

簡易軽量炭化炉及び炭化技術の開発

石井 哲

Development of Simple, light charcoal roasted kiln and Carbonization technology

Satoshi ISHII

石井 哲：簡易軽量炭化炉及び炭化技術の開発 岡山県林試研報24：45～55(2008) 里山の利用や森林環境教育が重要視され、一般市民による炭焼きが全国各地で行われる中、これらの炭焼きをより一層進めることを目的に、既存の簡易なドラム缶式炭化炉等に比べより軽量で簡単に炭焼きができる「簡易軽量炭化炉」を開発した。開発した炭化炉は、耐火性、耐久性のあるステンレスの薄板を用い、前壁（兼焚口）、側壁、後壁（兼煙道）及び天蓋（フタ）からなる本体と消火用の煙道フタで構成される。本体は、工具等を使用せずに壁ピンとフタピンとで組み立てることができ、組立時間は約2～3分、分解時間は約1～2分である。当該炭化炉のピン類及び煙道フタを含めた重量は、板厚0.4mm、容量0.20m³のもので6.78 kg、同じく0.12m³で5.16 kgである。当炭化炉で製炭した場合の収炭率（製炭重量／原木重量）は、平均16%で、製炭時間は約6～10時間であった。耐久性について厚さ0.3 mmのタイプを用い、44回の炭化を行った時点で、損傷等製炭上の問題は認められていない。モウソウチクを炭材として精煉を伴う製炭を3回行ったところ、製炭された炭の精煉度別割合は、精煉度0～4が平均62%、同じく5～7が25%、同じく8～9が13%となっており、軽量で簡易であるにもかかわらず、固定炭素率の高い炭を製炭することができた。これらの試験は、厚さ0.3mm、0.4mm及び0.5mmで行い、その中から厚さ0.4mmのものを製品化した。また、本体外部に排煙の方向を操作でき、かつ、木竹酢液の採取が可能な外部煙道を開発した。この煙道も長手方向に分割可能で、収納、運搬に優れるという特長がある。これら本体と外部煙道を包括し、特許出願を行った。（出願年月日 2008年3月5日、特願2008-54652）

キーワード：里山、森林環境教育、炭焼き、簡易軽量炭化炉

I はじめに

炭は、かつては薪と並び家庭燃料の必需品であり（田中 1998）、生産量は、昭和30年代前半には全国で年間200万トンを超え、その殆どは山間部において日本式炭窯により焼かれたものであった（岸本 1998）。しかし、戦後の燃料革命による石油、電気、ガスなどの普及により、木炭の需要は減少し、昭和53年以降は生産量も全国で年間2～3万トン程度と低迷している（図-1、岡山県農林水産部林政課 2007）。炭の需要は、全体の約6～7割を占める業務・家庭用の燃料炭の他、土壌改良材や活性炭等の新たな用途もあるなど、年間17～19万トン前後で推移している（林野庁 2007）。平成18年の国内生産量をみると、木炭の輸入が増加する一方で、前年から2千トン減の3万3千トンとなり、自給率も18%と、依然低迷している状況にある（林野庁 2008）。

一方、近年、環境問題への意識の高まりやバイオマス資源が注目される中、森林体験学習や環境教育が全国各

地で行われるようになり、地域振興、教育・福祉、あるいは都市との交流に関連づけられた炭焼きが行われるようになった（岸本 1997）。本県においても「21世紀におけるおかやまの新しい森の育成指針」の中で、里山林の整備・活用方法の一つとして、炭焼きが推奨されている（岡山県農林水産部林政課 2002）。

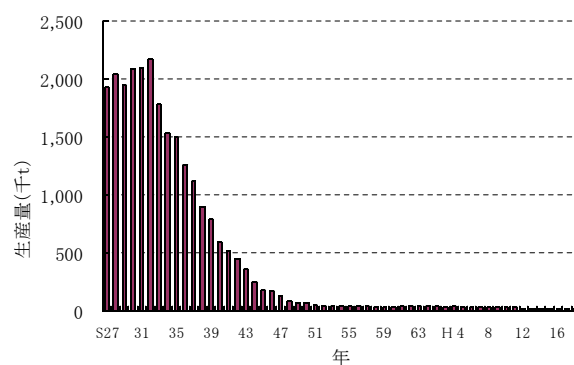


図-1 木炭生産量の推移（全国）

また、現在、全国で最も盛んな炭焼きは、エコロジーとリサイクルの視点のもとに市民の手で行われている小規模のものである（杉浦ら 1998）という。これら教育・環境団体による炭焼きや日曜炭焼き師といわれる一般市民による炭焼きが増加し、多くの解説書（岸本・杉浦 1980、谷田貝 1997、杉浦・広若 2004等）が発刊され、これら全国の簡易な炭焼きの一助となっている。このような炭焼きに使われている炭化炉は、従来の土窯に替わる簡易炭化炉と呼ばれるものであり、一般にドラム缶式炭化炉、林試式移動炭化炉、オイル缶窯、伏せやき、穴やき、露天やき（杉浦ら 2003）などが知られている。これらの中では、国が開発した林試式移動炭化炉やドラム缶式炭化炉が広く普及しているが、林試式移動炭化炉は、重量が 120～180kgと重く、個人では扱いにくい炭化炉で、主に公共団体や各種団体等が導入している。ドラム缶式炭化炉は、容量が0.2m³（200リットル）のもので、本体重量は厚さにより異なるが、約17～28kgの範囲である。さらに本体以外にも周囲土留め用のコンクリートブロック 6個、焚口用の一斗缶などが必要（杉浦・広若 2004）で、総重量は相当のものになるが、設置や炭焼き操作あるいは、容量、金額的にも一般市民が炭焼きを行うには手頃な炭化炉であり、多くの使用事例が紹介されている（岸本ら 1997）。しかしながら、ドラム缶式炭化炉においても、運搬、設置は大変である上、腐食、耐熱性など耐久性にも問題がある。そこで、今回、軽量で簡易かつ耐久性のある簡易軽量炭化炉を開発するとともに、当該炭化炉を用いた炭化技術の開発を行ったので報告する。

II 材料と方法

1 簡易軽量炭化炉の形状

本体部の形状は、円柱形型、三角形型、正八角形型、八角亀型、立方体型及び直方体型を試作し、性能、利便性等を検討するとともに、本体に付属する煙道部及び焚口部について、様々な形状の試作を行い検討した。また、試作に当たり、鉄、ステンレス、アルミ等の材質について、強度、加工性、耐熱性等を検討した。

