

可動翼循環水ポンプ

Adjustable-Vane Circulating Water Pumps

近年、火力発電所で中間負荷運用など負荷パターンの変化に伴い、循環水系でもプラント低負荷運転時の経済性の追求が重要課題となり、可動翼循環水ポンプが広く採用されるようになってきた。

本稿では、可動翼ポンプの特性を生かし、プラント全体の効率を向上させる循環水系最適経済運用システムの運用と制御について紹介する。なお、既設固定翼ポンプの部分改造により、可動翼化が図れる新形可動翼循環水ポンプを開発したので、その構造と翼角度制御機構について述べるとともに、実機サイズで行なった可動翼操作機構部のコンポーネント試験の結果も合わせて紹介する。

阿南裕康* Hiromichi Anan

滝田修身** Osami Takita

竹浦正博* Masahiro Takeuta

1 緒言

近年、火力発電プラントの省エネルギーのために、循環水系でもプラントの運転負荷の変動や、冷却水温度変化に対応した最適経済運用システムが採用されている。可動翼循環水ポンプは、運転中に羽根の取付角度を変えることによって、容易に流量の調整を行なう機構を備えたポンプであり、従来の固定翼循環水ポンプと比較して特に低流量域での効率低下を防止することができ、火力発電プラントの中間負荷運用で省エネルギー効果を発揮することができる。そこで、既設固定翼循環水ポンプのポンプボール部を可動翼操作機構を内蔵する装置に改造することによって、油圧制御により容易に可動翼化できる新構造の可動翼ポンプを開発した。本稿ではこの新形可動翼ポンプについて紹介し、今後の発電プラントの省エネルギーシステムの方角付けとして参考に供したい。

2 可動翼循環水ポンプの特長と運転特性

従来、火力発電所及び原子力発電所の循環水ポンプとしては、固定翼の立軸斜流ポンプが採用されてきた。しかし、本ポンプは中間負荷時に吐出し弁絞りによって流量を調整するため、省エネルギー運転を行なうことができない。近年、省エネルギーを目的に火力発電所の中間負荷運用を行なうことが増えてきたが、負荷パターンの変化に伴うプラント低負荷運転時循環水系の経済性の追求が重要課題となってきた。この課題に対処するため、可動翼循環水ポンプはポンプ運転中に翼角度の調整により循環水量を任意に制御できるため、固定翼循環水ポンプに比べて高範囲の流量域でポンプを高効率で運転し、軸動力(所要動力)を大幅に節減することが可能である。図1は可動翼循環水ポンプの運転特性を固定翼ポンプのそれと比較して示したものであり、可動翼ポンプは広い吐出し量域で固定翼ポンプよりも低い軸動力を示し、更にポンプの起動時には吐出し弁全閉状態で翼角度を最小にして起動するため、ポンプの起動が低動力でスムーズであり、更に中間流量域では吐出し量に見合った翼角度で運転することによって、吐出し弁及びその下流配管の振動騒音、キャビテーションの発生を防止することができる。

3 可動翼循環水ポンプの系統運用方法

可動翼ポンプの特長を生かし、プラント運転負荷や冷却水温度変化に対応し、循環水温度上昇制限運転なども包含した循環水系最適経済運用システム、「日立可動翼循環水ポンプシステム」の運用と制御を以下に述べる。システムの運用条件として次の項目が挙げられる。

- (1) プラント熱効率を最大とする最適経済運用を行なうために、プラント負荷と海水温度の変化に応じた復水器真空度変化によるタービン熱効率変化量と、循環水ポンプ消費動力変化によるプラント熱効率変化量とを比較する。
- (2) 循環水の出入口温度差 ΔT が環境規制値以下となるように循環水を通水する。
- (3) 復水器冷却管保護上の規定水量を制御する。

図2は循環水量に対して、可動翼ポンプを使用したことによるプラント効率の増加量と、循環水の量と温度によって復水器の真空度が変化することによるタービン熱効率の低下量を示し、それらの値を比較することによってプラント効率を最

