

教材用排熱利用型糶殻炭化装置の開発

石田 康幸*・細田 英次**・松尾 政弘***
山本 利一*・浅田 茂裕*

キーワード：糶殻くん炭、炭化装置、排熱利用、教材用、環境教育

I はじめに

小学校学習指導要領¹⁾、中学校学習指導要領²⁾及び高等学校学習指導要領³⁾では、全ての教科、総合的な学習の時間、道徳教育及び特別活動の中で環境教育の一層の充実が期待されている。これらは、1996年の中央教育審議会答申⁴⁾及び1998年の教育課程審議会答申⁵⁾による、環境教育の充実の方針を受けたものである。

文部省(当時)は既に、1990年に環境教育指導資料(小学校編)⁶⁾、翌1991年に同(中学校・高等学校編)⁷⁾、1996年には同(資料編)⁸⁾を、それぞれ作成し、小・中・高等学校における各教科を中心とした環境教育の展開方法の方向を示した。また、1998年の教育課程審議会答申⁵⁾では、基本的な考え方及び総合的な学習の時間に関する項目において、体験的な学習の重要性がそれぞれ指摘されている。

一方、1999年に始まった「学力低下論争」や、2004年に相次いで発表されたOECDによる生徒の学習到達度評価(PISA)や国際教育到達度評価学会による国際数学・理科教育動向調査(TIMSS)の結果の一方的な解釈から、「学力低

下」問題が政治的課題として浮上し、その対策が求められ、文部科学省は「学力」重視に踏み切ったと言われている⁹⁾。

しかし、2006年2月に発表された中央教育審議会初等中等教育分科会教育課程部会の「審議経過報告」⁹⁾では、持続可能な社会の構築が強く求められていることに触れるとともに、環境教育についてもエネルギーと環境問題の解決の観点から、さらに充実することを求めている¹⁰⁾。

さて、新エネルギーの一つに位置づけられるバイオマス(生物資源)エネルギーは、計画的に効率良く使用すれば、大気中の二酸化炭素量を増やすことなく半永久的な利用が可能である¹⁰⁾。

また、バイオマスを炭化して土壌に施用すれば、炭化物(以下、炭)はその重量の4割近くが炭素であり^{11,12)}、しかも長期間にわたって分解しないため、大気中の二酸化炭素の増加を一層軽減することができ、温暖化防止に効果的である。

さらに、炭の施用によって、土壌の物理性や化学性が改良され、これに加え、有用な土壌微生物の増加などの生物性も良好となることから、土壌の作物生産力を高めるとともに、土壌伝染性の病害防除にも有効であると思われる¹³⁾。

* 埼玉大学教育学部技術教育講座

** 埼玉大学教育学部大久保農場

*** 現在埼玉大学名誉教授

また、炭は養液栽培用の培地にも適しており、さらに汚水や汚れた空気の浄化や酸性雨の中和などにも好適で¹³⁾、さらに、家畜糞尿などの有機濃厚汚液のろ材として優れた性能を保持していると言われる¹⁴⁾。

このような背景の中で、著者らは主として、中学校の「技術・家庭科」や農業高校の「課題研究」さらには教育学部における栽培（農業）実習等での環境教育に関する製作教材用として、イネの籾殻（以下、籾殻）をくん炭化するとともに、その過程で発生する排（廃）熱をスターリングエンジン^{15,16,17)}などの外燃機関の熱源として利用できる簡単くん炭化装置（以下、炭化装置）を空かん等を用いて試作したので、装置の概要と排煙中に含まれる排熱の温度、熱量、並びにくん炭の品質等について報告する。

従来、籾殻くん炭の製造法には、個々の農家で小規模に行われている専用簡易煙突を用いた方法や小型のくん炭製造機による方法等が知られている。また、籾殻を代替燃料として使用し、同時に産出される籾殻くん炭を利用するための籾殻燃焼炉^{18,19)}による方法、あるいは、籾殻加熱ガス化利用システムによる製造方法¹¹⁾等、多様なものがある。しかし、籾殻くん炭を製造するとともに、製造過程における排煙中に含まれる排熱を直接有効利用できる方式は見あたらない。

II 籾殻炭化装置の構想と試作

1. 炭化装置の構想

籾殻をくん炭化するとともに、その過程で発生する排熱をスターリングエンジンなどの外燃機関の熱源として利用できる装置の開発に際しては、良質のくん炭が容易に製造でき、かつ、熱利用価値が高く、排気の有害ガス成分やタール分も低減できること、さらに、本研究では特に、容易に教材化できることなどが必要とされる。そこで、様々な検討を行った結果、図1のような構造の装置を考案した。

