

# 784MW BWR原子炉給水ポンプの開発

Development of Reactor Feed Pumps for 784MW BWR Nuclear Power Station

斧 田 忠 巳\*  
Tadami Onoda

Reactor feed pumps for use with multistage turbine pumps, with a barrel casing driven by a 2-pole induction motor, are used for up to 540MW BWR nuclear power stations. When station capacity is over 784MW, however, reactor feed pumps of the single stage, double suction impeller type are more favored because of their compact construction.

The suction pressure of the reactor feed pump is extremely high as compared with boiler feed pumps and the peripheral speed of the single suction pump impeller is large. The author designed and manufactured a reactor feed pump to be used for 784MW BWR nuclear power plant. By thoroughgoing tests of this pump the author could confirm its high reliability and obtain valuable data on design. Also, through the experience and data obtained therefrom the author is now confident to be able to manufacture even larger feed pumps with equally high reliability.

## 1. 緒 言

商業用原子力発電所がわが国で建設されるようになって以来、各種の原子力発電所用ポンプの設計製作を行ってきたが、原子力発電所のプラント出力の増大に伴い原子炉給水ポンプも大容量化してきた(図1参照)。現在までに設計製作されたプラント出力540MWまでの原子炉給水ポンプは横形多段タービンポンプで(表1参照)、回転数は二極電動機直結の3,000rpmまたは3,600rpmのものが採用されてきた。さらにプラント出力が増大すると原子炉給水ポンプに要求される仕様は、全揚程がほとんど変わらずに給水量が増加するので、ポンプ選定上は単段のダブルサクシオン形が有利となってくる。また国内に納入された外国のポンプおよびアメリカの納入実績からも一重胴のポンプが使われていることから今回単段ダブルサクシオン形原子炉給水ポンプの784MW BWR原子力発電所用の仕様に合わせた実物大のポンプを設計製作し、製作方法、品質管理をも含めて性能および機能試験を実機で実施した。以下にその概要を説明する。

## 2. 実機試験の目的

原子炉給水ポンプは火力発電所のボイラ給水ポンプと比較して、プラントの蒸気条件の相違により吐出圧力が低く給水量が多くな

り、復水ポンプまたは復水昇圧ポンプの吐出圧力が直接原子炉給水ポンプの吸込圧力としてかかるため吸込圧力が高くなるので、軸封条件がきびしくなってくる。また単段で揚程をカバーする必要があるため羽根車周速が大となってくる。

