

日立 20P 形分離用高速遠心機

Hitachi High Speed Centrifuge for Preparative Work, Type 20 P

大 原 保* 山 口 政 昭*
 Tamotsu Ohara Masaaki Yamaguchi

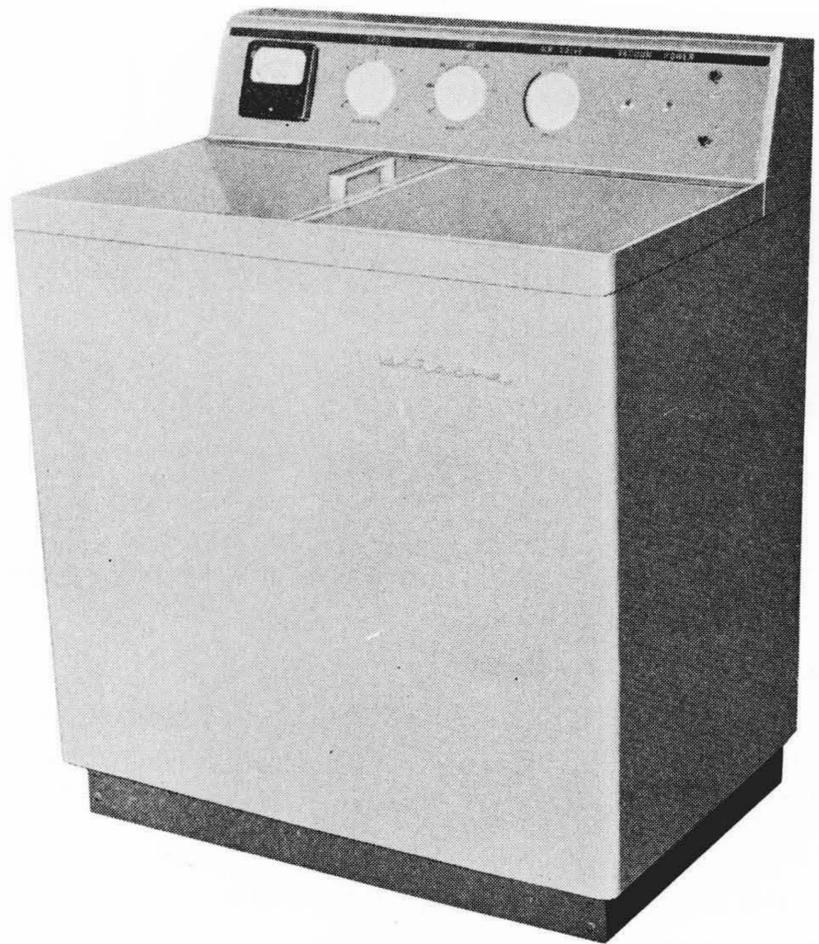
内 容 梗 概

今回新しく製作した日立 20P 形分離用高速遠心機は最高回転数 20,000 rpm, 最大遠心加速度 $41,600 \times g$ の性能を有する。ロータは真空室内で回転し、自動制御装置により任意の回転数に整定される。ロータの温度上昇が小さいこと、循環式給油方式を採用したことなど多くの特長をもっている。本文では 20P の仕様、構造、特性の概要を説明する。

1. 緒 言

すでに製作されている日立 40P 形分離用超遠心機は最高回転数 40,000 rpm, 最大遠心加速度 $144,000 \times g$ の性能を有するわが国唯一の製品で医学、生物学、化学などの研究分野で活躍している。また小形遠心分離機では、最高回転数 16,000 rpm, 最高遠心加速度 $30,000 \times g$ 程度のもので市場に出ている。しかし研究の対象となる試料によっては $100,000 \times g$ をこえる強力な遠心加速度は必ずしも必要ではないが、かといって $30,000 \times g$ では不十分だといわれるものもある。この点に注目して 20P は両者の中間的性能を有するように意図したもので、特に高い信頼性と取扱いやすさに留意した。

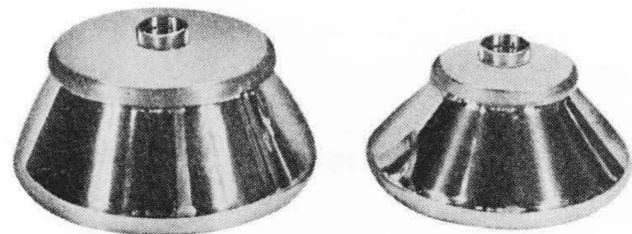
第 1 図に 20P の外観を、第 2 図にロータを示す。



第 1 図 日立 20P 形分離用高速遠心機

2. 仕 様

(1) 形 式	20 P	
(2) 最 高 回 転 数	20,000 rpm	
(3) 最 大 遠 心 加 速 度	$41,600 \times g$	
(4) 到 達 真 空 度	10^{-2}mmHg	
(5) 駆 動 モ ー タ	直巻電動機 出力 350W	
(6) 速 度 自 動 制 御 装 置	磁気増幅器方式	
回 転 精 度	$\pm 500 \text{rpm}$	
(7) 電 源	AC 100 V 1.5 kVA	
(8) ロ ー タ		
ロ ー タ 種 類	RPH 20	RPH 13
最 高 回 転 数	20,000 rpm	13,000 rpm
最 大 遠 心 加 速 度	$41,600 \times g$	$20,000 \times g$
容 量	35cc \times 6	35cc \times 12
外 径	198 mm	227 mm
遠 心 管 角 度	40°	26°
重 量	4.0 kg	7.2 kg



