

<報文>

ウッドセラミックスの電気的特性とその応用

青森職業能力開発短期大学校 柴田 清孝
葛西 清和

Electrical Properties of the Woodceramics and Its Applications

Kiyotaka SHIBATA, Kiyokazu KASAI

要約 木材、おがくず等の木質原料に熱硬化性樹脂を含浸した後に真空炉で焼成・炭化して作成されるウッドセラミックスは、多孔質構造を有した炭素材料である。これまで、構造材料、摩擦・摩耗材料、耐熱材料およびクラフト材料等の工業用材料としての応用が模索されているところである。本報告は、ウッドセラミックスの製造方法さらに、一応用例として、ヒーター、温度センサおよび電磁波シールド材を取り上げた。結果として、ウッドセラミックスの電気抵抗率は、焼成温度の変化により $10^{10} \sim 10^{-3} \Omega \text{cm}$ の広範囲に変化できることと、雰囲気温度の変化により半導体的な依存性を示すことが明らかとなった。また、ウッドセラミックスが遠赤外線放射型発熱体、温度センサおよび電磁波シールド材として利用可能であることが示された。

I はじめに

ウッドセラミックスは、木材、おがくず等の木質原料に熱硬化性樹脂を含浸後、真空炉で焼成・炭化して作成されるエコマテリアルの多孔質炭素材料である⁽¹⁾。多孔質構造、軽量硬質、耐熱性、低コスト、電気伝導性等の工業用材料として優れた特徴を有しており、構造材料、摩擦・摩耗材料、耐熱材料、ろ過材料、音響材料等多方面への応用が模索されているところである⁽²⁾。

本報告では、ウッドセラミックスの製造方法を概観し、その電気抵抗率を測定し検討を行う。さらに、ウッドセラミックスの導電性を応用する一例としてヒーター、温度センサおよび電磁波シールド材を取り上げ検討する。

II ウッドセラミックスの製造方法

ウッドセラミックスは、炭化処理によりガラス状炭素に変化するフェノール樹脂を木質材料に含浸し、真空炉で焼成・製炭して作成される。ウッドセラミックス製品の作成は図1に示すように、(1) 木材あるいはそれを加工したものに樹脂を含浸し焼成する、(2) 木

質繊維あるいはオガクズと樹脂をまぜあわせ整形したものを焼成する、(3) 焼成後のウッドセラミックス原料を放電加工等で加工する、の3種の行程が可能である。

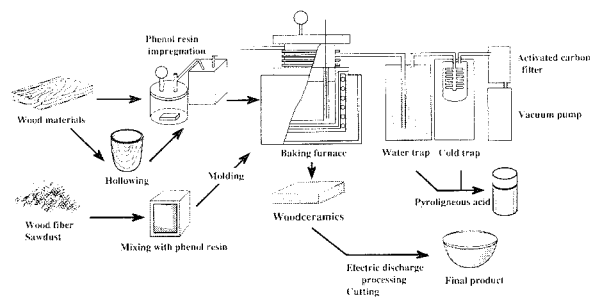


図1 ウッドセラミックスの製造行程

すなわち、ウッドセラミックスは、焼成の前でも後でも成形加工が可能であり、種々の生産方式に対応が可能である。本報告では、針葉樹のラジアタパインを原料とした中質繊維板(MDF、気乾比重0.73、含水率8%)を原料とし、それにフェノール樹脂((株)ホニョーポレーション、PX-1600)を減圧環境下で超音波振動を利用した含浸装置で含浸(重量比約1:1)する。

樹脂の乾燥後、真空炉で製炭してウッドセラミックスを作成する。製炭装置は、間接加熱型真空炉を中心に、水トラップ、コールドトラップ、活性炭フィルター、真空ポンプから成る分解生成物処理装置および温度制御装置からなる。製炭時に生じる排ガスは、処理装置部で完全に除去され、環境への影響は生じない。なお、ここで除去された分解生成物は、木酢液として農業用防虫防腐剤としての活用が可能である。図2にウッドセラミックス製炭時の焼成温度スケジュールの一例を示す。

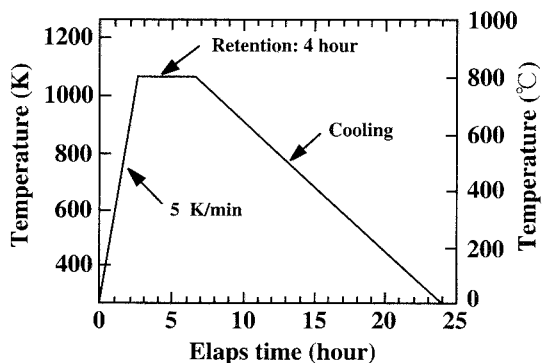


図2 焼成温度プログラムの例

この例では、昇温を5K/minで行い、焼成温度である1073Kで4時間保持し、徐冷するものである。図3は、フェノール樹脂を含浸後のMDFボードとそのウッドセラミックスである。焼成により20~30%の縮みが認められる。

