

【論文】

籾殻炭の基礎的研究 (1)

— 籾殻炭の基本構造とホルムアルデヒド吸着能 —

村石 治人、稲富 雅勝

A Study of Rice Hull Charcoal (1)

— Basic Structure of Rice Hull Charcoal and Its Ability as an Adsorbent for Formaldehyde —

Haruto MURAISHI and Masakatsu INADOMI

Three types of the rice hull charcoal were produced in order to examine the characteristic as an adsorbent. ① The sample which carbonized the untreated rice hull (the untreated rice hull charcoal), ② The carbonized sample it dealt with the rice hull by fermentation germ (the fermentation germ treatment rice hull charcoal) and ③ The sample dissolved the inorganic component which is included in the untreated rice hull charcoal in HF solution (the HF treatment rice hull charcoal). The specific surface area increased with an increase in carbonization temperature (300~600°C), and by the treatment (fermentation germ and HF solution). Adsorbed amount and adsorption rate of the formaldehyde were remarkably improved by HF treatment. As a result of removing silica in the cuticle and inorganic component in the inner fibrous part, it seemed to newly form pore (e.g., micro pore) and adsorption site (e.g., polarity functional groups) which show the excellent gas absorption characteristic

Keywords: Rice hull charcoal, Fermentation germ treatment, HF treatment, Adsorption of formaldehyde, Formation of pore

1. 緒言

籾殻は有機物（繊維質）と無機物（シリカやカリウム）からなり、籾殻を炭化したものは古くは土壤改良材として用いられてきた。たとえば、籾殻炭に含まれるシリカ分は約50%と高濃度であるために、イネによって吸い上げられた土壤中のシリカ分を土壤に戻すなどの目的で、また籾殻炭化物の細孔部は微生物の生活の場となることを利用して、田の土と混ぜられてきた。また日光を吸収し苗床の温度を低下させないようにする目的でも籾殻炭化物は用いられてきた。ところが近年、苗はビニールハウスにおいて一括して生産されるようになり、また各種の土壤改良材が市販されるようになったために籾殻炭化物の利用はほとんど行われなくなった。籾殻は国内では年間約250万トン発生しているが、時代と共に籾殻の多くは農業廃棄物として移行しているのが現状である。

現在、籾殻の炭化物は一部吸着剤として利用されているが、木炭や活性炭と比較すると比表面積が小さく吸着量も劣っているために利用率はあまり高くない。一方、籾殻炭の有効利用を目指した研究も数多く見られるが¹⁻³⁾、炭化温度と吸着能力の関係や籾殻炭の利用法に関する研究が中心となっており、籾殻の基本的な性質や吸着機能を高める方法等に関する研究は少ないのが現状である。

本研究は、籾殻および籾殻炭の構造および性質を原点から見直し、籾殻炭の吸着剤としての可能性調べることを目的としている。その籾殻炭の応用としては、シックハウス症候群の原因物質であるホルムアルデヒドなどに代表される揮発性有害ガス（VOCガスなど）の吸着剤、あるいは一般的な室内環境の改善に寄与する吸着剤が期待される⁴⁾。

2. 実験

* 工学部工業化学科（物質生命化学科）

2.1 試料調製

籾殻を120℃で2日間乾燥させた後、空気を遮断した電気炉中で、300、400、500、600℃の各温度で3時間炭化して籾殻炭を製造した（これを未前処理籾殻炭とよぶ）。未前処理籾殻炭の一部はHF溶液中に浸漬後、水洗、乾燥し、籾殻炭に含まれるシリカ分及びその他の無機成分を溶出した試料を調製した（これをHF後処理籾殻炭とよぶ）。さらに籾殻繊維の一部を分解・切断するために、籾殻に発酵菌と水を加え1年間反応させた後に炭化させた籾殻炭を製造した（これを発酵菌前処理籾殻炭とよぶ）。

2.2 顕微鏡観察

高精細デジタルマイクロスコープ(キーエンス製、VH-6300)を用い、試料の形態を観察した。

2.3 熱測定

TG-DTA(理学電機、TAS-200)を用い、昇温速度10℃/minの速度で、1000℃まで測定した。

2.4 表面積測定

表面積は粉体表面測定装置(柳本製、Mode IGSA-10)を用い、連続流動法によりBET1点法で測定した。

2.5 pH測定

籾殻炭0.50gを50.0mlの水に浸漬し、12時間振とう後、溶液のpHをpHメータ(東亜電波製)を用いて測定した。

2.6 電気伝導率測定

直径1cmの穴の開いたベークライト製の円筒容器に、電極を兼ねた直径1cmのステンレス製の丸棒を両方から差し込むタイプの電気伝導率測定装置を用いた。微粉末試料0.50gを電極の間に入れ、プレス機にセットした。電気抵抗が一定になるまでプレス機によって両方から圧力をかけ、そのときの試料の厚みをノギスによって測定した。測定された抵抗 Ω 、試料の厚み L 、試料の直径 ϕ から電気伝導率を測定した。

