

林 産 の 部

製炭試験(第3報)

わが国木炭の精煉に関する研究

—特に木炭の電気抵抗と精煉について—

Sadakichi KISHIMOTO: Studies on Charcoal Making. (The 3rd Report)
Studies on the refining in chacoal making in Japan.
—especially on the relation between electric resistance
and refining degree of charcoal.—

岸 本 定 吉*

目 次	
I 緒 言	136
II 精煉の意義および目的	136
III 精煉技術の発達	141
IV 精煉と炭質	146
1. 精煉と品質	146
2. 製炭における精煉効果	148
3. 精煉と電気抵抗	150
(1) 木材炭化温度と電気抵抗との関係	151
(2) 炭化温度継続時間と電気抵抗との関係	152
(3) 樹種と電気抵抗の関係	154
(4) 電気抵抗と炭素含有量の関係	156
(5) 木材炭化と電気抵抗	162
(6) 市販木炭の電気抵抗, 発熱量, 容積重, 硬度	164
4. 木炭精煉計	165
5. 精煉度を異にした木炭の性質	169
6. 精煉と燃焼および精煉適度	174
7. 精煉と吸着性	179
8. 一般木炭の精煉の程度	180
V 白炭の精煉	186
1. 白炭の精煉の目的	186
2. 精煉方法	186
3. 白炭窯の精煉開始時期および精煉時間	189
4. 白炭窯の精煉温度	191
5. 出炭と消火	192
VI 黒炭の精煉	193
1. 黒炭の精煉の目的	193
2. 黒炭の精煉方法	194
3. 黒炭窯精煉開始の時期および終了時期の判定	201
4. 黒炭窯の精煉時間および精煉温度	203
VII 精煉と収炭率	206
VIII 総 括	211
参 考 文 献	214
Résumé	216

* 林産化学部林産製造科長

I 緒 言

わが国の木炭の歴史はすこぶる古く、白鳳期にすでに白炭の記事がある。今日もなお年間 200 万 ton に達する多量の木炭を消費し、現在木炭はわが国家庭燃料の大宗をなしている。エネルギー資源の乏しい日本では、また生活水準の飛躍的改善を望み得ない現状では、かかる木炭の大量需要はなお今後とも当分続くことであろう。しかしながら、窮乏しつつある日本の森林は次第に製炭資材の供給を漸減しなければならない事情になりつつある。これが解決策は種々なる方法があるであろうが、製炭技術の合理的改善は確かに重要なその 1 つである。

精煉は後記のとおり、これがためにわが国の木炭は世界的に優秀であると考えられるが、精煉は炭材の灰化をひき起し易く、収炭率に著しい影響を及ぼす。したがって特に黒炭窯では精煉の必要を覚りながらも灰化を怖れて実行し難い状況である。

精煉操作は家庭燃料用木炭にせよ工業用木炭にせよ木炭の使用価値に大きな関係があるので、適当な精煉はぜひ行わなければならないが、現状ははなはだ行われ難い。この原因の 1 つは精煉技術が科学性を欠き、自信ある精煉が行われないうちにもよる。そこで早急に科学的であり、妥当性のある精煉技術を確立しなければならないと考えられる。

従来わが国の製炭技術はほとんど山間僻地で、自然発生的に一部の熱心な製炭家の苦心により、工夫改良されきたつたもので、したがって、その技術は人より人に伝わる熟練技術に終始してきた。精煉は製炭技術のうち、困難な技術の 1 つで、全く個人の勘に訴えられてきたと称し得られる。筆者は精煉について従來說かれてきた各説を蒐集し、自らも実験を行い、ここにわが国木炭の特徴をなす精煉技術に関しいささか結果を得たので報告する。

この研究は単に精煉の一端に触れたのみで、さらに今後の詳細な研究を期待して止まない。

本研究に当り種々御便宜と御指導を与えられた林業試験場林産化部長安倍慎氏、同じく研究に対し種々御便宜を与えられた木材部長斎藤美鶯氏、また終始熱心に実験に協力していただいた筆者の勤務する木炭研究室員諸氏、特に、内藤三夫、柄沢亀助、古谷剛、杉浦銀治、河野研一、雲林院源治の諸氏および前橋営林局に転勤した樋口優氏、また X 線解析に協力していただいた木材物理研究室宮崎幸男氏に深甚なる謝意を表する。

II 精煉の意義および目的

精煉とはわが国築窯製炭で炭化末期に行う熱処理を云い、その目的とするところは炭質を改良することにある。白炭と黒炭ではその方法は異なるが、基く理論は同様である。すなわち、白炭では炭化の終りごろ、通風量を著しく大きくし、炭材の樹皮を燃焼させて窯内を均一に 900°C~1,000°C に加熱し、次にその炭材を個々に窯口に掻き出し、さらに外部に残存する樹皮を完全に燃焼させ、炭材の温度を高め、かつ均等にし、炭質を均しく堅硬にする方法をい

う。通常掻き出された木炭は消粉と称されるもの、すなわち、炭粉、灰および土に僅かに水を混じたもので消火する。黒炭は炭化の終りごろ、煙道口を徐々に全開し、炭材に着火せぬよう注意しななら、ガス燃焼により窯内温度を上昇させ、炭材の揮発分を除去し、併せて木炭を堅硬にする方法で、通常、窯内温度は窯の部分々々で異なるが、約 $450^{\circ}\text{C}\sim 700^{\circ}\text{C}$ になる。精煉終了後は窯口および煙道口を密閉して消火する。

従来、精煉に関する諸家の説を引用すれば、三浦博士¹⁾は精煉を次のとおり説明している。「木材炭化ほぼ終了後、樹皮および炭材の一部を燃焼することにより、窯内を高温度となすことを精煉と称し、炭質の改善を行い、かつ未炭化部の残存を除く目的で行われるものである。黒炭窯では嘗てはほとんど精煉を行わず、炭化ほぼ終了したと認めた時は密閉消火したため、多量の未炭化部を残存し、燻煙する木炭を市場に出したことがあつたが、近時は黒炭製炭においても多少精煉を行うもので、燻煙する未炭化部が少なくなつた。白炭製炭では十分なる精煉を行う。元来、木炭は純炭素でなく、なお多少の有機物も残存するものであるが、精煉温度の高低により組成を異にするものである。故に硬質純良炭を得るためには高温度の精煉を行うものであるが、黒炭は窯内消火によつて製するが、白炭は窯外消火によつて製することは、この精煉の均等なる徹底を期するためである……………」。

また石川氏²⁾は、精煉期を特に硬化期と称し、以下のとおり説明している。

「硬化期とは自発炭化期を経過したる後にくる木材の熱分解期で、水素ガスその他を放散して炭素の含有純度が次第に高まる時期を称する。自発炭化期を経過したばかりの炭化物は著しく風化作用に犯され易いものである。この炭化物を高熱で処理すると水素ガス、その他を放散する故、炭素の含有率は漸次に高くなる。木炭は炭素の含有量の多いものほど風化作用に犯され難いものになる。木炭を空气中に放置するか、または温度を与え、或いは急激に冷却した場合に木炭の原形を保持しないで碎け、割れ、折れ等を生ずる現象を木炭の風化と名づける。……………。硬化期の温度は 400°C 以上であつて、黒炭は普通最高 $700^{\circ}\text{C}\sim 800^{\circ}\text{C}$ くらいに、白炭では $800^{\circ}\text{C}\sim 1,000^{\circ}\text{C}$ くらいまでで大体その目的は達せられる。硬化期に至れば空気は炭化分解によつて生じた可燃ガスを燃焼して窯内を高温度に誘導する必要上、窯内温度の上昇するにつれて漸次多量の空気を通風する必要を生ずる……………」。

中塚氏³⁾は精煉を次のとおり説明している。

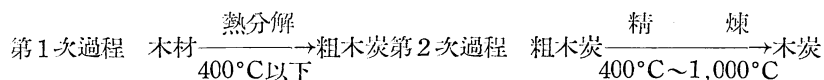
黒炭では「炭化が終りに近づくとき煙が無色になつてくるから煙突口を開け、通風口を拡大し空気を盛んに窯内に供給する。窯内温度は急上昇し、生成した炭は赤熱し、未炭化部は炭化し揮発分は出てしまい良質の木炭が出来る。この操作をネラシ（精煉）と呼んでいる。このネラシの操作は黒炭では昔は行わなかつたが、現今は行うのが普通である」。

また白炭では「炭化の終るころ、通風口および煙道口を大きくして空気を充分供給して窯内温度を上げると、炭は白熱状態にまでなる。次いで窯口を全部開けてしまう。白熱した木炭を

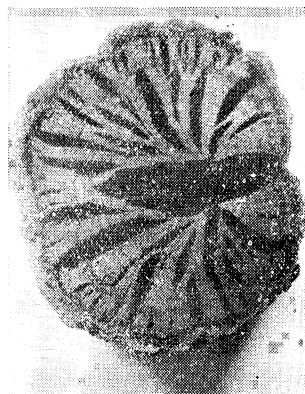
少量あて窯口まで掻き出しちよつとそこにおいてから窯外にかき出し消粉を掛けておく」。

また同一樹種を焼いた場合、白炭は黒炭より硬く緻密である。これは白炭が窯外消火による急冷のためでなく、三浦氏の実験によると緩徐に冷却しても急速に冷却しても硬度、容積重は変らない。その炭質は窯内の炭化温度に基因する。また精煉のみで炭が非常に硬くなるのではなく、炭化の速度にも関係している。緩徐に炭化せしめ、最後に高温に上げて精煉することが望ましいと述べている。

また著者は精煉を、木材炭化現象の1つとして、化学変化を主として考えれば、精煉とは木炭が形成されてから以後の炭化現象と考えられる。通常製炭は次の二段階に分けて考えられる。

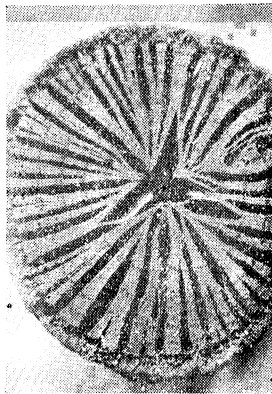


第1次過程は木材から木炭が形成される過程であり、第2次過程が木炭の質が改善される過程である。すなわち、この過程が精煉である。木炭の性質はこの2過程の処理、方法によりはなはだしく変化する。すなわち、如何に精煉を充分に行つても第1次過程の操作に失敗すれば、たとえば急炭化等を行えば品質の優良な木炭は得られない。第1図の木炭は急炭化により不良な炭質を得た木炭であるが、このような木炭は如何にその後精煉を行つても良好な木炭(第2図)にはならない。そこで第1次過程の木材炭化現象を考えれば、これには Klason⁴⁾, Fischer⁵⁾, Pictet⁶⁾ 等の研究があるが、いずれも温度上昇速度が1分間に3°~10° C 程度のものが多く、製炭窯の炭化速度(1分間に1° C 以下)に比しはなはだ大きすぎる。そこで製炭窯の炭化状態にやや近いと考えられる及川氏⁷⁾の実験によれば、及川氏はセルローズ(東洋濾紙定性用)、リグニン(硫酸リグニン)につき極めて緩やかな速度で炭化実験を行つた。すなわち、20°~25° C



第1図 不良木炭
樹種 クヌギ

Fig. 1. Charcoal of inferior quality.
Species. *Quercus acutissima* Carr.



第2図 優良木炭
樹種 クヌギ

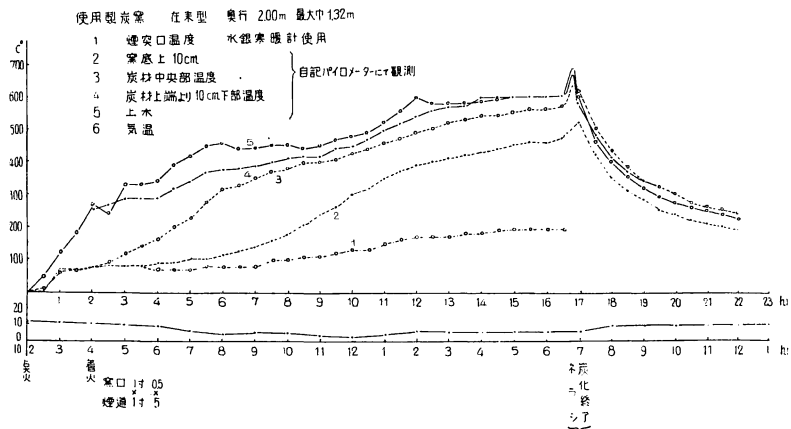
Fig. 2. Charcoal of superior quality.
Species. *Quercus acutissima* Carr.

の間隔で温度を上昇し、ガスの発生を認めてからその温度で一定に保ち、ガスの発生が終つてから再び温度を上昇するようにした。かくして得られた結果はセルローズの分解は200°~220° C ではじまり、270° C 附近に著しい極大がある。これは Pictet, Klason, Fischer の実験とも一致する。

次に小さな反応の Max は

410°C 附近にあるが、これは分解生成物の二次分解であろうと推定されている。リグニンでは 280°C 附近にかなり激しい分解が起るが、その生成物は安定であり一部はタールとして流出し、残留物は 400°~420°C で最もはげしく分解されガスの発生量が多いということを報告している。

桑田氏³⁾等が松材につき乾溜実験を行つた結果によれば、ガスの発生は 280°C 附近に著しい山を有し、次に 400°C 附近に第2の山が認められたが、前記及川氏の実験を参照すれば、前者がセルローズ分解の山であり、後者がリグニン分解の山であると認められる。すなわち、リグニン分解以後の炭化現象が精煉と認められる。製炭窯では以上のようにセルローズおよびリグニンの分解点判然とせず、窯内にはまだ木材のままのもの、セルローズ分解点のもの、リグニン分解点のもの等、各段階の炭化が一様に漸進的に天井部から窯底部に向い進行し、窯底部がリグニン分解点に達してから精煉に移ると考えられる。第3図には窯内炭化曲線の一例を示したが、最初は天井部が温度が高いが次第に窯底部の温度も上昇し、最後には両者に著しい差がなくなるが、これは炭材の上記変化を示していることと考えられる。



第3図 黒炭窯炭化温度曲線

Fig. 3. Carbonization temperature in black charcoal kiln.

田丸氏⁹⁾はセルローズを種々なる炭化条件で炭化し次の結果を得た。すなわち、「セルローズは加熱されると、まずエーテル結合部が弱まり、その結果生じた低分子化合物は一部は逸散して炉外に凝縮する。他の部分は脱水、重合して高分子化合物をつくり、この高分子化合物はさらに熱を加えられることにより、 CO_2 , CO , CH_4 , H_2 その他の気体がその中から切れて脱け出て行き炭化が進行する」。すなわち、精煉とは形成された高分子化合物から、加熱により CO_2 , CO , CH_4 , H_2 その他の気体が脱出する現象と考えられる。

赤松氏¹⁰⁾は物理化学的見地から炭化現象を次のとおり説明している。

炭化とは炭素化合物が熱分解と同時に、高温においてより安定な形態である炭素六原子環の網平面的構造への縮合、すなわち、aromatic condensation が起る現象と考えられる。通常、

有機化合物を加熱すると、多くは $300^{\circ}\text{C}\sim 400^{\circ}\text{C}$ においてすでに見かけ上変化が起るが、その時はすでに原物質の結晶構造がこわれ、X 線廻折像は Carbon pattern に変化する。これは aromatic condensation の初期段階であつて、網平面の拡がり小さく、周辺には種々の炭素結合が残されていることが想像される。このような部分はいわゆる樹脂状の炭化水素と大差がないであろう。

さらに加熱を続けるとこのような部分は低分子の炭化水素として逸散し、一方不飽和の炭素結合は整理されて次第に縮合は進行し、網平面の拡りは増大する。 $500^{\circ}\text{C}\sim 600^{\circ}\text{C}$ の加熱においてもなお網平面の周辺の未整理の炭化水素は存在し、これが炭の性質を論ずる場合には大きな役割を演じている。

$700^{\circ}\text{C}\sim 800^{\circ}\text{C}$ に加熱すると一般に carbon の性質は急激に変わるものである。すなわち、炭化水素の逸散は一応なくなり、比重、電気伝導性等も急激に増大し、この時 aromatic condensation も一応ある段階に達し、網平面の周辺の未整理の炭素結合は一応整理されたものとして考えられる。このような段階を Elementary carbon という。木炭では繊維素が熱重合したものが固態状態、或いは高粘度の液態状態で aromatic condensation が行われる。この場合には加熱によつて生ずる種々の炭素結合は恐らく一種の樹脂状態、またはガラス状態にでもするものと見做され、その中に各所に漸次炭素六原子環の網平面が形成され、その周辺には、多種類の炭素結合が残留し、それ等が各網平面の間に一種の架橋結合の役割をなし、全体として多孔性の塊状体になると説明されている。

また Riley 等^{(11) (12) (13)}はX線廻折によりセルローズ炭の炭化状況を観察した。すなわち、セルローズ炭の炭化温度 $400^{\circ}\text{C}\sim 1,300^{\circ}\text{C}$ までの試料につきX線廻折を行い、微結品の発達状況および微結晶周辺の Amorphous の部分の変化を追求した。微結晶の生長は 700°C までは急速に進むが、それ以上は緩やかになる。すなわち、 700°C 以上の炭と以下の炭では著しく性質が異なることを報告している。Chaney⁽¹⁴⁾ は炭化温度 600°C 以下の炭は活性が大きく、 600°C 以上の炭は活性が小さいことを述べているが、Riley 等のX線廻折による炭素構造の説明ともほぼ一致し、またこの性質はわが国木炭の精煉温度、特に黒炭の場合に密接に関係するので深く注目せられる。

そこで、精煉を物理化学的に説明すれば、木材の高分子構造が熱分解されて X 線廻折像が carbon pattern に変化した後の加熱による解重合現象が精煉である。すなわち前記 aromatic condensation の過程が精煉と考えられる。

かかる物理化学的解釈にしたがつて木炭を考えれば、木炭は炭化温度 700°C 以下の木炭と 700°C 以上の木炭ではその間にはなほだしい性質の差が認められることになるが、実際の木炭についても $600^{\circ}\text{C}\sim 700^{\circ}\text{C}$ における精煉温度により、木炭の性質は後記のとおり著しく異なる。白炭と黒炭の性質の差はその精煉温度の差、特に 700°C 附近の温度に基因すると考えられる。

以上、精煉に関する諸説および諸考察を総合すれば、精煉は次のごとく定義づけられると思う。

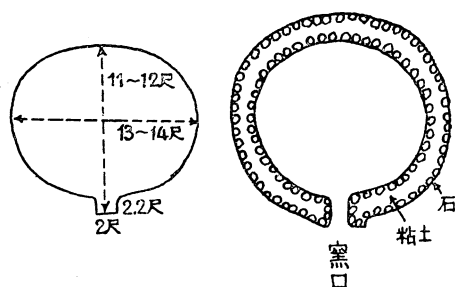
精煉は築窯製炭で炭化のほぼ終了するころ、炭質の改良、特に揮発分の除去と堅硬度の増加を目的とし、その熱源には白炭は炭材の一部、主として樹皮燃焼を熱源となし、黒炭は主として炭材中の揮発分の燃焼、すなわち、ガス燃焼を熱源とし炭素構造に物理化学的变化を与える熱処理法の一つである。

Ⅲ 精煉技術の発達

製炭のはじめのころは無蓋製炭法或いは坑内製炭法が行われたと考えられるが、かかる時代にはもちろん精煉操作は必要としなかつたが、片山氏¹⁵⁾に依れば白炭窯は平安時代に発達し、黒炭窯は鎌倉期に発現し、ほぼ室町期に完成した事を述べている。すなわち、同氏によれば白鳳期の3年(623)すでに白炭の記事があり、伊勢物語(904)にも同様白炭、松炭(ラクダ炭)の記事がある。炭窯の排煙口を現在でも大師穴と云い、弘法大師の伝説に結びつけているが、わが国最初の築窯製炭の木炭は白炭であり、しかも弘法大師(772~835)その他当時の僧侶により、支那から伝来された技術にはほぼ相違ないであろうと推定される。

宇野氏¹⁶⁾は土佐白炭窯(第4図)の起元を弘法大師布教時代と推定している。

平安時代すでに白炭が処々で製造され、しかもその技術も相当に発達したことも疑ないことであろう。片山氏¹⁵⁾は、当時の白炭の記事に関し枕草紙(1000)、万葉和歌集(1127頃)、新古今集(1205)等に記載され、或いは詠われた白炭の記事により、当時の白炭の産地として大原地方および泉州横山地方をあげている。そして紀州炭窯¹⁷⁾¹⁸⁾、いわゆる、熊野白炭は泉州横山地方から伝承されたものであろうと述べている。

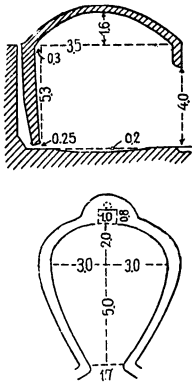


第4図 土佐窯(原図 宇野:林産製造学)
Fig. 4. Tosa-kiln.

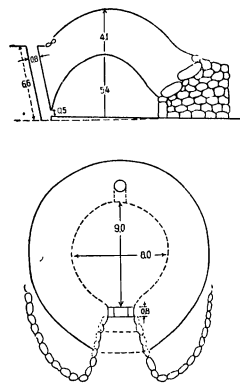
従来わが国白炭の代表をなす備長炭は元禄2年備後屋長右衛門により創造されたという説は疑われ¹³⁾ているが、平安時代の白炭が今日の備長炭にみるような優良な白炭であつたか否かは不確実である。

明治初年¹³⁾のころの備長炭は今日の備長炭より著しく品質が粗悪であつたということが当時の炭窯の構造から推定されている。

黒炭窯は鎌倉時代亀山期¹⁹⁾のころ出現したとせられているが、鎌倉時代には七座制度があつてその中の1つに炭の座があつたことを考えれば当時木炭需要は相当に大きく、したがつて、窯外消火の白炭に代る量産し易い窯内消火の黒炭が出現したことも当然のことと考えられる。



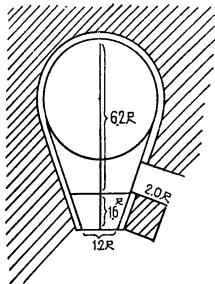
第5図 備長窯
(原図 三浦, 炭窯百態)
Fig. 5. Bincho-kiln.



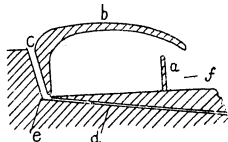
第6図 池田窯 (約30年使用し、天井厚さ4尺に達した。最初は天井厚さ約8寸で、毎年覆土する)
(原図 大阪府調査)
Fig. 6. Ikeda-kiln.

次いで室町期には、茶の湯の発達につれて製炭技術は著しく進歩したが、特に紹鷗、利久のころ池田炭¹⁹⁾ が出現した。池田窯も使用されているが、現在の改良窯と比較 (第6図) すると著しく原始的である。池田窯は天正2年中川勘兵衛²⁰⁾ により創設されたとされている。関東では佐倉窯が黒炭窯のはじめとせられているが (川上右近, 寛政5年²¹⁾) その構築方法から考えて池田窯から伝承されたもの¹⁷⁾であろう。

徳川時代においては、前記のころ、炭質の向上、並びに依装が進歩したが、後期に



第7図 大正窯
(原図 宇野, 林産製造学)
Fig. 7. Taisho-kiln.

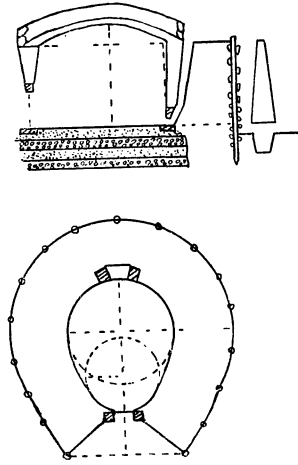


第8図 英窯
(原図 宇野, 林産製造学)
Fig. 8. Hanabusa-kiln.

においてはほとんど認められる進歩²¹⁾がなかつた。明治時代においては明治28年、田中長嶺氏が佐倉窯を改良した菊炭窯を創設したが、これが改良窯²²⁾の先駆をなし、白炭窯、黒炭窯ともに長足の進歩をしたことが伺える。榑崎圭三氏は明治末期、排煙口の改良をはかり榑崎窯を創設した。静岡県では大正元年木炭同業組合が製炭窯の改良をはかり特に障壁構造について研究し、大正窯 (第7図) を設計した。この窯は今日の日本の改良窯に重要な影響を与えた。その他大竹窯、英窯 (第8図) 八名窯等が設計されたが当時においては黒炭窯の精煉技術は進歩せず、主として未炭化を防止するために排煙口構造が研究されていた。このうち英窯は通風口精煉を企図している。

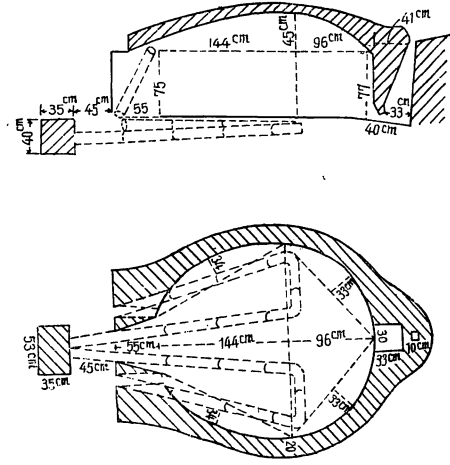
白炭窯では吉田頼秋氏が吉田窯 (第9図) を設計したが、この窯は煙道が太く、いわゆる、煙道精煉を行う窯で従来の窯口精煉を主とする備長窯に比較し画期的白炭窯であると考えられる。

大正15年、朽沢亀助氏は大正窯より暗示を得て、朽沢窯 (第10図) を設計した。加熱室を別に設計した窯で精煉時の操作は考慮していないが最近の改良窯の先駆をなすものである。三浦博士²³⁾ は黒炭窯に精煉管を装置し、その結果について実験を行い、その有効なることを確かめたが、さらに牧氏²³⁾等は精煉管を装置せる清澄窯 (第11図) を設計し、窯内前後部をほぼ均しく約800°Cに加熱することを可能となし、白炭に等しい黒炭を生産することが



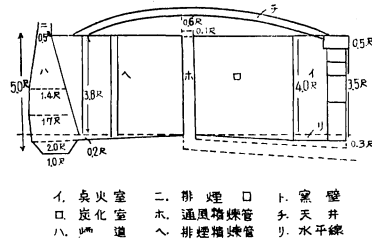
第9図 吉田白炭窯
(和歌山県林業試験場
報告第2号より作図)

Fig. 9. Yoshida-white charcoal kiln.

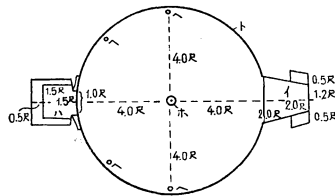


第10図 柄沢窯
(原図 三浦外 改良黒炭窯試験成績
(昭和11年))

Fig. 10. Tochizawa-kiln.



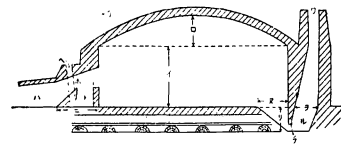
イ. 鼻火室 二. 排煙口 ト. 窯壁
ロ. 炭化室 ホ. 通風管 チ. 天井
ハ. 煙道 ケ. 排煙管 リ. 水平線



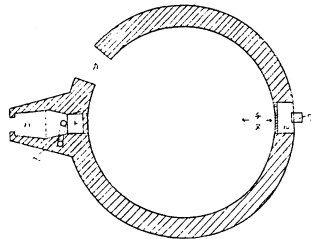
第11図 清澄窯 (A式)

(原図 宇野, 林産製造学)

Fig. 11. Kiyozumi-kin. (Type A)



イ. 窯壁 ト. 通風管
ロ. 炭化室 ホ. 通風管
ハ. 煙道 ケ. 排煙管
リ. 水平線



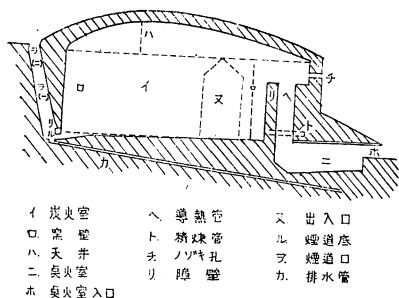
第12図 農林1号窯

(原図 農林省山林局, 農林1号窯の手引)

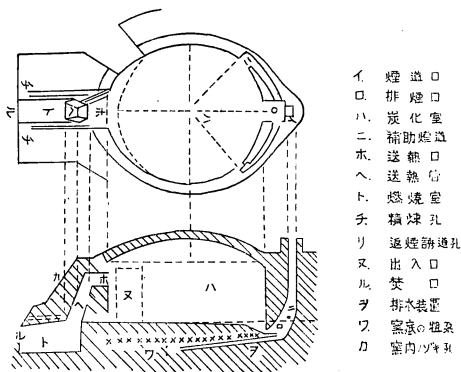
Fig. 12. Norin No. 1-kiln.

出来た。従来、黒炭窯では精煉についてはほとんど考慮せられなかつたが、この窯以後、黒炭の精煉が注目せられるに至つたと称し得られる。すなわち、黒炭の精煉は昭和年代になつてから著しく注目せられるに至つた。その後、柄沢窯と同一系統と考えられる市岡窯 (昭和8年)、石川窯 (昭和7年) さらに石川窯を基礎とする農林1号窯 (第12図 (昭和17年) 等があるが、これらは精煉よりむしろ灰化量を少なくするため、通風制限或いは燃焼廃ガス加熱をはかつた窯と考えられる。

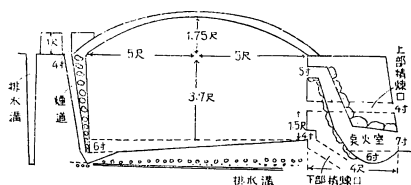
昭和18年栗駒窯 (第13図) が発表されたがこの窯は農林1号式加熱方法と炭化末期の精



第 13 図 栗 駒 窯
Fig. 13. Kurikoma-kiln.

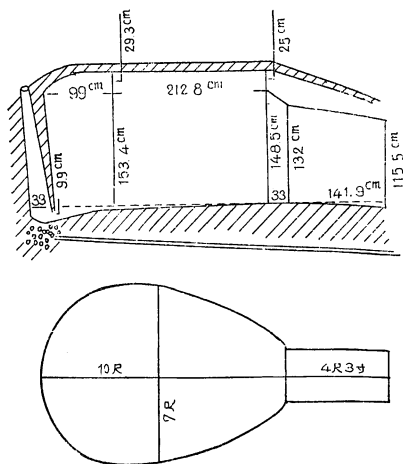


第 14 図 新 信 濃 窯
(原図 長野県, 新信濃窯製炭法)
Fig. 14. New Shinano-kiln.

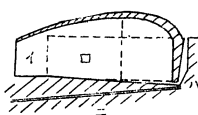


第 15 図 秋 田 半 白 炭 窯
(原図 秋田県木炭改良組合半白炭製造法)
Fig. 15. Akita-semi white charcoal-kiln.