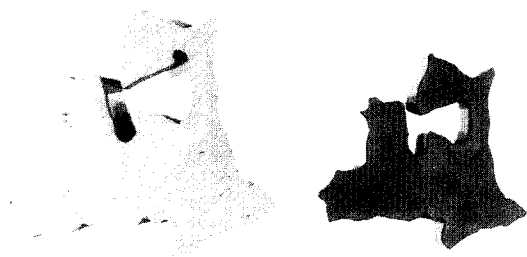


図3 樹脂含浸したMDFボードとそのウッドセラミックス

図4に1873Kで焼成したMDFウッドセラミックス表面、同図(a)および断面、同図(b)のSEM像を示す。

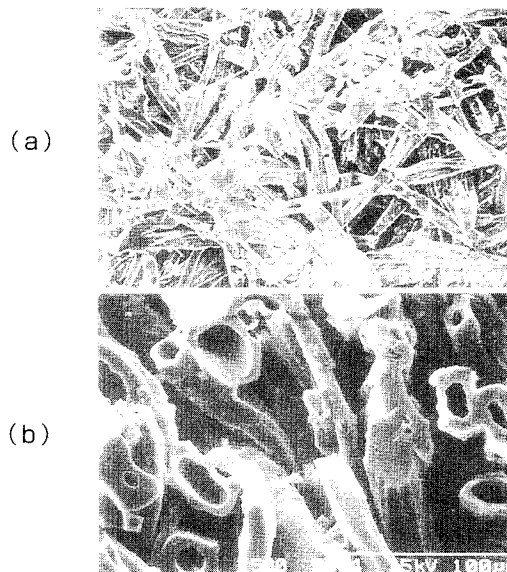


図4 ウッドセラミックスのSEM像

MDFは、木質繊維が絡み合い積層した組織構造を有しているが、ウッドセラミックスもこの組織構造をそのまま保持している。ラジアタパインの繊維径は約40 μ mであるが、ウッドセラミックスでは約25 μ mに収縮している。

ウッドセラミックスは、木質由来の無定形炭素とフェノール樹脂由来のガラス状炭素の複合材料と考えられる。すなわち、木質の構造をガラス状炭素で補強した炭素-炭素複合材料である。

III 実験方法

1 電気抵抗率の測定

電気抵抗率の測定は、直流4端子法により行った。図5に概略図を示す。

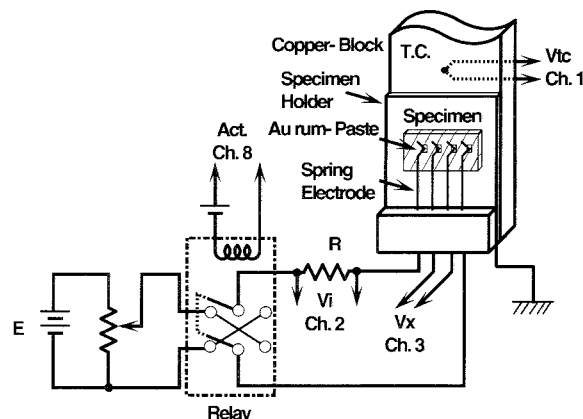


図5 電気抵抗率測定の概略

ウッドセラミックスを10mmx5mmx1mmに切り出し、パネ電極と金ペーストで電極付けし、クライオスタット中に保持する。試料及び電極の極性効果の除去のため、試料電流の方向はリレーを用いて反転させた。

