

令和2年度

広葉樹を活用した成長産業化支援対策

(特用林産物(竹炭)に関する情報の収集・分析・提供)

報 告 書

令和3年3月

日本特用林産振興会

はじめに

我が国において竹は古来より身近な植物であり、籠、笊、箒などの日用品や、茶道具、竹細工といった工芸品、たけのこなど、広く生活に根ざして利用されてきた。しかし、プラスチックなどの代替品の普及や安価な輸入品の流通、竹林所有者の高齢化などにより、里地・里山を構成する竹林は放置され、社会問題の一つになって久しい。

一方、こうした放置竹林問題に取り組む NPO 法人などの中には、竹を炭にやき、土壌改良資材などに利用している団体等も散見される。

このような中、日本特用林産振興会は、令和 2 年度「広葉樹を活用した成長産業化支援対策」（特用林産物（竹炭）に関する情報の収集・分析・提供（林野庁補助事業））により、特用林産物に関する需給状況や生産・販売に関するノウハウなどの情報を提供することで、特用林産物の生産に係る新規参入を促すとともに、農山村で複合経営の新たな作物を探している方や、J・I ターンで農林業に取り組もうとする方、あるいは地域づくりの材料を探している自治体などに対し、竹炭に対する新たな可能性について情報を提供し、竹炭を活用した地域振興や、竹炭の供給体制強化につながることを目的に竹炭に関する調査事業を実施した。

竹は光合成により大気中の二酸化炭素を吸収して炭素（C）として固定し成長する。よって竹を燃料として燃焼させることは炭素の収支上は「±0」で「カーボンニュートラル」である。そして竹を炭化し、それを燃焼させることなく土壌改良等に利用すれば大気中の C を固定化することになり、地球温暖化の緩和につながる。植物系バイオマス由来の炭化物（バイオ炭）は 2019 年の IPCC ガイドラインで気候変動緩和策として算定方が正式に位置づけられ、これを受けて 2020 年 9 月には、CO₂ 排出削減量や吸収量をクレジットとして取引する国が認証する J-クレジット制度において、「バイオ炭の農地施用」が CO₂ 排出削減・吸収に資する方法論として承認された。また、木炭（竹炭含む）は既に地力増進法（昭和 59 年 5 月 18 日法律第 34 号）において土壌改良資材に指定されているところである。

本報告書では簡易な手法での竹炭づくりのマニュアル化と、それぞれの手法で作られた炭の分析データを取りまとめた。本報告書が竹炭づくりとその利用の一助になれば幸いである。

令和 3 年 3 月

日本特用林産振興会

会長 小淵 優子

目 次

はじめに	i
本事業について	iv
I 竹炭の生産・流通	1
1. 竹炭の生産量・生産者数の推移	1
(1) 生産量・生産者数とも減少傾向	1
(2) 増加を続ける輸入量と底堅い需要	2
II バイオ炭について	3
1. バイオ炭とは	3
2. バイオ炭をめぐる近年の動向	3
3. J-クレジットとは	3
III 竹炭づくりマニュアル	5
1. 竹材の伐採、収集、調整	5
(1) 伐採予定竹林の所有者の確認と同意	5
(2) 整理伐	
① 装備 ② 整理伐するべき竹	5
③ マーキング ④ 伐倒	6
(3) 玉切り、搬出	6
(4) 棚積み	6
(5) 乾燥	6
2. 竹炭づくりのための準備・手続き	7
(1) 消防署への届け出	7
(2) 風速	7
(3) 服装、準備する道具類	8
(4) 消火用水の確保	8
3. 竹炭づくり	8
(1) 開放型炭化方法による炭づくり（いすみ竹炭研究会）	8
① 着火準備 ② 着火 ③ 炭化	8
④ 消火	9
⑤ 梱包 ⑥ 主な販売先 ⑦ 主要データ一覧 ⑧ 所感	10
(2) 開放型炭化方法による炭づくり（有限会社ゆうき、掘り穴式炭化法）	10
① 着火準備 ② 着火 ③ 炭化	10
④ 消火 ⑤ 梱包 ⑥ 主な販売先	11

⑦主要データ一覧 ⑧所感	12
(3) 開放型炭化方法による炭づくり(有限会社ゆうき、モキ式無煙炭化器)	12
①着火準備 ②着火 ③炭化	12
④消火 ⑤梱包	13
⑥主な販売先 ⑦主要データ一覧 ⑧所感	14
(4) 可搬式密閉型炭化方法による炭づくり(「簡単スミヤケール」)	14
①炭材の調整	14
②炭化炉の設置	15
③焚口の設置 ④炭材の詰め込み ⑤口焚き ⑥炭化 ⑦窯口の調整	16
⑧目止め ⑨竹酢液の採取 ⑩精煉(ネラシ)	17
⑪窯止め ⑫窯出し ⑬主要データ一覧(大網白里市第2回目)	18
⑭所感 ⑮主要データ一覧(大網白里市第1回目)	19
IV 分析データ等	20
1. 炭化温度	20
(1) 開放型炭化方法による炭づくり(いすみ竹炭研究会)	20
(2) 開放型炭化方法による炭づくり(有限会社ゆうき、掘り穴式炭化法)	21
(3) 開放型炭化方法による炭づくり(有限会社ゆうき、モキ式無煙炭化器)	21
(4) 可搬式密閉型炭化方法による炭づくり(「簡単スミヤケール」)	22
2. 成分分析結果	23
3. 精煉度の比較	24
4. 有害物質の分析	26
まとめ	27

本事業について

1. 事業の目的

特用林産物の生産者の減少・高齢化が進む中、特用林産物生産業への新規参入を促していくためには、特用林産物の生産・販売の実態やノウハウ等に関する情報をわかりやすく提供する必要がある。このため近年、温暖化対策の炭素固定源として注目されているバイオ炭の機能に着目し、竹炭に関連する情報を収集して幅広く発信することにより、新規参入等を促進するための一助とする。

2. 事業の内容

本事業の概要は以下のとおりである。

(1) 特用林産物の需給情報等に係る情報の収集・分析・提供

① 企画・検討委員会の開催

近年、NPO 法人やボランティア団体などによって放置竹林対策の一つとして竹炭が生産され土壌改良等に利用されているが、その製炭方法や炭素固定機能についての情報が十分とは言えない状況にある。このため学識経験者等による企画・検討委員会を開催し、安全で効率的な製炭方法の検討や既存の製炭法による竹炭の成分分析等を行い、幅広い情報収集・分析を行う。

② 特用林産物(竹炭)に関する情報提供

上記委員の指導・協力の下、国産竹炭の需給状況、現地調査による高品質竹炭の製炭方法、バイオ炭に関する基礎的知識等について取りまとめを行い、NPO 団体等の活動促進の一助とする。

(2) 事業報告書の作成

上記事業の実施内容及び成果について報告書を作成する。

3. 事業の実施

竹炭に関する調査に係る企画・検討委員会(以下「委員会」という。)

委員会の構成は「表1」のとおりである。

第1回委員会は、令和2年8月6日(木)にオンライン方式によるリモート会議として実施した。また、第2回検討委員会を令和3年3月26日に書面にて開催し、この事業報告書を事務局案として提示し、最終的に内容について了承いただいた。

表1 検討委員の構成

氏名	所属
谷田貝 光克	東京大学名誉教授
岸本 文紅	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター 上級研究員
井上 芳樹	株式会社伊那炭化研究所代表取締役

I 竹炭の生産・流通

1. 竹炭の生産量・生産者数の推移

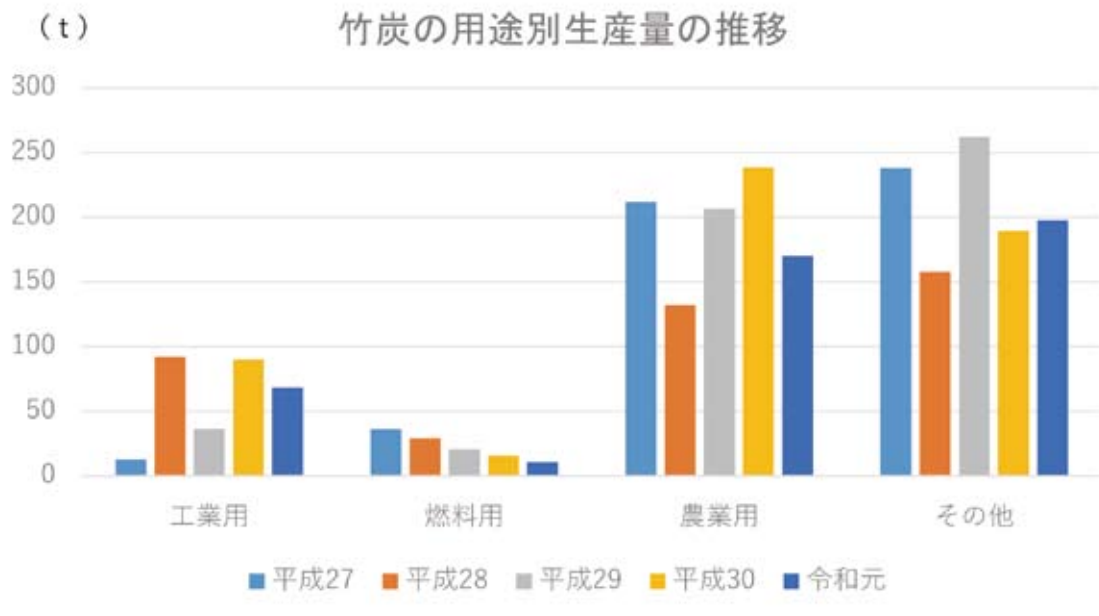
(1) 生産量・生産者数とも減少傾向

過去 12 年の国内の竹炭生産量及び生産者数の推移については図 1 に示すとおり、いずれも減少傾向にある。生産量については平成 29 年、30 年と増加に転じたものの令和元年で再び減少した。

