

木材および竹の炭化と その利用

Manufacture of Charcoal from Wood and Bamboo and its Application.

物質・環境システムコース 坂輪研究室

1055021 野中 重太郎

目 次

1, 緒言

2, 目的

3, 炭焼きについて

- 1 使用した炭窯について
- 2 炭焼きの基本工程

4, 実験方法

- 1 温度分布計測方法
- 2 収炭率計測方法
- 3 排ガス分析

5, 結果及び考察

- 1 温度分布計測結果
- 2 収炭率計測結果
- 3 排ガス分布計測
- 4 炭焼き工程と窯内部の炭化挙動の科学的解釈
- 5 炭焼き工程の一般化

6, 高密度炭試料作成について

- 1 炭化前の試料作成の基本工程
- 2 粉の種類の変化
- 3 炭化温度について

7, 評価方法

- 1 密度、収炭率
- 2 強度測定
- 3 気孔量測定

8 考察

- 1 収炭率について
- 2 強 度
- 3 気孔量について

10, 高密度炭のまとめ

11, まとめ

12, 参考文献

1. 緒言

現在、高知県の山野では多くの問題が存在する。それは間伐材の処理と竹の繁茂がある。また、高知県の特産の一つである備長炭の原料として使われている「ウバメガシ」「カシ」などは木の成長が遅く一本の木が成木として成長するまでのサイクルが約20～30年かかっている。このことにより備長炭は資源の供給が不可能な状態を招いている。

間伐材は山林の密集状態を解消するために間引きを行い、十分に栄養を与えるという所から始まった間引きの後の材木である。その間伐材の引き取りとしてはキノコの栽培業者などの需要はあるものの、大部分は山林や材木置き場の片隅に積まれている。そして、引き取り手がなく山林内部におかれているものは朽ちるのを待つことになるのであるが、チップなどにされていないため朽ちるのにはかなりの2年から3年程度の期間を要することになる。

間伐材の処分方法として昔からの炭焼きというのが挙げられる。現在、炭焼きを行いたいと言う所は多くあるものの炭焼きを行うことが出来る経験者の数が足りない。また、電気炉を使用するという方法もある。しかし電気炉は炭窯と違い、外部からのエネルギーを多く必要とするため、電気炉一つ設置するのに非常に大きな費用とかなりの量の電気、窒素などのガスが必要となる。そのため設置の場所が限られ、もし設置を行ったとしても電気炉がある場所まで材木を移動させていたのでは元が取れずそのため山野に放置されているのが現状である。

竹の繁茂は1990年代、竹林による安全神話により始まった。特に山林では土砂崩れを防ぎやすい、また育成期間が短いため早く地盤が安定するという点で竹林を育成してきた。短期間に根を広い範囲に張るという点においては竹に勝るものはそうない。しかし、現段階において竹は非常に浅く根を地面と平行に茎根を這わすため、あまり土砂災害などには役には立たないと言われ始めてきた。今はむしろ逆に土砂災害の被害を多くするのではないかと考えられ始めた。また、木は深くに根を張り山の水分を確保するが、竹の根が浅く張ることから山自体の保水性を確保できなくなってきている。竹林のそばに木を植えたとしても竹の成長があまりにも早いため竹に栄養、光、水分などを奪われ、木々が育たなくなり森林まで侵食し生態系までに影響を与え始めたと言われ始めている。

竹の有効な処分方法として特に確立されたものはない。現在の方法としては間伐しその場に放置を行うという方法がとられている。しかし、竹は木材に比べ非常に分解が遅く、朽ちるまでに長い期間を要する。勿論竹には竹細工などの需要もあり様々な利用法があるが、年々利用法も減少の一途を辿っている。また竹酢液が最近見直され竹炭など炭窯を用いた炭化を考えられたが、竹に多

く含まれる油分により、炭窯が材木の時に比べ高温になってしまい窯の寿命が早くなると言われ炭窯を用いた処分方法はあまり行われていない。そこで竹の新しい資源有効利用法の確立が急務になってきている。

2.目的

試験の目的の一つとして現段階での間伐材の有効処理方法である炭窯の技術を一般化することがある。経験者の経験と勘に裏打ちされた工程を科学的な視点から工程の意味を考え誰にでも炭焼きが可能にするために技術の一般化を行う。この技術の一般化により現状では炭焼きを行う際に熟練した経験者がいなければ出来なかった作業があまり熟練していない人にでも出来ることが可能となる。そして、経験と勘による作業のため極めてまれにはあるが、経験者も失敗するときがある。その失敗の可能性を少しでも減らすことが可能となると考える。

次に実験の目的として繁茂している竹を有効に利用する方法の確立がある。土窯では竹の高温に耐えきれず炉の寿命を短くしてしまう。高温を発する竹炭づくりではあるが、設定温度の高い電気炉を使用することによりその問題は回避される。そこで、電気炉内部での竹の炭化挙動および土炭窯の比較を行う必要がある。

しかし、ただ竹を炭化するだけでなく付加価値を付ける必要がある。今回注目したのは高価で取り引きされている備長炭である。備長炭は堅く、火力が強くと火持ちがよいために一番よく作られ使用されている炭である。しかしその原料である「ウバメガシ」「カシ」が非常に不足してきている。原材料が不足している現状がある。そこで今回は竹を原材料とした高密度の炭の作成を試み、その炭の性能評価を試みた。

3,炭焼きについて

3-1,使用した炭窯について

今回使用した炭窯は高知県立森林技術センター内に設置されている炭窯を使用した。その炭窯の写真を Fig.1 に、断面図を Fig.2 に示す。



Fig.1 使用した炭窯の写真

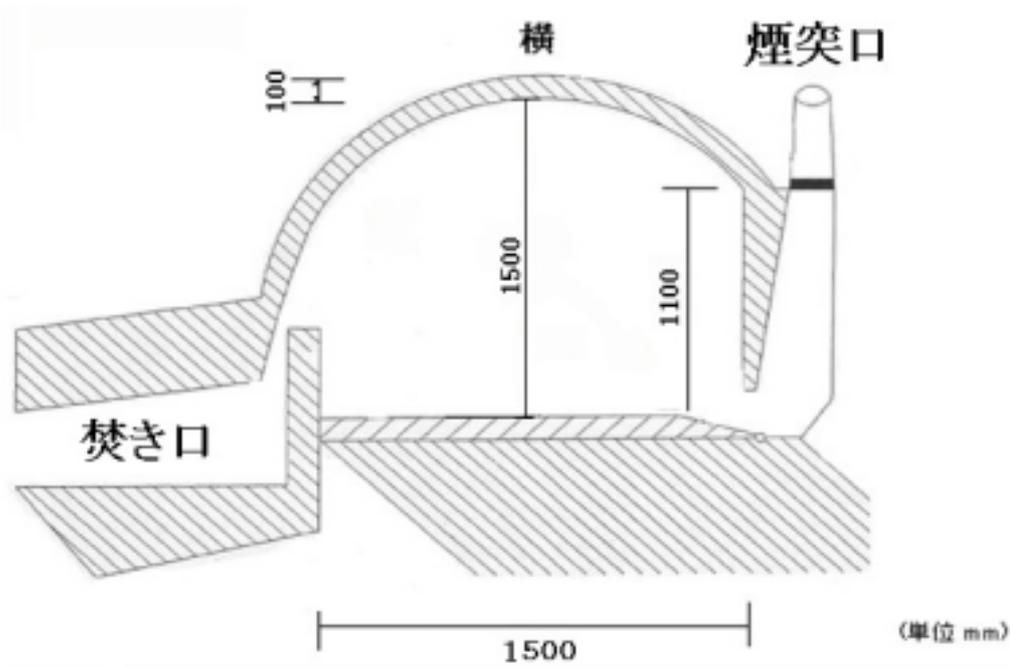


Fig.2 使用した炭窯の断面図

3-2,炭焼きの基本工程

炭窯の基本工程は炭窯の大きさによって日数などの変化があるが、今回使用した炭窯ではまず、搬入口より材木を運び入れる。その際には Fig.3 のように材木を縦にできるだけ隙間を作らないように並べていく。その際に材木の根側を上にする。その後、並べた木の上に鋸で切断した小さい木などを並べ密に密に詰めていく。炭窯内部全体に材木を入れ終わったら、石と目の細かい赤土、材木を用いて入り口を閉めていく。

焚き口に火を入れて約一昼夜 24 時間炊き続ける。そして、炭焼きの指導員が煙の色が白くなったのを見て火を炊くのを停止し、焚き口に金属板などを被せ空気の流れを少なくする。さらに一昼夜約 24 時間程度経過の後、炭焼きの経験者が、煙の色が透明になったのを確認した後焚き口、煙突口などを完全に閉鎖し全く空気が入らないようにする。その後約 5 日間程度放置し、経験者が炉の外側を触ることにより内部が十分に冷えたのを確認し、搬入口の土壁を壊して内部の炭を取り出す。

このように炭窯の工程の重要な部分は炭焼きの経験者の判断により行われるため、炭焼きの成否は経験者の判断一つに大きく変化される。

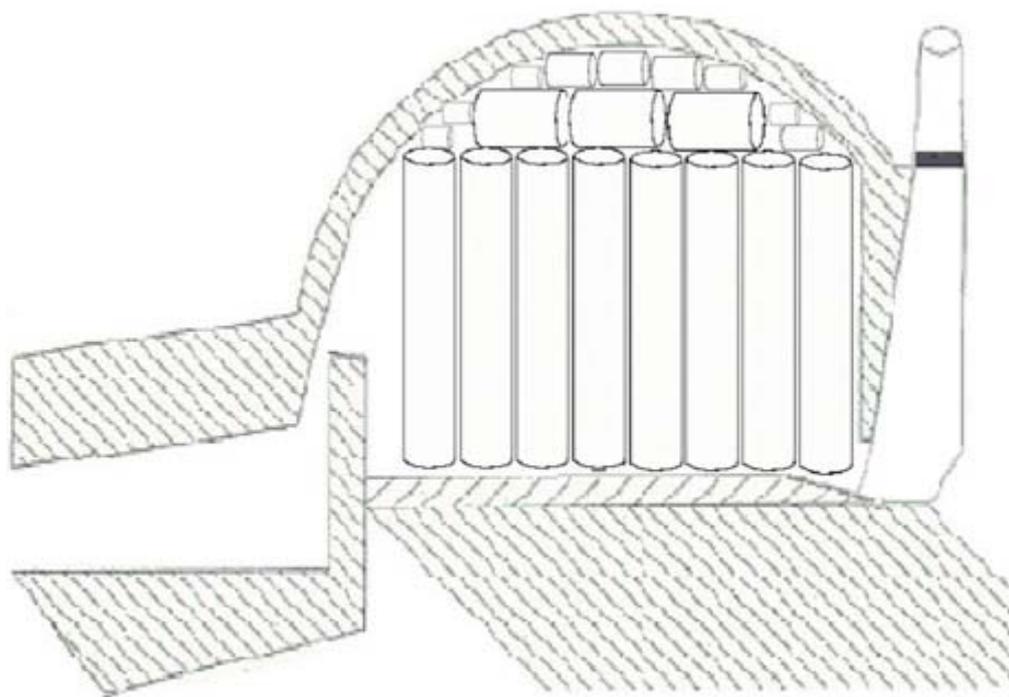


Fig.3 炭窯内部の木材配置図

4,実験方法

今回、炭窯の工程を一般化するに当たり炭焼き工程中の炭窯の温度推移測定や排ガス分析、収炭率の計測から炭焼きを解析する事を試みた。

4-1,温度分布計測方法

温度分布の計測は熱電対六本を配置して計測を行った。設置方法は炉内に針金にて固定するという方法で行った。設置場所については Fig.4 のように行った。計測は取り出しまでの約一週間について行った。