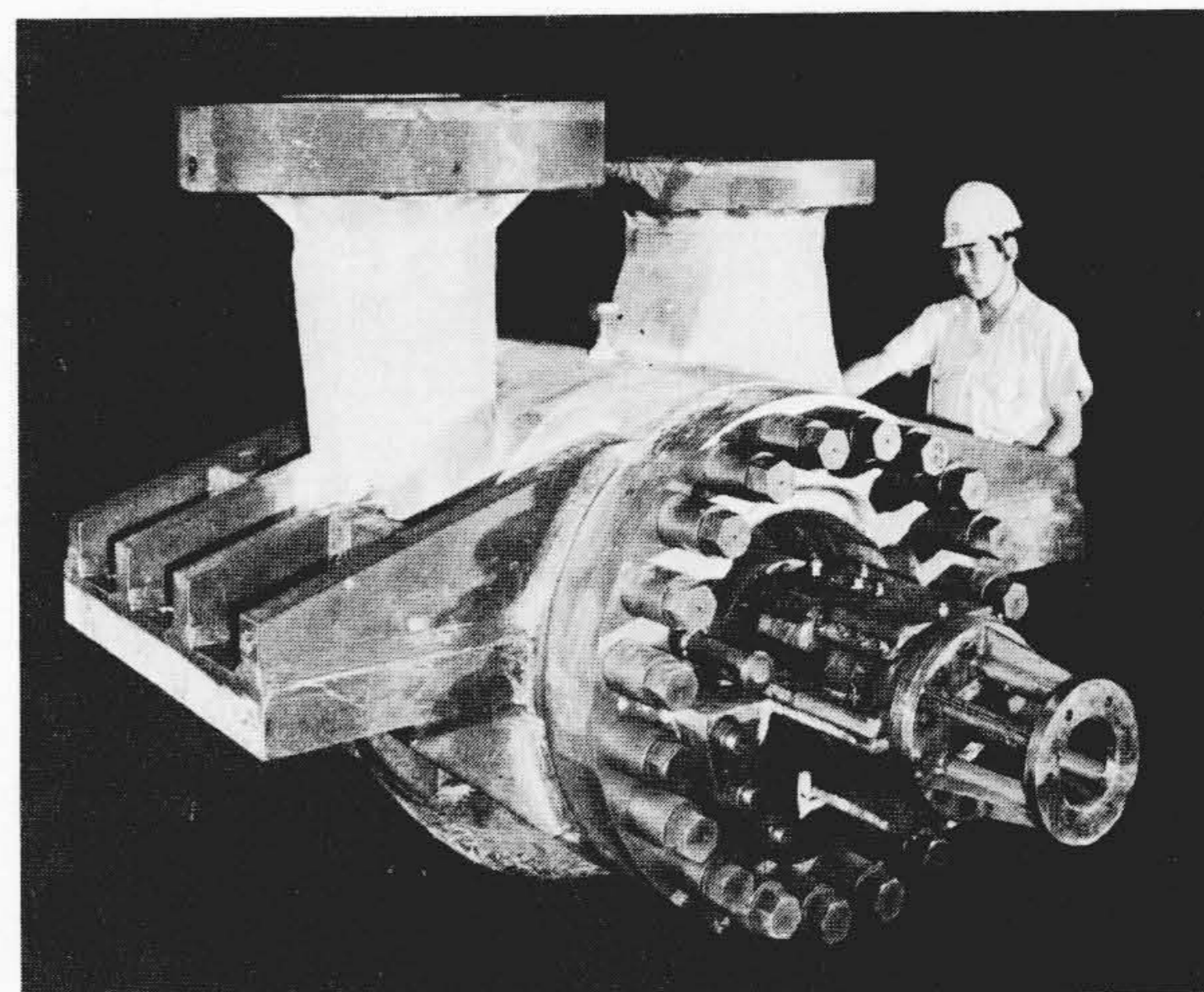


図1 原子炉給水ポンプ

表1 原子炉給水ポンプ仕様一覧表

納 入 先	プラント出力 (MW)	台数	口 径 (mm)	形 式	段数	給水量 (m <sup>3</sup> /h)	全揚程 (m)	押 込 圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	回転数 (rpm)	原動機出力 (kW)	給水温度 (°C)	備 考
東京電力(株)福島原子力発電所#1	460	3	450×400	BGM-CH	4	1,440	810	6.3 (max 28.7)	3,000	3,770	115.6	運転中
中国電力(株)島根原子力発電所#1	460	"	"	"	3	1,360	822.5	12 (max 36)	3,600	3,850	143	据付中
中部電力(株)浜岡原子力発電所#1	540	3	450×400	BGM-CH	3	1,755	829	12 (max 36)	3,600	4,600	150	製作中

\* 日立製作所亀有工場

高圧ポンプとしての技術的問題は、従来の火力発電所用ボイラ給水ポンプの技術でカバーされる点が多いが、これらの条件に対して十分信頼性のある状態で運転が行なわれることを確認する意味で、実機試験を行なったものである。

### 3. ポンプの仕様と構造

#### 3.1 ポンプの仕様

試作ポンプの仕様は 784MW BWR用常用機として設計製作されたもので、仕様は下記のとおりである。

給水量	2,440t/h
全揚程	66.5kg/cm <sup>2</sup>
吸込圧力	26kg/cm <sup>2</sup> (最大62kg/cm <sup>2</sup> )
給水温度	194.6°C
回転数	5,600rpm
原動機出力	6,150kW

#### 3.2 原子炉給水ポンプの構造

本ポンプは高温高压高速用として設計された横形単段ダブルサクシオン形タービンポンプであり、下記のような構造を持っている(図2参照)。

##### (1) ケーシング

ケーシングは18-8CrNi鋳鋼製で左右対称な単純な形状の、高温高压に対して信頼性の高い構造となっている。ケーシングは軸心の高さでベースに支持されているので、高温時にも軸心高さの変化は少なく、原動機側との軸心の狂いは極少に押えられている。ケーシングの位置の固定は、ケーシングに固定されているカップリング側の足のピンによっており、キーでガイドすることによりケーシングの温度変化による膨張収縮はピンを中心として自由に許されるようになっている。ケーシングは両側からサクシオンカバーでエラスチックパッキンを介して締め付けられる構造となっているため、吸吐口配管を分解することなしにポンプの分解組立ができるようになっている。また、案内羽根はケーシングに溶接により固定されている。