2 材質厚さ

炭化炉を構成する前壁等の厚さを検討するため、厚さ 0.07mm、0.3mm、0.4mm、0.5mmのステンレス SUS304 を用い、試作品を作製し、加工性、操作性、耐久性などを検討するとともに、加工後の重量、炭化時間、収炭率などを調査した。

3 煙道

煙道は、市販のステンレス製円筒の他、運搬性、作業性等の向上を目的として設計・試作した煙道について検討した。試作に際し、煙道の断面積は、市販のステンレス製円筒（直径 10.6 cm）の断面積 88 cm² を参考に、三

角形型、長方形型、正方形型などの形状を検討した。取り付け方法は、補強材をボルト・ナットで固定し煙道の取り外しが可能な方法、ボルト・ナットのみで煙道を本体に直接固定する方法、溶接により煙道を本体に固定する方法等について試作し、煙道からの煙の排出具合等、製炭に及ぼす影響を調査した。

4 焚口

炭化炉内の炭材に着火させるための部分である焚口について、本体に設置する位置、形状、大きさ等を検討した。部材は、本体と同じステンレス製とし、厚さも本体と同様とした。試作した焚口について、炭材への熱の伝わり具合、焚口の歪みなどの耐久性、保管性、設置の容易さ等について検討した。

5 接合部

壁面部：本体を構成する 4 枚の壁面を組み合わせる方法として、壁面の垂直側端部の穴の有無、端部の折り曲げ方法、補強材（ステンレスバー）の使用の有無などについて検討した。また、接合金具として耐腐食性のあるステンレス製ボルト・ナットの使用や、同じくステンレス丸棒を折り曲げた壁ピン及びその形状などについて、利便性、強度、密閉性等を検討した。

フタ部：フタと本体との接合方法を検討するため、補強材で本体とフタの端部をはさみボルト・ナットで固定する方法、本体上部を折り曲げ市販のボルト・ナットで固定する方法、フタピンを差し込み固定する方法について、操作性や熱によるフタの変形度など、その有効性を検討した。

なお、フタピンは、市販のステンレスやクロム製のベータピン及びステンレス丸棒（φ=2mm, 3mm, 4mm）を折り曲げたタイプについて、価格、加工性などを検討した。

6 外部煙道

木酢液採取及び排煙先の操作を目的に、収納性に優れ、かつ長手方向に分割が可能で、タール分の付着による難分解性が生じない外部煙道を試作し、木竹酢液の採取能力や組立等利便性等について検討した。

7 炭化温度

2007年10月～2008年3月にモウソウチクを炭材として、炭化温度を測定した。炭化温度は、携帯用温度計DP-70及びナイクロベルシースK熱電対（いずれも理化学工業株式会社製：測定範囲－200～1,320℃）を用い、5分間隔で自動記録した。炭化炉は、焚口が外部にある型（炭化炉A）と焚口部材を省略し焚付を底焚方式にした型（炭化炉B）を用いた。炭化炉内の温度の測定位置は、底部（底から5cm）、中部（底から20cm）、上部（底から40cm）の各手前から10cm、27cm、44cmの計9か所に煙道部（煙道上端部から約10cm入った部分）を含めた計10か所を測定した。

8 収炭率

2005年12月～2008年3月に、スギ、ヒノキ、アカマツ等の針葉樹やシラカシ、クリ、ヤマザクラ、ケヤキ等の広葉樹及びモウソウチク（牡蠣筏の廃筏竹を含む）の炭材を用い、収炭率を測定した。収炭率は、炭化後の炭の重量を炭化前の炭材の重量で除した値とした。なお、炭材の重さは、気乾状態での重量である。

9 精煉度

当炭化炉により製炭された炭の品質を把握するため、製炭された炭の精煉度を木炭精煉計（三陽電機製作所製）を用い測定した。精煉度は、木炭精煉計の操作方法に従い、木炭表面の2点間（距離1cm）の電気抵抗を測定し求めた。精煉度は、0～9度の10段階の値により表示されるが、当木炭精煉計は、A領域とB領域に区分されており、A領域は精煉度0～5.5～9、B領域は精煉度0～1～4の範囲である。従って、今回の精煉度の区分は、まずA領域で測定し、振り切れたものをさらにB領域で測定し区分した。2007年1～3月に竹材を、2007年7月に広葉樹を、2007年10月に廃筏竹を、それぞれ炭化し、出炭後、当日もしくは翌日に実験室内で精煉度を測定した。

なお、測定に際し、未炭化炭は除外した。

10 発熱量

当炭化炉により製炭された木竹炭の発熱量を把握するため、各炭材（スギ、ヒノキ、アカマツ、シラカシ、モウソウチク、廃筏竹）の発熱量を測定するとともに、各炭材の製炭前の発熱量を測定した。竹材については、上記の他、製炭後、未炭化の残る半焼炭についても発熱量を測定した。廃筏竹炭については、精煉度別の発熱量を測定した。発熱量は、ボンベ熱量計（株式会社島津製作所製 CA-4AJ）により測定した。炭化は2007年7～12月に行い、出炭後室内保存していた炭について、2008年3月に発熱量を測定した。竹材と廃筏竹については、発熱量の測定時に、含水率を測定した。

なお、廃筏竹は、海上での牡蠣筏使用後約10年近く経過したものを用いた。竹材は、2007年1月20日に伐採、2月9日に割材後、1か月間室内保管したものをを用いた。

11 耐久性試験

試作した簡易軽量炭化炉を屋外に放置し、本体及び付属のピン、補強材などについて、腐食、劣化状態を調査した。また、炭化試験を重ね、本体壁面における歪み、ひび割れ、不具合などを調査するとともに、補強材の剥離具合、煙道溶接部の不具合などを調査した。また、炭化回数の増加による接合部のタール分の付着及びそれに伴う組立操作への影響等を調査した。

12 炭化操作

炭化工程を把握するため、2007年10月～2008年1月にモウソウチク（廃筏竹を含む）を用い、方形炭化炉A（容量0.095m³・外焚方式）及び方形炭化炉B（容量0.

