

## 技術報告

UDC 662.741.355 : 662.749.2

## 省エネルギー設備としてのコークス乾式消火法について\*

森 高\*\*・藤村 武生\*\*・佐藤誠一郎\*\*

## The Coke Dry Quenching Process as the Energy-saving Technology

Takashi MORI, Takeo FUJIMURA, and Seiichiro SATO

## Synopsis:

Nippon Kokan K.K. (NKK) undertook the so-called "Ogishima Project" in 1969 with a view of replacing the obsolete steel-making facilities at its Keihin Works with a modern steelmaking base to be constructed at Ogishima, a newly developed industrial area of the Keihin Works. Fortunately, the new C.D.Q. plant made a good start-up and operation. We would like to report its operating data and to consider the effects as the energy-saving technology. As a result, the NKK-Licensintorg C.D.Q. plant is showing high operational stability in coke quenching and is demonstrating excellent performance in energy-saving equipment.

## 1. 緒 言

日本鋼管(株)は老朽化した京浜製鉄所をリプレースすべく扇島地区に徹底的合理化と環境対策に最新の技術を導入した新工場を建設し、一期工事は 51 年秋に完成、現在二期工事が進行中である。扇島地区にリプレースするに当り、特に省エネルギーについては、総合エネルギー管理体制を取り、製鉄所エネルギー原単位で、粗鋼 t 当り 650 万 kcal の現状をリプレース完了時点で 500 万 kcal とすべく、目標に向つてまい進している。

これがために、幾多の省エネルギー技術が活用されているが、その代表として設置に踏切つたのが「赤熱コークスの顕熱利用」である コークス 乾式消火設備 (Coke Dry Quenching 以下 C.D.Q. と略す) である。スター

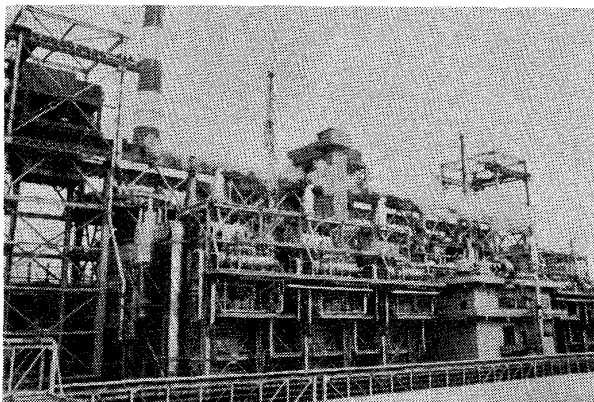


Photo. 1. General view of the C.D.Q. plant.

ト以来、現在まで極めて順調な操業を続けているので、ここに紹介する。

製鉄所におけるコークスは、通常、鉄 1 t 当り 400 ~ 450 kg 使用されている。例えば、日産 10 000 t の高炉においては、4 000 ~ 4 500 t / d のコークスが使用されることになるが、石炭に対する総コークス歩留を 76%、高炉に使用される塊コークス歩留を 64% と仮定すれば約 4 750 ~ 5 330 t / d の赤熱コークスが、コークス炉で生産されることを意味し、これら赤熱コークスの持つ顕熱を概算すると、約  $1.9 \times 10^9$  kcal/d と言うべく大なエネルギー量となつている。一般にコークスはコークス炉で約 1 000°C の赤熱状態で生産され、通常、散水消火後、高炉に供給されており 1 000°C の顕熱は大気中に熱気となつて放散されている。これを熱交換して、蒸気又は電力に転換して利用するのが C.D.Q. である。

C.D.Q. 導入の経過をふり返つてみるに、C.D.Q. は古くヨーロッパで実施され、日本でもかつて一部実施されていたが、採算性、操業性、安全性などの問題で、ほとんど姿を消し、散水消火法が一般的となつて現在に至っている。しかしソ連では、ヨーロッパで行なわれていた方式を改良し、大型でしかも安定した蒸気発生を特徴とする C.D.Q. を 1960 年に開発していた。当社では扇島計画に当り、この C.D.Q. に着目し、1971 ~ 1972 年にかけてソ連及びヨーロッパの C.D.Q. を調査し、処理能力、蒸気発生の安定性、自動化などの点でソ連式が

\* 昭和 53 年 3 月 22 日受付 (Received Mar. 22, 1978)

\*\* 日本鋼管(株)京浜製鉄所 (Keihin Works, Nippon Kokan KK, 1-1 Minamiwatarida-cho Kawasaki-ku Kawasaki 210)

