

# バイオマス燃料分析方法の検討

知恵賢二郎<sup>\*1</sup> 茂田 潤一<sup>\*2</sup>  
Chie Kenjiro Shigeta Jun-ichi

火力発電用石炭焚きボイラ等において、二酸化炭素排出量削減の一手段としてバイオマス燃料の利用・拡大が進められている。そこで、バイオマス燃料による設備への各種問題（燃焼性、灰付着）を予測して設計や運転・保守に反映させることが求められている。そのためには、バイオマス燃料の性状を的確に把握する必要があるが、石炭の場合と異なり分析方法が規格・手順化されておらず、石炭と同様の分析方法を用いた場合に正確な値が得られないことがある。例えば、バイオマス燃料はカリウムを代表とする低融点成分が多く、これらの揮散を抑制するためには低温かつ長時間の灰化前処理が必要である。そこで、本稿ではバイオマス燃料の灰化前処理を含めた分析・評価方法の検討に加え、溶解性、燃焼性について石炭との違いを調査したのでその一端を報告する。

キーワード：バイオマス、燃焼性、溶解性、低融点化合物、灰化前処理

## 1. はじめに

20世紀以降から地球温暖化が進行し、その影響が懸念されている。地球温暖化の主な原因の一つとして人類が産業活動で生産・排出する二酸化炭素の大气中濃度上昇が挙げられる。二酸化炭素の濃度上昇抑制が必須となる中、カーボンニュートラル（※1）という考えが着目されるようになり、石炭火力発電所はこれまでの石炭専焼から、バイオマス（※2）混焼により二酸化炭素の排出量削減を試みている。

※1：植物を燃やして二酸化炭素を発生させても、空气中に排出される二酸化炭素の中の炭素原子はもともと空气中に存在した炭素原子を植物が取り込んだものであるため、大气中の二酸化炭素総量の増減に

は影響を与えないという概念。

※2：産業資源の分野では「現生生物由来の資源」をバイオマスと呼び、火力発電の分野では「燃焼させる植物系燃料」を意味する用語として用いられている。以下、本稿でも同様に用いる。

表1 バイオマス燃料と石炭における性状の違い

項目	バイオマスの特徴 石炭（瀝青炭）と比較した場合
水分	多い
灰分量	少ない
揮発分	多い
発熱量	低い
灰の化学組成	Si、Alが少なく、Na、K、Ca、Mgが多い
灰の熔融温度	低い

\*1：計測事業部 化学・環境部 博士（理学） 環境計量士 一般計量士

\*2：技師長 博士（学術） 環境計量士（濃度関係）

バイオマスは発熱量を持った燃料となり得るが、石炭とは性状が大きく異なっている。

表1からバイオマスは、石炭と性状の違いが多いことがわかる。そのため、石炭焚きボイラにバイオマス燃料を用いる場合、水分、灰分量、揮発分、発熱量、燃焼性状、元素性状およびバイオマス灰の化学組成や熔融温度を調査、検討し、外部障害の有無を事前に予測・把握することが重要となる。なかでも灰の化学組成の情報はアルカリ金属、アルカリ土類金属が多いため、炉内の灰汚れ（スラッキング、ファウリング）を把握するために重要である。

石炭の分析方法は日本工業規格<sup>(1)</sup>で規格・手順化されているが、バイオマスは規格化されておらず、前処理・分析方法の確立が急がれている。本稿ではバイオマス燃料に関して、特に灰の化学組成分析に関連した前処理方法、分析・評価方法の一端を紹介する。

## 2. バイオマスの灰の分析方法

バイオマスの灰はアルカリ金属、アルカリ土類金属の濃度が高いことが知られている。アルカリ金属は炉内で低融点化合物を形成しファウリングの要因となるため、バイオマスの灰の化学組成の情報（以下：灰組成）を得ることはファウリングの予測・回避の観点からも非常に重要である。本稿ではバイオマス3種（A、BおよびC）について灰組成を分析するための灰化処理方法および分析項目を検討した。バイオマスの概要および外観を表2および図1、図2、図3に示す。



