

気流加熱塔の石炭加熱特性

松田 雄市*・横溝 正彦*²・佐々木 正樹*³・松浦 慎*³

Heating-up Performance of the Coal Rapid Heating Process with Gas Flow Heating Tower

Yuichi MATSUDA, Masahiko YOKOMIZO, Masaki SASAKI and Makoto MATSUURA

Synopsis : Specifically, the method using a rapid heating is effective from the standpoints of reducing equipment cost and aiming at a simple process. The national project, "SCOPE21", is believed to be rendered highly practicable through the process of drying and classifying by the fluidized bed prior to the rapid heating.

This paper clarifies, by the conduct of a pilot-plant test, the basic heating characteristics of the rapid heating tower, which is the principal one of the processes involved in the SCOPE21 process.

By the results of temperature measurement of coarse coal and fine coal in the rapid heater, the effectiveness of the simulation model of the rapid heating process were verified, and temperatures were inferred for each particle size, using this model. As a result, we have been able to attain the target coal-heating rate of higher value than 2000°C per minute and also the target of temperature uniformity of coal particles to less than 50°C, thereby obtaining a good prospect for achieving the expected heating performance.

Regarding the behaviors of coal particles within the sectional heater in the pilot plant, from the good dispersion of coal particles inside the tower, we have ascertained that biased distribution of coal particles charged into the heater become approximately uniform at the top of the tower 25 m in height.

Cracking of coal particles within the rapid heater and other basic engineering data for the design of commercial plant have been gathered and tasks sorted out.

Key words: coke; SCOPE21; non-caking coal; rapid heating; computer simulation; pilot plant.

1. 緒言

高炉による製鉄プロセスにおいて不可欠のコークスを製造するためには粘結炭が必要であるが、一般炭に比べ高価で、かつ、資源枯渇の問題を抱えている。そのために、粘結炭に代わるコークス原料が求められている。

これまでの基礎研究では、非粘結炭を2000°C/分以上の速度で急速に加熱し粘結炭の一部と代替しても、従来と同等のコークス性状が得られるとしている^{1,2)}。

本研究は、次世代コークス製造技術として開発が進められているSCOPE21プロセス^{3,4)}の基幹技術として、前記基礎研究を具体化する石炭の急速加熱プロセスを確立するためのものである。本プロセスは、パラレルフロー方式の垂直式気流加熱法で、設備の極端な大型化を避けるために予め約200°Cに予熱された6mm径以下の粉碎石炭を400°C前後まで急速に加熱するものである。

SCOPE21プロセスの開発において、石炭の急速加熱プロセスに関する研究は、熱間及び冷間モデル試験、ベンチプラント試験を経てパイロットプラント試験へとスケールアップしていく実験段階と平行して、気流加熱塔のシミュ

レーター開発を進めた。そして、実用機設計のための基礎となるデータを集積し、本技術の実用化の目処をつけることができた。

本報においては、パイロットプラント（以下、PPと略す）の気流加熱塔により粗粒炭及び微粉炭の急速加熱試験を行った結果とシミュレーター解析により得られた知見について報告する。

2. 試験装置と試験方法

2.1 試験装置

使用した試験装置のフローをFig. 1に示す。図に示す通り、急速加熱設備は塔内径770mm、石炭投入口(±0m)からの有効高さが25mの気流加熱塔1基を主装置として、加熱石炭を捕集する加熱炭捕集機、循環ファン、熱風発生装置、排気系のタール燃焼炉とそれらをつなぐ機器間ダクト及び乾燥炭の供給系機器と加熱炭の排出系機器から構成される。気流塔外壁は150mm厚みのロックウール保温材にて覆われている。

計測装置は常設の温度計、静圧計、入口ガス流量計、入

平成16年1月8日受付 平成16年4月21日受理 (Received on Jan. 8, 2004; Accepted on Apr. 21, 2004)

* (株) 神戸製鋼所新鉄源プロジェクト本部プロジェクト部 (Plant Engineering, Iron Unit Division, Kobe Steel, Ltd., 4-2-7 Iwaya-Nakamachi Nada-ku Kobe 657-0845)

*2 新日本製鐵 (株) 環境・プロセス研究開発センター (Environment & Process Technology Center, Nippon Steel Corp.)

*3 新日本製鐵 (株) 名古屋製鐵所 (Nagoya Works, Nippon Steel Corp.)

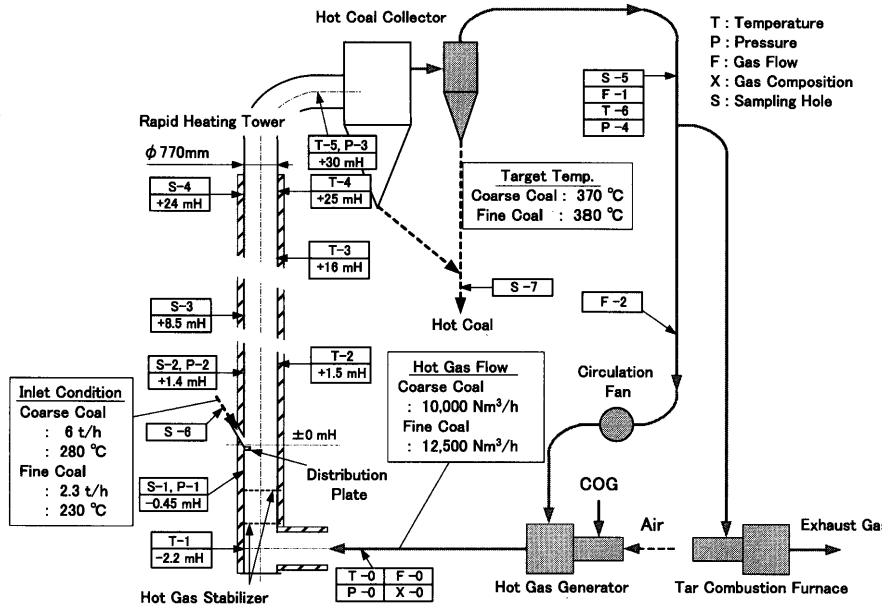


Fig. 1. Flow diagram of the rapid heating pilot plant.