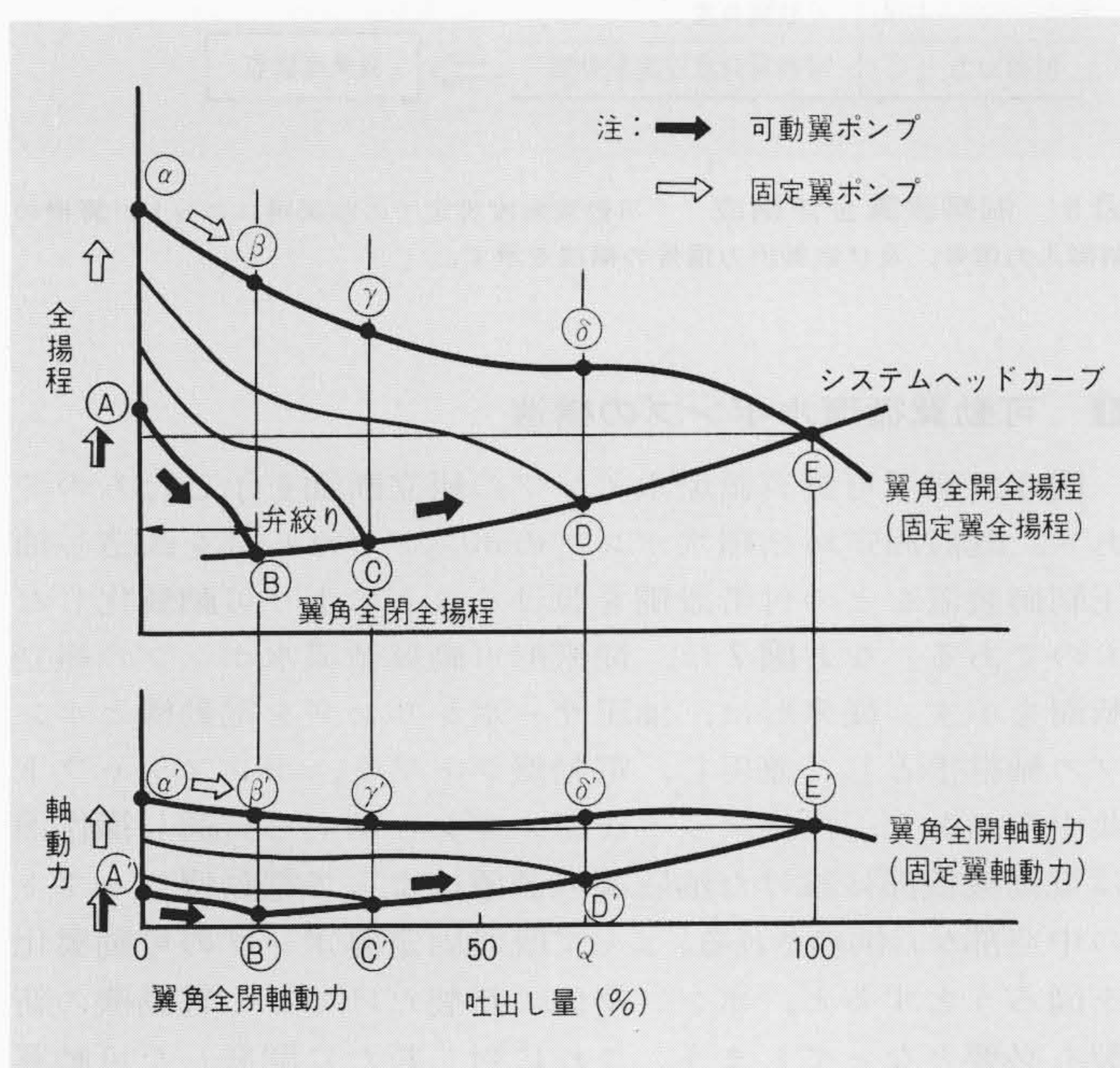


図1 可動翼ポンプ運転特性(固定翼ポンプとの比較) 可動翼ポンプの場合は、部分負荷運転の時間が長いほど、その省エネルギー効果は大きくなる。

* 日立製作所土浦工場

** 日立製作所日立工場

大とする復水器冷却水循環量を各負荷ごとに求めたものである。求められた経済運用水量に、復水器の循環水出入口温度差 ΔT の制限条件及び復水器冷却管の流速制限を考慮し、可動翼循環水系運用線図、図 3 が得られる。図 4 はこの運用線図による制御のフローチャートを、図 5 は制御装置全体構成を示したものである。

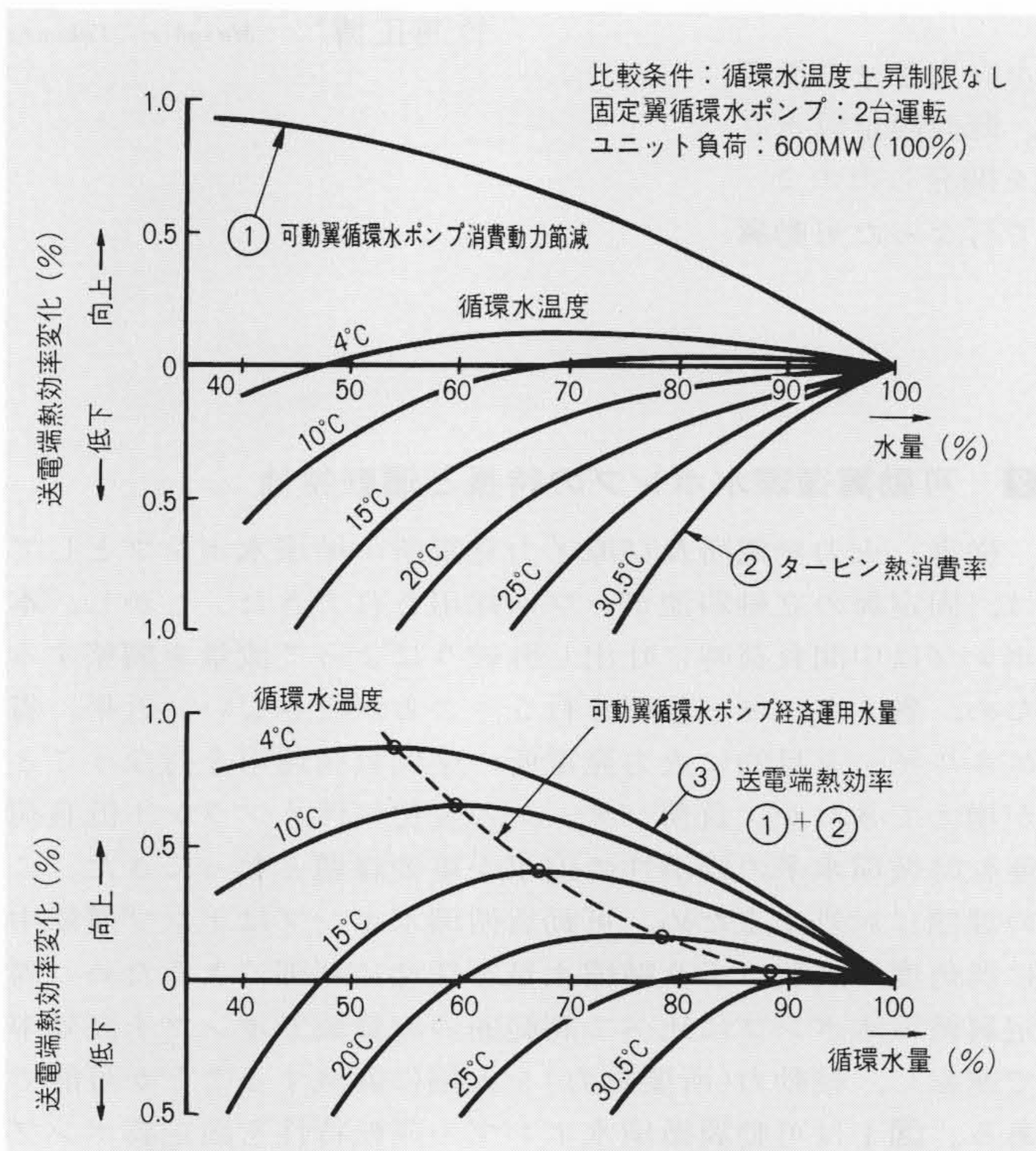


図2 可動翼循環水ポンプによる経済運用水量検討例 海水温度及び循環水量変化に伴うプラント効率変化量と、循環水ポンプ消費動力による効率向上量の比較による効率利得値が最大となる循環水量を示す。

