

高温高压用 90kW キャンドモータポンプ

90 kW Canned Motor-Pump for High Temperature and High Pressure Use

広 豊*
Yutaka Hiro

内 容 梗 概

日立製作所においては原子炉などに使用するキャンドモータポンプの研究、開発を進めているが、今般高温高压用 90 kW キャンドモータポンプを試作完成した。本機は取扱流体を無漏えいとすることができる完全密閉形であって、高温高压の取扱流体中で運転することができる。本稿においてはその構造を説明するとともに各部にわたり詳述した。

1. 緒 言

最近の技術の進歩に伴い、取扱流体の漏えいを極度に制限されるポンプへの要求が多くなっている。特に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無漏えいであることが必要となる。かかる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タポンプ (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として使用される。

キャンドモータポンプは原子炉、特に動力用原子炉の補機としては最も重要なものである。今般日立製作所においては大容量高温高压用キャンドモータポンプの試作を行い、優秀なる結果を得たのでここに報告する。

2. 試 作 機 仕 様

取扱液体	水 (重水)
温 度	265°C
圧 力	140 kg/cm ²
ポンプ	渦巻ポンプ
形 式	OV—CM
吐出量	10 m ³ /min
全揚程	32m
電動機	かご形三相誘導電動機
形 式	VIW—KK
出 力	90 kW
定 格	200V 50～ 連続
極 数	4P
回転数	1,500 rpm

