

## 伝統工法による天然炭の製造および試作ボードにおける 吸放湿性の評価

位 田 達 哉\*

### PRODUCTION OF NATURAL CHARCOAL BY TRADITIONAL METHOD AND EVALUATION OF WATER VAPOUR ADSORPTION/ DESORPTION PROPERTIES ON PROTOTYPE BOARD

Tatsuya Inden \*

**Abstract:** This study aims to propose a method of effectively utilizing listings generated from sawmills and to improve indoor air quality. This paper investigated production of natural charcoal and evaluate the water vapour adsorption / desorption properties of prototype board using its natural charcoal. The summaries of the results are as follows;

1. The method of natural charcoal produced by traditional charcoal kiln was organized.
2. Carbonization with charcoal kiln made natural charcoal with low density and high water absorption rate. In particular, use of conifers was confirmed to be effective.
3. Carbonization enhances water vapour adsorption / desorption properties. However, it turned out that the apparent density of the natural charcoal board and the water absorption rate of the material are not parameters.

**Key words:** Charcoal kiln, Natural charcoal, Indoor air quality, Humidity control, Water vapour adsorption / desorption properties

## 1. 緒 論

近年、建設産業では産業副産物および再利用の必要性が高まっており、2000年の建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律の施行によって推進されている。主要な建設副産物であるコンクリート塊のリサイクルは長らく98%以上であるが、建設発生木材は、2012年度においても89.2%に留まっている<sup>1)</sup>。また、木材の製材工程において、製材原料となる木材のうち14%は端材として焼・破却されているとの統計もあり、資源循環型社会の構築にあたっては、廃木材の再資源化の推進が必要不可欠である。また、我が国は、温暖湿潤気候に属し、夏期が高温多湿、冬期が低温乾燥となることから、人々は季節に応じた全く異なる不快感を覚える。近年の住環境においては、建築室内を高断熱・高气密で覆った閉鎖空間に対して空調機器によって制御する方式が一般的であり、空調機器に依存する状況となって久しい。しかしながら、断熱材・気密材や空調機器の製造に加えて機器

使用にかかるエネルギー消費を考慮すると、古来の日本家屋のように、木材と和紙で構成された風通しのよい住宅は、最近のエネルギー問題を考えるうえでひとつの解となり得るものであろう。この古き良き構法システムを現代へフィードバックするためには、パッシブな吸着機能を有する建築材料の開発が必要であり、このような建築材料の実現によって、我が国の気象風土に適した次世代の低負荷で快適な室内空間を達成できるものと考えられる。

そこで本研究では、木材の製材過程で発生する端材を用いた炭素質吸着素材の開発と、その建築室内への適用を目的とするものである。本論では、古来より炭化物の製造に用いられてきた炭窯を用いた天然炭の製造方法を整理するとともに、そこで製造された天然炭を用いた試作パネルの吸放湿性について評価した。

## 2. 炭窯を用いた天然炭の製造

### 2.1 実験の目的

木材製材所から発生する端材の有効利用方法の確立を目的とし、古来より伝統的に用いられている炭窯を用い

\* 理工学部、専任講師

た天然炭を製造した。

現在、炭窯を用いた天然炭は、技術者の勤に頼った経験的な製造方法で作られており、後継者不足の問題から、この技術の伝承が危ぶまれている。そこで、天然炭の製造方法のアーカイブ化も視野に入れ、工学的な視点から現地作業の細かい手順まで記録した。

## 2.2 使用材料

### 2.2.1 木材

使用する木材は、鹿児島県の製材所で発生した端材を用い、樹種は、針葉樹と広葉樹の代表的なものを選定した。具体的な材種および密度および吸水率の測定結果を表1に示す。ここで、気乾状態とは20℃ 60% RHの環境下で恒量まで静置させた状態、表乾状態とは表面乾燥飽水状態の略であり、24時間水中に浸漬させた後で表面のみを湿布で拭き取った状態、絶乾状態とは110±5℃の環境下で恒量まで乾燥させた状態と定義する。

