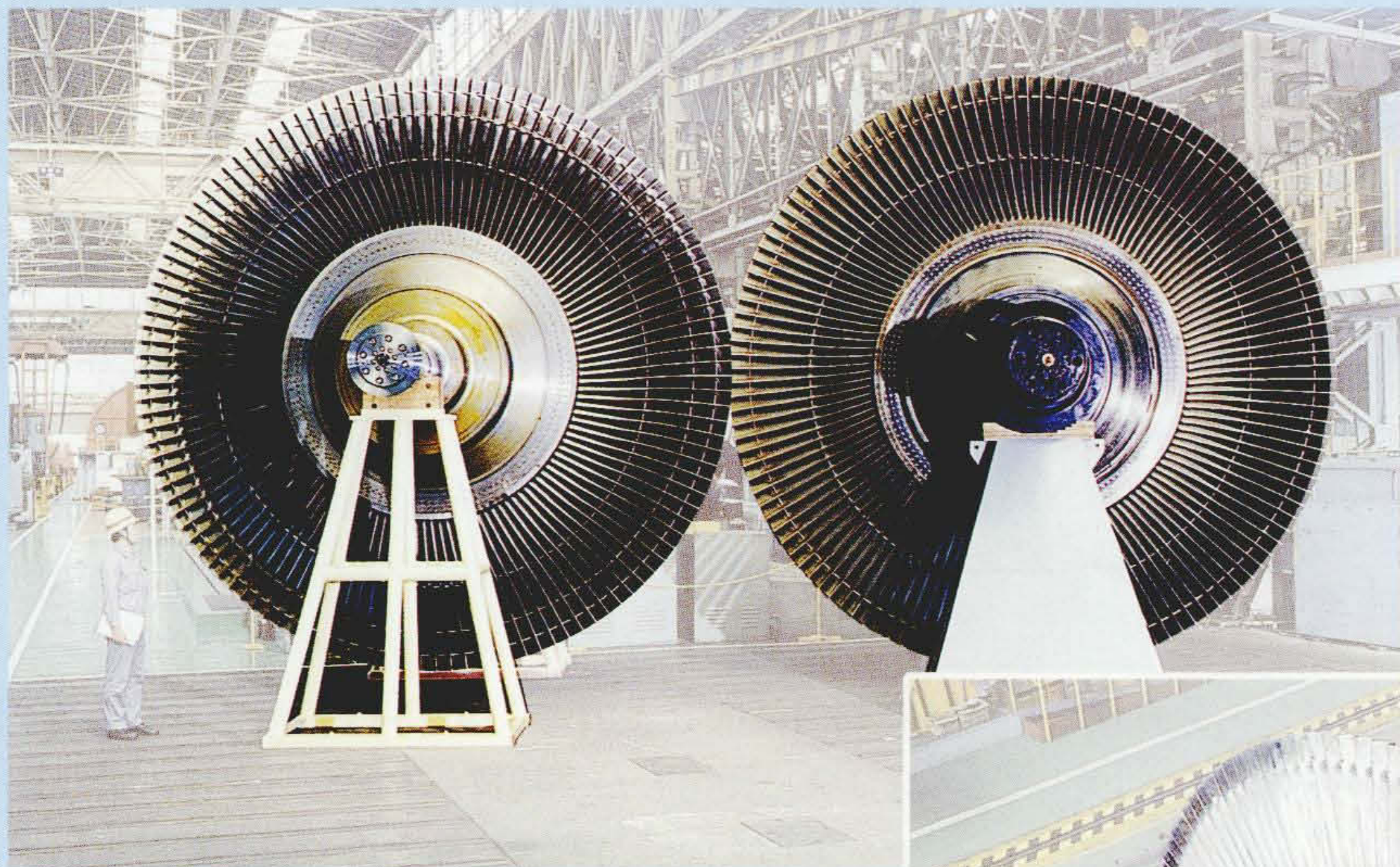


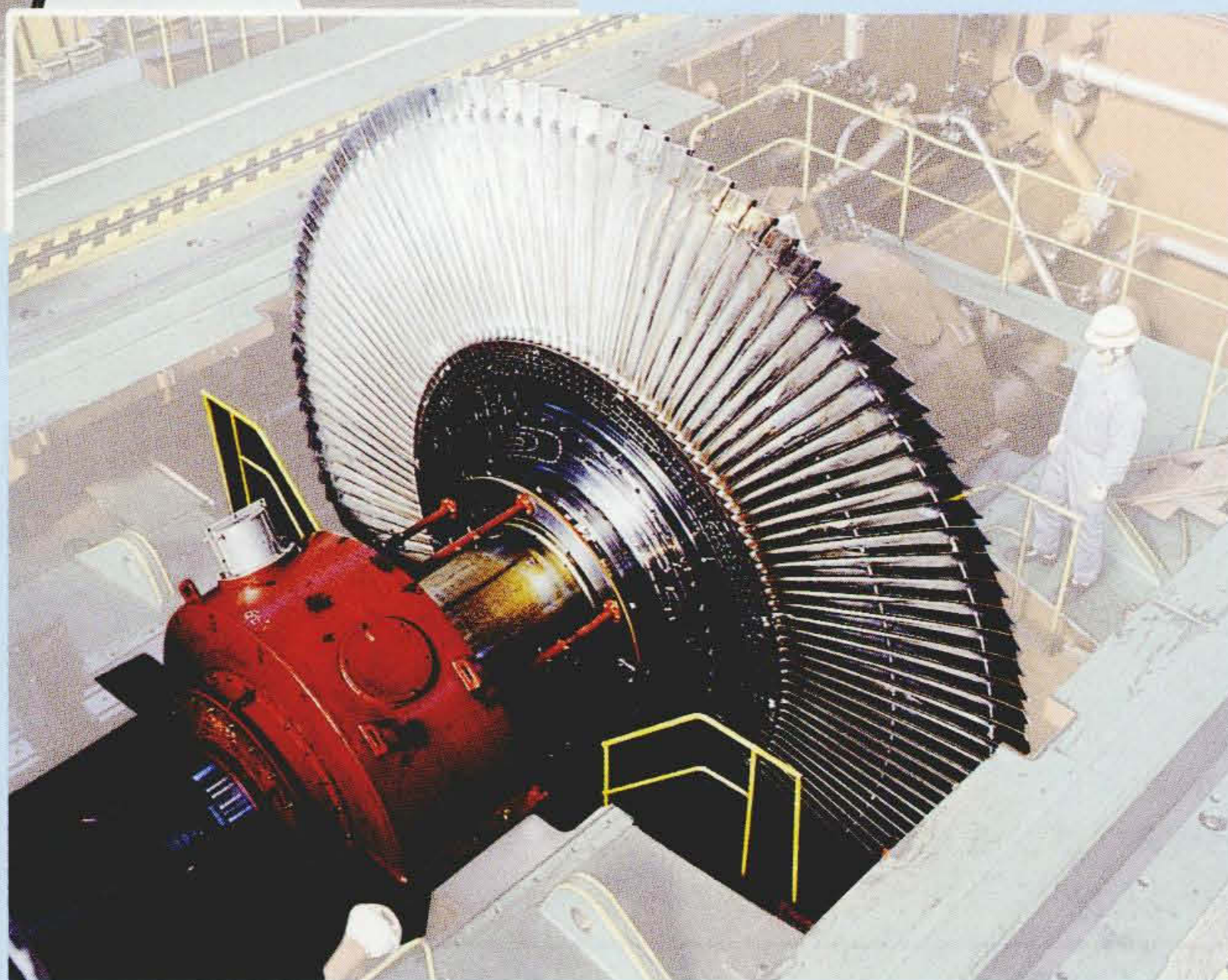
原子力発電用大容量蒸気タービンの新技術

Recent New Technologies for Large Nuclear Steam Turbines

古川雅夫 Masao Furukawa 高野 剛 Tsuyoshi Takano
柴下直昭 Naoaki Shibashita 斎藤 茂 Shigeru Saitō



