

© 1990 ISIJ

技術報告

調湿炭部分装入法による乾留均一化の検討

西岡邦彦*・井上恵三*・三浦 潔*・陽田 潔*²

Partial Charging of Moisture Controlled Coal for Uniform Carbonization

Kunihiko NISHIOKA, Keizo INOUE, Kiyoshi MIURA and Kiyoshi YOYODA

Synopsis:

Recently the Coal Moisture Control (CMC) process, in which coal is dried to 5~6% moisture content, has been industrially applied to several works in Japan. In order to obtain uniform carbonization throughout the coke oven with low operation cost, a Partial Charging of Moisture Controlled Coal (PCMC) process has been proposed and investigated.

The PCMC process is aimed for decrease of moisture content of charged coal and for increase of bulk density in the upper portion of coke oven by selective charging of moisture controlled coal.

As a result of this study, the following results were obtained.

(1) Through the test using full scale cold model oven, the flow pattern of coal from the charging car was confirmed to be funnel flow type. In order to charge moisture controlled coal in the upper portion of coke oven, it is necessary to charge moisture controlled coal in the lower portion of the charging car.

(2) Through the test using actual coke oven, the PCMC process was confirmed to be effective for the uniform carbonization across the oven height.

Key words: coal pretreatment; coal moisture control; partial charging of moisture controlled coal; uniform carbonization.

1. 緒 言

コークス品質の安定向上と乾留の促進を図る技術として、通常8~10%含まれる装入炭の水分を、粉じん飛散の限界とされる5~6%まで乾燥する調湿炭装入法が近年一部で実用化^{1)~3)}されている。調湿炭の特徴は通常の湿炭に比較して、低水分であるばかりでなく高嵩密度であるため、乾留熱量の低減や生産性の向上に加え、コークス品質向上に効果がある。実用化技術は装入炭の全量を調湿してコークス炉に装入する方法であるが、調湿炭使用時の経済的効果に対して設備投資額が大きく、また調湿エネルギー確保の課題もあり、必ずしもすべてのコークス工場に適用できる技術とはいえない。

一方、コークス炉内の炉高方向におけるコークスの冷・熱間性状にみられる品質分布は、通常下部に比較して上部が劣る傾向にある⁴⁾⁵⁾。コークス炉内の品質偏差の主要因は、既報⁶⁾⁷⁾で示したように、装入原料の炉内での嵩密度偏差と乾留温度偏差によると言える。たとえ

ば、Fig. 1に示すように炉内の装入原料の嵩密度は、装入口直下で最も高く、炉高方向には炉の上部、炉長方向には装入口間や窯口の嵩密度が低い。したがって、燃焼室温度が同じでもコークス品質の偏差を生じる。またFig. 2に示されるように、たとえばコッパース式コー

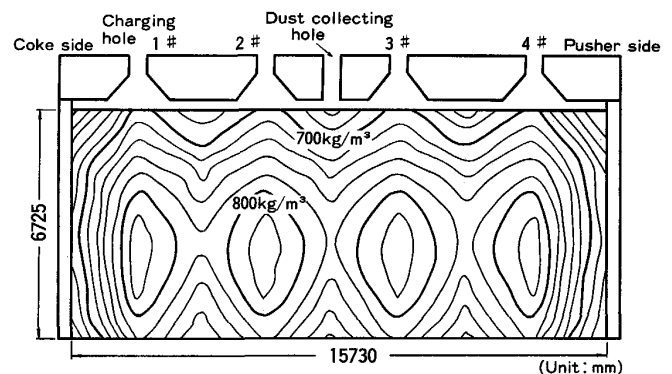
Moisture : 8.9% Mean bulk density : 735 kg/m³

Fig. 1. The bulk density distribution measured at the full scale model oven.

平成元年4月本会講演大会にて発表 平成2年1月9日受付 (Received Jan. 9, 1990)

* 住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所 (Iron & Steel Research Laboratory, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 16 Oaza-Sunayama Hasakimachi Kashima-gun Ibaraki pref. 314-02)

*² 住友金属工業(株)鹿島製鉄所 (Kashima Steel Works, Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

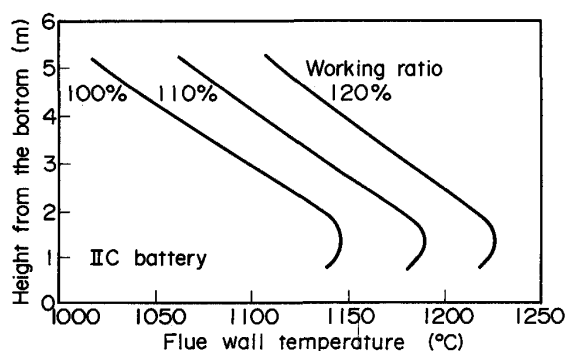


Fig. 2. Distribution of the flue temperature.

