

成形炭品質に及ぼす熱間成形条件の影響

花岡 浩二*・主代 晃一*・井川 勝利*²

Effect of Hot Briquetting Conditions on Briquette Quality

Koji HANAOKA, Koichi NUSHIRO and Katsutoshi IGAWA

Synopsis : Hot fine coal briquetting with using double roll press in diameter 400 mm in several briquetting conditions were tested in order to research fundamental phenomena in SCOPE process. Effects of hot briquetting conditions and coal qualities to briquetting yields and briquette strengths were researched. The followings were found that: (1) Briquetting yields and briquette strengths were increased with the increase of briquetting temperature, and with the decrease of cup volume. (2) Briquetting yields and briquette strengths were increased with the increase of the number of rotation of screw feeder, which was used to supply compulsorily coal. (3) Briquetting yields and briquette strengths were decreased with the increase of the number of rotation of rolls. But increasing the number of rotation of screw feeder was recovered briquetting yields and briquette strengths. (4) Briquette strengths were increased with using more fluidity coal for coking and non- or slightly coking coals. (5) Briquetting yields and briquette strengths were increased little in wider coal diameter distribution.

Key words : coal; coke; SCOPE21; hot coal briquetting; briquette strength; briquetting yield; briquetting condition.

1. 緒言

SCOPE21 プロセス^{1,2)} (Super Coke Oven for Productivity and Environmental Enhancement toward the 21st Century) は、環境対応と省エネルギーに優れ、生産性の高い革新的なコークス製造プロセスとして、1) 非微粘炭使用量を20%から50%に増配すること、2) 生産性を現状設備に対し2.4倍に拡大すること、3) 環境改善として乾留炉NO_xを30%削減すること、4) コークス製造エネルギーの21%削減すること等を目指している。そのため、SCOPE21 プロセスの工程としては、石炭をまず350°C程度まで分級・昇温する事前処理工程、高密度高熱伝導性レンガを有した室炉による乾留工程、中低温乾留で押出されたコークスをCDQで改質(強度向上)する後処理工程に分かれている。

石炭の粉碎・配合を経た後、石炭事前処理部では、流動床設備を用いた穏やかな昇温による乾燥分級(粗粒と微粉に分級)、気流塔を用いた急速昇温(粗粒と微粉を別々に)、微粉炭を塊成化する熱間成形、コークス炉へ搬送・装入するプラグ輸送などの要素技術で構成されている。非微粘炭50%使用時のノーバインダーでの微粉炭の熱間成形は重要な要素技術の一つであり、微粉炭の塊成化により、非微粘炭50%使用による強度低下の防止、微粉炭による嵩密度低下の抑制およびキャリーオーバー抑制が可能となる。ダブルロールによる熱間成形法は、成型コークス製造プロセスでこれまで多く検討されてきた。旧ソ連のSapozhnikov法³⁻⁶⁾、旧西ドイツのBFL法^{7,8)}やオランダのAncit法^{9,10)}な

どである。Sapozhnikov法は弱粘炭60%と非微粘炭40%配合で成形温度が400~500°C、BFL法は粘結炭30%と非微粘炭チャー70%配合で成形温度が約450°C、Ancit法は粘結炭30%と非微粘炭チャー70%配合で成形温度が約500°Cの熱間成形法である。いずれの方法も熱間成形の成形温度としては石炭の粘結性を利用するため、石炭が軟化溶解する400~500°Cまで加熱して成形しているが、SCOPE21プロセスのように300~400°C程度の比較的低温での熱間成形法は例がない。これは、熱間成形前の、急速昇温による石炭分子の結合力緩和により比較的低温で良好な成形性(熱可塑性)を発現する¹¹⁻¹³⁾ためである。このような比較的低温の熱間成形での適正な成形条件や原料性状の熱間成形性への影響調査^{14,15)}はこれまで例はなく、石炭の熱間成形技術として重要である。そこで本報では、成形条件であるロールのカップ容積、熱間成形温度、ロール回転数、原料押込み用スクリーフィーダー回転数、および配合条件(石炭品位)と原料粒度が成形歩留、および成形炭強度に及ぼす影響について報告する。

2. 実験方法

2.1 熱間成形実験

熱間成形実験は、Fig. 1に示す移動層型石炭加熱装置と熱間成形ユニットを有する成形機を用いて行った。成形機的主要仕様としては、最大加圧力40t、ロールの最大回転数10rpm、原料押込み用のスクリーフィーダーの最大回

平成16年1月9日受付 平成16年7月14日受理 (Received on Jan. 9, 2004; Accepted on July 14, 2004)

* JFEスチール(株)スチール研究所(Steel Research Laboratory, JFE Steel Corp., 1 Kokan-cho Fukuyama 721-8510)

* 2 JFEスチール(株)本社技術企画部(Technology Planning Dept., Head Office, JFE Steel Corp.)

