

石炭軟化溶融性に及ぼす急速加熱処理の影響

深田 喜代志*・板垣 省三*²・下山 泉*³

Thermoplastic Behavior of Coal under Rapid Heating Conditions

Kiyoshi FUKADA, Shozo ITAGAKI and Izumi SHIMOYAMA

Synopsis : The thermoplastic behavior of coal under various heating conditions was investigated using the rapid heating plastometer that was developed in this study. Coal samples were heated at a rate of 3–1800K/min with this instrument and the torque applied to the stirrer, which rotated at a constant speed, was measured. This torque was converted to apparent viscosity of coal in a plastic state.

As the thermoplastic behavior of coal, minimum apparent viscosity and all the characteristic temperatures corresponding to softening, maximum fluidity and resolidification state observed by Gieseler method was estimated.

Coal thermoplasticity was strongly dependent on the heating rate under the condition of rapid heating. All the characteristic temperatures were shifted to higher values remarkably while the minimum apparent viscosity decreased with the increase of heating rate. The minimum apparent viscosity decreased in case of weathered coal, which never shows Gieseler plasticity, over the heating rate of 1000K/min. The additivity of the minimum apparent viscosity was also examined for blended coals. Though no additivity was observed at low heating rate, with the increase of heating rate the difference between additive value and observed value became small.

Key words: coal; thermoplasticity; rapid heating; plastometer.

1. 緒言

近年、コークス製造コストを削減するため、調湿炭法に代表される事前処理を中心としたコークス製造技術の進展により、比較的安価な非微粘結炭の使用割合を増加させてきた¹⁾。また、非微粘結炭は粘結炭に比較して劣質ではあるが埋蔵量も豊富であり、資源対応力拡大の観点からも益々の使用増が求められている。そこで、幅広い品位の石炭を使用しつつ非微粘結炭の使用割合をさらに増加できる新しいコークス製造技術の開発に目が向けられている。

このような革新的なコークス製造技術を開発するためには、コークス化性に大きな影響を及ぼしている石炭の軟化溶融現象を明らかにし、石炭のもつ性状を最大限に活かせるコークス製造プロセスを確立していくことが重要な課題と考えられる。次世代コークス製造技術として開発が推進されているSCOPE21プロセスでは、急速加熱により石炭を改質し、非微粘結炭の使用量を飛躍的に向上させることを目標としている^{2,3)}。

石炭の軟化溶融状態を示す指標として、従来から膨張性や粘着性などいくつかの評価方法が用いられてきたが、現在では流動性指数の一つであるギーセラー流動度が広く浸透している。この物性値はトルク一定条件下で測定される攪拌子の回転数を指数化したものである。最近では、回転

円筒粘度計の原理に基づいた石炭の粘度評価法⁴⁾やレオメーターによる粘弾性測定⁵⁾など石炭の軟化溶融挙動をより定量的な物理物性値として評価するための新たな測定方法の検討も行われている。

また、石炭の持つポテンシャルを利用して非微粘結炭の軟化溶融性をより精度高く評価する方法についても検討されている。すなわち、石炭軟化特性の測定条件としては加熱速度3K/minが一般的であるが、これを徐々に増加させていくことによりギーセラー流動性が向上することは従来から報告されている^{6,7)}。このような加熱速度効果を利用することにより、ほとんど流動性を示さない非微粘結炭の流動性評価の可能性が示されている⁸⁾。このように、加熱速度を操作することにより、石炭のもつポテンシャルを最大限に引き出して軟化溶融性が評価可能であると考えられる。

しかし、上記に示したこれまでの軟化溶融性測定方法では加熱速度が最大で80K/min程度にとどまり、より急速な加熱条件での評価が行われていなかった。一方で、石炭の試料重量を30mgと少なくすることで急速加熱を実現したプラストメーターの開発も行われている⁹⁾。しかし、試料量が少ないためにギーセラー流動性の最高流動度に相当する低粘度領域での検出精度不足が認められている。

本報告では、これまでの軟化溶融性評価方法の課題を解

平成16年1月8日受付 平成16年4月26日受理 (Received on Jan. 8, 2004; Accepted on Apr. 26, 2004)

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

* 2 JFEスチール(株)スチール研究所(現:(財)金属系材料研究開発センター)(Steel Research Lab., JFE Steel Corp., now The Japan Research and Development Center for Metals)

* 3 JFEスチール(株)スチール研究所(Steel Research Lab. Mizushima, JFE Steel Corp.)

