

東京都水道局三園浄水場送水ポンプ設備

Pumping Plant for Water Supply in Misono Filtration Plant of Waterworks Bureau, Tokyo Metropolitan Government.

この度、東京都水道局は増大する水需要と安定供給のため、城北地区に三園浄水場を建設した。

都内の給水系統は大規模かつ複雑化しており、給水サービスの向上には浄水場の機器の信頼性の向上など、従来以上の種々の配慮が必要となっている。特に瞬時停電によるポンプの停止は、配管上へのトラブルが発生し、再送水までにかなりの断水を余儀なくされていた。

これらに対処するため、三園浄水場の送水ポンプは主機の信頼性の向上を図るとともに瞬時停電にも安定で、しかも高効率、保全性に富んだサイリスタ クレーマ方式による速度制御を採用した。

島崎秀夫*	Shimasaki Hideo
土屋 実**	Tsuchiya Minoru
小林重徳**	Kobayashi Shigenori
宮田俊夫***	Miyata Toshio
堀 孝正****	Hori Takamasa
吉岡孝幸*****	Yoshioka Takayuki
丸 三郎*****	Maru Saburô

1 緒 言

東京都の水需要は年々増加しており、このため都では、第三次利根川系拡張事業の一環として、板橋給水所、練馬給水所（計画中）への送水及び三園地区への給水の強化のため、三園浄水場を建設した。

三園浄水場は、各施設とも安全性、簡素化、及び省力化に重点をおき設計され、また、用地上の制約から非常にコンパクトな設備となっている。送水ポンプ設備もその指針に基づき、円滑な制御性、操作の簡易化、維持費の軽減などの考慮が要求された。

また、瞬時停電などによるポンプの停止は、即刻断水、減水や濁水発生の原因となり、多数の需要家に直接影響するので、瞬時停電時においても停止しないような設備総合の信頼性の向上が特に要求された。

本送水ポンプ設備は、設備全体の信頼性に十分な考慮を払うとともに瞬時停電対策に新たに開発された無整流子クレーマ（以下、サイリスタ クレーマと称す）による速度制御方式を採用した。サイリスタ クレーマは、従来のクレーマ方式の直流電動機を無整流子電動機に置き換えたものである。

三園浄水場は、昭和50年夏通水を開始したが、その後、現在まで順調に稼動中であり、本稿は、その設備の概要について紹介する。

2 送水ポンプ設備の概要

2.1 送水ポンプ設備

三園浄水場の標準施設能力は、日量30万 m^3 （最大45万 m^3 ）で、板橋給水所、練馬給水所への送水、及び三園地区への配水を分担し、その送配水系統は図1に示すとおりである。

三園浄水場の送水ポンプ設備は、図2に示すように、板橋系送水ポンプ3台、練馬系送水ポンプ2台と三園地区配水ポンプ2台より成る。

板橋系送水ポンプ及び練馬系送水ポンプは、サイリスタ クレーマ方式により回転数が制御され、流量一定、又は吐出圧一定で運転される。

停電時などのポンプ動力急しや断時には、ポンプ系の水撃を緩和するため、ポンプの吐出しロータリ弁は油圧操作によ

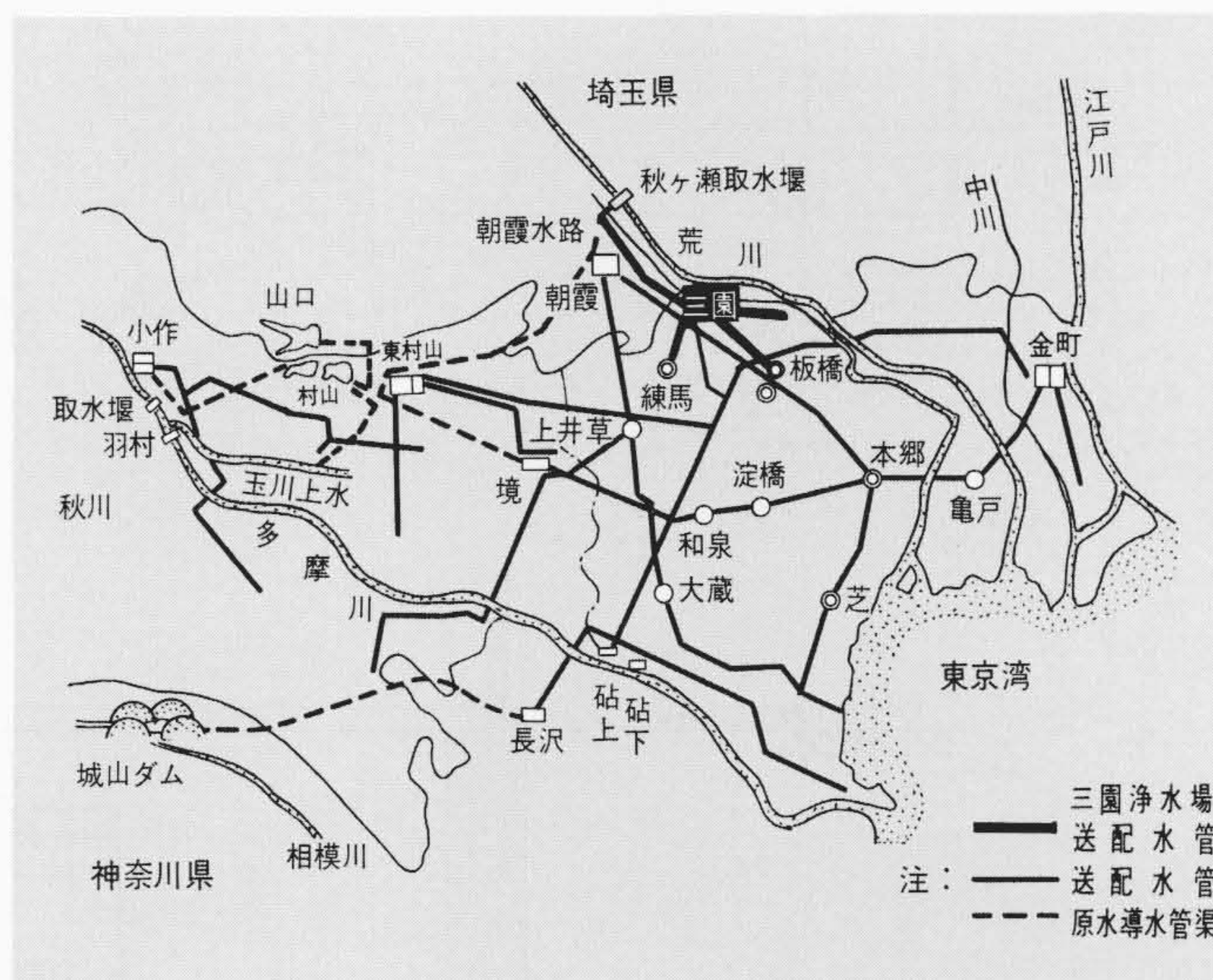


図1 送配水系統図 東京都水道局三園浄水場の位置及び送配水系統を示す。

り自動2段閉鎖される。

送水ポンプの仕様は表1に示すとおりである。

図3は、練馬系送水ポンプの運転特性を示す。

2.2 瞬時停電対策

上水道用ポンプ送水設備は、近年、需要量の増大と効率の向上、省力化の要求から大形化及び各種の自動化が図られ、また、流量、圧力調整の円滑化を図るため、高度な速度制御方式が用いられるようになった。

また、配水管路も、用地の取得難、スケール メリットへの考慮などより、複雑大容量化している。

このような設備では、瞬時停電などによって送水ポンプの機能が停止すれば断水、濁水の発生などで、広範囲の地域に被害を及ぼすことになる。

上水道の公共性にかんがみ、給水の安定とサービスの向上、事故処理経費の軽減、運転操作員の労働軽減などのためには、瞬時停電対策を施した設備が必要となってきた。

* 東京都水道局電機設計課 ** 日立製作所機電事業本部 *** 日立製作所日立工場 **** 日立製作所日立研究所
***** 日立製作所大みか工場 ***** 日立製作所土浦工場

