

玉軸受の油潤滑と噴霧潤滑について

曾田 範宗・宮原 儀芳

Fog Lubrication as Compared with Drop-Feed Lubrication

By Norimune Soda and Noriyoshi Miyahara

ABSTRACT : Performances of ball bearings lubricated by oil fog are compared with those of ball bearings lubricated by drop feed. Experiments are carried out under various conditions of rotating speeds, loads, oil viscosities and quantities of oil or air.

As the result of experiments the rise of bearing temperature measured at the centre of outer race is found to be a function of rotating speed, oil viscosity and the quantity of oil or air, independent of the quantity of fog oil or the boundary friction coefficient of the oil. The air in fog lubrication acts the role of cooling medium. The relation between the bearing temperature and the working conditions is analysed, and it is concluded that the lubrication by oil fog is better than that by drop feed for high speed ball bearings.

(1951年1月20日受理)

1. 緒 言

轉り軸受の潤滑剤として一般に使用されているのはグリースと油とであるが、グリース潤滑、油潤滑の何れをえらぶべきかは軸受の種類と使用条件によつてきめられるべきである。この油潤滑も更に軸回転数、荷重、周囲の温度等の条件によつて油浴式、滴下式、強制給油式、その他が用いられている。しかし軸回転数が非常に高くなつた場合には軸受温度の上昇が異常に大きくなり、また轉動部分に風壓を生じて油を受けつけなくなる可能性が生じてくる。かような高速回転に

對して最近壓縮空氣による油の噴霧を軸受内に通す一種の油霧潤滑法と強制給油法との折衷的方法が發展させられている。すなわち従來用いられていた油霧潤滑法とは、スリンガー、齒車、あるいは燈心等によつて、油自體を油霧状態にしたものを軸受轉動面に飛散させて潤滑する方法であるが、更に一層潤滑効果を確實にし、冷却効果をも得る目的でこの油霧を空氣流に混合して軸受内に送るのである。いわゆる (fog-lubrication) である。

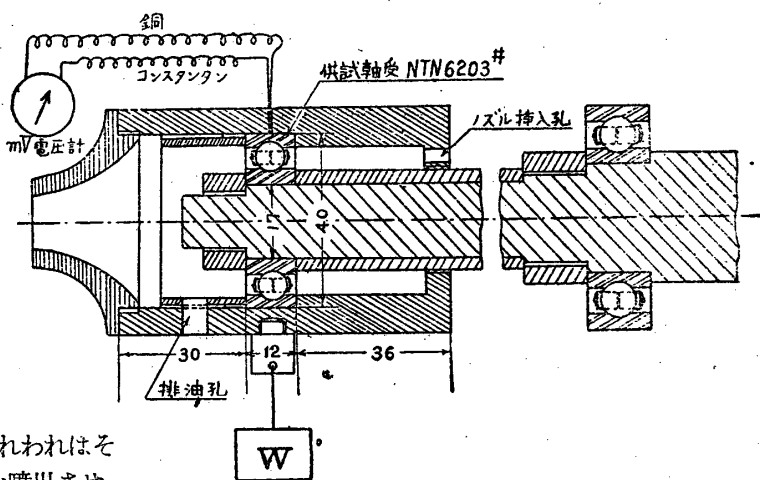
この方法にもいろいろあるようであるが、われわれはその一つの方式として、ノズルより壓縮空氣を噴出させ、その空氣流に霧吹き式で油を吸収させ、空氣と油との混合氣を軸受に當てて潤滑する方法で實驗を行つた。いまこの方法を噴霧潤滑法とよぶことにする。

實驗の目的はこの噴霧潤滑法が一般に用ひられてい

る液狀潤滑法に對して、いかなる相異と特徴があるかを比較検討することで、従來の油潤滑法の一つとしては簡單のため滴下式給油法を選んでそれと比較した。

2. 實 驗 装 置

(a) 軸受裝置 軸受裝置は第1圖に示す如く、供試軸受 NTN 6203 # に圓筒型軸箱をはめ、軸箱の軸方向面に油霧を噴き出すノズルを挿入する孔を設ける。また供試軸受の外輪の幅の中央位置の軸箱に小さな孔をあけ、それに銅-コンスタンタン熱電對を挿入して外輪の温度測定を行つた。