煉とを考え、特に精煉管を設備している。このころより後の改良黒炭窯には精煉管を設備したものが多い。広島県式B式窯 (昭和 18 年), 新信濃窯 (第 14 図昭和 26 年), 防長式黒炭窯 (昭和 25 年), 秋田半白窯 (第 15 図昭和 26 年) 等皆この型式である。また、加熱室等を設けず、排煙口、煙道、窯底構造等に改良を行つたほかには特に窯型に異状なく、いわゆる在来型の改良窯もある*。白炭窯においても煙道精煉のほかには窯口精煉も行ういわゆる折衷精煉と称する白炭窯が使用されてきている。新信濃白炭窯はこの例である。



第 17 図 新 居 式 製 炭 窯
(原図 徳島県, 新居式製炭法)
Fig. 17. Nii-kiln.



第 16 図 小塚試験地在来窯 (国有林型在来窯)
Fig. 16. Kozuka usual-kiln.

り急速に発達した技術ではないかと推定される。

特に黒炭窯では室町時代に¹⁹⁾紹鷗, 利久により皮焼操作が案出せられたとせられている

* 小塚製炭試験地在来窯 (第 16 図) 新居式製炭窯 (第 17 図) はこの例である。

Ⅳ 精 煉 と 炭 質

1. 精煉と品質

木炭の品質とは実用上の見地から特に、その必要性のために要求される性質であつて、物理的或いは化学的性質とは意味を異にするが精煉とは密接な関係がある。

通常、木炭品質の判定要素に挙げられている諸条件²⁴⁾は主として次の通りである。

(1) 白炭

- | | |
|-------------------|--------------------------|
| i 硬度が高いこと。 | ii 破砕面貝殻状をなし、金属光沢を帯びること。 |
| iii 打てば金属音を発すること。 | iv 炭素含有率大なること。 |
| v 容積重大なること。 | vi 発火点高く、燃焼速度小なること。 |
| vii 樹皮の残存しないこと。 | viii 上端部、下端部、ともに灰化しないこと。 |
| ix 縦裂、横裂目のないもの。 | x 横断面の亀裂目のないもの。 |
| xi 爆跳しないこと。 | |

(2) 黒炭

- | | |
|-------------------|---------------------------|
| i 樹皮の密着すること。 | ii 上端部灰化しないこと。 |
| iii 縦裂および横裂のないこと。 | iv 横断面は充分に縮り、裂け均等で細いこと。 |
| v 硬いこと。 | vi 破砕面は貝殻状をなし、金属光沢を有すること。 |
| vii 打てば金属音を発すること。 | viii 爆跳しないこと。 |
| ix 立消しないこと。 | |

以上の諸要素は炭化条件によつて異なる。すなわち、急炭化を行えば縦裂、横裂の多い軽鬆な木炭となり、精煉が不充分ならば堅硬な木炭は得られない。また、以上の諸要素の中には肉眼或いは経験で判定し得られる要素もあり（例えば、光沢、音響、割裂、等の諸要素）、また計器或いは実験によらねば判定し得ない性質もある（例えば硬度、容積重、立消、爆跳等の諸要素）。そこで以上の諸要素と炭化条件および判定方法との関係を考究すれば第1表のようになる。

すなわち、白炭では品質の判定要素 12 のうち、樹種に關係する要素 7（そのうち 2 は＋，－），炭化中の異状に關係する要素 7（そのうち 1 は＋－），精煉に關係する要素 11（そのうち 1 は＋－）で精煉に關係する要素が最も大きい。

また、黒炭では品質判定要素 9 のうち、樹種に關係する要素 6（そのうち 2 は＋－）炭化の異状に關係する要素 7，精煉に關係する要素 7（そのうち 2 は＋－）となり、炭化に關係する要素が最も大きい。

さらに上記判定要素を A. 肉眼或いは経験で判定し得られる要素と、B. 計器或いは実験によらなくては正確には別定出来ない要素とに分ければ、白炭は品質判定要素 12 のうち A に属する要素は 8（そのうち 2 は＋－）、B に属する要素は 6（そのうち 2 は燃焼実験を要す

第1表 木炭の品質，判定要素と樹種，炭化条件等の関係

Table 1. Relation between classification elements of charcoal qualities and species and carbonization condition etc.

炭 種	要 素	樹 種	炭 化	精 煉	肉眼或いは 経験で判定	計 器 で 判 定	催 考
白 炭	i	+	+	+	—+	+	要素欄の記号は前項品質判定の要素記号と同じ + 関係あり — 関係なし +, —や関係がある 炭化および精煉の区別は製炭における区分に同じ。
	ii	+	+-	+	+	—	
	iii	+	+	+	+	—	
	iv	—	—	+	—	+	
	v	+	+	+	—+	+	
	vi	—+	—	+	—	+	
	vii	—	—	+	+	—	
	viii	—	+	+	+	—	
	ix	—	+	+-	+	—	
	x	—	+	—	+	—	
	xi	—+	—	+	—	+	
	xii	+	—	—+	—	+	
計	12	7 (2)	7 (1)	11 (2)	8 (2)	6	() 内は+-の数を示す
黒 炭	i	+	+	—	+	—	同 上
	ii	—	+	+	+	—	
	iii	—	+	+-	+	—	
	iv	—+	+	—	+	—	
	v	+	+	+	+-	+	
	vi	+	+	+	+	—	
	vii	+	+	+	+	—	
	viii	+-	—	+	—	+	
	ix	+	—	—+	—	+	
計	9	7 (2)	7	7 (2)	7 (1)	3	同 上

る), すなわち, Aに属する要素が大きい。またBに属する要素のうち, 計器を必要とする要素4はすべて精煉に関係する要素である。また炭化の異状に基く要素はその大部分が肉眼或いは経験により判別し得られる。

黒炭では, Aに属する要素は7 (そのうち1は+-), Bに属する要素は3。また, 炭化の異状に属する要素はほとんど肉眼或いは経験により判定し得られる。また, 精煉に属する要素のうち計器の使用を必要とする要素は硬度の1要素に過ぎず, 燃烧実験を要する要素を除けば, 他は肉眼または経験でことごとく判定し得られる要素である。

すなわち, 以上の結果を総合すれば, 精煉が木炭の品質に及ぼす影響は第1表の通り, 白炭では硬度, 容積重, 炭素含有率等 11 要素に達し, 白炭の品質判定全要素 12 のうち 92% に達する。そのうち計器によらねば正確には判定し得ない要素は4要素, すなわち, 硬度, 炭素含有率, 発火点, 容積重の4要素である。白炭ではこれらの諸要素は相互に関連性が大きく, 例えば, 硬度の大なるものは炭素含有率も大きく, 発火点も高く, 容積重も大きい。したがつ

て測定に最も簡易な硬度の測定が実用上行われているが、以上の推論では品質判定には実用上硬度測定だけで充分であると考えられる。

黒炭では精煉が木炭の品質に及ぼす影響は7要素であつて、全要素9のうち78%に達する。白炭よりは少ないが、そのうち計器を要する要素は前記の通り硬度の1要素に過ぎず、硬度計があれば充分である結果になるが、実用上も主として硬度計により判定せられている。

2. 製炭における精煉効果

製炭する時精煉操作が炭質に実際どのくらい影響するか、実験例を得るために筆者等²⁵⁾は昭和24年2月山形県最上郡及位村林業試験場釜淵分場附近国有林内で山形日窯について実験した。山形日窯は秋田日窯とほぼ同様の窯型で第18図のごとき形の白炭窯である。

この窯で精煉を充分に行つた場合、すなわち、精煉時間2時間15分のものと、精煉を行わない場合すなわち、精煉時間0のものとの比較実験を行い、その木炭につき炭質を試験し、第2表の通りの結果を得た。なおこの試験の炭化状況は第3表に示した。

炭質試験は次の通り行つた。

硬度は三浦式木炭硬度計を使用し常法の通り測定した。また、容積重は木炭容積重計を使用し、発熱量はベルテロー、マラーカロリメーターにより測定した。電気抵抗は試料を磨布で平滑にし、さらにその表面を磨ガラス板で研磨し、その表面2点間(間隔2cm)の電気抵抗を約100 kg/cm²の圧を加えた眞鍮電極により測定した。抗压強度は一定型に研磨した試料をアムスラー万能試験器にて測定した元素分析はリービツヒ、マクロ装置を使用した。

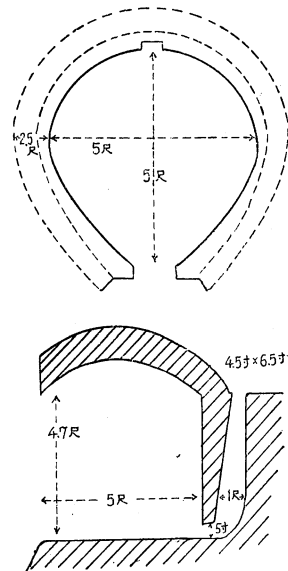
第2表 精煉の程度を異にする木炭の性質
Table. 2. Charcoal qualities of differential refining.

樹 種 区 分	コ ナ ラ		ブ ナ		備 考
	A	B	A	B	
硬 度	10.5	7.5	8.0	4.0	A. 精煉充分 のもの
容 積 重	0.52	0.45	0.60	0.45	
発 熱 量	8059	7824	7853	8017	B. 精煉不充 分のもの
電 気 抵 抗 Ω	11.5	∞	8.5	243.0	
抗压強度 kg/cm ²	620	310	620	150	
木炭組成 %	C	93.44	83.53	93.18	85.59
	H	0.87	3.70	0.88	1.43
	O	3.43	11.31	4.23	11.34
	灰 分	2.26	1.46	1.71	1.64

註 精煉の程度は第3表山形日窯による炭化状況に示した。

すなわち、

- A. 精煉充分のものの精煉時間 2時間 15分
B. 精煉不充分のものの " 0時間



第18図 山形日窯
Fig. 18. Yamagata daily-klin.

第3表 山形日窯による炭化状況
Table 3. Carbonization by Yamagata daily-kiln.

区	分	A	B	備 考
炭材および出炭量 kg	炭 材	794.3	884.0	A. 精煉充分
	木 炭 量	93.0	112.9	B. 精煉不充分
	粉 炭 量	3.8	4.1	使用製炭窯 山形日窯
	計	891.1	1001.0	
炭 化 率 %		12.2	13.2	試験期日
炭 化 温 度 (最高)		890	530	昭和24年2月10日～2月12日
製炭所要時間	炭 材 詰 込	45分	45分	場 所
	口 焚 開 始	2時45分	3時40分	山形県最上郡及位村釜淵分場
	炭 化	18〃35〃	18〃00〃	
	精 煉	2〃15〃	0	
	出 炭	30〃	29〃	
	計	24〃50〃	22〃24〃	

註 精煉の方法

煙道口ははじめに 20 %を開き 30 分後半開、次第に全開し、窯口戸前石の上部左右に直径 5 分の孔 2 コを設け、戸前石下部の左右の隅には下巾 2 寸 3 分、上巾 5 ～ 6 分、高さ、3 寸 5 分、～ 5 寸の梯形に開口した。出炭に際しては窯口精煉を行つた。

精煉時間は A 2 時間 15 分 B 精煉時間なし。

出炭に要した時間は約 30 分であつた。したがつて B の木炭も窯外消火により、窯口精煉の影響を受けた。

実験結果は第2表に示したが、硬度はコナラ、ブナともに精煉を充分に行つたものは未精煉のものに比し著しく高くその差 3 ～ 4 度に達した。容積重は精煉充分のものは、未精煉のものより大きくその差は 0.07 ～ 0.15 に達した。

発熱量は精煉の程度の差による変化は認められなかつた。電気抵抗はコナラ、ブナともに精煉の程度により著しい差を生じた。すなわち、コナラでは精煉を充分に行つたものは 11.5Ω であるにかかわらず未精煉のものは測定不能であつた。またブナでは精煉を充分に行つたものは 8.5Ω であつたが、未精煉のものは 243.0Ω であつた。

抗圧強度は精煉充分のものは、未精煉のものに比し著しく強度は大きく、その差は 310 ～ 470 kg/cm² に達した。元素分析の結果はコナラ、ブナともに精煉充分のものは未精煉のものに比し炭素含有率は大きく、水素および酸素含有率は少なく、灰分はやや大きい傾向がある。

以上の結果により製炭においては精煉の程度により、木炭の性質は著しく変化することが判明した。したがつて精煉の目的は明らかに炭質の改良を目的とすると云い得られる。

木炭の性質が精煉、すなわち、熱処理の程度により異なることは炭化に関する赤松氏の前記

説明、また Riley 等の X 線廻折による研究結果によつても推察される。すなわち、木炭の性質は加えられた熱処理によつて、常に性質が変わるので、木炭の性質を比較する際には、あらかじめその木炭に加えられた熱処理の程度、すなわち、精煉の程度を明らかにしておく必要がある。すなわち、同一熱処理の程度、同一精煉の程度でなければ木炭の性質の比較は困難である。

たとえば第2表でコナラとブナを比較する時、精煉の程度、すなわち、熱処理の程度を異にした時は比較が困難になる。コナラの未精煉の硬度は7.5であるが、ブナの精煉充分のものの硬度は8.0である。したがつて精煉の程度を考慮せずにコナラとブナの木炭の硬度を比較する時にはブナがコナラより硬いということになり一般の事実に反する。すなわち、木炭の性質の比較にはその熱処理の程度を驗し、その同一熱処理の木炭につき性質を比較するものでなければならない。特に木材炭化では 700°C 附近で木炭の性質は著しく異なるので、熱処理の条件を同等にする必要がある。しかしながら木炭が与えられた時、その木炭に加えられた熱処理の程度、すなわち、精煉の程度を逆に判定することは簡単ではない。複雑な各種分析方法を要するからである。そこで筆者等³⁰⁾は後記の通り木炭の電気抵抗が熱処理の程度により鋭敏に変化することを利用し、与えられた木炭の熱処理の程度を簡単に判定する特殊電気抵抗計を試作した。これが木炭精煉計である。これについては後記する。

3. 精煉と電気抵抗

木炭も一般無定形炭素類と同じく石墨に類似する微結晶とその周辺の無定形部分よりなることは、すでに 1917 年 Debye と Scherrer による X 線²⁷⁾ による研究以来多くの研究者によつて行われ、前記の Riley 等の研究もその1つである。したがつて、木炭の電気伝導性も基本的には石墨の電気伝導性と共通な性質を有するであろうと考えられる。R. R. Wallace³³⁾によれば、石墨の電気伝導性はその共軛二重結合電子、いわゆる、 π 電子に基づくといわれている。木炭の高次構造を前項(Ⅱ)の通り、樹脂状態、或いは、ガラス状態にある炭素結合の中に、各所に炭素6原子環網平面、すなわち、前記石墨の微結晶に類似する微結晶が形成され、網平面周辺には多種類の炭素結合が残留し、それ等が各網平面の間に一種の架橋結合の役割をなし、全体が多孔性の塊状体をなすと考えれば、電気伝導性はその六原子環網平面、すなわち、前記微結晶の発達状況およびその周辺の Amorphous の部分の存在状態に関係することになる。また、赤松氏²⁹⁾等は炭化現象と電気抵抗との関係を次のごとく述べている。

「炭化というのは炭素6原子環の網平面が完成され、クリスタリットが生長する過程にほかならない。それ故、このクリスタリットを基本粒子と見做すならば、その周縁というのはかかる網平面が完成されないで、多数の不規則な炭素結合よりなる領域を指すことになる。このような領域の構造が二重結合を有する網平面的構造から遠ければ遠いほど、固有抵抗の値は大きい」。

Riley 等の前記(Ⅱ)研究から考えれば、炭化温度が高くなるにしたがい、クリスタリット

は生長し、周辺の Amorphous の部分は減少すると考えられ、したがって、電気伝導性は炭化の進行に従い、当然増大すると考えられる。そこで精煉を物理化学的に解すれば前記の通り（Ⅱ）加熱によるクリスタリットの生長とその周辺の Amorphous の部分の減少を意味するので結果として木炭は精煉により電気伝導性は良好になると解せられる。

また、Davis および Auvi³⁰⁾ はガスコークスの電気抵抗とその含有揮発分とが密接に関係することを実験したが、日立研究所の高橋氏³¹⁾ は木材、コルク、濾紙、石炭酸フォルムアルデヒッド樹脂、コールタールピッチ等を炭化し、それ等の炭素粉末の電気抵抗を測定し、また一方それらの含有分解揮発分量を測定したところ同様に分解揮発分量と電気抵抗との間には直線的関係があることを示した。また、木材には松、杉、桜を使用した、同様に直線的関係を示し、しかも樹種間の差は僅少であつた。

精煉とは含有分解揮発分を除去して、炭素含有量が高める炭化現象とも考えられるので、以上の実験結果からも電気抵抗は精煉の程度を充分示し得ると考えられる。また、豊田³²⁾ は無煙炭およびベークライト C を種々の温度で熱分解した試料の電気抵抗およびその温度特性を測定し炭素の電気抵抗および温度特性は半導体の式によく合い、焼成温度の上昇とともに著しく減少するが、その温度さえ与えられればほとんど一義的にきまつてしまうと述べている。

そこで筆者等²⁹⁾ は精煉と電気抵抗との関係を知る基礎実験として、まず木材の炭化温度と電気抵抗との関係を調査した。

(1) 木材炭化温度と電気抵抗との関係

実験方法は次の通りに行つた。

i 試料

コナラ材（16年生）を一定型（1×2×4cm）に鉋削し、横型円筒状電気炉でステンレス製レトリートを用い、1分間 3° C の炭化速度で窒素気流中で炭化後一定型に磨布およびガラス板で研磨した試料を用いた。

ii 電気抵抗の測定

電気抵抗の測定法には粉末法、直接測定法等があるが、筆者等は直接測定法を使用した。すなわち、試料の両辺を研磨し、その大きさをマイクロメーターで測定後金属板を密着させ、隙間には石墨粉末を充填し、電流を通じその表面二点間の電位差を電位差計で計測した。また、別に同一試料を特に設計した特殊電気抵抗計（後記、木炭精煉計）で計測した（電気抵抗値を比較のため）。

iii 容積重および硬度の測定

容積重は木炭容積重計を使用し、硬度は三浦式木炭硬度計を使用した。

実験結果は第4表に示したが、電気抵抗は 600° C と 700° C との間に著じるしい差が認められた。容積重は 800° C 以上のものには差が認められなかつた。硬度は 800° C までは著し

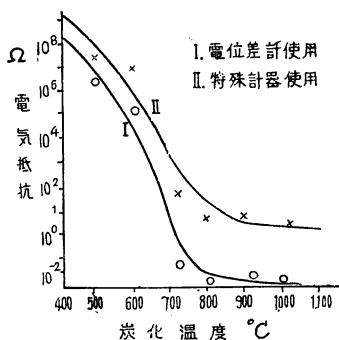
第 4 表 炭化温度と電気抵抗および容積重、硬度

Table 4. Carbonization temperature and electric resistance, volume weight and hardness.

炭化温度 °C	電気抵抗 I Ω	電気抵抗 II Ω	容 積 重	硬 度	備 考
400	552×10^6	2940×10^6	0.51	<1.0	電気抵抗 I
500	5.7×10^5	41×10^5	0.52	1.0	は電位差計により測定
600	0.23×10^4	19×10^4	—	3.5	電気抵抗 II
700	0.133×10^3	65×10^3	—	5.0	は林試式木炭精煉計に
800	0.015×10^3	7×10^3	0.59	8.0	より測定
900	0.023×10^3	8×10^3	0.60	8.0	
1,000	0.017×10^3	5.4×10^3	0.57	9.5	
1,100	0.012×10^3	4.4×10^3	0.59	9.5	

く増大するがそれ以上は差は少なくなった。すなわち、木炭の性質は 600°C と 700°C との間に著しい差が認められる。これは前記 Chaney, Riley 等(Ⅱ)の実験と同様であつた。800°C 以上の炭はその性質は 1,000°C 位までの間は大きな変化がない。すなわち、白炭の炭化温度は 900°C~1,000°C と考えられるので、白炭の性質は各々類似性があると考えられる。

また、試料を電位差計で計測した電気抵抗値と、同一試料を特殊電気抵抗計（後記木炭精煉計）で計測した電気抵抗値と比較したところ第 19 図の通り、両曲線は相似し、電気抵抗によ



第 19 図 電気抵抗と炭化温度

Fig. Electric resistance and Carbonization temperature

り精煉の程度を類推するには特殊電気抵抗計による抵抗値で充分なることが認められた。電位差計に依る電気抵抗の測定は計器並びに測定方法ともに複雑で木炭の品質判定のごとき野外計器としては実用性に乏しいが、後者の計器は取扱いが簡易で、計器も簡単な構造のために、野外計器として実用性がある。筆者等はこの計器を木炭の精煉計と称することにした。これについては後記する。

炭化は温度の函数と考えられるが、同時に時間の函数とも考えられるので、次に炭化継続時間と電気抵抗の関係につき次の通りの実験³⁶⁾を行つた。

(2) 炭化温度継続時間と電気抵抗との関係

実験方法

i 試料

カン、サクラ、キリ、ハンテンボクの 4 樹種を選び、前記同様の炭化条件で炭化し、炉温が 600°C に達した時には、一定時間、すなわち 0 分、30 分、90 分、120 分その温度を保持し炭化を継続し、炭化終了後は電流を断ち、冷却後出炭し、その表面を磨布およびガラス板で研

磨し試料とした。

ii 電気抵抗の測定

電気抵抗の測定は前項（1）と同様に行つた。すなわち、電位差計および特殊電気抵抗計（後記、木炭精煉計）により計測した。

iii 吸湿による電気抵抗の変化の測定

試料をあらかじめ絶乾にしたもの（b）と、下部に水を入れたデシケーター中に200時間以上試料を入れ水分含有量を約8～12%とした試料（a）につき各々電気抵抗を前項（ii）の通り測定した。

実験結果

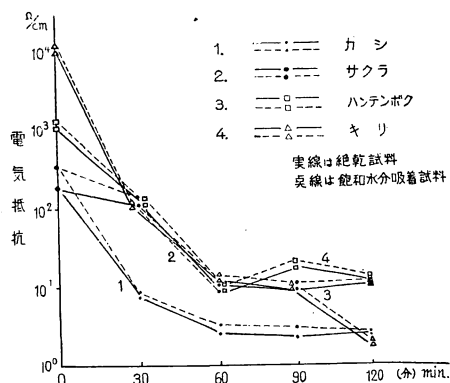
実験結果は第5表に示した。いずれも炭化時間により電気抵抗値は著しく異なることが観測された。また、樹種によつても電気抵抗値は異なるが、一般に炭化時間が長くなるに従い、電気抵抗値は減少した。また各樹種間の差も減少した。炭化物の水分の影響は明らかに現われたが、その比率は54%～92%で炭化時間の短いもののほど差が大きいが、電気抵抗値の指数におよぼす影響はほとんどないと観測された。

測定法の差異、すなわち、電位差計と特殊設計の電気抵抗計の計測値は各々明らかな差があらわれたが、その変化の傾向は前項（3.（1））と同じく同一傾向を示した。すなわち、ほぼ比例して変化した。

考察

上記実験により、炭化の程度を類推するには前項実験（3.（1））と同じく、特殊計器で充分であることが分つた。水分に対する影響は電位差計では10～50%に達する差を生じたがその指数に換算し、比較すればほとんど差はなくなる。特に、特殊計器では電位差計より測定精度が小さいために、水分に対する影響はこの程度の水分では考慮するに値しない。炭化継続時間により電気抵抗は著しく異なってくるが、炭化は温度と時間の函数であると考えられるので当然のことに考えられる。したがつて、炭化実験には炭化温度のみ誌した記録は不完全であり、炭化継続時間或いは炭化速度等、時間の要素を同時に誌す必要があると考えられる。

精煉の方法には通常2方法がある。高温で短時間精煉する方法と、低温で長時間精煉する方法とに分けられるが、前記Chaneyの説およびRiley等の実験結果



第20図 600°Cにおける電気抵抗の差異

Fig. 20. Electric resistance of charcoal, carbonized at 600°C

第 5 表 600°C における炭化時間別試料の電気抵抗
Table 5. Electric resistance of charcoal carbonized at 600°C.

樹 種	炭化時間	電気抵抗 I a	電気抵抗 I c	$\frac{a}{b} \%$ (I 指数—II 指数)	電気抵抗 II	備 考
カ シ	0 分	375.70 Ω	590.90 Ω	63 (0)	295.00 Ω	電気抵抗 I
〃	30	8.98	9.29	97 (0)	10.20	電位差計使用
〃	60	4.27	5.19	82 (0)	7.40	電気抵抗 II
〃	90	3.88	4.76	81 (0)	4.90	特殊計器を使用
〃	120	3.88	3.93	98 (0)	6.10	(木炭精煉計)
サ ク ラ	0	324.10	547.90	59 (0)	295.00	a: 水分 %
〃	30	131.90	203.30	64 (0)	119.00	b: 絶乾
〃	60	10.80	8.70	— (1)	10.20	
〃	90	11.00	13.10	83 (0)	18.40	
〃	120	11.10	12.40	89 (0)	14.90	
キ リ	0	11.14	20.67	54 (0)	∞	
〃	30	119.00	160.00	75 (0)	45.40	
〃	60	152.00	204.00	75 (0)	39.30	
〃	90	132.00	171.00	77 (0)	34.70	
〃	120	26.00	31.00	85 (0)	6.90	
ハンテンボク	0	1240.00	1570.00	70 (0)	595.00	
〃	30	137.00	203.00	68 (0)	84.00	
〃	60	89.00	115.00	77 (1)	59.00	
〃	90	26.00	32.00	81 (0)	19.00	
〃	120	15.00	18.00	92 (0)	11.00	

を考えれば、低温で長時間加熱する方法が家庭燃料の木炭としては反応性から考えても望ましいと考えられる。

樹種と電気抵抗との関係については後記するが、本実験でも明らかになった通り樹種によつて抵抗値は明らかに相違する。恐らく樹種により化学的成分を異にするので、熱分解され易い樹種と、しからざる樹種とがあるためであろう。しかしながらいずれの樹種も加熱時間により電気抵抗値は減少し、120 分炭化後には著しく接近し、その指数はほとんど差がなくなると認められる。

以上の実験により特殊計器の電気抵抗値の指数は水分の影響なしに炭化の状態を示し得ると考えられる。また、一定時間同一温度で炭化を継続すれば（以上の実験では少なくとも 120 分）、同じく樹種に関係なくほぼ同一の炭化の状態を示し得ると考えられる。

(3) 樹種と電気抵抗の関係

木炭の性質は原炭材の樹種により著しく相違するので、樹種と電気抵抗の関係につき実験した。

i 試料

試料はアカマツ、モミ、ウリハダカエデ、アヅキナシ、サワシバ、シロブナ、サルスベリ、

セン, ヤマハンノキ, サクラ, キリ, コナラ, イタヤカエデの 13 種を前項実験 (3.(1)) と同様に一定型 (1×2×4 cm) に鉋削し, 横型管状電気炉中でステンレス製レトルトを用い 3°C/min の炭化速度で炭化し, 600°C に達した後は 1 時間放置した。炭化実験は窒素気流中で行つた。また, 同様にして 700°C, 800°C で各々 1 時間炭化を継続した試料もつくつた。

ii 電気抵抗の測定

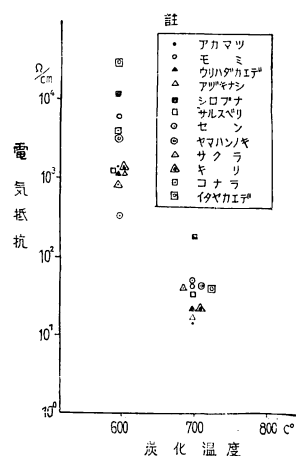
電気抵抗の測定は前項 (1), (2) の実験結果により, 炭化の程度を比較するためには特殊設計の電気抵抗計 (後記木炭精煉計) で充分であることが明らかになつたので, この特殊計器により各試料の電気抵抗を測定した。

実験結果

実験結果は第 6 表に示した。

第 6 表 樹種と電気抵抗
Table 6. Species and electric resistance.

樹 種	電 気 抵 抗 Ω		
	炭化温度 600°C (指数)	同 700°C (指数)	同 800°C (指数)
アカマツ	3.7×10^3 (3)	3.1×10^1 (1)	
モミ	7.6×10^3 (3)	6.0×10^1 (1)	1.1×10^1 (1)
ウリハダカエデ	1.3×10^3 (3)	3.7×10^1 (1)	1.2×10^1 (1)
アヅキナシ	1.4×10^3 (3)	2.3×10^1 (1)	1.4×10^1 (1)
サワシバ	1.2×10^4 (4)	2.5×10^2 (2)	1.3×10^1 (1)
シロブナ	1.4×10^3 (3)	2.7×10^1 (1)	3.6×10^1 (1)
サルスベリ	0.5×10^3 (2)	3.8×10^1 (1)	1.9×10^1 (1)
セン	5.5×10^3 (3)	3.8×10^1 (1)	1.0×10^1 (1)
ヤマハンノキ	0.9×10^3 (2)	3.6×10^1 (1)	1.3×10^1 (1)
サクラ	1.5×10^3 (3)	3.1×10^1 (1)	1.2×10^1 (1)
キリ	2.8×10^3 (3)	2.3×10^1 (1)	1.0×10^1 (1)
コナラ	5.6×10^3 (3)		1.3×10^1 (1)
イタヤカエデ	4.9×10^4 (4)	5.7×10^1 (1)	2.7×10^1 (1)



第 21 図 樹種と電気抵抗
Fig. 21. Species and Electric resistance of charcoal.

樹種により熱分解の差は認められたが, その抵抗値の指数はほとんど一致し大なる差は認められなかつた。特に 700°C 以上の温度では指数の差は認められなかつた。

この実験は各樹種につき 4 回実験を行い, その平均をとつた。

考察

600°C で炭化した試料は, 各樹種の間の抵抗値の差が 700°C および 800°C で炭化した試料よりも著しく大きい理由は, 各樹種により熱分解に難易があることと後記第 10 表の通り 600°C では試料各部の温度が均一にならないためと考えられる。

例えば, サワシバ, イタヤカエデは著しく電気抵抗値が大きい, これは両樹種の熱分解に対する抵抗性が大きいためと考えられる。また, サルスベリ等は電気抵抗値が小さいが, これ

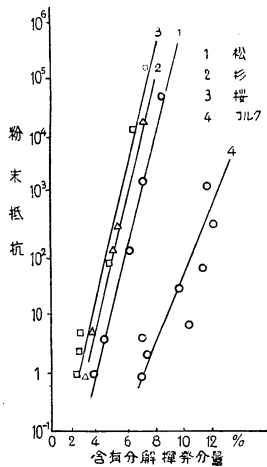
は熱分解し易いためと考えられる。

700°C および 800°C で炭化せる試料は各樹種の間にほとんど大きな差異が認められなくなることは、この程度の高温になると各樹種ともその木材成分の差異に拘わらず、熱分解に対する抵抗性が均しく弱くなるためであろうと考えられる。

(4) 電気抵抗と炭素含有量の関係

前記 (3) の通り日立研究所の高橋治男氏は木炭等の含有分解揮発分量と電気抵抗との間に直線的関係があることを実験した。

その実験結果は第 22 図に参考として示したが、筆者等³³⁾はさらに、高橋氏の実験と炭化条件を変え、コナラ (20 年生) につき下記の通りの実験を行つた。



第 22 図 電気抵抗と含有分解揮発分量

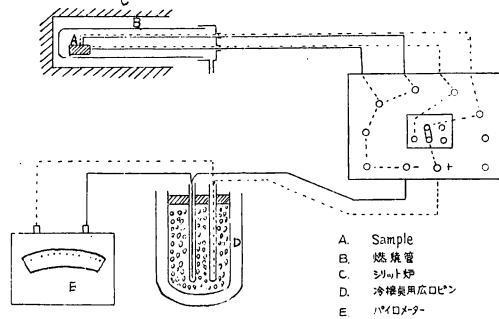
Fig. 22. Electric resistance and content of volatile matter.