竹炭専門の生産者によると、平成 29 年頃から土壌改良用、10～38 ミクロンの微粉炭が食品添加用・衣料用として、また床下調湿用、室内調湿用等の販売量が伸びているとのことである。図 I -2 に直近 5 年間の竹炭の用途別生産量を示す。燃料用竹炭の生産量は減少傾向にあり、それ以外の工業用、農業用、その他の用途ではバラつきが大きい。「工業用」は主に活性炭原料としての用途であり、「農業用」は土壌改良資材として、「その他」が装飾用(置物など)や主に菓子類向けの食品添加用、床下調湿用、繊維添加用などと推察される。



図 I -1 竹炭の生産量・生産者数の推移 (林野庁「特用林産基礎資料」より作成)



図I-2 竹炭の用途別生産量の推移（林野庁「特用林産基礎資料」より作成）



図I-3 竹炭の輸入量と金額の推移（財務省「貿易統計」より作成）

(2) 増加を続ける輸入量と底堅い需要

一方、図I-3に示すように竹炭の輸入量、輸入金額は増加傾向にあり、国別では中国が9割以上を占めている。国内生産量は減少していても輸入量が伸び続けていることから、国内での竹炭への需要は底堅いとも言える。先の竹炭専門の生産者によると、輸入竹炭の中でも、ペットボトルに入るサイズに加工された飲料水用の竹炭が、年間500kg程度ながら増加傾向にあるとのことであった。

Ⅱ バイオ炭について

1. バイオ炭とは

近年、麦わらやもみ殻など、農業系廃棄物を炭化した「バイオ炭」(Biochar)について世界的に関心が高まっている。

植物は光合成で大気中のCO₂を吸収し、そのうちの「C(炭素)」を使ってデンプンなどの炭水化物を合成し成長するが、もみ殻などの有機物は燃焼させたり、あるいは放置して微生物に分解されるとその「C」は再び大気中へ戻っていく。しかし、炭にして農地に撒くなどの手法により燃焼・分解されなければ、大気中の温室効果ガスのCO₂のうちの「C」を固定化するため、地球温暖化の緩和につながるとともに炭による土壌改良効果が期待できる。

バイオ炭の定義は国連のIPCC(気候変動に関する政府間パネル)の2019年改良IPCCガイドラインによれば「燃焼しない水準に管理された酸素濃度の下、350℃超の温度でバイオマスを加熱して作られる固形物」とされており、竹炭も含まれる。この定義で重要なのは、1) 空気が制限された嫌気的条件下で、2) 350℃を超える炭化温度で作られるとしている点である。

2. バイオ炭をめぐる近年の動向

ここ10数年来、世界各国でバイオ炭についての研究が進められてきたが、IPCCは2018年10月に公表した「1.5℃特別報告書」で、大気中のCO₂を低コストで除去できる技術としてバイオ炭を明記した。翌2019年5月、京都で開催された第49回IPCC総会で承認された「2019年改良IPCCガイドライン」に、農地・草地土壌へのバイオ炭投入に伴う炭素固定量の算定方法が追加された。これを受けて2020年の我が国の温室効果ガスインベントリから、バイオ炭の農地施用に伴う炭素貯留量の算定・報告が開始された。これによれば、2018年度のバイオ炭の炭素貯留効果による排出削減量は、約5,000t-CO₂と算出された。

3. J-クレジットとは

上記のような経緯を経て、2020年9月30日、CO₂排出権を取引する国の制度である「J-クレジット」に

において、「バイオ炭の農地施用」がCO₂排出削減・吸収に資する方法論として承認された。J-クレジット制度は、省エネルギー機器の導入や森林経営などの取り組みによる、CO₂などの温室効果ガスの排出削減量や吸収量を「クレジット」として国が認証する制度で、「方法論」とは、排出削減量・吸収量の算定方法及びモニタリング方法等を規定したもので、今回承認された「バイオ炭の農地施用」は農業分野で4つ目の方法論となる。

クレジットの対象となるCO₂の量は、輸送などで排出したCO₂量を差し引いたものとなる。詳細な計算方法等はJ-クレジットのホームページ内にある「バイオ炭の農地施用」を参照されたい(https://japancredit.go.jp/pdf/methodology/AG-004_v1.0.pdf)。

1. 「バイオ炭の農地施用」を対象とした方法論とは

- 本年9月30日、J-クレジット制度において「バイオ炭の農地施用」を対象とした方法論が策定。本方法論は、バイオ炭を農地土壌へ施用することで、難分解性の炭素を土壌に貯留する活動を対象。
- 「バイオ炭」とは、「燃焼しない水準に管理された酸素濃度の下、350℃超の温度でバイオマスを加熱して作られる固形物」と定義（2019年改良IPCCガイドラインに基づく）。

【方法論のイメージ】

2

(1) 本方法論の対象とするバイオ炭の種類について

- 2020年の我が国の温室効果ガスインベントリの算定対象とされた、木竹由来の「白炭、黒炭、竹炭、粉炭、オガ炭」の5種に加え、この5種以外を原料とするその他のバイオ炭についても保守的な係数を設定することで対象とした。

<p>■ インベントリ報告書の算定対象とされたバイオ炭</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>オガ炭※</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>白炭</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>黒炭</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>粉炭</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>竹炭</p> </div> </div> <p><small>※オガ炭は、製紙・製炭を原料としたオガラ屑を炭化したもの。</small></p>	<p>■ 本方法論で対象とするその他のバイオ炭※</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 家畜ふん尿由来(鶏ふん炭など) ● 草本由来 ● もみ殻・稲わら由来 (もみ殻くん炭など) ● 木の実由来 ● 製紙汚泥・下水汚泥由来 <p><small>※2019年改良IPCCガイドラインにおいて、係数が提示されている種類</small></p> <p style="text-align: right;">8</p>
--	--

(1) 適用条件について

1. バイオ炭の施用に係る条件

条件1：バイオ炭を、農地法第2条に定める「農地」又は「採草放牧地」における鉱質の土壌に施用すること。

2. バイオ炭の製造・品質に係る条件

条件2：燃焼しない水準に管理された酸素濃度の下、350℃超の温度で焼成されていること。

条件3：バイオ炭の原料は、国内産のものであること。

条件4：バイオ炭の原料は、未利用の間伐材など他に利用用途がないものであること。
(燃料用炭の副生物も条件を満たす)

条件5：バイオ炭の原料には、塗料、接着剤等が含まれていないこと。

クレジット認証に当たり、適用条件を満たすことを確認する必要があるため、確認結果を示す資料は必ず記録・保存しておいて下さい。

9

図II-1:「J-クレジット制度におけるバイオ炭の農地施用にかかる方法論に関する説明会資料」「バイオ炭の農地施用を対象とした方法論について」より。農林水産省環境政策室 (<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/climate/biochar/attach/pdf/top-4.pdf>)

Ⅲ 竹炭づくりマニュアル

1. 竹材の伐採、収集、調整

(1) 伐採予定竹林の所有者の確認と同意

すべての土地には所有者が存在する。竹林の竹を伐採する場合は、事前に土地所有者を確認し、同意を得る必要がある。地権者の同意を得ない伐採は損害賠償の対象になりうるので、地権者の所有する竹林の範囲、伐採の程度など、具体的な作業に沿って確認を行うようにする。

(2) 整理伐

場所が決まったら枯損竹や倒れている竹を竹林外へ運び出し、作業スペースを確保するとともに、4年生、5年生などの老齢竹を伐採する。

① 装備

長年放置された竹林には、枯れている竹や倒れている竹などがあり、分け入ることも難しい場合もある。服装は長袖、長ズボンとし、靴は作業靴か、つま先が固く保護された長靴が望ましい。竹の伐採にチェーンソーを使用する際は、ヘルメットに加え、防護ズボンまたはチャップスなど下肢を防護するものを装着することが必要である。これは厚生労働省の労働安全衛生規則の一部を改正する省令により、2019年8月1日より、事業者・労働者に対する下肢用防具服の着用が義務化されたことによるものである。