19m³・底焚方式）を用いて、各4回の炭化を行い、着火時間（着火～焚口縮小までの時間）と炭化時間（着火～消火までの時間）を測定した。

同様に、2008年2～3月に最終型の0.12型と0.20型の炭化炉を用い、同様の測定をした。用いた炭材は、アカマツ（松くい虫被害材を小割した材）、シラカシ、コナラ小径木、建築端材（スギ・ヒノキ）、モウソウチク（廃筏竹を含む）などである。着火に要する焚付材は、新聞紙、枯枝、小割木、廃食油等を用いた。

III 結果と考察

1 簡易軽量炭化炉の形状

簡易炭化炉の製作方法は、様々な方法が示されている（杉浦 2006, 杉浦・広若 2004）。鉄製は木・竹酢液等に弱く、腐食性に問題があるが、ステンレス製は高温に弱く、変形しやすい（杉浦ら 2003）。今回の炭化炉の開発目的は、軽量で耐腐食性、耐火性及び耐久性を有する炭化炉を作製することであるため、本体の素材をステンレス SUS304 とした。

長方形の窯は、円筒形の窯に比べ、作業しづらく温度が隅々にまで行き届かないという欠点がある（杉浦ら 2003）。円筒形は、同一面積で作る場合、最も多くの容積を確保することができ、また、広く普及しているドラム缶式炭化炉も円筒形である。

そこで、まずステンレス板を円筒形に加工し、端部をボルト・ナットで固定する炭化炉を試作したが、強度的に弱く、炭化開始後、1時間も経過しないうちに、壁面が曲がり破損するという結果に終わった。ドラム缶のように補強のための曲げ加工を行うか、ステンレスバーによる補強も考えられるが、今回は採用を見送った。

通常、国内の土窯は、三浦式標準窯に代表されるように、巾着型、卵形、あるいは池田窯に代表される円形である（岸本 1998）。このことから、従来のこれらの形を踏襲し、なおかつ鉄板の直線性から作られる類似形のものとして、正八角形型（図-2）及び八角亀型（図-3）の炭化炉を試作した。これらの炭化炉での製炭に不都合は認められなかったが、組立の利便性・収納性からみれば八面が必要であり、部材が多くなるとともに、組立時間も長くなるなどの問題があった。

長方形型で焚口を短辺側に設置した場合（図-4）、炭化炉の手前側が灰になりやすく、また、奥（煙道側）は未炭化になりやすいという欠点がみられた。しかし、長方形型でも焚口を長辺側に設置した場合（図-5）は、焚口側と煙道側の温度差が少なくなり、手前が灰化しやすいという欠点を除くことができた。なお、当初、側壁側が未炭化になりやすかったので、焚口を横に広げるとともに焚付穴を広げ、空気が両端に入りやすくしたところ、両端の燃焼が円滑になり、これら部分での未炭化を



図-2 試作（正八角形型）



図-3 試作（八角亀型）



図-4 試作（長方形型・焚口は手前短辺側）



図-5 試作（長方形型・焚口は手前長辺側）

減らすことができた。

2 材質の厚さ

ステンレス SUS304 の比重は $7.93\text{kg}/\text{m}^3$ であるが、1枚の市販のステンレス板（ $1 \times 2\text{m}$ 、但し 0.07mm はシート状）を基本に、各厚さの炭化炉を 2m^2 で作製とした場合、厚さ別の炭化炉の重量は表-1 のとおりとなる。

厚さ、 0.07mm のステンレス材を用い作製した炭化炉は、重さが 1kg 程度（表-1）と、非常に軽量であるという利点はあるが、薄すぎるため炭材の重量に耐えられず、変形するという欠点があった。炭材を置いた後、その上から炭化炉をかぶせれば、炭材の重量による変形を避け

表-1 厚さ別炭化炉重量

厚さ	重量	面積	重量/個
0.07mm	$0.56\text{kg}/\text{m}^2$	2m^2	$1.12\text{kg}/\text{個}$
0.3 mm	$2.38\text{kg}/\text{m}^2$	2m^2	$4.76\text{kg}/\text{個}$
0.4 mm	$3.17\text{kg}/\text{m}^2$	2m^2	$6.34\text{kg}/\text{個}$
0.5 mm	$3.97\text{kg}/\text{m}^2$	2m^2	$7.94\text{kg}/\text{個}$

ることが可能であったが、組立、設置等操作性のほか、強度的に問題（加工部が裂けやすい。）があり、実用的ではなかった。

厚さ 0.3mm の場合、実用的な炭化炉を作製する上で、重量が $4 \sim 5\text{kg}$ （表-1）程度の軽量なものを作製することができた。耐久性も 44 回の炭化を行った時点で製炭上の問題はみられず、収炭率も 16% と性能的に十分な炭化炉の作製が可能であった。しかし、炭化回数が増えるに従い、壁面のゆがみが増すことや、組立、分解及び搬送時に強い衝撃があると、比較的ゆがみややすいという欠点があった。特に接合部分である端部が変形すると、その後の組み立てが不可能になるという問題があった。また、今回試作に際し聞き取りした殆どの工場は、 0.3mm 厚のステンレス板を加工できる設備を保有していなかった。唯一、作製した社も、本来 0.5mm 以上の能力の設備での加工であった。

厚さ 0.5mm で、方形炭化炉を作製した場合、耐久性があり、頑丈であるが、重量が約 8kg （表-1）で重たく感じるため、簡易で軽量という当初の目的を十分に満たしているとは思われなかった。また、収炭率も 16% 程度で、厚さ 0.3mm 及び 0.4mm と比較して格段に向上するという事はなかった。



(三角形煙道)



(長方形煙道)

図-6 煙道 (試作)



図-7 最終型煙道 (薄型長方形煙道)

なお、試作の際に聞き取りをした多くの工場は、厚さ0.5mm以上のステンレスの加工は可能であった。

厚さ0.4mmの場合は、0.3mmと0.5mmの中間的な性質を有し、強度、耐久性、重量とも簡易で軽量という目的に合致した炭化炉の作製が可能であった。また、0.3mmに比べより多くの工場で加工が可能であり、製造上の問題も少なかった。

3 煙道

煙道は、一般の簡易炭化炉では市販のステンレス円筒を用いる場合が多く、当炭化炉も当初は市販のステンレス円筒を用いた。しかし、ステンレス円筒では、設置に際し、本体下部にL型の接続部を設置するか、底部を切り欠き、ブロックや石で固定する必要がある。炭焼きの排煙部である煙道は、炭化炉内で炭材を分解させた成分を煙として外部に排出するという重要な役割があり、煙道の底部には水がたまりやすいため、水はけをよくする必要がある(岸本・杉浦 1980)。今回も、底部にL型の接続部を設置したところ、水が炭化炉内に入り込むという問題点がみられた。また、前述のとおり市販のステンレス円筒では体積が嵩張るため、運搬、保管に難点が見られた。そこで、煙突本体の小型化及び運搬の利便性を考慮し、三角形型や長方形型(図-6)について検討したところ、煙突断面積が、88 cm² 以下でも問題ないことが判明した。