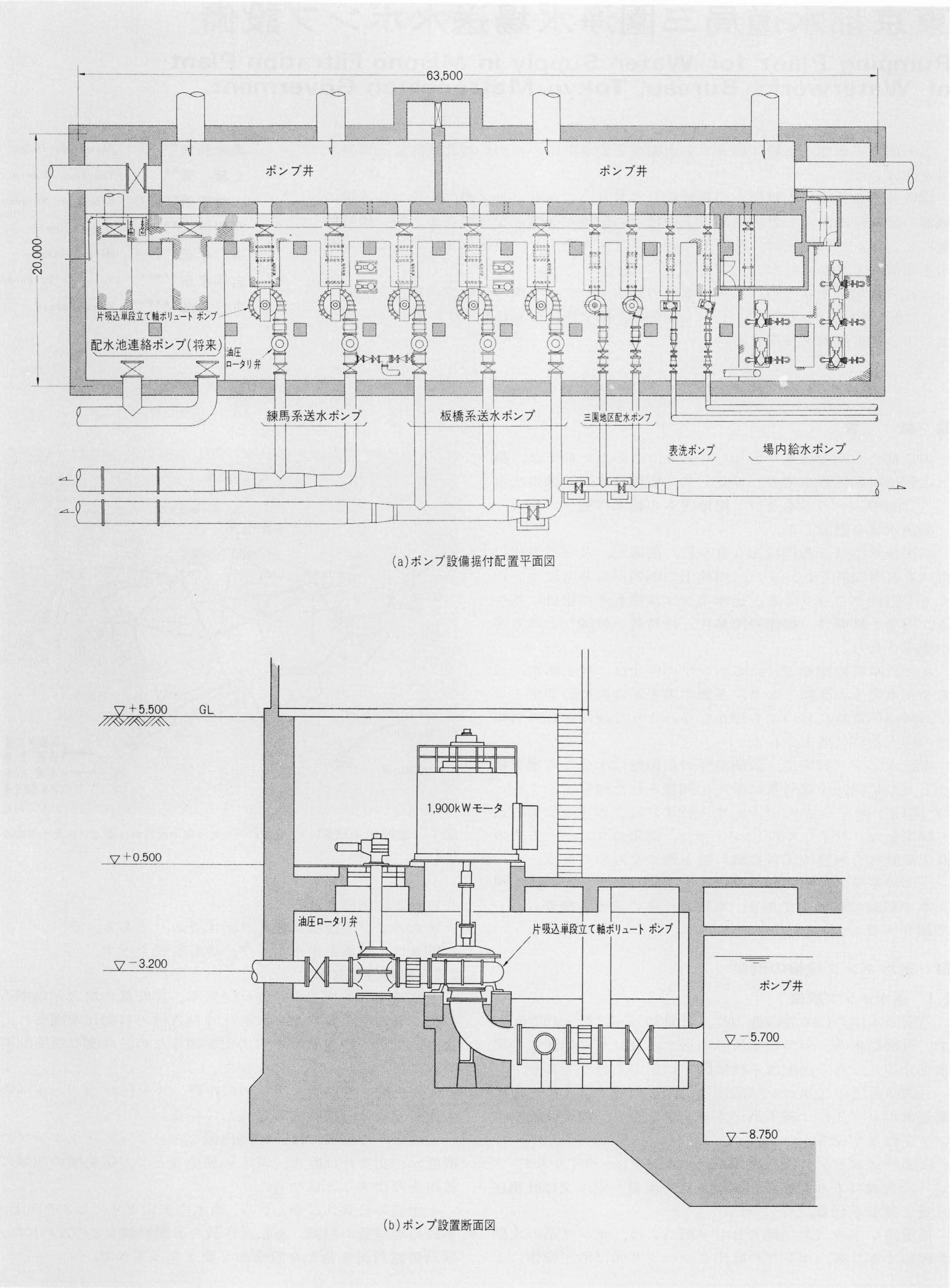


図2 送水ポンプ設備据付配置図 ポンプ設備はスペースを有効利用し、整然とすべて地下室配置されている。

なお最近の統計によると、東京都水道局の特高受電を行なう浄水場、給水所の最近3年間に於ける瞬時停電回数は43回で、0.1秒以内が1回、0.1～0.5秒が36回、0.5～1秒が4回、1秒以上が2回で、0.5秒以内が86%を占めている¹⁾。

今回の設備では、機器の経済性をも配慮して、瞬時停電に対するカバー範囲を0.6秒以内とした。

2.3 電気設備の概要

浄水場における電気設備の系統は、図4の単線結線図に示すとおりである。

三園浄水場の受電は60kV 2回線で、工水系5,000kVA×2バンク、上水系5,000kVA×2バンクであり、各々、非常時には連絡可能なものである。

送水ポンプ設備には、上記の変電設備より、3kV 2回線で給電を行なっている。

3 送水ポンプ

送水ポンプは、据付面積が少なくて済む長所を持ち、丈夫な構造で、大容量水道用ポンプに実績の多い片吸込単段立て軸ボリュートポンプで、サイリスタ クレーマセットに直結駆動される。図5に構造断面を示す。

(1) 羽根車

羽根車は、18Cr-8Niステンレス鋳鋼製のクローズ バランス形である。羽根車背面のバランス室は吸込側に連絡されており、軸方向推力及び軸封部の圧力の低減が図られている。

(2) ケーシング

ケーシングは、鋳鉄製で、高圧下の変形とポンプ軸に作用

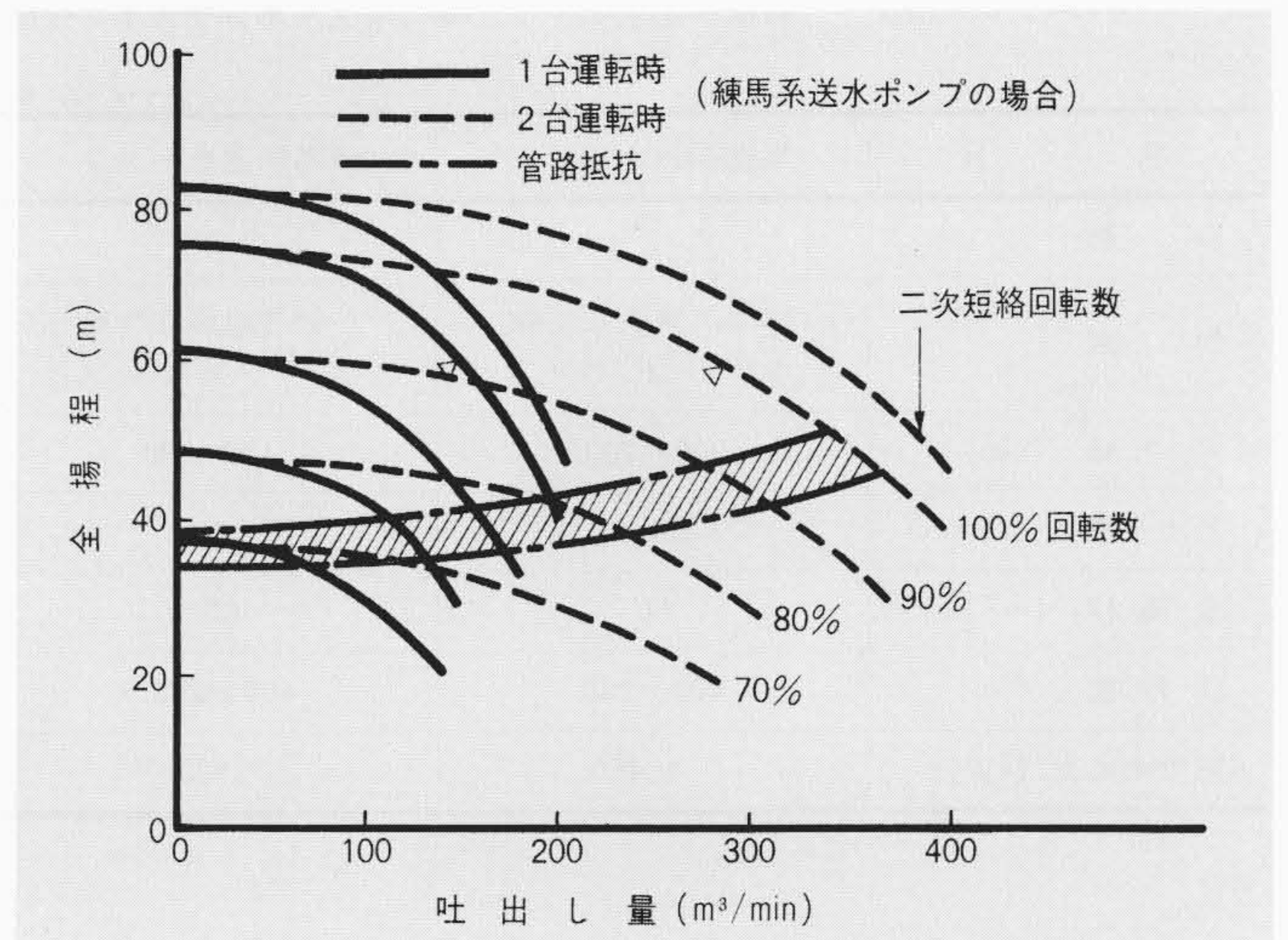
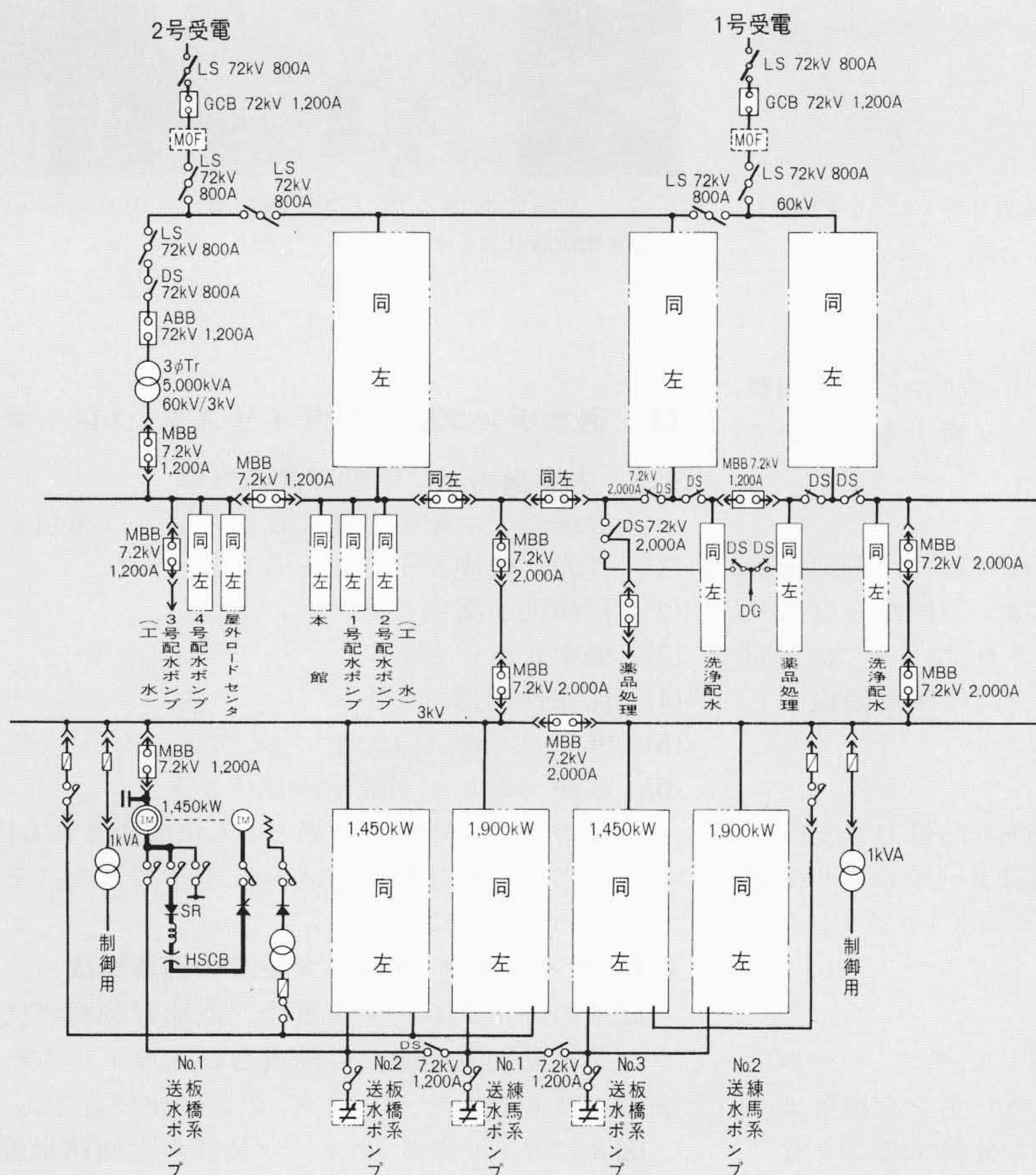