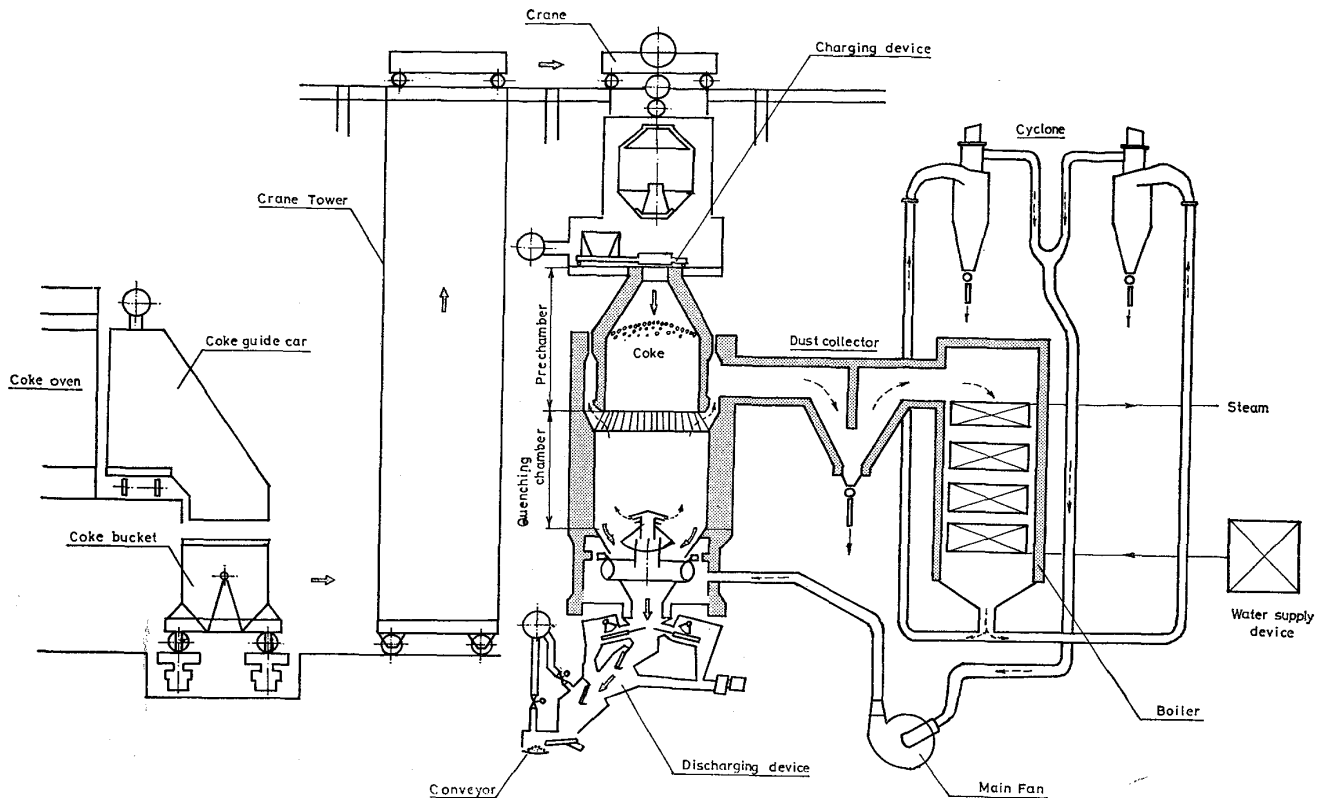


Fig. 1. Flowsheet of the C.D.Q. plant.

優れていることがわかったとともに、ソ連国内でも 1971 年時点で 7 工場に 28 基の C.D.Q. が稼働し、24 基が建設中であり、今後、新工場はすべて C.D.Q. 方式を採用することが確認された。特にソ連チェレポベツ製鉄所第 7 コークス炉では、消火塔を設けず、C.D.Q. 5 基のみ設置し、1971 年末稼働に入つたと言う点に注目した。これらの状況から、ソ連において C.D.Q. は完全に実用化されたものと判断し、その後の調査結果も加味し、扇島第一コークス炉に C.D.Q. を採用することに踏切たものである。扇島第一コークス炉は炉高 7.55 m、有効容積 52.5m<sup>3</sup> の炭化室 124 室からなる大型コークス炉であり C.D.Q. もこれに対応すべく、大型化をはじめ自動化、環境対策を含めた各種改善を加えて、NKK-ライセンスイントルグ式 C.D.Q. として完成し、1976 年 9 月コークス炉稼働とともに操業を開始した。操業開始後 1 年半余りを経過しているが操業は極めて安定し、“コークス消火設備”として又“省エネルギー設備”として、その機能を十分に果している。

