

竹炭の電氣的物性と電磁波シールド効果

化学部 ○松永一彦，西和枝

企画情報部 新村孝善，木材工業部 國生徹郎

1. はじめに

鹿児島県の竹林面積及び竹材の生産量は高く、竹材の多くがモウソウチクである。モウソウチクは主にタケノコの生産用に栽培されているが、5年以上経過したモウソウチクはタケノコの生産効率が劣るため、伐採あるいは放置された状態にある。最近ではモウソウチクを炭にすることで、これら未利用資源を有効に活用していく試みがなされ、鹿児島県の木炭生産量は近年減少傾向にあるものの年間数百トンを生産し、また木・竹炭生産に携わる業者も多い。

近年、木炭の効果が注目を浴び、様々な場面で木炭が利用されている。例えば吸着材、床下調湿材、土壌改良材、電磁波シールド材、面状発熱体、遠赤外線放射体及び水質浄化材などとして利用されているが、その効果に関する研究報告例は少ない。竹炭についても例外ではなく、その物性及び効果に関して明確にされていないところが多い。このため、木・竹炭の物性を更に詳しく調べ、その効果について検討を行っていく必要がある。特に木・竹炭の電氣的物性及び電磁波シールド効果に関する研究報告例は少なく、それら特性に関する報告が期待されている。

今回、バルク竹炭の電氣的物性及び電磁波シールド効果を評価するとともに、炭化条件の一つである炭化温度が、それら物性とどのように関わっているのか検討したので報告する。

2. 方法

(1) 試料

竹炭は昇温速度 2 °C/min, 窒素ガス雰囲気中 (100ml/min) で 450 °C, 550 °C, 650 °C, 750 °C 850 °C, 950 °C で 3 時間炭化したものをを用いた。また 1500 °C, 2000 °C, 2500 °C の高温で炭化したものも試料に加え 9 種類とした。これら高温で炭化した炭化物は、一旦上述の方法にて 750 °C で炭化した後、還元雰囲気炉へ再移動し、目的とする温度にて炭化して得た。昇温速度は、10 °C/min, 炉内雰囲気は 1500 °C の場合、真空状態に、2000 °C 及び 2500 °C の場合、アルゴンガスを流し流量を一定に維持した。

(2) 炭素含有率

高感度 N C アナライザ (SUMIGRAPH NC-80 榊住化分析センター製) を使用した。

(3) 結晶パターン

X 線回折測定装置 (RINT2000 シリーズ 理学電機(株)製) を用い、測定を行った。

(4) 電気抵抗

電気抵抗測定装置 (R441B DIGITAL MULTIMETER アドバンテスト社製) を用い、2 端子法により求めた。

(5) 不対電子測定

電子スピン共鳴装置 (JES-RE1X 型 日本電子データム(株)製) を使用して測定した。

(6) 導波管内法による反射・透過測定

導波管内法による反射・透過測定装置を用いて、周波数 4GHz にて測定を行った。

3. 結果及び考察

3. 1 電気抵抗

電磁波のシールド性能にシールド材の導電性が関与していることは、一般的に分かっていることから、竹炭の導電性に及ぼす炭化温度の影響について検討した(図1)。その結果、650℃以下の温度で炭化したとき、いずれの竹繊維の方向に対しても体積固有抵抗値は $1 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上の高い値を示したが、750℃で炭化した竹炭の場合、体積固有抵抗値は急激に減少し、竹繊維と平行に電流を流したときその値は $1 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下であった。なお、850℃以上の温度で炭化した竹炭の同値は、 $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$ 前後でほぼ一定の導電性を持つことが分かった。

次に、高温で処理した炭化物は、グラファイトに近い構造を持つと言われている。そこで、X線回折を用いて結晶パターンを調べた(図2)。解析した結果、950℃の炭化では竹の熱分解物是不定形の結晶構造をとっていたが、炭化の温度が上昇するにつれ熱分解物の結晶化がすすみ、その結晶構造はグラファイト状に近くなっていた。しかし、2500℃で炭化した方が950℃で炭化した竹炭よりもグラファイトに近い結晶構造になっているにも関わらず、両者の間で体積固有抵抗値に差が見られなかった。このことは竹炭の導電性に、共役二重結合に基づく π 電子の関与以外に、ナトリウムやカリウム等の金属成分の自由電子も関わってくるのではないかと考えられた。

そこで、竹炭の炭素含有率、灰分率及び灰分組成を調べた(図3、表1)。1000℃までは、炭化温度が上がるにつれて炭素含有率は上昇したが、1500℃以上の炭化温度になると99%程度でほぼ一定に推移した。また、950℃の温度で炭化した竹炭の灰分は3.5%で、1500℃以上の炭化温度で炭化した竹炭の場合、グラファイト化していたため完全に灰化されなかったが、炭素含有率から考慮して灰分率は減少していると考えられた。高温で炭化した竹炭の方がグラファイトに近い結晶構造をとるにも関わらず、導電性が950℃で炭化した竹炭とほとんど変わらないのは、高温での蒸発に伴う金属成分の量の変化が影響しているのではないかと推定された。