(a) 52インチ長翼の実物翼試験ロータ



(b) 回転実証試験装置

52インチ長翼の実物翼試験ロータと回転実証試験装置

1,800 r/min(60 Hz)用[(a)左]と、1,500r/min(50 Hz)用[(a)右]のロータを示す。この実物翼試験ロータによって高真空状態の回転実証試験を実施し、52インチ長翼の高い信頼性を確認している。回転実証試験装置(b)は高真空状態の試験装置であり、これによって回転試験を実施している。

第3次改良標準化プラントであるABWR(改良型沸騰水型原子炉)プラントでは、すでに50 Hz用の電気出力1,356 MW機として営業運転に入っており、さらに、それに続く建設計画も推進されている。

その運用中の蒸気タービン・発電機設備には、52インチ最終段動翼を用いたTCF6F-52形蒸気タービンを始め、湿分分離加熱器、バタフライ形中間弁、給水加熱器ドレンポンプアップシステムなど、多数の大容量化や熱効率向上を目指した新技術が採用されている。

日立製作所は、ABWRプラント全体の国産化を目指し

て、蒸気タービン設備を含めた技術・ノウハウの蓄積を行っており、湿分分離加熱器やバタフライ形中間弁などとともに熱効率向上技術として、すでにBWR(沸騰水型原子炉)プラントに適用し、発電出力や運用性の向上に寄与している。また、いっそうの熱効率向上を図るために、AVN(Advanced Vortex Nozzle)や、AVS(Advanced Vortex Stage)などの開発を完了すると同時に、定検時の省力化や定検日数の短縮を目指した道工具の開発、その適用検討なども推進している。

1. はじめに

ABWR(改良型沸騰水型原子炉)プラントでは、50 Hz用の電気出力1,356 MW機がすでに営業運転に入っており、ここではプラントメーカーが開発した湿分分離加熱器、復水器、給水加熱器などの補機や、蒸気タービン・発電機の制御装置などが採用されている。

日立製作所が開発した原子力発電用蒸気タービン設備には、50 Hz用の電気出力1,100 MW機級が4台、60 Hz用の電気出力1,100 MW機級が2台あり、ともに営業運転に入っている。ABWRプラント用蒸気タービン設備としては、50 Hzおよび60 Hz用の電気出力1,360 MW級機を開発している。

ここでは、これらの最新技術の概要について述べる。

2. 蒸気タービン

50/60 Hz用ABWRプラントの蒸気タービン・発電機設備の基本仕様をBWR(沸騰水型原子炉)-5プラントの従来機と比較して表1に示す。

ABWRプラント用蒸気タービンでは、52インチ長翼と、湿分分離加熱器の採用によって高効率化を図っている。この設備では、先行する電気出力1,100 MW級機の製作実績と運転経験を生かした信頼性の高い材料を使用しており、その中でも次の新技術が特筆される。

(1) 最終段落用52インチ長翼の開発

日立製作所は、まず1,500 r/min用52インチ長翼の開発を完了し、引き続いて1,800 r/min用52インチ長翼を完成した。従来の最大長翼は、41インチと43インチ(1,500 r/min用と1,800 r/min用に対応)であった。新しく開発した52インチ長翼を採用することによって約4%の出力増加が、あるいは同一の電気出力とすればそれに相当する分の熱効率向上が図られることになる。一方、大容量化の面からとらえると、従来のTC6F-41型と43型では電気出力1,300 MW級が最大出力レベルであったが、TC6F-52型を採用すれば電気出力1,700 MW以上も可能となる。あるいは、電気出力1,100 MW級もTC4F-52型で可能ということになる。

1,500 r/min用52インチ長翼は、1,800 r/min用43インチ長翼の設計をベースとし、また、1,800 r/min用の52インチ長翼では、1,500 r/min用のものとは形状、寸法を変えて、1,800 r/min運転に最適な設計としてある。回転実証試験に使用した実物翼モデルロータは、最終段ディスクを実機と同一の形状に削り出し、これに実物試作した52インチ長翼1リング分を植え込んだものである(35ページの写真参照)。この実物試作を通じて、型鍛造技術や実体材料の強度試験、および翼加工技術を確立した。試験ではモデルロータを真空中の装置内に設置し、蒸気タービンで駆動して回転数を上昇させた。テレメータシス