##### (2) サクシオンカバー

サクシオンカバーは18-8CrNi鋳鋼製で、インペラとの摺動(しゅうどう)部には17Cr鋼の熱処理されたケースウエアリングが設けられている。ウエアリングは耐摩耗性が良く、摺動面の細い溝(みぞ)はインペラとの間隙(かんげき)部分の漏えいを小さくするために設けられている。

##### (3) インペラ

インペラはモデルテストにより効率の良いものが出されて

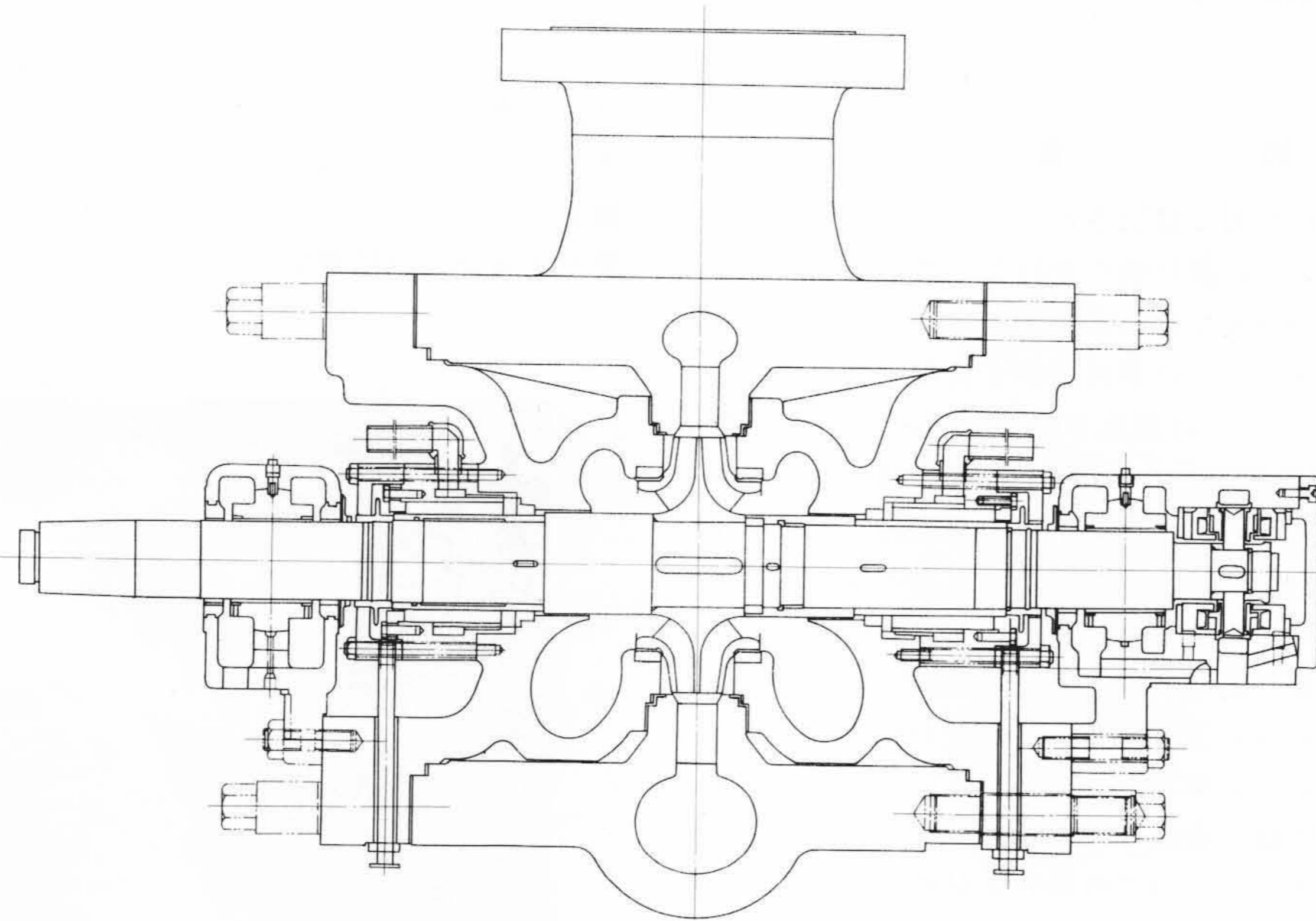


図2 原子炉給水ポンプ断面図

表2 試験項目

項目	試験項目	内容
性能試験 一般状態試験	(1) ラジアル軸受状態	仕様給水温度にあわせて行なう(水量・揚程・回転数・軸動力・効率)。 給油圧、給油量を変化させて軸受状態の変化を調べる。 給油圧、給油量の変化とスラスト量の変化による軸受状態の調査 フローティングリングシールの漏えい特性調査 摺動性の調査(インペラ・ウエアリング部)・軸受・軸封 各部の振動調査 各部の騒音調査
	(2) スラスト軸受状態	
	(3) 軸封装置	
	(4) 摺動部	
	(5) 振動	
	(6) 騒音	
特殊試験	(1) スラスト測定	(a) ラジアル方向のスラスト測定 } 軸にストレインゲージを取り付け測定 (b) アキシャル方向のスラスト測定
	(2) 起動停止時の過渡特性	吐出圧・吸込圧・回転数・スラスト・軸応力をオシロスコープで同時測定
	(3) 応力測定	(a) シャフトの運転状態における応力 (b) ケーシングの水圧試験における応力
	(4) NPSH試験	定格点および120%流量点
	(5) 荷重試験	配管反力に伴う軸芯変位の調査
連続運転試験		連続運転による運転状態の観察

