
コークス炉配合炭の調湿技術

Coal Moisture Control at Mizushima Works

笠岡 玄樹(Shizuki Kasaoka) 本間 道雄(Michio Honma)

要旨：

調湿炭設備により、通常 8～12%含まれるコークス炉装入炭水分を事前に 5～6%まで乾燥処理している。その結果、コークス強度 の向上効果 1.2%に相当する安価な非微粘結炭の使用量増加を始め、約 340MJ/t-coal の乾留熱量の低減を達成している本設備は、処理能力として世界最大級(500 wet t/h)のスチームチューブドライヤ 2 基と発電設備および、石炭輸送系統から構成される。石炭の水分、品質、及びデリバリを高精度で保証するために以下の新技術を導入している。(1)出口石炭の水分変動を抑制するためのフィード・フォワード制御、ドライヤ回転数制御、および起動・停止時における水分変動の抑制、(2)コークス炉ごとの石炭品質と供給量を保証するための自動運転システム

Synopsis：

In order to reduce coal moisture content from 8-12% to 5-6%, a coal moisture control systems was installed at Mizushima coal preparation plant in December 1992. This system consists of two steam-in-tube-type dryers which have a total capacity of 1000 t/h, an electric generator to utilize high-pressure steam before supplying it to dryers, and coal handling equipment. The moisture content of coal charge is kept constant by changing steam pressure and rotation speed of dryers depending on feed conditions. The operating results showed an increase in coke strength by 1.2% TI and a decrease in heat consumption of coking by about 340 MJ/t-coal using the system.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Coal Moisture Control at Mizushima Works



笠岡 玄樹
Shizuki Kasaoka
水島製鉄所 製鉄部製
鉄技術室 主査(課長)



本間 道雄
Michio Honma
水島製鉄所 製鉄部製
鉄技術室

要旨

調湿炭設備により、通常8~12%含まれるコークス炉装入炭水分を事前に5~6%まで乾燥処理している。その結果、コークス強度(TI₄₀₀)の向上効果1.2%に相当する安価な非微結炭の使用量増加を始め、約340 MJ/t-coalの乾留熱量の低減を達成している。本設備は、処理能力として世界最大級(500 wet t/h)のスチームチューブドライヤ2基と発電設備および、石炭輸送系統から構成される。石炭の水分、品質、およびデリバリーを高精度で保証するために以下の新技術を導入している。(1) 出口石炭の水分変動を抑制するためのフィード・フォワード制御、ドライヤ回転数制御、および起動・停止時における水分変動の抑制、(2) コークス炉ごとの石炭品質と供給量を保証するための自動運転システム

Synopsis:

In order to reduce coal moisture content from 8-12% to 5-6%, a coal moisture control systems was installed at Mizushima coal preparation plant in December 1992. This system consists of two steam-in-tube-type dryers which have a total capacity of 1 000 t/h, an electric generator to utilize high-pressure steam before supplying it to dryers, and coal handling equipment. The moisture content of coal charge is kept constant by changing steam pressure and rotation speed of dryers depending on feed conditions. The operating results showed an increase in coke strength by 1.2% TI₄₀₀ and a decrease in heat consumption of coking by about 340 MJ/t-coal using the system.

1 緒 言

製鉄用コークスは、所定のコークス品質を満足するために通常十数種類の原料炭を配合した後、コークス炉で乾留して製造される。したがって、コークス製造コストに占める変動費としては、原料炭コストと乾留コストが大きいといえる。調湿炭設備は、これらのコスト低減を目的として、通常8~12%程度変動するコークス炉の装入炭水分を環境面、操業面の制約を考慮して、事前に5~6%程度まで乾燥する設備であり、コークス製造コスト低減の観点から次の二つの利点がある。

- (1) 石炭水分低減によりコークス炉装入炭の嵩密度が上昇し、コークス強度が向上する。したがって、その分だけ安価な非微結炭の配合比を高めることができる。
- (2) 事前に効率良く石炭を5~6%程度まで乾燥することにより、コークス炉での乾留熱量が大幅に低減し、総合的に省エネルギーが図れる。

