

# 炭材内装熱間成型ブリケットの強度発現機構

笠井 昭人\*・松井 良行\*・野間 文雄\*・岩切 治久\*・清水 正賢\*<sup>2</sup>

Cold Strength Enhancement Mechanism of Carbon Composite Iron Ore Hot Briquet

Akito KASAI, Yoshiyuki MATSUI, Fumio NOMA, Haruhisa IWAKIRI and Masakata SHIMIZU

**Synopsis :** Hot briquetting process was proposed as a new manufacturing method of carbon composite iron ore briquet. The process was a binder-less briquetting in use of thermal plasticity of coal. The briquet by hot briquetting was higher apparent density and lower porosity than a cold bonded briquet.

In order to enhance a cold strength and an apparent density of the briquet, the briquet was made by a double roll type briquetting machine at various conditions. Effects of hot briquetting conditions and coal properties on the briquet properties were investigated and the cold strength was discussed relating to pore structure of the briquet.

Porosity and crushing strength of the briquet changed with hot briquetting temperature. Crushing strength of the briquet had a maximum value at near temperature standing at maximum fluidity of coal measured by Gieseler plastometer. Increasing maximum fluidity as caking property of coal, crushing strength of the briquet increased with decreasing in the briquet porosity and increasing in coherence to coal and iron ore.

**Key words :** hot briquetting; carbon composite iron ore briquet; crushing strength; porosity; maximum fluidity.

## 1. 緒言

高炉法に変わる製鉄プロセスの新規開発やその高効率化、製鉄所内で発生するダストやスラッジ処理をはじめとする環境問題への対応あるいは将来的な鉄鉱石資源の微粉化への対処法の一つとして炭材内装塊成鉱が注目されている。炭材内装塊成鉱は石炭、鉄鉱石、ダスト、スラッジ等をペレットやブリケット状に塊成化したもので、従来コールドボンド法で製造され回転炉床炉を中心に使用されてきたが、近年高炉<sup>1-6)</sup>をはじめとする一部の豎型炉でも使用され始めている。高炉での使用量は少量であるが、使用上の問題点として、結晶水や附着水の影響によるシャフト上部での昇温・還元遅れ<sup>4,5)</sup>、セメント等のバインダーに由来するスラグ比の増加や冷間強度不足による炉頂排出ダストの増加等が指摘<sup>1,2)</sup>されている。さらに、製造面の課題として、輸送や装入等に必要強度(500N程度)を得るための養生に長い時間<sup>1,2)</sup>と広大な用地を要する点が挙げられる。

炭材内装塊成鉱の還元挙動に関しては、還元反応機構の解明や還元速度向上、金属化率向上等を目的とした基礎的な研究が精力的に実施され、その還元反応は塊成鉱内の伝導伝熱律速<sup>7,8)</sup>であり、還元速度の向上には石炭と鉄鉱石との接触面積の増加、すなわち塊成鉱の密度向上が有効である<sup>9,10)</sup>ことが明らかにされている。

コールドボンド法による炭材内装塊成鉱の製造面と使用面での課題に対応しつつさらに還元の高速度化を図ることを目的に、最近バインダーレスで高密度・高強度な炭材内装塊成鉱を製造する方法として熱間成型法、すなわち石炭粉と鉄鉱石粉とを石炭が熱可塑性を示す温度域に加熱し加圧成型する方法が提案されている<sup>10)</sup>。熱間成型法は、石炭が軟化溶解した状態で成型するためバインダーを必要とせず、密着性が高く(高密度、低気孔率)、高強度な塊成鉱が製造可能である。

炭材内装塊成鉱は多孔体の一種であり、その冷間強度は気孔構造と密接に関係していると想定される。しかしながら、原燃料性状や熱間成型条件と塊成鉱の気孔構造との関係や、塊成鉱の強度向上に向けた適正な原燃料性状や熱間成型条件、すなわち炭材内装塊成鉱の強度発現機構に関しては検討が十分とはいえない。

そこで、本報では高強度な炭材内装塊成鉱の製造を目的に新たに開発した熱間成型法と、熱間成型条件や石炭性状が気孔構造や基質構造を介して塊成鉱の冷間強度に及ぼす影響について基礎的検討を行った。

## 2. 熱間成型法

石炭と鉄鉱石との熱間成型プロセスのフロー図を Fig. 1 に示す。事前に予熱した石炭粉と鉄鉱石粉とを所定の割合

平成 12 年 8 月 31 日受付 平成 12 年 12 月 18 日受理 (Received on Aug. 31, 2000; Accepted on Dec. 18, 2000)

\* (株) 神戸製鋼所加古川製鉄所 (Kakogawa Works, Kobe Steel, Ltd., 2222-1 Ikeda Onoe-cho Kakogawa 675-0023)

\* 2 (株) 神戸製鋼所加古川製鉄所 (現: 九州大学大学院工学研究院) (Kakogawa Works, Kobe Steel, Ltd., now Faculty of Engineering, Kyushu University)

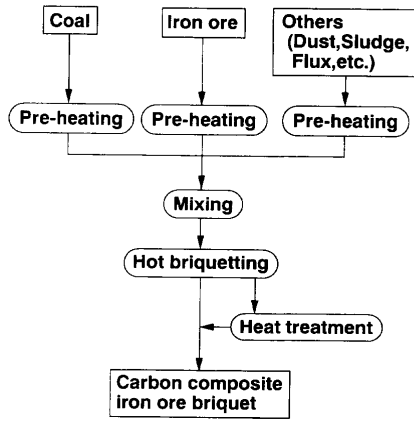


Fig. 1. Process flow of hot briquetting.