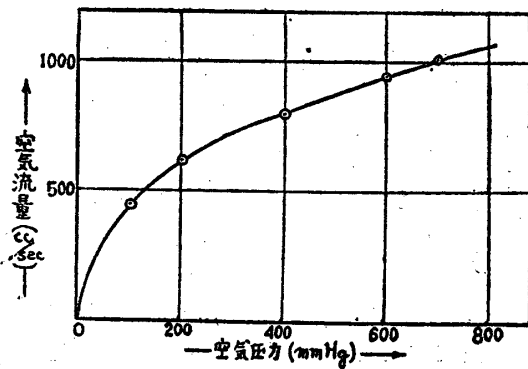
第 1 圖

荷重は軸受幅の中央に純ラジアル荷重としてかけた (實際には取付けの不備のため若干の推力が働いていたが實驗の目的には支障のない程度のものでつた)。

供試軸受の温度測定には、他部分からの熱の影響を避けるために、隣接支持軸受から 120 mm 離し、さらに各支持軸受は十分な滴下式循環給油を行つて温度上昇を可及的に少くした。なお駆動には 1 HP 交流電動機を用い、ベルト 2 段増速で 10,000 rpm までの回転數で實驗した。

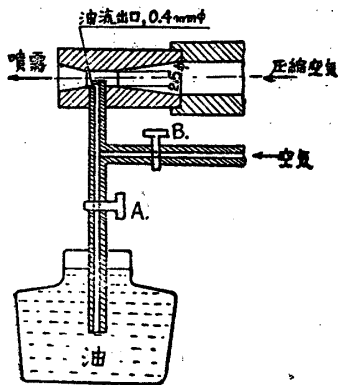
(b) 噴霧潤滑装置 噴霧潤滑における空氣の流量は、ノズルと壓縮機との間に DIN 1930 型オリフイスを挿入して測定した。

第 2 圖はその檢定曲線である。



第 2 圖

ノズルから噴出する油量の測定には天坪を用いた。噴出油量を各空氣壓力のもとで自由に變えるため、油の吸入パイプには第 3 圖に示すような瓣 (A) を設けた。しかしこの方式では吸入油量が 50 cc/h 以下の僅かな給油の場合の調節ができないので、このときはバイパスを設けて空氣を流入させることによつて解決した。すなわち瓣 (A) 及び瓣 (B) を



第 3 圖

適當に調節することによつて、ある一定空氣壓力において給油量を 1 cc/h 以下まで自由に變えることが可能となつた。なお空氣流に水分、埃の入るのを防ぐため、空氣流路には濾過器を設けた。

實驗を行ふに當つては、まず空氣壓縮機の空氣壓力を所要壓力におさえ、給油量は豫め檢定しておき、モーターを駆動し、始動より時間の経過にともなう供試軸受の外輪温度上昇を飽和状態迄 mV 電壓計でよんだ。

(c) 滴下潤滑装置 この場合は噴霧潤滑においてノズルを挿入した軸箱孔に 3 mm φ のパイプを挿入し、約 1 m の水頭で油を流下させた。このさい給油量は瓣で調節し、所要給油量で前者と同様の測定を行つた。なお給油温度は室温である。

3. 實驗結果

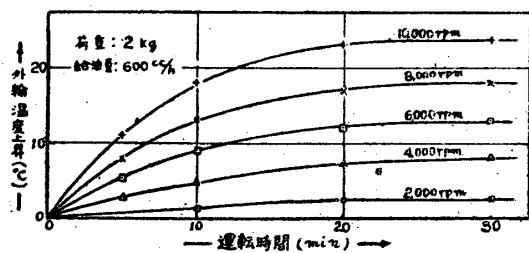
(A) 液狀油潤滑 (滴下式給油)

