

調査名 2022年度 本窯炭焼き

調査者名 下記、各回毎に明記（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 初回： 5月28日～29日 2回目： 11月23日～24日

調査開始 2021年初秋 **次年度** 継続 **終了予定** 未定

1) 初 回： 5月28日～29日

調査者名 星隈、赤羽、國澤、片岡（宿泊温度管理者のみ記載）

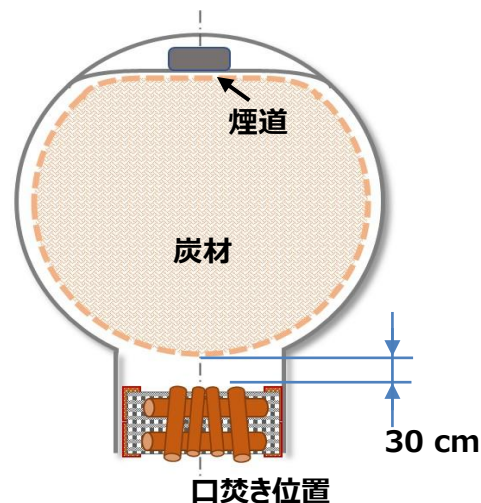
調査目的

毎年実施して来た本窯炭焼きの結果参考に、炭材の事前乾燥、口焚きの位置を工夫し、より良い炭を生産すること。

・計画概要

直近の炭焼き(本窯)を再考した結果、口焚きに依る炭材への着火・燃焼が起こり、結果として灰化量が多く成っていた。

これを抑えるため、炭材末端部と口焚き位置の間に 30 cm 程度の空間を設け、口吹き熱風が炭材に当たる量を軽減させた。



また、口吹き上部を石柱、石板で塞ぐ（密閉）ことにした。これにより焚き木の熱風が焚き口の外に（手前側）に漏れることを防ぎ、熱風を効率良く窯上部へ導入するよう試みた。



調査方法

・作業工程概要

1) 炭材づくり

伐倒済みのクヌギ材が、鳥の営巣の関係から搬入できなかったこともあり、4月下旬（予定より大幅に遅れる状況）から別区で伐倒していた材を搬入し、炭材として乾燥をスタートさせた。結果として一カ月弱の乾燥期間となった。

2) 5/11 上げ木, 敷き木づくり

上げ木, 敷き木用の材についても炭材づくりと同時期に伐採し乾燥を開始。

※前回の残材は乾燥しすぎていることから敷き木として使用。

3) 5/21 炭材、敷き木、上げ木の詰め込み (充填炭材量: 415.9Kg)

4) 5/25 予備乾燥 10:20 口炊き開始 ~ 15:00 終了

窯内天井温度が高くなりすぎないように火力を調整(上げ木への延焼防止)

※弱めの風量でブロワーを使用した結果、手前側への煙、熱風の漏れは抑えられていた。15:00 終了時、窯天井温度 109℃ 煙道出口温度 37℃を確認。

5) 5/28-29 本炭焼き

・本炭焼き

5/28 9:10 口焚き開始

12:00 過ぎから窯内天井温度が急上昇上げ木に着火したと考えられる

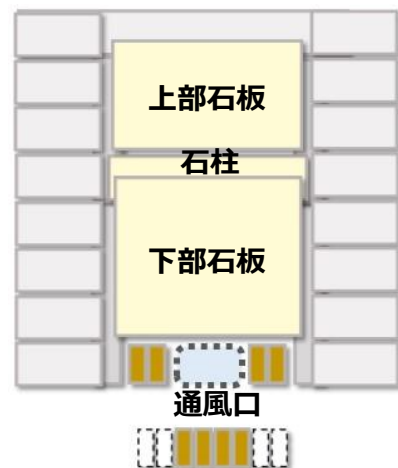
12:25 にピーク(煙道出口温度: 68℃ 窯内天井温度: 650℃)に達し、その後口焚き止め前に窯内天井温度のみ下降していった。

(別添「温度測定グラフ」を参照)

13:50 口焚き止め(煙道出口温度: 82℃ 窯内天井温度: 432℃)

文献記載の「煙道出口温度が 75~82℃で上げ木に着火し、83℃以上になると炭材の自発炭化が始まる」を参考に、煙道出口温度が 83℃になる段階で口焚きを止め、以降は下部石板と8枚のレンガで焚き口を塞ぎ、通風口を開閉(レンガを出入れ)させ、煙道出口温度 83~85℃、窯内天井温度最大 450℃を目途に調整、炭化状況を継続、注視した。