表1 ABWRプラント用蒸気タービン・発電機設備の基本仕様(BWR-5プラント用従来設備との比較)

部はABWRプラントに採用された最新技術を示す。

項目		ABWRプラント		BWR-5プラント	
		50 Hz用	60 Hz用	50 Hz用*1	60 Hz用*2
原子炉	定格熱出力	3,926 MW	同左	3,293 MW	同左
	給水温度	215℃	同左	215.5℃	215.6℃
タービン	形式	TC6F-52	同左	TC6F-41	TC6F-43
	定格電気出力	1,360 MW級	同左	1,100 MW	1,137 MW
	主蒸気圧力	6.69 MPa(ゲージ)	同左	6.55 MPa(ゲージ)	同左
	回転数	1,500 r/min	1,800 r/min	1,500 r/min	1,800 r/min
復水器	定格真空度	5.07 kPa(abs)	同左	5.07 kPa(abs)	同左
	冷却管材料	チタン	同左	チタン	同左
	内蔵ヒータ	低圧4本	同左	低圧4本	同左
湿分分離加熱器	湿分分離加熱器	2段再熱式	同左	非再熱式	2段再熱式
主蒸気系	主蒸気管導入	サイドエントリーまたはフロントエントリー	同左	フロントエントリー	同左
復水給水	給水ポンプ	TDRFP×2台 MDRFP×2台	同左	TDRFP×2台 MDRFP×2台	同左
	ヒータドレン	ポンプアップ	同左	カスケード	同左
発電機	形式	TFLQQ・KD	同左	TFLQQ・KD	同左
	定格出力	1,550 MVA級	同左	1,300 MVA	1,280 MVA
	極数	4	同左	4	同左
	力率	0.9	同左	0.9	同左

注：略語説明ほか
abs(Absolute)
TDRFP(タービン駆動給水ポンプ)
MDRFP(電動機駆動給水ポンプ)
*1 東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所4号機
*2 中部電力株式会社浜岡原子力発電所4号機

テムによって得た回転中の翼振動数特性結果から、それぞれの回転数の52インチ長翼の振動特性が1,500 r/minや1,800 r/min運転に適していることを確認するとともに、定格速度の120%過速試験と長時間運転試験を通じて、52インチ長翼の信頼性を十分に確認することができた。

(2) 湿分分離加熱器の開発

最近、熱効率向上のために湿分分離加熱器を用いた再熱プラントが主流となっている。この再熱方式を適用することにより、従来の非再熱方式に比べて出力が約2%向上する。また、低圧タービン入口蒸気が乾き蒸気となるほか、低圧タービン内の蒸気湿り度が全体に浅くなるので、エロージョンの軽減も図ることができる。この湿分分離加熱器についても、実機大モデル試験などによって信頼性確認試験を完了し、国内向けBWRプラントとしては初めて電気出力1,137 MW機に適用した。

3. 湿分分離加熱器の配置

湿分分離加熱器は大型の圧力容器なので、その設置場所については十分に考慮を払わなければならない。また、高圧排気ノズルから湿分分離加熱器を経て低圧蒸気入口ノズルに連結する、クロスアラウンド管の本数と経路も重要な設計要素である。湿分分離加熱器をタービン運転床下に配置した例を図1に示す。このような配置では湿分分離加熱器を復水器のメンテナンススペースから外して、高圧タービン側にシフトした形で配置する必要があるが、湿分分離加熱器から各低圧タービンに延びるクロ

スアラウンド管の長さがほぼ等しくなるなど、良好な配管経路となっている。また、バタフライ形組合せ中間弁はクロスアラウンド管と同径のケーシング内に収まっており、ベンドのないスムーズな配管を可能としている。なお、この方式の配置では、定期検査時の分解部品レイダウンドでタービン運転床面を広く使えるというメリットがある。したがって、この方式は単一プラントを建設する場合や、隣接建屋にレイダウンドスペースを求めにくい条件下で利点がある。

