

## 間伐材の木炭化(第1報)

### *Carbonization of the Logs from Thinning (1st Report)*

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

(1997年11月28日受理)

For the effective use of the logs from thinning of cryptomeria and Japanese cypress etc., we research the carbonization of the logs.

In this paper, we report the effect of various carbonization conditions on properties of the charcoal obtained by the carbonization test of logs with the combustion tube type furnace.

The results are as follows;

1. The characteristics of the charcoal produced is influenced significantly by the heating pattern of the furnace
2. It is necessary to raise the furnace temperature over 600°C to graphitize the charcoal completely.

キーワード：間伐材，製炭，熱分析，収炭率，かさ比重，精錬度

#### 1. はじめに

戦後の積極的な拡大造林の推進により、現在、大阪府内の人工林は約26,800haとなっているが、その内約6割は下刈、間伐等の手入れを行う対象の林齢(35年生以下)にある。特にこの内約5,700haは、緊急に間伐を実施する必要のある森林で、不健全な状態にある。

大阪府では、昭和56年度から間伐の計画的推進をねらった国庫補助事業である間伐促進強化方針書に基づいて、間伐の推進を図っているが、表1に示すとおり、近年の間伐実施量は、約550ha程度であり年々減少傾向にある。さらに、この約550haの間伐実施により年間約10,000m<sup>3</sup>の間伐材が発生するが、その利用率は1割程度にとどまっている。

このように間伐が推進できないのは、

- ①長期にわたる木材価格の低迷や林業経営費の高騰による林業の悪化から、森林所有者の経営意欲が減退している。
- ②府内の産地部は総じて急峻であるといった地形的な制約もあり、間伐作業の効率的な実施に不可欠である林道、作業道等の路網整備が十分でないことや機械装備の高度化が立ち後れている。
- ③林業従事者の高齢化、後継者不足とともに、作業を担

表1 府下の間伐実施面積、材積と利用率  
Thinning Area, volume and Utilization Rate  
of Log from Thinning in Osaka Prefecture

	平成4年	平成5年	平成6年
間伐実施面積 ha	502	562	509
素材換算材積 m <sup>3</sup>	11,647	11,045	8,481
素材利用材積 m <sup>3</sup>	3,729	2,551	1,068
利用率 %	32	23	13

\* 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 ロボティクスグループ

\*\*\*\* 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

う森林組合等で作業員が不足している。といったことに起因しているものと思われる。

このような背景を受けて、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図ることにより、間伐の促進、森林の保全に寄与することを目的に本研究を開始した。当研究所は

- ①製炭条件と木炭性状との関係の把握
- ②間伐材の製炭に適した可搬型製炭炉の開発を目的に研究を実施した。

一般に製炭する温度や炉内の酸素濃度により、空消し状木炭(消し炭)や高級の燃料炭(一般にはクスギ炭)になったり、その性状が大きく変化することがいわれている<sup>1)~3)</sup>。そのため、製炭の基礎的事項の把握を目的として、燃焼管式実験炉により、種々の木種や昇温パターン等における製炭の基礎実験を行い、スギ、ヒノキなどの間伐材の炭化に及ぼす製炭温度の影響等について検討した。

## 2. 実験装置及び実験方法

実験試料としては河内長野森林組合から入手した間伐材のスギ、ヒノキと和歌山産ウバメガシ(高級燃料炭として市販されている備長炭の原木)を、1cm×1cm×5cmの寸法に裁断したものを使用した。

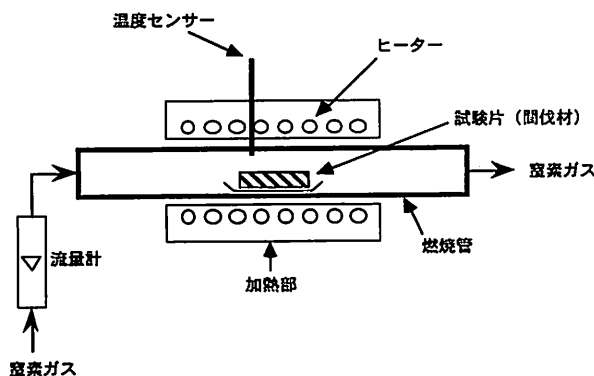


図1 燃焼管式実験炉の概略

Figure of Combustion Tube Type Furnace

製炭化は図1に示す燃焼管式電気炉を用い、空気中の酸素濃度の影響を除くために5 l/minの流速の窒素気流中で製炭実験を行った。また、パラメーターとしては、炭化温度を300, 400, 500, 600, 700, 800°Cに変化させ、また炭化温度における保持時間は2時間一定とした。

