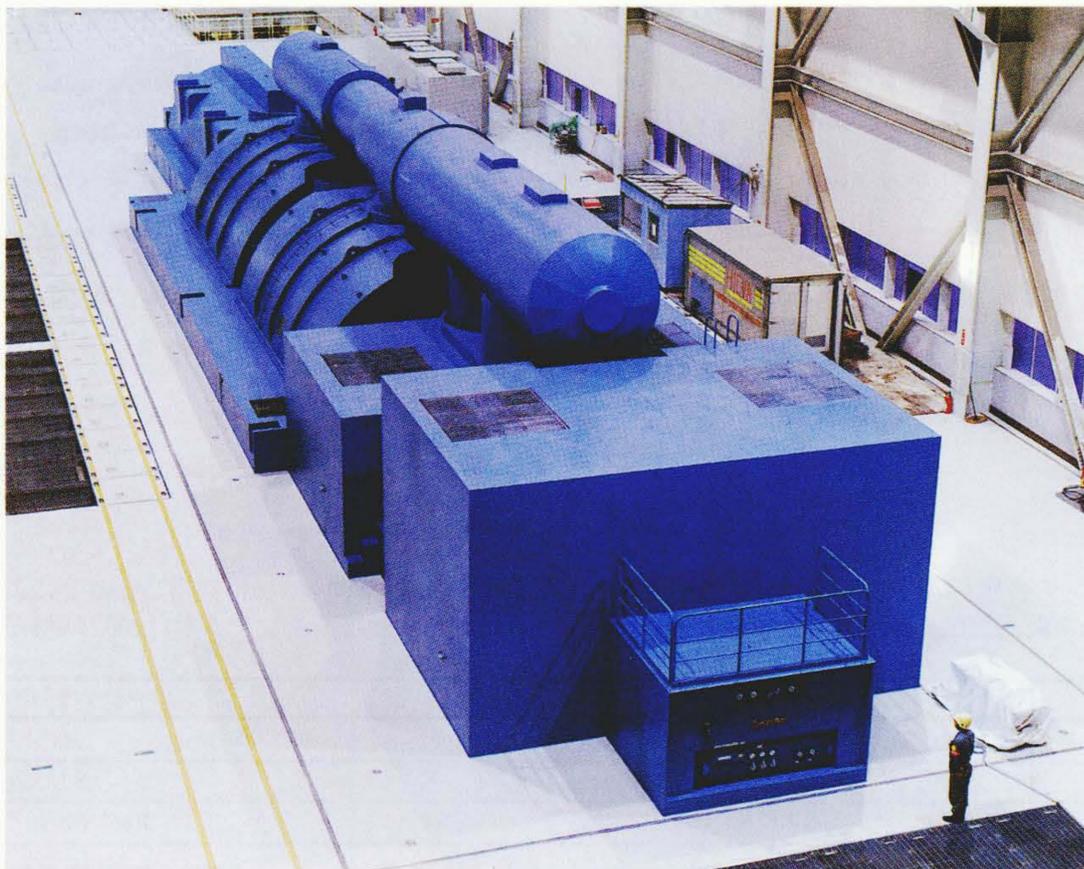


チタン合金製40インチ長翼使用の 大容量蒸気タービン

—中部電力株式会社碧南火力発電所 2号機700 MW蒸気タービンの試運転結果—

Large Steam Turbine with a Titanium 40in. Last Stage Bucket
—Results of Trial-operation of 700 MW Steam Turbine for the Hekinan
Power Station No.2 Unit of Chubu Electric Power Co., Inc.—

渡辺英人*	Hideto Watanabe	藤原 正***	Tadashi Fujiwara
可児研一**	Ken'ichi Kani	池内和雄***	Kazuo Ikeuchi
森谷新一***	Shin'ichi Moriya	名村 清****	Kiyoshi Namura



チタン合金製40インチ長翼を初めて採用した700 MW蒸気タービン 中部電力株式会社碧南火力発電所 2号機納めのくし形4流排気再熱式タービンの外観を示す。本機には40インチ長翼のほかにも新12Crロータ材など、将来の高温蒸気条件に対応できる最新技術が採用されている。

大容量蒸気タービンの熱効率向上には最終段翼の長大化による効果大きいですが、使用する翼材の強度によって可能な長翼が限定されてしまうため、3,600 r/min機では、従来の12Cr鋼では33.5インチが最長で、それを超える40インチ長翼では、比重が小さく強度特性も優れたチタン合金を翼材に使用している。

日立製作所では、昭和62年にTi-6Al-4V合金を使

用した40インチ長翼を中部電力株式会社と共同で開発し、同社の碧南火力発電所 2号機700 MW蒸気タービンに適用した。本機は平成4年6月に営業運転を開始したが、平成3年10月から約8か月にわたる試運転中に得られたデータはきわめて良好であり、チタン合金製40インチ長翼の高い信頼性を実証した。

