

# 高性能ガスタービン コージェネレーション プラント

## High Overall Efficiency Cogeneration Plant with H-25 & PGT-10 Gas Turbine

近年、省エネルギーという観点からコージェネレーション(熱電併給)設備の採用が産業界で活発に行われている。日立製作所では、自主開発による25 MW級H-25形ガスタービン、および技術協力グループの一員であるイタリアのヌーボピニョーネ社の開発した10 MW級PGT-10形ガスタービンを使用した高性能コージェネレーションプラントを、相次いで完成した。ゼネラル石油株式会社堺製油所納めは平成元年8月、日本鉱業株式会社知多製油所納めは同年10月から営業運転を開始し、連続運転を続けている。これら設備の性能は試運転中の諸試験によって実証され、高い省エネルギー効果を発揮するとともに動力の安定供給、環境の保持など製油所の安定操業に寄与している。

青木 昱秀\* *Ikuhide Aoki*  
 上田 芳男\* *Yoshio Ueda*  
 栗林 哲三\* *Tetsuzô Kuribayashi*  
 目黒 和利\* *Kazutoshi Meguro*  
 武藤 健一\*\* *Ken'ichi Mutô*

### 1 緒 言

コージェネレーションは、ガスタービン、ディーゼルエンジン、ガスエンジンなどの熱機関によって発電を行うと同時に、従来排熱として廃棄していた熱エネルギーを蒸気、温水などの形で熱回収し、エネルギーの有効活用を図るものである。

これらは、その用途や規模によって小規模分散形の民生用コージェネレーション、中規模産業用(自家発電)コージェネレーションおよび集中大規模都市開発コージェネレーション用に分類することができる。日立製作所は古くからこれらに相当する発電設備の製作実績を持っているが、新規に開発した高性能・高効率ガスタービンを採用して発電熱効率を向上させるとともに、総合熱効率を大幅に改善した産業用コージェネレーションプラントを開発した。本稿では、ゼネラル石油株式会社堺製油所(以下、堺製油所と言う。)納め、H-25ガスタービン コージェネレーション プラントを中心に述べる。

### 2 プラント概要

#### 2.1 プラントの特徴

日立製作所のガスタービン コージェネレーション プラントは、ガスタービン発電設備、排熱回収ボイラ、排熱回収ボイラに組み込まれた触媒による脱硝装置および各補機で構成している。

プラントの特徴は下記のとおりである。

(1) 熱電比(供給可能熱出力と発電出力を熱出力に換算した比率)は1.3前後で、蒸気少消費・電力多消費形コージェネレー

ションプラントに適している。

(2) ガスタービンは、連続運転と頻繁な起動・停止に耐えられるヘビーデューティ形高効率ガスタービンで、発電熱効率32%、総合熱効率60~70%が得られる。

(3) NO<sub>x</sub>、ばいじん、騒音などに対し十分な対策を行った環境対策形プラントである。

(4) プラント起動・停止が容易で、電力・蒸気とも約1時間(ホットスタート)で発生させることが可能である。

(5) 建設工期が短い。

#### 2.2 プラント仕様と構成

主要設備の仕様を表1に示す。

日立製作所が自主開発したH-25形ガスタービンによるコージェネレーションプラントで、製油所に納入した系統構成を図1に示す。製油所で発生した副生ガスを、ガス圧縮機で2,452 kPaまで昇圧し、ガスタービンの燃焼器で圧縮空気と混合燃焼した1,260℃の燃焼ガスによってガスタービンを回転させ、2万4,090 kWの発電出力を得る。ガスタービンで仕事をした後の525℃の排ガスにより、排熱回収ボイラで42 t/h、4,688 kPa、417℃の蒸気を発生させプロセス蒸気として使用する。灯油燃料は、ガスタービンの起動時および副生ガス燃料のバックアップとして使用する。

蒸気圧力と蒸気温度による排熱回収ボイラ発生蒸気量特性(追いだきなしの場合)を図2に示す。追いだきすることにより、発生蒸気量を増加することができる。

\* 日立製作所 日立工場 \*\* バブコック日立株式会社 呉工場

表1 主要設備の仕様 製油所に納入したコージェネレーションプラントの主要設備の仕様例を示し、蒸気仕様は必要条件に応じ変更することができる。

納入先		ゼネラル石油株式会社 堺製油所	日本鉱業株式会社 知多製油所
ガスタービン	形式	開放単純サイクル 一軸式 (H-25)	開放単純サイクル 二軸式 (PGT-10)
	燃料	製油所副生ガス (起動用：灯油)	製油所副生ガス (起動用：軽油)
	出力	24,800 kW (5℃)	11,130 kW (0℃)
	回転数	7,280 r/min	10,800(高压)/ 7,900(低压) r/min
発電機	形式	回転界磁全閉形	回転界磁開放形
	容量	27,700 kVA	12,370 kVA
	力率	0.9	0.9
	電圧	13.8 kV	6.6 kV
排熱回収ボイラ	形式	横形、自然循環排熱回収式	横形、自然循環排熱回収式
	蒸発量	42.0 t/h (15℃)	16.9 t/h (20℃)
	蒸気圧力	4,688 kPa	4,021 kPa
	蒸気温度	417℃ (15℃)	310℃ (20℃)
	脱硝装置	乾式アンモニア接触還元分解法	乾式アンモニア接触還元分解法

