

超臨界圧火力発電所用ボイラ給水ポンプ

Boiler Feed Pump for Supercritical Power Plant

鈴木 彰*
Akira Suzuki

要 旨

火力発電所の単機出力は、電力需要の増加と経済性の面から著しく増大の傾向を示し、最近ではわが国においても、熱効率のよい超臨界圧火力発電所が次々と計画され、その一部はすでに営業運転を開始している。

本文は、アメリカにおける超臨界圧火力発電所用ボイラ給水ポンプの傾向と、わが国における現状について述べ、さらにボイラ給水ポンプの問題点についての検討を加えたものである。

1. 緒 言

超臨界圧火力発電所は、アメリカにおいて1957年にその第1号機が稼働して以来、すでに十年余りが経過した。当初建設された Philo # 6, Eddystone # 1 は、特に高い温度と圧力を持つ蒸気条件のもとでの技術開発を目的として建設されたもので、超臨界圧火力発電所の発達に果たした役割は、高く評価されている。特に Eddystone # 1 は、現在世界最高の蒸気条件 (351 kg/cm^2 , 649°C) を持つプラントとして注目されている。しかしこれらのプラントは技術開発を目的として建設されたものであるために、経済性の面では必ずしも最適でなかったとの批判があり、その後、プラント熱効率と建設費の総合的経済性に関する検討が加えられ、現在では蒸気条件として 246 kg/cm^2 , 538°C のものが多く採用されている⁽¹⁾ である。このような考え方の変化に伴って、ボイラ給水ポンプの設置方式にも、超臨界圧火力発電所の初期のころのものと現在のものとでは著しい差が見受けられる。われわれは、アメリカにおけるこれら発展途上になされた種々の試みを詳細に検討し、われわれ自身の技術を国情に応じて確立していく必要がある。

本文ではその一端として、アメリカにおける超臨界圧火力発電所用ボイラ給水ポンプの傾向を検討し、わが国の現状について述べ、さらに、そのボイラ給水ポンプの問題点についての検討を加えるものである。

2. アメリカにおける超臨界圧火力発電所用ボイラ給水ポンプ

アメリカにおける超臨界圧火力発電所用ボイラ給水ポンプの傾向を見るために、Power 誌に掲載された発電所の要目の中から該当するものを選んで、ボイラ給水ポンプに関連する仕様を抜粋したのが表1である⁽²⁾。この表からいえることは、アメリカにおける発電所の単機出力は、ここ数年横ばい状態にあること、ボイラ給水ポンプの流量制御方式は速度制御が圧倒的に多く、その速度制御は主として別置タービン駆動により行なわれている。また主タービン軸駆動で流体継手付のものもかなり製作されているが、最近ではあまり数が多くなくしかも中容量のプラントに使用されている傾向がある。この表からうかがい知ることができないが、超臨界圧火力発電所が製作され始めた初期のころのボイラ給水ポンプは、2~3台のポンプを直列に接続して所要の圧力が得られるようにし、しかもそれらポンプの中間に高圧ヒータを配した例が多く、そのため高圧側ポンプのサクシヨン圧力および水温は著しく高くなり、軸封装置の特殊なくふうが必要になっている点が顕著な特長である。その典型的な例として図1に Eddystone # 1 ボイラ給水ポンプの系統図⁽³⁾、図2に

その軸封部の系統図⁽³⁾を示す。この例では現在広く利用されているフローティングリングシールを用いている。特に中圧、高圧ポンプに対しては、高圧の軸封を行なうためにその段数を多くして、インゼクションとブリードオフを組み合わせ、ポンプ内部の熱水の漏れを防ぐようにしており、そのため系統はかなり複雑なものとなっている。最近ではこのような配列をすることはほとんどなく、ブースタポンプは設けるが、それはあくまでも主給水ポンプの所要NPSHを満たすために必要な圧力を提供するにとどまっている。したがって主給水ポンプのサクシヨン圧はそれほど高くする必要はなく、軸封装置に課せられる条件は、当初のものに比較すると、楽なものとなっている。

ごく概略にポンプの構造上の特長を知るために、1964年5月から1966年4月までの間で、アメリカにおいて発注された超臨界圧火力発電所用ボイラ給水ポンプの仕様要目を示したのが表2である。この表はAEICレポートに基づくもので、表1と一部重複し、しかも内容的に多少異なる点があるが、これらの相違は概略の傾向を知るうえでの妨げにはならないと考えるし、違った面からの傾向を知るうえでの参考になるためあえてここに引用したものである。表2から判断する限りにおいて、超臨界圧火力発電所用ボイラ給水ポンプは、すべてがバーレル形2重ケーシング構造を取っており、軸推力平衡方式、軸封装置などは、それぞれのメーカーの特色を生かしたものが採用されている。

すなわち、軸推力平衡装置としては、バランスドラム方式、バランスディスク方式、およびインペラ半数対向方式が使用されており、それぞれ一長一短はあろうが、バランスドラム方式が多く使用されている点は注目に値する。また軸封装置としては、いずれも封水注入を必要とする固定ブッシュ方式、またはフローティングリング方式が使用されており、メカニカルシールは、わずかに起動用機に使用されているにすぎない。

駆動方式は、その多くが1/2容量の別置タービン駆動であり、主タービン軸駆動は、前にも述べたように、最近では中容量のプラントに、まれに使用されている程度の模様である。これら駆動方式についての経済比較は、興味ある問題であろうが、系統全体の問題として検討する必要があるため、ここではふれないこととする。

また、流量制御方式は、ほとんどすべてが回転数制御方式を採用しており、高圧流量調整弁の摩耗に基づく寿命の問題や、運転動力費の節約に対処しているものと思われる。給水温度も図2に比べてかなり低下しており、高圧ヒータの設置場所は主としてポンプの吐出側に設けられているもようである。ヒータをサクシヨン側に設けることの利点は、ヒータの耐圧を減じてコストを下げることであるが、ポンプの水量(t/h)と全揚程(kg/cm^2)を一定にすると高温の場合、ポンプの運転動力費が増加し、かつポンプの軸封に特殊なくふ

* 日立製作所亀有工場

表1 アメリカにおける超臨界圧火力発電所用ボイラ給水ポンプ (その1) (Power 誌より抜粋)