決するため、様々な加熱条件下にて粘結性が評価可能な新しい試験装置を開発し、その試験方法と軟化溶解性の評価方法の基準化を行った。次に、この試験装置を用いて、加熱速度が石炭の軟化溶解性に及ぼす影響を検討するとともに、配合時における軟化溶解性の加成性についても同時に調査を行った。

2. 石炭軟化溶解性評価法の開発

2.1 試験装置

今回新たに開発した急速加熱型プラストメーターの概要を Fig. 1 に示す。本装置は加熱系(A) とトルク検出系(B) で構成されている。石炭は、あらかじめ黒鉛製レトルト(内径φ14mm)と攪拌子の間に一定嵩密度となるように充填された後に加熱系に設置される。石炭は高周波誘導加熱されたレトルト壁からの伝導伝熱により最大1800°C/minの加熱速度で加熱される。試験中の温度は、レトルト下部の熱電対孔とレトルト上部から石炭層に挿入された2本の熱電対(φ1mm)で測定される。石炭の軟化溶解性はモーター駆動により一定速度で回転させた攪拌棒に加わるトルク値を解析して評価を行った。

2.2 測定条件の検討

2.2.1 石炭層内温度勾配

加熱過程における性状評価では試料温度の均一化が重要である。しかし、加熱速度の増加にともない、試料層内の伝熱律速が起因となり層内温度勾配は拡大する。そこで、急速加熱条件下における最適な試料層厚について検討を行った。

Fig. 2 に一般的な軟化溶解性測定方法であるギーセラープラストメーター法で実測した制御温度と石炭層内温度差(壁側石炭温度-炭中温度)の関係を示す。尚、温度測定に際して攪拌棒は停止状態とした。この結果、試料内温度差は通常で10K程度、軟化溶解温度域では若干高く30から40Kの間であることが認められた。そこで、測定条件を標準化するにあたり、試料内温度差の許容値としてはギーセラープラストメーター法での温度差を基準とした。

次に、一次元伝熱計算を行い石炭層厚の試料内温度差に及ぼす影響について解析を行った。石炭の熱物性値(比熱、熱伝導度)には文献値¹⁰⁾を使用した。石炭層厚は0.5, 1.0, 2.0mmの3水準を選定し、加熱面の温度を室温から1000°Cまで加熱速度1000K/minで加熱した場合の石炭層内の温度分布を計算した。Fig. 3 に加熱温度と試料内温度差の関係を示す。石炭層厚の薄層化にともない試料内温度差は大幅に縮小でき、厚みを1.0mm以下にすることで温度差を40K以下に抑制できることが明らかになった。

2.2.2 測定条件の最適化

急速加熱型プラストメーターで測定されるトルクは試料粒度、試料重量、充填嵩密度、攪拌子形状、攪拌速度など

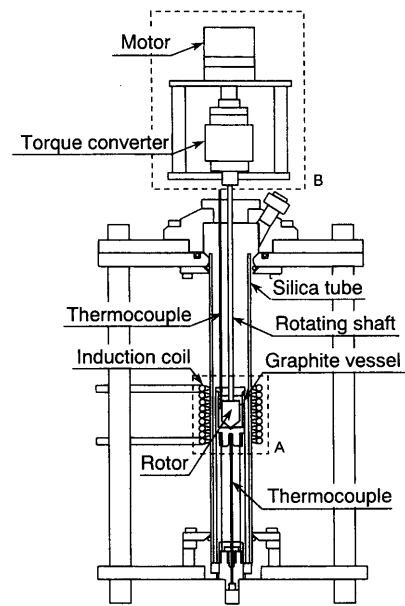


Fig. 1. Schematic illustration of rapid-heating plastometer.

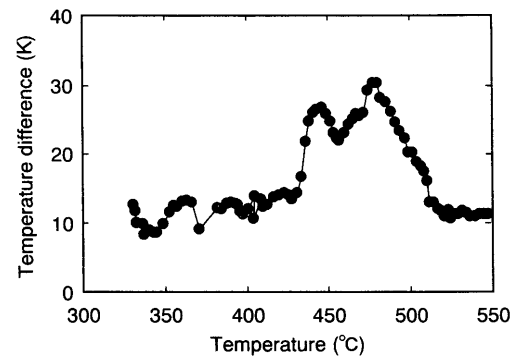


Fig. 2. Change of temperature difference in coal layer at Gieseler plastometer test.