2.7 ホルムアルデヒド吸着測定

籾殻炭によるホルムアルデヒド吸着測定は、日本工業規格JIS-0000に準じて行った。本研究では、N₂ガスボンベ、ガス流量計、摺合せ式真空トラップ、およびテドラーバッグ(ミニコックの付いた5ℓ容量のテフロン製ガスバックで、一定質量の試料を入れ

たシャーレーを納めたもの)をラインで連結した装置を用いた。まず加温した摺合せ式真空トラップ中に5 μ ℓのマイクロシリンジを用いて一定量のホルムアルデヒドを滴下した。トラップのキャップを密閉した後N₂ガスを流し、N₂ガスとホルムアルデヒドの混合気体をテドラーバッグに導いた。一定量の気体を導入後、ミニコックを閉じ、バッグ中のシャーレーの蓋を開けてホルムアルデヒドの吸着を開始した(この時点を吸着時間0分とした)。

吸着実験はホルムアルデヒドの初濃度を100ppmおよび20ppmに設定して行った。濃度を100ppmに設定する場合は、トラップ中にホルムアルデヒドを1.24ml滴下した。濃度を20ppmに設定する場合は、ホルムアルデヒドを10.0、エタノール10.0、蒸留水30.0を混ぜ、その混合溶液からマイクロシリンジを用いて1.24ml採り添加した。ホルムアルデヒド濃度の測定には、ガス検知管(ガステック製)を用いた。ホルムアルデヒド濃度により、Table 1に用いたガス検知管の種類を変えて測定した。

Table 1 Type of used gas detecting tubes

Type (No.)	Measuring range
91LL	0.05~1ppm
91L	0.1~5ppm
91	2~20ppm
91M	20~2000ppm

3. 結果および考察

3.1 籾殻の構造と炭化に伴う形状変化

籾殻は表皮部と内部構造に区別することができる。Fig.1は籾殻の表皮部分を、Fig.2は内部を観察した写真である。灰分はシリカを主成分(含有量:97.0%)としており、カリウム(含有量:2.1%)などの無機成分(その他にCa、Mg、Feなど)を含んでいた。

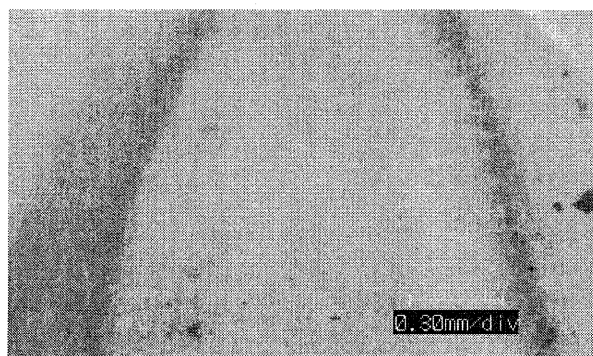


Fig.1 Cuticle of rice hull before carbonization

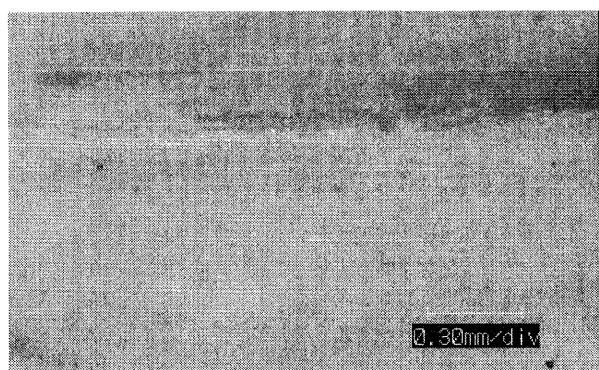


Fig.2 Inner part of rice hull before carbonization

400~600℃で炭化した籾殻には約50%のシリカが含まれるが、籾殻を灰化するとFig. 1の表皮部と全く同じ形状の灰化物が得られることから、シリカ成分のほとんどは表皮に含まれるということが出来る。これに対し、内部の繊維部分にはシリカはほとんど沈着しておらず、無機物が多少含まれる程度であることがわかった。

