

# ブラジル・COPENE 納入 126 MW 電力・蒸気併給火力発電設備の概要

## 126MW Industrial Steam Power Plant for the Central Thermoeletrica, COPENE, Brazil

松田 武\* Takeshi Matsuda

### I. まえがき

1973年6月に石川島播磨重工業経由にて、ブラジル連邦共和国の Petroquimica do Nordeste-COPENE LTDA. (COPENE, 東北ブラジル石油化学公団) から年産能力: 300,000t のエチレンセンタを主体とする石油化学コンビナート用として総出力: 126MW の電力・蒸気併給火力発電設備 (第一期工事分) 用  $3 \times 42$  MW タービンならびに付属設備を受注した。本火力発電設備は、400t/h ボイラ3基と42MW 蒸気タービン発電機3基から構成されており、ブラジル政府の国産化政策にそって発電機、電動機、脱気器、などの現地調達品を多数使用している。当初いろいろと困難な問題もあったが、石川島播磨重工業をはじめとして関係各位のご尽力のおかげにより、1976年7月より第1号ユニットが営業運転に入っている。

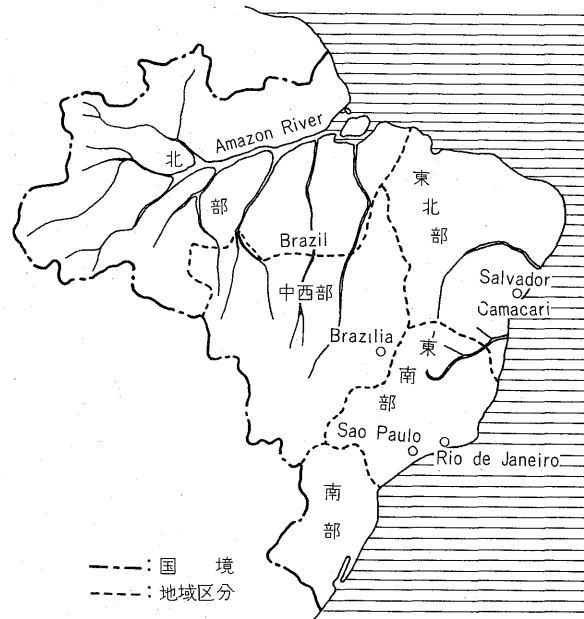
1977年初期に予定される全設備の完成後は、同国最大規模の最新鋭電力・蒸気併給発電設備として同国産業界の発展に寄与するものと考えられる。

ここに設備の概要を紹介し、各位の参考に供したい。

### II. COPENE の役割と発電所の立地条件

COPENE はブラジルの最大企業である PETROBRAS (国営石油公団) の子会社 PETROQUISA の子会社であり、Bahia 地区の石油化学コンビナートの建設、運営のために設立された公団である。

本発電所 (Central Thermoeletrica, COPENE) は、東北ブラジル石油化学コンビナートの中心設備であるエチレンセンタに蒸気ならびに電力を供給する目的で設立され、第1図に示すとおり同国東北部の最南端に位置する Bahia 州の州都 Salvador 市の近郊、約40km の内陸地 Camacari に位置する。同市はその昔、1549~1763年まで同国の首都として栄え、現在でも人口110万人以上の商業都市として発展している。気候条件は、気温: 最高31℃ 最低21℃、湿度: 年平均81%、雨期: 5~8月で亜熱帯圏に属する地域である。



第1図 ブラジルの地域区分

Fig. 1. Geographical division of Brazil

### III. 現地調達品

本プラントではブラジル政府の国策にそって多数の現地調達品を使用しており、当社がエンジニアリングを担当した現地調達品を第1表に示す。これらの現地調達品に関して、当社は購入仕様書の作成、見積仕様書・承認図のチェック、検査・試験部門を担当し、実際の発注は石川島播磨重工業が Ishikawajima do Brasil Estaleiros S. A. (ISHIBRAS) を介して行った。これらの現地調達品の中で特に注目されるのは、発電機ならびに脱気器であり、これらはいずれもブラジル国産機としては建設時点における最大容量の記録品である。

### IV. 主要機器仕様

主要機器仕様を次に示す。

#### 1. ボイラ (石川島播磨重工業製造)

形 式: 単胴放射自然循環形ボイラ (屋外式)  
数 量: 3 基  
蒸 発 量: 400t/h (最大連続負荷時)  
440t/h (2時間ピーク負荷時)