排煙口底部は、土窯においては、窯底より3~8cmほど掘り下げる(杉浦ら 1998)。このことから、当初、

本体から煙道に通じる背面底部を掘り下げる形状にしたが、掘り下げる部分を確保するためには、煙道部を外部に張り出す必要があった。その結果、煙道部が突出する(図-6右)とともに、煙道底部を掘り下げるという手間も必要であった。そこで、これらの問題点を解決するため、本体側の底部を切り抜くという方法を採用した。煙道部の装着方法は、ステンレスバーの補強材をボルト・ナットで固定し、煙道を本体と補強材の間に差し込む方法、補強材を用いずボルト・ナットで煙道を直接本体に装着する方法などを検討したが、これらの方法は、ボルト・ナットの使用が煩わしく利便性に欠けていた。そこで、煙道を本体に溶接する方法を採用したが、その際、可能な限り薄い形状とした。幾つかの厚さ及び幅の煙道を試作したが、最終的に、保管性、運搬性に優れ、かつ排煙も円滑に行われる、厚さ 21 mm、幅 294 mm、断面積 61.74 cm² の薄型長方形とした(図-7)。

4 焚口

横置きドラム缶式炭化炉では、焚口として外部に一斗缶を加工した部材が設置されている(杉浦 2003)。今回も最初は、この形状を基本に、高さ 130 mm×幅 300 mmをはじめとする様々な形状の焚口を試作し検討した(図-8)。しかし、これら外部式の焚口の場合、焚付材の熱が、焚口上部にかなり逃げていることが判明した。そこで、熱の外部への損失を軽減するため、当初から焚付材を炭化炉の底部に入れて燃焼させる底焚方式を試作した。その結果、熱の損失が殆どなくなり、炭化炉



図-8 焚口の試作 (いずれも外部に設置する型)



図-9 底焚方式（焚口部材省略 左補強材無し、右補強材有り）



補強材

内の温度上昇が迅速になるという効果が認められた。また、底焚方式に変更した当初は、焚口と炭材部を隔離するための内部焚口を炭化炉底部に置くという方式をとっていたが、内部焚口を除去しても、灰化は予想したほどでもなく、収炭率 16% 程度の製炭は可能であったため、低価格化及び部材の削減を考慮し、最終的に焚口の部材を省略した（図-9）。

しかし、土窯だけでなく一部のドラム缶式炭化炉においても、収炭率を上げるため、燃焼室を設置し、直火が炭材に当たらないようにすることがあり、また、ゆっくり炭化させると硬くしまった炭になる（杉浦・広若 2004）。これらのことから、部材が増し炭化炉の価格が高くなるとともに、炭化時間が長くなり一般市民向けではなくなるという短所もあるが、今後は内部焚口を用いた製炭についても、検討する必要があると思われる。

なお、底焚方式に変更した場合、焚付材の燃焼に必要な空気（酸素）の供給は、外部に焚口を設置する方法に比べ劣ることから、焚付後は炭化炉内の温度が上昇するまで、継続して扇ぐなど、空気を送る作業が不可欠であり、燃焼室を設置し、扇ぐ必要のない方式（杉浦・広若 2004）に比べ、労力を要する結果となった。

黒炭窯による炭焼きにおいて、消火時の見極めの難しさは、窯底の温度が全面に400℃以上になっているかどうかをすばやく察知することであり、窯底の温度がこれ以下だと、煙の出る炭ができ、いつまでも炭化を続けると、天井部の炭材が灰になってしまう（岸本 1998）。さらに、焼き方のコツは窯底の温度を早く400℃以上に上げることであり、このために窯底の構造は、排湿構造または防湿構造といわれる特殊な構造をとっている（岸本 1998）など、製炭に際し、一般の土窯では窯底面の構造が重要である。

当炭化炉では、底焚方式であることから、比較的早期に炭化炉底部の温度が上がるため、炭化炉内部の上下の温度差が少ないという特徴がある。また、炭化炉内全面が金属で囲まれたドラム缶式炭化炉と異なり、当炭化炉

の底部は地面であることから、土窯に近い特性を有していると思われる。

焚付材の量及び着火時間（着火～焚口縮小までの時間）は、炭化炉の大きさ、土や炭材の含水率、炭材の大きさ等により異なるが、外部に焚口を設置した外焚方式と底焚方式の一例を、ほぼ同一容積の炭化炉で比較してみると外焚方式の場合、焚付材の量が 1.2 kg、着火時間が15分であったものが、底焚方式では、それぞれ 0.19 kg、6分となり、焚付材の節約と着火時間の短縮が可能となった。なお、炭化時間全体では、この焚付方式の変更に伴う着火時間以外への影響はみられなかった。

5 接合部

壁面部：壁面端部に穴を空けステンレス製のボルト・ナットあるいは丸棒で接合するタイプは、両壁面の穴の位置を合わせるのが容易ではなく、利便性に問題があった。また、ボルト・ナットを用いるタイプは、炭化炉の部品以外にドライバーやスパナなどの工具を携帯する必要があり、面倒であった。穴を空けボルト・ナットで組み立てるタイプで窯の設置場所を変え、組み立て時間を3回測定したところ、組立時間は、30分、32分、34分（平均：32分）であった。

壁面端部に穴を空けずに上下から壁ピンではさむタイプは、穴の位置を合わせる必要がなく、簡単に組み立てることができる上、工具が不要であるという利点があった。壁ピンの形状は、ステンレスフラットバー（2×6mm、2×8mm、3×8mm）を折り曲げるタイプ及び市販の割ピンを折り曲げるタイプについて検討したが、価格、入手しやすさ等総合的にみて、市販の割ピンを折り曲げるタイプを採用した。

フタ部：補強材を用い本体とフタをはさみ固定する方法及びボルト・ナットによりネジ止めする方法は、いずれも操作が予想以上に煩雑で時間がかかったため、作業の迅速性を重視し、ピンによる単純な差し込み方式を採用した。

前述のような検討を重ねた結果、標準型の炭化炉の仕

様を表-2のとおりとした。

表-2 簡易軽量炭化炉の仕様 (標準型)

区 分	0.12型	0.20型
容量 (m ³)	0.12	0.20
重量 (ピン込) (kg)	5.16	6.78
寸法 高さ(mm)	420	490
幅 (mm)	630	770
奥行(mm)	448	539
組立時間 (分)	2 ~ 3	
分解時間 (分)	1 ~ 2	

標準型以外にも大型あるいは小型の作製も可能である。大型 (約0.5m³)のタイプを試作したところ、本体壁面の補強材の使用や作業性の面からフタの分割が必要であった。なお、今後、使用が進むにつれ、いくつかの改良がありうると思われるが、使用される方々のご意見等を参考にしながら、対応していく必要がある。これらの本体に次の外部煙道を含め、特許出願を行った。

(出願日・番号 2008年3月5日, 特願2008-54652)

