

木質系廃材の資源化に関する研究 (第3報)

中島 俊・名取 潤*

Study on Wooden Trash Change to Resources (3rd report)

Toshi NAKAJIMA and Jyun NATORI

要 約

素材を内部から加熱できる特性をもつマイクロ波で、建築解体廃材を加熱して炭化した。マイクロ波による加熱は、密閉状態で炭化遷移温度400℃までとし、これ以上は、マイクロ波を止めて空気を供給して加熱した。この方法で、普通の活性炭の製造温度(800~1000℃)より低い700℃で木炭を製造した。得られた木炭は、多孔質の組織構造を持ち、十分な吸着性を有することが認められ、活性炭や濾過材として利用が可能となることが判明した。

1. 緒 言

従来廃棄物は、「捨てるもの」「燃やすもの」として、取り扱われてきたが、再生資源の利用促進に関する法律(リサイクル法)¹⁾が制定されてから「資源」として捉える方向がより鮮明になってきた。

全国の建築物の解体および建設工事にともなって発生する廃材(木材)の量は、平成2年度には750万トンであった。このうち、再利用は230万トン(30.7%)で、残りは処理業者によって焼却・埋立処分された。

近年、廃材は、燃焼用・ボード用・ダンボール用チップの原料とする一方、活性炭、肥料の製造等に向けて開発研究²⁾が行われている。本研究は、廃材をマイクロ波を使って乾留することにより、短時間で木酢液や木炭等を生産することを目的としているが、木酢液とガスの成分については既に報告³⁾した。表1は、前回までの実験において、マイクロ波乾留による廃材からの生産物を示す。

表1 乾留生成物の量(%)

木酢液	木炭	ガス
56~58	26~36	5~8

今回は、マイクロ波乾留木炭の組織、結晶構造ならびに吸着性能について検討した結果について報告する。

2. 実験方法

2-1 試 料

資料には、次の2種類の木炭を使用した。

- 1) マイクロ波乾留によって、400℃で炭化した木炭(試料1)。
- 2) 試料1の木炭をマイクロ波を止めて、空気を供給して、さらに700℃まで加熱し、炭化を促進させた木炭(試料2)。

2-2 使用機器

測定には、次の機器を使用した。

- 1) 組織構造の観察
ビデオマイクロスコープ(明伸工機(VMS-5000))
- 2) 結晶構造の測定
X線回折装置(理学電機RAD3C)
- 3) 吸着性の測定
分光光度系(島津製作所UV-2200)

2-3 測定方法

- 1) 組織構造の観察
組織の断面を木炭の繊維方向、接線方向及び半径方向について、ビデオマイクロスコープで200倍に拡大して観察した。
- 2) 炭素の結晶構造の測定
試料2の木炭の炭素結晶をX線回折装置で観察した。
- 3) 吸着性の測定
波長400~700nmに吸収帯をもつ黒インク溶液を用意し、この溶液に立方体(10×10×10mm)の木炭を2%(重量パーセント)入れて30時間放置した。30時間後に木炭を取り出して、溶液の透過率を分光光度計で測定した。

