

汎用ポンプの自動給水システム

Automatic Water Supply System by General Purpose Pumps

山本芳正* Yoshimasa Yamamoto

The water supply system using general purpose pumps has a wide distribution in medium and small towns and cities for various purposes.

This type of water supply system, being designed as an automatic system complete with all necessary auxiliary equipment, displays the merit of a total system incorporating integral technology of pumping.

Introduced here are automatic water supply systems capable of distributing water directly to the users dispensing with any type of water storage tanks. They come in two types. One is the pressure tank type water supply unit, "Water Ace," and the other, the speed controlled type water supply system.

In this article, the speed controlling by up to 55-kW motors with eddy current coupling (HC motors) and by the thyristor Scherbius device coupled with 37~132 kW motors is discussed with some description of its principle, construction, characteristics and standardization plan.

1 緒 言

汎用ポンプもすでに単品を提供する時代から、給水設備としてシステムを提供する時代に移りつつある。一般的に、口径300mm以下、モートル出力250kW以下のポンプは、汎用ポンプと呼ばれ標準化されている。汎用ポンプを使用する給水設備は、中小都市の上下水道、簡易水道、県営規模の畑地かんがい設備、住宅団地、学校、工場、ホテル、事務所などの建築物への給水設備、施設園芸への給水設備などときわめて広範囲である。

これらの給水設備は、大都市上下水道設備のような大規模の自動運転、自動制御設備とは別な観点にたち、設備費の経済性、据付、保守管理の容易さを主眼としたものであることが必要である。

汎用ポンプを使用するこれら設備の設計は、市町村や、大手建築会社、設備会社の設計部門で行なう場合もあるが、多くは、上下水道設計コンサルタントや、建築設計コンサルタントにおいて設計される。ポンプを給水設備として、システムの標準化、ユニット化を図れば、これら設計工数の大幅縮減に貢献するところが大である。

自動給水システムとは、ポンプの自動運転、自動制御システムをさすが、これらはポンプ、モートル、制御盤、計装機器を総合的にシステムティックにまとめ、しかもこれを標準化し、ユニット化することにより給水設備としての機能を効果的に発揮することができる。自動給水システムの方式もいろいろとあるが、ここに以下説明するものは、次のものである。

- (1) 圧力タンクを用いたユニット形給水装置
- (2) 汎用ポンプに適した中小出力速度制御装置

両者は、高架水槽(そう)を使用せず、直送方式に基づいた給水設備として共通性があるが、それぞれ特長があり、用途により顧客の好みに応じ幅広い需要をもつものである。

2 圧力タンク式給水ユニット「ウオータエース」

本給水ユニットは、ポンプ、圧力タンク、制御箱をコンパ

クトにユニット化したところに製品としてのユニークさがある。外観は図1および図2に示すとおりである。図1は水中ポンプを使用した場合であり、図2は横軸ポンプを使用した場合である。

圧力タンク式給水設備は、高架水槽とか建物屋上の高置水槽の代わりに、それと同一機能を果たす圧力タンクを、ポンプと同一設置場所に据え付けて給水する方式であり、次のような数々の利点がある。

- (1) 高架水槽の設備費がいらぬ。
- (2) 高置水槽を置かないため、建物強度上、建築費が安くなる。
- (3) 高架(または高置)水槽式では、配管が水槽へ上る配管と、水槽より下ってくる配管と往復必要であるが、これが往だけですむ。
- (4) 高所までの液面リレー用配線がいらぬ。

しかしながら、従来の圧力タンク式のもの、ユニット化されていないので、圧力タンクの容量決定、ポンプ仕様の決定などの設計工数の手間、配管、配線などを含めた設備工数の手間、また、圧力タンク内への空気充填(じゅうてん)のためのコンプレッサの保守、騒音などに問題があった。圧力タンク式給水ユニット「ウオータエース」は、これら諸問題を解決するとともに、従来式の機能を大幅に改善し、次のような構造的、機能的特長をもっている。

2.1 「ウオータエース」の構造的、機能的特長

- (1) ポンプ、圧力タンク、制御箱をコンパクトにユニット化して、設計、設備工数を大幅に低減した。
- (2) コンプレッサを使用せず、自動的に空気を送り込み、しかも、空気量を一定に保つことのできる構造である。その原理は、ポンプの起動、停止を利用したもので、停止時に、圧力タンクとポンプの間の吐出し管または空気槽に空気を吸込ませ、起動時に、この空気を圧力水によって圧力タンク内に送り込む。この動作のくり返しにより、圧力タンク内の空気量がしだいに増し、規定量に達するとそれ以上の空気は排気弁から排出し一定量を保つ。

