中国における火力発電設備の実績

特集

浅利　茂（あさり　しげる）

1　まえがき

中華人民共和国（中国）における経済発展は近年目覚ましく，1996 ～ 2000 年では中国国内の総生産値は年平均 8.27 %成長し，その後の 5 年間における総生産値の伸び率は年平均 7 %程度と予想されていた。しかし，2000 年以降も依然として 8 %以上の成長を続けており，2003 年には 9 %を超える経済成長を示している。

このような高成長に伴い電力の需要も大幅に伸びており，2008 年に開催される北京オリンピックや 2010 年の上海万国博覧会に向けた社会インフラストラクチャー整備が活発に行われていることも電力の需要増加にさらに拍車をかけている。

2003 年末おける中国全土の電力設備容量は，3 億 8,500 万 kW であり，2004 年末までに 10 %程度の設備を増強する予定と報告されているが，一方で電力需要はこれを超えるとも予想され，将来の電力不足が懸念されている。

このような背景から中国における今後の電力需要の伸びは，年率少なくとも 5 ～ 6 %と予想され，この伸び率で推移すれば 2010 年の発電設備容量は 2003 年の約 1.5 倍，2020 年には実に 2.5 倍となり，それに見合う設備の増強が必要となってくる（**図 1**）。

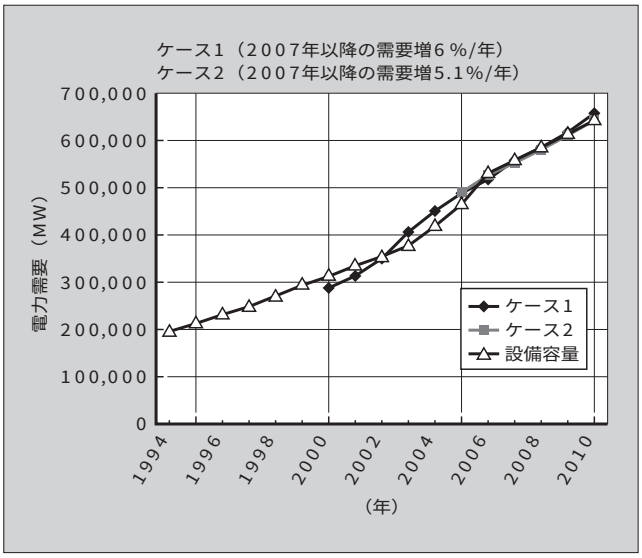
富士電機においても，中国の経済発展と電力不足の解消に寄与するため，幾つかの火力発電設備を納入している。以下に，2003 年後半に受注した 600 MW × 4 台の発電設備を中心に，近年納入した設備および計画中のプロジェクトについて，その設備概要と設備仕様を紹介する。

2　最近の実績

富士電機は，中国向け火力発電設備を 2002 年に 2 台，2003 年には 600 MW × 4 台の大容量発電設備を含み 10 台，2004 年に 2 台の計 14 台を受注した。

14 台の合計出力は 3,232 MW である。

図 1　電力需要予想



2.1　火力発電設備の設置場所

2002 年以降に受注した火力発電設備の設置場所を**図 2** に示す。納入済みおよび計画中の発電設備は，この図から分かるように産業が盛んな東シナ海沿岸を中心に中容量設備が設置され，台湾海峡側に大容量発電設備が設置されている。将来は，西部地域の経済発展と産炭地に近い山元発電の要請から内陸部に発電所が建設されると予想される。

2.2　納入済みおよび計画中のプロジェクトの設備主要仕様

表 1 に 2002 年以降に受注した設備の実績および主要仕様を示す。

2002 年に受注した 2 台（**表 1** の 1，2）は，すでに据付けおよび試験を完了し，順調に営業運転に入っている。

2003 年に受注した**表 1** に示す 3 ～ 6 の 4 プラントは，出荷が完了し，現在順調に据付けを行っている。

600 MW × 4 台の大容量発電設備を除くすべてのタービン形式は，1 ケーシングの抽気復水形であり，富士電機が有するタービン標準系列のうち，高い性能と品質および多

浅利　茂

火力発電プラントのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社発電プラント本部火力統括部華陽プロジェクトゼネラルマネージャー。火力原子力発電技術協会会員。

