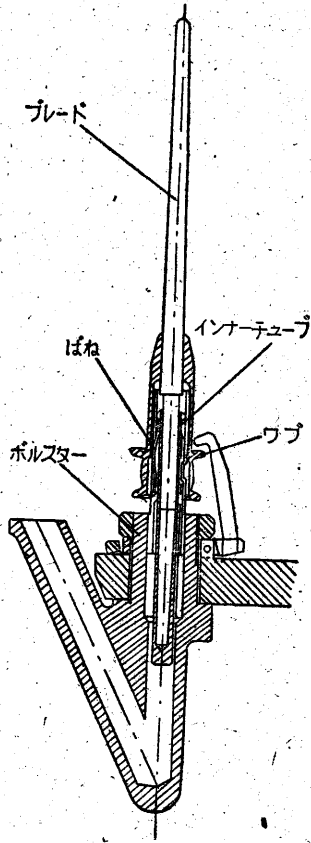


## スピンドルの振動

互 理 厚

紡績で用いるスピンドルは複雑な運動をする回転軸である。その構造は第1回に示すように、軸受であるインナーチューブに支持された回転軸であるブレードがワープの所でテープによって駆動され、インナーチューブは臺に固定されたボルスターにばねを介して支持される。さらにブレードには木管をはめこんで、これに糸を巻きとる。糸の増産のためにはスピンドルの回転数を増すことと一つの木管に巻きとる糸の量を増加すること、したがって回転軸としては常用回転数を高めることと回転体の質量を増すことが要求される。一方糸の質的向上のためには回転軸の振動ができるだけ少いことが望ましい。一般に回転軸が高速になると複雑な振動問題をともなうので、これらの



第1図

要求に應ずるためにはスピンドルの振動的見地からする設計が必要になる。

一般には回転軸はその軸のまわりに回転しながら、軸の静止の位置のまわりにふれ回り運動を行う。回転軸の運動を考えるときには、簡単のために回転軸を集中質量をもつた回転体と質量のない弾性だけをもつた軸とからなるものと考えることが多い。今このような考のもとに回転軸の運動を考えて見る。第2図に示す片持の回転軸を考え、はじめに回転体の重心  $G$  と回転軸の中心  $S$  とが一致している場合を考えると、もし外部から何のじやまも働かなければ、回転軸は静止の位置を軸として回転をつづけふれまわり運動をおこさないが、何かじや

紡績のスピンドルは複雑なふれ回り運動を行うがその主な原因には軸の偏心と外からはたらくじやまとがある。設計においてはむしろ後者に對する注意が必要である。

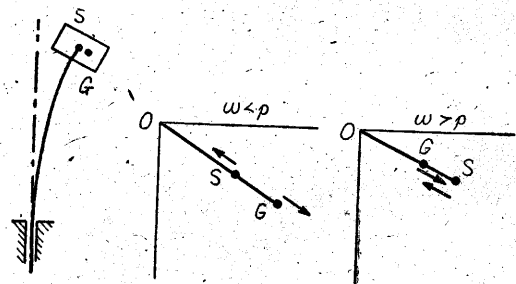
まが働いて回転軸が静止の位置から少しでもはずれると回転軸は一般に楕円軌道を書いて  $O$  のまわりにふれ回り運動をはじめ、このふれまわり運動は軌道が圓

第2図

運動のとき一番簡単な状態で、そのふれ回りの角速度  $\Omega$  は圓運動の半径を  $R$ 、回転体の重量を  $W$ 、回転軸のばね常数を  $k$  とするとき、回転体にはたらく遠心力  $W/g \Omega^2 R$  と軸の復原力  $kR$  とのつりあいから

$$\Omega = \sqrt{kg/W} = p$$

となつて、ふれ回りの角速度は回転の角速度と無関係なこの糸に固有な値になる。この値はこの回転軸が横振動を行うときの固有圓振動数に等しく、また圓運動の半径

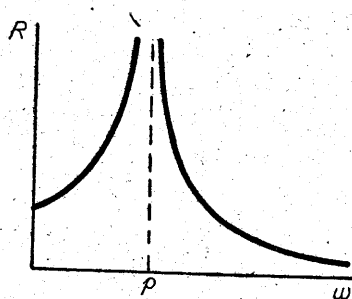


第3図

$R$  は外から働くじやまの大きさによって定まる。軌道が一般に楕円であるときにはふれ回りの角速度は  $p$  を平均値として周期的に変化する。実際に用いられる回転軸では工作その他の理由で回転体の重心  $G$  と軸の中心  $S$  とを完全に一致させることは困難でいくらかの偏心をまねかれない。この場合は第3図に示すように、軸のたわまないときの軸心の位置(軸受中心)を  $O$ 、軸のたわんだときの軸心および重心の位置をそれぞれ  $S$  および  $G$  とし、じやまの働かないときの簡単な運動を考えて見る。このとき重心  $G$  には遠心力が外側に、軸心  $S$  には軸の復原

