

クリーンポンプ(汚水・汚物用水中ポンプ)シリーズの開発

A Study on Submersible Sewage Pumps

近年、都市下水、住宅団地などの生活廃水、生産設備からの産業廃水、その他種類の廃水処理する処理設備が整備されつつある。

日立製作所ではこれに対処するため、汚水・汚物用水中ポンプシリーズの製品化を図ることにした。

開発に当たっては汚物の通過性が良いこと、保守点検が容易であること、信頼性が高いことを目標とし、種々試作研究の結果、諸条件を十分に満たし、クリーンポンプシリーズとして製品化することができた。

市川 秀 昭* *Ichikawa Hideaki*
大和田武義* *Ôwada Takeyoshi*

1 緒 言

汚水・汚物用水中ポンプは、生活廃水の処理、産業廃液の処理の各工程での汚水・汚物水の移送用、更に建物の汚水・汚物水の排水用として多種多様なものが必要とされている。

日立製作所では、これら各種用途に用いられる汚水・汚物用水中ポンプを、クリーンポンプシリーズとして開発製品化した。

このクリーンポンプシリーズは、一般用途のポンプと比べ、扱い液が特殊であることから、
(1) 対象とする扱い液中に含む夾雑物で閉塞しないこと。
(2) 保守、点検が容易であること。
(3) 用途に応じてポンプ自身で自動運転が可能であり、また各種保護装置を内蔵させるなど、ポンプを高機能化し、使いやすいものとする。こと。
を主眼として開発した。

2 シリーズ化の設定

シリーズ化に当たっては、建物排水用、廃水処理場の処理水移送用及び道路排水用に主として用いられるポンプを対象とした。これらの用途で扱われる液は種々雑多であるが、液

質を汚水、雑排水、汚物水に分類し、表1に示すようにそれぞれの用途向けのポンプを口径40～500mm、モートル出力0.25～75kWの範囲について製品化した。

3 構造と特長

汚水・汚物用水中ポンプの外観を図1に、構造例として汚物用着脱式カッタ付水中ブレードレスポンプを図2に示す。

汚水・汚物ポンプは対象とする扱い液に適応した汚物通過性をもったものとしなければならない。特に、汚物用に供される水中ブレードレスポンプはこの点に留意し、口径150mm以下については羽根車は1枚羽根とし、ケーシングは円形ケーシングとしている。

水中モートルは乾式モートルとし、軸貫通部にはメカニカルシールを装着してモートル内への水の浸入を防止する構造としている。モートルには、焼損防止用サーマルリレーや用途に応じて自動運転装置、あるいは自動交互運転装置を内蔵させ高機能化を図った。

自動運転又は自動交互運転装置付水中ポンプは、電源ケーブルを直接、電源に接続するだけで自動運転又は自動交互運

表1 ポンプの種類と用途及びシリーズ化の範囲 扱い液を汚水、雑排水及び汚物水に分類し、それぞれの用途用のポンプをシリーズ化した。

ポンプの種類	扱 い 液	主 な 用 途	ポンプシリーズ化範囲
水中汚水ポンプ	7 mm以下の固形物を含む汚水	浄化槽の排水 ビル、工場、トンネルなどの湧水、たまり水の排水 機械室、ボイラ室などドレンビットの排水 農業、園芸、養殖場(淡水)の排水	口 径：40～50 mm 吐 出 し 量：0.1～0.32m ³ /min 全 揚 程：3～13m モートル出力：0.25～0.75kW
水中雑排水ポンプ	30mm以下の固形物を含む汚水、雑排水	学校、病院、工場、レストランなどの厨房排水 駐車場、駅構内その他雑居ビルの雑排水用 し尿処理場、下水処理場の汚水移送用	口 径：50 mm, 80 mm 吐 出 し 量：0.1～1.3m ³ /min 全 揚 程：5～21m モートル出力：0.75～3.7kW
汚物用水中ブレードレスポンプ	大きな固形物を含む汚物、汚水及び雑排水	し尿処理場、下水処理場の原水及び汚泥用 下水道の中継用 養豚、動物園など家畜動物のし尿処理用 食品工場、各種市場の汚水・汚物排水用	口 径：65～500 mm 吐 出 し 量：0.1～36m ³ /min 全 揚 程：4～32m モートル出力：1.5～75kW