2日目に入ってから、8枚中1枚のレンガを微開閉させて 83~85℃に調整した結果、窯内天井温度は徐々に下降気味と成った。



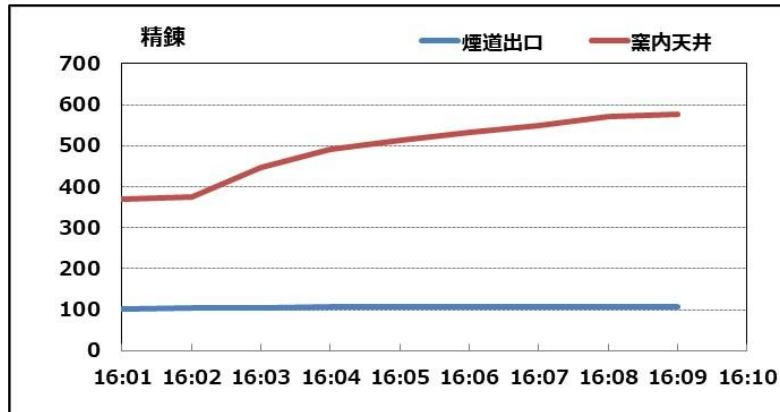
5/29 16:00 精錬開始、16:10 精錬終了 ⇒ 窯閉じ(窯全密閉)

精錬開始時の煙道出口温度: 96℃、窯内天井温度: 369℃。精錬作業は焚き口の通風口(下部石板を含む)だけを開放し、焚き口上部の石柱石板は密閉したまま新鮮な外気を取り込んだ。その結果、下記写真の通り、窯内温度は急激に上昇、天井温度は 576℃に達し、煙道出口温度は 107℃で留まった。



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。

・精錬時の温度変化

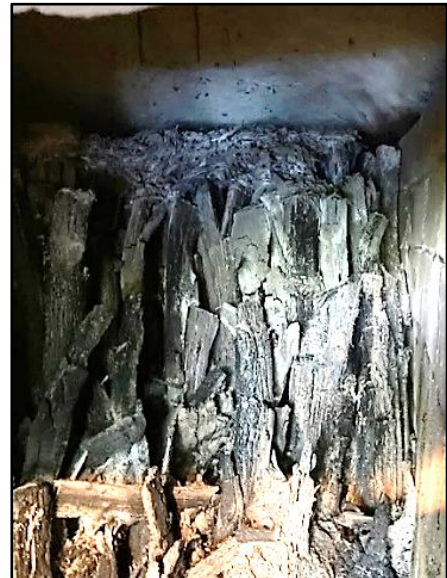


注: (初回炭焼きの温度変化は、別添「本窯温度計測データ -1(1),(2)」 「本窯温度計測グラフ -1」を参照願います)

・窯の開封(出炭作業)

6/4 午前、窯を開封

下記写真の通り、炭材への延焼は進んでおらず灰化しているのは最前面の押さえに使った炭材のみ。ただ、上げ木も一部未炭化の状態が残った。



調査結果(計量結果)

充填炭材量(415.9Kg)に対して

良炭:34.4Kg + ぐず炭:19.7Kg 計 54.1Kg (収炭率:13.0%)

未炭:105.8Kg (未炭率:25.4%)

採取木酢原液量: 約 38ℓ

考 察

今回は”計画概要”に記載した通り、可能な限り灰化量を少なくする事を目標に口焚き位置の変更、焚き口の上部密閉を行うと共に安定期における窯内天井温度を **400℃**前後とする温度管理を行った。これによる多少の未炭の発生は当初より想定された。

炭焼き一週間後の本窯開封・出炭の結果から、目標とした灰化量を少なくすることは十分に達成できたと言えるが、炭材の上部 1/3 は炭化しているものの、下部が未炭というものが多かった。良炭を 35Kg 程収炭できたが、収炭率 13%は決して高い数値では無い。