## 2. CDQの設備概要

C.D.Q. 設備はほぼ次の装置で構成されている。す

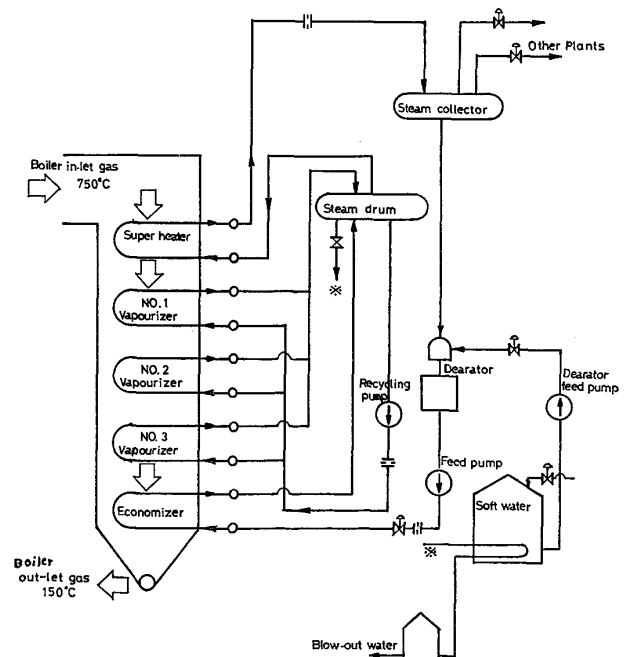


Fig. 2. Flowsheet of the C.D.Q. boiler.

なわち(1)消火室までの赤熱コークス運搬装置、(2)消火室、(3)冷却コークス切出装置、(4)不活性ガス循環装置、(5)廃熱回収ボイラ、(6)集塵及び粉コークス処

Table 1. Specifications of the C.D.Q. Plant.

| Item                               | Rating                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Coke bucket                        | Effective volume: 75 m <sup>3</sup> (with top cover), loading 29 t                                                                                                                                                                     |
| Coke car                           | Fully automatic two-axle bogie car.<br>Speed: 200, 60, 10 m/min. usually 2 coke cars used.                                                                                                                                             |
| Over-head crane                    | Fully automatic self-traveling crane.<br>Lifting load: 80 t, Lifting speeds: 35, 20, 10, 3 m/min.<br>Traveling speeds: 60, 3 m/min.                                                                                                    |
| Charging device                    | Motor driven linkage type.                                                                                                                                                                                                             |
| Quenching chamber                  | 5 sets, Capacity: 70 t/h, Pre-chamber volume: 280 m <sup>3</sup> /set<br>Quenching chamber volume: 330 m <sup>3</sup> /set                                                                                                             |
| Main fane                          | Double suction radial fane, Air volume: 105 000 Nm <sup>3</sup> /H, 730 mmAg<br>Speed controlled by the circulating gas temperature, cascade control technique.                                                                        |
| Auxiliary fan                      | Single suction turbo fane<br>Air volume: 43 000 Nm <sup>3</sup> /h, 205 mmAg.                                                                                                                                                          |
| Boiler                             | Membrane wall type, Steam specifications: 280°C, 20 kg/cm <sup>2</sup><br>Steam generation: 38.5 t/h, Heat-transfer Area 1 134 m <sup>2</sup><br>Temperature of feed water: 105°C at the economizer in-let, 180°C at the boiler in-let |
| Dust collector for circulating gas | First stage: Dust settling chamber type<br>Second stage: Cyclone type                                                                                                                                                                  |
| Discharging device                 | Hydraulically driven type with a capacity of 5 m <sup>3</sup> /time                                                                                                                                                                    |
| Chamber top dust collector         | Wet electric precipitater with a capacity of 3 000 m <sup>3</sup> /min                                                                                                                                                                 |
| Chamber bottom dust collector      | Bag house with a capacity of 2 000 m <sup>3</sup> /min                                                                                                                                                                                 |
| Coke dust treatment                | Suction type pneumatic transport system with a capacity of 6.5 t/h                                                                                                                                                                     |

理装置などである。これらの主要動作を Fig. 1 のフローシートによつて説明すると、コークス炉から窯出された赤熱コークスはコークス上のコークスバケットに積載され C.D.Q. 巻上塔下まで自走する。次に待機している巻上機 (80 t クレーン) によつてコークバケットが巻上げられ消火室上まで走行する。バケット底部のゲートが開き、赤熱コークスは消火室に装入される。赤熱コークスはプレチャンバーから冷却室へと順次降下し、ここで閉回路を構成している循環ガスと対向流に接触し、200°C 以下に冷却される。冷却室下部には一対のコークス切出ゲートと気密を図るための二重構造のトラップ付密閉ホッパーを有し、これらが交互に作動してコークスを切出し、ベルトコンベヤにコークスの払出を行なう。冷却室下部から吹込まれる循環ガスは冷却室を上昇しながら赤熱コークスと熱交換し、約 800°C の高温ガスとなり、除塵器で粗粒ダストを除去した後、廃熱回収ボイラに送り込まれる。ボイラではこのガス顕熱を 20 kg/cm<sup>2</sup>,

