

# ドラム缶炭焼き窯による木材の高温炭化と生成木炭の評価

High-temperature carbonization of wood by drum kiln and evaluation of charcoals

岩崎 眞理 \*<sup>1</sup>  
Masato IWASAKI

空閑 重則 \*<sup>2</sup>  
Shigenori KUGA

## Abstract

Besides the manufacturing process of carbonization of wood charcoal for fuel, charcoal has been reconfirmed the importance of carbon as high-performance materials and manufacturing methods of soil improvement agent and liquid fuel. The metal drum kiln that is convenient for ease of charcoal manufacture has the problem with temperature control. We here propose a charcoal kiln that achieves high efficiency by high temperature carbonization. The kiln features separated combustion and carbonization chambers, reinforcement by buttressing metal bars, and an outer heat insulation layer. This kiln can manufacture charcoal with a typical operation time of 5 h for heating up to approx 1000°C and 6 h for cooling. The typical yield from a single run is 18 kg from 60 kg of dry carbonizing oak wood and 30 kg of fuel oak wood, i.e. 20% yield in total. The product charcoal showed high electric conductivity characteristic of high-grade charcoal. This method is potentially useful in field charcoal manufacture with high efficiency and product qualities.

キーワード: 炭焼き窯, ドラム缶, 高温炭化, バイオマス, 活性炭

**Keywords:** Wood Charcoal manufacturing, Metal drum kiln, High-temperature treatment, Biomass, Active carbon

## 1. はじめに

木炭は、再生産可能な資源である森林バイオマス由来の熱エネルギー源として古くから世界中で利用されてきた。産業革命以降は化石資源に取って代わられたものの、現在も木炭は開発途上国における燃料用途のほか、先進諸国でも特殊用途燃料（バーベキュー、茶道など）や活性炭などの高機能炭素材料として重要である。そして木炭から液体燃料の製造実験が多く行われている。また木炭はその処理温度により分類される。650°C以下の処理で得られる「黒炭」は一般燃料炭として使用される。最近では石炭火力発電のバイオマス関連燃料として使われ始めた。800°C以上で処理され、硬度と電気伝導度の高い「白炭」は、高級燃料や導電材料及び化学処理により気体や液体のバイオマス燃料として利用される。また木炭を様々な程度に賦活した活性炭は、脱臭・吸着剤として水道水のろ過や化学薬品の製造に使用される。伝統的な木炭製造は伏窯、すなわち地面の上に土や煉瓦を積み上げて空洞を

形成した窯で行われる (Fig.1)。この窯は熱容量が大きく、かつ断熱性が低いいため熱損失が大きい。また温度管理が困難であり、炭化収率が低い。これらを改善するためには、窯を孤立した金属容器に置き換えることが有効である。とくに山野でそのような処理をする場合は、金属製のドラム缶（あるいはその廃棄物）を加熱/炭化容器とする手法が用いられてきた<sup>(1)-(4)</sup>。しかしこの場合も伏せ窯と同じく、原料木材は単一容器に収容されて燃料材と炭材を兼ねるので、燃焼の程度と温度の制御は不正確になりやすく、高度な経験に依存する。

著者の一人（岩崎）は世界中で使われているドラム缶に着目し、そのドラム缶窯を二室式として燃焼部と炭化部を分離することと窯の外部に鹿沼土、珪藻土、畑の土に植物の乾燥チップ混入土などの簡易断熱材の使用により炭化の迅速化と高収率化ができることを示し、この窯の普及に努めてきた<sup>(2)</sup>。本研究では上記の窯をさらに改良して1000°C程度までの高温処理、すなわちいわゆる白炭の製造を試みた。

## 2. 実験法

### 2.1 ドラム缶窯の構成と高温化

二室式ドラム缶窯の製造には通常のドラム缶（φ750 mm×900 mm）1.5個を用いる。1個を半分にて切断し、他の一個に

\*<sup>1</sup> 足利工業大学附属高等学校電気科科長  
〒326-0397 栃木県足利市福富町 3142  
e-mail: iwasaki@ashitech-h.ed.jp