6 外部煙道

外部煙道の設置目的は、主に木・竹酢液の採取であるが、通常、木・竹酢液は、市販の耐酸性ステンレス円筒を2~3mの長さについて採取され (池嶋 1999), 採取に当たっては、集煙装置と煙の出口を近づけすぎると窯内の空気の流れが変わってしまい、木炭の品質に影響を及ぼし、また、離しすぎると、煙が外に逃げて木酢液の採取量が減ってしまう (杉浦 1998) という。

しかし、円筒形の煙突の場合、運搬時にころがり安定性に欠ける他、円筒2~3本分の容量が必要で嵩張るため、収納性に劣るという問題もある。さらに使用回数が増えるにつれ、タール分が接合部に付着し抜けにくくなるという欠点もある。煙道口の形状 (21×294mm) に合わせた20×294mmの外部煙道は、幅が広すぎて、煙道内を降下してくる木酢液が広い範囲に及ぶため、木酢液の

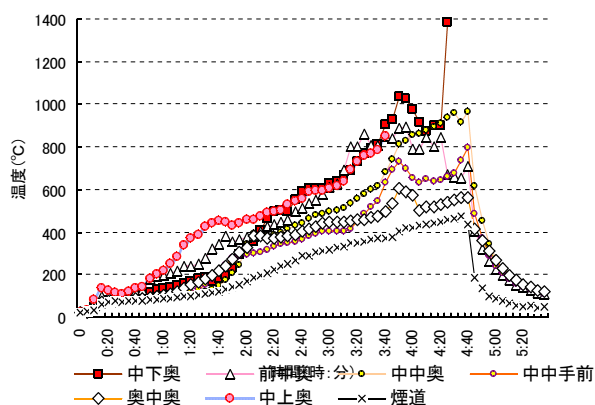


図-10 炭化炉Aの炭化温度の推移 (外焚方式)

収集が困難であった。同様に寸法を変え試作した幾つかの長方形の外部煙道は、いずれも円筒形や三角形に比べ、木酢液を1か所へ集めるのが困難であった。最終的にこれらの問題が解決できる三角形、もしくは角部を下にした方形とした。

7 炭化温度

製炭時の炭化炉内において、温度が着火1時間後に200°Cに達しているのは、炭化炉Aが中央部の上側1カ所のみであるのに対し、炭化炉Bでは4カ所で、その内3カ所で300°Cを超えていた。

また、着火時間も炭化炉Aでは平均15分、炭化炉Bでは平均6分と、炭化炉Bの方が早く着火できていた。炭化時間は、炭化炉Aが4時間36分、炭化炉Bが4時間27分で、着火時間の違い程度の差であったが、早期に炭化炉内全体に熱が行き渡るというのは、扇ぐ時間が少なく済み、労力が軽減されるという利点がある。消火時における各測定点の温度は、炭化炉Aが、高い順に907°C, 897°C, 846°C, 641°C, 526°C, 448°C (図-10), 炭化炉Bが、939°C, 826°C, 727°C, 706°C, 657°C, 616°C, 435°C (図-11)であり、測点による違いはあるものの同程度の範囲の温度分布が認められた。従って、いずれの焚口でも、900°Cを超える製炭が可能であるが、場所によっては400°C程度の製炭になることが判った。なお、400~500°Cで終了した部分の殆どは、煙道側底部及び両端部分であったが、木炭の規格では、炭化温度400°Cは精練度9に相当しており、規格内の炭である。

出炭時に未炭化の半焼炭となる部分は、底部及び炭化炉内の両端部であるが、これら半焼炭を少なくしようと思えば、詰め込み時に炭化炉と炭材との間及び底部の炭材と土の間に隙間材を入れたり (図-12), 底部を広げることで、半焼炭の割合を減らすことが可能であった。黒炭窯による炭化では、窯の中の炭材がすっかり炭になったときに最高の温度になるが、窯の中の部分で相当違いがあり、天井下が最も高く800°Cくらいになる一方で、

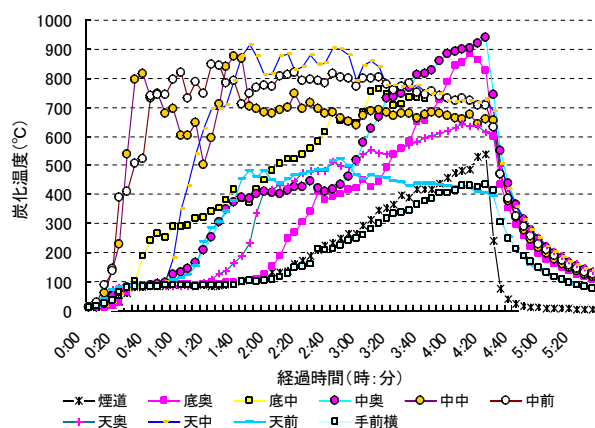


図-11 炭化炉Bの炭化温度の推移 (底焚方式)



図-12 炭材と壁面との間の隙間材
(上図の隙間材は枝を使用)

底部では400℃程度、時にはもっと低いことがある（岸本 1998）。当炭化炉は土窯に比べ、はるかに小型の炭化炉であるが、土窯と同様の温度差が生じていた。また、簡易で軽量の炭化炉であるにも関わらず、土窯と同様の温度領域に達することも判明した。

なお、温度の経時変化や最高温度は、炭化条件が同じであれば概ね同様の傾向を示したが、最高温度が700℃未満の場合もあるなど、炭材の含水率や太さ、設置した地面の湿り具合、炭化操作等様々な条件により、炭化温度は常に一定とは限らない。前述したように、炭化時間は品質に影響を及ぼすことから、今後は着火時間の短縮のみに主眼点をおかず、乾燥していない炭材を、時間をかけながらゆっくりと乾燥させ、温度を上げていく炭化方法についても検討する必要がある。

8 収炭率

当炭化炉の収炭率（平均±標準偏差）は、針葉樹が 14.95 ± 3.81 %、広葉樹が 17.39 ± 4.42 %、モウソウチクが 18.53 ± 2.27 %であった（図-13）。土窯の収炭率は、炭化方法によって違いがあるが、気乾で 10 ~ 20 %前後（谷田貝 2007）、林試式移動炭化炉の収炭率は、生材換算で、かし材等 16%、まつ枯損材

