

木材の熱処理，炭化による機能化とその利用

北海道立林産試験場 利用部化学加工科 本間千晶

1. はじめに

かつて木炭は、暖房用，調理用，工業用燃料として大量に使われていましたが，石炭，石油，ガス，電気といった燃料に押され，生産量，需要とも激減してしまいました。しかし現在は，レジャー用燃料のほか，土壤改良材，調湿材等に活用され，北海道では年間3,440t(平成16年度)が生産されています¹⁾。

燃料としての用途は，現在の木炭需要においても最も大きな割合を占めています。したがって木炭といえば燃料を連想される方が多いと思いますが，木炭は燃料としての特性以外にも多くの優れた効用を持っているため，近年それらの性質が注目されるようになりました。これは熱処理，炭化技術だけでなく，分析・評価技術の発達やそれらに基づく用途開発によってもたらされたといえます。ここでは木材の熱処理，炭化による機能化，さらにその性質・用途について，林産試験場における研究例も交えながら紹介したいと思います。

2. 木材の熱処理，炭化方法^{2, 3, 4)}

木炭の持っている多くの機能は，それぞれ異なった条件で製造することにより付与されたもので，目的，用途にかなった性質，機能を得るためには，炭化条件を適切に制御する必要があります。そこでまず木材の熱処理，炭化方法について簡単にふれておきたいと思えます。伝統的製炭窯のほかに，様々な構造の工業的炭化装置が開発されており，北海道内で使用されているものには主に次のような方式があります。

- ・製炭窯：製炭に数日を要し，技術，経験も必要ですが，電気，ガス等を用いず大型の木材を600～800℃程度で処理することが可能です。
- ・平炉：鋸くず，樹皮，端材その他粉状の材料を炭化するとき用いられます。底面より上に向かって焼き上げ，400～450℃の処理が行われます。動力は

使用しませんが，炭化に数日を要します。土壤改良材等の製造に使用され，活性炭の原料としても適しています。

- ・連続炭化炉(縦型)：木材を連続して炭化する装置には，縦型と横型，流動方式の3方式があります。大型の木材をそのまま炭化する場合には，縦型の炭化炉が適しています。これは，炭材を上部から送入し炭化炉内で連続的に炭化し，下端より木炭を連続的に取り出す方式で，排ガスからはタール，木酢液，熱分解ガスを分離することができます。熱分解ガスは燃焼し，その熱ガスを炭化炉に送入し，炭化の熱源とすることができます。この装置は大型で直径2m，高さ20mにおよぶものもあります。
- ・連続炭化炉(横型，ロータリーキルン)：横型炭化炉にはロータリーキルン，スクリュウ炉等があります。ロータリーキルンは，鋸くず，樹皮，端材その他粉状の材料を処理するとき用いられます。円筒形の炉に原料を連続的に送り込み，炉を回転させ，徐々に原料を前進させながら加熱(用途，仕様により200～400℃もしくは600～800℃程度)を行います。15～30分程度で，取り出し口より熱処理物が排出されます。ガス，電気を熱源とし，外部から加熱する方式(外熱式)により加熱が行われています。タール，木酢液を分離可能で，これらを採取し，製品化しているケースとそのまま燃焼させているケースがあります。
- ・連続炭化炉(横型，スクリュウ炉)：スクリュウ炉では，横型円筒炉の中にスクリュウを装備し，スクリュウを回転させて原料を送りながら加熱が行われます。繊維状の原料の処理に適しており，油吸着材の製造例があります。電気を熱源とし，外部から加熱する方式(外熱式)により加熱(300～350℃程度)が行われています。ロータリーキルンと同様にタール，木酢液を分離可能です。

- ・反復揺動方式炭化炉：ロータリーキルンでは炭化炉部分を回転させていたのに対し、炭化炉部分を反復して揺らしながら原料を加熱(600~800℃程度)します。また、熱分解ガスを燃やした熱が利用可能です。

3. 木材の熱処理, 炭化物の性質と用途

○燃料としての利用：需要は減少しましたが、燃料としての需要は木炭需要の7割以上を占めています。木炭は燃料として次のような優れた特性を持っており、その効用が見直されています⁵⁾。

