

コーヒー抽出カスの乾燥、炭化処理による有効利用

青山 好男, 朝賀 昌志, 中西 律子

Utilization of Coffee Grounds by Drying and Carbonization Treatment

Yoshio Aoyama, Masashi Asaka and Ritsuko Nakanishi

How to dispose of food processing factory waste is now a big problem. Particularly the extracted residue such as coffee grounds and tea waste is difficult to treat and utilize because of a vast generation and high water content. In order to utilize coffee grounds, drying and carbonization of them were investigated. We examined the properties of carbonized coffee grounds compared with wood charcoal. Our research shows that carbonized coffee grounds are used as a soil conditioner and a primary water-purifying material. Drying process requires a large amount of heat. When the heat generated during carbonization is utilized in drying process, economical drying is possible. We evaluated the cost for carbonization of coffee grounds and the possibility of practical use from an economical viewpoint.

Key words: waste, coffee grounds, tea waste, drying, carbonization.

近年、産業廃棄物処理が大きな問題となっているが、食品業界においても食品製造時に発生する廃棄物の処理が大きな問題となっている。従来行われていた埋立処分が用地の不足から困難になったため、多くの事業所では産業廃棄物業者に処分を委託しているのが現状であるが、その費用は膨大な額になってきている。¹⁾食品製造廃棄物の種類はさまざまであるが、1事業場での発生量が多いこと、季節性がなく通年的に発生すること、現在あまり有効利用されていないなどの理由からコーヒーや茶類の抽出カスを対象にした。コーヒーや茶類の抽出カスは、水分が高いこと、植物性で栄養分があるために腐敗しやすいことなどの特徴がある。本研究では、(1)炭化物に幅広い用途がある。(2)二次的なカス発生がない。(3)大幅な減量化が可能。(4)比較的単純な装置で対応できる。などの理由から乾燥、炭化による有効利用を検討した。²⁾

実 験 方 法

1. 実験材料

コーヒーや茶類の抽出カス;飲料メーカーのレトルト飲料製造ラインで発生したカスを用いた。抽出は、ドリップ方式で95℃以上で行われ、抽出カスはスクリーコンベアで戶外の貯留ホッパーに送られ、産業廃棄物業者が引き取り処分している。抽出カスの分析結果をTable 1に示した。原料コーヒー豆や茶葉の種類により成分の変動があり、水分は保管中に多少減少していると考えられる。

分析や評価の対照として、土壌改良剤に利用されている市販の木炭を用いた。³⁾

Table 1. Chemical composition of coffee grounds and Oolong tea waste

Contents of analysis		Coffee grounds	Oolong tea waste
Moisture	(%)	65.2	70.5
Crude protein	(%)	4.6	6.7
Fat	(%)	4.4	1.5
Crude fiber	(%)	6.9	7.6
Ash	(%)	0.7	1.0
Carbohydrate	(%)	18.2	12.7
Tannin	(%)	0.3	1.7

2. 実験方法

1) 炭化試験

炭化試験には、中部ドラム缶工業(株)の小型簡易炭化装置「炭太郎」を用いた。本装置は元々割箸などの小径木を炭化する装置である (Fig. 1)。炭化過程でのコーヒークスの温度変化や炭化前後の重量や容量を調べた。

カスは水分含量が高いために、大規模で工業的な炭化では予備乾燥しておくことが必要である。(株)クメタ製作所の回転通気式乾燥機を用いて乾燥試験を行った。予備乾燥されたものについても炭化試験を行い、炭化時間がどの程度短縮できるかを調べた。