Table 1. Pilot plant test object.

| No. | Object of This Study | Target Value and Item |
|-----|---|--|
| 1 | Confirmation of heating-up properties of the middle size Rapid Heating Tower of >700mm dia. | Heating-up Speed : ≥ 2660 °C/min Outlet Temp. & Hot Gas Flow : Coarse coal 280°C \Rightarrow 370°C, 10,000Nm ³ /h : Fine coal 230°C \Rightarrow 380°C, 12,500Nm ³ /h |
| 2 | Evaluation of temperature variation at the RHT outlet | Gas temp in a horizontal section < 30°C Coal particle temp distribution < 50°C |
| 3 | Creation of design basis for the Commercial size RHT | Verification of RHT simulator on the basis of the comparison results between pilot plant data and simulation results Accumulation of basic engineering data and machine design data |

口ガス分析計が有り、その他、適宜、サンプリング口を用いて、ガス流速分布、温度分布、ガス・タール組成の計測、石炭のサンプリング、等を行った。

2.2 試験の目標と方法

2.2.1 試験目標

本試験の目標はTable 1の通りである。目標の第1, 2項は石炭の急速加熱速度及び加熱後の温度偏差、等の基本加熱特性に関するもので、第3項は実機設計用に関するシミュレーションモデルの検証とエンジニアリング基礎データに関するものである。

2.2.2 試験方法及び事前検討

(1) 試験方法

石炭は主とし非微粘結炭 50%、粘結炭 50%を約6mm以下に粉碎したものをを使用した。

同粉碎炭は先行する流動乾燥機において所定の条件まで予熱・分級され、予熱粗粒炭、予熱微粉炭として気流加熱塔にそれぞれ個別に供給された。両者の代表的粒度分布をFig. 2に示す。

先に予熱粗粒炭が気流加熱塔に投入・加熱され、加熱炭捕集機により捕集される。加熱された粗粒炭はホッパーに一時貯蔵されるが、次に気流加熱塔に投入・加熱され、後続の熱間成型機によりブリケッティングされた加熱微粉炭

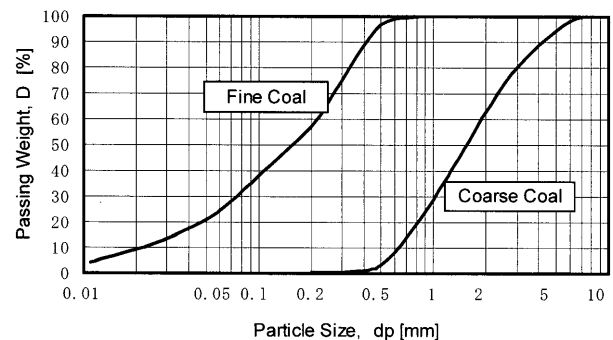


Fig. 2. Typical size distribution curve of coarse and fine coals.

とともにコークス炉に搬送される。気流加熱塔の石炭加熱性能のデータ計測は、それぞれの石炭を投入・加熱している1~3時間の間に行った。

PP試験の石炭及び熱ガス条件をTable 2に示す。微粉炭加熱試験は一定の加熱ガス量で実施したが、粗粒炭加熱試験は加熱ガス量も種々変化させた。

(2) 事前検討

PP試験を開始する前に解析に必要な各種計測値の精度確認を行った。

①供給石炭量の設定値に対する実量の精度は、粗粒炭が0.5%以内、微粉炭が3%以内であった。(供給ホッパー

Table 2. Rapid heating test conditions.

| Test Condition | Inlet Gas | | Inlet Coal | |
|----------------|------------|--------------------------------|------------|------------------|
| | Temp. [°C] | Flow Rate [Nm ³ /h] | Temp. [°C] | Feed Rate [kg/h] |
| Coarse Coal | 380 ~ 460 | 10,000 ~ 16,000 | 250 ~ 270 | 5,600 ~ 6,000 |
| Fine Coal | 400 ~ 435 | 12,500 | 200 ~ 255 | 1,500 ~ 2,600 |

- の重量変化による)
- ②供給熱ガス量の指示値は、3%以内の精度であった。(ピトー管による実測値との対比)
- ③加熱ガス、供給炭、気流塔部の温度センサー指示は、実温度に対し1°C以内の精度であった。(検定済み温度計指示値、等との対比)
- ④加熱炭の正確な温度計測は設備上難しく、計測値が加熱炭捕集機の入口ガス温度(T5)から推定される実際の温度より数十度以上低かった。そのため、試験結果の解析には、熱バランス計算及びシミュレーション結果により求めた石炭の加熱温度を使用した。