280°C の蒸気として回収する様になつている。一方循環ガスは約 180°C に冷却され、主送風機により再び消火室に送りこまれる。Fig. 2 にボイラ部分のフローシートを示す。尚主要設備の設計諸元を Table 1 に示すとともに、NKK-ライセンスイントルグ式 C.D.Q. の特色をまとめて列挙すると、

(1) スケールアップ：大型コークス炉に対応させるため、消火能力をソ連の標準型 56 t/h 基、から 70 t/h 基にした。

(2) コークカーサイクルタイム短縮のため、ターンテーブルによる直接巻上塔下への自走方式にした。

(3) 廃熱ボイラ：ソ連の発電用ボイラ (40 kg/cm<sup>2</sup>・490°C) 型式から、雑用蒸気供給用低圧 (20 kg/cm<sup>2</sup>・280°C) ボイラとした。

(4) 循環装置：C.D.Q. 出口ガス温度による定温カスケード制御を実施し、節電、安定操業を期した。

(5) 自動化：コークカー、巻上機などは無人運転化

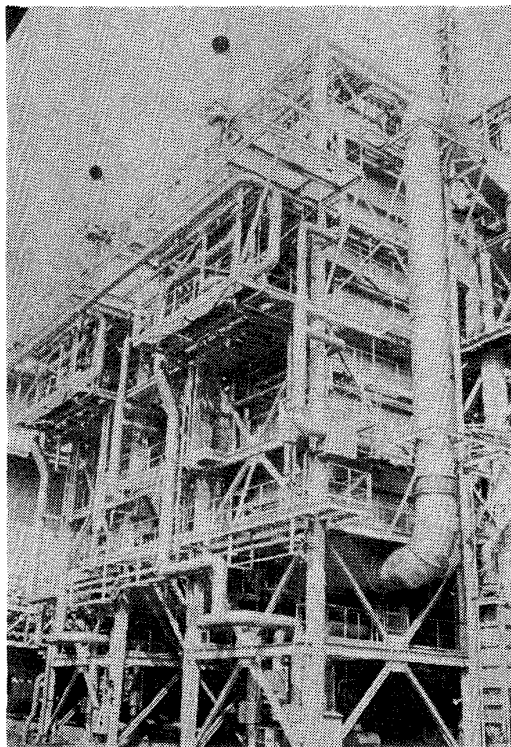


Photo. 2. View of the Boiler.

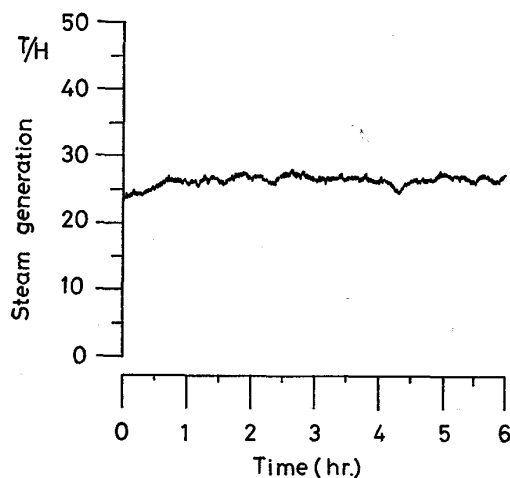


Fig. 3. The change of steam generation.

し、操業を省力化して監視業務に限定した。

### 3. 蒸気回収の操業実績

回収した蒸気を有効に活用するためには限定した蒸気の供給を図ること、及び回収効率を把握しておく必要がある。以下その調査結果について述べる。

#### 3.1 蒸気の安定発生と供給

当所においては回収した蒸気を雑用蒸気として活用するため C. D. Q. 操業において、蒸気発生安定化を図ることが極めて大切な項目となる。その安定化に寄与決定するのがプレチャンバーであり、コークス炉のバッチ

Table 2. Operation bases of the heat balance test.