図1 バイオマス A 外観



図2 バイオマス B 外観

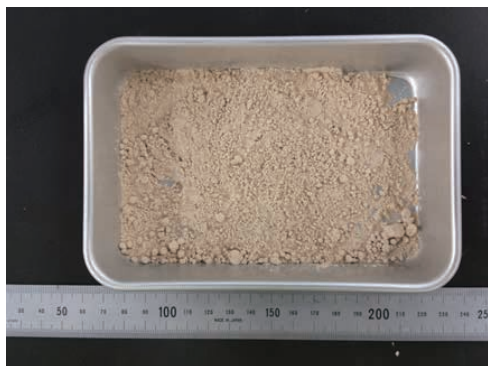


図3 バイオマス C 外観

表2 バイオマス3種の概要

	バイオマス A	バイオマス B	バイオマス C
産地	国内	カナダ	国内
形状	ペレット	ペレット	加工無し(粉碎のみ)
原材料	針葉樹	樹木系	スギ木材

## 2.1 灰化温度、灰化時間と灰分量の関係

石炭の灰組成を分析する際は、石炭を 815℃ にて恒量になるまで加熱した後の残渣を分析することとされている。しかし、バイオマスは低融点化合物が多いため、815℃ より低温で長時間加熱して灰化することが一般的に推奨されている。本稿では3種類のバイオマスについて、灰化温度（500℃、600℃、700℃）と灰化時間（3時間、6時間、12時間、24時間）が灰分量に及ぼす影響について調査した。

バイオマスの灰化方法は公的な規格方法が無いため、「JIS M 8812 石炭の工業分析方法」中の「灰分定量方法」に準拠し、マッフル炉を用いて加熱、灰化した。バイオマス A の灰化温度、時間、灰分量の関係を図 4 に示す。

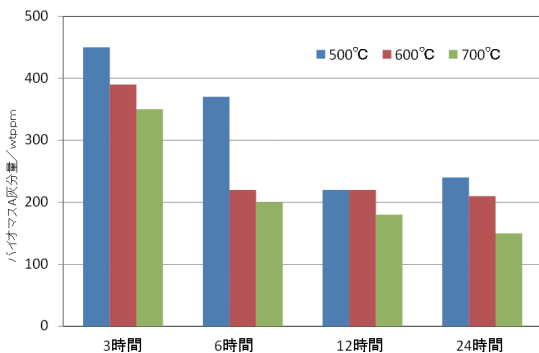


図 4 バイオマス A の灰化温度と灰化時間が灰分量に及ぼす影響

図 4 からバイオマス A は温度を高く、また時間を長くすれば灰分量が低くなるのがわかる。12時間から24時間と時間を長くした場合に灰分量が若干増加する場面があるが、これは酸化物の形成等が一因と考えられる。

バイオマス B の灰化温度、時間、灰分量の関係を図 5 に示す。

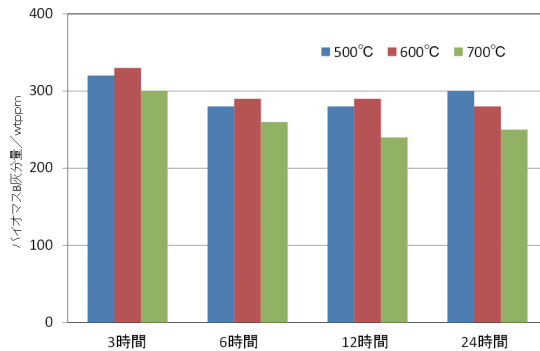


図 5 バイオマス B の灰化温度と灰化時間が灰分量に及ぼす影響

図 5 からバイオマス B は、時間および温度の影響がバイオマス A と比較して少ないことがわかる。12時間から24時間と時間を長くした場合に灰分量が若干増加する点はバイオマス A と同様である。

バイオマス C の灰化温度、時間、灰分量の関係を図 6 に示す。

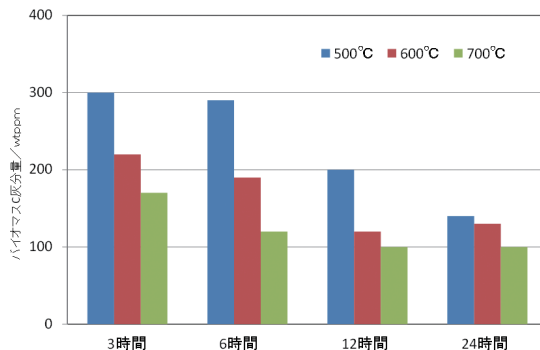


図 6 バイオマス C の灰化温度と灰化時間が灰分量に及ぼす影響

図 6 からバイオマス C は、500℃ では 24 時間まで灰分量が低下し続けることがわかる。

バイオマス A、バイオマス B、バイオマス C は温度、時間と灰分量減少の関係に異なった傾向を示した。温度、時間と灰分量の関係を表 3 に示す。

表3 バイオマス3種と温度、時間と灰分量の関係

温度	灰分量の関係
500℃	バイオマスCにおいて24時間でも恒量にならない。
600℃	3種のバイオマスにおいて12時間でほぼ恒量となる。
700℃	バイオマスAにおいて24時間でも恒量にならない。