要因としては、窯内天井の温度管理を低めに設定したことによって炭化速度が抑制され、結果的に多くの未炭が生じたと推測される。

次回に向けた課題としては、灰化を抑えつつ炭化を促進させるために窯内天井温度の限度をどこまで高めに設定するか、、、ということになる。

精錬時のピーク温度については **700～800℃**前後までの上昇を望んだが、**576℃** が限界であった。

この要因も窯内天井温度を低く設定し温度管理を行ったことにより、精錬時の開封までに窯内部に蓄積される不燃ガス量(炭材より発生)が少なく、精錬時に新鮮な外気を取り込んでも不燃ガスの燃焼には限度があったものと判断される。

本窯温度計測データ -1(1)

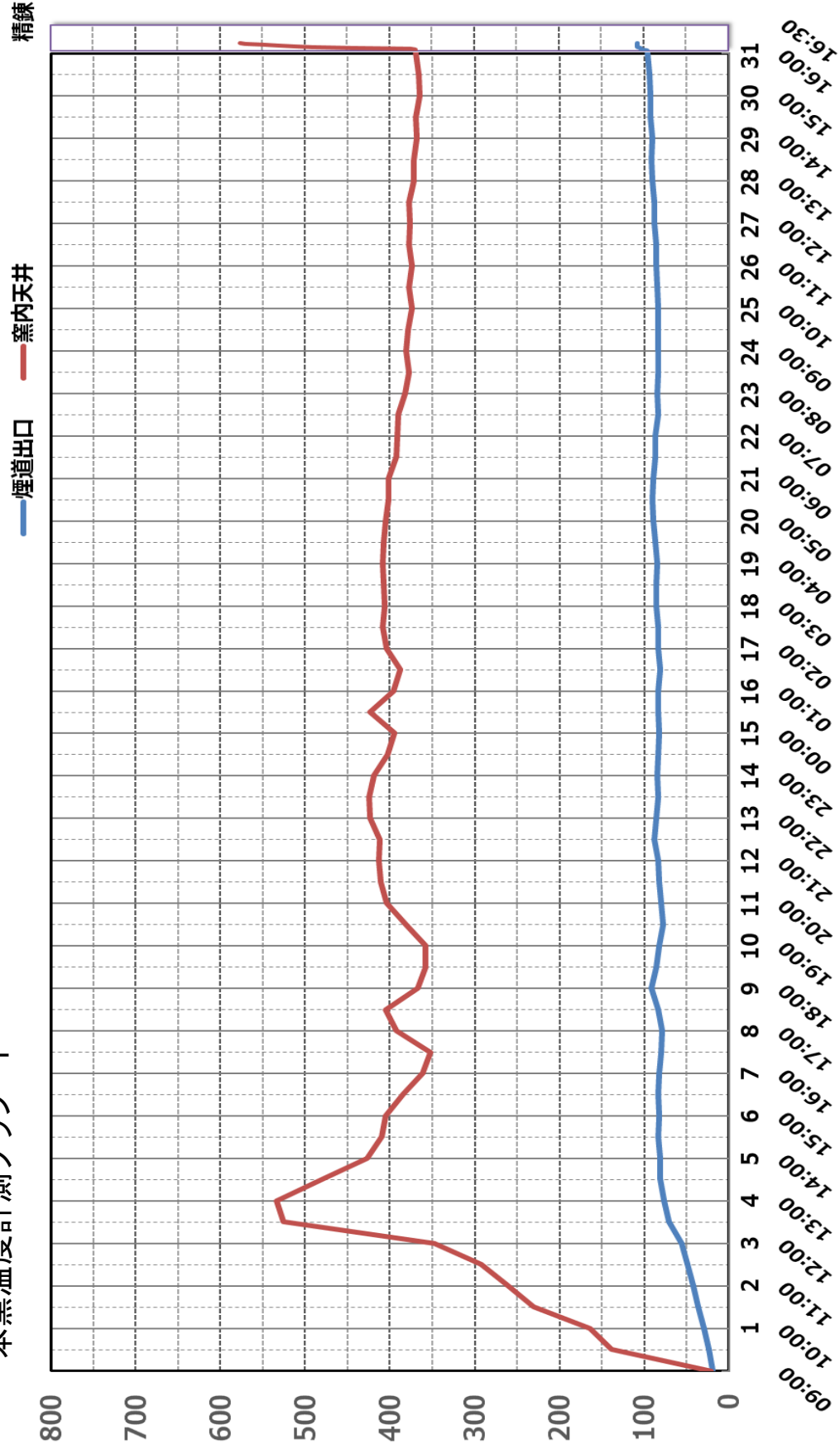
日 時		温 度 ℃		備 考																			
		煙道出口	窯内天井																				
(5月28日)	08:30			9:05 外気温：22℃ 天候：晴れ																			
	09:00	19	21	着火（9:10）																			
	09:30	24	139																				
	10:00	29	164	<table><tr><th colspan="2">煙道出口</th><th>窯内天井</th></tr><tr><td>12:05</td><td>60</td><td>450</td></tr><tr><td>12:10</td><td>62</td><td>550</td></tr><tr><td>12:15</td><td>63</td><td>600</td></tr><tr><td>12:20</td><td>65</td><td>620</td></tr><tr><td>12:25</td><td>68</td><td>650</td></tr></table>		煙道出口		窯内天井	12:05	60	450	12:10	62	550	12:15	63	600	12:20	65	620	12:25	68	650
	煙道出口		窯内天井																				
	12:05	60	450																				
	12:10	62	550																				
	12:15	63	600																				
	12:20	65	620																				
	12:25	68	650																				
	10:30	36	230																				
	11:00	42	260																				
	11:30	49	293																				
	12:00	56	348																				
	12:30	71	526																				
	13:00	77	534	*この後 窯内温度下降																			
	13:30	81	480	焚き止め（13:50）煙道:82 窯内:432																			
	14:00	81	427		14:00 焚き口 閉鎖 通風口 6/8 開放																		
	14:30	83	410		14:30 通風口 4/8 開放																		
	15:00	82	405		14:40 通風口 2/8 開放																		
	15:30	83	385		14:50 通風口 1/8 開放																		
	16:00	82	362		15:00 通風口 閉鎖																		
	16:30	80	352	通風口 2/8 開放（16:45）																			
	17:00	79	393																				
	17:30	84	405	通風口 1/8 開放（17:40）																			
	18:00	91	367	*この後 煙道出口温度																			
	18:30	86	358	83～85℃で 通風口 1/8 の開閉を調整																			
	19:00	82	358																				
	19:30	78	381																				
	20:00	80	404																				
	20:30	82	411																				
	21:00	83	413																				
	21:30	88	412																				
22:00	86	423																					
22:30	84	425																					
23:00	85	419																					
23:30	84	403																					
00:00	82	395																					

