

700MW級高性能蒸気タービン発電機

Recent Techniques for 700MW Class High Performance Steam Turbine and Generators

昭和58年3月、60Hz向けとしては日立製作所の最大級容量機である電源開発株式会社納め竹原火力発電所3号機700MW石炭専焼火力発電設備が営業運転を開始し、良好な運転を継続している。本稿では、このプラントに採用したクロスコンパウンド形700MW蒸気タービン発電機の特徴と運転データについて紹介するとともに、最近中間負荷火力運用が要求されてきている700MW級蒸気タービン発電機の全般的な計画概要と、高性能・高信頼性の要求に合致した新技術について述べる。

柏原克人* *Katsuto Kashiwahara*
古川雅夫* *Masao Furukawa*
大井 柁雄* *Masao Ooi*
田中幸二* *Kôji Tanaka*

1 緒 言

昭和58年3月に営業運転に入った電源開発株式会社納め竹原火力発電所3号機60Hz700MW蒸気タービンは、日立製作所の最新技術を駆使して設計・製作したものである。その主なものには最終段翼に38in長翼を採用するとともに、従来焼ばめ構造が採用されていた1,800rpmの低圧ロータに、世界初の一体鍛造式低圧ロータを実機に採用したことなどがある。これらの新技術は、今後の700MWクラス以上の大容量機の高効率化及び信頼性向上に大いに役立つものである。

また最近になって、大容量火力に対しても中間負荷火力運用の要求が強く打ち出されるようになってきており、高頻度かつ急速起動・停止に対応した機器が要求されるようになってきている。

本論文では、700MW級蒸気タービン発電機の計画概要の特徴について紹介する。

2 CC4F-38形700MW蒸気タービンの概要

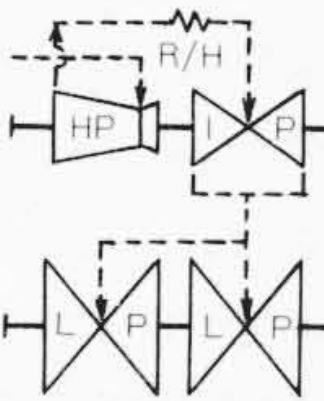
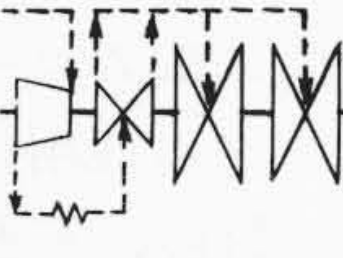
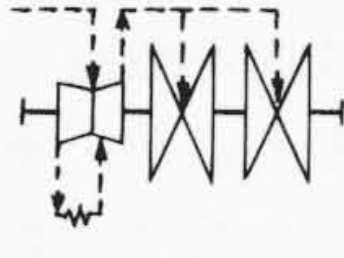
電源開発株式会社納め竹原火力発電所3号機700MW蒸気タービンは、60Hz地区では初めてのクロスコンパウンド機であり、50Hz地区でのクロスコンパウンド機の実績を反映した構成となっている。すなわち、最終段に1,800rpm用38in長翼をもち、高圧部-中圧部から成る高速軸(3,600rpm)と低圧部の低速軸(1,800rpm)の組み合わせとなっている¹⁾。現在石炭専焼でベースロード運用がなされている。表1に主仕様を、図1にこのタービンの断面を示す。このクロス機は、タンデム機に比較して約2%熱効率を向上した高効率機である。

2.1 高圧・中圧部の特徴

高圧初段は、複流構造を採用している。このプラントは定圧運転を採用しているため、高圧初段翼の蒸気曲げ応力が高くなる傾向にあるので、翼長を短縮して翼応力の低減を図った。片側375MW相当の蒸気を通過させる複流形構造を採用している。このような高圧初段構造とすることによって、実績が豊富で信頼性の高いくら形ダブティルを使用することが可能となっている。一方、ノズルボックスについても、複流形高圧初段翼に伴い複流形を採用している。複流形ノズルボックスの信頼性については、先行1,000MW実機での好調な運転実績に加えて、実物大試作モデルでの水圧試験及び温度分布、熱応力の検討を十分に行ない、特性改善を図った。

再熱蒸気温度として538°Cが採用されている中圧部のロー

表1 700MW蒸気タービンの主要仕様 電源開発株式会社竹原火力発電所3号機700MW機と、60Hzタンデムコンパウンド形700MW機の仕様を比較して示す。

項目	比較 区分 単位	CC4F-38 4車室	TC4F-33.5 4車室	TC4F-33.5 3車室
定 格 出 力	MW	700	700	700
タービン形式	—	CC4F-38	TC4F-33.5	TC4F-33.5
回 転 数	rpm	3,600/1,800	3,600	3,600
車 室 数	—			
主 蒸 気 圧 力	ゲージ圧 kg/cm ²	246	246	246
主 蒸 気 温 度	°C	538	538	538
再熱蒸気温度	°C	538	566	566
排 気 真 空	mmHg	722	722	722
抽 気 段 数	段	8	8	8
最終段翼翼長	mm	965.2(38in)	850.9(33.5in)	850.9(33.5in)
構 造	高圧初段	—	複 流	単 流
	ロータ材	—	高圧：Cr-Mo-V鋼	高圧：Cr-Mo-V鋼
		—	中圧：Cr-Mo-V鋼	中圧：12Cr鋼
		—	低圧：Ni-Cr-Mo-V鋼 (一体鍛造ロータ材)	低圧：Ni-Cr-Mo鋼

タ材には、実績の多数あるCr-Mo-V鋼を使用している。

2.2 低圧部の特徴

最終段には38in長翼を採用し、熱効率の向上を図っている。図2にタービン出力と最終段環帯面積の関係を示す。38in長翼は、このクラスの先行機であるタンデム形に比較して環帯面積が大きくなったことにより排気損失が低減され、熱効率向上が図られている。またこの長翼は、58.5~60.5Hzの周波数変動運転が可能な振動特性をもっている。最終段長翼のエロージョン防止のために取り付けてあるステライト板についても、SCC(Stress Corrosion Crack)などによるクラック発生防止対策として、溶接方法、ステライト板の材質管理法の

