

調査名	2024年度 本窯炭焼き		
調査者名	下記、各回に明記 (横浜自然観察の森友の会雑木ファンクラブ)		
調査場所	雑木林ファンクラブ 炭焼き小屋		
調査日	1回目: 5月25,26日	2回目: 11月23,24日	
調査開始	2021年初秋	次年度 繼続	終了予定 未定

【調査目的】

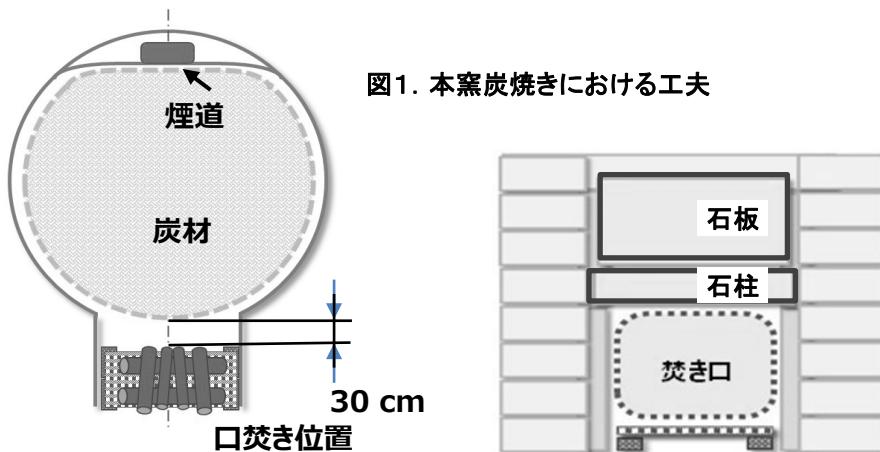
毎年実施して来た本窯炭焼きの結果と温度推移などのデータの比較分析とともに、より良い炭を生産するための口焚き、焚き止め後の温度調整についての改善点や、良好な炭化状態のための最適温度(窯内、煙道)を検証すること。

I. 1回目: 5月28、29日

調査者名 星隈、丹羽、高橋、片岡、國澤(宿泊温度管理者のみ記載)

・計画概要

前回(23年11月度)実施の結果で、未炭率、収炭率(特に良炭率)が好ましいものだったことから、今回も前回同様の工夫(口焚き位置を炭材から離す、焚き口上部を石板と石柱で封鎖など)を行う。



1日目の「口焚き止め」後から2日目の「精錬」開始までの間、良好な炭化状態を持続させ、より良い結果とするため、煙道温度にこだわり 80~85°C の幅で安定させる温度調整を行う。

・事前作業概要

1) 炭材づくり

クヌギ林の間伐材(スダジイ、シラカシ)を玉切り状態で乾燥させておいたものを割り、乾燥させた。スダジイ、シラカシの比率は約半々。

2) 上げ木、敷き木づくり

上げ木、敷き木用の材については、スダジイ(伐倒木を枝払いし、現地で自然乾燥していたもの)を使用。やや大きめのサイズ(長さ 30~40 cm)に裁断後、10 数本ずつ束ねる形で準備。

3) 炭材、敷き木、上げ木の詰め込み

炭材は乾燥度が高いためか量的には前回と変わらないが、重量は 50 kg ほど軽くなっている。(充填炭材量: 386.0 kg)

上げ木については前回より充填量はやや多め。(上げ木充填量: 15.5 kg)