発電所名	プラント出力 (MW)	運開予定	ボイラ圧力 (kg/cm ²)	ポンプ水量 (m ³ /h)	吐出圧力 (kg/cm ² g)	メーカー	流量制御方式	原動機	馬力 (kW)
Philo #6	125	57-3	316	233	383	DL	.....	2 M	.....
Eddystone #1	325	58-12	352	450	440	IR	S	4 M 2 T	.....
Eddystone #2	325	60-1	246	450	440	IR	S	4 M 2 T	.....
Breed #1	450	59-7	246	1,373	321	IR	S	1 M 1 T	16,400
Philip Sporn #5	450	59-12	246	1,373	321	IR	S	1 M 1 T	16,400
Avon #8	250	59-10	246	520	322	WO	Hy. S	1 M 2 T	M 6,560 T 5,750 3,360
Hudson #1	400	65-3	246	409 t/h 1,270 t/h	260 334	WO	Hy. S	1 M MTS	15,500
Bull Run #1	900	65-7	246	.....	.....	WO	.....	2 T	14,900
Chalk Point #1	335	64-6	246	640	318	WO	S	2 T	7,460
Chalk Point #2	335	65-4	246	640	318	WO	S	2 T	7,460
Moss Landing #6~7	753	66~67	258	1,440	317	.....	S. Hy	1 T MTS	14,900
Herbert A Wagner #3	333	66	246	523 1,148	258 301	WO	R. Hy	1 M MTS	.....
Sioux #1	522	66-5	246	961 1,923	331	.....	Hy	1 M MTS	.....
Keystone #1~2	900	67~68	258	1,923	341	WO	S. Hy	1 T MTS	.....
Fortmartin #1	565	67-5	246	1,113	320	DL	S	2 T	11,400
Sioux #2	530	66-4	246	.....	.....	IR	Hy	1 M MTS	20,200
Bacliff #1	477	67-3	246	434 1,740	351	DL	Hy	1 M MTS	4,100 16,850
Bacliff #2	460	66-3	246	434 1,740	351	DL	Hy	1 M MTS	4,100 16,850
Alamitos #5~6	450	65~66	246	972	295	BJ	.....	3 M 2 T	8,640
Redondo Beach #7~8	450	66~67	246	972	295	BJ	S	3 M 2 T	8,640
Haynes #5~6	330	66-11	246	1,100	288	DL	S	1 M 1 T	10,440
Brunner Island #3	715	68-8	258	1,535	313	WO	S	2 T	14,550
Valley #2	582	67-11	253	1,720	302	PP	S	2 T	9,950
Mountain Creek #8	580	67-3	246	1,000	308	PP	S	1 M 1 T	10,000
W A Parish #4	565	67-11	246	1,137	313	BJ	S	2 T	.....
Canal #1	560	68-5	258	995	306	DL	R. Hy	2 M MTS	5,220
Baxter Wilson #1	550	66-11	246	1,045	314	DL	S	2 T	11,200
Michoud #3	531	67-1	246	1,130	278	WO	S	2 T	10,200
Nine mile Paint #4	531	69	246	1,130	278	WO	S	2 T	10,200
Fort Martin #2	500	69-5	246	1,113	323	DL	S	2 T	11,400
Robert E Ritchie #2	500	68-1	246	1,045	313	DL	S	2 T	.....
Bailly #8	414	68-1	258	647	340	PP	S	1 M 2 T	7,380
James H Cambell #2	380	67-10	246	340 1,430	263 310	AC DL	Hy. R	1 M 1 T	2,980
Chalk Point #2	365	65-3	246	638	318	WO	S	2 T	7,230
Homer City #1~2	663	69~70	267	1,283	332	DL	S	T	.....
Hudson #2	620	68-10	.....	1,110	326	WO	S	2 T	.....
Sibley #3	386	69	.....	917	311	WO	S	2 T	.....

表1の記号説明

DL: Delaval Turbine, Inc.
 IR: Ingersoll-Rand Co.
 WO: Worthington Corporation.
 BJ: Byron-Jackson Pumps, Inc.
 PP: Pacific Pumps, Inc.
 AC: Allis-chalmers Mtg., Co.
 S: Speed Control
 Hy: Hydraulic Coupling
 R: Regulator
 M: Motor Drive
 T: Turbine Drive
 MTS: Main Turbine Shaft Drive