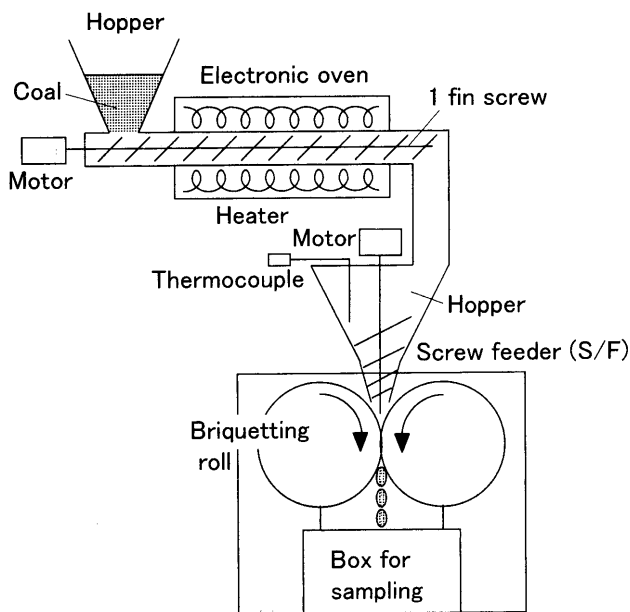


Fig. 1. Scheme of briquetting machine.

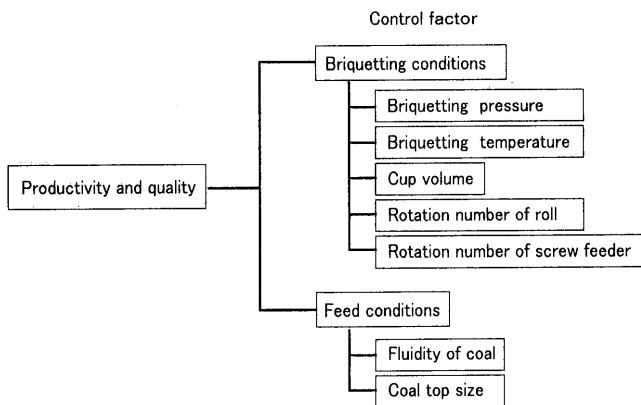


Fig. 2. Relationship of between productivity and quality and control factors.

転数 140 rpm, ロール径 400 mm, ロール幅 120 mm である。また, カップ形状はピロー型で, カップ容積は 18, 34, 50 cm³ の 3 種類である。

熱間での成形性の評価は, 生産性と品質面として成形歩留および成形炭の強度をみているが, これら評価因子に対する制御因子としては, Fig. 2 に示すような制御因子が影響しているものと考えられる。つまり, 熱間での成形条件として成形圧, 成形温度, ロールカップ容積, ロール回転数, および原料押込み用スクリュウフィーダー回転数などである。また, 原料条件としては, 石炭の特性としての流動性および石炭粒度などがある。そこで, 上記熱間成形条件および原料条件の成形歩留と成形炭強度に対する影響を調査する実験を行った。

実験条件を Table 1 に示す。成形線圧は 2.2 t/cm 一定で測定した。成形温度の影響は, 室温と 330~400°C の領域で変化させて調査した。成形温度は, スクリューフィーダー上のホッパー内の石炭温度を測定して代表値とした。

Table 1. Experimental conditions.