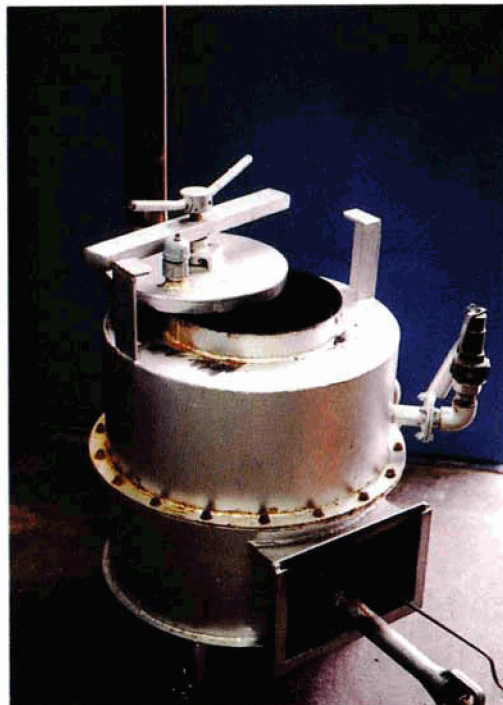


Fig. 1. Laboratory scale carbonizer
「Sumitaro (Chubu doramukan kogyo K.K.)」

2) 抽出カス、炭化物の分析

水分は(株)ケット科学研究所の赤外線水分計FD-100により測定した。一般栄養成分は常法により測定した。タンニンはFolin-Denis法により測定した。灰分は直接灰化により測定した。pHはJISK1474に従った。⁴⁾

比表面積は島津-マイクロメリティックス フローソープII2300を用い窒素ガス吸着1点BET法で測定した。細孔分布は島津ポアサイザーを用い、水銀圧入法で測定した。⁵⁾ ミクロな構造を知るために、走査電顕観察を日立S-510クライオシステムで行った。

総発熱量は燃研式断熱熱量計により測定した。

3) 炭化物の機能評価

炭化物の水質浄化能力は、産業排水のCOD吸着除去試験により評価した。製缶工場の排水(2COD系凝集沈殿砂濾過水)を用いて、各試料のCOD平衡吸着を求めて評価した。比較対照として工場排水処理に使用されている活性炭(粒状と粉状の2種)を用いた。

コーヒーカス炭化物の土壌改良剤としての効果を調べるために、ハウレンソウの栽培試験を実施した。ハウレンソウは夏播きの品種「おかめ」で試験区として肥料の有無やコントロールとして市販土壌改良剤の木炭を混合したものなど8条件であった(Table 2)。面積0.2 m²のポットで、市販の木炭で推奨されている土壌への混合比率(10アールあたり200 kg)と同一の比率で炭化物を混合し、ハウレンソウの種子を約30粒2列に播き栽培した。発育の状況を調べ、50日後に収穫した。評価方法;収穫直後に生重量と葉の葉緑素含有量を調べた。葉緑素含有量は葉緑素計ミノルタSPAD-501で測定した。その測定値と葉緑素含量との関係を表わす回帰式から葉緑素含量を求めた。⁶⁾

4) 乾燥-炭化の経済性評価

1日のカス発生量40トンに対応したシステムとして、乾燥は(株)クメタ製作所の回転通気式乾燥機、炭化をバイオカーボン研究所の流動炭化炉で行うシステムで設備コスト、運転コストなどを見積もり、炭化コストを算出した。同時に熱エネルギー収支についても検討した。また出来上がった炭化物は土壌改良剤として利用することを前提に販売価格を設定して経済性を評価した。⁷⁾

Table 2. Growing conditions of spinach

No.	Fertilizer	Carbonized coffee grounds	Wood charcoal
1	—	—	—
2	+	—	—
3	—	+(40g/pot)	—
4	—	+(80g/pot)	—
5	+	+(40g/pot)	—
6	+	+(80g/pot)	—
7	—	—	+(40g/pot)
8	+	—	+(40g/pot)

結果と考察

1. 炭化試験

小型炭化装置の釜容量は約10ℓで、コーヒーカスを収容すると重量は6.5 kgであった。長時間加熱して温度が400℃になった後、数十分後に煙りが出なくなった時点で加熱を停止した。放置し釜内温度が低下した後、蓋をとり炭化物を取り出した。装置内のコーヒーカスの炭化過程の品温の変化を Fig. 2 に示した。加熱開始1時間後に100℃に到達、2時間その状態が続き、その後温度が上昇、400℃に到達した。炭化物重量は650 g であり、重量では元の重量の10.5%(約1/10)となった。容量はおおよそ1/3となっていた。

