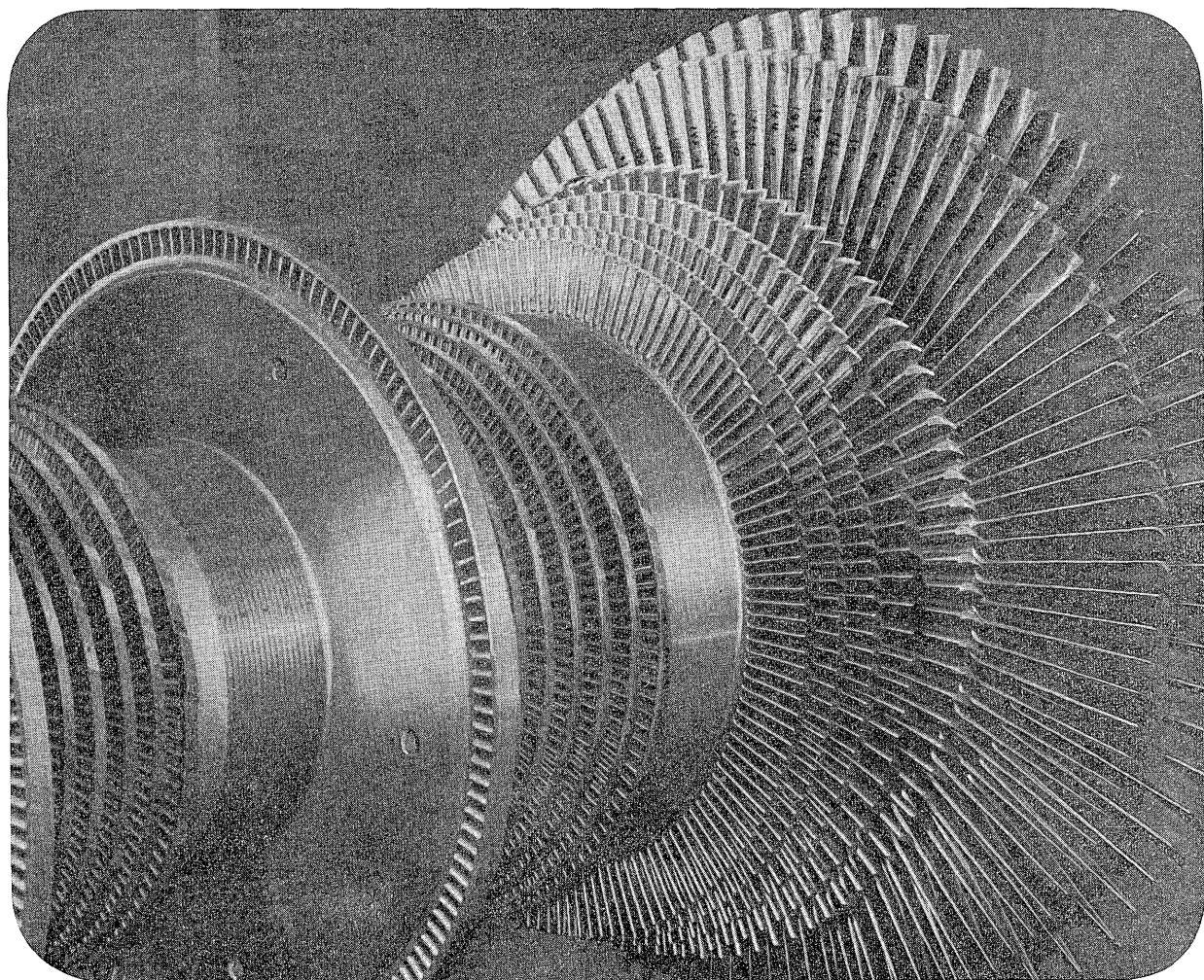




VII. 原 動 機

Prime Movers

昭和 45 年には、東北電力から 250MW 機の受注に成功し、事業用火力へのワンステップとしたが、さらにつば形タービンの特色を生かして、250~350MW 機のピークロード用もしくはミドル火力用として進出をめざしている。