2 電磁波シールド効果

電磁波シールド効果の測定は、電磁シールド特性試験器(MA8602B、アソック)により行った。本測定装置のブロック図を図6に示す。

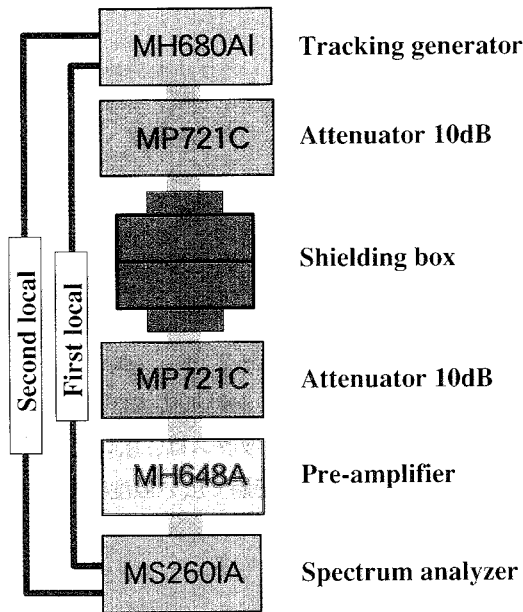


図6 簡易型電磁シールド試験器

トラッキングジェネレーターにより高周波信号を発生させ、シールドボックス中の送信アンテナに入力する。また、シールドボックス内の受信アンテナからの信号は、前置増幅器で増幅された後、スペクトラムアナライザーでスペクトル分析される。シールド効果は、試料を電磁波シールド効果測定用セルではさみ込み、試料の有無による受信レベルの差、すなわち挿入損失レベルをシールド効果として測定した。試料が無い場合の受信レベルを E_1 、試料挿入時の受信レベルを E_2 とすると、シールド効果 SE (dB) は、

$$SE = -20 \log \left(\frac{E_2}{E_1} \right)$$

で与えられる。

平面波に対する電磁波シールド効果は、電界に対する電界シールド、磁界に対する磁界シールドがあるが、本測定系では、便宜上、送受信アンテナに微小ダイポールアンテナを用いて電界の振幅に比例する出力が得

られる場合を電界シールド、同様に、微小ループアンテナを用いて磁界の振幅に比例する出力が得られる場合を磁界シールドとして記す。

IV ウッドセラミックスの電気抵抗率特性

図7に焼成温度を変化した場合のウッドセラミックスの電気抵抗率を示す。

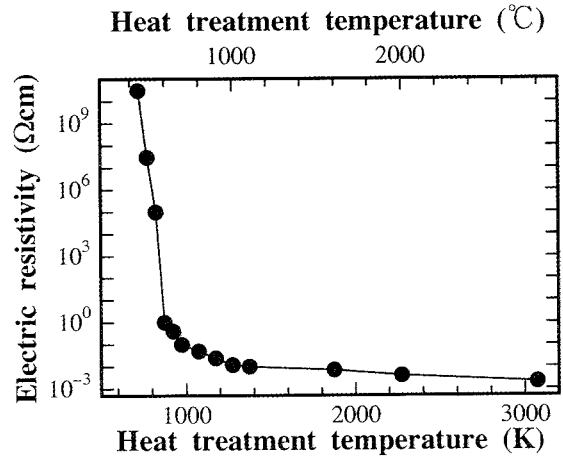


図7 電気抵抗率の焼成温度依存性

電気抵抗率は、焼成温度の上昇にともない、1000K付近まで急激に減少し、それ以上の温度での減少は小さくなっている。電気抵抗率の変化は、10桁以上の広範囲にわたっている。673K以下の焼成温度では、炭素化が不十分なためかほぼ絶縁体であった。ウッドセラミックスは、焼成温度により電気抵抗率を広範囲に変化でき、また、必要とする任意の電気抵抗率を指定することが可能である。

試料温度を100~300Kに変化させた場合、ウッドセラミックスの電気抵抗率は、図8のように温度上昇により低下する半導体的な温度変化を示している。

炭素材の電気抵抗率は、その結晶性や構造に鋭敏であり¹³⁾、ウッドセラミックスの場合にも、六角網の炭素原子配列のサイズが焼成温度で変化する等の影響が現れていると考えられる。

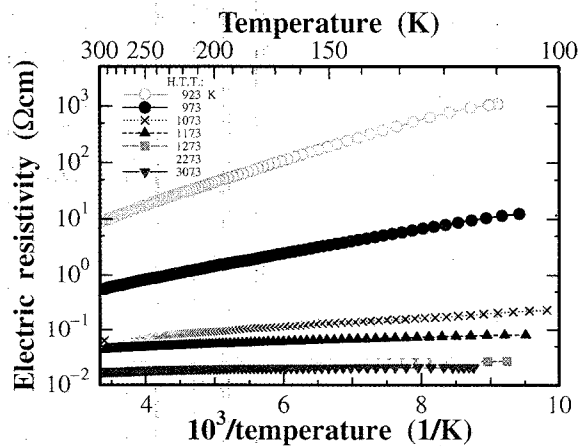


図8 電気抵抗率の試料温度依存性

V ウッドセラミックスの応用

1 ヒーターの試作

ウッドセラミックスの耐熱性、耐食性を生かし、抵抗加熱体として利用することでヒーター等への応用が考えられる。図9に角型ウッドセラミックスに銅板電極を取り付け、太陽電池パネルで駆動したときの温度分布を示す。