クス炉では、燃焼室温度は炉高方向には炉上部が炉下部より低いことから、上部コークスの乾留温度は他の部位より低目となり、低嵩密度と相まって炉上部のコークス品質は炉下部より劣る傾向にある。

上記傾向は、装入原料や装入方法、炉形式に多少の差はあっても湿炭装入では同様に認められる。この品質偏差改善はコークス炉操業の解決すべき課題の一つとされ、たとえば原料の高速装入⁸⁾や圧縮炭装入⁹⁾、炉上部装入炭の圧密¹⁰⁾¹¹⁾などの技術改善が行われている。また成型炭を上部装入炭に配合したり、上部に良質の原料を装入する層別装入方法も挙げられる。これらはいずれも炉上部の原料を高嵩密度化するもので、コークス品質の向上には効果があっても原料水分が大きく変わらないため、乾留進行は遅れる傾向にあり、乾留温度の偏差改善には不十分である。

ここでは、低水分で高嵩密度の調湿炭の特徴を生かして、コークス炉内の乾留均一化を図る調湿炭部分装入法について検討し、技術的にはコークス品質および乾留温度の均一化が可能であるとの知見を得たので報告する。

2. 調湿炭部分装入法の考え方と課題

調湿炭部分装入法の基本的な考え方は、コークス炉の炉高方向の品質偏差を改善するために、通常湿炭装入法では装入嵩密度、乾留温度とも低くなる炉の上部に、

低水分で高嵩密度の調湿炭を部分的に装入するものである。

この調湿炭部分装入法（以下、PCMC法と略記）の実用化には、次の2点を明確にする必要がある。

第1に、湿炭と調湿炭との2種原料を、いかにしてコークス炉の高さ方向に振り分けて層別に装入するかである。最も確実な方法は、湿炭と調湿炭とを別々の装炭車に積み、コークス炉に装入する方法であるが、実用上2台の装炭車を用いて装入作業を行うことは困難である。他の方法として、1台の装炭車に湿炭と調湿炭を2段積みにして装入する方法がある。ここで考慮すべきは装炭車からの原料排出の挙動である。装炭車からコークス炉への原料の流れは、Fig. 3a)に示すようなマスフローとFig. 3b)に示すようなファンネルフローとが考えられ、装炭車からの原料の流れがいずれかのパターンをとるか明確にする必要がある。

第2に調湿炭部分装入法の乾留均一化効果が、実用上可能な装入条件でどの程度であるかを定量的に明確にする必要がある。

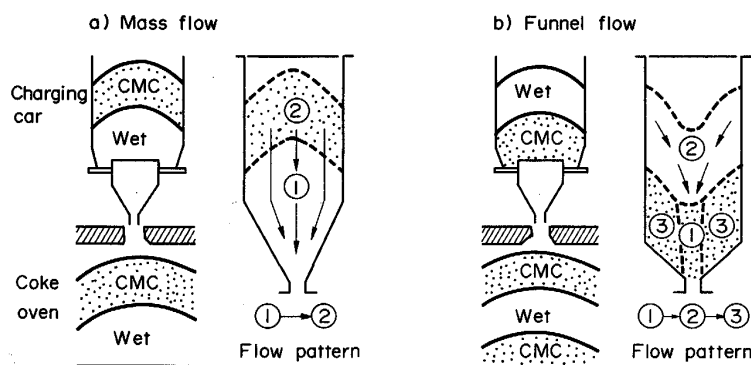
3. 実験方法

3.1 装入物分布の検討

(1) アクリル模型炉実験

実炉の炉長方向の装炭口1か所分に相当する部分について、Fig. 4に示すような10分の1アクリル模型を製作し、装炭車部分を実機と同じターンテーブル方式の縮小給炭ホッパー装置とし、切出しは手動とした。

実験は装入物として、本来原料物性を一定とするために石炭を使用すべきであるが、識別が困難なため、定性的ではあるが珪砂（粒径約0.5~1.0mm）を用い、装入状態が識別できるように赤色インクで一部着色した。これら着色および無着色珪砂を給炭ホッパーに装入比率を変えて2段積み後、ターンテーブルを回転しながら排出し、補助ホッパーを介して炭化室へ装入した。なお排出速度は実炉操業に合わせて、給炭ホッパー中の全原



Wet : Ordinary wet coal
CMC : Moisture controlled coal
Fig. 3. Concept of the material flow through the charging car.

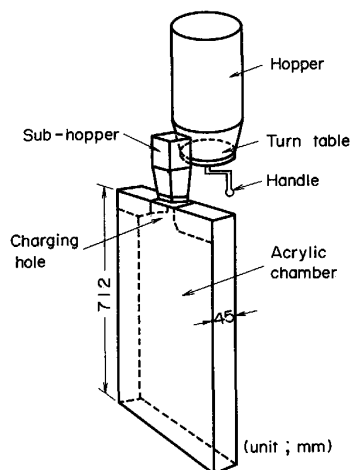


Fig. 4. Apparatus for measuring charging patterns of sand.