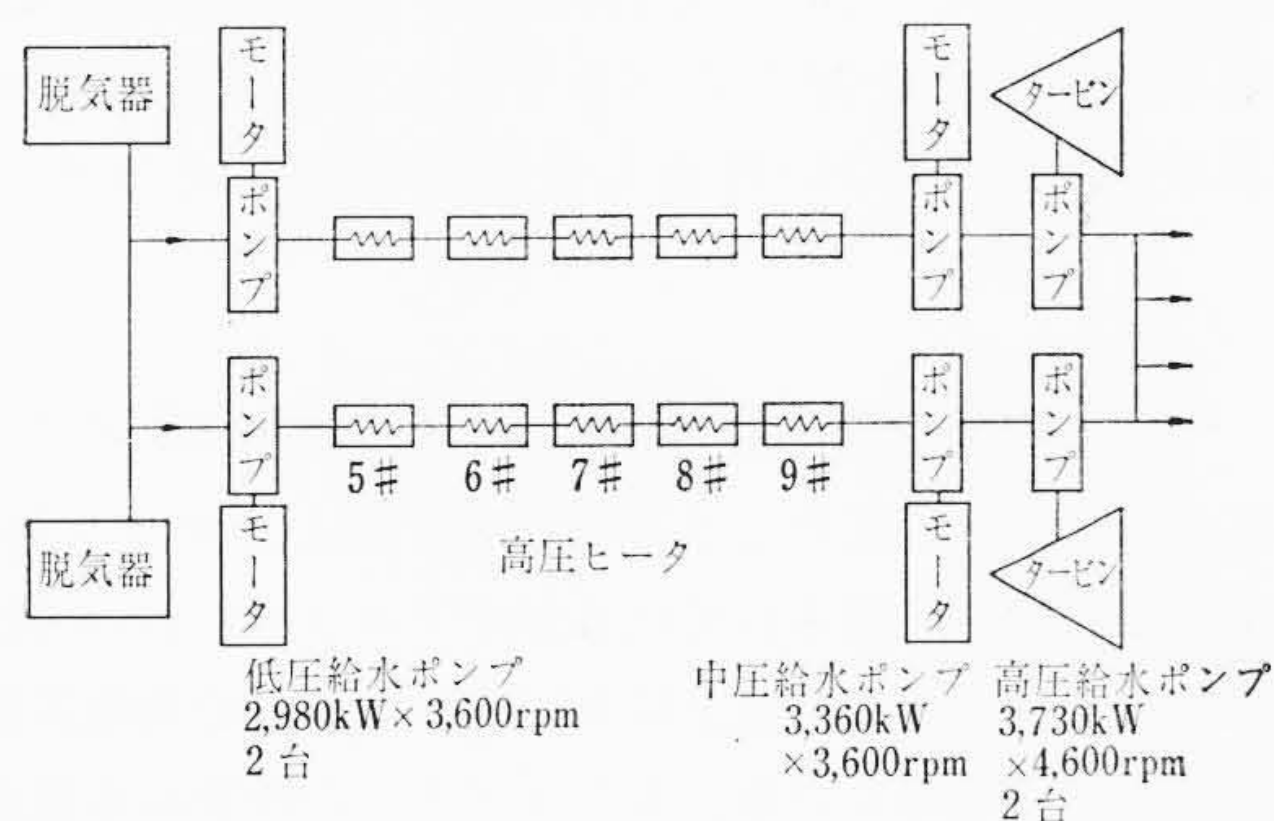


図1 Eddystone 超臨界圧発電所 #1 用ボイラ給水ポンプ配置系統図

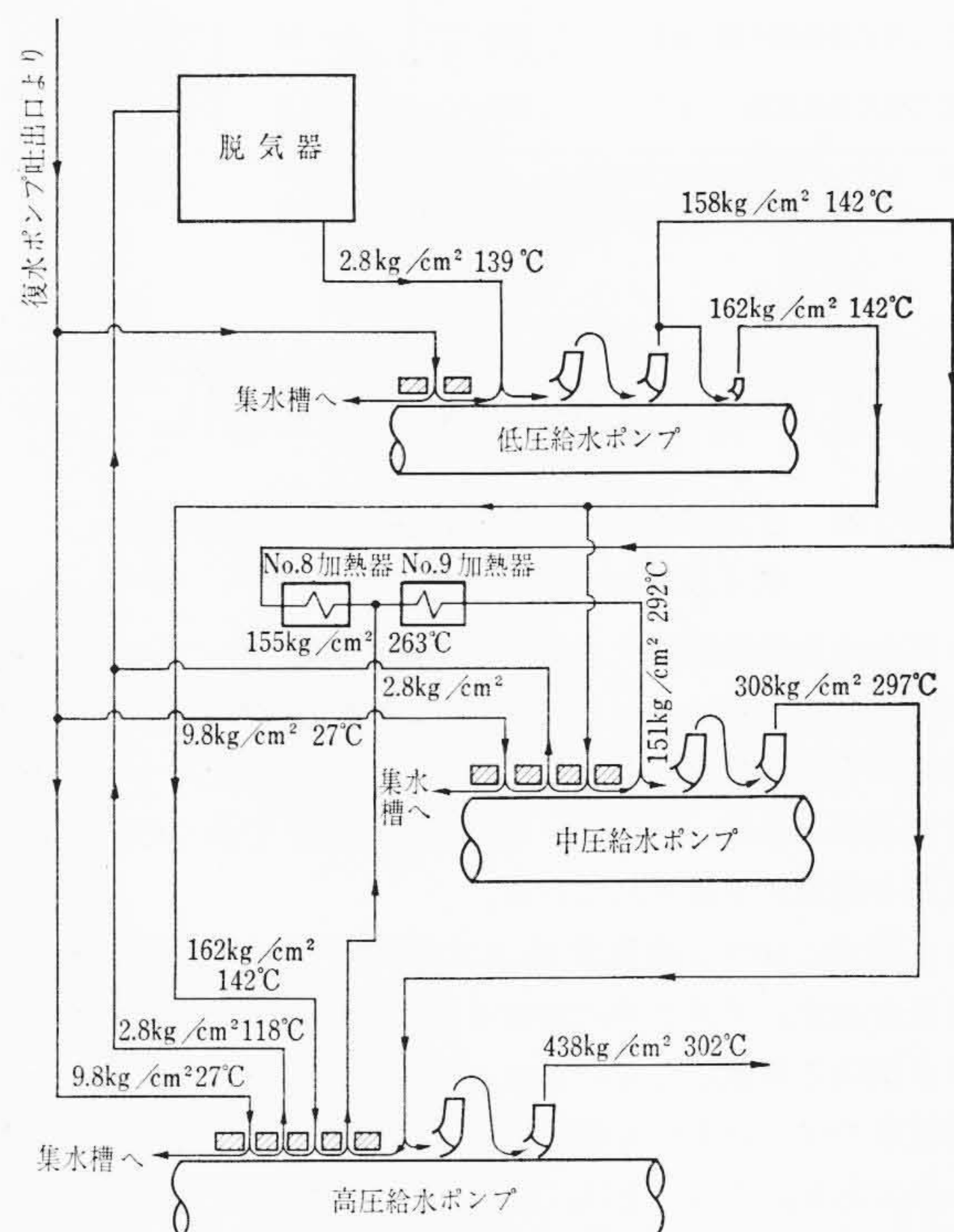


図2 Eddystone 超臨界圧発電所 #1 用ボイラ給水ポンプ軸封系統図

表 2 アメリカにおける超臨界圧火力発電所用ボイラ給水ポンプ（その 2）（AEIC レポートより抜粋）

発 電 所 名	プラント出力 (MW)	発注月	給水量 (t/h)	吐出圧 (kg/cm ² g)	サグション圧 (kg/cm ² g)	水 温 (℃)	回 転 数 (rpm)	馬 力 (kW)	原動機	スラスト バランス	ケーシング	軸 封	流量制御	メーカー
Stuart #2	559	66—4	1,100	318	21.4	187	4,665	13,100	2 T	BDR	B	C I R	S	WO
Genoa #3	324	65—12	575	320	9.4	163	5,500	6,360	2 T	B D I	B	C I B	S	AC
Marshall # 3~4	616	65—8	1,107	328	25.6	173	5,850	12,500	4 T	O I	B	C I B	S	BJ
Harllee Branch #3	480	65—8	890	323	15.0	179	5,900	11,250	2 T	O I	B	C I B	S	BJ
Sabine #4	540	66—3	955	320	10.9	185	5,780	10,800	2 T	BDR	B	C I R	S	IR
Willow Glan #3	538	65—12	955	320	10.9	185	5,780	10,800	2 T	BDR	B	C I R	S	IR
Parlsh #4	531	65—6	1,000 241	309	18.6	191	6,000 7,000	10,680 3,730	2 T 1 M	O I O I	B B	C I B MS	S R	BJ
Big Sandy #2	760	66—1	2,570	322	13.0	166	4,950	28,000	1 T	BDR	B	C I R	S	IR
Sibbey #3	358	66—4	557	312	13.5	184	5,250	6,570	2 T	BDR	B	C I R	S	WO
Braiton Point #3	594	66—3	1,840	324	19.7	193	5,500	20,300	1 T	BDR	B	C I R	S	IR
Bailly #8	414	65—8	648 393	313 334	11.9	171	6,000 7,000	7,660 5,220	2 T 1 M	BDR BDR	B B	C I R C I R	S Hy	PP
Sammis #6	600	65—12	1,214	324	14.0	184	5,700	14,600	2 T	BDR	B	C I R	R	PP
Muskingum River #5	590	65—6	1,930	331	12.0	171	4,560	22,400	1 T	BDR	B	C I R	S	IR
Hudson #2	620	66—3	977	328	20.0	189	6,130	11,250	2 T	BDR	B	C I B	S	WO
Paradise #3	1,130	66—2	1,860	331	14.4	155	5,450	20,400	2 T	BDR	B	C I R	S	IR
Helena #2	518	64—10	932	315	26.1	212	5,400	10,450	2 T	B D I	B	C I R	S	DL
Campbell #2	386	64—12	1,295 322	311 264	11.0 4.7	174 66	3,490 6,300	14,550 2,980	1 M T S 1 M	B D I B D I	B B	C I R C I R	S (Hy) S	DL AC
Mountain Creek #8	531	64—12	1,000	331	60.8	188	5,800	10,000	2 T	BDR	B	C I R	S	PP
Bacliff #2	477	64—6	1,570 393	290	11.9	179	3,490 6,100	16,200 4,480	1 M T S 1 M	B D I B D I	B B	C I B C I B	S S (Hy)	DL
Redondo # 7~8	476	64—6	820	313	32.2	219	5,800	8,950	4 T	O I	B	C I B	S	BJ
Valley #2	531	65—1	907	282	30.2	213	5,900	10,100	2 T	BDR	B	C I R	S	PP
Sioux #2	472	64—12	1,675 866	332 301	15.4 9.6	191 164	4,540 5,640	19,500 10,450	1 M T S 1 M	BDR BDR	B	C I R MS	S	IR