* 日立製作所習志野工場

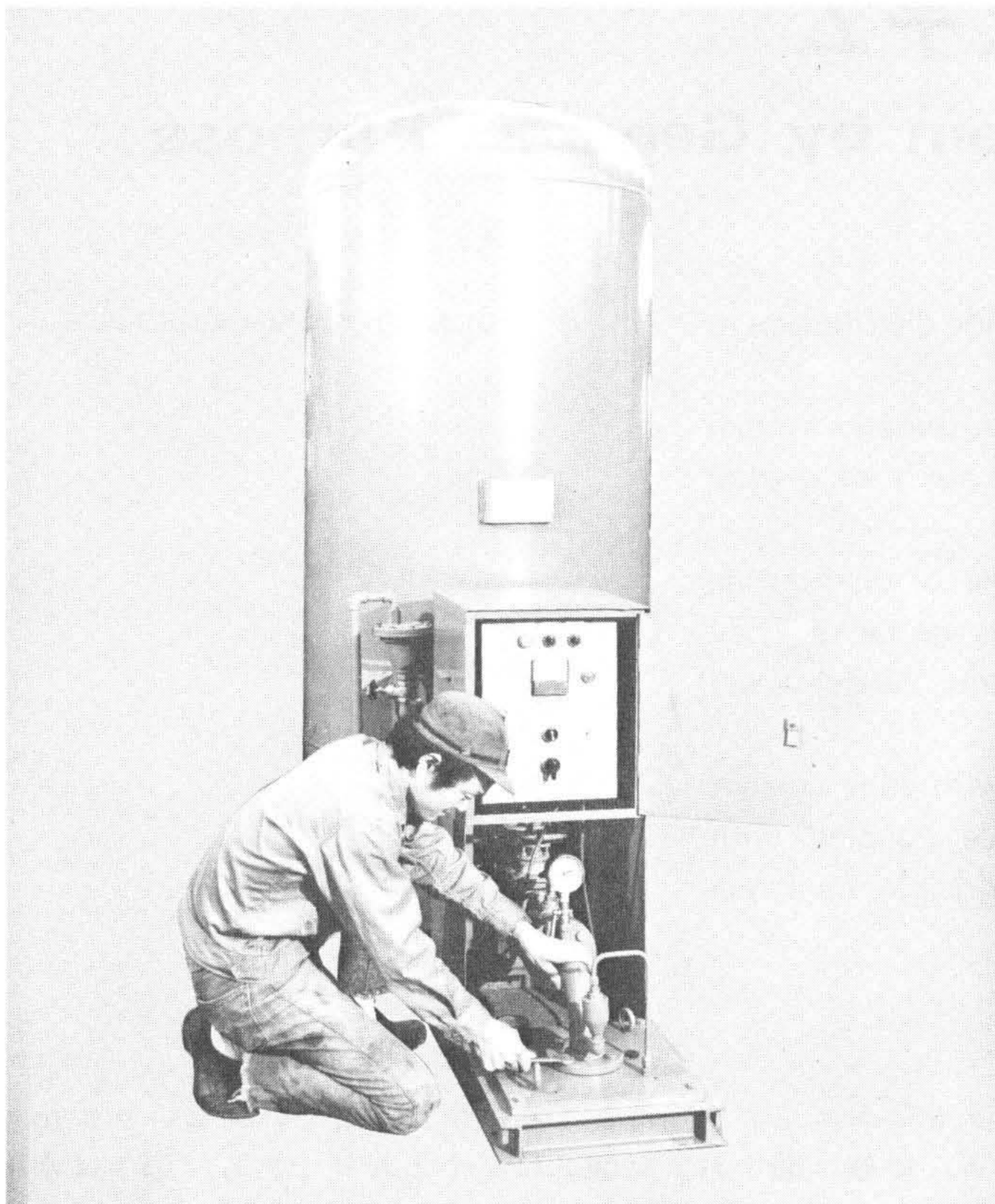


図1 UT-VA形「ウォーターエース」 圧力タンクと水中ポンプと制御箱、その他給水に必要な部品をユニット化し、コンパクトにまとめた圧力タンク式給水ユニットである。図は小水量V40-62.2を示す。

Fig. 1 UT-VA Type Water Ace



図2 UT-HA形「ウォーターエース」 圧力タンクとモートルポンプと制御箱、その他給水に必要な部品をユニット化し、コンパクトにまとめた圧力タンク式給水ユニットである。図は小水量H32F-51.3を示す。

Fig. 2 UT-HA Type Water Ace

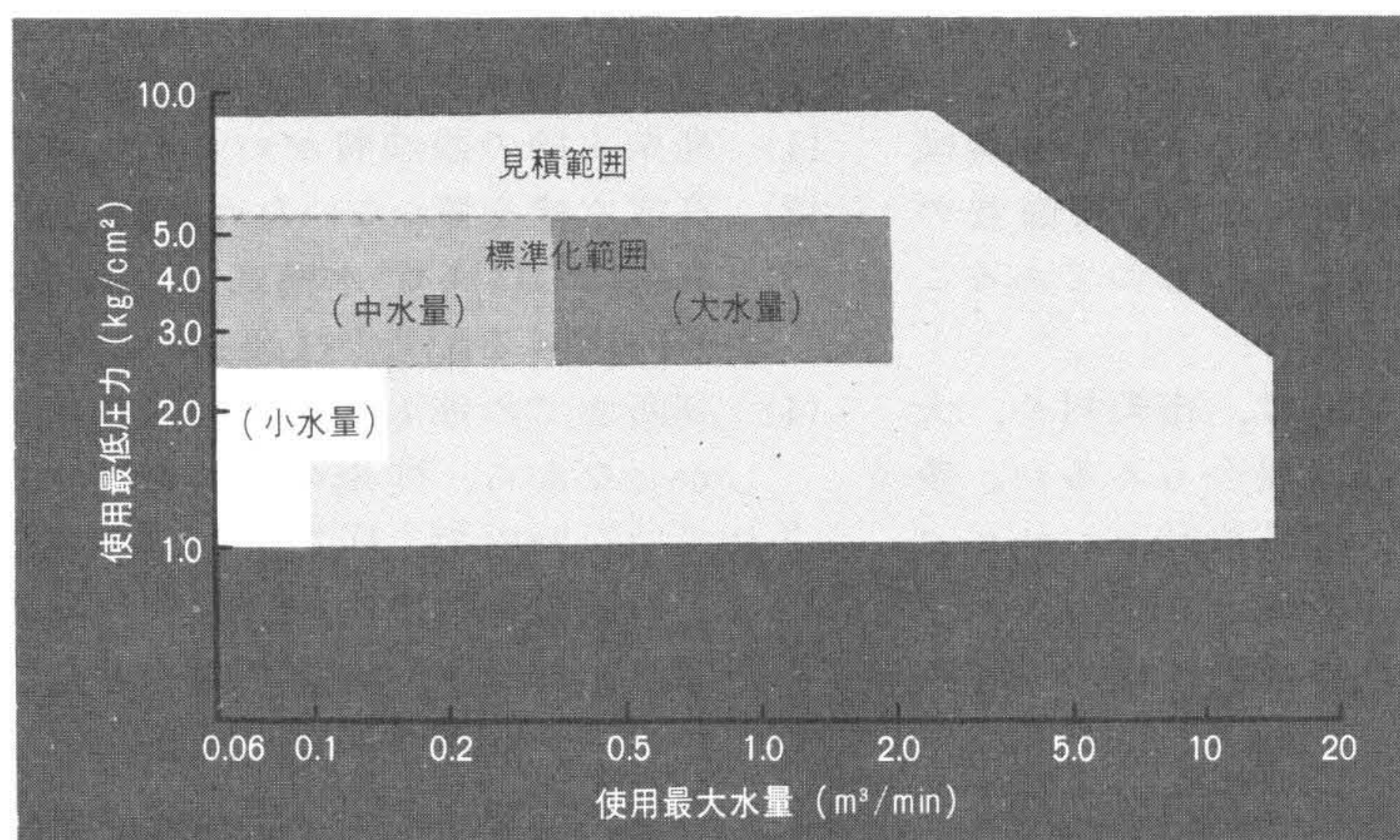


図3 「ウォーターエース」の適用範囲
標準化は小水量、中水量、大水量の区分で行なわれる。見積範囲は圧力タンクの大きさ、経済性などを考慮して左図の範囲としている。

Fig. 3 Application Range of Water Ace

(3) 従来方式の圧力タンクより容量が小さく、起動ひん度が少ない。まず容量については、従来の圧力タンクの考え方が貯水を目的としたのに対し、本方式のものは、ポンプの起動、停止の指令装置としての観点に立ち、容量を決めているので小さくてすむ。その容量は、ポンプから圧力タンクへの送水量と、タンクから需要先への送水量との関係から決められる。両者の送水量が等しいときは、ポンプは停止することなく連続運転する。したがってタンク容量が小さくても、ポンプ容量との関連において起動ひん度を少なくすることができる。