\* 火力部

第1表 現地調達品リスト

Table 1. List of equipment made in Brazil

| 項 目                | 数 量 | 仕 様                                                |
|--------------------|-----|----------------------------------------------------|
| I. 機械関係            |     |                                                    |
| * 42MW 蒸気タービンカバー   | 3   | 鋼板製                                                |
| タービン補機用電動機         |     |                                                    |
| 補助油ポンプ用            | 3   | AC 440V 60kW 2P 立形                                 |
| ジャッキング油ポンプ用        | 3   | AC 440V 30kW 6P 横形                                 |
| グランドコンデンサ復水ポンプ用    | 3   | AC 440V 2.2kW 4P 横形                                |
| * 主油タンク            | 3   | 鋼板製溶接箱形 10m <sup>3</sup>                           |
| 油清浄機               | 3   | 遠心式 1640 l/h                                       |
| 脱気器                | 2   | 形 式 トレイ式                                           |
|                    |     | 最高使用圧力 4.2atg                                      |
|                    |     | 最高使用温度 152.6℃                                      |
|                    |     | 最大処理容量 880t/h                                      |
|                    |     | 有効貯水容量 150m <sup>3</sup>                           |
| タービン, 高圧給水加熱器用保温材  | 3 式 |                                                    |
| II. 電気関係           |     |                                                    |
| 発電機                | 3   | 45MVA pf=0.8(遅れ) 13.8kV 60Hz<br>2P 空気冷却式 ブラシレス励磁方式 |
| バスダクト(発電機用)        | 3   | 13.8kV 主回路: 3,000A 分岐回路: 200A 銅製                   |
| PT & SA キュービクル     | 3   | 鋼板製自立閉鎖形 NEMA SA-5                                 |
| NGR キュービクル         | 3   | 鋼板製自立閉鎖形 NEMA SG-5                                 |
| 発電機出口変圧器           | 3   | 50MVA 13.8/69kV 屋外式油入自冷コンサベータ形                     |
| 所内変圧器              | 2   | 1,000kVA 4,160/480V 屋外式油入自冷 N <sub>2</sub> シール形    |
| 照明用変圧器             | 3   | 100kVA 480/240-120V 1φ 屋外式油入自冷 N <sub>2</sub> シール形 |
| DC 125V 直流分電盤      | 1   | DC 125V 鋼板製自立閉鎖形                                   |
| DC 125V バッテリー      | 1   | アルカリ式 1,180AH(5時間率にて)                              |
| DC 125V バッテリーチャージャ | 2   | シリコン整流器付磁気増幅器形 400A                                |
| DC 24V 直流分電盤       | 1   | DC 24V 鋼板製自立閉鎖形                                    |
| DC 24V バッテリー       | 1   | アルカリ式 760AH(5時間率にて)                                |
| DC 24V バッテリーチャージャ  | 2   | シリコン整流器付磁気増幅器形 200A                                |

注) \* 印の機器の設計は当社で行い, 製作はブラジルで行った。

主蒸気圧力: 120atg (過熱器出口にて)

主蒸気温度: 538℃ (過熱器出口にて)

給水温度: 250℃ (節炭器入口にて)

燃 焼 方 式: 重油および天然ガス専焼・混焼式

通 風 方 式: 押込通風

空 気 温 度: 25℃

## 2. 蒸気タービン

形 式: 反動2気筒抽気背圧タービン

数 量: 3基

定 格 出 力: 42MW (発電端にて)

常用運転時の出力: 35.2MW (発電端にて)

主蒸気圧力: 118atg (主蒸気止め弁前にて)

主蒸気温度: 533℃ (主蒸気止め弁前にて)

抽 気 圧 力: 42atg

(設定可能範囲: 46.2~37.8atg)

背 気 圧 力: 15atg

(設定可能範囲: 16.5~13.5atg)