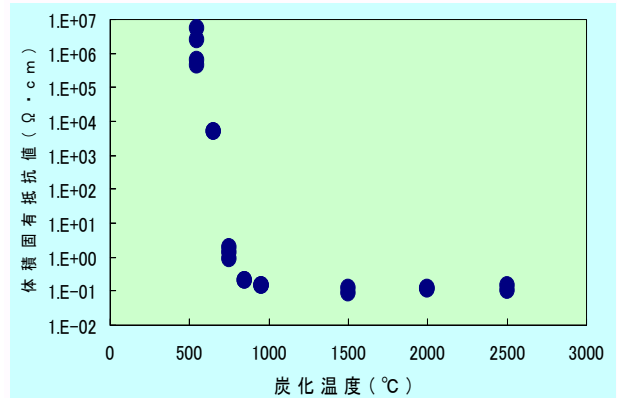


図1 竹炭の体積固有抵抗値と炭化温度の関係

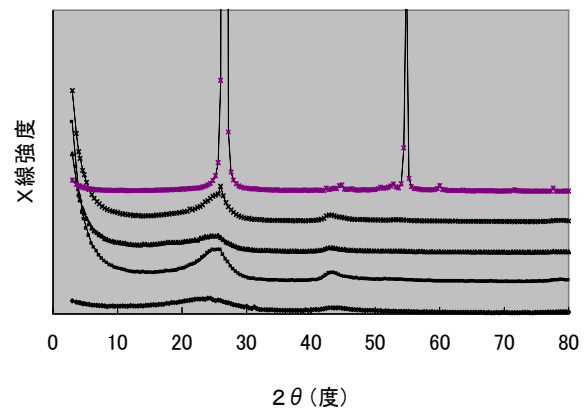


図2 竹炭のX線回折パターン

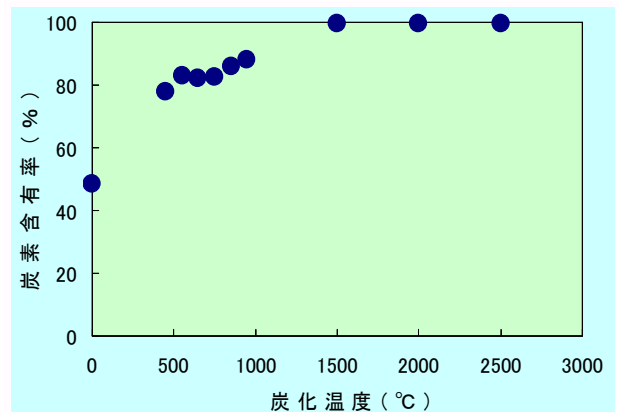


図3 竹炭の炭素含有率に及ぼす炭化温度の影響

表 1 木・竹炭の灰分組成（炭化温度：780℃）

(%)

樹種	灰分	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅
モウソウチク	3.2	0.27	2.58	0.05	0.14	0.002	0.34
クス	3.9	0.05	0.66	1.06	1.15	0.002	0.01
スギ	1.1	0.12	0.34	0.24	0.06	0.002	0.01

3. 2 導波管内法による反射・透過測定

周波数 4GHz での導波管内法による反射・透過測定結果を図 4 に示す。650℃以下の温度で炭化した竹炭では 50%以上透過させるが、750℃以上の温度で炭化した竹炭では、透過率が低くシールド効果の高いことが示された。その時、吸収率は低いが反射率が高いことから、シールド効果は竹炭表面の反射に起因していると考えられた。また、導電性の高い竹炭ほどシールド効果の高くなることが確認できた。吸収率は、650℃で炭化した竹炭のみが 20%を越え、他の条件で炭化した時よりも高い値を示した。この吸収が、竹炭の持つ不対電子と関係していると考えられたため、電子スピン共鳴装置を用いて測定を行った。今回、定量分析は行えなかったが、相対的に 500℃前後の温度で炭化した竹炭に不対電子は多く認められた。しかし、不対電子は 500℃以下の温度で炭化した竹炭にも存在し、また 650℃で炭化した竹炭では相対的に不対電子数が少なく、4GHz の吸収と竹炭の持つ不対電子との間で相関は認められなかった。

透過率を透過損失強度に直して図 5 に書き表した。750℃以上の温度で炭化したとき、30dB 以上の透過損失を示し、また 950℃で炭化した竹炭において約 50dB の極大値をとった。シールド効果は、シールド材の厚みが関係しているが、今回用いた試料の厚さは 8mm 程度でほぼ均一であり、950℃で炭化した竹炭においてなぜ極大値を示したのか、さらに検討する必要がある。

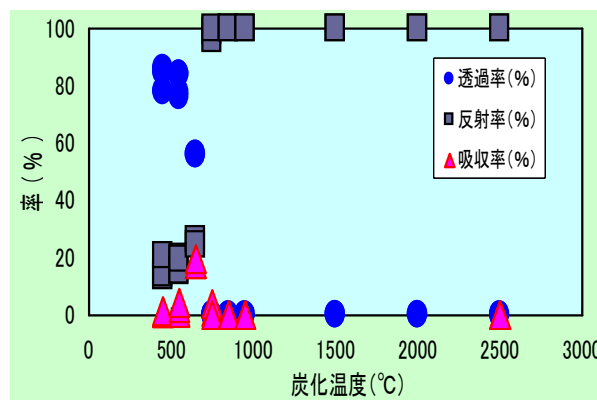


図 4 竹炭の導波管内法による測定

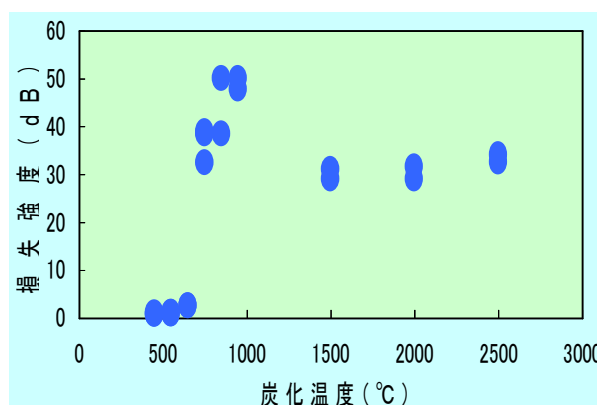


図 5 竹炭の導波管内法による損失強度と炭化温度の関係