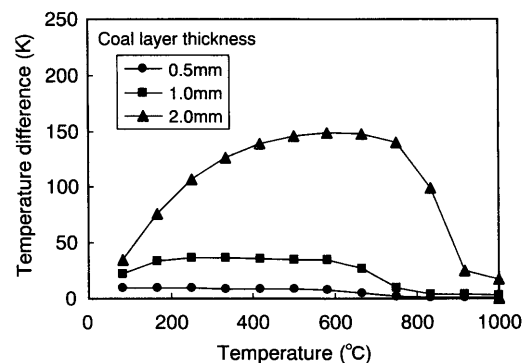


Fig. 3. Prediction of temperature difference in coal layer by simulation model.

の試験条件により検出感度および精度が異なるため、測定条件の基準化を行った。

攪拌子形状には、石炭層厚が薄くでき充填量が確保できる円筒タイプを選択した。Fig. 4 にその形状と大きさを示す。円筒径は石炭層厚を1mmにするためφ12mmとした。ここで、Type 1は攪拌棒の偏芯の影響を受けやすく、測定

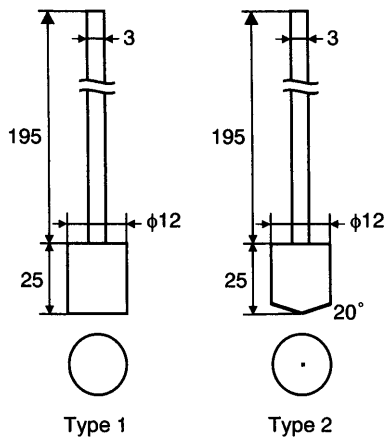


Fig. 4. Details of stirrer for use.

精度の明らかな低下が確認されたことから、Type 2を採用した。試料重量はType 2の攪拌子とレットとの間に安定装入できる量を考慮し1.0gとした。

充填嵩密度は、ギーセラープラストメーター法と同様におもりの自由落下による充填方法で決定した。石炭層上面に560gの静止おもりを置き、200gの可動おもりを25mmの高さから落下、おもりの落下回数が3回以上で嵩密度が一定（嵩密度0.85g/cm³）となることを見出した。尚、おもりの重量は石炭面に加わる圧力がギーセラープラストメーター法と同じになるように決定した。

試料粒度、攪拌速度は、分散分析により交互作用を調査しSN比を求めて試験条件を決定した。試験には性状の異なる2銘柄を使用した。基準化のために選んだ因子と水準をTable 1に示す。石炭粒度を3水準、攪拌速度を3水準、繰返し数2回の試験をランダムに行なった。石炭は1000K/min一定の加熱速度で室温から1000°Cまで加熱し、検出された最小トルク値(Table 2)を評価対象とした。結果をTable 3に示す。主因子効果(S, D, R)はすべて有意であることが確認された。また、各制御因子について(1)式に基づきSN比を求めTable 4にまとめた。表中の下線で示した水準のSN比が一番高いことが明らかになった。

$$SN \text{ 比} = 10 \cdot \log_{10}(\sigma_s^2 / \sigma_e^2) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、主因子Sの分散 σ_s 、誤差分散 σ_e とする。

以上の結果、攪拌子形状がType 2、試料重量が1.0g、充填嵩密度が0.85g/cm³、石炭粒度が60 mesh以下100%、攪拌棒回転速度が0.10 r.p.m.を標準の試験条件として試験を行った。

2.3 軟化溶解性の評価

2.3.1 見掛け粘度の推定

本試験では、Type 2 (Fig. 4)の形状の攪拌子を使用することで回転円筒粘度計と円錐-平板粘度計を組み合わせた粘度測定方法となっている。そこで、軟化溶解状態を非ニュートン流体と仮定し、トルクメーターで検出されたトルク値から以下の方法により見掛け粘度を算出した。

Table 1. Factors and levels.

Factor		Level			
		1	2	3	
Control	Coal size	D	-32 mesh	-60 mesh	-120 mesh
	Revolution	R	0.01 r.p.m.	0.10 r.p.m.	1.00 r.p.m.
Signal	Coal brand	S	Ro=0.77 LogMF=0.7	Ro=0.72 LogMF=0.0	-

Table 2. Minimum torque values.

(Unit: mN·m)

Conditions	Test No.1		Test No.2	
	S1	S2	S1	S2
D1R1	0.3	1.9	0.5	0.5
D1R2	10.4	11.0	11.4	10.1
D1R3	11.2	14.3	9.5	13.6
D2R1	2.1	1.8	0.7	3.0
D2R2	5.4	7.7	5.5	8.2
D2R3	4.4	8.5	6.0	12.2
D3R1	1.8	0.5	1.5	0.7
D3R2	2.2	3.9	1.0	4.3
D3R3	4.6	10.8	4.2	6.4

Table 3. Result of variance analysis.