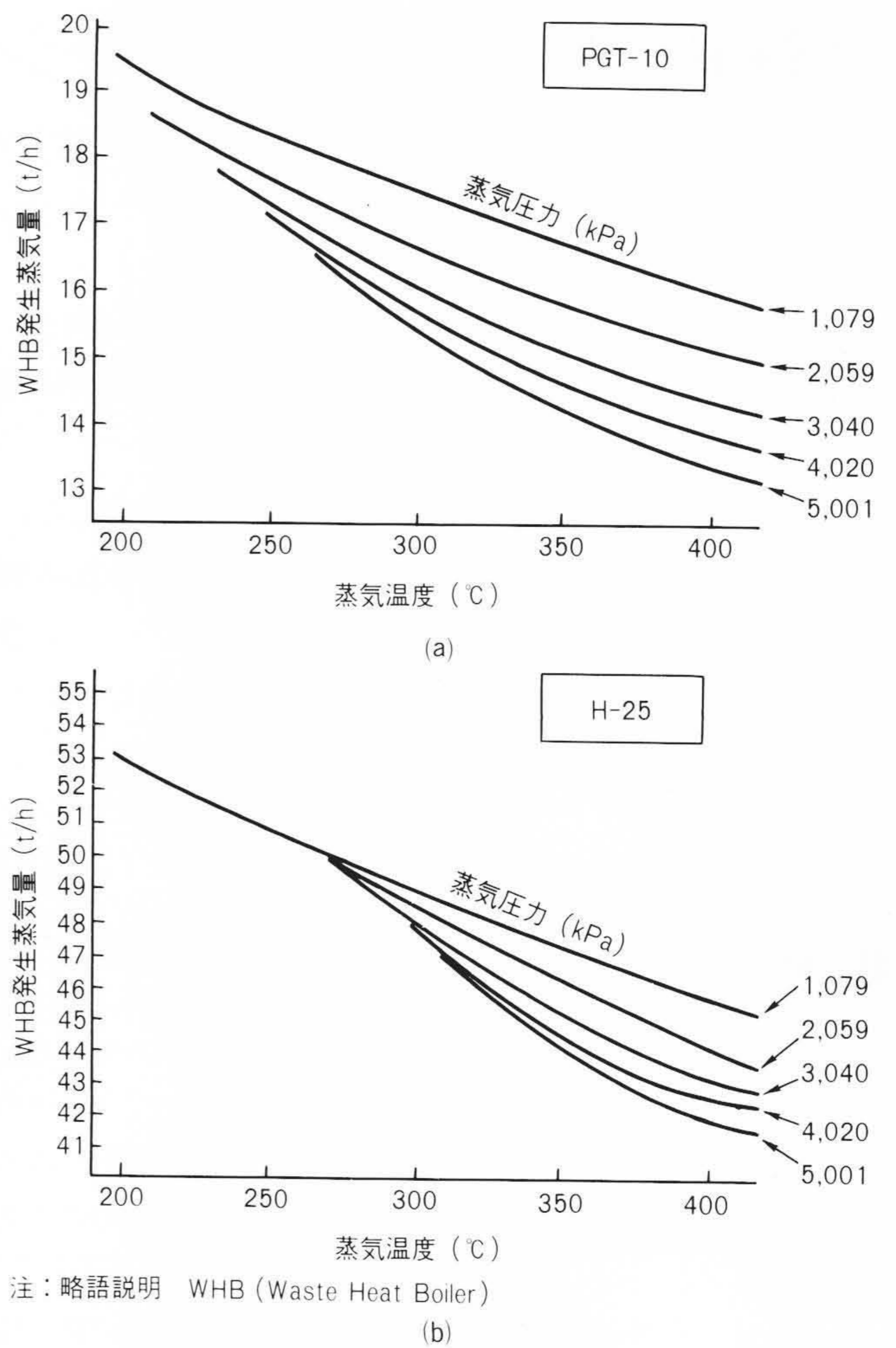


図2 排熱回収ボイラ発生蒸気量特性 追いだきなしの場合を示す。追いだきすることによって、発生蒸気量を増加することができる。

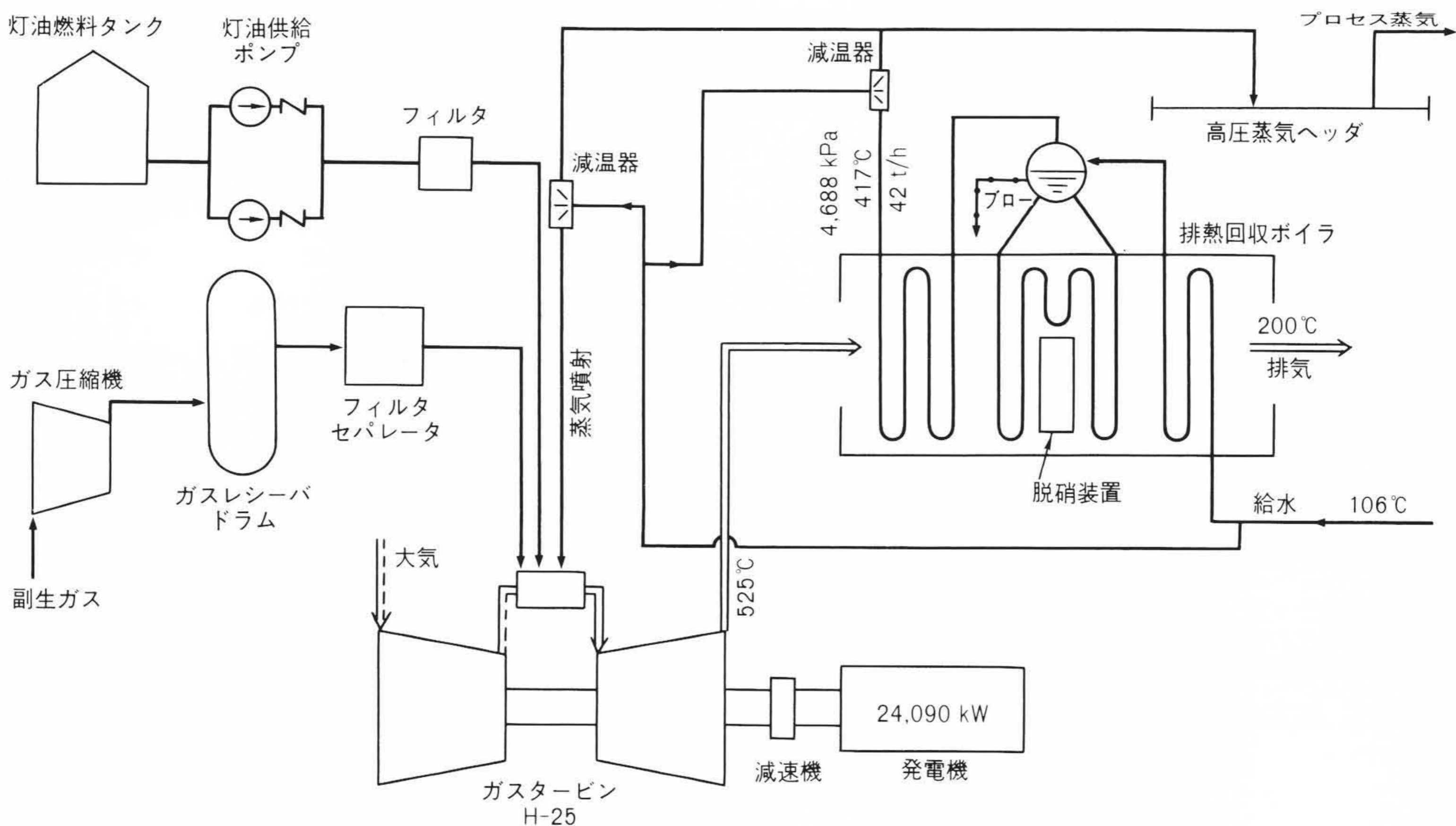


図1 系統構成 H-25形ガスタービンによるコージェネレーションプラントの系統構成を示し、大気温度15℃の場合を示す。

### 2.3 プラントの運用と制御

コージェネレーションプラントは、運転員の省力化、運転の容易性などから、石油精製装置などの集中制御を行っている中央制御室から制御が可能である。ガスタービン制御装置は、コンパクトに設計されたデジタル制御方式である。プラントの起動過程では、ガスタービンの排ガス温度と排熱回収ボイラの熱特性間の協調がとれるように、ガスタービンはプログラム制御によって負荷上昇を行う。

常時の運転は系統と並列運転されるが、緊急時は系統から解列される。この際は負荷選択遮断装置によって電力負荷が配分され、安定な運転が継続される。また、発電設備の緊急停止の際は排熱回収ボイラも停止となるが、製油所ボイラの蒸気発生増と蒸気負荷の選択配分を行うことによって、蒸気系も安定運転を行うことが可能なように配慮されている。

### 2.4 環境対策

環境対策プラントとして次の対策が採用されている。