現在、国内7製鉄所で10基の石炭調湿用乾燥機が稼動しており¹⁻⁶⁾、その内5基がスチームチューブドライヤ型式を採用している。水島製鉄所においても同型ドライヤを採用し、1992年4月に1号機を、同年12月に2号機を稼動させた。水島製鉄所の調湿炭設備の特徴としては、

- (1) 石炭処理能力として、500 wet t/h・基の世界最大級のドライヤを採用した。
 - (2) 装入炭水分の制御精度の向上を図るために、新機能を充実させた。
 - (3) 付帯設備として、装入炭品質調整設備およびドライヤの前工程に発電設備を併設し、コークス品質改善効果および省エネルギー効果を向上させた。
 - (4) 上記付帯設備や石炭輸送系統を含めて調湿炭設備を完全自動運転システムとした。
- 先ず設備概要を、次に上述の特徴と稼動実績について述べる。

2 設備概要

2.1 レイアウト

調湿炭設備の全景をPhoto 1に示す。配合ベッドから各コークス炉炭槽までの既存の輸送経路の途中に調湿炭設備を新設した。新設部をFig. 1の斜線部と太線で示す。No.1配合ヤードおよびNo.2配合ヤードから湿炭ホッパに石炭を取り込んだ後、2基のドライヤに湿炭を分割供給する。さらに、両ドライヤから排出された石炭は、合流した後、各コークス炉へ輸送される。ドライヤ加熱用蒸気は、コークス乾式消火設備(CDQ)より発生した高圧蒸気を、電力回復使用することとし、発電設備を併設した。

* 平成5年7月26日原稿受付



Photo 1 Coal moisture control plant (CMC)

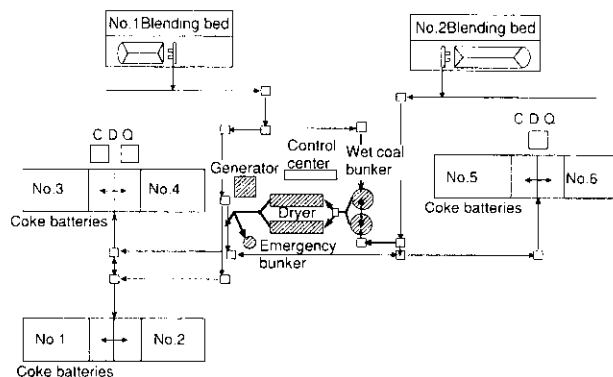


Fig. 1 Layout of Coal Moisture Control Plant (CMC)

2.2 設備仕様

ドライヤまわりの設備フローを Fig. 2 に、主仕様を Table 1 に示す。なお、Fig. 2 はドライヤ 1 基分について示した。ドライヤはスチームチューブを内蔵し、乾燥能力としては過去の最大降雨期の装入炭水分 11.0% 時において石炭処理量 500 wet t/h でも、7.5% まで乾燥できる仕様とした。ドライヤ 2 基への石炭の分割は、各ドライヤ直前の秤量器信号により分割ダンパを制御し、変動を ± 5 t/h 以内に収めて水分制御の外乱をできる限り少なくすることとした。

Table 1 Specifications of Steam-in-tube dryer

Dimension	(m)	4.2 ID $\times$ 35.0 L
Heat surface area	(m ²)	3 482
Steam pressure	(kPa)	101 ~ 810
Capacity	(t/h) ^a	500

^aWet base

また、集塵機回収ダストはドライヤ出側の石炭へ戻されるが、水分をほとんど含まず且つ微粉で非常に発塵しやすいため、ダスト排出量に応じた発塵防止剤水溶液を添加して一定水分値に制御する方式とした。

3 ドライヤ水分制御

コークス炉装入炭水分が下がり過ぎ、いわゆる過乾燥状態になると輸送中の発塵やコークスの押出抵抗増加が問題となる。Fig. 3 に示すように水分が 5% 以下になると発塵量が急増する。また、Fig. 4 に示すように水分低下に伴い、装入炭嵩密度が上昇し乾留後のコークス収縮率が低下する⁷⁾。したがって、炭化室煉瓦の損傷が進行しているコークス炉では、コークス押出抵抗が増大することが予想される。以上のことから、コークス炉ごとに目標下限水分を設定し、それに対して過乾燥にならないようにドライヤの水分制御を行

