

ポンプ用誘導電動機

Three-Phase Induction Motors for Pump Drive

綿 引 誠 之*
Seishi Watahiki

篠 田 和 男*
Kazuo Shinoda

大和田 武 義**
Takeyoshi Owada

内 容 梗 概

ポンプ用誘導電動機は数多く製作されているが、特に最近では都市水道用、火力発電所用、特殊ポンプ用電動機の進歩には目ざましいものがある。本論文ではこれらの用途にしばってそのすう勢を述べたものである。まず、都市水道用としては大容量化、速度制御、低騒音の三つの点にふれその内容を紹介する。火力発電所用としてはかご形の大形機である給水ポンプ、循環水ポンプ用の電動機について述べる。さらに特殊電動機については、ポンプと一体となったビルトインモータを中心として、特に広く用いられる水中モータについてその主要点、すなわち絶縁と軸受について記述する。

1. 緒 言

誘動電動機の応用の分野は多方面にわたるが、そのうちポンプ用としての電動機の占める割合は非常に大きい。最近、都市生活向上に伴う上下水道設備の拡充、諸工業発達による所内ポンプ設備および工業用水道の拡充、事業、産業用火力発電の普及などによりその需要はますます伸びつつある。

ポンプ用電動機の最近の傾向として、単機容量の増大、低騒音化、また速度制御に関し二次励磁方式の導入があげられる。一方水中モートルポンプ、チューブラモートルポンプ、キャンドポンプなどへの利用からビルトインモータの需要も拡大されつつある。

日立製作所においては、上記ポンプ用電動機について数多くの実績を有しており、本稿においてその主要点について紹介する。

2. 都市水道ポンプ用電動機

最近の傾向として

- (1) 大 容 量 化
- (2) 二次励磁法による速度制御の採用
- (3) 低 騒 音 化

の3点があげられよう。

2.1 大 容 量 化

現在わが国の都市生活の要求する水の需要は急激に伸びつつあり、それに伴って大規模なポンプ設備の計画、着工がなされているが、電動機の単機容量も従来の1,000 kW級のものから、6,000 kW級へと飛躍的に増大しており、さらに10,000 kW級の計画がなされている現状である。日立製作所においては、東京都水道局納6,200 kW電動機⁽¹⁾を完成したのをはじめ、3,600 kW, 2,300 kWなどの大容量電動機を続々製作中である。

大容量機においては特に次の諸点に考慮をはらっている。

(1) 小 形 軽 量

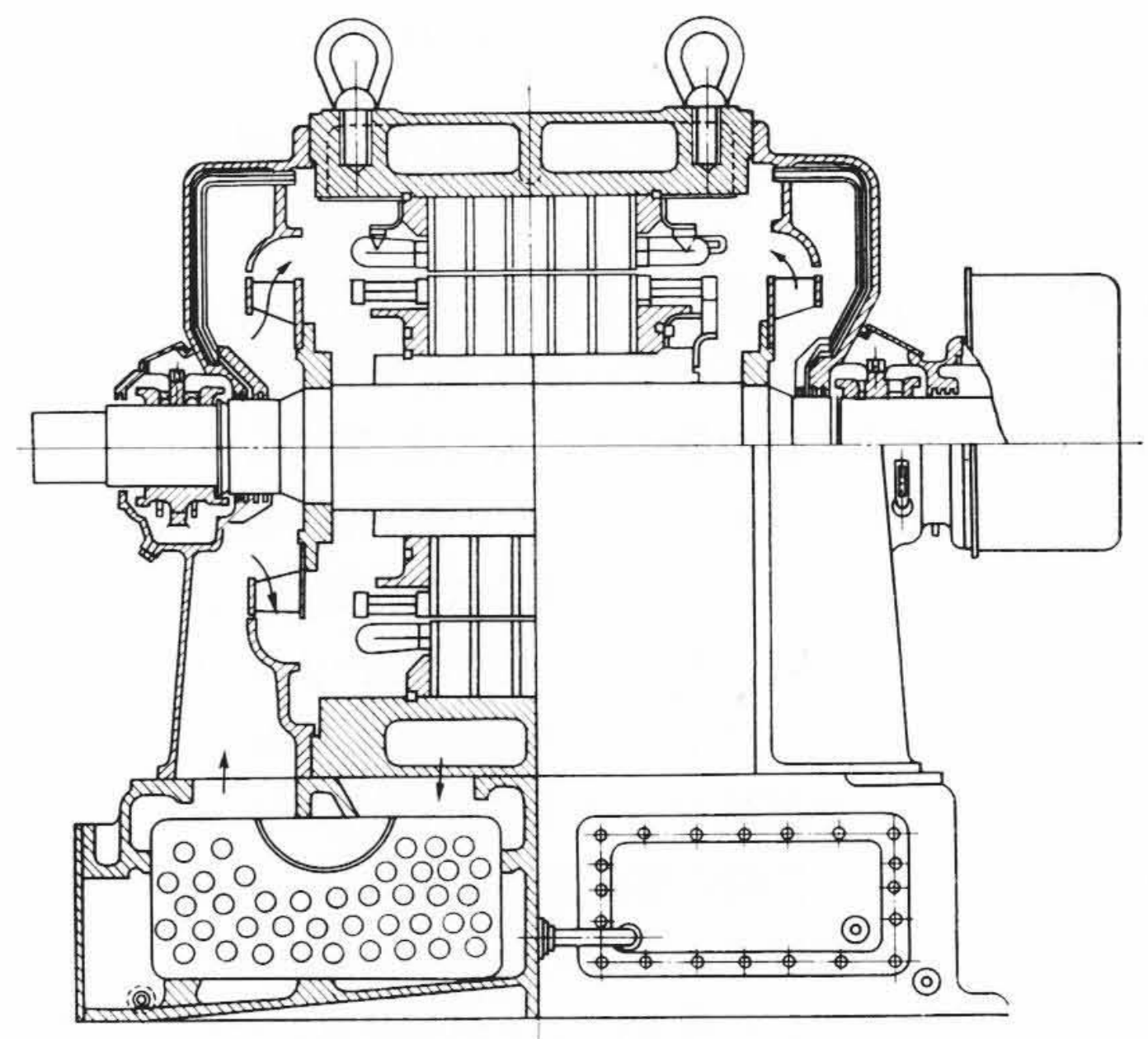
各部のメンバーを合理的に設計し、小形軽量で十分の強度をもたせている。これらのすう勢については別論文に述べられている⁽²⁾。

(2) 無溶剤系ワニスの使用

固定子コイルには絶縁特性の特にすぐれた日立SLSワニス(ポリエステル系)を用いており、さらに環境の悪い所にはエポキシ系の絶縁を使用している。

(3) 安定した運転

各部のバランスを十分にとっているため、振動の少ない安定し



第1図 全閉内冷形誘導電動機構造図

た運転を行なうことができる。

2.2 速 度 制 御⁽³⁾

水の需要量に見合う送水を行なうためには電動機を速度を制御することが効率のよい方法であるが、その速度制御を最も効率よく行なうためにシリコン整流器を使った二次励磁法が開発された。これはいわゆるセルビウス法、クレーマ法といわれる方式であって、従来の二次抵抗速度制御法に比べると設備費は割高であるが、運転費を合わせ考えると経済的であるので、広く採用されるようになった。セルビウス法、クレーマ法に関しては本紙別稿を参照されたい。

2.3 低 騒 音 化

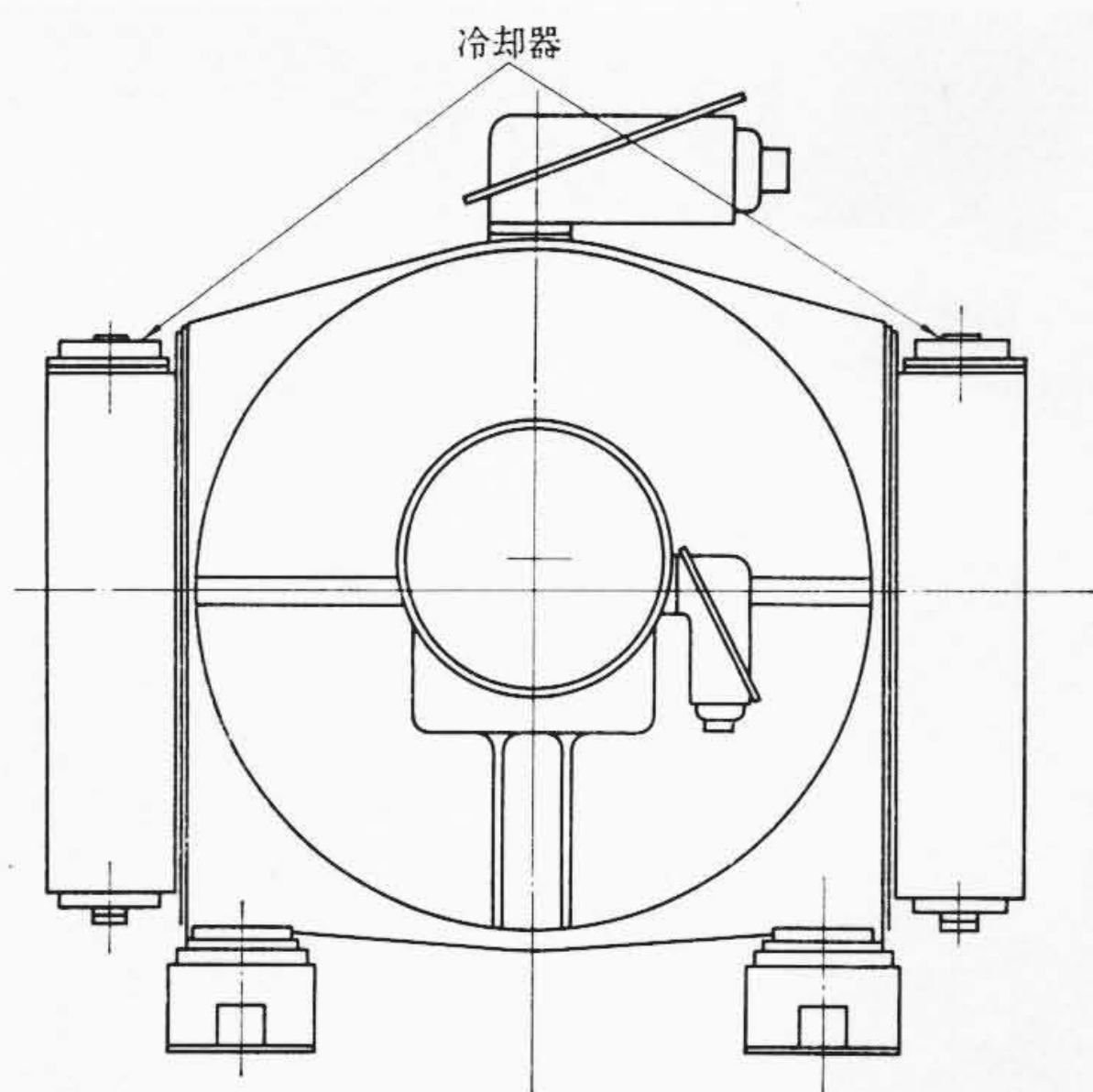
都市水道用ポンプ設備は民家に近接している場合が多く、騒音に対しては特に考慮をはらう必要がある。日立製作所では無響室を使用して電動機低騒音化の試作研究を行ない、静粛な電動機を製作している。電動機の騒音源を大別すると通風によるもの、電磁気によるもの、機械的なものとなる。これらに対してそれぞれ特別な考慮をはらっている。