\*<sup>2</sup> 東京大学大学院農学生命科学研究科教授  
（原稿受付：2010年2月10日）

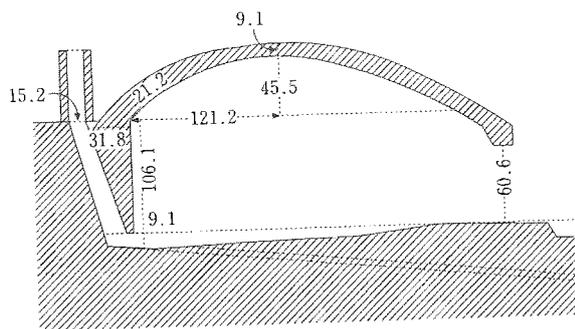


Fig.1 Cross section of Miura Standard charcoal kiln

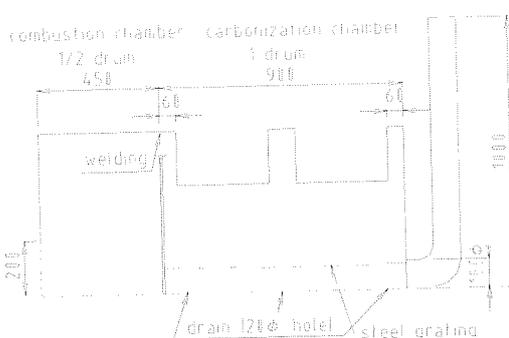


Fig.2 Cross section of the old kiln

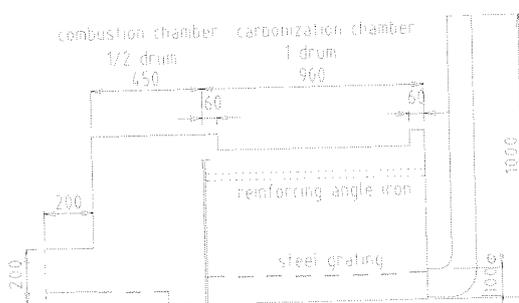


Fig.3 Cross section of the new kiln

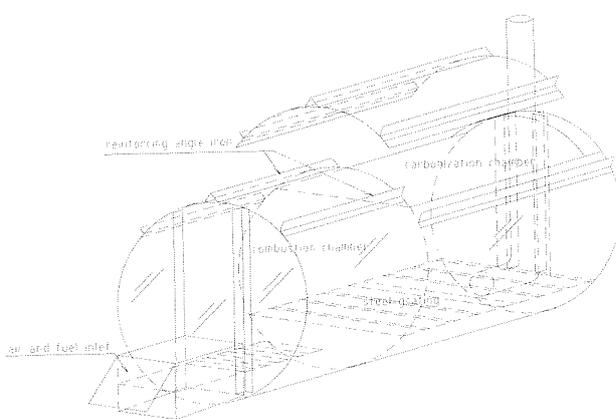


Fig.4 Diagram of the new kiln with cover

溶接して一体化し、隔壁には燃焼ガスを通す開口部を設ける (Fig. 2, 3). この窯は地上に設置されるので、全体を軽量発泡コンクリート(ALC)やセラミックブランケット<sup>(4)</sup>等で覆って断熱化することができる。その結果熱損失が少なく、内部温度はより均一である。炭材の出し入れ口は上部の扉から行う。炭化部の底部には炭材を保持しかつ高温ガスの流通を可能にするロストルを設置する。ロストルは幅60mm、厚さ3mmの鉄板を60mm間隔の格子状に溶接したものである。炭材はロストル上に直接置るか、上部を切って開放した18L石油缶に入れてロストル上に置く。燃焼室および炭化室には側面に開けた小孔から熱電対を差し込んで各部の温度を計測する。このような構成により、温度を監視しながら空気供給を調節して温度を制御することができる。旧型 (Fig.2) から新型 (Fig.3) への大きな改良点は、①炭化部上部の出し入れ口を大きくし長尺材料の使用が可能となった；②ドラム缶をアングル材で補強することにより800°C以上の窯の熱変形が防止でき1000°C程度までの高温炭化が可能となった；③燃焼部の空気取入れ口にロストルを設け、空気が燃料材の下部に行きわたるようにし、炭化部に入る気体に酸素が残らないように(炭材の燃焼を防止)した。Fig.4は構造を解りやすくするために立体視したものである。温度計の設置位置をFig.5とFig.6に①~⑨として示す。なお、試行によって最適条件を決定すれば、実地の炭化処理は温度計測なしでも実施することができる。