本窯温度計測データ -1(2)

2023/05/29 16:00 16:00 16:00 16:00

日 時		温 度 ℃		備 考			
		煙道出口	窯内天井				
(5月29日)	00:30	83	423				
	01:00	84	396				
	01:30	81	388				
	02:00	83	404				
	02:30	84	408	通風口 1/8 の開閉調整をストップ			
	03:00	86	406				
	03:30	86	407				
	04:00	85	408				
	04:30	87	407				
	05:00	89	405				
	05:30	90	402				
	06:00	89	402	通風口 1/8 の開閉を調整			
	06:30	87	393				
	07:00	87	391				
	07:30	84	390				
	08:00	85	382				
	08:30	84	377				
	09:00	84	381				
	09:30	84	379				
	10:00	84	374				
	10:30	85	377				
	11:00	86	374				
	11:30	86	377				
	12:00	88	376	精錬開始 (焚き口・通風口のみ開放)			
	12:30	88	377	16:01	102	369	00
	13:00	90	372	16:02	103	375	+ 06
	13:30	91	372	16:03	104	446	+ 71
	14:00	90	368	16:04	107	492	+ 46
	14:30	93	369	16:05	107	514	+ 22
	15:00	93	365	16:06	107	533	+ 19
	15:30	94	366	16:07	107	549	+ 16
	16:00	96	369	16:08	107	570	+ 21
				16:09	107	576	+ 06
				精錬終了 (全閉鎖) (16:10)			
				16:25		390	