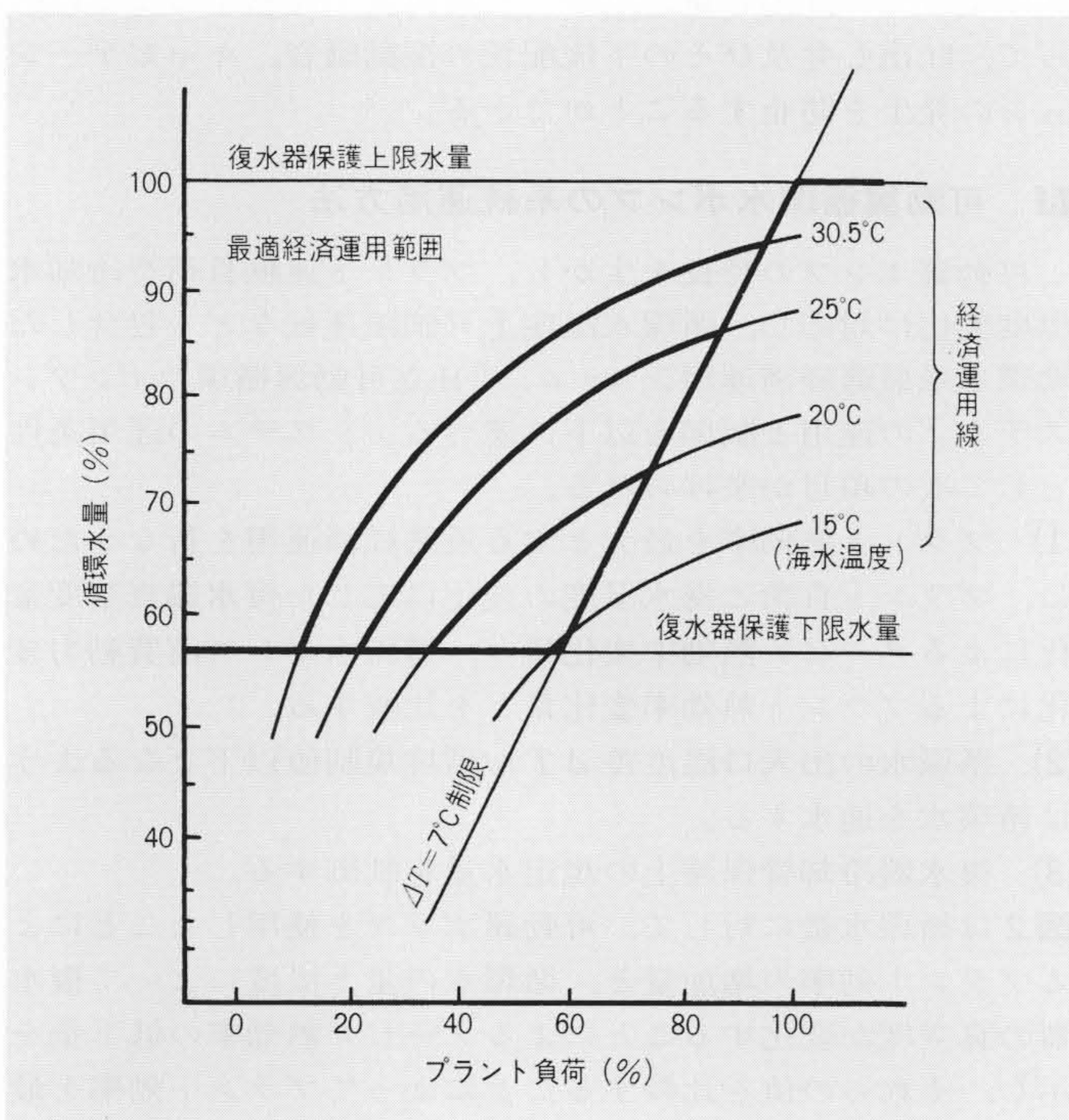


図3 可動翼循環水系運用線図 復水器循環水出入口温度差 ΔT の制限条件及び復水器冷却管の流速制限と、経済運用水量を考慮した可動翼循環水系運用線図を示す。

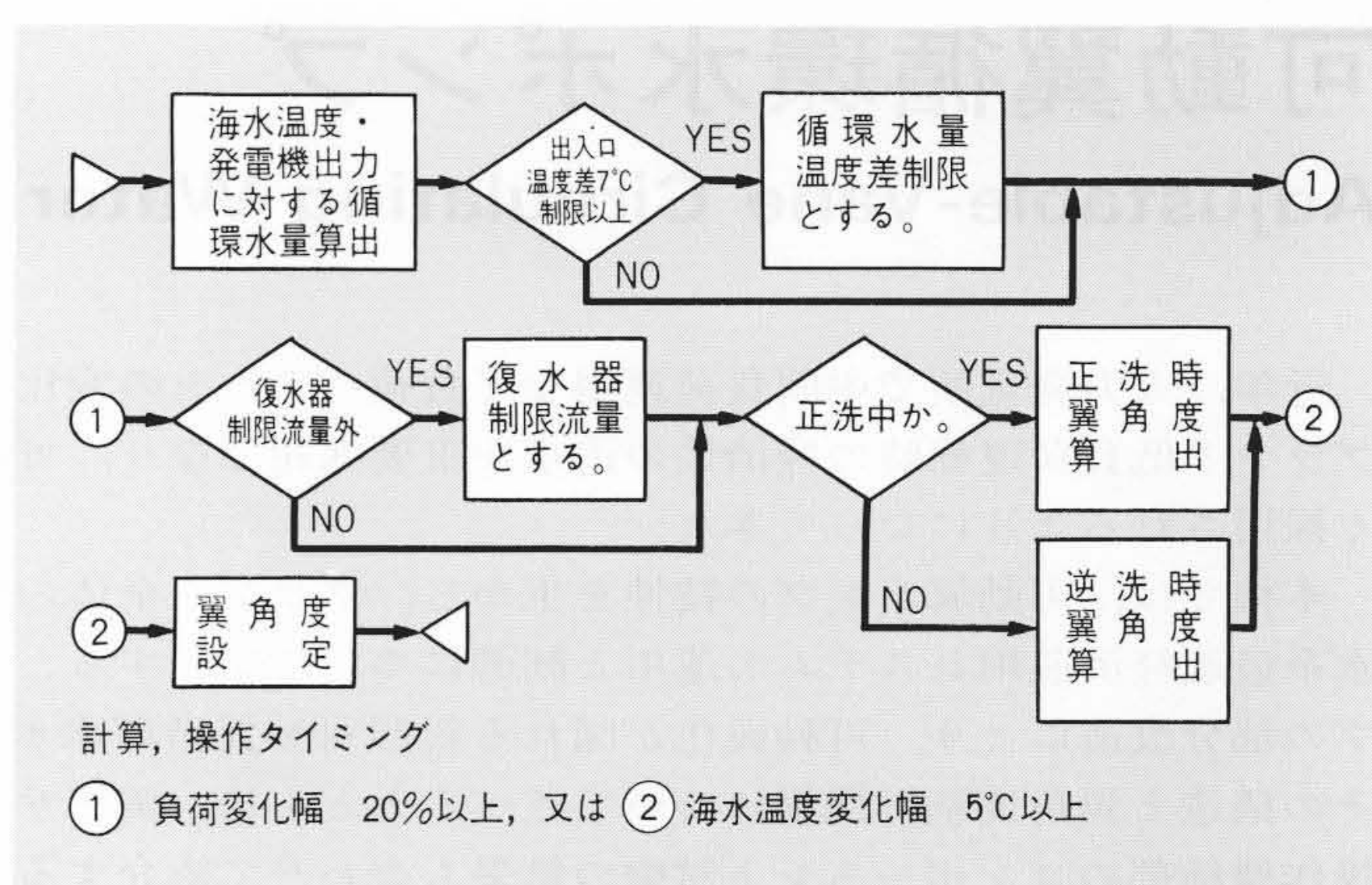


図4 制御フローチャート 海水温度とプラント負荷から経済運用水量を求め、循環水 ΔT 制限、復水器保護制限により水量補正を加えて翼角度を設定する。

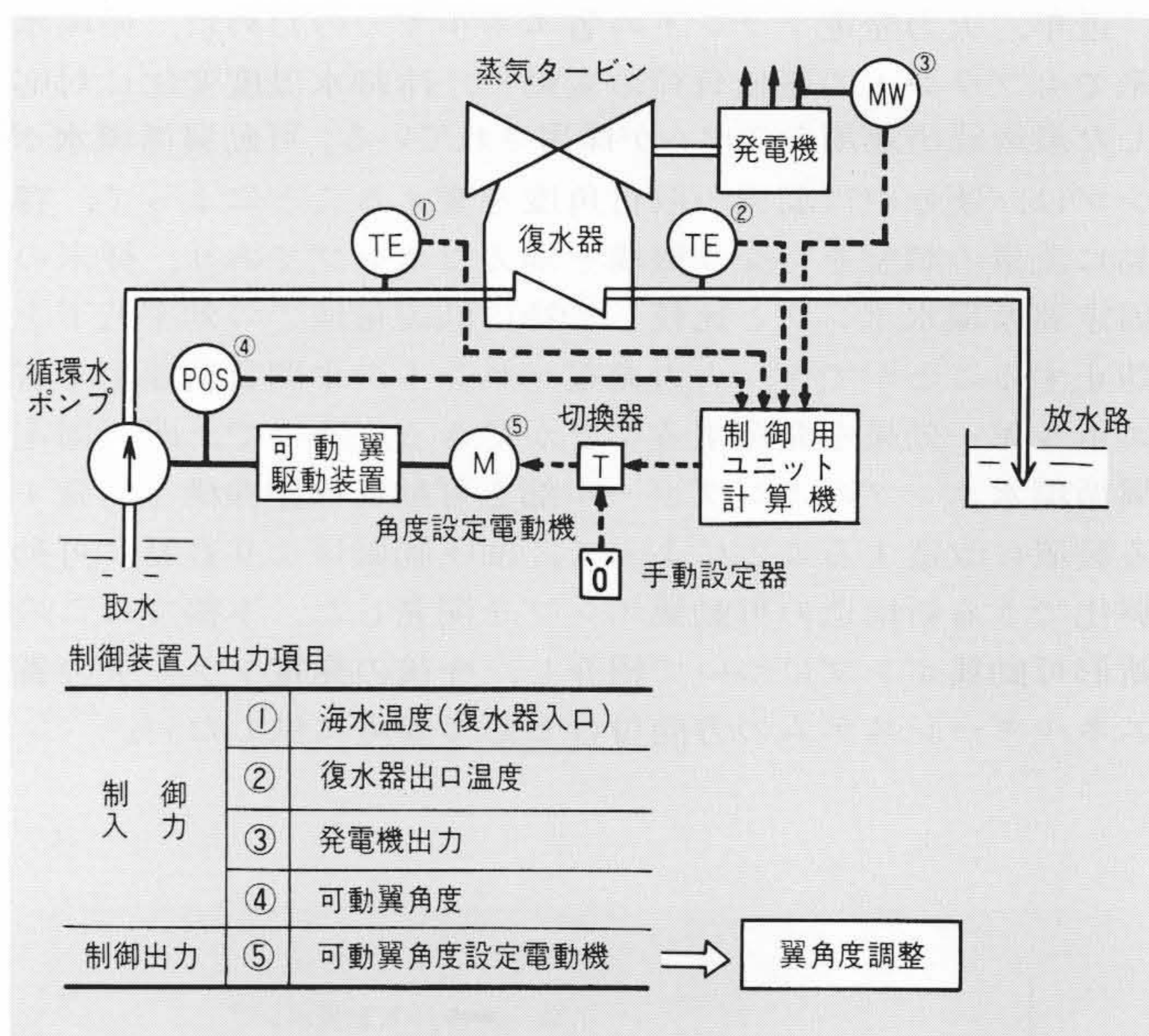


図5 制御装置全体構成 可動翼角度設定での制御用ユニット計算機の制御入力信号、及び制御出力信号の構成を示す。

4 可動翼循環水ポンプの構造

図6は新形可動翼循環水ポンプの組立断面を示したものであり、既設固定翼循環水ポンプのポンプボウル部を改造し油圧制御装置などの付帯設備を設けることにより可動翼化したものである。なお図7は、従来形可動翼循環水ポンプの組立断面を示す。従来形は、油圧サーボシリンダを電動機とポンプの軸継手として兼用し、電動機シャフト、ポンプシャフト共中空であり、操作ロッドがポンプシャフトを貫通し操作油は電動機頂部に設けた油圧導入装置によって電動機シャフトの中空部から供給される。