で混合し、石炭が熱可塑性を発現する温度域まで昇温した熱間状態で加圧成型し、塊成鉱を製造する。この方法は、石炭の熱可塑性を利用し、石炭が軟化溶解した状態で成型するためバインダーを必要としない点に特徴がある。

なお、原料として石炭と鉄鉱石以外に、石炭以外の炭材、炭材と酸化鉄を主体とするダスト・スラッジや脱硫材等の副原料を添加する場合もある。また、石炭の予熱温度は石炭加熱時に生じる装置への付着防止や昇温・保持中の粘結性低下防止の観点から加圧成型温度より低めに設定し、加圧成型温度より高めに予熱した鉄鉱石と混合することによって鉄鉱石の顕熱で一気に成型温度域まで昇温する方法が望ましいと想定される。さらに、塊成化物の脱ガスを目的に、熱間成型後に熱処理を施しても良い。

### 3. 実験方法

#### 3.1 試料

##### (1) 石炭粉

石炭性状として、工業分析値、ピトリニットの平均最大反射率および流動性を Table 1 に示す。流動性は、ギーセラープラストメータにて、最高流動度、軟化開始温度、最高流動度温度、固化温度を JIS M 8801 に準じて測定した。ピトリニットの平均最大反射率は JIS M 8816 に準じて測定した。石炭 A は流動性を全く示さない一般炭であり、石炭 B から石炭 L へと最高流動度が低い順に並んでいる。石炭粉のサイズ（レーザー回折・散乱式粒度分析計にて測定）は、74 μm 以下の重量割合が 70~80% で、鉄鉱石粉と同等である。

##### (2) 鉄鉱石粉

試料として鉄鉱石ペレット用の微粉鉄石を用いた。成分は全鉄=67.8%、金属鉄<0.1%、FeO=1.7%、サイズ（レーザー回折・散乱式粒度分析計にて測定）は 74 μm 以下の重量割合が 76% で、一定である。

#### 3.2 熱間成型装置と方法

熱間成型装置の概略図を Fig. 2 に示す。オイルヒーター

Table 1. Coal properties.

Coal No.	Proximate analysis		Ro (%)	Log(MF) (-)	TS (°C)	TMF (°C)	TR (°C)
	VM	Ash					
	(dry basis, %)						
A	42.5	6.7	0.58	-	-	-	-
B	20.5	10.4	1.27	0.90	434	468	492
C	17.2	10.2	1.56	1.00	450	482	504
D	21.5	9.6	1.25	1.67	418	462	496
E	26.9	8.5	0.95	1.94	409	446	476
F	35.9	7.7	0.69	2.05	406	435	458
G	20.0	10.1	1.37	2.60	414	467	502
H	23.0	10.6	1.14	2.73	408	458	496
I	35.5	9.1	0.88	3.30	394	439	471
J	34.4	6.4	0.86	3.54	388	440	477
K	25.8	9.0	1.15	3.67	396	457	499
L	29.4	7.1	1.01	4.37	376	450	490

VM : Volatile matter  
Ro : Mean maximum reflectance  
MF : Maximum fluidity (ddpm)  
TS : Softening temperature  
TMF : Temperature of maximum fluidity  
TR : Resolidification temperature

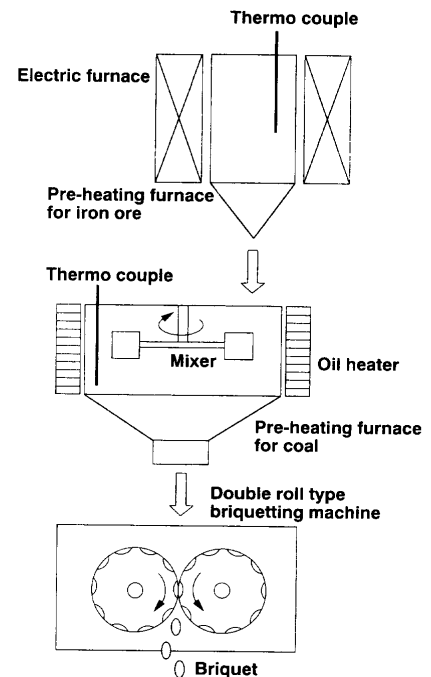


Fig. 2. Hot briquetting machine.