* 山梨県森林総合研究所

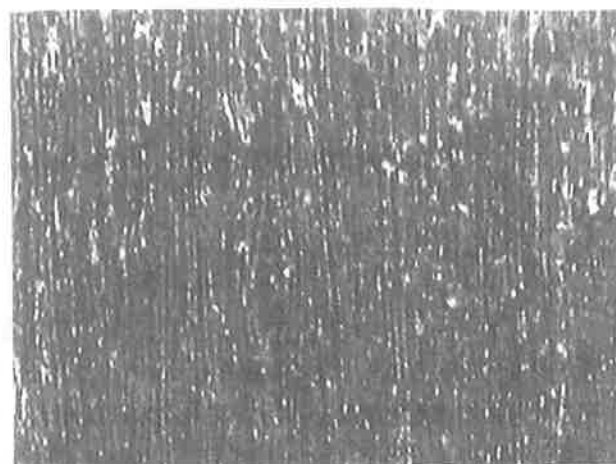
3. 実験結果及び考察

3-1 組織構造

写真1には、試料2（炭化温度700℃）の顕微鏡写真を示した。

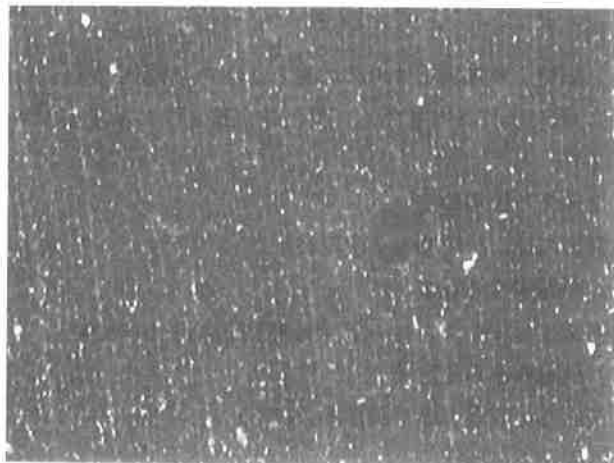
写真1(a)は、繊維方向（軸方向）の断面写真である。炭化によって仮導管の内側が中空構造になっている様子が観察できる。孔の大きさは、仮導管の太さによって決まり、早材部分は大きい孔が、また晩材部分には小さい孔が無数に明いている。孔の大きさは、 $\phi 1 \sim 3 \mu\text{m}$ 、 $\phi 40 \sim 50 \mu\text{m}$ が多く観察された。

写真1(b)は、半径方向の断面写真である。仮導管の壁に沿って、木材の組織構造に由来した数 μm 以下の細孔が無数に開いている様子が観察できた。写真1(c)は、接線方向の断面写真である。半径方向と同じに、仮導管の壁に沿って、木材の組織構造に由来した数 μm 以下の細孔が無数に開いている様子が観察できた。



(c) 接線方向

写真1 顕微鏡写真



(a) 繊維方向（軸方向）



(b) 半径方向

3-2 結晶構造

木炭は、ダイヤモンド、黒鉛とともに炭素の同素体で、無定型炭素の一つである。

セルロースの熱分解は260~310℃で、脱水縮合などを経て、炭水化物構造が消失し、芳香族炭素構造に変化する。400℃以上では、縮合多環芳香族構造が現れ、500℃以上になると、その構造が次第に成長して、炭素80%以上の炭化物⁴⁾となる。

セルロースの結晶構造は、278℃でも認められるが、300~400℃では無定型構造となり、450~500℃以上になると、次第に炭素の回折像を示しはじめ、900℃で初めて黒鉛構造が現れる⁶⁾という。

図1には、試料2の木炭のX線回折像を示した。X線回折の結果、高角度の回折線の幅が広がっていることから、結晶格子が不完全で格子不整や内部ヒズミのある結晶構造⁴⁾と考えられる。

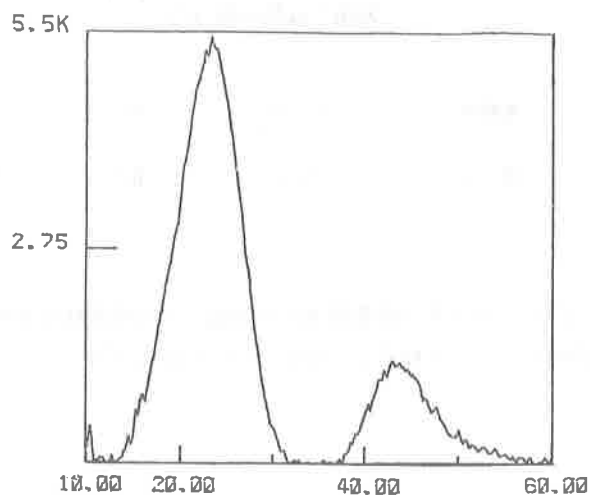
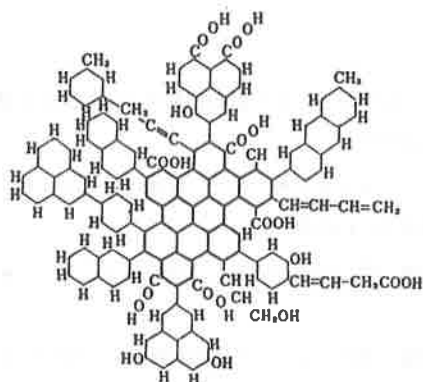
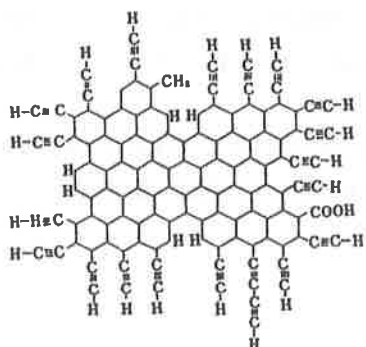