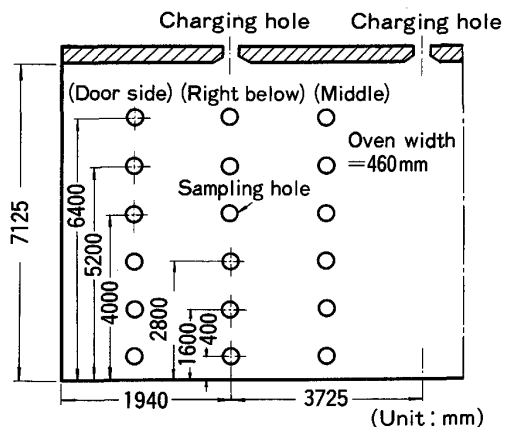


Fig. 5. Full scale model oven for the measurement of the bulk density of the charge.

料を約 100 s で排出した。

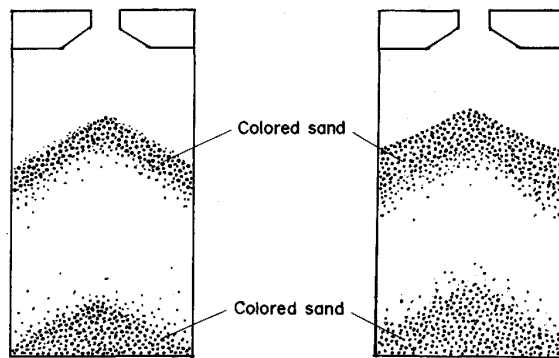
(2) 実炉大冷間模型炉実験

装炭車からコークス炉への原料の流れを定量的に確認するため、Fig. 5 に示す 7 m コークス炉大の鋼製模型炉を、実炉の炉団に接して設置し、実機の装炭車より実操作と同様に原料の装入が行えるようにした。装入された原料は、炉高方向 6 点、炉長方向 3 列の計 18 点の開口部よりサンプリングし、嵩密度と水分の測定に供した。

なお、装炭車に 2 段積みする方法は水分約 6% の調湿炭 50% を下部に、水分約 9% の湿炭 50% を上部に積むケース（以下、PCMC-S 法と記す）と、その逆に調湿炭 50% を上部に、湿炭 50% を下部に積むケース（以下、PCMC-R 法と記す）を実施した。

3.2 実炉操作試験

湿炭 (8.5%) と調湿炭 (6%) とを間仕切りされた石炭塔にそれぞれ貯炭しておき、上記 3.1(2) と同じく装



a) 25% colored sand was charged in lower part of the hopper

b) 50% colored sand was charged in lower part of the hopper

Fig. 6. Distribution of colored sand in the model chamber.

炭車に両者を 2 段積みする PCMC-S 法、PCMC-R 法にてコークス炉に装入した。コークス炉は稼働率 110% (炉温 1185°C) で操業し、乾留後コークスはワーフ上にて 9 点サンプリングして品質測定に供した。

4. 実験結果

4.1 装入物分布実験結果

(1) アクリル模型炉実験

着色珪砂 25% を給炭ホッパーの下部に、無着色珪砂 75% を上部に積み、模型炉に装入したケースを Fig. 6 a) に示し、着色珪砂 50% を給炭ホッパーの下部に、無着色珪砂 50% を上部に積み、模型炉に装入したケースを Fig. 6 b) に示す。

これらの結果から明らかなように、給炭ホッパーからの原料の流れは、下部に積まれた原料が一部排出後、上部の原料が全量排出し、次いで残りの下部原料が排出される Fig. 3 b) に示したファンネルローであると言える。なお、先に排出される下部原料の割合は、全装入原料の約 15~30% であった。

(2) 実炉大冷間模型炉実験

装入口直下の原料の水分分布は、Fig. 7 a) に示すように、装炭車の下部に調湿炭、上部に湿炭を積んだ PCMC-S 法が、炉の中間部で最も水分が高く、最下部と最上部で水分が低くなっている。一方、装炭車の下部に湿炭、上部に調湿炭を積んだ PCMC-R 法は、前記 PCMC-S 法とは逆に、炉の中間部で最も水分が低く、最下部と最上部で水分が高くなっている。また、同じサンプルで測定した原料の嵩密度は Fig. 7 b) に示すように、PCMC-S 法では炉の中間部は湿炭の嵩密度に近似し、下部と上部は調湿炭の嵩密度に近似している。そし

て PCMC-R 法はその逆となっており、アクリル模型炉実験結果と同じく、装炭車からの原料の排出は明らかにファンネルフローであると確認された。

したがって、コークス炉の上部原料を低水分、高嵩密度とするには、調湿炭を装炭車の下部に、湿炭を上部に積む PCMC-S 法が有効であると判断される。

4.2 実炉操業試験結果

(1) 火落状況

上昇管に設置した熱電対により測定した発生ガスの温度パターンを Fig. 8 に示す。この結果から、装炭車の下部に湿炭を配置する PCMC-R および湿炭全量装入法

