

川崎製鉄技報  
KAWASAKI STEEL GIHO  
Vol.17 (1985) No.2

---

多目的送風発電設備

Multipurpose Turbine for Blower and Generator

吉田 克典(Katsunori Yoshida) 高野 英樹(Hideki Takano) 山口 健蔵(Kenzo Yamaguchi)

---

要旨：

多目的送風発電設備は CDQ(Coke dry quenching)廃熱ボイラーの蒸気のみで安定した高炉送風を実現した。CDQ 蒸気は変動があるため、高炉送風用蒸気として使う時はボイラーのバックアップが必要であったが、発電とモータリング機能を付加することにより、その変動を電気に吸収させることができた。更に本タービンは混気・抽気装置を装備して高炉送風を維持しながら製鉄所のプロセス蒸気の需給調整もできるものであり、製鉄所の廃熱回収蒸気の有効利用の一翼を担っている。また、通常運転はエネルギーセンターから遠隔操作され発電所は無人数化されている。

---

Synopsis：

This plant has realized stable blast blowing through CDQ(Coke Dry Quenching) waste heat recovery boiler. Since the CDQ steam, owing to variation in its generation, normally needs support of steam from another boiler in case of applying it to blast blowing turbine steam, we have adopted a system consisting of a turbine, blower and generator with a motoring function and succeeded in absorbing the variation into electricity. The turbine with addition and extraction equipment is possible to do the demand and supply control of process steam with supplying power to the blast blower and plays an important role in efficient use of waste-heat recovery steam at steelworks. Normally this plant is operated by remote control from the energy center.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

|                   |
|-------------------|
| 本文は次のページから閲覧できます。 |
|-------------------|

吉田 克典<sup>\*2</sup> 高野 英樹<sup>\*3</sup> 山口 健蔵<sup>\*4</sup>

## Multipurpose Turbine for Blower and Generator

Katsunori Yoshida, Hideki Takano, Kenzo Yamaguchi

## 要旨

多目的送風発電設備は CDQ (Coke dry quenching) 廃熱ボイラーの蒸気のみで安定した高炉送風を実現した。

CDQ 蒸気は変動があるため、高炉送風用蒸気として使う時はボイラーのバックアップが必要であったが、発電とモータリング機能を付加することにより、その変動を電気に吸収させることができた。更に本タービンは混気・抽気装置を装備して高炉送風を維持しながら製鉄所のプロセス蒸気の需給調整もできるものであり、製鉄所の廃熱回収蒸気の有効利用の一翼を担っている。

また、通常運転はエネルギーセンターから遠隔操作され発電所は無人数化されている。

## Synopsis:

This plant has realized stable blast blowing through CDQ (Coke Dry Quenching) waste heat recovery boiler. Since the CDQ steam, owing to variation in its generation, normally needs support of steam from another boiler in case of applying it to blast blowing turbine steam, we have adopted a system consisting of a turbine, blower and generator with a motoring function and succeeded in absorbing the variation into electricity. The turbine with addition and extraction equipment is possible to do the demand and supply control of process steam with supplying power to the blast blower and plays an important role in efficient use of waste-heat recovery steam at steelworks. Normally this plant is operated by remote control from the energy center.

## 1 緒 言

製鉄所における省エネルギー、エネルギー使用効率向上等は、急ピッチで進められている。特に排熱回収の推進、高効率発電プラントの設置などはエネルギーコストの低減に大きく寄与している。今般、千葉製鉄所において多目的送風発電設備を導入したことにより永年の懸案であった、変動の多い廃熱ボイラーの蒸気のみで安定した高炉送風ができるようになった。

本設備は、CDQ (Coke dry quenching) 廃熱ボイラーの蒸気を主蒸気とする蒸気タービン、高炉送風機および発電機をコンバインドしたものである。この蒸気タービンは、CDQ 蒸気の他に低圧プロセス蒸気を使用することができ、また逆に低圧プロセス蒸気が必要な時はタービン中段より抽気して供給することもできる。本設備は鉄鋼業界で初めて CDQ 蒸気のみによる高炉送風を試みたものである。また排熱回収蒸気の高効率利用のシステムを具体化したものである。

本稿にて多目的送風発電設備の計画と機能の概要を紹介する。

## 2 設備計画

## 2.1 既存設備の問題点

古い東工場の発電送風およびプロセス蒸気設備は、今日まで、その機能を十分発揮させるため、数度にわたる部分更新、効率向上、また操業改善などを実施してきたが、蒸気条件が圧力 40 kgf/cm<sup>2</sup>、

