

# 福岡工業大学 機関リポジトリ

## FITREPO

Title	竹炭に関する研究Ⅱ
Author(s)	服部 毅範
Citation	福岡工業大学研究論集 第39巻第2号 P207-P213
Issue Date	2007-2
URI	<a href="http://hdl.handle.net/11478/908">http://hdl.handle.net/11478/908</a>
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	Author version

Fukuoka Institute of Technology

## 竹炭に関する研究II

服 部 毅 範 (生命環境科学科)  
保 坂 昌 克 (システムマネジメント学科)

### Study on Bamboo Charcoal II

Takenori HATTORI (Department of Life Environmental Science)

Masakatsu HOSAKA (Department of System Management)

#### Abstract

Bamboo charcoal, which is the solid ingredient of bamboo, is produced by dry-distilling the raw material of bamboo in the sealing type electric furnace for the experiment(experiment furnace). The main purpose of this experiment is to decide the optimal temperature and the length of maintenance time for producing high quality bamboo charcoal. Consequently, the following knowledge was acquired. 1) When the furnace temperature is raised quickly, the bamboo charcoal gets cracks, and becomes fragile. It is, therefore, necessary to set the gradual heat decomposition temperature range of the bamboo material by the dry distillation, and secure the sufficient maintenance time. 2) In order to promote carbonization, it is important to maintain the temperature after the dry distillation temperature is gradually raised to the upper limit temperature of 800°C. 3) It has not resulted in decision of the setting temperature and the length of the maintenance time, since it is difficult to produce uniform bamboo charcoal in quality, and moreover the visual observation performed by the knowledge acquired through experience can not be used. In consideration of these points above, not only striving for collecting further data through the experimental furnace but also trying to produce higher quality bamboo charcoal which is equal to evaluation by using the metal bamboo charcoal kiln.

Keywords: *bamboo charcoal, experiment furnace, heat decomposition temperature, dry distillation, carbonization*

#### 1. はじめに

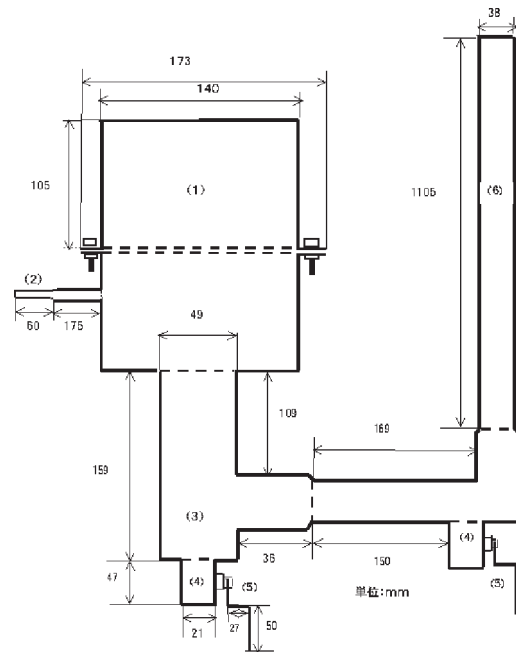
自然を愛でる日本の伝統文化は和風建築に見る事ができる。竹は日本の文化に奥深く浸透し、和風庭園に重要な役割を担っている事が多い。それはまた、西洋建築にない日本独特の風情の奥の深さを醸し出す要因

の一つでもある。孟宗竹は4～5年で成竹となるため、1～2年も放置すると、異常に繁茂する。その結果建築材である杉および檜の植林域に入り領域を拡大して行く。植栽後10年未満の杉・檜は枯死し、ある程度生長した木も竹と接触する事により傷つく事が多い。それらの木は、建築材料としての価値が低下すると云う問題が発生する。放置された竹林はこの様に生育領域を拡大するため、山林や農地にとって厄介者の代表になってくる。この厄介者を逆に有効利用をする試みと

