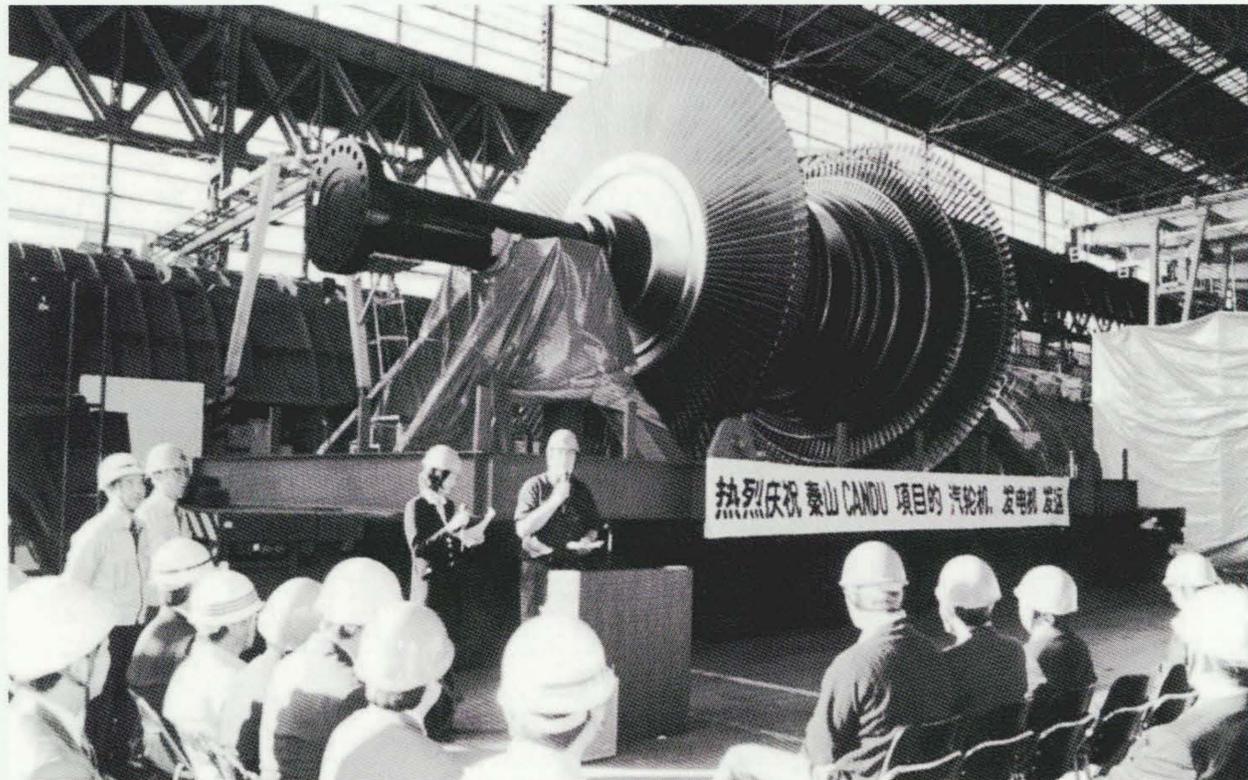


中国秦山第三原子力発電所1, 2号機蒸気タービン設備

Steam Turbine Equipment for Qinshan Phase III Nuclear Power Station in China

原口元成 Motonari Haraguchi 劉 千里 Qianli Liu
織田繁夫 Shigeo Oda



蒸気タービン設備の工場 発送式の状況

AECL(カナダ原子力公社)、CNNC/TQNPC(中国核工業総公司/秦山第三核電有限公司)、および米国ベクテル社の出席の下、最新鋭の1,500 r/min用「52インチ(約132 cm)長翼」を組み込んだタービン低圧ロータの前で行った、日立製作所の工場からの発送式の状況を示す。

中国秦山第三原子力発電所納め728 MW×2台の蒸気タービン設備は、日立製作所が中国CNNC/TQNPC(中国核工業総公司/秦山第三核電有限公司)からAECL(カナダ原子力公社)経由で1997年2月に受注し、2000年4月に1号機を、同年10月に2号機を製作、完了させたものである。このタービン設備は、日立製作所の輸出向け大型原子力タービンの初号機であり、1,500 r/min用「52インチ(約132 cm)最終段長翼」を採用した最新鋭のものであるとともに、熱サイクル改善のために湿分分離再熱器の効率を向上させ、コンパクト化を図っている。