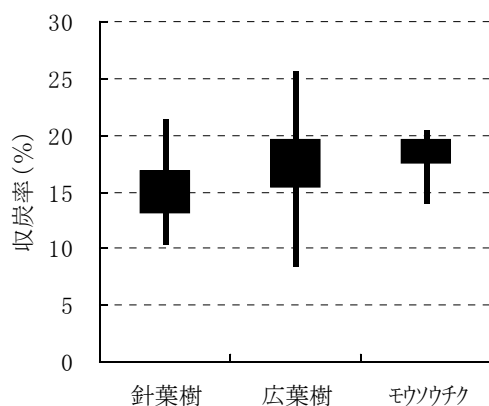


図-13 収炭率

注：グラフは最大・最小及び標準偏差を示す

13%、竹材 12%、廃ほだ材 10%（岸本・杉浦 1980）、ドラム缶式炭化炉の収炭率は、16%（杉浦ら 1998）である。谷田貝の指摘にあるように、炭化方法の違いにより収炭率は異なるものであるが、当炭化炉は、簡易で軽量であるにも関わらず、これら炭化炉と同等の収炭率で製炭できることが判明した。

9 精煉度

精煉度は、炭の品質を規定する一つの項目として定められており（社団法人 全国燃料協会、日本木炭新用途協議会 2003）、炭の炭化度を示す指標である。炭化過程の終了期に焚口を大きく開放し、空気を流入させる操作（精煉：せいれん、あるいはねらし）により収炭率は減少するが、固定炭素の割合が多い（精煉度が低い）炭を、製炭することができる（谷田貝 2007）。

当炭化炉から製炭された針・広葉樹の精煉度別の割合は、精煉度 0 ~ 4 の平均±標準偏差が 17.3 ± 9.4%、同じく精煉度 5 ~ 7 が 39.7 ± 14.0 %、同じく精煉度 8 ~ 9 が 43.1 ± 20.9 %であった（図-14）。

モウソウチク及び廃筏竹の精煉度別の割合は、精煉度 0 ~ 4 の平均±標準偏差が 62.3 ± 11.3 %、同じく精煉度 5 ~ 7 が 24.9 ± 10.5 %、同じく精煉度 8 ~ 9 が 12.9 ± 6.9 %であった（図-15）。これらのことから、当炭化炉は軽量で簡易な構造ではあるが、土窯と同様、適切な精煉を行えば、品質の良い炭を製炭できることが判った。

なお、炭化炉内の温度が十分に高温になっていない状態（煙が青色～透明でない）で消火した場合、あるいは温度が十分に上がっていない状態で精煉を行い消火した場合などは、未炭化や精煉度が 9 程度の炭になることが多かった。従って、精煉操作を行うには、炭化炉内の温度が十分に上がった後（煙が青色～透明）に行わないと、効果が半減すると思われる。

精煉をきかせすぎると、ガス分は少なくなり、火もちはよいが火付きは悪くなり、さらに炭は硬く切りにくくなる。茶の湯炭は、火付きがよく、切りやすいとともに、ほのかなガス分が残った炭が望ましく、精煉度でいえば 8 程度が標準である（岸本 1998）。従って、炭の精煉度は単に値が低い方が良質ということではなく、その値に応じた特性や使用方法がある。今回も広葉樹では、精煉度が 8 以上、9 未満の炭が多かったが、これらの炭は、茶道用等の用途の範囲であり、十分実用的な炭であるといえる。

10 発熱量

現在、木炭は燃料として使用されることが最も多く（林野庁 2007）、当炭化炉で製炭した炭の発熱量を把握することは、燃料としての品質の情報を提供するためにも重要である。製炭された炭の各発熱量は、スギが 30,731 J/kg、ヒノキが 27,917 J/kg、アカマツが

