

# 間伐材の木炭化（第2報） —可搬型小型製炭システムの試作—

## *Carbonization of Logs from Thinning (2nd Report)* — Development of Small Size and Movable Carbonization System —

表原 靖男・ 入江 年優・ 井本 泰造\*\*  
Yasuo Omotehara Toshimasa Irie Taizo Imoto  
谷口 正志\*\*\* 高橋 弓弦\*\*\*\* 夏川 一輝\*\*\*\*\*  
Masashi Taniguti Yuzuru Takahashi Kazuki Natukawa

(1998年10月26日 受理)

We researched the carbonization of the logs from thinning for the effective use of the logs.

In the 1st report, we reported on the effect of the heating pattern of the furnace on properties of the charcoal obtained by the carbonization test of logs with the combustion tube type furnace.

This paper describes the outline of a practical and movable carbonization system built as a trial, and the experimental results with this system.

The outlines are as follows;

1. The rapid heating at the beginning of the carbonization results in the cracking of logs by the instant vaporization and expansion of water and volatile matters contained in the logs.
2. The refining degree of the charcoal is influenced considerably by the temperature of the kiln.
3. The small size and movable batch type carbonization system is the most suitable for the carbonization of the logs at the place carried out the thinning

It is possible to produce the charcoal with desired properties by the temperature control and inlet air control in the furnace.

キーワード：間伐材，小型製炭システム，精錬度

### 1. はじめに

大阪府内の森林の健全な育成を図るためには適正な間伐の実施が必要である。しかし、種々の理由により間伐が推進できておらず、また間伐材の利用率も1割程度にとどまっている。このため大阪府研究総合調整事業として、間伐材を木炭に加工することにより付加価値を高め、木炭や木酢液の用途開発を行い、間伐の促進、森林の保全に寄与することを目的に研究を開始した。第一報<sup>1)</sup>で

は、製炭の基礎的事項を把握するため、燃焼管式実験炉による炭化実験を行い、スギ、ヒノキなどの間伐材の炭化物性状に及ぼす製炭温度の影響について報告した。本報では、これらの基礎実験の結果や種々の製炭炉の調査結果に基づき試作した実用規模の小型製炭炉システムの概要およびそれを用いて行ったヒノキの間伐材の製炭実験結果について報告する。

### 2. 製炭炉システムの試作

試作した製炭炉システム全体の概略を図1に示す。本システムは、①製炭炉本体、②木酢液回収装置、③悪臭除去装置、④排風機、⑤計測装置で構成される。

製炭炉本体としては、

①製炭部内容積が500Lであり、本実験の規模として適当である。

\* システム技術部 熱燃焼グループ  
\*\* システム技術部 環境システムグループ  
\*\*\* システム技術部 制御システムグループ  
\*\*\*\* 材料技術部 環境関連材料グループ  
\*\*\*\*\* 材料技術部 有機材料グループ

表 1 製炭炉本体の仕様  
Specification of the charcoal kiln

長	さ	1 3 6 c m
ベースプレート長さ		2 4 5 c m
"	幅	1 5 0 c m
高	さ	1 2 0 c m
入	口 幅	4 0 c m
煙 突	高 さ	2 0 0 c m
炭化室	容 積	約 0. 5 m <sup>3</sup>
炭化材	投入量	2 0 0 k g / バ ッ チ
重	量	約 1 トン

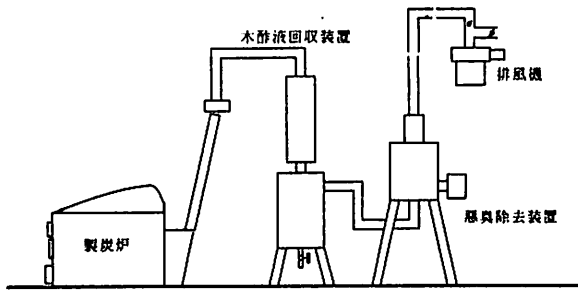


図 1 製炭炉システムの概略  
Schematic of the carbonization system

②天井部が上方に開く構造になっており、材料の炉内への搬入や木炭の搬出作業が容易にできる。という点で、本研究に適している可搬型バッチ炉を選定し、本体に観測窓を持つ前板部および測定孔等を設け、さらに各種付帯設備を試作し実験に適するよう改良を加えた。

