

令和3年8月18日

## 令和3年7月 本窯炭焼き報告

本窯作業グループ

### 1. 炭材

\* 伐採時期: 本年2月、クヌギ林内のクヌギを間伐。

伐採木は約1~2か月葉枯らし、その後玉切りし、順次炭小屋へ移送。

\* 樹種: クヌギ

\* 形状: 5月に一辺約10cmの寸法に割り、長さを80cmに切断。

### 2. 上げ木

7区で伐採したトウネズミモチの枝葉部分を6月初めに移送し、約15~20cmの長さに切り、乾燥、保管。

### 3. 敷き木

上げ木用に準備したトウネズミモチを窯底の奥から2/3の範囲に約5cm程度の厚さで敷き、手前の1/3の範囲には断面寸法が3~5cmの廃材を敷き詰めた。

### 4. 立て込み状況

\* 6月26日(土) 曇り

\* 窯底の奥から約1/3に上記の敷き木を設置。つぎに割材を窯奥から出来るだけ鉛直に隙間なく敷き木上に設置していった。その後、設置した割材と窯天井との間に上記の上げ木を手で押し込んだ。これらの作業を繰り返し、最後に立て込んだ割材の手前にあらかじめ準備した障壁材を設置した。

\* 立て込み量 炭材:468kg、上げ木:約20kg、敷き木:約10kg

### 5. 本焼き

\* 当初の計画は7月3日(土)~4日(日)に本焼きの予定であったが、3日朝の時点で前日から大雨が続いていたため止む無く延期とした。梅雨の明ける時期を考慮し日程を再設定することとし、最終的に7月24日開始とした。

\* 7月24日(土)~25日(日)晴れ 外気温度27℃、煙道温度25℃、窯内上部温度25℃

・口焼き開始(火入れ) 9時

・口焼き終了(焼き口閉鎖) 12:30

・焼き口一部再開放/追い焼き 13:00~16:10

・温度安定期間 16:10~翌日16:00 約24時間、平均温度434℃

・練らし開始 16:00 煙道出口 142℃、窯内天井 406℃

・練らしピーク 16:10 煙道出口 165℃、窯内天井686℃

・焚口閉鎖および煙道閉鎖16:20

## 6. 窯出し結果

\*8月7日(土) 晴れ

\*出炭量 30.5kg(並み炭 16.2kg、くず炭 14.3kg)→収炭率6.5%(ウエットベース)

\*未炭量 7.1kg

\*採取木酢液量 50ℓ

## 7. 本焼き運転上の特記事項

### ① 炭だし時の窯内の状況

7月25日夕方の練らし時点で窯内に残存する炭化材は想定より少なく、炭材の相当量が燃焼したことが予測できた。1週間後の31日朝、窯内天井の温度は約200℃あったため、さらに1週間炭だしを延ばすこととした。8月4日朝の時点で窯内天井の温度はまだ約90℃であったが窯内の状態を点検するため焚き口を開放した。その結果、窯内には過去の炭焼きのような棒状の炭が林立することなく、窯内は空洞状態で、窯内奥に熾火が存在することを確認した。窯内床面には一見したところ灰化したような炭材が見られた。

対応策として、窯内の熾火の消火、窯内床部炭材の冷却をするため、水を散布した。そののち、焚口を閉鎖密閉し、最終的に7日に炭だしを行った。

### ② 本焼き運転方針／運転状況

過去3年の炭焼きデータから最も成果の高かった平成30年の炭焼き運転を目標とし、温度安定期間では窯内天井温度430～450℃の運転を目指した。温度安定期間中の窯内天井平均温度は算術平均で平成30年度が415℃、今回の平均温度は434℃である。従って、当初の運転方針はほぼ達成している。

しかし、窯の加熱、昇温過程では12:30の口焚き終了、焚口閉鎖後、窯内の炭化の熱バランスが取れず窯内の温度が低下し始めた。そのため、焚口の部分再開放、および追い焚きを行った。16:10以降の温度安定期間に入っても平成30年の炭焼きのように空気を絞り込む操作が連続するような状態にはならず、窯内温度の維持のため空気を供給せざるを得ない状況であった。この段階で、炭材の一部の燃焼が始まっていたと推定できる。

### ③ 平成30年炭焼きとの主要運転条件の相違点

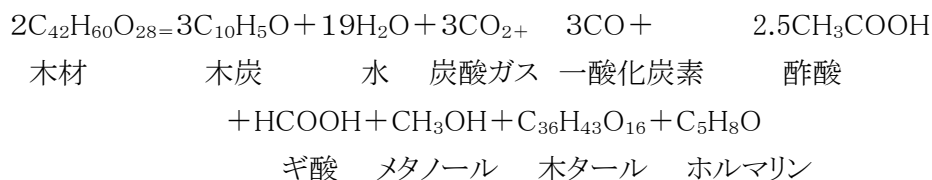
	平成30年	令和3年
炭焼き時期	9月	6月～7月
炭材窯内保管時間	1週間	4週間
同期間中の天候	雨天なし	雨天9日間
窯外壁部改修	—	ALC板取付