・予備乾燥

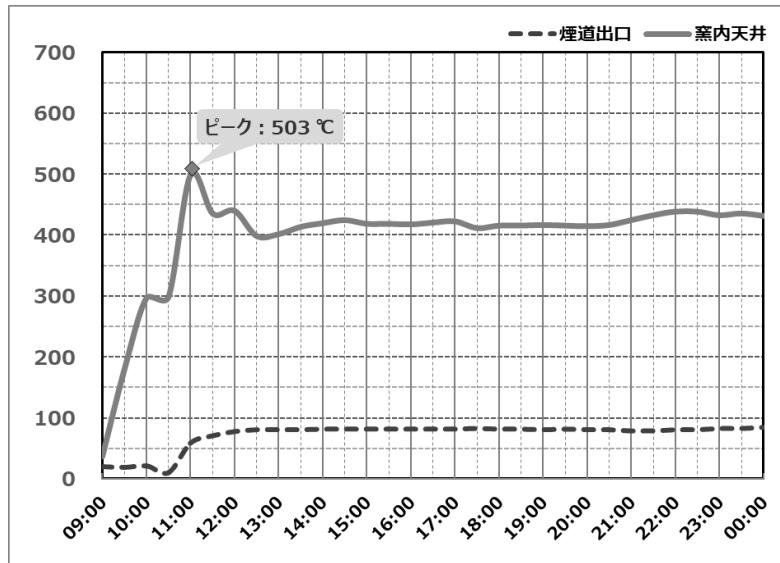
10:00 口焚き開始。上げ木の発火を防ぐため、窓内温度が高くなりすぎないよう(300°C未満)に火力を調整。しかし、12:00 少し前に、上げ木が発火。窓内温度が一気に 400°C 以上に上昇。焚き止め、放水によって、温度は下がり始めたものの、完全消火できておらず再発火。窓内は 450°C まで再上昇。さらに、かなりの量の放水で鎮火させた。12:30 には 200°C 以下に落ち着いた。

13:00 以降も、安定した温度での予備乾燥がなかなか行えなかった。15:00 をもって終了。

また、煙道の温度表示系統の異常から正しい煙道温度が得られなかった。

・本炭焼き

グラフ1. 1回目本炭焼き(1日目) 温度推移

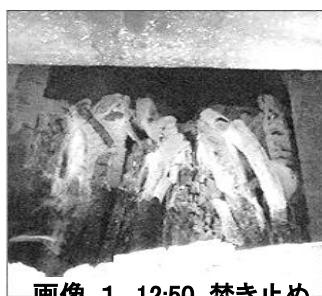


9:00 口焚き開始。
10:35 過ぎ、窓内温度 350°C で、上げ木が発火し始め、窓内の温度は上昇を続け、
10:58 に今回のピーク 503°C に達した。

ピーク時の煙道温度は 58°C。

12:50 煙道出口温度が 80°C を超え、さらに上昇を続けるため、焚き止めとした(窓内温度: 405°C 煙道温度: 80°C)。

下部石板で焚き口を閉鎖、通風口はレンガ8枚中2枚分のみ開放、煙道出口ダンパーは全開の状態とした。



画像 1. 12:50 焚き止め

この時点の画像からは、炭材が炎を上げて燃焼しているという状態ではない。

この後、通風口、煙道ダンパーの調整で煙道温度を目標とした 80~85°C に保持していった。

0:08 炭材の状態は画像のとおり。炭材は上端部も燃焼、灰化した様子が見られない状態で、順調に「炭化」が進んでいる。



画像 2. 0:08 窯内

その後も、通風口（レンガ1枚分）の調整だけで煙道温度は80～85°Cの間で推移させることができた。しかし、窯内温度は徐々に下降し、2:00には400°Cを下回った。

その後も、煙道温度を80～85°Cの間に保持していったが、窯内温度はさらに下降し、10:00の段階で350°Cにまで下がっている。

・精錬

精錬開始時の煙道温度:82°C、窯内温度:354°C。

精錬は焚き口の通風口、下部石板を開放し、大量の外気を取り込む。



画像 3. 精錬

画像の通り、窯内のガスが一気に燃え上がり、窯内温度は急激に上昇。結果として、16分後に窯内温度は646°Cに達した。

窯内温度の上昇が止まった段階で精錬を終了とし、直ちに窯閉じ作業に入った。16:30 窯閉じ終了。

・窯の開封(出炭作業)