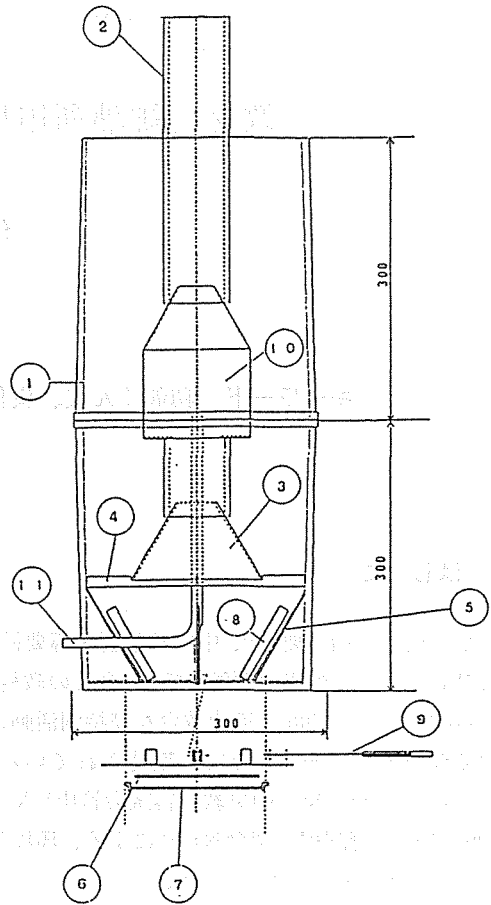


図1 炭化装置の基本構造

注) 図中の数字は以下の装置（部品）を示す。
 ① 外壁、② 煙突、③ 集煙器、④ 集煙器支持バー、⑤ 燃焼室底部、⑥ シャッター、⑦ 支持バー、⑧ スクレーパー、⑨ 操作ハンドル、⑩ 再燃焼器、⑪ 吸気パイプ

この装置では適宜上部から籾殻を供給することにより燃焼室（⑤は燃焼室底部）で連続的に燃焼が行われる。なお、籾殻が燃焼室に落下するまでに、余熱で加熱されて燃焼し易い状態となる。このようにして、燃焼室で一定時間燃焼させ、くん炭化した段階でくん炭取出口のシャッター（⑥）を開いてくん炭を取り出す。その際、燃焼室内には、空気取り入れ用の隙間を介して適量の空気が取り入れられ、良質のくん炭が製造できる。

燃焼により発生する一酸化炭素等の不完全燃

焼ガスを多く含んだ排煙は煙突を上昇して、再燃焼器 (10) に至る。再燃焼器には装置外部から空気導入管 (11) を介して新鮮な空気が供給される。ここでは不完全燃焼ガスやタール分が完全燃焼に近い形で再燃焼されることにより、より温度が高められるとともに、有害成分を大幅に低減することができる。また、燃焼室にて急激な温度変化が発生しても再燃焼器によって吸収される形となり、煙突 (2) からは高温で安定した温度の排煙が排出されるので、スターリングエンジン等の安定性を要求される熱源として有効利用できる。

また、煙突下部に設けた円錐状の傘部である集煙器 (3) 等により、燃焼室に入るもみがらの量を適量に制限でき、燃焼性能をより向上させくん炭の良質化が図れる。なお、燃焼後くん炭を取り出す前に、スクレーパー (8) を回転振動させることにより、塊となったくん炭をほぐし、くん炭の取り出しをスムーズにできる。

炭化装置製作の構想に付随して、使用材料の種類及び耐熱温度、並びに透明な硬質塩化ビニール製の箱及びアクリル製の円筒を使用して外壁と円錐状の傘部 (集煙器) との距離及び角度等について試行錯誤的に検討を行い、さらに空かんを用いて、2種類の試作器を順次作成し様々な検討を行った。従って、今回報告する炭化装置は3及び4号機に相当する。

直径 300 mm、長さ 1,000 mm の透明なアクリル製の円筒容器等を用いて、円錐状の傘部 (図1の3、以下も同図の番号を示す) の角度、傘部と容器内壁等との間隔の広狭など様々な検討を行った結果、傘部の角度は 60°、壁面との間隔は 25 mm が適当で、さらに容器の内壁と底部とを結んで上方向に向けて径が拡大する 45° の円錐筒状の周壁 (5) を設けることにより、くん炭取出口から排出されたくん炭の分量に見合う量が傘部と円錐筒状の周壁の間から徐々に燃焼室に流入することが明かとなった。