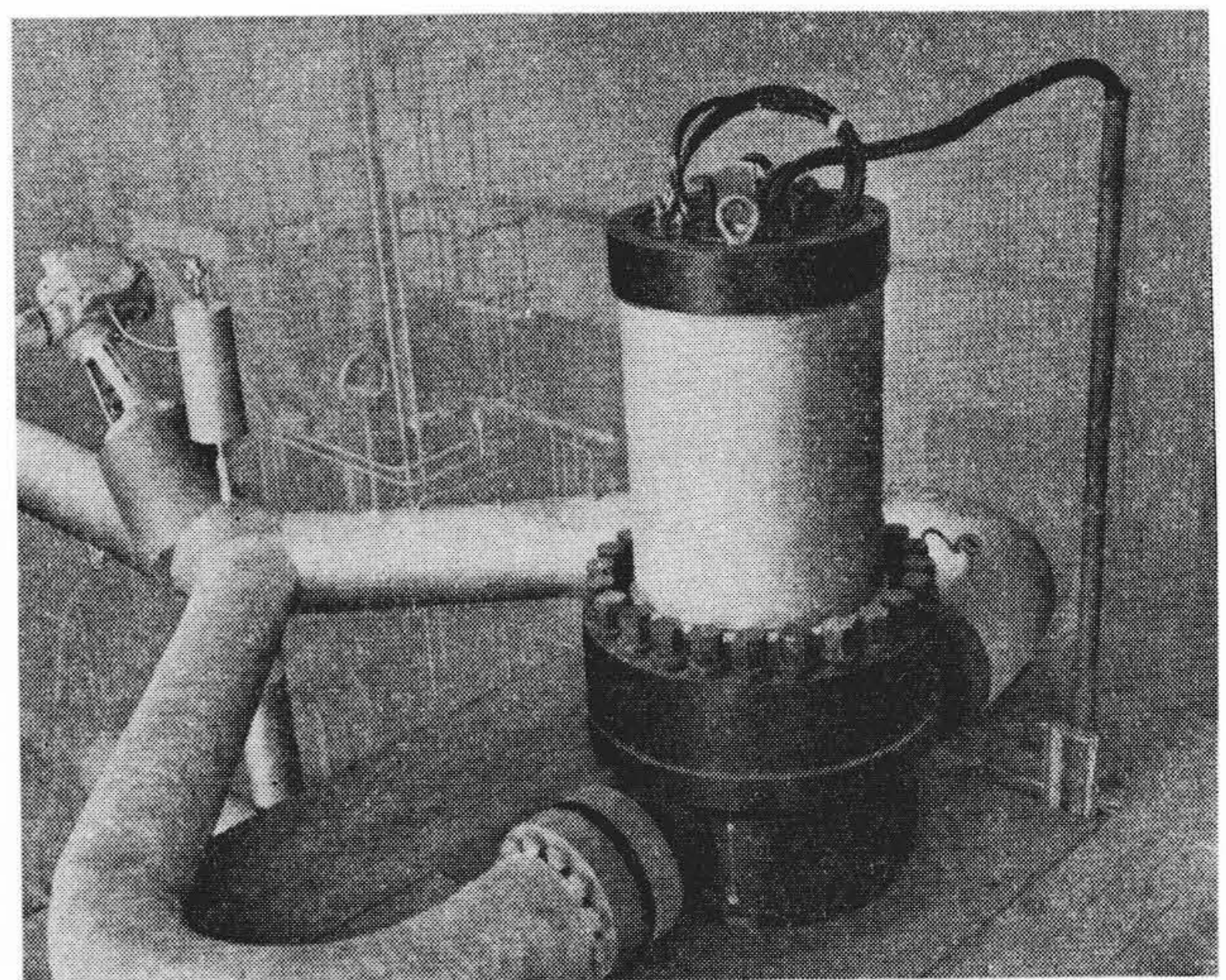
3. キャンドモータポンプの構造

キャンドモータポンプは、電動機とポンプが一体となっており、最も漏えいが起りやすい軸貫通部が存在しないので、容易に無漏えいとすることができる。

ポンプのインペラは電動機軸にオーバーハングし、ポンプケーシングと電動機わくは直接ボルトにて連結されている。取扱流体は電動機内部に充満する構造になっているが、高温の水がそのまま電動機部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と電気部分の接触を防ぎ腐食を防止するた

* 日立製作所日立工場



第1図 キャンドモータポンプ外形

め、固定子、回転子とも薄板 (can) で密封されており、これがキャンドモータポンプの名称のゆえんである。

循環水回路の高压に対しては電動機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となっており、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とすることができる。

軸受は水潤滑の黒鉛質のものを使用し、推力軸受と案内軸受によって回転子を支持している。

電動機の冷却は電動機内部の水を循環し、その途中に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行っている。かかる構造をとることにより、循環水の温度が二百数十度となっても電動機内の水温は 100°C 以内となり安定した運転を行うことができる。

4. 各 部 詳 細

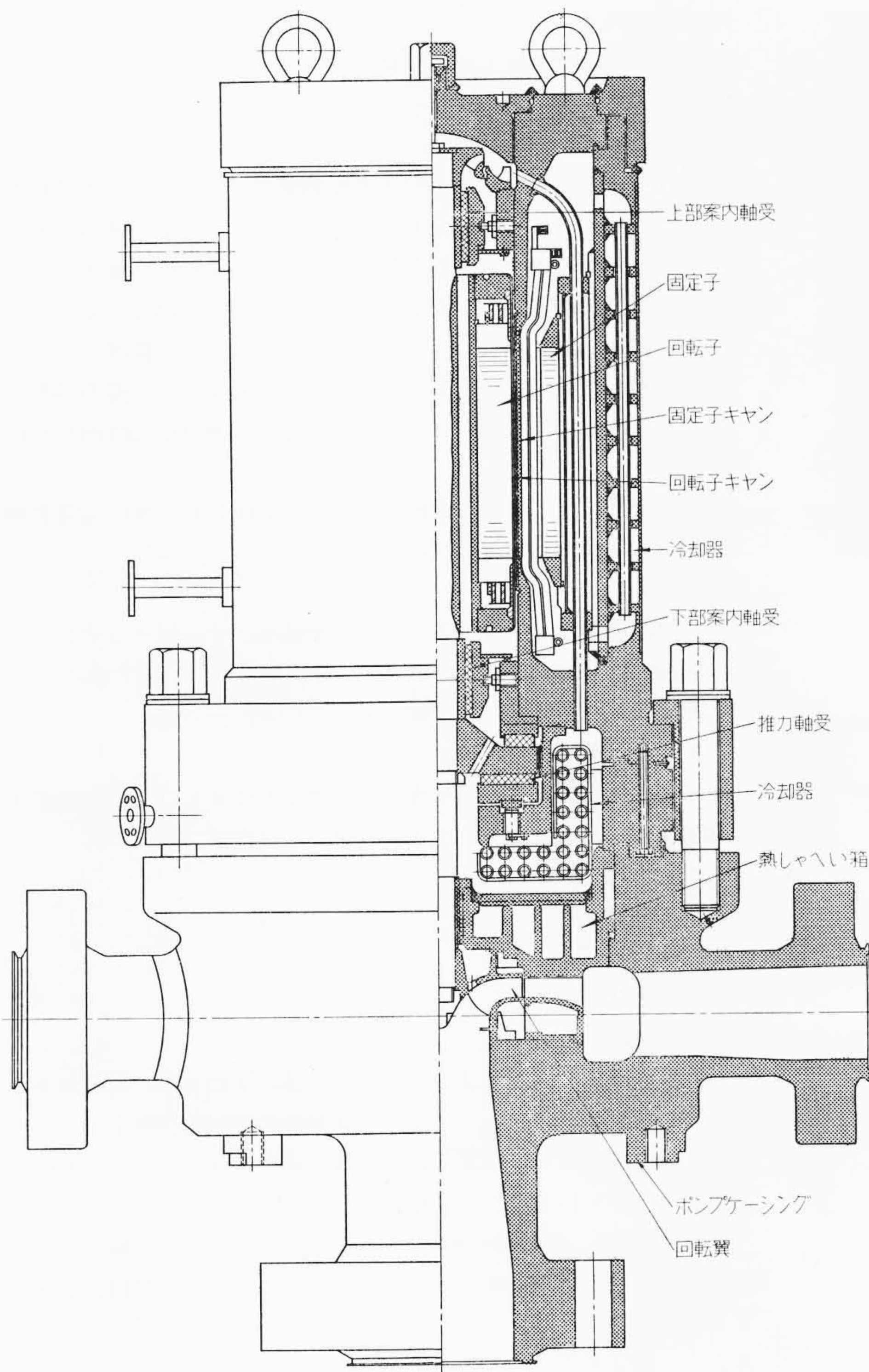
4.1 電 動 機

電動機は4極二重かご形三相誘導電動機であって、理論的には通常広く使用されている誘導電動機と特に異なる点はない。ただ固定子回転子間の空げきにキャンがそう入せられるので、磁気的空げきは広くとらざるを得ない。また電氣的損失も増大する。回転子は水中で回転するので極力機械的損失を減少させるなど、構造的にも考慮をはらう必要がある。