### 2.2.2 炭窯

炭化に用いる炭窯は、前項の製材所に現存する黒炭用薩摩式<sup>3)</sup>のものを用いた。外観を図1に示す。炭窯は、窯本体、煙突、材料投入口および燃料投入口からなる土蔵製であり、一部に補強のためにコンクリートが増設されたものである。内部は直径2.5m程度の円形であり、高さは1.0～1.4m程度のドーム型である。

なお、実験時には炉内温度を測定するため、試料配置箇所にはR型熱電対を設置して雰囲気温度を測定できるように改造した。

## 2.3 炭化の手順

### 2.3.1 木材試料の配置

木材投入口から木材試料を配置した(図2)。炭窯内で安定した天然炭を製造できる位置である燃料口から最

も遠い位置へ木材試料を配置し、その他の空間には廃木材を詰め込んだ(図3)。そして、木材投入口を煉瓦と泥を併用して塞いだ(図4)。

### 2.3.2 点火

燃料投下口から点火するため、長さ500mmほどの燃料用木材を2～3本置き、その上に燃えやすい紙類を、隙間を作りながら配置して着火した。燃焼が安定するまでは紙類を投入して火力を調整し、木材が燃焼し始めてからは、燃料用木材のみを用いて炭窯の温度を上昇させた(図5)。様々な木材を投入したところ、今回の範囲では松材が燃えやすく、これを燃料用木材とすることで、温度上昇が促進させることができた。また、燃料投入口の奥部は作業がし辛く、火力制御が難しくなるため、作業効率の低下を引き起こす。そのため、できるだけ燃料投入口の手前で作業することが望ましく、燃焼のための酸素供給を促すため、燃料用木材は密に配置せず適度な隙間を作ることが重要であることがわかった。

### 2.3.3 炭化および取り出し

炭窯内部温度が100℃を越えると、僅かな隙間から煙が昇ってきた。これは炭窯内からの空気漏れを意味し、温度上昇を遅らせるだけでなく炭窯内部への酸素の供給にも繋がるため、品質管理上防がなければならない。そこで、適宜、土および粒炭に水を混合したもので隙間を塞いだ(図6)。そして、炭窯内の炉内温度が200℃を越えた時点で燃料用木材の投入を停止し、炭窯内部の予熱

表1 使用材料の密度および吸水率の測定結果

記号	気乾密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	表乾密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	絶乾密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	吸水率 [%]	備考 【材種】
SG	0.55	2.00	0.51	183.3	杉
BMT	0.66	3.04	0.61	223.4	米松
KMT	1.06	3.55	0.96	118.7	黒松
HB	0.56	1.96	0.51	168.4	檜葉
HNK	0.90	4.64	0.91	212.1	檜葉
KYK	1.49	7.56	1.35	232.4	樺
KS	0.84	4.28	1.72	49.9	楠



図1 使用した炭窯(黒炭用薩摩式)



図2 試料の設置状況



図3 木材の敷き詰め



図4 炭窯木材投入口の密閉



図5 炭窯の点火状況



図6 空気漏れ箇所の処理

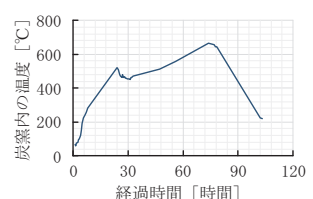


図7 炭窯内部の雰囲気温度

によって温度上昇を図った。煙突から発生する白煙が透明に近づいた時点で燃料口を塞ぎ、炭窯内部への酸素供給を完全に絶った。以降は自然放冷によって常温になるまで静置し、木材投入口の煉瓦を撤去して試料を回収した。炭窯内部の雰囲気温度状況を図7に示す。記録上の炭窯内部の雰囲気温度は663℃であった。

2.4 炭窯による炭化が基本的物性に及ぼす影響

製造した天然炭は、木材の記号の頭にC-を付して表現する。

天然炭の密度および吸水率の測定結果を表2に示す。炭化によって密度は低下する一方、吸水率は増大しており、木材組織のポーラス化が促進されたことがわかった。針葉樹であるSG(杉), BMT(米松), KMT(黒松), HB(檜葉)およびHNK(檜)と比較すると、広葉樹であるKYK(樺)およびKS(楠)の吸水率の増分が低くなっているが、これか、針葉樹と広葉樹の細胞組織の違いがポーラス構造の形成に影響を与えたものと考えられる。従って、吸水率を高めるためには、針葉樹の利用が有効であることがわかった。

