

既設火力発電設備リパワリングの実現

Establishment of Repowering Technology of Existing Fossil Fired Plants

川内章弘* Akihiro Kawauchi

寺西光夫* Mitsuo Teranishi

森川健悟** Kengo Morikawa

佐藤和夫*** Kazuo Satō

荒瀬 央**** Hisashi Arase



中部電力株式会社知多火力発電所6号機



東京電力株式会社五井火力発電所6号機



中部電力株式会社知多第二火力発電所1号機

既設火力発電設備リパワリングによる排気再燃形コンバインドプラントの全景

左から中部電力株式会社知多火力発電所6号機，東京電力株式会社五井火力発電所6号機，中部電力株式会社知多第二火力発電所1号機の全景を示す。既設火力発電所に最新鋭ガスタービンを追設し，排気再燃リパワリング化改造を実施し，出力増加，効率向上を実現している。

発電設備，特に既設火力発電設備のリパワリング技術には種々の方式があるが，その方式は，それぞれの発電設備の特徴とリパワリングの目的を明確にすることによって選択される。

リパワリング技術は，発電設備の再生化としてとらえれば，経年化した既設火力発電設備を改造して，出力増大，効率向上，寿命延長，環境保全などを図る技術と定義できるが，狭義の意味では，他の発電機器の追加による出力増加，および効率向上を図る既設火力発電設備の複合発電化と言える。

国内電力需要は，今後とも中・長期的には民生需要の増加に伴って着実に増加すると予想されていること，および夏季重負荷期の最大需要電力確保という観点から，安定した電源供給力の確保が重要な課題となっている。

日立製作所は，電源立地の容易さ，短納期での電源確保に加え，出力増加および高効率化を目指した排気再燃形コンバインドサイクルによる既設火力発電設備のリパワリング技術の開発・検討を鋭意進めている。

* 日立製作所 日立工場 ** バブコック日立株式会社 呉工場 *** 日立製作所 火力事業部 **** 日立エンジニアリング株式会社

1 はじめに

排気再燃形コンバインドサイクルは、ガスタービン設備と汽力発電設備を組み合わせた複合発電設備であり、ガスタービンの高温排ガスをボイラ燃焼用空気として利用し、出力増加および高効率化を図る発電システムである。

平成4年度の電源開発基本計画では、所要の電源供給予備力を確保するための電源対応として、排気再燃形コンバインドサイクルによる既設火力発電設備のリパワリングの導入が決定された。

ここでは、東京電力株式会社五井火力発電所6号機(以下、五井火力6号機と言う。)、また中部電力株式会社知多火力発電所6号機(以下、知多火力6号機と言う。)、および同社知多第二火力発電所1号機(以下、知多第二火力1号機と言う。)のリパワリング計画概要と据付け・試運転状況について述べる。

2 リパワリング計画概要

2.1 システム構成

既設火力発電設備の制約条件のなかで、急増する電力需要に対応するための出力増加、および短期間での改造がシステム構成選定上重要となる。

また、環境保全上のCO₂低減および省エネルギー観点からの高効率化、運用性の確保も必要となる。

LNG(液化天然ガス)燃焼の高温・大容量ガスタービンを追設した排気再燃形コンバインドサイクルの中で、五井火力6号機では、高効率化を図る目的から、ガスタービン排ガスを直接ボイラ火炉へ供給する高温ウィンドボックス方式を採用した。

また、知多火力6号機および知多第二火力1号機では、既設設備の停止期間が目標3か月と短いことから、ガス給水加熱器方式を採用した。この方式は、ガスタービン排ガスを給水系で熱回収し、ボイラ本体の改造範囲をで

表1 排気再燃形コンバインドプラントの主要仕様
リパワリングによって短期間で、プラント出力を20%以上増加、プラント効率を3.5%以上向上する計画である(いずれも相対値ベース)。