Factor	Sum	ϕ	F_0
S	37.41	1	** 27.86
D	116.6	2	** 43.41
R	364.08	2	** 135.54
S x D	3.64	2	1.35
S x R	25.88	2	** 9.64
D x R	80.26	4	** 14.94
S x D x R	5.56	4	1.03
e	24.17	18	
T	657.60	35	

Sum: Sum of square
 ϕ : Number of degrees of freedom
 **: F-level < 1.0%, *: 1.0 ≤ F-level < 5.0%

Table 4. Signal-Noise ratio of each level.

Level of factor	Signal-Noise ratio
D1	9.60
<u>D2</u>	<u>11.76</u>
D3	7.78
R1	-3.98
<u>R2</u>	<u>13.73</u>
R3	12.33

(1) 回転円筒部¹¹⁾

円筒流体層におけるずり応力 τ (N/m²)およびずり速度 D_s (s⁻¹)はそれぞれ(2), (3)式で表せる。

$$\tau = \frac{M_1}{2\pi r^2 h} \dots \dots \dots (2)$$

$$D_s = -r \frac{d\omega}{dr} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、トルク M_1 (N・m)、円筒中心軸からの距離 r (m)、円筒部試料高さ h (m)、回転角速度 ω (rad/s) とする。

(2), (3) 式を連立すると(4)式となる。レット外壁は固定のため外筒の回転角速度 $\omega_o=0$ 、攪拌子である内筒の回転角速度 $\omega_i=\omega$ であるから(5)式が得られる。

$$d\omega = -\frac{D_s}{r} dr = \frac{1}{2} \frac{D_s}{\tau} d\tau \dots\dots\dots (4)$$

$$\omega = \int_{\omega_o}^{\omega_i} d\omega = \frac{1}{2} \int_{\tau_o}^{\tau_i} \frac{D_s}{\tau} d\tau \dots\dots\dots (5)$$

また、ずり応力が τ のとき、流体の非ニュートン粘度を η_a (Pa・s) とすると、近似的に $D_s = \tau/\eta_a$ となり、(2) 式を代入すると(6)式が得られる。したがって、回転円筒部での見掛け粘度は(7)式で表せる。

$$\omega = \frac{1}{2\eta_a} (\tau_i - \tau_o) = \frac{M_1}{2\pi h \eta_a} \left(\frac{1}{r_i^2} - \frac{1}{r_o^2} \right) \dots\dots\dots (6)$$

$$\eta_a = \frac{M_1}{2\pi h \omega} \left(\frac{1}{r_i^2} - \frac{1}{r_o^2} \right) \dots\dots\dots (7)$$

ここで、内筒半径 r_i (m)、外筒半径 r_o (m)、内筒部ずり応力 τ_i (N/m²)、外筒部ずり応力 τ_o (N/m²) とする

(2) 円錐-平板部¹¹⁾

回転中心軸から r (m) の距離にある試料の厚み h_c (m) は、平板面と円錐面とのなす角を θ (rad) とすると $h_c = r \tan \theta \approx r\theta$ であるから、ずり速度 D_s は(8)式で表せる。

$$D_s = \frac{r\omega}{h_c} \approx \frac{r\omega}{r\theta} = \frac{\omega}{\theta} \dots\dots\dots (8)$$

回転中心軸から半径が r と $r+dr$ との間の円筒部に存在する流体から円錐に働くトルク dM を求めると(9)式のようになることから、円錐-平板部での見掛け粘度 η_b (Pa・s) は(10)式で表せる。ここで R (m) は円錐径、 M_2 (N・m) は円錐部に作用するトルクを表す。

$$dM = \frac{2\pi\eta_b\omega}{\theta} r^2 dr \dots\dots\dots (9)$$

$$\eta_b = \frac{3\theta M_2}{2\pi\omega R^3} \dots\dots\dots (10)$$

(3) 見掛け粘度

急速加熱型プラストメーターの検出トルク M と M_1 , M_2 の間には(11)式の関係が成立する。

$$M = M_1 + M_2 \dots\dots\dots (11)$$

また、見掛け粘度 η には $\eta = \eta_a = \eta_b$ が成り立つことから、(7), (10), (11) 式を連立すると見掛け粘度 η は(12)式で表せる。