温度 420°C と悪く、極めて効率が劣っていた。また Fig. 1 に示すように CDQ 蒸気は発生の変動があるため、これのみでは高炉送風用に使用するには信頼性を欠く恐れがあった。

量的には CDQ 発生蒸気量で高炉送風が行えるが、バックアップのためガス焼きボイラーを併用する必要があった。そのため余分に発生した蒸気は発電機で使用していた。すなわち、Fig. 2 に示すように効率の良い西発電所がありながら、古い効率の悪い東発電所の発電タービンを稼働させなければならなかった。

製鉄所のプロセス蒸気は、ほとんど廃熱ボイラーからの発生蒸気で賄われている。プロセス蒸気は夏期になると使用量が減少するこ

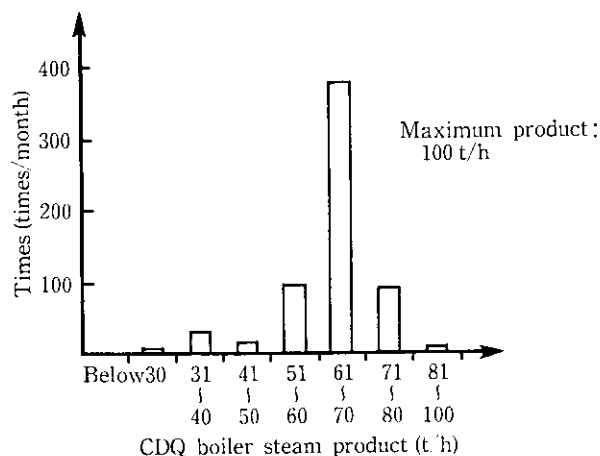


Fig. 1 Variation in steam product of CDQ boiler

\* 1 昭和60年1月14日原稿受付

\* 2 千葉製鉄所エネルギー部エネルギー技術室

\* 3 千葉製鉄所エネルギー部エネルギー技術室主査 (課長)

\* 4 千葉製鉄所エネルギー部エネルギー技術室主査 (掛長)

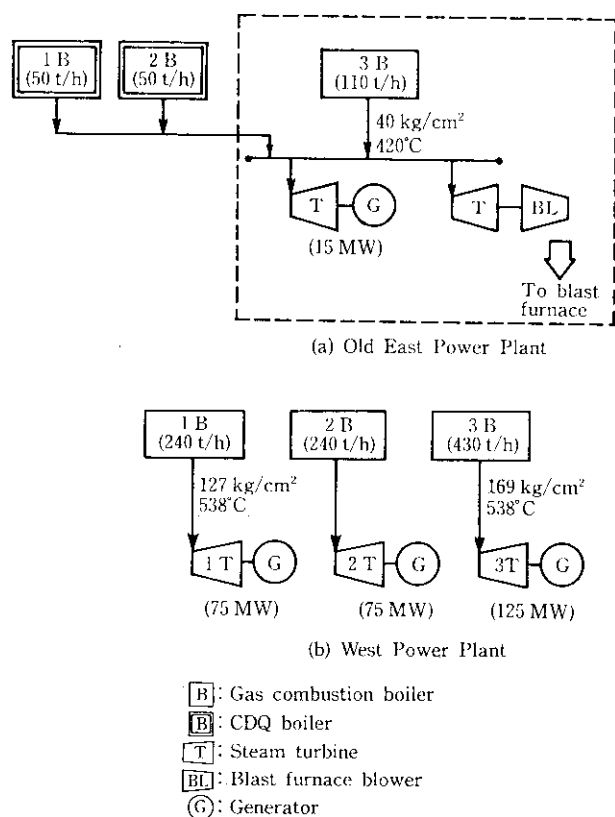


Fig. 2 System diagram before the improvement

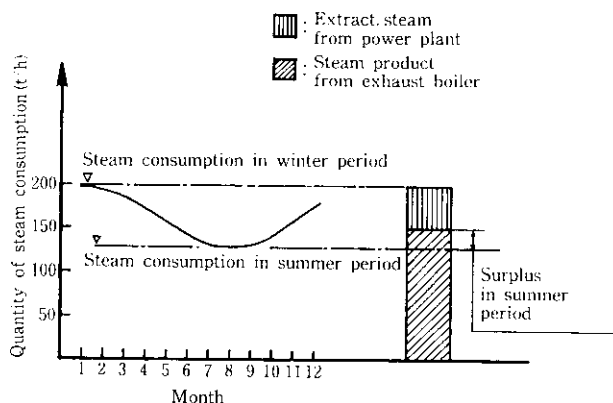


Fig. 3 Balance of process steam (mean) (1987)

