

家畜ふん炭化物の脱臭性能、畜産汚水脱色性能、および、生ふんの通気性改善効果

石崎重信・大泉長治・岡崎好子

Performance of Animal Waste Charcoal for
Deodorizing Ammonia and Acetic Acid, for Decolorizing Polluted Water
and for Improving Air Permeability of Animal Waste

Shigenobu ISHIZAKI, Choji OIZUMI and Yoshiko OKAZAKI

要 約

搾乳牛ふん、鶏ふん、豚ふんの各炭化物について、脱臭性能、畜産汚水の脱色性能、家畜ふん炭を生ふんに混合したときの通気性改善効果を比較した。各素材に蒸留水を加えて測定したpHは、対照とした活性炭の9.1に比べて家畜ふん炭は10.5~10.9とアルカリ度が高かった。各家畜ふん炭のアンモニア脱臭性能（家畜ふん炭1L当たり、14~111mg）は活性炭（247mg/L）に比べて1/2~1/20と低かった。酢酸の脱臭性能は活性炭（103g/L）の23%程度と低かった（14~45g/L）ものの、アンモニアに比べて1000倍以上の吸着量を示し、家畜ふん炭は低級脂肪酸の脱臭素材として有効であることが示唆された。

堆肥に水を加えて作成した汚水の脱色性能は、ほとんどの家畜ふん炭が活性炭よりも高く、畜種で比較すると、鶏ふん炭>豚ふん炭>牛ふん炭であったが、各家畜ふん炭とも脱色素材容積の1.3倍量程度の汚水の送液で脱色率は送液開始時の1/2程度に低下してしまうことから実用的な脱色能力はないことが推察された。

家畜ふん炭を生ふんに混合したときの通気性改善効果については、家畜ふん尿処理で一般的に使われている水分調整材であるモミガラ、オガクズに比べてやや多め（重量）の家畜ふん炭を添加しないと十分な通気性が確保できなかったが、通気性を確保するのに要した容積で見ると大きな差はなかった。

結 言

「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」の施行を受けて畜産農家における堆肥化施設整備が急速に進み、家畜ふん堆肥の生産量は増加しているが、耕種農家における利用は横ばい状態といわれている¹⁾。さらに、千葉県の農地における窒素収支に関する研究では、1年間に化学肥料から14,819t、堆肥から9,274tの窒素が施用されているが、現状でも10,730tの窒素が過剰に施用されており、さらに堆肥換算で4,616t窒素/年相当分の家畜ふん尿が作物栽培に利用されていない

²⁾と試算されている。リン酸とカリについても同様に、過剰施用と家畜ふん尿の一部が未利用の状態にあることが報告³⁾されている。減化学肥料の動きはあるものの、それによって現在未利用の家畜ふん尿の全てを県内農地に還元することは難しいと考えられることから、家畜ふん尿の堆肥利用以外の用途開発も検討すべき課題となっている。

そこで、家畜ふんの炭化処理による他用途利用を想定し、生産された家畜ふん炭化物の用途として考えられる、畜舎や堆肥化施設から発生する臭気の脱臭性能、畜舎汚水の脱色性能、生ふん尿に混合したときの通気性改善効果について検討した。

材料及び方法

1. 脱臭試験

(1) 供試素材: 供試した家畜ふん炭化物（以下、「家畜

ふん炭」という)を表1に示した。牛ふん炭は筆者らが牛ふん炭の牛舎敷料利用の試験⁴⁾で使用したもので、当センターの搾乳牛舎から排出された牛ふん尿混合物を直線攪拌型ハウス乾燥施設で乾燥させ(水分53.0%)、直燃式横型ロータリーキル(長さ約7m×外径2m)で炭化したもので、若干灰を含む比較的比重の重い炭(0.455kg/L)であったが篩い分けせずにそのまま供試した。

その他の家畜ふん炭は、当センターの搾乳牛舎から排出された牛ふん尿混合物、肥育豚舎から排出された豚ふん、産卵鶏舎から排出された鶏ふんを、それぞれ生のまま灯油ボイラー直燃式横型ロータリーキルン(長さ3m×内径30cm)に投入して炭化処理