- ・石油、ガスと異なり、木材という再生可能な資源が原料である。
- ・木炭の発熱量は1gあたり約7,000カロリーであり、貯蔵によるカロリー低下もほとんどないため災害用などの備蓄燃料に適している。
- ・他の燃料に比べ燃焼ガス中に水分が少ない。遠赤外線の効果などにより、内部まで焼けやすいだけでなく、うまみや香りを逃がさない。

このようなことから、キャンプ場でのバーベキューといったレジャーでの利用、飲食店等の業務用での利用で人気があるようです。

燃料として使用する場合も、炭化条件の違いによって生じる性質の違いを知っておくと便利です。より高温で処理され、炭化の度合いが高いもの(白炭、備長炭)は、燃焼温度の上昇が緩やかで、燃焼時間は長い傾向がみられます。一方、炭化の度合いがより低いもの(黒炭)ではより早く燃焼温度が上昇する代わりに、燃焼時間は短くなります⁶⁾。レジャーでの使用では、燃焼時間は短くてもできるだけ早く温度が上昇する木炭の方が使いやすく、逆に業務用では通常燃焼時間ができるだけ長い木炭の方が良いということになります。

○土壌改良材としての利用^{7,8)}：木炭を農業に利用する試みは古くからあり、増収などの効果があるとの声がありましたが、あまり広く認知されてはおりませんでした。木炭の効用は肥料と異なり、短期間で目に見える効果が現れにくいことが普及を妨げていたと思われます。1986年に地力増進法の改正で土壌の透水性改善効果が認められ、土壌改良材の認定品目に追加指定されました。現在、土壌改良材としての用途は、木炭需要において燃料に次ぐ重要なものとなっています。

木炭の効果は透水性だけでなく、通気性の改善、保肥性、微生物活性の向上にも効果があるといわれてい

ます。微生物活性の向上については、VA菌根菌や有効根粒菌での実験例が報告されています。これは木炭中の細孔がこれらの微生物の住みかとして適していたためと考えられています。ただ、この試験例では木炭を250g~500g/m³程度施用した場合は増収効果が認められたようですが、より多量に加えると土壌のpHが高くなり、生育障害が起こることがあるようです。

pHについては、300~500℃で製造された木炭は弱酸性~中性を示しますが、600~800℃で製造された木炭はアルカリ性となり、炭化条件によって全く異なります。細孔特性、化学的性質など幾つもの性質が熱処理、炭化条件によって大きく異なることから、施用の際には木炭の性質、pH等を確認し、その土壌に適したものを選択した方がより効果的でしょう。

○吸着材：私たちの身近には様々な臭いがありますが、木炭はこれらを吸着する能力があります。ただ、1種類の木炭でどんな臭いでも吸着できるというわけではありません。臭いにはそれぞれ様々な性質があり、その性質によって吸着材として求められる性質が異なるためです。例えばトイレや家畜の糞尿の臭いの主成分はアンモニアですが、これを吸着するためには300~400℃で熱処理し、酸性官能基(臭いの成分と結びつく箇所)を多く持つ材料が適しています。一方、塗料や接着剤に含まれる溶剤の臭い(トルエン等)の吸着には、800℃前後で炭化し、細孔径が2nm以下のマイクロポアと呼ばれる孔を多く持ち、内部の面積が広がっている材料が適しています(1nm=10億分の1m)。

林産試験場では、これまでに木材を様々な条件で熱処理し、処理後の化学的性質、物理的性質等を調べてきました。その結果、空気雰囲気下、300℃付近の温度域で熱処理することにより、多量の活性官能基(カルボキシル基、ラクトン等)が生成することがわかりました⁹⁾。多量の活性官能基を持つ材料では、化学的な性質で吸着材としての性能を発揮します。各種のガスに対する吸着性能評価を行った結果、アンモニアやアミン等に対しては活性炭を上回る高い吸着性能が認められました¹⁰⁾。

図1にアンモニア吸着試験結果の一例を示します。アンモニア濃度を約100ppmに調製したガラス容器中に吸着材を入れ、アンモニア残存率を経時的に測定しました。原料として用いた木材(トドマツ材)にも若干の吸着効果がみられました。市販活性炭では、試験開始30分の残存率が約5.5%で、4時間経過後ようやく