以上の結果から、3種類のバイオマスを加熱・灰化させた灰分を恒量とするには、灰化温度600℃、灰化時間は12時間が最適と考えられる。

## 2.2 灰化温度と灰組成の関係

石炭の灰組成分析は、石炭を815℃にて灰化した灰を分析する。しかし、バイオマスは低融点化合物が多いため、同温度ではこれらが揮散する可能性が指摘されている。本稿では3種類のバイオマスを3温度条件（600℃、700℃、815℃）で12時間加熱、灰化し、組成がどのように変化するかを調査した。

### (1) アルカリ金属成分（ナトリウム、カリウム）

アルカリ金属は他の金属成分より低温度で揮散すると言われている。そのため、灰化温度を600℃、700℃、815℃の3条件で実施し、アルカリ金属成分の濃度変化を調査した。

図7に3種類のバイオマスを600℃、700℃、815℃で灰化した際のバイオマス灰中Na<sub>2</sub>O濃度を示す。

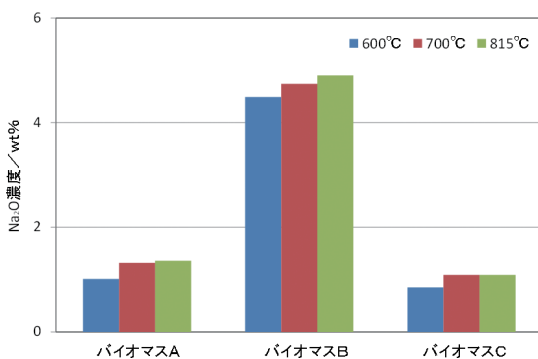


図7 灰化温度とNa<sub>2</sub>O濃度との関係

図7から3種類のバイオマスは灰化温度を高くしても濃度は減少せず、逆に若干の濃縮傾向が見られた。これは他の成分が揮散・減少したことにより、相対的にNa<sub>2</sub>Oが濃縮されたためと考えられる。

図8に3種類のバイオマスを600℃、700℃、815℃で灰化した際の灰中K<sub>2</sub>O濃度を示す。

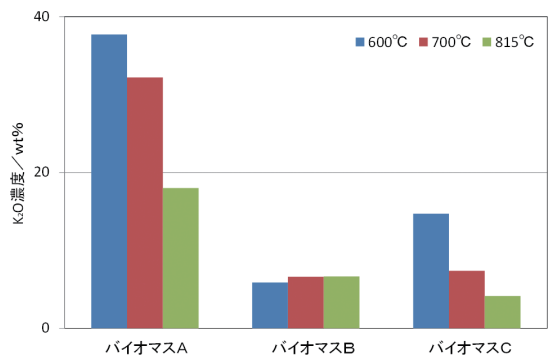


図8 灰化温度とK<sub>2</sub>O濃度との関係

図8からバイオマスBは温度による濃度変化がほとんど無いが、バイオマスAおよびバイオマスCは灰化温度が高くなるにつれて濃度が低くなるのがわかる。この濃度低下はカリウムの揮散が原因と考えられる。故にバイオマスの灰化は600℃以下の低温度で実施する必要がある。

### (2) アルカリ土類金属成分（マグネシウム、カルシウム）

図9、図10に3種類のバイオマスを600℃、700℃、815℃で灰化した際の灰中MgOおよびCaO濃度を示す。

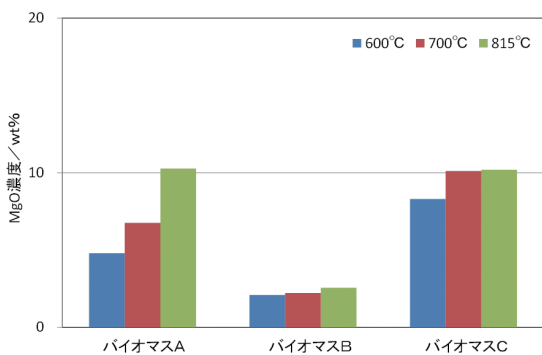


図9 灰化温度とMgO濃度との関係

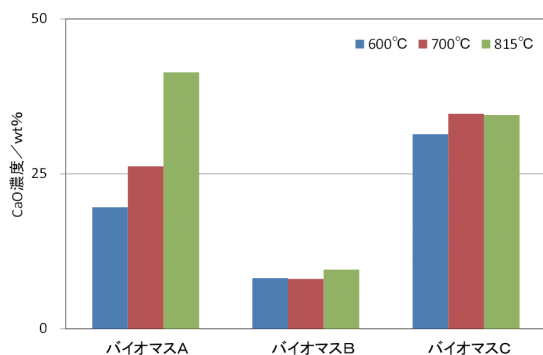


図10 灰化温度とCaO濃度との関係

図9から、バイオマスAおよびバイオマスCは灰化温度が高くなるにつれてMgO濃度が高くなることからわかる。これは他の成分が揮散・減少（例えば前項で述べたカリウムの揮散・減少など）により、相対的にMgOが濃縮され、濃度が高くなったためと考えられる。バイオマスBはバイオマスAおよびCと異なり、前項のカリウムで温度変化による濃度変化がほとんど無いため、MgOも温度変化による濃度変化がほとんど現れなかったものと考えられる。