最前列の炭材上部でも灰化が見られず、全体的には良好な炭化が進んだように見られた。しかし、出炭を進めていくと、炭材の上に詰めた上げ木が中央より奥の方で多く燃え残っており、炭材下部にはあきらかな未炭部分が多く見受けられた。

画像 4. 出炭

・調査結果(計量結果)

充填炭材量(386.0 kg)に対して

良炭:46.6 kg + くず炭(良):3.6 kg + くず炭:7.7 kg

計 57.9 kg(収炭率:15.0%)

※ くず炭(良)は未炭部分を取り除く過程で折れてしまった良炭

未炭:約 79.5 kg(未炭率:20.6%)

採取木酢原液量: 約 45 ℥

II. 2回目：11月23、24日

調査者名 星隈、國澤、鎌田、内田、片岡（宿泊温度管理者のみ記載）

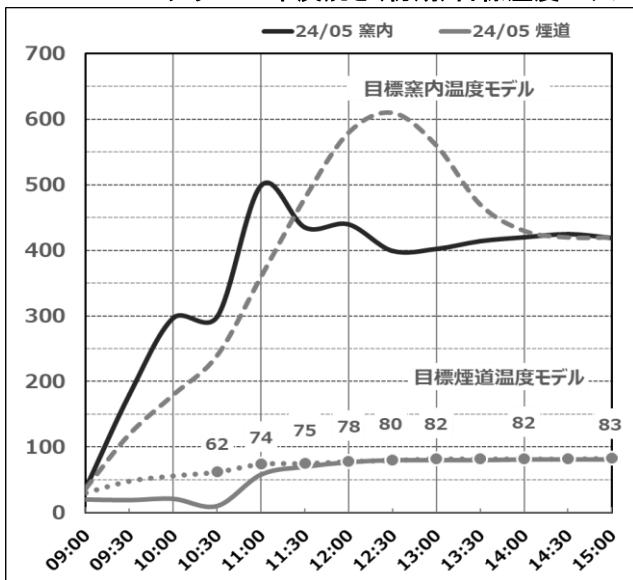
・計画概要

前回(5月実施)の炭焼きの結果では、炭材の灰化抑制については十分な成果を見た。しかし、未炭率が高くなり、上げ木が未燃焼のまま残ってしまうという結果でもあった。

こうした結果を踏まえ、今回も炭材の燃焼、灰化を抑制するため、前回同様の工夫(口焚き位置を炭材から離す)を行うとともに、口焚きを抑え気味にし、ゆるやかに窯内温度を上昇させていく。

かつ、ダンパーの閉鎖調整を行うことによって、熱気を窯内に還流させ、窯内全体の温度および煙道温度をゆるやかながら高いレベルにまでに上昇させて、良好な自発炭化の状態を作り出す。

グラフ2. 本炭焼き(初期)目標温度モデル



そのため、以下のような煙道温度を基準とする仮説を立てて実践検証する。

① 65°C 以上で上げ木発火

② 83°C 以上で自発炭化

※自発炭化状態

窯内温度 400～430°C

煙道温度 100～150°C。

・事前作業概要

1) 炭材づくり

クヌギ林、7区の間伐材(スダジイ、アベマキ)を玉切り状態で乾燥させておいたものを割り、乾燥させた。アベマキはコルク様の樹皮部分を除去したため、細めの炭材となっている

2) 上げ木、敷き木づくり

上げ木、敷き木用の材については、スダジイ(伐倒木から枝払いしたもので、現地で自然乾燥させていた)の枯葉部分を除去した小枝を使用。

長さ30～40cmに裁断後、直径1cm以上のものとそれ以下のものの二種に仕分けて、10数本ずつを束ねる形で準備。

3) 11/16 炭材、敷き木、上げ木の詰め込み (充填炭材量: 423.7 Kg)