図1 木炭のX線回折像

一般に無定型炭素は、その炭化条件によってさまざまな段階のものがあ、その組成も炭素ばかりとは限らない。図2(a)には、400°Cのセルロース炭の結晶網平面模型を、図2(b)には、700°Cのセルロース炭の結晶網平面模型を示した¹⁾。400°Cのものは、炭素6原子環も少なくOH、COOH等の感能基が多く結合している。700°CのものはOH、COOHの結合が殆ど見られず、炭素6原子環が増えている。従って、炭化条件(温度、空気、水蒸気等)を変えることによって、さまざまな性質の木炭が製造可能と考えられる。



(a) 400°C (Riley)



(b) 700°C (Riley)

図2 セルロース炭の結晶網平面模型¹⁾

3-3 吸着性

インク溶液の透過率の測定結果を、図3に示した。①の曲線は、インク溶液の透過率を、②の曲線は、試料1の木炭を入れたインク溶液の透過率を、③は、試料2の木炭を入れたインク溶液の透過率である。

透過率の測定結果から、400°Cで炭化した試料1の木炭よりも、700°Cで炭化した試料2の木炭の方が、脱色(吸着)効果が遥かに大きいことが判明した。400°Cで炭化した試料1の木炭をインク溶液に入れるとただちに溶液が変

色した。このことから、炭化温度の低い木炭は、インクを変色する可溶性成分が残留しているものと考えられる。

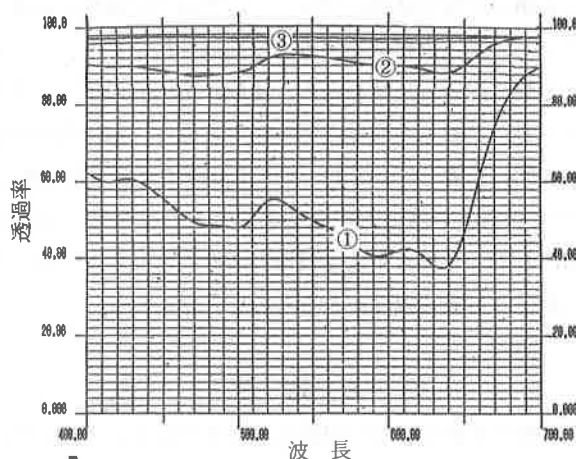


図3 透過率の測定結果

4. 結論

マイクロ波による急速加熱は、廃材を短時間で木酢液、木炭、ガスに変えることができる。

廃材からの木酢液には、酢酸、メタノール、タール分等の成分が、ガスには一酸化炭素、水素、メタン等が含まれ³⁾ていた。

① 木材は大小さまざまな孔のあいた多孔質体である。木炭には、原料木材由来の特徴ある組織構造を残した孔が無数にあいている。原料木材由来の孔は20~1000 μmの大きさのマクロ孔である。この木炭を空気または水蒸気中で短時間に900°Cに焼くと、0.1~1.4 μmの大きさのミクロならびにトランジショナル孔が無数にあいた多孔質の活性炭³⁾が得られる。