使用した油は第 1 表に示す 5 種類である。

第 1 表

油の種類	28°C 粘度, センチストークス	53°C 粘度, センチストークス	運動摩擦係數
スピンドル油	30	16.5	0.23
スピンドル油 + SAE 50. (混合油 A)	129	40.4	—
スピンドル油 + SAE 50. (混合油 B)	178	—	—
SAE 50	473	139.4	0.28
カストル油	544	164.1	0.16

温度上昇の一般的特性 一例として、スピンドル油、荷重 2 kg, 給油量 600 cc/h に對する回転數と外輪温度上昇との關係を第 4 圖に示した。圖のように時間の

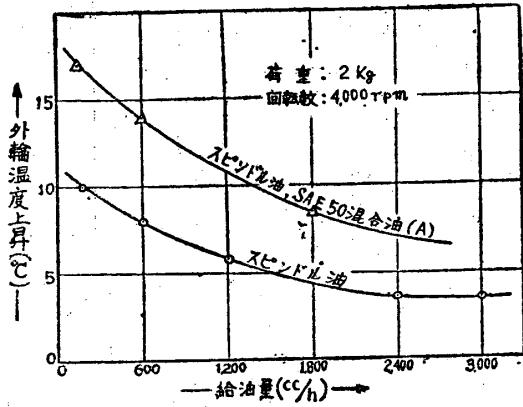


第 4 圖

経過に従い、最初は急激に上昇し、10 min 頃よりゆるやかになり、20~30 min 前後で飽和することがわかる。この關係は他の油、他の荷重、他の給油量に對してもほぼ同様だつた。

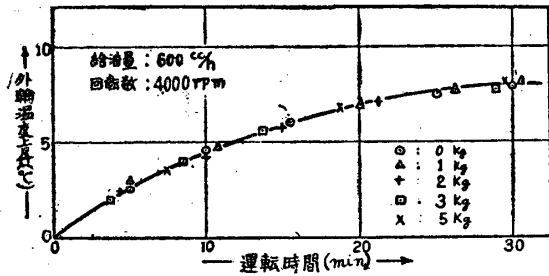
給油量の影響 第 5 圖に示すとおり、滴下式給油法において、しばしば懸念される所の油量の過剰にもとづく軸受の過熱現象はこの實驗ではみられなかつた。

冷却効果は給油量の増加につれて、はじめは非常にきいてくるが、ある程度以上の量を供給することは意味のないことがわかる。



第5圖

軸受荷重の影響 第6圖に一例を示す。これはスピンドル油、給油量 600 cc/h. 回転数 4000 rpm に対する各種荷重 (0 kg, 1 kg, 2 kg, 3 kg, 5 kg) の影響をみたものであるが、この範囲の荷重の影響は事実上ないことがわかる。