復水器では伝熱管配列を改善し、除じんシステムとともに復水器の熱交換効率を向上させた。また、中国での国産化を推進するために、中国大連市にCNNCと協力して日中合弁会社(DHME)を設立し、このプロジェクト用の復水器、湿分分離再熱器、給水加熱器などの熱交換器を中心とする現地生産を行った。

1 はじめに

中国の発電所では、石炭火力が主力である。しかし、二酸化炭素排出や酸性雨などの環境問題と燃料の多様化に対応するために、原子力発電を推進している。CNNC/TQNPC(中国核工業総公司/秦山第三核電有限公司)の原子力発電所プロジェクト(以下、秦山プロジェクトと言う。)は、その一環として、浙江省の杭洲湾沿いの秦山にカナダ型原子力発電所を「中国-カナダ-日本-米国」の4か国国際協調プロジェクトとして建設するもので、1997年2月の契約発効からスタートした。

一次系である原子炉側はAECL(Atomic Energy of Canada Limited: カナダ原子力公社)が担当した。二次

系であるタービン側は日立製作所がタービン、発電機、復水器、給水加熱器などの主要機器を担当し、米国ベクテル社がシステム、配置計画と補機を担当する国際コンソーシアム体制を組んで対応した。

設計・製作期間は38か月から42か月であり、システム設計と補機担当のベクテル社と綿密に連携をとり、これをスケジュールどおりに進め、主要機器を、1号機向けは2000年4月に、2号機向けは2000年10月にそれぞれ製作、完了させて、秦山サイトへ出荷した。約22か月の据付け期間と約13か月の試運転期間を経て、運転開始はそれぞれ1号機が2003年2月、2号機が2003年11月の予定である。

ここでは、秦山プロジェクトとの1, 2号機蒸気タービン設備について述べる。

2 プラント計画

日立製作所は、これまで多くの原子力タービン設備を設計、製作してきた。しかし、大容量のタービンはすべてBWR(沸騰水型軽水炉)向けのものであり、今回受注した加圧水型重水炉用タービンは初設計のものである。

2.1 重水炉と軽水炉

現在、重水炉はCANDU炉(カナダ型重水炉)だけが実用化されている。この重水炉と軽水炉がタービンに及ぼす影響の違いは、主として運転面にある(表1参照)。

CANDU炉では、トリップ後1時間以上経過するとXe(キセノン)が炉内に蓄積され、急な再立ち上げが困難となる。したがって、急速な立ち上げに対処するため、系統電力を使用したモータリング運転によってタービンを定格回転数で保持する。また、CANDU炉では、60%負荷以下では同じくXeが蓄積されるため連続運転ができない。

2.2 加圧水型と沸騰水型

加圧水型の沸騰水型に対する基本的相違は、前者では蒸気発生器を採用していることから、二次系蒸気が放射線に汚染されていない蒸気となっている点である。沸騰水型タービンのように、タービンロータの軸端を別のクリーン蒸気源でシールする必要がないため構造が若干簡素になるが、タービン本体の設計にはほとんど相違がない。

2.3 モデルタービンとの比較

今回のタービンの設計に当たっては、中部電力株式会

表1 重水炉と軽水炉の相違点

特殊運転モードと最低負荷の違いをタービン設計に反映した。

項目	重水炉	軽水炉
モータリング運転	最大90 min	最大90 s
最低負荷	60%	25%
原子炉トリップ時	タービン運転継続	タービントリップ

表2 モデルタービンとの比較

モデルタービンよりも低い主蒸気圧力に合わせたタービン設計にするとともに、最新鋭の「52インチ(約132 cm)長翼」を最終段に採用した。

項目	秦山原子力発電所1, 2号機タービン	中部電力株式会社浜岡原子力発電所4号機	東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所4号機
出力	728 MW	1,137 MW	1,100 MW
型式	TC4F-52	TC6F-43	TC6F-41
回転数	1,500 r/min	1,800 r/min	1,500 r/min
主蒸気圧力	4.51 MPa	6.55 MPa	6.55 MPa
蒸気サイクル	再熱式	再熱式	再熱式

社浜岡原子力発電所納め4号機と東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所納め4号機をモデルとした。最新の「52インチ(約132 cm)長翼」を採用したことが最大の特徴であり、また、原子力用の半速機(1,500 r/min)はその信頼性と高効率が評価され、中国で初めて採用されたものである(表2参照)。

3 蒸気タービンの新技術

秦山プロジェクトに採用した蒸気タービンの代表的な新技術について以下に述べる。

3.1 「52インチ長翼」

原子力タービンの大容量化とコンパクト化には長翼化が不可欠であり、1,800 r/min「43インチ(約109.2 cm)長翼」をモデルに比例拡大ベースで1,500 r/min「52インチ長翼」を開発し、採用した(表3, 図1参照)。