Briquetting pressure	3.3 t/cm
Rotation number of roll	3, 10rpm
Rotation number of screw feeder	70, 120, 140 rpm
Briquetting temperature	Room temp., 330~400°C
Cup volume	18, 34, 50 cm ³
Total mass of coal sample at one test	20 kg
Coal top size	0.3mm, 0.4mm

Table 2. Proximate analysis of coal samples.

coal brand	Proximate analysis (%)		
	Ash	VM	FC
Goonyella	9.4	23.8	66.8
Pittston	7.3	33.5	59.2
Luscar	9.4	22.9	67.7
Witbank	7.6	32.9	59.5
Kaltim Prima	3.1	44.1	52.8
Howick	8.6	37.4	54.0

330~400°C と比較的低温な成形温度であるのは, SCOPE プロセスで急速昇温による粘結性発現を維持するために, 石炭の軟化溶融開始温度前後で保持したままガスの発生が少ない温度領域で成形することが必要であるからである。温度が高すぎる場合には, 軟化溶融し始めた石炭から発生するガスにより成形を阻害することが懸念された。カップ容積の影響は, 18, 34, 50 cm³ のそれぞれ容量の異なったピロー型カップを持った 3 種類のロールを用いた。ロール回転数の影響は, 3 rpm と 10 rpm の 2 水準で試験した。スクリュウフィーダー回転数は, 70, 140 rpm の 2 水準で実験を行い, 成形歩留および成形炭強度への影響を調査した。

使用した石炭の工業分析結果を Table 2 に示す。配合条件としては, まず, 粘結炭:非微粘炭=50%:50%の割合で配合し, ロールのカップ容積, 熱間成形温度および石炭品位の影響を調べる実験に供した。その場合, 粘結炭として Goonyella 炭 (以下 GYL と省略), Luscar 炭 (同 LSC), 非微粘炭として Witbank 炭 (同 WIT), Kaltim Prima 炭 (同 KLP) を使用し, 配合 A, B, C の 3 種類で実験した。配合 A は GYL 炭 50% と WIT 炭 50%, 配合 B は GYL 炭 50% と KLP 炭 50%, 配合 C は LSC 炭 50% と WIT 炭 50% とした。

ロール回転数, 原料押込み用スクリュウフィーダー回転数および原料粒度の影響を調べる実験の場合は, 粘結炭として, Goonyella 炭 21%, Luscar 炭 20%, Pittstone 炭 9%, 非微粘炭として Witbank 炭 25%, Howick 炭 25% をそれぞれ配合した配合 D を使用した。配合 D の平均品位は, 揮発分 30.4%, 最高流動度 (加値) 2.12 (log(ddpm)) であった。

原料粒度変更実験では, 配合炭の粒径を 0.3 mm 以下 100% のものと, 0.4 mm 以下 100% のものを用いて実験を行った。

成形実験の方法を以下に示す。所定の粒度，配合に調製した石炭原料を Fig. 1 に示す熱間成形装置の原料ホッパーに入れて，単羽型のスクリーが付いた移動層型石炭加熱装置を通して所定の温度まで昇温した。昇温された原料は，ロールの上部に設置されたスクリーフィーダーホッパーに全量投入した後，所定のロール回転数，所定のスクリーフィーダー回転数で熱間成形を行った。スクリーフィーダーホッパーの中の石炭温度を熱電対で測定し成形温度とした。1回の成形実験に約20kgの石炭を使用し，成形炭のサンプリングは，熱間成形が確実に安定する成形開始後30秒後からサンプリングボックスを用いて1分間行った。

2.2 成形炭の評価

サンプリングした成形炭について成形歩留，I型強度 I_1^{60} ，熱間の圧潰強度，見掛密度を測定した。成形歩留は，サンプリングした成形炭全量中の+1mmの重量%である。I型強度 I_1^{60} は，原形を保持した成形炭200gをI型ドラム(130mm ϕ ×700mmL)に投入して，20rpmで60回転させた後の+1mmの重量%である。熱間の圧潰強度測定は，オートグラフのロード部が電気炉に覆われている装置を用いて，圧潰時の成形炭温度を変化させて行った。見掛密度は，原形を保った成形炭をJISの水没法によって測定した。

3. 結果および考察

3.1 成形温度とカップ容量の影響

Fig. 3とFig. 4にGYL炭50%，WIT炭50%の配合炭Aを用いて成形温度およびカップ容量を変化させた時の成形歩留および成形炭強度の結果を示す。成形温度が高いほど成形歩留，成形炭強度とも向上する傾向がみられた。これは330~400°Cの熱間の成形による融着性の向上によるものと推定される。石炭の軟化溶解開始温度前後で保持したまま成形することにより石炭粒子表面が熱可塑性を発現して粒子同士が融着しないまでも密着性が向上して成形炭強度効果が発現するものと考えられた。Fig. 5に示すように，カップ容量50cm³のロールで熱間成形した成形炭の内部断

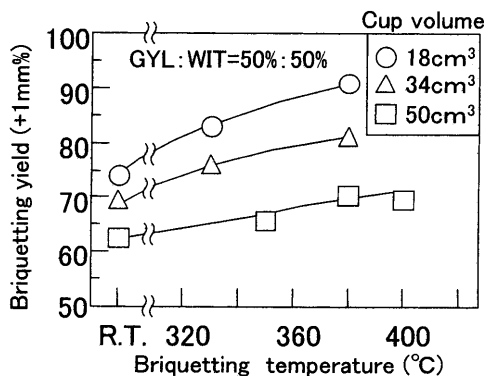


Fig. 3. Effect of briquetting temperature and cup volume on briquetting yield.