炭材は樹皮部分が除去されていること、細めの炭材が多く装填密度が高くなつたことなどから、重量が前回より 35 kg ほど重くなっている。(炭材充填量: 421.2 kg)

上げ木については、太めのものを炭材のすぐ上に、細めの発火しやすいものを、さらにその上の天井との間にしっかりと詰め込んだ。

枯葉を除去した小枝を上げ木としたため前回より充填重量は重くなつてい

る。(上げ木充填量:35.6 kg)

敷き木には従来通り、枯葉のついた小枝を装填している。

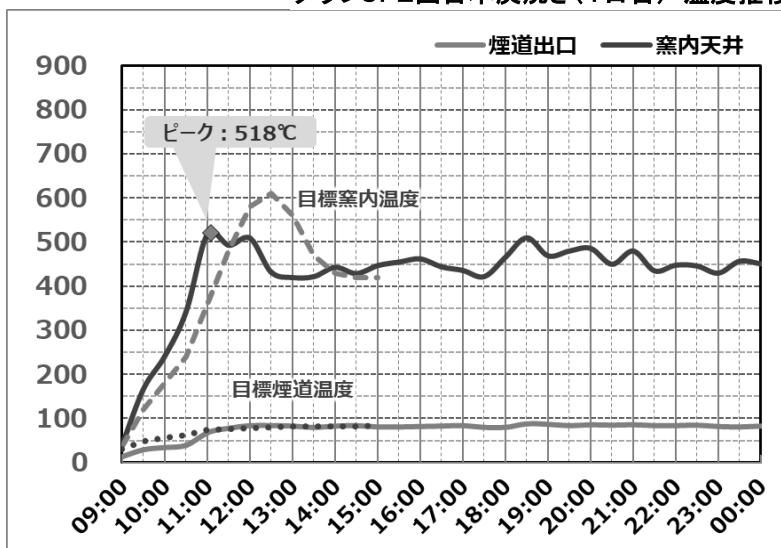
・予備乾燥

今回の実施においては、上げ木へ着火させずに窯内および炭材の乾燥を行うことを目的として、煙道・窯内温度の ①ゆるやかな上昇 ②煙道温度 63°C 以下 ③窯内温度 250°C 以下 を目標とした口焚きの調整を行った。

しかし、13:00 過ぎに窯内温度が一気に上昇し始め、目標とした 250°C を超えていった。上げ木の発火が見られたため、口焚き止めし、消火のため散水を行ない、予備乾燥を終了とした。窯内温度は 450°C 以上にまで上昇する結果となった。しかし、煙道温度については、50°C 以下の低い温度のまま推移した。

・本炭焼き

グラフ3. 2回目本炭焼き(1日目) 温度推移



9:00 口焚き開始。
ダンパー調整(3/4
閉鎖)した状態で着
火。

着火直後から目標
の窯内温度よりも早
めに温度が上昇。し
かし、予備乾燥同
様、煙道温度は目標
温度にまで上がって
こなかった。

10:30 を過ぎ、窯
内温度が 350°C を
越え、上げ木が発
火、窯内温度が急上
昇し、一気に 500°C 近くに達した。しかし、温度上昇は続かず、プロワーを使って空気を送り込むも、目標温度 600°C まで上昇させることはできなかつた。

今回の窯内温度のピークは、10:55 の 518°C。煙道温度は、このピークから 1 時間が過ぎた 12:00 近くになって、ようやく目標とした 80°C を超えた。

煙道温度を 80~82°C に安定させることができず、煙道温度がさらに上昇していくため、12:00 をもって口焚き止めとした(窯内温度:495°C 煙道温度:84°C)。下部石板で焚き口を閉鎖、通風口はレンガ8枚中1枚分のみ開放、煙道出口ダンパーは 1/2 閉の状態とした。この後、通風口とダンパーの調整で煙道出口温度を 80~85°C に保持していった。