* 日立製作所習志野工場

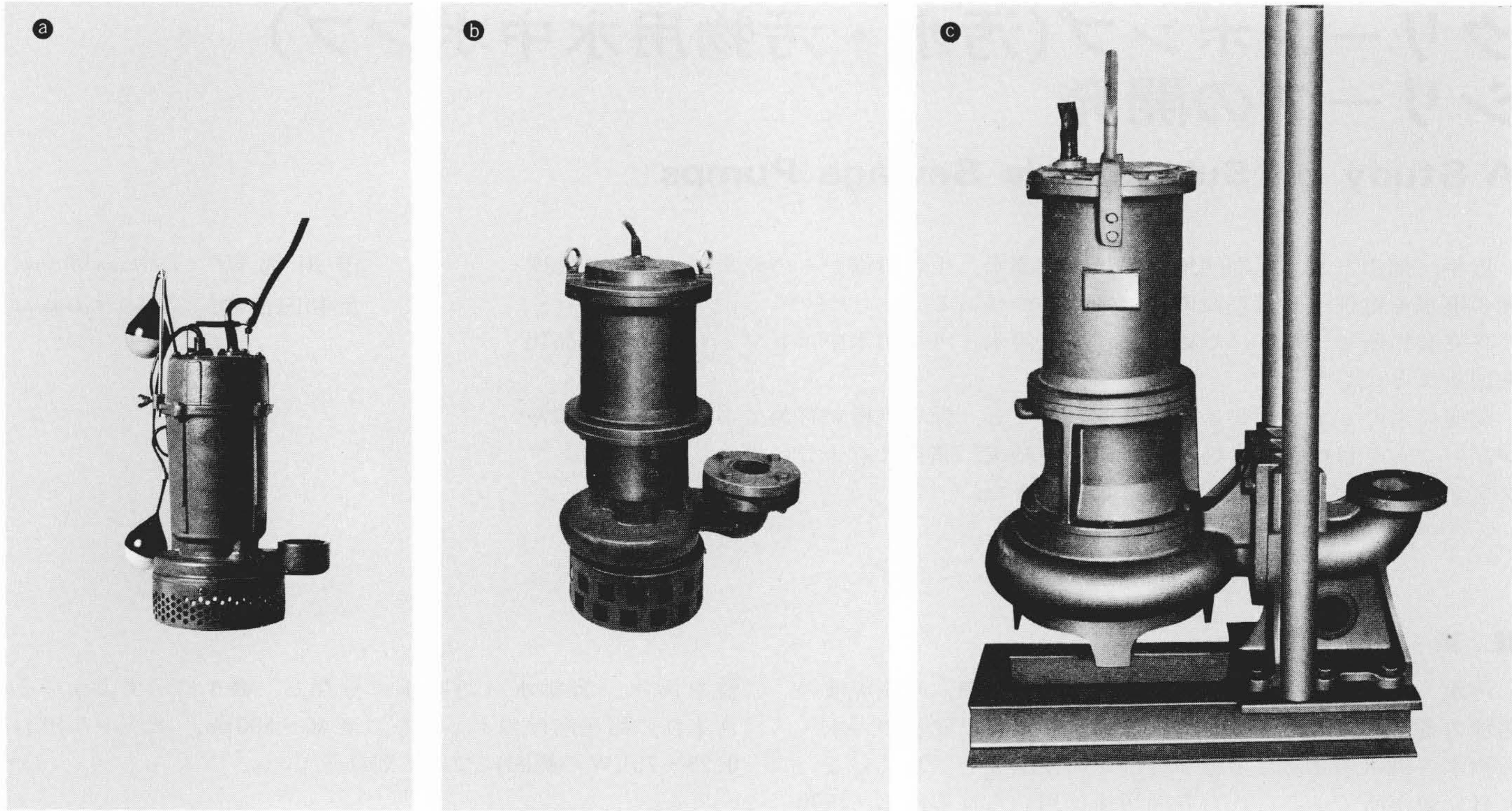


図1 汚水・汚物用水中ポンプの外観 (a)の自動運転装置付水中汚水ポンプは、外部フロートにより水位を検出し自動運転を行なう。(b)の水中雑排水ポンプ及び(c)の着脱式水中ブレードレスポンプは、案内棒に沿ってポンプを地上で据え付け、引き揚げができる。

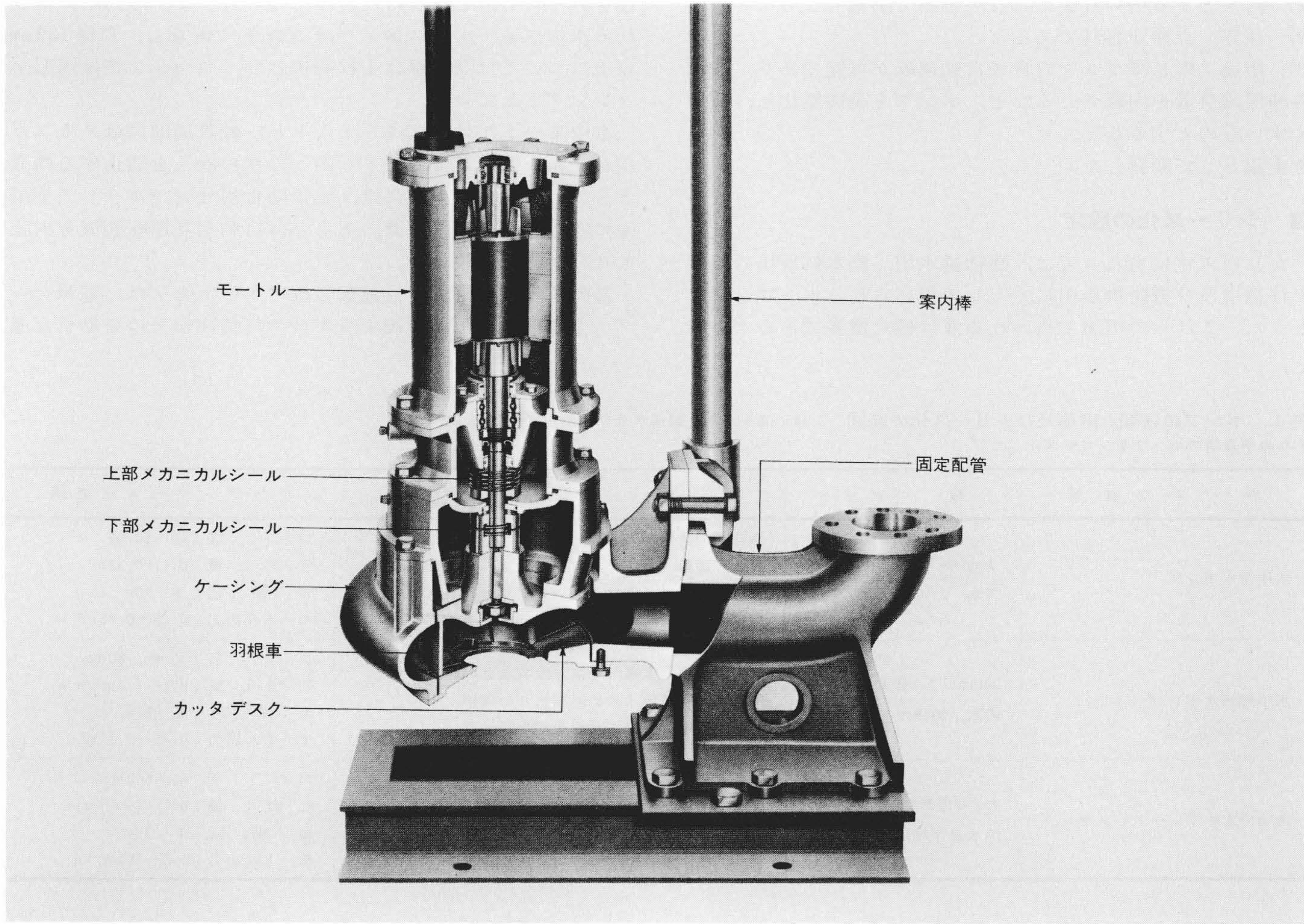


図2 着脱式カッタ付水中ブレードレスポンプ構造図 汚物の通過性を良くするため、羽根車は通路幅の広い1枚羽根と通路面積の広い円形ケーシングを使用し、更に繊維物の通過性を高めるためカッタ付としている。