面の観察により，成形炭内部は非常に緻密な充填状態となっていることがわかった。また，Fig. 6 に示す熱間成形した成形炭表面近傍の断面写真では，石炭粒子が融着した状態であることが観察でき，石炭の熱可塑性が発現されてより強固な密着形態になっていることがわかった。このことは，Fig. 7 に示す冷間（室温）成形した成形炭の表面近

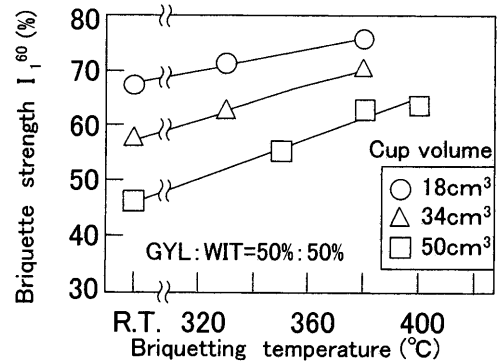
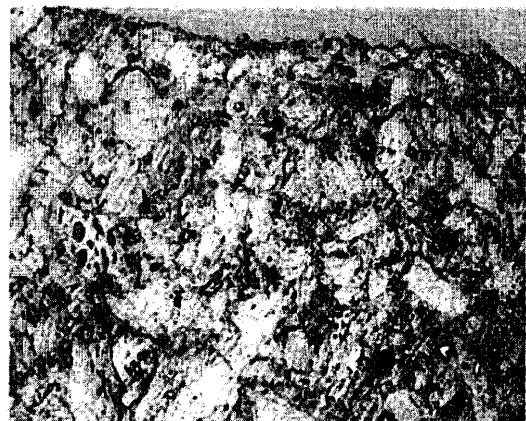


Fig. 4. Effect of briquetting temperature and cup volume on briquette strength.



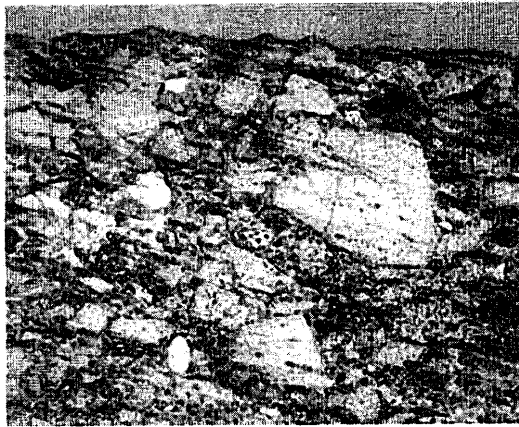
0.1mm

Fig. 5. Sectional photograph of inside of hot compacted briquette.



0.1mm

Fig. 6. Sectional photograph of nearly surface of hot compacted briquette.



0.1mm

Fig. 7. Sectional photograph of nearly surface of hot compacted briquette.

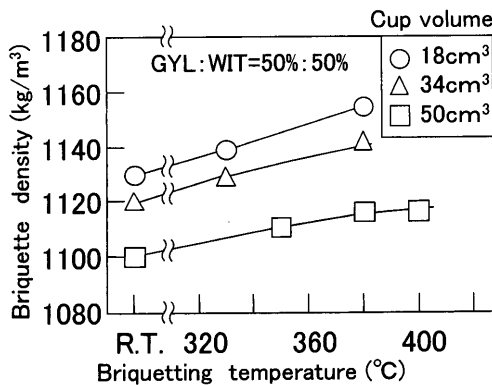


Fig. 8. Effect of briquetting temperature and cup volume on briquette density.