で約 250°C に保温した高速ミキサー（容量：20l、攪拌翼回転数：240rpm）を用いて石炭を約 200°C に予熱後、別途電気炉にて 600~750°C に予熱した鉄鉱石を所定割合で混同し、試料温度が一定になるように約 30 秒間高速攪拌した。目標温度に加熱保持した試料を双ロールタイプの成型器（ロール：径 650mm×幅 140mm。ポケット：76×3列）で熱間成型し、塊成鉱（以下、ブリケット）を製造した。

ブリケットの仕様は、形状は卵型で、サイズは  $l=30$  mm,  $w=25$  mm,  $t=17$  mm、体積は約 6 cm<sup>3</sup> である。

試料温度（以下、熱間成型温度）が目標温度になるよう、鉄鉱石の予熱温度を調節した。また、石炭の予熱温度から熱間成型温度までの昇温速度は約 10°C/s である。

なお、ブリケット性状に及ぼす熱間成型条件や石炭性状の影響が明瞭になるよう、成型器の入口部に噛み込み装置

(押し込み装置)は設けていない。

### 3.3 熱間成型条件

熱間成型条件として、成型温度と成型圧力の影響を検討した。成型温度は、軟化開始温度より若干低い温度域から固化温度より若干高い温度域までである。成型圧力(線圧)は0.8~5.5 t/cmである。成型器の回転速度は6.0 rpmで、一定である。

石炭と鉄鉱石の配合比率は、石炭Kを用いた時に不活性ガス雰囲気下で炭素量が還元必要量以上となるよう(直接還元後に炭素が若干残留するよう)に、石炭:鉄鉱石=22 mass%:78 mass%(一定)とした。なお、石炭Kの元素分析値は、C=80.2, H=4.6, N=1.4, S=0.8 (dry basis, %)である。

### 3.4 ブリケットの性状評価方法

熱間成型法にて製造したブリケットは自然冷却した後、以下の方法で性状を評価した。

#### (1) 歩留

+10 mm, +15 mm歩留は、成型器を通過した試料重量(約10 kg)に対する10 mm以上、15 mm以上のブリケット塊の重量割合である。

なお、以下の性状評価には成型器の型枠に近い形状に成型できたブリケットを用いた。

#### (2) 見掛密度

ブリケットの体積は鉄鉱石ペレットの体積測定方法(JIS M 8719)に準じて水銀法で測定した。見掛密度はJIS M 8716に準じて算出した20点の平均値である。

#### (3) 圧かい強度

圧かい強度は、鉄鉱石ペレットの圧かい強度測定法(ISO 4700)に準じて測定した20点の平均値である。

#### (4) 気孔構造

水銀圧入式ポロシメーターにて気孔径分布(測定範囲:0.0055~500  $\mu\text{m}$ )を測定し、開気孔率(以下、気孔率)と体積平均径(以下、気孔平均径)を求めた。試料は上記ブリケットを4等分し、表面を平滑に研磨したものである。

## 4. 実験結果と考察

### 4.1 熱間成型法と冷間成型法で製造したブリケットの性状比較

#### (1) 物理的性状の比較

石炭Jを用いた場合の熱間成型法と冷間成型法におけるブリケットの性状を比較した。なお、冷間成型は熱間成型と同様の装置を用いて以下の条件で実施した。バインダーはコーンスターチで、所定量外枠で添加した。混合水分は外枠で8%である。ブリケットの性状評価は、冷間成型終了後、108°Cで3時間乾燥した後に実施した。

Table 2に製造条件と物理的性状の比較を示す。冷間成型ではバインダー添加量を増加すると圧かい強度が高くなっ

Table 2. Comparison of hot briquetting and cold briquetting.

	Hot briquetting	Cold briquetting	
[Condition]			
Coal number		J	
Binder	Kind	-	Corn starch
	Ratio (mass%)	-	2
Briquetting pressure (t/cm)		2.0~2.9	
Briquetting temperature (°C)	440	Room temperature	
[Result]			
Yield (+15mm,%)	87.5	85.7	89.5
Crushing strength (N)	8.66x10 <sup>2</sup>	5.56x10 <sup>2</sup>	8.80x10 <sup>2</sup>
Apparent density (kg/m <sup>3</sup> )	2.70x10 <sup>3</sup>	2.41x10 <sup>3</sup>	2.39x10 <sup>3</sup>
Porosity (%)	13.0	22.2	21.5
Median pore diameter ( $\mu\text{m}$ )	1.00	0.99	0.43

ており、今回の条件では4%の添加量で熱間成型時と同等の圧かい強度になっている。歩留も圧かい強度と同様の傾向を示している。さらに、熱間成型したブリケットは冷間成型したものに対して気孔率が低く、見掛密度が1割程度高くなっている。以上より、熱間成型では気孔率が低下することにより圧かい強度が増加しているのに対し、冷間成型では気孔率はほぼ一定でもバインダーを添加して基質強度が向上することにより圧かい強度が増加していると推察され、成型方法によって強度発現機構が異なっていることがわかる。なお、セメント等をバインダーとした<sup>1,2)</sup>冷間成型では、バインダー添加量を増加し強度向上を図った時の問題点として、鉄品位の低下やスラグ比の増加が挙げられる。