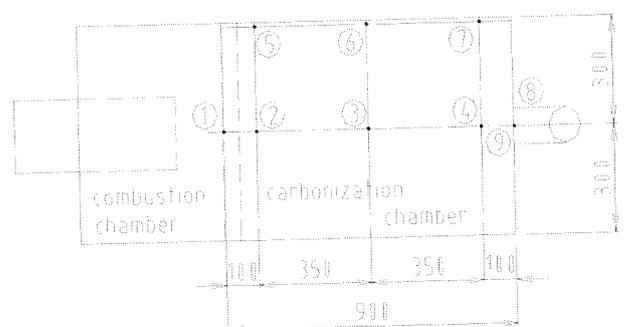


Fig.5 Top view (Thermometer measuring point)

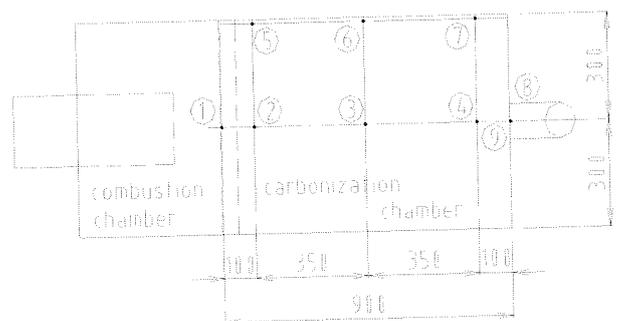


Fig.6 Side view (Thermometer measuring point)

この窯によれば30kg 燃料材と 60kg の炭材（いずれもスギ間伐材，気乾）を用いて，着火から5 時間で 1000℃まで昇温し，200℃までなら3 時間，完全に手で触れるまでは6 時間で冷却して，総処理時間 8~11 時間程度で 18kg の木炭を得ることができた<sup>(2)</sup>。またタケ材では3 時間で炭化させることができた。しかしこの窯は特段の補強をしていなかったため，800℃以上に熱すると窯が変形し消耗が早かった。そこで今回の研究では窯の各部に鉄材し字アングルを溶接して補強した。アングル材は厚さ3mm，辺幅 30 mm のものを合計 9 m 程度用いた。



Fig.7 After a great deal to reduce carbon (bamboo)

価な材料として火山灰由来の鹿沼土も使用できた。この他，珪藻土や火山灰や畑の土に植物や木材チップの混合したものも使用できる。土に混入された植物や木材のチップは炭焼き窯の熱により炭化され良好な断熱材となる。ロストル(板)の幅についても，木材は炭化すると最大で 30%程収縮し，炭材と前後の壁の間に隙間が生じて(Fig.7)，高温の空気がそこを素通りし熱損失が生じる。そこでロストルの板幅を 60 mm から 70 mm へ広げて空気流を制御した。また高温でも炭材の重量に耐えるように中央二箇所パイプで補強をおこなった(Fig.8)。

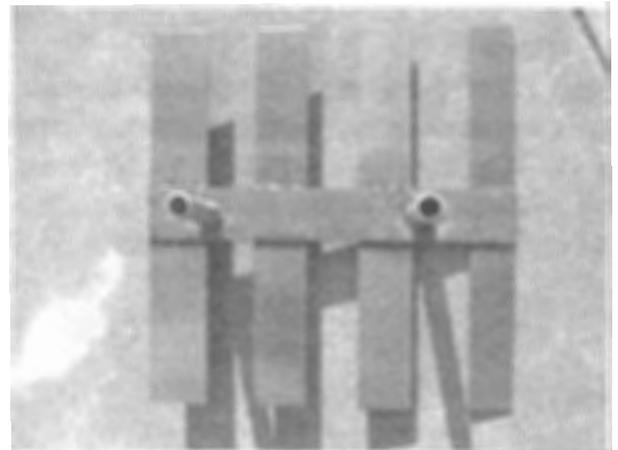


Fig.8 New rooster (Plate width 70, 60, 60, 50mm).

放射温度計(横河電機 530-04)を利用して窯の外部温度を計測したところ，放熱が大きいのは窯の上面であることがわかった。窯の蓋に負担をかけないため軽量の断熱材を探索した結果，セラミックブランケット<sup>(4)</sup>が最良であったが，より安

2.2 原料

炭材としてミズナラ材木片(寸法 420 mm×40 mm 角)，スギ材カンナ屑(寸法 幅 15 mm×長さ 30 mm ×2 mm 厚)，モウソウチク(寸法 420 mm×5-7 mm× 8 mm)，マダケ(寸法 420 mm×5-7 mm ×7 mm)を用い，仕込み量は気乾 30~60 kg と

Table 1. Comparison of two-chamber drum kiln and conventional Earth kiln for Oak wood

Type	Time to reach max temp	Temp Difference	Time of cooling	Source wood	Char recovered	Charcoal pH	Smoke
Two-chamber drum kiln	5h /1000℃	<50℃	2-12 h	90 kg (*)	18 kg	8.2-8.9	None
Conventional Earth kiln	24-48h/650℃	>150℃	24-48 h	~1000 kg	~200 kg	6.8-7.6	Leave little

(\*) Source wood consists of 30 kg of fuel wood and 60 kg of carbonizing wood.