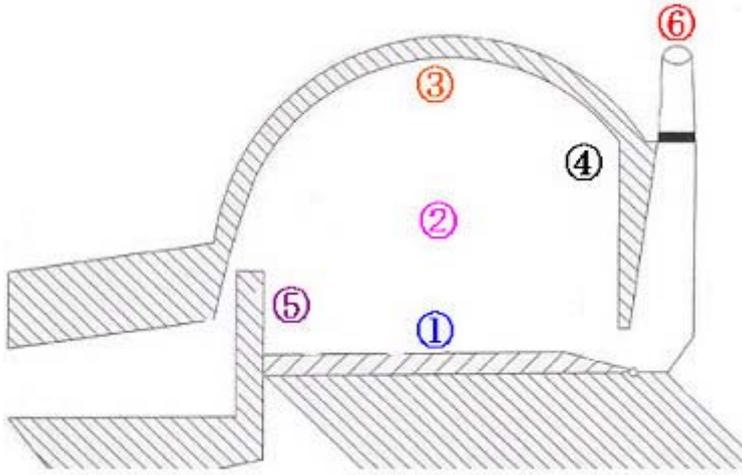


Fig.4 炭窯内部の熱電対設置位置

4-2,収炭率計測方法

内部に搬入した材木の重量を全部計測し、炭化後に炭窯内部の木炭の総重量を計測した。それによって収炭率を求めた。

4-3,排ガス分析

煙突口よりガスを採取。ガスクロマトグラフィーを使用して排ガスの成分を計測した。

5,結果及び考察

5-1,温度分布計測結果

各測点での温度推移は Fig.5 のようになった。

炭化は約 350 前後から反応が始まる。温度の推移より炭化の順番は Fig.6 のように進んでいくように考えられる。そのため ①の地点が最初に炭化してきているように考えられる。しかし、⑤の地点は約 3 時間程度で 300 を越えてきている。また、温度上昇もあまりに急激なため、⑤で起きた反応は炭化でなく燃焼の可能性が大きいと考えられる。実際炭化終了時、搬入口の土壁を壊した時に Fig.6 の⑤の部分が消失しているというのからもわかる。

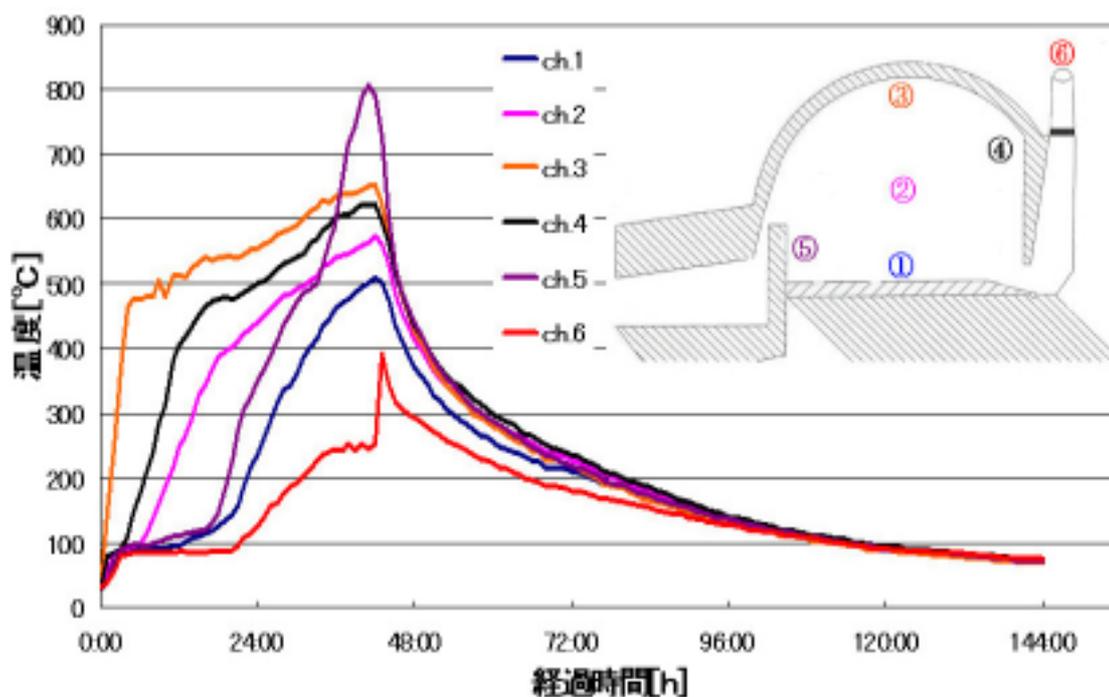


Fig.5 炭焼き工程の温度推移

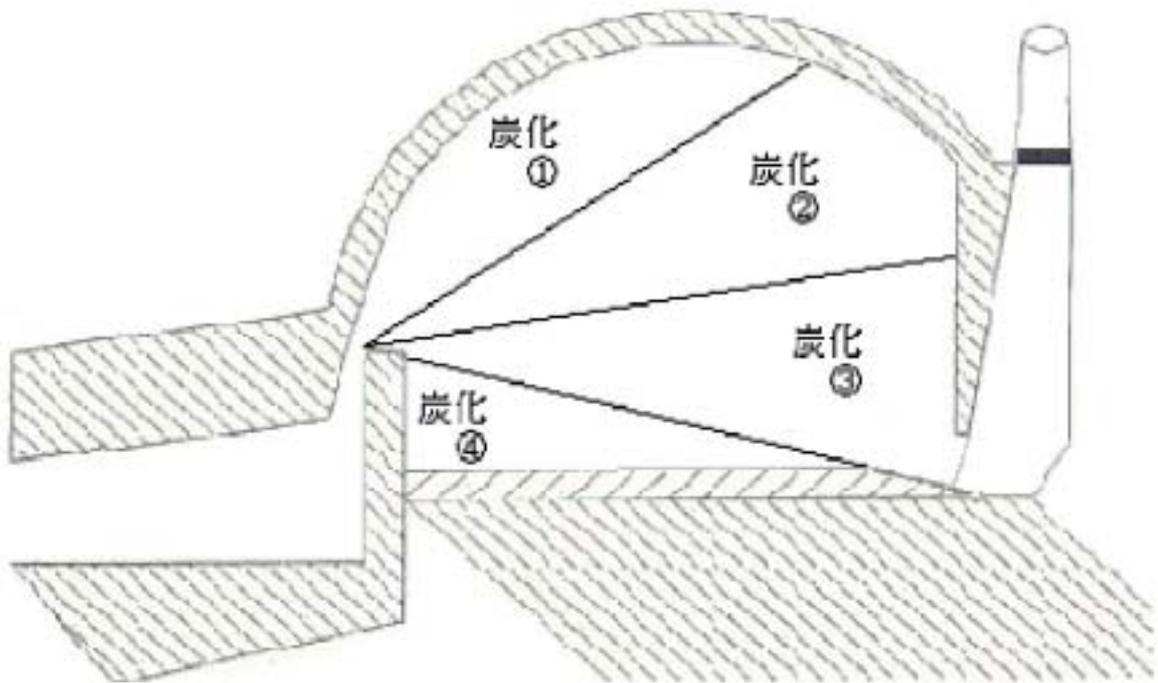


Fig.6 炭窯内部の炭化の進行方向

5-2,収炭率計測結果

今回搬入された材木総重量は 1500kg であった。炭化終了後取り出せた木炭の総重量の実測値は 212.5kg であった。電気炉で行った小型試験では乾燥木材の収炭率は平均 30% という値を示している。収炭率の結果は

$$212.5 \div 1500 = 0.1414$$

となり単純計算では炭窯の収炭率は 14% となり。電気炉の性能の約半分になっているようにも見える。小型電気炉の実験では試料を乾燥状態にさせて行うのが一般的である。それに対し炭窯に入れている材木に関しては乾燥をさせずに生木を搬入している。そのことから、生木を乾燥室に入れて 75 で 24 時間経過した後重量を計測すると、平均で約 33% の水分が飛んでいったことが分かった。

そのほかにも 5-1 で述べたように Fig.6 の の部分が消失している。その消失部分を何度も熱電対の設置位置を変えることにより約 25% の部分が消失しているということが分かった。その Fig.6 の の部分には普通は朽ちた材木など等々を設置し燃えることを前提とした作業を行ってきている。

そのため、正確な収炭率は

$$212.5\text{kg}/(1500\text{kg} \times 0.7 \times 0.75) = 0.2698$$

となり、電気炉と比較する場合の収炭率は 27% となる。従来炭化窯と電気炉の収炭率の差はわずかな 3% 程度である。従来炭窯での炭化は の部分の燃焼を除けば非常に効率の良い大型の炭化システムであるということが分かる。

5-3,排ガス分布計測

今回の排ガス成分は Fig.7 にて示される。また小型電気炉での排ガス分析は Fig.8 に示す。このデータから時間とガスの分布にはこれといった関連性が見られない。その理由として Fig.5 の温度分布で分かるように炭窯内部では温度分布があり均一な温度域でないためだと考えられる。