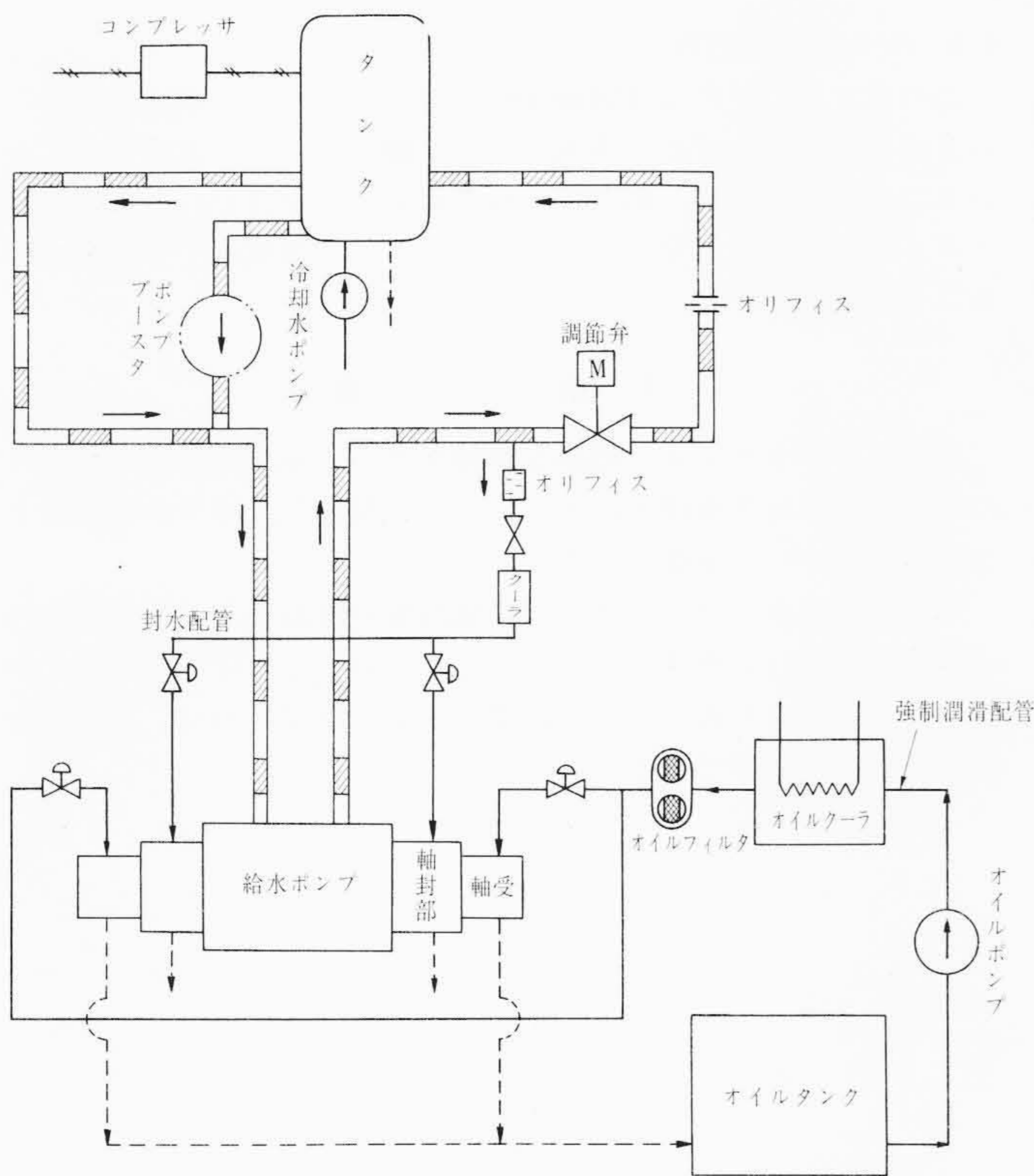


図3 試験配管系統図

おり、広範囲にわたって高効率で、しかも揚程曲線は全般にわたって単純な下りこう配の下降特性である。材質は特殊13Cr鋳鋼で完全に調質されている。また摺動部には特殊表面硬化熱処理がしてあるため、摺動性がよくなっている。インペラは精密に機械加工されたあとで精度よくダイナミックバランスが取られており、高速回転でも振動を極少に押えることができる。水通路内は振動研磨機で円滑に仕上げられ、高効率が得られるようになっている。

(4) シャフト

シャフトは13Cr鍛鋼品で完全に熱処理された後機械加工されている。軸受メタルとの摺動部には、特殊ポーラスめっきを施し高速回転でも潤滑性を失わないようになっている。

(5) 軸封装置

ポンプ内の高温水が外部に漏れいしないようにフローティングシールタイプのものを使用している。

(6) 軸受

カップリング側軸受はスリーブ形ラジアルベアリング、反カップリング側軸受はスリーブ形ベアリングとスラストベアリングから成り立っており、油ポンプにより強制潤滑される。スリーブベアリングは二つ割れ炭素鋼にホワイトメタルをライニングしてあり、球面でベアリングハウジングを支持することにより、シャフトのたわみに対して自動調心作用を持たせて、ベアリングの局部摩耗を防止している。