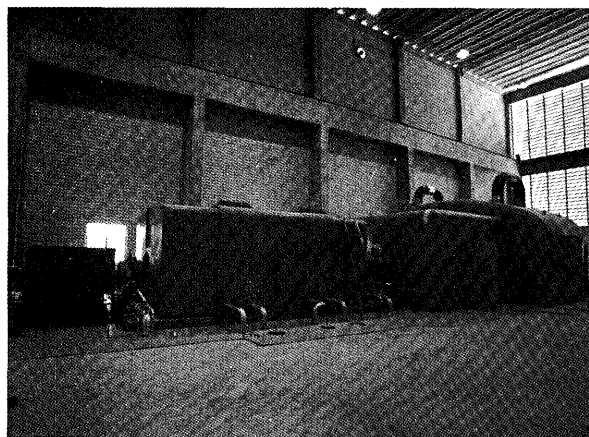
回 転 速 度: 3,600rpm

## 3. 発電機

形 式: 回転界磁自己通風形

数 量: 3基

定 格 出 力: 45MVA



第2図 ターボセットの外観

Fig. 2. External view of turboset

力 率: 0.8(遅れ)

電 圧: 13.8kV

周 波 数: 60Hz

回 転 速 度: 3,600rpm

冷 却 方 式: 空気冷却方式

励 磁 方 式: ブラシレス励磁方式

絶 縁: F種

製 造 者: Industria Eletrica Brown Boveri S.A.

(IEBB)

## V. 蒸気給水系統

第3図に熱平衡線図を示すが、エチレンセンタと蒸気のやりとりを行うのは下記のとおりである。

118atg系：1系列

42atg系：2系統（送気）

15atg系：2系列（送気）

3.5atg系：1系列

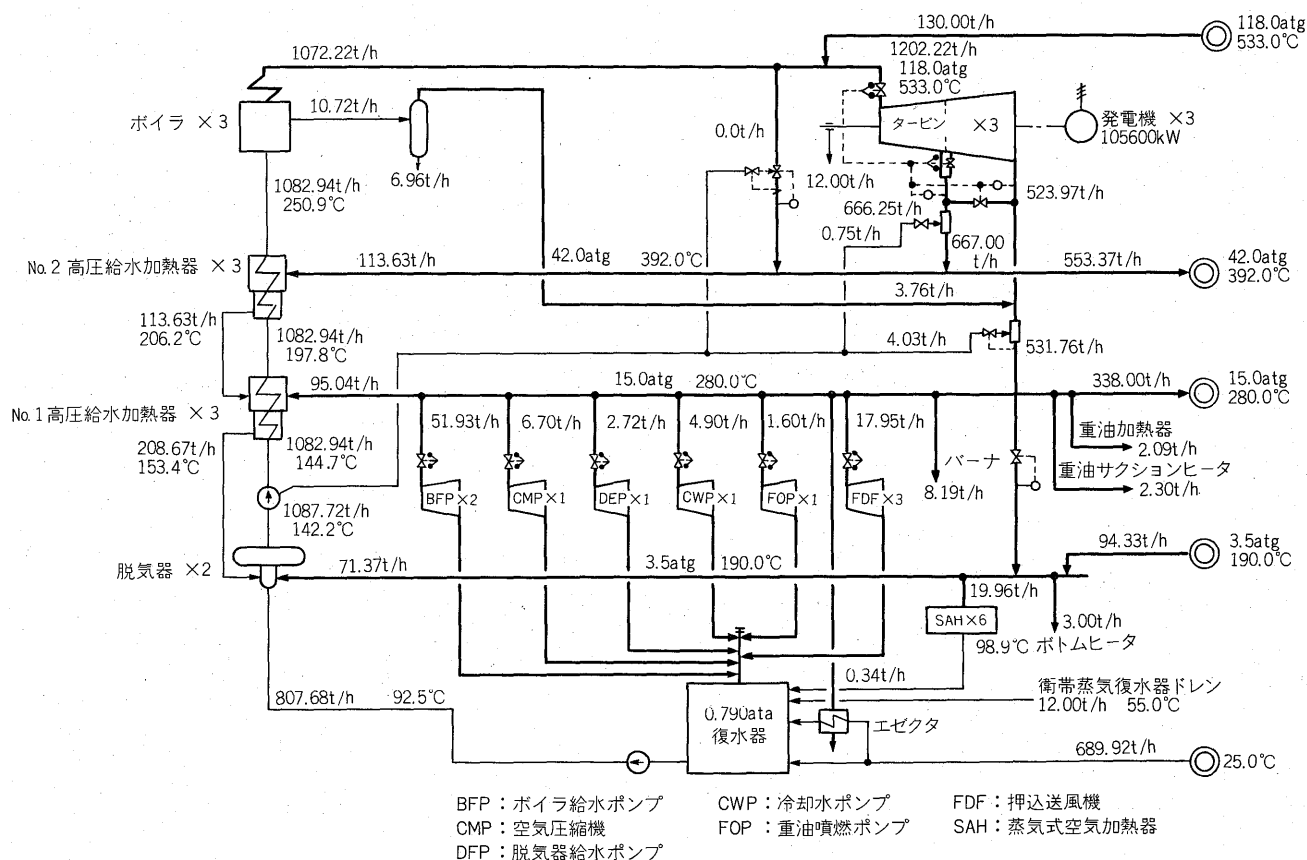
以上の各蒸気系統は共通母管方式を採用しており、おのおののボイラ、タービンユニットと接続されている。したがって必要に応じて他の系統よりバックアップされる。

