリングの力をポイントバイポイントで読みとる方式<sup>(1)</sup>であったが、今回は第4図のように供試材料の一方を回転平円板とし他方を円板と同軸線上で自由に回転できるように支持されたレバーの両側二箇所に分けてとりつけ平バネで平円板に押し当て、平円板との間のしゅう動摩擦力をレバーの回転偶力に変えこれを差動変成器式の感圧ヘッドに与え電氣的に増幅検波してレコーダで連続自記記録できるように改め、供試潤滑材を平円板と対向小試片の間



第5図 ダイヤル実動寿命試験装置

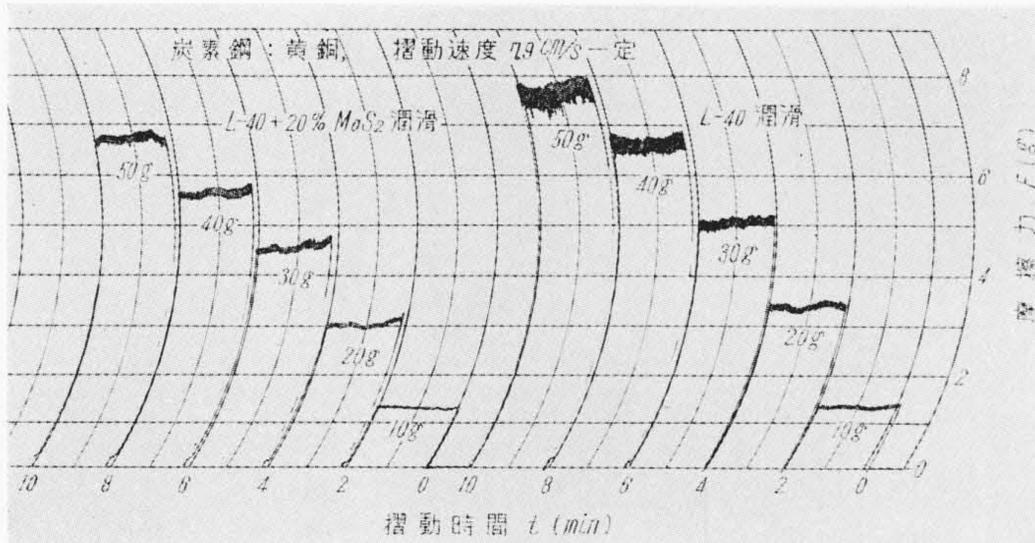


(A) L-40 潤滑

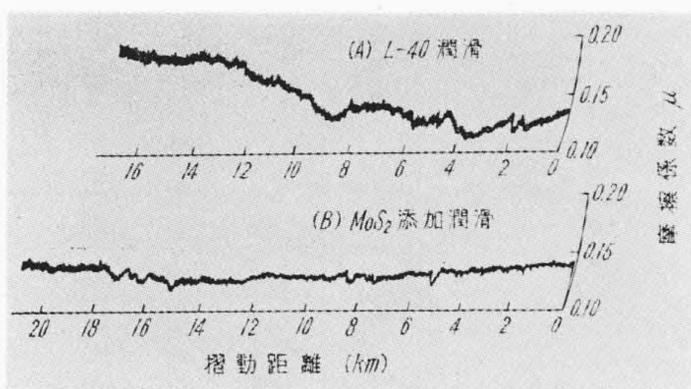


(B) L-40+20%  $\text{MoS}_2$  潤滑

第6図 しゅう動速度を変えたときの摩擦係数変化



第7図 荷重を変えたときの摩擦力変化

第8図 長時間しゅう動させたときの摩擦係数  $\mu$  の変化比較

に注加して実験した。

### 3.2 増速ギヤ系の摩擦トルクの測定