#### (2) 接合状態と気孔構造の比較

熱間成型と冷間成型で製造したブリケットの接合状態と気孔構造の相違を光学顕微鏡観察によりミクロ的に調べた。その比較をFig. 3に示す。成型条件はTable 2と同等である。熱間成型では石炭(灰色)は軟化溶解し、石炭同士で結合するとともに、鉄鉱石(白色)の間隙に進入して鉄鉱石を覆っており、石炭と鉄鉱石の接合面積が大きくなっている[流動結合タイプ]。一方、冷間成型では圧密により鉄鉱石と石炭は接触しているが、その接触形態は点接触で、接合面積は小さくなっている[接触結合タイプ]。さらに、冷間成型ではTable 2の結果同様、気孔部分(黒色)が認められ、顕微鏡観察からも熱間成型の方が見掛密度が高く、気孔率が低くなっていることが容易に確認できる。

### 4.2 炭材内装熱間成型ブリケットの性状

#### 4.2.1 熱間成型条件の影響

##### (1) 歩留と外観形状

石炭Kを用いた場合のブリケットの+10 mm歩留に及ぼす成型温度と成型圧力の影響をFig. 4に示す。今回のブリケット製造方法はバッチ式なため、製造初期と末期は原料の成型器への噛み込み性が悪く、いずれの条件でも歩留が低くなる。したがって、本法での歩留90%という値は成型初期と末期を除く定常状態(無次元時間で0.1~0.9。無次元時間=成型時間/全成型時間)では100%に近い歩留値を表している。また、+10 mm以上のブリケットは多少

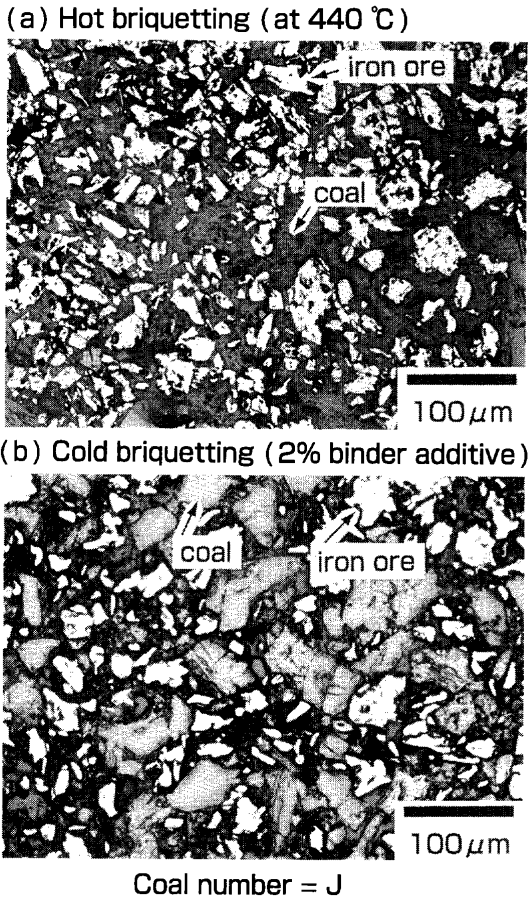


Fig. 3. Comparison of hot briquetting and cold briquetting on microstructure of briquet.

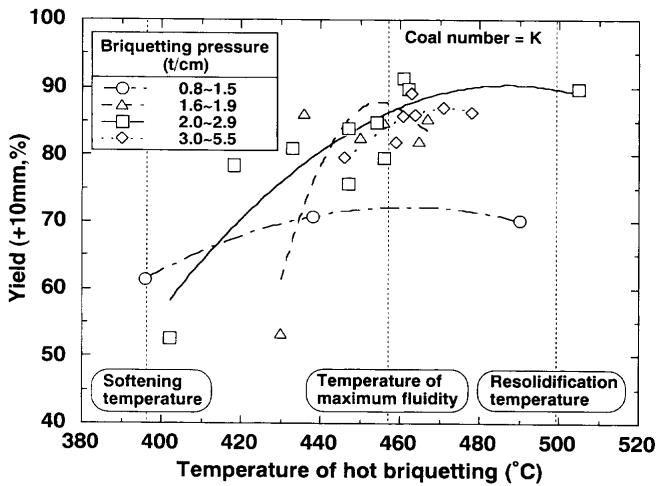


Fig. 4. Effect of hot briquetting temperature and pressure on yield.

耳が付いてはいるものの、欠け落ちすることなく、成型器の型枠に近い形状を保っていた。

成型温度が高くなると歩留は高くなる傾向にあり、特に最高流動度温度以下の時にその傾向は顕著である。また、軟化開始温度以下の温度域では5mm以下の粒状または供与粉のままですべて成型できず、熱間成型法が石炭の流動性に強く依存していることがわかる。成型温度440°C（最高

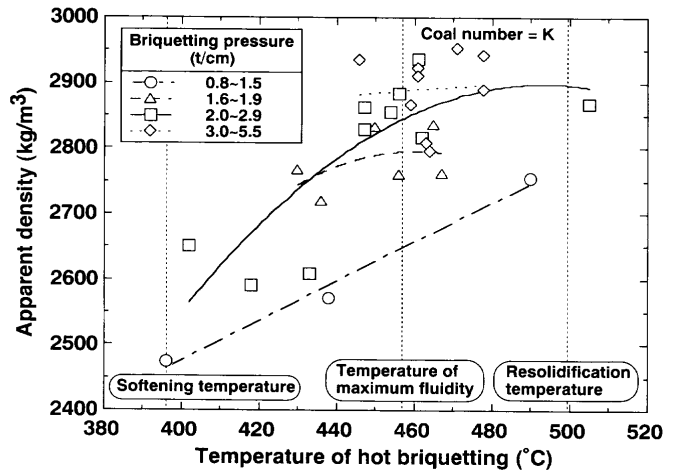


Fig. 5. Effect of hot briquetting temperature and pressure on apparent density.