2. 炭化装置の試作

この装置は図2のような外観を持ち、概略図1のような構造である。資源のリサイクルを念頭におき、材料として、市販のオイルかんの空かん (直径 300 mm、深さ 350 mm、20 リットル容) と若干の鉄板 (0.8 mm) などを用いた。上・下底を切除したオイルかんに2段を重ね、その円筒部を容器外壁とし、高温の排熱利用が充分可能な煙突を中央に配置、その中程に再燃焼器 (図1の10参照、以下も同図の番号を示す) を装着した。再燃焼器の内部にはステンレス製の網をロール状に巻いた着火加熱装置が空気導入管 (11) の最上部を取り囲むように装着されている^(註4)。そして、煙突の周囲に上部から粗殻を供給し、下部の燃焼室で空気の流入を制御しながら燃焼 (くん炭化) させる構造とした。また、燃焼室のくん炭は通常塊状に固まる性質を持つので、スクレーパー (8)^(註5) を回転させ、細かくしながらシャッター (6) を開き外部に排出す

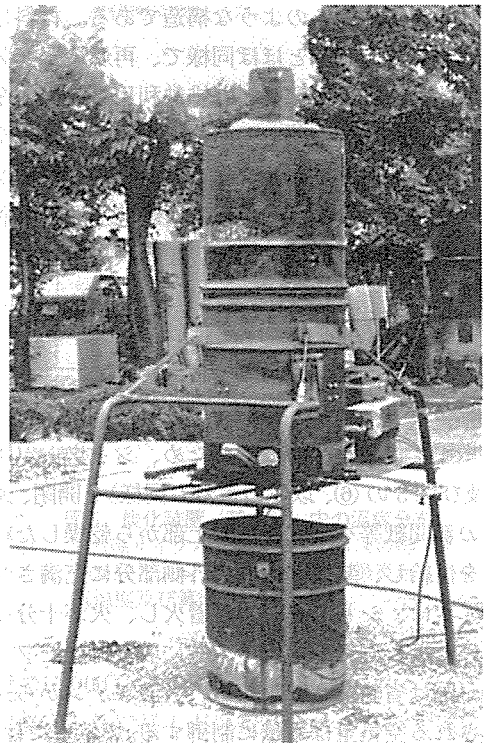


図2 炭化装置の外観

るようにし、スクレーパーとシャッターは、それぞれ、把手（操作ハンドル、⑨）を左右あるいは前後に動かすことにより容易に操作できるようにした。すなわち、スクレーパーは把手をつかんで水平面内で約50°前後、軸回りに揺動自由になるようにし、シャッターも同様に別の把手で開閉操作できるようにした。

再燃焼器の装着により、後述するように排熱温度の上昇と、灰黒色の煙がほとんど消失したクリーンな排煙が得られた。なお、容器の直径は300 mm、高さは680 mm、外壁の厚さは0.9 mmで、煙突には内径73 mm、厚さ11 mm、長さ490 mmの市販の素焼の土管と、これを130 mmに切りちじめたものを用いた^⑩。

3. 簡易炭化装置の試作

炭化装置の試作の過程で、再燃焼器（図1の⑩）を装着する工程が比較的難しいと思われたので、より簡単な装置として再燃焼器を装着しない簡易炭化装置を試作した。

この装置は図3のような構造である。材料は上述した炭化装置とほぼ同様で、再燃焼器無装着に伴い、中央に配置した排熱利用の煙突を傘部（集煙器、③）上部まで直筒としたことと、空気導入管（図1の⑪）を除いたことで、製作がかなり容易となった。なお、再燃焼器を無装着のため、排熱温度は低めで、排煙は灰黒色であった。

III 着火方法並びにくん炭の製造方法

まず、着火を容易にするため、シャッター（図1及び図3の⑥、以下の番号も同様）を開閉、適量の新聞紙等を入れ、装置上部から乾燥した籾殻を供給し、装置内の煙突外側部分に充滿させる。次に、シャッターを開き着火し、火が十分についた後、空気導入管の末端に取り付けたファン（図は省略）を駆動する。当該ファンから送風される空気量は適量に制御する。燃焼室には、空気取り入れ用の隙間及び円錐筒状の燃焼室底