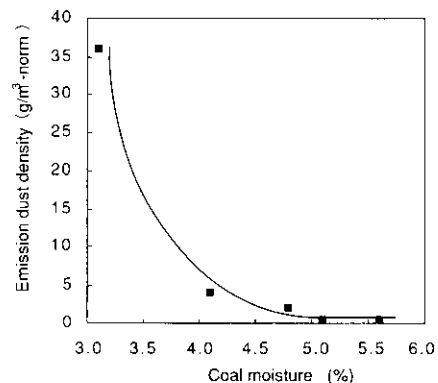


Fig. 3 Relationship between coal moisture and emission dust density on the top coal bunker

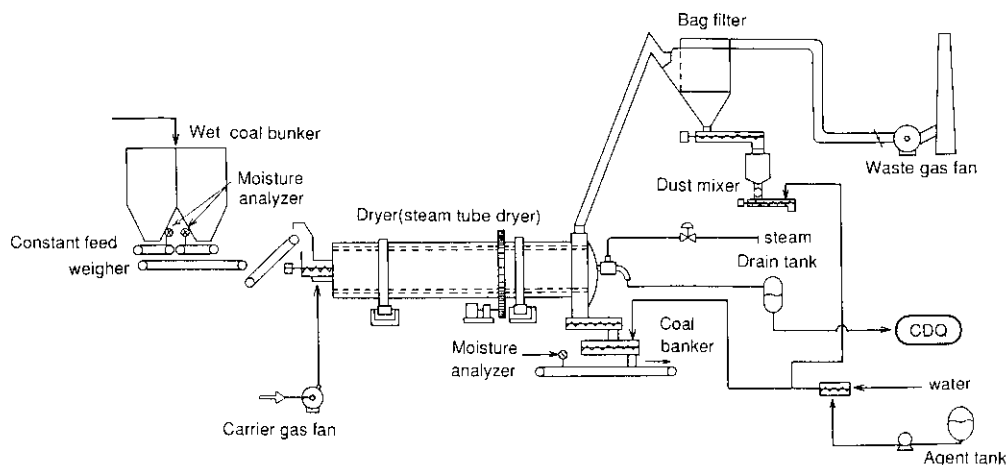


Fig. 2 Flow diagram of Coal Moisture Control Plant

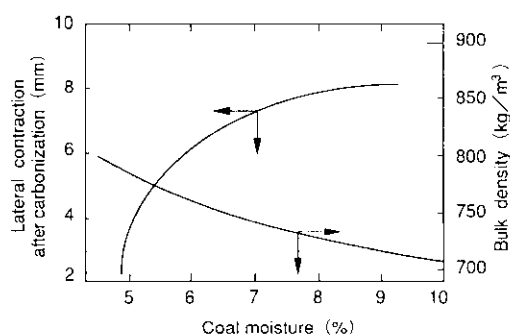


Fig. 4 Relationship between coal moisture and lateral contraction after carbonization and bulk density

う必要がある。以下に、その機能概要について述べる。

3.1 運転中の水分制御

3.1.1 ドライヤ出口目標水分の設定制御

オペレータの入力項目は、上記理由から各コークス炉ごとの装入時の石炭水分とした。ドライヤ出口水分の目標値はこの入力された値に対して、ドライヤ出口からコークス炉装入までの輸送途中の乾燥水分量を自動的に補正して設定される。輸送中の乾燥水分量は、ドライヤ出口石炭温度 t_e (°C)、外気温度 t_o (°C)、輸送時間 T (s)とすると、近似的に $T(t_e - t_o)$ に比例すると考えられる。

従来のドライヤ水分制御では、輸送中の乾燥水分量を一定としているが^(2,3,5,6)、実際には T 、 t_o が一定であっても t_e の温度変化により乾燥水分量が変わることから本処理は有効な手段と考える。

3.1.2 加熱蒸気圧力制御

ドライヤ内の石炭滞留時間は10数分と長いので、基本的にはフィードフォワード制御方式とした。ドライヤ供給石炭の水分と量をそれぞれ赤外線水分計と秤量器で検出し、前述のドライヤ目標水分値から下記フローに基づいて蒸発量計算を行い、必要な加熱蒸気圧