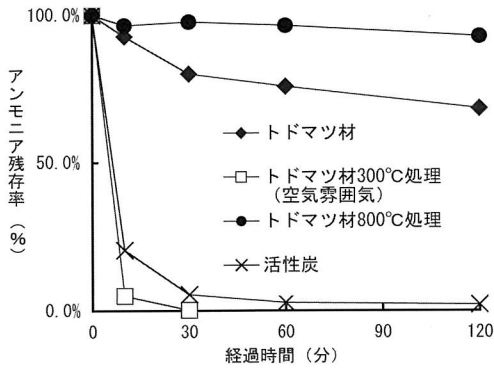


図1 トドマツ材熱処理物のアンモニア吸着試験結果

約1%となりました。また、800°C処理材ではほとんど吸着が認められませんでした。しかし、トドマツ材を空気雰囲気下・300°Cで処理した材料では吸着性能が劇的に向上し、試験開始30分でアンモニア残存率は1%以下となり、その後は測定限界以下となりました。

次にトルエンの吸着試験を行い、800°C処理材と300°C処理材とを比較しました。その結果、トルエン吸着試験では800°C処理材が優れた吸着性能を示し、アンモニア吸着試験で高い吸着能が示された300°C処理材ではほとんど吸着が認められませんでした。このように1種類の木炭でどんな臭いも吸着させるといふわけにはいきませんが、目的にあった木炭を使用することで、高い脱臭効果が得られます。

○イオン交換材料：前項で、木材を空気雰囲気下、300°C付近の温度域で熱処理することにより、多量の活性官能基(図2)が生成することを説明しましたが、この性質はアンモニアの吸着だけでなくイオン交換材料としても有用です。イオン交換材料は、水の浄化・精製、固体酸触媒等として工業用等に用いられています。そこでトドマツ材を空気雰囲気下、300°Cで処理した材料の酸性官能基量を測定してみました。その結果、市販イオン交換樹脂と同等の官能基量が認められました。

次に、金属イオン処理試験を行った結果、生成した酸性官能基が効果的に錯体形成に寄与すること、また脱着処理により元の構造に戻る等が示されました^{10,11)}。したがって、木材の熱処理によってもイオン交換材料を製造しようと考えられます。現在樹脂製のイオン交換材料等は使用後の廃棄方法が重大な問題となっています。植物由来の材料では、廃棄時の処理がより容易と思われることから、イオン交換樹脂の代替材料となりうるものと期待されます。

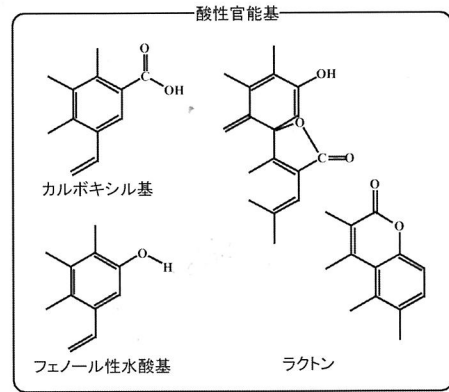


図2 熱処理により生成する酸性官能基の一例

○異種材料との複合化^{12,13)}：悪臭やVOC等の吸着効果、調湿効果など様々な有用な性質を持つ木質熱処理物を、セラミックス材料や、合成高分子材料と複合化することにより、木質熱処理物が持たないような機能の強化が図られるばかりでなく、ハンドリングや強度特性の向上が図られるなど、より使いやすい材料になることが期待されます。

熱処理物との複合化技術によって、強度、環境浄化能力、調湿能力等を備えた成型物の製造を試みました。図3は一例として木質熱処理物ボードの吸放湿能について試験した結果です。機能性セラミックスとの複合化技術により、木質熱処理物の性質を活かしながら、調湿機能を向上させることなどが可能になります。

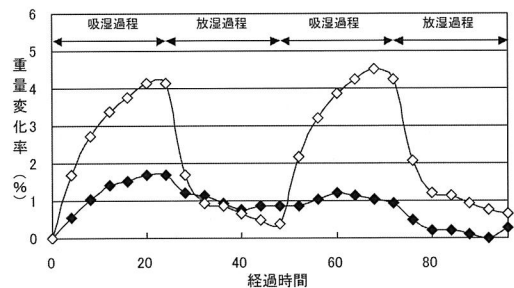


図3 木質熱処理物ボードの吸放湿試験結果
◆：木質熱処理物の成型物
◇：複合化成型物

○窒素酸化物(NOx)低減効果：これまでに固定発生源(ボイラー等)と移動発生源(自動車等)の排ガス出口におけるNOxの浄化に関しては、様々な触媒、NOx低減システムが開発されています。今後は交差点、トンネル、地下駐車場などの環境中のNOxを除去する技術の開発が期待されています。この環境中のNOxの浄化処理に対しては、ボイラ用や自動車用の高温かつ