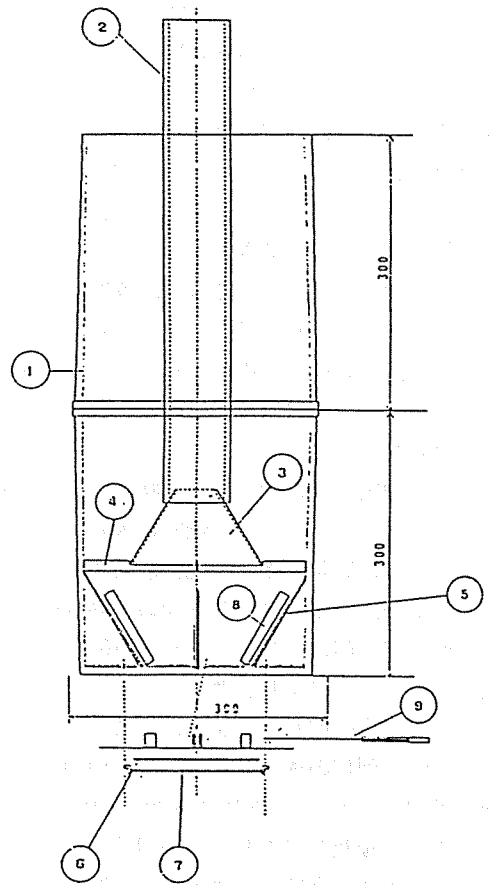


図3 簡易炭化装置の構造

注) 図中の数字は図1と同様の装置（部品）を示す。

部（⑤）に開けられた空気導入孔^⑦を介して適量の空気が供給され、適度な時間燃焼（不完全燃焼）を行うと、くん炭が製造される。

そして、一定時間毎に、スクレーパー（⑧）を往復振動させるように回転させてくん炭の塊を砕いた直後にシャッター（⑥）を開き、くん炭取出口から落下させて取り出す。取り出しに際しては、逆傘状の燃焼室底部の周壁が下向きに小径となる円錐状（⑤）となっているため極めて効率的となっている。くん炭の取出量は毎回一定の量で、取り出しの目安は燃焼室上部の温度が700°Cに達したときとした^⑧。

このように、くん炭を取り出すと同時に籾殻を補給し、容器内部に常に籾殻を充滿させるよ

うにした。ここで、燃焼により籾殻がくん炭化して体積が減少し、また、くん炭の取り出しにより、籾殻が自然落下して燃焼室に入り込み、燃焼が継続される。その際、煙突下部に連結された傘部である集煙器 (③) によって燃焼室に入る籾殻の量が適量に制限され、これにより燃焼性能が向上し、良質なくん炭が得られた。

IV 炭化装置内部の温度、熱量、並びに炭化能力

試作した炭化装置 (以下、基本型) 及び簡易炭化装置 (以下、簡易型) の両者について、炭化装置内部の温度分布、排煙の熱量、並びに炭化能力について検討した。

1. 装置内各部の温度測定と排煙の熱量

装置内各部の温度の測定点を図4に示した。

炭化装置内の温度を基本型では、煙突上部 (⑦)、中部 (⑥)、下部 (⑤)、再燃焼器中部 (④)、再燃焼器直下の煙突部 (③)、燃焼室直上の煙突部 (②)、燃焼室上部 (①) の7点で測定した。また、簡易型では、煙突上部 (⑦)、再燃焼器中部と同じ高さの位置 (④の近似点) 及び燃焼室上部 (①) の3点で、それぞれ、アルメロ・クロメルの熱電対を用いて連続的に測定した^{注9)}。また、基本型については、煙突出口に水を入れた湯煎鍋 (内径 150 mm、深さ 70 mm) を設置し、水温の上昇から排煙中の熱量を計算した。

基本型内各部の測定温度は図5に示した通りであった。約780回の平均値は、煙突上部 (⑦) では 405°C、中部 (⑥) 及び下部 (⑤) では 411 及び 555°C、再燃焼器中部 (④) では 563°C、再燃焼器直下 (③) 及び燃焼室直上 (②) では 512 及び 522°C、燃焼室上部 (①) では 546°C を示した。また、装置内での温度変化を示す、全測定を通じての最高温度と最低温度との差は、煙突上部では 21°C、中部及び下部では 60 及び 18°C、再燃焼器中部では 60°C と小さく、再燃焼器直下及び燃焼室直上では 170 及び 198°C、燃焼室上

