

原子力発電用タービン・発電機設備新技術

Recent Technology for Nuclear Steam Turbine-Generator Units

現状の電気出力1,100 MW級に続く次期原子力発電プラントとしては、ABWRの技術開発が完了し実プラントの建設計画が進められている。

このプラントに適用される電気出力1,350 MWe級蒸気タービン・発電機設備についても、52インチ長翼を用いたTC6F-52型蒸気タービン、湿分分離加熱器、バタフライ型中間弁、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及び熱効率向上のための新技術が採用された。

本論文では、それらの中から主要なものの概要と実プラントへ適用するに当たっての検討状況について述べる。

森谷新一* Shin'ichi Moriya
桑島英純* Hidesumi Kuwashima
上野 健* Takeshi Ueno
大井 証雄* Masao Ooi

1 緒 言

原子力用蒸気タービンは、現状の最高出力機である電気出力1,100 MW級のものは50 Hz用2台と60 Hz用1台が営業運転に入っている。今後建設が計画されている次期大容量ABWR(改良型沸騰水型原子炉)用の電気出力1,350 MW級蒸気タービン設備については、必要な技術開発が完了している。ABWR用蒸気タービン系の技術分野については、主機だけでなく設備全体の良い経済性、信頼性と熱効率を目指したプラント総合技術の向上が推進された^{1)~3)}。

実機の建設計画が進められている50 Hz用ABWRプラントの蒸気タービン設備の基本仕様を表1に、また、このタービン設備に適用した主な新技術の採用状況を図1に示す。なお、二重枠で囲んだ技術はABWRプラントで初めて採用したものである。

以下に、これらの新技術の概要について紹介する。

2 蒸気タービン

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た。表2に50 Hz、60 Hz用蒸気タービンの仕様を、図2に50 Hz用TC6F-52型機の構造を示す。この機械では、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いるが、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⁴⁾

日立製作所では、昭和60年に1,500 min⁻¹{rpm}用52インチ長翼の開発を完了し、引き続いて昭和61年には1,800 min⁻¹{rpm}用52インチ長翼を完成した。図3に、この2種の52インチ長翼を並置して示す。

従来の最大長翼は、1,500 min⁻¹{rpm}用では41インチ、1,800 min⁻¹{rpm}用では43インチであった。新しく開発された52インチ長翼を採用することによって、約40%の出力増

表1 ABWRプラント用蒸気タービン・発電機設備の基本仕様

本表は50Hz用ABWRの蒸気タービン・発電機設備を示す。原子炉熱出力19.2%増に対して、電気出力23.3%増とした高効率形プラントである。更に、BOP(タービン・発電機設備)建屋ボリュームは同等とした設備効率の高い構成のプラントである。

項 目	ABWRプラント	BWR-5プラント (東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所5号機)
1.原子炉 ・定格熱出力 ・給水温度	3,926 MW 215℃	3,293 MW 215℃
2.タービン・型式 ・定格電気出力 ・主蒸気圧力 ・回転数	TC6F-52 1,356 MW 6.79 MPa{69.2 kgf/cm ² {abs}} 1,500 min ⁻¹ {rpm}	TC6F-41 1,100 MW 6.65 MPa{67.8 kgf/cm ² {abs}} 1,500 min ⁻¹ {rpm}
3.復水器 ・定格真空度 ・冷却管材料 ・内蔵ヒータ	96.3 kPa{722 mmHg} チタン 低圧4本	96.3 kPa{722 mmHg} チタン 低圧4本
4.湿分分離・型式 /加熱器	2段再熱式	非再熱式
5.主蒸気系・主蒸気管導入 ・バイパス容量	サイドエントリ 33%	フロントエントリ 100%
6.復水給水・給水ポンプ ・ヒータドレン	TDRFP×2台, MDRFP×1台 ポンプアップ	TDRFP×2台, MDRFP×2台 カスケード
7.発電機 ・型式 ・定格出力 ・極数 ・力率	TFLQQ・KD 1,540 MVA 4 0.9	TFLQQ・KD 1,300 MVA 4 0.9

注：略語説明 ABWR(改良型沸騰水型原子炉)
BWR(沸騰水型原子炉)
TDRFP(タービン駆動給水ポンプ)
MDRFP(電動機駆動給水ポンプ)

* 日立製作所日立工場

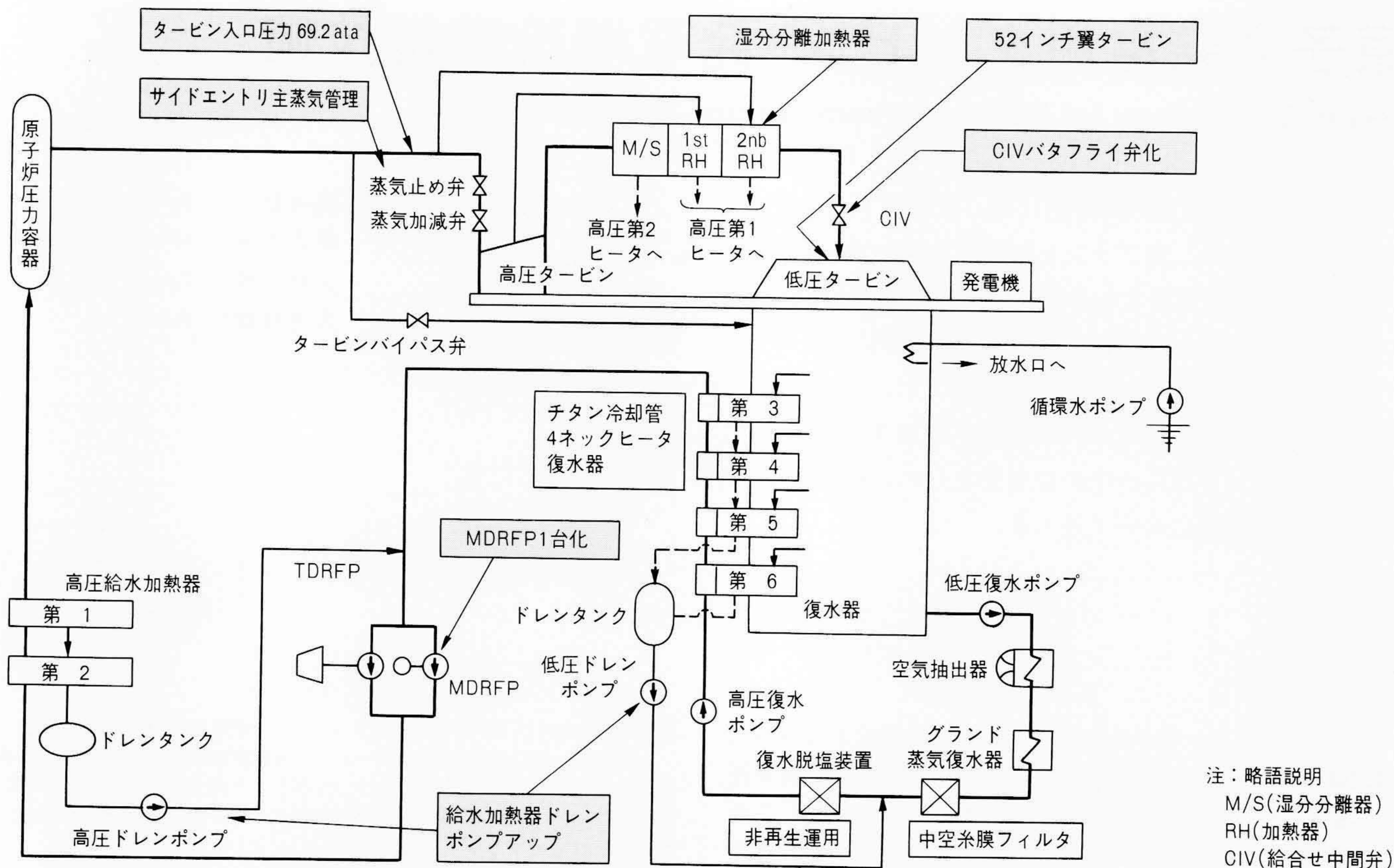


図1 ABWRプラント用蒸気タービン・発電機設備の技術的特徴 各々の構成要素に最新技術が適用され、高効率で信頼性の高いシステムとなっている。なお、二重枠でかこった技術は、ABWRプラントに初めて採用したものである。