力が内側に働いてつりあっているため、 $O, S, G$  が一直線になつて圓運動を行う。このときのふれ回り運動の角速度  $\Omega$  は軸の回轉角速度  $\omega$  に等しく、ふれ回りの半径  $R$  と回轉角速度  $\omega$  との関係は第 4 圖に示すようになる。すなわち回轉

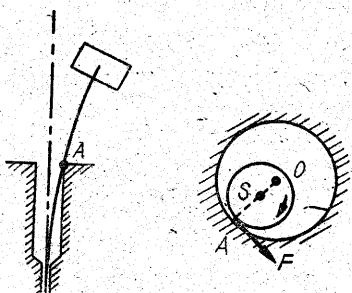
角速度が増すにつれてふれ回りの半径は次第に大きくなり、ある回轉角速度で無限に大きくなるが、さらに回轉が高くなると今度は減少して非常に速いところではほとんど零に



第 4 圖

なる。このふれ回りの半径が非常に大きくなる回轉角速度を軸の危険速度といい、これは回轉軸に固有な値であつて、上に述べた偏心のない回轉軸が圓運動を行うときのふれ回りの角速度  $\omega$  に等しい。このふれ回り運動は回轉角速度が危険速度以下のとき  $O, S, G$  の順に一直線、危険速度以上のとき  $O, G, S$  の順に一直線をなす圓運動である。またこの運動はごく一部の回轉速度の範圍をのぞいては安定で、外からじやまが働いてその状態が亂されてもじやまの影響は時間とともに消えることが多い。したがつて回轉軸の運動がこのような圓運動にかぎられるならば、軸の設計に當つて危険速度を使用回轉速度に比べてできるだけ低くとつておけば、常用回轉ではほとんどふれ回りのない状態が得られて理想的である。しかし回轉軸ではじやまがたえず働きたまじやまの影響がいつまでもなくならずむしろ増大することが多い。このような場合の主な原因と考えられるものに、軸と軸受または軸案内との間に潤滑油不足のため固体摩擦が働くこと、軸が潤滑油の中を運動するときの軸受壓力の影響、軸材料が内部摩擦によつてその應力歪曲線にヒステリシス現象を示すことなどがある。

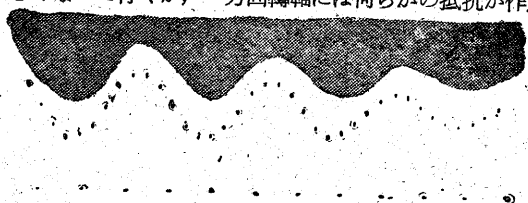
はじめに第 5 圖に示すように回轉軸が何かのじやまによつてたわみが大きくなり、回轉軸と軸受とが  $A$  點で接觸しそこに固体摩擦がはたらく場合を考える。今軸は時計方面に回轉しているとする、この摩擦力  $F$  は軸に對して反時計方向にはたらきそのため軸に對して軸自身の回轉をわずかに減らすモーメントのほかに、回轉軸を軸受中心  $O$



第 5 圖

はじめる。したがつて軸が  $A$  點で軸受に接觸すると回轉軸は回轉軸と反對方向にふれまわり運動をはじめ。この場合のふれ回り運動は第 6 圖に示すように、その半径が時間とともに大きくなって行くが、一方回轉軸には何らかの抵抗が作用

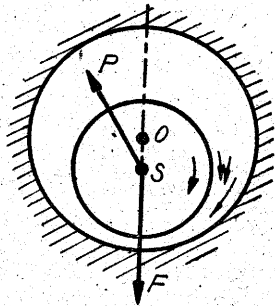
するから無限に大きくはならずほぼ一定値に落着く。このふれ回りの角速度はほぼ軸の危険速度に等しい。この現象を摩擦によるふれ回りという。