(1日1回のバッチ処理)を行った。炭化温度は、炭排出側(ボイラー側)の温度を500~550に保つようボイラーを調節して炭化処理したが、炭化処理中の平均温度は520~570程度であった。なお、牛ふん高温炭は、最高750まで温度をあげて炭化したもので、平均炭化温度は720程度であった。この炭化装置で炭化した家畜ふん炭を1mmまたは2mm目の篩いを用いて灰の多い微細部分を除去し、さらに4mm以上の大きな塊を除去したものを供試した。また、畜産施設で利用されている木質系素材および堆肥についても比較のために供試したので、表1に併せて示した。

表1 供試した家畜ふん炭等の脱臭素材と脱臭性能

各種再資源炭の脱臭性能		炭化温度		物性		脱臭：アンモニア ^{*3}				脱臭：酢酸		
備考		平均	範囲	粒子径(mm)	pH ^{*2}	充填量(g)	希釈率	破過点(分)	吸着量(mg/L)	充填量(g)	破過点(分)	吸着量(g/L)
		粒状活性炭 ^{*1}					9.1	134.3	1/100	63	301	127.1
牛ふん炭	敷料試験		不明	混合	10.7	133.7	1/200	57	90	130.3	45	20
牛ふん炭		542	502~579	2~4	10.6	53.4	1/200	15	28	53	38	17
牛ふん炭		566	539~605	2~4	10.8	47.8	1/200	14	26	44.3	53	24
牛ふん高温炭		716	482~755	2~4	10.9	39	1/200	9	17	40.9	65	29
牛ふん高温炭		716	482~755	1~2	10.9	49.2	1/200	13	25	50.2	58	26
牛ふん高温炭		720	588~747	2~4	10.8	55.1	1/200	12	23			
鶏ふん炭		523	496~576	2~4	10.8	100.5	1/200	20	36	103.4	100	45
鶏ふん炭		545	509~585	2~4	10.9	128.5	1/200	12	23	123.3	42	19
鶏ふん炭		529	504~568	2~4	10.8	103.4	1/200	27	48	118.3	58	26
豚ふん炭		523	491~565	2~4	10.5	70.3	1/200	52	83	72.9	32	14
豚ふん炭		527	505~550	2~4	10.5	66.25	1/200	47	77	72.1	48	22
豚ふん炭		556	505~616		10.5	68.2	1/200	25	45	36.4	45	20
モミガラ					8.4	41.5	1/100	57	279	45.4	7	3
オガクズ(杉)					8.0	66	1/100	58	283	63.9	210	94
杉バークオガコ					6.2	43.2	1/100	350	1318	43.2	33	15
植織材(ウツリイカ)					8.5	161.1	1/100	55	271	115.4	18	8
牛豚鶏混合完熟堆肥	敷料用				9.3					131.2	190	85
間伐材炭(ウツリイカ)					10.0	34	1/100	33	177	33.8	60	27
飼料畑土(水分含む)	黒ぼく						1/100	240分<	890<			

*1：和光純薬(pH9.70)
 *2：pH：脱臭素材原物10gに蒸留水100gを加えて時々攪拌、2時間後に測定
 *3：アンモニア発生濃度
 1/200：600~400ppm(0~60分、平均500) ,X分までの累積量(mg)=0.0018X²+0.5605X+0.2398(R²=0.9996)
 1/100：2000~1200ppm(0~60分、平均1600) ,X分までの累積量(mg)=-0.0053X²+1.7915X+1.1672(R²=0.9998)

(2) 試験方法：装置の概要を図1に示した。臭気物質としては家畜ふん尿処理施設等で多量に発生するアンモニア、および、揮発性脂肪酸として酢酸を用いた。希釈アンモニア液(1/100倍、または、1/200倍)または、無水酢酸原液を500ml容ガス洗浄ビンに約200ml入れ、恒温水槽で30に保温し、液中に焼結ガラスボールフィルターで通気バブリングしてアンモニア(通気量1.0L/分)、または、酢酸(通気量2.25L/分)を発生させた。エアポンプは観賞魚用ダイヤフラムポンプを用い、通気量はニードルバルブ付