流動度温度近傍) 以上の範囲で同一成型温度で比較すると、歩留は、成型圧力が1.6 t/cm以上では同等であるが、1.5 t/cm以下では測定点数は少ないが大きく低下している。成型圧力が4 t/cm以上になると、ガス発生によると思われる冷間成型時には認められない表面割れがわずかに確認された。

以上より、高歩留を得るには、成型圧力は1.6 t/cm以上で成型温度は最高流動度温度以上が望ましいことが明らかになった。

(2) 見掛密度

ブリケットの見掛密度に関し、成型温度と成型圧力の影響をFig. 5に示す。データにばらつきはあるが、同一成型温度で比較すると、成型圧力が高くなると見掛密度は高くなる傾向にあり、1.6 t/cm以上の成型圧力ではその影響は小さくなっている。一方、成型温度の影響について見ると、成型温度が高くなると見掛密度は高くなる傾向にあり、その影響は成型圧力が小さく、成型温度が低い時、特に最高流動度温度以下の時に顕著である。

以上より、見掛密度を高くするには、成型圧力は1.6 t/cm以上、成型温度は最高流動度温度以上が適正である。また成型温度が低い時は成型圧力を上げることにより、成型圧力が低い時は成型温度を上げることにより見掛密度の向上を補えることが明らかになった。

(3) 圧かけ強度

ブリケットの圧かけ強度に及ぼす成型温度と成型圧力の影響をFig. 6に示す。圧かけ強度は成型温度や成型圧力に対して、歩留や見掛密度と類似した依存性を示している。成型圧力2.0~2.9 t/cmでの圧かけ強度は最大 $1.20 \times 10^3$  Nで、成型温度が軟化開始温度から最高流動度温度の範囲では成型温度の上昇ともない増加し、それ以上の温度域では成型温度が上昇すると逆に低下している。これは、最高流動度温度以下の温度域では温度の上昇とともに石炭の熱可塑性が増加するが、それ以上の温度域では急激に熱可塑

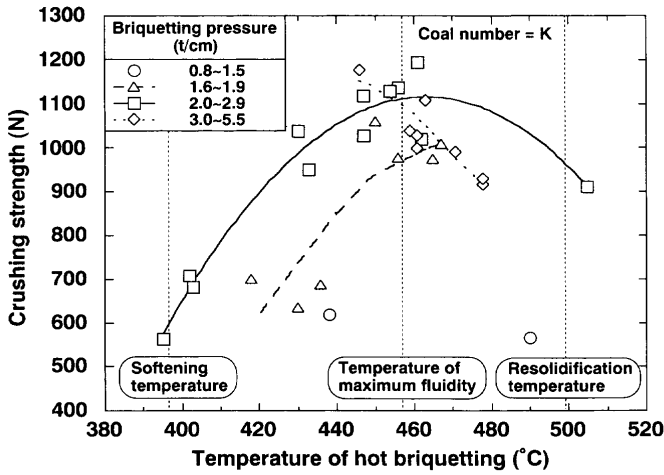


Fig. 6. Effect of hot briquetting temperature and pressure on crushing strength.

性を失うとともにガス発生量の増加によりガス放出圧力が成型圧力を弱めるためと推察される。また、圧かい強度が最大値を示す温度域は成型圧力により異なり、近似曲線より成型圧力が低い時はより高温側に、成型圧力が高い時はより低温側に移行するものと想定される。測定点数は少ないが、成型圧力が1.5 t/cm以下では圧かい強度は大幅に低下している。

以上より、圧かい強度を高くするには、成型圧力は1.6 t/cm以上で成型温度は最高流動度温度近傍が望ましいことが明らかになった。

#### 4.2.2 石炭性状の影響

性状の異なる石炭を用いて熱間成型を試み、ブリケットの圧かい強度に及ぼす石炭性状の影響について検討した。なお、成型圧力は圧かい強度への影響が小さい領域である2.0~2.9 t/cmである。

石炭C, D, E, F, Lを試料として用い、圧かい強度の成型温度依存性をFig. 7に示す。なお、横軸は熱間成型温度THBと最高流動度温度TMFの差THB-TMFである。圧かい強度は、いずれの石炭を用いた場合も上に凸の曲線を示しており、軟化開始温度以下ではほとんど成型できなかった。圧かい強度が最大値を示す温度域は最高流動度温度と固化温度の間にあり、最高流動度が低い石炭を用いるとその温度は高温側に移行する傾向にある。これは、本法での石炭昇温速度は約10°C/sでギーセラープラストメータによる流動性測定時の3°C/minに比して大きく、一般に<sup>11)</sup>昇温速度が大きくなると最高流動度は高くなり、最高流動度温度が高温側に移行することや、成型温度が高くなると石炭の昇温速度が少し高くなること等が影響していると推測される。また、最高流動度が高い石炭を用いた場合、軟化開始温度近傍から固化温度近傍の成型温度での流動度が低い領域を含むすべての温度範囲で最高流動度が低い石炭を用いた場合に比して高い圧かい強度を示しており、成型温度での流動度と圧かい強度との間に相関は認められない。さ