項 目	五井火力6号機	知多火力6号機	知多第二火力1号機	備 考
プラント出力	476 MW (+36%増加)	854 MW (+22%増加)	854 MW (+22%増加)	大気5℃時
蒸気タービン出力	350 MW	700 MW	700 MW	
ガスタービン出力	126 MW	154 MW	154 MW	大気5℃時
プラント効率向上量	+7.8%	+3.7%	+3.5%	大気15℃時(相対値)
ボイラ 形 式	亜臨界圧変圧 貫流形再熱式	超臨界圧定圧 貫流形再熱式	超臨界圧変圧 貫流形再熱式	—
最大蒸発量	1,129→1,020 t/h	2,300→2,150 t/h	2,300→2,050 t/h	
通風方式	押込→平衡	押込→平衡	押込→平衡	
燃 料	LNG	LNG	LNG	
蒸気タービン 形 式	CC4F-26	TC4F-33.5*	TC4F-33.5*	*株式会社東芝製
蒸 気 条 件	16.7 MPa 566/566℃	24.2 MPa 538/538℃	24.2 MPa 538/566℃	
抽 気 段 数	8段→6段	8 段	8 段	
排気真空度	722→717.8 mmHg	722→717 mmHg	722→717 mmHg	
ガスタービン(新設) 形 式	開放サイクル一軸形	開放サイクル一軸形	開放サイクル一軸形	
形 名	F9E'	F7FA	F7FA	
燃 焼 温 度	1,124℃	1,288℃	1,288℃	第1段動翼入口
燃 料	LNG	LNG	LNG	
プラント運用 ガスタービン単独運転	なし	なし	なし	—
汽力単独運転	なし	あり	あり	
コンバインド運転	あり	あり	あり	
発電停止期間	6 か月	3 か月	3 か月	—
営業運転開始	1994年7月 (1968年3月)	1994年9月 (1978年4月)	1994年9月 (1983年9月)	()は既設機

注(1) CC4F-26 (クロス形4流排気、26インチ長翼使用のタービンを示す。)
TC4F-33.5(タンデム形4流排気、33.5インチ長翼使用のタービンを示す。)
(2) プラント効率向上量は、コンバインド運転時と汽力単独運転時のプラント効率の相対比率を示す。
(3) 表中の→の左辺は既設機計画条件、右辺はリパワリング後の計画条件を示す(いずれも相対値ベース)。
(4) ボイラ最大蒸発量(五井火力6号機を除く。)は「汽力単独運転時→コンバインド運転時」を示す。

きるだけ少なくしたものである。

排気再燃形コンバインドプラントの主要仕様を表1に示す。

五井火力6号機では、既設350 MWに126 MWガスタービンを追設し、出力増加を36%(相対値)、効率向上を7.8%以上で、また、知多火力6号機および知多第二火力1号機では、既設700 MWに154 MWガスタービンを追設し、出力増加を22%(相対値)、効率向上を3.5%以上で計画している。

五井火力6号機のリパワリング後のシステム構成を

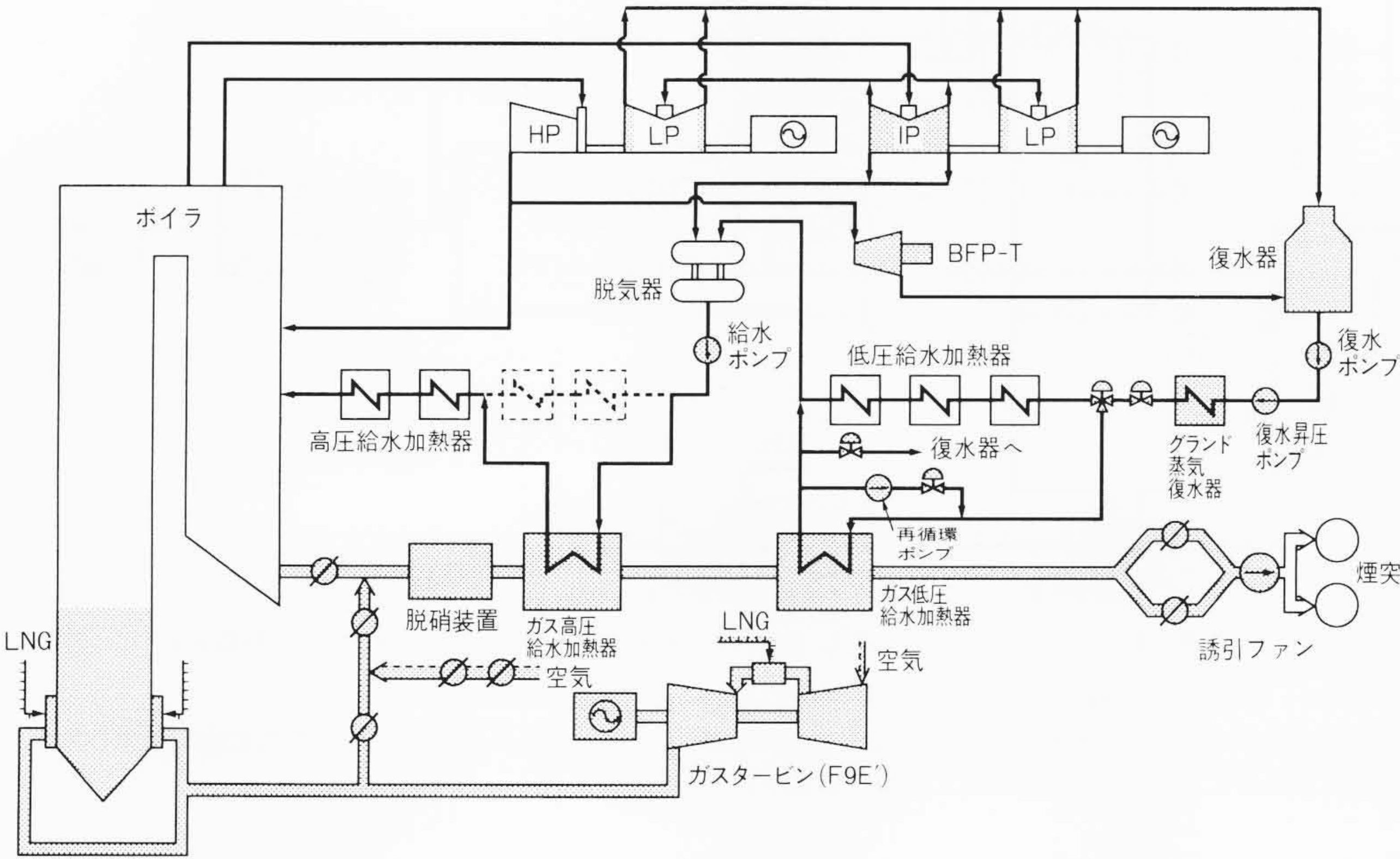
図1に、知多火力6号機および知多第二火力1号機のリパワリング後のシステム構成を図2に示す。