フローメーター(RK1200、5ml/分、コフロック株)で調節した。

各家畜ふん炭、あるいは、その他の脱臭素材を、下部を通気用ガラス管付ゴム栓(4重ガーゼを敷き素材の落下防止)で閉じた内径50mm×長さ150mm(容積0.29L)の亚克力管に入れ、素材投入後に高さ5cm程度から数回亚克力管を落下させて素材間の隙間が無くなるよう充填し、重量を測定して容積重を求めた。亚克力管下部から連続的に通気し、亚克力管出口部(上部)における濃度をガス検知管(ア

アンモニア = 測定範囲0.5 ~ 1000ppm : 3 L, 3 La, 3 M, 酢酸 = 測定範囲0.125 ~ 100ppm : 81, 81 L、(株)ガステック) を用いて、アンモニアでは500ppm、酢酸では100ppmを超えるまで3分間隔で連続的に測定した。測定時間を横軸に、臭気濃度を縦軸にプロットし、臭気物質を吸着しきれなくなって排気中の濃度が上昇し始めた点(破過点)⁵⁾を求め、破過点までの脱臭素材1 L当たりの臭気物質吸着量を算出した。なお、破過点は流出臭気濃度が流入臭気濃度の5 ~ 10%に達した点が多選ばれることが多い⁵⁾が、本試験では臭気濃度が上昇し始める点とした(図2参照)。

試験装置から発生するアンモニアと酢酸の濃度については、ガス検知管の測定範囲を越えたため、アンモニア発生濃度は、試験装置から発生するアンモニアを2連のガス洗浄ビンに入れた4%ホウ酸液を用いて10分間隔で捕集して0.04N硫酸で滴定して求めた。発生するアンモニア濃度が時間の経過に伴って低下したため、試験に当たっては概ね60分ごとにアンモニア液を交換した。また、下記の一定の経過時間(分)までの累積発生量の回帰式を作成し、通気X分後までの累積アンモニア発生量(mg/分)を求めた(図3)。

1 / 100希釈液では
 $y = -0.0053X^2 + 1.7195X + 1.1672$ ($R^2 = 0.9998$)

1/200希釈液では、
 $y = -0.0018X^2 + 0.5605X + 0.2398$ ($R^2 = 0.9996$)

酢酸の発生濃度は、pH指示薬を加えた0.2N水酸化ナトリウム液200mlをガス洗浄ビンに入れ、酢酸を捕集しながら中和されるまでの通気量を乾式ガス流量計(DC-2、三共精機)で測定し、1分当たりの発生量を計算した結果、無水酢酸原液からの酢酸発生量は、2.2meq/分 = 132mg/分(概ね2500ppm)だった。

また、各素材のpHが脱臭性能に影響することが考えられるため、素材現物10gに蒸留水100gを加えて時々攪拌し2時間後にガラス電極pHメーターを用いてpHを測定した。

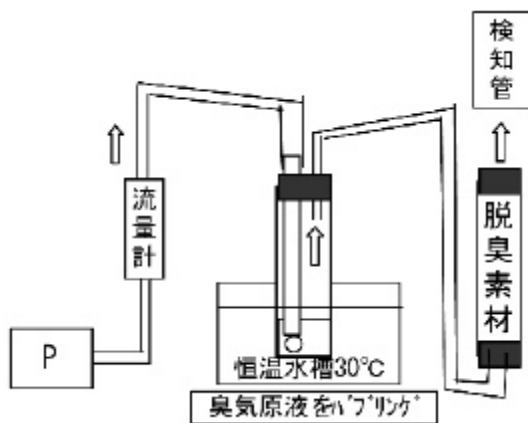


図1 脱臭試験装置

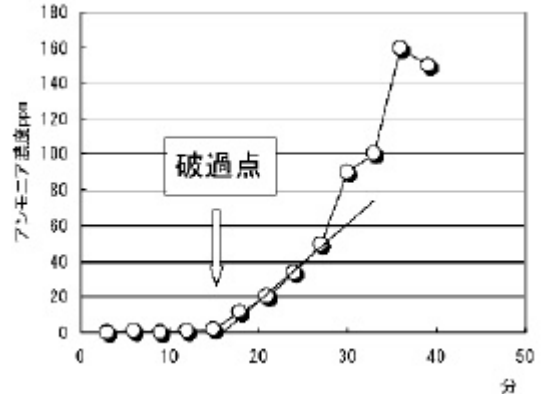


図2 破過点の例(牛ふん炭のアンモニア脱臭装置)