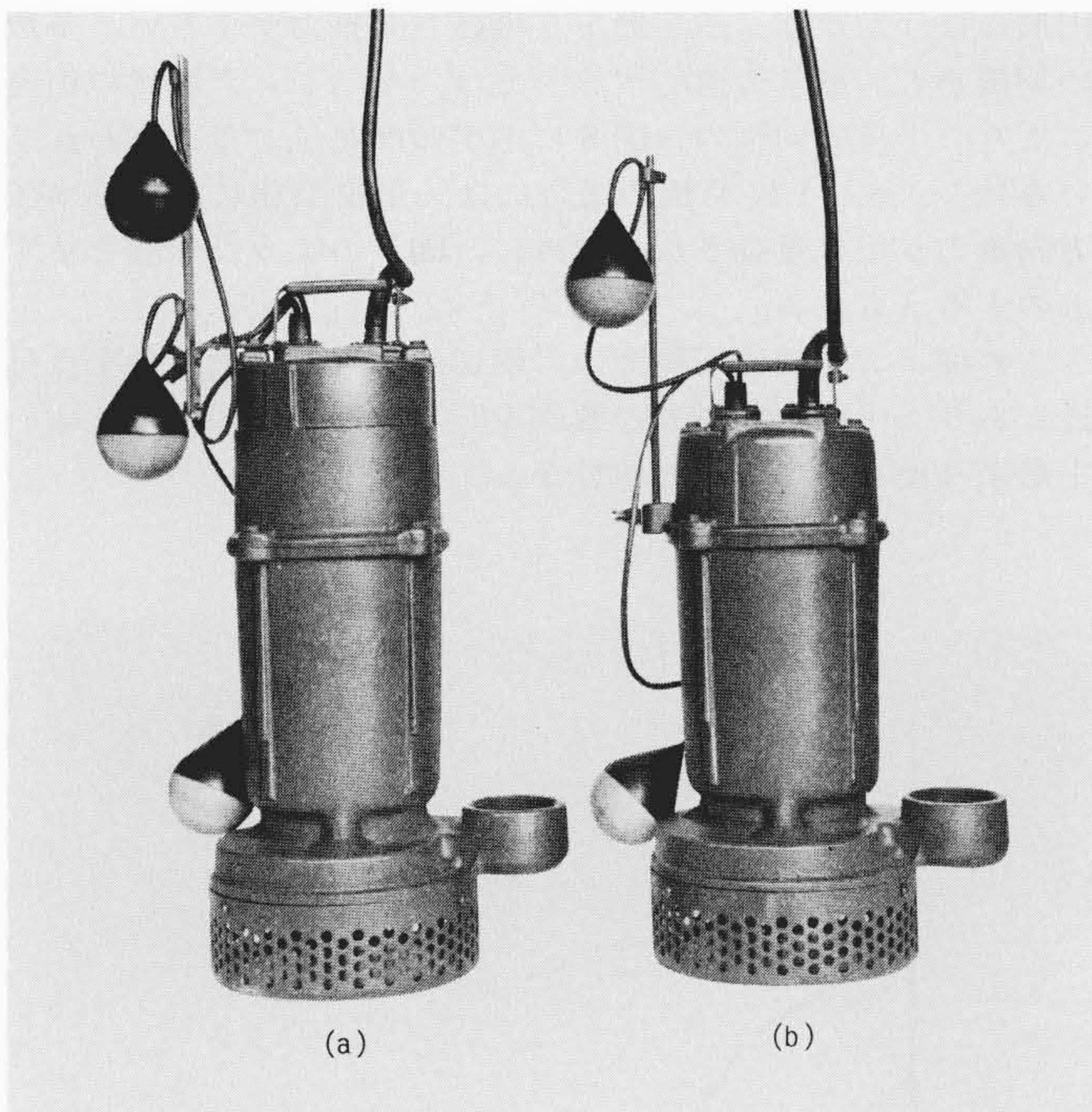


図3 自動交互運転装置付水中汚水ポンプの外観 (a)は1号ポンプを(b)は2号ポンプを示す。外部フロートにより水位を検出し、1号、2号ポンプが交互に運転を行なう。

転ができるようにしたもので、電気設備及び工事を大幅に簡略化することができる。この装置を0.75kW以下の汚水・雑排水用水中ポンプに装着し、シリーズ化した。

自動運転装置付水中ポンプは、図1(a)に示すようにポンプ外部に高水位と低水位を検出する2個のフロートを備え、モートルに自動運転盤を内蔵し高水位で始動、低水位で停止を自動的に行なうことができる。

自動交互運転装置付水中ポンプは、図3に示すように1号、2号ポンプの2台一組みから成るもので、1号ポンプ内のラチェットリレーによって通常は1号ポンプと2号ポンプが交

互に運転する。流入量が異常に増加し、1台の運転では水位が上昇する場合には、他の1台も追加始動し、2台並列運転を行なう。

また、どちらか1台のポンプが故障した場合には、正常のポンプが単独で自動運転を行なう機能を備えている。運転説明図を図4に示す。

据付方式は、ポンプを床に設置する床置き式のほかに、重量の大きい水中ブレードレスポンプには着脱式もシリーズ化している。

着脱式は、配管を固定したままでポンプを据え付け、引き揚げを地上で行なうことができるので、保守性が非常に良いものとなっている。

4 開発上の問題点

汚水汚物用水中ポンプは、扱い液の特殊性から一般水用のポンプ、モートルと比較した場合、機能、構造面で多くの特有の問題をもっている。ここでは開発上の主な検討事項について述べる。

4.1 ポンプ部

4.1.1 汚物用水中ブレードレスポンプの汚物通過性

水中ブレードレスポンプの汚物通過性は、使用実績及び調査結果から、固形物は口径の40%の大きさで、繊維物は口径の200%の長さの物までは通過させる能力が必要である。

このため、羽根車は通路幅の広い1枚羽根、ケーシングは後で述べる円形ケーシングとし、各種模擬汚物による通過性試験を実施した結果、問題なく通過することを確認した。

しかし、設定した寸法以上の汚物が混入する可能性もあり、特に多数の人々が使用する便所の汚水には下着類までが入ってくる場合がある。このような場合には、図3で示したカタ付ポンプを使用して対処するようにした。

カタ機種は、それぞれを窒化処理によって硬化したカタディスクと羽根車羽根先のカタから成り、長尺繊維物が羽根車に巻き付いた場合カタ機構によって切断し、排出できるようにしたものである。