より、装炭車の下部に調湿炭を配置する PCMC-S 法のガス切れが極大点で比較して 45 min 早い。また Fig. 9 に炭中温度測定点での 900℃ 到達時間と上昇管内での発生ガス温度による火落判定時間との関係を示す。PCMC-S 法は湿炭全量装入法、調湿炭全量装入法および PCMC-R 法に比較して、炭中温度の 900℃ 到達時間に大差はないものの 45 min 火落時間が短く、窯内全体としては均一乾留されたと判断される。これは Fig. 10 に示す各装炭口から測定した窯出し 1 h 前の炭中温度から、湿炭装入法、調湿炭全量装入法、PCMC-R 法に比較して PCMC-S 法の炉高方向の加熱が均一化されており、窯内全体としても均一加熱された結果と判断される。

(2) コークス品質

ワーフ上 9 点サンプリングによって得られたコークスの炉高方向の平均品質を Fig. 11 に示す。この結果から下記の点を確認した。

① コークス強度 DI_{15}^{30} : 湿炭を装炭車の下部に配置して装入する PCMC-R 法では、中央部の強度が極めて良好であるが、上部、下部の強度が劣り、全体としての強

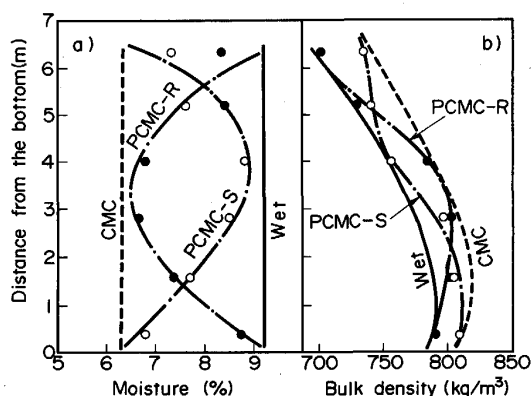


Fig. 7. Distribution of moisture and bulk density of charged coal in coke oven.

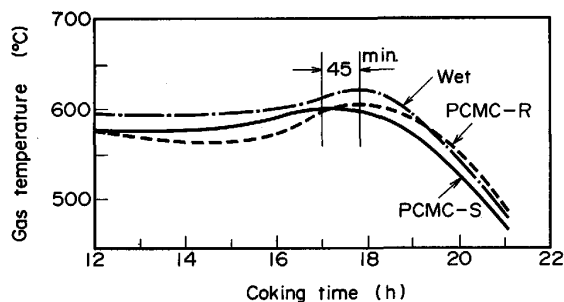


Fig. 8. Change in generated gas temperatures in ascension pipe from the different partial coal moisture control processes.

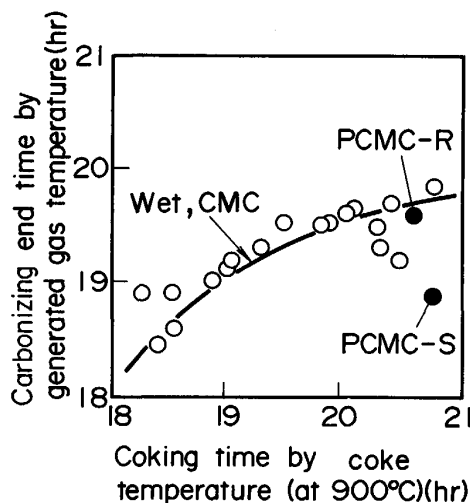


Fig. 9. Comparison of carbonizing end time by coke temperature and generated gas temperature.

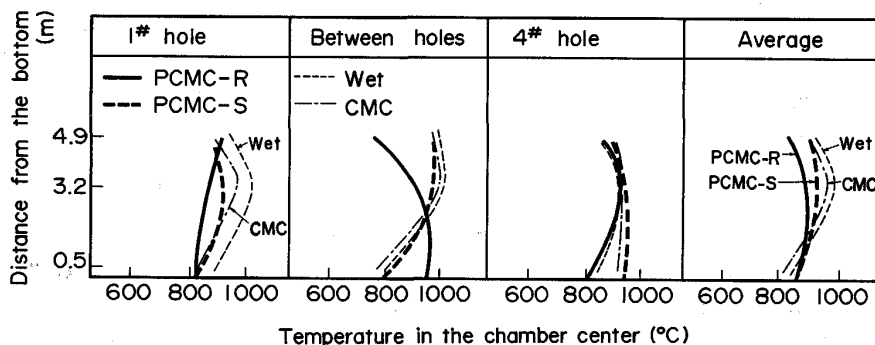


Fig. 10. Distribution of temperature in the chamber center, measured 1 h before the discharging of coke.