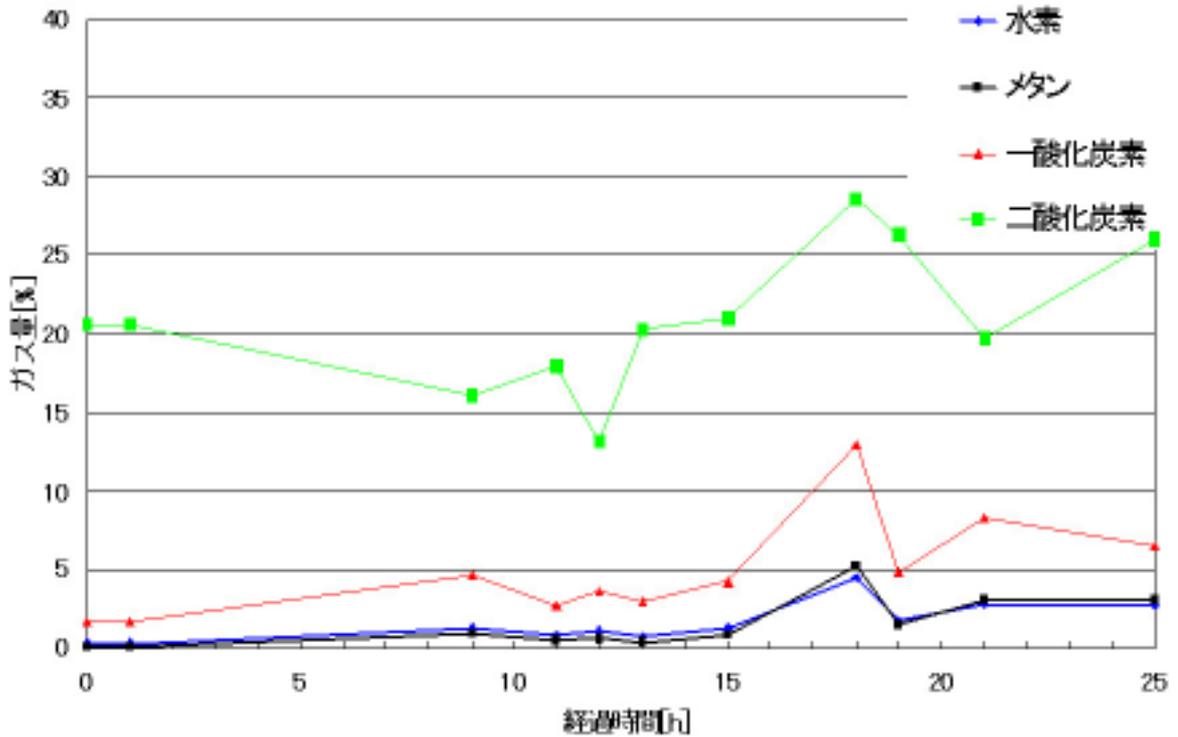


Fig.7 炭窯のガス発生状況

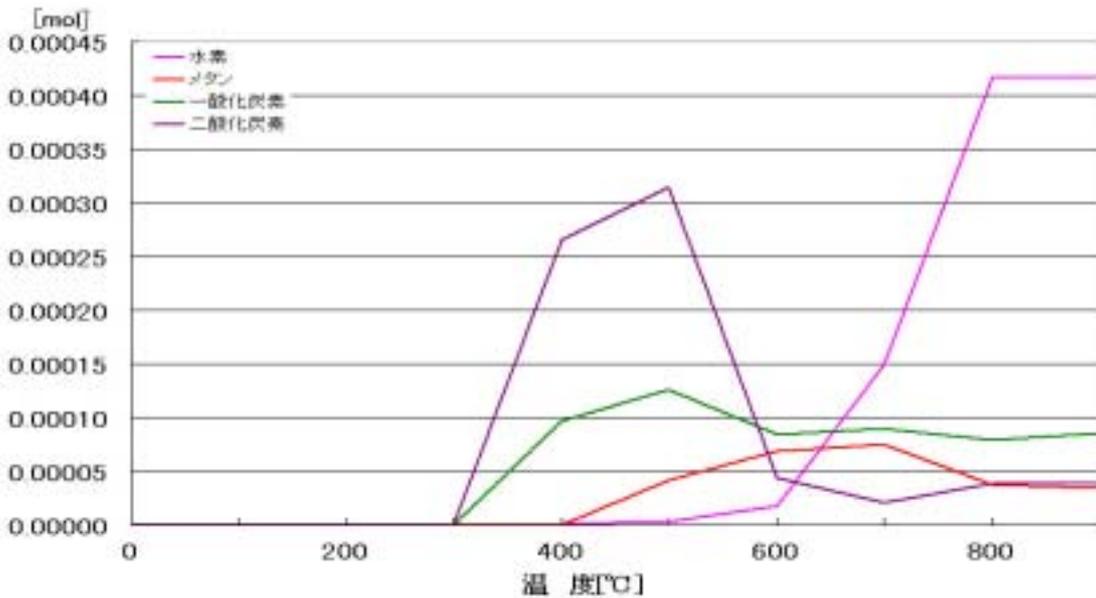


Fig.8 小型電気炉での排ガス分析結果

5-4,炭焼き工程と窯内部の炭化挙動の科学的解釈

まず材木の搬入であるが必ず縦に根の方を上を設置して出来るだけ密に密に詰めていく。この工程の意味は根の方が密であり水分量も多いため上部に設置して生焼けを防ぐというのがあると考えられる。事実逆に材木を設置した場合生焼けの部分が数多く存在してしまった。また密でない場合、熱気の流れが火入れ口より天井を通り煙突口に直接行くという流れが作られやすくなり特定の炭窯内部の温度は急激に上がるがほかの温度が上がりにくくなってしまふ。

搬入が終わり火入れにはいると約 24 時間経過後、経験者は煙が白色になるのを確認後焚き口の燃焼を停止し焚き口を軽く塞いだ。まず、煙が白色になるのは何度か炭焼きを行った結果煙突口の温度が必ず 100 を越え始めたのを示していた。炉内の水分がなくなったことを示す指標として煙の色を見ていたのではないかと考えられる。また、焚き口を軽く塞ぐ工程は少量の酸素を流入させたいためではないかと考えられる。

焚き口停止後、さらに約 24 時間経過後、経験者は煙が無色になるのを確認後焚き口、煙突口などを完全に閉鎖をした。煙が無色になるのは温度域を見て炭窯内部の計測地点、煙突口どの地点も温度上昇があり、煙突口を含めるすべての地点において 350 を越えている。一般的な炭化の工程として熱分解が始まるのが 350 前後であることを考えて炭窯全体で炭化の工程が始まっていることを示していると考えられる。また焚き口、煙突口などを完全に密閉するのはこれ以降の工程で酸素は不必要であり酸素があることにより炭化でなく燃焼の工程を引き起こすため除去を目的としているためだと思われる。

数日後経験者は炭窯の天井部分を外部から触ることにより内部の温度を予想し十分に冷却されていることを確認して取り出している。何度か炭窯を行った結果、経験者が取り出し可能温度と考えているのは約 150 以下の時だと思われる。事実、約 180~200 の時に取り出そうとするのを経験者は「もしかしたら燃える可能性もある。」と炉壁を触りながらおっしゃり、そのときの取り出しは炭窯内部で火をおこすという結果になった。

V-5 炭焼き工程の一般化

炭焼きで難しい工程は三つある。一つ目は焚き口の燃焼停止のタイミングである。二つ目は煙突口や焚き口の完全閉鎖のタイミングである。三つ目は炭を取り出す際の窯出しのタイミングであるといえる。一般の人が炭焼きを行うにあたり経験者の経験と勘を置き換えるものとして熱電対を二本使用する方法を私は提案する。その熱電対は一つ目を煙突口に、もう一つの熱電対は炭窯中央部に設置する。搬入のコツは前述 5-4 に記述する。

搬入終了後、火入れをはじめめる。焚き口の停止は煙突口の温度が 100 を越えた時点で始めると良いと思われる。焚き口はトタン板などがかぶせ隙間を約 2~5cm 程度あけておく。

焚き口、煙突口の完全密閉のタイミングは煙突口の温度が約 400 になったのを確認して閉鎖を行う。

取り出しのタイミングは炉内の温度が 150 以下になったのを確認し取り出しを行う。日数は窯の大きさ、内部の材木の詰め具合により変化する。

以上の方法で行うことにより炭焼きの一般化が可能となると思われる。なお、平成 14 年度坂輪研究室アドバンスト実験では今回の技術の一般化を下にあまり経験のない人達がほぼ指導なしで炭焼き工程を完了し、経験者の人にも良い炭が完成したと言われるほどの炭が作成することが出来た。

6,高密度炭試料作成について

6-1,炭化前の試料作成の基本工程

今回高密度炭を作るに当たり、一般でもっとも使用頻度の高い炭である備長炭を基準に試料作成、性能評価を行った。

試料の作成方法は、基本的に竹を粉砕の後圧力をかけて出来たものを炭化するという方法をとった。(参照 Fig.9)

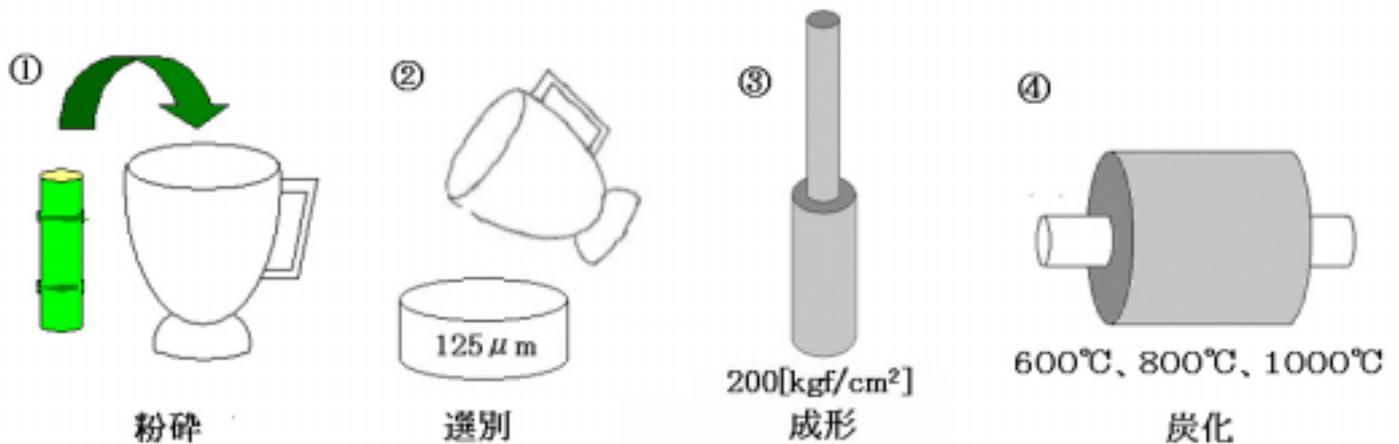


Fig.9 試料の基本作成方法

今回の実験では 125 μm のふるいを通すことにより均一な大きさの粒子を整えた。今回使用した型枠の大きさは内径 20.0mm 外径 mm の筒に径 20.0mm の円柱で押し込む型を使用した。

最初に行った実験は 10.0g の竹の粉を型枠に入れ圧力 600kgf/cm² を二時間かける方法で行った。この方法により取り出された試料は取り出す際に角が欠けるたりヒビが入ることがしばしば起きた。その試料については Fig.10 に示す。



Fig.10 成形試料 01

そこで熱を加えることにより固めて形成しやすくすることを考えた。今回行った方法は型枠への加熱を電気のヒーター暖め成形する方法を用いた。今回の実験で使用したバンドヒーター（FKL）は約 50～70℃まで上昇する性能を持ったバンドヒーターであった。今回の試料作成では 200kgf/cm² の圧力をかけバンドヒーター（FKL）巻き付け 2 時間加熱し、圧をかけたまま冷却期間として 30 分自然冷却を行った後取り出した。今回の試料作成では出来た試料は Fig.11 に示す。今回の試料は型くずれすることがなく取り出せ、また密度的にも高い試料が作成できた。



Fig.11 成形試料 02

次に行った実験としては形成時の温度をさらに高温域に設定し試料を作成することを試みた。そこでバンドヒーター（FKM）を用いて実験を行った。このバンドヒーター（FKM）は 70～110℃まで上昇する性能を有する。今回の試料作成は前回同様バンドヒーターを巻き付け竹の粉を 10.0g 入れ圧力 600kgf/cm² を 2 時間かけた。今回出来た試料は前回より少し茶色っぽくなったものも前回より艶があり堅く、高密度であった。この試料については Fig.12 に示す。