4. 高効率化新技術

従来のプラントに適用していたデフューザ付き低圧排気室などの効率向上技術に加え、最新のAVN (Advanced Vortex Nozzle)を適用することにより、効率向上を図る。AVNを適用した最終段ダイヤフラムを図2に示す。AVN理論によってタービン段落(ノズルと動翼)を一括して解析し、最適化を図ったAVS (Advanced Vortex Stage)の開発を完了しており、これによるいっそうの高効率化も可能である。なお、AVNとAVSの効果が火力機で確認できた後は、火力機だけでなく、原子力機へも適用を図っていく考えである。

5. 自動ボルト締めつけ用ボルトテンショナ装置

定期点検時の省力化、日数の短縮化につながる道工具として、自動ボルト締めつけ用ボルトテンショナ装置についても評価を進めている。蒸気タービン設備に使用さ

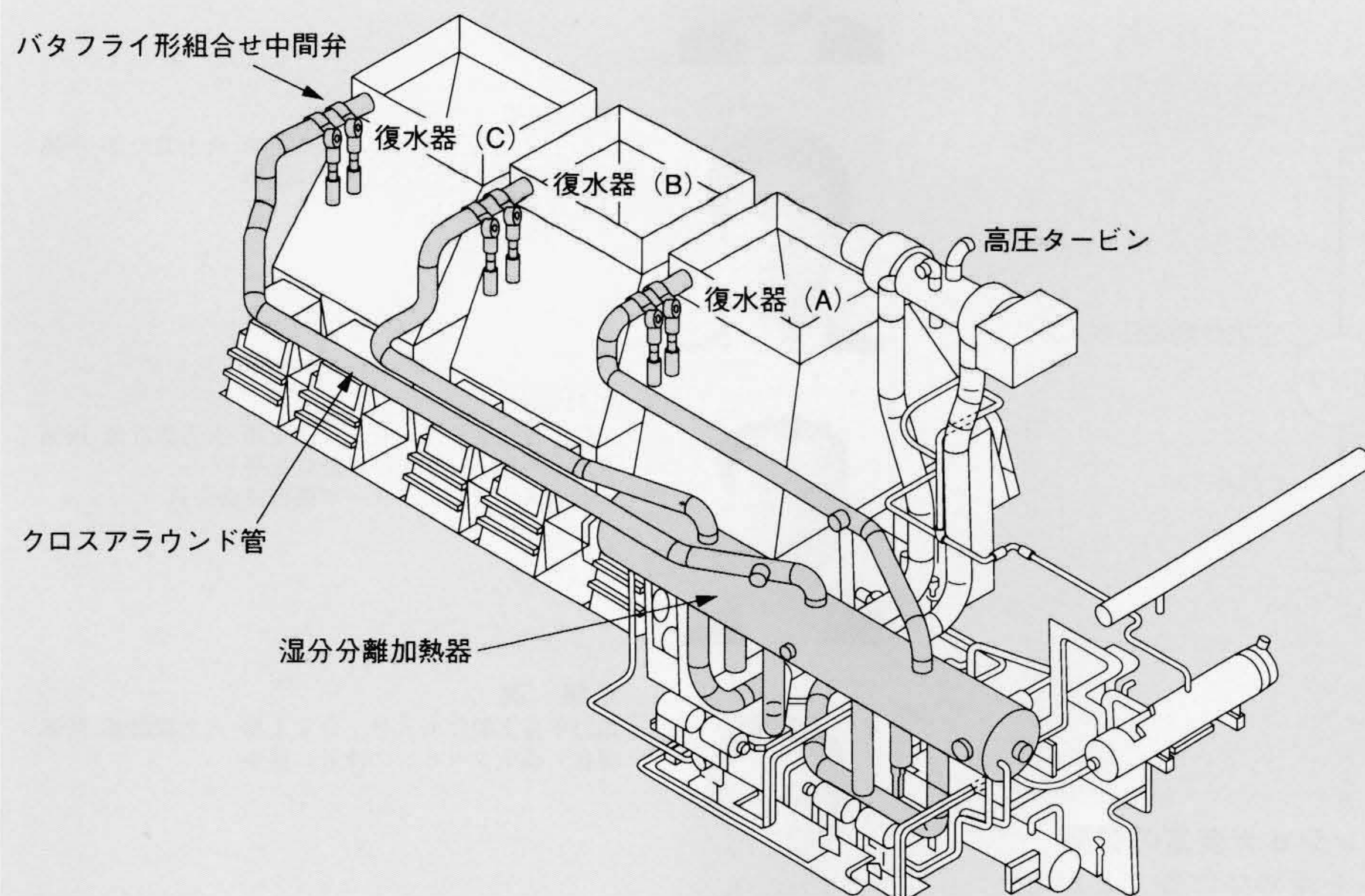


図1 湿分分離加熱器をタービン運転床下に配置した例
運転床下に湿分分離加熱器を配置することにより、定期検査時のレイダウンドスペースが広く確保できるなどのメリットが得られる。