3. 建築内装用ボードの試作および吸放湿性の評価

3.1 実験の目的

前章で製造した天然炭を建材化するため、建築内装用ボードを試作し、その調湿効果を明らかにすることを目的とする。型枠プレス方式によって製造した試作ボードの密度および吸放湿性を評価した。

3.2 使用材料および機材

3.2.1 使用材料

前章で製造した天然炭のうち、調湿に寄与すると考えられる吸水率の高い針葉樹であるC-SG(杉), C-KMT(黒松)およびC-HB(檜葉)のほか、比較用として広葉樹の天然炭であるC-KYK(樺)の4種類の天然炭を選定した。そのほか、炭化時に発生した天然炭の混合物(C)も加えた5種類を用いた。

3.2.2 ボード成型用の資機材

ボードの成型には鋼製型枠に和紙を敷き詰めたもの(内部寸法:100×250×25mm;図8)および鋼製型枠を完全にカバーできるプレス機(図9)を用いた。

3.3 ボードの製造方法

3.3.1 天然炭の破砕

天然炭の微細組織を破壊しないように緩やかに破砕し、10mm以下になるように粒径を調整した(図10)。

3.3.2 バインダーの添加および攪拌

破砕した天然炭とおが屑を混合して加水し、酢酸デンプンのりを添加して、組織が破壊されないよう素手で十分に攪拌した(図11)。材料の分量は、天然炭3.4kg, おが屑0.35kg, 水1.2kg, 酢酸デンプンのり0.3kgであった。これらの分量は、現地の技術者が経験的に決めていたものの質量を実測したものである。

3.3.3 ボードの加圧成型

型枠内に攪拌した試料を敷き詰め(図12)、全体を包むように和紙を貼り付けた(図13)。そして、プレス機にセットし、90℃で加熱しながら30分間80kgf/cm<sup>2</sup>で加圧成型した。加圧後に脱型し、天地逆向きとしてからさらに30分間同様に加圧した後、予熱が冷めるまで10



図8 ボード用鋼製型枠



図9 加圧成形用プレス機



図10 破砕した天然炭試料



図11 試料の攪拌



図12 型枠への敷き詰め

表2 天然炭の密度および吸水率の測定結果

記号	気乾密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	表乾密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	絶乾密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	吸水率 [%]	備考 【材種】
C-SG	0.13	0.67	0.13	413.0	杉
C-BMT	0.13	0.76	0.13	500.3	米松
C-KMT	0.56	0.86	0.19	347.0	黒松
C-HB	0.12	0.65	0.12	434.7	檜葉
C-HNK	0.13	0.74	0.13	466.3	檜葉
C-KYK	0.30	0.79	0.30	164.9	樺
C-KS	0.33	0.78	0.33	138.3	楠



図13 和紙の貼り込み



図14 加圧成形の様子

分間静置してからボードを取り出した (図 14)。

### 3.4 ボードの基本的性質

試作した建築内装用ボードは、天然炭の記号の末尾に-Bを付し表現する。

ボードの気乾密度を表 3 に示す。加圧処理をしていることから、同材質の天然炭と比較して若干密度が高くなっているものの、一般的に内装建材として使われる石こうボードなどと比較すると、非常に軽量のボードであるといえる。特に、C-SG-B (杉) と C-HB-B (檜葉), が軽量であった。また、図 15 のように、天然炭の気乾密度とボードの気乾密度を比較すると、概ね比例関係にあることを確認した。

### 3.5 天然炭ボードの吸放湿性能

#### 3.5.1 試験方法

調湿性能は、吸放湿性、調湿力、平衡含水率を総合的に評価するとされている<sup>3)</sup>。本論文では、吸放湿性を調査するため、吸湿量、放湿量および蓄湿量を JIS A 14701-1 : 2014 に準じ、湿度応答法によって測定した。ただし、湿度条件は中湿域 (75~50% RH) とし、それぞれ吸湿および放湿の1サイクルを測定した。