摩擦、摩耗の最終的比較判定にはダイヤルの実動状態での摩擦トルクの推移を定量的に測定することが必要で、これには摩擦係数測定るときと同様な差動変成器式感圧ヘッドでメーンスプリングをとりはずしたダイヤルのフィンガプレート軸につけたレバーを押しながらギヤ系を回転させてインパルス送出回転運動全域の摩擦トルクの消長をレコーダで連続自記記録できる装置<sup>(7)</sup>を作り、第5図の実動寿命試験装置で供試ダイヤルに実用状態とまったく同様な数字“5”の巻き込み放転動作を繰り返させこのときの組立直後、10, 30, 100……, 1万, 3万, 10万, …… 100万回動作後の摩擦トルクの変化を測定記録するようにした。4号ダイヤルではすべりの特に大きい逆ウォーム系の摩擦の大小が重要であるからメーンギヤをとりはずしたウォームホイール軸以下の回転系の摩擦トルクも同様の方法で毎回測定記録し、またインパルスカムの制動トルクとギヤ系の摩擦トルクを分離するためインパルススプリングのあるときとこれを取り去ったときの両方の場合について記録をとった。測定軸の回転速度はレコーダの時定数とガバナ系の慣性によるすべりの影響をさけるため十分におそくし毎分20度とした。

## 4. 実験結果

### 4.1 摩擦係数の比較

第4図の装置で平円板側を表面あかさ5Sに仕上げた炭素鋼としこれに厚さ1.6mmの黄銅小片の直角稜を線接触させたときの現用潤滑油“ラウナ40”（以下L-40と呼ぶ）とこれに前述の極微粒子MoS<sub>2</sub>を20重量%添加したもの（以下MoS<sub>2</sub>添加と略記）の潤滑特性を実測した結果の二、三を次に示す。