騒音を最も低くできるのは騒音源が密閉されてしまう全閉内冷形であって、クーラを電動機上部または下部(第1図)におくものと、電動機の周囲に配置する場合の二つの構造があり、設置場所、容量などの条件によって最も適したものが選定される。第2図はクーラ横おきの一例を示したものである。

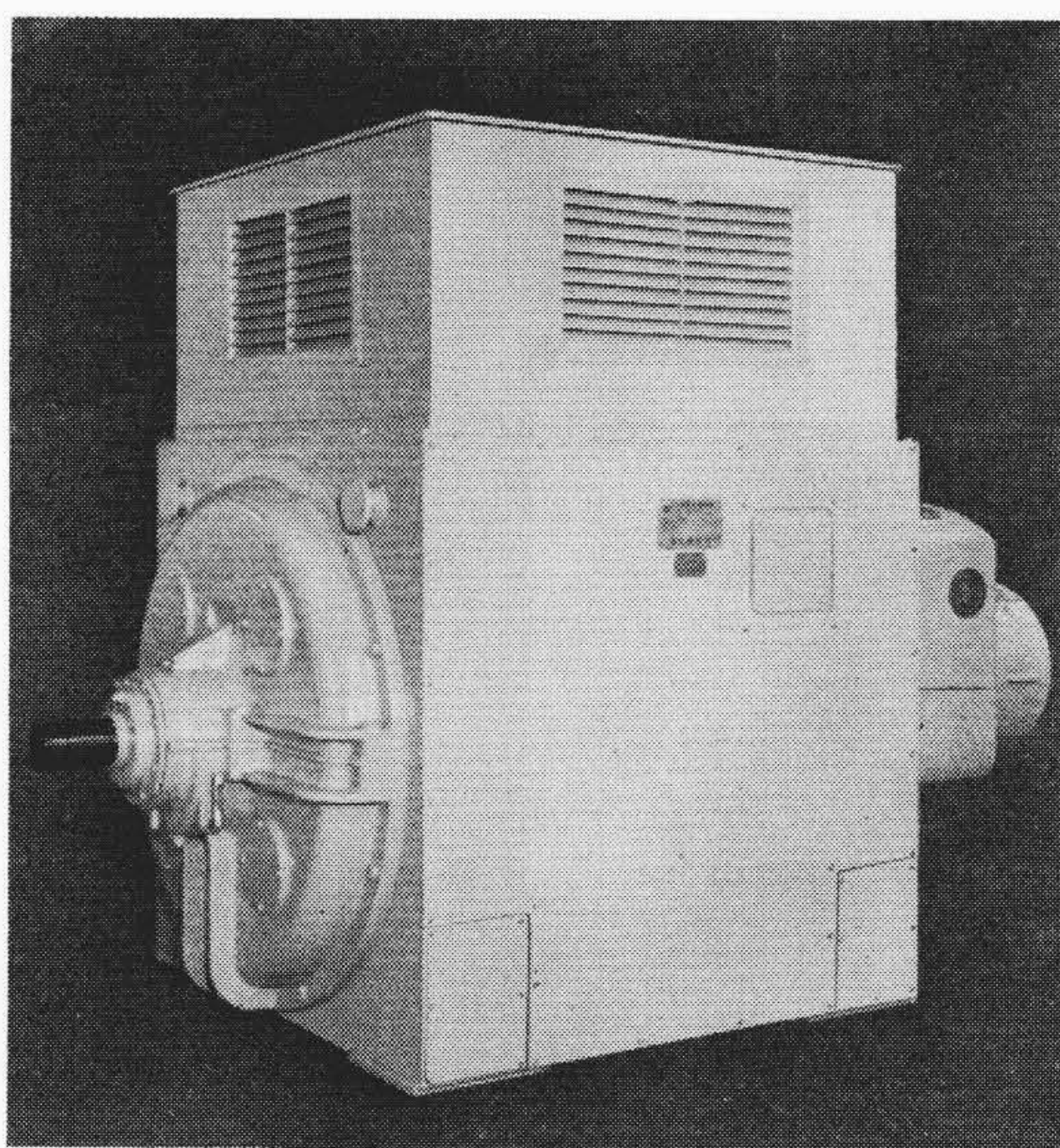
開放形電動機の場合には通風口にサイレンサをもうけて騒音を低くする。第3図はその外観、第4図は周波数特性を示す。第4図の実線はサイレンサなしの場合の開放形電動機の騒音を周波数分析し

* 日立製作所日立工場

** 日立製作所習志野工場



第2図 全閉内冷形誘導電動機外形図



第3図 風路わん曲形サイレンサ付開放形誘導電動機

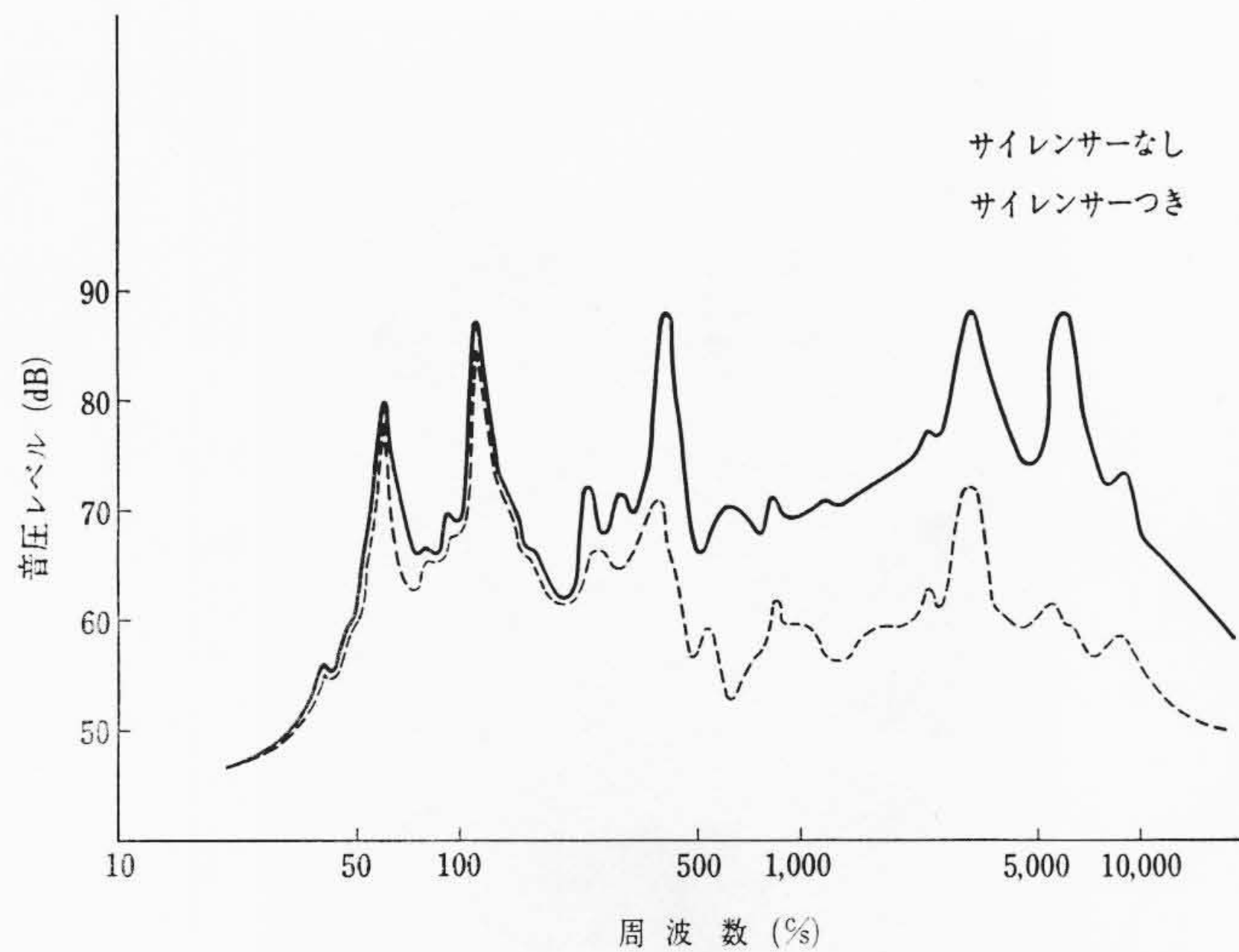
たもので、1,000 c/s を中心とする人間の耳に不快感を及ぼすものを吸音するように設計したサイレンサをつけると同図の点線に示すようになる。一般に通風口に設ける第3図のようなサイレンサは高い周波数の音をよく吸音する特性をもっている。

全閉外扇形は冷却ファンが露出する構造であるので、最も低騒音化のむずかしい機種であるが、日立製作所独自の共鳴吸収形サイレンサを設けることによって低騒音化に成功している。第5図は構造を示したものであるが、上部におかれたのがそのサイレンサである。

