

---

千葉第2 CDQ 発生蒸気の電力転換システム

Power Generating System of No. 2 Coke Dry Quenching Plant at Chiba Works

菊池 一成(Issei Kikuchi) 小松 勝二郎(Katsujiro Komatsu) 片山 秀夫(Hideo Katayama) 渡辺 巳喜男(Kikio Watanabe)

---

要旨：

川鉄化学(株)千葉工場第3, 4, 5 コークス炉用として第2 CDQ 設備が昭和 56 年4月稼働した。回収蒸気は川鉄千葉発電所で、発電タービン入口蒸気条件を 40kgf/cm<sup>2</sup>・G, 420°C として電力に転換している。CDQ ボイラと発電設備間とを連絡する主蒸気管が 1200m の長距離であること、また、CDQ ボイラ発生蒸気量の変動があることから独自のタービン入口圧力制御システムを考案設置した。本設備は昭和 56 年6月官庁検査に合格し以降順調な稼働を継続しており、省エネルギーに大きく寄与している。

---

Synopsis：

Steam recovered from No.2 CDQ is supplied to Kawatetsu Chiba Power Station. The distance between the CDQ plant and the Power Station is about 1200m. In consideration of such conditions as the long length of steam piping and fluctuations of recovered steam, a new control system of steam turbo generator has been developed. This power generating system of No.2 CDQ is operating satisfactorily, after the inspection by MITI in June, 1981.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

菊池 一成\* 小松 勝二郎\*\* 片山 秀夫\*\*\* 渡辺 己喜男\*\*\*\*

## Power Generating System of No.2 Coke Dry Quenching Plant at Chiba Works

Issei Kikuchi, Katsujiro Komatsu, Hideo Katayama, Mikio Watanabe

### 要旨

川鉄化学㈱千葉工場第3, 4, 5 コークス炉用として第2 CDQ 設備が昭和56年4月稼動した。回収蒸気は川鉄千葉発電所で、発電タービン入口蒸気条件を $40\text{kgf/cm}^2\cdot\text{G}$ 、 $420^\circ\text{C}$ として電力に転換している。CDQ ボイラと発電設備間とを連絡する主蒸気管が1200mの長距離であること、また、CDQ ボイラ発生蒸気量の変動があることから独自のタービン入口圧力制御システムを考案設置した。

本設備は昭和56年6月官庁検査に合格し以降順調な稼動を継続しており、省エネルギーに大きく寄与している。

### Synopsis:

Steam recovered from No. 2 CDQ is supplied to Kawatetsu Chiba Power Station. The distance between the CDQ plant and the Power Station is about 1200 m. In consideration of such conditions as the long length of steam piping and fluctuations of recovered steam, a new control system of steam turbo generator has been developed. This power generating system of No. 2 CDQ is operating satisfactorily, after the inspection by MITI in June, 1981.

## 1. 諸 言

川鉄化学㈱千葉工場第3, 4, 5 コークス炉のコークス消火用として第2 CDQ 設備が建設された。第2 CDQ 設備から回収される蒸気は発電設備により電力に転換するシステムを採用した。電力転換設備は休止中の川鉄千葉発電所を利用した。川鉄千葉発電所と第2 CDQ 設備とは約1200mの主蒸気管で連絡されている。

本発電システムは昭和56年6月に官庁検査に合格し営業運転に入った。以降順調な運転を継続し、川崎製鉄㈱千葉製鉄所および川鉄化学㈱千葉工場の省エネルギーに大きく寄与している。

## 2. 設備概要

### 2.1 発電設備

第2 CDQ設備と川鉄千葉発電所間の主蒸気、給水系統をFig. 1に示す。発電所設備のうちボイラ設備は高炉送風蒸気タービン用として運転していたが、発電設備は川鉄千葉西発電所(75000 $\text{KW}\times 2$ ユニット)の定期検査期間には稼動するが、それ以外の期間は休止している設備であった。

Fig. 1の太線で示すように、CDQボイラと1, 2, 3号発電設備との間に他の蒸気設備とは独立した蒸気、給水系統を構成し全体をひとつの排熱発電システムとした。Table 1は第2 CDQ設備の主要仕様<sup>1)</sup>を示したものである。CDQボイラの主蒸気条件 $52.4\text{kgf/cm}^2\cdot\text{G}\times 436^\circ\text{C}$ は1, 2, 3号発電設備の蒸気条件 $40\text{kgf/cm}^2\cdot\text{G}\times 420^\circ\text{C}$ と主蒸気管の圧力損失による蒸気圧力低下、放熱による蒸気温度低下を考慮して決定した。一方、