2. 炭化物の評価

炭化物の写真を Fig. 3 に、分析結果を Table 3 に示した。

炭化物の水分はいずれも3-5%であり、これは保管時の湿度によって多少変動するものと考えられる。炭素含有率はコーヒーカス炭化物が木炭より高く、ウーロン茶、紅茶カスの炭化物は65%と木炭より低い。窒素含有率はいずれの炭化物も木炭より高く5%であった。灰分も木炭より高く、ウーロン茶、紅茶カス炭化物は約8%、コーヒーカス炭化物は3%であった。

比表面積はいずれも木炭に比べて低く、吸着能力は木炭より劣ると考えられる。全細孔容積や平均細孔径も同様に木炭に比較して劣っていた。発熱量はコーヒーカス炭化物が木炭より高く、ウーロン茶、紅茶カス炭化物は木炭より少し低かったがいずれも燃料としての適性は充分あるものと考えられる。

走査電子顕微鏡により観察した結果、これらの炭化物は多数の微小孔をもった構造をしていることが分かった (Fig. 4)。ただし活性炭でみられるような微細な孔は認められなかった。

3. 予備乾燥試験

予備乾燥により水分を低減した後に炭化するのが効率的と考えられる。試験に用いた装置は原料を投入、金網式ドラムで送り、側面から熱風で乾燥するタイプである。熱風の温度を変えて試験した結果、180℃で水分15%まで1時間半で乾燥でき、この乾燥サンプルは3時間で炭化できた。予備乾燥の時間を入れても4時間半となり、総炭化時間の短縮ができた。

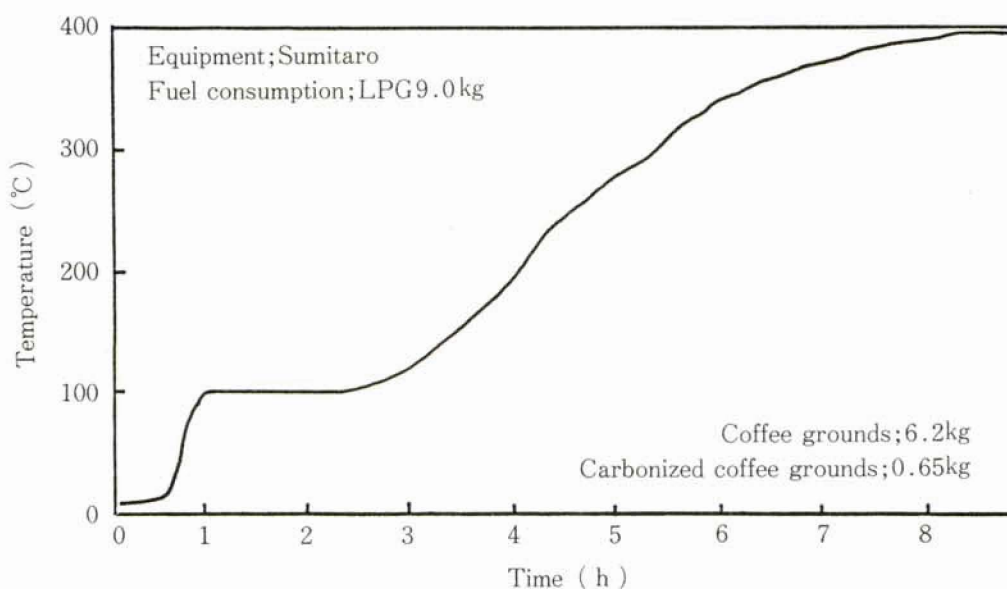


Fig. 2. Temperature change during carbonization of coffee grounds



Fig. 3. Carbonized coffee grounds and tea wastes
A. Coffee grounds B. Oolong tea waste C. Black tea waste
Left; Raw material Right; Carbonized waste