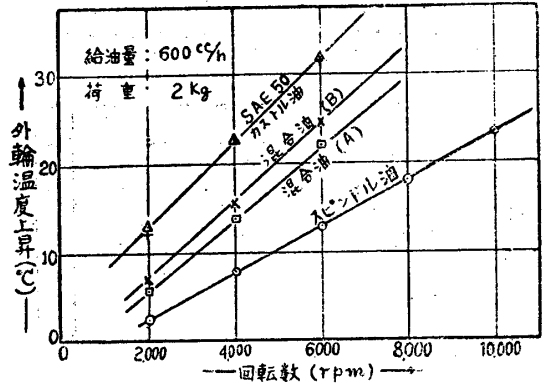


第6圖

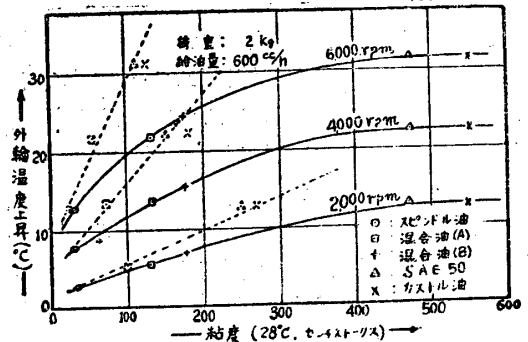
玉軸受も荷重の増加に従い、一般に温度上昇が大きくなることがすでに認められているが、それはかなり大きな荷重がかけられた時にかぎり、本実験結果からみると比較的軽荷重においては、その影響はないようである。すなわちあまり荷重の大きくない轉がり軸受の使用限度を示す一つの基準としては、しばしば速度係数 (軸受軸径 mm × 回転数 rpm) のみをおさえて荷重因子は二義的に考えているが、通常の荷重条件のもとで、その妥當なことはこの実験結果からもよいに理解できる。これはすべり軸受において、ころがり軸受の速度係数に對應するものとして PV 係数を重視するのと大きな相異である。

回転数の影響 各種の油について回転数の影響をみると第7圖のようになる。當然豫想され、また圖からも明らかなように、軸受温度は回転数に比例的である。

粘度の影響 油の粘度と軸受温度との関係を第8圖に示す。ただし圖の横軸は室温 (28°C) の粘度で、これを實際の運轉温度における粘度になおして整理すると點線のようになる。



第7圖



第8圖

この圖からみると、玉軸受の飽和温度は運轉時の實際の軸受中の油の粘度に比例的である。これは前述したように軸受温度が荷重にほぼ無關係であることと、それが回転数に比例するという二つの事實と全く一致した結果で、玉軸受の損失が油の摩擦係数ではなくして、主として軸受内における諸種の粘性摩擦によつて支配されることを明らかにするものである (第1表参照)。この點は軸受のグリース潤滑における關係と全くおなじである。

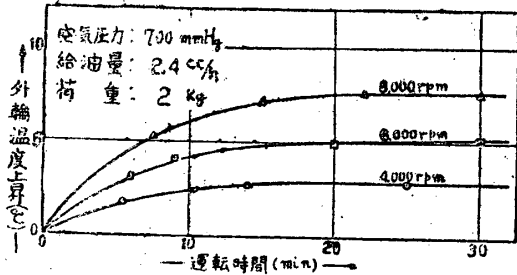
以上液狀油潤滑 (滴下式給油) における軸受温度と給油量、荷重、回転数、粘度等との關係を求めたのでつぎに噴霧潤滑における外輪温度上昇を同様の立場でしらべた。

(B) 噴霧潤滑

噴霧潤滑の最も特徴とし、また油潤滑に比較して相違している點は油潤滑においては、油自體が潤滑作用と同時に冷却作用をするのであるが、噴霧潤滑においては、潤滑作用は當然油が受持つているが、冷却作用は空氣が受け持つ點である。以下にその實驗結果を示す。

温度上昇の一般的特性 まず外輪温度と運轉時間との關係をもとめた。一例として空氣壓力 700 mmHg, 給油量 2.4 cc/h, 荷重 2 kg に對する温度上昇を回轉

數をパラメータとして示すと第9圖のようになる。使用潤滑油はスピンドル油で、以下とくにことわらないかぎり、すべての實驗は、スピンドル油によるものである。

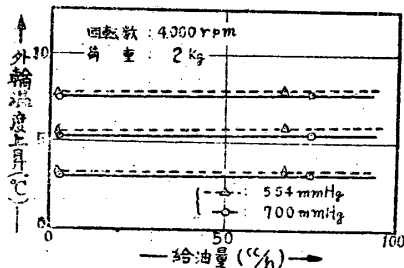


第9圖

この曲線からわかるように、その上昇過程は滴下式油潤滑と別に變つた點は認められない。8000 rpm に対する温度上昇が飽和定常状態において 7.5°C であるということは、液状油潤滑において 20°C が得られているのに比較して噴霧潤滑における空氣流の著しい冷却効果を示すものである。

給油量の影響 空氣流に混合する油の吸込み油量の多少が軸受温度にどの様に影響するかを第11圖に示す。回轉數 4000 rpm, 荷重 2 kg, 空氣壓力一定で、運轉條件は同一である。