して、都市部の人と農山村の人との交流活動がTV等で放映される。中でも手近な事例としては、立花町の放置竹林の有効資源化利用がある。立花町では当該問題に対して、「夢たちばなプロジェクト」を立ち上げ内閣府の「地域再生計画」が認定され、国の補助も決まりスタートしている<sup>1)</sup>。以前から沿岸漁業の漁獲量が減少したのは里山の自然崩壊が一因であると云われてきた。自然環境保護の見直しが始まり、特に海に携わる漁業者が豊かな山作りに参加する様になっている。即ち、漁業と豊かな森林作りとの関係についての認識が深まっているのである。里山の手入れを行うことによって自然環境の保護と同時に自然の維持が可能である事が一般市民にも浸透しつつある。このような観点から里山の自然環境保護の一環として、竹材を利用した竹炭作りが有効であると考え。今回は鉄製の竹炭窯を実験用密閉式電気炉（実験炉）に変え、竹材（孟宗竹）の乾留（燻煙）温度とその保持時間との関係をより明確にし、よりよい品質の竹炭の製造を試みた。その結果について報告する。

## 2. 作業工程および主な使用器具

今日まで、手作りで鉄製の竹炭窯を製作し、その窯で竹材を乾留（燻煙）して竹炭を製造している。しかし、そのためには、①竹材（高さ約5m、下部の周囲約40cm前後）の準備、②一定寸法での切断、③窯への詰め込み、④火入れ、⑤熱分解、⑥炭化（竹炭）の作業工程を経なければならない<sup>2)</sup>。この工程で竹炭を作るには最低3日間を要する。また、この作業では、竹炭窯内の最高温度が800°C前後と高いため安全面を十分考慮しておく必要がある。また、経験則に頼るばかりではなく、より高品質の竹炭を作るために必要なデータを収集する事が重要となる。そのために実験用密閉式電気炉（以降は実験炉と呼ぶ。）を用い、竹材の熱分解に伴う乾留温度とその保持時間との関係データを収集する。そこで実験炉（最高温度：800°C、製作：桜木理化学機械株式会社）を準備し、データの収集を行った。また、この実験炉の温度特性は昇温速度が約10°C/分である。この実験炉の概略を図1に示す。なお、実験炉の温度測定はHybrid Recorder DR130（YOKOGAWA）を使用する。



(1): 窯 (2): 不活性ガス注入口 (3): 煙道  
(4): 竹酢液留 (5): コック (6): 煙突

図1. 実験炉の概略

## 3. 竹炭の評価法

実験炉で製造した竹炭について以下の方法により評価する。

- ① 抵抗率の測定：抵抗率は竹炭を一定の形状に加工し、オームの法則により抵抗率を求める。
- ② 走査型電子顕微鏡による観察：炭化した竹炭の断面を観察するため横方にカットし、その断面を走査型電子顕微鏡（SEM: Scanning Electron Microscope）で観察する。
- ③ 音による判断：竹炭同士を打ち合わせた時に発生する打音が金属音を発生すれば良質の竹炭と判断する。
- ④ 揮発率の測定：揮発率は熱分解前の竹材の重さと乾留後の重さを秤量する。この差は竹材成分の酸化（揮発）量を示すので、これより揮発率を求める。

## 4. 竹炭製造

竹材の水分、養分は根から稈を通り、更に、葉の先

端にまで運ばれることから種々の管の組織が必要である。竹材は中が空洞の稈で、それは篩管、導管、それらを取り巻く維管束鞘、更に、柔細胞と呼ばれる組織から構成されたものである<sup>3)</sup>。竹材の特徴は樹木と違って縦、横の成長を促す形成層と呼ばれる組織が存在しないため竹の子が成長した段階で成長を停止し、竹材の外側に木化が形成される。そのため突風や衝撃に耐える非常に丈夫な稈と成る<sup>4)</sup>。この様な構造を有する竹材も他の植物と同様にヘミセルロース、セルロースおよびリグニンがある。この内リグニンは木化のため欠くことの出来ない成分である。また、これらの成分にはそれぞれ特定の熱分解温度（ヘミセルロース：180°C、セルロース：240°C、リグニン：420°C）が存在する<sup>5)</sup>。