* 日立製作所日立工場

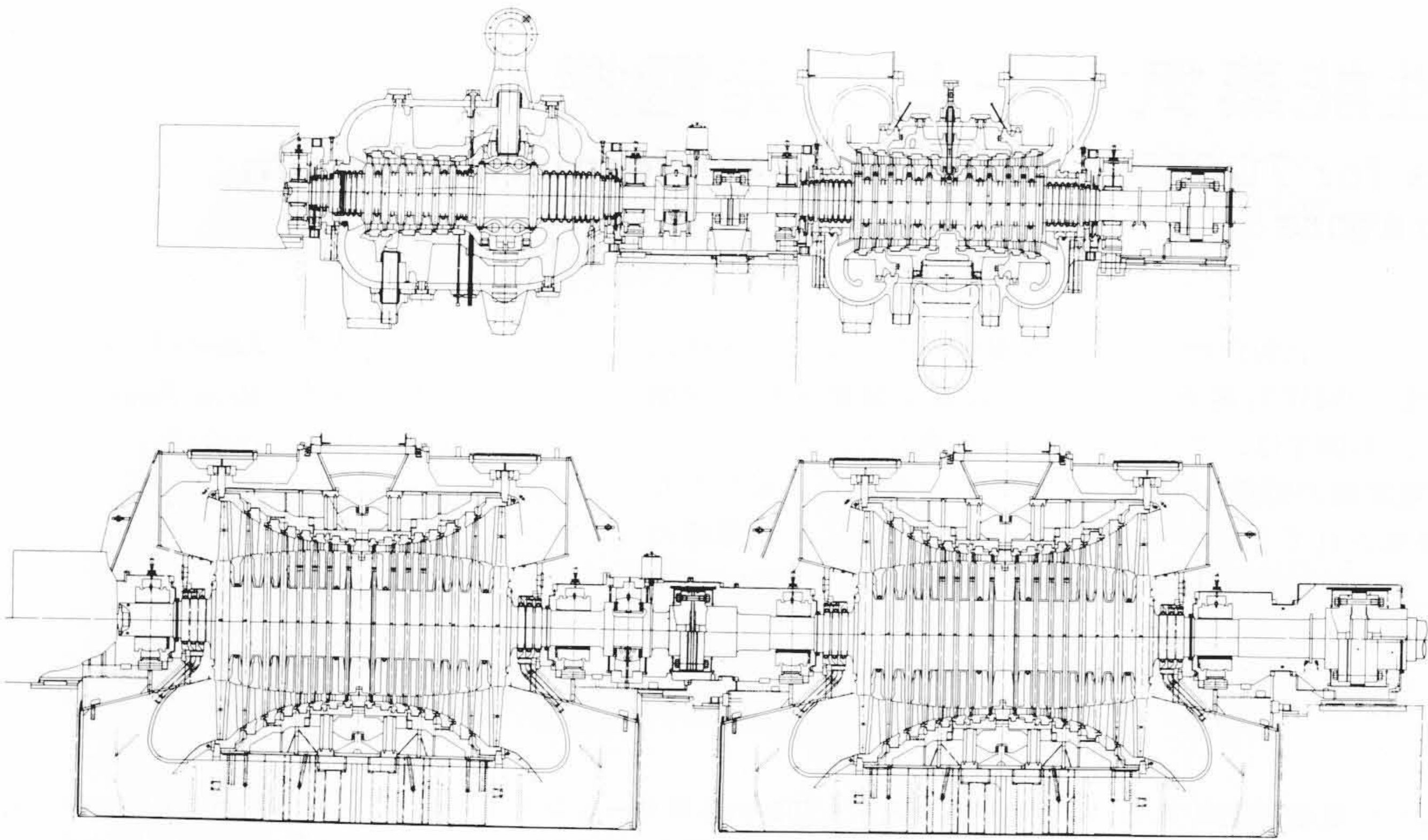


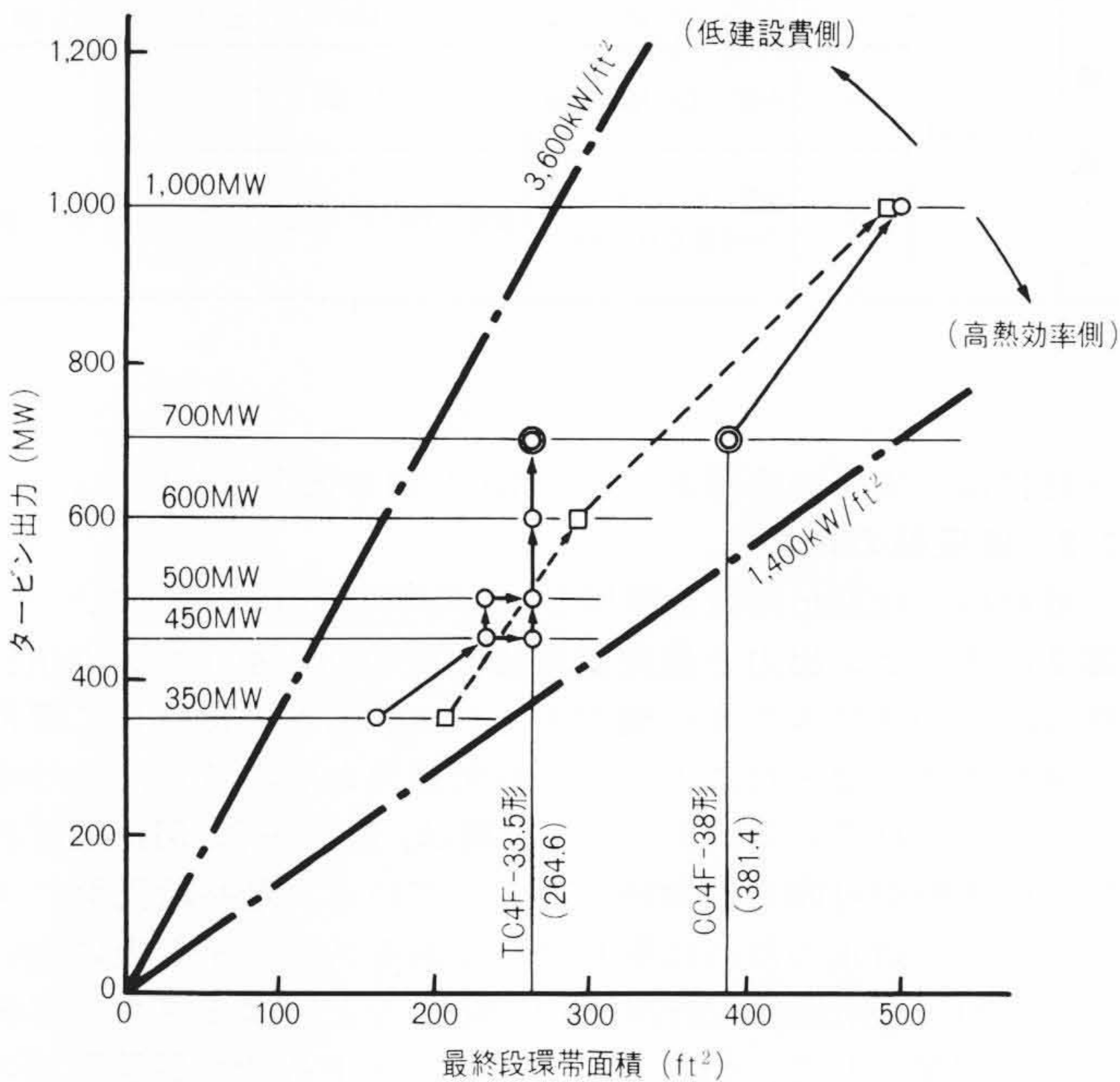
図1 CC4F-38形蒸気タービン断面図 60Hz向けCC4F-38形タービンの構造図を示す。