第 6 圖 ふれ回り運動の自勵的發達、波形の下  
のマークは軸の一回轉毎のマーク、最下端のマーク  
は 1/100 秒間隔の時間軸

つぎによく潤滑された軸受内を軸が運動する場合にはじやまがなければ軸は軸受中心において安定に回轉するが、何かの原因でじやまが働く

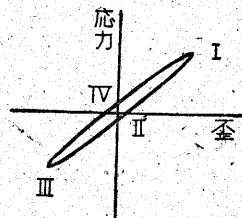
と軸は第 7 圖のように偏心の位置にくる。こうなると軸受荷重の合力  $P$  と遠心力  $F$  とのつりあいは得られなくなり軸を軸受中心のまわり



第 7 圖

に軸の回轉と同方向に軸をふれ回そうとする。この場合もふれ回り運動の發達の様子は第 6 圖と同様でありふれまわりの角速度はほぼ危険速度に等しいが、前者と比べてふり回りの方向が軸の回轉と同方向であることおよびふれ回りのおこるのが軸の回轉角速度が危険の速度の 2 倍以上のときであることが特徴で、これは高速度回轉軸の一つの障害となる。この現象を油膜によるふれ回りという。

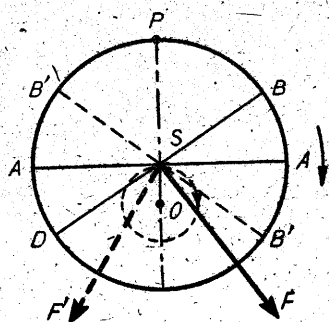
つぎに繰返し荷重のために材料の應力・歪曲線が第 8 圖に示すようにフックの法則からはずれてヒステリシス現象を示すときを考える。第 9 圖



第 8 圖

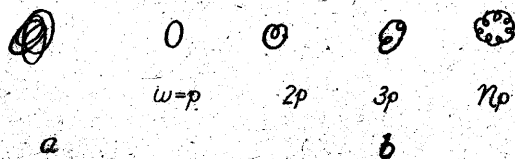
に示す軸が何かのじやまによつて  $O$  のまわりにふれ回り運動を行つているとし軸の回轉方向もふれ回りの方向も同じく時計方向とする。この場合軸は第 9 圖に示すようにたわんで  $AA$  の所では軸は伸びが零、 $AA$  より上半は伸び下半は縮んでいる。すなわち  $AA$  が歪の中立線であるとする。もし應力・歪曲線がフックの法則に従うのであれば  $AA$  は應力の中立線と一致するが、今はヒ

ステリシス曲線を示すので應力の中立線は  $BB'$  のようになつて歪の中立線と一致しない。それは軸上の  $P$  點に注目すると  $P$  點は軸の回轉角速度とふれ回りの角速度とが等しければ常に引張側にあるが、もし軸の回轉角速度がふれ回りの



第9圖  $O$  は軸受中心、 $S$  は軸心、實線の円は軸断面、點線の円はふれ回りの軌道

の角速度より大きいとすると  $P$  點は時計方向に移動して壓縮側に向ふ。すなわち  $P$  點の應力と歪との関係はヒステリシス曲線の II 側をたどる。したがつて應力の中立線は  $BB'$  のようになり  $BB'$  の上半は引張應力下半は壓縮力を受ける。そのため弾性力は圖の  $F$  のようにはたらくから、軸受中心  $O$  に向ふ復原力のほかに軸を回轉と同方向にふれ回そうとする。またもし軸の回轉角速度がふれ回りの角速度よりおそいときには弾性力は  $F'$  のようになり、これはふれ回りを減らすように働く。したがつて軸の回轉速度が危険速度よりも大きいときにヒステリシスによるふれ回り運動がおこり、その角速度は危険速度にほぼ等しい。軸材料の内部摩擦によるヒステリシスの程度は一般に小さいが、たとえば回轉軸と回轉體のはめあい部分に摩擦のはたらく場合にも同様な現象を呈し、それによつて危険速度より高い回轉でふれ回りをおこすことがある。これらをヒステリシスによるふれ回りという。これらのふれ回り運動はいずれも軸の運動自身によつておこり、運動が停止すればそれをおこす原因も消えるので、いわゆる自勵振動の一種である。これらの自勵的なふれ回り運動はいずれも何かのじやまが働くことがきっかけとなつてはじまり定常的に繼續する。また回轉軸ではこのほかに構造上あるいは駆動法によつてたえずじやまが働くため、自勵的でないじやまによるふれ回り運動がいつも存在することが多い。いずれにしてもこれらはすべてじやまによるふれ回り運動であり、そのふれ回りの角速度はほぼ軸の危険速度に等しいから、回轉軸の一般のふれ回り運動は回轉角速度に等しい角速度をもつた偏心による圓運動と、ほぼ危険速度に等しい角速度をもつたじやまによる運動とからなる。したがつて