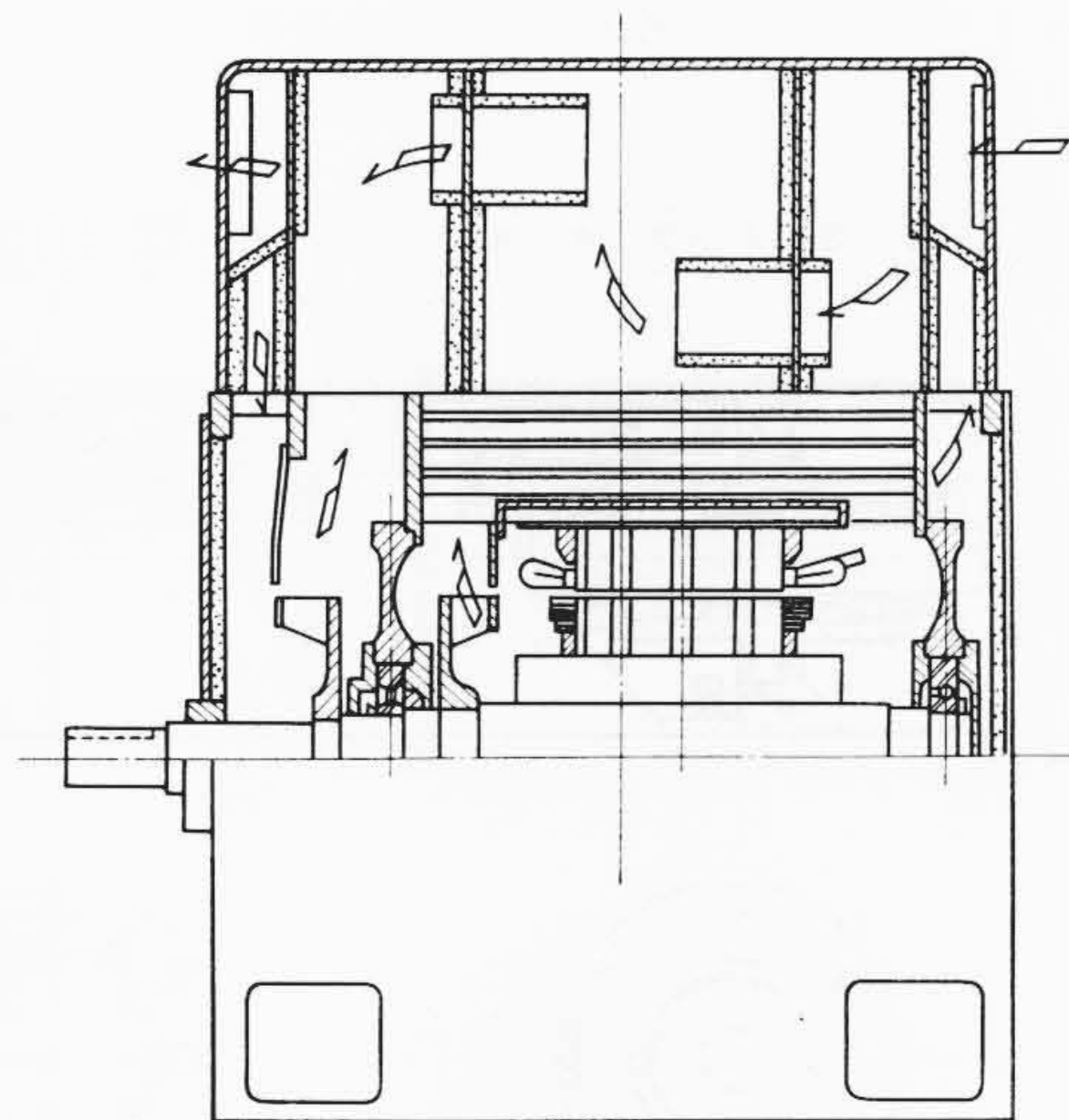
騒音の聴感特性としてはJISには第6図のようにA, B, Cの3種が定められているが、A特性が人間の聴覚特性に最も近いので、これを採用している。

3. 火力発電所ポンプ用電動機

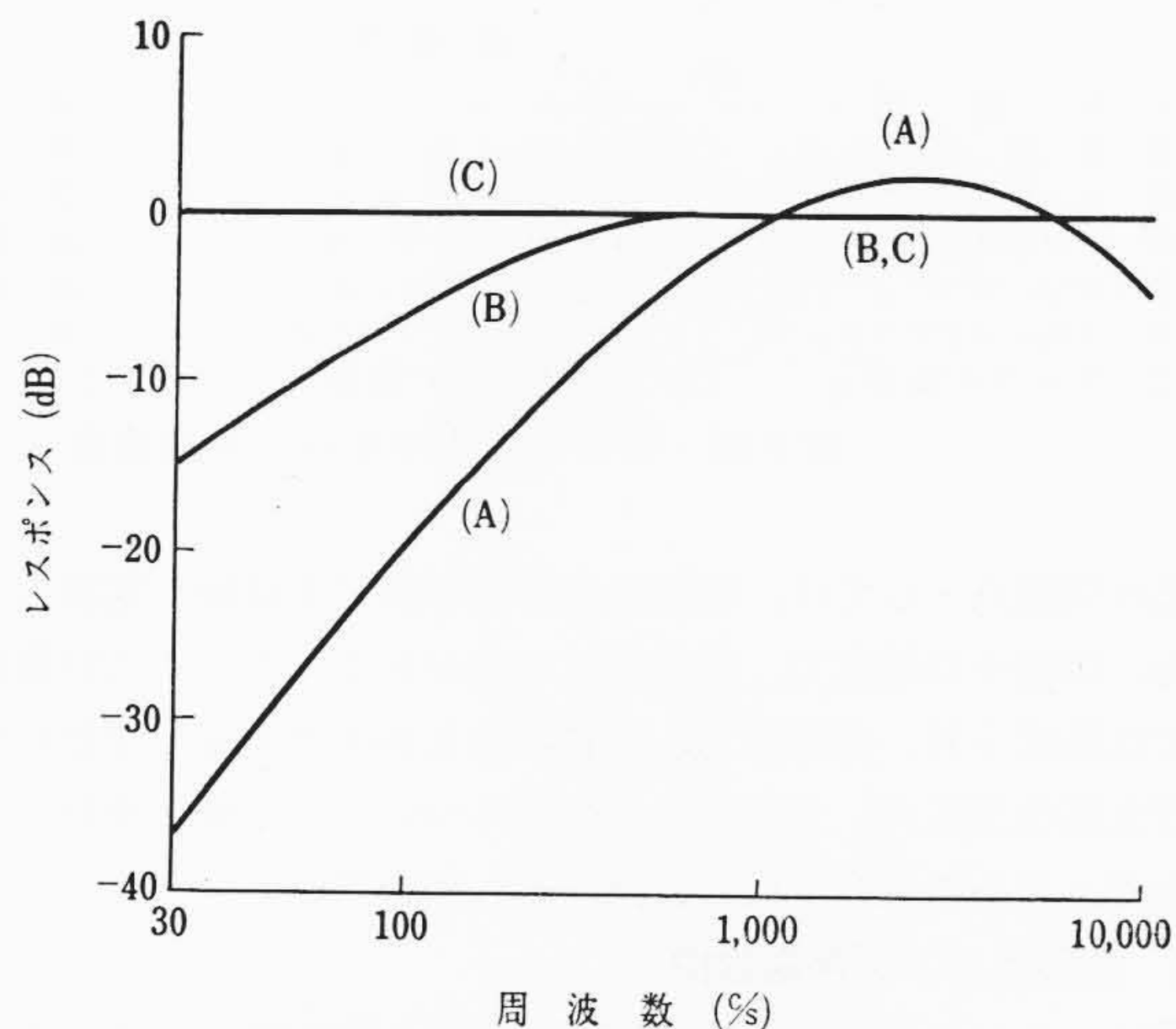
火力発電所におけるポンプ用電動機のうち、大容量機は数種にのぼり、特に高い信頼性が要求されるものが多い。ここでは、起動電流の系統に及ぼす影響はたいていの場合問題にならないので、圧倒的にかご形電動機が用いられている。かご形電動機発展の歴史は、火力発電の発展の歴史でもあり、電源開発の重点が火力に移った現在、発電機の単機容量の増加、特に超臨界プラントの採用も進むと考える場合、大容量ポンプ用電動機を主体とするかご形電動機はさらに大容量化するものと考えられる。次に代表的なポンプ用電動機の2種について述べる。