本実験は実験炉の設定温度およびその保時時間の設定をそれぞれ変えて竹材を乾留する。実験炉内で竹材は加熱分解を受け、揮発成分は気化し、炭化過程を経た竹材は固形物として残留する。これが竹炭である。良質の竹炭を得るため以下の方法で製造を試みる。

#### (1) 設定温度の違いによる竹炭

竹炭を焼く実験炉の設定温度(乾留温度)を600, 700, 800, 900, 1000°Cの5段階に分けて乾留実験を行う。最初に、実験炉の温度設定を600°C、その温度に到達後直ちに電源をオフ、室温まで放冷し、竹炭を取り出す。これ以降も同じ方法で設定温度を700, 800, 900, 1000°Cとし、それぞれについても同様に繰り返し行う。5段階に分けた乾留設定温度分布を図2に示す。各設定温度で炭化した竹炭の揮発率および抵抗率をそれぞれ図3, 図4に示す。また、一例として設定温度1000°Cで炭化した竹炭の断面をSEMにより観察したものを写真1に示す。以上の結果よりSEMの観察からは、竹炭表面のハニカム状の構造および割れが顕著に観察される。また、設定温度の上昇と共に竹材成分の揮発率は約71~76%に上昇し、抵抗率は約380~0.5Ωcmに減少する。これらの原因は実験炉の昇温速度約10°C/分で急速に加熱するため、各種竹材成分の種々の熱分解温度の差異を考慮していない事にある。従って、実験炉の昇温速度と揮発成分の分解温度が対応していない。そのため竹材内部で急激に膨張し、内側および外側部分を問わず竹材の組織が破壊された竹炭となる。これらの環境の下では、竹炭に割れを生じ、しかも脆い竹炭が出来る。この様に、急速に炭化が進行した竹炭は抵抗率が1Ωcm以下まで減少する。これは炭化の進行に伴って電気伝導度に寄与する非局在化した $\pi$ 電子