最近の産業用蒸気タービンには、次のような傾向が顕著にあらわれてきている。

自家用火力プラントは、規模の拡大、熱効率の重視、関連企業の集中化、運転の効率化を図ることがますます盛んになり、

- (1) 単機容量の増大
- (2) 計算機利用により運転管理の能率化
- (3) 蒸気併給の共同火力プラント

などが行なわれるようになってきた。

一方では、化学プラントにおける大規模アンモニア製

造プラントの建設、計画が相つぎ、コンプレッサの容量増大に伴い、従来の電動機駆動方式に代って、蒸気タービン駆動方式が急増している。この方面でも、当社の産業用小形標準タービンはその特色を発揮しつつある。

水力部門においては、当社の記録的容量であるカナダ・ジョーダンリバー発電所向け 183,000kW 立軸フランシス水車を完成し、200,000kW 機に対する製作の足掛りを作った。製作にあたっては、経済性・信頼性を充分に考慮し、種々の新しい技術が採用された。

特異な技術的成果としては、東京電力・水殿発電所向け 64,100kW 立軸フランシス水車において、日立製作所製のポンプ水車との間でわが国初の実機による低周波同期始動試験を行ない、予期どおりの結果を得た。また当社の国内で初めての経験であるコンデンサ運転を行ない、成功をおさめた。

VII. 1 蒸気タービン

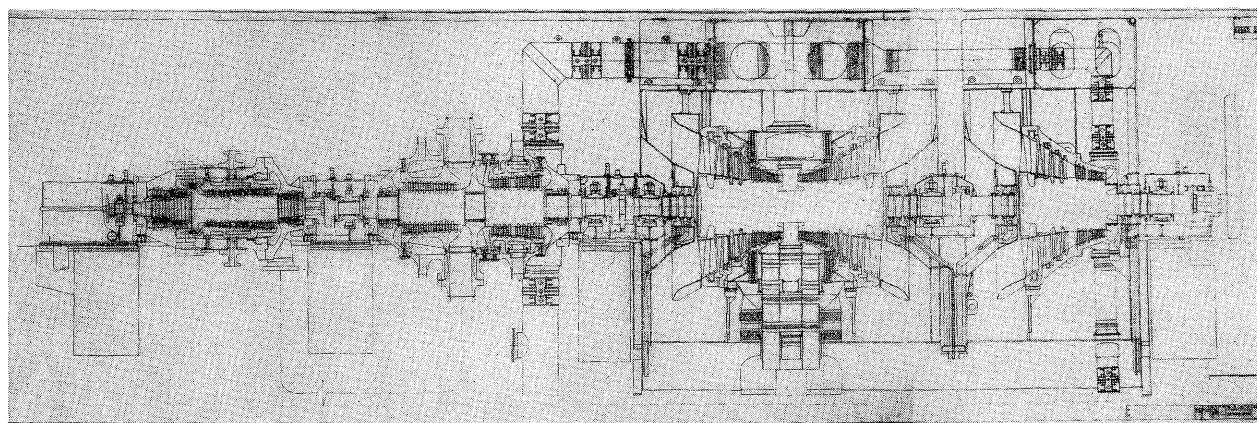
(Steam turbines)

昭和 45 年は事業用として東北電力・八戸火力向け 250 MW 再熱復水タービンの受注, 呉羽化学工業向け 60MW 抽気復水タービンの完成, アンモニアプラントの高速コンプレッサ駆動用タービン 8 台を受注するなど見るべきものがあつた。

東北電力・八戸火力発電所向け 250MW 再熱復水ター

ビンは, 昭和 47 年夏運転開始をめざして設計, 製作にとりかかっている。入口蒸気条件 $190 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ 538°C 再熱温度 538°C で, 高圧部には急速始動, 急激な負荷変動にもすぐれた特性を有しているそう入ノズル室式つば形ケーシングを用い, 真空 728 mmHg に対し最終段動翼 750 mm ($29.5''$) の 3 流排気としている。

つば形ケーシングに設けられた壁温監視装置と, 電気油圧式制御装置, 電子計算機の組合わせによって, プラントの自動化を図り, 自動始動および停止, データロギ



第 VII・1 図 東北電力・八戸火力発電所向け 250MW 再熱タービンの断面図

Fig. VII.1. Cross sectional view of 250 MW reheat condensing turbine for Hachinoe Thermal Power Station, Tohoku Electric Power Co., Inc.