力およびドライヤ内押し込み空気量の制御を行う。押し込み空気はドライヤ内の蒸発水分を系外へ排出し、結露を防止するものである。Fig. 5に主な制御フローを示す。加熱蒸気圧力制御の演算は以下の手順で行われる。(1)処理量、入口水分、目標出口水分等操業条件の読み込み、(2)押し込み空気量と石炭、蒸発水との交換熱量の演算、(3)総括伝熱係数の演算、(4)加熱蒸気温度と石炭温度の差の演算、(4)必要加熱蒸気圧力 P の演算

3.1.3 ドライヤ回転数制御

本制御は、ドライヤ供給石炭量(t/h)を変化させても、ドライヤ内石炭占積率を一定に制御するものである。Fig. 6に示すようにドライヤ回転数一定の場合、供給量が変わると占積率が大きく変化することがわかる。この外乱に対して、3.1.2項で示した加熱蒸気圧力で制御する仕組みとなっているが、供給量設定変更のステップ入力変化に対して伝熱応答速度がおそいためドライヤ出口水分が安定するまで約20分程度を要する。これに対し、ドライヤの回転数を変化させて占積率を一定に制御すれば、Fig. 7に示すようにドライヤ出口水分が安定することがわかる。

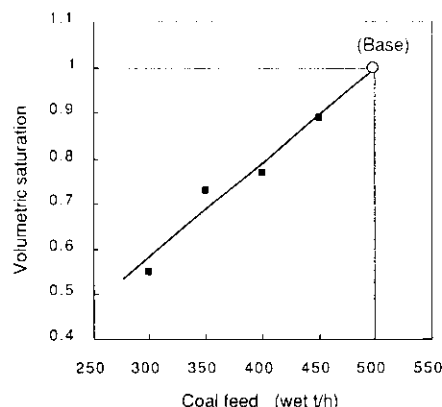


Fig. 6 Relationship between coal feed and volumetric saturation at constant revolution of dryer