左 RPH13ロータ 右 RPH20ロータ

第 2 図 ロ ー タ

3. 構 造

構造の概要を第 3 図に示す。ロータ室、駆動部、真空ポンプ、自動制御装置などはコンパクトに収納できるように設計した。本体上部後方には操作盤を配置している。ロータをカップリングに取付け、真空ポンプを運転し、希望回転数、希望運転時間にダイヤルを設定してスタートボタンを押せば、自動制御によりロータを回転させる構造とした。

3.1 ロ ー タ 室

ロータ室を真空にした理由をまず述べる。外径 198 mm の回転円板が空気中にて 20,000 rpm で回転しているとき、レイノルズ数を圧力の関数として求めてみる。回転円板のレイノルズ数は次式で表

される。

$$Re = \frac{\omega r_0^2}{\nu} \dots \dots \dots (1)$$

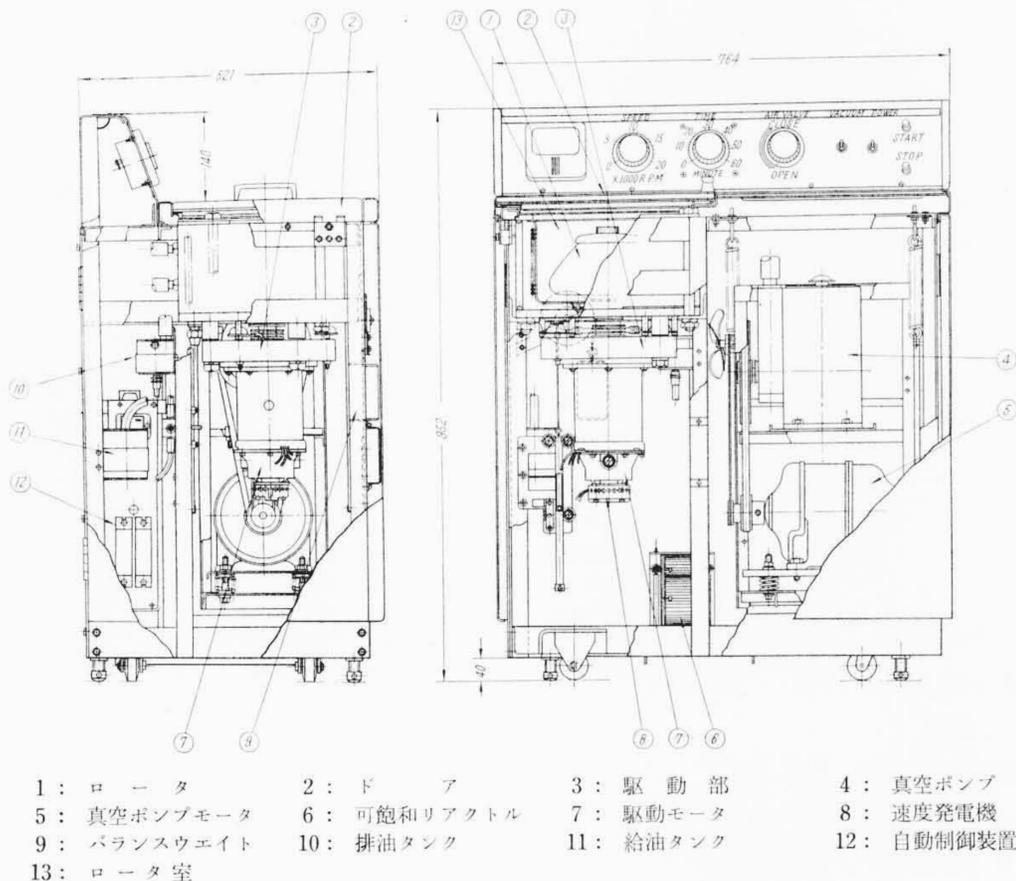
ここに Re : レイノルズ数
 ω : 円板の角速度 rad/s
 r_0 : 円板の半径 m
 ν : 空気の動粘性係数 m^2/s