図２　中国における蒸気タービン設備の納入実績（計 14 ユニット 3,232,370 kW）

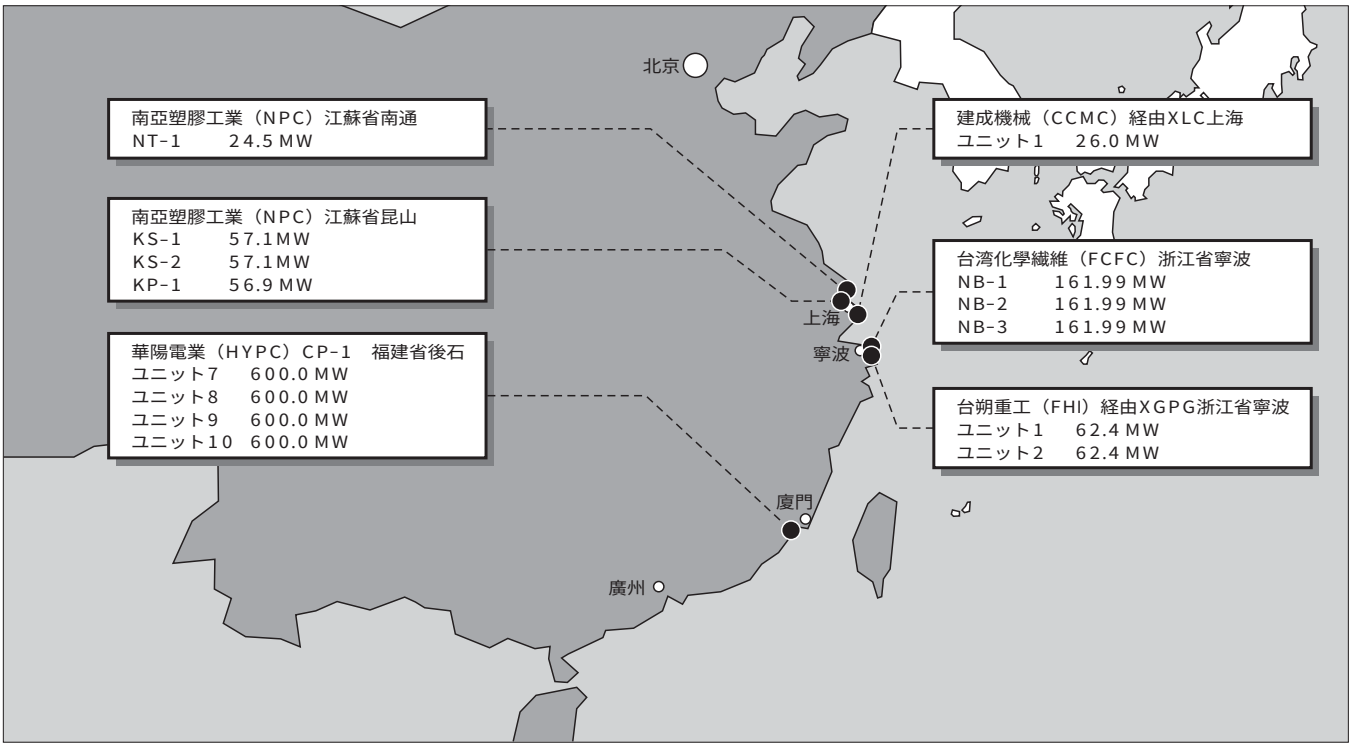


表１　中国におけるタービン・発電機納入実績と主要仕様（2002年以降）

番号	受注年	顧客名	プラント名	納入場所	タービン						発電機		
					形　式	出力 (kW)	入口蒸気条件		排気圧力 圧力 (bar a)	回転速度 (r/min)	出力 (kVA)	電圧 (kV)	回転速度 (r/min)
							圧力 (bar a)	温度 (°C)					
1	2002	南亞塑膠工業 股份有限公司	KS-1	昆山	1ケーシング 抽気復水	57,100	124	538	0.098	3,000	67,200	13.8	3,000
2	2002	台湾化學繊維 股份有限公司	NB-1	寧波	1ケーシング 抽気復水	161,990	124	538	0.088	3,000	202,500	13.8	3,000
3	2003	台朔重工 股份有限公司	XGPG-1	寧波	1ケーシング 抽気復水	62,400	123	535	0.105	3,000	78,000	11	3,000
4	2003	台朔重工 股份有限公司	XGPG-2	寧波	1ケーシング 抽気復水	62,400	123	535	0.105	3,000	78,000	11	3,000
5	2003	建成機械 股份有限公司	XLC-1	上海	1ケーシング 抽気復水	26,000	124	538	0.079	3,000	32,500	10.5	3,000
6	2003	台湾化學繊維 股份有限公司	NB-2	寧波	1ケーシング 抽気復水	161,990	124	538	0.088	3,000	202,500	13.8	3,000
＊7	2003	華陽電業 有限公司	CP-1 UNIT-7	後石	3ケーシング 再熱抽気復水	600,000	246	538/566	0.075	3,000	706,000	19	3,000
＊8	2003	華陽電業 有限公司	CP-1 UNIT-8	後石	3ケーシング 再熱抽気復水	600,000	246	538/566	0.075	3,000	706,000	19	3,000
＊9	2003	華陽電業 有限公司	CP-1 UNIT-9	後石	3ケーシング 再熱抽気復水	600,000	246	538/566	0.075	3,000	706,000	19	3,000