3. 試験結果と考察

3.1 加熱ガス及び石炭の偏流，分散状況

Fig. 3に分散板挿入長100mm時の粗粒炭及び微粉炭投入試験におけるそれぞれの石炭粒子運動の挙動模式図を示した。本図は、Fig. 1の左端上下に示した石炭投入位置+1.4m (S2)における断面の温度分布図を基に想定したものである。微粉炭加熱の場合は、塔内の中心位置に到達するまでに熱ガスにより吹き上げられているが、粗粒炭加熱の場合は、投入石炭のかなりの部分が投入部と反対側の壁に衝突していると推定された。このことから、PP試験における石炭投入速度が事前に予想していた2~3m/秒よりかなり早く水平方向で5m/秒以上であることが明らかになった。後述するように、この入口と反対側の壁への粗粒炭の衝突が低い入口ガス流速における落炭現象の一因となった。

Fig. 4に整流板直上部(S1)、石炭投入位置+1.4m (S2)、石炭投入位置+8.5m (S3)及び石炭投入位置+24m (S4)における塔中心を通る東西方向の直線上のガス温度分布を示した。粗粒炭加熱、微粉炭加熱共に石炭投入直後において半径方向の温度差が大きく、特に、前者は40°C以上の温度差になっているが、気流加熱塔中間部(S3)以降においては断面内温度分布が目標の30°C以内に収まっており、塔頂(S4)では10°C以内とガス-粒子の熱交換性が良好なことを示唆している。又、Fig. 4(b)に見られるように、微粉炭加熱では、位置(S3)と位置(S4)の温度差が数度しかなく、塔中間部レベルにおいてほぼ熱交換を終わっており、気流加熱塔の高さが10~15mで十分と考えられる。

Fig. 5は気流塔出口温度の均一性に与える分散板有無の

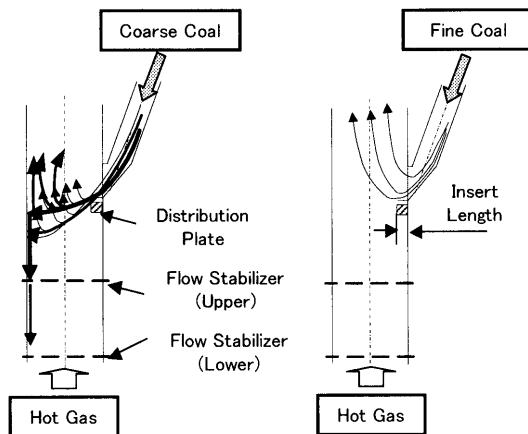


Fig. 3. Imaginary sectional view of the coal feeding part in the cases of coarse and fine coal heating.

影響を見たもので、粗粒炭加熱、微粉炭加熱それぞれについて分散板挿入長さが100mmと0mmの場合における位置(S2)と位置(S4)での実測温度データに基づく断面温度分布図である。いずれのケースにおいても、石炭投入直後の位置(S2)においては、断面温度分布に大きなバラツキが見られるが、塔頂部の位置(S4)における断面温度分布を見るとほぼ均一になっている。

以上のことから、1m程度の塔径の場合、投入部における石炭の分散状況に関わり無く25mの塔頂(S4)においてガス温度がほぼ均一になり、Table 1の断面ガス温度の偏差<30°Cという所期の加熱性能が達成されていることを確認できた。

3.2 気流加熱塔の加熱特性とシミュレーター

Table 3に粗粒炭及び微粉炭加熱時の熱バランス計算に基づく出口ガスと石炭の温度差の例を示した。

幾つかの条件での入口出口における熱バランス計算結果から、塔頂でのガス温度と石炭の平均温度の差は粗粒炭加熱で10~20°C程度、微粉炭加熱でも1°C前後という結果となり、熱ガスと石炭粒子の熱交換がほぼ適正に行なわれていると判断できた。

さらに、この熱バランス計算結果を基に、気流塔シミュレーションモデルの検証と粒子温度の推定を行った。

Fig. 6とFig. 7は、粗粒炭加熱及び微粉炭加熱の実際の運転結果と同運転状態を簡便な平行流(1次元)気流加熱塔シミュレーションモデルによりシミュレートした結果を示したものである。

Fig. 6の粗粒炭加熱の場合、塔頂部でのガス温度が実測

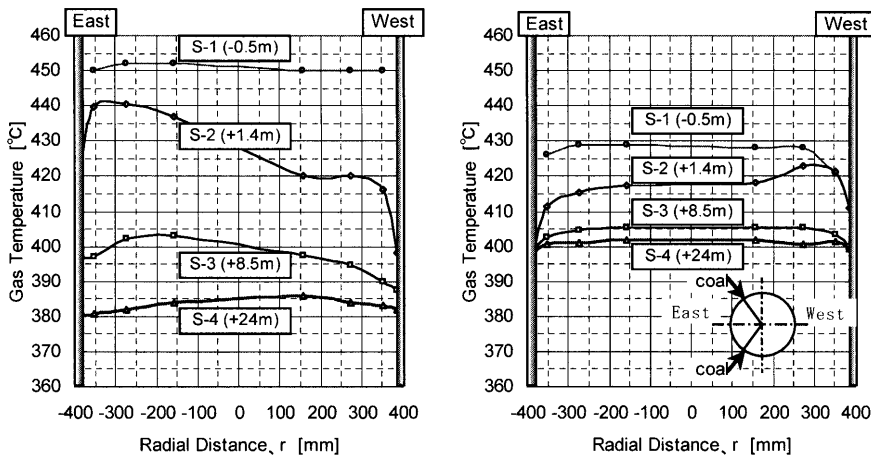


Fig. 4. Changes of sectional temperature distribution in the vertical direction of tower.