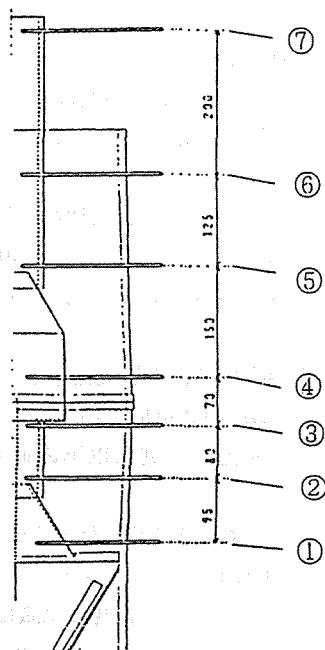


図4 温度の測定点

注1) ①~⑦はそれぞれ、第1測定点~第7測定点を示す。

注2) 各測定点まで、銅製の細管を通じてアルメロ・クロメル製のセンサーを入れ、温度を連続的に測定した。

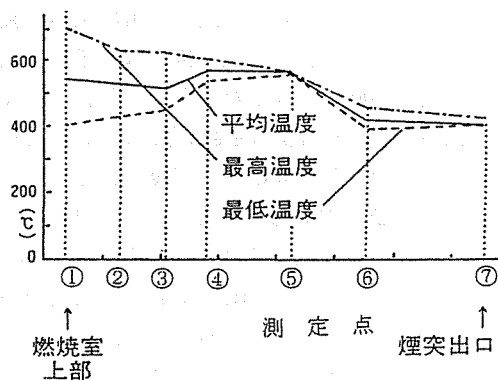


図5 炭化装置 (基本型) 内の温度分布

注) 1 燃焼サイクル (炭の排出から次の排出までの時間で、約13分間) 内での最高温度、最低温度及び算術平均値を示す。

部では 300°C と下部になるほど大きくなった。燃焼室上部で最も温度差が大きかったのはくん炭の排出による影響で、その影響は上部になる

ほど小さくなり、特に再燃焼室中部以上では、60～18°Cと極めて小となった。このように、燃焼室上部をはじめ煙突下部の温度はくん炭排出によって大きく影響を受けたが、スターリングエンジンの受熱部設置が予定される煙突出口の温度変化は極めて小さく、最高温度と最低温度との差はわずかに21°Cに過ぎず、常に400°C前後の安定した温度が得られることが明かとなった。

次に煙突上部(⑦)、再燃焼器中部(④)及び燃焼室上部(①)の3点について、くん炭の排出による温度変化の一例は以下の通りであった。

くん炭の排出は、先に触れたように燃焼室上部の温度が700°Cに達したときとしたが、くん炭排出直後、燃焼室上部の温度は急激に低下し、以後低下は緩慢となり、その後徐々に上昇し700°Cまで回復し、その後排出により再び低下した。一方、再燃焼器中部では560～600°C程度を、煙突上部では、390～400°C程度と安定した温度推移となった。

簡易型では、煙突上部(⑦)、再燃焼器中部(④)と同じ高さの位置及び燃焼室上部(①)の3点で、温度測定を行った。前述した再燃焼器を装着した基本型同様、くん炭の排出は、燃焼室上部の温度が700°Cに達したときとした。くん炭排出直後、燃焼室上部の温度は急激に低下し、その後徐々に上昇し700°Cまで回復し、その後排出により再び急激に低下した。一方、再燃焼器中部と同じ高さの位置では350～370°C程度を、煙突上部では、200°C前後と安定した温度推移となった。しかし、再燃焼器中部と同じ高さの位置及び、煙突上部では、基本型の同位置に比べ、200°C前後温度が低めであった。

基本型について、排煙による水の温度上昇を測定することから、その排煙中に含まれる熱量を計算した結果、排煙中には257 W(257 J/S、61 cal/s、熱効率0.34)の熱量が含まれていることが明かとなった。

2. 炭化能力

基本型では、1時間当たり、含水量10%のみながら2 kg(容量で55 L)から0.5 kgの良質なくん炭を製造できた¹⁰⁾。なお、簡易型の炭化能力は基本型に比べ若干劣るようであった。

V おわりに

栽培や農業分野における環境教育に関する製作教材用として、籾殻をくん炭するとともに、その過程で発生する排熱をスターリングエンジンなど外燃機関の熱源として直接利用できる従来にない新方式の炭化装置を空かん等を用いて試作し、同時に排煙中に含まれる排熱の温度、熱量、並びにくん炭の品質等について様々な検討を行った。