改善など残留応力の低減を行ない、良好な成果を得ている。

低速回転の低圧ロータでは、鍛造能力の関係で従来は焼ばめ構造が採用されていたが、本プラントの低圧ロータでは日立製作所が世界のタービンメーカーに先駆けて開発した一体鍛造式大形ロータ材が実機に採用された。これは最新の製鋼技術を駆使した高品質のロータが得られるようになったこともあるが、本ロータの採用により、焼ばめロータの欠点であった焼ばめ作業の排除、起動時での不均一熱膨脹変形による軸振動増加傾向の抑制効果、焼ばめ面に発生しやすいフレッティングコロージョンの排除などが実現された。

2.3 700MW蒸気タービンの運転実績

電源開発株式会社納め竹原火力発電所 3号機700MW蒸気タービンは、前述したように38in長翼を採用した高効率設計



注：—○— 60Hz機，---□--- 50Hz機

図2 タービン出力と最終段環帯面積の関係 700MW CC4F-38形は、従来実績機と比較して環帯面積に余裕があり、熱効率が向上している。

表2 電源開発株式会社竹原火力発電所納め 3号機700MW CC4F-38形蒸気タービンの試運転記録 CCS組立ての採用などにより、良好な運転結果を得ている。

電源開発株式会社竹原3号機700MWタービンの特徴

1. プラント仕様

発電所名：電源開発株式会社納め竹原火力発電所3号機

容量，形式：700MW CC4F-38

3,600/1,800rpm

ゲージ圧246kg/cm²—538/538℃—722mmHg

特徴：(1)38in長翼採用のクロス機

(2)一体鍛造式大形ロータの採用(初号機)

(3)CCS組立て(Computer Aided Clearance Control)の実施(工場組立てと工場通気試験は実施せず。)

工程：初通気 昭和57年11月19日

運 開 昭和58年 3月18日

2. 試運転記録(全負荷運転時)

(a) 軸振動，軸受給排油温度，軸受メタル温度実測値

軸 受	軸振動 (両振幅 $\frac{1}{100}$ mm)	軸 受 温 度 (°C)		
		給 油	排 油	メタル
プ ラ イ マ リ ー 軸	スラスト前	43.9	68.2	73.0/69.0
	スラスト後		65.2	64.5/63.3
	No.1		55.6	93.6
	No.2		54.0	85.5
	No.3		60.7	86.9
	No.4		64.2	89.6
	No.5		59.2	74.7
	No.6		55.4	75.6
セ カ ン ダ リ ー 軸	No.7		50.9	—
	スラスト前	43.9	56.5	58.7/59.5
	スラスト後		51.7	67.6/60.7
	No.1		51.5	74.3
	No.2		49.8	79.1
	No.3		49.9	77.1
	No.4		49.1	76.2
	No.5		48.8	74.4
	No.6		47.9	69.4

(b) 負荷遮断試験結果

負 荷	最大速度上昇率 (%)
$\frac{1}{4}$	2.69/2.50
$\frac{2}{4}$	4.08/4.11
$\frac{3}{4}$	5.19/5.22
$\frac{4}{4}$	7.19/7.22

のクロス機、世界初の一体鍛造式大形ロータの採用など新技術のほかに、低速回転機で初めてCCS組立て(Computer Aided Clearance Control)を実施したプラントでもある。これは、一体鍛造式低压ロータの採用によって初めて可能となったもので、試運転以来好調に運転を続けている。表2に試運転記録を示す。

3 タンデム機4車室形700MW蒸気タービンの概要

現在計画中の700MW、ゲージ圧246kg/cm²-538/566℃4車室のタービンについては、中間負荷火力用タービンとしての配慮と最新技術を盛り込んだタービンとなっている。主な特徴としては次の項目がある。

- (1) タンデム形とし、最終段には実績の豊富な33.5in長翼を使用している。
- (2) 車室数は高压・中圧各1車室及び低压2車室の合計4車室構造としている。
- (3) 高压部は中間負荷火力運用に適した設計であり、更に、中圧起動方式による高压タービンバイパス運転も可能な構造としている。また高压初段は単流構造として、高压車室の小径化を図ることにより、薄肉形として急速起動時の熱応力低減を図っている。
- (4) 再熱蒸気温度が566℃のため、中圧ロータには従来のCr-Mo-Vロータ材に比べ、高温でのクリープ破断強度が著しく改善された12Crロータ材を採用している。この蒸気タービンの主仕様を表1に、タンデムコンパウンド形タービンの断面図を図3に示す。

3.1 高压部初段翼の単流化

複流形高压初段構造は、高压初段翼の曲げ応力に対処するために必要であったが、変圧運転を採用する中間負荷火力機では、1～3弁全開運転が行なわれるために翼曲げ応力は小さく維持されるので、高压初段翼の単流化が可能である。単流構造は複流構造に比較して、発電機側蒸気流の反転による圧力損失がないので、熱効率が向上し、また高压部の軸方向長さが短縮されるなどの利点がある。