(4) ポンプの常時満水用の補水装置を設けてあるので、フート弁からの漏水による停止中落水の事故がない。

(5) 汽水分離装置と、空気巻込防止装置を圧力タンク内に内蔵しているので、送水中に気泡(きほう)を含まず、清澄な

水が得られる。

2.2 「ウォーターエース」の標準化

ユニット製品は短納期を要求されるので、設計の標準化と生産体制の確立が重要である。標準化の体系は次のようになっている。

(1) 給水人口別標準化

- (a) 小容量ユニット おおむね80人以下の場合
- (b) 中容量ユニット おおむね400人以下の場合
- (c) 大容量ユニット おおむね400人を越える場合

(2) ポンプの形式別標準化

- (a) 横形ポンプ使用のもの 形式 UT-HA
- (b) 水中ポンプ使用のもの 形式 UT-VA

(3) 標準化した水量圧力範囲と標準外製作範囲

図3はその概略を示したものである。

3 速度制御による給水システム

圧力タンク式給水ユニット“ウオータエース”が、従来の圧力タンク式給水設備をユニット化し、機能も大幅に改善しているが、さらに、この圧力タンクも使用せず、ポンプから直接需要末端に送水を行なういわゆる直送方式がある。

この直送方式は、複数台数の定速ポンプの台数制御で行なわれることが多かった。しかしながら、この定速ポンプの台数制御は運転効率より見てポンプ動力の損失が大きく、これを解決するために定速ポンプに可変速ポンプを組み合わせた台数制御方式が、しだいに中小の給水設備にも普及してきた。この速度制御を加味した台数制御は運転動力費の節減に大きなメリットのある一方、設備費の点において、単純な定速ポンプの台数制御に比べて高くつく難点があったが、これも電子技術の発達により解決され、中規模以下の給水設備への採用も活発になってきた。さらに、これらのものは、設備費だけでなく、保守管理面においても、手間のかからない管理費の安くつくものであることが必要条件である。

3.1 ポンプの特性上から見た速度制御のメリット

ポンプを速度制御する目的は、需要量にマッチした送水を行なうとともに、送水に必要な全揚程で、ポンプを運転することにより、運転効率を最高にもって行こうとするものである。そこで、定速ポンプのみの台数制御と、可変速ポンプを加えたときの台数制御とのポンプの運転状態の違いを比較してみたい。

図4は、定速ポンプ3台の並列運転特性を、図5は、定速2台に可変速1台を加えたときの並列運転特性を示すものである。両図は、同じ送水系路に対して送水した場合のものであるが、定速ポンプのみの場合は、図4に示した太線の揚程—吐出し量曲線上に運転点がある。しかしながら、可変速ポンプを加えた場合は、図5に示した管末端圧一定曲線上に運