カタ付ポンプによって排出した夾雑物の例を図5に示す。

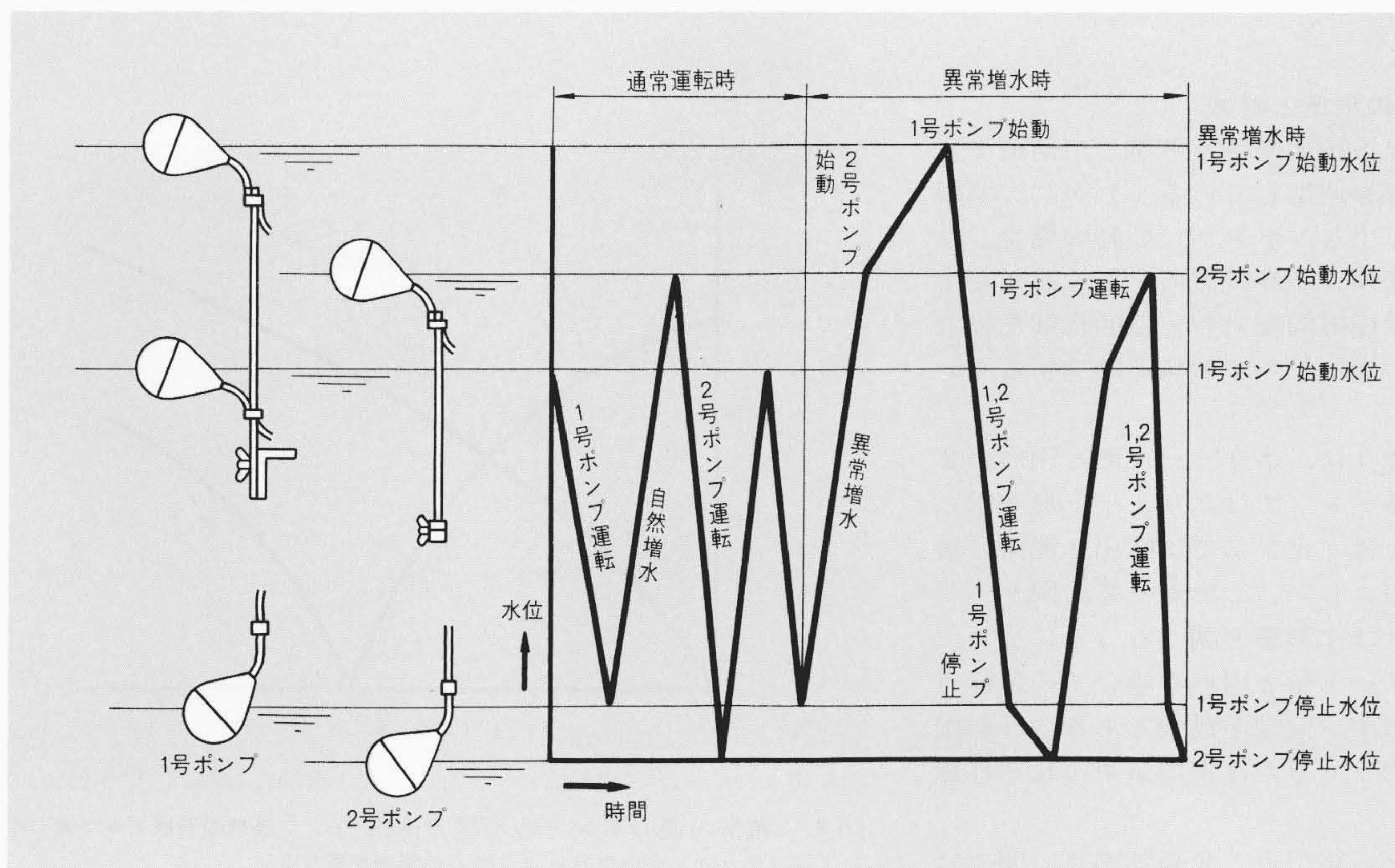


図4 自動交互運転装置付水中ポンプの運転説明
通常運転時は、1号ポンプと2号ポンプが交互に運転する。また、異常増水時は、1台の運転では水位が上昇する場合、他の1台も追加始動する。

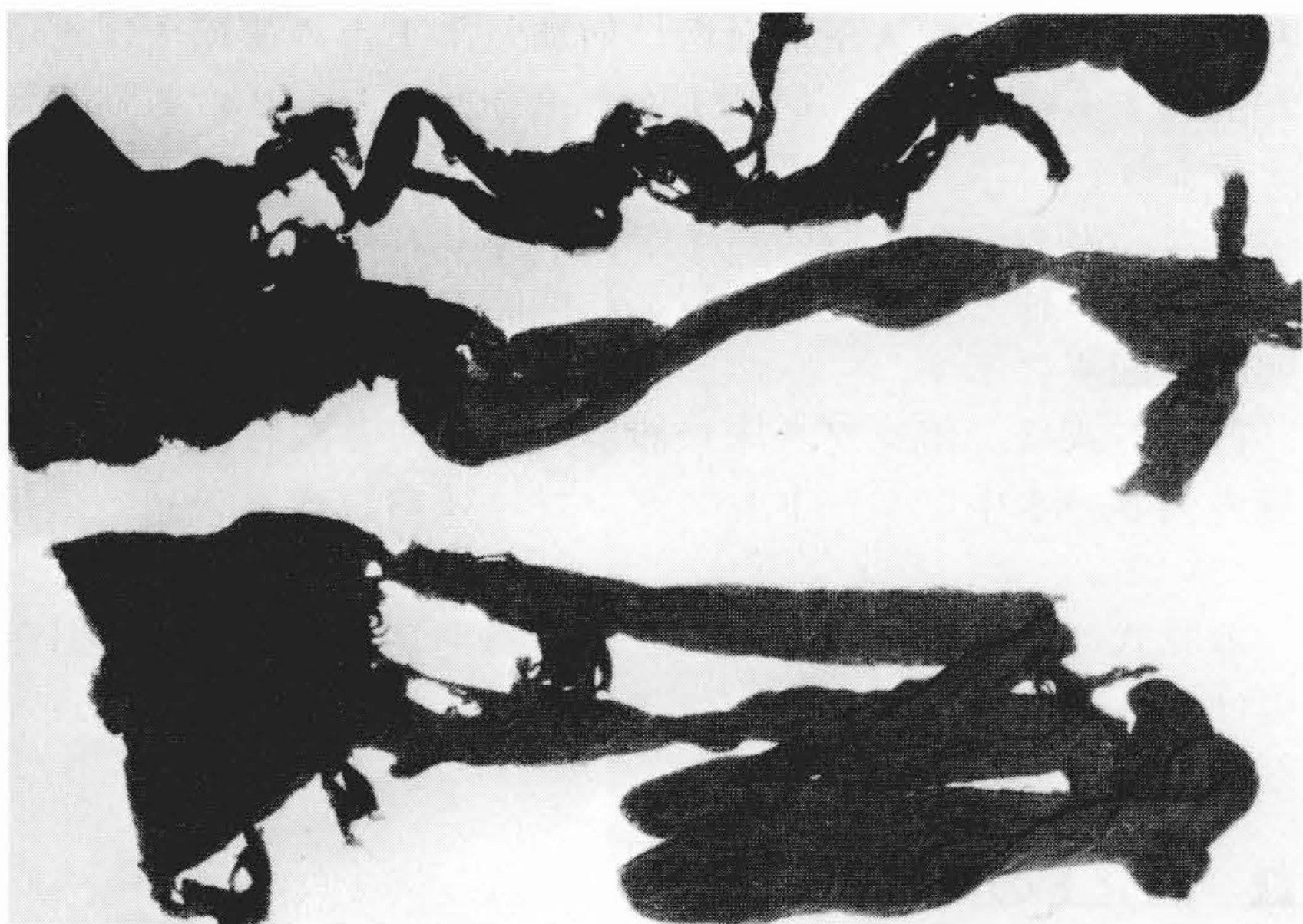


図5 カッタ付水中ブレードレスポンプによって排出した夾雑物の例 ここに示す例は、長尺繊維物（長さが約2,000mm）の物で、ところどころ破れているが、ほぼ原形のまま排出されている。