また、排気再燃形コンバインドプラントの形式と特長を比較して表2に示す。

2.2 ガスタービン

五井火力6号機では、ボイラ必要燃焼空気量とジャストマッチし、かつ実績のあるMS9001E形ガスタービンを採用している。

知多火力6号機および知多第二火力1号機では、出力増加および効率向上を目的とするため、1,300℃級ガス



注：略語説明など
□ (新設・改造範囲を示す)
HP, IP, LP (それぞれ蒸気タービンの高圧部, 中圧部, 低圧部を示す)
BFP-T (給水ポンプ駆動用蒸気タービン)

図1 排気再燃形コンバインドプラントのシステム構成(五井火力6号機)
高効率化のため、ガスタービン排ガスは直接ウィンドボックスへ投入される。押込ファンおよび空気予熱器を撤去したため、シンプルな煙風道構成となっている。

表2 排気再燃形コンバインドプラントの形式と特長

ガスタービンおよびボイラ排熱回収システムの構成や既設設備流用の範囲は、排気再燃形コンバインドサイクルの形式やプラント運用方式、ガスタービンとボイラのマッチングに応じて選定される。

項 目	五井火力6号機	知多火力6号機・知多第二火力1号機
排 気 再 燃 コ ン バ イ ン ド サ イ ク ル 形 式	高温ウィンドボックス方式	ガス給水加熱器方式
ガ ス タ ー ビ ン 排 熱 回 収 ガ ス 熱 交 換 器	非設置 (ガスタービン出口約550℃)	第3ガス給水加熱器(新設) (ガスタービン出口約600℃→約350℃)
ボ イ ラ 排 熱 回 収 ガ ス 熱 交 換 器 高 圧 給 水 系 低 圧 給 水 系	ガス高压給水加熱器(新設) (高压給水加熱器と直列設置) ガス低压給水加熱器(新設) (低压給水加熱器と並列設置) 〔ボイラ出口排ガス(約350℃)→煙突入口約100℃〕	第2ガス給水加熱器(新設) (高压給水加熱器と並列設置) 第1ガス給水加熱器(新設) (低压給水加熱器と並列設置)
ボ イ ラ バ イ パ ス 系 統	設置(新設) (プラント起動時および低負荷時に使用)	設置(新設)
押 込 フ ァ ン ・ 空 気 予 熱 器	撤去 〔ガスタービン排ガス>ボイラ必要空気〕 (汽力単独運転なし)	設置(既設流用) 〔ガスタービン排ガス<ボイラ必要空気〕 (汽力単独運転あり)
誘 引 フ ァ ン	設置(新設) (ガスタービン出口側ドラフト調整)	設置(新設)