表 2 の記号説明（表 1 と同じものは省略）
BDR： バランスドラム方式 C I R： フローティングリング方式
B D I： バランスディスク方式 C I B： 固定ブッシュ方式
O I： インペラ対向式 MS： メカニカルシール
B： パーレルケーシング

表 3 日本における超臨界圧火力発電所用ボイラ給水ポンプ

発 電 所 名	プラント出力 (MW)	運 開 予 定	給 水 量 (t/h)	吐 出 圧 力 (kg/cm ² g)	給 水 温 度 (℃)	回 転 数 (rpm)	メーカー	原動機	馬 力 (kW)	流量制御方式
関西電力株式会社姫路第 2 #4	450	68—2	945 400	306* 308*	.....	6,020 7,060	WO	2 T 1 T	11,300 2,250×2	S R
関西電力株式会社海南 #1	450	70—4	.....	.....	.....	.....	三菱	2 T 1 M	.....	S R
関西電力株式会社海南 #2	450	70—8	730 400	308.5 318.5	173	5,460 6,750	日立	2 T 1 M	8,700 2,500×2	S R
中部電力株式会社知多 #3	500	68—3	1,068 534	317.6m* 323.4m*	.....	5,000 7,400	WO	2 T 2 M	10,000 2,800×2	S R
東京電力株式会社姉ヶ崎 #1	600	67—12	1,130 565	305.9 304.5	147.1	4,500 7,000	WO	2 T 2 M	.....	S R
東京電力株式会社姉ヶ崎 #2	600	69—12	1,130 565	305.3 310.7	147.1	4,500 7,100	荏原	2 T 2 M	.....	S R
東京電力株式会社鹿島 #1	600	70—4	1,130 565	305.3 311.1	147.1	4,500 6,800	日立	2 T 2 M	11,900 3,360×2	S R

注（1） * 印は全揚程を示す。
（2） 表中に使用した記号の意味は表 1 の説明と同

うを要するなどの欠点が出て来るので、これら両者の経済比較のう
えで、上記のような方向に向かったものと考えられる。

3. 日本における超臨界圧火力発電所用
ボイラ給水ポンプ

日本における超臨界圧火力発電所の運転開始は、アメリカに比べ
て約 10 年遅れてスタートした。当初は各電力会社とも、主として信
頼性の面から輸入プラントとして建設が実施された。すでにその一
部は営業運転にはいっており、今後も引き続いて多くの超臨界圧火
力発電所の建設が予定されている。

表 3 に日本における超臨界圧火力発電所用ボイラ給水ポンプの
仕様要目を示す。アメリカにおける最近の傾向は、そのままわが国
における傾向と類似したものとなっているが、一つの相違点は、日
本の発電所では、いずれも起動機兼予備機が十分な容量で準備され
ている点である。このことは、両国における電力の需給関係および
発展段階における歴史的差異に基づくものと考えられるが、アメリ
カにおける現状は日本において将来指向すべき一つの方

向といえよう。

両国におけるもう一つの相違点は、アメリカにおいては全容量の
給水ポンプが、別置タービンもしくは主タービンにより駆動される
ケースが散見されるが、日本にはそれが見あたらないことである。
これもやはり電力の需給関係とプラント運転の信頼性のからみ合
った問題と考えられ、これらの採用は、さらに経済性の問題も
含めて総合的に検討を加えるべきであり、またアメリカにおい
てその数がさほど多くない理由も合わせて考究する必要があろ
う。

4. 超臨界圧火力発電所用ボイラ給水ポンプ

日本においては、現在のところ 450 MW 級以上の火力発電所は、
いずれも超臨界圧で建設されているが、アメリカにおいては必ずし
もそうではなく、その発展途上において、大容量の亜臨界圧火力発
電所が数多く建設されている。また 1 プランの所要給水量を 1 台で
まかないうる全容量のボイラ給水ポンプも製作されてきたため、容
量的に言えば亜臨界圧のポンプといえども超臨界圧用とほぼ同程度

表4 超臨界圧、亜臨界圧ボイラ給水ポンプ仕様例

納 先	A	B
プラント出力 (MW)	350 (亜臨界圧)	600 (超臨界圧)
給水量 (t/h)	596	1,130
全揚程 (kg/cm ²)	219	300.2
回転数 (rpm)	7,120	4,500
給水温度 (°C)	143.5	147.1
原動機出力 (kW)	4,850	11,900
吸込口径 (mm)	300	400
吐出口径 (mm)	250	350
段数	4	8
1段当り揚程 (kg/cm ²)	50.48	36.64
羽根車外径 (mm)	292	393
羽根車周速 (m/s)	109	92.5
パーレル径 (mm)	736	1,225
締付ボルト径×数	3B×18本	4B×24本
ウェアリング部周速 (m/s)	74.5	63
軸受部周速 (m/s)	35.4	33

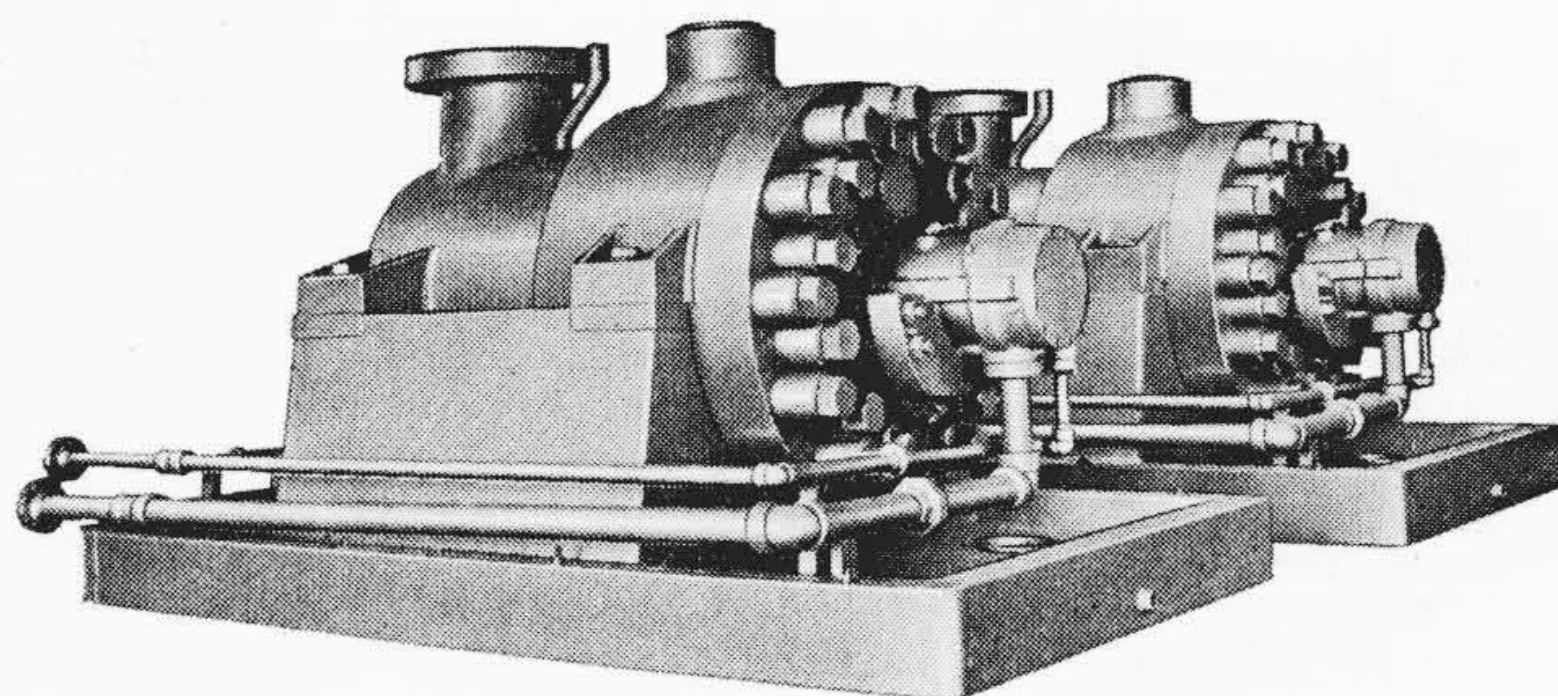
14" RS-BFI 5段 1,140 m³/h×333 kg/cm²・g×5,800 rpm×10,000 kW