(1) 排ガスのNO<sub>x</sub>対策として、ガスタービン燃焼器部に蒸気噴射することによってNO<sub>x</sub>を低減し、さらに排熱回収ボイラに組み込まれた触媒による脱硝装置により、10~16 ppm以下

(16%O<sub>2</sub>換算)に低減する。ばいじんは、ガスおよび灯油燃料で20 mg/Nm<sup>3</sup>以下である。

(2) 騒音対策として、圧縮機入口部およびガスタービン排気部に消音器を設置し、標準パッケージで90~95 dB(A)、さらに低減が必要な場合は、防音エンクロージャを設けて対策することができる。

### 2.5 レイアウト

製油所内の周囲を既設に囲まれた限られた立地条件に適合し、コンパクトに配置された堺製油所納めの例を図3に、その全景を図4に、また日本鉱業株式会社知多製油所(以下、知多製油所と言う。)納めのプラント全景を図5に示す。

### 2.6 建設工程

ガスタービンコージェネレーションプラントの標準的な建設工程を図6に示す。各種計画条件により多少の差異はあるが、契約完了から運転開始まで16~17か月が必要である。

堺製油所納めは昭和63年3月契約、平成元年8月に、知多製油所納めは昭和63年4月契約、平成元年10月にそれぞれ運開した。鶴崎共同動力株式会社納めは平成元年4月契約、平成2年8月運開目標で建設中である。