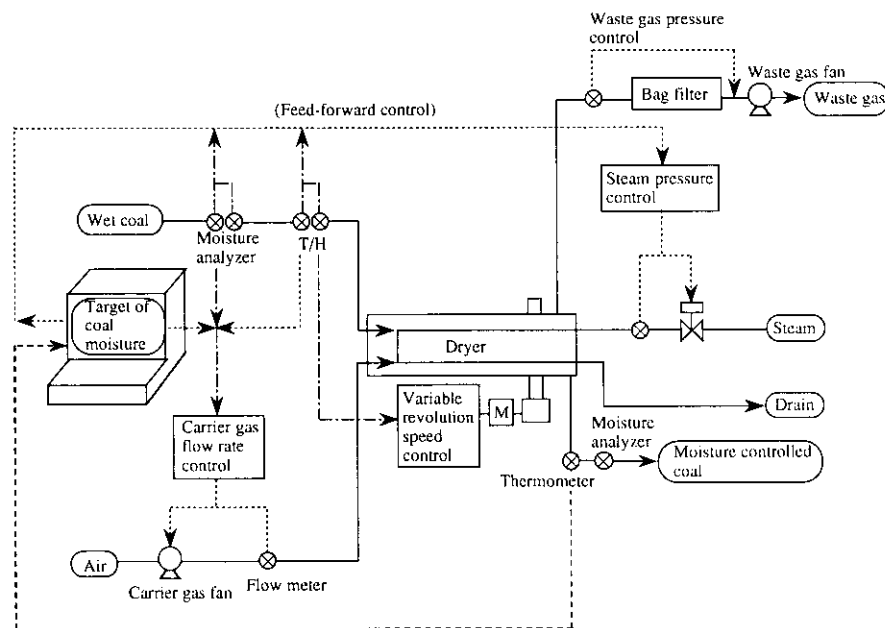


Fig. 5 Block diagram of coal moisture control system

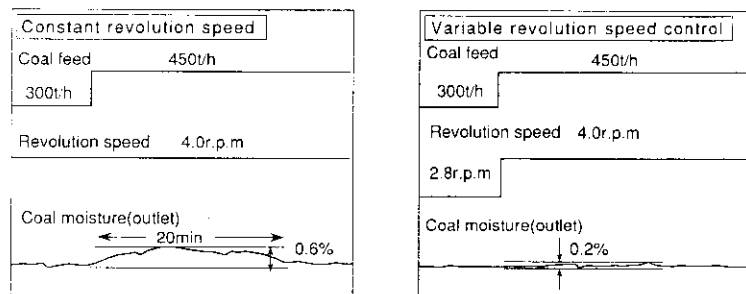


Fig. 7 Behavior of coal moisture (outlet) with change of coal feed rate

3.1.4 コークス炉ごとの水分制御

本制御は、輸送先コークス炉の切替えに合わせて、3.1.1項で設定された炉別目標水分値を自動的に変更する機能である。変更のタイミングは、コークス炉炭槽在庫量、石炭のドライヤ内滞留時間、および輸送時間等から切替え時刻を予測して行われる。

3.2 起動、停止時の水分制御

運転中の定常状態の水分制御について述べたが、次にドライヤの起動、停止時の非定常状態での過乾燥防止について述べる。

3.2.1 非常用ホッパ

ドライヤ運転中に下流側の設備が停止すると、ドライヤ内に石炭を保有したまま停止することになり、加熱蒸気を遮断しても保有熱により過乾燥状態となる。そこで、ドライヤ出側に非常用ホッパを設け、下流設備が停止した場合に自動的に非常用ホッパに切替えを行い、ドライヤの回転を停止しない方式とした。なお、ホッパ内石炭は、下流設備が復帰すれば自動的に排出される。

3.2.2 低圧蒸気制御弁

起動、停止時は、ドライヤ内の石炭占積率が小さいため、必要加熱蒸気圧力は130 kPa以下となる。定常運転中の加熱蒸気圧力弁と区分し、低圧域でも精度よく制御できる低圧蒸気弁を設け、両蒸気弁の切替えを自動的に行う仕組みとした。

3.2.3 加水制御

上述した二つの対策をとっても、起動、停止時には出口水分が設定値に対して、0.1~0.5%低くなる。これに対して、ドライヤ出口スリューフィング内に、その分に見合った加水を自動的に行い、過乾燥防止を行う仕組みとした。

4 石炭輸送系の制御

No.1~6 コークス炉への連続切替え制御とドライヤへの供給石炭量ガイダンスにより、ドライヤを連続運転することを基本としている。入口石炭水分の異常上昇により、ドライヤ能力上限でも石炭出口水分値が保証できなくなる場合や、装入炭品質を炉ごとに変える場合を想定し、装入炭品質調整を容易に行えるシステムとしている。

4.1 装入炭デリバリ制御

4.1.1 配合ベッドから湿炭ホッパまでの自動運転

湿炭ホッパの在庫切れを防止するために、湿炭ホッパ在庫量レベルに応じてベッドリクレーマおよびコンベヤを自動的に起動・停止する。湿炭ホッパ在庫は投入石炭量と切出石炭量の演算量と超音波レベル計の信号の両方で把握し制御の信頼性を高めている。