ボイラ給水はタービン抽気により脱気加熱をして $112^\circ\text{C}$ に昇温後CDQボイラに給水している。この給水温度はCDQボイラでの低温腐食を防止するため $112^\circ\text{C}$ 以上を保持するよう管理している。給水加熱源として抽気量が不足する場合は工場用蒸気をバックアップとして使用する方式としている。

なお、CDQボイラは発電専用として電気工作物の認可を東京通商産業局より受けた。

### 2.2 主蒸気配管設備

第2 CDQ設備と川鉄千葉発電所の配置をFig. 2に示す。CDQボイラと発電設備との間は約1200mと長距離であり、主蒸気管設計には建設コスト、圧力損失等の関係を最適化することが必要であった。そのため管寸法はJISによらず特別仕様のもので採用し川崎製鉄㈱知多製造所で製作して使用した。Table 2に使用した主蒸気管の仕様を示した。

構造面における配慮を次に述べる。まず全体で約160箇所ある支持点のうちスプリングハンガーは5箇所にとどめ他はすべてリジッドハンガーとした。これは屋外配管であることからスプリングハンガーのバネ定数の経年変化を考慮したためである。また、配管の熱膨張を吸収するエキスパンションは高周波曲げ加工したU型のものを採用し約35mごとに設置した。

建設コストの面からは全長の95%を既設の高炉ガス管などに添架させてその低減を図った。

配管の構造解析は基本設計時には川崎製鉄㈱千葉製鉄所が導入している配管系の構造解析プログラム「THERMSTA」(日本ユニバック社がサポート)を用いて行った。次いで、詳細設計には設計施工者の川崎重工㈱が自社開発したプログラム「PANTHER」を用いて行った。また、設計基準は「発電用火力設

\* 千葉製鉄所エネルギー部エネルギー技術室主任 (課長)  
\*\* 千葉製鉄所保全全部保全技術室主任 (課長)  
(昭和57年9月27日原稿受付)