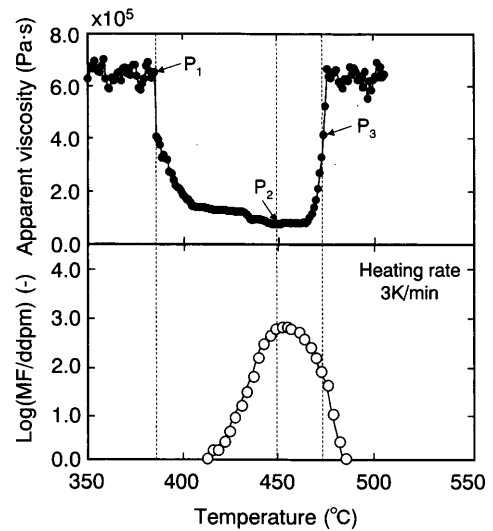


Fig. 5. Apparent viscosity and Gieseler plastometer curve.

$$\eta = \frac{M}{2\pi\omega} \left/ \left\{ \frac{h}{(1/r_i^2 - 1/r_o^2)} + \frac{R^3}{3\theta} \right\} \right. \dots\dots\dots (12)$$

2.3.2 軟化溶融特性値

急速加熱型プラストメーターにより測定される粘度曲線に基づいた軟化溶融特性値の評価方法について検討を行った。

粘結炭 ($\bar{R}_o=1.10$, $\log(MF/ddpm)=2.9$) を 3°C/min で加熱した時の急速加熱型プラストメーターの測定結果を Fig. 5 に示す。比較のためギーセラー流動度曲線もあわせて示した。粘度曲線の P₁ 点から見掛け粘度は急激に減少を開始し、P₂ 点で最小値を示した。さらに加熱を続けていくと見掛け粘度は再度急増し、P₃ 点で見掛け粘度増加速度の最大値が得られた。ギーセラー流動度曲線と対応させ、P₁, P₂, P₃ 点の温度をそれぞれ軟化開始温度、最高流動温度、再固化温度、P₂ 点の見掛け粘度を最小見掛け粘度と定義した。ギーセラー流動性の温度特性値に比較して急速加熱型プラストメーターの軟化開始温度と再固化温度は低い傾向を示した。これは、軟化開始時にはガス発生や石炭粒子の弾性率の低下を、再固化時には試料の収縮などの影響を検出しているためと推察される。

Fig. 6 にギーセラー最高流動度 (MF) と最小見掛け粘度 (加熱速度 10°C/min) の関係を示す。石炭には Table 5 に示した石炭を使用した。最小見掛け粘度は、MF が小さくなるほど大きくなるとともに石炭銘柄間の差異が大きく検出される傾向を示した。本研究では、この最小見掛け粘度を軟化溶融性の評価指標として使用した。

3. 石炭軟化溶融性評価試験

3.1 石炭試料

試験には Table 5 に示した性状の異なる 8 種類の粘結炭

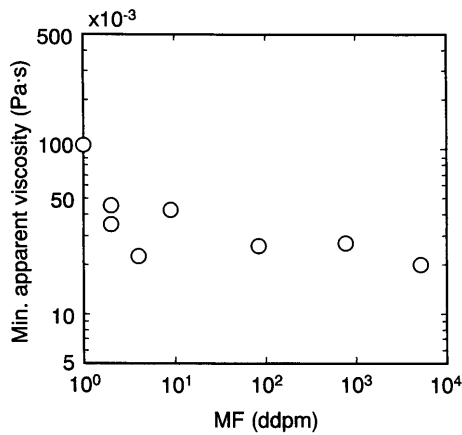


Fig. 6. Relationship between minimum apparent viscosity and MF.

Table 5. Coal properties.

Coal brand	Proximate analysis (mass% d.b.)		Ultimate analysis (mass% d.a.f.)				Gieseler plastometer Log(MF/ddpm)	\bar{R}_o (%)
	ASH	VM	C	H	N	S		
Coal A	6.6	36.1	75.3	4.8	2.1	0.4	0.30	0.63
Coal B	10.9	33.6	72.8	4.5	1.8	0.5	0.30	0.71
Coal C	8.9	39.2	74.1	5.3	1.7	0.5	1.92	0.72
Coal D	7.1	40.4	76.9	5.4	1.9	1.5	3.72	0.73
Coal E	7.6	32.8	77.3	4.7	1.9	0.6	0.95	0.78
Coal F	10.5	31.2	74.6	4.5	1.8	0.5	0.60	0.84
Coal G	8.9	24.6	79.8	4.6	1.7	0.5	2.88	1.10
Coal H	11.4	21.9	77.3	4.1	1.0	0.5	0.00	1.21