よって既設固定翼ポンプの可動翼化を図ろうとすると、ポンプ全体の新製だけでなく電動機の新製も必要となってしまう。これに対し新たに開発した可動翼ポンプは、油圧サーボシリンダをポンプボウル部内に配置し、地上部の油圧装置から油圧導入管、ベルマウス油圧導入部及び操作ロッドを経由して、油圧サーボシリンダの上部室又は下部室へ送油されるため、ポンプボウル部以外の固定翼ポンプ部品と電動機は可動翼ポンプとして再使用でき、既設固定翼ポンプの可動翼化に要する費用は、従来形可動翼ポンプに

比較して大幅な低減が可能である。新形可動翼ポンプは、翼角指令信号とポンプボウル部内の操作ロッドに連結された位置検出器によって検出される翼角信号とを比較し、この両者が一致するまで、パイロット形方向切換弁である電磁比例制御弁のソレノイドを励磁し、油圧サーボシリンダの上部室又は下部室に油圧を供給し、翼角度を制御する。この設定翼角と翼角指令信号は常時比較されており、翼角指令信号が変えられない限り、翼は所定の翼角度を保持する。新形可動翼ポンプでは、インペラハブ内の潤滑油と海水を回転部でシールする必要があり、このシール部には信頼性の高いダブルメカニカルシールを採用し、海水のインペラハブ内への浸入を防ぐと同時に、インペラハブ内潤滑油の外部への漏油を防止するために、ダブルメカニカルシールからのわずかの漏れは、油と海水を完全に分離し地上部に回収する方式を採用している。

