

混合バイオマス粒径による廃棄石炭利用バイオブリケットの ガス化反応性への影響

Effect of different mixing biomass particle sizes on gasification reactivity of waste coal-biomass briquette

王青躍*, 宿崎直登, 山田哲夫**

Qingyue WANG, Naoto SHUKUZAKI and Tetsuo YAMADA

Coal gasification technology that can converse coal to gas fuels is one method of the clean coal technologies. In our study, it was suggested that gasification can be applicable to the utilization of waste coals. As well, when waste coals are used gasification technology in combination with coal-biomass briquette (BB) technology, conversion time of waste coal to gas fuel is shorter. However, gas fuels changed from waste coal-biomass briquette have low calorific values, considering in energy, it is necessary that gasification reaction time of waste coal-biomass briquette should be shorter and more effective.

In this study, to shorten gasification reaction time of waste coal-biomass briquette, mixing biomass sizes in making waste coal-biomass briquette was micrified. The gasification experiments were conducted with waste coal-biomass briquette under the conditions that experimental temperature was 900 °C, and used 300 ml·min⁻¹ of 45 % water steam in Ar gas, after the pyrolysis experiments. As a result, gasification reaction time of waste coal-biomass briquette was shorter. It was assumed that alkali metals and alkali earth metals (AAEM) in biomass worked as the gasification catalysts were dispersed and specific surface areas were increased.

Keywords: Waste coal, Gasification, Biomass, Coal-biomass briquette (BB), Alkali metal and alkali earth metal (AAEM)

1.はじめに

石炭は、埋蔵量が豊富であり、かつ供給性が安定していることにより、主要なエネルギー源として位置づけられ、継続的に石炭を使用することが見込まれる。この石炭は、採掘後そのまま使用されているわけではなく、選炭という工程を経て、その後得られる精炭が利用されている。この石炭を採掘・選炭する過程において、高灰分、

高硫黄分、低発熱量の石炭が、その乏しい利用性から大量に排出・廃棄され、広大な土地の占拠や、大気汚染、水質汚濁などの環境問題を発生させている。現在、石炭産出量世界第一位である中国では、約30億トンもの廃棄石炭が野積みになされていると報告されており、これら廃棄石炭の適切な処理技術および有効な利用技術が求められている。

石炭を有効に利用する技術の一つに、石炭ガス化技術がある。ガス化技術とは、有機系固形燃料（石炭、バイオマスなど）を熱分解し（熱分解反応）、生成したチャー（炭素）を高温雰囲気下でガス化剤（H₂O、CO₂など）と反応させる（ガス化反応）ことで（Fig. 1）、有用なガス燃料

*埼玉大学大学院 理工学研究科

〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

**北見工業大学 工学部

〒090-8507 北海道北見市公園町 165

に転換させる技術であり、すでに中国で実用化されている技術である。そこで、本研究室では、廃棄石炭の有効な利用方法として石炭ガス化技術を選択し、研究を行ってきた。これまでに、廃棄石炭をバイオブリケット^{1,2)}(以下 BB と略称) 化させることで、廃棄石炭単独のガス化に比べて、ガス化反応性の向上によるガス化時間の短縮や、硫化水素 (H₂S) の排出抑制といった効果が明らかとなり³⁾、廃棄石炭を BB 化させることで、廃棄石炭をガス化技術により有効利用できる可能性が示唆された。BB 化とは、バイオマスと硫黄固定剤である消石灰 (Ca(OH)₂) を混合して圧縮成型することである。

しかしながら、BB 化した廃棄石炭 (廃棄石炭利用 BB) は含有熱量が低いことより、ガス化した際に生成するガスの含有熱量も低く、エネルギー効率面を考慮するとできるかぎりガス化時間の短縮化が求められる。

そこで本研究では、より短時間で廃棄石炭を有用なガス燃料に転換することを目的とし、ガス化プロセスの全反応時間を制御するガス化反応において、反応性が高い廃棄石炭利用 BB の作製方法の検討を行った。具体的には、廃棄石炭の BB 化によるガス化反応性の向上は主にバイオマスの混合によるものであることから³⁾、バイオマスの混合方法に着目し、廃棄石炭利用 BB を作製する際に混合するバイオマス粒径を小さくすると、

- ① 金属分散効果：ガス化反応に高い触媒作用を示すバイオマス中のアルカリ金属・アルカリ土類金属 (AAEM)^{4,5)}が廃棄石炭利用 BB 内において広範囲に分散する
- ② 接触性増加効果：熱分解後に微細な気孔が多くできて廃棄石炭利用 BB チャーとガス化剤との接触性が向上する