Fig.3 に示すように、炭化に伴い表皮部は黒化するが、表皮繊維の炭化のみならず僅かにタール分も付着しているように見えた。しかし表皮の形状は炭

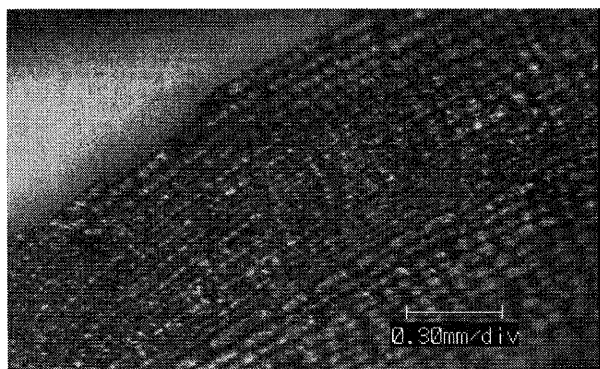


Fig.3 Cuticle of rice hull after carbonization (400℃)

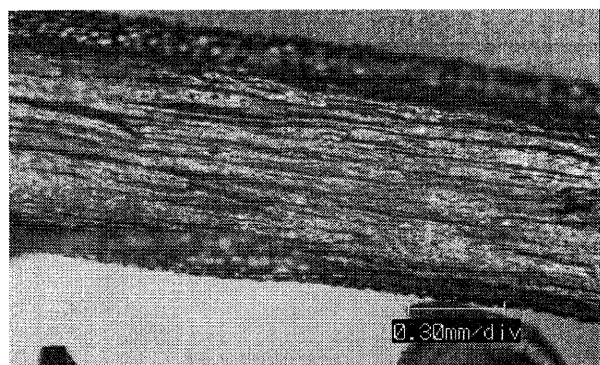


Fig.4 Sectional view of rice hull after carbonization (400℃) : Cuticle is upper part in the figure.

化後もあまり変化していなかった。内部の繊維部分はFig.4 に示すように炭化に伴い大きく収縮した。

3.2 炭化に伴うpH変化

籾殻炭のpH、すなわち籾殻炭から溶出するアルカリ分を調べるために、一定時間浸漬した溶液のpHを測定した。その結果を表2に示す。炭化温度の上昇に伴い高いpH値を示した。炭化温度が高くなると、表皮や内部繊維部分に存在していたシリカ以外の無機物(主にカリウム)は、炭化された繊維の表面部分に集積し、部分的に繊維が灰化したために溶出が容易になったためと考えられる。籾殻の炭化温度の上昇に伴いpHは上昇し、500℃以上ではpH10付近の値を示した。木質系の炭化物(木炭など)のpHは通常8~9.5前後であることと比較すると、籾殻炭のpH値は多少高い値であるといえる。

Table 2 pH of rice hull charcoals

Sample	pH
Un-pretreat.-300℃	6.88
Un-pretreat.-400℃	7.76
Un-pretreat.-500℃	9.76
Un-pretreat.-600℃	10.02

3.3 前・後処理した籾殻炭の抵抗率の変化

木炭に代表される炭化物の性質は、樹種の違いと炭化温度によって大きく異なってくる。これらの違いを比較するには一般に電気抵抗が用いられる。Table 3 に籾殻炭の電気抵抗率(比抵抗)を示す。

Table 3 Electric resistivity of rice hull charcoal

Sample	Resistivity
Un-pretreat.-300℃	2.59 ($\Omega \cdot \text{cm} \times 10^6$)
Un-pretreat.-400℃	3.11
Un-pretreat.-500℃	0.92
Un-pretreat.-600℃	0.74
Ferment. pretreat.-300℃	13.04
Ferment. pretreat.-400℃	3.62
Ferment. pretreat.-500℃	2.01
Ferment. pretreat.-600℃	1.02
HF aftertreat.- 300℃	6.48
HF aftertreat.- 400℃	6.62
HF aftertreat.- 500℃	0.41
HF aftertreat.- 600℃	0.01

抵抗率は炭化の進行状態と共に変化するので、木炭の炭化度（一般に精煉（ねらし）度とよばれており、1~9度で表されている）の指標として用いられる。Table 3 からわかるように、それぞれの処理法の籾殻炭では、いずれも炭化温度の上昇に伴い、抵抗率は低下していた。特にHF処理籾殻炭ではシリカ分を中心とした無機成分がほとんど除去されたために抵抗率の低下は著しく、“見かけの炭化度”は非常に高くなった。

発酵菌処理籾殻炭は抵抗率が高く、炭化度が低いことがわかった。発酵菌処理は、繊維質を分解・切断し炭化温度の低下、細孔の発達を促すことを目指した処理であったが、むしろ逆の傾向が見られた。この原因については今後の研究の課題である。