図3 ポンプのQ-Hシステム特性 ポンプの運転台数及び各回転速度でのQ-H特性、及び管路抵抗を示している。

する半径方向推力を軽減するためのダブル ボリュート形式になっている。変形については、有限要素法による数値解析と、水圧試験時のひずみ測定により、十分安全であることを確認した。

(3) インペラ リングとケーシング リング

羽根車には、18Cr-8Niステンレス鋳鋼製のインペラ リングが取り付けられている。相手側のケーシング リングは、



注：MOF=取引用積算電力計
LS=ライン スイッチ
Tr=変 圧 器
IM=誘導電動機
TM=サイリスタ モータ
SR=シリコン整流器
INV=インバータ(サイリスタ)
HSCB=高速度しゃ断器
MBB=磁気吹消しゃ断器
DS=断 路 器

図4 電気設備の単線結線図 非常時には工水系と上水系は連絡可能である。

表1 ポンプの仕様 板橋系送水ポンプと練馬系送水ポンプの主な仕様を示す。

項 目	板橋系送水ポンプ	練馬系送水ポンプ
台 数	3	2
形 式	片吸込単段立て軸 ポリュート ポンプ	片吸込単段立て軸 ポリュート ポンプ
口 径 (mm)	1,000×700	1,100×700
吐出し量 (m ³ /min)	132	146
全 揚 程 (m)	50	60
回 転 数 (rpm)	400～260	404～283
電動機出力 (kW)	1,450	1,900

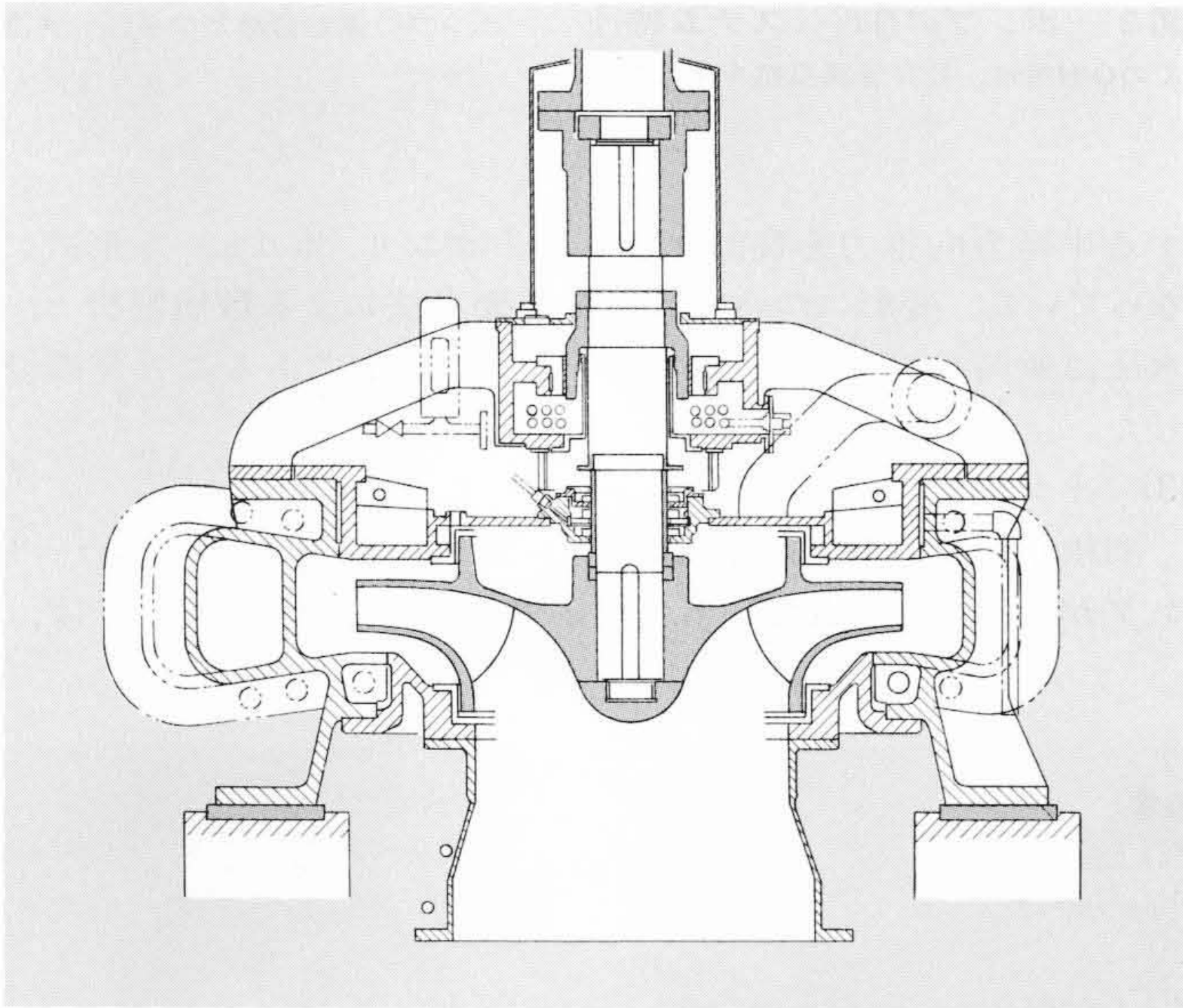


図5 送水ポンプ構造図 回転部は、主配管を取り外すことなく上部に引き上げ分解できる。

摺動性能の良い析出硬化性オーステナイト ステンレス鋳鋼製である。これらのリングは、摩耗時容易に交換することができる取り付けとなっている。

(4) 軸

軸は、炭素鋼製であり、正確に加工されており、動力伝達に十分な寸法を持つものである。接水部は、羽根車及びスリーブなどで直接に水と接しないよう保護されている。軸と羽根車の固定は、テーパ取合のキー止めとし、確実な固定としている。

(5) 軸受

軸受は、溝付スリーブ軸受であり、半径方向推力を支持している。軸受はオイル バス中にあり、内蔵クーラにより冷却される。なお軸方向推力は、電動機のスラスト ベアリングにより支持されている。

(6) 軸封装置

軸封装置は、カーボン パッキンを使用している。カーボン パッキンには、外部より清水を封入し、カーボンを損傷より保護している。なお軸封装置は、ポンプを分解することなく交換可能な構造となっている。