(D, G), 非微粘結炭(A, B, C, E, F)および風化炭(H)を使用した。性状が $\bar{R}_o < 0.9$ 且つ $\log(\text{MF}/\text{ddpm}) < 2.5$, あるいは $\log(\text{MF}/\text{ddpm}) < 0.5$ の石炭を非微粘結炭と定義した。風化炭には炭層表面で風化作用を受けた石炭を使用した。また、見掛け粘度の配合による加成型を評価するため、粘結炭 Coal G に非微粘結炭 Coal B, E および風化炭 Coal H を 0 から 100% までの異なる配合率で添加した 2 種配合炭も使用した。尚、気乾石炭を試験直前に乳鉢で所定粒度まで粉碎したものを供試試料とした。

3.2 石炭軟化特性評価

急速加熱型プラストメーターを用い、石炭種および加熱条件の石炭軟化溶解性に及ぼす影響について試験を行った。石炭は一定の加熱速度で室温から 1000°C まで加熱した。加熱速度は 10, 100, 1000, 1800K/min の 4 水準について検討を行った。

4. 結果と考察

4.1 軟化溶解性に及ぼす加熱速度の影響

Fig. 7, 8 にそれぞれ粘結炭 Coal G と非微粘結炭 Coal E の見掛け粘度曲線を加熱速度で層別した結果を示す。いずれの加熱速度においても流動性の高い粘結炭 Coal G の方が軟化溶解時の見掛け粘度ならびに最小見掛け粘度は小さく

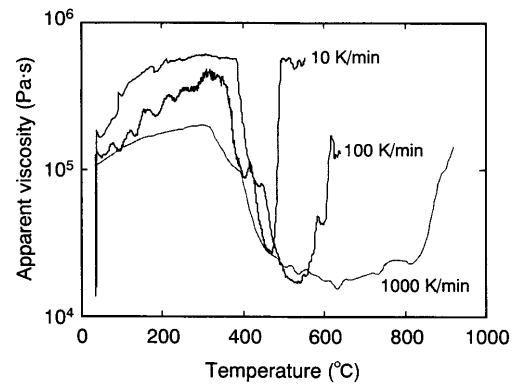


Fig. 7. Influence of heating rate on apparent viscosity curve (Coal G).

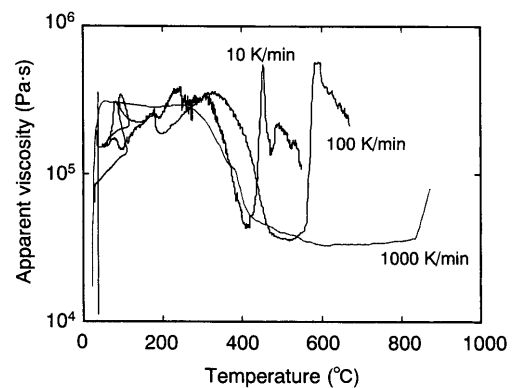


Fig. 8. Influence of heating rate on apparent viscosity curve (Coal E).

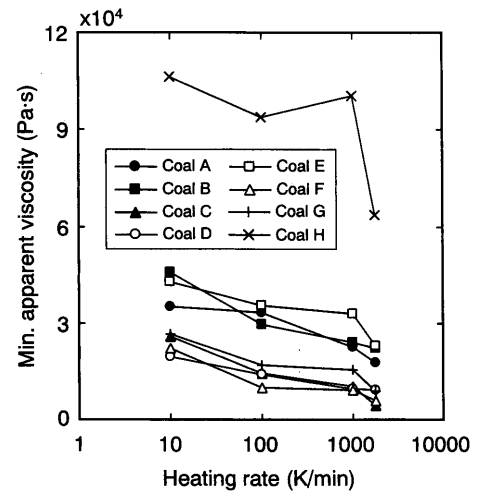


Fig. 9. Effect of heating rate on minimum apparent viscosity.