抵抗率の測定は、木炭の場合、塊状のものをそのまま測定するのに対し、籾殻炭では微粉末にしたものをセルの中に詰め、圧力をかけて測定したので両者の値は厳密には比較できないが、Table に示した籾殻炭の値は、800~1100℃で炭化して得られた木炭の抵抗率に相当する値であった。すなわち、籾殻は相対的に低い温度で、かつ短時間で炭化が進行する素材であるということが出来る。

3.4 前・後処理した籾殻炭の熱挙動と表面積の変化

未前処理、発酵菌前処理およびHF後処理した3つのグループの籾殻炭をそれぞれTG-DTAで測定し、炭化状態と灰化物量を調べた。

未前処理-炭化温度300℃-籾殻炭（以下、未前処理籾殻炭(300℃)）は炭化が完全に進行しておらず2段階で燃焼が進行した。炭化温度400℃以上では、炭化が進行し1段階で燃焼した。未前処理籾殻炭(400℃)は450℃で燃焼し59.3%の減量が認められた。すなわちシリカを主成分とした灰分を40.7%含んでいた。

発酵菌前処理籾殻炭(300℃)はほとんど炭化していた。発酵菌前処理籾殻炭(400℃)のTG-DTAは、未処理籾殻炭よりも約50℃も低い400℃付近に燃焼に伴う発熱ピークを示した。この原因は、発酵菌前処理は発酵菌によって籾殻繊維が部分的に分解・切断したために、燃焼温度が低下したものと考えられる。なお灰分は45.3%であった。

未前処理籾殻炭(300℃)をHF溶液で処理したHF後処理籾殻炭(300℃)は、未前処理籾殻炭の性質をもっているため、やはり炭化が完全に進行していなかったが、燃焼温度は20~30℃上昇した。Fig.5 に示すようにHF後処理籾殻炭(400℃)は炭化の燃焼温度は480℃付近に上昇し、減量は100%、すなわち灰分は0%であった。HF後処理は、表皮部のシリカ分のみ

ならず籾殻全体に分布しているカリウムなどの無機成分もほぼ完全に溶出したことを意味している。燃焼に伴う発熱ピークが約30℃上昇したのは、炭化が進行したことに加え、カリウムによる助燃効果がなくなったためと考えられた。

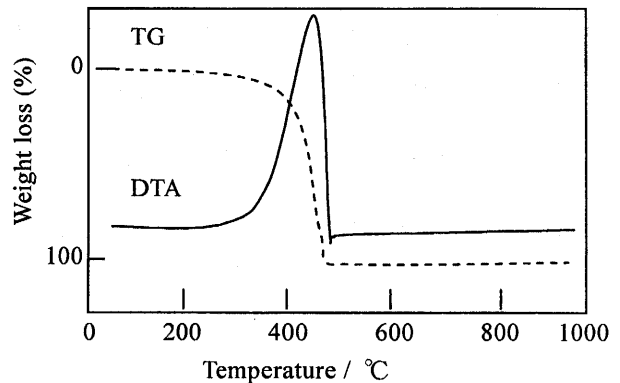


Fig.5 TG-DTA curve of the HF aftertreat.-400°C rice hull charcoal

Table 4 に各処理試料の炭化温度に伴う表面積の変化を示す。

未前処理籾殻炭の炭化処理温度を上昇させると、繊維質の炭化度の向上がみられるものの、表面積はほとんど増加しなかった。この原因は、写真1で観察されたように、籾殻には木質組織（導管や細胞壁）が発達していないので、籾殻を炭化しても細孔が生じ難いためと考えられる。

発酵菌前処理の籾殻炭は、炭化温度の上昇に伴い比表面積の増加が見られた。発酵菌により繊維の一部は切断されており、炭化の進行に伴い繊維の切断部に細孔が発生したものと考えられた。

HF後処理籾殻炭は、炭化温度の上昇に伴い比表面積が著しく増加した。この原因の1つは、表皮部のシリカ分および炭化に伴い局部に集積した無機成分がHF溶液によって溶出、除去され、細孔が発現したためと考えられる。さらに籾殻炭に含まれる約50wt.%のシリカ分を中心とした無機成分が溶かし出されたため、単位質量当りの表面積が見かけ上約2倍に増加したことに起因している。

以上の前・後処理に伴う籾殻炭の表面積の変化と、Table 1 のアルカリ分溶出量およびFig.1~4に示した籾殻の構造の結果と考え合わせると、籾殻における細孔の発現は以下のようにまとめることができる。

- (1) 籾殻表皮部のシリカの溶出は、マクロ孔（孔径：>500 Å）の発生には寄与するものの、ミクロ孔（孔径：20~8 Å）などの細孔の発現にはほとんど

寄与しないであろう。

- (2) 籾殻内部繊維質部分の炭化に伴う無機成分の集積およびHFによる溶出は、メソ孔 (500~20Å) やマイクロ孔を発現させるのに重要である。
- (3) 発酵菌などによる繊維質部分の部分的な分解・切断は炭化に伴う細孔の形成に効果的である。