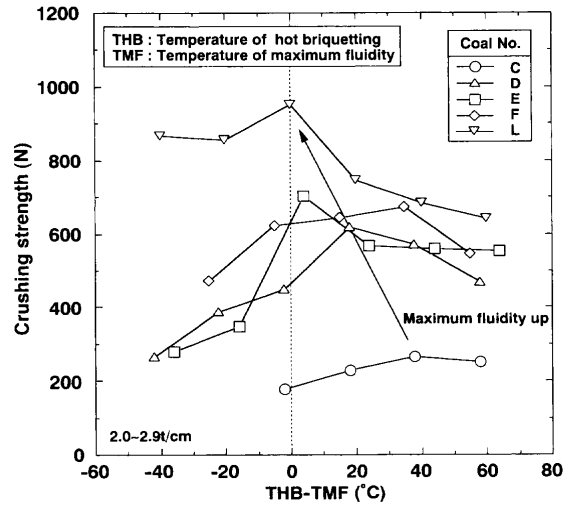


Fig. 7. Hot briquetting temperature dependence of crushing strength for different coal.

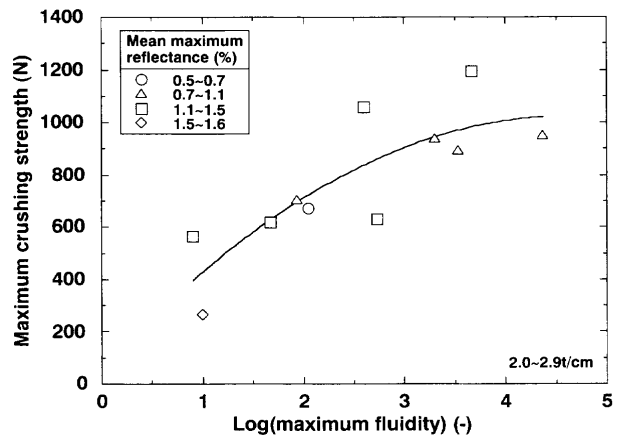


Fig. 8. Effect of coal properties on maximum crushing strength.

らに、最高流動度の高い石炭は熔融温度幅（固化温度－軟化開始温度）が広い<sup>12)</sup>ことから、熱間成型法には最高流動度が高い石炭ほど適していると考えられる。

次に、石炭の性状を表す指標としてギーセラ－の最高流動度とビトリニットの平均最大反射率を用い、ブリケットの圧かい強度の最大値（種々の温度で熱間成型した結果の最大値）との関係をFig. 8に示す。ここで、流動性を全く示さない石炭Aではいずれの温度でも成型することができなかったため、Fig. 8に使用した石炭種は石炭B~Lである。最高流動度が高くなると、圧かい強度の最大値は増加している。高炉用コークスの製造においては流動性一定の場合、石炭化度が高くなると繊維質部分の強度すなわち基質強度が高くなることにより冷間強度が増加する<sup>13)</sup>のに対し、炭材内装熱間成型ブリケットでは、ビトリニットの平均最大反射率の影響は確認されない。これは、炭材内装ブリケットは石炭と鉄鉱石との複合体で、基質部分の強度は石炭と鉄鉱石との接着性すなわち粘結性の一環である最高流動度に依存することと、石炭の体積比率が50%程度のた

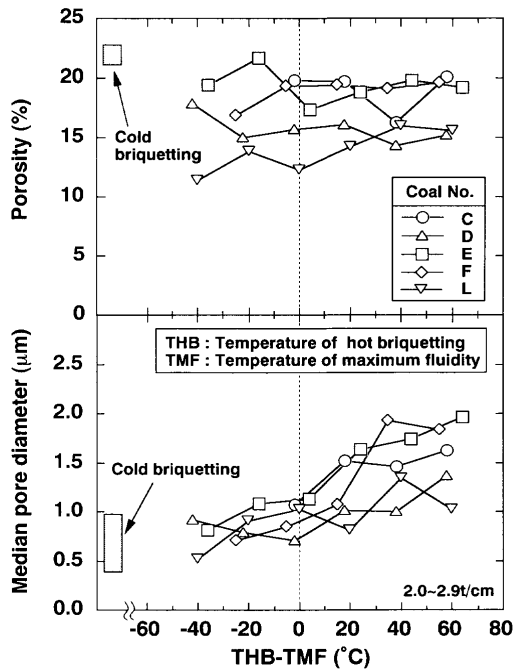


Fig. 9. Hot briquetting temperature dependence of porosity and median pore diameter for different coal.