(高橋治男: 日化, 71, 29 (1950) より作図) (after Takahashi)

i 試料

試料はコナラ (約 20 年生) 材を $10 \times 20 \times 30$ mm に整形鉋削せるものを試料とした。

ii 炭化方法



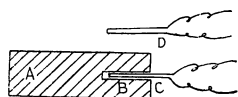
第 23 図 実験装置

Fig. 23. Experimental apparatus.

第 23 図の通り島津製 5 kw シリット電気炉にステンレスレートを挿入し、 $3^{\circ}\text{C}/1\text{min}$ 或いは $1^{\circ}\text{C}/1\text{min}$ の炭化速度で炭化を行い、炉温が一定温度 (500°C , 600°C 或いは 700°C) に達した時直ちに炭化を中止したもの、炭化を中止せず炉温と試料木材中の温度差が一定になつてから、さらに引続いてその温度で 60 分~180 分経過するまで炭化を継続したものと 2 試料を作成した。前者の炭化を中止 (stop) した試料を S 試料、後者の炭化温度を保持 (keeping) した試料を K 試料とした。

iii 温度測定法

温度は炉温と同時に試料内部の温度も測定するために試料に第 24 図の通り孔を明け、カップルを挿入した。カップルは径 0.6 mm のアルメル、クロメルを用い、別に試料外側に 15 mm の間隔をおいて炉温を測定した。温度は 3 分ごとに観測した。



A : 試料
B : 孔
C : カップル (アルメル)
D : 直径0.6mm クロメル

第24図 試料とカップル

Fig. 24. Sample and pyrometer.

iv 電気抵抗の測定

前項実験 (3.(3)) と同様に試料表面を磨布およびガラス板で研磨し, 特殊電気抵抗計 (後記木炭精煉計) でその表面の電気抵抗を測定した。

v 硬度および容積重の測定

三浦式木炭硬度計および木炭容積重計を使用した。

vi 元素分析

リービツヒ, マクロ元素分析装置により常法の通り行つ

た。

実験結果

結果は第 7, 8, 9, 10 表および第 25, 26 図に示したが, 別に木材炭化中の温度変化, 収炭率, 容積重は各々第 27, 28 図に示した。

実験の順序に従い説明すれば電気抵抗は第

7表の通り $3^{\circ}\text{C}/1\text{min}$ の炭化速度で炭化し, 700°C に達した時炭化を中止した S 試料は, その電気抵抗値の指数は 2 を示したが, 700°C に達した後, その温度で炭化を継続した K 試料はその継続時間により多少の差はあるが, 抵抗値の指数は平均 - 1 を示した。

また, $1^{\circ}\text{C}/1\text{min}$ で炭化し, 700°C に達した時炭化を中止した S 試料 (試料番号 9) は $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で同様に炭化した S 試料 (試料番号 1~4) よりも抵抗値は

第 7 表 炭化条件と電気抵抗

Tab. 7. Carbonization condition and electric resistance.

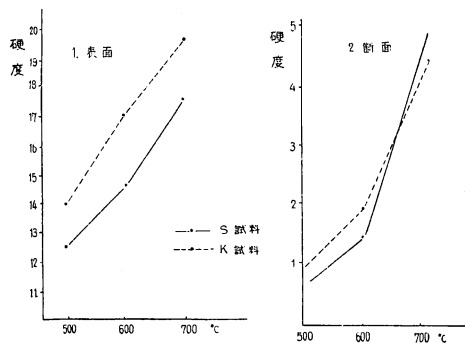
試料番号 (試料附号)	炭化条件			電気抵抗 Ω (指数)
	炭化速度 (1分間当り) $^{\circ}\text{C}$	炭化温度 (max) $^{\circ}\text{C}$	炭化継続 時間 時間	
1 (S)	3	700	0	4.4×10^2 (2)
2 (S)	3	700	0	5.0×10^2 (2)
3 (S)	3	700	0	3.5×10^2 (2)
4 (S)	3	700	0	5.2×10^2 (2)
平均	3	700	0	4.5×10^2 (2)
5 (K)	3	700	3	1.2×10^2 (2)
6 (K)	3	700	3	1.8×10^{-1} (-1)
7 (K)	3	700	3	4.2×10^{-1} (-1)
8 (K)	3	700	3	4.5×10^{-1} (-1)
平均	3	700	3	5.6×10^1 (1)
9 (S)	1	700	0	8.0×10^1 (1)
平均	1	700	0	8.0×10^1 (1)
10 (S)	3	600	0	7.0×10^6 (6)
11 (S)	3	600	0	5.5×10^6 (6)
平均	3	600	0	6.3×10^6 (6)
12 (K)	3	600	3	4.6×10^3 (3)
13 (K)	3	600	51 分	6.5×10^4 (4)
平均	3	600		3.5×10^4 (4)
14 (S)	3	500	0	∞
15 (S)	3	500	0	∞
平均	3	500	0	∞
16 (K)	3	500	3	1.5×10^7 (7)
17 (K)	3	500	3	1.0×10^7 (7)
平均	3	500	3	1.3×10^7 (7)

やや々小であつた。同様に 600°C で炭化中止した S 試料の抵抗値の指数は 6 であり, 600°C で炭化を継続した K 試料は時間により差を生じたがその指数は 3 ~ 4 であつた。

同様に 500°C で炭化を中止した抵抗値は測定不能であつたが, 500°C で 3 時間炭化を継続した試料の抵抗値の指数は 7 であつた。

第 8 表 炭 化 条 件 と 硬 度
Table. 8. Condition of carbonization and hardness.

試 料 番 号	炭 化 条 件			硬 度		備 考
	炭化速度 (1分間) °C	炭化温度 (最 高) °C	炭化継続 (時 間) 時間	表 面	断 面	
1~4 平 均	3	700	0	18	5	三浦式木炭硬度計 による
5~8 平 均	3	700	3	20	5	
9	1	700	0	19	6	
10~11 平 均	3	600	0	15	2	
12	3	600	3	17	2	
13	3	600	51分	17	2	
14~15 平 均	3	500	0時間	13	< 1.0	
16~17 平 均	3	500	3	14	1	



第 25 図 硬度と炭化温度
Fig. 25. Hardness and carbonization temperature.

硬度は第 25 図, 第 8 表に示した通り 3°C/1min の炭化速度で炭化し 700°C に達した時に炭化を中止したものも, 同温度で炭化を継続したものも, また, 1°C/1min で炭化し, 700°C に達した時炭化を中止した試料もいずれも表面約 19, 横断面約 5 であつた。600°C で炭化したものは炭化の継続時間にかかわらず, ほとんど差が無く表面 15~17, 内部 2 であつた。500°C で炭化したものは炭化を継続した K 試料は

やや硬度が高くなる傾向を示したが, S 試料と比較し大なる差異は認められず, 表面 13~14, 横断面約 1 であつた。

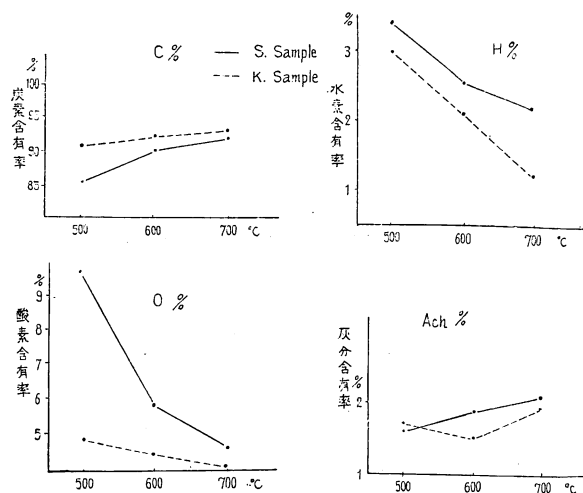
元素分析結果は第 26 図, 第 9 表に示した通り一般に炭化温度が高い程, また, 炭化継続時間が長い程, 炭素含有率は増大し, 水素および酸素含有率は減少した。灰分は炭化温度が高い程増加する傾向があり, 炭化継続時間によりこの関係に幾分変化を生ずる傾向が認められた。

3°C/1min の炭化速度で 700°C に達した時炭化を中止した S 試料は炭素含有率は約 91 % であるが, 700°C で炭化を継続した K 試料は約 92.5% に増大した。また 1°C/1min の炭化速度で炭化し, 700°C に達した時炭化を中止した S 試料は炭素含有率は約 91% で 3°C/1min の

炭化速度で炭化し、700°Cで中止

した S 試料とほぼ相均しい。

3°C/1min の炭化速度で 600°C に達した時炭化を中止した S 試料は、炭素含有率約 90% であるが、600°C で炭化を継続した K 試料は、炭素含有率約 92% に増大した。3°C/1min の炭化速度で炭化し、500°C に達した時、炭化を中止した S 試料は炭素含有率約 85% であり、500°C で炭化を継続した K 試料は炭素含有率約 90% に増加した。



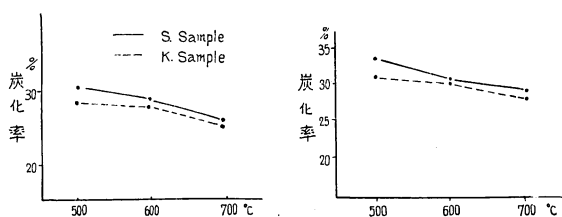
第 26 図 炭化条件と木炭の組成

Fig. 26. Condition of carbonization and composition of charcoal.

第 9 表 炭化条件と木炭の組成

Table 9. Condition of carbonization and Composition of charcoal.

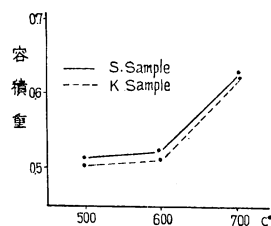
試料番号 (試料附号)	炭 化 条 件			木 炭 の 組 成 %			
	炭化速度 (1分間)	炭化温度 (最 高)	炭化継続 (時 間)	C	H	O	灰 分
1 (S)	3	700	0	90.68	2.11	4.90	2.31
2 (S)	3	700	0	92.33	2.26	4.05	1.38
3 (S)	3	700	0	90.72	2.42	4.71	2.16
4 (S)	3	700	0	90.79	1.85	5.08	2.29
平 均	3	700	0	91.13	2.16	4.69	2.04
5 (K)	3	700	3	92.26	1.47	4.22	2.06
6 (K)	3	700	3	93.29	1.31	3.33	2.08
7 (K)	3	700	3	92.52	1.44	4.35	1.70
8 (K)	3	700	3	92.94	1.71	3.57	1.80
平 均	3	700	3	92.75	1.48	3.87	1.91
9 (S)	1	700	0	91.38	1.87	4.77	1.99
平 均	1	700	0	91.38	1.87	4.77	1.99
10 (S)	3	600	0	89.38	2.49	6.27	1.87
11 (S)	3	600	0	90.32	2.60	5.27	1.82
平 均	3	600	0	89.85	2.55	5.77	1.85
12 (K)	3	600	3	92.13	1.93	4.10	1.85
13 (K)	3	600	51分	91.80	2.30	4.83	1.08
平 均	3	600	51分	91.97	2.12	4.47	1.47
14 (S)	3	500	0	85.22	3.39	10.00	1.40
15 (S)	3	500	0	85.68	3.34	9.20	1.79
平 均	3	500	0	85.45	3.37	9.60	1.60
16 (K)	3	500	3	90.35	2.88	5.33	1.45
17 (K)	3	500	3	90.60	2.99	4.47	1.95
平 均	3	500	3	90.48	2.94	4.90	1.70



第 27 図 炭化条件と炭化率
1. 含水試料 2. 絶乾試料

Fig. 27. Condition of carbonization and carbonizability.

1. Sample, water contained.
2. Sample, water no contained.



第 28 図 容積重と炭化温度

Fig. 28. Volume weight and carbonization temp.

炭化率は第 27 図の通り炭化温度の高くなるに従つて減少した。又炭化継続時間が長くなると炭化率はやや減少した。

容積重は第 28 図の通り炭化温度が高くなると増加した。また、炭化継続時間を長くするとやや減少する傾向が認められた。

第 10 表 炭化中における木炭内外の温度差

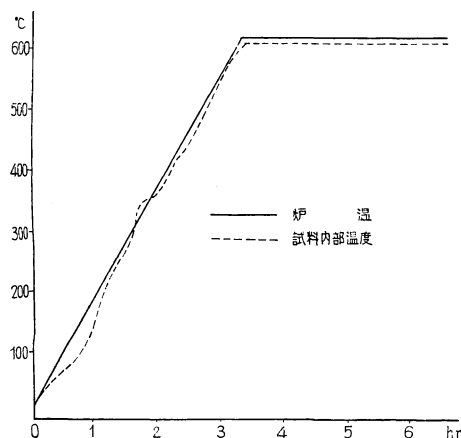
Table 10. Temperature in charcoal and kiln during carbonization.

試料番号 (試料附号)	炭 化 条 件			A 炉内温度 °C	B 試料内部の 温度 °C	A — B °C
	炭化速度 (1 分間)	炭化温度 (最 高)	炭化継続 (時 間)			
	°C	°C	時間			
1 (S)	3	700	0	700	691	9
2 (S)	3	700	0	700	689	11
3 (S)	3	700	0	700	695	5
4 (S)	3	700	0	700	686	14
平 均	3	700	0	700	690.2	9.8
5 (K)	3	700	3	700	699	1
6 (K)	3	700	3	700	699	1
7 (K)	3	700	3	700	699	1
8 (K)	3	700	3	700	699	1
平 均	3	700	3	700	699	1
9 (S)	1	700	0	700	690	10
平 均	1	700	0	700	690	10
10 (S)	3	600	0	600	589	11
11 (S)	3	600	0	600	598	2
平 均	3	600	0	600	592.3	7.7
12 (K)	3	600	3	600	592	8
43 (K)	3	600	51分	600	595	5
平 均	3	600		600	593.5	6.5
14 (S)	3	500	0	500	486	14
15 (S)	3	500	0	500	488	12
平 均	3	500	0	500	487	13
16 (K)	3	500	3	500	491	9
17 (K)	3	500	3	500	489	11
平 均	3	500	3	500	490	10

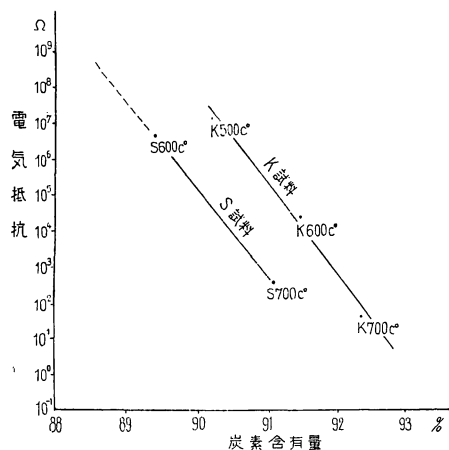
木材炭化曲線の一例は第29図に示したが、はじめは木材中の温度は炉温より低いが、300°C 附近より高くなる傾向がある。350°C ころより再び炉温が高くなり、最終温度における木炭の内外の温度差は第10表の通りになった。

すなわち、500° C の S 試料	平均 13° C	K 試料	平均 10° C
600° C	”	” 7.7° C	” ” 6.5° C
700° C	”	” 9.8° C	” ” 1° C

であつた。



第 29 図 木材炭化中の温度変化
Fig. 29. Change of temperature in sample during carbonization.



第 30 図 電気抵抗と炭素含有量
Fig. 30. Electric resistance and carbon content.

考察

以上の実験結果から電気抵抗と炭素含有量の関係を考察すれば第30図の通り、明らかに関係がある。特に炭化条件が均しい試料では両者の間に直線的関係が各々認められる。炭化条件が異なるとこの関係は認められない。

しかしながら電気抵抗との間には密接な関係があり、電気抵抗が減少すると炭化条件の如何にかかわらず炭素含有率は増大する。

硬度は炭化温度に関係するが、炭化時間にはほとんど関係しないと考えられる。すなわち、或る温度、たとえば 600°C で炭化した時、その温度を長く継続しても硬度はほとんど変らないが電気抵抗は著しく減少し、炭素含有率は増加する。

結局、第30図の通り電気抵抗と炭素含有量との関係は同一炭化条件においては直線的関係が見出されるが、炭化条件を異にすると異なる直線的関係を生ずると考えられる。また、炭化温度 500°C および 600°C では木炭の内外の温度差が大きく一定の試料を得難い。700°C で 30 分以上炭化を継続した試料の内外温度差は著しく少なくなる。このように温度差が少なく

なる原因は炭の物理的变化（すなわち収縮等の変化）によるものか，化学的变化（高分子物質の変化）によるものか判然としないが，前記（Ⅱ）Riley 等の X 線廻折による研究と照合し，炭が 700°C 附近に著しい性質の変移点があることは推定し得る。

そこで，精煉を熱処理の一方法と解すれば，電気抵抗は硬度では示し得ない熱処理の微細な差，すなわち，微細な精煉の差を示し得ることがこの実験で明らかになったと考えられる。

炭が加熱により変化を生じた時，電気抵抗は比較的敏感にその変化量に対応して少なくとも 500°~700°C の間においては変化する傾向が認められる。

第 11 表 炭素含有量と精煉度，硬度の関係 1.

Table 11. Relation between carbon content and degrees of refining, hardness.

試料番号	試料	電気抵抗	炭素含有量	精煉度	硬度
1 ~ 4 平均	700°C S 試料	4.5×10^2	91.13	2	5
5 ~ 8 "	700°C K 試料	5.6×10^1	92.75	1	5
10 ~ 11 "	600°C S "	6.3×10^6	89.85	6	2
12 ~ 13 "	600°C K "	3.5×10^4	91.97	4	2
14 ~ 15 "	500°C S "	∞	85.45	9	< 1
16 ~ 17 "	500°C K "	$13. \times 10^7$	90.48	7	1

註 第 7. 8. 9 表より作成

第 12 表 炭素含有量と精煉度，硬度の関係 2.

Table 12. Relation between carbon content and degrees of refining, hardness.

区別	精煉度	硬度	備考
炭素含有量	$\gamma = -0.845$	$\gamma = 0.085$	第 11 表より計算した。

註 有意水準 5%，自由度 4 とすれば $\gamma = 0.8114$

精煉度の相関係数は $r = -0.845$ であり，炭素含有量と硬度の関係は $r = 0.085$ であつた。有意水準 5%，自由度 = 4 とすれば $r = 0.8114$ であるから，炭素含有量と精煉度の間には，この実験結果によれば明らかに関係があると云える。また，炭素含有量と硬度の間には，この実験では関係が全く認められなかつた。

(5) 木材炭化と電気抵抗

木材炭化中における電気抵抗の変化を知るために次の実験を行つた。

実験方法（第 31 図）

i 試料

クヌギ径約 3 cm の幹材を長さ約 5 cm に鋸断せるものを試料とした。

試料中心には径約 2 mm，深さ約 10 mm の孔を明け 0.6 mm のアルメル，クロメル線を挿入し，炭化中の木材内部の温度を測定出来るようにし，試料両側面には白金線を深さ 10 mm 挿入

なお，炭素含有量と精煉度，硬度の関係を前記第 11 表実験結果から求めたところ第 12 表の結果を得た。すなわち，炭素含有量と精

れ炭化中の電気抵抗の変化を測定出来るようにした。

ii 炭化方法

試料は素焼ルツボに納め、堅型電気炉に納め、 $3^{\circ}\text{C}/1\text{min}$ の炭化速度で炭化し、炉温および試料内の温度を3分ごとに観測した。

iii 電気抵抗の測定

試料両側に挿入せる白金電極を 0.001mA ピボット型メーターに接続し、直接炭化中の電気抵抗の変化を測定した。

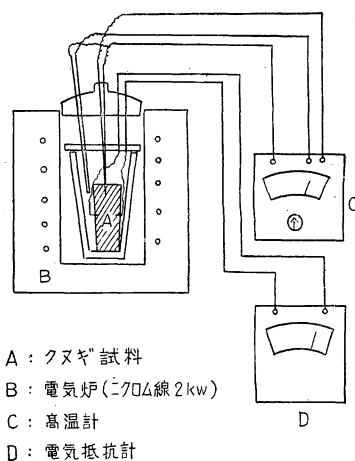
実験結果

実験結果は第32図に示した。すなわち、電気抵抗値は炉温が 200°C に達するころまではほとんど変化がなく $23\sim 50\times 10^4\Omega$ を示したが、それより次第に抵抗を増大し炉温 280°C に達するころ、 $20\times 10^7\Omega$ に達し最大に達した。炉温が 350°C を経過すると再び減少しはじめ、炉温が 500°C に達すると $90\times 10^4\Omega$ に低下し 580°C では $10\times 10^3\Omega$ に低下した。かくして得られた木炭を室温に冷却した時、 $30\times 10^5\Omega$ に増加した。試料内部の温度は126分ころまでは 100°C であるが、このころより分解ガスの排出が多くなり、温度は急上昇し、144分後には炉温と均しくなり、147分後には炉温より 53°C 高くなった。その後次第に炉温との差が少なくなり、174分以後は差はほぼ 13° となり一定になった。電気抵抗は内部温度の急上昇するころより低下しはじめた。

この実験は数回繰り返した行つたがその度に実験結果には差を生じたが、いずれもその傾向は上記実験結果と同様であつた。

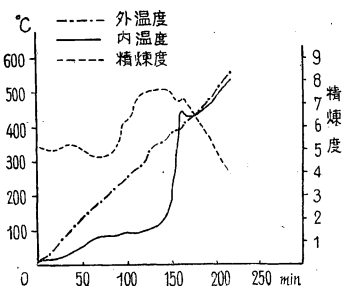
すなわち、電気抵抗は最初は少なく、木材分解が開始されると急に増大し、セルローズ分解点と認められる温度に達するころ最大に達し、次にリグニン分解点を経過するころ、すなわち木材分解がほとんど終了するころより抵抗は次第に減少した。また、試料内部の温度は或る時間後急上昇し炉温より高くなるが、それ以後は減少し、最後には試料内外の温度差がほぼ一定になった。

考察



第31図 実験装置

Fig. 31. Experiment apparatus.



第32図 木材炭化と電気抵抗 (精煉度)

Fig. 32. Carbonization of wood and Electric resistance (Degrees of refining).

- 註 1. 精煉度とは電気抵抗の指数を示したもの、すなわち、精煉度5とは $10^5\Omega$ のことである。
2. 外温度とは炉の温度を示す。
3. 内温度とは炭材内部の温度を示す。

電気抵抗が最初少ない理由は、木材中の水分によるものと考えられる。木材が乾燥するに従い抵抗は増大し、木材が熱分解を開始すると最大となり、熱分解の減少に従い抵抗も減少し、ついには原木材の抵抗値より遙かに少となる。この変化を考えれば次のことが云えると思われる。精煉とは電気抵抗が下降を開始してから以後の木材炭化現象とも考えられる。かかる観点からも電気抵抗の測定が木炭の精煉過程を表示する一方法として差支えなかろうと考えられる。

(6) 市販木炭の電気抵抗、発熱量、容積重、硬度

市販木炭の電気抵抗、発熱量、容積重、硬度を測定したところ、次の通りの結果を得た。

この実験は電気抵抗の測定に電位差計を使用した時と、特殊計器（後記木炭精煉計）を使用した時の差および電気抵抗と発熱量等木炭の性質との関係を知るため行つた。

実験方法

i 試料

市販木炭中から樹種の明らかなものを任意に撰び、一定型（10×20×40 mm）に磨布およびガラス板で研磨し、さらにマイクロメーターでその大きさを計測した。

ii 電気抵抗の測定

電気抵抗の測定は前項実験（3.(1)）と同様に行つた。すなわち、電位差計と特殊設計の電気抵抗計により測定した。

iii 容積重、発熱量、硬度の測定

前記実験（3(1)）と同様に行つた。すなわち、容積重は木炭容積重計を使用し、発熱量はベルテローマラーカロリーメーターを使用し、硬度は三浦式木炭硬度計を使用した。

第 13 表 市販木炭の電気抵抗その他
Table 13. Electric resistance and other qualities of market charcoal.

炭種	樹 種	容積重	発熱量 cal/g	硬 度	電 気 抵 抗				備 考
					I	II	$\frac{I}{II} \times 100$	$\frac{I \text{ の指数}}{II \text{ の指数}}$	
黒炭	ア カ ガ シ	0.89	7,500	9.5	42.60	201.	21.2	1	電気抵抗 I
"	サ カ キ	0.52	7,940	< 1.0	36.10	151.	23.9	1	電位差計使用
"	シ キ ミ	0.67	7,800	< 1.0	291.00	2,988.	9.7	1	電気抵抗 II
"	シ イ	0.50	7,680	< 1.0	250.00	1,475.	17.0	1	特殊計器使用
"	ウ シ コ ロ シ	0.61	7,370	< 1.0	—	—	—	—	(木炭精煉計使用)
"	モ ミ ズ	0.51	7,830	< 1.0	1.46	56.	2.6	1	
"	タ ブ	0.55	7,870	< 1.0	343.00	5,889.	5.8	1	
"	エ ゴ	0.42	7,520	< 1.0	—	—	—	—	
"	ア セ ビ	0.54	8,210	< 1.0	0.72	11.	6.6	2	
"	サ ワ グ ル ミ	0.46	7,650	< 1.0	1.58	36.	4.4	1	
白炭	カ ツ ラ	0.34	7,570	1.0	$\times 1$ 0.06	$\times 1$ 9	0.7	2	
"	ウ バ メ カ シ	1.23	7,630	19.5	0.02	10.	0.2	3	
"	コ ナ ラ	0.64	7,650	11.5	0.20	46.	0.4	2	
"	ミ ズ キ	0.47	7,670	1.5	0.15	29.	0.5	2	

実験結果および考察

実験結果は第13表に示したが、電気抵抗値は黒炭は一般に大きく、しかも樹種間の差が著しい白炭は一般に電気抵抗値は小さく、しかも樹種間の差が少ない。すなわち、黒炭では樹種により熱分解され難いために大きな数値を示すものもあるであろうが、一般に黒炭の最高熱処理、すなわち、精煉が白炭に比較し温度が低く、かつ不均一なためであろう。特殊計器による抵抗値は電位差計による抵抗値と関係はしているが正比例はしていない。両者の比をとれば23.9~2.6の差を生ずる。これは個々の炭の硬度、割裂その他物理的性質による差異と考えられるが、各々電気抵抗値の指数の差をとれば、黒炭はほとんど1であり、白炭はほとんど2である。したがって抵抗値の指数をとることにすれば樹種、炭種にかかわらず、特殊計器の電気抵抗値で炭の電気抵抗の傾向を示すには充分であると考えられる。

容積重は白炭も黒炭もともに樹種により差が著しい。

発熱量は、黒炭は7,300~8,200 cal/gで差が著しいが白炭はほとんど7,600 cal/gで一定している。硬度は樹種により一定せず、白炭は黒炭より高い。

以上の結果から考察して、白炭の熱処理は黒炭よりも高く、かつ均一性を有することが推定される。また、単に木炭の電気抵抗の比較をするのみであるなら、複雑な電位差計を使用する測定法をせずとも簡単な特殊計器で充分であることが推定される。

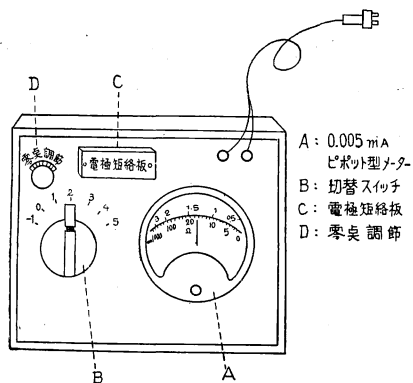
4. 木炭精煉計

前記諸実験および諸考察から精煉の程度が電気抵抗により表示し得る可能性が明らかになったと考えられるが、実際にかかる計器が使用され、測定が行われるためには、次の2条件が満足されることを必要とする。

1. 電気抵抗値で表示し得る精煉の程度とは如何なる意味があるかを明らかにしておくこと。
2. 計器は野外計器として、取扱い簡単で堅牢、かつ小型で持ち運びに便なこと。そこでまず条件1.について考える。

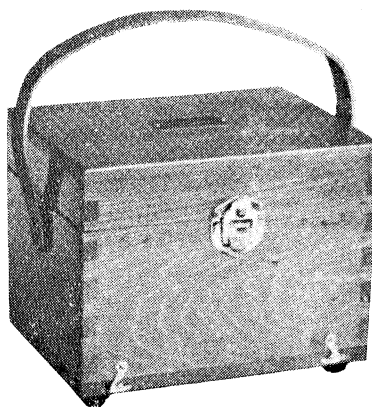
電気抵抗値により表示し得る精煉の程度とは、炭化の際、木炭に加えられた熱処理が炭質におよぼした変化の総体的大いさを意味する。木炭の個々の性質、すなわち、硬度、比重、発熱量、成分等そのものを現わすものではない。これらの性質は加熱により変化はするが、その変化の状態は必ずしも連続的、かつ定量的ではない。或る性質は或る状態の加熱においては変化するが、或る状態においては熱を加えられても変化をしない。しかし木炭そのものは外熱により総体的に何等かの変化を受ける。たとえば前記の実験で木炭を600°Cで加熱する時、硬度は加熱時間には影響されないが（3時間内においては）、炭素含有率は著しく影響される。

したがってかかる外熱による木炭の質的变化を歪という言葉で現わせば、加熱による歪を電気抵抗値は、今までの実験と考察では精煉の行われる温度範囲においては他の性質の測定値よりも比較的敏感にほぼ定量的に表示すると考えられる。



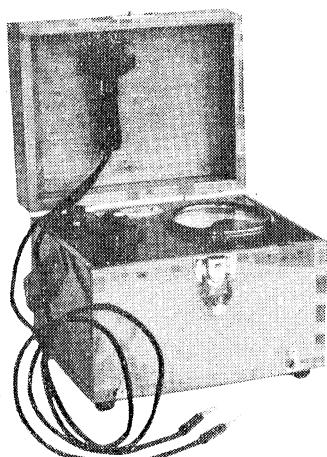
第 33 図 A 木炭精煉計

Fig. 33. A. Charcoal refining meter.