次に系統を追って説明していくこととする。まず各ボイラを出た主蒸気は主蒸気共通母管に導かれ、それから各蒸気タービンに送気される。なお、主蒸気の一部はエチレンセンタより補給される。蒸気タービンの抽気は減温後一部は第2 高圧給水加熱器の加熱蒸気として使用し、その残りは42atgラインの工場送気として使用される。蒸気タービンの排気は、減温後15atgラインの蒸気として、第1 高圧給水加熱器、補機タービン、バーナ、オイルヒータ、工場送気に使用される。また、残りの蒸気は3.5atgに減圧後、脱気器、蒸気式空気予熱器、ボトムヒータに使用される。なお3.5atgラインの不足蒸気はエ

チレンセンタから補給される。復水式補機タービンの排気・蒸気式空気加熱器ドレン、蒸気タービンの衛帯蒸気復水器ドレンは共通混合式復水器に導かれ多量の補給水と混合され、脱水器給水ポンプ（蒸気タービン駆動：2台、電動機駆動：1台）、脱気器（880t/h×2系列）、ボイラ給水ポンプ（蒸気タービン駆動：2台、電動機駆動：2台）、2基の高圧給水加熱器（400t/h×3系列）を経由し、3基のボイラに送水される。

蒸気タービンのバイパス装置として、主蒸気ラインから42atgラインにかけて蒸気変換弁（150t/h×3系列）による減圧減温装置、42atg 抽気ラインから15atg 背圧ラインにかけては減圧弁による減圧装置（80t/h×3系列）を設置した。通常運転時蒸気変換弁の圧力調節計の設定値は、蒸気タービンの抽気圧調節計の設定値より0.5atg程低く設定し、また、減圧弁の圧力調節計の設定値は、蒸気タービンの背圧調節計の設定値より0.5atg程低く設定しておく。それ故蒸気タービンが万一トリップした場合には42atgラインおよび15atgラインの圧力がそれぞれ蒸気変換弁および減圧弁の圧力調節計の設定圧より下がることにより、蒸気変換弁および減圧弁が自動的に開となり、42atgラインならびに15atgラインのエチレンセンタへの送気は支障なく行える。

また、本タービンは抽気背圧タービンであり、工場送



第3図 熱平衡線図（常用運転）

Fig. 3. Heat balance diagram (normal operation)

気は抽気背圧制御装置を介してその量に見合った蒸気がタービンを流れるように調整され、発電量はそれに見合っ  
て変化する。それ故工場の電気負荷と発電量の差は系  
統よりの買電によってまかなわれる。したがって買電系  
統への逆送電が許されず、かつ工場送気量が工場電気負  
荷に比べて多い運転を行う場合には、バイパス装置を手  
動操作回路に切り換えてある開度に固定しておき、ター  
ビンの抽気背圧制御装置を自動にしておく。

蒸気タービンの抽気および排気ラインにはおのおの減  
温器を設置してエチレンセンタヘ一定温度の蒸気を送気  
できるようにしている。

本プラントでは多数の補機タービンが採用されている  
のも大きな特徴の一つである。ボイラ給水ポンプ、空気  
圧縮機、脱気器給水ポンプ、冷却水ポンプ、重油噴燃ポ  
ンプ、押込送風機の常用運転機はいずれも蒸気タービン  
駆動であり、電動機駆動の同補機はプラント起動時また  
は蒸気タービン駆動機故障時に使用される。