第 VII・1 表 蒸気タービン納入表 (昭和 45 年)

Table VII.1. Supply list of steam turbines

納入先	設置場所	容量 (kW)	回転速度 (rpm)	初気圧 ($\text{kg/cm}^2 \cdot \text{g}$)	初気温 ($^\circ\text{C}$)	背圧 ($\text{kg/cm}^2 \cdot \text{abs}$)	形式	用途	台数
東北電力	八戸火力発電所	250,000	3,000	190	538/538	0.0435	再熱復水	発電	1*
東北電力	八戸火力発電所	4,540	2,650~4,850	8.06	343	0.0545	復水	給水ポンプ駆動	2*
呉羽化学工業	錦工場	60,000	3,000	119	535	0.075	抽気復水	発電	1
日本ゼオン	水島第2火力発電所	35,600	3,600	124	533	3.7	抽気背圧	発電	1*
日本曹達	二本木工場	30,000	3,000	119	538	0.086	抽気復水	発電	1*
旭化成工業	水島第2火力発電所	29,160	3,600	124	533	3.7	抽気背圧	発電	1
日新製鋼	呉製鉄所	23,000	2,090~3,460	30	380	0.0655	復水	ブローア駆動	1*
小野田セメント	藤原工場	22,000	3,600	102	520	0.068	復水	発電	1
出光興産	姫路製油所	22,000	3,600	125	537	0.075	抽気復水	発電	1
Petro-Chemical Service Center	韓国 蔚山	17,500	3,600	58	480	0.083	抽気復水	発電	2*
Industrie Anlagen-Import.	東 ド イ ツ	12,000	5,050~6,250	39.7	371	0.321	復水	コンプレッサ用	2*
Industrie Anlagen-Import.	東 ド イ ツ	9,100	5,950~7,350	39.7	371	0.321	復水	コンプレッサ用	2*
Industrie Anlagen-Import.	東 ド イ ツ	4,500	7,450~9,200	39.7	371	0.321	抽気復水	コンプレッサ駆動	1*
Industrie Anlagen-Import.	東 ド イ ツ	3,700	7,000~10,500	39.7	371	0.321	復水	コンプレッサ駆動	2*
三興製紙	祖父江工場	10,000	6,500/ 3,600	89	490	0.04	抽気復水	発電	1
チッソ石油化学	五井工場	9,200	8,000/ 3,000	74	470	8	背圧	発電	1
宇部アンモニア工業	宇部アンモニア工場	7,418	8,200~10,133	39	365	0.122	復水	コンプレッサ駆動	1*
宇部アンモニア工業	宇部アンモニア工場	5,000	8,000/ 1,800	41	375	0.122	抽気復水	発電	1*
Summit Industrial Corporation	タイランド	6,000	8,000/ 3,000	80	470	23	背圧	発電	2*
不二製油	阪南工場	5,100	8,000/ 3,600	59	450	5.5	背圧	発電	1
日本興油	水島製油所	4,000	8,000/ 1,800	40	355	6	背圧	発電	1*
横浜精糖	岡山工場	1,550	10,000/ 1,800	30	390	2.5	背圧	発電	1

(* 印は製作中)

ングなどを行なっている。これによって、プラントの制御性と安全性の向上が図られ、か動率の上昇、適切な運転によるマシンの寿命が延びるなど数々のメリットがある。

またボイラ給水ポンプはタービン駆動として、熱消費率の改善をはかっている。このタービンは、50%容量の2×4.5MW 復水式で、復水器は主タービンのものと共用にして、設備費の削減、空間の有効利用を旨としている。