第6図は接触荷重を50g一定とししゅう動速度を0.26cm/分から99cm/分まで約400倍の範囲で変え各速度段階ごとに2分間ずつしゅう動させたときの摩擦係数 $\mu$ のレコードで、L-40潤滑の場合は同図(A)から明らかなように速度の低下とともに $\mu$ が0.16から0.24まで増大し面のあかさの影響が大きく現われるが、MoS<sub>2</sub>添加の場合は同図(B)に見られるように $\mu$ は速度や面のあかさの影響を受けにくくその値も25~30%小さくなって潤滑性が明らかに改善されることを示している。

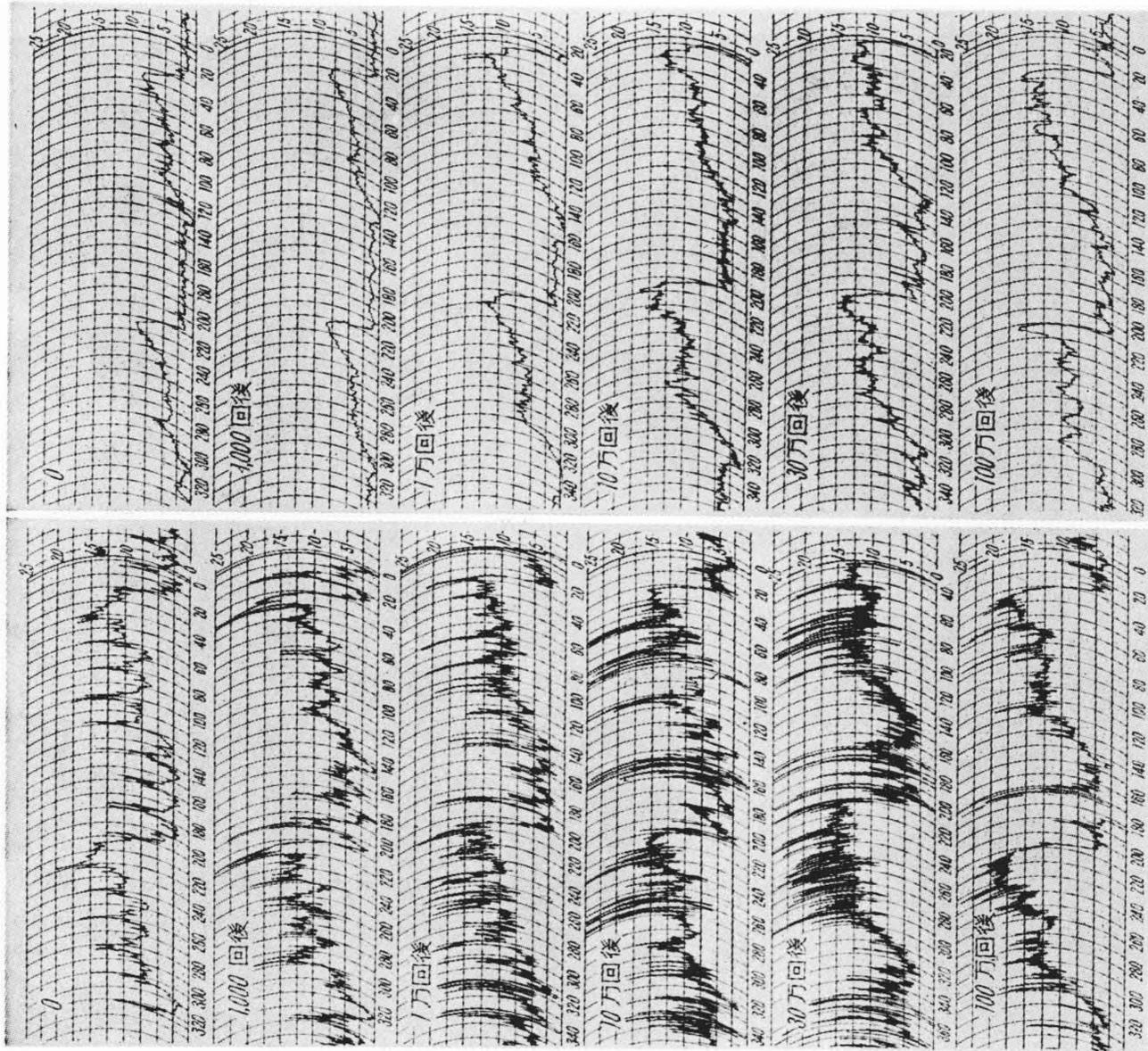
第7図はしゅう動速度を一定とし接触荷重を変えたときの摩擦力のレコードで、L-40, MoS<sub>2</sub>添加の両方とも荷重10~50gの範囲では摩擦力は荷重にほぼ比例して増加し $\mu$ はほとんど一定である点と同じであるが、その値はMoS<sub>2</sub>添加のほうが小さくしゅう動面のあかさの影響も明らかに小さいことがわかる。