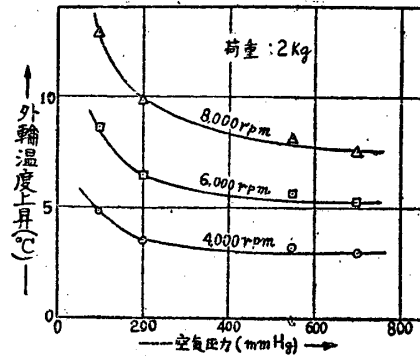
圖からも明らかなように噴霧潤滑においては、油量の多少は軸受温度上昇に全然影響していない。すなわ



第10圖

ち冷却作用は空氣流のみが受持つているということである。かようにみると噴霧潤滑においては油は潤滑に必要な最少量を供給してやれば、差支えないということになる。本實驗における供試軸受では8000 rpm においても 1 cc/h の給油でななら故障はみられず、0.8 cc/h では 6000 rpm までは異常はなかつたが、8000 rpm で、ころがり面に若干撻付きの痕跡を生じた。

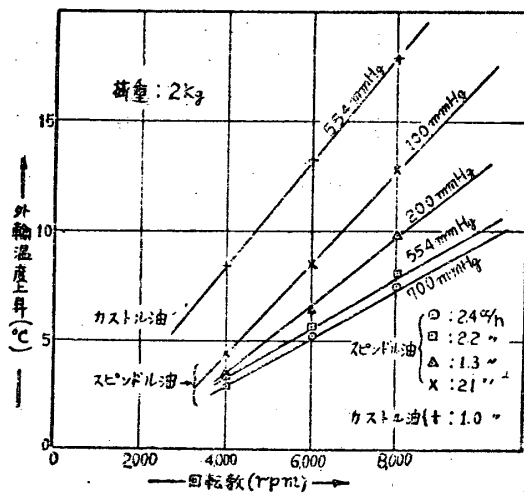
空氣壓力の影響 上述のごとく噴霧潤滑においては給油量の多小は軸温度に殆んど影響しないことがわかつたが、空氣壓力すなわち空氣流量の影響についてみると第11圖のようになる。圖は油潤滑における給油量の影響に極めてよく類似し、空氣壓力の増加は温度に指數函数的に影響していることがわかる。そして油



第11圖

潤滑において、たとえば 3000 cc/h の給油に對應する温度上昇はこの噴霧潤滑装置では回轉數によつて若干の相違はあるが空氣壓力1氣壓前後でおさえられることがわかる。

回轉數の影響 空氣壓力をパラメータにしてもとめると第12圖のようになる。各空氣壓力に對する給油量は異つてゐるが、前述の如く油量の影響はないはずだから、この相違は空氣流量の多少による冷却作用の差異と考へてよい。



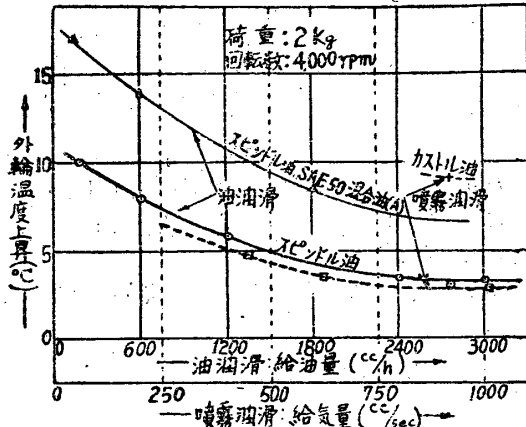
第12圖

かように噴霧潤滑においても油潤滑の場合と同様、他の運轉條件が同じであれば、軸受温度は回轉數に比例する。ただここに注意すべきことは、スピンドル油の場合とほぼ同量のカストル油(實際にはやや少ない)を用いたときに、同一空氣壓力(554 mmHg)に對しても、はるかに高い温度が示されることで、これは粘度の差異にもとづく發熱の差をあらわすものである。そしてここでもまた軸受の摩擦が、油の境界摩擦よりも粘性摩擦でほぼきまることが推定されるのである。