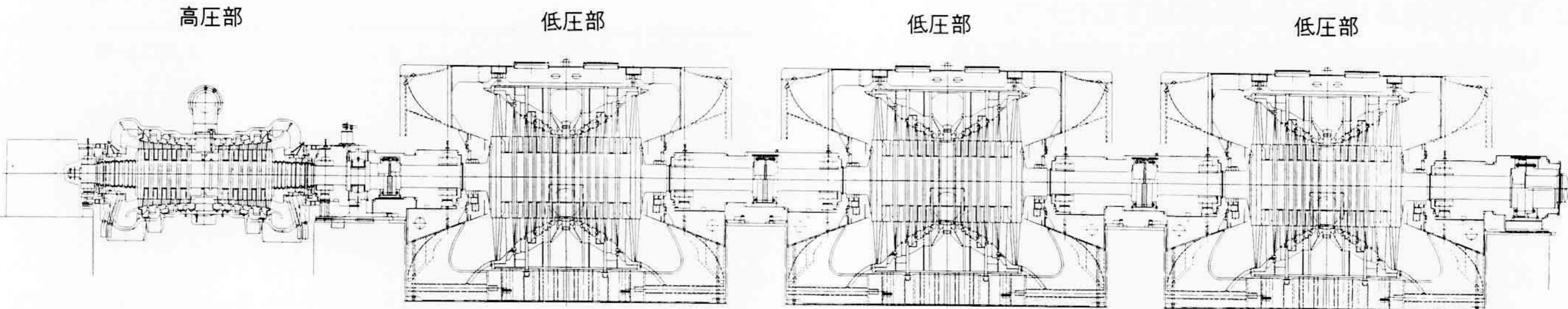


図2 TC6F-52形原子力用タービンの構造 本図は1,500 min⁻¹ {rpm} 用電気出力1,356 MW機の断面構造を示したものである。

表2 ABWRプラント用蒸気タービンの主要諸元 ABWRプラント用蒸気タービンでは、5インチ長翼及び湿分分離加熱器の採用によって効率向上を図っている。

		50 Hz用		60 Hz用	
型	式	TC6F-41形	TC6F-52形	TC6F-43形	TC6F-52形
段落数	高圧	8段×2流	9段×2流	6段×2流	6段×2流
	低圧	9段×6流	7段×6流	8段×6流	7段×6流
最終段落	翼長(mm)	1,041.4	1,320.8	1,092.2	1,320.8
	平均径(mm)	3,505.2	4,064.0	3,352.8	3,860.8
高圧部軸受スパン(mm)		8,077.2	8,382	7,600	7,600
低圧部軸受スパン(mm)		8,255	7,544	7,506	7,544
低圧排気口寸法(mm)		幅7,518×長さ10,058	幅9,042×長さ10,058	幅7,518×長さ9,058	幅7,518×長さ10,058
タービン全長(m)		47.7	49.6	44.6	48.2
湿分分離加熱器		横形、つり下げ式 50%容量×2基	横形、つり下げ式 50%容量×2基	横形、つり下げ式 50%容量×2基	横形、つり下げ式 50%容量×2基

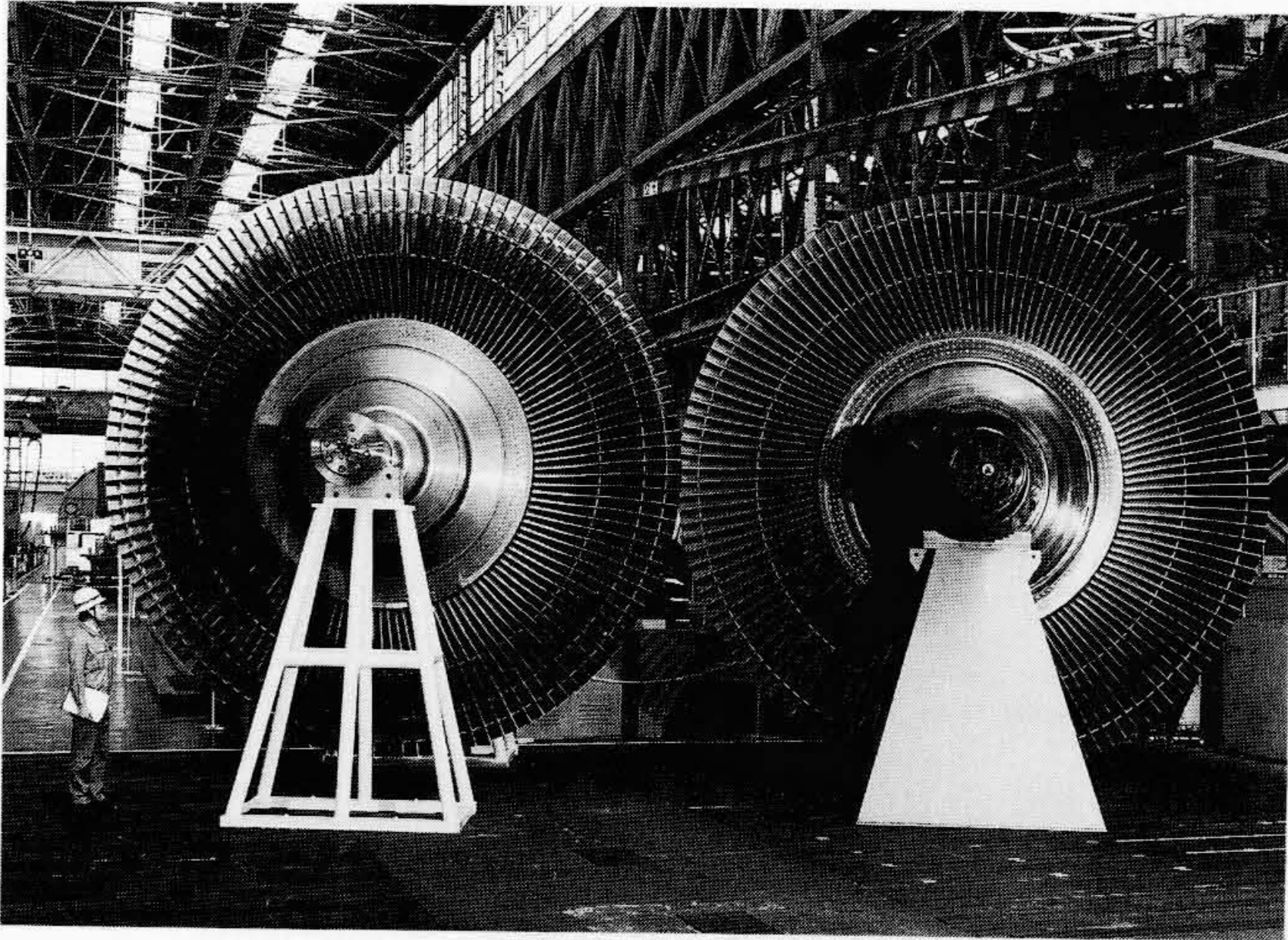


図3 52インチ長翼の実物翼試験ロータ 右側に1,500 min⁻¹ {rpm} (50 Hz)用を、左側に1,800 min⁻¹ {rpm} (60 Hz)用を示す。この実物翼試験ロータによって52インチ長翼の回転実証試験を実施し、高い信頼性を確認している。

加が、あるいは同一の電気出力とすれば約2%の熱効率向上が図られることになる。熱効率向上の具体例として、熱出力3,926 MWtのABWRプラントについて示せば、従来のTC6F-41型では電気出力が1,300 MWであるのに対し、TC6F-52型では電気出力1,350 MWに増加する。一方、大容量化の面からとらえると、従来のTC6F-41型又はTC6F-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型とすれば電気出力1,700 MW以上の出力も可能となる。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。しかし、実際のプラントでは電気出力1,100 MW級は従来技術で標準化が進められているので、今後の標準出力とされる電気出力1,350 MW級のプラントに52インチ長翼を採用して、主として熱効率の向上を期待することになる。

(2) ロータ系の設計新手法の開発

大容量蒸気タービン・発電機のロータ系は、信頼性確保のために重要な因子であるが、最近、送電系統での電気的外乱、例えば落雷、再閉路などによる電気ショックや主変圧器の切離し時に起こる電気ショックなどによって発電機ロータが電氣的に励振され、この励振力によってロータ系全体にねじれ振動を発生するとともに、低圧ロータに植えられている長翼も励振されるという現象が検討項目に加えられるようになってきている⁵⁾。

日立製作所では、現在までに大容量機のロータ系の翼-軸連成振動の解析プログラムを作成し、各々の実プラントのロータ系の解析を推進している⁶⁾。更には、実機タービンでの振動数を測定することによって解析計算精度の確認が望まれる。

(3) 湿分分離加熱器の開発

最近では、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

とによって、従来の非再熱方式に比べ出力が約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られる。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て、現在計画中の国内向け電気出力1,137 MW機に適用するための実施設計が進められている。

湿分分離加熱器の構造を図4に示す。これから分かるように、一つの横長の胴体の内部には、2群の湿分分離器と第1段及び第2段加熱チューブが配置されており、胴体の下部には被加熱蒸気導入管(4本)及びドレン排出管(6本)が接続されている(ただし、計画中の電気出力1,137 MW用のものでは湿分分離器ドレンタンクを胴体に直結した設計としている)。また、胴体の上部には乾き蒸気出口管(3本)が接続されており、胴体両端部には加熱用蒸気管(8本)とベント蒸気管(4本)が接続されている。このように湿分分離加熱器は全長33 mの超大形圧力容器であるとともに多数の配管に接続された構造となっているので、運転中の分離ドレンを含む自重と熱変形による応力、及び配管の熱伸びによる反力がクロスアラウンド管系に及ぼす影響について綿密な検討が行われた。更に、地震発生時の信頼性については図5に示すモデル装置によって、緩衝機構の機能の確認と振動特性の測定を行った。この試験では、大型加振器を用いて、国内原子力発電プラントに適用されている中でも最大級の加速度 4.5 m/s^2 で加振試験を実施し、実機設計に反映した。