第8図はしゅう動速度99cm/分、接触荷重100gで連続しゅう動させたときの摩擦係数 $\mu$ のレコードの一例で、ここでもL-40にくらべてMoS<sub>2</sub>添加のほうが $\mu$ が小さく安定している。

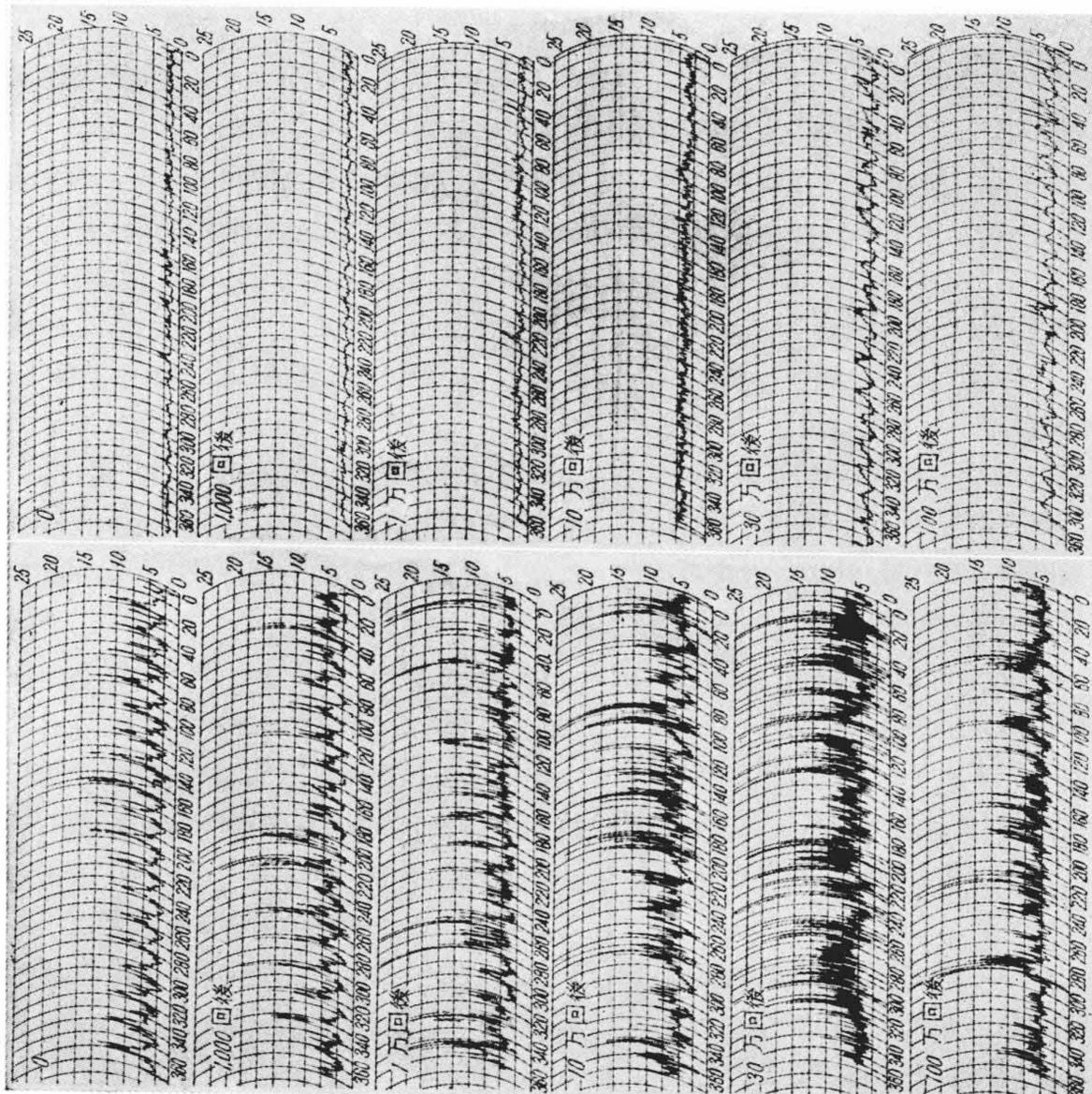
### 4.2 ダイヤルに適用したときの摩擦トルクの比較

任意抜きとりした量産部品と既報の改良インパルスカム、スプリング<sup>(7)</sup>を使ってL-40潤滑とMoS<sub>2</sub>添加潤滑の4-Fダイヤルを組立てたものについて実施した増速歯車系の実動寿命比較実験結果の概要を次に述べる。

第9図はメーンギヤとインパルスカムをとりはずして測定したインパルスカム軸の駆動トルクすなわちウォームホイール以下の歯車系の摩擦トルクの組立直後の処女特性から数字“5”を同図付記の回数だけ動作させたときの推移を示すレコードで、L-40潤滑のものは最初からウォームホイールの歯ごとに大幅なトルクの脈動が現われ1,000回までの間で幾分脈動が小さくなるが以後回数が増すにつれて変動が激しくなり、ウォームホイール歯先の変形摩耗が大きく10万回あたりから微少ステックが目立って増加し不安定となるのに対し、MoS<sub>2</sub>添加