図3 Mountain Creek #8 (550 MW)

超臨界圧火力発電所用ボイラ給水ポンプ

のものが多数製作されている。したがって超臨界圧火力発電所用ボイラ給水ポンプに特別に課される条件としては、亜臨界圧のそれに比べて一般的に約1.5倍の高圧となる点である。日本においてはアメリカのような歴史的背景を持たないため、高圧になると同時に、大容量化の問題が含まれる。このような条件のもとにおける超臨界圧用ボイラ給水ポンプについて、亜臨界圧のそれと比較しながら、以下に項を追って検討を加えることにしたい。

4.1 高圧に対するポンプの選定

ポンプで高圧を得るためには、主として次の三つの条件から検討が加えられる。すなわち、

- (1) 段数を多くすること
- (2) 回転数をあげること
- (3) 羽根車径を大きくすること

などである。

同じ羽根車を使用するならば、揚程は段数に比例して増減し給水量は変わらない。また幾何学的に相似なポンプの場合には、揚程および給水量と、羽根車直径および回転数の間には次の関係式が成り立つ。

$$H_1/H_2 = (D_1/D_2)^2 (N_1/N_2)^2$$

$$Q_1/Q_2 = (D_1/D_2)^3 (N_1/N_2)$$

ここで、 Q ：給水量

H ：全揚程

D ：羽根車直径

N ：回転数

である。

幾何学的な基本形状は、各メーカーによって効率および製作費などの面から最も経済的に選ばれるわけであり、比速度の選定いかんによってほぼ形はきまってくる。

これら三つの条件を適宜組み合わせる要求仕様を満足するポンプが選定される。ここで注意すべきことは、駆動機として取り扱いの便利な復水タービンの使用されることが比較的多く、そのため450～600 MW級の1/2容量ポンプでは、回転数が5,500～4,500 rpm程度に限定されることである。

表4は350 MWの亜臨界圧および600 MWの超臨界圧用ボイラ給水ポンプの仕様例であるが、大容量高圧化にもかかわらず、単段

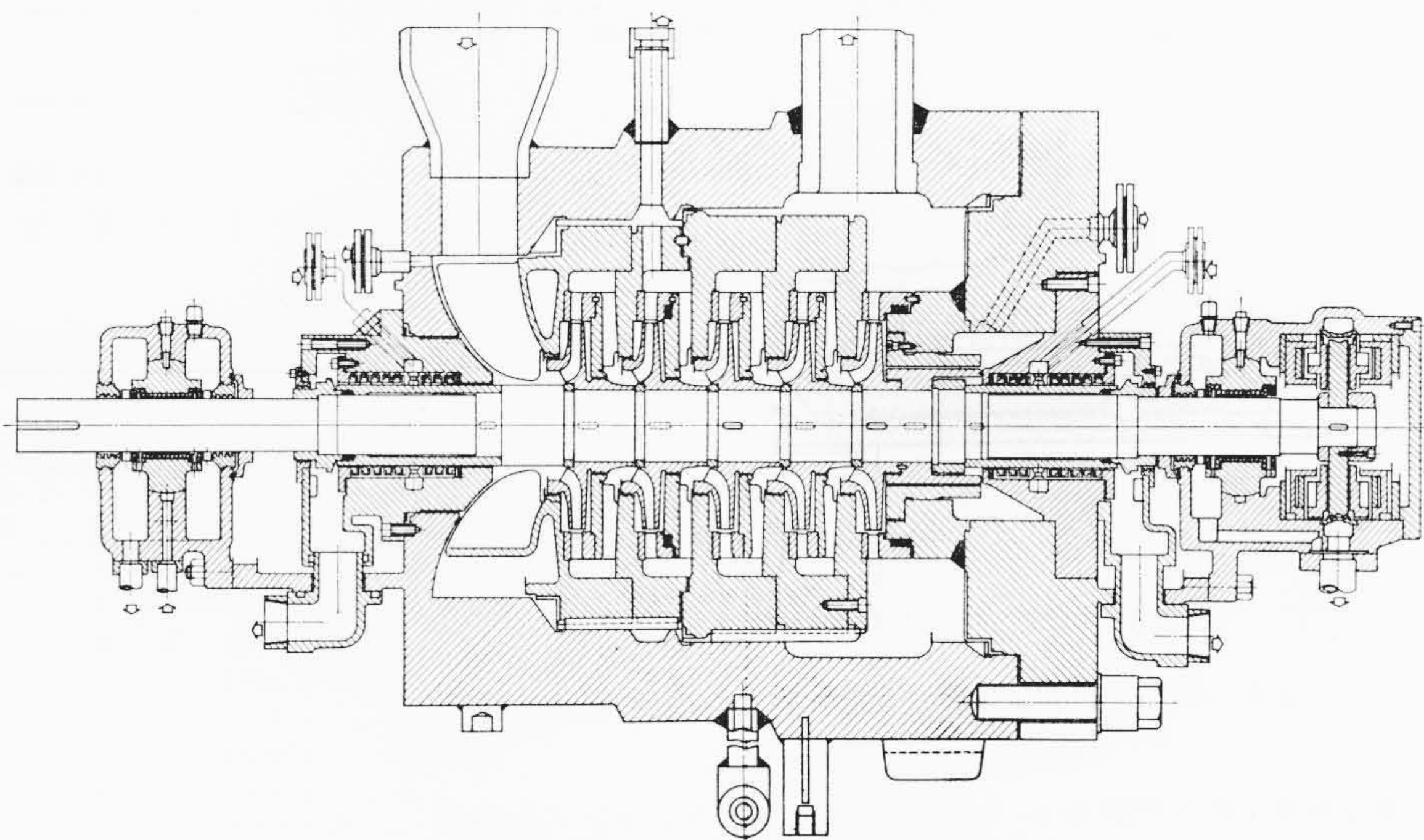


図4 ボイラ給水ポンプ断面図

当たりの揚程および羽根車周速などは、回転数の制約をうけてむしろ減少しており、羽根車直径および段数によって高圧をカバーしている例である。段数の点について言えば亜臨界圧用ポンプでも段数の多いものは多く使われているので、両者において本質的な技術上の相違はないと言っても過言ではない。