## VI. 蒸気タービン

本機の特長としては次のものをあげることができる。

- (1) タービンの入口蒸気流量は、タービン定格運転時  
には425t/hであり、入口蒸気条件 118atg 553℃より判  
断すれば高圧タービンだけを見た場合には 125MW ク  
ラスのタービンであり、産業用タービンとしては最大  
級のタービンである。
- (2) 高圧タービンには高温高压の蒸気条件に適したつ  
ば形タービンを採用し、起動、負荷変化時の急激な状態  
変化に十分適合できる。
- (3) 翼には調速段を除いたすべての翼列に高効率の反動  
翼列を採用し、構造的にはシュラウドリングを翼部と  
一体に削り出した頑丈な構造である。高圧第一段から

低圧最終段動翼に至るまで銑止めシュラウドリングあ  
るいは銀ろう付レーシングワイヤなどは一切用いてお  
らず、強度的にも振動的にも安全な構造である。

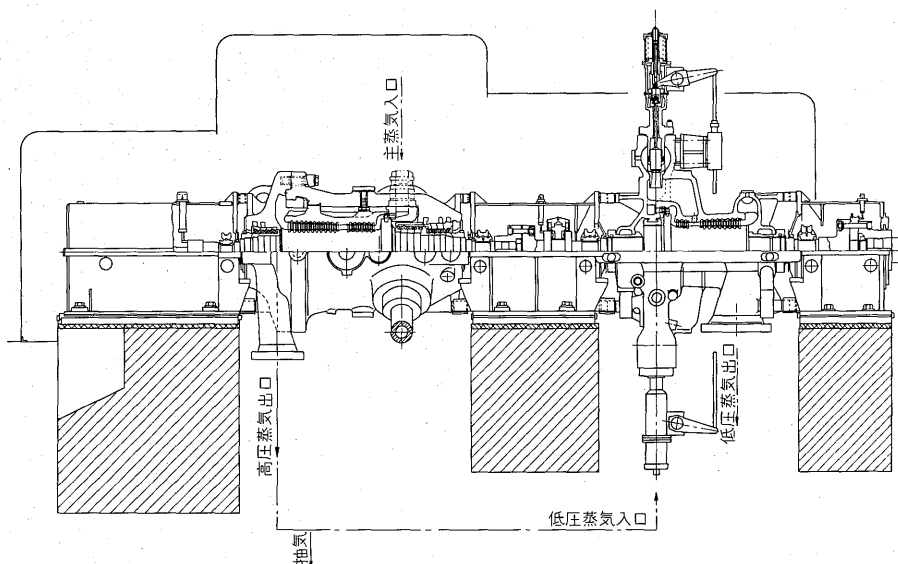
- (4) 高圧タービン、中圧タービンの各入口制御弁はそれ  
ぞれ蒸気加減弁4個、過負荷弁2個を設置しタービン  
の高効率化をはかっている。
- (5) 高速油圧式ターニング装置を採用している。
- (6) 蒸気タービン駆動非常用油ポンプを採用している。
- (7) 本タービンは現地調達の発電機と組み合わせられる  
タービンで当社としては1号機に当たる。

以下これらについて説明する(第4図はタービン断面  
図を示す)。

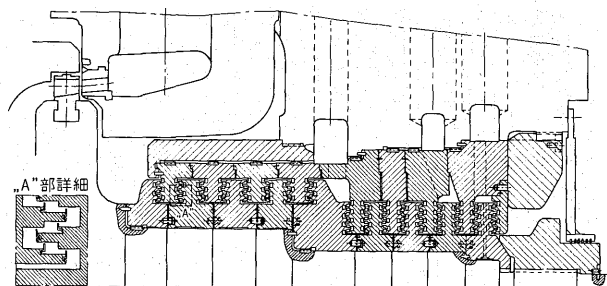
### 1. 高圧タービン

第1の特長は高温高压に対して当社が多数の実績を有  
するつば形ケーシングを採用していることであるが、こ  
の特色は下記のとおりである。

- (1) 水平二つ割りフランジがまったくなく、タービン軸  
に垂直な合せ面フランジがタービン出口部にあるだけ  
である。
- (2) ケーシングをタービン軸に垂直に切ると、断面はい  
ずれの場所でもリング状の回転対称形である。
- (3) 以上の構造からこのケーシングは高い蒸気条件にも  
かかわらず薄肉のリング状にすることができ、負荷変  
化時の状態変化に対してすぐれた特性を発揮すること  
ができる。
- (4) ケーシングの気密は後部垂直フランジで保たれるが、  
42atg程度の低い蒸気条件であることと、精密な機械  
加工のできる垂直円形フランジであることから蒸気漏  
れの危険はまったくない。
- (5) 翼は二つ割りの静翼ホルダに植え込まれ、軸方向ス  
ラストはパヨネットリングによって押さえられており、