以下各部について個々に詳述する。

4.1.1 キ ャ ン

キャンはキャンドモータの最も重要な部分であって、固定子内面および回転子外面に張られ、鉄心部ならびに導体部を電動機内



第2図 キャンドモータポンプ構造図

第1表 インコネルXの特性

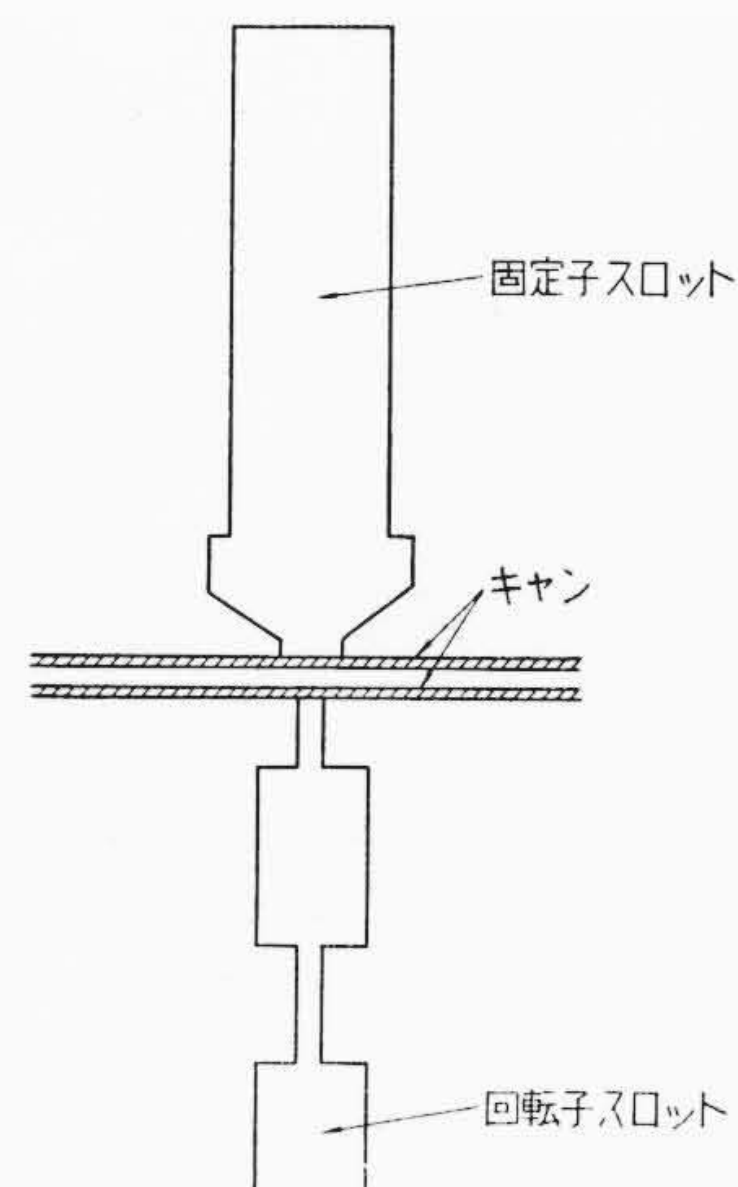
比重	8.25	固有抵抗	$1.24 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$
熱膨脹係数	13.7×10^{-6}	導磁率	1.0028
熱伝導率	0.035 cal/cm sec °C	降伏点	64.6 kg/mm ²
弾性係数	$2.2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$	抗張力	114 kg/mm ²

部の高温高圧水より隔離し、腐食の防止、絶縁の保護を行うものである。

電動機内部には圧力 140 kg/cm² にも及ぶ水が充満しているものであるから、キャンはそれに耐える機械的強度ならびに耐食性をもつとともに、キャンの中に発生する熱損失ができるだけ小であることが必要である。

機械的強度に関しては第3図のように固定子、回転子とも鉄心の形状に留意し、キャンの受ける圧力を鉄心でささえるようにし、鉄心の存在しないコイル端部においてはキャンささえを設けるとともに、エンドプレートの形状に留意して補強を行い、十分な強度を持たせている。