3.2 三次元CAD設計

蒸気タービン設備の設計を効率よく行うことと、ベクトル社との設計インタフェースを円滑にすることを主目的として、三次元CADを適用した(図2参照)。

3.3 湿分分離再熱器

湿分分離再熱器は、高圧タービン排気蒸気の湿分を除去し、さらに過熱させ、タービンの熱効率を向上させる

表3 「52インチ長翼」と「43インチ長翼」の仕様比例

「52インチ長翼」は「43インチ長翼」を比例拡大することにより、振動特性と遠心応力を同一として高信頼性を確保した。

項目	52インチ長翼	43インチ長翼	比較
回転数	1,500 r/min	1,800 r/min	1 : 1.2
翼長	約132 cm(52インチ)	約109.2 cm(43インチ)	1.2倍
遠心応力	1.0	ベース(1.0)	同一
材質	12Cr 不銹(しゅう)鋼	12Cr 不銹鋼	同一
固有振動数	1 : 1.2	ベース(1.0)	相似則

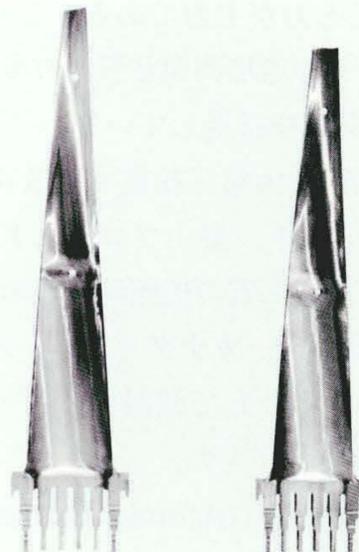


図1 「52インチ長翼」(左)と「43インチ長翼」(右)

ともに相似形とし、信頼性を確保した。

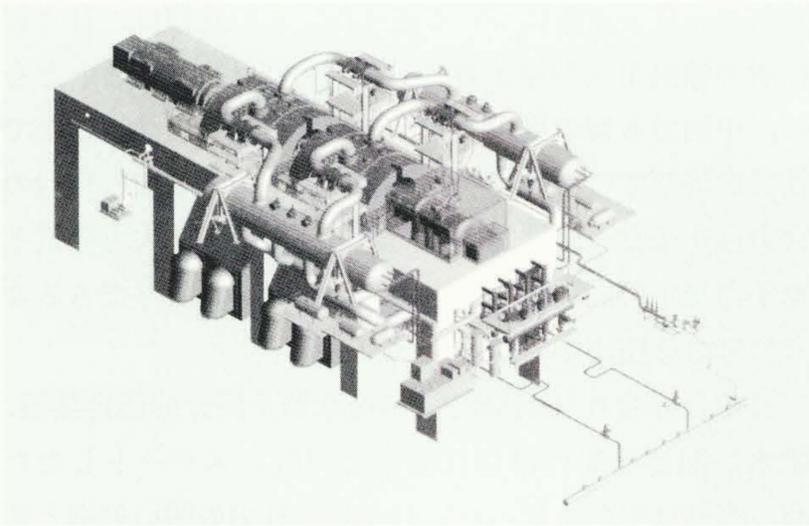


図2 蒸気タービン設備の三次元CADモデル
三次元CADにより、効率的かつ正確な設計を可能とした。



図3 改良型湿分分離再熱器の外観
管内流速アップとドレンタンク別置によって全長をコンパクト化した。

重要機器である。蒸気の体積流量増加に伴い、湿分分離再熱器は大型化していく。しかし、コンパクト化の観点から、ドレンタンクを別置にすることと、再熱器の管内流速を増加させることにより、全長を約28%低減することができた(図3参照)。また、新型湿分分離板により、湿分分離効率を98%以上に向上させることを可能にした。

3.4 溶接型ケーシング

従来、溶接型のケーシングは火力機の高圧ケーシングに採用されていた。このタービンでは、高圧ケーシングに加えて、主塞(さい)止弁・加減弁ケーシングを従来の鋳造型から溶接型とすることにより、鋳造欠陥などのポテンシャルをなくし、信頼性を高めている(図4参照)。