第4図 中容量誘導電動機に対する音圧レベルの周波数分析比較図



第5図 共鳴吸収形サイレンサ付全閉外扇形誘導電動機構造図

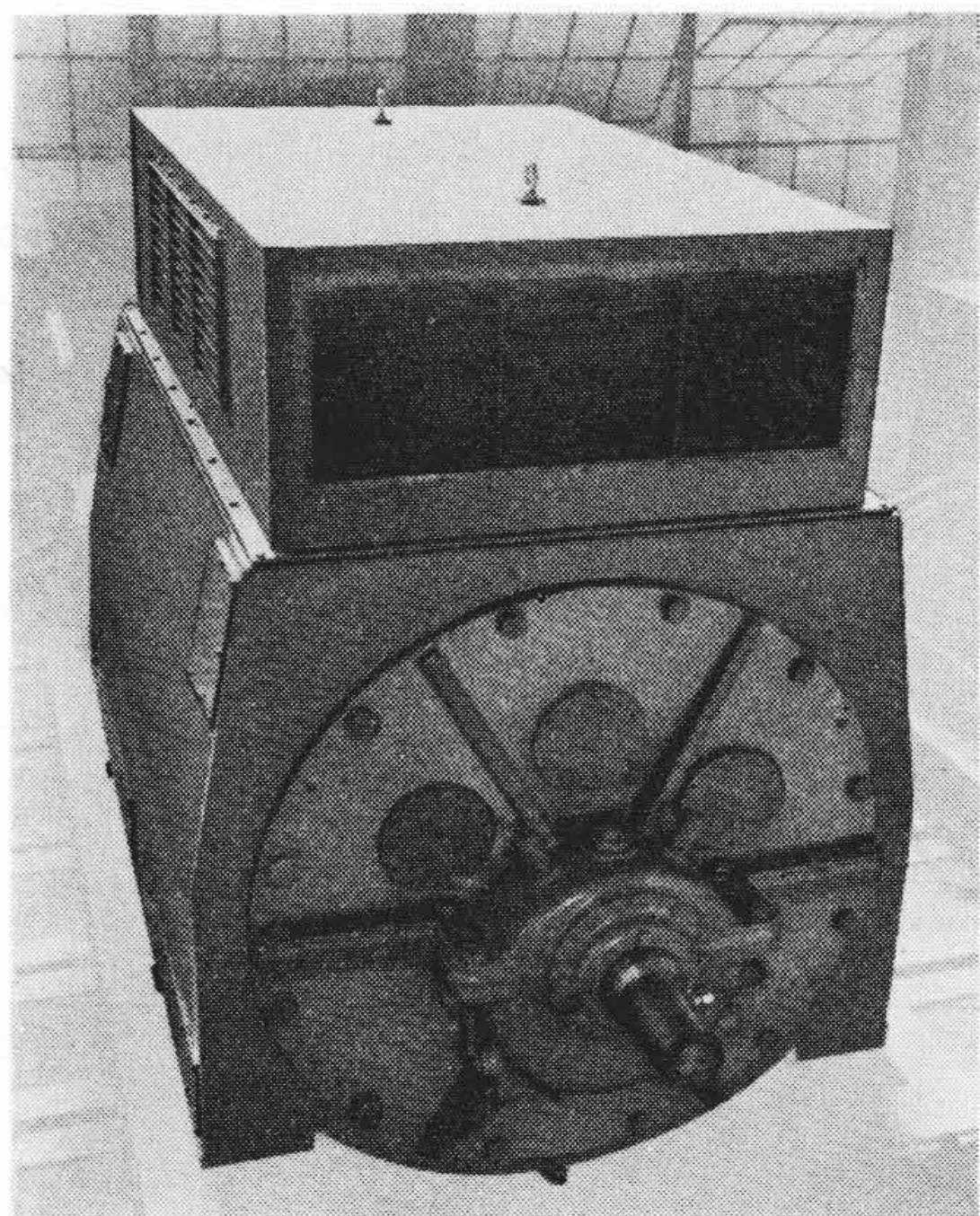


第6図 A, BおよびC聴覚特性の基準形

3.1 ボイラ給水ポンプ用電動機

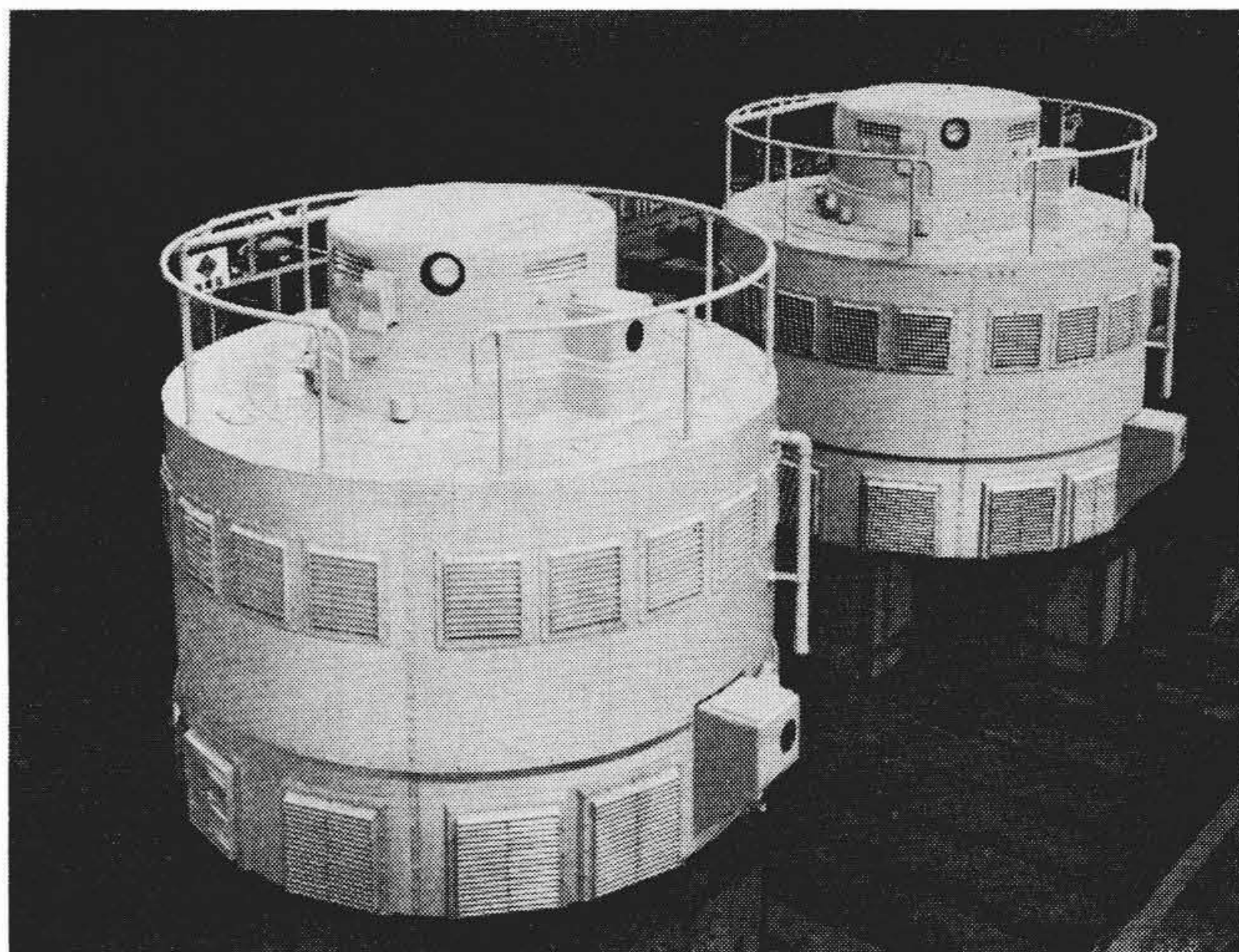
所内補機のうち、最大容量を持つ本電動機は、かご形高速機としても最大容量機である。現在わが国における最大出力は5,000 kW級であるが、ほどなく10,000 kW付近に到達するものと考えられる。

第7図は、1964年完成の国外向け火力用給水ポンプ用電動機で、2極機としては記録的大容量機である。

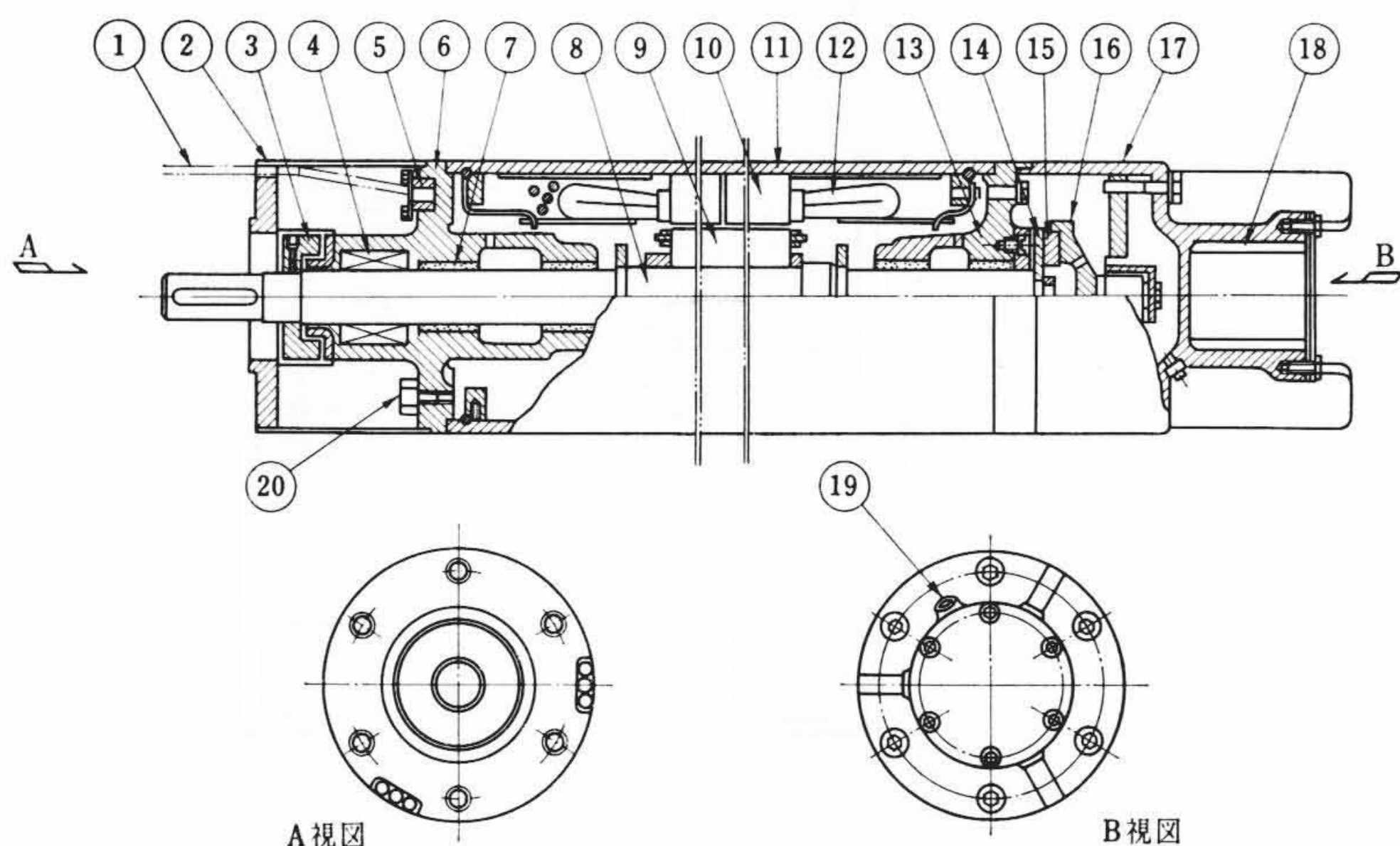


2,360 kW, 2P

第 7 図 MANILA, E. C. TEGEN-1. (100 MW) 納ボイラ給水ポンプ用かご形誘導電動機



第 8 図 循環ポンプ用かご形誘導電動機



構造図

- | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| ① 口 出 線 | ⑧ シ ャ フ ト | ⑮ ス ラ ス ト 軸 受 |
| ② 保 護 カ バ | ⑨ 回 転 子 | ⑯ ス ラ ス ト 軸 受 台 |
| ③ ス リ ン ガ | ⑩ 固 定 子 コ ア | ⑰ エ ン ド カ バ |
| ④ メ カ ニ カ ル シ ー ル | ⑪ 固 定 子 枠 | ⑱ 調 圧 装 置 |
| ⑤ ゴ ム ブ シ ュ | ⑫ 固 定 子 コ イ ル | ⑲ 水 抜 栓 |
| ⑥ 上 部 エ ン ド ブ ラ ケ ッ ト | ⑬ 下 部 エ ン ド ブ ラ ケ ッ ト | ⑳ 注 水 栓 |
| ⑦ ラ ジ ア ル 軸 受 | ⑭ し ゅ う 動 板 | |

第 9 図 深井戸用水中モートル構造図



第 10 図 深井戸用水中モートル

を示したものである。なお本設置場所は、比較的民家に近い場合もあり、灰流しポンプ電動機とならびきびしい騒音条件が要求される場合もある。

本機の問題点としては、起動時における固定子線輪の電磁力による応力、回転子の熱応力、振動などの点がある。さらに大容量化に伴っては温度上昇、各部応力、騒音の点も加味考慮せねばならないが、日立製作所においてはこれらの点について十分研究検討がなされており、さらに大容量機の計画が行なわれている。