＊10	2003	華陽電業 有限公司	CP-1 UNIT-10	後石	3ケーシング 再熱抽気復水	600,000	246	538/566	0.075	3,000	706,000	19	3,000
＊11	2003	南亞塑膠工業 股份有限公司	KS-2	昆山	1ケーシング 抽気復水	57,100	124	538	0.098	3,000	67,200	13.8	3,000
＊12	2003	南亞塑膠工業 股份有限公司	NT-1	南通	1ケーシング 抽気復水	24,500	124	538	0.092	3,000	28,900	10.5	3,000
＊13	2004	台湾化學繊維 股份有限公司	NB-3	寧波	1ケーシング 抽気復水	161,990	124	538	0.088	3,000	202,500	13.8	3,000
＊14	2004	南亞塑膠工業 股份有限公司	KP-1	昆山	1ケーシング 抽気復水	56,900	124	538	0.098	3,000	67,000	13.8	3,000

〈注〉＊は，現在設計または製作中のプラントを示す。

図３　発電所の全景（NB-1 プロジェクト）

図４　運転中の NB-1 プロジェクト 161,990 kW FET タービン・発電機設備

くの特徴を持つ FET タービンを採用している。

台湾化學纖維股份有限公司向けに納入した NB-1（161,990 kW）のタービン設備は，FET タービン系列の中で 50 Hz 地区における最大容量機となるが，上述したとおり納入後においても順調な運転を継続している。

図３にその発電所の全景，**図４**に運転中の FET タービンを示す。

3　大型火力設備の概要

富士電機は，1994 年春に台湾プラスチックグループから 600 MW × 4 台のタービン・発電機設備（FP-1 プロジェクト）を受注し，計画どおり出荷・納入し，現在まで順調に運転が行われている。

この実績が評価され，台湾プラスチックグループが中国に計画した 600 MW × 4 台のタービン・発電機設備を 2003 年 10 月に受注し，現在設計・製作を進めている。その設備概要を以下に紹介する。

3.1　プロジェクトの概要

(1)　顧客名　：華陽電業有限公司
(2)　契約概要　：FOB ＋ SV
(3)　プロジェクト名称：CP-1 プロジェクト
　　ユニット 7 ～ 10
(4)　設置場所　：華陽電業発電所内（福建省）
(5)　納　期　：ユニット 7　2005 年 6 月
　　ユニット 8　2006 年 6 月
　　ユニット 9　2006 年 12 月
　　ユニット 10　2007 年 6 月