5 信頼性確認試験

新形可動翼ポンプの主要コンポーネントの性能と信頼性を確認するため、種々の模型試験を行なった。可動翼操作機構部の性能を確認するため、図8に示すように口径3,000mmのポンプを想定した実機サイズの試験装置を製作した。本試験装置により、ダブルメカニカルシールの性能、回転するシリンダ内でのピストンの位置検出器、及び電磁比例制御弁の信頼性確認試験を行なった。翼操作油圧 35kgf/cm^2 、インペラハブ内潤滑油圧 3kgf/cm^2 、海水圧 1.5kgf/cm^2 、ピストンの変位は位置検出器に接続した変位計で読み取る以外に、操作ロ

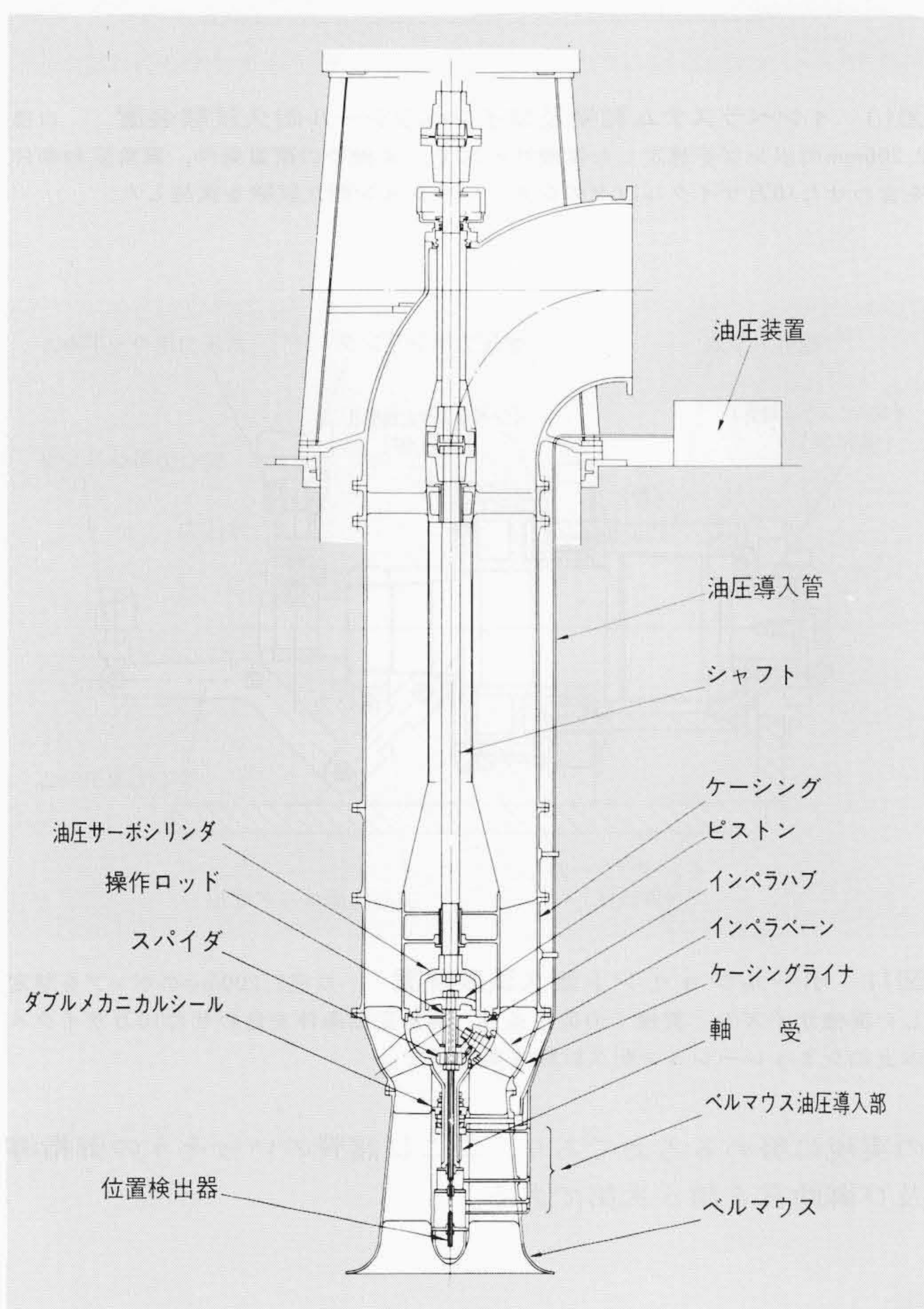


図6 新形可動翼循環水ポンプ組立断面図 油圧サーボモータをポンプボウル部に配置した新構造であり、既設固定翼ポンプのポンプボウル部改造と油圧装置などの付帯設備を設けるだけで可動翼化できる。