3.2 中圧起動方式

石炭燃焼中間負荷火力プラントでは、プラント運用機能拡大のために、タービンバイパス運転を採用するプラントがある。タービンバイパス装置の目的の一つとして、ウォーム・ホットの再起動時に蒸気温度とタービンメタル温度とのマッチングを図るために、ボイラ負荷を先行して再熱蒸気温度を上昇させてから蒸気タービンを起動することによる起動時間の短縮が挙げられる。

また、次のような特徴をもっている中圧起動方式も採用可能な構造としている。

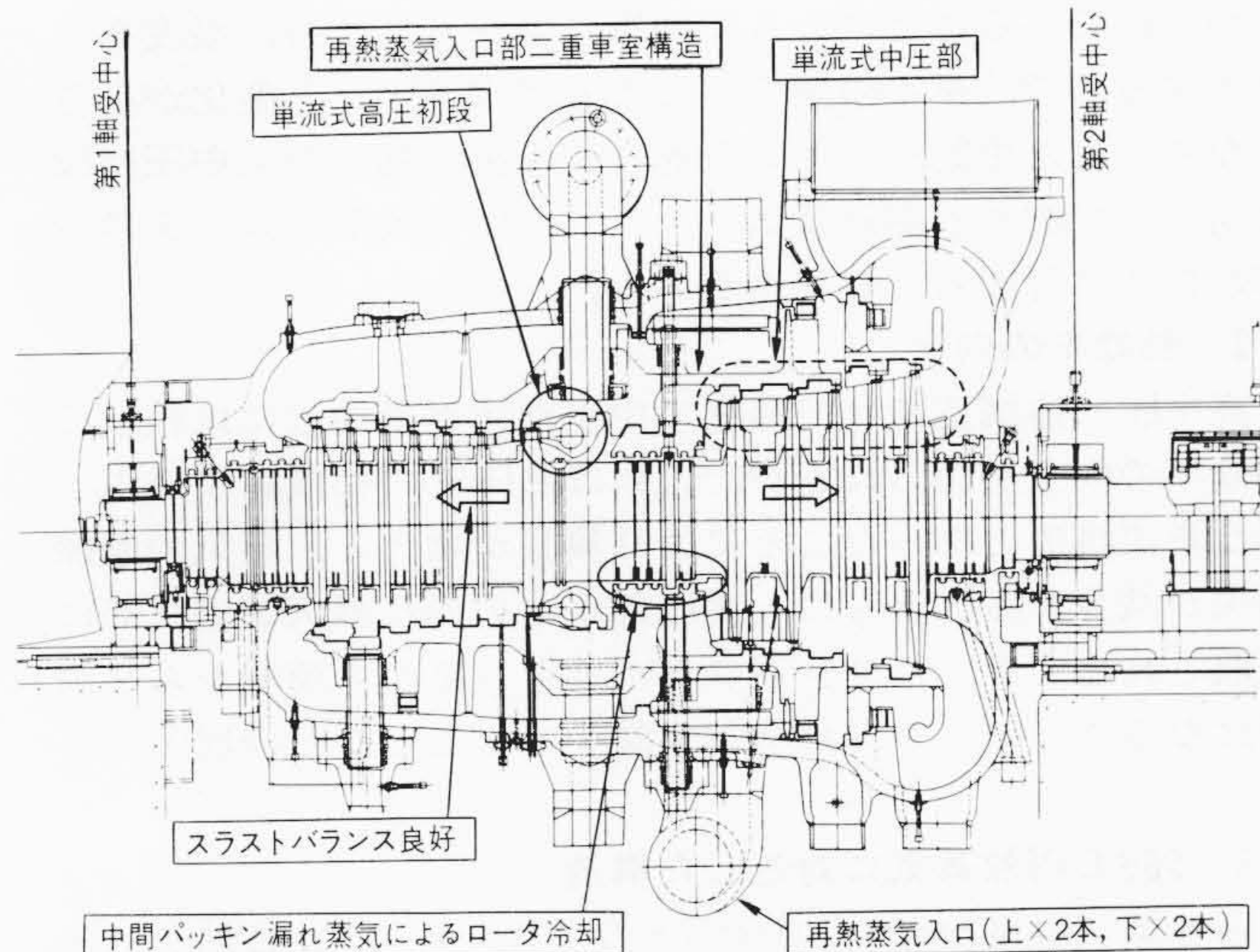


図4 700MW高中圧一体構造の特徴 700MW高中圧一体構造は、高中圧部が対向配置となっており、コンパクトな構造となっている。

- (1) 中圧起動方式は、中圧タービンに蒸気を流入して回転数上昇→併入操作を行なう。この間は高压タービン内の蒸気をベンチレータ弁を通して復水器に排出し、高压タービン内部を真空に保ち、高压ロータの回転による温度上昇を軽減させるので、ロータの寿命消費を小さくできる。初負荷以上の負荷では高压タービンへも蒸気を流し、通常の運転に切り換える。
- (2) 本方式は、既に数台の良好な実績が得られており、特に起動時の高压タービン内の温度は実測値も低く抑えられており、優れた特性が確認された。

4 タンデム機3車室形700MW蒸気タービンの概要

日立製作所では、3車室700MW蒸気タービンについても必要とする技術開発を完了し、実機設計可能な段階にある。従来高压・中圧車室が別車室であった構造を、高中圧一体形とした最近の例は、北海道電力株式会社納め苫東厚真火力発電所2号機がある。3車室形タービンに適用される高中圧一体車室構造は次のような特徴をもっている。図4に高中圧部の断面を示す。

4.1 高压部・中圧部の対向流配置

高压部と中圧部はそれぞれの高压・高温側を車室の中央部に配置している。ロータ材には高温クリープ強度の優れた12Crロータ材を採用している。高压初段についても単流構造としている。高中圧が対向流配置となるのでスラストバランスが良くなるとともに、高压・高温部が車室の中央に