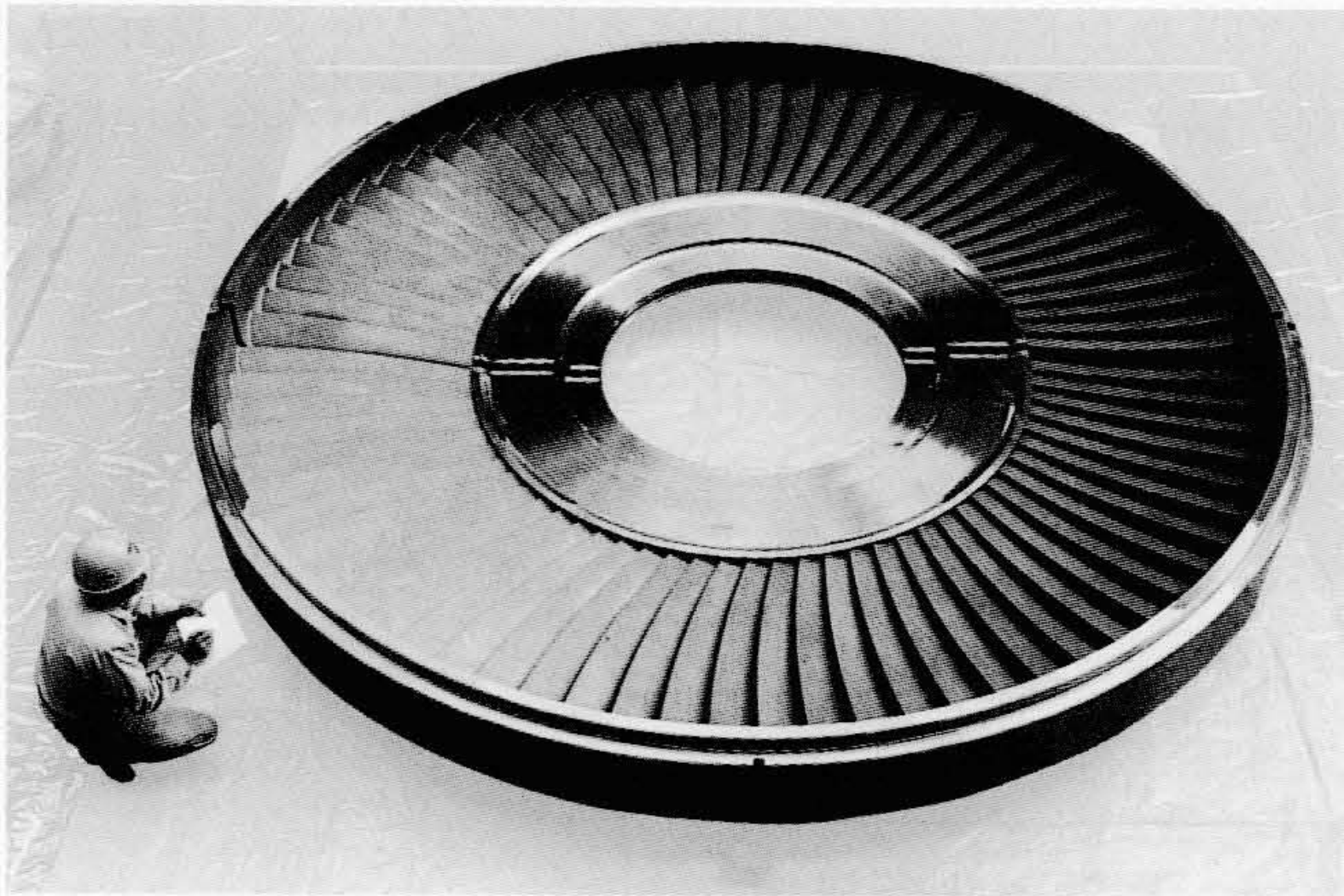


図2 高性能AVN

ABWR用蒸気タービンでは、全段落に新ノズルを採用することができる。

れている大口径ボルトを対象として、短時間に、かつ信頼性の高い油圧または水圧式(粘性水を使用)による装置を運用することにより、機器の信頼性向上とプラント定検期間の短縮、熟練作業の削減に寄与する。主蒸気止め弁に適用する場合の概要を図3に示す。

新型テンショナ装置により、分解、組立のハンドリング作業が容易になっただけでなく、ボルトの加熱・冷却作業を含めた作業期間の短縮効果を最大限に生かすことができるようになった。高圧ケーシングや低圧内部ケーシングなどの大口径ボルトを使用している部品に対しても適用することができる。