図6に送水ポンプの組立完了時の外観を、図7に工場での性能試験状況を示す。

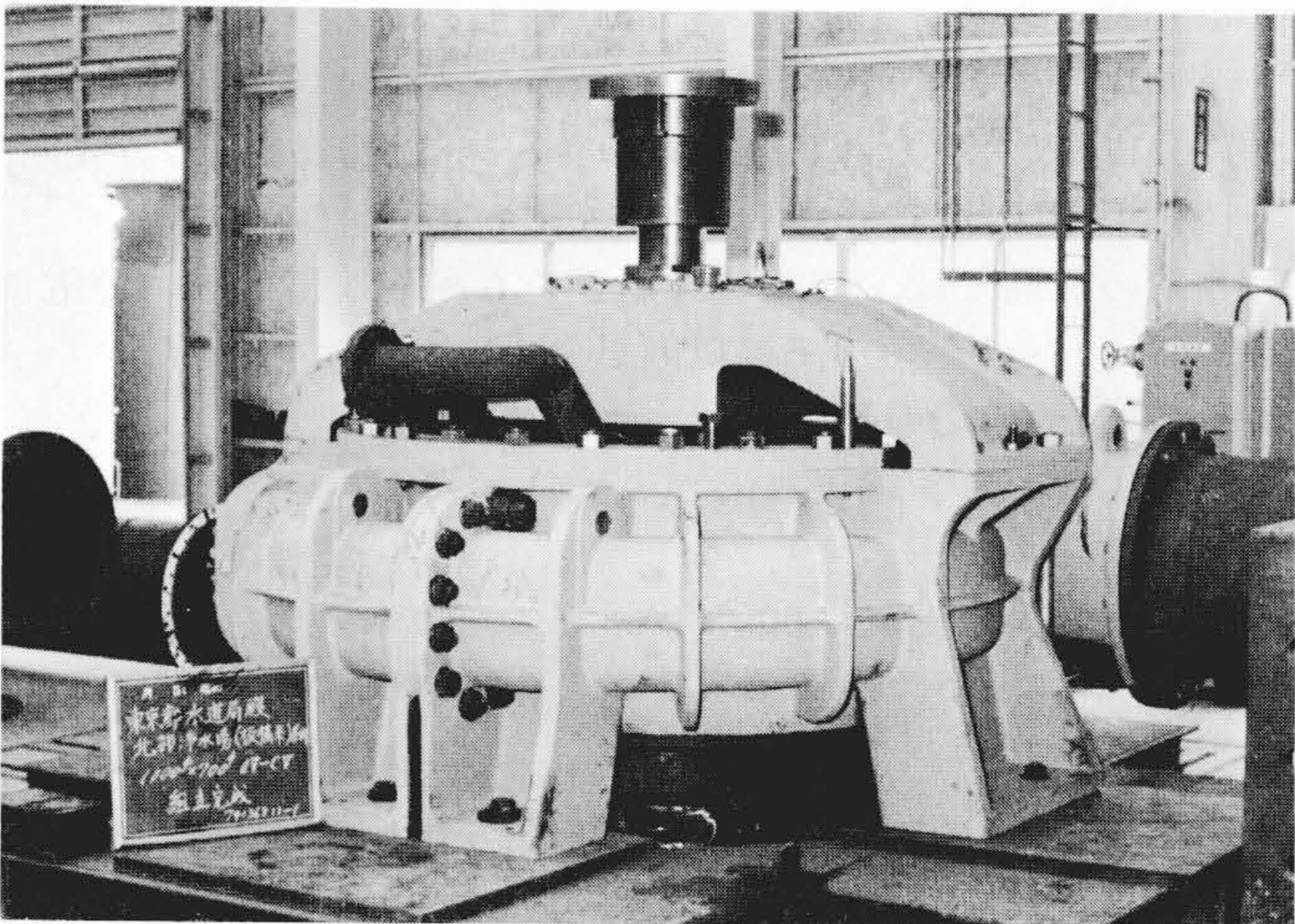


図6 送水ポンプ 丈夫で、重心の低い安定した構造となっている。

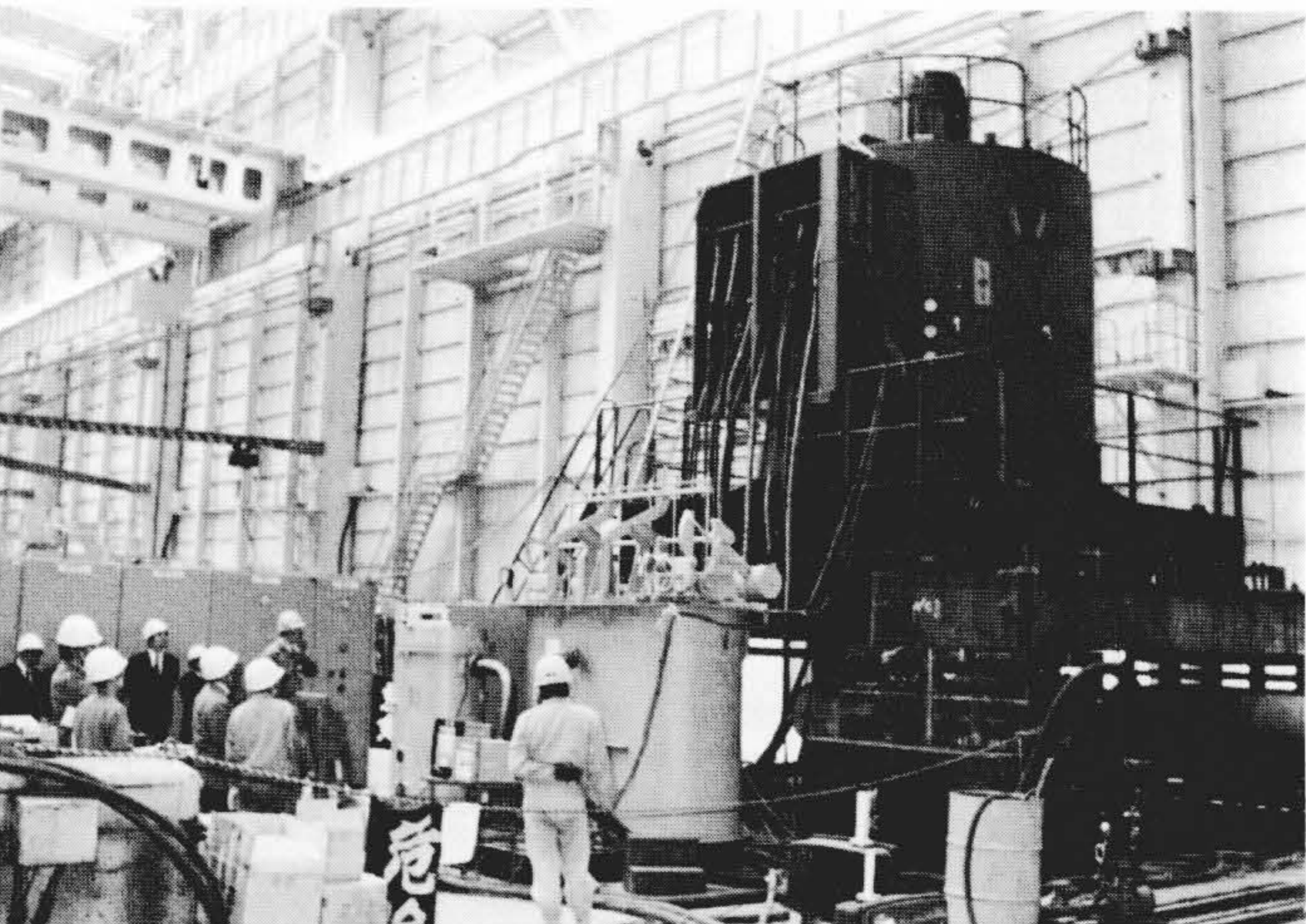


図7 工場におけるポンプ性能試験 クレーン セットと組み合わせた実機試験状況を示す。

4 送水ポンプ駆動用サイリスタ クレーマ装置

4.1 大容量ポンプ駆動方式の推移

大容量ポンプ駆動装置には次のような事項が要求される。

- (1) 性能、機能が十分であること。
- (2) 信頼性が高いこと。
- (3) 効率が良いこと。
- (4) 保守性が良いこと。
- (5) サービス性に富んでいること。
- (6) 電源へのじょう乱が少ないこと。

などがあり、時代の経過とともに要求される内容も変化し、それに応じて速度制御方式も変遷してきた。その様子と特徴をまとめて表2に示す。

4.2 サイリスタ クレーマ装置の回路構成

従来の静止クレーマ装置で、直流電動機の代わりに、インバータと同期電動機から構成されるサイリスタ モータ(TM)を用いたものがサイリスタ クレーマ装置である。

図8にサイリスタ クレーマ装置の主回路単線結線図、及び制御回路を示す。

ダイオード整流器とサイリスタ インバータ(同期電動機の逆起電力で転流するもの)は、誘導電動機のすべり周波数の

表2 大容量水道用ポンプ速度制御方式とその特徴
時代の変遷とともに要求される内容も変化し、それに伴って速度制御方式も変遷してきた。

変遷	速度制御方式	単線結線図	動作特性	節電性	保守性	瞬時停電時の信頼性	高調波、力率	制御回路故障時のバックアップ運転
従来使用されてきた方式	昭和30年代前半 二次抵抗制御			✗ 低速度になるほど抵抗損失が増加し効率低下	✗ 制御用二次液体抵抗器の保守が必要	○ 問題なし	○ 問題なし	○ 二次短絡、あるいは二次一定抵抗での運転可能
	昭和30年代後半 静止クレーマ制御 (直流電動機付)			○ 二次すべり電力が機械力として利用される。	✗ 直流電動機の整流子、ブラシの保守が必要	○ 同上	○ 同上	○ 同上
将来使用が拡大されていく方式	昭和40年代 サイリスタセルビウス制御			○ 二次すべり電力が電気力として利用される。	○ 問題なしただし、スリップリング、ブラシの保守必要	△ 瞬時停電時にインバータの転流失敗の可能性が大きいですが、対策可能	△ 100%速度で力率最低、高調波最大	○ 同上
	昭和40年代終末 サイリスタクレーマ制御 (サイリスタモータ付)			○ 二次すべり電力が機械力として利用される。	○ 同上	○ サイリスタモータの逆起電力によりインバータの転流可能	○ 問題なし	○ 同上
	サイリスタモータ制御			○ 負荷の要求する電力がモータ入力となる。	○ ブラシレス励磁機を使用すれば無保守化可能	○ 同上	△ 100%速度で高調波最大、低速度で力率低下	△ バックアップ運転には特殊な考慮が必要

注：判定 ○＝問題なし、良い。△＝対策可能 ✗＝問題あり、悪い。

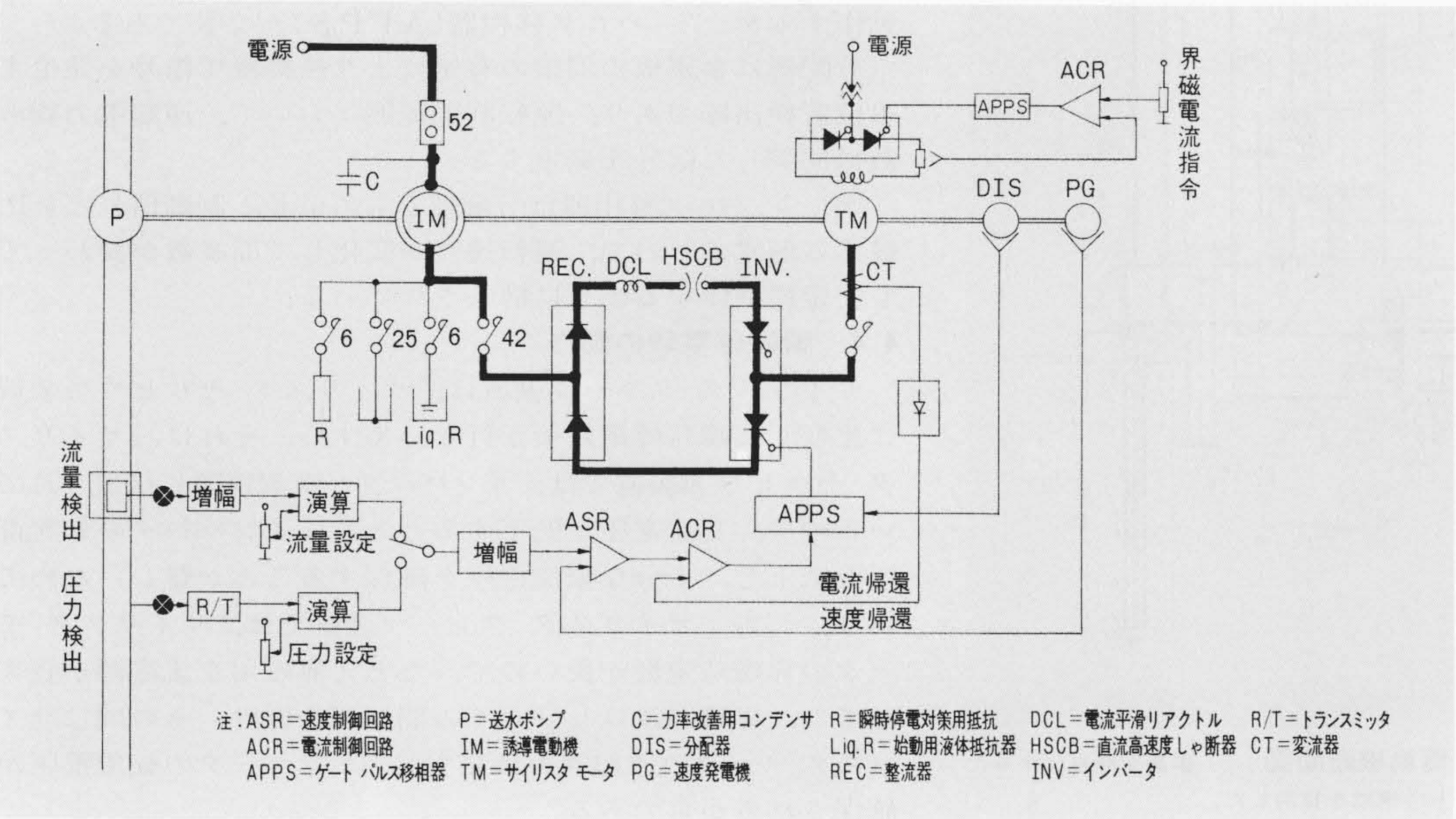


図8 サイリスタ クレーマ装置単線結線及び制御系統図
クレーマ構成において、従来の直流電動機の代わりに、インバータと同期電動機から構成されるサイリスタモータを用いている。