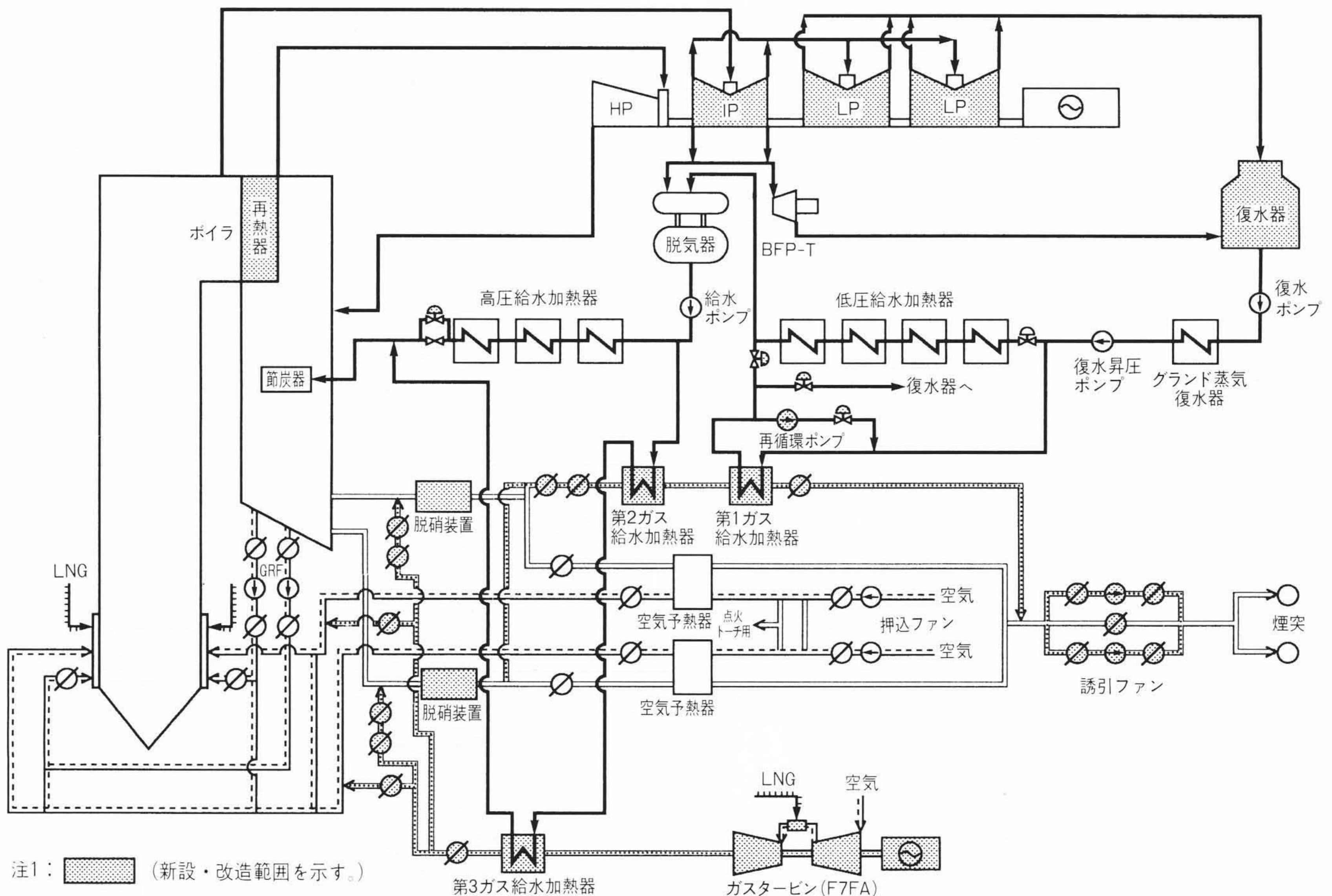


図2 排気再燃形コンバインドプラントのシステム構成(知多火力6号機)

ガスタービンおよび排熱の有効回収のため、ガス給水加熱器が新設される。給水系に熱回収されるため再熱系以降の蒸気流量が増加し、ボイラ再熱器や蒸気タービン中低圧段の改造が必要となる(知多第二火力1号機では低圧段だけ)。

タービンMS7001FA形(以下、F7FA形と略す。)を採用している(図3参照)。

このガスタービンは、燃焼温度(第1段動翼入口温度)1,288℃、圧力比15.4のわが国初の高温・大容量ガスタービンである。実績のある従来機F7EA形をベースに高性能圧縮機の開発(遷音速翼など)や新材料、新冷却技術の採用により、空気流量の増加および燃焼温度の上昇を可能としている。

なお、環境保全上ガスタービンでのNO_x(窒素酸化物)低減が必要であり、予混合燃焼と拡散燃焼を組み合わせた2段燃焼方式を実用化した乾式低NO_x燃焼器を採用した。

2.3 ボイラ

五井火力6号機では高温ウィンドボックス方式のためボイラ本体改造範囲が多くなっているが、知多火力6号機および知多第二火力1号機ではガス給水加熱器方式のため、ボイラ本体改造範囲は比較的少ない。