Table 4 Change of specific surface area with pre- and after-treatment and carbonization temperature

Sample	Specific surface area
Un-pretreat.-300°C	3.82 (m ² /g)
Un-pretreat.-400°C	4.18
Un-pretreat.-500°C	6.32
Un-pretreat.-600°C	5.62
Ferment. pretreat.-300°C	3.48
Ferment. pretreat.-400°C	10.10
Ferment. pretreat.-500°C	22.90
Ferment. pretreat.-600°C	26.19
HF aftertreat.- 300°C	4.55
HF aftertreat.-400°C	15.84
HF aftertreat.-500°C	87.31
HF aftertreat.-600°C	99.94

3.5 ホルムアルデヒド吸着実験

籾殻炭の吸着に伴うホルムアルデヒド濃度 (初濃度100ppm) の変化を調べた。その結果をFig.6~8に示す。なお、吸着開始時間付近の濃度変化を明らかに示すために、Fig.6~11においては時間軸は時間と比例させていないことに注意してほしい。

Fig.6 は未前処理籾殻炭によるホルムアルデヒド濃度の時間変化を示す。10分から40分付近の反応時間では、炭化温度が300°Cと600°Cの試料では吸着速度が遅く、炭化温度が400°Cと500°Cの試料では吸着速度が速いことが観察された。400°C、500°Cで炭化した籾殻炭は、吸着サイトが発達していることが推測される。160分経過するといずれもほぼ同じ濃度になるが、これはホルムアルデヒド量が少ないために、比表面積が小さな300°C炭化試料でも飽和吸着以下であったためと考えられる。

Fig.7 に発酵菌前処理籾殻炭によるホルムアルデヒド吸着実験の結果を示す。400~600°C炭化試料はいずれも未前処理籾殻炭よりも吸着速度と吸着量は優れていた。観察された吸着能力の向上は比表面積の増加に伴ったものであると考えられる。300°C炭化試料は未前処理籾殻炭の吸着量よりも劣

っていたが、その原因については明瞭ではない。

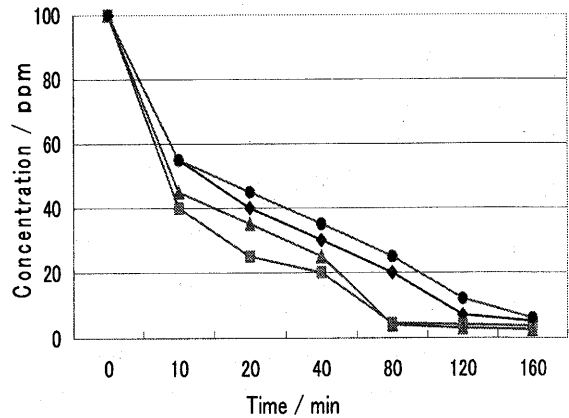


Fig.6 Change of the concentration of formaldehyde with adsorption by the un-pretreatment rice hull charcoal (carbonization temperature; 300°C:◆, 400°C:■, 500°C:▲, 600°C:●)

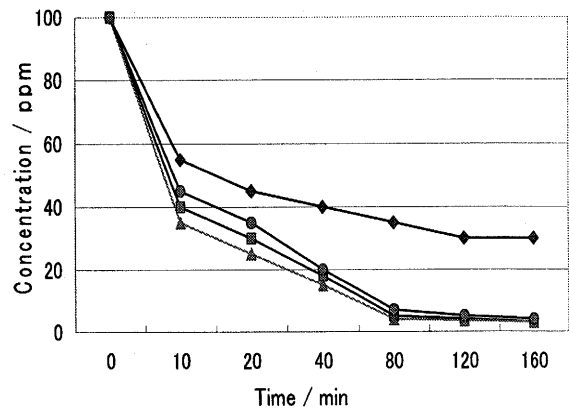


Fig.7 Change of the concentration of formaldehyde with adsorption by the fermentation germ pretreatment rice hull charcoal (carbonization temperature; 300°C:◆, 400°C:■, 500°C:▲, 600°C:●)

Fig.8 にHF後処理籾殻炭によるホルムアルデヒド吸着実験の結果を示す。炭化温度に係らず、吸着速度と吸着量は共に増加した。特に500°C炭化試料の吸着能力は優れていたが、その原因は比表面積の著しい増加に基づいていることが考えられる。しかし300°Cおよび400°Cで炭化した比表面積が小さな試料 (Table 4 参照) においても優れた吸着特性を示していることから、HF処理によってアルデヒド基の吸着に適当な吸着サイトが新たに発生したことが原因の1つとして考えられる。