3.2 循環水ポンプ用電動機

本機は、ランキンサイクルの完了点である凝縮器に通水するポンプ用モータであるが通常立形、開放、屋外形をとる場合が多く、したがって問題点も電動機の屋外形としての保護方式にしばられる。日立製作所においては、雨、雪、風に対しては、NEMA・MG・1・1・20 H, TYPE・2 を参考に設計し、ゴミの侵入に対しては入気口に清浄装置を設け、この目づまりに対しては排気側に測温計を設け温度により感知できるようにしてある。直射日光に対しては必要箇所は外皮を二重構造とし、塩害に対しては、内外とも特殊処理を施した構造を採用している。第 8 図は代表的な立形、開放、屋外形電動機

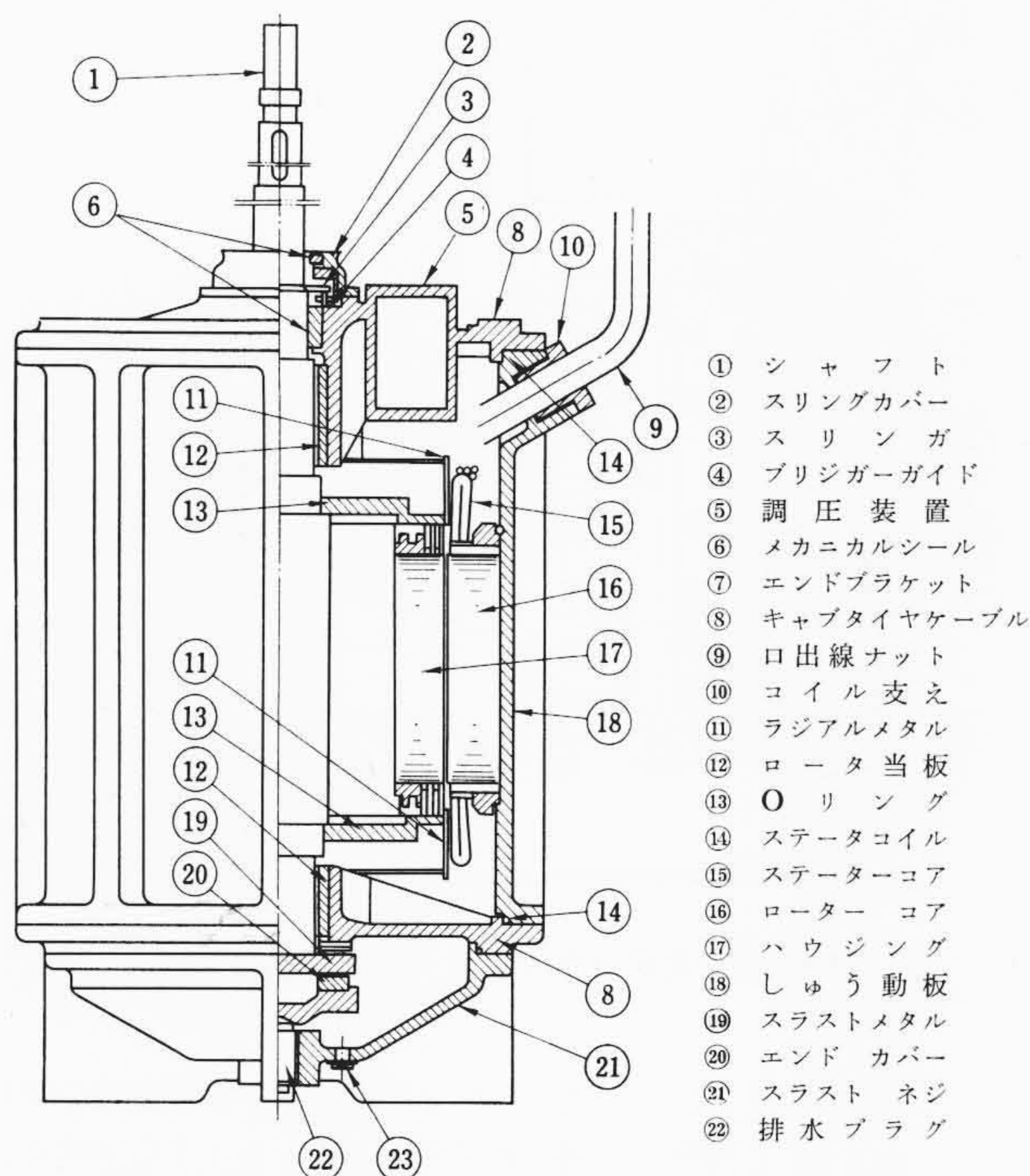
4. 特殊ポンプ用電動機

4.1 特殊ポンプの種類

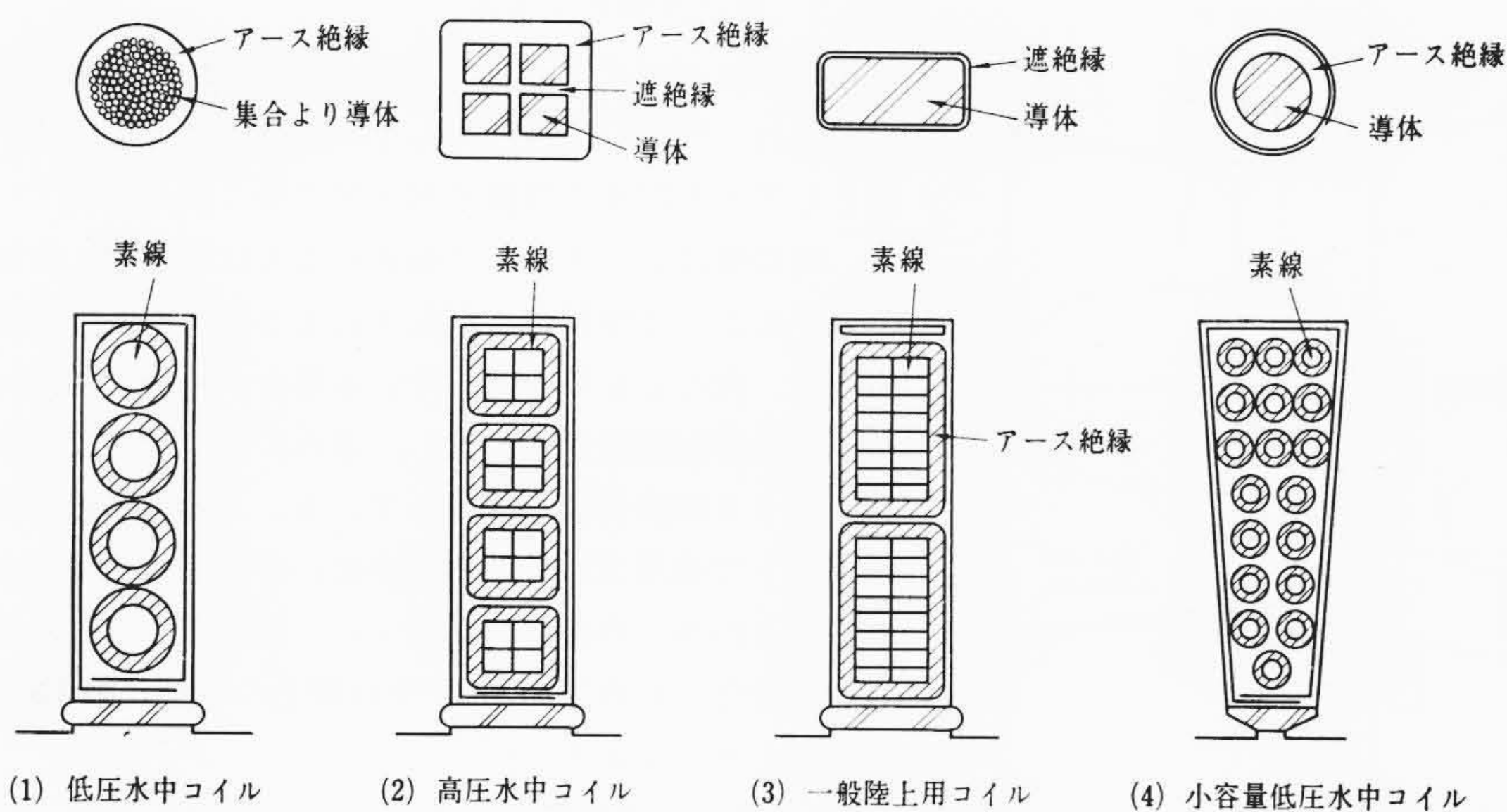
産業の発達とともに、特殊条件下で使用されるポンプが非常に多くなり、これに合った電動機が開発されている。すなわち特定の相手機械と一体に組み立てることにより、最も負荷条件に適したものとなり、そのうえ全体として小形化し、据付、保守なども簡便になる。このような特殊な構造、用途に使用される電動機の開発は容量の大小を問わず世界的に急速なテンポで進められている。そのおもなものは次のようなものである。

(1) 水中モートルポンプ

ポンプと電動機は一体に組み立てられ、ポンプとともに水中に据付け運転されるものである。このような構成上据付工事がきわめて簡単となり、しかも地上の建屋が省略できたり、あるいは騒音が発生しないなどのすぐれた特長を有している。そのため近來非常な勢いで需要がのびている。深井戸用、浅井戸用、土木用、