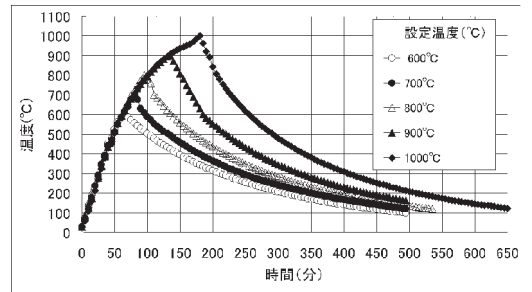


図2. 5段階の乾留温度による炭化

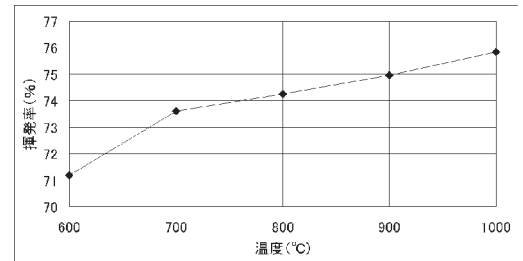


図3. 5段階の乾留温度に伴う揮発率

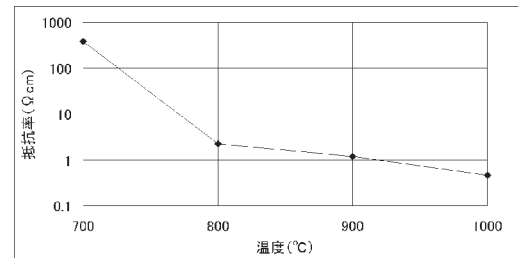


図4. 5段階の乾留温度に伴う抵抗率

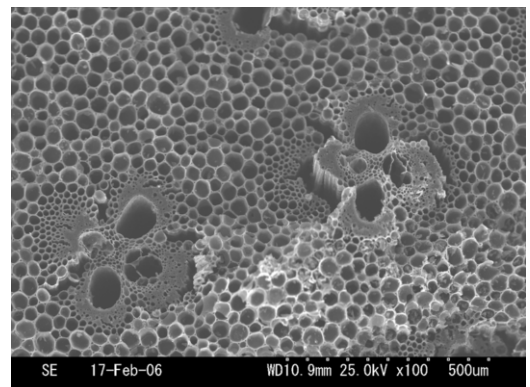


写真1. SEMによる観察

の増加に依存しているものと考える。また、これらは外見上も良くなく、脆く、打音も金属音とは程遠い。この様に急激な温度上昇の乾留方法で得た竹炭の品質は良くない。

(2) 200～400℃での乾留

竹材の成分であるヘミセルロース、セルロースおよびリグニンの各熱分解温度を考慮し、乾留設定温度の上限値を①300℃と②400℃に区分する。それぞれの設定温度とその保持時間をそれぞれ設定し、乾留を開始する。

① 設定温度を200℃で20時間保持、その後電源をオフ、室温まで放冷。これ以降も同様に設定温度を250および300℃、それぞれ20時間保持、同様に繰り返す。また、設定温度を300℃、10時間保持、その後電源をオフ、室温までの放冷をそれぞれ繰り返す。

上限値が300℃の場合、竹材成分の熱分解温度がヘミセルロース：180℃、セルロース：240℃である事から300℃までの設定温度とそれぞれの保持時間との関係を図5に示す。また、設定温度・保持時間に伴う揮発率を図6に示す。この場合竹材表面が変色し、薫煙された。しかし、竹材の変色は保持時間が5時間と20時間とで大きな差は見られない。これらの揮発率は約22～62%に上昇する。また、抵抗率が数百MΩcm以上であるため、今の抵抗率測定法では限界である。従って、抵抗率が高いためSEMの観察は出来ない。また、

熱処理後の竹材は未炭化なので打音は竹材そのものの音である。

② 乾留の設定温度を250℃で5時間保持、その後電源をオフ、室温まで放冷。これ以降も同様に設定温度を300, 350, 400℃、それぞれで5時間保持、同様に繰り返す。

上限値が400℃の場合の設定温度とそれぞれの保持時間の関係を図7に示す。設定温度と保持時間に伴う揮発率を図8に示す。揮発率は約30～70%に上昇する。これと①と比べて揮発率が約10%増加する。また、竹材の色が黒褐色に変色する。これは熱分解により竹材内部から成分が表面に溶出し、一部表面で固化したため変色したものと考える。また、揮発率が約70%に上昇したことは、炭化が始まる前段階に至ったものと判断する。従って、竹材の炭化には400℃以上の温度設定・保持時間が大きな影響を及ぼすものと考えられる。①と同様に、熱処理後の竹材は未炭化のため抵抗率も高く、SEMによる観察は出来ない。未炭化状態の打音は竹材そのものの音である。

(3) 設定温度および保持時間の影響

竹炭製造の際に、上記の②より熱分解温度範囲を考慮に入れる必要があるため設定温度およびその保持時間をそれぞれ設定する必要がある。よって、以下の方法で竹炭の製造を試みる。