| Item                                        | Operation data                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Coke oven                                   | Working rate: 104.8%<br>(130 ovens/d)<br>Flue temperature: 1150°C<br>Gross coking time: 22°20'<br>Charge per oven: 38.0 t<br>(dry-base)<br>Coke per oven: 29.0 t<br>(dry-base) |
| Temperature and volume of boiler in-let gas | Loading rate: 96.4%<br>Enthalpy of the in-let circulating gas: 279.5kcal/Nm <sup>3</sup>                                                                                       |
| Temperature of the boiler out-let gas       | 168°C, Enthalpy of the out-let circulating gas: 54kcal/Nm <sup>3</sup>                                                                                                         |
| Steam generation                            | 34.25 t/h·set, pressure: 13.8 kg/cm <sup>2</sup><br>Enthalpy of the steam: 704.36 kcal/Nm <sup>3</sup>                                                                         |
| Volume of the continuous blow-out water     | 2.24 t/h,<br>Enthalpy of the blow-out water: 204kcal/kg                                                                                                                        |

Table 3. The heat balance of the C.O.Q. plant.

| In-let heat balance        | (%)   | Out-let heat balance                                                 | (%)   |
|----------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------|-------|
| Sensitive heat of hot coke | 96.6  | Sensitive heat of discharged coke                                    | 8.0   |
| Heat of reaction           | 3.4   | Heat-loss of coke charging hole                                      | 0.4   |
|                            |       | Heat-volume of steam                                                 | 83.5  |
|                            |       | Heat-volume of blow-out water                                        | 3.0   |
|                            |       | Heat-loss of bleeder gas                                             | 0.8   |
|                            |       | Heat-loss of C.D.Q. chamber (Chamber wall, boiler, duct and cyclone) | 4.3   |
| Total                      | 100.0 | Total                                                                | 100.0 |

作業の変動を吸収し、安定した熱をボイラに供給できるようにホットコークスを貯めておくようになっている、(通常赤熱コークスを約 100 t/基ストック)。Fig. 3 に蒸気の発生状況を示す。通常は図に示す如く、安定した蒸気発生を示している。

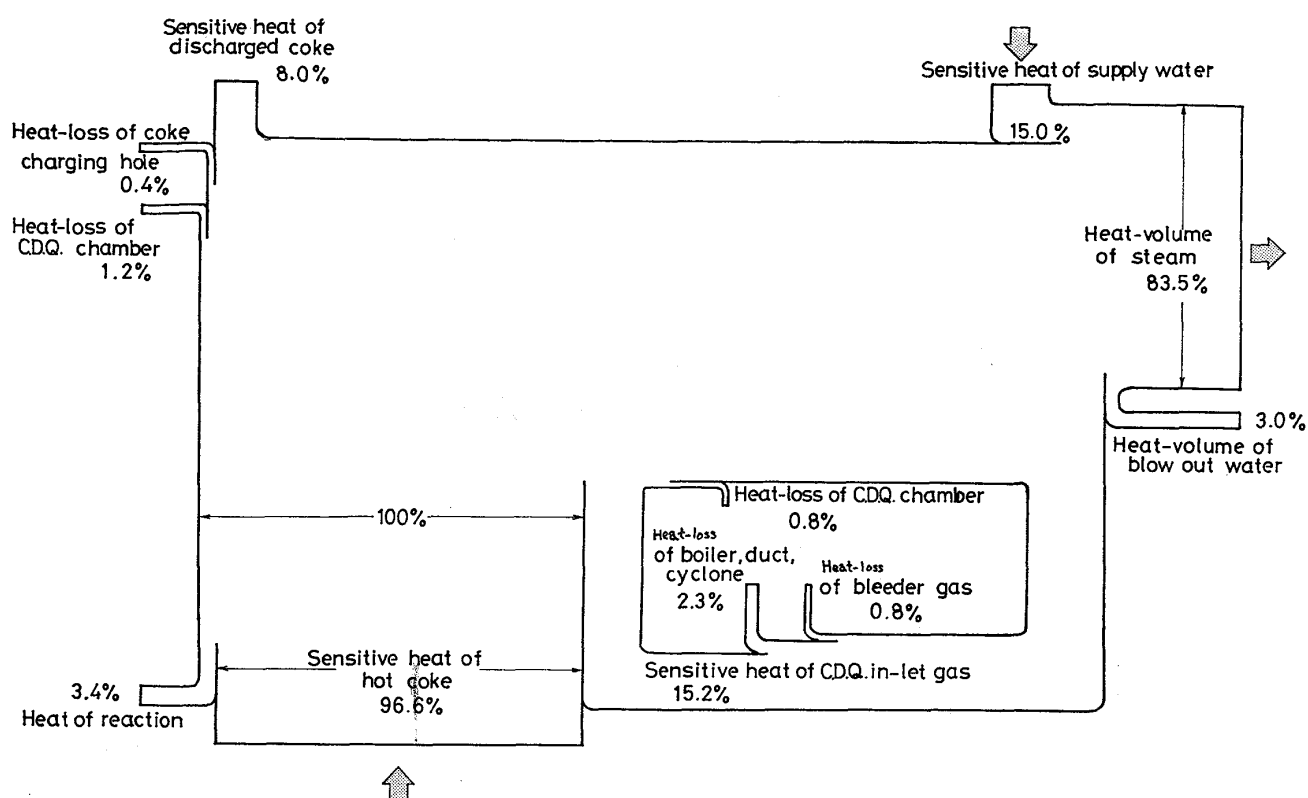


Fig. 4. Heat balance of C.D.Q. plant.