などの効果が起こり、ガス化反応性が高い廃棄石炭利用 BB が作製できると考えられることより、混合バイオマス粒径を変化させることでガス化反応性が高い廃棄石炭利

用 BB を作製することを検討した。

また、廃棄石炭利用 BB のガス化技術による利用可能性を詳細に調査するため、経済面による廃棄石炭利用 BB のガス化技術についての評価を行った。

2.実験方法

2.1 廃棄石炭利用 BB の作製

廃棄石炭利用 BB は、廃棄石炭 (撫順炭産) とバイオマス (カラマツ樹皮) を重量比 75 : 25 で混合し、硫黄固定剤として Ca(OH)₂ を石炭含有硫黄分に対して当量比 (Ca/S=2) で添加し、圧縮成型 (3.2 t.cm²) して作製した。その後、再粉碎して、粒径 250 ~ 500 μm に画分したものを廃棄石炭利用 BB 実験試料として用いた。

本実験では、混合バイオマス粒径による影響を調査するため、<75、75 ~ 150、150 ~ 250、250 ~ 500 μm に画分したそれぞれの粒径範囲のカラマツ樹皮を用いて廃棄石炭利用 BB を作製した。また、廃棄石炭は、150 ~ 500 μm のものを用いた。廃棄石炭と各粒径範囲のカラマツ樹皮の工業分析値、金属分析値を **Table 1** に示す。

2.2 熱分解

各粒径範囲のカラマツ樹皮を混合した廃棄石炭利用 BB 実験試料のガス化反応性を調査するため、熱分解反応を完了させた廃棄石炭利用 BB チャーを作製する必要がある。そこで、回分式の固定床反応装置 (**Fig. 2**) を用いて熱分解を行った。

熱分解は、廃棄石炭利用 BB 実験試料 5.000 g を反応管に充填し、Ar (164 ml/min) で空気置換後、10 °C/min の昇温速度で室温から 900 °C まで加熱して行い、反応管を冷却したのち、廃棄石炭利用 BB チャーを回収した。

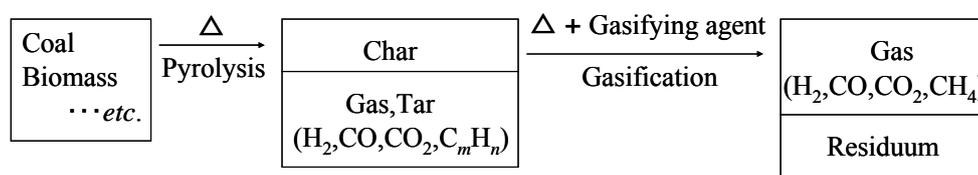


Fig. 1. Schematic diagram of gasification technology.

2.3 水蒸気ガス化実験

各粒径範囲のカラマツ樹皮を混合した廃棄石炭利用BBチャーの、ガス化反応性を調査するため、Fig. 3 に示す回分式の固定床反応装置を用いて水蒸気ガス化実験を行った。

水蒸気ガス化実験は、熱分解で得られた廃棄石炭利用BBチャー1.000 g-carbon を反応管に充填し、Ar (164 ml/min) で空気置換後、900 °C一定において水蒸気供給 (132 ml/min) を開始して行った。水蒸気ガス化実験において生成したガスは、熱伝導度検出器付きガスクロマトグラフ (GC-TCD : 島津製作所) により H₂、CO、CO₂、CH₄を定量した。

ガス化反応性の評価は、ガス化反応速度定数⁶⁾ (擬一次反応速度定数 (k_1)) と、チャー中炭素分の 100 %がガスに転換した時間 (ガス化反応完了時間 (t_f)) を用いて行った。ガス化反応速度定数の算出は、以下に従って行った。

まず、ガス化反応を擬一次反応と見なすことから、式(1)が得られる。

$$dC/dt = k_1 (C_0 - C) \quad \dots(1)$$

t : ガス化反応時間 (min)
 C : ガス化反応時間 t における炭素の転換量 (mol)
 C_0 : 初期炭素量 (mol)

式(1)を解くと式(2)が得られ、

$$\ln(C_0/(C_0 - C)) = k_1 t \quad \dots(2)$$

t に対する $\ln(C_0/(C_0 - C))$ をプロットすることで直線が得られ、その直線の傾きからガス化反応速度定数 (擬一次反応速度定数) k_1 を求めた。

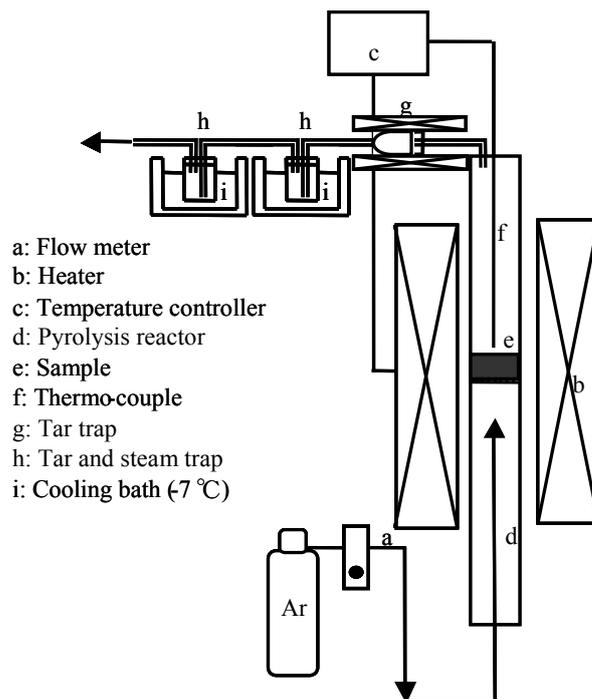


Fig. 2. Experimental setup for pyrolysis.