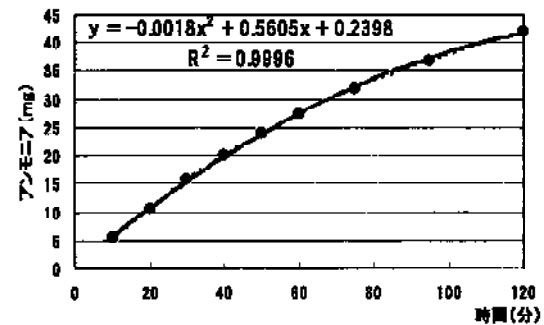


図3 通気時間と累積アンモニア発生量(1/200希釈)

2. 汚水の脱色試験

- 供試素材：家畜ふん炭は、脱臭試験に用いた表1に示したもののうち、牛ふん炭、牛ふん炭、牛ふん高温炭、鶏ふん炭 および、豚ふん炭 および を供試した。汚水は牛豚鶏ふん混合の完熟堆肥1kg(水分20%程度)に水180Lを加えて数日間曝気した濃褐色の上澄み液を用い、供試前に吸光度(400nm)が概ね0.75になるよう希釈して用いた。
- 試験方法：用いた装置の概要を図4に示した。内径50mm×長さ1000mm(容積7.85L)の亚克力管に各家畜ふん炭を詰め、カラム下部からチューブポンプで汚水を0.7L/分程度で送液し、カラム上部から出る1分間毎の排出水を集めて吸光度(400nm)を測定した。用いた汚水原液の吸光度(abs0)と、素材を通過後の汚水の吸光度(absn)から、次式によって脱色率を計算した。

$$\text{脱色率}(\%) = 100 \times (1 - \text{absn} / \text{abs0})$$

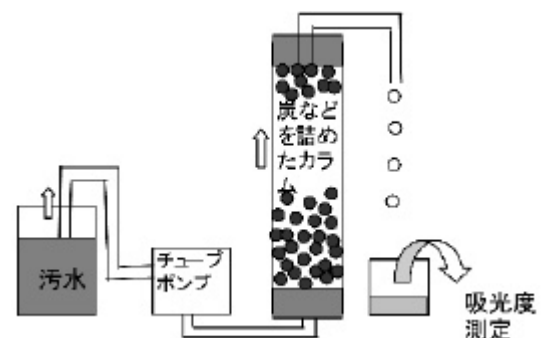


図4 汚水の脱色試験装置

3. 通気性改善試験

(1) 供試資材：家畜ふんは、搾乳牛生ふん（尿混合、水分85.2%）と肥育豚生ふん（水分68.0%）を用いた。

家畜ふん炭は、敷料試験に供試した牛ふん炭と牛ふん炭（容積重0.175kg/L）、豚ふん炭（0.271）を用いた。また、家畜ふん尿の水分調整材として利用されているオガクズ（0.147）、モミガラ（0.128）、および、事務用紙シュレッダー屑（0.070）を供試した。

(2) 試験方法：生ふんでは全く通気性がないことから、牛ふんまたは豚ふん10kgに、各素材を適量添加してよく混合し、9L容の円筒形ポリバケツで容積重を測定し、高さ1mの堆積時に通気性が発現しない程度（牛ふんで約0.7kg/L、豚ふんで約0.6kg/L）に調整した。

用いた装置を図5に示した。アクリル管（内径100mm×長さ1000mm）の下部はT字形ガラス管を付けたゴム栓で閉じ、空気噴出部がふんで塞がれないよう荒目の化学繊維不織布を敷いた。これに上部から容積重を調整したふんと水分調整素材の混合物を約1Lずつ投入し、約5cm持ち上げてアクリル管を落下させる動作を15回繰り返して鎮圧しながらアクリル管に詰め、混合物の高さが25-50-75-100cmの4点で通気抵抗〔2本の水柱の高さの差（mmAq）〕を測定した。通気量は、強制通気発酵における適正通気量60L/m²・分⁶⁾を基準に、試験装置の断面積から470m³/分とした。