3.2　主要供給品

(1)　タービン本体および付属設備
(2)　発電機本体および付属設備
(3)　潤滑油および制御油設備
(4)　タービン・発電機関連制御設備
(5)　タービン・発電機関連電気設備
(6)　その他

3.3　全体配置およびタービン室配置

図５に発電所の全体配置を，**図６**にタービン室 3 階配置を示す。全体配置図に示すように本発電所には，現在 600 MW × 10 台の発電設備が約 2.5 km × 1.8 km にわたる広大な敷地の中に計画され，すでに 6 台が運転に入っている。今後，富士電機が納入する 4 台が完成すれば福建省における最大の発電所となる。

CP-1 においてタービン室内配置を決めるうえで同出力の台湾プラスチック株式会社向け発電設備（FP-1）から大きく改善された点は，主蒸気入口ストレーナおよび再熱蒸気止め弁，インタセプト弁，再熱ストレーナがタービン本体に直接接続され（FP-1 では分離して配置）コンパクトにまとめられたことである。

図７および**図８**に高中圧タービン周りの弁配置を示す。タービン本体から分離配置していた弁を，本体と一体化することで，タービン室全体の配置に余裕ができ，メンテナンススペースも十分に確保することが可能となった。

3.4　600 MW タービン設備の概要と特徴

CP-1 プロジェクトと FP-1 プロジェクトで採用したタービンの構造上の特徴と差異を述べる。

台湾向け既設機に対し，最先端の要素技術適用により 2 流排気の画期的にシンプルな機器構成を実現した。

低圧タービンは，電源開発株式会社磯子火力発電所に納入した鋼製フリースタンディングの最長クラス翼を採用した。これにより，従来 2 ケーシングで構成していた低圧タービンを 1 ケーシングとし，建屋と基礎の小型化が可能になった。同時に低圧タービン入口では 4 本の大口径配管を，1 本のクロスオーバ管に置き換えて圧力損失の少ない単純軽量な構造とした。外部ケーシングは軸受や回転体への影響のないように，独立して復水器と一体化させた。