Table 3. Analytical results of carbonized coffee grounds, carbonized tea wastes and wood charcoal

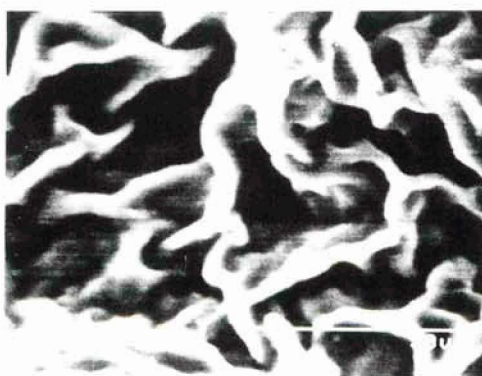
Contents of analysis		Carbonized coffee grounds	Carbonized oolong tea waste	Carbonized black tea waste	Wood charcoal
Moisture	(%)	3.1	4.7	3.8	5.0
Carbon	(%)	76.1	65.6	64.4	71.1
Hydrogen	(%)	2.9	2.7	2.7	2.0
Nitrogen	(%)	5.2	5.2	5.9	0.5
Ash	(%)	2.7	8.4	7.7	0.7
pH		7.11	7.15	7.25	6.67
Specific surface area	(m ² /g)	0.60	0.70	0.73	3.46
Total pore volume	(cc/g)	1.34	0.87	1.04	2.43
Average pore size	(μm)	0.72	0.27	0.49	2.43
Total calorimetric value	(cal/g)	7,060	5,850	5,940	6,200



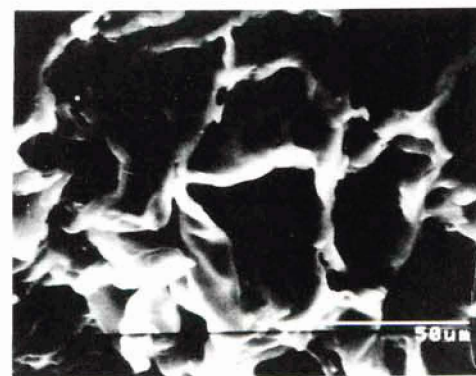
A 炭化コーヒーカス



B 炭化ウーロン茶カス



C 炭化紅茶カス



D 市販木炭

Fig. 4. Scanning electron micrographs of various charcoals (×1000)

- A. Carbonized coffee grounds B. Carbonized oolong tea waste
 C. Carbonized black tea waste D. Wood charcoal

4. 炭化物の評価結果

1) 水質浄化作用

コーヒークラス炭化物も活性炭と同様に、COD吸着平衡等温曲線は、両対数グラフ上で直線となり、吸着剤の特徴を示した (Fig. 5)。しかしながら、活性炭では排水のCODが10mg/ml以下になったが、コーヒークラス炭化物では1 g/L添加しても10mg/ml以下にならなかった (Table 4)。