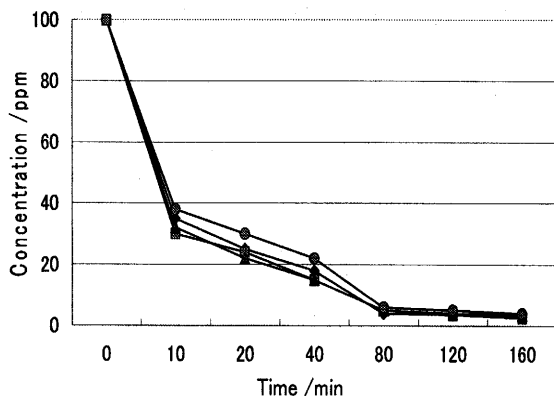


Fig.8 Change of the concentration of formaldehyde with adsorption by the HF after-treatment rice hull charcoal (carbonization temperature; 300°C:◆, 400°C:■, 500°C:▲, 600°C:●)

シックハウス原因物質としてのホルムアルデヒドの室内濃度の基準値は1997年に厚生省により0.08ppmと決められた。したがって、吸着剤には吸着速度および吸着量に加え、吸着平衡濃度が低いことも求められる。ここではホルムアルデヒドの初濃度を20ppmとし、ホルムアルデヒドの吸着速度と吸着平衡濃度をどこまで低下させるかを中心に実験を行った。

Fig.9に、未前処理籾殻炭によるホルムアルデヒド濃度（初濃度20ppm）の時間変化を示す。300°C炭化試料を除けば、30分以上で1ppm以下に濃度を低下させ、80分以上で0.3ppm以下に低下させた。未前処理籾殻炭は比表面積が小さく吸着量そのものはあまり期待できないが、新しい籾殻炭を用いると室内環境を維持する補助的な性能を示すことがわかった。

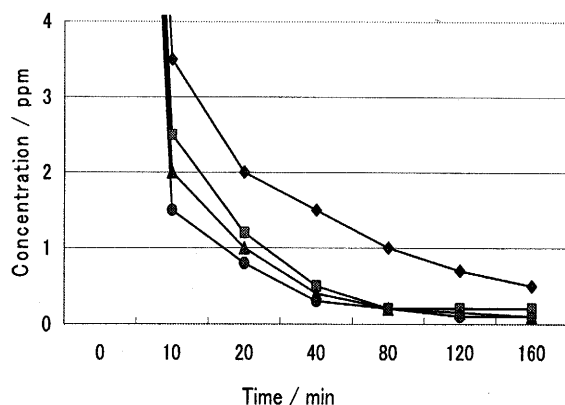


Fig.9 Change of the concentration of formaldehyde with adsorption by the un-pretreatment rice hull charcoal (initial concentration: 20 ppm, carbonization temperature; 300°C:◆, 400°C:■, 500°C:▲, 600°C:●)

Fig.10 に発酵菌前処理籾殻炭によるホルムアルデヒド吸着実験の結果を示す。発酵菌前処理籾殻炭は未前処理籾殻炭よりも比表面積は大きいものの、ホルムアルデヒド濃度を低下させる能力は劣っていた。この原因は、籾殻繊維の分解・切断によって生じた表面の吸着サイトおよび細孔径が必ずしもホルムアルデヒド吸着に適していなかったことが考えられる。

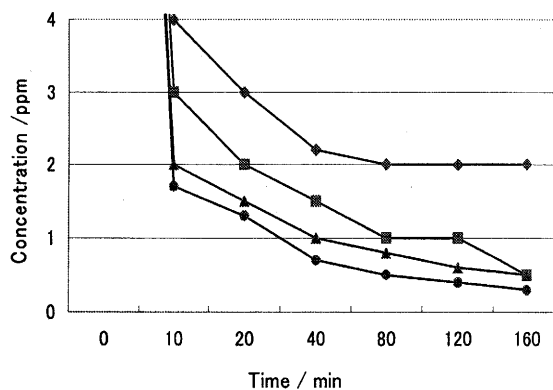


Fig.10 Change of the concentration of formaldehyde with adsorption by the fermentation germ pretreatment rice hull charcoal (initial concentration: 20 ppm, carbonization temperature; 300°C:◆, 400°C:■, 500°C:▲, 600°C:●)

Fig.11 にHF後処理籾殻炭によるホルムアルデヒド吸着実験の結果を示す。ホルムアルデヒド濃度は10分経過後にはすでに1ppm以下に低下した。120分後には試料の炭化温度に係らず、0.2ppmまでに低下

