

木質バイオマス由来ガス化発電副産物の性状

本間 千晶, 西宮 耕栄, 畑 俊充*¹

Properties of gasification biochar produced as a by-product from woody biomass during the process of CHP

Sensho HONMA, Koei NISHIMIYA, Toshimitsu HATA*¹

Keywords : Gasification biochar, CHP(Combined Heat and Power), by-products, characterization
バイオ炭, 熱電併給施設, 副産物, 特性評価

木質バイオマスを燃料とする熱電併給施設では、ガス化のプロセスにおいて発電および熱回収を行うが、ガス化過程で炭素含有量の高い副産物が生成される。このガス化副産物は、粒径が均質で小さい状態で得られる事など、木炭と形状や性質が異なり利用しづらい場合があることから、現在利用があまり進んでいない状況にある。用途開発には、物性や細孔や化学構造の特性評価が必要である。

そこで本研究では、ガス化副産物の有効利用に向け、その性状の把握や有用な特徴を見出すことを目的とし、諸物性を評価するとともに利用における課題、用途開発の可能性について検討した。ガス化副産物の基本物性として、粒度分布、工業分析、元素分析、細孔特性、pH等に関する評価を行った。

その結果、質量平均粒径は0.19mmと非常に細かいことや、炭素を約80%含むことが示されたほか、比表面積は約800m²/gと高い数値となり、pHは11.3といった特徴を有すること、適切な条件設定により造粒も可能なことが明らかになった。そのため、高比表面積を活かした吸着材等への利用のほか、難分解性の炭素量が多いという特徴を活かした場合、粒径を適切に調整することにより土壌改良資材としての用途が想定される。なお土壌改良資材として利用した場合、土壌中への炭素貯留効果も期待される。

1. はじめに

小規模ガス化発電（熱電併給）設備の導入事例が全国的に増加している。北海道内でも下川町、当別町などで導入が進められており、道産材利用や地域の活性化への貢献が期待されている。一方、上記設備では木質ペレットのガス化に伴い副産物が発生する。このガス化副産物は、粒径が均質で小さい状態で得られる事など、木炭と形状や性質が異なり利用しづらい場合があることから、現在利用が進んでいない状況にある。しかし、バイオマス発電等で発生する燃焼灰と異なり、多量の炭素が含まれていることや、細孔が発達しているという報告例¹⁾があることから、より有効な用途開発が望まれている。

用途開発に向け、想定する用途（農業用資材、環

境浄化資材等）に関連する物性評価、その根拠となる細孔や化学構造などの特性を明らかにする必要がある。副産物の組成、性状が明らかとなり、農業用資材や環境浄化資材としての適性を見出すことができれば、製品開発と共に、炭素貯留・隔離、さらに地球温暖化防止への寄与も期待できる。

本研究では、熱電併給施設で発生するガス化副産物の用途開発に向け、その性状を把握し、有用な特徴を見出すことを目的とした。ガス化副産物の基本物性に関する検討を行った結果、化学組成や細孔特性など今後の用途開発に向け有用な知見が得られたので報告する。なお本研究の一部は、2021年度日本炭化学会大会（大阪府茨木市）²⁾ および2022年度日本炭化学会大会（福岡県北九州市）³⁾ で発表した。

2. 実験方法

2.1 供試材料

下川町の熱電併給施設において、木質ペレットをガス化した際に生成したガス化副産物を使用した(写真1)。ガス化原料としては、北海道産木材を用いて製造された木質ペレットが使用されている。