#### 3.5.2 試験の結果および考察

吸湿・放湿量および蓄湿量の測定結果を表 4 に示す。

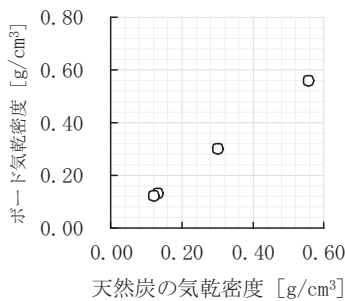


図 15 天然炭の気乾密度とボードの気乾密度との関係

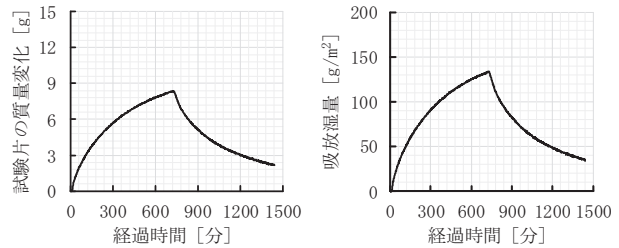
表 3 天然炭ボードの気乾密度

記号	気乾密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	備考【材種】
C-SG-B	0.13	杉
C-KMT-B	0.56	黒松
C-HB-B	0.12	檜葉
C-KYK-B	0.30	樺
C-B	0.33	上記の混合物

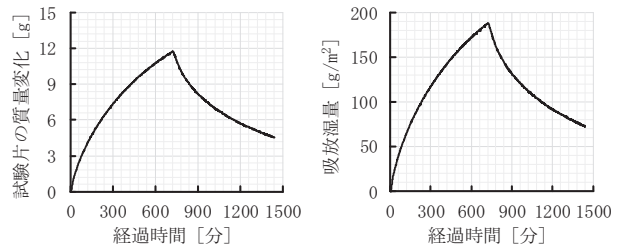
表 4 吸湿・放湿量および蓄湿量の測定結果

記号	吸湿量 [g/m <sup>2</sup> ]	放湿量 [g/m <sup>2</sup> ]	蓄湿量 [g/m <sup>2</sup> ]	備考【材種】
C-SG-B	129.6	33.3	96.3	杉
C-KMT-B	177.7	71.8	105.9	黒松
C-HB-B	138.8	42.1	96.7	檜葉
C-KYK-B	182.0	69.7	112.2	樺
C-B	135.4	31.2	104.1	上記の混合物

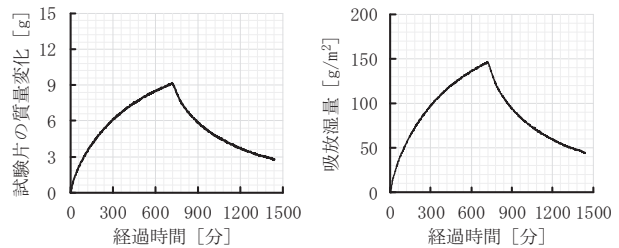
また、各試験片の吸湿および放湿量の経時変化を図 16 に示す。吸湿量は、C-KYK-B (樺) が最も高い値を示し、C-KMT-B (黒松), C-HB-B (檜葉), C-B (混合), C-SG-B (杉) の順であった。一方、放湿量は、C-KMT-B が最も高く、C-KYK-B, C-HB-B, C-SG-B, C-B の順であった。吸湿量と放湿量に差がみられたが、蓄湿量には大きな差は認められなかった。