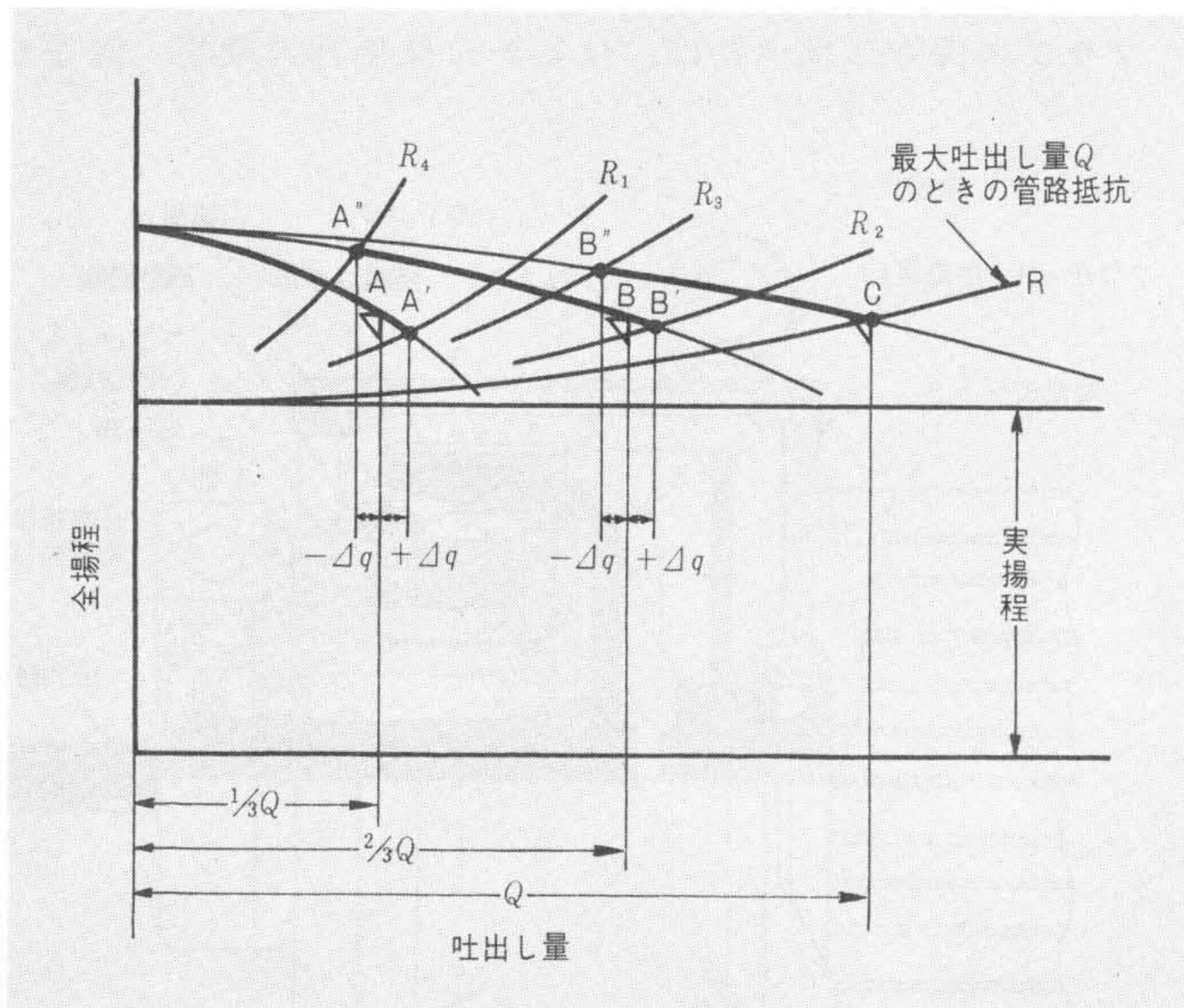


図4 定速ポンプの並列運転特性 需要水量の増減に従ってポンプは台数を増減し、太線で示す揚程—吐出し量曲線上で運転される。たとえば吐出し量の増加に従いA+ΔqのA'点で2台目が起動しR₁との交点に移り、以下同様にしてC点に至る。吐出し量減少の場合はB-ΔqのB'点で3台目を切り離しR₃との交点に移り、以下同様にして吐出し量はゼロに近付いて行く。±Δqを設ける理由は起動、切り離しのハンチングを防止するためである。

Fig. 4 Parallel Running Character of Constant Speed Pumps

転点を移動させることができる。両図を見比べると同一流量における運転点の全揚程の大きさの違いが歴然とわかる。ここで管末端圧一定曲線の内容は次式に示すものである。

$$H_t = H_a + H_f + H_e$$

ここで、 H_t ：管末端圧一定全揚程

H_a ：実揚程

H_f ：管路系損失抵抗揚程

H_e ：管末端圧所要圧力

上式の H_f は、吐出し量の n 乗(約2乗)に比例するので、次式で示すこともできる。

$$H_t = aQ^n + b$$

ここで、 a ：流量係数

Q ：吐出し量

b ：実揚程+管末端圧所要圧力

この式を曲線で示したものが、図6の管末端圧一定曲線A→B→C→……Gである。この曲線上にポンプの全揚程がくるように、全揚程—吐出し量曲線を、点線で示すように下げてやれば、ポンプは、送水に必要な動力のみで運転することができる。

3.2 汎用ポンプに適した速度制御方式

速度制御方式には、一例をあげれば、巻線モータの二次抵抗方式およびセルビウス方式、かご形モータのインバータ制御方式、直流モータのサイリスタ・レオナード方式、電磁継手付モータ方式、整流子モータ方式、あるいはサイリスタモータ(無整流子電動機)方式など、種々の方式がありそれぞれ得失があるが、大半が低圧モータで駆動される汎用ポンプへの適用にあたっては、特に設備費の経済性、保守管理の容易さを最重点に考えており、次の二方式が採用されている。

3.2.1 電磁継手付モータ(HCモータ)方式

このモータは一般かご形モータと電磁継手とを組み合わせたもので、小出力用として最も構造簡単で経済的なモ

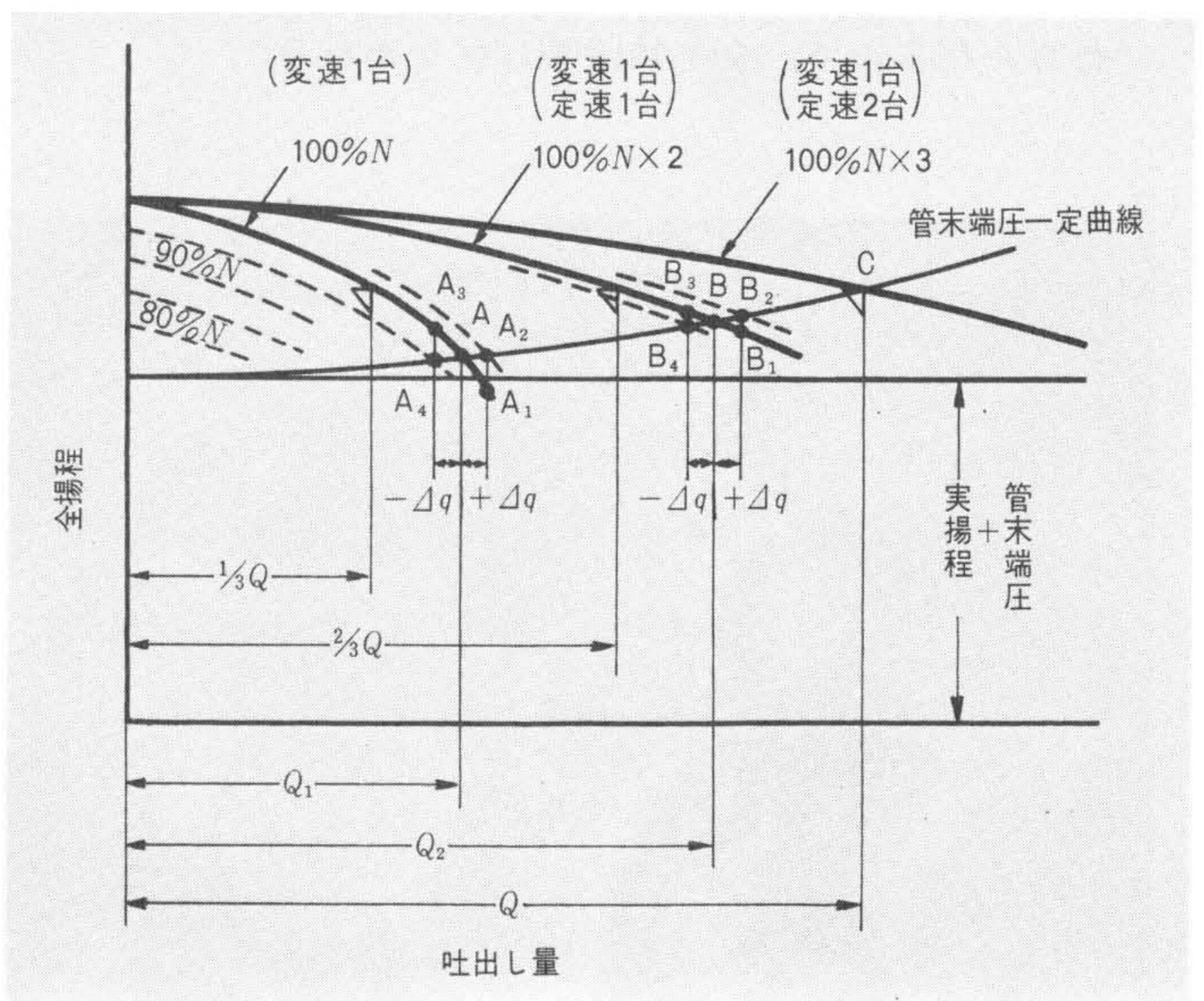


図5 速度制御した場合の並列運転特性 需要水量の増減に従ってポンプ台数を増減し、管末端圧一定曲線上で運転される。たとえば吐出し量の増加に従いA+ΔqのA₁点で2台目が起動すると変速ポンプは回転数を落としてA₂に落ち着く、また吐出し量減少の場合はB-ΔqのB₃で3台目を切り離すと変速ポンプは回転数を上げてB₄に落ち着く。±Δqを設ける理由は起動、切り離しのハンチングを防止するためである。