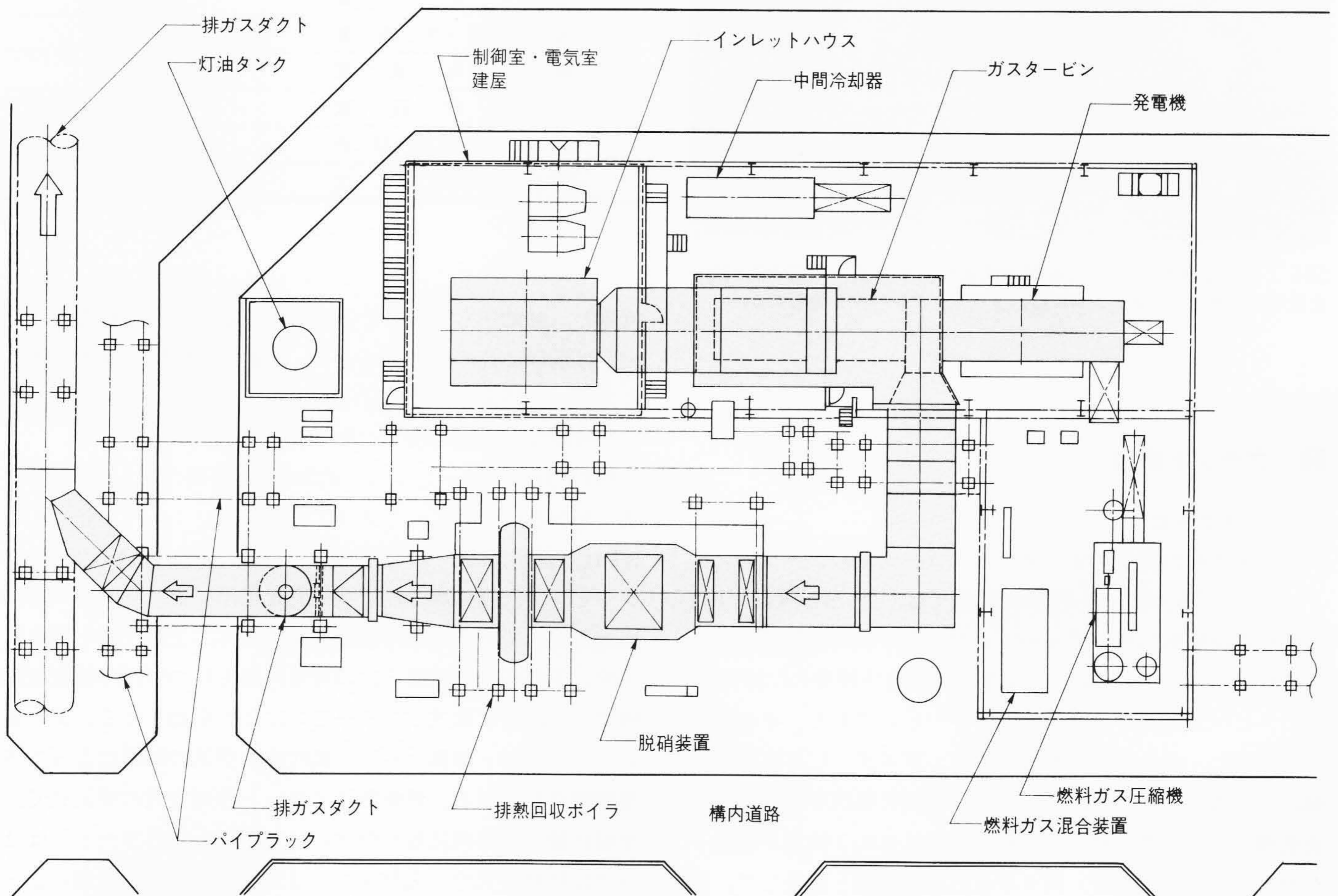


図3 ゼネラル石油株式会社堺製油所(以下、堺製油所と言う。)納めプラント全体レイアウト ガスタービン発電機は上屋内に配置され、メンテナンス用の天井クレーンが設備されている。