写真1 供試材料（ガス化副産物）
Picture 1. Appearance of gasification biochar

2.2 試験方法

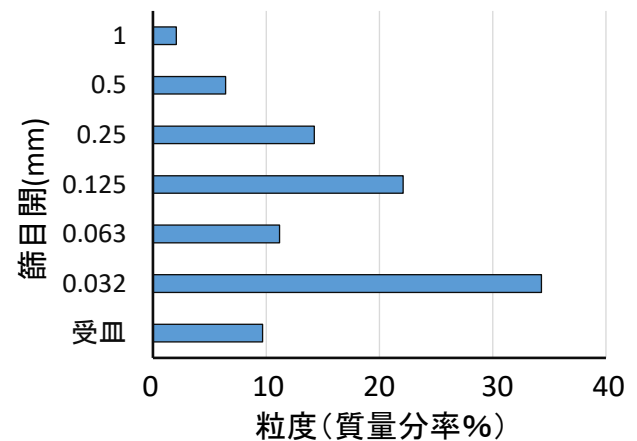
- 1) 粒度分布および充填密度^{4,5)} : JIS K1474に従い、篩目皿を用いて粒度分布を測定した。また、充填密度も測定した。Rosin-Rammler補間による平均粒径の算出を行った。
- 2) 工業分析⁶⁾ : JIS M8812に従い、水分、灰分、揮発分、固定炭素を測定した。
- 3) 元素分析 : 供試材料の炭素、水素、窒素含有量について、柳本製作所CHNコーダーMT-5を用いて測定した。
- 4) pH⁴⁾ : JIS K1474に従い測定した。
- 5) 細孔特性 : 供試材料を水洗処理し、200°Cで4時間脱気処理を行ったのち、測定装置（Beckman Coulter, Inc. Omnisorp 100）を用いて窒素吸脱着等温線を得た。吸着等温線からBET法により比表面積を算出した。本研究では供試材料中の細孔をスリット状の空間と考え、吸着等温線からDR（Dubinin and Radushkevich）法などにより細孔特性の解析を行った。
- 6) 造粒物の試作 : アズワン株式会社パン型造粒機

DPZ-01Rを用い、上記供試材料の造粒物を調製した。バインダーとして廃糖蜜を使用した。

3. 結果と考察

3.1. 粒度分布

ガス化副産物の粒度分布を、第1図に示す。粒径1mm未満の画分が98%を占め、0.032mm未満の画分が10%程度存在した。JIS K1474による平均粒径（メジアン径）は0.18mm（50%点）、質量平均粒径は0.19mm、Rosin-Rammler線図から求めた平均粒径（積算篩上百分率50%点）は0.13mm、充填密度は0.4g/cm³であった。このように、排出されたままの状態では粒径が極めて小さいことから、この特性が有利な用途を見出すこと、もしくは低コストの造粒技術の検討が、用途開発に向け重要と考えられた。



第1図 ガス化副産物の粒度分布

Fig.1. Particle size distribution of gasification biochar

3.2. 工業分析, 元素分析, pH

ガス化副産物の工業分析、元素分析の測定結果を第1表に示す。元素分析の結果、炭素含有量は80%程度であり木質由来の炭化物として必ずしも高い値とはいえないが、灰分含有量が15.2%と高い値であること、水素含有量、窒素含有量とも非常に少ないことから、炭素化が十分進行していると考えられた。工業分析の固定炭素、揮発分の測定結果により、炭素の大半が難分解性と考えられた。炭素貯留効果を期待される用途に対し、難分解性の炭素を多く含む重要な資材となり得る。

第1表 ガス化副産物の工業分析値と元素分析結果
Table 1. Proximate analysis and elemental composition of gasification biochar

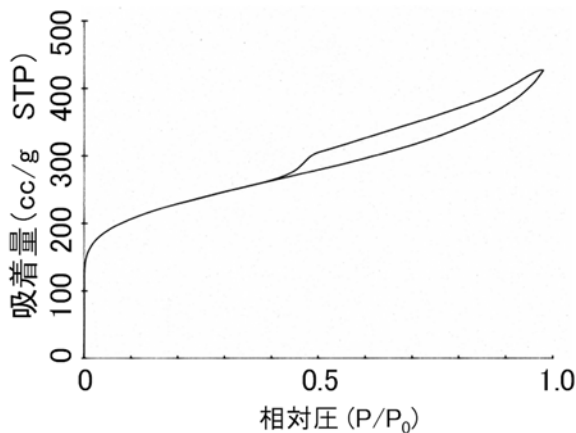
工業分析		元素分析	
水分(%)	3.4	水素(%)	1.0
灰分(%)	15.2	炭素(%)	79.2
揮発分(%)	5.4	窒素(%)	0.2
固定炭素(%)	76.0		

灰分含有量は約15%となり、市販木炭と比べ高いといえるが、その組成は主に原料木材由来のカリウム、カルシウムなどの無機成分と考えられ、多くは酸化物の形で存在していると思われる。これが水に懸濁させた際に溶出することが、11.3という高いpH値を示した主な原因と考えられた。