加熱部(内径 30mm, 長さ約 600mm)に挿入される高温部は透明パイレックスガラスチューブ製のもので、間伐材の試料片を磁性ポートに乗せて挿入した。

## 3. 実験結果

### (1) 木材(スギ, ヒノキ, ウバメガシ)の熱分析

図2は、スギ、ヒノキ、およびウバメガシの空気中における示差熱分析および熱天秤分析の結果である。

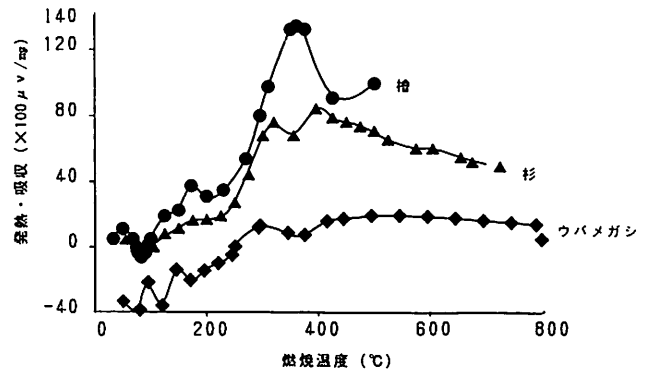


図2 木炭の熱分析結果

Thermal Analysis of charcoals

350°Cからセルロースの分解による発熱が、400°Cからリグニンの分解による発熱ピークが観察される。ウバメガシは組織が緻密で発熱が少なく、水分が多いため、200°C以下で吸熱ピークが観察された。ヒノキが最も多く発熱していた。

木材を炭化する過程で温度が高くなっていくが、セルロースは約 275°Cで最も激しく熱分解し、リグニンは約 370°Cで熱分解し、400°Cで分解が終わる。この温度が上がり炭化していく過程を煙のようすとみると、当初は白い水蒸気があがり、それからヘミセルロースが熱分解した刺激臭のある煙がでて、その後セルロースが激しく熱分解してから味のある煙となり、最後にリグニンが熱分解して青煙になり、炭化が終わる。酢酸等の有機酸やアルコール類等は、セルロースやヘミセルロースの熱分解成分でありフェノール類等はリグニンの熱分解成分である。さらに、温度が高くなると、リグニンの熱分解成分の中には3・4ベンズピレン、1・2・5・6ジベンズアンスラセン・メチルコランスレンなどの発ガン性物質とされるものも発生する。これらの発ガン性物質は、炭化温度が425°C以下では発生しないと言われている<sup>3)</sup>。

### (2) 収炭率

図3は炭化温度と収炭率の関係を示す。300°Cで35~40%の炭が得られ、800°Cでは17~20%程度の炭が得られた。今回の実験ではヒノキの収炭率がスギより悪く800°Cで17%程度であった。製炭温度が高くなるにつれて、収炭率は下がる傾向が認められた。