と、またその発生の変動が大きいために時々蒸気が余り、放散せざるを得ない場合があった。その反面 Fig. 3 に示すように、冬期の使用量が多い時や廃熱ボイラーが停止する時は、プロセス蒸気は不足となっていた。

つまり、プロセス蒸気は Fig. 4 に示すように日々、時間毎に不足や余剰が発生する。この蒸気の過不足は発電所のタービンの抽気蒸気で調整しているが、使用量が減少する夏期は調整ができない。余剰となる蒸気は放散というエネルギーロスになっていた。

## 2.2 計画の特徴

本設備の計画に当たっては、既設の自家発電設備との協調をベースに、次の機能を備えることにした。

- (1) CDQ ボイラーの蒸気のみで高炉送風ができるように、高炉送風機と発電機を同軸に組み合わせる。

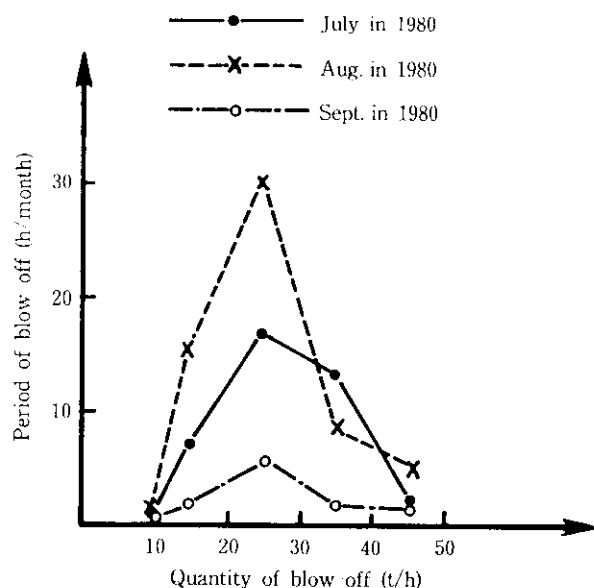


Fig. 4 Variation of steam blow-off

- (2) CDQ ボイラーが完全に停止した時でも、発電機をモーターとして使用することにより高炉送風を続けられる設備とする。
- (3) 低压プロセス蒸気が余剰となった時は、タービンに混気して、電気に転換できる設備とする。
- (4) 逆にプロセス蒸気が不足となった時は、タービンより抽気して蒸気を供給できる設備とする。
- (5) 当設備はエネルギーセンターからの遠隔操作により運転され、発電所は無人運転とする。これにより緊急時の即応性に富み、かつ省力化をはかれる設備とする。

## 2.3 タービン設備の容量と効率

混気タービンの容量決定にあたっては

- (1) 蒸気発生分布 (Fig. 1, 3 参照)
- (2) 高炉送風機および発電機負荷を織り込んで、タービン最大出力を 28 500 kW で計画した。

## 3 設備概要

### 3.1 機器構成とヒートバランス

#### 3.1.1 機器構成

Table 1 に本設備の主仕様を、Fig. 5 にシステム構成を、Fig. 6, 7 に本設備の全体機器配置および断面図を示す。

本設備は混気・抽気タービンをセンターに配置し、その両側に発電機と送風機を組み合わせる。タービンと高炉送風機は 3 610 rpm で運転し、発電機は減速機を介して 3 000 rpm で運転される。

設備は屋内形とし、復水器は現地組立方式を採用した。

#### 3.1.2 ヒートバランス

Fig. 8 にヒートバランスを示す。

タービンの主蒸気は CDQ ボイラーからの蒸気 (80 t/h) を使用する。通常、出力は、高炉送風機の動力として、13 000 kW を消費し、残りのエネルギーは発電機に費やされる。この発電量は 7 300 kW となる。