リパワリングでの主なボイラ改造内容について表3に示す。

2.4 蒸気タービン設備

リパワリングでの蒸気タービンおよび主要プラント補機の主な改造や計画内容について表4に示す。

3 据付けおよび試運転

五井火力6号機、知多火力6号機および知多第二火力1号機の据付けおよび試運転の主要スケジュールを表5に示す。

試運転では、ガスタービンと既設ボイラおよび蒸気タービンとの協調をとりながら、負荷配分の確認、負荷遮断試験、起動・停止試験などを実施し、所要の機能を確認することができた。

五井火力6号機は、既設押込ファンを撤去しており、ガスタービン先行起動方式を採用している。

ガスタービン起動後、初負荷保持中にボイラ点火、蒸

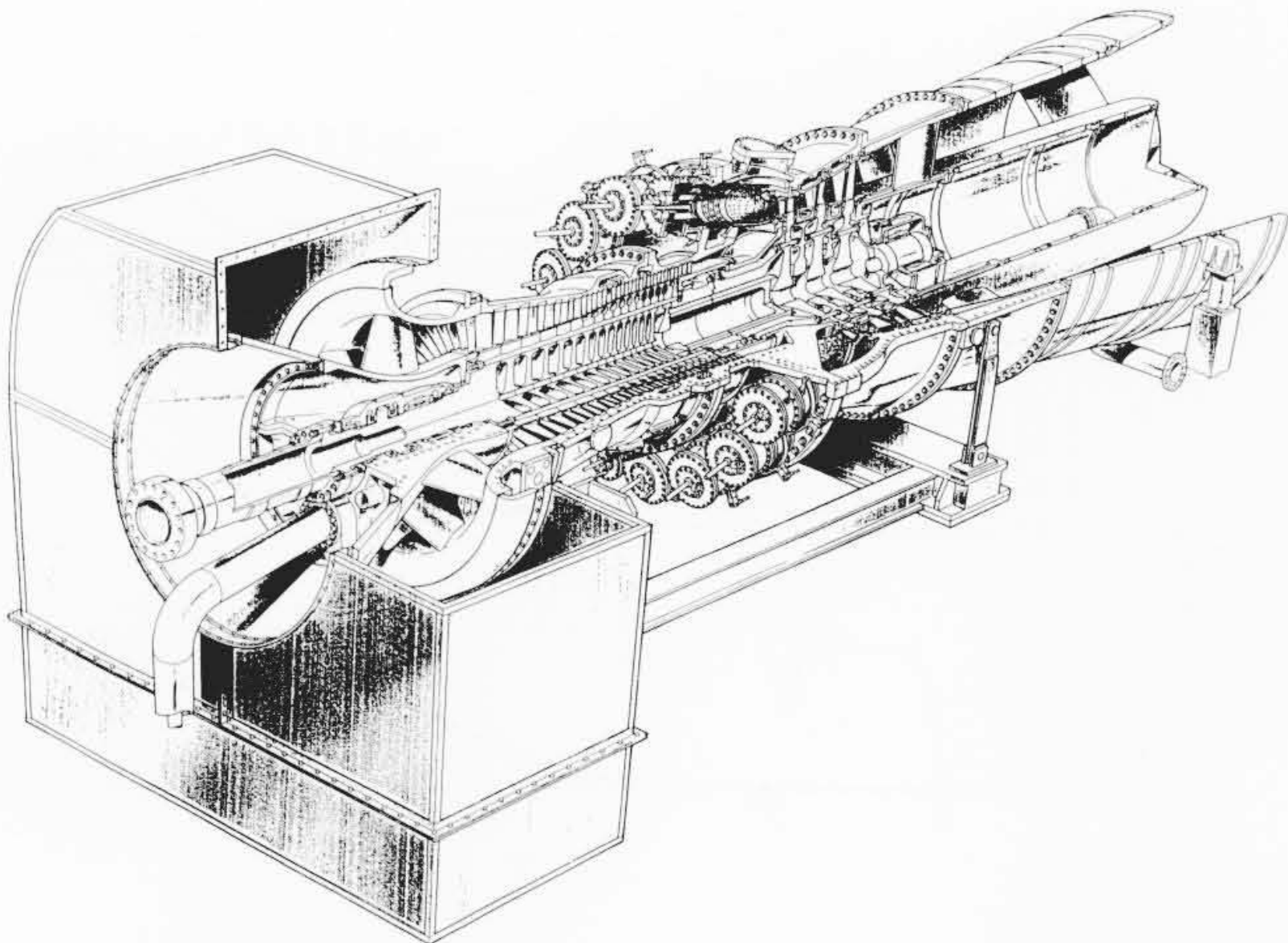


図3 F7FA形ガスタービンの本体断面
軸流排気形の最新鋭ガスタービンであり、高い熱効率を達成するとともに、低NOx燃焼器の採用によって環境への配慮も図っている。