図10から、バイオマスAおよびCは灰化温度が高くなるにつれてCaO濃度が高くなることからわかる。これはMgOと同様、他の成分が揮散・減少したため相対的にCaOが高くなったためと考えられる。バイオマスBはMgOの場合と同様、温度の影響がほとんど見られなかった。

(3) その他金属成分（ケイ素、アルミニウム、マンガン、鉄、チタン、リン）

表4に3種類のバイオマス（A、B、C）を600°C、700°C、815°Cで灰化した際の、灰中SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MnO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>の濃度を示す。

表4 灰化温度と金属成分濃度

	SiO <sub>2</sub>			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
600°C	3.61	59.4	6.23	0.95	11.97	1.62	2.82	4.87	21.56
700°C	4.53	55.5	7.91	1.18	11.84	2.09	3.11	5.23	21.94
815°C	6.50	55.7	12.80	1.64	12.83	2.44	4.46	5.68	23.97
濃縮/減少	濃縮	維持	濃縮	濃縮	濃縮	濃縮	濃縮	濃縮	濃縮
	MnO			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			TiO <sub>2</sub>		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
600°C	0.16	0.43	2.71	1.43	0.63	3.04	0.09	0.42	0.13
700°C	0.23	0.48	3.13	1.74	0.70	3.29	0.11	0.45	0.13
815°C	0.31	0.55	3.05	2.37	0.71	3.29	0.16	0.49	0.14
濃縮/減少	濃縮	濃縮	濃縮	濃縮	濃縮	濃縮	濃縮	濃縮	維持

815°Cと600°Cを比較して相対比10%以上の濃度変化がある場合→濃縮 or 減少

表 4 からバイオマス B における  $\text{SiO}_2$  およびバイオマス C の  $\text{TiO}_2$  以外の成分において、灰化温度が高くなるに伴い、灰中濃度が高くなっていることがわかる。

また、バイオマス A およびバイオマス C は  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  が少ない ( $\text{SiO}_2$ : 15%以下、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 5%以下) が、バイオマス B は  $\text{SiO}_2$  が 50%以上、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  が 10%以上と石炭灰に近い組成を持つことがわかる。このことからバイオマス B はピート燃料に近いものと考えられる。

#### (4) 灰中硫黄濃度

図 11 に 3 種類のバイオマスを 600℃、700℃、815℃で灰化した際の、灰中  $\text{SO}_3$  濃度を示す。

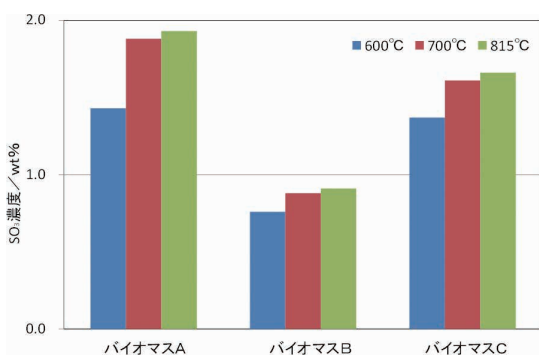


図 11 灰化温度と  $\text{SO}_3$  濃度との関係

図 11 から温度の上昇に伴い、灰中  $\text{SO}_3$  濃度はバイオマス 3 種において若干の増加傾向を示すことがわかる。

#### (5) 灰化温度とバイオマス灰組成について

バイオマス 3 種の灰化温度と灰組成の関係はアルカリ金属（特に濃度の高いカリウム）において、高温で濃度の低下がみられた。他の成分は高温になるにつれて濃度の上昇がみられ、これはカリウム濃度減少に伴い相対的に濃度が高くなることが一因と考えられる。バイオマスは生物（天然の木など）由来のため、カリウムが多く含まれる種類が多いが、カリウムは高温で揮散し、濃度が低下

してしまう（例えばバイオマス A では 600℃加熱・灰化した場合の  $\text{K}_2\text{O}$  濃度は 38%であるが、815℃では 18%まで低下する）。ボイラ内におけるファウリングを予測・回避するには、バイオマス灰中のアルカリ金属濃度を確実に把握する必要がある、揮散による濃度の低下がおこらないよう 600℃以下での加熱・灰化が必要である。