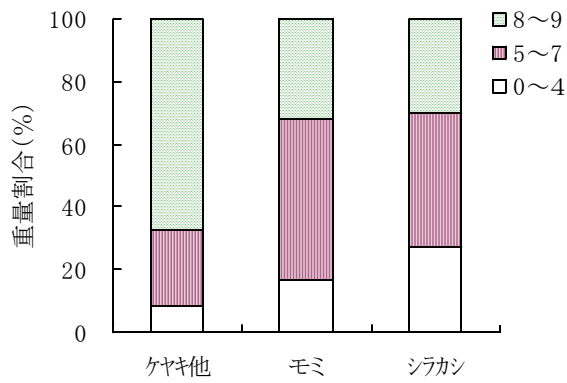


図-14 製炭された炭の精煉度別割合

注：ケヤキ他は、クリ、ナンキンハゼを含む

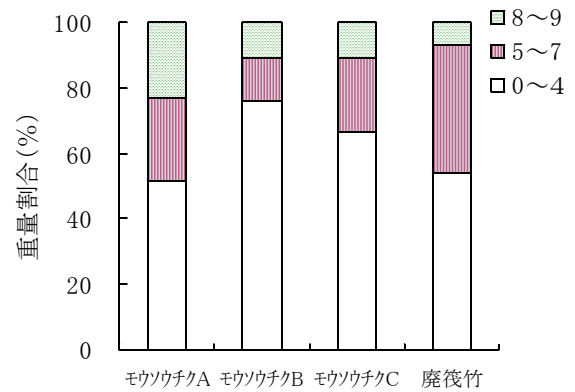


図-15 製炭された炭の精煉度別割合

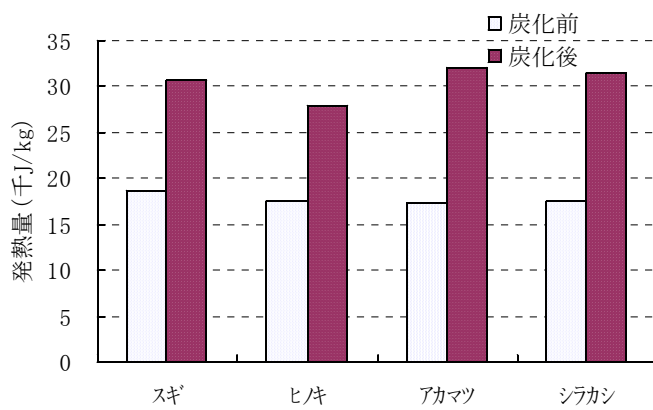


図-16 炭化前後別樹種別発熱量

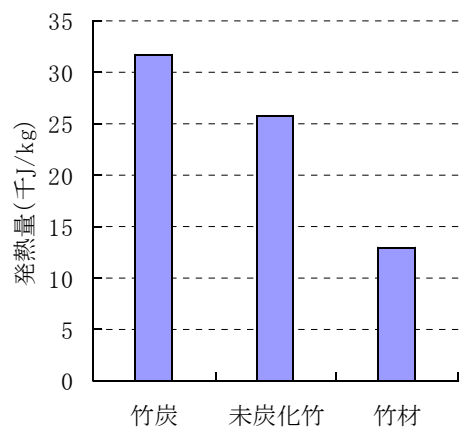


図-17 炭化前後別モウソウチク発熱量

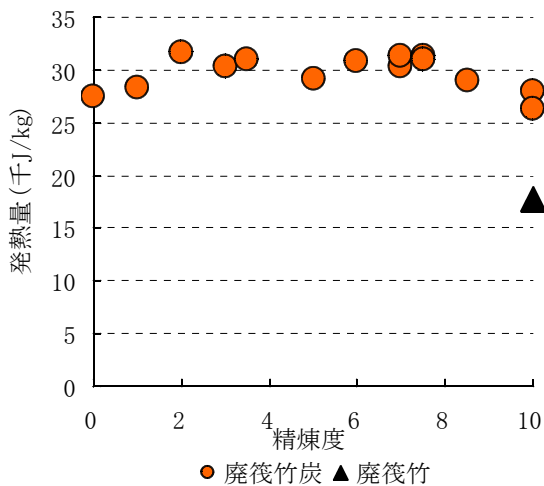


図-18 精煉度別モウソウチク発熱量

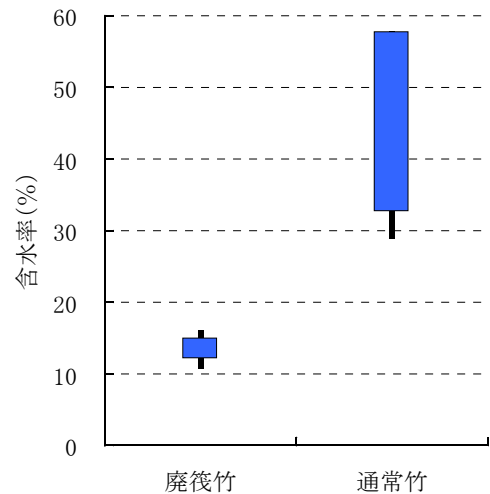


図-19 炭材別含水率 (モウソウチク)

注：グラフは最大・最小及び標準偏差を示す

31,967 J/kg、シラカシが 31,484 J/kgと炭化前に比べ 1.6~1.8 倍の発熱量になっていた (図-16)。竹炭の発熱量は、31,779 J/kgで、炭化前の竹材の発熱量である、13,033 J/kg の 2.4倍となっていた (図-17)。未炭化の半焼竹炭の発熱量は、25,772 J/kg であり、炭化

前の約 2 倍であった。半焼炭は、薪と炭の中間的なもので、ガス化用原料、産業用熱源として、近年再び注目を浴びている (谷田貝 2007)。当炭化炉で炭焼きを行った場合、投入した全ての炭材を完全に炭化することは困難で、幾分かは半焼炭となるが、半焼炭を燃料として用

いた場合、煙も少なく、なおかつ薪よりも発熱量が多いことから利用価値は高く、今後は再炭化せずにそのまま用いることも検討する必要があると思われる。

廃筏竹からの竹炭の精練度別発熱量は、27,392～31,678 J/kg の範囲であり、精練度の違いによる大きな差はみられなかった（図-18）。

一方、炭化前の廃筏竹の発熱量は、17,681 J/kg であり、炭化後の発熱量は、炭化前に比べ 1.5～1.8倍の発熱量となっていた（図-18）。

また、廃筏竹の発熱量は、竹林からの竹材の発熱量の 1.36 倍であったが、これは廃筏竹の含水率（平均±標準偏差）が $13.2 \pm 1.2\%$ であったのに対し、竹材の含水率は、 $45.2 \pm 12.6\%$ と高かったためと推察される（図-19）。

一般に木竹炭の発熱量は、水分を多く含む通常の木材や竹材より高い（岸本 1998）が、今回も同様の傾向を示し、いずれも原料の炭材より大きい値を示した。

当炭化炉でモウソウチク 50 kg を製炭し、竹炭 9kg（収炭率 18%）が得られた場合の熱量について、竹材の平均発熱量 13,000 J/kg、竹炭の平均発熱量 32,000 J/kg として算出すると、1回の炭焼きに投入する炭材の熱量は、650,000 Jであるが、製炭して得られる熱量は、288,000 Jとなり、差引き 362,000 Jの熱量が利用されずに損失したことになる（表-3）。

表-3 炭材の熱量と製炭後の熱量

区分	量	単位発熱量	発熱量
製炭前	50kg	13,000 J/kg	650,000 J
製炭後	9kg	32,000 J/kg	288,000 J
差			362,000 J

炭化することにより、これだけの熱量が失われるにもかかわらず、かつては薪と並ぶ重要な位置づけがあった

のは、燃焼時に煙や炎が出ない、燃焼が長持ちする、腐らない等の特徴があったためである。しかし、石油など化石燃料が高騰する中、今後、炭化中に発生する熱の有効利用について、検討する必要がある。

11 耐久性試験

野外に放置した当炭化炉の腐食、亀裂等外的損傷は認められなかった。また、2年間野外に放置した炭化炉でも問題なく使用できた。ドラム缶式炭化炉では、炭化していないときは、雨水等が入らないよう屋根あるいはビニールシートやタン板による被覆が必要（杉浦、広若 2004）であるが、当炭化炉は保管に際し、このような処置は不要である。

炭化回数については、板厚 0.3 mmの炭化炉で、製炭回数 44 回を経た時点において、本体壁面のゆがみは見られるが、炭化操作には問題は認められていない。板厚 0.4 mm 及び 0.5 mmにおいても、同様の経過を迎えると思われる。焚口に溶接したステンレスバーについては、27 回製炭を行った時点で、剥離、亀裂等の問題がないことが認められたが、今後、さらに炭化回数を重ね耐久性を確認する必要がある。

12 炭化操作

方形炭化炉 A による着火時間及び炭化時間の平均（最小，最大）は、それぞれ15分（9分，27分）及び3時間32分（2間52分，4間27分）であった。同じく方形炭化炉 B による着火時間，炭化時間の平均（最小，最大）は、それぞれ21分（13分，28分）及び6時間11分（4間36分，8間28分）であった（図-20）。

標準型の0.12型と0.20型の炭化炉を用いた炭化では、着火時間及び炭化時間の平均±標準偏差は、0.12型が、 8 ± 2 分及び4時間57分±48分、0.20型が 24 ± 19 分及び7時間19分±1時間18分であった（図-21）。

なお、炭材の含水率が高いと、これらの時間は長時間となるが、乾燥した炭材を0.20型で炭化した場合、着火時間及び炭化時間の平均±標準偏差は、 13 ± 2 分及び6