図５　発電所の全体配置（CP-1 プロジェクト）

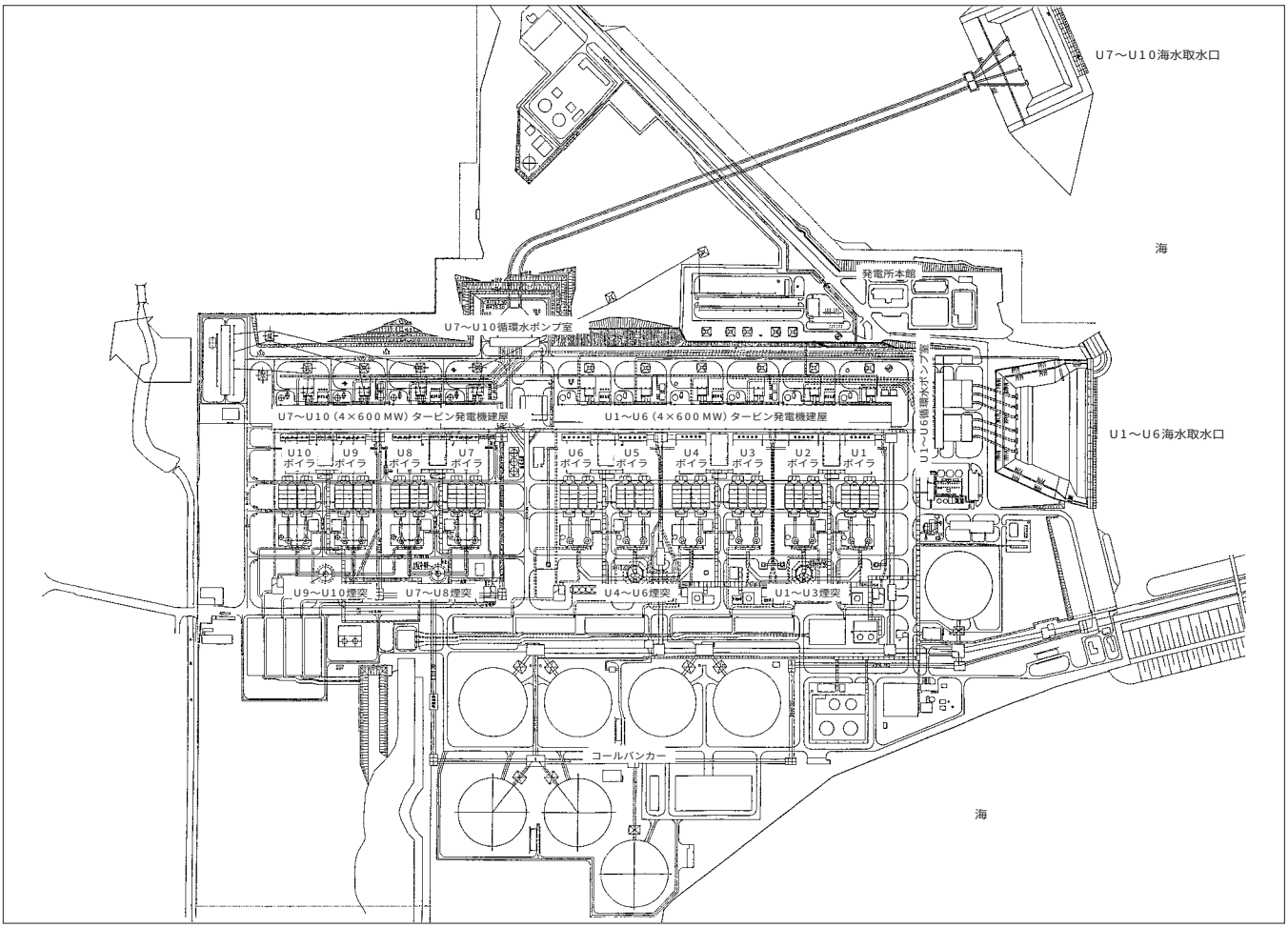


図６　タービン室 3 階配置（CP-1 プロジェクト）

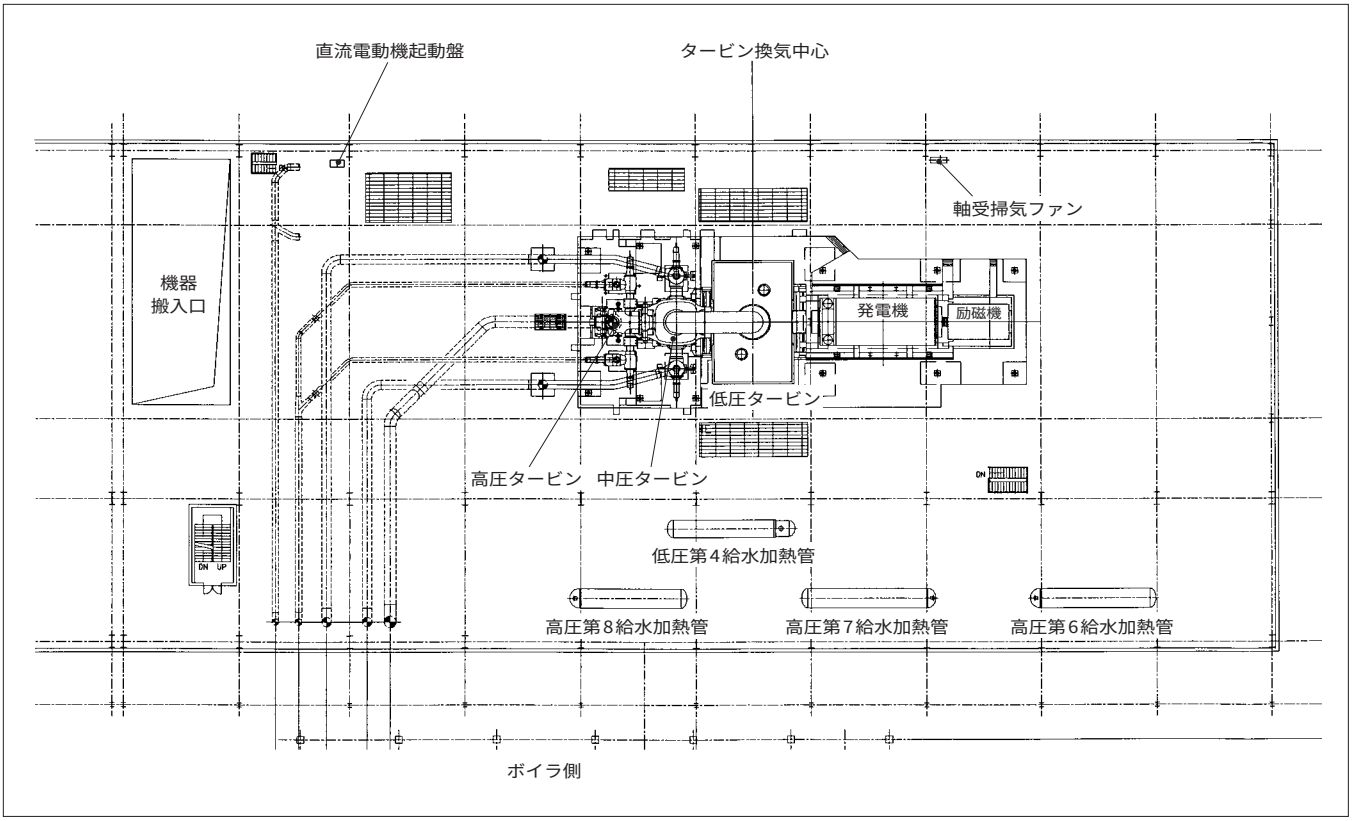


図７　CP-1 プロジェクト高圧タービン弁配置（平面図）

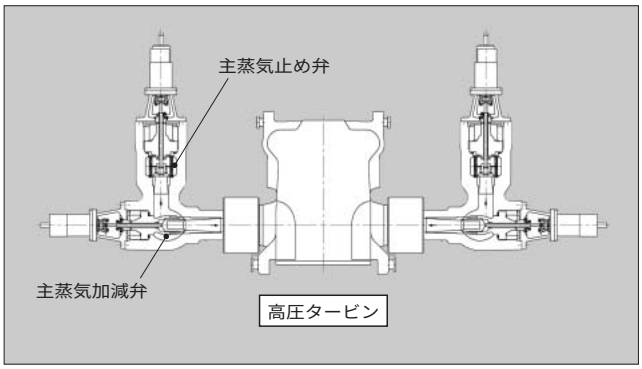
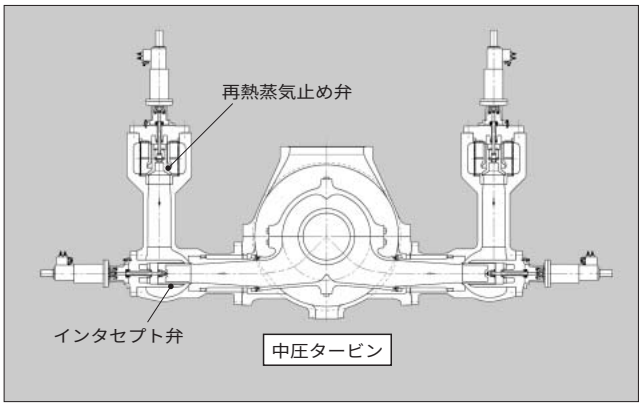


図８　CP-1 プロジェクト中圧タービン弁配置（正面・断面図）



４個の軸受台をタービン基礎に直接に埋め込んで固定し，回転体とそれを取り囲む静止部分を軸受台によって支持することにより，熱膨張や土木建築構造物の経年変化の影響を受けない安定性の高い基本構造を実現させた。