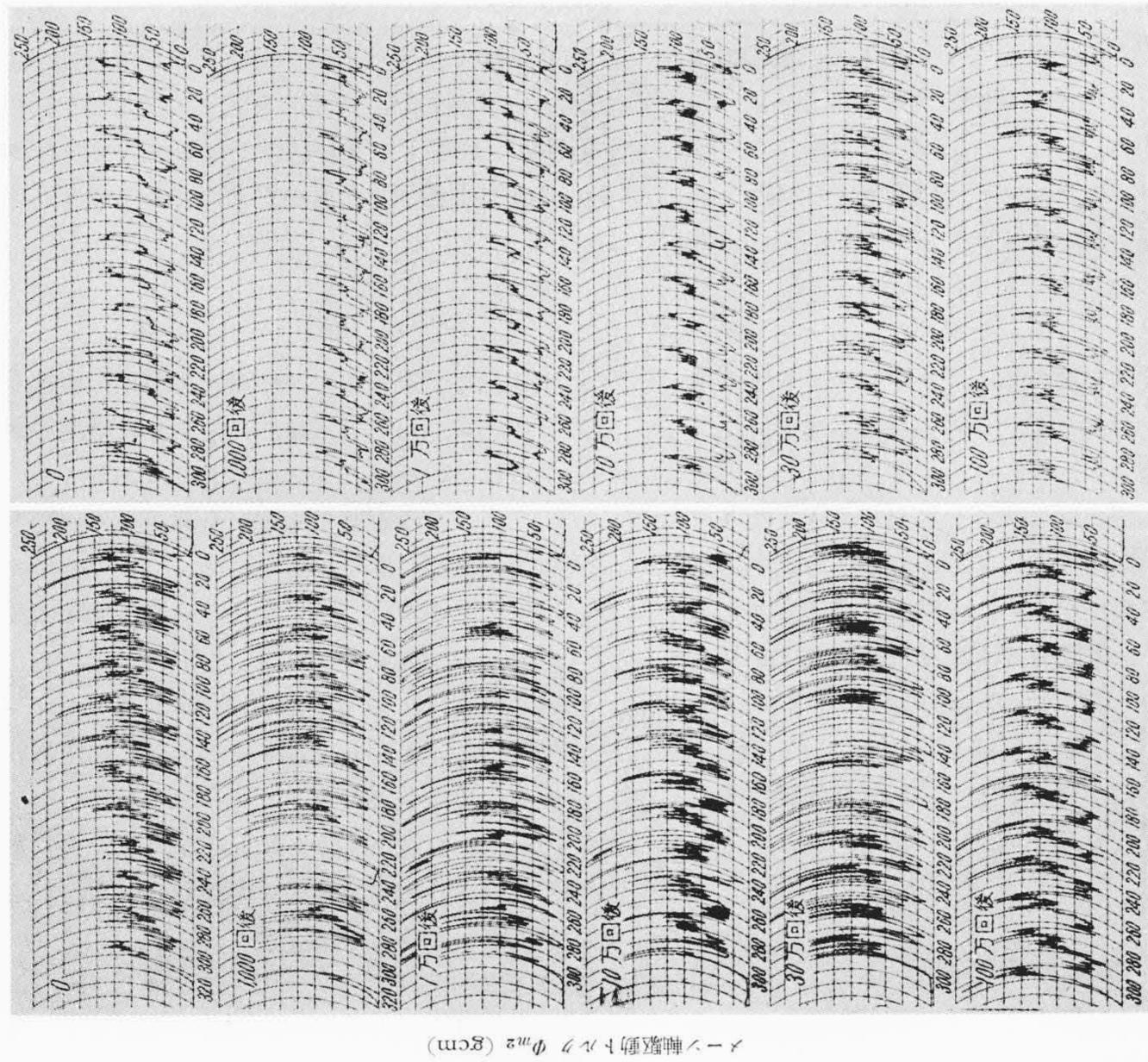
カム軸回転角  $\theta$  ( $^{\circ}$ )  
 (A) L-40 潤滑 (B) L-40+20%MoS<sub>2</sub> 潤滑  
 インパルスカムつき  
 4-Fダイヤルの  $\Phi_k$ -寿命特性 (2)



カム軸回転角  $\theta$  ( $^{\circ}$ )  
 (A) L-40 潤滑 (B) L-40+20% MoS<sub>3</sub> 潤滑  
 インパルスカム除去  
 4-Fダイヤルの  $\Phi_k$ -寿命特性 (1)