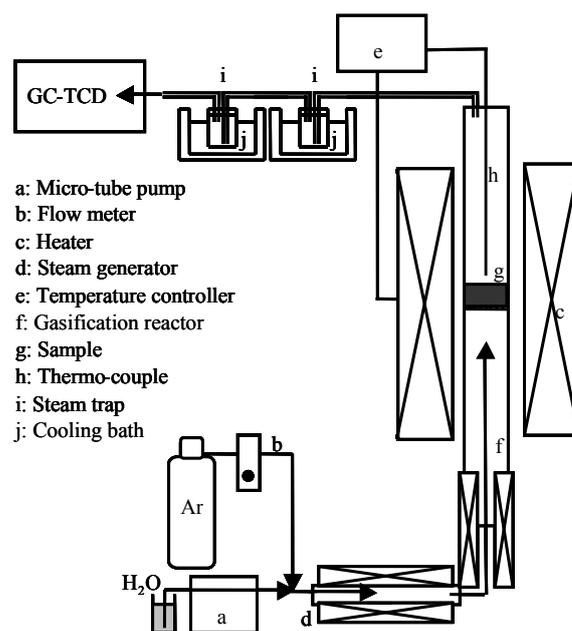


Fig. 3. Experimental setup for H₂O gasification.

Table 1. Proximate analyses and metallic analyses of samples

Particle size	Proximate analysis (wt.%)				Metallic composition of ash (mg/g)							
	Water	Ash	VM	FC	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	
Waste coal	150~500 μm	4.2	27.3	33.0	35.5	6.0	1.9	4.0	5.7	72.0	28.8	154.6
Larch bark	<75 μm	9.9	0.8	64.8	24.5	1.9	0.3	0.6	3.2	0.4	0.3	1.2
	75~150 μm	9.9	0.8	64.8	24.5	1.9	0.3	0.6	3.3	0.3	0.2	1.3
	150~250 μm	9.5	0.9	64.9	24.7	2.4	0.3	0.6	4.0	0.2	0.1	1.8
	250~500 μm	9.7	0.9	64.6	24.8	2.4	0.3	0.6	4.0	0.2	0.1	1.9

2.4 脱AAEMカラマツ樹皮を用いた廃棄石炭利用BBのガス化実験

金属分散効果と接触性増加効果を確認するため、脱AAEM処理したカラマツ樹皮を用いて廃棄石炭利用BBを作製し(2.1と同様)、熱分解(2.2と同様)、ガス化実験(2.3と同様)を行った。

カラマツ樹皮の脱AAEM処理⁷⁾は塩酸を用いて行い、誘導結合プラズマ発光分光分析装置(ICP-AES: Perkin Elmer Japan)を用いてカラマツ樹皮の脱AAEM処理を確認した(Table 2)。

また、脱AAEMカラマツ樹皮を用いた廃棄石炭利用BBを作製する際、脱AAEM処理していないカラマツ樹皮と同量の揮発分、固定炭素量を混合する必要があるため、脱AAEMカラマツ樹皮の工業分析(JIS-M8812に準拠; 水分、灰分、揮発分、固定炭素分)を行い、その分析結果に基づいて廃棄石炭利用BBを作製する際に必要な脱AAEMカラマツ樹皮量を算出した後、廃棄石炭利用BBを作製した。

3. 結果と考察

3.1 異なる粒径範囲のカラマツ樹皮を混合した廃棄石炭利用BBのガス化反応性

各粒径範囲のカラマツ樹皮(<75、75~150、150~250、250~500 μm)を混合して作製した廃棄石炭利用BBのガス化速度定数(k_1)とガス化反応完了時間(t_f)をFig. 4に示す。

Fig. 4より、混合バイオマス粒径を小さくすることで廃棄石炭利用BBのガス化反応速度定数が増加し、ガス化反応時間が短縮することが示された。これは、各粒径範囲に画分したカラマツ樹皮の工業分析値と金属分析値がほぼ変わらないことより(Table 1)、上述した金属分散効果、接触性増加効果に主に起因していると考えられる。