第11図 産業用水中モートル構造図（浅井戸用）



第13図 浸水形水中モートルのコイル構成

農事用などの取排水に用いられるのみならず、工業用水、上水道などの取水、昇圧にも用いられるようになって、現在では数百 kW のものまでが使用されるようになった。

(2) 特殊液取扱い用ポンプ

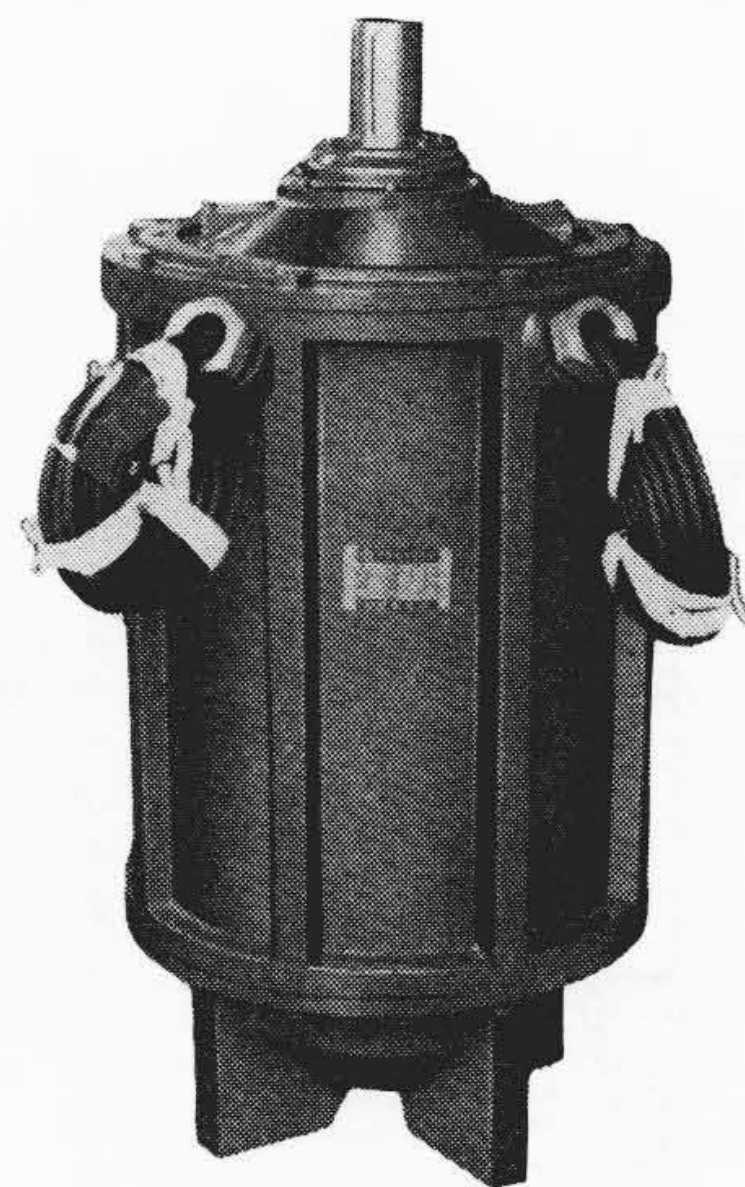
化学工業や原子炉などにみられる爆発性液体、高圧流体あるいは腐食性流体を扱うポンプで、高温、高圧であったり、漏えいに対する考慮をはらわねばならないものである。これらの条件によって防爆形、高スラスト荷重持形、キャンドモートルなどの電動機が使用される。

4.2 水中電動機（水中モートル）

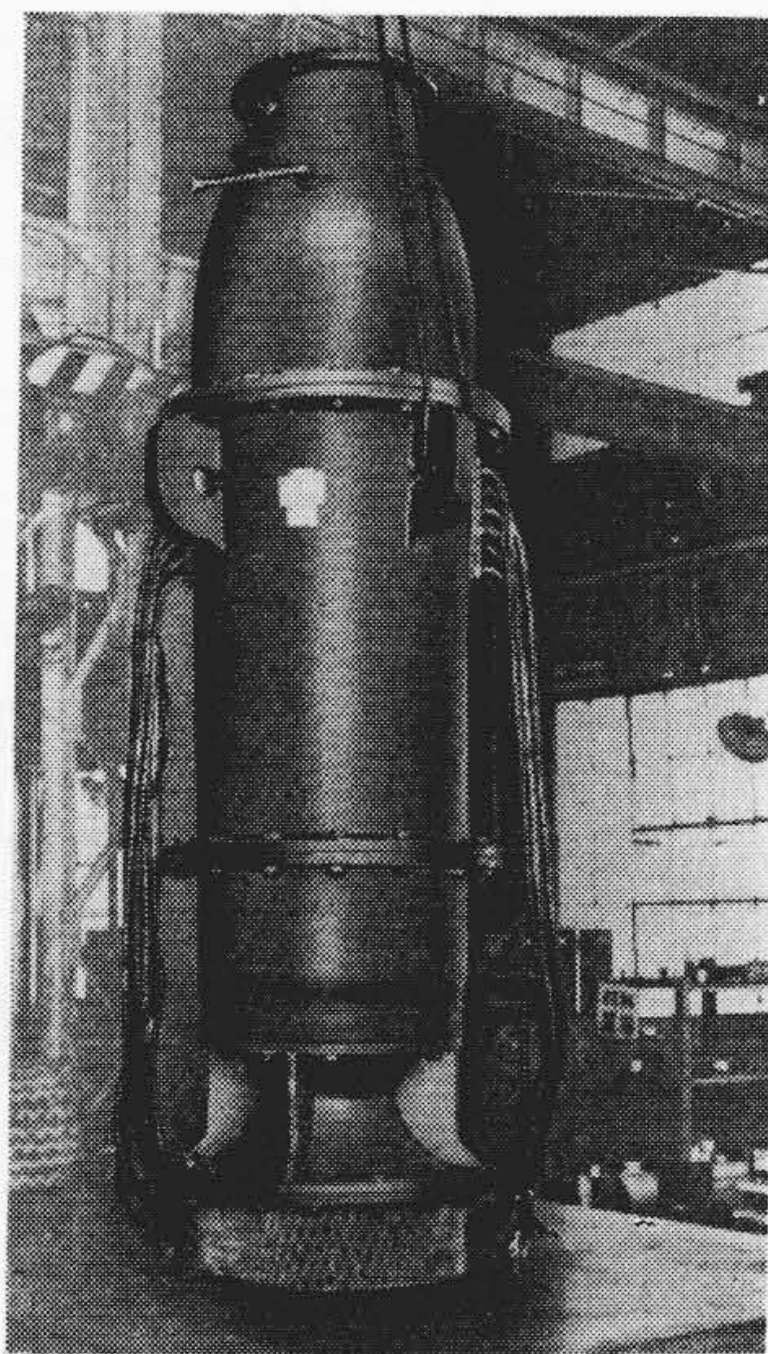
水中モートルにはその構造方式により、浸水式、油封式、乾式に分類されるが、いずれもポンプと一体となって水中で運転される。方式によってある程度用途が限定される。

4.2.1 浸水式水中モートル

電動機内部に水を充満した構造であって、通電部分の固定子コイルに直接水が接することと、軸受が水中にあるため水潤滑となることがその特異な点である。深井戸用水中モートルの構造を第9図、外観を第10図に、浅井戸用水中モートルの構造を第11図、



第12図 一般用水中モートル（浅井戸用）



第14図 300 kW 1,500 rpm 水中モートルポンプ

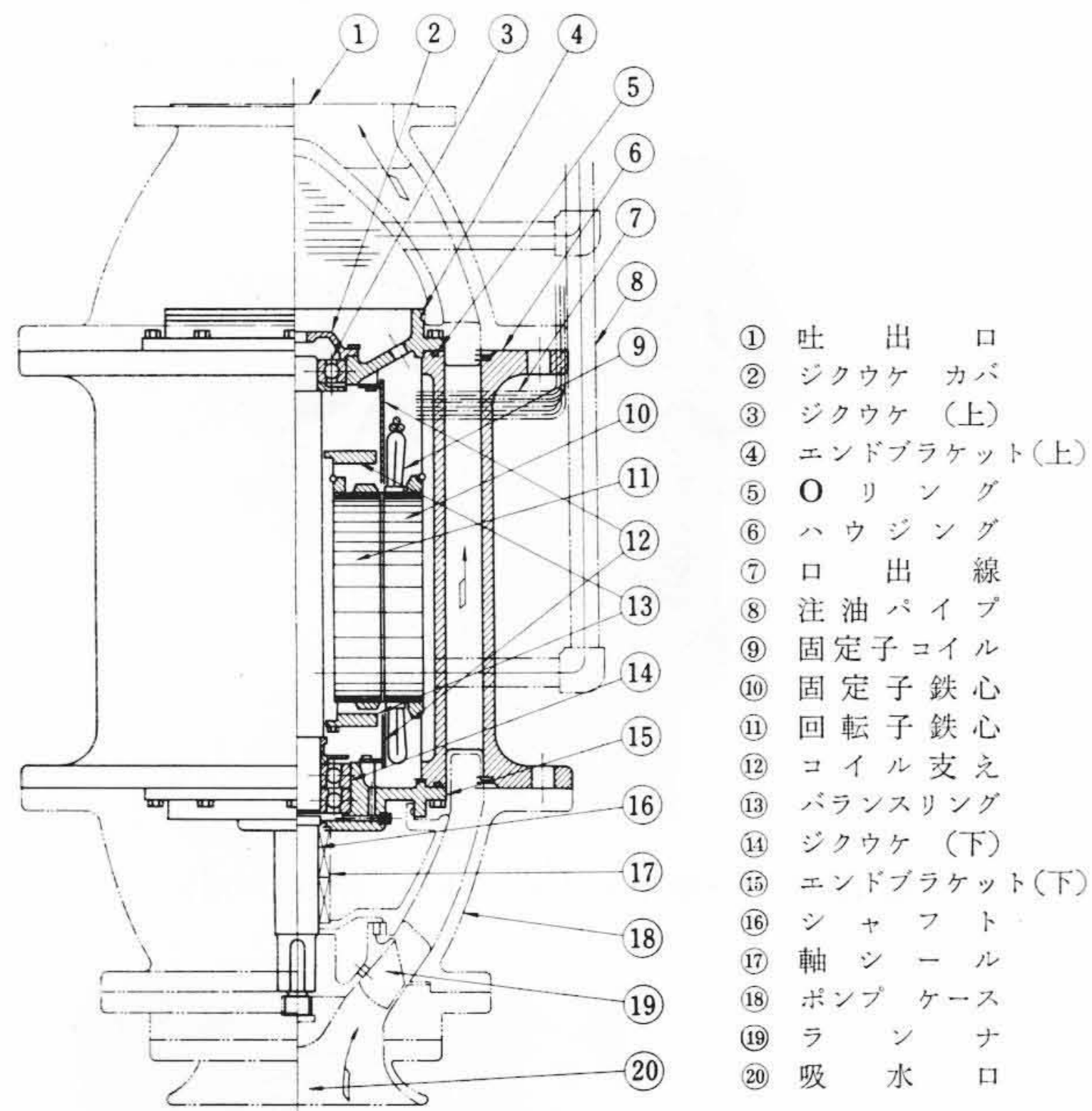
外観を第12図に示す。

(1) 固定子コイル

コイル全体が水中にあるので、あらゆる部分に信頼度の高い絶縁が要求される。したがって低圧用では導体自身を耐水アース絶縁材で被覆した特殊絶縁を使用しているが、日立製作所においては、低圧中容量以下の水中モートル用として日立独自の特殊耐水絶縁電線⁽⁴⁾を開発することができたので、絶縁特性を大幅に向上することができた。この方式は素線一本一本に対しアース絶縁が施されているのであるが、一方 3,000 V 級の高圧コイルでは、この方法では占積率が悪くなるので、それを改善するため陸上用一般コイル絶縁と低圧水中モートル絶縁の中間の構成を採用している（実用新案登録済）⁽⁶⁾。第13図はこれらの浸水形水中モートル用コイルの構成を陸上用コイルと比較しながら示したものである。