なった。また、加熱速度の増加にともない最小見掛け粘度は小さくなり、最小見掛け粘度を示す温度は高温側に移行した。

Fig. 9 に 8 種類の石炭の加熱速度と最小見掛け粘度の関係を示す。今回使用したいずれの石炭についても加熱速度の増加にともない最小見掛け粘度は減少し、急速加熱による石炭軟化溶解性の大幅な向上を確認した。また、ギーセ

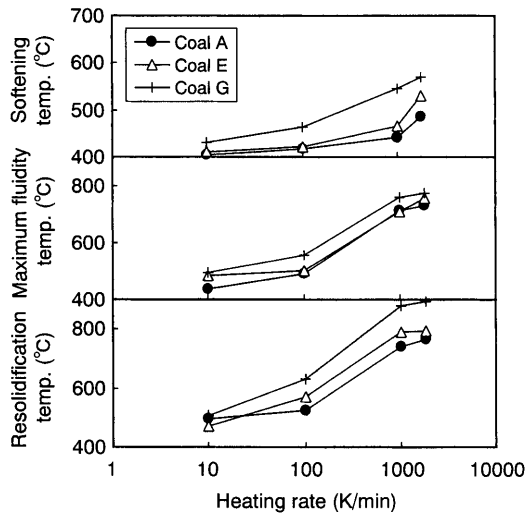


Fig. 10. Effect of heating rate on characteristic temperatures.

ラー流動性を示さなかった風化炭 Coal H についても 1000K/min 以上の加熱速度で熱処理することにより大幅な軟化溶解性の向上を確認した。

Fig.10に Coal A, E, G についての加熱速度と軟化開始温度, 最高流動温度, 再固化温度の関係を示す。高炭化度炭ほどこれら温度特性値は高温側に現れており, ギーセラー流動性の温度特性値と同様な結果が得られた。また, いずれの石炭も加熱速度の増加に伴い温度特性値は高温に移行した。

加熱速度と石炭の軟化溶解性の関係に関して, 10°C/min 以下の緩速加熱下においてはいくつかの実験例は報告されているが, 100K/min 以上の急速加熱時においても同様の挙動を示すことが明らかになった。さらに, 急速加熱処理を行なうことにより, 非微粘結炭の軟化溶解性は緩速加熱処理を行った粘結炭と同程度まで向上するとともに, 風化炭のようなギーセラー流動性をほとんど示さない石炭の軟化溶解性も向上することが確認された。これは, 石炭の加熱速度を増加させると, 反応遅れにより反応が高温に移行するとともに, 単位時間当たりの反応量が増加するためと推察される。また, 石炭を急速加熱処理することにより, 石炭分子の凝集構造が緩和され石炭分子の運動性が向上する効果¹²⁾も影響を及ぼしていると考えられる。

4.2 軟化溶解性の加成性に及ぼす配合条件の影響

次に, 軟化溶解性の加成性を評価するため, 配合炭の急速加熱処理試験を行った。Fig.11に非微粘結炭 Coal E の配合率と最小見掛け粘度の関係を加熱速度で層別した結果を示す。Coal G に比較して Coal E の軟化溶解性が乏しいため, Coal E の配合率の増加にともない最小見掛け粘度は増加傾向を示した。

加熱速度が 10K/min の場合, いずれの配合率においても配合炭の最小見掛け粘度は加成値よりも大きくなった。また, Coal E の配合率が 80% で極大値が認められた。これは,

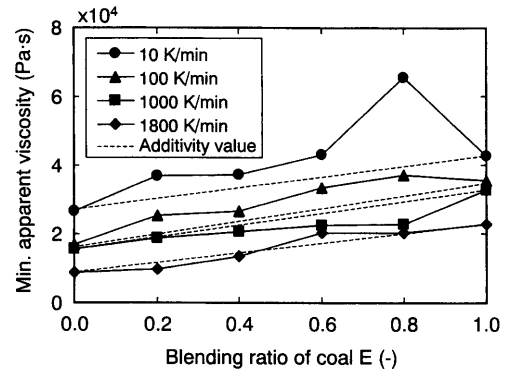


Fig. 11. Additivity of minimum apparent viscosity.

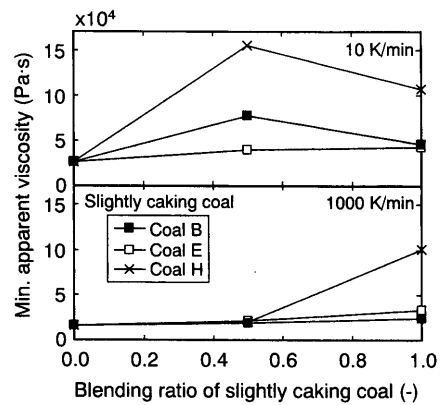


Fig. 12. Effect of slightly caking coal brand on additivity of minimum apparent viscosity.