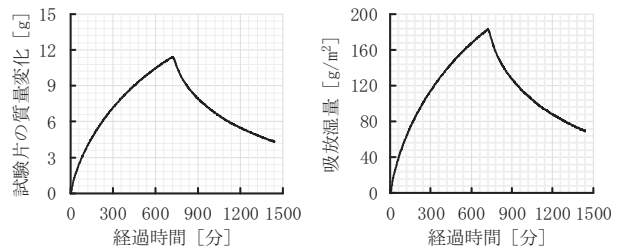
a. C-SG-B (杉) の場合



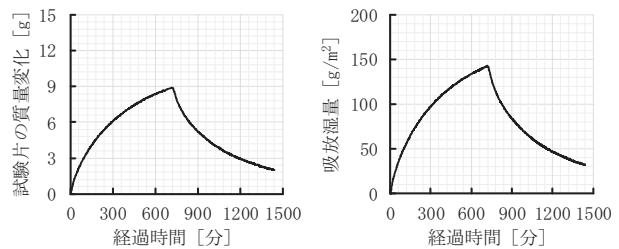
b. C-KMT-B (黒松) の場合



c. C-HB-B (檜葉) の場合



d. C-KYK-B (樺) の場合



e. C-B (混合) の場合

図 16 試験片の質量変化および吸放湿量の経時変化

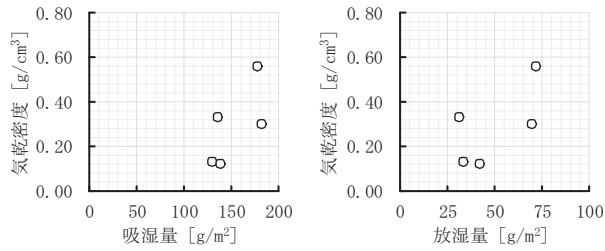


図17 ボードの吸放湿性と気乾密度との関係

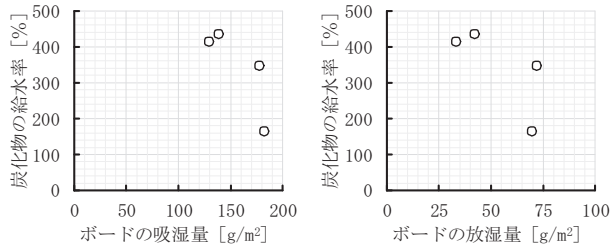


図18 ボードの吸放湿性と炭化物の吸水率との関係

天然炭の密度が吸放湿性に及ぼす影響については、気乾密度が高くなるのに伴い、吸湿量、放湿量、蓄湿量のいずれも高くなる傾向がみられた（図17）。また、天然炭の吸水率と吸放湿性についても、吸水率が高くなるのに伴い、吸湿量、放湿量、蓄湿量のいずれも高くなる傾向がみられた（図18）。水蒸気の移動にはマイクロナノオーダーの細孔が物理吸着に影響を及ぼすことが知られているが、今回のように、水を含浸させて測定する吸水率の測定方法は、水蒸気の吸着・脱着を評価するための代用特性としては適さないことがわかった。

#### 4. 結 論

本論では、製材所から発生する端材の有効活用方法を提案するため、伝統工法である炭窯を用いた天然炭を製造するとともに、試作した建築内装用の天然炭ボードの吸放湿性を評価した。得られた知見は下記の通りである。

- 1) 炭窯による天然炭製造の記録を取り、伝統的技術保存のための基礎資料を整理した。
- 2) 炭窯による炭化によって低密度・高吸水率の天然炭を製造することができ、特に針葉樹の使用が効果的であることを確認した。
- 3) 炭化によって吸放湿性は高まるものの、ボードの見かけ密度や素材の吸水率は、調湿効果を評価するための代用特性には適さないことがわかった。

#### 謝辞

炭窯による天然炭の製造およびパネル試作にあたっては、有限会社中原木材加工センターの施設を借用した。また、実験実施にあたっては、前田清隆氏（当時、第一工業大学）の協力を得た。記して謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：平成24年度建設副産物実態調査結果, [http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/pdf/fukusanbutsu/jittaichousa/H24sensuskekka\\_sankou.pdf](http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/pdf/fukusanbutsu/jittaichousa/H24sensuskekka_sankou.pdf) (2018.9.17閲覧)
- 2) 日本木材学会九州支部：木竹炭の製造と利用, 日本木材学会, 2001.7
- 3) 調湿建材性能評価委員会：調湿建材の調湿性能評価基準, 建材試験センター, 2006.3