その結果、試作装置は良質なくん炭が連続的に得られるとともに、スターリングエンジンの受熱部設置が予定される煙突出口において、基本型では400°C前後、簡易型では200°C前後の安定した温度が得られることが明かとなった。また基本型の排煙中には257 W(257 J/S、61 cal/s、熱効率0.34)の熱量が含まれ、さらに再燃焼室における排煙の二次燃焼によって、比較的清浄な排気(排煙)が得られることが明らかになった。

ところで、ここで、排熱、排煙および製造炭の利用システムを構想すれば、以下の様になると思われる。

排熱	スターリング発電
	炊事
排煙	薫製
	木酢液
製造くん炭	燃料(豆炭、練炭)
	土壌改良
	養液栽培
	污水浄化
	酸性雨の矯正
	空気浄化

排熱は、現在開発中の教材用排熱利用型のス

ターリングエンジンや他の外燃機関用の熱源に利用することを想定している。また、授業で栽培した各種作物の炊事にも利用できる。

また、再燃焼器を装着しない場合、黒灰色の煙が排出されるが、この煙は薫製製造に利用可能である。また、煙を容器に集め、水分調整を行えば、殺菌・殺虫効果のある木酢液が得られる。木酢液は化学合成農薬の代わりに、環境にやさしい資材として各種病害虫の防除に利用できる。

製造したくん炭は多方面の利用が期待できる。

炭は古くから、燃料として利用され、開発途上国では、現在も主要な燃料とされている。例えば、ミャンマーのある都市では、炊事用燃料の大半が炭と薪であると言われている¹³⁾。従って、製造くん炭を用いて、豆炭や練炭を製造して、栽培作物等の調理時に利用すれば、開発途上国や戦後しばらくの間わが国での炊事事情の理解を助ける教材・教具となると思われる。

また、炭は大小さまざまな形の孔隙を無数に持ち、物理・化学的な吸着力に優れた無菌のアルカリ性物質で、保水力にも優れた炭素と無機物の塊である。従って、以下のように様々な効果が認められる。

関東ロームの赤土を用いたポット試験の結果、製造くん炭の施用は土壤改良につながり、ラッカセイを増収させることが明らかとなった^{20,21,22)}。これは、くん炭の施用によって、土壤孔隙が増加し、通気性や透水性などの土壤の物理性や化学性が良好となるとともに、根粒菌や有用な菌根菌が増加し、窒素やリン酸の供給が増加したことによるものと推察される。

一方、イチゴやキュウリ栽培などでは、従来、くん炭を用いた養液栽培が知られている²³⁾。

また、炭は水中や土壤中において、有害物質を吸着したり、有用微生物のすみかを提供することを通じて有害微生物の増殖を防ぐため、汚水の浄化にも利用できる。

なお、著者らの他の試験の結果、製造くん炭

は、酸性雨の矯正や、排煙からの硫黄酸化物の除去にも効果が大きいことが見出されている^{13,20,21)}。

さらに、一部の畜産農家で行われているように、炭は牛や豚の整腸剤や畜舎の脱臭剤としても利用できる¹³⁾。

なお、本報の内容は、炭化装置の製作及びその利用、完成品の利用のみ、あるいは製造くん炭の利用など、地域や学校の事情と学生・生徒の発達段階に即して扱い方を工夫すれば、技術科の教員養成、農業高校の課題研究や実習の教材、あるいは中学校の技術・家庭科、さらには中・高の総合的な学習の時間等における、創造力や問題解決能力の養成を目指す総合領域的な教材として適していると思われる。さらに、小学校の高学年や中・高の他教科においても、エネルギーやリサイクルにかかわる展示教材として利用できる。

既に述べたように、炭の用途は極めて広く、しかも自然の循環を妨げることがない。さらに、インドネシアなどでは、わが国の研究者の支援で、炭を用いて土壌を豊かにし、熱帯林を再生する研究なども進められているなど、地球温暖化問題の対策としても期待が大きい¹³⁾。

ところで、極めて微量とは思われるが、くん炭化の際に発生する可能性のあるダイオキシン類の抑制のためには、排気ガスの温度を850°C以上の高温で燃焼する必要があると言われているが²⁴⁾、本研究では、再燃焼室の温度は最高700°Cに過ぎないので、今後一層、温度上昇の工夫の必要がある。