高濃度のガス処理対象の技術をそのまま適用することはできず、新技術の開発が必要になります¹⁴⁾。石原らは、スギ間伐材炭によるNO₂の除去に関する研究において、600-800℃で処理した材料のNO_x低減効果が高いことを報告しています¹⁵⁾。特にトンネルではNO_xが高濃度になりやすいため、換気設備およびその維持に多額の費用を要すことから、木炭およびその複合物を利用したNO_x低減材料の使用により、汚染大気の浄化とともに設備・費用の軽減等が期待されます。トンネルのほか、地下道、地下駐車場といったNO_x濃度が高くなりやすく、換気が困難な場所での活用(壁材、路床材等)が期待されます。

林産試験場においては共同研究により、トンネルのほか、地下道、地下駐車場等への利用を想定した、木炭・無機材料複合物による気相浄化材料製造について検討し、木炭・無機材料複合技術の半たわみ舗装材、インターロッキングブロック、石膏ボードへの適用条件、木炭・無機材料複合物のNO_x低減およびVOC等気相浄化能、機能特性についての知見を得ています¹⁶⁾。
○油吸着効果：林産試験場において、木質チップを蒸煮、解繊し、ファイバー状としたものを、スクリュージュで325℃付近の温度領域で熱処理することによって、水を吸着せず、油を選択的に吸着する素材を開発しました。北海道森林組合連合会との共同で研究が進められ、用途に応じて、家庭用吸着マット、河川用オイルフェンス等の形で製品化、販売されています¹⁷⁾。



写真1 油吸着材製品の一例

○調色効果：加熱温度に応じて、木材は褐色から黒色に色調が変化します。これを木材の調色に利用することができます。熱による調色処理の利点の一つに、薬剤を使用しないということが挙げられます。また条件によっては寸法安定性や耐候性も向上するとされています。一方、処理温度を高くした場合、強度が低下す

るため、強度低下をあまり問題としない用途が好ましいことになります。

熱処理を木材の調色に利用した例として、木質チップを原料とした土壌被覆資材¹⁸⁾について紹介します。

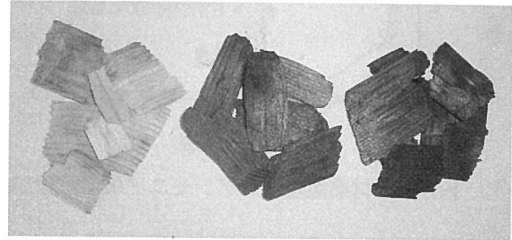


写真2 熱処理による調色効果

写真2はカラマツ材チップを熱処理した例です。処理条件によって色調は褐色、黒色となっています。写真3に鉢植えへの適用例を示しました。使用した処理材においては調色による見栄えの向上や土壌被覆資材としての役割を果たすだけでなく、雑草防止効果も認められています。この技術は平成9年度から竹内木材工業合資会社との共同研究として開発が進められ、ガーデニング用、街路樹の植樹升、鉢植え用等の用途が期待されています。



写真3 熱処理チップを鉢植えに使用した例

海外における木材の熱処理技術検討例として、フィンランド国立技術研究センター(VTT)林産部門、フランス国際農業開発センター林業部門(CIRAD-Foret)における、調色および寸法安定性、耐候性向上技術があります。ヨーロッパでは、環境保護に対する取り組みが早くから行われており、薬剤を用いない木材処理方法として注目されています。写真4は、ヘルシンキ市内で撮影したものです。円形の建物に沿ってフェン

スが設けられています。骨格は金属で組み込まれていますが、輪を何重にも巻くような形で木材が組み込まれています。この部分に、フィンランドVTTの指導により製造された熱処理木材が使用されています。熱処理技術によって、調色効果だけでなく耐候性向上などの効果も期待できることから、薬剤の使用を抑える環境調和型の木材処理技術として、重要性を増すものと考えられます。