(a) Coarse coal heating test

(b) Fine coal heating test

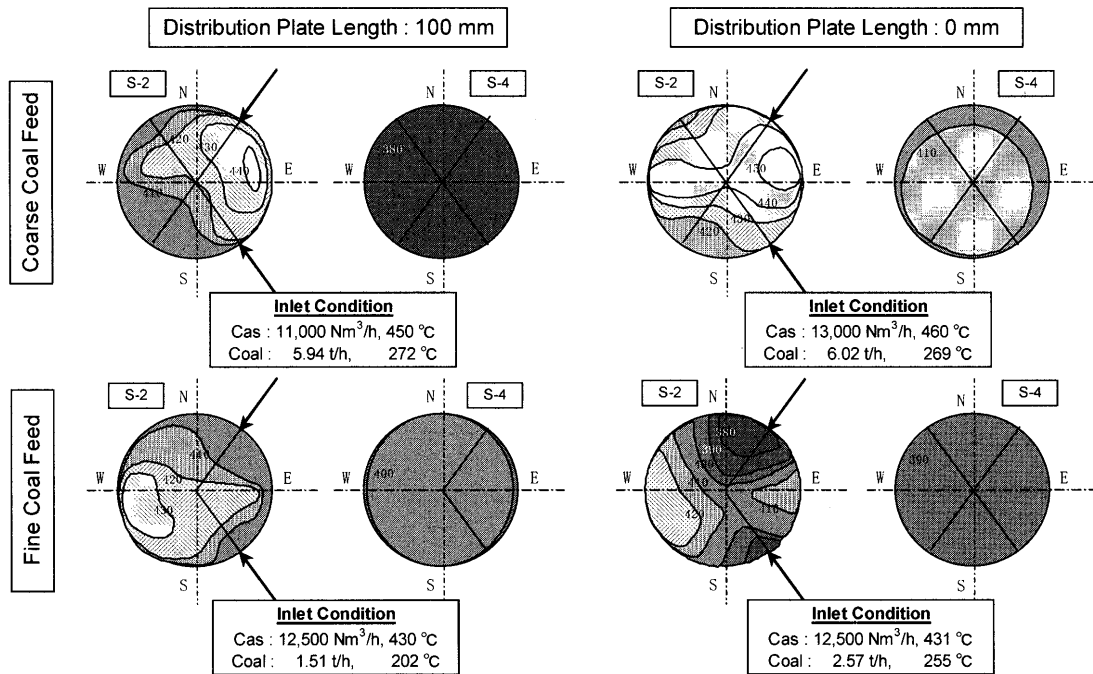


Fig. 5. Effects of feed coal types and distribution plate on the uniformity of sectional gas temperature's profile.

Table 3. Hot coal temperatures on the basis of the heat balance calculation.

| Coal | Coal Feed and Gas Flow | | Inlet | | Outlet (S-4) | | Enthalpy Change [kJ/h] | Heat Loss [kJ/h] | Gas-Coal ΔT at Outlet [°C] |
|--------|------------------------|----------------------------|-----------|--------------------|--------------|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------------------|
| | | | Temp [°C] | Enthalpy [kJ/h] | Temp [°C] | Enthalpy [kJ/h] | | | |
| Coarse | Gas | 13000 [Nm ³ /h] | 460 | 8.16×10^6 | 399 | 7.03×10^6 | -1.13×10^6 | 0.08×10^6 | 15 |
| | Coal | 6000 [kg/h] | 268 | 2.13×10^6 | 384 | 3.18×10^6 | 1.05×10^6 | | |
| Fine | Gas | 12500 [Nm ³ /h] | 429 | 7.24×10^6 | 393 | 6.61×10^6 | -0.64×10^6 | 0.09×10^6 | 0.5 |
| | Coal | 2500 [kg/h] | 246 | 0.81×10^6 | 392.5 | 1.37×10^6 | 0.55×10^6 | | |

と計算で2°C以内と良い一致を見た。又、計算による石炭粒子の出口平均温度は378°Cとガス温度より16°C低い温度まで加熱されており、先のTable 3の熱バランスからの計算結果と良く一致している。

投入された石炭の加熱速度は5000°C/分以上で、特に微粉炭は10000°C/分以上であり、十分な石炭加熱速度のあることが確認できた。

Fig. 6では、入口ガス量が目標値の10000 Nm³/h (Table 1)

より30%多い13000 Nm³/hのため、塔頂での粒子温度のバラツキが目標の50°Cより大きく約70°Cになっている。ただし、5 mm 径以下の90%の粒子(0.4~2.8 mm)について見ると目標値以内に収まっており、少量の5 mm 径以上の粒子(5.6 mm)のみ加熱が不十分な状況にある。この点については、その他のPP試験とシミュレーション結果から、入口ガス流量を11500 Nm³/h前後に低下させることにより目標の50°C以下にできることを確認している。

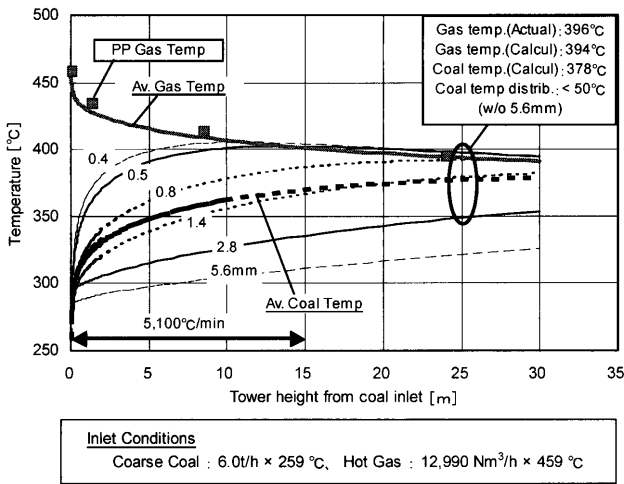


Fig. 6. Comparison between the pilot plant test results and computer simulation results (coarse coal heating test).