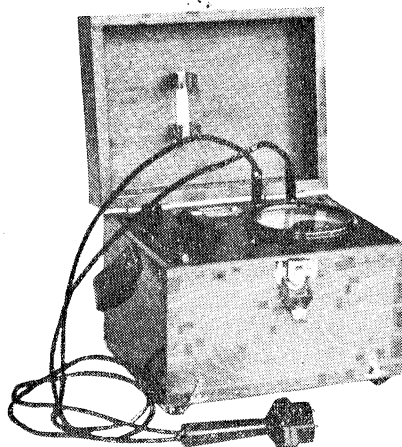
第 33 図 B 木炭精煉計外観

Fig. 33. B. Outside view of charcoal refining meter.



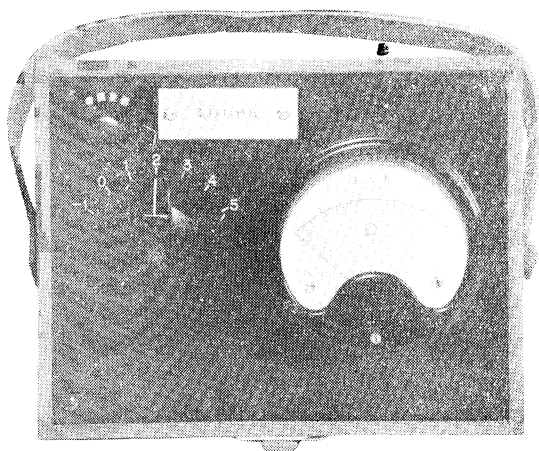
第 33 図 C 蓋をひらいたところ

Fig. 33. C. The view of cover opened.



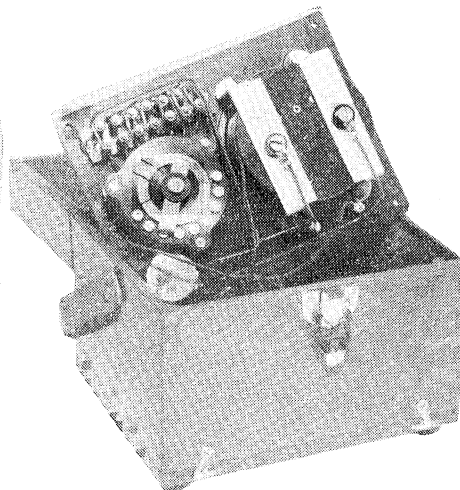
第 33 図 D 電極コードを接続したところ

Fig. 33. D. The view of electrode code joined.



第 33 図 E 計器盤を示す

Fig. 33. E. The view of meter panel.



第 33 図 F 計器盤の裏側

Fig. 33. F. The inside of meter panel.

第2の条件については前記諸実験，諸考察で明らかにされたように，製炭の場合において加熱による変化を電気抵抗値で推定する場合にはその指数だけで充分であり，しかも精密な電位差計法，或いは粉末圧縮による測定法等の精密な測定方法は必要とせず， $10^3 \Omega$ 程度を直読しうる簡単な電気抵抗計で充分である。

筆者等³⁴⁾はかかる見地から測定範囲 $10^{-1} \sim 10^{+8}$ までの抵抗値を直読しうる特殊電気抵抗計を設計し，これを木炭精煉計（第33図）と名付け，さらにその接点を設計するために次の実験を行った。



第33図 G 格納した電池群
Fig. 33. G. Dry cells.

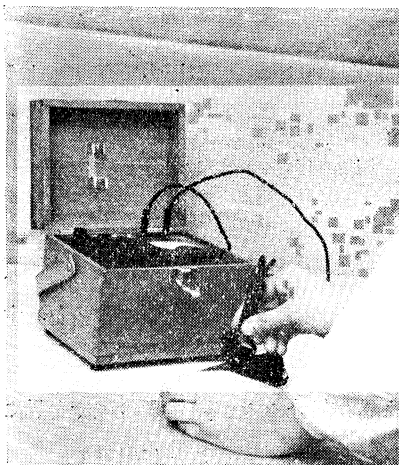


第33図 H 電極およびコード
Fig. 33. H. The view of electrode and cord.

第14表 電気抵抗に及ぼす接点圧力の影響

Table 14. Effect of electrode pressure on charcoal.

炭 種	圧 力 g/cm ²	電気抵抗 Ω	備 考
ミヅキ, 白炭	50	19.5	電気抵抗の測定は 特殊計器使用
〃 〃	100	15.0	
〃 〃	150	13.0	
〃 〃	250	9.5	
〃 〃	550	8.2	
カツラ, 白炭	50	7.3	
〃 〃	100	5.2	
〃 〃	150	4.4	
〃 〃	250	3.6	
〃 〃	550	3.2	

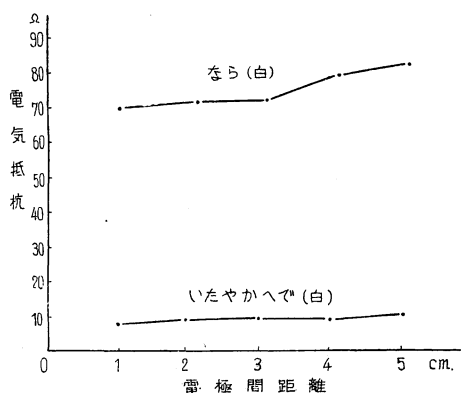


第33図 I 木炭精煉計使用中のところ
Fig. 33. I. Using the charcoal refining meter.

試料にはミヅキ，カツラの白炭を用い，磨布およびガラス板でその表面を平滑にし，電極には眞鍮棒をエポナイト板に一定間隔で固定し，この上に錘を加

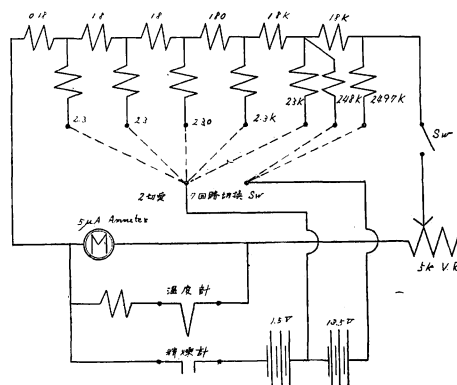
え、接点に加わる圧力が $50 \text{ g/cm}^2 \sim 550 \text{ g/cm}^2$ になるようにし、前記木炭精煉計と同様な計器で木炭表面の電気抵抗を測定した。実験結果は第 14 表に示したが圧力の増大により電気抵抗値は減少するが、 250 g/cm^2 以上では大なる変化がないので接点に加える圧力は 500 g/cm^2 を標準とし、スプリングにより測定場所に接点を圧するように装置した。

次に電極間の距離を決定するために次の実験を行った。



第 34 図 電気抵抗に対する電極間の距離の影響

Fig. 34. Relation between electric resistance and distance of electrode.



第 35 図 精煉計回路図

Fig. 35. Circuit of charcoal refining meter.

コナラおよびイタヤカエデの白炭を使用し、その表面を磨布およびガラス板で研磨し、電極間の距離を $1.0 \sim 5.0 \text{ cm}$ とし、 500 g/cm^2 の圧力とし、前記計器で電気抵抗値を計り、第 34 図の結果を得た。この図より電極間距離は $1 \sim 2 \text{ cm}$ で充分なことが分つた。

回路図は第 35 図に示したが、一般オーム計と特に異なるところはない。

計器には 0.005 mA のピボット型を用い、切替スイッチ 5 段、零点調節器、短絡板を第 33 図 A. E. の通り計器板に取りつけた。

接点は径 2 mm の金属棒でスプリングにより、木炭表面を 500 g/cm^2 の圧力で圧するようにした (第 33 H. I. 図)。電源には乾電池 19.5 V を用いた。また、文字盤には抵抗値の指数を目盛つた。この計器は実用上、次の場合に使用すると効果があると考えられる。

(1) 精煉の程度の判定

木炭が与えられた時、この木炭から精煉の程度を判定するには木炭の物理的、化学的諸性質を明らかにするため、種々複雑な分析をせねばならない。この計器によれば複雑な分析をせずとも容易に熱処理の程度を区別し得られる。

一般に黒炭窯では窯内温度が不均一のために、黒炭ではその部分々々が熱処理の程度を異にするので、この計器によればこのような時に容易に精煉の程度を区別することが出来る。

(2) 未炭化木炭、揮発分の含有量の多い木炭等、いわゆる精煉の不十分な木炭を完全に区別することが出来る。

(3) 製炭法の研究，特に黒炭窯の精煉の研究に有効である。

黒炭を本計器で計測すると，炭の各部の熱処理の程度が判然とするために，黒炭窯の精煉の際煙道口，通風口調節に技術的示唆が与えられ，製炭法の改良に役立ち得る。

(4) 黒炭の品質管理に有効である。

木炭の炭化状態を検査するには種々なる方法があるが，本計器は最も簡単に適確に木炭の炭化状態を識別出来るので，黒炭の品質管理の際，使用計器として適当である。

使用方法是切点（エボナイト軸先端にある）を木炭表面に当て，スプリングが充分短縮するまで押し，切替スイッチを適当に動かし，指針の目盛を読めばよい。零点調節装置その他はすべて一般オーム計と同様である。

目盛は電気抵抗値の指数が示してある。この指数を精煉度とする。すなわち，電気抵抗値 $2,500\Omega$ の時は精煉度3である。

精煉度とは製炭の際，精煉時における炭化度を電気抵抗値の指数で現わしたものである。製炭の炭化温度 $500\sim 900^{\circ}\text{C}$ くらいにおいては炭の高分子構造は前記の通り炭化温度の変化に従い鋭敏に変化するので，われわれが実用上必要とする炭化度を知る範囲内においては，電気抵抗の指数に現われる炭化度の変化で充分であると考えられる。このような炭化度の区別を行つても木炭の性質を従来よりは著しく細かに，かつ，明らかに区別することが出来る。このような分析について次に述べる。

5. 精煉度を異にした木炭の性質³⁵⁾³⁷⁾

木炭の基本的性質を規定する主なる要素は，原材料の成分とその熱処理の程度である。両要素により木炭の基本的性質は決定的に相違する。

通常，同一樹種では木材成分がほぼ均しいと考えられるので，木炭の基本的性質は樹種と製炭方法の差異により，著しく相違すると考えられる。ここでは製炭方法のうち精煉に関し，すなわち，木炭に加えられた熱処理の程度が炭質におよぼした影響について考える。

炭化現象を前記（Ⅱ）の通り，加熱により固態状態または高粘度の液体状態において行われる Aromatic condensation と考えれば，当然炭化の程度により，木炭の性質は変化すると考えられる。従来，熱処理の差異により，日本の木炭は黒炭と白炭に区別されてきた

第 15 表 炭材の精煉度の変化

Table 15. Change of degrees of refining in Charcoal kiln.

長 さ cm	精 煉 度			備 考
	黒 炭 立 炭材	黒 炭 上 ケ 木	白 炭 立 炭材	
0	3	3	0	1) 黒炭は林業試験場溝内製炭室にて炭化した試料につき実験。
10	3	3	0	
20	4	3	0	2) 白炭は備長炭を使用した。
30	5		0	
40	7		0	
50	8			
60	9			

が、この区別は不充分である。いま、熱処理の程度を示す基準として筆者等の試作した前記木炭精煉計による精煉度で区別すれば、日本の白炭はほとんど精煉度 0 であり、しかも部分的差異がなく一様に熱処理されている（第 15 表）。黒炭では精煉度はなほだ不均一で 1~9 に涉るものが多い。

すなわち、部分的差異が甚だしい。木炭の性質を熱処理の程度で区別するとすれば、白炭は区別する必要はないが黒炭はさらに細別する必要がある。われわれは、黒炭を次の 5 階段、すなわち、精煉度 1~2, 3~4, 5~6, 7~8, 9 の 5 階段に区別し（9 とは電気抵抗が大きいため測定不能のもの）その性質を比較し、また、別に白炭 3 種類につき同様に性質を比較するために次の実験を行った。

実験方法

(1) 試料

黒炭は昭和 26 年 7 月群馬県利根郡沢田村四万温泉附近で製炭したコナラ黒炭を用いた。その炭化状況は第 30 表の通りである。

試料は出炭した木炭の中から任意に撰んだ全長炭（折れない木炭）を長さ 7~8 cm に鋸断し、精煉計により精煉度別に 1~2, 3~4, 5~6, 7~8, 9 の 5 級に区別し、その各々を鉄製乳鉢で粉碎した 100~150 メツシの試料を用いた。白炭はウバメカシ（和歌山県日高郡秋津川村産）いわゆる、備長炭とコナラ（群馬県、後閑営林署産）およびシラカシ（高知県清水営林署産）の 3 種を用いた。コナラおよびシラカシ白炭は昭和 25 年度国有林木炭品評会入賞品である。各々木炭 1 俵の中から任意に撰出した試料を精煉度測定の後、鉄製入鉢で 100~150 メツシに粉碎して使用した。

(2) 水分

前記試料 1 g を 105°C にて恒量に達するまで乾燥し、常法に従い水分を測定した。

(3) 灰分

前記試料 1 g をあらかじめ 750°C に加熱せる電気炉中で 1 時間加熱し、残存量を秤量し、灰分とした。

(4) 揮発分

前記試料 0.2 g を磁製ボートにとり、直径 30 mm、長さ 60 mm の磁製管に納め、あらかじめ、1000°C に加熱せる電氣管状炉中にて減圧にて約 1 時間加熱し、減量を求め水分を控除し揮発分とした。

(5) 眞比重

前記乾燥試料 0.5 g を温度計を有するライヒシャウエル比重壺に水とともに入れ、約 3 時間砂皿上で加熱後、さらに 25°C に調節した恒温槽で水の温度を一定となし眞比重を測定した。

(6) 発熱量

気乾試料 1 g について燃研式カロリーメーターにて測定し乾燥試料に換算した。

(7) 硬度精煉度

硬度は三浦式木炭硬度計により、精煉度は木炭精煉計により測定した。

(8) X線写真

径約 0.2 mm の円柱型試料をつくり、直径 60 mm の円筒型カメラにて Debye-Scherrer 写真を撮影した。

(9) 湿式酸化

試料 0.5 g を 100 cc ナス型フラスコにとり、 H_3PO_4 (Sp. 1.75) 100 cc 中に $K_2Cr_2O_7$ を 20 g 含む酸化液 50 cc を加え、還流冷却器を附し、 $100^\circ C$ の湯煎浴中で 3 時間加熱分解した減量を湿式酸化量とした。

(10) pH の測定。

試料 1 g をリフラックスを附せるコルペンにとり、あらかじめ煮沸して CO_2 を除いた 30 cc の蒸留水を加え 5 分間沸騰の後、東洋炉紙 No. 2 で濾過した液についてアンチモン電極水素イオン濃度計にて計測した。

実験結果

実験結果は第 16, 17 表および第 36, 37, 38, 39, 40 図に示したが、水分は白炭はいずれも 10 % であるが、黒炭は熱処理の程度により著しい差異がある。すなわち、熱処理の程度の低いも

第 16 表 精煉度を異にする木炭の性質

Table 16. Charcoal qualities of different degrees of refining.

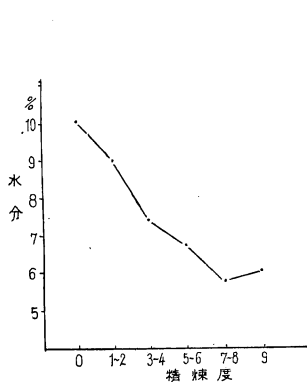
精煉度	樹 種	炭種	水分	灰分	揮発分	固定炭素	真比重	P H	湿式酸化	X線廻折干渉図	発熱量	硬度	備 考
0	ウバメカシ	白炭	9.9	1.5	8.7	79.9	1.87	7.4	17.0	明 瞭	6,651	19	硬度は平均を示した
0	コナラ	"	10.2	2.4	9.8	77.6	1.89	7.0	21.4	"	6,682	12	
0	シラカシ	"	10.1	3.7	8.9	77.3	1.88	7.3	21.0	"	6,788	15	
1~2	コナラ	黒炭	9.0	1.2	8.1	81.7	1.71	8.4	14.3	"	7,032	10	
3~4	"	"	7.4	4.4	14.7	73.5	1.60	9.2	15.4	"	7,158	9	
5~6	"	"	6.7	3.0	15.2	75.1	1.54	8.3	12.6	不明瞭	7,534	8.5	
7~8	"	"	5.7	1.1	18.4	74.8	1.43	7.3	10.5	"	7,509	8	
9	"	"	6.0	0.9	24.5	68.6	1.46	7.1	13.6	"	6,938	8	"

の (精煉度の大きなもの) は約 5 % であるが、熱処理の程度の高くなるに従い増加し、精煉度 1 ~ 2 のものは約 9.0 % に達した。灰分は白炭は灰の附着の程度により一様ではない。黒炭の灰分は精煉により変化する傾向が認められた。

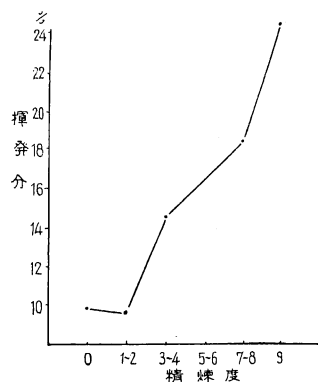
第 17 表 精煉度と微結晶面間隔

Table 17. Degrees of refining and distance of cristallit plane.

樹 種	炭 種	精煉度	hkl	面間隔 Å	C 軸
コナラ	黒炭	9	002	3.69	7.38
"	"	5~6	002	3.69	7.38
"	白炭	0	002	3.65	7.30
ウバメカシ	"	0	002	3.65	7.30

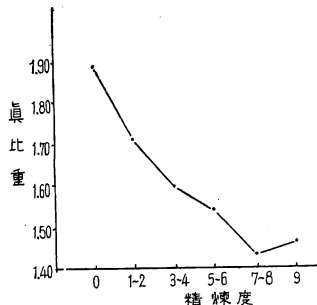


第 36 図 水分と精煉度
Fig. 36. Moisture and Degrees of refining.

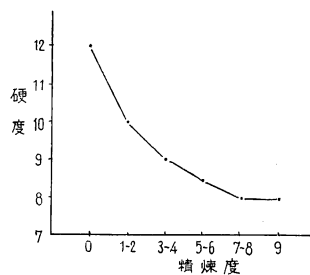


第 37 図 揮発分と精煉度
Fig. 37. Volatiles matter and degrees of refining.

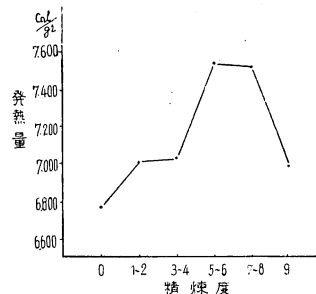
揮発分は白炭は約 9%であつたが、黒炭は熱処理の程度により、すなわち精煉度の差異により著しい変化があつた。8%~24%に達した。真比重は白炭は約 1.8 であつたが黒炭は精煉の程度により差があり 1.4~1.7 の開きを示した。X 線写真は白炭はほぼ均しい carbon



第 38 図 真比重と精煉度
Fig. 38. True specific gravity and degrees of refining.



第 39 図 硬度と精煉度
Fig. 39. Hardness and degrees of refining.



第 40 図 発熱量と精煉度
Fig. 40. Heat value and degrees of refining.

pattern を与えたが、黒炭の干涉図形は不明瞭であり、また、精煉度により相違が認められた。発熱量はいずれも白炭は約 6,700 cal/g であつたが、黒炭は精煉の程度により著しい差異がある。すなわち、精煉の低いものは発熱量が低い、精煉が増大すると発熱量が増加し、精煉度 5~6 のものは Max に達したが、さらに、精煉が進むと減少し白炭の発熱量に接近した。

湿式酸化量は白炭は 17~21.4%，黒炭は 10.5~15.4% で白炭は黒炭に比し一般に著しく多い。黒炭は熱処理の程度により差があるが、熱処理の程度が高いほど、すなわち、精煉の程度が高いほど湿式酸化量は増大する傾向がある。

pH は白炭では 7.0~7.4 でほぼ一定しているが、黒炭では熱処理の程度が高いほど、すなわち、精煉の程度が高いほど pH は大きくなる傾向がある。

考察

以上の実験結果から考察すれば、白炭は精煉、すなわち、熱処理の程度はほぼ均一で、上記 3 試料については樹種の間に大なる差異は現われなかつた。これは恐らく白炭の精煉法が、いわゆる単木精煉で、炭材個々に熱処理し消火する製炭法であるから、木炭個々がほぼ均しい熱

処理を受けるために性質が近似するものであろう。

黒炭はこれに反し、窯内消火のために炭材個々の熱処理の程度は均一ではない。すなわち、炭窯各部の温度の不平均のために炭材各部の熱処理の程度を異にし、これが黒炭の各種性質の不均一性の原因をなすものであろう。したがって黒炭ではその性質を示す時には木炭に加えられた熱処理の程度を明示する必要がある。このような時、木炭精煉計は熱処理の程度を簡単に示す計器として有効ではないかと考えられる。

また、白炭と黒炭ではその高次構造に著しい差異があることは、X線廻折写真、湿式酸化、真比重等で明瞭であるが、これもその製炭法の差、すなわち、精煉方法の差によると考えられる。pHは白炭は約7.0で一定しているが、黒炭の精煉度1~2のものは8.4で白炭より高い。一般に木炭は炭化温度が高いほどアルカリ度が高くなるといわれているが、日本の白炭では炭化度が高いにもかかわらずアルカリ度が低い。これは恐らく特異な精煉方法に基く結果とも考えられるが判然としない。

なお、第16表の分析表に基き精煉度と水分、揮発分、真比重、硬度の相関関係を求めたところ、第18表の結果を得た。いずれも相関係数は0.92以上を示し、この場合自由度4であるから有意水準1%の時 $r=0.91720$ であるからいずれも高度に有意であるといえる。これらの関係のうち真比重は木炭の炭化状態を最も基本的に現わすものであると考えられるが、精煉度と真比重が高度に有意であるということは精煉度が木炭の基本的性質を確実に現わすものと

第18表 精煉度と水分、揮発分、真比重、硬度の相関係数

Table 18. Correlation coefficient between degrees of refining and moisture, volatile matter, true sp. gr. and hardness.

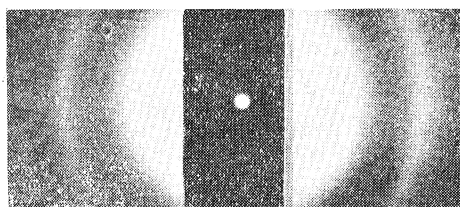
区 分	水 分	揮 発 分	真 比 重	硬 度
精 煉 度	$r=0.966$	$r=0.978$	$r=0.949$	$r=0.937$

註 1) 第16表 分析表に基き計算した。

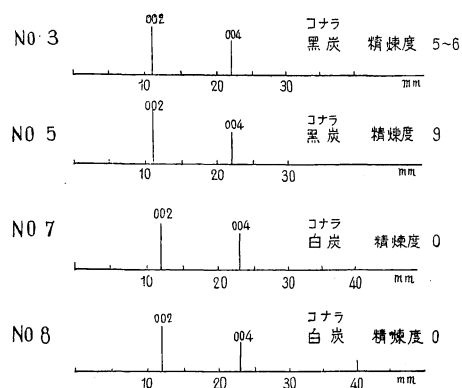
2) この場合、自由度4、したがって有意水準1%の場合 $r=0.91720$

して差支えないと考えられる。

なお、第39図のX線写真に基き、試料No. 3.5.7.8につき、光学楔フォートメーターを

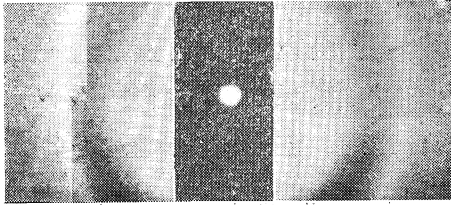


A. 白炭。樹種コナラ、群馬県後閑営林署産
精煉度0。

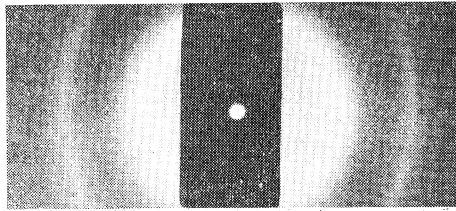


第41図 X線廻折図2.

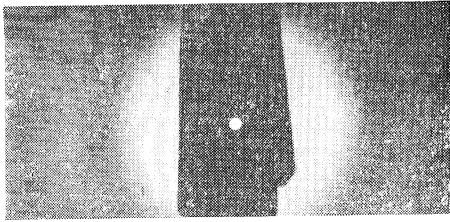
Fig. 41. X-ray diffraction 2.



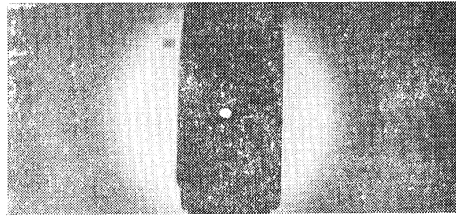
B. 白炭, 樹種, カシ, 高知県清水営林署産
精煉度 0.



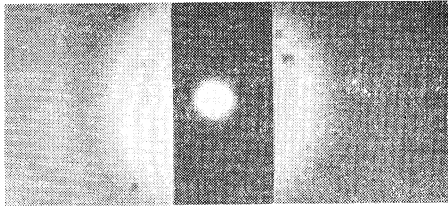
C. 白炭, 樹種, ウバメカシ, 和歌山県日
高郡秋津川村産 (備長炭) 精煉度 0.



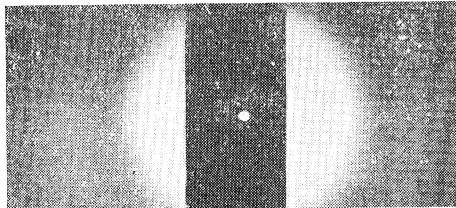
D. 黒炭, 樹種, コナラ, 精煉度 3~4
群馬県利根郡沢田村にて
当场木炭研究室員製炭



E. 黒炭, 樹種, コナラ, 精煉度 5~6
群馬県利根郡沢田村にて
当场木炭研究室員製炭



F. 黒炭, 樹種, コナラ, 精煉度 7~8
群馬県利根郡沢田村にて
当场木炭研究室員製炭



G. 黒炭, 樹種, コナラ, 精煉度 9
群馬県利根郡沢田村にて
当场木炭研究室員製炭

使用し面間隔を計算したところ第 41 図および 第 17 表の結果を得た。

木炭の微結晶の面間隔には著しい差異が認められなかつた。

6. 精煉と燃焼および精煉適度³⁷⁾

精煉は燃焼に著しい関係がある。精煉を充分に行つた白炭は、精煉の不十分な黒炭に比し、燃焼継続時間が長く、着火点が高く、乾燥した試料については爆跳が少ないこと等が一般に認められている。

白炭の精煉は黒炭に比し著しく高く、しかも均一であることは前項 5. の通りである。また白炭の精煉法はほぼ一定していて、誰がやつても精煉の程度はほぼ一定であつて、前記木炭精煉計によれば精煉度 0 になり、しかも部分的差異に乏しい。しかるに黒炭では精煉度 1~9 に渉のことが多い。黒炭の精煉度にかくのごとく差異が大きい理由は黒炭の製炭法が前記の通り窯内消火によるためであるが、また、黒炭の精煉技術が確立していないためにもよる。最近、

黒炭の精煉が注目され、その精煉技術も進歩してきたが、黒炭の精煉を過度に行えば白炭に近い炭となり、黒炭の特徴とする反応性の高い利点はなくなつて白炭に近い燃焼性を示すことになる。また、かくのごとく精煉を行えば収炭率も減少する。そこで黒炭としてどのくらい精煉を行えば適当であるか、この点を判然としておく必要がある。いま精煉の程度を木炭精煉計の指度で示すなら、どのくらいの精煉度の時燃焼効果が最大となるかを知つておけば製炭の際その精煉度の木炭を多量に生産するような製炭方法をとればよいことになる。筆者等はかかる見地から黒炭の精煉適度を求めるために次の実験を行つた。

実験方法

精煉度を異にする各種木炭の燃焼実験を行い熱効率を計算し、熱効率と燃焼時間の関係から精煉適度を判定した。

(1) 試料

試料は昭和 26 年 6～7 月、群馬県利根郡沢田村四万温泉附近で製炭したコナラ黒炭を用いた。その炭化状況は第 30 表に、また、その炭質は第 16 表に示した。

試料は前記コナラ黒炭 1 俵中の木炭を 7～8 cm に鋸断し、各個ごとに精煉度を測定し、精煉度 1～2, 3～4, 5～6, 7～8, 9 の 5 階段に区分しおのおのにつき燃焼実験を行つた。

(2) 燃焼実験

燃焼器具は市販イソライト中堅コンロを使用した。木炭は前記の通り精煉度別に区別した試料を用い、1 回に 200g を使用し、別に火付木としてコナラ乾燥材を小指大に割裂せるもの 30 g および新聞紙半頁を使用した。容器は径 22 cm、深さ 10 cm のアルマイト製蓋付平鍋 (にぎり矢印) を使用し、蓋の中央の取手を除去し、ここより水銀寒暖計を挿入した。容器中には水 1000 cc を加え、寒暖計球部はつねに液中に存在するように調節した。

燃焼実験に当つては、まずはじめに前記コンロに新聞紙および火付木を加え、この上に前記木炭 200g を加え、マッチにて点火すれば特に煽る等の処置を必要とせず直ちに着火した。コンロの周辺は板戸にて囲い、なるべく風の当らぬようにし、コンロの通風口の前には特に亜鉛引鉄板の小型障壁を立て通風が一定になるように装置した。

温度は 1 分ごとに容器中の水温と外気温とを測定した。

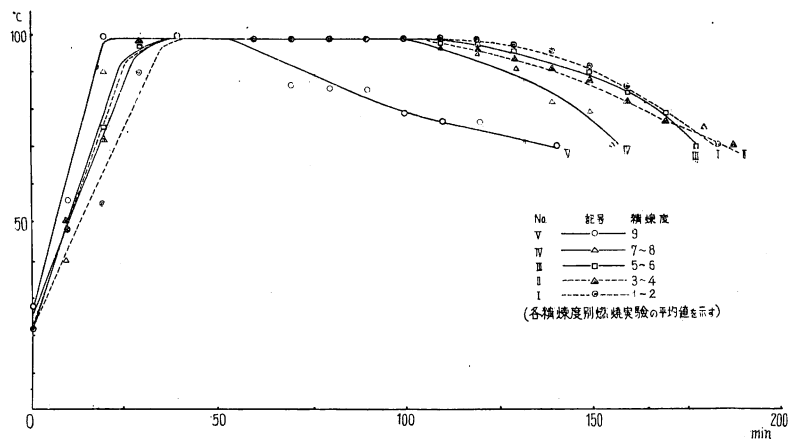
実験は容器中の水温が 70°C に降下するまで行い、実験終了後、直ちにコンロ中に残存した木炭を火消壺に移し、消火後残炭量を測定した。また、容器中に残存した水量は気温に降下後秤量し残水量とした。また、別に燃焼中の爆跳回数を記録した。実験はおのおの精煉度別に繰り返し実験を行い、次式により熱効率を計算した。

$$E\% = \frac{(1000 - A) \times 539 + 1000 (t_1 - t_2)^*}{(200 - B) \times C + D} \times 100$$

* 熱効率の計算式は試料の水分補正を必要とするが、ここでは試料相互の熱効率の差を知ることを目的としたので計算の簡易化のために上式を用いた。

E: 熱効率 A: 残水量 t_1 : 最高水温 t_2 : 最初の水温 B: 残炭量 C: 発熱量 D: 火付木および新聞紙の発熱量 D=65 cal/g とした。

実験結果



第 42 図 精煉度を異にする木炭の燃焼実験

Fig. 42. Charcoal combustion of different degrees of refining.