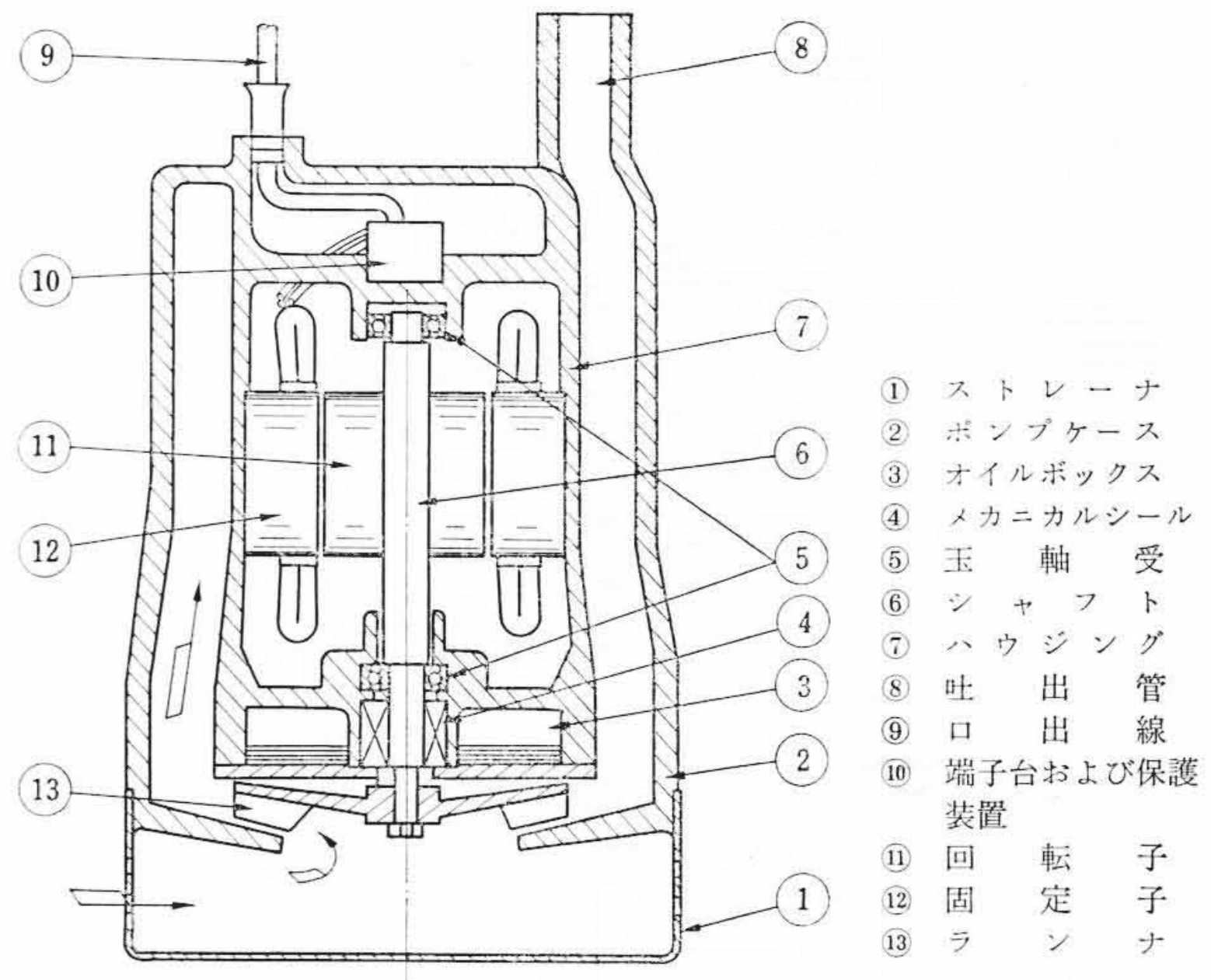
(2) 軸 受

電動機の回転子重量とポンプのスラスト荷重をうけるために、電動機内部にはスラスト軸受が設けられる。これらの軸受は水潤滑であるので、水潤滑性能のすぐれた炭素系特殊処理軸受を用い、その形状もうまく潤滑の行なわれるようにし、さらに表面処理をしたステンレス鋼のジャーナルを組み合わせているので、長期間にわたり安定した特性を示している。



(モートル上置式水中ポンプ用)

第15図 油封式水中モートル構造図



第16図 乾式水中モートルポンプ構造図

い方式としている。また内部の油の体積変化を吸収すると同時に内部の異常も検知できるような方式をとっており、地上にも給油設備などの付属設備を設けている。

4.2.3 乾式水中モートル

電動機はポンプケースの一部に設けられた気密室内に内蔵され、外部の水が侵入しない構造になっている。主として土木関係の可搬式ポンプに多く使用されている。電動機は常に水中で運転されるとは限らず、水位の低下によって空気中で運転されることもあり、取扱水も砂、泥などを多く含んでいる場合が多いので、コイルを耐熱耐湿絶縁方式とし、さらに温度および過負荷に対する保護装置を内蔵している。この電動機は高い水压下で使用されることは少ないが、汚水で 사용되는ことが多いので、特に軸シール部を厳重にし、保守を簡便ならしめている。その構造の一例は第16図に示すとおりである。

4.2.4 チューブラモートル

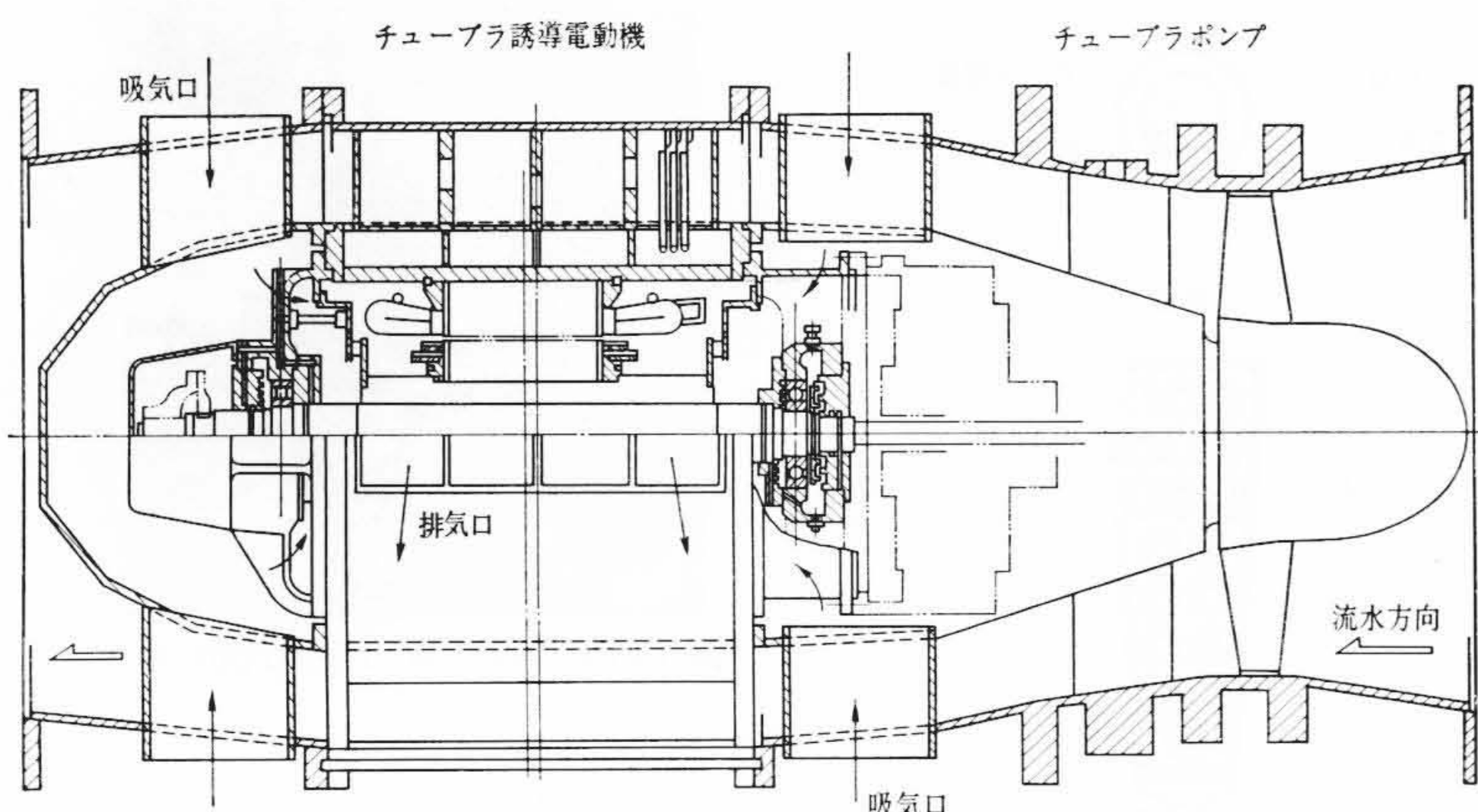
チューブラモートル (tubular motor) は筒形電動機とも呼ばれその名の示すとおりポンプ配管中にポンプと一体に組み込まれた構造である。電動機内部に水が侵入しないように軸貫通部で完全に遮断されており、水密形乾式水中モートルの一種ともいえる。したがって前述の水中モートルとほぼ同一の特長を備えているが、その構造上低揚程大水量のポンプに適している。

第17図は敦賀市役所に納入した65 kW、1,500 rpmのチューブラモートルポンプの構造を示しており、通風ダクトより外部の空気を取り入れるとともに、外わくも水冷構造になっているから非常に小形化されている。

4.3 特殊ポンプ用電動機

4.3.1 高速高スラスト荷重持防爆電動機

爆発性ガスの存在する環境では防爆電動機が使用されるが、近年LPGなどの特殊液を扱う化学ポンプには2極の高速高スラスト荷重持電動機が使用されている。この電動機は高度の安全性、信頼性と保守の容易な構造が要求されるので本体はJIS-C-0901または0903を満足する防爆構造とし、軸受部には高速高スラスト荷重にも耐える十分荷容量の大きいころがり軸受を使用している。第18図はその外観と仕様を示したものである。