Table 4. The heat balance of the boiler.

| In-let heat balance                   | (%)   | Out-let heat balance                  | (%)   |
|---------------------------------------|-------|---------------------------------------|-------|
| Sensitive heat of the circulating gas | 87.5  | Heat-volume of steam                  | 82.2  |
| Sensitive heat of supplied water      | 12.5  | Heat-volume of the blow-out water     | 2.5   |
|                                       |       | Heat-loss of the bleeder              | 0.6   |
|                                       |       | Heat-loss of the boiler wall          | 2.0   |
|                                       |       | Sensitive heat of the circulating gas | 12.7  |
| Total                                 | 100.0 | Total                                 | 100.0 |

### 3.2 Heat balance

C.D.Q. における heat balance を示すとともに蒸気回収量を設計諸元と操業実績の比較で検討を加えてみた。

#### 3.2.1 C.D.Q. の Heat balance

Table 2 に示すごとき操業条件で C.D.Q. の熱精算を行なった。Fig. 4 に C.D.Q. 熱流れ図, Balance sheet を Table 3 (C.D.Q. 全体のバランス) 及び

Table 5. The basic calculation data of steam generation.

| Item                                     | Basic condition  |
|------------------------------------------|------------------|
| The temperature of the charging hot coke | 950~1 050°C      |
| Enthalpy of the charging hot coke        | 350~395 kcal/ kg |
| Enthalpy of the steam                    | 700 kcal/ kg     |
| Heat-recovery rate with steam            | 83.5%            |
| Reaction-heat in in-let heat balance     | 3.4%             |

Table 4 (ボイラ単独のバランス) に示す。なお Table 3 の入熱欄にある反応熱とは、C.D.Q. 内で赤熱コークスから発生するコークス中の揮発分の内  $H_2$ ,  $CO$  などの可燃成分の燃焼熱を主体とし、一部  $CO_2 + C \rightarrow 2CO$ ,  $2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$  の反応熱を含む。この熱精算結果から C.D.Q. 入熱の内 83.5% が蒸気として回収されることが判明した。又 Table 4 よりボイラにおける放熱損失は 2% 程度となり、本テスト実施時のボイラ負荷率が 96.4% と高いこと及び、この種の廃熱回収ボイラの放熱損失の標準値から考えても大旨妥当な値と考えられる。

Table 6. The specific facts of the C.D.Q. boiler.

|                   | Specific facts                                                                                                                                           | Reference                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Profitable points | (1) Un-necessity of combustion control in boiler.<br>(2) C.D.Q. boiler is the closed cycle system plant.<br>(3) Exceeding stability in steam generation. | (1) Because of no-burner for combustion.<br>(2) Easy in operation.<br>(1) Heat-recovery efficiency is best, because of very few volume of bled exhaust gas.<br>(1) Because of the stability in the circulating gas temperature into the boiler. |
| Weak points       | (1) Necessity of long using time in start-up and shut-down of the boiler.<br>(2) Confinement in the schedule of inspection of the C.D.Q. boilers.        | (1) Because of necessity of slow heating up and down, in order to protect the C.D.Q. chamber brick.<br>(1) Because of confinement in blast furnace coke supply and steam balance of the Keihin Work.                                            |

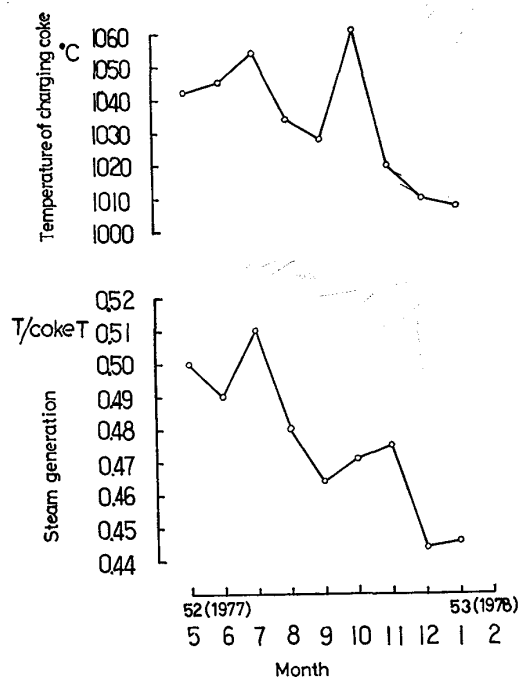


Fig. 5. Monthly operation data of steam generation.