第4図 タービン断面図  
Fig. 4. Sectional view of turbine



第5図 半径方向ラビリンスグランド  
Fig. 5. Radial labyrinth gland

静翼ホルダは円周上4か所のセンタリングボルトとキーにより心を保ったまま半径方向および軸方向に自由に熱膨張することができる。

- (6) パッキングランドは半径方向ラビリンスが用いられ、小さなスペースで高い気密を上げている（第5図）。

## 2. 低圧タービン

ケーシングは水平二つ割り構造を採用しており、また高圧タービンと流入口を向かい合わせに配置することにより、スラスト力の軽減を図っている。

## 3. 翼

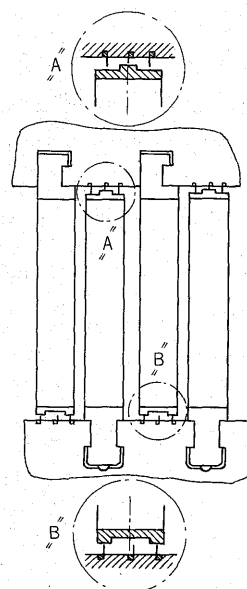
ノズル締切调速を行う高圧および低圧タービンの第1段には衝動段を使用しており、精密入念な加工と組立によってロータに植え込まれている。

高圧および低圧タービンの第2段以降は反動翼列が用いられており、広範囲の翼列試験によって、その性能の確認された円頭プロフィールを用い、最適仕様の設計が行われている。各翼列では平均直径を小さく選び、許容する翼端漏れ損失の範囲内で半径方向隙間を非常に大きくとる設計をしている。このことはシンプルな円筒形ロータの構造とあいまって、運転中の翼の接触の危険を減少させ、また起動時にもラブチェックなどの特別な操作を必要とせず非常に起動しやすいタービンとしている。

翼の構造を第6図に示す。動翼のシュラウドは翼部と一体に削り出され、端面で隣接翼のシュラウド端面と接触することにより全体としてシュラウドリングを形成している。鋸止めシュラウドや銀ろう付レーシングワイヤなどを用いないこの動翼構造は、破損の可能性を取り除いただけでなく、各シュラウド相互の面接触によるダンピング効果のために、遠心応力と変動蒸気曲げ応力の場に作動する動翼をより一層安全なものにしている。

翼端のシールは各シュラウドの対向位置に薄いひれを植え込み、ラビリンス効果によりシールしている。半径方向隙間は前述のとおり十分大きい、万一接触した場合にも薄いひれの摩滅によって致命的な危険は避けられる。

## 4. 高速油圧式ターニング装置



第6図 翼構造図  
Fig. 6. Blade construction

ターニングは補助油ポンプの圧油をタービン軸にはめ込まれたインペラにふきつけることにより、150 rpm程度の高速で行われる。流体駆動であるので、ターニングの投入切り離しにクラッチの着脱などのわずらわしい操作は不要で、しかも誤動作による破損の危険はまったくない。ターニング回転速度は150 rpmと高いので、ロータおよびケーシングの早急かつ均一な冷却を行うことができ、またターニングの開始および停止時にはジャッキ油圧によりロータを持ち上げるようになっている。

## 5. タービン駆動非常用油ポンプ

本プラントでは補助油ポンプおよびジャッキング油ポンプは電動機駆動であるが、非常用油ポンプはタービン駆動である。これは前述のように主要補機はすべてタービン駆動となっていることと、118atg主蒸気ラインの不足蒸気はエチレンセンタから補給されていることにより、補機タービン駆動蒸気源の信頼性がきわめて高いことに基づいている。非常用油ポンプ用タービンの仕様は下記のとおりである。

|         |                 |
|---------|-----------------|
| 形 式：    | 単気筒衝動式背圧タービン    |
| 数 量：    | 1台（各蒸気タービン当たり）  |
| 入口蒸気条件： | 15atg, 280℃（常用） |
| 背 圧：    | 0.1atg（大気放出）    |
| 出 力：    | 3.7kW           |

## 6. 発電機との組合せ

発電機はブラジルのIEBB製であるが、製造者であるIEBBにおける最大容量機であり、かつ本形式の発電機としては1号機である。当社は本機のエンジニアリングと工場検査のために、同国に技術者を数回にわたり派遣し、当社のタービンと十分協調のとれた発電機となるよ