第 19 表 精煉度を異にした

Table 19. Charcoal combustion of

実験番号	樹種、炭種	精煉度	燃焼時間	残炭量	残水量	蒸発量	最高温度
1	コナラ炭	9	時間 分	g	cc	cc	°C
2	黒炭	9	2.27	12.0	184	816	99.0
3	黒炭	9	2.17	6.0	52	948	99.8
4	黒炭	9	2.23	7.0	144	856	99.8
5	黒炭	9	2.18	6.3	101	899	99.9
平均	黒炭	9	2.21	8.6	120	880	99.6
6	黒炭	7~8	2.52	8.0	165	835	99.0
7	黒炭	7~8	2.30	6.0	70	930	99.5
8	黒炭	7~8	2.40	11.4	141	859	99.7
9	黒炭	7~8	2.23	9.0	70	930	99.9
平均	黒炭	7~8	2.36	8.6	111	889	99.5
10	黒炭	5~6	2.39	11.0	108	892	99.5
11	黒炭	5~6	3.17	8.0	261	739	99.6
12	黒炭	5~6	2.59	17.5	342	668	99.8
13	黒炭	5~6	2.57	14.0	290	710	99.9
平均	黒炭	5~6	2.58	12.6	256	753	99.7
14	黒炭	3~4	2.54	12.0	233	769	99.5
15	黒炭	3~4	2.51	3.0	83	917	99.9
16	黒炭	3~4	2.59	9.0	310	690	99.9
17	黒炭	3~4	3.20	12.5	283	714	99.5
平均	黒炭	3~4	3.08	9.1	227	774	99.9
18	黒炭	1~2	3.05	9.8	120	880	99.9
19	黒炭	1~2	3.03	10.0	240	760	99.6
平均	黒炭	1~2	3.04	9.9	180	820	99.8

実験結果は第 19 表および第 42 図に示した。燃焼継続時間は熱処理の程度の進むに従つて増大した。すなわち、精煉の程度の低いもの（精煉度 9）では 2 時間 20 分であつたが、精煉の程度の高いもの（精煉度 1～2）では 3 時間 3 分を示した。

蒸発量は熱処理の程度の低いもの、すなわち、精煉不充分的ものが蒸発量が多く、精煉の進むに従い蒸発量は少なくなる傾向がある。最高温度に達するまでの時間は熱処理の程度の低いもの、すなわち、精煉不充分的ものは最高温度に達するに 22 分を要したが、精煉の進むに従い時間は長くなり、精煉が充分に行われたものは 56 分を要した。

この実験におけるナラ黒炭では爆跳は明らかに精煉の程度に従い著しく減少した。すなわち、精煉不充分的ものは 1 回の燃焼実験中に爆跳回数 12.5 回であつたが、精煉の充分のものは皆無であつた。

熱効率は精煉の低いものは大きく、精煉の高いものは減少する傾向が認められた。

考察

木炭の性質が精煉の程度に従い著しく相違することは前項 5 の通りであるが、燃焼実験においても著しく異なることがこの実験で明らかになった。

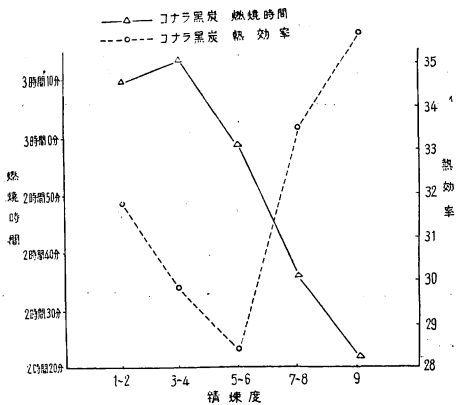
木 炭 の 燃 焼 実 験

different degrees of refining.

最高温度に達する時間	爆 跳	容 積 重	水 分	硬 度	発 熱 量	熱 効 率	備 考
分	(回数)		%		cal/g	%	
20	8.5	0.49	5	8	7,303	39.2	試料, 200 g 燃焼器具 イソライト 焔炉
20	26.5	0.60	—	8	—	43.2	
30	4.5	0.49	—	6～7	—	39.8	
20	10.5	0.50	—	6	—	41.3	
22	12.5	0.52	—	7	—	40.9	
47	8.5	0.50	4.7	8	7,879	36.4	
27	1.5	0.41	—	8～9	—	39.5	
19	21.5	0.50	—	8	—	38.1	
35	7.0	0.60	—	8	—	40.2	
32	9.6	0.50	—	8	—	38.6	
38	0.5	—	6.5	9～10	8,058	39.2	
36	0	0.49	—	9	—	32.8	
30	0.5	0.59	—	10	—	31.8	
38	1.0	0.56	—	8	—	32.8	
35	0.5	0.52	—	9	—	34.2	
41	0	0.54	8.3	9	7,863	37.1	
39	0	0.54	—	9	—	40.1	
48	0.5	0.48	—	9～10	—	32.6	
36	0	0.52	—	8～9	—	34.4	
41	0.1	0.50	—	9	—	36.1	
44	0	0.51	9.1	10	7,736	41.3	
68	0	0.56	—	12	—	36.6	
56	0	0.62	—	11	—	39.0	

通常、木炭を家庭燃料として使用する際にはその燃焼時間と熱効率が問題になる。前者は木炭を採暖用に使用する際に主要要素となり、後者は木炭を炊事用に使用する際に重要要素となる。しかるに本実験によれば両要素は相反する関係にある。そこで両要素を満すためには各要素と精煉度の関係曲線を作図し、その交点を求めればよいことになる。この交点が両要素から考えて適当な精煉度として判定されると考えられる。

そこで燃焼曲線と熱効率曲線とを作図しその交点 P を求めれば第 43 図の通りになつた。す



第 43 図 燃焼時間と熱効率

Fig. 43. Combustion time and heat efficiency.

なわち、精煉度 6~7 がコナラ黒炭においては精煉適度と判定された。

なお、第19表よりこの実験結果を検定するため、相関係数を求めたところ、第20、21表の通りの結果を得た。すなわち、燃焼時間と最高温度に到達するまでの時間とは精煉度に高次に関係し、おのこの $r=0.921$ および $r=0.943$ であるが、有意水準 5% の場合 $r=0.8783$ であるから以上の 2 つは明らかに精煉度に関係がある。また、蒸発量も熱効率 A (各精煉度の熱効率平均値を用いて計算した) は精煉度に

第 20 表 精煉度と燃焼時間等の相関関係

Table 20. Correlation coefficient between degrees of refining and combustion time etc.

	精 煉 度	備 考
燃 焼 時 間	$\gamma=0.921$	熱効率Aは各精煉度平均値を使用した。 熱効率Bは実測値 (1. 8. 9. 11. 13. 14 を除く) を使用した。
蒸 発 量	$\gamma=0.458$	
最高温度に到達時間	$\gamma=0.943$	
熱 効 率 A	$\gamma=0.657$	
熱 効 率 B	$\gamma=0.705$	

有意水準 5% 自由度=3, $\gamma=0.8783$

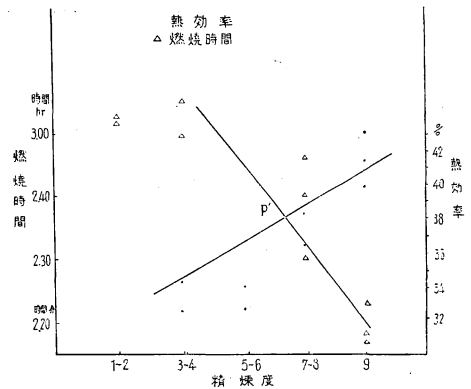
第 21 表 蒸発量と熱効率等の相関関係

Table 21. Correlation coefficient between evaporation and heat efficiency.

	蒸 発 量	備 考
精 煉 度	$\gamma=0.458$	燃焼時間Aは精煉度9における実測値を使用した。 燃焼時間Bは精煉度7~8における実測値を使用した。
熱 効 率	$\gamma=0.487$	
燃 焼 時 間 A	$\gamma=0.994$	
燃 焼 時 間 B	$\gamma=0.995$	

有意水準 5%, 自由度=2, $\gamma=0.950$

は関係がない。そこで燃焼実験の中から第20表の通り観測条件を考慮し実験値を選択して平均値を求めずに計算した熱効率 B は $r=0.705$ となりこの場合、有意水準5%の場合 $r=0.5760$ となり、精煉度に関係があると云える。そこでこの数値を用い熱効率曲線を作れば、第44図の通りとなり、燃焼時間の曲線その交点P'が求められ、第42図と同様に精煉度6～7が適当と認められる結果になつた。なお、蒸発量の相関係数を求めれば第21表の通りとなる。この場合の5%有意水準 $r=0.950$ で



第44図 熱効率と燃焼時間

Fig. 44. Heat efficiency and combustion time.

あるから、精煉度と熱効率は蒸発量には関係がないが、燃焼時間との相関係数は精煉度9のもの、7～8のものともに高次で ($r=0.994$, および $r=0.950$) 明らかに蒸発量は燃焼時間に関係があると云える。すなわち、木炭は精煉度の如何にかかわらず、この燃焼器具でコナラ黒炭を燃焼する時は燃焼を急速に行うようにすると蒸発量は多くなるという結果になつた。

7. 精煉と吸着性

精煉により木炭の物理化学的性質は前項のように変化するもので、したがつて、その吸着性も当然異なると考えられる。そこで精煉度を異にする各種木炭に、水分吸着につき次の実験を行つた。

(1) 試料

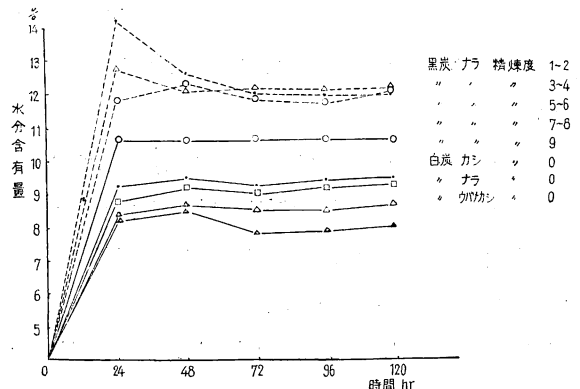
試料は前項(5)と同一試料を使用した。すなわち、白炭としてはウバメカン、シラカン、コナラ。黒炭としては精煉度 1～2, 3～4, 5～6, 7～8, 9 に区別したコナラ黒炭を 100～150 メツシに粉碎し使用した。

(2) 水分吸着実験

以上の試料をおのおの約 0.1g 宛秤量ビンにとり、あらかじめ絶乾になし、次に下部に水を満したデシケーター中に入れ、24, 48, 72, 96, 120時間ごとに秤量し、その水分吸着量を求めた。その結果は第22表および第45図に示した。

実験結果ならびに考察

各木炭ともに 24 時間後ほとん



第45図 水分吸着と精煉度

Fig. 45. Water adsorption and degrees of refining.

第 22 表 精煉度を異にした木炭の水分飽和吸着
 Table 22. Water saturated adsorption of different refined charcoal.

精煉度	樹種, 炭種	絶乾後吸着水分 %				
		24時間後	48時間後	72時間後	96時間後	120時間後
0	ウバメカシ 白炭	12.85	12.28	12.03	12.17	12.10
0	コナラ 白炭	14.10	12.30	11.93	11.95	12.06
0	シラカシ 白炭	11.97	12.17	11.95	11.89	12.08
1~2	コナラ 黒炭	10.58	10.76	10.56	10.71	10.71
3~4	〃	9.16	9.65	9.12	9.52	9.69
5~6	〃	8.50	10.35	8.55	8.65	8.95
7~8	〃	8.31	8.84	7.79	7.91	8.12
9	〃	8.98	9.19	9.04	9.14	9.29

ど吸着量は飽和に達し、それ以後の増減は少量であつた。白炭は水分の飽和吸着量は 3 樹種ともほとんど差がなく、ウバメカシ 12.10%，コナラ 12.06%，シラカシ 12.08%であつた。黒炭では精煉の程度により著しく相違し、精煉度 1~2 のものは 10.7 %であるが、精煉度 7~8 のものは 8.1%で、精煉度により差異がある。一般に精煉が加えられるほど吸着量は増大し白炭に近づく。

白炭の水分飽和吸着量がいずれもほぼ相均しいことは、白炭の熱処理がいずれの木炭もほぼ相等しいことを証明していると考えられる。X 線廻折図によれば、相似た Carbon pattern を与えたが、真比重もほとんど同様で、したがつて白炭の熱処理が炭の種類により差が少ないことは明らかである。

黒炭は熱処理の程度に差が大きく、同一樹種で、しかも同一製炭窯で炭化したにもかかわらず、おのおのその熱処理の程度を異にし、したがつて、その物理化学的性質に著しい差があることは前項 5 およびこの実験で明らかである。

8. 一般木炭の精煉の程度

一般木炭、特に黒炭の精煉の程度を知るために次の実験を行つた。なお、白炭は木炭精煉計によれば一般に精煉度 0 になり、しかも部分的差異が少なく、実用上は一応均一に精煉されていると考えられるので、ここでは黒炭につきその熱処理の程度を調査することにした。

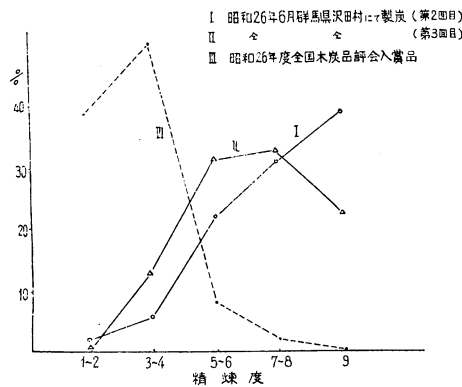
(1) 試料

試料はコナラ、クヌギの黒炭を使用した。すなわち、筆者等が昭和 26 年 6~7 月、群馬県利根郡沢田村四万温泉附近国有林で製炭したコナラ黒炭、および昭和 26 年度全国木炭品評会に入賞したコナラ、クヌギ黒炭および茨城県鉾田附近産クヌギ黒炭、いわゆる佐倉炭と称せられるものおよび大分県産クヌギ黒炭をおのおの 15kg 入 1 俵あて使用した。

各試料はそれぞれ 7~8 cm に鋸断し、木炭精煉計を使用し精煉度測定の後、精煉度 1~2, 3~4, 5~6, 7~8, 9 の 5 種類に区別し、おのおのその分布率を求めた。

実験結果

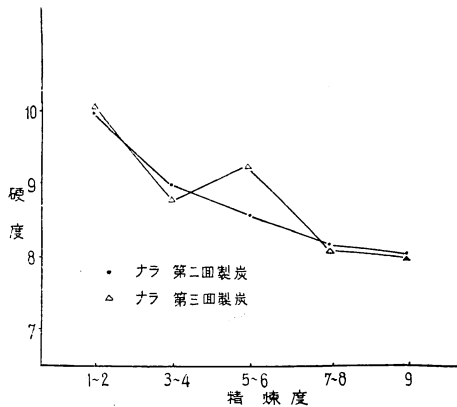
第 46, 47 図はその結果を示したが、コナラ黒炭では第 45 図の通り試料Ⅰ（窯が湿潤して炭化不充分のもの）の分布率の Max が精煉度 9 にあり、試料Ⅱ（窯が前者より乾燥し炭化充分と認められるもの）の分布率の Max は精煉度 7～8 にあつた。また、試料Ⅲは（品評会に出品したもので高度に精煉されているもの）同様に 3～4 にあつた。また、クヌギ黒炭では第 46 図の通り試料Ⅰは（佐倉炭）分布率の Max が精煉度 7～8 にあり、また、試料Ⅱ（大分県産、極上級のもの）は同様に Max が 6～7 にあつた。試料Ⅲ（木炭品評会出品木炭）は



第 46 図 コナラ 1 俵中の精煉度の分布

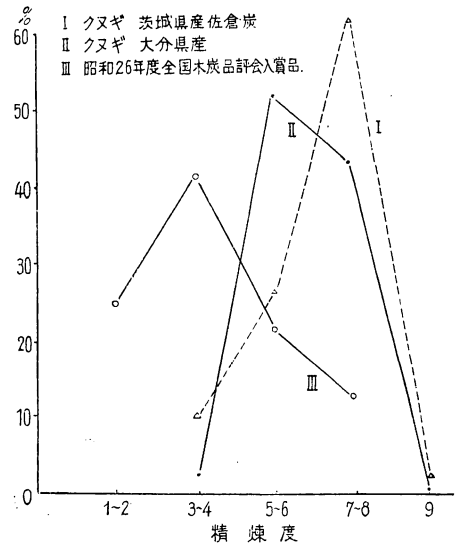
Fig. 46. Dispersion of degrees of refining in a black charcoal (*Quercus*) bag.

註 1 俵の木炭を取り出し、7～8 cm に鋸断しその精煉度を測定した。



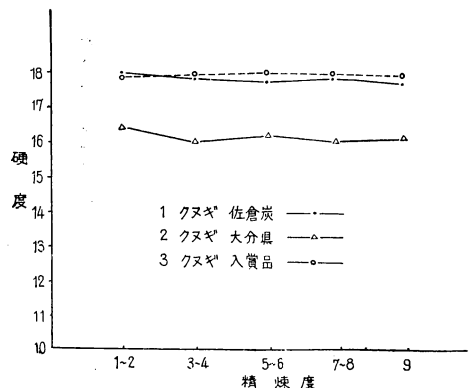
第 48 図 コナラ木炭 1 俵中における硬度と精煉度の関係

Fig. 48. Relation between hardness and degrees of refining in a charcoal (*Quercus serrata thunb*) bag.



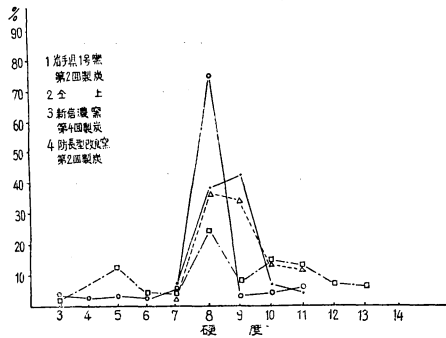
第 47 図 クヌギ 1 俵中の精煉度の分布

Fig. 47. Dispersion of degrees of refining in a black charcoal (*Quercus acutissima car.*) bag.

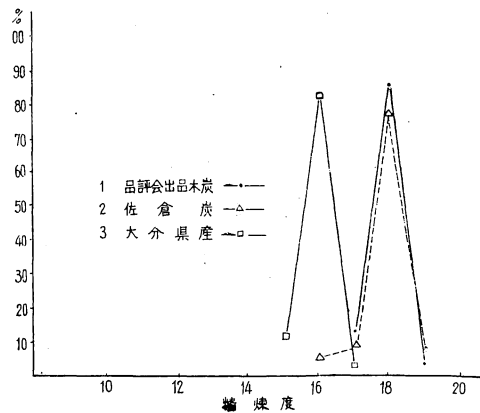


第 49 図 クヌギ 1 俵中における硬度と精煉度の関係

Fig. 49. Relation between hardness and degrees of refining in a charcoal (*Quercus acutissima car*) bag.



第 50 図 コナラ 1 俵中における硬度分布表

Fig. 50. Dispersion of hardness in a charcoal (*Quercus serrata thunb*) bag.

第 51 図 クヌギ 1 俵中における硬度分布表

Fig. 51. Dispersion of hardness in a charcoal (*Quercus acutissima car.*) bag.

同様に Max が 3～4 にあつた。

また、別におのおの 7～8 cm に鋸断せる試料につき硬度を測定し、精煉度と硬度の関係を求めたところ第 48, 49 図を得た。コナラ黒炭では熱処理が高くなるに従い図上では硬度は増加する傾向が認められたが、クヌギ黒炭ではかかる傾向は認められなかつた。また、硬度分布表は第 50, 51 図の通りコナラ黒炭では分布の Max が 8～9 にあるが、その分布は木炭によつて異なり、3～13 に涉り相当に広く分布している。クヌギ黒炭では第 50 図の通り 16、或いは 18 に集中していて、その分布はコナラに比較し集中している傾向が認められた。

考察

以上の実験結果から考察すると、黒炭の精煉の程度は個々の炭俵により、その製炭状況の差異に従つて差が大きいが、一般に木炭品評会に出品された木炭は明らかに精煉の程度が高く、特に熱処理された木炭であると認められる。コナラ黒炭では前記 6 の通り精煉の程度は 6～7 が適当であるとされたが、製炭回数を重ねたいわゆる熟窯によつて生産された木炭は、ほぼこの条件に適する精煉度分布を示している。クヌギはコナラより精煉の程度が一般に高いが、これはクヌギはコナラより熱分解し易いためにによるものであろう。佐倉炭の精煉度分布の Max が 7～8 にあることは、佐倉炭が家庭燃料として古くより珍重されており、また、標準をなしているので、この熱処理の程度は注目値に値すると思われる。林野庁林産課山下技官が昭和 26 年一般木炭につき調査した結果の一部を参考として引用すれば次の通りになる。

調査方法は黒炭 1 俵の中から上端部の存するもの（上とする）、下端部の存するもの（下とする）、上、下端部のないもの、すなわち、中切りと称せられるもの（中とする）の 3 種に区別しおのおのその両小口面の精煉度を測定した。

調査 1.

樹種 コナラ，炭種 黒炭，規格 割並，産地 東北某県産。

上 12 本 精 煉 度		中 16 本 精 煉 度		下 1 本 精 煉 度
1.5~4	2~5	3.5~8	5~8	4~7.5
1.5~4	2~6	4~7.5	5.5~9	
1.5~4.5	2~6.5	4~8	5.5~9	
2~3.5	2.5~7	4~8	6.5~9	
2~4.5	2.5~7	4.5~8	6.5~9	
2~4.5	平 均	4.5~9	7~9	
2~4.5	2.0~5.1	4.5~9	7~9	
		4.5~9	平 均	
		5~8	5.1~8.5	

以上の結果からこの木炭の生産状況を推定すれば，

- (1) この木炭は大径木の小割りしたものである。
- (2) 敷木を敷かず下端を切捨てた「2本取もの」と認められる。
- (3) 精煉は一般に良好である。
- (4) 上の平均と，中の平均とがともに5.1で連続している。すなわち，同一炭材を切断したものと認められる。

調査 2.

樹種 こなら，炭種 黒炭，規格 丸上，産地 山陰某県産。

上 7本 精煉度	中 26 本 精 煉 度				下 1本 精煉度
1.5~2.5	1.5~4.5	2.5~5	4~7	6~7.5	7~9
1.5~2.5	1.5~4.5	3~5	4.5~7	6~8	
1.5~2.5	2~3.5	3~5	4.5~7	7~7.5	
1.5~2.5	2~5	3~5.5	5~6.5	7~7.5	
2~2.5	2~5	4~6.5	5~7	7~8	
2~3	2.5~4.5		5~7		
2~3	2.5~4.5	以上平均	5.5~7.5	以上平均	
平均 1.7~2.6	2.5~5	2.5~4.9	5.5~8	4~6.1	

以上の結果から生産状況を推定すれば，

- (1) 約 20 %が直径約2~3 cm の小丸もので残が直径約5 cm の丸ものであろう。
- (2) 中を機械的に上，下に2等分して，そのおのこの平均精煉度を算出し，上から下までその平均数字を並べれば，

上	中 ₁	中 ₂	下
1.7~2.6	2.5~4.9	5.5~7.3	7~9

となり，一応連続していると認められる。したがって，敷木を敷かず足を切捨てた「三本取程度のもの」すなわち，1本の炭材を3本に鋸断したものと推定される。

- (3) 精煉は一般に良好である。

調査 3.

樹種 こなら, 炭種 黒炭, 規格 荒上, 産地 東北某県産。

調査数ならびに精煉度

割 4 本	丸 上 4 本	下 5 本
3~3	3~6	6~7.5
4~4	3~6.5	6.5~7.5
4~4	3~6.5	6.5~8
4.5~4.5	3~7.5	6.5~8
		7~9
平均 3.9~3.9	平均 3.0~6.6	平均 6.5~8

以上の結果から製炭状況を推定すれば次の通りになる。

- (1) 割は両小口の精煉度が同一であるが上木であろうと推定される。
- (2) 丸は上, 下平均が相連続している結果から考えて 2 本取と推定される。
- (3) 精煉の程度は一般に良好である。

調査 4.

樹種 こなら, 炭種 黒炭, 規格 割上, 産地 関東某県産。

調査数ならびに精煉度

上 8 本	中 3 本	下 4 本
4.5~9 6~9	6~9	9~9
5~9 6~9	6~9	9~9
5~9 5~9	6~9	9~9
5.5~9		9~9
5.5~9 平均 5.3~9	平均 8~9	平均 9~9

以上の結果から製炭状況を推定すれば,

- (1) 炭材を 2 つ割, 或いは 4 つ割製品である。
- (2) これは「3 本取もの」とは認め難い。余りに下部の未炭化が甚だしいので, 下に相当するもの何本かの足を切捨てた「2 本取, 或いは 2 本半取」であろう。
- (3) 精煉不足である。外觀も不良で, 並以下の製品である。

調査 5.

樹種 こなら, 炭種 黒炭, 規格 丸並, 産地 東北某県産。

調査数ならびに精煉度

上 6 本	下 3 本
1~7 2.5~5.5	6.5~9
1.5~6.5 2.5~7.5	8~9
1.5~7.5	8~9
2~6.5 平均 1.8~6.8	平均 7.5~9

以上の結果から製炭状況を推定すれば、

- (1) 精煉度の平均値が連続している結果から考えれば「2本取」と推定される。
- (2) 精煉度の幅が大きく、特に上端部には灰化しているものがあつて、精煉操作が不熟練と推定される。
- (3) 精煉の程度は良好ではないが充分であると考えられる。

調査 6.

樹種 こなら、炭種 黒炭、規格 丸極上、産地 東北某県産。

この木炭は昭和 26 年度全国木炭品評会上位入賞品である。

調査数ならびに精煉度

上 26 本			下 23 本		
1~2	1~2.5	1.5~2	1.5~3	2.5~3.5	2.5~4
1~2	1~2.5	1.5~2	2~3.5	2.5~3.5	2.5~4
1~2	1~2.5	1.5~2.5	2~3.5	2.5~3.5	2.5~4.5
1~2.5	1~2.5	1.5~2.5	2~4	2.5~3.5	
1~2.5	1~2.5	1.5~2.5	2~4	2.5~4	2.5~5
1~2.5	1~2.5	1.5~2.5	2.5~3	2.5~4	3.0~4.5
1~2.5	1~2.5	1.5~2.5	2.5~3.5	2.5~4	
1~2.5	1~2.5	1.5~2.0	2.5~3.5	2.5~4	
1~2.5	1~3	平均 1.2~2.4	2.5~3.5	2.5~4	平均 2.4~3.8

以上の結果から製炭状況を推定すれば、

- (1) 精煉度の平均値が連続しているところから考えると恐らく「2本取」製品であろう。
- (2) 精煉はすこぶる良好で市販品とは異なる。

調査 7.