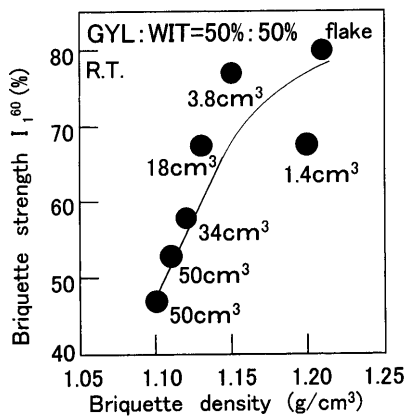


Fig. 9. Relationship between briquette density and briquette strength.

傍の断面と比べると、明らかに熱可塑性が進んでいた。

また、Fig. 3とFig. 4よりカップ容量が小さいほど、成形歩留、成形炭強度とも向上しており、成形する厚みが小さいことで成形圧がブリケット全体に良く伝わり成形性が向上し、Fig. 8に示すように、成形炭の嵩密度が高くなったためであった。この成形炭嵩密度と成形炭強度の関係についてさらに詳細に検討した結果をFig. 9に示す。カップ

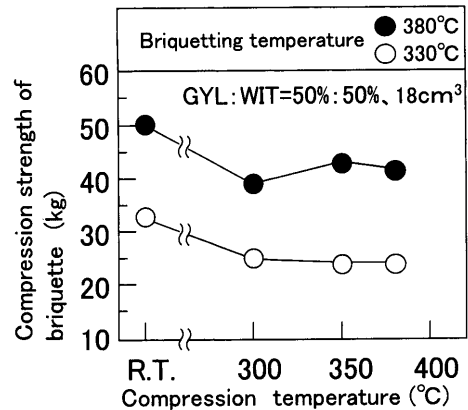


Fig. 10. Effect of briquetting temperature on compression strength of briquette.

容量が1.4, 3.8 cm³およびフレック時の熱間成形の炭嵩密度と成形炭強度で行ったデータを併せてプロットした。この図からもわかるように、成形炭の嵩密度が増加すると成形炭強度も顕著に増加する結果となった。これにより成形炭強度向上のためには成形炭の嵩密度増が一つの重要な要因であることがわかった。

以上より、330~400°Cまでの比較的低温の熱間成形においても、ノーバインダーで石炭の熱可塑性の発現と粒子間距離短縮による圧密化により高強度の成形炭が製造可能であることがわかった。

Fig.10に成形炭の熱間での圧潰強度測定結果を示す。圧潰温度の上昇により成形炭の圧潰強度は低下したが、300°C以上での大きな減少は見られなかった。これは、熱間成形時に石炭粒子同士が熱可塑性化して融着に似た密着が起こっているために、多少の昇温では粒子間の結合が緩和しないと推察できる。

また、成形温度330°Cより380°Cで熱間成形した成形炭の方が、成形炭圧潰強度が高かった。これにより成形温度が高いほうが、石炭粒子の密着強度がより強固になっているものと推察される。

3.2 原料押込み用スクリーフィーダー回転数およびロール回転数の影響

Fig.11, Fig.12に配合D、成形温度380°Cでスクリーフィーダー回転数を70 rpmと140 rpmと変化させて行った熱間成形時の成形歩留と成形炭強度の結果を示す。スクリーフィーダーの回転数が高いほど成形歩留および成形炭強度が高くなった。これは、スクリーフィーダーの回転数増により原料石炭のロールへの供給圧が上昇し、ロールの嚙込み部での石炭充填密度が増大したことによるものと考えられる。

Fig.13, Fig.14にロール回転数と成形歩留および成形炭強度の関係を示した。ロール回転数が増加すると成形歩留および成形炭強度が低下した。ロールの回転数が増加することによって、石炭の払出し速度が増加し成形圧がかかる時

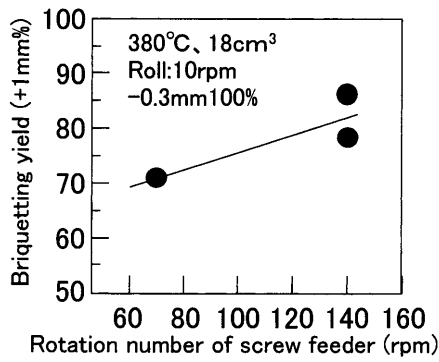


Fig. 11. Effect of rotation number of screw feeder on briquetting yield.