また ν は次式で表される。

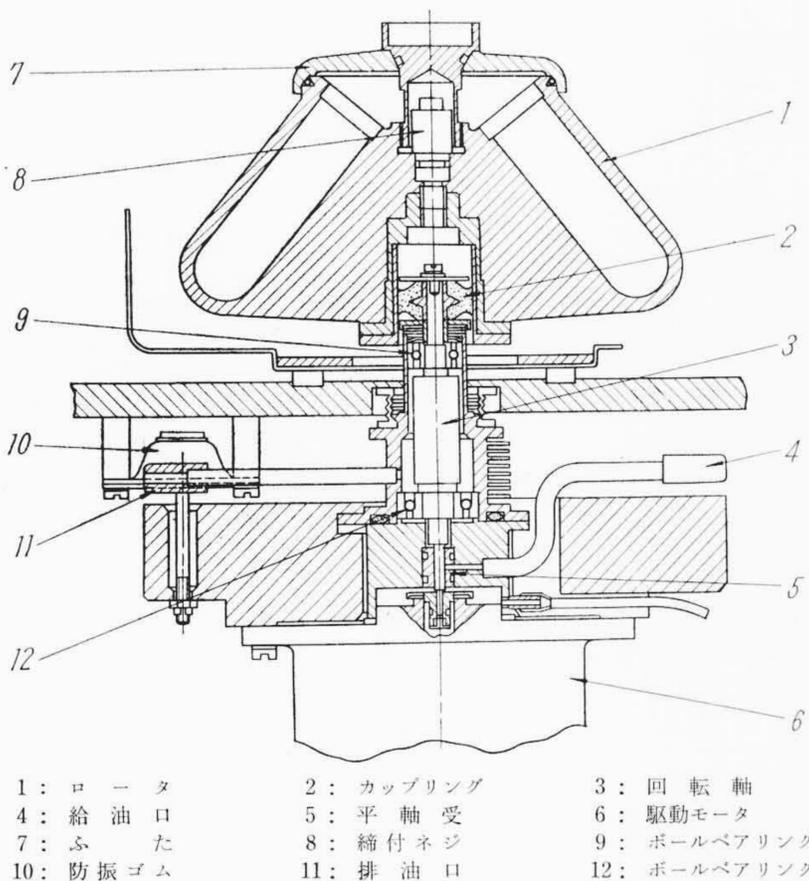
$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \dots \dots \dots (2)$$

ここで μ : 粘性係数 kgs/m^2
 ρ : 密度 kgs^2/m^4

* 日立工機株式会社



第3図 20P の 内 部 構 造



第4図 駆 動 部 の 詳 細

簡単のために空気は温度が15°Cの乾いたものと仮定する。空気の μ , ρ を(2)式に代入し、圧力の関数として ν を求めると、

$$\nu = \frac{1.13 \times 10^{-2}}{H} \text{ m}^2/\text{s} \dots\dots\dots (3)$$

H : 空気の圧力 mmHg

(3)式の ν を(1)式に代入して回転円板の Re を求めると次式のようにになる。

$$Re = 3.9 H \times 10^6 \dots\dots\dots (4)$$

Re 数が 10^5 より大きい時には円板表面の境界層内の流れは乱流となるといわれている⁽¹⁾⁽²⁾。(4)式によれば圧力が0.1 mmHg以上は大體乱流と考えて良い。この場合回転体の上下面や周壁の摩擦抗力(モーメント)は空気の圧力(密度は圧力に比例する)の $\frac{1}{4}$ 乗に

比例する。

すなわち大気圧中でロータを回転させるに対して、1 mmHg 程度の真空中では摩擦抗力は数百分の一に減ずる。

以上の理由によりロータ室は 10^{-2} mmHg程度の真空にしている。ロータに及ぼす空気の摩擦抗力はほとんどないと考えて良い。したがってあとで説明するように、駆動モータはかなり余裕のある設計ができ、空気との摩擦によって生ずるロータの温度上昇もほとんどない。

3.2 駆 動 部

一般の遠心機は低速のうちに危険速度を通過させ、常用回転数をその上にとり、危険速度の低下と自動調心を行うために回転軸をたわみ性になっているが、ロータを装着する時に注意しないと回転軸を曲げてしまう恐れが多分にある。20Pでは回転軸に剛性を与え、その先端に取付けたゴムのカップリングによってたわみ性を与えている。ゴムの大きな弾性のためにロータを不用意にカップリングに装置しても回転軸そのほかを損傷することはない。

駆動部をつっている防振ゴムは駆動モータやロータによって生じた微小振動を本体にまで伝えないためのものである。バネとしてゴムのカップリングと防振ゴム、質量としてロータと駆動部(駆動モータを含む)とから成る振動系は二つの主要な危険速度をもつ。

RPH 20 ロータを用いた時の第一次のものは約 900 rpm、第二次のものは約 2,200 rpm であられる。危険速度を通過した 2,500 rpm 以上ではロータは安定して回転する。また 100 g-cm 程度のアンバランス量でも自動調心できるので、ロータにそう入する試料のバランスを厳密にとる必要はない。

回転部分の真空密封は平軸受と回転軸の間に満されたタービン油の粘性によって行っている。真空によってロータ室に吸引されたタービン油は上下のボールベアリングを潤滑し排油口より排油される。ボールベアリングには超精密級を使用し、高い寿命と静粛な回転を得ている。平軸受より下部に漏れた油はわずかでも駆動モータに入ると、カーボンブラッシに付着しコンミテータを荒し、整流不良にする恐れがあるので、パイプにより外部にすてられる。ロータの取付けはカップリングにはめこみ締付ネジによって固定する。遠心管をロータに入れるのはここで行っても良い。その後ロータにふたをかぶせる。いずれも“O”リングを用いてロータの中が真空にならないようにしている。