プロセス蒸気が不足する時、タービンより抽気 (最大 50 t/h) を

Table 1 Main features

| Item      |                         | Specification                                                           |                          |                         |
|-----------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Turbine   | Type                    | Single casing, mixing pressure, condensing turbine with extraction port |                          |                         |
|           | Output                  | 28 500 kW                                                               |                          |                         |
|           | Revolution              | 3 610 rpm                                                               |                          |                         |
|           | Steam                   | CDQ                                                                     | Process                  | Extract.                |
|           | Pressure                | 40 kg/cm <sup>2</sup>                                                   | 15~18 kg/cm <sup>2</sup> | 7~10 kg/cm <sup>2</sup> |
|           | Temperature             | 420°C                                                                   | 220°C                    | 200°C                   |
| Blower    | Vacuum                  | 722 mmHg                                                                |                          |                         |
|           | Mixing port             | One                                                                     |                          |                         |
|           | Extract. port           | Two                                                                     |                          |                         |
|           | Manufacturer            | Kawasaki Heavy Industries Ltd.                                          |                          |                         |
| Generator | Type                    | Variable stator blade, multi-stage, axial blower                        |                          |                         |
|           | Max. air flow rate      | 5 000 Nm <sup>3</sup> /min                                              |                          |                         |
|           | Max. discharge pressure | 4.0 kg/cm <sup>2</sup>                                                  |                          |                         |
|           | Max. shaft power        | 23 500 kW                                                               |                          |                         |
|           | Manufacturer            | Kawasaki Heavy Industries Ltd.                                          |                          |                         |
| Generator | Type                    | Three phase, AC synchronous generator                                   |                          |                         |
|           | Rated capacity          | 25 000 kVA (12 500 kVA × 2)                                             |                          |                         |
|           | Revolution              | 3 000 rpm                                                               |                          |                         |
|           | Voltage                 | 11 000 V                                                                |                          |                         |
|           | Manufacturer            | Meidensha Electric Mfg. Co., Ltd.                                       |                          |                         |