キャンには磁束が通るので非磁性材であることが必要で、かつ渦電流損失によって熱が発生するので電気抵抗の高いものを選定しなければならない。



第3図 電動機スロット形状

キャンに発生する熱量はキャンを単なる円筒と考えると次のようになる。

$$W = \frac{\pi}{8} D^3 L t B_g^2 (2\pi f)^2 \kappa \dots\dots\dots (1)$$

ただし D : キャンの直径
 L : 固定子長さ
 t : キャンの厚さ
 B_g : 空げきの磁束密度
 f : 磁束の周波数
 κ : キャン材の導電率

単位 MKS

式(1)は固定子端部における磁束密度の変化は無視しており、実際には端部の影響によりこの値よりは減少する。

この式からわかるように、キャンの中に発生する熱損失を減少させるためには上記諸数値を小ならしめればよいわけであるが、 D 、 L 、 B_g 、 f は電動機出力および電源によって定まる値であるので、キャン材選定の見地よりすれば導電率の低いもので、かつ厚さをできるだけ薄くできるものであることが望ましい。この

ような点から材料を選定した結果耐食性もすぐれ、強度も大であり導電率も通常のステンレス鋼より小であるインコネルXを採用し、厚さも強度上、工作上許せるかぎり薄いものとした。インコネルXの特性を第1表に示す。

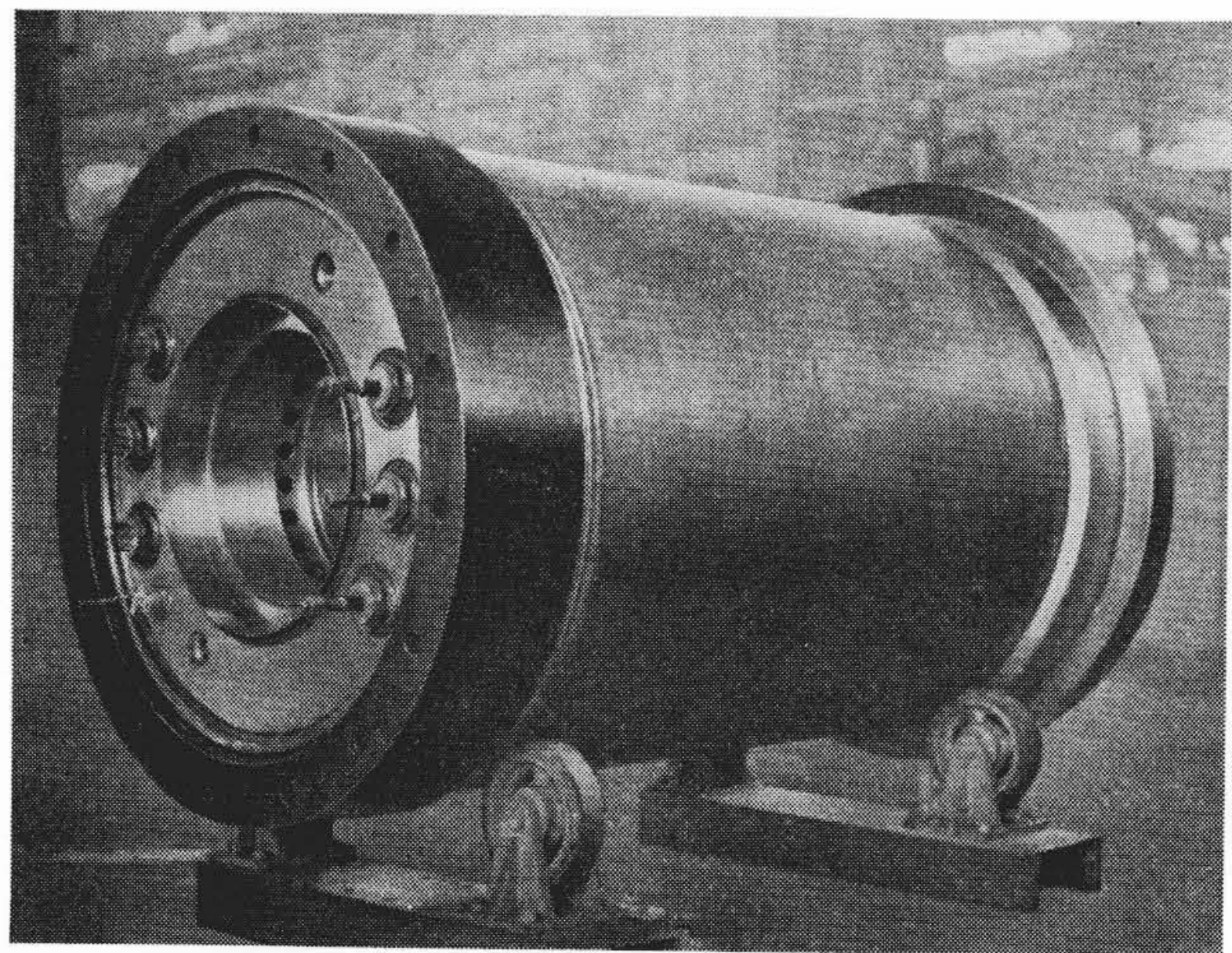
4.1.2 固定子わく

固定子わくはキャン、鉄心などを通じて 140 kg/cm² の圧力を受け、かつ耐食性を持たさなければならないのでステンレス鋼の鍛造品を用いている。また固定子わく回りには外部二次冷却水を通水して冷却する構造としている。