② 整理伐すべき竹

整理伐の対象になる竹は、1) 枯竹、2) 老齢竹、3) 不良竹である。

1) 枯竹

竹稈の表面が黄変し、完全に落葉していて、一見して枯れた状態にある竹。竹林内で折れて、かかり木の状態になっているものも多い。

2) 老齢竹

竹の年齢は大きさや形では判断が難しい。逆



ヘルメットとともに防護ズボン等を着用すること

に新竹(当年に発生した竹)を見分けるのは容易で、稈が白い粉に包まれているため全体に白っぽく見え、根元には新しい皮(稈鞘)が残っている。竹林を維持するのであれば、この新竹を残して伐採する。

3) 不良竹

極端に細い個体や、曲がって生えている竹を指す。

③マーキング

竹林内を観察し、伐採すべき竹の稈に目印をつける。カラースプレーでマーキングする方法もあるが、竹炭を農地へ施用するのであれば、化学物質の使用は行うべきではない。農業用の麻ひもや、野外調査用のピンクテープなどを巻いて、伐採すべき竹、あるいは逆に残すべき竹がわかるようにする。

④伐倒

竹の伐倒はノコギリまたはチェーンソーで行う。ノコギリは竹用のものが市販されており、刃が丈夫にできており、細身で伐採中に稈に挟まれにくいなどの特徴がある。モウソウチクの場合は伐倒した竹材の重さが数10kgにもなることがあるため、伐倒する人はヘルメットを着用し、周囲に人がいないことを確認し、倒す際には大きな声やホイッスルで確実に周囲に知らせるようにする。また、前述のようにチェーンソーを使用する場合は、ヘルメットに加えて下肢の防護服を着用すること。なお、近年は充電式バッテリーで駆動するチェーンソーも販売されている。従来のエンジン式のものに比べて軽く、音が静かで、竹を伐る程度であれば十分な力を出すものも多いので、住宅地に近い竹林などでの使用に適している。

竹は硬いケイ酸を含むため、普通のソーチェーンではすぐに切れなくなってしまうので、こまめに歯を研ぐとともに、竹伐採用のソーチェーンも販売されているので導入を検討してもよいだろう。

(3) 玉切り、搬出

伐採した竹は、運びやすい長さに玉切りするが、まずは稈のみの部分と枝葉の付いている部分とを分ける。稈の部分は1～2m程度の長さに玉切るのが目安だが、搬出作業をする人に合わせて決める。傾斜地の場合は搬出路を確保してから作業を行うとよい。平地や緩斜面ではベルトスリングを使用して数本を束ねて引きずりながら運ぶ方法もある。また、人数がいれば、バケツリレーのように手渡しで運ぶ方法があり、この方法は斜面での搬出に有効である。

竹の上部・枝葉の多い部分は、搬出中に立竹と接触すると跳ね返って顔面に当たることがあるので、防護用メガネなどの装着が望ましい。

(4) 棚積み

竹材の搬出、特に傾斜地では伐倒よりも多くの労力を要する。このため、一時的に竹林内に集積しておく方法のひとつが「棚積み」である。2本の生えている竹を柱として、その2本の竹に接するように寝かせて積んでいく方法で、適当な竹が見つからない場合は、竹を切って杭にして積んでいく。

(5) 乾燥

炭材となる竹を日当たりがよく、風通しの良い場所に、稈のみの部分と枝葉の付いている部分とを分けて積み、3か月～半年間乾燥させる。開放型炭化方法の場合は、生の竹だけでは水分を多く含むため炭化温度が上がらず、未炭化の炭が多くなり、炭化にも時間がかかる。密閉式炭化炉の場合も、生の竹では炭化に時

間がかかるため、最低でも3か月乾燥したものをを用いる。

上記の詳細については日本特用林産振興会のホームページで公開されている『竹林の持続的安定供給を指した竹林管理マニュアル』を参照されたい (<https://nittokusin.jp/nittokusin/wp-content/uploads/2018/07/2752ed2f677c731ac78c6b5172f6974d.pdf>)。

2. 竹炭づくりのための準備・手続き

(1) 消防署への届け出

開放型、密閉型を問わず、炭化の過程では煙が発生する。火災と間違われぬように、最寄りの消防署に届け出を行う。これは各自治体で定める火災防止条例の中の「火災とまぎらわしい煙又は火災を発生おそれのある行為の届出書」等の名称の届出書で、正・副2通を作成して提出する。場合によっては後日、消防署員による現場確認が行われる。

(2) 風速

開放型炭化方法の場合は、風速5mを超える場合は類焼の危険性があるので、実施の延期を検討すべきである。風速は天気予報を参考にするとともに、判断に迷う場合は風速計により計測し、判断する。

第13号様式(第17条第1項第1号) 火災とまぎらわしい煙又は火災を発生おそれのある行為の届出書	
年 月 日	
種	届出者 住所 氏名 電話
④	
火災予防条例第45条第1号の規定により火災とまぎらわしい煙又は火災を発生おそれのある行為を届け出ます。	
焼却禁止の例外区分	1 国又は地方公共団体の廃棄物 2 震災、風水害、火災、凍結害等の廃棄物 3 風俗慣習上又は宗教上の廃棄物 4 農業、林業又は漁業の廃棄物 5 たき火その他日常生活の廃棄物
目的	
日 時	年 月 日から 年 月 日迄 時 ~ 時
行 場 所	
責 任 者 氏 名	電 話 ()
内 容	
そ の 他	
※ 受 付 欄	※ 経 過 欄
備考 本届出は、火災予防上の届出であり、廃棄物の処理及び清掃に関する法律等の規定に基づくものではありません。 なお、記入にあたっては裏面の注意事項を参照してください。	

(裏)

注 意 事 項

- 1 この用紙の大きさは、日本産業規格A列4番としてください。
- 2 届出者が法人の場合は、主たる事務所の所在地、法人名称及び代表者の職・氏名を記入してください。
- 3 焼却禁止の例外区分には、該当する番号に○を記入してください。なお、焼却禁止の例外区分に該当する行為は次の行為をいいます。
 - (1) 「国又は地方公共団体の廃棄物」とは、国又は地方公共団体がその施設の管理を行うために必要な廃棄物の焼却
 - (2) 「震災、風水害、火災、凍結害等の廃棄物」とは、震災、風水害、火災、凍結害その他の災害の予防、応急対策又は復旧のために必要な廃棄物の焼却
 - (3) 「風俗慣習上又は宗教上の廃棄物」とは、風俗慣習上又は宗教上の行事を行うために必要な廃棄物の焼却
 - (4) 「農業、林業又は漁業の廃棄物」とは、農業、林業又は漁業を営むためにやむを得ないものとして行われる廃棄物の焼却
 - (5) 「たき火その他日常生活の廃棄物」とは、たき火その他日常生活を営む上で通常行われる廃棄物の焼却であって軽微なもの
- 4 内容の欄には、焼却物の種類、数量等の内容を記入してください。
- 5 その他の欄には、消火準備の概要その他参考事項を記入してください。
- 6 実施場所の図面等を添付してください。
- 7 ※印の欄は、記入しないでください。

「火災とまぎらわしい煙又は火災を発生おそれのある行為の届出書」(山武郡市広域行政組合消防本部)

(3) 服装、準備する道具類

開放型炭化方法は猛烈な熱を発するので、服装は綿 100%の長袖・長ズボンとし、化学繊維は避ける。靴は革製の作業靴が望ましい。また、顔面を熱から保護するため、刈り払い作業用のフェイスシールドを着用することが望ましい。手袋は耐熱性のある皮手袋を装着すること。均一に炭化するために攪拌する鉄製のレーキ、鉄筋なども用意する。

開放型炭化方法では、燃えている竹が炭化器からこぼれ落ち、周囲の枯れ草などが燃えることがよくある。このため、速やかに消火できるように水道につなげるリール式散水ホースや、緊急時のために消火器を用意しておく。なお、消火器は密閉式炭化炉であっても用意する。

鉄板を組み立てる開放型炭化器、可搬型密閉式炭化炉は、どうしてもつなぎ目に隙間ができる。このため空気が流入して燃焼してしまい、炭の収量の減少につながる。隙間を埋める方法として、通常の土では加熱により収縮・乾燥しはげ落ちるため、粘土質の土や木灰を水で練ったものを使用するとよい。

(4) 消火用水の確保

開放型炭化方法の場合は、最後に水をかけて消火するため、大量の水が必要になる。水道が近くであれば、リール式の散水ホースなどをつなぎ水の出る状態にしておく。水道が近くにない場合は、300ℓ～500ℓの農業用貯水タンクを軽トラックなどに積んでから水を溜め、小型のエンジン式ポンプ等でタンクから汲み上げて散水できるようにする。

3. 竹炭づくり

(1) 開放型炭化方法による炭づくり (いすみ竹炭研究会)

① 着火準備

炭化器を設置する場所を平らにならし、914 × 1829mm、厚さ約 3mm の中古の鉄板を、長辺と平行に 2 分割したものを扱い、金属製の万力で固定して炭化器を組み立てる (図 III -1)。この方法は鉄板を横につなぎ合わせることで炭化器の大きさを変えることが可能である。鉄板の接地部分は空気が入らないようにスコップなどで土を寄せて確実にふさぐ。また、地面への熱の損失を防ぐために、炭化器の底にはガルバリウム鋼板を敷く。