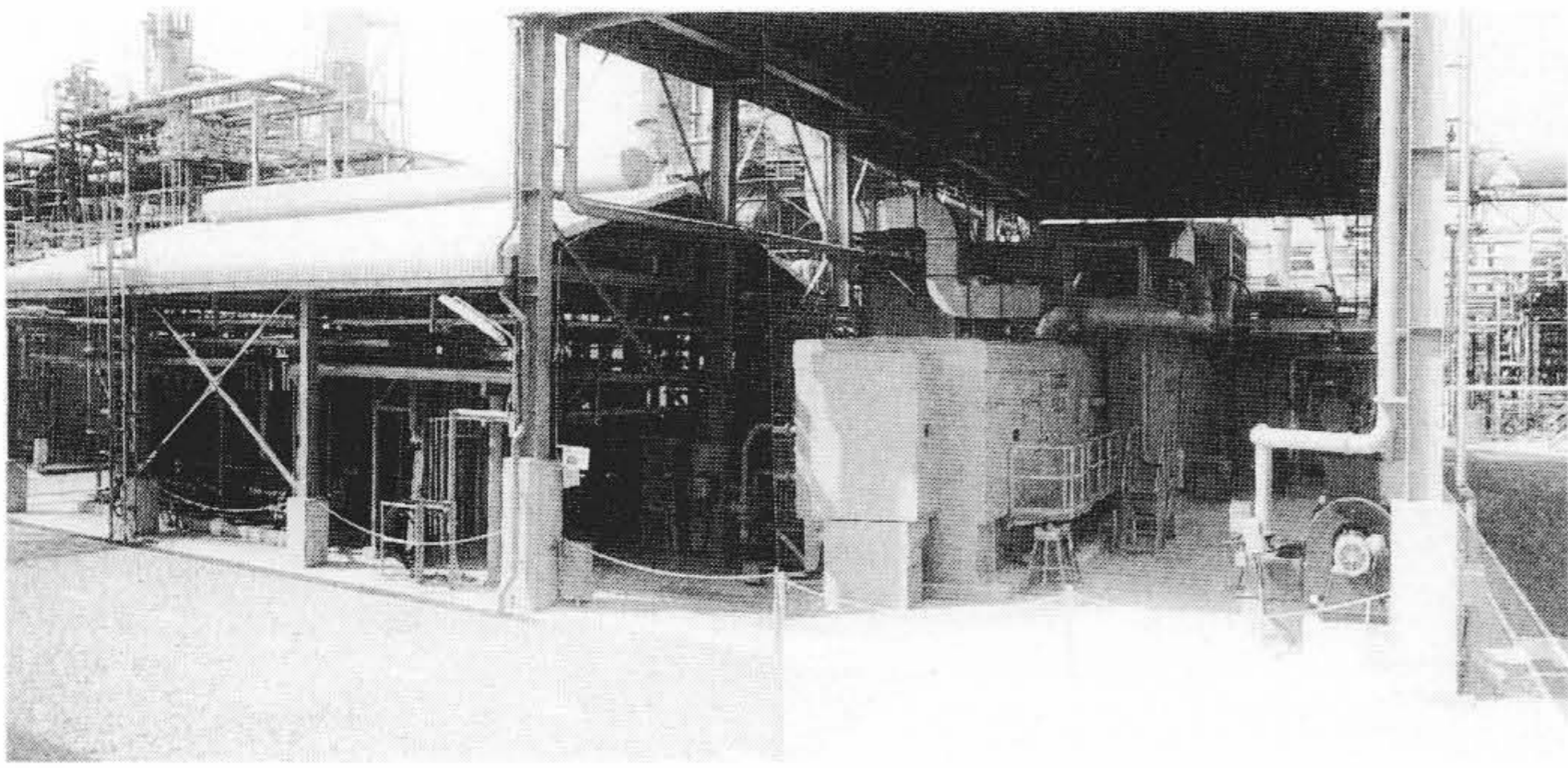


図4 堺製油所納め全景 ガスタービン用のインレットハウスは、制御室、電気室建屋の屋上に配置されている。

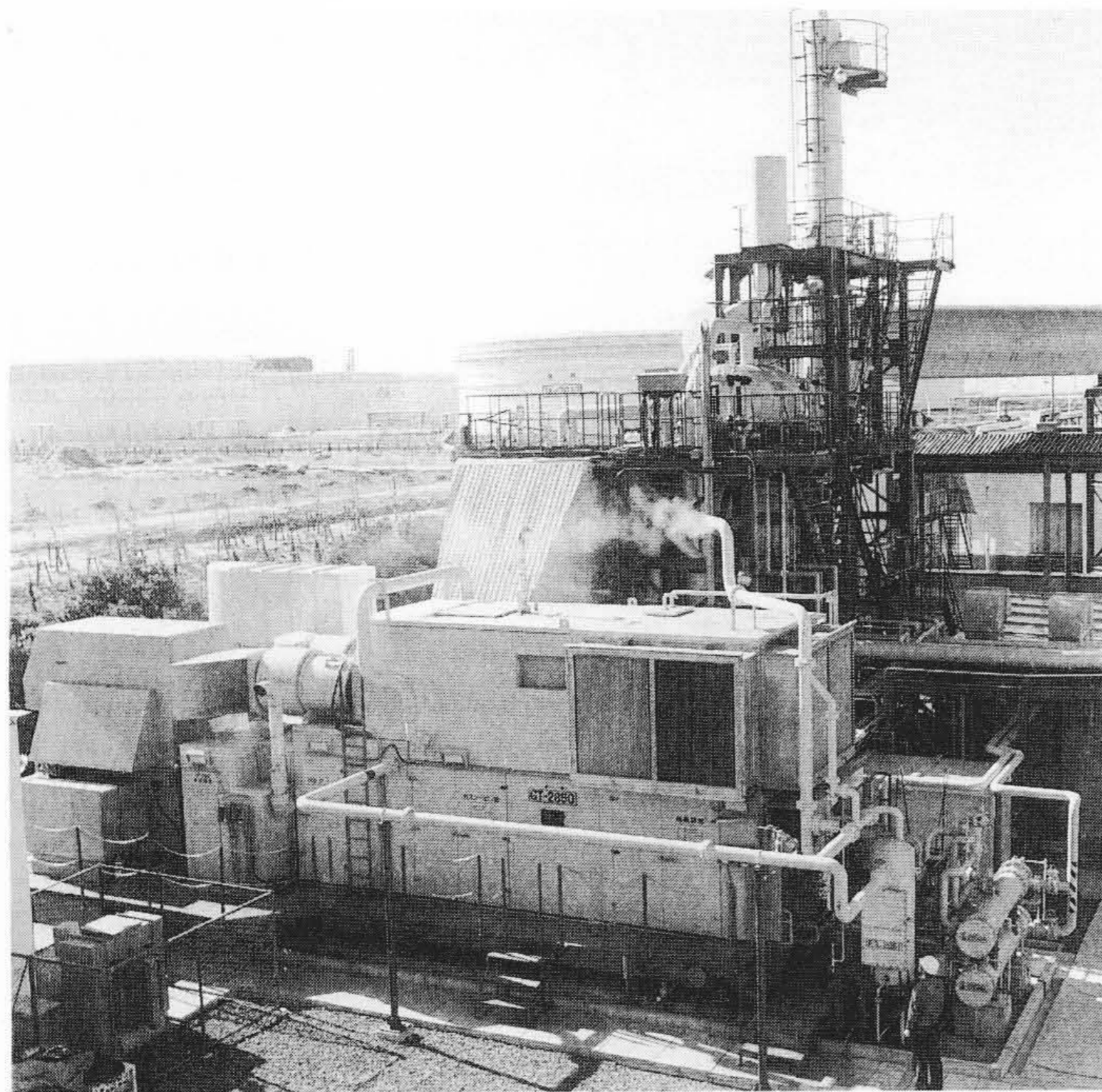


図5 日本鉱業株式会社知多製油所納め全景写真 電気室を除き全屋外式主機のメンテナンスには、トラッククレーンを使用する。

### 3 プラント機器

#### 3.1 ガスタービン

日立製作所の産業用ガスタービンコージェネレーションプラントの出力8,000～3万kWの範囲では、H-25とPGT-10の2機種の高効率ヘビーデューティガスタービンを採用している。H-25ガスタービンは、日立製作所が自主開発した25 MW級のヘビーデューティ高効率ガスタービンである。その断面図を図7に、主な仕様を表2に示す。ガスタービンは17段の軸流圧縮機、衝動式3段タービン、10個の環状多缶式燃焼器を装備した発電機駆動用の開放単純サイクル1軸式が標準パッケージタイプである。同クラスの従来機種と比較して、高圧力比圧縮機の使用、第1段静翼および動翼の内部空気冷却方式の強化による燃焼温度(タービン入口ガス温度)1,260℃を