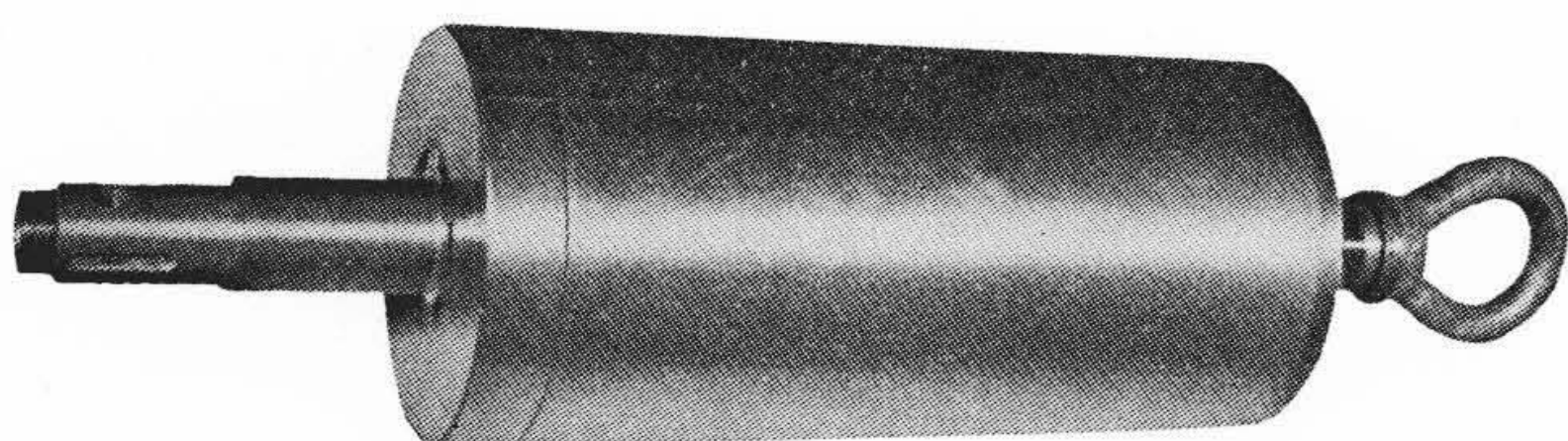
固定子コイルはキャンにより内部水より保護されているが、万一キャンが破れコイル部に水が侵入した場合には端子にも高圧が加わるので安全性を考えて、内部水の外部への侵出を防ぐため 140 kg/cm² に耐える密封端子を使用している。密封端子はマイカを母材とする特殊材料を用いており、ヒートサイクルを繰り返して、長時間の使用後も劣化することなく安定した性能を持っている。