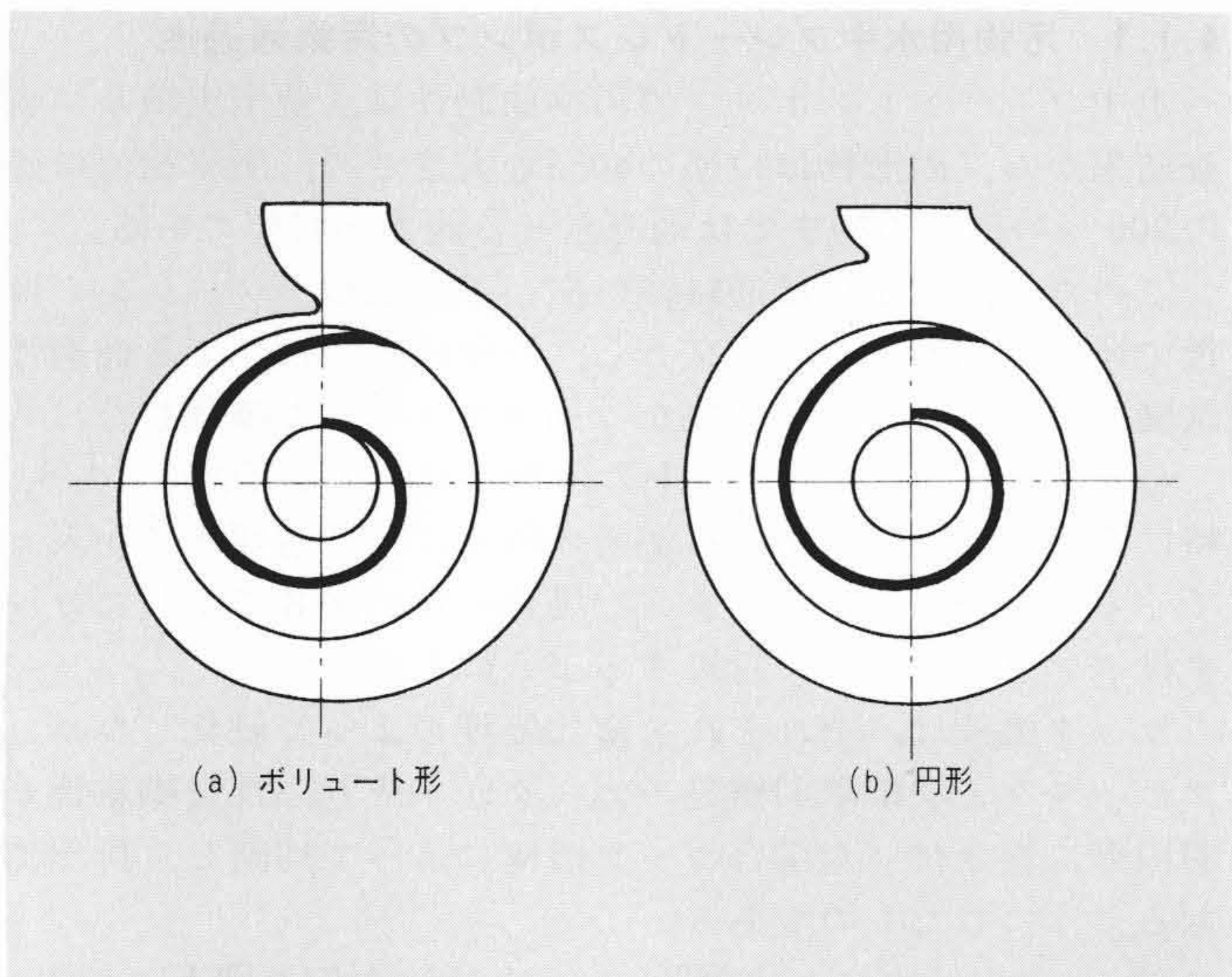


図6 吐出しケーシング 夾雑物を含む液を扱うポンプでは、吐出し流路に狭い部分のない円形のほうが望ましい。

4.1.2 水力的半径方向推力の把握と軽減

水中ブレードレスポンプは汚物通過性を考慮し、前項で述べたように羽根車は1枚羽根を使用している。しかし、羽根が1枚のため半径方向推力を生じ、ポンプに振動の発生、ひいては軸受や軸封部メカニカルシール寿命の低下をもたらす場合もある。したがって、半径方向推力の定量的把握と推力発生のおさい形状の羽根車、ケーシング形状を開発することが必要である。

ケーシングは図6に示すように、ポリユート形と円形の2種類を設計した。通常の遠心ポンプではポリユート形が用いられるが、夾雑物を含む液を扱うポンプでは吐出し流路に狭い部分がない円形のほうが望ましい。したがって、両ケーシング形状の半径方向推力に及ぼす影響を調べることにした。

図7にケーシングがポリユート形と円形の場合での半径方向推力と吐出し量の関係を示す。同図中最大とあるのは羽根車1回転中の最大値を、平均とあるのは平均値をそれぞれ意味する。

半径方向推力を比較すると、締切点と最高効率点の間では

円形のほうがポリユート形より半径方向推力が小さい。多数の羽根をもつ通常の遠心ポンプでは、ケーシング形状の相違により、半径方向推力は図8に示す傾向を呈するといわれている¹⁾。一方、1枚羽根の場合には、1枚羽根に生ずる半径方向推力が更に重畳されるために、図7のような傾向を示すものと考えられる。