樹種 ざつ、炭種 黒炭、規格 丸。

この木炭も前記木炭と同様に昭和 26 年度全国木炭品評会出品のものであるが、入賞しなかった。

調査数ならびに精煉度

上 17 本		下 29 本		
1.5~7	2~8	2.5~6.5	3~7.5	4~7.5
1.5~7	2.5~6	2.5~6.5	3.5~6	4~7.5
1.5~7	2.5~6.5	2.5~7	3.5~6.5	4~7.5
1.5~7	2.5~7.5	2.5~7.5	3.5~7	4~7.5
2~6	2.5~7.5	3~7	3.5~7.5	4~7.5
2~6	2.5~7.5	3~7	3.5~7.5	4.5~7
2~6.5	3~7.5	3~7	3.5~7.5	4.5~7
2~7		3~7	3.5~7.5	4.5~7.5
2~7		3~7.5	3.5~7.5	4.5~7.5
2~7.5	平均 2.1~7.0	3~7.5	4~7	平均 3.5~7.2

以上の結果から製炭状況を推定すれば、

- (1) この木炭は「2 本取製品」ではない。精煉度の平均値が連続していないところから推定すれば、恐らく木尺をつめた原木で製炭し、出炭後その上端の一部、或いは下部の一部を切捨て、2 本取と見せかけて出品したものであろう。
- (2) 精煉の程度は充分である。

V. 白炭の精煉

1. 白炭の精煉の目的

白炭の精煉の目的は堅硬で揮発分が少なく、均等に炭化された木炭を得ることにある。木炭の燃焼性は硬度、揮発分に影響されることが多い。前者は主として燃焼速度に関係し、後者はその他爆跳、着火点等に関係がある。これらの炭質の改良は白炭では樹皮燃焼により窯内を高湿にすることで行われる。高湿による炭素質の変化は前記Ⅱの通りであるが、かかる炭素質の変化は窯外消火と称せられる急冷処理を行つても炭質に変化が生じない。精煉技術の発達史から考えると、前項Ⅲの通り白炭は平安時代唐より伝承された技術と考えられるが、今日の白炭精煉技術が当時と同様であるか否かは甚だ疑わしい。おそらく比較的近年の発達にかかわるものであろう。白炭と黒炭の製炭法の主なる相違は結局、消火方法の差だけであり、結局、消火方法の差が各々異なる精煉技術を発達させたとも考えられる。すなわち、炭化終了後、直ちに炭を出炭すると炭は折れ、さけ、くずれ、粉炭量が多くなる。精煉を行い炭質を堅硬にすると直ちに炭を出炭しても折れ、さけ、くずれる等の変化がなく良好な木炭が得られる。

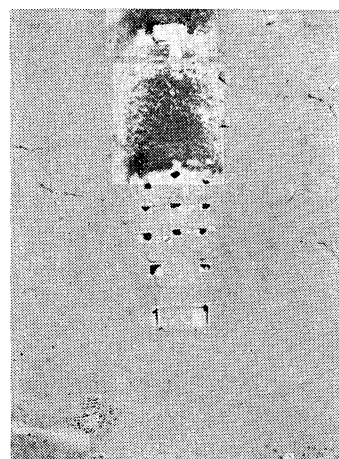
2. 精煉方法

白炭の精煉は通常、窯口精煉、煙道精煉、折衷精煉に区別されているが、煙道精煉は窯口精煉をとまなうので、折衷精煉と区別することは厳密には困難である。むしろ、備長窯式精煉、或いは吉田窯式精煉等と称する方法が適當であると考えられる。

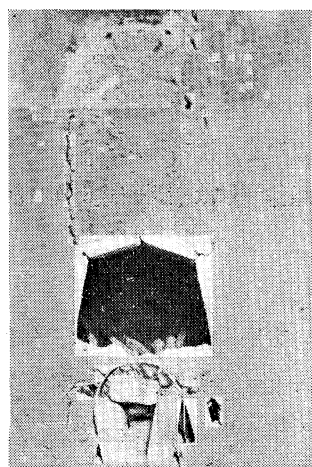
白炭の精煉は熱処理の程度から考えると、黒炭よりは著しく高く、しかも均一であることは前記Ⅳ. 5 の通りであつて、精煉技術としては完成された技術であると考えられる。白炭の精煉は、いずれの精煉方法も樹皮燃焼を均一に行い、徐々に窯内を高湿にすることを目的としている。このために窯の構造炭化の状態により精煉操作は一定ではないが、備長式精煉方法、すなわち、窯口精煉では極めて徐々に窯口を拡大し、通風量の増大をはかっている。第 52 図は和歌山県日高郡高城村で杉浦技官が撮影した窯口の変化であるが、窯口を精煉時には極めて徐々に拡大し、通風量の増大をはかっている。吉田窯式精煉、すなわち、煙道精煉では窯口を拡大する前に煙道を拡大するが、その拡大方法も極めて緩徐に行つている。その一例を前記和歌山県林業試験場報告第 2 号より引用し第 53 図に示した。



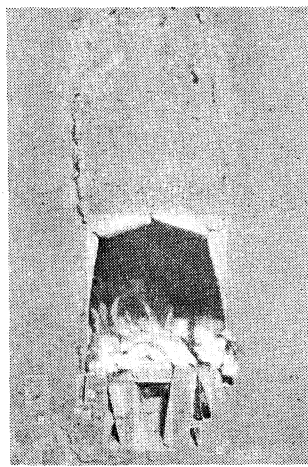
A 窯 口
Kiln inlet



B 精 煉 初 期
Beginning of refining



C 精煉終期 煙道口 280°C
End of refining Temp.
at draft outlet 280°C



D 精煉終期 煙道口 292°C
End of refining Temp.
at draft outlet 292°C



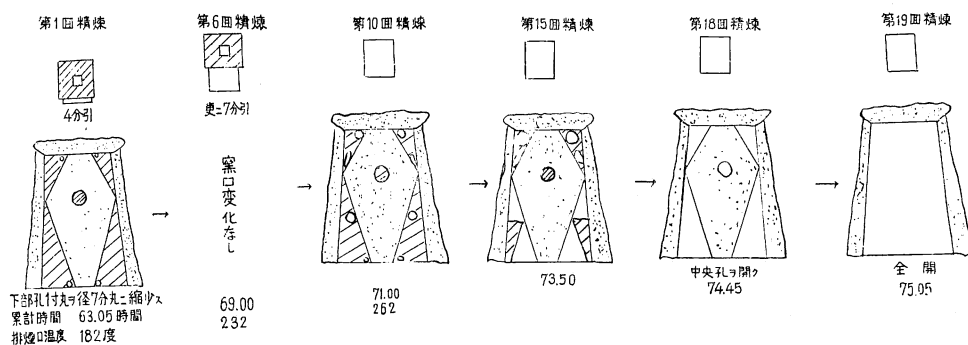
E 精煉終期 煙道口 298°C
End of refining Temp.
at draft outlet 298°C

第 52 図 備長窯の窯口変化（和歌山県日高郡高城村にて、杉浦）

Fig. 52. Change of Bincho-Kiln inlet during charcoal refining (after Sugiura)

i 備長窯式精煉法¹³⁾

本式の精煉は窯口精煉である。精煉時の排煙口温度が低いこと、窯口の拡大方法等に特徴がある。まず煙道口の加減木を除去し、窯口上部より徐々に通風口拡大を行い、窯内木炭が赤熱するおよび窯口最下部の小窓、嵐穴の通風口を拡大し、遂には窯口を全開して精煉を終了する。特に窯内木炭が赤熱するまでは、極めて徐々に通風口を拡大し、徐々に通風量の増大をはかることに注意する。精煉時間は 15～19 時間を要し操作回数 20 数回を要する。常に青焰の見えるように、すなわち、ガス燃焼の完全に行われるように注意し、通風量が過大になつて輝



第 53 図 吉田窯々口変化 (原図, 和歌山県林業試験場報告第 2 号)

Fig. 53. Change of Yoshida-kiln inlet during carbonization.
(after Wakayama-ken Forest Experiment Station Report No. 2)

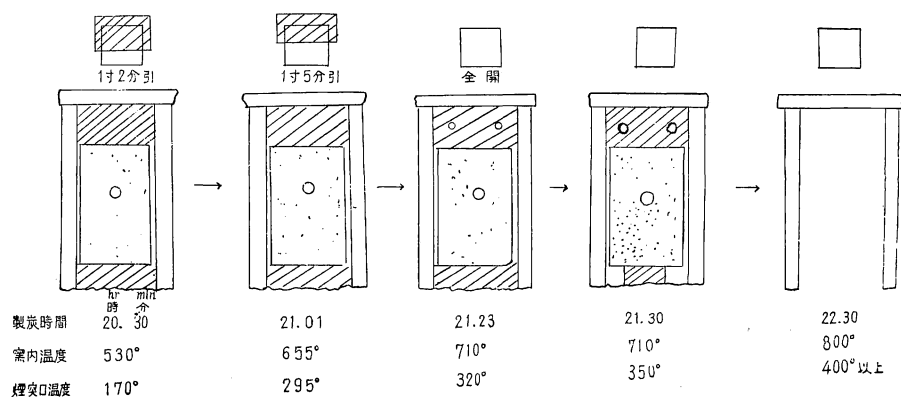
焰が発生しないように操作を必要とすると云われる。

ii 吉田窯式¹⁸⁾

この窯では精煉開始するには先ず煙道口を徐々に拡大し、いわゆる、煙道精煉を行つてから窯口を徐々に拡大し窯口精煉も行ふ。この窯は煙道が太く、煙道口が大きく、窯壁が低いために通風量が備長窯より大きい。したがつて窯口温度は極めて高温となり、ガス発生量も多くなり、出炭時には火焰の噴出が著しい。精煉時間は約 11 時間で、操作回数は備長窯式より少ない。

iii 日窯式

日窯式精煉法の一つとして山形日窯の場合を述べれば、この窯の方法も吉田窯式と同じくはじめに煙道口を徐々に拡大し、煙道口全開に達してから窯口を徐々に拡大する。精煉時間は約 2 時間で操作回数は 5～6 回である。第 54 図は筆者等が昭和 23 年 2 月山形県最上郡及位村釜淵分場で実験した精煉時の窯口の変化図である³⁸⁾。

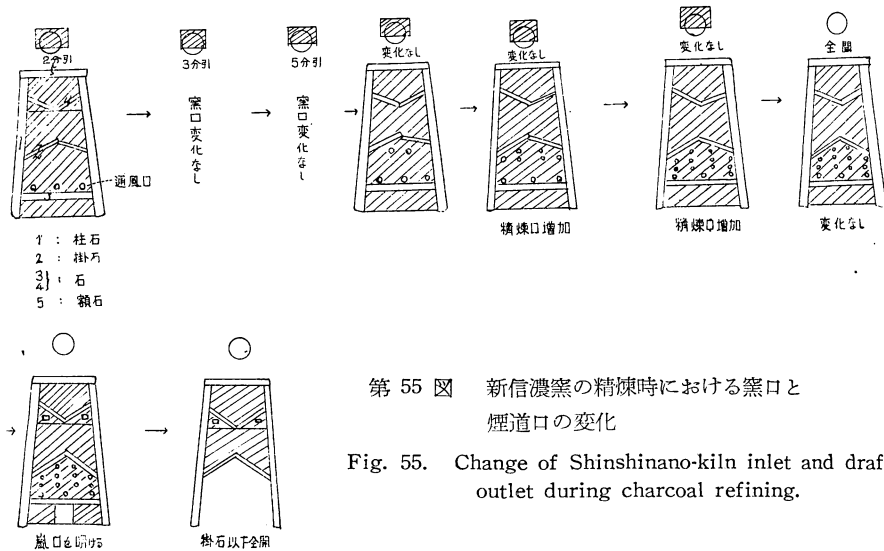


第 54 図 山形日窯の精煉時における窯口と煙道口の変化

Fig. 54. Change of Yamagata daily kiln inlet and draft outlet during refining.

iv 信濃窯式³⁾⁾

この窯の方式はいわゆる折衷精煉である。先ずはじめに煙道口を徐々に拡大し、長径の $1/3$ に達するまで拡大したら、次に精煉孔を拡大し、最後に煙道口を全開し、次に嵐口を全開して十分に精煉を行う。最後に窯石の掛石以下を取りはずして出炭を開始する。これを図解すれば第 55 図になる。



第 55 図 新信濃窯の精煉時における窯口と煙道口の変化

Fig. 55. Change of Shinshinano-kiln inlet and draft outlet during charcoal refining.

3. 白炭窯の精煉開始時期および精煉時間

白炭窯の精煉開始の時期の判定は排煙の色，臭，窯内の炭化の状態および煙突口温度で判定される。従来，行われている判定基準および筆者等の行った実験結果を示せば第 23 表になった。

第 23 表 白炭窯精煉開始時期の判定

Table 23. Method of decision of the time to begin charcoal refining.

窯 別	煙 の 状 態	炭 化 の 状 態	煙 突 口 温 度	備 考
備 長 窯	青白色を帯び甘味臭	窯内木炭が赤熱し， 牙えかかっている時	124~156 平均 144 点火終了時の温度より約 50°C 高くなつた時	和歌山県林業試験場 報告第 2 号による
吉 田 窯	浅黄色 刺戟臭著し		122~218 平均 185 点火終了時の温度より約 75°C 高くなつた時	同 上
新信濃窯	白青色 煙突口直上数寸青色 で上は白色	炭材の間に青色焰を 認める時		長野県パンフレット 新信濃窯製炭法による
山形日窯	青白色 木醋液の流出全く中止した時（木醋液採取装置をつけた時）		170~275 平均 232	昭和 23 年釜淵分場 にて実験
石 川 窯 土 佐 窯	青白色 煙道口にタールが粒 状につく時	炭材上部に青色焰が 認められる時	約 230	昭和 15 年小塚製炭 試験地にて実験

第 24 表 主要白炭窯の精煉時間

Table 24. Charcoal refining time of principal white charcoal kilns.

窯 別	精 煉 時 間	炭材 100 貫当り 精 煉 時 間	備 考
備 長 窯	19時間 12分	3時間 59分	和歌山県林業試験場報告第 2 号
備 長 窯	16 03	3 47	三浦伊八郎：改良白炭窯比較試験（昭和 3 年）
吉 田 窯	11 48	4 50	和歌山県林業試験場報告第 2 号
吉 田 窯	7 19	3 20	三浦伊八郎：改良白炭窯比較試験（昭和 3 年）
改 良 日 向 窯	17 54	2 49	同 上
日 窯	5 55	2 33	同 上
山 形 日 窯	2 13	1 30	昭和 23 年山形県釜淵分場で実験
土 佐 窯	21 30	0 30	昭和 15 年福島県小塚製炭試験地で実験

第 23 表に示された判定条件から推定すると、白炭窯の精煉開始の時期は黒炭窯より早いと考えられる。精煉開始時の煙突口温度を比較すると、備長窯、吉田窯では明らかに黒炭窯（第 32 表）より低い。特に備長窯では低い。また、窯内の炭化の状態から推定すると、備長窯では炭材下部が未だに木材の熱分解が終らないうちに、少なくともセルローズ分解点は経過してもリグニン分解点には達しない時にすでに精煉が開始される。

これは精煉を極めて徐々に行う必要上、なるべく早く精煉を開始する必要があるためと考えられるが、三宅氏⁴⁰⁾等が K. B. S 装置（石炭の熔融点測定装置）で木材炭化中の収縮状態を計測した結果によると、木材の収縮の大部分は 350° C までに終了しているの、窯底部部の温度が 350° C に達し、或る時間を経過すれば（炭材内部の温度が同温度に達するまで時間のおくれがあるために）精煉を開始しても、木炭には形質上の影響がないものであろう。しかしながら、はじめのころの精煉は窯口中部に通風口を徐々に増加して行く方法なので、かかる通風方法では炭材下部に及ぼす影響は少なく、ほとんど炭材上部、すでに木材分解が終了したと考えられる部分に対する影響にかぎられるので、かかる早期に精煉を開始しても差支えないものであろう。特に白炭窯は窯壁が高いために、天井、窯底の温度差が大きくなり、したがって窯底部に炭化のおくれを生ずるので、排煙口温度は黒炭に比し低く、煙の状態も有機溜分の多い状態を示すものであろう。また、黒炭窯では精煉の際、炭材に着火してはならないが、白炭窯では炭材に着火させ、樹皮燃焼を起させることを目的とするので、したがって早期に通風量を増大し、上部炭材に着火させる方法がとられるものであろう。しかしながらかかる着火が急速に行われれば、窯内温度は急上昇し、未だ木材熱分解進行中のもの、或いは未だ揮発分を多量に含む部分に急激な温度変化を与えるために割裂、破碎の危険が多いから着火の部分少部分となし、温度を徐々に上昇させる。したがって通風量も極めて徐々に増加する必要があるため、窯口をゆつくりと次第に大きく拡大するものであろう。一般にカシ類は熱分解し易いため、カシ類の炭化には特に緩やかな精煉方法をとる必要がある。

土佐窯は精煉の開始期は備長窯よりおくれ、一般黒炭窯と大差がない。これは窯の容量が大

きいから、早期にかつ緩やかな精煉操作を行いくいたためである。日窯は小型であるが、精煉開始の時期は石川窯等と同じく備長窯よりおくれて開始する。

白炭窯の精煉時間は黒炭窯に比し長い（第35表）。これは白炭窯の精煉が徐々に行われるため、その理由は前記の通りに推定される。主要な白炭窯につき精煉時間および出炭時間を比較すれば第24表の通りになる。

精煉時間は炭化の状況により変化するが、煙道の細長い備長窯は一般に精煉時間が長く、煙道の太い日窯は精煉時間が短い傾向がある。後者の窯からは前者の窯から生産される木炭と同様な良炭が得難い理由は、このように精煉時間に差がある結果に基づくためであろう。

4. 白炭窯の精煉温度

白炭窯の精煉温度を今までの実験および筆者等の実験により求めた数値を挙げれば第25表になった。

精煉開始のころの排煙温度は黒炭窯にほぼ近く、特に備長窯等では低い傾向がある。この理由は前項Ⅴ.3の通り推定したが、精煉終了時の排煙温度は黒炭に比し著しく高い。特に煙道精煉を行う吉田窯は800°Cに達する。

精煉終了時の煙突口温度は窯により著しく相違するが、これは精煉操作の異なるためで、すなわち窯口精煉と煙道精煉では著しい差異がある。したがって三浦博士⁴⁾は白炭窯では黒炭窯のように、排煙温度の測定値は少ないとせられている。窯内温度は850°C~1,050°Cで窯によりさらに低温のものも高温のものもあるが、一般に黒炭窯より甚だ高温である。しかしなが

第25表 白炭窯の精煉温度
Tab. 25. Refining temp. of white charcoal.

窯 別	排 煙 温 度 °C			窯 内 温 度 °C			備 考
	精 煉 開始時	同 終了時	最高温度	精 煉 開始時	同 終了時	最高温度	
備 長 窯	146	226	—	—	—	—	文 献 1)
備 長 窯	97	193	265	265	867	967	" 2)
吉 田 窯	190	490	—	315	810	865	" 3)
吉 田 窯	—	491	—	—	—	—	" 4)
清澄在来窯	—	—	900	—	—	1,180	" 5)
改良日向窯	325	535	735	330	800	880	" 6)
山形日窯	232	400	400	508	873	873	昭和22年山形県釜淵分場にて実験
石 川 窯	215	450	450	—	—	—	昭和15年福島県小塚製炭試験地にて実験
宮 崎 窯	128	235	310	408	935	1,125	文 献 7)
吉 田 窯	192	—	—	—	—	—	" 8)

- 文献 1) 8) 和歌山県林業試験場報告第2号（昭和13年）
 2) 3) 6) 7) 三浦伊八郎：改良白炭窯比較試験（昭和3年）
 4) 5) 三浦伊八郎：薪炭学考料（昭和18年）

ら白炭の精煉温度は炭材個々が燃焼するために、炭材自体の温度は窯内天井部で示された温度より高温であると考えられる。第 26 表は炭材個々につき、光高温計で精煉の時の温度を測定したが明らかに窯内天井部温度より炭材温度の方が高い。第 25 表は備長窯の出炭時における口ねらしの際の木炭の温度を光高温計で内藤技官が観測した結果および杉浦技官が浅川分室の試験窯について行つた結果を示したが、温度は出炭時に高くなる。すなわち、出炭に際し窯口に掻き出された時木炭は最高温度に達し、各部均一に精煉せられるものと考えられる。黒炭窯では精煉時には炭材温度は窯内温度より低いと考えられるが（第 10 表、第 32 図）白炭窯ではこれと反対に窯内温度より炭材温度が高い傾向がある。特に出炭時には前記の通り炭材を窯口に 1 本あて掻き出し、さらに充分に灼熱させるので、白炭窯の精煉温度は光高温計により直接に炭材自体の温度を測定する方法が合理的であると考えられる。

第 26 表 白炭窯精煉時における温度

Table 26. Refining temperature in white charcoal kiln during refining.

窯 別	経過時間	排煙温度°C	窯内温度°C	炭材温度°C	備 考
備 長 窯	0	195		810	精煉開始
	0時間40分	195		860	
	1 20	210		800	
	2 20	230		760	
	3 20	240		—	
	3 30	260		920	
	4 50	265		885	
	5 00	270		—	精煉終了
	5 10			850	出炭開始
	5 20			950	
	5 40			950	
	6 20			990	
	6 45			1,020	
	7 25			1,010	
	7 40			1,010	
	8 10			1,010	
	8 30			1,050	
	9 00			1,020	
	9 20			1,010	
	9 45			960	
	10 00			—	出炭終了
試 験 窯		470~480 (最高温度)	800~810 (最高温度)	920~960 (最高温度)	浅川分室実験 (昭和 27 年) 奥行 2.00m 最大巾 1.32m 窯壁高 1.32m

註 1) 排煙温度は水銀寒暖計使用 2) 窯内温度は熱電対使用 3) 炭材温度は光高温計使用

5. 出炭と消火

白炭窯は精煉の終了後出炭操作に移る。すなわち、炭材を 1 本あて窯口より掻き出す。掻き出す際になお樹皮が附着している場合には、炭材は特に窯口でその部を燃焼させ、すなわち、

精煉不足を補う。したがって出炭操作には精煉がともなうが、従来、出炭は精煉とは別にして区画している。出炭時間および出炭回数1回の掻き出し量等は第27表に示した。内藤技官が備長窯で観測した結果によれば第26表の通り出炭時最高温度になる。

出炭時間は日窯では30～40分であるが、備長窯では2～3時間を要する。土佐窯等の大窯では出炭時間が16～17時間に達し、精煉を同時に行う。

消火は通常、木灰、炭粉、粘土等に僅かに水を混じたいわゆる消粉と称する消火材料をかけて消火する。三浦博士⁴²⁾は白炭の消化方法についていろいろな実験を行つた。すなわち、種々なる消火方法を行い消火は白炭の堅硬性に影響がないことを示した。

第27表 出炭調査

Table 27. Statistics of charcoal, taking out of kiln.

窯 別	出炭量	出炭時間	出炭回数	1回の 出炭量	1回当り 出炭時間	出炭の際の 窯口ネラシ	備 考
	貫	時間 分		貫	分 秒	分	
備 長 窯	57,991	2.55	10	5,818	17.30	4.6	文 献 1)
備 長 窯	—	2.28	12	4,570	12.49	—	" 2)
吉 田 窯	31,342	1.39	6.6	4,818	15.22	3.7	" 3)
吉 田 窯	—	1.21	10	3,125	8.01	—	" 4)
宮 崎 窯	—	2.31	11	4,445	14.00	—	" 5)
改良日向窯	—	3.24	18	4,273	11.59	—	" 6)
日 窯	—	0.36	6	2,431	6.37	—	" 7)
山形日窯	23,820	0.40	5.2	4,763	7.20	—	昭和23年山形県釜淵分場 にて実験
石 川 窯	46,000	2.35	—	—	—	—	} 昭和15年福島県小塚製炭 試験地で実験
土 佐 窯	425,600	14.00	—	—	—	—	

文献 1) 3) 和歌山県林業試験場報告第2号（昭和13年）

2)4)5)6)7) 三浦伊八郎：改良白炭窯 比較試験（昭和3年）

Ⅱ 黒炭の精煉

1. 黒炭の精煉の目的

黒炭の精煉の目的は、堅硬で揮発分がなく、未炭化部のない木炭を得ることであつて、白炭の精煉の目的と異らない。ただ、その精煉方法が相違するだけである。すなわち、前者は窯外消火であるが後者は窯内消火を行う。このために精煉方法は著しく両者の間に相違が認められる。

黒炭の精煉技術の発達は前記Ⅲの通り明治時代以後であり、しかもいまだに技術的確立が認められず、黒炭の品質は白炭の品質に比し著しく不均一である。このように黒炭の精煉目的が明確でなく技術も確立されていないために、黒炭の精煉技術には各種の説があり、また、それらに基く各種の窯が発表せられている。現在黒炭窯には、改良窯と称せられる窯が多種類^{*}ある

* 内田憲：木炭の話、（林業技術シリーズ21）地方庁で推奨している窯は28式、53,698基、在来窯54,458基、その他の窯12,565基（昭和26年）

が、その原因の 1 つは黒炭の製炭理論、特に精煉理論に定説がないためであると考えられる。白炭窯はこれに比すると精煉方法に技術的確立があつて窯の型式もほとんど一定している。

そこで、白炭と黒炭の精煉方法の差を考えれば、前記の通りその原因をなすものは主として消火方法の相違である。黒炭の消火法、すなわち窯内消火では熱処理の不均一のために、またその炭質も不均一である。また、精煉温度も白炭窯より低く、したがつて堅硬度も白炭より劣る。精煉温度が白炭窯より低いことは黒炭窯の構造上の特性、すなわち天井が粘土で出来ているために耐火性が劣り、熱伝導度も大きく、したがつて窯内温度が上昇し難い結果にもなるであろうし、また消火の方法が窯内消火、すなわち緩やかに冷却するために白炭のように堅硬にする必要もなく、したがつて、高熱処理をする必要もない。しかもそのために白炭より反応性の高い木炭、すなわち、着火点が低く燃焼し易い木炭が得られる。従来堅硬な木炭が理想とせられたために精煉温度を努めて高くし、したがつて、灰化量が多くなる傾向があつた。燃焼に及ぼす影響は硬度のほかには揮発分が関係する（前項Ⅳ.6）。そこで黒炭の精煉はむしろ揮発分を除去することを目的として行う方が製炭操作および収炭率の上から望ましいと考えられる。揮発分の除去を目的として行うことにすれば精煉温度は高温を必要とせず 600°C くらいの温度を持続させればよいことになる（前項第 5 表）。かくすれば、窯内温度の不均一も減少し、炭質も比較的均一になる。

そこで黒炭窯の精煉の目的は炭質を堅硬にするために行うが、その方法は揮発分を除くことを目的として行うようにすると合理的な精煉が行えると考えられる。

2. 黒炭の精煉方法

黒炭の精煉の方法は炭化末期に窯内でガス燃焼を行い、その熱で更に窯内温度を上昇させ、炭材および窯底部に残留した揮発分を更に取り除きガス燃焼を更に盛んにし、高熱を得る方法である。その結果、木炭は著しく堅硬になる。そこで黒炭の精煉の目的を堅硬にすることのみに考えると、精煉温度の上昇のみを考えて遂には炭材まで着火するに至り灰化の原因となる。

黒炭の精煉の目的は単に木炭を堅硬にする目的で行われるのみでなく、黒炭としての特徴、すなわち、反応性、燃焼性が白炭より大きいということ、すなわち、活性が大きいという性質を失わない範囲内で堅硬性を得るということであると考えられる。木炭の性質は 600°C 以下の木炭と 700°C 以上の木炭では燃焼性、吸着性に著しい差がある（前項Ⅱ）。通常、前者の木炭は黒炭の性質、すなわち、着火点低く吸着量が大きい等反応性が大きく、後者の木炭は白炭の性質を有し燃焼継続時間が長く、硬度が高く、揮発分が少ない。したがつて、黒炭の熱処理の温度は 600°C~700°C を理想とし、必ずしも白炭の精煉温度のごとく 900°C~1,000°C は必要としない。特に黒炭の精煉の熱源は自らの炭材中に残存する揮発分を主とするガス燃焼なので、したがつて、精煉は主として揮発分エネルギーの多量な 600°C 以下の温度で行われ、この結果窯内一部は 700°C 以上に達するが、この部分は炭材の一部と考えられる（第 3 図

参照)。

このような温度条件で行われる黒炭の精煉方法は、精煉時間を長くし揮発分を除去することを主目的とし、硬度の増加は精煉による一効果と考えた方が適当に考えられる。

そこで、黒炭の精煉方法はつぎのことが基準になると考えられる。

- A. 精煉温度は $600^{\circ}\text{C} \sim 700^{\circ}\text{C}$ を標準とすること。
- B. 上記温度を長時間持続させること。
- C. 窯底温度の上昇、少なくとも 450°C に達するように努めること。
- D. 以上の温度調節は主として煙突口の調節で行われること。

次にその理由を考察する。

- (1) 精煉温度は $600^{\circ}\text{C} \sim 700^{\circ}\text{C}$ を標準とすること

木炭等の炭素質が $600^{\circ}\text{C} \sim 700^{\circ}\text{C}$ の間に著しく物理化学的性質が変えることはすでに前項Ⅱの通りであり、黒炭として特徴のある木炭を生産するには精煉温度 600°C で充分であると考えられる。また木材炭化に伴い発生する可燃ガスを考えれば、通常、木ガスと木タールの二次分解ガスが考えられる。はじめに木ガスについてその窯内温度に及ぼす影響について考えれば 500°C で発生する木ガスを炭材 1 kg 当り $3\text{ cc/g } 10^{\circ}$ とし、これを実際例に当てはめるために在来型、40 俵出黒炭窯にあてはめると、炭材 3,450 kg (絶乾 1,280 kg) では木ガス発生量は $3.8\text{ m}^3/\text{ton}10^{\circ}$ になる。 500°C における木ガスの発熱量を $2,715^{43)}\text{ cal/m}^3$ とすれば、 3.8 m^3 では 10.3 kcal/m^3 になる。いま、炭材 3,450 kg より木炭量 580 kg が生産されたとし、比熱を 0.23^* とすれば木炭 580 kg を 1°C 上昇させるに要する熱量は 133 kcal になり、木ガスの発熱量ははなはだ不足になる。ことに精煉中における窯壁、天井等の失熱および排煙からの失熱を計算すると⁴⁴⁾ 約 897,000 cal/kg になり、木ガス発熱量は著しく不足になる。すなわち、木ガスの燃焼は窯内温度にほとんど影響がないと考えられる。

また木材 1 ton から生ずる⁴⁵⁾木ガスを 32 m^3 とし、木ガス 1 m^3 の有効熱量を 864 cal とすれば総発熱量は 27 kcal/m^3 となり、炭材 3,450 kg では 95 kcal/m^3 となるが、精煉熱源としては同じく著しく不足することになる。

すなわち、木ガスの全量を利用しても精煉用熱源としては不足になる。すなわち、精煉用熱源には木ガスでは不足である。

つぎに、木タールについて考えれば、炭窯では木タールの一部は排ガスとともに排出されるが、その大部分は窯内に残留すると考えられる^{**}。そこでタール全量の $1/2$ が窯内に残留し、

* 炭窯タールには遊離炭素が多い。小塚製炭試験地で木酢液採取装置に附着した木タールを分析したところ下記の通りであつた。分析者、大股農業技術研究所、宮崎氏。タール性状、軟化点 22°C (球環法)、水分 16~18%、遊離炭素 (Kahler 氏法) 18.5~19.5%、灰分 1.95%、酸価 103.8、メトキシ価 6.2。遊離炭素が著しく多い原因は恐らく窯内における木タール燃焼のためと解される。

** 木酢液中、タール性成分は 5~6% であるから、これから推定するタール収得率 21.3% (次頁)のうち、排煙とともに 2~3% が排出すると考えられる。

煉の際燃焼に関係するとして計算すれば、この発熱量は 1,156,000 kcal/kg となり（炭材重量 3,450 kg, タール収得率⁽⁴⁶⁾ 21.3%, 発熱量 8,500 kcal/kg とする）窯内木炭 580 kg の精煉には充分なる熱量を供給する。したがつて、黒炭の精煉には熱源として木タールの利用をはかる必要がある。木タールの分溜実験⁽⁴⁷⁾によると 220°C までの溜分は原油の約 50% であり、ビツチとして残存する量は原油の約 37% に達する。したがつて、木材炭化中窯底部にたまつたタール油は窯底部木炭が精煉に達する以前に大部分消失し、恐らく炭化中の熱源になるものと考えられる。窯底中に滲み込んだもの、あるいは窯底部木炭の炭化に伴い発生するタール等が精煉過程に重要熱源となると考えられる。黒炭の精煉では、煙道口の拡大が熟練技術を要するとされ、拡大し過ぎると炭窯内のガスが減少し炭材着火の危険がある。常に窯内には燃焼ガスが充満していることが精煉を有効に行う一条件になるとされている。この可燃ガスの大部分は窯底部の木タールおよび未分解の窯底部木炭から供給されると考えて間違いないであろう。もし煙道口を拡大し過ぎて窯内可燃ガスを放散したり、または、窯底部の急炭化により同様に可燃ガスを逸出すると窯は冷却するか、炭材に着火するか、または燃料により加熱を行う必要を生ずるに至ると考えられる。単に良炭を目的として精煉する時は、精煉時に加熱することが行われるが、このことは精煉時に高熱を多量に得るためにはやむをえない方法であると考えられる。通常の精煉方法に従えば、精煉時の熱源は窯内ガスのみであり、しかもこれらのガスは炭材下部から供給されるために、炭材下部を精煉するに要する熱源は不足することになり、黒炭の場合には炭材下部に精煉を行うことは困難になる。通常、炭材上部と下部では精煉の程度に著しい差がある（第 15 表）。

(2) 上記精煉温度を長時間継続すること

精煉方法の目的を揮発分の除去と考え、しかも精煉温度を 600°C~700°C を基準にして精煉を充分に行うには、その時間で長く炭化を続ける必要がある。炭化時間と炭素含有量の関係（第 9 表）、炭化時間と電気抵抗の関係（第 4, 5, 6, 7 表）は前記のとおりであつて、黒炭の特徴を有し、しかも揮発分を除去し燃焼性の高い木炭を得るには 600°C~700°C の炭化温度で充分であるが、一般に炭材の中心と外部では温度のずれがあるので（第 10 表）炭材の中心まで同一条件で炭化するためには、炭化を続ける必要がある。すなわち、一定の性質の木炭を得るためにはある時間炭化を継続しなければならない。前記の実験（第 5, 10 表）から考えれば、樹種によつて異なるが少なくとも数時間以上同一温度で炭化を続ける必要がある。一般黒炭の精煉時間は、第 35 表の通り 16 時間に達する例があるが、この例では精煉の目的は充分達せられていると認められる。

(3) 窯底温度が少なくとも 450°C 以上に達するようつとめること

黒炭の精煉は炭材中の木ガスおよび木タールの二次分解ガスを熱源すると考えられるために（前項 2, (1)）炭化の速度、特に窯底部の炭化速度がはなはだ重大になる。一般に窯底部の温

度は天井部の温度より低く、炭化がおくれる傾向があるが、この部分の温度の上昇をはかり均一に炭化をはかることが黒炭では望まれる。窯底部と天井部の間にはなほだしく温度差のある窯は、窯底部の木炭が充分精煉せられないうちに天井部に着火するために早急に密閉消火の必要を生じ、そのために窯底部の木炭は未炭化のまま残存する。窯底部の温度はなるべく高温になることを必要とするが、窯底部は一般に温度が上昇し難い。これは窯底部の熱伝導による失熱、水湿等の関係もあるが、窯底部木炭が精煉されるころには窯内ガスが僅かになり、すなわち、熱源が少なくなつて温度が上昇し難くなる理由にもよる。しかしながら、窯底部温度は少なくとも 450°C 以上の温度が望まれる。この温度に達すれば未炭化は生じないからである。窯底部の温度上昇をはかるためには炭窯内のガスの対流が行われる必要がある。炭窯は Bee-hive 型の炉と異なり天井輻射の効果は考えられないために、窯内対流だけが温度均一化の手段になる。

筆者等の実験によると、第28表のとおり炭窯の構造により窯底部の温度には相違が生ずる。第29表は障壁効果の実験の際得られた数値であるが、障壁により窯内温度が上昇する理由は第56図のように気流の方向の異なるためであろうと考えられる。内田氏⁴⁸⁾は在来黒炭窯と石川窯（障壁類似構造あり）の窯内ガス分析を行つた時、石川窯では CH_4 H_2 等の可燃ガス検出を精煉時窯内中央で認めたが、在来黒炭窯ではそのようなガスの検出を認めなかつた。これは明らかに窯内ガス循環に相違があることを現わしているものと考えられる。

筆者は新信濃窯の窯底温度が他の窯より高いことに着目し、この窯の窯底温度が高いことは障壁類似構造に基くと考え、同窯の精煉管を使用せず精煉を行い（単に精煉時間を持続したのみ）、精煉管を使用した時よりも収炭率並びに炭質を向上することが出来た（第30表）。

第28表 天井、窯底最高平均温度差

Table 28. Difference of mean maximum temperature at ceiling and bottom of kiln.