Table 2. Electric resistivity of bamboo and Oak chars

Material\Temp.	400℃	500℃	600℃	700℃	800℃	900℃	1000℃
Moso bamboo	∞	500	1. 8	0. 5	0. 02	0. 02	0. 02
Madake bamboo	∞	680	2. 2	0. 6	0. 03	0. 03	0. 03
Oak	∞	1400	6. 0	2. 9	0. 07	0. 02	0. 01

(Unit: 10<sup>3</sup> Ω/cm)

した。燃料材としてスギ材及びヒノキ材を 30kg を用いた。

### 2.3 電気伝導度

木炭の電気抵抗を安藤電機の精密抵抗計 (RM-1B 型, 直流 3 V), 横河電機の携帯用ホイートストーンブリッジ (275597 型) 及び横河電機 500V 絶縁抵抗計 (2426 型) で測定した。得られた木炭の表面に 10 mm 間隔で電極を接触させ, 抵抗値を求めた (Table 2)。

### 3. 結果

#### 3.1 運転性能

Fig. 9 にミズナラ材を処理した時の窯各部の昇温曲線を示す。着火から約 300 分で 800~900°C までほぼ直線的に昇温させることができた。このあと 6 時間かけて 200°C 以下まで冷却し, 生成木炭を回収した。炭材 60kg から 18 kg の木炭が得られた。伏せ窯 (三浦式標準窯) <sup>(1)-(3)</sup> での典型値との比

較を Table 1 に示す。このように本報の窯によれば, 迅速かつ簡便に高温の炭化処理を行うことができる。Fig. 10 はタケ材を処理した時の窯各部の昇温曲線である。乾燥したタケ材では着火から 180 分で炭化が終了し, その後の冷却はミズナラ炭と同じである。今回の補強窯は内部温度 1000°C~1050°C で 1 時間の処理を行ってもほとんど変形しなかった。ただし繰り返し使用すると次第に消耗し, 900°C までの使用での耐用回数は 50 回程度, 1050°C 使用では 25 回程度である。旧窯の耐用回数は 900°C までは 10 回以下, 1050°C では途中で窯が熱変形し使用不能となった。Fig. 11 に実際の炭焼き窯を ALC (軽量発泡コンクリート) で囲い設置した様子を示す。一般の炭焼き窯は地中に埋めてあるために炭焼き窯の内部の熱が大地に逃げ保温性能が悪い。そのため内部には大きな温度むらが生じ, 木炭の品質にバラつきが生じる。ここでは窯の底面と側面を ALC で囲み, 上面は天然の保温材である赤城山の火山灰の「鹿沼土」で覆った。