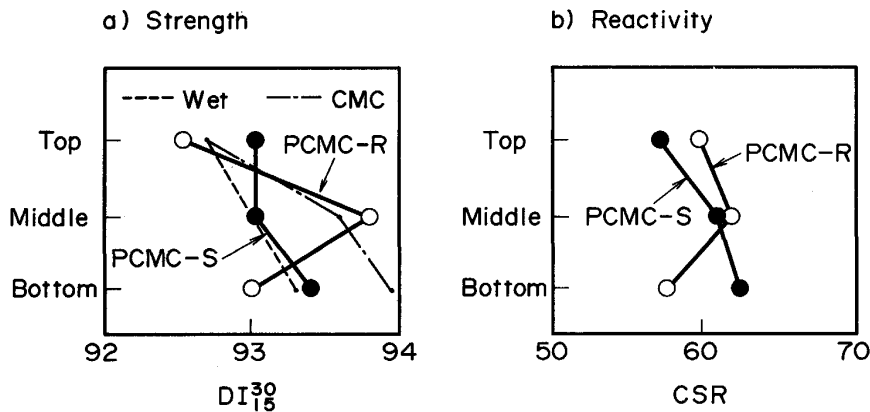


Fig. 11. Distribution of coke qualities in coke oven.

度偏差は大きい。これに対して調湿炭を装炭車の下部に配置する PCMC-S 法は、炉下部の強度は高いものの全体としての強度偏差は小さく均一化している。一方、湿炭装入法と調湿炭全量装入法での実測値は炉下部ほど強度が高い。

なお、PCMC 法の両法ともに装入嵩密度の実測値（装炭車計量装置で測定される石炭重量を炉の有効容積で除した値）は 738 kg/m^3 であり、水分 8.5% の嵩密度 715 kg/m^3 、水分 6% の嵩密度 760 kg/m^3 のほぼ中央値であった。したがって、PCMC-S 法の装入方法が他のいずれの装入法よりもコークスの強度偏差低減に有効に作用しているといえる。

②反応後強度 CSR: PCMC-S 法は炉下部での品質が良好であるのに対して、PCMC-R 法は炉下部の品質が劣っており、上記コークス強度と同様の傾向を示すものの品質偏差の優劣差は検出できなかった。

以上の結果、主にコークス強度面における炉高方向の強度の均一化傾向から、先の装入物分布実験で認められたように、装炭車からのコークス炉内への原料の流れはファンネルフローと考えられ、PCMC-S 法のごとく装炭車の下部に調湿炭、上部に湿炭を配置する 2 段積みの方が炉高方向の乾留均一化に効果的といえる。

5. PCMC 法の数学モデルによる乾留均一化効果の評価

PCMC 法の乾留均一化効果については、実炉操業試験においておおよそ確認できたが、さらにその効果を検証するために、既報^{12)~14)}で示した乾留モデルにより各種装入条件との比較を行った。

5.1 計算の前提

①装炭車に 2 段積みされた 2 種原料の炉高方向での装入物の性状分布については、実炉大冷間模型炉における装入実験結果で得られた水分分布、嵩密度分布を入力

Table 1. Properties of the charged coal (%).

| Proximate analysis (Dry base) | | Petrographical analysis | Dilatation | |
|-------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|------------------|
| Ash | Volatile matter | Total inerts | True dilatation | Total dilatation |
| 8.7 | 25.2 | 27.1 | 104 | 35 |

値とする。

②原料炭の品位は、Table 1 に示す前提とし、原料水分は、湿炭 8.5%、調湿炭 6% とする。

③コークス炉操業条件は、まず燃焼室壁温度については、前記 3.2 の実炉操業試験に先立って測温されたフリー内高さ方向の壁温度分布を用い、稼働率は 110% (乾留時間 21.8 h) とする。

④乾留モデルの炉幅方向の水分移動比率については、炭中が 100°C 以下の時は水蒸気の全量がいったん炭中側に凝縮し、炭中が 100°C に到達後は水蒸気は逐次加熱壁側に流れるものとして取り扱った。

5.2 解析結果

(1) 実炉操業試験結果のモデルによる検証

①炉高方向のコークス炭中温度

各装炭口直下のコークス炭中温度推定結果を Fig. 12 に示す。この結果は実炉操業結果とよく一致しており、調湿炭を装炭車の下部に配置して装入した PCMC-S 法が、湿炭を装炭車の下部に配置する PCMC-R 法より炉上部の温度改善、炉中央部のオーバーヒート改善が顕著であると推定された。これは PCMC-S 法の場合、炉温の低い炉上部に調湿炭、炉温の高い炉中央部に湿炭が装入されているため、炉上部は乾留進行が早く、炉中央部乾留進行が抑制されることによるものである。

②炉高方向のコークス強度

各装炭口直下のコークス強度 (DI_{10}^{30}) 推定結果を Fig. 13 に示す。この結果は PCMC-S 法が PCMC-R 法より炉高方向の強度分布が均一化すると推定される。