② 着火

炭化器の対角線上に 2 か所、枯れた細い竹を放射状に組み、ガスバーナーで着火する (図 III -2)。着火したら乾燥した枝などを上につぎ足し、火を大きくしていく。

③ 炭化

竹を火の中に投入していき、炎を大きくしていく。開放型炭化器で炭ができるのは、燃え切らない竹が炭化器内に積み重なることで空気との接触が制限されることによる。竹をくべるだ



図 III -1 炭化器の設置



図Ⅲ-2 着火



図Ⅲ-3 炭化・攪拌作業



図Ⅲ-4 炭化の終了



図Ⅲ-5 消火開始

けでは酸欠になり未炭化なものができるため、炎がある程度落ち着いたところで長い竹や鉄製のレーキなどで攪拌する(図Ⅲ-3)。炎が上がらなくなったら、再び竹を投入し、これを繰り返す。先述のように炭化中は猛烈な熱を発するので、木綿100%の長袖・長ズボンを着用する。また、顔にも熱が当たるため、刈払い機用のメッシュのフェイスガードを装着するとよい。

④消火

図Ⅲ-4のように、竹炭が炭化器一杯になり、炎が上がらなくなったら消火作業を行う。水は500ℓのローリータンク2つを用意し、エンジン式小型ポンプで揚水する(図Ⅲ-5)。

ある程度炭化炉上面に散水し温度が下がってきたら、炭化器の鉄板一つを外し、その外した鉄板の上に鉄製のレーキで適量量の竹炭を載せ、散水する(図Ⅲ-6)。火が消えているよう



図Ⅲ-6 消火作業



図Ⅲ-7 消火完了

に見えてもまだ火がついていることがあるので、消火は確実に行うようにする。

⑤梱包

枯れ葉等が混入しないようにブルーシートなどで全面を覆い、一晩放置し完全に消火していることを確認する。湿ったままの状態の竹炭を土嚢袋に入れて梱包し、日の当たらない倉庫などに保管する。

⑥主な販売先

市内及び近隣市町の農産物生産者、造園業者に 60 l 当たり 2,000 円で販売している。

⑦主要データ一覧

調査年月日	2020年9月15日(火)
実施主体	NPO 法人いすみ竹炭研究会(西澤真実代表)
実施場所	千葉県いすみ市
天候	晴
気温	31°C(11:00)
湿度	60%
所要人日	伐採:3人日、搬出:5人日、炭化:4人日
炭材の種類	モウソウチク 100%
炭化器設置開始時刻	10:45
炭化器設置完了時刻	11:00
着火開始時刻	12:50
消火開始時刻	15:05
消火完了時刻	15:30
投入炭材重量	1,189.90kg(湿重量)
生産竹炭重量	447.75kg(湿重量)
収率	14.4%(炭材・竹炭とも絶乾ベースで算出)

⑧所感

ほぼ完全に乾燥した竹を使ったため、ほとんど煙は出なかった。炭化の工程が非常に丁寧で、未炭化を防ぐために炭化中の攪拌作業が頻繁に行われた。竹を割ったり、節を抜いたりしていないため、時々加熱により節内の圧力が高まり爆発し、大きな音が起こる。近隣に住宅がある場合などは、ハンマーで節を叩きヒビを入れておくなどの処理が必要となると思われる。

(2) 開放型炭化方法による炭づくり(有限会社ゆうき、掘り穴式炭化法)

①着火準備

丸型ショベルで直径約 60cm、深さ約 50cm の丸い穴を掘り、炭化場所とする(図Ⅲ-8)。今回は農地の隣接地だったため、近くに類焼するものもなく容易に穴が掘れたが、掘っても水の出ないところ、クズや木の根が張っていないなど、場所の選定には注意を要する。

②着火

枯れた竹の枝を井桁に組み、ガスバーナー等で火を着ける。火の勢いが増して来たらより太い竹をくべて火を大きくする(図Ⅲ-9)。

③炭化

火の勢いを見ながら炎が絶えないように竹材を入れる(図Ⅲ-10)。また、掘り穴の 8~9 割まで竹炭が溜まったら竹材の投入をやめ、炎が収まるまで放置する。炎が収まったら、鉄の



図Ⅲ-8 着火準備



図Ⅲ-9 着火



図Ⅲ-10 炭化



図Ⅲ-11 攪拌



図Ⅲ-12 消火

棒、鉄製のレーキなどを使い、可能な範囲で底の方から表面に持ち上げるようにかきまぜる。これにより、埋もれて炭化していない竹材を炭化させてムラを少なくする(図Ⅲ-11)。

④消火

ある程度攪拌が終わったところで散水し、消火する。今回は水道が近くにあったため、リール式散水ホースを用いて消火を行った(図Ⅲ-12)。水を十分に撒き、表面の温度が下がったところで丸型ショベルを使って竹炭を切り返しながらさらに散水する。散水の目安は、水蒸気が出なくなるまで行うこと。

⑤梱包

消火を確認後、適当な期間放置し、ある程度水分が蒸発したら、建築の際に出る端材などを入れるガラ袋に入れ、開口部を縛る。

⑥主な販売先

成田市、東金市など千葉県内の契約野菜農家へ提供している。価格は20kg当たり1,000円となっている。



図Ⅲ-13 消火完了

⑦主要データ一覧

調査年月日	2020年10月25日(日)
実施主体	有限会社ゆうぎ(喜屋武誠司代表取締役)
実施場所	千葉県四街道市
天候	晴
気温	21°C(11:00)
湿度	43%
所要人日	炭化:3人日(伐採された竹材が1年前に搬入済)
炭材の種類	モウソウチク100%
炭化器設置開始時刻	10:30
炭化器設置完了時刻	11:05
着火開始時刻	11:06
消火開始時刻	12:06
消火完了時刻	12:25
投入炭材重量	292.50kg(湿重量)
生産竹炭重量	108.90kg(湿重量)
収率	16.7%(炭材・竹炭とも絶乾ベースベースで算出)

⑧所感

開放型炭化法では最も簡易な炭化方法で、特別な機器も不要で、穴が掘ればどこでも竹炭を生産できる。今回は、炭化を行った日の過去一週間は降雨がなかったので土は湿っていなかったが、前日に雨が降った場合は土が湿っているため炭化温度が上がるのに時間がかかる、あるいは十分に温度が上がらず固定炭素率が低い竹炭ができる可能性がある。

また、出来上がった炭を取り出す際、底に近い部分はどうしても土が混入するので、この部分は土壤改良用に使用目的が限定されることになる。

(3) 開放型炭化方法による炭づくり(有限会社ゆうぎ、モキ式無煙炭化器)

①着火準備

モキ式無煙炭化器は、株式会社モキ製作所(長野県千曲市)が製造・販売する炭化器で、大きさは3種類あるが、今回は最も大きい「無煙炭化器 M150」(容量:533ℓ、寸法:直径148×高さ45cm、重量:16.6kg)を使用した。

地面に炭化器を置き、その内側に沿って枝などで内周に印をつける。炭化器を移動し、内周の跡を丸型ショベルで深さ10cm程度掘り込む。これは炭化器の底から空気が入って竹炭が燃焼して灰になってしまわないようにするためである(図Ⅲ-14)。

②着火

枯れた竹の枝を井桁に組み、ガスバーナー等で火を着ける。火の勢いが増して来たらより太い竹をくべて火を大きくする(図Ⅲ-15)。

③炭化

火の勢いを見ながら炎が絶えないように炭材



図Ⅲ-14 炭化器の設置



図Ⅲ -15 着火



図Ⅲ -16 炭化



図Ⅲ -17 攪拌



図Ⅲ -18 消火 1

を入れる(図Ⅲ -16)。炭化器の深さの4分の3程度まで炭がたまったら竹材の投入をやめ、炎が収まるまで放置する。炎が収まったら、鉄の棒、鉄製のレーキなどを使い、底の方から表面に持ち上げるようにかきまぜる(図Ⅲ -17)。これにより、埋もれて炭化していない竹材を炭化させてムラを少なくする。

④消火

ある程度攪拌が終わったところで散水し、消火する(図Ⅲ -18)。水を十分に撒くと同時に、表面の温度が下がったところでスコップを使って竹炭を切り返しながら散水する(図Ⅲ -19)。散水の目安としては、水蒸気が出なくなるまで行うこと。

⑤梱包

適当な期間放置し、ある程度水分が蒸発したらガラ袋に入れ、開口部を縛る。



図Ⅲ -19 消火 2



図Ⅲ -20 未炭化の竹材

⑥主な販売先

成田市、東金市など千葉県内の契約野菜農家へ提供している。価格は 20kg 当たり 1,000 円となっている。

⑦主要データ一覧

調査年月日	2020年11月13日(金)
実施主体	有限会社ゆうぎ(喜屋武誠司代表取締役)
実施場所	千葉県四街道市
天候	晴
気温	26°C(11:30)
湿度	42%
所要人日	炭化:3人日(伐採された竹材が1年前に搬入済)
炭材の種類	モウソウチク100%
炭化器設置開始時刻	10:10
炭化器設置完了時刻	11:00
着火開始時刻	11:04
消火開始時刻	11:45
消火完了時刻	12:10
投入炭材重量	161.8kg(湿重量)
生産竹炭重量	67.55kg(湿重量)
収率	14.6%(炭材・竹炭とも絶乾ベースで算出)