A：300℃で5時間保持した後800℃まで急激に上昇

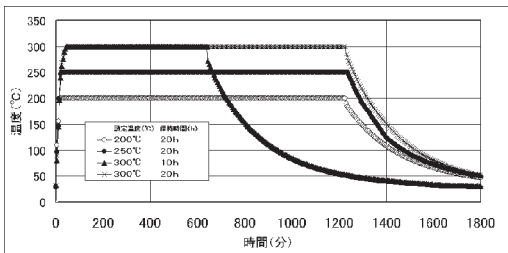


図5. 乾留温度と保持時間の関係

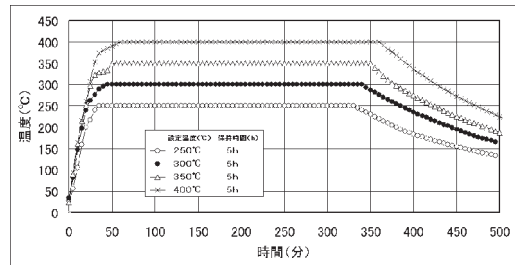


図7. 乾留温度と保持時間の関係

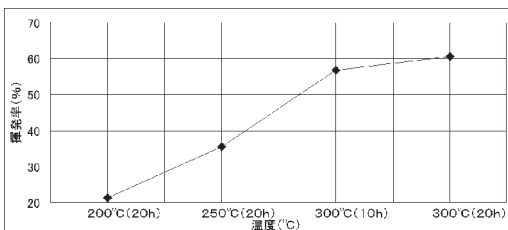


図6. 乾留温度・保持時間に伴う揮発率

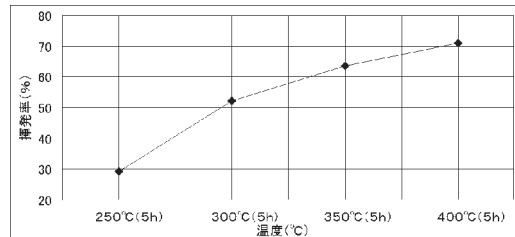


図8. 乾留温度・保持時間に伴う揮発率

させ電源をオフ、その後室温まで放冷。

B：250°Cで5時間保持、その後300, 400°Cで各3時間の保持、500°Cで2時間の保持、700°Cで電源をオフ、その後室温まで放冷。

C：250°Cで15時間保持、その後300, 400, 500, 600, 700, 800°Cで各々2時間保持、その後電源をオフ、その後室温まで放冷。

D：250°Cで20時間保持、その後300, 350°Cで各3時間保持、400°Cで2時間保持、500, 600, 700°Cで各1時間保持、800°Cで電源をオフ、その後室温まで放冷。

それぞれの乾留設定温度およびその保持時間によって竹炭の製造を繰り返す。それぞれの設定温度、保持時間の関係は図9に示す。また、その時得られた揮発率および抵抗率をそれぞれ図10, 図11に示す。A, B, C, Dの4段階に分けて得た竹炭の評価結果について以下に述べる。

#### (1) Aの設定温度および保持時間

この竹炭の揮発率は約71%, 抵抗率は約10Ωcmの値を示す。この竹炭の断面をSEMによって観察したものを写真2に示す。写真より導管および篩管の組織は炭化しているが、それを取り巻く維管束鞘の組織に十分炭化していない部分が観察される。また、維管束鞘と維管束鞘の間に存在する柔細胞組織部分にひび割れの発生が部分的に観察される。竹炭のひび割れの原因は300°Cで5時間保持した場合、水分、ヘミセルロースおよびセルロース等の熱分解が段階的に区別出来るほど単純な分解反応過程を経るのではない事、しかも成分の分解温度を無視して800°Cまで上昇させたことによって残留揮発成分が竹材内部で急激に膨張したものと考える。また、SEMの写真2から維管束鞘間にある柔細胞組織がダメージを受けたことにより結果的に弱い部分の破壊、ひび割れが発生したものを観察できる。更に、炭化後の柔細胞組織部分はハニカム状の構造と化していることが観察できる。従って、炭化により竹炭は出来たが、構造的に不均一な部分が多くできるため打音が金属音には至っていない。

#### (2) Bの設定温度および保持時間

この竹炭の揮発率は約68%, 抵抗率は約31Ωcmの値を示す。この竹炭の断面をSEMにより観察したものを写真3に示す。これはAの写真と違って導管、篩管の周囲にある維管束鞘の部分に至るまで炭化が進み、ハニカム状の構造が観察できる。これは揮発成分がそれぞれ段階的に気化したことにより竹炭の内部構造が