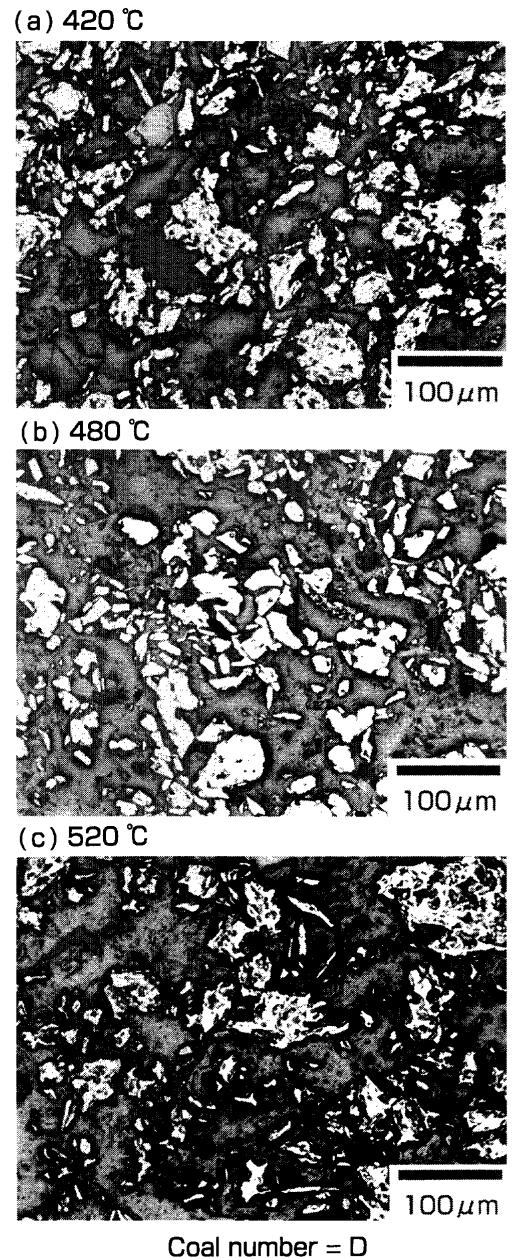
め石炭基質部分の強度である石炭化度すなわちビトリニットの平均最大反射率の影響が出難いためと推察される。

以上より、ブリケットの圧かけ強度向上には最高流動度の高い石炭の使用が適していることが明らかになった。

#### 4・2・3 気孔構造および接合状態と冷間強度との関係

石炭C, D, E, F, Lを試料として用い、気孔率および気孔平均径の熱間成型温度依存性を調べた。その結果を Fig. 9 に示す。気孔率は石炭種と成型温度により大きく変化しており、いずれの条件でも冷間成型時よりは低下している。気孔率の成型温度依存性は軟化開始温度近傍の低い温度域ではばらつきが大きいものの、最高流動度温度と固化温度の間に最小点を持つ下に凸の傾向を呈しており、Fig. 7 の圧かけ強度との相関が伺える。一方、気孔平均径は石炭種によらず、成型温度が最高流動度温度より低い時は冷間成型時と同等で、それ以上になるとわずかに増加している。気孔率と気孔平均径の値は高炉用原料の一つである鉄鉱石ペレット (20数%, 数 $\mu\text{m}$ ) より小さくなっている。

ここで石炭Dを試料とし、異なる温度で熱間成型したブリケット断面の顕微鏡写真をFig.10に示す。軟化開始温度より若干高い温度 (420°C) で成型した時は、未熔融の角張った石炭 (灰色) が多数存在しており、石炭粒子同士の境界も一部確認できる。未熔融の石炭部分は Fig. 3 の冷間成型時に類似している。また、気孔 (黒色) も確認できる。圧かけ強度が最大値を示す温度 (480°C) では、石炭は溶融して鉱石 (白色) 粒子の間隙を埋め、鉱石と良く接合しており、気孔はほとんど認められない。さらに固化温度より高い温度 (520°C) まで昇温して成型すると、石炭と鉱石の境界部において気孔が増大している。またこの温度では、



Coal number = D

Fig. 10. Effect of hot briquetting temperature on microstructure of briquet.

熱分解ガスの生成により石炭中に小さな気泡や筋が発生している。このように、成型温度が変化すると気孔構造も変化することが顕微鏡観察から確認された。

一般に多孔体の破壊強度は気孔率と基質強度の関数で整理できる<sup>14)</sup>ことから、圧かけ強度と気孔率との関係について調べた。Fig.11は、成型温度の異なるものを含めた両者の関係である。ばらつきはあるものの、気孔率が高くなると圧かけ強度は低下する傾向にある。各々の石炭に着目すると、成型温度が変化すると気孔率が変化し、その変化に応じて圧かけ強度が変化している。ただし数種類の石炭については軟化開始温度近傍で成型した時のみ鉄鉱石との接着性が不足しその関係から大きく外れている。一方、石炭の最高流動度が高くなると気孔率が低下するとともに、

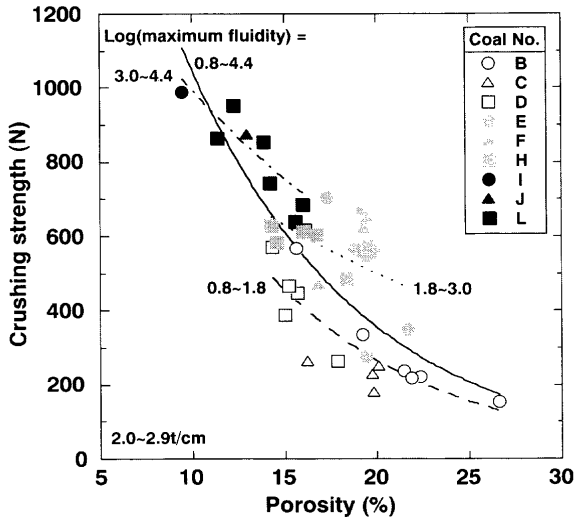


Fig. 11. Relationship between crushing strength and porosity for different coal and hot briquetting temperature.