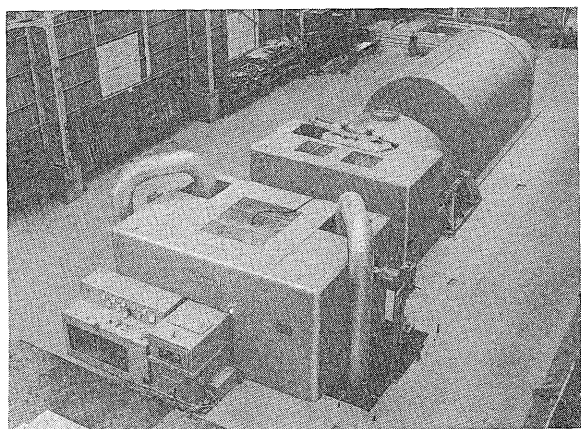
呉羽化学工業・錦工場向け 60MW 抽気復水タービンは昭和 45 年 10 月完成営業運転に入ったが、このプラントは、これまでに当社が納入している第 1 期 14,400kW 背圧タービン、9,600kW 抽気復水タービン、第 2 期 40,000kW 2 段抽気復水タービンと合わせて、総出力 124,000kW という自家用では有数の蒸気併給発電プラントとなった。

本タービンは、国内では抽気復水タービンとして記録的な容量で、低圧後部ケーシングに溶接構造を採用、電気油圧式ガバナの設置、復水器を弾性支持として、真空力が基礎にかからないようにし、タービン架台の固有振動数を低くとした弾性構造にするなど、各所に特長をおりこんでいる。

ケーシング後部には、一般にねずみ鋳鉄が使われているが、形状が複雑になることと非常に大形になるので、鋳造が技術的に難かしく製品にばらつきがでてくる。これを避けるためと、短い納期に対処するため、溶接構造を採用したが、 $\frac{1}{6}$ の模型を作って強度、たわみ、振動などあらゆる面から実験解析を行ない万全を期している。

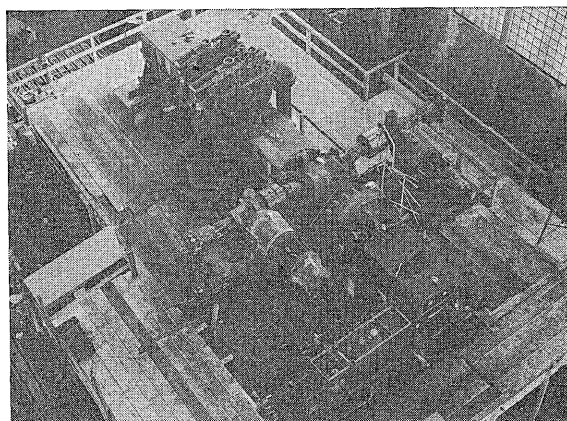
現在自家用火力プラントにおいても、電子計算機利用による運転管理の自動化が進んでいるが、本タービンには、その基本となる電気油圧式制御装置を完成させた。これは次のような特長をもっている。

- (1) 回転速度の制御精度は 2 rpm である。
- (2) 速度調定率は 2～7% の範囲で、任意に選ぶことができる。



第 VII・2 図 呉羽化学工業・錦工場向け
60MW 抽気復水タービン

Fig. VII.2. 60 MW extraction condensing turbine
for Kureha Chemical Industry



第 VII・3 図 工場組立中の旭化成工業・水島火力発電所向け
29MW 2 段抽気背圧タービン

Fig. VII.3. 29 MW 2-extraction back pressure turbine
for Asahi Chemical Industry

- (3) 圧力制御の精度は $\pm 0.1 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ である。
- (4) 回転速度検出などの重要な部分には 2 系統設けている。また電源は発電機軸取付の PMG による。
- (5) 機械式では不能な 3 段抽気も行なうことができる。

当社の産業用高速小形タービンが、化学プラントにおける高速コンプレッサ駆動用として適していることが認められてきており、東ドイツ Industrie Anlagen Import. 向け 4 機種 7 台、シーメンス社と共同で宇部アンモニア向け 7.4MW 1 台の受注に成功し、引合いも一段と増加している。