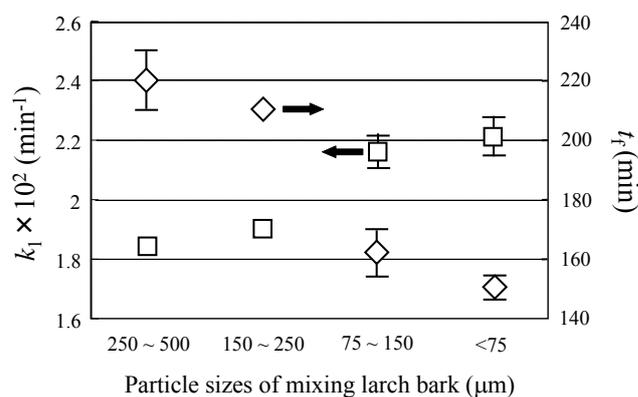


Fig. 4. Gasification reaction rate constant k_1 and gasification reaction finished time t_f of waste coal-biomass briquette chars.

よって、それらの影響についての評価を行った。ちなみに、金属分散効果と接触性増加効果の評価は、混合カラマツ樹皮粒径が250~500 μmと150~250 μmのガス化反応完了時間にほとんど差がないことから、混合カラマツ樹皮粒径が150~250 μm以外のものを用いて行った。

また、粒径範囲が<75、75~150 μmのカラマツ樹皮と150~250、250~500 μmのカラマツ樹皮において触媒作用がある K_2O 、 CaO に差異が見られるが、 K_2O 、 CaO の触媒作用を無くす SiO_2 ⁸⁾が K_2O 、 CaO とほぼ同じ倍率で変化しているため、金属組成の違いによるガス化反応性への影響は極めて少ないと考えられる。

3.2 金属分散効果

金属分散効果の評価は、脱AAEM処理をした各粒径範囲(<75、75~150、250~500 μm)のカラマツ樹皮を混合して作製した廃棄石炭利用BBのガス化反応速度定数(k_1)とガス化反応完了時間(t_f)(Fig. 5)、脱AAEM処理をしていない各粒径範囲のカラマツ樹皮を混合して作製した廃棄石炭利用BBのガス化反応速度定数(k_1)とガス化反応完了時間(t_f)を用いることで行った。

Table 2. Metallic composition of dealkali and dealkali earth metal larch bark ash

Particle size	Metallic composition of ash (mg/g)						
	K_2O	Na_2O	MgO	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2
Larch bark (Treatment with HCl)							
<75 μm	0.1	0.2	0.02	0.3	0.2	0.1	0.6
75~150 μm	0.1	0.2	0.02	0.3	0.2	0.1	0.6
250~500 μm	0.1	0.2	0.03	0.3	0.2	0.1	0.9

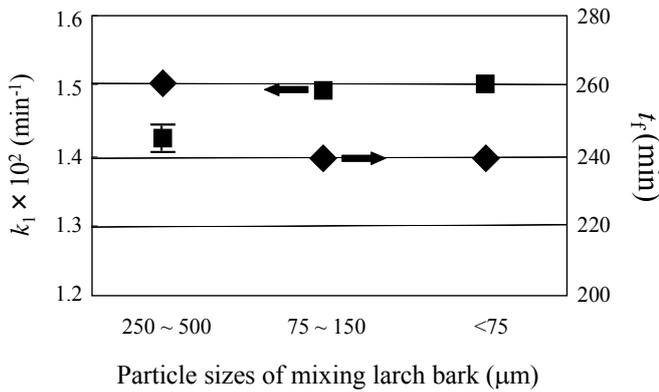


Fig. 5. Gasification reaction rate constant k_1 and gasification reaction finished time t_f of waste coal-biomass briquette chars (use of dealkali and dealkali earth metal larch barks).

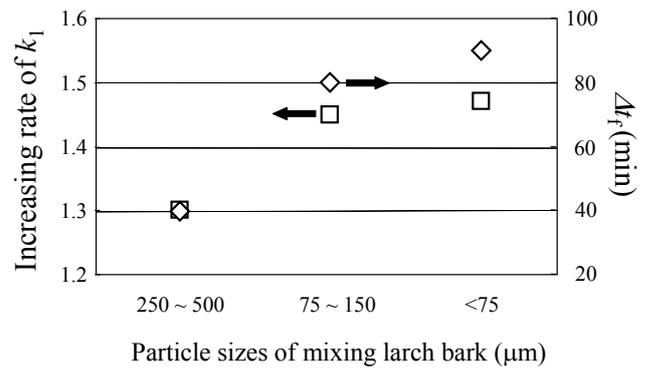


Fig. 6. Increasing rate of gasification reaction rate constant and shorter hours of gasification reaction finished time by dispersion effect of metals