4.1.3 固定子コイル

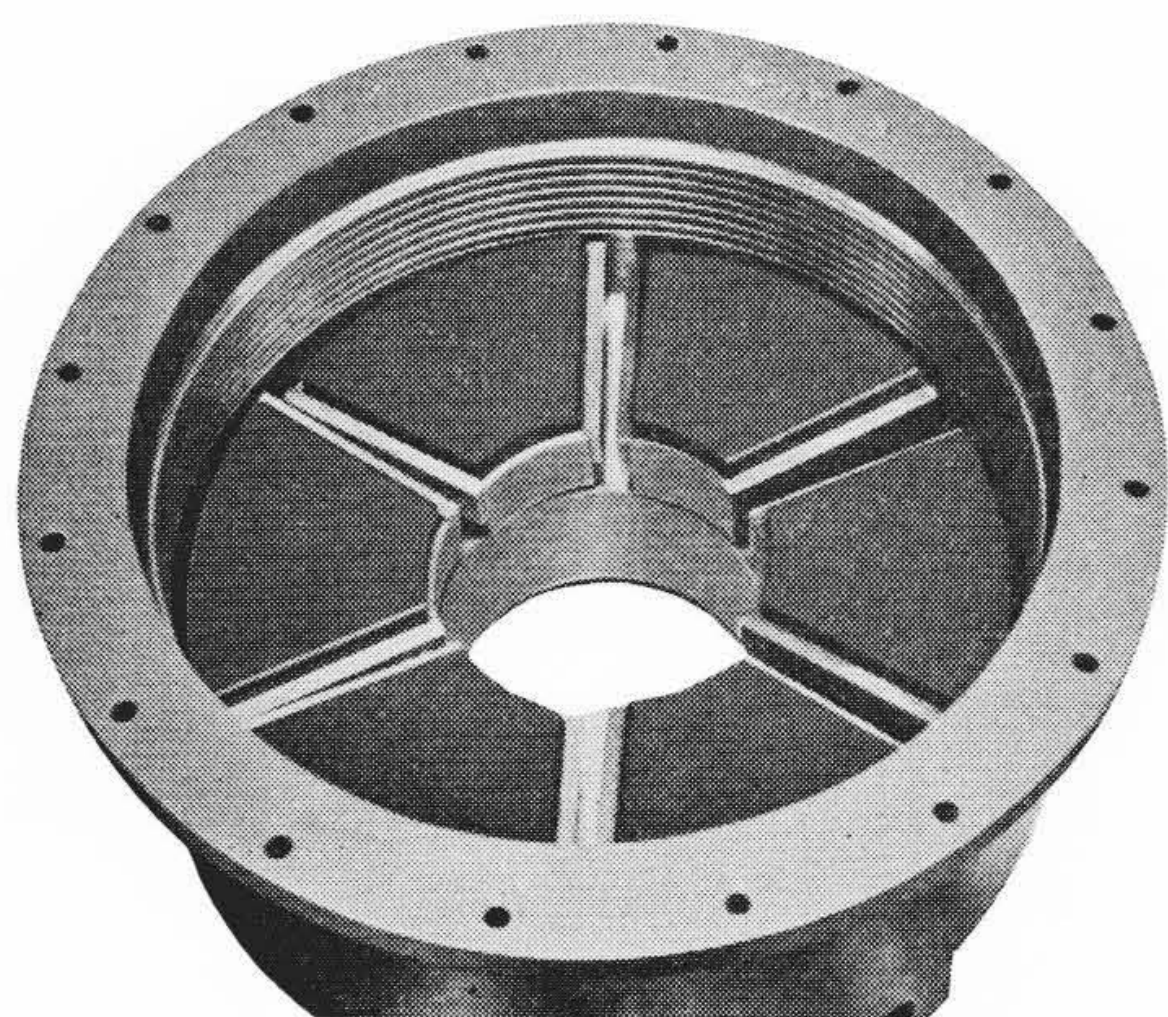
固定子コイルはH種絶縁を使用したハーフコイル式である。絶縁材料には厳選されたシリコン系のものを用い、信頼度の高いものである。またウェッジはコイルをささえると同時にキャンの裏



第4図 固定子わくと密封端子



第5図 回転子



第6図 推力軸受

うちの役割をも行っているのです、ある程度機械的強度も強く、高温にも耐えるようなシリコン系合成品を用いている。

4.1.4 回転子

回転子は通常のかご形三相誘導電動機と同様の二重かご形構造であるが、腐食を防ぐためと摩擦損失も小ならしめるためキャンでおおっている。キャンは薄いうえに表面が平滑かつ真円でなければならないので、回転子にキャンを張るには非常な精度と高度の溶接技術が必要である。

また回転子は水中で回転するので単に摩擦を小ならしめて効率の向上を図るのみならず、キャビテーションにも留意して各部の形状を決定してある。

4.1.5 軸受

水中運転であるから軸受材に何を使用するかが重要な問題である。水潤滑の軸受材としては黒鉛を素材とするものが広く用いられており、最も安定した性能を示しているが、本機を設計するに先立ち水潤滑の各種の軸および軸受材について特性試験、寿命試験を行って材料を選定した結果、軸材 SUS-27 に対する軸受材としては新たに開発された合成樹脂含侵の黒鉛成形品が最適であることが判明した。

本機の軸受は推力軸受と案内軸受からなり、前者にはミッチェル形の分割軸受、後者には円筒軸受を用いている。冷却は内部循環水を通水して行っている。

4.1.6 冷却器としゃ熱箱

前述のように高温水がそのまま電動機部に侵入することは好ましくないので、軸部にはラビリンスを設けて高温水の流入口を小さくすると同時にポンプと電動機の間際にしゃ熱箱を置き、さらにその上に冷却器をおいてしゃ熱効果を大ならしめている。しゃ熱箱には断熱効果の大きいガラス系材料を封入して温度こう配をもたせるとともに、すぐ上部の冷却器には外部より常温の二次冷却水を通水して熱しゃへい作用と電動機発生熱の除去作用を行わしめる。

この方法によって定格運転時循環水が 265°C のときにも電動機内部の水温は約 80°C とすることができた。

4.2 ポンプ

ポンプは渦巻ポンプで、ランナは電動機軸にオーバハングしている。吐出口は2個あり、ケーシングは $140\text{kg}/\text{cm}^2$ 265°C の高温高圧水に耐えるだけの十分な安全率を有している。

4.3 冷却方式

キャンドモータポンプから発生する熱損失は主として電動機部より発生するが、それを分類すると次のようになる。

1. 電動機鉄損
2. 電動機銅損
3. キャン損失
4. 回転子摩擦損失
5. 軸受損失

これらの発生熱は次のような過程で外部に放出され、電動機各部は一定の温度に保たれる。すなわち電動機鉄損銅損中固定子より発生する熱は主として、固定子わく外部に通水された二次冷却水によって外部に導かれる。一方電動機内部の水は補助インペラーによって軸受、空げき、冷却器の順序で循環され、キャン損失、軸受損失、摩擦損失、回転子銅損鉄損などによる発生熱を奪い、冷却器を通過する際熱交換が行われ、同じく二次冷却水によって外部に放出される。