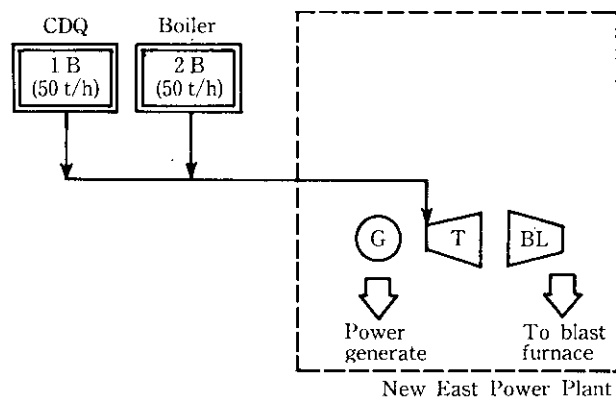


Fig. 5 System Diagram after the improvement

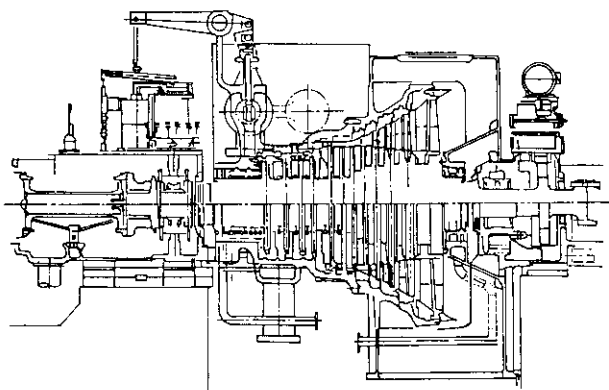


Fig. 6 Sectional view of the turbine assembly

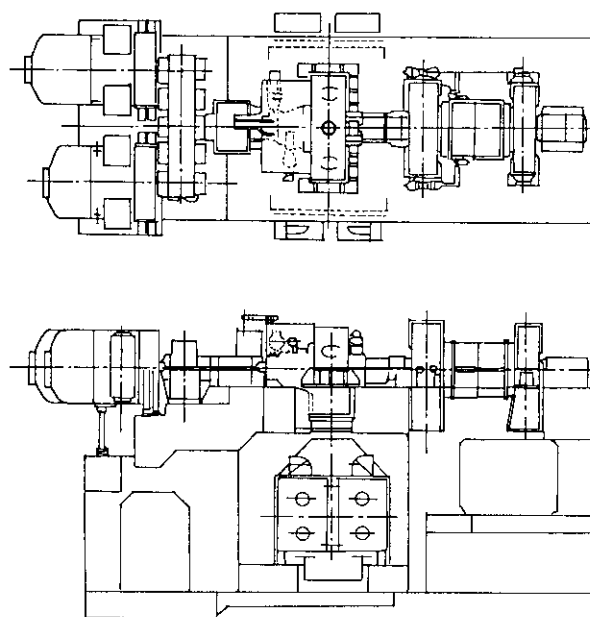
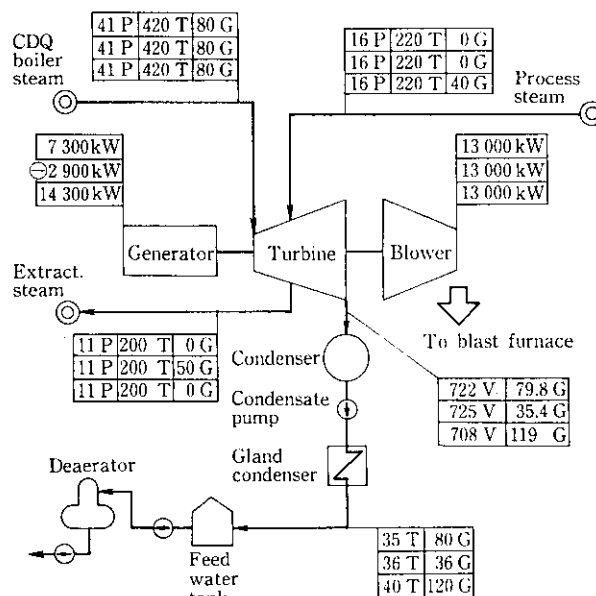


Fig. 7 General arrangement of the equipment



P: pressure (kg/cm<sup>2</sup> abs.)  
 T: temperature (°C)  
 V: vacuum pressure (mmHg)  
 G: flow rate (t/h)  
 kW: output (kW) or shaft power (kW)  
 ⊖: Required power of motor  
 Upper line value: blast furnace air supply and power generation with CDQ boiler steam (80 t/h)  
 Middle line value: maximum extraction (50 t/h)  
 Lower line value: maximum mixing (40 t/h)

Fig. 8 Heat balance

行い、プロセス蒸気として供給する。

また逆にプロセス蒸気が余剰となった場合は、タービンの中段に混気して発電出力を増加させる。

### 3.2 混気・抽気タービン

#### 3.2.1 混気について

混気タービンの設計留意点は、

- (1) 混気時の温度変化に耐えられること
  - (2) 混気点での蒸気の流れを乱さないこと
  - (3) 混気操作が容易であること
- とした。

Fig. 9 に混気点での、混気前後の蒸気の状態変化を示す。プロセス蒸気の温度は低いが、混気することによって混気点の圧力が増加して、CDQ 蒸気の温度が高くなって混合する。そのため、温度変化はほとんどない。混気点の位置は部分流入から全周流入へ流路が拡大するところに設けてある。ここでは周方向へ混気蒸気が流れやすくするために、十分な通路を設けている。

### 3.2.2 抽気について

タービンから抽気する場合、外部抽気と内部抽気方式がある。抽気量が多くなると、内部抽気の方が効率が良い。本設備は、既設基礎を流用するための寸法制限から、外部抽気を採用した。