### (3) 木炭のかさ比重

メスシリンダーに適当量の水を入れて秤量した炭の塊を針金で体積全体が水面下になるように沈め、その時の体積増加量を炭の重量で割った値をかさ比重として求め

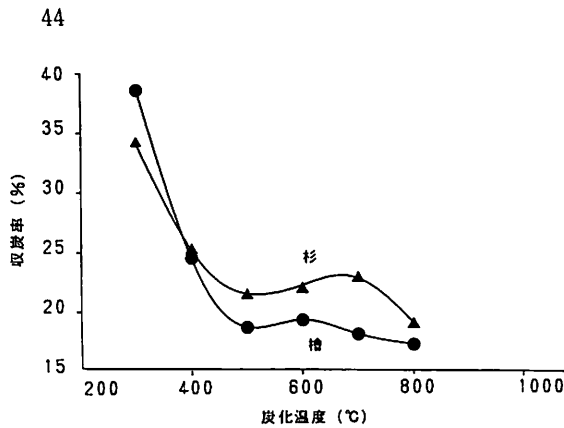


図3 炭化温度と収炭率の関係

Relationship between Yield of Charcoal and Furnace Temperature

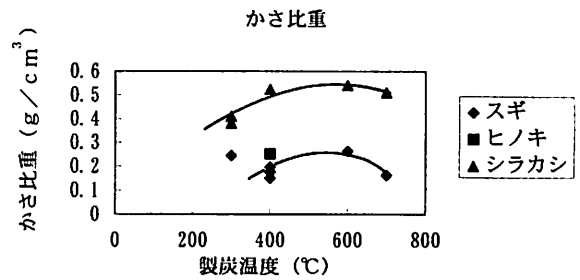


図4 炭化温度と木炭のかさ比重の関係

Relationship between Bulk Density of Charcoal and Furnace Temperature

たが、木炭の細孔中に保有している空気が少しずつ出てくるので体積増加量は徐々に減少する。本実験ではこの減少の度合いがほぼ安定する15秒前後の時の体積増加量を採用した。図4にこの関係を示す。備長炭をつくるウバメガシと同種のシラカシが最もかさ比重が高く、ついでヒノキ、スギの順に低下している。このようにスギやヒノキの場合では、条件をいろいろに変えて実験を行ったが備長炭のような硬い木炭とはならず、いわゆる消し炭風の木炭しか得ることができなかった。スギ材の場合では、300°Cから温度を上げていくと急速に減少し、400°Cあたりから逆に増大している。これは製炭の段階で重量減よりも木炭の収縮のほうが大きいと思われる。

#### (4) 電気抵抗値

炭の基本構造は小さい炭の結晶が不規則に並んだ無定形炭素であるが、炭化温度が上がるにつれて結晶化が進み大きな結晶に成長する。これはグラファイト構造と呼ばれ、電気が伝わりやすくなる。この性状を利用して炭化の進み具合を知ることができる。これは炭の表面に電極をおいて電気を通し抵抗を測定し、この抵抗の大きさを精練度を表している。

スギおよびヒノキの炭化温度による電気抵抗の変化を図5に示す。炭化温度の低い600°C以下では電気抵抗が大きく測定できなかったが、600°C以上では、ヒノキは100 kΩ/cmであり、スギでは2 kΩであった。800°Cでは3Ω/cm程度にまで低下し、グラファイト化が進んでいることがわかる。すなわち、完全にグラファイト化するためには製炭温度を600°C以上に上げる必要がある。

#### (5) 発熱量

ヒノキおよびスギの各炭化温度による高発熱量を図6に示す。300°Cでの炭化温度では、7,200cal/gであり、発熱量のピーク値はヒノキで500°C程度、スギで600°C程度であった。発熱量はそれぞれ8,000cal/g および 7,400cal/gと幾分、スギのほうが少なかった。図中ではウバメガシ(備長炭)の結果も示した。一般的に、製炭温度が

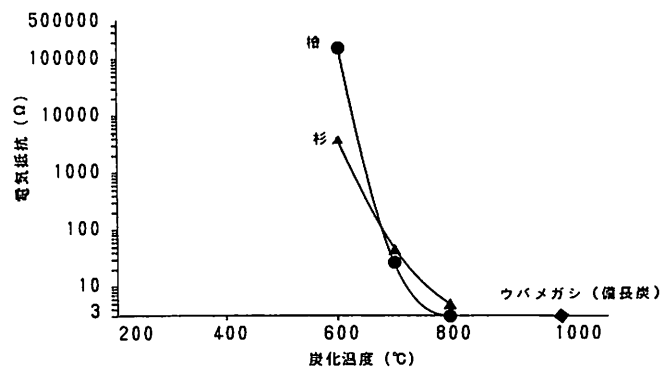


図5 炭化温度と木炭の電気抵抗値の関係

Relationship between Eleatrical Resistance of Charcoal and Furnace Temperature

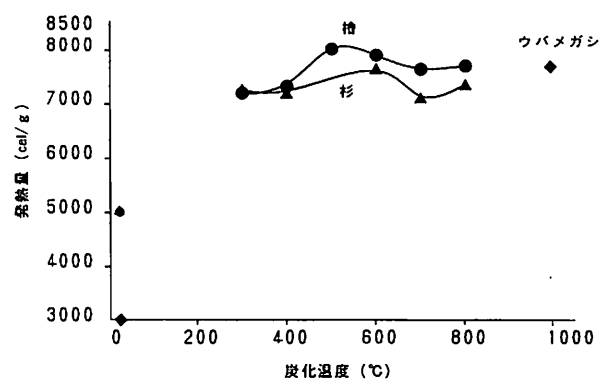
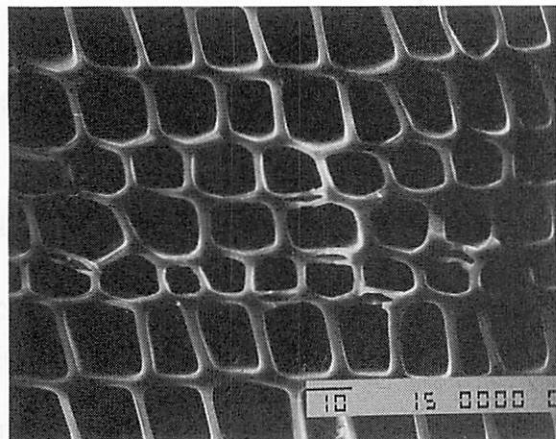