電圧をサイリスタ モータの電圧に変換する周波数変換器を構成している。始動用抵抗器を用いて加速した後、抵抗器を切り離し、誘導電動機二次巻線を整流器に接続し、クレーマ運転に入る。二次短絡回路はサイリスタ モータが万一故障したときなどのバックアップ運転に使用される。

誘導電動機の二次電圧とサイリスタ モータの逆起電力とが等しくなる速度から、誘導電動機の同期速度近傍までが速度制御可能範囲であるが、実際にはインバータの転流とサイリスタ モータの負荷時における電圧降下を考慮すると、前述の速度よりも少し高い速度からが実用運転制御範囲となる。

インバータの制御角により直流電圧を調整すれば誘導電動機の速度が制御できる。速度指令と指速発電機からの帰還信号とが突き合わされ、偏差に応じて速度が指令に見合った値になるように、速度制御回路が動作する。インバータの制御進み角が大きくなれば、直流電圧が低くなって速度が上昇し、高くなれば速度は低下する。

4.3 サイリスタ クレーマ装置の構成機器

サイリスタ クレーマ装置は、誘導電動機とサイリスタ モータ、整流器とインバータ、及び制御回路から構成されている。

以下、各構成機器の代表的な特徴について説明する。

4.3.1 電動機

サイリスタ クレーマ用電動機の構造を図9に示す。構造を簡単にするためにコモンヨーク、コモンシャフトの構成を採用した。1,900kW、1,450kWについて誘導電動機の固定子、回転子鉄心の外径及びスロット形状寸法は各1種類とし、作業の標準化、治具の種類の減少を図ると同時に、両機種につ

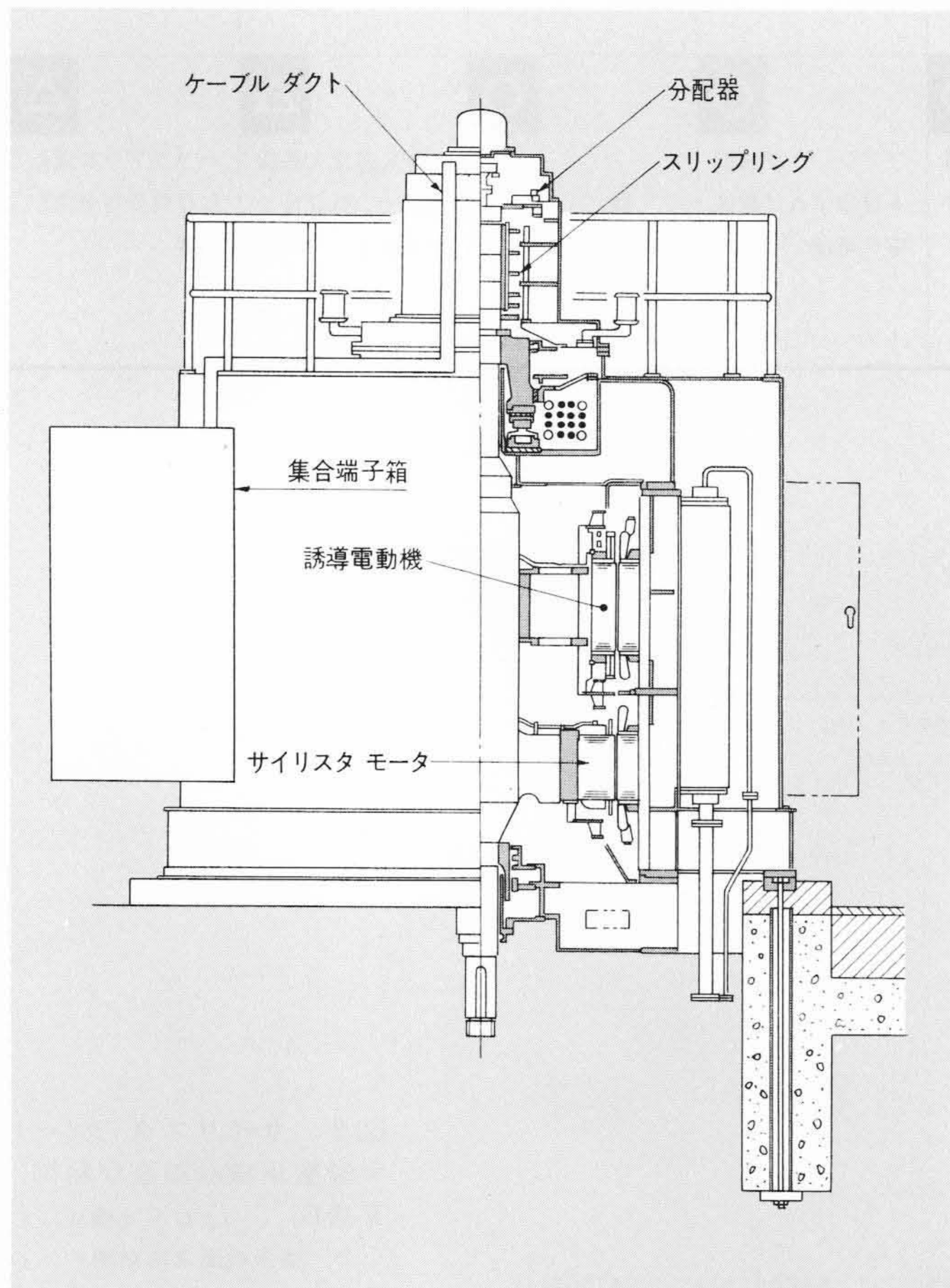


図9 サイリスタ クレーマ用電動機断面図 構造を簡単にするため、コモンヨーク、コモンシャフトの構成を採用した。

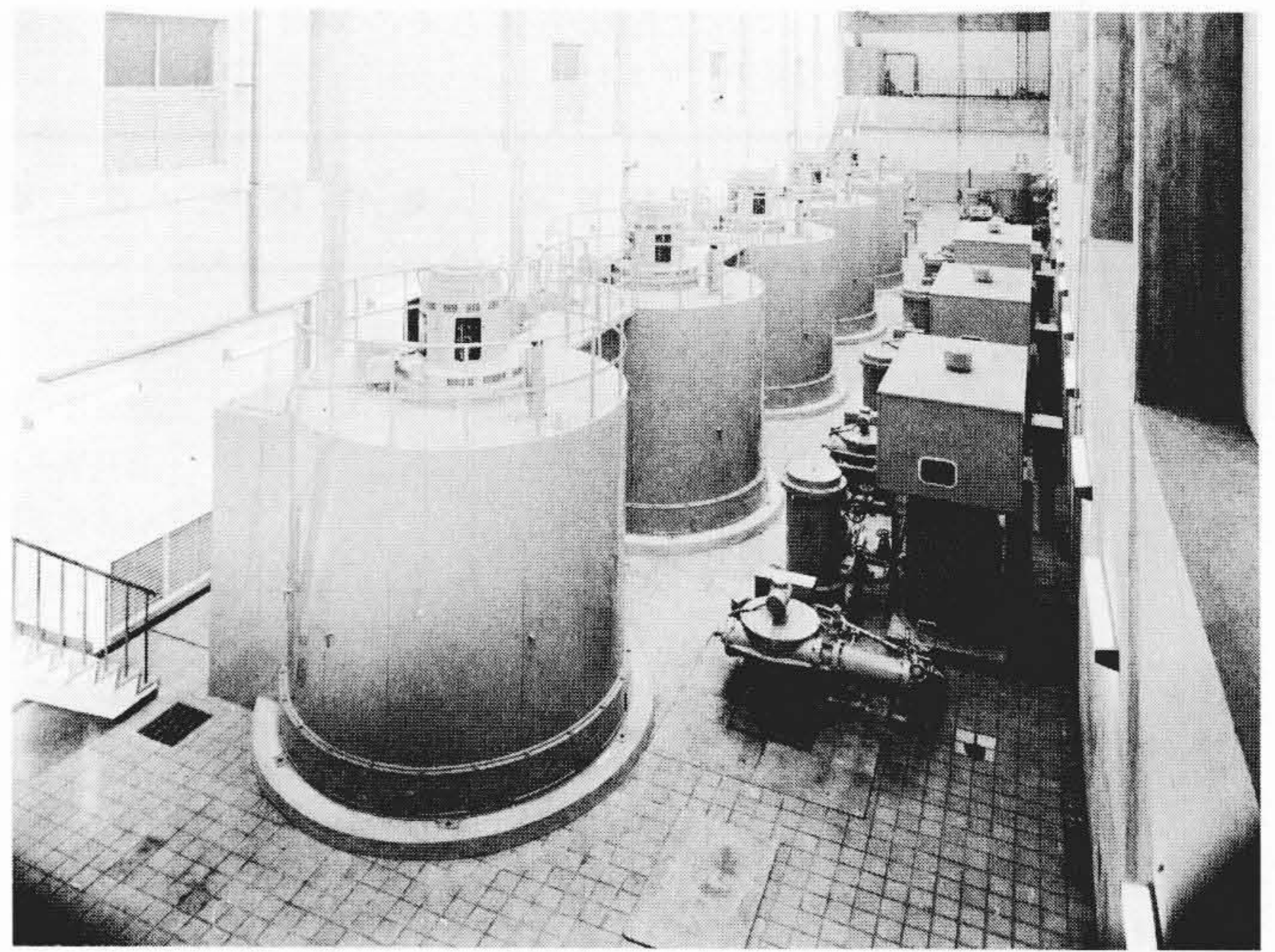


図10 サイリスタ クレーマ電動機 1,900kW、1,450kWについて共通化し、作業の標準化、治具の種類の減少を図り、サイリスタ モータも1種類で済むように考慮してある。

いてサイリスタ モータが1種類で済むよう、誘導電動機の二次電圧の設計に考慮を払った。

スリップリングは誘導電動機とサイリスタ モータ両方の保守点検が一度にできるよう、すべて上部に設けた。

分配器は上部に設け、点検を容易にできるようにした。その電源及び信号線は、外部からノイズが侵入せぬようシールドパイプの中に設置して、サイリスタ回路の誤動作を防止するよう考慮を払ってある。