⑧所感

本炭化器は市販されており、放置竹林対策で市民団体等が使用している例も多く報告されている。掘り穴式よりも場所を選ばず、軽トラックの荷台で運ぶことができ、炭材が十分に乾燥していれば煙もほとんど出ない。ステンレス製のため耐久性も高い。但し、大きさが決まっているので、一回に作ることができる竹炭の量が限られる。今回はいすみ市で行ったような炭化中の攪拌は行わなかったため、未炭化のものが散見された(図Ⅲ-20)。

(4) 可搬式密閉型炭化方法による炭づくり(「簡単スミヤケール」)

①炭材の調整

比較のため、伝統的な炭やき方法と同様の密閉式の炭化方法も行った。可搬式で、比較的廉価な炭化炉、「簡単スミヤケール」(株式会社ファインテクノ・タケダ製)を使用した。「簡単スミヤケール」はステンレス板で出来ており、板と板とはそれぞれの溝をはめ込んでピンで固定する。本事業では最も大型の「N770」(W:1,141×D:1,141×H:592、容量:0.77 m³)及びオプションの「竹酢液採取煙道」を購入し試験を行った。

竹材は、開放型炭化方法と同様、伐採から3か月程度乾燥させたものを使用する。



図Ⅲ-21 簡単スミヤケール N770

竹材はチェーンソーなどで炭化炉の長さに切りそろえる。今回使用した炭化炉(簡単スミヤケール N770)の場合、焚口から排煙口までの長さに合わせて 105cmに竹材を切りそろえた。

次に切りそろえた竹材を 2～4 つに割る。竹は中が空洞なので、そのままでは歩留まりが悪いだけでなく、炭化炉内の空気が多すぎて炭化せずに燃焼してしまう。このため、竹材を割ってなるべく隙間なく炭化炉に炭材を詰めなければならない。密閉型炭化炉で竹炭をやく場合は、この作業が最も重労働となる。

モウソウチクは肉が厚いので鉋では刃が入っていない。図Ⅲ-23 のように竹割り器と片手掛^{かけ}矢で四つ割りにしても、竹割り器よりも太い径の竹には使用できない。そこで比較的容易に竹を割る方法として、竹を地面に置き、ハンマーで節を叩く方法を試みた。ある程度枯れている竹であれば節を狙って叩けば、それぞれの幅は異なるものの、自然と 2～4 つに割れ、節もある程度は碎ける(図Ⅲ-24)。ハンマーの重さは 6 ポンド(2.7kg)～8 ポンド(3.6kg)が適当と思われる。

②炭化炉の設置

炭化炉と地面の隙間から空気が入らないように、炭化炉の形に合わせて 10cm 程度地面を掘り下げる(図Ⅲ-25)。丸型ショベルの他に、^{くわ}鋤があると掘り出した土の処理や雑草の根を切ることができ便利である。掘り下げた溝に合わせて炭化炉を置き、炭化炉の外側側面を掘り下げた時の土で埋め戻し、密閉する。あまり深く掘り下げると排煙口をふさぐことになるので注意する。

炭化炉は薄いステンレス板をつなぎ合わせて組み立てる。組み立て方は付属の説明書に従って作業をする。ステンレス板は比較的薄く変形しやすいので取り扱いには注意を要する。組み立て作業は 2 人以上で行うことが望ましい(図



図Ⅲ-22 竹を割るための道具。上からハンマー(8ポンド)、同(6ポンド)、ノコギリ(左)、竹割り器(4分割・鋼鉄製)、片手掛矢



図Ⅲ-23 鋼鉄製竹割り器を使った竹割り



図Ⅲ-24 ハンマーで節を叩いて割れた竹



図Ⅲ-25 炭化炉の接地部分を掘り下げ空気を遮断する

Ⅲ -26)。

③焚口の設置

取扱説明書では地面を掘り下げて焚口を作るよう記述があったが、空気の流入量を細かく調整できるように、また、窯止めの際に容易に密閉できるようにレンガで焚口を作成した(図Ⅲ -27)。レンガは耐火レンガである必要はない。

④炭材の詰め込み

窯底は土のままなので、熱を奪われるのを防ぐため、半割りの竹を2本横に渡し、直接炭材が土に触れないようにした。しかし予備実験ではそれでは十分ではなくなかなか炭化炉内の温度が上がらなかったため、窯底にガルバリウム鋼板を敷き、地面からの湿気を遮断するとともに保温を図った(図Ⅲ -28)。

炭材は窯口から排煙口までの空気の流れがスムーズになるよう、窯口と排煙口を結ぶ線に平行に並べた(図Ⅲ -29)。

⑤口焚き

炭材を入れ終わったら上部のふたを閉めてピンで止め、焚口で焚火をし、熱風を炭化炉に送り込む。焚火の材料は竹材の端材でよく、枯れた竹は非常によく燃える。充電式の小型扇風機があれば炭化炉内の温度を速やかに上げることに役立つ(図Ⅲ -30)。但し、あまり強く風を送り過ぎると炭材が燃えてしまうので加減が必要である。

⑥炭化

排煙口(図Ⅲ -29 参照)より10cmほど温度計を奥へ差し込み、煙の温度が80℃になるまで口焚きを続ける。また、この煙の臭いも、それまでの無臭の水蒸気から刺激のあるものになる。この2点が炭化炉内で熱分解が始まった、いわゆる「着火した」サインとなり、口焚きを終了する。

⑦窯口の調整

口焚きを終了するとともに、炭化炉内部の炭



図Ⅲ -26 炭化炉の設置は2名以上で行うことが望ましい



図Ⅲ -27 レンガで作った焚口



図Ⅲ -28 窯底にガルバリウム鋼板を敷き保温を図る



図Ⅲ -29 炭材の詰め込み。手前が排煙口

材の燃焼を抑制するために、1時間ほど時間をかけてゆっくりと焚口の広さを1/2まで狭めていく。途中で煙の出方が弱くなったらその状態をしばらく維持するか、多少広げるなどの調整を行う。

⑧目止め

本炭化炉はステンレス板をつなぎ合わせ、ピンで止める構造になっている。このため、つなぎ目に隙間が生じ、炭化炉内に空気が流入し炭材を焼失する可能性がある。炭化炉上部、側面など煙が漏れている箇所があれば、木灰を水で練ったものを塗り付け、目止めを行う(図Ⅲ-31)。泥を使ってもよいが、炭化炉の熱で乾燥すると剥がれ落ちてしまうので、こまめに点検する必要がある。木灰を使用すると剥がれ落ちることが少ない。

⑨竹酢液の採取

煙が旺盛に出てきたら竹酢液採取の準備を行う。開放型炭化法では竹酢液の採取は難しいので、密閉型炭化法ならではの利点といえる。陶器の瓶やガラス容器などの耐酸性の容器を受け皿にし、煙の温度(炭化炉の排煙口の内部10cm程度入った場所で計測)が80～150℃の間で竹酢液を採取する(図Ⅲ-32)。80℃以下では水蒸気が多いため酸度が低く、150℃以上では発がん物資であるベンゾピレンが混入する可能性があるためである。竹酢液の成分や利用法については、日本木酢液協会のホームページを参照されたい(<https://www.nihonmokusaku.jp/>)。

⑩精煉(ネラシ)

18:10に口焚きを開始し、翌日の17:40、すなわち23時間30分経過したところで煙突から出る煙が半透明の紫色になったため、焚口を全開にして空気を入れ、精煉をかける(図Ⅲ-33)。

煙の色が薄くなったということはほとんどの



図Ⅲ-30 口焚き。小型扇風機で熱風を炉内に送り込む



図Ⅲ-31 水で練った木灰での目止め



図Ⅲ-32 竹酢液の採取



図Ⅲ-33 精煉をかける直前の煙の状態

有機物が熱分解され、ほぼ炭素(炭)しか残っていない状態を示している。しかし、炭化炉内では地面に近いところ、窯壁に近いところなどで炭化の度合いにムラが生じる。このため、まだ残っている有機物をさらに熱分解させるために空気を入れて炭化炉内の温度を上げる。この操作を精煉またはネラシという。今回は精煉をかけて再び煙が透明になるまで約2時間を要した。本炭化炉の大きさにしては時間がかかり過ぎであり、原因は深夜に気温が氷点下にまで下がったため、薄いステンレス板で保温が十分ではない本炭化炉では炭化温度が上がらず、結果として未炭化の部分が生じたことによる。

⑪窯止め

精煉の工程を経て再び煙が透明になったところで窯止めを行う(図III-34)。窯止めは焚口と排煙口を密閉して空気を遮断して行う。焚口はレンガと土、排煙口は炭化炉に付属のステンレス製のフタと木灰を水でゆるい粘土状に練ったもので密閉する。