製炭炉本体の仕様を表 1 に、概略を図 2 に示す。なお、本図には炉内温度などの測定孔の取り付け位置も示した。また、試作した木酢液回収装置の構造を図 3 に示す。木酢液回収装置や悪臭除去装置に製炭炉から出る乾留ガスを吸引するため排風機を用いているが、この背圧が製炭炉内へ影響しないようにするため、吸引部を製炭炉の煙道に直結するのではなく、少し間隙をあけて外気とともに吸引する構造とした。外気とともに吸引された乾留ガスは二重円筒構造の外側を流れる冷却水で乾留ガスに含まれる木酢液成分は冷却され凝縮しタンク内に捕集される。ここで凝縮されない悪臭成分ガスは次に続く悪臭除去装置へ送られる。

実験場所の周囲環境を保全するため強い刺激のある悪臭ガスを除去する必要があるため、図 4 に示す構造のアフターバーナ方式悪臭除去装置を試作した。本装置は耐火物により内張りされた縦型円筒炉で、接線方向に取り付けられたガンタイプバーナ(灯油燃焼量; 1 gal/h) 火炎により、本装置下部から吸引された製炭炉からの排出ガス中の悪臭成分である未燃炭化水素を燃焼処理し大気中へ排出する。本製炭炉システムの最下流部に製炭炉から排出される乾留ガスを吸引するため耐熱型の排風機を設置し、その風量はバイパス経路及び本流の調整用ダンパー開度により調節する。

### 3. 計測装置

製炭中の炉内温度の経時変化を見るため図 2 に示すように炉内に 11 本の K 型シース熱電対を挿入し、そのデー

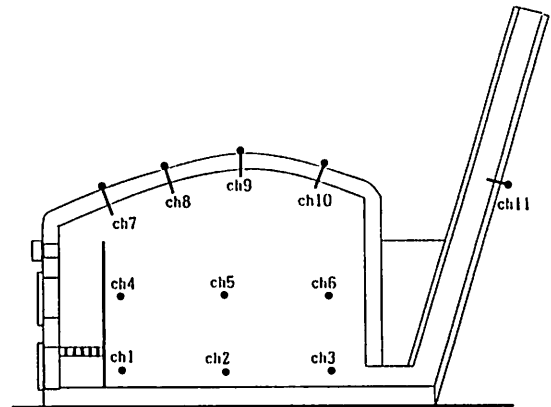


図 2 製炭炉本体と熱電対の位置  
Outline of the charcoal kiln built as a trial and location of the thermocouples

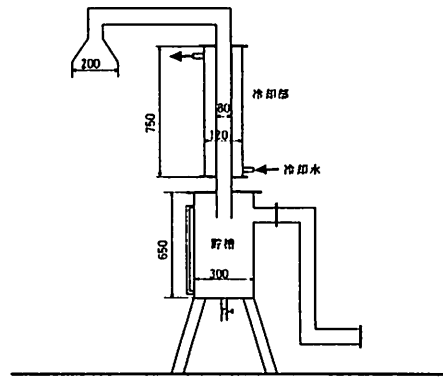


図 3 木酢液回収装置  
The withdrawal equipment of the wood vinegar

タをデータロガーに収録し、コンピュータにより処理を行う。また、煙突から排出される乾留ガス中の一酸化炭素、二酸化炭素及び酸素濃度は赤外線式ガス濃度測定装置(島津製; CGT-7000)により測定する。ただし、乾留ガスの成分中には通常燃焼生成物である、一酸化炭素、二酸化炭素、酸素、窒素以外に木酢液の成分となる凝縮性ガスや未燃の炭化水素類およびすす、タールなどが多量に含まれており、計測器内に常時ガスを吸引すれば瞬く間にフィルターやドレンポットなど前処理部が汚濁さ

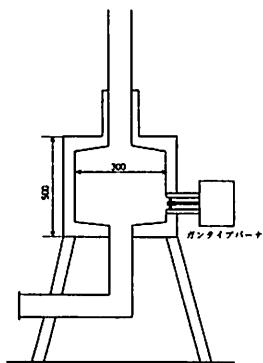


図4 臭気除去装置

The deodorization equipment

れ、その結果、計測器の命であるセンサー部が汚損し使用不能に至るため、常時計測は行わず、30分毎に5分間だけ計測するようにした。約3分強で吸引チューブ中のガスがサンプルガスで置換され、指示値が安定することを確認している。計測装置のフローシートを図5に示す。