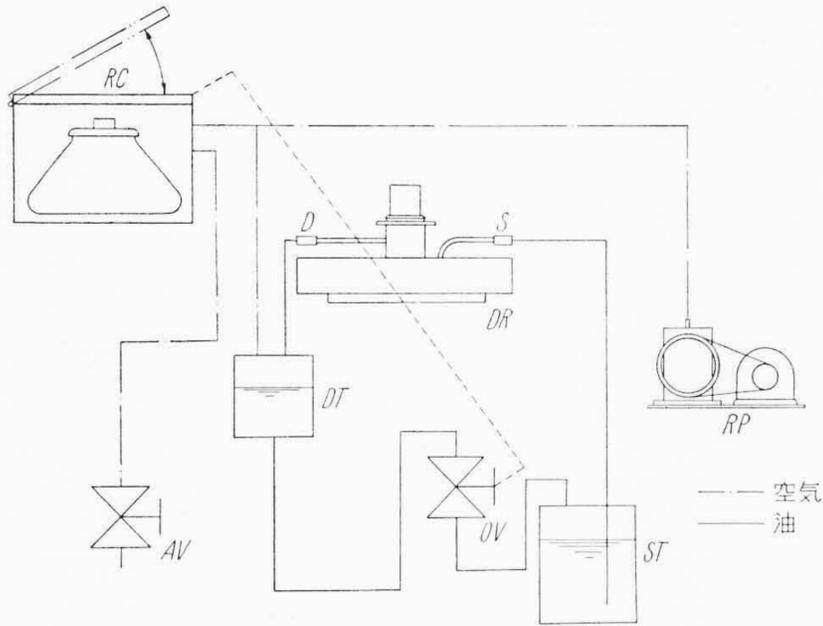
3.3 ロ ー タ

ロータは高速に回転している時には強大なエネルギーをもっている。もしロータが破壊して外部に飛散するようなことがあると、きわめて危険なので、ロータの設計や使用材料には特に留意している。すなわち局部応力、平均応力などを厳密に計算して細部寸法を決定し、材料には耐食アルミニウム合金61S-T6(引張り強さ 29.6kg/mm² 以上、伸び 0.2%のときの耐力 24.6 kg/mm² 以上)を用い、超音波探傷試験によって一個一個内部に欠陥のないことを認めてから使用している。