本窯温度計測グラフ -1



2) 2回目: 11月23日～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）

調査目的

今年5月に実施した本窯炭焼きの結果を参考に、温度管理を再考してより良い炭を生産すること。

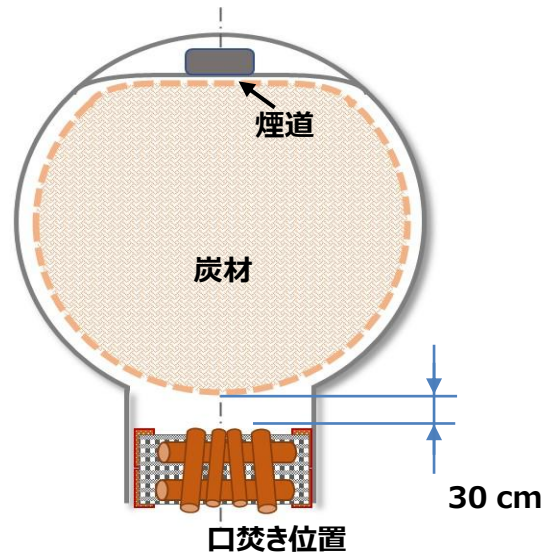
・計画概要

前回の炭焼き(5月実施)の結果では目標とした炭材の灰化抑制については、口焚き位置を工夫した結果、十分な成果を見た。

しかし想定していたように未炭量も高くなってしまった。また、上げ木が未燃焼のまま残ってしまった。

そうした結果を踏まえ、今回は前回同様の工夫を行いつつ、未炭量を減らすために、上げ木着火後、窯内が高温化した時間を延長(上げ木の完全燃焼)させる事と、その後の窯内天井温度の調整を高め設定(450℃程度…前回は400℃)する事とした。

さらに、炭化促進のために炭材についても伐採後、半年以上経過した乾燥度の高い材を多く使用した。



・作業工程

1) 炭材づくり

前回使用できなかった伐倒済みのクヌギ・アベマキ材を(搬入後、丸太のまま保管されていた)、9月になって炭材化し乾燥させてきたものが7割程度。不足分については新たに伐倒した材を使用している。そして、今回は炭化促進のため表皮部分が残っている炭材は、全てこれを取り除いた。

2) 上げ木、敷き木づくり

上げ木、敷き木用の材については10月下旬に伐採し、乾燥開始。乾燥期間は約一カ月程度。

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

上げ木の量を多くし、詰め込み密度を高くした。
(充填量 13.6 kg…前回 10.4 kg)

4) 11/23 予備乾燥 10:30 口焚き開始

焚き口上部を石板で塞ぎ、炭材までに 30 cmの空間を設けた位置で口焚き開始。窯内天井温度は1時間で 170℃近くにまで上昇。その後 13:00 まで 160℃台を維持させ、徐々に温度を下げ 15:00(煙道出口温度 38℃、窯内天井温度 145℃)で終了とした。なお、煙道出口温度については終始 40℃未満で推移している。

5) 11/26～27 本炭焼き

・本炭焼き

11/26 9:00 口焚き開始

10:00 を過ぎた頃から窯内天井温度が急上昇。上げ木に着火したと考えられる。前回に比べて1時間半以上も早い段階であった事を踏まえ、10:15 には若干の焚き控えを行った。

しかし、その後も温度は上昇し続け、10:45 には 549℃に達した。

ただ、それ以降、温度が上げ止まりを見せ始めたので、11:00 前に高温状態を維持させる(上げ木を完全燃焼させる)ために口焚き量を増やす事とした。

11:15 には ピーク(煙道出口温度:81℃ 窯内天井温度 653℃)に達し、その後窯内天井温度のみ下降していった。



<13:02 画像>

13:10 口焚き止め(煙道出口温度:84℃ 窯内天井温度:609℃)

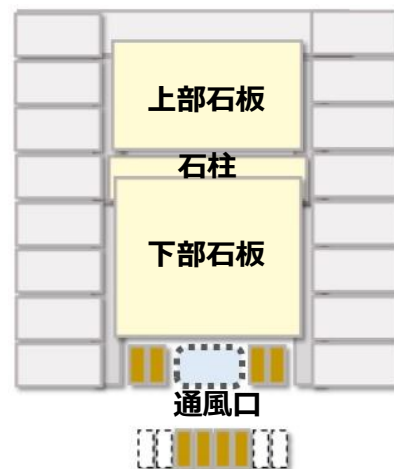
前回同様、煙道出口温度が 83℃ を超えた段階で口焚きを止め、焚き口を閉鎖した。

口焚き止め後も 500℃以上の高温状態が続くので、13:50 には通風口をレンガ 1 枚分の開放状態とした。

それでも想定していた 450℃よりも高い状態が続き、15:30 に一旦通風口を塞いだ。

16:00 になって、ようやく 450℃にまで温度は下がった。ただ、煙道出口温度は 85℃前後の温度で安定していたため、窯内天井温度をこのまま維持させる方向でレンガ 1 枚の開け閉め調整を行うこととした。