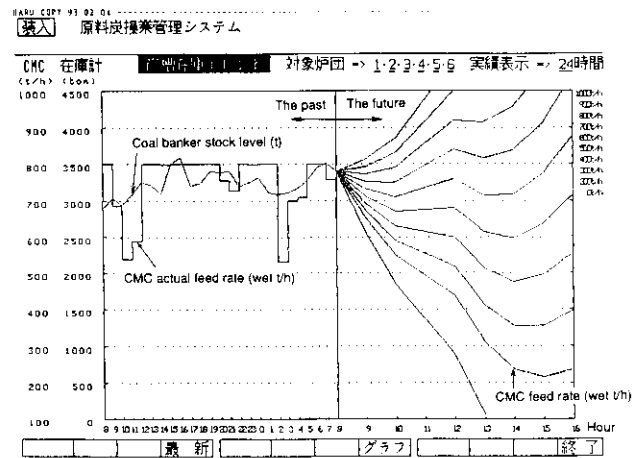


Fig. 8 CMC feed rate guidance display

4.1.2 ドライヤから各炭槽までの自動運転

自動運転は順次炭槽在庫を満レベルにするシーケンスを基本とし、在庫上下限を外れる炭槽があれば適宜ジャンプさせることにより、炭槽在庫切れや輸送ルートの切替え頻度増加を防止した制御としている。また、ドライヤ1基停止、1基運転の場合を想定し、次の二つの自動運転モードを組み込んだ。配合ベッドからの湿炭直送とドライヤからの調湿炭輸送を炉別の任意選択により運転制御するモード、および停止中ドライヤをバイパスした湿炭と運転中ドライヤの調湿炭を混合して輸送するモードにより、ドライヤ1基でも完全自動運転が行えるシステムとした。

4.1.3 ドライヤ供給量ガイダンス

ドライヤの連続運転を安定して行うためには、各コークス炉の現在在庫とコークス生産計画から適正なドライヤ供給量即ち湿炭ホッパ切出量 (t/h) を設定する必要がある。しかし、オペレータの判断で意図的に炭槽在庫量を調整することも考えられるため、本設定についてはオペレータによる入力処理とした。ただし、ガイダンス機能と炭槽在庫レベル上下限アラーム機能を用意した。ガイダンス機能は、湿炭ホッパ切出 t/h と炭槽在庫量について過去 24 h のトレンドを示すとともに将来については 0~1000 t/h の切出量に対して 8 h 先までの炭槽在庫量予測を示すものである。ガイダンス画面の例を Fig. 8 に示す。

4.2 装入炭品質制御

4.2.1 配合比制御

Fig. 9 に示すように No.1 配合ベッドと No.2 配合ベッドの品質に格差をつけ、それぞれに対応する湿炭ホッパの切出比率を変える

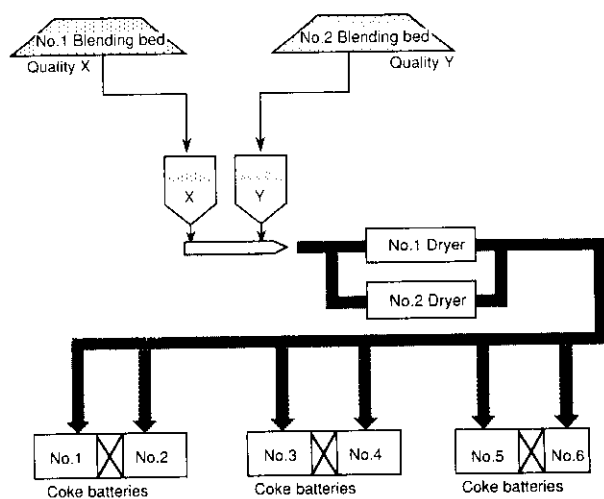


Fig. 9 Coal quality control for individual coke batteries

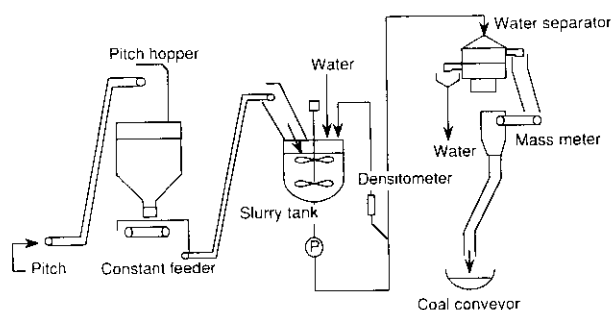


Fig. 10 Flow diagram of pitch addition system

ことにより、ドライヤに供給される石炭の品質を調整するものである。各コークス炉ごとの切出比率を予め入力することにより、4.1.1に示す輸送先の切替えに同期し、3.1.4に示すタイミングで配合品質を制御することができる。

4.2.2 粘結材ピッチ添加率制御

コールタルピッチは粘結材として優れており、コークス強度向上効果がある。調湿炭設備の稼動に合わせて導入したピッチ添加装置をFig. 10に示す。装入炭輸送量に対して予め入力されたピッチ添加量をスラリー輸送し、脱水後にコンベヤ上の石炭に添加するものである。