3 制御システム

蒸気タービン制御には、製作実績と運転経験のあるデジタル電子油圧制御装置、及び大口徑タービンバイパス弁を使

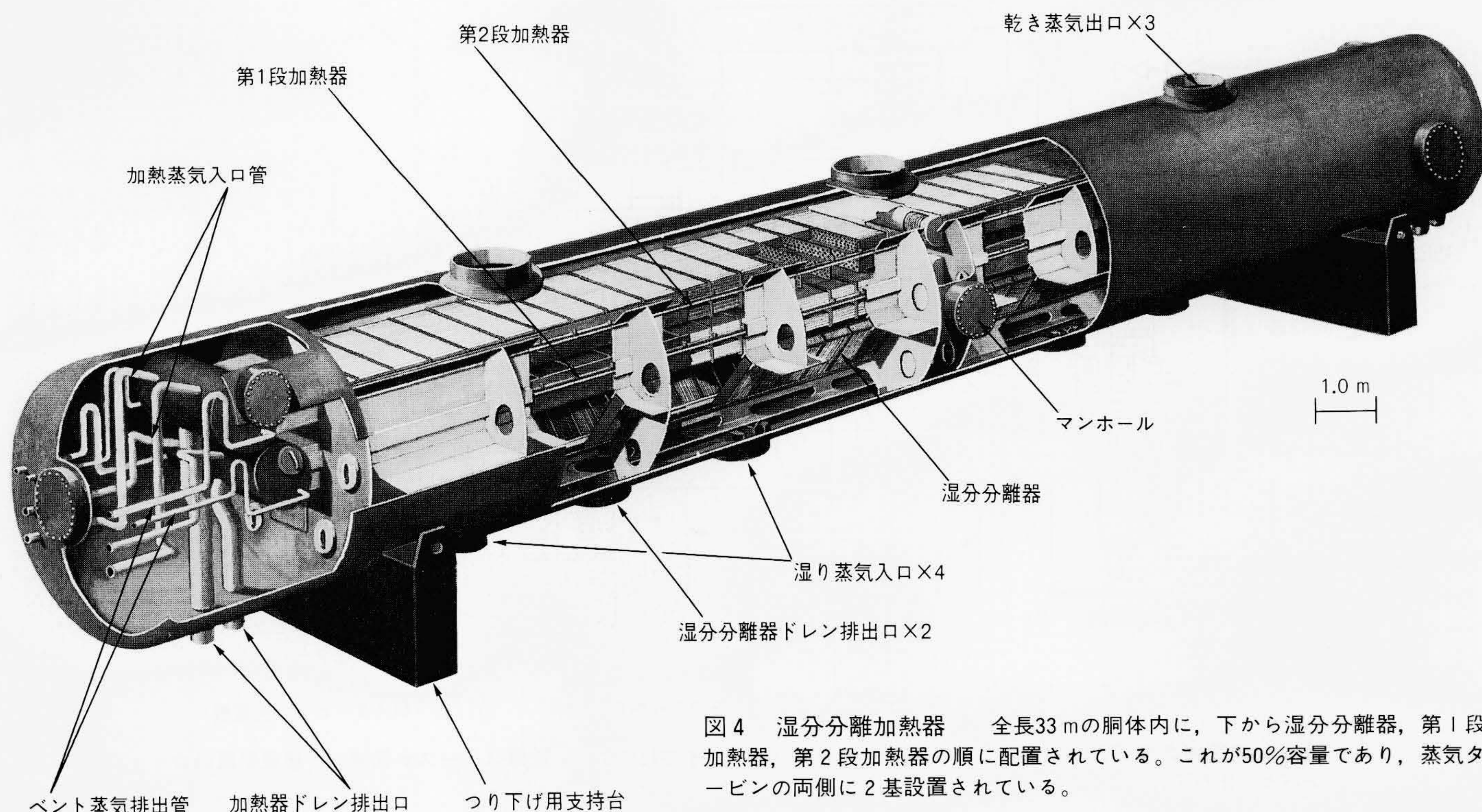


図4 湿分分離加熱器 全長33 mの胴体内に、下から湿分分離器、第1段加熱器、第2段加熱器の順に配置されている。これが50%容量であり、蒸気タービンの両側に2基設置されている。

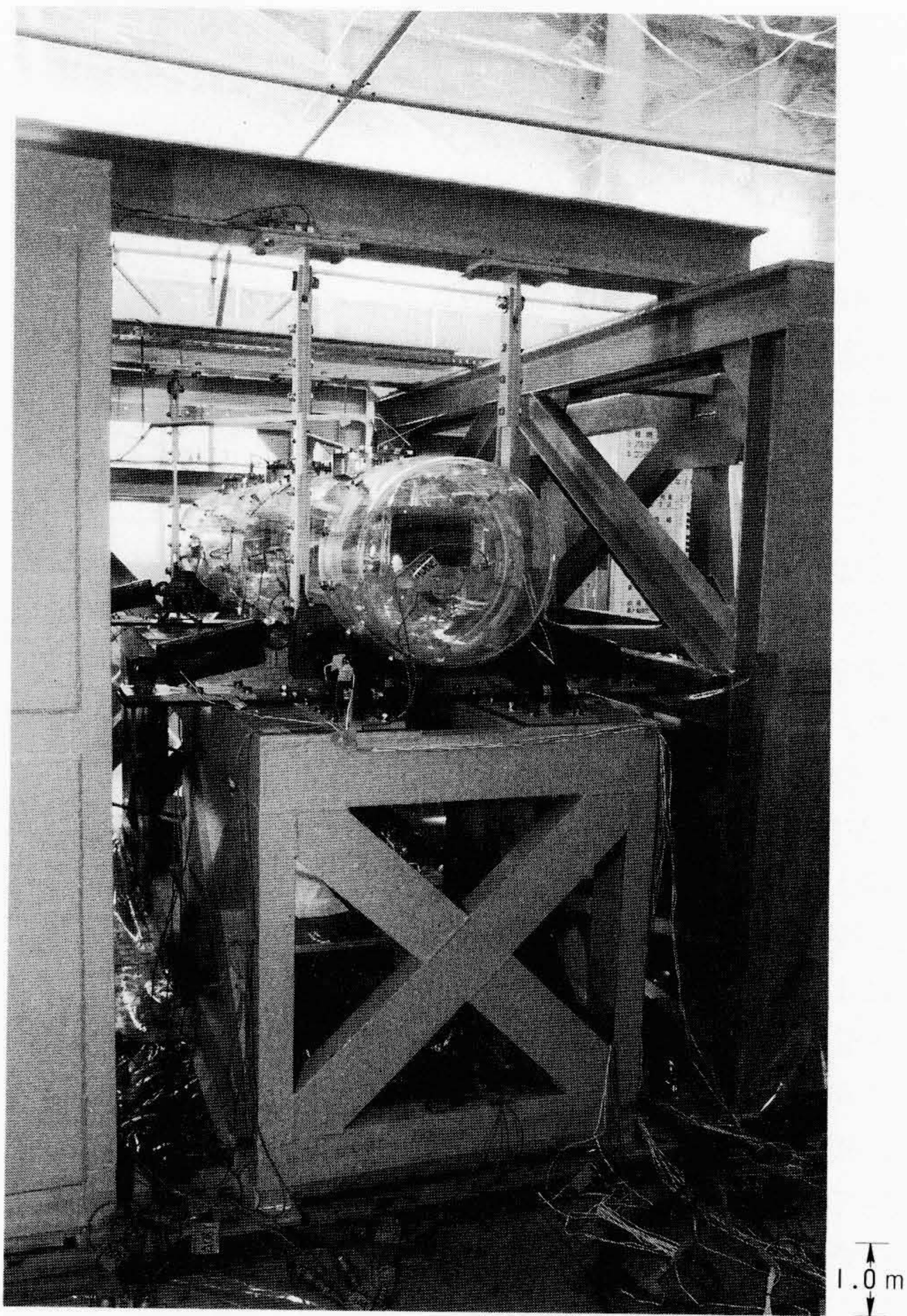


図5 縮小モデルによる湿分分離加熱器の耐震評価試験 20 Mg 3次元振動台上に、 $\frac{1}{10}$ スケールモデルとそれに接続する配管を模擬した装置を設置して、国内原子力地点の最高レベルの設計震度となる加速度 4.5 m/s^2 で加振して、耐震強度の確認と緩衝機構の確認を行った。

用する。更に、従来の組合せ中間弁(インタセプト弁と中間蒸気止め弁)をバタフライ形弁にすることによって弁のコンパクト化を図っている。

この中間弁の機能としては、負荷遮断及びタービントリップ時に急閉して、タービンの速度上昇を防止すること、及び負荷遮断後クロスアラウンド管と湿分分離加熱器内に残留した蒸気を、低圧タービンに排出しながらタービンの速度制御を行うことである。

従来の組合せ中間弁とバタフライ形中間弁の構造、配置の比較を図6に、バタフライ形中間弁の構造を図7に示す。

バタフライ形弁化することによって配置スペースが低減し、遮へい鉄板もコンパクトになるので、定期検査時の機器レイダウン面積が増加する。更に、バタフライ形弁一式を取り外し、任意の場所で分解・点検が可能で、部品点数も少なくなり保守・点検が容易になる。

また、バタフライ形弁は管路の一部を構成し蒸気流の方向を変えないので圧力損失が少なく、熱効率向上効果もある。

中間弁用バタフライ形弁の開発に当たり、 $\frac{1}{3}$ の縮小モデルによる空気試験によって、流れ特性(圧力損失、流量特性、圧力変動など)の確認を行った。次に、実機大のバタフライ形弁を製作して、制御性(急閉特性、動特性、静特性、駆動力など)及び信頼性(強度、振動、変形、シール性、耐久性など)の確認を蒸気試験によって行った。この試験状況を図8に示す。また、有限要素法による流れ解析、強度解析及び急閉特性のシミュレーション解析を行い、試験結果の検討、評価に用いた。バタフライ形弁の圧力損失特性は、試験結果でも、全開時で従来弁の $\frac{1}{2}$ 以下であることが確認できた。

