

屋外貯蔵半炭化バイオマスペレットの発熱挙動と管理

(出光興産) 岡庭健斗・○園山希

1. 緒言

半炭化バイオマスペレット（ブラックペレット）は、バイオマスを比較的温和な条件で熱分解し、粉碎性を向上した燃料である。既存の石炭火力発電設備で特別な改造なしに木質チップおよび木質ペレットよりも高い混焼率で燃焼することができ、石炭に代わるカーボンニュートラルな固体燃料として期待されている。

半炭化バイオマスペレットは、原料の確保、製造設備のスケールアップなど様々な課題があり、石炭並みの量を取り扱うまでには至っていない。現在、石炭火力設備で実証試験が行われている中で、大量輸送および大量貯蔵における課題も明らかになりつつある。

輸送および貯蔵時における重要な課題の一つが、貯蔵している半炭化バイオマスペレットの発熱である。半炭化バイオマスペレットは大量貯蔵時に発熱し、場合によっては発火に至るため、発熱状況を把握し、発火対策を講じることが求められる。

本研究では、疑似断熱式自然発熱測定装置による半炭化バイオマスペレットの自然発熱特性評価の適用可能性を検討し、約 1500 t の半炭化バイオマスペレットの屋外貯蔵時の発熱挙動を検証した。

2. 実験

2.1. 試料

各試料の性状を表 1 に示す。半炭化バイオマスペレットは、木質系バイオマスを粉碎、圧縮成形後、ロータリーキルン炉において約 270°C で約 30 分間炭化した。発熱性の評価における比較対象として瀝青炭および亜瀝青炭を使用した。

表 1 半炭化バイオマスペレットおよび石炭の性状

Sample	Higher heating value [MJ/kg-db]	Proximate analysis [wt.%-ad]			
		Moisture	Ash	VM	FC
Torrefied biomass pellets	22.7	6.7	2.2	62.2	28.9
Bituminous coal	30.3	3.0	11.7	34.5	50.8
Sub-bituminous coal	29.2	11.7	2.8	40.6	44.9

ad: Air dried, db: Dry basis, VM: Volatile matter, FC: Fixed carbon

2.2. 自然発熱特性評価試験

疑似断熱式自然発熱測定装置（島津製作所製 SIT-2）の概要を図 1 に示す。疑似断熱式自然発熱測定装置は、試料温度に合わせて炉内の温度が試料温度に追随するように制御した。0.212 mm 以下に粉碎した試料約 1 g を容器に充填し、窒素流通下で 110°C まで昇温、安定したことを確認後、流通ガスを窒素から酸素に切り替え、酸素流通下における試料温度を記録し、昇温曲線を得た。

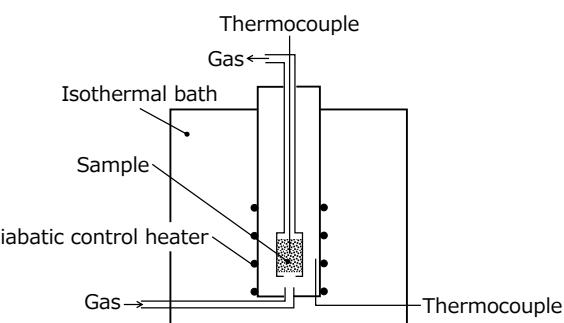


図 1 疑似断熱式自然発熱測定装置

得られた昇温曲線は、次式に基づき解析を行った。

$$\phi = -k_0 S_m \frac{\Delta H}{C_p} e^{-\frac{E}{RT}} \dots \dots \quad (1)$$

ここで、 ϕ 、 k_0 、 S_m 、 ΔH 、 C_p 、 E 、 R および T 、はそれぞれ試料の昇温速度 [K/s]、頻度因子 [$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$]、試料の比表面積 [$\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$]、反応エンタルピー [J kg^{-1}]、試料の比熱 [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]、活性化エネルギー [J mol^{-1}]、気体定数 [$\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$] および試料の温度 [K] である。