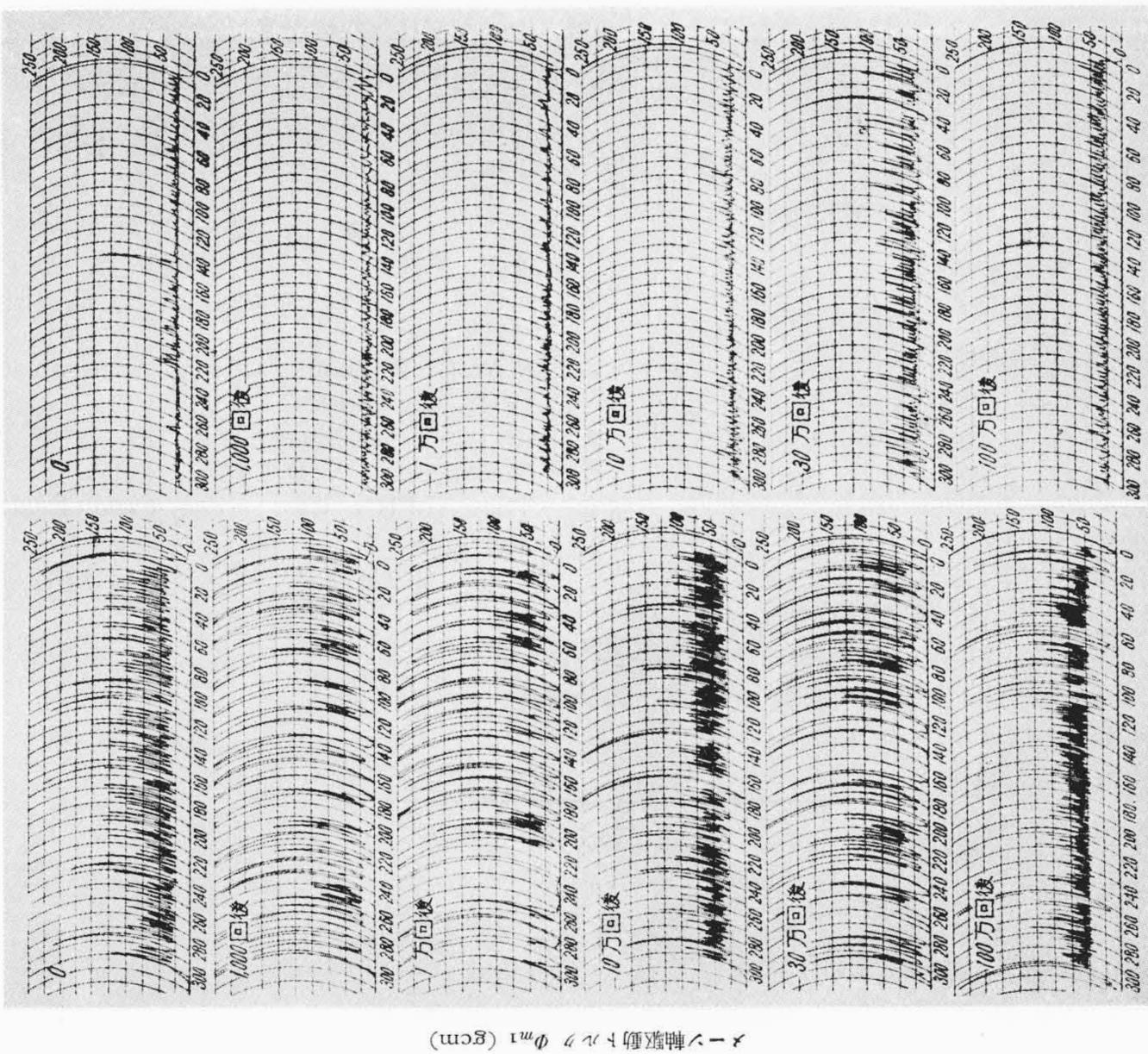
カム軸駆動トルク  $\phi_{k2}$  (gcm)

カム軸駆動トルク  $\phi_{k1}$  (gcm)



メーソン軸回転角  $\theta$  ( $^{\circ}$ )  
 (A) L-40 潤滑 (B) L-40+20%MoS<sub>2</sub> 潤滑

インパルスカムつき  
 第12図 4-Fダイヤルの $\Phi_m$ -寿命特性(2)



メーソン軸回転角  $\theta$  ( $^{\circ}$ )  
 (A) L-40 潤滑 (B) L-40+20%MoS<sub>2</sub> 潤滑

インパルスカム除去  
 第11図 4-Fダイヤルの $\Phi_m$ -寿命特性(1)

潤滑のものは摩擦トルクが非常に小さく、ウォームホイール1歯ごとの脈動がほとんどなく、100万回動作後でもL-40の最良のときの値よりはるかに小さくホイール歯先の変形摩耗も小さい。