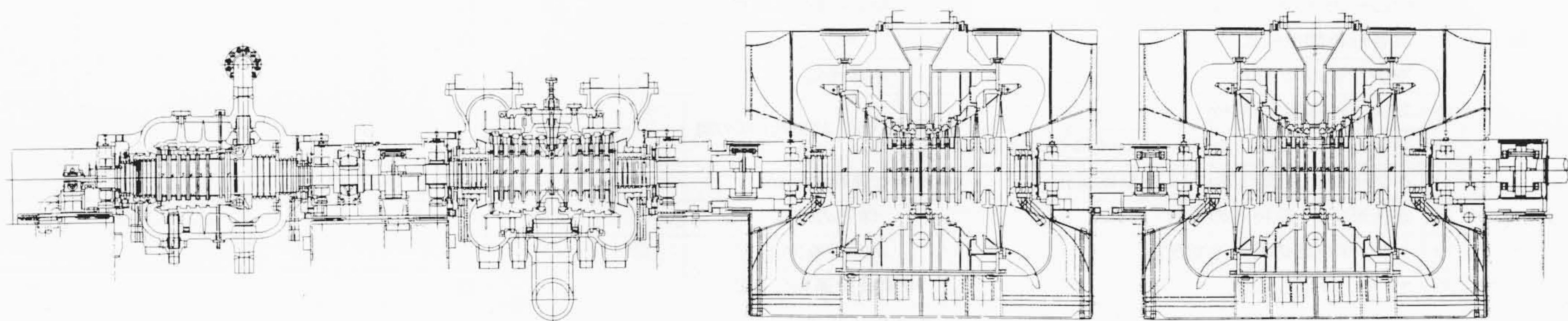


図3 TC4F-33.5形蒸気タービン断面図 中間負荷火力に適したTC4F-33.5・4車室形タービンの構造図を示す。

集められていることにより、両端に向かって圧力、温度共に低下するので、車室の熱膨脹によるアライメント変化が小さくなる。また中間パッキンを通して、高圧初段から中圧初段に向かって流れる漏れ蒸気により、中圧初段部のロータの冷却が自然に行なわれる利点がある。

4.2 熱効率の向上

高中圧一体構造では、高圧・中圧別体車室構造に比較して熱効率の向上が図られるが、これは高圧部の初段翼及び中圧部が単流構造となったことにより翼長が増大し、蒸気の摩擦損失が減少するとともに、高圧部からの漏れ蒸気が中圧部に回収されること、及びシャフトパッキン部が4箇所から2箇所になることにより漏れ蒸気が減少することなどの理由による。

4.3 566℃再熱蒸気に対処した構造

再熱蒸気温度が566℃の高温となっているため、再熱蒸気入口部は二重車室構造とするとともに、再熱蒸気はメカニカルシールを介した伸縮継手により中圧蒸気室に導入される。また、内部車室の蒸気室が狭く、再熱蒸気の導入は上半車室から2本、下半車室から2本の蒸気管で行なっている。

5 クロスコンパウンド機用タービン発電機

電源開発株式会社納め竹原発電所700MWクロスコンパウンドタービン発電機の仕様、特徴及び試験結果の概要について以下に述べる。

5.1 基本仕様

700MW級タービン発電機の基本仕様を表3に示す。プライマリー及びセカンダリー発電機の容量・回転数は、タービ

表3 700MW級タービン発電機の基本仕様 クロスコンパウンドタイプとタンデムコンパウンドタイプの700MWタービン発電機の基本仕様を示す。

No.	区 分	クロスコンパウンドタイプ		タンデムコンパウンドタイプ
		プライマリー	セカンダリー	
1	納 入 先	電源開発株式会社 竹原火力発電所3号機		A電力会社
2	運 開 時 期	昭和58年		昭和63年
3	定 格 容 量 (MVA)	494	306	778
	定 格 出 力 (MW)	444.6	275.4	700.2
	力 率	0.9	0.9	0.9
	短 絡 比	0.58	0.58	0.58
	水 素 圧 力 (ゲージ圧kg/cm ²)	4.22	3.16	4.2
	定 格 電 圧 (kV)	20	20	25
	定 格 電 流 (A)	14,261	8,834	17,967
	回 転 速 度 (rpm)	3,600	1,800	3,600
	極 数	2	4	2
	周 波 数 (Hz)	60	60	60
4	冷 却 方 式	固定子コイル	直接水冷却 (片道流)	直接水冷却 (往復流)
		鉄 心	直接水素ガス冷却	同左
		口出ブッシング	直接水素ガス冷却	同左
		界 磁 コ イ ル	直接水素ガス冷却 (ダイアゴナルフロー)	直接水素ガス冷却 (ラジアルフロー)
		スリップリング	空気冷却	同左
5	励磁機	出 力 (kW)	2,100	1,000
		電 圧 (V)	440	330
		形 式	静止形分巻自動励磁方式	同左

表4 700MW級タービン発電機の技術的特徴 発電機への多様化するニーズに対応するための技術的な特徴を示す。

区 分	No.	技 術 的 特 徴		効 果	適 用 機			効 果 の 影 響 評 価				
					クロスコンパウンド		タンデムコンパウンド	運用性の向上	経済性の向上	信頼性の向上	高効率の維持	保守性の向上
					プライマリー	セカンダリー						
一 般	1	最適水素ガス圧力の採用	4kg/cm ²	冷却性能向上	◎	—	◎	—	○	○	—	—
			3kg/cm ²		—	◎	—	—	○	○	—	—
固 定 子 巻 線	2	直接水冷却方式の採用	片道流	冷却性能向上	◎	—	◎	○	—	○	—	—
			往復流		—	◎	—	—	○	—	—	—
	3	スーパハイレジンコイル絶縁の採用 (耐ヒートサイクル絶縁)		中間負荷運転に有効	◎	◎	◎	○	—	○	—	—
	4	混合素線異断面コイルの採用		効率向上に有効	—	—	◎	○	—	○	○	—
	5	コイルエンド特殊支持方式の採用		中間負荷運転に有効	◎	◎	◎	○	—	○	—	—
	6	リップスプリング、テーパウェッジによるスロット内コイルの固定方式の採用		同 上	◎	◎	◎	○	—	○	—	—
固 定 子 鉄 心	7	鉄心端部低損失、高冷却構造の採用		効率向上、冷却性能向上	◎	◎	◎	○	—	○	○	—
	8	鉄心端部電磁界解析による最適構造		同 上	◎	◎	◎	○	—	○	○	—
回 転 子	9	高靱性軸材		中間負荷運転に有効	◎	◎	◎	○	—	○	—	—
	10	2段調質シャフトの採用		高速再開路対策として有効	◎	—	◎	○	—	○	—	—
	11	シャフト段付部R(半径)の増大			◎	—	◎	○	—	○	—	—
	12	耐ヒートサイクル形回転子巻線絶縁		中間負荷運転に有効	◎	◎	◎	○	—	○	—	—
	13	改善形極間接続線		同 上	◎	◎	◎	○	—	○	—	—
	14	空隙バツフルの採用		冷却性能向上	◎	—	◎	○	—	○	—	—
	15	三次モード振動の解析		●現地バランス調整作業の簡略化 ●安定な運転の保証	◎	—	◎	—	○	○	—	—
	16	通電バランス装置によるサーマルバランスの採用			—	—	◎	○	—	○	—	—
	17	ベクトル振れ差直結法による振動低減化			◎	—	◎	—	○	○	—	—
	18	定圧形ブラシ保持器の採用		保守の軽減	◎	◎	◎	—	—	○	—	○
軸 受	19	ブラシ保持器の最適冷却配置		冷却性能向上	◎	◎	◎	○	—	○	—	—
	20	オイルリフト付き構造		中間負荷運転に有効	—	◎	◎	○	—	○	—	—
励磁方式	21	静止形サイリスタ分巻自動励磁方式の採用		●速応性改善 ●発電機架台寸法減少	◎	◎	◎	○	○	○	○	○