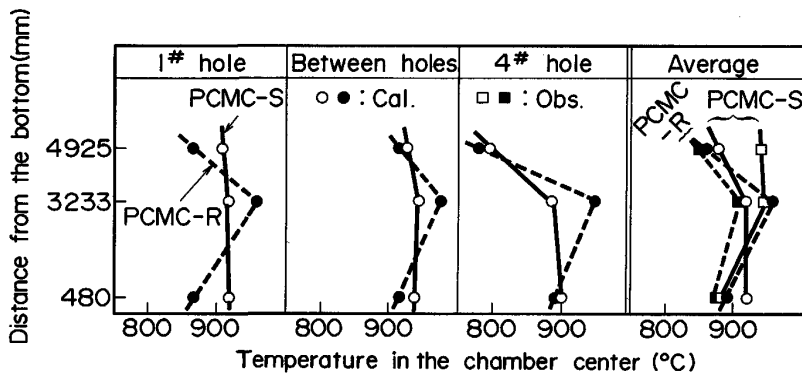


Fig. 12. Distribution of calculated temperature in the chamber center 1 h before the discharging of coke.

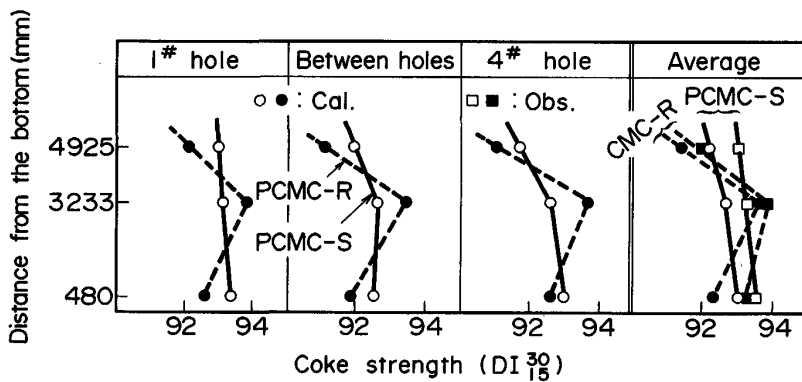


Fig. 13. Distribution of coke strength in coke oven.

これは炉上部に調湿炭が配置されているため、乾留進行が早く、嵩密度が高いことと相まって強度が改善されるのに対し、炉中央部は湿炭が配置されているため、乾留進行が抑制されて強度向上が見られないためであると言える。そして実操業試験で得られた両法のコークス強度平均値とも良く一致した。

以上の結果から、前記 4・2 の実炉の操業試験の結果が肯定されるとともに、本モデルが PCMC 法の評価に使えると判断された。

(2)PCMC 法の評価

PCMC 法の評価のために、次の 5 ケースについてコークス温度、コークス強度の比較を実施した。

- a) 湿炭全量装入法
 - b) 調湿炭全量装入法
 - c) 湿炭と調湿炭を各 50% 均一に混合したと仮定した水分 7.3% の半調湿炭法
 - d) 湿炭と調湿炭を各 50% 部分装入する PCMC-R 法
 - e) 湿炭と調湿炭を各 50% 部分装入する PCMC-S 法
- 結果を Fig. 14 に示すが、要約すると次のとおりである。

①コークス温度評価

実炉操業試験と同様に、窯出し 1 h 前のコークス温度で評価すると、湿炭全量装入法の場合、平均コークス温度は 841°C、温度偏差 68°C であると推定された。これ

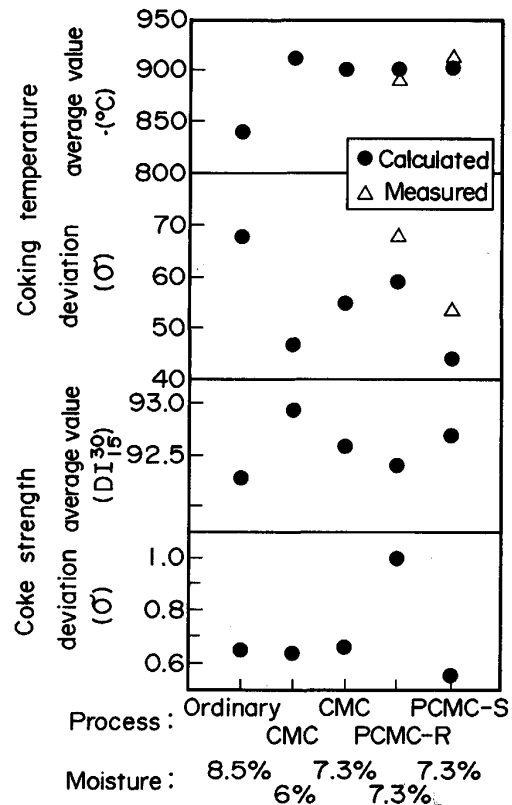


Fig. 14. Comparison of temperature and strength of cokes obtained by the different charging patterns.

