

畜産環境保全における炭化・燃焼の意義

群馬大学工学部機械システム工学科エネルギーシステム工学
教授 新井雅隆

1. 環境問題

1) エネルギー環境問題と畜産環境保全

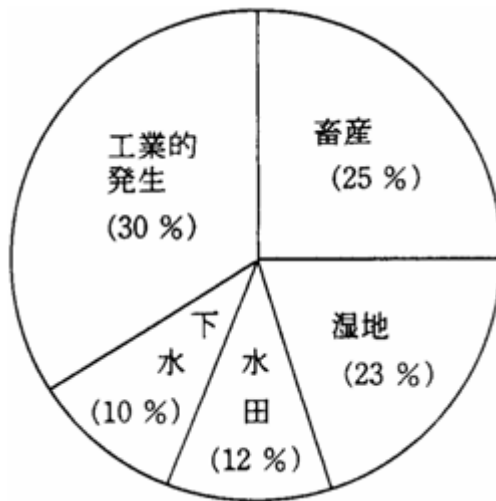
エネルギー環境問題と畜産環境保全の関連は現在わが国が産官学を挙げて取り組んでいる『バイオマスニッポン』の種々の提言の中にもみることができる。その中ではエネルギー資源としてのバイオマス資源の位置づけ、またバイオマス資源としての畜産排せつ物の位置づけが行われている。

有機肥料として家畜の排せつ物を土壌に還元することは以前から行われているが、現在わが国が目指す循環型社会の形成のためにはこの有機物の土壌への還元だけでなく、各種のミネラルの積極的な循環、また、逆に土壌汚染物質については積極的な循環防止が必要となる。一方、最近では家畜ウイルスの蔓延を防止するための非常措置として、ウイルスに感染した家畜やその排せつ物の燃焼処理が行われている。人類を含む動植物が新種ウイルスの攻撃に弱いことは周知の事実である。これに対抗するための方策として現在、感染に対抗するワクチンの開発が主流となっているが、蔓延の防止のための検疫体制の強化、ウイルス汚染地帯の消毒、また汚染物質の焼却処理も積極的に行われている。また予防措置としては現在検疫体制の強化が問われているが、ウイルスに汚染された家畜排せつ物の拡散を防ぐためには、恒常的に家畜排せつ物の炭化や燃焼が必要になる。

バイオマス資源としての扱いおよび循環型社会の形成の一方策としての家畜排せつ物の炭化・燃焼処理が進展するか否かは主としてその経済性の立場から論ぜられているが、土壌汚染物質の循環防止やウイルス汚染物質の拡散防止については、経済原則にとらわれずに実施しなければならぬ対策であり、家畜排せつ物の炭化・燃焼処理は現在新たな段階に至っているといえる。

2) 大気圏の環境問題

CO₂やメタン等のような赤外線を吸収する温暖化効果ガスとして世界的規模において排出量の削減が求められている。エネルギーの使用量の増加は大気中のCO₂濃度上昇という地球規模の深刻な温暖化の要因になっている。図1は温暖化効果として全体の15%を占めるメタンの排出源別の寄与を表したものである。メタンについては本講の主題である畜産関係からの排出が顕著になっている。畜産関係の排出には家畜の生態活動(腸内発酵)によるものと排せつ物の発酵によるものがある。さらに有機肥料の土壌への還元においても発酵によりメタンは生成されるため、家畜排せつ物の地球温暖化への寄与率は以外と高く、この意味からは、家畜排せつ物を炭化または燃焼によって処理しメタンの放出を積極的に防止することも今後の課題である。