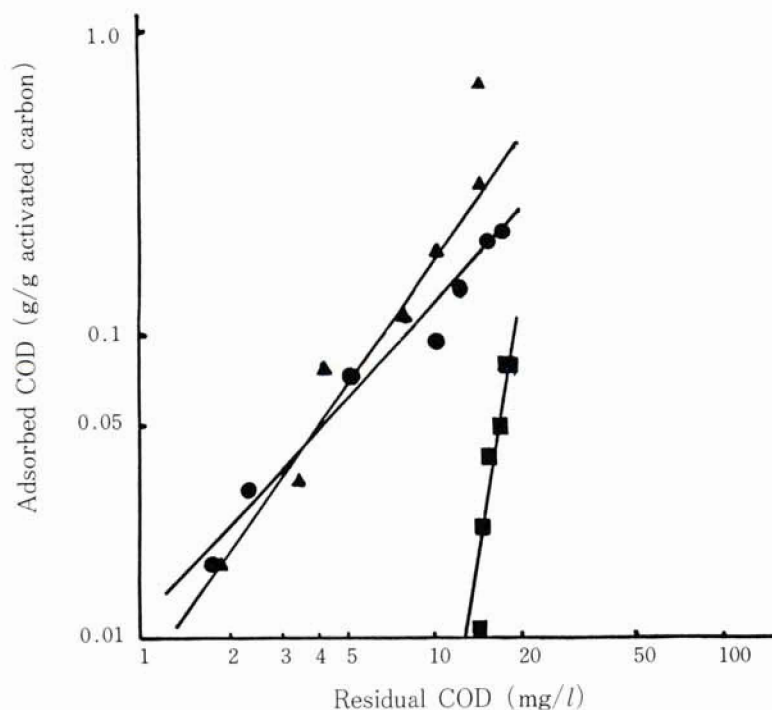


Fig. 5. Reduction test of waste water COD with activated carbon and carbonized coffee grounds

- A. Granular activated carbon (●) B. Powdery activated carbon (▲)
C. Carbonized coffee grounds (■)

Table 4. Reduction test of waste water COD by treatment with activated carbon (A.C.), carbonized coffee grounds

Sample	Residual and absorbed COD	Activated carbon (g/l)							
		0	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1.0
Granular A.C.	Residual COD(mg/l)	19.6	17.4	15.5	12.6	10.2	5.11	2.32	1.78
	Absorbed COD(g/g A.C.)	—	0.22	0.205	0.14	0.094	0.073	0.035	0.018
Powdery A.C.	Residual COD(mg/l)	19.6	13.2	13.3	10.2	8.00	4.20	3.42	1.86
	Absorbed COD(g/g A.C.)	—	0.64	0.316	0.188	0.116	0.077	0.032	0.018
Carbonized coffee grounds	Residual COD(mg/l)	19.6	18.8	18.0	17.1	15.7	14.9	14.2	13.9
	Absorbed COD(g/g A.C.)	—	0.08	0.08	0.05	0.039	0.024	0.011	0.006



Fig. 6. Effects of carbonized coffee grounds on growth of spinach
A. Fertilizer (No.2)
B. Fertilizer + Carbonized coffee grounds (No.5)
C. Fertilizer + Wood charcoal (No.8)

2) 土壤改良効果

ホウレンソウの生育状態の写真を Fig. 6 に示す。また収穫したホウレンソウの生重量と葉緑素含量の測定結果を Fig. 7 に示す。肥料の有無の影響は顕著に出たが、炭化物の効果は明確に出なかった。しかし木炭混合区と差はなく、木炭と同様な使用は可能と考えられる。