窯内温度を高くするために通風口を開けると、煙道出口温度も 90℃以上にまで上昇したため、煙道出口温度を上昇させない範囲での調整とした。その結果、23:00 には窯内天井温度 420℃を下回る状態になっている。



11/27 炭化継続 ～ 精錬作業へ

2日目に入り、1:00 には通風口調整に加えて煙突ダンパーの開/閉も行い、窯内天井温度を下げ過ぎない(最低 400℃)程度に調整を続けた。

しかし、9:00 を過ぎたところから煙道出口温度が上昇し始め、12:00 以降は 120℃を越える状態で推移。

16:00 持ち時間の都合上、予定通り炭化継続を中断させ精錬作業へ入った。

・精 錬

11/27 精錬開始（煙道:133℃、窯内:401℃）

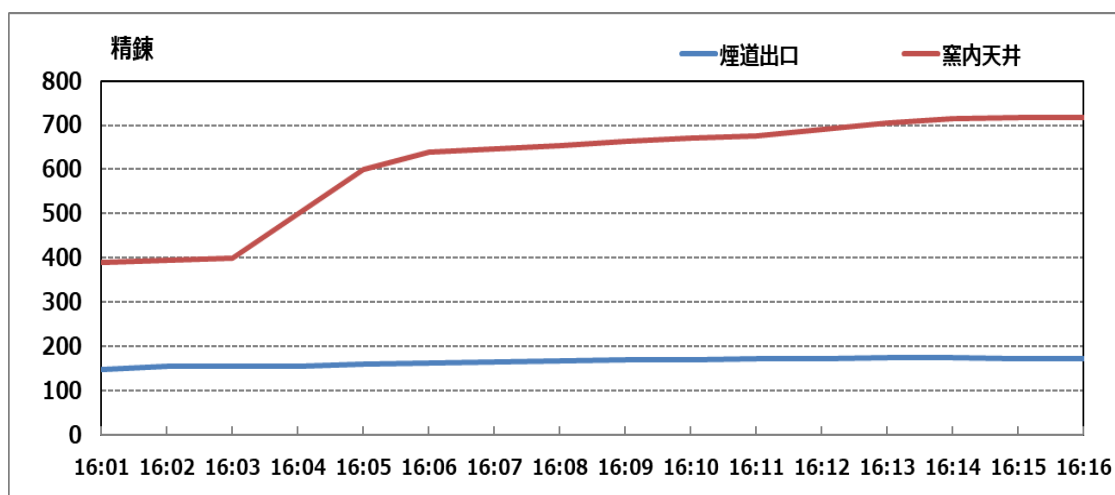
焚き口上部の石柱、石板は密閉したまま、焚き口下部石板と通風口のみ開放して新鮮な外気を取り込んだ。

・窯内天井温度は 15分で 717℃まで上昇(前回は 576℃)。

・煙道出口温度は 174℃まで上昇(前回は 107℃)。

16:16 窯内天井温度の上昇限界を確認し、精錬作業を終了させ窯閉じ(煙道閉鎖を含む)を行った。

・精錬時の温度変化



注：(2回目炭焼きの温度変化は、別添「本窯温度計測データ -2(1),(2)」 「本窯温度計測グラフ -2」を参照願います)

・窯の開封(出炭作業)

12/3 窯を開封 ～ 再密閉

写真の通り、手前側の炭材の灰化は見られるものの奥側の炭材では十分に炭化が進んでいるように見える。ただ、この後火種が残っていたのか発火が起こったため、急遽窯の再密封を行った。

※開封前の窯の状態は熱を持っているようには全く感じられなかった。



<12/3 開封時画像>

12/10 窯の再開封

更に1週間、密封状態を維持した後に開封。

※1週間後の本窯開封時の発火については、窯閉じ後も外部より外気が入り込んでいたため、火種が消え残ってしまったためと思われるが、2回目(12/3)の密封、1週間後の開封には問題がなかったことから、窯本体表面の小さな亀裂などの問題とは考えにくく、密封の不完全さによるものと思われる。

調査結果(計量結果)