バタフライ形弁は、配管ルートによってインタセプト弁と中間蒸気止め弁とに分けることも、一体のケーシング内に収

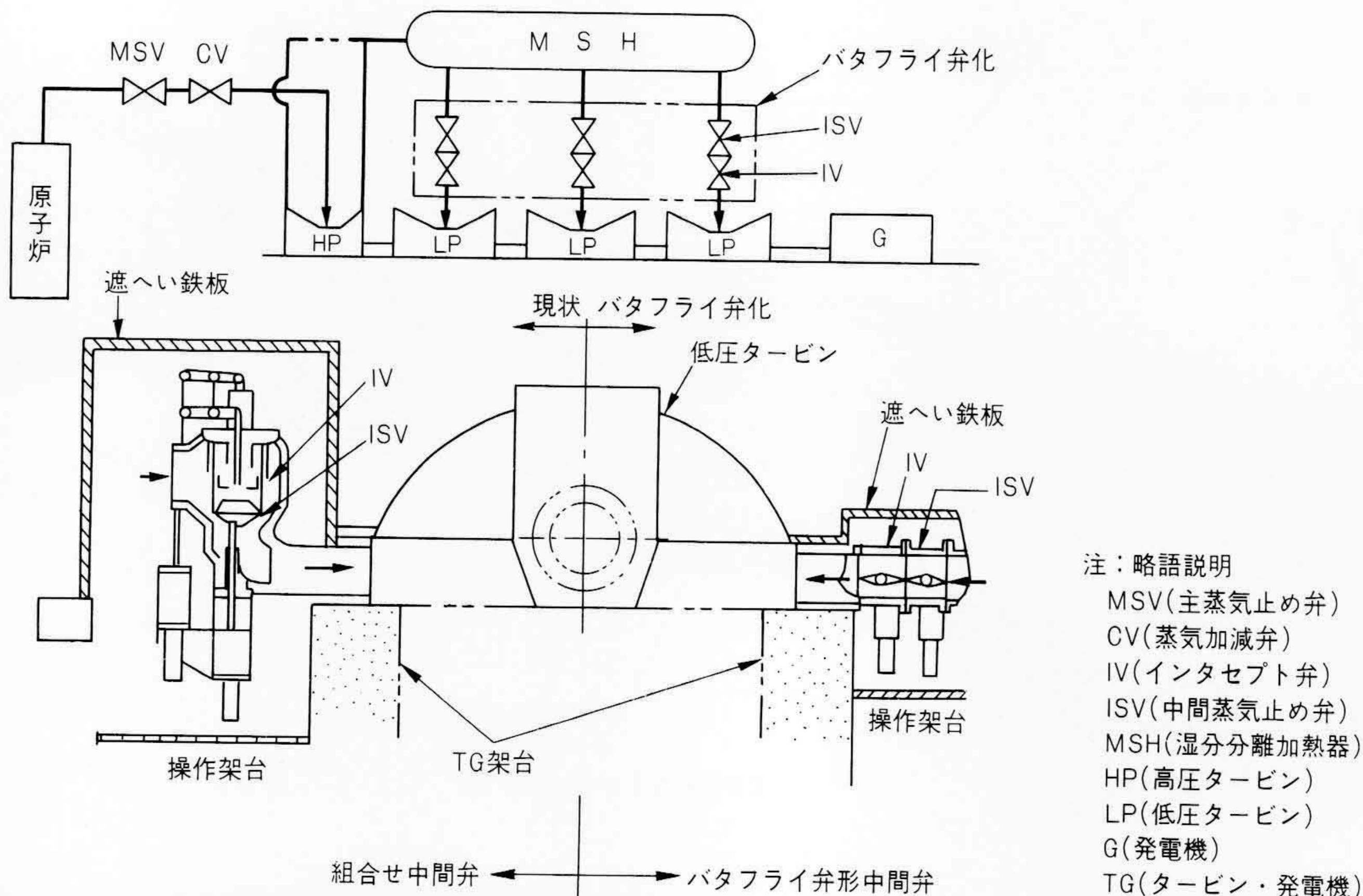


図6 中間弁の構造配置比較 タービン中間弁のバタフライ弁化により、配置スペースが低減し、建屋配置のコンパクト化が図れる。

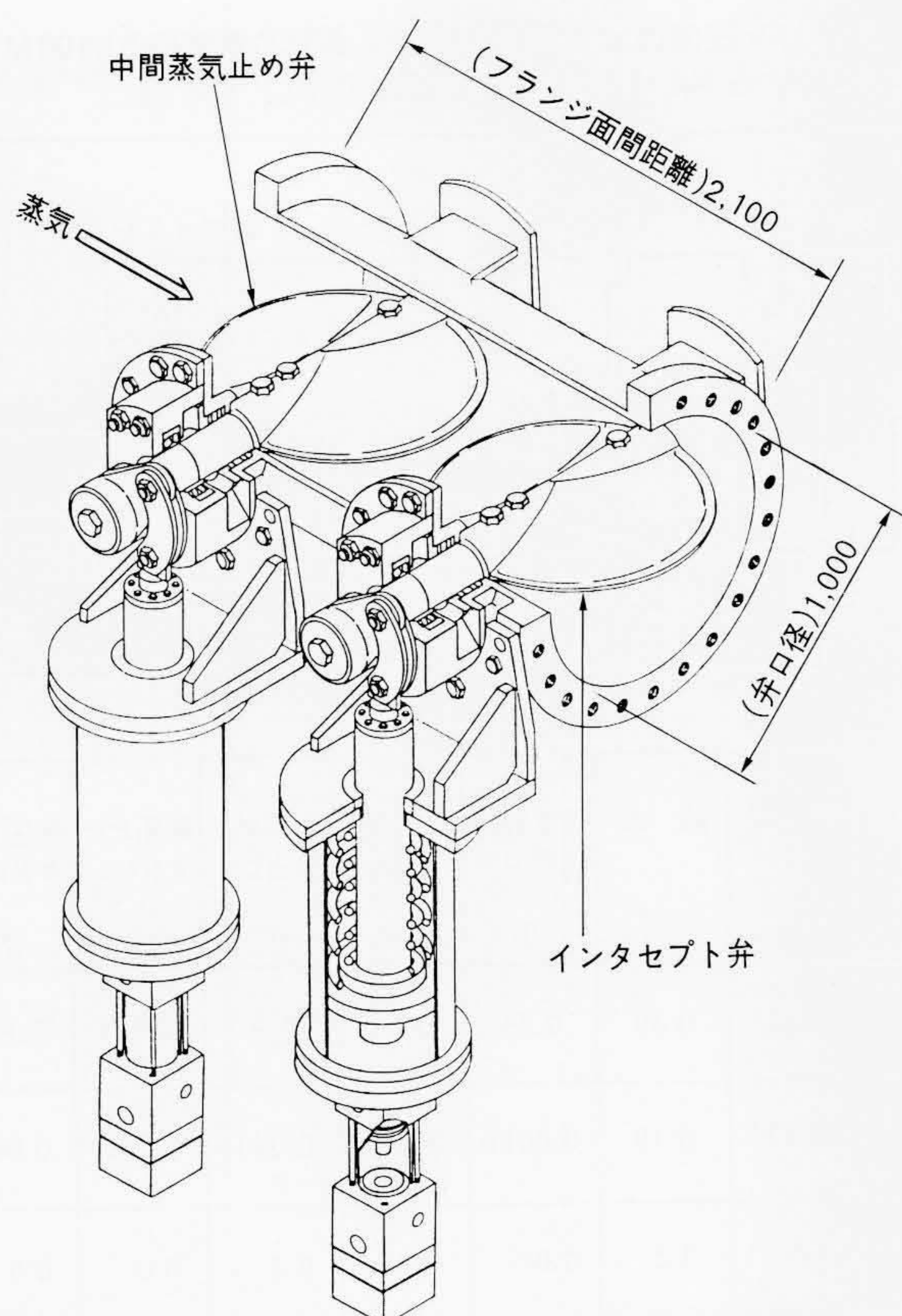


図7 バタフライ形中間弁 一つの弁ケーシング内に、中間蒸気止め弁とインタセプト弁が内蔵されている。また設置スペースに制約のある場合には、それぞれの弁を別体とすることも可能である。

めることも可能である。

4 復水、給水システム

ABWRの復水給水システムでも設備全体のスケールアップを図るとともに、経済性向上のために種々の新技術を導入している。以下に、その特徴について述べる。

4.1 復水給水システム

復水給水系の全体構成と採用技術については先の図1に示したが、その主な特徴としては下記がある。

- (1) 復水器は、先行電気出力1,100 MW級BWRで建設及び運転実績のある、チタン管チューブと4ネックヒータ復水器を採用している。
- (2) 給水加熱器の構成は、先行BWR(沸騰水型原子炉)と同じく高圧2段×2系列、低圧4段×3系列としているが、後述する給水加熱器ドレンアップシステムの採用によって、設備の合理化と性能の向上を図っている。本ドレンアップシステムでは、復水浄化系の容量低減だけでなく、復水器ネックヒータの軽量化にも寄与するものであり、ちなみに低圧給水加熱器の寸法は先行電気出力1,100 MW級BWRよりもコンパクトになっている。
- (3) 復水浄化系は、二重式浄化が近年の標準形式となっている。前置ろ過装置は従来のプリコート式に対して、新技術である非助剤型(中空糸膜)フィルタを3基設置している。本型式のフィルタは、既に稼動中プラントにも追設がなされてい