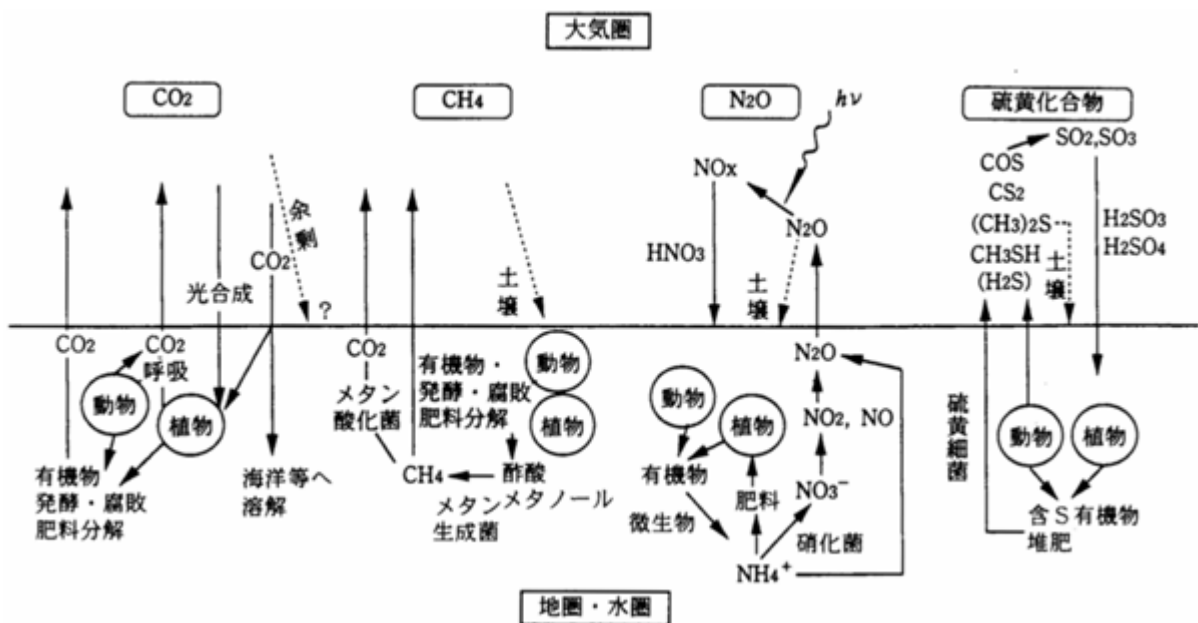


新井紀雄監修: 燃焼生成物の発生と抑制技術
テクノシステム(1997), p41

図1 メタンの排出原因

3) 地下水および土壌の環境問題

大気圏の環境汚染問題は、大気圏が酸性雨等により水圏や地圏と密接に係っているため、水圏や地圏の汚染原因として捉えられることが多い。図2はこの大気圏、水圏、地圏の三者の関係を明らかにしたものである。地球規模で見れば、大気圏に比べて海洋を中心とする水圏は、容量が大きいために変化は僅かであるが、地圏とともに、我々の生命を維持する食料生産の母体であり、水圏および地圏の環境保全は人類の存続にとって重要な問題である。図は主として温暖化物質および酸性雨の原因物質について述べたものであるが、ダイオキシンや有害有機化合物また焼却の際にガス化した重金属物質などは、大気圏から地圏および水圏に降下する。その後はそこに留まり長い年月の間に拡散および分解するが、動植物の体内に吸収されかつ濃縮されて蓄積される場合もある。あらゆる動植物がそれ自体、環境汚染物質の濃縮作用を行っていること、人類が生体系における食物連鎖の頂点に位置していることからこの問題がいかに深刻な影響を我々に与えているかを容易に理解することができる。家畜排せつ物はこのような循環系において窒素分やミネラルの循環をつかさどることになるが、後述するようにそこには様々な不都合な問題も含まれている。



新井紀雄監修: 燃焼生成物の発生と抑制技術、テクノシステム(1997), p41

図2 環境に影響を与える大気中の汚染物質の大気圏、水圏、地圏の間の循環

2. バイオマス

1) バイオマス資源

家畜排せつ物も広義にはバイオマスに含まれるため、まずその資源量を明らかにする。バイオマス(biomass)は広義には『生物量、量的生物資源』であるが、一般的には『エネルギー源としての生物群とその排出物の総称』である。

バイオマスのそれぞれの項目について我が国における資源の発生量を示したものが表1である。ここでバイオマス資源は再生可能な自然資源であるため、資源量ではなく年間の発生量で表現されていることは注目すべきである。家畜排せつ物についてみると、その発生量はおよそ9000万トン/年であり、バイオマスの他の項目に比べて量が多いことが特徴であるが、排せつ物には水分が相当量(50%-90%)含まれるため、エネルギー量としてはさほど多くない。排せつ物の中で利用可能と判断される部分は60万トン/年以下であり、高水分含有率を考慮すると、エネルギー回収の意義は社会的見地からは少ないと考えられる。そこで家畜排せつ物については9000万トン/年という大量の発生量を効率よく処理し、排せつ物による直接的な環境汚染を回避することが当面の課題であると言える。