Fig. 5 Parallel Running Character of Speed Controlled Pumps

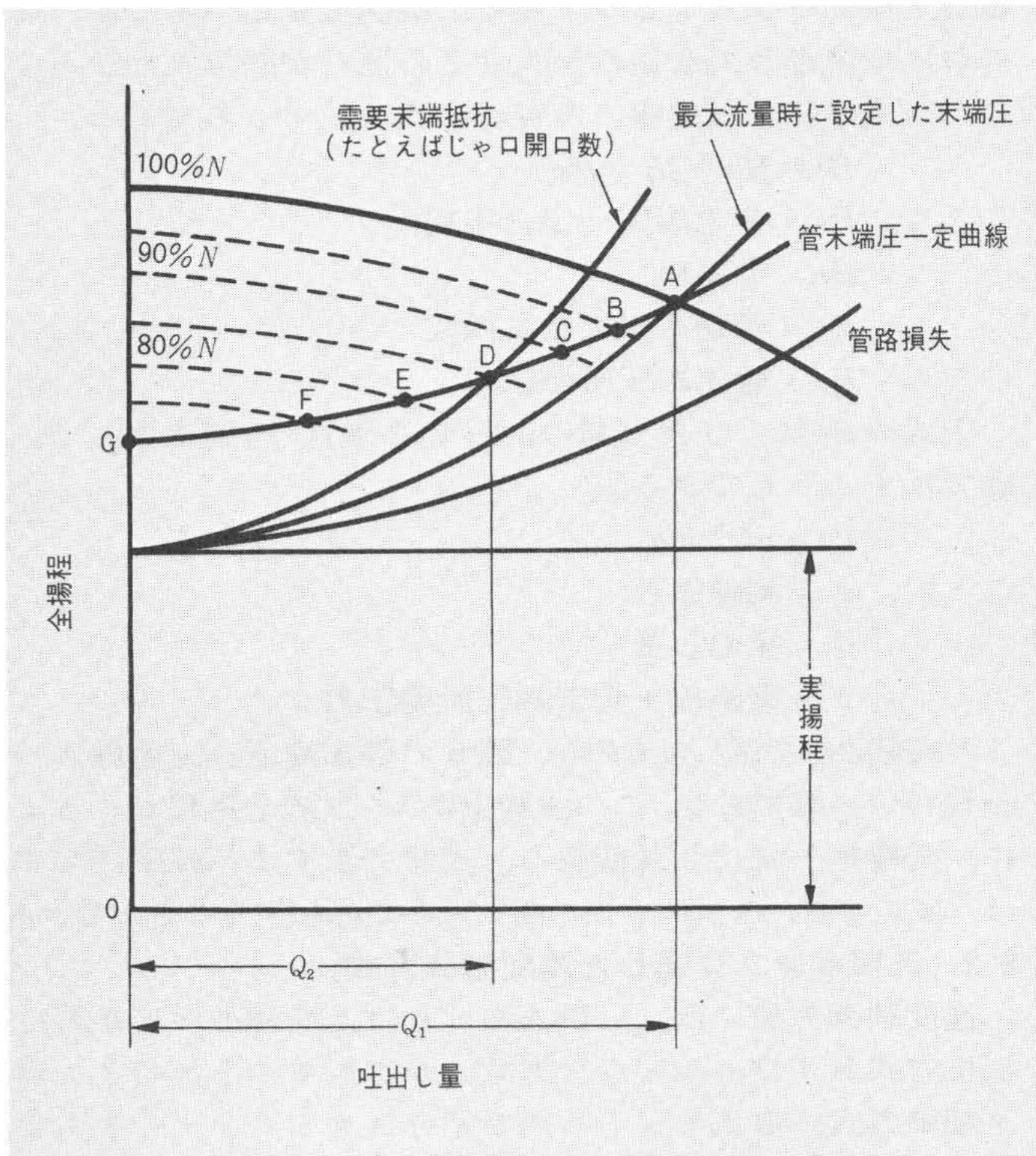


図6 管末端圧一定のポンプ特性 管末端圧一定曲線上にポンプの運転点があるようにポンプの回転数を変更しポンプ特性を伸縮させる。

Fig. 6 Pump Characteristic Curve for Constant Pressure of Pipe End

ートルである。モートル出力55kW以下を、ポンプ用に標準化している。図7はこのモートルの外観を、図8は電磁継手部の構造を示している。おもな特長をあげると次のとおりである。

- (1) モートル軸と継手部の軸（出力軸）との機械的な接触が全くないので摩耗部分がなく、メンテナンス・フリーである。
- (2) 速度制御は励磁コイルへの電流を制御することによって行なわれるので、全く無段階に行なわれる。