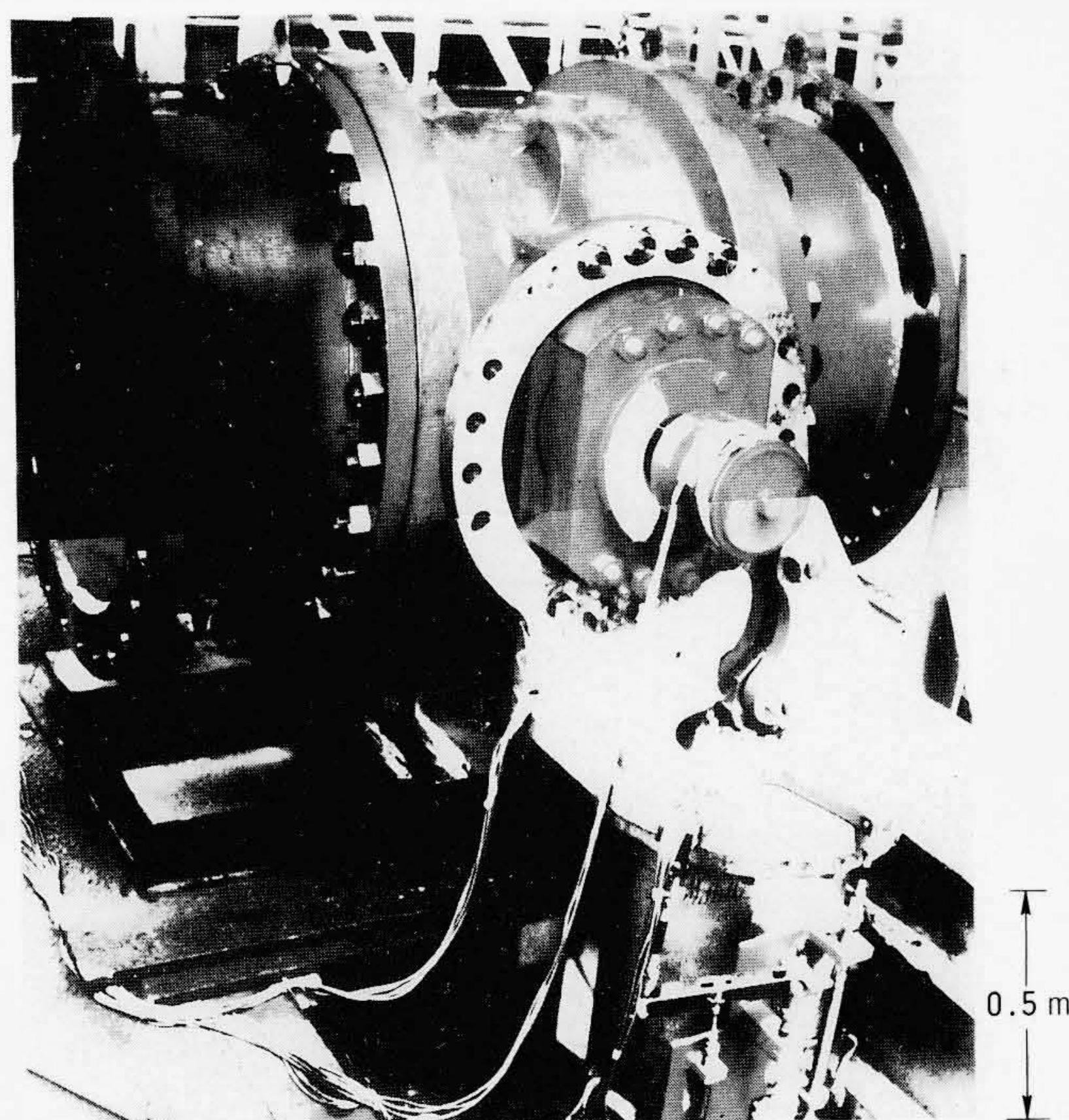


図8 実機大バタフライ弁試験状況 実機大(弁口径1,000 mm)のバタフライ弁を製作し、蒸気試験によって制御性、信頼性の確認を行った。

るものもある。復水脱塩装置は混床式を6基設置しているが、タービン設備に耐食材料を使用した先行BWRでの良好な非再生運用の実績を反映して、ABWRでも非再生運用方式で検討している。

- (4) 以上の復水浄化系の容量低減と新技術の採用及び廃棄物処理設備の改善も考慮すると、廃棄物発生量は従来の約20%程度に低減し、処理設備容量の低減にも寄与している。

- (5) 原子炉給水ポンプは、従来50%容量のタービン駆動を2台と25%容量の予備電動機駆動を2台設置していたが、実機プラントでの運用法を検討して、1台としても信頼性を損なわないという結論を得たので、予備の電動機駆動給水ポンプは1台としている。

4.2 給水加熱器ドレンアップシステム

従来、国内BWRプラントでは原子炉給水水質の確保と従事者が受ける放射線量低減の観点から、給水加熱器ドレンの全量を復水器にカスケードし、復水浄化装置で処理する方式が採用されていた。しかし、クラッド低減技術を採用した最新プラントの水質上の良好な運転実績を考慮し、ABWRでは給水加熱器ドレンを直接復水系に回収するドレンアップシステムを採用している。

図9、10に高圧及び低圧ドレンポンプアップの概略構成を示す。高圧ドレンアップ系では、高圧給水加熱器ドレンを1個の高圧ドレンタンクに回収し、ドレンポンプによって昇圧し給水ポンプの吸込側に回収する。低圧ドレンアップ系では、ドレン水質上の配慮から復水脱塩装置の上流側に回収している。通常運転中はドレンポンプ出口に設置された水位調節弁でドレンタンク水位一定制御を行い、起動・停止時及び過渡変化時の余剰ドレンを処理するために復水器への排出ラインを設置している。