図6 炭化温度と木炭の発熱量(高位)の関係

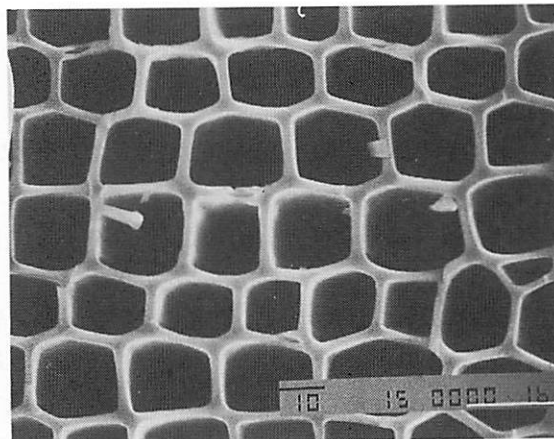
Relationship between Carolific Value of Charcoal and Furnace Temperature

上昇するにつれ発熱量は増大し、約600°Cで最高値を示す。このように温度が600°C程度以上の高温で発熱量が低下するのは、炭素の割合が増加する以上に水素が減少するためと考えられる。

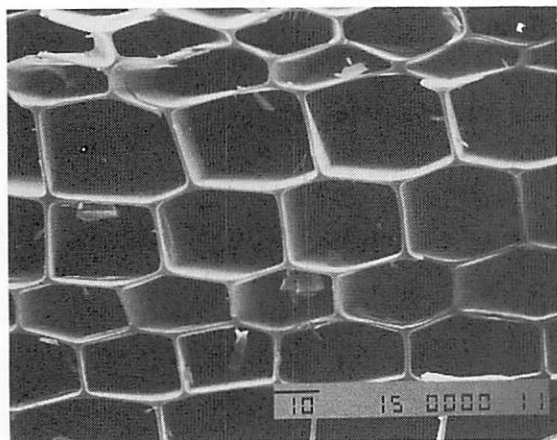
なお、実験に先立ち測定した原木の発熱量(高位)は次



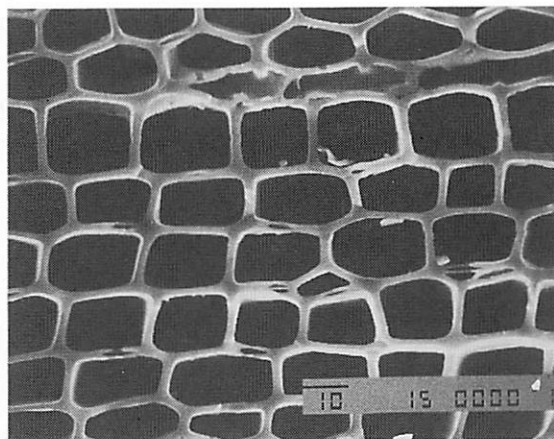
炭化温度 ; 350°C



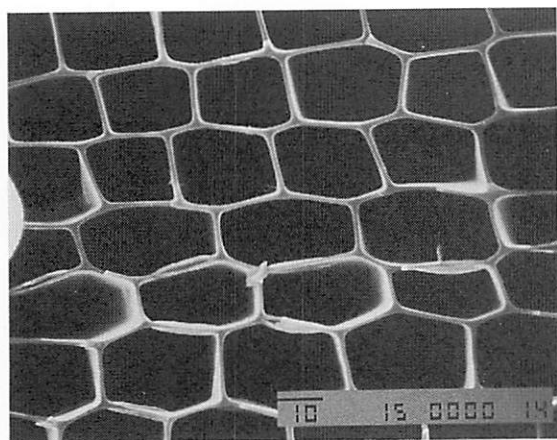
炭化温度 ; 350°C



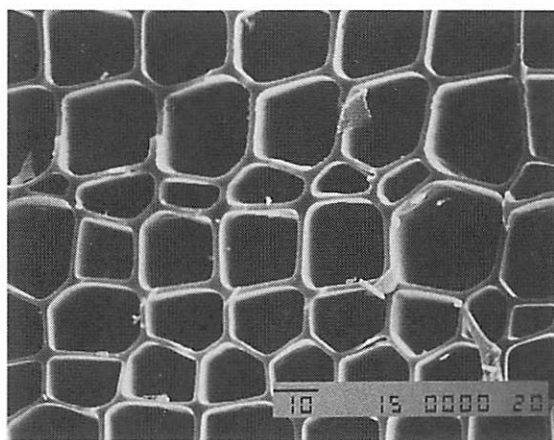
炭化温度 ; 650°C



炭化温度 ; 650°C



炭化温度 ; 1000°C



炭化温度 ; 1000°C

図7 スギ木炭の組織  
アルゴンガス雰囲気  
昇温時間 ; 1 °C/min  
保持時間 ; 2 時間  
倍 率 ; 1000倍

SEM micrograph (x1000) of Cryptomeria Charcoal  
(Furnace Temperatures are 350°C, 650°C, and 1000°C)

図8 ヒノキ木炭の組織  
アルゴンガス雰囲気  
昇温時間 ; 1 °C/min  
保持時間 ; 2 時間  
倍 率 ; 1000倍

SEM micrograph (x1000) of Japanese cypress Charcoal  
(Furnace Temperatures are 350°C, 650°C, and 1000°C)

のとおりである。

ヒノキ ; 4,222cal/g

スギ ; 4543cal/g

#### (6) 組織

各炭化温度による組織を走査型電子顕微鏡で観察した。炭化温度の増加と共に仮導管(マクロ径)、細胞膜(ミクロ径)とも減少する傾向にあった。代表的なスギおよびヒノキの組織写真を示したのが図7, 8である。