### 2.3 バイオマスの分析項目・方法検討

2.2 項 (1) ~ (4) にて分析したアルカリ金属、アルカリ土類金属、その他金属成分および灰中硫黄濃度の合計（11 成分）を表 5 に示す。

表 5 各温度における 11 成分の合計

	11 成分合計		
	バイオマス A	バイオマス B	バイオマス C
600℃	71.3	96.7	88.2
700℃	77.0	96.5	91.0
815℃	86.8	100.4	96.2

一般的な石炭灰組成では 11 成分の合計で 95%以上になる。しかしバイオマス A では 815℃で 86.8%、700℃で 77.0%、600℃では 71.3%。またバイオマス C も 700℃で 91.0%、600℃で 88.2%であり、95%より大幅に低い。故にこれまでに調査した 11 成分以外の成分が含まれていると考えられる。

11 成分:  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{SO}_3$

#### (1) 炭酸の存在

バイオマス A およびバイオマス C を石炭と比較した場合、表 6 に示すようにカリウムおよびカルシウムの含有量が多いことが特徴として挙げられる（一般的な石炭灰は  $\text{K}_2\text{O}$  で 3%以下、 $\text{CaO}$  で 10%以下）。また、灰組成分析における酸添加時に気泡が激しく発生したことから、炭酸の存在が

考えられる。そこで、各バイオマス灰の炭酸量を調査した。表6および図12に各灰化温度と炭酸濃度を示す。

表6 各灰化温度と炭酸 (CO<sub>2</sub>) 濃度

	CO <sub>2</sub>		
	A	B	C
600°C	CaO:19.6% K <sub>2</sub> O:37.7%	CaO:8.16% K <sub>2</sub> O:5.86%	CaO:31.4% K <sub>2</sub> O:14.7%
	24.9%	3.1%	10.5%
700°C	CaO:26.2% K <sub>2</sub> O:32.2%	CaO:8.04% K <sub>2</sub> O:6.62%	CaO:34.7% K <sub>2</sub> O:7.37%
	21.3%	0.4%	6.1%
815°C	CaO:41.4% K <sub>2</sub> O:18.0%	CaO:9.55% K <sub>2</sub> O:6.64%	CaO:34.5% K <sub>2</sub> O:4.15%
	10.6%	0.2%	2.4%

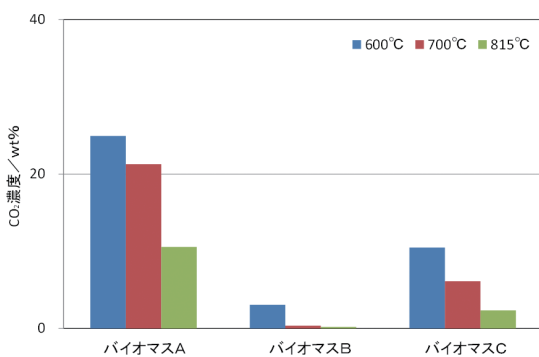


図12 灰化温度と炭酸濃度との関係

表6および図12から、バイオマスAおよびバイオマスCの灰には炭酸が非常に多く含まれていることがわかる。また、含有量はバイオマスAでは600°Cで25%、700°Cで21%、バイオマスCでは600°Cで11%であった。灰化時の温度がより低い場合に濃度が濃く、またカリウム、カルシウム含有量がより多い場合も濃度が高くなることわかる。

図13にCO<sub>2</sub>とK<sub>2</sub>OおよびCaOのモル量関係を示す。

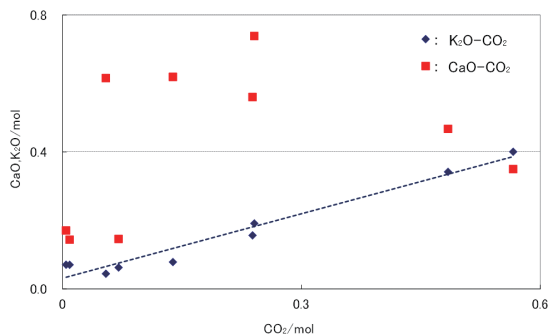


図13 CO<sub>2</sub>とCaO、K<sub>2</sub>Oのモル量関係

図13からCO<sub>2</sub>-CaOは相関が薄い、CO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>Oは比例関係にあることがわかる。このことはK<sub>2</sub>OとCO<sub>2</sub>が灰中でK<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>の形態で存在していることを意味している。K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>の融点は891°Cと他の金属化合物より低温であり、加熱温度によって炭酸カリウムの分解・揮発に伴い濃度低下が考えられるため、バイオマスを灰化する際には低温で灰化し濃度低下を抑制する等の注意が必要である。

## (2) 炭酸を考慮した灰組成

(1) 項の調査により、カリウムの多いバイオマス灰には炭酸が多く含まれるため、バイオマス灰組成の合計が95%以上にならなかったと考えられる。図14に各バイオマス灰における11成分の合計および炭酸量、炭酸との合計値を示す。