* 中部電力株式会社 本店 ** 中部電力株式会社 碧南火力発電所 *** 日立製作所 日立工場 **** 日立製作所 機械研究所 工学博士

1 はじめに

チタン合金は耐食性に優れ、比強度が大きいという特長があるので、以前から蒸気タービン翼への適用が試みられていたが、難加工性であることや経済的な理由もあって、これまではあまり長大なものの実機への適用例はなかった。

日立製作所は中部電力株式会社と共同で、40インチ長翼の開発を昭和60年から62年にかけて実施し、その成果を中部電力株式会社碧南火力発電所2号機(以下、碧南火力2号機と略す。)700 MW蒸気タービンに適用した。このタービンの外観を前ページの写真で示す。本機では、40インチ長翼の採用によって従来の33.5インチ長翼採用機に対し翼環帯面積が増加し排気損失が減少した分、熱効率が約1.6%向上している^{1),2)}。

さらに、700 MW機で翼環帯面積に余裕が生じていることを利用すれば、同一の4流排気形タービンで1,000 MW機も運転可能となる点に着目し、世界初のタンデム

形1,000 MW蒸気タービンの設計技術を開発した。碧南火力2号機700 MW蒸気タービンと1,000 MW計画機とを比較して表1に示す。

ここでは、碧南2号機700 MW蒸気タービンの実績と、日立製作所が開発したタンデム形1,000 MW計画機について述べる。

2 碧南火力2号機の実績

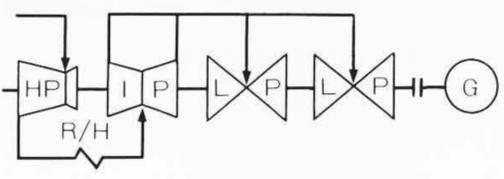
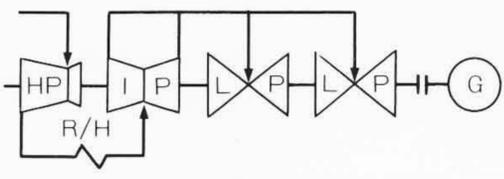
チタン合金製40インチ長翼を最初に適用した碧南火力2号機は、平成3年10月に初通気した後、平成4年6月に営業運転を開始するまでの間、良好に試運転を続けた。以下にその状況について述べる。

(1) 試運転記録

試運転記録を表2に示す。軸振動はすべて目標値以下であり、性能試験結果も各負荷の熱効率がすべて計画値を上回っている。その他、起動時間もホット起動で153分を達成するなど満足できる成果を得た。

(2) チタン合金製40インチ長翼の点検結果

表1 チタン合金製40インチ長翼採用の大容量蒸気タービン 40インチ長翼を700 MW機に適用したことにより、従来の33.5インチ長翼採用機に対し約1.6%の熱効率向上となった。この分を電気出力増加のために利用すると、タンデム形1,000 MW機が可能となる。

項目	碧南火力2号機(平成4年6月運開)	タンデム形1,000MW計画機	
タービン形式	TC4F-40	TC4F-40	
回転数	3,600 r/min	3,600 r/min	
蒸気条件	24.1 MPa-538/566 °C	24.1 MPa-593/593 °C	
仕様	タービン構成		
	初段翼構造	複流形, 2テノンくら形ダブル翼	同左
	最終段翼	チタン合金製40インチ長翼	同左
	タービン全長	34.0 m	35.3 m
	主蒸気止め弁ボデー 蒸気加減弁ボデー	Cr-Mo-V鍛鋼 Cr-Mo-V鍛鋼	Cr-Mo-V-B鋳鋼 Cr-Mo-V-B鋳鋼
主要部材料	高圧ロータ 中圧ロータ 低圧ロータ	Cr-Mo-V鍛鋼 新12Cr鍛鋼 スーパークリーンタイプNi-Cr-Mo-V鍛鋼	新12Cr鍛鋼 新12Cr鍛鋼 スーパークリーンタイプNi-Cr-Mo-V鍛鋼
	高温部動翼	Cr-Mo-Nb-V鋼	新12Cr鋼
	高圧車室 内部 外部	Cr-Mo-V鍛鋼 Cr-Mo-V鍛鋼	Cr-Mo-V-B鋳鋼 Cr-Mo-V鋳鋼
	中圧車室 内部 外部	Cr-Mo-V鍛鋼 Cr-Mo-V鍛鋼	Cr-Mo-V-B鋳鋼 Cr-Mo-V鋳鋼
熱効率(定格出力時, 発電端)	46.9%	約48.2%*	