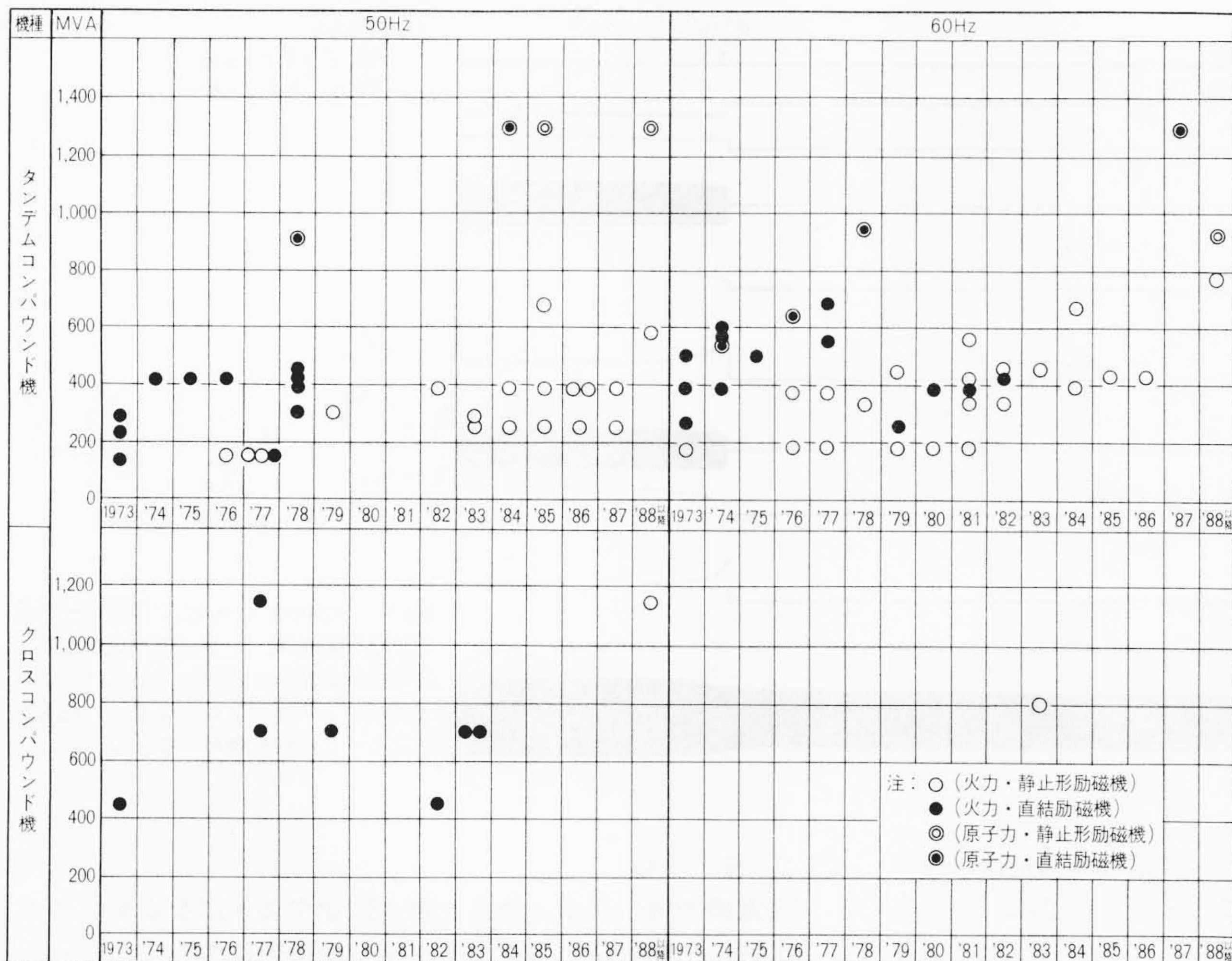


図5 発電機励磁方式 最近は、大容量火力・原子力発電機に静止励磁方式が採用されつつある。

ンの出力分担及び回転数により決められ、それぞれ494 MVA・3,600ppm, 306MVA・1,800ppmと異なる。したがって、両機の容量及び回転数に適した水素圧力及び冷却方式が選定されている。

5.2 構造上の特徴

本タービン発電機には特に下記の項目が要求される。

- (1) ベースロード用大容量石炭火力として信頼性が高いこと。
- (2) 系統安定度向上のための高速再閉路運用
- (3) 高効率であること。
- (4) 保守性・操作性が優れていること。

本機の技術的な特徴を表4にまとめて示す。

冷却に関しては、条件の厳しいプライマリー機の各部温度を低減し、均一にする工夫がされている。電機子コイルは片道流冷却方式を採用して、上・下コイルの温度低減と均一化を図っている。界磁コイルに関しては、固定子と回転子の間の空隙にバッフルを設けて冷却水素の入排気ゾーンを仕切ることにより、入排気ガスが混じり合っ界磁コイルの温度が増大するのを防いでいる。

突発短絡時、電機子コイルエンドには強大な電磁力が作用する。この強大な電磁力に耐え、かつコイルの熱伸縮を許容するコイルエンドの特殊支持方式を採用している。

本発電機は、高速再閉路運用により生じる過大な繰返しねじり応力に耐えられるようにジャーナル部の2段調質による強度増大と段落とし部の曲率の増大が図られている。これにより、再閉路許容回数を約80%向上させることが可能である。