この種ポンプの使用範囲は、締切点付近から最高効率点付近にあり、半径方向推力の観点からも円形のほうがポリユート形より優れていることが分かる。

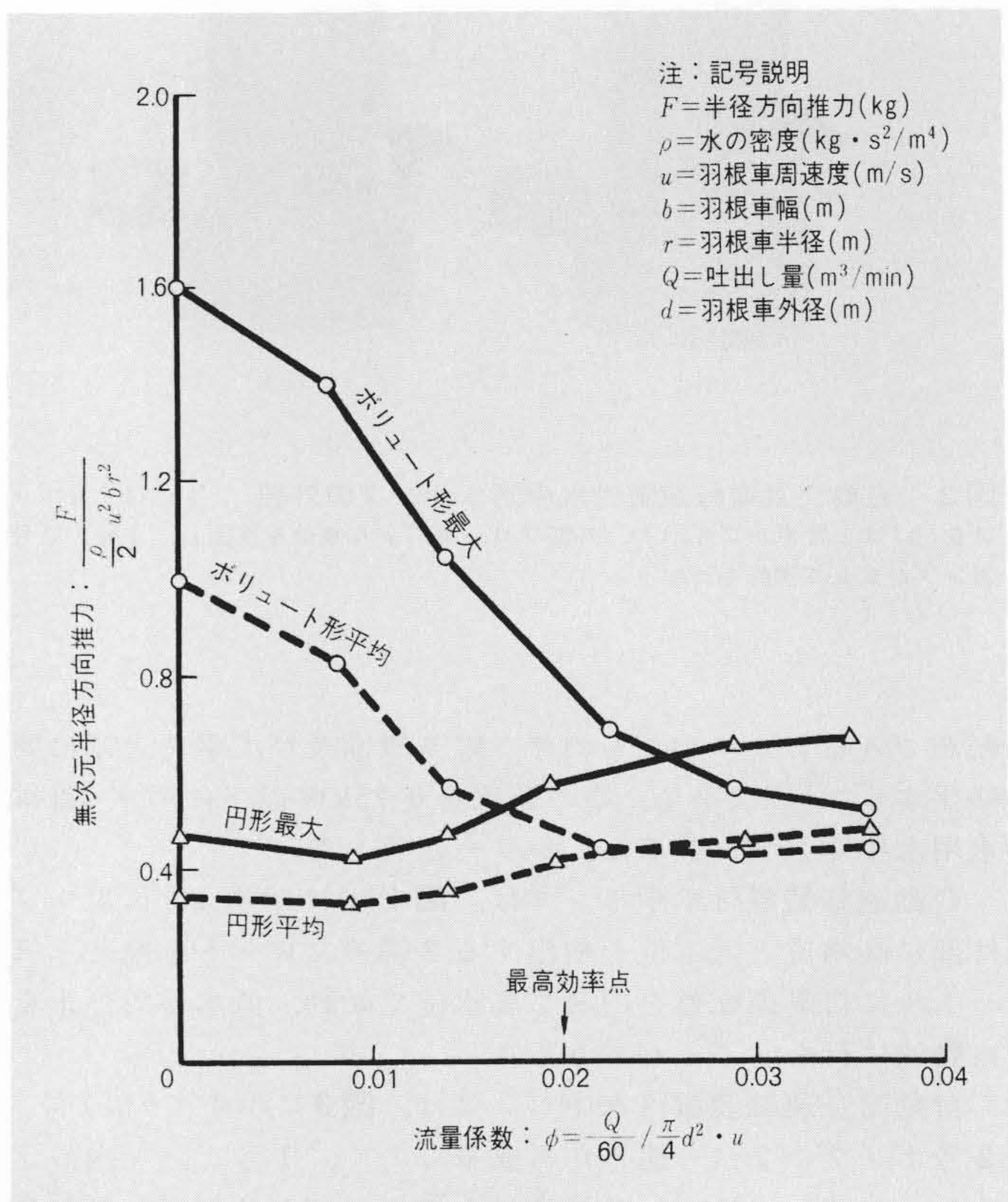


図7 半径方向推力 図中最大とあるのは羽根車1回転中の最大値を、平均は平均値を意味する。推力を比較すると締切点と最高効率点の間では円形のほうが小さい。

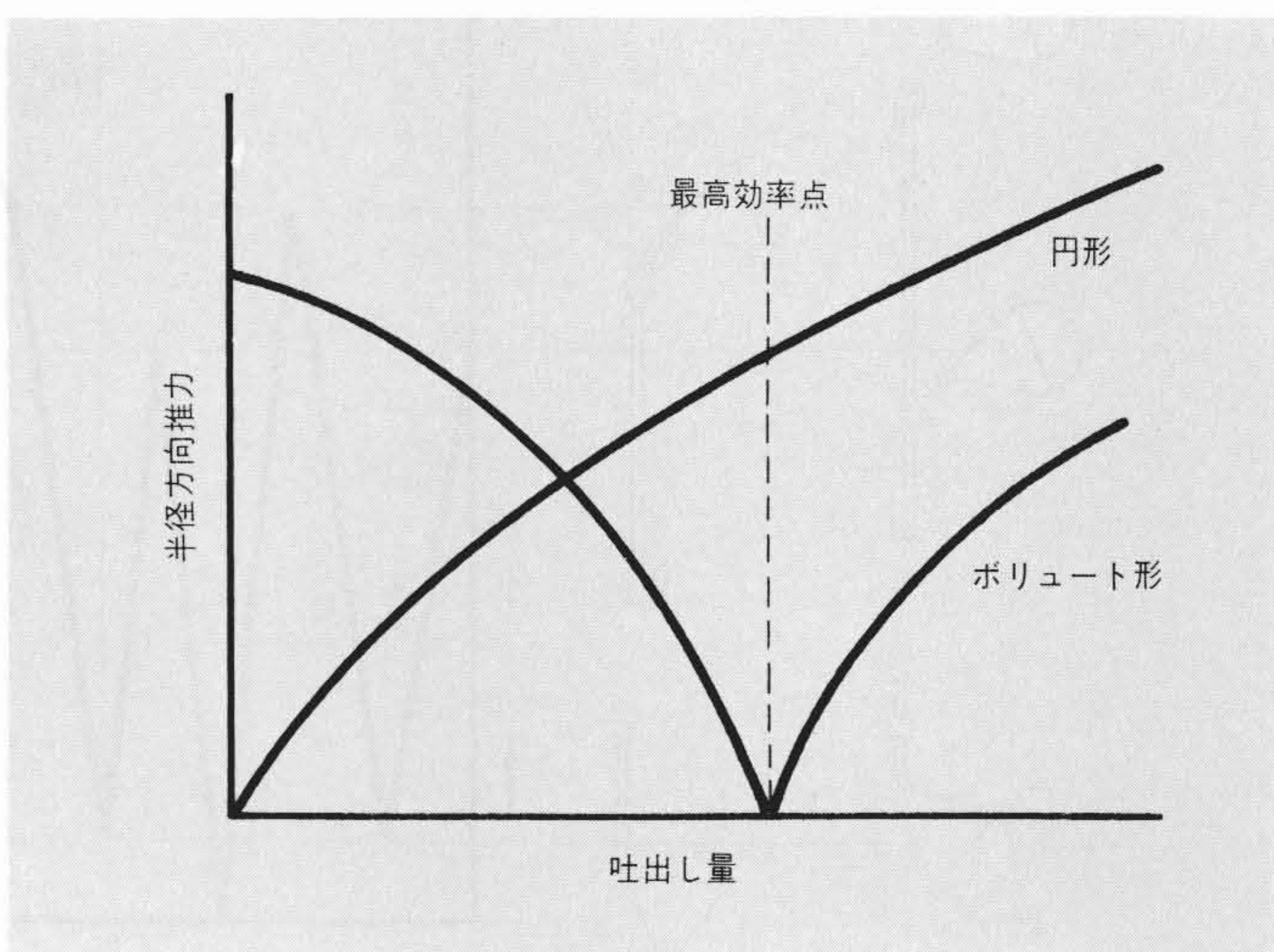


図8 通常の遠心ポンプの半径方向推力 多数の羽根をもつ遠心ポンプは、ケーシングの形状により推力の傾向が異なる。

4.1.3 軸封装置

水中モータルの軸貫通部は、メカニカルシールを装着して軸封している。このメカニカルシールが故障した場合には、モータル内に汚水が浸入してモータルの絶縁低下を来し、ついには運転不能に陥るので、水中ポンプの信頼性はメカニカルシールで決定づけられるといっても過言ではない。

軸封部は図2で示したように、下部メカニカルシールと上部メカニカルシールから成り二重に軸封し、この間にメカニカルシール摺動面を潤滑する潤滑油を封入したものである。

下部シール材には耐スラリー性が必要とされるので、超硬合金-超硬合金とし、上部シール材には密封性を重視しカーボン-超硬合金の組合せとした。

超硬合金製シールリングは耐摩耗性に優れた材料であるが、焼結時、母材へのろう付及び研削、ラッピングなどの材料加工時の残留ひずみがあり、運転時の摺動熱あるいは時間の経過とともに解放され、シール面のうねりとなって現われシール不能の状態となる。

超硬合金製シールリングの残留ひずみの除去について検討した結果、熱サイクルを加えることにより実用上問題のない程度まで除去することができた。ただし、呼び径60mm以上は母材との熱膨張の差が大きくなり、超硬材をろう付して使用することは難しく、超硬材単体リングで使用することにした。

メカニカルシールの寿命については、ポンプの保守条件から1万時間と設定し、耐スラリー性、密封性などについて各種条件の下にテール試験及び実機試験を実施し、目標を満足するものを開発することができた。

4.2 モータル部

4.2.1 水中モータルの特異性

この種のポンプに使用する水中モータルは、次のような条件が要求される。

- (1) 運搬据付に便利であること。
- (2) 無人運転などの操作性が容易であること。
- (3) 汚泥など各種液質に広く適用できること。

以上の点から、かご形誘導電動機を基本とした乾式水中モータルを使用している。モータル全体の防水構造、軸シール構造及び特性が重要点であり、次に述べるような検討考慮を行なって設計製作している。

(1) 構造

構造は、防水構造であることがまず第一に必要な条件であり、軸貫通部やケーブル引出し部も含めて、取扱い条件に耐える防水性のある構造でなければならない。また、小形機では仮設使用なども含めて可搬に便利のように小形、軽量を目指している。

大形機などでは、モータル部が露出しても一定水位までは連続運転を要求されるので、これに対してはモータル外被に吐出し水の一部を通して冷却する方式があり、この場合は吐出し水压に耐えるような枠構造をとらなければならない。

軸受部は、ポンプの運転によって発生する軸推力荷重や、半径方向推力荷重に耐える十分な容量の軸受を用いる。

(2) 特性

ポンプの小形化、運転効率の向上のために、モータルの効率や滑りは重要な特性要因であり、関連規格としてJIS A-8604(工事用水中ポンプ)、JIS B-8325(設備排水用水中モータポンプ)の付属書に示されている水中モータルの特性規格に準拠するように設計製作を行なっている。