画像 5. 18:00 開放時窯内

17:00 過ぎから、煙道温度・窯内温度ともに下がってきたため、18:00 に焚き口および上部の石板を開放して一気に空気を送り込む対応を行った(左画像)。窯内温度、煙道温度が上昇に転じたので石板を再閉鎖(密封)、通風口 7/8 閉、ダンパー 3/4 閉鎖の状態に戻し、その後は、通風口 1/8 分での空気量調整のみで温度推移を見守つた。

2日目に入ると、自発炭化が進み、微量の空気流入のみで煙道温度が徐々に上昇し、100°C を超えて推移した。窯内温度も 450°C 前後で推移した。

煙道出口温度はその後も上昇し続け、11:00 には 150°C、15:00 には 180°C を超えていった

・精錬

精錬開始時の煙道口温度:194°C、窯内温度:450°C。

通風口、焚き口の石板を開放して、外気を取り込む。窯内温度は一気に 600°C を超える急上昇を見せ、8分後に 803°C にまで上昇、その後温度が下降し始め、精錬終了とした。

・窯の開封(出炭作業)



画像 6. 出炭

開封時の初見では画像のとおり、前列部の炭材は燃焼・灰化していたが、残っているものでは良好な炭化が進んだように見受けられた。

出炭を進めていくと、炭材の上に詰めた上げ木のうち、太めのものが多くの量、灰化ではなく炭化した状態で残っていた。

これまでの炭焼きでは、両サイド、最奥部の炭材下部に未炭が多く見受けられたが、今回は、明らかな未炭というものがほとんど見られなかった。

・調査結果(計量結果)

充填炭材量(421.2 kg)に対して

良炭:63.4 kg + くず炭:13.2 kg = 計 76.6 kg (収炭率:18.2%)

未炭: 2.6 kg (未炭率:0.6%) ※ 上げ木炭:3.3 kg

採取木酢原液量: 約 70 ℥

【考 察】

5月実施の調査では”計画概要”に記載したとおり、煙道出口温度にこだわって80～85°Cの幅で安定させ、良好な炭化状態を持続させることを目指した温度管理を行った。

11月実施の調査では、5月調査の温度推移、出炭結果を踏まえて、口焚きを抑えながらも、ダンパーの閉鎖調整によって窯内全体の温度および煙道温度をゆるやかながらも高く上昇させる。そして、煙道温度を基準とする仮説(83°C以上で自発炭化…窯内温度 400～430°C 煙道温度 100～150°C)に基づく温度管理を行った。