試料の比表面積は、0.212 mm 以下に粉碎した試料を用い、窒素吸着による BET 法を用いて測定した。また、湿った状態で、酸素が到達可能な表面積を測定することが困難なため、最大保水量を湿润状態の試料の表面積の代替指標とした。最大保水量は、5.6 ~ 9.5 mm に粉碎した試料を用い、粉碎試料 100 g をイオン交換水 300 mL に浸し、6 時間真空引きを行った後、乾燥し、決定した。

2.3. 屋外貯蔵試験

屋外貯蔵所において、約 1500 t の半炭化バイオマスペレットを高さ約 3 m の四角錐台に積み上げ、パイルを形成した。試験期間中、パイル温度が 40°C を

超えた箇所が発見された場合、パイル上部から散水、発熱部位の積み替えなどの冷却操作を行った。そのため、パイルは粉碎、加水などの影響を受けており、パイルの状態は試験期間を通じて一様ではない。パイル内部の温度は、パイル上面から熱電対を挿入し、深さ 1.0, 1.5, 2.0 m のそれぞれの地点を測定した。外気温は、地域気象観測所（屋外貯蔵所から半径 12 km 以内）の気温データを使用した。

3. 結果

3.1. 自然発熱特性

自然発熱特性評価試験における試料の昇温曲線を図 2 に示す。半炭化バイオマスペレットは、瀝青炭および亜瀝青炭と比較すると温度上昇が遅かった。発熱性を評価するうえで、比表面積の影響を除外し、化学構造に起因する発熱性を評価するため、半炭化バイオマスペレットの比表面積を瀝青炭の比表面積と同等に補正して比較を行った。半炭化バイオマスペレットおよび瀝青炭の比表面積はそれぞれ 700 m²/kg-db および 2300 m²/kg-db であったため、半炭化バイオマスペレットの比表面積を 3.29 倍した場合を仮定した昇温曲線を式 (1) に基づき計算した（図 2 赤線）。半炭化バイオマスペレットの比表面積を瀝青炭と同等とした場合、半炭化バイオマスペレットの昇温曲線は、瀝青炭と亜瀝青炭の間に位置し、半炭化バイオマスペレットの発熱性は、石炭と同程度であることが明らかになった。

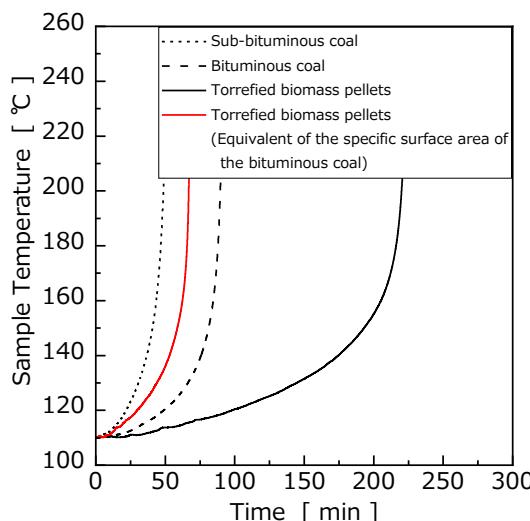


図 2 石炭および半炭化バイオマスペレットの昇温曲線

3.2. パイル内の温度推移

パイル上部 (A 地点および D 地点) より深さ 1.0,

1.5 および 2.0 m における温度および外気温を図 3 および図 4 に示す。試験期間中に温度測定地点以外の場所で高温部位が確認され、パイル全体に対して、13 日目に散水を開始し、19 日目に散水を停止する冷却作業を実施した。散水前は、A 地点では 20°C を超えているが、D 地点では温度は下降傾向にあった。散水後、各地点の温度はほぼ 10°C 以下になったが、A 地点では、その後、散水前の温度レベルに近づくように、再び温度が上昇した。