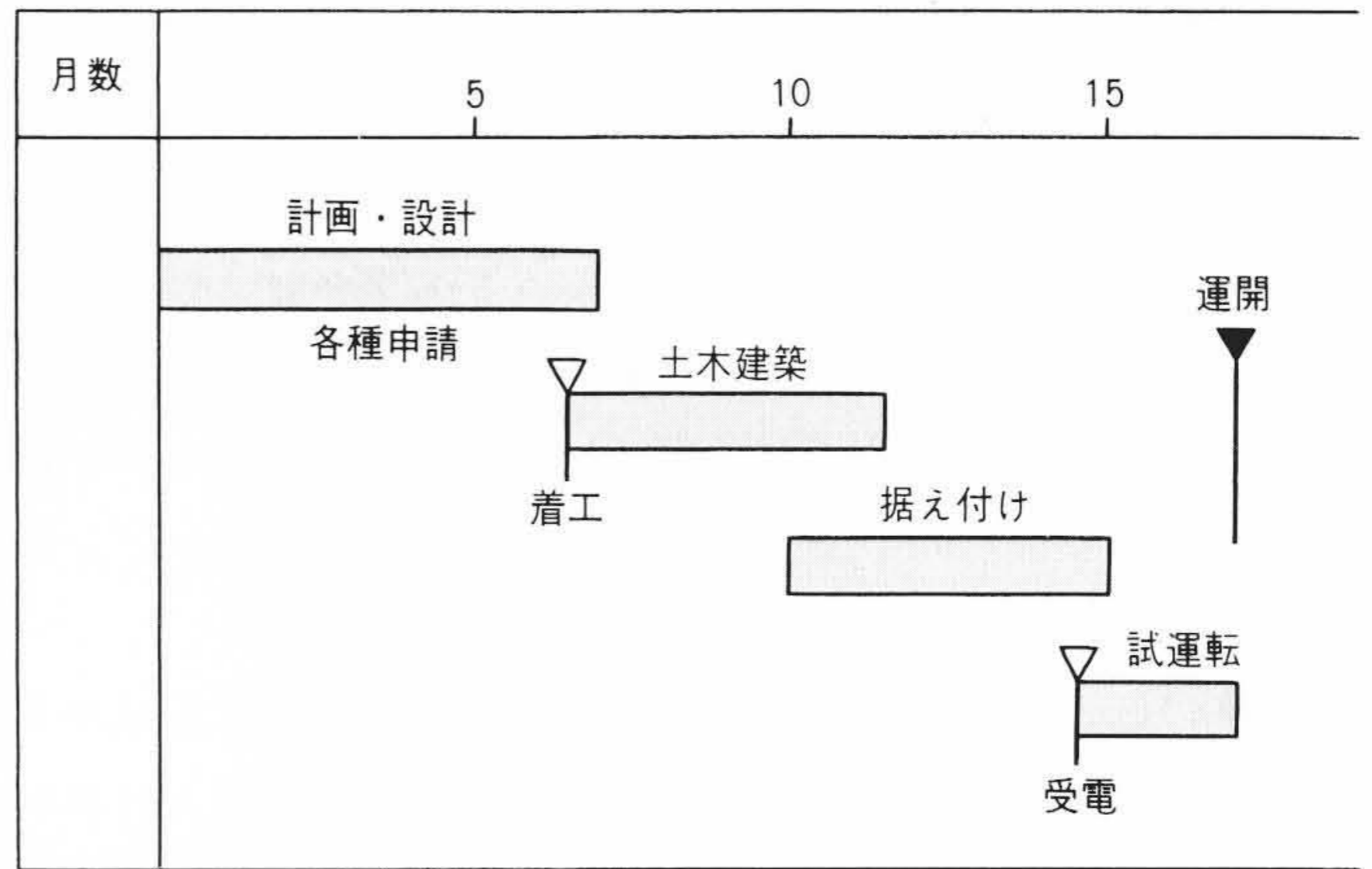


図6 標準的な建設工程 主機を収納する建屋を設ける場合は、そのための期間増を要する。また、計画、設計、各種許認可取得および試運転には十分な期間をとることが肝要である。

表2 H-25ガスタービン シンプル サイクルの主な仕様 この表はISO基準の性能値を示し、出力は軸端、燃料は天然ガスで吸排気ロスは含まない場合を示している。

項 目	H-25
出 力	26,770 kW
効 率 (LHV)	32.6%
回 転 数	7,280 r/min
入 口 ガ ス 温 度	1,260℃
排 ガ ス 温 度	550℃
圧 縮 機 段 数	17段
タ ー ビ ン 翼 段 数	3段
圧 縮 比	14.7

実現し、熱効率も32.6%を達成している。翼の冷却空気の吹出しは前縁に孔のない方式とし、広範囲の燃料に適用できるようにしている。また、H-25は従来機種とそっくりリプレースが可能な、全体寸法また取り合い寸法となっている。

PGT-10ガスタービンは、約200台の実績のあるFS1形ガスタービンをベースに、イタリアのヌーボピニョーネ社(以下、NP社と言う。)によって開発された最新の10 MW級の2軸ガスタービンで、高燃焼温度、高圧力比採用によって34%の高効率を達成している。その断面図を図8に、主な仕様を表3に示す。圧縮機は上流側5段の可変静翼を持つ17段の軸流圧縮機で、2段の反動式ガスタービンにより駆動される。タービン1、2段動・静翼とも圧縮機吐出し空気の抽気によって内部冷却されている。燃焼器はスロット冷却方式の単缶式で、垂直に軸直角方向に取り付けられている。出力タービンは2段の反動軸流式で、入口ノズルは角度可変方式の採用によって、圧縮機可変静翼との組み合わせにより、広い出力範囲で高効率を発揮する。ガスタービンは圧縮機、タービン、燃焼

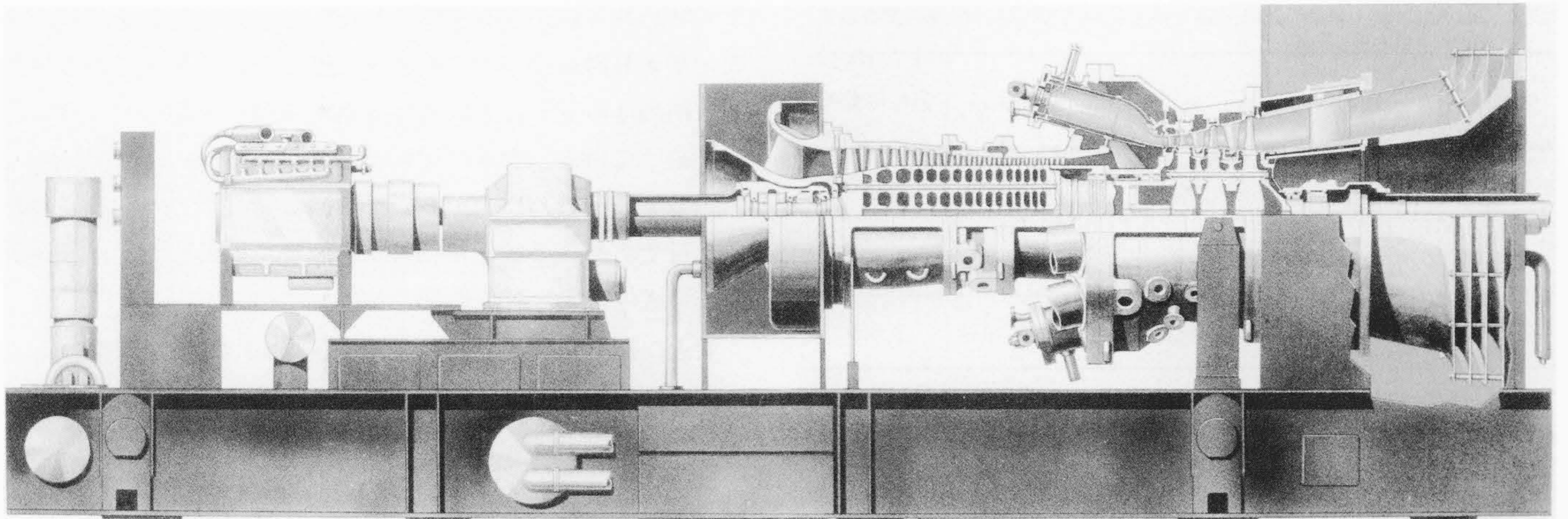


図7 H-25形ガスタービン断面図 この図はコモンベース上に据え付けられたH-25ガスタービンの補機および本体の構造を示すもので、本体部分は上半が断面、下半が外形状を示している。