土壌改良材としての利用において、酸性土壌の中和や植物育成環境の改善に役立つ場合があると考えられる。一方で、pHの高さは植物にとって過剰なアルカリ環境を生じさせるリスクもあるため、適切な使用条件の検討が重要である。

3.3. 比表面積, 細孔特性

ガス化副産物の窒素吸脱着等温線を第2図に示す。低圧部の立ち上がりの急な部分でマイクロ孔内への吸着が起こり、次いでメソ孔, マクロ孔への吸着が起



第2図 ガス化副産物の窒素吸脱着等温線
Fig.2. Nitrogen adsorption and desorption isotherms of gasification biochar

こつたと考えられた。相対圧0.4~1.0においてヒステリシスが観察された。ヒステリシスループのタイプから、スリット状の細孔を有すると推察された。吸着等温線からBET法で算出した比表面積は約800m²/gとなった。市販活性炭に匹敵する値であることから、吸着機能を活かした利用技術の開発も期待される。DR法により細孔分布を求めた場合、Half-width of slit poresとして0.98nm付近が最大値となることなど細孔特性に関する知見も得られた。

3.4. 造粒物の試作

ガス化副産物の用途拡大の試みの一つとして、転動造粒法により造粒物の試作を行った。造粒物の一例を写真2に示す。バインダーをガス化残渣に対し2.5%添加した場合、造粒物粒経は概ね0.125mm以上、4%添加した場合は0.5mm以上となった。落下強度試験^{7,8)}の結果、9割程度の造粒物が形状を維持可能であった。

適切なバインダーを用いることで粒径を調整した造粒物の生成が可能であることが確認された。このことにより農地散布時の取り扱い等の向上に寄与することが示唆された。



写真2 ガス化副産物造粒物の一例
Picture 2. Granulated samples of gasification biochar

4. おわりに

ガス化副産物の有効利用に向け、諸物性を評価するとともに利用における課題、用途開発の可能性について検討した。ガス化副産物の基本物性として、粒度分布、工業分析、元素分析、細孔特性、pH等に関する評価を行った。

その結果、まず粒度については、0.032～0.063mmの画分が30%以上を占め、質量平均粒径は0.19mmであるなど、粒径が極めて小さいことが示された。粒度の小ささを活かした用途開発や低コストの造粒技術の検討が重要と考えられた。

基本物性分析から炭素を約80%含むこと、pHは11.3であることなどが示された。細孔特性を評価した結果、スリット状の細孔を有することが示唆されたほか、比表面積は約800m²/gと高い数値が示された。高い比表面積は吸着材用途への適性を示唆する。さらに難分解性の炭素量が多いことが明らかになったことから、粒径を適切に調整することにより土壌改良資材としての用途、土壌中への炭素貯留効果も期待できる。また、適切な条件設定により造粒も可能であったことから、低コストで有用な資材の開発に繋がると考えられた。

引用文献

- 1) Veronika Hansen, Dorette Müller-Stöver, Jesper Ahrenfeldt, Jens Kai Holm, Ulrik Birk Henriksen, Henrik Hauggaard-Nielsen: Gasification biochar as a valuable by-product for carbon sequestration and soil amendment. *Biomass & Bioenergy*. **72**, 300-308(2015)
- 2) 本間千晶, 西宮耕栄, 畑俊充: 木質ペレット由来ガス化発電副産物の性状, 第19回木質炭化学会研究発表会講演要旨集(茨木市), 12-14(2021)
- 3) 本間千晶, 西宮耕栄, 畑俊充: ガス化発電副産物及びその造粒物の吸放湿能, 第20回木質炭化学会研究発表会講演要旨集(北九州市), 25-26(2022)
- 4) JIS K1474, 活性炭試験方法, (一財)日本規格協会, (2014)
- 5) 荒川正文: 粒度分布とその測定, 色材 **43**, 333-343(1970)
- 6) JIS M8812, 石炭類及び石炭コークス類-工業分析法, (一財)日本規格協会, (2006)
- 7) 日本粉体工業協会造粒分科会: 造粒物の強度の測定方法, 粉体工学会誌 **15**, 213-219(1978)
- 8) 関口勲: 造粒物強度の試験法と評価, 粉体工学会誌 **31**, 808-817(1991)

—利用部 バイオマスグループ—
—*1: 京都大学 生存圏研究所—
(原稿受理: 24.11.22)