表1 我が国のバイオマス発生量と利用可能量

南英治他1: 我が国におけるバイオマス資源の発生量と利用可能量の推定エネルギー・資源23-3(2002)p219-223

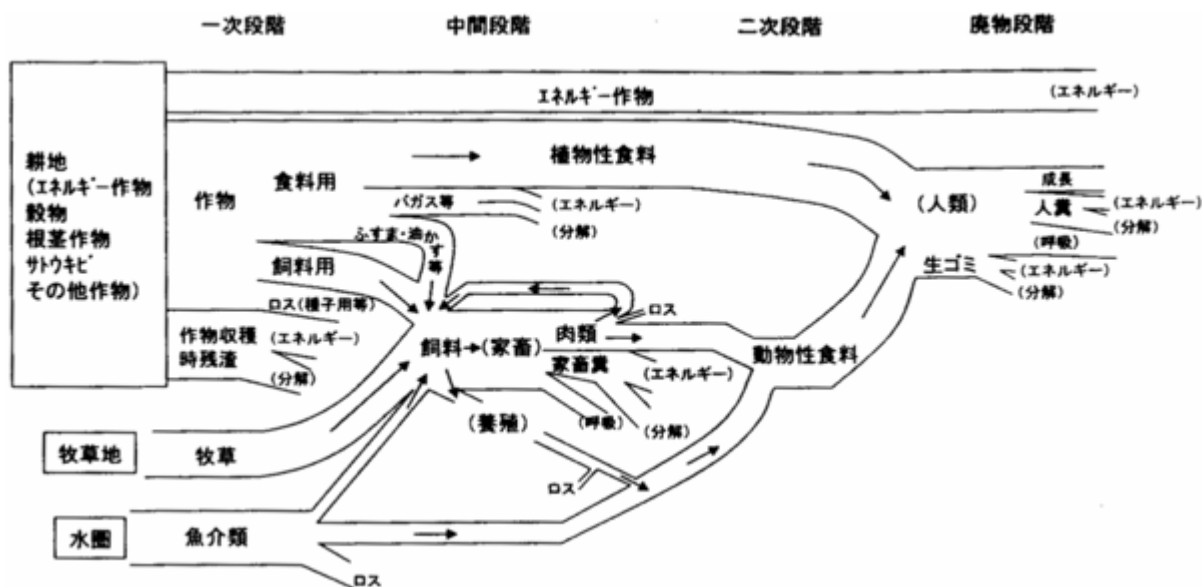
バイオマスの種類		発生量 (万トン/年)	利用可能量 (万トン/年)	
生 産 資 源	糖質資源	さとうきび	157	0
		てんさい	379	0
	でんぷん 資源	水陸稲	949	0
		ばれいしょ	296	0
		かんしょ	101	0
		さといも	25	0
		青刈りトウモロコシ	480	0
	森林資源	針葉樹、広葉樹	5,200	—
		うち里山広葉樹	(1,000-1,200)	280-330
		ササ	>607	607
タケ		330	<330	
油脂資源	ナタネ	0.09	0	
	落花生	2.6	0	
	大豆	19	0	
その他	牧草	3,115	0	
	野菜*	1,261	0	
水域資源	海藻類	64	0	
生産資源小計		約13,000	約1,200	
未 利 用 ・ 廃	林産資源	林地残材	363	80
		間伐材	345	197
		工場残廃材	1,250	216
		建築廃材**	327	206
		古紙	3,063	280
農産資源	稲わら	961	46	
	もみ殻	208	57	
	麦わら	87	33	
	バガス	24	<24	
	その他農産残渣	692	<692	

バイオマス資源	畜産資源	家畜ふん尿 動物の死体	~9,000 11	>60 6
	水産資源	水産加工残渣	280	13
		投棄魚	2,660	<2,660
		キチン質	39	<39
		うちキチン含有量	(1.5)	(<1.5)
	産業資源	ハルプ廃液	490	62
		動植物性残渣	313	147
		廃動植物油	42-56	>4
	生活資源	一般廃棄物中のバイオマス***	~3,800	<1,500
		下水汚泥	240	166
		未利用・廃資源小計	約24,000	約6,500
		バイオマス資源合計	約37,000	約7,700