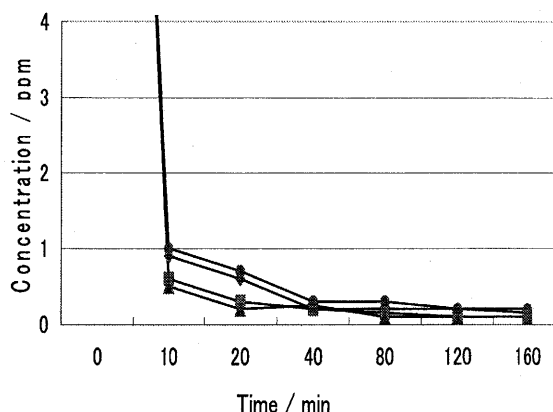


Fig.11 Change of the concentration of formaldehyde with adsorption by the HF after-treatment rice hull charcoal (initial concentration: 20 ppm, carbonization temperature; 300°C:◆, 400°C:■, 500°C:▲, 600°C:●)

した。このようなHF後処理粉殻炭の著しい吸着能の向上は、未前処理粉殻炭をHF処理によってシリカ分や無機成分を溶出し、その結果生じた細孔はホルムアルデヒドなどの気体の吸着に適当なマイクロ孔であり、また吸着サイトは極性官能基であることが推測された。

ホルムアルデヒドの室内濃度を低下させる際に用いられている市販の木炭、竹炭と粉殻炭の性能をより詳細に比較実験した。その結果をFig.12 に示す。木炭、未前処理粉殻炭 (500℃)、およびHF後処理粉殻炭 (500℃) の順に性能は高かった。シックハウス症候群の症状の一般の人では4ppm付近で、また敏感な人では1ppm付近で喉の痛みや頭痛などの症状が現れることが報告されている。HF後処理粉殻炭の吸着力はホルムアルデヒド室内濃度を比較的短時間で0.5ppm以下に、また最終的には0.1ppm程度まで低下させるのに十分な能力を示すことが示された。したがって厚生省により決められたホルムアルデヒドの室内濃度の基準値0.08ppmをクリアする吸着剤としての利用が期待される。

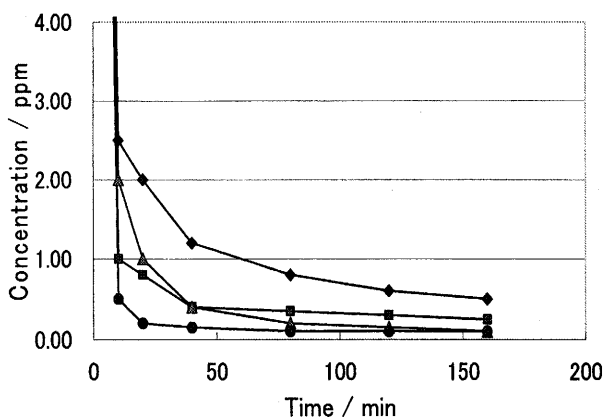


Fig.12 Change of the concentration of formaldehyde with adsorption by charcoal : ◆, bamboo charcoal : ■, untreated rice hull charcoal (500℃) : ▲, HF aftertreated rice hull charcoal (500℃) : ● (initial concentration: 20 ppm)

4. 他の吸着剤との比較および今後の取り組み

Table 5 に木炭、竹炭、粉殻炭の灰分量、および灰分中に含まれる主な元素の含有量(質量%)を示す。なお竹(八女地区もうそう竹)と粉殻(小郡地区)は本研究室で入手したものである。素材の違いによって成分のばらつきはあるものの、一般的には次のようなことが言える。木炭は灰分が非常に少なく、主要成分はCaとKである。竹炭は灰分が多くその主

要成分はSiO₂とKである。粉殻炭は灰分が非常に多くその主要成分は竹炭と同様にSiO₂とKである。

ところで、植物に含まれるシリカは、強度が求められる部分(たとえばススキの茎、ある種の樹皮、粉殻の表皮など)に多く含まれており、繊維やクチクラ層にシリカが沈着することによって強度の向上に寄与している。粉殻はその代表的なものである。

Table 5 Ash and principal constituent of charcoal, bamboo charcoal and rice hull charcoal

Constituent	Charcoal	Bamboo charcoal	Rice hull charcoal
Ash(%)	1~3	15~20	40~50
SiO ₂	1~3	15~20	90~95
Na ₂ O	1~5	1~2	0.2
K ₂ O	10~25	20~30	2
CaO	25~45	1~3	0.6
Fe ₂ O ₃	1~4	1~2	0.03