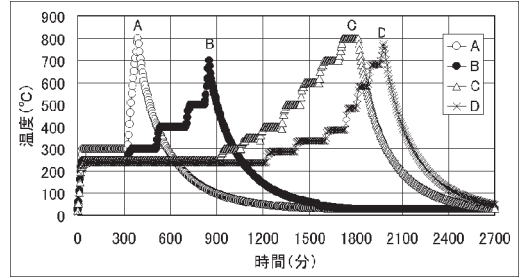


図9. 乾留温度と保持時間の関係

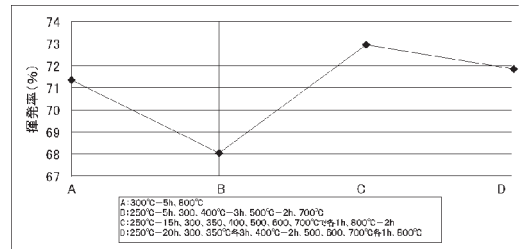


図10. 乾留温度・保持時間に伴う揮発率

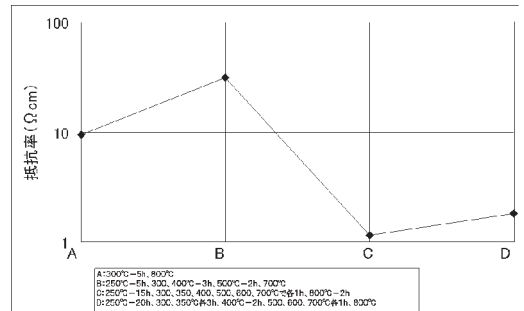


図11. 乾留温度と保持時間に伴う抵抗率

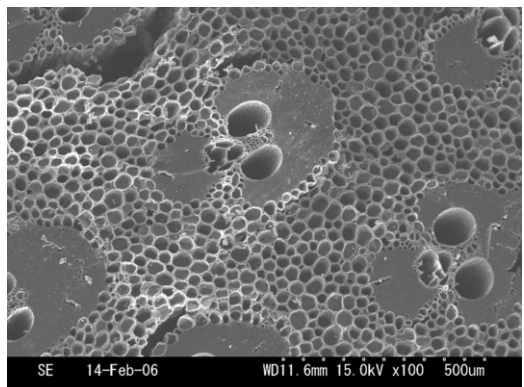


写真2. AにおけるSEMによる観察

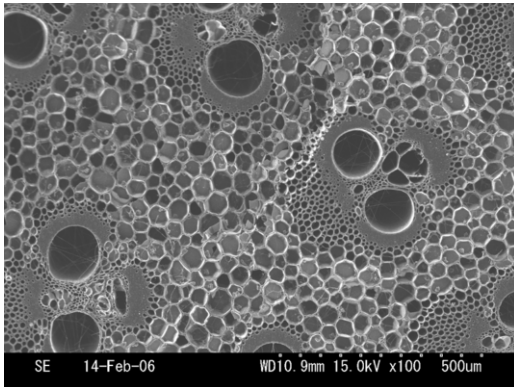


写真3. BにおけるSEMによる観察

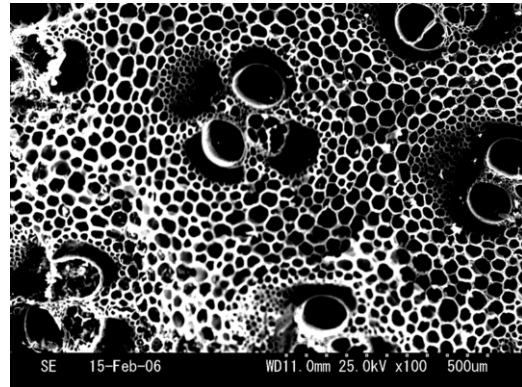


写真5. DにおけるSEMによる観察

より均一に近づいたため、硬く、金属音に近い打音を発した。従って、竹材の熱分解には急速な温度上昇ではなく、設定温度と共に段階的な保温時間を取る事が重要である。

#### (3) Cの設定温度および保持時間

この竹炭の揮発率は約73%、抵抗率は約1 Ωcmの値を示す。この竹炭の断面をSEMにより観察したものを写真4に示す。Bの写真と同様に炭化が進み、ハニカム状の構造を示す。この竹炭は硬く、打音は金属音に近い。従って、竹炭の乾留には熱分解温度を持つ竹材成分が揮発するまで、それぞれの温度を維持する事が重要である。