- * 野菜にはばれいしょ, かんしょ, さといも等の糖質資源は含まない。
- ** 解体時の建築廃材は, 解体の届出のあったもののみ
- *** 発生量は紙類を含む. また利用可能量は紙類を除外した数値

2) 食物連鎖と家畜排せつ物

図3は我が国における食料維持のため、人為的に集められた食料としてのバイオマスの流れを示したものである。畜産排せつ物は中間段階の家畜の飼料から食肉類を生産する過程で生じている。図中の各フローの幅はエネルギー基準で評価したバイオマス量である。第一段階の食用バイオマスのエネルギー量は563(PJ:1015J, peta-J)であり、家畜糞のエネルギー量は155(PJ)、また我々の生活活動によって排出される生ゴミのエネルギー量は110(PJ)、人糞のそれは110(PJ)である。詳しい解析によれば現実的なエネルギー供給可能量としての家畜糞は38(PJ)である。いずれにせよ、食用バイオマスの全エネルギー量に対して、家畜糞の持つエネルギー量は無視できない値であり、これをバイオマスエネルギーとして有効に利用することは今後の課題である。



藤野、山本、山地: 食用バイオマス・フローの見直し
による畜産排せつ物エネルギーポテンシャル見積り
の改訂、エネルギー・資源、24-1(2003), p61-64

図3 食料バイオマス・フロー

3. 畜産排せつ物のリサイクル

1) コンポストとしてのリサイクル

耕地に対する過剰なコンポストの使用は、コンポストが土壤中の微生物等により有効な肥料に転換されていくために長い年月が必要であるため、短期的には耕地を栽培に適さない状態にすることもある。表2は耕地に受け入れられる限界のコンポストの総量基準を示したものであり、現在の畜産排せつ物の発生量と受け入れ耕地面積の関係、またコンポストの地域を越えた流通が難しい点を勘案すると、我が国におけるコンポストの耕地への直接リサイクルにも限界がある。

たとえば、有機肥料の中で窒素に注目すると、我が国においては、食料としてだけでなく飼料としても世界一の窒素輸入国となっていて、輸入された食用・飼料中の窒素の大半は生活廃棄物および畜産廃棄物のいずれかの経路を経てコンポストとして農地に還元されていく。この量は化学肥料として施用される量よりも多く、さらに水田にはコンポストを直接施用することはないため、必然的に狭い畑作地に多量の有機物としての窒素が蓄積することになる。図4は食物および飼料中の窒素が農地に還元されていくプロセスと都道府県別の農地に還元されたと推定される年間の窒素の量(Nkg/ha)であり、健全な農地の基準である年間100(Nkg/ha)前後の値よりはるかに高い地域があり、多くの地域で過剰還元の状態になっている。過剰に蓄積した窒素は土壌および地下水を窒素汚染することになり、単なる作物の生育阻害だけでなく、血液中のヘモグロビンを変質(メトヘモグロビン)させ貧血症状を発生させる原因になっている。

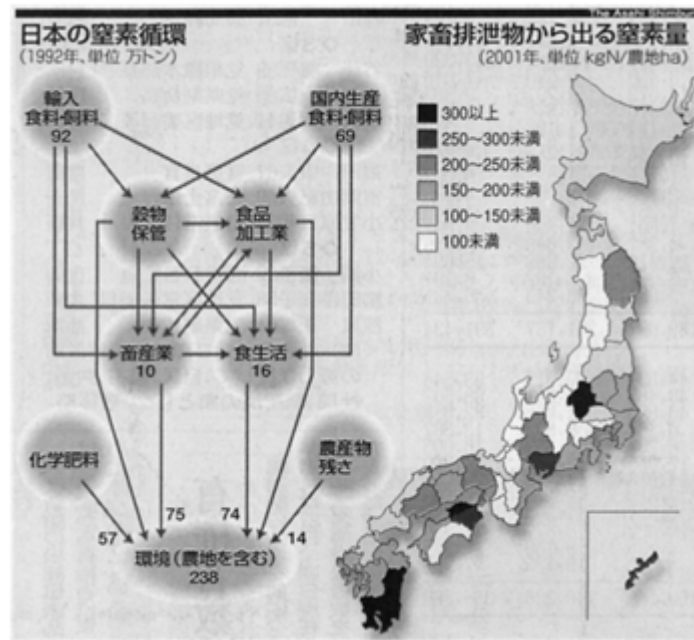
耕地に施用されたコンポストが微生物によって分解されていく過程は一般にメタンガスの発生を伴うため、温暖化物質の抑制の観点からは避けるべきであり、有機栽培耕法についても慎重に再検討する必要がある。家畜も生態としての濃縮作用を行うため、家畜の飼料に含まれる有害重金属等は濃縮されてコンポストの中に含有されている。したがって、特定の耕地に対する頻度の高いコンポストの投入は、現状では問題ないが将来は土壌汚染を誘発する恐れもあり、節度のあるリサイクルが今後は必要になる。さらに、コンポストとしての利用についての新たな障害要因として冒頭に述べた家畜排せつ物による土壌のウイルス汚染が今後問題になると思われ、上述した重金属汚染の防止よりさらに高度に管理されたコンポストとしての家畜排せつ物の循環が今後必要になる。