回転体はスラストベアリングのスラストカラーを中心にカップリング側に膨張し、ポンプケーシングの膨張方向と反対方向になっており、互いに相殺されて両者の相対位置を正常に保つとともに、カップリング部の軸の移動を極少にとどめている。

4. 試験項目

試験は大別して、性能試験、一般状態試験および連続運転試験に分けられる。試験項目は表2に示すとおりである。

5. 試験装置

ポンプの駆動はタンデムに接続された3,400kW四極電動機2台により増速機を介して定格回転数で行なわれており、図3に示すような閉ループを構成している。水温はポンプおよびループ内で発生する損失を熱源とし、タンク内に送り込まれる冷却水と熱水ブロー量を調整して一定に保つようになっている。吸込圧力は利用可能NPSH（正味吸込水頭）を確保するために圧縮機によってタンクに蒸気圧以上の空圧を加え、また軸封装置を吸込圧力62 kg/cm<sup>2</sup>で試験することができるようにブースタポンプを設置している。軸封水としてはポンプ吐出圧力をマッフルドオリフィスにて減圧し、クーラで冷却したものを使用している。封水のそれぞれの側に流量計および温度計を設け、また封水のドレンも温度および量を測定できるようにしてある。潤滑油はオイルポンプによりオイルクーラ、オイルフィルタを通して各軸受に供給されており、給油側の圧力・温度・油量、排油側の温度が測定できるようにしてある。