\*\*\* 千葉製鉄所エネルギー部エネルギー技術室主任 (掛長)  
\*\*\*\* 千葉製鉄所保全全部保全技術室

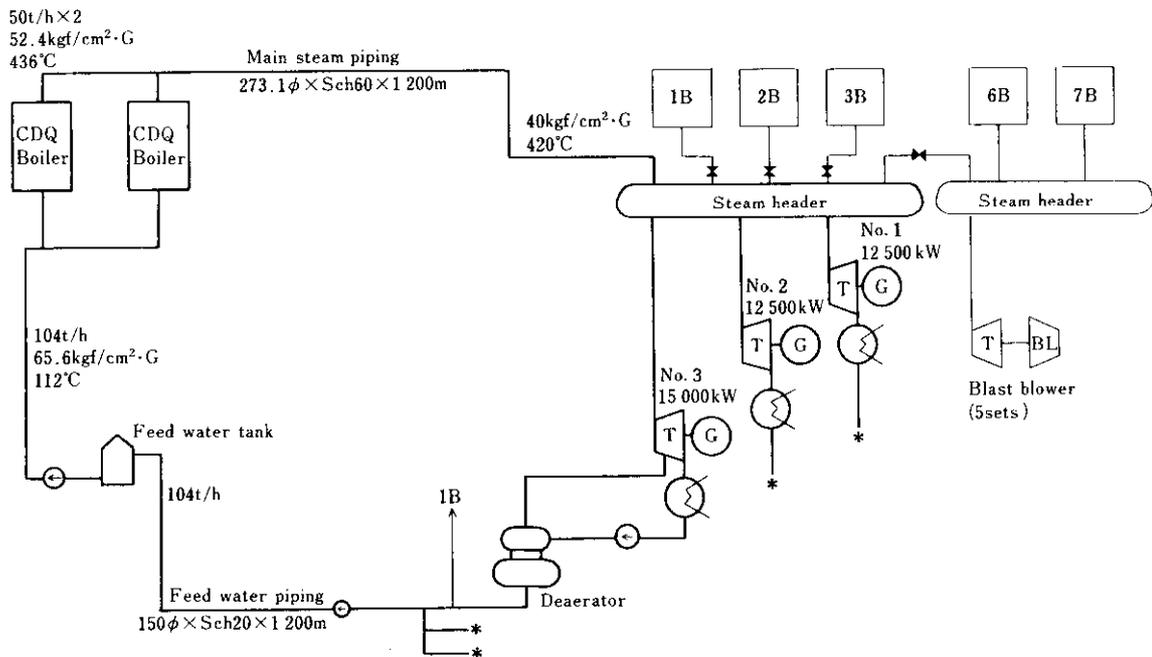


Fig. 1 Schematic diagram of CDQ power generating system

Table 1 Specifications of No.2 CDQ

|                                | No. 3 & 4                    |                             | No. 5                   |
|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
|                                | Coke oven                    | Number of ovens             | 148                     |
|                                | Dimensions (cold) (mm)       | 4 160H x 1 340L x 400W      | 5 910H x 14 850L x 460W |
|                                | Production ability (t/d)     | 2 100                       | 1 870                   |
| Cooling tower                  | Coke quenching ability (t/h) | 100 x 2 units               |                         |
|                                | Pre-chamber volume (m³)      | 270                         |                         |
|                                | Cooling chamber volume (m³)  | 480                         |                         |
| Dust catcher                   | Primary unit                 | Grating type                |                         |
|                                | Secondary unit               | Cyclones 2 units            |                         |
| Gas circulating fan            | Capacity (Nm³/h)             | 150 000                     |                         |
| Electric locomotive            | Weight (t)                   | 40                          |                         |
|                                | Speed (m/min)                | 180                         |                         |
| Coke bucket                    | Coke weight                  | 20.4                        |                         |
| Charging device                | Type                         | Electric motor-driver links |                         |
| Discharging device             | Type                         | Hydraulically driver        |                         |
| Belt conveyor                  | Capacity (t/h)               | 200 x 2 lines               |                         |
|                                | Type                         | Single-drum water tube      |                         |
| Boiler                         | Steam generation rate (t/h)  | 54 x 2 units                |                         |
|                                | Steam pressure (kgf/cm²-G)   | 52.4                        |                         |
|                                | Steam temperature (°C)       | 436                         |                         |
| Superfluous gas recovery plant | Type                         | Venturi scrubber            |                         |
|                                | Capacity (Nm³/h)             | 5 000                       |                         |

備の技術基準」および「ANSI, B. 31.1」によった。

### 3. 発電タービンの制御

CDQ ボイラ発生蒸気量は種々の要因で変動することが予想される。主な変動要因として

- (1) コークス切出し装置の不調による循環ガス量の変化
- (2) 循環ファンの故障による循環ガス量のストップ
- (3) コークス炉の押し出しピッチが大幅にずれた場合のコークス切出し量の調整による循環ガス量の変化

などがある。これらの要因による発生蒸気量の変動は1200m

の主蒸気管を経た発電タービン入口における蒸気圧力の変化となつてあらわれる。入口蒸気圧力の変化幅は設計上はもちろん法的な制約を受ける。また、発電タービンの運転上の制約の一つに出力の許容範囲があり、供給蒸気量が変動する場合この制約を十分考慮しなければならない。したがって、CDQ 設備の操業変動の影響を吸収し発電タービン入口蒸気圧力を許容範囲内に維持するシステムが必要となる。