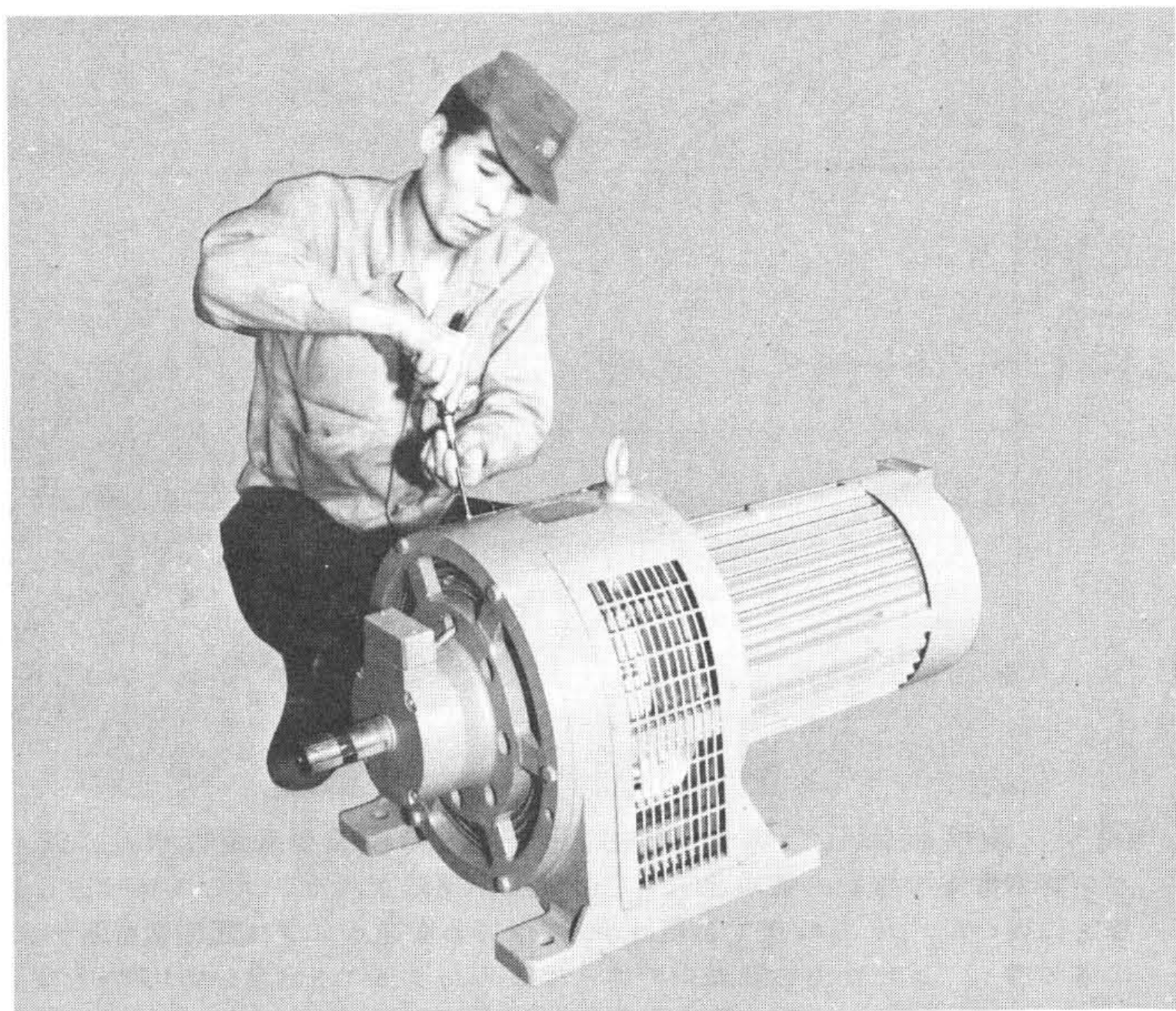


図7 電磁継手付モートル(HCモートル)の外観 かご形モートルと電磁継手とを組み合わせたモートルで、励磁コイルの電流を制御することにより継手軸の回転数を変える。図は22kWのものを示す。

Fig. 7 View of Motor with Eddy Current Coupling

- (3) ポンプのトルクは、回転数の2乗に比例して低減するのでこの特性に合わせて、一般用途のHCモートルより回転数を高く、しかも騒音を低くとることができる。
- (4) 非常に小さい信号電力で変速ができるので、遠方制御が可能である。
- (5) 速度検出用発電機には、三相高周波PGを使用しているので低速、軽負荷においても高精度の制御が可能である。
- (6) 制御装置はIC、トランジスタ、サイリスタなどの活用により精度が高く、かつ小形である。

HCモートルの標準仕様は次表のとおりであるが、特殊電圧、変速範囲の拡大は可能である。

モートル出力 (kW)	極数	電圧 (V)	変速範囲 (rpm)	
			50Hz	60Hz
3.7~7.5	4	200	650~1,300	800~1,600
11~55	4	200	675~1,350	825~1,650

図9は、一例として、HCモートル制御によるポンプ1台と定速モートル付ポンプ2台の組み合わせによる場合のブロック図を示したものである。HCモートル制御の場合は、小出力のポンプ設備となるので、設備費をできるだけ安価にするよう、吐出し圧一定制御を標準としているが、末端圧一定制御にすることはもちろん可能である。

3.2.2 低圧静止セルビウス制御方式

37~132kW級のポンプ設備において、運転動力費の節減に重点をおく場合には、本方式が適している。

本方式は、巻線モートルを二次抵抗により変速していた方式の欠点（すべり電力の消費）を補い、すべり電力を一次側に返還することによって、すべり損失電力をゼロとし、運転効率を最高に維持できるものである。スリップリングブラシの保守も、直流モートルや、整流子モートルのコミュテータブラシの保守に比べれば、はるかに長年月の期間、保守を必