中圧タービンには大型の球状黒鉛鋳鉄製外部ケーシングを採用した。再熱複合弁を中圧タービンに直接取り付けて連絡配管を不要とし，単純な構造で熱変形などに対して安定で圧力損失の少ないものとし，タービンフロア上ですべての保守管理を可能にしている。

高温のボイラ蒸気管からの入口に従来は独立したストレーナケーシングを使用していたが，大口径複合型弁ケーシングの内部にエレメントを内蔵させることにより，省スペースと圧力損失低減および質量低減を達成した。

電動式主油ポンプ採用，制御・保護装置の完全な電子化など，高度な運転制御能力と保守性の向上を実現している。

寸法などを台湾向けの既設品と比較すると，

○タービン全長は，23.52 m から 18.56 m へ，

○タービン質量は，1,204 t から 987 t へ，

大幅な小型軽量化がなされた（**図９**，**図10**）。

これらを実現するために，三次元設計を翼列を含めて適用するなど解析・製作精度向上を図り，高効率化と高信頼性を確実なものとしている。

同時に大型素材の確保が困難となる傾向に対処するため，シーメンス社との調達協調で最適調達先拡大を図り，鋳物構造と溶接構造の標準設計品を，調達先の能力に合わせ，再設計して納期・コストの対応力を高めた。