#### 4. 試作製炭炉による製炭実験

##### (1) 製炭プロセス

ヒノキの間伐材の製炭は、通常5日間程度必要で、その標準的な実験作業スケジュールは表2に示すとおりである。実験用の標準資材として、河内長野森林組合より入手したヒノキの間伐材を使用した。間伐材はその寸法を長さ70cm、径約15cm以内に揃え、製炭炉に投入する重量を計測した後、奥から順に縦に、できるだけ密になるように充填した。さらに点火材として、端材や細木などを炉天井一杯まで炉内にまんべんなく詰め、炉天井及び前扉を閉め、空気調整口、煙突を全開にし焚き口より点火材に点火した。焚き付け開始から約3～5時間ぐらいで、炉内部の点火材に着火したことを確認した後、焚き付けを終了する。その後上部焚き口、下部焚き口を密閉し、空気調整口、煙突のダンパーで流入空気量を抑制し炉内温度が低下しない状態で保持する。この間に炭化が進行する。この時点では木酢蒸気を含む煙が激しく発生し、木酢液が大量に捕集される。炭化が終了に近づいてくると炉内の温度が上昇し始め、排煙量が少なくなる。この段階で炭化の最終過程である精錬を行う。精錬とは、一旦空気調節口、煙突を全開にして、大量の空気を炉内へ流入させ一気に燃焼を活性化し、炉内温度を急激に800～900℃近くまであげることにより木炭の組織を開めグラファイト化を完成させる行程である。煙がなくなれば空気調節口および煙突を完全に密閉し精錬は終了する。空気調節口、煙突とも全閉の状態では炉内温度が、炉天井をあけても再燃焼がしない40℃まで下がるのを待

ち、冷却が完了すれば炉の前扉および炉天井を開け、木炭を取り出す。

##### (2) 実験方法

実験は、まず炉内への流入空気をあまり絞らない急速昇温と製炭の初期段階では、製炭炉中央下部の温度(ch2)が100℃以上にならないように監視しながら、空気流入口の開度調整を行い、流入空気の調整を行い昇温速

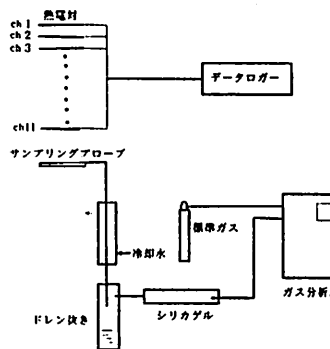


図5 計測装置のフローシート

Flowchart of the measuring system

表2 標準的な製炭作業スケジュール

Standard program of the carbonizing operation

(1日目)	①準備 (炭材、計測器調整)
( " )	②炭材の詰め込み
( " )	③点火材の詰め込み
(2日目)	④点火作業 (焚き付け)
( " )	⑤炭化開始 (焚き付け終了)
(2～4日目)	⑥炭化 (空気調整) *
(4日目)	⑦精錬-炭化完了
( " )	⑧窯内部の冷却
(5日目)	⑨木炭の取り出し

\*急速炭化実験ではこの期間を短縮

度を抑えた緩慢昇温で実施し炉内温度分布の経過と製品木炭の性状について検討した。さらに炉内の偏流を除去するため、邪魔板を設置した改造炉で製炭実験を行った。

実験に先立ち、計測準備として、K型シース熱電対温度計を炉内の所定の位置にセットし、出力をデータロガーに取り込めるよう調整した。また、炉内ガスの成分分析用のサンプリング前処理部のフィルタ、ドレンポット、除湿用シリカゲルの点検とガス分析装置の校正を行った。なお、乾留ガスの木酢液回収装置への吸引力の調整は吸い込み口フードと排風機ダンパの開度調整により行った。

## 5. 実験結果および考察

### (1) 炉内温度

図6および7に急速昇温、緩慢昇温の炉内温度分布の経時変化を示す。なお、温度の自動計測は炉内および煙突部に設置した11点の測定点について5分間隔におこなったが、データが煩雑になるので、図には炉内中央部、上・中・下段の温度のみで示す。緩慢昇温では、空気流入口の開度調整を行い、流入空気量を少なくしたため、図7で明らかなように炉内温度の上昇速度は急速昇温に比べて約1/2、すなわち製炭時間としては約2倍になった。両図において、上部のch9の温度は入口着火部に最も近いこともあり、初期の段階で急激に温度が上昇し、かつ焚き付け材の投入時や燃焼により影響を受けるため激しく脈動している。中段のch5の温度も時間と共に徐々に昇温している。下段のch2の温度は最も熱ガスが通りにくいいため温度が低くなっているが、製炭の最終段階に近くなるとこの温度も上昇し始め、炭化が炉下部まで進行していることがわかる。製炭の最終段階である精錬作業の時点では、いったん空気調節口を開放し炉内へ空気を急速に導入すると、炉内で再燃焼が起こるため炉