## 8. 検討

平成30年度の炭焼きを目標として運転したにも関わらず、収炭率は平成30年が16%に対し、今回は6.5%となった。この結果に至った原因を検討した。

### (1) 木材の熱分解反応と理論収炭率

木材の熱分解反応の化学式は次の通り表わされる。



(出典 林産試験場論文)

これらの分解物は実際にはさらに分解が進む。

この化学式をもとに、理論収炭率を求めると

$$\begin{aligned} \text{理論収炭率(ドライベース)} &= \text{木炭} / \text{木材} \\ &= 3C_{10}H_5O / 2C_{42}H_{60}O_{28} \\ &= 20\% \end{aligned}$$

### (2) 平成30年炭焼きの収炭率

炭材量(含水率30%想定)473kg、出炭量74.4kgから

ウェットベース収炭率	16%
ドライベース収炭率	22%

(含水量: 142kg、ドライベース含水率: 43%)

ほぼ理論値に近い良好な炭焼きであった。

### (3) 令和3年の炭焼き

炭材の立て込み初期値は468kg、含水率30%とするとドライベース炭材量は328kgとなる。ドライベース収炭率は30.5kg/328kgから9.3%となる。

収炭率に影響するパラメーターは窯内温度、時間、樹種、空気量などがあるが含水率が最も感度の高いパラメーターである。含水率が大きいほど収炭率は低下する反比例の関係にある。(出典 木材炭化に関する研究第4報 東京大学農学部)

$$\text{ドライベース収炭率} = \text{定数}k \times 1 / \text{ドライベース含水率}$$

平成30年の運転データをもとに

$$\text{定数}k = 22 \times 43$$

今回の運転は平成30年の運転と同じ釜で同量の炭材をほぼ同様な温度条件で実施してきた。従って、定数kは今回も同様だとすると

$$\begin{aligned} \text{令和3年運転} \quad \text{ドライベース含水率} &= \text{定数}k / \text{ドライベース収炭率} \\ &= (22 \times 43) \times 1 / 9.3 \\ &= 102\% \end{aligned}$$

含水量は335kgとなるので ウェットベース含水率は335/(335+328)により51%

となる。窯内立て込み炭材は初期の想定含水率30%から50%程度まで含水量が増えたこととなる。

木炭を炭化する場合の炭材中の水分は一般的に20～40%の範囲でなければならないと言われており、含水量が50%程度まで増加すると水分の蒸発潜熱のため炭化の熱バランスがとれないことになる。窯内の温度の低下を避けるためには炭材を一部燃焼させ、熱量を補給することが必要である。

## 9. 結論

- (1) 今回の炭焼きでは収炭率が大幅に下がり、かつ、経験したことのない悲惨な結果となった。これは炭材中の40%を大きくこえる多量の水分が原因である可能性が高い。
- (2) 6月26日の炭材立て込み以降、9日間の雨天を経てきている。特に7月1日から10日まで梅雨末期によくある大雨があり、雨の土中への浸透により窯底面から水が移行し、窯内の湿度が上昇したことが想定できる。さらにそれ以降、7月24日まで窯は閉鎖状態にあったため、窯内の湿分は窯内全体で平衡するまで移行する時間があった。
- (3) 今回の炭焼きに先立って、窯外壁の改修を行い、外面はALC板(軽量発泡コンクリート板)を取り付けた。このため、窯側部からの放熱が大幅に軽減されたと考えられる。炭化反応の熱バランスにおいてもその効果がでて、補給熱量が少なくなり、大きな窯内温度低下に至らなかった可能性が大きい。

## 10. 今後の対策

- (1) 梅雨および秋雨の時期で降雨頻度、降雨量の大きい期間は炭材立て込み、炭焼きを行わない。
- (2) 炭材の立て込み後、大雨に遭遇した場合は炭焼き前に必ず穏やかな予備乾燥を実施する。穏やかな予備乾燥により状況を大幅に改善することができる(令和2年度の炭焼き報告書を参照)。予備乾燥後は1週間以内に炭焼きをおこなう。

## 11. 終わりに

今回の本窯炭焼きにおいて、伐採から炭だしまでの一連の作業に対しZFC各位の協力、支援を頂きありがとうございます。しかしながら前記の通り、今回の炭焼きが今までに経験のないレベルの悲惨な結果となり、ここにお詫び申し上げます。

今後はこのような事態を招かないよう今回の経験を踏まえ、着実な準備と対応をするように致します。

以上