窯 別	天井最高平均温度	窯底最高平均温度	差	備 考
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	
岩手県式 I 号 窯	655	454	201	障 壁 な し
新 信 濃 窯	618	490	128	" あ り
防 長 式 改 良 窯	529	394	135	" あ り
小塚製炭試験地在来窯	565	379	186	" な し

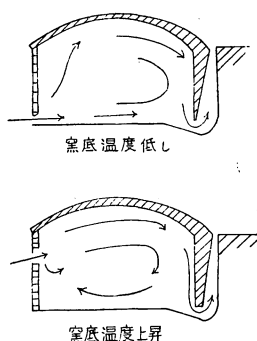
註 昭和 26 年、群馬県利根郡沢田村四万にて実験

第29表 障壁の高さと天井窯底最高平均温度差

Table 29. Difference of mean maximum temperature at ceiling and bottom of kiln.

障 壁 の 高 cm	天井最高温度 $^{\circ}\text{C}$	窯底最高温度 $^{\circ}\text{C}$	差 $^{\circ}\text{C}$	備 考
0	590	770	180	窯 型 在来型
22	688	830	142	興 行 1.20m
33	612	830	218	最大巾 0.91m
				窯壁高 0.70m

註 昭和 27 年、東京都南多摩郡浅川町浅川分室にて実験



第 56 図 通風口位置と窯内気流循環想像図

Fig. 56. Imagination figure of air circulation in charcoal kiln (different air inlet position).

すなわち、黒炭の精煉方法では、窯底部の温度を上昇させる方法がとられなければならないが、これがためには窯内のガス循環が第 56 図のような経過をとるよう窯の改造、或いは通風口の位置に注意する必要があると考えられる。もちろん、窯底構造は温度が上昇し易いように排湿および防湿構造にせねばならない。窯底部の炭材は前記の通りリグニン分解点を終了して精煉が開始されるころになると、これが熱源となる揮発分に乏しくなり、したがって、強いて窯底部の温度の上昇をはかるとすると炭材に着火するか、或いは燃材により加熱をするか、いずれかの方法を必要とする。

実際にはこのいずれも望み得ないので、窯底部の木炭の精煉は完全に望み得ず、精煉温度も 450°C くらいに達すれば充分と考えられる。

(4) 煙道口の大きさを調節すること

黒炭窯の炭化速度はほとんど煙道口調節により行われている。これは製炭窯では通風量より排煙量が多く（第 31 表）、したがって排煙量を調節すれば窯内で行われている木材熱分解反

第 30 表 新信濃窯による黒炭精煉実験

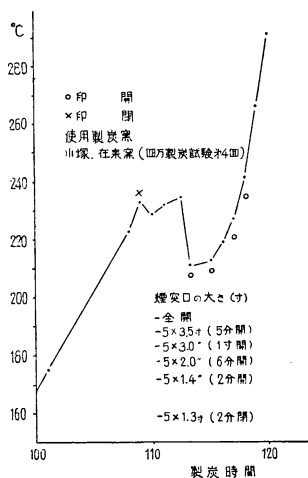
Table 30. Experiment of black charcoal refining by Shin Shinano-kiln.

製炭 回次	炭 材 重 量	製 炭 時 間	精 煉 温 度		収 炭 率		収炭量	硬 度	精煉度	備 考
			窯内温度	煙突口 温度	対炭材	対炭材 + 燃材				
	kg	時 分	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	%		kg			
2	立て木 1,626.0	加熱 63.00	天井始 345	始 185	15.9	11.8	317.8	上部 6.0	上部 7.0	昭和26年 群馬県利 根郡沢田 村四万に て実験
	上げ木 373.2	炭化 114.00	" 終 562					中部 6.0	中部 8.0	
	燃材 695.6	精煉 16.30	窯底始 290	終 323				下部 6.0	下部 9.0	
	計 2,694.8	計 193.30	" 終 468							
3	立て木 1,800.0	加熱 45.40	天井始 345	始 211	13.9	11.4	311.9	上部 5.5	上部 4.5	
	上げ木 450.0	炭化 120.30	" 終 625					中部 5.0	中部 8.0	
	燃材 486.6	精煉 17.40	窯底始 303	終 360				下部 5.0	下部 9.0	
	計 2,736.6	計 183.10	" 終 487							
4	立て木 1,650.0	加熱 12.30	天井始 377	始 216	15.9	15.1	332.8	上部 5.5	上部 5.0	
	上げ木 443.1	炭化 101.00	" 終 623					中部 5.0	中部 7.0	
	燃材 116.3	精煉 18.00	窯底始 316	終 330				下部 4.0	下部 8.0	
	計 2,207.4	計 131.30	" 終 495							
5	立て木 1,546.5	加熱 16.15	天井始 433	始 232	17.3	15.1	349.5	上部 7.0	上部 5.0	
	上げ木 471.1	炭化 133.45	" 終 660					中部 5.0	中部 5.5	
	燃材 300.0	精煉 15.00	窯底始 374	終 600				下部 4.0	下部 5.5	
	計 2,317.6	計 165.00	" 終 512							

第 31 表 製炭における通風量と排煙量

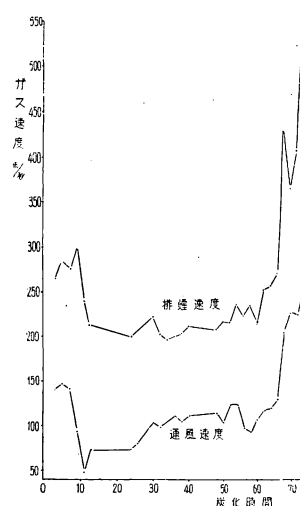
Table 31. Volume of airflow and smoke during charcoal making.

区 別	通 風	排 煙	備 考
ガ ス 量 (全 量)	364 m ³ 1,828 515 2,707	1,328 m ³ 6,442 1,576 9,346	1. 試験場所 福島県双葉郡大野村 小塚製炭試験地
ガ ス 量 (1時間当り)	45.5 31.5 103.0 60.0	166.0 111.1 315.2 197.4	2. 実施月日 昭和 19 年 2 月 3. 使用製炭窯 小塚, 在来窯 (40俵出) 4. 観測法 ピラム風速計使用
製 炭 時 間 (時 間)	8時間 58 5 71		



第 57 図 煙突口の開閉と精煉温度

Fig. 57. Dimension of draft outlet and temperature of refining.



第58図 通風速度と排煙速度 小塚在来窯(40俵出)

Fig. 58. Velocity of air flow and smoke by Kozuka uonal kiln. (40 charcoal bags making)

応をある程度抑制或いは促進出来るからである。また排煙量は第 31 表のとおり精煉時には特に多い。精煉時にはガス燃焼が行われているために通風量も多くなるが、一般に通風量は常に排煙量の $\frac{1}{2}$ である (第 31 表)。精煉時における通風量は窯内ガス燃焼に要するだけの通風量で充分であるが、このガス燃焼は一時に多量に行われず、連続的に徐々に行われるために一時に大量の通気を必要とせず、段階的に漸増する必要がある (第 58 図)。通常、煙道口を全開した時が通風量の Max. であり、また、窯内温度も最高となるので、この時は窯底部が十分に精煉される温度、少なくとも 450°C に達していなければならない。すなわち、煙道口の拡大

は、炭材下部の温度上昇に従い徐々に拡大することを理想とする。早く拡大しすぎると、可燃ガスが排煙より出で温度が逆に低下するか、或いは炭材一部が着火する。または炭材下部が急炭化により炭質を損傷する。また制限が過ぎると炭化が抑制されるために温度が上昇せず、硬度の低い粗悪な炭質の木炭が出来る。

また精煉進行中に煙道口を縮小すると炭化は抑制され温度は下る。第 57 図は国有林型在来窯（小塚、在来窯）における実験（昭和 26 年四万製炭試験）であるが、精煉中、煙道口縮小のために起つた精煉温度の低下である。黒炭の精煉は白炭の精煉における煙道精煉と同様であるが黒炭窯では窯内の炭材に着火しないように、また窯底温度が上昇するように徐々に精煉を加えて行くにかかわらず、白炭窯では炭材に着火させ、窯内温度の上昇につとめることが相違する。

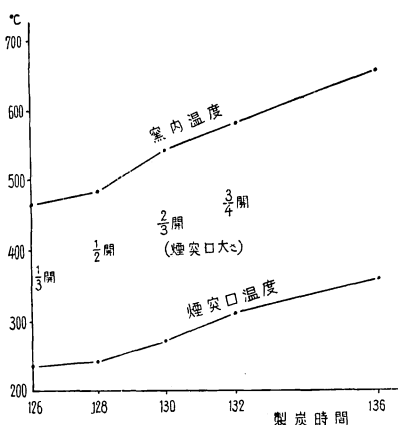
ある種の窯は煙道口を拡大する前に通風口を拡大し、十分に、いわゆる窯口精煉を行つてから、すなわち、通風口を全開してから煙道口の拡大に移る。すなわち、白炭窯の煙道精煉と逆の操作方法をとる。小塚製炭試験地の在来窯ではかかる精煉方法を行つてゐるが、この方法では精煉開始期がおそくなり、煙道口温度は 300°C くらいになる。また、煙道口拡大と通風口拡大とを交互に行う方法もある。三浦標準窯はこの一例である。

つぎに主要黒炭窯の精煉方法をあげれば、

i 八名窯¹⁸⁾

煙道口に設置した加減木を 2～3 回にわたり引き、次第に煙道口を全開し、一方、窯口点火室下部の通風口を 1～2 回にわたり、少許あて拡大する。

ii 茨城窯¹⁷⁾



第 59 図 農林 I 号窯精煉温度

（東大演習林報告 38 号、農林 I 号窯操作表第 4 回より作図）

Fig. 59. Refining temperature of Norin No. 1-kiln.

煙突口の開口と通風口の調節による。その程度は炭化の状態により異なる。自然精煉と称し時に通風口、煙突口の調節を行わず、炭化の末期にやや窯内高温に保つたまま消火する場合もある。

iii 農林 I 号窯⁵⁰⁾

煙突口を 1/3 開いて精煉を開始し、つぎに 1/2, 2/3, 3/4 と次第に開き精煉を行う。この温度経過は第 59 図に示した。

iv 三浦標準窯⁵⁰⁾

煙突口および通風口を交互に徐々に拡大する。

v 岩手県式 I 号窯⁵¹⁾

通風口を徐々に拡大して精煉を行う。炭化末期にいたり窯内ガスが間歇的に通風口から吹き出す

ように通風口を調節する。また、窯内ガスの発生が少なく、窯内が眞暗で灰被りする窯では煙道口をやや拡大し、排煙量を増加し、通風口はそのままとする。窯内ガスが燃焼をはじめ赤色焰が認められるころ通風口を拡大する。焰が青色焰に変わり炭材下部からガス燃焼がはじまり窯内温度は上昇するに到る。筆者等の行つたこの窯の精煉実験の一例は第 60 図に示した。

vi 新信濃窯⁵²⁾

はじめに煙道口を徐々に開き(5分～6分あて)、煙切れとなるころ全開する。その後精煉孔を開き通風を行い木炭下部の精煉を行う。第 61 図は筆者等の行つた精煉経過図である。

vii 国有林型在来窯

この窯の精煉方法は小塚製炭試験地で行つてゐる方法である。炭化の終期、窯内が明るくなりはじめたころ煙道口は拡大せず通風口を徐々に拡大し、炭材下部に附着するタールその他可燃物を完全に燃焼させ、窯内温度を上昇させる。

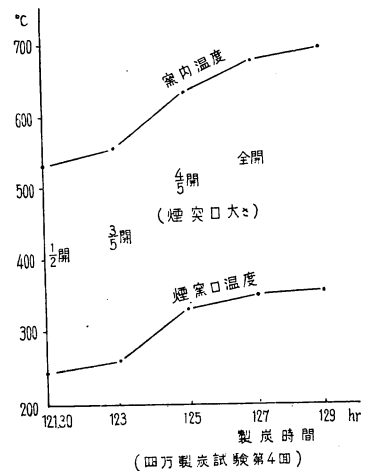
その後精煉の状況に従い煙道口を拡大する。常に排煙口温度が直線的に上昇するようにつとめる。

viii 秋田半白窯⁵³⁾。

煙道口を 1～1.5 時間ごとに 1 分あて拡大し、全開するまで行う。排煙が認められなくなつてから 40～50 分後に上部精煉口を 1/3 あて 40～50 分ごとに開き全開させる。さらに 40～50 分ごとに下部精煉口を 1/3 あて拡大し全開させる。

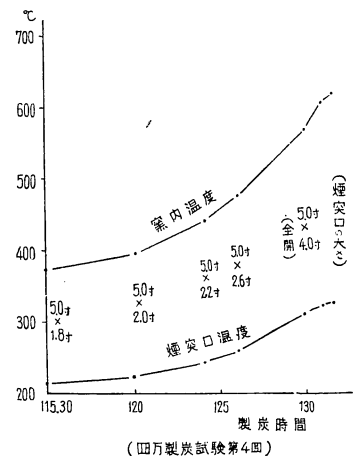
3. 黒炭窯精煉の開始および終了時期の判定

黒炭窯精煉開始時期の判定は白炭窯と同じく排煙の色、臭、窯内炭化の状態で判定される。従来行われている判定基準および筆者等の行つた実験によれば第 32 表の通りになる。一般に白炭窯に比し精煉開始の時期がおくれている。これは、黒炭窯の精煉熱源は自己炭材の揮発分のために、早期に精煉を開始すると揮発分の発生が少なく、窯内温度が上昇し難いためであると云われる。いわゆる、ガス切れの状態を呈し、窯内温度が上昇せず時には灰化の起ることがある。黒炭窯の精煉では、窯内ガスを常に窯内に充満しておき、煙道口より逸出しないように



第 60 図 岩手県 I 号窯精煉温度
(四万製炭試験第 4 回)

Fig. 60. Refining temperature of Iwate No. 1 kiln,



第 61 図 新信濃窯精煉温度
(四万製炭試験第 4 回)

Fig. 61. Refining temperature of Shin Shinano-kiln.

第 32 表 黒炭窯精煉開始時の判定

Table 32. Method of decision of the time to begin charcoal refining.

窯 別	排 煙 の 状 態	炭 化 の 状 態	排煙温度。C	備 考
八 名 窯	青色となり根透しを 生じはじめた時、或いはわずかに 生じた時		約 250	和歌山県林業試験場報告 第 2 号 (昭和 13 年)
岩手県式 I 号窯	青色となり煙道口 内側にタールが密着する ころ	炭材と炭材の間に 青色のガス燃焼を認め、 間歇的に通風口から吹き出し はじめるころ	約 230	岩手県林務部佐々木圭助 プリント 岩手 1 号窯 (昭和 26 年)
新 信 濃 窯	青色となり煙道口 上 3～4 寸煙切れとなつた時		約 260	長野県編 パンフレット 新信濃窯製炭法 (昭和 26 年)
秋 田 県 半 白 窯	青色となり色薄く 刺戟臭気ほとんどなくなつたころ		270～280	秋田県木炭改良組合連 合編 半白炭製造法 (昭和 26 年)
小塚製炭試験地 在来窯	青色となり、煙道 口上約 1 尺 5 寸く らい根透しを生じた時	窯の中央部炭材表面が 弱赤色を呈し炭材間が まだ暗色を呈する時	約 300	小塚製炭試験地調

第 33 表 黒炭窯精煉終了時の判定

Table 33. Method of decision of the time to be finished charcoal refining.

窯 別	排 煙 の 状 態	窯 内 の 状 態	排煙温度。C	備 考
八 名 窯	煙突の内側、灰色 となりたる時、煙突の 内側に藁などを約 3 分 間入れ、灰色になつた 時、(不充分の時はい じめ赤色、後黒色、後 灰色となる)		約 340	和歌山県林業試験場報告 第 2 号 (昭和 13 年)
岩手県式 I 号窯	煙切れとなり、排煙は 無色透明、煙道口内部 のタール灰白色、刺戟臭 なし	窯内全部灼熱し、 光輝を發す		岩手県林務部佐々木圭助 岩手 I 号窯 (昭和 26 年)
新 信 濃 窯	排煙を顔に当てても 目、鼻を刺戟せず無煙 無臭となつた時	炭化物黄白色となり、 いずれの箇所からも青 色の焰が認められなくな つた時	約 350	長野県編 新信濃窯製炭法 (昭和 26 年)
小塚製炭試験地 在来窯	排煙に手をかざし 湿気を感じず、この手 を鼻に当てるも臭気を感じ なくなつた時 (無色無臭 でなお湿気のある時は 窯内湿潤している)。排 煙にマツチをかざし 1.5～2 秒以内に着火する 時	窯内一体に赤熱を呈し 炭材も炭材の間も一様 に赤熱せられた時	約 365	小塚製炭試験地調

注意することが要求されている⁷²⁾。白炭窯における窯口精煉の方式が、黒炭窯においても行われている例として国有林型在来窯（小塚，在来型）があるが、良炭をしかも灰化を少なく取得するには注目すべき方法であろう。

次に、黒炭窯精煉終了時の判定法は精煉開始時と同じく、主として排煙、窯内の状態、排煙口温度によつて判定される。

現在、行われている判定基準は第33表に示したが、主として排煙の色およびその状態等で判定される。すなわち、排煙が無色、無臭となつた時が精煉終了時であるが、実際は窯内一部に炭化のおくれ等が発生し、完全に無色、無臭にならず、また無色、無臭まで放置すると窯内灰化を生ずる等のこともあり、また窯が乾燥充分でない時は最後まで排煙に湿

第34表 マッチの着火する排煙温度と所要時間

Table 34. Temperature of smoke and required hour to ignite the match.

排煙温度	所要時間	備 考
°C	秒	
300	11	1. 黒炭窯排煙にマッチ軸木（桃太郎印）をかざした時の着火状況
326	6	
330	5	2. 小塚製炭試験地に実験
344	4	
350	3~4	
356	3	
360	2	
365	1.5~2	

気が残る。すなわち、この時には、排煙温度が標準以上になつても、なお排煙に湿分が残るため、精煉が長くなる等のことがあり判定には経験を要する。

小塚製炭試験地ではマッチ（桃太郎印）を排煙にあて、その着火速度で精煉終了時を決定している。マッチの着火速度と排煙温度との間には第34表の関係があつた。

4. 黒炭窯の精煉時間および精煉温度

黒炭窯の精煉時間は白炭窯より短い。最近では次第に精煉時間は長くなりつつある傾向が認められる。過去に行われた製炭試験の経過を参考として第35表に示したが、大正年代は出炭量10貫に対し30分弱であつたが最近では1時間以上になつている。しかしながら白炭の精煉時間に比すると未だ1/3程度である。

黒炭窯の精煉温度は白炭窯に比較し、精煉開始時は両窯ともほとんど同様であるが、精煉終了時、すなわち最高温度は一般に低い。第36表は各種黒炭窯製炭試験に現われた数値であるが、各々製炭試験ごとに観測方法に差があるが、一般に精煉開始時の排煙温度は230°~280°Cで各窯の間にそれほど大差はない。特に窯底温度（昭和26年施行四万製炭試験）は各窯とも精煉開始時の温度はきわめて接近している。また、精煉開始時の窯内天井温度も420°~490°Cで、各窯の間に大差は認められない。精煉終了時の排煙温度は、各窯の間に精煉開始時よりも、温度差が認められる。特に窯内温度にはこの傾向がある。

このような差が生じたことは、製炭者の技術にもよるが窯の構造に基くと考えられる。特に第36表の結果は、各々厳密に行われた製炭試験であり、製炭者の個人差、窯の立地条件による

第 35 表 黒炭窯の精煉時間
Tab. 35. Refining hour of black charcoal kiln.

施行年度	施行場所	窯 別	精煉時間	出炭量 ¹⁰ 質当り精煉時間	備 考
大正 9 年	東京府中町	大 正 窯	時 分 2.09		1~4回 (製炭回次) 平均を示した
		長 野 窯	0.56		"
		英 窯	1.03		"
		八 名 窯	2.51		三浦伊八郎外, 改良製炭調査成績
		大 竹 窯	1.32		"
		平 均			(大正 10 年)
昭和 9 年	福島県双葉郡 浪江営林署	市 岡 窯	5.03	0.44	1~4回 (製炭回次) 平均
		茨 城 窯	5.38	0.49	"
		移動式組立窯	16.43	1.05	"
		埼玉セメント窯	1.01	0.07	2~4回 (") 平均
		枋 沢 窯	8.10	1.13	1~4回 (") 平均
		平 均		0.48	三浦外: 国有林に於ける改良黒炭窯 試験成績 (昭和10年)
昭和10年	和歌山県 林業試験場	八 名 窯	7.38	0.41	1~6回 (") 平均
		小 中 窯	5.46	0.34	"
		平 均		0.38	和歌山県林業試験場報告第 2 号 (昭和 13 年)
昭和17年	東大 清澄演習林	農 林 I 号 窯	11.30	0.38	4~5回 (") 平均
		鴫 田 窯	11.20	0.49	"
		大 石 窯	—	—	"
		三 浦 標 準 窯	9.30	0.44	"
		平 均		0.43	三浦, 芝本外: 東大演習林報告第38号 (昭和25年)
昭和26年	群馬県利根郡 沢田村四万	岩手渠式 I 号窯	13.11	1.05	2~5回 (") 平均
		新 信 濃 窯	16.47	2.34	"
		防長型改良窯	14.00	1.08	"
		小塚製炭試験地 在 来 窯	12.40	0.58	"
		平 均		1.26	

変化は少ないと認められるので、窯の構造に基く差が著しいであろうと考えられる。なお第 58, 59, 60 図に農林 I 号窯等の精煉時の排煙温度を示したが、精煉時には煙突口の大きさが窯の各部温度に著しい影響を及ぼす。たとえば精煉時排煙口を縮少すると、窯内温度が著しく低下した例がある (第 56 図)。精煉時の排煙温度上昇曲線には第 59 図岩手 1 号窯型式、すなわち、曲線が convex 型のものと、第 58 図農林 1 号型式、すなわち、曲線が直線型のものと、第 60 図新信濃窯型、すなわち、曲線が concave 型のものとがある。このうち炭化の状況と操作方法で差を生ずるが、第 58 図の直線型が理想とせられる。

第 36 表 黒炭窯の精煉温度 1.
Table 36. Refining Temperature in black charcoal kiln. 1.

施行時	窯 別	窯 内 温 度 °C				排 煙 温 度		備 考
		天井始	天井終	窯底始	窯底終	始	終	
大正 9 年	大 正 窯		735				300	
	長 野 窯		675				350	
	英 窯		640				290	
	八 名 窯		790				330	
	大 竹 窯		790				375	
昭和 9 年	平 均 窯		746				329	文献 1)
	市 岡 窯	540	580			322	362	第 1 回製炭成績を示す
	茨 城 窯	450	516			254	335	"
	移動式組立窯	490	602			272	368	"
	埼玉セメント窯	—	762			—	352	"
昭和 10 年	柄 沢 窯	496	620			272	340	"
	平 均 窯	494	616			280	351	文献 2)
	八 名 窯					250	340	1~6回(製炭回次)平均
	小 中 窯					243	323	"
	平 均 窯					249	331	文献 3)
昭和 17 年	農 林 I 号 窯							第 4 回製炭成績を示す
	鶴 田 窯							"
	大 石 窯							"
	三 浦 標 準 窯							"
	平 均 窯							文献 4)

註 1. 始, 終とは各々精煉開始および終了をいう。

2. 文献

- 1) 三浦外: 改良製炭法調査成績 (大正 10 年)
- 2) 三浦外: 国有林における改良黒炭窯試験成績 (昭和 10 年)
- 3) 和歌山県林業試験場報告第 2 号 (昭和 13 年)
- 4) 三浦, 芝本外: 東大演習林報告 38 号 (昭和 25 年)

第 36 表 黒炭窯の精煉温度 2.
Table 36. Refining Temperature in black charcoal kiln. 2.

施行時 施行場所	窯 別	製 炭 回 次	窯 内 温 度 °C				排 煙 温 度		備 考
			天井始	天井終	窯底始	窯底終	始	終	
昭和 26 年 群馬県利根郡 沢田村四万	岩手県式 1 号 窯	2	430	610	320	410	222	340	筆者等観測
		3	440	650	355	475	235	370	
		4	536	698	297	479	244	355	
		5	458	675	—	—	231	372	
		平均	466	658	324	455	233	359	
	新 信 濃 窯	2	345	562	290	468	185	323	
		3	345	625	303	487	211	360	
		4	377	623	316	495	216	330	
		5	433	660	374	512	232	360	
		平均	375	618	321	490	211	343	

施行時 施行場所	窯 別	製炭 回次	窯 内 温 度 °C				排 煙 温 度		備 考
			天井始	天井終	窯底始	窯底終	始	終	
昭和 26 年 群馬県利根郡 沢田村四万	防 長 型 改 良 窯	2	392	430	320	350	203	209	
		3	440	627	314	438	255	350	
		4	—	—	—	—	260	341	
		5	—	—	—	—	235	342	
		平均	416	529	317	394	238	311	
	小塚製炭試 験地在来窯	2	450	518	330	360	254	310	
		3	450	580	332	380	217	320	
		4	408	425	341	375	250	260	
		5	393	599	264	346	237	230	
		平均	425	531	317	365	240	280	
	平 均		421	584	320	426	231	323	

Ⅶ 精 煉 と 収 炭 率

精煉を行うと収炭率は減少する。すなわち、精煉を行うために、炭材中の揮発分が分解されてその一部がガス化するためであるが、このような加熱による重量減少（第27図）のほかに、わが国の製炭窯では精煉時の熱源を窯内に残存する炭材に求めるために上記の揮発分の分解に伴う以上に収炭率は減少する傾向がある。特に白炭窯では炭材の一部燃焼（樹皮燃焼）を行い、精煉の熱源としているので収炭率の減少が著しい。第 37 表は白炭の収炭率の一例を示したが、収炭率は炭材に対し 11～12 %位である。また第 36 表には和歌山県林業試験場で行ったウバメカンを炭材として備長窯および吉田窯の収炭率を示したが、備長窯は平均（対炭材）12.51 %、吉田窯は 13.40%である。これを第 41 表の黒炭窯の収炭率と比較すると著しく少ない。また、白炭窯でも精煉の方法により収炭率にやや変化がある。たとえば前記の通り備長窯の収炭率は吉田窯より約 1 %小である。また、日窯は吉田窯より約 2 %収炭率が大きい（第 37 表）。このような差は精煉方法の差に基因する窯内炭材の熱処理の程度の変化が原因となると考えられる。

前記和歌山県林業試験場の実験によると第 38 表の通り備長窯より生産された木炭の方が、吉田窯より生産された木炭より一般に硬度が高いことを報告している。筆者等の行つた山形日窯の収炭率は備長窯に比較し多いが、その炭質は第 2 表に示した通り白炭として良好ではない。第 38 表の実験結果に基づき、白炭の収炭率と硬度との関係を検定したところ第 39 表の結果を得た。

すなわち、ウバメカンを炭材として備長窯の収炭率と硬度との関係は $r=0.650$ で、有意水準 10%（自由度 = 5）とすれば $r=0.6694$ 、有意水準 5 %（自由度 = 5）とすれば $r=0.7545$ となり、備長窯では両者の間にこの実験では関係が明らかには認められない。また吉田窯では同様に $r=0.575$ となり、同様に両者の関係は認められない。すなわち、備長窯は確かに吉田

第 37 表 白 炭 の 収 炭 率

Table 37. Yield of white charcoal.