図10にサイリスタ クレーマ電動機の外観を示す。

4.3.2 整流器及びインバータ

整流器及びインバータの構成は、従来のサイリスタ セルビウス装置におけるものと同様であるが、瞬時停電時における電圧サージ対策に十分考慮を払っている。

素子として、多数の実績を持つ3,000V 800Aクラスダイオード、2,500V 400Aクラスのサイリスタを使用している。

4.3.3 制御装置

サイリスタ クレーマ装置の制御には、サイリスタ モータの界磁位置を検出し、点弧すべきインバータのサイリスタ素子を決定するための分配器と、分配器からの信号に同期して動作するゲートパルス移相器(PPS)が必要である。

分配器は金属板の羽根の有無により無接触で信号を発生する位置検出器であり、運転制御範囲において、逆起電力周波数に同期した信号を発生する。

ゲートパルス移相器は分配器からの信号と制御信号とを比較する形式のもので、運転速度が変化して周波数が変わっても安定に動作するように構成されている。

4.4 瞬時停電時の動作

サイリスタ クレーマ装置は、サイリスタ セルビウス装置に比較して瞬時停電対策が行ないやすい。それは、サイリスタ セルビウス装置では、インバータが交流電源に接続されているので、交流電圧が低下するとともにインバータの転流電圧も低下し、十分な転流電圧を確保することが難しいためであり、一方、サイリスタ クレーマ装置では、サイリスタ モータの界磁時定数が長いので、たとえ界磁用交流電源が喪失しても、界磁電流はしばらくの間は流れ続け、その間はサイリスタ モータの逆起電力は発生し、インバータの転流電圧が確保されるからである。

瞬時停電時にも運転を継続するための動作としては、まず瞬時停電検出と同時に、主回路直流電流を減少させるように制御回路に信号を加え、誘導電動機の二次回路に抵抗を挿入すると同時に、誘導電動機と整流器間の接触器を開き、瞬時停電回復時における誘導電動機二次電圧の増大に対処する。瞬時停電回復後の誘導電動機の過渡電圧がある程度減少し、また速度低下が大きい場合には、二次挿入抵抗により速度低下分をある程度回復した後、クレーマ運転領域にあることを確認して、整流器を誘導電動機の二次回路に接続すると同時に、二次挿入抵抗を開き、クレーマ運転にもどる。