充填炭材量(423.7 Kg)に対して

良炭:24.4Kg + くず炭(良):31.8Kg + くず炭:7.2kg

計 63.4Kg (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を示す。

未炭: 49.0Kg(未炭率:11.6%)

採取木酢原液量: 約 550

考 察

今回は”計画概要”に記載したとおり、上げ木着火後の高温状態を長めに維持する事と、安定期における窯内天井温度を 450℃ 程度を目標とする温度管理を行った。

上げ木が完全燃焼したこともあり、窯内天井温度が600℃以上の状態が2時間近く維持でき、前出の 13:02 時点の写真のように先端部分は灰化しつつも、炭化は順調に進んだようである。

その後も、目標とした 450℃の温度管理は難しかったが、翌日の 15:00 頃(精錬開始1時間前)まで 400℃以上が維持できた。ただ、窯内温度 400℃以上を維持させるための空気調整によって、逆に煙道出口温度が 100℃を越える状態で推移させてしまうことになった。このことが炭化ではなく燃焼に繋がったかどうかは不明。

炭焼き2週間後の本窯開封・出炭の結果からは、目標とした良炭の収炭量増は十分に達成できたと考えられる。

今回、炭材の皮部分を取り除いていたことが炭化促進につながったのかは、比較材が無いため不明であるが、収炭された炭の商品価値を高めたことは間違いないところである。

次回に向けては、さらに灰化を抑えつつ炭化を促進させるための理想的な窯内天井温度を何℃程度に設定するのか、或いは窯内天井温度を気にせず煙道出口温度のみを基準とした空気調整を行うのが良いのか等を検討して行きたい。

謝 辞

標題の調査者名には炭焼き当日の宿泊担当者のみを記載しました。本炭焼き当日に作業し日帰りされた方、翌日の窯閉じ作業に来られた方を始め、炭材の伐倒調達から定尺への玉切り、搬入、割り、積載/乾燥、更に上げ木/敷き木作り、そして炭材/上げ木/敷き木の詰め込み、出炭作業までの各作業に携わった多くの方々のご理解とご協力があつて当炭焼きが実施出来ました。
改めて、この紙面を借りて厚くお礼申し上げます。

要 約

自然観察の森の保全を目的とした、樹木の間伐によって出てくる木材を有効利用するため、毎年5、11 月度に本窯での炭焼を実施している。2日間という限定された時間枠(1日目の午前9時から2日目の午後5時までの 32 時間)での実施の中で、良質な木炭をより多く作るための方法について、仮説・実践を繰り返し行つて来たが 2022 年度も下記の通り、5月11月に実施した。

まず、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)を参考に、また、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、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」を進めるための2日間を通しての熱量調整(窯内中央の天井部と煙道出口の温度調整)についての仮説を立てた。

① 口焚きによる加熱で窯内天井温度が 400℃前後になると、上げ木が燃焼し始める

※上げ木の燃焼によって、窯内天井温度が 650℃を越える程の熱量が一気に発生し、煙道出口温度(炭材間の隙間を通った後、煙道から流出する空気温度)も上昇させる

② 煙道出口温度が 83℃以上になると、「炭化」が始まる

③ 煙道出口温度 83℃以上、窯内天井温度 400℃以上を保持することで、「炭化」が進む

5月 煙道出口温度 83～85℃ 窯内天井温度 400℃ を目途に調整

※焚き止め(1日目 13:50)後の煙道出口温度は、78～96℃(平均 85.5℃)、窯内天井温度は、352～427℃(平均 390.4℃)で推移
結果:収炭(良炭+くず炭)率 12.8%、未炭率 25.0%

11月 煙道出口温度 85～89℃ 窯内天井温度 450℃ を目途に調整

※焚き止め(1日目 13:10)後の煙道出口温度は、83～133℃(平均 99.2℃)、窯内天井温度は、382～582℃(平均 427.0℃)で推移
1日目だけでは、煙道出口温度 83～97℃(平均 87.3℃)窯内天井温度 412～582℃(平均 451.9℃)
結果:収炭(良炭+くず炭)率 15.0%、未炭率 11.6%