#### 3.1 主蒸気圧力制御

発電タービンの制御は

- (1) タービン回転数を一定とする速度制御

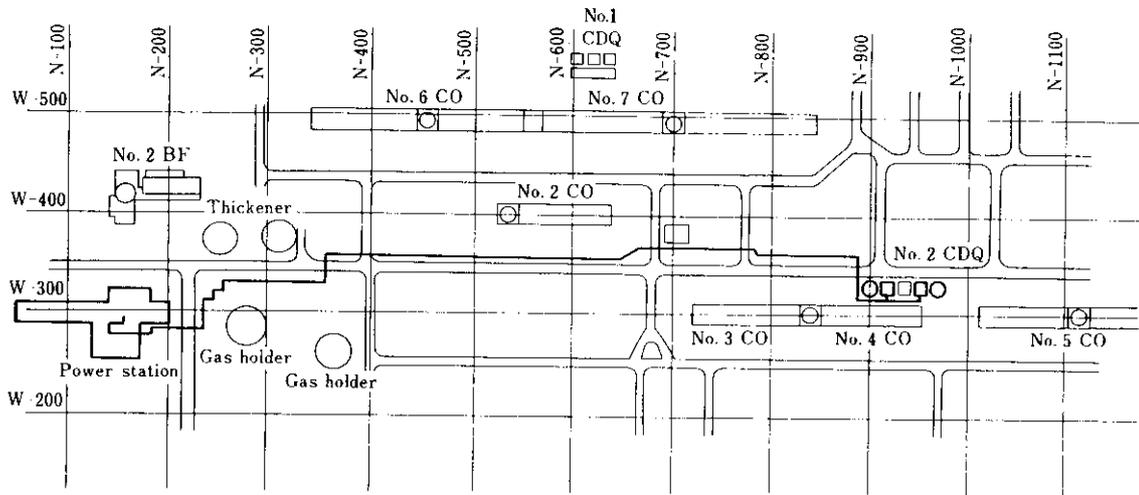


Fig. 2 General layout of No. 2 CDQ plant and power station

Table 2 Specifications of main steam pipe

|                                |                        |
|--------------------------------|------------------------|
| Size                           | 273.1φ×12t             |
| Quality of material            | STPA12                 |
| Design pressure                | 60kgf/cm <sup>2</sup>  |
| Design temperature             | 450°C                  |
| Steam flow rate                | 100t/h                 |
| Steam flow velocity            | 41m/s                  |
| Thickness of heat insulation   | 100mm                  |
| Length of piping               | 1 230m                 |
| Estimation of pressure loss    | 9.5kgf/cm <sup>2</sup> |
| Estimation of temperature drop | 11.3°C                 |

Power output in initial pressure control mode  
 Power output in speed control mode

A, A' kW : Rated load×0.25 (min.load)  
 B kW : Rated load×0.80

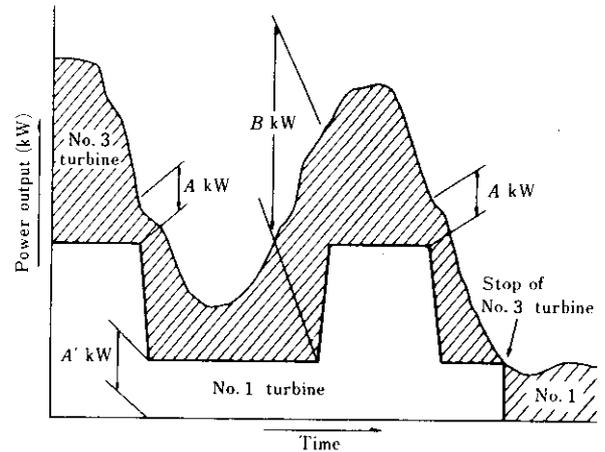


Fig. 3 Control characteristics under the change of steam flow rate

(2) タービン入口圧力を一定とする初圧制御の2制御モード(調速モード, 調圧モード)として任意にモード選択を可能にした。

2基の発電タービンを運転するとき1基を調圧モードに, 他を調速モードに選択する。このときの2基の制御状況を示す模式図が Fig. 3 である。すなわち CDQ ボイラ発生蒸気量に変動があっても, 次のステップで発電タービンを制御しタービン入口圧力を一定に制御する。

- (1) CDQ ボイラ発生蒸気量が減少すると3号機が自動的にタービン調速弁を絞って発電出力を減少させる。
- (2) 3号機出力が最低出力 A kW (定格出力の25%) になると調速モードの1号機の負荷制限を最低出力 A' kW (定格出力の25%) に自動設定し3号機の調圧運転を継続する。
- (3) CDQ ボイラ発生蒸気量が増加すると3号機は自動的にタービン調速弁を開き発電出力を増加させる。
- (4) 3号機出力が B kW (定格出力の80%) になると1号機は負荷制限器で自動的に発電出力を増加させて3号機の調圧運転を継続する。

さらに極端に蒸気量が減少し, 調圧運転の3号機発電出力が最低出力以下になると, 3号機を強制的に停止し1号機を自動的に調圧運転に切り替える。

上述の調圧, 調速モードの組合せによる CDQ ボイラ発生蒸気量の変動吸収システムの制御系統を Fig. 4 で概略を示した。本システムの制御精度を向上させるため発電タービン制御装置に電子ガバナーを設置した。