上述の放熱システムのほかに輻射対流により表面から放熱されるものも存在するが、この冷却方式により固定子コイルの温度上昇は 58°C であった。

5. 試験装置

キャンドモータポンプは特に本機のために製作された試験装置に据え付けて試験を行った。この試験回路の概略は第8図に示す回路であって、循環水を任意の圧力、温度に保って連続運転を行い、各種のデータを測定し自記記録することができる。

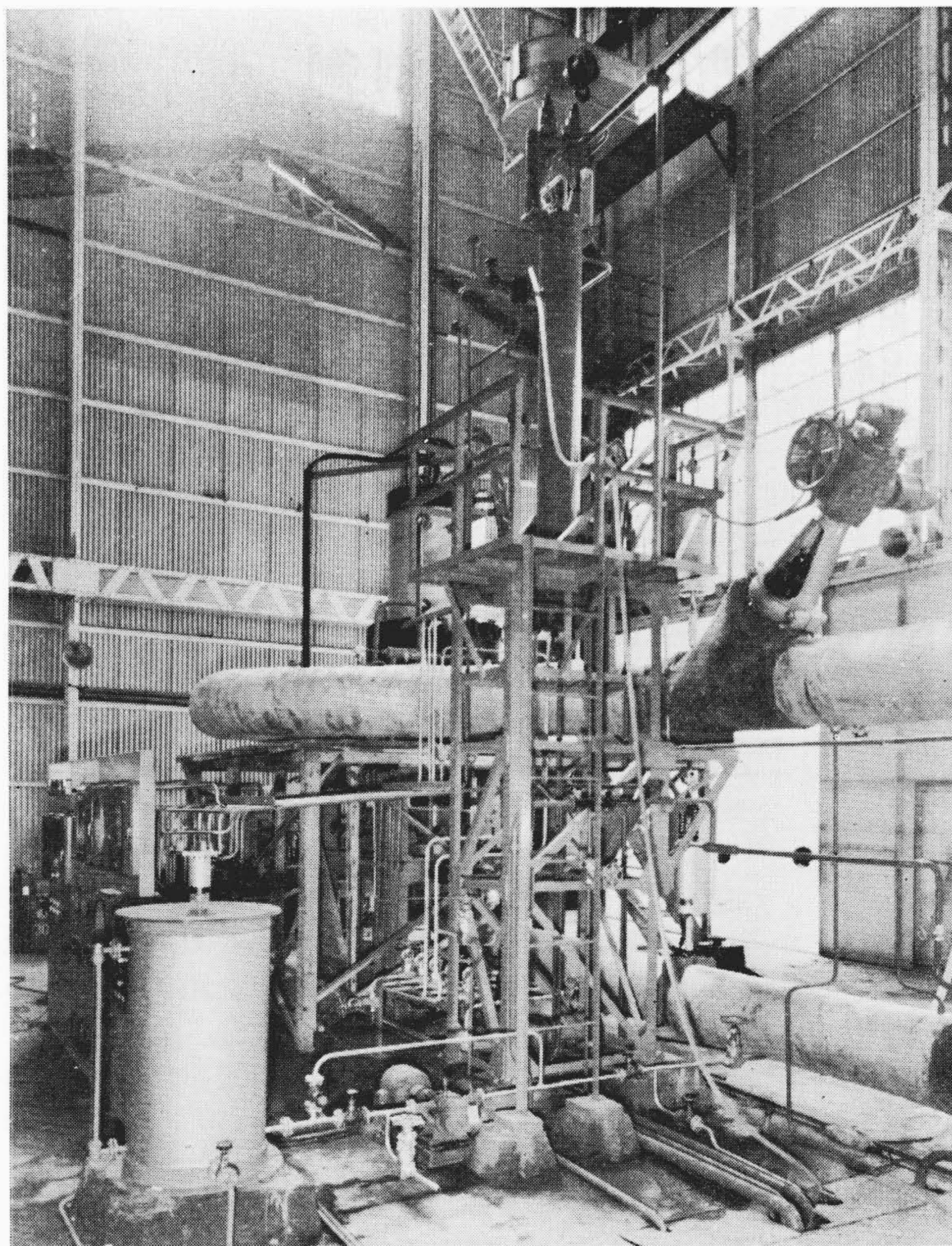
6. 試験データ

6.1 電動機特性

ポンプ定格運転時において (200V 50 $\sim$)

入力	159kW
効率	53%
力率	85%
滑り	0.7%
起動電流	1,980A
温度上昇	固定子(抵抗法) 58°C
	固定子(温度計法) 48.5°C
	固定子わく 31°C