6. 試験結果

6.1 性能試験

性能試験結果は図4に示すとおりである。試験結果を要約すると、

- (1) ポンプ効率86%を得た。
- (2) 流量-揚程曲線はなめらかな下降特性となり、速度制御をした場合の安定性能が得られた。
- (3) 所要NPSHは過渡時の水温変化に対する余裕も考慮して安全である値であることが確認された。

6.2 軸受試験

カップリング側および反カップリング側の軸受油圧、給油量および温度上昇の値を測定し、給油圧力1 kg/cm<sup>2</sup>で十分使用に耐えることが確認された。またスラスト軸受にはスラストパッドにロードセルを組み込みスラスト測定を行ないながら温度上昇を測定したが、同様に問題のないことが確認された。なお運転試験後の軸受の解放検査において、摩耗は全く認められず当たりの状態もきわめて良好であった。

6.3 軸封装置

フローティングリングシールの漏えい特性はポンプの吸込圧力が20 kg/cm<sup>2</sup> g および62 kg/cm<sup>2</sup> g で測定し、良好な結果を得た。運転試験後においても漏れの傾向の変化には大差が認められず、実用上問題ないことが確認された。

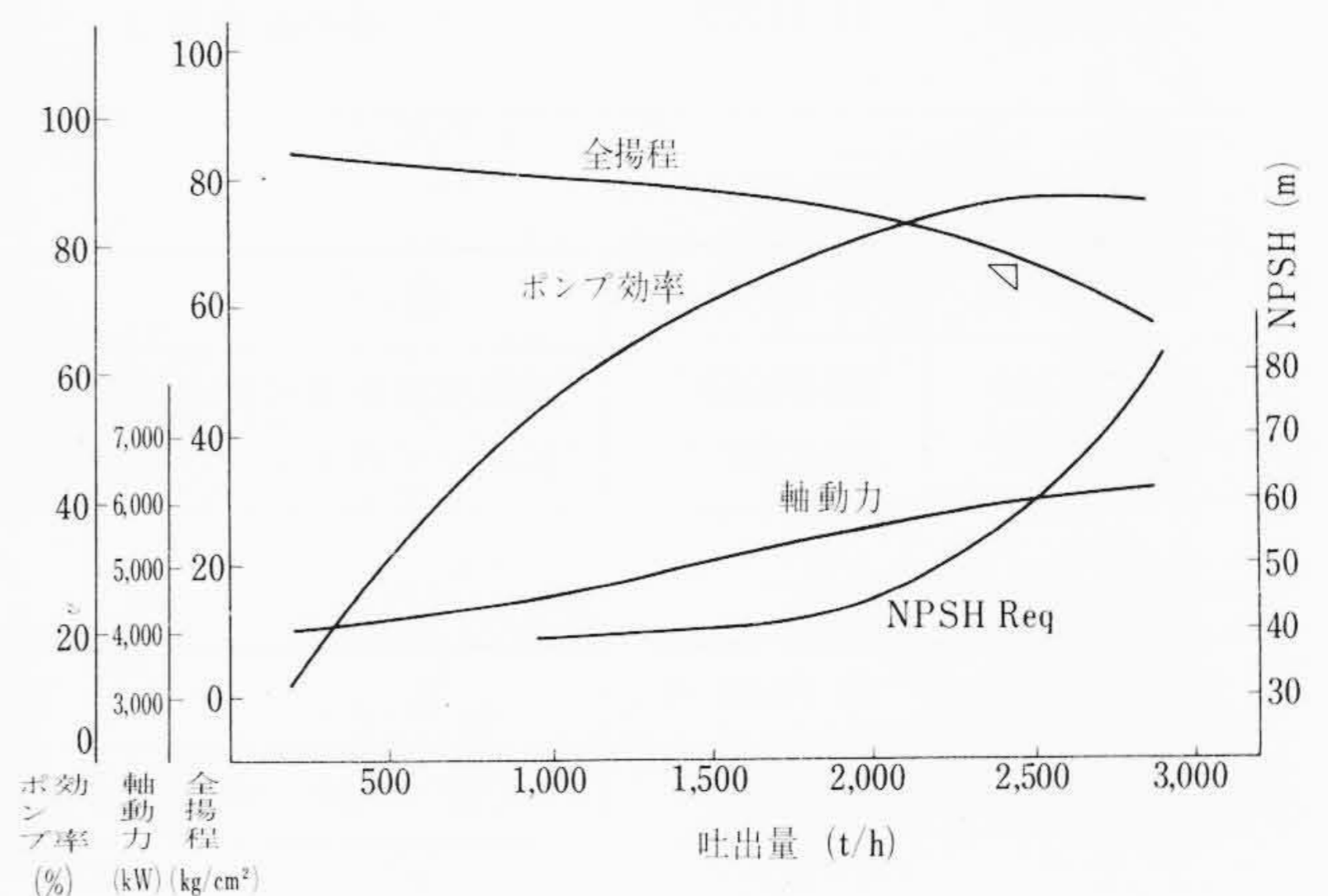


図4 性能曲線

#### 6.4 摺動部

摺動部としては軸受部、軸封部、インペラとケース・リングの三つの部分がある。軸受部とインペラ部は運転後の解放検査においてなんら異常は認められず、問題ないことを確認した。軸受、軸封についてもほとんど摩耗がなく、インペラについても120%までに至る段階的NPSH試験においても顕著な摩耗は認められなかった。また連続運転試験後における一般状態も、当初と比較して顕著な変化は認められず好成績であった。

#### 6.5 軸応力測定

##### (1) 軸方向スラスト

軸方向スラストはスラスト軸受のパッドにロードセルを組み込んで測定した。その結果軸強度に十分な安全性があることが確認された。

##### (2) 半径方向スラスト

半径方向スラストはインペラのボス部において軸の表面にストレインゲージをはり付け、軸の曲げ応力の形で測定した。その結果疲労強度に対して十分安全であることが確認された。

#### 6.6 ケーシング応力

このポンプの圧力は150kg/cm<sup>2</sup>で設計したので、水圧試験はこの2倍の300kg/cm<sup>2</sup>gで実施した。試験時ケーシング外面にストレスコート塗布し、応力レベルの測定を行なった。最大応力はノズルの付け根の部分であり、ケーシングの強度は十分安全であることが確認された。