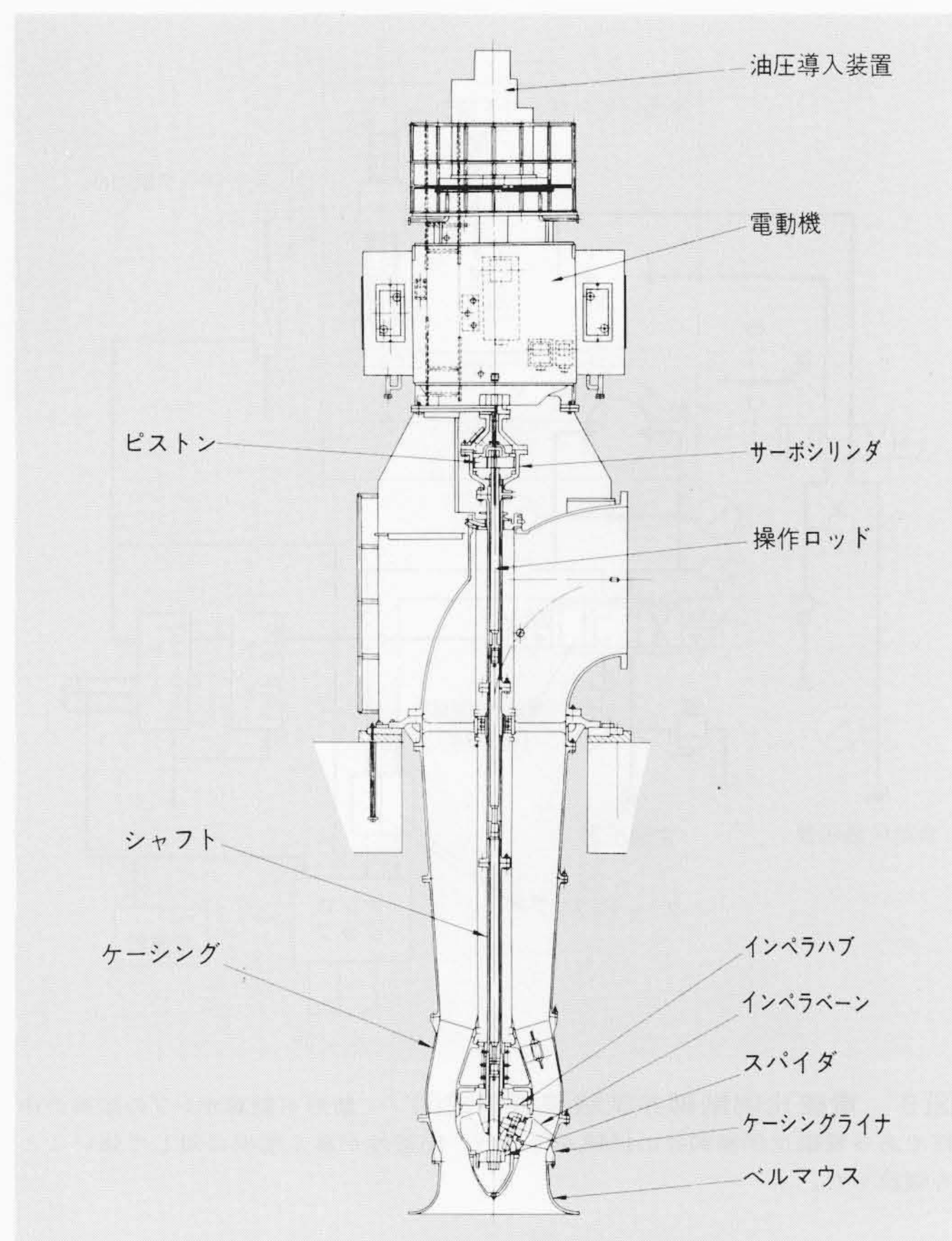


図7 従来形可動翼循環水ポンプ組立断面図 サーボシリンダを電動機とポンプの軸継手として兼用し、油圧導入装置を電動機頂部に設けているため、電動機シャフトとポンプシャフト共中空であり、操作ロッドがポンプシャフトを貫通している。

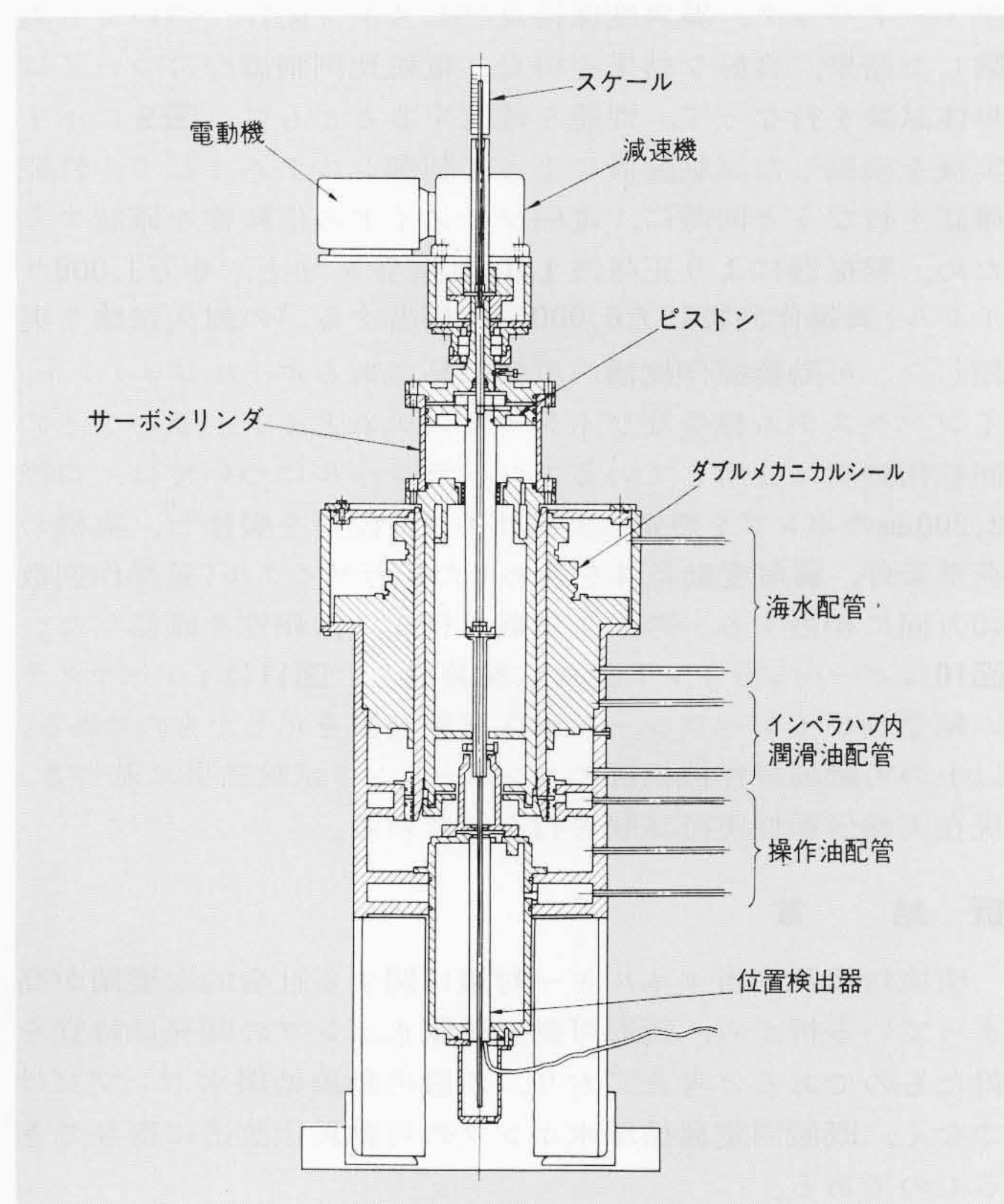


図8 新形可動翼ポンプコンポーネント試験装置 新形可動翼ポンプの可動翼操作機構部の主要部品を、口径3,000mmのポンプを想定した実機サイズで組み合わせて、コンポーネント試験を実施した。