### 3・2 発電タービン制御装置

1, 3号発電タービンのガバナー機構を機械式(油圧レバー式)から電子式に改造した。電子ガバナーは回転数制御範囲が広く, 回転数検出精度も高く(機械式の10倍の精度で検出誤差は0.03%以下である), さらに応答時間遅れが少ない優れた制御性を有している。したがって CDQ ボイラなどの発生蒸気量に変動する排熱ボイラに対応する蒸気タービン制御に適したシステムである。

この電子ガバナーにタービン入口蒸気圧力を一定におさえる初圧制御機能を追加した。すなわち, タービン軸駆動の機械式ガバナーを取り外し, 非接触式電磁ピックアップにより速度制御に必要なタービン回転数を検出する。一方, 圧力-電流変換器によりタービン入口蒸気圧力を電気信号の形で初圧制御を行うもので, Fig. 5 は電子ガバナーの主要回路の構成を示したものである。

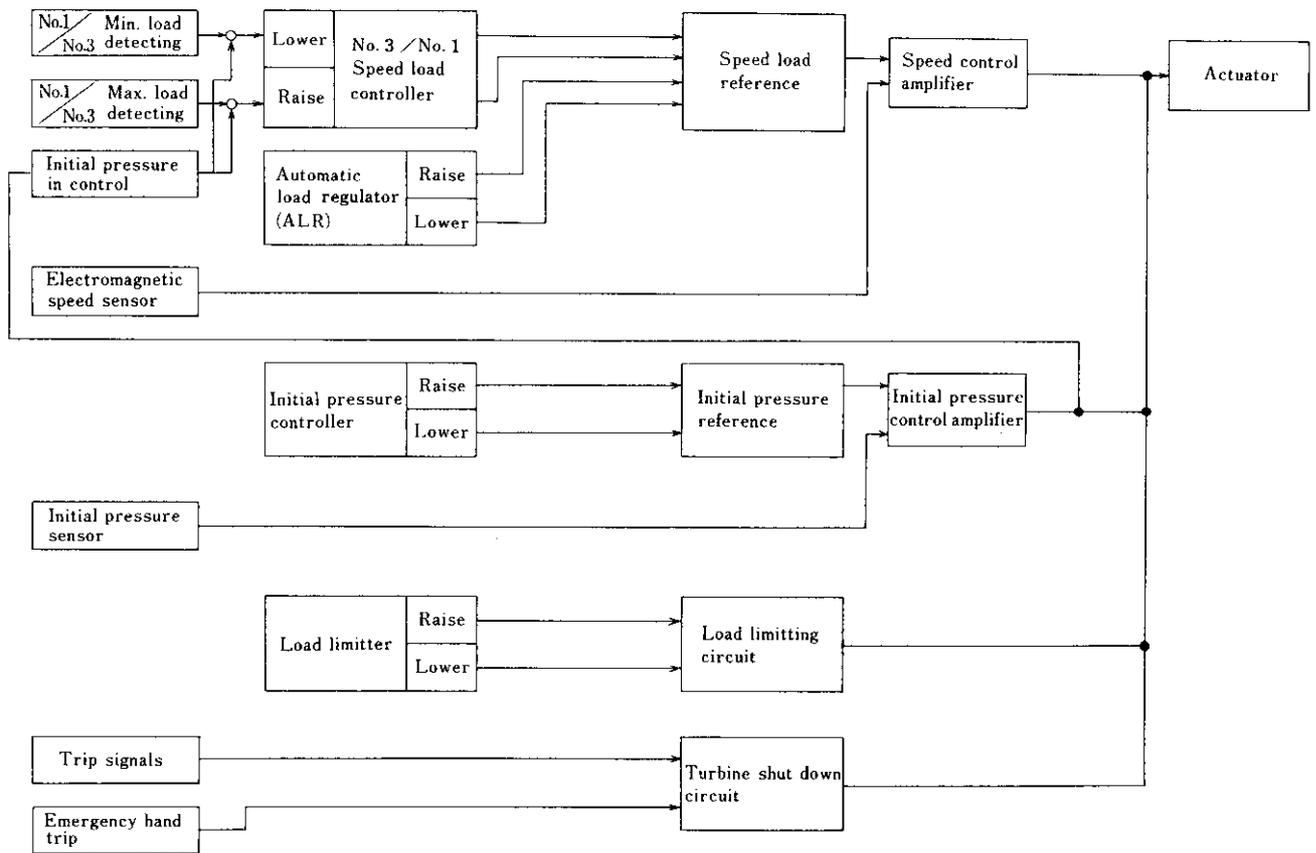