なお効率、力率は通常の設計を行えばさらに良好なものとするこ



第7図 キャンドモータポンプ試験装置

とができる。本機は試作機のために構造上種々の特殊な点があるのでこの程度であるが、ほとんど同一仕様の国産一号原子炉用キャンドモータにおいては、効率、力率ともさらに良好なものにすることができた。

6.2 ポンプ特性

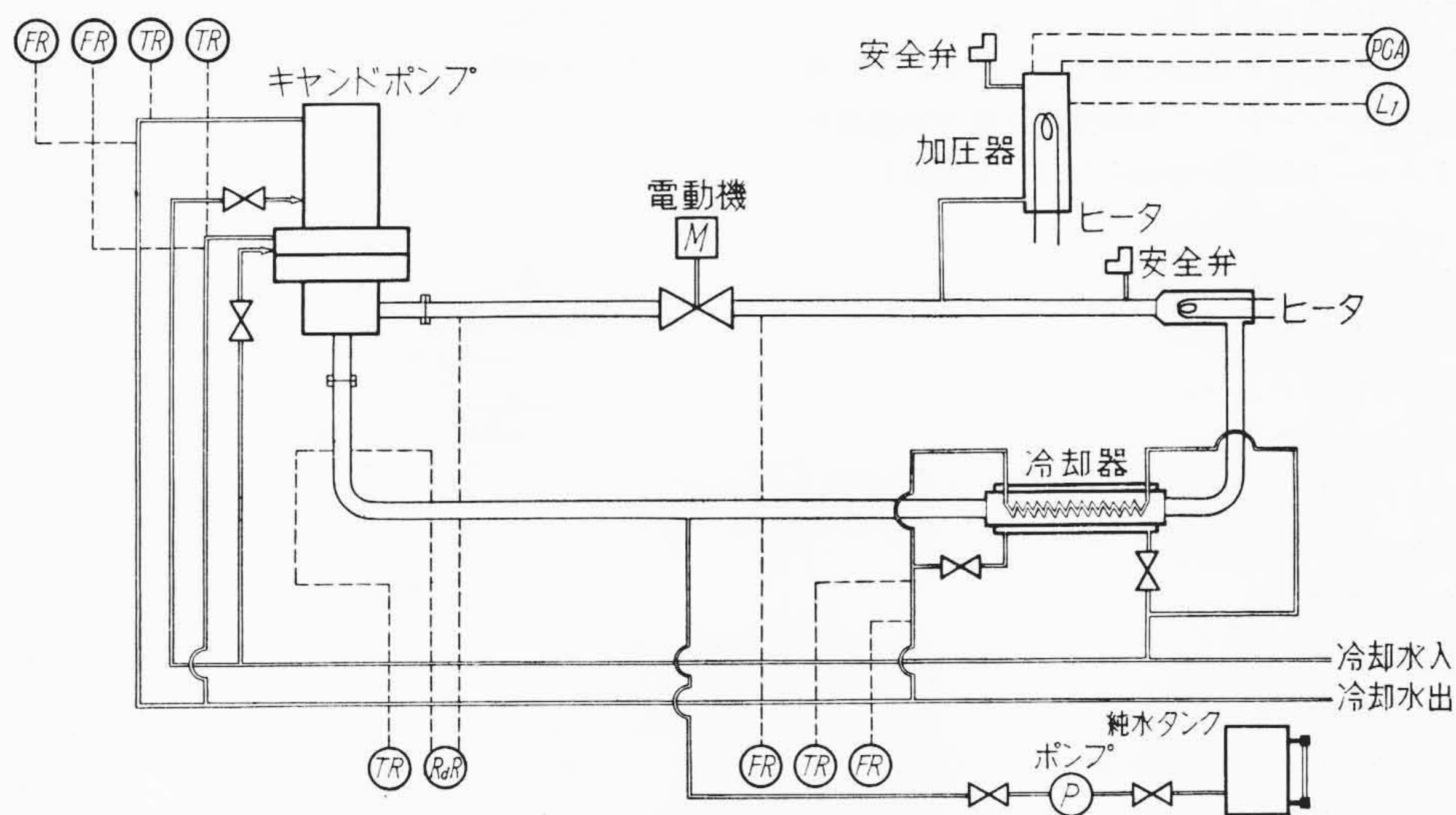
ポンプは試験の結果、優秀な特性が得られ効率もきわめて良好であった。

7. 結 言

今回試作完成した高温高圧用のキャンドモータポンプについてその構造、特性を紹介した。キャンドモータポンプは今後原子炉用そのほかに広く用いられるすう勢にあり、この試作の結果キャンドモータポンプを製作するための貴重な試料が得られ、さらに大容量のキャンドモータポンプ製作の見通しを得た。

なおこの試作機の結果をとり入れて、国産一号原子炉用のキャンドモータポンプを製作し、納入した。

終りに臨み、ご指導いただいた日立製作所日立工場桜井課長、麻生課長、日立製作所日立研究所片木主任研究員ならびにご協力いただいた各位に厚くお礼申し上げます。



第8図 試験装置系統図