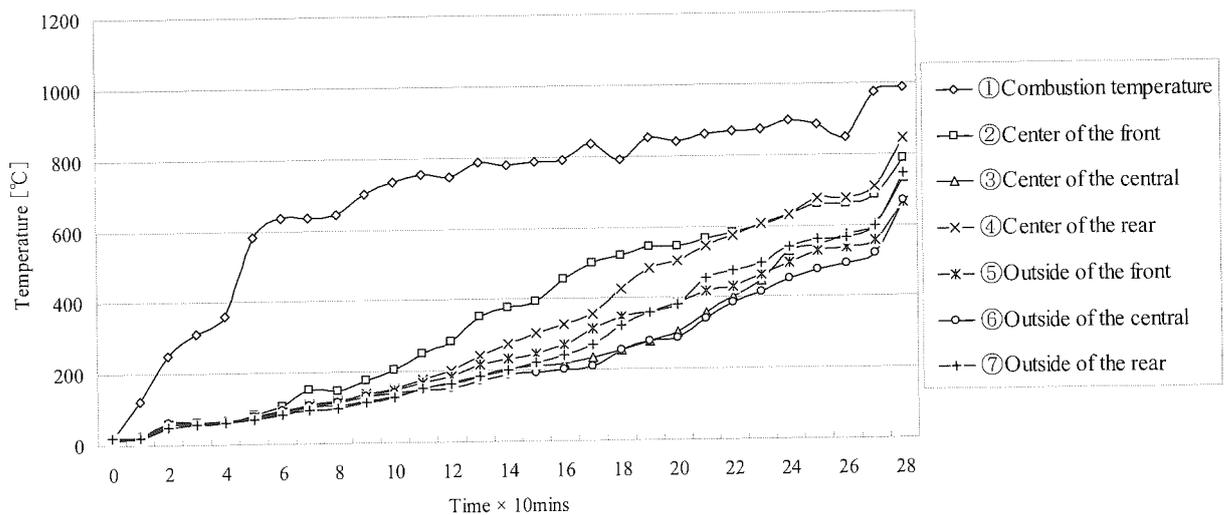


Fig. 9 Wood carbonization temperature characteristics

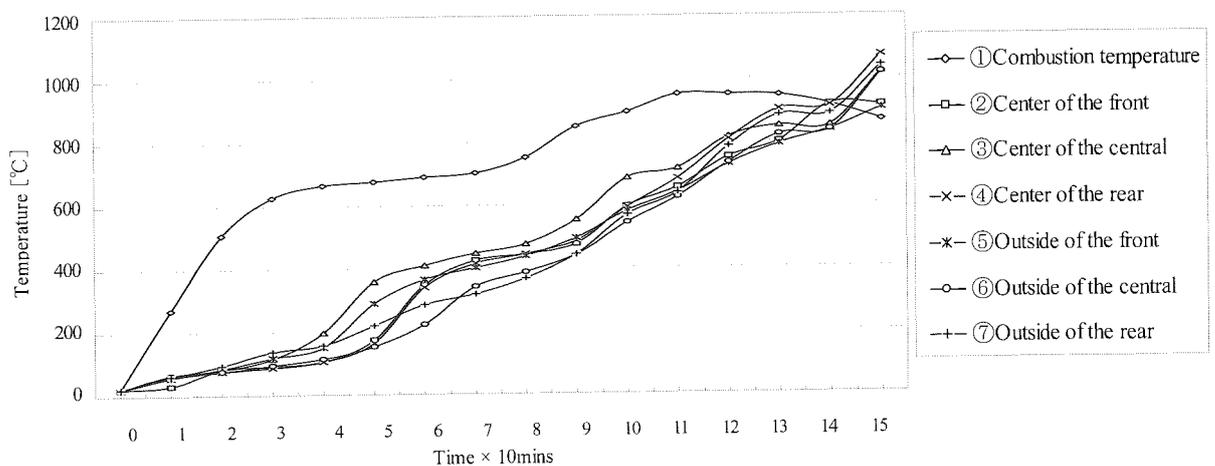


Fig. 10 Bamboo carbonization temperature characteristics

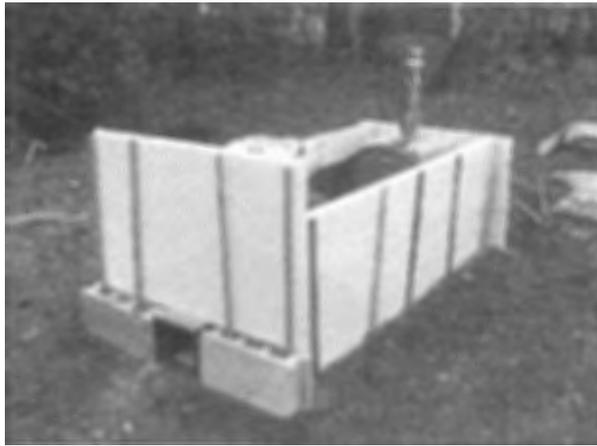


Fig.11 Installation of charcoal kilns photo

### 3.2 導電特性

木炭を電磁波遮蔽材や避雷針用埋設炭などとして利用するには良導体であることが必要とされる。一般に木炭の電気伝導度は処理温度が高いほど高くなるが<sup>(1)</sup>、今回の実験でも処理温度の影響は顕著であった。すなわち Table 2 に示すように、処理温度を 400°C では不導体であるが、500°C から導体となり、700°C 以上で良導体になった。このような導電性の向上は、高温処理によって炭素網面の規則的積層化、すなわち黒鉛類似構造の部分的形成が進行したためと考えられる<sup>(16)</sup>。