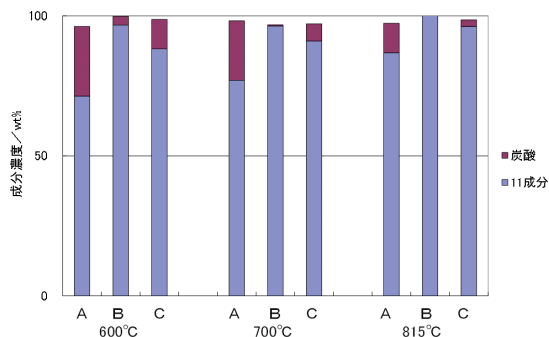


図14 11成分の合計、炭酸量、炭酸との合計値

図14から11成分合計に炭酸を加えると、バイオマス灰組成の合計値が95%以上になることがわかる。このことから、バイオマス灰を分析する際には炭酸を分析する必要があると言える。

しかし、炭酸はSiO<sub>2</sub>やAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>などの灰組成成分と異なり、石炭に含有されるミネラル（無機成分）ではなく、燃焼時に発生するCO<sub>2</sub>がカリウムと反応し、K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>（K<sub>2</sub>O+CO<sub>2</sub>→K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>）として固定化されたものであり、他の灰組成成分とは区別して考えるべき項目である。

### 3. その他バイオマスの特徴

#### 3.1 溶融性

バイオマス灰はカリウム濃度やカルシウム濃度、炭酸濃度の観点からも、石炭灰と組成が大きく異なる。この違いが溶融特性にどのような影響を与えるか調査した。測定方法はDIN51730高温加熱顕微鏡法<sup>(2)</sup>とし、測定雰囲気は還元性（CO：60%+CO<sub>2</sub>：40%）とした。

用いたバイオマス灰および比較用石炭（瀝青炭）の組成を図15に示す。

600℃で灰化したバイオマス灰の溶融温度近傍

の外観変化を図16に、石炭の溶融温度近傍の外観変化を図17に示す。

バイオマス灰は1380℃で溶け始め、1400℃で融点となる。石炭灰は溶融の過程で軟化（※3）、半球（※4）等の形状変化が確認できるが、バイオマスではこれらの形状変化を確認できなかった。

※3：テストピースの先端または縁が丸くなり角が無くなる温度。

※4：テストピースがほぼ半球になった温度で、その高さが目視観察にて底部の直径の半分になる温度。

今回用いたバイオマスはSiO<sub>2</sub>やAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が少なく、CaOやK<sub>2</sub>Oが多く含まれている。石炭灰はSiO<sub>2</sub>