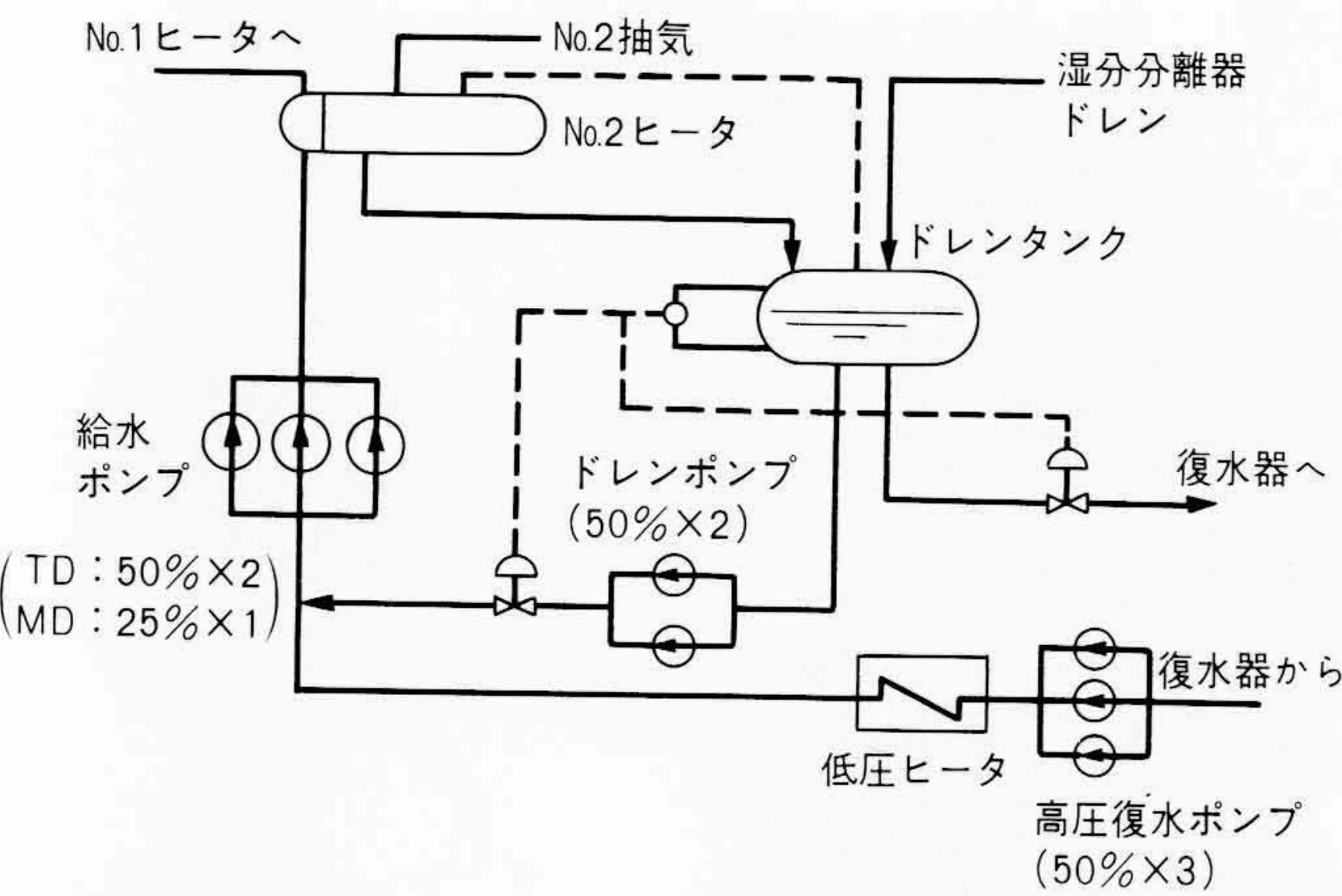


図9 高圧ヒータドレンポンプアップ系概略構成 第2給水加熱器ドレンをドレンタンクに回収した後、給水ポンプ吸込側にポンプアップする。

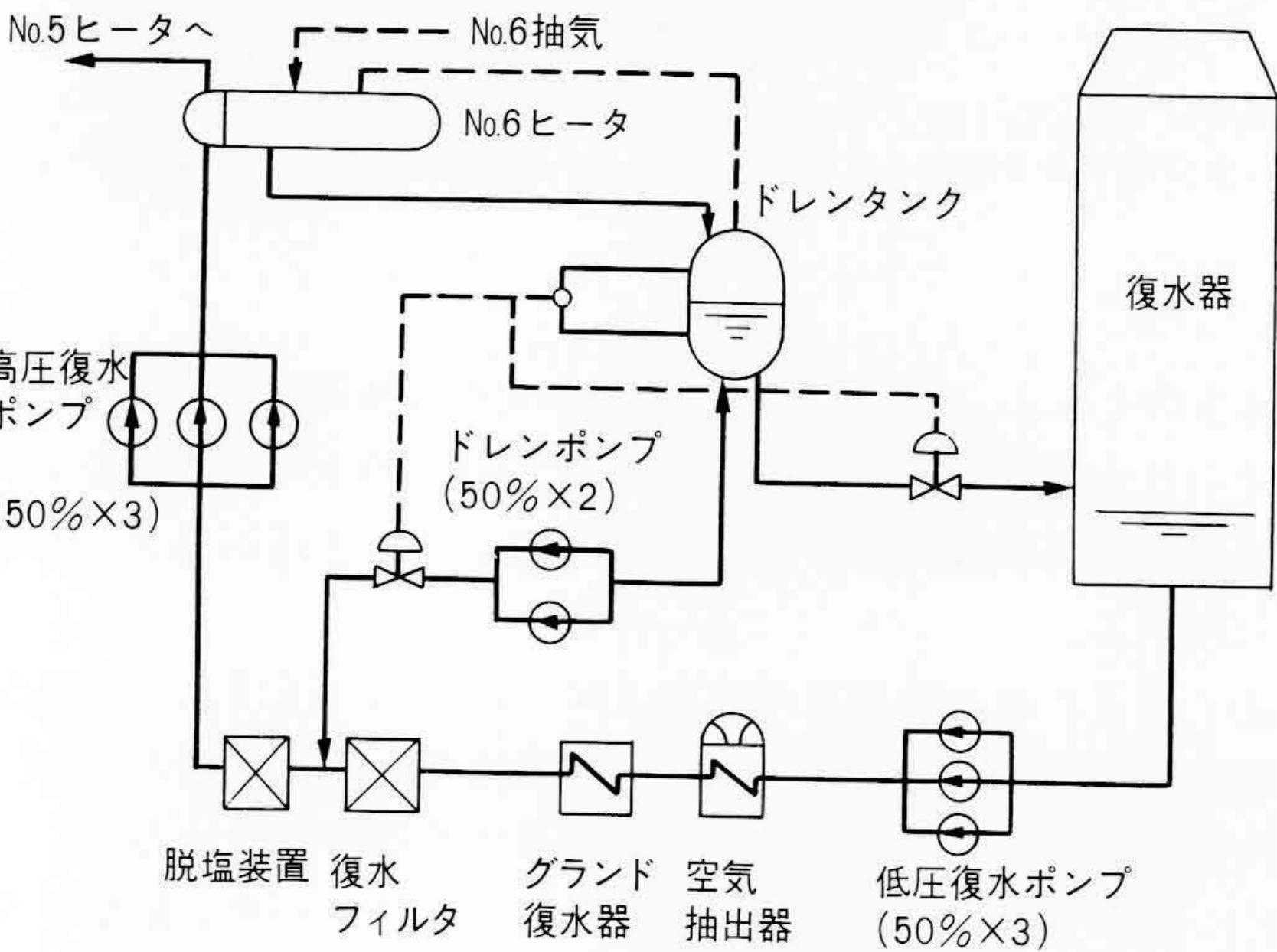


図10 低圧ヒータドレンポンプアップ系概略構成 第6給水加熱器ドレンを、復水脱塩装置の上流側にポンプアップする。

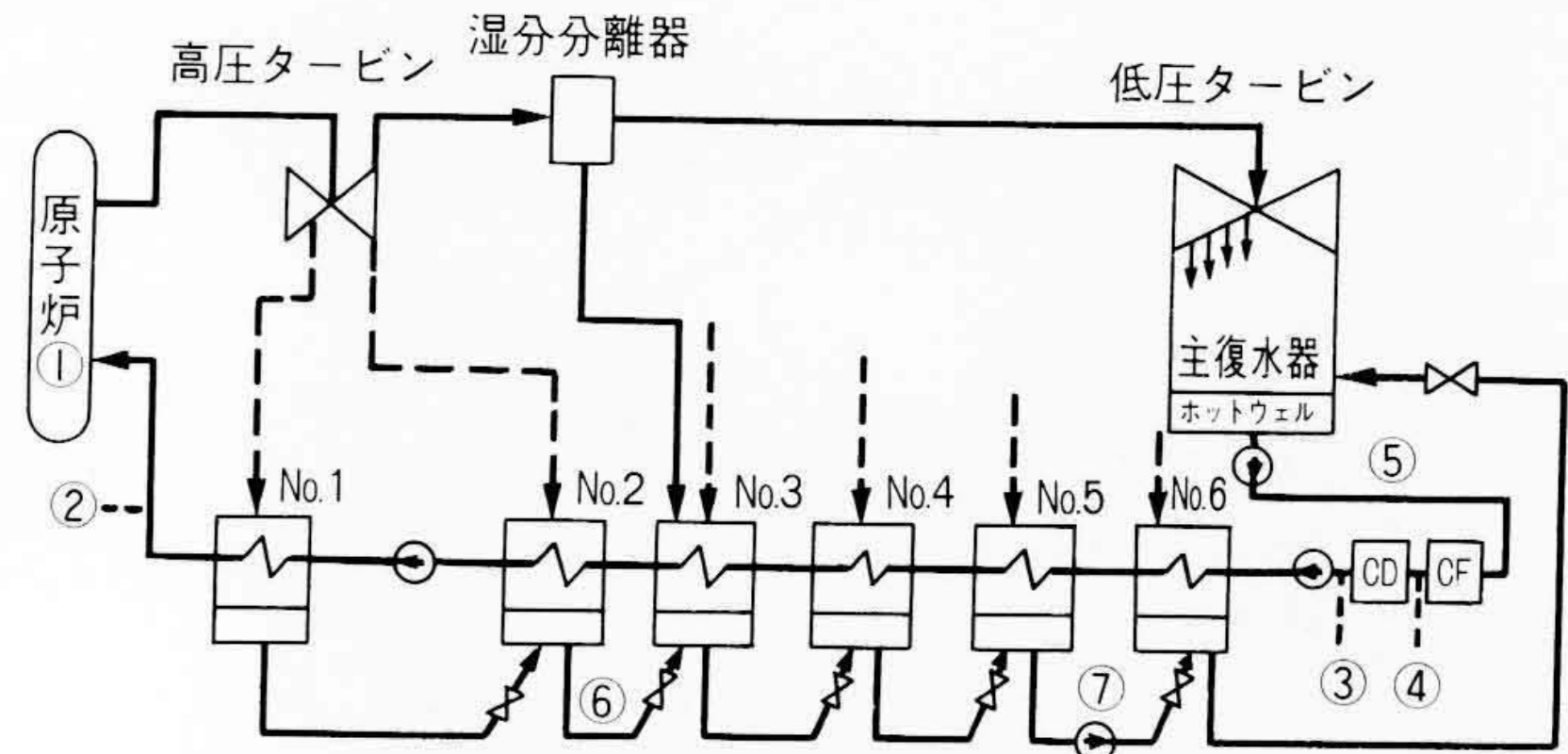
高圧及び低圧のドレンポンプは、それぞれ50%容量を2台設置している。ドレンポンプの必要揚程は、復水系のポンプ特性と系統圧力損失特性及び給水加熱器内圧によって決定されるが、プラント出力が約50%以上となった時点で、ドレンアップを開始することで計画している。低圧復水ポンプ及び高圧復水ポンプは50%容量を3台設置し、プラント過渡時も考慮した復水量を2台で送水できるように計画している。

ドレンアップシステムでは、給水ポンプ上流のポンプ台数が増加するため、各々のポンプトリップ時にも安定した給水を確保するため、ポンプ間の相互インタロックを設置しており、動特性解析コードで妥当性を確認している。また、特に高圧ドレンアップでは、高温の飽和ドレン処理となるため、過渡変化時のドレンポンプ吸込圧力の確保に考慮を払っている。