ロータにはアルマイト処理を行い耐食性をもたせている。ロータにそう入される遠心管は日立40P形分離用超遠心機と同一のものを使用し互換性を与えている。

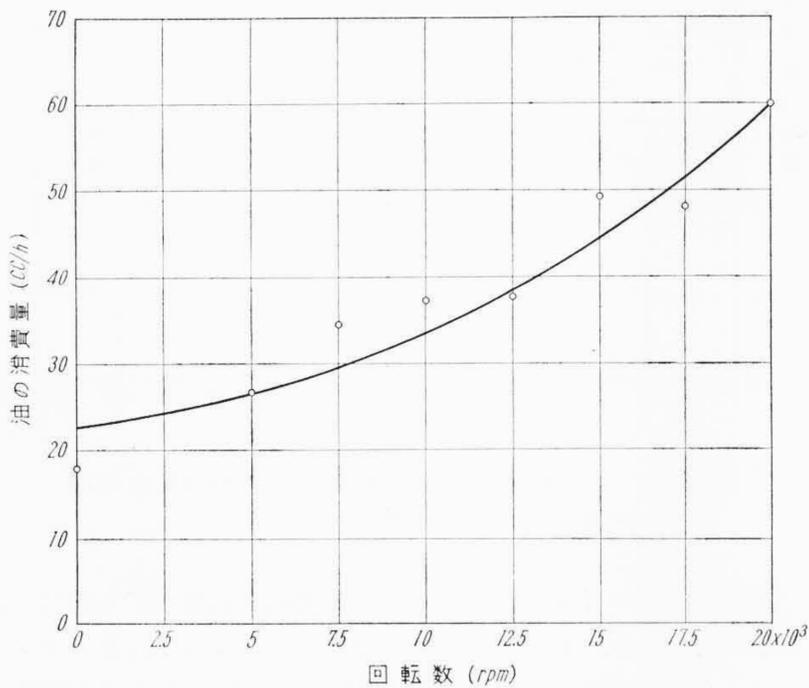
3.4 駆 動 モ ー タ お よ び 速 度 発 電 機

20P形高速遠心機においては、増速歯車を使用せず駆動モータに直結でロータを駆動する構造になっており、今までにない高速回転、



RC: ロータ室 AV: 空気弁 D: 排油口
 DT: 排油タンク S: 給油口 DP: 駆動部
 OV: 油弁 RP: 真空ポンプ ST: 給油タンク

第9図 給油および真空の系統図

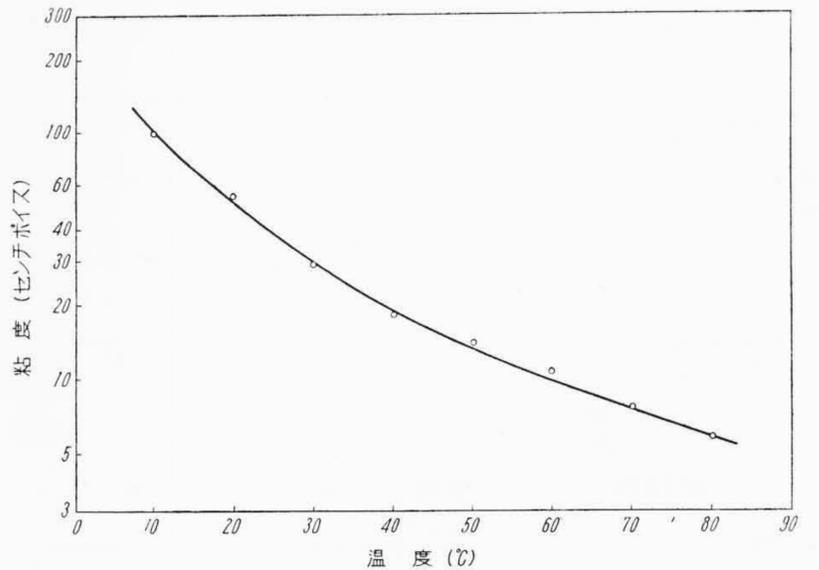


第10図 ロータの回転数と油の消費量との関係

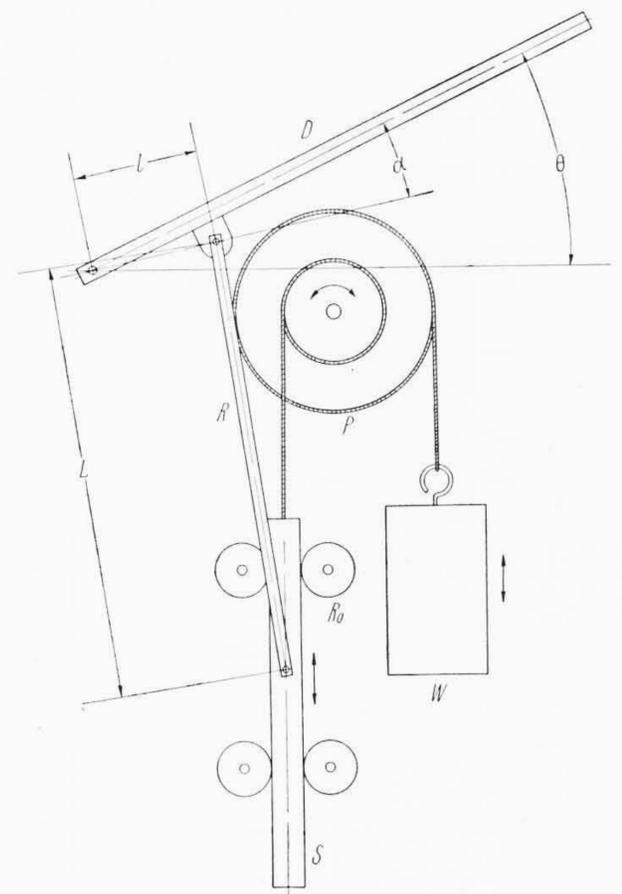
磁気増幅器の一種であって全波ブリッジ形整流器の相隣合う辺を半波形回路で置換えて直流出力をうる回路形式の全波ブリッジ形を用いた。コアには東北金属株式会社のセンデルタ(0.1×20×50×65)を用い整流器には特に磁気増幅器として作られている逆方向特性のすぐれたセレン整流器を使用している。第8図は磁気増幅器の特性曲線である。

3.6 給油系と真空系

一般に回転軸の真空密封を行うために、平軸受に満される油は位置水頭が与えられている。しかし負の位置水頭にしてもロータ室が真空になっているために、平軸受には水銀柱760mmの圧力水頭が生じ平軸受に油が満されるので、真空密封が可能である。実験的に求めてみると平軸受より給油タンクが200mm下に位置していても十分 10^{-2} mmHg程度の真空に保持できる。この原理を利用して駆動部の給油を循環して行っている。これを第9図によって説明する。給油タンクは駆動部内の平軸受(第4図参照)より約200mm下に取付けられている。ロータをカップリングに取付けロータ室のドアを閉めるとドアと連動して油弁が開く。次に空気弁を閉めて真空ポンプを動かしてロータ室を真空にする。給油タンクの油は前に説明したように平軸受内に吸引され真空密封を行い、ボールベアリングを潤滑して排油口より排油タンクにたまる。排油タンクは給油口より下



第11図 油の粘度特性



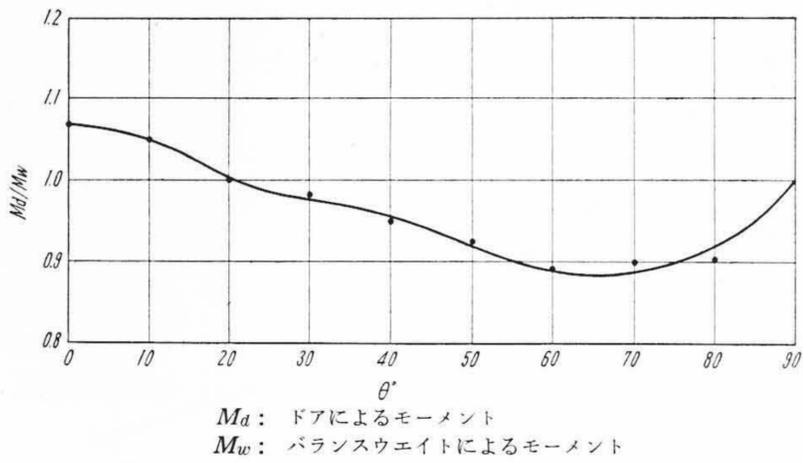
D: ドア Ro: ローラ
 P: プーリ S: 滑子
 R: 連結棒 W: バランスウエイト