堆肥化に必要な通気性が確保された場合の通気抵抗は数mmAq～10数mmAqと報告されている⁶⁾ことから、

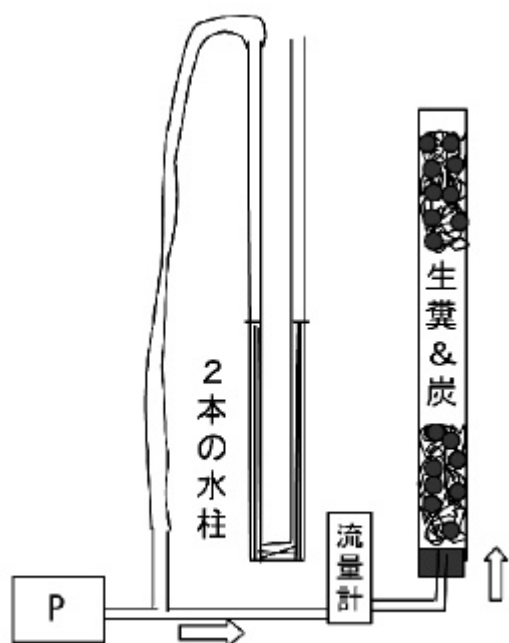


図5 通気性試験装置
（通気抵抗は2本の水柱の高さの差で測定）

ふん混合物を高さ100cmまで詰めた時の通気抵抗が10mmAqを大きく超える場合には、アクリル管中の混合物を取出し、家畜ふん炭等を適宜加えて混合した後、再度アクリル管に詰めて通気抵抗の測定を行った。通気抵抗が概ね10mmAq程度となった時点を通気性が十分確保された」とみなした。

結果および考察

1. 脱臭試験

脱臭試験の結果を表1に示した。各素材のpHは、活性炭が9.1に対して、家畜ふん炭では10.5～10.9の範囲と高く、豚ふん炭がやや低い傾向であったが、牛ふん炭ではカリウムやカルシウム、鶏ふん炭ではカルシウムなどのアルカリ金属が多いためと考えられた。一方、木質系の素材、特に、樹皮付の杉間伐材をオガクズ製造機で処理して製造した「杉パークオガコ」では6.2と低かった。

アンモニアの脱臭試験結果をアンモニア吸着量（mg/素材1L）で比較すると、家畜ふん炭では17～90mg/Lで活性炭（301mg/L）に比べて5～30%程度と低く、供試した家畜ふん炭の平均吸着量は体積1L当たり43mgであった。この値を用いて、アンモニア濃度100ppm（30の空気1m³当たり68.4mgに相当）の空気の脱臭可能量を計算すると、家畜ふん炭1L当たり0.63m³であり、アンモニアに対する実用的な脱臭効果は期待できないことが示唆された。

畜種別では牛ふん炭は活性炭の12%、鶏ふん炭12%、豚ふん炭23%であり、pHが低いほど吸着量が多くなる傾向が見られた。木質系素材や黒ボク土の吸着量は活性炭に比べて同等もしくはそれ以上だったが、pHが6.2と低い杉パークオガコ（1318mg/L）では特に活性炭の4倍ほどの高い吸着を示した。

酢酸の脱臭試験結果を酢酸吸着量（g/素材1L）で比較すると、家畜ふん炭では14～45g/Lで活性炭（103g/L）の23%程度であり、供試した家畜ふん炭の平均吸着量は体積1L当たり24gと、アンモニア吸着量に比べると約1000倍多い量となった。家畜ふん炭以外の素材では、木質系素材のオガクズ、完熟堆肥の吸着量が比較的高かった。