細孔容積については、今回は測定していないが、安部<sup>4)~6)</sup>によると原木がポーラスであるミツマタ炭が極端に大きい、ついで針葉樹のスギ炭が大きい。カシ炭では、炭化温度が高くなるほど小さくなる。また、アカマツ、カラマツ、スギなどの針葉樹はマクロの孔の径が大きく軟質の炭となり、燃料として使用するとき、酸素が炭の内部に進入しやすく、反応してできた炭素ガスの拡散も良いので火付きが良く、すぐに高温が得られる。クヌギ、カシ等の広葉樹はマクロの孔が小さくて硬質の炭となり、燃焼速度が遅く、一定温度で燃焼を持続して火もちがよいという特徴がある。

表面積は先述の安部によると、どの木炭でも約300m<sup>2</sup>/gから400m<sup>2</sup>/gで、備長炭はかなり小さいがスギやヒノキは比較的大さい。

#### 4. まとめ

今までは炭焼き職人の勘に頼っていた製炭技術を少しでも解明し、だれでもが簡単に合理的な製炭を行えることと、間伐材に適した製炭技術を見いだすことを目的に

種々の実験を行った。まず、製炭の基礎的事項を把握するため、電気炉で材種や製炭温度を変えた基礎実験を行い、次のようなことがわかった。

- ①木炭の組織やかさ比重、発熱量などの性状は材種と製炭温度によって影響を受ける。
- ②製炭温度によって木炭の精錬度は決定される。  
木炭がグラファイト化するためには、600℃以上の温度履歴が必要である。
- ③スギやヒノキなど針葉樹の間伐材では、カシやナラなどの広葉樹で生産される燃料に適した性状、すなわち、硬くて火持ちのする木炭の製造は困難である。  
しかし、土壌改良材や水質浄化材、調湿材として利用するならば、スギなどの間伐材でつくられる木炭でも気孔率、比表面積の観点から十分適応は可能である。

#### 参考文献

- 1) 日本木質成形燃料工業協同組合編、木炭の新用途とその現況、(1991)
- 2) 杉浦銀治編著、炭焼革命、牧野出版(1992)
- 3) 炭焼きの会編、環境を守る炭と木酢液、家の光協会(1994)
- 4) 安部郁夫他、多孔性炭素材料の吸着性能評価法(第2報)、炭素, No.156, 22(1993)
- 5) 安部郁夫他、多孔性炭素材料の吸着性能評価法(第3報)、炭素, No.160, 247(1993)
- 6) 安部郁夫他、吸着剤として見直される木炭、科学と工業, 68, (4), 161(1994)