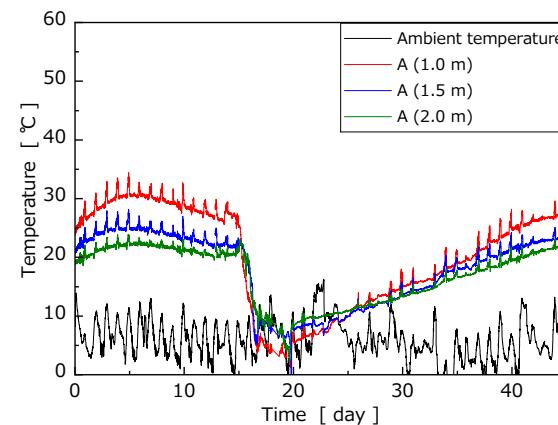


図 3 半炭化ペレットパイル内の温度履歴

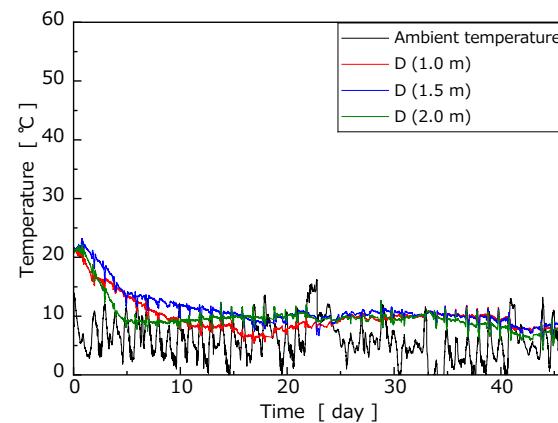


図 4 半炭化ペレットパイル内の温度履歴

各測定地点における温度推移では、統一的な傾向は観察されなかった。これは、パイルが形成されるまでの間に、重機などの機械的な影響による粉碎を受けている可能性があり、パイル内部の積み状態の不均一さが要因の一つとして考えられた。全体の傾向としては、パイル高さの半分より上の領域の温度が高くなる傾向にあった。3 m 程度の高さの半炭化バイオマスペレットのパイルでは、パイル上部から深さ 1.0 ~ 1.5 m の温度を監視することが有効であると考えられた。

散水による冷却操作は、パイルの温度が上昇したところで散水を実施しているが、1週間程度で10°C以下にすることことができた。嵩密度の大きい石炭は、パイル内部に水が浸透しにくいため、散水による冷却効果は限定的である。一方、嵩密度の小さいペレットは、パイル内部に水が侵入しやすく、発熱部位の冷却効果が高くなつたと考えられた。

3.3. 屋外貯蔵時の管理

半炭化バイオマスペレットの大量貯蔵では、温度の定点測定のみでは、高温部位をとらえることは難しかった。一方、温度測定地点以外であったが、パイルの温度上昇箇所から水蒸気が噴出あるいはパイル表面が黒く湿っている場所が観察され、周辺とは明らかに湿り方の異なる様子が観察された。パイル内部の空げきは不均一であるため、温度測定だけでは発熱部位を捕そくすることが難しいが、目視観察により水蒸気の通り道を探す、赤外線放射温度計による温度分布測定あるいは赤外線を活用した水分分布測定などにより、発熱部位の特定が可能であることが示唆された。したがって、定点観測でパイル全体の温度レベルを把握しつつ、目視による発熱部位の監視を実施することが特に重要であると考えられた。今後、散水、注水、配置換えなど発熱部位の効果的な冷却方法を検討することにより、より安全な管理が可能であると考えられた。

4. 結言

半炭化バイオマスペレットの自然発熱特性および屋外貯蔵時の発熱挙動を検討した。半炭化バイオマスペレットは、疑似断熱式自然発熱測定法による昇温曲線に対し、比表面積を考慮して石炭と比較することにより、石炭と同等の発熱性を有することを明らかにした。また、半炭化バイオマスペレットは、屋外貯蔵時にパイル内部の温度が上昇することが確認された。半炭化バイオマスペレットの大量貯蔵では、温度の定点測定のみでは、高温部位をとらえることは難しく、定点観測でパイル全体の温度レベルを把握しつつ、目視による発熱部位の監視を実施することが必要であると考えられた。パイル内の温度を適切に監視し、散水、注水、配置換えなど発熱部位の効果的な冷却対策を講じることにより、安全なパイル管理が可能であると考えられた。