今回の酢酸を用いた脱臭試験結果が、畜産現場で悪臭として問題となるプロピオン酸、n酪酸、吉草酸等でも直ちに適応できるかは検討していないが、同じ揮発性脂肪酸であることから、酢酸濃度100ppb（30の空気1m³当たり0.24mgに相当）の空気の脱臭可能量を計算すると、家畜ふん炭1L当たり100,000m³に相当した。

畜産現場における臭気濃度について、畜舎臭気では、アンモニアが1.1～4.1ppm、プロピオン酸が0.4～46ppb、ノルマル酪酸が2～26ppb⁷⁾、豚ふん処理を主体とする大規模堆肥化施設ではアンモニアが60～150ppm、プロ

ピオン酸が15~492ppb、ノルマル酪酸が33~1285ppb⁸⁾、強制通気発酵試験初期の牛ふん堆肥ではアンモニアが261~820ppm、プロピオン酸が12~33ppb、ノルマル酪酸が1~3ppb⁹⁾と、濃度的にはアンモニアが主体であるが、揮発性脂肪酸も濃度は低いが検出されている。アンモニアと揮発性脂肪酸の空气中濃度と臭気強度との関係は、「楽に感知できる臭気強度 (= 3)」の濃度についてみると、アンモニアが2.3ppm、n 酪酸が2.4ppb¹⁰⁾とされ、揮発性脂肪酸は低濃度であっても悪臭原因となる。本試験の結果から、アルカリ性素材である家畜ふん炭の脱臭効果はアンモニアに対しては期待できないが、酸性物質である揮発性脂肪酸に対して有効である可能性が示唆された。

なお、今回比較したのは、物理化学的な「吸着量」であり、実際の脱臭装置で主役をなすと考えられる微生物処理による脱臭を評価したものではない。

2. 汚水の脱色試験

実験結果から計算した脱色率を図6に示した。実験開始直後の最初の2Lについての脱色率は、活性炭25%、牛ふん炭16~39%、豚ふん炭46~50%、鶏ふん炭34~66%と、同じ畜種でもばらつきがあったが、鶏ふん炭と豚ふん炭が牛ふん炭と活性炭に比べて高い傾向を示した。しかし、脱色素材の容積の1.3倍である汚水10Lの送液で脱色率は当初の1/2程度に低下したことから、家畜ふん炭の畜舎污水脱色能力は高くないことが推察された。

表2 通気試験結果

【豚ふん】	添加量 (kg)	容積重 (kg/L)	水柱の差 (mmAq)				容積重 (kg/L)	水分 (%)
			25	50	75	100		
豚ふん炭 容積重=0.27	2.25	0.78	2	15	56	116	0.91	-
	2.50	0.77	2	9	17	23	0.88	-
	2.75	0.74	1	5	9	11	0.86	67.3
モミガラ 容積重=0.13	1.25	0.70	1	5	23	41	0.89	-
	1.50	0.67	0	1	2	4	0.81	67.7
オガクズ 容積重=0.15	1.25	0.77	5	143	-	-	-	-
	1.50	0.72	2	12	26	38	0.87	-
	1.75	0.66	1	5	11	18	0.78	-
	2.00	0.60	2	3	8	12	0.75	68.8
【乳牛ふん】	添加量 (kg)	容積重 (kg/L)	水柱の差 (mmAq)				容積重 (kg/L)	水分 (%)
			25	50	75	100		
牛ふん炭 容積重=0.18	2.00	0.75	2	336	-	-	-	-
	2.25	0.72	2	10	31	62	0.87	-
	2.50	0.67	1	5	10	12	0.83	70.2
牛ふん炭 敷料試験供試 容積重=0.43	3.00	0.89	18	534	-	-	-	-
	3.50	0.88	2	216	-	-	-	-
	4.00	0.82	1	12	22	29	-	-
	4.25	0.75	1	8	9	12	-	-
モミガラ 容積重=0.13	1.25	0.74	1	160	-	-	-	-
	1.50	0.66	1	3	5	12	0.82	74.7
オガクズ 容積重=0.15	1.25	0.70	3	724	-	-	-	-
	1.50	0.65	4	46	110	168	0.82	-
	1.75	0.62	1	3	6	8	0.74	74.1
シロタ'-屑 容積重=0.07	1.50	0.82	255	560	-	-	-	-
	2.00	0.59	1	4	28	48	0.85	-
	2.25	0.58	0	2	4	5	0.80	70.7

