

---

# マレーシア科学大学（マレーシア） 研修報告書

## 微細藻類の水熱単価によるバイオチャーの生成

工学研究科 機械物理工学専攻 藤原 芳樹

### 1. はじめに

2018年8月13日から同年9月10日の間、マレーシアのマレーシア科学大学において研究を行なった。その報告を以下にする。

### 2. 共同研究課題の決定

マレーシア科学大学で在籍していた研究室では、バイオマスに関する研究が盛んに行われており、またバイオマス燃料として近年期待されている微細藻類についても研究室内での培養が行われている。自身も広島大学の研究室でバイオマスの変換方法の一つである水熱処理について研究を行なっているため、マレーシア科学大学において水熱処理による微細藻類のエネルギー変換に関する共同研究を行う。

### 3. 共同研究スケジュール

2018年8月12日 出国

2018年8月13日～2018年9月10日 研究, プレゼンテーション

2018年9月11日 帰国

### 4. 共同研究派遣先の概要

大学名: Universiti Sains Malaysia

所在地: Jalan Inovasi 14300 Mukim 9, Penang Malaysia

指導教員: Prof. Keat Teong Lee

### 5. 共同研究内容

#### 5. 1 概要

既に知られている埋蔵量から化石燃料が近い将来枯渇することは確かであり、エネルギー源として石炭の利用の増加が予想される<sup>1)</sup>。また石炭や石油のような化石燃料は地下に大量に蓄えられていた炭素を短時間に大気中に放出するため地球温暖化など環境問題に大きな影響を与えている。対照的にバイオマスの燃焼は、大気中に元々存在した二酸化炭素を放出するため、カーボンニュートラルである。また、バイオマス資源の一種である微細藻類は、細胞分裂速度が速く、CO<sub>2</sub>固定能力が高いなどの特徴を持っている<sup>2)</sup>。微細藻類をエネルギー資源に変換する方法として、各種の方法が考えられるが、乾燥工程が不必要な水熱処理が効果的と考えられる。既往の研究として、微細藻類を水熱炭化することによって、実験後に回収されるバイオチャーの炭素濃度の増加が確認されている<sup>3)</sup>。しかしながら、炭化を進行させるために比較的高温にしなければならない問題がある。これに対して、エタノールを添加することによって臨界点をより低温低圧側に移動し、同じ対臨界定数をより低温低圧で実現することが考えられる。一方、エタノールを加えることによって反応性が低下することも考えられる。しかしながら、エタノール水溶液を反応場として水熱炭化を実施した例はない。そこで本研究では、水熱炭化中のエタノール混合割合を変化させ、チャー生成への影響を確認することを目的とした。

#### 5. 2 実験方法および結果

---

Table 1 Elemental analysis of *Chlorella vulgaris*

| C[%] | H[%] | N[%] | S[%] | O[%] |
|------|------|------|------|------|
| 27.4 | 7.0  | 5.5  | 0.4  | 59.7 |

本研究で使用した原料は、マレーシア科学大学で培養された *Chlorella vulgaris* である。この試料の元素組成を Table 1 に示す。反応器はステンレス製、内径 0.65 m、深さ 10.5 m、体積 250 ml、実験容量 200 mL の回分式反応器を用いた。まず、試料、反応に用いる水とエタノール、反応器の重量を電子天秤を用いて計測した後、反応器を制御設備に設置し、蓋を閉め、反応器内の圧力が 10 MPa になるまで窒素ガスを入れた。この操作は反応器内が全て窒素ガスになるように 3 回繰り返し行なった。次に反応器の温度を目標温度まで上昇させ、目標温度 (210°C) に到達後 30 分間維持し、その後に電源を切り冷却させた。温度上昇中と反応時間の間は、時間、圧力、温度の計測を行なった。実験終了後、反応器と試料の総重量を電子天秤を用いて測定した。実験中の反応器内の圧力は熱電対と圧力計を用いて測定した。今回の実験では、水とエタノールの体積比が 10:0, 9:1, 7:3, 5:5, 3:7, 1:9, 0:10 となるようにした。生成したバイオチャーは 2  $\mu$ m のフィルターを用いて液体サンプルと分離、乾燥させ、重量を測定した。さらにバイオチャーの収率を実験後に得られたバイオチャーの重量を実験に用いた試料の重量で割って決定した。回収されたチャーについては高位発熱量 (HHV) 分析を行なった。