木炭や粉殻炭の利用法の1つとしては、田んぼの土に混ぜて土壌改良剤として用いられている。これは炭化物のもつ保水性、透水性、吸着性といった性質が地力の落ちた土壌に活力を与えるためである。さらに木炭の細孔は土壌微生物が繁殖する場となるので、農作物の生育に大きく貢献する。一方、粉殻炭には大量のシリカとカリウムが含まれているので、土壌の成分を調整する役割を果たす。

このように木炭と粉殻炭はそれぞれ特色ある炭化物であるので、木炭粉と粉殻炭粉を適量混ぜ合わせ施肥することにより、その土地にあった土壌改良剤として利用できるであろう。

Table 6 に、木炭、活性炭、粉殻炭の微細構造を中心とした比較を行う^{5,6)}。

木炭は、木質組織の導管および細胞壁で形成されたハニカム構造が特徴である。この構造によって形成されたマクロ孔および内壁部のマイクロ孔からなっている。木炭は木材の形状が保たれているので取り扱い易く、河川水浄化用などに用いることができる。土壌改良剤、床下調湿材などにも応用されている。

活性炭は炭化物をさらに細孔の発達および吸着サイトの発現を促す賦活処理を行う。また賦活の条件により活性炭の性質は大きく変化する。したがって、吸着対象に応じた多種多様な製品が製造されている。最大3000 m²/gの高比表面積活性炭も製造されている。また目的に応じて、粉末、粒状、繊維状などの形状の製品が作られている。活性炭の応用は医

療用、工業用（触媒、脱色剤、排煙脱硫・脱硝用）、その他（防毒マスク用吸着剤、消臭剤、空気浄化剤、水処理剤）として大量に利用されている。

木炭、活性炭に対し、籾殻炭は比表面積が相対的に小さく、また加圧すると壊れやすい。さらに前・後処理をしない未処理籾殻炭では、ホルムアルデヒド吸着能力は特に優れているとはいいがたい。現時点では籾殻炭は木炭や活性炭に取って代わることはでき難いであろう。籾殻炭の吸着機能を向上させるためには、本研究で行ったように、籾殻炭に含まれるシリカ分やその他の無機成分を溶出し、微細細孔

（たとえばマイクロ孔）を発現させることが重要である。しかし細孔の発現を促す賦活の操作が加わると、薬品や操作によるコストが増すので、廃棄物の有効利用という観点からは適切ではない。一方、本実験で明らかにしたように籾殻炭はガス吸着剤としての可能性を内在しているので、

- (1) 簡便な賦活法を開発すること、
 - (2) 粉体として利用する方法を開発すること、
 - (3) 吸着能の大きなガスの種類を特定すること、
- により、籾殻炭は優れたガス吸着剤としての有効利用が期待できる。

Table 6 Comparison with charcoal, active carbon, and rice hull charcoal

	Charcoal	Active carbon	Rice hull charcoal
Carbonization temperature	400~1000°C	400~1000°C (activation at 800~1200°C)	400~700°C
Specific surface area	200~400 m ² /g	800~1200 m ² /g	~100 m ² /g
Shape	wooden shape	powder, granular, fibrous	powder, hull shape
Generation of pore	honeycomb structure based on conduit and cell wall	<ul style="list-style-type: none"> • wooden-base system : conduit of woody tissue • palm shall system : hull tissue • coal system : oxidation and thermal decomposition 	Elution of inorganic component

4. まとめ

- (1) 未処理籾殻炭の比表面積は小さく、吸着量は限られていた。
- (2) HF処理により比表面積の増加と木炭や竹炭に勝るホルムアルデヒド吸着性能を示した。細孔と新たな吸着サイトが発現した結果と考えられた。
- (3) 籾殻炭を高機能ガス吸着剤にするには、簡便な賦活法を開発することが求められる。
- (4) 籾殻のその他の有効利用としては、従来の土壌改良剤としての利用が考えられる。その際、籾殻炭粉と木炭粉との適切な混合が重要である。

謝辞 表面積測定をご指導いただいた本学物質生命化学科の藤津博先生に感謝いたします。また籾殻炭の研究の土台づくりに関与してくれた研究室の多くの卒業生諸君にも感謝いたします。

参考文献

- (1) 日本木炭新用途協議会、会報第7号「木炭新用途」(2000)
- (2) 谷田貝光克、平成10年度日本木炭新用途協議会講演会要旨集(1998)
- (3) 熊谷誠治、平成17年度あきた産学連携フォーラム&知の種苗交換会発表要旨「環境・エネルギー分野でのバイオマス利活用研究」(2005)
- (4) 鎌田清子、北海道文教大学研究紀要、第29号、pp.39-54 (2005)
- (5) 岸本定吉、「炭」、創森社(1998)
- (6) 立本英機、「おもしろい炭のはなし」、日刊工業新聞社(2000)