第10図はインパルスカムをとりつけカムの制動トルクが付加されたときのカム軸トルクのレコードでL-40とMoS<sub>2</sub>添加の差は明らかである。

第11, 12図はフィンガプレート軸すなわちメイン軸から全ギヤ系を駆動するに要するトルクの、カムをとりはずしたときとカムを付加したときの推移を示すレコードで、メインギヤとピニオンのかみ合い摩擦が加わるのでL-40とMoS<sub>2</sub>添加との間の開きがさらに大きくなり、L-40潤滑では1,000回動作ですでに摩擦トルク $\Phi_{m1}$ が250g cmを超過する箇所が現われ非常にスティックしやすくなるが、MoS<sub>2</sub>添加潤滑では30万回付近でやや $\Phi_{m1}$ が増大しただけで0~100万回の全域にわたって $\Phi_{m1}$ は25~50g cmを維持し、カムを付加したトルク $\Phi_{m2}$ もL-40にくらべてはるかに小さく安定で、100万回動作後も処女特性とほとんど変わりなくスティックの心配はまったくないことがわかる。

### 5. 実験結果の検討

回転平円板による摩擦力およびダイヤルの増速歯車系についてのトルク実動寿命特性の測定結果はともによく一致し、在来のL-40単味潤滑にくらべてMoS<sub>2</sub>添加潤滑は明らかに摩擦損失が小さくその持続性も優秀であることを示しており、これは供試MoS<sub>2</sub>材が4-Fダイヤルの潤滑材として好適であることを実証するもので、これを適用することによってダイヤルの性能と実動寿命を大幅に改善延長できるものと考えられる。

MoS<sub>2</sub>のみのいわゆる乾燥粉体潤滑についても同時に比較実験したが、この場合は処女特性はL-40を含んだものにくらべてはるかに小さい $\mu=0.07$ というすぐれた減摩性を示すが、動作の進むにつれて粉末が表面から離脱し数千回のダイヤル動作でその効果が失われ無潤滑乾燥摩耗状態となり、しゅう動面への塗付も液状のものにくらべて困難で実用に適さないことがわかった。

MoS<sub>2</sub>の粒度、添加量についても種々検討した結果、

粒度のあらいものはMoS<sub>2</sub>の比重が大きいため分離沈でんしやすく、添加量が少なすぎると流動性が大きすぎて遠心力で過剰分が周囲に飛散し接点などを汚損する危険があり、粒度1ミクロン以下の細かいものを20~30重量パーセント添加したものが適当であることが明らかとなった。

### 6. 結 言

以上4号電話機ダイヤルの増速歯車系の摩擦トルクを自記トルクレコーダで実験的に解析した結果の概要を述べたがこれを総括すると次のとおりである。

- (1) いままで不明であった全歯車系の制動トルクの実体が定量的に明らかとなった。
- (2) 現用潤滑材“ラウナ40”の潤滑性はいまだ満足すべきものでない。
- (3) 粒度1 $\mu$ 以下の高純度二硫化モリブデンを“ラウナ40”に20~30重量パーセント添加するとその減摩性を大幅に改善できる。
- (4) これを適用すると4-Fダイヤルの実動寿命は大幅に延長され途中無補油で100万回以上の安定なダイヤル動作が期待できる。

終りに臨み二硫化モリブデンについてご指導ご便宜をいただいた日立製作所中央研究所の牟田博士、日立化工株式会社の倉田氏、研究の機会を与えられた戸塚工場の小林、中岡両部長、有益なご討論をいただいた電々公社電気通信研究所の増沢博士はじめ関係各位に深謝するとともに終始熱心に実験を手伝って下さった数田、山下両君の労を多とするものである。

### 参 考 文 献

- (1) 北条, 軽部: 日立評論 36, 767 (昭29-4)
- (2) 柴田栄一: 無機化学原論結晶化学編, 57 (昭16-養賢堂)
- (3) R. W. G. Wyckoff: Crystal Structures Vol. 1 (1948, New York)
- (4) 桐山良一: 構造無機化学 I, 136 (昭-27, 共立社)
- (5) G. Spengler: V. D. I. 96, 11 (1954-7)
- (6) The ALPHA Co.: The Field Reports of Molykote
- (7) 北条: 日立評論 40, 1213 (昭33-10)