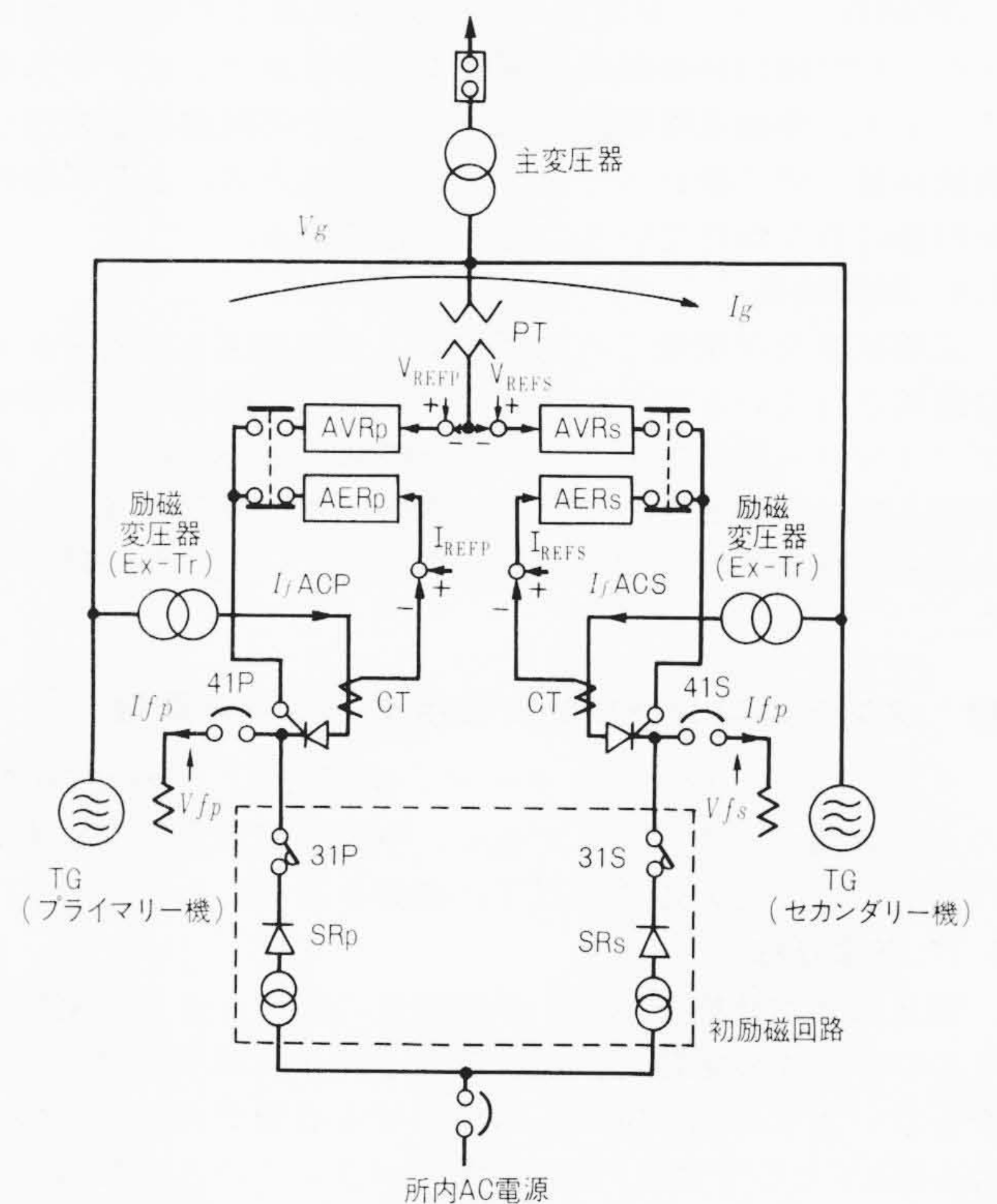
鉄心端部はFEM(有限要素法)による電磁解析を基に銅シールド、鉄心端部の段落とし、鉄心歯部のスリット、エンドダクト配列など、最適な構成・寸法を決定している。

保守性の向上のために定圧形ブラシ保持器を採用している。

5.3 静止形励磁方式と同期方式

発電機の励磁には静止形サイリスタ分巻励磁方式を採用している。本励磁方式は従来のコミュテータレス方式に比べて

数倍応答性が速く、また発電機全長が従来形の約70%となるので、架台寸法を短縮できる利点がある。したがって、図5に示すように最近火力・原子力の大容量機に続々採用されている。



注：略語説明 AER(界磁電流一定制御回路)