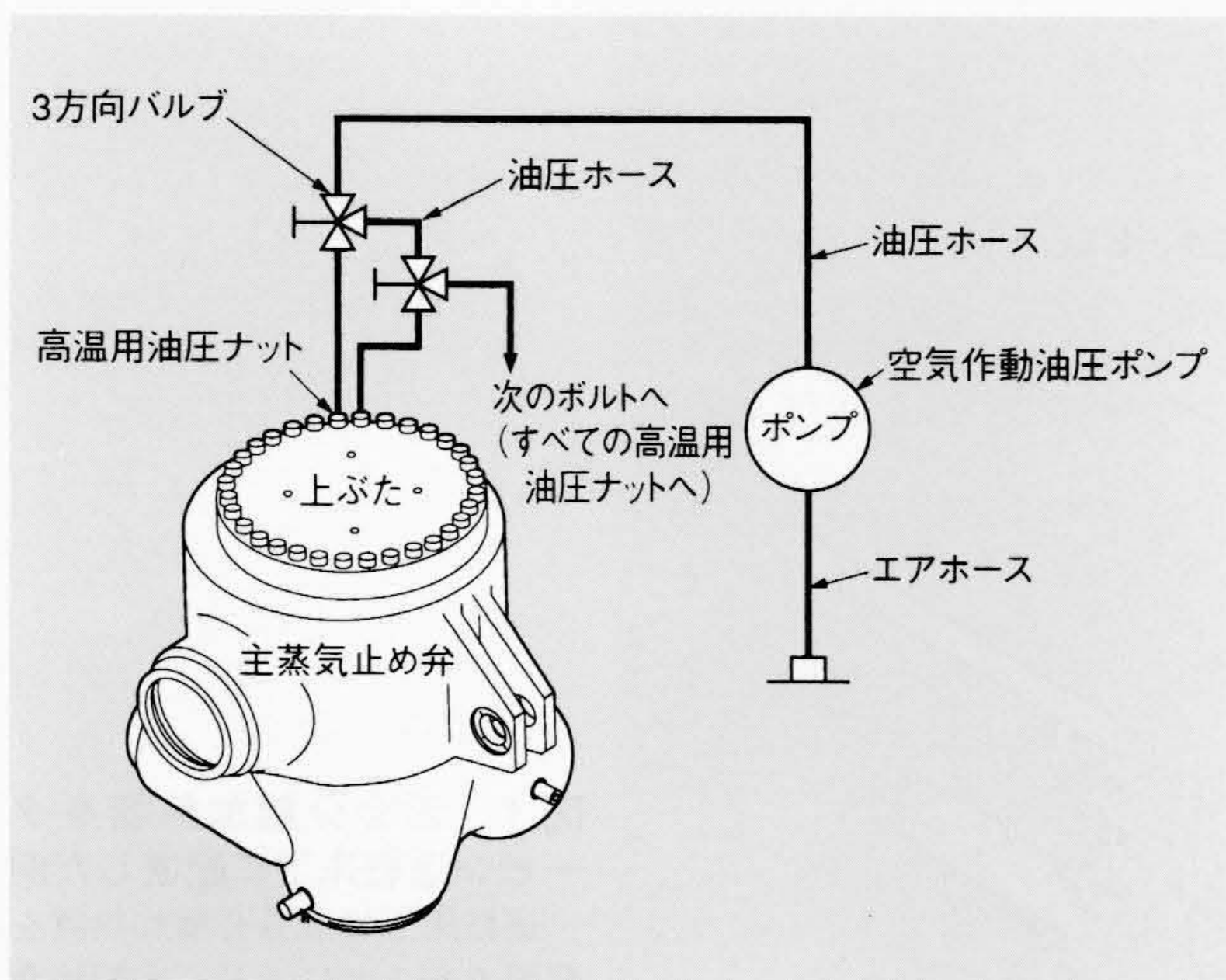


図3 自動ボルト締めつけ用ボルトテンショナ装置の概要

油圧によって全数の高温用油圧ナットを締めつけることができる。

6. おわりに

ここでは、原子力発電用大容量蒸気タービンの新技術について述べた。

ABWRプラント用蒸気タービン設備は、従来の原子力用プラントでの運転で得られた経験と、すでに開発実証された技術を集大成した最新鋭機となっている。現在、実プラント向けとして、いっそうの信頼性向上のために、開発した52インチ長翼を使用したTC6F-52形蒸気タービンの具体的設計を進めている。

参考文献

- 1) 久野：原子力用蒸気タービン技術の現状と課題，日本原子力学会誌，27，11，21～27(1985-11)
- 2) 荒川，外：BWR高効率蒸気タービン系の技術開発，日本機械学会講演論文集，870-10，288～293(1987-11)
- 3) 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61-4)