表3 PGT-10ガスタービン シンプル サイクルの主な仕様 この表はISO(国際標準化機構)基準の性能値を示し、出力は軸端、燃料は天然ガスで、吸排気ロスは含まない場合を示している。

項目	PGT-10
出力	10,300 kW
効率 (LHV)	34.0%
回転数	高压タービン 10,800 r/min 低压タービン 7,900 r/min
入口ガス温度	1,070 °C
排ガス温度	477 °C
圧縮機段数	17段
タービン翼段数	4段
圧縮比	14.5

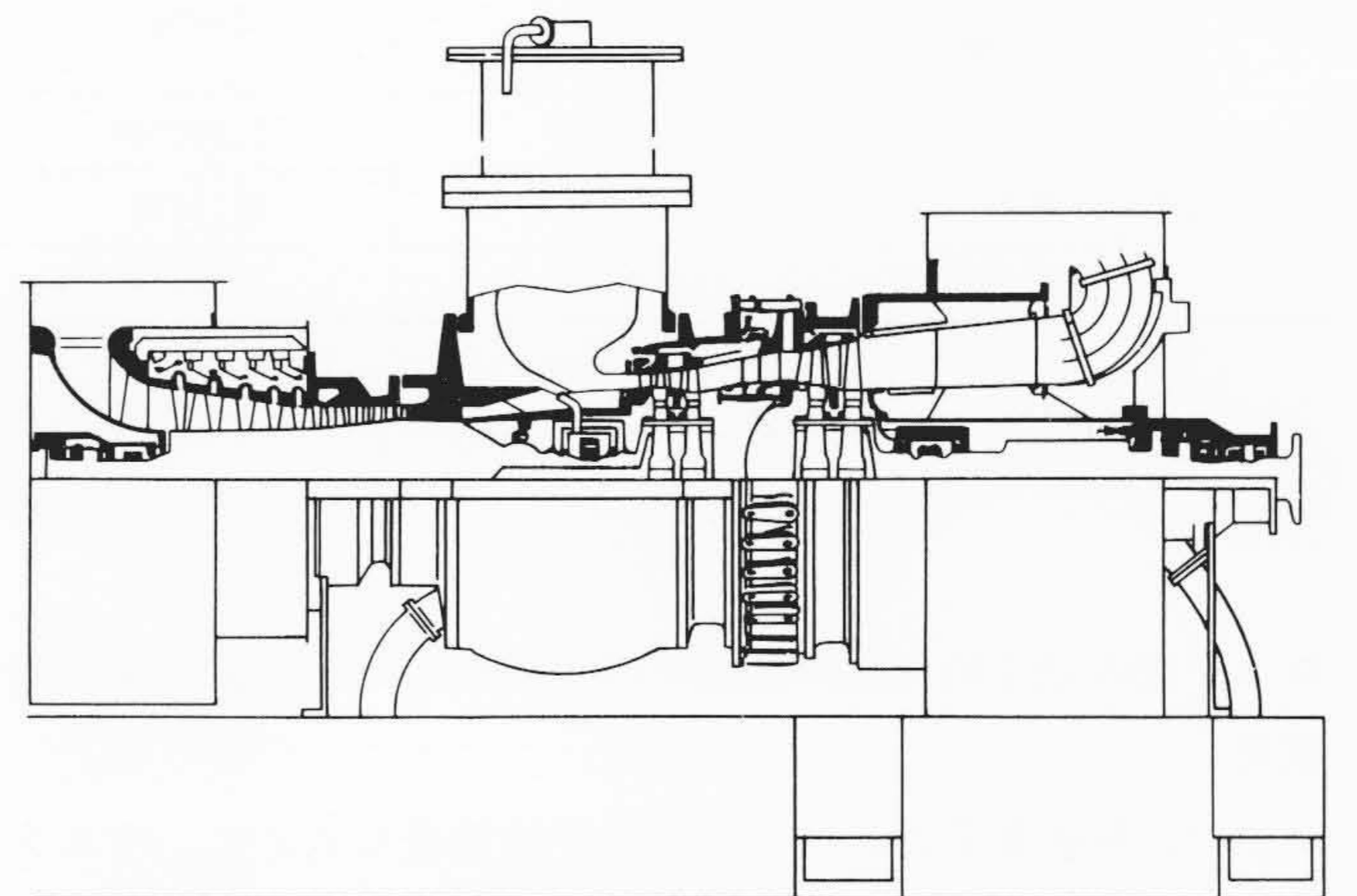


図8 PGT-10ガスタービン断面図 この図はコモンベース上に据え付けられたPGT-10ガスタービン本体部分の構造を示すもので、上半が断面、下半が外形状を示している。

器、空気取入れ室および補機を含めコモンベース上(2.5 m×8.1 m)に据え付けられるパッケージタイプとなっている。

### 3.2 排熱回収ボイラ

このボイラは横置き自立形で自然循環式を基本構造とし、ガスタービンの特性を生かすよう、コンパクト化、シリーズ化、急速起動・停止および工期短縮をねらいとして下記のような設計上の配慮をしている。

- (1) 高効率熱回収の可能なスパイラルフィンチューブの採用によるコンパクト化
- (2) シリーズ化を容易にするため、管と管寄せから成る標準化されたパネル構造を採用し、その組み合わせによって全体を構成する。
- (3) 急速起動・停止時でも、発生熱応力の低い伸び構造と十分な耐震構造の採用
- (4) 工期短縮と信頼性向上をねらいとした本体部分の工場ブ