Fig.12 成形試料 03

この次に行った実験としてはさらに温度をかけることを考えた。今回使用したバンドヒーターはバンドヒーター（FKH）である。このバンドヒーターは110~190℃まで上昇する性能を持ったバンドヒーターであった。今回も前回同様600kgf/cm²の圧力をかけてバンドヒーターを巻き付けて2時間加熱して30分冷却を行い取り出す実験を試みた。しかし、今回実験中に型枠から蛇花火のように横から炭化されたものがよきによきと繋がって出てきた。そして、冷却を終えて取り出そうとするとどんなに力を加えても取ることが不可能になった。そして鉄工所で旋盤をかけ、型枠を壊していただいた結果、中にはほとんど試料がなく薄さ1mm以下の紙が板状の試料のみが残っていた。このことにより中で反応が進んだため中で圧が高まり横にわき出したためであると考えた。

普通の粉ではバンドヒーター（FKH）を用いて150℃以上の温度をかけると取り出すことが不可能となることが分かった。新しい方法が必要となった。

6-2 粉の種類の変化

今回のバンドヒーター (FKH) を用いて 150 以上になると取り出せなくなる原因の一つとして竹の油分が多いため固まるのではないかと考えた。そこで竹の油分を取り除く方法として2つの方法を考えた。

一つ目の方法はアルコールにて油分などを溶出させる方法を用いた。具体的な方法としては粉を作り、125 μm の篩を通したのちアルコールを注ぎ一時間超音波振動機にかけ濾過を行う。その後乾燥機にて 75 で約 24 時間乾燥させ、アルコール分をとばす。次にもう一度アルコールを注ぎ一時間超音波振動機をかけてもう一度濾過を行う。その後乾燥機にて 75 の設定でアルコール分を十分にとばした粉を使用した。

もう一つの方法としては熱を加えることにより油分などの揮発成分を揮発させることを考えた。具体的な方法としては竹を電気炉内に入れ窒素雰囲気下にて 10 /min で 200 まで上昇させ 3 時間保温したのち自然冷却させた。その竹をミキサーやミルによって砕き 125 μm のふるいを通した粉を使用した。

まずアルコール処理した竹の粉を前回の課題であったバンドヒーター (FKH) を用いて 130 以上に上げたときの反応を見ることを試みた。今回の実験も全課と同様に 200kgf/cm² の圧力をかけバンドヒーター (FKH) を巻き付けることにより加熱を二時間行った。その後冷却期間を持ち取り出しを試みた。前回のよう横のごくわずかな隙間から出ることはなくきれいに取り出すことが出来た。今までのものと比較して手で触っても分かるくらい高密度で堅いものが出来た。取り出せた試料の写真は Fig.13 に示す。



Fig.13 成形試料 04

同様の方法で 200 の加熱処理をした粉を使用して高温域で試料を作成した。この試料は取り出す際に少し抵抗はあったもののきれいに取り出すことが出来た。200 で加熱処理を行った竹の粉を用いた試料は先ほど取り出したアルコー

ル処理したもののほど手で触ってみた際にずっしりとした重さはないものの何も加工していない粉より遙かに高密度で堅いものが出来た。この 200 処理した竹の粉から作った試料の写真を Fig.14 に示す。また同様の方法でバンドヒーターの種類を変えることにより形成温度を変化させそれぞれの粉で常温、50～80、70～110、100～190 の温度域で成形を行った。



Fig.14 成形試料 05

6-3 炭化条件について

炭化条件は小型電気炉にて窒素雰囲気で行った。

最初に温度は通常炭を作る際によく用いられる 600 の炭化温度で行った。昇温速度は木を炭化する際によく使われる 10 /minで行った。すると Fig.15 のようにジャバラ状になってしまった。これは消音速度が早かったため水分や揮発成分が抜ける際に穴が出来てきたものと思われる。そこで次に行った昇温速度は 1 /minで行った。炭化終了後取り出した試料はわれておらず、きれいな形をしていた。その写真を Fig.16 に示す。



Fig.15 ジャバラになった試料

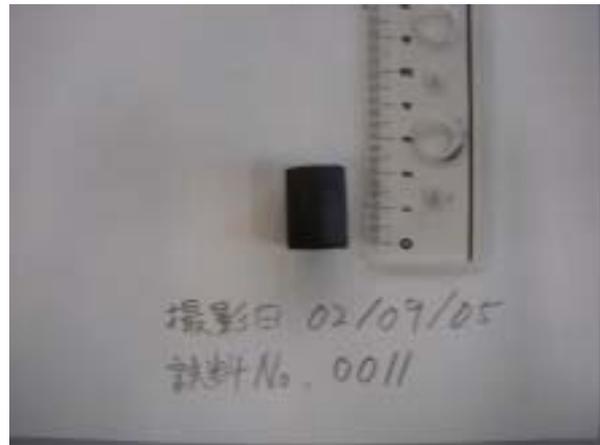


Fig.16 割れずに炭化できた試料

1 /min でこの炭化方法はあまりにも時間がかかるため、壊れる要因があると思われる箇所で温度をキープすることを試みた。今回の壊れる要因として揮発による内圧が高まるため壊れるのだと考えた。そこで揮発分が多いと思われる地点を考えた。まず水分が蒸発する 80~100 地点、炭化の課程でガスが発生しやすい 350 前後である。そこで、その地点以外を 10 /min で炭化を行い、その地点をそれぞれ 30 分ずつキープすることにより割れを防ぐのを試みた。結果、1 /min で作られたような割れのない炭化ものが出来た。

7,評価方法

7-1,密度、収炭率

備長炭については自然ものを炭化したこともあり形状が定まらず、また砕くことは可能でも刃が通らないためきれいな形に形成は不可能であった。そこで備長炭の密度を測るのに比重瓶を用いた測定方法を使った。

今回作った試料の密度測定は形がきれいに定まっていることもあり、径や高さ、重量を測定することにより求めた。

7-2,強度測定

圧縮試験器を用いて 1mm/min の設定で圧縮破壊試験を行った。

8 結果および考察

8-1 収炭率について

実験結果を粉の種類別に炭化前密度とでプロットを行った。今回の結果は Fig.17. のようになった。炭化前と炭化後の密度では相関関係があるのが分かる。それは粉によっても種類が現れていると推測される。一番高収炭率の値を示したのはアルコール処理を行ったものであった。また処理を行っていない粉が一番低い値を示した。また、比重瓶で計測した備長炭の密度が 1.08g/cm^3 であったので、今回の実験により備長炭より高密度な炭が作成できたことがわかった。