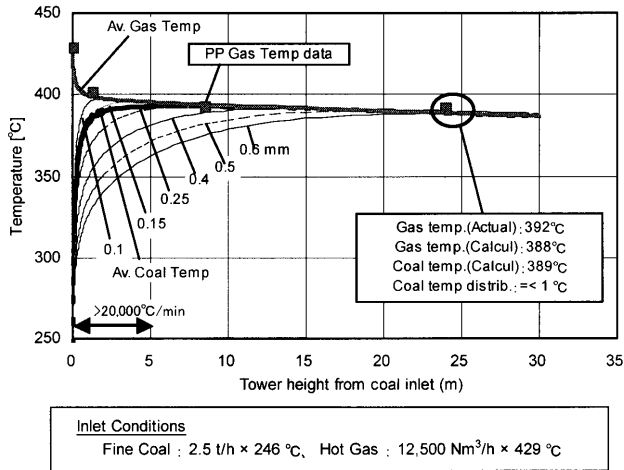


Fig. 7. Comparison between the pilot plant test results and computer simulation results (fine coal heating test).

Fig. 7の微粉炭加熱の場合、塔頂部でのガス温度の実測値とシミュレーション結果の差が4°Cと良い一致を見た。又、Fig. 4(b)の実測結果同様にシミュレーション結果においても石炭投入位置より10mの塔高で石炭粒子の温度偏差が20°C以内におさまり、PP試験装置の6割程度の塔高で十分加熱できることを明らかにできた。

以上の結果から、平行流（1次元）気流加熱塔シミュレーションモデルが、粗粒炭加熱、微粉炭加熱ともに、PP規模の気流加熱塔の現象シミュレーションに対し十分な精度を持つことを検証することができた。

3.3 加熱ガス流速と塔内粒子挙動

初期のPP試験で入口ガス流量を10000Nm³/h前後に設定した運転において、2段の整流板下へ粗粒炭が落炭する現象と気流塔圧損の大きな変動・増加現象が発生した。

運転後の内部点検結果、等から、塔下部への落炭現象はFig. 8のa~dに相当する以下のa)~d)のそれぞれのステップが組み合わさり発生したと予測された。

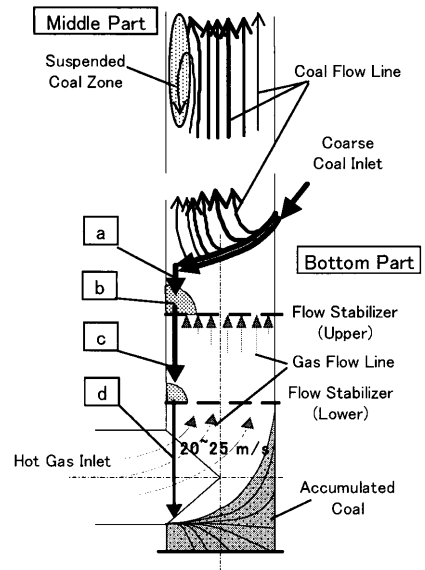


Fig. 8. Imaginary view for a feed coal dropping phenomenon and increase and fluctuation of tower pressure loss.

- 熱ガスにより吹き上げ切れない投入粗粒炭の一部が投入口と反対の壁に衝突し、落下する。
- 上段整流板上に落下炭が堆積する。
- 上段整流板から下段整流板上へ堆積炭の一部が落下する。
- 下段整流板上に落下炭が堆積し、その一部の石炭がさらに落下し塔底部に堆積する。

Fig. 9に気流塔の入口ガス流速と塔差圧の関係を示した。同時に気流塔入口ガス流速と固気2相状態の関係も示した。試験を行った条件範囲（Fig. 9の実線部）においては、塔差圧は、入口ガス速度が大きくなるほど小さく、且つ、圧変動も小さかった。これは、入口ガス量が10000Nm³/h以下（入口部流速16m/s）では、塔上部の壁近傍に直径約6mm以上の粒子の終末速度より遅い流れが生じ、Fig. 8上部に示すように同粒子が浮遊・滞留することで擬似噴流層が形成されるためと推定された。この現象は、水平方向のガス、粒子の挙動をシミュレートできる3次元モデルを用いたPPサイズ気流塔での粗粒炭加熱シミュレーションにおいても確認され、前記の推定を裏付ける結果が得られている。

上記の2つの問題は、それぞれ独立したものであるが、Fig. 9に示す遷移領域の比較的圧損の少ない流速を選ぶことで熱交換性の悪化や気流塔圧損の増加・変動を生じさせずに問題が解決できた。これらの結果から、粗粒炭加熱時の入口ガス流量の目標値を11500Nm³/hとTable 1の10000Nm³/hより15%増加させることとした。

3.4 エンジニアリング基礎データ

3.4.1 気流加熱塔の放熱量

Table 4に気流加熱塔の放熱量を示した。放熱量は熱ガスのみを流した入口出口の温度差による熱バランスと装置表

面温度の実測の両方から求めた。Table 4に示すとおり、外界の温度、風速によって多少異なり、単位面積当たりの放熱量は850~2000 kJ/m²/hで平均的には約1000 kJ/m²/hであった。この値は、150mmのロックウールによる保温部としては、JISの参考値に対し約2倍であった⁵⁾。この原因は、PPの加熱塔には計測センサーやサンプリング口等が有り、その部分からの放熱量が多かったことにあると考えられる。