コイル関係は、耐湿絶縁は当然の必要条件である。特異事項としては、汚泥中や気中運転時にも過熱劣化のないように絶

縁級の選定と必要により保護装置を内蔵しなければならない。

(3) 運転保護装置の内蔵

この種のポンプを運転する場所の水位は、常に大きく変動する。排水用などの場合、水位の変動に合わせて運転を停止することが省エネルギー、機器寿命保守期間延長の点からも望ましく、小形機は自動運転装置内蔵方式が、中形機以上は別設置水位電極と組み合わせた自動運転方式が使用されている。

冷却条件の変動に対してコイル過熱保護のために、温度保護リレーを内蔵させると同時に、大出力機では、軸シールの異常その他によるモータル内部への水分のたまりによって重大事故へつながることを防止するため、水分検出装置を内蔵している場合もある。

4.2.2 モータルの温度特性の解析

モータル各部を細分類して、任意の点の熱流回路を組み立てると図9のように示すことができ、次の熱等価回路基礎方程式が成り立つ。

$$C_i \frac{dT_i}{dt} = Q_i + \sum_{j=1}^n G_{ij}(T_j - T_i) \dots\dots\dots(1)$$

ここで C : 任意点の熱容量(J/K)

T : 任意点の温度(K)

Q : 任意点の単位時間の発生熱量(W)

G : 任意点間の熱コンダクタンス(W/K)

モータルの外枠表面は平常運転状態では、水又は空気による冷却であり、モータル内部部品と空気との熱流も含めて、熱伝達として熱コンダクタンスを求めて検討できる。

内部のコイルや鉄心から枠への熱流は、熱伝導として熱コンダクタンスを求め、定常状態での各部の温度上昇は、(1)式の左辺を0とすることにより細分した各点の多項式の解として得られる。外被表面が水の場合、空気に対して20倍以上の熱伝導率をもっているため、気中運転時間が長い場合は、これを考慮した冷却構造をとらなければならない。

水位変動とか自動運転方式での高頻度運転停止など、冷却条件や発熱の変化する状態の場合の各部の温度変化は、(1)式の常微分方程式を解くことにより求められる。これらの検討結果により、モータルの冷却構造、熱時定数を明確にしている。