⑫窯出し

窯止めしてから1日経過した時点で炭化炉の天井部を触り、温度が下がっていることを確認する。まだ熱を持っているようであれば窯止めが不十分である可能性があるため、窯口、排煙口、ステンレス板のつなぎ目を点検し、隙間があれば密閉する。窯止めを行って3日以上経過後、炭化炉が完全に冷えているのを確認して炭化炉上部のふたを開け、竹炭を取り出す。

⑬主要データ一覧(大網白里市第2回目)

調査年月日	2021年1月20日(水)～21日(木)
実施主体	日本特用林産振興会
実施場所	千葉県大網白里市
天候	晴
気温	-1.6℃(20日22:10)
湿度	55%
所要人日	伐採:2人日、搬入:0.5人日、炭材調整:1人日、詰込み:30分、炭化:2.5人日
炭材の種類	モウソウチク100%
炭化器設置開始時刻	既に設置済み、所要時間約1時間
炭化器設置完了時刻	
着火開始時刻	18:10(20日)
消火開始時刻	19:15(21日、窯止め)
消火完了時刻	19:30(25日、消火確認)
投入炭材重量	119.6kg(湿重量)
生産竹炭重量	31.45kg(湿重量)
収率	27.8%(炭材・竹炭とも絶乾ベースで算出)



図III-34 窯止め。焚口はレンガと土で、排煙口は付属のフタと水で練った灰で密閉し、空気を遮断する



図III-35 3日間経過し完全に炭化炉が冷えてから炭を出す。左下は採取した竹酢液

⑭所感

本炭化炉での試験は、計3回行った。

最初は2020年9月5日(土)～6日(日)、炭化炉の操作方法を確認するための予備試験であり、炭化炉内の温度計測及び投入する竹材、出来上がった竹炭の重量等の計測は行わず、出来た竹炭の成分分析のみ行った。ここで行った試験は以下、「予備試験」と記述する。

次は2020年12月7日(月)～8日(火)、投入した竹材、出来た竹炭の重量、竹炭の成分分析を行った。炭化温度は機器の不備により計測できなかった。本試験は以下、「大網白里市第1回目」と記述する。同試験の主要データ一覧は以下のとおりである。

⑮主要データ一覧(大網白里市第1回目)

調査年月日	2020年12月7日(月)～8日(火)
実施主体	日本特用林産振興会
実施場所	千葉県大網白里市
天候	晴
気温	12℃(4日16:55)
湿度	67%
所要人日	伐採:2人日、搬入:0.5人日、炭材調整:1人日、詰込み:30分、炭化:2.5人日
炭材の種類	モウソウチク100%
炭化器設置開始時刻	既に設置済み、所要時間約1時間
炭化器設置完了時刻	
着火開始時刻	16:55(7日)
消火開始時刻	18:35(8日、窯止め)
消火完了時刻	18:05(9日、消火確認)
投入炭材重量	100.05kg(湿重量)
生産竹炭重量	14.15kg(湿重量)
収率	15.02%(炭材・竹炭とも絶乾ベースで算出)

第3度目はここまで記述した内容で、これを「大網白里市第2回目」と記述する。

本炭化炉を使用しての印象を長所・短所でまとめると以下の通りになる。

長 所	短 所
価格が他の炭化炉に比べ安価である。	ステンレス板が薄いため物理的強度が弱く、炭化中に若干の熱による変形を起こす。
分解するとほぼ、平らな板になるので可搬性に優れる。	保温性が低く、外気温が低い時は炭材への着火に時間がかかり、口焚きの燃材の消費が大きい。
組み立て式の煙突はそれ自体で竹酢液の採取も可能である。	
外気温が低くなければ、それなりに炭化炉内の温度が上がる。	

本炭化炉での炭化試験は、「大網白里市第1回目」では精煉を強く掛け過ぎたために収量が少なく、また、「大網白里市第2回目」では外気温が低かったために炭化温度が十分に上がらず未炭化の炭ができたため炭の湿重量が大きくなっている。「予備試験」は計測はしていないものの、収量は両者の中間的なものとなった。このように、伝統的な炭窯に近い本炭化炉での製炭は気象条件や炭化炉の操作技術などによって収量が左右される反面、開放型ではフレーク状になる竹炭が、比較的本物の竹材の形を留めたまま生産できること、竹酢液の採取ができる点が特徴である。

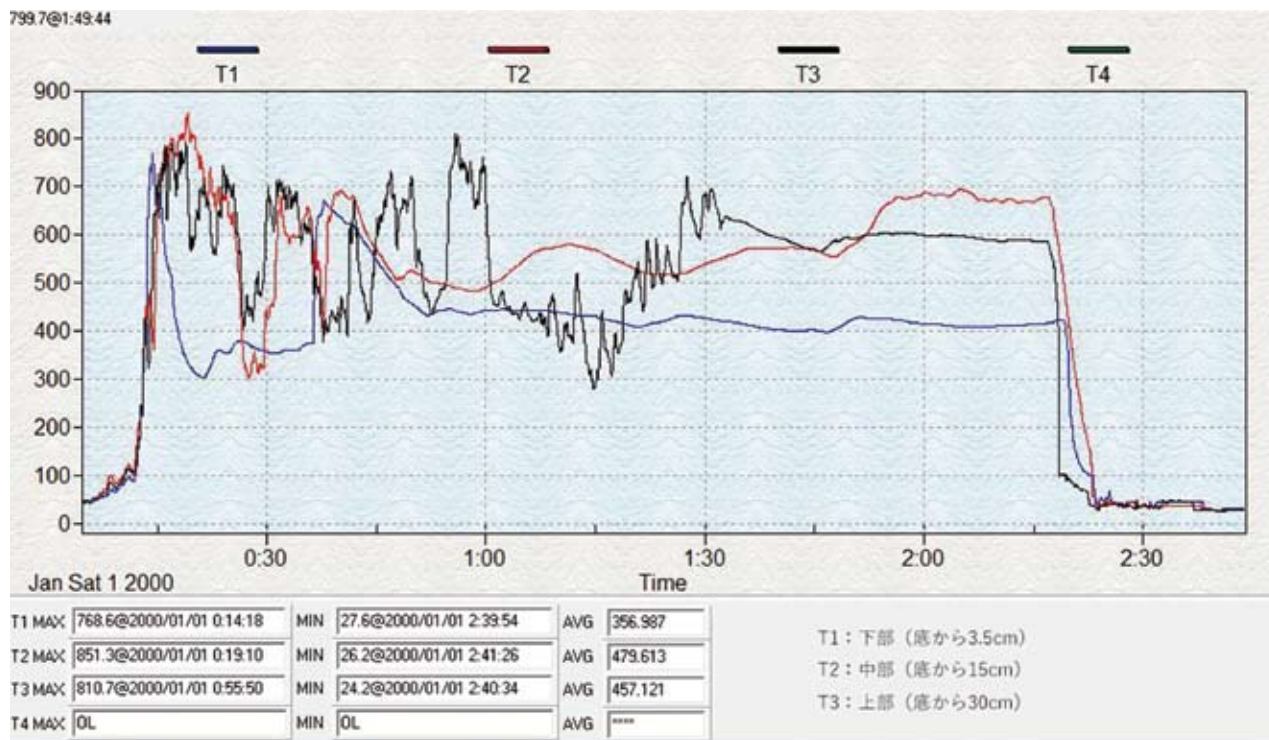
IV 分析データ等

1. 炭化温度

各炭化方法について、その炭化温度の推移を計測した。使用機器はデータロガー温度計は OMEGA 社製 HH309A、熱電対は坂口電熱株式会社製シース熱電対 K タイプ ϕ 3.2mm を 3 本使用した。

(1) 開放型炭化方法による炭づくり (いすみ竹炭研究会)

いすみ市で行った開放型炭化方法の温度推移を図IV -1 に示す。



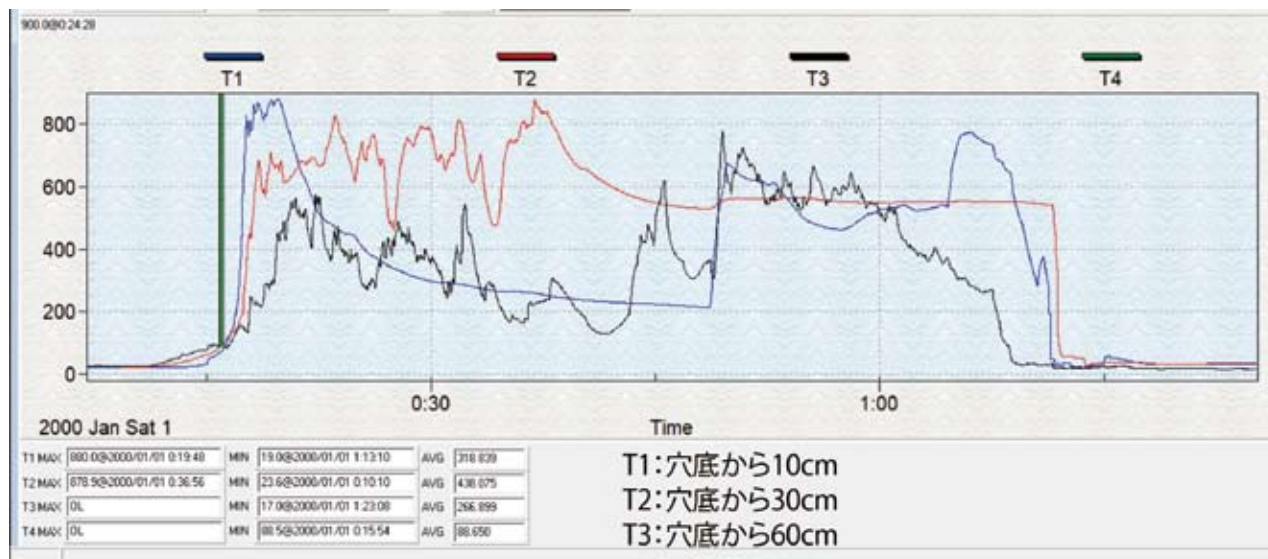
図IV-1 いすみ市開放型炭化方法による炭化温度の推移 (T1: 黒、T2: 赤、T3: 青)