表2 家畜排せつ物施用基準(連年施用)(t/ha・作)

畜産環境整備機構: 家畜排せつ物を中心としたメタン発酵処理施設に関する手引き(2001), p83

作 目	牛			豚		鶏	
	堆きゆう肥	乾燥ふん	液状きゆう肥	堆きゆう肥	乾燥ふん	堆きゆう肥	乾燥ふん
水 稻	10~20	10		5~15			
野菜	少肥型	10~20	4~8	10~20	3~4	4~10	2~3
	中肥型	13~25	6~12	12~25	4~6	6~15	3~4
	多肥型	20~40	8~15	17~35	5~8	10~20	4~5
一般畑作物	15~30	5~15		10~20	5~10		2~4
永年牧草	30~40		50~60	20~30			5
イタリアンライグラス	30		40~50	20			4
とうもろこし	30~40		50~60	20~30			5
かんきつ類	10~40	7~15		10~40	5~20	10~20	2~11
りんご	15~17			5~20	3~20		0.7~1.2
茶	20	15		10	10	10	5
桑				38			10

(昭和58年度ふん尿処理利用研究会会議資料より抜粋)



朝日新聞 2003年10月28日(12版)

図4 農地への窒素の過剰循環

2) 焼却処理と燃焼灰のリサイクル

家畜排せつ物の焼却処理は循環型社会の構築の立場からは熱回収(サーマルリカバリー)と捉えることができる。図5は石炭、木材、わらと牛ふんの発熱量を比較したものである。石炭の含水量は通常数%であり、石炭の発熱量は7700kcal/kg前後である。牛ふんも完全に乾燥した状態では3800kcal/kgの値を示すが、牛ふんは通常水分を70%程度含むため、現実的な発熱量は1500kcal/kg程度となる。燃焼に伴う水分の蒸発は火炎温度を低下させるため、牛ふん自体を自燃させることはできず、通常は助燃用の補助燃料を用いることになる。

リサイクルの観点からは、この場合は助燃用の燃料の燃焼熱と牛ふんの燃焼熱の両者を熱回収する必要がある。しかし実際の焼却プロセスでは、燃焼熱の数割は排ガスとともに持ち去られてしまうため、牛ふんの燃焼により熱回収の実利を上げることはほぼ不可能である。また豚ふんの場合も同様である。一方鶏ふんの場合では含水率が30%前後であるため、自燃が可能であり、熱回収としての鶏ふんの焼却処理は循環型社会の形成に貢献することができる。

家畜排せつ物の焼却(燃焼処理)プラントのフローチャートの一例を図6に示す。このプラントでは、水分の含有量の多い生排せつ物を処理対象としているため、燃焼熱利用による発電は行わず、発生した熱はすべて生家畜排せつ物の乾燥のために利用されている。燃焼炉と焼却炉の厳密は区別はないが、一般には補助燃料を用いずに燃焼を行わせることができ熱エネルギーを取り出すことのできるものを燃焼炉、補助燃料を使用して対象物の燃焼処理を目的とするものを焼却炉と区別している。このプラントにおける焼却処理によって生じた燃焼灰は無窒素肥料となり、水分75%以上の処理対象物約16トンから無窒素肥料約0.3トンが生じる。ここではこの燃焼灰は、乾燥のみで焼却処理をしていない乾燥家畜糞とブレンドされ、最終的な肥料として生産されている。したがって本プラントはリサイクルの立場からみれば、肥料としての資材リサイクルシステムである。