5 操業実績

5.1 コークス品質改善効果

調湿炭処理によるコークス強度向上効果をCDQと比較してTable 2に示す。調湿炭処理の場合、潰裂強度を示すドラム強度指数DI₃₀に比べて、耐摩耗性を示すタンブラー強度指数TI₄₀₀の向上効果が大きく、CDQによるコークス強度向上効果と比べると、明らかに異なっている。

コークスの摩耗性をコークス気孔壁の破壊強度という観点で評価すると、コークス強度を構成する因子は気孔と気孔間を構成している壁の強度にあるとみなすことができる。そこで、装入炭嵩密度に

Table 2 Comparison of increase in coke strength between CMC and CDQ

Coke strength	CMC	CDQ
TI ₄₀₀	+1.2%	+0.4%
DI ₃₀	+0.3%	+1.6%

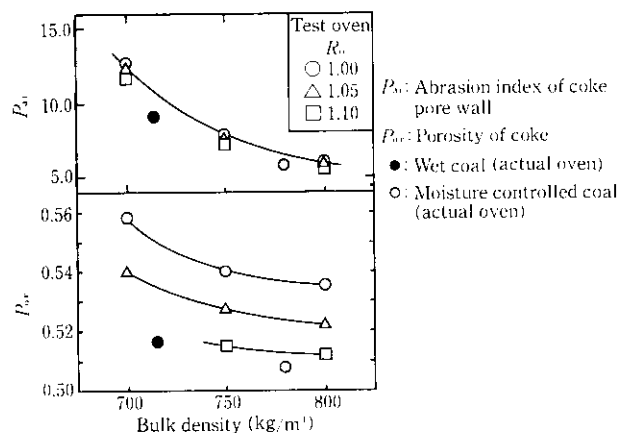


Fig. 11 Relationship between matrix strength of coke and bulk density of coal

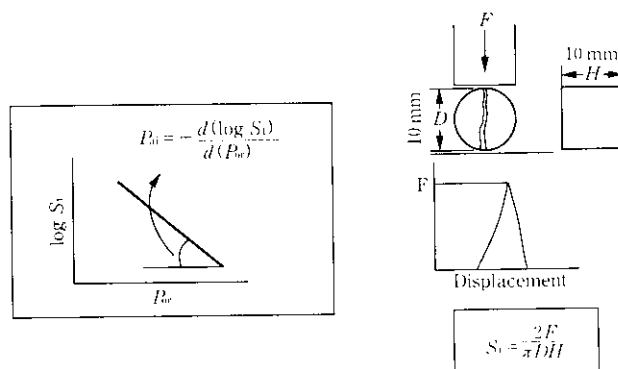


Fig. 12 Definition of P_{ai}

よるコークスマトリクスの変化を気孔率 P_{or} と気孔壁摩耗指数 P_{ai} によって調査した結果をFig. 11に示す(40 kg 乾留炉によるテスト結果)。ここで P_{ai} はFig. 12に示すように、 P_{or} に対するコークス引張強度(間接法)の変化量で定義しており⁹⁾、値が大きい程気孔壁が脆弱であることを示す。

調湿炭と湿炭の実炉コークスについて P_{or} および P_{ai} を分析した結果をFig. 11にプロットすると、ほぼ実験値と同程度のコークスマトリクスの改善効果が認められる。一方、TI₄₀₀強度は下式で示されることから、

$$TI_{400} = 126.89 - 0.372 P_{ai} - 77.63 P_{or}$$

P_{or} 効果で0.4%、 P_{ai} 効果で0.8%のTI₄₀₀向上寄与と推定される。すなわち、調湿処理により装入炭嵩密度が向上し、コークス気孔壁強度(耐摩耗性)が向上しているものと推察され、潰裂強度DI₃₀よりも、摩耗強度TI₄₀₀の向上効果の方が大きくなっているものとする。

高炉操業にとってはDI₃₀よりもTI₄₀₀強度が重要であることから⁹⁾、上述したTI₀向上効果により安価な非微結炭の増配が可能となっている。

5.2 省エネルギー効果

Fig. 13 および 14 に調湿炭設備稼働後の石炭水分値と、全装入炭量に対する調湿炭比率の実績推移を示す。また、Fig. 15 にコークスが乾留熱量原単位の推移を示すが、約340 MJ/t-coalの低減となっている。総合的な省エネルギー量はドライヤー加熱蒸気原単位を差し引いた180 MJ/t-coalとなっている。