### 3.2.2 Heat balance を適応した蒸気回収量の確認

今回テストした Heat balance の結果を適応し、Table 5 に示す条件で蒸気回収量をチェックしてみることとする。Table 5 の条件で蒸気発生量を計算してみると C.D.Q. への装入コークス温度  $950^{\circ}\text{C}$  の場合、蒸気発生量  $0.43 \text{ t/t-coke}$ 、同様に装入コークス温度  $1050^{\circ}\text{C}$  の場合、蒸気発生量  $0.49 \text{ t/t-coke}$  となることが予測される。Fig. 5 に蒸気発生量と装入コークス温度の実績推移を示す。図にみるごとく、実績の蒸気回収量は  $0.44 \sim 0.51 \text{ t/t-coke}$  となっている。又装入コークス温度等、操業方法、条件の変化で蒸気発生量は当然ながら変動する。C.D.Q. を設置した場合のコークス炉操業は、次工程の C.D.Q. で可燃性ガスの発生及び濃縮することはその循環ガス組成管理上好まないので、従来のコークス炉操業と比較して置時間を長めに取るようにしている。

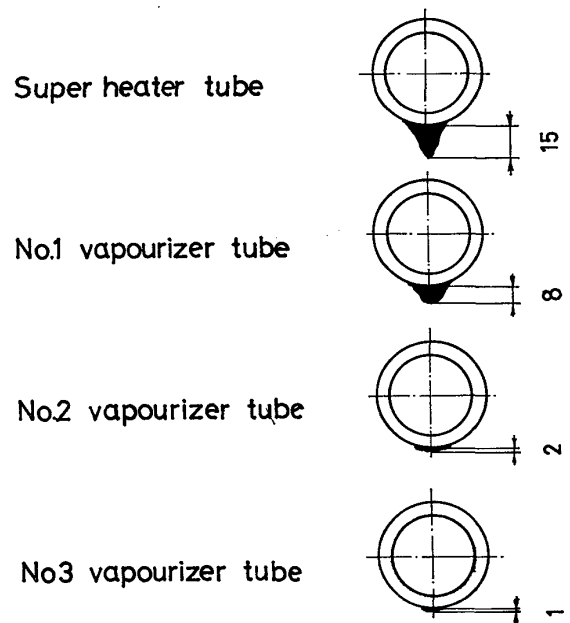


Fig. 6. Adherent condition of dusts in the C.D.Q. Boiler.

これがため窯出時のコークス温度がやや高目になる傾向が認められる。当社 C. D. Q. プラントの基本技術提携先であるソ連ライセンスイントルグのスペックでは蒸気発生量  $0.45 \sim 0.50 \text{ t/t-coke}$  としているが、当社 C. D. Q. の操業実績においても、この値とほぼ同じレベルでの経過を示し、熱回収効率は極めて高いことが立証された。

### 4. C.D.Q. ボイラ運転の特徴と留意点

C.D.Q. ボイラ運転上の特徴を通常の燃焼装置を備えたボイラと比較してみると、Table 6 のごとくとなる。

通常のボイラと比較した場合の特異性として、コークス粉を含む循環ガスがボイラに導入されるため、どのような影響を示すがその最も大きな関心事となるのは当然である。各ボイラの定期開放検査を実施して来たが、この開放検査を踏まえ二、三の留意点を掲げてみたい。