4.2 高圧化の問題点

ボイラ給水ポンプとして高圧に対して最も考慮を払うべきものは、パーレルケーシング、ヘッド、同用締付ボルト、エラスチックパッキンなどであり、内ケーシングなどは、水圧が内外両面から作用するので、亜臨界圧用ポンプの部品強度と大幅な変更を必要としない。パーレル形ボイラ給水ポンプにおける高圧の受圧部であるパーレルケーシングおよびヘッドについては、両者とも単純な形状であるので、圧力の増加分に対する強度の検討は容易になし得るものである。図3は日立製作所の技術提携先であるアメリカパシフィックポンプ社が超臨界圧用として製作納入したボイラ給水ポンプの外観写真を、図4はその構造断面図を示したものであるが、その基本構造において亜臨界圧用大容量ボイラ給水ポンプと同等である。ただし写真から見られるように、そのヘッド締付ボルトは、千鳥状の複列配置を取るなど、高圧に対する考慮の一端がうかがえよう。

4.3 軸封装置

初期の超臨界圧プラントにおいては、前にも述べたように、ヒータの設備費節約のため、2～3台のポンプを直列に接続し、その中間に高圧ヒータを設けたため、高圧側ポンプ軸封装置は、きわめて過酷な条件下にさらされることとなったが、現在では主給水ポンプに