### 3.3 炭化温度と pH 値と品質

炭は一般的に低温炭化では酸性を示し、800°C 以上の高温炭化ではアルカリ性を示す<sup>(1)</sup>。600°C と 850°C のタケ炭とミズナラ炭を日本工業規格分析法 JISK1474(1991) 準拠により pH 測定をした。タケ炭は pH6.8 と pH8.5 でミズナラ炭は pH6.7 と pH8.3 を示した。高温で炭化された木炭はカリウムなどの酸化物が水に溶出されアルカリ性を示す。主な用途としてカリウム肥料や酸性土壌の中和剤として使われている<sup>(2)</sup>。三浦式炭焼き窯の内部の温度差<sup>(1)</sup>は 150°C 以上あるために pH6 から pH7.5 程度であり品質にばらつきが有る。本方式は温度差も 50°C 以下であり pH8.2 以上と高品質である。

## 4. 結論

アングル材で溶接補強した二室式ドラム缶窯によれば、従来の炭焼き窯<sup>(1)-(3), (6)-(16)</sup> では不可能な 1000°C 以上の炭化処理が可能である。高温処理木炭は、備長炭に見られるような火持ちの良さ、硬度、電気伝導性<sup>(13)-(17)</sup>、アルカリ性など、一般木炭にない機能を有する。活性炭製造用の窯<sup>(17)</sup> としての用途や小型軽量なために大型窯の設置のできない場所に設置でき、その木炭を集めてバイオマス燃料の原料や、酸性雨により酸性化した土壌の中和用の木炭となる。また教育機関での総合学習の中の環境学習や体験学習としての木炭製造の学習として利用や炭の用途の学習に貢献できる。これを手軽に作ることのできる簡易炭焼き窯は利用価値が大きいと思われる。

## 謝辞

この実験のためにドラム缶、ALC、セラミックブランケット、炭材や燃料材を提供していただいた株式会社両毛丸善御厨給油所、関根建設株、(株)建商、わらべ工房中島所長及び鉄板加工をしていただいた足利工業大学附属高校機械科の鎌田、亀山教諭に感謝いたします。

## 参考文献

- (1) 岸本定吉, 炭(1990), 29, 40, 120, 133, 194-200, 328, 316, 創森舎, 東京.
- (2) 岩崎眞理, 空閑重則, 簡易炭焼き窯の高温化, 第 5 回自然エネルギー利用セミナー集(2007), 85-91, 足利.
- (3) 岩崎眞理, ドラム缶利用の簡易炭焼き窯, 木質炭化学会誌 4-1(2007), 1-6.  
参考: <http://iwasaki-sumiyaki.com/index.htm>  
<http://iwasaki-sumiyaki.com/eindex.htm>
- (4) 谷田貝光克 監修, 炭・木酢液の用語辞典(2007), 116-117, 創森舎, 東京.
- (5) JIS R 3311, セラミック ファイバー ブランケット(1991), 日本規格協会.
- (6) D. W. KELLY: CHARCOAL AND CHARCOAL BURNING, Shire Album(1988), 5-8, Buckinghamshire.
- (7) 谷田貝光克, よい煙悪い煙を科学する(2007), 33-41, 中継出版株, 東京.
- (8) 岸本定吉, 杉浦銀治, 鶴見武道, エコロジー炭焼き指南(2001), (株)創森舎, 東京.
- (9) 岸本定吉監修, 池島庸元, 新木炭・竹炭大百貨(2004), 8-9, 株式会社 DHC, 東京.
- (10) 立本英機監修, トコトンやさしい炭の本(2004), 122-123, 日刊工業新聞社, 東京.
- (11) 岸本定吉監修, 木酢・炭で減農薬(1999), 73-75, (社)農山魚村文化協会, 東京.
- (12) 内村悦三, 谷田貝光克, 細川健次監修, 竹炭・竹酢液の利用事典(1999), 5, 創森社, 東京.
- (13) 杉浦銀治, 鳥羽曙, 谷田貝光克監修, 竹炭・竹酢液の作り方生かし方(2004), 創森社, 東京.
- (14) 登田克司, 岩崎眞理, 炭素系有機半導体の電磁波への適用例について, 足利工業大学附属高等学校研究紀要(第 11 号(2004)), 1-8, 足利.
- (15) 岩崎眞理, 登田克司, 岩崎竹炭(IT)ダイオードについて, 足利工業大学附属高等学校研究紀要第 9 号(2003), 足利, 7-23, 足利.
- (16) 柳沼力夫, 炭のかかぐ(2003), 60-67, 誠文堂新光社, 東京.
- (17) 柳井弘, 石崎信男, 活性炭読本第 2 版(1996), 108-153, 日刊工業新聞社, 東京.