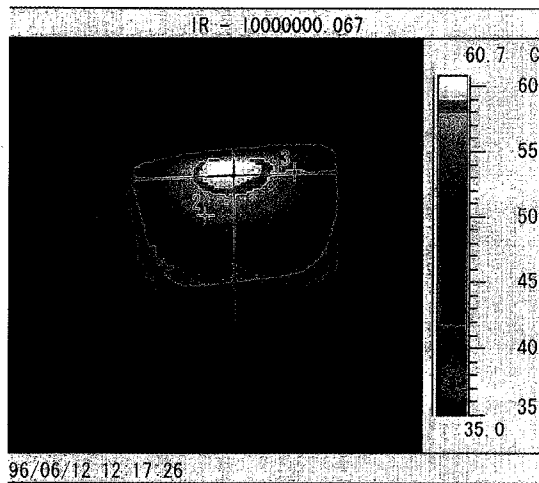


図9 ウッドセラミックスヒーターの温度分布図

温度分布の均一性にはやや欠けるものの、最大温度は約330Kであった。図10にウッドセラミックスの表面温度513Kにおける放射輝度の測定結果を示す。ウッドセラミックスの放射特性は、ほぼ黒体(破線)と同様であるが、その約80%の放射率を有している。ピーク波長は6 μ m付近であり、遠赤外線放射特性は良好である。これらの結果より、ウッドセラミックスの遠赤外線放射型発熱体としての利用可能性が確認された。しか

し、温度分布の均一化をはかるために、樹脂含浸および焼成の均一化、粉末化後成型するなど電気抵抗むらの除去が必要と思われる。

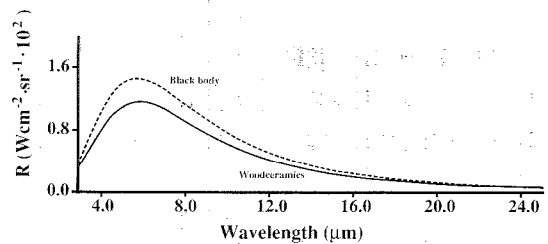


図10 ウッドセラミックスの赤外線放射特性

2 温度センサの試作

ウッドセラミックスの電気抵抗は、温度に鋭敏であり、負の温度係数を有している。そのため、電気抵抗の値から温度検出が可能である。抵抗変形温度センサには、サーミスタ、白金などに代表される測温抵抗体が主に使用されているが、サーミスタは測温領域があまり広くない。また、測温抵抗体は構造が複雑で高価である。ウッドセラミックスは、広い温度範囲で、抵抗変化が単調であり、安価で広い温度範囲をカバーする温度センサとして利用が期待できる。

焼成温度973Kのウッドセラミックスを10mm \times 5mm \times 1mmに切り出し、ガラスエポキシ基板の上に固定して、温度センサを試作した。図11のように、センサ素子は湿度の影響を受けないようにシリコンゴムでシールし、電極はエポキシ系導電性接着剤により取り付けた。

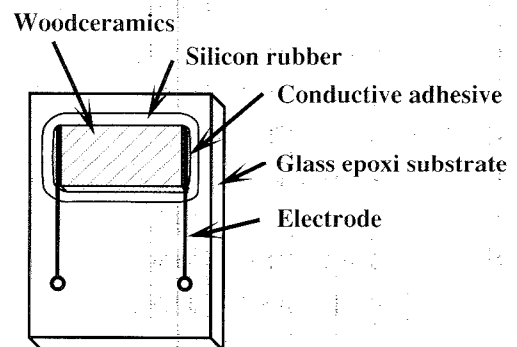


図11 ウッドセラミックス温度センサ

図12に本温度センサの温度特性を示す。電気抵抗は、温度上昇とともにほぼ線形に減少している。その温度係数は、0.36%/K(0.22 Ω /K)であった。この値は、広範囲、高精度の白金測温抵抗体の値、0.39%/Kに匹敵

する値である。抵抗検出に 2 mA の定電流を用いるならば、0.44 mV/K の電圧感度が期待できる。本試作センサは、2 端子構造のため取扱が簡便であるが、反面、電極の接触、電極付けの方法に鋭敏であった。