注：* 最新の熱効率向上技術開発成果を含んでいる。

略語説明： TC4F-40 [くし形(タンデム形)4流排気, 40インチ長翼使用のタービンを示す。]

HP, IP, LP (それぞれ高圧部, 中圧部, 低圧部を示す。)

R/H [再熱器(ボイラ)]

表2 碧南火力2号機700 MW蒸気タービンの試運転記録

(a) 建設工程

年 月 日	項 目
平成2年11月1日	タービン据付け開始
平成3年10月2日	初通気
平成4年6月12日	営業運転開始

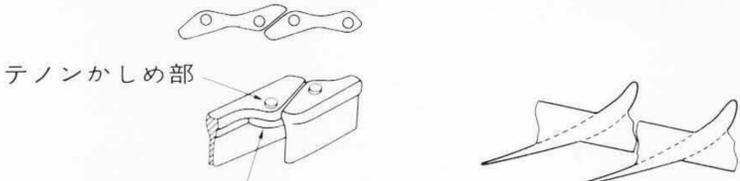
軸振動値は、この表に示すように良好であった。熱性能も計画値を上回る満足すべき結果を得た。

(b) 蒸気タービン・発電機の軸振動実測値(平成4年1月8日測定)

負 荷	軸 受 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
無 負 荷	軸振動($\frac{1}{1,000}$ mm)	5	31	17	35	21	40	21	16	6	16
700 MW	同 上	11	26	22	18	20	12	16	16	13	22

表3 碧南火力2号機40インチ長翼の試運転結果

試運転中のタービン停止時に、低圧車室内部に入り最終段翼ほかの点検を実施し、健全性を確認した。

点 検 部 位	点 検 結 果
 <p>テノンかしめ部</p> <p>④ カバーピース部</p> <p>カバー部詳細</p> <p>③ カバー部</p> <p>② エロージョンシールド部</p> <p>⑤ タイボス部</p> <p>① 翼プロフィール部</p> <p>タイボス部詳細</p>	<p>① 翼プロフィール部 (全体外観)</p> <ul style="list-style-type: none"> ●浸食, 打痕(こん), 変形などはなく, 正常な外観となっている。 <p>② エロージョンシールド部</p> <ul style="list-style-type: none"> ●軽微な浸食が蒸気入口側端部に発生している(ただし, 試運転開始当初の無負荷運転で発生したもので, その後の進展は見られない)。 <p>③ カバー部</p> <ul style="list-style-type: none"> ●正常な外観となっている。 <p>④ カバーピース部</p> <ul style="list-style-type: none"> ●正常な外観となっている。 ●カバーピースの接触面の状況も良好である。 <p>⑤ タイボス部</p> <ul style="list-style-type: none"> ●正常な外観となっている。 ●タイボスの接触面の状況も良好である。

この試運転で最も注意を払ったのは、40インチ最終段翼の信頼性の評価である。強度的な特性は過速度試験の実施によって確認できたが、翼の耐エロージョン性についてはある程度の長期間運転実績が重要なことから、定期的に低圧タービン内を点検して、その健全性の確認を行った。最終時点での点検結果を表3に示す。

40インチ長翼の耐エロージョン性については、開発時に高速エロージョン試験装置を用いた評価試験を実施した。その結果、シールド材にはTi-15Mo-5Zr-3Al合金を採用し、静翼の外側側にはスリットを設けて湿分分離を行うなど十分な対策を実施した³⁾。40インチ長翼では従来の33.5インチ長翼に対し周速が16%大きいにもかかわらず、表3に見るように、試運転初期に無負荷運転時の低圧車室内温度上昇防止用水スプレーを作動させたこと

によって、軽微なエロージョンが発生しただけで、従来の33.5インチ長翼の場合とほぼ同等であることが確認できた。40インチ最終段翼の試運転終了時点の外観を図1に示す。