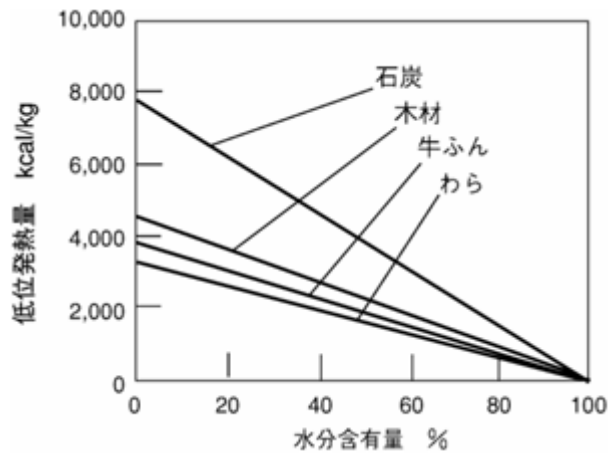
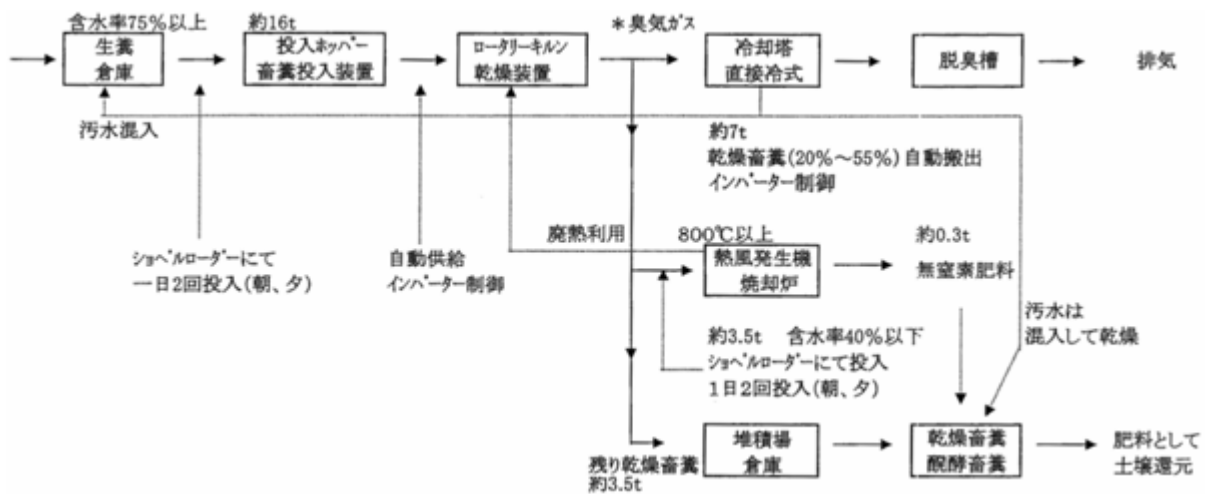


図5 発熱量の比較



畜産環境整備機構、第4回家畜排せつ物を中心とした焼却・炭化技術研究会・資料409(2003-1)

図6 畜産排せつ物の焼却プラントのフローチャート

3) 炭化処理

家畜排せつ物の炭化処理は、炭化による減量と新たな炭素材の製造の目的で行われる。畜産排せつ物は水分の含有量が高いため、処理対象物の部分燃焼による燃焼熱を用いた炭化は望めなく、一般に加熱用の燃料を必要とする。したがって炭化に伴って可燃性のガスも生成されるが、エネルギー回収としての実利は無く、炭素資源のリサイクルとしてのみ循環型社会の構築に寄与することになる。

表3は炭化してできた物質の工業分析および元素分析結果であり、牛ふんの場合に灰分と炭素がほぼ同じ割合で含まれている。炭化物が多数の細孔を持つ構造をしているため、吸着材としての使われる場合もあるが、畜産排せつ物の炭化物についてはその保水性を利用した土壌改良材としての利用が一般的である。

土壌改良材として使用される場合では、表4に示すような炭化物の化学的性質が重要であり、リン、カルシウム、マグネシウム、カリウム等の土壌への還元を行うことができる。牛ふんの炭化処理に着目すると、高温(380℃)で炭化処理を行うと有機質中の窒素分は熱分解されて分解ガス中に放散されるので、前項で問題とした窒素分の農地への過剰還元をさける方策として有効である。しかし、有機窒素の分解と同時にリン(P_2O_5)も失われて(リン酸の分解やガス化)してしまうため、リンの積極的な還元の目的は失われてしまう。炭化物や燃焼灰中のミネラルの含有率は前段で述べたとおり、処理対象物や処理施設によって異なるので、肥料としての使用には注意が必要である。