コンプレッサ駆動用タービンは、厳しい運転条件に耐えることが要求される。そのため設計上次のような点に特に注意しなければならない。

不測の過負荷にも耐えるよう翼の強度は充分高くとられる。翼は単体としての固有振動数のみならず、翼群としても運転範囲内で高次のハーモニクスに共振することがないようにする。しかし次数が高くなると共振するのは止むをえないのと、コンプレッサ側からの不規則な振動に対処するため、動翼の材料に減衰性能の良いものを使用するなど、特に細心の注意を払っている。

コンプレッサは一般に数本の車軸から構成されることが多く、タービン、減増速装置も含めた“ストリング”になるので、車軸系のねじり振動数が運転範囲内に入らぬよう高次の次数まで厳密にチェックされる。このほか軸受メタルには高速の運転に適した多円弧軸受を採用し、スラスト軸受も充分の耐荷重をもったものを使用するなど、充分の余裕を見た設計がなされる。

VII. 1-1 蒸気変換弁

蒸気変換弁はすぐれた制御特性、弁全閉時におけるリークが零、非常時には急速開が可能などのすぐれた特長をもっているため、自家用火力プラントで、タービンバイパスなどの減圧減温装置として、圧倒的シェアを持っている。

第 VII・2 表 蒸気変換弁納入表 (昭和 45 年)
Table VII・2. Supply list of steam converting valves

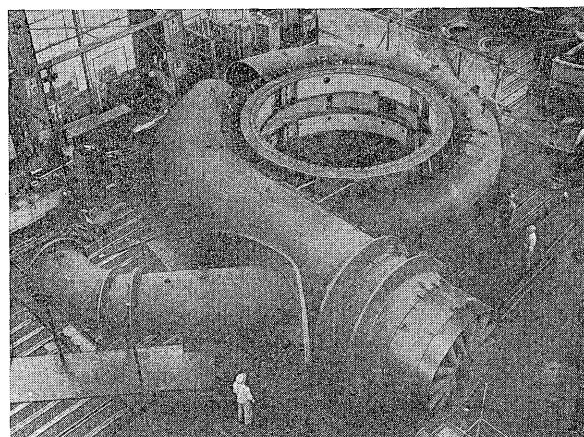
納 入 先	数量	呼 径 (入口/出口)	流 量 (t/h)	圧 力 (kg/cm ² ・g)		温 度 (℃)	
				減 圧 前	減 圧 後	減 温 前	減 温 後
旭化成工業・水島工場	1	150/200	105 (出口)	142/125	36.0/32.5	538/533	260/248.1
旭化成工業・水島工場	1	200/400	164 (出口)	142/125	14.6/12.0	538/533	210/200.7
小野田セメント・藤原工場	1	65/125	18 (入口)	118/102	48.1/17.0	535/520	430/340
大興製紙・富土工場	1	150/250	80 (出口)	115/ 96	36.0/34.0	515/507	420/400
神戸製鋼所・加古川工場	1	125/350	50 (入口)	120/100	12.0/ 7.0	540/540	270
チ ッ ソ・五井工場	1	125/400	80 (出口)	90/ 74	8.0/ 7.0	480/470	250/210
出光興産・姫路製油所	2	150/300	100 (出口)	145/130	25.5/23.0	545/540	380/325
出光興産・姫路製油所	2	200/425	60 (出口)	25.5/23.0	4.5/ 3.8	380/325	210
呉羽化学工業・錦工場	1	200/500	140 (入口)	136/123	12.0/ 9.0	548/540	330/232
船舶技術研究所	1	50/150	15 (入口)	150	15	540	220
旭 ダ ウ・水島工場	1	125/125	45 (入口)	143/129	121/110	538/538	488/488
旭 ダ ウ・水島工場	1	150/250	60 (入口)	121/110	38/32	488/488	253/253
東 レ・愛媛工場	1	65/75	20 (出口)	120/ 99	69/60	541/538	295/290
東 レ・愛媛工場	1	150/300	80 (出口)	120/ 99	21/16	541/538	372/327
東 レ・愛媛工場	1	150/500	110 (出口)	120/ 99	7.2/5.0	541/538	297/235
日本鋼管・京浜鶴見	1	200/200	50 (入口)	31.5/29.0	11.5	450/370	270
旭化成工業・延岡工場	1	150/300	120 (入口)	140/120	21.0	508/500	235
東 レ・名古屋工場	1	50/100	50 (出口)	120/102	22/17	541/538	230/220
東 レ・名古屋工場	1	125/300	76 (出口)	120/102	16/12	541/538	331/206
東 レ・名古屋工場	1	150/500	97 (出口)	120/102	7.5/6.0	541/538	318/245
三興製紙・祖父江工場	1	100/500	56 (出口)	106/ 90	5.5/4.0	495/490	190/180
東 レ・東海工場	1	125/250	69 (出口)	120/102	16/12	541/538	331/206
東 レ・東海工場	1	150/450	103 (出口)	120/102	7.5/6.0	541/538	318/180
東 レ・東海工場	1	50/100	10 (出口)	120/102	23/20	541/538	250/230
東燃石油化学・川崎工場	2	250/300	200 (入口)	127/111.5	50/46	544/541	421/415
日本曹達・二本木工場	1	150/450	106 (出口)	140/123	10/7.5	541/541	300/230
日本曹達・二本木工場	1	300/500	70 (出口)	10/7.5	3.8/2.5	300/230	250/180
Sumit Industrial Corp(タイ)	2	150/250	85 (出口)	95/83	25/22	480/473	330/316
東 レ・三島工場	1	100/125	50 (出口)	120/102	55	541/538	280
東 レ・三島工場	1	125/250	50 (出口)	120/102	16	541/538	330
東 レ・三島工場	1	150/500	95 (出口)	120/102	4.5	541/538	220
チ ッ ソ・水俣工場	1	65/ 75	12 (出口)	70/ 67	45/40	450	300/260