3.4.2 加熱炭捕集機の総合捕集効率

加熱炭捕集機は、慣性式のプレコレクターとマルチクロンにて構成される。

Table 5にダスト濃度及びタール、炭化水素ガスの入口出口差の測定結果と加熱炭捕集機の総合捕集効率を示した。同総合捕集効率、 η_{HCC} は次式により求めた。

$$\eta_{HCC} [\%] = \frac{\text{供給石炭量 [kg/h]} - (\text{タール \& 炭化水素入出差 [kg/h]} - (\text{ダスト入出差 [kg/h]})}{\text{供給石炭量}} \times 100 \quad (1)$$

結果は、粗粒炭加熱が98%で、微粉炭加熱が91%で

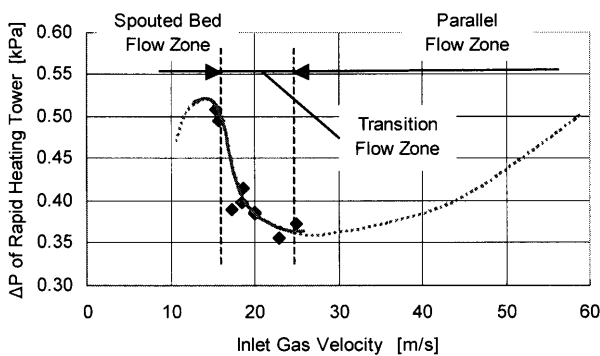


Fig. 9. Relationship between inlet gas velocity and tower pressure loss with gas-solid flow conditions.

あった。平均粒子径が数100 μmの微粉炭でも比較的高い捕集効率が得られた。

3.4.3 石炭粒子周りの熱伝達係数⁶⁾

Table 6に石炭粒子周りの熱伝達係数、 U_p [kJ/m²hK]の計算結果を示した。粗粒の U_p は、投入直後で4600 kJ/m²hK、その上部から塔頂間では約800 kJ/m²hKである。一方、微粉炭の U_p は、投入直後で1900 kJ/m²hK、その上部から塔頂間では約150 kJ/m²hKであった。但し、Fig. 7の微粉炭の高さ方向温度変化に見られるように、ガス温度に到達した粒子から熱移動が無くなり、塔高が上がるにつれて加熱される粒子の量は減少し平均粒子径も大きくなるため、投入石炭粒子の有効伝熱面積は次第に減少する。例えば、粒子の有効伝熱面積は投入直後の(S2)相当位置で全粒子表面積の約50%、その後の(S3)相当位置で約20%であった。その点を補正すると粗粒炭と微粉炭の間に差は無く、実機設計上、両石炭粒子の U_p は同様に扱えることを確認できた。

尚、 U_p は次式にて計算した。その際、粗粒炭については粒子スリップを考慮し滞留時間を求めた⁷⁾。

$$U_p = \Delta Q / (RT \times \Delta T_{lm} \times A_c) \quad (2)$$

ここで、 ΔQ ：石炭粒子の熱量変化[kJ/kg/h]、 RT ：粒子滞留時間[h]、 ΔT_{lm} ：対数平均温度差[K]、 A_c ：粒子表面積[m²/kg]である。

3.4.4 気流加熱塔の差圧⁶⁾

気流加熱塔の入口、出口間の全差圧； ΔP_t (Fig. 1のP1とP3の差)は、石炭粒子加速損失； ΔP_a 、摩擦損失； ΔP_f 、曲り損失； ΔP_b 、位置損失； ΔP_h の合計で、Table 7に粗粒炭と微粉炭の両加熱試験での加熱塔差圧の実測と計算との比較を示した。

$$\Delta P_t : \text{全差圧} = \Delta P_a + \Delta P_f + \Delta P_b + \Delta P_h \quad (3)$$

結果はTable 7の $\Delta P_{t-a} / \Delta P_{t-c}$ に見られるように、微粉炭

Table 4. Heat loss from the rapid heating tower surface.

| Based on a Heat Balance | | | | | | Surface Temp Measurement | | |
|-------------------------|------------|-------------|------------|-------------------------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------|----------------------|
| Hot Gas | | | | Heat Loss | Unit Heat Loss | Calculation Condition | Surface Temp | Unit Heat Loss |
| Flow rate | Inlet Temp | Outlet Temp | ΔT | | | | | |
| Nm ³ /h | °C | °C | °C | kJ/h | kJ/m ² /h | At. Temp : 30°C | °C | kJ/m ² /h |
| 13000 | 400 ~ 440 | 396 ~ 436 | 4 ~ 7 | $7 \times 10^4 \sim 12 \times 10^4$ | 850 ~ 2000 | Wind: 2 m/s $\epsilon : 0.6$ | av. 43 34~55 | 950 |

Table 5. Collection efficiency of the hot coal collector.

| Measuring Condition | Item | Hot Gas Flow [Nm ³ /h] | Coal Feed [kg/h] | Dust Weight | | Tar & Hydrocarbon Weight (Inlet-Outlet) [kg/h] | Collector Efficiency [%] |
|---------------------|--------|-----------------------------------|------------------|----------------------|--------|--|--------------------------|
| | | | | [g/Nm ³] | [kg/h] | | |
| Coarse Coal | Inlet | 13000 | 6000 | 16.23 | 212 | 105 | 98.0 |
| | Outlet | | | 17.3 | 225 | | |
| Fine Coal | Inlet | 12500 | 2330 | 48.6 | 607 | 70 | 91.0 |
| | Outlet | | | 59.8 | 747 | | |