表3 再資源化された炭化物の工業分析および元素分析例

凌祥之: 畜産環境整備機構: 第2回家畜排せつ物を中心とした燃焼・炭化技術研究会・資料204(2002-11)

	試料名	炭化温度 (°C)	比表面積 (m ² /g)	平均径 (Å)	全細孔容量 (m ³ /t)	成分構成(%)				主要元素割合 (%)			pH
						水分	灰分	揮発分	固定炭素分	炭素	水素	酸素	
再資源炭	稲わら炭	380	5.6	231	0.03	0.89	38.5	19.6	41.0	47.3	2.9	11.0	9.8
	粃殻炭	380	3.5	227	0.02	0.63	42.8	26.1	30.5	45.6	2.8	8.6	8.7
	バガス炭	380	32.9	52	0.04	0*	12.3*	34.0*	53.7*	68.1	11.2	8.5	6.8
	牛糞炭	300	2.2	235	0.01	0*	25.6*	44.6*	29.9*	49.2	7.8	17.5	8.2
	排水路塵芥炭	380	3.4	361	0.03	0*	34.9*	26.5*	38.6*	43.4	5.8	15.9	8.0
	脱水汚泥炭	380	2.4	273	0.02	2.4	44.9	22.7	30.0	38.3	3.0	12.7	8.5

表4 再資源化された炭化物の化学的性質(乾燥重量基準)

畜産環境整備機構: 凌祥之: 第2回家畜排せつ物を中心とした燃焼・炭化技術研究会・資料204(2002-11)

再資源炭	T-C (%)	T-N (%)	C/N比	P ₂ O ₅ (mg/100g)	CEC (me/100g)	CaO (mg/100g)	MgO (mg/100g)	K ₂ O (mg/100g)	リン酸 吸収係数 (mg/100g)
バガス炭	68.1	0.04	1580	650	8.8	560	270	590	1100
脱水汚泥炭	38.3	5.20	7	6000	0.5	5200	1100	750	-160
排水路塵芥炭	43.4	2.50	17	3500	9.2	3700	710	840	520
牛糞300°C炭	49.2	2.00	25	2100	31.0	3100	850	2200	560
牛糞380°C炭	62.1	0.10	620	42	39.0	3250	1430	473	50
ぎゅう肥(牛糞)*	30.9	20.6	15	2060	—	2350	882	2060	—
木炭**	64.2~ 92.5	0.10~ 0.74	—	20~170	1.0~16.3	140~1220	30~240	170~450	—

注: * 農林水産省農産園芸局農産課(1982)より作成,

* * 木材炭化生成物多用途利用促進調査(1994, 林野庁)より作成

4. 畜産排せつ物の炭化・燃焼処理の考え方

燃焼処理における最大のメリットには、燃焼による減容化(減量化)があり、燃焼処理後の埋め立て処理では、この減容化の効果が大きいとされている。さらに、医療廃棄物やここで問題とする家畜排せつ物では、滅菌処理による安全性の確保も燃焼処理の大きな目的になっている。一方、家畜排せつ物は悪臭を伴う有機物質であるため生活環境に対する直接的な環境保全の面から弊害も多く、これを解決する手段としての燃焼処理の役割も大きい。最近の畜産系のウイルスを発端とする衛生環境問題に対処するため、炭化や燃焼処理の重要性はさらに高まると思われる。

家畜排せつ物の燃焼処理を環境問題として捉える場合では、安全性の確保や臭気等の直接的な公害防止だけでなく、物質循環系社会を構築する操作因子として長期的な観点から捉えることが重要である。ここで、理想的な循環型社会が形成され、産業廃棄物、生活廃棄物、農業・畜産