5. 乾燥-炭化の経済性評価

1) 設備コスト

予備乾燥の回転通気式乾燥機は約7,000万円で、付帯設備を入れると1億円近くなる。炭化設備はバイオカーボン研究所の流動床タイプで約1億円である。

2) 乾燥, 炭化の熱エネルギー収支

(1) 乾燥段階

乾燥には、燃料を多量に要するが、熱エネルギーとして試算してみると、およそ800,000kcal/hを必要とする。詳細は以下の通りである。

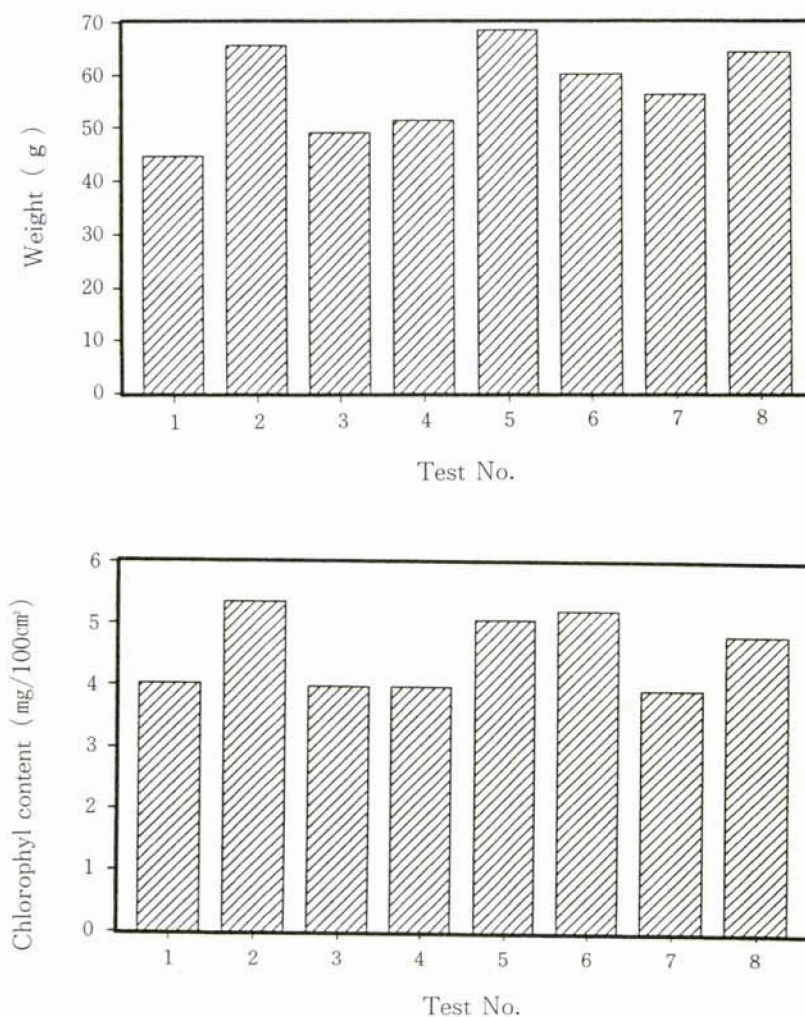


Fig. 7. Effects of carbonized coffee grounds on growth of spinach
Upper; Weight Lower; Chlorophyll content

コーヒークスの水分を70%から10%に低減するために必要な熱量として (a)+(b) となる。
 温度を50℃から100℃まで上げるのに必要な熱量

$$1 \times (100 - 50) \times 1,670 = 83,500 \text{ kcal/h (a)}$$

厳密にはコーヒークス中には水以外の成分があるが、水と同一の比熱として計算した。

蒸発させる水の量は

$$1,670 \times 0.7 - 550 \times 0.1 = 1,114 \text{ kg/h}$$

水の気化熱 539kcal/kg から

$$1,114 \times 539 = 600,446 \text{ kcal/h (b)}$$

これら (a), (b) を合わせて

$$83,500 + 600,446 = 683,946 \text{ kcal/h}$$

このように約680,000kcal/hの熱エネルギーが水分蒸発に必要である。

乾燥機の熱効率を85%とすると

$$683,946 \div 0.85 = 804,642 \text{ kcal/h}$$

約800,000kcal/hが供給熱エネルギーとして必要である。

(2) 炭化段階

炭化段階ではコーヒークス（乾燥）とその炭化物の総発熱量から差し引きしたエネルギーが炭化段階で放出されると思われるが、その内のおよそ30%程度が余熱として利用しうると考えられる。実際の炭化の場合、余熱発生量は600,000kcal/hと推定されている。詳細は以下の通り。

乾燥されたカス550kg/h（水分10%）の総発熱量は、総発熱量5,570kcal/kg（分析値）から

$$550 \times 5,570 = 3,063,500 \text{ kcal/h となる。}$$

出来上がりコーヒークス炭化物150kg/hの総発熱量は、炭化物の総発熱量7,060kcal/kg（分析値）から

$$150 \times 7,060 = 1,059,000 \text{ kcal/h となる。}$$

差し引きエネルギーが炭化段階で放出されるエネルギーで

$$3,063,500 - 1,059,000 = 2,004,500 \text{ kcal/h}$$

およそ30%が余熱として利用しうるとすると

$$2,004,500 \times 0.3 = 601,350 \text{ kcal/h}$$

3. 炭化処理の経済性評価

(1) 炭化コスト

コーヒークスを乾燥し炭化するのに要する費用を計算した。最低と最高の条件 (a)設備の償却年数を5年、熱源を単に燃料で供給 (b)償却年数を10年、熱源の大半を炭化で発生する余熱で供給した場合でそれぞれ試算した。