VII. 2 水 車 (Water turbines)

昭和 45 年の水車の受注ならびに納入実績は第 VII・3 表に示すとおりである。

特筆すべきは、当社の記録的容量品であるカナダ・ジョーダンリバー発電所向け 183,000kW 水車を完成し、200,000kW 大形水車およびポンプ水車製作に対する足掛かりを作ったことである。

ジョーダンリバー発電所向け水車の製作にあたっては信頼性および経済性を考えて十分に検討を行ない、種々の新しい技術が採用された。本発電所は圧力水路および水圧鉄管が、非常に長いこと、また通常の負荷制限運転と単独負荷運転の両方があることなどにより非常に複



第 VII・4 図 カナダ・ジョーダンリバー発電所向け
183,000kW 立軸フランシス水車ケーシング

Fig. VII・4. Spiral casing of 183,000kW vertical shaft Francis turbine for Jordan River Power Station

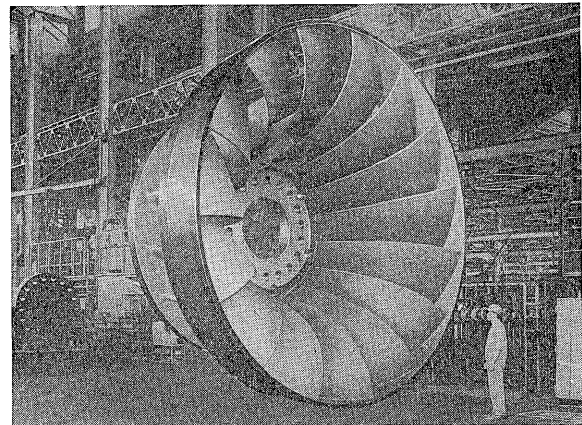
第 VII・3 表 水 車 納 入 表 (昭和 45 年)
Table VII.3. Supply list of water turbines