第 10 圖

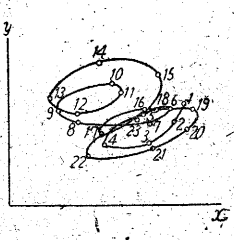
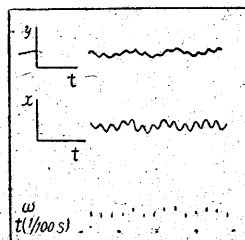
その運動の軌道は第 10 圖 a に示すように複雑で、たとえば回轉速度が危険速度の整数倍のときには第 10 圖 b のようになることはよく経験することである。

この回轉軸の運動に對して振動的見地からの設計は偏心による運動に對する危険速度の選擇とじやまによる運動をできるだけなくすることの注意の二つの問題になる。前者を設計でおさえることは可能でありまた材料の選擇および工作精度を上げることによつて偏心量を小さくすることはできるが、後者のすべてを設計だけで豫測することは困難である。じやまによる運動は特に高回轉になるほど影響が大きくなるので、高速回轉軸ではじやまによる運動の對策がむしろ設計の重點となる。また回轉軸の運動を測定する場合にはこれら二種類の運動を區別し得る測定法によらなければその原因を探究することができない。たとえば第 10 圖のような運動に對してふれ回りの振幅の最大値と回轉速度を測定しただけでは運動の原因あるいは危険速度を求めることはできないであらう。

紡績のスピンデルはこのような複雑な運動を行うよい例である。構造上より見るとブレードはワープの所でテープ張力を受けつつ回轉し、インナーチューブはボルスータ内で回轉はできないが運動可能であり、ブレードの支持條件は複雑であるなどじやまのはたらく豫想はきわめて大きい。つぎにスピンデルの運動を測定して見る。スピンデルの振動計にはいろいろあるが、すでに述べたように單に回轉角速度と最大振幅とを測定しただけでは運動の解析に不十分であるので、筆者は次のような二種類の測定法と、結果として得られるふれ回り運動の振幅と回轉速度との關係を示す共振曲線の整理方法を用いた。

**I 型測定法** スピンデルの簡便測定用として、スピンデルブレードの先端のふれ回りの軌道を光學的に擴大して寫眞撮影すると同時に、回轉速度をストロボで測定する。この方法は簡易測定法であつて運動をくわしく解析するには適當でない。

**II 型測定法** スピンデルのふれ回り運動の直角二方向の射影の振動波形を光學的方法で撮影するとともに回轉運動を同時に記録する。この方法による記録の一例が第 11 圖 a で  $x$  はテープ張力の方向、 $y$  はそれに直交な方向の波形、 $\omega$  は軸の 1 回轉をあらわすマーク、 $t$



第 11 圖

は 1/100 秒の時間軸をあらわす。この  $x, y$  の波形を合成してふれ回りの軌道を求めたものが第 11 圖 b である。

**共振曲線** II 型測定法による記録から  $x$  および  $y$  方向につき、軸の回転角速度の圓振動数をもつた偏心による運動の振幅 (たとえば第 15 圖の  $A_1$ , ○印), 軸の回転角速度 ( $N_1$ , ⊗印), 偏心による運動とじやまによる運動とを合成した最大振幅 ( $A_2$ , ●印), じやまによる運動の角速度 ( $N_2$ , ●印) を求めそれらを區別して共振曲線に示す。

はじめにより糸用スピンドルについてインナーチューブとボルスターとの間にあるばね (以下單にばねとよぶ) を  $x$  軸 (テープ張力の方向) に一致させたときの I 型測定法による共振曲線