に対して、全量調湿炭法は水分が低いため、コークス温度は 910°C と高く、温度偏差も 47°C に低減し、乾留均一化に極めて有効であるといえる。半調湿炭法は全量湿炭法と全量調湿炭法の間値を示した。しかし PCMC-S 法は装入炭平均水分量では半調湿炭法と同じであるにもかかわらず、コークス温度偏差は半調湿炭法の 55°C に対して 44°C へと大きく低減し、乾留温度の均一化が図られると評価された。一方、PCMC-R 法では逆にコークス温度偏差は 59°C へと増大し、不均一乾留になると推定された。なお、図中に示す実操業試験結果 (Δ) とも比較的良く一致し、モデル評価は妥当なものとして判断された。

したがって、コークス温度の面から PCMC-S 法は全量調湿炭並みに平均コークス温度は高く、温度偏差も小さいと評価され、乾留均一化に有効であると評価された。

②コークス強度評価

湿炭全量装入法は検討対象 5 ケースの中で、装入嵩密度が最も低くコークス温度も低いことから、強度水準は他のケースと比較して最も低く偏差も大きい。一方、調湿炭全量装入法は検討対象 5 ケースの中で、装入嵩密度が最も高くコークス温度も高いことから、強度水準は他のケースと比較して最も高く、偏差も小さい。半調湿炭法は当然ながら湿炭全量装入法と調湿炭全量装入法のほぼ中間値を示した。

しかし半調湿炭法と同じ水分、装入嵩密度であるにもかかわらず、PCMC-S 法は前記コークス温度と同様に強度水準は同じでも、偏差は調湿炭全量装入法並みに低く乾留均一化に有効であると評価された。逆に、PCMC-R 法は強度水準は半調湿炭法や PCMC-S 法と同等にもかかわらず、偏差は湿炭全量装入法以上に大きく最も不均一乾留になると評価された。すなわち、PCMC-R 法では炉の上部に湿炭が配置されるため湿炭全量装入法と同様に乾留不足により強度が低下することに加え、炉中央部に調湿炭が配置されるためいっそうの強度向上となり、偏差増大になったものである。

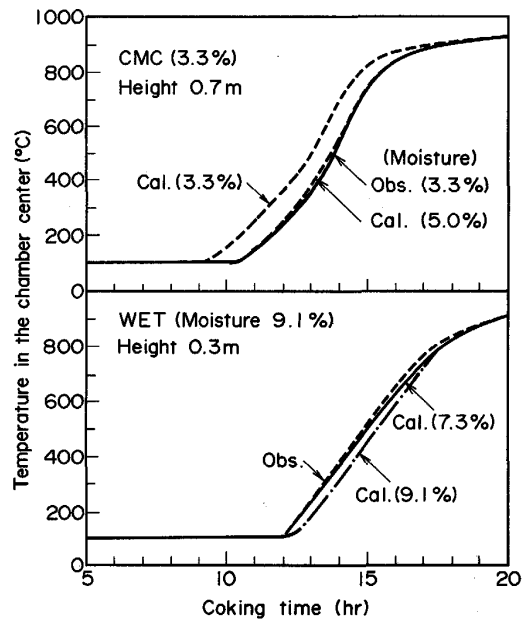
したがって、コークス強度の面からも PCMC-S 法は、前記コークス温度と同様に調湿炭全量装入法並みに乾留均一化に有効であると評価された。

6. 考 察

6.1 窯内における水分移動

炉高方向に水分差を有する調湿炭部分装入法の場合、乾留過程で窯内の水分移動がどの程度起こるか、考察を行った。

まず、250 kg 試験コークス炉 (炉温 1140°C) を用い



250 kg test oven

Fig. 15. Temperature change in coal seam.

て炉上部に調湿炭 (水分 3.3%)、炉下部に湿炭 (水分 9.1%) を配置した時の炭中温度の推移を測定した。そしてその昇温パターンにもとづいて、炉内における水分移動状態を推定した。なお実験では、水分移動を明確にするため炉上下部の水分差を大きく設定した。

測定結果を Fig. 15 に示す。炉上部調湿炭の実測昇温パターンは炉幅方向 1 次元の乾留モデル計算値より遅れ、下部より水蒸気の流入があるものと考えられる。実測の昇温パターンに一致するモデル計算の水分含有量は 5.0% となり、炉下部水蒸気の約 20% が炉上部に移動したと推定される。

また、炉下部湿炭の炭中昇温パターンは、水蒸気の 80% が炉壁方向に移動すると仮定したモデル計算値とほぼ一致し、この結果からも炉下部水蒸気の約 20% が炉上部に移動したと推定された。しかし実操業試験の炉高 7 m と比較して、試験炉は層高が 1 m であり、炉高方向の通気抵抗が小さいため、水分移動のしやすい条件にある。

一方、前記調湿炭部分装入法のモデルによる検証において、水蒸気の全量が壁側に流れるとして計算した炭中温度が実測値と大略一致することからも、実炉では炉高方向における水分移動は小さく、調湿炭部分装入法の効果を妨げるほどのものではないと言える。