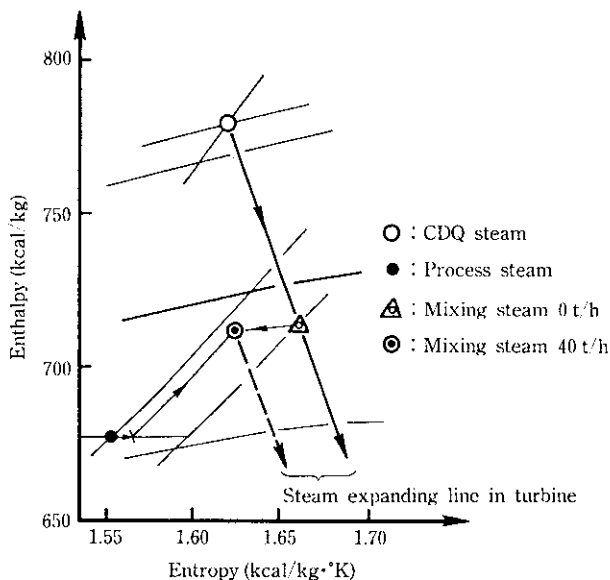


Fig. 9 Steam condition change at mixing point

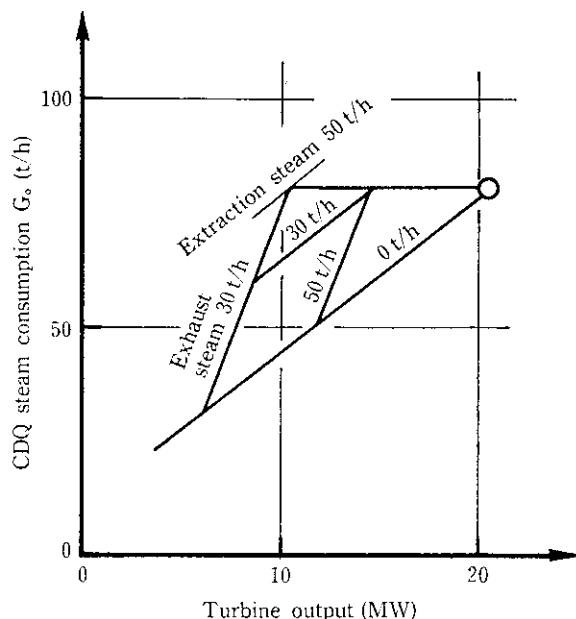


Fig. 10 Extraction diagram

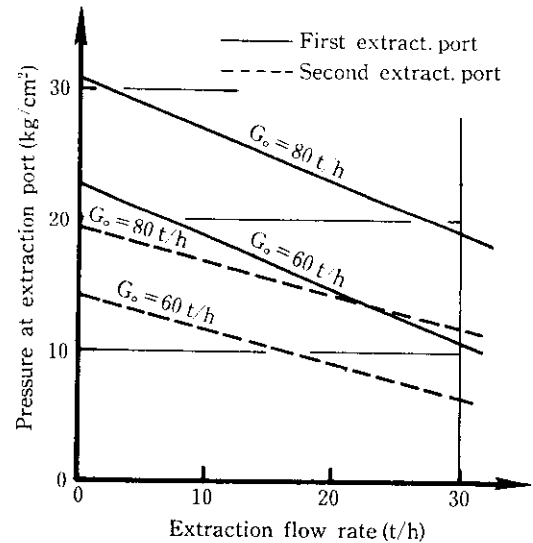


Fig. 11 Pressure at extraction port

外部抽気の場合は、通常抽気口は1箇所であるが、本設備は絞り損失の低減を狙い、2箇所から抽気を行っている。Fig. 10, 11 に、第1, 2 抽気口の圧力と抽気量の関係を示す。すなわち、抽気量が少ない場合は、第1 抽気口を全閉にして第2 抽気口より抽気する。抽気量が多くなった時は、第1 抽気口より抽気して、ヒートロスを減少させている。このために、第1 抽気口には ON・OFF 式の開閉弁を設け、また第1, 2 抽気口に逆止弁を設けて逆流を防止している。

## 4 運転と制御

### 4.1 運 転

タービンと送風機の起動・停止操作は、機側並びに発電所の中央制御室で行い、順調に併入した後は、エネルギーセンターからの遠隔自動操作に切替えられる。つまり、日常の蒸気量の調整、負荷の変更については、エネルギーセンターより遠隔操作で行い、発電所は無入化とする。エネルギーセンターの CRT 画面例を Photo 1 に示す。