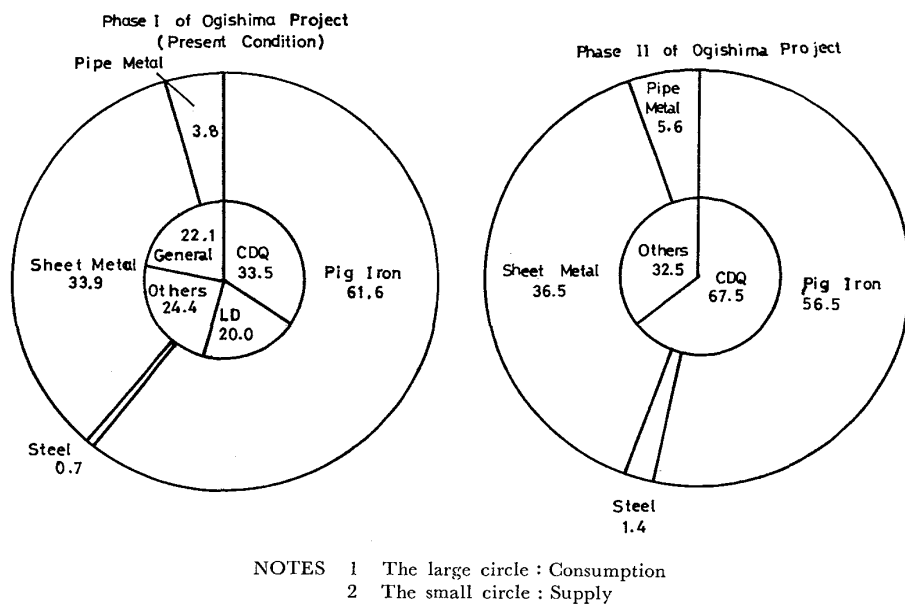


Fig. 7. Demand and supply of steam in the Keihin Works.

#### 4.1 循環ガスのダストの影響

ボイラ伝熱面のダストカット対策として、ガスダクトの断面積増加による、流速低下を図ることは、もち論であるが、入口循環ガスと最初に接触する過熱器チューブ全数に対し、あらかじめ取り付けしたSUS製のプロテクタを開放検査時に、摩耗状況を計測してみたが、その結果、肉厚で0.2mm程度の摩耗を呈していた。この値は約1年間というボイラ運転期間を勘案すれば、かなりの摩耗量であり、ダストによる摩耗対策は今後も留意して運転する必要がある。なお各チューブの摩耗は、ごく軽微な値であった。

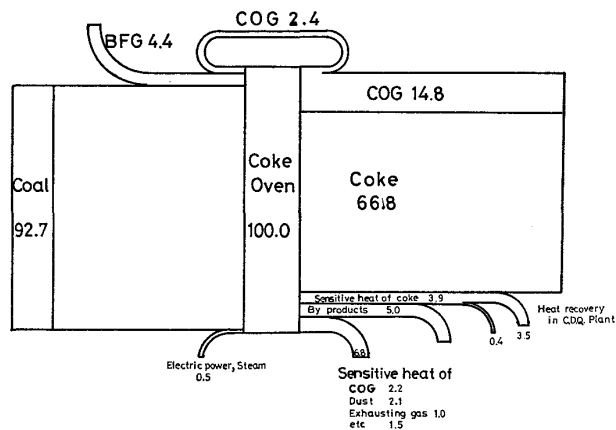
#### 4.2 ボイラのダスト付着について

ダストの付着は当社における他の廃熱回収ボイラに比較して、かなり多い。ダストの付着状況はFig. 6に示すごとくである。このダストの付着は伝熱量の低下を招くので今後の検討項目となろう。

上記以外は、一般ボイラに比較して、相違点は特に見当たらないが、今後運転時間の経過とともにチューブの破損による気水の漏れについては、プラントの運転保安上からも留意して行かなければならないと考える。

### 5. 当社京浜製鉄所におけるC.D.Q.の省エネルギー設備としての位置づけ

当社C.D.Q.の蒸気が京浜製鉄所で占める役割をみると現状で全エネルギーの1.8%、扇島二期工事完成時で2.7%を占める予定である。更にこれを蒸気バランスで見ると、Fig. 7に示すごとく、現状で約30%、二期工事完成時では70%弱をC.D.Q.がカバーすることになる。今回のように計画当初からC.D.Q.をエネ

Fig. 8. Energy balance of the Ogishima coke oven (Total energy demand in steelmaking:  $52000 \times 10^3 \text{kcal/t-steel}$ )

ルギーバランスに組込んだ場合は、その果す役割は極めて大きく、製鉄所の省エネルギーに大きく寄与することとなる。Fig. 8に当社京浜製鉄所のコークス炉エネルギーフロー計画図(二期工事完成時)を参考として示す。

### 6. 結 言

当社では、ソ連から技術導入したC.D.Q.を大幅に改良し、NKK-ライセンスイントルグ式として京浜製鉄所扇島コークス工場に設置し、極めて順調な操業を行なっている。C.D.Q.は製鉄所の省エネルギー設備として、いかんなく、その機能を発揮しており、蒸気発生装置として、その果す役割は、極めて大きなことが立証された。一方製鉄所のコークス工場は、高炉用コークスの製造が目的なので、省エネルギー設備として導入されたC.D.Q.がコークス品質などにどのような影響を及ぼすかは

興味ある点だが、現在までの調査では、コークス強度、反応性などが改善される傾向にある。今後、高炉操業との関係で、その効果を確定し、C.D.Q.の省エネルギー及び省資源設備としての評価を確立して行きたいと考

えている。引続き建設中の第2コークス炉用C.D.Q.設備についても第1コークス炉C.D.Q.での経験をフィードバックし、更に前進したものにして行く所存である。