以上説明した瞬時停電時の一連の動作を図11に示す。瞬時停電期間及びその復電時においても過大な電流が流れることなく、正常に運転が継続されていることが分かる。

4.5 サイリスタ クレーマ装置の総合特性

4.5.1 サイリスタ クレーマ装置の入出力特性

誘導電動機及びサイリスタ モータの特性を十分に把握して設計製作を行ない、図12に示すように、所期の特性を満足する性能が得られた。

4.5.2 速度負荷特性

図13に速度指令を一定に保ったときの速度負荷特性を示す。

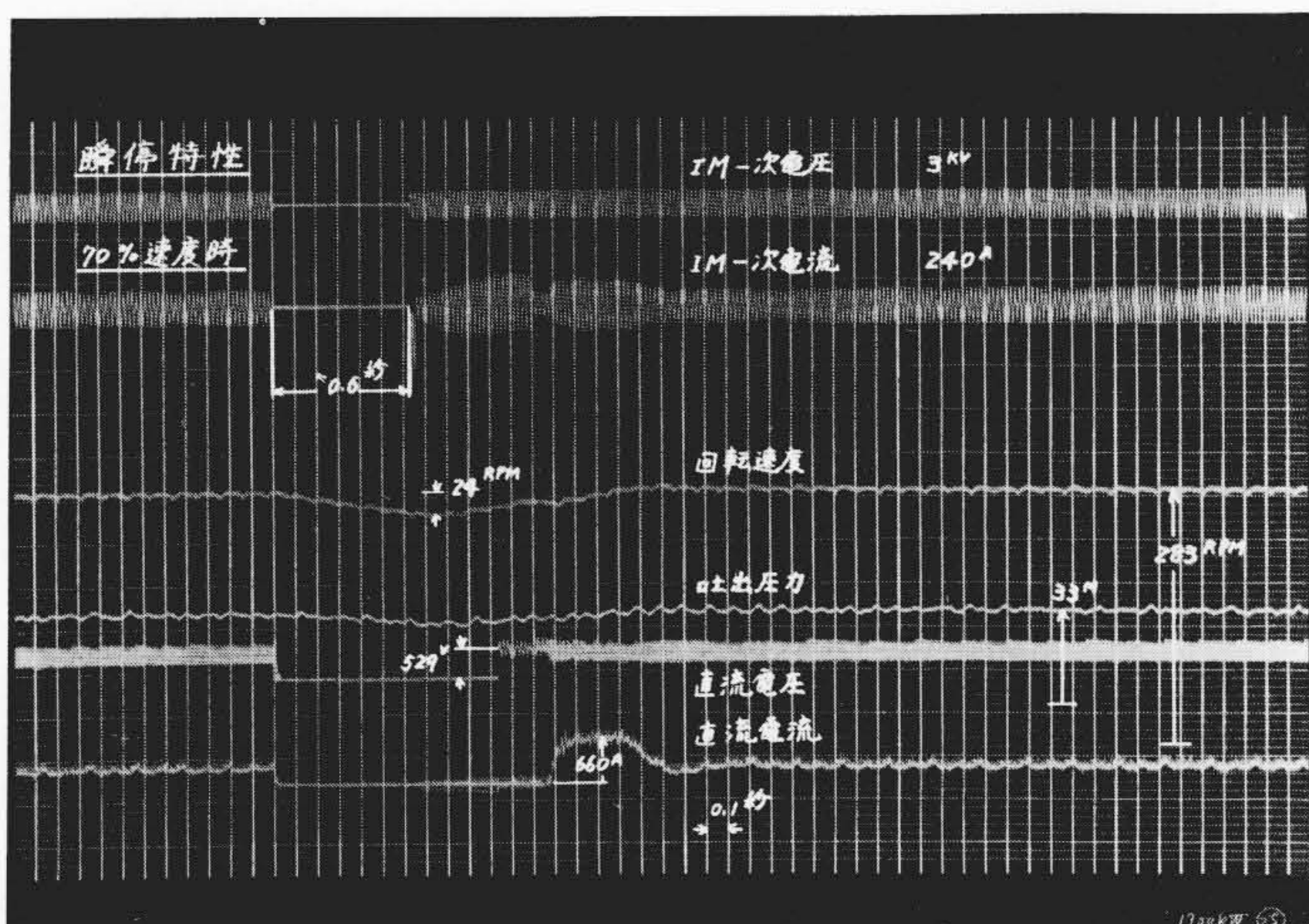


図11 瞬時停電時の動作 瞬時停電によって停止することなく、復電後は円滑にサイリスタ クレーマ運転に復帰している様子が分かる。

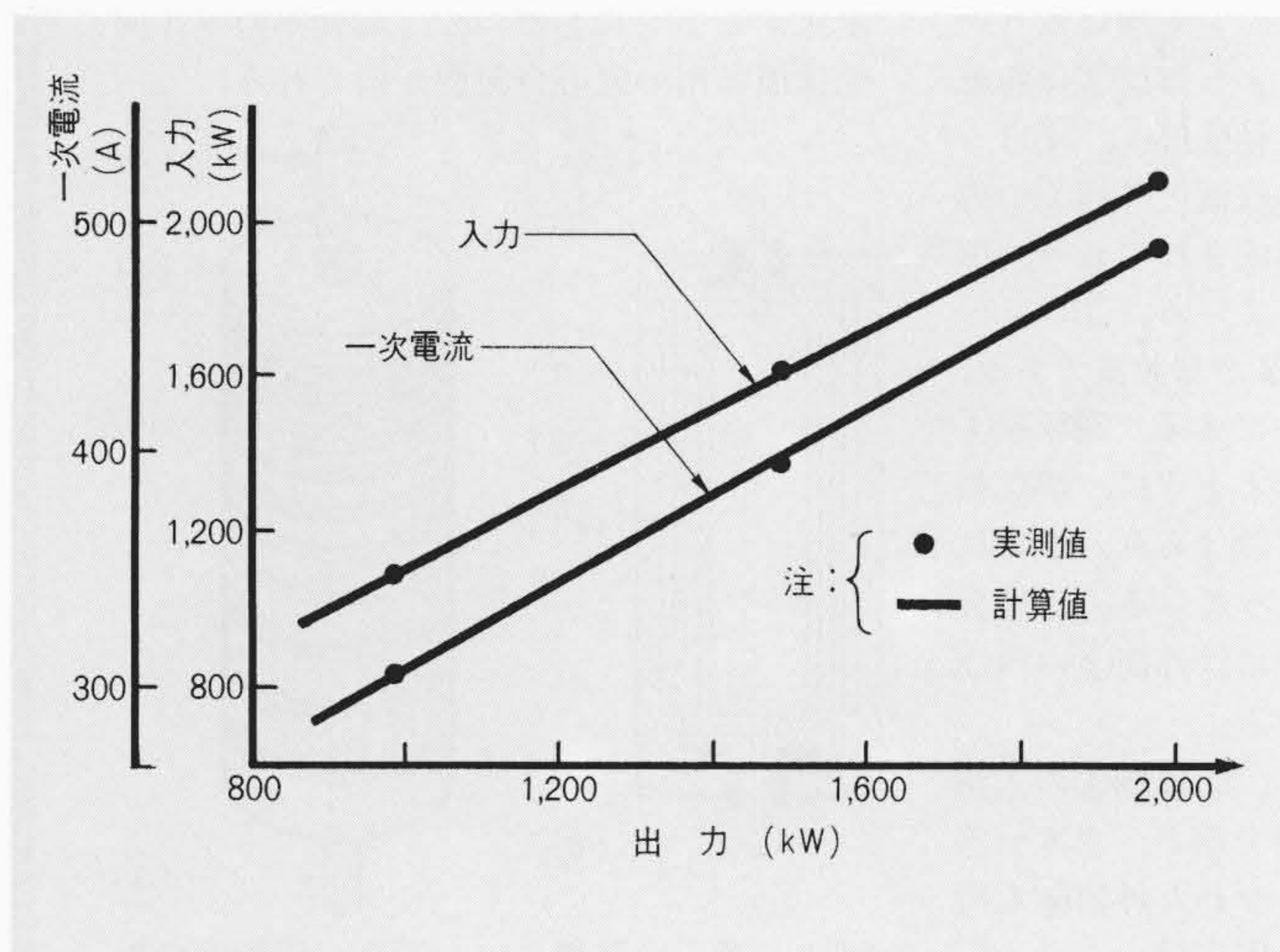


図12 100%速度における入出力、電流特性(1,900kW機) 所期の特性を満足する性能が得られた。

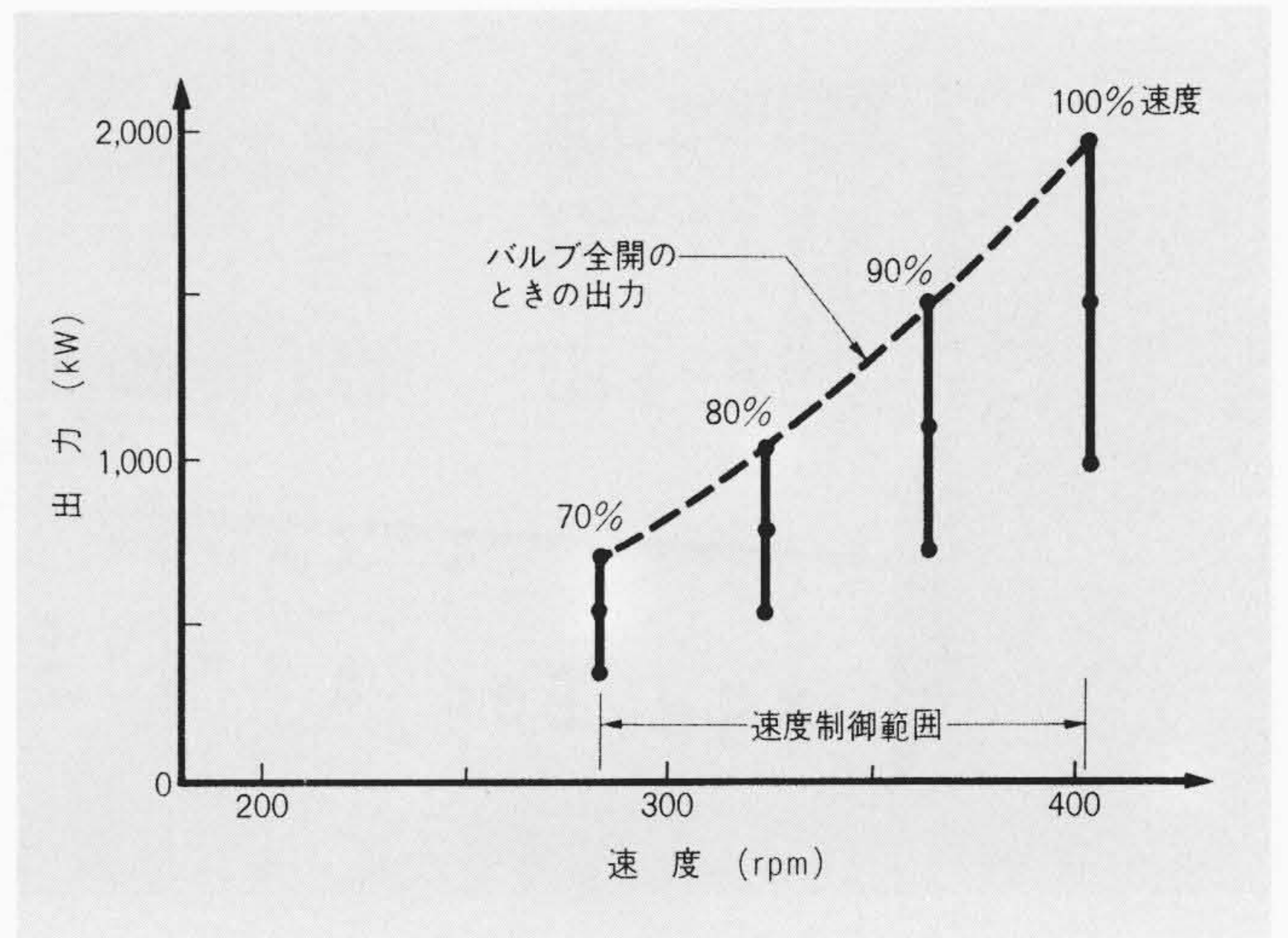


図13 速度負荷特性 出力(kW)が変化しても速度が設定値に一定に制御されていることを示している。

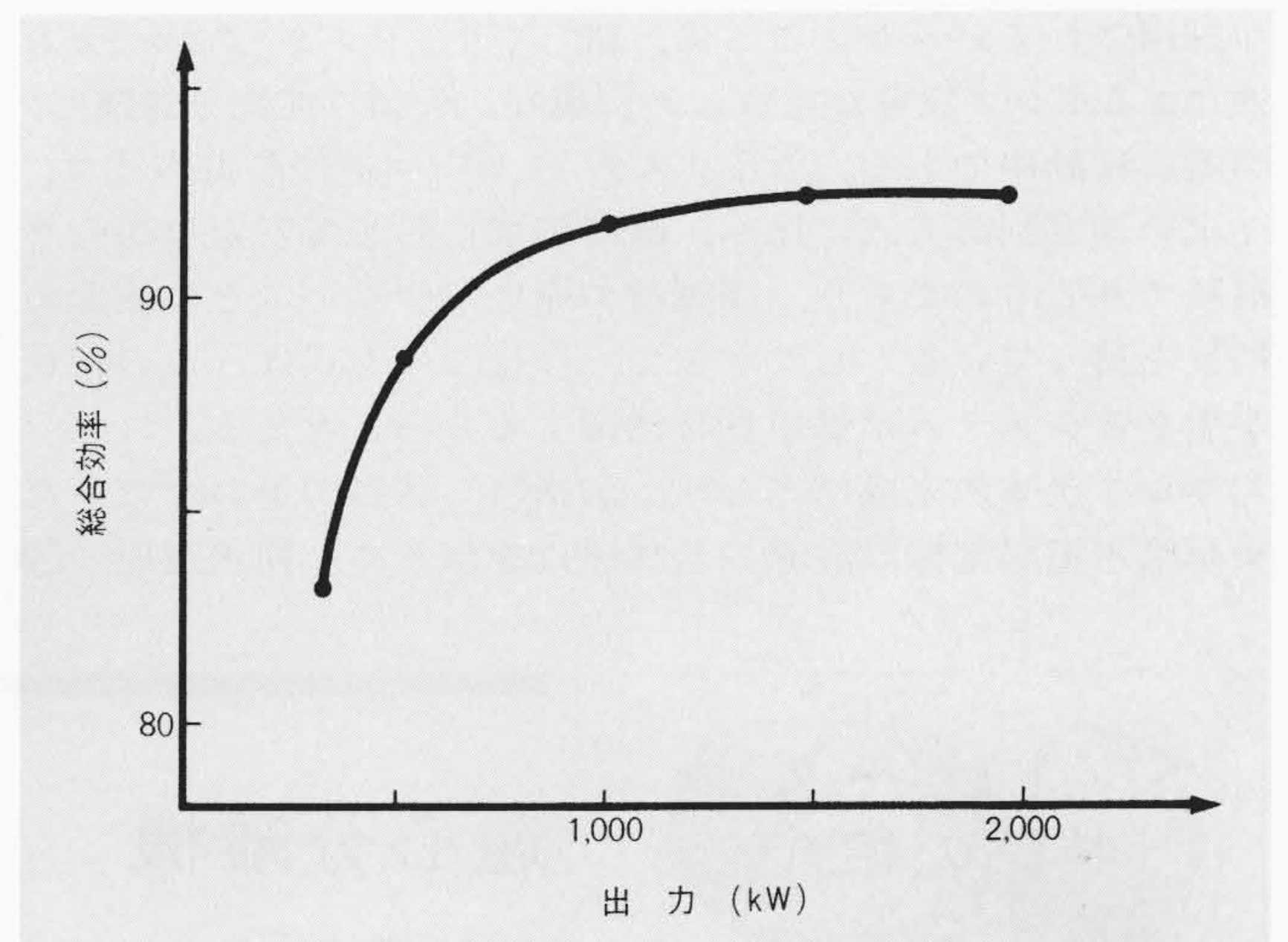


図14 総合効率(1,900kW機) 70~100%速度における総合効率が、従来のセルビウス装置と同様に高効率であることを示している。

速度制御回路により、負荷が変動しても速度は一定に保たれ、理想的な分巻特性が得られている。バルブ全開時の全負荷から全閉時の軽負荷にわたるサイリスタ クレーマ装置としての全運転領域において円滑な速度制御が行なえる。

4.5.3 総合効率

図14に70%速度から100%速度までのサイリスタ クレーマ装置の総合効率を示す。従来のセルビウス装置と同様に、低速度から高速度にわたって高効率を得ることができる。

5 送水ポンプの制御方式

送水ポンプは約200m離れた中央監視室から遠隔制御され、流量一定制御、又は圧力一定制御が行なえるようになっている。流量、又は圧力の検出信号と、設定値との比較から得られた信号がサイリスタ クレーマ装置に対する速度指令値となる。