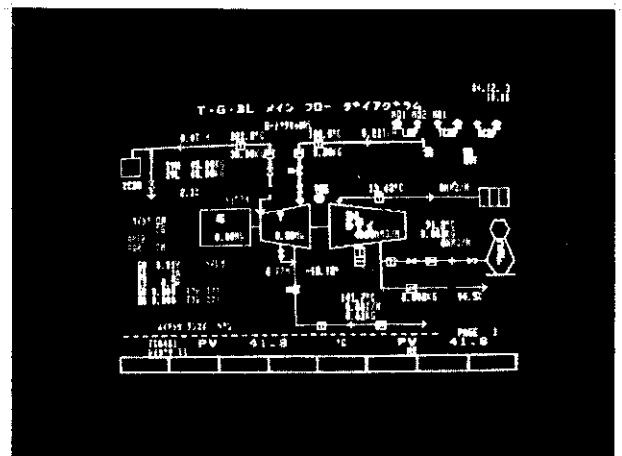


Photo 1 CRT graphic

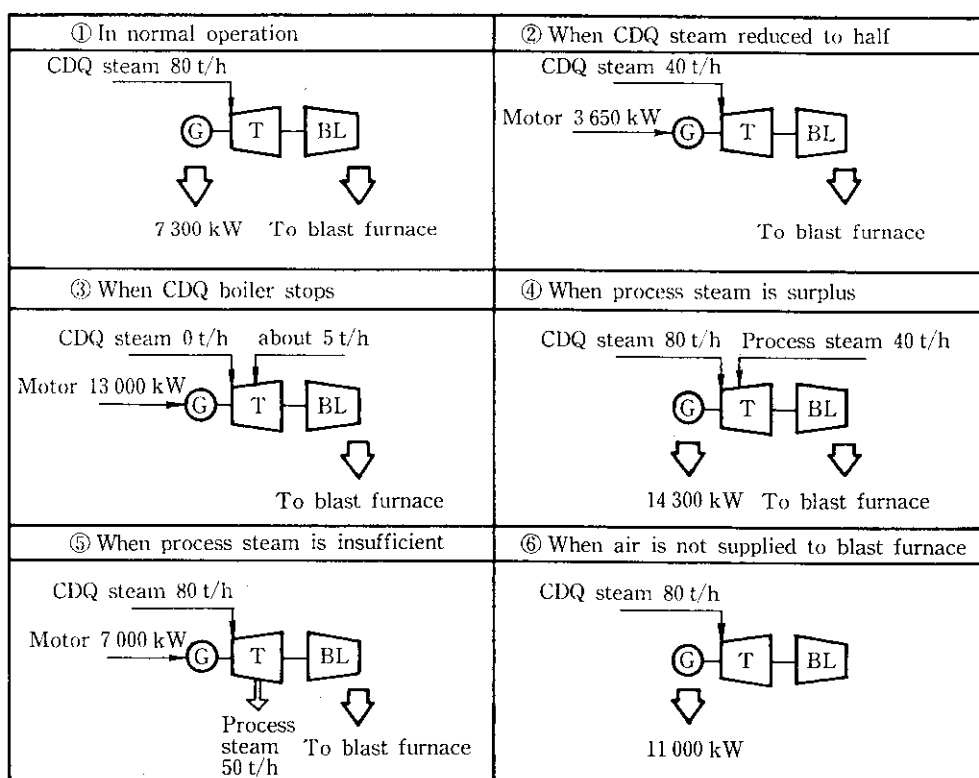


Fig. 12 Operation mode

本設備は Fig. 12 に示すように基本的に 6 種類の運転モードを有している。各運転モードの概略は以下のとおりである。

(1) 通常時

CDQ 蒸気で高炉送風と発電を同時に行う。発電出力は 7300 kW である。

(2) CDQ 蒸気半減時

タービン出力より高炉送風動力が大きくなるため、発電機はモータリングとなる。

(3) CDQ ボイラー停止時

タービン内部冷却のために 5 t/h 程度のプロセス蒸気を入れながら、発電機は 13000 kW のモータリングとなる。

(4) プロセス蒸気余剰時

タービンにプロセス蒸気を混気して、発電機の出力を増加させる。

(5) プロセス蒸気不足時

タービンより抽気してプロセス蒸気として供給するが、不足動力はモータリングにより供給される。

(6) 高炉休風時

送風機は放風運転され、発電機は送風機の負荷減分出力増となる。

## 4.2 制 御

Fig. 13 に制御図を示す。制御の概要は以下の通りである<sup>2,3)</sup>。

- (1) CDQ 蒸気系は、タービンガバナにより、主蒸気圧力が、一定となるように前圧制御を行う。このため負荷のバランスを、発電とモータリングで調整している。
- (2) 発電機を保護するために、発電とモータ運転のどちら側にも、最大負荷制限装置を設けている。
- (3) 低圧プロセス蒸気系の制御は、タービン外部制御弁による圧