T2 (中部: 底から 15cm) の位置で、炭材への着火から約 20 分後に最も高い炭化温度 851.3℃ を記録しており、平均で約 480℃ となっている。途中、竹材の投入で熱電対が動いてしまったため計測開始から 1 時

間半までは変動が激しいが、2時間のところで見ると温度の高さは中部、上部、下部の順になっている。

(2) 開放型炭化方法による炭づくり (有限会社ゆうき、掘り穴式炭化法)

四街道市で行った掘り穴式による開放型炭化方法の温度推移を図IV -2 に示す。



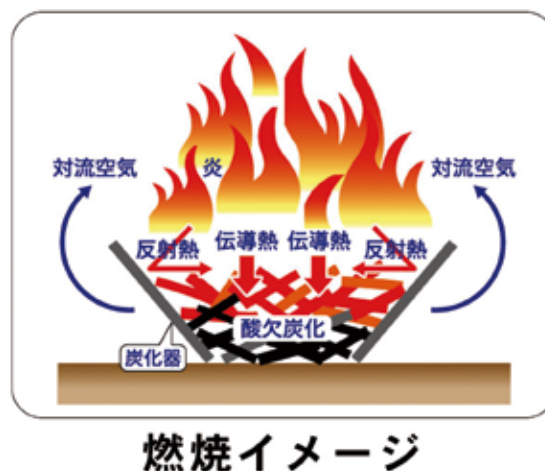
図IV -2 四街道市掘り穴式開放型炭化方法による炭化温度の推移 (T1:黒、T2:赤、T3:青)

T1 (穴底 10cm) では初期の焚きはじめでは 800℃を超えているものの、炭化物が堆積し始めると土と直接接していることから開始 20 分ほどから徐々に温度が下がりはじめ、45 分付近では 200℃にまで下がっている。それでも T2 (穴底から 30cm) の中部域では 600℃～ 800℃と、比較的高い炭化温度が確保できていた。

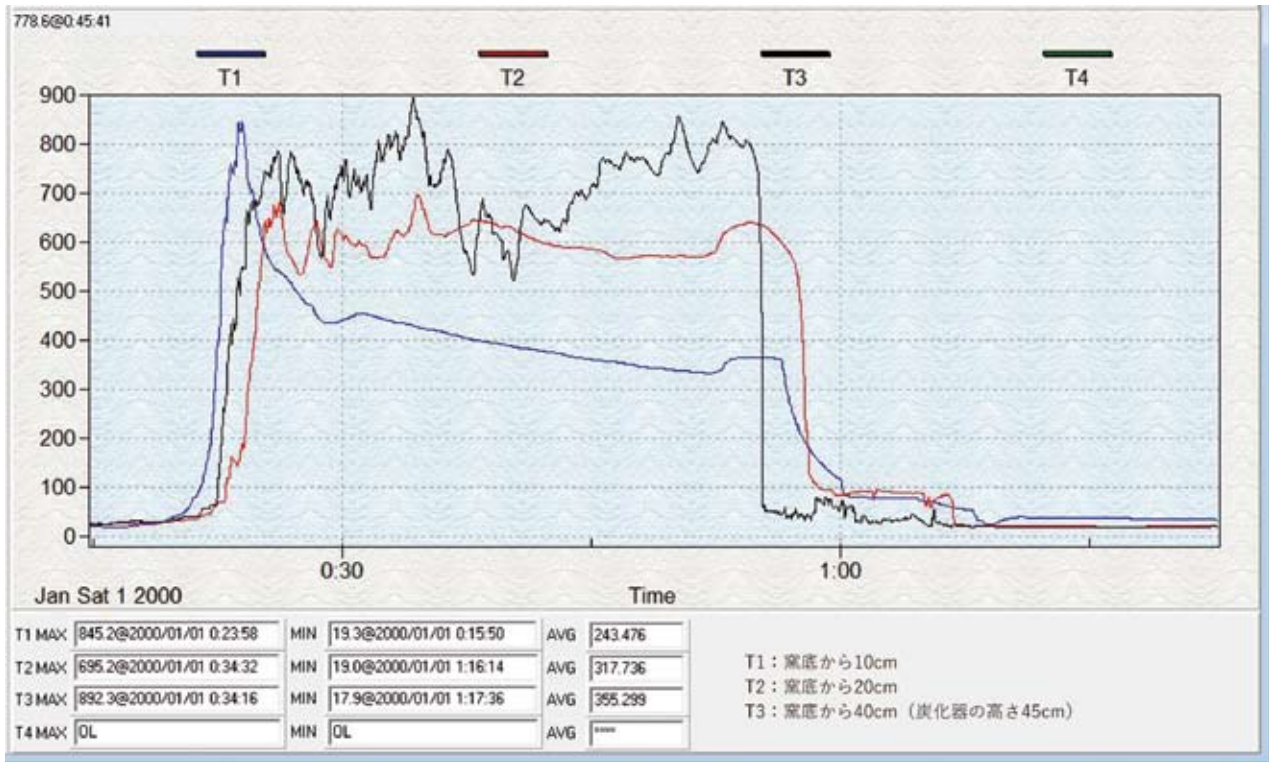
(3) 開放型炭化方法による炭づくり (有限会社ゆうき、モキ式無煙炭化器)

四街道市で行ったモキ式無煙炭化器による開放型炭化方法の温度推移を図IV -4 に示す。

モキ式炭化器では T2 (中部、窯底から 20cm) の温度は 600～ 700℃で推移しているもの、T1 (上部、窯底から 40cm) で 900℃近くまで上昇している。これは炭化器内の輻射熱の他に、メーカーによる製品紹介にあるように (図IV -3)、椀状の炭化器の形により空気の対流が起こり、常に上部へ空気が供給されるためと考えられる。炭化時間が 1 時間未満と短いのも特徴のひとつと言える。



図IV -3 モキ式無煙炭化器の燃焼イメージ (株式会社モキ製作所提供)



図IV-4 四街道市モキ式炭化器の開放型炭化方法による炭化温度の推移 (T1:黒、T2:赤、T3:青)

(4) 可搬式密閉型炭化方法による炭づくり(「簡単スミヤケール」)

大網白里市で行った「簡単スミヤケール」による可搬型密閉式炭化方法の温度推移を図IV-5に示す。

なお、本試験は先述した「大網白里市第2回目」で測定したものである。



図IV-5 大網白里市の可搬型密閉式炭化炉「簡単スミヤケール」による炭化温度の推移 (T1:黒、T2:赤、T3:青、T4:緑)

外気温が低かったため、排煙口の温度が熱分解が始まる 80℃に上がるまで、約 6 時間にわたり口焚きを継続した。その後は順調に温度が上がるものの、天井付近は保温性に乏しい薄いステンレス板のため外気温の影響を受けた。密閉型炭化炉である炭窯での炭やきでは、通常、天井部分が最も温度が高くなることから、上から下に向けて熱分解が進むところ、中部 (T2) の方が常に温度が高い状態となっている。最高温度は T2 で 750℃に達しているものの、瞬間的であり、冬の低温期には天井部に軽量の断熱材などを設置して保温をする必要があるだろう。

2. 成分分析結果

木炭の成分分析は日本工業規格 JIS M 8812 の石炭類及びコークス類—工業分析方法によって行われ、固定炭素、揮発分、灰分、固有水分の 4 項目の割合が示される。固定炭素は炭化温度が高ければ値は高くなり、1,000℃以上で製炭される紀州備長炭では 95%にもなる。一方、炭化温度が低いと値が高くなるのが揮発分で、これは炭化しきれていない有機物の割合を示す。灰分はカリウム、ケイ素、マグネシウムなどのミネラルの割合を示す。以下に 6 点の成分分析結果を示す。なお、参考までに伝統的な黒炭窯でつくられた国産竹炭 (B 級品) の分析結果も示す。