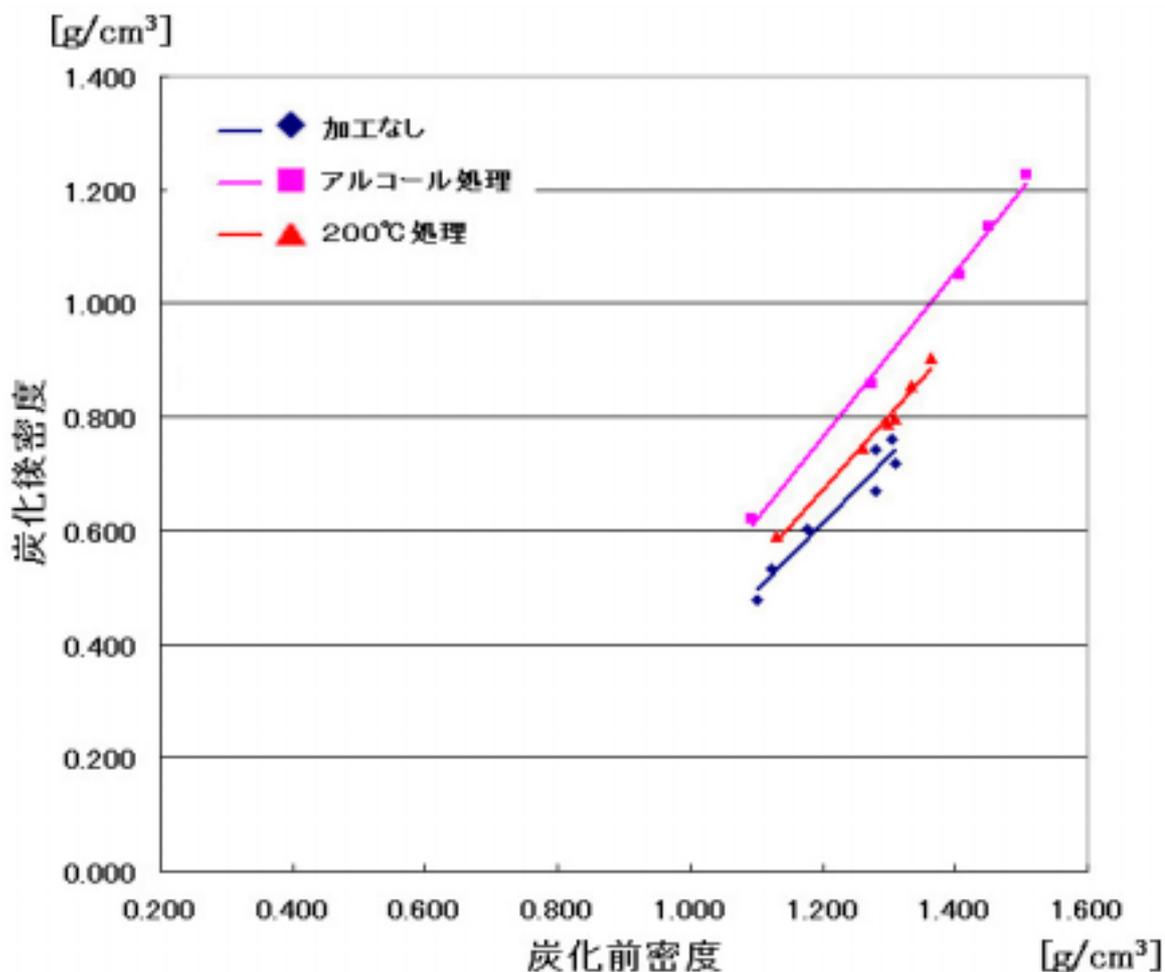


Fig.17 処理別の炭化前密度と炭化後密度の関係

Fig.17 のような近似線が引かれ、処理によって差が出た理由を調べるために熱天秤による熱重量減少率を調べた。その結果を Fig.18 に示す。

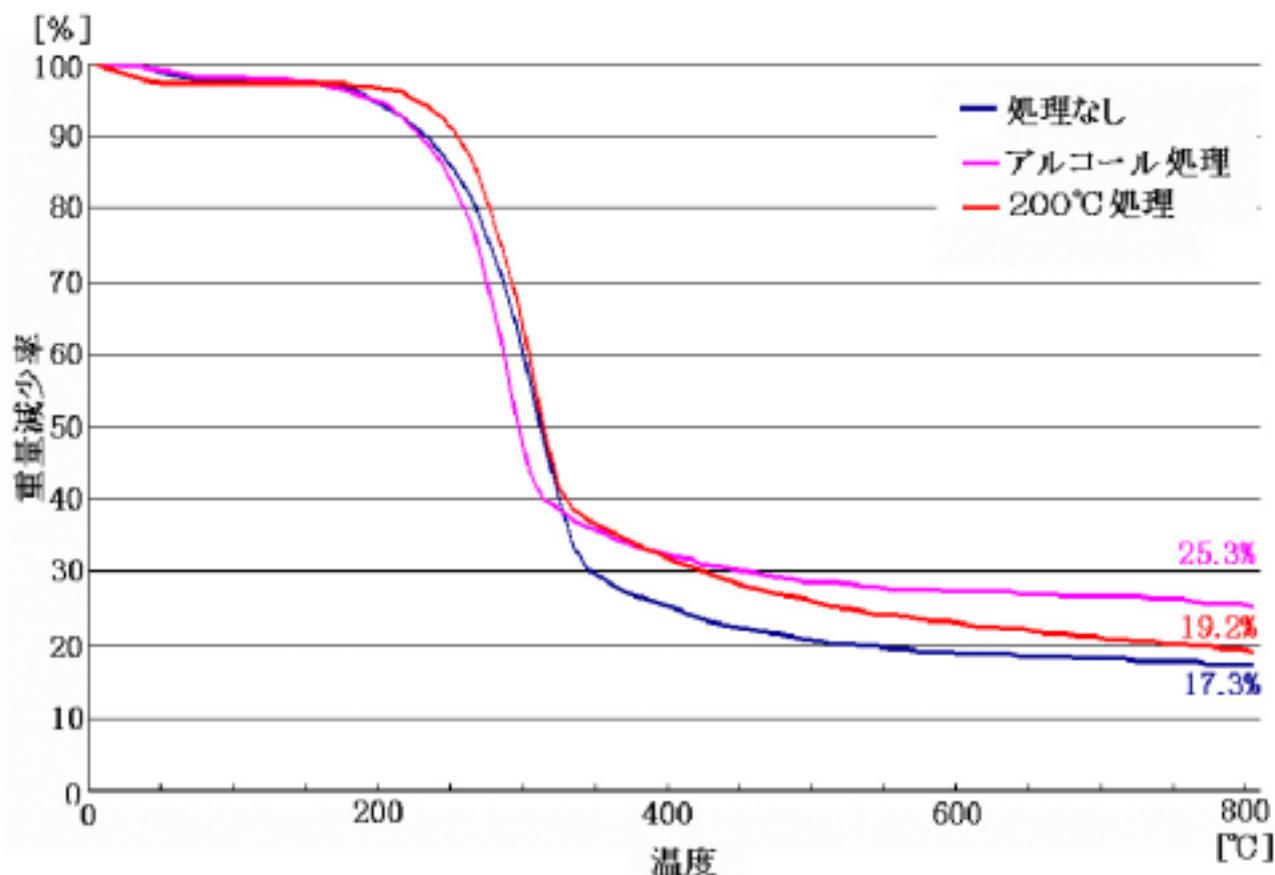


Fig.18 処理別の熱重量減少率

まず注目すべき所は 200 地点を越えた所だと思われる。そこで 200 処理を行った物と処理なし、アルコール処理を行った粉に重量減少の線が分かれる。一度 200 まで加熱しているため 200 近辺では揮発する物がないため 200 処理を行った粉は重量減少が遅れるのだと考えた。

最終的な結果としてアルコール処理が一番高い減少率を示した。アルコール処理は本来炭化を行った際に残るべき原子としての炭素が含まれた物質まで溶かしだしそれによって重量が減少しているのではないかと考えられる。しかし、200 処理は同じく窒素雰囲気下で行われた工程を 2 回繰り返して通るだけ何らかの物質が結合しやすい状態になり

形成温度別に炭化前密度と炭化後密度のプロットを行った。その図を Fig.19 に示した。この図により温度が高ければ高いほど炭化前密度が高くまた炭化後密度もそれに比例する形で高いものができるかと推測できる。

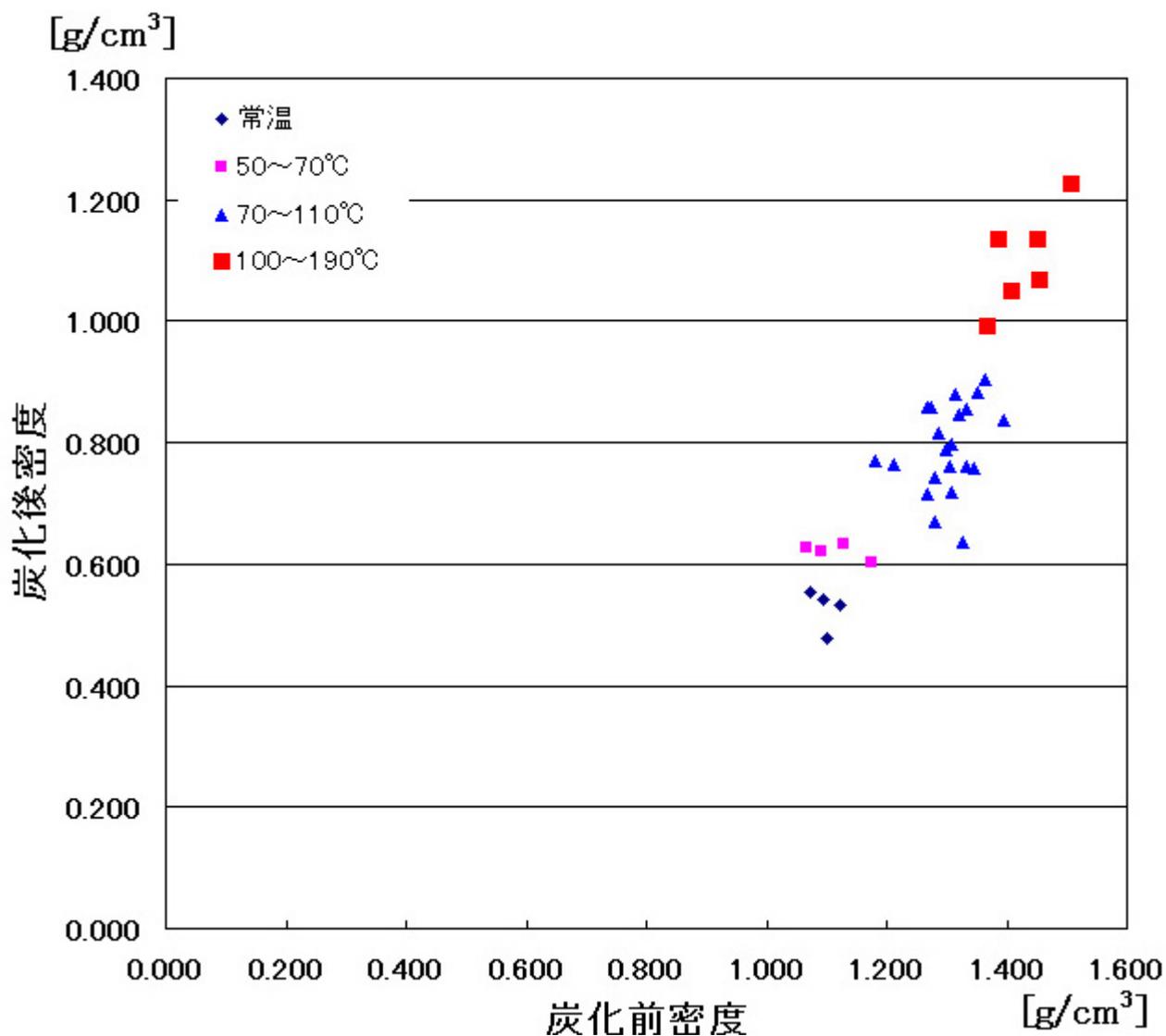


Fig.19 形成温度別炭化前密度と炭化後密度の比較

実験結果を炭化温度別に炭化前密度と炭化後密度とでプロットを行った。その図を Fig.19 に示した。

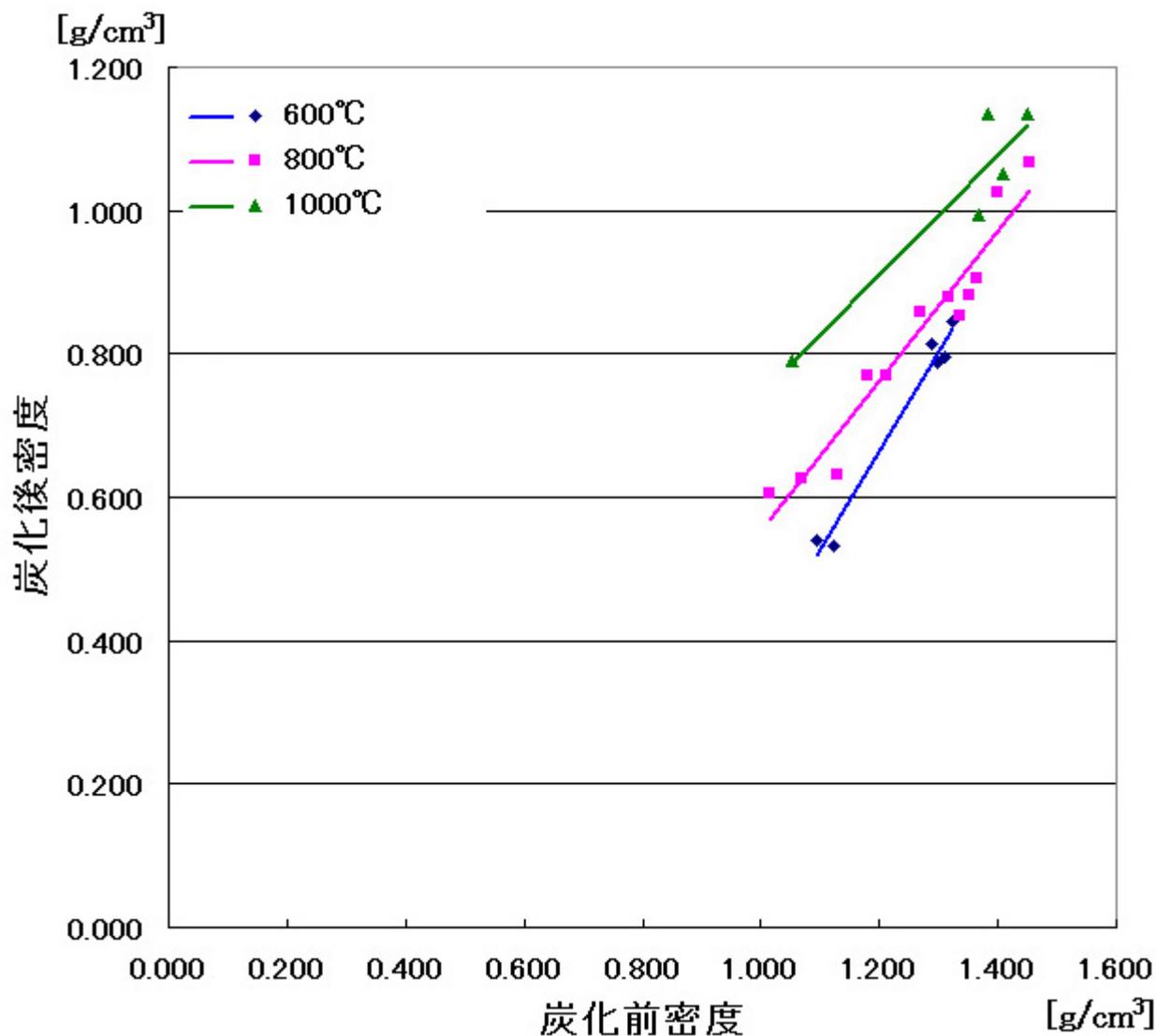


Fig.20 炭化温度別炭化前密度と炭化後密度の比較

この図により低い領域では同じ炭化前密度であれば1000 の炭化温度炭化後密度が高いものが出る。しかし、近似線の傾き具合が600、800、1000の順になっている。とくに600の方は熱収縮が起きていないため炭化前密度と炭化後密度の近似線の傾き具合が非常に高い。1.4g/cm³以上のものであれば炭化後密度が温度的に逆転する可能性が大きくあると考えられる。