グラフ4. 23, 24年度 本炭焼き温度推移比較

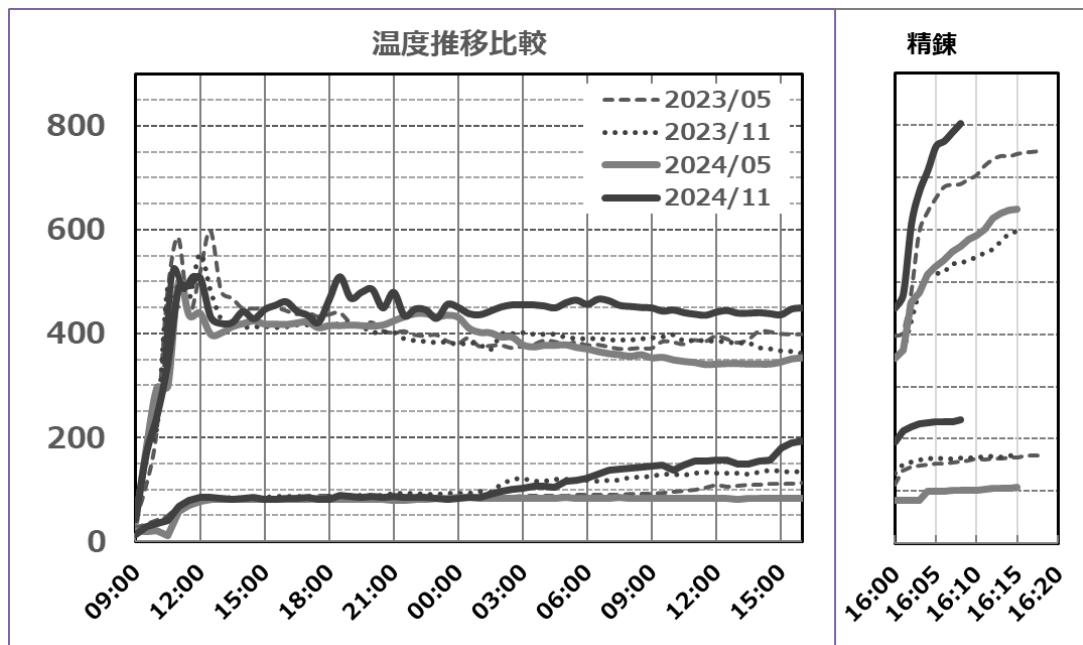


表1. 23, 24年度 収炭率比較

	未炭率 (%)	収炭率 (%)	
		良炭	くず炭
'23/05結果	7.3	10.1	3.8
'23/11結果	9.2	13.9	3.4
'24/05結果	20.6	12.1	2.9
'24/11結果	0.6	15.1	3.1

出炭結果において、5月調査に比べ11月調査では未炭率を大幅に減少させることができ、収炭率・良炭率共、過去4回の炭焼きで最高の結果を出すことが出来た。5月調査の反省に立った11月度調査での仮説に基づく温度調整が、好結果を生みだせたと言えるのではないか。

初期段階で窯内熱量を緩やかながらも高い温度にまで上昇させるということでは、想定した状態には至らなかつたが、1日目の18:00に行った再加熱のための対応が功を奏し、自発炭化のための要件が整った結果、2日目の煙道温度上昇、窯内温度の高温状態維持という良好な自発炭化進行の状態へと繋がり、過去最高の出炭成果を得ることができたと考えられる。

改めて過去最高の出炭成果を得られた要因についてまとめると、下記が挙げられる。

- イ) 準備した炭材がアベマキに加え依り堅木のスダジイが混在した事と、玉切り後の乾燥期間が長くなかつたため、従来、平均 **2.0 kg/本** 前後であったものを平均 **1.6 kg/本** と細めに加工したことから、結果的に炭材下部までの炭化進行速度が速まり、未炭を減少させた。
- ロ) 上げ木の形状を変えた事により、上げ木の燃焼、熾火状態が持続でき、大きな熱量が窯天井部に溜まり、炭化を促進させた。
- ハ) 窯内温度を前回より高めに設定した温度調整を行ったことで、炭材が燃焼・灰化する量を増加させる懸念もあったが、結果的には炭化が促進され、未炭量を大幅に減ずる結果を得ることになった。**(図. 4)**
- ニ) 精錬に至るまでの窯内温度が前回より高かったことで不燃ガス量も多くなり、精錬開始による外部空気の流入で不燃ガスの燃焼が一気に高まり、精錬温度がほぼ理想の温度に達し、炭材を良炭に導いた。

なお、11月調査で計画した温度調整における仮説については、**栃木県立鹿沼農業高校教諭 萩原靖弘氏の「黒炭の製炭手順」**に学び、これまでの出炭結果が良好であった先例データ(主には窯内中央の天井部と煙道出口の温度の推移)から、窯内の炭材が「灰化」「未炭」となることを抑えながら、効率的に「炭化」を進めるために適正と考えられる温度帯を設定した。

注) 本記載の炭焼きに関わる原稿、詳細データー(温度計測データー、各種計量メモ、etc)は別途、雑木林ファンクラブに保管しております。 閲覧ご希望の方はお申し出下さい。

(文責：國澤、片岡)