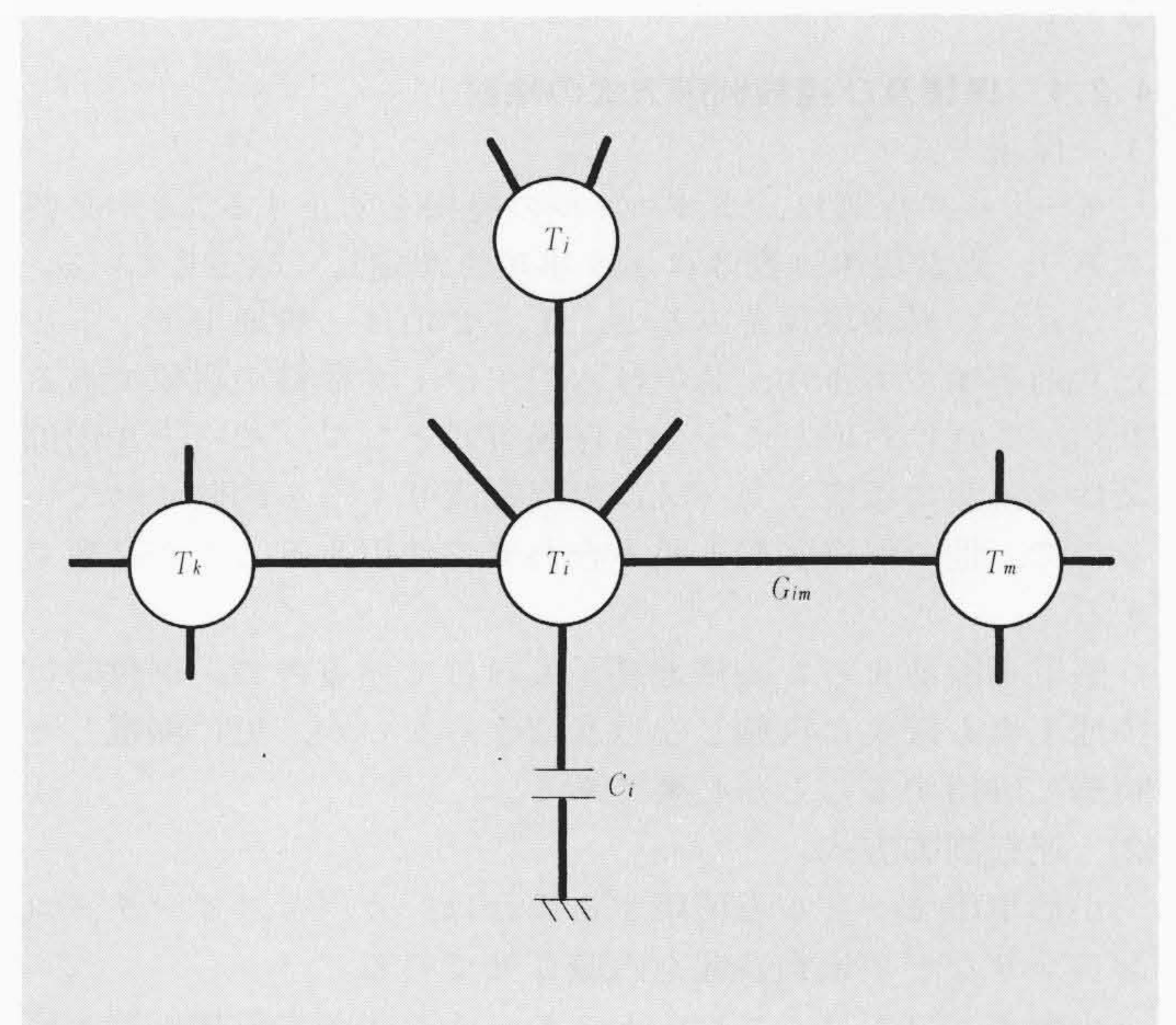


図9 モータルの任意点の熱等価回路 モータルの任意点での熱流を解析するために用いた熱等価回路を示す。

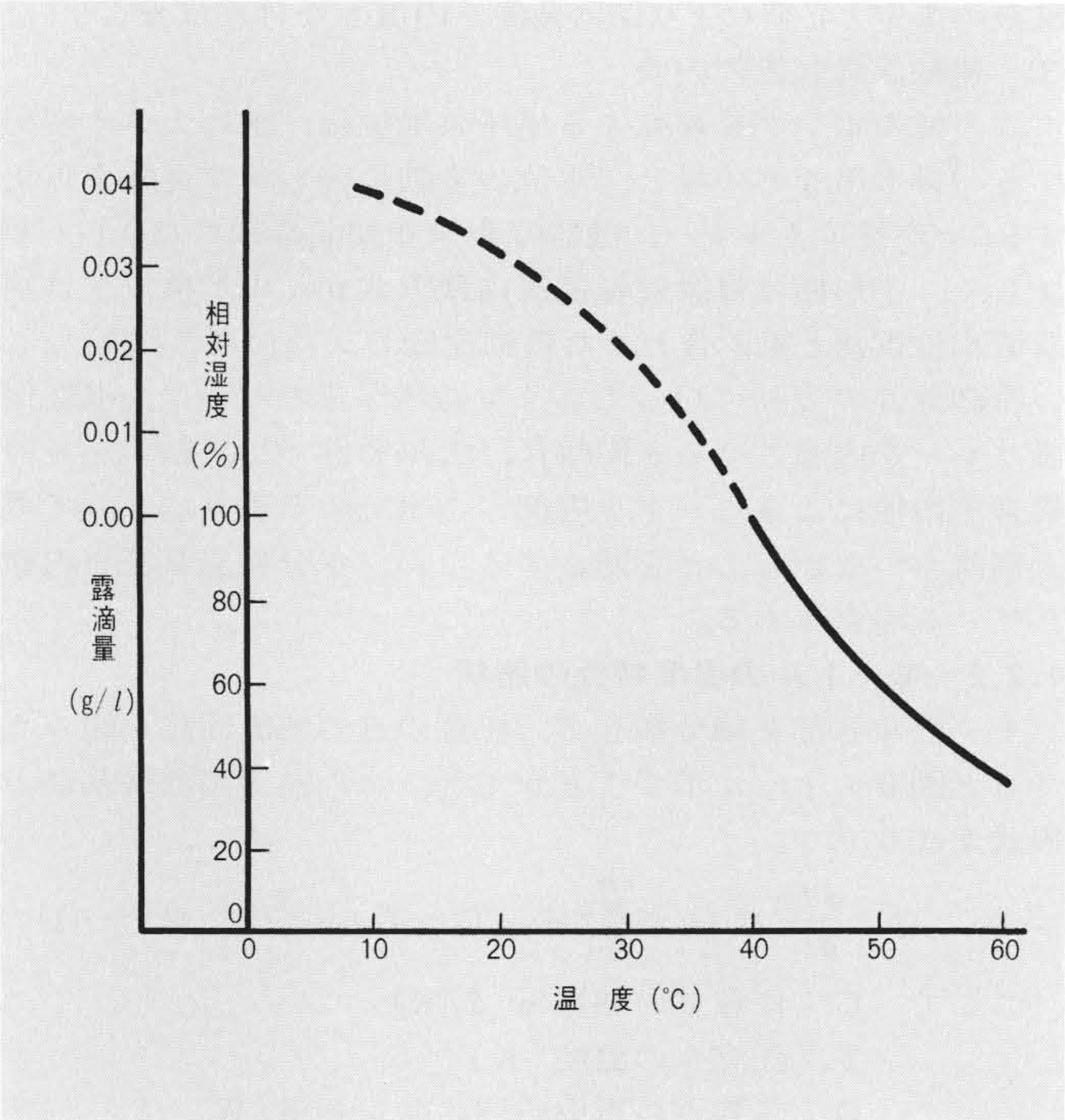


図10 空気内湿度と露滴量 40℃ 100%RHの空気を温度変化した場合の相対湿度又は露滴量の変化を示す。

4.2.3 絶縁法の検討

水中稼動で電気部は空気室であるため、内部の温度変化により相対湿度は変化する。図10に示す例のように40℃ 100%RHの高湿空気を閉じ込めると²⁾、モートル内は運転時の温度変化により、露滴、乾燥の状態を繰り返し、構成絶縁物は吸湿劣化するので、耐湿絶縁処理を行なわなければならない。そのため、モートル内への水添加などによる過酷湿熱サイクル試験を行ない、コイルを含めた全体の信頼性を確認し、表2³⁾に示すような標準仕様をとっている。

高湿中では、軸受もワニスガス、グリースなどと相互作用して発錆による特性低下現象のあることが知られており、これに対しても長寿命を保持するようにワニスの選定を行なっている。

4.2.4 保護及び運転制御方式の検討

(1) 保護方式

モートルの保護は、まずコイルの焼損を防止することが必要であり、異常現象は表3に示す事項を想定して選定している。これらの異常現象をみると、1、2項は一般地上モートルと共通事項であるが、3項は水中モートル独特の現象であるため、これに対応した十分な保護方式として、モートル内部又はコイルに温度リレー又は温度電流リレーを内蔵させているので、他の保護装置と組み合わせて使用することが必要である。

感電事故防止のため接地端子も設けているので、据付時は接地工事も確実に実施しなければならないが、更に漏電しゃ断器と併用することが必要である。

(2) 運転制御方式

小形单相モートルを使用する場合は、ガバナスイッチ、コンデンサなどの始動装置を内蔵させている。小形ポンプでは、フロートスイッチなどの水位検知器を直接モートルに取り付け、水位変動に対しての自動運転や交互運転を行なう運転制御装置を内蔵させた方式も製作している

表2 コイル関係標準絶縁構成 標準仕様機種の絶縁構成主要項目を紹介した。

絶縁級	E 種	F 種
コイル材	耐水性強化変成ポリエステルエナメル線	ポリアミドイミドエナメル線
溝絶縁材	ポリエステルフィルム	アミラッド紙
ワニス及び処理	ポリエステル系ワニス 浸せき又はドリップ処理	エポキシ系ワニス 浸せき又はドリップ処理

表3 異常現象の分類 異常現象とその発生主要因及び検出要素の分類を示す。

分類	主要原因	異常検出要素
1. 拘束	ポンプランナの異物かみ込み、軸受異常及び電圧異常低下ほか	電流検出
2. 過電流	電圧低下、電圧不平衡、逆転、取扱水比重増などによる過負荷ほか	電流検出
3. 高温	気中運転、汚泥付着、埋没運転、高頻度運転停止ほか	温度検出

が、省エネルギー・省力化の要求に合ったものとして需要は増加している。これらの機器も高温・高湿のモートル室に内蔵し、運搬、据付などで受ける外力に耐えられるように選定処理を行なっている。

4.2.5 信頼性の検討

高湿条件で使用するこの水中モートルの信頼性は、構成部品・材料単体及び総合の二方向から消耗部品と長期使用部品とに分けて検討を行なった。

部品については類似環境条件で予想ストレスを加え、過酷試験により寿命を明確にして最適品を選定し、最終的には製品としての総合運転寿命試験、モニタテストにより、予期の信頼性を十分保持していることを確認した。

5 結 言

汚水・汚物用水中ポンプを扱い液により分類し、(1)汚水用水中ポンプ、(2)雑排水用水中ポンプ、(3)汚物用水中ブレードレスポンプの3機種について開発し、クリーンポンプシリーズとして製品化した。

扱い液が特殊なことから、ポンプの汚物通過性、高湿条件で使用する乾式モートルの信頼性、保守性などが問題となるが、それぞれについて検討を加え用途に適応したポンプを製作することができた。

今後は更に、高効率化、保守性の向上、高機能化、システム化面について検討を加え、ますます多様化するニーズに即応してゆく考えである。

参考文献

1) 松岡：日本機械学会論文集，29，198号，p. 270～279(昭38-2)
2) 谷下市松：熱工学ハンドブック，山海堂（昭37-9）
3) 黒川，弘中：低圧誘導電動機の絶縁，日立評論，58，877（昭52-11）