第17図 チューブラモートルポンプ構造図

(3) その他

各部は防食、防砂を十分考慮しており、種々の水質に適用できる。さらに完全な過負荷保護装置をそなえた水中モートル用制御盤と組み合わせて使用することにより、いっそうその信頼性は向上される。

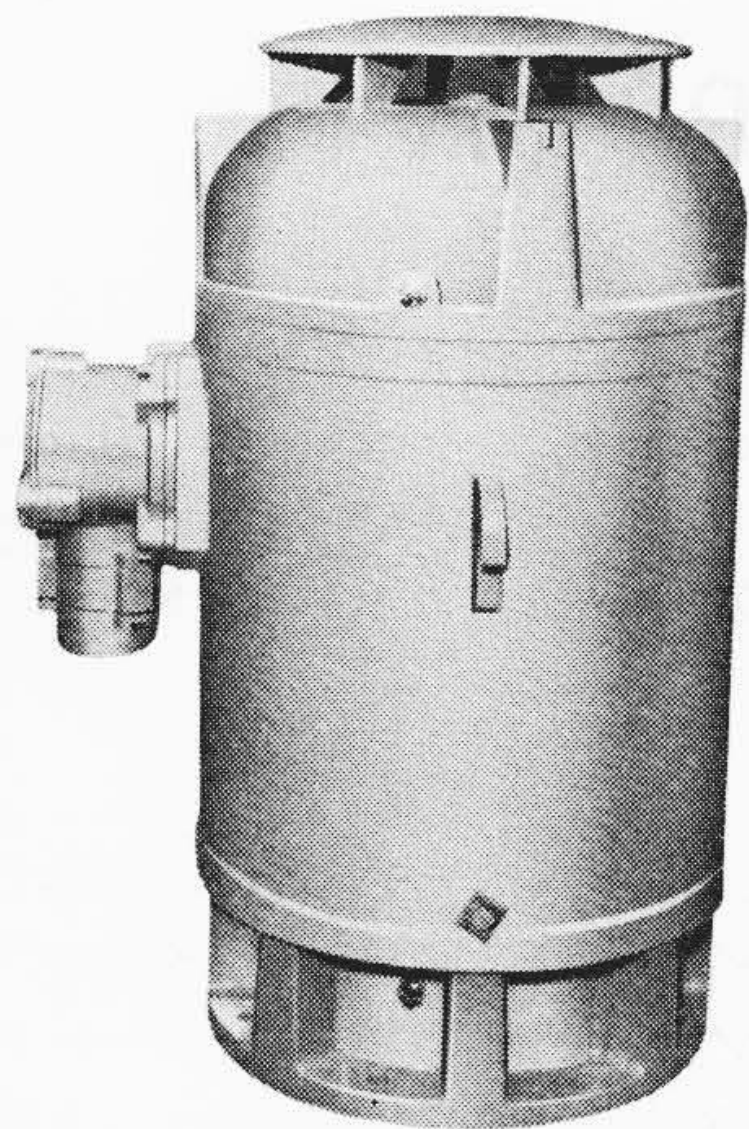
(4) 本邦最大容量 300 kW 水中モータ

第14図は本邦最大容量の300 kW水中モータとポンプの外観で電圧3,000 V、回転数1,500 rpmである。

4.2.2 水密式水中モートル

外部の汚水が電動機内部にはいらないように、油や空気を充填する方式であって、主として油が用いられるので、ここでは油封式について説明する。

農事用とか、寒冷地で使用されるポンプなどに主として用いられるもので、ポンプケースの一部を電動機と共用し、これに絶縁油または潤滑油を充填し、電動機の絶縁、軸受と軸シールの潤滑を行なうとともに電動機内への外水の侵入を防止している。絶縁については特に油に対し特性の良いものを使用している。その構造の一例を第15図に示したが、特に外水に対する密封性がその特性、寿命に大きな影響を与えるため特に軸シール部は信頼性の高



37 kW 2 P 400 V 50 c/s スラスト荷重 500 kg

第 18 図 立軸耐圧防爆屋外形スラスト持電動機

4.3.2 キャンドモートル⁽⁵⁾

高温高压の腐食性の液体や放射能を帯びた液体を大量に循環させる場合には、ポンプから流体が漏れないことが必要である。この目的のためにはメカニカルシール式、ガス封入式、油封式など種々の方法が考えられるが、いずれも漏えい皆無という条件に対しては完全なものとはいえない。この点を改良して完全に無漏えいのポンプとして開発されたのがキャンドモートルポンプ(canned motor-pump)であって、主として原子炉の重水循環用や強制貫流ボイラの循環用あるいは重化学工業用として用いられる。

第 19 図はその構造を示したものであるが、電動機とポンプが一体となっており、最も漏えいが起こりやすい軸貫通部が存在しないので、容易に無漏えいに行うことができる。

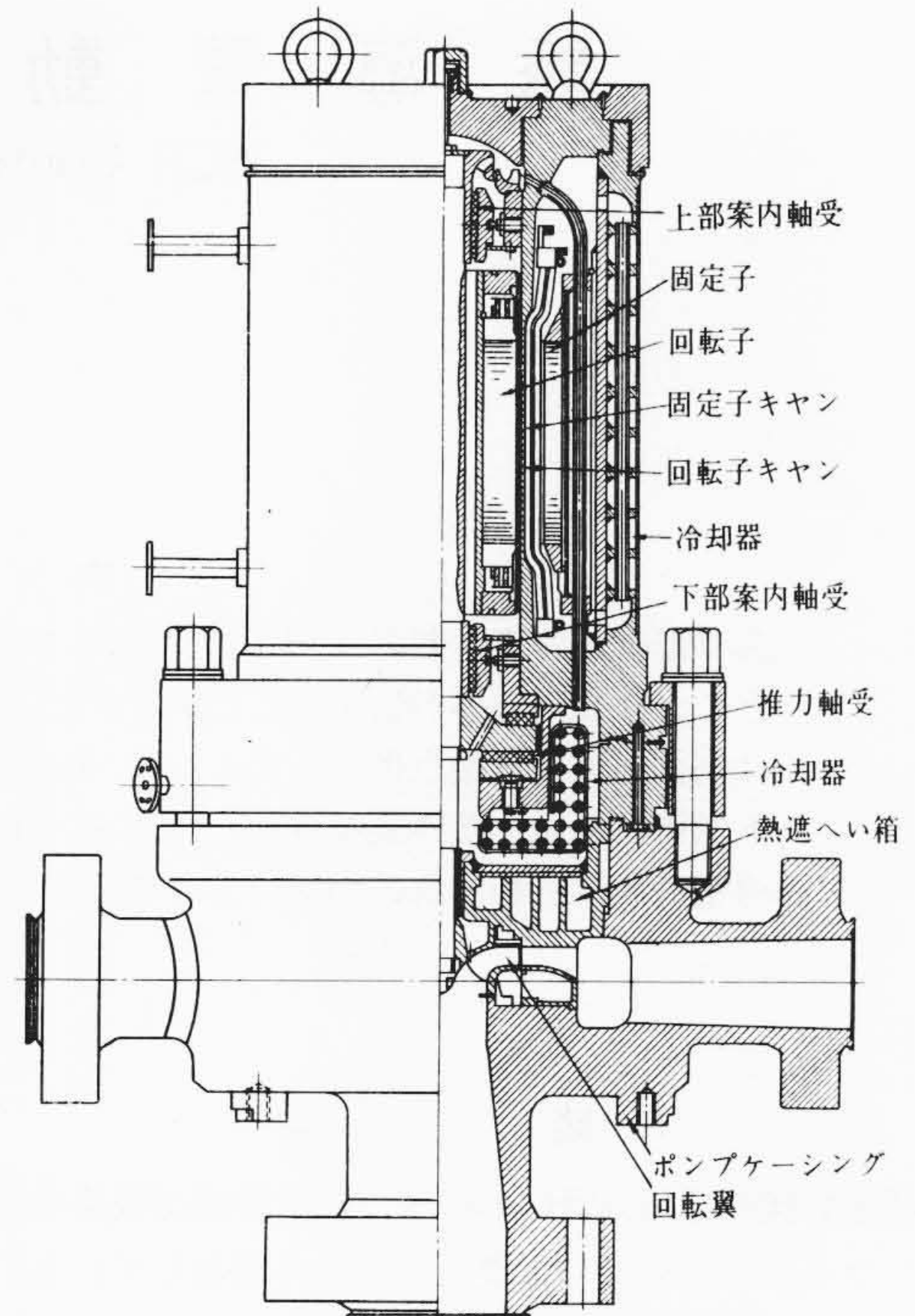
ポンプの取扱流体は圧力 150 kg/cm²、温度 300°C 程度にも達する場合が多く、次に述べるようにきわめて特殊な構造を採用している。

(1) 冷却機構

取扱流体は電動機内部に充満する構造になっているが、高温の液がそのまま電動機にはいると各部に悪影響を及ぼすので、ポンプ部と電動機部との間にラビリンス式熱しゃへい部を設けて電動機部の水温が上昇せぬようにしている。また電動機内部の水を循環し、その途中熱交換器をおいて外部二次冷却水に放熱するとともに、固定子わくにも冷却水を通水することによって冷却している。

(2) 通電部分の保護

電動機内部の液と通電部分の接触を防ぎ腐食を防止するために、固定子、回転子とも特殊なステンレス鋼の薄板(can)で密封しており、これがキャンドモートルの名称のゆえんであり最も重要な部分である。



第 19 図 キャンドモートルポンプ構造図

(3) 固定子わく

循環液回路の高圧に対しては、電動機内部においては主としてキャンと固定子わく、ポンプ部においてはケーシングが圧力容器になっており、ポンプケーシングと電動機固定子わくとはボルトで完全に密着、密封されるので、ポンプケーシングを配管系統に溶接して接続すれば取扱流体を無漏えいに行うことができる。

5. 結 言

最近のポンプ用電動機のうち特色のあるものを選んで述べた。ポンプ用にはこれらのほかに数多く電動機が用いられており、今後も多く使用されるすう勢にある。都市水道用としては大容量化するとともに、高度の制御が行なわれるようになるであろう。また火力発電所用としても大形化するとともにビルトイン電動機を中心とする特殊電動機が多機種にわたるものと考えられる。

参 考 文 献

- (1) 麻生, 広ほか: 日立評論 47, 663 (昭 40-4)
- (2) 桜井ほか: 日立評論 47, 1811 (昭 40-11)
- (3) 岩城, 広: 日立評論 47, 1841 (昭 40-11)
- (4) 大和田, 鎌田: 日立評論 47, 500 (昭 40-3)
- (5) 広: 日立評論 43, 1194 (昭 36-10)
- (6) 篠田: 日立評論 46, 294 (昭 39-2)