#### (4) Dの設定温度および保持時間

この竹炭の揮発率は約72%、抵抗率は約2 Ωcmの値を示す。この竹炭の断面をSEMにより観察したものを写真5に示す。B、Cの写真と同様に炭化が進み、ハニカム状の構造を示すと共に、竹炭は硬く、打音は

金属音に近い。Cの800°Cで2時間保持したものと比べて大きな違いは観察されない。A、B、CおよびDの各方法で製造した竹炭はいずれもハニカム状の構造がSEMにより観察することができる。ハニカム状の構造はそれぞれミクロの空洞を形成し、竹炭を貫通している。このミクロの空洞は構造上木炭より竹炭の方が多く存在するため莫大な表面積を有する事になる。また製造の際に、副産物として回収できる竹酢液も有用な用途が多い様である。ミクロの空洞を有する竹炭と微生物による自然浄化に一役を担う働きが十分期待可能であると考えられる<sup>9)</sup>。竹材は、節管、導管、それを取り巻く維管束鞘、更に、柔細胞から構成されている組織がある。これらの組織のまま竹材が炭化して竹炭が作られる事が理想的な出来といえる。従って、高品質の竹炭の評価は、竹炭の断面がSEM観察によるハニカム状の構造（ミクロ構造）であること、均一な抵抗率、竹炭の硬さ、打音が金属音である事によって決まる。

上記の結果から次のような知見を得た。

1. 実験用炉の特性である昇温速度の速さで竹材を乾留した竹炭の品質は良くない。
2. 竹材成分の熱分解温度を考慮しなかった竹炭は竹材の揮発成分の影響が大きい。
3. 竹材の揮発成分の分解温度付近での段階的な温度保持時間が重要である。
4. 殆どの竹炭にはハニカム状の構造が見られる。しかし、高品質の竹炭作成は均一な構造を持ったものであることが重要である。

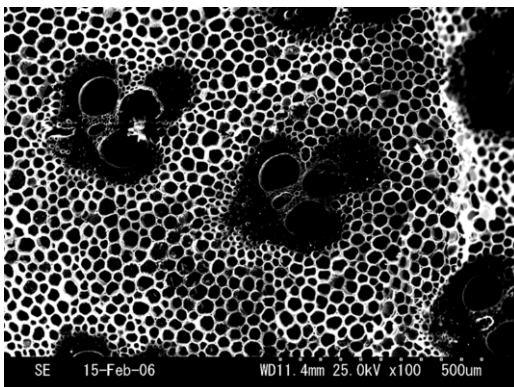


写真4. CにおけるSEMによる観察

## 5. まとめ

実験用密閉式電気炉（実験炉）によって竹材を乾留し、固形成分である竹炭の製造に関するデータを得る。これは高品質の竹炭を製造するための最適温度および保持時間を確定するために必要なものである。上述の点を考慮し、実験炉によるデータ収集に努めると共に、金属製の竹炭窯を使用して評価に耐える竹炭作成を行う計画である。

## 参考文献

- 1) 朝日新聞 平成17年12月22日 朝刊
- 2) 福岡工業大学研究論集 第7号別冊 2005年2月15日
- 3) 内村：「竹」への招待，研成社（1999），p79-83
- 4) <http://www.kyoto.zaq.ne.jp/dkacd107/D22.html>
- 5) <http://www.showakikaku.co.jp/netubunkai.html>
- 6) 現代農業 2002. 4 p84-87