### 7. 結 言

単段ダブルサクシオン形原子炉給水ポンプを784MW BWRの仕様に合わせて実機大のポンプを設計製作し、種々の実験および測定を行ない好成績を得た。

原子炉給水ポンプは、原子力発電設備の機器として十分信頼性のある形で設計製作されなければならない。ここにその見通しが得られるに至ったので、その結果を十分に活用しつつ、良製品の製作を期する所存である。



### 特 許 と 新 案

日立製作所所有の特許(主要特許のみを抜すい)

#### ■ ディーゼル機関車

登録番号	公告番号	名 称	登録番号	公告番号	名 称
特 498847	35-19330	固定式軸向きピストン型 油圧ポンプ又は油圧モータ	実 707229	37-16001	内燃機関の放熱装置
特 548271	36-5906	ディーゼル機関車の運転室と 機関室の連結装置	実 544231	36-1107	球面接手部保護装置
特 446788	39-26498	ジェットポンプを用いた油圧回路	実 709163	37-22383	制 御 弁
特 294869	36-16690	流体ろ過器	実 819315	41-15075	熱応動スイッチ装置
特 423593	38-23571	感 熱 器	実 840515	42-13699	スイッチ装置

#### ■ 道路掃除車

登録番号	公告番号	名 称	登録番号	公告番号	名 称
実 826987	41-24046	道路用掃除車のブラシ装置	実 757733	39-18540	掃除車の回転ブラシ保持装置
実 817666	41-11772	ホッパー扉の錠装置	実 824211	41-21547	道路用掃除車の ダートリフレクタの揚げ装置

#### ■ 側溝掃除車

登録番号	公告番号	名 称	登録番号	公告番号	名 称
実 877390	43-28268	道路用掃除車の塵埃吸込装置	実 881340	44-1323	掃除車の集塵装置
実 855042	43-5247	水ポンプのインペラ焼損防止装置	実 841383	42-12720	集 塵 装 置

#### ■ モノレールカー

登録番号	公告番号	名 称	登録番号	公告番号	名 称
特 518153	42-21369	モノレールカーの側輪ばね系	実 756900	39-19408	モノレール転轍器信号発信装置