廃棄物などが、各々の資源としてまたエネルギー資源として十分に循環しているとし、この状態の環境を含めた社会形態を完全循環系とここでは呼ぶことにする。

図7は完全循環系における畜産システムとしての物質循環系を示したものであり、家畜排せつ物を有機物質(コンポスト)として土壌に還元することは、完全循環系としての理想的な形態と思われる。この完全循環系を維持するためには、土壌から吸収された物質は土壌の同じ場所に還元することが原則になる。しかし現実の食物連鎖では多方面から集められた飼料によって家畜が生産されているので、家畜からの排せつ物を、その飼料の摂取した場所に戻すことは不可能である。また、すべての動植物は自然界から物質を選択的に吸収する濃縮作用があるので、最初に土壌から植物に吸収された物質と最終的な家畜排せつ物との間には資源の比率にアンバランスが生じる。還元対象とする土壌と実際の還元を行う土壌の不一致や資源比率のアンバランスを解消するためには、家畜排せつ物をコンポストとして還元するだけでなく、燃焼や炭化と組み合わせることで還元する肥料の成分を調整し、かつ還元先の土壌の特性にあわせて広範囲に還元することが必要になる。

前述した完全循環系は理想的な状態であり、実際の循環型社会は、系の外部から多くの有害物質が進入する不完全循環系であると考えられる。たとえば畜産システムについては、大気または降雨等により多種多様な環境汚染物質が土壌に加わり、また家畜の飼料からも微量ではあるが環境汚染物質が畜産システムに加わることになる。家畜の飼料を外国から輸入している場合などでは、飼料中の塩分濃度が国内産の飼料よりはるかに高い場合があり、さらに予期せぬ環境汚染物質が含まれる場合もある。たとえば飼料に病原体やウイルスが含まれる場合も今後は想定しておく必要がある。すなわち現実の畜産システムは完全循環系になることはなく、図8に示すような不完全循環系であることを認識する必要がある。

農作物や家畜等の生体系は、ここで述べた畜産システムにおいて外部から侵入した環境汚染物質の濃縮装置として作用する。したがってその排せつ物には、循環系に加えられたものより高濃度の環境汚染物質が含まれることになる。さらにこれを有機肥料として特定の土壌に循環させることは、土壌の環境汚染物質濃度を徐々に高めることになる。そこで土壌環境を健全に保つためには、畜産システムという循環系において、環境汚染物質を系外に排出する操作を行う必要がある。さらに病原体やウイルスの拡散を防止する観点からすれば、畜産排せつ物はそれを循環社会の構成要素と考える以前に焼却処理をして無害化することが重要になる。

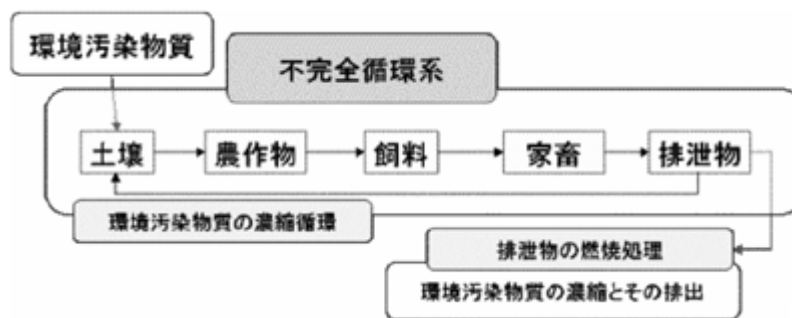


図7 完全循環系における畜産排せつ物の処理

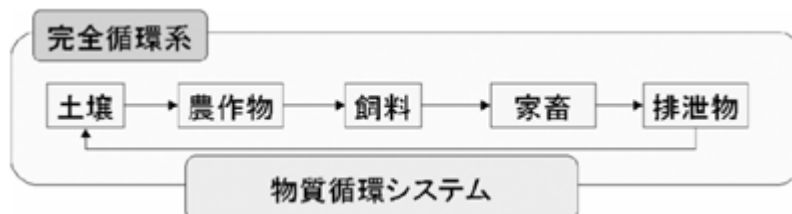


図8 不完全循環系における家畜排せつ物の処理

5. まとめ

エネルギーおよび環境問題、バイオマス資源、植物の生育のための必要資源、リサイクル、病原菌やウイルスの拡散防止などの観点から家畜排せつ物の炭化と燃焼の意義を考察した。本講

は畜産業には縁の薄い工学部機械工学科に勤める筆者が環境保全と燃焼工学の立場から、浅学を省みずまとめたものである。筆者の知識や経験の不足に由来する勘違いや問題の掘り下げ不足についてはご容赦ねがいたい。また本講に対して、ご批判やご助言がいただければ幸いである。