以上のことから炭化前密度と炭化後密度には相関関係があり、炭化前密度の高いものを作るためには以下 2 点のことを考える必要があると思われる。

1 つ目は粉の前処理が大切であるということが挙げられる。

Fig. を参照することにより高い炭化前密度の試料を作成するには処理を行う段階で出来るだけ揮発成分を除去しておく必要があると考えられる。とくに処理を行っていない竹の粉では低温域での揮発分が除去されていないためか成形を高温で行うこと自体が不可能となってしまう。

2 つ目は試料の成形温度が重要であると考えられる。Fig.18 を参照することにより成形温度により炭化前密度が大きく変化することがわかる。今回の実験ではバンドヒーターを巻くという巻き方によって差が大きく出やすい方法であったために温度域のばらつきが大きかった。しかし、最高温度が高ければ高いほど高密度の試料が作成できたことよりも明らかであった。

次に炭化前試料が出来たならば高密度炭の作成には炭化温度が重要になると思われる。炭化温度と密度の関連性は Fig.19 に示す。このことにより炭化温度は炭化前密度 1.5g/cm^3 までの低密度の炭化では $600\sim 1000$ での炭化では 1000 がもっとも良い値を示した。ただし、 1000 での炭化は体積的にも物理的収縮が起きるために圧倒的に小さくなる。

8-2 強度

まず処理別に炭化後密度と圧縮強度の値をプロットした。その図を Fig.21 に示す。

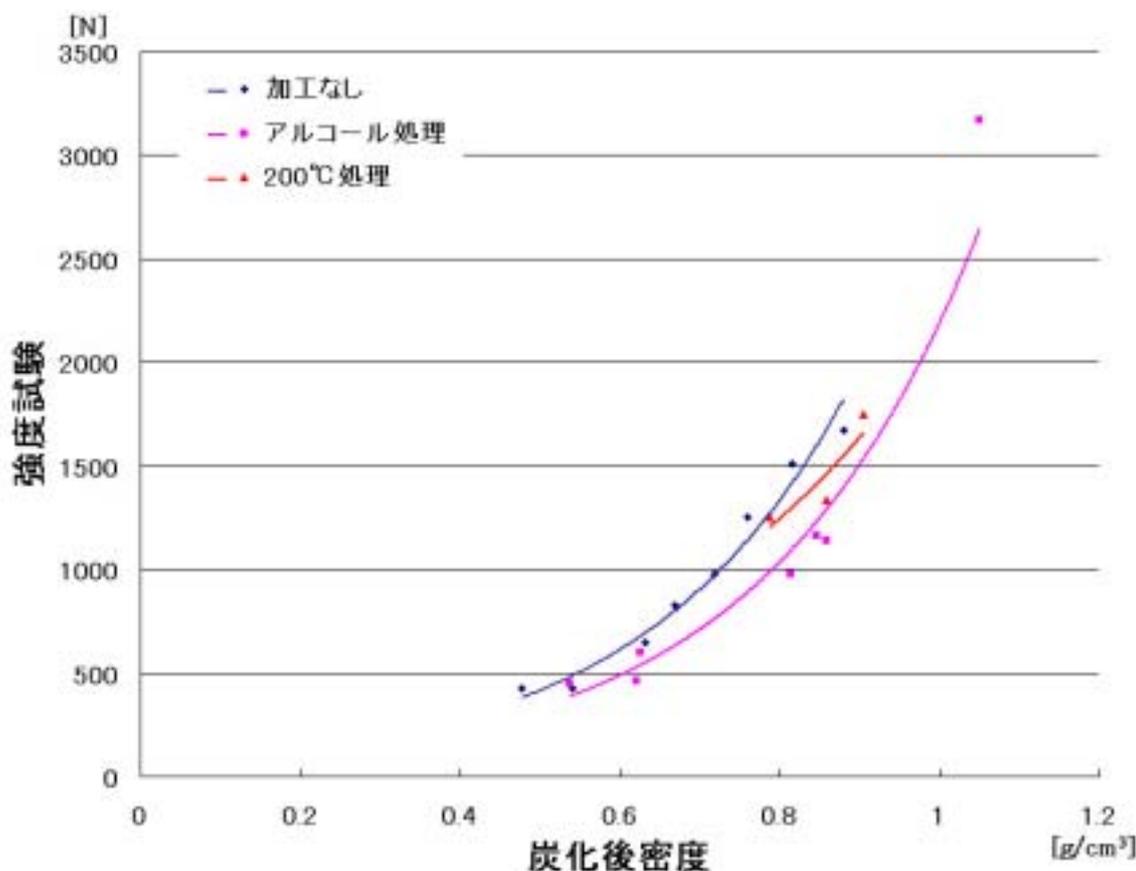


Fig.21 処理別の炭化後密度と強度の関係

今回等密度で炭化が行われた場合は処理をしていない粉が一番圧縮破壊強度の値が高いという結果になった。次に 200℃ 処理をした試料、最後にアルコール処理をした粉という順になった。そこで、密度と全く逆の値を示した原因を考える。

今回密度で高い順に示されたのと逆の順番になった原因として、アルコール処理はアルコールに溶け出した部分、200℃ 処理は熱処理中に発生した排ガス部分に低分子が排出されている。つまり加工なしが強いのは低分子が排除されていないため粉同士を結合させるバインダーが多く含まれていると考えられる。そしてそのバインダーは原子Cを多く含み炭化処理を行った場合、メタンや一酸化炭素などで少々炭素自体は揮発するが残った炭素により粉同士の結合が起きているのではないかと考えられる。逆にアルコール処理、200℃ の熱処理をした粉を使用した試料はそのバインダーが少ないため密度は高いが強度的には弱

いのだと考えられる。このことを証明するために SEM 写真の撮影を試み、その 3 枚の写真を Fig.22 しめす。

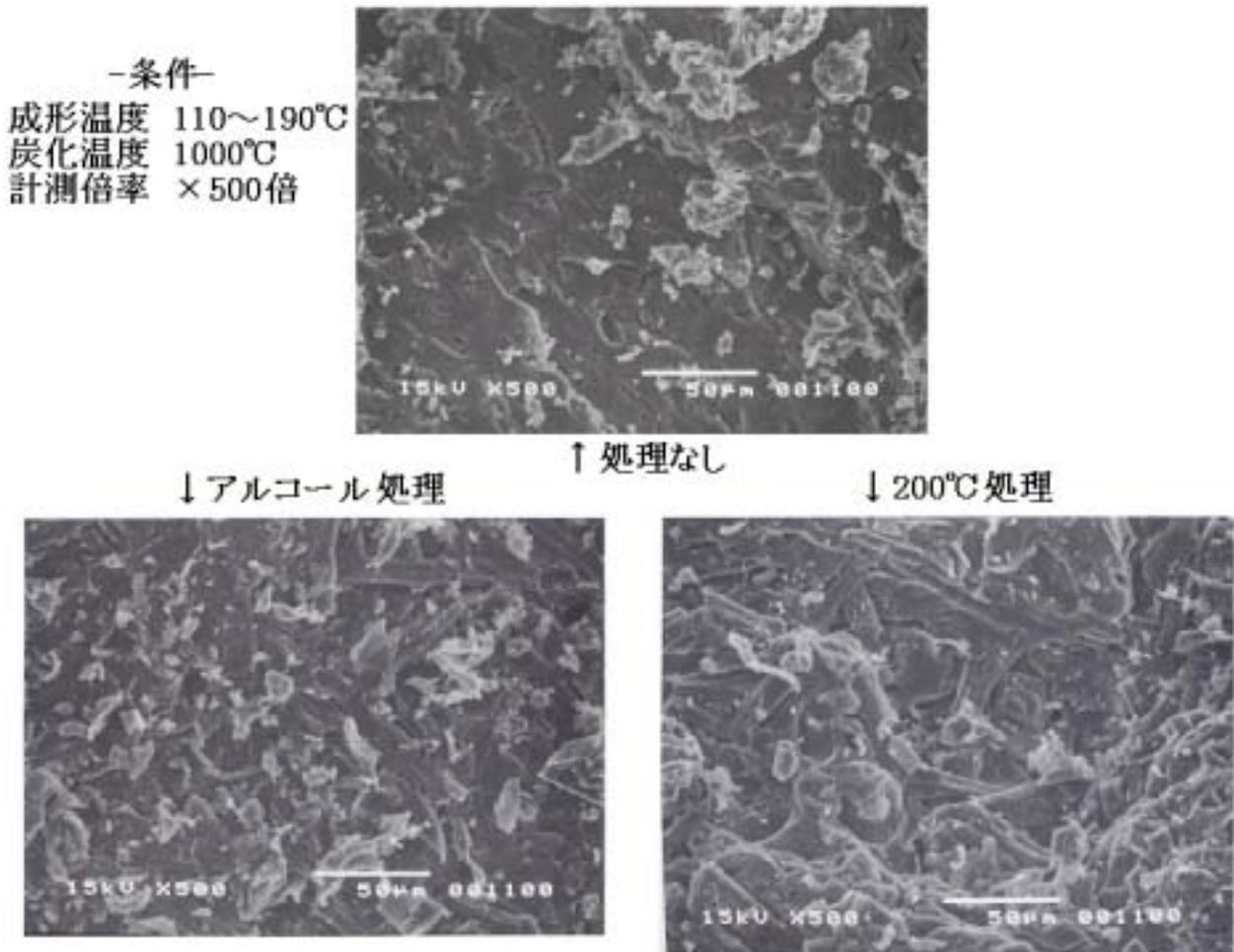


Fig.22 処理別の炭化後試料の SEM 写真

今回示した写真はそれぞれの粉を温度域 110~190、炭化温度 1000 で作成した試料を SEM にて倍率 500 倍に拡大したものである。処理なしの竹の炭化ものではきれいな表面ができあがり表面のも 2~3 μm の気孔のみである。200 の熱処理をした竹ではあまりきれいではない表面ではあるがまだ繋がっているのがよく分かる。しかし 10 μm を越える気孔が少し見られる。次にアルコール処理を行った竹では面自体があまりなく線同士で繋がっているように見える。また 10 μm を越える大きさの気孔がざらに存在している。これは処理を行うことによって排除された分子の中に入っている炭素原子が結びつきあらたな固まりを作成している可能性を示していると考えられる。そのためアルコール処理を行うことは空隙を多くすることに繋がると考えられる。