同一気孔率での圧かけ強度すなわち基質強度が大きくなっている。

以上より、ブリケットの圧かけ強度は他の多孔体と同様に気孔率と基質強度で説明でき、ブリケットの強度向上のためには、適正な成型温度を選定して気孔率を低くするとともに、石炭種としては最高流動度の高い石炭を選択して気孔率を低くするとともに石炭と鉄鉱石の接着性を高める、すなわち基質強度を高めることが重要であることが明らかになった。

今後は、炭材内装熱間成型ブリケットの製造条件のさらなる適正化へ向けて、石炭配合の影響や石炭と鉄鉱石サイズの影響について検討するとともに、ブリケットの還元挙動についても検討していきたい。

## 5. 結言

石炭と鉄鉱石とを高密度かつ高強度に接合可能な方法として、石炭の熱可塑性を利用したバインダーを用いない熱間成型法を開発し、冷間成型時とブリケットの性状を比較した。

(1) 石炭と鉄鉱石との結合形態は、冷間成型時は接触結合タイプであるのに対し、熱間成型時は流動結合タイプ

である。

(2) 熱間成型法で製造した炭材内装ブリケットは、冷間成型したものに比して石炭と鉄鉱石との接合面積が大きく、高密度・低気孔率な多孔体である。

さらに、炭材内装熱間成型ブリケットの冷間強度向上を目的に、熱間成型条件や石炭性状の影響について気孔構造と関連付けて検討し、以下の知見を得た。

(3) 熱間成型温度に応じてブリケットの気孔率は変化し、最高流動度を示す温度近傍で成型すると圧かけ強度が高くなる。

(4) 最高流動度が高い石炭を用いると、ブリケットの気孔率が低下するとともに石炭と鉄鉱石との接着性が増し、圧かけ強度が高くなる。

本研究の一部は、科学技術庁の平成11年度科学技術振興調整費による「エネルギー半減・環境負荷ミニマムを目指した高炉における革新的製錬反応に関する研究」の一環として遂行されたものであり、ここに謝意を表します。

## 文 献

- 1) T.de Bruin and L.Sundqvist: Proc. 2nd Int. Cong. on Science and Technology of Ironmaking (ICSTI '98)/57th Ironmaking Conference Proceedings, ISS, Warrendale, (1998), 1263.
- 2) L.Sundqvist Okvist, K.-O.Jonsson, H.-O.Lampinen and L.-E.Eriksson: Seminar on Sinter and Pellets, IISI, Brussels, (1999), 200.
- 3) K.Kojima, T.Miwa, M.Gounou, A.Yumura, S.Suzuki and J.Haruna: *Tetsu-to-Hagané*, **69** (1983), S780.
- 4) M.Inoue, H.Watanabe, H.Kamiyama, K.Takatani and Y.Oda: *Tetsu-to-Hagané*, **72** (1986), S885.
- 5) S.Takagi, H.Maeda, A.Yumura, K.Takatani, T.Osawa, Y.Hujiwara and K.Mio: *Tetsu-to-Hagané*, **72** (1986), S886.
- 6) Y.-S.Zhou, C.-E.Cao, Z.-C.Ye and L.Chen: 58th Ironmaking Conference Proceedings, ISS, Warrendale, (1999), 23.
- 7) K.Miyagawa, T.Matsumura, Y.Takenaka, T.Sugiyama and T.Harada: *CAMP-ISIJ*, **10** (1997), 115.
- 8) Y.Takenaka, K.Miyagawa, S.Shirouchi and M.Shimizu: *CAMP-ISIJ*, **11** (1998), 905.
- 9) Y.Takenaka, S.Shirouchi, M.Shimizu, R.Ono, T.Kamijo and H.Iwakiri: *CAMP-ISIJ*, **12** (1999), 117.
- 10) S.Shirouchi, M.Shimizu, Y.Takenaka and H.Iwakiri: *CAMP-ISIJ*, **12** (1999), 807.
- 11) D.W.Van Krevelen: Coal Science and Technology 3 Coal Typology-Chemistry-Physics-Constitution, Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, (1981), 271.
- 12) T.Miyazu: *J. Fuel Soc. Jpn.*, **58** (1979), 98.
- 13) Y.Miura: *J. Fuel Soc. Jpn.*, **57** (1978), 384.
- 14) 近藤連一: 多孔材料 性質と利用, 技報堂, 東京, (1973), 169.