第12図 ドア開閉装置の略図

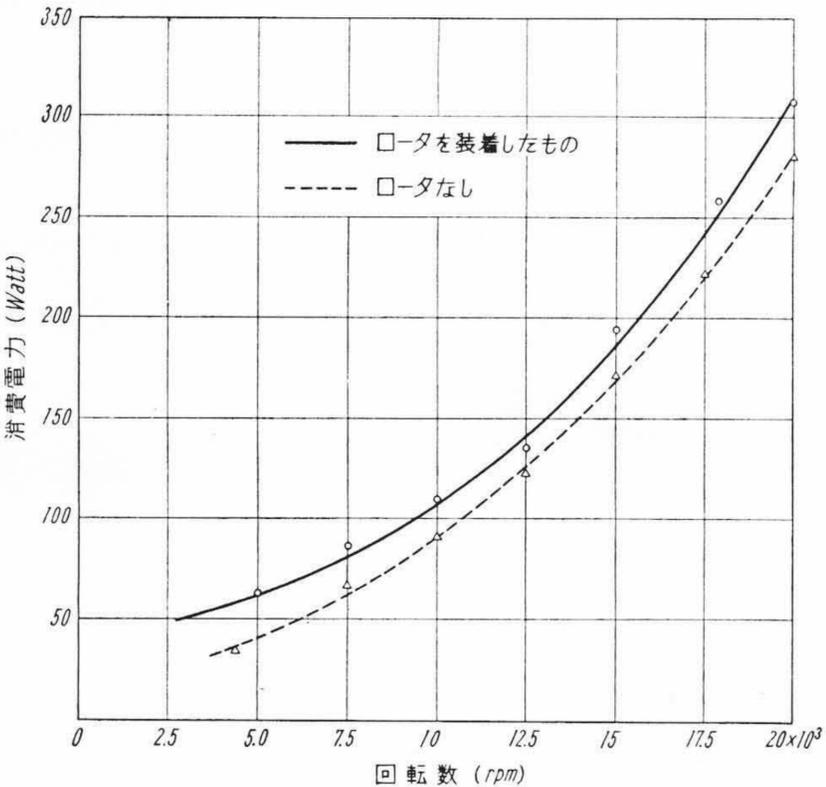
に、また給油タンクより上に位置している。排油された油の量すなわち油の消費量を第10図に、使用している油の粘度特性を第11図に示す。油の消費量はロータ回転数とともに多くなるが、これは平軸受部分の温度が回転数とともに上昇し、油の粘度が低下するためである。ロータが20,000rpmしている時、平軸受の温度上昇は約30°Cである。次にロータを停止させ、ロータ室より取り出す時には、ドアと連動して油弁が開くのでロータの回転中に排油タンクにたまった油は給油タンクに流れ出る。ロータをロータ室より取り出した後カップリングに取付けたりするにはこの程度の時間を要する。この間ドアは開かれているので、排油タンク内の油は十分流れ出ることができる。排油タンクはロータを20,000rpm、2時間運転させるに十分なる容量に設計されている。このように真空密封と潤滑に用いられる油は循環して使用されるので、油の量を常に監視したり時々給油したりする手間がいらぬ。

3.7 ロータ室のドア

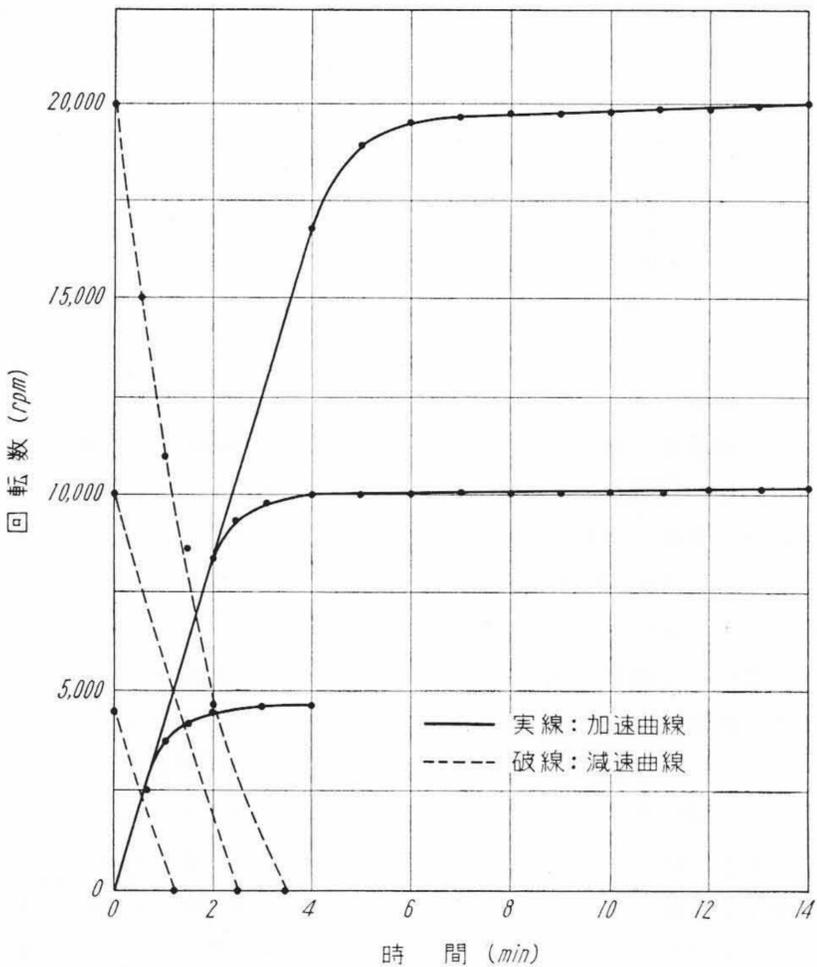
ロータ室のドアは迅速に開閉できるように意図して、上に開く方式にしている。大気圧に耐えるにはドアの厚みを増し、したがって