(C) 噴霧潤滑と油潤滑との冷却能力の比較

いま軸受温度上昇を防ぐための冷却劑としての觀點

から、噴霧潤滑における空気流量と、油潤滑における給油量とを比較検討しよう。両者の比較の一例を第 13 圖に示す。回轉數、荷重ともに同じであるが、噴霧潤滑においては、ノズルから噴出した空気の一部は軸と軸箱との間の隙間から若干洩れるから、軸受内輪と外輪との間を通過する空気流量は、これより幾分小さい値である。しかしそれは両者の比較には問題にならない程度のものである。



第 13 圖

この圖からみると軸受温度に対する給油量の増加と給気量の増加との影響は、すでにまえにものべたように、ともに同傾向をもつということが出来る。そして温度においてもこの圖からみると、滴下式でも十分給油しさえすれば大差ないともみられる。ただ滴下式給油においては、実際にはこの程度の軸受では数百 cc/h 以上の給油をすることはないから、噴霧潤滑で 1 atm ぐらいの空気壓力で數 cc/h の油で簡単にずっと低い温度が得られるというのは、やはり噴霧潤滑の一つの特徴で、そのすぐれた冷却効果は十分評価してよからう。またこの実験では 10000 rpm までしか回轉しなかつたが、もつと高い回轉數では、ついに滴下式の冷却効果は噴霧式には及ばないであろう。

ではこの玉軸受の噴霧潤滑及び滴下式油潤滑における軸受温度上昇と、その空気量、油量との関係を定性的ではあるが、若干解析してみよう。

すでに實驗的にも明らかにしたように、玉軸受の單位時間發熱量 H は、周速 V (回轉數または速度係數でおきかえてもよい) と使用潤滑油の粘度 Z とに比例するから

$$H = \text{const.} \cdot VZ \dots \dots \dots (1)$$

一方單位時間放熱量 H の大部分が冷却劑によつてもち去られるとすれば、それは定常状態において軸受飽和温度 t_0 と單位時間空気流量、または滴下式給油潤滑では給油量 Q に比例すると考えられるから、

$$H' = \text{const.} \cdot t_0 Q \dots \dots \dots (2)$$

$H = H'$ で平衡しているはずだから、(1), (2) 式から

$$t_0 = \text{const.} \cdot \frac{VZ}{Q} \dots \dots \dots (3)$$

(3) 式の関係によつて、これまでに得た諸實驗データの傾向が定性的に説明されることは明らかであり、兩潤滑法における空気量と、油量とが同じかたちで冷却効果にあたえていることも一應理由づけられると思う。むろんこの (3) 式の const. はジメンションがあり、油潤滑と噴霧潤滑とで相異なる。

なおこの關係式 (3) が、滑り軸受に對して、すでに著者の一人がえている温度上昇の關係式³⁾と類似であることも當然ながら興味あることである。

4. 結 び

以上の實驗結果からつぎのような結論をうる。

(1) 軸受はその使用状態において温度がなるべく低いことがいろんな點で望ましいが、速度係數が數十萬という高速スピンドルにおいては、とくに精度を保ち壽命を延長する上から軸受の冷却ということが重要な問題になる。この點、噴霧潤滑法はきわめてよい冷却作用をもつものである。むろん従來の滴下式給油でも實驗結果からわかるとおり、相當量の給油さえ行えば速度係數 100,000 くらいまでは冷却の點だけはある程度解決されるのであるが、速度係數が 200,000 をこえ、また高級の無塵油を多量使用するとなると滴下式では經濟的にも相當の負擔になり、一方流體摩擦損失も給油量がますます當然増大するうえに、潤滑も不確實になつて、いろいろな支障がおこつてくる。しかし噴霧潤滑においては、1 atm 前後の低壓空気流で十分の冷却効果が認められ、油の消費量も數 cc/h 程度ですむので、經濟的問題をぬきにしても、流體摩擦損失が理想的に少くなり、潤滑作用も確實であるから、高速軸受の潤滑には、従來の油潤滑の方法よりすぐれた潤滑法であるといえる。