注

- 1) 「学力低下論争」は1999年の大学の理科系教員等による「分数ができない大学生」(岡部恒治ら、東洋経済新報社)や「学力崩壊―「ゆとり教育」が子どもをダメにした―」(和田秀樹、PHP研究所)に始まり、OECDが2003年に行ったPISA調査(生徒の学習到達度評価、

Program for International Student Assessment) や国際教育到達度評価学会が同年に行った TIMSS 調査 (国際数学・理科教育動向調査、Trend in International Mathematics and Science Study Assessment) における一部の結果が以前に比べ低下したことを、2004 年 12 月にマスコミが一斉に報道し、これを一部の評論家や政治家等が過大に取り上げたことが大きく影響していると思われる。なお、この間、2002 年 1 月に遠山文部科学大臣による緊急アピール「学びのすすめ」が出され、2003 年 12 月には学習指導要領の一部改定が行われ、「確かな学力の向上」、「補充的な学習」、「家庭学習の充実」や、「学習指導要領の (最低) 基準化」、「総合的な学習の時間」の充実等がそれぞれ提唱されている。

- 2) 中央教育審議会初等中等教育分科会教育課程部会の「審議経過報告」(2006 年 2 月 13 日)では、「子どもの学力に低下傾向が見られること、一後略」等から、「基礎・基本を徹底し一後略」と述べる一方で、「環境教育については、社会科、理科、生活科、技術・家庭科などの各教科や総合的な学習の時間などにおいて、一中略一、特に持続可能な社会の構築が強く求められている状況に配慮し、エネルギー環境問題という観点も含め、さらなる充実が必要である。」とするとともに、「科学技術教育、一中略一などについては、その充実を図っていく必要がある。」と記述している。
- 3) 例えば、農業機械化研究所による H_2 及び CO を主成分とする可燃ガス (平均発熱量約 1,000 kcal/Nm³) の採取を目的とした「稲の籾殻加熱ガス化利用システム」では、残さとして揮発分を 5%、炭素を 36%、灰分を 59% 含む籾殻くん炭が得られた。なお、原料籾殻の揮発分、炭素及び灰分はそれぞれ 61%、19%、及び 20% であった¹¹⁾。他の研究においてもほぼ同様な結果が得られている¹²⁾。
- 4) くん炭の製造に際しては籾殻を不完全燃焼させるために、燃焼室への空気の流入を制限しているため、かなりの可燃ガスが煙突から排出される。再燃焼器はこの可燃ガスを煙突中央部で燃焼させ、高温の排熱を得ようとするものであり、煙突の内径よりやや小さい 60

mm の穴を開けた底面を持つ内径 135 mm、高さ 120 mm の筒に、下端の直径 160 mm、上端の直径 55 mm、高さ 100 mm のテーパー状の傘部を組み合わせた鉄板製の容器を素焼きの煙突の間に取り付けたものである。再燃焼器の内部には、煙突内を上昇する高温の排気によって赤熱化することによって可燃ガスに点火するステンレス製の網 (5×4 mm の網目のもの。直径 0.05 mm のステンレスの針金製で、長さ 1,200 mm、幅 50 mm の網を 2 つ折りにして使用) を空気導入管の先端に 8~9 回程度巻きつけた着火装置が設置されている。巻つけの程度すなわち網の量によって、排煙の温度、熱量及び成分がかなり変動するので、調整が必要である。

- 5) スクレーパーは燃焼室底部に沿う形で棒状の器具を動かして、くん炭の塊を壊し、ばらばらにする装置である。
- 6) オイルかんには円周に沿って上下 2 箇所ずつ、端面から 20 mm 及び 85 mm の位置に補強のための打ち出し構造がある。またかんの下底部分の直径は上底部分の直径に比べ若干短いので、上・下底を除いたオイルかんは、端面から 20 mm の位置にある打ち出し構造を利用し、差し込むようにぴったりと二段に重ねることができ、重ねる部分は 20 mm ずつのため高さは 680 mm となる。
- 7) 空気取入用の隙間は、帯状の金属片のスライドカバーをスライドさせることにより開口面積を調整でき、空気導入孔は円錐筒状の周壁に 100 cm² 当たり、直径 6 mm の円孔を約 90 個開けたものである。
- 8) 燃焼室上部の温度が 700°C に達するのは、前回取り出し後約 13 分後であった。なお、このとき排出されるくん炭には、完全にくん炭化されていない籾殻が数 % 程度含まれているが、これ以上燃焼を続けると灰化したものが急激に増大するので、適当な目安と思われる。また、着火後、初回に排出されたくん炭は不均一かつ不良のものが多い傾向がある。
- 9) 容器及び煙突等の外壁に穴をあけ銅製のパイプを通し、その中をアルメロ・クロメル線を導子様の絶縁体で包んで通過させ、煙突等の中央に熱電対の先端が位置するように工夫し