次に成形温度別に炭化後密度と圧縮破壊強度の値をプロットした。その図を Fig.23 に示す。

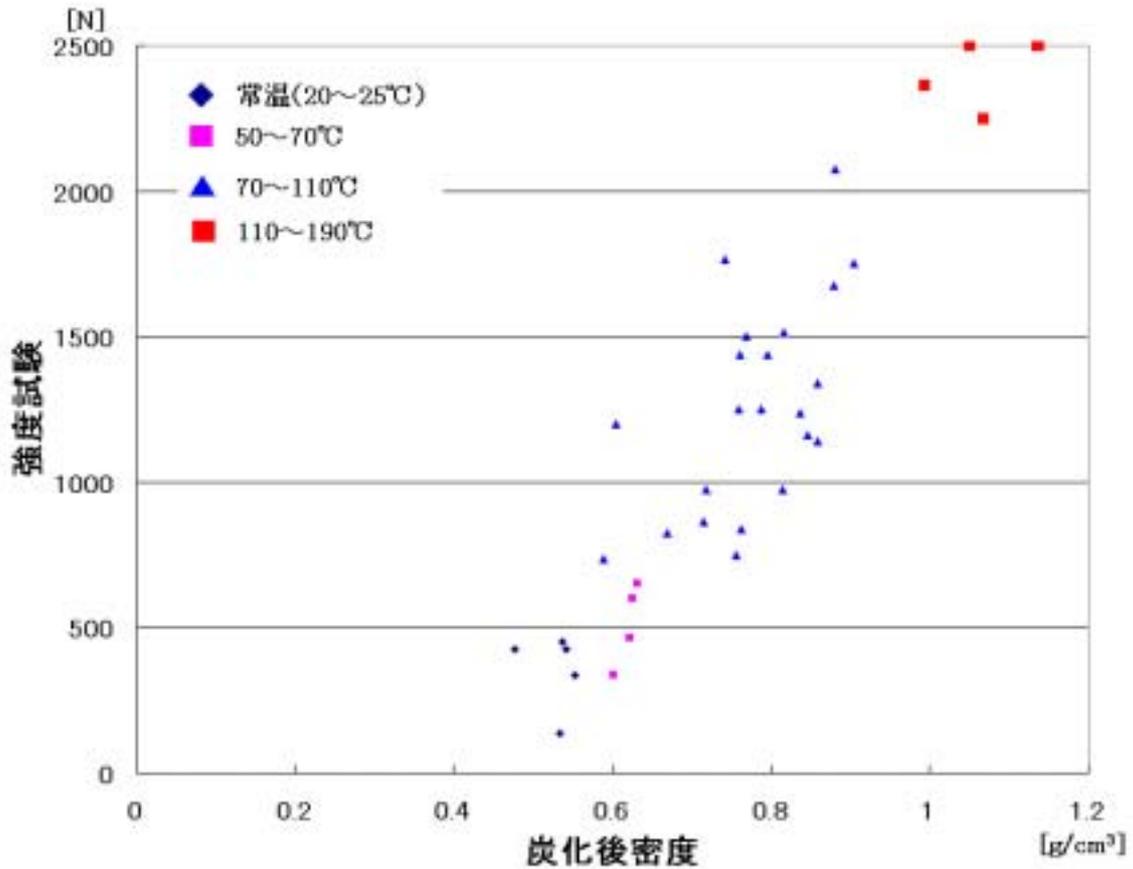


Fig.23 成形温度別の炭化後密度と強度の関係

今回も成形温度が高温であれば高温であるほどより高密により強度が強くなっている。今回も成形温度別の試料ではきれいな相関関係があることを考えると炭化前の試料が成形できた時点でおおよそその強度が推測できるとおもわれる。

最後に炭化温度別に炭化後密度と圧縮破壊強度の値についてプロットした。その図を Fig.24 に示す。

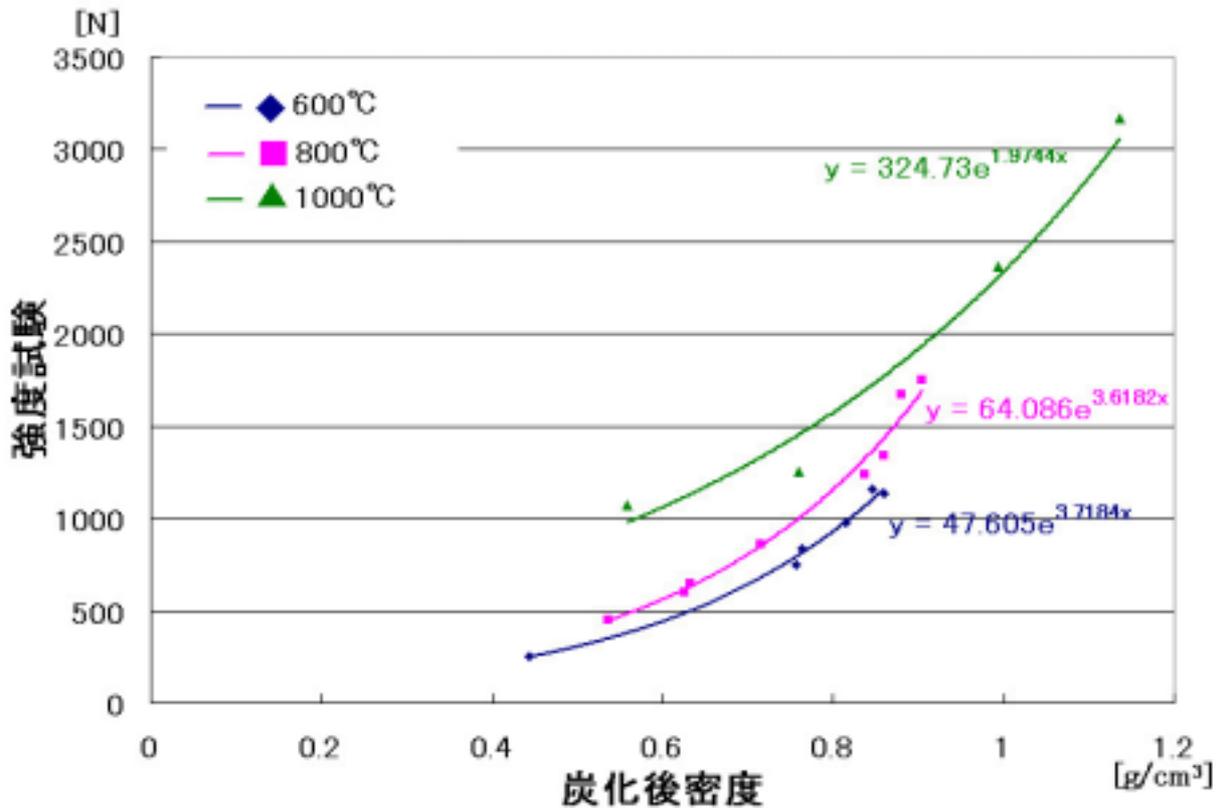


Fig.24 炭化温度別の炭化後密度と強度の関係

今回も同密度の試料であれば 1000 で炭化すると一番堅くなるということが分かった。

一般的に強度は気孔と基質で決まる。一般式は式 のようになる。

$$S = k e^{-ap} \quad \dots \text{式}$$

S : 強度

k : 基質による定数

a : 気孔による定数

p : 気孔率

気孔率 p と充填率 q の関係は $p = 1 - q$ であるため 式 のようになる

$$S = k e^{a(p-1)} \quad \dots$$

今回充填率と密度とは比例するため、圧縮破壊強度を S とすると以下の式で表される。

$$S = k e^{bm}$$

S : 圧縮破壊強度

k : 基質による定数

b : 密度による定数

m : 密度

今回近似線より算出された b と k について炭化温度ごとの変化を図に示した。炭化温度と気孔に影響する k の関係を示したのが Fig.25、炭化温度と密度に影響する b の関係を示した物が Fig.26 となる。