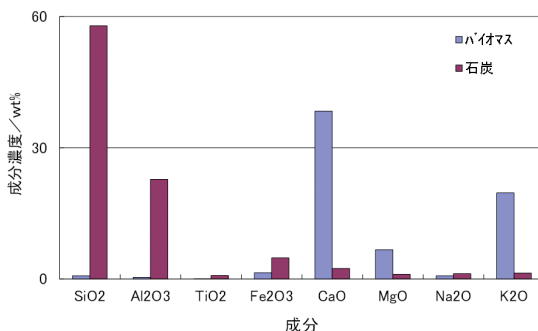


図15 バイオマス灰および比較用石炭の組成

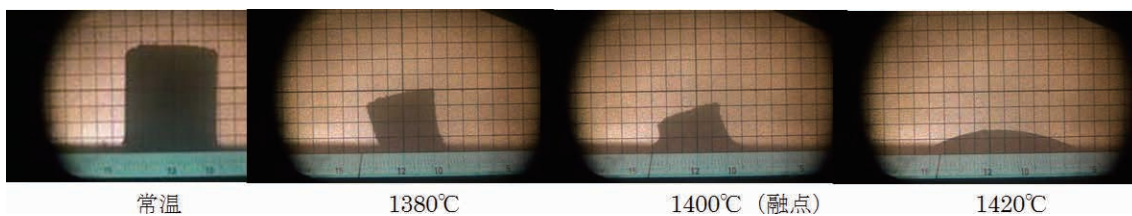


図16 バイオマス灰の溶融観察（常温、融点±20℃）

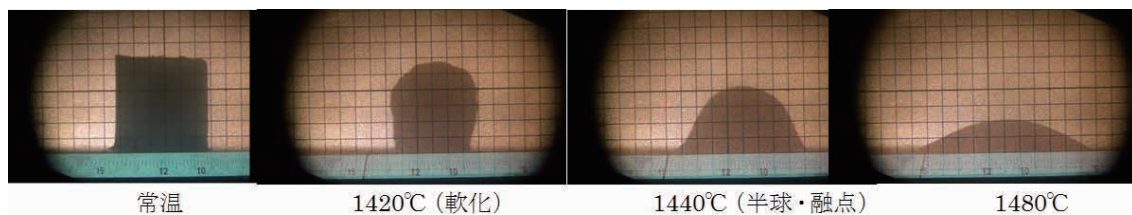


図17 石炭灰の溶融観察（常温、軟化温度、融点、融点+20℃）



や  $\text{Al}_2\text{O}_3$  などの酸性成分が多いのに対し、バイオマスは  $\text{CaO}$  や  $\text{K}_2\text{O}$  などの塩基性成分が多いことが熔融挙動の違いとして現れた一因と考えられる。塩基性成分の多いバイオマス灰は軟化の形状や半球の形状が見られないこと、また溶け始めから熔融までの時間が短いことが特徴である。

### 3.2 燃焼性

バイオマスは石炭に比べて揮発分が多く、固定炭素が少ないため燃焼速度が速いと言われている。この「燃焼速度」を調べるために石英製流動層燃焼試験装置にて燃焼試験を行い、酸素濃度変化を測定し、石炭（瀝青炭）2種と比較した。

#### (1) 試験装置

- ・ 形式：常圧石英製流動層燃焼炉（図 18、図 19 および図 20 参照）
- ・ 炉形状：透明石英管（内径 52mm、高さ 750mm）
- ・ 空気分散方式：石英焼結板
- ・ 流動層予熱方式：プロパンガス燃焼による加熱空気
- ・ 試験条件等：表 7 参照

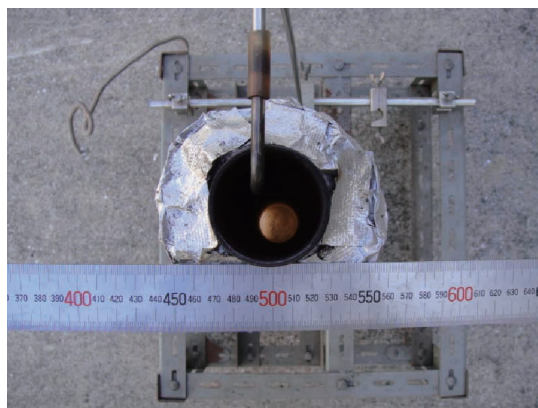


図 19 常圧石英製流動層燃焼炉外観（上から）

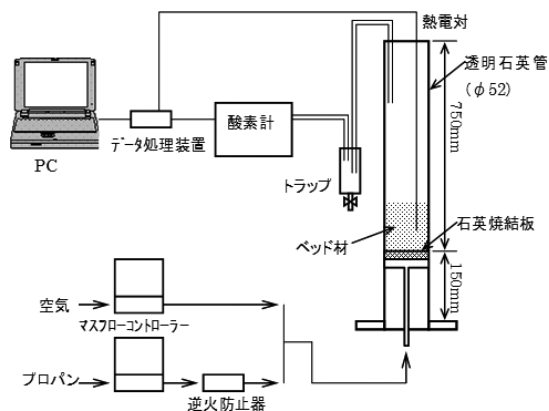


図 20 常圧石英製流動層燃焼炉概略図



図 18 常圧石英製流動層燃焼炉外観

表 7 試験条件

形式	常圧石英製流動層試験炉
層温度	850°C
ベッド材	珪砂0.3mm~1.0mm
流動ガス中酸素濃度 (石炭投入前酸素濃度)	約10.5% (プロパンによる加熱空気)
燃料投入量	石炭 0.5g
投入方法	ガンピ紙に封入して投入

## (2) 評価方法

バイオマスの燃焼を酸素濃度の変化で捉え、その変化度合いから燃焼速度を石炭と比較した。燃焼は最初に揮発分が燃焼し、その後、チャーの燃焼へと変化する。揮発分燃焼は瞬間的に起こり、燃料投入直後に急激な酸素濃度低下が見られる。石英製流動層燃焼試験装置を用いて得られる酸素消費率と燃焼時間の関係を図 21 に示す。

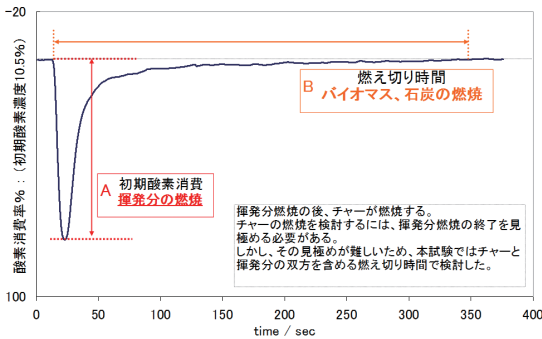


図 21 酸素消費率と燃焼時間の関係

石炭およびバイオマスの燃焼は揮発分の燃焼とチャーの燃焼に区分できる。揮発分の燃焼は燃料投入直後に火炎が発生することで確認できる。

チャーの燃焼は揮発分燃焼の後に始まる。チャーの燃焼性を評価するためには、チャーの燃焼開始を見極める必要があるが、それには「肉眼による炎の消滅の確認」など、あいまいな判断が入る。チャーの燃焼時間は燃焼時間の大半を占めるため、本研究ではチャーと揮発分の双方を含めた石炭の燃焼性を燃え切り時間（※ 5）から評価した。