Fig. 4, 5 より、 <75 、 $75 \sim 150$ 、 $250 \sim 500 \mu\text{m}$ の粒径範囲のカラマツ樹皮中 AAEM 成分によるガス化反応速度定数の増加率はそれぞれ約 1.47 倍 [= $(2.21 \times 10^2) / (1.50 \times 10^2)$]、約 1.45 倍 [= $(2.16 \times 10^2) / (1.49 \times 10^2)$]、約 1.30 倍 [= $(1.84 \times 10^2) / (1.42 \times 10^2)$] であり、混合カラマツ樹皮粒径を小さくすることによりカラマツ樹皮中 AAEM 成分によるガス化反応速度定数の増加率が上昇した (Fig. 6)。また、カラマツ樹皮中 AAEM 成分によるガス化反応完了時間の短縮時間は、それぞれ約 90 min ($\Delta t_f = 240 - 150$)、約 80 min ($\Delta t_f = 240 - 162$)、約 40 min ($\Delta t_f = 260 - 220$) であり、混合カラマツ樹皮粒径を小さくすることでガス化反応完了時間が短縮した (Fig. 6)。

以上より、金属分散効果によるガス化反応性の向上、ガス化反応時間の短縮化が示され、混合バイオマス粒径を小さくすることによる金属分散効果が確認された。

3.3 接触性増加効果

接触性増加効果の評価は、脱 AAEM 処理をした各粒径範囲 (<75 、 $75 \sim 150$ 、 $250 \sim 500 \mu\text{m}$) のカラマツ樹皮を混合して作製した廃棄石炭利用 BB のガス化反応速度定数 (k_1) とガス化反応完了時間 (t_f) を用いることで行った。

Fig. 5 より、脱 AAEM 処理をしたカラマツ樹皮の混合粒径範囲を $250 \sim 500 \mu\text{m}$ から $75 \sim 150 \mu\text{m}$ にすることで、1.05 倍 [= $(1.49 \times 10^2) / (1.42 \times 10^2)$] のガス化反応速度定数の増加、20 min ($\Delta t_f = 260 - 240$) のガス化反応完了時間の短縮が示された。この差は接触性増加効果によるも

Table 3. BET specific area of waste coal-biomass briquette chars (use of dealkali and dealkali earth metal larch barks)

	Particle size of mixing dealkali and dealkali earth metal larch bark (μm)		
	<math><75</math>	$75 \sim 150$	$250 \sim 500$
BET specific area (m^2/g)	92.2	55.3	2.83

のだと考えられることより、各チャーの BET 比表面積を測定したところ、混合カラマツ樹皮粒径範囲を小さくすることによる約 20 倍 [= $55.3 / 2.83$] の比表面積の増加が確認され (Table 3)、この比表面積の増加がガス化反応完了時間の短縮に影響したと考えられる (一般的に、比表面積が大きいほどガス化反応性が高いとされている^{4, 9)}。

しかし、脱 AAEM を処理したカラマツ樹皮の混合粒径範囲が $75 \sim 150 \mu\text{m}$ と $<75 \mu\text{m}$ のガス化反応速度定数とガス化反応完了時間はほぼ変化がなかった。これは、比表面積の増加率が約 2 倍 [= $92.2 / 55.3$] という小さい変化であったためだと考えられる。

以上より、接触性増加効果によるガス化反応性の向上、ガス化時間の短縮が示され、混合バイオマス粒径を小さくすることによる接触性増加効果が確認された。

3.4 金属分散効果と接触性増加効果の比較

項目 3.2、3.3 より、混合バイオマス粒径を小さくすることで金属分散効果と接触性増加効果によるガス化反応性の向上、並びにガス化反応完了時間の短縮化が確認された。本項目では、ガス化反応完了時間の短縮化の主要

因が、金属分散効果と接触性増加効果のどちらであるかを評価した。

金属分散効果と接触性増加効果の比較の評価は、金属分散効果によるガス化反応完了時間の短縮時間と、接触性増加効果によるガス化反応完了時間の短縮時間を、他の混合カラマツ樹皮粒径範囲と比較することで行った。比較した表を **Table 4** に示す。

Table 4 より、ガス化反応完了時間の短縮化は、主に金属分散効果によるものであることが示された。この比表面積の影響よりも金属の影響が大きい傾向は、他の多くの著者らも述べている傾向である^{10,11)}。

また、金属分散効果と接触性増加効果によるガス化時間の短時間化が、混合カラマツ樹皮粒径<75 μm と 75 ~ 150 μm を比したものよりも、混合カラマツ樹皮粒径 75 ~ 150 μm と 250 ~500 μm を比したもののの方が大きいのは、分散性の評価は行っていないが、混合カラマツ樹皮粒径を<75 μm から 75 ~ 150 μm にすることよりも、混合カラマツ樹皮粒径を 75 ~ 150 μm から 250 ~500 μm にする方が、より広範囲にカラマツ樹皮が分散したためだと考えられる。

3.5 生成ガス組成

混合バイオマス粒径を小さくすることによって生成ガス中の有用ガス成分に変化がないかを確認するため、生成ガス組成を評価した。各粒径範囲のカラマツ樹皮 (<75、75 ~ 150、150 ~ 250、250 ~ 500 μm) を混合して作製した廃棄石炭利用 BB のガス化実験から生成したガスの組成を **Fig. 7** に示す。