を求めると第 12 圖

A 曲線のようにな

る。この曲線から

は危険速度は決め

難いがふれ回りの

軌道から見て危険

速度は約 6000 r.p.m. 近くにあつて

10000 r.p.m. を超え

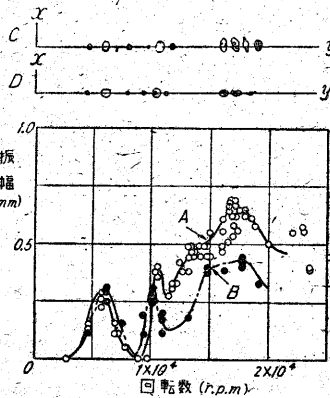
ると最大振幅はか

なり大きくなる。

このときのふれ回

りの軌道を示した

ものが第 12 圖 C



第 12 圖

で、これを見ると危険速度の近くではほぼ  $x$  方向に長い楕圓であり、また比較的簡単な圖形を示す 12000 r.p.m. および 18000 r.p.m. 近くではそれぞれの回転速度の 1/2 あるいは 1/3 のしたがつて約 60000 r.p.m. の角速度をもつた運動の加わつたものと見なすことができる。これはすでに述べたように危険速度にほぼ等しい角速度をもつたじやまによる運動があらわれていることを示す。この危険速度の所の軌道は  $x$  方向に長い楕圓であるが、これをばねの方に長いものとも考えられるので、つぎにばねの方向を  $y$  方向に變えて實驗して求めた共振曲線が第 12 圖 B 曲線で、そのときのふれ回りの軌道が D である。この場合ふれ

回り運動はほとん

どすべてが  $y$  方向

に長い軌道となる

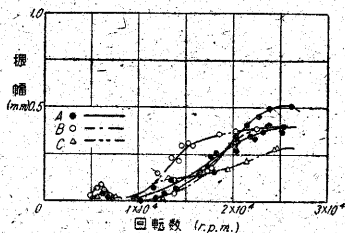
とともに、最大振

幅の傾向は前と同

じであるがその値

は前にくらべて小

さい。これはじや



第 13 圖

まによる運動が小さいため、前者ではばねとテープ張力と同方向であるのに對し後者ではそれらが直交しているためと考えられる。

つぎに精紡用 JES 型スピンドル についてばねが  $x$  方向にはたらくときの I 型測定法による共振曲線を第 13 圖に示す。數本のスピンドルについて實驗した結果は危険速度が 6000~7000 r.p.m. であるが、10000 r.p.m. 以上の回転で最大振幅の傾向がやや異なり、第 13 圖における  $A, B, C$  などの型に分類される。 $A$  型はふれ回りの軌道が太體より糸スピンドルの場合に述べたものに似ており、 $B$  型は  $x$  方向に非常に細長い楕圓またはひょうたん形、 $C$  型はほとんど圓形で最大振幅も小さい。この原因はじやまのあらわれ方が異なるため、同じスピンドルでもインナーチューブを

ボルスターに入

るときの入れ方

によつても異なる。こ

れはばねの取りつ

け状態がわずかに

變するためと考えら

れる。そこでばね

をのぞいたものお

よびばねを  $y$  軸に

一致させたものにつ

いて求めた共振

曲線が第 14 圖で、

この場合にもより

糸スピンドルの場

合同様に高回転

で最大振幅が約半

分になる。これら

のことからじやま

による運動にはば

ねの影響の大きい

ことがわかる。こ

のスピンドルを II

型測定法で測つた

共振曲線の一例を

第 15 圖に示すが、

これを見ると偏心

による運動の危険

速度は 2 個あるこ

と、高回転ではじ

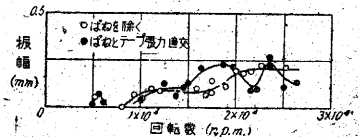
やまによる運動が

かなり大きいこと

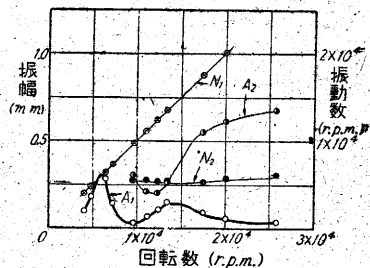
がわかる。またこ

のスピンドルに木

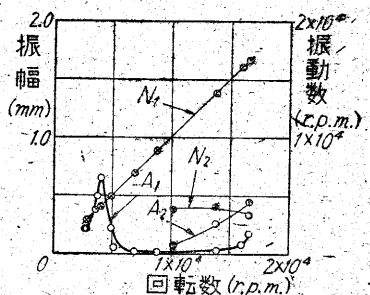
管を取りつけて II



第 14 圖



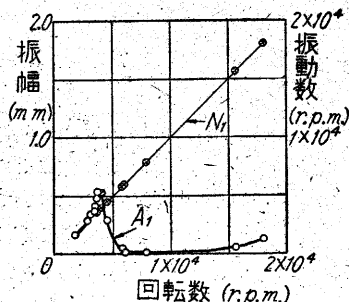
第 15 圖



第 16 圖

による運動の危険速度は 2 個あること、高回転ではじやまによる運動がかなり大きいことがわかる。またこのスピンドルに木管を取りつけて II 型測定法によつて求めた共振曲線を第 16 圖に示すが、その傾向はこれまでのものと同様であるがもしじやまを除去することができれば低い危険速度を通過したあとにはほとんど振動しない状態が得られそうである。そこでブレード、インナーチューブ、ボルスター間のすき間を非常に小さくしてばねをの