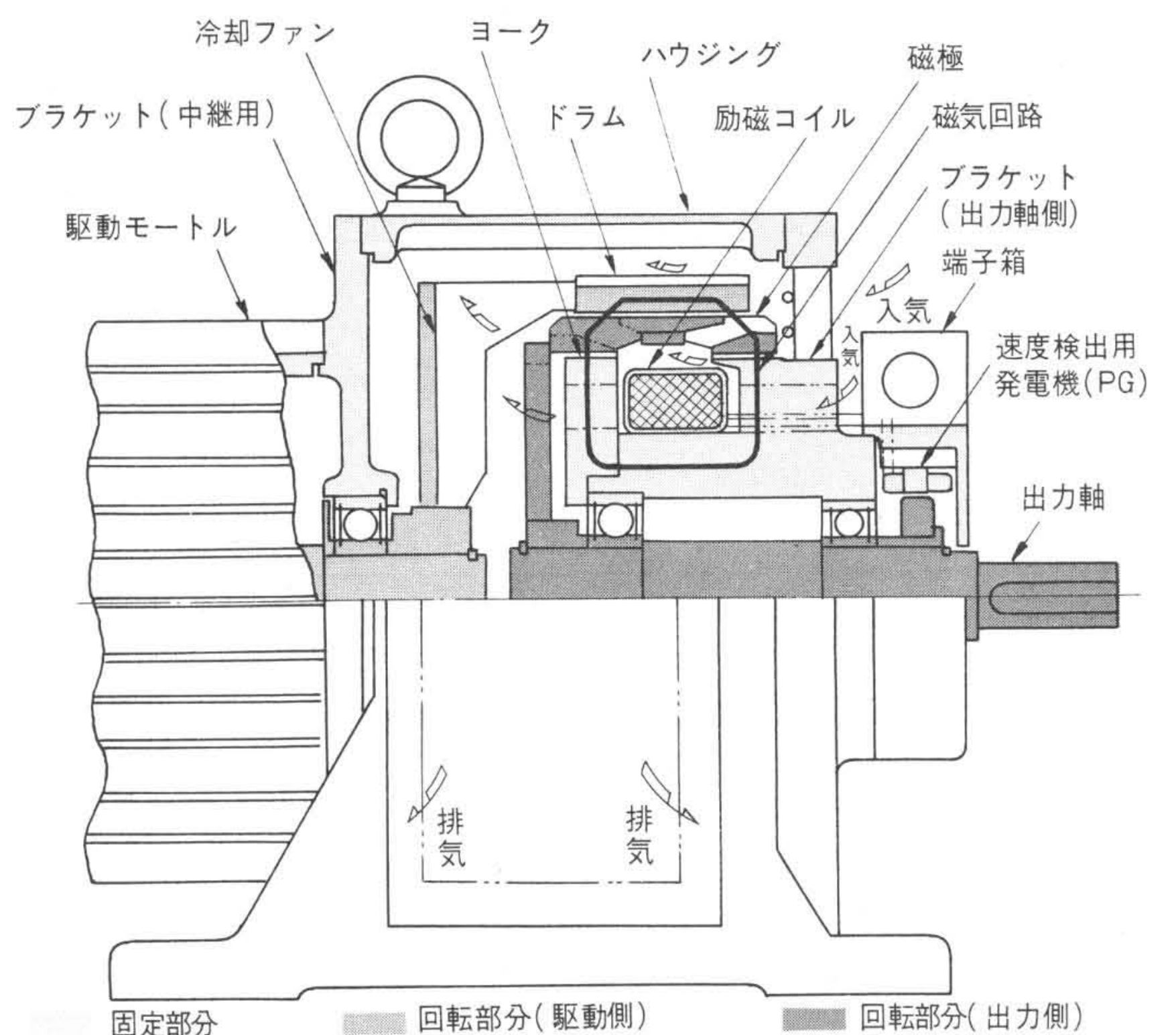
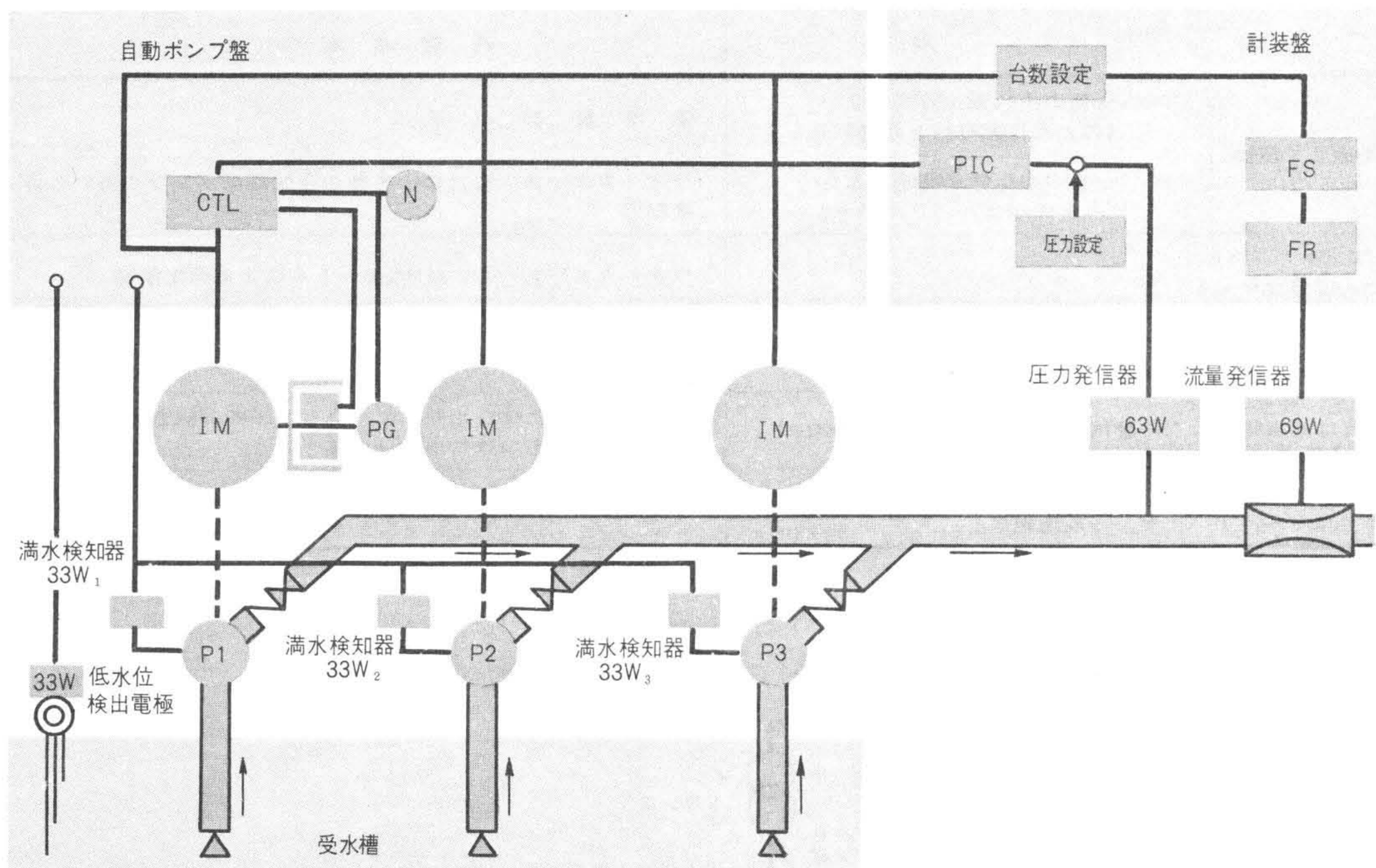


図8 電磁継手部の構造 モートル軸と継手軸とは機械的なつながりや接触はなく電磁力によりトルクが伝えられる。したがってメンテナンスフリーである。

Fig. 8 Construction of Eddy Current Coupling



記号	名 称
IM	三相誘導電動機
P	ポンプ
PG	パイロット発電機
N	回 転 計
PIC	圧力調節計
FS	流量積算計
FR	流量指示記録計
HC	電磁継手
CTL	HC制御装置