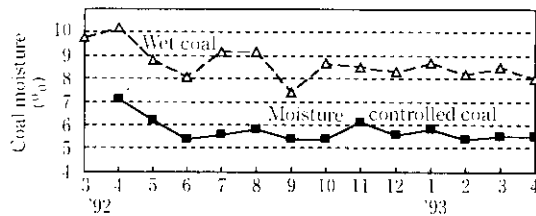


Fig. 13 Transition of coal moisture

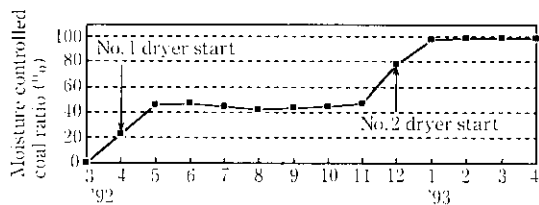


Fig. 14 Transition of moisture controlled coal ratio

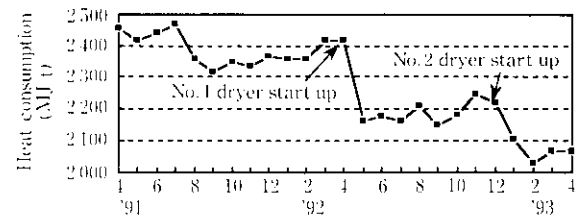


Fig. 15 Transition of heat consumption of coking

6 結 言

調湿炭設備に関する報告が数多くなされているが^(2-3,6)、本報では今まであまり言及されていない調湿炭設備における品質保証という観点から重要と考えられる装入炭水分制御、装入炭品質制御およびデリバリー制御について新しく採用した技術について述べた。

その結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 運転中の水分変動、供給量変化に対して出口水分の変動を低く抑えるためにフィードフォワード制御方式とドライヤー回転数制御を導入した。
- (2) ドライヤーの稼働・停止時における過乾燥を防止するために低圧蒸気制御弁、加水装置を設けた。
- (3) 付帯設備や石炭輸送システムを含めて調湿炭設備を完全自動運転システムとした。
- (4) ドライヤーに供給する石炭の品質を調整するために配合比制御を設け、また、コークス強度調整用に粉ピッチスラリー添加装置を設けた。

参 考 文 献

- 1) 和栗真次郎, 細川勝也, 大西雅昭, 中川浩一郎, 高野橋豊, 串岡清, 金野好光, 大野護允: コークスサーキュラー, **34**(1985)2, 92
- 2) T. Katayama, T. Kobayashi, K. Tanaka, H. Takahashi, and H. Obata: Ironmaking conference proceedings, 48, ISS-AIME, Chicago (USA), April (1989), 103-107
- 3) 岸田良平, 杉江保次, 藤掛照雄, 高田久雄, 川田敏郎, 梅橋弘芳, 上田光夫: コークスサーキュラー, **39**(1990)1, 26
- 4) 丹羽康夫, 小松 修, 前川喜明, 松本和俊, 平野滋幸, 安永昌彬: 材料とプロセス, **3**(1990)4, 999
- 5) 金子昭喜, 田尻志士, 横田安司, 片平英裕, 田原年英, 前野幸彦, 宮地英光, 駒井啓一, 長浜武司: コークスサーキュラー, **41**(1992)3, 162
- 6) 西山義紀, 陽田 潔, 吉田周平, 柳生和威, 児玉時春, ◎内一明: コークスサーキュラー, **42**(1993)1, 25
- 7) 花岡浩二, 井川勝利, 藤井徹也: コークスサーキュラー, **40**(1991)3, 175
- 8) 井川勝利, 笠岡玄樹, 大島弘信: 鉄と鋼, **78**(1992)7, 1093
- 9) 秋月秀美, 山崎 信, 西村博文, 金子健一, 笠岡玄樹: 鉄と鋼, **73**(1987)2, S 816