4 蒸気タービン補機の新技术

秦山プロジェクトの他の機器類に適用した、高効率化に向けての改良設計の代表例について以下に述べる。

4.1 復水器

復水器の性能を支配する一要因に、多数の伝熱管を配

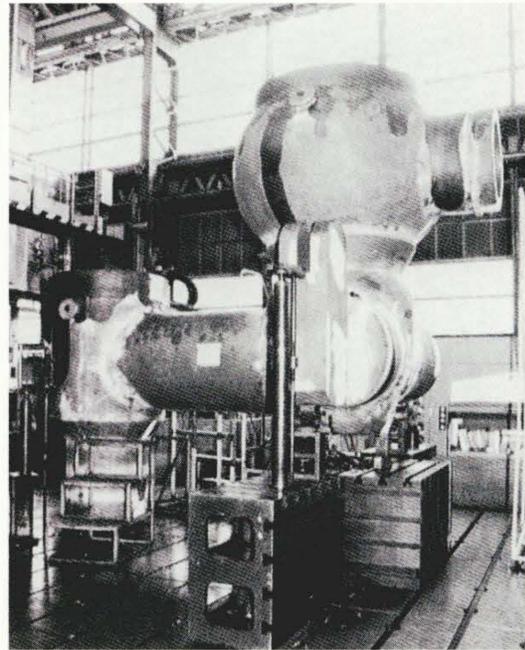


図4 溶接型主塞止弁・加減弁ケーシング
従来の鋳鋼ケーシングに替えて溶接ケーシングを採用して鋳造欠陥などのポテンシャルをなくし、信頼性を高めた。

置した管束の形状と伝熱管配列がある。

日立製作所は、いっそうの性能向上に向けて、復水器内の蒸気凝縮流と流体力学の理論である「吸込流」との類似性に着想を得て、吸込流の流線に沿った蒸気の流入量と凝縮量とは比例するとする“SBDF(Super Balanced Down Flow)”型伝熱管配列の設計法を確立し、実証してきている。

このSBDF型伝熱管配列を日立製作所の新たな標準管配列として、これまでに15を超える各種出力の火力発電プラントに採用してきた。秦山プロジェクトでも、この新SBDF型管配列の採用により、従来のBDF(Balanced Down Flow)型配列に比べて約10%の復水器伝熱効率の向上が期待できる。

新SBDF型と、「吸込流」理論による管束形状の決定概念を図5にそれぞれ示す。

4.2 復水器除じん装置

前節に述べた復水器の高性能を長時間にわたって維持するためには、冷却水である海水によって生じる伝熱管の閉塞や内表面の汚れを防止する必要がある。

これらに対応するための海水系付帯設備として、除じん装置とボール洗浄装置がある。日立製作所は、これらの装置をシステム製品として自社製作している唯一の国内メーカーであり、これまで国内外の火力・原子力プラントに多数の納入実績を持っている。