容積重： は9Lバケツで測定、 は通気試験アクリル管(長さ100cm)で測定
水柱の差： ふんと家畜ふん炭混合物を高さ25、50、75、100cmまで入れて測定

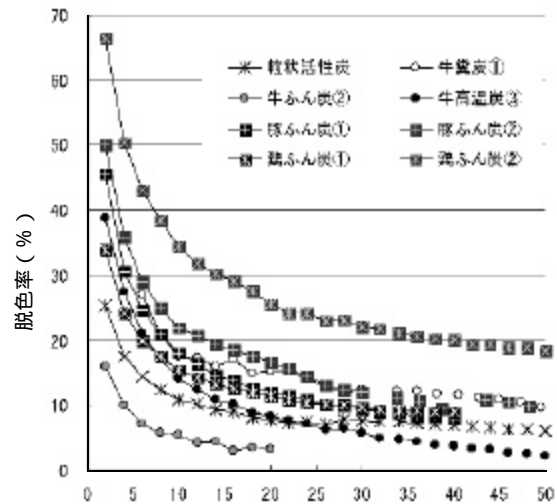


図6 畜ふん炭の污水脱色試験装置 汚水追加量 (L)

$$\text{脱色率} = 100 \times (1 - \text{汚水通過量} n \text{ L 時の吸光度} / \text{汚水原液の吸光度})$$

3. 通気性改善試験

通気性改善試験の結果を表2に示した。豚ふんを用いた試験では、豚ふん10kgに対して、モミガラでは1.5kg (容積11.7L)、オガクズでは2.0kg (13.6L) 添加により堆積高さ100cm時の通気性が確保されたが、豚ふん炭では2.75kg (10.1L) とやや多く添加する必要があった。

搾乳牛ふんを用いた試験では、牛ふん10kgに対して、堆積高さ100cm時に十分な通気性が確保されるのに要し

た添加量が少なかった順に、モミガラ1.5kg(11.7L)、オガクズ1.75kg(11.9L)、シュレッダー屑2.25kg(32.1L)、牛ふん炭2.5kg(14.3L)、敷料試験牛ふん炭4.25kg(9.8L)となった。なお、乾燥したシュレッダー屑は嵩が大きい、水分の多い生ふんと混合すると嵩が小さくなって通気性改善には大量に添加する必要があった。

以上から、生ふんに添加して堆肥化に十分な通気性を発現させるためには、重量でみると家畜ふん炭に比べてモミガラやオガクズの方が少なかったが、容積でみると10~14Lの添加で通気性が確保され大きな差がなかった。

引用文献

- 1) 栗原大二(2003)、農林業未利用資源循環研究室リサイクル研究推進事業、平成14年度試験研究成績書:15-17
- 2) 八槇 敦・斉藤研二・安西徹郎(2003)、千葉農総研報第2号:69-77
- 3) 八槇 敦・安西徹郎(2003)、農林業未利用資源リサイクル研究推進事業平成14年度試験研究成績書:23-24
- 4) 石崎重信・岡崎好子(2004)、千葉畜セ研報第4号:25-28
- 5) 柳井弘(1977)、吸着工学概要、共立出版、29
- 6) 柴田るり子・大泉長治・岡田光弘・高山文雄(1985)、千葉畜セ研報9号:57-62
- 7) 本多勝男(1995)、各種ふん尿処理技術・システム、畜産環境対策大事典、(社)農山漁村文化協会:358
- 8) 鈴木睦美・福光健二・高橋朋子(1991)、畜産の研究第45巻第10号、(株)養賢堂:1043-1046
- 9) 九州農業試験場総合研究部 総合研究第3チーム(2001)、簡易低コストふん用処理施設開発に関する実証的研究(第1報)、平成12年度受託研究報告書:3-7
- 10) (財)日本環境衛生センター(1980)、悪臭物質の測定等に関する研究、千葉県農林水産部(2001)、環境にやさしい家畜ふん尿処理の手引き:117