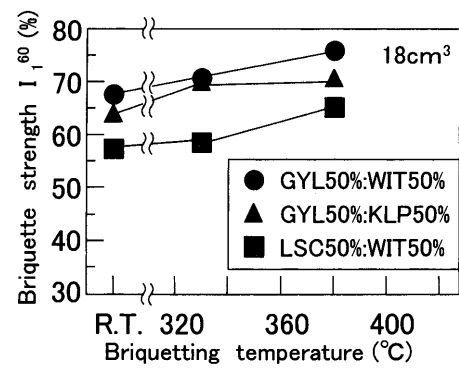


Fig. 15. Effect of coal brands on briquette strength.

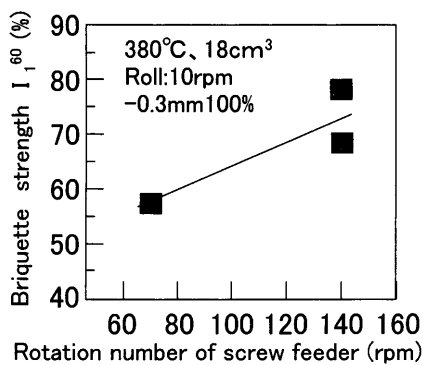


Fig. 12. Effect of rotation number of screw feeder on briquette strength.

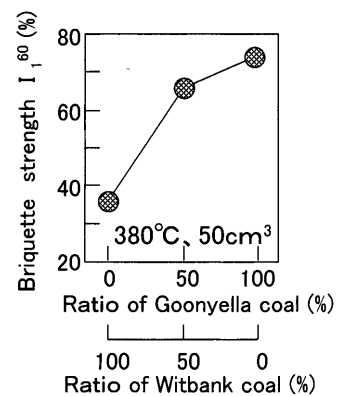


Fig. 16. Briquette strength of Goonyella, Witbank and blend coal.

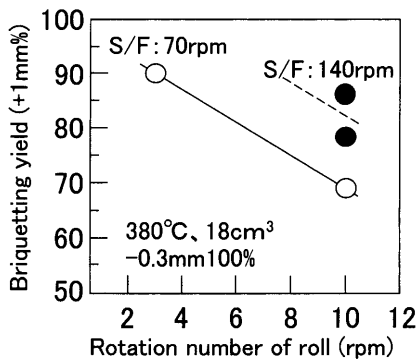


Fig. 13. Effect of rotation number of roll on briquetting yield.

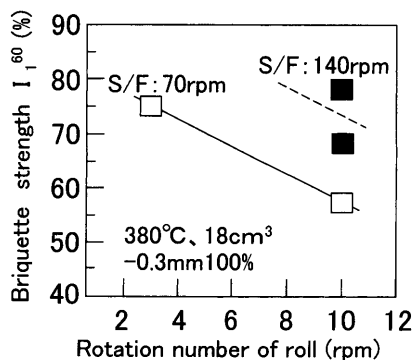


Fig. 14. Effect of rotation number of roll on briquette strength.

間が減少するためと推察された。これに対し、スクリーフィーダーの回転数を増加させることにより石炭押し込み圧が増加し、成形歩留と成形炭強度が回復した。つまり、石炭払出し速度に適した押し込み速度を与えてやることで、成形炭の強度を保持できることがわかった。

3.3 石炭の性状の影響

前述でも述べたように熱間成形では、石炭の熱可塑性が成形炭強度に大きく影響すると考えられるので、石炭の配合銘柄を変えて、石炭の軟化溶解性の影響について調査した。Fig.15 に配合 A, B, C で成形温度を変化させた時の成形炭強度の測定結果を示す。Fig.15より、粘結炭ではLSC炭 (MF=2.3) よりGYL炭 (MF=3.0) を使用した場合の方が、成形炭強度が向上し、非微粘炭ではKLP炭 (MF=0.6) よりWIT炭 (MF=1.0) を使用した場合の方が、成形炭強度が増加した。以上より、使用する石炭の流動性が高い場合の方が、成形炭強度が向上することがわかった。

また、粘結炭と非微粘炭の影響度合いを調べると、石炭の流動性の熱間成形性への影響度合いは粘結炭の方が大きいことがわかった。これは、Fig.16 に示すように粘結炭GYL炭と非微粘炭WIT炭それぞれの単味炭および50%ずつ混合して製造した成形炭の強度測定結果からも明らかである。

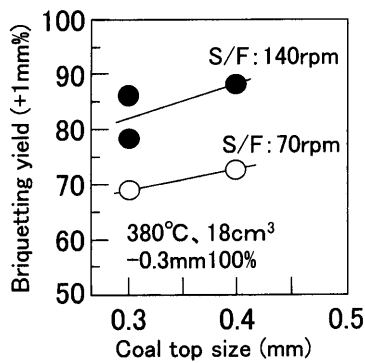


Fig. 17. Effect of coal top size on briquetting yield.