気タービンの通気、並列を行い、規定の負荷配分に従って負荷上昇させ、ドラフト、蒸気温度特性などを確認した。
五井火力6号機の起動実績の一例を図4に示す。
一方、知多火力6号機および知多第二火力1号機は、

表3 リパワリングでのボイラ改造内容
リパワリングでのボイラ改造内容は、排気再燃形コンバインドサイクルの形式によって異なる。

項 目	五井火力6号機	知多火力6号機	知多第二火力1号機
ボイラ形式	亜臨界圧変圧貫流形再熱式 (定圧貫流形を改造)	超臨界圧定圧貫流形再熱式	超臨界圧変圧貫流形再熱式
ウィンドボックス	高温ウィンドボックス	既設流用	既設流用
水 壁	水壁スパイラル化	既設流用	既設流用
バーナ	新型バーナおよび配置適正化	既設流用	既設流用
点火トーチ	新替(フレッシュエア付)	フレッシュエア化 (燃焼空気の低O ₂ 化に伴い着火性および保炎性確保)	フレッシュエア化
過熱器	3次過熱器撤去 (主蒸気流量減少)	既設流用	既設流用
再熱器	再熱器伝熱面積追加 (再熱蒸気流量増加によって再熱器熱吸収割合が増加)	つり下げ再熱器追設	つり下げ再熱器追設
脱硝装置	新設 (処理ガス量増加およびガスタービン出口NOx追加によるNOx濃度の増加対応)	触媒増量および板状触媒追設	触媒増量

表4 リパワリングでの蒸気タービン設備改造内容
排気再燃形コンバインドサイクルでは、ガスタービン設備が追加されること、および復水器熱負荷が増加するため、復水器や循環水系設備の検討が必要となる。

項 目	五井火力6号機	知多火力6号機	知多第二火力1号機
蒸気タービン	中圧ロータおよび低圧最終段動翼(新替) (耐力強化および効率向上)	中・低圧段静翼(新替) (再熱・低圧蒸気流量増加による抽気圧力増加を既設程度とする。)	低圧段静翼(新替)
ガスタービン補機冷却水設備	海水冷却設備(新設) (循環水系改造に伴い分岐)	乾式ラジエータ設備(新設) (既設取り合いなし)	乾式ラジエータ設備(新設) (既設取り合いなし)
復水器	冷却管材質変更および水室改造 (復水器冷却水量増加)	既設流用 (復水器冷却水量は既設のまま)	既設流用
循環水系設備	新替	既設流用	既設流用
復水系設備	復水系補機(新替) (容量増加)	既設流用 (予備機運用対応)	既設流用 (予備機運用対応)
給水ポンプ駆動用蒸気タービン	復水形(100%容量1台)(新替) (既設:抽気背圧形:50%容量2台)	既設流用	既設流用

表5 据付けおよび試運転スケジュール
既設火力のリパワリングでは、短期間で据付けおよび試運転が行われる。

項 目	平成4年	平成5年	平成6年
五井火力6号機	11月 ▽ 建屋着工	10月 ▽ GTオンベース	発電停止期間6か月 4月 ▽ ボイラ点火 7月 ▽ 運転 ガスタービン点火
知多火力6号機 知多第二火力1号機	11月 ▽ 建屋着工	10月 ▽ GTオンベース	発電停止期間3か月 4月 ▽ ボイラ点火 5月 ▽ 運転 9月 ▽ ガスタービン点火

汽力単独運転を行うこと、および押込ファンを設置していることから、蒸気タービン先行起動方式を採用している。
すなわち、コンバインド起動(蒸気およびガスタービン停止状態からの起動)とガスタービン追加起動(蒸気タービン運転中にガスタービンを起動)で、同じ起動操作を可能として運転員の操作を容易としている。
蒸気タービン²/₄負荷の状態でガスタービンを起動し、ガスタービンの点火、並列、負荷上昇とともにボイラ煙