ぞいたものについて同様に共振曲線を求めたところ第17圖のように高回転におけるじやまの影響をのぞくことができた。しかしこの場合でもややもするとじやまが発生しがちであ



第 17 圖

つてこれはテープ駆動に原因するものと考えられる。

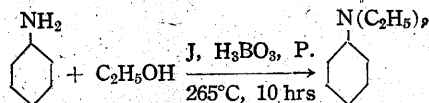
スピンドルの運動は偏心による運動のほかにじやまによるふれ回り運動を常にとりなす。じやまの原因にはばね、テープ、軸受隙間の問題などが考えられる。これらの関係は微妙でそれをわずかに変更してもふれまわり運動には大きく影響する。その偏心による運動の危険速度は2個あるから、常用回転数は両者の中間かできれば両者を超した所にもつて行きたい。しかしこの場合には一

般にじやまによる運動があらわれ高回転につれてこの影響は大きくなるから、これを除去するように設計上注意すべきである。それにはばねをなくすか、ばねを使うのであれば、ばね常数の吟味とばねが各方向に一樣に作用するようにする。インナーチューブの設計を適宜にしてこれをブレードの吸振器として役立てるのも一方法である。テープ駆動はじやまの原因となりやすいので、テープによるじやまから回転軸を遊離できるような構造を考えるか、できれば他の駆動法を考えることである。軸受隙間は現在のものは大きすぎるから設計上十分検討する必要がある。また自励的なふれ回り運動のおこるぬように軸受の構造、給油法、ブレードの構造などを考える必要がある。なおこれらのほかに危険速度を通過する場合の安定装置を考えておかなければ、多くの場合危険であると同時に危険速度を越えて回転を上げることができない。スピンドルは複雑な運動を行う回転軸であるが偏心による運動は理論的に求めることができるから、要はじやまによる運動の発生をなくすることである。(26・10・1 受)

## 速報 32 ジエチル・アニリンの新合成

永井芳男・田邊正士・今戸昭二

ジエチル・アニリンは天然色寫眞の Developer パラミン製造の必須原料その他として重要であるが、現在工場ではもっぱらアニリン・鹽酸アニリンの組合せを耐酸オートクレーフ中に反応させてモノエチル・アニリンと共にジエチル・アニリンを得ているが、反応途中発生する鹽酸ガスのためオートクレーフは耐酸材料である必要があり、なかなか新設にはコストがかかる。わたし共はこの点を考慮し、アニリン・エタノールの組合せに沃素・硼酸・燐による觸媒(日本特許 177283)を用い、オートクレーフ器材の腐蝕を極力さけることにより常用鑄鐵のもので充分間に合うことを知った。



今、アニリン 1235 部、エタノール 2471 部を沃素 10 部、正硼酸 2 部、赤燐 1 部と共に 265°C に 10 時間、オートクレーフ中に反応させた後、反応生成物はまず鹽化ベンゾイル法により、ジエチル・アニリンを、H 酸-ジアゾ化法によりアニリンを定量した後、精密分留に附して各成分を分離した。ジエチル・アニリン 1518 部對理論 76.8% である。この際、モノエチル・アニリンはほとんどなく、アニリンが未反応として殘餘の大部分をしめている。アニリンとエタノールの混合體に觸媒として沃素だけを用いる實驗では對理論 56.6% である。收率の向上に關してはさらに研究中であり樂觀的である。

(これは昭 26 文部省科學試驗研究費による研究の一部である。)

(26・9・19 受)

## 新 年 號 豫 告

(第 4 卷 第 1 號 1952 年)

### 研 究

齒車ポンプの研究.....宮津 純  
無機鹽類結晶の變形.....岡 宗次郎  
ジャイロスコープの力學的研究.....末岡 清市  
メツキの厚さ測定法.....久松 敬弘  
菅野 昌義

學校とアパート構造の設計資料.....坪井 善勝  
富井 政英  
金屬薄板の試験法.....山田 嘉昭  
輪竹千三郎  
ラッピングについて.....松永 正久

その他 海外研究情報・實驗ノート・研究速報等