Fig. 4 Block diagram of speed and initial pressure control

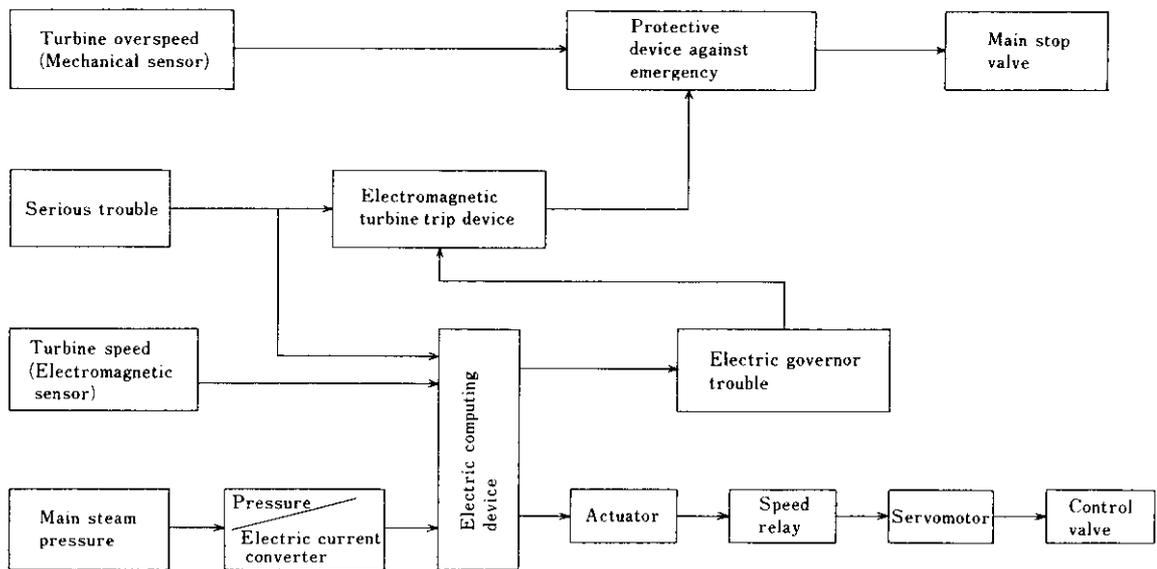


Fig. 5 Schematic control flow of electric governor

## 4. 運転結果

### 4.1 制御性能

主蒸気圧力制御の追従性を確認するため燃焼ボイラ (Fig. 1 の 1, 2 B) の蒸発量を強制的に変動させタービンを運転した。その追従性のテストの結果の1例を Fig. 6 に示した。各種のテ

スト結果から蒸気量の変動に対して安定したタービン入口蒸気圧力と発電タービンの適正な出力配分が得られることを確認した。

昭和56年6月官庁検査後連続運転に入ったが、第2 CDQ 設備の安定した操業により発生蒸気量変動は 5 t/h/5 min 程度と少なく発電設備も順調に稼働している。