6.2 調湿炭と湿炭の最適装入割合

調湿炭と湿炭を装入する際の最適割合については、次のように考えられる。

まず前記 4・1(1) のアクリル模型炉実験結果で記述したとおり、装炭車の下部に配置した原料は、炉下部に全原料中の 15~30% が装入される。一方、前記 Fig. 7 に示した炉内の嵩密度分布から、炉上部 1~2 m の低嵩密度部分の改善が必要とされるが、これらは炉高 7 m 炉の場合、全原料中の 15~30% に相当する。

したがって炉上部コークスの乾留促進と均一化のためには、炉容差によって多少異なるものの、炉下部装入量と合わせ、全原料中の 30~60% の範囲で調湿炭を部分装入する必要があるといえる。また実用上、期待する効果を安定して得るためには、全原料中の約 50% 程度の調湿炭を部分装入することが望ましいであろう。

なお、ここでは未検討の調湿炭と湿炭の水分レベルの効果に及ぼす影響について、次のとおり考えることができる。すなわち、湿炭の水分が高ければ高いほど調湿炭部分装入の効果は大きいとみてよい。これは湿炭全量装入法では、水分が高いほど装入嵩密度は低下する傾向にあり、それに伴い炉上部のコークス品質は低下し、乾留の不均一化につながる。しかし調湿炭部分装入法では、前述した効果により炉上部のコークス温度、品質とも改善されるため、炉高方向の乾留均一化にいっそう効果的と考えられる。

7. 結 言

コークスの乾留温度と品質の均一化を目的とした調湿炭部分装入法の検討を行い、下記の知見を得た。

(1) 実炉への装入方法

①装炭車からの原料の排出パターンは、冷間模型炉実験によりファンネルフローであると確認された。

②低水分で高嵩密度の調湿炭を炉上部に選択的に配置するには、装炭車の下部に調湿炭、上部に湿炭を 2 段積みして装入する方法が有効であると確認した。

(2) 実炉操業試験結果

装炭車に湿炭と調湿炭とを各 50% ずつ 2 段積みする調湿炭部分装入法 PCMC-S 法、PCMC-R 法の操業試

験により、火落状況、コークス品質の両面から、PCMC-S 法が湿炭装入法、調湿炭全量装入法および PCMC-R 法より乾留均一化に効果的であることが確認された。

(3) 数学モデルによる評価

PCMC-S 法は調湿炭全量装入法並みにコークスの温度、強度偏差は低いと評価され、乾留均一化に有効であると判断された。なお、調湿炭部分装入法における炉高方向の水分移動は小さく、効果に影響を及ぼすほどのものではないと推定された。

以上の検討から、調湿炭部分装入法は装入炭を全量調湿せずとも、乾留の均一化を図り得る技術で、実用化が可能な技術であるといえる。

文 献

- 1) 和栗真一郎, 細川勝也, 大西輝明, 中川浩一郎, 高野橋豊, 串岡 清, 金野好光, 大野護充: コークス・サーキュラー, **34** (1985), p. 92
- 2) 小林俊明, 高橋博保, 谷野道郎, 高橋 裕, 小幡 志, 田中邦宏, 三木克之, 岩船 明: 材料とプロセス, **1** (1988), p. 1006
- 3) 岸田良平, 松江保次, 藤掛昭雄, 高田久男, 川田敏郎, 梅橋弘芳, 上田光夫: コークス・サーキュラー, **39** (1990), p. 26
- 4) 山本英樹, 古牧育男, 植松宏志, 小林勝明: 鉄と鋼, **69** (1983), S43
- 5) 岩切治久, 中村 力, 北村雅司, 吉岡邦宏: コークス・サーキュラー, **33** (1984), p. 89
- 6) 西岡邦彦, 杉本行廣, 吉田周平, 神保高生, 露口享夫, 南澤 勇, 高瀬省二, 高橋公道: コークス・サーキュラー, **32** (1983), p. 262
- 7) 田村洋一, 山本俊行, 片山昭彦, 奥井信之, 高瀬省二: 鉄と鋼, **70** (1984), p. 1014
- 8) 松尾大洋, 甫立敏昭, 宮崎康男: 鉄と鋼, **71** (1985), S14
- 9) 松尾大洋, 中川洋治, 石原口裕二, 甫立敏昭, 那須敏幸: 鉄と鋼, **73** (1987), S54
- 10) 牛窪美義, 松村 匠, 尾之内邦仁, 渡辺秀美, 大塚純一: 鉄と鋼, **71** (1985), S855
- 11) 西岡邦彦, 井上恵三, 三浦 潔, 高橋公道, 陽田 潔: 材料とプロセス, **1** (1989), p. 30
- 12) 西岡邦彦, 吉田周平: 鉄と鋼, **70** (1984), p. 343
- 13) 西岡邦彦, 吉田周平: 鉄と鋼, **70** (1984), p. 351
- 14) 西岡邦彦, 吉田周平, 播木道春: 鉄と鋼, **70** (1984), p. 358