図９　CP-1 プロジェクトの蒸気タービン断面図

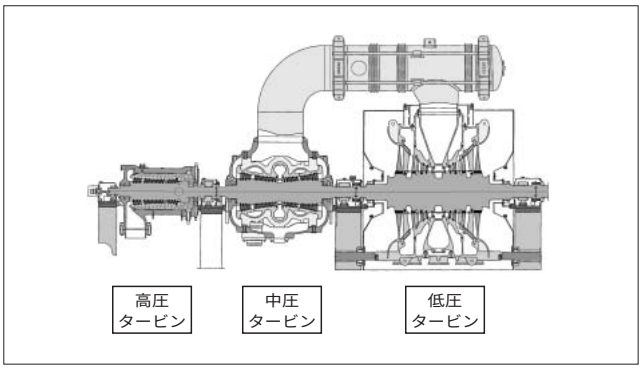


図10　FP-1 プロジェクトの蒸気タービン断面図

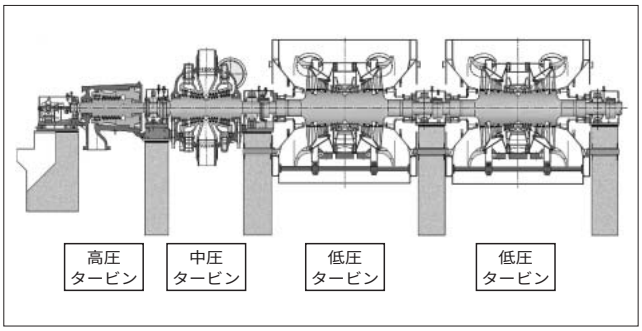


表２　600 MW用発電機の主な仕様

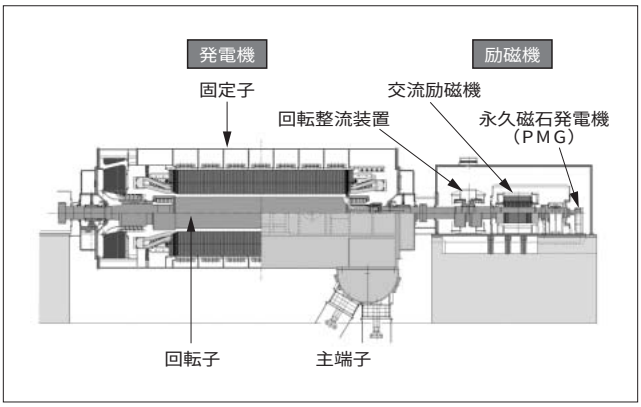
項目＼発電機	能代火力発電所1号機	FP-1	磯子火力発電所新1号機	CP-1
出　力	670 MVA	706 MVA	670 MVA	706 MVA
電　圧	19 kV	18.5 kV	19 kV	19 kV
力　率	0.9（遅れ）	0.85（遅れ）	0.9（遅れ）	0.85（遅れ）
周波数	50 Hz	60 Hz	50 Hz	50 Hz
冷却方式	固定子・回転子水素直接冷却	固定子・回転子水素直接冷却	固定子・回転子水素直接冷却	固定子・回転子水素直接冷却
水素ガス圧力	4 kg/cm^2(g)	5 bar (g)	0.4 MPa (g)	5 kg/cm^2(g)
回転速度	3,000 r/min	3,600 r/min	3,000 r/min	3,000 r/min
励磁方式	ブラシレス	ブラシレス	サイリスタ直接	ブラシレス

3.5　600 MW タービン用発電機の概要と特徴

富士電機では，これまでに 600 MW 用発電設備向けの発電機としては，東北電力株式会社能代火力発電所，台湾プラスチックグループ FP-1 プロジェクトおよび電源開発株式会社磯子火力発電所の 3 プラントで計 6 台の製作，運転実績がある。これら 3 プラントおよび CP-1 向け発電機の主な仕様比較を**表２**に示す。

中国 CP-1 プロジェクト向け発電機は，50 Hz 機としては富士電機の実績最大容量機であり，上述の先行機と同様に，固定子・回転子巻線の冷却方式として水素ガス直接冷却方式を採用している。この冷却方式での最大出力は，通風および冷却技術の向上により，現在では 1,000 MVA ま

図 11　CP-1 プロジェクトの発電機断面図



での出力範囲を製作することができる。

CP-1 は，50 Hz 機であることから，発電機本体は磯子火力発電所向け新 1 号発電機，また励磁機は能代火力発電所向けと同型式を適用しており，運転実績のあるこれらをモデルとして設計した信頼性の高い発電機である。CP-1 向け発電機の断面図を**図 11** に示す。

さらに，本発電機は，顧客要求あるいは中国規格に対応した新技術・新方式を適用している。

一例として，中国における電力系統の過渡安定度向上に寄与することを目的とした下記の励磁系に対する要求がある。

(1)　励磁系電圧速応度　：2.0 s^{-1} 以上
(2)　励磁系電圧応答時間：0.1 s 以下
(3)　励磁系頂上電圧　　：2 pu 以上

上記の要求を満たすため，励磁機および励磁制御装置に対する新技術，新方式として次の施策を実施した。

(a)　時定数改善のために励磁機界磁巻線抵抗値を増加し，さらに励磁回路上に外部抵抗を設置する。
(b)　大きな強制励磁で励磁機界磁電流を速く立ち上げる。
(c)　大きな強制励磁に対応するために PMG（永久磁石発電機）容量を増大させる。

PMG は，ブラシレス励磁機の励磁電源であり，磁極として高性能の希土類磁石（ネオジウム系）をブラシレス励磁機の軸端にオーバハング配置する構造である。

FP-1 向けに対する CP-1 向け PMG の主要仕様の比率は下記のとおりであり，上記要求を満足するためにこれまでにない大型のものとなっている。

(1)　PMG 出力：4.2 倍
(2)　磁石質量　：3.2 倍
(3)　磁石外径　：1.6 倍
(4)　磁石長さ　：1.9 倍

4　あとがき

中国では経済発展とそれに伴う電力需要の伸びが急拡大している。それに対して，富士電機において近年納入および計画中の設備について，その概要を紹介した。

今後ますます拡大するであろう中国市場に対し，高性能で使いやすく，信頼の高い機器を採用した発電設備を開発・納入し，ユーザー各位の期待に応えることで中国経済の発展に寄与していく所存である。

参考文献

(1)　海外電力調査会編．中国の電力事情概要について．

e-Front runners

＊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。