秦山プロジェクトには、以下のような特徴のある除じんフィルタを納入している(図6参照)。

- (1) 固形やひも状、膜状の異物に対する高除じん能力と、異物流入に対する高耐力を具備
- (2) 強力な離流と逆洗流を発生させての異物除去が可能

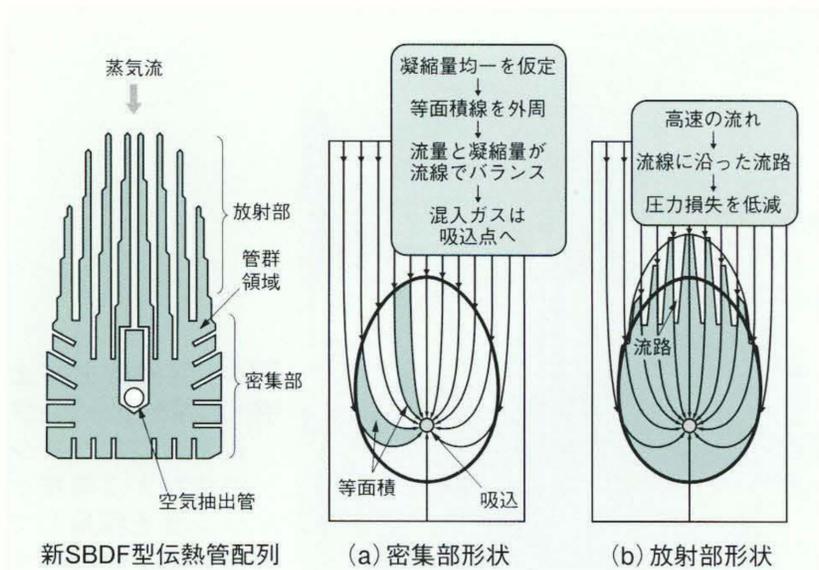


図5 「吸込流」理論による管配列決定の概念
蒸気流に対して放射部を直線的に配列し、管束外周をおおむね等面積線上に配列することを特徴としている。

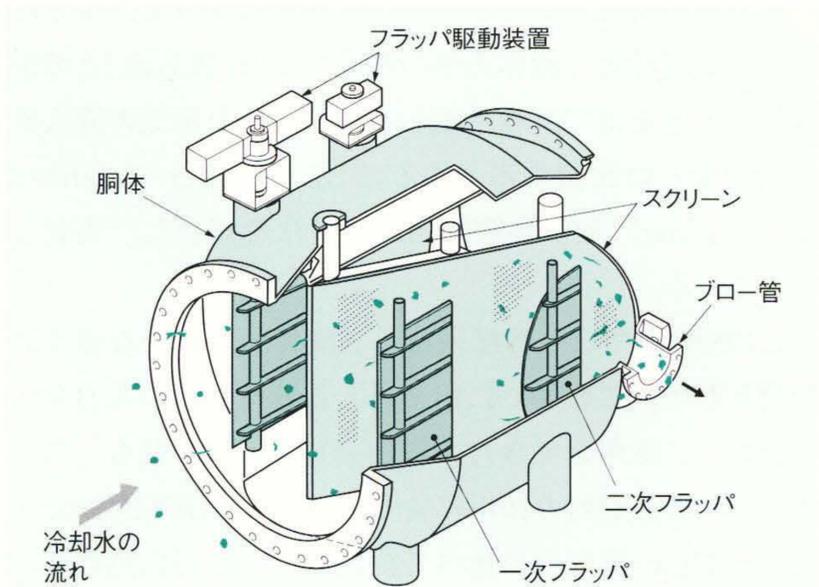


図6 除じんフィルタの概要
可動式の除じんフィルタにより、高い性能と信頼性を保証している。

- (3) 復水器通水量を確保しながらの除じん運転が可能
- (4) 運転中差圧上昇時の機器保護が可能

4.3 フェライト系ステンレス鋼伝熱管給水加熱器

給水加熱器のステンレス鋼伝熱管としては、オーステナイト系が一般的である。しかし、伝熱性能の点からは、伝熱効率の高いフェライト系のほうが優れている。

秦山プロジェクトでは、各種運転条件下でのフェライト系伝熱管の信頼性を確認し、給水加熱器にこのフェライト系ステンレス鋼伝熱管を採用することにより、高性能化とコンパクト化を達成している。

5 おわりに

ここでは、中国秦山第三原子力発電所納めの1、2号機

蒸気タービン設備について述べた。この設備は、日立製作所の輸出用大型原子力タービンの初号機であるとともに、中国でも初の原子力用半速機タービンということで注目を浴びている。日立製作所は、中国ですでに14台の火力機を稼動または製作中である。今後も、火力発電と原子力発電の両分野で、中国の発電業界に寄与できるように努力を続けていく考えである。

日中合弁会社(DHME)での復水器や湿分分離再熱器、給水加熱器の製作は会社設立と同時にスタートしたため、当初は困難を伴った。しかし、日中の強い連携と顧客側の多大な協力により、中国国産として最大級の製品を製作することができ、今後の中国現地生産のめどをつけることができた。

終わりに、このプロジェクトの蒸気タービン設備が順調に製作、完了できたのは、ひとえに顧客であるAECLおよびCNNC/TQNPCの関係各位のご指導と、コンソーシアムパートナーであるベクテル社のご協力の賜物である。ここに深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 森谷, 外: BWRタービン設備の新技术, 日立評論, 72, 10, 1019~1026(平1-10)
- 2) 漆谷, 外: 原子力発電用大容量タービン設備, 日立評論, 68, 4, 295~300(昭60-4)
- 3) 池内, 外: 大容量蒸気タービン用52インチ長翼の開発, 火力原子力発電, Vol. 37, 1, 34~43(昭61-1)

執筆者紹介



原口元成

1976年日立製作所入社、電力・電機グループ 火力・水力事業部 日立生産本部 所属
現在、輸出用蒸気タービンのプロジェクト管理取りまとめに従事
日本機械学会会員、ターボ機械協会会員
E-mail: motonari_haraguchi@pis.hitachi.co.jp



織田繁夫

1982年日立製作所入社、電力・電機グループ 火力・水力事業部 日立生産本部 火力プラント設計部 所属
現在、蒸気タービン用復水器のエンジニアリング取りまとめに従事
日本機械学会会員
E-mail: shigeo_oda@pis.hitachi.co.jp



劉 千里

1994年Hitachi Canadian Industries Ltd. 入社、1999年日立製作所転属、電力・電機グループ 火力・水力事業部 日立生産本部 タービン設計部 所属
現在、輸出用タービンのエンジニアリング業務に従事
E-mail: ken_liu@pis.hitachi.co.jp