(a)設備償却年数5年

熱源	L P G
償却費	設備費×20%=3,400万円
金利	設備費×5%= 850万円
補修費	= 200万円
熱源費	=3,600万円
電力費	= 900万円
労務費	=1,200万円

(b)設備償却年数10年

熱源	炭化の余熱利用
設備費×10%=1,700万円	
	←
	←
	= 900万円
	←
	←

合 計 10,150万円

5,750万円

製造コーヒークラス炭化物の量は時間150kgとして、年間稼働時間6,000hで900,000kgとなる。
1kgあたりの炭化コストに換算すると、それぞれ113円/kg, 64円/kgとなる。

(2) 炭化物による収益

コーヒークラス炭化物量は年間稼働時間6,000hとすると

$$150\text{kg/h} \times 6,000\text{h} = 900,000(900\text{t})$$

どの程度の価格で販売できるかであるが、一般に市販されている木炭のkgあたりの価格は100円でコーヒークラス炭化物はバイオカーボン研究所によれば65-90円で販路開拓可能とのことである。また肥料メーカーによると40円である。50円/kgとすれば、900tで4,500万円となる。

(3) 経済的評価

炭化コストが販売価格を上回っているが、現在の処理業者への支払い費用を考慮し、炭化コストと収益の差額が処理業者引き取りの費用より安くなれば炭化処理の有用性があるわけである。炭化コストの高い方では $10,150 - 4,500 = 5,650$ 万円、低い方（設備償却を10年、熱源として炭化での余熱を利用）では $5,750 - 4,500 = 1,250$ 万円となる。低い方の金額であれば、引き取り費用より低く実用化の可能性が高い。

現在、特殊肥料の範疇に「くん炭」の品目があり、モミ殻炭なども入るが、コーヒークラスなど抽出カスの炭化物もこれに該当する。

また最近の水質の悪化に伴い、活性炭の需要が増大しているが、炭化物を活性炭の原料として利用することも可能である。^{8),9)}

要 約

コーヒークラスなどの抽出カスの乾燥-炭化処理による有効利用を検討した。抽出カスは炭化処理により重量が約1/10、容量が1/3に減少した。炭化物の成分面、物理的性質などの分析を行った。また土壌改良剤としての効果や排水浄化作用の評価を行った。土壌改良剤や簡易的浄水、燃料として市販されている木炭と同様な利用が可能と考えられる。炭化の際に発生する余熱を予備乾燥の熱源として利用することにより、炭化コストを低減することができる。

謝 辞

炭化コーヒークラスの排水浄化の試験を実施してくださいました東洋製罐技術本部第6生産技術室の方々に深謝致します。また土壌改良剤効果を調べるためにハウレンソウの栽培試験を実施してくださいました当研究所農産原料研究室の宮崎正則室長に深謝致します。

文 献

- 1) 食品産業廃棄物処理対策調査検討会編：食品産業廃棄物処理対策調査検討事業実態調査報告書、食品産業センター、(1992)。
- 2) 青山好男：第31回東洋食品研究所顧問会議事録、pp. 49-66(1992)。
- 3) 炭やきの会：環境を守る炭と木酢液、家の光協会、(1991)。
- 4) 日本規格協会発行：JISK-1474、(1975)。
- 5) 真田雄三・鈴木基之・藤元薫：新版 活性炭-基礎と応用-、講談社、(1992)。
- 6) 植物栄養実験法編集委員会編：植物栄養実験法、博友社、(1990)。
- 7) 木村進総編集：乾燥食品事典、朝倉書店、(1984)。
- 8) 五島義昭、伊藤修、柘植治人、大橋一二：日食工誌、**27**、188-191(1980)。
- 9) 五島義昭、平林国治、柘植治人、大橋一二：日食工誌、**28**、393-395(1981)。