Fig. 7 より、混合カラマツ樹皮粒径を変化させても、生成ガス中の有用成分 (H₂、CO、CH₄) の割合は変化しないことが示唆された。よって、Fig. 4、Fig. 7、また、ガス化実験によって生成するガスの量が各混合カラマツ樹皮粒径においてほとんど差が見られなかったことから、混

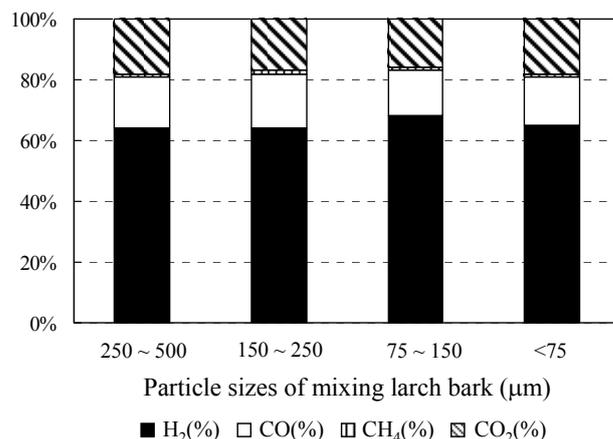


Fig. 7. Cumulative gas composition of waste coal-biomass briquette chars.

Table 5. Wattages of this experiment

	混合カラマツ樹皮粒径 (μm)			
	<75	75~150	250~500	
消費電力量 (wh)	試料の粉碎	117	35	12
	ふるい分け	100	100	100
	熱分解	1288	1288	1288
	ガス化実験	1960	2117	2875
	合計	3465	3540	4274

合バイオマス粒径を小さくすることの有用性が示された。

3.6 エネルギー効率

混合バイオマス粒径を小さくすることによってエネルギー効率が高くなったかを確認するため、本実験において消費した電力量を混合カラマツ樹皮粒径ごとに算出し、その値を比較した。**Table 5** に消費した電力量の詳細を示す。

Table 5 より、混合カラマツ樹皮粒径を小さくすることによって消費電力量が少なくなっていることがわかる。また、その減少率は最大で 19 % [= {1-(3465/4274)}×100] であり、ガス化実験により生成するガスの組成・量がほとんど同じであることから、混合バイオマス粒径を小さくすることによってエネルギー効率が増加することが示された。

Table 4. Difference values of shorter hours of gasification reaction finished time by metallic dispersion effect and increased contact time.

Compared mixing sizes of larch barks (μm)	Difference value of shorter hours of gasification reaction finished time (min)	
	By metallic dispersion effect	By increased contact effect
250~500 and 75~150	40 (= 80-40)	20
75~150 and <75	10 (= 90-80)	0

3.7 経済的効果

廃棄石炭利用 BB のガス化技術による利用可能性を詳細に調査するため、廃棄石炭利用 BB のガス化技術についての経済的評価を行った。経済的評価は、廃棄石炭利用 BB とガス化用石炭の市場価格(2008年現在の為替相場、1元=16円)と発熱量を用いることで行った。

まず、従来の BB の製造コスト¹²⁾を用いて廃棄石炭利用 BB の市場コストを算出した (Table 8)。なお、Table 8 は、年間 20 万トンの廃棄石炭利用 BB を生産するプラントを作り、7年間で投資金額を回収できるように設定した場合の表である。続いて、Table 8 から算出した廃棄石炭利用 BB の売価と発熱量、およびガス化用石炭の売価と発熱量から、1元当たりの発熱量を算出した (Table 9)。

Table 9 から、ガス化用石炭より廃棄石炭利用 BB の方が 1元当たりの発熱量が高く、廃棄石炭利用 BB のガス化技術の経済的評価は高いことが示された。しかし、この経済的評価は発熱量のみでしか評価していない。廃棄石炭利用 BB はガス化用石炭に比べ灰分が多く、その灰の処理に経費が多くかかると考えられる。また、灰によ

る装置の劣化なども考えられる。この経済的評価にはそれらの評価は含まれていないことから、それらの因子も調査して経済的評価を行う必要があると考えられる。

4.まとめ

本研究では、廃棄石炭利用BBのガス化時間の短時間化を目指し、混合バイオマス粒径を変化させることによる廃棄石炭利用BBのガス化反応性への影響を調査した。また、廃棄石炭利用BBのガス化技術についての経済的評価を行った。本研究により、以下のことが分かった。

- ・ 廃棄石炭利用BBを作製する際の混合バイオマス粒径を小さくすることで、廃棄石炭利用BBのガス化反応性が向上し、ガス化反応完了時間が短縮された。これは、ガス化反応に触媒効果を示すバイオマス中 AAEM成分が廃棄石炭利用BB内においてより広範囲に広がり (金属分散効果)、また、熱分解後に微細な気孔を多く持つ廃棄石炭利用BBチャーが作製されたこと (接触性増加効果) によるものだと考えられる。