(2) 噴霧潤滑においては、本供試軸受 (6203 #) を例にとると、1 個につき 1~2 cc/h 程度の給油で十分目的が達せられるから、徹底的に精製した油を使用することができ、不純物、塵埃が油の中へ入る機會を少くすることができる。また軸箱内が使用中大氣壓よりも高いから、外部から塵埃等が入りにくいのみならず軸受の清掃作用があるので、従來の給油法より軸受をいためる機會が少くなり、軸受の壽命は延長すると考えられる。

(3) 軸受が高速になると轉動部分に旋風を生じ、普通の潤滑法では油を受けつけにくくなるが、本實驗の

ように壓縮空氣によつて油霧を運んで轉動部分にあてる方法では、空氣の流れる所はすべて油を含んでいるから、かような恐れが一切なくなり、その意味ではより確實な潤滑法といえる。

(4) 噴霧潤滑における空氣量と溫度上昇との關係は油潤滑における油量と溫度上昇との關係とまったく同じである。これは従來の油潤滑における油量の問題がまったく冷却劑としての油量の問題であることの證據である。またこの溫度上昇は滴下式ではむろん、噴霧式でも油に對してはその境界摩擦係数の大小とはほとんど關係なく、主としてその粘度に決定される。そして一般に軸受の溫度上昇 t_0 は次の關係式であらわされる。

$$t_0 = \text{const.} \frac{V Z}{Q}$$

ただし V は軸受の周速、 Z は油の粘度、 Q は油潤滑では油量、噴霧潤滑では空氣量である。

(5) ただ何よりも噴霧潤滑において問題になるのは冷却作用がいかによくとも油量がとにかく少ないことで、瞬間的な、また局部的な固體摩擦部分や燒付部分の補修作用が、油が傍に潤滑に存在する場合に比べていかに相異なるかである。本實驗では速度係数が最高136,000 までなので、この點なお十分な給論はえられなかつたが、これはおつてしらべてみたい。

おわりにこの研究において供試軸受の提供その他で御援助をあおいだ東洋ベアリング K. K. の松本美韶技師、および實驗を手つたつていただいた白瀨金藏助手に厚く謝する次第である。

文 献

- 1) A. F. Brewer: Machinery, Oct., 1943, 172.
- 2) 曾田, 宮川, 安川: 理工研報告, 4 (1951), 136.
- 3) 富塚清 編: 航空發動機, 763, 共立出版株式會社 1943.

薄い二次元物體の前後端より生ずる衝撃波の形状について

小口伯郎・河村龍馬

On the shape of Two-dimensional Attached Shock Waves.

By Hakuro Oguchi and Ryuma Kawamura

ABSTRACT: Shapes of shock waves issuing from both pointed ends of two-dimensional slender body are studied in relation to the body form. In the present paper, the entropy change behind a curved shock is ignored under the assumption of small deflected angle θ . Therefore, Mach lines become straight with flow variables constant along them. Fundamental equations which connect the shape (x, y) of the shock with that (ξ, η) of the body are given in (1) and (2). They are solved by expanding the slope $\tan \beta$ of the shock and Mach angle μ behind it into power series of θ and neglecting smaller terms than θ^2 .

The results are given in (5) and (6) for bow and rear shocks, respectively. The coefficients of the series are obtained from Rankine-Hugoniot's relation on oblique shock and Prandtl-Meyer's solution on adiabatic supersonic flow.

Then, asymptotic form of the solution at large distances is studied and it is found that shock waves become parabolic as are shown in (13) and (14), and that the distance between bow and rear shocks increases as the square root of the distance from x -axis. The curvature κ_0 of the shock at the nose is also obtained and compared with the strict solution by C. C. Lin and G. B. Rubinov. The shape of bow shock of a circular arc wing is calculated as an example in the last section.

(1951年1月20日受理)