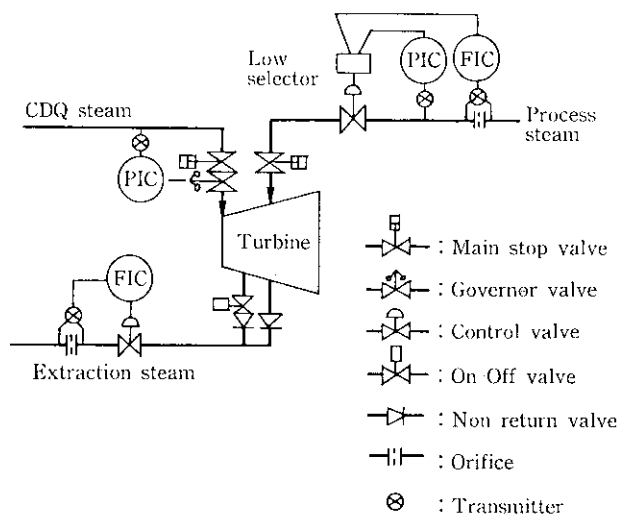


Fig. 13 Turbine control diagram

力一定制御を行い、かつ最大流量を制限している。

- (4) 抽気系の制御は、前述したように、2口抽気の制御の他に、抽気流量一定制御を行っている。

## 5 操業経過

本設備の多目的送風発電設備の完成により、前掲の Fig. 5 に示すように、改善前と較べて発電所は非常にシンプルな系統となった。本設備は 1984 年 8 月に完成し、現在、順調に稼動しており東工場の高炉送風バックアップのためのガス焚ボイラーを停止し、CDQ 蒸気のみで高炉送風と発電を行っている。その結果、余剰と

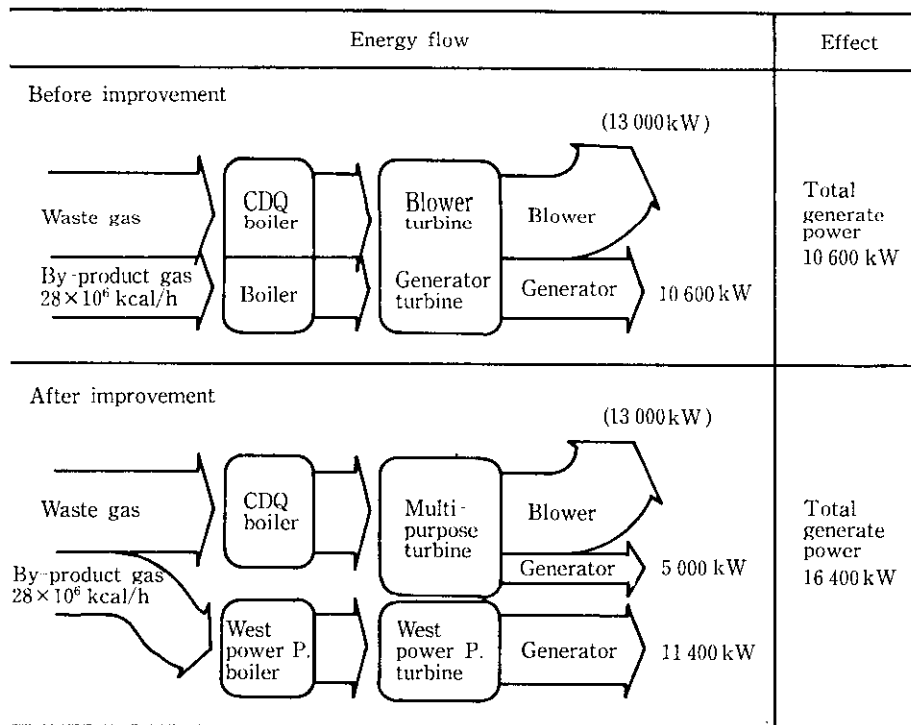


Fig. 14 Effect of multi-purpose turbine system

なった副生ガスを効率の良い西発電所にて電力に転換することができている。この効果を Fig. 14 に示すが従来設備と比較して、合計の発電出力が 10 600 kW から 16 400 kW に飛躍的に増加した。

## 6 結 言

製鉄所における省エネルギーが進むにつれて、廃熱ボイラーの蒸気系はますます複雑になる。廃熱を蒸気で回収することは比較的容易であるが、蒸気の発生変動を吸収して効率良く供給したり使用す

ることが難しい。蒸気の発生変動は蒸気アキュムレーターなどにより多少は平滑化が可能であるが、本設備はその変動を電気に吸収させた具体例である。

この設備により発生が不安定な廃熱蒸気のみで高炉送風用蒸気として使用することが可能となり、併せて高炉送風運転に外乱を与えることなくプロセス蒸気の需給コントロールも達成することができた。このシステムのように電気で補完することにより廃熱回収蒸気の価値を大いに高めることができると思われる。

## 参 考 文 献

- 1) 塞川 武:「自動制御の理論と実際(上)(下)」, (1948), [日本機械学会]
- 2) 阪上 宏, 森田 進, 奥山悠紀男, 樋口勝利, 北山義雄, 池沢一昭, 成田昭三, 赤井 智:「住友金属工業(株)小倉製鉄所向送風発電プラントの特色と運転実績」, 川崎技報 62 (1976), 240-246
- 3) プロセス計測制御便覧編集委員会編:「プロセス計測制御便覧」, (1970), [丸善]