た。アルメロ・クロメル線はレコダー (GRAPHIC CORP. 製の HIGHTBURIT RECORDER, TYPE MH9010) に接続して測定点の温度を連続測定した。温度測定は6日間に渡り、7箇所の測定点で同時に、1分毎に延べ約780回(13時間)測定した。なお、くん炭の排出回数は60回であった。

- 10) 炭化装置一杯で容量約20L、重さ約0.7kgの籾殻から0.2kgのくん炭を製造できる。

参考文献

- 1) 文部省 1998. 小学校学習指導要領(平成10年12月)
- 2) 文部省 1998. 中学校学習指導要領(平成10年12月)
- 3) 文部省 1999. 高等学校学習指導要領(平成11年3月)
- 4) 中央教育審議会答申(1996)
- 5) 教育課程審議会答申(1998)
- 6) 文部省 1990. 環境教育指導資料(小学校編)
- 7) 文部省 1991. 環境教育指導資料(中学校・高等学校編)
- 8) 文部省 1996. 環境教育指導資料(資料編)
- 9) 中央教育審議会初等中等教育分科会教育課程部会 2006. 審議経過報告
- 10) 石田康幸・林 修治・松尾政弘・豊島壮治 1993. 技術・家庭科における資源・エネルギーと環境の教育(2) —地球温暖化問題とバイオマスエネルギーについて—. 埼玉大学紀要 教育学部(数学・自然科学) 42(1): 7-17.
- 11) 農業機械化研究所 1986. 籾殻加熱ガス化利用システム—総括—(昭和60年度委託事業調査報告)
- 12) 清水 浩・菅野明宏・西山喜雄 1978. 燃料としてのもみがらの物性研究. 農業機械学会誌 39(4): 477-481.
- 13) 石田康幸・細田英次・松尾政弘・豊島壮治 1991. 炭は土を豊かにして、環境を守る. 授業づくりネットワーク 47(12): 89-93.
- 14) 清水 浩・林 節男 1977. もみがらくん炭のろ材特性についての研究. 農業機械学会誌 38(4): 551-557.
- 15) 一色尚次 1982. スターリングエンジンの開発. 工業調査会
- 16) 松尾政弘・牧野周平・戸田富士夫・岩本昭一 1991. 教材用ミニスターリングエンジンの設計・開発. 設計・製図 26(1): 15-22.
- 17) 松尾政弘・石田康幸・杉山浩一郎・豊島壮治 1993. 技術・家庭科における資源・エネルギーと環境の教育(3) —スターリングエンジンの教材化について—. 埼玉大学紀要 教育学部(数学・自然科学) 42(2): 43-53.
- 18) 清水 浩 1973. もみがら燃焼炉の開発研究. 富山県立技術短期大学研究報告 6: 27-36.
- 19) 清水 浩 1980. もみがらの熱源としての利用. 施設農業への新エネルギー利用、地熱・バイオマス、産業廃熱編、フジテクノシステム、東京、pp. 488-510.
- 20) 細田英次・石田康幸・松尾政弘 1991. 排熱利用型バイオマス炭化装置の開発と製造炭の利用 第1報 実験用炭化装置の試作. 農作業研究 26(別1): 39-40.
- 21) 石田康幸・細田英次・松尾政弘 1993. 排熱利用型バイオマス炭化装置の開発と製造炭の利用(第3報) —排熱の昇温及び熱量増加の工夫と製造炭の排煙脱硫効果について. 農作業研究 28(別1): 10-11.
- 22) 石田康幸・丸山裕美・細田英次・松尾政弘 2005. エダマメとラッカセイの混作に関する基礎的研究. 埼玉大学紀要 教育学部(数学・自然科学) 54(1): 37-50.
- 23) 丹原一寛・近藤武由・栗原 肇・宮元豊博 1973. 籾殻くん炭利用によるそ菜の養液栽培(第1報) キュウリの栽培試験. 日本土壤肥料学会誌 44(11): 421-427.
- 24) 凌 祥之・東理 裕 2003. バイオマス由来の炭化物の用途開発と炭化装置の改良. 農業および園芸 78(10): 1049-1055.

(2006年3月31日提出)

(2006年4月11日受理)