このように、試運転結果は予想を上回る良好なものであったが、今後の営業運転での経過については、初回定期検査時の確認を待つこととなる。

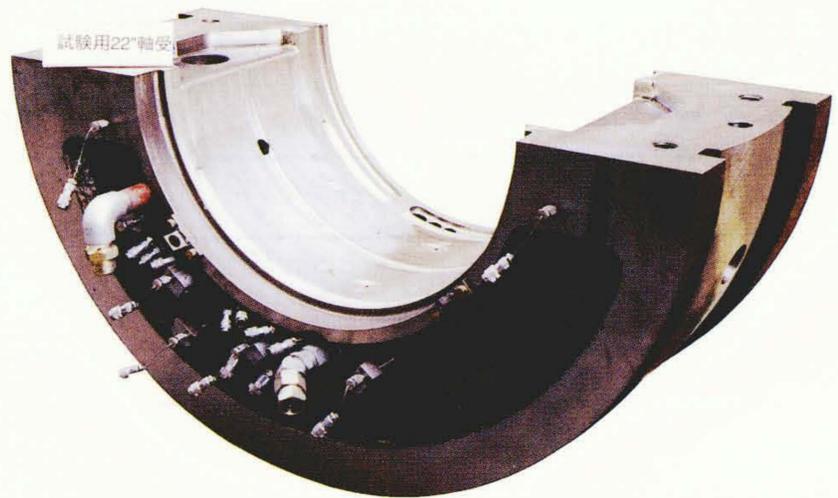
3 タンデム形1,000 MW機の開発

700 MW機で熱効率向上に寄与した翼環帯面積の余裕は、将来のタンデム形1,000 MW蒸気タービン実現にも利用が可能である。一例として先の表1に示した1,000 MW機の構造を図2に示す。日立製作所は、本機の設計に必要な技術の開発も完了している。

3,600 r/min用発電機の技術はもとより、蒸気タービンとしては22インチの大径軸受が必要であるが、図3に示



図1 碧南火力2号機40インチ長翼の外観 エロージョン発生状況は、従来の33.5インチ長翼の場合と同程度であることが確認できた。



試験実施後の22インチ軸受(下半)

図3 タンデム形1,000 MW機用22インチ径ジャーナル軸受の開発 実機運転を忠実に模擬するために、実物22インチ軸受と20インチ軸受(比較用)で、1,000 MW実機と等価のロータを支持して回転試験を行った。

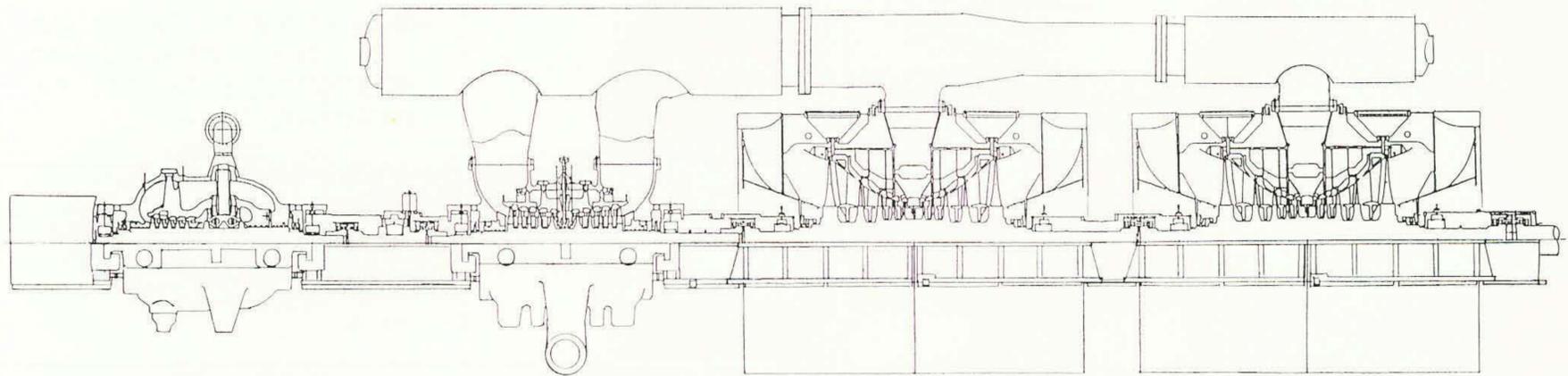


図2 タンデム形1,000 MW蒸気タービンの構造(計画例) この計画例では、主蒸気条件を24.1 MPa-593/593℃としてある。

す実物大試作軸受で、回転実証試験を実施して必要なデータを得ている。

最近、環境改善の観点から、蒸気温度を593℃まで上げて熱効率向上を図った計画が行われている。このための技術についても開発を完了し、一部の実機への適用を開始している⁴⁾。

4 おわりに

チタン合金製40インチ長翼を最初に適用した碧南火力2号機700 MW蒸気タービンの試運転結果は、設計どおりの性能を発揮している。特に、耐エロージョン性は従来実績と同等のレベルにあると評価できる。

今後とも、この実績を確実なものとするため監視を継続していく考えである。

参考文献

- 1) 石木, 外: 大容量蒸気タービン用チタン合金製40 in長翼の開発, 日立評論, 69, 10, 925~932(昭62-10)
- 2) 荒木, 外: 蒸気タービン低圧最終段用チタン合金製40インチ長翼の開発, 火力原子力発電, 39, 6, 15~27(Jun. 1988)
- 3) 坪内, 外: 蒸気タービン長翼におけるエロージョン防止技術の開発, 日立評論, 70, 2, 147~154(昭63-2)
- 4) 金子, 外: 蒸気タービン用ロータ材料の最近の技術進歩, 日立評論, 72, 6, 511~518(平2-6)