納 入 先	発 電 所 名	出 力 (kW)	回 転 速 度 (rpm)	落 差 (m)	水 量 (m ³ /s)	形 式	台 数
カ ナ ダ	ジ ョ ー ダ ン リ バ ー	183,000	257	289.56	70	V F-1R S	1
南 ア フ リ カ	ヘ ン ド リ ッ ク フ ェ ル ボ ー ド	101,000	136.4	68.58	161	V F-1R S	2
オーストラリア	セ サ ナ	101,600	200	98.76	114	V F-1R S	1
東 京 電 力	中 津 川 第 一 (増 設)	89,000	500	410	24.5	V F-1R S	1 *
東 京 電 力	水 殿	64,100	167	79.2	90	V F-1R S	2
カ ナ ダ	ワ ッ シ ャ ン	59,700	327	176.8	37	V F-1R S	1 *
九 州 電 力	松 原	54,600	212	83.74	72.84	V D-1R S	1
北 海 道 電 力	豊 平 峡	52,000	429	240.0	24.39	V F-1R S	1 *
オーストラリア	フ ィ ッ シ ャ	47,500	500	610	8.84	V P-1R4 S	1
タ イ	ナ ム ・ フ ロ ム	21,600	428.5	373	6.72	V P-1R4 N	2 *
九 州 電 力	女 子 畑	20,900	327.5	72.6	32.62	V F-1R S	1
北 海 道 電 力	砥 山	10,700	429	54.7	22.28	V K-1R S	1 *
イ ン ド ネ シ ア	リ ア ム ・ カ ナ ン	10,500	273	46	25	V F-1R S	2 *
九 州 電 力	大 井 早	3,400	514	33.16	11.8	V K-1R S	1

(* 印は製作中)

雑な制御を行なう。これらの要求を満たすために制圧機をもうけ、新しい制御方式を開発した。本水車に採用された新技術は今後大いにほかの水車に活用されるであろう。ケーシングは SM 50 B を使用したが、最大板厚 51mm というこれまでにない記録的な厚さで、しかも現地溶接により接続される。またガイドベーンの刃先調整は偏心ピンによって行なわれる。またランナバンド側のランナライナを省略しランナギャップが増加した場合には下カバー側のライナのみ取替える。主軸封水装置は、特にカーボンの摩耗、調相運転時の漏気などに対し充分なように当社独自の形式を採用した。またランナを下方に取り出せること、および下側のガイドベーン軸受も下側に分解可能にすることにより保守を容易にした。ランナ分解は上部吸出管を分解した後、ランナをランナ受け台に乗せて取り出しを行なう。受台は発電機内部および主軸の検査孔を通して吊上げられる。したがってランナ分解は発電機の分解をせずに行なうことができる。また調速機は電気式が採用されたが、負荷制限用モータは可変抵抗使用による 2 速度形とし、ガイドベーンの全開に要する時間 70 秒、全閉に要する時間 200 秒とし水圧変動を小さくおさえた。

当発電所は圧力水路および水圧鉄管が非常に長く、また水圧変動を小さくすることが要求されている。水圧変動を小さくするためにはガイドベーンの開閉時間を長くすればよいのであるが、そうすると負荷変動に対する応答がおそくなる。したがって制圧機をもうけ、しかも二つの制御方式を場合によってわけて用いる。常時の負荷制限運転時には制圧機を全閉にしておき、負荷急減の際のみガイドベーンの急閉に従って制圧機を急開する。この運転を「節水運転」と名づけた。また水車始動時や

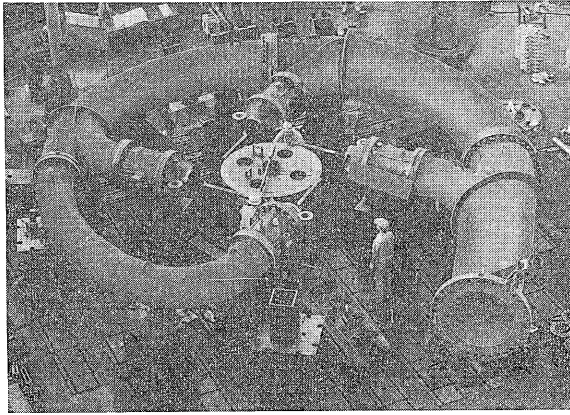


第 VII・5 図 南アフリカ・ヘンドリックフェルボード発電所
向け 101,000 kW 立軸フランシス水車ランナ

Fig. VII.5. Runner of 101,000 kW vertical shaft Francis turbine for Hendrik Verwoerd Power Station