今回の実験では、無孔分布の測定は行っていないが、マイクロ波による内部加熱は、210°Cの低い温度で、多数の細孔が開くことが報告⁷⁾されている。

② 木炭の炭素構造は熱処理温度によって、さまざまな段階の炭素構造に変化する。300~400°Cで芳香属炭素構造が現れ、400~500°Cで縮合多環構造が現れ、500°C以上になるとその構造が、次第に成長して炭素の回折像を示し始め、900°C以上で黒鉛構造が現れる。組成は、400°CではOH、COOH等が結合しているが、700°Cではほとんどが水素と炭素組成になる。1100°Cでは炭素量が96%に、水素量は0.53%¹⁾になる。

③ 木炭の炭化温度が高いほど吸着性能が良くなる。木炭を950℃で空気または水、蒸気中で短時間で焼くと、吸着性の良い多孔質の活性炭が得られる。木炭の炭素構造は②で述べたように、処理温度を高めていくと、芳香属炭素構造が現れ次第に成長して、黒鉛の結晶格子に近くなる。X線回折結果から木炭の結晶は格子が不完全で格子不整や内部ヒズミがあり、組成が不均質の構造と考えられる。これらの個体内部の格子欠陥は、個体内部の電子状態に影響⁶⁾を及ぼす。マイクロ波による内部加熱は、210℃の低い温度でも細孔があくため⁷⁾、欠陥が表面に露出して、これらが化学吸着の活性点となることから低い温度でも吸着機能があるものと考えられる。

5. 結 言

以上のことから、木炭の炭化条件を変えることにより、さまざまな性質の木炭を得ることが可能である。従って、燃料や活性炭以外の木炭の使いみちが考えられる。

木炭は、原料由来の孔が無数に明いた天然の多孔質体である。この孔を利用して微生物を付着・増殖すると、高密度のバイオリクターとして使うことが可能であると考えられる。

水質浄化システムに使う場合、前段に汚染源を分解する微小生物や微生物を高密度に付着・増殖した木炭を使い、後段に活性力のある木炭を使って微生物で分解できない物質を取り除いて水を浄化する等の方法が考えられる。このシステムでは、前段に生物の最適環境を提供する機能を備えた木炭を、後段には活性機能を備えた木炭を、それぞれの工程で使い分けることが必要と考えられる。

今回の研究で、様々な性質の木炭の製造が可能なのが

分かった。これらの木炭を適正に組み合わせることにより、新たなシステムの構築が期待できる。

本実験に、使用したマイクロ波装置は、試作段階であり改良すべき点（ターレットラブル、加熱むら等）は多いが、廃材を短時間で木酢液、木炭、ガスに変換することができた。また、比較的簡単な操作で廃材から様々な性質の木炭を製造できることから、木質系廃材の資源化の見通しがついていた。

最後に、この研究にあたってご協力頂いた東京電力㈱、新日本無線㈱ならびに東電環境エンジニアリング㈱に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) ㈱産業公害防止協会：再生資源の利用促進に関する法律関係資料，1991年11月
- 2) ㈱クリン・ジャパン・センター：最新リサイクルキーワード，(㈱経済調査会，1993年3月11日)
- 3) 中島 俊他：研究報告，山梨県工業技術センター，No.7，1993.10
- 4) 右他伸彦他：木材化学下，共立出版㈱，1968年12月25日
- 5) 日本化学会編：化学便覧，基礎編Ⅱ，p125，1969年10月30日
- 6) 慶伊富長：触媒化学，東京化学同人，p137，1981年3月10日
- 7) ㈱エヌ・ティー・エヌ：マイクロ波加熱技術集成，p189，1994.3.31
- 8) 栗山 旭，雲林院源治：16回木材大会要旨，189（1966）
- 9) 林業試験場監修：木材工業ハンドブック，丸善，p885～898，1982年6月30日
- 10) 三浦正勝他：マイクロ波による木材の急速加熱分解(第4報)，第42回日本木材学会大会研究要旨集(1992)，p512