- 4) 森谷，外：原子力発電用タービン・発電機設備新技術，日立評論，70，4，387～394(昭63-4)
- 5) 森谷，外：BWRタービン設備の新技術，日立評論，72，10，1019～1026(平2-10)
- 6) 池内，外：大容量蒸気タービン用52長翼の開発，火力原子力発電，37，1，34～44(1986-1)
- 7) 山口，外：浜岡4号機湿分分離加熱器の設計と試運転実績，火力原子力発電，45，9，36～45(1994-9)

執筆者紹介



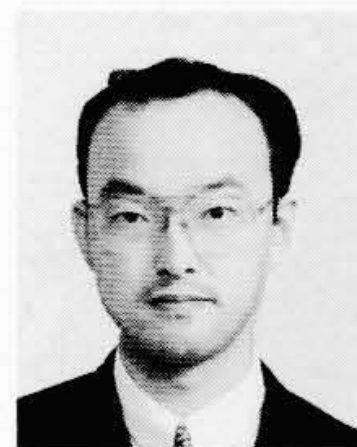
古川雅夫

1978年日立製作所入社，日立工場 火力設計部 所属
現在，蒸気タービンの設計に従事
日本機械学会会員



柴下直昭

1980年日立製作所入社，日立工場 火力設計部 所属
現在，蒸気タービンの設計に従事
日本機械学会会員



高野 剛

1985年日立製作所入社，日立工場 火力設計部 所属
現在，蒸気タービンの設計に従事
日本機械学会会員，ターボ機械協会会員



斎藤 茂

1971年日立製作所入社，日立工場 火力設計部 所属
現在，蒸気タービンの設計に従事