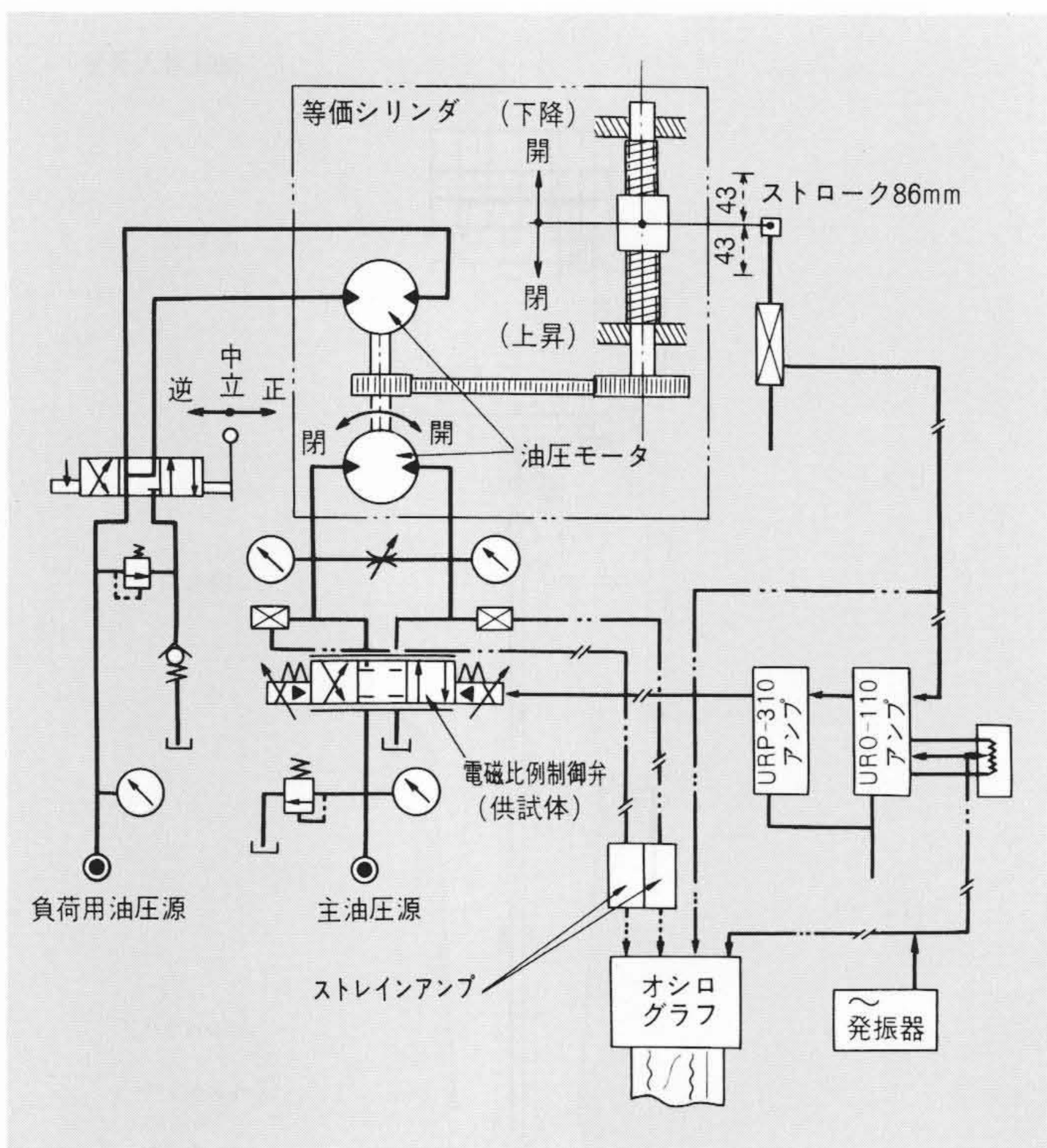


図9 電磁比例制御弁試験装置構成図 新形可動翼ポンプの制御の中枢である電磁比例制御弁の試験を行ない、応答性が良く塵埃に対して強いことを確認した。

ッドの上部で機械的に検知した。軸に全振幅 $500\mu\text{m}$ の振動を与えながら実験を行なったが、ダブルメカニカルシールは終始良好なシール性能を発揮し、インペラハブ内潤滑油と揚水を完全分離して回収することができた。なお翼角度のフィードバック、翼角度保持及びピストン動作についても実験した結果、良好な結果を得た。電磁比例制御弁については単体試験を行なって、性能を確認するとともに、図9に示す実機を模擬した試験装置によって制御システムとしての性能確認を行なうと同時に、電磁ソレノイドの信頼性を確認するため、発振器により正弦波 1Hz の指令を与え、6万3,000サイクル(翼操作回数12万6,000回に相当する。)の耐久試験を実施した。可動翼操作機構の重要部品であるボールジョイント、インペラステム軸受及びインペラステムとインペラハブとの回転摺動面に使用しているインペラシールについては、口径2,200mmのポンプを想定し実機サイズの模型を製作し、実機の荷重条件、翼角変動条件を合わせた10万サイクル(翼操作回数40万回に相当する。)の耐久試験を行ない信頼性を確認した。図10はボールジョイント耐久試験装置を、図11はインペラステム軸受及びインペラシール耐久試験装置を示したものである。以上の可動翼操作機構部のコンポーネント試験結果に基づき、現在実機信頼性実証試験を行なっている。

6 結 言

環境対策及び省エネルギー対策に関する社会的な要請が高まっている折から、新形可動翼循環水ポンプの開発は時宜を得たものであると考えており、新設可動翼循環水ポンプだけでなく、既設固定翼循環水ポンプの可動翼化改造に寄与できるものである。