図6 励磁回路 静止形励磁装置の励磁回路構成を示す。半速同期完了まで使用する初励磁回路と半速同期完了後励磁電力を供給する自励回路から構成される。

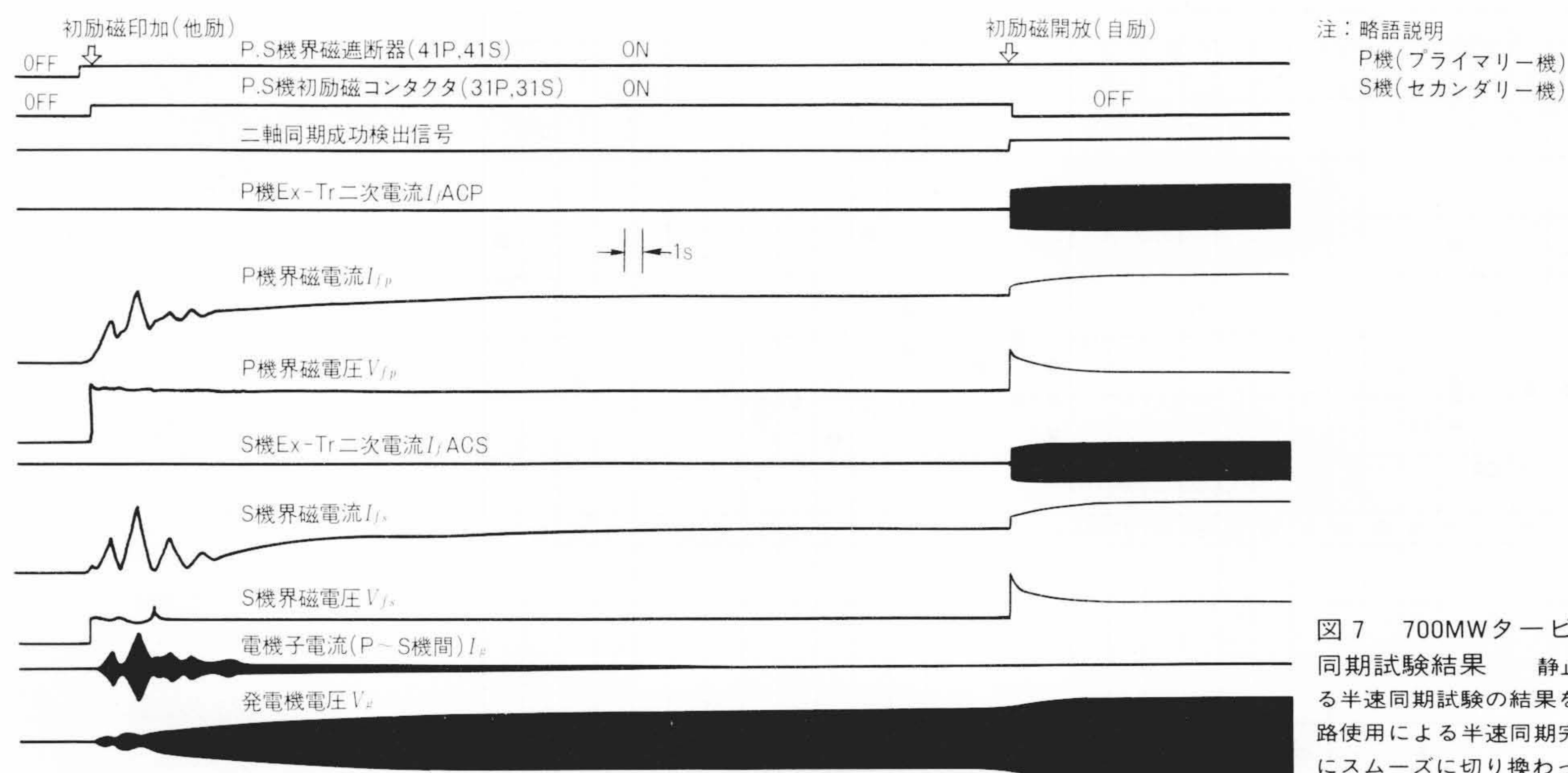


図7 700MWタービン発電機半速同期試験結果 静止形励磁装置による半速同期試験の結果を示す。初励磁回路使用による半速同期完了後、自励回路にスムーズに切り換わっている。

プライマリー発電機とセカンダリー発電機の同期は半速で同期させる半速同期方式を採用している。静止励磁方式による半速同期は初の試みである。

半速同期時の励磁電源を確保する方式として、主回路構成が最も簡易となる²⁾。

「半速同期時だけ外部電源から励磁を与える方式」が採用された。その回路構成を図6に示す。半速同期完了までは外部電源である初励磁回路から励磁が供給されるが、同期完了後は初励磁電流より高く設定した一定電流制御モードの自励回路を生かすことにより、初励磁回路から自励回路への切り換えを行なう。

700MWタービン発電機の半速同期試験での界磁遮断器投入から初励磁回路接触器の開放までの実測オシログラムを図7に示す。界磁遮断器投入後、約50秒で同期成功を検出して自励回路に切り換わっており、静止励磁方式による二軸同期が円滑に行なわれていることを示している。

5.4 試験結果

工場試験及び現地での試運転で、当初意図した効果が十分に達成されていることを確認した。工場試験の結果、効率はプライマリー機及びセカンダリー機共に98.8%以上で、99%に迫る高い効率となっている。電機子及び界磁コイルの温度上昇も十分低く効果的な冷却がなされていることが確認された。

6 タンデムコンパウンド機用タービン発電機

タンデムコンパウンドタービン発電機は、単機で700MWの大容量機であるばかりでなく、中間負荷火力運用を考慮した設計となっているので以下に概要を示す。

6.1 基本仕様

表3に基本仕様を示す。単機容量の増大とともに電機子コイルに作用する電磁力、及び電機子周りの温度上昇が過大とならないように端子電圧を増加させる必要がある。本機の場合も25kVとして電圧・電流の面でバランスのとれた設計としている。水素圧力を増大させると冷却能力も増大する反面、損失が増大して効率低下となる。両方の効果を勘案して本機の水素圧は4.2kg/cm²としている。励磁方式はクロスコンパウンド機と同様に静止形サイリスタ分巻自励方式を採用する。

6.2 特徴

発電機の特徴をまとめると表4に示すようになるが、ここでは特に中間負荷火力運用を考慮した技術について述べる。中間負荷火力運用の場合、起動・停止に伴うヒートサイクル、遠心力による繰返し応力、昇降速時の危険速度通過及び負荷時の振動変化に注意を払わねばならない。

ヒートサイクルに対しては、10⁴回のヒートサイクルを実施した絶縁システム、電機子コイルの熱伸びを吸収するコイルエンドの特殊支持方式、上・底コイルの温度を低く、しかも均一に保つための混合素線異断面コイルと片道流通水方式、界磁コイルの温度を低減する空隙バッフルなどの技術を採用している。

遠心力による繰返し応力に対しては、高靱性軸材、改善形極間接続線を採用する。

このクラスの3,600rpmの機械は軸系がフレキシブルとなるために定格回転では三次モードの振動形態をもつ。したがって、バランスが難しいばかりでなく、通風アンバランスなどの熱的なアンバランスによる軸曲りの影響を受けやすく、無負荷時と定格負荷時の振動ストロークが大きい。この振動ストロークを低減する方法として、第1に軸外径を増大し軸長を短くすることにより、軸系を比較的剛となるように設計する。第2に大電流通電バランス装置を使用して、工場内で現地定格負荷状態にしてサーマルバランスを実施する。

7 結 言

最近の大容量火力機に対する新技術の適用状況の一端について紹介した。中間負荷火力に要求される過酷な運転条件に対処し、高性能・高信頼性が維持できるものと確信している。700MW機を中心に述べたこれらの技術は、より容量の大きいプラントに対しても有効であり、今後のプラントへ鋭意適用を図ってゆきたい。

参考文献

- 1) 柏原, 外: 蒸気タービン新技術の適用, 日立評論, 64, 10, 751~756(昭57-10)
- 2) 北村, 外: サイリスタ励磁方式の700MWクロスコンパウンドタービン発電機への適用, 昭和58年電気学会東京支部大会, 110~111(昭58-11)