Table 8. Cost of conventional waste coal-biomass briquette

No.	項目名	計算根拠	計算式	総コスト	単位コスト
				(万元)	(元/t)
1	原料費			1186.00	55.12
	廃棄石炭	20元/ t	20×17 (万 t)	340.00	15.81
	バイオマス	165元/ t	165×3 (万 t)	494.00	22.96
	硫黄固定剤	226元/ t	226×1.56 (万t)	352.00	16.35
2	電気代	0.4元/ t	0.40×537.50 (万kWh)	215.00	9.97
3	燃料費	120元/ t	120×1579	18.95	0.87
4	修理費	25%	4760.05×25 %	119.00	5.52
5	減価償却			331.44	15.37
	装置	4760.05元	4760.05/15	317.30	14.72
	土木建築	563.50元	563.50/40	14.09	0.65
6	給与と福祉			78.66	3.64
	給料	500元/人・月	500×115×12	69.00	3.20
	福祉	給与の14 %	69×14 %	9.66	0.45
7	仕事保険	給与の24.6 %	69×24.6 %	16.97	0.79
8	管理費	4元/ t	4×21.56	86.24	4.00
9	借入金利息	3724万元	3724×2.75 %	102.40	4.75
10	流動資金利息	383.31万元	383.31×6.75 %	25.87	1.20
11	他の費用	2元/ t	2×21.56	43.12	2.00
	製造コスト		合計	4605.00	103.00
	売価				118.00

Table 9. Costs and calorific values of waste coal-biomass briquette, coal used for gasification

	売価 (元/t)	発熱量 (kcal/kg)	発熱量/売価 (Mcal/元)
廃棄石炭利用BB	118.0	2500~5000	21.2~42.4
ガス化用石炭	666.7 (2007年10月)	>6500	>9.7

また、廃棄石炭利用BBのガス化時間の短縮化は、主に金属分散効果によるものだと考えられる。

- ・ 廃棄石炭利用BBを作製する際の混合バイオマス粒径を変化させても、ガス化により生成するガスの組成はほぼ変化しないことが示唆された。よって、混合バイオマス粒径を小さくしても、生成する有用ガスの割合は変化しないことが示された。
- ・ 混合バイオマス粒径を小さくすることによって消費電力量が少なくなることが示された。また、その減少率は最大で19 %であり、ガス化実験により生成するガスの組成・量がほとんど同じであることから、混合バイオマス粒径を小さくすることによってエネルギー効率が增加することが示された。
- ・ ガス化用石炭より廃棄石炭利用BBの方が1元当たりの発熱量が高く、廃棄石炭利用BBのガス化技術の経済的評価は高いことが示された。

以上より、混合バイオマス粒径を変化させることで、ガス化反応性の高い廃棄石炭利用 BB を作製することができ、より短時間で廃棄石炭利用 BB を有用なガス燃料に転換することが可能であること、また、廃棄石炭や廃棄バイオマスの有効利用技術¹³⁻²²⁾の一環として、BB のガス化技術の開発と同時に、その経済的評価は高いことが示された。

参考文献

- 1) J. Wang, S. Gao, W. Wang and K. Sakamoto, Study on Emission Control for Precursors Causing Acid Rain in Chongqing, China – Sulfur Fixation Using Bio-briquette Technology – , Journal of Aerosol Research, Vol. 14 (2), pp. 162-170, 1999
- 2) Q. Wang, G. Lu, K. Sakamoto, T. Maruyama, H. Kim, I. Naruse, S. Hatakeyama, T. Mizoguchi, R. Luo and M. Kamide, Studies on Combustion and Sulfur Fixation Characteristics of Coal-Biomass Briquette, Journal of Aerosol Research, Vol. 15 (4), pp. 364-371, 2000
- 3) 金田昌之, 埼玉大学大学院修士論文, 2004
- 4) Tetsuo Yamada, Masatomo Akano, Takanobu

Horikawa, Harumi Hashimoto, Tsutomu Suzuki, Toshihiko Maruyama, Qing Yue Wang and Mitsushi Kamide, Steam Gasification of Coal-Biomass Briquette (I), Journal of the Japan Institute of Energy, Vol. 83, pp. 932-938, 2004