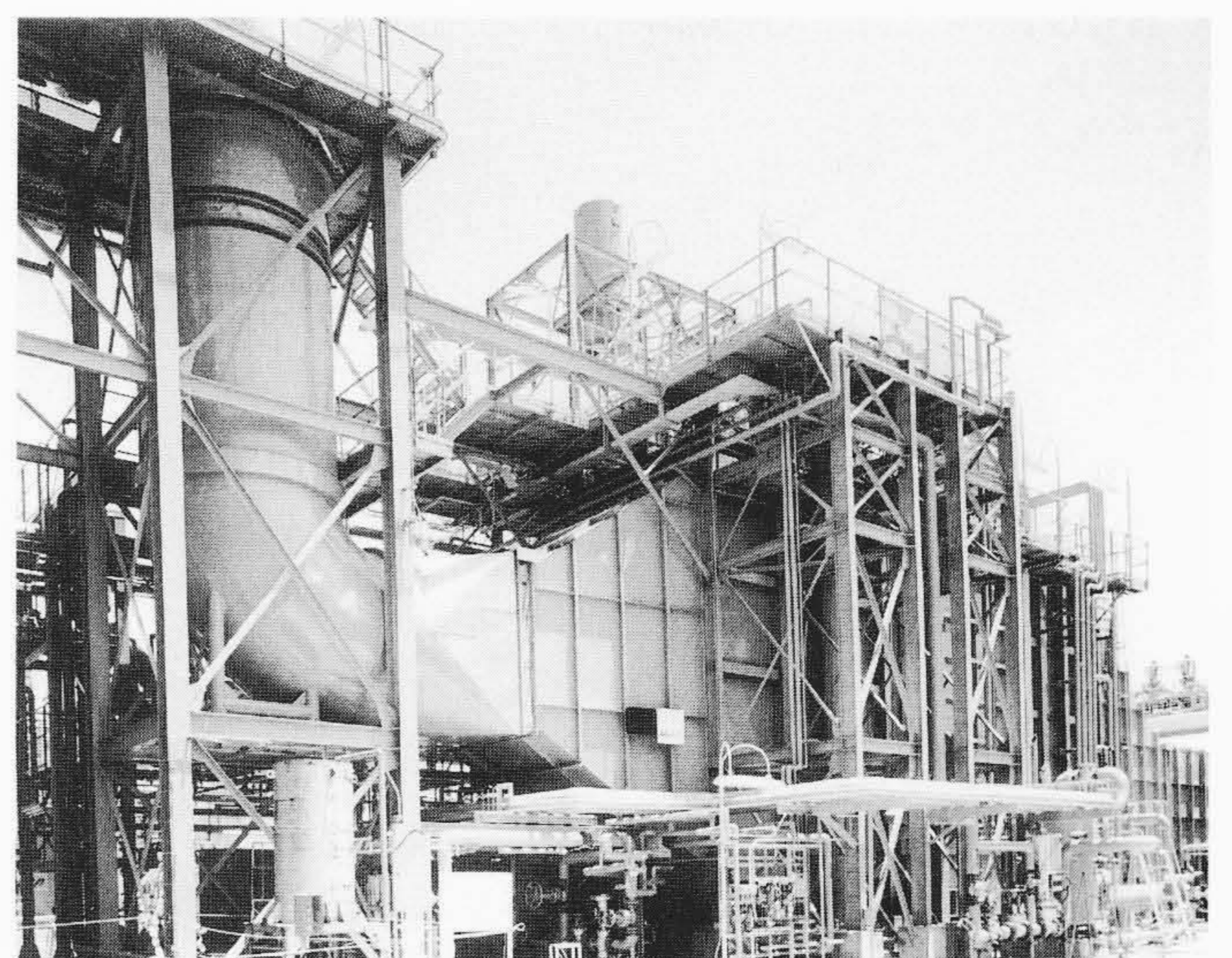


図9 堺製油所納め排熱回収ボイラ 脱硝装置は、ボイラの中に設置されている。

表4 運転実績 この表は平成2年1月時点での累計燃焼時間を示す。

機種	顧客名	運転開始	運転時間(h)
H-25	出光興産株式会社 徳山製油所	昭和63年11月	9,200
	ゼネラル石油株式会社 堺製油所	平成元年8月	4,200
PGT-10	日本鉱業株式会社 知多製油所	平成元年10月	3,000

(平成2年1月現在)

表5 コージェネレーションプラント性能試験結果 試験結果は、計画運転条件に補正した値を示す。

プラント名		ゼネラル石油株式会社 堺製油所	日本鉱業株式会社 知多製油所
計画運転 条件	大気温度	15℃	20℃
	蒸気噴射率 (空気量比)	2.5%	2.0%
試験結果	発電出力	25,248 kW	10,240 kW
	発電熱効率	32.56%	32.76%
	総合熱効率	66.98%	71.97%

ロック組み立てに対し、輸送に耐えられるケーシング構造の採用

また、脱硝装置は乾式アンモニア接触還元式とし、ガスタービンの各負荷に対して高効率脱硝に最適な温度域(300～400℃)に配置した。

排熱回収ボイラおよび脱硝装置の全景を図9に示す。

#### 4 運転実績

H-25については、昭和63年11月に、出光興産株式会社徳山製

油所納め初号機が運転を開始した。以後連続運転を続け、平成元年8月には初回定期検査を完了した。2号機である堺製油所納めユニットは平成元年8月から運転を開始し、連続運転を続けている。表4に運転実績を示す。

知多製油所納めPGT-10については、NP社から出荷された4台目であり、平成元年10月から運転を開始した。以後連続運転を続け、累計運転時間を伸ばしている。

最近、運転を開始したH-25とPGT-10コージェネレーションプラントの性能試験結果の主要値を表5に示すが、当初意図したプラント性能は十分実証できた。

#### 5 結 言

新開発の高効率ガスタービンを使用した高性能コージェネレーションプラントの概要と運転実績について述べた。

これらのプラントは、諸性能試験で出力、効率、NO<sub>x</sub>濃度など、計画性能を上回る良好な結果が得られ、また安定した長期連続運転に対しても、きわめて高い信頼性を実証した。

エネルギーの有効活用の観点から、コージェネレーションプラントの需要は今後増大するが、その計画に際しては既設設備の運用を十分考慮した最適なコージェネレーションシステムの構築が設備導入の成否の鍵(かぎ)になる。本稿が今後のコージェネレーション計画の一助となれば幸いである。

最後に計画、設計からプラントの完成に至るまで、ご指導をいただいたゼネラル石油株式会社および日本鉱業株式会社の関係各位に対し深く感謝する。

#### 参考文献

- 1) 佐藤, 外: 出光興産徳山製油所2,500 kWガスタービン発電-蒸気発生二重目的プラント, 火力原子力発電, 28-1, 55~61(1977-1)
- 2) 清水: 高効率ガスタービンを用いたコージェネレーションプラントシステム, 日本機械学会, 日立地方講演論文集, 303, 64~66(1989-9)