4.3 給水水質評価

近年のBWRプラントでは、給水中の腐食生成金属低減のために二重式浄化方式、及び復水中の溶存酸素制御を採用して

表3 タービン設備の水質調査結果 最新の電気出力1,100 MW BWRプラントの各測定点の水質調査結果を示す。



系統	炉水	給水	復水脱塩器出口	復水ろ過器出口	復水ポンプ出口	高圧ヒータドレン	低圧ヒータドレン
金属	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
鉄 (ppb)	0.64	0.39	0.34	0.74	5.9	0.061	0.80
ニッケル (ppb)	0.17	0.19	0.0029	0.013	0.041	0.086	0.067
コバルト (ppt)	14.0	1.5	0.67	0.98	6.1	6.0	6.0

注：略語説明 CD(復水脱塩器), CF(復水ろ過器)

表4 電気出力1,350 MW用発電機の主要仕様 電気出力1,350 MW機は、大容量化に伴い電圧、電流、体格ともに増大している。

項目	電気出力1,100 MW用発電機	電気出力1,350 MW用発電機
回転数	1,500 min ⁻¹ {rpm}	1,500 min ⁻¹ {rpm}
定格電圧	19,000 V	21,000 V
定格電流	39,503 A	42,340 A
短絡比	0.6	0.6
機内水素圧	ゲージ圧力520 kPa {5.3 kgf/cm ² }	ゲージ圧力520 kPa {5.3 kgf/cm ² }

おり、最近の例では最新の電気出力1,100 MW BWRプラントにおいて良好な給水水質実績が得られている。表3に最新の電気出力1,100 MW BWRプラントのタービン系統各点の水質調査結果を示す。本プラントでは、減肉対策のために給水加熱器、湿分分離器及び蒸気管などに耐食材料を使用している。これらの実機水質の追跡調査によって、復水系やドレン系の金属腐食速度を分析し、ヒータドレンアップシステムを採用した場合の給水水質の予測・評価を行っている。その結果、ABWRではタービン設備の一部の材料改善を実施することによって、最新の電気出力1,100 MW BWRプラントと同等の水質が得られると評価している。

5 発電機

5.1 発電機仕様と基本設計諸元

現状最高出力機である1,300 MVAタービン発電機と比較してABWRプラント用1,540 MVAタービン発電機の主要仕様を表4に、また構造を図11に示す。固定子コイルの冷却に関

しては、1,300 MVA機と同じように冷却効果に優れた純水を使用し、界磁コイルの冷却についても二極機と比較して遠心力が小さく、導体の断面積が十分確保できるので、容量が増大してもラジアルフロー直接水素冷却の適用が可能である。このように基本的な冷却方式は変わらないが、電流、電圧及びマシンサイズも増大するために、1,300 MVA機の実績をベースにこれらに付随する技術課題を克服することが必要である。

以下に、ABWRプラント用発電機に適用する主要技術について述べる。

5.2 固定子

電機子電流の増加によってコイルに作用する電磁力、コイル・接続銅帯及び口出しブッシングの損失、更に固定子コア端部の入射磁束が増大する。

コイルの電磁力に関しては、コア端部電磁界の有限要素法による解析結果を基に糸縛り・絶縁物を含む複雑なコイル端部支持構造の評価技術を確立しており、ABWR用発電機の強大な電磁力に対しても適切なコイル端部支持構造を採用できる。

電機子コイル及びわたり導体を含む接続銅帯に関しては電流が増大するので、混合素線異断面コイルの最適設計と局部的な最高温度部(ホットスポット)を排除して均一な温度分布を実現することが重要である。混合素線の最適設計を行うためには、循環電流が評価のポイントになる。循環電流の算出の際に従来はコイル端部の漏れ磁束あるいはスロット径方向の入射磁束の評価が十分でなかったが、最近の解析技術の進歩⁷⁾によって精度の高い評価と、高負荷密度化及び高効率化が可能となった。

ホットスポット低減のために、図12に示すわたり別冷却方式を開発した。従来、固定子冷却システムはわたりコイルを

冷却した後にコイルを冷却するように冷却水システムが構成されているので、わたりコイルに接続されるコイルの温度が他のコイルより高くなり、この部分の温度で制限されていたが、わたりコイルを全く別に冷却することによって均一な冷却が可能であり、電流容量も増大することができる。

固定子コア端部の磁束入射に関しては1,300 MVA機と同じシャントコア方式を採用するとともに、更にエンドダクトにスリットを設けることによって、進相運転耐力の向上と損失の低減が可能である。

5.3 回転子

容量増大に伴って、回転子の軸径及び軸長が増大するのでシャフトの鍛造重量も増大するが、素材メーカーの製造能力内であり、対応可能である。しかし、再閉路に関しては軸系が厳しい状態に置かれることもあるが、2段調質によって最も弱いジャーナル部の強度を上げて再閉路耐力を向上する技術を確立しているので、高速再閉路のような厳しい条件にも対処可能である。

軸ねじりトルク及び軸受荷重の増大に伴い軸受は大径軸受となり、また軸長の増加によって軸系もフレキシブルとなるので、安定な大径軸受が要求される。軸受に関しては既に1,070 mmクラスの実物大モデルテストを実施して諸特性を把握しており、ABWR用発電機の軸受は上記軸受径よりも小さく十分対応可能である。

リテニングリングに関しては、従来非磁性高強度材として18 Mn-5Cr材が使用されていたが、最近、耐SCC特性が非常に優れた18 Mn-18Cr材が開発され実績も出てきたので、新材料を適用してSCCのポテンシャルを排除していっそうの信頼性に寄与することができる。