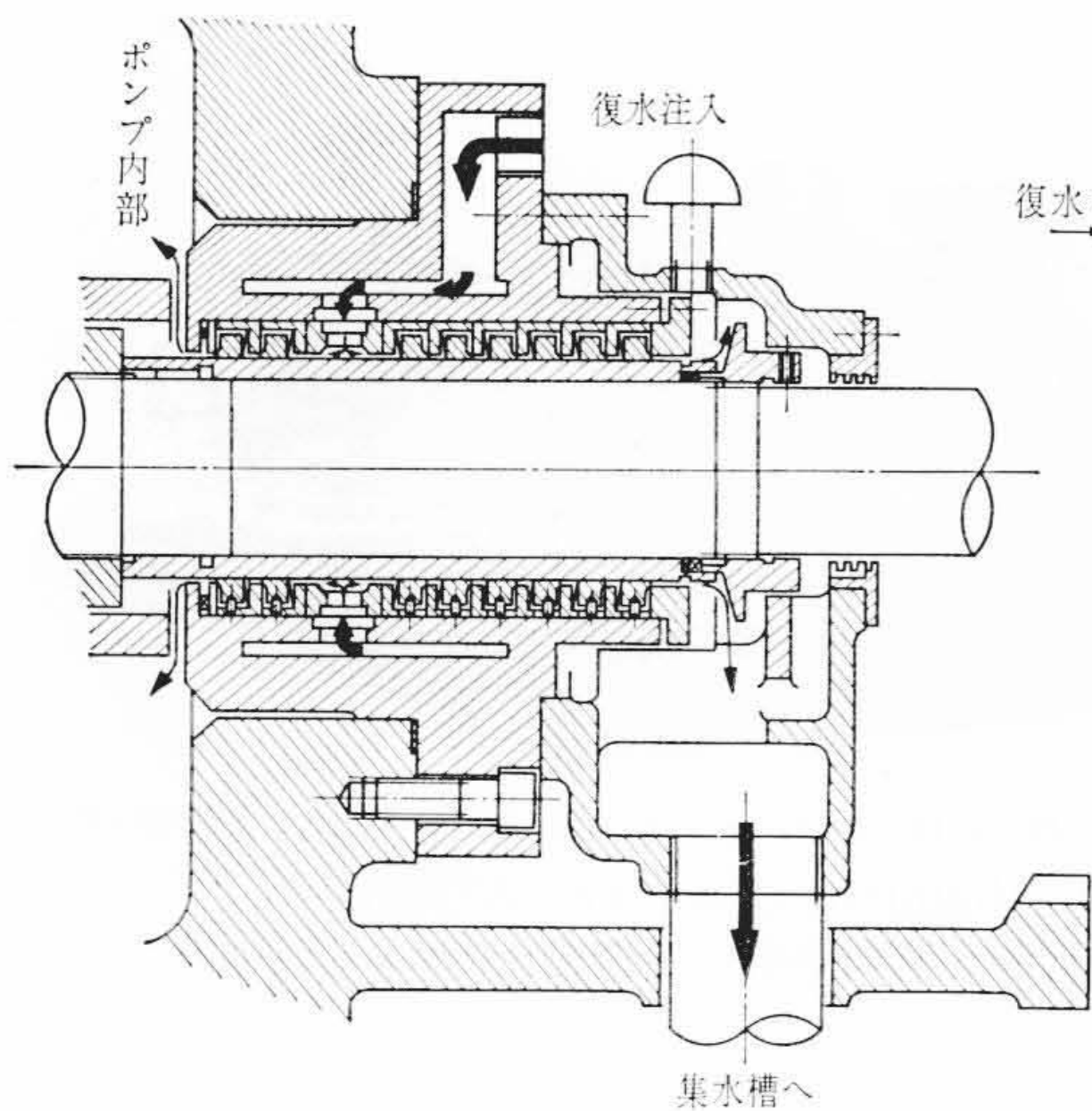


図5 フローティングリング式軸封装置

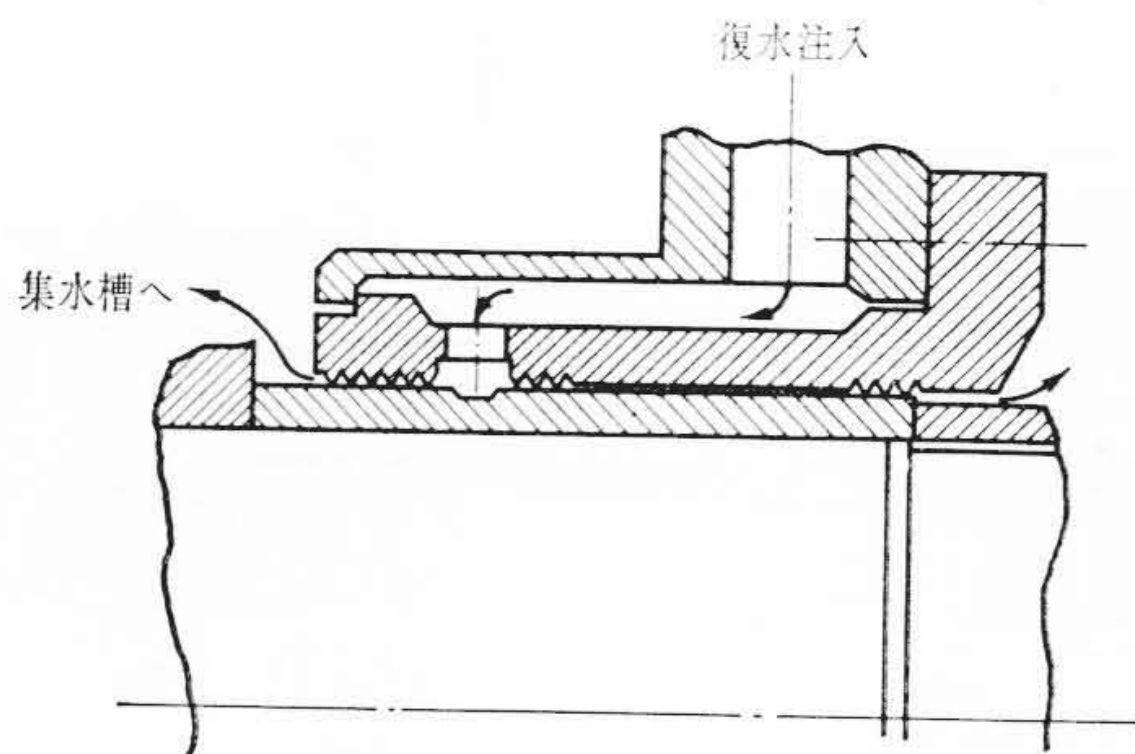


図6 固定ブッシュ式軸封装置

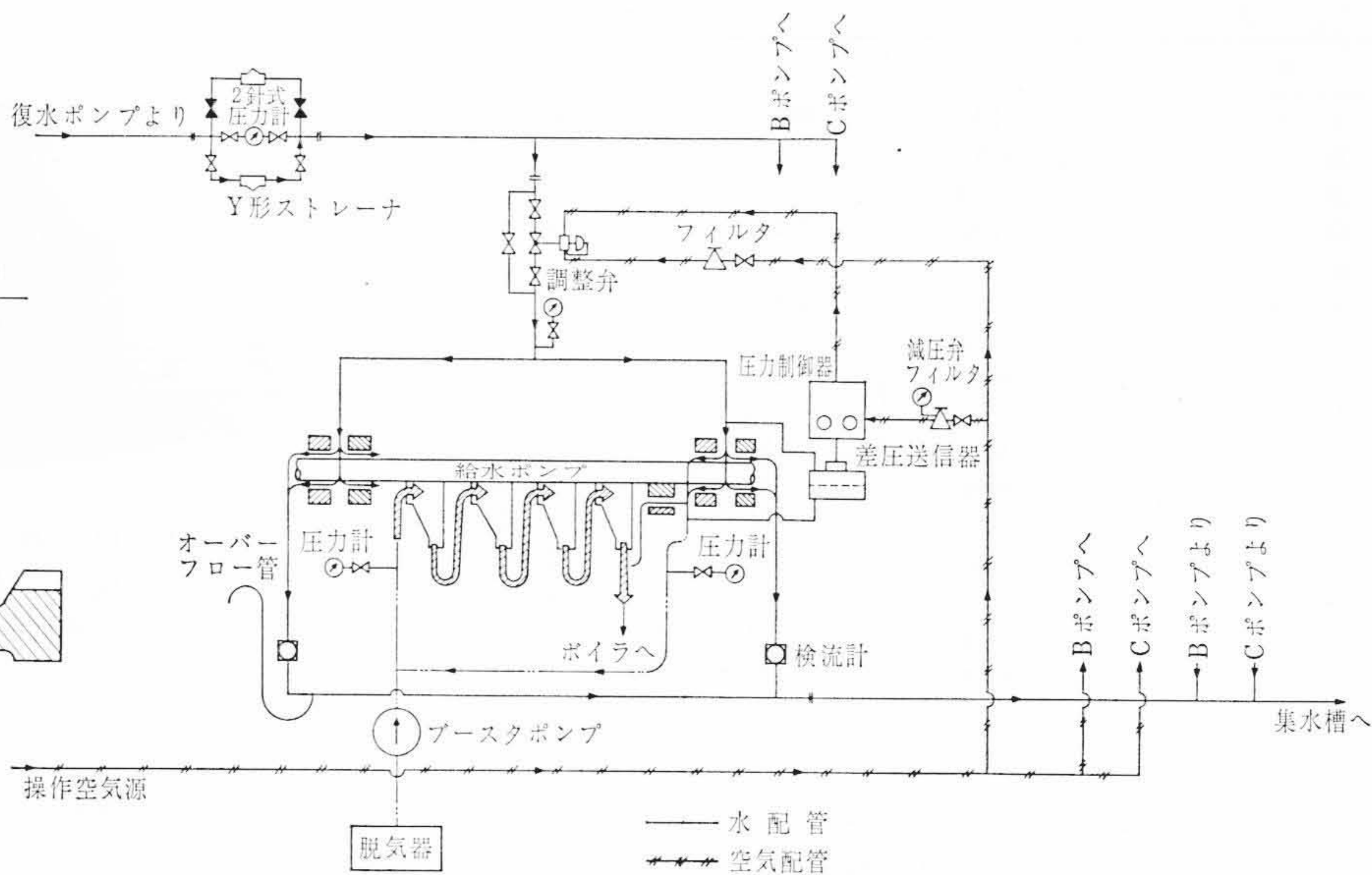
必要な利用可能 NPSH をカバーする程度のブースタポンプを取り付けることが一般的であるため軸封装置に課される条件は、亜臨界圧用ポンプのそれとほとんど相違はない。表 2 から明らかなように、軸封装置として使用されているものは、そのほとんどが復水注入によって内部の熱水の漏れを防止するフローティングリング方式のものか、固定ブッシュ方式のものが採用されている。その代表的な例を図 5 および図 6 に示す。

ポンプの大容量化に伴って、当然軸径は太くなり、軸封装置から注入する復水の外部漏えい量およびポンプ内部への漏れ込み量が多くなるため、大容量ボイラ給水ポンプについては、軸封部に対する封水の注入量を必要最小限に保ち、プラントの熱効率の向上と、冷水封水によるポンプへの悪影響を避けるため、封水の自動制御を行なう例が多くなってきた。この方式には大別して二つの方法があり、その一つは、封水の外部漏えい水の温度を検出してこの温度を一定に保つよう封水制御弁の自動開閉操作を行なう方式であり、他の一つは、封水注入圧力と、ポンプ内圧を検出してその差圧を常に一定に保つように封水制御弁の自動開閉操作を行ない、封水圧の変化、負荷変動によるポンプ内圧の変化、ポンプ停止時の条件などに即応して自動的に差圧が一定になるよう作動する方式である。差圧制御方式による代表的な系統図は図 7 に示すとおりである。