う十分な打合せを行った。

なお、発電機がブラジル製であるため、当社のタービンとの工場における組合せ試験は不可能につき、現地において心出し、調整、各種負荷試験を実施した。また、タービン軸側のカップリング製作時にテンプレートを製作し、これを前もって IEBB に送付し、それに基づき、IEBB にて発電機側カップリングの製作を行うようにし、カップリングに支障のないよう考慮した。

## VII. 高圧給水加熱器

当社はドイツのバルケデュル社と技術提携を結び、ブレボイラ機器（高圧給水加熱器、脱水器、低圧給水加熱器）の製作を行っているが、本プラントに納入した高圧給水加熱器の概要を以下に述べる。

### 1. 仕 様

#### 1) No. 1 高圧給水加熱器

形 式：横置 U チューブ形表面加熱式

給 水 側：給水量 400 t/h

数 量：3 基

最高使用圧力 190 atg

最高使用温度 261℃

胴 側：最高使用圧力 17.5 atg

最高使用温度 290℃

伝熱面積：470 m<sup>2</sup>

#### 2) No. 2 高圧給水加熱器

形 式：横置 U チューブ形表面加熱式

数 量：3 基

給 水 側：給水量 400 t/h

最高使用圧力 190 atg

最高使用温度 261℃

胴 側：最高使用圧力 47.5 atg

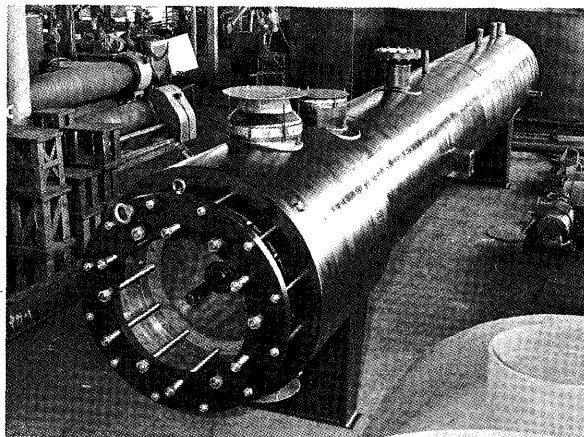
最高使用温度 400℃

伝熱面積：420 m<sup>2</sup>

### 2. 構 造

No. 1 高圧給水加熱器の外観は第 7 図に示すとおりであるが、高圧給水加熱器の主要部は胴、伝熱管、格子板、管板および水室などから構成されており、給水出入口を有する水室は鍛鋼製で鍛鋼製の管板に溶接されている。

水室のふたは水室胴内にそう入し、給水の圧力を利用してパッキンを締め付ける構造であるセルフシールタイプの水室を使用している。また、水室内部には折流数に応じて管板と水室胴部分の全部にわたり溶接されている



第 7 図 No. 1 高圧給水加熱器

Fig. 7. No. 1 high pressure heater

仕切板および整流板を設けており、この仕切板には、管板と水室との熱膨張差を考慮して伸縮継手が設けてある。

整流板はインレットアタックによって伝熱管が損傷しないように、またボイラ給水の流れを一樣にするために管板表面にある間隔をもって設けている。

伝熱管の材質には鋼管を使用し、伝熱管と管板との取付方法としては拡管とシール溶接を併用している。

高圧給水加熱器の胴は鋼板製の溶接構造物で一端は管板、他端は皿形の鏡板に溶接されている。

## VIII. あとがき

以上プラントの概要について述べたが、当社は現在、ブラジル向けの火力発電設備として COPENE の第 2 期工事分の 42MW×2 台のタービン設備、PETROBRAS CREVAP 向け 10MW×3 台のタービン設備を受注し製作中である。今後本設備の建設で得た貴重な体験を生かし、さらにすぐれたプラントを建設するために一層の努力を続けていきたい。最後に本設備の建設に対しご協力をいただいた石川島播磨重工業殿および COPENE の関係各位に対し深く感謝の意を表する次第である。

### 参 考 文 献

- (1) 三重野・陽田：東北電力・八戸火力 4 号機のタービン、富士時報 45, No.11 (昭47)
- (2) 森田・鎌滝：Central Thermoeletrica, COPENE (Brazil) 126 MW 産業用火力発電設備の概要、石川島播磨技報 16, No. 4 (昭51)



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。