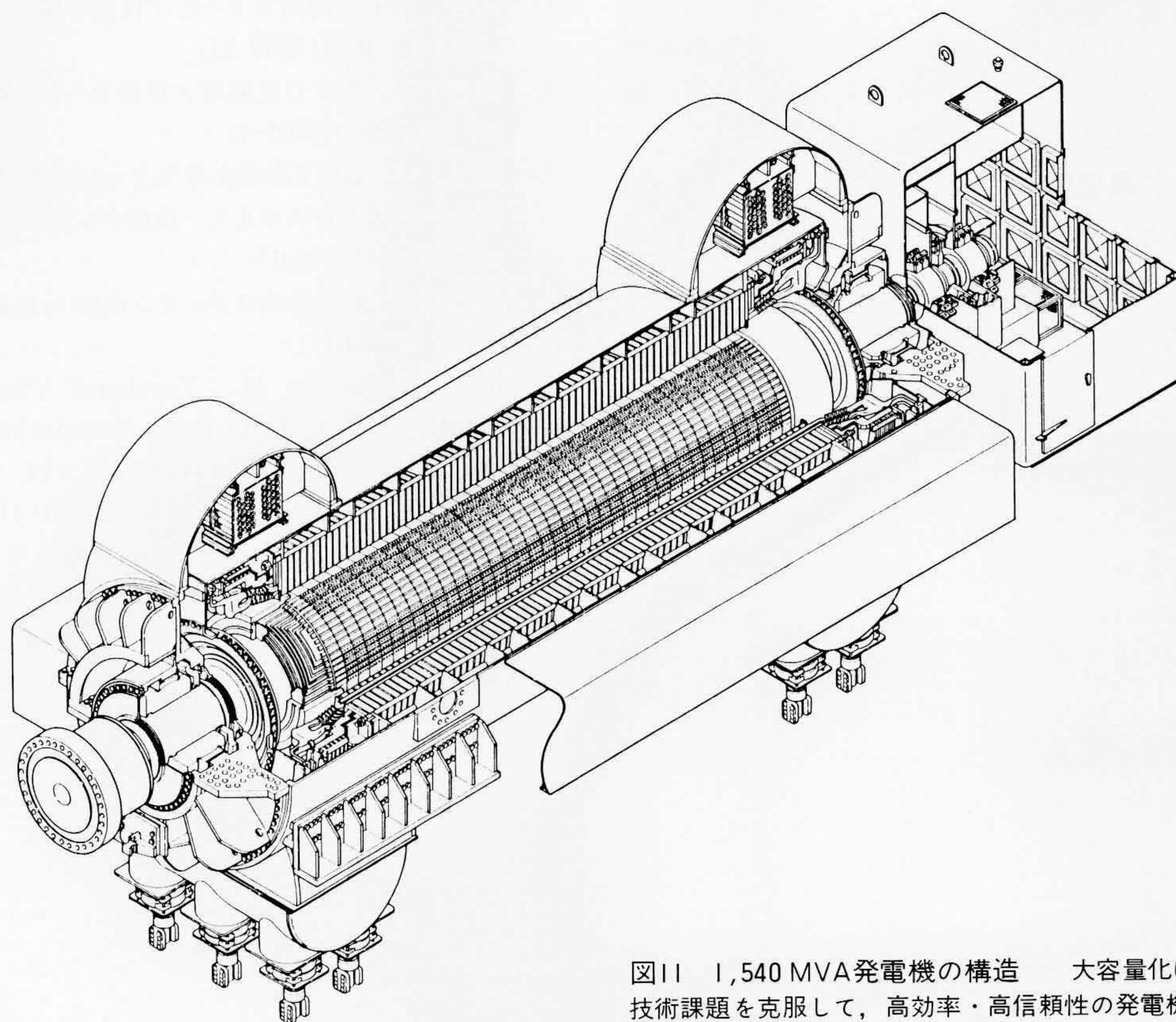


図11 1,540 MVA発電機の構造 大容量化に伴う電氣的・機械的な技術課題を克服して、高効率・高信頼性の発電機を実現する。

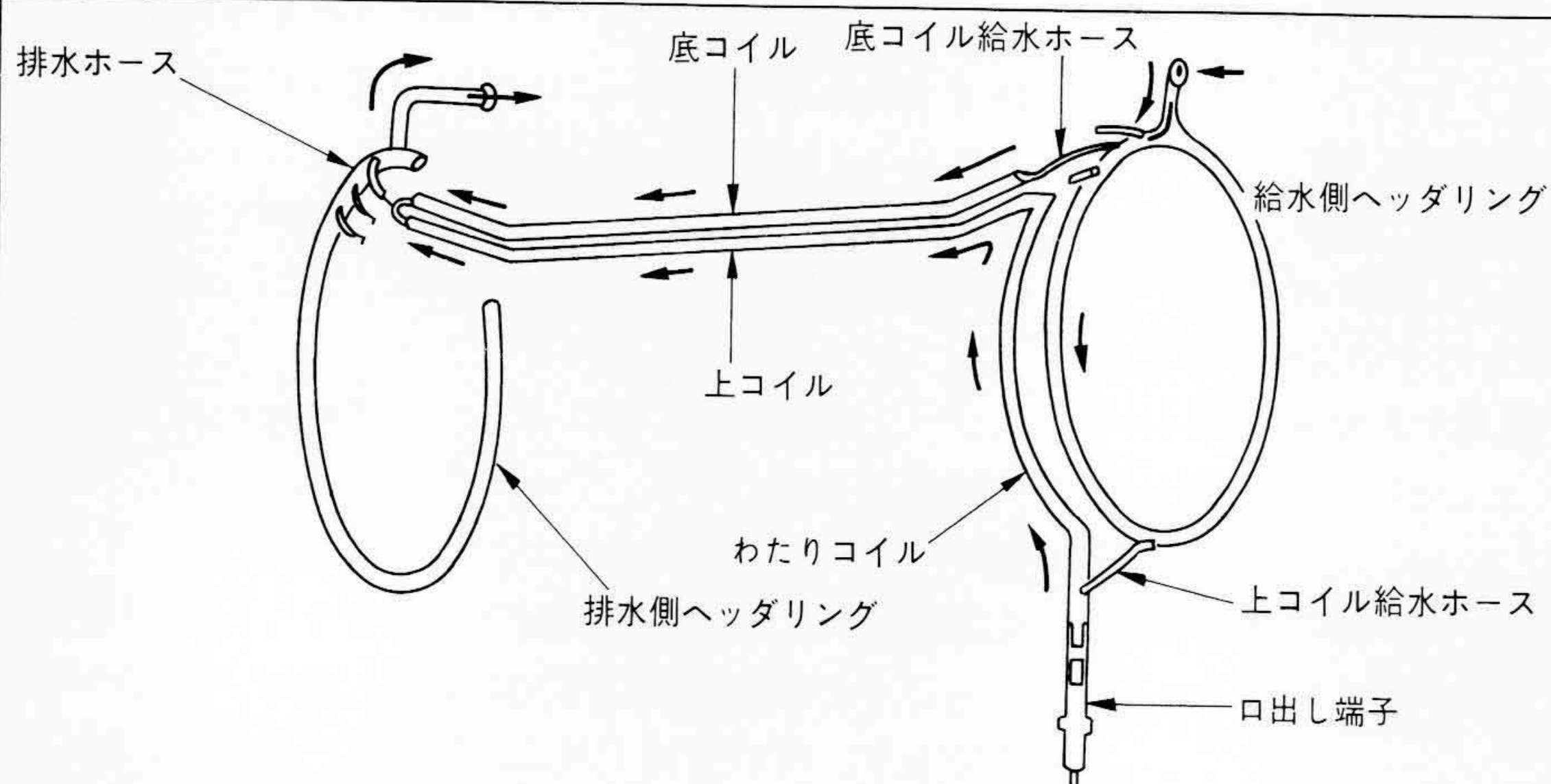
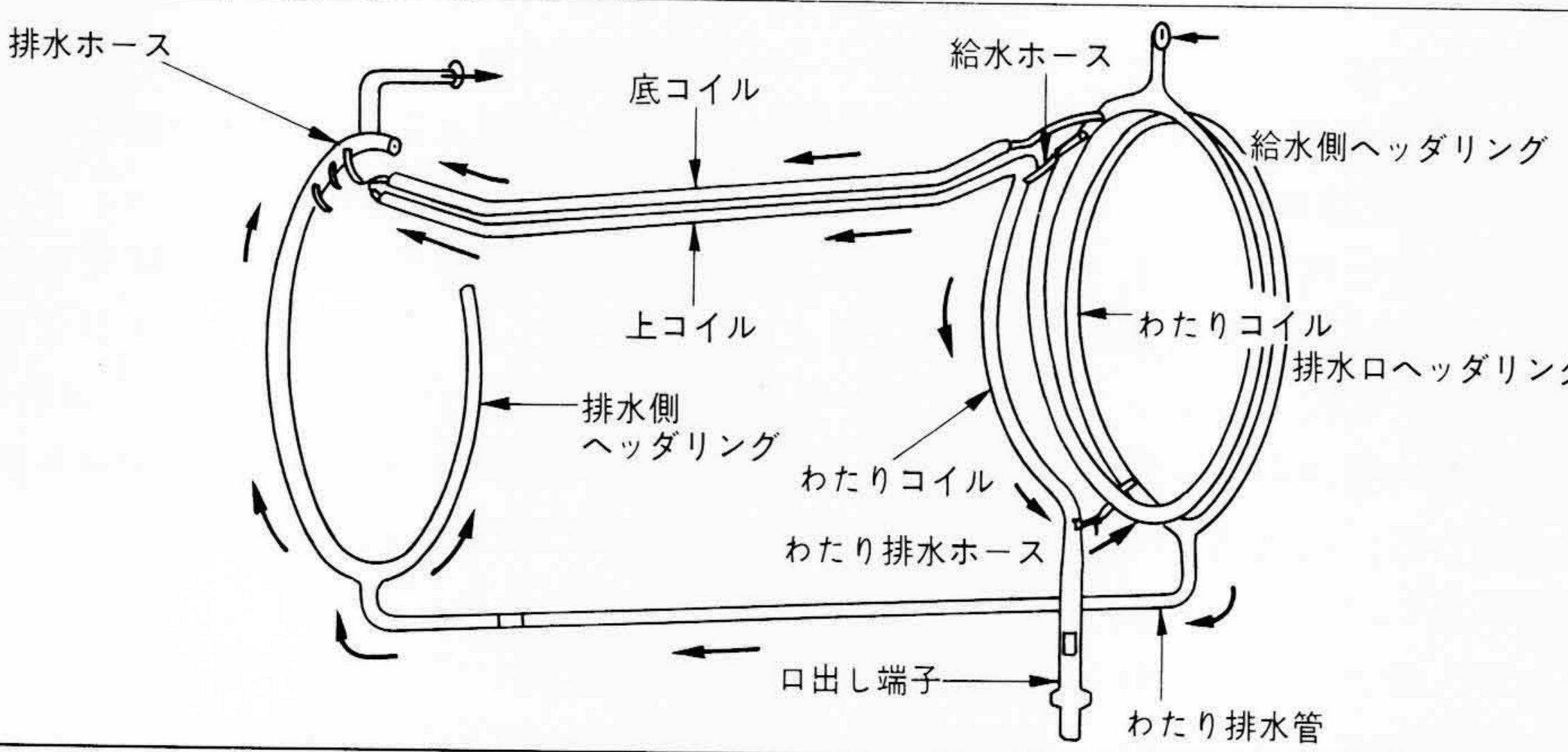
固定子コイル冷却方式		特 徴
従来冷却方式		●わたりコイルを冷却した後、上コイル又は底コイルに入り排水側に抜けるので、わたりコイルと接続されるコイル(72スロット中12スロット)の温度が他のコイルの温度よりも高くなる。
		●わたりコイルを冷却する回路と上コイル、底コイルを冷却する回路とを完全に別回路にすることによって、すべてのコイルの温度上昇を均一にした冷却方式である。

図12 わたり別冷却方式 新冷却方式では、わたりを別冷却にすることによって、全コイル均一な温度を実現できる。

6 結 言

以上述べたように、ABWR用の蒸気タービン・発電機設備は、従来の原子力プラントでの運転で得られた経験と既に関験実証された技術を集大成した最新鋭機となっている。ここで開発した52インチ長翼使用のTC6F-52型蒸気タービンは現在、実プラント向けとして、よりいっそうの信頼性を確立するため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，27-1001(昭60-11)
- 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61-4)
- 3) 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，動力及びエネルギー技術シンポジウム，講演会発表論文(昭和62年11月13日)
- 4) 池内，外：大容量蒸気タービン用52 in長翼の開発，火力原子力発電，37(昭61-1)
- 5) E. E. Gibbs, et al.：Torsional Vibration Monitoring, Pacific Coast Electrical Association Engineering and Operating Conference(March 13～14, 1980)
- 6) 松下：流体機械の振動とCAE，昭和61-11-21機械学会講演会，流体機械における最近の振動・騒音テキスト
- 7) 斉藤，外：タービン発電機固定子コイルの素線電流分布の一解析，電気学会論文誌，Vol. 105-B, No.3, 249～256(昭60-3)