単独負荷運転時には、ガバナフリー運転が必要となり負荷の急変に応じてガイドベーンが開閉される。これと同時に制圧機は開閉される。この運転は「同調運転」と名づけた。すなわち、制圧機の制御機構はガイドベーンサーボモータの復帰機構および負荷制限装置と直接剛体的なリンクで結ばれており、同調運転の時は負荷制限装置により設定された開度以下では、制圧機はガイドベーンの開閉動作に応じて逆動作を行ない、また節水運転の時はガイドベーンの開度が負荷制限装置により設定された開度に達すると制圧機は全閉する。

現地効率試験は超音波法で行なわれるが、従来のわが国で行なわれている方法とは異なり、流速分布の影響を少なくするために、4 本の平行な弦を含む鉄管軸に平行な断面内の径路で行なわれる。第 VII・4 図に工場仮組立中のケーシングを示す。



第 VII・6 図 オーストラリア・フィッシュ発電所向け
47,500kW 立軸ペルトン水車ケーシング

Fig. VII・6. Casing of 47,500 kW vertical shaft Pelton
turbine for Fisher Power Station

南アフリカ・ヘンドリックフェルボード発電所向け 101,000kW フランシス水車を据付け中である。第 VII・5 図にランナを示す。

東京電力・水殿発電所向け 64,100kW 立軸フランシス水車が運転にはいった。当発電所は、日立製作所製のポンプ水車との間でわが国初の実機による低周波同期始動試験を行ない、水車の始動トルクはモデル試験結果と一致し、また始動時間も計算どおりであることを確認した。また当社の国内初の経験であるコンデンサ運転も行ない、空気所要量および空転トルクは予期どおりであった。

東京電力・中津川第一（増設）発電所向け 89,000kW 立軸フランシス水車、および北海道電力・豊平峡発電所向け 52,000kW 立軸フランシス水車を製作中である。両発電所とも高落差であり、入口弁（球形弁）の弁胴は鋼板にて製作されている。

オーストラリア・フィッシュ発電所向け 47,500kW 立軸ペルトン水車を据付け中である。第 VII・6 図に工場組立中のケーシングを示す。

カナダのブリテッシュコロンビア州電気局からワッシ

ャン発電所向け 59,700kW 立軸フランシス水車 1 台を受注し製作中である。これは先に受注したジョーダンリバー発電所向け 183,000kW 立軸フランシス水車の優秀性が認められたことによるものである。

当発電所の特長は、水車容量が中位であるにもかかわらず比較的効率が高いことである。またキャビテーション性能もきびしいものが要求され、この両条件を満足するために優秀なランナを開発した。ケーシングは SM 50 B 製で、ランナは 13% クロム不銹鋼製である。

タイ国電力公社から、ナム・フロム発電所向け 21,600kW 立軸ペルトン水車 2 台を受注した。コンサルタントは電源開発株式会社である。

当発電所の特長はニードルとデフレクタを並列に制御する方式が採用された。これは系統の負荷がきわめて少ない場合にしばしば要求される、いわゆる、単独運転の際にガバナが安定を保ちうるようにという条件を満たすために採用された。この採用にあたっては電算機が十分に駆使された。ケーシングはフランジを含めてほとんどの部分が鋼板製でありごく一部に鋳鋼が用いられる。

北海道電力・砥山発電所向け 10,700kW 立軸カプラン水車を受注した。ランナは 8 枚羽根が採用された。ケーシングは SM 材が使用され現地溶接により組立てられる。当発電所は約 $\pm 3,000$ kW のフリンジ負荷変動があり、しかも単独運転も考えられるので、これに対する検討が行なわれた。

インドネシアからリアム・カナン発電所向け 10,500kW 立軸フランシス水車 2 台を受注した。落差は 46m でフランシス水車としては低落差であり、したがって比速度は 262m-kW と高い。この比速度付近において高性能のランナを得ることはかなり難かしく、特に効率はより比速度の低いものに比べて下がるのが普通である。しかし当発電所の場合現在据付中のヘンドリックフェルボード発電所におけるランナ設計の際、かなり高効率のものを開発しているの、その点は苦慮することなく自信をもって納入することができる。



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。