上記2回の実践を通して、「③」の煙道出口、窯内天井の調整温度(幅)の設定と結果としての出炭率から、適正值(幅)を検証した

出炭率の結果、特に未炭率からすれば、11 月実践時の煙道出口温度を幾分高め
の 85～89℃、窯内天井温度でも高めの 450℃ の設定が適正と考えられるが、
11 月の実践では、2 日目になって煙道出口温度が設定を大幅に上回る温度で
推移したこと、炭焼から 1 週間後の出炭時に発火が起こり、さらに 1 週間の時間
を置いたことなどもあり、今回の 2 回の実践からの適性判断は差し控え、次年度
は 11 月度の設定での再実証を行い、結果を待ちたい。

引用文献

「黒炭の製炭手順」 栃木県立鹿沼農業高校教諭 萩原靖弘氏 指針

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)

本窯温度計測データ -2(1)

日 時		温 度 ℃		備 考
		煙道出口	窯内天井	
(11月26日)	08:30	18	19	外気温：11.0℃ 天候：雨(9:00)
	09:00	18	19	着火（9:00）（上げ木への着火？）
	09:30	23	132	焚き控え（10:15）…窯内温度急上昇
	10:00	29	195	煙道出口 窯内天井
	10:30	23	421	10:35 24 488
	11:00	59	546	10:40 25 516
	11:30	79	646	10:45 28 549
	12:00	82	635	10:50 26 536
	12:30	84	630	10:55 51 562 *焚き調整↑
	13:00	85	618	11:00 59 546
	13:30	87	582	11:05 63 647
	14:00	87	537	11:10 69 651
	14:30	85	501	11:15 81 653
	15:00	85	485	11:20 79 648
	15:30	85	482	11:25 78 647
	16:00	87	450	*この後 窯内温度下降
	16:30	83	448	焚き控え（12:30）
	17:00	85	444	焚き止め（13:10）煙道：84℃
	17:30	83	444	窯内：609℃
	18:00	86	448	通風口 4/8 開放（13:10）
	18:30	86	444	通風口 2/8 開放（13:40）
	19:00	87	444	通風口 1/8 開放（13:50）
	19:30	97	434	通風口 0*/8 開放（15:30）
	20:00	92	436	*この後 窯内温度
	20:30	88	429	15:30～ 450 ～ 460℃で調整
	21:00	89	425	16:00～ 440 ～ 450℃で調整
	21:30	91	423	19:30～ 430 ～ 440℃で調整
	22:00	92	424	20:00～ 420 ～ 430℃で調整
	22:30	87	422	* 22:00～ 煙道温度 85 ～ 89℃で調整
	23:00	84	412	
	23:30	87	416	
	00:00	87	412	

本窯温度計測データ -2(2)

日 時		温 度 ℃		備 考
		煙道出口	窯内天井	
(11月27日)	00:30	93	414	
	01:00	87	400	*1:00 煙突ダンパー 45℃ 閉
	01:30	106	435	1:05 106 406
	02:00	96	429	1:10 108 414
	02:30	96	431	1:15 108 423
	03:00	98	430	1:20 111 430
	03:30	98	429	*1:20 煙突ダンパー 77.5 ℃ 閉
	04:00	99	422	1:24 105 433
	04:30	101	420	1:28 107 434
	05:00	98	410	1:30 106 435
	05:30	98	403	*1:30 煙突ダンパー 全閉
	06:00	98	401	1:35 95 434
	06:30	98	406	*1:35 通風口調整(開)
	07:00	99	411	1:40 97 432
	07:30	97	412	
	08:00	97	402	
	08:30	98	401	
	09:00	98	400	
	09:30	112	418	
	10:00	112	405	精錬開始 (焚き口・通風口のみ開放)
	10:30	115	415	16:01 148 389 - 12
	11:00	119	416	16:02 154 394 + 05
	11:30	117	412	16:03 155 400 + 06
	12:00	120	411	16:04 155 500 + 100
	12:30	120	409	16:05 159 600 + 100
	13:00	114	406	16:06 161 638 + 38
	13:30	118	402	16:07 164 646 + 08
	14:00	121	398	16:08 166 654 + 08
	14:30	126	400	16:09 169 663 + 09
	15:00	127	386	16:10 170 670 + 07
	15:30	128	382	16:11 172 676 + 06
	16:00	133	401	16:12 173 691 + 15
				16:13 174 706 + 15
				16:14 174 714 + 08
				16:15 173 717 + 03
				16:16 173 716 - 01
				精錬終了 (全閉鎖) (16:16)

本窯温度計測グラフ -2