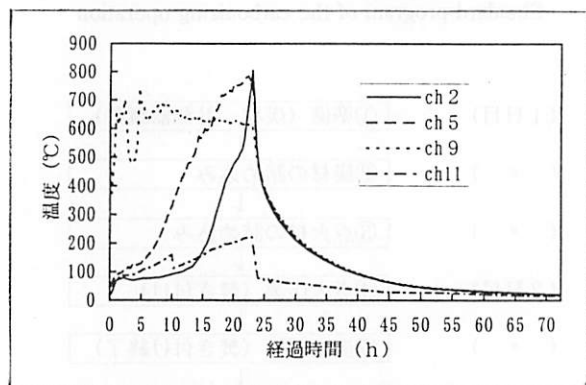


図6 炉内温度の経時変化 (急速昇温)  
Change of the kiln temperatures with time  
(at the rapid heating)

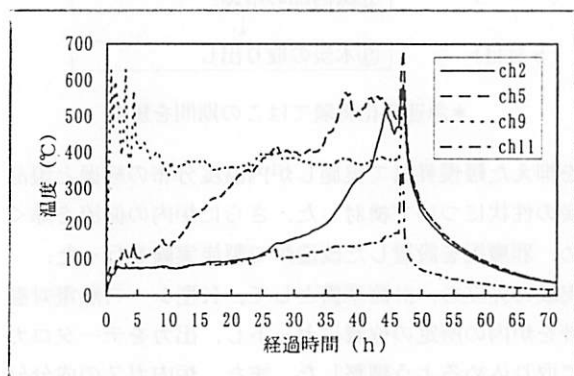


図7 炉内温度の経時変化 (緩慢昇温)  
Change of the kiln temperatures with time  
(at the slow heating)

内の温度は急上昇を始め、各部で最高温度を示している。この後、全閉にして空気を完全に止めると燃焼が停止するため炉内の温度は急速に低下している。

### (2) 排ガス性状

排ガス濃度については煙突部にサンプリングプローブを挿入し実測したが、連続計測が不可能であるため30分置きに手動で計測した。したがって、夜間の実験者不在時の計測はできなかった。焚き付けを行っている時間帯では、排ガス中のCO<sub>2</sub>濃度は12~18%、CO濃度は3~5%、酸素濃度は1~7%の範囲でかなり大きく変動したが、焚き付けが終わり炭化過程が始まる3時間後からは安定した。

### (3) 木炭の外観性状

図8および図9に急速昇温と緩慢昇温の木炭の外観写真を示す。急速昇温では木材内部の水分や揮発成分の急激な気化・膨張による木炭の内部破裂を起こしている。また、流入空気中の酸素によって燃焼の進行が促進される結果、灰化の割合も多くなった。製造された木炭は比重の軽い消し炭様のもので、燃料として使用するのは無理であろうと思われた。緩慢昇温でも製炭終了時の焚き口に近い部分の状況は急速昇温の場合と同様、炭化を通り越して灰化・消滅しており、この部分では多量の空気により燃焼が活発であったことがわかる。しかし製炭初期の段階の昇温パターンを緩慢昇温にした今回の結果では、外観写真で明白なとおり、急速昇温に比べて内部破裂の発生が少なく、木炭の外観形状は概ね良好で、電気炉で行った基礎研究の結果が確認できた。しかし木炭はこの場合でも消し炭様のものしか製造されず、燃料としては低品質のものしか得ることができなかった。

急速昇温のヒノキ材投入量は着火用木材を除いて169.8kgで、木炭収量は25.6kg(15.1%)、緩慢昇温の投入量は163kg、木炭の収量は28.9kg(17.7%)で、急速昇温に比べて収率が少し増加した。

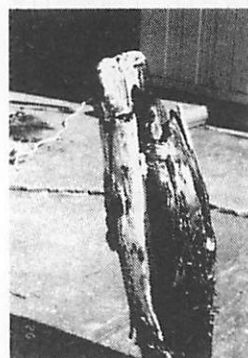


図8 木炭の外観  
(急速昇温)  
Appearance of  
the charcoal  
(at the rapid heating)



図9 木炭の外観  
(緩慢昇温)  
Appearance of  
the charcoal  
(at the slow heating)

(4) 温度履歴と精練度

以上の結果、間伐材の木炭の用途としては、燃料用よりもむしろ土壌改良用や水質浄化用、調湿材的な用途の可能性が高いことから、処理量を増加させる方が得策であると考え急速製炭とした。また、炭材などの詰め方等により炉内の熱ガスの流れが一様でなく、偏流をしているようで、箇所により木炭の性状がばらつき、温度等との関連を確認できなかった。そこで、図10に示すように炉内に鋼板製邪魔板を設置し、炉内ガス流の流路を変更しガスの偏流をなくし、温度との関連が検討できるようにして製炭実験を行った。さらに、炉内への流入空気量の微調整を容易にするため空気吸入口にバルブを取り付け、また煙道ガス濃度の計測も含めて全データの計測を自動化するシステムを開発したので、炉内温度分布と合わせて製炭状況の連続的な変化を求めることが可能となった。この場合のヒノキ材の投入量は 142.2kg、木炭の収量は29kg(20.4%)であった。