中央監視室から遠隔制御されるので、速度指令値の「連動一単独」の切換え、流量一定制御と圧力一定制御の切換えなどはバンプレスに行えるように構成されている。

図15に中央監視盤を示す。

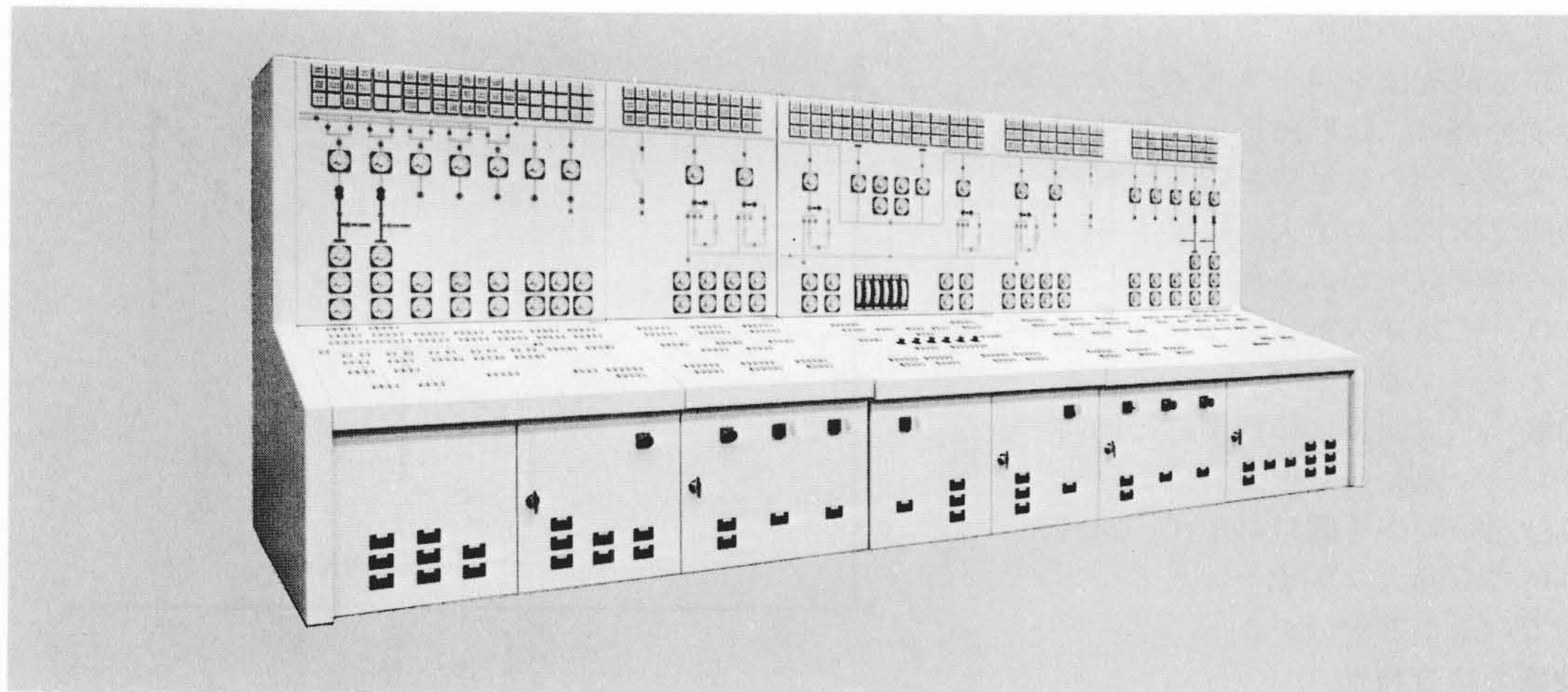


図15 中央監視盤 送配水ポンプは、この中央監視盤から遠隔制御される。

6 結 言

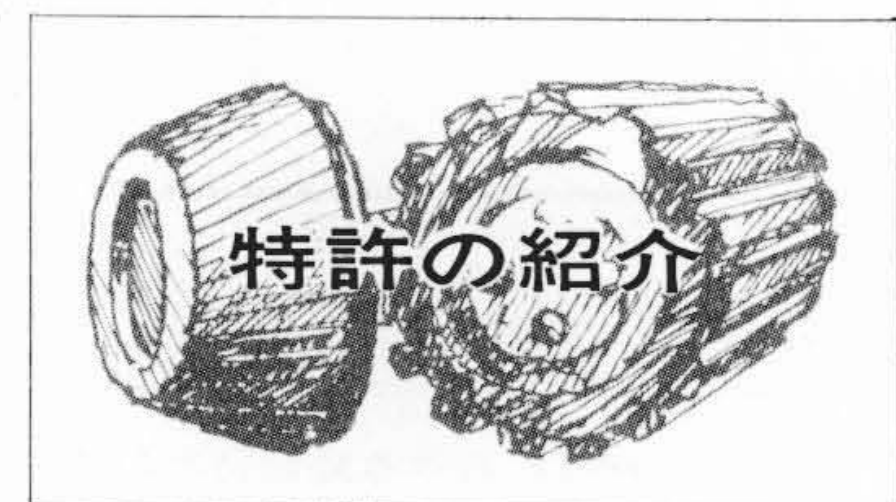
大規模な浄水場の送配水ポンプには、各種の速度制御方式が採用されているが、ここに、新しくサイリスタ クレーマ方式によるポンプ設備が完成した。現在、所期の性能を発揮し、順調に稼動中である。サイリスタ クレーマ速度制御方式は、従来の速度制御方式に比べ、瞬時停電に対して安定な運転を継続できるものであり、高調波の発生が少ないことに最大の特長を持っている。したがって、今後この方式は、この特長が生きるシステムに採用され活躍するものと考えられる。

本システムの完成に当たり、御指導、御協力をいただいた東京都水道局電機設計課の若林係長をはじめ、同水道局の関

係各位に対し厚く謝意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 日本水道新聞：「無整流子クレーマ、実用化へ」(昭49-10-7)
- 2) 若林、堀ほか：「無整流子クレーマ方式による誘導電動機の色度制御」，電気学会全国大会論文予稿，962 (昭50-4)
- 3) 小原、本部ほか：「無整流子クレーマ方式における制御上の問題点とその検討」，電気学会全国大会論文予稿，963 (昭50-4)
- 4) 野上、西橋：「特高需要家における瞬時電圧低下対策」，OHM，p. 49 ('75/2)



遠心分離機

小林暁峯

登録新案 第1077270号 (実公昭49-24380号)

この考案は、ガス同位体濃縮用の遠心分離機に関するものである。

遠心分離機には、分離効率を向上させるため、回転胴の軸方向に約10～50℃の温度差をもたせ、且つ温度分布も一端(上端)から他端(下端)に向かって一様に下降するような状態であることが望ましい。このため、例えば一端にはヒータを、他端には冷却装置を設ける方法が採られている。また、高速回転する回転胴の風損を少なくするために、回転胴と外筒とによって形成される間隙は、高度の真空になっており、回転胴から外筒への熱放散は主として輻射と間隙にわずかに存在する気体分子の熱伝導とにより行なわれる。このような構成の遠心分離機では、回転胴側壁の温度分布は中央部では温度こう配が少なく、ほぼ一様の温度になる。このため、高効率の遠心分離機を得ることは難しい。

この考案は、上記にかんがみて行なったもので、回転胴外周面と外筒内周面の両方、又はいずれか一方に表面処理を施し、これ

によって回転胴の温度分布が中央部において一様になるようにして、分離効率を向上させた遠心分離機を提供するものである。

図1により説明すれば、①は回転胴、②は外筒で、回転胴①はその上下端に取り付けられた回転軸③、③により外筒②に回転自在に支持されている。軸受部④、④はシールされ、回転胴①の外周面と外筒②の内周面との間に間隙⑥が形成されており、間隙⑥は高度の真空になっている。⑦はヒータを備えた加熱装置、⑧は冷却装置である。⑨はウォータージャケットである。回転胴①の外周面には、図2に示すように、黒化処理による温度制御帯⑩が設けられ、下方に向かうに従って、疎になっている。温度分布制御帯⑩は必要な場合には外筒②の内周面にも設けることができる。

このような構成により、回転胴①の上端側を加熱し下端側を冷却すると、ウォータージャケット⑨の作用、すなわち外筒②を冷却し、且つその温度を一定に保つという作用と相まって回転胴①の温度分布が、上下

端はもちろん、中央部においても上方から下方に向かって一様な温度こう配をもって下降するようになる。

この考案によれば、温度こう配が一様に変化するようにしたので、高効率のガス同位体濃縮用の遠心分離機が得られる。

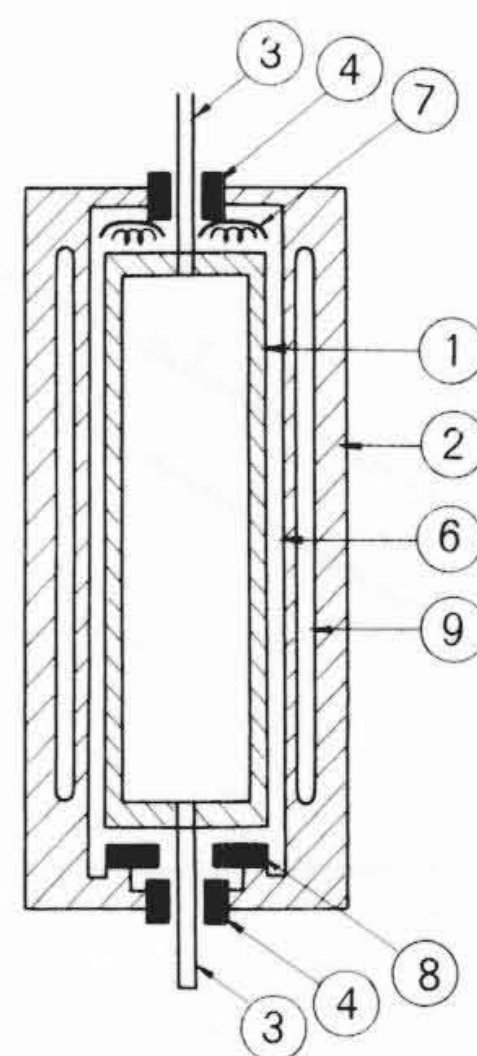


図1 遠心分離機縦断面図

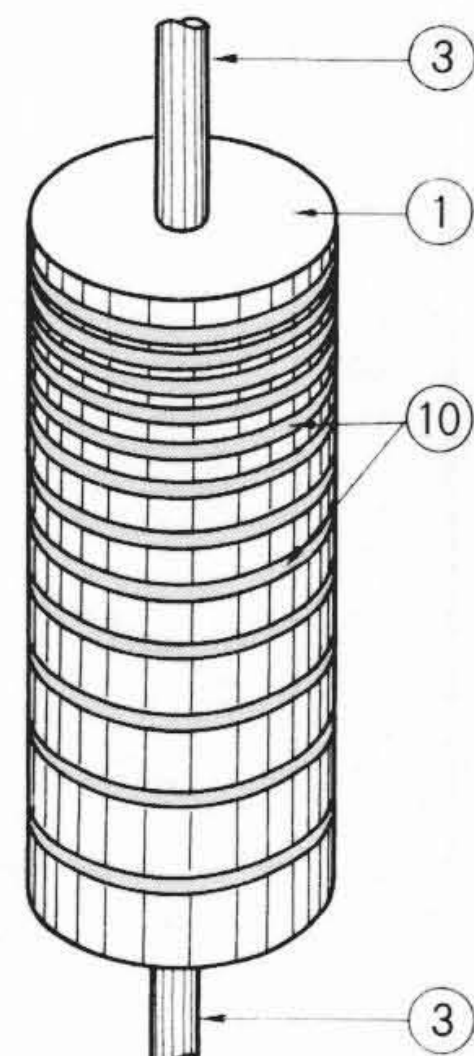


図2 回転胴の外観図