Coal E と Coal G における軟化溶解温度域 (軟化開始温度から再固化温度までの温度域) の重なり (53K) が小さくなったためと推察される。

一方, 加熱速度をさらに大きくするにつれて, 最小見掛け粘度の加成値からの格差は縮小傾向を示した。これは, 加熱速度の増加にともない, 非微粘結炭 Coal E の軟化溶解性が大幅に改善し, 軟化溶解温度域が広がり (Fig.10), 軟化溶解温度域の重なりが加熱速度 100K/min で 148K, 1000K/min で 322K と増加したためと考えられる。

以上の結果, 緩速加熱条件下で軟化溶解性の配合による加成性が成立しない場合においても, 加熱速度の増加にともない軟化溶解温度域の重なりが大きくなるため, 配合炭の軟化溶解性は加成値に近づくことが認められた。

次に, 配合炭種の影響を確認するため, 粘結炭 Coal G に Coal B, E, H を 1:1 で配合した場合の軟化溶解性の評価を行った。結果を Fig.12 に示す。加熱速度 10K/min ではいずれの石炭を配合した場合も最小見掛け粘度の加成値に比較して実測値は大きくなり, 特に風化炭 Coal H はその格差が非常に大きな結果が得られた。

一方, 加熱速度を 1000K/min に上げた場合, Coal B, E を配合した石炭では加成値と実測値の格差の縮小が認められたが, Coal H を配合した石炭では加成値に比較して実測値が小さくなった。風化炭は縮合反応を制御する供与水素の

存在により改質され、加熱速度が大きいほど効果的であることが報告されていることから¹³⁾、風化炭の軟化溶解性が加熱速度の増加効果と粘結炭からの水素供与効果の2つの効果により大幅に改質されたためと推察される。急速加熱条件下において、表面酸化により粘結性が低下した風化炭は、粘結炭と配合した場合には大幅な軟化溶解性の向上効果を期待できることが示唆される。

5. 結言

(1) 緩速加熱から急速加熱まで様々な加熱条件下での石炭軟化溶解特性が評価可能な急速加熱型プラストメーターを開発し、試験方法と評価方法の基準化を行った。

(2) 急速加熱型プラストメーターの加熱速度10K/minで測定される最小見掛け粘度は、MFが小さくなるほど大きくなるとともに石炭銘柄間の差異が大きく検出された。

(3) 加熱速度の増加とともに最小見掛け粘度は小さくなり温度特性値は高温側に移行した。また、非微粘結炭の軟化溶解性は緩速加熱処理を行った粘結炭と同程度まで向上するとともに、ギーセラー流動性を示さない風化炭についても1000K/min以上の加熱速度で急速加熱することで最小見掛け粘度は低下した。

(4) 緩速加熱条件下で軟化溶解性の配合による加成性が成立しない場合においても、加熱速度を大きくすること

により最小見掛け粘度の実測値は加成値に近づく傾向を示した。

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）に係わる研究の一環として実施されたものであり、ここに関係各位に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 板垣省三：第179回西山記念技術講座，日本鉄鋼協会編，東京，(2003)，33.
- 2) S.Kubo: Proc. 3rd Int. Cokemaking Cong., VDEh, Düsseldorf, (1996), 279.
- 3) K.Nishioka: Proc. 3rd Int. Cokemaking Cong., VDEh, Düsseldorf, (1996), 285.
- 4) H.D.Beyer, W.Klose and F.Verfuss: Proc. Int. Conf. on Coal Science, Pergamon, Sydney, (1985), 891.
- 5) T.Yoshida, M.Iino, T.Takanohashi and K.Katoh: *Fuel*, **79** (2000), 399.
- 6) D.W.Van Krevelen: *Coal*, Elsevier, Amsterdam, (1993), 693.
- 7) K.Fukada, S.Itagaki and I.Shimoyama: *CAMP-ISIJ*, **12** (1999), 757.
- 8) K.Uebo and T.Chikada: *CAMP-ISIJ*, **12** (1999), 225.
- 9) W.S.Fong, Y.F.Khalil, W.A.Peters and J.B.Howard: *Fuel*, **65** (1986), 195.
- 10) K.Matsubara, O.Tajima, N.Suzuki, Y.Okada, Y.Nakayama and T.Kato: *Tetsu-to-Hagané*, **68** (1982), 2148.
- 11) 川田裕郎：改訂 粘度，計量管理協会編，東京，(1983)，115.
- 12) M.Matsuura, M.Sasaki, K.Saito, K.Kato and I.Komaki: *Tetsu-to-Hagané*, **89** (2003), 565.
- 13) 持田 勲，伊藤研二，光来要三：第78回コークス特別会，燃料協会編，東京，(1985)，6.