さらに CDQ 蒸気を多目的に利用するため燃焼ボイラおよび高炉送風タービン (Fig. 1) との併列運転を実施した。この結果

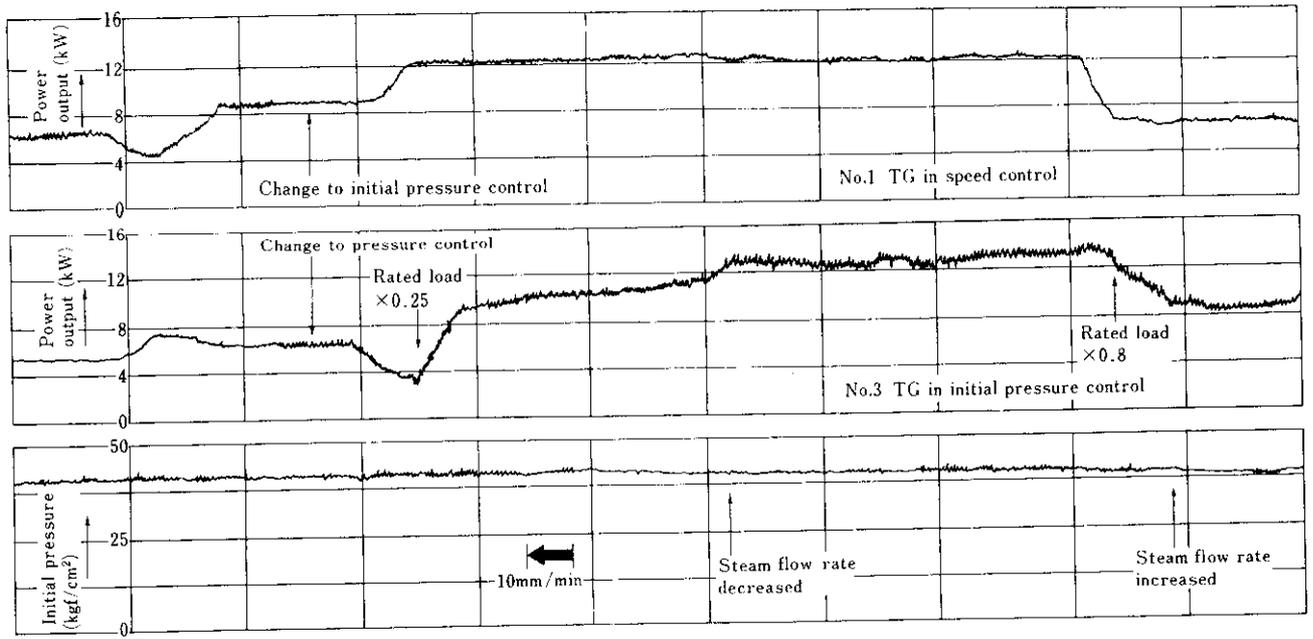


Fig. 6 Test data of initial pressure and power output

CDQ 発生蒸気量の変化に加えて、副生ガス需給変化による燃焼ボイラ蒸発量の変化が重なっても本制御システムは優れた追従性を示すことが確認された。

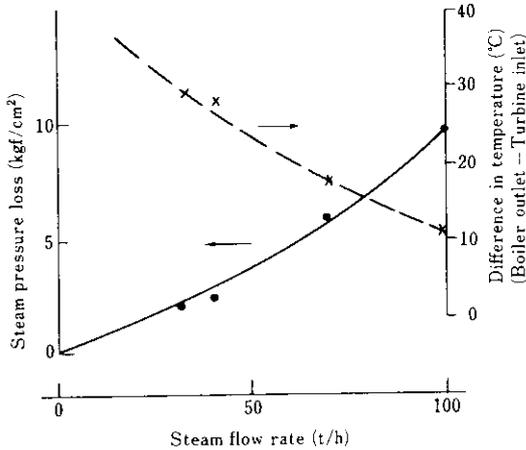


Fig. 7 Pressure and heat loss at steam piping

#### 4.2 主蒸気管暖管時間

長距離主蒸気管の暖管はCDQ ボイラ出口蒸気圧力、温度を  $30\text{kgf/cm}^2 \cdot \text{G}$ 、 $350^\circ\text{C}$  程度に上昇させてから開始した。完全に系のドレンを排除した後CDQ ボイラ蒸気の昇圧、昇温を実施した。ドレンの完全排除からタービン前蒸気圧力、温度が所定の条件に至るまで3～4時間を要した。

#### 4.3 主蒸気管の放熱量

連続運転時の主蒸気管の放熱量は蒸気流量と外気温度により決定されるが Fig. 7 はこの関係を示したものである。なお外気温度の影響は低流量時 (20t/h) においても  $2^\circ\text{C}$  程度である。

### 5. 結 言

CDQ ボイラと発電タービンとを単一系統で構成する場合、CDQ 設備操業条件変化による蒸発量の変動、主蒸気管路長などを考慮する必要がある。本発電システムはこれらの問題を解決し、排熱ボイラと発電設備との距離的制御を受けることなく、高圧高温蒸気での排熱回収が可能な設備の発電利用に応用できることが確認できた。

#### 参 考 文 献

- 1) 百合野ほか：川崎製鉄技報，13(1981) 4，11～16