第13図 ドアの開き角度と M_d/M_w との関係

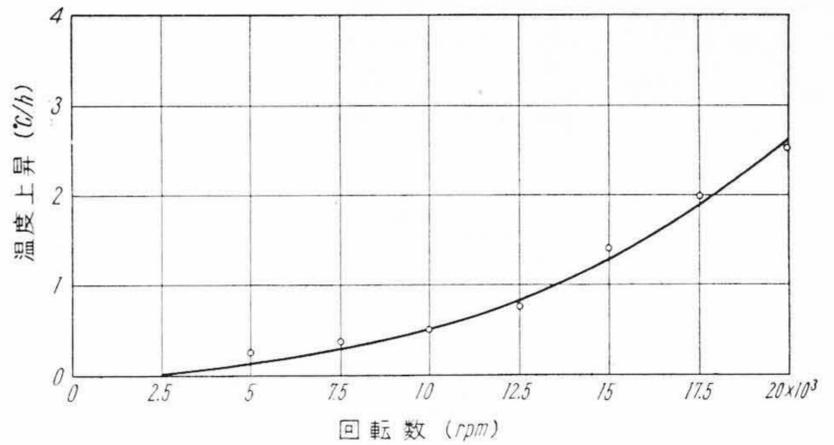


第14図 駆動モータの消費電力

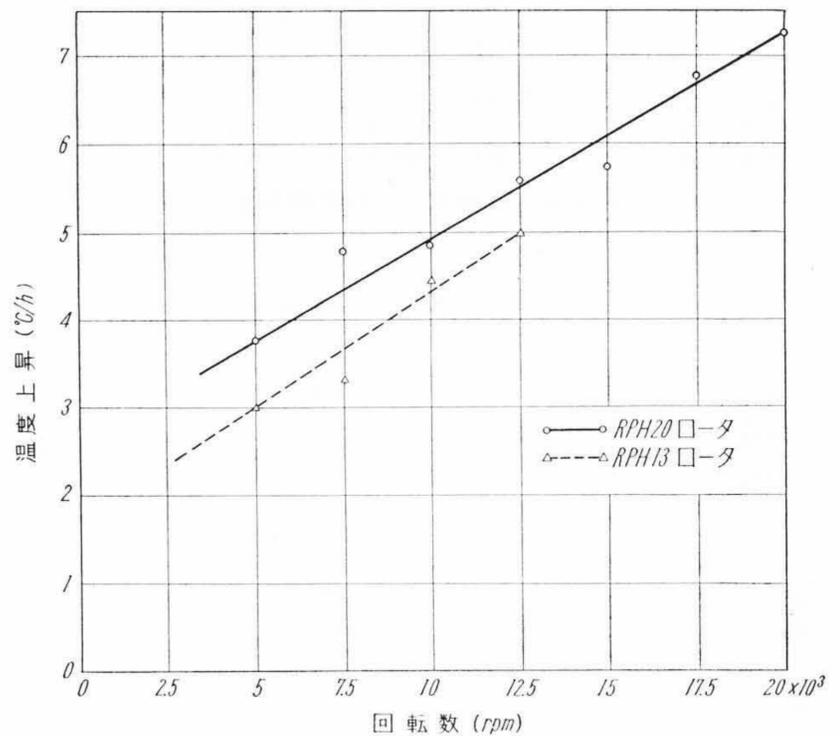


第15図 ロータ (RPH 20) の加減速特性

重量を増さねばならぬので、バランスウエイトを付けて軽快、円滑に開閉できるようにしている。第12図にバランス機構の略図を示



第16図 ロータの温度上昇と回転数との関係



第17図 ロータ温度を室温 20°C 以下に冷却した時の
 ロータの温度上昇と回転数との関係

す。バランスウエイトの重量はプーリで増幅されてドアと釣合う。
 $l/L=1/5$, $\alpha=10^\circ$ に選んでドアによるモーメント M_d とバランスウエイトによる逆向きのモーメント M_w の比 M_w/M_d を θ の関数として示したものが第13図である。 θ が 20° より小さい時には、 M_d/M_w となるのでドアは自重によりパッキングの上に乗る真空を保持できる。 θ が 20° より大きい時には M_w/M_d となるので、力を特に加えないでも開くことができる。ロータが高速回転している時に誤ってドアを開けると、ロータは大気にさらされて急激に逆トルクがかかり、駆動モータに過大な電流を流したりロータが加熱されたりする。しかしロータ室が真空の時はドアは大気圧によって圧されているので、ドアを開くことができず安全である。