表IV -1 いすみ市開放型製炭法の成分分析結果

	気乾ベース	無水ベース
固定炭素 (%)	81.8	86.7
揮発分 (%)	5.3	5.7
灰分 (%)	7.1	7.6
固有水分	6.5	

表IV -2 四街道市掘り穴式開放型製炭法の成分分析結果

	気乾ベース	無水ベース
固定炭素 (%)	67.0	67.5
揮発分 (%)	7.8	7.8
灰分 (%)	24.5	24.7
固有水分	0.7	

表IV -3 四街道市モキ式炭化器開放型製炭法の成分分析結果

	気乾ベース	無水ベース
固定炭素 (%)	84.5	85.3
揮発分 (%)	6.7	6.7
灰分 (%)	7.9	8.0
固有水分	0.9	

表IV -4 大網白里市スミヤケール「事前試験」の成分分析結果

	気乾ベース	無水ベース
固定炭素 (%)	81.5	81.8
揮発分 (%)	13.7	13.8
灰分 (%)	4.4	4.4
固有水分	0.4	

表IV -5 大網白里市スミヤケール「第1回目」の成分分析結果

	気乾ベース	無水ベース
固定炭素 (%)	80.8	81.2
揮発分 (%)	16.0	16.1
灰分 (%)	2.7	2.7
固有水分	0.5	

表IV -6 大網白里市スミヤケール「第2回目」の成分分析結果

	気乾ベース	無水ベース
固定炭素 (%)	72.5	72.5
揮発分 (%)	25.3	25.3
灰分 (%)	2.2	2.2
固有水分	<0.1	

表IV -7 国産竹炭 (B 級品) の成分分析結果 (参考)

	気乾ベース	無水ベース
固定炭素 (%)	81.1	81.6
揮発分 (%)	16.0	16.1
灰分 (%)	2.3	2.3
固有水分	0.6	

※固有水分：炭は水を含んでおり、その一部は炭の表面に付着していて、空気中に置いておくと蒸発する。この水分を付着水分といい、これがなくなった状態でなお包蔵されていて、107℃での加熱によって追い出される水が固有水分である。

最も固定炭素の割合が高いのは、モキ式炭化器による開放型製炭法であった。掘り穴式開放型製炭法は、同時期に伐採され、いずれもほぼ1年経過したモウソウチクであったが、灰分の値が大きく異なった。揮発分が最も少なかったのはいすみ市の開放型製炭法による竹炭であったが、固有水分が他に比べて高い値となった。

スマヤケールによる密閉型炭化方法については、「第2回目」が外気温が氷点下になる低温下であったため炭化温度が十分に上がらなかったことが固定炭素率の低さ、揮発分の高さに現れた。

3. 精煉度の比較

炭の主成分は炭素であり、炭素には導電性があることから、2つの電極間の電気抵抗を計測しておおよその炭化温度、すなわち炭化度合いを判定できる。この原理に基づいた測定器が木炭精煉計である。備長炭などの白炭は「0」、黒炭は5～8程度の値を示す。調査を行った6件それぞれの竹炭を任意に10点ほどを選び、十分に乾燥させ、木炭精煉計で精煉度を計測した。値は小さいほどよくやけた炭であることを示す。参考までに伝統的な黒炭窯で作られた国産竹炭(B級品)の分析結果も示す。

表IV-8 試験を行った竹炭の精煉度の比較

No.	いすみ市 (開放型)	四街道市 (掘り穴式)	四街道市 (モキ式)	大網白里市 (試験運転)	大網白里市 (第1回目)	大網白里市 (第2回目)	国産竹炭 (B級品、参考)
1	2.3	2.7	7.7	6.4	8.3	9.0	3.8
2	3.5	2.3	2.0	6.3	9.0	6.6	6.8
3	3.4	4.8	7.7	6.2	5.6	6.0	6.8
4	2.2	2.2	6.1	7.8	6.0	8.8	2.8
5	2.2	9.0	4.0	6.3	5.8	8.0	9.0
6	2.4	6.6	6.2	5.8	5.6	8.3	8.4
7	3.4	2.0	8.4	9.0	5.7	9.0	6.2
8	2.2	8.0	1.8	6.4	5.9	9.0	3.8
9	3.4	6.0	2.9	9.0	5.7	7.8	7.3
10	7.8	6.4	2.0	6.4	9.0	5.8	4.0
平均値	3.28	5.00	4.88	6.96	6.66	7.83	5.89
中央値	2.90	5.40	5.05	6.40	5.85	8.15	6.50



図IV-5 いすみ市開放型炭化方法



図IV-6 四街道市掘り穴式開放型炭化方法



図IV-7 四街道市モキ式炭化器



図IV-8 大網白里市スミヤケール「事前試験」



図IV-9 大網白里市スミヤケール「第1回目」



図IV-10 大網白里市スミヤケール「第2回目」



図IV-11 国産竹炭 (B級品)

4. 有害物質の分析

バイオ炭に含まれる有害物質に対しての基準については、バイオ炭に関する国際団体である International Biochar Initiative が 2012 年に定めた規格「IBI Biochar Standards first publication May 2012」に、14 の物質について基準値が設けられている。これらについて本事業で入手した竹炭を分析した結果を以下に示す。

分析項目	IBI 規格	いすみ市	四街道 (掘り穴式)	四街道 (モキ式)	大網白里 (予備試験)	大網白里 (第 1 回)	大網白里 (第 2 回)	檜原村 (土窯)
ヒ素 (mg/kg)	12-100	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
カドミウム (mg/kg)	1.4-39	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
クロム (mg/kg)	64-1200	<10	12	<10	<10	<10	<10	<10
コバルト (mg/kg)	40-150	<3	8	<3	<3	<3	<3	<3
銅 (mg/kg)	63-1500	<10	39	13	<10	<10	<10	<10
鉛 (mg/kg)	70-500	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
水銀 (mg/kg)	1-17	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
モリブデン (mg/kg)	5-20	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
ニッケル (mg/kg)	47-600	<5	15	<5	<5	<5	<5	<5
セレン (mg/kg)	2-36	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
亜鉛 (mg/kg)	200-7000	110	90	53	18	14	14	55
ホウ素 (mg/kg)	値を申告	41	16	79	11	<10	<10	<10
塩素 (mg/kg)	値を申告	4200	66	70	10000	18	<10	1000
ナトリウム (mg/kg)	値を申告	2600	760	1200	310	260	140	230

- 1) ヒ素、水銀、セレンは湿式酸化分解処理—原子吸光光度法による。
- 2) カドミウム、クロム、コバルト、銅、鉛、モリブデン、ニッケル、亜鉛、ナトリウムは灰化酸分解処理— ICP 発光分光分析法による。
- 3) ホウ素はアルカリ融解処理— ICP 発光分光分析法による。
- 4) 塩素は水抽出処理—イオンクロマトグラフ法による。

特に人体への影響の大きいヒ素、クロム、カドミウムをはじめ、他の有害物質においても IBI 規格の基準値を下回った。

「いすみ」及び「大網白里(予備試験)」は同じ林分の竹林から採取した竹で作られた竹炭で、台風の際には海水の飛沫による塩害が報告されている地域でもあり、ナトリウム、塩素の値が高いのは海水由来の NaCl によるものと推察される。

まとめ

本調査ではさまざまな炭化方法での竹炭の生産方法の検証及び作業手順のマニュアル化と、生産された竹炭の評価を試みた。

開放型炭化方法は一見すると、単なる焚火のように捉えられがちだが、投入された竹材が堆積していくことで底部では空気との接触が制限されて嫌気状態となり、燃烧することなく炭化物が得られることが確認された。また、炭化温度も IPCC の定義による「350℃超」という条件を十分に満たし、バイオ炭生産の手段として有効であることがわかった。同時に、固定炭素率も 60～80%と比較的高く、炭素貯留効果も十分期待できる結果となった。

開放型炭化方法での収率、即ち投入した竹材からどれくらいの竹炭ができるかについて既存の報告は少ない。黒炭窯での製炭では収率は 15～20%とされるが、本調査では 14～16%という結果が得られた。ひとつの知見として今後活用されることを期待する。

バイオ炭としての竹炭は土壌への投入が前提となるため、重金属等の有害物質の有無は安全性を考慮する上で極めて重要である。本調査では IBI の定める重金属の基準について分析を行い、本調査で生産をした竹炭についてはすべての項目で基準値を大きく下回り、安全性において問題がないことがわかった。

また、J-クレジットにおけるバイオ炭の方法論 AG-004 では、その適用について 5つの条件の全てを満たすことを求めているが、そのうち炭素含有率については JIS M 8812 による分析結果のほか、木炭精煉計で計測した精煉度の値(0～9度)でも条件を満たすことが明記されている。

開放型炭化方法による竹炭づくりは、炭材を割る必要はなく、かさばる枝なども炭にでき、かつ運用方法が一般の方にも容易であり、細かく砕けた状態で出来上るので農地に施用しやすく、バイオ炭に適した炭化方法といえる。本報告書が今後の竹炭づくりの一助になることを期待したい。

令和2年度

広葉樹を活用した成長産業化支援対策

(特用林産物(竹炭)に関する情報の収集・分析・提供) 報告書

発行者：日本特用林産振興会

〒101-0054

東京都千代田区神田錦町二丁目5-18

黒子ビル4階

電話：03-3293-1197

<https://nittokusin.jp/>

発行日：令和3年3月