※ 5： 燃え切り時間：酸素濃度が投入前の 95%（酸素濃度 9.5%）まで回復する時間

試験に用いたバイオマス、石炭 A および石炭 B の工業分析結果（水分、揮発分および固定炭素）を表 8、図 22 に示す。

表 8 試験に用いたバイオマス、石炭 A、石炭 B の工業分析結果

	水分	揮発分	固定炭素
バイオマス	7.5	76.1	16.0
石炭A	2.7	28.7	54.6
石炭B	2.6	24.7	58.0

単位：wt%

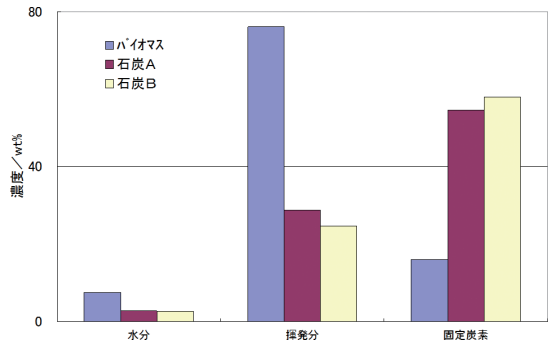


図 22 試験に用いたバイオマス、石炭 A、石炭 B の工業分析結果

表 8 および図 22 からバイオマスは揮発分が多く、固定炭素が少ないことがわかる。

## (3) 試験結果

図 23 に常圧石英製流動層燃焼炉を用いて、バイオマス、石炭 A および石炭 B を燃焼させた結果を示す。なお、燃え切り時間は酸素濃度が 9.5% に回復する時間から燃焼開始時間（50sec）を差し引いた時間とした。

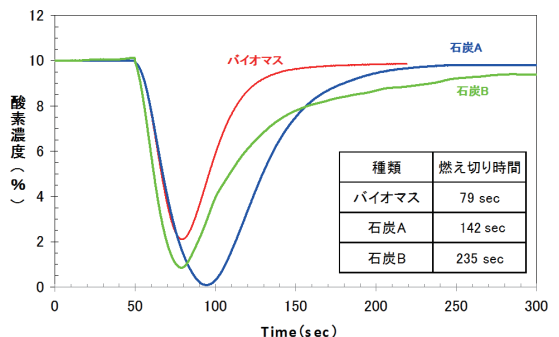


図 23 常圧石英製流動層燃焼炉による試験結果

図 23 からバイオマスは石炭 A、石炭 B より燃え切り時間が短く、燃焼速度が速いことがわかる。また、揮発分燃焼後の回復が早いことから、揮発分の燃焼が主であることもわかる。

#### 4. まとめ

今回、バイオマスに関連した灰の前処理方法、灰の分析・評価方法、溶融性、燃焼性について紹介した。バイオマスは石炭と同様にボイラ燃料として用いられているが、バイオマスの性状を的確に把握するには、アルカリ金属濃度の低下を抑制するため灰化温度を低くする、灰組成分析時には炭酸を考慮する等、石炭とは違った対応が必要である。また、溶融性や燃焼性も石炭とは異なる傾向を示すため、石炭と同様ではなくバイオマスに適した前処理・分析・評価が必要であることがわかった。

「バイオマス」と一括りに言われるが、石炭と同様に種類は非常に多い。今後、火力発電へのバイオマス運用が増えるにつれて、分析を行うバイオマスの種類、分析項目等も増えることが予想される中、最適な分析を実施するための一助として役立てば幸いである。

#### 参考文献

- (1) 日本規格協会、2004、JIS M8812 石炭類及びコークス類－工業分析試験方法
- (2) 茂田潤一、知恵賢二郎：高温加熱顕微鏡による石炭灰の溶融温度測定技術、IIC REVIEW、Vol.49、2013/04、pp.46-55



計測事業部 化学・環境部  
博士（理学）  
環境計量士 一般計量士  
知恵 賢二郎  
TEL. 045-791-3516  
FAX. 045-791-3541



技師長  
博士（学術）  
環境計量士（濃度関係）  
茂田 潤一  
TEL. 045-791-3516  
FAX. 045-791-3541