4. 特 性

4.1 駆動モータの負荷

ロータは真空中で回転するので、ロータと空気との摩擦損失がない。第14図にロータを取付けた場合と取付けない場合との駆動モータの消費電力を示す。ロータを取付けた場合は駆動モータの負荷が増加するのはわずかである。この増加はロータを取付けることによってボールベアリングにスラストが加わるためと考えられる。ロータを取付けても駆動モータはほとんど単体で回転するだけの出力しか要求されないから、駆動モータはかなり余裕をもって運転される。駆動部のハウジングの温度上昇は 20,000 rpm の時でも 20°C 以下である。

4.2 ロータの加速度

ロータの加減速を早くすれば試料の分離が迅速にできて都合が良

い。第15図に加減速特性を示す加速時に自動制御装置によって駆動モータは一定トルクをロータに与え、また真空中のためロータを回転するのに必要なトルクを回転数によって増加しないので、整定回転数直前まで一定加速される。減速は電氣的ブレーキ（発電制動）によって行われている。したがって従来の小形遠心分離機に比べて加減速を短時間に行うことができる。

4.3 ロータの温度上昇

ロータが回転中に温度上昇すると対流によって折角分離した試料が拡散するし、試料が生物の場合には特性を変化させたり、死滅させたりする恐れがある。20Pではロータは真空中で回転し空気との摩擦による発熱がなく、温度の高い駆動部とは熱の不良導体であるゴムのカップリングで連結されているので、ロータの温度上昇はほとんどない。第16図はロータ各回転数で1時間回転した時の温度上昇を示している。またロータを室温以下に冷却して回転しても、温度上昇はさほど多くない。これは上記の温度上昇のない理由に加えて、真空のため対流が生じないので、外部より熱がロータにわずかしか伝達されないことによる。ロータの温度を室温より20°C低下させて1時間回転した時の温度上昇を第17図に示す。20Pには冷

凍機は内蔵されていないが、ほかの手段によってあらかじめロータを冷却しておけば、低温の分離が可能である。

5. 結 言

以上日立20P形分離用高速遠心機の概要、構造および特性について述べた。本機はこの種の高速度遠心機としてはその性能を一段と飛躍させたものであり、数多くの新しい考案が取り入れられている。なお本機の試作研究の過程において習得した経験をUCA-1形分析用超遠心機、40P形分離用超遠心機などほかの遠心機関係の改良に役立てて行きたい。

終りにあたり、常にご指導、激励を賜った徳重課長はじめ、本機の試作ならびに実験に直接担当された関係各位に深く感謝の意を表わす次第である。

参 考 文 献

- (1) J. W. Daily, R. E. Nece: Trans. ASME, Series D, Vol. 82, No. 1, p. 217~232 (1960)
- (2) 藤本武助: 応用流体力学 460 (昭 16)
- (3) Ranch, Tohmson: TAIEE Power Apparatus System, Dec., p. 1261~1268 (1955)



特 許 と 新 案



特許第260537号

和田正脩・小林長平
松本一雄

放 射 線 治 療 装 置

この発明はX線そのほかの放射線による深部治療装置に関するもので、基台1に支持された回転軸2に線源容器3を取付けた摺動杆4と鉛製しゃへい板5を取付けた摺動杆6とを回転中心軸X-Xに対して対称的に支持させ、寝台7に患者を寝かせて治療する場合にはこれら2個の摺動杆4,6を回転軸2の中央部に支持されたレバー8にピン9,10で連結し、回転軸2をX-X軸のまわりに回転させると同時に、電動機11により送りネジ12、ナット13をかいてレバー8を駆動し線源容器3としゃへい板5を互に向い合ったままX-X軸と平行に往復運動させる。また線源容器3にはレバー8に連結した摺動杆14によって首振り運動を与え、放射線をX-X軸上の一点

Pに集中して照射する。しゃへい板5はこの場合放射線の後方への散乱を防止する役目をするが、患者を椅子に座らせ線源容器を一定位置に固定して照射する場合にはしゃへい板5がじゃまになることがある。そのようなときはハンドル15を回せばピン10がレバー8からはずれ摺動杆6が自由になるから、しゃへい板を鎖線5'で示すように回転軸2の側に片寄せることができる。

この発明によれば集中照射を行う場合にはしゃへい板を線源容器と連動させて放射線の散乱を防止し、必要に応じしゃへい板を駆動機構から切離して側に片寄せ座位治療を行うことができるので、使用上便利である。(坂本)