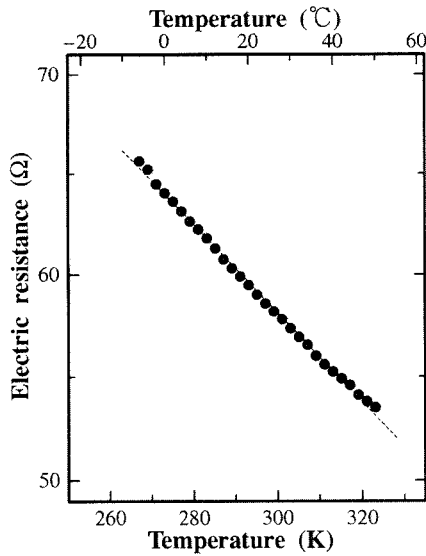
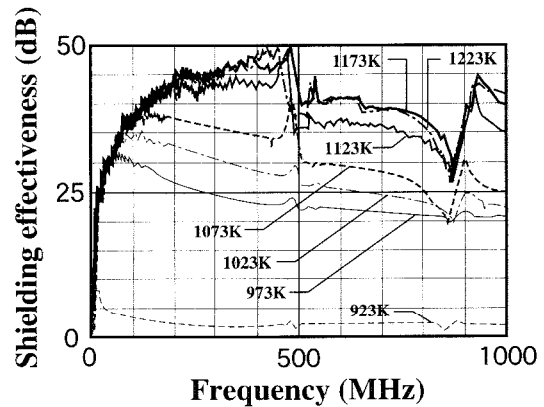


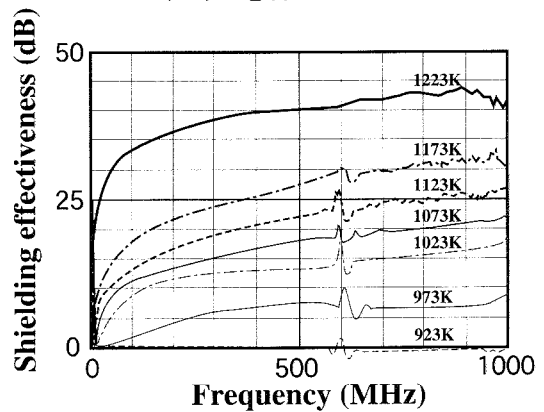
図 1 2 温度センサの温度特性

3 電磁波シールド材への応用

ウッドセラミックスは電磁波シールド効果を有し、軽量、安価な電磁波シールド材料として有望視されている⁽⁴⁾。ウッドセラミックスの電気抵抗率は、図 7 に示したように焼成温度により広範囲に制御可能であるため、反射型あるいは吸収型どちらの電磁波シールド材としても作成可能である。図 1 3 にMDFを原料に作成されたウッドセラミックス(厚さ約14mm)の電磁波シールド特性を示す。焼成温度923 K より現われ始める電磁波シールド効果は、焼成温度の上昇とともに増大している。電界シールドでは、500 MHz 付近までは周波数の増加でシールド効果は増加しているが、それ以上の周波数では低下する傾向が見られる。また、500 および900 MHz 付近に共振と思われる異常が見られるが、シールドボックス内の反射波の影響と考えられる。磁界シールドでは、周波数の増加でシールド効果は増加する傾向が見られる。また、600 MHz 付近に反射の影響と思われる異常が見られる。シールド効果の最大値は、電界シールドでは450 MHz付近で50 dB、磁界シールドでは850 MHz付近で44 dBであった。



(a) 電界シールド



(b) 磁界シールド

図 1 3 電気抵抗率の焼成温度依存性

VI まとめ

多孔質炭素材料であるウッドセラミックスの製造方法を概観し、その電気抵抗特性を調べた。また、ウッドセラミックスの一応用例として、遠赤外放射型ヒーター、温度センサ、電磁波シールド材をとり上げ、これらに利用可能であることを確認した。ヒーターとしては、温度分布に不均一性があるものの、ほぼ黒体と同様の放射特性を呈した。また、温度センサでは、0.36 %/K の温度係数を得た。電磁波シールド材としては、最大40～50 dBの減衰を得た。

謝辞

本研究について、日頃より御指導・御討論いただきました青森県工業試験場岡部敏弘氏、斎藤幸司氏に感謝いたします。

本論文は、平成9年度雇用促進事業団の実施する事業主団体研究開発事業(F方式)における成果の一部として掲載するものである。

事業主団体

ウッドセラミックス研究会

[参考文献]

- (1) 岡部敏弘、斎藤幸司：公開特許公報、平4-164806。
- (2) 岡部敏弘監修：“ウッドセラミックス”、内田老鶴圃
(1996)。
- (3) P. L. Walker, Jr. and P. A. Thrower: Chemistry and Physics of
Carbon, Vol.16 (Marcell Dekker, New York), (1981) 119.
- (4) 岡部敏弘：公開特許公報、平4-162799。