本稿では可動翼循環水ポンプの最適経済運用システムについて紹介したが、更に可動翼循環水ポンプシステムとしての運用上の研究を積み重ね、最適な省資源、省エネルギー方式

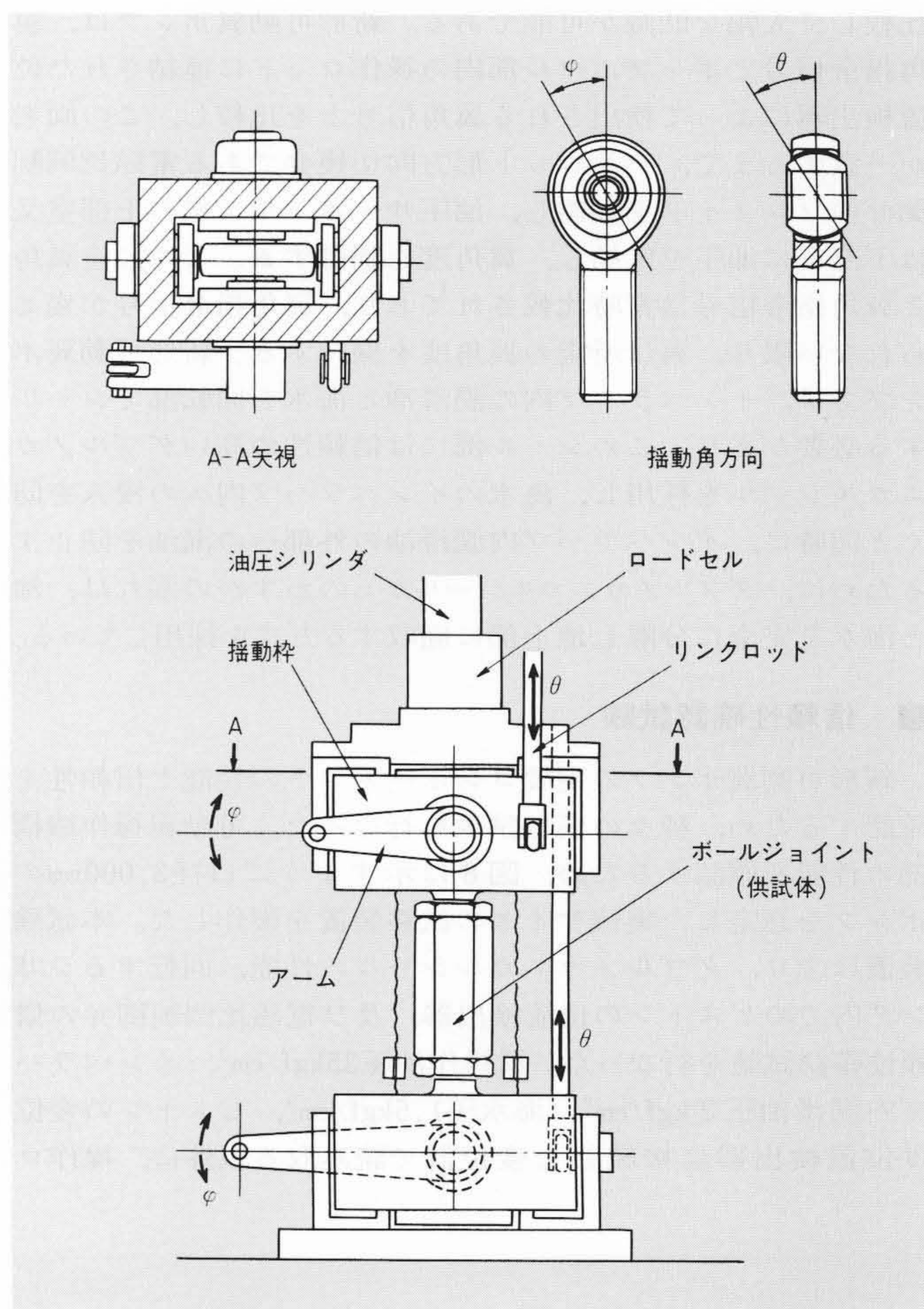


図10 インペラステム軸受及びインペラシール耐久試験装置 口径2,200mmのポンプを想定した実機サイズで、実機での荷重条件、翼角変動条件を合わせた10万サイクル以上のシミュレーション耐久試験を実施した。

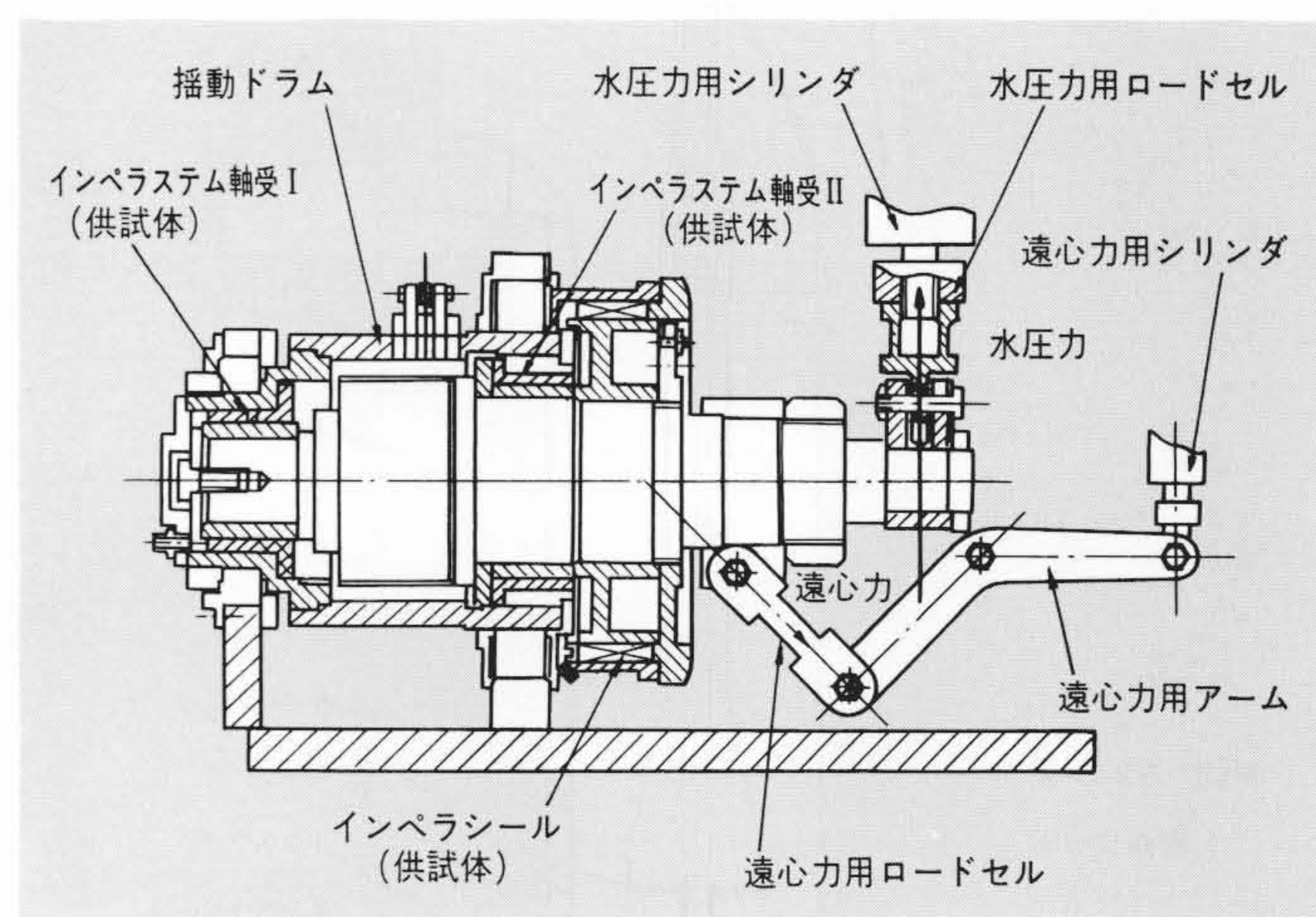


図11 ボールジョイント耐久試験装置 口径2,200mmのポンプを想定した実機サイズで、実機での荷重条件、翼角変動条件を合わせた10万サイクル以上のシミュレーション耐久試験を実施した。

の実現に努める考えであり、ここに諸賢のいっそうの御指導及び御助言を請う次第である。

参考文献

- 1) 上野, 外: 中間負荷火力用変圧運転プラント, 日立評論, 59, 4, 265~268(昭52-4)