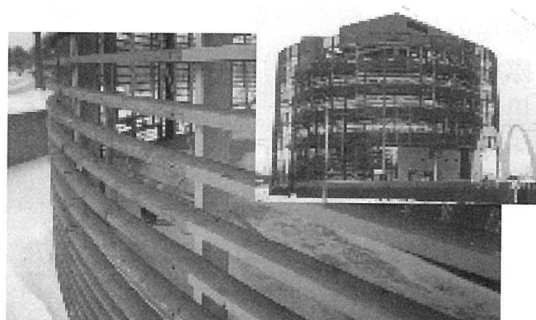


写真4 熱処理材をフェンスとして使用した例

4. おわりに

木材の熱処理、炭化の技術と、それによって発現する機能の一例を紹介しました。木材は、200～300℃付近の温度領域では自己発熱が活発になり、化学構造や物性が劇的に変化するために反応の制御が困難でした。そのため、これまでこの温度領域での熱処理材の性質や用途についてはあまり注目されませんでした。しかし、木材の熱処理、炭化技術の進展に伴い、より精密な温度・雰囲気制御によって、300℃付近という比較的低い温度領域、短時間での熱処理により、油吸着材、アンモニア吸着材料やイオン交換材料といった工業材料として高い性能を持つ材料を、薬品等を用いずに製造できることがわかりました。色調の変化を利用した技術開発もあり、非常に有用な温度領域となっています。

また、燃料用木炭製造条件と同様の800℃付近またはそれ以上の温度領域での処理によって、ここで取り上げた以外にも、電磁波遮蔽能^{しゃへい}、導電性など多くの有用な機能を付与できることが知られており、先端材料としての進展が期待されます。

今後、木材の熱処理、炭化技術の進展によって、より有用な機能化技術とともに、エネルギー消費の抑制や炭素固定といった環境保護の視点も合わせた技術開発が望まれます。

5. 引用文献

- 1) 北海道水産林務部編集：平成17年度 北海道森林づくり白書，90-91(2006)
- 2) 木材炭化成分多用途利用技術研究組合：木炭と木酢液の新局面開発研究成果集，9-25(1990)
- 3) 竹花邦夫：木炭・木酢液の概要(1996)
- 4) 農林水産省 林業試験場編：木材工業ハンドブック，815-820(1958)
- 5) 斎藤勝：林産試だより 12月号，1-7(1993)
- 6) 農林水産省 林業試験場編：木材工業ハンドブック，843(1958)
- 7) (財)北海道地域技術振興センター編：北海道の木質炭化物とその利用，70-75(1990)
- 8) 木材炭化成分多用途利用技術研究組合編：木炭と木酢液の新局面開発研究成果集，191-265(1990)
- 9) 本間千晶，佐野弥栄子，窪田実，梅原勝雄，駒澤克己：木材学会誌，46(4)，348-354(2000)
- 10) 本間千晶，窪田実，梅原勝雄，佐野弥栄子：特許第3138749号
- 11) 本間千晶，佐野弥栄子，梅原勝雄，長谷川祐，藤本英人：第11回日本MRS学術シンポジウム要旨集，33(1999)
- 12) 吉田華奈，本間千晶，長谷川祐，阿部龍雄，清水光弘：第54回日本木材学会大会講演要旨集，446(2004)
- 13) 吉田華奈，本間千晶，長谷川祐，阿部龍雄，清水光弘：第55回日本木材学会大会講演要旨集，153(2005)
- 14) 岩本正和監修：環境触媒ハンドブック，(株)エヌ・ティー・エス発行(2001)
- 15) 石原茂久：平成8-9年度文部省科学研究費補助金【基盤研究(A)(1)】研究成果報告書「残廃木材の高温焼成炭と遷移金属元素酸化物の複合によるNOx無害化変換材料の開発」
- 16) 本間千晶他8名：平成16年度共同研究報告書「木炭・無機材料複合物の気相浄化機能及び物性に関する研究」
- 17) 梅原勝雄：林産試だより11月号，2(2005)
- 18) 本間千晶，竹内 保，中村 勤，梅原勝雄，竹花邦夫，葛西 章，石原茂久：第52回日本木材学会大会講演要旨集，661(2002)