施 行 時	施行場所	窯 別	樹 種	収 炭 率		備 考
				対炭材	対炭材 + 燃料	
大正14～15年	東大 清澄演習林	改良日向	カ シ	11.64	10.21	製炭回数 回平均 文献 1)
		〃	〃	10.63	8.87	〃
		備長窯	カ シ	12.38	10.39	〃
		〃	〃	10.80	8.60	〃
		宮崎窯	カ シ	11.54	10.11	〃
		〃	〃	10.87	9.14	〃
		吉田窯	カ シ	13.55	11.46	〃
		〃	〃	11.98	6.22	〃
		日 窯	カ シ	13.00	10.75	〃
		〃	〃	11.68	9.06	〃
昭和 10 年	和歌山県 林業試験場	備長窯	ウバメカシ	12.51	11.79	製炭回数 21 回平均 文献 2)
		吉田窯	ウバメカシ	13.40	12.85	〃
		山形日窯	コ ナ ラ	15.10	13.30	製炭回数 4 回平均
昭和 22 年	山形県林試 釜淵分場	山形日窯	コ ナ ラ	15.10	13.30	

註 文献 1) 三浦伊八郎：改良白炭窯比較試験（昭和3年）

文献 2) 和歌山県林業試験場報告 第2号（昭和13年）

第 38 表 白炭窯の収炭率と硬度

Table 38. Yield of charcoal and hardness.

窯 別	樹 種	収 炭 率 %	硬 度	備 考
備 長 窯	ウバメカシ	12.07	18	和歌山県林業試験場報告 第2号（昭和13年）
	〃	10.85	18	
	〃	10.36	18～19	
	〃	12.72	19	
	〃	12.83	19	
	〃	12.50	19～20	
	〃	12.71	19～20	
吉 田 窯	〃	11.79	17	同 上
	〃	12.85	18	
	〃	13.32	17	
	〃	13.43	19	
	〃	12.44	18	
	〃	13.24	17	
	〃	13.48	19～20	

第 39 表 備長および吉田窯の硬度収炭率との関係

Table 39. Relation between hardness and yield of charcoal by Bincho-kiln and Yoshida-kiln.

区	別	硬 度	備 考
備 長 窯 吉 田 窯	収 炭 率	$\gamma=0.650$ $\gamma=0.575$	第 37 表より計算した

第 40 表 白炭の硬度と収炭率の関係

Table 40. Relation between hardness and yield of charcoal of white charcoal.

収炭率%	硬度	17	18	19	19.5	計	備 考
10.36					1	1	第 37 表の資料を用いた $\gamma = -0.4353$ 有意水準 5 % } の時 (自由度=2) } $\gamma = 0.5324$
10.85			1			1	
11.79	1					1	
12.07			1			1	
12.44			1			1	
12.50					1	1	
12.71					1	1	
12.72				1		1	
12.83				1		1	
12.85			1			1	
13.24	1					1	
13.32	1					1	
13.23				1		1	
13.48					1	1	
計		3	4	3	4	14	

窯より硬度の高い木炭は生産するが、このような熱処理の差が収炭率に変化を与えたことはこの実験では確定出来ない。収炭率には種々なる要素が影響するので硬度だけ関係づけて考えることは困難なのであろう。また備長窯と吉田窯の収炭率を合わせ、窯の条件を考えずに、単に白炭の収炭率と硬度の関係を知り得るため相関係数を計算したところ第 40 表の結果を得た。すなわち、 $r = -0.4353$ で、有意水準 10% (自由度=12) とすれば $r = 0.5324$ となり、同様に両者の間には関係が認められなかった。

黒炭窯の収炭率は第 41 表に示したが、特に黒炭窯の収炭率と精煉の関係を知るために、筆者等が行つた (昭和 26 年、群馬県利根郡沢田村四万にて実施) 実験例を基にし次の検定を行つた。

収炭率には前記実験における 2 ~ 4 平均値を用い、精煉の程度を示す基準として精煉度および硬度 (これらは各製炭回次ごとに窯内 9 カ所に立てられた標準炭材 9 本の上部、中部、下部の平均数を示した) をとり、両者の関係を求め第 42 表の通りの結果を得た。すなわち、収炭率と精煉度の相関係数は $r = 0.922$ で、有意水準 10 % (自由度 = 2) とすれば $r = 0.900$ であり、有意水準 5 % (自由度 = 2) とすれば $r = 0.950$ であるので、平均収炭率と精煉度の間

第 41 表 黒炭の収炭率 1.
Table 41. Yield of black charcoal. 1.

施行時	施行場所	窯 別	樹 種	製炭回数	収 炭 率 %		備 考
					対炭材	対炭材+炭材	
昭和9年	福島県双葉郡浪江営林署	市岡窯	コナラ65%, ブナ25%, シデ10%	(2~4回平均) 3	15.87	13.50	硬度 6.2(コナラ文献 1)
		茨城窯	"	"	14.89	14.27	" 7.3(")
		移動式組立窯	"	"	18.23	16.01	" 7.7(")
		埼玉メント窯	"	"	14.32	13.48	" 8.4(")
		栃沢窯	"	"	13.98	12.99	" 8.0(")
		平均	"	"	15.46	14.05	" 7.5(")
昭和10年	和歌山県林業試験場	八名窯	コナラ28%, ザツ46%, シイ26%	(1~6回平均) 6	15.16	14.05	" 9.1(") 文献 2)
		小中窯	コナラ26%, ザツ44%, シイ30%	"	15.24	14.12	" 11.5(")
		平均	"	"	15.20	14.09	"
昭和17年	東大清澄演習林	農林I号窯	カシ類50%, ザツ50%	(4~5回平均) 2	19.44	17.49	硬度 6.5(カシ類文献 3)
		鳩田窯	"	"	19.53	16.74	" 7.1(")
		大石窯	"	"	17.64	16.28	" 2.2(")
		三浦標準窯	"	"	18.19	16.11	" 5.0(")
		平均	"	"	18.70	16.66	"
昭和18年	福島県双葉郡小塚製炭試験地	信濃黒炭B式窯	"	(2~4回平均) 3	—	15.43	硬度 8.7(コナラ)
		栗駒式窯	"	"	—	16.29	" 8.8(")
		五十川式窯	"	"	—	14.78	" 7.2(")
		広島県式II号窯	"	"	—	15.55	" 8.1(")
		愛知式I号窯	"	"	—	15.20	" 8.5(")
		平均	"	"	—	15.45	"

文献 1) 三浦伊八郎, 内藤三夫: 改良黒炭窯試験成績(昭和 11 年)

2) 和歌山県林業試験場報告第 2 号(昭和 13 年)

3) 三浦伊八郎, 芝本武夫, 佐藤修, 佐藤安平: 東大演習林報告第 38 号, 前掲(昭和 25 年)

にはやや関係があるところの実験では認められた。すなわち、収炭率が低い理由は精煉度数小（精煉が充分に行われている）のためであり、収炭率が高い理由は精煉度数大、すなわち、精煉が不足でまだ揮発分が炭材中に残存するためであると考えられる。平均収炭率と硬度との関係を求めると $r=0.319$ となり、この実験では関係が認められなかつた。次に同様に前記四万にて行つた製炭試験の各窯の各製炭回次における収炭率と精煉度、硬度の関係を求めた。この際収炭率の標準偏差を求め（第43表）標準偏差の比較的小ない岩手県式I号窯（標準偏差対炭材 0.885, 対炭材+燃材 0.914）、防長型改良窯（標準偏差対炭材 0.712, 対炭材+燃材 0.631）につき検定を行つた（第 44 表）。岩手県式I号窯の収炭率と精煉度の関係は $r=0.569$ で有

第 41 表 黒 炭 の 収 炭 率 2.

Table 41. Yield of black charcoal. 2.

施行時	施行場所	窯 別	樹種	製炭 回次	収 炭 率 %		硬 度				精 煉 度				備 考
					対炭材	対炭材 + 燃材	上部	中部	下部	平均	上部	中部	下部	平均	
昭和 26年	群馬県 利根郡 沢田村 四万	岩手 I 号窯	コナラ	2	16.37	12.96	5.0	4.0	1.0	3.3	8.0	9.0	9.0	8.7	硬度およ び精煉度 は窯内 9 カ所に配 置した標 準炭材に ついて試 験した
			〃	3	17.78	15.45	5.0	4.0	2.0	3.7	6.5	8.0	9.0	7.8	
			〃	4	16.46	14.66	5.5	3.5	2.5	3.8	3.0	7.0	9.0	6.3	
			〃	5	15.30	14.00	5.5	4.5	3.5	4.5	2.5	6.5	8.0	5.7	
			平均		16.48	14.27				3.8				7.4	
		新 信 濃 窯	コナラ	2	15.90	11.79	6.0	6.0	6.0	6.0	7.0	8.0	9.0	8.0	
			〃	3	13.86	11.39	5.5	5.0	5.0	5.2	4.5	8.0	9.0	7.2	
			〃	4	15.90	15.06	5.5	5.0	4.0	4.6	5.0	7.0	8.0	6.7	
			〃	5	17.32	15.08	7.0	5.0	4.0	4.0	<1	5.5	5.5	3.7	
			平均		15.75	13.33				5.0				6.4	
		防長型改良 窯	コナラ	2	17.04	13.77	4.0	5.0	5.0	4.7	9.0	9.0	9.0	9.0	
			〃	3	17.84	15.21	5.5	5.0	6.0	5.5	6.0	8.0	9.0	7.7	
			〃	4	17.17	15.30	5.0	5.0	<1	3.7	6.0	8.0	9.0	7.7	
			〃	5	15.85	14.36	5.0	4.5	<11	3.5	6.5	8.0	9.0	7.8	
			平均		16.98	14.66				4.4				8.1	
		小塚製炭試 験地在来窯	コナラ	2	14.98	12.81	5.0	3.0	1.0	3.0	8.0	9.0	9.0	8.7	
			〃	3	18.63	15.50	5.0	4.5	5.0	4.8	7.5	9.0	9.0	8.5	
			〃	4	18.62	16.81	5.0	5.0	4.5	4.8	6.0	9.0	9.0	8.0	
			〃	5	17.02	15.24	6.5	6.0	6.0	6.2	6.5	9.0	9.0	8.2	
			平均		17.31	15.09	5.4	4.6	4.1	5.9	7.0	9.0	9.0	8.4	
		平 均			16.63	14.34									

第 42 表 黒炭窯の収炭率と精煉度、硬度の相関々係

Table 42. The correlation between the yield of charcoal and degrees of refining, hardness in black charcoal kiln.

区 別		相 関 係 数		備 考
		精 煉 度	硬 度	
岩手式 I 号窯 新 信 濃 窯 防長型改良窯 小 塚 在 来 窯	収 炭 率	$\gamma=0.922$	$\gamma=0.319$	有意水準 10 % } の時 自由度=2 $\gamma=0.900$

註 1. 昭和 26 年 7 月、群馬県利根郡沢田村四万で実施した製炭試験資料に基づき計算した。

2. 各窯の 2 ～ 5 回にわたる実測値の平均値を用い計算した。

意水準 10 % (自由度 = 2) とすれば $\gamma=0.900$ で両者の間にこの実験では関係は認められなかつた。また、同様に硬度との関係も $\gamma=-0.638$ で明らかに関係があるとは認められなかつた。

防長型改良窯については収炭率と精煉度の関係は $\gamma=-0.018$ で全く認められない。硬度に

については $r=1.02$ という結果になつたが、これは実験数不足のためによる第2種の誤りであると考えられる。収炭率が多いほど硬度は高くなるという理論的根拠は成立しな

第 43 表 収炭率の標準偏差

Table 43. The standard deviation of yield of charcoal.

区 別	標 準 偏 差	
	対 炭 材	対炭材+燃料
岩手県式1号窯	0.885	0.914
新 信 濃 窯	1.233	1.771
防長型改良窯	0.712	0.631
小 塚 在 来 窯	1.561	1.445

註 昭和 26 年 7 月、群馬県利根郡沢田村四万にて実施した試験資料により計算した。

第 44 表 黒炭窯の収炭率および硬度、精煉度の相関々係 2.

Table 44. The correlation between the yield of black charcoal and hardness, degrees of charcoal. 2.

区 別		相 関 係 数		備 考
		精 煉 度	硬 度	
岩手県式 I 号窯	収 炭 率	$\gamma=0.569$	$\gamma=-0.638$	有意水準 5% } の時 自由度 2 } $\gamma=0.95$
防長型改良窯	収 炭 率	$\gamma=-0.018$	$\gamma=1.02$	

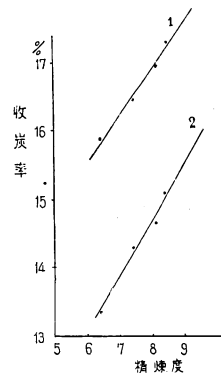
註 第 42 表と同じ資料より計算したが、各窯の 2～5 回にわたる実測値を基準にして計算した。

いからである。

以上の実験の結果では収炭率と精煉の間に明らかな結果を得られなかつたが、備長窯および吉田窯の収炭率と硬度の関係および四万の製炭試験における収炭率の平均値と精煉度の平均値の関係（第 62 図）に現われたように、両者の間には実際上関係があることを推定して差支えないであろう。すなわち、備長窯が吉田窯に比し収炭率が少ない理由は前者の窯口精煉に比し、後者が煙道精煉を行うためも有力な原因と考えて差支えないであろう。この結果前者の熱処理の程度は高く、木炭は後者より堅硬となるものであろう。また、黒炭窯で収炭率の多い理由は精煉不足による含有分解揮発分の除去不充分にもよるであろう。

四万製炭試験
平均収炭率と平均精煉度の関係

1: 対炭材
2: 対炭材+燃料



第 62 図 収炭率と精煉度

Fig.62. Yield of charcoal and degrees of refining.

VIII 総 括

精煉とは築窯製炭で炭化のほぼ終了するころ、炭質の改良、特に堅硬度の増加と揮発分の除

去を目的として行う熱処理の 1 種で、その熱源は白炭は炭材の一部、主として樹皮燃焼を熱源となし、黒炭は主として炭材中の揮発分燃焼、すなわち、ガス燃焼を熱源として行われる。

精煉技術は白炭はおそらく平安期白鳳のころ、遣唐使等により大陸から伝来された技術と考えられるが、その発達には主として明治中期以後と推定される。特に黒炭では昭和以後著しく発達した。

精煉が製炭効果に及ぼす影響を実験したところ著しい効果があることが分つた。すなわち精煉を充分に行つた木炭と充分に行わない木炭では、物理的諸性質およびその組成に著しい差を生じた。前者の木炭は硬度、容積重、抗压強度、炭素含有量は増加し電気抵抗は減少した。

通常、精煉の際の熱処理の程度、すなわち精煉温度と精煉時間を考えると黒炭は精煉温度 $450\sim 700^{\circ}\text{C}$ 、精煉時間（出炭量 10 貫当り）40 分～1 時間、白炭は精煉温度 $900^{\circ}\sim 1,000^{\circ}\text{C}$ 、精煉時間（出炭量 10 貫当り）2～4 時間である。精煉終了後は前者は窯内消火をし、後者は窯外消火をする。木炭の高次構造は 700°C くらいまでの間に著しい変化があり、したがつて木炭の性質も著しく変化するが、 700°C 以上の高温になると、それ以下の温度で生じたほどの著しい変化は認められない。

また、活性は 700°C 以下の木炭はそれ以上の木炭よりも大きい。したがつて精煉温度を異にする白炭と黒炭では、おのずから性質にも著しい差が生ずる結果になる。すなわち黒炭は着火点が低く燃焼速度が大きく反応性に富んでいるが、白炭は着火点が高く燃焼速度がおそく、反応性は前者より劣るが均一性がある。

その生成過程から考えると、黒炭は窯内消火のために窯内温度は一般に不均一なので、したがつて部分的に熱処理の程度を異にし、全体として著しく不均一性である。白炭は炭材を 1 本 1 本灼熱させて窯外消火するために、その熱処理の程度はほぼ均一で、したがつて白炭の分析値は一般に相似性がある。従来、製炭法の上では白炭と黒炭と 2 種に区別されているが、その性質からみて黒炭はさらに細別を要する。このように黒炭をその熱処理の程度、すなわち精煉の程度に応じて細別する方法として、木炭の表面における電気抵抗を測定しその指数で精煉度、すなわち、炭化度を表示する方法を研究し、かくのごとく区別された木炭を分析したところ各々その性質が異なることを知つた。

また、木炭の電気抵抗と炭化温度、炭化時間、水分、樹種、炭素含有量との関係を実験したところ、いずれも密接な関係があることが分つた。すなわち炭化温度が高いほど、また炭化時間が長いほど、また炭素含有量が多いほど電気抵抗は減少した。また、以上の諸性質は樹種により個々の実験値は異なるが同一傾向を示した。樹種により木材成分を異にするために熱分解にも難易が推定されるので、同一実験値は得られなかつたが同一傾向を示した。また、水分により電気抵抗は変化したのが乾状態の水分、すなわち水分 10～12 %においては電気抵抗の指数を求めれば樹種による差も水分による影響もほとんどなくなることを実験した。

また、木炭の電気伝導性に関し Auvil, 高橋等の実験を引用し、また Riley, 赤松等の諸説から木炭の電気抵抗が木炭の炭化度を表示する可能性につき考究した。

すなわち、上記諸実験、諸説から木炭の電気抵抗がその炭化度に密接に関係することを知り、かつ電気抵抗はその指数を比較するだけで充分であることを実験した。また電気抵抗の測定法は精密な電位差計を使用しなくとも $10^3 \Omega$ 程度を直読出来る一般オーム・メーターで充分なことも実験した。そこでこの計器を木炭の精煉計と称することにした。また、この計器による指数を精煉度とした。

精煉度により区別された木炭試料につき、工業分析値、真比重、発熱量、湿式酸化、pH 水分吸着量等を求め、X線廻折写真を撮つたところ、上記の通りほぼ著しく相違することがわかった。すなわち、白炭は精煉度0で炭化の程度はほとんど均しいと認められたが、上記諸分析値も樹種を異にする白炭、各々の間に類似性が認められた。また、黒炭は同一樹種でもその精煉度により上記分析値は異なる結果を示した。また、精煉度と真比重の間には高次の相関々係があり有意水準1%以上を示した。通常、炭化度の測定には真比重が求められているので、精煉度と真比重の間に明らかな関係を示した。上記実験結果は注目値値すると考えられる。従来、木炭を分析する時にはその木炭の炭化度を示す基準として、工業分析あるいは真比重の測定等が必要であつたが、精煉度を示せば木炭の炭化度がほぼ推定される可能性を示したものと考えられる。また、精煉度と揮発分、炭素含有量の間にも高次の相関々係があり有意と認められた。

X線写真は白炭は明らかな Carbon pattern を示したが黒炭は不明瞭であつた。湿式酸化量、水分吸着量はいずれも精煉度により各々同様な傾向の差が認められた。pH は一般に精煉が充分になるほど高い傾向を示したが、白炭では異なる結果を示した。発熱量は精煉度と明らかな関係を示さなかつた。

市販木炭の精煉の程度を木炭精煉計で検したところ、上級品と下級品ではその熱処理に差があることがわかつた。特に、品評会に出品され、上位入賞の木炭の精煉は特に充分に行われていることがわかつた。また、精煉度を測定することによりその木炭の製炭状況を推定することも可能であることが実験された。また、製炭の際、出炭した炭材につき精煉度をはかると天井部は低く窯底部は大きい。すなわち、よく炭窯内の温度分布不均一に伴う熱処理の不均一、すなわち、精煉の不均一を示すものと考えられる。したがつてかかる実験結果から精煉方法の改良に役立ち得ることが推定された。

白炭の精煉は熱源を樹皮燃焼に求めるために、高温は得られるが収炭率は低く 12~13 %である。しかしながら均一な熱処理が得られ、したがつて精煉度には部分的差異が少なくいずれも精煉度0となる。また、炭化温度は出炭時に高くなり、光高温計で測定すると $1,050^{\circ}\text{C}$ くらいになる。白炭窯の精煉には窯口精煉（備長式精煉）、煙道精煉（吉田式精煉）、両者の折衷

精煉とがあるが、これらの技術発達過程は明らかではないが、備長式精煉は収炭率は劣るが最も堅硬な木炭が得られる。また、吉田式精煉は精煉時間が短かく、従来日窯精煉はこの方法をとつていた。

黒炭の精煉はガス燃焼によつて行われるが、このガスは主として炭材下部の木ガス、木タールより供せられると考えられる。熱量計算すれば、精煉時の熱源は木タールが主体をなすことが推定された。炭窯からは一般に木タールの採取は困難であり、また採取した木タール中にも明らかに遊離炭素が多く、炭窯中における木タールの燃焼が推定された。黒炭窯の精煉は常に可燃ガスが窯内に充満しているように行うことが必要であり、したがつて窯の内部をなるべく均一に高温にすることが必要である。このためには製炭操作、主として排煙口調節が重要であるが、特に精煉時には排煙口調節が微妙であることを 2, 3 の実験結果によつて示した。また窯内温度均一化の手段として障壁の重要性についても 2, 3 の例を示した。

また精煉と収炭率の関係については一般に精煉を行えば収炭率は減少する。精煉を行うと窯内の平均温度が上昇し、炭材中の揮発分は除去され重量は減少する。さらに灰化等が起れば一層重量は減少する。精煉の程度に関し、熱効率と燃焼時間の関係から精煉適度を求めたところコナラ黒炭では精煉度 6 ~ 7 が適当と認められた。過度の精煉は収炭率の上からも望ましくない。

また備長炭と吉田窯の実験から白炭の硬度と収炭率の関係を求めたが、高次の相関関係はあつたが有意ではなかつた。また、黒炭窯では岩手 1 号窯、小塚在来窯、防長型改良窯、新信濃窯につき、収炭率と精煉度の関係を求めたところ、各々平均値については高次の関係が求められた。また、有意水準 5 % 以上であつたが、実測値についてはかかる結果は得られなかつた。しかしながら黒炭の収炭率には精煉度が著しく影響することが推定された。したがつて製炭試験の際収炭率を比較する時には同時に精煉度も比較し、熱処理の程度を明らかにしておくことが必要であると考えられる。また、このような時も木炭精煉計は有効であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 三浦伊八郎：林産製造学 p. 86, 昭和 22 年.
- 2) 石川藏吉：製炭の秘訣 p. 32, 昭和 15 年.
- 3) 中塚友一郎：林産製造 p.133~134, 昭和 24 年.
- 4) Klason, Heideman, Norlin: Z. anorg. chem. 90, 1914.
- 5) Fischer, Schrader: Gas. Abh. Kohle 5, 1920.
Fischer, Tropsch: Ibid, 6, 1923.
- 6) Pictet, Gaulis: Helv. Chim. 6, 1923.
- 7) 及川浩：亜炭の熱分解に就いて、燃料協会誌 27. 278, 1948.
- 8) 桑田勉, 原和夫：亜炭乾溜に関する研究, 燃料協会誌 27. 278, 1948.
- 9) 田丸謙二：セルローズの炭化, 日化, 69, 21, 1948.

- 10) 赤松秀雄：カーボンの基礎的構造，カーボンブラツク p. 249～ p. 269, 1951.
- 11) H. L. Riley: Chem. & Ind. 29, 391, 1939.
- 12) A. E. Balfour, H. L. Riley, R. Morris Robinson: J. Chem. Soc. 67, 1939.
- 13) H. E. Blayden, H. L. Riley, A. Taylor: J. Am. Chem. Soc. 62, 180, 1940.
- 14) Chaney: Trans. Am. Electrochem. Soc., 36, 91, 1919.
- 15) 片山隆三：木炭の歴史 朝鮮山林 105 号, 昭和 8 年.
- 16) 宇野昌一：林産製造学 p. 239, 昭和 10 年.
- 17) 片山隆三：木炭の歴史 朝鮮山林 111 号, 昭和 9 年.
- 18) 和歌山県林業試験場報告 第 2 号, 昭和 13 年.
- 19) 片山隆三：前掲 朝鮮山林 108 号, 昭和 9 年.
- 20) 三浦伊八郎：林産製造学 p. 54, 昭和 22 年.
- 21) 片山隆三：前掲 朝鮮山林 112 号, 昭和 9 年.
- 22) 宇野昌一：林産製造学 p. 211, 昭和 10 年.
- 23) 三浦伊八郎, 柴田信男, 牧俊夫, 唐鎌良助：東大演習林報告第 3 号, 昭和 3 年.
- 24) 木材工業便覧 p. 642, 昭和 26 年.
- 25) 岸本定吉, 内藤三夫, 高橋利夫：製炭における精煉効果に就いて, 昭和 24 年度林学会講演会にて発表
- 26) 岸本定吉, 古谷剛, 雲林院源治：電気抵抗による木炭品質の判定について, 日本林学会誌 39, 1951.
- 27) Debye, Scherrer: Phys. Z., 18, 1917.
- 28) R. R. Wallace: Phys. Rev., 71, 622, 1947.
- 29) 赤松秀雄外：日化, 70, 185, 1949.
- 30) T. D. Davis, H. S. Auvil: Ind. Eng. Chem. 27, 1196, 1935.
- 31) 高橋治男：日化, 71, 29, 1950.
- 32) 豊田博夫：炭素の電気的性質について, 炭素, 2, 4, 1952.
- 33) 岸本定吉, 樋口優：木材炭化における内外温度差について, 昭和 26 年 2 月, 林業試験場研究発表会にて発表
- 34) 岸本定吉：木炭精煉計, 森林機械化情報, 13 号, 1951.
- 35) 岸本定吉, 内藤三夫, 河野研一：木炭の研究第 2 報 林業会誌 34, 8, 1952.
- 36) 岸本定吉, 内藤三夫：木炭の研究第 5 報, 昭和 27 年春季林学会講演集
- 37) 岸本定吉, 古谷剛, 雲林院源治：木炭の研究第 3 報, 林学会誌 34, 9, 1952.
- 38) 岸本定吉, 内藤三夫, 高橋利夫：山形日窯について (研究報告 印刷中)
- 39) 長野県, 新信濃窯製炭法, 昭和 26 年.
- 40) 三宅勇, 杉浦銀治：日本林学会誌, 32, 244, 1950.
- 41) 三浦伊八郎：薪炭学考料 p. 244, 昭和 18 年.
- 42) 三浦伊八郎：大日本山林会報, 大正 12 年, 11 月号
- 43) 木材工業便覧 p. 609, 昭和 26.
- 44) 岸本定吉：製炭窯の熱精算, 昭和 19 年春季林学会講演会にて発表
- 45) 三浦伊八郎：薪炭学考料 p. 277, 昭和 18 年.
- 46) 木材工業便覧: p. 608, 昭和 26 年.
- 47) 同 上 p. 655, "
- 48) 内田憲：木炭 15, 6, 昭和 16.
- 49) 三浦伊八郎, 内藤三夫：改良黒炭窯製炭試験報告, 昭和 11 年.
- 50) 三浦伊八郎, 芝本武夫, 佐藤修, 佐藤安平：東大演習林報告第 38 号, 昭和 25 年.
- 51) 岩手県林務部, 佐々木圭助：岩手 1 号窯, 昭和 26 年.

- 52) 長野県, 新信濃窯製炭法, 昭和 26 年,
53) 秋田県木炭改良組合調, 半白炭製造法, 昭和 26 年.

Résumé

1. In Japan, charcoal making has been prevailing so widely that the annual yield of charcoal now amounts to 2,000,000 tons. The charcoal making is divided into 2 methods, the one is white charcoal making, and the other is black charcoal making. Both of the charcoal making are not similar to each other. White charcoal receives complete refining, while black charcoal do not receive such complete refining. Difference in qualities between both charcoal is due to the respective grade of refining.

2. The refining means a heating process to improve the qualities of charcoal, especially, to increase its hardness and remove its volatile matters. This heating process, is has been taken when the carbonization has almost finished. In case of white charcoal, the heating brings about combustion of its bark while in case of black charcoal, it only takes the form of combustion of its volatile matters.

3. Refining technique of white charcoal was introduced from China in the Heian era (794~1192) and made a remarkable progress in the Meiji era (1867~1912). Black charcoal making was improved in the Kamakura era (1192~1333) and its refining was developed in the Showa era (1928~).

4. Refining temperature reaches 900~1000°C for white charcoal, 450~700°C for black charcoal. Therefore, the qualities of the two kinds of charcoal are much different. In case of white charcoal, the ignition point is high, combustion speed slow and reactivity small and generally qualities of every part of white charcoal are homogeneous. In case of black charcoal, the ignition point is low, combustion speed fast and reactivity larger than the former and qualities of black charcoal are heterogeneous. The uniformity of white charcoal qualities is due to the characteristic refining process, that is to say, when the carbonization has been half finished, the charcoal in kiln is so burnt, that it takes luminous red color, then, taken out from kiln to be extinguished with ash with a little amount of water. The refining temperature of black charcoal is not so high as that of white charcoal; the charcoal in kiln scarcely takes scarlet color. Generally the temperature in black charcoal kiln is partially different, that is, at the upper part of kiln it reaches 600°~700°C, while at the bottom, 400°~450°C.

5. The writers studied the relation between refining degree and electric resistance of charcoal, and found a linear relation between them. Therefore, by measuring the electric resistance the refining degree of charcoal can be determined. They designed a special electric resistance meter and named it "RefiningTester." The tester can measure $10^{-1} \sim 10^{+9} \Omega$ and shows a refining degree in the figure which indicates the order of electric resistance of charcoal.

6. Generally, by using this refining tester, black charcoal can be distinguished into 9 classes. Charcoal of the same refining degree shows similar physical and chemical properties—content of volatile matters, water and ash, pH, true specific gravity, calorie, water adsorption, wet oxidation etc—. White charcoal can not be distinguished by this tester, because it always shows 0 figure. Indeed, the physical and chemical properties of white charcoal are homogeneous,

while black charcoal shows various figures between 1 and 9, thus, properties of black charcoal may partially be quite different. Moreover, by using this tester the technique of black charcoal making can be improved, that is, one can get an exact idea of the carbonization degree in every part of kiln.

7. Refining technique of white charcoal can be divided into two methods, the one is the so-called "Bincho kiln-type", and the other is the "Yoshida kiln-type." The former method uses an inlet refining, while the latter a draft outlet refining. The two refining methods are as follows:

a. Bincho kiln-type.

When the carbonization is almost finished, the air inlet is gradually opened, and the air is blown into the kiln, charcoal in kiln begins combustion, the temperature in kiln gradually rises to about 1000°C.

b. Yoshida kiln-type.

The draft outlet is gradually opened and the temperature in kiln rises to about 950°C.

8. The refining technique of black charcoal can also be divided into two methods. The one is an air inlet refining and the other is draft outlet refining. However this division is not strict because both methods are brought about at one time. Heating source of black charcoal refining owes to the combustion of volatile matter. This volatile matter is produced by the dry distillation of the lower layer of wood. A part of the heating source, may come from the combustion of wood tar, distilled from wood. Generally, the wood tar of charcoal making contains much free carbon. In case of the black charcoal refining, it is necessary to fill wood gas in kiln. Otherwise an excess of air blown into kiln will burn the charcoal to ash. In the refining of black charcoal, it is quite important to regulate the size of air inlet and draft outlet and to make the temperature at every part of the kiln as uniform as possible.