Table 6. Heat transfer coefficient of coal particles.

| Feed Coal (Av. Surface Area of Coal Particle) | Inlet Condition | Zone | Heat-up ΔQ [kJ/h] | Retention Time, RT [h] | Temp Diff. ΔT_{lm} [°C] | Heat Trans. Coefficient $U_p = \Delta Q / RT / \Delta T_{lm} / F_c / A_c$ [kJ/m ² /h/K] |
|--|--|-------------|---------------------------------|------------------------------|--|---|
| Coarse Coal (A=4 m ² /kg) | Gas ; T _g :460.0°C, Q _g :13000 Nm ³ /h Coal ; T _c :268.5°C, F _c :6017 kg/h | Inlet S2 | 426430 | 0.09/3600 | 154 | 4600 |
| | | S2`S4 | 587600 | 1.65/3600 | 63 | 840 |
| Fine Coal (A=60 m ² /kg) *1: A _{eff,reactive} =50% *2: A _{eff,reactive} =20% | Gas ; T _g :431.1°C, Q _g :12490 Nm ³ /h Coal ; T _c :255.0°C, F _c :2573 kg/h | Inlet S2 | 460000 | 0.07/3600 | 82 | 1900 (3800)*1 |
| | | S2`S4 | 70000 | 1.24/3600 | 8.5 | 150 (770)*2 |

Table 7. Differential pressure between inlet and outlet of the rapid heating tower.

| Item Coal | Actual Data | | | | | Calculation | | | | | ΔP_{t-a} ----- ΔP_{t-c} |
|--------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---|
| | Gas Flow [Nm ³ /h] | Coal Feed [kg/h] | Av. Gas Temp [°C] | Gas Velocity [m/s] | ΔP_{t-a} [kPa] | ΔP_{t-c} [kPa] | ΔP_a [kPa] | ΔP_i [kPa] | ΔP_b [kPa] | ΔP_h [kPa] | |
| Coarse | 12000 | 5700 | 401 | 17.7 | 4.12 | 2.77 | 0.48 | 0.12 | 0.16 | 2.02 | 1.49 |
| | 13000 | 6000 | 426 | 19.8 | 3.85 | 2.81 | 0.54 | 0.13 | 0.20 | 1.93 | 1.37 |
| | 14000 | 6000 | 438 | 21.7 | 3.52 | 2.83 | 0.58 | 0.15 | 0.24 | 1.86 | 1.25 |
| | 16000 | 5700 | 414 | 24.0 | 3.70 | 2.97 | 0.63 | 0.19 | 0.30 | 1.85 | 1.25 |
| Fine | 16000 | 5700 | 397 | 18.3 | 2.22 | 2.20 | 0.21 | 0.11 | 0.18 | 1.71 | 1.01 |

加熱は実測と計算結果が良く一致した。一方、粗粒炭加熱は、3・3項で述べた現象により、ガス流速が遅いほど塔内の粒子ホールドアップが増加するため、いずれの ΔP 項も計算値より大きくなることと、入口部での粒子下向き速度が微粉炭より大きく ΔP_c 項が計算より実際の方が大きいことにより、実測値が計算値より25~50%大きくなったと思われる。

従って、実機設計においては、粗粒炭についてのみ本試験の結果を基に計算値に対し補正を加えれば良い。

3・4・5 石炭粒子過加熱及び割れ状況

Fig.10に急速加熱された粗粒炭(a)と微粉炭(b)の顕微鏡写真を示した。

石炭粒子の形態変化の有無を観察した結果、サンプルには石炭の発泡やエクジニットの变化が全く見られず、各石炭は過加熱状態にはなっておらず、良好な加熱がおこなわれていると推定された。ただし、粗粒炭の大部分に供給炭には見られない加熱処理に由来すると思われる多くの亀裂が観察された。一方、微粉炭には加熱処理に由来する亀裂はほとんど見られなかった。

急速加熱前後おける石炭の粒度分布変化を計測した結果、粗粒炭は、2mm径以上の粒子の一部が割れ、0.5mm径以下の粒子が増加していた。そのため、石炭kg当たりの表面積が4m²から50%ほど増加する結果となった。一方、微粉炭は、石炭kg当たりの表面積が約60m²であるが、入口出口でほとんど変化が無く、粒子割れは発生していなかった。

この粗粒炭割れの主原因は、前述した石炭粒子の亀裂に起因し、大きな亀裂を持つ粗粒子が気流塔曲がり部に衝突する際や加熱炭捕集機にて捕集される際に割れたものと推

測された。ただし、プロセス上の不具合やコークス品質の悪化が見られず、実機においては特に問題にはならないと判断された。

3・4・6 タール及び炭化水素ガスの発生

気流加熱塔での石炭急速加熱においては、タールと炭化水素ガスの発生が見られたが、後者はわずかで特に問題にはならなかった。

供給石炭からのタール発生量は数kg/hで、粗粉炭及び微粉炭加熱共に時間が経過するに従って発生タール量が増加する結果となった。特に、微粉炭の場合に増加量が多いことから、加熱炭捕集機にて捕集されず装置系を循環する極微細な石炭粒子からの発生タールがその主要因と考えられた。