炉内の各位置で得られた木炭の精練度を示す電気抵抗値を表3に示す。入口に近い領域1の位置では燃焼が急速に進むためほとんど灰化していたが、領域2の位置、特に中心部は完全に炭化しており、木炭の電気抵抗は非常に小さく、0~2Ω/cm程度で高い精練度を示した。

しかし領域3での位置で採取された木炭は外観は木炭であるが、電気抵抗を測定すると測定限界の10MΩ/cm以上を示し精練度が低く炭化が進んでいないことがわかる。このように木炭の性状は、第1報<sup>1)</sup>で述べたようにその部分の温度履歴に非常に影響を受けていることが実規模の本製炭炉においても確認できた。

図11は領域2及び3の中心部温度ch5とch6の経過だけを示したものである。本図で明らかなように、精練度の高い木炭が得られた位置ch5の温度は炭化時の温度が約400℃近くあり、精練時には900℃まで上昇していることがわかる。これに反して、精練度の低い木炭が得られた位置ch6の温度は炭化時の温度も300℃程度で低く、また精練時の温度も450℃程度しか上昇していないことがわかる。この結果、木炭の精練度を向上させるためには、炉内の温度と酸素濃度を常時監視し調整することにより、例えば今回の実験の炉内領域2の中央部のデータと同様の温度履歴が得られるように制御すれば良いことがわかった。

6. まとめ

実規模の小型可搬型製炭炉を製作し、ヒノキの間伐材を用いて製炭実験を行い次のようなことがわかった。

①製炭温度によって木炭の精練度は決定される。

木炭がグラファイト化するためには、600℃以上の温

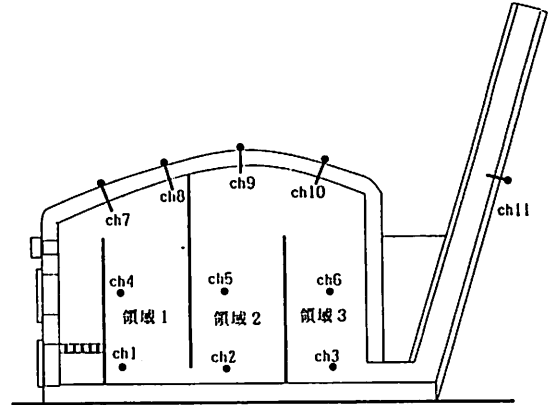


図10 邪魔板による炉内分割の概略

Outline of the kiln divided by the partition plates

表3 木炭の電気抵抗値

Electric resistance of the charcoal

炉内の領域		Ω/cm		
		左側	中央	右側
領域2	上段	∞	2 (ch9)	300
	中段	∞	1 (ch5)	600
	下段	∞	0 (ch2)	1
領域3	上段	∞	170K (ch10)	∞
	中段	∞	∞ (ch6)	∞
	下段	∞	∞ (ch3)	∞

但し、(ch9)~(ch3)；炉内の試料採取点に近い温度センサーの番号

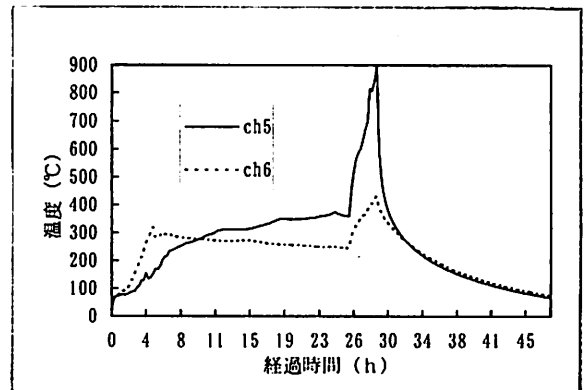


図11 炉内温度の経時変化

Change of the kiln temperatures with time

度履歴が必要である。

②間伐の行われる現場で製炭するとすれば、トラックで搬入可能な小型可搬式バッチ炉が適している。また、炉内の温度制御、雰囲気制御を行えば、希望する性状の木炭を得ることが可能である。

参考文献

- 1) 表原靖男他：“間伐材の木炭化（第1報）”，大阪府立産業技術総合研究所報告，No. 11，42(1998)