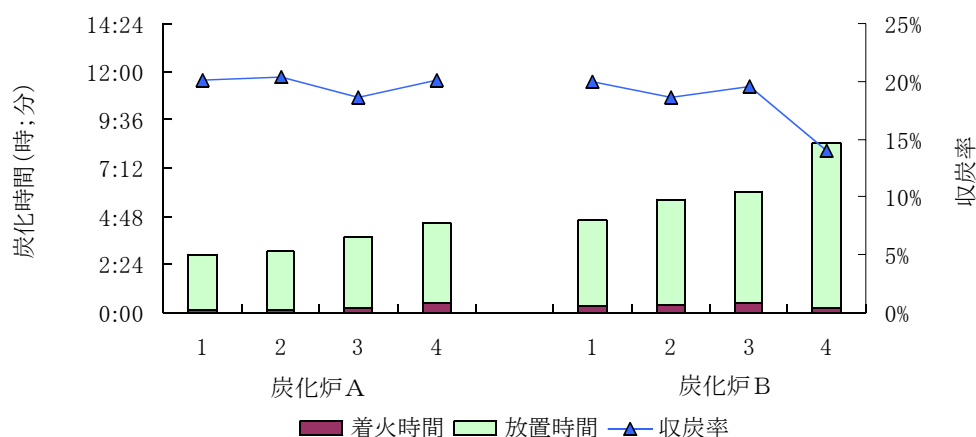


図-20 炭化炉別炭化時間及び収炭率

注：放置時間：炭化時間－着火時間

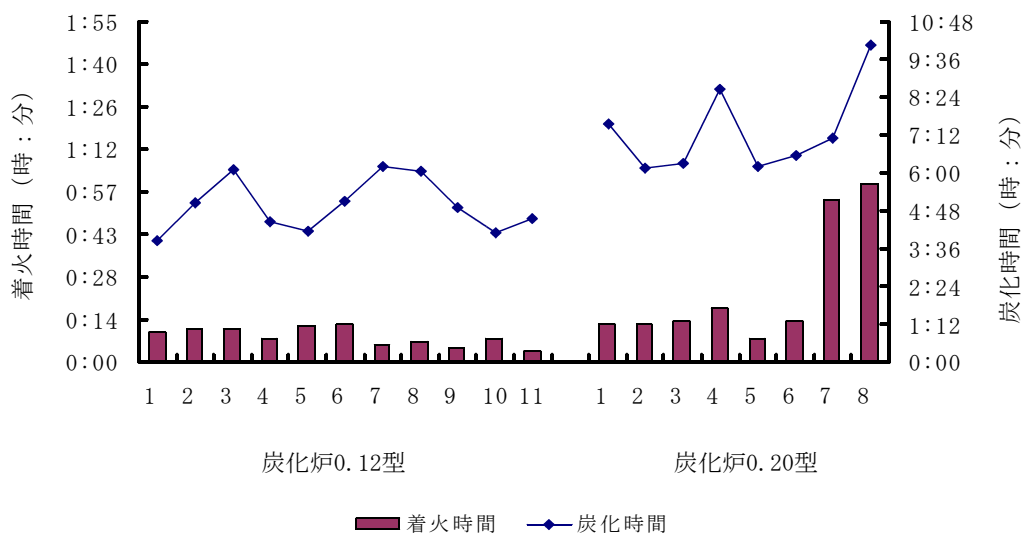


図-21 炭化炉別着火時間及び炭化時間

時間54分±55分と、短くなっていた（図-21）。これらのことから、0.12m³程度の小さな炭化炉であれば、朝着火し、夕方には出炭でき、1日で炭焼きが終了するという特徴がある。

当炭化炉と同じ容量の0.20m³で、かつ同じ横焚き方式のドラム缶式炭化炉の場合、着火時間が1～2時間で、炭化時間は7～10時間である（杉浦・広若 2004）。樹種、炭材の含水率や太さ、詰込重量の違いがあるため、単純に比較することはできないが、最終型炭化炉は、ドラム缶式炭化炉に比べ、着火時間で約45分、炭化時間で1時間程度の短縮が可能と思われた。

IV おわりに

当炭化炉は、簡易で軽量であり、組立、分解が容易なだけでなく、薄い板状に分解できることから、運搬・収納性にも優れるという利点がある。今回、当炭化炉の開発とともに、当炭化炉により製炭された炭の品質を把握できたことから、普及のための基礎資料を得ることができた。その結果、当炭化炉は従来のドラム缶式炭化炉に比べ、簡易で軽量化されているにもかかわらず、良質の炭を製炭できることが判った。今回は、簡易な製炭を目的とし、短時間での製炭を主眼に研究を行ったが、前述のとおり一般の土窯では、硬く締まった炭を焼くために、ゆっくりと時間をかけて製炭することが多い。将来的には、この炭化炉による時間をかけた製炭方法についても研究する必要がある。今後、これらの資料をもとに、より一層、里山利用や森林環境教育における当炭化炉の利用を進めるとともに、地域の木質バイオマス資源の有効利用を図る必要があると思われる。

引用文献

岸本定吉（1998）炭。創森社、東京。

岸本定吉監修（1997）炭・木酢液の利用事典。187-244 pp. 創森社、東京。
 岸本定吉・杉浦銀治（1980）日曜炭やき師入門。96pp. 総合科学出版、東京。
 岡山県農林水産部林政課（2002）21世紀おかやまの新しい森育成指針—里山林の整備・活用方法—
 岡山県農林水産部林政課（2007）岡山県特用林産物生産流通統計（平成18年次）。22pp。
 林野庁（編）（2005）森林・林業白書（平成16年版）。84pp. 社団法人日本林業協会、東京。
 林野庁（編）（2008）森林・林業白書（平成20年版）。109pp. 社団法人日本林業協会、東京。
 林野庁（編）（2007）森林・林業統計要覧 2007年版 126pp. 財団法人林野弘済会、東京。
 杉浦銀治編（2006）つくってあそぼう20火と炭の絵本 炭焼き編。10pp. 社団法人農山漁村文化協会、東京。
 杉浦銀治・鳥羽曙・谷田貝光克監修（2003）竹炭・竹酢液づくり方生かし方。97pp. 創森社、東京。
 杉浦銀治・広若剛士・高橋泰子（1998）炭焼き教本 簡単窯から本格窯まで。97pp. 創森社、東京。
 杉浦銀治・広若剛士（2004）すぐにできるドラム缶炭やき術。創森社、東京。
 社団法人全国燃料協会、日本木炭新用途協議会（2003）木炭の規格、東京。
 田中貞行（1998）使う作る木炭入門。pp68. 日刊工業新聞社、東京。
 谷田貝光克・山家義人・雲林院源治（1995）簡易炭化法と炭化生産物の新しい利用。財団法人林業科学技術振興所、東京。
 谷田貝光克監修、木質炭化学会編（2007）炭・木竹酢液の用語事典。創森社、東京。