長期的に連続運転を行う実機において系内の発生タール量とその飽和濃度内で一定にならない現象が起こるようであれば、装置内部へのタールの凝集・付着が発生する可能性がある。しかし、現状のコークス炉や本プロセスと類似のプレカーボンプロセス⁸⁾において高濃度のタールによるトラブルが発生していないことから、実機においても現状炉やプレカーボンプロセスを参考に運転条件を最適化することで問題にはならないと推定される。

3・5 実機設計上の課題と対策

3・1~3・4項の結果から得られた実機設計上の重要事項についてまとめる。

- a-1) 粗粉炭は落炭防止のために標準入口ガス流量を10000Nm³/hから11500Nm³/hまで約2割程度アップする。微粉炭加熱は計画通りの条件を適用する。
- a-2) 製造されたコークス性状から、急速加熱の到達目標温度及び加熱速度は計画値通りで良い。



Photo a-1 (X25) Coarse coal sample
-- many cracks caused by the rapid heating



Photo a-2 (X500) Coarse coal sample
--no change on the exinite

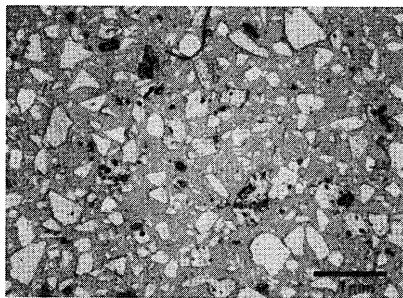


Photo b-1 (X25) Fine coal sample
-- few cracks caused by the rapid heating

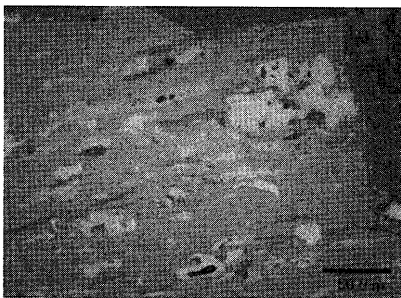


Photo b-2 (X500) Fine coal sample
--no change on the exinite

Fig. 10. Microscopic examination results of the rapid heating coals.

- a-3) 均一加熱のため供給する石炭の最大径が今回のPP試験以上にならないようにする。
- b-1) 石炭投入部は、粗粒炭と微粉炭とも分散装置等により投入速度や方向に差異をつけること、及び、ガス、石炭粒子の塔内挙動がPP試験結果の延長上で予測できるように、投入口を4箇所以上に分割し、PPサイズの塔が複数束ねられた状況を出来るだけ確保する。
- b-2) 微粉炭用気流加熱塔はPP設備より滞留時間を6~7割程度に短縮でき、塔高又は塔径を小さくできる。
- b-3) 石炭投入口レベルまでの直管部分の長さはL/D>2とし、落炭の堆積を回避するためPP設備に存在する下部のガス濃み構造を無くすることが必要である。
- c-1) 粗粒炭の粒子割れやタール挙動についてはPP試験の実績を十分に配慮することが必要である。

4. 結言

新しいコークス製造技術の根幹をなす石炭の急速加熱プロセスについて、パイロットスケールでの石炭の急速加熱試験を行い、以下の結論を得た。

- (1) ガスと石炭の出口平均温度差が粗粒炭で10~20℃、微粉炭で1℃であること、加熱速度が2000℃/分を大幅に越えること、石炭粒子の出口で温度バラツキが50℃以内であることを確認し、本気流加熱塔が良好な加熱特性を持ち、粗粒炭のガス流速以外、Table 1に示す計画通りの急速加熱処理が行えることを実証できた。
- (2) 気流加熱塔のシミュレーションモデルは、PP試験の

結果と良く一致することを確認し、実機プラント設計に活用できることを検証できた。

- (3) 粗粒炭加熱において発生した石炭の塔下部への落炭現象や塔内部での石炭の滞留による圧の大きな変動現象を、ガス流速を15%あげることにより回避し、低圧損で安定な操業領域を見出すことができた。
- (4) 気流加熱塔からの放熱量、加熱炭捕集機の捕集効率、粒子周りの熱伝達係数、塔差圧、タール及び炭化水素の挙動、石炭粒子の割れ状況、等、各種実機設計に必要なエンジニアリング基礎データを収集し、実機プラント設計上の重要事項をまとめた。

最後に、本研究は石炭生産・利用技術振興費補助金の石炭燃焼技術開発（石炭高度転換コークス製造技術）に係る研究の一環として実施されたもので、ここに関係者各位に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 佐々木正樹, 松浦 慎, 加藤健次: 日本国特許特開平08-259956, (1996).
- 2) I.Komaki, M.Matsuura, K.Kato and K.Saito: *CAMP-ISIJ*, **11** (1998), 666.
- 3) M.Matsuura, M.Sasaki, K.Saito, K.Kato and I.Komaki: *Tetsu-to-Hagané*, **89** (2003), 565.
- 4) M.Matsuura, M.Sasaki and K.Kato: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 102.
- 5) JIS A 8501: 保温保冷工事施工標準, 日本規格協会, 東京, (1995).
- 6) 改訂5版化学工学便覧, 化学工学協会編, 丸善, 東京, (1988), 259-394.
- 7) 改訂2版粉体 (理論と応用), 久保輝一郎他編, 丸善, 東京, (1979), 679.
- 8) M.Yokomizo, M.Fukunaga, Y.Nakagawa and T.Iguchi: Proc. 6th Int. Iron and Steel Cong., Vol. 2, ISIJ, Tokyo, (1990), 274.