### 5. 3 考察

Table 2 Pressure reactor

| Ethanol:Water  | 10:0 | 9:1 | 7:3 | 5:5 | 3:7 | 1:9 | 0:10 |
|----------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Pressure [bar] | 40   | 45  | 35  | 35  | 30  | 27  | 25   |

水とエタノールの混合比率を変えた場合の反応温度到達時の反応器内圧力を Table 2 に示す。溶液内のエタノール割合が高いほど、反応器内の圧力が高くなることがわかる。これは、同じ温度においてエタノールの蒸気圧が水よりも高いことが原因だと考えられる。Table 3 に各条件での HHV とバイオチャー収率を示す。水だけを溶液として用いた場合と比較するとエタノールを混合することによって HHV の値が高くなっているのがわかる。また、HHV の値は、エタノールと水の体積比が 3:7 となるまでは、エタノールの混合割合が高くなるほど上昇している。しかしそれ以降は、HHV の値が逆に減少する傾向が確認された。バイオチャーの収率についても、水にエタノールを添加すると上昇する傾向があるが、さらにエタノールの混合割合を高くすると、減少に転じることがわかる。エタノールと水の混合物を反応媒体とした場合の水熱炭化については、発熱量、収率ともに最大となる比率があることがうかがわれる。

Table 3 HHV and yield of biochar

| Ethanol:Water        | 10:0 | 9:1  | 7:3  | 5:5  | 3:7  | 1:9  | 0:10 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| HHV [MJ/kg]          | 36.4 | 29.1 | 36.8 | 45.8 | 51.3 | 44.2 | 24.5 |
| Yield of biochar [-] | 0.34 | 0.2  | 0.21 | 0.22 | 0.26 | 0.27 | 0.23 |

今回の実験で用いた *Chlorella vulgaris* の HHV は 12 MJ/kg であったので、水熱炭化によって生成されたバイオチャーでは、HHV の値が 2.5 倍から 4 倍に上昇したことになる。また代表的な石炭の HHV が 29 MJ/kg であるので、本研究で得られたバイオチャーを燃料として用いることは十分に可能であると考えられる。しかし、いずれの条件でも収率が 0.2-0.34 と低くなっている。この値の妥当性を検討するために、エネルギー回収率を計算した。エネルギー回収率は、生成物の有する発熱量を原料の発熱量で割った値とし、以下の式で計算した。

$$\eta = w \frac{Q_c}{Q_f} \quad (1)$$

式中、 $\eta$ 、 $w$ 、 $Q_c$ 、 $Q_f$  はそれぞれ、エネルギー回収率[J/J]、バイオチャーの収率[kg/kg]、チャーの HHV[J/kg]、原料の HHV[J/kg] である。Table 4 に得られたエネルギー回収率を示す。エネルギー回収率もやはりエタノールの添加とともに増加、その後減少する傾向を示し、その最大となるエタノール比率は、発熱量、バイオチャー収率が最大となるエタノール：水体积比が 3:7 の点であることがわかる。また、その値は 1.11 となっている。チャーの有する発熱量が原料の発熱量よりを高くなっていることは、水熱炭化の反応が吸熱反応であることを示唆する。この低温でバイオマスが吸熱反応を進行させることは考えにくく、実験誤差が比較的大きいことが考えられるが、原料の有している発熱量がほぼ完全にバイオチャーに回収できているものと考えられ、このバイオチャー収率は十分に妥当な値と判断できる。

Table 4 Energy yield

| Ethanol:Water    | 10:0 | 9:1  | 7:3  | 5:5  | 3:7  | 1:9  | 0:10 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Energy yield [-] | 1.03 | 0.49 | 0.64 | 0.84 | 1.11 | 0.98 | 0.47 |

## 6. まとめ

微細藻 *Chlorella vulgaris* の水熱炭化の反応溶媒を水とエタノールの混合溶液を用いて行った結果、水にエタノールを混合するにつれて生成バイオチャーの HHV もバイオチャー収率も増加し、その後減少する傾向が確認された。エネルギー回収率も同様の傾向を示し、これらの値が最大になるのはエタノールと水の体積比が 3:7 の溶液を用いた時であった。エネルギー回収率はほぼ 1 であり、原料の有する発熱量がほぼ完全にバイオチャーとして回収できることが確認された。

## 7. 謝辞

本研究は広島大学大学院工学研究科海外共同研究の一環で行われた。