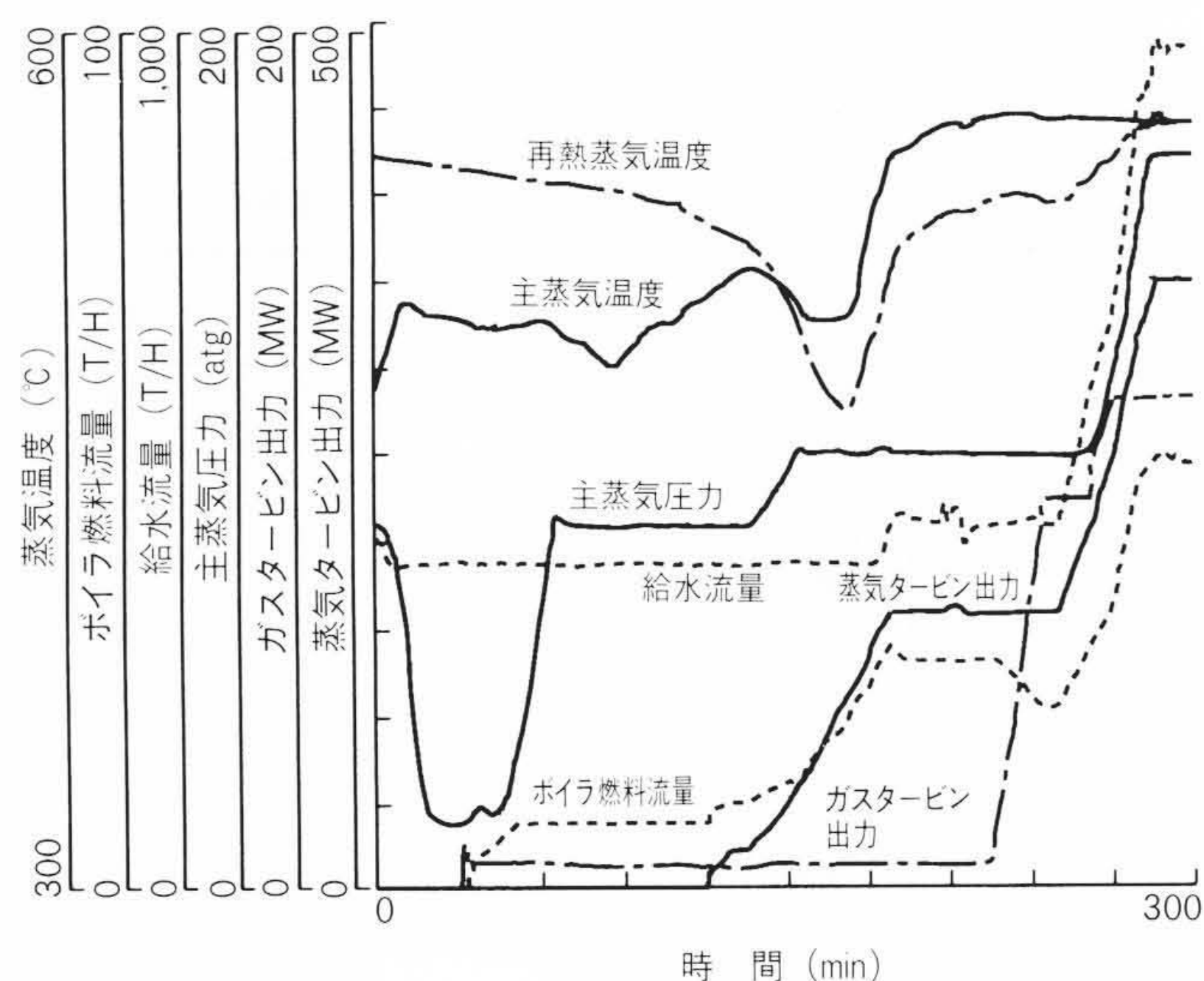


図4 ホット起動実績(五井火力6号機)

ガスタービン起動後初負荷保持中に蒸気タービンの並列、負荷上昇を行い、規定の負荷配分によってガスタービンを負荷上昇している。

表6 プラント性能確認結果

プラント効率向上量は計画を上回っている。プラント効率向上量は、コンバインド運転時とボイラの単独運転時のプラント効率の相対比率を示す。

項 目	プラント効率向上量	プラント効率 (コンバインド時)
五井火力6号機	+7.8%	41.5%
知多火力6号機	+5.0%	40.1%
知多第二火力1号機	+5.7%	40.7%
備 考	相対値	大気15℃換算値