これらは、軸封装置に課せられる条件から考えれば、超臨界圧用ボイラ給水ポンプに限ったことではなく、亜臨界圧用大容量ボイラ給水ポンプにも使用されているものである。

4.4 材 質

超臨界圧用ボイラ給水ポンプに課せられる条件は、前述のように高压であること、大容量となることの二点であり、主として強度上の問題として解決されるため、材質選定上特に変わった点はない。



(差圧制御方式)

図7 封水配管系統図

表5 高温高压大容量ボイラ給水ポンプ主要部材質

品 名	材 質
バーレルケーシング	炭素鋼鍛造品 (要部ステンレス肉盛り)
ヘッド	炭素鋼鍛造品 (要部ステンレス肉盛り)
羽根車	高炭素 13 Cr 鋳鋼 (しゅう動面特殊表面焼入, 振動研磨)
シャフト	13 Cr 鋼 (要部特殊クロームメッキ)
内ケーシング	13 Cr 鋳鋼
案内羽根	13 Cr 鋳鋼
ウェアリングリング	17 Cr 鋳鋼 (硬化焼入)
バランスブッシュ	17 Cr 鋳鋼 (硬化焼入)
バランススリーブ	17 Cr 鋳鋼 (硬化焼入)
シャフトスリーブ	13 Cr 鋼 (クロームメッキ)

ただ超臨界圧、亜臨界圧の差ということではなく、大容量機特有の問題として考慮すべき問題は次の点である。

- (1) 駆動タービン側からの要求として、低速ターニングが行なわれるが、この期間中にポンプ内部の細げきしゅう動部のかじり付き防止を十分検討する必要があること
- (2) 軸受周速の増加に伴って、13%クローム軸と、プレーン軸受間に発生する摩擦電気によるアークや、炭化クロームの生成などから軸受の適切な保護方策を検討しておく必要があること
- (3) バーレル内部の高流速部分に対して必要に応じてステンレス鋼の肉盛りをすること

上記 3 項は、すでに亜臨界圧ポンプにおいて実績を有するもので、(1)はしゅう動性のよい金属の組合せ、(2)は軸受部の潤滑性をよくし、軸受内部で部分的に高温となる部分をなくす処置、(3)は従来はめ合面に実施されてきたが、さらにその範囲を拡張する場合があるなどである。表 5 は超臨界圧火力発電所用ボイラ給水ポンプに使用される材質の一覧表である。これは上記問題点に対する対策が取り入れられたものである。

4.5 最低給水量とバランス管の接続

小水量運転時にポンプを温度上昇による高温から保護するための最低バイパス流量 (通常ミニマムフローと呼ぶ) はポンプの容量が大きくなれば、相対的に増加し多量のバイパス量を必要とするようになる。ミニマムフローの決め方の目安として、温度上昇値を 10℃程度に押える考え方が取られる場合もあるが (この方法は給水温度が比較的低い場合には簡単に求められるため便利である)、別の考

え方としてバランス室内（バランスディスクやバランスドラムを使用しているポンプで高圧水が漏れ出る部屋）で漏えい水がフラッシングを起こさない条件から温度上昇値を決める方法もあり、給水温度が高い場合には後者の方法によるべきである。その理由は給水温度が高くなってくると、飽和蒸気圧の変化率は急激に増加するため、10℃の温度上昇を取ることができない場合があるためである。ポンプ内で最も温度上昇の高くなる部分は、バランス室内であり、通常バランス室からの漏えい水は、脱気器に導かれるため、バランス室圧力は、ポンプのサクション圧（ブースタポンプ付の場合はブースタポンプのサクション圧）に配管抵抗を加えた圧力となり、温度の上がった水の飽和蒸気圧が、バランス室圧力より低くなるように温度上昇値を押える必要がある。バランス室内での温度上昇値は次式で示される。

$$\Delta t = \frac{100H}{427\eta}$$

ここで、 Δt : 温度上昇値 (℃)

H : 全揚程 (m)

η : ポンプ効率 (%)

である。

この式は、ポンプから吐き出される水の温度上昇値を示す次式とは、異なる点に注意する必要がある。

$$\Delta t = \frac{(100 - \eta)H}{427\eta}$$

ただし、フラッシングを起こさない条件が満足されるからといって、温度上昇値を無制限にとれるということではなく、機械的条件から15～16℃程度に押えるのが安全である。フラッシングを起こさない条件から考えれば、バランス室の漏えい水は、軸スラストバランスとの関連において許されるならば、なるべく圧力の高いラインに戻したほうが、ミニマムフローを小さく取ることができることになり、その意味でブースタポンプ付の場合には、ブースタポンプの吐出側に戻したほうがよい。ブースタポンプ不付の場合には、従来のプラクティスどおり脱気器に接続すべきであろう。

4.6 中間抽水

亜臨界圧プラントの場合には、再熱器減温用の注水は通常ボイラ給水ポンプの吐出水を減圧して使用してきたが、超臨界圧になると

圧力が高くなり減圧弁の寿命に問題が出てくるため、ボイラ給水ポンプの中間段から抽水することが要求される。ポンプの構造は図4に示すように、バーレルケーシングの内面中間部にシール面を設けて低圧抽水を取り出すようにするため、やや複雑となり、バーレルケーシングは一まわり大きなものとなる。亜臨界圧プラントの場合でも、類似構造で中間抽水を取り出すようにした例もあるので、このことは、超臨界圧特有の問題と言えるものではない。

中間抽水を行なうことによって、高圧水を減圧して使用する必要がないため、それだけ動力費が節約されることになるが、ポンプは逆に割高となるので、減圧弁の摩耗の問題と合わせて経済比較を行なうべきであるということになる。

以上、主要な問題と考えられる項目についての検討を行ってきた。上記以外にも種々の問題点はあろうが、特に超臨界圧特有の問題は見あたらない。大容量という点から言えば、主タービン軸駆動の全容量ボイラ給水ポンプの問題があげられるが、ここでは対象外ということで、ほかの機会にゆずることとする。

5. 結 言

超臨界圧火力発電所用ボイラ給水ポンプについて、アメリカおよび日本の現状を述べるとともに、亜臨界圧用ボイラ給水ポンプと比較しつつその問題点についての検討を述べたが、現在では両者において基本的問題に関しての本質的な相違はないといっても過言ではない。日本においては、現在運転または建設中の超臨界圧火力発電所に匹敵する亜臨界圧火力発電所がないため、アメリカにおける事情とは異なるが、日立製作所は、大形ボイラ給水ポンプとしての国産第1号機を製作して以来十数年にわたって大容量化の要求に応じて、多数の大形ボイラ給水ポンプを製作してきた。今後とも可能な限り外国の技術も取り入れ、信頼性の高い高性能のボイラ給水ポンプの製作に努力を傾注し、絶え間なく進歩を続けるわが国火力発電技術の発展の歴史に悔いを残さないよう心がけている。

参 考 文 献

- (1) 宮岡, 火力発電 16, 20 (昭40-11)
- (2) Design Survey of Central Sta., Power (1957~1966)
- (3) J. H. Harlow, Transaction of ASME (Aug. 1957)