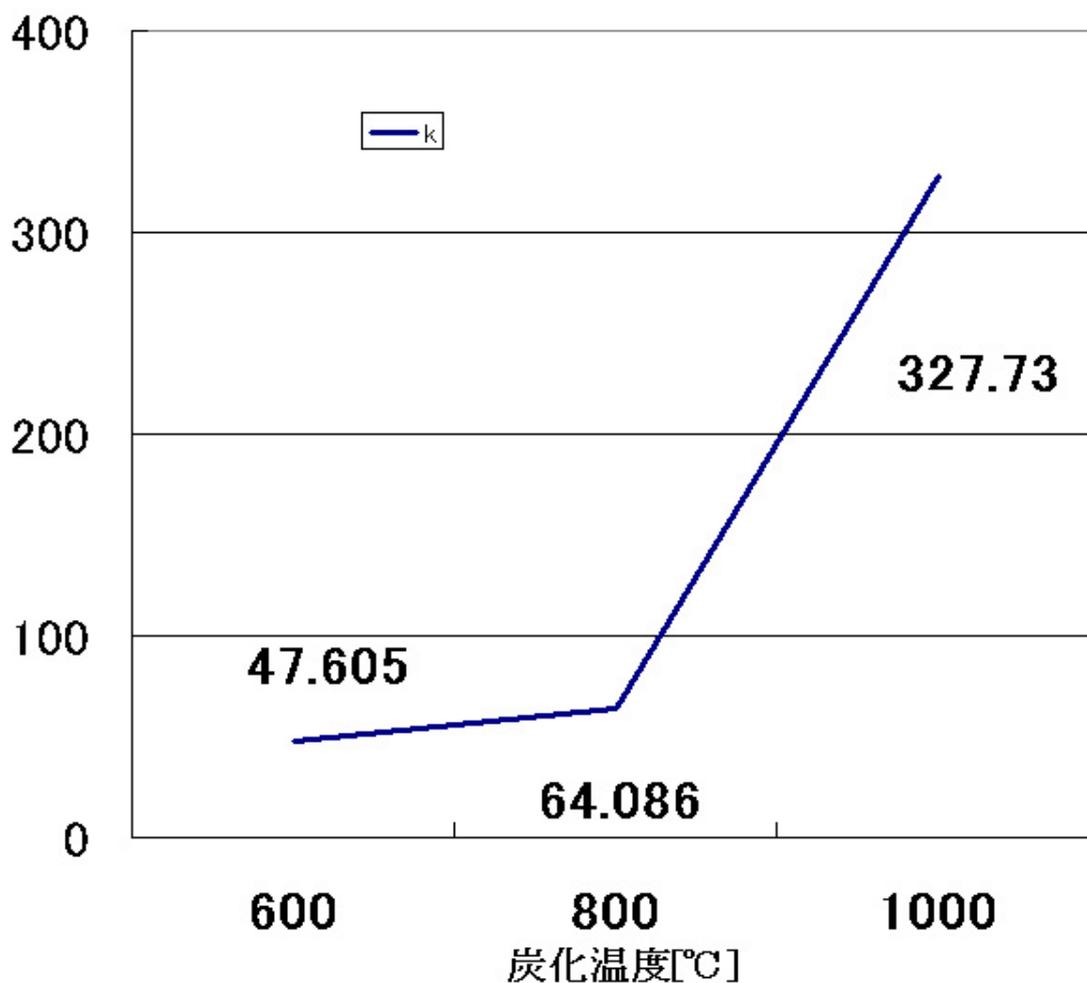


Fig.25 炭化温度と気孔に影響する k の関係

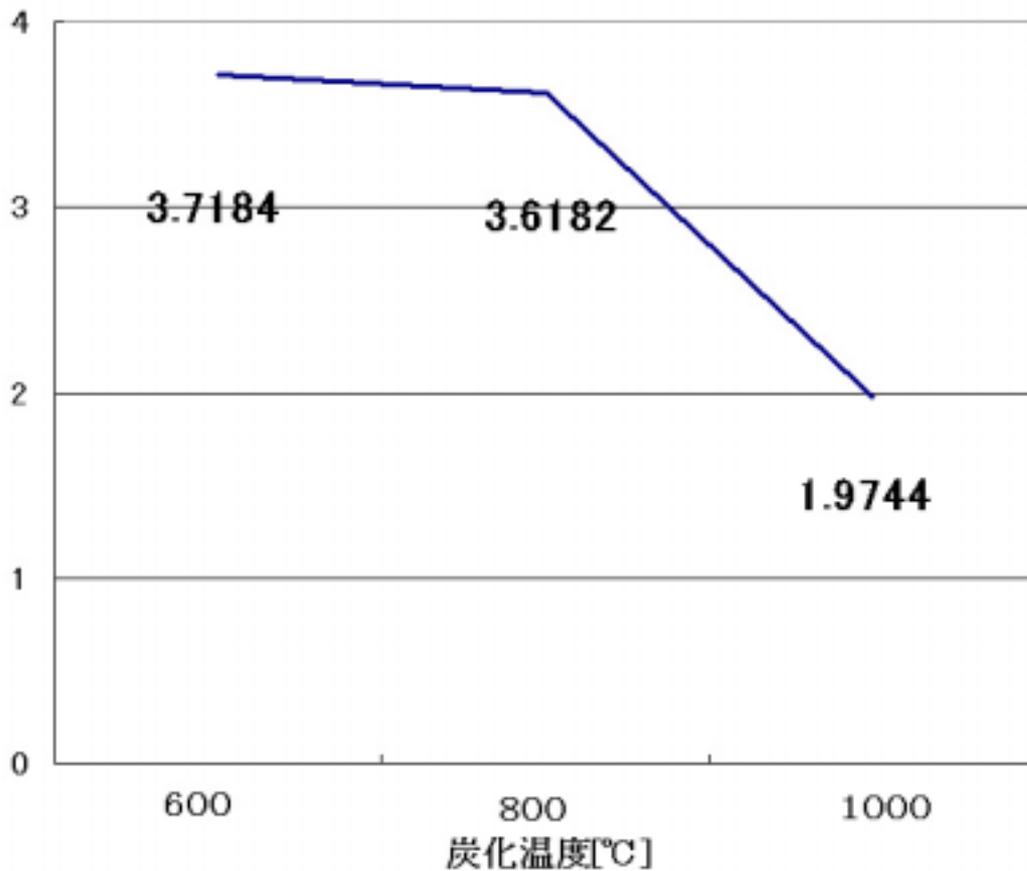


Fig.26 炭化温度と密度に影響する b の関係

まず b の値であるが b の値は 800 から 1000 の段階で大きく減少している。これは気孔の質が変化していると考えられる。気孔の形状が物理収縮により丸く小さくなっていったことを示していると推測される。今回それを証明するために SEM 写真の撮影を行った。今回の SEM 写真を Fig.27 に示す。

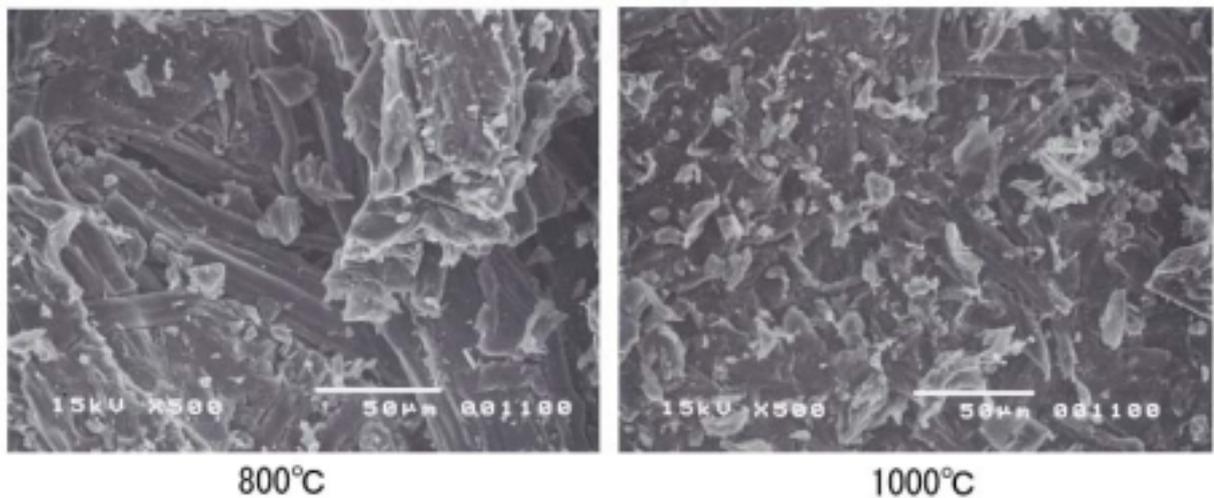


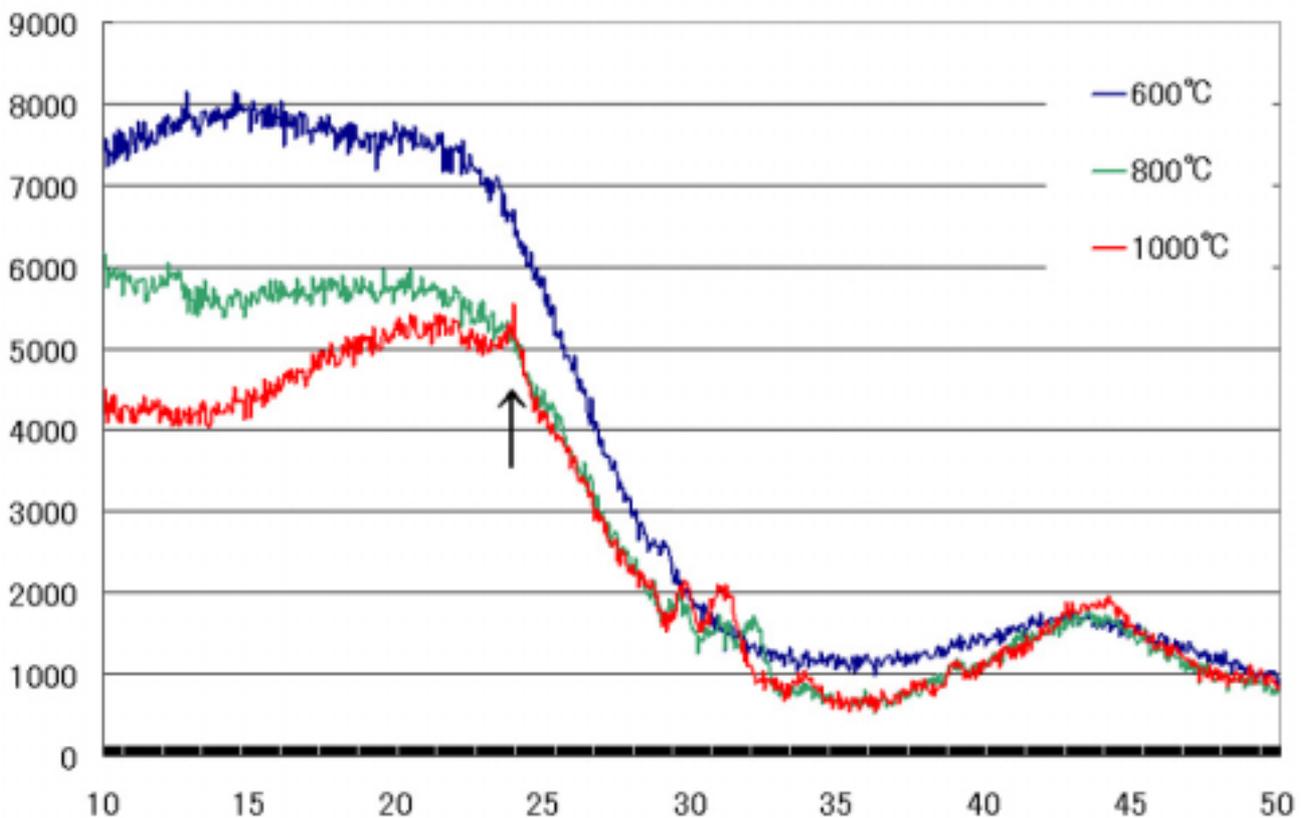
Fig.27 炭化温度別の SEM 写真

今回比較にあがった SEM 写真は温度域アルコール処理を行った竹の粉を成形温度 70~110 で作られた試料を 800 と 1000 で炭化したものを比較した。炭化温度が 800 の場合竹の繊維がはっきりと分かるくらい大きいとその分気孔も大きい。しかし炭化温度が 1000 で作成した試料は繊維も 800 のものと比べて格段に細かく気孔も細かいものが多数に存在する。

このことにより 800 と 1000 では基質に違いを生じていることが証明された

今回 k の値を見ると格段に 1000 の段階で数値が上がっている。これは基質自体が変化したことを示している。今回 800 から 1000 の段階で結晶化が進み黒鉛構造が多く出来た可能性が示される。決勝かが起きているかどうか調べるために、今回 X 線回折装置を用いて決勝の有無を調べることを試みた。今回の X 線回折装置の結果を Fig.28 に示す。

Fig.28 X線解析結果



今回の矢印の 26° 付近にピークが出来ているように見えることから完全な結晶体ではないが黒鉛の結晶が出来ている可能性が示される。測定した試料が粉体であるため、きれいなピークは出なかったものの炭化の温度が進むことによりよりよくピークがみてきた。そこで今回の k は熱により結晶化が進んだために基質の変化が起こったため値が変化したのだと推測される。

10、まとめ

今回の炭窯の実験により現段階で炭焼き経験者の経験と勘によって行われている炭焼きの工程の科学的解釈並びに技術の一般化の一指針が確立できた。炭窯の形状、大きさなどによっては必ずしもという訳ではないが、間伐材などの処理方法のひとつとしての技術の確立は出来たと思われる。

次に高密度炭の実験により備長炭の値を超えるが竹からの高密度炭が作成できるようになった。作成の方法としては 高密度を求める場合、低分子成分を前処理で除去してその後成形温度に 200 近い温度をかけ炭化温度は 1000 が望ましいことが分かった。しかし、強度面の強化を考えると低分子成分を前処理段階で除去せずに試料作成を行う必要がある。現段階では低分子成分が存在した状態で加熱加圧を行うと試料が型枠を壊さずに取り出すことが不可能である。今後の課題として成形枠の質を変えることにより処理を行っていない粉を使用した高温域での試料作成や繊維を用いての強度面の補強などが考えられる。

11、謝辞

今回の炭窯では、炭焼きの経験者である高橋さんに大変お世話になりました。この場を借りて厚くお礼を申し上げます。

12、参考文献

高圧力での気液固流動化における気泡形成の力学についての数値研究

Yii, G.Q. Yang, J.P. Zhang and L/S. Fan

Author Index of Volume 116 Subject Index of Volume 116

木炭

樋口 清之著 法政大学出版局

ファインセラミック工学

佐多 敏之著 朝倉書店

セラミック材料強度学

淡路 英夫著 コロナ社