風道系および給復水系の切り替えを行い、ドラフト、給水温度、蒸気温度、燃焼空気切替特性などを確認した。

ガスタービン追加起動実績の一例を図5に示す。

また、プラント性能試験では、プラント効率向上率が、計画性能を満足することを確認した。

プラント性能確認結果を表6に示す。

4 おわりに

日立製作所は、このたび排気再燃形コンバインドサイクルによる既設火力のリパワリングに取り組み、計画・

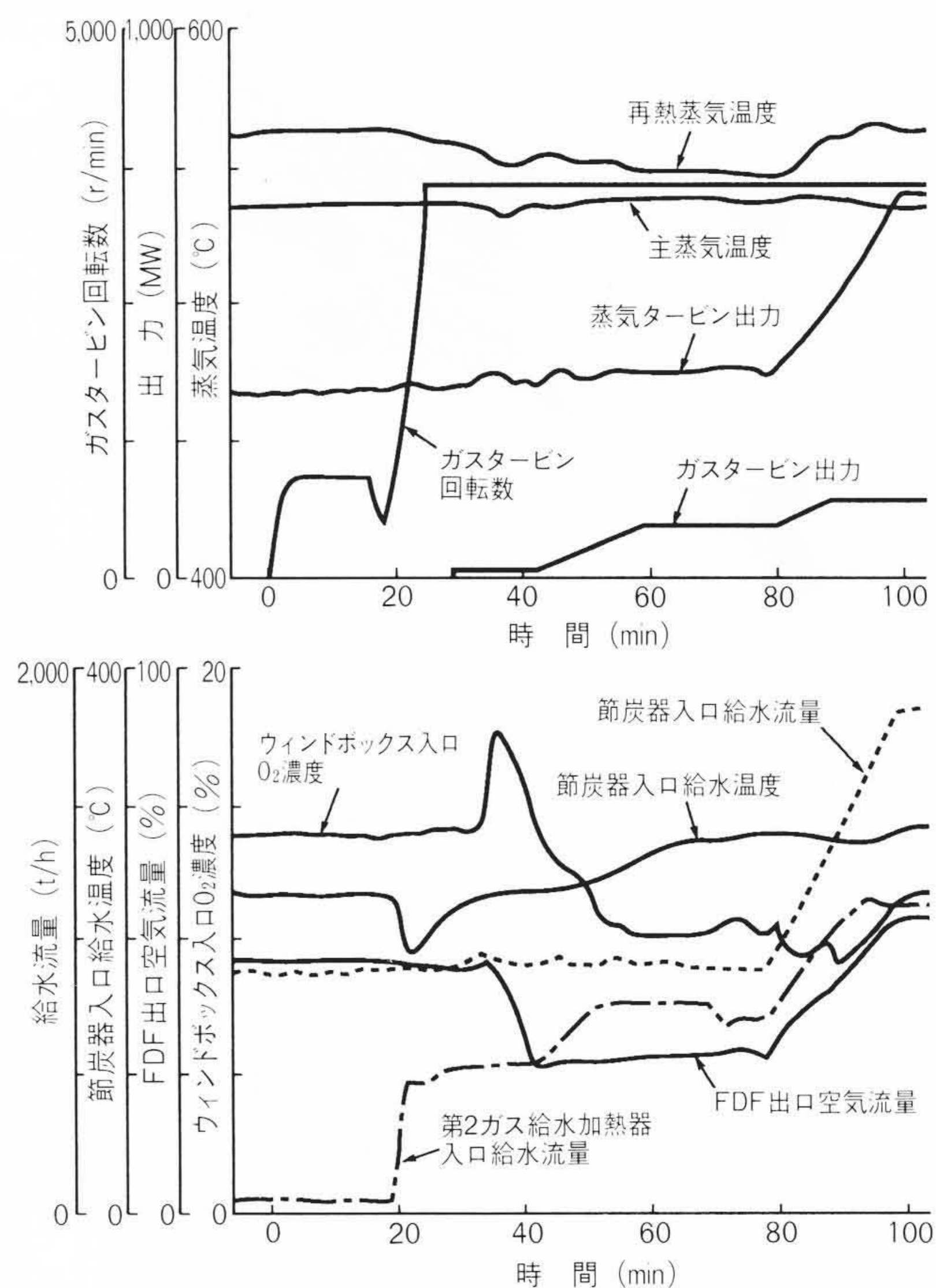


図5 ガスタービン追加起動実績

知多第二火力1号機でのガスタービン追加起動実績を示す。蒸気タービン $\frac{2}{4}$ 負荷でガスタービンを追加起動し、煙風道系や給水系の切り替えを行いながら負荷上昇している。

設計・製造・据付け・試運転を短期間のうちに実施し、所要の機能を確認した。

今後とも、環境調和に配慮した発電システムの検討を通じ、最適なりパワリングシステムひいてはエネルギーのベストミックスを念頭においた技術開発に、積極的に取り組んでいく考えである。

終わりに、このプラントの計画、建設および試運転に関してご指導とご協力をいただいた東京電力株式会社および中部電力株式会社の関係各位に対し、感謝する次第である。

参考文献

- 1) 森川、外：排気再燃形コンバインドサイクル適用による既設火力の再生、日立評論、74、11、797～802(平4-11)
- 2) 川内：発電設備のリパワリング技術、火力原子力協会中部支部講習会、(1992-8)
- 3) M. Takizawa, et al.: Repowering of Thermal Power Plants as Fully-Fired Combined Cycle Generating Plants, IGTI-Vol. 8, ASME Cogen Turbo Power, Book No. I00348-1993