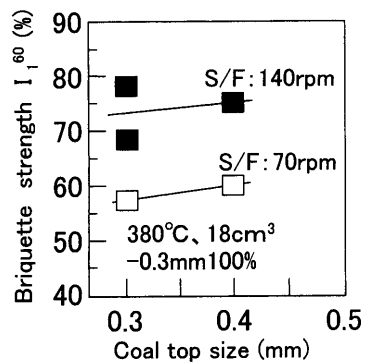


Fig. 18. Effect of coal top size on briquette strength.

3.4 原料石炭の粒度の影響

成形炭の嵩密度の面から考えると、石炭粒度分布は広い方が高嵩密度になると考えられたが、原料石炭の粒径の影響については、Fig.17 および Fig.18 より、石炭粒度0.3 mm以下100%を0.4 mm以下100%に変化させても、成形歩留および成形炭強度は同程度で変わらないか、微増の程度に留まった。これは、石炭粒度0.3 mm以下100%から0.4 mm以下100%への変化では石炭粒度のトップサイズは増加したものの、粒度分布に大きな変化がなかったために成形歩留および成形炭強度にはさほど影響がなかったと考えられる。

4. 結言

SCOPEプロセスでの基礎要素実験としてロール径400 mmのダブルロールで比較的低温な330~400°Cの熱間成形実験を行った。成形歩留と成形炭強度に対する熱間成

形条件および原料条件の影響を調査した結果、以下のことが明らかとなった。

(1) カップ容積が小さいほど、また、成形温度は400°C以下で温度が高いほど成形炭歩留、成形炭強度が向上することがわかった。

(2) 原料押込み用スクリーフィーダーの回転数が高いほど成形炭歩留および成形炭強度が向上することがわかった。

(3) 成形ロール回転数が高いほど成形歩留および成形炭強度は低下することがわかった。しかし、ロール回転数にマッチするようにスクリーフィーダー回転数を増加させると成形歩留、成形炭強度が回復した。

(4) 微粘炭、強粘炭とも流動性の高い銘柄を使用した方が、成形炭強度が向上した。

(5) 原料石炭の粒度が多少粗くしても、成形歩留、成形炭強度はほとんど向上しなかった。

なお、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ある

文 献

- 1) K.Nishioka, H.Oshima, I.Sugiyama and H.Fujikawa: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 740.
- 2) M.Yamamoto, K.Nishioka, I.Sugiyama, S.Suyama, H.Oshima, T.Yamada, H.Fujikawa and A.Dobashi: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 99.
- 3) M.Tate: *J. Fuel Soc. Jpn.*, **39** (1960), 127.
- 4) H.C.Nandi, S.B.Chaudhury, M.S.Iyengar and A.Lahiri: *J. Inst. Fuel*, **36** (1963), 118.
- 5) I.V.Eremin, Y.V.Pushkarev, G.V.Speranskaya and G.I.Bereitnova: *Coke Chem. USSR*, No. 4 (1974), 18.
- 6) 鉄鋼界報, 第1041号, (1975), 7.
- 7) W.Reerink: *J. Inst. Fuel*, **43** (1970), 285.
- 8) 成型コークス製造に関する基礎資料 (科学技術庁資源調査所資料第29号), 日本鉄鋼協会, 東京, (1974), 26.
- 9) W.Hermann and R.Schmit: *Agglomeration 77*, Vol. 2, AIME, New York, (1977), 970.
- 10) Y.Sunami: *J. Fuel Soc. Jpn.*, **58** (1979), 985.
- 11) M.Matsuura, M.Sasaki, K.Saito, K.Kato and I.Komaki: *Tetsu-to-Hagané*, **89** (2003), 565.
- 12) T.Takanohashi, K.Masaki, T.Yoshida, K.Hanaoka and A.Dobashi: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 760.
- 13) Y.Kubota, T.Arima, K.Kato, M.Matsuura, H.Nakai and M.Sasaki: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 965.
- 14) K.Hanaoka, K.Nushiro and K.Igawa: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 103.
- 15) K.Hanaoka, K.Nushiro, S.Itagaki and K.Igawa: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 966.