図 9 HCモートル制御ポンプ設備ブロック図 本図は定速2台とHCモートル付ポンプ1台の3台並列運転を行なうポンプ設備で、吐出し圧一定制御を行なうブロック図である。

Fig. 9 Block Diagram of Pump Arrangements on HC Motor Control System

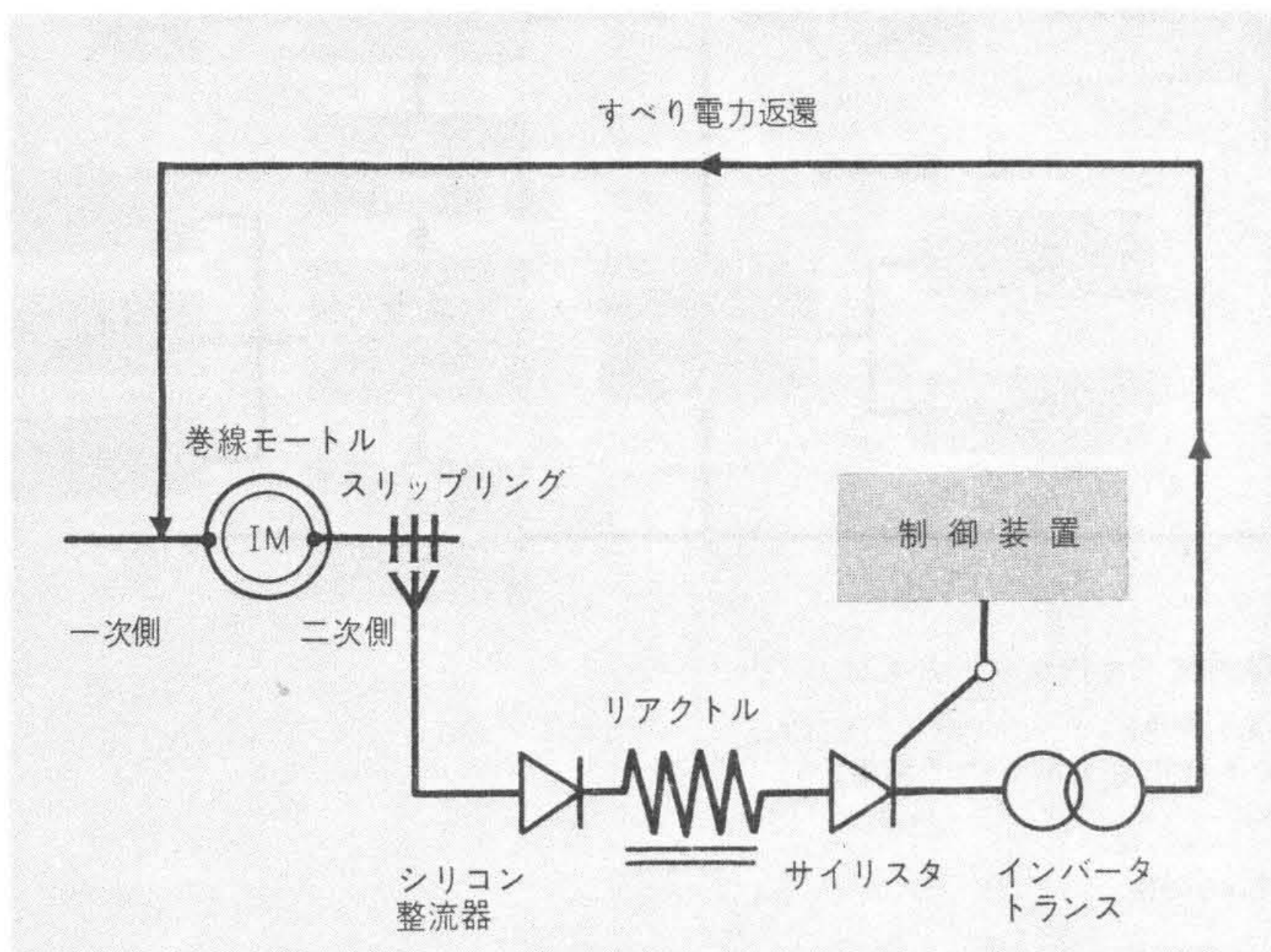


図10 静止セルビウス方式のブロック図 サイリスタによって二次側電圧を変えることにより回転数を変更し、インバータトランスによりすべり電力を一次側電源に返還してやる方式を示す。

Fig. 10 Block Diagram of Thyristor Scherbius System

要とせず、保守作業も37～132kW程度のモートルではきわめて容易である。図10は本方式の原理を示すブロック図である。本方式の特長をあげると次のとおりである。

- (1) 制御装置が静止器（半導体素子）で構成されているので、摩耗部分がなく保守点検の必要がない。
- (2) 制御性（信号による応答性）が良いので、目的の制御がきわめて良好に行なわれる。
- (3) 速度変動率が小さいので、安定した制御が行なわれる。
- (4) モートルは巻線モートルで、構造が簡単、保守も長期間必要とせず、保守作業も容易である。
- (5) 万一、制御装置が故障した場合でも、起動用抵抗器で変速運転が可能であり、タップの数を多くしておけば細かい

変速運転もできる。
セルビウス制御の場合のモートルの標準仕様は次のとおりである。

形 式	開放防滴巻線形（PG 付）						
出 力(kW)	37	45	55	75	90	110	132
電 源 電 圧	200/220V 50/60Hz			400/440V 50/60Hz			
最高回転数	50Hz 1,400rpm, 60Hz 1,670rpm						

図11は、一例として定速1台、セルビウス制御ポンプ1台の場合の水系統と電気系統とを示したブロックダイアグラムである。セルビウス制御の場合は、運動動力量の節減に重点がおかれているので、末端圧一定制御を標準としているが、吐出し圧一定制御も可能である。

4 自動給水システムの使い分け

今まで述べてきたように、自動給水システムとして圧力タンク式給水ユニット「ウオータエース」と、速度制御給水システムとがある。この両者は、給水設備の合理化という点で、いずれも近代的設備であり、厳密な意味での使い分けの区分は存在しないが、一般論的な意味での使い分けを容量的な面、用途的な面から述べてみたい。

4.1 容量的に見た適用範囲

図12は容量的な適用範囲を示すもので、図からわかるように、小および中容量範囲は「圧力タンク式給水ユニット」、中および大容量範囲は「HCモートルによる速度制御システム」、大容量範囲は「セルビウスによる速度制御システム」ということができる。

4.2 用途的に見た適用区分

次表は一応の目安を示すものである。したがって、顧客の好み、予算などにより変わる場合がありうる。