- 5) M. P. Kannan and G. N. Richards, Gasification of biomass chars in carbon dioxide: dependence of gasification rate on the indigenous metal content, Fuel, Vol. 69, pp. 747-753, 1990
- 6) 武田詔平, 北野邦尋, 窪田純一, 河端淳一, 佐藤春三, 石栄煒, 千葉忠俊, 石炭チャーの炭酸ガスによるガス化反応速度に及ぼす炭種の影響, 燃料協会誌, Vol. 64 (6), pp. 409-418, 1985
- 7) The late Thomas D. Hengel and Philip L. Walker, Jr., Catalysis of lignite char gasification by exchangeable calcium and magnesium, Fuel, Vol. 63, pp. 1214-1220, 1983
- 8) K. Formella, P. Leonhardt, A. Sulimma, K.-H. van Heek and H. Juntgen, Interaction of mineral matter in coal with potassium during gasification, Fuel, Vol. 65, pp. 1470-1472, 1986
- 9) 羅春華, 中村誠, 豊田雅臣, 上宮成之, 小島紀徳, 石炭チャーの高温ガス化における乾留昇温速度の影響, 日本エネルギー学会誌, Vol. 79 (11), pp. 1078-1086, 2000
- 10) D. Vamvuka, S. Troulinous and E. Kastanaki, The effect of mineral matter on the physical and chemical activation of low rank coal and biomass materials, Fuel, Vol. 85, pp. 1763-1771, 2006
- 11) Dong-ke Zhang and Aaron Poeze, Variation of sodium forms and char reactivity during gasification of a south Australian low-rank coal, Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 28, pp. 2337-2344, 2000
- 12) 王青躍, 平成 15~17 年度科学研究費補助金 (基盤研究(B)) 研究成果報告書 廃棄枯渇性石炭の品質改善による再資源化・ガス化技術に関する基礎研究, 2006.
- 13) 王青躍, 宿崎直登, 金田昌之, 坂本和彦, 山田哲夫,

- 廃棄石炭利用バイオブリケットのガス化 (3), 第 42 回石炭科学会議発表論文集, pp.15-16, 2005.
- 14) Wang, Q., Takahashi K., Kamide M., Yamakoshi Y., Taniguchi K. and Sakamoto, K., Study on evaluation of various factors on dry separation methods for low grade coal, Paper of 2005 International Conference on Coal Science and Technology (Okinawa, Japan), II Beneficiation(I) 2C05, CD-ROM pp.1-10,2005.; Abstracts, 2C05, p.58, 2005.
- 15) 宿崎直登, 王青躍, 坂本和彦, 山田哲夫, 廃棄石炭利用バイオブリケットのガス化へのバイオマス添加割合による影響, 第 15 回日本エネルギー学会大会(8 月 3 日~4 日), 新宿, pp.369-370, 2006.
- 16) Wang Q., Shukuzaki N., Sekiguchi K., Sakamoto K., Kurokawa H., Akibayashi T. and Yamada T., Improvement in gasification of biomass briquette accompanying with effective use of waste coal, Proceedings of Renewable Energy 2006 International Conference and Exhibition, Chiba., pp.1135-1140, 2006.
- 17) Wang Q., Endo H., Shukuzaki N., Sekiguchi K., Sakamoto K., Kurokawa H., Nakaya Y. and Akibayashi T., Study on char-biomass briquette of pyrolyzed materials from industrial organic wastes, Proceedings of Renewable Energy 2006 International Conference and Exhibition, Chiba., pp.1148-1153, 2006.
- 18) 王青躍, 井古田亘佑, タールモデル化合物とチャーや灰分との不均一反応に関する基礎研究, 第 43 回石炭科学会議発表論文集, pp.77-78, 2006.
- 19) 王青躍, 斎藤日向, 桑原未青, 植物油凝集選炭による微粉状廃棄石炭の可燃成分回収技術に関する基礎研究, 第 43 回石炭科学会議発表論文集, pp.19-20, 2006.
- 20) 宿崎直登, 王青躍, 坂本和彦, 山田哲夫, 廃棄石炭利用バイオブリケットのガス化へのバイオマス混合粒径の影響, 第 44 回石炭科学会議(10 月 11 日~12 日), 秋田, pp.100-101, 2007.
- 21) 田邊慎介, 橋本晴美, 山田哲夫, 鈴木勉, 王青躍, 丸山敏彦, 石炭バイオブリケットの水蒸気ガス化, 第 44 回石炭科学会議(10 月 11 日~12 日), 秋田, pp.102-103, 2007.
- 22) 王青躍, 飯島敦史, アパルパタル, 関口和彦, 坂本和彦, 黒川秀樹, 中島大介, 廃木材と鶏糞の炭化処理昇温速度およびその炭化物着火特性に関する研究, 第 18 回廃棄物学会研究発表会論文集(11 月 19 日~22 日), つくば, pp.558-560, 2007.

謝辞

本研究は、文部科学省 科学研究補助金（基盤研究（B）課題番号：15404004（平成 15~17 年度）と 19404021（平成 19~21 年度））、ならびに（財）鉄鋼業環境保全技術開発基金研究助成金（平成 19~20 年度）により実施されたものである。また研究の実施にあたっては、海外共同研究者ならびに本学大学院理工学研究科環境システム工学系専攻環境制御システムコース循環制御研究室の構成員をはじめとする多くの方々のご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表する次第である。